

**ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ КАРБИДА КРЕМНИЯ  
ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИМ СИНТЕЗОМ В СИСТЕМЕ SI-C-N-O**

*А.Р.НАСЫРБАЕВ, С.О.ПОГОРЕЛОВА*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: arn1@tpu.ru

Одними из материалов, которые удовлетворяют многим потребностям современного производства, являются карбиды и нитриды кремния. Высокая тугоплавкость, химическая стойкость и высокая твердость, позволяют использовать карбид и нитрид кремния при производстве абразивных материалов [1]. Замечательные тепловые свойства, в совокупности с высокими показателями твердости и прочности, позволяют использовать SiC и Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> при производстве высокопрочной керамики [2].

Особое значение в последнее время приобрела проблема синтеза нанодисперсных материалов. Это связано с тем, что вещество в наноразмерном состоянии способно проявлять уникальные сочетания механических, тепловых, электрических, оптических и других свойств, отличных от аналогичных крупнозернистых образцов [3]. Еще одним важным развивающимся направлением является синтез тройных систем. Например, в системе Si-C-N возможно получение карбонитрида кремния, сочетающего в себе свойства карбида и нитрида кремния [4].

В настоящее время существует много способов производства нанопорошков, но они неэффективны из-за ряда факторов: высокая стоимость используемых прекурсоров, большие издержки производства и др. В работе применяется метод прямого динамического синтеза в гиперскоростной струе кремний-углеродной электроразрядной плазмы. Генерация плазменного потока осуществляется посредством коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ) с графитовыми электродами.

В настоящей работе проведены экспериментальные исследования влияния внешней газообразной среды на структурно-фазовый состав нанокристаллического SiC. Были проведены 4 серии экспериментов с различной газовой средой камеры-реактора: 1 – аргон; 2 – воздух; 3 – азот; 4 – аргон и воздух.

В процессе проведения экспериментов были получены порошкообразные продукты, которые анализировались несколькими методиками. Методом рентгеновской дифрактометрии были получены дифрактограммы, приведенные на рисунке 1. Продукт, полученный в воздушной атмосфере, состоит лишь из одной фазы – оксида кремния, который на рентгенограмме дает один аморфный рефлекс. Несколько иная картина получена в экспериментах со смесью воздуха и аргона: продукт включает в себя, помимо преимущественного оксида кремния, фазы кубического карбида кремния β-SiC и кубического кремния. При этом продукт, полученный в инертной среде, отличается высоким содержанием искомой фазы кубического карбида кремния (свыше 90 %, согласно полнопрофильному анализу). При истечении в азотную среду дифрактограмма продукта схожа с атмосферой аргона, однако наблюдается появление пиков интенсивности, принадлежащих гексагональной фазе нитрида кремния.

Результаты рентгеноструктурного анализа подтверждаются результатами просвечивающей электронной микроскопии. На рисунке 2-а изображено скопление частиц продукта, полученного при истечении плазменной струи в воздушную атмосферу. В этом случае образуются лишь частицы оксида кремния, имеющие характерную для аморфного материала сферическую форму. При истечении плазменного потока в смесь воздуха и аргона, помимо сферических частиц диоксида кремния, которые становятся более дисперсными, имеются частицы карбида кремния. Микроснимки, полученные в аргоновой и азотной атмосферах, схожи по морфологии. Частицы кубической фазы карбида кремния принимают формы многоугольников с усеченными вершинами. Интересен факт того, что в азотной атмосфере образуются частицы с сильно искаженной структурой (рисунок 2-б), что может говорить о внедрении атомов азота в кристаллическую решетку карбида кремния [5].

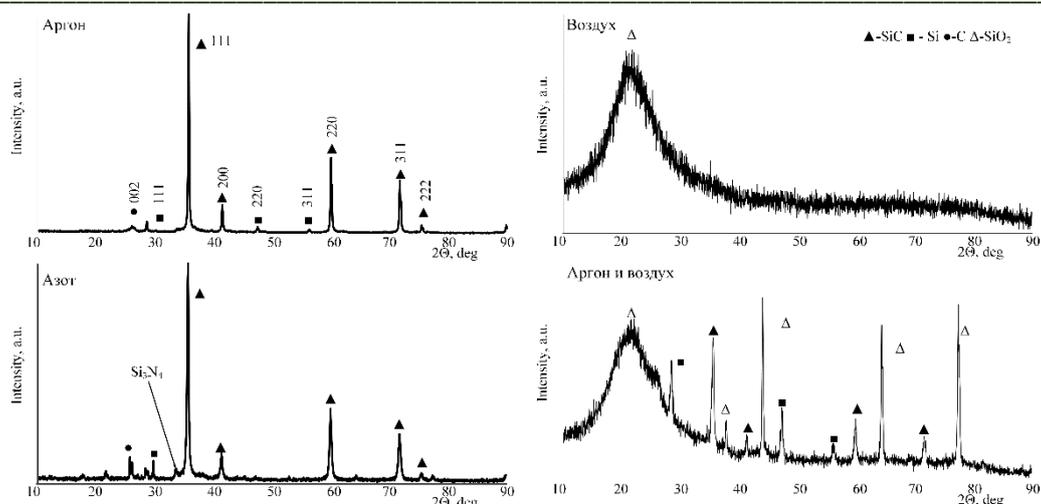


Рисунок 1 – Рентгеновские дифрактограммы продукта синтеза при истечении в газовую среду: а – аргон; б – воздух; в – азот; г – аргон и воздух

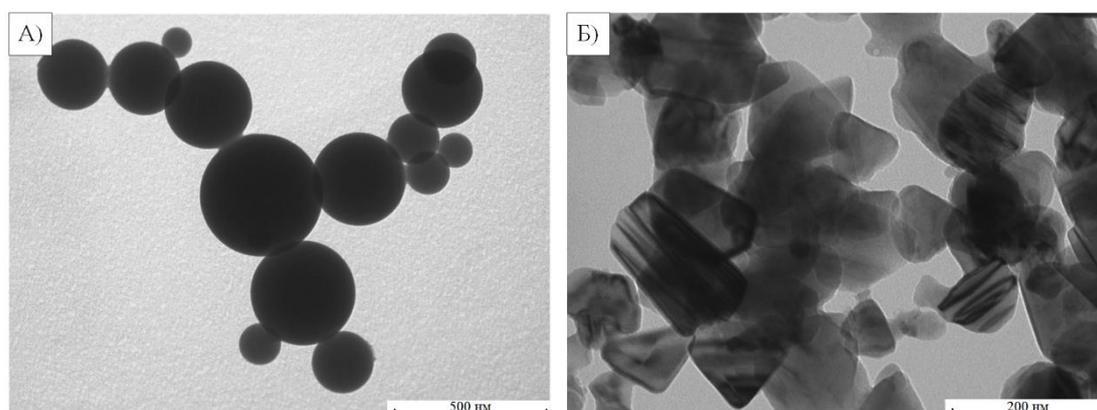


Рисунок 2 – Результаты просвечивающей микроскопии продуктов при истечении в газовую среду: а – воздух; б – азот

Результатом работы стало исследование возможности синтеза продуктов системы Si-C-N-O методом прямого плаздинамического синтеза. Получены нанодисперсные порошкообразные продукты, содержащие фазу  $\beta$ -SiC. Была изучена возможность синтеза частиц тройной системы Si-C-N в азотной атмосфере камеры-реактора. Выявлено, что при истечении плазменного потока в воздушную атмосферу камеры реактора происходит окисление прекурсорных фаз углерода и кремния.

#### Список литературы

1. Vocanegra-Bernal M.H., Matovic B. Mechanical properties of silicon nitride-based ceramics and its use in structural applications at high temperatures //Materials Science and Engineering: A. – 2010. – Т. 527. – №. 6. – С. 1314-1338.
2. Андриевский Р.А. Наноразмерный карбид кремния: синтез, структура, свойства //Успехи химии. – 2009. – Т. 78. – №. 9. – С. 889-900.
3. Klabunde K. J. Introduction to nanotechnology //Nanoscale Materials in Chemistry. – 2001. – С. 1-13.
4. Yin X. et al. Electromagnetic properties of Si-C-N based ceramics and composites //International Materials Reviews. – 2014. – Т. 59. – №. 6. – С. 326-355.
5. Li Q., Yin X., Feng L. Dielectric properties of Si3N4-SiCN composite ceramics in X-band //Ceramics International. – 2012. – Т. 38. – №. 7. – С. 6015-6020.