



# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ИЗ АЛЮМИНИЯ СО СЛОЕМ НАНОПОРИСТОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

К. Чернякова, И. Врублевский, В. Видеков, Б. Цанева, С. Андреев, Т. Динь

**Резюме:** Настоящая работа представляет результаты исследований тепловых характеристик печатных плат из алюминия со слоем нанопористого оксида алюминия. В экспериментах использовался односторонний нагрев платы с помощью нагревательного элемента из углеродной нити. Обратная сторона платы термостатировалась с использованием алюминиевого радиатора. Термограммы поверхности печатных плат получали с помощью тепловизионной камеры MobIR M4.

**Ключевые слова:** печатная плата, анодный оксид алюминия, алюминий, тепловые характеристики, термограмма.

## 1. Введение

Повышение плотности компоновки и увеличение тепловыделения электронных устройств радиоэлектронной аппаратуры ставит на первый план вопросы обеспечения эффективного отвода тепла от теплонагруженных компонентов. Несоблюдение тепловых режимов работы электронных компонентов приводит к быстрой деградации их характеристик и значительному сокращению срока эксплуатации. В радиоэлектронной аппаратуре основным способом управления тепловым режимом работы электронных устройств является отвод тепла от тепловыделяющих компонентов через плату.

Для улучшения отвода тепла используют печатные платы с металлическим основанием [1]. Тепловые характеристики таких плат определяются теплопроводностью диэлектрического слоя, расположенного между проводниками из медной фольги и металлическим основанием. Печатные платы с металлическим основанием (МС PBC– Metal Core PCB) применяются в изделиях с повышенными тепловыми нагрузками, в особенности в изделиях светодиодной техники, силовой электроники, автомобильной электроники и распределительных устройствах.

Наиболее часто в качестве металлической основы для печатных плат используется алюминий. Одним из решений по созданию печатных плат на алюминии является формирование на поверхности слоя нанопористого анодного оксида алюминия, который обладает хорошими диэлектрическими свойствами [2].

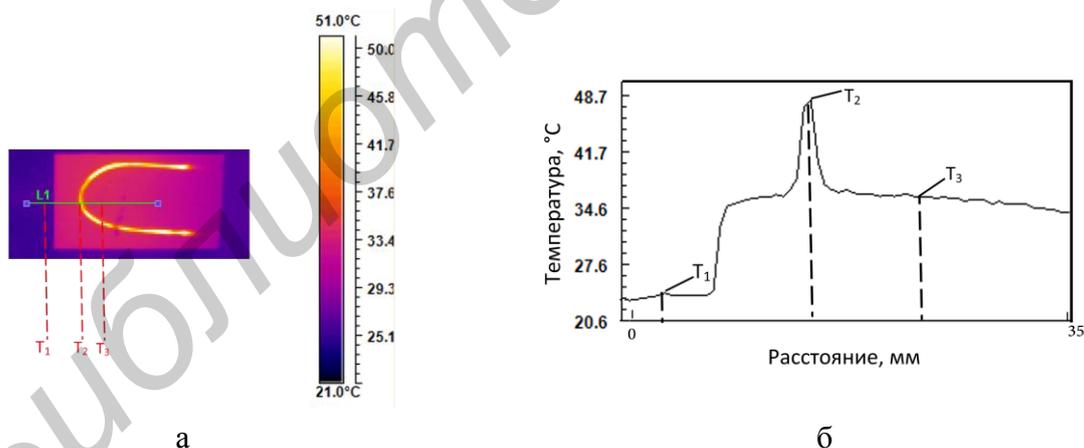
Целью данной работы было исследование тепловых характеристик слоя нанопористого анодного оксида алюминия на поверхности алюминиевого основания с использованием тепловизионных измерений. В экспериментах в качестве теплового источника, осуществляющего односторонний нагрев поверхности нанопористого анодного оксида алюминия, использовался нитевидный нагреватель из углеродной нити. Такое конструктивное исполнение нагревателя позволило добиться условий, когда на относительно малую поверхность печатной платы приходилось большое количество выделяемого теплового потока. Генерация мощного теплового потока нагревателем линейной формы использовалась для оценки эффективности отвода тепла и тепловых характеристик диэлектрического материала печатной платы.

## 2. Экспериментальная часть

Для исследований тепловых характеристик печатных плат использовался подход на основе одностороннего нагрева поверхности платы нагревательным элементом из углеродной нити [3]. При тепловых измерениях обратная сторона платы термостатировалась с помощью внешнего алюминиевого радиатора большой площади. Образцы для исследований имели размеры 60x24 мм. Толщина алюминия 0,6 мм. Для сравнения тепловых характеристик вместе с печатной платой из алюминия исследовались такие материалы, как стеклотекстолит FR4 (толщина 0,5 мм) и ситалл (толщина 0,6 мм). На поверхности основания из алюминия методом анодирования в 0,4М водном растворе щавелевой кислоты был сформирован слой нанопористого анодного оксида алюминия толщиной 30 мкм. В качестве нагревательного элемента сопротивлением 60 Ом для всех образцов использовалась углеродная нить с размерами: толщина 80 мкм, ширина 2 мм и длина 90 мм. Концы углеродной нити гальваническим методом покрывались слоем меди толщиной 10 мкм. Углеродная нить на поверхности образцов фиксировалась с помощью армированного слоя препрега, толщина которого до термообработки была около 80 мкм. Тепловое поле на поверхности печатных плат, создаваемое нитевидным электрическим нагревателем, исследовалось с помощью тепловизионной камеры MobIR M4.

## 3. Результаты и их обсуждение

На рисунке 1 представлены термограмма лицевой поверхности платы из алюминия с нанопористым оксидом алюминия и профиль распределения температуры вдоль заданной линии, пересекающей нагреватель из углеродной нити. Как видно из термограммы, тепловое поле имеет равномерное распределение температуры по поверхности платы. В условиях термостатирования нижней стороны платы, через 25 с нагрева рост температуры на поверхности платы останавливался и переходил к участку насыщения (Рис. 2).



**Рис. 1** Термограмма поверхности платы из алюминия с нанопористым оксидом алюминия с нагревателем из углеродной нити (а) и профиль распределения температуры (б) вдоль заданной линии с контрольными точками  $T_1$ ,  $T_2$  и  $T_3$  для мощности нагревателя 6,8 Вт (измерение через 40 с)

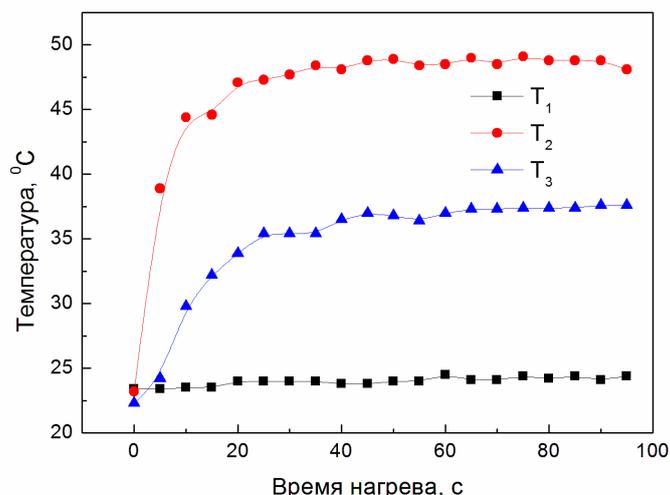


Рис. 2 Изменение температуры в контрольных точках  $T_1$ ,  $T_2$  и  $T_3$  на лицевой стороне (Рис. 1) от времени нагрева для платы из алюминия с нанопористым оксидом алюминия (мощность нагревателя 6,8 Вт)

Температура углеродной нити и поверхности платы из алюминия на 40 с нагрева были равны 48,1 и 36,5 °C соответственно. Градиент температуры для углеродной нити относительно поверхности нанопористого анодного оксида алюминия составил 11,6 °C (удельная поверхностная мощность нагревателя 3,78 Вт см<sup>-2</sup>).

Рисунок 3 демонстрирует термограмму лицевой поверхности платы из стеклотекстолита FR4 и профиль распределения температуры вдоль заданной линии, пересекающей нагреватель из углеродной нити. В отличие от платы из алюминия, тепловое поле на поверхности платы FR4 характеризуется сильной неравномерностью температуры. Область нагрева сосредоточена только вдоль линии нагревателя, в то время как для остальной части платы температура не увеличивалась.

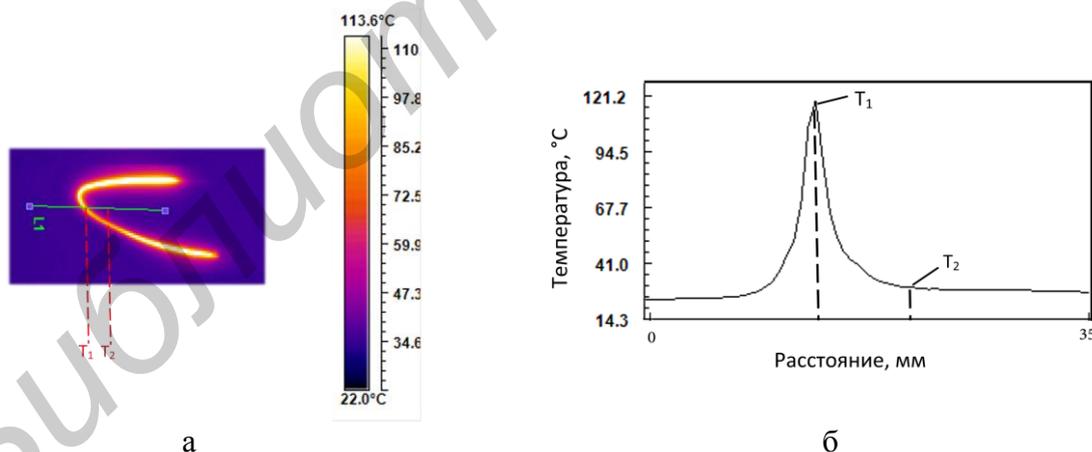


Рис. 3 Термограмма поверхности платы из стеклотекстолита FR4 с нагревателем из углеродной нити (а) и профиль распределения температуры (б) вдоль заданной линии с контрольными точками  $T_1$ , и  $T_2$  для мощности нагревателя 1,0 Вт (измерение через 40 с)

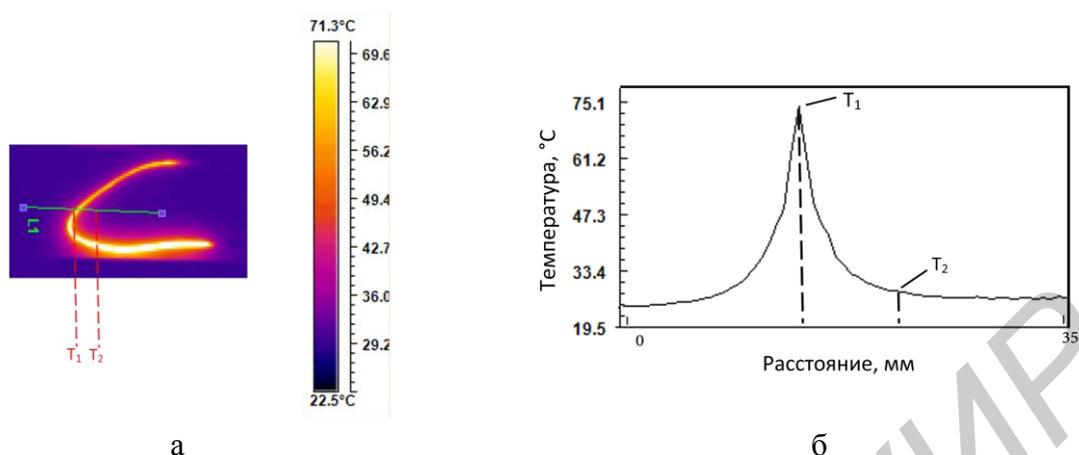


Рис. 4 Термограмма поверхности платы из ситалла с нагревателем из углеродной нити (а) и профиль распределения температуры (б) вдоль заданной линии с контрольными точками  $T_1$  и  $T_2$  для мощности нагревателя 3,5 Вт (измерение через 40 с)

Температура углеродной нити и поверхности платы из стеклотекстолита FR4 были равны 125,5 и 39 °С соответственно. Таким образом, градиент температуры для углеродной нити достигал 86,5 °С (удельная поверхностная мощность нагревателя 0,56 Вт см<sup>2</sup>). В этом случае большое значение градиента температуры углеродной нити вызвано низким коэффициентом теплопроводности стеклотекстолита 0,2 Вт м<sup>-1</sup>К<sup>-1</sup>.

Рисунок 4 демонстрирует термограмму лицевой поверхности платы из ситалла и профиль распределения температуры вдоль заданной линии. Хорошо видно, что тепловое поле на поверхности платы из ситалла распределено неравномерно. Однако в отличие от платы из стеклотекстолита FR4 тепловой поток распространился на относительно большее расстояние от нити нагревателя по поверхности платы. Температура углеродной нити и поверхности платы из ситалла на 40 с нагрева были равны 77,1 и 39 °С соответственно. Градиент температуры углеродной нити достигал 38,1 °С (удельная поверхностная мощность нагревателя 1,94 Вт см<sup>2</sup>). Уменьшение градиента температуры углеродной нити для платы из ситалла по сравнению с платой стеклотекстолита FR4 связано с более высокой теплопроводностью ситалла 1,5 Вт м<sup>-1</sup>К<sup>-1</sup>.

Временные зависимости изменения температуры углеродной нити и поверхности для плат из стеклотекстолита FR4 и ситалла показаны на рисунке 5.

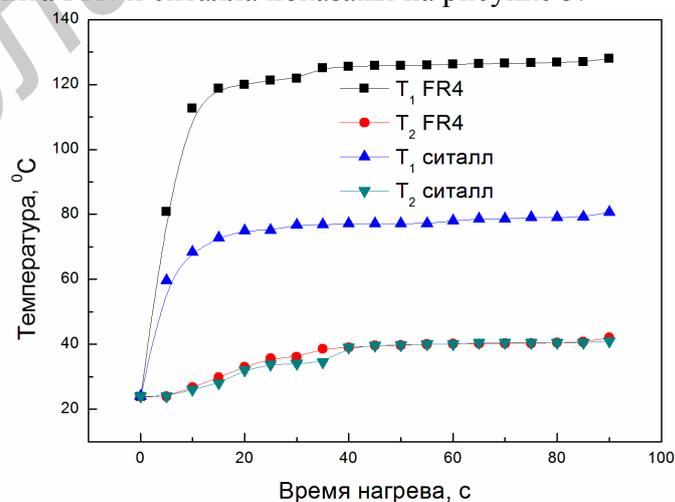


Рис. 5 Изменение температуры в контрольных точках  $T_1$  и  $T_2$  на лицевой стороне (Рис. 2, 3) от времени нагрева для платы из стеклотекстолита FR4 (мощность нагревателя 1,0 Вт) и платы из ситалла (мощность нагревателя 3,5 Вт)



Следует отметить, что пористый анодный оксид алюминия из-за аморфной структуры  $Al_2O_3$  имеет такой же коэффициент теплопроводности, как ситалл –  $1,5 \text{ Вт м}^{-1}\text{К}^{-1}$ . Однако использование малой толщины анодной пленки  $Al_2O_3$  и обеспечение хорошего теплового контакта с алюминиевым основанием приводит к низкому тепловому сопротивлению печатной платы из алюминия.

#### 4. Выводы:

- При одностороннем нагреве платы из алюминия с нанопористым оксидом алюминия с помощью нитевидного нагревателя, тепловое поле после 25 с нагрева имело равномерное распределение температуры по поверхности платы.
- При генерации теплового потока с удельной поверхностной мощностью  $3,78 \text{ Вт см}^{-2}$  на поверхности платы из алюминия с нанопористым оксидом алюминия градиент температуры нагревательного элемента относительно поверхности достигал  $11,6 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- В случае равной удельной поверхностной мощности нагрева, градиент температуры нагревателя характеризует тепловые свойства диэлектрического слоя. Чем ниже величина градиента температуры нагревательного элемента, тем выше теплопроводность диэлектрического слоя.

#### Литература:

1. Чернякова, К. и др. Применение наноструктурированного анодного оксида алюминия при изготовлении теплонагруженных плат для силовых модулей. XXV МНТК “АДП 2016”, Созопол, 2016, стр.257-263.
2. Врублевский, И. и др. Сравнительный анализ работы плоского нагревательного элемента на основании из анодированного алюминия. XXIV МНТК “АДП 2015”, Созопол, 2015, стр.422-428.
3. Vrublevsky, I., et al. Improvement of the thermal characteristics of the electric heater in the architecture with aluminum, nanoporous alumina and resistive component of carbon fiber. Nanoscience & Nanotechnology, 16, № 1, 2016.

### STUDY OF THERMAL CHARACTERISTICS OF PRINTED CIRCUIT BOARDS FROM ALUMINUM WITH NANOPOROUS ALUMINA LAYER BY MEANS OF THERMAL IMAGING MEASUREMENTS

**K. Chernyakova, I. Vrublevsky, V. Videkov, B. Tzaneva, S. Andreev, T. Dinh**

***Abstract:** This paper presents the results of studies of thermal characteristics of printed circuit boards from aluminum with nanoporous anodic alumina layer. One-sided heating of printed circuit boards by heating element from carbon filament was used for all experiments. Back side of board was kept thermostatically through using an aluminum heatsink. Thermograms of circuit board surface were taken by thermal imaging camera MobIR M4.*

#### Данни за авторите:

Игорь А. Врублевский, доцент д-р инж., воедщ наущен сотрудиник НИС Беларуски държавен университет по информатика и радиоелектроника, Беларус, Минск, ул. П. Бровки, 6, e-mail: vrublevsky@bsuir.edu.by

Катерина В. Чернякова, д-р фмн., воедщ наущен сотрудиник НИС Беларуски държавен университет по информатика и радиоелектроника, Беларус, Минск, ул. П. Бровки, 6, e-mail: katerinach\_85@mail.ru



## XXVI МНТК „АДП-2017”

Валентин Христов Видеков, доц. д-р в катедра „Микроелектроника” при ФЕТТ, Технически Университет–София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” No8, тел.: 965 3101, e-mail: [videkov@tu-sofia.bg](mailto:videkov@tu-sofia.bg)

Боряна Рангелова Цанева, доц. д-р в катедра “Химия”, ФЕТТ, Технически Университет–София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” No 8, тел.: 965 3663, e-mail: [borianatz@tu-sofia.bg](mailto:borianatz@tu-sofia.bg)

Светозар Кръстев Андреев, доц. д-р в катедра „Микроелектроника” при ФЕТТ, Технически Университет–София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” No8, тел.: 965 3101, e-mail: [svetozar\\_a@tu-sofia.bg](mailto:svetozar_a@tu-sofia.bg)

Тай Ч. Динь, докторант, Беларуски държавен университет по информатика и радиоелектроника, Беларус, Минск, ул. П. Бровки, 6, e-mail: [taidh75@gmail.com](mailto:taidh75@gmail.com)

Библиотека БГУМР