رشد نانولولههای کربنی همراستا بهروش نشست بخار شیمیایی کاتالیستی و روش رشد فاز بخار

منصور فربد^{*،۱}، هدیه هاشمی کیا^۱، علیرضاکیاست^۲ ^۱گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران ۲گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۱۶ ویرایش نهائی: ۱۳۹۲/۰۱/۳۱ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۳/۰۸

چکیدہ

در این تحقیق، نانولولههای کربنی همراستا با روش نشست بخار شیمیایی کاتالیستی و با استفاده از لایهنشانی نانوذرات کاتالیستی آهن-مولیبدن بر روی زیرلایهای از جنس سیلیکون تولید شدند. از گاز استیلن (C2H2) بهعنوان منبع کربنی، گاز آرگون(A) بهعنوان گاز حامل، گاز هیدروژن (H₂) برای احیای نانوذرات و از نانوذرات آهن-مولیبدن بهعنوان منبع کربنی، گاز آرگون(V⁰°C) بهعنوان گاز حامل، گاز هیدروژن (H₂) برای احیای نانوذرات و از نانوذرات آهن-مولیبدن بهعنوان منبع کربنی، گاز آرگون(X⁰°C) بهعنوان منبع کاتالیستی در دمای ⁰°۰۰۰ به عنوان گاز حامل، گاز هیدروژن (H₂) برای احیای نانوذرات و از نانوذرات آهن-مولیبدن بهعنوان منبع کاتالیستی در دمای ⁰°۰۰ بهعت رشدنانولولههای کربنی استفاده شده است. واکنش درون یک راکتور استوانهای کوارتز که محفظهٔ اصلی است، انجام شده و گازها با آهنگ شارش مشخص به درون آن تزریق شدند. نانوذرات کاتالیستی آهن-مولیبدن با استفاده از روش شیمیایی تجزیه حرارتی تولید شدند و زیرلایه، توسط لایهٔ نازگی از نانوذرات آهن-مولیبدن با عمل خیساندن پوشش داده شد. هم چنین نانولولههای کربنی همراستا با استفاده از روش شیمیایی تجزیه مراستا با آمنگ شارش مشخص به درون آن تزریق شدند. نانوذرات کاتالیستی آهن-مولیبدن با استفاده از روش شیمیایی تجزیه حرارتی تولید شدند. بر می می استفاده از روش شیمیایی تجزیه معرارتی تولید شدند و زیرلایه، توسط لایهٔ نازگی از نانوذرات آهن مولیبدن با عمل خیساندن پوشش داده شد. هم چنین نانولولههای کربنی همراستا با استفاده از روش رشد فاز بخار بر روی نانوذرات آهن رشد داده شدند. بررسی نمونهها توسط دستگاههایی چون کربنی همراستا با استفاده از روش رشد فاز بخار بر روی نانوذرات آهن رشد داده شدند. بررسی نمونهها توسط دستگاههایی چون میکروسکوپ الکترونی رویشی اثرمیدانی (مدلMIRA3 TESCAN) میکروسکوپ الکترونی رویش از میدانو را سرایستانولولههای کربنی تکرولولههای کربنی تکدیواره استفاده و آنالیز EDX ور مرسی قرار گرفتند. هم چنین از طیف سنجی رامان جهت تأیید و حود نانولولههای کربنی تکدیواره استفاده و آنایز در در می قرار گرفتند. هم چنین از طیف سنجی رامان جهت تأیید و حود نانولولههای کربی تکدیواره استفاده رودید.

كليدواژگان: نانوذرات آهن-موليبدن، نانولولههاي كربني همراستا، نشست بخار شيميايي كاتاليستي، رشد فاز بخار

مقدمه

نانولولههای کربنی از برجستهترین نانوساختارهای جدید میباشند [۱] که به شکل استوانههای توخالی ساخته شدهاند [۲]. نانولولههای کربنی از زمان کشفشان بهدلیل کاربردهای گسترده در دیودهای نوری، گسیلندههای میدان الکترونی برای صفحه نمایش گرهای اپتیکی، مواد الکترود برای سلولهای سوختی [۳]، الکترود خازنهای الکتروشیمایی دولایه و

*نويسنده مسئول:Farbod_m@scu.ac.ir

¹Arc Discharge ²Laser Ablation

ادوات نانوالکترونیک [٤] توجه زیادی را بهخود جلب

کردهاند. علاوه بر کاربردهای معمول، نانولولههای

کربنی همراستا بهطور ویژه در کاربردهای الکترونیکی

و اپتوالکترونیکی در سیستمهای گسیل میدان الکترونی

و توليد الياف از نانولولههاي كربني بهروش

خشکریسی کاربرد دارند. عمدهترین روشهای مورد

استفاده جهت توليد نانولولههاي كربني شامل تخليه

قوس الكتريكي'، گداخت ليزري' و نشست بخار

www.SID.ir

BY (ی) این مقاله تحت مجوز کریتیو کامنز تخصیص ٤,٠ بینالمللی میباشد.

روشهای نشست بخار شیمیایی است که برای رشد نانولولههای کربنی استفاده می شود. در این روش منبع کاتالیستی در فاز گازی بههمراه گاز حامل وارد محفظهٔ واکنش میشود و همزمان نانولولههای کربنی بر روی آنها رشد پیدا میکنند. در این تحقیق به دو روش نانولولههای کربنی همراستا تهیه شدند. در روش اول نانوذرات آهن-موليبدن بهعنوان مراكز رشد نانولولههاي کربنی بهروش تجزیه حرارتی تهیه شدند و با استفاده از روش خیساندن بر روی زیرلایهٔ سیلیکونی بارگذاری شدند سپس رشد نانولولههای کربنی با استفاده از روش نشست بخار شیمیایی کاتالیستی انجام گرفت. در روش دوم نانولولههای کربنی همراستا بهروش رشد فاز بخار تهیه شدند. مطالعات زیادی در خصوص رشد نانولولههای درهم و تصادفی، صورت گرفته است اما آنچه در این تحقیق صورت گرفته رشد جهتمند نانولولهها برروی زیرلایههای مورد استفاده میباشد.

کارهای آزمایشگاهی

روش اول رشد نانولوله های کربنی همراستا در روش اول، روش نشست بخار شیمیایی کاتالیستی جهت تولید نانولولههای کربنی مورد استفاده قرار گرفت. دستگاه طراحی شده برای این منظور شامل یک کورهٔ الکتریکی استوانهای با قطر داخلی ۳ سانتیمتر و منطقه حرارتی حدود ۲۰ سانتیمتر است. محفظهٔ اصلی واکنش که لولهای از جنس کوارتز بود، درون کوره قرار گرفته وگازهای واکنش به درون آن وارد می شدند. منبع کربنی مورد استفاده در این تحقیق گاز استیلن(C2H2)

شیمیایی میباشد. دو روش اول بهدلیل سختی کنترل و عدم پیوستگی فرآیند و نیز گران بودن ابزار مورد نیاز نسبت به نشست بخار شیمیایی کمتر مورد توجه میباشند. همچنین در این روشها رشد نانولولهها در یک جهت مشخص میسر نمی باشد [٥]. روش نشست بخارشيميايي علاوه بر توانايي كنترل جهت رشد نانولولهها، یک روش ساده و اقتصادی برای تولید نانولولههای کربنی در دماهای پایین و فشار محیط است [٦،٧]. در روش نشست بخار شیمیایی کاتالیستی یک نوع گاز هیدروکربن مانند متان، استیلن و غیره (به عنوان منبع کربن) در اثر گرما و در حضور یک نوع کاتالیست شکسته میشود و کربن حاصل روی یک زیرلایه بەصورت نانولولەھاي كربني مينشيند [٥]. انتخاب کاتالیزور فلزی ممکن است رشد و مورفولوژی نانولولهها را تحت تأثير قرار دهد [٦٨]. تعداد زيادي از فلزات بهعنوان كاتاليست براي رشد نانولولههاي کربنی در درجه حرارت بالا مورد استفاده قرار گرفتهاند [۹]. اما پرکاربردترین فلزات برای موفقیت در رشد نانولولههای کربنی، آهن، کبالت، نیکل و کاتالیزور دو فلزي أهن-موليبدن ميباشند زيرا نه تنها حلاليت كربن در این فلزات نسبت به دیگر فلزات واسطه در دمای بالا، زیاد است بلکه آهنگ انتشار کربن نیز در این فلزات بیشتراست. مطالعات اخیر نشان دادهاند که این فلزات چسبندگی قویتری را نیز با نانولولههای کربنی در حال رشد دارند بههمین دلیل برای رشد نانولولههای کربنی با قطر کم مانند نانولولههای تکدیواره مناسب می باشند [٦٨]. روش رشد فاز بخار از جمله زیر

¹Chemical Vapor Deposition

بود. از گاز آرگون نیز بهعنوان گاز حامل و از گاز هیدروژن جهت احیای نانوذرات استفاده شد. این گازها با استفاده از جریانسنجهای مکانیکی که در مسیرشان قرار گرفته بود با آهنگ شارش مشخص به درون لولهٔ کوارتز تزریق شدند. باتوجه به تحقیقات انجام شده بهترین نمونه نانولولههای کربنی با آهنگ شارش sccm در دمای Δ۰۰۷ در مدت زمان واکنش ۳۰ دقیقه بهدست آمدند. جهت سنتز نانولولههای کربنی همراستا، مراحل انجام آزمایش به دو بخش تقسیم شد.

بخش اول: تولید لایهای نازک از نانوذرات آهن-مولیبدن

در این آزمایش نانوذرات آهن-مولیبدن با استفاده از روش تجزیهٔ حرارتی کربونیلهای این فلزات در محلول دیفنیل اتر تحت اتمسفر آرگون به دست آمدند. به طور معمول ۱۹۲٬۰۹گرم (۱ میلی مول) پنتاکربونیل مولیبدن و ۲۵۰٬۰ گرم (۲٫۰ میلی مول) از هگزاکربونیل مولیبدن با ١٤٤٬۰ گرم (۱٫۰ میلی مول) روغن زیتون و ۲۲٬۰ گرم (۱٫۰ میلی مول) هگزادسیل آمین در ۵ میلی لیتر دیفنیل اتر مخلوط شدند. محلول تحت گاز آرگون با خلوص بالا در دمای 2° ۱۰۰ به مدت زمان ۳۰ دقیقه رفلاکس شد تا نانوذرات آهن-مولیبدن به دست آید. شدند و بر روی زیرلایه سیلیکون تمیز شده با روش شدند و بر روی زیرلایه سیلیکون تمیز شده با روش دمای 2° ۰۰۷ تحت حرارت قرار گرفتند. جهت دمای 2° ۰۰۷ تحت حرارت قرار گرفتند. جهت

زیرلایهها کاملاً تمیز باشند بدین منظور ابتدا زیرلایهٔ سیلیکونی که بهصورت قطعههای ۱cm×۱cm برش داده شدهاند، درون ظرفی حاوی استون به مدت ۱۵ دقیقه در حمام مجهز به امواج مافوق صوت قرار داده شد و بعد با آب یونزدایی شده شستوشو و سپس شد و بعد با آب یونزدایی شده شستوشو و سپس جهت خشک کردن زیرلایهها از گاز نیتروژن استفاده گردید.

بخش دوم: رشد نانولوله های کربنی

روش اول رشد نانولوله های کربنی همراستا

برای تشکیل نانولولههای کربنی لازم است که این زیرلایهها درون کوره و در دمای بهینه رشد آنها (۵۰۰۷) قرارگیرد و سپس گازهای استیلن، آرگون و هیدروژن با آهنگ شارش مشخص وارد محفظه واکنش شوند.

لازم بهذکر است که مقادیر بهینه کمیتهای مختلف از کار قبلی این گروه بهدست آمدهاند و مورد استفاده واقع شدهاند [۱۰].

بدین منظور ابتدا زیرلایهٔ پوشیده از نانوذرات آهن – مولیبدن درون بوته سرامیکی در وسط کوره قرار داده شد. پس از اینکه دمای کوره تحت شارش ۲۰۰ sccm آرگون به ۲°۷۰۰ رسید، ۲۰ sccm گاز هیدروژن و ۲۰ sccm گاز آرگون به مدت زمان ۲۵ دقیقه وارد کوره و سپس گاز آرگون با گاز هیدروژن تعویض شد. زمانیکه دمای کوره به دمای بهینه رسید در این لحظه جهت رشد نانولولههای کربنی مخلوطی از گاز آرگون و استیلن بهترتیب با آهنگ شارش ۱۰۰ دو م

۰۰ بهمدت زمان ۳۰ دقیقه از سیستم عبور داده شد. در نهایت سیستم تا دمای اتاق خنک گردید. در این فرآیند، گاز آرگون با آهنگ شارش ۱۰۰ sccm تا رسیدن به دمای محیط جریان داشت. آهنگ گرمایش کوره در تمام مدت زمان انجام آزمایش به اندازه C/min° ۱۰ تنظیم گردیده بود.

روش دوم رشد نانولوله های کربنی همراستا همان گونه که در مقدمه ذکر شد روش رشد فاز بخار نیز برای رشد همراستای نانولوله های کربنی نیز مورد استفاده واقع شد. سیستم به همان طریقی که در روش اول برای رشد نانولولههای کربنی بهروش نشست بخار شیمیایی کاتالیستی بیان شد، آمادهسازی گردید. دراین روش نیازی به استفاده از گاز هیدروژن نیست و آهنگ گاز آرگون تا رسیدن دمای نمونهها به دمای واکنش، ۱۰۰ sccm می باشد. سپس در دمای ۷۵۰°۲ به مدت زمان ۳۰ دقیقه گاز آرگون با آهنگ شارش ۱۵۰۰ sccm و گاز استیلن با عبور از ظرف حاوی یک میلیلیتر پنتاکربونیل آهن با آهنگ شارش sccm، بخارهای پنتاکربونیل آهن را با خود به محفظه حمل میکند. در این لحظه نانوذرات آهن شکل میگیرند و نانولولههای کربنی نیز بر آنها رشد مییابند. در این روش از زیرلایههای متفاوتی چون شیشه، کوارتز و تک بلور سیلیکون استفاده شد که بهترین نتیجه با استفاده از زير لايه سيليكون حاصل گرديد [١١].

¹Monodispersed

٦.

نتايج و بحث

روش اول تولید نانولولههای همراستا

همان طور که از تصاویر FESEM (شکل ۱) مشاهده می شود، نانوذرات آهن-مولیبدن ساخته شده قبل از پخت تقریباً بی شکل و توسط یک لایهٔ آلی پوشانده شدهاند. اما پس از حرارتدهی، لایهٔ آلی حذف شده و نانوذرات به صورت بلوری به دست آمدهاند. بنابراین برای به دست آوردن محصولاتی با ساختار بلوری مناسب، انجام فرآیندهای حرارتی ثانویه لازم می باشد. هم چنین نانوذرات آهن-مولیبدن تولید شده تقریباً هم اندازه بوده و روش مورد استفاده منجر به ساخت نانوذرات تک پخش^۱ شده است که بسیار قابل توجه می باشد.



شکل ۱. تصویر FESEM نانوذرات آهن-مولیبدن (الف) قبل از پخت (ب) بعد از پخت در دمای ۵° ۷۰۰ (مقیاس ۲۰۰ nm).

آنالیز EDX (شکل ۲) نمونه نیز عناصر آهن و مولیبدن را نشان میدهد. همچنین قله مربوط به سیلیسیم در این تصویر قابل مشاهده است که مربوط به زیرلایهٔ سیلیکونی مورد استفاده میباشد.

اندازهٔ نانوذرات تولید شده را میتوان از روی تصاویر FESEM بهدست آورد. با توجه به نسبت اندازهٔ ذرات در تصویر به اندازهٔ مقیاس داده شده در زیر تصویر، اندازهٔ ذرات ساخته شده با استفاده از نرمافزار DIGIMIZER مشخص شدند. شکل۳ توزیع اندازهٔ ذرات تهیه شده با تعیین اندازهٔ حدود ۱۰۰ ذره از ذرات موجود در تصویر را نشان میدهد.



شكل٢. أناليز EDX نانوذرات أهن-موليبدن.



شكل٣. توزيع اندازهٔ ذرات آهن-موليبدن.

همان طور که مشاهده می شود، نانوذرات با اندازهای بین ۲۰ تا ٤٠ نانومتر دارای بیشترین درصد فراوانی هستند. شکل ٤ و ٥ به ترتیب تصاویر SEM و آنالیز EDX نانولوله های رشد یافته بر زیرلایهٔ سیلیکونی پوشیده از نانوذرات آهن-مولیبدن را نشان می دهند.



شکل ٤. تصویر SEM از نمونهٔ تولید شده بر زیرلایهٔ سیلیکون با آهنگ شارش ۱۰۰ sccm آوگون، ۵۰ sccm ده استیلن، ۲۰ sccm هیدروژن، مقیاس الف) μm (ب μm



نانولولههای کربنی رشد یافته بر نانوذرات آهن -مولیبدن بارگذاری شده بر زیرلایهٔ سیلیکونی بهصورت همراستا رشد داده شدند. طول این نانولولهها حدود چند میکرومتر بود. برای رشد همراستای نانولولههای کربنی، علاوه بر چگالی نانوذرات کاتالیستی و زیرلایه مناسب، لازم است که آهنگ شارش گاز هیدروکربنی نیز تنطیم شود. همان طور که در شکل ۲ مشاهده می شود با کاهش آهنگ شارش استیلن به ۲۵ ۲۵، تراکم نانولولههای کربنی کاهش یافته است و نانولولهها بهصورت درهم و تصادفی رشد یافتهاند.



شکل٦. تصویر SEM از نمونهٔ تولید شده بر زیرلایهٔ سیلیکون با آهنگ شارش ۱۰۰ sccm آرگون، ۲۰ sccm استیلن و ۲۰ sccm هیدروژن.

مطالعهٔ کیفی نانولولههای کربنی رشد داده شده با استفاده از طیفسنجی رامان صورت گرفته است. شکل۷ طیف رامان نانولولههای رشد یافته بر نانوذرات آهن-مولیبدن در شرایط آزمایشگاهی را نشان میدهد.



میکل ۲۰ طیف رامان نانولوله های کربنی رشد یافته بر نانوذرات آهن-مولیدن (الف) و بر روی نانوذرات آهن (ب). لازم به یادآوری است که در طیف رامان نانولوله های کربنی، وجود قله در بازهٔ ۲۰۰۰>همه۵۵۵ کانولوله های بیانگر رشد نانولوله های تکدیواره میباشد. هم چنین دو قله دیگر در طیف رامان وجود دارد که یکی در بازهٔ اقله دیگر در بازهٔ ۲۰۰۰معروف به G-band (قله گرافیتی) و دیگری در بازهٔ ۲۰۰۰همروف به ۱٤٥٠دm] معروف به -D band (قله وابسته به عیوب و ناخالصی ها) میباشد. میزان شدت قله G به C مایان گر کیفیت نانولوله ها

است [۱۲،۱۳].

با توجه به مطالبی که بیان شد، ملاحظه می شود که در هر دو نمونه، قله مد تنفسی شعاعی که بیانگر حضور نانولولههای تک دیواره است وجود دارد. در نمونه مورد نظر نسبت $\frac{I_G}{I_D}$ تقریباً برابر با ۸۵/۰ می باشد. همان طور که از تصویر پیداست علاوه بر قلههایی که تحلیل شد، قلهٔ دیگری با طول موج ¹⁻۳۰۰۳ و یا تحلیل شد، قلهٔ دیگری با طول موج ¹⁻۳۰۰۳ و یا است ۳٤۰cm¹ وجود دارد که با توجه به مطالعات انجام شده سیلیکونی مورد استفاده می باشد. با توجه به رابطهٔ بین قطر نانولولههای کربنی و مکان قلهٔ رامان یعنی قطر نانولولههای کربنی و مکان قلهٔ رامان یعنی شده حدود mr ۱/۷ محاسبه گردید.

٦٣

نتيجهگيري

نانولولههای کربنی همراستا به دو روش نشست بخار شيميايي كاتاليستي و رشد فاز بخار تهيه شدند. در روش نشست بخار شيميايي كاتاليستي نانوذرات آهن-موليبدن با استفاده از روش تجزيهٔ حرارتی توليد شدند. این ذرات تقریباً هماندازه و بهصورت تک پخش تهیه شدند. نانولولههای کربنی بر روی کاتالیست دو فلزی آهن-موليبدن بارگذاري شده بر زيرلايهٔ سيليکوني بهصورت همراستا رشد يافتند. نتايج طيفسنجي رامان نشان داد که اکثر نانولولههای رشد یافته، تکدیواره بودند. وجود قله مد تنفسی شعاعی در طیف رامان، تأییدی بر رشد نانولولههای کربنی تکدیواره بود. در روش رشد فاز بخار رشد نانولولههای کربنی همراستا نیز بر روی زیرلایه سیلیکون محقق گردید. رشد نانولوله های کربنی بر زیرلایه سیلیکون احتمالاً به علت تک کریستال بودن آنها بوده است. مرجعها

[1] H. Dai, Carbon nanotubes: synthesis, integration, and properties, *Accounts of chemical research* 35 (2002) 1035-1044.

[2] M.S. Dresselhaus, G.Dresselhaus, P. Avouris, Carbon Nanotubes (2000) 1-463.

[3] N.A. Asli, M.S. Shamsudin, S.A. Bakar, M.R. Mahmood, S. Abdullah, Effect of the ratio of catalyst to carbon source on the growth of vertically aligned carbon nanotubes on nanostructured porous silicon Template, *International Journal of Industrial Chemistry* 4 (2013) 1-7.

[4] S. Saengmee-anupharb, S. Thongpang, E.S. Bertheir, P. Singjai, Growth of vertically aligned carbon nanotubes on silicon using a sparked

روش دوم تولید نانولولههای همراستا

سیستم بههمان طریقی که در روش اول برای رشد نانولولههای کربنی بهروش نشست بخار شیمیایی کاتالیستی بیان شد، آمادهسازی گردید. دراین روش نیازی به استفاده از گاز هیدروژن نیست و آهنگ گاز آرگون تا رسیدن دمای نمونهها بهدمای واکنش، sccm می ارگون تا رسیدن دمای نمونهها بهدمای واکنش، م می می کند و بهطور همزمان نانولولههای کربنی بر روی آنها رشد می یابند.

همان گونه که در بخش کارهای آزمایشگاهی ذکر شد، در این روش از زیر لایههای متفاوتی چون شیشه، کوارتز و تک بلور سیلیکون استفاده شد که بهترین نتیجه با استفاده از زیر لایه سیلیکون حاصل گردید. بهنظر میرسد که سطح زیرلایه سیلیکون بهدلیل تک کریستال بودن، مناسب برای رشد همراستای نانولولههای کربنی میباشد.

شکل۸ رشد نانولولههای کربنی همراستا را بر روی زیرلایه سیلیکون نشان میدهد.



شکل۸ تصویر SEM از نمونهٔ تولید شده بر زیرلایهٔ سیلیکون با آهنگ شارش ۱۵۰۰ sccm آرگون و ٤٠٤ دامتا استیلن.

walled carbon nanotube on quartz from a large variety of metal catalysts, *Nano letters* 8 (2008) 2576-2579.

[۱۰] آمنه آهنگرپور، تولید نانولولههای کربنی در مقیاس زیاد و بررسی ساخت لایههای نازک آنها بهروش رسوب بخار شیمیایی (CVD)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۳۸۷.

[۱۱] هدیه هاشمی کیا، ساخت نانوذرات کاتالیستی عناصر واسطه و استفادهٔ آنها در رشد همراستای نانولولههای کربنی بهروش CVD، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۳۹۵

[12] S. Das, M. Hendry, Application of Raman spectroscopy to identify iron minerals commonly found in mine wastes, *Chemical Geology* 290 (2011) 101-108.

[13] A. Jorio, M.A. Pimenta, A.G. Souza Filho, R. Saito, G. Dresselhaus, M.S. Dresselhaus, Characterizing carbon nanotube samples with resonance Raman scattering, *New Journal of Physics* 5 (2003) 1-17.

[14] M.S. Dresselhaus, G. Dresselhaus, R. Saito, A. Jorio, Raman spectroscopy of carbon nanotubes, *Physics Reports* 409 (2005) 47–99.

iron-cobalt catalyst, *ISRN Nanotechnology* 2011 (2011).

[٥] ص. میرارشادی، ز. مرتضوی، ع. ریحانی، ن. منیری، ع. نوین روز، خالص سازی نانولولههای کربنی رشد داده شده بر روی کاتالیستهای دوتایی Fe/Ni بر پایهٔ MgO بهروش نشست بخار شیمیایی گرمایی، مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی، ۲۵، (۱۳۸۹)، ۸-۱.

[6] A. Szabó, C. Perri, A. Csató, G. Giordano, D. Vuono, J.B. Nagy, Synthesis methods of carbon nanotubes and related materials, *Materials* 3 (2010) 3092-3140.

[7] R. Sahithi, B. Harshit, K. Mansi, B. Ganesh, A Review on Synthesis of CNTs and its Application in Conductive Paints,*International Advanced Research Journal in Science*. *Engineering and Technology* 2 (2015) 50-55.

[8] K. Mukul, A. Yoshinori, Chemical vapor deposition of carbon nanotubes: a review on growth mechanism and mass production, *Journal of nanoscience and nanotechnology* 10 (2010) 3739-3758.

[9] D. Yuan, L. Ding, H. Chu, Y. Feng, T.P. Mc Nicholas, J. Liu, Horizontally aligned single-

Mansour Farbod^{1,*}, Hadyeh Hashemi kia¹, Alireza Kiasat²

 ¹Department of Physics, Faculty of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
²Department of Chemistry, Faculty of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran Received: 04.07.2016 Final revised: 20.04.2017 Accepted: 29.05.2017

Abstract

In this research, aligned carbon nanotubes were grown using a chemical vapor deposition (CVD) method on both a silicon substrate and on a silicon substrate coated by Fe-Mo nanoparticles. Acetylene gas (C₂H₂) as the carbon source, argon (Ar) as the carrier gas, hydrogen (H₂) for reduction of the nanoparticles and iron-molybdenum nanoparticles as the catalyst source for the growth of carbon nanotubes were used at temperature of 750 °C. The reaction was performed inside a tube furnace equipped with a quartz tube and gases were injected with a certain flow rate into the reaction tube. The catalyst Fe-Mo nanoparticles were produced using a chemical thermal decomposition. Then a silicon substrate was coated with a thin layer of iron-molybdenum nanoparticles by a soakage method. Also, aligned carbon nanotubes were grown on Fe nanoparticles using a vapor phase growth method. The samples' characterization was performed using a scanning electron microscopy (SEM. Leo 906E), field effect scanning electron microscopy was employed to confirm the formation of single walled carbon nanotubes.

Keywords: Iron-Molybdenum nanoparticles, vertically aligned carbon nanotubes, Catalytic chemical vapor deposition, Vapor phase growth

www.SID.ir

^{*} Corresponding Author: Farbod_m@scu.ac.ir