

بررسی ساخت گرم‌کننده چاپی با استفاده از نانوگرافیت و نانومس

نرجس تنگی^۱، بهنام خوش‌اندام^{۲*}

۱- کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه سمنان

۲- دانشیار مهندسی شیمی، دانشگاه سمنان

پیام‌نگار: bkhoshandam@semnan.ac.ir

چکیده

هدف از پژوهش پیش رو ساخت گرم‌کننده چاپی با استفاده از لایه رسانای نانوگرافیت و نانومس است. از ویژگی‌های این گرمکن پایداری بالا و مصرف انرژی پایین آن است که امکان ساخت گرمکن با تولید دمای بالا را فراهم می‌کند. در این کار نانومس با استفاده از روش پلیول که در آن پلی‌وینیل پیرولیدون به‌عنوان یک عامل حفاظتی است، تولید شد. با توجه به تجزیه تصویر ریزبین الکترونی روبشی (SEM) اندازه نانوذرات مس در محدوده 9 ± 35 نانومتر تخمین زده شد. سپس با استفاده از تجزیه پراش اشعه ایکس (XRD) نانوذرات مس به‌عنوان مسی بلورین با ساختار فضای محوری مکعبی (FCC) تأیید شد. در ادامه از گرافیت، ۱- متیل-۲- پیرولیدینون (به‌عنوان حلال لایه) و نانوذرات مس (برای بالابردن رسانایی لایه)، لایه رسانا با درصد وزنی $21/60$ درصد تهیه شد. در پایان میزان مقاومت لایه رسانای چاپ‌شده بر روی سطح (شیشه) با ابعاد 1×1 سانتی‌متر، که به‌وسیله آون در دمای 170 درجه سلسیوس خشک شده، $8/126$ اهم تعیین شد و لایه ساخته‌شده به‌عنوان گرمکن چاپی به منبع تغذیه با ولتاژ 24 ولت متصل شد. دمای گرمکن در کمتر از یک دقیقه تا 200 درجه سلسیوس افزایش یافت. گرمکن تهیه‌شده با توجه به پایداری و گرمای یکنواختی که تولید می‌کند قابلیت استفاده در صنایع الکترونیکی را دارد.

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۰۷

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۲۹

شماره صفحات: ۴۱ تا ۴۸

کلیدواژه‌ها: نانوذرات مس،

گرافیت، گرمکن چاپی، روش

پلیول

۱. مقدمه

سابقه پیشرفت و گسترش لایه‌های چاپی چندان قدیمی نیست و استفاده از آن‌ها حدوداً به ۱۹۵۰ میلادی بر می‌گردد. پیش از آنکه این اندیشه شکل بگیرد، لازم بوده که برخی پیشرفت‌ها و فن‌آوری‌هایی که می‌توانند پایه و اساس آن باشند گسترش یابند و به دنیای دانش و فناوری شناسانده شوند. لایه‌های چاپی در واقع

گسترش یافته سامانه‌های اتصال برقی است که در سال ۱۸۵۰

گسترش یافته بود.

توانایی ساخت الگوهای هندسی مختلف در ریزمواد رسانا از اهمیت زیادی برای گسترش دستگاه‌های الکترونیکی ریزساختار و انعطاف‌پذیر که نیاز به گرم شدن دارند برخوردار است. با این حال، بیشتر روش‌های ساخت، منجر به هزینه‌های زیاد و اتلاف مواد

* سمنان، دانشگاه سمنان، دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز

Archive of SID

۱۷۲/۳ درجه سلسیوس افزایش یافته است. ورتوسیو و همکارانش [۶] در سال ۲۰۱۹ توانستند با استفاده از جوهر گرافن گرمکنی با درجه حرارت ۶۰ سلسیوس بسازند که توانایی آب کردن یخ در کمتر از ۵ دقیقه را دارد. پانزنگ و همکارانش [۷] نیز در سال ۲۰۱۸ با استفاده از جوهر نقره گرمکنی با دمای ۱۳۵ درجه سلسیوس ساختند که تنها با استفاده از ولتاژ ۴ ولت این دما را تولید کرده است.

در طول دو دهه گذشته، تحقیق‌های قابل توجهی در زمینه هم‌نهشت نانوذرات فلزی برای کشف خواص و کاربردهای مناسب آن‌ها صورت گرفته است. از نانوذرات فلزی می‌توان به‌عنوان یکی از اجزای اصلی در تهیه جوهر رسانا استفاده کرد. قابلیت ذوب با دمای پایین، نانوپودرهای فلزی را به‌عنوان مواد مناسب برای استفاده در صنایع الکترونیک چاپی معرفی می‌کند [۸-۱۱]. از آنجایی که می‌توان نانو ذرات را در دماهای پایین‌تر به دست آورد، برای تشکیل لایه‌های رسانا با مقاومت کم مناسب هستند. در حال حاضر اغلب فلزات نجیب مانند طلا و نقره به علت هزینه بالا، مورد بهره‌برداری قرار نمی‌گیرند؛ در این راستا، مس به دلیل رسانایی زیاد و هزینه کم جایگزین مناسبی است [۱۲-۱۴].

نانوذرات مس به دلیل فعالیت کاتالیزوری، خواص نوری خوب و هدایت الکتریکی عالی عنصر مس به همراه فراوانی طبیعی زیاد و کم هزینه بودن توجه زیادی را به خود جلب کرده است. از آن‌ها در زمینه‌های مختلفی از جمله تبدیل انرژی، ذخیره انرژی، تبدیل آلی کاتالیزوری، الکتروکاتالیز، فوتوکاتالیز، پالایش پساب، ساخت مواد شیمیایی، زیست‌سنسورهای الکتروشیمیایی، فناوری محیطی، مدارهای چاپی و الکترونیک انعطاف‌پذیر استفاده می‌شود. با وجود تنوع گسترده‌ای از خواص ارزشمند، استفاده از مس در فرم نانوذرات به دلیل اکسایش سریع شیمیایی در شرایط جوی عملاً محدود شده است. بنابراین، بسیاری از مطالعات به منظور گسترش نانوذرات مس از جمله آماده‌سازی عاری از اکسیژن در محیط غیرفعال رسانه و غیرفعال کردن سطح با استفاده از معرف‌های محافظ، اقدام به گسترش روش‌های مختلفی کرده‌اند. درحالی‌که بیشتر روش‌های مرسوم برای جلوگیری از اکسایش نانو ذرات مس از یک محیط بدون اکسیژن استفاده می‌کنند، برخی از روش‌ها با استفاده از معرف‌های محافظتی از جمله پلی‌وینیل پیرولیدون، اسید اولئیک،

می‌شوند. به‌همین دلیل، چاپ سیلک اسکرین^۱ به‌عنوان روشی همه‌کاره برای دستیابی به اثربخشی مقایسه‌ای در چاپ مواد رسانا، استفاده شده است. چاپ سیلک اسکرین می‌تواند شکل، اندازه و تراکم لایه‌های چاپ‌شده را کنترل کند. در بین وسایل الکترونیکی قابل انعطاف، گرمکن‌ها^۲ به‌سبب طیف گسترده‌ای از کاربردهای آن در زندگی واقعی مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند؛ به‌عنوان مثال در شیشه اتومبیل برای تمیز کردن پنجره‌ها، صفحات داغ در تهیه غذا، یا به‌عنوان پدهای گرمایشی بدن برای کنترل درد و برای ایجاد دمای لازم در تبخیرکننده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

برای ساخت گرم‌کن‌ها، از مواد معدنی مانند اکسید قلع ایندیم^۳، مواد مبتنی بر کربن (نانولوله‌های کربن^۴، گرافن، گرافیت) و نانوفلزات رسانا استفاده‌های گسترده‌ای شده است. هزینه و دمایی که مواد معدنی در آن خشک می‌شود بسیار زیاد است، به‌همین دلیل نمی‌توان به مقدار زیاد از آن‌ها استفاده کرد، به‌علاوه که نقطه ضعف آن‌ها پاسخ حرارتی کندشان است [۱].

مواد مبتنی بر کربن به دلیل کم‌هزینه بودن، سبک بودن و هدایت حرارتی بالا، جایگزین مناسب خوبی برای گرمکن‌ها هستند. کربن جامد بسته به نوع پیوند شیمیایی به اشکال مختلفی شناخته می‌شود که دو نوع رایج آن الماس و گرافیت است. گرافیت، یک شکل کریستالی از عنصر کربن است که اتم‌های آن در یک ساختار شش ضلعی قرار گرفته است و پایدارترین شکل کربن در شرایط استاندارد است. گرافیت رسانای خوب گرما و برق به شمار می‌رود [۲ و ۳].

شینگ‌فنگ و همکارانش [۴] در سال ۲۰۱۹ بر روی ساخت گرمکن‌ها با جوهر گرافن مطالعه کردند که در آن از شیشه به‌عنوان سطح گرمکن استفاده شده است. نتیجه این مطالعه گرمکنی با درجه حرارت ۹۱/۵ سلسیوس، تنها با اعمال ۱۲ ولت شده است. کیون‌یونگ‌شین و همکارانش [۵] در سال ۲۰۱۲ بر روی گرمکن‌های چاپی به وسیله جوهر گرافیت کار کرده‌اند. در این مطالعه برای چاپ جوهر بر روی سطح از جنس PT و از روش سیلک اسکرین استفاده شده است. در پایان با اعمال ۱۴ ولت دمای گرمکن تا

۱. Silk Screen: در چاپ سیلک اسکرین مرکب با فشار زیاد از بالای توری به پایین انتقال داده می‌شود.

2. Printed Heaters
3. ITO
4. Carbon-Nano-Tubes

این مطالعه پلیول است، که برای محافظت از سطح مس از PVP و از دی‌اتیلن‌گلیکول به‌عنوان حلال، اسکوربیک‌اسید به‌عنوان عامل کاهنده و از سولفات مس به‌عنوان نمک مس استفاده شده‌است. از آن برای گرم کردن محلول تا رسیدن به دمای آزمایش استفاده گردید و دمای واکنش بین ۷۰ تا ۱۷۰ درجه سلسیوس انتخاب شد، که با توجه به آزمایش‌های انجام شده کمترین اندازه ذرات مربوط به آزمایش‌هایی است که در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس انجام شده‌است و اندازه ذرات در این روش 9 ± 49 نانومتر تخمین زده شد.

در سال ۲۰۲۰ یونگ جونگ لی و همکارانش [۱۵] بر روی نانوذرات مس فلزی آنتی‌اکسیدانی تهیه شده با روش پلیول و فعالیت کاتالیزوری آنها مطالعه کردند. در این مطالعه، نانوذرات مس آنتی‌اکسیدان با استفاده از پلی‌وینیل‌پیرولیدون و اسید اسکوربیک به‌عنوان مواد محافظت‌کننده و کاهنده از روش پلیول تهیه شدند، نانوذرات مسی که با استفاده از این روش به‌دست آمدند دارای سایز ۴۰ تا ۶۰ نانومتر هستند.

به‌طور خلاصه، در این پروژه این اهداف دنبال می‌شود: ساخت گرم‌کننده چاپی با استفاده از لایه رسانا، که به‌وسیله نانوگرافیت و نانومس تهیه شده‌است، همبستگی نانوذرات مسی با استفاده از روش پلیول و دریافت بالاترین دما از گرمکن در پایدارترین شرایط. این گرمکن می‌تواند در تبخیرکننده‌های ریز و در صنایع الکترونیکی مختلف به کار گرفته شود.

۲. روش آزمایش

۲-۱ مواد

کلیمه مواد استفاده شده در این تحقیق از شرکت مرک آلمان تهیه شده‌است. مواد استفاده شده شامل پلی‌وینیل‌پیرولیدون^۲ (خلوص ۹۶٪، $(C_6H_9NO)_n$) به‌عنوان عامل ژلاتینی و عامل پوشش‌دهنده، دی‌اتیلن‌گلیکول^۳ (خلوص ۹۶٪، $(HOCH_2CH_2)_2O$) به‌عنوان حلال، اسکوربیک‌اسید^۴ (۹۹٪، $C_6H_8O_6$) به‌عنوان عامل کاهنده، سولفات مس پنج‌آبه^۵ (خلوص ۹۸٪، $CuSO_4 \cdot 5H_2O$) گرافیت (۹۹٪، C) و ۱-متیل-۲-پیرولیدینون^۶ (۹۹٪، C_5H_9NO) می‌شوند.

2. Polyvinylpyrrolidone
3. Diethylene Glycol
4. Ascorbic Acid
5. Copper(II) Sulfate Pentahydrate
6. 1-Methyl-2-pyrrolidinone

ژلاتین و غیره، آماده‌سازی نانو ذرات مس را در حضور هوا فراهم می‌کنند. به‌طور خاص، در فرایند پلیول، دی‌اتیلن‌گلیکول، یک حلال که نقش‌های متعددی را به‌عنوان یک ماده واکنش‌دهنده و یک ماده کاهنده ایفا می‌کند، از اکسایش و تجمع نانوذرات جلوگیری می‌کند [۱۵].

روش‌های متعددی برای تهیه نانوذرات مس، از جمله کاهش حرارت [۱۲]، کاهش سونوشیمیایی [۱۳، ۱۲]، همبستگی بخار فلز [۱۳]، روش‌های پرتویی [۱۶]، روش‌های ریز امولسیون [۱۹-۱۷] و لیزر خنثی [۲۰] وجود دارد. در بیشتر روش‌های بالا از یک محیط بدون اکسیژن برای تولید نانومس استفاده شده است. در مطالعه پیش رو، از روش پلیول^۱ برای تهیه نانوذرات مس با شرایط آرمانی استفاده شد و به کمک یک حلال غیر آبی به‌عنوان محیط واکنش اکسایش سطح مس به کمترین مقدار رسیده است. برتری کلیدی همبستگی نانوذرات مبتنی بر فرایند پلیول این است که واکنش را می‌توان به راحتی کنترل کرد، همان‌طور که فیوت و همکارانش [۲۴-۲۱] نشان داده‌اند.

اندازه توزیع ذرات با تغییر مؤلفه‌های تجربی مانند مقدار عامل کاهنده، دمای واکنش و میزان تزریق پیش‌ماده کنترل می‌شوند. افزایش غلظت عامل کاهنده، موجب تولید هسته‌های بیشتر می‌شود، که منجر به تشکیل ذرات کوچکتر مس می‌شود. واکنش در غلظت بالا باعث کاهش فاز ناخالص می‌شود و با کاهش دمای واکنش، اندازه ذرات حاصل شده کوچکتر و توزیع اندازه نیز کم‌تر می‌شود. همچنین با افزایش نرخ تزریق پیش‌ماده ذرات کوچکتر می‌شوند. روش پلیول از جمله روش‌هایی است که می‌تواند در مقیاس‌های بزرگ و کوچک از آن استفاده کرد [۲۶-۲۵].

در سال ۲۰۱۶ سن‌تیش کومار و همکارانش [۲۷] بر روی بررسی همبستگی نانومس با روش پلیول مطالعه کردند. در مقاله حاضر، پودر مس در ابعاد نانوذره خالص با کاهش مس (II) کلرید دی‌هیدراته با هیدروکسید سدیم در محیط گلیسرول در دمای واکنش ۱۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۷ دقیقه تهیه شد. مشاهدات ریزبین الکترونی روبشی پودر مس همبستگی شده با ابعاد متفاوت از ۷۰ تا ۴۰۰ نانومتر را نشان داده است.

در سال ۲۰۱۱ بلوسی و همکارانش [۲۸] بر روی همبستگی پلیول نانوذرات مس به کمک ریزموج مطالعه کردند. روش استفاده شده در

1. Polyol

جدول ۱. مقدار مواد و شرایط لازم برای انجام
همنهشت نانو ذرات مس.

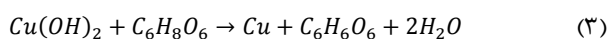
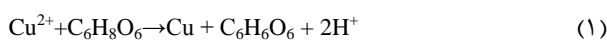
مقدار	ماده	نوع محلول
۱۰۵ میلی لیتر ۲ گرم	دی اتیلن گلیکول پلی وینیل پیرولیدون	محلول ژلاتینی
۳۵ میلی لیتر ۰/۵ گرم	دی اتیلن گلیکول اسکوربیک اسید	محلول کاهنده
۲۰ میلی لیتر ۱۰ گرم	دی اتیلن گلیکول مس (II) سولفات پنتاهیدرات	محلول نمک مس
۱۰۰	درجه سلسیوس	دمای واکنش
۳۰	دور بر دقیقه	سرعت همزن

۳-۲ آماده سازی لایه چاپی

برای آماده سازی نمونه های لایه ابتدا ۱ گرم گرافیت و با وزن های مختلف نانومس تهیه شده (برای پیدا کردن مقدار مس مناسب) با ۱- متیل ۲- پیرولیدینون (که به عنوان حلال به کار می رود) مخلوط شد و تا به دست آمدن ماده ای خمیری شکل ادامه می یابد. در پایان لایه با استفاده از روش سیلک اسکرین روی سطح (شیشه) چاپ شد و به وسیله آون در دمای ۱۷۰ درجه سلسیوس خشک شد. ولتاژ به وسیله دو نوار مسی (همان طور که در شکل (۲) نشان داده شده است)، که در دو طرف لایه قرار گرفته شده به لایه اعمال و مقاومت و دمای به دست آمده از لایه بررسی شد. در پایان لایه ای که مقاومت کمتری دارد و در نتیجه دمای بیشتری را تولید می کند برای تهیه گرمکن مورد استفاده قرار گرفت. شکل (۲) تصویر نمونه گرمکن تهیه شده با استفاده از گرافیت و نانومس را نشان می دهد.

۳. بحث و نتایج

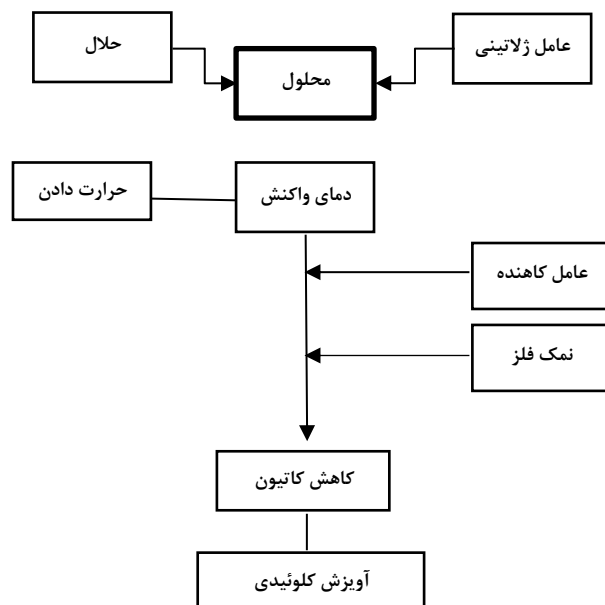
واکنشی که در طول این همنهشت اتفاق می افتد در فرمول (۱)، (۲) و (۳) نشان داده شده است:



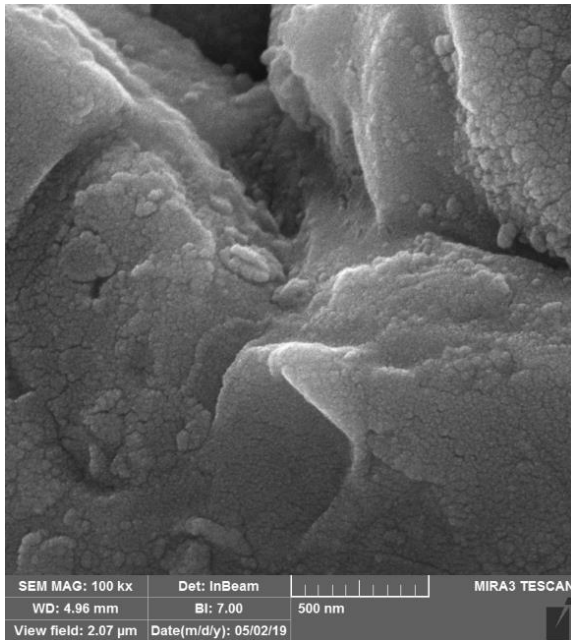
۲-۲ ساخت نانوذرات مس

برای ساخت نانوذرات مس ابتدا ۲ گرم پلی وینیل پیرولیدون در ۱۰۵ میلی لیتر دی اتیلن گلیکول مخلوط گردید و تا دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس گرم شد. سپس محلول تهیه شده از ۰/۵ گرم اسکوربیک اسید و ۳۵ میلی لیتر دی اتیلن گلیکول به مخلوط قبل افزوده شد. در آخر محلول تهیه شده از ۱۰ گرم سولفات مس پنج آبه و ۲۰ میلی لیتر دی اتیلن گلیکول پس از یک دقیقه به ظرف آزمایش افزوده شد و با استفاده از مگنت در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۵۰ دقیقه مخلوط شد.

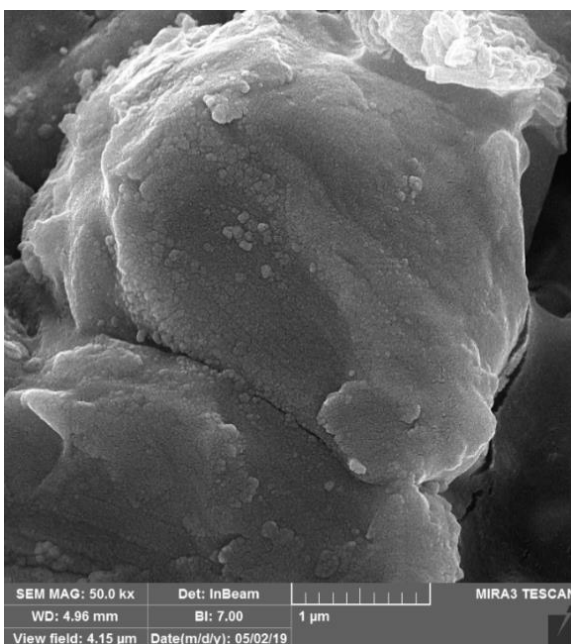
در نهایت محلولی تیره رنگ همراه با ذرات نانومس تولید شد و پس از رسیدن محلول به دمای محیط با استفاده از دستگاه گریزان، ذرات مس جدا شد. سپس ذرات مس در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۳۰ دقیقه خشک شد. ترکیب فاز و بلورینگی این ذرات با استفاده از پراش اشعه ایکس بررسی شد. ریخت شناسی ذرات مس با استفاده از ریزبین الکترونی روبشی بررسی و توزیع اندازه ذرات با استفاده از تحلیل تصویر تخمین زده شد. در شکل (۱) فلوجارت انجام واکنش نشان داده شده است (در این روش ترتیب افزودن مواد برای رسیدن به نانوذرات مس بسیار مهم است). در جدول (۱) مقدار مواد و شرایط لازم برای انجام همنهشت نانوذرات مس به روش پلیول به طور کامل بیان شده است.



شکل ۱. فلوجارت انجام واکنش.



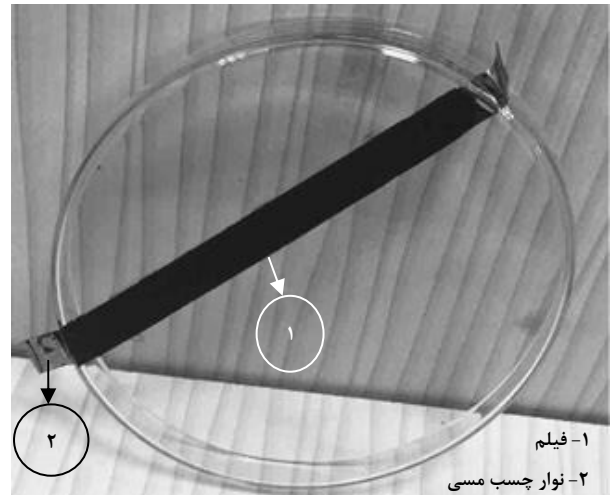
(الف)



(ب)

شکل ۳. تصویر ریزبین الکترونی روبشی، از پودر مس به دست آمده از روش پلیول در دمای واکنش ۱۰۰ درجه سلسیوس با بزرگ‌نمایی (الف) ۵۰۰ نانو متر، (ب) ۱ میکرومتر.

ناخالصی‌هایی مانند Cu_2O ، CuO و $\text{Cu}(\text{OH})_2$ است. میانگین اندازه ذرات نانومس تهیه شده با استفاده از فرمول دبای شرر حدود $43/32 \pm 9$ تخمین زده شد. نانوذرات ساخته شده می‌توانند تا ۲ ماه بدون آن که اکسید شوند در دمای محیط قرار بگیرند.

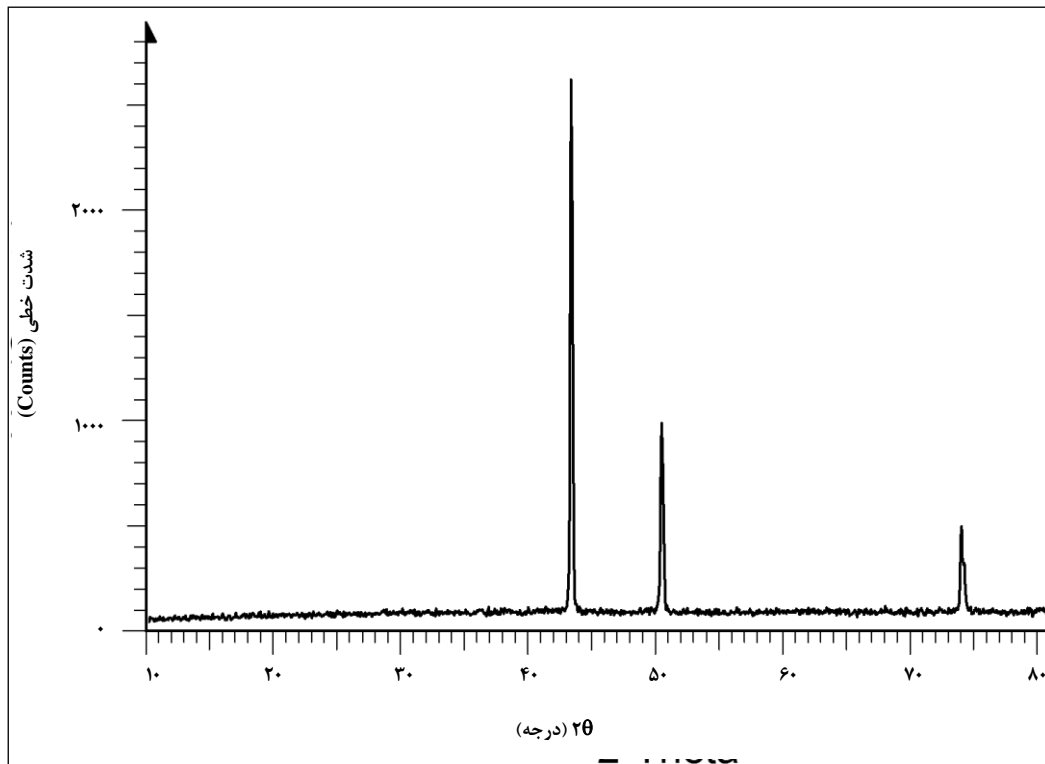


شکل ۲. تصویر نمونه گرمکن تهیه شده با مس و گرافیت.

۱-۳ شناسایی و مشخصه‌سازی ماده هم‌نهشت شده

از تجزیه‌های پراش پرتو ایکس و تصاویر ریزبین الکترونی روبشی برای مشخصه‌سازی محصول هم‌نهشت شده استفاده شد. شکل (۳) تصویر ریزبین الکترونی روبشی نمونه نانومس که در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس تولید شده را در بزرگ‌نمایی ۵۰۰ نانومتر و ۱ میکرومتر نشان می‌دهد. با توجه به بررسی انجام شده با استفاده از تجزیه (XRD) نانوذرات مس دارای محدوده اندازه 9 ± 35 نانومتر تخمین زده شد. به‌طور کلی می‌توان گفت اندازه ذرات زیر ۵۰ نانومتر است. همان‌طور که در تصاویر دیده می‌شود ذرات به صورت دانه‌دانه هستند که به دلیل استفاده از نانو ذرات در این کار است و در مقایسه با لایه‌هایی که از نانو ذرات استفاده نشده و در تصاویر به صورت پوسته‌پوسته دیده می‌شوند نتایج بهتری برای تولید گرمکن چایی از خود نشان داده‌اند. استفاده از ذرات کوچک می‌تواند لایه بسیار رسانا در دمای پایین را بدهد، اما اگر بیش از اندازه کوچک باشند نتیجه عکس خواهد داشت. بنابر مطالعات انجام شده، این محدوده اندازه ذرات برای کاربرد مورد نظر مناسب است.

علاوه بر این به منظور حصول اطمینان از ترکیبات نانوذره مس تهیه شده تجزیه پراش پرتو ایکس نانومس بررسی شد. همان‌گونه که شکل (۴) نشان می‌دهد، پیک‌های اصلی آن در ۲θ با درجه‌های $43/361^\circ$ ، $50/1^\circ$ و $74/134^\circ$ است که در مقایسه با حالت استاندارد [۲۹] نانومس که $43/6^\circ$ ، $50/8^\circ$ و $74/134^\circ$ است اختلاف خیلی کمی داشت، که نشان‌دهنده عنصر مس خالص و بدون



شکل ۴. تصویر XRD نمونه نانومس تهیه شده در دمای واکنش ۱۰۰ درجه سلسیوس.

۲-۲ بررسی رسانایی لایه چاپی

جدول (۲) مقاومت به دست آمده با افزایش مقدار مس و مقدار گرافیت ثابت ۱ گرم را نشان داده است. بعد از این که نمونه های لایه با استفاده از روشی که گفته شد تهیه شد مقاومت آنها بررسی شد. مقاومت نمونه ۱ که بدون حضور مس بوده بسیار بالا است و با افزودن مقدار مس مقاومت لایه نیز کاهش پیدا کرده، ولی مقاومت در نمونه ۶ و ۷ دوباره افزایش یافته است. بنابراین مقدار بهینه مس ۰/۴ گرم در نظر گرفته شد.

بعد از این که لایه تهیه شده به منبع تغذیه با ولتاژ ۲۴ ولت وصل گردید، تا دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس بالا رفت و پایداری خوبی از خود نشان داد. ضخامت لایه یکی از عواملی است که در تهیه گرمکن ها باید مورد توجه قرار بگیرد. در این کار ضخامت لایه با ۰/۴ گرم مس و ۱ گرم کربن بر روی شیشه 6 ± 322 نانومتر اندازه گیری شده است. شکل (۵) تصویر ریزبین الکترونی روبشی از گرمکن بعد از اتصال به منبع تغذیه را نشان می دهد. با توجه به تصویر به دست آمده ساختار ذرات به عنوان ساختار فضای محوری

مکعبی دیده شد که در بالا بردن رسانایی لایه نقش مهمی دارد و پایداری خوبی از خود نشان داده است.

جدول ۲. مقاومت به دست آمده با افزایش مقدار مس و مقدار گرافیت ۱ گرم.

شماره نمونه	مقدار مس (گرم)	مقاومت (اهم)
۱	۰	۴۳۰۰
۲	۰/۱	۱۶۶۶ اهم
۳	۰/۲	۳۳۵/۲ اهم
۴	۰/۳	۲۲۵/۸ اهم
۵	۰/۴	۱۲۶/۸ اهم
۶	۰/۵	۲۰۵/۷ اهم
۷	۰/۶	۲۱۷/۶ اهم

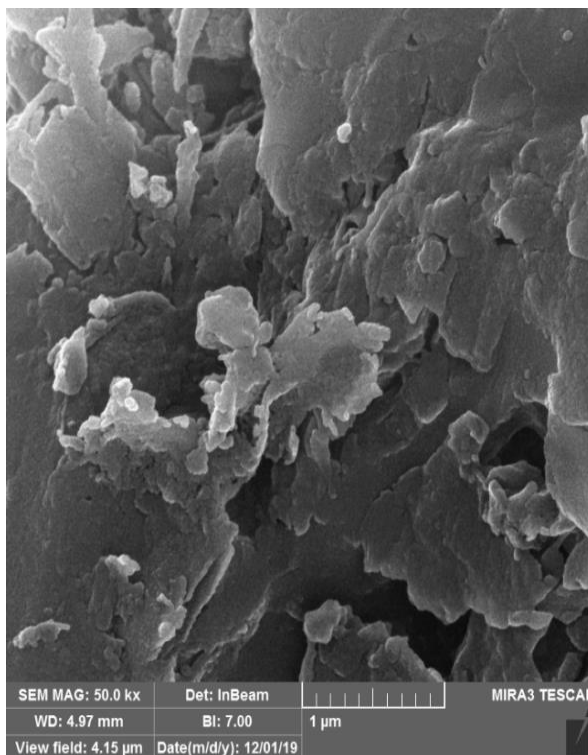
۴. نتیجه‌گیری کلی

هدف از پژوهش پیش رو ساخت گرم‌کننده چایی با استفاده از لایه رسانا است، که با نانوغرافیت و نانومس تهیه شد. از ویژگی‌های این گرمکن پایداری بالا و مصرف انرژی پایین آن است که امکان ساخت گرمکن با تولید دمای بالا را می‌دهد. در این مقاله شرح چگونگی هم‌نشست نانو ذرات مس با استفاده از روش پلیول و تهیه لایه چایی با نانوغرافیت، نانومس و کاربرد آن در ساخت گرمکن‌های چایی بیان شده‌است. در روشی که برای تهیه مس انجام شد، پلی‌وینیل‌پیرولیدون به‌عنوان یک عامل حفاظتی به‌کار گرفته شد. با توجه به تجزیه تصویر ریزبین الکترونی روبشی نانوذرات مس، دارای محدوده اندازه 35 ± 9 نانومتر شد. به‌طور کلی می‌توان گفت اندازه ذرات زیر 50 نانومتر است. با استفاده از تجزیه پراش پرتوی ایکس نانوذرات مس به‌عنوان مسی بلورین با ساختار فضای محوری مکعبی تأیید شده است. نانوذرات ساخته شده می‌توانند تا دوماه بدون آن که اکسید شوند در دمای محیط قرار بگیرند.

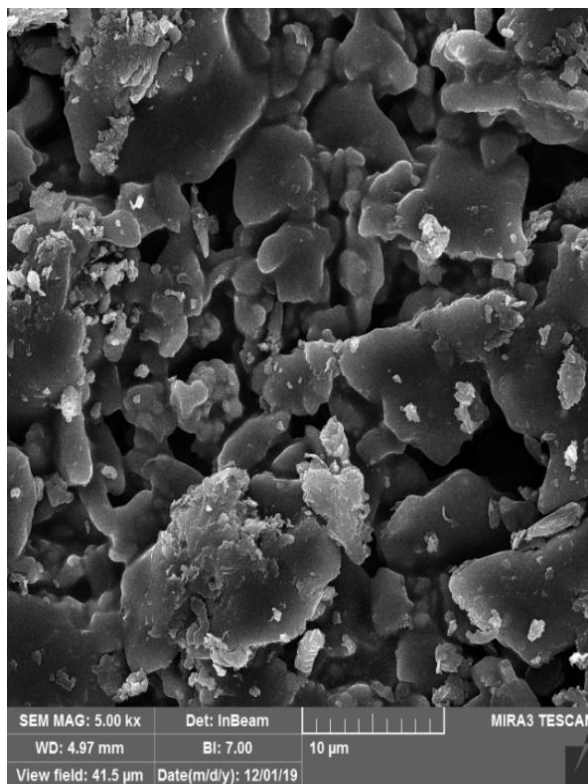
سپس با استفاده از گرافیت، نانومس و ۱- متیل ۲- پیرولیدینون لایه رسانا تهیه شد و مقاومت لایه $126/8$ اهم و ضخامتش 6 ± 632 نانومتر اندازه‌گیری گردید. گرمکن تهیه شده برای اندازه‌گیری بیشینه دما، به منبع تغذیه با ولتاژ 24 ولت وصل شد و در کمتر از یک‌دقیقه تا 200 درجه سلسیوس دمای آن افزایش یافت و در این دما پایداری خوبی از خود نشان داد. از این گرمکن با توجه به کارایی و پایداری مناسبی که از خود نشان داده است می‌توان در صنایع الکترونیکی استفاده کرد.

مراجع

- [1] Shin, K. Y., Hong, J. Y., Lee, S., Jang, J., "High electrothermal performance of expanded graphite nanoplatelet-based patch heater", Journal of Materials Chemistry, pp. 22.44, (2012).
- [2] Delhaes, Pierre. "Polymorphism of carbon", In Delhaes, Pierre (ed.). Graphite and precursors. Gordon & Breach, 1: pp. 1–24, (2000).
- [3] Pierson, Hugh O., "Handbook of carbon, graphite, diamond, and fullerenes, properties, processing, and applications", Noyes Publications, pp. 40–41, (2012).
- [4] Tseng, S. F., Cheng, P. Y., Hsiao, W. T., Chen, M. F., Chung, C. K., Wang, P. H., "High-performance graphene-based heaters fabricated using maskless ultraviolet laser patterning", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 102(9-12): pp. 3011-3020, (2019).



(الف)



(ب)

شکل ۵. تصویر ریزبین الکترونی روبشی، از لایه پس از خشک‌شدن در دمای 170 درجه سلسیوس با بزرگ‌نمایی (الف) 1 میکرومتر، (ب) 10 میکرومتر.

- [5] Shin, K. Y., Hong, J. Y., Lee, S., Jang, J., "High electrothermal performance of expanded graphite nanoplatelet-based patch heater", *Journal of Materials Chemistry*, 22(44): pp. 23404-23410, (2012).
- [6] Vertuccio, L., De Santis, F., Pantani, R., Lafdi, K., Guadagno, L., " Effective de-icing skin using graphene-based flexible heater", *Composites Part B Engineering*, 162: pp. 600-610, (2019).
- [7] Zeng, P., Tian, B., Tian, Q., Yao, W., Li, M., Wang, H., Wu, W., "Screen-Printed, Low-Cost, and Patterned Flexible Heater Based on Ag Fractal Dendrites for Human Wearable Application", *Advanced Materials Technologies*, 4(3): p. 1800453. (2019).
- [8] Ferrier, G. G., Berzins, A. R., Davey, N. M., "Journal Archive", *Platinum Metals Rev*, 29(4): p. 175, (1985).
- [9] Fendler, J. H., "Atomic and molecular clusters in membrane mimetic chemistry", *Chemical Reviews*, 87(5): pp. 877-899, (1987).
- [10] Toshima, N., Yonezawa, T., "Bimetallic nanoparticles-novel materials for chemical and physical applications", *New Journal of Chemistry*, 22(11): pp. 1179-1201, (1998).
- [11] Brust, M., Kiely, Ch. J., "Some recent advances in nanostructure preparation from gold and silver particles: a short topical review", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 202(2-3): pp. 175-186, (2002).
- [12] Dhas, N., Arul, C., Paul, R., Aharon G., "Synthesis, characterization, and properties of metallic copper nanoparticles", *Chemistry of materials*, 10(5): pp. 1446-1452, (1998).
- [13] Vitulli, G., Bernini, M., Bertozzi, S., Pitzalis, E., Salvadori, P., "Nanoscale copper particles derived from solvated Cu atoms in the activation of molecular oxygen", *Chemistry of materials*, 14(3): pp. 1183-1186, (2002).
- [14] Liu, Z., Yoshio, B., "A novel method for preparing copper nanorods and nanowires", *Advanced Materials*, 15(4): pp. 303-305, (2003).
- [15] Lee, Y. J., Kim, K., Shin, I. S., Shin, K. S., "Antioxidative metallic copper nanoparticles prepared by modified polyol method and their catalytic activities", *Journal of Nanoparticle Research*, 22(1): pp. 1-8. (2020).
- [16] Kim, D., Sunho, J., Jooho, M., "Synthesis of silver nanoparticles using the polyol process and the influence of precursor injection", *Nanotechnology* 17(16): p. 4019, (2006).
- [17] Casella, I. G., Cataldi, T. R., Guerrieri, A., Desimoni, E., "Copper dispersed into polyaniline films as an amperometric sensor in alkaline solutions of amino acids and polyhydric compounds", *Analytica Chimica Acta*, 335(3): pp. 217-225, (1996).
- [18] Lisiecki, I., Pileni, M. P., "Synthesis of copper metallic clusters using reverse micelles as microreactors", *Journal of the American Chemical Society*, 115(10): pp. 3887-3896, (1993).
- [19] Pileni, M. P., Ninham, B. W., Gulik-Krzywicki, T., Tanori, J., Lisiecki, I., Filankembo, A., "Direct relationship between shape and size of template and synthesis of copper metal particles", *Advanced Materials*, 11(16): pp. 1358-1362, (1999).
- [20] Qi, L., Jiming, M., Julin, Sh., "Synthesis of copper nanoparticles in nonionic water-in-oil microemulsions", *Journal of colloid and interface science*, 186(2): pp. 498-500, (1997).
- [21] Zinatloo-Ajabshir, S., Morassaei, M. S., Amiri, O., Salavati-Niasari, M., "Green synthesis of dysprosium stannate nanoparticles using Ficus carica extract as photocatalyst for the degradation of organic pollutants under visible irradiation", *Ceramics International*, 46(5): pp. 6095-6107, (2020).
- [22] Viau, G., Fievet-Vincent, F., Fievet, F. "Nucleation and growth of bimetallic CoNi and FeNi monodisperse particles prepared in polyols", *Solid State Ionics*, 84(3-4): pp. 259-270, (1996).
- [23] Zinatloo-Ajabshir, S., Salehi, Z., Amiri, O., Salavati-Niasari, M., "Simple fabrication of Pr₂Ce₂O₇ nanostructures via a new and eco-friendly route; a potential electrochemical hydrogen storage material", *Journal of Alloys and Compounds*, 791: pp. 792-799, (2019).
- [24] Fievet, F., Fievet-Vincent, F., Lagier, J. P., Dumont, B., Figlarz, M., "Controlled nucleation and growth of micrometre-size copper particles prepared by the polyol process", *Journal of Materials Chemistry*, 3(6): pp. 627-632, (1993).
- [25] Wu, S., "Preparation of fine copper powder using ascorbic acid as reducing agent and its application in MLCC", *Materials letters*, 61(4-5): pp. 1125-1129, (2007).
- [26] Zinatloo-Ajabshir, S., Mortazavi-Derazkola, S., Salavati-Niasari, M., "Sonochemical synthesis, characterization and photodegradation of organic pollutant over Nd₂O₃ nanostructures prepared via a new simple route", *Separation and Purification Technology*. 178: pp. 138-146, (2017).
- [27] Mahadevan, S., Chauhan, A. P. S., "Investigation of synthesized nanosized copper by polyol technique with graphite powder", *Advanced Powder Technology*, 27(4): pp. 1852-1856, (2016).
- [28] Blosi, M., Albonetti, S., Dondi, M., Martelli, C., Baldi, G., "Microwave-assisted polyol synthesis of Cu nanoparticles", *Journal of Nanoparticle Research*, 13(1): pp. 127-138 (2011).
- [29] Theivasanthi, T., Alagar, M., "X-ray diffraction studies of copper nanopowder", *arXiv preprint arXiv: 1003.6068*, (2010).