



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2019-124-6-105-109>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 536.2.02

КОНТАКТНЫЙ ЛОКАЛЬНЫЙ НАГРЕВ АЛЮМИНИЕВОЙ ОСНОВЫ С НАНОПОРИСТЫМ ОКСИДОМ АЛЮМИНИЯ ЛИНЕЙНЫМ ИСТОЧНИКОМ ТЕПЛА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ТЕРМОМЕТРИИ

ЛУШПА Н.В., ДИНЬ Х.Т.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 23 сентября 2019

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2019

Аннотация. В работе представлены результаты тепловых исследований для образца из алюминия с нанопористым оксидом алюминия, выполненных с использованием тепловизионных измерений. В качестве элемента нагрева применялась углеродная нить на основе вискозной технической нити. На основе результатов исследований показано, что локальный нагрев поверхности образца контактным способом с использованием линейного источника тепла может быть использован в термометрии для оценки теплопроводности твердых многокомпонентных диэлектрических материалов.

Ключевые слова: локальный нагрев, линейный источник тепла, углеродная нить, алюминий, нанопористый оксид алюминия, термометрия.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Лушпа Н.В., Динь Х.Т. Контактный локальный нагрев алюминиевой основы с нанопористым оксидом алюминия линейным источником тепла для использования в термометрии. Доклады БГУИР. 2019; 6(124): 105-109.

CONTACT LOCAL HEATING OF AN ALUMINUM BASE WITH NANOPOROUS ALUMINA BY A LINEAR HEAT SOURCE FOR USE IN THERMOMETRY

N. V. LUSHPA, H. T. DINH

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Submitted 23 September 2019

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2019

Abstract. The paper presents the results of thermal studies for a sample of aluminum with nanoporous alumina using thermal imaging measurements. As a heating element, a carbon thread based on a viscose technical thread was used. On the base of results, it was established that local heating of the sample surface by the contact method using a linear heat source can be used in thermometry to determine the thermal conductivity of solid multicomponent dielectric materials.

Keywords: local heating, linear heat source, carbon filament, aluminum, nanoporous alumina, thermometry.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

For citation. Lushpa N.V., Dinh H.T. Contact local heating of an aluminum base with nanoporous alumina by a linear heat source for use in thermometry. Doklady BGUIR. 2019; 6(124): 105-109.

Для использования печатных плат на алюминиевой основе в устройствах с повышенным выделением тепла важно знать их тепловые характеристики и, в первую очередь, характеристики диэлектрического слоя, отделяющего активные полупроводниковые элементы от поверхности алюминия. Благодаря высокой теплопроводности алюминия и малой толщине диэлектрического слоя, для генерации тепловых потоков и проведения тепловых исследований может использоваться линейный источник тепла на поверхности платы из алюминия [1–3]. Задачей линейного источника тепла при проведении тепловых измерений в условиях быстропротекающего режима нагрева (нестационарный режим) является обеспечение высокого уровня линейной мощности нагрева. Современные методы термометрии позволяют контролировать температуру поверхности исследуемого материала. Одним из методов, используемых для регистрации температуры на поверхности различных материалов, являются оптические и, в частности, тепловизионные методы. С их помощью можно визуализировать процессы изменения температуры во времени на поверхности образца и затем оценить ее тепловые характеристики. Достоинством применения такого метода является относительная простота подготовки эксперимента и возможность регистрации профиля распределения температуры на большой площади. В данной работе представлены результаты тепловых исследований образца из алюминия с нанопористым оксидом алюминия, основанных на использовании тепловизионных измерений.

В исследованиях использовались образцы из алюминия со слоем нанопористого оксида алюминия, на поверхности которых размещался линейный источник тепла. В качестве такого элемента нагрева использовалась углеродная нить на основе вискозной технической нити. Форма нити имела один изгиб для исключения локального повышения плотности тока в местах с высокой кривизной. После инициирования работы нагревательного элемента с интервалом в 5 с проводилась съемка термограмм лицевой поверхности образца из алюминия с нанопористым оксидом алюминия.

С помощью анализа СЭМ-изображений анодных пленок было исследовано влияние напряжения анодирования (диапазон от 10 до 40 В) на параметры формируемой микроструктуры (межпористое расстояние и диаметр пор (d_{pore})) нанопористых пленок при анодировании алюминия в 0,3 М водном растворе щавелевой кислоты. Результаты исследований позволили установить, что при увеличении напряжения от 10 до 30 В значения межпористого расстояния и диаметра пор анодных пленок, полученных в растворе щавелевой кислоты, увеличивались линейно, а коэффициент формовки роста диаметра пор (d_{pore}/U) уменьшался. При напряжениях анодирования выше 30 В наблюдались резкое увеличение диаметра пор и стабилизация коэффициента формовки роста диаметра пор, что свидетельствовало об усилении процессов растворения оксида в порах анодной пленки из-за роста скорости реакции растворения оксида алюминия вследствие нагрева электролита в процессе окисления алюминия (рис. 1).

Состав пленок Al_2O_3 , полученных анодированием алюминия в растворе щавелевой кислоты при напряжении 40 В, определялся с помощью энергодисперсного спектрометра (ЭДС). Результаты анализа элементного состава оксидной пленки приведены в таблице.

На исследуемом участке образца, кроме элементов оксида алюминия (кислорода и алюминия), обнаружен углерод. Присутствие углерода объясняется внедрением анионов электролита или продуктов их окисления в оксидную пленку в процессе анодирования. Данные ЭДС микроанализа показывают, что состав анодного оксида алюминия (АОА) практически соответствует формуле Al_2O_3 .

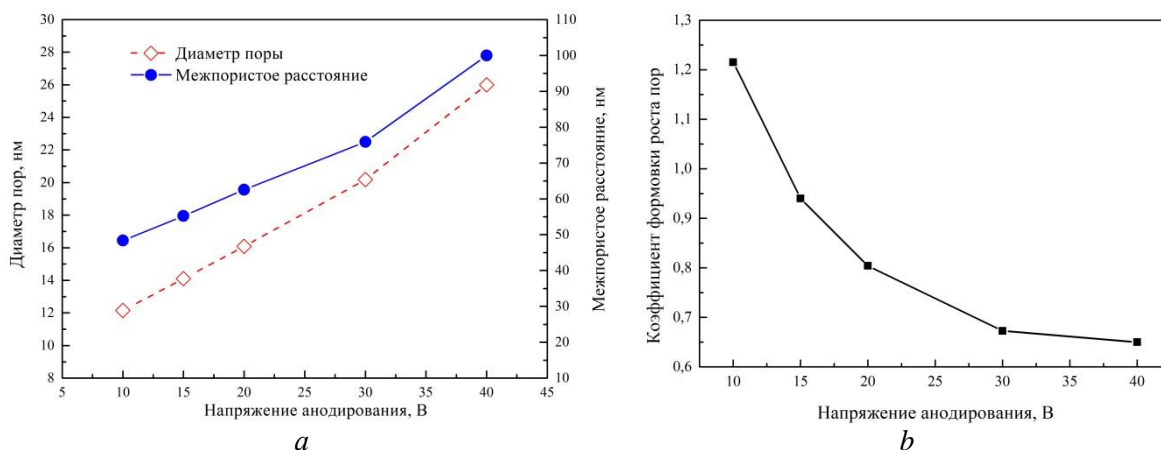


Рис. 1. Изменение диаметра пор, расстояния между центрами пор (a) и коэффициента формовки роста пор (b) с ростом напряжения анодирования
Fig. 1. Change in pore diameter, the distance between the centers of the pores (a) and the molding coefficient of pore growth (b) with increasing anodizing voltage

Элементный состав пористого анодного оксида алюминия, полученного в электролите на основе щавелевой кислоты при 40 В
The elemental composition of the porous anodic alumina, obtained in an oxalic acid-based electrolyte at 40 V

Химический элемент	Массовые проценты	Атомные проценты
C	4,0	6,0
O	45,4	56,5
Al	50,6	37,5

Для определения тепловых характеристик образца из алюминия со слоем нанопористого АОА при тепловых измерениях использовалось термостатирование нижней стороны платы с помощью мощного радиатора из алюминия. Рис. 2 иллюстрирует равномерное распределение теплового поля на поверхности алюминиевой платы с нанопористым оксидом алюминия для случая термостатирования нижней стороны с помощью радиатора.

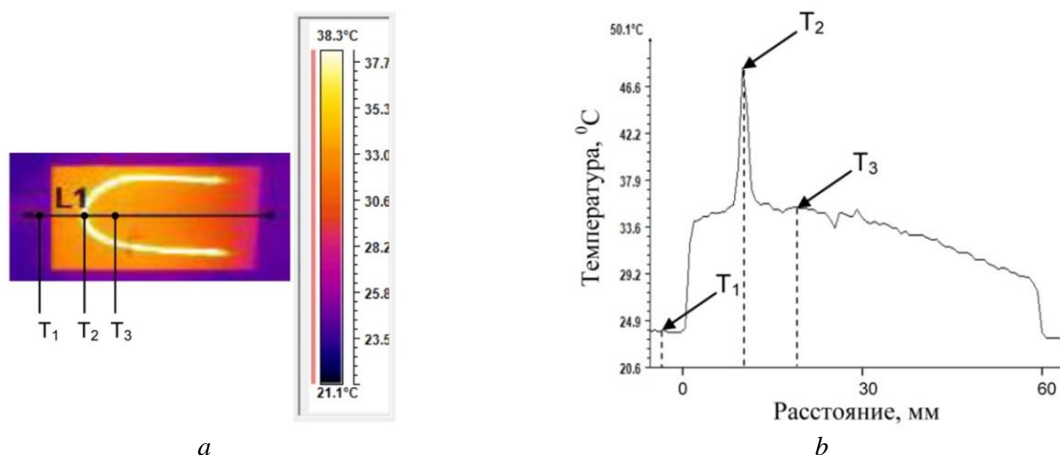


Рис. 2. Изображение платы из алюминия с слоем АОА и нагревательным элементом в тепловизионной камере (a), профиль распределения температуры через 25 с вдоль заданной линии L1 (b) с контрольными точками (T_1 – T_3) при мощности нагрева 3,4 Вт: L1 – заданная линия с контрольными точками T_1 , T_2 , T_3 ;
 T_1 – поверхность радиатора; T_2 – углеродная нить; T_3 – поверхность платы

Fig. 2. Image of a board made of aluminum with a layer of alumina and a heating element in the thermal imaging camera (a), temperature distribution profile after 25 s along a given line L1 (b) with control points (T_1 – T_3) at a heating power of 3.4 W: L1 is a given line with control points T_1 , T_2 , T_3 ;
 T_1 – the surface of the radiator; T_2 – carbon thread; T_3 – board surface

Результаты исследования показали, что значения температуры на верхней и нижней стороне образца из алюминия отличались незначительно, в то время как значения температуры на поверхности алюминиевой платы и алюминиевого радиатора различались существенно. На основе этого был сделан вывод о большом тепловом сопротивлении контакта алюминиевая плата – радиатор, поэтому данные о разности температур поверхности алюминиевой платы и радиатора не могут быть использованы для вычисления теплопроводности. В то же время результаты измерения профиля температуры на поверхности алюминиевой платы на границе с нагревательным элементом позволяют рассчитать теплопроводность слоя нанопористого АОА при термостатировании нижней стороны платы с учетом изотропности распространения теплового потока от нагревателя по формуле (1). Это означает, что профиль температуры будет иметь точки перегиба (рис. 3), соответствующие температуре поверхности слоя нанопористого АОА на границе с нагревателем (T_1), температуре слоя нанопористого анодного оксида алюминия на границе с алюминием (T_2) и равновесной температуре алюминия (T_3).

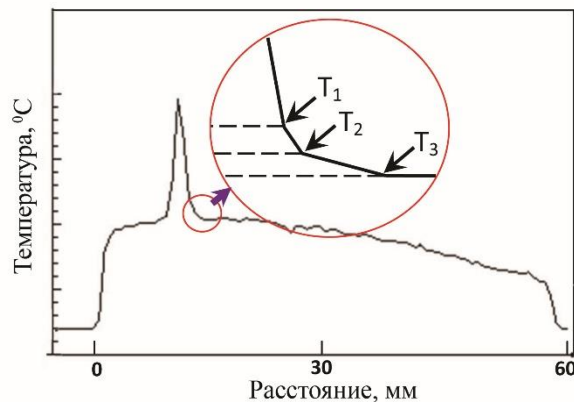


Рис. 3. Схема определения температуры слоя АОА на границе с нагревательным элементом (T_1), со слоем алюминия (T_2) и равновесной температуры слоя алюминия (T_3) на профиле температуры вдоль поверхности образца

Fig. 3. Scheme for determining the temperature of the layer of alumina at the boundary with the heating element (T_1), with the aluminum layer (T_2) and the equilibrium temperature of the aluminum layer (T_3) on the temperature profile along the sample surface

Для случая, когда тепловой поток, проходящий через слой нанопористого АОА и слой алюминия одинаков, можно записать следующее уравнение для теплопроводности слоя нанопористого АОА:

$$\lambda_{\text{Al}_2\text{O}_3} = \lambda_{\text{Al}} \frac{d_{\text{Al}_2\text{O}_3} (T_2 - T_3)}{d_{\text{Al}} (T_1 - T_2)}, \quad (1)$$

где $\lambda_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ – теплопроводность слоя нанопористого оксида алюминия; λ_{Al} – теплопроводность слоя алюминия; $d_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ – толщина слоя нанопористого оксида алюминия; T_1 , T_2 – температура слоя нанопористого оксида алюминия на границе с нагревателем и на границе с алюминием; T_3 – равновесная температура слоя алюминия; d_{Al} – толщина слоя алюминия.

Анализ термограмм и профиля температуры на границе с линейным источником тепла на 55-й секунде нагрева позволил определить следующие параметры: $T_1 = 38,3^\circ\text{C}$, $T_2 = 37,0^\circ\text{C}$ и $T_3 = 36,7^\circ\text{C}$.

Вычисленное значение теплопроводности слоя нанопористого анодного оксида алюминия на 55-й секунде нагрева с использованием уравнения (1) составило $1,56 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$. Использовались следующие исходные данные: толщина слоя Al_2O_3 – 30 мкм, толщина слоя Al – 0,8 мм, теплопроводность сплава АА3003 – $180 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$.

Таким образом, наноразмерные углеродсодержащие включения в слое нанопористого оксида алюминия с содержанием углерода около 6 ат. %, полученные при анодировании алюминия в 0,3 М водном растворе щавелевой кислоты, позволили увеличить

теплопроводность пленок в 1,5 раза по сравнению с пленками АОО, сформированными в растворе серной кислоты. Полученный результат хорошо согласуется с данными для теплопроводности пористого анодного оксида алюминия 1,4–1,8 Вт/(м·°С), представленными в [4, 5].

Заключение

Показано, что локальный нагрев поверхности образца контактным способом с использованием линейного источника тепла (встроенная в конструкцию углеродная нить диаметром до 50 мкм) и регистрация перегрева источника тепла могут быть использованы в термометрии для оценки теплопроводности твердых многокомпонентных диэлектрических материалов.

Список литературы / References

1. Nakamura S., Mukai T., Senoh M. Candela class high brightness InGaN/AlGaIn double – heterostructure blue – light – emitting diodes // Applied Physics Letters. 1994. Vol. 64, iss. 13. P. 1687–1689.
2. Wahab J.A. Derman M.N., Daud Z.C. The effect of electrolyte temperature on formation of porous aluminium oxide films in anodising process // AENSI Journals Advances in Environmental Biology. 2013. Vol. 7, iss. 12. P. 3708–3712.
3. Improvement of the thermal characteristics of the electric heater in the architecture with aluminum, nanoporous alumina and resistive component of carbon fiber / I. Vrublevsky [et al.] // Nanoscience & Nanotechnology – Nanostructured materials application and innovation transfer. 2016. Vol. 16, iss. 1. P. 1–2.
4. Heat dissipation performance of metal-core printed circuit board prepared by anodic oxidation and electroless deposition / J. Lee [et al.] // Thermochemica Acta. 2014. Vol. 589, iss. 10. P. 278–283.
5. Abad B., Maiz J., Martin-Gonzalez M. Rules to determine thermal conductivity and density of anodic aluminum oxide (AAO) membranes // The Journal of Physical Chemistry. 2016. Vol. 120, iss. 10. P. 5361–5370.

Сведения об авторах

Динь Х.Т., аспирант кафедры защиты информации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Лушпа Н.В., младший научный сотрудник Центра 9.1 НИЧ Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Information about the authors

Dinh H.T., PG student of Security Information Department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Lushpa N.V., junior researcher of Center 9.1 of R&D Department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
тел. +37529-888-08-66;
e-mail: taidh75@gmail.com
Динь Хыу Тай

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk. P. Brovki st., 6
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
tel. +37529-888-08-66;
e-mail: taidh75@gmail.com
Dinh Huu Tai