

УДК 666.3:539.5

**Ю. Ю. Румянцева^{1,*}, Л. О. Романко¹, Д. В. Часник²,
В. З. Туркевич¹, В. М. Бушля³, І. П. Фесенко¹,
О. М. Кайдаш¹, В. І. Часник⁴, В. П. Рукін⁴**

¹Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля

НАН України, м. Київ, Україна

²Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України, м. Київ, Україна

³Лундський університет, м. Лунд, Швеція

⁴Державне підприємство “Науково-дослідний інститут “Оріон”, м. Київ, Україна

*yurumianceva@gmail.com

Електрофізичні характеристики термобарично спеченого композита cBN–NbN

Повідомляється про структуру, фазовий склад та температурну залежність питомого електричного опору композита cBN–NbN, одержаного спіканням під високим тиском. Встановлено напівпровідниковий характер зміни електроопору від 2,5 до 1,8 Ом·см в діапазоні 300–700 К.

Ключові слова: термобаричне спікання, кубічний нітрид бору, нітрид ніобію, питомий електричний опір, температура.

Матеріали на основі тугоплавких сполук, зокрема поглинаючі мікрохвильову енергію матеріали (lossy materials), є важливими для розробки нових вакуумних електронних приладів [1]. Розробники потребують інформації про електрофізичні характеристики композитів BeO–SiC, AlN–Mo, AlN–SiC [2]. Температурні залежності електрофізичних характеристик одно- та двофазних композитів необхідні також для розвитку екстремальної електроніки, наприклад, при розробці карбід-кремнієвих (SiC) перемикальних *p-i-n*-діодів, завдяки реальній можливості збереження ними працездатності до 773 К, тобто таких, що значно перевищують температуру роботи кремнієвих *p-i-n*-діодів [3].

У цьому повідомленні представлено результати дослідження фазового складу і температурної залежності питомого електричного опору композита на основі кубічного нітриду бору (cBN) з включеннями нітриду ніобію (NbN). Зразки готували спіканням порошкових компактів cBN з добавкою 35 % (за

об'ємом) NbN при температурі 2000 °С та тиску 7,7 ГПа. Детальніше технологію одержання зразків композита описано в [4]. При визначенні питомого електричного опору для зменшення контактного опору на протилежні хімічно очищені поверхні зразків через маску наносили електричні контакти, виготовлені методом магнетронного розпилення на постійному струмі адгезійного шару титану та електропровідного шару міді.

Структура одержаного композита cBN–NbN представлена на рис. 1. На мікрофотографії видно темні зерна cBN і світлі включення NbN, середній розмір зерен обох фаз – ~ 2 мкм. За допомогою рентгенофазового аналізу визначено дві фази-складники композита – cBN і NbN (рис. 2).

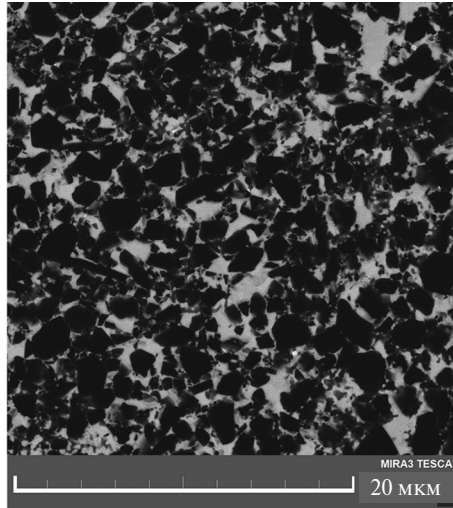


Рис. 1. Електронно-мікроскопічне зображення композита cBN–NbN.

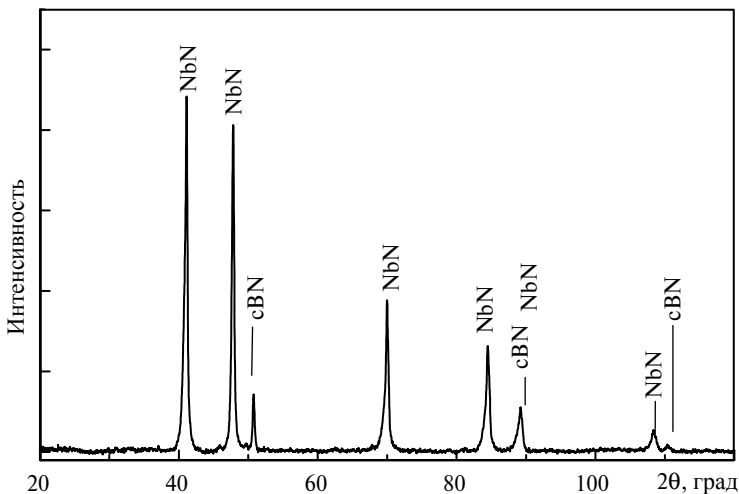


Рис. 2. Фазовий склад композита cBN–NbN.

Температурна залежність одержаного композита представлена на рис. 3. Зниження значень електричного опору композита в інтервалі температур 300–700 К дає підставу стверджувати про напівпровідниковий характер електропровідності. Оскільки в двофазних системах діелектрик-провідник порогом перколяції є вміст провідної фази вище 17 % (за об'ємом), то значення

опору композита залежить від стану контактів провідної фази. За кімнатної температури значення електричного опору композита cBN–NbN становить 2,5 Ом·см, і є набагато вищим значення для монофазного NbN (54 мкОм·см, тобто $5,4 \cdot 10^{-5}$ Ом·см) [5].

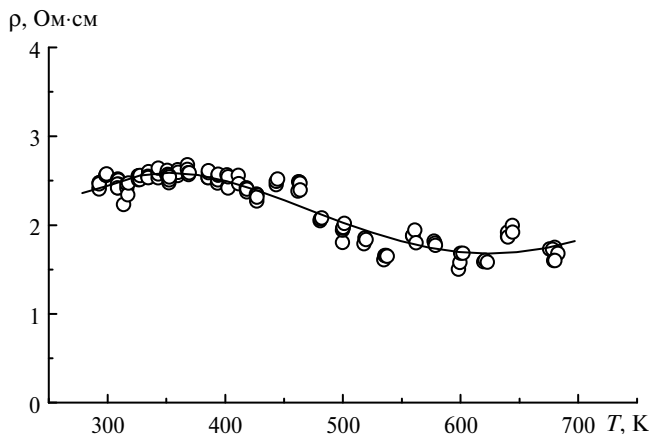


Рис. 3. Питомий електричний опір композита, одержаного з композиції cBN–NbN.

Одержаний термобаричним спіканням двофазний матеріал cBN–NbN зі середнім розміром зерен обох фаз ~ 2 мкм складається з основної діелектричної фази (cBN) і провідної фази (NbN). Питомий електричний опір одержаного композита спадає від 2,5 Ом·см при 300 К до 1,8 Ом·см при 700 К. Вищий за поріг перколяції вміст провідної фази (NbN) в композиті cBN–NbN обумовлює загальну провідність композита, водночас значення електричного опору композита є вищим за значення для чистого NbN на п'ять порядків. В діапазоні 300–700 К температурна залежність електричного опору композита cBN–NbN має напівпровідниковий характер.

Yu. Yu. Rumiantseva¹, L. O. Romanko¹, D. V. Chasnyk²,
V. Z. Turkevich¹, V. M. Bushlya³, I. P. Fesenko¹, O. M. Kaidash¹,
V. I. Chasnyk⁴, V. P. Rukin⁴

¹Bakul Institute for Superhard Materials,

National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

²The Ukrainian Scientific and Research Institute of Special Equipment
and Forensic Expertise of the Security Service of Ukraine, Kyiv, Ukraine

³Lund University, Lund, Sweden

⁴Orion State Enterprise Research Institute, Kyiv, Ukraine

Electrical characteristics of thermobaric sintered cBN–NbN
composite

The structure, phase composition and temperature dependence of electrical resistivity of the thermobaric sintered cBN–NbN composite are presented. The semiconductor character of the resistivity from 2.5 to 1.8 Ohm-cm in the range of 300–700 K is revealed.

Keywords: thermobaric sintering, cubic boron nitride, niobium nitride, electrical resistivity, temperature.

Ю. Ю. Румянцева¹, Л. О. Романко¹, Д. В. Часнык²,
В. З. Туркевич¹, В. Н. Бушля³, И. П. Фесенко¹,
О. Н. Кайдаш¹, В. И. Часнык⁴, В. П. Рукин⁴

¹Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля
НАН Украины, г. Киев, Украина

²Украинский научно-исследовательский институт специальной
техники и судебных экспертиз Службы безопасности Украины,
г. Киев, Украина

³Лундский университет, Лунд, Швеция

Государственное предприятие Научно-исследовательский институт
“Орион”, г. Киев, Украина

Электрофизические характеристики термобарически
спеченного композита cBN–NbN

Сообщается о структуре, фазовом составе и температурной зависимости удельного электрического сопротивления композита cBN–NbN, полученного спеканием под высоким давлением. Установлено полупроводниковый характер изменения электросопротивления от 2,5 до 1,8 Ом·см в диапазоне 300–700 К.

Ключевые слова: термобарическое спекание, кубический нитрид бора, нитрид ниобия, удельное электрическое сопротивление, температура.

1. Calame J.P., Garven M., Lobas D., Mayers R.E., Wood F., Abe D.K. Broadband microwave and W-band characterization of BeO-SiC and AlN-based lossy composites for vacuum electronics. *IEEE Int. Vacuum Electronics Conf. and IEEE Int. Vacuum Electron Sources Conf.* Monterey, California, USA, 25–27April, 2006, P. 37–38.
2. Hetman O.I., Kobljanskyi Yu.V., Zavislyak I.V., Hao Wang, Rong Li, Lei Wu, Kondratovych Yu.M., Vykov A.I., Kapitanchuk L.M. Electrical characteristics of highly-absorbing ceramics in the AlN-SiC system. *Powder Metall. Metal Ceramics.* 2019. Iss. 9–10. P. 24–35.
3. Басанец В.В., Беляев А.Е., Болтовец Н.С., Конакова Р.В., Кривуца В.А., Кудрик Я.Я., Лычман К.А. Электрические параметры SiC *p-i-n*-диодов в температурном диапазоне 77–773 К. *Техника и приборы СВЧ.* 2011. № 2. С. 26–28.
4. Rumiantseva Yu. Yu., Bushlya V.N., Turkevich V.Z. The influence of SiC and Al₂O₃ whiskers on the properties of whisker-reinforced cBN-based composites. *J. Superhard Mater.* 2019. Vol. 41, iss. 6. P. 377–387.
5. Тугоплавкие соединения (справочник). Самсонов Г.В., Виницкий И.М. 2-е изд. Москва: Металлургия, 1976. 560 с.

Надійшов до редакції 10.03.20

Після доопрацювання 10.03.20

Прийнятий до опублікування 12.03.20