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

منصور فربد*[۱،]، هدیه هاشمی‌کیا[۱]، علیرضا کیاست[۲]

[۱]گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

[۲]گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

دریافت: ۱۳۹۵/۰٤/۱٤ ویرایش نهائی: ۱۳۹٦/۰۱/۳۱ پذیرش: ۱۳۹٦/۰۳/۰۸

چکیده

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 (C_2H_2) به‌عنوان منبع کربنی، گاز آرگون(Ar) به‌عنوان گاز حامل، گاز هیدروژن (H_2) برای احیای نانوذرات و از نانوذرات آهن–مولیبدن به‌عنوان منبع کاتالیستی در دمای۷۵۰°C جهت 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 نازکی از نانوذرات آهن–مولیبدن با عمل خیساندن پوشش داده شد. هم‌چنین نانولوله‌های کربنی همراستا با استفاده از روش رشد فاز بخار بر روی نانوذرات آهن رشد داده شدند. بررسی نمونه‌ها توسط دستگاه‌هایی چون میکروسکوپ الکترونی روبشی (مدل SEM, LEO 906E)، میکروسکوپ الکترونی روبشی اثرمیدانی (مدلMIRA3 TESCAN) وآنالیز EDX مورد بررسی قرار گرفتند. هم‌چنین از طیف‌سنجی رامان جهت تأیید وجود نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره استفاده گردید.

کلیدواژگان: نانوذرات آهن–مولیبدن، نانولوله‌های کربنی هم‌راستا، نشست بخار شیمیایی کاتالیستی، 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 نمایش‌گرهای اپتیکی، مواد الکترود برای سلولهای سوختی [۳]، الکترود خازن‌های الکتروشیمایی دولایه و 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 تولید الیاف از نانولوله‌های کربنی به‌روش خشک‌ریسی کاربرد دارند. عمده‌ترین روش‌های مورد استفاده جهت تولید نانولوله‌های کربنی شامل تخلیه قوس الکتریکی[۱]، گداخت لیزری[۲] و نشست بخار

*نویسنده مسئول: Farbod_m@scu.ac.ir

[1]Arc Discharge
[2]Laser Ablation

باز نشر این مقاله با ذکر منبع آزاد است.

این مقاله تحت مجوز کریتیو کامنز تخصیص ٤.۰ بین‌المللی می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

شیمیایی[1] 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 نمی‌باشد [۵]. روش نشست بخارشیمیایی علاوه بر توانایی کنترل جهت رشد نانولوله‌ها، یک روش ساده و اقتصادی برای تولید نانولوله‌های کربنی در دماهای پایین و فشار محیط است [۶،۷]. 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 به‌صورت نانولوله‌های کربنی می‌نشیند [۵]. انتخاب کاتالیزور فلزی ممکن است رشد و مورفولوژی نانولوله‌ها را تحت تأثیر قرار دهد [۶،۸]. تعداد زیادی از فلزات به‌عنوان کاتالیست برای رشد نانولوله‌های 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 فلزی آهن–مولیبدن می‌باشند زیرا نه تنها حلالیت کربن 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 می‌باشند [۶،۸]. روش رشد فاز بخار از جمله زیر روش‌های نشست بخار شیمیایی است که برای رشد نانولوله‌های کربنی استفاده می‌شود. 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–مولیبدن به‌عنوان مراکز رشد نانولوله‌های 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 می‌شدند. منبع کربنی مورد استفاده در این تحقیق گاز استیلن(C_2H_2)

[1]Chemical Vapor Deposition

Archive of SID

www.SID.ir

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 ۵۰ استیلن، sccm ۱۰۰ آرگون، sccm ٦۰ هیدروژن و در دمای ۷۵۰°C 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 دی‌فنیل‌اتر تحت اتمسفر آرگون به‌دست آمدند. به‌طور معمول ۰٫۱۹٦گرم (۱ میلی‌مول) پنتاکربونیل آهن و ۰٫۰۵۳ گرم (۰٫۲ میلی‌مول) از هگزاکربونیل مولیبدن با ۰٫۱٤٤ گرم (۰٫۱ میلی‌مول) روغن زیتون و۰٫۲٤۲ گرم (۰٫۱ میلی‌مول) هگزادسیل‌آمین در ۵ میلی‌لیتر دی‌فنیل‌اتر مخلوط شدند. محلول تحت گاز آرگون با خلوص بالا در دمای °C ۱۵۰ به‌مدت زمان ۳۰ دقیقه رفلاکس شد تا نانوذرات آهن-مولیبدن به‌دست آید. رسوبات به‌دست آمده در مقداری سیکلوهگزان پخش شدند و بر روی زیرلایه سیلیکون تمیز شده با روش خیساندن بارگذاری شدند. سپس به‌مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۷۰۰°C تحت حرارت قرار گرفتند. جهت بارگذاری نانوذرات بر روی زیرلایه لازم است که 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 همین مراحل با ایزوپروپانول تکرار شد. در نهایت جهت خشک کردن زیرلایه‌ها از گاز نیتروژن استفاده گردید.

بخش دوم: رشد نانولوله‌های 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 (۷۵۰°C) 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 sccm ۱۰۰ آرگون به ۷۰۰°C رسید، sccm ٦۰ گاز هیدروژن و sccm ۲۰ 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 sccm ۱۰۰ و sccm

Archive of SID

www.SID.ir

۵۰ 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 ۱۵ °C/min تنظیم گردیده بود.

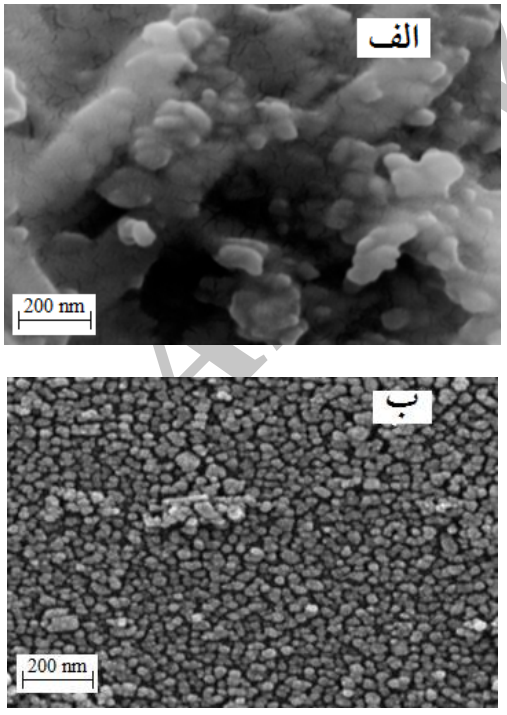
روش دوم رشد نانولوله های کربنی هم‌راستا

همان‌گونه 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 می‌باشد. سپس در دمای ۷۵۰°C 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 ۴۵-۴۰ 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 زیر لایه سیلیکون حاصل گردید [۱۱].

نتایج و بحث

روش اول تولید نانولوله‌های هم‌راستا

همان‌طور که از تصاویر FESEM (شکل ۱) مشاهده می‌شود، نانوذرات آهن-مولیبدن ساخته شده قبل از پخت تقریباً بی‌شکل و توسط یک لایهٔ آلی پوشانده شده‌اند. اما پس از حرارت‌دهی، لایهٔ آلی حذف شده و نانوذرات به‌صورت بلوری به‌دست آمده‌اند. بنابراین برای به‌دست آوردن محصولاتی با ساختار بلوری مناسب، انجام فرآیندهای حرارتی ثانویه لازم می‌باشد. هم‌چنین نانوذرات آهن-مولیبدن تولید شده تقریباً هم‌اندازه بوده و روش مورد استفاده منجر به ساخت نانوذرات تک‌پخش[1] شده است که بسیار قابل توجه می‌باشد.



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

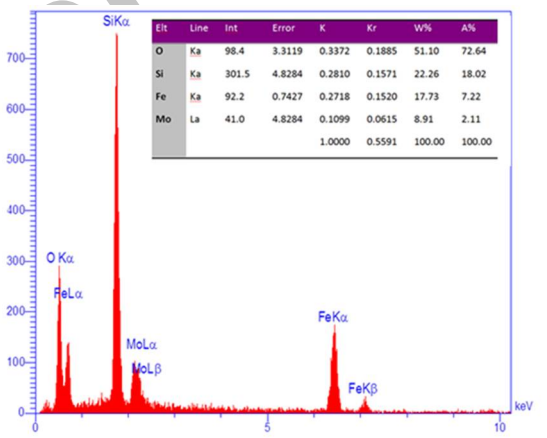
[1] Monodispersed

Archive of SID

www.SID.ir

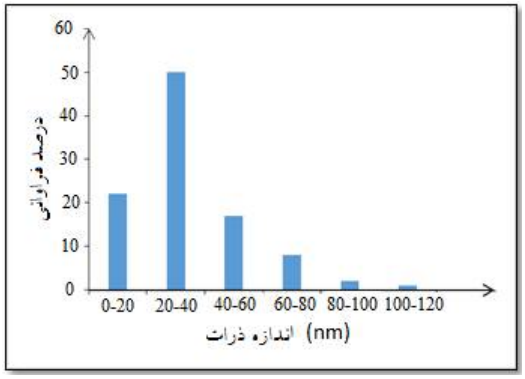
آنالیز EDX (شکل۲) نمونه نیز عناصر آهن و مولیبدن را نشان می‌دهد. هم‌چنین قله مربوط به سیلیسیم در این تصویر قابل مشاهده است که مربوط به زیرلایهٔ سیلیکونی مورد استفاده می‌باشد.

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.



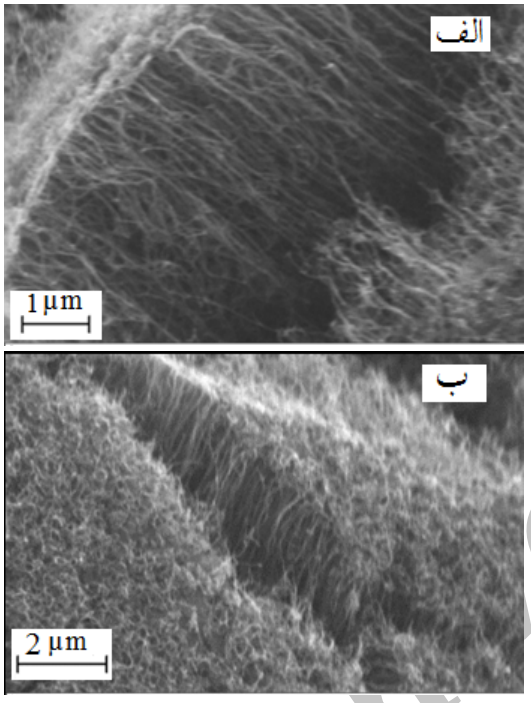
Elt	Line	Int	Error	K	Kr	W%	A%
O	Ka	98.4	3.3119	0.3372	0.1885	51.10	72.64
Si	Ka	301.5	4.8284	0.2810	0.1571	22.26	18.02
Fe	Ka	92.2	0.7427	0.2718	0.1520	17.73	7.22
Mo	La	41.0	4.8284	0.1099	0.0615	8.91	2.11
				1.0000	0.5591	100.00	100.00

شکل۲. آنالیز EDX نانوذرات آهن–مولیبدن.

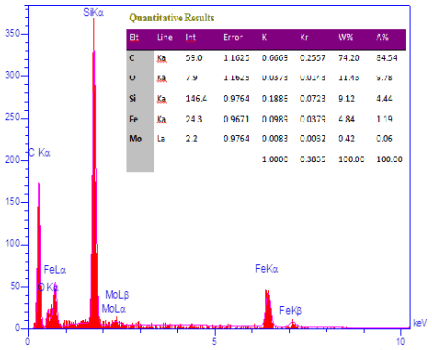


شکل۳. توزیع اندازهٔ ذرات آهن–مولیبدن.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، نانوذرات با اندازه‌ای بین ۲۰ تا ۴۰ نانومتر دارای بیشترین درصد فراوانی هستند. شکل٤ و ۵ به‌ترتیب تصاویر SEM و آنالیز EDX نانولوله‌های رشد یافته بر زیرلایهٔ سیلیکونی پوشیده از نانوذرات آهن–مولیبدن را نشان می‌دهند.



شکل٤. تصویر SEM از نمونهٔ تولید شده بر زیرلایهٔ سیلیکون با آهنگ شارش ۱۰۰ sccm آرگون، ۵۰ sccm استیلن، ۶۰ sccm هیدروژن، مقیاس الف) ۱ µm ب) ۲ µm

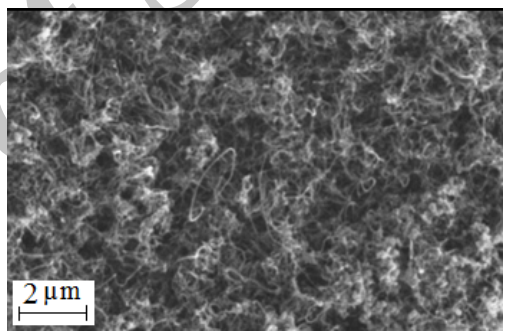


شکل۵. آنالیز EDX نانولوله‌های رشد یافته بر زیرلایهٔسیلیکونی.

Archive of SID

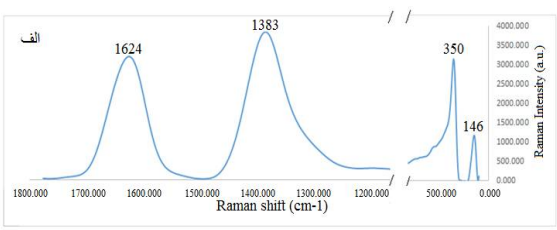
www.SID.ir

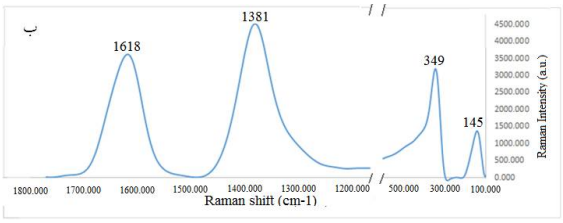
نانولوله‌های کربنی رشد یافته بر نانوذرات آهن–مولیبدن بارگذاری شده بر زیرلایهٔ سیلیکونی به‌صورت هم‌راستا رشد داده شدند. طول این نانولوله‌ها حدود چند میکرومتر بود. برای رشد هم‌راستای نانولوله‌های کربنی، علاوه بر چگالی نانوذرات کاتالیستی و زیرلایه مناسب، لازم است که آهنگ شارش گاز هیدروکربنی نیز تنظیم شود. همان‌طور که در شکل ٦ مشاهده می‌شود با کاهش آهنگ شارش استیلن به ۲۵ sccm، 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، ۲۵ sccm استیلن و ٦۰ 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.





شکل۷. طیف رامان نانولوله‌های کربنی رشد یافته بر نانوذرات آهن–مولیبدن (الف) و بر روی نانوذرات آهن (ب).

لازم به یادآوری است که در طیف رامان نانولوله‌های کربنی، وجود قله در بازهٔ $۱۲۰cm^{-1}<\omega_{RBM}<۲۵۰cm^{-1}$، بیانگر رشد نانولوله‌های تک‌دیواره می‌باشد. هم‌چنین دو قله دیگر در طیف رامان وجود دارد که یکی در بازهٔ $۱۵۰۰–۱٦۰۵cm^{-1}$ معروف به G-band (قله گرافیتی) و دیگری در بازهٔ $۱۲۵۰–۱٤۵۰cm^{-1}$ معروف به D-band (قله وابسته به عیوب و ناخالصی‌ها) می‌باشد. میزان شدت قله G به D نمایانگر کیفیت نانولوله‌ها است [۱۲،۱۳].

با توجه به مطالبی که بیان شد، ملاحظه می‌شود که در هر دو نمونه، قله مد تنفسی شعاعی که بیانگر حضور نانولوله‌های تک‌دیواره است وجود دارد. در نمونه مورد نظر نسبت $\frac{I_G}{I_D}$ تقریباً برابر با ۰٫۸۵ می‌باشد.

همان‌طور که از تصویر پیداست علاوه بر قله‌هایی که تحلیل شد، قلهٔ دیگری با طول‌موج $۳۵۰cm^{-1}$ و یا $۳٤۰cm^{-1}$ وجود دارد که با توجه به مطالعات انجام شده [۱۲،۱۳] بیانگر حضور نانوذرات کاتالیستی و یا زیرلایهٔ سیلیکونی مورد استفاده می‌باشد. با توجه به رابطهٔ بین قطر نانولوله‌های کربنی و مکان قلهٔ رامان یعنی $\omega_{RBM}=\frac{248}{d_t}$ [۱٤]، قطر نانولوله‌های کربنی تولید شده حدود ۱٫۷ nm محاسبه گردید.

Archive of SID

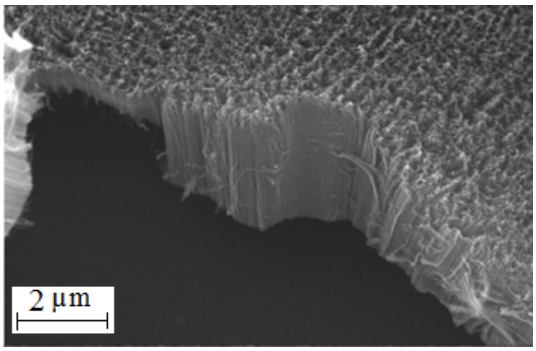
www.SID.ir

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 ۱۰۰ می‌باشد. سپس گاز استیلن با عبور از ظرف حاوی مقداری پنتاکربونیل آهن با آهنگ شارش مشخص، بخارهای پنتاکربونیل‌آهن را با خود به محفظه حمل می‌کند و به‌طور هم‌زمان نانولوله‌های کربنی بر روی آنها رشد می‌یابند.

همان‌گونه 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 sccm ۱۵۰۰ آرگون و sccm ۴۵-۴۰ استیلن.

نتیجه‌گیری

نانولوله‌های کربنی هم‌راستا به دو روش نشست بخار شیمیایی کاتالیستی و رشد فاز بخار تهیه شدند. در روش نشست بخار شیمیایی کاتالیستی نانوذرات آهن-مولیبدن با استفاده از روش تجزیهٔ حرارتی تولید شدند. این ذرات تقریباً هم‌اندازه و به‌صورت تک‌پخش تهیه شدند. نانولوله‌های کربنی بر روی کاتالیست دو فلزی آهن-مولیبدن بارگذاری شده بر زیرلایهٔ سیلیکونی به‌صورت هم‌راستا رشد یافتند. نتایج طیف‌سنجی 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 نانولوله‌های کربنی بر زیرلایه سیلیکون احتمالاً به علت تک‌کریستال 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

Archive of SID

www.SID.ir

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

[۵] 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*، ۷۶، (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-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 هاشمی‌کیا، 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.

Archive of SID

www.SID.ir

Growth of aligned carbon nanotubes by catalytic chemical vapor deposition and vapor phase methods

Mansour Farbod[1,*], Hadyeh Hashemi kia[1], Alireza Kiasat[2]

[1]Department of Physics, Faculty of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

[2]Department 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 (C_2H_2) as the carbon source, argon (Ar) as the carrier gas, hydrogen (H_2) 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 ℃. 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 (FESEM Mira3 TESCAN) and EDX analysis. Also, Raman spectroscopy 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

* Corresponding Author: Farbod_m@scu.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir