

## Рентгенографическое исследование системы «медь–карбид кремния» после прессования смеси порошков

Н. А. Панькин

*Проведено рентгенографическое исследование фазового состава, субструктуры и остаточных напряжений в порошковых телах системы Cu–SiC. Они были получены односторонним формованием смеси порошков меди и карбида кремния. Фазовый состав исследуемых материалов представлен кристаллографическими фазами карбида кремния (6H-SiC и 15R-SiC), меди (ГЦК) и её оксида. Смещения дифракционных линий фаз меди и SiC по брэгговскому углу свидетельствуют о наличии сжимающих (для Cu) и растягивающих (для карбида кремния) остаточных напряжений. Анализ соотношений интенсивности дифракционных линий меди и карбида кремния указывает на отсутствие преимущественной ориентации в зернах меди и карбида кремния – отсутствует текстура. Предложен механизм формирования фазового состава, субструктуры и остаточных напряжений в порошковых телах системы Cu–SiC.*

*Ключевые слова:* порошковое тело, фазовый состав, макронапряжения, субструктура, формование.

**Ссылка:** Панькин Н. А. // Прикладная физика. 2019. № 3. С. 67.

**Reference:** N.A. Pan'kin, Prikl. Fiz. No. 3, 67 (2019).

---

**Панькин Николай Александрович**, доцент, к.ф.-м.н.  
Мордовский государственный университет  
им. Н. П. Огарева.  
Россия, 430005, Республика Мордовия, г. Саранск,  
ул. Большевикская, 68.  
Тел. +7(8342) 29-05-97. E-mail: panjkinna@yandex.ru

*Статья поступила в редакцию 12 апреля 2019 г.*

© Панькин Н. А., 2019

### ЛИТЕРАТУРА

1. Schubert T., Brendel A., Schmid K., Koeck T., Ciupinski L., Zielinski W., Weißgärber T., Kieback B. // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2007. Vol. 38. No. 12. P. 2398.
2. Ming H., Yunlong Z., Lili T., Lin S., Jing G., Peiling D. // Applied Surface Science. 2015. Vol. 332. P. 720.
3. Prosviryakov A. S., Aksenov A. A., Samoshina M. E., Kovaleva M. G., Ivanov D. O. // Powder Metallurgy. 2011. Vol. 54. No. 3. P. 382.
4. Shabani M., Paydar M. H., Zamiri R., Goodarzi M., Moshksar M. M. // Journal of Materials Research and Technology. 2016. Vol. 5. P. 5.
5. Romankov S., Hayasaka Y., Shchetinin I. V., Yoon J.-M., Komarov S. V. // Applied Surface Science.

2011. Vol. 257. P. 5032.

6. Rado C., Drevet B. // Eustathopoulos. Acta Materialia. 2000. Vol. 48. P. 4483.

7. Севостьянов Н. В., Ефимочкин И. Ю., Бурковская Н. П., Дмитриева В. В. // Конструкции из композиционных материалов. 2016. № 2. С. 37.

8. Chen G., Yang W., Dong R., Wu G. // Materials & Design. 2014. Vol. 63. P. 109.

9. Moustafa S. F., Hamid Z. A., Abd-Elhay A. M. // Materials Letters. 2002. Vol. 53. P. 244.

10. Miskiewicz M. A., Matysiak H., Kurzydowski K. J. // Materials Science-Poland. 2007. Vol. 25. P. 687.

11. Singh H., Kumar L., Alam S. N. // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2015. Vol. 75. P. 012007.

12. Chmielewski M., Pietrzak K., Strojny-Nedza A., Kaszyca K., Zybala R., Bazarnik P., Lewandowska M., Nosewicz S. // Science of Sintering. 2017. Vol. 49. P. 11.

13. Azreen A. R. F., Sutjipto A. G. E., Souad A. M. Al-B. // Advanced Materials Research. 2012. Vol. 576. P. 203.

14. Купарисов С. С., Либенсон Г. А. Порошковая металлургия. – М.: Металлургия, 2002.

15. Бобылев А. В. Механические и технологические свойства металлов. – М.: Металлургия, 1987.

16. Горелик С. С., Скаков Ю. А., Расторгуев Л. Н. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. – М.: Металлургия, 1970.

17. Гладких Л. И., Малыхин С. В., Пугачев А. Т.

Дифракционные методы анализа внутренних напряжений. Теория и эксперимент. – Харьков. НТУ «ХПИ», 2006.

18. Бецофен С. Я., Романовский Е. А., Борисов А. М., Григорович К. В., Сарычев С. М., Бакуи А., Беспалова О. В., Куликаускас В. С., Серков М. В. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2004. № 12. С. 9.

19. Бецофен С. Я., Петров Л. М., Ильин А. А., Банных И. О., Луценко А. Н. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2004. № 1. С. 39.

20. Betsofen S. Y., Ashmarin A. A., Lozovan A. A., Ryabenko B. V., Lutsenko A. N., Mamonov A. M., Molostov D. E. // Journal of Surface Investigation. X-ray, Syn-

chrotron and Neutron Techniques. 2016. Vol. 10. P. 705.

21. Zoestbergen E., De Hosson J. Th. M. // Thin Solid Films. 2000. Vol. 371. P. 10.

22. Kamitani K., Grimsditch M., Nipko J. C., Loong C.-K., Okada M., Kimura I. // J. Appl. Phys. 1997. Vol. 82. P. 3152.

23. Ayers J. E. Heteroepitaxy of semiconductors: theory, growth, and characterization. – USA, CRC Press, 2007.

24. Панькин Н. А., Сизгачев А. Ф., Луконькина А. С., Мишкин В. П. // Прикладная физика. 2018. № 4. С. 31.

25. Панькин Н. А., Сизгачев А. Ф., Чистяков Н. И., Луконькина А. С., Мишкин В. П. // Прикладная физика. 2018. № 5. С. 71.

PACS: 61.05.C–, 61.43.Gt, 61.66.Fn, 62.20.Fe.

## X-Ray study of the "copper-silicon carbide" system after molding a mixture of powders

N. A. Pan'kin

Ogarev Mordovia State University  
68 Bolshevistskaya st., Republic of Mordovia, Saransk, 430005, Russia  
E-mail: panjkinna@yandex.ru

Received April 12, 2019

*X-ray diffraction study of the phase composition, substructure and residual stresses in the powder bodies of the Cu–SiC system was carried out. They were obtained by unilateral mixture molding of copper and silicon carbide powders. The phase composition of the research materials is represented by crystallographic phases of silicon carbide (6H-SiC and 15R-SiC), copper (fcc) and its oxide. The displacements of the copper and SiC phases in the Bragg angle proclaim the presence of compressive (for Cu) and tensile (for silicon carbide) residual stresses. The analysis of the diffraction lines' intensity ratios of copper and silicon carbide indicates a lack of preferential orientation in the grains of copper and silicon carbide – there is no texture. A mechanism is proposed for the formation of the phase composition, substructure and residual stresses in the powder bodies of the Cu-SiC system.*

*Keywords:* powder body, phase composition, macrostresses, substructure, molding.

### REFERENCES

1. Th. Schubert, A. Brendel, K. Schmid, Th. Koeck, L. Ciupinski, W. Zielinski, T. Weißgarber, and B. Kieback, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing **38**, 2398 (2007).
2. H. Ming, Z. Yunlong, T. Lili, S. Lin, G. Jing, and D. Peiling, Applied Surface Science **332**, 720 (2015).
3. A. S. Prosviryakov, Journal of Alloys and Compounds **632**, 707 (2015).
4. M. Shabani, M. H. Paydar, R. Zamiri, M. Goodarzi, and M. M. Moshksar, Journal of Materials Research and Technology **5**, 5 (2016).
5. S. Romankov, Y. Hayasaka, I. V. Shchetinin, J.-M. Yoon, and S. V. Komarov, Applied Surface Science **257**, 5032 (2011).
6. C. Rado and B. Drevet, N. Eustathopoulos. Acta Materialia **48**, 4483 (2000).

7. N. V. Sevostyanov, I. Yu. Efimochkin, N. P. Burkovskaya, and V. V. Dmitrieva, *Konstruktsii iz kompozitsionnykh materialov*, No. 2, 37 (2016).
8. G. Chen, Wenshu Yang, Ronghua Dong, and Gaohui Wu, *Materials & Design* **63**, 109 (2014).
9. S. F. Moustafa, Z. A. Hamid, and A. M. Abd-Elhay, *Materials Letters* **53**, 244 (2002).
10. M. A. Miskiewicz, H. Matysiak, and K. J. Kurzydłowski, *Materials Science-Poland* **25**, 687 (2007).
11. H. Singh, L. Kumar, and S. N. Alam, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* **75**, 012007 (2015).
12. M. Chmielewski, K. Pietrzak, A. Strojny-Nedza, K. Kaszyca, R. Zybała, P. Bazarnik, M. Lewandowska, and S. Nosewicz, *Science of Sintering* **49**, 11 (2017).
  
13. A. R. F. Azreen, A. G. E. Sutjipto, and A. M. Al-B. Souad., *Advanced Materials Research* **576**, 203 (2012).
14. S. S. Kiparisov and G. A. Libenson, *Powder metallurgy*. (Moscow, Metallurgy, 2002) [in Russian].
15. A. V. Bobylev *Mechanical and technological properties of metals*. (Moscow, Metallurgy, 1987) [in Russian].
16. S. S. Gorelik, Yu. A. Skakov, and L. N. Rastorguev, *X-ray and electron-optical analysis*. (Moscow, Metallurgy, 1970) [in Russian].
17. L. I. Gladkikh, S. V. Malykhin, and A. T. Pugachev. *Diffraction methods for analysis of internal stresses. Theory and experiment*. (Kharkov, NTU "KhPI", 2006) [in Russian].
18. S. Ya. Betsofen, E. A. Romanovsky, A. M. Borisov, K. V. Grigorovich, S. M. Sarychev, Ali Bakui, O. V. Betspalov, V. S. Kulikauskas, and M. V. Serkov, *Surface. X-ray, synchrotron and neutron studies*, No. 12, 9 (2004).
19. S. Ya. Betsofen, L. M. Petrov, A. A. Ilyin, I. O. Baths, and A. N. Lutsenko, *Surface. X-ray, synchrotron and neutron studies*, No. 1, 39 (2004).
20. S. Y. Betsopen, A. A. Ashmarin, A. A. Lozovan, B. V. Ryabenko, A. N. Lutsenko, A. M. Mamonov, and D. E. Molostov, *Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques* **10**, 705 (2016).
21. E. Zoestbergen and J. Th. M. De Hosson, *Thin Solid Films* **371**, 10 (2000).
22. K. Kamitani, M. Grimsditch, J. C. Nipko, C.-K. Loong, M. Okada, and I. Kimura, *J. Appl. Phys.* **82**, 3152 (1997).
23. J. E. Ayers. *Heteroepitaxy of semiconductors: theory, growth, and characterization*. (USA, CRC Press, 2007).
24. N. A. Pan'kin, A. F. Sigachev, A. S. Lukonkina, and V. P. Mishkin, *Prikl. Fiz.*, No. 4, 31 (2018).
24. N. A. Pan'kin, A. F. Sigachev, N. I. Chistyakov, A. S. Lukonkina, and V. P. Mishkin, *Prikl. Fiz.*, No. 4, 31 (2018).