

ایجاد روکش نانوکامپوزیتی کروم-گرافن بر روی مس و بررسی مقاومت مکانیکی آن

سیدمسعود موسوی^{۱*}، مهرداد منطقیان^۲ و صاحبعلی منافی^۱

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شاهرود، گروه فنی و مهندسی، شاهرود، ایران

۲- دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی شیمی، تهران، ایران

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۹۲/۰۴/۲۹، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۹۲/۰۸/۱۱، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۹۲/۰۹/۱۵

چکیده

در این تحقیق روش استخراج کروم از کرومات پتاسیم و نشست آن بر روی کاتد مس به روش هیدرومتالورژی مورد بررسی قرار گرفته است. این روش شامل دو مرحله، حل کردن و الکترولیز است. در مرحله حل کردن، اثر غلظت کروم و نسبت اسید به کرومات پتاسیم مورد مطالعه قرار می‌گیرد و در بخش الکترولیز اثر دانسیته جریان، pH، فاصله آند و کاتد، غلظت الکترولیت و دما مورد بررسی قرار گرفته است. شرایط بهینه استخراج کروم از الکترولیت در بخش الکترولیز، دانسیته جریان ۱۰-۸ آمپر بر دسی متر مربع، pH بین ۲-۱/۸، فاصله آند و کاتد ۳/۵-۱/۵ سانتیمتر، غلظت ۵ گرم کروم بر لیتر و همچنین غلظت ۱ گرم پودر نانوغرافن بر لیتر در دمای ۵۰-۴۰ درجه سانتیگراد تعیین شده است. در این مطالعه مشخصه‌یابی پوشش کروم-گرافن با بررسی توپوگرافی AFM، سطح و تعیین مقاومت آن در برابر خراش یا ساییدگی انجام شد. بررسی‌ها افزایش مقاومت را برای روکش نانوکامپوزیتی کروم-گرافن نشان داد. همچنین نتیجه‌گیری شد که اگر چه صفحه مس با لایه‌نشانی کروم، سختی سطح، بیشینه مقاومت کششی، مقاومت تسلیم و درصد کشیدگی، در حد مورد نیاز دارد ولی مقاومت به ضربه این صفحه کم است و صفحه مسی با روکش کروم-گرافن مقاومت به ضربه بیشتری دارد.

واژه‌های کلیدی: کروم، گرافن، الکترولیز، نانوکامپوزیت، AFM.

۱- مقدمه

بهبود خواص رئولوژیکی تولید گرافن، بسیاری از محققین بر روی روش‌های مختلف سنتز و ساخت گرافن از طریق کنترل ریزساختار تحقیقات زیادی را انجام داده‌اند [۴-۶]. در این میان ساخت گرافن توسط روش ترسیب بخار شیمیایی توجه بسیاری از دانشمندان را به خود جذب کرده است [۷، ۸]. این روش از نظر اقتصادی بسیار مقرون به صرفه است و شامل واکنش بین مولکول‌های گاز و کربن در حضور کاتالیزور فلز واسطه در دمای ۹۰۰-۸۰۰ °C به منظور تشکیل ذرات گرافن در اطراف کاتالیزور می‌باشد [۹-۱۱]. در این روش ابتدا مولکول‌ها در

اتم‌های گرافن دارای خواص منحصر بفردی همانند مدول یانگ بالا، مقاومت بالا در برابر شکست، رسانایی حرارتی خوب، تحرک پذیری بالای حاملان بار یا به عبارت دیگر رسانایی الکتریکی بالا، مساحت سطحی ویژه بالا و پدیده‌های انتقالی شگفت‌انگیزی همچون اثر کوانتومی هال می‌باشند که از اینرو کاربردهای گسترده‌ای را در صنایع مختلف همانند صنایع پلیمری، ابزارهای بلور مایع و نوسانگرهای مکانیکی پیدا کرده‌اند [۱-۳]. جهت اصلاح و

* عهده‌دار مکاتبات: سیدمسعود موسوی

نشانی: شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود، دانشکده فنی و مهندسی

تلفن: ۰۲۷۳-۳۳۹۴۲۸۳، دورنگار: ۰۲۷۳-۳۳۹۴۲۸۳، پست الکترونیکی: masoudmousavi826@yahoo.com

بنشینند و به همین دلیل از گرافن برای این کار استفاده شده است. هدف از عملیات هیدرومتالورژی ایجاد نانوذرات کروم-گرافن برای تولید یک روکش مقاوم به سایش و رسیدن به سختی سطحی در نمونه‌های مورد آزمایش بود. برای بررسی ریزساختار هر صفحه مس، نمونه‌ها طبق استاندارد ASTM E3-1995 آماده شدند و در محلول نایتال ۲٪، اچ شدند. آزمایش‌های مقاومت به سایش سه جسمی طبق استاندارد ASTM G105-1989 در دستگاه چرخ لاستیکی و آزمایش‌های مقاومت به سایش دو جسمی طبق استاندارد ASTM G132-1996 در دستگاه میله روی دیسک انجام شد. برای مقایسه مقاومت سایشی، سایش نسبی که عبارت از نسبت کاهش جرم نانوذرات ترسیب شده روی هر صفحه در مقایسه با کاهش جرم در سایر صفحات مورد آزمایش بود، محاسبه شد [۳۰].

۲- فعالیت‌های تجربی

۲-۱- مواد اولیه

در کار حاضر از مواد کرومات پتاسیم صنعتی (K_2CrO_4)، (محصول Merck با وزن مولکولی ۱۹۴/۲ گرم بر مول)، همچنین اسید سولفوریک (H_2SO_4)، (محصول Merck، خلوص ۹۸٪ و وزن مولی ۹۶/۰۸ مول بر لیتر)، گرافن نانومتری (محصول Us-Nano خلوص ۹۹/۵٪ و قطر ذرات ۱۲-۴ میکرومتر، اندازه ذرات ۱۸-۲ نانومتر)، سود سوزآور ($NaOH$)، (محصول Merck با درصد خلوص بالا و وزن مولکولی ۳۹/۹۹ گرم بر مول)، محلول آب اکسیژنه (H_2O_2)، (محصول Merck با درصد خلوص بالا و وزن مولی ۳۴/۰۱ مول بر لیتر) برای تنظیم pH، آب دیونیزه برای تهیه محلول اولیه و همچنین شستشوی رسوب استفاده شدند.

۲-۲- الکترولیز کروم-گرافن

به منظور تهیه نانوذرات کروم از روش هیدرومتالورژی استفاده گردید. بدین ترتیب که ابتدا مقداری اسید سولفوریک با حجم مشخص در آب مقطر حل شد. سپس مقدار ۵ گرم کرومات پتاسیم با توجه به نسبت حلالیت کرومات پتاسیم در اسید سولفوریک به محلول فوق اضافه

فاز گاز در دمای بالا تجزیه می‌شوند و کربن در حضور یک کاتالیزور فلز واسطه بر روی یک بستر رسوب می‌کند که در آن رشد گرافن در اطراف ذرات کاتالیزور انجام می‌شود. روش CVD با وجود اینکه پتانسیل زیادی برای تولید گرافن با سطح بزرگ از خود نشان می‌دهد، اما نیاز به انتقال نمونه به بسترهای دیگر از طریق انتقال مکانیکی یا از طریق فرآوری محلول به منظور ایجاد وسایل سودمند را دارد. این روش پتانسیل زیادی برای تولید مقدار زیادی از گرافن را دارا می‌باشد [۱۵-۱۲].

اتم‌های گرافن در یک شبکه دو بعدی و کندو مانند به هم متصل شده‌اند [۱۸-۱۶]. این ماده دارای ضخامت یک اتم با ویژگی منحصربفرد است، که بدلیل ضخامت کم، این ماده را به عنوان باریک‌ترین ماده جهان نیز می‌شناسند [۱۹]. یکی از راه‌های تولید گرافن این است که آنقدر لایه‌های گرافیت از هم دور شود تا به گرافن تبدیل شود [۲۳-۲۰].

گرافن همچنین به عنوان محکم‌ترین ماده جهان نیز می‌باشد و بدلیل ویژگی‌های جذابش از قبیل پایه کربنی و دانسیته اتمی بالای ذرات گرافن، سختی و استحکام مکانیکی بسیار بالا، رسانایی الکتریکی و حرارتی بالا و قابل تنظیم، خصوصیات عالی نوری و سطحی است و همچنین از طریق عامل‌دار کردن شیمیایی جایگزینی مناسب برای سیلیکون است [۲۶-۲۴]. در سال ۲۰۰۴، امکان جداسازی لایه‌های منفرد گرافیت با ضخامت یک اتم که به آن گرافن گفته می‌شد به صورت آزمایشگاهی بوسیله رویه‌سای مکانیکی گرافیت فراهم شد [۲۹-۲۷]. دلیل استفاده از کروم به عنوان لایه محافظ جهت روکش‌دهی فلزات را می‌توان خاصیت چسبندگی و متراکم بودن ذرات کروم دانست که امروزه به وفور در صنعت پوشش‌دهی فلزات از آن استفاده می‌کنند. سطح لایه کروم به علت وجود فشارها و تنش‌های بوجود آمده، ترک می‌خورد و تخلخل و منافذی روی سطح آن ایجاد می‌شود، به همین منظور در این پژوهش از نانوذره گرافن نیز استفاده شده است تا بدینوسیله نانوذره گرافن روی ترک‌های سطح کروم را پر کند و مانع از سایش و خوردگی سطح زیرین شود. گرافن یک سطح کاملاً صاف و دوبعدی دارد و بهتر از هر نانوذره از قبیل نانولوله‌ها می‌تواند روی سطح کاتد

نمونه‌ها توسط میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) مدل Nano Wizard II با زاویه پراش ۱۰ تا ۸۰ درجه انجام گرفت.

۲-۳- ویژگی‌های مکانیکی و ریزساختاری

ویژگی‌های مکانیکی هر سه الکتروُد مس شامل سختی سطح، مقاومت تسلیم، مقاومت کششی نهایی، درصد کشیدگی و مقاومت به ضربه به روش شارپی تعیین و در جدول ۱ نشان داده شده است. همچنین در این جدول مقادیر مطلوب هر ویژگی برای استفاده در صنعت آورده شده است. با مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر مطلوب می‌توان نتیجه گرفت که صفحه مسی بدون ترسیب نانوذرات، بدلیل سختی و مقاومت کششی کم برای استفاده در صنعت پوشش‌دهی فلزات مناسب نیست؛ همچنین صفحه مسی با لایه‌نشانی کروم، سختی سطح، بیشینه مقاومت کششی، مقاومت تسلیم و درصد کشیدگی، در حد مورد نیاز دارد ولی مقاومت به ضربه این صفحه کم است و صفحه مسی کروم‌دار و گرافن‌دار ویژگی‌های لازم را دارا می‌باشد. همچنین نتایج تست‌های گرفته شده با آزمایش‌هایی که قبلا در این زمینه انجام گرفته است از قبیل الکترولیز کروم در Watts Bath و Plus Organic Stress-Relievers Bath مقایسه شد.

مشخصات فیزیکی کروم در حمام‌های مختلف در جدول ۲ آورده شده است.

با بررسی یافته‌ها در روش‌های مختلف مشخص شد که مشخصاتی نظیر سختی نهایی، مقاومت کششی نهایی، مقاومت تسلیم و درصد ازدیاد طول در روش استفاده شده در این پژوهش نسبت به سایر روش‌های موجود برتری دارد.

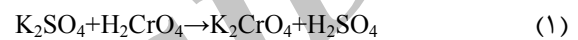
۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی میزان جرم ترسیب شده روی کاتد

در این قسمت نانوذرات رسوب کرده از واکنش الکترولیز، در جداول ۳ و ۴ آورده شده است.

مقایسه نتایج جرم نانوذرات ترسیب شده در هر دو آزمایش، نشانگر این مساله است که در روش دوم، بدلیل

شد. به منظور لایه‌نشانی نانوذرات روی کاتالیست، سوسپانسیون فوق بر روی همزن مغناطیسی دارای هیتز قرار گرفت و سود سوزآور و محلول آب اکسیژنه برای افزایش pH سوسپانسیون، قطره قطره به آن اضافه شد. با تنظیم دمای ۴۰ °C و چرخش آهسته مگنت داخل سوسپانسیون، در حدود pH=۵-۶ ساختار سوسپانسیون، به صورت نانوذرات کروم روی کاتالیست مس تبدیل شد. نانوذرات تشکیل شده روی کاتالیست به مدت ۲ ساعت تحت فرآیند خشک کردن قرار گرفته و سپس چندین بار با آب مقطر جهت خروج اسید کرومیک حاصل از واکنش زیر که به صورت محلول وجود دارد، شسته شد.



سپس در مرحله دوم، آزمایش فوق با استفاده از پودر نانوغرافن به منظور افزایش استحکام کاتالیست در برابر ساییدگی، از طریق پر کردن منافذ و تخلخل‌های کروم توسط گرافن، تکرار شد. بدین صورت که ابتدا مقادیر ۱ گرم پودر نانوغرافن و ۵ گرم کرومات پتاسیم با توجه به نسبت استوکیومتری محاسبه گردید و به محلول اسید سولفوریک اضافه شد و همچنین آزمایش مطابق روش فوق انجام گرفت که در نهایت نانوکامپوزیتی از گرافن و کروم، روی سطح کاتالیست رسوب کرد.

با توجه به اندازه‌گیری ضخامت بدست آمده در هر دو مرحله توسط دستگاه Dek-Tak Stylus Profilometer که به ضخامت‌سنج سوزنی معروف می‌باشد، مشاهده شد که در مرحله اول ضخامت رسوب برابر با ۱/۳ نانومتر و در مرحله دوم، زمانیکه گرافن در محل حضور دارد، ضخامت رسوب به ۱/۹ نانومتر می‌رسد و نتایج حاصل از تست‌های مقاومت در هر سه نمونه مورد آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. در ادامه نمونه‌ها توسط سمباده ۲۰۰ پولیش زده شد و از طریق اچ کردن شیمیایی، عوامل مزاحم جهت تصویربرداری، از روی سطح کاتالیست حذف شدند. در نهایت پروسه خراش انداختن روی سطح کاتالیست به منظور بررسی مقاومت آنها در برابر سایش، توسط دستگاه شر اسکروسکوپ (Shore Scleroscope) با نیروی ۱۰۰ میکرونیوتن صورت گرفت و در آخر، تصویربرداری از

جدول ۱: ویژگی‌های مکانیکی مطلوب برای الکترودهای مورد آزمایش.

ویژگی مکانیکی	مقادیر مطلوب	صفحه مسی بدون لایه‌نشانی	صفحه مسی با لایه‌نشانی کروم	صفحه مسی با لایه نشانی نانو کامپوزیت کروم-گرافن
سختی نهایی (HRC)	۴۵-۵۲	۴۱	۴۷/۶	۴۹
مقاومت کششی نهایی (MPa)	۱۳۷۰-۱۵۷۰	۱۳۵۵	۱۴۹۰	۱۵۴۳
مقاومت تسلیم (MPa)	۱۱۷۰-۱۳۷۰	۱۱۷۲	۱۲۹۲	۱۳۹۷
درصد ازدیاد طول (۵۰ mmGL)	۳-۷	۵/۰۸	۵/۱۰	۳/۹۱
مقاومت به ضربه (در دمای اتاق) (Nm)	>۹/۸۱	۱۱/۲۸	۱۹/۴۲	۳۴/۸۱

جدول ۲: نرخ مشخصات فیزیکی کروم از طریق ته‌نشینی الکتریکی در حمام‌های مختلف [۳۱].

انواع حمام	مقاومت کشش نهایی (N/mm ²)	مقاومت تسلیم (N/mm ²)	درصد کشیدگی (%)	سختی (HV)	تنش داخلی N/mm ²	حد غلظت قبل از جوشش (A/dm ²)
Watts	۳۸۰-۴۵۰	۲۲۰-۲۸۰	۲۰-۳۰	۱۵۰-۲۰۰	۱۴۰-۱۷۰	۲۰
Hard Watts (Containing Ammonium Ions)	۱۰۰۰	۷۵۰	۵-۸	۳۵۰-۵۰۰	۲۸۰-۳۴۰	۲۰
All Chloride	۹۰۰-۷۵۰-۹	۶۵۰	۸-۱۳	۲۰۰-۵۰۰	۲۸۰-۳۴۰	۴۰
Convictional Sulphamate	۵۰۰-۸۰۰	۵۰۰	۱۰-۲۰	۱۶۰-۲۴۰	۷-۷۰	۲۰
Plus Organic Stress-relievers	۱۵۰۰	۸۰۰-۱۰۰۰	۲-۵	۴۰۰-۶۰۰	-۴۰ تا +۱۴	۲۰
Concentrated Sulphamate	۷۵۰-۱۰۰۰	---	۱۰-۱۵	۲۰۰-۳۰۰	-۱۰۰ تا +۱۴۰	۴۰
Fluoborate	۳۸۰-۵۰۰	---	۱۷-۳۰	۱۷۰-۲۲۰	۱۰۰-۱۷۰	۴۰

جدول ۳: میزان کروم رسوب کرده روی کاتد (g).

لایه‌نشانی کروم	وزن کاتد (۱۵ min الکترولیز)	وزن کاتد (۱۰ min الکترولیز)	وزن کاتد (۵ min الکترولیز)	وزن اولیه کاتد
۰/۲۰۵	-----	-----	۱۵/۰۹۵	۱۴/۸۹
۰/۴۱۳	-----	۱۵/۳۰۳	-----	۱۴/۸۹
۰/۶۲۶	۱۵/۵۱۶	-----	-----	۱۴/۸۹

جدول ۴: میزان کروم و گرافن رسوب کرده روی کاتد (g).

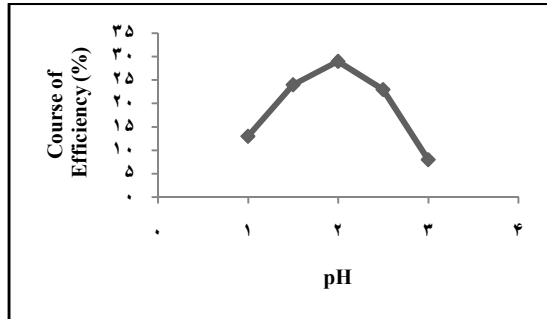
لایه‌نشانی کروم و گرافن	وزن کاتد (۱۵ min الکترولیز)	وزن کاتد (۱۰ min الکترولیز)	وزن کاتد (۵ min الکترولیز)	وزن اولیه کاتد
۰/۲۵۴	-----	-----	۱۵/۱۴۴	۱۴/۸۹
۰/۵۱۶	-----	۱۵/۴۰۶	-----	۱۴/۸۹
۰/۷۸۰	۱۵/۶۷۰	-----	-----	۱۴/۸۹

۳-۲- تعیین اثر دانسیته جریان

برای بررسی اثر دانسیته جریان آزمایش‌هایی با شدت جریان‌های مختلف انجام شد. دانسیته جریان به میزان شدت جریان و میزان فرورفتگی کاتد در محلول بستگی دارد. نحوه تغییرات بازه جریان بر حسب دانسیته جریان

حضور نانوغرافن در الکترولیت، جرم بیشتری روی کاتد می‌نشیند زیرا اتم‌های نانوغرافن بدلیل مساحت سطحی بالایشان می‌توانند منافذ و تخلخل‌های موجود روی سطح کروم را بپوشانند و از اینرو، باعث افزایش مقاومت فلز مس در برابر خراشیدگی و سایش، نسبت به روش اول شوند.

نشانهگر این نکته است که واکنش‌های دیگری بر روی کاتد رخ داده است و آند مانع رسوب کروم می‌شود. محدوده مجاز pH بین ۲-۱/۸ قرار دارد.



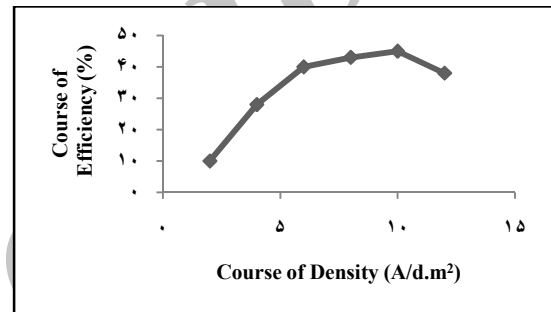
شکل ۲: نمودار اثر pH بر روی بازده جریان.

همچنین کاهش pH به این دلیل است که در روند آزمایش مقداری سود سوزآور و آب اکسیژنه به محلول الکترولیت اضافه می‌شود تا عملیات محلول‌سازی به سهولت انجام گیرد. از آنجائیکه این دو ماده نسبت به اسید سولفوریک خاصیت قلیایی تری دارند بنابراین میزان اسیدیته محلول را کاهش می‌دهند و از اینرو باعث کاهش بازده نیز می‌گردند، زیرا بهترین بازده در این آزمایش در pH پایین حاصل می‌گردد.

۳-۴- بررسی فاصله کاتد و آند

فاصله آند و کاتد دو نقش مهم در فرآیند الکترولیز دارد. اول اینکه روی ولتاژ اعمالی سلول اثر می‌گذارد و باعث افزایش و کاهش آن می‌شود که در نتیجه در ظرفیت دستگاه و قیمت تمام شده محصول اثر می‌گذارد و نقش دوم آن در بازده جریان است. بازده جریان در اثر تغییر فاصله آند و کاتد تغییر می‌کند که در نتیجه تلفات جریان کم یا زیاد می‌شود. برای تعیین نحوه تغییر بازده جریان با فاصله آند و کاتد آزمایش‌هایی مشابه با شرایط آزمایش تعیین اثر pH و با در نظر گرفتن pH در مقدار ثابت ۱/۸ انجام گرفت. نحوه تغییرات بازده جریان بر حسب فاصله آند و کاتد در شکل ۳ نشان داده شده است. چنانچه در تصویر، نشان داده می‌شود با افزایش فاصله آند و کاتد بازده افت می‌کند. با افزایش فاصله مقاومت الکترولیت افزایش می‌یابد، در نتیجه ولتاژ مورد نیاز افزایش یافته، همچنین میزان تلفات انرژی و جریان افزایش می‌یابد. که

در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطوریکه در تصویر مشاهده می‌شود بازده جریان با بالا رفتن دانسیته جریان افزایش می‌یابد. بازده واکنش تا ۴ آمپر بر دسی متر مربع ناچیز می‌باشد و با افزایش دانسیته جریان، بازده تا حدود ۴۰ درصد بالا می‌رود. این امر می‌تواند ناشی از رشد بیشتر رسوب گذاری نسبت به Over Voltage باشد. با افزایش دانسیته جریان پلاریزاسیون موجود در سطح کاتد افزایش یافته و در دانسیته جریان بالاتر از ۱۱ آمپر بر دسی متر مربع، بازده به شدت پایین می‌آید. بنابراین برای رسیدن به بازده مطلوب، بهترین محدوده جریان بین ۸-۱۰ آمپر بر دسی متر مربع است.



شکل ۱: نمودار اثر دانسیته جریان بر روی بازده جریان.

نمودار ارائه شده بیانگر این موضوع است که افت جریان به این خاطر است که، در طی آزمایش با گذشت زمان، املاحی به الکترودها می‌چسبند و از اینرو مقاومت الکترودها در برابر اعمال جریان افزایش می‌یابد که در نتیجه باعث افت جریان می‌شود و به تبع آن، کاهش بازده را در پی خواهد دارد.

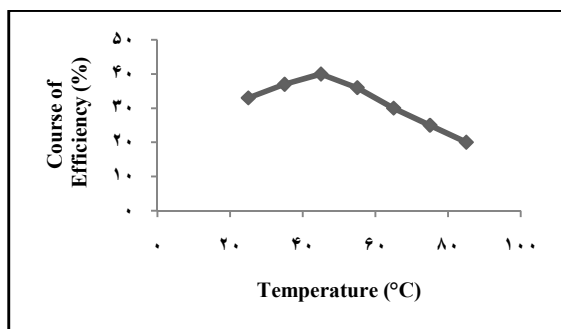
۳-۳- تعیین اثر pH

برای تعیین محدوده pH مناسب برای الکترولیز آزمایش‌های مختلفی انجام شد. نحوه تغییرات بازده جریان بر حسب pH در شکل ۲ نشان داده شده است. آزمایش‌ها با غلظت ۵ گرم کروم در لیتر و در مرحله دوم غلظت ۱ گرم پودر نانوغرافن در لیتر هم اضافه می‌شود. اگر محلول با سرعت ثابتی همزده شود، pH یکنواخت بوده و فقط در یک محدوده خاص است که بازده جریان به مقدار مطلوب می‌رسد و رسوب کردن کروم به سهولت انجام می‌گیرد. تشکیل لایه سیاه رنگ بر روی کاتد در مقادیر pH بالاتر

همچنین با افزایش غلظت ابتدا مقدار بازده افزایش می‌یابد زیرا تعداد یون‌های موثر در واحد حجم که عامل هدایت الکتریسیته هستند، افزایش می‌یابد. اما از حد مشخصی به بعد میزان کاهش مقاومت کم بوده و لذا بازده تقریباً ثابت می‌ماند. در حد مشخصی از غلظت، الکترولیت ممکن است رسوب دهد که این امر در جریان الکترولیز مشکل بوجود می‌آورد.

۳-۶- بررسی اثر دما

برای بررسی اثر دما بر روی بازده جریان و یافتن بهترین دما برای الکترولیز آزمایش‌هایی مشابه با شرایط بررسی اثر غلظت انجام گرفت. در این آزمایش‌ها دما متغیر در نظر گرفته شد. نتایج آزمایش در شکل ۵ آمده است.



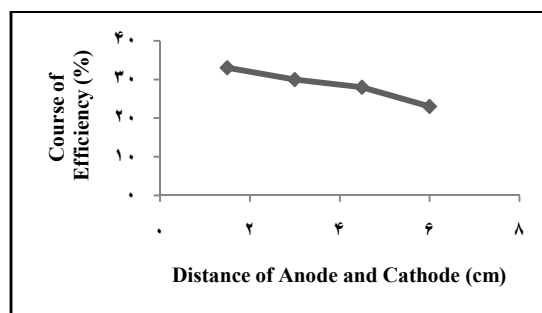
شکل ۵: نمودار اثر دما بر روی بازده جریان.

چنانچه در تصویر مشاهده می‌شود با افزایش دما، هدایت الکتریکی محلول بهبود می‌یابد و در نتیجه مقاومت آن کاهش می‌یابد لذا تلفات انرژی به صورت گرما کمتر می‌شود و در نتیجه بازده جریان افزایش می‌یابد. با بالا رفتن دما از حد مشخصی تبخیر الکترولیت زیاد می‌شود، همچنین شکل رسوب نامناسب می‌شود که این امر موجب کاهش بازده جریان می‌شود. به نظر می‌رسد دمای مناسب حدود ۴۰-۵۰ درجه سانتیگراد است.

۳-۷- نتایج میکروسکوپ نیروی اتمی

تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی نانوکامپوزیت کروم-گرافن در شکل ۶ نشان داده شده است. همانطوریکه در تصاویر مشخص است، در دانسیته یکسان ۹ آمپر بر دسیمتر مربع، نانوکامپوزیت کروم-گرافن (شکل ۶c) رشد

این امر موجب گرم شدن الکترولیت و افت بازده جریان می‌شود. بهترین فاصله بین ۳/۵-۱/۵ سانتیمتر است.

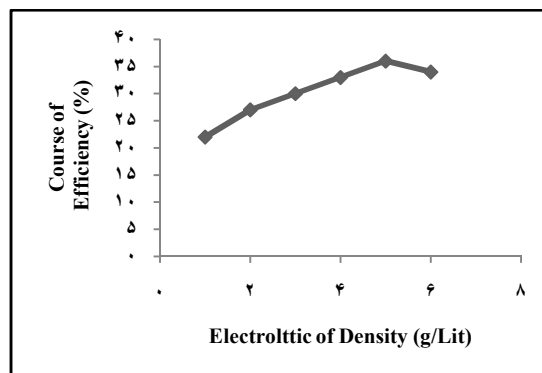


شکل ۳: نمودار اثر فاصله آند و کاتد بر روی بازده جریان در دانسیته جریان ثابت.

شکل ۳ نشان می‌دهد که در فاصله بیشتر بازده افت پیدا کرده و در فواصل کمتر احتمال رشد رسوب و اتصال کوتاه بین آند و کاتد افزایش می‌یابد.

۳-۵- بررسی اثر غلظت الکترولیت

در این آزمایش‌ها مشاهده شد که اگر غلظت کروم از حدود ۵/۵ گرم در لیتر تجاوز کند بعد از مدتی رسوب سولفات کروم آمونیاکی در الکترولیت تشکیل می‌شود و این ماده از الکترولیت رسوب می‌کند زیرا غلظت ۵/۵ گرم در لیتر در حد اشباع الکترولیت از کروم در دمای محیط است و بنابراین در صورت ساکن بودن الکترولیت، بعد از مدتی رسوب تشکیل می‌شود. در شکل ۴ نحوه تغییر بازده جریان در اثر غلظت الکترولیت آمده است. به نظر می‌رسد بهترین غلظت الکترولیت بین ۵-۴/۵ گرم کروم در لیتر باشد.



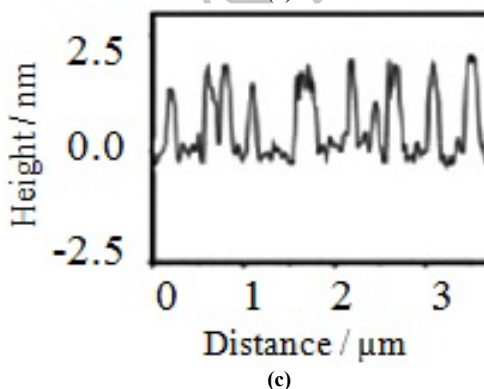
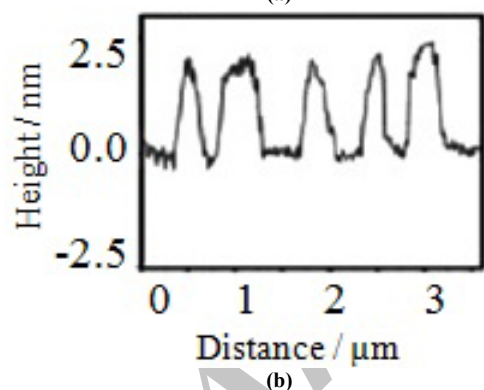
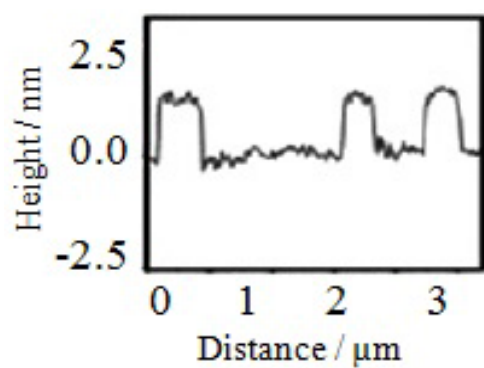
شکل ۴: نمودار اثر غلظت الکترولیت بر روی بازده جریان.

می‌دهد و در نتیجه باعث پوشاندن تخلخل‌های کروم می‌شود.

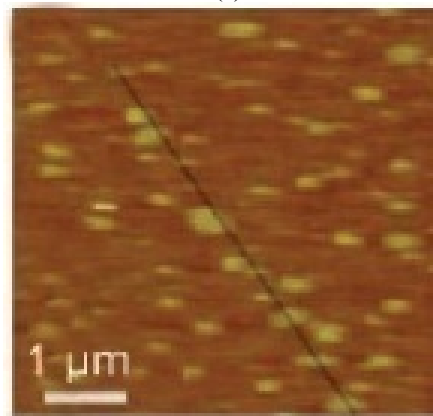
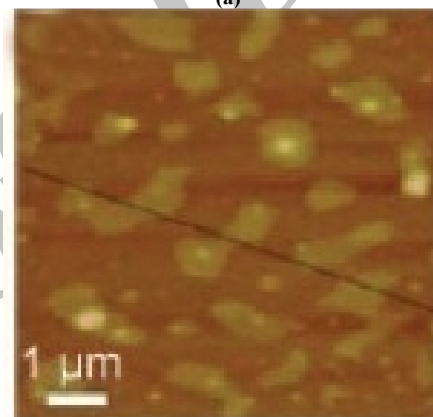
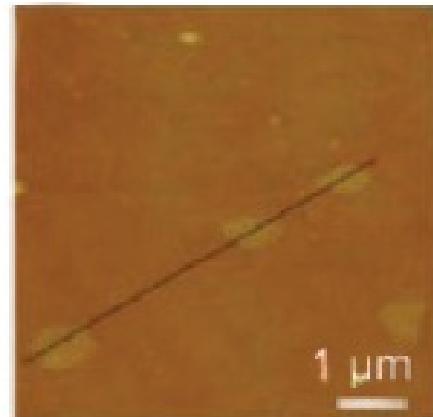
ذرات بیشتری نسبت به رسوب کروم به تنهایی روی سطح کاتالیست (شکل ۶c) داشته است.

۳-۸- آزمون سختی خراش

به منظور بررسی تاثیر نانوکامپوزیت کروم-گرافن پوشش داده شده بر روی صفحات کاتد، مقاومت نمونه‌های مورد نظر توسط دستگاه اسکروسکوپ اندازه‌گیری و با یکدیگر مقایسه گردید. نتایج تست اسکرچ نانوکامپوزیت کروم-گرافن در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷: آنالیز نانو اسکرچ نمونه‌های (a) کاتد مسی قبل از لایه‌نشانی، (b) کاتد مسی با لایه‌نشانی کروم و (c) کاتد مسی با لایه‌نشانی نانوکامپوزیت کروم-گرافن.



شکل ۶: تصاویر AFM نمونه‌های (a) کاتد مسی قبل از لایه‌نشانی، (b) کاتد مسی با لایه‌نشانی کروم و (c) کاتد مسی با لایه‌نشانی نانوکامپوزیت کروم-گرافن.

این رشد زیاد را می‌توان به توزیع بیشتر گرافن در زمینه نانوکامپوزیت نسبت داد که بدلیل سطح آبدوست و چربی دوست داشتن، اثر چسبندگی بیشتری از خود نشان

مراجع

- [1] C.N.R. Rao, K. Biswas, K.S. Subrahmanyam, A. Govindaraj, *Journal of the American Chemical Society*, **131**, 2009, 15825.
- [2] S. Adam, *Nature*, **47**, 2007, 1839.
- [3] R. Heyrovská, *Elsevier Science*, **21**, 2008, 194.
- [4] C.E. Banks, R.G. Compton, *Science*, **131**, 2006, 15.
- [5] S. Iijima, *Nature*, **354**, 2008, 56.
- [6] H. Dai, *Accounts of Chemical Research*, **35**, 2002, 1035.
- [7] P.M. Ajayan, *Chemical Review*, **99**, 2009, 1787.
- [8] G.A. Rivas, M.D. Rubianes, M.L. Pedano, N.F. Ferreira, G.L. Luque, M.C. Rodriguez, S.A. Miscoria, *Journal of American Chemical Society*, **19**, 2007, 823.
- [9] V. Sgobba, D.M. Guldi, *Chemical Society Review*, **38**, 2009, 165.
- [10] C.N. Rao, A.K. Sood, K.S. Subrahmanyam, A. Govindaraj, *Nanomaterial Angewandte Chemie*, **48**, 2009, 7752.
- [11] Y. Shao, J. Wang, H. Wu, J. Liu, I.A. Aksay, Y. Lin, *Review Electroanalysis*, **22**, 2010, 1027.
- [12] T. Ohta, A. Bostwick, T. Seyller, K. Horn, E. Rotenberg, *Science*, **313**, 2006, 951.
- [13] W.A. de Heera, C. Berger, X. Wu, P.N. First, E.H. Conrad, X. Li, T. Li, M. Sprinkle, J. Hass, M.L. Sadowski, M. Potemski, G. Martinez, *Solid State Communications*, **143**, 2007, 92.
- [14] A.K. Geim, P. Kim, *Scientific American*, **21**, 2008, 90.
- [15] K.S. Novoselov, A.K. Geim, S.V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S.V. Dubonos, I.V. Grigorieva, A.A. Firsov, *Science*, **306**, 2012, 666.
- [16] S. Park, R.S. Ruoff, *Nature Nanotechnology*, **4**, 2009, 217.
- [17] S. Niyogi, E. Bekyarova, M.E. Itkis, J.L. McWilliams, M.A. Hamon, R.C. Haddon, *Journal of American Chemical Society*, **128**, 2006, 7720.
- [18] W. Choi, I. Lahiri, R. Seelaboyina, Y.S. Kang, *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, **35**, 2010, 52.
- [19] D. Chen, L. Tang, J. Li, *Chemical Society Review*, **39**, 2010, 3157.
- [20] M. Katsnelson, *Mater. Today*, **10**, 2007, 20.
- [21] A.K. Geim, *Science*, **324**, 2009, 1530.
- [22] M. Tanaka, M. Komagata, M. Tsukada, H. Kamiya, *Powder Technology*, **183**, 2011, 273.
- [23] P.J. Harris, *Philosophical Magazine*, **84**, 2004, 3159.
- [24] R.F. Curl, R.E. Smalley, *Science*, **242**, 2012, 1017.
- [25] M. Ong, E.J. Reed, *ACS-Nano*, **6**, 2012, 1387.
- [26] N. Mohanty, D. Moore, Z. Xu, T.S. Sreerprasad, A. Nagaraja, A.A. Rodriguez, V. Berry, *Nature Communications*, **3**, 2012, 844.
- [27] G. Liu, S. Ahsan, P. Khitun, G. Alexander, S. Lake, K. Roger, D. Balandin, A. Alexander, *Nanotechnology*, **24**, 2013, 21.
- [28] H. Wang, K. Sun, F. Tao, D.J. Stacchiola, Y.H. Hu, *Angewandte Chemie*, **125**, 2013, 938.
- [29] R.R. Nair, H.A. Wu, P.N. Jayaram, I.V. Grigorieva, A.K. Geim, *Science*, **335**, 2013, 442.
- [30] R. Zan, Q.M. Ramasse, U. Bangert, K.S. Novoselov, *Mesoscale and Nanoscale Physics*, **12**, 2012, 3936.
- [31] J.K. Dennis, T.E. Such, "Nickel and Chromium Plating", Butterworth, 2005.

نتایج مقایسه بیانگر آن است که زمانیکه گرافن در محل حضور داشته باشد، بدلیل تراکم زیاد مولکول‌های گرافن، زمانی که روی یک سطح می‌نشینند سطوح و منافذ آن را می‌پوشاند و باعث مقاومت آن در برابر عواملی از قبیل ساییش و خوردگی می‌شود. همانطوریکه از آنالیز نانواسکرچ مشخص است فاصله بین اتم‌های گرافن بشدت کم است و این امر باعث فشردگی لایه‌ها و در نتیجه افزایش مقاومت آنها در برابر عوامل خارجی می‌گردد.

۴- نتیجه‌گیری

آزمایش‌ها نشان دادند که مقاومت نانوکامپوزیت‌های رشد کرده بر پایه گرافنی در شرایط و کاتالیست یکسان بهتر از حالتی است که فقط بر پایه کروم رشد کرده‌اند. نکته جالب توجه این است که نانوکامپوزیت‌های رشد کرده بر پایه‌های گرافن نسبت به زیرلایه‌های کروم، دارای عیوب کمتری هستند و مقاومت بالاتری نسبت به خراش نشان می‌دهند. اثر ضخامت گرافن به صورت یک لایه روی کاتد مسی، به منظور افزایش استحکام مطالعه شد. با افزایش ضخامت لایه گرافن نشاندن شده بر سطح نانوکامپوزیت‌ها، استحکام افزایش یافته و این مساله نشان دهنده تاثیرگذاری بالای گرافن جهت مقاومت از فلزات در برابر ساییدگی می‌باشد. همچنین صفحه مسی با لایه‌نشانی کروم، ویژگی‌های مکانیکی و ریزساختاری تقریباً خوبی دارد ولی مقاومت به ضربه این صفحه کم است و صفحه مسی کروم‌دار و گرافن‌دار ویژگی‌های لازم را دارا می‌باشد.

سپاسگزاری

مولفین از علیرضا گرامی‌زادگان از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دشتستان به خاطر همکاری که در انجام آزمایش‌ها داشتند نهایت تقدیر و قدردانی را دارند.