

3. Fernando de-Llano Paz, Susana Iglesias Antelo, Anxo Calvo Silvosa, Isabel Soares The technological and environmental efficiency of the EU-27 power mix: An evaluation based on MPT // Energy. – №69. – 2014. – P. 67-81.
4. Министерство энергетики Российской Федерации. – Электронный ресурс: http://www.minenergo.gov.ru/activity/vie/policy_and_legal_framework/
5. The Concept of Relevant Market and Market Power in the Electricity Sector. – Website: http://www.encharter.org/fileadmin/user_upload/Working_Papers/OP_204_1.pdf
6. Energia y Sociedad, Manual de la Energia: Electricidad. – Website: <http://www.energiaysociedad.es>
7. Коссе I. Реформа ринку електроенергії в Україні. – Электронный ресурс: http://www.ier.com.ua/files/publications/Policy_papers/IER/2012/Policy_Paper_4_final.pdf
8. Joint Declaration of October 30, 2000 of the President of the European Council, J. Chirac, the President of the Commission of the European Communities, R. Prodi, and of the President of the Russian Federation, V. Putin. – Website: http://ec.europa.eu/energy/publications/doc/2011_eurussia_energy_relations.pdf.

Scientific Adviser: Ilya Starodumov, Laboratory of Multi-Scale Mathematical Modelling, Department of Mathematical Physics, Ural Federal University, Office 602, Turgeneva str. 4, Ekaterinburg, Russia, 620075.

СИНТЕЗ ПРОДУКТА СИСТЕМЫ SI-C ПРИ ПЛАЗМЕННОМ ВЫСТРЕЛЕ В СВОБОДНОЕ ПРОСТРАНСТВО

Д.С. Никитин
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПП

Карбид кремния SiC отличает наличие у керамики на его основе сверхтвердости, стойкости к воздействиям высоких температур и химически агрессивной среды и износостойкости [1]. Сегодня карбид кремния является одним из наиболее используемых сверхтвердых конструкционных материалов для нужд абразивной и огнеупорной промышленности, потому интерес к карбиду кремния является стабильно высоким с момента первого его получения в 1893 году [2]. Особое значение в последнее время приобрела проблема синтеза нанодисперсного карбида кремния. Это связано с тем, что вещество в диспергированном состоянии способно, как известно, проявлять уникальные сочетания механических, тепловых, электрических, оптических и других свойств, отличных от вещества в моно- или поликристаллическом состоянии [3].

Для синтеза нанодисперсного карбида кремния успешно применяется технология получения нанопорошков с помощью коаксиального магнетоплазменного ускорителя. Основы применяемой технологии синтеза подробно изложены в работах [4], [5]. Настоящая работа включает в себя эксперименты с истечением плазменного потока в свободное пространство камеры-реактора, в то

время как в прошлых работах для синтеза порошкообразного продукта используется истечение плазмы на медную мишень. Основные энергетические параметры серий экспериментов приведены в таблице 1.

Табл. 1. Энергетические параметры

Энергетические параметры	Номер эксперимента			
	1	2	3	4
$U_{зар}$, кВ	3,5	3,0	2,5	2,0
I_m , кА	129,0	103,0	86,0	74,0
U_m , кВ	1,54	1,4	1,26	0,9
P_m , МВт	186,0	146,0	110,0	62,0
W , кДж	27,8	21,0	18,8	12,0

В процессе проведения экспериментов при плазменном выстреле в свободное пространство были получены порошкообразные продукты синтеза, которые анализировались несколькими методиками.

Продукты анализировались методами рентгеновской дифрактометрии, полученные дифрактограммы приведены на рисунке 1. Полнопрофильный структурно-фазовый анализ рентгеновского дифракционного спектра продукта синтеза приведен в таблице 2. Продукт состоит из четырех кристаллических фаз, соответствующих следующим структурным моделям: кубический карбид кремния β -SiC, SPGR – F-43m {216}; кубический кремния cSi, SPGR – F-43/d-32/m {227}; графит gC, SPGR – P6-3mc {186}; углеродные луковичные структуры C-Onions, SPGR – P6-3mc {186}.

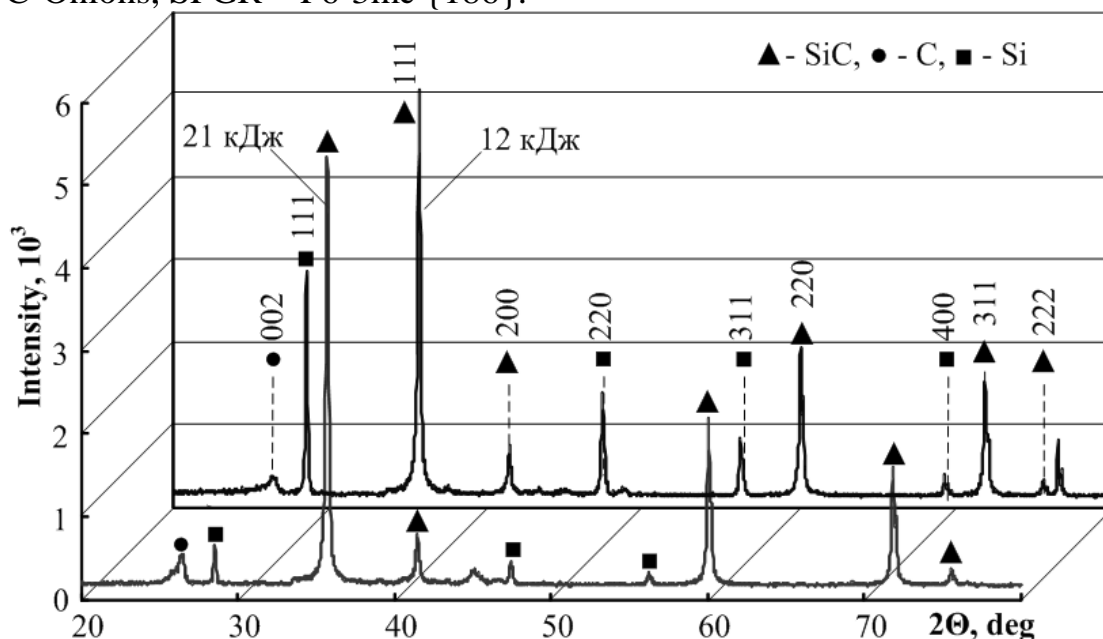


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы продуктов синтеза

Табл. 2. Данные рентгеновской дифрактомерии

Фаза W, кДж		SiC	Si	C
1. 12,0 кДж	Содержание, %	65	19,0	16,6
	ОКР, нм	60	40	20
2. 18,8 кДж	Содержание, %	80	6,6	15,7
	ОКР, нм	60	35	10
3. 21,0 кДж	Содержание, %	95	0,6	6,3
	ОКР, нм	50	40	10
4. 27,8 кДж	Содержание, %	70	4,0	24,5
	ОКР, нм	70	80	10

В целом фазовый состав продуктов, синтезированных при проведении эксперимента с истечением плазменной струи в свободное пространство, аналогичен составу порошков, полученных при плазменных выстрелах на медную преграду [4]. При одинаковых уровнях приложенной к системе энергии имеет место приближенное равенство содержания фазы карбида кремния в продукте синтеза. Однако проявляется другая тенденция в отношении зависимости фазового состава от энергетике процесса синтеза. Содержание фазы карбида кремния достигает своего максимального значения (95 %) в случае энергии 21 кДж, затем происходит снижение содержания карбида кремния до 70 % при уровне энергии 27,8 кДж. Эту закономерность возможно объяснить ростом рТ-параметров с ростом подведенной энергии и увеличенным электроэрозионным износом поверхности углеродного ускорительного канала при наибольшей энергии. Факт загрязнения конечного продукта эродированным углеродом подтверждается расчетными данными таблицы: основной примесью в продукте при энергетике процесса синтеза 27,8 кДж являются чисто углеродные фазы – графит и луковичные структуры, а соотношение между примесными кремнием и углеродом при росте энергии плазменного выстрела явно изменяется в сторону увеличения количества углерода.

Следует отметить незначительное изменение ОКР основной фазы в пределах 20 нм. Это явление связано с формой истечения плазменной струи из ускорительного канала. В случае с проведением плазменного выстрела на медную мишень имело место увеличение Р,t-параметров в индуцированном у медной преграды скачке уплотнения с ростом энергетике процесса и, как следствие, увеличение размеров кристаллитов карбида кремния. При проведении экспериментов с истечением плазменного потока в свободное пространство отсутствует квазистационарный промежуток времени, в который происходит рост кристаллитов, как в случае плазменного выстрела на медную преграду, поэтому примерно одинаковый средний размер кристаллитов, характеризуемый значением ОКР в случае рентгенофазового анализа, при росте энергетике процесса вполне закономерен.

Результаты исследования продуктов синтеза методами рентгеновской дифрактометрии подтверждаются и дополняются результатами анализа методами просвечивающей электронной микроскопии. На рисунке 2 изображен ти-

пичный светлопольный ТЕМ-снимок скопления частиц, характерный для экспериментов, проводимых при плазменном выстреле в свободное пространство.

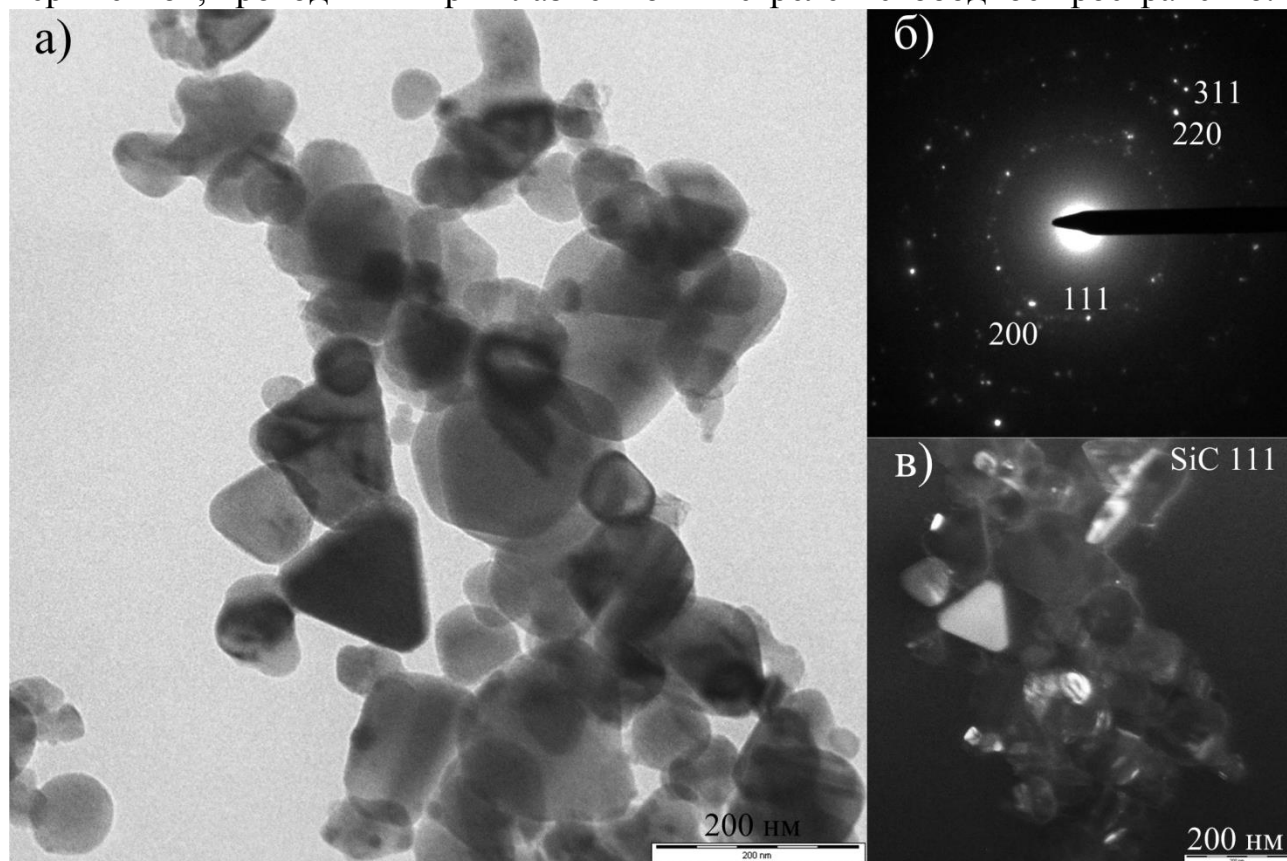


Рис. 2. Данные просвечивающей микроскопии продукта

Общий морфологический состав продукта синтеза остался прежним: в продукте доминируют кристаллографически оформленные частицы размерами до нескольких сотен нанометров, принадлежащие фазе карбида кремния. Характерные частицы треугольной формы присутствуют на рисунке 2,а в значительном количестве. На картине электронной дифракции (рисунок 2,б) наиболее явными являются Дебаевские кольца, соответствующие фазе карбида кремния кубической сингонии, что доказывает преимущественное содержание в продукте этой фазы. При сдвиге апертурной диафрагмы в сторону рефлексов, соответствующих кубической фазе карбида кремния, на темнопольном ТЕМ-снимке (рисунок 2,в) засвечиваются отражающие плоскости частиц преимущественного типа. Следует также заметить, что в продукте практически отсутствуют частицы, которые возможно было бы отнести к фазам примесей, на картине электронной дифракции также отсутствуют соответствующие рефлексы.

Таким образом, при проведении экспериментов с истечением плазменного потока в свободное пространство были синтезированы образцы порошкообразных продуктов с высоким содержанием в продукте фазы карбида кремния кубической сингонии. С изменением энергетике процесса синтеза были замечены изменения фазового состава, зависимости дисперсности синтезированных продуктов от значения подведенной к системе энергии выявить не удалось, что позволяет использовать такую геометрию истечения плазменного потока для управления фазовым составом продукта без регулирования его дисперсности.

ЛИТУРАТУРА:

1. Weimer, A. W. Carbide, nitride, and boride materials synthesis and processing. – London: Chapman & Hall, 1997. – 115 p.
2. Андриевский Р.А. Наноструктурные материалы: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Р.А. Андриевский, А.В. Рагуля. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 192 с.
3. A. A. Sivkov, D. S. Nikitin, A. Ya. Pak, and I. A. Rakhmatullin. Direct Plasmadynamic Synthesis of Ultradisperse Silicon Carbide // Technical Physics Letters. – 2013. – Vol. 39, No. 1. – P. 105-107.
4. A. A. Sivkov, D. S. Nikitin, A. Ya. Pak, and I. A. Rakhmatullin. Influence of Plasmodynamic Synthesis Energy in Si–C System on the Product Phase Composition and Dispersion // Nanotechnologies in Russia. – 2015. – Vol. 10, No. 1-2. – P. 34-41.

Научный руководитель: А.А. Сивков, д.т.н., с.н.с., профессор, каф. ЭПП ЭНИН ТПУ.

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ АЗИМУТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ ДЛЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ

Е.Ж. Сарсикеев, А.Ж. Сембиев

Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина

Внедрение автономных солнечных электростанций в сельской местности Казахстана осуществляется сравнительно очень медленными темпами. Специализированные компании и предприятия, предоставляющие услуги в сфере монтажа автономных систем электроснабжения, в настоящее время недостаточно активно осуществляют внедрение солнечных электростанций в сельской местности. Услуги проектных организаций имеют большую цену и в большинстве случаев недоступны сельским жителям [1]. Важным сдерживающим фактором является недостаточная эффективность солнечных электростанций, вызванная отсутствием автоматической ориентации солнечных панелей по солнцу [2].

Восприятие солнечной энергии панелями различной ориентации на широте местности 50° достаточно подробно рассмотрено в работе [3]. Эти данные важны для обоснования выбора варианта управления ориентацией панелей (рисунок 1).