

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 6, Number 310 (2016), 89 – 95

UDC 537.523/.527

**S.A. Orazbayev, D.B. Omirbekov,
M.T. Gabdullin, M.K. Dosbolayev, T.S. Ramazanov**NNLOT, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Al-Farabi avenue, 71
e-mail: sagi.orazbayev@gmail.com**THE INFLUENCE OF GAS TEMPERATURE ON SIZE
AND STRUCTURE OF THE DUST NANOPARTICLES**

Abstract. In this work the influence of the gas temperature on the size and structure of the dust nanoparticles was studied. The gas temperature ranged from 100 ° C to 30 ° C. Plasma and chemical method of synthesis of nanoparticles from gas phase was used. All experiments were conducted at constant plasma parameters: gas pressure and discharge power. Dependencies of self-bias voltage and electron density on the gas temperature were obtained on the basis of mathematical calculations and graphics. Time graphs of nanoparticle nucleation dependent on the gas temperature at different plasma parameters and diameter distribution and concentrations of nanoparticles dependent on synthesis time in Ar/CH₄ plasma were obtained. It was determined that the time of formation and growth of the nanoparticles increases at heating of plasma forming gas and decreases with decrease in temperature.

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

УДК 537.523/.527

**С.А. Оразбаев, Д.Б. Омирбеков,
М.Т. Габдуллин, М.К. Досболаев, Т.С. Рамазанов**

ННЛОТ, КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, пр. аль-Фараби, 71

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ГАЗА НА РАЗМЕРЫ
И СТРУКТУРЫ ПЫЛЕВЫХ НАНОЧАСТИЦ**

Аннотация. В данной работе было изучено влияние температуры газа на размеры и структуры пылевых наночастиц. Температура газа варьировалась в пределах от 100° C до - 30° C. В работе был использован плазмохимический метод синтеза наночастиц из газовой фазы. Все эксперименты проводились при постоянных параметрах плазмы: давлении газа и мощности разряда. На основе графических и математических расчетов были построены зависимости напряжения самосмещения и концентрации электронов от температуры газа. Также были получены графики зависимости времени зарождения наночастиц от температуры газа при разных параметрах плазмы и распределение диаметра и концентрации наночастиц от времени синтеза в плазме Ar/CH₄. Было определено, что время формирования и роста наночастиц увеличивается при нагревании плазмообразующего газа, а при снижении температуры оно уменьшается.

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

Введение

На сегодняшний день наночастицы и наноматериалы нашли широкое применение в человеческой деятельности, начиная от лакокрасочной продукции, заканчивая пищевой промышленностью. Наночастицы и наноструктурные материалы стали основой медицины и фармацевтики, энергетики, электроники, автомобильной промышленности и т.д. Поэтому

актуально изучается влияние параметров плазмы и газа на формирование и рост наночастиц [1-4]. И также в работах [5-9] были исследованы влияние синтеза наночастиц на интенсивность свечения плазмы. Более глубокое понимание формирования частиц может помочь нам понять основные проблемы исследуемой плазмы. С другой стороны, интересно иметь возможность контролировать производство частиц. Влияние температуры газа на формирование и рост частиц было исследовано во многих работах в плазме смеси газов аргона и силана [10-13]. Как показано экспериментально, небольшие отклонения параметров плазмы и газа (давления, мощность и концентрации электронов) могут полностью изменять закон роста кластеров, формирование частиц и их поведения [14-16].

Экспериментальная установка

Плазма высокочастотного емкостного разряда зажигается в цилиндрической трубке (размером 130x30 мм) расположенной в вакуумной камере. Для охлаждения и нагрева газа составляющую плазму, вдоль цилиндрической трубки расположена система охлаждения и нагрева. Нагрев газа происходит за счет печки, а охлаждение за счет жидкого азота. Для контроля и управления температурой газовой среды используются специальные датчики. Схема установки для нагрева и охлаждения плазмообразующего газа показано на рисунке 1. В настоящей экспериментальной работе представлен плазмохимический метод синтеза углеродных наночастиц из газовой фазы в плазме высокочастотного емкостного (ВЧЕ) разряда [17-20].

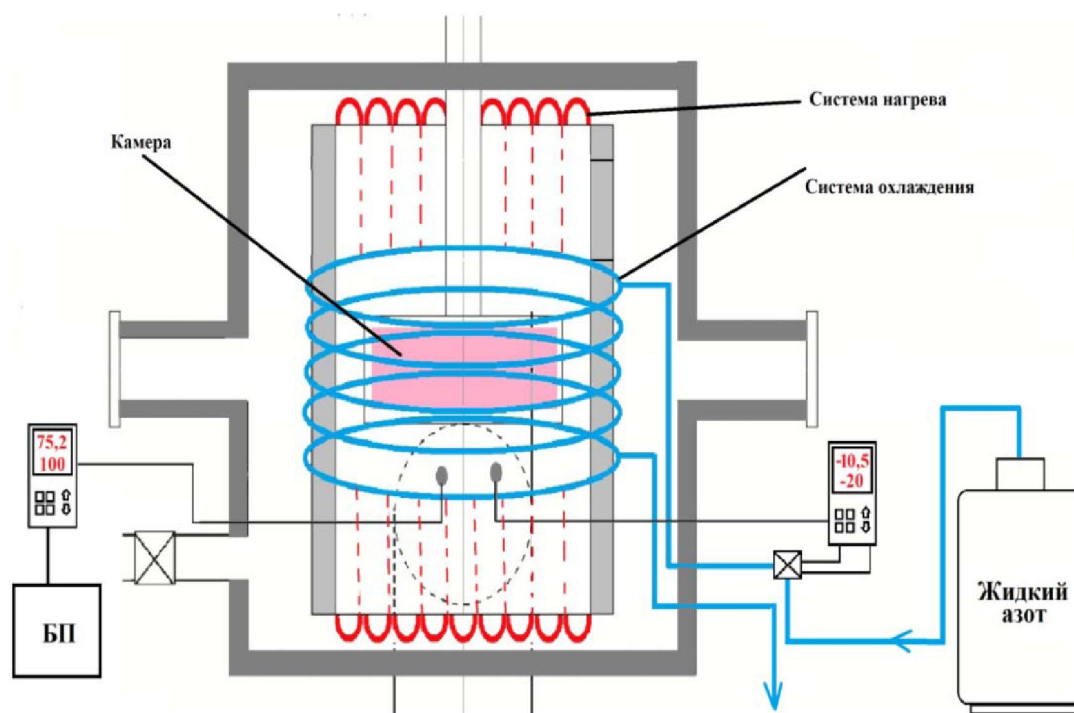


Рисунок 1 – Схема установки для нагрева и охлаждения плазмообразующего газа

Основные результаты

На ниже представленных рисунках 2,3 показаны напряжения самосмещения и концентрации электронов от параметров плазмы, характеризующие зарождения и рост частиц. Из рисунков видно, что при уменьшении температуры газа, время кристаллизации частиц ускоряется.

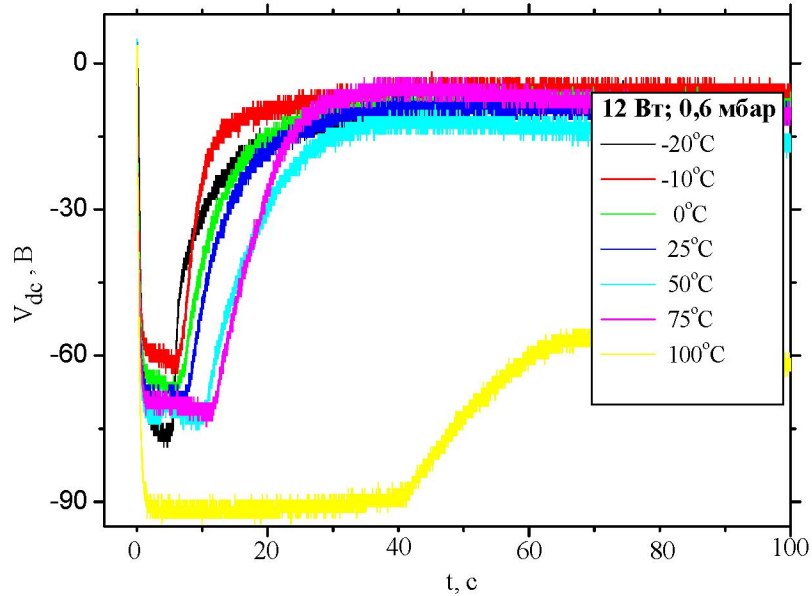


Рисунок 2 – Зависимость напряжения самосмещения от температуры газа

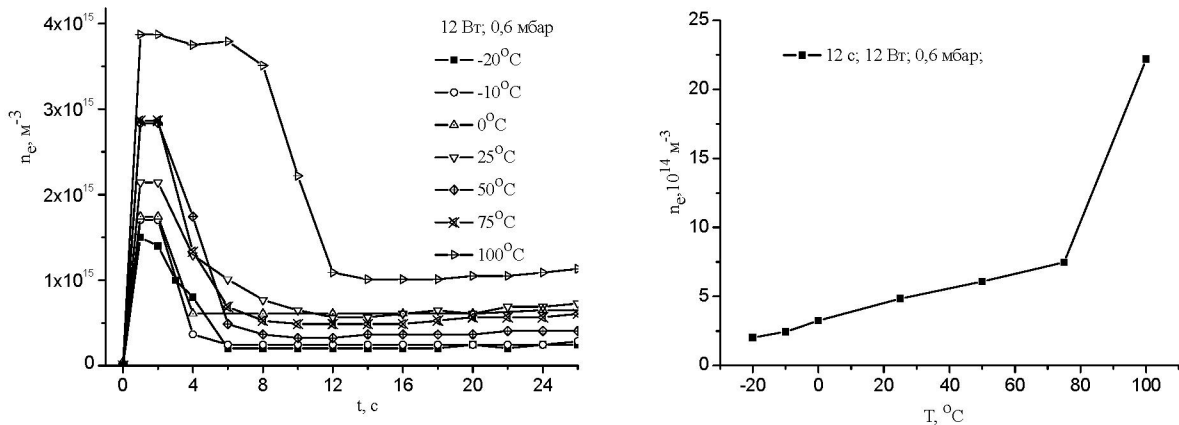


Рисунок 3 - Зависимость концентрации электронов от температуры газа

Уменьшение концентрации электронов характеризует увеличение размеров частиц, то есть чем больше размер частиц, тем больше их поверхность и большее число электронов поглощается, и таким образом, это приводит к уменьшению концентрации электронов. Полученные результаты соответствуют результатам работы [12], где представлены результаты кинетики роста частиц в плазме смеси газов аргон/силан. Этот экспериментальный факт показал, что диаметр наночастиц прямолинейно зависит от значения отношения напряжения самосмещения к концентрации электронов. Из рисунков видно, что при повышении температуры плазмообразующего газа, увеличение напряжения самосмещения и падение концентрации электронов требует больше времени, которые характеризуют параметры формирования и роста частиц.

На рисунках 4-6 представлены зависимости зарождения частиц от температуры газовой среды при различных параметрах: давления газа и мощности разряда.

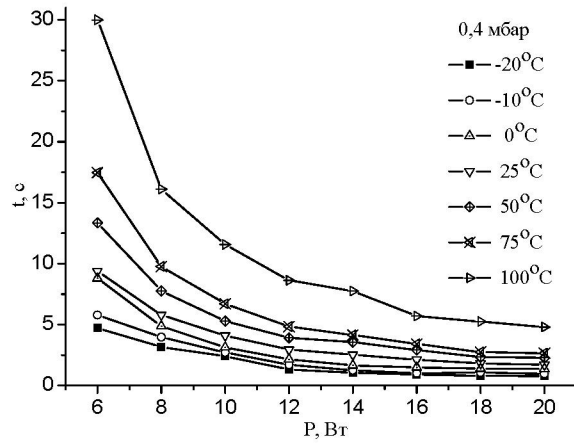


Рисунок 4 – Зависимости времени зарождения наночастиц от мощности разряда при разных температурах

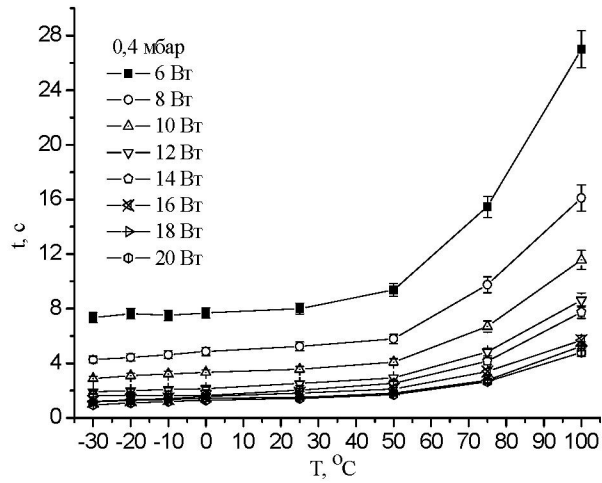


Рисунок 5 – Зависимости времени зарождения наночастиц от температуры газа при разных мощностях разряда

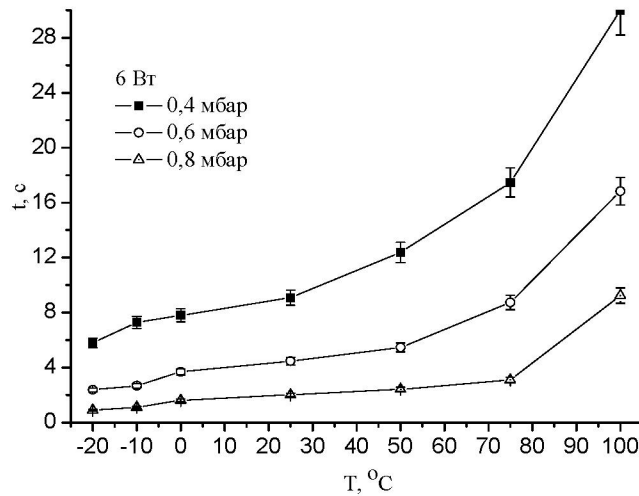


Рисунок 6 – Зависимости времени зарождения наночастиц от температуры газа при разных давлениях газа

Из рисунков видно, что при повышении температуры газа время зарождения наночастиц увеличивается. Это можно объяснить поведением отрицательно заряженных частиц при различных параметрах плазмы. Также можем заметить, время кристаллизации частиц ускоряется, что связано с увеличением давления газа и мощности разряда. При увеличении давления газа и мощности ускоряется процесс ионизации, соответственно увеличивается концентрация ионов и радикалов, а также прилипание ионов на поверхность частиц. Данный процесс воздействует на быстрый рост частиц.

С помощью выше представленных напряжений самосмещения и концентрации электронов были построены зависимости диаметра частиц и их концентрации от времени синтеза в Ag/CH_4 плазме (рисунок 7,8) при разных температурах.

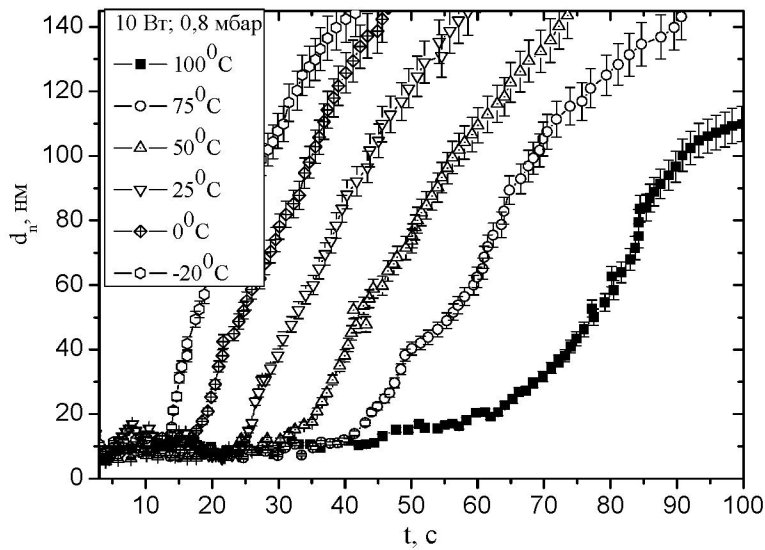


Рисунок 7 – Распределение диаметров наночастиц от времени синтеза в плазме Ag/CH_4 при разных температурах газа

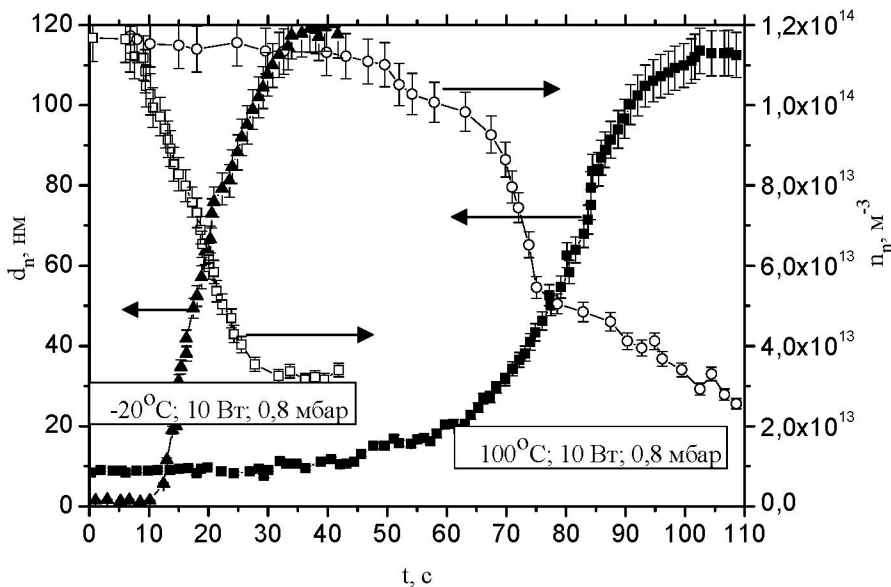


Рисунок 8 – Распределение диаметров и концентрации наночастиц от времени синтеза в плазме Ag/CH_4

Выше перечисленные результаты показали, что время синтеза, формирование и рост наночастиц зависит от параметров плазмы, то есть от мощности разряда, давления газа, времени синтеза и температуры плазмообразующего газа. Было определено, что с увеличением мощности разряда и давления газа время формирования и роста наночастиц уменьшается, также, при нагревании плазмообразующего газа от 25°C (комнатной температуры) до 100°C время формирования частиц увеличивается, а при снижении температуры от комнатной 25°C до -30°C оно уменьшается.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Orazbayev S.A., Ramazanov T.S., Gabdullin M.T., Dosbolayev M.K., Batryshev D.G. Synthesis of nano- and microparticles from gaseous phase in the RFCD plasma// Book of Abstracts of the 6th International Conference on Advanced Nanomaterials, (ANM). - Aveiro, Portugal, 2015. – P.110.
- [2] Orazbayev S.A., Ramazanov T.S., Dosbolayev M.K., Gabdullin M.T., Batryshev D.G., Silamiya M. Synthesis of nanoparticles and nanofilms in dusty plasma for obtaining of composite materials // Book of Abstracts of the 7th International Conference on the Physics of Dusty Plasmas (ICDPD). - New Delhi, India, 2014. – P. 99.
- [3] Gabdullin M.T., Orazbayev S.A., Slamiya M., Batryshev D.G., Dosbolayev M.K., Ramazanov T.S., Investigation of the process of synthesis of carbon nano and microparticles in RF plasma discharge // Abstracts of the III International Scientific Conference "Modern problems of condensed matter physics, nanotechnology and nanomaterials». – Almaty, Kazakhstan, 2014. – P. 121. (In Russian)
- [4] Оразбаев С.А., Рамазанов Т.С., Досболаев М.К., Батрышев Д.Г., Буфенди Л. Көміртегі нанобөлшектер синтезінің ЖЖ разряд плазмасының параметрлеріне тәуелділігін зерттеу // Журнал Известия НАН РК, серия физико-математическая. – 2015. - № 3. - С. 186-190.
- [5] Orazbayev S.A., Ramazanov T.S., Dosbolayev M.K., Nurbolat K. Spectroscopic diagnostics of Ar/CH₄ and Ar/C₂H₂ gas mixtures plasma// Book of Abstracts of the 15th International Conference on the Physics of Non-Ideal Plasmas, Almaty, Kazakhstan. – 2015. – С. 121.
- [6] Ramazanov T.S., Jumabekov A.N., Orazbayev S.A., Dosbolayev M.K., and Jumagulov M.N., Optical and kinetic properties of the dusty plasma in radiofrequency discharge // Phys. Plasmas 19, 023706 (2012); doi: 10.1063/1.3690103
- [7] Orazbayev S.A., Ramazanov T.S., Dosbolayev M.K., Silamiya M., Optical diagnostics of plasma in a gaseous mixture of RF discharge//Abstract Booklet of the XXII Europhysics Conference on Atomic and Molecular Physics of Ionized Gases (ESCAMPIG). - Greifswald, Germany, 2014. – P.P1-05-12.
- [8] Orazbayev S.A., Ramazanov T.S., Dosbolayev M.K., Silamiya M., Jumagulov M.N. Spectroscopic diagnostics of plasma gas mixtures in radio frequency discharge // Book of abstracts of the 14th International Conference on the Physics of Non-Ideal Plasmas. - Rostock, Germany, 2012. – P.152.
- [9] Orazbayev S.A., Dosbolayev M.K., Silamiya M., Jumagulov M.N., Ramazanov T.S. Optical properties of the dusty plasma in RF discharge//16thBook of abstracts of the International Congresses on Plasma Physics and 39thEuropean Physical Society Conference on Plasma Physics (EPS/ICPP). - Stockholm, Sweden, 2012. – P.2.130.
- [10] Boufendi L. and Bouchoule A. Particle nucleation and growth in a low – pressure argon-silane discharge // Plasma Sources Sci. Technol. – 1994. – Vol. 3. – P. 262.
- [11] Bouchoule A. and Boufendi L. Particulate formation and dusty plasma behaviour in argon-silane RF discharge // Plasma sources Sci. Technol. – 1993. – Vol. 2. - P. 204.
- [12] Bhandarkar U., Kortshagen U. and Girshick S. L. Numerical Study of the Effect of Gas Temperature on the Time for Onset of Particle Nucleation in Argon-Silane Low Pressure Plasmas // Journal of Physics D. - 2003. -Vol. 36. - P. 1399.
- [13] Cavarroc M., Jouanny M. Ch., Radouane K., Mikikian M., Boufendi L. Self-excited instabilities occurring during the nanoparticle formation in an Ar-SiH₄ low pressure radiofrequency plasma // J. Appl. Phys. - 2006. -Vol. 99. - P. 064301
- [14] Wattieaux G., Mezeghrane A., Boufendi L. Electrical time resolved metrology of dust particles growing in low pressure cold plasmas// Physics of Plasmas.-2011.-Vol. 18.-P.093701.
- [15] Orazbayev S.A., Gabdullin M.T., Ramazanov T.S., Dosbolayev M.K., Slamiya M. The method for synthesis nanoparticles from gas phase// Book of Abstracts of the 8th International conference on Plasma Physics and Plasma Technology (PPPT). - Minsk, Belarus, 2015. – P. 490
- [16] Orazbayev S.A., Ramazanov T.S., Gabdullin M.T., Dosbolayev M.K., Slamiya M., Obtaining nanoparticles carbon plasma from a gas phase chemical method// Bulletin of the KazNTU, series of chemical and metallurgical science.. – 2015. - № 4. – P. 504-508. (In Kazakh)
- [17] Wattieaux G., Mezeghrane A., Boufendi L. Electrical time resolved metrology of dust particles growing in low pressure cold plasmas// Physics of Plasmas. -2011. -Vol. 18. -P.093701.

[18] Orazbayev S.A., Ramazanov T.S., Gabdullin M.T., Dosbolayev M.K. Obtaining of nano- and microparticles in plasma by CVD method// Program and Book of Abstracts of the 32nd International Conference on Phenomena in Ionized Gases (ICPIG). - Iași, Romania, 2015. – P. P3.17

[19] Cavarroc M., Mikikian M., Perrier G., Boufendi L. Single-crystal silicon nanoparticles: An instability to check their synthesis // Applied Physics Letters – 2006. - Vol. 89. - P. 013107.

[20] Fridman A. A., Boufendi L., Hbid T., Potapkin B. V., Bouchoule A., Dusty plasma formation: Physics and critical phenomena. Theoretical approach // J. Appl. Phys. - 1996. – Vol. 79, №3.-P.1303.

С.А. Оразбаев, Д.Б. Өмірбеков, М.Т. Габдуллин, М.К. Досболаев, Т.С. Рамазанов

АТҰНЗ, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы қ.

ГАЗ ТЕМПЕРАТУРАСЫНЫҢ ТОЗАҢДЫ НАНОБӨЛШЕКТЕРДІҢ ӨЛШЕМІ МЕН ҚҰРЫЛЫМЫНА ӘСЕРІ

Аннотация. Аталған жұмыста газ температурасының тозаңды нанобөлшектердің өлшемі мен құрылымына әсері зерттелген. Газ температурасы 100°C мен – 30°C аралығында өзгертілді. Жұмыста нанобөлшектеді газдық фазадан синтездеудің плазма химиялық әдісі қолданылды. Барлық тәжірибе плазманың тұрақты параметрлерінде жүргізілді: газ қысымы және разряд қуаты. Графикалық және математикалық есептеулер нәтижесінде өздік ығысу кернеуі мен электрондар концентрациясының температураға тәуелділігі тұрғызылды. Сонымен қатар, әртүрлі плазма параметрлерінде нанобөлшектер пайда болу уақытының газ температурасына тәуелділік графигі және нанобөлшектер диаметрі мен концентрациясының синтез уақыты бойынша таралуы алынды. Плазманы түзуші газды қыздырғанда нанобөлшектердің пайда болуы мен өсу уақыты артылатыны, ал суытқанда – азаятындығы анықталды.

Түйін сөздер: тозаңды плазма, нанобөлшектер, наноматериалдар, газдық разряд.