

**ПОЛУЧЕНИЕ ПЛАСТИН ИЗ МОЛИБДЕНА И МЕДИ С ПОМОЩЬЮ ИСКРОВОГО  
ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ**

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)

**OBTAINING MOLYBDENUM-COPPER PLATES BY SPARK PLASMA SINTERING**

Y.N. Polovinkina, Y.L. Shanenkova,

Scientific Supervisor: PhD, A.S. Ivaschutenko

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

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

**Abstract.** *In the article, there has been molybdenum-copper bulk samples sintering, obtained the spark plasma sintering technology. XRD-diffraction, scanning electron microscopy and Vickers hardness test were carried out in this work. X-ray diffractometry analysis has shown that the products consist of the following main phases such as copper of cubic system (space group Fm-3m, No. 225) and molybdenum also of a cubic crystalline structure (space group Im3m, No. 229). Results of scanning electron microscopy for the sintered samples have shown that all bulk sintering samples have a high density. The optimal sintering temperature is 1060 °C. This is due to the fact that the bulk sample, sintered by 1060 °C, has a minimum amount of intergranular spaces. Vickers hardness test has shown that the highest hardness is 388 HV, at the same time hardness of pure molybdenum is 147 HV.*

**Введение.** Увеличивающаяся плотность энергии является одной из больших проблем для терморегулирования в электрических системах в малых электронных приборах. По статистическим данным, свыше половины случаев отказа электронных компонентов объясняется повышенной температурой [1]. Электронные компоненты, как правило, устанавливаются на подложки или пластины, которые выступают в качестве радиаторов и обеспечивают эффективное терморегулирование. Однако далеко не все материалы обладают подходящими свойствами для надежного рассеивания тепла. Цель работы – получение объемных образцов из меди и молибдена с высокими физическими характеристиками. Пластины из Mo-Cu надежно рассеивают тепло в электрических компонентах и помогают охлаждать IGBT-модули, RF-модули, кристаллы светодиодов и прочие изделия. В них сочетается низкое тепловое расширение молибдена и отличная теплопроводность меди. Сочетание Cu и Mo позволяет добиться более высокой теплопроводности и меньшей плотности по сравнению с чистым молибденом.

**Материалы и методы исследования.** Для получения объемных образцов 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, рабочая среда спекания – вакуум. Были получены несколько объемных образцов при различной температуре спекания (1000–1100 °C) для выявления оптимальных условий получения материалов на основе медь-молибден.

Порошок молибдена был получен с помощью электровзрыва проводников, а порошок меди был синтезирован в системе на основе коаксиального магнитоплазменного ускорителя с медными электродами [2]. Далее для полученных образцов был произведен рентгеноструктурный анализ при помощи рентгеновского дифрактометра Shimadzu XRD-7000S. Затем при помощи сканирующего электронного микроскопа Hitachi TM-3000 была исследована микроструктура имеющихся образцов, а также замерена твердость по Виккерсу с использованием твердомера Galileo (ISOSCAN HV2 OD).

**Результаты.** С помощью установки искрового плазменного спекания было получено шесть образцов медь-молибден. Результаты рентгеноструктурного анализа полученных объемных материалов при разных температурах спекания, а также карточки предполагаемых фаз представлены на рисунке 1. По рисунку видно, что основными фазами в полученных продуктах ожидаемо 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. Стоит отметить, что пики, находящиеся на 73–75 градусов, являются достаточно уширенными и при расширении отчетливо заметно их разделение на два пика – это свидетельствует об отражениях фаз молибдена и меди. Расчет процентного содержания состава объемных материалов показал, что при температуре спекания 1000, 1020, 1040 и 1060 °C процентное содержание меди и молибдена остается неизменным (30:70). Тогда как при температуре 1080 и 1100 °C процентное содержание меди падает и достигает 5–10% в полученных продуктах спекания. Это можно объяснить тем, что при 10-ти минутной выдержке и температуре выше 1080 °C медь начинает плавиться, что приводит к ее вытеканию в момент прессования.

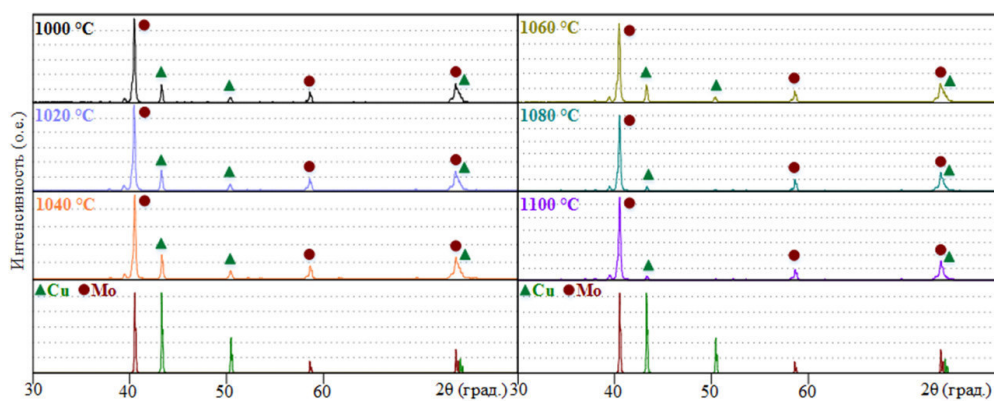


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы полученных продуктов и карточки предполагаемых фаз

При помощи сканирующего электронного микроскопа Hitachi TM-3000 была исследована микроструктура имеющихся образцов. Результаты сканирования представлены на рисунке 2. Видно, что все полученные образцы имеют достаточно плотную микроструктуру. Матрица, создаваемая молибденом, заполняет межзеренное пространство частиц меди и обеспечивает получение высокоплотного объемного продукта. Наиболее оптимальная температура спекания – 1060 °C, ввиду того, что для данного образца получено наибольшее значение плотности и по снимкам видно минимальное количество пор. Также микрочастицы имеют минимальный размер, что обеспечивает более плотное прилегание частичек друг к другу. Плотность образцов, спеченных при температурах свыше 1060 °C, уменьшаются ввиду плавления меди и уменьшения ее процентного содержания в конечном образце.

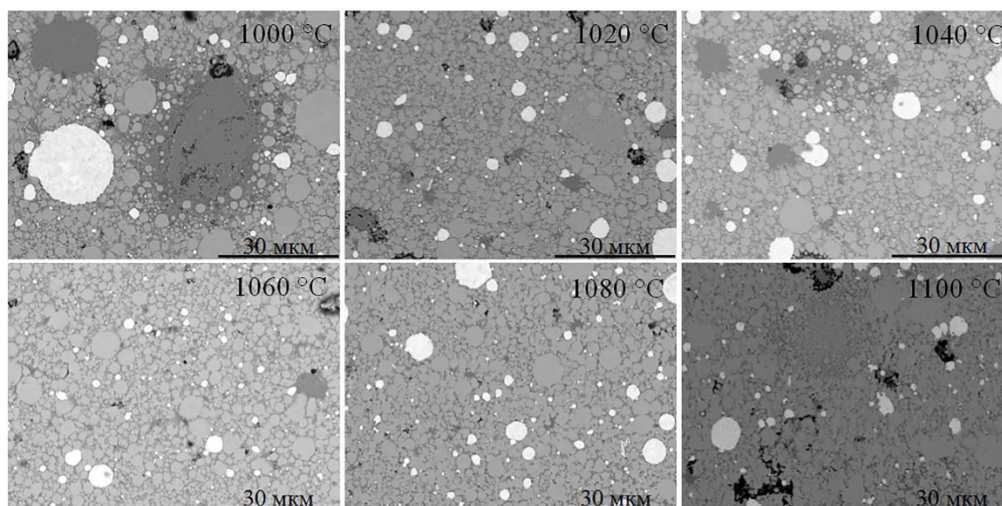


Рис. 2. SEM-снимки образцов, полученных при различных температурах спекания

Далее была определена величина твердости по Виккерсу для полученных образцов при нагрузке на образец 0,5 кгс. 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 [3]. Стоит отметить, что максимальная твердость достигнута при температуре, равной 1100 °С. Она составляет около 388 HV, что значительно больше твердости чистого молибдена, равной 147 HV.

Таблица 1

Измерение твердости полученных образцов

$t_{\text{спек}}, ^\circ\text{C}$	1000	1020	1040	1060	1080	1100
HV	292,05	303,25	324,82	327,52	378,58	387,8

**Заключение.** В ходе проведенных работ получены объемные образцы методом искрового плазменного спекания, где в качестве основных материалов выступали порошкообразные Mo и Cu. Присутствие этих фаз подтверждено результатами рентгеноструктурного анализа. По результатам исследования микроструктуры образцов определена оптимальная температура спекания – 1060 °С. Также стоит отметить, что образец, полученный при 1100 °С, имеет максимальную твердость по Виккерсу, равную около 388 HV.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. E.A. Amerasekera, FaridN. Najm. Failure mechanisms in semiconductor devices. – Wiley, 1997.
2. 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.
3. 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. – С. 240–245.