

## ИСКРОВОЕ ПЛАЗМЕННОЕ СПЕКАНИЕ – НОВЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ МЕДЬ-МОЛИБДЕНОВОЙ КЕРАМИКИ

Ю.Н. Половинкина, Ю.Л. Шаненкова

Научный руководитель: доцент, к.т.н. А.С. Ивашутенко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [ynp2@tpu.ru](mailto:ynp2@tpu.ru)

Наиболее распространенной причиной отказа работы электронных приборов является низкий уровень терморегулирования – по статистике, более половины случаев всех отказов [1]. Ведь недостаточное охлаждение отрицательно сказывается на надежности и эффективности полупроводниковых компонентов. Для устранения данной проблемы было принято решение устанавливать электронные компоненты на подложки или пластины, выступающие в качестве элементов отвода тепла и обеспечивающие эффективное терморегулирование. Однако лишь немногие материалы обладают требуемыми свойствами. В работах [2–4] показано синтезирование порошков Mo и Cu, а также дальнейшее получение композитов на их основе. Ведь Mo и Cu обладают низким коэффициентом теплового расширения и высокой электро- и теплопроводностью соответственно, что обуславливает их применение, как в промышленных, так и в военных целях. К сожалению, эти методы являются очень сложными и ресурсозатратными.

В работе предлагается новый способ получения медь-молибденовой керамики с помощью установки искрового плазменного спекания. Главными достоинствами данного метода являются относительное быстродействие и безопасность. Это позволяет получить композиты на основе Mo-Cu высокого качества, которые впоследствии смогут рассеивать тепло в электрических компонентах и помогать охлаждать IGBT-модули, RF-модули, кристаллы светодиодов и прочие изделия.

Для получения композитов в пресс-формы из графита засыпались порошки Cu и Mo в следующих соотношениях: Cu – 30%, Mo – 70%. Далее производилось спекание в SPS-установке при параметрах: P = 60 МПа, t = 10 минут, окружающая среда – вакуум, температура – от 1000 °С до 1100 °С, с шагом 20 °С. Стоит отметить, что использовался нанопорошок меди, который, в свою очередь, был получен при помощи коаксиального магнитоплазменного ускорителя [5].

На рисунке 1 представлены рентгеновские дифрактограммы, выполненные на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD-7000S, синтезированных продуктов, а также карточки предполагаемых фаз. Анализ продуктов проведен с помощью программы Powder-Cell и базы структурных данных PDF4. Видно, что основными фазами в полученных продуктах являются молибден с кубической сингонией (карточка № 42-1120) и медь (карточка № 85-1326) с такой же сингонией. Медь и молибден имеют пространственные группы Fm-3m (№ 225) и Im3m (№ 229) соответственно.

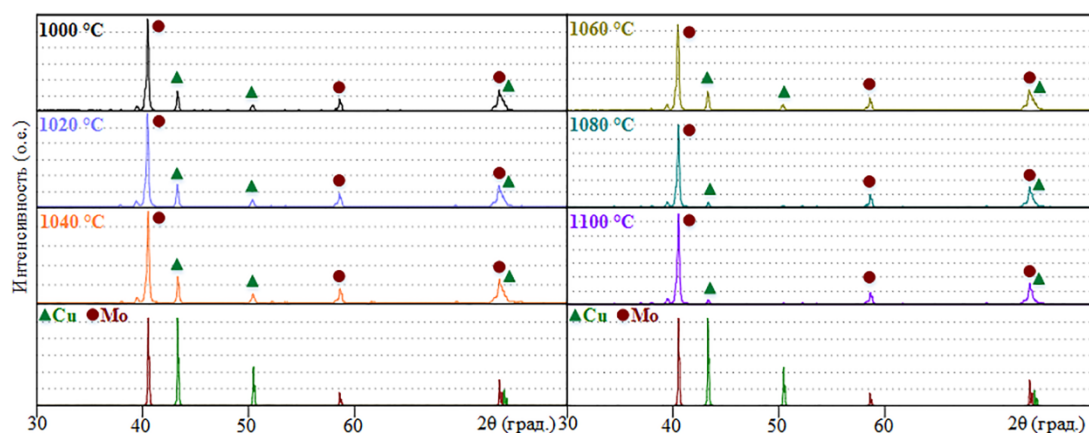


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы полученных продуктов и карточки предполагаемых фаз

При помощи сканирующего электронного микроскопа Hitachi TM-3000 была исследована микроструктура имеющихся образцов. Результаты сканирования представлены на рисунке 2. Выяснилось, что наиболее оптимальной температурой спекания является 1040 °С. Для образца,

спеченного при данной температуре, характерно минимальное количество межзеренных пространств – отсюда высокая плотность материала. Также микрочастицы имеют минимальный размер, что обеспечивает более плотное прилегание частичек друг к другу. Плотность образцов, спеченных при температурах свыше 1040 °С, уменьшаются ввиду того, что медь начинает вытекать из-за слишком высокой температуры, что сопровождается образованием пор. По литературным данным, температура плавления меди составляет 1085 °С.

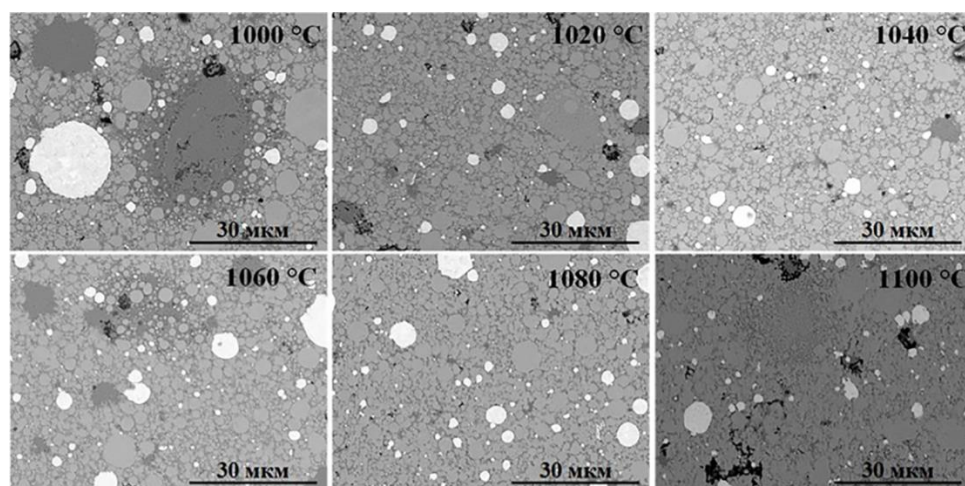


Рис. 2. Сканирующая электронная микроскопия для образцов, полученных при температуре спекания: а)  $t = 1000\text{ °C}$ ; б)  $t = 1020\text{ °C}$ ; в)  $t = 1040\text{ °C}$ ; г)  $t = 1060\text{ °C}$ ; д)  $t = 1080\text{ °C}$ ; е)  $t = 1100\text{ °C}$

Определена величина твердости по Виккерсу для полученных образцов с использованием твердомера Galileo (ISOSCAN HV2 OD). Выяснилось, что при увеличении температуры спекания твердость образцов увеличивается. Объясняется это тем, что повышенная температура спекания способствует более быстрому уплотнению материала. Высокая плотность образцов является причиной высокой твердости. Стоит отметить, что максимальная твердость достигнута при температуре 1100 °С. Она составляет 385 HV, что значительно больше твердости чистого молибдена, равной 147 HV.

В конце хотелось бы отметить, что получены композиты методом искрового плазменного спекания, где в качестве основных составляющих компонентов выступали порошкообразные Mo и Cu. Присутствие этих фаз подтверждено результатами рентгеноструктурного анализа. По результатам исследования микроструктуры образцов определена оптимальная температура спекания, и составляет она 1040 °С. Стоит отметить, что образец, имеющий максимальную твердость по Виккерсу, получен при 1100 °С, и величина твердости составляет около 385 HV.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Amerasekera E. A, Farid N. Najm. Failure mechanisms in semiconductor devices. – Wiley, 1997.
2. Wang D. et al. The sintering behavior of ultra-fine Mo–Cu composite powders and the sintering properties of the composite compacts // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2014. – Т. 42. – Р. 240-245.
3. Wang D. et al. Fabrication of Mo-Cu composite powders by heterogeneous precipitation and the sintering properties of the composite compacts // Journal of Alloys and Compounds. – 2016. – Т. 674. – Р. 347-352.
4. [Aydiyanyan S.V., Kirakosyan H.V., Kharatyan S.L. Cu–Mo composite powders obtained by combustion–coreduction process // Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2015. – Т. 54. – Р. 455-463.
5. Половинкина Ю. Н., Шаненкова Ю. Л., Сайгаш А.С. Нанесение медного покрытия на алюминиевые поверхности с высокой прочностью сцепления // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 26-29 апреля 2016 г.: в 7 т. — Томск: Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 1: Физика. — С. 229-231.