

D.I. Bakranova¹, S.A. Kukushkin², I.K. Beisembetov¹, A.V. Osipov²,
K.Kh. Nussupov¹, N.B. Beisenkhanov¹, B.K. Kenzhaliev¹, K.A. Mit' ¹

¹Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan

²Institute for Problems of Mechanical Engineering, St. Petersburg, Russia
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, konstantin-mit@yandex.ru

THE STRUCTURE OF SiC EPITAXIAL FILMS, SYNTHESIZED BY SUBSTITUTION OF ATOMS

Abstract. In this paper, using electron diffraction, Raman spectroscopy, atomic force microscopy and ellipsometry the structure, composition, parameters and surface microstructure of the SiC films synthesized through the substitution of atoms in a high-resistivity (111) oriented c-Si in a mixture of gases CO and SiH₄ (395 Pa, 1330°C, 7 min), are studied. It is shown that (111) oriented 3C-SiC films with thickness of 110 nm (series I) and 117 nm (series II) on the (111) oriented Si substrate are epitaxial and do not contain twins on the surface, but contain ~ 6.5% Si vacancies. The surface of the film of series I has indistinctly expressed reconstruction corresponding to (3 × 3) along the [112] direction. The film II has no reconstruction of the surface, but contains pores in the Si volume under film of amount ~50% of the film volume. It was found that the indistinct fragmentation of grains on the surface of SiC films is caused due to short duration of the process (7 min), insufficient for the extrusion of the upper layers by the lower layers. Non-equilibrium conditions of growth in the film II lead to morphological instability of the surface of the SiC layer and the formation of needle-like or whisker crystals. The results can be used in nano- and micro-electronics and in the production of solar cells.

Key words: thin films, silicon carbide, dilatation dipoles, structure, crystallization

Д.И. Бакранова¹, С.А. Кукушкин², И.К. Бейсембетов¹, А.В. Осипов²,
К.Х. Нусупов¹, Н.Б. Бейсенханов¹, Б.К. Кенжалиев¹, К.А. Мить¹

¹Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан

²Институт проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербург, Россия

СТРУКТУРА ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК SiC, СИНТЕЗИРОВАННЫХ МЕТОДОМ ЗАМЕЩЕНИЯ АТОМОВ

Аннотация. В работе методами электронографии, комбинационного рассеяния, атомно-силовой микроскопии и эллипсометрии исследованы структура, состав, параметры и микроструктура поверхности пленок SiC, синтезированных методом замещения атомов в высокоомном c-Si ориентации (111) в смеси газов CO и SiH₄ (395 Па, 1330°C, 7 мин). Показано, что пленки 3C-SiC толщиной 110 нм (серия I) и 117 нм (серия II) ориентации (111) на подложках Si ориентации (111) являются эпитаксиальными и не содержат двойников на поверхности, но содержат ~6,5% вакансий Si. Вдоль направления [112] поверхность пленки I имеет неотчетливо выраженную реконструкцию, соответствующую (3×3). Пленка II не имеет реконструкции

поверхности, но содержит поры в объеме Si под пленкой в количестве ~50% от объема пленки. Установлено, что нечеткая фрагментация зерен на поверхности пленок SiC обусловлена малой длительностью процесса (7 мин), недостаточной для выдавливания верхних слоев нижними слоями. Неравновесные условия роста в пленке II ведут к морфологической неустойчивости поверхности слоя SiC и образованию игольчатых или нитевидных кристаллов. Результаты могут быть использованы в нано- и микроэлектронике, в производстве солнечных элементов.

Ключевые слова: тонкие пленки, карбид кремния, дилатационный диполь, структура, кристаллизация.

Введение

Карбид кремния (SiC) является одним из наиболее перспективных материалов для применения в электронике. Ценные физические и электрические свойства, такие как высокая теплопроводность, высокая твердость, широкая запрещенная зона и высокие величины напряженности электрического поля пробоя обусловили огромный интерес к электронным приборам и сенсорам на основе карбида кремния, предназначенных для использования в условиях высоких температур и радиации [1-4]. Аморфные и кристаллические пленки SiC также находят применение при создании солнечных элементов [5,6].

Значительные несоответствия параметров решетки (~20%) и теплового коэффициента расширения (8%) с подложкой Si делают проблематичным гетероэпитаксиальный рост пленок β -SiC на его поверхности [7-9]. В последнее время находит распространение новый метод синтеза пленок карбида кремния на кремнии [8,9], в основе которого лежит идея замещения части атомов кремния на атомы углерода внутри кремниевой подложки в соответствии с химической реакцией.



При этом в приповерхностной области решетки Si образуются дилатационные диполи ($\text{C}-\text{V}_{\text{Si}}$) в результате взаимодействия между внедренным в межузельную позицию атомом углерода и кремниевой вакансией V_{Si} , образующейся при удалении соседнего атома кремния. Образование упругих диполей ($\text{C}-\text{V}_{\text{Si}}$) дает возможность выращивать эпитаксиальные пленки карбида кремния высокого качества. В процессе завершения химического превращения эти диполи распадаются на пленку карбида кремния и поры [10] под ее поверхностью. Для интенсификации процессов образования SiC и улучшения качества слоя за счет залечивания усадочных пор вместе с газом CO обычно используется силан SiH_4 [8,9].

В данной работе проведено исследование структуры и физических параметров эпитаксиальных пленок SiC, выращенных методом замещения атомов, на поверхности высокоомного монокристаллического кремния n-типа ориентации (111).

Эксперимент

Высококачественные пластины монокристаллического кремния c-Si ориентации (111) n-типа с удельным сопротивлением 1987 – 3165 Ом·см, толщиной 1300 мкм и диаметром 20 мм были использованы в качестве подложек. С каждой стороны пластины кремния были удалены по 100 мкм двухсторонней шлифовкой и последующей полировкой до обретения зеркального блеска. Затем обе серии образцов (I и II) были подвергнуты химическому травлению в смеси кислот в соотношении $\text{HF} : \text{HNO}_3 = 1 : 10$ с удалением по 115 мкм с каждой стороны до толщины 870 мкм, а затем протравлены в щелочном растворе KOH.

Пленки SiC на поверхности пластин кремния были синтезированы по методике [8,9,11] в специальной установке, разработанной авторами работ [9,11], в смеси газов CO и SiH_4 при температуре 1330°C и давлении основного газа CO 395 Па в течение 7 минут. Расход газа CO составлял 12 сссм, а расход газа SiH_4 – 0,25 сссм.

Состав синтезированных пленок анализировался методом комбинационного рассеяния с помощью конфокального рамановского микроскопа (WITec Alpha 300R). Для исследования структуры пленок была использован электронограф ЭМР-100 при энергии электронов 50 кэВ. Для определения физических параметров пленок использован эллипсометр M-2000D J.A. Woollam, позволяющий снимать эллипсометрические спектры в диапазоне 0,7 – 6,5 eV.

Результаты

На рис. 1a, b представлены спектры комбинационного рассеяния пленок серий I и II, соответственно, синтезированных на подложке кремния при температуре 1330 °С и давлении 395 Па. Наблюдаются пики первого и второго порядка при 519,7 и 303,3 см⁻¹, соответственно, поперечных акустических фононов (2ТА) от кристаллической подложки Si [12]. Также наблюдается четкий пик при 971,4 см⁻¹, обусловленный комбинационным рассеянием Si второго порядка [12]. Рисунки нормированы таким образом, что интенсивность пика при 303,3 см⁻¹ составляет 10000 cts. В спектрах пленок I и II наблюдаются широкие пики при 730 – 860 см⁻¹ с центром в ТО моде β-SiC при ~796 см⁻¹ [13], состоящие из двух компонент с максимумами при 792 см⁻¹ и 822 см⁻¹ (рис. 1). В таблице 1 представлены положение, площадь S и амплитуда CCD результирующего пика. Видно, что наибольшие величины площади и амплитуды характерны для пленок серии I. Моду LO в β-SiC на 969 см⁻¹ невозможно определить из-за накладывающегося фона комбинационного рассеяния Si-второго порядка.

Таблица 1 – Площадь S и амплитуда CCD пика SiC в области 795 см⁻¹ в спектре комбинационного рассеяния

Параметр	Пленка SiC № I		Пленка SiC № II	
	Raman Shift, cm ⁻¹	792,4	821,6	792,9
S, отн.ед.	39776		33858	
CCD, cts	1400		960	

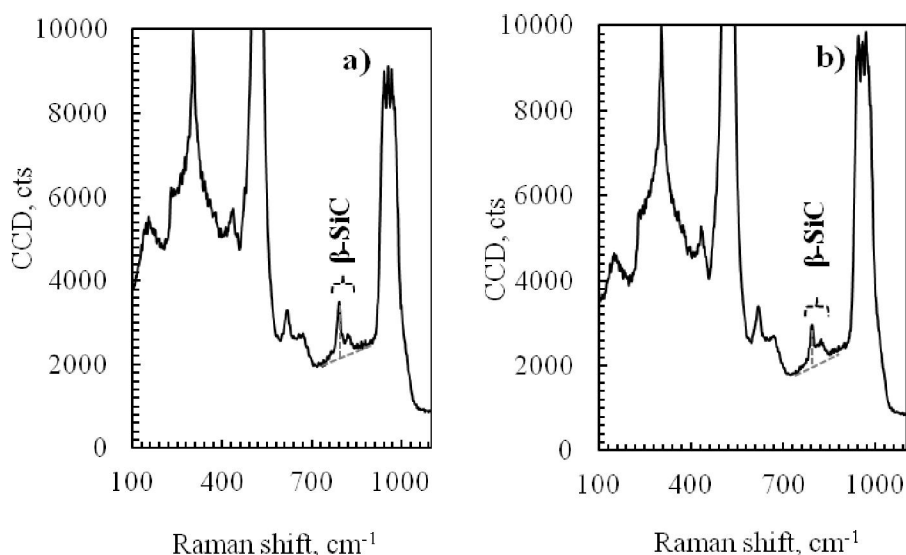


Рисунок 1 – Спектры комбинационного рассеяния кристаллических пленок Si_xC_y на кремниевых подложках (образцы I (a) и II (b)), синтезированных методом замещения атомов в кристаллической решетке кремния

На рис. 2 представлены электронограммы пленок SiC на поверхности образцов серий I и II. Электронограммы получены в двух направлениях азимута, а именно, в направлении [110] и в направлении [112]. Точечные рефлексы на электронограммах свидетельствуют о том, что слой 3C-SiC с ориентацией (111) лежит на поверхности Si образцов серий I и II, и направление [111] этого слоя перпендикулярно поверхности подложки. Видно, что пленки карбида кремния являются эпитаксиальными и не содержат двойников на поверхности.

Также на электронограммах хорошо видно, что вдоль направления [112] поверхность образца серии I имеет неотчетливо выраженную реконструкцию, соответствующую 3×3 вдоль направления [112]. Такая реконструкция наблюдалась в пленках 3C-SiC, выращенных стандартным методом CVD на Si [14] и в пленках SiC, выращенных методом замещения атомов [15]. На образцах серии II подобная реконструкция не наблюдается.

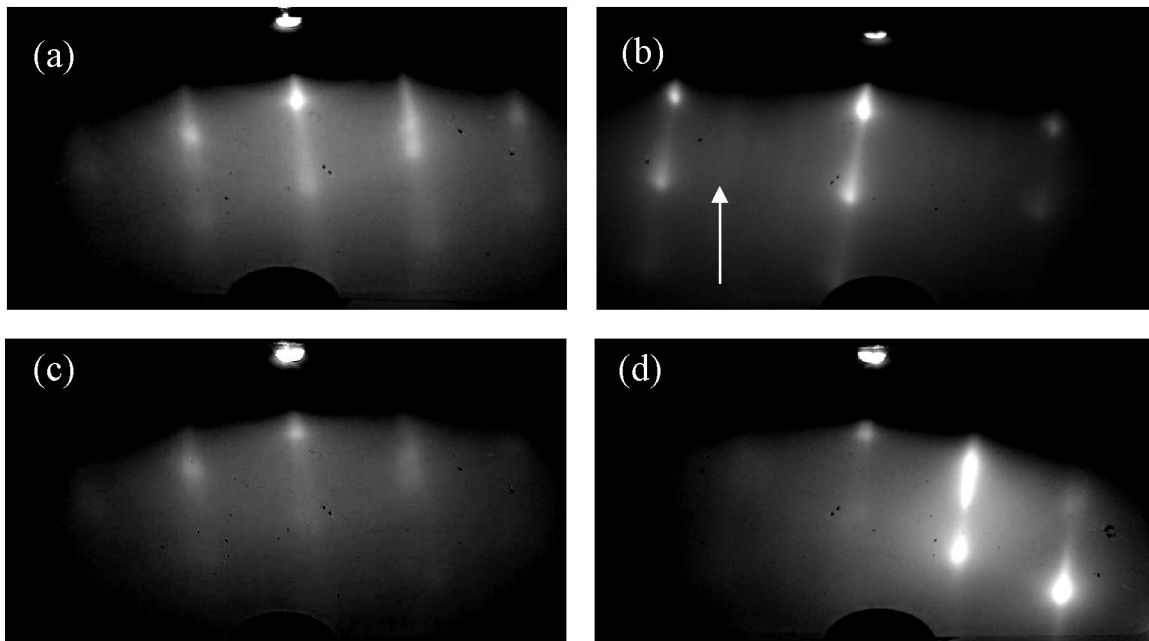


Рисунок 2 – Электронограммы пленки SiC от образцов серии I, снятые в азимутах [110] (a) и [112] (b); серии II, снятые в азимутах [110] (c) и [112] (d)

На рис. 3 а, б приведены зависимости вещественной ϵ_1 и мнимой ϵ_2 частей диэлектрической проницаемости пленок SiC образцов серий I и II, полученные методом эллипсометрии. Анализ эллипсограмм свидетельствует о различиях в параметрах и структуре пленок SiC образцов серий I и II. Согласно эллипсометрическим спектрам толщина пленки карбида кремния серии I приблизительно составляет 110 нм, толщина пленки SiC серии II – 117 нм. Расчеты с использованием эллипсометрической модели [16] показали, что в образцах серий I и II содержится около 6,5% вакансий Si. Однако, образец серии II содержит в объеме Si под слоем пленки около 50% пор от объема самой пленки.

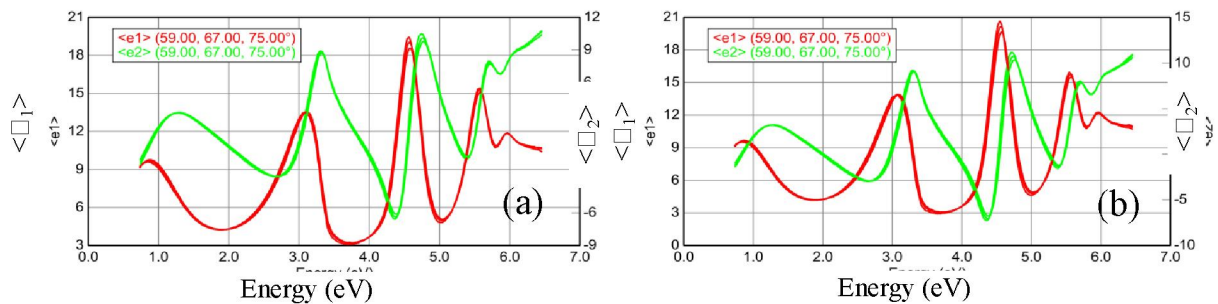


Рисунок 3 – Зависимости вещественной ϵ_1 и мнимой ϵ_2 частей диэлектрической проницаемости пленок SiC/Si(111) от энергии фотонов для образцов серий I (a) и II (b)

Исследования методом атомно-силовой микроскопии микроструктуры поверхности показывают, что пленки SiC серии I (рис.4а) и II (рис.4б) имеют нечеткую фрагментацию зерен на поверхности с вариациями высоты до 46 нм и 19 нм, соответственно. Это может быть обусловлено тем, что при малой длительности процесса (7 мин) залечивание пор усадки уже произошло, а процесс выдавливания верхних слоев нижними слоями еще не завершился [9]. Однако, повышенное давление газов CO и SiH₄ (395 Па) и повышенная температура процесса (1330°C) позволяет предполагать перенасыщение пленок серий I и II атомами углерода и их ускоренный неравновесный рост. Избыток атомов углерода может препятствовать формированию совершенной кристаллической структуры на поверхности пленок карбида кремния [17-19]. Поверхность образца серии II свидетельствует о том, что химическая реакция замещения проходила в условиях далеких

от равновесия. Исходная поверхность Si была “перетравлена” для роста при столь высокой температуре (1330°C). Это ведет к морфологической неустойчивости поверхности растущего слоя SiC и образованию на его поверхности игольчатых или нитевидных кристаллов.

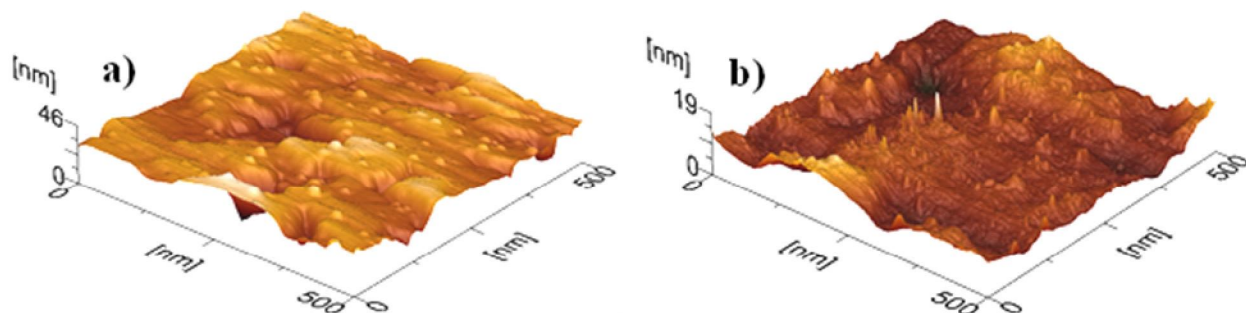


Рисунок 4 – Атомно-силовая микроскопия микроструктуры поверхности пленок SiC серий I (a) и II (b) на участках размерами 500 × 500 нм

Заключение

Синтезированы нанослои SiC на поверхности высокоомных монокристаллических пластин кремния ориентации (111) методом замещения атомов в кристаллической решетке кремния на атомы углерода.

Выявлено формирование кристаллической фазы β -SiC в пленках, синтезированных при температуре 1330°C в смеси газов CO и SiH₄ (395 Па) в течение 7 минут. Пленки 3C-SiC ориентации (111) на подложках Si ориентации (111) являются эпитаксиальными и не содержат двойников на поверхности. Толщины слоев SiC примерно составляют на образце серии I – 110 нм, на образце серии II – 117 нм. В образцах содержится около 6,5% вакансий Si. Имеются различия в структуре пленок SiC образцов серий I и II. Вдоль направления [112] поверхность образца серии I имеет неотчетливо выраженную реконструкцию, соответствующую (3×3). Образец серии II не имеет реконструкции поверхности, но содержит в объеме Si под пленкой около 50% пор от объема пленки.

Показано, что пленки SiC серии I и II имеют нечеткую фрагментацию зерен на поверхности с вариациями высоты до 46 нм и 19 нм, соответственно, что обусловлено малой длительностью процесса (7 мин), недостаточной для выдавливания верхних слоев нижними слоями. Этому способствует избыточное содержание атомов углерода в условиях неравновесного интенсивного синтеза (395 Па, 1330°C) пленок SiC, препятствующее формированию совершенной кристаллической структуры на поверхности. Неравновесные условия роста в образце серии II ведут к морфологической неустойчивости поверхности растущего слоя SiC и образованию на его поверхности игольчатых или нитевидных кристаллов.

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).

ЛИТЕРАТУРА

- [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. 72. 2015. P. 1–60.

- [5] Hamakawa Y. Physics and Applications of Amorphous Silicon Carbide. In: Rahman M.M., Yang C.Y.-W., Harris G.L. (Eds.), *Amorphous and Crystalline Silicon Carbide II*, Springer Proceedings in Physics, 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] Calcagno L., Musumeci P., Roccaforte F., Bongiorno C., Foti G. Crystallisation mechanism of amorphous silicon carbide // *Applied Surface Science*. – 2001. – 184. – P. 123–127.
- [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] Kukushkin S.A., Osipov A.V. A new method for the synthesis of epitaxial layers of silicon carbide on silicon owing to formation of dilatation dipoles // *J. Appl. Phys.* – 2013. – 113 (2) – P. 024909-1-024909-7.
- [11] Kukushkin S.A., Osipov A.V. and Feoktistov N.A. Patent № 2363067, priority 22.01.2008.
- [12] L. Yu, S. Intarasiri, T. Kamwanna, S.Singkarat, In book: Ion beam applications in surface and bulk modification of insulators. Austria, Vienna: IAEA-TECDOC-1607. 2008. P. 63.
- [13] Zorba T., Siapkias D.I. Katsidis C.C. Optical characterization of thin and ultrathin surface and buried cubic SiC layers using FTIR spectroscopy // *Microelectron. Eng.* – 28. – 1995. – P. 229.
- [14] Jorg Pezoldt, Thomas Kups, Thomas Stauden, Bernd Schroter. Polarity determination and control of SiC grown on Si. *Materials Science and Engineering B* 165 (2009) 28–33.
- [15] Benemanskaya G.V., Dementev P.A., Kukushkin S.A., Lapushkin M.N., Osipov A.V., Senkovskiy B., Timoshnev S.N. Photoemission Study of nano SiC Epitaxial layers synthesized by a New method of the Atom Substitution in Si Crystal lattice // *Materials Physics and Mechanics*, 22 (2015) 183-190.
- [16] Kukushkin S.A., Osipov A.V. Determining polytype composition of silicon carbide films by UV ellipsometry // *Technical Physics Letters*. 42(2). – 2016. – P. 175-178
- [17] K.Kh. Nussupov, N.B. Beisenkhanov, S.K. Zharikov, I.K. Beisembetov, B.K. Kenzhaliev, T.K. Akhmetov, and B.Zh. Seitov. Structure and Composition of Silicon Carbide Films Synthesized by Ion Implantation // *Physics of the Solid State*, 2014, Vol. 56, No. 11, pp. 2307–2321.
- [18] 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.
- [19] 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.

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] Calcagno L., Musumeci P., Roccaforte F., Bongiorno C., Foti G. Crystallisation mechanism of amorphous silicon carbide. *Applied Surface Science*, 2001, 184, P. 123–127.
- [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] Kukushkin S.A., Osipov A.V. A new method for the synthesis of epitaxial layers of silicon carbide on silicon owing to formation of dilatation dipoles. *J. Appl. Phys.*, **2013**, 113 (2), P. 024909-1-024909-7.
- [11] Kukushkin S.A., Osipov A.V. and Feoktistov N.A. Patent № 2363067, priority 22.01.2008.
- [12] L. Yu, S. Intarasiri, T. Kamwanna, S.Singkarat, In book: Ion beam applications in surface and bulk modification of insulators. Austria, Vienna: IAEA-TECDOC-1607, **2008**, P. 63.
- [13] Zorba T., Siapkias D.I. Katsidis C.C. Optical characterization of thin and ultrathin surface and buried cubic SiC layers using FTIR spectroscopy. *Microelectron. Eng.*, **1995**, 28, P. 229.
- [14] Jorg Pezoldt, Thomas Kups, Thomas Stauden, Bernd Schroter. Polarity determination and control of SiC grown on Si. *Materials Science and Engineering B*, **2009**, 165, P. 28–33.
- [15] Benemanskaya G.V., Dementev P.A., Kukushkin S.A., Lapushkin M.N., Osipov A.V., Senkovskiy B., Timoshnev S.N. Photoemission Study of nano SiC Epitaxial layers synthesized by a New method of the Atom Substitution in Si Crystal lattice. *Materials Physics and Mechanics*, **2015**, 22, P. 183-190.
- [16] 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

[17] K.Kh. Nussupov, N.B. Beisenkhanov, S.K. Zharikov, I.K. Beisembetov, B.K. Kenzhaliev, T.K. Akhmetov, and B.Zh. Seitov. Structure and Composition of Silicon Carbide Films Synthesized by Ion Implantation. *Physics of the Solid State*, 2014, 56(11), P. 2307–2321.

[18] 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.

[19] 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.

УДК 537.311:322

**Багранова Д.И.¹, Кукушкин С.А.², Бейсембетов И.К.¹,
Осипов А.В.², Нусупов К.Х.¹, Бейсенханов Н.Б.¹, Кенжалиев Б.К.¹, Мить К.А.¹**

¹Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан

²Институт проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербург, Россия

АТОМДАРДЫҢ ОРНЫН БАСУ ӘДІСІМЕН СИНТЕЗДЕЛГЕН ЭПИТАКСИАЛДЫ SiC ҚАБЫРШАҚТАРЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫ

Андатпа. Жұмыста, CO және SiH₄ (395 Па, 1330 °C, 7 мин) газ қоспаларының атмосферасында (111) бағдарлы жоғарыомды c-Si –дегі атомдардың орнын басу әдісімен синтезделген SiC қабыршақ бетінің құрылысы, құрамы, параметрлері және микроқұрылысы электронография, комбинациялық шашырау, атомдық күштік микроскопия және эллипсометрия әдістерімен зерттеледі. Si(111) матрицада синтезделген қалыңдығы 110 нм (I серия) және 117 нм (II серия) 3C-SiC(111) қабыршақ эпитаксиялды және бетінде қосақтар жоқ, бірақ ~ 6.5% кремний вакансияларына ие екендігі көрсетілген. I қабыршақ беті [112] бағыт бойында (3x3) сәйкес келетін айқын көрсетілмеген қайта құрылуға ие. II қабыршақ бетінде қайта құрылу жоқ, бірақ қабыршақ астындағы Si көлемінде қабыршақ көлемінің ~ 50% мөлшеріне тең келетін қуыстарға ие. SiC қабыршақ бетіндегі дәндердің айқын фрагменттелмеуі, процесс уақытының астыңғы қабаттар үстінгі қабаттарды ығыстырып шығаруына жеткіліксіз аз (7 мин) болуына байланысты екендігі орнатылды. II қабыршақтың өсу шартының теле-теңсіздігі, SiC қабаты бетінің морфологиялық орнықсыздығына және ине тәрізді немесе жіп тәрізді кристалдардың құрылуына алып келеді. Жұмыстың нәтижелері нано- және микроэлектроникада, күн элементтерін өндіруде пайдаланылуы мүмкін.

Тірек сөздер: жұқа қабақша, кремний карбиді, дилатационды диполь, құрылым, кристаллдану.