

**Электрохимический синтез нанопроводов из полупроводников и полуметаллов в пористых диэлектрических матрицах****А.А. Лозовенко** (Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск)**Научный руководитель – к. т. н., Г.Г. Горох** (Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск)

Разработка методов управляемого формирования нанопроводов заданных размеров открывает перспективы для использования широкого спектра квантовых явлений в качестве основы функционирования микроэлектронных приборов, в том числе термоэлектрических устройств [1]. Перспективными материалами для создания цепочек нанопроводов являются полуметаллы (висмут и сурьма) и полупроводники с высокой подвижностью и концентрацией электронов, в частности антимонид индия [2]. Технологически 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) [3, 4]. В работе представлены результаты разработки методик создания нанопористых темплейтов из АОА и электрохимического заполнения пор в них антимонидом индия и висмута, а также исследований микроструктуры и состава сформированных проводов.

Экспериментальные образцы для проведения исследований готовили по следующей методике. На подготовленной фольге и закрытой с одной стороны химически стойким лаком (ХСЛ) методом двухстадийного одностороннего анодирования формировали матрицу АОА в 0,4 М растворе щавелевой кислоты при напряжении 40 В. При этом за время от 60 до 300 минут формировался слой АОА толщиной от 10 до 50 мкм. Далее, для создания электрического контакта, на пористую поверхность АОА методом магнетронного напыления в вакууме был нанесен слой меди толщиной 1 мкм. Затем, после удаления ХСЛ и оставшегося после анодирования слоя алюминия на внешней поверхности был удален барьерный оксидный слой в 5% растворе ортофосфорной кислоты в течение 10 минут, и проведена операция порорасширения в 2М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. В результате были получены проницаемые пористые темплейты с диаметром пор 30-50 нм, в зависимости от времени расширения пор, и медным контактом, готовые для осаждения нанопроводов.

В приготовленные матрицы, через поры, электрохимически осаждали нанопровода из InSb и висмута из водных растворов. Электролит для осаждения InSb следующего состава: водный раствор 0,14 М SbCl<sub>3</sub>, 0,11 М InCl<sub>3</sub>, 0,36 М C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub> и 0,17 М K<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>, доведенный до значения pH = 2,0 20 %-м раствором HCl. Осаждение велось в гальваностатическом режиме при плотности тока 24 мА/см<sup>2</sup>, в течение 28 - 40 минут при температуре электролита 16±1°C. Катодный потенциал относительно электрода сравнения (Ag/AgCl) составлял 1,6-1,9 В. Электролит для осаждения висмута следующего состава: 1М HNO<sub>3</sub>, 0,11М Bi(NO)<sub>3</sub> и 0,25М KNO<sub>6</sub> с pH = 1,0. Катодный потенциал осаждения составлял 2,4-2,5 В.

Морфологию поверхности и сколов, полученных структур, с высоким разрешением изучали в СЭМ Supra 55 WDS при ускоряющем напряжении 15 кВ. СЭМ изображения сечений нанопористых темплейтов из мембран АОА с осажденными нанопроводами InSb и Bi показали, что в результате электрохимического осаждения в каждой поре образовались нанонити InSb с диаметрами, соответствующими диаметрам пор. Исходя из времени осаждения определили скорость осаждения InSb и висмута в поры АОА, которая составила около 0,72 мкм/мин для InSb и 0,43 мкм/мин для Bi.

Для определения элементного состава проведен электронно-зондовый рентгеноспектральный микроанализ электрохимически осажденных наноструктур InSb в порах мембран АОА. Исследования проводились на сканирующем электронном микроскопе,

снабженном специальной приставкой AN 10000 фирмы Princeton Gamma-Tech, Inc. В результате машинной обработки полученных данных удалось количественно рассчитать процентное соотношение индия и сурьмы в составе осажденных нанопроводов. Атомарное соотношение этих элементов в составе наноструктур составило 42,98% In и 57,02% Sb.

Разработанные методики позволяют воспроизводимым образом получать нанопровода из полупроводников и 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 потенциально низкой себестоимостью изготовления.

#### Литература

1. Landis S. Nano-lithography // London UK: ISTE Hoboken. NJ.: Wiley.— 2011.— 345 p.
2. M. Ibrahim Khan, Xu Wang, Krassimir N. Bozhilov, Cengiz S. Ozkan. Templated Fabrication of InSb Nanowires for Nanoelectronics // Journal of Nanomaterials, 2008, Vol.2008, pp. 1-5.
3. Формирование нанонитей InSb в пористых матрицах анодного оксида алюминия / Г.Г. Горох, И.А. Обухов, А.А. Лозовенко, А.И. Захлебаева, Е.В. Сочнева // Фуллерены и наноструктуры в конденсированных средах : сб. научн. ст. / Ин-т тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова ; редкол. : П.А. Витязь (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2013. – С. 377–387.
4. Темплейтный метод формирования квантовых нанопроводов InSb с большим аспектным отношением / Г.Г. Горох, И.А. Обухов, А.А. Лозовенко, А.И. Захлебаева, Е.В. Сочнева // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии: КрыМиКо'2013 : Материалы 23-й Междунар. Крым. конф. в 2 т., Севастополь, 8–13 сент. 2013 г. / Изд-во Вебер ; редкол. : П.П. Ермолов [и др.]. – Севастополь, 2013. – С. 820–823.