

Письма в редакцию

УДК 536.421.1:620.187:661.657.5

М. В. Никишина (г. Киев)

Композит cBN–Cu: метод получения и физические свойства

Методом бароинfiltrации расплавленной меди в перколяционную среду на основе микропорошка кубического нитрида бора с последующей быстрой закалкой образца получен керамо-металлический композит cBN–Cu и изучены его свойства.

Ключевые слова: кубический нитрид бора, расплав меди, давление, перколяция.

Инfiltrация жидкой фазы в уплотненные высоким давлением порошки твердых тугоплавких соединений (перколяционную среду) в условиях p -градиента может эффективно использоваться при получении композиций на основе кубического нитрида бора (cBN) с металлами (Me) и полупроводниками (Sc), обладающими низкой адгезионной активностью относительно BN. Перколянтами могут быть, например, $Me = Cu, Ag, Au$ и $Sc = Si, Ge$. Получаемые композиты cBN– Me или cBN– Sc могут представлять определенный практический интерес благодаря их электрофизическим и физико-механическим свойствам.

Керамо-металлические композиты cBN– Me (Cu, Ag, Au) получали в аппаратах высокого давления (АВД) типа “тороид” в условиях быстрого нагрева до 2000 °С сжатого давлением 8 ГПа порошка cBN (7–10 мкм), находящегося в контакте с фольгой Me в графитовом нагревателе ячейки АВД. Перколяционный кластер образца cBN заполняли расплавом в течение ~ 1 с с момента плавления Me , который фиксировали по скачкообразному увеличению электрического тока I в цепи нагревателя (рисунок, a). Кристаллизация расплава с последующей закалкой структуры происходила при высоком давлении в условиях быстрого охлаждения образца со скоростью $v \approx 500$ °С/с после воздействия высокой температуры в течение 45 с.

Наиболее детально исследовали структуру и свойства композита cBN–Cu. После кристаллизации расплава Cu в диэлектрической матрице cBN образуется электропроводная структура взаимосвязанных металлических прослоек, пространственное расположение которых отвечает разветвленной перколяционной сети кластера, т. е. медь копирует форму кластера. Содержание Cu в

композите, установленное по изменению массы образца, не превышает 8,5 % (по объему). Наиболее адекватно структуру полученных керамо-металлических композитов можно описать моделью зерен и прослоек Купса [1]. Изогнутые и скрученные вследствие высоких внутренних напряжений тончайшие прослойки Cu обнаруживали в изломе композита при электронномикроскопическом исследовании (см. рисунок, б, вставка).

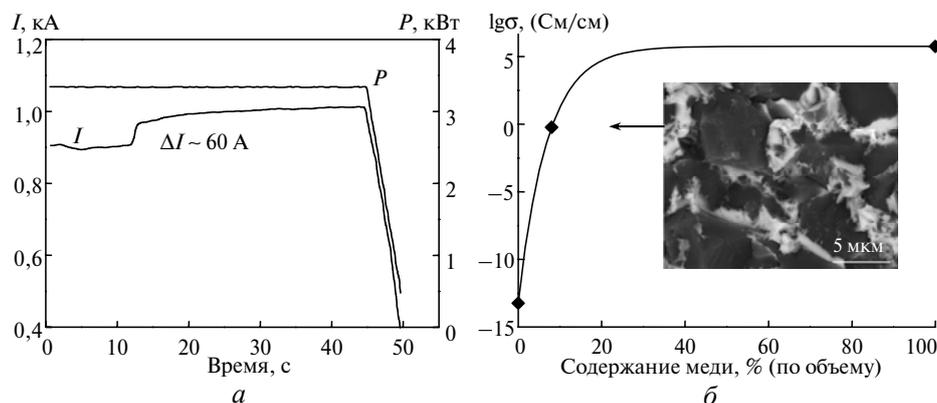


Рис. 1. Типичная кривая изменения электрического тока и фиксированной мощности при получении композитов $sBN-Me$ (а), структура и удельная электрическая проводимость композита $sBN-Cu$ (б).

Эффект дробления частиц на всех этапах термобарического воздействия не наблюдался. Учитывая, что удельная площадь поверхности порошка sBN $S_{БЕТ} = 0,74 \text{ м}^2/\text{г}$ [2], средняя толщина прослоек Cu, рассчитанная в рамках модели Купса, составляет $\sim 70 \text{ нм}$. Очевидно, в реальной структуре композита, кроме тонких прослоек, Cu образует также относительно массивные стержни в разветвленной сети перколяционных каналов вдоль тройных стыков частиц sBN . Поперечное сечение стержней может достигать сотен нанометров для порошка с размером частиц 7–10 мкм. Остаточная пористость композита не превышает 1,6 %.

Электрическую проводимость композита $sBN-Cu$ при комнатной температуре устанавливали, исследуя его вольтамперные характеристики (ВАХ) на постоянном токе. Плоскопараллельную пластину композита диаметром 8 мм и толщиной 4 мм помещали между электродами измерительной головки электрометра В7-49, конструкция которой позволяла фиксировать усилие сжатия образцов. Измерения проводили как в режиме стабилизации тока, так и в режиме стабилизации напряжения. Значение удельной проводимости σ определяли на омическом участке ВАХ. Результаты измерений показали, что при содержании металлической компоненты в композите $sBN-Cu$, равном 8,5 % (по объему), его удельная проводимость становится на 13 порядков выше по сравнению со значением σ чистого поликристалла sBN (см. рисунок, б).

Упругие модули исследовали методами ультразвуковой (УЗ) диагностики (совместно с Институтом металлофизики НАН Украины) на импульсной установке [3]. Измерение продольной и поперечной скоростей УЗ выполняли в частотном диапазоне 10–30 МГц с инструментальной погрешностью 0,01 %. Для физических и физико-механических характеристик композита $sBN-Cu$ характерны следующие показатели: плотность $d = 3,89 \text{ г}/\text{см}^3$; модуль

Юнга $E = 734$ ГПа; модуль всестороннего сжатия $B = 360$ ГПа; модуль сдвига $G = 316$ ГПа; коэффициент Пуассона $0,16$; твердость по Виккерсу HV (100 Н) = $31,6 \pm 1,7$ ГПа; твердость по Кнупу HK (100 Н) = $25,3 \pm 3,2$ ГПа.

Возможными вариантами использования композитов cBN–Cu (Ag, Au) может быть применение их в качестве высокотвердых электроконтактных материалов в электротехнике, поглотителей радиоволн в радиотехнических устройствах и других функциональных элементах твердотельной электроники.

Автор выражает благодарность Л. А. Романко, О. И. Запорожцу и В. А. Котенко за содействие в работе и обсуждение результатов.

Шляхом бароінфільтрації розплавленої міді в перколяційне середовище на основі мікропорошку кубічного нітриду бору з наступним швидким загартуванням зразка одержано керамо-металічний композит cBN–Cu і досліджено його властивості.

Ключові слова: нітрид бору, розплав міді, тиск, перколяція.

By baroinfiltration of the melted copper into a percolation medium of cubic boron nitride powder and a subsequent fast quenching a sample of the cBN–Cu ceramic-metal composite has been prepared and its properties have been studied.

Keywords: cubic boron nitride, copper melt, pressure, percolation.

1. Koops C. G. On the dispersion of resistivity and dielectric constant of some semiconductors at audifrequencies // Phys. Rev. – 1951. – **83**, N 1. – P. 121–124.
2. Богатырева Г. П., Зусманов Е. Р., Котова Н. В. и др. Зависимость физических свойств кристаллов нитрида бора от их размеров // Журнал технической физики. – 1997. – **67**, № 6. – С. 36–40.
3. Гордієнко М. О., Запорожець О. І., Мазманян Р. О. та ін. Установка для ультразвукового неруйнівного контролю температурних полів і термічних напруг в корпусах вододіючих ядерних реакторів при імпульсному тепловому навантаженні // Цільова комплексна програма НАН України “Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин”: Зб. наук. ст. за результатами, отриманими в 2007–2009 рр. – Київ, ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України, 2009. – С. 299–305.

Ин-т сверхтвердых материалов
им. В. Н. Бакуля НАН Украины

Получено 27.06.12