

ساخت الکترودهای بر پایه گرافن اکسید کاهیده و بررسی مقدار بارگذاری نانوذرات کبالت

سید حمید احمدی^{۱*}، کاظم کارگشا^۲ و پیام همت خواه^۳

۱- دانشیار شیمی تجزیه، پژوهشکده فناوری‌های پاک، پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران، تهران، ایران

۲- استاد شیمی تجزیه، پژوهشکده فناوری‌های پاک، پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران، تهران، ایران

۳- دانشجوی دکتری شیمی تجزیه، پژوهشکده فناوری‌های پاک، پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران، تهران، ایران

دریافت: فروردین ۱۳۹۶، بازنگری: مرداد ۱۳۹۶، پذیرش: شهریور ۱۳۹۶

چکیده: در این پژوهش، نانوصفحات گرافن با استفاده از روش ولتاسنجی چرخه‌ای از محلول کلونیدی گرافن اکسید بر الکتروده کربن شیشه‌ای نشانده و کاهیده شد. روش کاهش شیمیایی و غوطه‌ورسازی نیز به منظور مقایسه با روش الکتروشیمیایی برای کاهش و نشانیدن گرافن اکسید روی الکتروده کربن شیشه‌ای بررسی و مقدار بارگذاری نانوذره فلزی کبالت در دو روش مورد مقایسه شد. نانوذرات فلزی کبالت نیز به روش الکتروشیمیایی روی الکترودهای بر پایه گرافن سنتز شدند. الکترودهای به دست آمده با میکروسکوپ الکترونی روبشی شناسایی شدند. همچنین، پاسخ ولتاسنجی چرخه‌ای الکترودهای چندسازه گرافن-نانوذره کبالت در محلول آبی فسفات مورد مقایسه قرار گرفت و مشخص شد که پاسخ ولتاسنجی چرخه‌ای الکتروده ساخته شده نسبت به روش الکتروشیمیایی پاسخ و نوفه قوی‌تری نسبت به یون فسفات ایجاد می‌کند. بر پایه نتایج به دست آمده نتیجه‌گیری می‌شود که روش کاهش کاتدی نسبت به روش کاهش شیمیایی و غوطه‌ورسازی روش مناسبی برای ساخت الکترودهای بر پایه گرافن است. یافته‌های این مطالعه می‌تواند در آینده در طراحی و ساخت حسگرهای الکتروشیمیایی بر پایه گرافن و نانوذرات فلزی به‌عنوان عوامل حسگر مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: گرافن اکسید، نانوذرات کبالت، کاهش الکتروشیمیایی، کاهش شیمیایی، الکتروده بر پایه کربن

مقدمه

حسگرهای الکتروشیمیایی و حسگرهای زیستی در حال جهش است. نانومواد گرافنی متنوعی شامل نانوذرات فلزی، نانوجندسازه، نانوسیم و نانولیف به‌عنوان اتصال‌های الکتریکی بین الکترودها و مراکز اکسایش-کاهش زیست‌مولکول‌ها به کار گرفته شده‌اند. ویژگی‌های گرافن مانند انتقال الکترونی سریع، رسانش گرمایی بالا، انعطاف‌پذیری مکانیکی بالا و زیست‌سازگارپذیری، گرافن و مشتقات آن را به یک گزینه مناسب برای ساخت الکتروشیمیایی تبدیل کرده است. باوجود ویژگی‌های متعدد گرافن، فقط دو ویژگی مساحت سطح زیاد و رسانش الکتریکی آن به کاربردهای

گرافن تک لایه‌های اتم‌های کربن است که به‌طور محکم در یک شبکه بلوری لانه‌زنبوری دوبعدی انباشته شده‌اند. در سال‌های اخیر، توجه زیادی روی گرافن و مشتق‌های آن متمرکز شده است، به‌گونه‌ای که در هر شاخه‌ای از علوم [۱]، پزشکی [۲] و مهندسی [۳] مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. مواد مبتنی بر گرافن تأثیر عمیقی بر ابزارهای الکترونیک و اپتوالکترونیک [۴]، حسگرهای شیمیایی [۵]، نانوجندسازه‌ها [۶]، زیست‌حسگر نوری [۷] و منابع ذخیره انرژی [۸] می‌توانند داشته باشند. کاربردهای نوین نانومواد گرافنی در

این پژوهش نیز تلاش شد روش الکتروشیمیایی و به بیان دقیق‌تر ولتاسنجی چرخه‌ای برای ساخت الکتروده بر پایه گرافن مورد بررسی قرار گیرد.

بخش تجربی

دستگاه‌ها و مواد شیمیایی

گرافن اکسید از شرکت Xgscience از ایالات متحده خریداری شد. مواد شیمیایی دیگر مورد استفاده از شرکت مرک آلمان تهیه شدند. دستگاه الکتروشیمیایی BP2062 ساخت شرکت به پژوه ایران با سامانه سه الکترودی مورد استفاده قرار گرفت. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) با میکروسکوپ مدل Vega3 ساخت شرکت Tescan از کشور جمهوری چک، گرفته شدند. آب فوق خالص با رسانش الکتریکی کمتر از $0.1 \mu\text{S/cm}$ میکروزیمنس بر سانتی‌متر با دستگاه miliQ اتحادیه اروپا تهیه شد.

ساخت الکتروده بر پایه گرافن

روش اول: کاهش کاتدی گرافن اکسید

پیش از ولتاسنجی چرخه‌ای، سطح الکتروده کربن شیشه‌ای پاک شد و در آب و اتانول در دستگاه فرافوت قرار داده شد. 250 mg میلی‌گرم گرافن اکسید در 250 mL میلی‌لیتر آب فوق خالص به کمک موج فرافوت حل شد. محلول قهوه‌ای - سیاه به دست آمده برای ماه‌ها پایدار باقی می‌ماند. الکتروده کربن شیشه آماده شده، در محلول گرافن اکسید قرار داده شد و پتانسیل در گستره -1.5 تا 1.0 ولت با سرعت 50 mV/s میلی‌ولت بر ثانیه روبش شد. ولتاسنجی چرخه‌ای در محلول گرافن اکسید همراه با هم‌زدن مغناطیسی و دمیدن آرگون با دستگاه الکتروشیمیایی BP2062 با سامانه سه الکترودی که الکتروده کربن شیشه در آن الکتروده کار بود، انجام شد. الکتروده پلاتین و نقره/نقره کلرید هم به ترتیب الکتروده کمکی و الکتروده مرجع بودند. پس از پایان ولتاسنجی، سطح الکتروده اصلاح شده با آب به‌دقت شسته شد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی به‌وسیله دستگاه Vega3 گرفته شدند.

الکتروشیمیایی مربوط هستند. در مقایسه با نانولوله کربنی، گرافن چندین مزیت مانند قیمت پایین‌تر، سطح بزرگ‌تر و فرایند تهیه آسان‌تر را دارد. افزون بر آن، گرافن سنتز شده از گرافیت، عاری از ناخالصی‌های فلزی بوده است و ارزان‌تر است [۹]. در گرافن در مقایسه با نانولوله‌های کربنی، تعداد زیاد لبه‌ها برحسب جرم ماده، امکان افزایش سرعت‌های انتقال الکترونی غیر همگن^۱ را فراهم می‌سازد [۱۰]. فعالیت الکتروشیمیایی گرافن مربوط به حضور صفحه‌های sp^2 و تعداد بالاتر لبه‌های سطح است اما در نانولوله‌های کربنی فعالیت الکتروشیمیایی می‌تواند مربوط به ناخالصی‌ها هم باشد. رفتار بهتر گرافن در سینتیک انتقال الکترونی، فرایندهای اکسایش - کاهش را برای مولکول‌هایی که به‌طور معمول نیاز به پتانسیل‌های بالا دارند تا اکسید شوند را تسهیل می‌کند. آرایش اتم‌های کربن ویژگی‌های فوق‌العاده‌ای مانند مساحت سطح زیاد (از دید نظری $2630 \text{ m}^2/\text{g}$ برای یک لایه گرافن) را فراهم می‌کند که دو برابر مساحت سطح نانولوله کربنی تک دیواره است [۱۱]. گرافن همچنین رسانش گرمایی و الکتریکی عالی دارد و یک نیم‌رسانا با شکاف صفر است و چون هیچ شکافی بین نوارهای ظرفیت و رسانایی خود ندارد و می‌توان آن را به‌عنوان رسانا یا فلز در نظر گرفت [۱۰]. از نظر ویژگی‌های فیزیکی گرافن شفافیت نوری، قدرت مکانیکی و الاستیسیته بالایی دارد [۱۳].

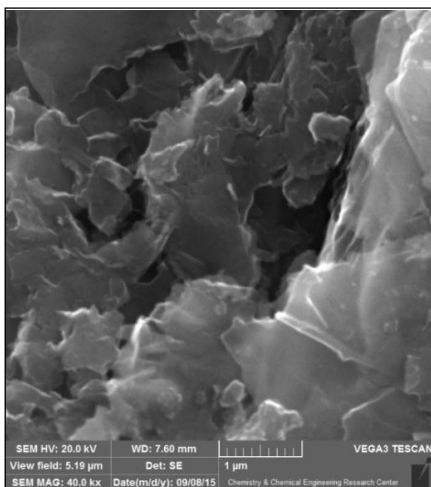
هنگامی که منبع کربنی گرافیت است، می‌توان گرافن اصلاح شیمیایی شده که شامل گرافن اکساید^۲ و گرافن اکساید کاهش‌یافته^۳ است را تهیه کرد. در این پژوهش، گرافن اکسید با استفاده از روش ولتاسنجی چرخه‌ای از محلول کلوئیدی آن بر الکتروده کربن شیشه‌ای نشانه و کاهش داده شد. در عین حال روش کاهش شیمیایی و غوطه‌ورسازی نیز به‌منظور مقایسه با روش الکتروشیمیایی برای کاهش و نشان دادن گرافن اکسید بر الکتروده کربن شیشه مورد بررسی قرار گرفت و میزان بارگذاری نانوذره فلزی کبالت در دو روش مورد مقایسه قرار گرفت. روش الکتروشیمیایی نسبت به روش‌های دیگر اصلاح سطح الکتروده مزایایی از جمله سادگی، ارزانی، عدم نیاز به تجهیزات پیچیده و کاهش آلودگی زیستی را به همراه دارد. در

1. Heterogenous Electron Transfer (HET)

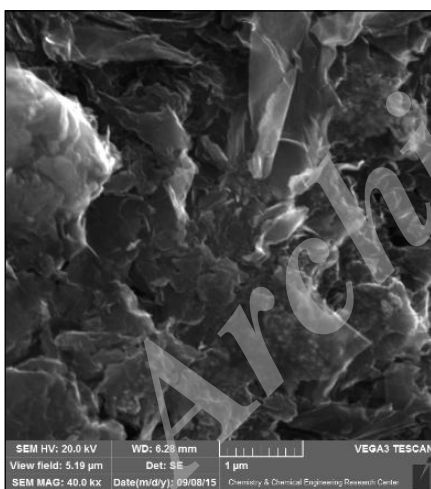
2. Graphene oxide (GO)

3. Reduced Graphene Oxide (rGO)

حدود صفر ولت و کاتدی ۰/۲۵ - ولت مربوط به جفت اکسایشی- کاهشی گروه‌های حاوی اکسیژن روی صفحه گرافن اکسید است.



شکل ۲ تصویر SEM الکتروود بر پایه گرافن تهیه شده به روش کاهش الکتروشیمیایی (کاتدی)



شکل ۳ تصویر SEM الکتروود بر پایه گرافن تهیه شده به روش کاهش شیمیایی و غوطه‌ورسازی

روش دوم: کاهش شیمیایی گرافن اکسید و غوطه‌ورسازی ۳۰۰ میلی گرم گرافن اکسید در ۱۰۰ میلی لیتر آب خالص حل شد و به مدت ۳۰ دقیقه تحت امواج فراصوت قرار گرفت. سپس تعلیق تا ۹۵ درجه سانتی گراد گرما داده شد و ۱۰ میلی لیتر هیدرازین هیدرات به آن افزوده شده و به مدت ۲۰ ساعت در دمای ۹۵ درجه نگه‌داشته شد. در نهایت گرافن کاهیده شده با صاف کردن به شکل پودر سیاه‌رنگ جدا شد و چندین بار با آب شسته شد تا هیدرازین اضافی حذف شود. الکتروود کربن شیشه به مدت چهار ساعت در محلول آبی تهیه‌شده از پودر گرافن اکسید کاهش‌یافته غوطه‌ور شد تا فیلم گرافن روی سطح الکتروود تشکیل شود و در نهایت سطح الکتروود اصلاح‌شده با آب میلی کیو به‌دقت شسته شد. شکل ۱ واکنش کاهش شیمیایی با هیدرازین در محیط آمونیاک را نشان می‌دهد.

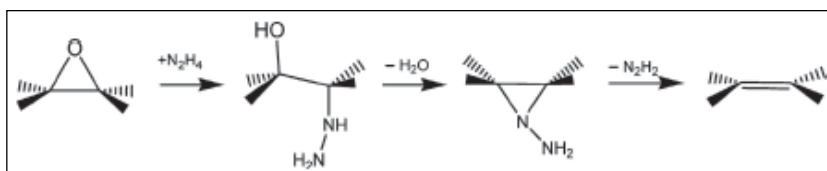
ریخت‌شناسی گرافن

شکل‌های ۲ و ۳، به ترتیب تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گرافن کاهش‌یافته به روش الکتروشیمیایی و گرافن کاهش‌یافته به روش شیمیایی را نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود گرافن کاهش‌یافته به روش شیمیایی، شبیه به کاغذ چروک شده است درحالی‌که گرافن کاهش‌یافته به روش الکتروشیمیایی به‌صورت لایه‌ای و منظم‌تر است.

نتیجه‌ها و بحث

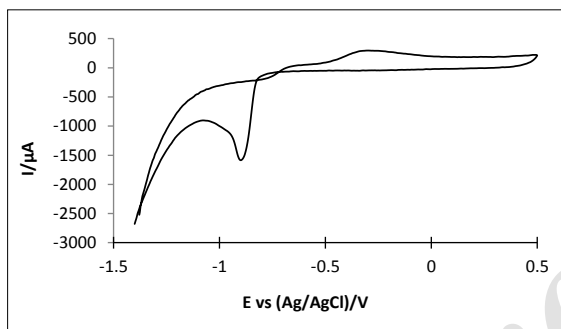
کاهش کاتدی گرافن اکسید

شکل ۴ ولتاموگرام چرخه‌ای گرافن اکسید بر روی سطح الکتروود کربن شیشه را نشان می‌دهد که در آن یک قله آندی و دو قله کاتدی در طی این فرایند مشاهده می‌شود. جریان پیک کاتدی حدود ۱۰ - ولت مربوط به کاهش الکتروشیمیایی برگشت‌ناپذیر گرافن اکسید و پیک آندی در



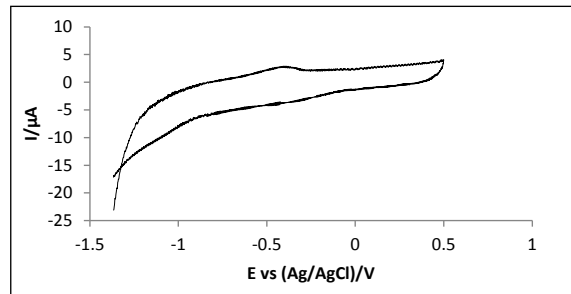
شکل ۱ واکنش کاهش شیمیایی با هیدرازین در محیط آمونیاک

می‌یابد، عملکرد و پایداری آن مؤثرتر می‌شود. بدین منظور به‌عنوان الگو، از نانوذره کبالت برای بررسی میزان بارگذاری آن روی الکترودهای بر پایه گرافن استفاده شد. در شکل ۶، ولتاموگرام الکترودهای بر پایه گرافن در محلول کبالت سولفات به همراه سدیم سولفات و بوریک اسید را نشان می‌دهد، پیک کاتدی در حدود -0.9 ولت به کاهش یون Co^{2+} روی سطح الکترودها و تشکیل نانوذرات کبالت مربوط می‌شود، پیک آندی 0.3 ولت نیز مربوط به حل شدن جزئی کبالت قرار گرفته بر سطح الکترودها است.



شکل ۵ ولتاموگرام الکترودهای بر پایه گرافن در محلول حاوی کبالت سولفات، سدیم سولفات و بوریک اسید، سرعت روبش 50 میلی‌ولت بر ثانیه

به‌منظور مقایسه مقدار نانوذرات کبالت بارگذاری، ولتاسنجی چرخه‌ای روی الکترودهای کربن شیشه، الکترودهای بر پایه گرافن تهیه شده به روش کاهش شیمیایی-غوطه‌ورسازی و الکترودهای بر پایه گرافن تهیه شده به روش کاهش کاتدی انجام گرفت. شکل ۶، مقدار کبالت بر سطح (بر مبنای تجزیه EDX) این الکترودها را به ترتیب نشان می‌دهد. نتیجه‌ها نشان داد که مقادیر بیشتری از کبالت بر الکترودهای گرافنی تهیه شده از طریق الکتروشیمیایی در مقایسه با الکترودهای گرافنی تهیه شده از طریق کاهش شیمیایی و غوطه‌ورسازی و نیز الکترودهای کربن شیشه، بارگذاری شده است و نشان می‌دهد که روش الکتروشیمیایی برای ساخت حسگرهای الکتروشیمیایی و زمانی که عامل حس کننده فلز است، برتری دارد. افزون بر آن، همان‌طور که از تصاویر SEM نیز مشخص است (شکل‌های ۷ تا ۸)، از



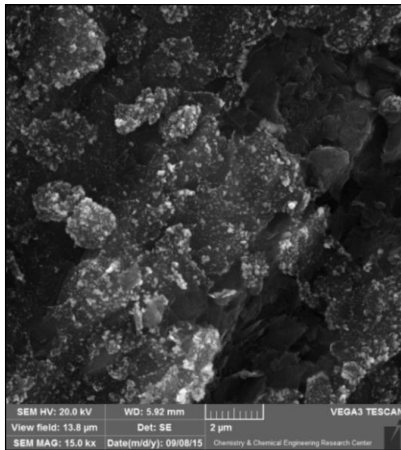
شکل ۶ ولتاموگرام چرخه‌ای گرافن اکسید روی سطح الکترودهای کربن شیشه، سرعت روبش 50 میلی‌ولت بر ثانیه

اثر pH در پایداری الکترودهای ساخته شده

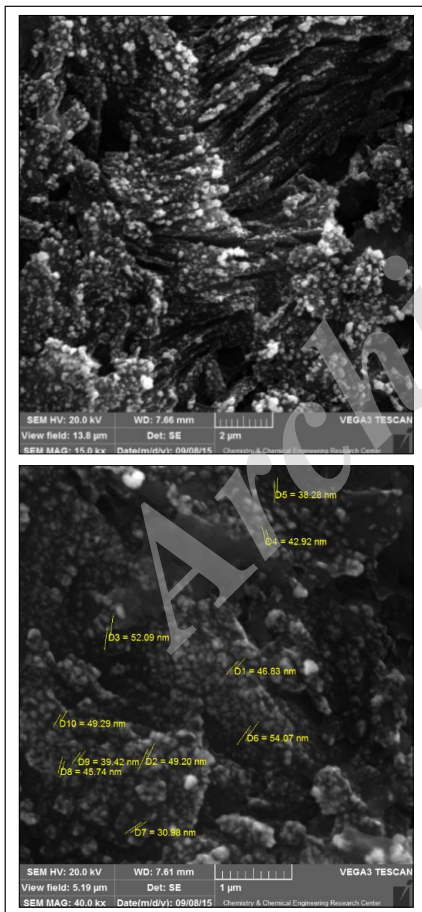
پایداری الکترودهای بر پایه گرافن ساخته شده در گستره pH ۱ تا ۱۱ مورد بررسی قرار گرفت. با آزمایش حلالیت و روش غوطه‌وری مشاهده شد که فیلم گرافن در محلول‌های قلیایی قوی بالاتر از ۱۰ از روی سطح الکترودها جدا می‌شود و الکترودهای فیلم گرافن تهیه شده در چنین محلول‌هایی مانند سدیم هیدروکسید 0.1 مولار ناپایدار است. این یافته در هنگام ساخت و استفاده از الکترودهای چندسازه و حسگرهای الکتروشیمیایی بر پایه گرافن ارزشمند است.

بهبود بارگذاری نانوذرات بر الکترودها اصلاح شده

در بسیاری از حسگرهای الکتروشیمیایی از فلزات و اکسید فلزات به‌عنوان عامل حس کننده استفاده می‌شود و به‌تقریب در همه موارد لازم است که فلز استفاده شده به‌عنوان عامل حس کننده از درجه خلوص بسیار زیادی برخوردار باشد. از این رو، هزینه ساخت حسگر تا حد قابل توجهی افزایش می‌یابد. سادگی استفاده محض از روش‌های الکتروشیمیایی که زمان ساخت حسگر را نسبت به روش‌های شیمیایی و گرمایی کاهش می‌دهد و نیز پاک و دوستدار محیط‌زیست بودن این روش، مزیت بزرگی است. افزون بر آن، فرایند ساخت حسگر در کارهای گذشته وقت‌گیر بوده است اما با روش الکتروشیمیایی تحت زمان کوتاه‌تر و آسان‌تر حسگر ساخته می‌شود. به‌طور معمول هرچه درصد بارگذاری عامل حس کننده آنالیت در حسگر افزایش

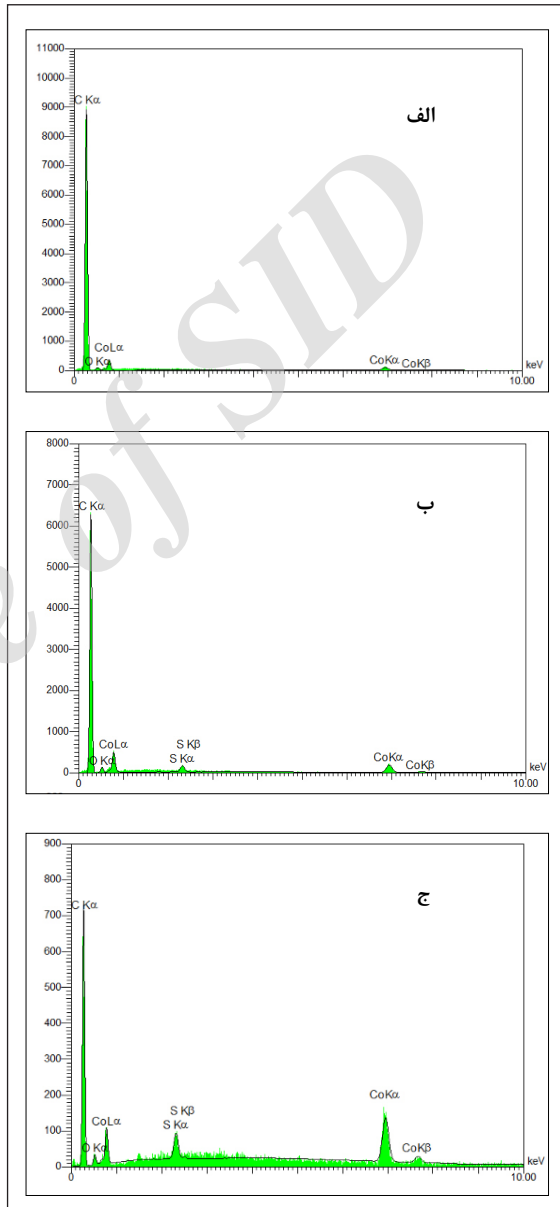


شکل ۷ تصویر SEM نانوذرات کبالت روی الکترود بر پایه گرافن تهیه شده به روش کاهش شیمیایی-غوطه‌ورسازی



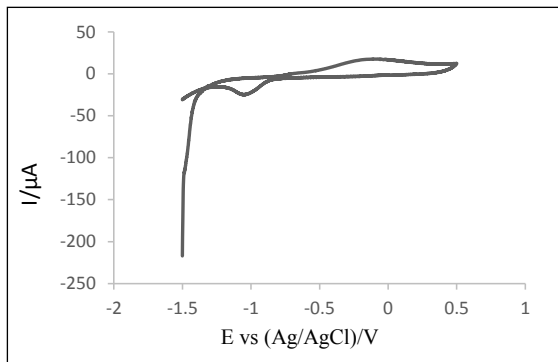
شکل ۸ تصویر SEM نانوذرات کبالت روی الکترود بر پایه گرافن تهیه شده به روش کاهش کاتدی شیشه اصلاح شده با گرافن

این روش می‌توان برای سنتز ذرات فلزی در مقیاس نانو نیز استفاده کرد و انتظار داشت که ویژگی‌های تجزیه‌ای حسگر نیز بهبود پیدا کند.

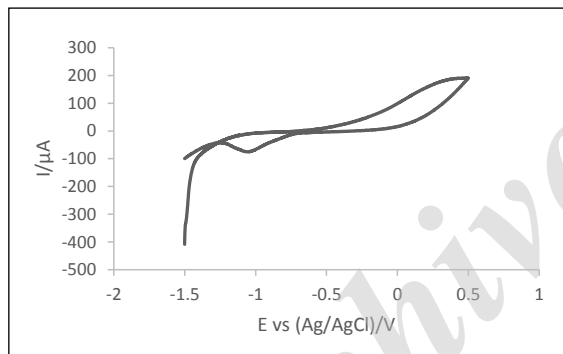


شکل ۶ طیف‌های EDX: (الف) الکترود کربن شیشه، (ب) الکترود بر پایه گرافن ساخته شده به روش کاهش شیمیایی و غوطه‌ورسازی و (ج) الکترود بر پایه گرافن ساخته شده به روش احیای کاتدی (مقدار کبالت قرار گرفته روی سطح الکترودها به ترتیب ۲۷، ۴۱ و ۷۴ درصد است).

الکترودهای بر پایه گرافن، روش برتر است.



شکل ۹ ولتاموگرام الکتروکروم چندسازه گرافن-نانوذره کبالت (روش کاهش شیمیایی و غوطه‌وری) در محلول فسفات ۴-۱۰ مولار، سرعت روبش ۵۰ میلی ولت بر ثانیه



شکل ۱۰ ولتاموگرام الکتروکروم چندسازه گرافن-نانوذره کبالت (روش کاهش کاتدی) در محلول فسفات ۴-۱۰ مولار، سرعت روبش ۵۰ میلی‌ولت بر ثانیه

الکترودهای چندسازه گرافن-نانوذره کبالت در این پژوهش برای حسگری یون فسفات در محلول‌های آبی مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از محلول فسفات ۴ تا ۱۰ مولار استفاده و پاسخ ولتانسجی چرخه‌ای الکترودهای ساخته شده مشاهده شد. همان‌طور که در شکل‌های ۹ و ۱۰ مشاهده می‌شود پاسخ بهتر مربوط به الکتروکروم چندسازه گرافن-نانوذره کبالت است که به‌طور کامل به روش الکتروشیمیایی ساخته شده و نشان می‌دهد که روش الکتروشیمیایی برای ساخت الکترودهای چندسازه گرافن به‌ویژه برای کاربردهای حسگری روش مناسب‌تری است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش الکترودهای بر پایه گرافن به دو روش الکتروشیمیایی و غوطه‌ورسازی ساخته شد و مورد شناسایی قرار گرفت. همچنین، نانوذرات کبالت روی سطح الکترودهای ساخته شده و الکتروکروم کربن شیشه بارگذاری شد. بالاترین مقدار نانوذرات کبالت بر الکتروکروم گرافنی ساخته شده به روش الکتروشیمیایی، بارگذاری شده بود. روش الکتروشیمیایی روشی سریع، کم‌هزینه و پاک نسبت به روش شیمیایی است و افزون بر آن، امکان ساخت حسگرها بر پایه گرافن و نانوذرات فلزی مانند کبالت نیز تحت این روش وجود دارد. ولتانسجی چرخه‌ای الکترودهای ساخته شده نیز در محلول فسفات مورد مقایسه قرار گرفت. نتیجه‌های به‌دست آمده نشان داد که روش کاهش کاتدی (الکتروشیمیایی) برای ساخت

مراجع

- [1] Yao, J.; Sun, Y.; Yang, M.; Duan, J. Mater. Chem. 22 (29) 14313–14329, 2012.
- [2] Zhang, H.; Gruner, G.; Zhao, Y.; J. Mater. Chem. B 1 (20) 2542–2567, 2013.
- [3] Cohen, M. L.; Mater. Sci. Eng. C, 15 (1) 1–11, 2001.
- [4] Berger, C.; J. Phys. Chem. B 108 (52) 19912–19916, 2004.
- [5] Shao, Y.; Wang, J.; Wu, H.; Liu, J.; Aksay, I.; Lin Y.; Electroanalysis, 22 (2) 139–152, 2010.
- [6] Zhang, Y.; Yang, A.; Zhang, X.; Zhao, H.; Li, X.; Yuan, Z.; Colloids and Surf. A: Physico-chem. Eng. Asp. 436 (1) 815–822, 2013.
- [7] Xu, H.; Wang, D.; He, S.; Li, D.; Feng, B.; Ma, P.; Xu, P.; Gao S.; Zhang, S.; Liu, Q.; Lu, J.; Song, S.; Fan, C.; Biosens. Bioelectron. 50 (2) 251–255, 2013.
- [8] Xu, C.; Xu, B.; Gu, Y.; Xiong, Z.; Sun, J.;

- Zhao, X. S.; *Energy Environ. Sci.* 6 (8) 1388–1414, 2010.
- [9] Pumera, M.; Ambrosi, A.; Bonanni, A.; Chng, E. L. K.; Poh, H. L.; *TrAC, Trends Anal. Chem.* 29 (6) 954–965, 2010.
- [10] Ambrosi, A.; Bonanni, A.; Sofer, Z.; Cross, J. S.; Pumera, M., *Chem. Eur. J.* 17 (38) 10763–10770, 2011.
- [11] Stankovich, S.; Dikin, D.A.; Dommett, G. H. B.; Kohlhaas, K. M.; Zimney, E.J.; Stach, E.A.; Piner, R.D.; Nguyen, S.T.; Ruoff, R.S.; *Nature* 442 (3) 282–286, 2006.
- [12] Park, S.; Ruoff, R.S.; *Nat. Nanotechnol.* 4 (3) 217–224, 2009.
- [13] Lee, C.; Wei X.; Kysar J.W.; Hone, J.; *Science* 321 (4) 385–388, 2008.
- [24] Abbasi, Z., Haghghi, M., Fatehifar, E., Saedy, S., *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 9, 2011.
- [25] Mahmoud, H.R., *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 392, 216-222, 2014.
- [26] Rezaee, L., Haghghi, M., *RSC Advances*, 6, 34055-34065, 2016.
- [27] Mohammadkhani, B., Haghghi, M., Sadehghpour, P., *RSC Advances*, 6, 25460-25471, 2016.
- [28] Asghari, E., Haghghi, M., Rahmani, F., *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 418-419, 115-124, 2016.
- [29] Ajamein, H., Haghghi, M., *Energy Conversion and Management*, 118, 231-242, 2016.
- [30] Aghaei, E., Haghghi, M., Pazhohniya, Z., Aghamohammadi, S., *Microporous and Mesoporous Materials*, 226, 331-343, 2016.
- [31] Spasiano, D., Marotta, R., Malato, S., Fernandez-Ibañez, P., Di Somma, I., *Applied Catalysis B: Environmental*, 170-171, 90-123, 2015.
- [32] Senthilraja, A., Subash, B., Dhatshanamurthi, P., Swaminathan, M., Shanthi, M., *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 138, 31-37, 2015.
- [33] Velmurugan, R., Swaminathan, M., *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 95, 942-950, 2011.
- [34] Sobana, N., Swaminathan, M., *Separation and Purification Technology*, 56, 101-107, 2007.

Fabrication of reduced graphene oxide-based electrodes: Comparison of cobalt nanoparticles loading

H. Ahmadi^{1,*}, K. Kargosha² and P. Hemmatkhah³

1. Associate Prof. Chemistry & Chemical Engineering Research Center of Iran, Tehran, Iran
2. Prof. Chemistry & Chemical Engineering Research Center of Iran, Tehran, Iran
3. PhD Student Chemistry & Chemical Engineering Research Center of Iran, Tehran, Iran

Received: April 2017, Revised: August 2017, Accepted: September 2017

Abstract: Graphene nanosheets were deposited and reduced on a glassy carbon electrode from a colloidal graphene oxide solution using cyclic voltammetry. Chemical reduction and immersion for reducing and depositing of graphene was also investigated to compare with the electrochemical method. Cobalt nanoparticles were also synthesized via an electrochemical approach. The resulting electrodes were characterized with scanning electron microscopy and cyclic voltammetric response of the graphene-Co NPs composite electrodes in the phosphate solutions were compared in this study and it was made clear that the composite electrodes fabricated with the electrochemical methods gave better response and signal towards the phosphate ion. Based on the resulted data, it leads to conclusion that the cathodic reduction method is the preferred one to fabricate graphene-based composite electrodes, in comparison with the chemical reduction/immersion method. Findings from the current study can be applied in future for designing and fabricating electrochemical sensors based on graphene and nanometal particles as sensing agents.

Keywords: Graphene oxide, Cathodic reduction, Chemical reduction, Graphene-based electrode, Cobalt NPs