

Данные, полученные с помощью гальваностатического метода и метода циклической вольтамперометрии, свидетельствуют о стабильности каталитических свойствах электролитических пен никеля по отношению к реакции выделения водорода.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Trofimova, T.S. The dynamics of the nickel foam formation and its effect on the catalytic properties toward hydrogen evolution reaction / T.S. Trofimova, T.N.Ostanina, V.M. Rudoi, E.A.Mazurina. // International Journal of Hydrogen Energy. – 2023.

УДК 66.091

В.С. Федосенко, Г.Г. Горох  
БГУИР (г. Минск, Беларусь);  
О.О. Остапук  
РУП ЦСМС (г. Брест, Беларусь)

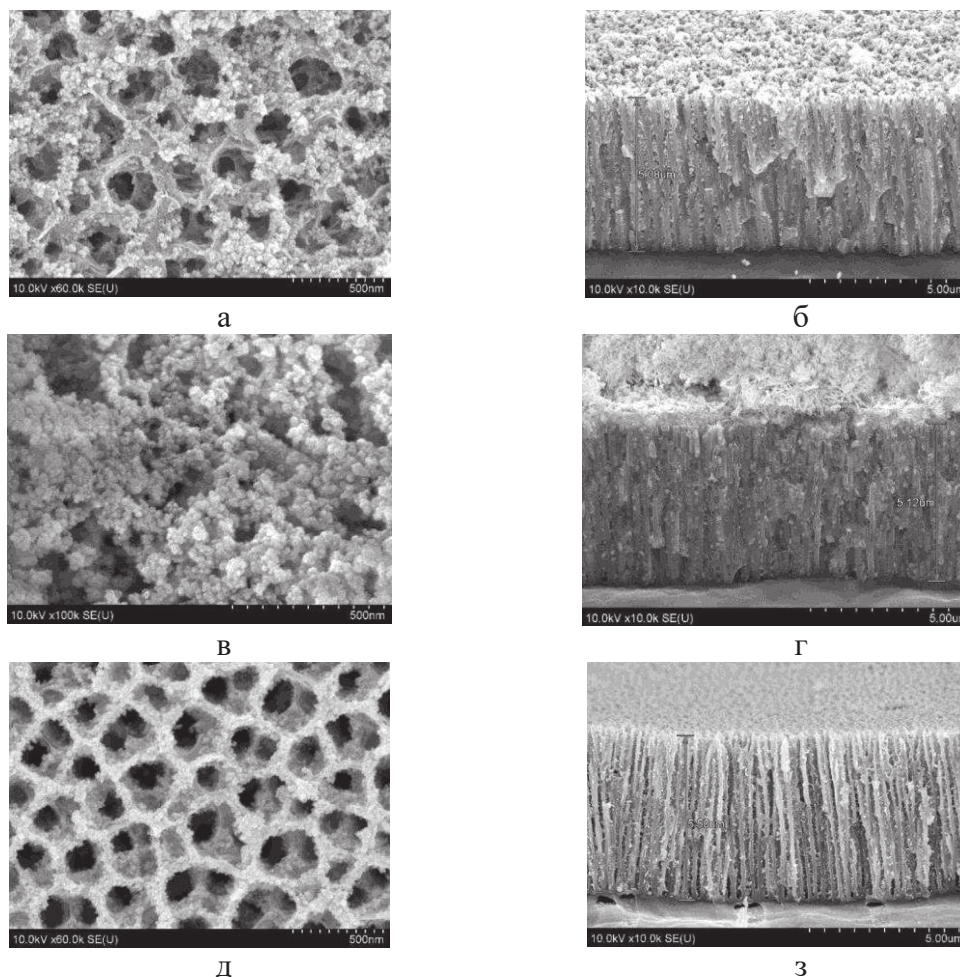
### **СИНТЕЗ Vi–Te-СОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИТОВ В ПОРАХ АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ МЕТОДАМИ ЖИДКОЙ ХИМИИ**

Ежегодно растет количество хеморезистивных [1] и оптоэлектронных [2] устройств построенных на основе многокомпонентных композитов, которые позволяют повысить их эффективность. Использование пористых мембран в качестве темплейтов дает возможность контролируемо изменять параметры композитов, путем изменения диаметров пор и толщин мембран. Целью данной работы является синтез наноструктурированных композитов на основе соединений висмута, теллура и олова в пористых матрицах анодного оксида алюминия (АОА) методом ионного наслаивания [3] и исследование их микроструктуры.

Мембраны АОА формировали методом двухстадийного анодирования [3] алюминиевой фольги в 0,4 М растворе ортофосфорной кислоты при напряжении 125 В. Перед осаждением приготовленные матрицы обрабатывали в дистиллированной воде в течение 5 минут при температуре 100°C. В качестве катионных растворов использовали следующие составы: для осаждения оксида висмута использовали водный раствор 0.1 М  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , для осаждения оксида олова – водный раствор 0.1 М  $\text{SnCl}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , а для осаждения оксида теллура – водный раствор 0.1 М  $\text{Na}_2\text{TeO}_3$ . В качестве анионного раствора во всех случаях использовали подогретую до 70°C дистиллированную воду. Композиционные пленки получали путем последовательной обработки исходных образцов в катионных и анионных растворах в те-

чение 15 с при комнатной температуре. Один цикл осаждения включал обработку в катионных и анионных растворах с промежуточными промывками в дистиллированной воде в течение 5 с для удаления слабо связанных с поверхностью ионов. Всего было выполнено по 50 циклов для каждой композиции оксидов. В заключение образцы сушили на воздухе и в термостате при температуре 70°C в течение 20 минут и 150°C в течение 30 минут. Морфологию матриц АОА с осажденными композитными пленками изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) «Hitachi S-806» при ускоряющем напряжении 10–15 кВ, а элементный состав – методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии с помощью приставки «Bruker» к СЭМ.

Для исследований было подготовлено три образца:  $\text{Sn}_x\text{Te}_y\text{O}_z/\text{AOA}$  (рис. 1 (а), (б));  $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{AOA}$  с нанесенной пленкой  $\text{Sn}_x\text{Te}_y\text{O}_z$  (рис. 1 (в), (г));  $\text{Bi}_x\text{Te}_y/\text{AOA}$  (рис. 1 (д), (з)).



**Рисунок 1 – СЭМ микрофотографии: поверхность  $\text{Sn}_x\text{Te}_y\text{O}_z/\text{AOA}$  (а),  
 скл  $\text{Sn}_x\text{Te}_y\text{O}_z/\text{AOA}$  (б); поверхность  $\text{Sn}_x\text{Te}_y\text{O}_z/\text{AOA}-\text{Bi}_2\text{O}_3$  (в);  
 скл  $\text{AOA}-\text{Bi}_2\text{O}_3$  с нанесенной пленкой  $\text{Sn}_x\text{Te}_y\text{O}_z$   
 (г); поверхность  $\text{Bi}_x\text{Te}_y/\text{AOA}$  (д),  $\text{Bi}_x\text{Te}_y/\text{AOA}$  (з)**

Композиты  $\text{Sn}_x\text{Te}_y\text{O}_z$  и  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  полностью заполнили поры. Размеры зерен  $\text{Sn}_x\text{Te}_y\text{O}_z$  составили  $18\pm 5$  нм. Композит  $\text{Bi}_x\text{Te}_y$  осаждался только на стенках пористого оксида алюминия (рис. 2).

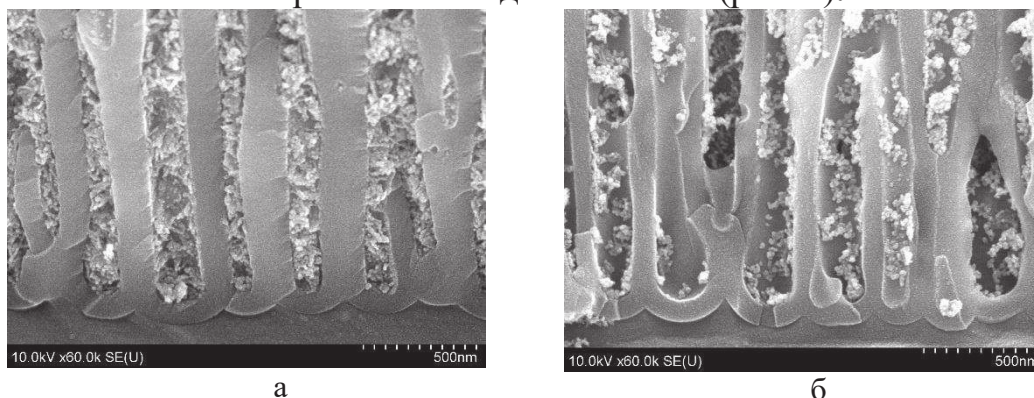


Рисунок 2 – СЭМ Микрофотографии скола: поверхность  $\text{Sn}_x\text{Te}_y\text{O}_z/\text{ПАОА}$  (а),  $\text{Bi}_x\text{Te}_y/\text{ПАОА}$  (б)

Результаты энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии композита  $\text{Bi}_x\text{Te}_y/\text{ПАОА}$  показали, что атомное соотношение Al, O, Bi и Te с учетом всех элементов, входящих в состав пленок, составило Al - 38,49 ат.%, O - 57,30 ат.%, Bi - 3,13 ат.%, Te - 1,08 ат.%. Низкое содержание теллура и висмута объясняется неполным заполнением пор при осаждении именно этого композита, о чем было сказано выше.

Полученные результаты показали, что метод ионного наслаивания позволяет контролируемо формировать многокомпонентные наноструктурированные композиты на основе соединений олова, висмута и теллура в матрицах пористого оксида алюминия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Gorokh, G. Micropowered Chemoresistive Sensor Based on a Thin Alumina Nanoporous Membrane and  $\text{Sn}_x\text{Bi}_k\text{Mo}_y\text{O}_z$  Nanocomposite / G.C. Gorokh [et al] // Sensors – 2022. – 22, 10. – P. 3640.
2. Olorunfemi, T. R. Composites as candidate materials for photovoltaic cells / T. R. Olorunfemi, N.I. Nwulu, S. O. Ismail // Advances in Materials and Processing Technologies – 2022. – P. 1–20.
3. Захлебаева А.И. Наноструктурированные композитные пленки на основе оксидов олова, молибдена, никеля в пористых матрицах анодного оксида алюминия / А.И. Захлебаева, Г.Г. Горох, А.А. Лозовенко // Сборник статей по материалам пятой международной школы-семинара “Наноструктурированные оксидные пленки и покрытия”, под ред. Н.М. Яковлевой, Петрозаводск, Россия, изд-во ПетрГУ, 2021. – С. 189-200.