

Экспериментальная часть

Принцип работы системы на основе коаксиального магнитоплазменного ускорителя был подробно рассмотрен ранее [3]. Основная идея заключается во взаимодействии железосодержащей плазмы со средой заполненной смесью, содержащей кислород и аргон в различном соотношении. Кислород является вторым необходимым прекурсором плазмохимической реакции. Аргон используется с целью предотвращения образования примесных фаз. В ходе проведения серии экспериментов основные параметры системы оставались неизменными (зарядное напряжение $U_{\text{зар}} = 3,0$ кВ, $C_{\text{зар}} = 14,4$ мФ), менялось только соотношения $O_2 : Ag$ (10:90; 50:50 и 100:0). Давление смеси всегда было одинаковым и равным атмосферному. В результате проведения данных экспериментов были получены порошкообразные образцы, которые без предварительной обработки исследовались методом рентгеновской дифрактометрии на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD-7000S. Оценка количественно-фазового состава проводилась с помощью полученных рентгеновских дифрактограмм в программной среде «PowderCell 2.4» с использованием базы данных PDF 2+.

Установлено, что концентрация кислорода сильно влияет на фазовый состав получаемых продуктов. Так, с увеличением концентрации кислорода содержание эpsilon фазы увеличивается с 22,0 % масс. ($O_2 : Ag - 10 : 90$) до 50 % масс ($O_2 : Ag - 100 : 0$). По всей видимости, такая зави-

симость можно быть объяснена особенностями развития плазмы в пространстве, заполненном газовой средой. В эксперименте, где в газовой смеси преобладает аргон, скорость плазменного потока снижается из-за большего сопротивления среды, что приводит к уменьшению скорости распыления и уменьшению вероятности образования эpsilon фазы. В случае 100%-ной концентрации кислорода, скорость потока плазмы выше. Это влияет на скорость распыления и формирование наночастиц размерами менее 100 нм. Таким образом, преобладающей фазой в продукте становится $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$. Стоит также отметить, что средние размеры эpsilon фазы возрастают с увеличением концентрации кислорода. Тем не менее, они не превышают уровень ~ 50 нм для каждого из образцов.

Заключение

В этой работе показан уникальный метод плазмодинамического синтеза оксидов железа. Особенностью данного метода является быстротечность протекающей реакции (менее 1 мс) и достаточно высокий выход необходимой уникальной фазы $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$. В работе рассмотрено влияние концентрации кислорода в рабочей камере-реакторе на фазовый состав получаемых порошкообразных продуктов. Установлено, что повышение концентрации кислорода приводит к увеличению выхода эpsilon фазы оксида железа вплоть до 50 % масс.

Список литературы

1. Sakurai S., Shimoyama J., Hashimoto K., Ohkoshi S. // *Chemistry Physics Letters*, 2008.– Vol.458(4–6).– P.333–336.
2. Tucek J., Zboril R., Namai A., Ohkoshi S. // *Chemistry of Materials*, 2010.– Vol.22.– P.6483–6505.
3. Sivkov A., Naiden E., Ivashutenko A., Shanenkov I. // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2016.– Vol.405.– P.158–168.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СПЕКАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛАСТИН ИЗ Mo-Cu

Ю.Л. Шаненкова, Ю.Н. Половинкина

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

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, xyulyahax@mail.ru

Одна из самых распространенных проблем для терморегулирования в электрических системах становится увеличивающаяся плотность энер-

гии в малых электронных приборах. Ведь недостаточное охлаждение негативно сказывается на надежности и эффективности полупроводнико-

вых компонентов. Различного рода пластины и подложки, выполненные из меди и молибдена, могут выполнять функции радиаторов и обеспечивать эффективное терморегулирование в электронных элементах. В данной работе рассматривается подбор наиболее оптимальных параметров спекания меди и молибдена для дальнейшего их использования в электронных приборах.

Методом искрового плазменного спекания были получены несколько образцов. Главный изменяющийся параметр – температура спекания, диапазон – от 1000 °С до 1100 °С, с шагом 20 °С. Другие же параметры оставались неизменными: давление $P=60$ МПа, время выдержки $t=10$ минут, рабочая среда – вакуум, пресс-форма выполнена из графита. Медь и молибден засыпались в пресс-формы в соотношении 30:70 соответственно. Стоит отметить, что использовался нанопорошок меди, который, в свою очередь, был получен при помощи коаксиального магнитоплазменного ускорителя [1].

Далее был проведен рентгеноструктурный анализ полученных образцов при помощи рентгеновского дифрактометра Shimadzu XRD 7000S. По результатам исследования стоит отметить, 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 $Fm\bar{3}m$ (№225) и $Im\bar{3}m$ (№229) соответственно.

При помощи сканирующего электронного микроскопа Hitachi TM-3000 была исследована микроструктура имеющихся образцов.

Список литературы

1. Половинкина Ю.Н., Шаненкова Ю.Л., Сайгаиш А.С. // *Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск,*

Наиболее оптимальная температура спекания – 1060 °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 1060 °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.

Затем была определена величина твердости по Виккерсу для полученных образцов. По полученным результатам стоит отметить, что при увеличении температуры спекания твердость образцов увеличивается. Это объясняется тем, что повышенная температура спекания способствует более быстрому уплотнению материала. Высокая плотность образцов является причиной высокой твердости [2].

В ходе проведенных работ методом плазменного искрового спекания были получены объемные образцы, выполненные из меди и молибдена, что подтверждено результатами рентгеноструктурного анализа. Также была исследована их микроструктура при помощи сканирующей электронной микроскопии, по которой можно сказать, что наиболее оптимальная температура спекания – 1060 °С. Максимальная величина твердости по Виккерсу равна 385 HV, что значительно больше твердости чистого молибдена, равной 147 HV.

26–29 апреля 2016 г.: в 7 т. 2016.– Т.1.– С.229–231.

2. Wang D. et al. // *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 2014.– Т.42.– С.240–245.