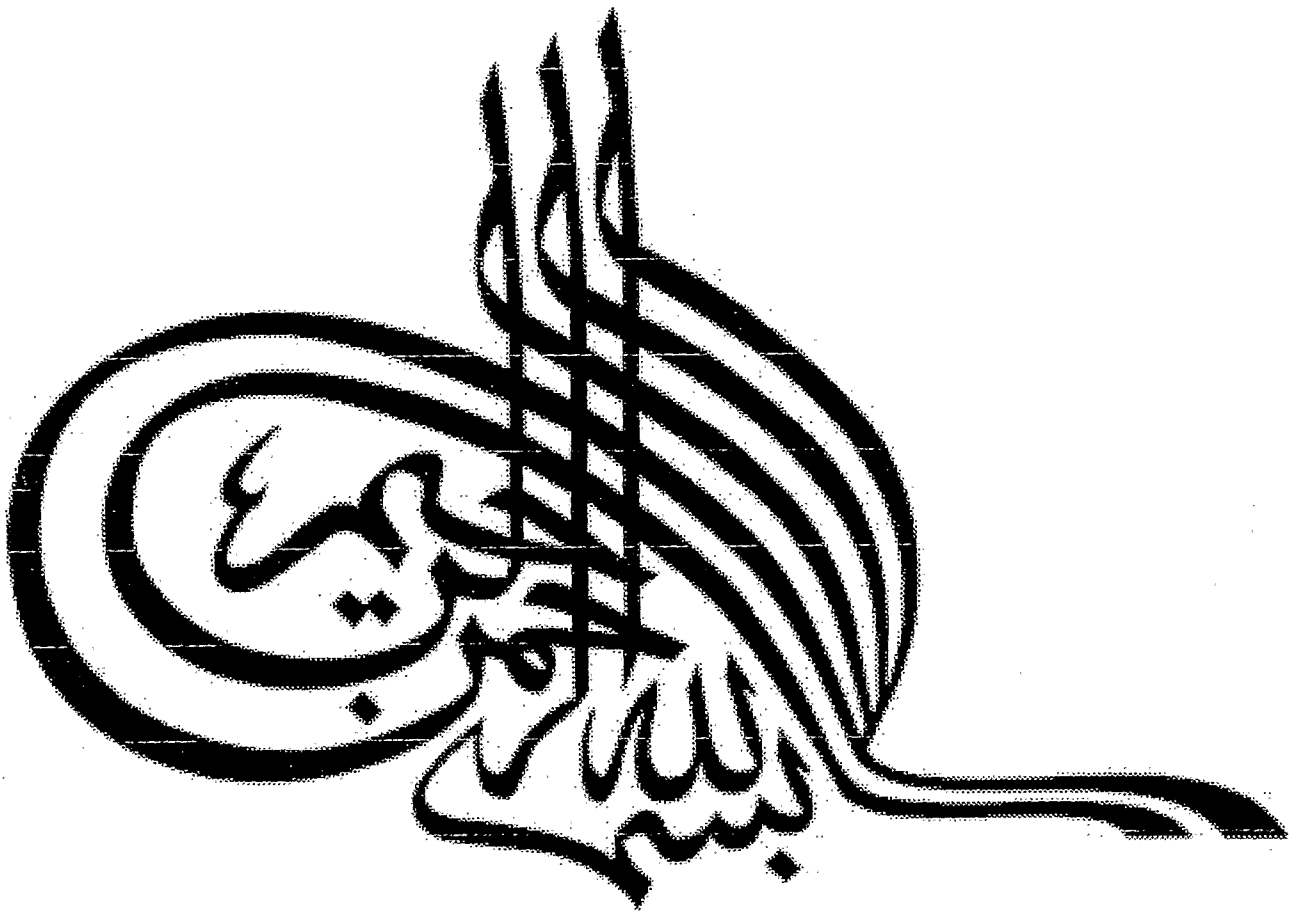

١٠٧٤٩

۸۷/۱/۱۰۱۸۴
۸۷/۱۰/۲۲

دانشگاه مازندران
دانشکده علوم پایه

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته فیزیک حالت جامد

موضوع:

تولید نانولوله‌های کربنی به روش رسوب گذاری بخار شیمیایی و بررسی ساخت فیلترهای نانومتری

اساتید راهنما:

دکتر علی اصغر حسینی

دکتر اصغر صدیق‌زاده

اساتید داور:

دکتر علی توفیقی

دکتر علی بهاری

۱۳۸۷ /۱۰/ ۲۱

نگارش:

سمیرا محمدی

شهریورماه ۸۷

۱۰۷۶۵۹

سپاسگزاری

خدایا، تو پیشاپیش من گام برداشتی و راهم را هموار کردی؛

نامت را بر زبانم جاری کن و مهرت را بر قلبم بنشان تا به چشمه‌های بکر رحمتت دست یابم، در مسیر دانش الهی گام بردارم و در راه شناخت تو متعالی شوم.

تقدیر و سپاس فراوان از اساتید بزرگوار و ارجمندم آقایان دکتر حسینی و دکتر صدیق‌زاده که در تمامی مراحل این پروژه راهنمایم بودند.

و سپاس از همکار گرامی جناب آقای سلطانی.

سپاس از سرکار خانم وطن‌خواه،

جناب آقای لاهوتی،

جناب آقای اسدی

و سپاس از همه‌ی آنان که مرا علم آموختند.

پدر و مادر عزیزم؛

چه می‌توانم بگویم که کلمات را یارای وصف مهربانیهایتان نیست،

پس سکوت می‌کنم

تا تپش‌های قلبم را بشنوید

که با هر ضربه، شما را سپاس می‌گوید.

چکیده:

سیستم‌های نانومتری به علت خواص منحصربفرد اپتیکی، الکتریکی، شیمیایی و کاتالیستی مورد توجه وسیعی در جمع صاحبنظران علوم و صنایع پیشرو قرار گرفته‌اند.

نانولوله‌های کربنی (*CNT*) نیز به دلیل داشتن خواص منحصر بفرد مکانیکی، شیمیایی و الکتریکی مانند استحکام مکانیکی، مقاومت در محیطهای داغ و میزان بالای تخلخل در واحد حجم دارای کاربردهای وسیعی می‌باشند. نسبت بالای طول به قطر، دیواره‌های گرافیتی آب‌گریز و قطر داخلی نانومقیاس منجر به پدیده‌ی بی‌نظیر انتقال آب و گاز با راندمان بالا در سرتاسر نانولوله‌های کربنی می‌شود؛ طوریکه مولکول‌های آب و گاز در سرتاسر خلل و فرج نانولوله‌ها در مقایسه با خلل و فرجهای تقریباً با همان اندازه، بسیار سریعتر حرکت می‌کنند. بنابراین استفاده از نانولوله‌ها برای ساخت فیلترها می‌تواند صنایع فیلتراسیون را متحول کند. می‌توان انتظار داشت که فیلترهای ساخته‌شده از نانولوله‌های کربنی دارای مزیت‌های زیادی مانند سهولت در تمیز کردن، افزایش استحکام، قابلیت استفاده مجدد و مقاومت آنها در برابر گرما باشند. همچنین، اگر چه حفرات نانولوله‌های کربنی به طور قابل توجهی کوچک هستند؛ اما فیلترهای آنها به دلیل داشتن سطح داخلی صاف، شدت جریان بیشتر یا یکسانی نسبت به تخلخل‌های بسیار بزرگ‌تر از خود عبور می‌دهند و دارای مزیت بالایی نسبت به آنها هستند.

در این پروژه تحقیقاتی که قسمتی از طرح ساخت نانوفیلترها می‌باشد، نانولوله‌های کربنی به روش رسوب شیمیایی بخار بر روی پایه‌های کاتالیستی (*CCVD*) رشد داده شدند و سپس با استفاده از نانولوله‌های حاصل، ساخت فیلترهای نانولوله‌ای، مورد بررسی و تحقیق قرار گرفت. زیرلایه‌ای که در این پروژه مورد استفاده قرار گرفت، از جنس سیلیکون نوع p با جهت‌گیری (۱۰۰) با قطر ۳ اینچ انتخاب شده‌است. برای رشد *CNT* ابتدا زیر لایه را به روش اکسایش مرطوب اکسید نموده و برای حصول اطمینان از تشکیل لایه اکسیدی روی زیرلایه، آن را با طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز مورد بررسی قرار دادیم. سپس ضخامت لایه اکسیدی با دستگاه پس پراکندگی رادرفورد (*RBS*) محاسبه شد. بعد از آن کاتالیزورها با روش تبخیر حرارتی روی زیر لایه نشانده شدند. ضخامت لایه کاتالیستی نیز با دستگاه *RBS* بدست آمد. مرحله رشد نانولوله‌ها در رآکتور *CVD*، لوله کوارتزی بطول یک متر در کوره لوله‌ای الکتریکی، صورت گرفته و منبع کربنی وگاز واکنشی مورد استفاده به ترتیب استیلن و آرگون می‌باشند. تأثیر پارامترهایی مانند آماده‌سازی زیرلایه در حضور آمونیاک، نوع کاتالیزور، ضخامت لایه کاتالیستی و دما بر رشد *CNT* ها مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی نمونه‌های سنتز شده با طیف‌سنجی رامان و میکروسکوپ الکترون روبشی (*SEM*) جریان *mlit/min* ۸۰ برای آمونیاک (در بین جریانهای صفر، ۳۰ و ۸۰ میلی‌لیتر بر دقیقه) و کاتالیزور نیکل (بین کاتالیزورهای نیکل و کبالت) با ضخامت *nm* ۱۷/۵۲ (در بین ضخامتهای ۶، ۸/۸۷، ۱۴/۲۴، ۱۷/۵۲ نانومتر) و دمای ۵۸۰°C (در بین دماهای ۵۸۰، ۶۵۰، ۷۵۰ و ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد) مناسب تشخیص داده شدند. تصاویر *TEM* نشان‌دهنده رشد نانولوله‌های چند جداره با قطری بین ۹ تا ۱۰۰ نانومتر، در این پروژه می‌باشد. این پروژه در آزمایشگاه مهندسی محیط زیست واقع در آزمایشگاه جابربن‌حیان پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای انجام شد. طیف سنجی رامان در پژوهشکده لیزر و *RBS* در پژوهشگاه علوم فنون هسته‌ای، *SEM* و *TEM* در پژوهشکده مواد کرج انجام شد.

واژه‌های کلیدی:

نانولوله‌های کربنی (*CNT*)، فیلترهای نانولوله‌ای، رسوب شیمیایی فاز بخار روی پایه‌های کاتالیستی (*CCVD*)

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول- نانولوله‌های کربنی ۱

۱-۱ تاریخچه فناوری نانو ۱

۱-۲ نانوساختارها ٤

۱-۲-۱ نانوذرات ٤

۱-۲-۱-۱ نانوذرات نیمه‌هادی ٥

۱-۲-۱-۲ نانوذرات سرامیکی ۷

۱-۲-۱-۳ نانوذرات فلزی ۹

۱-۲-۲ نانوکپسول‌ها ۱۰

۱-۲-۳ نانوسیم‌ها ۱۲

۱-۳ گروه‌های تجمعی کربن ۱٤

۱-۳-۱ الماس ۱۷

۱-۳-۲ گرافیت ۱۸

۱-۳-۳ کربن بی‌شکل ۱۸

۱-۳-٤ فولرین‌ها ۱۹

۱-۳-٥ نانو اسفنج‌ها ۲۰

۱-۳-٦ نانو میله‌های الماسی متراکم ۲۱

۱-۳-۷ کربن با ساختار شیشه‌ای ۲۲

۱-۳-۸ لونسدیلیت ۲۳

۱-۳-۹ کیوآیت ۲۳

۱-٤ تاریخچه نانولوله‌های کربنی ۲٤

۱-٥ مشخصات نانولوله‌های کربنی ۳۱

۱-٦ کشف نانولوله‌های کربنی ۳۲
۱-۷ انواع نانولوله‌های کربنی ۳٤
۱-۷-۱ نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره ۳٤
۱-۷-۲ نانولوله‌های کربنی چند دیواره ۳٦
۱-۷-۳ فولریت ۳۷
۱-۷-٤ نانوچنبره ۳۷
۱-۷-٥ نانوخوشه‌ها ۳۷
۱-۷-٦ نانوجوانه‌ها ۳۸
۱-۷-۷ نانولوله‌های معدنی ۳۹
۱-۸ خواص نانولوله‌های کربنی ٤۰
۱-۸-۱ خواص مکانیکی ٤۲
۱-۸-۲ خواص الکترونی ٤۳
۱-۸-۳ خواص گرمایی ٤۳
۱-۹ عیوب در نانولوله‌های کربنی ٤٤
۱-۹-۱ تأثیر عیوب بر استحکام کششی ٤٤
۱-۹-۲ تأثیر عیوب بر خواص الکترونی ٤٥
۱-۱۰ روشهای تولید نانولوله‌های کربنی ٤٥
۱-۱۰-۱ تخلیه الکتریکی ٤٦
۱-۱۰-۲ تبخیر لیزری ٤٦
۱-۱۰-۳ فرآیند فروریزش ساختاری نامتناسب منوکسید کربن در فشار بالا ٤۷
۱-۱۰-٤ رسوب‌گذاری بخار شیمیایی ٤۸
۱-۱۰-٥ شکل‌گیری فولرین و نانولوله‌ها بصورت ذاتی و تصادفی ٤۹
۱-۱۱ کاربردهای نانولوله‌های کربنی ٥۰

۱-۱۱-۱ ساختاری ۵۰
۱-۱۱-۲ الکترومغناطیس ۵۲
۱-۱۱-۳ شیمیایی ۵۷
۱-۱۱-٤ مکانیکی ۵۷
۱-۱۱-۵ مدارهای الکتریکی ۵۸
۱-۱۱-٦ حسگرها ۵۸
۱-۱۱-٦-۱ حسگرهای زیستی ۵۹
۱-۱۱-٦-۲ حمل و نقل مولکولی ۵۹
۱-۱۱-٦-۳ داربست بافتی ٦۰
۱-۱۱-۷ کاربردهای بیولوژیکی ٦۲
۱-۱۱-۸ استحکام‌دهی کامپوزیت‌ها ٦۲
فصل دوم- سنتز نانولوله‌های کربنی به روش *CVD* ٦٤
۲-۱ مقدمه ٦٤
۲-۲ رسوب‌گذاری بخار شیمیایی و مروری بر منابع ٦٦
۲-۳ مکانیزم رشد نانولوله‌های کربنی در فرآیند *CVD* ۷۵
فصل سوم- بررسی سیستم‌های پالایش آلاینده‌های گازی ۸۱
۳-۱ مقدمه ۸۱
۳-۲ سیستم‌های پالایش هوا ۸۲
۳-۲-۱ نشست‌دهنده‌های وزنی ۸۳
۳-۲-۲ جداسازی اینرسی ۸۳
۳-۲-۳ جداسازی سانتریفیوژ (نیروی مرکزگرا) ۸٤
۳-۲-٤ شوینده‌های تر ۸۵
۳-۲-۵ نشست‌دهنده‌های الکتروستاتیکی ۸۵

۳-۲-۶ فیلترها ۸۶
۳-۳ تئوری فیلتراسیون ۸۶
۳-۳-۱ انواع روش‌های فیلتراسیون ۸۷
۳-۳-۲ مکانیزم‌های مؤثر در فرآیند فیلتراسیون ۸۹
۳-۳-۲-۱ پخش ۸۹
۳-۳-۲-۲ اینرسی ۹۰
۳-۳-۲-۳ برخورد مستقیم ۹۱
۳-۳-۳ پارامترهای مهم یک فیلتر ۹۱
۳-۳-۳-۱ کارایی فیلتر ۹۱
۳-۳-۳-۲ نفوذپذیری ۹۲
۳-۳-۳-۳ افت فشار ۹۲
۳-۳-۳-٤ عمر مفید ۹۲
۳-٤ انواع فیلترها ۹۳
۳-٤-۱ دسته‌بندی فیلترها بر مبنای ساختار ۹۳
۳-٤-۲ دسته‌بندی فیلترها بر مبنای نحوه عملکرد و نحوه ساخت ۹۷
۳-٤-۲-۱ صافی‌ها ۹۸
۳-٤-۲-۲ غربال‌ها ۹۹
۳-٤-۲-۳ فیلترهای کارتریجی ۹۹
۳-٤-۲-٤ نشست‌دهنده‌های الکتروستاتیکی ۱۰۳
۳-٤-۲-٥ فیلترهای شمعی ۱۰٤
۳-٤-۲-٦ فیلترهای مغناطیسی ۱۰٥
۳-٤-۲-۷ فیلترهای کیسه‌ای ۱۰۷
۳-٤-۲-۸ فیلترهای لایه‌نشانی شده ۱۰۸

۳-٤-۲-۹ فیلترهای پرسی ۱۰۹
۳-٤-۲-۱۰ فیلترهای استوانه‌ای چرخان ۱۱۱
۳-٤-۲-۱۱ فیلترهای دیسکی چرخان ۱۱٤
۳-٤-۲-۱۲ فیلترهای کفه‌ای چرخان ۱۱٦
۳-٤-۲-۱۳ فیلترهای تسمه‌ای ۱۱۷
۳-٤-۲-۱٤ فیلترهای ورقه‌ای ۱۱۸
۳-٤-۲-۱۵ فیلترهای زینتر شده ۱۲۰
۳-۵ مروری بر تحقیقات صورت گرفته در رابطه با فیلترهای نانولوله‌ای ۱۲۲
۳-۵-۱ نانوغربال‌ها ۱۲۲
۳-۵-۲ غشاهای نانولوله‌ای ۱۲۳
۳-۵-۳ فیلترهای تقویت شده با زمینه فلزی ۱۲٤
فصل چهارم- روش کار تجربی- آماده‌سازی زیرلایه ۱۲٦
٤-۱ مقدمه ۱۲٦
٤-۲ شستشوی زیرلایه ۱۲۷
٤-۳ اکسایش زیرلایه ۱۲۸
٤-٤ لایه‌نشانی ۱۳۲
فصل پنجم- روش کار تجربی- سنتز نانولوله‌های کربنی ۱۳٦
۵-۱ مقدمه ۱۳٦
۵-۲ شرح دستگاه ۱۳۷
۵-۳ روش انجام آزمایش ۱۳۷
۵-۳-۱ میکروسکوپ الکترون عبوری (*TEM*) ۱۵۳
۵-٤ غشای نانومتری ۱۵۵

فصل ششم- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۶-۱ نتیجه‌گیری ۱۶۱

۶-۲ پیشنهادات ۱۶۳

منابع و مراجع ۱۶۴

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- آسانسور فضایی ۵۱

شکل ۱-۲- باکی کاغذها ۵۳

شکل ۲-۱- نمودار میزان مصرف اتیلن برحسب زمان ماندگاری ۷۹

شکل ۲-۲- فرم کلی از مکانیزم رشد نانولوله‌های کربنی با روش *CVD* ۸۰

شکل ۳-۱- طرح کلی از نشست‌دهنده وزنی ۸۳

شکل ۳-۲- طرح کلی از سایکلون ۸۴

شکل ۳-۳- طرح کلی از نشست‌دهنده الکتروستاتیکی ۸۵

شکل ۳-۴- مراحل باردار کردن و نشست ذرات تحت تأثیر میدان‌های الکتروستاتیکی ۸۶

شکل ۳-۵- طرح کلی از فرآیند فیلتراسیون ۸۶

شکل ۳-۶-طرح کلی از فیلتراسیون سطحی و عمقی ۸۷

شکل ۳-۷-طرح کلی از روش انتهای بسته ۸۸

شکل ۳-۸- طرح کلی از روش شار عرضی ۸۸

شکل ۳-۹- طرح کلی از مکانیزم پخش ۹۰

شکل ۳-۱۰- طرح کلی از مکانیزم اینرسی ۹۰

شکل ۳-۱۱- طرح کلی از مکانیزم برخورد مستقیم ۹۱

شکل ۳-۱۲- طرح کلی از چگونگی تغییر فشار در فیلتر ۹۲

شکل ۳-۱۳- تصویر *SEM* از بستر فیلتر ساچمه‌ای ۹۴

شکل ۳-۱۴- تصویر *SEM* از بستر فیلتر غشایی ۹۵

شکل ۳-۱۵- تصویر *SEM* از بستر فیلتر الیافی ۹۵

شکل ۳-۱۶- طرح کلی از فیلتر هپا ۹۷

شکل ۳-۱۷- نمونه‌ای از فیلتر کارتریجی ۹۹

شکل ۳-۱۸- نمونه‌ای از فیلتر کارتریجی چین‌خورده ۱۰۱
شکل ۳-۱۹- نمونه‌ای از فیلتر کارتریجی چین خورده‌ی ساخته شده از پلی‌پروپیلن ۱۰۲
شکل ۳-۲۰- نمونه‌ای از فیلتر شمعی ۱۰۴
شکل ۳-۲۱- طرح کلی از فیلتر مغناطیسی ۱۰۶
شکل ۳-۲۲- نمونه‌ای از فیلتر کیسه‌ای ۱۰۷
شکل ۳-۲۳- طرح کلی از فیلتر لایه‌نشانی شده ۱۰۸
شکل ۳-۲۴- طرح کلی از فیلتر پرسی ۱۰۹
شکل ۳-۲۵- طرح کلی از فیلتر استوانه‌ای چرخان ۱۱۱
شکل ۳-۲۶- طرح کلی از فیلتر دیسکی چرخان ۱۱۴
شکل ۳-۲۷- نمونه‌ای از فیلتر کفه‌ای چرخان ۱۱۶
شکل ۳-۲۸- طرح کلی از فیلتر تسمه‌ای ۱۱۷
شکل ۳-۲۹- طرح کلی از فیلتر ورقه‌ای ۱۱۸
شکل ۳-۳۰- طرح کلی از دستگاه *CVD* برای ساخت نانوغربال ۱۲۲
شکل ۳-۳۱- (الف) تصویر *SEM* از نانولوله‌های رشد داده شده با تقارن دایروی در مقیاس *mm* ۱ که استوانه‌ی تو خالی را تشکیل دادند. (ب) تصویر ماکرولوله ۱۲۳
شکل ۳-۳۲- تصویر *SEM* از فیلتر فلزی (الف) الیاف فولاد ضد زنگ (ب) الیاف فولاد ضد زنگ پوشانده شده با نانولوله‌های کربنی ۱۲۴
شکل ۴-۱- طرح کلی از اکسیداسیون زیرلایه سیلیکون ۱۲۹
شکل ۴-۲-نمودار *FTIR* مربوط به زیرلایه اکسید شده ۱۳۱
شکل ۴-۳-طرح کلی از دستگاه تبخیر در خلاء ۱۳۴
شکل ۵-۱- طرح کلی از دستگاه *CVD* ۱۳۸
شکل ۵-۲- تصویر *SEM* مربوط به نمونه سنتز شده بدون حضور آمونیاک ۱۴۰
شکل ۵-۳- تصویر *SEM* مربوط به نمونه سنتز شده در جریان *mlit/min* ۳۰ آمونیاک ۱۴۱

شکل ۵-۴- تصویر *SEM* مربوط به نمونه سنتز شده در جریان *mlit/min* ۸۰ آمونیاک ۱۴۱
شکل ۵-۵- نمودار رامان مربوط به نمونه ۳ در حضور آمونیاک با جریان *mlit/min* ۸۰..... ۱۴۲
شکل ۵-۶- تصویر *SEM* مربوط به نمونه سنتز شده روی زیرلایه پوشانده شده با نیکل ۱۴۴
شکل ۵-۷- تصویر *SEM* مربوط به نمونه سنتز شده روی زیرلایه پوشانده شده با کبالت..... ۱۴۵
شکل ۵-۸- نمودار رامان مربوط به نمونه‌های سنتز شده روی زیرلایه‌های پوشانده شده با کبالت و نیکل ۱۴۵
شکل ۵-۹- تصاویر *SEM* مربوط به نمونه سنتز شده روی زیرلایه نپوشانده شده با نیکل با ضخامت ۱۴/۲۴ *nm*..... ۱۴۷
شکل ۵-۱۰-- تصاویر *SEM* مربوط به نمونه سنتز شده روی زیرلایه نپوشانده شده با نیکل با ضخامت ۱۷/۵۲ *nm*..... ۱۴۸
شکل ۵-۱۱-- تصاویر *SEM* مربوط به نمونه سنتز شده روی زیرلایه نپوشانده شده با نیکل با ضخامت ۲۸/۴۷*nm* ۱۴۹
شکل ۵-۱۲- طیف رامان مربوط به آزمایش‌های تعیین ضخامت ۱۵۰
شکل ۵-۱۳- تصاویر *SEM* مربوط به نمونه‌های ۹ تا ۱۲ به ترتیب با دماهای رشد ۵۸۰، ۶۵۰، ۷۵۰ و ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد..... ۱۵۲
شکل ۵-۱۴- طیف رامان مربوط به آزمایش‌های تعیین دما ۱۵۳
شکل ۵-۱۵-تصاویر *TEM* مربوط به نمونه‌ی ۴..... ۱۵۴
شکل ۵-۱۶- نمودار زمانی فرآیند زینتر کردن قرص‌ها ۱۵۶
شکل ۵-۱۷- تصویر *SEM* نمونه‌ها قبل از زینتر شدن..... ۱۵۷
شکل ۵-۱۸- تصویر *SEM* نمونه‌ها بعد از فرآیند *CVD* ۱۵۸
شکل ۵-۱۹- تصویر *SEM* از تخلخل‌ها بعد از رشد نانولوله ۱۵۹

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱- تاریخچه فناوری نانو ۳

جدول ۱-۲- نمایش آرایش پیوندهای مختلف کربن- کربن ۱۷

جدول ۱-۳- تاریخچه فعالیت‌هایی که از ابتدا در زمینه شناخت ، ساخت و تکامل نانولوله‌های کربنی صورت گرفته است ۲۷

جدول ۴-۱- ضخامت لایه اکسیدی محاسبه شده با روش پس پراکندگی رادرفورد ۱۳۰

جدول ۴-۲- مشخصه مربوط به طیف مادون قرمز پیوندها ۱۳۱

جدول ۴-۳- نقطه ذوب و جریان کاتالیست‌های مصرفی ۱۳۵

جدول ۴-۴- ضخامت لایه‌های کاتالیوری مورد مطالعه ۱۳۵

جدول ۵-۱- برچسب نمونه‌ها بر حسب جریان آمونیاک ۱۴۰

جدول ۵-۲- میزان جریان و مدت زمان مصرف گازها ۱۴۰

جدول ۵-۳- بر چسب نمونه‌ها بر حسب نوع کاتالیزور ۱۴۳

جدول ۵-۴- میزان جریان و مدت زمان حضور گازها در محیط ۱۴۳

جدول ۵-۵- بر چسب نمونه‌ها بر حسب ضخامت کاتالیزور نیکل ۱۴۶

جدول ۵-۶- میزان جریان و مدت زمان حضور گازها در محیط ۱۴۶

جدول ۵-۷- بر چسب نمونه‌ها بر حسب دمای رشد نانولوله‌ها ۱۵۱

جدول ۵-۸- درصد کبالت مخلوط شده با پودر پیرکس با دانه‌بندی ۷۰-۶۰ میکرون ۱۵۵

جدول ۶-۱- مشخصات مربوط به نمونه‌های سنتز شده ۱۶۲

لیست علائم و اختصارات

سانتی‌متر (*centimeter*) ..... *cm*

نانومتر (*nanometer*) ..... *nm*

درجه سانتی گراد (*centigrad degrees*) ..... °C

رسوب گذاری بخار شیمیایی (*chemical vapor deposition*) ..... *CVD*

نانولوله کربنی (*carbon nanotube*) ..... *CNT*

میکروسکوپ الکترون رویشی (*scanning electron microscopy*) ..... *SEM*

میکروسکوپ الکترون عبوری (*transmission electron microscopy*) ..... *TEM*

پس پراکندگی رادرفورد (*rutherford backscattering spectrometry*) ..... *RBS*

طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (*fourier transform infrared spectroscopy*) ..... *FTIR*

قسمت در میلیون (*part per milion*) ..... *ppm*

سانتی‌متر مکعب بر دقیقه (*Standard Cubic Centimeter per Minutes*) ..... *sccm*

فصل اول- نانولوله‌های کربنی

۱-۱- تاریخچه فناوری نانو

در حدود ۴۰۰ سال قبل از میلاد مسیح دموکریتیوس فیلسوف یونانی، اولین کسی بود که واژه اتم را که به معنی تقسیم نشدنی در زبان یونانی است، برای توصیف ذرات سازندهٔ مواد بکار برد. به همین دلیل برخی او را پدر فناوری و علوم نانو نامیدند [۱] . نقطهٔ شروع و توسعه اولیه نانو به طور دقیق مشخص نیست. شاید بتوان گفت شیشه گران قرون وسطایی، اولین نانوفناوریستها بوده‌اند که از شیشه‌های رنگی با رنگهای جذاب در ساخت شیشه‌های کلیسا استفاده کردند. دلیل ایجاد چنین رنگی به استفاده از نانو ذرات طلا برمی‌گردد.

بنابراین می‌توان گفت، مواد در ابعاد نانو دارای خواصی هستند که در ابعاد میکرو فاقد آن می‌باشند. رنگدانه‌های تزئینی جام مشهور لیکرگوس در روم باستان (قرن چهارم بعد از میلاد) را نیز می‌توان نمونه‌ای از استفاده نانو ذرات فلزی به حساب آورد. با تغییر جهت تابش نور، رنگهای متفاوتی در این جام ایجاد می‌شود، طوریکه نور انعکاس یافته از آن سبز بوده و اگر نوری از درون آن بتابد، به رنگ قرمز دیده می‌شود. بعد از آنالیز این شیشه دریافتند که مقادیر بسیار اندکی از بلورهای فلزی با ابعاد کمتر از ۷۰۰ نانومتر که حاوی نانوذرات نقره و طلا با نسبت مولی ۱۴ به ۱ هستند، در ساخت این جام مورد استفاده قرار گرفته‌شده‌است که حضور این نانو بلورها باعث تغییر رنگ ویژه‌ی جام لیکرگوس گشته است.

در نهایت ریچارد فاینمن با انتشار مقاله خود درباره آینده فناوری نانو در سال ۱۹۵۹ خود را به عنوان پایه‌گذار علم نانو به جهانیان معرفی کرد هر چند که دانشمندان دیگری نیز به موفقیتهایی دست یافتند. سالی که او جایزه نوبل را دریافت کرد، در یک جلسه سخنرانی ایده فناوری نانو را برای عموم آشکار و حتی توسعهٔ بیشتر آن را نیز پیش بینی نمود.

برخی از رویدادهای مهم تاریخی در شکل گیری فناوری علوم نانو در جدول ۱-۲ ذکرشده‌است.

جدول ۱-۱: تاریخچه فناوری نانو [۱]

تاریخ	رویدادهای مهم
۱۸۷۵	کشف محلول کلوئیدی طلا توسط مایکل فارادی
۱۹۰۵	تشریح رفتار محلولهای کلوئیدی توسط آلبرت انیشتین
۱۹۳۲	ایجاد لایه های اتمی به ضخامت یک ملکول توسط لانگمویر[1]
۱۹۵۹	مطرح نمودن ایدهٔ "فضای زیاد در سطوح پایین" را برای کار با مواد در مقیاس نانو توسط فاینمن
۱۹۷۴	برای اولین بار واژهٔ فناوری نانو توسط نوریو تانیگوچی بر زبانها جاری شد.
۱۹۸۱	"آی.بی.اِم"[2] میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) اختراع کرد که به کمک آن می‌توان اتمها را تک تک جابجا کرد.
۱۹۸۵	کشف ساختار جدیدی از کربن C^{60} (فولرین)
۱۹۹۰	شرکت "آی.بی.اِم" توانایی کنترل نحوه آرایش اتمها را به نمایش گذاشت.
۱۹۹۱	کشف نانولوله های کربنی توسط ایجیما
۱۹۹۳	تولید اولین نقاط کوانتومی با کیفیت بالا
۱۹۹۷	ساخت اولین نانو ترانزیستور
۲۰۰۰	ساخت اولین موتور "دی.اِن.اِی"[3]
۲۰۰۱	ساخت یک مدل آزمایشگاهی سلول سوخت با استفاده از نانو لوله
۲۰۰۲	ورود شلوارهای ضد لک به بازار
۲۰۰۳	تولید نمونه های آزمایشگاهی نانوسلولهای خورشیدی
۲۰۰۴	تحقیق و توسعه برای پیشرفت در عرصهٔ فناوری نانو ادامه دارد.

[1] Langmuir

[2] IBM

[3] DNA

۱-۲- نانوساختارها

نانوساختارها به ساختارهای بسیار ریز با ابعاد نانومتری، اطلاق می‌شود. طبق تعریف به مواد و ساختارهایی که در یکی از رده‌بندیهای زیر قرار بگیرند، نانوساختار می‌گویند:

۱. نانوساختارهای صفربعدی: ساختارهایی که در هر سه بعد، کمتر از ۱۰۰ نانومتر باشند؛ مانند نقاط کوانتومی.

۲. نانوساختارهای تک‌بعدی: به مواد و ساختارهایی اطلاق می‌شود که دو بعد از سه‌بعد آن کمتر از ۱۰۰ نانومتر باشد؛ مانند نانوسیمها و نانولوله‌ها.

۳. نانوساختارهای دوبعدی: به مواد و ساختارهایی می‌گویند که دارای یک‌بعد کمتر از ۱۰۰ نانومتر باشد؛ مانند لایه‌های نازک.

با توجه به مطالب فوق، به تعریف برخی از این نانوساختارها نظیر نانوذرات، نانوکپسول‌ها، نانوسیم‌ها و نانولوله‌ها می‌پردازیم:

۱-۲-۱- نانو ذرات

یکی از رایج‌ترین عناصر در فناوری نانو، نانوذرات می‌باشند که بدلیل داشتن خواص قابل توجه، در صنایع شیمیایی، پزشکی، دارویی، الکترونیک و کشاورزی بطور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند.