

KNO-1004-4204

بررسی و تحلیل اثرات پارامترهای تخلیه قوس الکتریکی بر هدایت الکتریکی مواد سنتز شده کربنی

امیر شاطری amir.sh197799@gmail.com

فارغ التحصیل مقطع کارشناسی پیوسته مهندسی برق موسسه آموزش عالی آپادانا شیراز؛ ایران

چکیده

در این تحقیق و مقاله^{۴۳} مواد کربنی با تخلیه قوس با پارامترهای مختلف تخلیه سنتز شدند مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند. این مواد از گلبول‌های دوده با ساختار کربن نامنظم تشکیل شده‌اند، همچنین قطعات گرافن نیز در مواد وجود دارد. با این وجود، هدایت الکتریکی مواد کربنی سنتز شده اساساً با تأثیر مقاومت تماس ظاهر شده به دلیل کربن آمورف که قطعات گرافن را می‌پوشاند تعیین می‌شود. رسانایی الکتریکی بسته به شرایط سنتز دارای مقادیری در محدوده 10^{-3} تا $5,3$ زیمنس بر متر است. برای مواد سنتز شده حاوی صفحات گرافن با اندازه‌های بزرگتر از بیشتر گلبول‌های دوده، هدایت الکتریکی با نسبت محتوای صفحات گرافن و گلبول‌های دوده تعیین می‌شود. این ماده دارای رسانایی الکتریکی 33 زیمنس بر متر است.

کلید واژه‌ها: نانو کربن؛ رسانایی الکتریکی؛ تخلیه قوس؛ هدایت الکتریکی

1 . مقدمه

سنتز تخلیه قوس نانومواد پس از کار سنتز [1] و نانولوله‌های کربنی کشف شده [2] مورد توجه زیادی قرار گرفته است. این روش سنتز نانومواد امکان تولید نانوذرات فلزی، اکسیدی و کاربیدی با اندازه‌های چند نانومتری را فراهم می‌کند [3-5]. با این وجود، به دلیل واکنش پذیری بالا، تماس بین نانوذرات به یک نانوذره با اندازه بزرگتر تبدیل می‌شود که باعث کاهش سطح خاص و کاهش واکنش پذیری چنین موادی می‌شود. مشکل انعقاد و رشد اندازه نانوذرات حل شده است سنتز ماتریس کربن که نانوذرات را در بر می‌گیرد و از تماس آنها جلوگیری می‌کند. اسکات و مادژتیک اولین کسانی هستند که نانوذرات بسته بندی شده در

1 - این تحقیق و مقاله حاصل بررسی و پژوهش بر روی مقالاتی از پایگاه گوگل اسکالر و همچنین تحقیقات شخصی بر روی موضوعات مرتبط جمع آوری و گردآوری شده است.

ماتریس کربن را سنتز کردند [6]. اکنون چنین سنتزی شامل استفاده از الکترودهای کربن فلزی مرکب است که کندوپاش کردن آنها منجر به تشکیل نانوذرات فلزی بسته بندی شده در ماتریس کربن می شود. نانومواد سنتز شده با روش قوس الکتریکی در زمینه هایی مانند الکتروکاتالیز [7] از جمله سلول های سوختی، تشکیل مواد الکتروکرومیک [8] و غیره کاربرد دارند [9-10]. در این تحقیق و مقاله روش دیگری برای بهبود خواص رسانایی ارائه می شود که با سنتز ماتریس کربن با رسانایی الکتریکی کافی همراه است. هدف این کار تعیین اثرات پارامترهای خارجی سنتز تخلیه قوس الکتریکی بر هدایت الکتریکی مواد کربن سنتز شده است. هدایت الکتریکی ماده کربنی به محتوای کربن هیبرید شده sp^2/sp^3 ، اندازه ذرات و فاصله جداسازی [11-13]، مقدار ناخالصی روی سطوح ذرات [14] بستگی دارد. هدایت الکتریکی با فشردن سازی افزایش می یابد [14-15]. و بازپخت [16].

2. پیشینه تحقیق و پژوهش

2.1. پیشینه و درباره قوس الکتریکی

قوس الکتریکی حالتی از تخلیه الکتریکی در هوا یا دیگر محیطهایی است که معمولاً نارسانا هستند. زمانی که جریان الکتریکی تو سط هوای بین دو رسانا که مستقیماً با هم در تماس نیستند منتقل شود، قوس الکتریکی ایجاد می شود. این قوس به ولتاژ، هدایت الکتریکی محیط و فاصله بین دو رسانا بستگی دارد. قوس الکتریکی یا تخلیه قوس، شکست الکتریکی گازی است که تخلیه الکتریکی طولانی مدت ایجاد می کند. جریان از طریق یک محیط که در حالت عادی غیر رسانا است، مانند هوا، یک پلازما تولید می کند. پلازما ممکن است نور مرئی تولید کند. تخلیه قوس با ولتاژ کمتری نسبت به تخلیه درخشان مشخص می شود و به انتشار ترمونی الکترونی از الکترودهای پشتیبانی کننده قوس متکی است. اصطلاح قدیمی همان طور که در عبارت «لامپ قوس ولتایی» به کار رفته است، قوس ولتایی است. در اواخر دهه ۱۸۰۰، لامپ قوس الکتریکی برای روشنایی عمومی بسیار مورد استفاده قرار می گرفت. برخی از قوس های الکتریکی فشار ضعیف در بسیاری از کاربردها مورد استفاده قرار می گیرند. به عنوان مثال، لوله های فلورسنت، جیوه، سدیم و لامپ های متال هالید برای روشنایی استفاده می شود. لامپ های قوس زنون برای پروژکتورهای فیلم استفاده شده است. در اواخر قرن نوزدهم، روشنایی قوس الکتریکی برای روشنایی عمومی استفاده گسترده ای داشت. تمایل به سوسو زدن و خش خش قوسهای الکتریکی یک مشکل اساسی بود. در سال ۱۸۹۵، هرتا مارکس آیرتون یک سری مقالات را برای برق نوشت و توضیح داد که این پدیده ها نتیجه تماس اکسیژن با میله های کربن مورد استفاده برای ایجاد قوس است. جریان الکتریکی از جاری شدن الکترون ها در یک مسیر رسانا به وجود می آید. هرگاه در چنین مسیری یک شکاف هوا (گاز) ایجاد شود جریان الکترونی و در نتیجه جریان الکتریکی قطع خواهد شد. چنانچه شکاف هوا به اندازه کافی باریک و اختلاف پتانسیل و شدت جریان زیاد باشد، گاز میان شکاف یونیزه شده و قوس الکتریکی برقرار می شود. در قوس الکتریکی الکترودها در اثر حرارت سفید رنگ می شوند. ستونی از گاز ملتهب رسانای الکتریکی بین الکترودها وجود دارد. چون الکتروود مثبت دمایش از الکتروود منفی بیشتر است زود تر از بین می رود. در نتیجه تصعید شدید کربن صورت گرفته و در آن الکتروود (الکتروود مثبت) فرورفتگی به وجود می آید که به دهانه مثبت معروف است و داغ ترین نقطه الکتروودهاست. دمای دهانه در هوا و در فشار جو به ۴۰۰۰ درجه سانتیگراد می رسد. در لامپ های قوسی سازوکارهای منظم و خود کار خاصی برای نزدیک کردن تکه های کربن با سرعت یکنواخت وقتی با سوختن از بین می روند، مورد استفاده قرار می گیرند. برای اینکه سایش و خوردگی الکتروود مثبت به خاطر دمای بالای بیشتر است، برای همین همیشه الکتروود کربن مثبت کلفت تر از الکتروود منفی انتخاب می شود [23]. قوسی که بین الکترودهای کربن در گاز فشردن قرار می گیرد (حدود ۲۰ اتمسفر) امکان افزایش دمای مرکز الکتروود مثبت تا ۵۹۰۰ درجه سانتیگراد یعنی دما روی سطح خورشید را ممکن ساخته است. مشخص شده است که کربن در این حالت ذوب می شود. در ستونی از گاز و بخار که از آن تخلیه الکتریکی عبور می کند، دمای باز هم بالاتری را می توان به دست آورد. بمباران شدید این گاز و بخار با الکترون ها و یون هایی که با میدان الکتریکی قوس شتاب گرفته اند دمای ستون گاز را ۶۰۰۰ تا ۷۰۰۰ درجه سانتیگراد می رساند. به این دلیل تقریباً تمام مواد شناخته شده در ستون قوس الکتریکی ذوب و تبخیر می شوند؛ و بسیاری از واکنش های شیمیایی که در دماهای پایین انجام

شدنی نیستند، با قوس الکتریکی امکان پذیر می شوند؛ مثلاً میله های چینی دیر گداز در شعله قوس به سهولت ذوب می شود. برای ایجاد تخلیه قوس الکتریکی به ولتاژ زیادی نیاز داریم. با ولتاژ حداقل ۳۰۰ ولت بین الکترودها می توان قوس را به وجود آورد. از طرف دیگر جریان داخل قوس زیاد است؛ مثلاً حتی در قوس کوچک جریان به ۵ آمپر می رسد، در حالیکه در قوس های بزرگ که در مقیاس صنعتی به کار می روند جریان به صدها آمپر بالغ می شود.

2.2. پیشینه و درباره هدایت الکتریکی

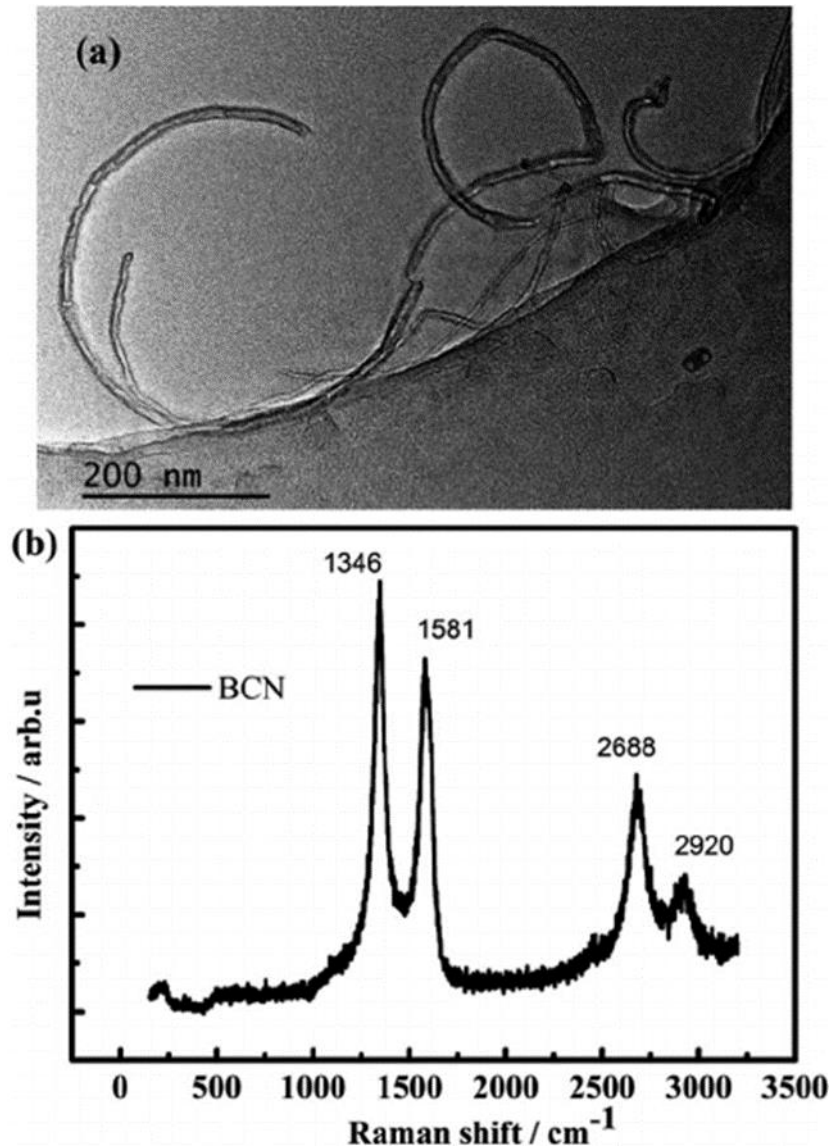
هدایت الکتریکی بر مبنای جریان الکترون ها بنا شده است. از میان عنصرهای جدول تناوبی، فلزات که در میان آنها فلزات قلیایی و قلیایی خاکی نیز وجود دارند، به دلیل گذردهی خوب الکترون ها از میان خود، به عنوان هادی خوب الکتریسیته شناخته می شوند. در مقابل، آب مقطر به دلیل قدرت کم در عبور دادن الکترون ها، هادی ضعیف الکتریسیته به حساب می آید. موادی که به شدت یونیزه شده باشند، الکترولیت هایی قوی هستند. اسیدهای قوی و نمک ها نوعی از الکترولیت قوی محسوب می شوند چراکه به طور کامل در محلول یونیزه و سبب حمل بار الکتریکی در محلول و در نتیجه ایجاد جریان الکتریکی می شوند. موادی که به طور کامل یونیزه نشوند، در دسته بندی الکترولیت های ضعیف جای می گیرند. اسید و بازهای ضعیف جزو این گروه هستند زیرا در محلول ها به طور کامل یونیزه نمی شوند. هدایت الکتریکی یک الکترولیت معیاری برای قابلیت گذردهی الکتریسیته و واحد آن در دستگاه بین المللی یکاها، (زیمنس بر متر) است. اندازه گیری هدایت الکتریکی در صنعت و محیط زیست به عنوان یک روش ارزان و قابل اعتماد برای بررسی میزان یون موجود در یک محلول، به طور گسترده مورد استفاده قرار می گیرد. به طور مثال، اندازه گیری هدایت الکتریکی و کنترل آن، از روش های معمول در تصفیه آب برای مصارف خانگی و صنعتی است. در بسیاری از موارد، هدایت الکتریکی به طور مستقیم با کل مواد جامد محلول مرتبط می شود. هدایت الکتریکی آب دیونیزه (یون زدوده) با کیفیت، معمولاً در حدود ۵،۵ میکرو زیمنس بر متر در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد است. این مقدار برای آب آشامیدنی بین ۵ تا ۵۰ میکرو زیمنس بر متر و برای آب دریا حدود ۵۰۰۰۰۰ میکرو زیمنس بر متر تخمین زده می شود. هدایت الکتریکی در گذشته از طریق اتصال الکترولیت به یک مدار پل وتسون اندازه گیری می شد. محلول های رقیق از قانون «کولراش» در رابطه با هدایت الکتریکی تبعیت می کنند.

3. روش های تجربی تحقیق و مقاله

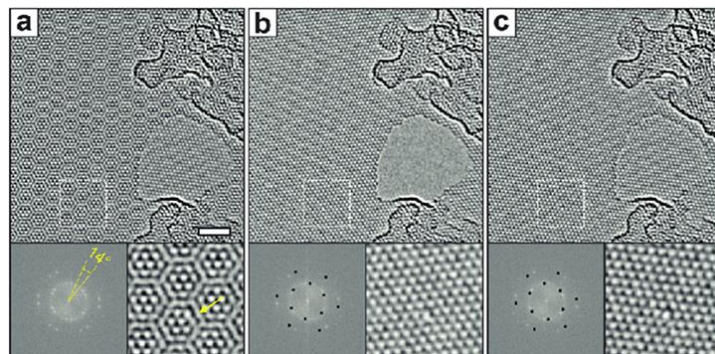
شرح تنظیمات آزمایشی در [4] به تفصیل آمده است. راه اندازی به منبع تغذیه DC متصل شد. میله گرافیتی استوانه ای جامد با قطر ۶ میلی متر به عنوان آند اسپری شده استفاده شد. کاتد متحرک اسپری نشده گلوله استوانه ای گرافیتی به قطر ۲۰ میلی متر بود. هلیوم به عنوان گاز بافر استفاده شد. دو سری آزمایش انجام شد. در سری اول آزمایش ها با مقادیر جریان یکسان ۱۲۰ آمپر و در فشارهای مختلف گاز بافر از ۳ تا ۲۰۰ تور (۱ اتمسفر استاندارد برابر است با ۷۶۰ تور) انجام شد. مواد برچسب C3، C6، C12، C25، C50، C100 و C200 سنتز شدند (تعداد مربوط به مقدار فشار در تور است). در سری دوم آزمایش ها فشارهای یکسان گاز بافر روی ۱۲ تور و مقدار فعلی تخلیه قوس در محدوده ۶۰ تا ۱۵۰ آمپر تنظیم شد. سنتز شدند (عدد بین "C" و "A" مطابق با مقدار جریان در آمپر است).

4. نتایج و بحث

ساختار و فرآیندهای تشکیل مواد کربن تخلیه قوس در منطقه سنتز فولرن مورد مطالعه قرار گرفت [17-18]. در این تحقیق و مقاله، ماده کربن سنتز شده شامل میعانات کربن نامنظم با پیوندهای تصادفی σ - π [19] است که دارای اشکال گلیبول های دوده با اندازه متوسط در محدوده تا ۲۰۰ نانومتر بسته به شرایط سنتز است (شکل ۱ (a)).



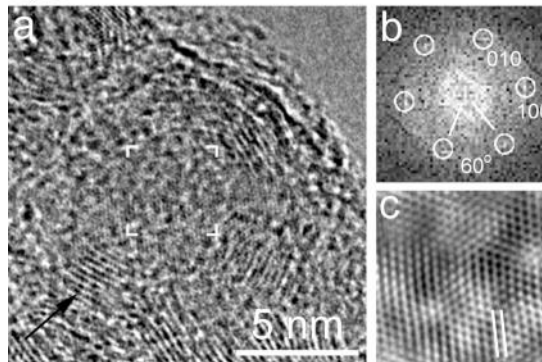
شکل 1. تصویر TEM مشخصه (a) و طیف رامان مشخصه (b) از مواد کربن سنتز شده. نتایج به دست آمده برای C100.



شکل 2. تصاویر HRTEM از ساختارهای کربنی با قطعات گرافن انباشته، پیچ خورده و پیچ خورده. نتایج به دست آمده برای C3.

با این حال، تجزیه و تحلیل طیف سنجی رامان وجود پیک‌های D و G را در نواحی ۱۳۵۲ سانتی‌متر متقابل و ۱۵۹۵ سانتی‌متر متقابل به ترتیب نشان داد، که با ساختار گرافیت کربن هیبرید شده sp^2 مرتبط هستند (شکل ۱ (b)). همچنین پیک D در ۱۵۰۹ سانتی‌متر متقابل در طیف مشاهده می‌شود که با اختلال در مواد کربنی همراه است [20]. به طور تجربی مشخص شده است که سنتز چند توری در فشار گاز بافر بی اثر منجر به تشکیل گلبول‌های دوده با اندازه متوسط حدود ۱۰ نانومتر می‌شود. استفاده از فشارهای بالاتر گاز بافر، اندازه گویچه‌های دوده را افزایش می‌دهد که با افزایش فشار، به طور یکنواخت تا ۴۰ نانومتر افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، استفاده از مقادیر مختلف جریان دشارژ تأثیر معنی‌داری بر اندازه متوسط گلبول‌ها ندارد. مطالعه دقیق تر ساختار گلبول‌های دوده کربنی توسط میکروسکوپ الکترونی عبوری با وضوح بالا (HRTEM) نشان داده است که همزمان با کربن آمورف، نواحی دارای ساختارهای گرافیت مانند گرافن به شکل لایه‌های منحنی، بسته، پیچ خورده و انباشته هستند. به وضوح قابل مشاهده است (شکل ۲، شکل ۳ (b)). با استفاده از نتایج طیف سنجی رامان، اندازه‌های نانوذرات گرافن La با مقادیر نسبت شدت پیک D به G برآورد شد [21-22]. اندازه La بسته به شرایط سنتز متفاوت است و در محدوده ۰٫۵ تا ۲ نانومتر است. هنگامی که ماده کربن سنتز شده به صورت مکانیکی فشرده شد، مقاومت الکتریکی طبق نظریه نفوذ کاهش می‌یابد، و به طور مجانبی به مقدار خاصی نزدیک می‌شود (شکل ۳ (c))، که برای هر ماده آزمایشی تعیین شد. با فشرده سازی، چگالی به مقادیر ۰٫۴ تا ۱٫۷ گرم بر سانتی متر مکعب برای مواد مختلف سنتز شده رسید. مقدار رسانایی الکتریکی در محاسبه چگالی ۲ گرم بر سانتی متر مکعب، وابستگی‌های پیچیده‌ای را به فشار گاز بافر و جریان تخلیه نشان می‌دهد (شکل ۳ (a)).

Fig. 3



شکل 3. وابستگی رسانایی الکتریکی به فشار گاز بافر و جریان تخلیه (a)، تصویر HRTEM از گرافیت نانوذرات در (b) C3، تصویر HRTEM از نانوذرات گرافیتی جاسازی شده در پوسته آمورف در (c) C60A.

همچنین رسانایی الکتریکی مستقل از اندازه ساختارهای گرافیت در محدوده اندازه‌ای است که برای مواد سنتز شده تعیین شده است، به دلیل مقدار زیاد مقاومت تماسی که به دلیل وجود مقدار زیادی کربن نامرتب آمورف ظاهر می‌شود (شکل ۳ (b)). مقاومت تماس با مقدار کربن آمورف تعیین می‌شود. تأثیر آن برای مواد به دست آمده از سنتز تخلیه قوس در جریان ۱۴۰ آمپر و فشار گاز بافر ۱۲ تور به حداقل می‌رسد، زمانی که هم گلبول‌های دوده و هم صفحات گرافن با اندازه‌های ۲۰ تا ۱۸۰ نانومتر با اندازه متوسط تشکیل شدند. ۶۵ نانومتر (شکل ۳ (c))، که قابل مقایسه و بزرگتر از اندازه گلبول‌های دوده است. در این حالت، رسانایی الکتریکی با نسبت محتوای صفحات گرافن و گلبول‌های دوده تعیین می‌شود و از نظریه نفوذ پیروی می‌کند.

5. نتیجه گیری

به عنوان نتایج در این تحقیق و مقاله سنتز تخلیه قوس در فشارهای مختلف گاز بافر و جریان‌های تخلیه، نانومواد کربنی تولید شدند که بسته به شرایط سنتز، گلبول‌های دوده با اندازه متوسط در محدوده ۱۰ تا ۴۰ نانومتر را نشان می‌دهند. این مواد حاوی نانوذرات گرافن با اندازه‌های La در محدوده ۰.۵ تا ۲ نانومتر بسته به شرایط سنتز هستند. با این حال ر سانایی الکتریکی مواد سنتز شده عمدتاً تحت تأثیر پدیده مقاومت تماسی است که به دلیل وجود مقدار زیادی کربن آمورف ظاهر می‌شود که نانوذرات گرافن را می‌بندد. برای چنین مواد سنتز شده، بسته به شرایط سنتز، ر سانایی الکتریکی دارای مقدار 10^{-3} زیمنس بر متر برای ماده به دست آمده در فشار ۲۰۰ تور و ۱۲۰ آمپر تا ۵.۳ زیمنس بر متر برای ماده تولید شده در ۱۲ تور و ۱۲۰ آمپر. در صورت حضور در مواد سنتز شده صفحات گرافن با اندازه متوسط ۶۵ نانومتر که از بیشتر گلبول‌های دوده بزرگتر است، ر سانایی الکتریکی چندین برابر افزایش می‌یابد و به ۳۳ زیمنس بر متر می‌رسد. ر سانایی با نسبت محتوای گلبول‌های دوده و ساختارهای گرافن تعیین می‌شود. بنابراین، سنتز تخلیه قوس در شرایطی که بالاترین ر سانایی الکتریکی ساختار کربن تولید شده را تضمین می‌کند، ویژگی‌های الکتروکاتالیستی، الکتروکرومیک و سایر ویژگی‌های ماده سنتز شده را بهبود می‌بخشد.

منابع و مراجع

- [1] Kratschmer, W.; Lamb, L.; Fostiropoulos, K. & Huffman, D. R. Solid C60: a new form of carbon, *Nature*, 1990, 347, 354 – 358.
- [2] Iijima, S. Helical microtubules of graphitic carbon, *Nature*, 1991, 354, 56 – 58.
- [3] Maltsev, V. A.; Novopashin, S. A.; Nerushev, O. A.; Snytnikov, P. V.; Sakhapov, S. Z. & Smovzh, D. V. Synthesis of metal nanoparticles on a carbon matrix. *Nanotechnologies in Russia*, 2007, 2, 85-89.
- [4] Smovzh, D. V.; Sakhapov, S. Z.; Zaikovskii, A. V. & Novopashin, S. A. Morphology of aluminium oxide nanostructures after calcination of arc discharge Al/C soot, *Ceramics International*, 2015, 41, 8814-8819.
- [5] Zaikovskii, A. V.; Mal'tsev, V. A. & Novopashin, S. A. Synthesis of tungsten carbide nanoparticles in WO₃ pyrolysis in a plasma arc. *Journal of Engineering Thermophysics*, 2013, 22, 77-85.
- [6] Scott, J. H. J. & Majetich, S. A. Morphology, structure, and growth of nanoparticles produced in a carbon arc, *Phys. Rev. B*, 1995, 52, 12564-12571.
- [7] R.V. Gulyaev, E.M. Slavinskaya, S.A. Novopashin, D.V. Smovzh, A.V. Zaikovskii, D.Yu. Osadchii, O.A. Bulavchenko, S.V. Korenev, A.I. Boronin. Highly active PdCeOx composite catalysts for low-temperature CO oxidation, prepared by plasma-arc synthesis. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2014, 147, 132– 143.
- [8] A.V. Zaikovskii Analysis of Phase Composition of Materials Synthesized in Carbon and Tungsten Trioxide Pyrolysis in a DC Electric Arc in Helium Medium. *Journal of Engineering Thermophysics*, 2014, 22(1), 47– 52.
- [9] Saravanan G., Mohan S. Pt nanoparticles embedded on reduced graphite oxide with excellent electrocatalytic properties. *Applied Surface Science*. 2016, 386, 96-102.
- [10] Ibrahim M.A., Falleh Al-Solamy, Omar A. Al-Hartomy, Ahmed Al-Ghamdi, Farid El-Tantawy. Electrocatalytic reduction of oxygen on Ni/Graphite Nanoparticles. *Journal of Fuel Cell Science and Technology*, 2012, 9(4), 041003.
- [11] Euler K.J., Kirchoff H., Metzendorf A. The electric conductivity and related phenomena of compressed powder materials. *J Mater Chem*, 1979, 4(4), 611–629.



- [12] Zorin F.I. Electrical resistivity of powdered graphites. *Inorg Mater*, 1986, 22(1), 47–49.
- [13] Donnet J.B., Voet A. *Carbon black*. New York: Marcel Dekker, 1976.
- [14] Pantea D, Darmstadt H, Kaliaguine S, Summchen L, Roy C. Electrical conductivity of thermal carbon blacks. Influence of surface chemistry. *Carbon*. 2001, 39, 1147–1158.
- [15] J. Sanchez-Gonzalez a, A. Macias-Garcia a, M.F. Alexandre-Franco b, V. Gomez-Serrano. Electrical conductivity of carbon blacks under compression. *Carbon*, 2005, 43, 741-747.
- [16] D. Dasgupta, F. Demichel, A. Tacliaferro. Electrical conductivity of amorphous carbon and amorphous hydrogenated carbon. *Philosophical Magazine B*, 1991, 63(6), 1255-1266.
- [17] Gorelik O.P., Dyuzhev G.A., Novikov D.V., Oïchenko V.M., Fursei G.N. Cluster structure of fullerene-containing soot and C60 fullerene powder. *Technical Physics*. 2000, 45(11), 1489-1495.
- [18] Afanas'ev D.V., Bogdanov A.A., Dyuzhev G.A., Kruglikov A.A. Formation of fullerenes in an arc discharge. *Technical Physics*. 1997, 42(2), 234-237.
- [19] Belikov A.E., Zaikovskiy A.V., Maltsev V.A. et. al. The properties of carbon-carbonic condensate synthesized in the plasma arc. *Thermophysics and Aeromechanics*, 2009, 16(4), 647-650.
- [20] Cuesta A, Dhamelincourt P, Laureyns J, Martinez-Alonso A, Tascon J. M. D. Raman microprobe studies on carbon materials. *Carbon*, 1994, 32, 1523–1532.
- [21] Ferrari, A. C. & Robertson, J. Interpretation of Raman spectra of disordered and amorphous carbon, *Phys. Rev. B*, 2000, 61, 14095-14107.
- [22] Tuinstra, F. Raman Spectrum of Graphite, *The Journal of Chemical Physics*, 1970, 53, 1126.
- [23] <https://www.elsevier.com/books/the-science-and-technology-of-carbon-nanotubes/yamabe/978-0-08-042696-9>