

ISSN 1991-346X

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

# Х А Б А Р Л А Р Ы

---

---

## ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА  
СЕРИЯСЫ**



**СЕРИЯ**

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ**



**PHYSICO-MATHEMATICAL  
SERIES**

**3 (301)**

**МАМЫР – МАУСЫМ 2015 ж.**

**МАЙ – ИЮНЬ 2015 г.**

**MAY – JUNE 2015**

1963 ЖЫЛДЫҢ ҚАҢТАР АЙЫНАН ШЫҒА БАСТАҒАН

ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1963 ГОДА

PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ

ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД

PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА  
АЛМАТЫ, НАН РК  
ALMATY, NAS RK

Б а с р е д а к т о р

ҚР ҰҒА академигі,

**Мұтанов Г. М.**

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Әшімов А.А.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Байғұнчечков Ж.Ж.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Жұмаділдаев А.С.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Қалменов Т.Ш.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Мұқашев Б.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Өтелбаев М.О.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Тәкібаев Н.Ж.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Харин С.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбішев М.Е.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Жантаев Ж.Ш.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Қалимолдаев М.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Косов В.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Мұсабаев Т.А.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Ойнаров Р.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Рамазанов Т.С.** (бас редактордың орынбасары); физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Темірбеков Н.М.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Өмірбаев У.У.**

Р е д а к ц и я к ең е с і:

Украинаның ҰҒА академигі **И.Н. Вишневский** (Украина); Украинаның ҰҒА академигі **А.М. Ковалев** (Украина); Беларусь Республикасының ҰҒА академигі **А.А. Михалевич** (Беларусь); Әзірбайжан ҰҒА академигі **А. Пашаев** (Әзірбайжан); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **И. Тигиняну** (Молдова); мед. ғ. докторы, проф. **Иозеф Банас** (Польша)

Главный редактор

академик НАН РК

**Г. М. Мутанов**

Редакционная коллегия:

доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **А.А. Ашимов**; доктор техн. наук, проф., академик НАН РК **Ж.Ж. Байгунчеков**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **А.С. Джумадильдаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Т.Ш. Кальменов**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Б.Н. Мукашев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **М.О. Отелбаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Н.Ж. Такибаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **С.Н. Харин**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Е. Абишев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Ж.Ш. Жантаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Н. Калимолдаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **В.Н. Косов**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.А. Мусабаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Р. Ойнаров**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.С. Рамазанов** (заместитель главного редактора); доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Н.М. Темирбеков**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **У.У. Умирбаев**

Редакционный совет:

академик НАН Украины **И.Н. Вишневский** (Украина); академик НАН Украины **А.М. Ковалев** (Украина); академик НАН Республики Беларусь **А.А. Михалевич** (Беларусь); академик НАН Азербайджанской Республики **А. Пашаев** (Азербайджан); академик НАН Республики Молдова **И. Тигиняну** (Молдова); д. мед. н., проф. **Иозеф Банас** (Польша)

«Известия НАН РК. Серия физико-математическая». ISSN 1991-346X

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5543-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz) / [physics-mathematics.kz](http://physics-mathematics.kz)

---

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2015

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

Editor in chief

**G. M. Mutanov**,  
academician of NAS RK

Editorial board:

**A.A. Ashimov**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **Zh.Zh. Baigunchekov**, dr. eng. sc., prof., academician of NAS RK; **A.S. Dzhumadildayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **T.S. Kalmenov**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **B.N. Mukhashev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **M.O. Otelbayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **N.Zh. Takibayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **S.N. Kharin**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **M.Ye. Abishev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Zh.Sh. Zhantayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.N. Kalimoldayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **V.N. Kosov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **T.A. Mussabayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **R. Oinarov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **T.S. Ramazanov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK (deputy editor); **N.M. Temirbekov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **U.U. Umirbayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK

Editorial staff:

**I.N. Vishnievski**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.M. Kovalev**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.A. Mikhalevich**, NAS Belarus academician (Belarus); **A. Pashayev**, NAS Azerbaijan academician (Azerbaijan); **I. Tighineanu**, NAS Moldova academician (Moldova); **Joseph Banas**, prof. (Poland).

**News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physical-mathematical series.**  
**ISSN 1991-346X**

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of information and archives of the Ministry of culture and information of the Republic of Kazakhstan N 5543-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz) / [physics-mathematics.kz](http://physics-mathematics.kz)

---

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2015

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

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. Orazbayev<sup>1</sup>, T. S. Ramazanov<sup>1</sup>, M. K. Dosbolayev<sup>1</sup>, D. G. Batryshev<sup>1</sup>, L. Boufendi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan,

<sup>2</sup>GREMI, 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

## КӨМІРТЕГІ НАНОБӨЛШЕКТЕР СИНТЕЗІНІҢ ЖЖ РАЗРЯД ПЛАЗМАСЫНЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІНЕ ТӘУЕЛДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

С. А. Оразбаев<sup>1</sup>, Т. С. Рамазанов<sup>1</sup>, М. К. Досболаев<sup>1</sup>, Д. Г. Батрышев<sup>1</sup>, Л. Буфенди<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ННЛОТ, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

<sup>2</sup>GREMI, Орлеан политехникалық университеті, Орлеан, Франция

**Тірек сөздер:** нанобөлшектер, тозаңды плазма, наноматериалдар, газдық разряд.

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

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

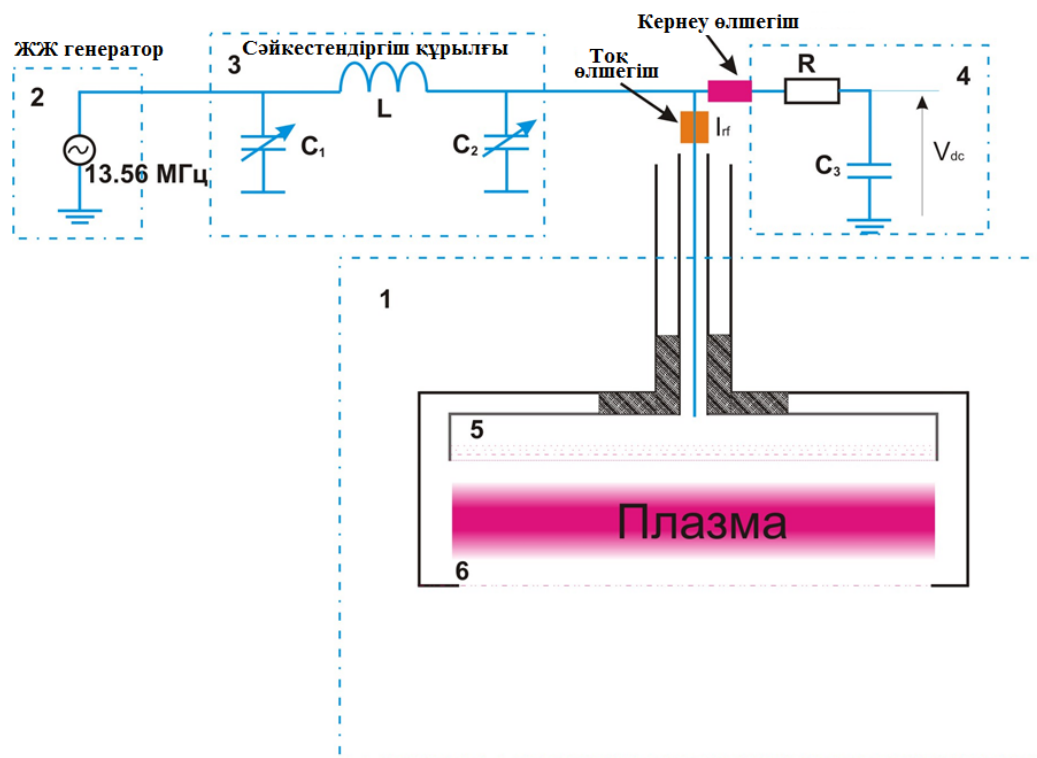
керамикалық материалдар (жоғарғы температуралы жоғары өткізгіштер мен қатты электролиттер) дәнекерлеуде, күн батареяларын өндіру технологияларында қолдануға қызығушылық танытуда [2].

Қазір, нанобөлшекті алудың келесі әдістері кеңінен қолданылады: плазма-химиялық, өткізгіштерді электрлік жару, буландыру және конденсация, левитациялық-аққыштық, криохимиялық синтез, золь-гель процесі, ертінділерден тұндыру, сольво және гидротермальды синтез, электролиттік, микроэмульстік, сұйық фазадан қалпына келтіру, соққы-толқындық синтез. Солардың ішінде, нанокұрылымды нанобөлшектерді алудың 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 камерада (1), сәйкестендіргіш құрылғы (2) ЖЖ генератордан (3) және өздік ығысу кернеуін анықтайтын 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 – ЖЖС разрядты қондырғының жалпы сұлбасы

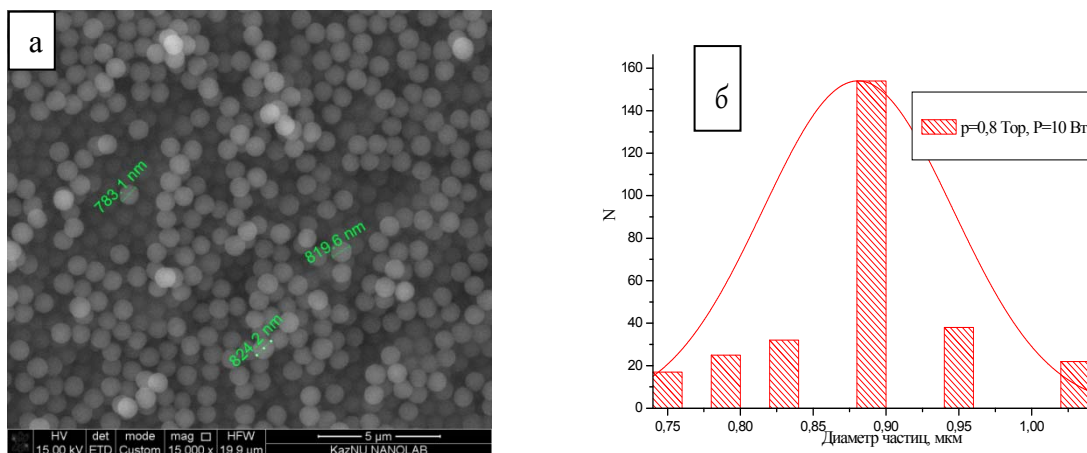
### Тәжірибелік әдіс

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 ЖЖС разряд плазмасында аргон метан газ қоспасының құрамының

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

Электродтарға жоғары жиілікті кернеу беріліп, разряд жанады және диссоциация және иондалу процестері нәтижесінде газдар қоспасы иондар мен радикалдарға бөлініп, химиялық реакциялардың арқасында нано- және микробөлшектер синтезделеді. Плазмада газдық фазадан нано- 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 нанокластерлер критикалық өлшемге дейін өседі және бір-бірімен жабыса бастайды  $t_2$  (коагуляция фазасы), нанобөлшектің орташа өлшемі 50 нм-ге тең. Кейін нанобөлшектің беттік өсу фазасы жүреді, мұнда нанобөлшектердің өлшемдері ғана өзгереді.

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



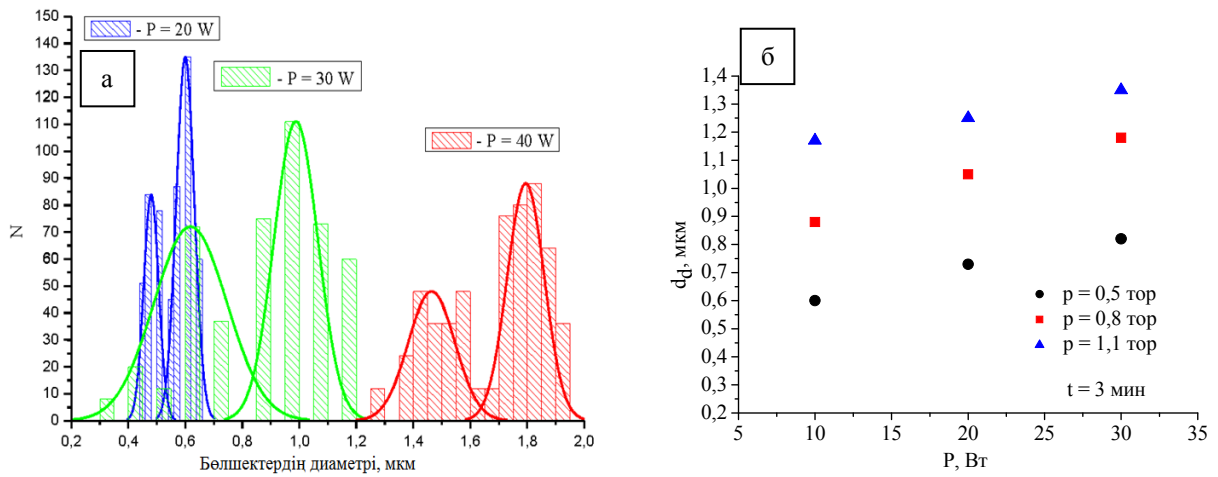
2-сурет – ЖЖС разряд плазмасында синтезделген көміртегі микробөлшектері (а) және өлшемдері бойынша таралуы(б)  $p = 0,8$  Top,  $W = 10$  Br

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

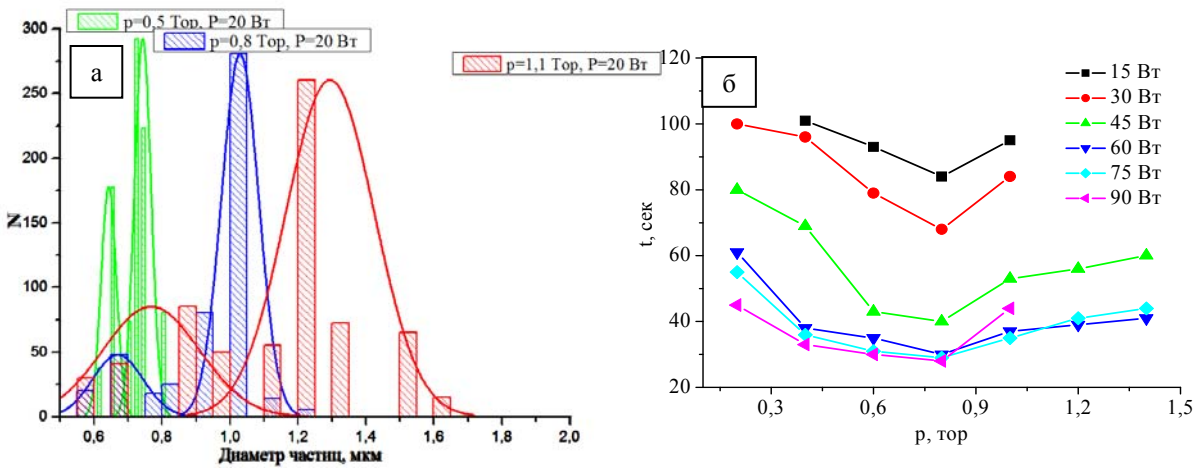
3а-суретте разряд қуатындағы өзгерісіне байланысты плазмада синтезделген нано- және микробөлшектердің өлшемдері бойынша таралу графигі көрсетілген. Бірдей плазма параметрлерінде разряд қуатының кемуіне байланысты синтезделген нано- және микробөлшектердің әр түрлі фракциялары көруге болады.

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

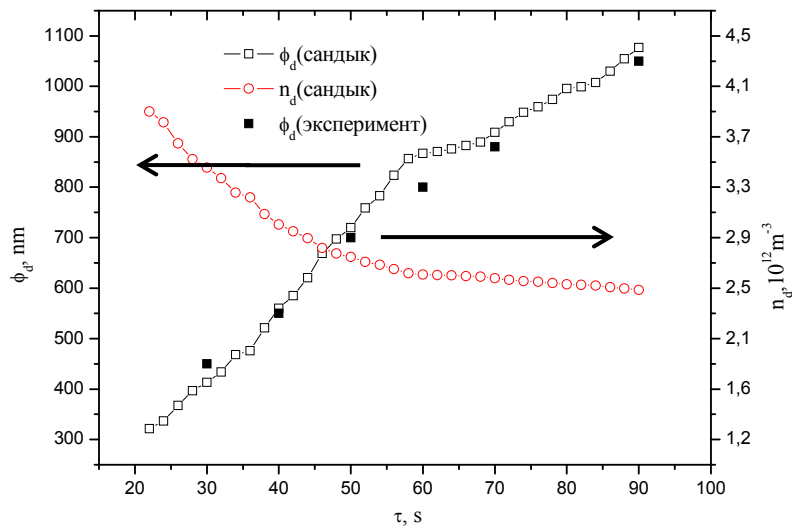
Сонымен бірге, төмендегі 4а-суретте синтезделу уақыты мен разряд қуатының тұрақты мәнінде, плазмадағы бөлшектердің өсуінің газ қысымының  $p=0,5-1,1$  тор аралығындағы өзгерісіне тәуелділігі көрсетілген.



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



46-суретте көріп отырғанымыздай, төменгі разряд қуаттарында бөлшектердің пайда болу процесі ұзақ уақытты қажет етеді, өйткені иондалу процессінің өзі арнайы 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. 46-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.

#### ӘДЕБИЕТ

- [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. Досболаев, Д. Г. Батрышев, Л. Буфенди

<sup>1</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,  
<sup>2</sup>GREMI, 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. Синтез нано- 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.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

[physics-mathematics.kz](http://physics-mathematics.kz)

Редактор *М. С. Ахметова*

Верстка на компьютере *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 9.06.2015.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

15,7 п.л. Тираж 300. Заказ 3.