

## بهینه سازی رشد نانولوله های کربنی با استفاده از ساخت نانوکاتالیست های فلزی به روش لایه

### نشانی

جواد سلطان محمدی

دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک گرایش ذرات بنیادی و نظریه میدان ها دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران.  
Javadsoltan966@gmail.com

بابک وکیلی

عضو هیات علمی گروه فیزیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران.  
b.vakili@iauctb.ac.ir

شهرام سلیمانی

عضو هیات علمی گروه فیزیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران.  
Shahram22s2000@yahoo.com

1

### چکیده

با استفاده از روش جدید لایه‌نشانی همزمان نشست بخار شیمیایی و کندوپاش، نانوذرات نیکل را با ضخامت های متفاوت را در بستر کربنی ساختیم. روش کار به این صورت بود که ابتدا از نیکل، نانوذرات آن را، با استفاده از گاز استیلن بر روی زیرلایه‌های شیشه و سیلیکن با استفاده از دستگاه رادیوفرکانسی، لایه‌نشانی کردیم. نیکل را در زمان‌های ۱، ۷/۵ و ۱۰ دقیقه بر روی زیرلایه شیشه و سلیکون لایه‌نشانی کردیم. با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) به بررسی توپوگرافی نمونه‌های مس-نیکل پرداختیم. از نمونه‌های ساخته شده در شرایط مختلف، جهت بررسی خاصیت کاتالیستی برای رشد نانولوله‌های کربنی با استفاده از روش رسوب بخار شیمیایی حرارتی (TCVD) استفاده شد. برای رشد نانولوله‌های کربنی از مخلوط گازهای بوتان و پروپان به عنوان منبع کربنی استفاده شد. با استفاده از آنالیزهای میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و طیف رامان (Raman Spectra)، بهبود خاصیت کاتالیستی نانوذرات نیکل با ضخامت های متفاوت را مشاهده کردیم و نشان دادیم که تغییر ضخامت لایه نیکل در افزایش چگالی و رشد نانولوله‌های کربنی موثر بوده است.

واژگان کلیدی: نانولوله‌های کربنی، نانو کاتالیست‌ها، لایه نشانی

### مقدمه

تحقیقات وسیعی در زمینه نانو ذرات فلزی صورت می‌گیرد که ناشی از کاربرد آن‌ها در حیطه‌های متعدد صنعتی و پزشکی و علاقه‌مندی مطالعه فیزیک آن‌ها می‌باشد (Lei and Chim, 2005). این خواص به طبیعت زیر لایه و شرایط لایه نشانی بستگی دارد (Chérif et al, 2007). همچنین برخی از این ذرات دارای خواص کاتالیستی می‌باشند که از آن‌ها برای رشد نانولوله‌های کربنی استفاده می‌شود. از زمان کشف نانولوله‌های کربنی (Iijima, 1991) تلاش‌های فراوانی جهت بهینه کردن رشد نانولوله‌های

کربنی صورت گرفته است. یکی از این موضوعات استفاده از خاصیت کاتالیستی نانوذرات فلزی جهت سنتز نانولوله‌های کربنی می‌باشد. نشان داده شده است، که لایه نازک‌های چند عنصری نسبت به تک عنصری خاصیت کاتالیستی بهتری دارند (Fowlkes et al, 2006). می‌دانیم فلزاتی شبیه نیکل، آهن و کبالت برای شکستن پیوندهای کربن-کربن فعال تر هستند. دیگر فلزاتی مانند آلومینیوم و مس یک خاصیت غیر کاتالیستی دارند ولی به دلیل اینکه اثراتی بر روی نفوذ کربن و همچنین برای تسریع آهنگ رشد نانو لوله کربنی تاثیر گذار هستند استفاده می‌شوند (Kim et al, 1991) (Nishiyama and Tamai, 1974).

دلیل اینکه مس یک غیر کاتالیست و نیکل یک کاتالیست قوی می‌باشد این است که مقایسه انرژی باند یک اتم کربن و یک اتم فلزی در یک هگزاگونال با انرژی باندی در یک پنج‌ضلعی (کربن) جدا شده نشان می‌دهد که برای فلزهای کاتالیستی هگزاگونال در برابر تجزیه به دو پنج‌ضلعی، پایدارتر است (Zhang et al, 2004).

نانو لوله‌های کربنی که از صفحات کربن، ضخامت یک اتم و به شکل استوانه‌ای توخالی ساخته شده است در سال ۱۹۹۱ توسط سامیو ایجیما (از شرکت NEC ژاپن) کشف شد. خواص ویژه و منحصر به فرد آن از جمله مدول یانگ بالا، استحکام کششی خوب از یک طرف و طبیعت کربنی بودن نانو لوله‌ها (به خاطر این که کربن ماده‌ای است کم وزن، بسیار پایدار و ساده جهت انجام فرآیندها که نسبت به فلزات برای تولید ارزان تر می‌باشد) باعث شده که در دهه گذشته شاهد تحقیقات مهمی در کارآیی و پرباری روش‌های رشد نانو لوله‌ها باشیم.

برای سنتز و تولید نانولوله‌های کربنی به طور عمده از سه پروسه یا روش اصلی استفاده می‌شود (البته روش‌های دیگری هم وجود دارد که در ادامه به یکی از آنها اشاره می‌شود)، این روش‌ها عبارتند از :

۱- تخلیه قوس الکتریکی

۲- ذوب لیزری

۳- رسوب شیمیایی در فاز بخار

از روش اول و دوم برای تولید نانولوله‌های در حد میلی‌گرم و گرم استفاده می‌شود ولی برای تولید مقادیر زیاد در حد کیلوگرم از روش سوم استفاده می‌شود. در این پروژه از روش سوم استفاده شد.

در روش سوم برای رشد نانوتیوب، تجزیه کاتالیزوری گازهای هیدروکربن مانند استیلن با حضور ذرات کاتالیزوری فلزات واسطه مانند آهن و نیکل و کبالت می‌باشد. دمایی که این واکنش‌ها در آن انجام می‌شود در محدوده ۷۰۰ تا ۱۵۰۰ درجه سانتیگراد است. ذرات کاتالیزور اغلب در دو انتهای این نانولوله‌ها قرار می‌گیرند که به عنوان خاتمه رشد در آن قسمت عمل می‌کنند. (Reyhani et al, 2007). قطر نانوتیوب با ابعاد ذره فلزی تعیین می‌شود (Yan et al, 2010). محصول این روش به اندازه آنچه که از روش قوس-الکتریکی به دست می‌آید صاف و مستقیم نیست و این تفاوت می‌تواند به ساختار بدون پنج‌وجهی و هفت‌وجهی در ساختار گرافیتی نانوتیوب‌های تولید شده با روش تجزیه کاتالیزوری هیدروکربن نسبت داده شود که بر روی رسانایی الکتریکی و نشرمیدانی تاثیر می‌گذارد (Kuvshinov et al, 1999).

در روش رسوب بخار شیمیایی در تجزیه کاتالیزوری هیدروکربن، نانوذرات و کربن آمورف مشاهده نمی‌شود و به همین دلیل این روش برای تولید انبوه نانوتیوب مناسب است. نکته مهم در این روش توانایی کنترل طول، قطر می‌باشد.

استفاده از نانوذرات کاتالیستی نیکل برای رشد نانولوله‌های کربنی موفقیت آمیز بوده است (Reyhani et al, 2007). اندازه ذرات کاتالیستی عامل مهمی در سنتز نانولوله‌های کربنی و قطر آنها می‌باشد (Tans et al, 1998). هر چه اندازه ذرات کوچکتر باشد نسبت سطح به حجم افزایش می‌یابد و سطح تماس با منبع کربنی افزایش می‌یابد و رشد بهتری را خواهیم داشت. پس ساخت ذرات کاتالیستی عامل مهمی در سنتز نانولوله‌های کربنی می‌باشد (Yan et al, 2010).

تاکنون به روش‌های مختلفی نانوذرات نیکل را جهت استفاده از خاصیت کاتالیستی آن‌ها برای رشد نانولوله‌های کربنی رشد داده اند. در کارهایی که تاکنون برای رشد نانولوله‌های کربنی با استفاده از کاتالیست نیکل گزارش شده از ضخامت لایه نیکلی بالای ۴۰ نانومتر استفاده شده است (Dubosc et al, 2007) (Bian et al, 2009) (Delzeit et al, 2002).

هدف از این تحقیق ساخت نانو ترکیب نیکل با اندازه‌های مختلف و نانو ترکیب‌هایی با درصد نیکل مختلف و یافتن میزان مطلوب نیکل برای بهبود خواص کاتالیستی این نانو ترکیب‌ها است. سنتز نانوذرات با استفاده از روش لایه نشانی رادیو فرکانسی در محیط پلاسما (RF-PECVD) انجام شد. با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) به بررسی تغییرات توپوگرافی لایه مس-نیکل و بدست آوردن متوسط اندازه ذرات پرداختیم. نانولوله‌های کربنی را با استفاده از روش رسوب بخار شیمیایی حرارتی (TCVD) رشد دادیم. نتایج حاصل از آنالیزهای میکروسکوپ الکترون روبشی (SEM) و رامان (Raman) بیانگر رشد بهتر نانولوله‌های کربنی بر روی لایه نیکل با ضخامت بالاتر در مقایسه با لایه نیکل با ضخامت کمتر می‌باشد.

اهمیت و ضرورت انجام تحقیق این بود که در این روش لایه نشانی، آرایه‌ی تقریباً منظمی از نانو ذرات در دمای اتاق و به دور از آلودگی شیمیایی زیر لایه ساخته می‌شود که این پیش‌نیاز استفاده از این لایه‌ها در قطعات اپتیکی، الکتریکی و مغناطیسی است. این روش برای اولین مرتبه برای ساخت این نانو ترکیب‌ها استفاده می‌شود. علاوه بر فیزیک بسیار جالبی که در این نانو ترکیب‌ها می‌توان مطالعه کرد، به لحاظ کاربردی نیز انتظار می‌رود بسته به میزان عنصر مغناطیسی در این نانو ترکیب‌ها خواص کاتالیستی آن‌ها تغییر کند.

از لحاظ جنبه جدید بودن و نوآوری در تحقیق هم ساخت نانو ترکیبات مغناطیسی مس به این روش برای اولین مرتبه انجام می‌شود (Ghodselahi et al, 2008) (Ghodselahi and Vesaghi, 2008). بررسی خواص کاتالیستی با تغییر اندازه نانو ذرات و درصد عنصر مغناطیسی نیکل تحقیق جدیدی خواهد بود. بهبود خواص کاتالیستی نیکل با استفاده از تغییر ضخامت آن کار جدیدی در تحقیقات می‌باشد (Baghizadeh et al, 2008) (Ahmadi et al, 2008).

اگر بخواهیم مروری بر سوابق این نانو ساختارها داشته باشیم، اخیراً نانو ترکیب‌های نیکل بعنوان کاتالیست برای ساخت نانو لوله‌های کربنی مورد توجه واقع شده‌اند. همچنین این نانو ترکیب‌ها به لحاظ کاربرد در ساخت حسگرهای گازی مورد علاقه محققین قرار گرفته‌اند. روش‌های مختلفی برای مشخصه‌یابی نانو ذرات نیکل مورد بررسی و گزارش شده است (Moftakharzadeh et al, 2008) (Vesaghi et al, 2008). تحقیقاتی نیز در زمینه نانو ترکیب‌های نیکل در کشورهای پیشرفته آغاز شده که اغلب در سال ۲۰۱۴ گزارش شده است (Bian et al, 2009) (Pinilla et al, 2009) (Songping et al, 2007).

### روش آزمایش:

#### تمیز کردن زیرلایه:

زیر لایه مورد استفاده شیشه و سیلیکون می‌باشد. به منظور تمیز شدن زیرلایه‌ها، شیشه و سیلیکون در دو مرحله تمیز می‌گردند. به این صورت که برای پاک کردن ذرات بزرگتر از جمله ذرات چسبیده حاصل از دستمال پاک کننده زیرلایه‌ها ابتدا در الکل و سپس در استن هر کدام به مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه اولتراسونیک قرار می‌گیرند. تمیز کردن زیر لایه‌ها هم به چسبندگی لایه به زیرلایه و هم به کیفیت و سرعت کار پمپ‌ها کمک می‌کنند بنابراین برای جلوگیری از اختلال در روند رشد باید زیرلایه‌ها از هرگونه آلودگی کاملاً پاک باشند.

#### تمیز کردن سیستم:

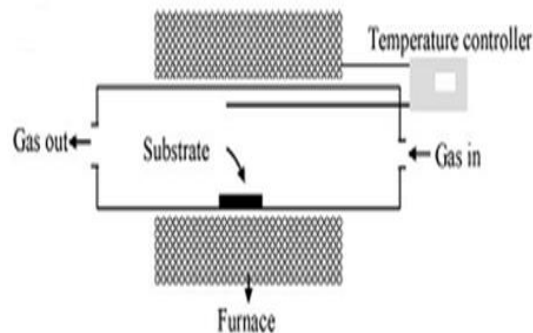
پیچ‌های کلاهدک را باز کرده، سپس تارگت و نگه دارنده را با سمباده نرم و الکل و استن تمیز می‌شوند.

#### نشست کاتالیست:

کاتالیست مورد استفاده مس-نیکل می‌باشد که با روش RF-SPUTTERING در دستگاه RF-PECVD تولید می‌شود. به همین منظور تارگت در کاتد یا الکترود RF و زیر لایه در الکترود آند قرار می‌گیرد. سپس زیرلایه‌ها در محدوده محیط الکترود آند به شکل دایره چیده می‌شوند. هدف از این کار یکسان بودن فاصله نمونه‌ها از مرکز RF و در نتیجه شرایط یکسان نشست می‌باشد. سپس محفظه و شیر هوای آن بسته می‌شود، خلا اولیه در محفظه توسط پمپ روتاری ۰.۰۲ میلی‌بار انجام می‌شود و در ادامه پمپ دیفیوژن وارد سیستم شده و فشار محفظه به  $10^{-5}$  میلی‌بار می‌رسد. در این هنگام شیر گاز محفظه باز شده و فشار مناسب برای لایه‌نشانی تنظیم می‌گردد. در انتها برای بیرون آوردن نمونه‌ها خلا چمبر را می‌شکنیم و نمونه‌ها را بیرون آوریم.

**مراحل رشد نانو لوله‌های کربنی در سیستم TCVD:**

به منظور بررسی خواص کاتالیستی نانو ذرات نیکل برای رشد نانولوله‌های کربنی از روش رسوب بخار شیمیایی حرارتی استفاده شد. شماتیک دستگاه به صورت زیر می‌باشد:



شکل (۱) شماتیک سیستم TCVD برای رشد نانولوله‌های کربنی

ذرات کاتالیستی در یک محفظه به شکل قایق از جنس کوارتز قرار دادیم، سپس محفظه را در یک لوله کوارتز گذاشتیم. لازم به ذکر است که لوله کوارتز را قبلاً بوسیله حرارت ۸۰۰ درجه سانتیگراد از ناخالصی‌ها و ذرات چسبیده به آن پاک کردیم. برای رشد نانولوله‌های کربنی ابتدا دمای سیستم به ۷۸۰ درجه سانتیگراد رسید و سپس نمونه‌ها در داخل لوله کوارتز قرار داده شد و آن را در راکتور سیستم قرار دادیم. دما و گاز مورد نظر که در اینجا از مخلوطی پروپان و بوتان بود به عنوان منبع کربنی اعمال کردیم. به مدت ۲۰ دقیقه نمونه‌ها در داخل راکتور قرار دادند. بوسیله یک ترموکوپل از جنس نیکل دما را کنترل کردیم. هنگامی که دمای ۷۸۰ درجه سانتیگراد رسید لوله کوارتز که نمونه‌ها در داخل آن بود را داخل راکتور سیستم گذاشتیم. ابتدا دمای سیستم پایین می‌آید و سپس شروع به بالا رفتن می‌کند. بعد از گذشت ۲۰ دقیقه این دما تا ۸۰۰ درجه سانتیگراد بالا می‌رود. بعد از گذشت این زمان سیستم را خاموش کرده و گاز آرگون جهت خنک کردن سیستم از طریق دریچه‌هایی که در دو انتهای لوله

کوارتز قرار دارد وارد سیستم کردیم. زمانی که دمای سیستم تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد پایین آمد نمونه‌ها را از داخل لوله کوارتز بیرون آوردیم.

**شرایط آماده کردن نمونه نیکل - ۱:**

شرایط آماده کردن این نمونه به این صورت بود که از زیر لایه‌های شیشه و سلیکون استفاده شد و به این صورت لایه‌نازکی از نانوذرات نیکل فراهم شد. جهت ساختن این نمونه، نیکل را برای مدت زمان ده دقیقه روی نمونه‌های مس لایه‌نشانی کردیم. ضخامت این لایه ۸۰ نانومتر می‌باشد.

**شرایط آماده کردن نمونه نیکل - ۲:**

شرایط آماده کردن این نمونه به این صورت بود که از زیر لایه‌های شیشه و سلیکون استفاده شد و به این صورت لایه‌نازکی از نانوذرات نیکل فراهم شد. جهت ساختن این نمونه، نیکل را برای مدت زمان ۷ دقیقه و ۳۰ ثانیه روی نمونه‌های مس لایه‌نشانی کردیم. ضخامت این لایه ۵۵ نانومتر می‌باشد.

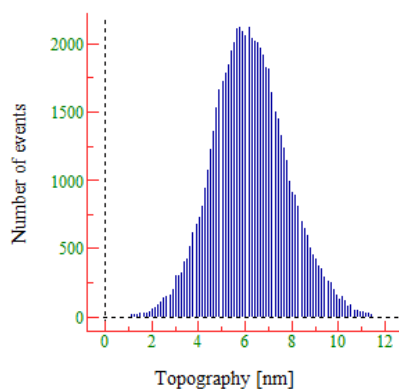
**شرایط آماده کردن نمونه نیکل - ۳:**

شرایط آماده کردن این نمونه به این صورت بود که از زیر لایه‌های شیشه و سلیکون استفاده شد و به این صورت لایه‌نازکی از نانوذرات نیکل فراهم شد. جهت ساختن این نمونه، نیکل را برای مدت زمان یک دقیقه روی نمونه‌های مس لایه‌نشانی کردیم. ضخامت این لایه ۲۵ نانومتر می‌باشد.

5

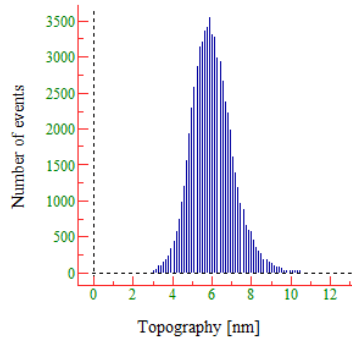
**یافته‌ها**

**آنالیز AFM:**



شکل ۲) نمودار توپوگرافی بر حسب فراوانی ذرات برای نمونه نیکل-۱

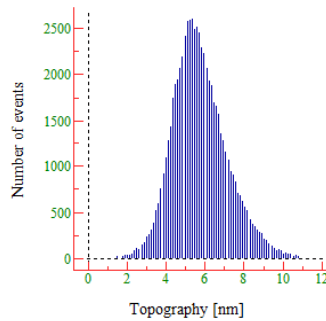
با توجه به شکل ۲ ماکسیمم ارتفاع نمونه نیکل-۱ بین ۵ تا ۷ نانومتر می‌باشد. پهنای نمودار نیز دارای تغییرات کمتری می‌باشد در نتیجه توزیع اندازه ذرات تقریباً یکنواخت می‌باشد.



شکل ۳) نمودار توپوگرافی بر حسب فراوانی ذرات برای نمونه نیکل - ۲

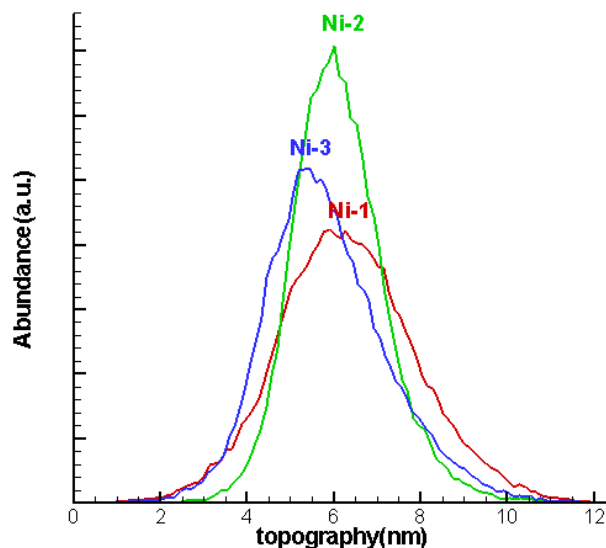
در اینجا هم با توجه به پهنای کم نمودار گوسین در خواهیم یافت که نحوه توزیع اندازه نانوذرات نیکل به صورت یکنواخت می‌باشد. متوسط توزیع اندازه ذرات بین ۵ تا ۷ نانومتر می‌باشد

6



شکل ۴) نمودار توپوگرافی بر حسب فراوانی ذرات برای نمونه نیکل - ۳

در اینجا هم با توجه به تیز بودن نمودار گوسین در خواهیم یافت که نحوه توزیع اندازه نانوذرات نیکل به صورت یکنواخت می‌باشد. بیشترین توزیع اندازه ذرات ۵ تا ۷ نانومتر می‌باشد.

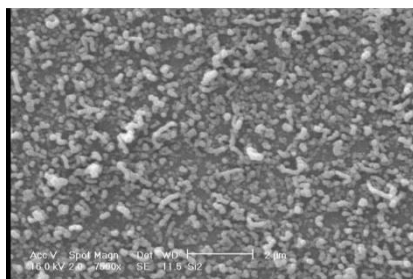


۷ شکل ۵) نمودار تغییرات توپوگرافی بر حسب توزیع اندازه ذرات

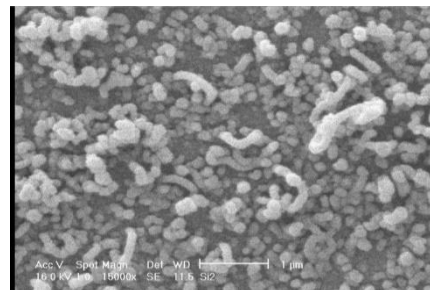
با توجه به شکل ۵ می‌بینیم که نمونه نیکل-۲ کمترین پهنا را دارد که دلیلی بر این می‌باشد که این نمونه دارای نقاط هم ارتفاع بیشتری می‌باشد. در نتیجه سطح صاف‌تری نسبت به بقیه نمونه‌ها را دارد. به همین ترتیب به تحلیل نمونه نیکل-۱ می‌پردازیم که این نمونه دارای پهنای بیشتری نسبت به بقیه نمونه‌ها می‌باشد. یعنی اینکه دارای نقاط هم ارتفاع کمتری نسبت به بقیه نمونه‌ها می‌باشد و سطح دارای پستی و بلندی‌های بیشتری می‌باشد و به همین ترتیب برای نمونه نیکل-۳ صدق می‌کند.

#### بررسی و تحلیل آنالیز SEM:

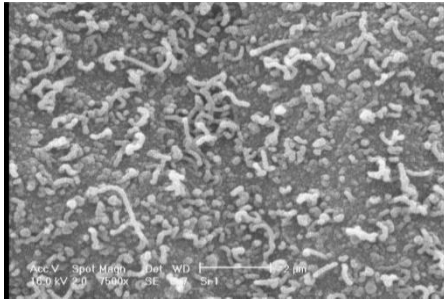
ابتدا تصاویر SEM نمونه‌های نیکل-۱ (یعنی یک دقیقه لایه نشانی) که روی آنها، نانولوله‌های کربنی رشد داده‌ایم را مورد بررسی قرار می‌دهیم.



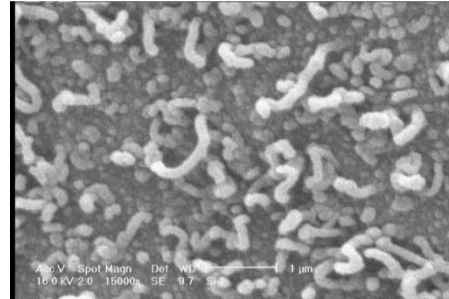
شکل ۶) نیکل-۱ (۱ میکرومتر)



شکل ۷) نیکل-۱ (۲ میکرومتر)



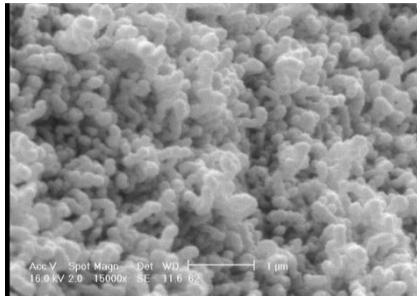
شکل ۸) نیکل-۱ (۱ میکرومتر)



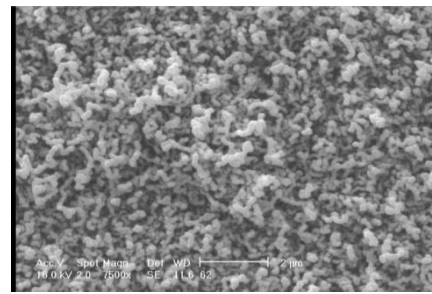
شکل ۹) نیکل-۱ (۲ میکرومتر)

از عکس‌های SEM این نمونه‌ها پیدا است که چگالی نانولوله‌های کربنی در این نمونه کم می‌باشد. به عبارت دیگر نانولوله‌های کربنی به مقدار کمی رشد پیدا کرده‌اند. در این نمونه نیکل به مدت یک دقیقه روی سیلیکن لایه‌نشانی شده است پس مقدار نیکل در این نمونه کم می‌باشد.

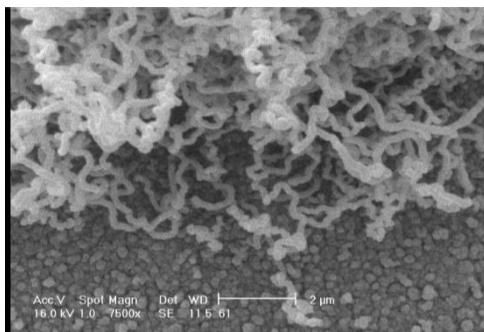
تصاویر SEM زیر مربوط به نمونه نیکل ۲، (یعنی ۷,۵ دقیقه لایه نشانی) می‌باشد:



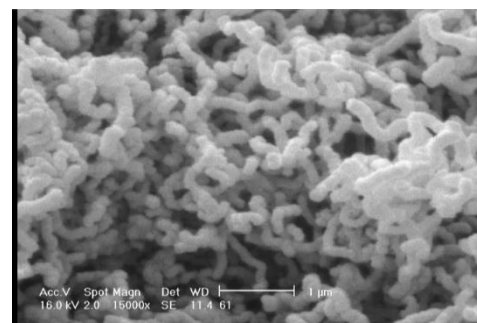
شکل ۱۰) نیکل-۲ (۱ میکرومتر)



شکل ۱۱) نیکل-۲ (۲ میکرومتر)



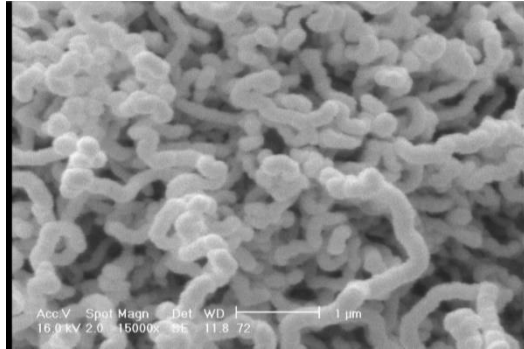
شکل ۱۲) نیکل-۲ (۱ میکرومتر)



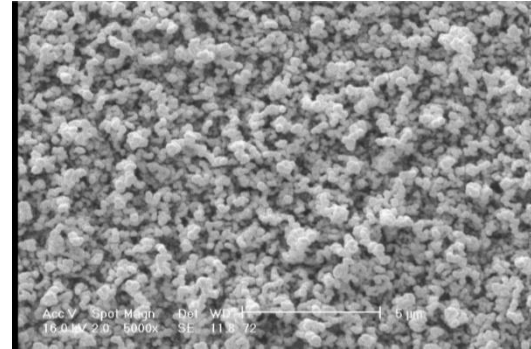
شکل ۱۳) نیکل-۲ (۲ میکرومتر)

در ادامه تصاویر SEM زیر مربوط به نمونه نیکل ۳، (یعنی ۱۰ دقیقه لایه نشانی) می‌باشد:

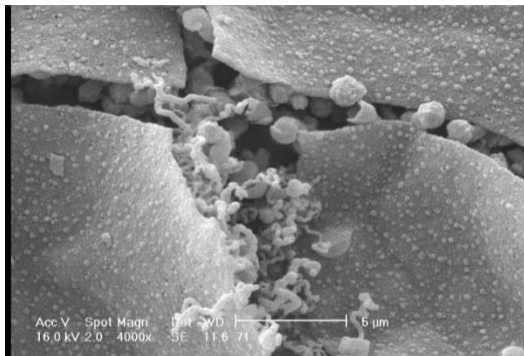




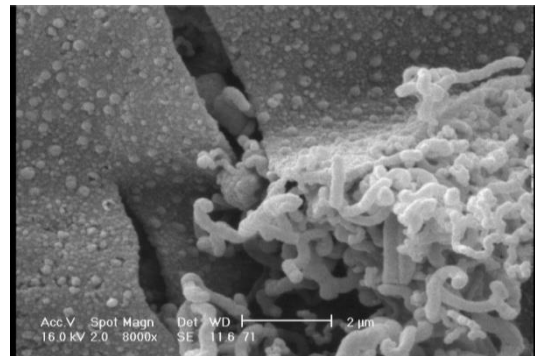
شکل ۱۴) نیکل-۳ (۱ میکرومتر)



شکل ۱۵) نیکل-۳ (۲ میکرومتر)



شکل ۱۶) نیکل-۳ (۱ میکرومتر)



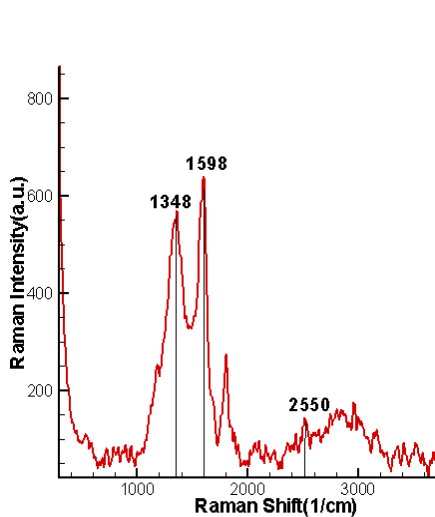
شکل ۱۷) نیکل-۳ (۲ میکرومتر)

9

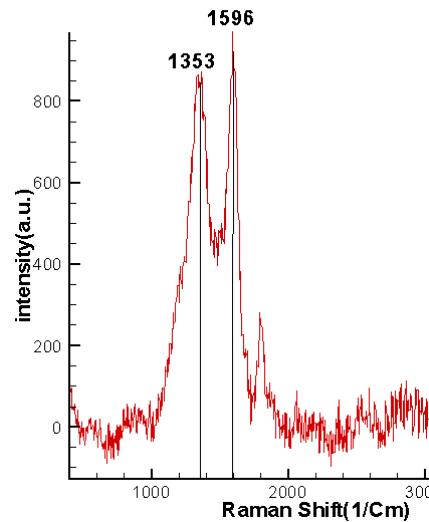
همانطور که از تصاویر SEM نمونه نیکل-۲ (۷,۵ دقیقه لایه نشانی) پیداست می‌بینیم که با افزایش مدت زمان لایه نشانی (و به طبع افزایش ضخامت لایه) رشد نانولوله‌ها بهتر شده است و چگالی آنها بیشتر شده است. در این نمونه نانولوله‌ها به صورت کپه‌ای رشد کرده‌اند که احتمالاً به این دلیل می‌باشد که ذرات کاتالیستی در این نقاط فعال‌تر هستند. چگالی آنها نسبت به نیکل-۱ کمتر شده است که شاید بتوان گفت به دلیل افزایش ضخامت لایه مس-نیکل می‌باشد. در نمونه نیکل-۳ (ده دقیقه لایه نشانی) می‌بینیم که چگالی تعداد نانوله‌های کربنی نسبت به دو نمونه دیگر افزایش پیدا کرده است و اگر در مقیاس بالاتر به نمونه دقت کنیم می‌بینیم که سطح کاملاً از نانولوله کربنی پوشیده شده است. حتی می‌بینیم که در نمونه در لبه‌های سیلیکن هم نانوتیوب‌ها شروع به رشد کرده‌اند. در این نمونه نیز مشاهده می‌کنیم که در بعضی از نمونه‌ها فعالیت کاتالیستی از پایین به بالا بوده است و موجب شکافته شدن سطح لایه شده است و نانولوله‌ها از زیر شروع به رشد کرده‌اند و نانوکاتالیست‌های زیرین لایه فعال‌تر بوده‌اند.

بررسی آنالیز رامان برای نانولوله‌های کربنی رشد داده شده:

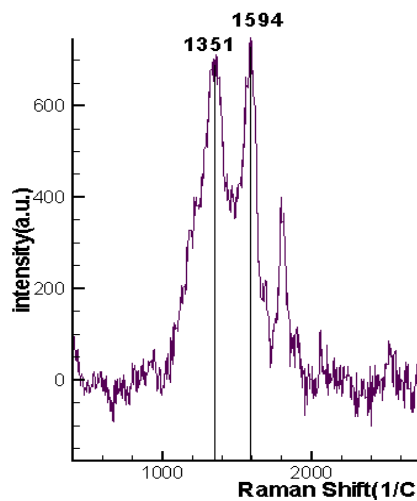
به منظور نشان دادن کیفیت نانولوله‌های کربنی و نیز بررسی تشکیل باندهای گرافیتی و نقایص در این نانوساختارها از آنالیز اسپکتروسکوپی رامان استفاده کردیم. برای نمونه‌های نیکل-۱، نیکل-۲ و نیکل-۳ آنالیز رامان گرفته شد.



شکل ۱۸) طیف رامان از نانولوله های کربنی برای نمونه نیکل-۱



شکل ۱۹) طیف رامان از نانولوله های کربنی برای نمونه نیکل-۲



شکل ۲۰) طیف رامان از نانولوله های کربنی برای نمونه نیکل-۳

دو باند ارتعاشی فونونی G و D در طیف رامان برای هر سه نمونه مشاهده می شود. اما در نمونه ۱ می بینیم که شدت در مقایسه با بقیه نمونه‌ها بیشتر می باشد و این به دلیل چگالی بیشتر نانولوله های کربنی می باشد و در نمونه ۲ هم می بینیم شدت نسبت به نمونه ۳ بیشتر است که بیانگر این موضوع می باشد هرچه مقدار ضخامت لایه نانوکاتالیست نیکل افزایش یابد در رشد نانولوله های کربنی موثر واقع شده اند.

### بحث و نتیجه‌گیری

روش لایه‌نشانی همزمان RF-PECVD و RF-sputtering برای ساخت نانوذرات نیکل را با استفاده از گاز اسیتیلن و هدف نیکل گزارش کردیم. با توجه به تصاویر AFM اطلاعات مربوط به تغییرات توپوگرافی و اندازه ذرات را در سطح نمونه‌های متشکل از نانوذرات نیکل را مورد بررسی قرار دادیم و نیز با توجه به تیز بودن نمودارهای گوسین مربوط به این آنالیز می‌توان نتیجه گرفت که توزیع اندازه ذرات تقریباً به صورت یکنواخت و هم‌اندازه می‌باشد. پهنای گوسین نمایانگر میزان واریانس اندازه نانوذرات می‌باشد. تصاویر SEM، حاکی از رشد نانولوله‌های کربنی در نمونه‌های نیکلی با ضخامت کمتر به مقدار کم می‌باشد. تصاویر SEM مربوط به رشد نانولوله‌های کربنی در نمونه‌های نیکل با ضخامت‌های بیشتر بیانگر رشد و چگالی بیشتر نانوتیوب‌ها در مقایسه با نمونه‌های نیکلی با ضخامت کمتر می‌باشد. آنالیز رامان بیانگر تشکیل باندهای D و G در نمونه‌های نیکل و مس-نیکل می‌باشد. یکنواخت بودن توزیع اندازه ذرات در این روش لایه‌نشانی و کوچک بودن ذرات در بهبود خاصیت کاتالیستی برای رشد نانوتیوب موثر است.

### منابع

Lei, Y., & Chim, W. K. (2005). Highly ordered arrays of metal/semiconductor core-shell nanoparticles with tunable nanostructures and photoluminescence. *Journal of the American Chemical Society*, 127(5), 1487-1492.

11

Chérif, S. M., Layadi, A., Youssef, J. B., Nacereddine, C., & Roussigne, Y. (2007). Study of the magnetic anisotropy in Ni/Cu and Ni/glass thin films. *Physica B: Condensed Matter*, 387(1-2), 281-286.

Iijima, S. (1991). Helical microtubules of graphitic carbon. *nature*, 354(6348), 56-58.

K.L. Fowlkes, J. D., Melechko, A. V., Klein, K. L., Rack, P. D., Smith, D. A., Hensley, D. K., ... & Simpson, M. L. (2006). Control of catalyst particle crystallographic orientation in vertically aligned carbon nanofiber synthesis. *Carbon*, 44(8), 1503-1510.

Kim, M. S., Rodriguez, N. M., & Baker, R. T. K. (1991). The interaction of hydrocarbons with copper-nickel and nickel in the formation of carbon filaments. *Journal of Catalysis*, 131(1), 60-73.

Nishiyama, Y., & Tamai, Y. (1974). Carbon formation on copper-nickel alloys from benzene. *Journal of Catalysis*, 33(1), 98-107.

Zhang, Q. M., Wells, J. C., Gong, X. G., & Zhang, Z. (2004). Adsorption of a carbon atom on the Ni 38 magic cluster and three low-index nickel surfaces: A comparative first-principles study. *Physical Review B*, 69(20), 205413.

Reyhani, A., Mortazavi, S. Z., Akhavan, O., Moshfegh, A. Z., & Lahooti, S. (2007). Effect of Ni, Pd and Ni-Pd nano-islands on morphology and structure of multi-wall carbon nanotubes. *Applied surface science*, 253(20), 8458-8462.

Yan, N., Xiao, C., & Kou, Y. (2010). Transition metal nanoparticle catalysis in green solvents. *Coordination Chemistry Reviews*, 254(9-10), 1179-1218.

Tans, S. J., Verschuere, A. R., & Dekker, C. (1998). Room-temperature transistor based on a single carbon nanotube. *Nature*, 393(6680), 49-52.

Kuvshinov, G. G., Mogilnykh, Y. I., Kuvshinov, D. G., Yermakov, D. Y., Yermakova, M. A., Salanov, A. N., & Rudina, N. A. (1999). Mechanism of porous filamentous carbon granule formation on catalytic hydrocarbon decomposition. *Carbon*, 37(8), 1239-1246.

Dubosc, M., Casimirius, S., Besland, M. P., Cardinaud, C., Granier, A., Duvail, J. L., ... & Torres, J. (2007). Impact of the Cu-based substrates and catalyst deposition techniques on carbon nanotube growth at low temperature by PECVD. *Microelectronic Engineering*, 84(11), 2501-2505.

Bian, J., Xiao, M., Wang, S. J., Lu, Y. X., & Meng, Y. Z. (2009). Graphite oxide as a novel host material of catalytically active Cu-Ni bimetallic nanoparticles. *Catalysis Communications*, 10(11), 1529-1533.

Delzeit, L., Nguyen, C. V., Chen, B., Stevens, R., Cassell, A., Han, J., & Meyyappan, M. (2002). Multiwalled carbon nanotubes by chemical vapor deposition using multilayered metal catalysts. *The Journal of Physical Chemistry B*, 106(22), 5629-5635.

Ghodselahi, T., Vesaghi, M. A., Shafiekhani, A., Baradaran, A., Karimi, A., & Mobini, Z. (2008). Co-deposition process of RF-Sputtering and RF-PECVD of copper/carbon nanocomposite films. *Surface and Coatings Technology*, 202(12), 2731-2736.

Ghodselahi, T., & Vesaghi, M. A. (2008). Polymeric like carbon films prepared from liquid gas and the effect of nitrogen. *Applied surface science*, 254(20), 6441-6445.

Ghodselahi, T., Vesaghi, M. A., Shafiekhani, A., Baghizadeh, A., & Lameii, M. (2008). XPS study of the Cu@ Cu<sub>2</sub>O core-shell nanoparticles. *Applied Surface Science*, 255(5), 2730-2734.

12

Ghodselahi, T., Vesaghi, M. A., & Shafiekhani, A. (2008). Study of surface plasmon resonance of Cu@ Cu<sub>2</sub>O core-shell nanoparticles by Mie theory. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 42(1), 015308.

Ghodselahi, T., Vesaghi, M. A., Shafiekhani, A., & Ahmadi, M. (2008, April). Optical and electrical properties of the copper-carbon nanocomposites. In *Nanophotonics II* (Vol. 6988, pp. 350-357). SPIE.,

Moftakharzadeh, A., Kokabi, A., Bozbey, A., Ghods-Elahi, T., Vesaghi, M., Khorasani, S., ... & Fardmanesh, M. (2008, February). Detectivity of YBCO transition edge bolometer: modulation frequency, bias current and absorber effects. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 97, No. 1, p. 012009). IOP Publishing

Bian, J., Xiao, M., Wang, S., Wang, X., Lu, Y., & Meng, Y. (2009). Highly effective synthesis of dimethyl carbonate from methanol and carbon dioxide using a novel copper-nickel/graphite bimetallic nanocomposite catalyst. *Chemical Engineering Journal*, 147(2-3), 287-296.

Pinilla, J. L., Suelves, I., Lázaro, M. J., Moliner, R., & Palacios, J. M. (2009). Influence of nickel crystal domain size on the behaviour of Ni and NiCu catalysts for the methane decomposition reaction. *Applied Catalysis A: General*, 363(1-2), 199-207.

Songping, W., Jing, N., Li, J., & Zhenou, Z. (2007). Preparation of ultra-fine copper-nickel bimetallic powders with hydrothermal-reduction method. *Materials chemistry and physics*, 105(1), 71-75.