

УДК 621.396.6.029.64

ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАССИВОВ НАНОПРОВОДОВ АНТИМОНИДА ИНДИЯ В МАТРИЦАХ АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Горох Г.Г.¹, Федосенко В.С.¹, Таратын И.А.²

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,

²Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Представлены результаты исследований электрофизических и термоэлектрических свойств массивов нанопроводов антимионид индия, сформированных методом электрохимического осаждения из водных растворов в пористых матрицах анодного оксида алюминия. Полученные результаты показали реальную эффективность и перспективность использования массивов нанопроводов при разработке в термоэлектрических устройств.

Ключевые слова: массивы нанопроводов, антимионид индия, термоэлектрические характеристики.

ELECTROTHERMAL STUDIES OF INDIUM ANTIMONIDE NANOWIRE ARRAYS IN ANODIC ALUMINA MATRIXES

Gorokh G.G.¹, Fedosenko V.S.¹, Taratyn I.A.²

¹Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

²Belarusian National Technical University

Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The results of studies of the electrophysical and thermoelectric properties of indium antimonide nanowire arrays formed by electrochemical deposition from aqueous solutions in porous anodic alumina matrices are presented. The obtained results showed the real effectiveness and prospects of using nanowire arrays in the thermoelectric devices development.

Key words: nanowire arrays, indium antimonide, thermoelectric characteristics.

Адрес для переписки: Горох Г.Г., ул. П.Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
e-mail: gorokh@bsuir.by

Более двух третей энергии, затрачиваемой на производство, теряется в виде тепла, которое можно было бы использовать при преобразовании в электричество. В последнее десятилетие при разработке высокоэффективных термоэлектрических устройств большое внимание уделяется использованию в них наноструктурированных материалов, позволяющих добиться низкой теплопроводности при высокой электрической про-водимости за счет уменьшения размерности наноструктур. Использование нанопроводов с большим аспектным отношением их длины к диаметру позволяет повысить термоэлектрическую добротность и эффективность преобразования тепла в электричество.

Ранее нами были разработаны металлизированные с одной стороны проникаемые матрицы анодного оксида алюминия (АОА) для электрохимического осаждения нанопроводов [1], определены оптимальные условия осаждения нанопроводов висмута, сурьмы и антимионид индия в приготовленные матрицы, исследована их микроструктура и состав [2].

В настоящей работе исследованы электрофизические и термоэлектрические свойства массивов нанопроводов антимионид индия, сформированных методом электрохимического осаждения из водных растворов в пористых матрицах анодного оксида алюминия в виде пучков, объединенных внешними контактными площадками и соединенными последовательно в цепочки или параллельно.

В зависимости от характера измерений и последовательности их коммутации для выяснения механизма протекания электрического тока через нанопровода на поверхности разных матриц были локально сформированы разные системы контактов. Приготовленные матрицы толщиной около 35 мкм с диаметрами нанопроводов 40–45 нм были разрезаны на отдельные чипы размером 8×10 мм. На каждом чипе размещалось по две пары контактов размером 1500×1500 мкм, позволяющие коммутировать пучки нанопроводов по заданной схеме (параллельно или последовательно).

Измерения ВАХ массивов нанопроводов в порках АОА между контактами на поверхности матриц и у основания пор проводили при плавной развертке напряжения от нуля со скоростью 0,1 В/с и измерения показаний проходящего тока через массив нанопроводов до максимального значения. Измерения динамики нагрева эмиттерного и коллекторного контактов осуществляли путем измерения температуры соответствующих контактов при пропускании через верхние контакты тока, пилообразно меняющего от +60 мА до –60 мА (рисунок 1), бесконтактным методом в пределах 20–150 °С стационарным высокоточным цифровым инфракрасным пирометром IMPAC IPE 140 (LumaSense) со спектральным диапазоном 3,9 мкм. Измерения нагрева контакта проводили с точностью 0,1 °С в автоматическом режиме регистрации изменения температуры с

использованием компьютера и специализированного программного обеспечения. В процессе измерений период времени увеличения и снижения тока варьировали от 50 с 400 с.

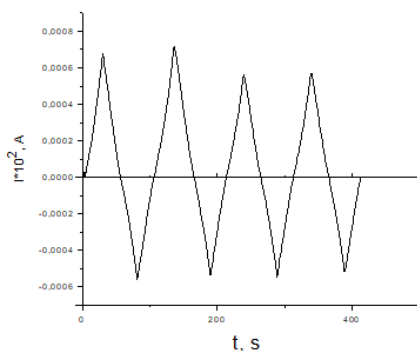


Рисунок 1 – Временная зависимость изменения тока с периодом увеличения и снижения тока 50 с

На рисунке 2 представлена типичная ВАХ для одного пучка нанопроводов. ВАХ имеет нелинейный вид, на которой можно выделить три участка. Первый характеризуется слабой зависимостью тока от 0 до 50 мА при увеличении напряжения от 0 до 2 В. На втором участке при дальнейшем росте напряжения до 3 В ток экспоненциально возрастает до 150 мА. Третий участок при увеличении напряжения до 4–4,5 В характеризуется ускоренным, практически линейным ростом тока до значения ограничения по току, равного 300 мА.

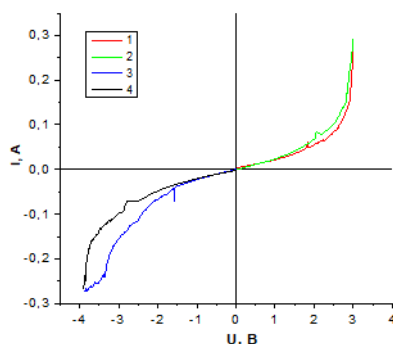


Рисунок 2 – ВАХ массивов нанопроводов антимонида индия в порах АОА от приложенного напряжения

На рисунке 3 представлена кинетика изменения температуры на эмиттерном контакте при пропускании через пучок нанопроводов пилообразно изменяющего тока от 0 до +60 мА и от 0 до –60 мА с периодом 400 секунд. За более короткие промежутки времени, снятые кинетики, имели слабовыраженную зависимость от тока, что можно

объяснить инертностью сформированной структуры. На данной зависимости показан нагрев контакта с точностью 0,1 °С, то есть при развертке тока от 0 мА до 60 мА за 200 секунд верхний контакт нагрелся на 25–27 °С в течение 250 с. При снижении тока до нуля контакт примерно по такой же кинетике охладился, обратное включение показало похожие зависимости. Нелинейность зависимостей и сдвиг по времени связан с инертностью системы и ее теплоемкостью. Вместе с тем повторяемость результатов указывает на высокую чувствительность матрицы нанопроводов из антимонида индия к приложенным напряжению или току.

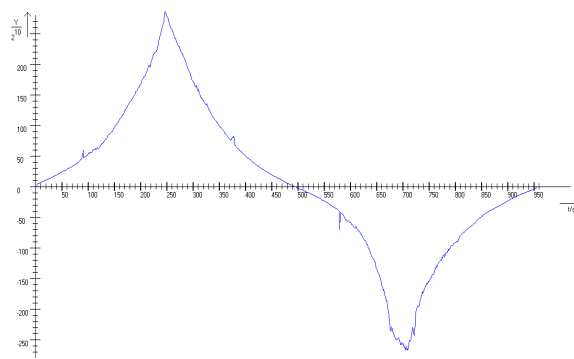


Рисунок 3 – Кинетическая зависимость нагрева и охлаждения эмиттерного контакта на пучке нанопроводов антимонида индия при динамическом пропускании через него тока от 0 до +60 мА и от 0 до –60 мА с периодом 400 секунд

Предварительные расчеты показали, что созданная наносистема может быть использована как термоэлектрическое устройство, то есть при нагреве поверхности матрицы нанопроводов из антимонида индия площадью около 2 мм² до 55 °С на концах нанопроводов выделяется электричество мощностью не менее 0,15 Вт.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГПНИ «Конвергенция – 2025» (задание № 3.02.4).

Литература

1. Gorokh, G.G. Indium Antimonide Nanowires Arrays for Promising Thermoelectric Converters / G.G. Gorokh, I.A. Obukhov, A.A. Lozovenko // In Proceedings of the Technology and design in electronic equipment. – 2015. – № 1. – P. 3–12.
2. Lazavenka, A. Synthesis of Bismuth Nanowires for Thermoelectric Applications / A. Lazavenka, A. Poznyak, G. Gorokh // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1124, 022013.