

2. Tang, P. T. Molybdate based passivation of zinc / P. T. Tang, G. Bech-Nielsen, P. Møller // Transactions of the Institute of Metal Finishing. – 1997. – Vol. 75, № 4. – P. 144–148.

3. Akulich, N. E. A study of conversion coatings on vanadium/galvanic zinc / N. E. Akulich, I. M. Zharskii, N. P. Ivanova // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. – 2017. – Vol. 53, № 3. – P. 503–510.

4. A vanadium-based conversion coating as chromate replacement for electrogalvanized steel substrates / Z. Zou [et al.] // Journal of Alloys and Compounds. – 2011. – Vol. 509, № 2. – P. 503–507.

УДК 621.793

А.А. Бондарук¹, Д.И. Тишкевич¹, Т.И.Зубарь¹,
А.А. Роткович¹, С.А. Герман^{1,2}, А.А. Труханов¹

¹Научно-практический центр НАН Беларуси
по материаловедению, Минск, Беларусь

²Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

ВЛИЯНИЕ ГАЛЬВАНОСТАТИЧЕСКОГО И ИМПУЛЬСНОГО РЕЖИМОВ НА МИКРОСТРУКТУРУ ПЛЕНОК ВИСМУТА

Введение. Современная микро- и наноэлектроника обусловлена бурным развитием функциональных устройств, которые используются в различных областях. В связи с этим одним из важных требований являются пути повышения стабильности их функционирования не только в нормальных, но и в экстремальных условиях (температура, влажность, воздействие ионизирующего излучения (ИИ) и др.). Так, например, электронные устройства, применяемые в авиационной, аэрокосмической, атомной промышленности, работают в критических условиях, подвергаясь радиационному воздействию естественного и искусственного происхождения (электроны, гамма-излучение, тяжелые заряженные частицы и др.).

Свинец является наиболее распространенным материалом, используемым для радиационной защиты. Однако, несмотря на то, что он недорогой, нельзя забывать о его главном недостатке – высокой токсичности. Альтернативой свинцу может стать висмут, который находится рядом в таблице Менделеева и имеет такие же высокие значения плотности. Висмут нетоксичен и имеет низкую себестоимость, а широкие технологические возможности его производства делают весьма актуальным его использование в качестве материала радиационной защиты. В данной работе представлены исследования влияния условий электроосаждения Вi на параметры микроструктуры

пленок. Показана перспективность использования пленок на основе Вi в качестве материала радиационных экранов.

Материалы и методы. Пленки Вi осаждались на Си подложку (толщина 70 мкм). Медные подложки обрабатывали смесью венской извести, состоящей из СаО и MgO (1V:1V). Затем обезжиренную поверхность медных подложек полировали в растворе персульфата аммония (120 г/л $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ + 20 г/л H_2SO_4) в течение 30 с для удаления оксидной пленки с поверхности Си. Электрохимическое осаждение Вi проводили из перхлоратного электролита в двух режимах: гальваностатическом и импульсном. Образцы Вi, полученные в гальваностатическом режиме, осаждали при плотности тока 10-25 мА/см², в импульсном режиме – 15 мА/см². В качестве анодов использовались висмутовые стержни диаметром 8 мм, содержащие 97,5 % Вi и до 2,5 % PbO₂. Электроосаждение Вi проводили с использованием потенциостата/гальваностата Р45-Х.

Изучение морфологии поверхности и химического состава пленок Вi осуществляли на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Carl Ziess EVO10 при ускоряющем напряжении 20 кВ. Относительную плотность рассчитывали на основе принципа Архимеда [1].

Результаты и выводы. На рис. 1 представлены СЭМ-изображения пленок Вi, полученные в гальваностатическом режиме. Видно, что средний размер зерна увеличивается с ростом значения плотности тока от 10 до 25 мА/см². Слоистая зеренная структура становится заметна при осаждении при плотности тока 20-25 мА/см². Так, при увеличении плотности тока в два раза с 10 до 20 мА/см² средний размер зерна увеличивается почти в 2,5 раза с 1-3 мкм до 4-7 мкм. Зерна имеют четкую текстуру, характерную для электроосажденных пленок Вi [2]. Объяснением возникновения текстурирования может быть наличие аккомодационного укрупнения зерен (субзерен) основного текстурного компонента. Этот механизм может объяснить формирование текстуры крупнозернистой пленки, в которой крупные зерна состоят из субзеренных блоков (рис. 1 В и Г). Результаты химического состава подтверждают отсутствие примесей в пленках Вi (рис. 1 Г). Расчеты относительной плотности показали, что наиболее плотные пленки Вi получают при электроосаждении при плотности тока 10 мА/см². Относительная плотность увеличивается с 96,8 до 98,6% с ростом плотности тока. Однако скорость осаждения при 10 мА/см² значительно ниже, чем при 25 мА/см² из-за ограничения кинетическими процессами при синтезе [2].

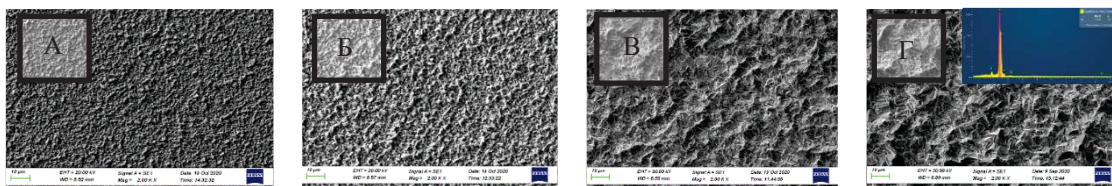


Рисунок 1 - СЭМ-изображения поверхности пленок Vi, электроосажденных из перхлоратного электролита в гальваностатическом режиме при плотности тока 10 (А), 15 (Б), 20 (В) и 25 (Г) mA/cm². Вставки – спектры энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии пленки Vi (Г).

Для изучения влияния импульсного осаждения на микроструктуру пленок Vi была выбрана плотность тока 15 mA/cm² и исследованы три основных режима: короткий импульс, средний импульс и длинный импульс (рис. 2).

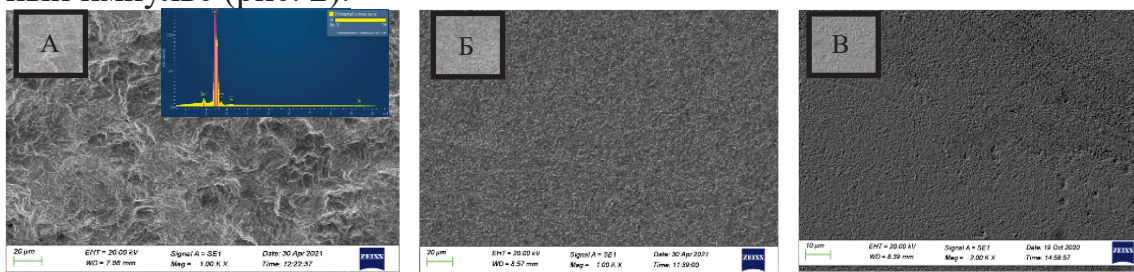


Рисунок 2 - СЭМ-изображения поверхности пленок Vi, электроосажденных при плотности тока 15 mA/cm² и следующих импульсных режимах: длинный импульс (А), средний импульс (Б), короткий импульс (В). На вставке – спектр EDX пленки Vi (А).

Результаты СЭМ показывают, что при уменьшении длительности импульса от 1 с до 20 мкс наблюдается существенное изменение среднего размера зерна и микроструктуры пленок. Средний размер зерна становится 300-700 нм при уменьшении величины импульса до короткого диапазона (20 мкс). Обращает на себя внимание тот факт, что относительная плотность пленок Vi увеличивается с 97,9-99,1 % при уменьшении длительности импульса от 1 с до 20 мкс.

Выводы. Таким образом, показано, что, варьируя режимы электроосаждения, можно получать пленки Vi с регулируемой микроструктурой и относительной плотностью, что наиболее важно для изготовления радиационных экранов, где плотность является ключевым параметром.

ЛИТЕРАТУРА

1. P. Chen [et al.] Int. J. Refract. Met. Hard Mater. 36 (2013) 220-224.
2. D.I. Tishkevich [et al.] Nanomater. 10 (2020) 1245.