

**ISSN 2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)**

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**

6 (310)

**ҚАРАША – ЖЕЛТОҚСАН 2016 Ж.
НОЯБРЬ – ДЕКАБРЬ 2016 г.
NOVEMBER – DECEMBER 2016**

**1963 ЖЫЛДЫН 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**

Бас редакторы
ф.-м.ғ.д., проф., КР ҮФА академигі **F.M. Мұтанов**

Редакция алқасы:

Жұмаділдаев А.С. проф., академик (Қазақстан)
Кальменов Т.Ш. проф., академик (Қазақстан)
Жантаев Ж.Ш. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Өмірбаев Ү.Ү. проф. корр.-мүшесі (Қазақстан)
Жусіпов М.А. проф. (Қазақстан)
Жұмабаев Д.С. проф. (Қазақстан)
Асанова А.Т. проф. (Қазақстан)
Бошкаев К.А. PhD докторы (Қазақстан)
Сұраған Ә. PhD докторы (Қазақстан)
Quevedo Hernando проф. (Мексика),
Джунушалиев В.Д. проф. (Қыргызстан)
Вишневский И.Н. проф., академик (Украина)
Ковалев А.М. проф., академик (Украина)
Михалевич А.А. проф., академик (Белорус)
Пашаев А. проф., академик (Әзірбайжан)
Такибаев Н.Ж. проф., академик (Қазақстан), бас ред. орынбасары
Тигиняну И. проф., академик (Молдова)

«КР ҮФА Хабарлары. Физика-математикалық сериясы».

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Үлттық ғылым академиясы» РКБ (Алматы қ.)
Қазақстан республикасының Мәдениет пен ақпарат министрлігінің Ақпарат және мұрагат комитетінде
01.06.2006 ж. берілген №5543-Ж мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік

Мерзімділігі: жылдана 6 рет.

Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекенжайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,
www.nauka-nanrk.kz / physics-mathematics.kz

© Қазақстан Республикасының Үлттық ғылым академиясы, 2016

Типографияның мекенжайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Муратбаева көш., 75.

Г л а в н ы й р е д а к т о р
д.ф.-м.н., проф. академик НАН РК **Г.М. Мутанов**

Р е д а к ц и о н на я кол л е г и я:

Джумадильдаев А.С. проф., академик (Казахстан)
Кальменов Т.Ш. проф., академик (Казахстан)
Жантаев Ж.Ш. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Умирбаев У.У. проф. чл.-корр. (Казахстан)
Жусупов М.А. проф. (Казахстан)
Джумабаев Д.С. проф. (Казахстан)
Асанова А.Т. проф. (Казахстан)
Бошкаев К.А. доктор PhD (Казахстан)
Сураган Д. доктор PhD (Казахстан)
Quevedo Hernando проф. (Мексика),
Джунушалиев В.Д. проф. (Кыргызстан)
Вишневский И.Н. проф., академик (Украина)
Ковалев А.М. проф., академик (Украина)
Михалевич А.А. проф., академик (Беларусь)
Пашаев А. проф., академик (Азербайджан)
Такибаев Н.Ж. проф., академик (Казахстан), зам. гл. ред.
Тигиняну И. проф., академик (Молдова)

«Известия НАН РК. Серия физико-математическая».

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

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 / physics-mathematics.kz

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2016

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

E d i t o r i n c h i e f
doctor of physics and mathematics, professor, academician of NAS RK **G.M. Mutanov**

E d i t o r i a l b o a r d:

Dzhumadildayev A.S. prof., academician (Kazakhstan)
Kalmenov T.Sh. prof., academician (Kazakhstan)
Zhantayev Zh.Sh. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Umirbayev U.U. prof. corr. member. (Kazakhstan)
Zhusupov M.A. prof. (Kazakhstan)
Dzhumabayev D.S. prof. (Kazakhstan)
Asanova A.T. prof. (Kazakhstan)
Boshkayev K.A. PhD (Kazakhstan)
Suragan D. PhD (Kazakhstan)
Quevedo Hernando prof. (Mexico),
Dzhunushaliyev V.D. prof. (Kyrgyzstan)
Vishnevskyi I.N. prof., academician (Ukraine)
Kovalev A.M. prof., academician (Ukraine)
Mikhalevich A.A. prof., academician (Belarus)
Pashayev A. prof., academician (Azerbaijan)
Takibayev N.Zh. prof., academician (Kazakhstan), deputy editor in chief.
Tiginyanu I. prof., academician (Moldova)

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physical-mathematical series.

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

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 / physics-mathematics.kz

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2016

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 6, Number 310 (2016), 10 – 16

UDC 621.039.6, 537.523/.527

D.G. Batryshev^{1,3}, T.S. Ramazanov², M.K. Dosbolayev², M.T. Gabdullin³, Ye.Yerlanuly^{1,3}

¹Laboratory of Engineering Profile, Al-Farabi Kazakh National University;

²Scientific and Research Institute of Experimental and Theoretical Physics,

Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan;

³National Nanotechnological Laboratory of Opened Type, Al-Farabi Kazakh National University

Kazakhstan, 050040, Almaty, Al-Farabi avenue, 71

e-mail: yerlanuly@physics.kz

**SYNTHESIS OF CARBON NANOTUBES BY PLASMA ENHANCED
CHEMICAL DEPOSITION METHOD IN RADIO-FREQUENCY
CAPACITIVE DISCHARGE**

Abstract. In this work a synthesis of carbon nanotubes by plasma enhanced chemical deposition method in radio-frequency capacitive discharge is considered. As a result of the experiment, two samples were obtained – a silicon substrate with a small bright deposition on its surface and soot inside the heating element. These samples have been studied by using Ntegra Spectra Raman spectroscopy and scanning electron microscopy Quanta 3D 200i (SEM, FEI company, USA). The results of analysis indicate that carbon nanoparticles were deposited on the surface of the silicon substrate, whereas SEM and Raman spectroscopy analysis of soot indicates the presence of carbon fibers and nanotubes. The formation of CNTs and other carbonaceous nanostructures inside the quartz tube is explained by the fact that the heater material is nichrome (Ni + Cr) and the heating leads to evaporation of a small fraction of nickel, which served as a catalyst for CNT growth.

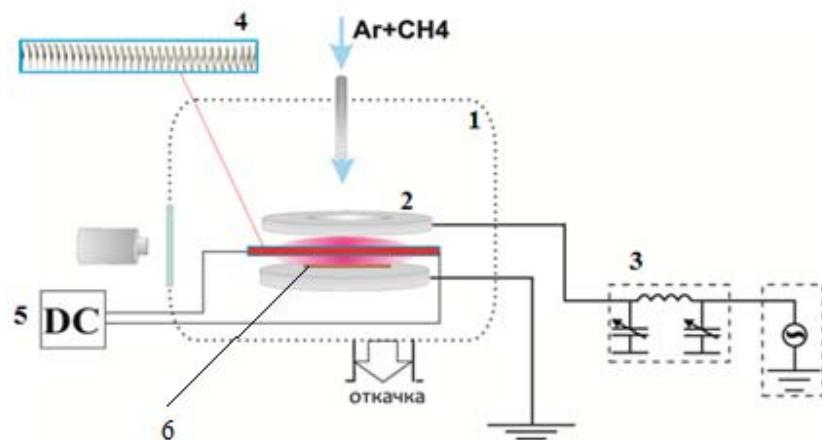
Keywords: carbon nanotubes, plasma chemical deposition, plasma.

Introduction

Synthesis of carbon nanotubes (CNTs) by chemical vapor deposition with plasma enhanced (PECVD) is used to produce vertically aligned CNTs on substrates at relatively low temperatures [1,2]. In accordance with the type of gas discharge, there are various PECVD reactors of glow discharge [3,4], radio-frequency discharge (RF) 13.56 MHz [5-8], microwave discharge 2.56 GHz [9]. For synthesis of CNTs are also used other methods, such as electric arc spraying (EAS) of graphite [10], laser ablation [11], method of chemical vapor deposition (CVD) [12]. The advantage of PECVD method compare with other methods is an ability to control and obtain vertically aligned CNTs due to the electrical field of plasma. CNTs have a wide range of applications: in electronics (flexible displays, sensors, high-speed and efficient diodes and transistors) [13,14], in medicine (treatment of cancer, biocompatible functional drugs and markers) [15-17], in energy (creation of solar panels, fuel cells, effective cathode electrocatalyst) [18-20] and etc. Due to these facts, nowadays scientists pay great interest to the research and synthesis of CNTs. Thus, in this work a synthesis of carbon nanotubes by plasma enhanced chemical vapor deposition method at radio-frequency capacitive discharge is considered.

Experiment

In this work the synthesis of CNTs by PECVD method was carried out in the experimental setup, the structure of which is shown in Figure 1. Experimental setup consists of working chamber (1), two parallel electrodes (2), where upper one is RF electrode and lower electrode is grounded, RF generator (3), heating element (4) – quartz tube with nichrome spiral, heater power source (5), pumping system and injection system of reaction gas into the working chamber.



1 – working chamber, 2 – electrodes, 3 – RF generator, 4 – heating element,
5 – heater power source, 6 – silicon substrate with a catalytic nanolayer

Figure 1 – Structure of experimental setup for synthesis of CNTs by PECVD method

On the basis of proposed scheme the experimental setup of combined radio-frequency discharge with a thermal heater was installed for the primary initiation of pyrolysis process. Figure 2 shows photos of working mode of RF plasma combustion with nichrome heater at different electrical parameters.

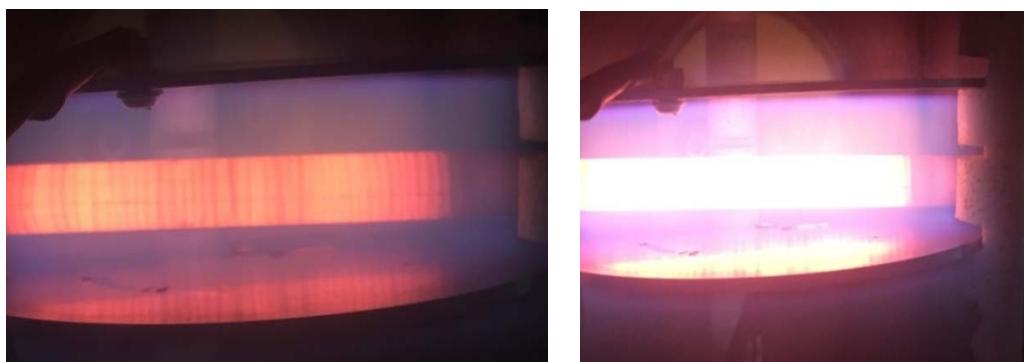


Figure 2 – PECVD process in working mode

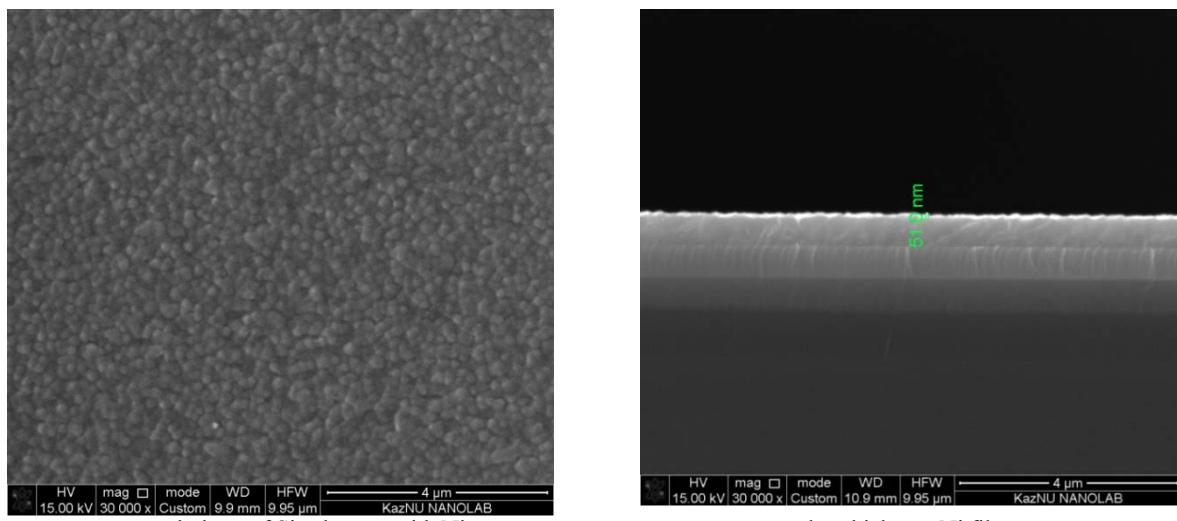


Figure 3 – SEM analysis of silicon substrate with a catalytic nanolayer of nickel

It is known, that growth mechanism for CNTs can be explained by widely-accepted vapor-liquid-solid (VLS) model, where catalyst plays a main role for CNTs growth. Therefore, in order to synthesis of CTNs on silicon (Si) substrate a catalytic nickel (Ni) was deposited on the surface of silicon substrate (6) by electron-beam deposition. After deposition, obtained sample was investigated by scanning electron microscopy (SEM). SEM analysis shows that surface of silicon substrate has a uniform nickel nanolayer with thickness \sim 50 nm. SEM images of Si substrate with Ni are shown in Figure 3.

Thus, the obtained silicon substrate with catalytic nanolayer is loaded into working chamber on the surface of lower electrode and then an air is pumped out from chamber, after vacuuming, a flow of working argon gas (Ar) is supplied up to the pressure of about 4 Torr and then heating element is switched on. As soon as the heating element reaches the temperature of 750°C, a RF voltage is supplied to the upper electrode with power of 5-15 Wts by RF generator; as a result the argon RF plasma is ignited and held for 15 minutes. At this stage, nanoclusters (islands) of nickel are formed on the surface of the silicon substrate due to the plasma and heat treatments. These nanoclusters are the basis for the growth of CNTs on the VLS model. Indeed, Figure 4 shows a SEM image of resulting nickel nanoclusters on the surface of silicon substrate. The Figures 3 and 4 show, that before plasma and heat treatment, the surface of silicon substrate had a continuous nickel nanolayer, but after plasma and heat treatment process separate islands of nickel nanoclusters with an average diameter of 20-70 nm were formed. According to the VLS model, the diameter of these nanoclusters determines the diameter of the synthesized CNT.

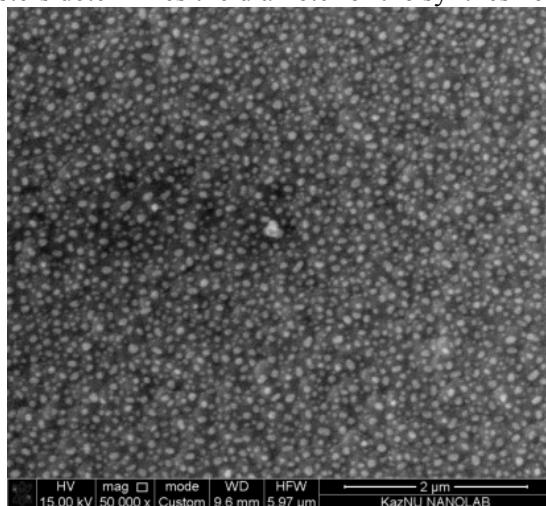


Figure 4 – SEM image of nickel nanoclusters on the surface of silicon substrate

For the formation of nickel islands on the surface of silicon substrate 15 minutes is enough, then for CNTs synthesis the working chamber was filled with an additional reaction carbonaceous gas – methane (CH_4) up to the pressure of 5 Torr, the synthesis process takes 15-30 minutes.

Thus, two samples were obtained from the experiment – a silicon substrate with deposited carbon nanoparticles (Figure 6) and soot into the heating element (Figure 5).

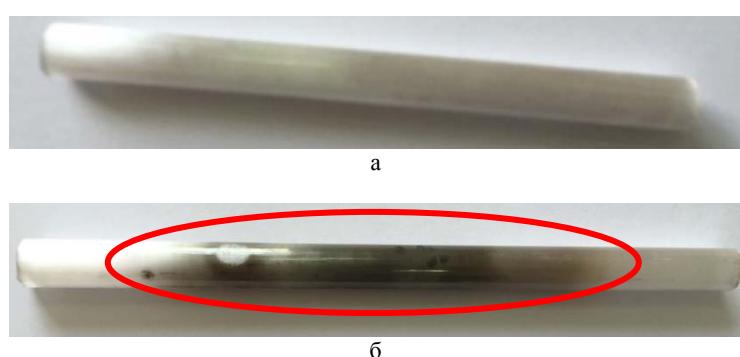


Figure 5 – Quartz tube before (a) and after (b) synthesis of CNTs by PECVD method

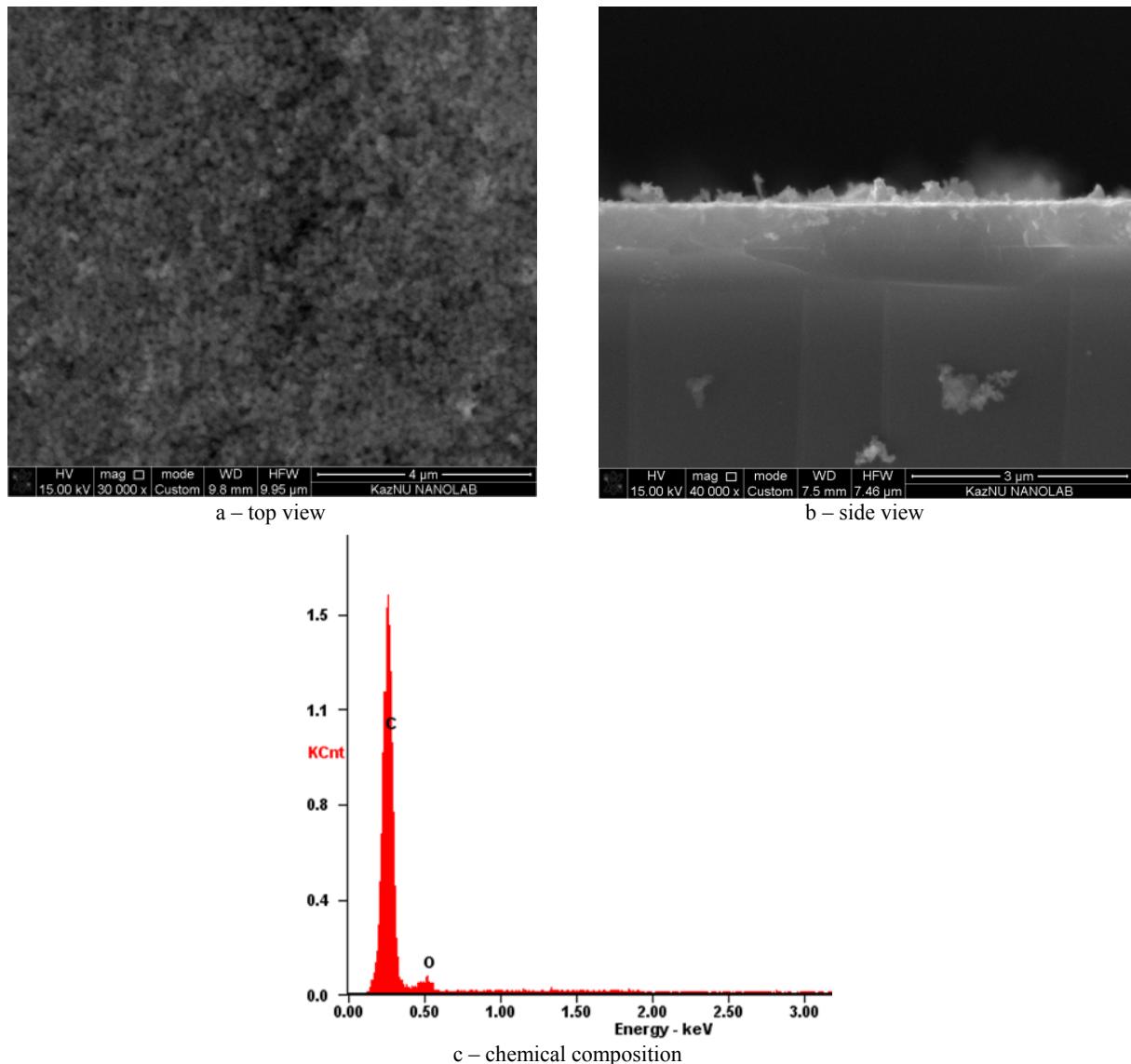


Figure 6 – SEM images and chemical composition of carbon nanoparticles deposited on the surface of silicon substrate

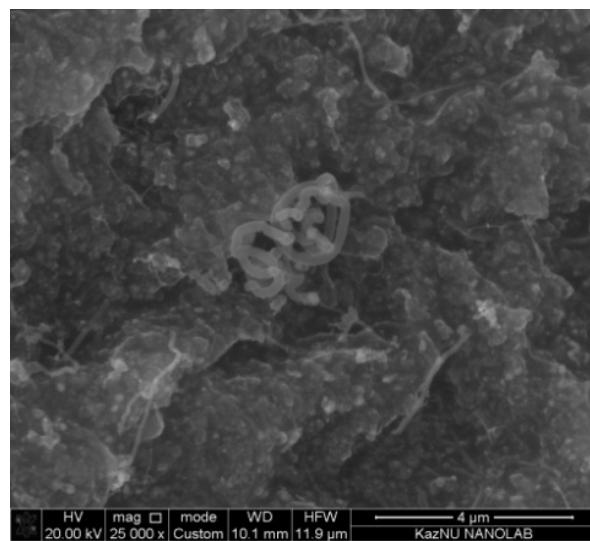


Figure 7 – SEM images of CNTs

The study of obtained samples by scanning electron microscope and Raman spectroscopy (RS) shows that formation of carbon nanoparticles during PECVD process is true and they are deposited on the surface of the silicon substrate. Figure 6 shows the SEM images of deposited carbon nanoparticles, while the SEM and RS analysis of soot indicate the presence of carbon fibers and nanotubes (Figure 7). Initially, the purpose of this work was to synthesize of CNTs on the surface of silicon substrate, but as obtained results show, there is no CNTs on silicon substrate. Perhaps, the reason is still low temperature of environment near the substrate for the growth of CNTs, but sufficient for the formation of nanoclusters of nickel.

Due to the high temperature of nichrome heater, the Ni nanoparticles were formed because of the thermal emission from heater, which led to CNTs growth and formation of soot in heating element.

Raman spectra of soot are shown in Figure 8. Raman spectrum shown in Figure 8a corresponds to the typical spectrum of multiwalled CNTs (MWCNTs) with main G, D and G' (2D) bands at frequencies of 1591 cm^{-1} , 1360 cm^{-1} and 2719 cm^{-1} , respectively, and also G+D band at frequency 2950 cm^{-1} . G-band of this spectrum corresponds to a tangential vibrations of two adjacent carbon atoms in the CNT lattice, G' (or 2D) band corresponds to overtone of D-band, caused by two-phonon inelastic scattering. The presence of D-band and G'- band in the spectrum enables to indicate the defects in the structure and its perfection. Thus, to assess the structure the following formula of G and D bands intensity ratio can be used: $L_a = 4,4 \cdot \frac{I_G}{I_D}$, where I_a - area of homogeneous dispersion in the carbon structures. The value of bands intensity ratio for the spectrum is $L_a = 4,7$, indicating that the synthesized MWCNTs has not so bad quality. Also, the expressed 2D band in spectrum says about good quality of obtained CNTs. But fusion of D and G bands indicates the presence of amorphous phase in sample. Raman spectrum represented in Figure 8b is a typical to spectrum of Few-layer graphene (FLG). This is evidenced by the weak D band (1359 cm^{-1}) and relatively narrow and intense G bands ($1581,8\text{ cm}^{-1}$) and 2D ($2733,6\text{ cm}^{-1}$).

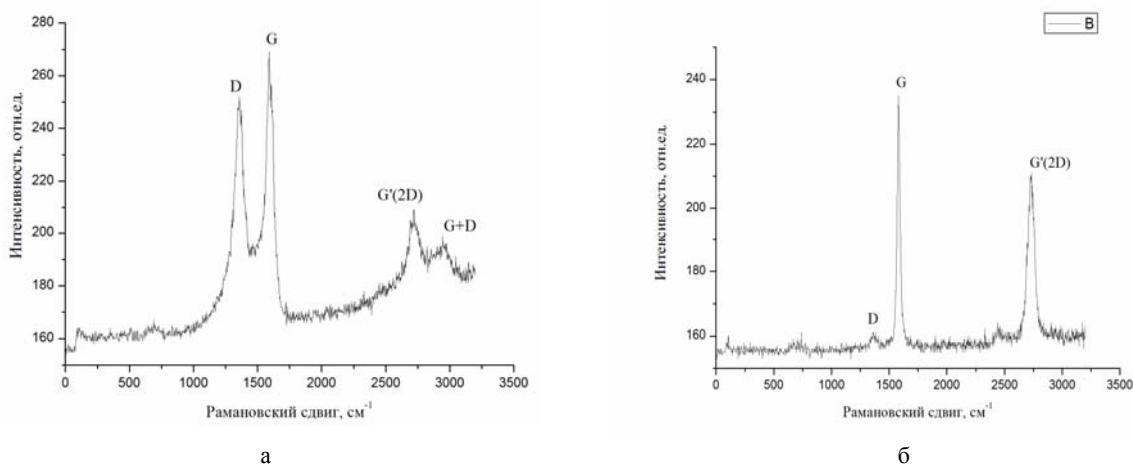


Figure 8 – Raman spectra of obtained CNTs by PECVD method

Conclusion

In this work the synthesis of carbon nanotubes by plasma enhanced chemical vapor deposition method in a radio capacitive discharge was considered. As the result of the experiment two samples were produced – a silicon substrate with a small and white deposition on its surface and soot inside the heating element which have been investigated using SEM and RS analysis. The results of the analysis indicate that the carbon nanoparticles were deposited on the surface of silicon substrate, whereas SEM and RS analysis of soot indicate the presence of carbon fibers and nanotubes. The formation of CNTs and other carbon nanostructures inside the quartz tube is explained by the fact that the heater material is nichrome (Ni+Cr), during heating, a small fraction of nickel, which served as a catalyst for CNT growth, was allocated.

This work was supported by the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan under the grant 3214 / GF 4.

REFERENCES

- [1] *Man Y.H., Li Z.C., Zhang Z.J.* Influence of plasma condition on carbon nanotube growth by rf-PECVD // Nano-Micro Letters. **2010**, V. 2, №1, P.37-41.
- [2] *Wang H., Lin J., Huan C.H.A., Dong P., He J., Tang S.H., Eng W.K., Thong T.L.J.*, Controlled synthesis of aligned carbon nanotube arrays on catalyst patterned silicon substrates by plasma-enhanced chemical vapor deposition // Appl. Sur. Sci. **2001**. V. 181, №3, P. 248-254.
- [3] *Chhowalla M., Teo K.B.K., Ducati C., Rupesinghe N.L., Amaratunga G.A.J., Ferrari A.C., Roy D., Robertson J., Milne W.I.*, Growth process conditions of vertically aligned carbon nanotubes using plasma enhanced chemical vapor deposition// J. Appl. Phys. **2011**, V. 90, P. 5308.
- [4] *Lee D.H., Lee W.J., Kim S.O.,* Vertical Single-Walled Carbon Nanotube Arrays via Block Copolymer Lithography//Chem. Mater. **2009**, V. 21, №7, P. 1368-1974.
- [5] *Kim U.J. Lee E.H., Kim J.M., Min Y., Kim E., Park W.* Thin film transistors using preferentially grown semiconducting single-walled carbon nanotube networks by water-assisted plasma-enhanced chemical vapor deposition//Nanotechnology, **2009**, Vol. 20, №29, P.5201.
- [6] *Shiratori Y., Hiraoka H., Takeuchi Y., Itoh S., M. Yamamoto,* A One-step formation of aligned carbon nanotube field emitter sat 400°C//Ap. Phys. Lett. **2003**, V. 82, P.2485.
- [7] *Gohier H.A., Minea T.M., Djouadi A.M., GranierA., Dubosc M.,* Limitsofthe PECVD process for single wall carbon nanotubes growth//Chem. Phy. Lett. **2006**, V. 42, №3. P.242-245.
- [8] *Zhong G., Iwasaki T., Honda K., Furukawa Y., Ohdomari I., Kawarada H.,* Low Temperature Synthesis of Extremely Dense and Vertically Aligned Single-Walled Carbon Nanotubes // Jpn. J. Appl. Phys. **2005**, V. 44, №4A, P.1558.
- [9] *Maschmann H.M.R., Amama P.B., Goyal A., Iqbal Z., Gat R., Fisher T.S.,* Parametric Study of Synthesis Conditionsin Plasma-Enhanced CVD of High-Quality Single-Walled Carbon Nanotubes // Carbon, **2006**, V. 44, №1, P.10-18.
- [10] Абдуллин Х.А., Габдуллин М.Т., Рамазанов Т.С., Батрышев Д.Г., Исмаилов Д.В., Шур Д.В., Получение углеродных нанотрубок в дуговом разряде в среде дионизированной воды без каталитическим методом // Вестник КазНУ, физическая, **2015**, Т.53, №2, С. 68-72.
- [11] Thessetal A., Lee R., Nikolaev P., Dai H., Petit P., Robert J., Xu C., Lee Y. H., Kim S G., Rinzler A G., Colbert D T., Scuseria G E., Tomanek D., Fischer J E., Smalley R E. Crystalline Ropes of Metallic Carbon Nanotubes // Science, **1996**. V. 273, P. 483-487.
- [12] Abdullin Kh.A., Batryshev D.G., Chihray E.V., Gabdullin M.T., Ismailov D.V., Kim B.G., Togambaeva A.K., Obtaining multi walled and single-walled carbon nanotubes and nano composites // Canadian J. Phys. **2014**, V. 92, №. 7/8, P. 813-818.
- [13] Xiao L., Chen Zh, Feng Ch., Liu L., Bai Z.-Q, Wang Y., Qian L., Zhang Y., Li Q., Jiang K., Fan Sh.,, Stretchable, Transparent Carbon Nanotube Thin Film Loudspeakers // Nano Lett., **2008**, Vol. 8, №12, P. 4539-4545.
- [14] Zheng Q., Jiang Q., Multiwalled Carbon Nanotubes as Gigahertz Oscillators // Phys. Rev. Lett., **2002**, V. 88-045503.
- [15] Chen J., Chen S., Zhao X., Kuznetsova L.V., Wong S.S., Ojima I. Functionalized single-walled carbon nanotubes as rationally designed vehicles for tumor-targeted drug delivery // J. Am. Chem. Soc. **2008**. V. 49, no. 130. P. 16778–16785.
- [16] Devitt M.R. Tumor targeting with antibody-functionalized, radio labeled carbon nanotubes // The J. of nuclear medicine. 2007. V. 48, no. 7. P. 1180–1189.
- [17] Kateb B., Yamamoto V., Alizadeh D., Zhang L., Manohara H.M., Bronikowski M.J., Badie B. Multi-walled carbon nanotube (MWCNT) synthesis, preparation, labeling, and functionalization // Immunotherapy of Cancer, Methods in Molecular Biology. **2010**. No. 651. P. 307–317.
- [18] Ye Y., Ahn C.C., Witham C., Fultz B., Liu J., Rinzler A.G., Colbert D., Smith K.A., Smalley R.E., Hydrogen adsorption and cohesive energy of single-walled carbon nanotubes // Applied Physics Letters **1999**, 74, (16), 2307-2309.
- [19] Xu W.C., Takahashi K., Matsuo Y., Hattori Y., Kumagai M., Ishiyama S., Kaneko K., Iijima S., Investigation of hydrogen storage capacity of various carbon materials .// International Journal of Hydrogen Energy **2007**, 32, (13), 2504-2512.
- [20] Panella B., Hirscher M., Roth S., Hydrogen adsorption in different carbon nanostructures. //Carbon, **2005**, Vol.43, №10, P. 2209-2214.

Д.Ф. Батрышев^{1,3}, Т.С. Рамазанов², М.К. Досболаев², М.Т. Габдуллин³, Е. Ерланұлы^{1,3}

¹Инженерлік бейіндегі зертхана, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ;

²Эксперименттік және теориялық физика ғылыми-зерттеу институты, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ;

³Ашық түрдегі Үлттық нанотехнологиялық зертхана, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ,
Қазақстан, 050040 Алматы, әл-Фараби, 71

**ЖОФАРЫ ЖИЛІКТІ СЫЙЫМДЫЛЫҚ РАЗРЯДЫНДА ГАЗДЫҚ ФАЗАДАН
ПЛАЗМОХИМИЯЛЫҚ ӘДІСІМЕН КӨМІРТЕК НАНОТҮТІКШЕЛЕРИН СИНТЕЗДЕУ**

Аннотация. Бұл жұмыс жоғары жиілікті сыйымдылықты разрядта газдық фазадан плазмохимиялық әдісімен көміртек нанотүтікшелерін синтездеу тақырыбына арналған. Эксперимент нәтижесінде екі үлгі алынды – беттік қабатында қандай да бір ашық кондырмасы бар кремнийлік төсем және қыздыру элементінің ішіндегі күйе. Аталған үлгілер Рамандық Ntegra SPECTRA спектроскопиясымен және Quanta 3D 200i (SEM, FEI company, USA) электроды сканерлеуші микроскопия көмегімен зерттелді. Анализ нәтижелері кремнийлі төсемнің беттік қабатында көміртекті нанобөлшектердің кондырылғанын, ал күйенің ЭСМ және РС анализі көміртекті талшықтардың және нанотүтікшелердің бар екендігін дәлелдейді. Кварцық түтікшениң ішінде КНТ және басқа да көміртекті нанокұрылымдардың пайда болуы қыздыргыш никром (Ni+Cr) материалынан болғанымен түсіндіріледі. Қыздыргыштың температурасын жоғарылатқанда материалдан КНТ өсуініне себеп болатын никель катализаторы бөлінеді.

Түйін сөздер: көміртекті нанотүтікшелер, плазмохимиялық кондыру, плазма.

УДК 621.039.6, 537.523/.527

Д.Г. Батрышев^{1,3}, Т.С. Рамазанов², М.К. Досбалаев², М.Т. Габдуллин³, Е. Ерланулы^{1,3}

¹Лаборатория инженерного профиля, КазНУ им. аль-Фараби,

²Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики, КазНУ им. аль-Фараби,

³Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа, КазНУ им. аль-Фараби,
Казахстан, 050040 Алматы, пр. аль-Фараби, 71

СИНТЕЗ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ОСАЖДЕНИЯ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ В ВЫСОКОЧАСТОТНОМ ЕМКОСТНОМ РАЗРЯДЕ

Аннотаци. Данная работа посвящена синтезу углеродных нанотрубок плазмохимическим методом осаждения из газовой фазы в высокочастотном емкостном разряде. В результате эксперимента были получены два образца – кремниевая подложка с неким светлым осаждением на ее поверхности и сажа внутри нагревательного элемента, которые были исследованы с помощью Рамановской спектроскопией Ntegra SPECTRA и сканирующей электронной микроскопией Quanta 3D 200i (SEM, FEI company, USA). Результаты анализа свидетельствуют, что на поверхности кремниевой подложки были осаждены углеродные наночастицы, тогда как СЭМ и РС анализ сажи свидетельствует о наличии углеродных волокон и нанотрубок. Образование УНТ и других, углеродсодержащихnanoструктур внутри кварцевой трубы объясняется с тем, что материалом нагревателя является никром (Ni+Cr), при нагревании которого из материала выделялась малая доля никеля, который служил катализатором роста УНТ.

Ключевые слова: углеродные нанотрубки, плазмохимическое осаждение, плазма.

Сведения об авторах:

Батрышев Д.Г. – ст. преподаватель, КазНУ им. аль-Фараби, Аль-Фараби 71а, физ-тех, 123 каб., batryshev@physics.kz;

Рамазанов Т.С. – Профессор, КазНУ им. аль-Фараби, Аль-Фараби 71а, физ-тех, 332 каб., ramazan@physics.kz;

Досбалаев М.К. – Ассоциированный профессор, КазНУ им. аль-Фараби, Алматинская обл., поселок Кокозек, ул. Жибек-жолы, д. 29а Аль-Фараби 71а, физ-тех, 125 каб., merlan@physics.kz;

Габдуллин М.Т. – Ст. преподаватель, КазНУ им. аль-Фараби, Аль-Фараби 71а, физ-тех, 427 каб., gabdullin@physics.kz;

Ерланулы Е. – Инженер, КазНУ им. аль-Фараби, Аль-Фараби 71а, физ-тех, 120 каб., yerlanuly@physics.kz

МАЗМУНЫ

| | |
|---|-----|
| <i>Бакранова Д.И., Күкүшкін С.А., Бейсембетов И.К., Осипов А.В., Нұсупов К.Х., Бейсенханов Н.Б., Қенжалиев Б.К., Сейтov Б.Ж.</i> Ақауы аз кремний матрицаларындағы атомдардың орнын басу әдісімен алынған эпитетаксиалды SiC қабыршақтарын рентгендік талдау..... | 5 |
| <i>Батышев Д.Ф., Рамазанов Т.С., Досбалаев М.К., Габдуллин М.Т., Ерланұлы Е.</i> Жоғары жиілікті сыйымдылық разрядында газдық фазадан плазмохимиялық әдісімен көміртек нанотүтікшелерін синтездеу..... | 10 |
| <i>Демьянова А.С., Данилов А.Н., Буртебаев Н., Джансейтов Д.М., Керимкулов Ж., Алимов Д.К., Мухамеджанов Е.С.</i> | |
| ¹³ C ядросының экзотикалық құйларінің радиустары..... | 17 |
| <i>Сарсенгельдин М.М., Слямхан М.М., Бижигитова Н.Т.</i> Қозғалмалы шекарасы бар оське тимейтін жылуеңтігіштік тендеуінің жылу көмүшелері арқылы аналитикалық шешімі..... | 21 |
| <i>Бакранова Д.И., Күкүшкін С.А., Бейсембетов И.К., Осипов А.В., Нұсупов К.Х., Бейсенханов Н.Б., Қенжалиев Б.К., Сейтov Б.Ж.</i> Ақауы аз кремний матрицаларындағы атомдардың орнын басу әдісімен алынған эпитетаксиалды SiC қабыршақтарын рентгендік талдау..... | 25 |
| <i>Диханбаев К.К., Мусабек Г.К., Сиваков В.А., Ермұхамед Да., Мейрам А.Т.</i> Кремний наноталшықтарының микропhotолюминесценциясы..... | 32 |
| <i>Батышев Д.Ф., Рамазанов Т.С., Досбалаев М.К., Габдуллин М.Т., Ерланұлы Е.</i> Жоғары жиілікті сыйымдылық разрядында газдық фазадан плазмохимиялық әдісімен көміртек нанотүтікшелерін синтездеу..... | 38 |
| <i>Демьянова А.С., Данилов А.Н., Буртебаев Н., Джансейтов Д.М., Керимкулов Ж., Алимов Д.К., Мухамеджанов Е.С.</i> | |
| ¹³ C ядросының экзотикалық құйларінің радиустары..... | 45 |
| <i>Сергеев Д.М., Шүккев Қ.Ш.</i> «Ниобий – көміртекті нанотүтікше (5,5) – ниобий» нанотүйіспесінің транспорттық сипаттамаларының компьютерлік модельдеуі..... | 49 |
| <i>Досбалаев М.К., Утегенов А.У., Тажен А.Б., Рамазанов Т.С., Габдуллин М.Т.</i> Импульстік плазмалық ағынның динамикалық қасиеттері мен импульстік плазмалық деткіштегі тозаңың пайда болуы..... | 59 |
| <i>Мингілаев М.Ж., Жұмабек Т.М.</i> Тенбүйірлі шектелген үш дене мәселесі | 67 |
| <i>Оразбаев С.А., Өмірбеков Д.Б., Досбалаев М.К., Габдуллин М.Т., Рамазанов Т.С.</i> Сынақта тозанды-плазмалы шамның жарық беру қасиетін зерттеу..... | 74 |
| <i>Жақып К.Б.</i> Сұйықтықтар мен газдардағы химиялық реакциялары бар термобародиффузияларды моделдеу..... | 80 |
| <i>Оразбаев С.А., Өмірбеков Д.Б., Габдуллин М.Т., Досбалаев М.К., Рамазанов Т.С.</i> Газ температурасының тозанды нанобөлшектердің өлшемі мен құрылымына әсері..... | 89 |
| <i>Жақып-тегі К. Б.</i> Гүктың заңымен серпілімдік теориясында моделдеу. Кернеулер тензорында симметрия жоктығы..... | 96 |
| <i>Буртебаев Н., Алимов Да., Зазулин Да.М., Керимкулов Ж.К., Юшков А.В., Джансейтов Да.М., Мухамеджанов Е., Насрулла М.</i> Төмөнгі энергиялы протондардың ¹⁴ N ядросымен әсерлесу потенциал параметрлерін анықтау..... | 104 |
| <i>Буртебаев Н., Керимкулов Ж.К., Амангелді Н., Алимов Да.К., Мухамеджанов Е.С., Джансейтов Да.М., Мауей Б., Аймаганбетов А., Курхмедов А.Е., Бекбаев С.М., Мадиярова А.Ж.</i> 17,5 және 41 МэВ энергияларда ¹¹ B ядроларынан ¹⁴ N иондарының серпімді шашырауын зерттеу..... | 109 |
| <i>Искакова У.А., Төребек Б.Т.</i> Лаплас операторы үшін робен-коши қисынсыз есебін шешудің бір әдісі туралы..... | 115 |
| <i>Шинibaев М.Д., Беков А.А., Даирбеков С.С., Жолдасов С.А., Мырзакасова Г.Е., Алиаскаров Да.Р., Шекербекова С.А., Садыбек А.Ж.</i> Екі жылжымайтын нұктес проблемасының жаңа нұсқасы..... | 121 |
| <i>Сарсенбаев Х.А., Хамзина Б.С., Колдасова Г.А., Исаева Г.Б.</i> Модификацияланған алс лигносульфонатты реагенттін (НПП «Азимут») зерттеу..... | 126 |

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|-----|
| Бакранова Д.И., Кукушкин С.А., Бейсембетов И.К., Осипов, А.В. Нусупов К.Х., Бейсенханов Н.Б., Кенжалиев Б.К., Сейтов Б.Ж. Рентгеновский анализ эпитаксиальных пленок SiC, выращенных методом замещения атомов на подложках низкодефектного кремния..... | 5 |
| Батрышев Д.Г., Рамазанов Т.С., Досбалаев М.К., Габдуллин М.Т., Ерланулы Е. Синтез углеродных нанотрубок плазмохимическим методом осаждения из газовой фазы в высокочастотном емкостном разряде..... | 10 |
| Демьянова А.С., Данилов А.Н., Буртебаев Н., Джансейтов Д.М., Керимкулов Ж., Алиев Д.К., Мухамеджанов Е.С. Экзотические состояния ядра ^{13}C с аномальными радиусами..... | 17 |
| Сарсенгельдин М.М., Слямхан М.М., Бижигитова Н.Т. Аналитическое решение уравнения теплопроводности с движущимися границами не касающиеся оси тепловыми полиномами..... | 21 |
| Бакранова Д.И., Кукушкин С.А., Бейсембетов И.К., Осипов А.В., Нусупов К.Х., Бейсенханов Н.Б., Кенжалиев Б.К., Сейтов Б.Ж. Рентгеновский анализ эпитаксиальных пленок SiC, выращенных методом замещения атомов на подложках низкодефектного кремния..... | 25 |
| Диханбаев К.К., Мусабек Г.К., Сиваков В.А., Ермухамед Д., Мейрам А.Т. Фотолюминесценция кремниевых нанонитей..... | 32 |
| Батрышев Д.Г., Рамазанов Т.С., Досбалаев М.К., Габдуллин М.Т., Ерланулы Е. Синтез углеродных нанотрубок плазмохимическим методом осаждения из газовой фазы в высокочастотном емкостном разряде..... | 38 |
| Демьянова А.С., Данилов А.Н., Буртебаев Н., Джансейтов Д.М., Керимкулов Ж., Алиев Д.К., Мухамеджанов Е.С. Экзотические состояния ядра ^{13}C с аномальными радиусами..... | 45 |
| Сергеев Д.М., Шункеев К.Ш. Компьютерное моделирование транспортных характеристик наноконтакта «Ниобий – углеродная нанотрубка (5,5) – ниобий»..... | 49 |
| Досбалаев М.К., Утегенов А.У., Тажен А.Б., Рамазанов Т.С., Габдуллин М.Т. Динамические свойства импульсного плазменного потока и пылеобразование в ИПУ | 59 |
| Минглибаев М.Дж., Жумабек Т.М. К равнобедренной ограниченной задаче трех тел..... | 67 |
| Оразбаев С.А., Омирбеков Д.Б., Досбалаев М.К., Габдуллин М.Т., Рамазанов Т.С. Экспериментальное исследование свойства светоотдачи плазменно-пылевой лампы..... | 74 |
| Джакупов К.Б. Моделирование термобародиффузий с химическими реакциями в жидкостях и газах | 80 |
| Оразбаев С.А., Омирбеков Д.Б., Габдуллин М.Т., Досбалаев М.К., Рамазанов Т.С. Влияние температуры газа на размеры и структуры пылевых наночастиц | 89 |
| Джакупов К.Б. Моделирование по закону Гука в теории упругости. Несимметричность тензора напряжений | 96 |
| Буртебаев Н., Алиев Д., Зазулин Д.М., Керимкулов Ж.К., Юшков А.В., Джансейтов Д.М., Мухамеджанов Е., Насрулла М. Определение параметров потенциала взаимодействия протона с ^{14}N при низких энергиях | 104 |
| Буртебаев Н., Керимкулов Ж.К., Амангелді Н., Алиев Д.К., Мухамеджанов Е.С., Джансейтов Д.М., Мауей Б., Аймаганбетов А., Курахмедов А.Е., Бекбаев С.М., Мадиярова А.Ж. Исследование упругого рассеяния ионов ^{14}N на ядрах ^{11}B при энергиях 17,5 и 41 МэВ..... | 109 |
| Искакова У.А., Торебек Б.Т. Об одном методе решения некорректной задачи робена-коши для оператора лапласа... | 115 |
| Шинibaев М.Д., Беков А.А., Даирбеков С.С., Жолдасов С.А., Мырзакасова Г.Е., Алиаскаров Д.Р., Шекербекова С.А., Садыбек А.Ж. О новой версии задачи двух неподвижных центров | 121 |
| Сарсенбаев Х.А., Хамзина Б.С., Кодасова Г.А., Исаева Г.Б. Исследование модифицированного реагента АЛС лигносульфонатная (НПП «Азимут») | 126 |

CONTENTS

| | |
|---|-----|
| <i>Bakranova D.I., Kukushkin S.A., Beisembetov I.K., Osipov A.V., Nussupov K.Kh., Beisenkhanov N.B., Kenzhaliev B.K., Seitov B.Zh.</i> X-Ray analysis of SiC epitaxial films grown by method of atom replacement on low dislocation silicon substrate..... | 5 |
| <i>Batryshev D.G., Ramazanov T.S., Dosbolayev M.K., Gabdullin M.T., Yerlanuly Ye.</i> Synthesis of carbon nanotubes by plasma chemical deposition method from vapour-phase in radio-frequency capacitive discharge..... | 10 |
| <i>Demyanova A.S., Danilov A.N., Burtebayev N., Janseitov D.M., Kerimkulov Zh., Alimov D.K., Mukhamejanov Y.S.</i> Exotic states of ^{13}C nuclei with abnormal radii..... | 17 |
| <i>Sarsengeldin M.M., Slyamkhan M.M., Bizhigitova N.T.</i> Analytical solution of heat equation with moving boundary not tangent to axis by heat polynomials..... | 21 |
| <i>Bakranova D.I., Kukushkin S.A., Beisembetov I.K., Osipov A.V., Nussupov K.Kh., Beisenkhanov N.B., Kenzhaliev B.K., Seitov B.Zh.</i> X-ray analysis of SiC epitaxial films grown by method of atom replacement on low dislocation silicon Substrate..... | 25 |
| <i>Dikhanbayev K.K., Mussabek G.K., Sivakov V.A., Yermukhamed D., Meiram A.T.</i> Micro-photoluminescence in silicon nano-wires..... | 32 |
| <i>Batryshev D.G., Ramazanov T.S., Dosbolayev M.K., Gabdullin M.T., Yerlanuly Ye.</i> Synthesis of carbon nanotubes by plasma chemical deposition method from vapour-phase in radio-frequency capacitive discharge..... | 38 |
| <i>Demyanova A.S., Danilov A.N., Burtebayev N., Janseitov D.M., Kerimkulov Zh., Alimov D.K., Mukhamejanov Y.S.</i> Exotic states of ^{13}C nuclei with abnormal radii | 45 |
| <i>Sergeyev D.M., Shunkeyev K.Sh.</i> Computer simulation of transport properties of nanocontact "Niobium – carbon nanotubes (5.5) – niobium"..... | 49 |
| <i>Dosbolayev M.K., Utegenov A.U., Tazhen A.B., Ramazanov T.S., Gabdullin M.T.</i> Dynamic properties of pulse plasma flow and dust formation in the pulsed plasma accelerator..... | 59 |
| <i>Minglibayev M.Zh., Zhumabek T.M.</i> On the isosceles restricted three-body problem..... | 67 |
| <i>Orazbayev S.A., Omirbekov D.B., Dosbolayev M.K., Gabdullin M.T., Ramazanov T.S.</i> Experimental research of luminous efficiency of dusty plasma lamp..... | 74 |
| <i>Zhakupov K.B.</i> Modeling thermal barodiffusion with chemical reactions in liquids and gases..... | 80 |
| <i>Orazbayev S.A., Omirbekov D.B., Gabdullin M.T., Dosbolayev M.K., Ramazanov T.S.</i> The influence of gas temperature on size and structure of the dust nanoparticles..... | 89 |
| <i>Jakupov K.B.</i> Modeling Hooke's law in the theory of elasticity. Unsymmetrical stress tensor..... | 96 |
| <i>Burtebayev N., Alimov D.K., Zazulin D.M., Kerimkulov Zh.K., Yushkov A.V., Janseitov D.M., Mukhamejanov Y., Nassurlla M.</i> Determination of parameters of proton ^{14}N interaction potential at low energies..... | 104 |
| <i>Burtebayev N., Kerimkulov Zh.K., Amangeldi N., Alimov D.K., Mukhamejanov Y.S., Janseitov D.M., Mauey B., Aymaganbetov A., Kurakhmedov A., Bekbaev S.M., Madiyarova A.Zh.</i> Study of elastic scattering of ^{14}N ions from ^{16}O at energies 17,5 and 41 MeV..... | 109 |
| <i>Iskakova U.A., Torebek B.T.</i> Certain method of solving ill-posed cauchy-robin problem for the laplace operator | 115 |
| <i>Shinibaev M.D., Bekov A.A., Dairbekov S.S., Zholdasov S.A., Myrzakasova G.E., Aliaskarov D.R., Shekerbekova S.A., Sadybek A.G.</i> A new version of the problem of two fixed centers..... | 121 |
| <i>Sarsenbayev Kh.A., Khamzina B.S., Koldassova G.A., Issayeva G.B.</i> Research of modified reagent ALS lignosulfonate (NPP «Azimut»)..... | 126 |

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

www.nauka-nanrk.kz

<http://www.physics-mathematics.kz>

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Редактор М. С. Ахметова, Д.С. Аленов, Т.А. Апендиев
Верстка на компьютере А.М. Кульгинбаевой

Подписано в печать 2016.
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
4 п.л. Тираж 300. Заказ 6.

*Национальная академия наук РК
050010, Алматы, ул. Шевченко, 28, т. 272-13-18, 272-13-19*