

СИНТЕЗ НАНОПРОВОДОВ Sb В ТЕМПЛЕЙТАХ ИЗ АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕПЛОМЕРОВ

Горох Г. Г.¹, Обухов И.А.², Лозовенко А.А.¹, Смирнова Е.А.²

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск,

Беларусь; e-mail: gorokh@bsuir.by

²НПП “Системные ресурсы”, Московская обл., Мильково, Россия; e-mail:

i_obukhov@systemres.ru

Перспективными материалами при создании цепочек нанопроводов для формирования термоэлектрических устройств являются полуметаллы (висмут и сурьма) и полупроводники с высокой подвижностью и концентрацией электронов. Одним из наиболее перспективных путей увеличения чувствительности и быстродействия является наноструктурирование термоэлектрического материала путем увеличения эффективной поверхности термоэлектриков за счет применения нанопорошков, использования специальных методов структурирования поверхности, а также использования пористых материалов в качестве основы для нанесения активных слоев и получения наноструктур [1]. Технологически наиболее привлекательным, для получения наноструктур и нанопроводов из полуметаллов и полупроводников является метод электрохимического осаждения этих материалов на металлические контакты (Au, Ag, Pt, Ni, Cu) в специально приготовленные темплейты, такие, например, как матрицы анодного оксида алюминия (АОА) [2, 3]. Структура оксида имеет в своей основе «скелет», который улучшает целый ряд механических свойств: упругость, микротвердость, износостойкость и др. создаваемого композитного материала. Так же, благодаря высокой плотности упаковки наноструктур в ПАОА возможно создание множества параллельных ветвей в батарее тепломера из нанопроводов, что позволит добиться принципиально высокого увеличения вольт-ваттной чувствительности и быстродействия тепломеров [4]. В работе представлены результаты разработки методик создания пористых темплейтов из АОА и электрохимического заполнения пор в них сурьмой, а также исследований микроструктуры сформированных проводов.

Синтез наноструктур сурьмы осуществлялся в пористые проницаемые темплейты из анодного оксида алюминия (АОА) толщиной 30-35 мкм, сформированных методом двухстадийного анодирования алюминиевой фольги в 0,4 М растворе щавелевой кислоты [2]. Для создания электрического контакта, на пористую поверхность АОА (с одной стороны),

методом магнетронного напыления в вакууме был нанесен слой меди толщиной 1 мкм и слой титана толщиной 0,2 мкм. Далее был удален барьерный оксидный слой (БОС) в 5% растворе ортофосфорной кислоты (ОФК) при температуре 50 °С в течение 11,5 минут, а также проведена операция порорасширения в 2М H₂SO₄. В полученные проницаемые пористые темплейты, с диаметром пор 40-45 нм и медным подслоем, предварительно осаждались в поры медные контакты из раствора 0,5М CuSO₄ при плотности тока $j = 10 \text{ mA/cm}^2$. Данная операция требуется для откупоривания пор и создания гарантированного электрического контакта. Затем следовала стадия электрохимического осаждения Sb из раствора 0,16М SbCl₃+0,55М HCl с добавлением EDTA при различных плотностях тока. Схематически маршрут представлен на рисунке 1.

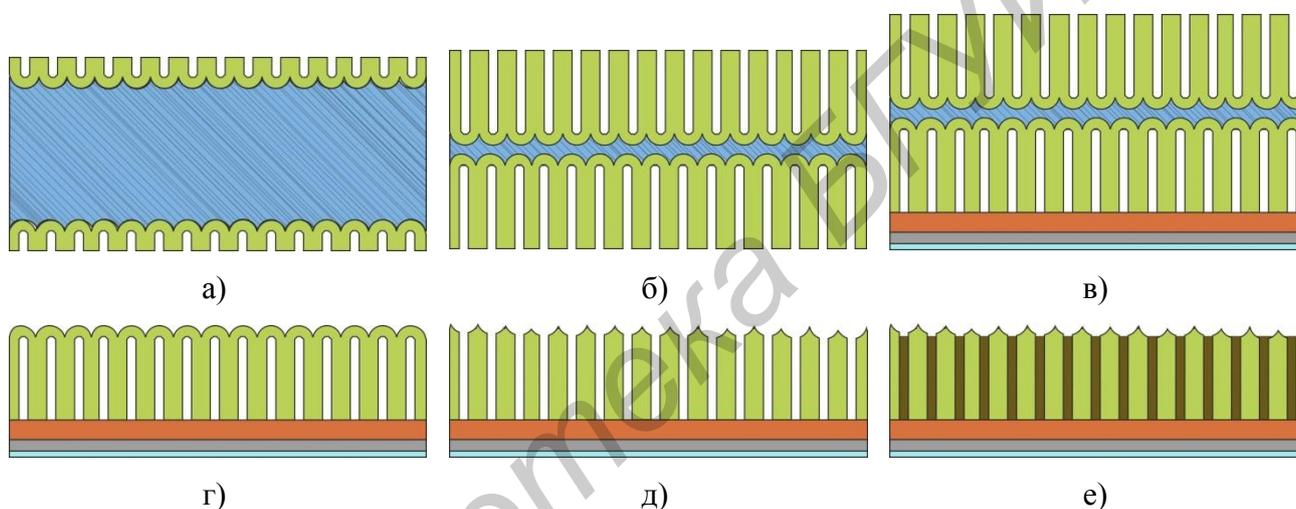
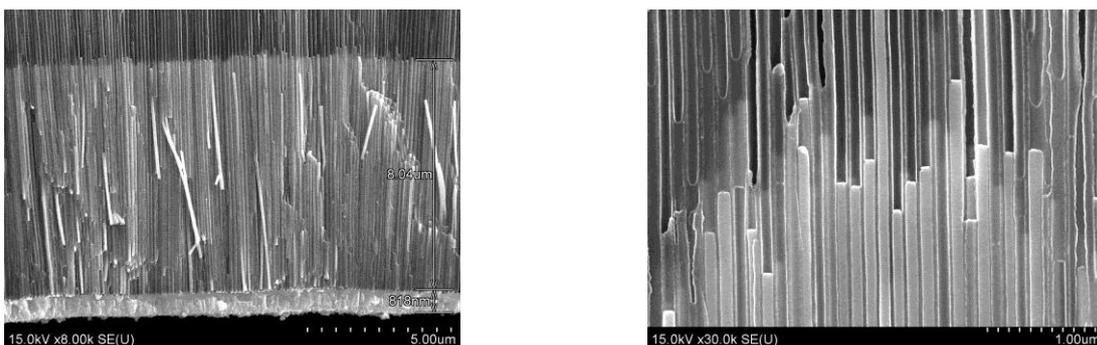


Рис.1. Последовательность операций формирования темплейта из анодного оксида алюминия с осажденными нанопроводами Sb

Электронно-микроскопические исследования показали, что в результате осаждения по разработанному маршруту за 41 минуту во всех порах образовались нанопровода длиной 8 мкм и 11,5 мкм при плотностях тока осаждения 10,7 и 19,2 мА/см² и диаметрами 50 и 100 нм соответственно (рис. 2а, 2б). При этом, наиболее равномерно осаждение ведется при меньшей плотности тока (рис. 2а). Исходя из времени осаждения определили скорость осаждения сурьмы в поры АОА, которая составила 0,195 мкм/мин и 0,28 мкм/мин соответственно. Непропорциональность скорости осаждения и плотности тока связана с изменением процента выхода по току при увеличении плотности тока осаждения.



а)

б)

Рис. 2. СЭМ изображения сечения темплейта из АОА с осажденными нанопроводами Sb

В результате проведенных исследований разработан метод формирования нанопористых темплейтов для электрохимического синтеза нанопроводов из полупроводников и полуметаллов с большим аспектным отношением диаметра к длине, при этом, варьируя условия формирования, можно контролируемо управлять размерами пор и их масштабированием. Проведенные электронно-микроскопические исследования сформированных наноструктур Sb показали, что нанопровода образуются в каждой поре, при этом диаметры созданных структур соответствуют размерам пор, их длина определяется длительностью осаждения и плотностью тока. Разработанные методики позволяют воспроизводимым образом получать нанопровода из полуметаллов с требуемыми физико-химическими свойствами, что открывает перспективы для создания широкого спектра термоэлектрических приборов и устройств, таких как, термогенераторы, микроохлаждающие устройства, а так же приборов работающих на квантовых эффектах, с низкой себестоимостью изготовления

[1] Lei Y., Cai W., Wilde G. // Progress in Materials Science, 2007, V. 52, № 4, P. 465-539.

[2] Горох, И.А. Обухов, А.А. и др. / Формирование нанонитей InSb в пористых матрицах анодного оксида алюминия // Фуллерены и наноструктуры в конденсированных средах : сб. научн. ст., 2013, С. 377–387.

[3] Горох Г.Г., Обухов И.А., Лозовенко А.А. / Массивы нанопроводов из антимолида индия для перспективных термоэлектрических устройств // Технология и конструирование в электронной аппаратуре, 2015, № 1, С. 3–12.

[4] Qi, Yangyang, et al. // Journal of Materials Chemistry, 2013, V. 1, № 20, P 6110-6124.