

ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В СИСТЕМЕ Si-B-C ПРИ ПОМОЩИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЛАЗМЫ

П.О. Братчикова

Научный руководитель: доцент, к. т. н. А.Я. Пак
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
E-mail: bratchikova.polina96@gmail.com

В системе кремний – бор – углерод (Si-B-C) возможно образование ряда тугоплавких двойных соединений, таких как карбиды бора, карбиды кремния, бориды кремния и тройных кристаллических фаз $Si_xB_yC_z$ [1].

Значительный интерес представляют собой карбиды кремния, в частности, кубическая модификация, которая обладает свойствами сверхтвердого материала, коррозионной радиационной стойкостью, является полупроводником в широком диапазоне температур [2, 3]. Известные свойства карбида кремния определяют его перспективное применение в области создания устройств и приборов силовой электроники [4]. Кроме того, материалы на основе карбида кремния в виде волокон микро- и нано-размерного диапазона представляют интерес в качестве армирующих материалов.

Не менее важным материалом в науке и технике являются карбиды бора. Карбид бора (B_4C , $B_{13}C_2$) является одним из наиболее твердых веществ в мире после алмаза и кубического нитрида бора [5]. Карбид бора благодаря низкой плотности, высоким показателям твердости, упругих свойств, высокой температуре плавления, химической инертности, а также специфическим ядерным и электрическим характеристикам активно применяются для создания броневого радиационно-стойких материалов [6]. Объемы промышленного производства карбидов бора в несколько раз меньше производства карбида кремния ввиду отсутствия простого, дешевого, высокопроизводительного метода его получения [7].

Несколько кристаллических модификаций боридов кремния были получены более 100 лет назад [8]. Бориды кремния используются при производстве износостойкой керамики [9].

Интерес представляют и материалы на основе нескольких, обозначенных выше кристаллических фаз, таких, например, B_4C -SiC [10, 11].

В соответствии с приведенными выше данными литературного обзора, синтез порошковых материалов в системе Si-B-C представляется актуальной задачей.

В настоящей работе представлены сведения о попытке получения кристаллических фаз системы Si-B-C, образующихся при обработке порошковой смеси кремния и бора электродуговой плазмой, генерируемой дугой постоянного тока на графитовых электродах. Эксперимент проводился при силе тока 160 А и напряжении на дуговом разряде около 35 В. Обработка исходного порошка (смесь бора 59% масс, и кремния 41% масс) проводилась в течение 10 секунд. Полученный порошок анализировался методом рентгеновской дифрактометрии (XRD) на дифрактометре (Shimadzu XRD 7000s, $\lambda = 1,54060 \text{ \AA}$). Анализ рентгеновской дифрактограммы проводился при помощи программного комплекса PowderCell 2.4 и базы структурных данных PDF4+ (подбор эталонной картины дифракции).

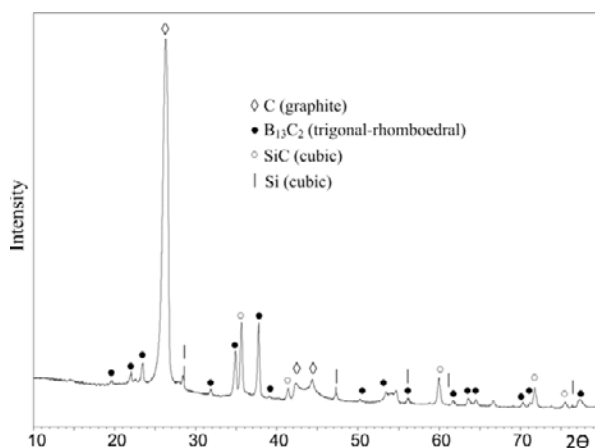


Рис. 1. Рентгеновская дифрактограмма порошкового продукта

Картина рентгеновской дифракции приведена на рисунке 1. Ее характер позволяет судить о наличии в продукте нескольких кристаллических фаз. Качественный рентгенофазовый анализ позволил идентифицировать основные 4 кристаллические фазы: графит C (graphite), кубическая фаза кремния Si (cubic), кубический карбид кремния SiC (cubic) и тригонально-ромбоэдрический карбид бора $B_{13}C_2$ (trigonal-rhomboedral). Количественный рентгенофазовый анализ позволяет судить о том, что содержание фазы карбида

бора составляет около 30% (масс), содержание фазы карбида кремния до 10% масс. Основную часть продукта составляет фаза графита (до 59% масс), вероятно, являющаяся продуктом электрической эрозии графитовых электродов электродуговой системы. Содержание кубической фазы кремния, являющейся исходным реагентом, составляет не более 1% масс.

В настоящей работе была успешно синтезирована порошковая смесь карбида кремния и карбида бора, потенциально, имеющая перспективы применения для создания сверхтвердой керамики. Дальнейшие исследования будут проводиться с целью минимизации содержания графита и повышения выхода карбида бора и карбида кремния.

Авторы благодарят ассистента каф. ОФ ФТИ ТПУ за съемку образца на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD 7000s (CuK α).

Список литературы

2. Niemyski T., Appenheimer S., Panczyk J. et al. Vapor phase crystallization of B-Si-C phase // Journal of Crystal Growth. – 1969. – № 5. – P. 401–404.
3. Andrievski R.A. Nano-sized silicon carbide: synthesis, structure, properties // Institute of Problems of Chemical Physics, RAS. – Moscow, 2009.
4. Advances in silicon carbide processing and applications / S.E. Saddow, A. Agarwal (eds.). – Boston : Arrech House, 2004.
5. Ibrahim A., Ousten J.P., Lallemand R. et al. Power cycling issues and challenges of SiC-MOSFET power modules in high temperature conditions // Microelectronics Reliability. – 2016. – №58. – P. 204–210.
6. Foroughi P., Cheng Z. Understanding the morphological variation in the formation of B₄C via carbothermal reduction reaction // Ceramics International. – 2016. – No. 42. – P. 15189–15198.
7. Андриевский Р.А. Микро- и наноразмерный карбид бора: синтез, структура и свойства // Успехи химии. – 2012. – Т. 81, № 6. – С. 549–559.
8. Thevenot F. Boron carbide – a comprehensive review // Journal of the European Ceramic Society. – 1990. – No. 6. – P. 205–225.
9. Vlasse M., Slack G.A., Garbaskas M. et al. The crystal structure of SiB₆ // Journal of Solid State Chemistry. – 1986. – No. 63. – P. 31–45.
10. Murakami T., Inui H. Friction and wear properties of α -AlB₁₂- and SiB₆-based ceramics in water // Tribology International. – 2014. – No. 74. – P. 38–45.
11. Zhang Z., Du X., Wang J. et al. Synthesis and structural evolution of B₄C–SiC nanocomposite powders by mechanochemical processing and subsequent heat treatment // Powder Technology. – 2014. – No. 6. – P. 131–136.
12. Sahani P., Karak S.K., Mishra B. et al. Effect of Al addition on SiC–B₄C cermet prepared by pressureless sintering and spark plasma sintering methods // Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2016. – No. 57. – P. 31–41.