

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 / 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

© 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), 5 – 9

UDC 537.311:322

**D.I. Bakranova¹, S.A. Kukushkin², I.K. Beisembetov¹, A.V. Osipov²,
K.Kh. Nussupov¹, N.B. Beisenkhanov¹, B.K. Kenzhaliev¹, B.Zh. Seitov¹**

¹Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan;

²Institute 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 SiH₄, 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.

Introduction

Silicon carbide is a wide gap semiconductor which has a high thermal conductivity, hardness and high values of intensity breakdown of electric field. It is one of the most promising materials for use in the electronics industry. The physical and electrical properties of SiC led to great interest in electronic devices and sensors on the basis of silicon carbide for use in high temperature and radiation [1-4]. Amorphous and crystalline SiC films are also used in photovoltaic [5,6].

In recent years, it was theoretically developed and experimentally implemented a new method of growing thin low defective SiC films on Si [7-9]. The method is based on the replacement of matrix part of silicon atoms to carbon atoms with formation of silicon carbide molecules: $2\text{Si} + \text{CO} = \text{SiC} + \text{SiO}$. SiC films were synthesized in special equipment described in [9]. SiC films investigated in [8,9] were grown on standard silicon substrates p- and n-type conductivity. In [8] it was shown that the higher quality of the original substrate Si, the higher the quality of the grown SiC layer structure. In this regard, in this study there was investigated the formation of SiC films on the surface of low defective M-5168 grade silicon substrates.

Experiment

For this purpose, a series of films was prepared (# I), grown at 1250 ° C and at pressure of CO gas at 264 Pa low dislocation silicon surface. The growth time of these films was 15 min. Another series of II films was synthesized for 7 minutes at a temperature of 1330 ° C and at gas pressure of 395 Pa CO [10].

The substrates were silicon wafers of high quality n-type (111) with a resistivity of 1987 - 3165 ohm·cm, 1300 microns in thickness and 20 mm in diameter. By bilateral grinding and polishing there been removed 100 mm on each side of the silicon wafer. Further II Series samples were subjected to chemical

etching in acid mixture in a ratio of HF:HNO₃ = 1:10 to 870 micron, and then in an alkaline KOH solution. Samples of I series were subjected only in the alkaline etching solution KOH.

The roughness of the films was investigated with the help of the profilometer NewView 6000 (company Zygo). Phase composition and structure of the films were studied by a highly sensitive photographic X-ray diffraction using narrow collimated (0,0541.5 mm²) monochromatic (CuK α) X-rays directed at an angle 5° to the sample surface [11, 12]. The intensity of X-ray reflections was measured every 0,1° on MD-100 microdensitometer. In order to determine the physical parameters of the films we used ellipsometer M-2000D J.A. Woollam, which allows reading the ellipsometric spectra in the range of 0,7 - 6,5 eV.

Results

As research shows, the roughness on the profilometer NewView 6000 (company Zygo), at considerable area of silicon 701 Ч 526 mm (Fig. 1 a), in the treatment of the mixture of I series sample acids leads to an increase in the average surface roughness R_a of the silicon surface in the 88.5 / 3 7 = 24 times and an average surface roughness of synthesized silicon carbide films on I series sample estimated to 21.168 / 5.684 = 3.72 times. Thus, chemical treatment in a mixture of HF acid: HNO₃ removes the deep scratches (Figure 1 b), but leads to increase the average surface roughness R_a (figure 1).

Figure 2 a, b clearly shows the X-ray debayegrams for the samples of SiC series I and II contain almost all of the known β -modification of silicon carbide (3C-SiC).

With Jones method [13] of the x-ray line broadening (Fig.2 c) by the Scherrer formula (1) [14] we determined average size of β -SiC nanocrystals in different planes:

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

where ε – average crystallite size (nm); R = 2,86 cm – camera radius (cm); λ = 0,1540 nm – wavelength of CuK α -ray (nm); θ – Bragg angle; β – line broadening. The value of the x-ray line broadening β is determined from meaning $\beta = \sqrt{\beta_s \beta_w}$ [15], $\beta_s = B - b$ [14], $\beta_w = \sqrt{B^2 - b^2}$ [16], where B – half-width of the X-ray line adjusted for doublet line CuK α , b – instrumental half-width component of line.

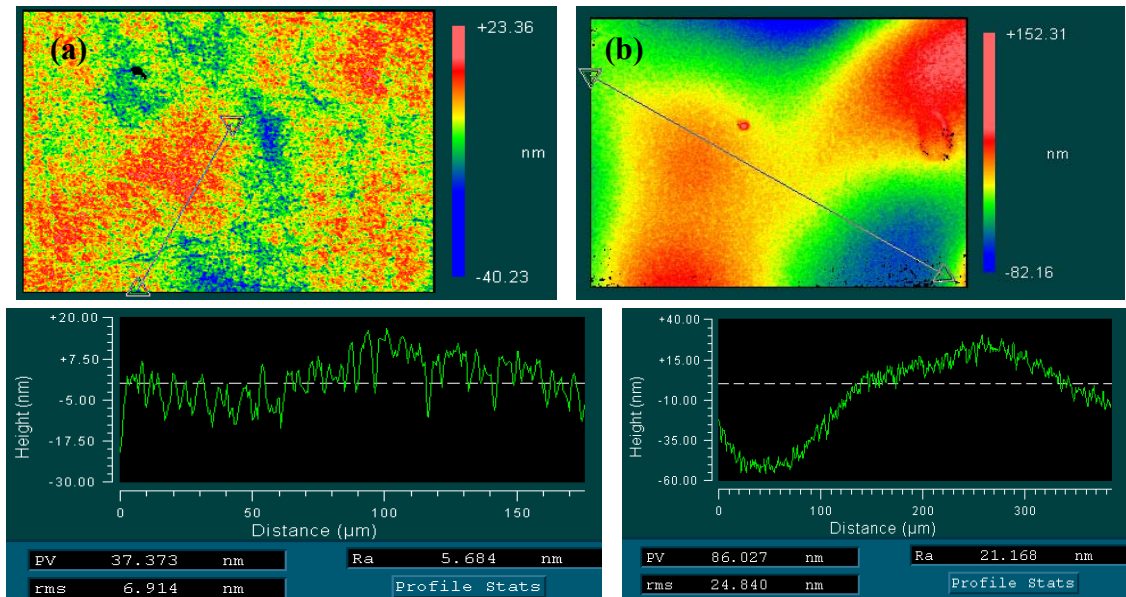


Figure 1 – The surface profile and roughness of the SiC films of II series sample (a) and II series sample (b) at areas 3504263 microns

Nano crystallite size SiC for sample I comprised values of 4,5 nm in planes (111), 3,1 nm in planes (220) and 3,0 nm in planes (311).

As it was shown in [9], SiC layer consists of SiC film layer covering triangular and shrink pores. At larger value of super saturation, the critical radius of nucleus pore has a size of a few nanometers, the critical pore radius shrinkage is of the order of atomic dimensions. This means that SiC embryo is surrounded by vacancy clusters that can merge into thin cracks surrounding the seed embryo. [9] Thus, measurement data on the nanocrystals of silicon carbide indicate that SiC nucleation sizes in the transition region "film-substrate" constitute value of 3-5 nm.

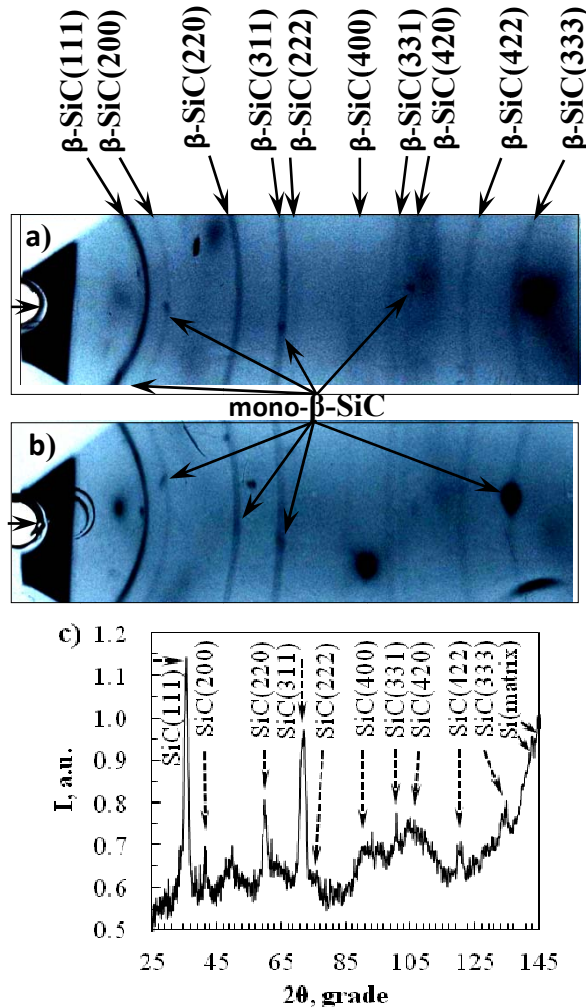


Figure 2 – X-ray powder patterns of thin film of silicon carbide I (a) and II (b) and the intensity of the X-ray reflections $I(2\theta)$ (c), synthesized by substitution of atoms

Some lines of nanocrystalline phase β -SiC show single reflex overlay resulting from a large crystal reflection of silicon carbide formed in the area of X-ray beam insertion into narrow collimated surface. The method of Clark and Zimmer, based on the measurement of the size of spots and described in [15] is used, according to this method, changes in reflex sizes from 0.20 to 1.20 mm corresponds to a linear change from 0.010 to 0.085 mm grain size. With this method we determined size of β -SiC large crystals. For a sample of I series, sizes of large crystals or monolayers of silicon carbide totaled value of 130Ч35 mm in the plane (111), 70Ч60 mm in the plane (200), 85Ч70 mm in the plane (311) and 60Ч85 mm in the plane (420). In contrast, for the sample of II series, we observed reflex, comparable in size to the reflex of the Si substrate and the beam size. This reflex, which lies on a line β -SiC (333) corresponds to a crystal 365Ч220 mm and indicates the presence of the layer of β -SiC monocrystalline. Thickness of SiC films synthesized by substitution of atoms not normally exceed 100-150 nm [9].

Fig. 3 a, b shows elliptical plots, in other words dependence of ϵ_1 real and imaginary ϵ_2 parts of samples I and II series of the SiC film. Elliptical plots show that there are differences in structure of the SiC films of samples I and II series. According ellipsometric spectra of SiC layer thickness is

approximately on a sample of series I - 95 nm, on a sample of series II - 110 nm. Calculations using ellipsometric model [17] have shown that series of samples I contain only 5% Si vacancies, in the samples of II series - about 6.5%.

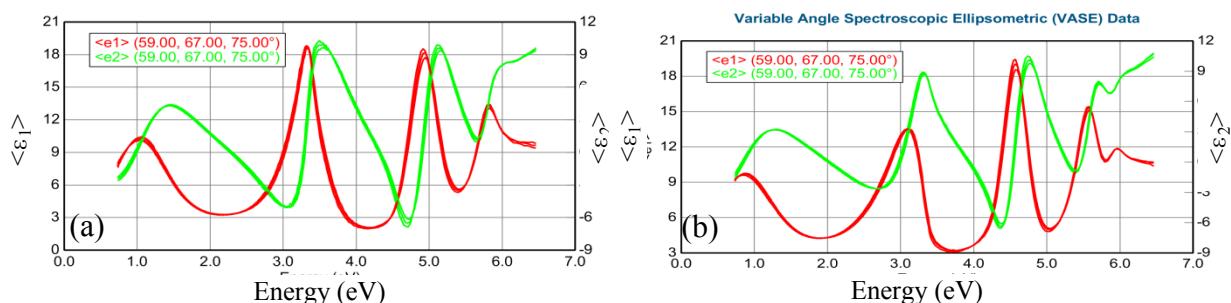


Figure 3 – Dependence of ε_1 real and ε_2 imaginary parts of dielectric permeability of films SiC / Si (111) from the photon energy for the samples of Series I (a) and II (b)

Conclusion

With the help of the method of substitution of atoms in the silicon lattice we synthesized two series of SiC samples on the surface of the low defective silicon substrate of n-type (111) orientation (mark M-5168) grown in a mixture of gases CO and SiH₄. A series of samples (№ I), was synthesized at a temperature of 1250°C and at gas pressure of CO 264 Pa on the narrow dislocation silicon surface. The growth time of these samples was 15 min. Another series of samples (№ II) was synthesized for 7 minutes at a temperature of 1330°C and at gas pressure of CO 395 Pa.

With the help of the method of profilometry it was found that treatment of HF acid in a mixture: HNO₃ = 1: 10 silicon substrate results in the removal of deep scratches, polishing their surfaces. On the other hand, the chemical treatment causes etch pits and the increase in roughness in the whole surface.

With the help of the method photographically XRD it was showed that the synthesized film comprises a single crystal, nanocrystalline layers and β -modification of silicon carbide (3C-SiC). Dimensions of nanocrystals of silicon carbide in the transition region "film-substrate" constitute values of 3-5 nm. The dimensions of large crystals of silicon carbide or monolayers reached values within 35-130 microns up to 365 microns.

Calculations performed using ellipsometric model [17] showed that samples of I series only contain 5% of Si vacancies and in series of II samples - about 6.5%. According to ellipsometric spectra, the thickness of SiC layer on the sample of I series is 95 nm, on a sample of series II is 110 nm.

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).

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., Kretchmer 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] Kukushkin S.A., Osipov A.V. 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_x 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. Бакранова¹, С.А. Кукушкин², И.К. Бейсембетов¹, А.В. Осипов²,
К.Х. Нусупов¹, Н.Б. Бейсенханов¹, Б.К. Кенжалиев¹, Б.Ж. Сейтов¹

¹ Қазақстан-Британ техникалық университеті, Алматы, Қазақстан;
² PFA Машинатану мәселелер институты, Санкт-Петербург, Ресей

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

Аннотация. Ақауы аз М-5168 маркалы кремний матрицаларының бетіне, кремнийдің кристалдық торындағы атомдардың орнын басу әдісі арқылы SiC қабыршақтары синтезделді. Рентгендік дифракция, профилометрия және эллипсометрия әдістері арқылы, СО және SiH₄ 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.

УДК 537.311:322

Д.И. Бакранова¹, С.А. Кукушкин², И.К. Бейсембетов¹, А.В. Осипов²,
К.Х. Нусупов¹, Н.Б. Бейсенханов¹, Б.К. Кенжалиев¹, Б.Ж. Сейтов¹

¹Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан;
²Институт 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 М-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 СО и SiH₄. Показано, что синтезированные пленки содержат в себе монокристалл-лический 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.

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> ¹³ 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> ¹³ 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 ¹⁴ 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 ¹¹ B ядроларынан ¹⁴ 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 ¹³ 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 ¹³ 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 ¹⁴ 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 ¹⁴ N на ядрах ¹¹ 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 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 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., Nassurulla 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.