

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_{0.12} LAYERS

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

seitov_b85@mail.ru, rector@kbtu.kz, rich-famouskair@mail.ru, beisen@mail.ru, bagdaulet_k@mail.ru,
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_{0.12} 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_{0.12} films on (100) oriented silicon substrate. It is shown that in SiC_{0.12} 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/cm³) 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_{0.12}

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

seitov_b85@mail.ru, rector@kbtu.kz, rich-famouskair@mail.ru, beisen@mail.ru, bagdaulet_k@mail.ru,
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_{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 Si(100). Показано, что в слое SiC_{0.12} на подложке Si(111) преобладают кластеры, содержащие более удлиненные оптически активные Si-C-связи, чем в слое SiC_{0.12} 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/см³) 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 (SiO_2 , SiN , a-SiC:H , и т.д.) находят применение в качестве просветляющих покрытий, диффузионных барьеров и для пассивации слоев в производстве солнечных элементов. Пассивирующие слои SiO_2 и 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 [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 p-SiC:H может быть использован в качестве слоя окна с p- стороны микрокристаллических кремниевых (p-Si:H) солнечных элементов [4, 5]. Созданы тонкопленочные солнечные элементы p-i-n типа на основе аморфного кремния (a-Si:H) с использованием пленок легированного фосфором 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 C^+ в кремниевую подложку создавать слои 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 Si ориентации (111) размером $7 \times 7 \times 0,3$ мм³ 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/см². 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° , диаметр сканируемой области – 300 мкм, вакуум – $1,33 \times 10^{-8}$ Па, угол падения пучка Ar^+ – 45° .

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° и под углом 73° к нормали к поверхности образца.

Параметры пленок исследованы методом рентгеновской рефлектометрии при малых углах скольжения θ 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 C6.

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 C в Si имплантация ионов углерода различных энергий и доз в монокристаллические пластины 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 C-C - и Si-C - связи, приводящие к значительному уменьшению величин пробега $R_p(E)$ в случае низких энергий ионов 3, 5 и 10 кэВ. Энергии одинарных C-C - и Si-C -связей (348 и 318 кДж/моль, соответственно) существенно превосходят энергию 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

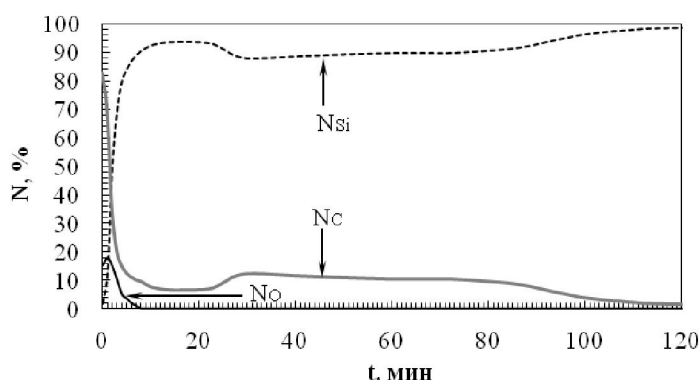


Рисунок 1 – Элементный состав имплантированного ионами углерода приповерхностного слоя кремния в зависимости от времени травления пучком ионов аргона

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} .

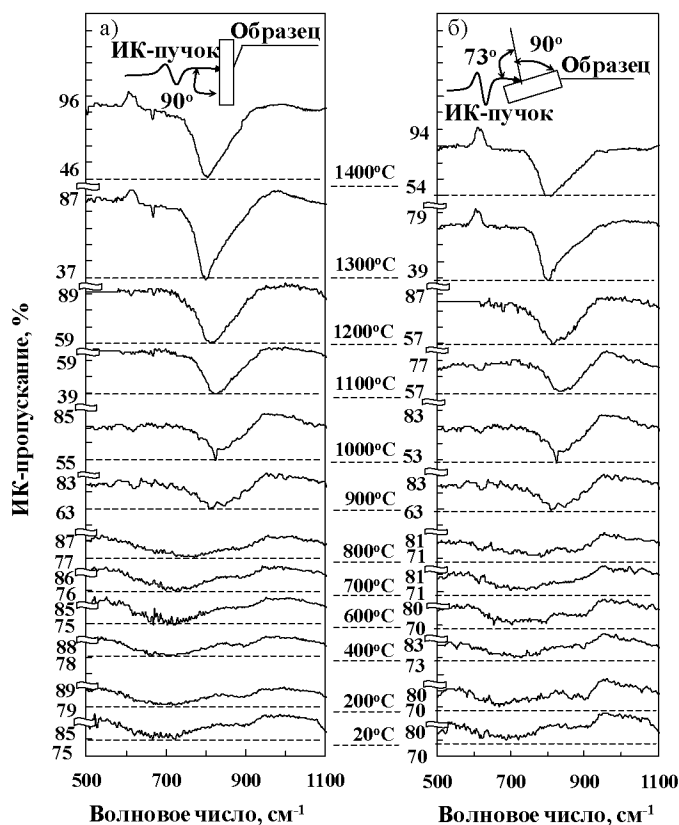


Рисунок 2 – Температурная зависимость спектров ИК-пропускания слоя $\text{SiC}_{0,12}$ на подложке $\text{Si}(111)$: а) перпендикулярное падение ИК-излучения на образец, б) угол падения 73° от нормали к поверхности образца

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

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

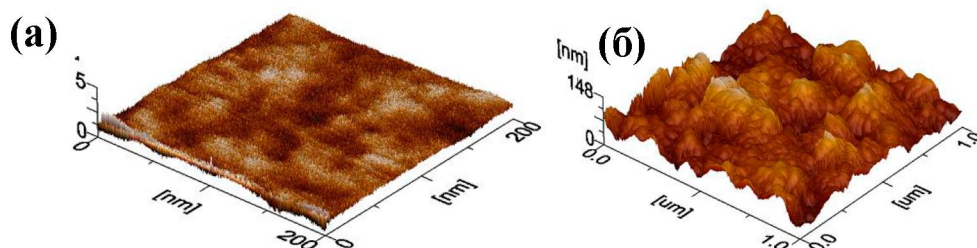


Рисунок 3 – Топография поверхности слоя $\text{SiC}_{0,12}$ после многократной имплантации в кремний с ориентацией (111) ионов углерода с энергиями 40, 20, 10, 5 и 3 кэВ: а) после имплантации; б) после отжига при температуре 1100°C в течение 30 минут

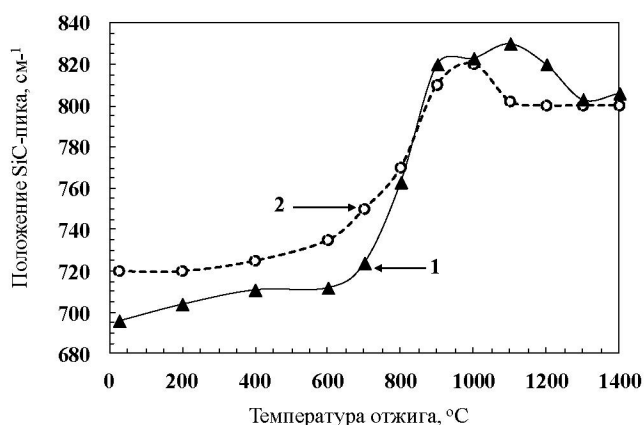


Рисунок 4 – Температурная зависимость положения минимума SiC-пика ИК-пропускания для слоев $\text{SiC}_{0,12}$: 1 – ТО-фононы, ориентация Si(111), 2 – ТО-фононы, ориентация Si(100)

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 θ , λ – длина волны CuK_α излучения (0,154 нм), 2θ – расстояние между минимумами пика (Рисунок 5а, Таблица 4). Толщина слоя $\text{SiC}_{0,12}$ оказалась ~ 76 нм. При температуре 1250°C на поверхности сформировался слой диоксида кремния толщиной около 8 нм (таблица 4). Таким образом, общая толщина имплантированного слоя составила ~ 84 нм, что близко к ожидаемым значениям с учетом распыления (< 100 нм).

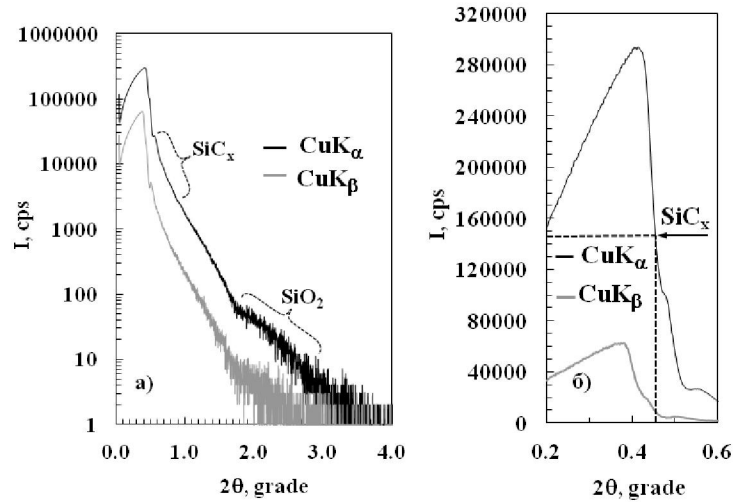


Рисунок 5 – Рентгеновская рефлектометрия с использованием двух спектральных линий CuK_{α} (0,154 нм) и CuK_{β} (0,139 нм) пленки $SiC_{0,12}$ на подложке Si(111) после отжига при температуре 1250°C: а) в логарифмическом масштабе; б) в натуральном масштабе

Таблица 2 – Определение плотности слоя SiC_x по программе Henke

Пленка	I_{max}	$I_{max}/2$	$2\theta_{cs}$, град	θ_{cs} , град	θ_{cs} , мрад	ρ_x , г/см ³
SiC_x	293990	146995	0.455	0.2277	3.974	2.43

Таблица 3 – Определение соотношения атомов N_C/N_{Si} в слое SiC_x

SiC_x	$N_C/N_{Si} = x$	ρ_x
Si = SiC_0	0	2,33
$SiC_x = SiC_{0,12}$	0,12	2,43
SiC = $SiC_{1,0}$	1,0	3,21

Таблица 4 – Определение толщины слоя SiC_x по формуле $2d \cdot \sin\theta = \lambda$, или $d = \lambda/2\theta$

Пленка	$(2\theta)_i$	$(2\theta)_j$	$j - i$	$2\theta_{av} = [(2\theta)_j - (2\theta)_i] / (j - i)$	λ	$d = \lambda/2\theta$, нм
SiO_2	2.800	1.746	1	1.054	0.15420	8.4
SiC_x	0.882	0.534	3	0.1160	0.15420	76.2

Заключение

1 Исследованы структурные характеристики пленок $SiC_{0,12}$, 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 Si(100).

2 Определены параметры пленки: толщина – 76 нм, плотность – 2,43 г/см³, соответствующей составу $SiC_{0,12}$. При температуре 1250°C на поверхности сформировался тонкий слой диоксида кремния толщиной около 8 нм.

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

4 Установлено, что, в случае слоя $SiC_{0,12}$ на подложке Si(111) более интенсивный сдвиг SiC-пика в высокочастотную область (до 830 см⁻¹) и более высокая температура (1300°C) возврата к положению 800 см⁻¹ в сравнении с слоем $SiC_{0,12}$ на Si(100) (820 см⁻¹, 1100°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 SiO₂/Si and SiO₂/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-SiO₂ 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_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. –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/).

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_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, 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. deB. 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/).

ИОНДЫҚ-СИНТЕЗДЕЛГЕН $\text{SiC}_{0.12}$ 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, rector@kbtu.kz, rich-famouskair@mail.ru, beisen@mail.ru, bagdaulet_k@mail.ru, ldinal3@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 $\text{SiC}_{0.12}$ 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 $\text{SiC}_{0.12}$ қабатта 800°C температураға дейін Si(100) матрицада синтезделген $\text{SiC}_{0.12}$ қабатпен салыстырғанда ұзынырақ оптикалық белсенді Si–C байланыстарға ие 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/см³) анықталған. Имплантациялаудан және күйдіруден кейін қабыршақ бетінің микроқұрылымы зерттелген. Жұмыстың нәтижелерін нано- және микроэлектроникада, сонымен қатар күн элементтерін өндіру барысында кремний бетін пассивтендіруге және антипашыратқыш 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: seitov_b85@mail.ru
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 rector@kbtu.kz
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: rich-famouskair@mail.ru
Бейсенханов Нуржан Бейсенханович, ведущий научный сотрудник Лаборатории нанотехнологий, доктор физ.-мат.наук	Алматы, Толе би 59, 050000 Казахстанско-Британский технический университет	моб.+7-707 7333301 E-mail: beisen@mail.ru
Кенжалиев Багдаулет Кенжалиевич, проректор по инновационной деятельности, заведующий НИИ 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: bagdaulet_k@mail.ru
Бакранова Дина Игоревна, докторант	Алматы, Толе би 59, 050000 Казахстанско-Британский технический университет	моб.+7-777 4973626 E-mail: ldinal3@mail.ru

Поступила 11.09.2015 г.