

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 3, Number 301 (2015), 186 – 190

SYNTHESIS OF THE CARBON NANOPARTICLES IN THE GAS PHASE DEPENDING ON THE PLASMA PARAMETERS

S. A. Orazbayev¹, T. S. Ramazanov¹, M. K. Dosbolayev¹, D. G. Batryshev¹, L. Boufendi²

¹Al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan,

²GREMI, Orleans politechnical university, Orleans, France.

E-mail: sagi.orazbayev@gmail.com

Keywords: nanoparticles, dusty plasma, nanomaterials, gas discharges.

Abstract. In this work carbonous nano and microparticles were obtained by the plasma chemical vapor deposition method in RF discharge and their size and structure depending on the discharge parameters were investigated. Synthesis of nano and microparticles was carried out in mixtures of argon (98%) and methane (2%) gases at different parameters of RF discharge such as time, pressure and discharge power. Morphology and chemical content of obtained samples are investigated by scanning electron microscopy (SEM) and Raman spectroscopy. Analyses of obtained results indicate that synthesis and deposition processes depend on plasma parameters. The optimal conditions of nanoparticle synthesis were determined.

УДК 537.523/.527

ҚӨМІРТЕГІ НАНОБӨЛШЕКТЕР СИНТЕЗІНІҢ ЖҖ РАЗРЯД ПЛАЗМАСЫНЫң ПАРАМЕТРЛЕРИНЕ ТӘУЕЛДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

С. А. Оразбаев¹, Т. С. Рамазанов¹, М. К. Досбалаев¹, Д. Г. Батрышев¹, Л. Буфенди²

¹ННЛОТ, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазакстан,

²GREMI, Орлеан политехникалық университеті, Орлеан, Франция

Тірек сөздер: нанобөлшектер, тозанды плазма, наноматериалдар, газдық разряд.

Аннотация. Аталған жұмыста жоғары жиілікті сыйымдылықты разряд плазмасында газдық фазада қөміртегі нанобөлшектері алғынған және олардың өлшемдері мен құрылымдарының разряд параметрлеріне тәуелділігі зерттелген. Нано және микробөлшектер синтезі ЖЖС разрядта аргон (98%) мен метан (2%) газ коспасы плазмасында әртүрлі уақыт, газ қысымы және разряд қуатының параметрлерінде жүргізілген. Алғынған бөлшектердің үлгілерінің беттік және химиялық құрамын зерттеу электронды сканерлеуші микроскоп Quanta 3D 200i (SEM, USA FEI company) көмегімен жүргізілді. Графиктік және математикалық есептесулер негізінде қөміртегі нано және микробөлшектері өлшемдерінің разряд қуатына, газ қысымына, синтезделу уақытына тәуелділіктері түрфызылды.

Кіріспе. Қазіргі таңда нанобөлшектер мен наноқұрылымды материалдар көптеген заманауи тауарлар – лак және боя өндірісінен бастап ас тағамдары өнеркәсібінің негізі болды. Нанобөлшектер мен наноқұрылымды материалдардың дамуы медицина мен фармацевтика, энергетика, электроника, автомобиль өнеркәсібінің маңызды бөлігіне айналды. Соңдықтан конструкциялы және функционалды наноматериалдар алу нанотехнология саласының маңызды ғылыми және қолданбалы есептерінің бірі болып саналады [1]. Бәрімізге белгілі, нанотехнология саласы қолданбалы ғылымдағы өркендердем дамып келе жатқан маңызды бағыт болып табылады.

Осыған байланысты адамзат қажетті қасиеттерге ие жоғары сапалы ұсақдисперсті (микро және нанобөлшек) композитті материалдарды нанобөлшек және наноұнтақ алуда, металдарды

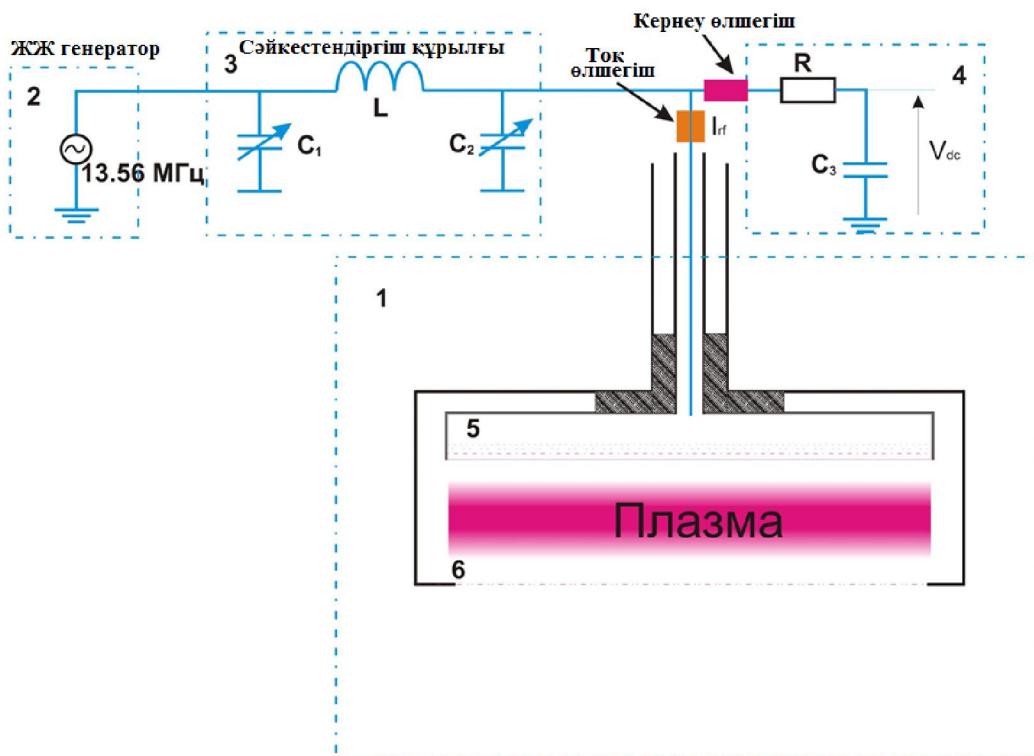
керамикалық материалдар (жоғарғы температуралы жоғары өткізгіштер мен қатты электролиттер) дәнекерлеуде, күн батареяларын өндіру технологияларында қолдануға қызығушылық танытуда [2].

Қазір, нанобөлшекті алушың келесі әдістері кеңінен қолданылады: плазма-химиялық, өткізгіштерді электрлік жару, буландыру және конденсация, левитациялық-аққыштық, криохимиялық синтез, золь-тель процесі, ертінділерден тұндыру, сольво және гидротермальды синтез, электролиттік, микроэмультістік, сұйық фазадан қалпына келтіру, соққы-толқындық синтез. Солардың ішінде, наноқұрылымды нанобөлшектерді алушың екі қарапайым классикалық әдістері бар, олар плазма-химиялық және қажетті өлшемдерге дейін ұсақтау.

Аталған жұмыста плазмалы-химиялық әдіс негізінде жоғары жиілікті сыйымдылықты (ЖЖС) разрядта газдық фазадан көміртегі нанобөлшектері синтезделген және олардың өлшемдері мен құрылымдарының разряд параметрлеріне тәуелділігі зерттелген.

Тәжірибелік қондырғы

1-суретте ЖЖС разряд плазмасында газдық фазадан нано- және микробөлшектерді синтездеуге арналған тәжірибелік қондырғының сұлбасы көрсетілген [3, 4]. Бұл тәжірибелік қондырғы газдық разрядты камерадан (1), сейкестендіргіш құрылғы (2) ЖЖ генератордан (3) және өздік ығысу кернеуін аныктайтын модульден (4) тұрады. Өзара параллель жазық екі электрод газдық разрядты камерада орналасқан. Электродтардың диаметрі 10 см, арақашықтығы 1,5 см. Төменгі электродқа (5) 13,56 МГц жоғары жиілікті кернеу беріледі және жоғарғы электрод (6) жерге жалғанған. Жоғарғы жиілікті генератордан берілетін қуат 1,5–20 Вт аралығында. Ал, жұмыс газы ретінде аргон және метан қоспасы алынды, қысымы 0,1–2 Тор аралығында өзгертіліп отырды.



1-сурет – ЖЖ разрядты қондырғының жалпы сұлбасы

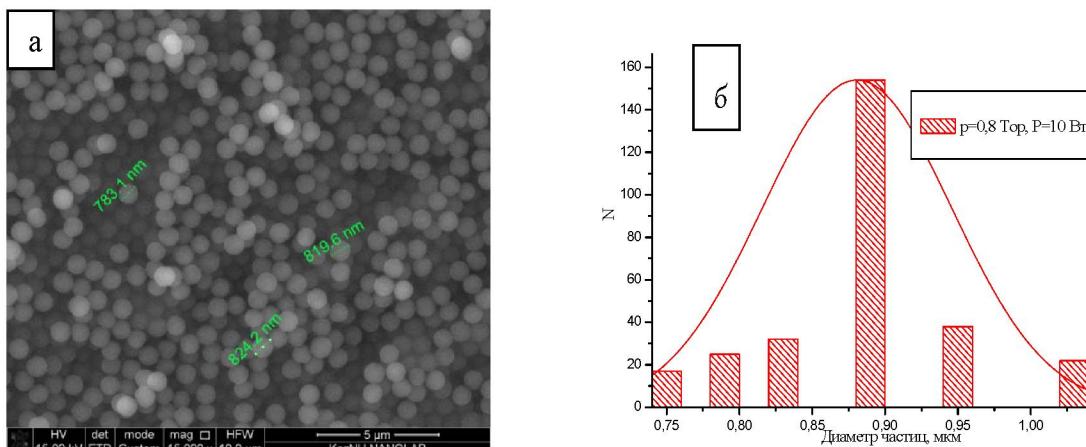
Тәжірибелік әдіс

Бұл тәжірибелік жұмыста плазма-химиялық әдіс негізінде ЖЖС разряд плазмасында газдық фазадан көміртегі нано- және микробөлшектері синтезделген. Аталған газдық фазадан микро және нанобөлшектерді синтездеу әдісі ЖЖ разряд плазмасында аргон метан газ қоспасының құрамының

молекулалар мен атомдардың иондарына ыдырауына, сонынан кластерлерден бастап микробөлшектерге дейін өсуіне негізделген. Бұл ұсақдисперсті бөлшектердің синтездеу ЖЖС разряд плазмасында иондық-сәулелік қондыру әдісімен көміртегі наноқабықшаларын алу барысындағы тәжірибелік жұмыстарда анғарылған болатын [5].

Электродтарға жоғары жиілікті кернеу беріліп, разряд жанады және диссоциация және иондалу процестері нәтижесінде газдар қоспасы иондар мен радикалдарға бөлініп, химиялық реакциялардың арқасындаnano- және микробөлшектер синтезделеді. Плазмада газдық фазадан nano- және микробөлшектердің өсуі [6-8] белгілі механизммен жүзеге асырылады. Яғни, пайда болу және полимеризация, қанығу және коагуляция, нанобөлшектің беттік өсуі сияқты фазалардан тұрады. Бірінші фазада $t = 0$ (пайда болу және полимеризация фазасы) газ атомдары мен молекулаларының иондары мен радикалдарынан нанокластерлер пайда болады, осыдан кейін қанығу фазасы жүреді t_1 , мұнда нанокласстерлер критикалық өлшемге дейін өседі және бір-бірімен жабыса бастайды t_2 (коагуляция фазасы), нанобөлшектің орташа өлшемі 50 нм-ге тең. Кейін нанобөлшектің беттік өсуі фазасы жүреді, мұнда нанобөлшектердің өлшемдері ғана өзгереді.

Алынған нәтижелер. Nano- және микробөлшектер синтезі ЖЖС разряд аргон (98%) мен метан (2 %) газ қоспасы плазмасында белгілі уақытта, газ қысымы мен разряд қуатының әр-түрлі мәндерінде жүргізілген. Тәменде жоғары жиілікті разряд плазмасында газдық фазадан синтезделген көміртегі нанобөлшектері 2-суретте көрсетілген.



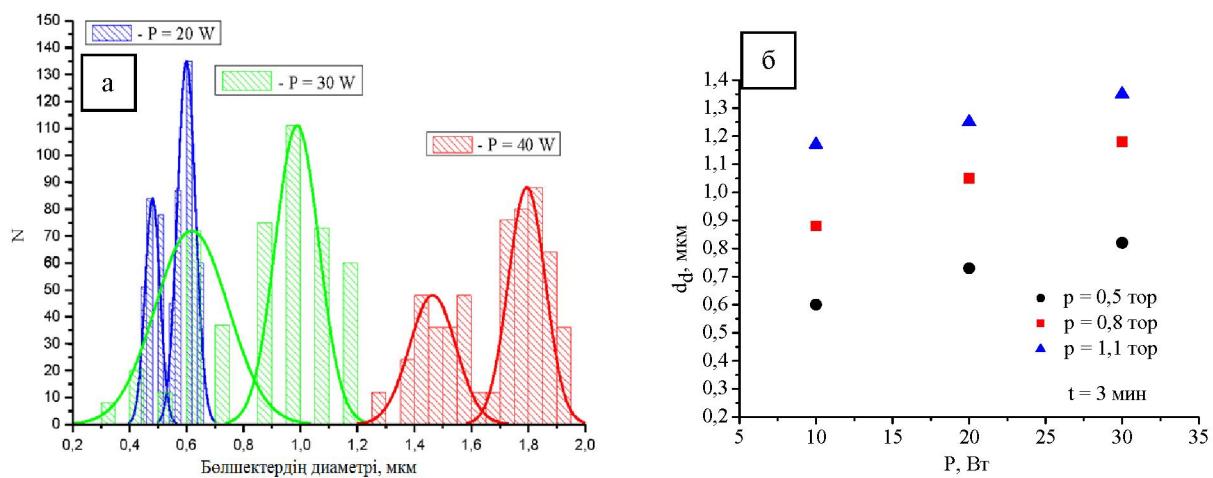
2-сурет – ЖЖ разряд плазмасында синтезделген көміртек микробөлшектері (а) және өлшемдері бойынша таралу (б) $p = 0,8$ Тор, $P = 10$ Вт

Газ қысымы мен разряд қуатының әр-түрлі параметрлерінде алынған нәтижелер синтезделген бөлшектердің өлшемдері бойынша таралу функциясы ретінде тәмендегі 3-суреттерде көрсетілген.

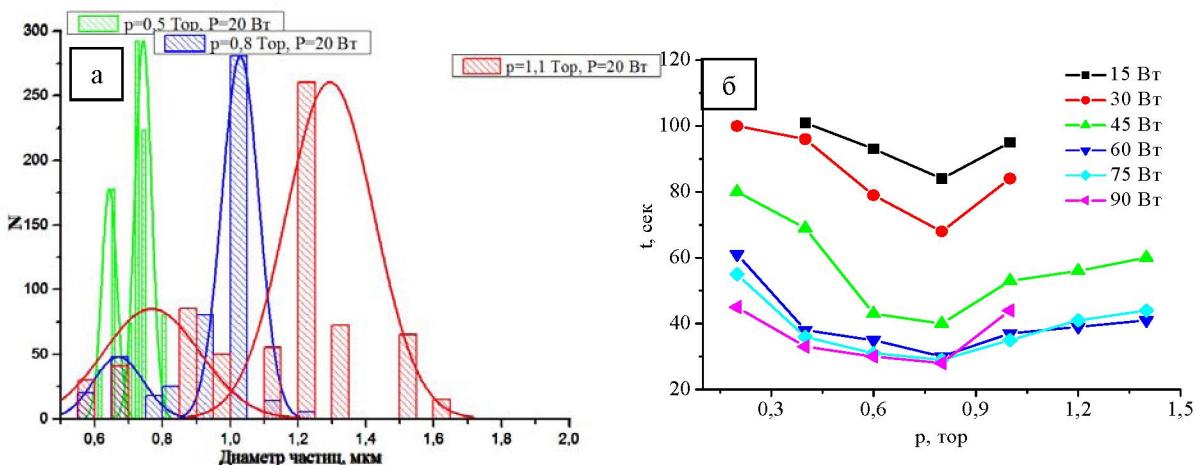
За-суретте разряд қуатындағы өзгерісіне байланысты плазмада синтезделген nano- және микробөлшектердің өлшемдері бойынша таралу графигі көрсетілген. Бірдей плазма параметрлерінде разряд қуатының кемуіне байланысты синтезделген nano- және микробөлшектердің әр түрлі фракциялары көруге болады.

Берілетін разряд қуатына байланысты плазмада нанобөлшектердің анықталған өлшемдерін алуға болады. Разряд қуатының артуына байланысты электрондардың энергиясы артып, газдың иондалу жылдамдамдығы артады. Осыған байланысты иондардың концентрациясы мен иондардың бөлшек бетінен қонуы жоғарылайды. Бұл эффект бөлшектердің тез өсуіне алып келеді. Аталған процесс жоғарыдағы 3б-суретте жақсы сипатталған.

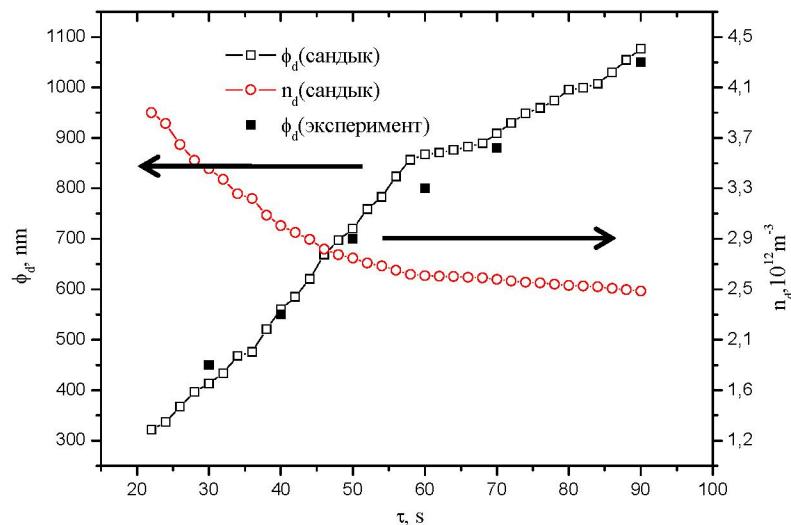
Сонымен бірге, тәмендегі 4а-суретте синтезделу уақыты мен разряд қуатының түрақты мәнінде, плазмадағы бөлшектердің өсуінің газ қысымының $p=0,5-1,1$ тор аралығындағы өзгерісіне тәуелділік көрсетілген.



3-сурет – а) синтезделген көміртегі нано- және микробөлшектерінің өлшемдері бойынша таралу функциясы, $p = 0,6$ тор және $W = 20-40$ Вт; б) синтезделген бөлшектердің диаметрлерінің разряд қуатына тәуелділігі



4-сурет. а) синтезделген көміртегі нано- және микробөлшектерінің өлшемдері бойынша таралу функциясы, $W = 20$ Вт және $p = 0,5-1,1$ тор; б) бөлшектердің пайда болу уақытының газ қысымына тәуелділігі



5-сурет – Бөлшектердің диаметрі мен концентрациясының синтез уақытына тәуелділігі

4б-суретте көріп отырғанымыздай, төменгі разряд қуаттарында бөлшектердің пайда болу процесі ұзак уақытты қажет етеді, өйткені иондалу процессінің өзі арналы бір уақытты қажет етеді. Газ иондалғаннан кейін, плазмадағы иондар нанокластерлер және нанобөлшектер түзуі үшін бір-бірімен химиялық байланысқа түседі. Ал разрядтың жоғарғы қуаттарында газдың иондалу процесі жылдам жүретіндіктен, бөлшектердің пайда болуы төмендейді.

Жасалған сериялы эксперименттік нәтижелерден нанобөлшектердің пайда болуының оптималь параметрлері анықталды. 4б-суреттен 0,8 торға дейінгі газ қысымының өсуі бөлшектердің пайда болу уақытының төмендейтіні, ал одан ары газ қысымын жоғарылату бөлшектердің пайда болуы уақытының өсетіндігін көреміз.

Сонымен қатар, бөлшектердің диаметрі мен концентрациясының синтез уақытына тәуелділігі алынды. Жоғарыдағы алынған нәтижелер бөлшектердің өсуі плазма параметрлері, яғни разряд қуаты, газ қысымы және бөлшектердің синтезделу уақытына тікелей тәуелді екенін көрсетті.

Осы жұмыста алынған нәтижелер алдығы уақытта ЖЖ разрядты плазмада газдық фазадан бөлшектердің өсуінің басқа да разряд параметрлерлеріне тәуелділігін алуға және бөлшектер алудың технологиялық регламентін жасауға негіз болады.

ӘДЕБІЕТ

- [1] Осипов В.В., Котов Ю.А., Иванов М.Г., Саматов О.М., Смирнов П.Б. // Изв. АН. Сер. Физическая. – 1999. – Т. 63. – № 10. – С. 1968-1971.
- [2] Осипов В.В., Платонов В.В., Лисенков В.В. // Квант. электрон. – 2009. – Т. 39, № 6. – С. 541-546.
- [3] Ramazanov T.S., Dzhumagulova K.N., Jumabekov A.N., Dosbolayev M.K. // Phys. Plasmas. – 2008. – Vol. 15. – P. 053704.
- [4] Ramazanov T.S., Jumabekov A.N., Orazbayev S.A., Dosbolayev M.K., Jumagulov M. N. // Phys. Plasmas. – 2012. – № 19. – P. 023706.
- [5] Gabdullin M.T., Ramazanov T.S., Orazbayev S.A., Batryshev D.G., Dosbolayev M.K., Silamiya M. Ion – beam deposition of carbon nanofilms on silicon substrate // Advanced Science Letters. – 2013. – 19. – P. 960.
- [6] Fridman A., Boufendi L., Hbid T., Potapkin B., Bouchoule A. // J. Appl. Phys. – 79. – 1303.
- [7] Boufendi L., thesis Ph.D. University of Orléans, 1994.
- [8] Shiratani M., Fukuzawa T., Watanabe Y. // Jpn. J. Appl. Phys. – Part 1 38, 4542.

REFERENCES

- [1] Osipov V.V., Kotov Yu.A., Ivanov M.G., Samatov O.M., Smirnov P.B. News. AS. Ser. Phys. 1999. Vol. 63, N 10. P. 1968-1971. (in Russ.).
- [2] Osipov V.V., Platonov V.V., Lisenkov V.V. Quantum. el. 2009. Vol. 39, N 6. P. 541-546. (in Russ.).
- [3] Ramazanov T.S., Dzhumagulova K.N., Jumabekov A.N., Dosbolayev M.K. Phys. Plasmas. 2008. Vol. 15. P. 053704.
- [4] Ramazanov T.S., Jumabekov A.N., Orazbayev S.A., Dosbolayev M.K. Jumagulov M.N. Phys. Plasmas. 2012. 19, P. 023706.
- [5] Gabdullin M.T., Ramazanov T.S., Orazbayev S.A., Batryshev D.G., Dosbolayev M.K., Silamiya M. Ion – beam deposition of carbon nanofilms on silicon substrate. Advanced Science Letters. 2013. 19, P. 960.
- [6] Fridman A., Boufendi L., Hbid T., Potapkin B., Bouchoule A. J. Appl. Phys. 79, 1303.
- [7] Boufendi L. Ph.D. thesis, University of Orléans, 1994.
- [8] Shiratani M., Fukuzawa T., Watanabe Y. Jpn. J. Appl. Phys., Part 1 38, 4542.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА УГЛЕРОДНЫХ НАНОЧАСТИЦ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЫ ВЧ РАЗРЯДА

С. А. Оразбаев, Т. С. Рамазанов, М. К. Досбалаев, Д. Г. Батрышев, Л. Буфенди

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

²GREMI, Орлеанский политехнический университет, Орлеан, Франция

Ключевые слова: наночастицы, пылевая плазма, наноматериалы, газовые разряды.

Аннотация. В работе получены наночастицы углерода в плазме высокочастотного емкостного разряда в газовой фазе и исследованы их размеры и структура в зависимости от параметров разряда. Синтезnano- и микрочастиц проводился в смесях газов аргон (98%) и метан (2%) в ВЧЕ разряде при разных параметрах, таких как время синтеза, давление и мощность разряда. Исследования поверхности и химического состава полученных частиц проводились с помощью сканирующего электронного микроскопа Quanta 3D 200i (SEM, USA FEI company). На основе графических и математических расчетов построены зависимости размеров наномикрочастиц от мощности разряда, давления газа и от времени синтеза.

Поступила 25.02.2015 г.