



ПРИМЕНЕНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ТЕПЛОАГРУЖЕННЫХ ПЛАТ ДЛЯ СИЛОВЫХ МОДУЛЕЙ

Е. Чернякова, И. Врублевский, В. Видеков, А. Тучковский

***Резюме:** В данной работе представлены результаты исследований теплового рассеивания и теплового поля на платах из алюминия с наноструктурированным анодным оксидом алюминия при работе мощных полевых транзисторов. Полученные результаты продемонстрировали высокую эффективность силовых плат из алюминия с наноструктурированным анодным оксидом алюминия для таких характеристик, как улучшение отвода тепла, снижение рабочей температуры электронных компонентов и повышение надежности.*

Ключевые слова: печатная плата, силовой модуль, алюминий, анодный оксид алюминия, тепловизионная камера

1. Введение

Для обеспечения оптимальных тепловых режимов функционирования электронных компонентов с высоким тепловыделением необходимо обеспечить быстрый отвод тепла. Решение этой задачи зависит от характеристик печатной платы, которые определяются как конструктивными особенностями платы, так и от материала ее изготовления [1,2]. Поэтому актуальным при конструировании теплонапряженных плат с высокими токами для электронных компонентов является поиск путей снижения их себестоимости и управления процессами теплорассеивания.

Одним из способов решения задачи по снижению уровня тепловой нагруженности плат и эффективному отводу тепла от электронных компонентов является использование алюминиевых плат с диэлектрическим слоем на основе наноструктурированного анодного оксида алюминия [3]. Как известно, металлические платы и, в частности, платы на основе алюминия применяются в конструкциях, где имеют место повышенные как локальные, так и общие по всей площади тепловые нагрузки. Основные области применения таких плат – светодиодная техника, силовая электроника, источники питания, автомобильная электроника, системы управления энергоснабжением и управление энергии [4,5].

В данной работе представлены результаты исследований теплового рассеивания и теплового поля на платах из алюминия с наноструктурированным анодным оксидом алюминия при работе с мощными полевыми транзисторами.

2. Экспериментальная часть

Печатные платы для силовой электроники на основе алюминия с нанопористым оксидом алюминия изготавливались по следующему технологическому маршруту:

1. вырубка алюминиевых пластин из листа алюминия;
2. химическая обработка алюминия;
3. пористое анодирование алюминия для формирования слоя нанопористого оксида алюминия на поверхности алюминия;
4. поклейка ламелей к медной фольге;
5. приклейка фольгированных ламелей к слою нанопористого оксида алюминия;
6. создание рисунка межсоединений на медной фольге;
7. измерение электрических характеристик.

Структура печатной платы силовой электроники на основе алюминия с нанопористым оксидом алюминия показана на рис. 1.

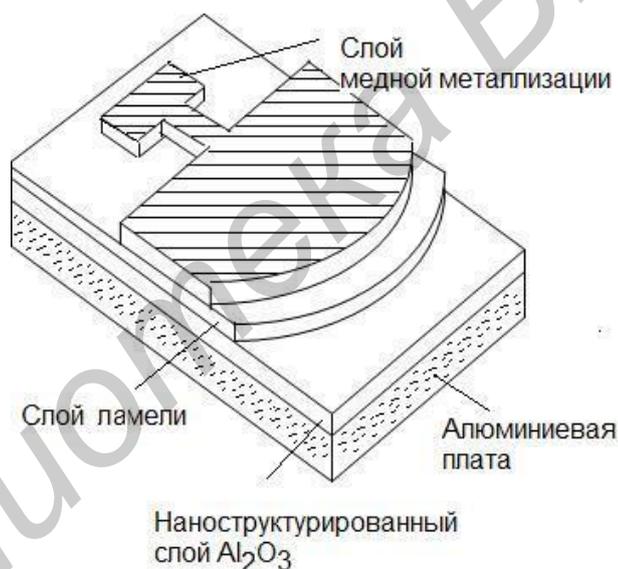


Рис. 1 Структура печатной платы силовой электроники на основе алюминия с нанопористым оксидом алюминия.

Конструктивные параметры образцов силовых плат, изготовленных для монтажа мощных силовых электронных компонентов, представлены в табл. 1.

Анодное окисление алюминия проводили методом анодирования в двухэлектродной электрохимической ячейке в 0,3 М водном растворе щавелевой кислоты $(\text{COOH})_2$ в гальваностатическом режиме ($j = 8,0 \text{ mA/cm}^2$ при напряжении 46 В на участке стационарного роста оксида). В качестве катода использовали платиновую пластину. Процесс проводили при постоянной температуре $(16 \pm 1) \text{ }^\circ\text{C}$, электролит интенсивно перемешивали. Анодирование продолжалось до достижения анодной пленкой толщины 50,0 мкм.

**Таблица 1. Конструктивные и геометрические параметры образцов силовых плат на основе алюминия с нанопористым оксидом алюминия**

№	Параметры	Значения
1	Геометрические размеры, мм	74x48
2	Толщина платы без металлизации, мм	1,0
3	Толщина проводящего слоя меди, мкм	300
4	Защита поверхности	паяльная маска
5	Толщина наноструктурированного анодного оксида алюминия, мкм	50
6	Толщина ламели на основе армированной эпоксидной смолы, мкм	30

Морфологию поверхности пленок пористого оксида алюминия, сформированных в водном растворе щавелевой кислоты, исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа JOEL 840A (SEM) с последующим статистическим анализом изображений с использованием программы ImageJ.

С целью получения количественных характеристик, необходимых для конструирования с использованием печатных плат на основе алюминия с нанопористым оксидом алюминия, проведены испытания для определения температурных режимов работы для медных проводников толщиной 300 мкм. Тестовая конструкция топологии платы разрабатывалась для монтажа 6 мощных полевых переключающих транзисторов. По конструкторской документации транзисторы данного типа предназначены для установки методом поверхностного монтажа на платы из металлокерамики или оксида алюминия, которые используются в силовых микросборках в составе импульсных источников питания с удельной мощностью до 7–8 кВт/дм³ и в составе различных видов ВЧ преобразователей.

Основные статические параметры ДМОП мощных полевых транзисторов данного типа, используемых в схемном решении силовой платы, приведены в таблице 2.

Таблица 2 Основные статические параметры ДМОП транзисторов полевых переключаемых с рассеиваемой мощностью более 1,5 Вт типа 2П835А-5

№	Статические параметры	Значение
1	ток стока, I_C , А, не более	50
2	начальный ток стока, не более, мА	0,1
3	максимально допустимое постоянное напряжение сток-исток, $U_{СИ}$, В, не более	100
4	максимально допустимое постоянное напряжение сток-исток /максимально допустимое постоянное напряжение затвор-исток/, $U_{ЗИ}$, В, не более,	±25
5	сопротивление сток-исток в открытом состоянии, $R_{СИ\text{ отк}}$, Ом, не более	0,06
6	пороговое напряжение, $U_{ПОР}$, В, не менее	2
7	пороговое напряжение, $U_{ПОР}$, В, не более	4

В процессе испытаний образцов силовых плат на основе алюминия с нанопористым оксидом алюминия измерение температуры проводилось с помощью тепловизионной камеры (Infrared imaging camera system MobIR 4).

3. Результаты и их обсуждение

Исследование морфологии поверхности пленок наноструктурированного Al_2O_3 на алюминии

По снимкам поверхности пористого анодного оксида алюминия, полученных с помощью СЭМ, главный диаметр пор (d_p) определяли аппроксимацией кривых распределения пор по размеру функцией Гаусса.

В пленках пористого оксида алюминия, полученных в щавелевой кислоте на пластине алюминия, $d_p = 38,6$ нм (рис. 1, *a* и *б*). Данные о параметрах структуры пленок пористого оксида алюминия, полученных в щавелевой кислоте в наших экспериментах, совпадают с данными [3].

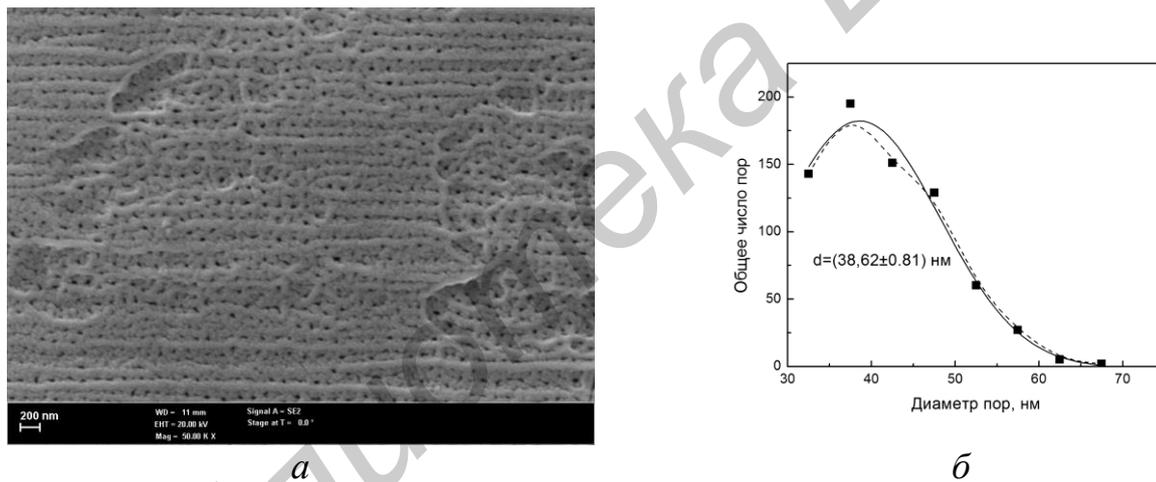


Рис. 2 СЭМ-изображение поверхности (*a*) и результаты обработки изображения в программе ImageJ (*б*) пленки пористого оксида алюминия, полученной в растворе щавелевой кислоты: ■ – эксперимент; ---- - кривая Гаусса

Рассеивание тепла силовой платой из алюминия с наноструктурированным слоем Al_2O_3

Для исследования тепловых характеристик на поверхности силовой печатной платы закреплялся ленточный резистивный элемент из углеродного волокна, с помощью которого генерировалась заданная тепловая мощность при подаче напряжения. Исследуемый образец имел размеры 60x24 мм и толщину 0,5 мм. На рис. 3 *a* представлена тепловая картина обратной поверхности печатной платы, наблюдаемая в тепловизионной камере (время нагрева 60 сек.). Как видно, тепловая картина характеризуется высокой равномерностью

распределения температур, что свидетельствует о низком тепловом сопротивлении печатной платы. Зависимости температуры печатной платы из алюминия с нанопористым оксидом алюминия (обратная сторона) от длительности нагрева при подаче тепловой мощности 6,7 Вт и 3,55 Вт на ее рабочую поверхность показаны на рис. 3 б.

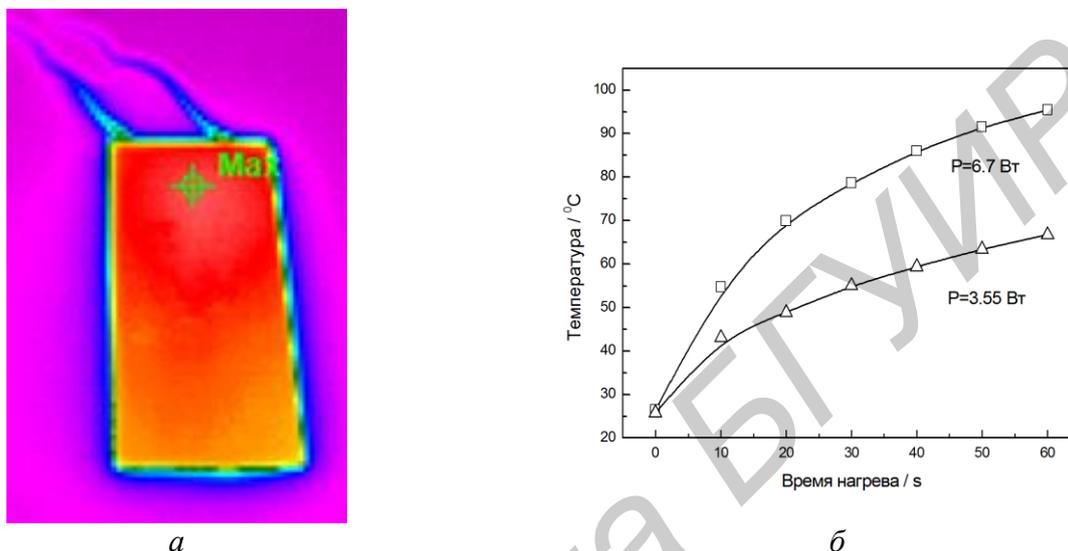


Рис. 3 Тепловая картина на поверхности (а) и зависимости роста температуры от подводимой мощности (б) для обратной стороны платы из алюминия с наноструктурированным слоем Al_2O_3

Результаты испытаний силовой платы

Проверка полевых транзисторов на целостность после разварки проволокой АЦПОм–0,3 проводилась согласно рекомендации по проверке сборки плат. Результаты проведенных испытаний образцов плат силовой электроники из алюминия с наноструктурированным слоем Al_2O_3 представлены в таблице 3.

Таблица 3 Результаты измерений основных статических параметров ДМОП транзисторов полевых переключательных (2П835А-5) на силовой плате из алюминия с наноструктурированным слоем Al_2O_3 и толщиной слоя меди 300 мкм

№	Наименование параметра	Значение
1	Количество выводов к площадке «исток» транзистора	8
2	Сопротивление открытых транзисторов, мОм	2,8
3	Общее сопротивление платы, мОм	8,9
4	Падение напряжение на плате при рабочем токе 20 А	0,21
5	Температура нагрева платы при рабочем токе 20 А, время выдержки 60 мин, °C	60



Как видно из данных таблицы 3, конструкция силовой платы из алюминия с наноструктурированным слоем Al_2O_3 обеспечивает требуемый тепловой режим работы мощных полевых транзисторов.

Важным преимуществом печатных плат на основе алюминия по сравнению со стандартными печатными платами на основе диэлектрика FR4 является возможность отказа от радиаторов. Это позволяет уменьшить массу и габариты устройств, упростить их конструкцию, сделать их надежнее и дешевле. Следует отметить также возможность уменьшить размеры элементов топологии силовых цепей без использования медной фольги повышенной толщины.

Благодаря высоким тепловым и электрофизическим характеристикам печатные платы из алюминия с наноструктурированным слоем Al_2O_3 могут найти применение в силовой электронике для использования в источниках питания, инверторах, DC/AC преобразователях, усилителях мощности и драйверах двигателей.

Результаты: Конструкция силовой платы из алюминия с наноструктурированным слоем Al_2O_3 обеспечивает требуемый тепловой режим работы мощных полевых транзисторов при рабочем токе 20 А.

4. Выводы:

Применение силовых плат из алюминия с наноструктурированным слоем Al_2O_3 по сравнению с традиционными платами позволяет получить следующие преимущества:

- снизить рабочую температуру тепловыделяющих электронных компонентов за счет хорошего теплоотвода;
- уменьшить размеры платы;
- повысить механическую прочность.

По результатам испытаний печатных плат при работе с 6-ю мощными полевыми транзисторами установлено, что температура нагрева платы при рабочем токе 20 А и выдержке в течение 60 мин составляет около 60 °С.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке проекта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № Ф15 М100).

Литература:

1. Хуберт, Р. Вестник электроники, №2 (26), 2010, С.12.
2. Бечтлофф, У., Фихлер, Р., Шауэр, Й., Шмидер, К. Технологии в электронной промышленности, №3, 2005, С.22.
3. Vrublevsky, I., Charniakova, K., Videkov, V., Tuchkovsky, A. Nanoscience & Nanotechnology, 16, № 1, 2016.
4. Закс, М. Полупроводниковая светотехника, №1, 2012, С.32.
5. Марущенко, Д. Электроника: Наука, Технологии, Бизнес, №7, 2009, С.100.



**APPLICATION OF NANOSTRUCTURED ANODIC ALUMINA FOR
FABRICATION OF THERMAL LOADED CIRCUIT BOARDS FOR POWER
MODULES**

K. Chernyakova, I. Vrublevsky, V. Videkov, A. Tuchkovsky

***Abstract:** This paper presents the results on the studies of heat diffusion and picture of the thermal field on the circuit boards from aluminum with nanostructured anodic alumina at operation of powerful field-effect transistors. The results demonstrated a high efficiency of circuit boards from aluminum with nanostructured anodic alumina for characteristics such as improved heat diffusion, reducing of the operating temperature of electronic components and increasing of reliability.*

Данни за авторите:

Игорь А. Врублевский, доцент д-р инж., водещ н.с. НИС Беларуски държавен университет по информатика и радиоелектроника, Беларус, Минск, ул. П. Бровки, 6. Область интересов: анодные пленки, сенсоры, нанотехнологии, e-mail: vrublevsky@bsuir.edu.by.

Катерина В. Чернякова, д-р фмн., старши научен сотрудник НИС Беларуски държавен университет по информатика и радиоелектроника, Беларус, Минск, ул. П. Бровки, 6. Область интересов: анодные пленки, сенсоры, нанотехнологии, e-mail: katerinach_85@mail.ru.

Валентин Христов Видеков - преподавател Технического университета – Софии. Область интересов: гибридные схемы, поверхностный монтаж, МЭМС, нанотехнологии, тел.: 02-9653101 e-mail : videkov@tu-sofia.bg.

Александр К. Тучковский, научен сотрудник НИС Беларуски държавен университет по информатика и радиоелектроника, Беларус, Минск, ул. П. Бровки, 6. Область интересов: анодные пленки, сенсоры, нанотехнологии.