ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СМЕШАННЫХ ОКСИДОВ ДЛЯ СЕНСОРОВ И АКТУАТОРОВ

***В.С. Федосенко**, М. Эм, В.В. Янушкевич, *Г.Г. Горох*

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, БГУИР
Беларусь, 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, дом 6, e-mail: gorokh@bsuir.by

INTELLIGENT MATERIALS BASED ON MIXED OXIDES FOR SENSORS AND ACTUATORS

***V. Fedosenko**, M. Em, V. Yanushkevich, *G. Gorokh*

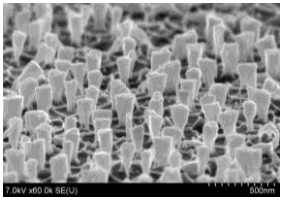
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, BSUIR
Belarus, 220013 Minsk, Brovki Str. 6, e-mail: gorokh@bsuir.by

Smart metal oxide materials of the Zr–Ti–Pb–O system were formed by deposition from colloidal solutions onto matrices of titanium metal oxide nanostructures; their microstructure and composition were studied by scanning electron microscopy and X-ray energy dispersive microanalysis.

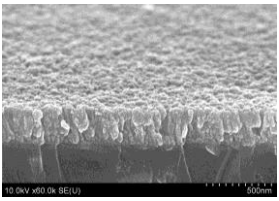
Смешанные металлоксиды соединений Bi–Ti–O; Bi–Fe–O; Ti–Pb–O; Zr–Te–O и др. в зависимости от состава композиции проявляют свойства активных интеллектуальных материалов, например, сегнето- и пьезоэлектрики, термоэлектрики, либо пассивных интеллектуальных материалов, например, газочувствительные, фотовольтаические и фотокаталитические пленки [1]. Ранее мы обсуждали формирование наноструктурированных сплошных металлоксидных пленок методом ионного наслаивания, но им затруднено нанесение металлоксидов на локальные области конструктивных элементов устройств [2–4]. В настоящей работе рассматривается способ формирования интеллектуальных металлоксидных материалов системы Zr–Ti–Pb–O путем осаждения из коллоидных растворов на матрицы титановых металлоксидных наноструктур и исследование их морфологии и состава.

Металлоксидный композит формировали в два этапа. Сначала биметаллическую систему Ti/Al (Ti – 200 нм, Al – 1 мкм) анодировали в верхний слой алюминия преобразовывался в матрицу пористого оксида алюминия. Затем полученную систему анодировали в потенциодинамическом режиме в 0,1 М растворе лимонной кислоты с разверткой потенциала 1 В/с до 280 В. Процесс анодирования прекращали при снижении тока до 60 мкА/см^2. После чего сформированный пористый оксид алюминия удаляли в 50 % H_3PO_4 при 50 °С. В результате на поверхности подложки остались наноразмерные выступы TiO_2 (рис. 1*а*). Для получения свинец-циркониевых оксидных композиций сначала готовили раствор

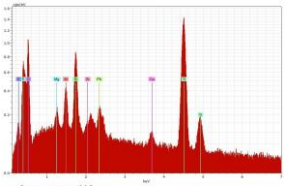
нитратов этих металлов путем растворения 10 г $Zr(NO_3)_2$ в 20 мл деионизованной воды и 30 г $Pb(NO_3)_3$ в 20 мл деионизованной воды. Растворы смешивали, осаждение гидроксидов свинца и циркония осуществляли водным раствором NH_3 (30 % мас.) до значения pH = 7,5. Коллоидный раствор гидроксидов (золь), полученный после очистки наносили дозами по 2 мкл на поверхность матрицы со столбиками TiO_2 с последующим центрифугированием и сушкой при 70 °С. В заключение образцы отжигали в муфельной печи при 700 °С в течение 40 мин. На рис. 1 приведены микрофотографии и результаты EDX исследований сформированных структур.



а



б



в

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [wt.%]
Ti	22	K-series	59,91	61,55	42,62	2,1
O	8	K-series	19,75	20,29	42,04	2,8
Si	14	K-series	6,31	6,48	7,65	0,3
Al	13	K-series	2,01	2,06	2,53	0,1
C	6	K-series	0,56	0,58	1,60	0,2
Mg	12	K-series	0,76	0,78	1,06	0,1
Ca	20	K-series	1,16	1,19	0,99	0,1
Pb	82	M-series	5,03	5,17	0,83	0,2
Zr	40	L-series	1,85	1,90	0,69	0,1
		Total:	97,34	100,00	100,00	

г

Рис. 1. Результаты исследований металлоксидных пленок системы Zr–Ti–Pb–O: СЭМ изображение матрицы титановых столбиков (*а*), СЭМ изображение пленка сформированного композита (*б*), EDX-спектр (*в*), элементный состав (*г*)

Полученный композит обладал зернистой структурой с диаметром зерна около 20 нм (рис. 1*б*). Атомарное соотношение Zr, Ti, Pb и O с учетом всех элементов, входящих в состав пленок, составило 1.85 % Zr, 59,91% Ti,

Литература

1. Olorunfemi, Tope R., Nnamdi I. Nwulu, and Sikiru O. Ismail., Advances in Materials and Processing Technologies, 1-20, (2022).
2. Gorokh G, et al., Sensors 22(10), 3640. (2022).
3. Gorokh G., et al., Next Nanotechnology. 5(11):100038. (2024).
4. Gorokh G., et al., Sensors, 21(12), 4169. (2021).