دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایاننامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته فیزیک

گرایش حالت جامد

عنوان:

تولیدوشبیه سازی کربن نانو تیوپهای لوله ای به روش قوس الکتریکی

اساتید راهنما :

دکتر حسن صدقی

دکتر محمد تقی احمدی

دکتر اصغر اسمعیلی

نگارنده:

مریم شیخی

بهمن ماه ۱۳۹۲

حق چاپ و تکثیر برای دانشگاه ارومیه محفوظ است.

تقدیم به:

روح بزرگ پدرم،شاه بیت غزل زندگیم

مادر دلسوز وفدا کارم، همراه وهمگام من در طول زندگی

همسرم،که سایه مهربانیش سایه سار زندگیم می باشد.

برادر و خواهرانم، که همواره در طول تحصیل متحمل زحماتم بودند و تکیه گاه من در مواجهه با مشکلات، و وجودشان مایه دلگرمی من میباشد.

تشکر وقدردانی:

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق راهم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم . از اس اتید فاضل و اندیشمند آقایان دکتر محمد تقی احمدی ودکتر اصغر اسمعیلی که همواره نگارنده را مورد لطف و محبت خود قرار داه اند ،کمال تشکر را دارم. وسپاس بیکران بر همدلی و همراهی و همگامی مادر دلسوز و مهربانم وهمه ی کسانی که مرا در به اتمام رساندن این مهم یاری نمودند .

چکیده

امروزه نانولوله های کربنی از لحاظ علمی به عنوان سنگ بنای نانوالکترونیک علاقه بسیاری از دانشمندان را در سراسر جهان به خود جلب کرده اند . از سوی دیگر درمقایسه با سایر مواد نانو ابعاد کوچک و خواص فیزیکی قابل توجه آنها، این ساختارهارا تبدیل به مواد منحصر به فرد با طیف وسیعی ازکاربردها کرده است.

در این تحقیق تولید نانولوله ی کربنی را به روش تخلیه قوس الکتریکی با جریان متناوب وبا استفاده از یک ژنراتور ولتاژ بالا بررسی می کنیم. برای این منظورراکتور از دو الکترود که سربه سرهم قرار گرفته اند،تشکیل یافته است. و گاز متان تجاری به عنوان منبع کربن ومدل های مختلف از الکترودها جهت تولید رشته های پایدارکربن به کاررفته است. که می تواند در قالب یک سنسور مورد بررسی قرار بگیرد. از سوی دیگرفاصله بین دو الکترود از ۱تا۵ میلی متر در حال تغییر میباشد علاوه بر این برای طراحی قوس فاصله ۱میلی متر بعنوان فاصله بهینه در پلت فرم سنسورگزارش شده است.

همچنین کیفیت نانولوله های کربنی تولید شده به روش تخلیه قوس الکتریکی باجریان متناوب به عنوان تابعی از شکل هندسی الکترودها وتاثیر گاز متان روی خواص ساختاری نانولوله ها مورد بررسی قرار گرفته است

کلمات کلیدی

رشد نانو لوله های کربنی، ، روش تخلیه قوس الکتریکی، شکل هندسی الکترودها،گاز متان

فهرست مطالب

مقدمه ۱

فصل اول ۲

نانولوله های کربنی ۲

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ تاریخچه فناوری نانو ۲

۱-۳ تاریخچه نانو لوله های کربنی ۳

۱-٤ روش های رشد نانو لوله های کربنی ٤

۱-۵ روش تخلیه قوس الکتریکی ٦

۱-۵-۱ ساخت نانوله های کربنی تک دیواره SWNT ۷

۱-۵-۲ ساخت نانولوله های کربنی چند دیواره MWNT ۱۱

۱-٦ روش تابش لیزر ۱۵

۱-۷ روش رسوب بخار شیمیایی ۱٦

۱-۸ مزیت روش تخلیه قوس الکتریکی در مقایسه با دیگر روش ها ۱۸

۱-۹ خالص سازی و جداسازی نانولوله های کربنی ۱۹

۱-۹-۱ خالص سازی ۱۹

۱-۹-۲ جداسازی ۲۰

۱-۱۰ کاربرد های نانو لوله های کربنی ۲۲

۱-۱۰-۱) کاربرد نانولوله های کربنی به عنوان ذخیره کننده هیدروژن ۲۲

۱-۱۰-۲) کاربرد نانولوله های کربنی به عنوان جاذب آلودگیهای آب و هوا ۲۲

۱-۱۰-۳) کاربرد نانولوله های کربنی در ساخت کامپوزیت ها ۲۳

۱-۱۰-٤) کاربرد نانولوله های کربنی به عنوان پایه کاتالیست های فلزی ۲۳

۱-۱۰-۵) کاربرد نانولوله های کربنی به عنوان حافظه مغناطیسی ۲۳

۱-۱۰-٦) کاربرد نانولوله های کربنی در تقویت سرامیک ۲۳

۱-۱۰-۷) کاربرد نانولوله های کربنی به عنوان راکتور شیمیایی ۲٤

۱-۱۰-۸) کاربرد نانولوله های کربنی در ساخت بتن با عملکرد بالا ۲٤

۱-۱۰-۹) کاربرد نانولوله های کربنی در حسگرها ۲٤

۱-۱۰-۱۰) کاربرد نانولوله های کربنی به عنوان تشعشع کننده ۲۵

۱-۱۰-۱۱) کاربرد نانولوله های کربنی در افزایش توان باطری ها ۲۵

۱-۱۰-۱۲) کاربرد نانولوله های کربنی در ساخت ترانزیستورهای سریع ۲۵

۱-۱۱) اهمیت و ضرورت تحقیق در زمینه نانولوله های کربنی ۲۶

فصل ۲ ..... ۲۸

خواص ساختاری نانو لوله در حالت تعادل ۲۸

۲-۱ مقدمه ۲۸

۲-۲ نانولوله ی کربنی تک دیواره ۲۹

۲-۳ نانولوله ی کربنی چند دیواره ۳۰

۲-٤ بررسی ساختار هندسی گرافیت ۳۱

۲-٤-۱ صفحه مختصات گرافنی ۳۰

۲-٤-۲ ساختار هندسی گرافیت ۳۳

۲-۵ بررسی ساختار هندسی نانولولههای کربنی ۳۵

۲-٦ یاخته واحد گرافیت و نانو لوله کربنی ٤۲

۲-٦-۱ یاخته واحد صفحه گرافیت ٤۲

۲-٦-۲ یاخته واحد نانو لوله کربنی ٤٤

۲-۷ خواص الکتریکی نانو لوله های کربنی ٤۵

فصل۳ ..... ٤٦

۳-۱ مقدمه ٤٦

۳-۲ روش تجربی ٤٨

۳-٤ روش تولید ٤٨

۳-٤-۱ مرحله اول آزمایش ٥٠

۳ -٤-۲ مرحله دوم آزمایش ٥٢

۳-٤-۳ مرحله سوم آزمایش ٥٥

۳-٤-٤ مرحله چهارم آزمایش ٥٦

۳-٥ بررسی خواص الکتریکی ٥٩

نتیجه گیری ٨٧

مراجع ٨٨-٩١

چگیده انگلیسی ٩٢

فهرست شکل ها

شکل ۱-۱ نمایش مکانیزم رشد نانولوله های کربنی ۵

شکل ۱-۲ روش تخلیه قوس الکتریکی ۷

شکل ۱-۳ نمایش شماتیک الکترودها برای الکترودهای (الف) معمولی، (ب) جدید ۱۰

شکل ۱-٤ سیستم آزمایشگاهی مشعل در هوای آزاد ۱۱

شکل ۱-۵ نمایش شماتیک دستگاه تخلیه ی قوس الکتریکی در نیتروژن مایع ۱۲

شکل ۱-٦ طرح شماتیک دستگاه ساخت نانولوله های چند دیواره در یک میدان مغناطیسی ۱۳

شکل ۱-۷: تصاویر SEM نانولوله های چند دیواره ۱٤

شکل ۱-۸: نمایش شماتیک دستگاه پلاسما با الکترود چرخان ۱٤

شکل۱-۹ روش تابش لیزر ۱٦

شکل ۱-۱۰ نانولوله های تک دیواره رشد داده شده با روش تابش لیزر ۱٦

شکل۱- ۱۱ روش رسوب بخار شیمیایی ۱۸

شکل ۲-۱ .....۳۱

شکل ۲-۲ بردارهای یکه ی در صفحه ی مختصات گرافنی. ۳۲

شکل ۲-۳ بردارهای کاریال در صفحه مختصات گرافنی ۳۲

شکل ۲-٤ ساختار هندسی صفحه گرافیت ۳۳

شکل ۲-۵ شبکه گرافیت ۳٤

شکل ۲- ٦ یاخته واحد نانو لوله کربنی ۳۵

شکل ۲-۷ ارتباط طول بردار کایرال با طول بردارهای m و n ۳۷

شکل ۲-۸ نمایش بردارهای کاریال در صفحه مختصات گرافنی ۳۸

شکل ۲-۹ محدوده انتخاب بردارهای کایرال در صفحه مختصات گرافنی ۳۹

شکل ۲- ۱۰ (الف) کوتاهترین مسیرهای مربوط به بردارهای کایرال و واحدهای تکرار شونده‌ی آن‌ها ٤۰

شکل ۲-۱۰ (ب پ ت) کوتاهترین مسیرهای مربوط به بردارهای کایرال و واحدهای تکرار شونده‌ی آن‌ها..

.....٤۱

شکل ۲-۱۱ یاخته واحد شبکه گرافیت ٤۳

شکل ۲-۱۲ ناحیه بریلوئن گرافین با نقاط تقارن M، K و Γ ٤٤

شکل ۳-۱ نانولوله کربنی به صورت صفحات استوانه ای در هم پیچیده از گرافن ٤٦

شکل ۳-۲ نانولوله های کربنی چندیوار ه بفرم هم جهت و بفرم جهتهای تصادفی ٤۷

شکل۳-۳ نمودار طرح کلی برای فرآیند ساخت ٤۹

شکل ۳-٤ راه اندازی شماتیک از فرآیند تخلیه قوس در ولتاژبالا با گاز متان (در داخل راکتور).....٤۹

شکل۳- ۵ الکترودهای گرافیت با سطح مقطع دایره ا ی صاف ۵۰

شکل۳-٦ : تصویر میکروسکوپ الکترونی انتقالی از نمونه ی به دست آمده از دو الکترود سر پهن.....۵۱

شکل۳-۷ : تصاویر نمودار ولتاژ- فرکانس با استفاده از دستگاه اسیلوسکوپ برای دو الکترود سطح مقطع دایره ا ی ۵۲

شکل ۳-۸: الکترود های گرافیت با سطح مقطع دایره ای صاف و نوک تیز ۵۳

شکل۳-۹: تصویر میکروسکوپ الکترونی از الکترود های گرافیت ۵۳-۵٤

شکل۳-۱۰: تصاویر نمودار ولتاژ- فرکانس با استفاده از دستگاه اسیلوسکوپ برای دو الکترودبا سطح مقطع دایره ا ی صاف و نوک تیز ۵۵

شکل ۳-۱۱ : الکترودهای گرافیت با سر نوک تیز ۵٦

شکل ۳-۱۲ : الکترودهای گرافیت با سطح مقطع مکعبی شکل ۵٦

شکل۳-۱۳: تصاویر میکروسکوپ الکترونی انتقالی از نمونه ی به دست آمده از الکترود های گرافیت با سطح مقطع مکعبی شکل ۵۷

شکل۳-۱٤: تصاویر نمودار ولتاژ- فرکانس با استفاده از دستگاه اسیلوسکوپ برای دو الکترود گرافیت با سطح مقطع مکعبی شکل ۵۸

شکل۳-۱۵ :تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از رشته های کربنی حاصل ۵۹

شکل ۳-۱٦ : شبیه سازی نانو لوله زیگزاگ(.و۱) و نمودارساختار نواری آن ٦۱

شکل ۳-۱۷ : شبیه سازی نانو لوله زیگزاگ(.و۲) و نمودارساختار نواری آن ٦۲

شکل ۳-۱۸ : شبیه سازی نانو لوله زیگزاگ(.و۳) و نمودارساختار نواری آن ٦۳

شکل ۳-۱۹ : شبیه سازی نانو لوله زیگزاگ(.و٤) و نمودارساختار نواری آن ٦٤

شکل ۳-۲۰ : شبیه سازی نانو لوله زیگزاگ(.و۵) و نمودارساختار نواری آن ٦٥

شکل ۳-۲۱: شبیه سازی نانو لوله زیگزاگ(.و٦) و نمودارساختار نواری آن ٦٦

شکل ۳-۲۲ : شبیه سازی نانو لوله زیگزاگ(.و۷) و نمودارساختار نواری آن ٦٧

شکل ۳-۲۳ : شبیه سازی نانو لوله آرمیجر(۱و۱) و نمودارساختار نواری آن ٦٩

شکل ۳-۲٤ : شبیه سازی نانو لوله آرمیجر (۲و۲) و نمودارساختار نواری آن ۷۰

شکل ۳-۲۵ : شبیه سازی نانو لوله آرمیجر(۳و۳) و نمودارساختار نواری آن ۷۱

شکل ۳-۲٦ : شبیه سازی نانو لوله آرمیجر (٤و٤) و نمودارساختار نواری آن ۷۲

شکل ۳-۲۷ : شبیه سازی نانو لوله کایرال(۱و۲) و نمودارساختار نواری آن ۷٤

شکل ۳-۲۸ : شبیه سازی نانو لوله کایرال (۱و۳) و نمودارساختار نواری آن ۷۵

شکل ۳-۲۹ : شبیه سازی نانو لوله کایرال (۱و٤) و نمودارساختار نواری آن ۷٦

شکل ۳-۳۰ : شبیه سازی نانو لوله کایرال (۱و۵) و نمودارساختار نواری آن ۷۷

شکل ۳-۳۱ : شبیه سازی نانو لوله کایرال (۱و٦) و نمودارساختار نواری آن ۷۸

شکل ۳-۳۲ : شبیه سازی نانو لوله کایرال (۱و۷) و نمودارساختار نواری آن ۷۹

شکل ۳-۳۳ : شبیه سازی نانو لوله کایرال (۲و۳) و نمودارساختار نواری آن ۸۰

شکل ۳-۳٤ : شبیه سازی نانو لوله کایرال (۲و٤) و نمودارساختار نواری آن ۸۱

شکل ۳-۳۵ : شبیه سازی نانو لوله کایرال (۲و۵) و نمودارساختار نواری آن ۸۲

شکل ۳-۳۶ : شبیه سازی نانو لوله کایرال (۲و۶) و نمودارساختار نواری آن ۸۳

شکل ۳-۳۷ : شبیه سازی نانو لوله کایرال(۳و٤) و نمودارساختار نواری آن ۸٤

شکل ۳-۳۸ : شبیه سازی نانو لوله کایرال (۳و۵) و نمودارساختار نواری آن ۸۵

فهرست جدول ها

جدول ۳-۱ بررسی ساختاری نانو لوله های کربنی زیگزاگ با شعاع کمتر از ۳ انگسترم ٦۸

جدول ۳-۲ بررسی ساختاری نانو لوله های کربنی آرمیچر با شعاع کمتر از ۳ انگسترم ۷۳

جدول ۳-۲ بررسی ساختاری نانو لوله های کربنی کایرال با شعاع کمتر از ۳ انگسترم ۸٦

مقدمه

کلمه نانو از واژه ی nanous گرفته شده است که در زبان یونانی به معنای ریزبوده واصطلاح فن آوری نانو به معنی شیوه ی به کارگیری ریز ساختارها به عنوان سنگ بنای ساختارهای بزرگ مقیاس می باشد.

فن آوری نانو عبارت از توانمندی بشر در تولید مواد، ابزارها، سیستم ها، مولدهای (خطوط تولید) جدید با در اختیار گرفتن کنترل اجزا در ابعاد اتمی و مولکولی است.آرایش ذرات در کنار یکدیگر با طرح های از پیش تعیین شده و در نتیجه استفاده از خواص فوق العاده ای که این آرایش می تواند از خود نشان دهد از نمودهای علم نانو است.

بنابراین می توان نتیجه گرفت که فن آوری نانو یک رشته علمی جدید نیست بلکه رویکردی جدید در تمام شاخه های علوم محسوب می شود[1] .

پیشرفت الکترونیک با کوچک کردن کردن قطعات الکتریکی و توان مصرفی آن ها وافزایش سرعت، دقت وتراکم آن ها بر روی تراشه های نیمه هادی حاصل شد. فناوری سنتی میکروالکترونیک با رسیدن به ابعاد چند ده نانومتری نزدیک نقطه ی پایانی خویش بود که ناگهان زمزمه های نانوفناوری به گوش رسید و بشر در یافت که با تکیه بر این فناوری نه تنها می تواند نقطه عطفی در الکترونیک را رقم زند بلکه با توجه به خواص کاملاً جدید و منحصربفرد ذرات در ابعاد نانومتری این فناوری می تواند تحولی بسیار عظیم تر، سریع تر و فراگیرتر از هر آنچه که تا به حال بشر به آن رسیده بود را ایجاد نماید.

یکی از مهم ترین اجزای این فناوری نانو لوله های کربنی هستند. نانولوله های کربنی یک ساختار منحصربفرد از اتم های کربن می باشد که به دلیل ویژگی های خاص آن به آن کربن جادویی نیز گفته می شود .تحقیقات انجام شده بر روی نانولوله ها نشان می دهد که می توان از آنها در زمینه های ذخیره انرژی، ابزارهای نانومکانیکی ومواد مرکب استفاده نمود [۲و۳].

در راستای این تحقیقات ما به بررسی روش های تولید، ساختار هندسی و خواص الکتریکی نانولولههای کربنی پرداختهایم.

فصل اول
نانولوله های کربنی

۱–۱) مقدمه

در این فصل در ابتدا تاریخچهٔ فناوری نانو ذکر خواهد شد.سپس به معرفی نانولوله ها،روش های سنتز وخالص سازی و کاربردهای آنها پرداخته شده و سنتز به روش قوس الکتریکی مفصل تر بررسی می گردد.در فصل دوم نیز به بررسی ساختار نانولوله های کربنی به طور مختصر پرداخته وبررسی می گردد.

۱–۲) تاریخچه فناوری نانو

بشر از دیر باز به وجود اجزاء بسیار ریز پیرامون خود اعتقاد داشته و بر این باور بوده است که جهان ازاجزاء بسیار ریزی تشکیل شده است .یونانی ها چهارصد سال قبل از میلاد از عبارات عنصر و اتم برای بیان کوچکترین اجزاء ماده استفاده کرده اند.

اولین جرقه فناوری نانو در سال ۱۹۵۹ زده شد .در این سال ریچارد فیمن[1] طی یک سخنرانی با عنوان "فضای زیادی در سطوح پایین وجود دارد"، ایده فناوری نانو را مطرح ساخت .وی این نظریه را ارائه داد که در آینده های نزدیک میتوانیم مولکولها و اتمها را به صورت مستقیم دستکاری کنیم .وی در این سخنرانی ابراز داشت که بشر قادر است جهان را به صورت مولکول به مولکول و اتم به اتم از نو بسازد.

[1] - *Richard Feyman*

واژه فناوری نانو اولین بار توسط نوریوتاینگوچی استاد دانشگاه علوم توکیو در سال ۱۹۷٤ بر زبانها جاری شد .او این واژه را برای توصیف ساخت مواد و ابزارهای دقیقی که تلورانس ابعادی آنها در حد نانومترمیباشد، به کار برد .اما در آن زمان، بشر هنوز قادر به مشاهده یا حس نمودن اتم ها و مولکول ها نبود.

اوج تحولات در عرصه نانو، اختراع میکروسکوپ STM[۲]در سال ۱۹۸۱ توسط روهر و بینیگ از شرکت IBM در زوریخ بود .این اختراع محققین را قادر به دیدن مولکول ها و اتم ها نمود .

پس از اختراع میکروسکوپ تونلی روبشی(STM) تحقیقات علمی در مقیاس نانومتری شدت گرفت تا در سال ۱۹۹۱ پرفسور سومیو ایجیم [۳] از شرکت NEC ژاپن ساختاری جدید از اتم های کربن را کشف کرد که تا آن زمان دیده نشده بود .وی این ساختار را که به صورت لوله هایی از جنس کربن با قطر نانومتری بود، نانولوله های کربنی [٤] نامید [٤].

۱–۳) تاریخچه نانولوله های کربنی

در سال۱۹۹۱ ljima از آزمایشگاه NEC در ژاپن اولین نانولوله های چند دیواره [٥] را در کربن دوده ای حاصل از تخلیه قوس الکتریکی مشاهده کرد [٥]. حدود دو سال بعد مشاهده نانولوله های تک دیواره نیز میسر گردید دهۀ گذشته شاهد تحقیقات مهمی در کارایی و پرباری روشهای رشد نانولوله ها بوده است .خواص مکانیکی نانولوله ها بطور گسترده ای مورد توجه محققان قرار گرفته است و نیروی محرکه برای گسترش روشهای رشد بوده است . گذشته از این خواص ساختاری مفید وبی نظیر مانند مدول یانگ بالا [٦] و استحکام کششی [۷] خوب [٦] این نانولوله هانیز مورد توجه است.

یک نانولوله میتواند با توجه به دو پارامتر اساسی ساختار نانولوله و قطر و اندازۀ آن به خوبی یک فلز و یا یک نیمه هادی [۸] و یا یک شبه فلز [۹] باشد .نانولوله ها سیستمهای ایده آلی برای مطالعات فیزیک تک بعدی حالت جامد نیز

---

[2] - *Scanning tunneling Microscopy*
[3] - *Somio Iijima*
[4] - *carbon nanotube*
[5] - *multi-walled carbon nanotube*
[6] - *Young's Modulus*
[7] - *Tension conductor*
[8] - *Semi Conductor*
[9] - *Metalloid*

هستند .کارهای تئوری و عملی بر روی ساختار اتمی نانولوله و ساختارهای الکترونیکی متمرکز شده است . کوششهای گسترده ای نیز برای رسیدگی به خواص مکانیکی شامل مدول یانگ و استحکام کششی و مکانیزم عیوب و اثر تغییر شکل نانولوله ها برخواص الکتریکی صورت گرفته است [۷].

۱-۴)روشهای رشد نانو لوله های کربنی

همهٔ نانولوله ها میتوانند به صورت مجزا و یا سر هم شده بر روی نمونه وسایل بکار روند .سرهم کردن و به کار بردن نانو لوله در زمینه مونیتورهای رهاکننده و مواد کامپوزیتی [۱۰] و خواص الکترومکانیکی [۱۱] صورت میگیرد .مقادیر حجیمی از نانولوله ها در زمینهٔ ذخیرهٔ انرژی و ذخیرهٔ هیدروژن بکار میروند .توان بالقوهٔ نانولوله ها هنگامی پدیدار میشود که روشهای رشد نانولوله ها بهینه سازی وکنترل شوند .با وجود این بسیاری از مشکلات در این زمینه باقی مانده است .از جمله :اولاً رشد بدون عیب نانولوله ها بسیار مشکل است، ثانیاً رشد در مقیاس زیاد و حجیم نانولوله ها تاکنون میسر نبوده است، ثالثاً رشد جهت دار نانو لوله ها که برای تولید نانوسیم ها بسیار مهم است با مشکلاتی همراه است و ... ,به طور کلی از سه روش برای تولید نانولوله ها استفاده میشود که به تفصیل در مورد آنها توضیح داده میشود.

روش شکل گیری وبوجود آمدن نانو لوله ها دقیقاً معلوم نیست. مکانیزم رشد هنوز موضوع بحث بوده و ممکن است درآن واحد ، بیشتر از یک مکانیزیم در ایجاد نانو لوله های کربنی دخیل باشد. یکی از مکانیزم ها متشکل از سه مرحله است. ابتدا وجود یک پیش ماده برای ایجاد نانولوله ها و فلورین ها ، C_2 برروی سطح ذرات کاتالیست فلزی کار این پیش ماده را انجام می دهد. ابتدا از این کاربید شبه پایدار بسرعت یک کربن شبه میله شکل می گیرد. سپس دیواره آن به آرامی گرافیتی می شود. این مکانیزم مبتنی برمشاهدات میکروسکوپ الکترونی تراگسیلی می باشد [۸].

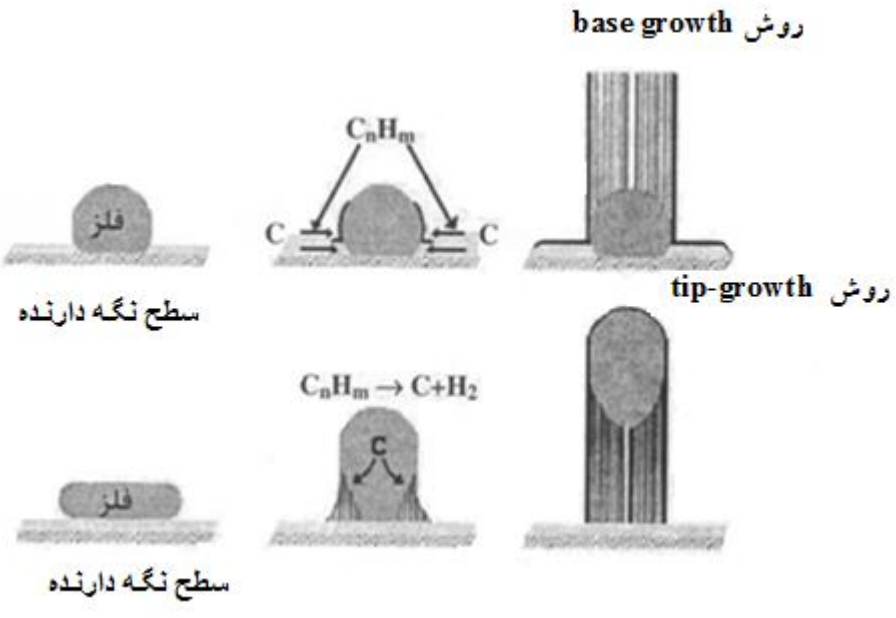
شرایط دقیق محیطی به تکنیک مورد استفاده بستگی دارد و از آنجایکه هر تکنیک شرایط خاص خود را دارد هنگام بیان هرروش به بیان شرایط خاص همان روش خواهیم پرداخت . در هر صورت به نظر میرسد رشد نانو لوله ها برای

[10] - *Composite Material*
[11] - *Electromechanic Properties*

تمام تکنیک های ذکر شده یکسان باشد. دریک [۱۲] و همکارانش در سال ۲۰۰۱ در مورد مکانیزم دقیقرشد نانو لوله ها چندین نظریه ارائه دادند.

یک نظریه بر این فرض استوار است که ذرات کاتالیست فلزی روی گرافیت ویا یک زیر لایه دیگر بصورت شناور یا ثابت قراردارند [۹]. احتمال می رود که ذرات کاتالیست کروی شکل و یا گلابی شکل باشند که در این صورت نشت فقط روی نیمی ازسطح انجام می گیرد. (برای ذرات گلابی شکل در انتهای پایینی آن) اتمهای کربن در امتداد سطوح شیبدار تند پخش شده ودر نیمه مقابل سقوط کرده و در اطراف و زیر نیمه تحتانی ته نشین می گردند.بهرحال ، آنها در راس و قله نیمکره ته نشین نمی گردند و همین امر به ساختار استوانه ای درون تهی آنها که بارزترین علامت مشخصه این نانو لوله هاست منجر میگردد. برای فلزاتی که میتوانند بعنوان کاتالیست بکارروند نانو لوله ها یا از اطراف ذره فلزی جوانه زده و رشد می یابند و یا ذره فلزی به زیر لایه متصل می ماند.

این روش را extrusion یا base growth می نامند. در روش دیگر ذرات فلزی از سطح کنده شده ودر سر نانو لوله ها همراه رشد آن به بالا حرکت می کند که این روش را tip-growth می گویند.



شکل۱-۱:نمایش مکانیزم رشد نانولوله های کربنی

[12] -derycke

رشد نانو لوله های تک دیواره و یا چند دیواره بستگی به سایر ذرات کاتالیست دارد. در روش تخلیه الکتریکی اگر الکترودهای گرافیتی به کاررفته ، محتوی کاتالیست نباشند نانو لوله چند دیواره روی ذرات C_2 که در پلاسما شکل گرفته اند، رشد می یابد.

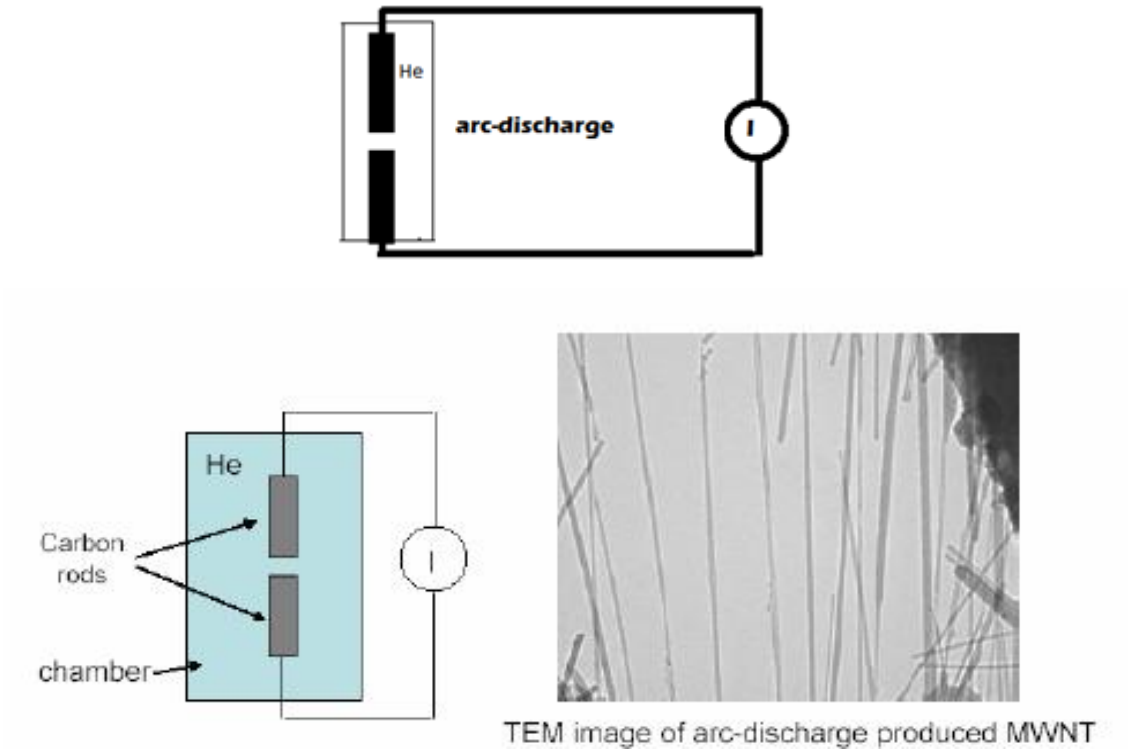
۱–۵) روش تخلیهٔ قوس الکتریکی[۱۳]

در روش تخلیهٔ قوس اتم های کربن بوسیلهٔ عبور جریان بالا از دو قطب آند و کاتد در داخل پلاسمای گاز هلیم [۱۴] داغ شده بخار میشوند شکل(۱–۲).روش تخلیه قوس پیشرفت کرده وبه یکی ازروشهای عالی جهت تولید نانولوله با کیفیت عالی و نانولوله های تک دیواره تبدیل شده است.نانولوله های چند دیواره را نیز میتوان با کنترل شرایط رشد نظیر دما و فشار گاز ورودی و مقدار جریان بدست آورد [۱۰].

درسال ۱۹۹۲ میانبری در رشد نانولوله های چند دیواره برای اولین بار توسط ابسون [۱۵] بدست آمد .در این روش، رشد و تخلیص با کیفیت بالا در سطح کیلوگرم با طول ۱۰ میکرون و قطر ۳۰–۵ نانو بصورت منظم شده انجام می گیرد [۱۱].

پیوندهای بین نانولوله ها اغلب از نوع نیروهای واندروالس [۱۶] قوی است که پیوند مستحکمی است .نانولوله های چند دیواره تولید شده با روش تخلیه قوس خیلی صاف هستند که حاکی از کریستال شدن زیاد آنها است .در حین رشد مواد مقداری ازعیوب بصورت پنتاگونال [۱۷] وهپتاگونال [۱۸] در روی دیواره نانولوله ها قابل مشاهده است.

[13] - *Arc Discharge Method*
[14] - *Plasma of Helium Gas*
[15] - *Ebson*
[16] - *Vander Weals Force*
[17] - *Pentagonal*
[18] - *Heptagonal*



شکل(۱-۲) :روش تخلیه قوس الکتریکی

دراین روش رشد،لایه های چندگانه گرافیت درشکل پلی هدرون [19] تشکیل می شوند .تخلیص نانولوله ها بوسیله حرارت دادن مواد رشد یافته در محیط اکسیدان و اکسیدشدن ذرات گرافیت صورت می گیرد [۱۲]. برای رشد نانولوله های تک دیواره در روش تخلیه قوس نیاز به فلز کاتالیزوری است .اولین موفقیتهادر تولید نانولوله های تک دیواره در سال ۱۹۹۳ توسط بتون [20] و همکارانش بدست آمد .آنها از یک آندکربنی شامل درصدی از کاتالیزور کبالت در آزمایش تخلیه استفاده کرده بودند که در مواد حاصل ازدوده مقداری نانولوله تک دیواره مشاهده شد [۱۳].

۱-۵-۱) ساخت نانو لوله های تک دیواره SWNT

اگر بخواهیم نانو لوله تک دیواره داشته باشیم، می بایستی آند حاوی کاتالیست فلزی همچون Fe، Co، Ni، Y یا Mo باشد. عناصر متعدد و یا ترکیب های متعددی از عناصر توسط افراد مختلف [۱۳] مورد تست قرار گرفته اند و مشاهده شده که **حتی در** صورت استفاده از عناصر یکسان نتایج کاملاً متفاوتی به دست آمده . این خیلی هم عجیب

[19] - *Polyhedron*
[20] - *Beton*