

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



ҚазҰТЗУ ХАБАРШЫСЫ _____

_____ **ВЕСТНИК КазННТУ**

VESTNIK KazNRTU _____

№ 1 (137)

- [5] Ashirbayev N., Ashirbayeva Zh., Abzhapbarov A., **Shomanbayeva M.** The features of a non-stationary state of stress in the elastic multisupport construction // AIP Conference Proceedings. 2016, V. 1759, 020039, <http://dx.doi.org/10.1063/1.4959653>.
- [6] Мамаев Ш.М., Борашева Н.Т. Численное исследование распространения динамических возмущений в составных стержнях сеточно-характеристическим методом//Известия НАН РК. – 2015.–№3(301).–С.145–154.
- [7] Ashirbayev N., Ashirbayeva Zh., Shomanbayeva M. "Features of the Wave Field in a Finite Body with a Noncentral Hole," in International Conference «Functional analysis in interdisciplinary applications» (FAIA2017), AIP Conference Proceedings 1880, edited by Tynysbek Kal'menov and Makhmud Sadybekov (American Institute of Physics, Melville, NY, 2017), 060013 (2017); <http://doi.org/10.1063/1.5000667>.
- [8] Аширбаев Н.К., **Аширбаева Ж.Н.** Расчетные соотношения динамической задачи для прямоугольной области с инородными включениями //Вестник КазНУ. – 2017. – №4 (122). – С.500–506.
- [9] Gavrilov S.N., Herman G.C. Wave propagation in a semi-infinite heteromodal elastic bar subjected to a harmonic loading//J. Sound and Vibr. 2012.–331 с.– № 20.–P.4464–4480.
- [10] Kochaev A.L., Brazhe R.A. Mathematical modeling of elastic wave propagation in crystals: 3d-wave surfaces//Acta mechanica, 2011. – Vol.- 222 № 1-2.–P.193–198.
- [11] Parvanova S., Dineva P., Manolis George D. Elastic wave fields in a half-plane with free-surface relief, tunnels and multiple buried inclusions// Acta Mechanica. – 2014.– Vol.225.–P.1843–1865.
- [12] Lys E.V., Romenski E.I., Cheverda V. A., Epov M. I. Interaction of seismic waves with zones of concentration of initial stresses // Doklady Earth Sciences. - 2013.–Vol.449 (2).– P. 402–405.
- [13] Lesan D., Scalia A. On the deformation of orthotropic Cosserat elastic cylinders // Mathematics and Mechanics of Solids, 2011.–Vol. 16(2).–P.177–199.
- [14] Israilov M.Sh. Reduction of Boundary Value Problems of Dynamic Elasticity to Scalar Problems for Wave Potentials in Curvilinear Coordinates // Mechanics of Solids. – 2014.–Vol.46, №1.–P.104–108.
- [15] Yi-chao Chen. On the dynamic behavior of a class of Cauchy elastic materials// Mathematics and Mechanics of Solids. – 2016.–Vol16(5).– P.563–569.
- [16] Dan Sun, Song-Nan Luo The wave propagation and dynamic response of rectangular functionally graded material plates with completed clamped supports under impulse loadoriginal Research Article// European Journal of Mechanics-A/Solids. – 2015.–Vol.30, №3.–P.396–408.
- [17] Ashirbayev N., Ashirbayeva Zh., Shomanbayeva M. Influence of heterogeneity of nature of border fixing on the propagation of two-dimensional waves// AIP Conference Proceedings. – 2015.–Vol. 1676, 020067, DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4930493>.

Аширбаев Н.К., Аширбаева Ж.Н., Сабырханова П.Ш., Турсынқұлова Э.А., Алтынбеков Ш.Е.

Динамикалық есептің шекаралық шарттағы үзілісті нүктелеріндегі айырымдық қатынастары

Түйіндеме. Мақалада кеңістіктік сипаттамалар әдісі негізінде ізделінді функциялардың «әдеттегі» тегістігі бұзылатын тіктөртбұрышты дененің бет жағының шекаралық шартындағы үзілісті нүктелерінде динамикалық есептерді шешу әдісі жалпыланып, жетілдірілді. Жұмыста жетілдірілген сандық әдістің көмегімен, ізделінді функциялардың бірінші және екінші ретті туындылары бірінші текті үзілісті болатын тіктөртбұрышты дененің бет жағының шекаралық шартындағы үзілісті нүктелерінде, ақырлы есептеу қатынастары алынды. Жуықтап есептеу арқылы айтарлықтай үлкен уақыт үшін есептеу алгоритмінің орнықтылығы тағайындалды. Осы сияқты есептердің ерекше теориялық және қолданбалы мағынасы бар, дегенмен, бізге белгілі, мұндай есептер осы күнге дейін толыққанды зерттелмеген.

Түйін сөздер: жылдамдық, кернеу, күш, жазық деформация, үзіліс, сандық шешім.

**A.T. Zhunisbekov^{2*}, M.T. Gabdullin^{1,3}, R.E. Zhumadilov¹, S.A. Orazbayev^{1,3},
N. Alisherov², K.N. Ibrashev³, S.S. Ussenkan¹**

(¹ Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, ² Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, ³Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan

*E-mail: askarzhunisbekov@mail.ru)

**OBTAINING OF THE HYDROPHOBIC SURFACES IN ATMOSPHERIC
PRESSURE PLASMA**

Abstract This paper describes the method of obtaining hydrophobic films synthesized using a plasma jet at atmospheric pressure, as well as the results of analysis and study of their surface. Nanoparticles synthesized in a plasma jet in a mixture of methane and argon gases at atmospheric pressure provide a high degree of surface roughness of the

resulting film. The influence of the sample surface treatment time and discharge power in the plasma torch on the contact angle was revealed. Optical and SEM images of hydrophobic samples were also presented.

Keywords: plasma jet of atmospheric pressure, nanoparticles, superhydrophobic surfaces.

**А.Т. Жунисбеков^{2*}, Р.Е. Жумадилов¹, С.А. Оразбаев^{1,3},
Н. Әлішеров², М.Т. Габдуллин^{1,3}, К.Н. Ибрашев³, С.С. Үсенхан¹**

(¹ КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, ² КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

³Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан

ПОЛУЧЕНИЕ ГИДРОФОБНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ПЛАЗМЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Аннотация Данная работа описывает метод получения гидрофобных пленок, синтезированных с помощью плазменной струи при атмосферном давлении, а также приведены результаты анализа и исследования их поверхности. Синтезированные в плазменной струе в смеси газов метана и аргона при атмосферном давлении наночастицы обеспечивают высокую степень шероховатости поверхности полученной пленки. Было выявлено влияние времени обработки поверхности образца и мощности разряда в плазмотроне на величину контактного угла. Также были представлены оптические и СЭМ изображения гидрофобных образцов.

Ключевые слова: плазменная струя атмосферного давления, наночастицы, супергидрофобные поверхности, обработка поверхности.

Введение

Супергидрофобные покрытия предназначены для покрытия поверхности объекта, чтобы создать водоотталкивающую поверхность. В частности, супергидрофобные поверхности привлекают большое внимание как предмет исследования из-за их хорошо известных свойств, таких как самоочистка поверхностей [1], противообледенительная защита, противотуманные свойства, антикоррозионная стойкость, биотопливо, антифрикционные свойства [2].

Супергидрофобная поверхность отталкивает воду настолько, что сферическая капля легко катится по поверхности. Они, как правило, характеризуются высоким углом контакта с водой ($>150^\circ$) и низким углом наклона или гистерезис с малым углом контакта ($<10^\circ$)[3].

В настоящее время разработано много методов, в том числе химический, физический и комбинированный методы, для создания супергидрофобных поверхностей экологически безопасным и простым способом [4]. Методы модификации поверхности, такие как метод фазового разделения [5], электрохимическое осаждение, метод распыления, метод эмульсии, плазменный метод, контроль кристаллизации, химическое осаждение из паровой фазы, влажная химическая реакция, обработка золь-гелем [6-9], литография, электроспиннинг, методы погружение раствора и т. д. используются для создания гидрофобной поверхности. Современные супергидрофобные процессы включают в себя как многоступенчатые процедуры, так и трудно воспроизводимые условия, и большинство методов, используемых сегодня в промышленности, являются дорогостоящими и применимы только в небольших масштабах к плоским поверхностям или ограниченному кругу материалов. Таким образом, супергидрофобные поверхности получают путем комбинирования морфологии шероховатой поверхности и покрытий с низкой поверхностной энергией [10]. Такие покрытия осаждаются с использованием химических реакций с материалами с низкой поверхностной энергией, но эти методы обычно требуют нескольких этапов обработки и используют растворители [11]. Использование плазмы является очень перспективным методом для получения супергидрофобных поверхностей, поскольку этот подход уменьшает количество этапов, необходимых для изменения поверхности материалов. Более того, использование атмосферной плазмы дает много преимуществ, таких как сокращение времени обработки, а также затрат, связанных с системами высокого вакуума. В [12] авторы получили наноструктурированные пленки ZnO, состоящие из нанокластеров и наночастиц, методом электрохимического анодирования. Было определено, что подготовленные пленки ZnO обладают гидрофобным свойством и угол контакта капли воды на образце составляет около 132° . Для данного материала поверхностная свободная энергия и шероховатость поверхности являются двумя основными факторами, определяющими поверхностную смачиваемость. Wang et al. [13] предложили электрохимический метод для изготовления сферических медных микроструктур на подложке оксида индия-олова (ITO). После дальнейших хемосорбций образца полученная

поверхность становится супергидрофобной с углом контакта до 152° .

Gap et al. [14] изготовили высокогидрофобные поверхности на хлопчатобумажных и полиэфирных тканях с использованием золь-гель-покрытия из кремнезема. Обработанные текстильные ткани демонстрировали отличную водоотталкиваемость с углами контакта с водой до 155° на хлопке и 143° на полиэфире.

В настоящей работе приводятся результаты исследования и анализа поверхности гидрофобных пленок, осажденных плазменной струей атмосферного давления. Шероховатость поверхности создается за счет нанесения наночастиц, которые синтезируются в плазменной струе атмосферного разряда в смесях газа аргона и метана. Кроме того, была исследована зависимость гидрофобности поверхности от состава рабочего газа.

Детали эксперимента

В данной работе для синтеза углеродных наноматериалов использовали плазменную струю при атмосферном давлении в смеси газов аргона и метана. В плазменной струе аргон использовался в качестве основного газа-носителя для воспламенения плазмы. На рисунке 1 показана схема экспериментальной установки.

Экспериментальная установка состоит из трубки из кварцевого стекла (длина - 70 мм, внутренний диаметр - 3 мм, наружный диаметр - 10 мм), которая обернута медной пластиной в качестве заземленного электрода. Высокочастотный источник питания 13,56 МГц (Seren-R301) присоединен к электроду, расположенному внутри кварцевой трубки для поджига плазменной струи. Поток газа контролировался с помощью контроллера массового расхода Бронкхорст. Эксперимент проводился с разными параметрами плазмы (мощность разряда, процентный расход газового потока смеси и поддержание плазмы и т.д.). Мощность атмосферного разряда управлялась высокочастотным генератором в пределах 0-50 Вт.

Сначала рабочий газ ($\text{Ar} + \text{CH}_4$) запускается в трубку, после подачи высокочастотного напряжения на электроды плазма воспламеняется, как показано на рисунке 1, затем во время химических реакций наночастицы синтезируются по известному механизму [15].

Данный метод имеет несколько преимуществ, такие как сокращение времени обработки, а также затраты, связанные с системами высокого вакуума. В качестве подложки использовались различные материалы: кремний, обычное стекло и алюминий, которые имеют гладкую поверхность. Шероховатость поверхности создается углеродными наночастицами и зависит от размера и концентрации наночастиц. Все испытания образцов проводились в нормальных условиях окружающей среды, и для определения угла контакта использовалась вода. Для анализа морфологии (шероховатости) и химического состава поверхности полученного образца использовали SEM Quanta 200i 3D (FEI Company, США), оптический микроскоп (Leica DM 6000 M).

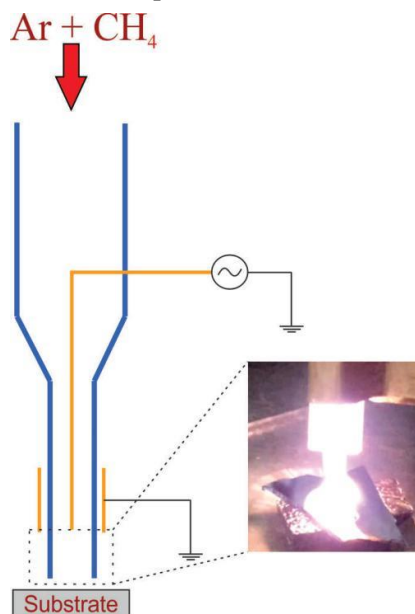


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки

Результаты и обсуждение

Были получены гидрофобные поверхности с использованием плазменной струи атмосферного давления, которые были изучены с помощью SEM. На рисунке 2 представлены SEM изображения полученного образца. На рисунке 2 (а) показана SEM-картина пленки, сформированной из углеродных частиц. Она показывает, что пленки состоят из сборки микрочастиц, и эти частицы обеспечивают соответствующую шероховатость поверхности. На рисунке 2 (б) показан химический состав полученных образцов.

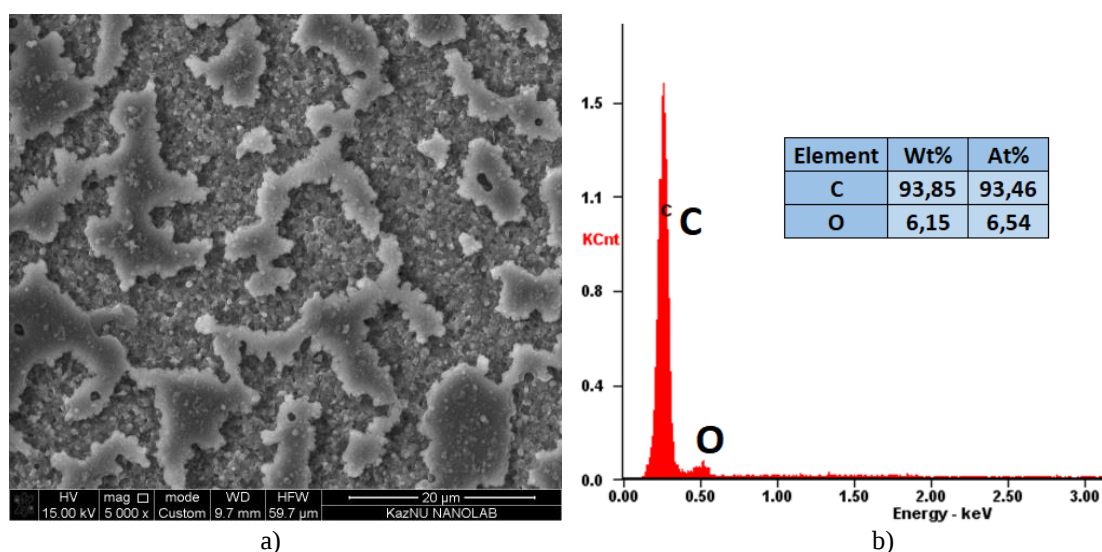


Рис. 2. СЭМ-изображения образцов и их химический состав

Экспериментально было установлено, что рост частиц в плазме зависит от мощности разряда. Контролируя мощность разряда, можно исследовать рост и концентрацию наночастиц. На рисунке 3 показаны СЭМ-изображения наночастиц углерода, полученные при различных значениях мощности разряда (20 Вт, 40 Вт), при этом другие параметры, такие как поток рабочего газа 5 л/мин и время обработки поверхности образца $t=20$ сек не меняются. В зависимости от размера осаждённых наночастиц изменяется шероховатость поверхности, которая влияет на угол контакта. Например, средний диаметр частиц, синтезированных при 20 Вт, меньше среднего диаметра частиц, синтезированных при 40 Вт.

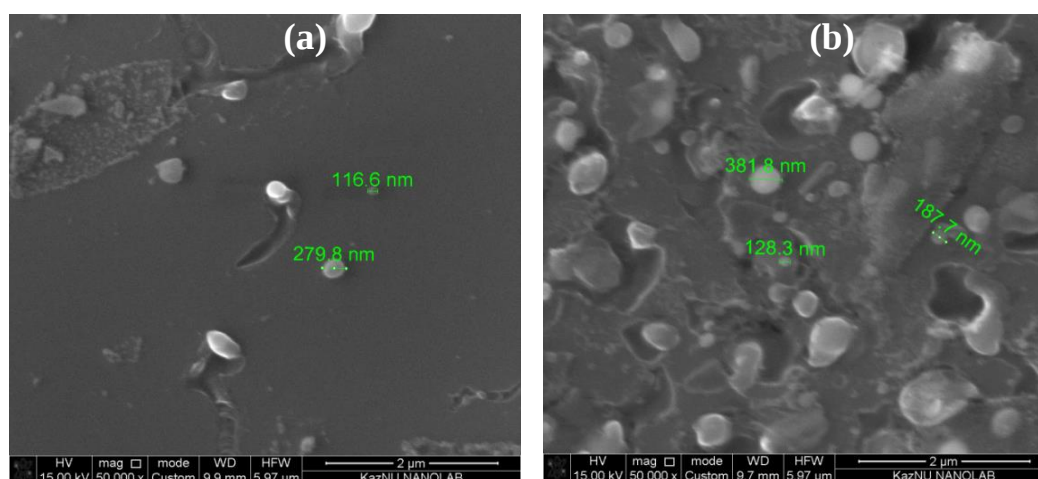


Рис. 3. SEM-изображения образцов, полученных при мощностях разряда 20 Вт (a) и 40 Вт (b)

На рисунке 4 показаны оптические фотографии образцов. Кроме того, была исследована зависимость гидрофобности поверхности от времени обработки поверхности (от 10 сек до 100 сек). Контактный угол возрастает с увеличением времени обработки от 99° до 145° . Это видно из фотографий, которые представлены на рис. 5. Этот эффект можно объяснить тем, что при тех же параметрах плазмы (мощность разряда 40 Вт и поток газа 5 л/мин) в зависимости от времени синтезируются наночастицы с определенными размерами. То есть, с увеличением времени обработки поверхности увеличивается концентрация и размер частиц, который существенно влияет на угол контакта.

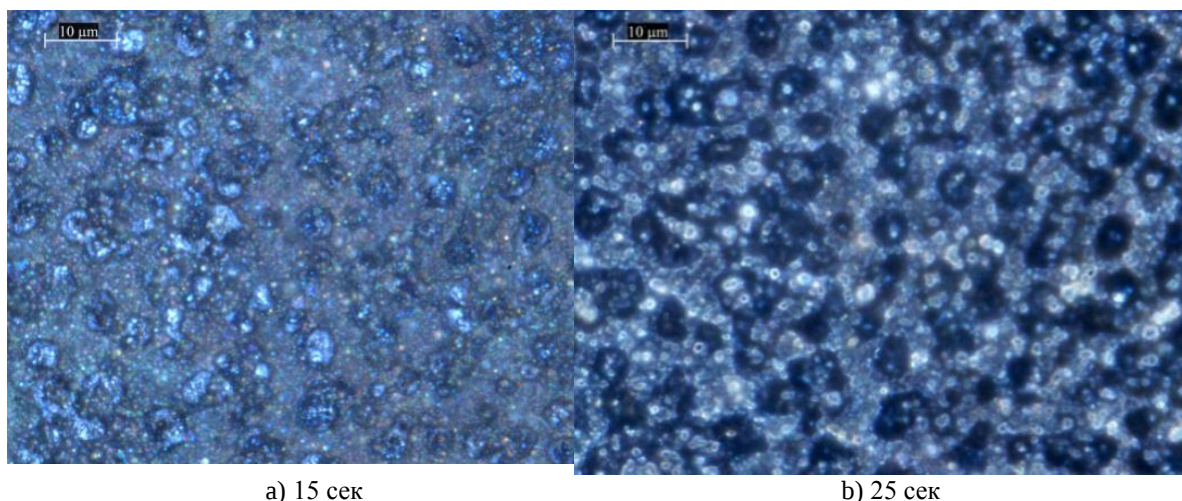


Рис. 4. Оптические изображения поверхности образцов, подвергнутых обработке в течение 15 сек (а) и 25 сек (б)

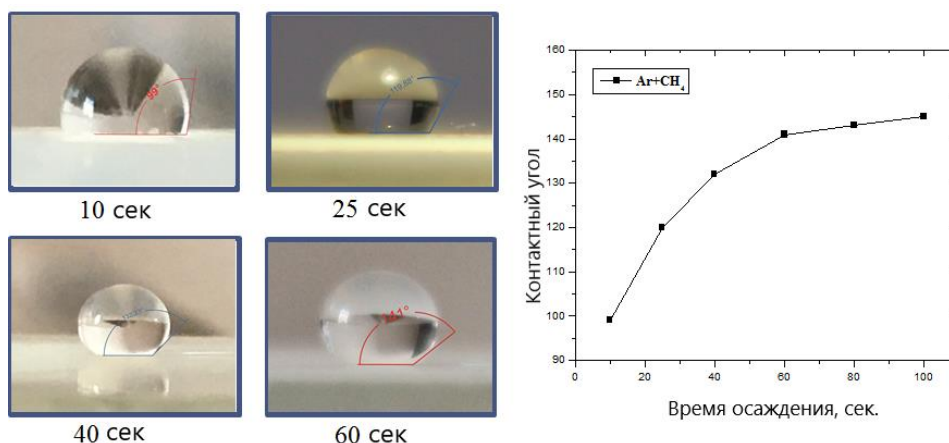


Рис. 5. Зависимость контактного угла от времени осаждения

Заключение

В данной работе представлены экспериментальные результаты по получению углеродных гидрофобных плёнок, осаждённых плазменной струёй атмосферного давления. Полученные образцы были исследованы методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Изображение СЭМ показывает, что синтезированные материалы имеют шероховатую поверхность с контактными углами от 99° до 145° , в зависимости от параметров плазменной струи. Наибольший угол контакта достигается при увеличении мощности разряда до 40 Вт и времени обработки 100 с. Было установлено, что при 10 с обработки гидрофобность поверхности является слабо выраженной, а при увеличении времени обработки до 60 с и выше гидрофобность становится стабильной из-за синтезированных нанопленок, это показано SEM и оптическими изображениями полученных образцов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Minglin Ma and Randal M Hill. Superhydrophobic surfaces // Current opinion in colloid & interface science. – 2006. – Vol. 11. – P. 193–202
- [2] Siddaiah, A., and Menezes, P.L. Advances in Bio-inspired Tribology for Engineering Applications // Journal of Bio- and Tribo-Corrosion. – 2016. – Vol. 2. – P. 113-121
- [3] B. Bhushan and Y.C. Jung, Natural and biomimetic artificial surfaces for superhydrophobicity, self-cleaning, low adhesion, and drag reduction// Prog. Mater. Sci. – 2011. – Vol. 56. - P.1
- [4] Sanjay Subhash Latthe et. al // J. of Surface Engineered Mat. and Advanced Tech. – 2012. Vol. 2. - P.76-94

- [5] J. T. Han, X. R. Xu and K. W. Cho, Diverse Access to Artificial Superhydrophobic Surfaces Using Block Copolymers // *Langmuir*. – 2005. – Vol. 21, №. 15. - P. 6662- 6665
- [6] S. S. Latthe, H. Imai, V. Ganesan and A. V. Rao, Superhydrophobic Silica Films by Sol-Gel Co-Precursor// *Method Applied Surface Science*. – 2009. – Vol. 256, №. 1. - P. 217-222
- [7] V. V. Ganbavle, U. K. H. Bangi, S. S. Latthe, S. A. Mahadik and A. V. Rao, Self-Cleaning Silica Coatings on Glass by Single Step Sol-Gel Route// *Surface and Coatings Technology*. – 2011. – Vol. 205, №. 23. - P. 5338- 5344
- [8] S. S. Latthe, H. Hirashima and A. V. Rao, TEOS Based Water Repellent Silica Films Obtained by a Co-Precursor Sol-Gel Method// *Smart Materials & Structures*. – 2009. - Vol. 18, №. 9. - P. 095017
- [9] A. V. Rao, S. S. Latthe, C. Kappenstein, V. Ganesan, M. C. Rath and S. N. Sawant, Wetting Behavior of High Energy Electron Irradiated Porous Superhydrophobic Silica Films // *Applied Surface Science*. – 2011. – Vol. 257, №. 7. - P. 3027-3032.
- [10] E.L. Decker and S. Garoff, Contact line structure and dynamics on surfaces with contact angle hysteresis// *Langmuir*. – 1997. Vol. – 13. P. 6321
- [11] L. Zhai, F.C. Cebeci, R.E. Cohen and M.F. Rubner, Stable superhydrophobic coatings from polyelectrolyte multilayers// *Nano Lett.* – 2004. Vol. – 4. P. 1349
- [12] S. He, M. Zheng, L. Yao, X. Yuan, M. Li, L. Ma and W. Shen, Preparation and Properties of ZnO Nanostructures by Electrochemical Anodization Method// *Applied Surface Science*. – 2010. – Vol. 256, P. – 8.
- [13] L. Wang, S. Guo and S. Dong, Facile Electrochemical Route to Directly Fabricate Hierarchical Spherical Cupreous Microstructures: Toward Superhydrophobic Surface// *Electrochemistry Communications*. – 2008. – Vol.10, №. 4. - P. 655-658
- [14] Q. W. Gan, Q. Zhu, Y. L. Guo and C. Q. Yang, Formation of Highly Hydrophobic Surfaces on Cotton and Polyester Fabrics Using Silica Sol Nanoparticles and Nonfluorinated Alkylsilane// *Industrial & Engineering Chemistry Research*. – 2009. - Vol. 48, №. 22. - P. 9797-9803
- [15] J.Lin, S.Orazbayev, M.Hénault, Th.Lecas, K.Takahashi, L.Boufendi., Effects of gas temperature, pressure, and discharge power on nucleation time of nano-particles in low pressure C₂H₂/Ar RF plasmas// *J. App. Phys.* – 2017. – Vol. 122. – P. 163302.
- [16] S. A. Orazbayev , M. Henault, T. S. Ramazanov, L. Boufendi, D. G. Batryshev , and M. T. Gabdullin. Influence of gas temperature on nucleation and growth of dust nanoparticles in RF plasma // *IEEE Transactions on plasma science*. – 2019. – Vol. 47, №. 7.
- [17] L. Boufendi et al. Detection of particles of less than 5 nm in diameter formed in an argon-silane capacitively coupled radio-frequency discharge// *Appl. Phys. Lett.*-2001.- Vol. 79. - P. 4301.

Жунисбеков А.Т., Габдуллин М.Т., Жумадилов Р.Е.,
Оразбаев С.А., Әлішеров Н., Ибрашев К.Н., Үсенхан С.С.

Атмосфера қысымды плазмада гидрофобты беттерді алу

Түйіндеме Бұл жұмыс атмосфералық қысым кезінде плазмалық ағын көмегімен синтезделген гидрофобты пленкаларды алу әдісін сипаттайды, сондай-ақ олардың бетін талдау және зерттеу нәтижелері келтірілген. Нанобөлшектің атмосфералық қысымы кезінде метан мен аргон газдарының қоспасында плазмалық ағыста синтезделген пленка бетінің кедір-бұдырлығының жоғары деңгейін қамтамасыз етеді. Үлгінің бетін өңдеу уақытының және плазмотрондағы разряд қуатының, байланыс бұрышының көлеміне әсері анықталды. Сондай-ақ, гидрофобтық үлгілердің оптикалық және СЭМ бейнелері ұсынылды.

Кілт сөздер: атмосфералық қысымда плазмалық ағын, нанобөлшектер, супергидрофобты беттер, бетті өңдеу.

UDC 519.21

K.K. Shakenov, A.A. Baiteliyeva
(Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: baiteliyevaaltyn@gmail.com)

SOLUTION OF THE SAME FINANCIAL MATHEMATICS PROBLEM BY REDUCING TO THE STEFAN PROBLEM

Abstract. The considered problem of finding rational values in the assumption that the buyer of the option chose the optimal moment of presenting the option, and determining at that moment the price of the share is reduced to the Stefan problem, or to the problem with a free border. The Stefan problem is solved numerically, the rational value of the standard American call option and the stock price at the optimal moment of option presentation are determined.

Key words: rational values, buyer, seller, optimal stopping time, Stefan problem, American options, European options.