

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 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 ы  
ф.-м.ғ.д., проф., ҚР ҰҒА академигі **Ғ.М. Мұтанов**

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

**Жұмаділдаев А.С.** проф., академик (Қазақстан)  
**Кальменов Т.Ш.** проф., академик (Қазақстан)  
**Жантаев Ж.Ш.** проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)  
**Өмірбаев У.У.** проф. корр.-мүшесі (Қазақстан)  
**Жүсіпов М.А.** проф. (Қазақстан)  
**Жұмабаев Д.С.** проф. (Қазақстан)  
**Асанова А.Т.** проф. (Қазақстан)  
**Бошқаев К.А.** PhD докторы (Қазақстан)  
**Сұраған Д.** PhD докторы (Қазақстан)  
**Quevedo Hernando** проф. (Мексика),  
**Джунушалиев В.Д.** проф. (Қырғыстан)  
**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)

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Физика-математикалық сериясы».

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

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

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

---

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2016

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

Главный редактор  
д.ф.-м.н., проф. академик НАН РК **Г.М. Мутанов**

Редакционная коллегия:

**Джумадилаев 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)  
**Vishnevskiy 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](http://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), 32 – 37

UDC 537.311:322

**D.I. Bakranova<sup>1</sup>, S.A. Kukushkin<sup>2</sup>, I.K. Beisembetov<sup>1</sup>, A.V. Osipov<sup>2</sup>,  
K.Kh. Nussupov<sup>1</sup>, N.B. Beisenkhanov<sup>1</sup>, B.K. Kenzhaliev<sup>1</sup>, B.Zh. Seitov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Institute for Problems of Mechanical Engineering, St. Petersburg, Russia;

e-mail: dinabakranova@gmail.com, sergey.a.kukushkin@gmail.com, rector@kbtu.kz,

andrey.v.osipov@gmail.com, rich-famouskair@mail.ru,

beisen@mail.ru, bagdaulet\_k@mail.ru, seitov\_b85@mail.ru

**X-RAY ANALYSIS OF SiC EPITAXIAL FILMS GROWN  
BY METHOD OF ATOM REPLACEMENT ON LOW DISLOCATION  
SILICON SUBSTRATE**

**Abstract.** In this work, SiC films were synthesized by method of atoms replacement in the silicon lattice of on the surface of low dislocation silicon substrates M-5168 brand. By methods of X-ray diffraction, ellipsometry and profilometry, the surface roughness, phase composition, thickness and quality of SiC films synthesized through the substitution of atoms in high-resistance monocrystalline (111) oriented n-type silicon wafers in a mixture of gases CO and SiH<sub>4</sub>, were studied. It is shown that the films contain the both nanocrystalline and single crystalline 3C-SiC layers with β-SiC crystallites of high degree of perfection. Dimensions of silicon carbide nanocrystals in the transition region "film-substrate" constitute values of 3 – 5 nm. Dimensions of large crystals of silicon carbide or monolayers reached values within 35 – 365 microns with a thickness of SiC films ~ 95 – 110 nm and the quantity of Si vacancies about 5 – 6.5 %. The results can be used in nano- and microelectronics and in the production of solar cells.

**Keywords:** thin films, silicon carbide, structure, crystallization, X-ray diffraction.

УДК 537.311:322

**Д.И. Бакранова<sup>1</sup>, С.А. Кукушкин<sup>2</sup>, И.К. Бейсембетов<sup>1</sup>, А.В. Осипов<sup>2</sup>,  
К.Х. Нусупов<sup>1</sup>, Н.Б. Бейсенханов<sup>1</sup>, Б.К. Кенжалиев<sup>1</sup>, Б.Ж. Сейтов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup>Институт проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербург, Россия

**РЕНТГЕНОВСКИЙ АНАЛИЗ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК SiC,  
ВЫРАЩЕННЫХ МЕТОДОМ ЗАМЕЩЕНИЯ АТОМОВ НА  
ПОДЛОЖКАХ НИЗКОДЕФЕКТНОГО КРЕМНИЯ**

**Аннотация.** В работе на поверхности низкодефектных подложек кремния марки M-5168 синтезированы пленки SiC методом замещения атомов в решетке кремния. Методами рентгеновской дифракции, эллипсометрии и профилометрии исследованы шероховатость поверхности, фазовый состав, толщина и качество пленок SiC, синтезированных в высокоомном монокристаллическом кремнии n-типа ориентации (111) в смеси газов CO и SiH<sub>4</sub>. Показано, что синтезированные пленки содержат в себе монокристаллический и нанокристаллические слои 3C-SiC с кристаллитами β-SiC высокой степени совершенства. Размеры нанокристаллов карбида кремния в переходной области «пленка-подложка» составляют величины 3–5 нм.

Размеры крупных кристаллов или монослоев карбида кремния составили величины в пределах 35-365 мкм при толщине пленок SiC ~ 95–110 нм и количестве вакансий Si ~ 5–6,5 %. Результаты могут быть использованы в нано- и микроэлектронике, в производстве солнечных элементов.

**Ключевые слова:** тонкие пленки, карбид кремния, структура, кристаллизация, рентгеновская дифракция.

### Введение

Карбид кремния – широкозонный полупроводник, обладающий высокой теплопроводностью, твердостью и высокими величинами напряженности электрического поля пробоя, является одним из наиболее перспективных материалов для применения в электронной промышленности. Физические и электрические свойства SiC обусловили огромный интерес к электронным приборам и сенсорам на основе карбида кремния, предназначенных для использования в условиях высоких температур и радиации [1-4]. Аморфные и кристаллические пленки SiC также находят применение в фотовольтаике [5,6].

В последние годы был теоретически разработан и экспериментально реализован новый метод роста тонких низкодефектных пленок SiC на Si [7-9]. Метод заключается в замене части атомов матрицы кремния на атомы углерода с образованием молекул карбида кремния:  $2Si + CO = SiC + SiO$ . Пленки SiC были синтезированы в специальной установке, описанной в [9]. Пленки SiC, исследуемые в работах [8,9], как правило, были выращены на стандартных кремниевых подложках р- и n-типа проводимости. В [8] было показано, что чем выше качество исходной подложки Si, тем выше качество структуры выращенного слоя SiC. В связи с этим в настоящей работе исследовалось образование пленок SiC на поверхности низкодефектных подложек кремния марки М-5168.

### Эксперимент

Для этой цели была приготовлена серия пленок, отмеченных номером I, выращенных при температуре 1250°C и давлении газа CO 264 Па на поверхности низкодислокационного кремния. Время роста этих пленок составляло 15 мин. Другая серия пленок II была синтезирована в течение 7 мин при температуре 1330°C и давлении газа CO 395 Па [10].

В качестве подложек были использованы высококачественные пластины монокристаллического кремния n-типа ориентации (111) с удельным сопротивлением 1987 – 3165 Ом·см, толщиной 1300 мкм и диаметром 20 мм. Двухсторонней шлифовкой и полировкой до обретения зеркального блеска были удалены по 100 мкм с каждой стороны пластины кремния. Далее образцы серии II были подвергнуты химическому травлению в смеси кислот в соотношении HF : HNO<sub>3</sub> = 1 : 10 до толщины 870 мкм, а затем в щелочном растворе KOH. Образцы серии I были подвергнуты травлению только в щелочном растворе KOH.

Шероховатость пленок исследовалась с помощью профилометра NewView 6000 фирмы Zygo. Фазовый состав и структура пленок исследовались методом высокочувствительной фотоаппаратурной рентгеновской дифракции с использованием узкоколлимированного (0,05Ч1,5 мм<sup>2</sup>) монохроматического (CuK<sub>α</sub>) пучка рентгеновских лучей, направленного под углом 5° к поверхности образца [11, 12]. Интенсивность рентгеновских отражений вдоль дебаеграммы измерялась через каждые 0,1° на микроденситометре MD-100. Для определения физических параметров пленок использован эллипсометр M-2000D J.A. Woollam, позволяющий снимать эллипсометрические спектры в диапазоне 0,7 – 6,5 eV.

### Результаты

Как показали исследования шероховатости на профилометре NewView 6000 фирмы Zygo, на значительных по площади участках поверхности кремния 701Ч526 мкм (рис. 1 а), обработка в смеси кислот образца серии I приводит к увеличению средней шероховатости R<sub>a</sub> поверхности кремния в  $88,5/3,7 = 24$  раза и средней шероховатости поверхности синтезированной пленки карбида кремния на образце серии I оценочно в  $21,168/5,684 = 3,72$  раза. Таким образом, химическая обработка в смеси кислот HF : HNO<sub>3</sub> приводит к удалению глубоких царапин (рис.1 б), но к увеличению средней шероховатости поверхности R<sub>a</sub> (рис.1).

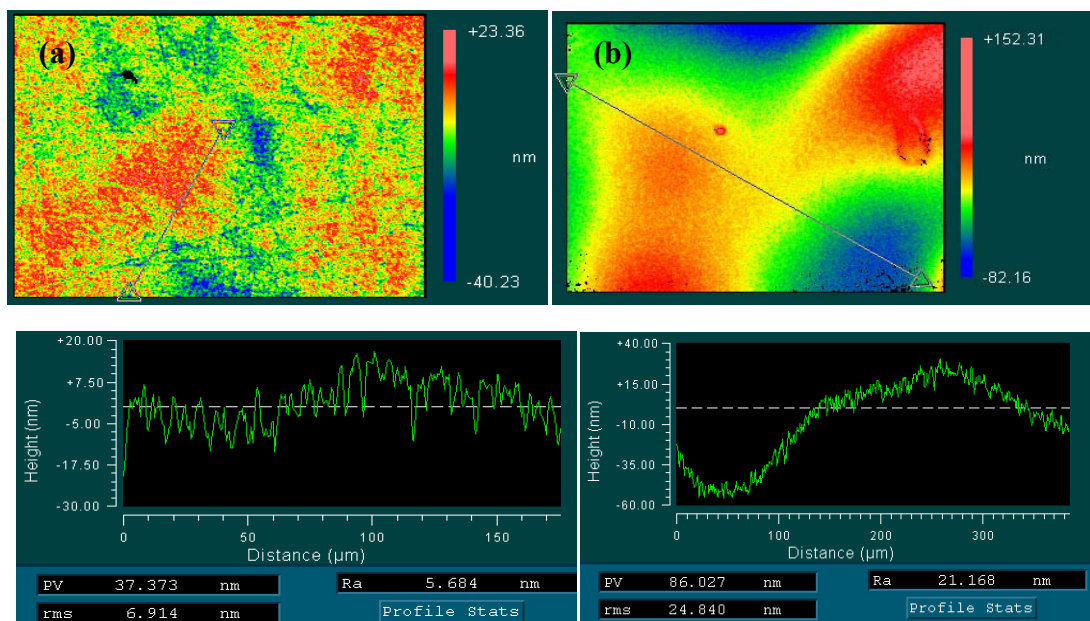


Рисунок 1 – Профиль поверхности и шероховатость пленок SiC образца серии I (a) и образца серии II (b) на участках 350x263 мкм

На рис.2 а, б наглядно показано, что рентгеновские дебаграммы для образцов SiC серии I и II содержат почти все известные линии  $\beta$ -модификации карбида кремния ( $3C$ -SiC).

С помощью метода Джонса [13] из уширения рентгеновских линий (рис.2 с) по формуле Шеррера (1) [14] были определены средние размеры нанокристаллов  $\beta$ -SiC в различных плоскостях:

$$\varepsilon = \frac{R\lambda}{\beta \cdot \cos \theta}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  – средний размер кристаллита (нм);  $R = 2,86$  см – радиус камеры (см);  $\lambda = 0,1540$  нм – длина волны  $\text{CuK}_\alpha$ -излучения (нм);  $\theta$  – угол Вульфа-Брэгга;  $\beta$  – уширение линии. Величина уширения рентгеновской линии  $\beta$  определена из выражения  $\beta = \sqrt{\beta_s \beta_w}$  [15],  $\beta_s = B - b$  [14],  $\beta_w = \sqrt{B^2 - b^2}$  [16], где  $B$  – полуширина рентгеновской линии с поправкой на дублетность линии  $\text{CuK}_\alpha$ ,  $b$  – инструментальная составляющая полуширины линии.

Размеры нанокристаллов SiC для образца I составили величины 4,5 нм в плоскости (111), 3,1 нм в плоскости (220) и 3,0 нм в плоскости (311).

Как было показано в [9], слой SiC состоит из слоя пленки SiC, покрывающей треугольные поры, находящиеся под ее поверхностью, и усадочных пор, расположенных вдоль поверхности подложки. При большем значении пересыщения, при котором критический радиус зародыша SiC имеет размер порядка нескольких нанометров, критический радиус поры усадки будет порядка атомных размеров. Это означает, что зародыш SiC будет окружен вакансионными кластерами, которые могут сливаться в тонкие трещинки, окружающие зерно зародыша [9]. Таким образом, данные по измерению размеров нанокристаллов карбида кремния показывают, что размеры зародышей SiC в переходной области «пленка-подложка» составляют величины 3 – 5 нм.

На некоторых линиях нанокристаллической фазы  $\beta$ -SiC также наблюдается наложение единичного рефлекса, полученного отражением от крупного кристалла карбида кремния, сформированного в области попадания узкоколлимированного рентгеновского пучка на поверхность. Использован метод Clark и Zimmer, основанный на измерении размеров пятен и описанный в [15], согласно которому изменение размеров рефлексов от 0,20 до 1,20 мм соответствуют линейному изменению размеров зерен от 0,010 до 0,085 мм. С помощью этого метода были определены размеры крупных кристаллов  $\beta$ -SiC. Для образца серии I размеры крупных кристаллов или монослоев карбида кремния составили величины 130x35 мкм в

плоскости (111), 70460 мкм в плоскости (200), 85470 мкм в плоскости (311) и 60485 мкм в плоскости (420). В отличие от этого, для образца серии II наблюдается рефлекс, сравнимый по размеру с рефлексом от подложки Si и с размерами пучка. Этот рефлекс, лежащий на линии  $\beta$ -SiC (333), соответствует кристаллу сечением выше 3654220 мкм и указывает на наличие монокристаллического слоя  $\beta$ -SiC. При этом толщины пленок SiC, синтезированных методом замещения атомов, обычно не превосходят 100-150 нм [9].

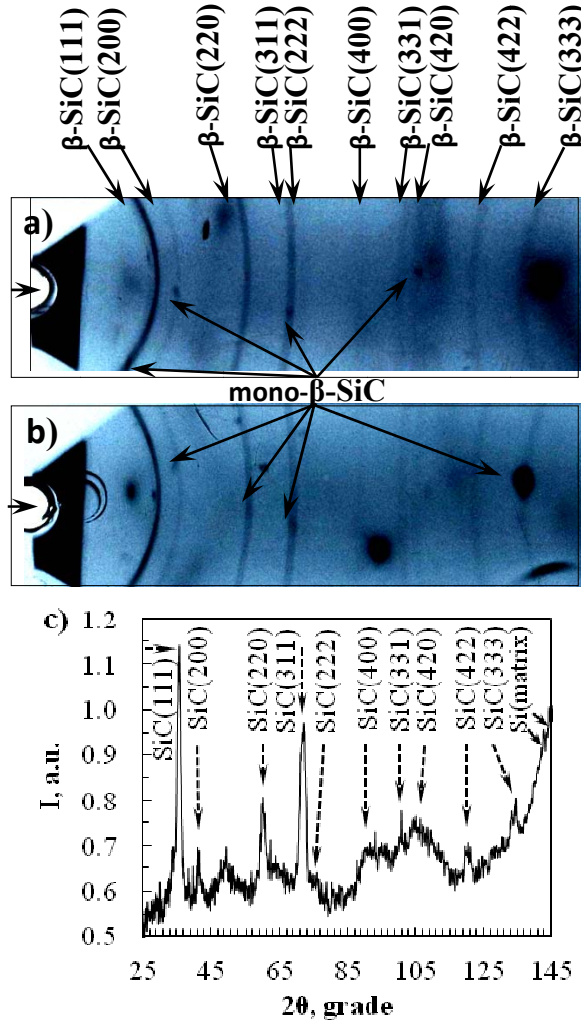


Рисунок 2 – Дебаграммы тонких пленок карбида кремния I (a) и II (b) и интенсивность рентгеновских отражений  $I(2\theta)$  (c), синтезированных методом замещения атомов

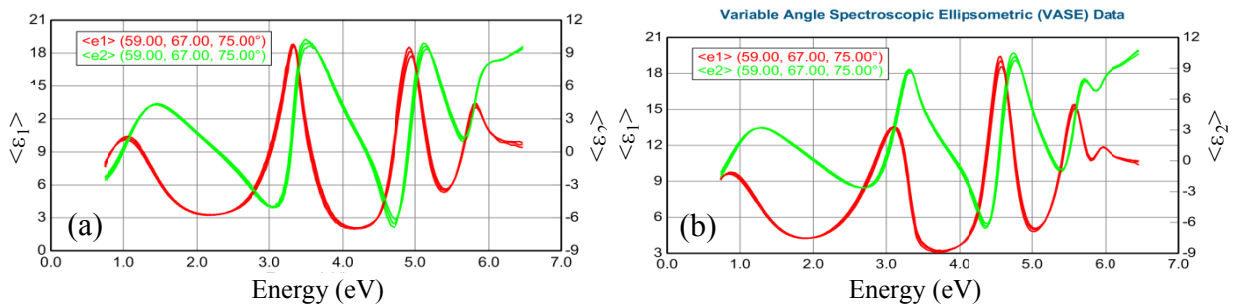


Рисунок 3 – Зависимости вещественной  $\epsilon_1$  и мнимой  $\epsilon_2$  частей диэлектрической проницаемости пленок SiC/Si(111) от энергии фотонов для образцов серий I (a) и II (b)



На рис. 3 а, б приведены эллипсограммы, т.е. зависимости вещественной  $\varepsilon_1$  и мнимой  $\varepsilon_2$  частей диэлектрической проницаемости пленок SiC образцов серий I и II. Из эллипсограмм следует, что имеются различия в структуре пленок SiC образцов серий I и II. Согласно эллипсометрическим спектрам толщины слоев SiC примерно составляют на образце серии I – 95 нм, на образце серии II – 110 нм. Расчеты, проведенные с использованием эллипсометрической модели [17], показали, что в образцах серии I содержится только 5% вакансий Si, в образцах серии II – около 6,5%.

### Закключение

Методом замещения атомов в решетке кремния синтезированы две серии образцов SiC на поверхности низкодефектных подложек кремния n-типа ориентации (111) марки М-5168, выращенных в смеси газов CO и SiH<sub>4</sub>. Серия образцов, отмеченная номером I, была синтезирована при температуре 1250°C и давлении газа CO 264 Па на поверхности низкодислокационного кремния. Время роста этих образцов составляло 15 мин. Другая серия образцов II была синтезирована в течение 7 мин при температуре 1330°C и давлении газа CO 395 Па.

Методом профилометрии установлено, что обработка в смеси кислот HF : HNO<sub>3</sub> = 1 : 10 подложек кремния приводит к удалению глубоких царапин, полировке их поверхности. С другой стороны, химическая обработка вызывает появление ямок травления и увеличение средней шероховатости в целом по поверхности.

Фотографическим методом рентгеновской дифракции показано, что синтезированная пленка содержит в себе монокристаллический и нанокристаллический слои  $\beta$ -модификации карбида кремния (3C-SiC). Размеры нанокристаллов карбида кремния в переходной области «пленка-подложка» составляют величины 3 – 5 нм. Размеры крупных кристаллов или монослоев карбида кремния составили величины в пределах 35 – 130 мкм вплоть до 365 мкм.

Расчеты, проведенные с использованием эллипсометрической модели [17], показали, что в образцах серии I содержится только 5% вакансий Si, а в образцах серии II – около 6,5%. Согласно эллипсометрическим спектрам толщина слоя SiC на образце серии I составляет 95 нм, на образце серии II – 110 нм.

### Благодарность

Бейсенханов Н.Б., Нусупов К.Х., Бейсембетов И.К., Кенжалиев Б.К., Мить К.А. и Бакранова Д.И. выражают благодарность Комитету науки МОН РК за финансовую поддержку (гранты ГР № 0262/ГФ4; ГР № 4327/ГФ4; 2015–2017 гг.).

Кукушкин С.А. и Осипов А.В. выражают благодарность РФФИ за финансовую поддержку (гранты № 15-0306155 и 16-29-03149\_2016-офи).

## ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Muller G., Krotz G., Niemann E. SiC for sensors and high-temperature electronics // Sens. Actuators. A. – 43(1-3). – 1994. – P. 259-268.
- [2] Brown D.M., Downey E., Grezzo M., Kretchmer J., Krishnamethy V., Hennessy W., Michon G. Silicon carbide MOSFET technology. // Solid State Electronics. – 39 (11). – 1996. – P. 1531– 1542. – ISSN 0038-1101.
- [3] Baliga B.J. Trends in power semiconductor devices // IEEE Trans. Electron Devices. – 43. – 1996. – P. 1717–1731.
- [4] Wu R., Zhou K., Yue C.Y., Wei J., Pan Y. Recent progress in synthesis, properties and potential applications of SiC nanomaterials // Progress in Materials Science. – 72. – 2015. – P. 1–60.
- [5] Hamakawa Y. Physics and Applications of Amorphous Silicon Carbide. In: Rahman M.M., Yang C.Y.-W., Harris G.L. (Eds.), Amorphous and Crystalline Silicon Carbide II, Springer Proceedings in Physics. – 43. – 1989 – P. 164–170.
- [6] Joung Y.-H., Kang H.I., Kim J.H., Lee H.-S., Lee J. and Choi W.S. SiC formation for a solar cell passivation layer using an RF magnetron co-sputtering system. // Nanoscale Research Letters. – 2012. – 7(1):22.
- [7] S. A. Kukushkin, and A. V. Osipov. New Method for Growing Silicon Carbide on Silicon by Solid-Phase Epitaxy: Model and Experiment. // Physics of the Solid State. – 50, № 7. – 2008. – P. 1238–1245.
- [8] Kukushkin S.A. and Osipov A.V. Topical Review. Theory and practice of SiC growth on Si and its applications to wide-gap semiconductor films. // J. of Phys. D: Appl. Phys. – 47. – 2014. – P. 313001-313041.
- [9] S.A. Kukushkin, A.V. Osipov, and N. A. Feoktistov. Synthesis of Epitaxial Silicon Carbide Films through the Substitution of Atoms in the Silicon Crystal Lattice: A Review // Physics of the Solid State. – 56, № 8. – 2014. – P. 1507–1535.
- [10] Bakranova D.I., Kukushkin S.A., Nussupov K. Kh., Osipov A.V., Beisenkhanov N.B. // 4th International Conference on Nano and Materials Science (ICNMS 2016). New York, 2016. MATEC Web of Conferences. 43. 01003.

- [11] Nussupov K.Kh., Beisenkhanov N.B. The Formation of Silicon Carbide in the SiC<sub>x</sub> Layers (x = 0.03–1.4) Formed by Multiple Implantation of C Ions in Si. In book: Silicon carbide – Materials, Processing and Applications in Electronic Devices. – 2011. – Edited by Moumita Mukherjee. – InTech. – Chapter 4. – P. 69 – 114.
- [12] Nussupov K.Kh., Beisenkhanov N.B., Valitova I.V., Mit' K.A., Mukhamedshina D.M., Dmitrieva E.A. Structure properties of carbon implanted silicon layers // *J. of Materials Science: Materials in Electronics*. – 19. – 2008. – P. 254–262.
- [13] Jones F.W. The measurement of particle size by the X-ray method // *Proc. Roy. Soc. – London*, 1938. – V.166A. – P. 16–43.
- [14] Scherrer P. Bestimmung der Grösse und der inneren Struktur von Kolloidteilchen mittels Röntgenstrahlen // *Nachr. Ges. Wiss. Göttingen*. – 1918. – Vol.26. – P. 98-100.
- [15] Taylor A. X-ray Metallography. John Wiley & Sons, Inc.: New York – London, 1961. – 993 p.
- [16] Warren B.E., Bischof J. The structure of silica glass by X-ray diffraction studies // *Journal of American Ceramic Society*. – Vol. 21, № 1. – 1938. – P. 49–54.
- [17] Kukushkin S.A., Osipov A.V. Determining polytype composition of silicon carbide films by UV ellipsometry // *Technical Physics Letters*. – 42(2). – 2016. – P. 175–178.

## REFERENCES

- [1] Muller G., Krotz G., Niemann E. SiC for sensors and high-temperature electronics. *Sens. Actuators. A*. **1994**, 43(1-3), P. 259-268.
- [2] Brown D.M., Downey E., Grezzo M., Kretschmer J., Krishnamethy V., Hennessy W., Michon G. Silicon carbide MOSFET technology. *Solid State Electronics*, **1996**, 39 (11), P. 1531– 1542. – ISSN 0038-1101.
- [3] Baliga B.J. Trends in power semiconductor devices, *IEEE Trans. Electron Devices*, **1996**, 43, P. 1717–1731.
- [4] Wu R., Zhou K., Yue C.Y., Wei J., Pan Y. Recent progress in synthesis, properties and potential applications of SiC nanomaterials. *Progress in Materials Science*, **2015**, 72, P. 1–60.
- [5] Hamakawa Y. Physics and Applications of Amorphous Silicon Carbide. In: Rahman M.M., Yang C.Y.-W., Harris G.L. (Eds.), Amorphous and Crystalline Silicon Carbide II, *Springer Proceedings in Physics*, 1989, 43, P. 164–170.
- [6] Joung Y.-H., Kang H.I., Kim J.H., Lee H.-S., Lee J. and Choi W.S. SiC formation for a solar cell passivation layer using an RF magnetron co-sputtering system. *Nanoscale Research Letters*. **2012**, 7(1):22.
- [7] S. A. Kukushkin, and A. V. Osipov. New Method for Growing Silicon Carbide on Silicon by Solid-Phase Epitaxy: Model and Experiment. *Physics of the Solid State*, **2008**, 50, № 7, P. 1238–1245.
- [8] Kukushkin S.A. and Osipov A.V. Topical Review. Theory and practice of SiC growth on Si and its applications to wide-gap semiconductor films. *J. of Phys. D: Appl. Phys.* **2014**, 47, P. 313001-313041.
- [9] Kukushkin S.A., Osipov A.V., and Feoktistov N.A. Synthesis of Epitaxial Silicon Carbide Films through the Substitution of Atoms in the Silicon Crystal Lattice: A Review. *Physics of the Solid State*. **2014**, 56, № 8, P. 1507–1535.
- [10] Bakranova D.I., Kukushkin S.A., Nussupov K. Kh., Osipov A.V., Beisenkhanov N.B. // 4th International Conference on Nano and Materials Science (ICNMS 2016). *MATEC Web of Conferences*. New York, **2016**. 43. 01003.
- [11] Nussupov K.Kh., Beisenkhanov N.B. The Formation of Silicon Carbide in the SiC<sub>x</sub> Layers (x = 0.03–1.4) Formed by Multiple Implantation of C Ions in Si. In book: Silicon carbide – Materials, Processing and Applications in Electronic Devices. **2011**. Edited by Moumita Mukherjee. InTech. Chapter 4. P. 69 – 114.
- [12] Nussupov K.Kh., Beisenkhanov N.B., Valitova I.V., Mit' K.A., Mukhamedshina D.M., Dmitrieva E.A. Structure properties of carbon implanted silicon layers. *J. of Materials Science: Materials in Electronics*. **2008**, 19, P. 254–262.
- [13] Jones F.W. The measurement of particle size by the X-ray method. *Proc. Roy. Soc. – London*, **1938**, 166A, P. 16–43.
- [14] Scherrer P. Bestimmung der Grösse und der inneren Struktur von Kolloidteilchen mittels Röntgenstrahlen. *Nachr. Ges. Wiss. Göttingen*. **1918**. 26. P. 98-100.
- [15] Taylor A. X-ray Metallography. John Wiley & Sons, Inc.: New York – London, **1961**, 993p.
- [16] Warren B.E., Bischof J. The structure of silica glass by X-ray diffraction studies. *Journal of American Ceramic Society*. **1938**, 21, № 1. P. 49–54.
- [17] Kukushkin S.A., Osipov A.V. Determining polytype composition of silicon carbide films by UV ellipsometry. *Technical Physics Letters*. **2016**, 42(2), P. 175–178.

Д.И. Бакранова, С.А. Кукушкин, И.К. Бейсембетов, А.В. Осипов,  
К.Х. Нусупов, Н.Б. Бейсенханов, Б.К. Кенжалиев, Б.Ж. Сейтов

#### АҚАУЫ АЗ КРЕМНИЙ МАТРИЦАЛАРЫНДАҒЫ АТОМДАРДЫҢ ОРНЫН БАСУ ӘДІСІМЕН АЛЫНҒАН ЭПИТАКСИАЛДЫ SiC ҚАБЫРШАҚТАРЫН РЕНТГЕНДІК ТАЛДАУ

**Аннотация.** Ақауы аз M-5168 маркалы кремний матрицаларының бетіне, кремнийдің кристалдық торындағы атомдардың орнын басу әдісі арқылы SiC қабыршақтары синтезделді. Рентгендік дифракция, профилометрия және эллипсометрия әдістері арқылы, CO және SiH<sub>4</sub> газ қоспаларының атмосферасында жоғарыомды монокристалды n-типті Si(111) матрицада синтезделген SiC қабыршақтарының фазалық құрамы, қалыңдығы және сапасы зерттелінді. Синтезделген қабыршақтар құрамында, жетілу дәрежесі жоғары β-SiC кристаллиттеріне ие монокристалды және нанокристалды 3C-SiC қабаттар бар екендігі көрсетілді. «Қабыршақ-матрица» өтпелі аймақтағы кремний карбиді нанокристалдарының өлшемдері 3 – 5 нм құрайды. SiC қабыршақ қалыңдығы ~ 95 – 110 нм және Si вакансия мөлшері ~ 5 – 6,5 % болған жағдайда, кремний карбидінің ірі кристалдарының немесе монокристалдарының өлшемдері 35 – 365 мкм құрайды. Жұмыстың нәтижелері нано- және микроэлектроникада, күн элементтерін өндіруде пайдаланылуы мүмкін.

**Түйін сөздер:** жұқа қабыршақтар, кремний карбиді, құрылым, кристалдану, рентгендік дифракция.

## МАЗМҰНЫ

<i>Бакранова Д.И., Кукушкин С.А., Бейсембетов И.К., Осипов А.В., Нусупов К.Х., Бейсенханов Н.Б., Кенжалиев Б.К., Сейтов Б.Ж.</i> Ақауы аз кремний матрицаларындағы атомдардың орнын басу әдісімен алынған эпитаксиалды SiC кабыршақтарын рентгендік талдау.....	5
<i>Батрышев Д.Ф., Рамазанов Т.С., Досболаев 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> <sup>13</sup> C ядросының экзотикалық күйлерінің радиустары.....	17
<i>Сарсенгельдин М.М., Слямхан М.М., Бижигитова Н.Т.</i> Қозғалмалы шекарасы бар оське тимейтін жылуөткізгіштік тендеуінің жылу көпмүшелері арқылы аналитикалық шешімі.....	21
<i>Бакранова Д.И., Кукушкин С.А., Бейсембетов И.К., Осипов А.В., Нусупов К.Х., Бейсенханов Н.Б., Кенжалиев Б.К., Сейтов Б.Ж.</i> Ақауы аз кремний матрицаларындағы атомдардың орнын басу әдісімен алынған эпитаксиалды SiC кабыршақтарын рентгендік талдау.....	25
<i>Диханбаев К.К., Мусабек Г.К., Сиваков В.А., Ермухамед Д., Мейрам А.Т.</i> Кремний наноталшықтарының микрофотолюминесценциясы.....	32
<i>Батрышев Д.Ф., Рамазанов Т.С., Досболаев 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> <sup>13</sup> C ядросының экзотикалық күйлерінің радиустары.....	45
<i>Сергеев Д.М., Шұңқеев Қ.Ш.</i> «Ниобий – көміртекті нанотүтікше (5,5) – ниобий» нанотүйіспесінің транспорттық сипаттамаларының компьютерлік модельдеуі.....	49
<i>Досболаев М.К., Утегенов А.У., Тажен А.Б., Рамазанов Т.С., Габдуллин М.Т.</i> Импульстік плазмалық ағынның динамикалық қасиеттері мен импульсті плазмалық деткіштегі тозаңның пайда болуы.....	59
<i>Минглибаев М.Ж., Жұмабек Т.М.</i> Теңбүйірлі шектелген үш дене мәселесі .....	67
<i>Оразбаев С.А., Өмірбеков Д.Б., Досболаев М.Қ., Габдуллин М.Т., Рамазанов Т.С.</i> Сынақта тозаңды-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., Досболаев М.Қ., Рамазанов Т.С.</i> Газ температурасының тозаңды нанобөлшектердің өлшемі мен құрылымына әсері.....	89
<i>Жақып-тегі К. Б.</i> Гуктың заңымен серпілімдік теориясында моделдеу. Кернеулер тензорында симметрия жоқтығы.....	96
<i>Буртебаев Н., Алимов Д., Зазулин Д.М., Керимкулов Ж.К., Юшков А.В., Джансейтов Д.М., Мухамеджанов Е., Насрулла М.</i> Төменгі энергиялы протондардың <sup>14</sup> N ядросымен әсерлесу потенциал параметрлерін анықтау.....	104
<i>Буртебаев Н., Керимкулов Ж.К., Амангелді Н., Алимов Д.К., Мухамеджанов Е.С., Джансейтов Д.М., Мауей Б., Аймаганбетов А., Қурахмедов А.Е., Бекбаев С.М., Мадиярова А.Ж.</i> 17,5 және 41 МэВ энергияларда <sup>11</sup> B ядроларынан <sup>14</sup> N иондарының серпімді шашырауын зерттеу.....	109
<i>Искакова У.А., Төрбек Б.Т.</i> Лаплас операторы үшін робен-коши қисынсыз есебін шешудің бір әдісі туралы.....	115
<i>Шинибаев М.Д., Беков А.А., Даирбеков С.С., Жолдасов С.А., Мырзақасова Г.Е., Алиаскаров Д.Р., Шекербекова С.А., Садыбек А.Ж.</i> Екі жылжымайтын нүкте проблемасының жаңа нұсқасы.....	121
<i>Сарсенбаев Х.А., Хамзина Б.С., Колдасова Г.А., Исаева Г.Б.</i> Модификацияланған алс лигносульфонатты реагентін (НПП «Азимут») зерттеу.....	126

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Бакранова Д.И., Кукушкин С.А., Бейсембетов И.К., Осипов, А.В. Нусупов К.Х., Бейсенханов Н.Б., Кенжалиев Б.К., Сейтов Б.Ж.</i> Рентгеновский анализ эпитаксиальных пленок SiC, выращенных методом замещения атомов на подложках низкодефектного кремния.....	5
<i>Батрышев Д.Г., Рамазанов Т.С., Досболаев М.К., Габдуллин М.Т., Ерланулы Е.</i> Синтез углеродных нанотрубок плазмохимическим методом осаждения из газовой фазы в высокочастотном емкостном разряде.....	10
<i>Демьянова А.С., Данилов А.Н., Буртебаев Н., Джансейтов Д.М., Керимкулов Ж., Алимов Д.К., Мухамеджанов Е.С.</i> Экзотические состояния ядра <sup>13</sup> C с аномальными радиусами.....	17
<i>Сарсенгельдин М.М., Слямхан М.М., Бижигитова Н.Т.</i> Аналитическое решение уравнения теплопроводности с движущимися границами не касающимися оси тепловыми полиномами.....	21
<i>Бакранова Д.И., Кукушкин С.А., Бейсембетов И.К., Осипов А.В., Нусупов К.Х., Бейсенханов Н.Б., Кенжалиев Б.К., Сейтов Б.Ж.</i> Рентгеновский анализ эпитаксиальных пленок SiC, выращенных методом замещения атомов на подложках низкодефектного кремния.....	25
<i>Диханбаев К.К., Мусабек Г.К., Сиваков В.А., Ермухамед Д., Мейрам А.Т.</i> Фотолюминесценция кремниевых нанонитей.....	32
<i>Батрышев Д.Г., Рамазанов Т.С., Досболаев М.К., Габдуллин М.Т., Ерланулы Е.</i> Синтез углеродных нанотрубок плазмохимическим методом осаждения из газовой фазы в высокочастотном емкостном разряде.....	38
<i>Демьянова А.С., Данилов А.Н., Буртебаев Н., Джансейтов Д.М., Керимкулов Ж., Алимов Д.К., Мухамеджанов Е.С.</i> Экзотические состояния ядра <sup>13</sup> C с аномальными радиусами.....	45
<i>Сергеев Д.М., Шункеев К.Ш.</i> Компьютерное моделирование транспортных характеристик наноконтакта «Ниобий – углеродная нанотрубка (5,5) – ниобий».....	49
<i>Досболаев М.К., Утегенов А.У., Тажен А.Б., Рамазанов Т.С., Габдуллин М.Т.</i> Динамические свойства импульсного плазменного потока и пылеобразование в ИПУ.....	59
<i>Минглибаев М.Дж., Жумабек Т.М.</i> К равнобедренной ограниченной задаче трех тел.....	67
<i>Оразбаев С.А., Омирбеков Д.Б., Досболаев М.К., Габдуллин М.Т., Рамазанов Т.С.</i> Экспериментальное исследование свойства светоотдачи плазменно-пылевой лампы.....	74
<i>Джакупов К.Б.</i> Моделирование термобародиффузий с химическими реакциями в жидкостях и газах.....	80
<i>Оразбаев С.А., Омирбеков Д.Б., Габдуллин М.Т., Досболаев М.К., Рамазанов Т.С.</i> Влияние температуры газа на размеры и структуры пылевых наночастиц.....	89
<i>Джакупов К.Б.</i> Моделирование по закону Гука в теории упругости. Несимметричность тензора напряжений.....	96
<i>Буртебаев Н., Алимов Д., Зазулин Д.М., Керимкулов Ж.К., Юшков А.В., Джансейтов Д.М., Мухамеджанов Е., Насрулла М.</i> Определение параметров потенциала взаимодействия протона с <sup>14</sup> N при низких энергиях.....	104
<i>Буртебаев Н., Керимкулов Ж.К., Амангелді Н., Алимов Д.К., Мухамеджанов Е.С., Джансейтов Д.М., Мауей Б., Аймаганбетов А., Курахмедов А.Е., Бекбаев С.М., Мадиярова А.Ж.</i> Исследование упругого рассеяния ионов <sup>14</sup> N на ядрах <sup>11</sup> B при энергиях 17,5 и 41 МэВ.....	109
<i>Искакова У.А., Торекбек Б.Т.</i> Об одном методе решения некорректной задачи робена-коши для оператора лапласа... ..	115
<i>Шинибаев М.Д., Беков А.А., Даирбеков С.С., Жолдасов С.А., Мырзакасова Г.Е., Алиаскаров Д.Р., Шекербекова С.А., Садыбек А.Ж.</i> О новой версии задачи двух неподвижных центров.....	121
<i>Сарсенбаев Х.А., Хамзина Б.С., Колдасова Г.А., Исаева Г.Б.</i> 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 <sup>13</sup> 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 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 <sup>13</sup> 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., Nassurulla M.</i> Determination of parameters of proton <sup>14</sup> 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 <sup>14</sup> N ions from <sup>16</sup> 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](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.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.