

УДК 661.665.1:539.25:536.21

**В. Г. Кулич¹, І. П. Фесенко^{1,*}, М. О. Ковтюх¹, В. М. Ткач¹,
О. М. Кайдаш¹, Є. Ф. Кузьменко¹, В. І. Часник²,
В. В. Івженко¹**

¹Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля

НАН України, м. Київ, Україна

²ДП НДІ ОРІОН, м. Київ, Україна

*igorfesenko@ukr.net

Мікроструктура та теплопровідність реакційноспеченого SiC

Визначено теплопровідність щільної структури реакційноспеченого карбїду кремнію – керамічного матеріалу, одержаного просоченням каркасу SiC кремнієм з подальшою карбїдизацією рідкої фази. Одержаний SiC-матеріал має теплопровідність 177 Вт/(м·К), що складає 36 % від теоретично передбаченого значення.

Ключові слова: карбїд кремнію, інфільтрація кремнієм, мікроструктура, теплопровідність.

Інтерес до реакційноспечених матеріалів на основі алмазу та висококовалентних тугоплавких сполук пояснюється рядом властивостей, яких набувають матеріали, одержані за цією технологією. Зокрема, вони мають високі механічні [1] і теплофізичні властивості [2, 3]. Крім того, ця технологія дозволяє створювати деталі великих розмірів. Для високоточної обробки одержаних деталей, зокрема на основі карбїду кремнію (SiC), користуються технологіями шліфування та полірування із застосуванням, наприклад, апарату квантової механіки для оптимізації взаємодії в системі оброблювана деталь–абразив–охолоджуюча рідина–шлам з врахуванням теплопровідних властивостей компонентів даної системи [4]. Крім того, увага дослідників до реальних теплофізичних властивостей монофазного SiC-матеріалу викликана інтенсивними дослідженнями композиційних матеріалів двофазної системи AlN–SiC [5].

В цій роботі повідомлено про мікроструктурні особливості та виміряні значення коефіцієнта теплопровідності керамічного SiC-матеріалу, одержаного реакційним спіканням. Як вихідні використовували порошки SiC: 70 % (за масою) зі середнім розміром 50 мкм та 30 % (за масою) зі середнім розміром 3 мкм. Типову мікроструктуру порошку SiC представлено на рис. 1.

© В. Г. КУЛИЧ, І. П. ФЕСЕНКО, М. О. КОВТЮХ, В. М. ТКАЧ, О. М. КАЙДАШ, Є. Ф. КУЗЬМЕНКО, В. І. ЧАСНИК,
В. В. ІВЖЕНКО, 2023

В процесі реакційного спікання одержано зразки зі щільною структурою первинних зерен SiC та вторинним SiC, утвореним з вуглецю в процесі силіціювання під час взаємодії з рідким кремнієм. Детальніше ця технологія описана в [6]. Мікроструктура одержаних зразків SiC – це є наскрізна структура великих зерен SiC з міжзеренними об'ємами, заповненими дрібнішими зернами SiC, які синтезовані в результаті реакційного спікання (рис. 2).

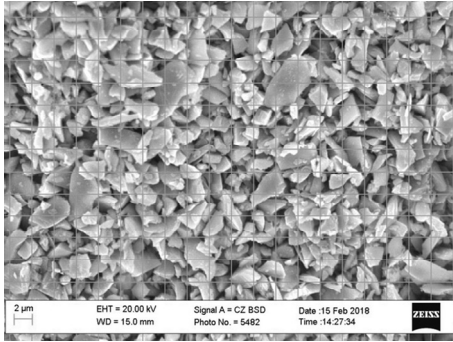


Рис. 1. Вихідний порошок SiC зі середнім розміром частинок 3 мкм.

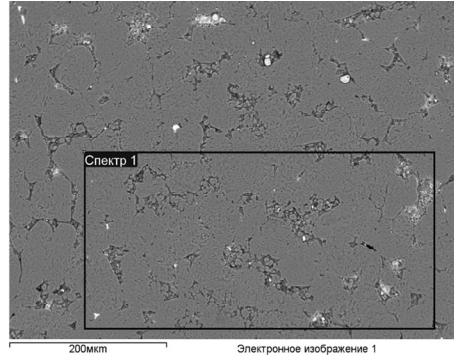


Рис. 2. Мікроструктура зразків реакційноспеченого SiC (шліф). Мікрорентгеноспектральний аналіз по виділеній площі (Спектр 1) показав присутність менше 2 % (за масою) домішкового кисню.

Теплопровідність керамічних зразків реакційноспеченого SiC визначали за кімнатної температури нестационарним методом за допомогою пристрою для вимірювання коефіцієнта теплопровідності високотеплопровідних матеріалів ИТ-3 МХТИ [7]. Принцип дії пристрою ґрунтується на імпульсному (10–30 с) нагріванні зразка з наступним охолодженням його до початкової температури. Зразки SiC для вимірювання теплопровідності мали форму пластин розміром 15×20 мм і товщиною 1 мм з плоскопаралельними поверхнями, які отримали шліфуванням кругами на зв'язаному абразиві.

Вимірювання показали, що середнє значення коефіцієнта теплопровідності для реакційноспеченого керамічного матеріалу на основі SiC рівна 177 Вт/(м·К). Оскільки за теоретичною оцінкою [8] теплопровідність монокристалів алмазоподібних сполук за кімнатної температури для SiC дорівнює 490 Вт/(м·К) [8], то виміряне значення коефіцієнта теплопровідності одержаного реакційноспеченого композита на основі SiC складає 177 Вт/(м·К), що рівне 36 % від теоретичного значення. Для порівняння, реакційноспечений композит на основі алмазу має теплопровідність 600 Вт/(м·К), що складає 30 % від теоретично розрахованого значення 2000 Вт/(м·К) [3].

Отже, структуроутворення в результаті реакційного спікання SiC за рахунок досягнення високощільної структури і низького рівня домішок дозволяє реалізувати відносно високу потенційну теплопровідність цієї надтвердої сполуки.

V. G. Kulych¹, I. P. Fesenko¹, M. O. Kovtiukh¹, V. M. Tkach¹,
O. M. Kaidash¹, Ye. F. Kuzmenko¹, V. I. Chasnyk², V. V. Ivzhenko¹

¹Bakul Institute for Superhard Materials,
National Academy of Sciences of Ukraine

²State Enterprise RDI ORION

Microstructure and thermal conductivity of silicon infiltrated
SiC-material

Thermal conductivity of dense silicon infiltrated SiC – prepared by infiltration of SiC green body with silicon and carbidasation of the liquid phase – was measured to be equal to 177 W/(m·K), that makes 36 % of the theoretically estimated value.

Keywords: silicon carbide, silicon infiltrated, microstructure, thermal conductivity.

1. Xiao Chen, Jie In, Xuejian Liu, Bingbing Pei, Jian Huang, Xinglin Peng, Aidong Xia, Longzhi Huang, Zhengren Huang. Effect of laser power on mechanical properties of SiC composites rapidly fabricated by selective laser sintering and direct liquid silicon infiltration. *Ceram. Int.* 2022. Vol. 48. P. 19123–19131.
2. Podoba A.P., Golubiak L.S., Kulich V.G., Ositinskaya T.D. Microstructure and certain physico-mechanical properties of ceramics from silicon carbide. *Sov. J. Superhard Mater.* 1988. no. 6. P. 22–25.
3. Herrmann M. Microstructure and properties of silicon infiltrated diamond-SiC composites. *VIIIth Intern. Samsonov Conf. "Materials Science of Refractory Compounds" (MSRC–2022)* 24–27 May 2022. Kyiv, Ukraine. P. 3.
4. Filatov Yu.D., Sidorko V.I., Boyarintsev A.Y., Kovalev S.V., Kovalev V.A. Transfer energy in the interaction of an optical surface with a polishing disperse system. *J. Superhard Mater.* 2022. Vol. 44, no. 2. P. 117–126.
5. Гетьман О.И., Коблянський Ю.В., Зависляк І.В., Хао Ван, Жун Ли, Лэй У, Кондратович Ю.Н., Быков А.И., Капитанчук Л.М. Электрофизические характеристики высокопоглощающей керамики на основе системы AlN–SiC. *Порошкова металургия*. 2019. № 09/10. С. 24–35.
6. Майстренко А.Л., Кулич В.Г., Ткач В.Н. Закономерности формирования высокоплотной структуры самосвязанного карбида кремния. *Сверхтв. материалы*. 2009. № 1. С. 18–35.
7. Фесенко І.П., Туркевич В.З., Часник В.І., Прокопів М.М., Петруша І.А., Прихна Т.О., Кайдаш О.М., Бочечка О.О., Сергієнко Н.В., Сербенюк Т.Б., Мошіль В.С., Харченко О.В., Свердун В.Б., Лавріненко В.І., Ткач В.М., Осіпов О.С., Івженко В.В., Подоба О.П., Марченко А.А., Гадзира М.П., Давидчук Н.К., Олійник Г.С., Згалат-Лозинський О.Б., Букетов А.В., Туз Ю.М., Кисла Г.П., Струніна Ю.О., Стрельчук В.В., Коломис О.Ф., Подоба Я.О., Відута Л.В., Нечитайло В.Б., Геворкян Е.С., Часник Д.В., Мартинюк Я.В. Теплопровідність надтвердих матеріалів. Корсунь-Шевченківський: ФОП Майдаченко І.В., 2018, 2-е вид. 68 с.
8. Slack G.A. Nonmetallic crystals with high thermal conductivity. *J. Phys. Chem. Solids*. 1973. Vol. 34. P. 321–335.

Надійшла до редакції 30.11.22

Після доопрацювання 30.11.22

Прийнята до опублікування 07.12.22