

ISSN 2224-5227

2015 • 5

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ  
**БАЯНДАМАЛАРЫ**

**ДОКЛАДЫ**

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

**REPORTS**

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ЖУРНАЛ 1944 ЖЫЛДАН ШЫҒА БАСТАҒАН

ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1944 г.

PUBLISHED SINCE 1944



Бас редактор  
ҚР ҰҒА академигі **М.Ж. Жұрынов**

Редакция алқасы:

хим.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Әдекенов С.М.** (бас редактордың орынбасары), эк.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Әділов Ж.М.**, мед. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Арзықұлов Ж.А.**, техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Бишімбаев У.К.**, а.-ш.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Есполов Т.И.**, техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Мұтанов Г.М.**, физ.-мат.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Өтелбаев М.О.**, пед. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Пралиев С.Ж.**, геогр.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Северский И.В.**; тарих.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Сыдықов Е.Б.**, физ.-мат.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Тәкібаев Н.Ж.**, физ.-мат.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Харин С.Н.**, тарих ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбүсейітова М.Х.**, экон. ғ. докторы, проф., ҰҒА корр. мүшесі **Бейсембетов И.К.**, биол. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Жамбакин К.Ж.**, тарих ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Кәрібаев Б.Б.**, мед. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Локшин В.Н.**, геол.-мин. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Өмірсеріков М.Ш.**, физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Рамазанов Т.С.**, физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Садыбеков М.А.**, хим.ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Сатаев М.И.**; ҚР ҰҒА құрметті мүшесі, а.-ш.ғ. докторы, проф. **Омбаев А.М.**

Редакция кеңесі:

Украинаның ҰҒА академигі **Гончарук В.В.** (Украина), Украинаның ҰҒА академигі **Неклюдов И.М.** (Украина), Беларусь Республикасының ҰҒА академигі **Гордиенко А.И.** (Беларусь), Молдова Республикасының ҰҒА академигі **Дука Г.** (Молдова), Тәжікстан Республикасының ҰҒА академигі **Илолов М.И.** (Тәжікстан), Қырғыз Республикасының ҰҒА академигі **Эркебаев А.Э.** (Қырғызстан), Ресей ҒА корр. мүшесі **Величкин В.И.** (Ресей Федерациясы); хим.ғ. докторы, профессор **Марек Сикорски** (Польша), тех.ғ. докторы, профессор **Потапов В.А.** (Украина), биол.ғ. докторы, профессор **Харун Парлар** (Германия), профессор **Гао Энджун** (КХР), филос. ғ. докторы, профессор **Стефано Перни** (Ұлыбритания), ғ. докторы, профессор **Богуслава Леска** (Польша), философия ғ. докторы, профессор **Полина Прокопович** (Ұлыбритания), профессор **Вуйцик Вольдемар** (Польша), профессор **Нур Изура Удзир** (Малайзия), д.х.н., профессор **Нараев В.Н.** (Ресей Федерациясы)

Главный редактор  
академик НАН РК **М.Ж. Журинов**

Редакционная коллегия:

доктор хим. наук, проф., академик НАН РК **С.М. Адекенов** (заместитель главного редактора), доктор экон. наук, проф., академик НАН РК **Ж.М. Адилов**, доктор мед. наук, проф., академик НАН РК **Ж.А. Арзыкулов**, доктор техн. наук, проф., академик НАН РК **В.К. Бишимбаев**, доктор сельскохоз. наук, проф., академик НАН РК **Т.И. Есполов**, доктор техн. наук, проф., академик НАН РК **Г.М. Мутанов**, доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **М.О. Отелбаев**, доктор пед. наук, проф., академик НАН РК **С.Ж. Пралиев**, доктор геогр. наук, проф., академик НАН РК **И.В. Северский**; доктор ист. наук, проф., академик НАН РК **Е.Б. Сыдыков**, доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Н.Ж. Такибаев**, доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **С.Н. Харин**, доктор ист. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Х. Абусейтова**, доктор экон. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **И.К. Бейсембетов**, доктор биол. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **К.Ж. Жамбакин**, доктор ист. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Б.Б. Каримаев**, доктор мед. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **В.Н. Локшин**, доктор геол.-мин. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Ш. Омирсериков**, доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.С. Рамазанов**, доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.А. Садыбеков**, доктор хим. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.И. Сатаев**; почетный член НАН РК, доктор сельскохоз. наук, проф., **А.М. Омбаев**

Редакционный совет:

академик НАН Украины **Гончарук В.В.** (Украина), академик НАН Украины **И.М. Неклюдов** (Украина), академик НАН Республики Беларусь **А.И.Гордиенко** (Беларусь), академик НАН Республики Молдова **Г. Дука** (Молдова), академик НАН Республики Таджикистан **М.И. Илолов** (Таджикистан), член-корреспондент РАН **Величкин В.И.** (Россия); академик НАН Кыргызской Республики **А.Э. Эркебаев** (Кыргызстан), д.х.н., профессор **Марек Сикорски** (Польша), д.т.н., профессор **В.А. Потапов** (Украина), д.б.н., профессор **Харун Парлар** (Германия), профессор **Гао Энджун** (КНР), доктор философии, профессор **Стефано Перни** (Великобритания), доктор наук, профессор **Богуслава Леска** (Польша), доктор философии, профессор **Полина Прокопович** (Великобритания), профессор **Вуйцик Вольдемар** (Польша), профессор **Нур Изура Удзир** (Малайзия), д.х.н., профессор **В.Н. Нараев** (Россия)

«Доклады Национальной академии наук Республики Казахстан» ISSN 2224-5227

Собственник: Республиканское общественное объединение «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 №5540-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год. Тираж: 3000 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г.Алматы, ул.Шевченко, 28, ком.218-220, тел. 272-13-19, 272-13-18

<http://nauka-nanrk.kz>, [reports-science.kz](http://reports-science.kz)

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

©Национальная академия наук Республики Казахстан, 2015 г.

E d i t o r i n c h i e f

**M.Zh. Zhurinov**, academician of NAS RK

Editorial board:

**S.M. Adekenov** (deputy editor in chief), Doctor of Chemistry, prof., academician of NAS RK; **Zh.M. Adilov**, Doctor of Economics, prof., academician of NAS RK; **Zh.A. Arzykulov**, Doctor of Medicine, prof., academician of NAS RK; **V.K. Bishimbayev**, Doctor of Engineering, prof., academician of NAS RK; **T.I. Yespolov**, Doctor of Agriculture, prof., academician of NAS RK; **G.M. Mutanov**, Doctor of Physics and Mathematics, prof., academician of NAS RK; **M.O. Otelbayev**, Doctor of Physics and Mathematics, prof., academician of NAS RK; **S.Zh. Praliyev**, Doctor of Education, prof., academician of NAS RK; **I.V. Seversky**, Doctor of Geography, prof., academician of NAS RK; **Ye.B. Sydykov**, Doctor of Historical Sciences, prof., academician of NAS RK; **N.Zh. Takibayev**, Doctor of Physics and Mathematics, prof., academician of NAS RK; **S.N. Kharin**, Doctor of Physics and Mathematics, prof., academician of NAS RK; **M.Kh. Abuseitova**, Doctor of Historical Sciences, prof., corr. member of NAS RK; **I.K. Beisembetov**, Doctor of Economics, prof., corr. member of NAS RK; **K.Zh. Zhambakin**, Doctor of Biological Sciences, prof., corr. member of NAS RK; **B.B. Karibayev**, Doctor of Historical Sciences, prof., corr. member of NAS RK; **V.N. Lokshin**, Doctor of Medicine, prof., corr. member of NAS RK; **M.Sh. Omirserikov**, Doctor of Geology and Mineralogy, prof., corr. member of NAS RK; **T.S. Ramazanov**, Doctor of Physics and Mathematics, prof., corr. member of NAS RK; **M.A. Sadybekov**, Doctor of Physics and Mathematics, prof., corr. member of NAS RK; **M.I. Satayev**, Doctor of Chemistry, prof., corr. member of NAS RK; **A.M. Ombayev**, Honorary Member of NAS RK, Doctor of Agriculture, prof.

Editorial staff:

**V.V. Goncharuk**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **I.M. Neklyudov**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.I. Gordienko**, NAS RB academician (Belarus); **G. Duca**, NAS Moldova academician (Moldova); **M.I. Iolov**, NAS Tajikistan academician (Tajikistan); **A.E. Erkebayev**, NAS Kyrgyzstan academician (Kyrgyzstan); **V.I. Velichkin**, RAS corr.member (Russia); **Marek Sikorski**, Doctor of Chemistry, prof. (Poland); **V.A. Potapov**, Doctor of Engineering, prof. (Ukraine); **Harun Parlar**, Doctor of Biological Sciences, prof. (Germany); **Gao Endzhun**, prof. (PRC); **Stefano Perni**, Doctor of Philosophy, prof. (UK); **Boguslava Leska**, dr, prof. (Poland); **Pauline Prokopovich**, Doctor of Philosophy, prof. (UK); **Wójcik Waldemar**, prof. (Poland), **Nur Izura Udzir**, prof. (Malaysia), **V.N. Narayev**, Doctor of Chemistry, prof. (Russia)

**Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.**

ISSN 2224-5227

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 5540-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 2000 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of.219-220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,

<http://nauka-nanrk.kz/> [reports-science.kz](http://reports-science.kz)

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2015

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ISSN 2224-5227

Volume 5, Number 303 (2015), 19 – 26

UDC 537.311:322

## AN INFLUENCE OF ORIENTATION OF THE SILICON SUBSTRATE ON THE FORMATION OF THE Si-C-BONDS IN ION-SYNTHESIZED SiC<sub>0.12</sub> LAYERS

Seitov B.ZH., Beisembetov I.K., Nussupov K.KH.,  
Beisenkhanov N.B., Kenzhaliev B.K., Bakranova D.I.

[seitov\\_b85@mail.ru](mailto:seitov_b85@mail.ru), [rector@kbtu.kz](mailto:rector@kbtu.kz), [rich-famouskair@mail.ru](mailto:rich-famouskair@mail.ru), [beisen@mail.ru](mailto:beisen@mail.ru), [bagdaulet\\_k@mail.ru](mailto:bagdaulet_k@mail.ru),  
[ldina13@mail.ru](mailto:ldina13@mail.ru)

Kazakh-British Technical University, Almaty

**Key words:** silicon carbide, ion implantation, structure, crystallization

**Abstract.** In this work by infrared spectroscopy, atomic force microscopy, Auger electron spectroscopy and X-ray reflectometry the composition and structural characteristics of the SiC<sub>0.12</sub> films synthesized by implantation of carbon ions with energies of 40, 20, 10, 5 and 3 keV into the single-crystal (111) oriented silicon wafer, are studied. The obtained data are compared with similar ones for the SiC<sub>0.12</sub> films on (100) oriented silicon substrate. It is shown that in SiC<sub>0.12</sub> layer on the substrate Si (111) prevail clusters containing more elongated optically active Si-C-bonds than in the same layer on the substrate Si (100) up to a temperature of 800°C. A predominance of SiC nanocrystals of smaller sizes in the case of the substrate Si(111), is shown. Density (2.43 g/cm<sup>3</sup>) and the thickness (84 nm) values of the film are determined by X-ray reflectometry. The microstructure of the surface both after implantation and annealing were studied. The results can be used in nano- and micro-electronics as well as at the synthesis of anti-reflective coatings and silicon surface passivation at solar cell manufacturing.

УДК 537.311:322

## ВЛИЯНИЕ ОРИЕНТАЦИИ ПОДЛОЖКИ КРЕМНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ Si-C-СВЯЗЕЙ В ИОННО-СИНТЕЗИРОВАННЫХ СЛОЯХ SiC<sub>0.12</sub>

Сейтов Б.Ж., Бейсембетов И.К., Нусупов К.Х.,  
Бейсенханов Н.Б., Кенжалиев Б.К., Бакранова Д.И.

[seitov\\_b85@mail.ru](mailto:seitov_b85@mail.ru), [rector@kbtu.kz](mailto:rector@kbtu.kz), [rich-famouskair@mail.ru](mailto:rich-famouskair@mail.ru), [beisen@mail.ru](mailto:beisen@mail.ru), [bagdaulet\\_k@mail.ru](mailto:bagdaulet_k@mail.ru),  
[ldina13@mail.ru](mailto:ldina13@mail.ru)

Казахстанско-Британский технический университет, г. Алматы

**Ключевые слова:** карбид кремния, ионная имплантация, структура, кристаллизация

**Аннотация.** В работе методами инфракрасной спектроскопии, атомно-силовой микроскопии, Оже-электронной спектроскопии и рентгеновской рефлектометрии исследованы состав и структурные характеристики пленок SiC<sub>0.12</sub>, синтезированных имплантацией ионов углерода с энергиями 40, 20, 10, 5 и 3 кэВ в пластины монокристаллического кремния ориентации (111) и сравнены с аналогичными данными для ориентации подложки Si(100). Показано, что в слое SiC<sub>0.12</sub> на подложке Si(111) преобладают кластеры, содержащие более удлиненные оптически активные Si-C-связи, чем в слое SiC<sub>0.12</sub> на подложке Si(100) вплоть до температуры 800°C. Показано преобладание нанокристаллов карбида кремния меньшего размера в случае подложки Si(111). Методом рентгеновской рефлектометрии определены плотность (2,43 г/см<sup>3</sup>) и толщина (84 нм) пленки. Изучена микроструктура поверхности после имплантации и отжига. Результаты могут быть использованы в нано- и микроэлектронике, а также при синтезе просветляющих покрытий и пассивации поверхности кремния при производстве солнечных элементов.

## Введение

Аморфные тонкопленочные слои на основе кремния ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SiN}$ ,  $\text{a-SiC:H}$ , и т.д.) находят применение в качестве просветляющих покрытий, диффузионных барьеров и для пассивации слоев в производстве солнечных элементов. Пассивирующие слои  $\text{SiO}_2$  и  $\text{SiN}$  являются особо привлекательными для изготовления высокоэффективных кремниевых солнечных элементов, но имеют также негативные недостатки, такие как необходимость высокотемпературных процессов, трудности в процессе фотолитографии и низкая термическая стабильность [1-3]. Гидрогенизированный аморфный карбид кремния [ $\text{a-SiC:H}$ ] находит применение в качестве пассивирующих слоев солнечных элементов благодаря широкой запрещенной зоне, отличному коэффициенту теплового расширения, соответствующему кремниевым пластинам, высокой термической и механической стабильности и пр. Микрокристаллический материал  $\text{p-SiC:H}$  может быть использован в качестве слоя окна с  $\text{p-}$  стороны микрокристаллических кремниевых ( $\text{p-Si:H}$ ) солнечных элементов [4, 5]. Созданы тонкопленочные солнечные элементы  $\text{n-i-p}$  типа на основе аморфного кремния ( $\text{a-Si:H}$ ) с использованием пленок легированного фосфором  $\text{p-SiC:H}$  как оконного слоя [6]. Аморфный карбид кремния также является перспективным материалом для применения в солнечной энергетике [7].

Метод ионной имплантации позволяет посредством имплантации ионов углерода  $\text{C}^+$  в кремниевую подложку создавать слои  $\text{SiC}$  на заданной глубине в необходимой стехиометрии и с малым уровнем загрязнений [8-11]. В данной работе исследуются характеристики пленок  $\text{SiC}_{0,12}$ , синтезированных имплантацией ионов углерода с энергиями 40, 20, 10, 5 и 3 кэВ в пластины монокристаллического кремния ориентации (111) и сравнены с аналогичными данными для ориентации подложки  $\text{Si}(100)$ .

## Эксперимент

Имплантация ионов углерода была произведена в монокристаллические пластины  $\text{Si}$  ориентации (111) размером  $7 \times 7 \times 0,3$  мм<sup>3</sup> и удельным сопротивлением 4–5 Ом·см [12, 13]. Для предотвращения разогрева образца ( $20\text{--}25^\circ\text{C}$ ) плотность ионного тока не превышала 3 мкА/см<sup>2</sup>. Отжиг образцов выполнен в интервале температур  $200\text{--}1400^\circ\text{C}$  в течение 30 мин с шагом  $100\text{--}200^\circ\text{C}$  в вакууме.

Элементный состав слоев измерен методом Оже-электронной спектроскопии: диаметр пучка электронов – 1 мкм, энергия – 10 кэВ, угол падения –  $45^\circ$ , диаметр сканируемой области – 300 мкм, вакуум –  $1,33 \times 10^{-8}$  Па, угол падения пучка  $\text{Ar}^+$  –  $45^\circ$ .

Химический состав и структура пленки карбида кремния были исследованы с использованием ИК-спектрометра UR-20. Спектры снимались при падении ИК-излучения на образец под углом  $90^\circ$  и под углом  $73^\circ$  к нормали к поверхности образца.

Параметры пленок исследованы методом рентгеновской рефлектометрии при малых углах скольжения  $\theta$  путем регистрации угловой зависимости коэффициента отражения с использованием двух спектральных линий  $\text{CuK}\alpha$  (0,154 нм) и  $\text{CuK}\beta$  (0,139 нм) [14, 15] на установке CompleXRay С6.

Микроструктура поверхности имплантированного слоя исследовалась на атомно-силовом микроскопе JSPM5200 Jeol Japan с использованием полуконтактного (AFM AC) метода. Разрешение микроскопа по плоскости составляет 0,14 нм, по вертикали – 0,01 нм.

## Результаты

Для получения слоев  $\text{SiC}_{0,12}$  с прямоугольным профилем распределения атомов  $\text{C}$  в  $\text{Si}$  имплантация ионов углерода различных энергий и доз в монокристаллические пластины  $\text{Si}$  была осуществлена последовательно в порядке как указано в Таблице 1.

На рисунке 1 приведен элементный состав слоя после имплантации в зависимости от времени травления пучком ионов аргона, определенный методом Оже-электронной спектроскопии. Средняя величина отношения концентраций  $N_{\text{C}}/N_{\text{Si}}$  составила величину 0,12, т.е. синтезирован слой  $\text{SiC}_{0,12}$ . В распределении наблюдается впадина в интервале 10–35 нм. Это может быть вызвано появлением обогащенного углеродом поверхностного слоя, в котором имеются прочные одинарные, двойные и тройные  $\text{C-C}$ - и  $\text{Si-C}$ - связи, приводящие к значительному уменьшению величин пробега  $R_p(E)$  в случае низких энергий ионов 3, 5 и 10 кэВ. Энергии одинарных  $\text{C-C}$ - и  $\text{Si-C}$ -связей (348 и 318 кДж/моль, соответственно) существенно превосходят энергию  $\text{Si-Si}$ -связей

(222 кДж/моль) [16-18].

Таблица 1 – Величины энергии  $E$ , дозы  $D$ , проективного пробега  $R_p(E)$  и страгглинга  $\Delta R_p(E)$  [19] ионов  $^{12}\text{C}^+$  в Si, использованных для формирования слоев  $\text{SiC}_{0,12}$

$E$ , кэВ	40	20	10	5	3
$D$ , $10^{17}$ см $^{-2}$	0,56	0,192	0,099	0,033	0,023
$R_p(E)$ , нм	93,0	47,0	24,0	12,3	7,5
$\Delta R_p(E)$ , нм	34,0	21,0	13,0	7,0	4,3

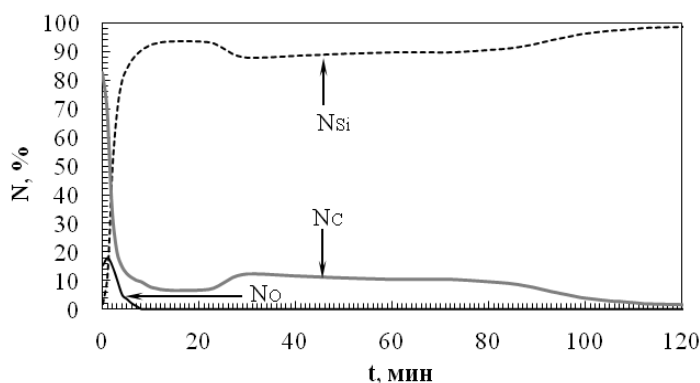


Рисунок 1 – Элементный состав имплантированного ионами углерода приповерхностного слоя кремния в зависимости от времени травления пучком ионов аргона

На рисунке 2 приведены спектры ИК-пропускания для слоя  $\text{SiC}_{0,12}$ , синтезированного в кремнии с ориентацией (111), после имплантации и отжига при температурах 200, 400, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300 и 1400°C в течение 30 минут. Эти данные были сравнены с результатами исследования слоев  $\text{SiC}_{0,12}$  в Si (100) [12]. Наблюдается SiC-пик ИК-пропускания, минимум которого для обеих ориентаций подложки с увеличением температуры смещается к положению около 820 см $^{-1}$ , соответствующего тетраэдрическим Si–C-связям (794 см $^{-1}$ ), а также рост амплитуды и сужение SiC-пика ИК-пропускания. Это указывает на процессы кристаллизации пленки карбида кремния и подтверждается данными атомно-силовой микроскопии (рисунок 3б) с явно выраженной грануляцией поверхности после высокотемпературного отжига.

На рисунке 4 приведены данные по положению минимума SiC-пика для ИК-спектров слоя  $\text{SiC}_{0,12}$ . Сразу после имплантации положение пика составляет 696 и 720 см $^{-1}$  для подложек Si(111) и Si(100), соответственно, указывая на аморфную природу слоев. Это подтверждается данными атомно-силовой микроскопии (рисунок 3а). Низкие значения положения пика обусловлены низкой концентрацией углерода (12 атомов C на 100 атомов Si) и преобладанием удлиненных одинарных Si–C-связей. В слое  $\text{SiC}_{0,12}$  на подложке Si(111) преобладают кластеры, содержащие более удлиненные оптически активные Si–C-связи (рисунок 4, кривая 1), чем в слое  $\text{SiC}_{0,12}$  на подложке Si(100) вплоть до температуры 800°C (рисунок 4, кривая 2). Отжиг при 700 и 800°C приводит к более ускоренному (с 712 до 763 см $^{-1}$ ), чем в случае Si(100) (с 735 до 770 см $^{-1}$ ), сдвигу положения минимума SiC-пика, обусловленного распадом этого типа кластеров, и положение SiC-пика после отжига при 800°C для ориентаций подложки Si(111) и Si(100) почти совпадает – 763 и 770 см $^{-1}$ , соответственно (рисунок 4). Влияние остаточных фрагментов распавшихся кластеров преодолевается лишь при температурах 900–1000°C, когда положение минимума SiC-пика для обеих типов подложек превышает значение 794 см $^{-1}$  и достигает 810–823 см $^{-1}$ .

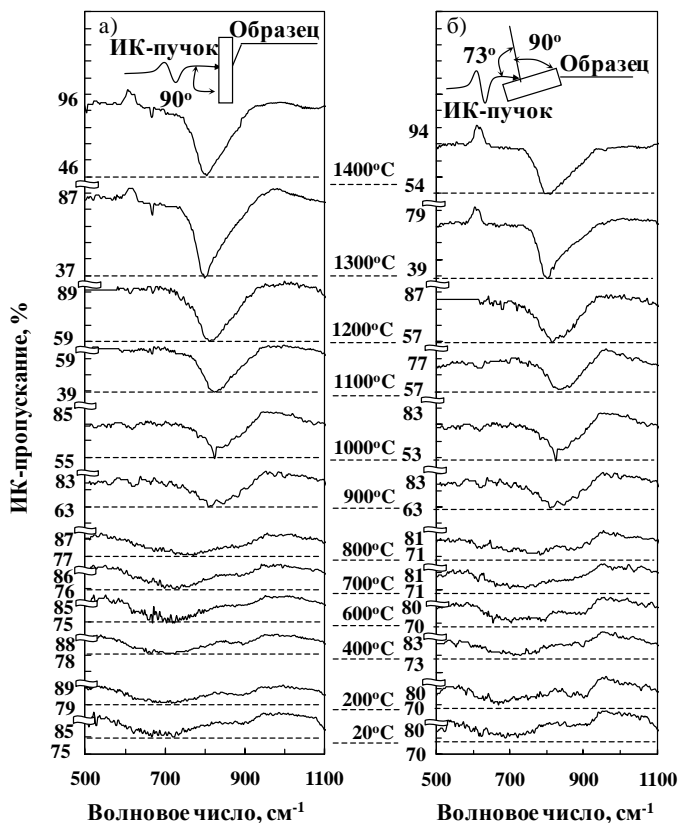


Рисунок 2 – Температурная зависимость спектров ИК-пропускания слоя  $\text{SiC}_{0,12}$  на подложке  $\text{Si}(111)$ :  
 а) перпендикулярное падение ИК-излучения на образец, б) угол падения  $73^\circ$  от нормали к поверхности образца

Не наблюдается пика LO-фононов, свидетельствующего о наличии кристаллического слоя  $\text{SiC}$  с высококачественными кристаллитами  $\text{SiC}$  для обоих типов подложек, что обусловлено малыми размерами кристаллитов  $\text{SiC}$  [12]. Ранее [12] было показано, что для слоев  $\text{SiC}_x$  с низкой концентрацией углерода минимум пика ИК-пропускания смещается в область выше  $800 \text{ см}^{-1}$ . Это трактовалось малыми размерами кристаллитов  $\text{SiC}$  ( $\leq 3 \text{ нм}$ ) и увеличением вклада их поверхностей, а также поверхностей кристаллитов  $\text{Si}$ , содержащих укороченные  $\text{Si-C}$  связи, в оптические свойства. В случае  $\text{SiC}_{0,12}$  на  $\text{Si}(100)$  положение минимума пика TO-фононов неравномерно смещается от  $720$  до  $820 \text{ см}^{-1}$  ( $20\text{--}1000^\circ\text{C}$ ) и возвращается до  $800 \text{ см}^{-1}$  при  $1200^\circ\text{C}$  (рисунок 4, кривая 2) вследствие роста размеров кристаллитов  $\text{SiC}$  до величин  $3,5\text{--}5 \text{ нм}$  и выше за счет присоединения атомов  $\text{C}$  и  $\text{Si}$ .

В случае слоя  $\text{SiC}_{0,12}$  на подложке  $\text{Si}$  ориентации (111) наблюдаются следующие отличия – пик смещается от  $696$  до  $830 \text{ см}^{-1}$  в интервале температур  $20\text{--}1100^\circ\text{C}$  и возвращается до  $803 \text{ см}^{-1}$  при  $1300^\circ\text{C}$  (рисунок 4, кривая 1). Более высокая температура на  $200^\circ\text{C}$  и более интенсивный сдвиг в высокочастотную область (на  $10 \text{ см}^{-1}$ ) в сравнении с слоем  $\text{SiC}_{0,12}$  в кремнии ориентации (100) ( $820 \text{ см}^{-1}$ ,  $1100^\circ\text{C}$ ) свидетельствуют о меньших размерах нанокристаллов карбида кремния в этом слое. Это может быть обусловлено большим количеством углеродных кластеров в случае ориентации подложки (111).



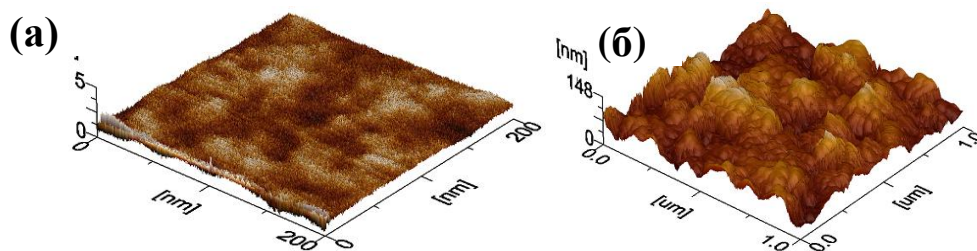


Рисунок 3 – Топография поверхности слоя  $\text{SiC}_{0,12}$  после многократной имплантации в кремний с ориентацией (111) ионов углерода с энергиями 40, 20, 10, 5 и 3 кэВ: а) после имплантации; б) после отжига при температуре  $1100^\circ\text{C}$  в течение 30 минут

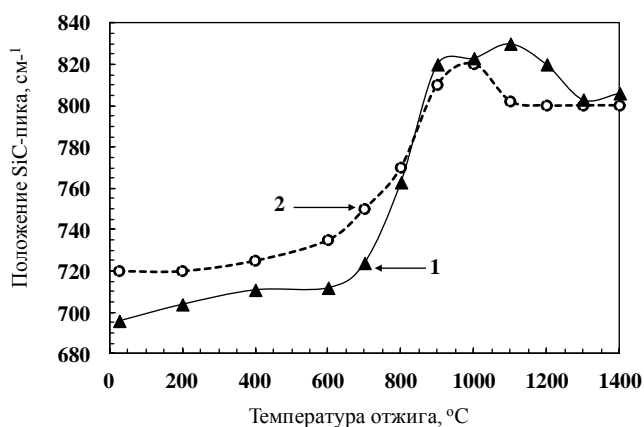


Рисунок 4 – Температурная зависимость положения минимума SiC-пика ИК-пропускания для слоев  $\text{SiC}_{0,12}$ : 1 – ТО-фононы, ориентация Si(111), 2 – ТО-фононы, ориентация Si(100)

Резкая граница «пленка SiC – подложка Si» позволяет использовать метод рентгеновской рефлектометрии для определения толщины и плотности пленок  $\text{SiC}_{0,12}$ . С использованием программы Henke [20] по величине критического угла полного внешнего отражения  $2\theta_c = 0,455$  (рисунок 5б, таблица 2) определена плотность пленки  $\text{SiC}_{0,12}$ , которая равна  $2,43 \text{ г/см}^3$  и занимает промежуточное значение между  $\rho_{\text{Si}} = 2,33 \text{ г/см}^3$  и  $\rho_{\text{SiC}} = 3,21 \text{ г/см}^3$  (Таблица 3) и соответствует соотношению атомов C и Si:  $N_{\text{C}}/N_{\text{Si}} = 0,12$ .

Оценка толщин  $d$  слоев проведена по формуле  $2d \cdot \sin \theta = \lambda$ , или  $d = \lambda/2\theta$  нм, для малых значений углов  $\theta$ ,  $\lambda$  – длина волны  $\text{CuK}_\alpha$  излучения (0,154 нм),  $2\theta$  – расстояние между минимумами пика (Рисунок 5а, Таблица 4). Толщина слоя  $\text{SiC}_{0,12}$  оказалась  $\sim 76$  нм. При температуре  $1250^\circ\text{C}$  на поверхности сформировался слой диоксида кремния толщиной около 8 нм (таблица 4). Таким образом, общая толщина имплантированного слоя составила  $\sim 84$  нм, что близко к ожидаемым значениям с учетом распыления ( $< 100$  нм).

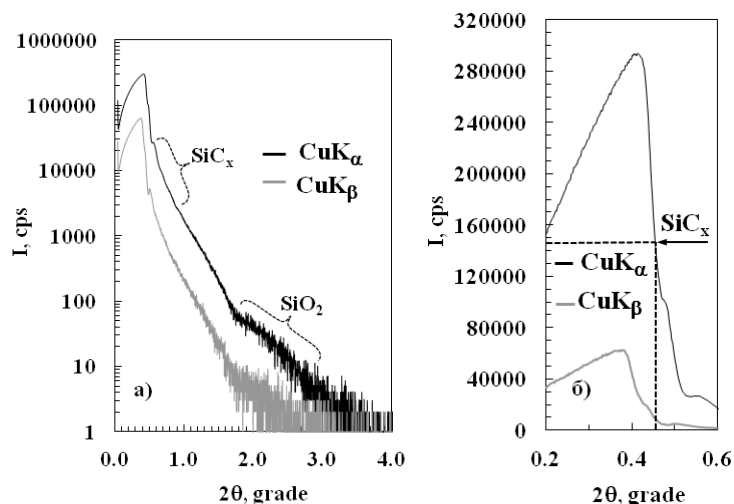


Рисунок 5 – Рентгеновская рефлектометрия с использованием двух спектральных линий  $\text{CuK}_\alpha$  (0,154 нм) и  $\text{CuK}_\beta$  (0,139 нм) пленки  $\text{SiC}_{0,12}$  на подложке  $\text{Si}(111)$  после отжига при температуре  $1250^\circ\text{C}$ : а) в логарифмическом масштабе; б) в натуральном масштабе

Таблица 2 – Определение плотности слоя  $\text{SiC}_x$  по программе Henke

Пленка	$I_{\max}$	$I_{\max}/2$	$2\theta_c$ , град	$\theta_c$ , град	$\theta_c$ , мрад	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>
$\text{SiC}_x$	293990	146995	0.455	0.2277	3.974	2.43

Таблица 3 – Определение соотношения атомов  $N_C/N_{\text{Si}}$  в слое  $\text{SiC}_x$

$\text{SiC}_x$	$N_C/N_{\text{Si}} = x$	$\rho_x$
$\text{Si} = \text{SiC}_0$	0	2,33
$\text{SiC}_x = \text{SiC}_{0,12}$	0,12	2,43
$\text{SiC} = \text{SiC}_{1,0}$	1,0	3,21

Таблица 4 – Определение толщины слоя  $\text{SiC}_x$  по формуле  $2d \cdot \sin\theta = \lambda$ , или  $d = \lambda/2\theta$

Пленка	$(2\theta)_j$	$(2\theta)_i$	$j - i$	$2\theta_{\text{av}} = [(2\theta)_j + (2\theta)_i] / (j - i)$	$\lambda$	$d = \lambda/2\theta$ , нм
$\text{SiO}_2$	2.800	1.746	1	1.054	0.15420	8.4
$\text{SiC}_x$	0.882	0.534	3	0.1160	0.15420	76.2

### Заключение

1 Исследованы структурные характеристики пленок  $\text{SiC}_{0,12}$ , синтезированных имплантацией ионов углерода с энергиями 40, 20, 10, 5 и 3 кэВ в пластины моно-Si ориентации (111) и сравнены с аналогичными данными для ориентации подложки  $\text{Si}(100)$ .

2 Определены параметры пленки: толщина – 76 нм, плотность –  $2,43 \text{ г/см}^3$ , соответствующей составу  $\text{SiC}_{0,12}$ . При температуре  $1250^\circ\text{C}$  на поверхности сформировался тонкий слой диоксида кремния толщиной около 8 нм.

3 Установлена аморфная природа слоя после имплантации. В слое  $\text{SiC}_{0,12}$  на подложке  $\text{Si}(111)$  вплоть до температуры  $800^\circ\text{C}$  преобладают кластеры, содержащие более удлиненные оптически активные Si–C-связи, чем в слое  $\text{SiC}_{0,12}$  на подложке  $\text{Si}(100)$ .

4 Установлено, что, в случае слоя  $\text{SiC}_{0,12}$  на подложке  $\text{Si}(111)$  более интенсивный сдвиг SiC-пика в высокочастотную область (до  $830 \text{ см}^{-1}$ ) и более высокая температура ( $1300^\circ\text{C}$ ) возврата к положению  $800 \text{ см}^{-1}$  в сравнении с слоем  $\text{SiC}_{0,12}$  на  $\text{Si}(100)$  ( $820 \text{ см}^{-1}$ ,  $1100^\circ\text{C}$ ), свидетельствует о меньших размерах нанокристаллов SiC в слое.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kobayashi H., Imamura K., Kim W.B., Im S.S., Asuha. Nitric acid oxidation of Si (NAOS) method for low

temperature fabrication of SiO<sub>2</sub>/Si and SiO<sub>2</sub>/SiC structures // *Appl. Surf. Sci.* –2010. – 256. – P.5744-5756.

[2] Araki K., Yamaguchi M. An Si concentrator cell by single photolithography process // *Sol. Energ. Mat. Sol. C.* – 2001. – 65. – P.437-443.

[3] Lucovsky G: Atomic structure and thermal stability of silicon suboxides in bulk thin films and in transition regions at Si-SiO<sub>2</sub> interfaces // *J. Non. Cryst. Solids.* – 1998. – 227. – P.1-14.

[4] Chen T., Huang Y., Dasgupta A., Luysberg M., Houben L., Yang D., Carius R., Finger F. // *Solar Energy Materials and Solar Cells.* – 2012. – 98. – P. 370.

[5] Chen T., Huang Y., Wang H., Yang D., Dasgupta A., Carius R., Finger F. // *Thin Solid Films.* –2009. – 517. – 12. – P. 3513.

[6] Ogawa S., Okabe M., Ikeda Y., Itoh T., Yoshida N., Nonomura S. Applications of microcrystalline hydrogenated cubic silicon carbide for amorphous silicon thin film solar cells // *Thin Solid Films.* – 2008. – № 516 (5). – P.740–742.

[7] Ma J., Ni J., Zhang J., Huang Z., Hou G., Chen X., Zhang X., Geng X., Zhao Y. // *Solar Energy Materials and Solar Cells.* – 2013. – 114. – P. 9.

[8] Liangdeng Y., Intarasiri S., Kamwanna T., Singkarat S. Ion beam synthesis and modification of silicon carbide. In book: Ion beam applications in surface and bulk modification of insulators. – Austria, Vienna: IAEA-TECDOC-1607. – 2008. – P. 63–92.

[9] Lindner J.K.N. High-dose carbon implantations into silicon: fundamental studies for new technological tricks. // *Appl. Phys. A.* – 2003. – 77. – P. 27-38.

[10] Borders J.A., Picraux S.T., Beezhold W. Formation of SiC in silicon by ion implantation. // *Appl. Phys. Lett.* – 1971. – 18. – 11. – P. 509–511.

[11] Bayazitov R.M., Haibullin I.B., Batalov R.I., Nurutdinov R.M., Antonova L.Kh., Aksenov V.P., Mikhailova G.N. Structure and photoluminescent properties of SiC layers on Si, synthesized by pulsed ion-beam treatment. // *Nucl. Instrum. and Meth. in Phys. Res. B.* – 2003. – 206. – P. 984–988.

[12] Nussupov K. Kh. and 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. – Moumita Mukherjee (Ed.). – Chapter 4. – Rijeka, Croatia: *InTech.* – 2011. – P. 69–114.

[13] 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 // *Journal of Materials Science: Materials in Electronics.* – 2008. – 19. – P. 254–262.

[14] Touryanski A.G., Vinogradov A.V., Pirshin I.V. X-ray reflectometer // Patent no. 6041098, US Cl. 378–70. – Official Gazette March 21, 2000. – P. 2960.

[15] Турьянский А., Герасименко Н., Пиршин И., Сенков В. Многофункциональный рентгеновский рефлектометр для исследования наноструктур // *Наноиндустрия.* – 2009. – 5. – С.40-45.

[16] Huheey, pps. A-21 to A-34; T.L. Cottrell. The Strengths of Chemical Bonds. – 1958. – 2nd ed. – Butterworths, London.

[17] B. deB. Darwent. National Standard Reference Data Series. – 1970. – National Bureau of Standards. – № 31, Washington, DC.

[18] Benson S.W. // *J. Chem. Educ.* – 1965. – 42. – P. 502.

[19] Gibbons J. F., Johnson W.S., and Mylroie S.W. *Projected Range Statistics: Semiconductors and Related Materials.* 2nd Ed. – Stroudsburg, Penn: Dowden, Hutchinson and Ross, Inc. – 1975.

[20] Henke B.L., Gullikson E.M., Davis J.C. Atomic Data and Nuclear Data Tables. – 1993. – Vol.54 (2). – P. 181. ([http://henke.lbl.gov/optical\\_constants/](http://henke.lbl.gov/optical_constants/)).

## REFERENCES

[1] Kobayashi H., Imamura K., Kim W.B., Im S.S., Asuha. *Appl. Surf. Sci.*, **2010**, 256, 5744-5756 (in Eng.).

[2] Araki K., Yamaguchi M. *Sol. Energ. Mat. Sol. C*, **2001**, 65, 437-443 (in Eng.).

[3] Lucovsky G. *J. Non. Cryst. Solids.* **1998**, 227, 1-14 (in Eng.).

[4] Chen T., Huang Y., Dasgupta A., Luysberg M., Houben L., Yang D., Carius R., Finger F. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **2012**, 98, 370.

[5] Chen T., Huang Y., Wang H., Yang D., Dasgupta A., Carius R., Finger F. *Thin Solid Films.* **2009**, 517, 12, 3513 (in Eng.).

[6] Ogawa S., Okabe M., Ikeda Y., Itoh T., Yoshida N., Nonomura S. *Thin Solid Films*, **2008**, № 516 (5), 740–742 (in Eng.).

[7] Ma J., Ni J., Zhang J., Huang Z., Hou G., Chen X., Zhang X., Geng X., Zhao Y. *Solar Energy Materials and Solar Cells.* **2013**, 114, 9 (in Eng.).

[8] Liangdeng Y., Intarasiri S., Kamwanna T., Singkarat S. Ion beam synthesis and modification of silicon carbide. In book: Ion beam applications in surface and bulk modification of insulators. Austria, Vienna: IAEA-TECDOC-1607, **2008**, 63–92 (in Eng.).

[9] Lindner J.K.N. *Appl. Phys. A.*, **2003**, 77, 27-38 (in Eng.).

[10] Borders J.A., Picraux S.T., Beezhold W. *Appl. Phys. Lett.*, **1971**, 18, 11, 509–511 (in Eng.).

[11] Bayazitov R.M., Haibullin I.B., Batalov R.I., Nurutdinov R.M., Antonova L.Kh., Aksenov V.P., Mikhailova G.N. *Nucl. Instrum. and Meth. in Phys. Res. B.*, **2003**, 206, 984–988 (in Eng.).

[12] Nussupov K. Kh. and 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, Moumita Mukherjee (Ed.). Chapter 4, Rijeka, Croatia: *InTech*, **2011**, 69–114 (in Eng.).

[13] Nussupov K.Kh., Beisenkhanov N.B., Valitova I.V., Mit' K.A., Mukhamedshina D.M., Dmitrieva E.A. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, **2008**, 19, 254–262 (in Eng.).

[14] Touryanski A.G., Vinogradov A.V., Pirshin I.V. X-ray reflectometer // Patent no. 6041098, US Cl. 378–70, Official

Gazette March 21, 2000, 2960 (in Eng.).

[15] Touryanski A., Gerasimenko N., Pirshin I., Senkov V. *Nanoindustriya*, 2009, 5, 40-45. (In Russ).

[16] Huheey, pps. A-21 to A-34; T.L. Cottrell, *The Strengths of Chemical Bonds*, 1958, 2nd ed., Butterworths, London (in Eng.).

[17] B. deV. Darwent, *National Standard Reference Data Series*, 1970, National Bureau of Standards, No. 31, Washington, DC (in Eng.).

[18] Benson S.W. *J. Chem. Educ.*, 1965, 42, 502 (in Eng.).

[19] *Gibbons J. F., Johnson W.S., and Mylroie S.W. Projected Range Statistics: Semiconductors and Related Materials*, 2nd Ed., Stroudsburg, Penn: Dowden, Hutchinson and Ross, Inc. 1975.

[20] Henke B.L., Gullikson E.M., Davis J.C. *Atomic Data and Nuclear Data Tables*. 1993, 54(2), 181 (in Eng.). ([http://henke.lbl.gov/optical\\_constants/](http://henke.lbl.gov/optical_constants/)).

## ИОНДЫҚ-СИНТЕЗДЕЛГЕН SiC<sub>0,12</sub> ҚАБАТТАРЫНДАҒЫ Si-C-БАЙЛАНЫСТАРДЫҢ ҚҰРЫЛУЫНА КРЕМНИЙ МАТРИЦАСЫ БАҒДАРЫНЫҢ ӘСЕРІ

Сейтов Б.Ж., Бейсембетов И.К., Нүсіпов К.Х., Бейсенханов Н.Б.,

Кенжалиев Б.К., Бакранова Д.И

[seitov\\_b85@mail.ru](mailto:seitov_b85@mail.ru), [rector@kbtu.kz](mailto:rector@kbtu.kz), [rich-famouskair@mail.ru](mailto:rich-famouskair@mail.ru), [beisen@mail.ru](mailto:beisen@mail.ru), [bagdaulet\\_k@mail.ru](mailto:bagdaulet_k@mail.ru), [ldina13@mail.ru](mailto:ldina13@mail.ru)

Қазақстан-Британ техникалық университеті, Алматы қ.

**Тірек сөздер:** кремний карбиді, иондық имплантация, құрылым, кристалдану

**Аннотация.** Жұмыста, энергиялары 40, 20, 10, 5, 3 кэВ көміртегі иондарын монокристалды (111) бағдарлы кремний пластинасына имплантациялау арқылы синтезделген SiC<sub>0,12</sub> қабыршақтарының құрамы мен құрылымдық сипаттамалары инфрақызыл спектроскопия, атомдық-күштік микроскопия, Оже-электрондық спектроскопия және рентгендік рефлектометрия әдістері арқылы зерттелген және Si(100) матрица үшін алынған баламалы нәтижелермен салыстырылған. Si(111) матрицада синтезделген SiC<sub>0,12</sub> қабатта 800°C температураға дейін Si(100) матрицада синтезделген SiC<sub>0,12</sub> қабатпен салыстырғанда ұзынырақ оптикалық белсенді Si-C байланыстарға не кластерлер басым екендігі көрсетілген. Si(111) матрицада синтездеген қабыршақтарда кіші өлшемді кремний карбиді нанокристалдары басым екендігі көрсетілген. Рентгендік рефлектометрия әдісімен қабыршақ қалыңдығы (84 нм) мен тығыздығы (2,43 г/см<sup>3</sup>) анықталған. Имплантациялаудан және күйдіруден кейін қабыршақ бетінің микроқұрылымы зерттелген. Жұмыстың нәтижелерін нано- және микроэлектроникада, сонымен қатар күн элементтерін өндіру барысында кремний бетін пассивтендіруге және антишашыратқыш жабындар синтездеуде пайдалануға болады.

Сведения об авторах

Ф.И.О.	Адрес служебный	Телефоны
Сейтов Бекболат Жуманович, докторант	Алматы, Толе би 59, 050000 Казахстанско-Британский технический университет	моб.+7-7058535045 E-mail: <a href="mailto:seitov_b85@mail.ru">seitov_b85@mail.ru</a>
Бейсембетов Искандер Калыбекович, ректор Казахстанско-Британского технического университета (г.Алматы), член-корреспондент НАН РК, доктор экономических наук, профессор.	Алматы, Толе би 59, 050000 Казахстанско-Британский технический университет	8 (727) 272 64 37 <a href="mailto:rector@kbtu.kz">rector@kbtu.kz</a>
Нусупов Каир Хамзаевич, заведующий Лабораторией нанотехнологий, доктор физ.-мат.наук, профессор	Алматы, Толе би 59, 050000 Казахстанско-Британский технический университет	моб.+7-7775830407 E-mail: <a href="mailto:rich-famouskair@mail.ru">rich-famouskair@mail.ru</a>
<u>Бейсенханов Нуржан Бейсенханович</u> , ведущий научный сотрудник Лаборатории нанотехнологий, доктор физ.-мат.наук	Алматы, Толе би 59, 050000 Казахстанско-Британский технический университет	моб.+7-707 7333301 E-mail: <a href="mailto:beisen@mail.ru">beisen@mail.ru</a>
Кенжалиев Багдаулет Кенжалиевич, проректор по инновационной деятельности, заведующий НИЛ ПМиТ, доктор техн. наук, профессор	Алматы, Толе би 59, 050000 Казахстанско-Британский технический университет	Р.т. +7-727-2668310 моб.+7-701 111 36 45 E-mail: <a href="mailto:bagdaulet_k@mail.ru">bagdaulet_k@mail.ru</a>
Бакранова Дина Игоревна, докторант	Алматы, Толе би 59, 050000 Казахстанско-Британский технический университет	моб.+7-777 4973626 E-mail: <a href="mailto:ldina13@mail.ru">ldina13@mail.ru</a>

Поступила 11.09.2015 г.

**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 work described 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 originality detection service Cross Check <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 сайте:

[www:nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

<http://www.reports-science.kz/index.php/ru/>

Редакторы *М. С. Ахметова, Д. С. Аленов, Т.А. Апендиев*  
Верстка на компьютере *С.К. Досаевой*

Подписано в печать 08.10.2015.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

14,2 п.л. Тираж 2000. Заказ 4.