

Письма в редакцию

УДК 621.762:921.34

Г. С. Олейник*, В. М. Волкогон, А. В. Котко,
Н. И. Даниленко, С. К. Аврамчук (г. Киев)

*oleynik@ipms.kiev.ua

О формировании твердого раствора с алмазоподобной решеткой в системе вюртцитный нитрид бора–кубический алмаз

Представлены результаты электронно-микроскопических исследований, подтверждающих контактное взаимодействие при $p = 7,7$ ГПа, $T = 1700$ – 1900 °С частиц кубического алмаза и вюртцитного нитрида бора с образованием прослойки (переходной зоны) алмазоподобного BN. Установлено, что в переходной зоне содержится углерод, количественная доля которого уменьшается по мере перехода от области, контактирующей с алмазом, в матричную составляющую на основе плотных фаз BN.

Ключевые слова: алмаз, нитрид бора, твердый раствор, взаимодействие, алмазоподобная решетка.

В настоящее время нет единого мнения о механизме формирования при высоких давлениях и температурах твердых растворов с алмазоподобной решеткой в системе элементов B–N–C. Наиболее известны следующие точки зрения о формировании таких растворов: бор и азот частично замещают узловые атомы в решетке алмаза, при этом распределение атомов различных сортов является хаотическим [1]; углерод частично замещает атомы обоих сортов в решетке сфалеритного BN [2]; пары B–N замещают пары C–C в решетке алмаза [3].

Основные результаты исследований по изучению образования твердых растворов с алмазоподобной решеткой a-BNC, которые проведены до 2009 года, суммированы в [4]. Из этих данных и опубликованных на эту тему в последующие годы (например, [5, 6]) следует, что образование a-BNC в большинстве случаев проходит в условиях фазового превращения исходных слоистых фаз – графита и (или) графитоподобного нитрида бора, а также графитоподобного BNC – в плотные фазы (алмаз и алмазоподобные фазы BN). Данные об образовании a-BNC при спекании порошков исходных кубических фаз алмаза и нитрида бора противоречивы: по данным [7] при $p = 7$ ГПа вплоть до $T = 2600$ °С такой раствор не образуется, в [8] сообщается о его формировании при $p = 18$ – 20 ГПа, $T = 2000$ – 2200 К.

© Г. С. ОЛЕЙНИК, В. М. ВОЛКОГОН, А. В. КОТКО, Н. И. ДАНИЛЕНКО, С. К. АВРАМЧУК, 2014

В данном сообщении приведено краткое представление результатов исследования по изучению контактного взаимодействия в системе частиц кубический алмаз–BN_в при $p = 7,7$ ГПа в интервале $T = 1600–1900$ °С. Исследования выполнены на электронном микроскопе JEM-2100F с рентгеновским микроанализатором INCA(Oxford INSTRUMENT). Установлено, что уже при $T = 1700$ °С в поверхностях сопряжения крупных частиц алмаза и мелкозернистой составляющей на основе исходного BN_в образуются сплошные межфазные границы. Неплотные фазы углерода и нитрида бора в таких границах не обнаруживаются. На микроэлектрограммах от прослоек, примыкающих к частицам алмаза, и матричной составляющей BN содержатся только кольцевые отражения алмазоподобных фаз BN (рис. 1). Результаты поэлементного микроанализа прослоек проведены на образцах, полученных при $p = 7,7$ ГПа, $T = 1800–1900$ °С, приведены на рис. 2. Видно, что в области между зерном алмаза и составляющей на основе плотных фаз BN имеется углерод, причем его количественная доля убывает по мере продвижения в матричную составляющую. Отметим, что трещины по границе сопряжения зерна алмаза с прослойкой BN (рис. 2, *a*) образуются, наиболее вероятно, во время механической обработки образца при подготовке объекта для электронно-микроскопического исследования.

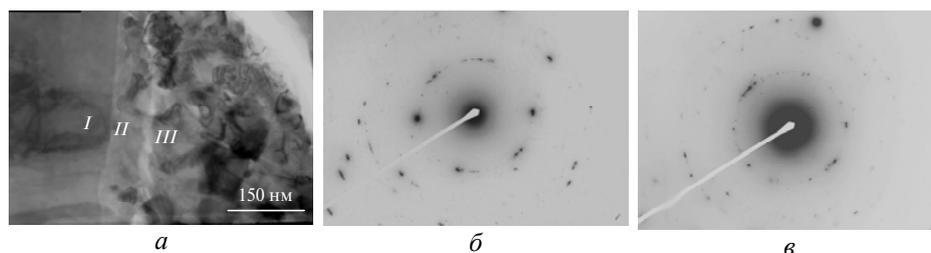


Рис. 1. Типичное изображение на просвет зоны сопряжения частицы алмаза и BN (*a*) и МЭГ от областей I + II (*б*), I + II + III (*в*): I – алмаз, II – область контактного взаимодействия, III – матрица BN; на МЭГ точечные отражения от частицы алмаза, кольцевые – от алмазоподобных фаз BN.

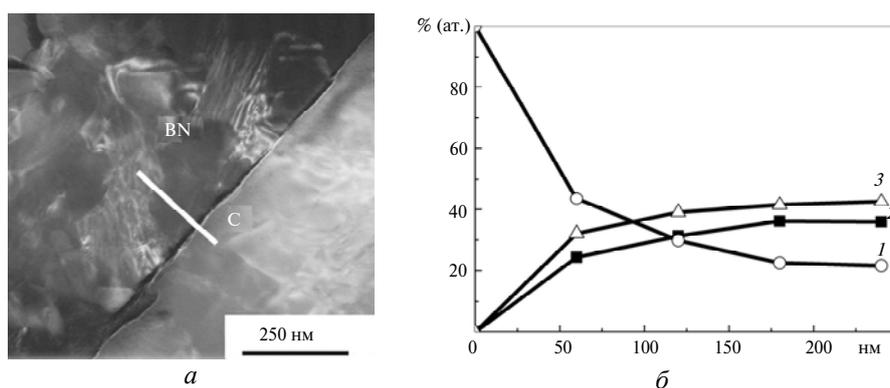


Рис. 2. Электронно-микроскопическое изображение области микроструктуры (С – алмаз, BN – алмазоподобные фазы нитрида бора) с указанием трека, по которому измеряли концентрацию (*a*), и распределение концентрации С (1), В (2), N (3) по указанному треку (*б*); образец получен при $T = 1900$ °С, $p = 7,7$ ГПа.

Полученные данные могут служить подтверждением, что в исследованных условиях имеет место контактное взаимодействие между частицами алмаза и BN_v с образованием прослойки состава BNC с алмазоподобной решеткой. Представляется очевидным, что образование такой прослойки осуществляется за счет диффузии углерода в алмазоподобную решетку BN .

Представлено результати електронно-мікроскопічних досліджень, які підтверджують контактну взаємодію при $p = 7,7$ ГПа, $T = 1700\text{--}1900$ °С часток кубічного алмазу і вюрцитного нітриду бору з утворенням прошарку (перехідна зона) алмазоподібного BN . Встановлено, що в перехідній зоні міститься вуглець, кількісна доля якого зменшується по мірі переходу від області, яка контактує з алмазом, в матричну складову на основі щільних фаз BN .

Ключові слова: алмаз, нітрид бору, твердий розчин, взаємодія, алмазоподібна ґратка.

The results of electron microscopy investigation are presented, which confirm contact interaction at $p = 7,7$ GPa and $T = 1700\text{--}1900$ °C of particles of cubic diamond and wurtzite boron nitride resulting in formation of diamond-like BN layer (transition zone). It has been established that the transition zone contains carbon, the content of which gradually decreases from the region that is in contact with diamond up to the matrix component on the basis of dense BN phases.

Keywords: diamond, boron nitride, solid solution, interaction, diamond-like lattice.

1. Langenhorst F., Solozhenko V. L. ATEM-EELS study of new diamond-like phases in the B–C–N-system // Phys. Chem. Chem. Phys. – 2002. – 4, N 20. – P. 5183–5188.
2. Філоненко В. П., Хабашевська В. Н., Давидов В. А. і др. Перспективи синтезу алмазоподібних фаз в системі B–C–N // Фізика і техніка високих тисків. – 2008. – 18, № 4. – С. 129–136.
3. Badzian A. R. Cubic boron nitride–diamond mixed crystals // Mater. Res. Bull. – 1981. – 16, N 11. – P. 1385–1393.
4. Tomashik V. Boron–carbon–nitrogen // Refractory metal systems (MSIT): Selected Systems from Al–B–C to B–Hf–W. Landolt-Börnstein – Group IV Physical Chemistry. Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2009. – Vol. 11E1. – P. 83–90.
5. Solozhenko V. L., Dub S. N., Novikov N. V. Mechanical properties of cubic BC_2N , a new superhard phase // Diamond Relat. Mater. – 2011. – 10. – P. 2228–2231.
6. Liu X., Jia X., Zhang Z. et al. Synthesis and characterisation of new “BCN” diamond under high pressure and high temperature conditions // Cryst. Growth Des. – 2011. – 11. – P. 1006–1014.
7. Кудалов С. В., Шахов Ф. М., Давиденко В. М. і др. К вопросу о получении и свойствах сверхтвердых кристаллических материалов в системе бор–углерод–азот // Письма в ЖТФ. – 2011. – 37, вып. 6. – С. 8–14.
8. Tang M., He D., Wang W. et al. Superhard solid solutions of diamond and cubic boron nitride // Scripta Mater. – 2012. – 66. – P. 781–784.

Ин-т проблем материаловедения
им. И. Н. Францевича НАН Украины

Поступила 07.07.14