

## **ВОЗМОЖНОСТЬ РЕГУЛИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОДИСПЕРСНОГО ПОРОШКА КАРБИДА КРЕМНИЯ В ПРОЦЕССЕ ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА.**

*Д.С. Никитин, магистрант гр. 5АМ2Е*

*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,*

*тел.8-913-813-64-06*

*E-mail: dima\_n@sibmail.com*

История использования карбида кремния в промышленности начинается с применения его механических характеристик. Впервые SiC был получен в графитовой электропечи Ачесона посредством высокотемпературного отжига продукта и пропускания сквозь порошкообразные прекурсоры (песок и какой-либо углеродный продукт) [1]. Полученный материал нашел широкое применение в обрабатывающей промышленности: для создания высококачественного и архиострого лезвийного, режущего, абразивного инструмента. В дальнейшем начали создаваться функциональные керамические изделия из карбида кремния, имеющие высокие механические (износостойкость, сверхтвердость), тепловые (высокая устойчивость к воздействию высоких температур, низкий коэффициент теплового расширения, высокая температура плавления, жаропрочность), химические (коррозионная стойкость), радиационные (устойчивость к радиационному излучению) [2, 3, 4]. Это обусловило широкое применение карбида кремния в промышленности и технике – в двигателестроении, химической промышленности и металлургии, машиностроении, атомной промышленности и др. Особенного внимания заслуживает научно-техническое направление, связанное с применением полупроводниковых свойств SiC и созданием устройств электроники, в особенности силовой и высокочастотной, устойчивой к внешним воздействиям [5].

Следует отметить, что одним из наиболее перспективных направлений научной мысли сегодня является применение нанотехнологий. При наноструктурном подходе используются возможности различных нанотехнологий для создания наноструктуры, характеризующейся малыми размерами (от 1-2 до ~100 нм) основных структурных составляющих (зерен, фазовых включений, слоев и пор). Причина актуальности вопроса состоит в том, что наноструктурный подход обеспечивает получение разнообразных конструкционных и функциональных материалов с высоким уровнем физико-химических и физико-механических характеристик [6]. Получение наноразмерных образований карбида кремния также является, судя по отечественным и зарубежным научным публикациям, весьма обсуждаемой проблемой, активно развиваются методы синтеза нано-карбида кремния [7].

Одним из путей получения нанопорошков карбида кремния является специфическая импульсная плазменная установка – коаксиальный магнитоплазменный ускоритель [8]. Такой метод синтеза получил название плазмодинамический [8]. В основе метода лежит проведение синтеза в гиперсверхзвуковой струе углерод-кремниевой электроразрядной плазмы. В качестве прекурсоров использовались микронные порошки кремния и углерода в виде сажи. Синтез происходил в условиях действия сверхвысоких энергетических параметров в

скачке уплотнения плазменного потока, что обуславливает создание высокоэнергетических связей Si-C.

В настоящей работе используются данные, относящиеся к двум опытам. Магнитоплазменный ускоритель получал электропитание от емкостного накопителя энергии с емкостью конденсаторных батарей 6 мФ и зарядным напряжением 3 кВ. Таким образом, накопленная энергия составляла 27 кДж. В опытах изменялось только соотношение прекурсоров Si/C – от 2,5/1 в первом опыте к 3,0/1 во втором. Выделенная энергия, судя по осциллограммам, составляла около 19 кДж.

После проведения экспериментов со стенок камеры-реактора был собран ультрадисперсный порошкообразный продукт, который без какой-либо предварительной обработки анализировался методами просвечивающей электронной микроскопии. На рисунке 1 приведены результаты исследования продукта, полученного в первом опыте средствами ТЕМ. На рисунке 1,а приведен светлопольный микроснимок, на котором видно, что продукт преимущественно состоит из многогранных кристаллов размерами в несколько сотен нанометров. На картине электронной дифракции SAED, изображенной на рисунке 1,б, заметны максимумы интенсивности, соответствующие монокристаллам кубического карбида кремния. На рисунке 1,с изображен темнопольный ТЕМ-снимок, котором светятся отражающие плоскости доминирующих в продукте кристаллографически оформленных частиц, соответствующих фазе кубического карбида кремния. Следует также отметить, что оставшуюся в продукте фракцию составляют мелкие неопределенной формы частицы размерами до десятков нм.

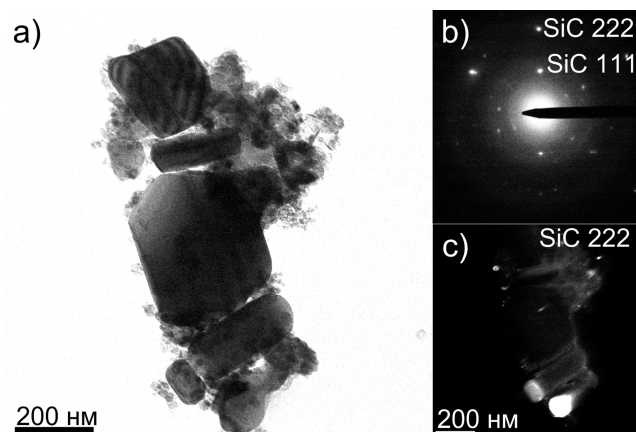


Рис. 1. Микроснимки ТЕМ, полученные для первого эксперимента

На рисунке 2 приведены для сравнения микроснимки, полученные для продукта второго опыта. Аналогично доминирующей в продукте фракцией является карбид кремния в виде монокристаллов многогранной формы (рисунок 2,а); на картине дифракции SAED также видны отчетливые дифракционные кольца, соответствующие SiC. Однако в продукте практически отсутствуют частицы неопределенной формы, о наличии которых говорилось в прошлом эксперименте. При этом появились более крупные округлые частицы, соотносящиеся с фазой кубического кремния, о чем говорит SAED и темнопольные изображения. Таким образом, по совокупности приведенных микроснимков можно сделать вывод, что в продукте значительно увеличилось количество кремния. Содержание же чисто

углеродных фаз, которым соответствовала мелкая фракция, обнаруженная в первом опыте, уменьшилось.

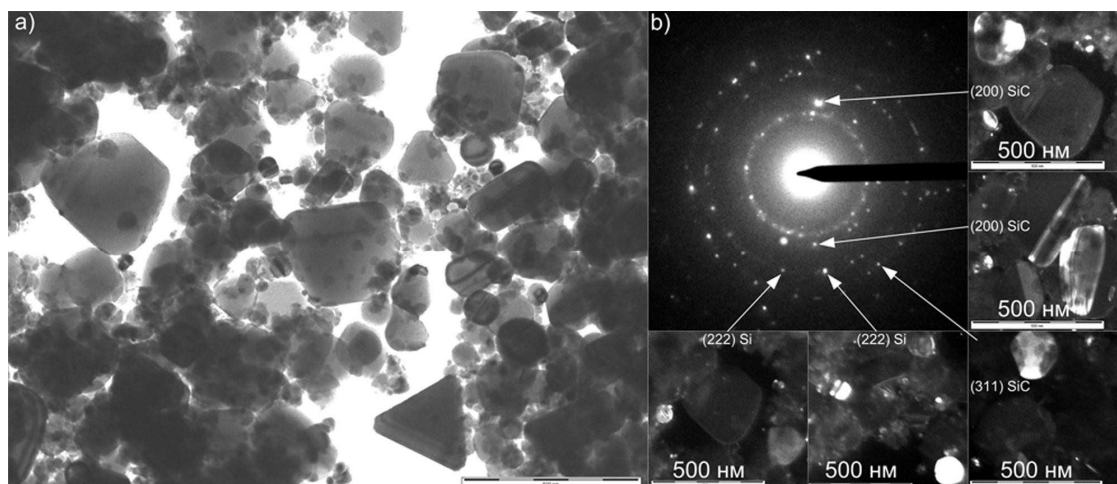


Рис. 2. Микроснимки ТЕМ, полученные для второго эксперимента

Таким образом, в работе приведены данные о получении кубической фазы ультрадисперсного карбида кремния плазгодинамическим способом. Выявлена возможность управления фазовым составом продукта посредством изменения соотношения прекурсоров.

#### Список литературы:

1. Пат. 492 767 США. Production of artificial crystalline carbonaceous material / Acheson, G. – 1893.
2. Narushima T., Goto T., Hirai T. and Iguchi Y. High-Temperature Oxidation of Silicon Carbide and Silicon Nitride // Materials Transactions, JIM. - 1997. - V.38, №.10. - P. 821-835.
3. Wesch W. Silicon carbide: synthesis and processing // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. - 1996. - V.116. - P. 305-321.
4. Silicon Carbide: Synthesis and Properties / Edited by Rosario Gerhardt. – USA: InTech, 2011. – 546 p.
5. Лучинин В., Таиров Ю. Карбид кремния – алмазоподобный материал с управляемыми нано-структурно-зависимыми свойствами // Наноиндустрия. – 2010. – Вып. 1. – С. 36-39.
6. Андриевский Р.А.. Основы наноструктурного материаловедения. Возможности и проблемы. - М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2012. – 252 с.
7. Andrievski R.A. Synthesis, structure and properties of nanosized silicon carbide // Reviews on advanced materials science. – 2009. – V.22. – P. 1-20.
8. Сивков А.А., Никитин Д.С., Пак А.Я., Рахматуллин И.А. Прямой плазгодинамический синтез ультрадисперсного карбида кремния // Письма в ЖТФ. – 2013. – Том 39, вып. 2. – С. 15-20.