

Сахненко Н.Д., Проскурин Н.Н., Ведь М.В., Богоявленская Е.В.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ АКТИВНЫМИ ДИЭЛЕКТРИКАМИ

Введение. Интерес к получению многослойных покрытий активными диэлектриками обусловлен возможностью получения магнитоэлектрического (МЭ) эффекта, значительно превосходящего соответствующие значения в известных однородных магнитоэлектрических материалах [1–3]. Наиболее перспективными веществами для получения наибольшего МЭ эффекта являются ферриты ($ZnO \cdot Fe_2O_4$) и сегнетоэлектрики ($Ba_x Sr_{(1-x)} Ti_y Zr_{(1-y)} O_3$). Одним из перспективных направлений использования композиционных феррит-сегнетоэлектрических материалов является создание датчиков физических величин с широким частотным диапазоном.

Существуют различные технологии формирования многослойных покрытий, среди которых наиболее распространенными являются методы напыления и прессования. Одной из причин высокой себестоимости покрытий получаемых этими методами является необходимость использования дорогостоящего крупногабаритного оборудования с высоким энергопотреблением.

Таким образом, разработка энергосберегающей технологии формирования многослойных покрытий активными диэлектриками является актуальной научно-практической задачей, которая обусловила направление исследований данной работы.

Методика эксперимента. Многослойные покрытия активными диэлектриками формировали в гальваностатическом режиме из водных растворов электролитов с добавлением высокодисперсных частиц (размером 1–10 мкм) феррита ($ZnO \cdot Fe_2O_4$) и сегнетоэлектрика ($Ba_x Sr_{(1-x)} Ti_y Zr_{(1-y)} O_3$). В качестве рабочих электродов использовали образцы из сплава алюминия размером 20 × 20 мм, вспомогательный электрод – нержавеющая сталь. Поверхность образцов исследовали сканирующим электронным микроскопом ZEISS EVO 40XVP, микрофотографии получали при увеличении 100–10000 раз. Химический состав поверхности исследовали при помощи анализа характеристического рентгеновского спектра, который регистрировали при помощи энерго-дисперсионного спектрометра INCA Energy 350.

Результаты исследований и их обсуждение. Ранее [4, 5] нами был предложен способ формирования многослойных покрытий активными диэлектриками, который основан на использовании двух электрохимических процессов: микродугового оксидирования (МДО) и электрофоретического осаждения (ЭФО). Выбор состава электролитов (табл. 1) осуществляли на основе анализа научно-технической литературы [6, 7], а также предшествующих разработок [8, 9].

Таблица 1 – Состав электролитов для получения покрытий активными диэлектриками на сплавах алюминия

Про- цесс	Электролит	Концентрация, моль/л	Содержание дисперсного материала, г/л	
			Сегнетоэлектрик	Ферит
МДО	щелочной	0,15...0,3	–	20...100
ЭФО	кислый	0,1...0,4	40...120	–

Данный способ (рис. 1) позволяет синтезировать равномерные по толщине осадки феррита и сегнетоэлектрика с высокой адгезией, а также характеризуется меньшим энергопотреблением по сравнению с методами напыления и прессования.

На первом этапе происходит осаждения магнитного материала методом МДО из щелочного раствора, путем заполнения пористой матрицы оксида алюминия дисперсными частицами феррита. Полученное покрытие характеризуется развитой поверхностью и высокой адгезией к металлической подложке (рис. 2, а). На следующем этапе осаждается слой сегнетоэлектрика электрофоретическим методом из кислого раствора, синтезированное покрытие имеет мелкокристаллическую структуру и высокую равномерность по толщине (рис. 2, б).

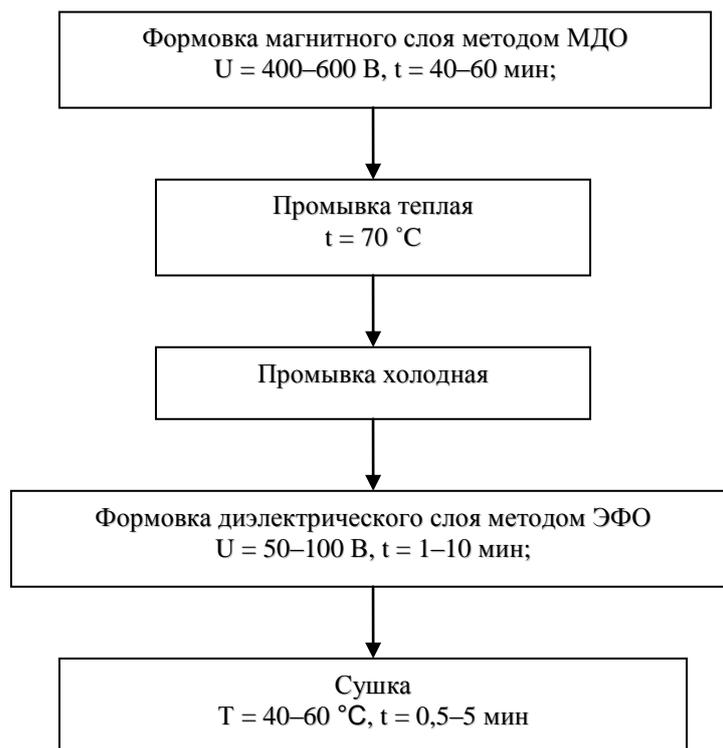


Рисунок 1 – Блок-схема процесса формирования многослойных покрытий активными диэлектриками

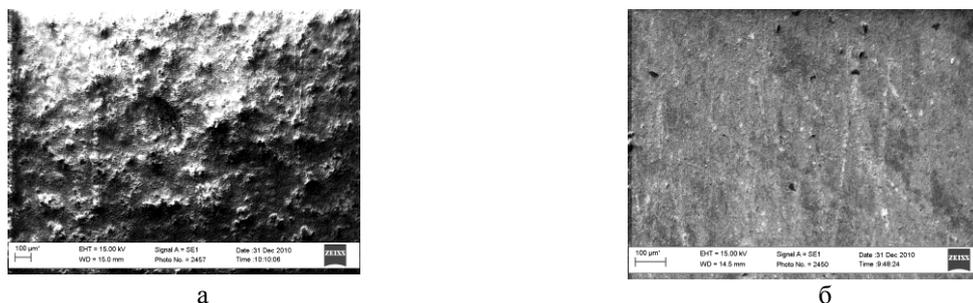


Рисунок 2 – Микрофотографии покрытия активными диэлектриками: феррит (а) и феррит / сегнетоэлектрик (б)

В таблице приведены результаты расчета энергопотребления предложенной электрохимической методологии в сравнении с данными методов напыления и прессования.

Таблица 2 – Результаты расчетов энергопотребления технологий получения покрытий

№	Технология	Потребление электроэнергии, кВт·час/см ²
1	Напыление	43
2	Прессование	30
3	МДО/ЭФО	0,05

Выводы. Предложен электрохимический способ синтеза равномерных по толщине многослойных покрытий активными диэлектриками с высокой адгезией к металлической подложке. Анализ результатов расчета количества электроэнергии необходимого для формирования многослойного покрытия указывает на экономическую целесообразность использования электрохимической технологии в сравнении с методами напыления и прессования.

Литература

1. Луцев Л. В. Спиновые возбуждения в гранулированных структурах с ферромагнитными наночастицами // ФТТ. – 2002. – Т.1. – № 44. – С. 58–61.
2. Солопан С.О., В'юнов О.І., Коваленко Л.Л., та ін. Синтез і властивості композиційних структур на основі сегнетоелектричних та магнітних фаз // Укр. хим. журн. – 2006. – Т.72. – №1. – С. 28–31.
3. Есис А.А., Павелко А.А. Вербенко И.А. Реверсивная диэлектрическая проницаемость в сегнетоэлектрической фазе (область морфотропного фазового перехода) // Электронный журнал "Исследовано в России". – 2007. – Т. 96. – С. 988–993.
4. Сахненко М.Д., Ведь М.В., Проскурін М.М. та ін. Формування покриттів активними діелектриками на алюмінії та титані // Вопросы химии и химической технологии. – 2011. – Т.2. – №2. – С. 167–169.
5. Пат. на корисну модель 66123 Україна, МПК С25D 11/04. Спосіб створення магнітоелектричних покриттів шаруватої структури // Сахненко М.Д., Ведь М.В., Лісачук Г.В. та ін. – у 201106713, заявл. 30.05.2011; опубл. 26.12.2011; Бюл. № 24.
6. Суминов И.В., Эпельфельд А.В., Людин В.Б. и др. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование)/ М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 352 с.
7. Баковец В.В., Поляков О.В., Долговесова И.П. Плазменно-электролитическая анодная обработка металлов / Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1990. – 168 с.
8. Пат. на корисну модель 52663 Україна, МПК С25D 11/00. Спосіб одержання покриттів активними діелектриками на сплавах алюмінію та титану // Сахненко М.Д., Ведь М.В., Богоявленська О.В. та ін. – у 201000064, заявл. 11.01.2010; опубл. 10.09.2010; Бюл. № 17.
9. Сахненко М.Д., Ведь М.В., Богоявленська О.В. та ін. Формування покриттів активними діелектриками на вентильних металах мікродуговим оксидуванням // Вісник НТУ «ХПІ». – 2011.– №31. – С. 15–19.

УДК 621.35

Сахненко М.Д., Проскурін М.М., Ведь М.В., Богоявленська О.В.

**ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ СИНТЕЗА БАГАТОШАРОВИХ ПОКРИТТІВ
АКТИВНИМИ ДІЕЛЕКТРИКАМИ**

Останнім часом збільшився інтерес до магнітоелектричних матеріалів, у яких під дією магнітного поля утворюється електрична поляризація та навпаки. Серед існуючих технологій формування шаруватих структур активними діелектриками найбільш енергозберігаючий є запропонована методологія, яка складається з двох електрохімічних процесів: мікродугового оксидування та електрофоретичного осадження.

Sakhneko N.D., Proskurin N.N., Ved M.V., Bogoyavlenskaya E.V.

**ENERGYSAVING TECHNOLOGY SYNTHESIS OF ACTIVE DIELECTRICS MULTILAYER
COATINGS**

The last time the interest in magnetoelectric materials, which has electric polarization in magnetic field has been increased. The represented method that consists of two electrochemical processes microarc oxidation and electrophoresis deposition is the most energysaving among the active dielectric multilayer coatings forming technologies.