

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.793

КРИВОУС  
Андрей Игоревич

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ДЛЯ  
СВЕТОДИОДНОЙ ТЕХНИКИ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1-41 80 02 – Технология и оборудование для  
производства полупроводников, материалов и приборов электронной  
техники

Научный руководитель  
Голосов Дмитрий Анатольевич  
канд. техн. наук, доцент

Минск 2020

Работа выполнена на кафедре электронной техники и технологии учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель:

**Голосов Дмитрий Анатольевич**

кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Центра 9.1 НИЧ учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент:

**Врублевский Игорь Альфонсович**

кандидат технических наук, доцент, заведующий НИЛ 5.3 учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Защита диссертации состоится «\_\_\_» июня 2020 года в \_\_\_ часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, 1 уч. корп., ауд. 135, тел.: +375 17 293-88-35, e-mail: [kafett@bsuir.by](mailto:kafett@bsuir.by).

С диссертацией можно будет ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

## ВВЕДЕНИЕ

Светодиодное освещение – одно из перспективных направлений технологий искусственного освещения, основанное на использовании светодиодов в качестве источников света. Ультраяркие светодиоды приходят на смену обычным лампам накаливания и находят свое применение во всех областях светотехники: лампы уличного освещения, автомобильная светотехника, светофоры, рекламные вывески и т.д.

В отличие от обычных ламп накаливания светодиоды не излучают тепло в окружающее пространство, проводят его в направлении от *p-n* перехода к теплоотводу в корпусе светодиода. При этом примерно 65 – 85 % электроэнергии при работе светодиода преобразуется в тепло. Поэтому очень важно правильно рассчитать тепловой режим и по возможности максимально рассеять выделяемое светодиодом тепло. В наши дни крупнейшие мировые производители светотехнических изделий заняты разработкой светодиодных технологий и изготовлением продукции светодиодного освещения, что тесно связано с созданием на базе нанотехнологий материалов с новыми свойствами и новых типов устройств светодиодного освещения. Таким образом, тепловое управление и отвод тепла в светодиодах, влияние типа и материала платы на их световую эффективность и работоспособность являются актуальными задачами в конструировании светодиодной техники.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы исследования**

Одна из тенденций современной электроники – уменьшение габаритов устройств при одновременном росте требований к их производительности и надежности. В светодиодной технике размещение большого числа светодиодов на плате приводит к их интенсивному нагреву. Поэтому чем миниатюрнее электронное устройство, тем актуальнее для него проблема эффективного охлаждения. Один из способов решения этой проблемы – использование печатных плат с металлическим основанием.

В светодиодной технике все большее распространение получают осветительные приборы на основе мощных светодиодов в SMD-корпусах, требующих надежного отвода тепла. Данные исследований свидетельствуют, что примерно 65 – 85 % электроэнергии при работе светодиода преобразуется в тепло. Поэтому очень важно правильно рассчитать тепловой режим и по возможности максимально рассеять выделяемое светодиодом тепло. В связи с

этим используются печатные платы с металлическим основанием, обеспечивающим эффективный отвод тепла.

На сегодняшний день производители светодиодных устройств пытаются найти новые способы улучшения характеристик светодиодных ламп и светильников. Дальнейшее развитие светодиодов движется в двух направлениях:

- совершенствование технологии и поиск новых материалов.
- развитие технических характеристик LED-устройств.

В данной работе будет сделан акцент на исследовании нового материала, анодного оксида алюминия, для изготовления печатных плат для светодиодной техники, обладающего высокой механической прочностью, устойчивостью к высоким температурам, многим органическим и неорганическим растворителям.

### **Цель и задачи исследования**

Целью диссертационной работы является разработка технологии изготовления печатной платы с нанопористым анодным оксидом алюминия в качестве диэлектрической изоляции и изучение ее теплофизических свойств.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- исследовать теплофизические свойства металлических печатных плат из алюминия с покрытием на основе нанопористого анодного оксида алюминия;
- исследовать распространение тепла в металлической печатной плате с нанопористым анодным оксидом алюминия;
- разработать технологию изготовления светодиодной линейки на плате из алюминия с покрытием на основе нанопористого анодного оксида алюминия.

**Объектом** исследования являются печатные платы из алюминия с анодным оксидом алюминия.

**Предметом** исследования выступают теплофизические свойства печатной платы из алюминия с анодным оксидом алюминия.

**Методы исследования.** Для решения поставленных задач использовались методы тепловизионных измерений при локальном нагреве в статических условиях.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в использовании анодного оксида алюминия (АОА) в качестве диэлектрика для платы на металлической основе из алюминия для светодиодной техники. Данный оксид является прочным и химически инертным, он препятствует окислению

металла на воздухе, и защищает от взаимодействия со многими агрессивными окислителями (например, с азотной кислотой и т.д.).

### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Разработана методика исследования теплофизических свойств печатной платы из алюминия с нанопористым оксидом алюминия. Она основана на тепловизионных измерениях при локальном нагреве в статических условиях, с помощью которых можно визуализировать процессы изменения температуры во времени на поверхности образца и затем оценить его тепловые характеристики посредством регистрации профиля распределения температуры на исследуемом образце.

2. Результаты экспериментальных исследований теплофизических свойств печатной платы из алюминия с нанопористым оксидом алюминия, показывают, что при анализе термограмм и профиля распространения температур платы при нагреве математическим методом было вычислено значение теплопроводности, оно составило  $1,57 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Данное значение теплопроводности слоя нанопористого анодного оксида алюминия является конкурентоспособным по сравнению с ведущими производителями препрегов для металлических печатных плат ( $1 - 3 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ). Температура кристалла светодиода на печатной плате из алюминия со слоем нанопористого оксида алюминия через 150 с после начала эксперимента оказалась в 1,8 раза ниже, чем на печатной плате на основе стеклотекстолита FR4 и составила  $58,7 \text{ }^\circ\text{C}$ . Благодаря высокой теплопроводности алюминия, генерируемое тепло рассеивалось по всему объему алюминия, обеспечивая равномерный профиль распределения температуры по поверхности как на верхней, так и на нижней стороне платы.

3. Разработан базовый технологический маршрут для изготовления светодиодного модуля, особенностью которого является использование алюминиевой печатной платы с нанопористым АОА. Предложено объединить и использовать данные светодиодные модули для изготовления мощных прожекторов.

**Теоретическая значимость** диссертации заключается в том, что предложен вариант расчета тепловых режимов для печатных плат из алюминия с нанопористым оксидом алюминия. Было установлено, что в случае платы из алюминия со слоем нанопористого анодного оксида алюминия форма конуса тепловой трубы с началом от точечного источника нагрева на поверхности характеризуется расширением по направлению к нижней стороне платы, что приводит к снижению теплового сопротивления.

**Практическая значимость** заключается в том, что предложена методика тепловых измерений, основанная на стационарном методе, когда распределение температуры в образце не зависит от времени нагрева и характеризуется равномерным распределением в объеме. Также предложено использовать разработанные светодиодные линейки в группах, что позволит получить новое изделие – светодиодный прожектор.

**Структура и объем работы.** Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, пяти глав и заключения, библиографического списка и приложения. Общий объем диссертации – 77 страниц. Работа содержит 20 таблиц, 35 рисунков. Библиографический список включает 31 наименование.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** рассмотрено современное состояние проблемы отвода тепла от мощных светодиодов, использующихся в светодиодной осветительной технике, определены основные задачи исследований, также делается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

**В общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, описаны предмет и методы исследования, установлена научная новизна диссертационной работы. Перечислены основные положения, выносимые на защиту, также указаны структура и объем диссертации.

**В первой главе** проводится анализ развития светодиодной техники, описываются конструкции металлических печатных плат для светодиодной техники, описываются теплофизические свойства используемых материалов для металлического основания и для диэлектрического слоя.

**Во второй главе** описываются исходные данные и задачи исследования теплофизических свойств печатной платы из алюминия с нанопористым оксидом алюминия. Также рассматривается методика исследования теплофизических свойств (теплопроводность нанопористого АОА, форма и скорость распространения тепловых потоков), а также тепловых режимов печатных плат из алюминия с использованием тепловизионных измерений при локальном нагреве в статических условиях.

**В третьей главе** приведены результаты исследований теплопроводности нанопористого анодного оксида алюминия на плате из алюминия, где толщина слоя АОА составляла 30 мкм, толщина слоя Al – 0,5 мм, мощность линейного нагревателя – 3,4 Вт. По результатам расчета среднее значение теплопроводности слоя нанопористого АОА составило 1,569 Вт/(м·К). Также

был произведен расчет тепловых режимов работы светодиода на плате из алюминия, впоследствии расчеты подтвердились экспериментально, это свидетельствует, что данной методикой можно пользоваться при проектировании печатных плат на основе из алюминия с нанопористым АОА.

Было произведено сравнение тепловых режимов работы светодиода на плате из алюминия и на плате из стеклотекстолита FR4. В результате температура кристалла светодиода на печатной плате из алюминия оказалась в 1,8 раза ниже, чем на печатной плате на основе FR4. Установлено, что при толщине алюминиевого основания – 1 мм для сохранения своих рабочих температурных режимов минимальное расстояние между светодиодами мощностью 3 Вт составило 0,5 мм.

Исследовано распространение тепла в плате из алюминия с нанопористым анодным оксидом алюминия. Было установлено, что температуры на поверхности платы в месте расположения элемента нагрева и на ее нижней стороне в этой же точке на всех стадиях нагрева имели очень близкие значения. Следовательно, генерируемое тепло, благодаря высокой теплопроводности алюминия, успевало рассеяться по всему объему алюминия, обеспечивая равномерный профиль распределения температуры по поверхности как на верхней, так и на нижней стороне платы.

**В четвертой главе** приведено описание технологии изготовления алюминиевой печатной платы с нанопористым анодным оксидом алюминия, маршрутной технологии монтажных и контрольных операций для изготовления светодиодной линейки.

**В пятой главе** обобщены полученные результаты исследований и на основе этих результатов даны рекомендации по использованию разработанных светодиодных линеек в светодиодных прожекторах.

**В приложении** приведены маршрутные карты изготовления светодиодной линейки.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В данной диссертационной работе произведен анализ существующих диэлектрических покрытий для металлических печатных плат. На основе этого анализа было предложено использовать новый материал, анодный оксид алюминия, для изготовления печатных плат для светодиодной техники, обладающего высокой механической прочностью, устойчивостью к высоким температурам, многим органическим и неорганическим растворителям.

Были исследованы закономерности теплового рассеивания алюминиевых плат с нанопористым анодным оксидом алюминия, и разработана технология

изготовления на их основе светодиодных плат для мощных светодиодных оптических систем.

Для оценки теплопроводности твердых диэлектрических многокомпонентных материалов разработан метод локального нагрева поверхности образца контактным способом с использованием линейного источника тепла (встраиваемая в конструкцию углеродная нить толщиной до 80 мкм). Этот метод позволил определить значения коэффициентов теплопроводности 1,57 Вт/(м·К) пленок АОА с нанопористой структурой, сформированной в электролите на основе щавелевой кислоты. Данное значение теплопроводности является конкурентоспособным по сравнению с ведущими производителями диэлектриков для металлических печатных плат. Показано, что температура кристалла светодиода на печатной плате из алюминия со слоем нанопористого АОА оказалась в 1,8 раза ниже, чем на печатной плате на основе стеклотекстолита FR4. Установлено, что при толщине алюминиевого основания – 1 мм для сохранения своих рабочих температурных режимов минимальное расстояние между светодиодами мощностью 3 Вт составило 0,5 мм. Исследовано распространение тепла в плате из алюминия с нанопористым анодным оксидом алюминия. Было установлено, что температуры на поверхности платы в месте расположения элемента нагрева и на ее нижней стороне в этой же точке на всех стадиях нагрева имели очень близкие значения. Следовательно, генерируемое тепло, благодаря высокой теплопроводности алюминия, успевало рассеяться по всему объему алюминия, обеспечивая равномерный профиль распределения температуры по поверхности как на верхней, так и на нижней стороне платы.

Предложена технология изготовления печатных плат из алюминия с нанопористым АОА в растворе щавелевой кислоты. Также предложены конструкции светодиодных модулей из 22 светодиодов мощностью по 0,2 Вт на основе алюминия с нанопористым анодным оксидом алюминия и медным слоем металлизации. Равномерное распределение тепловой нагрузки по всей площади платы сделало возможным объединение нескольких светодиодных плат в едином корпусе для создания светодиодных прожекторов мощностью 85 Вт и выше без использования дополнительных теплоотводящих радиаторов, что позволит избежать увеличения массогабаритных показателей прожекторов.



## Список опубликованных работ

1. Кривоус, А. И. Распространение тепла в плате из алюминия с пористым анодным оксидом алюминия / А. И. Кривоус, В. А. Гапчинский // Электронные системы и технологии : 55-я юбилейная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22-26 апреля 2019 г. : сборник тезисов докладов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск : БГУИР, 2019. – С. 250.

2. Кривоус, А. И. Обработка СЭМ изображений поверхностей с помощью IMAGEJ / А. И. Кривоус, В. А. Гапчинский // Электронные системы и технологии : 55-я юбилейная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22-26 апреля 2019 г. : сборник тезисов докладов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск : БГУИР, 2019. – С. 296.

3. Кривоус, А. И. Исследование перегрева тепловыделяющих элементов на поверхности платы из алюминия с нанопористым оксидом алюминия / А. И. Кривоус, В. А. Гапчинский // Электронные системы и технологии : 56-я конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 21-24 апреля 2020 г. : сборник тезисов докладов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск : БГУИР, 2020. – С. 152.

4. Кривоус, А. И. Исследование теплофизических процессов в плате из алюминия с нанопористым оксидом алюминия. Материалы / А. И. Кривоус, В. А. Гапчинский // Актуальные вопросы физики и техники : IX Республиканская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов, Гомель, 23 апреля 2020 г. : материалы : в 2 ч. Ч. 1 / М-во образования Республики Беларусь, Гомельский гос. Ун-т им. Ф. Скорины ; редкол. : Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [ и др.]. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины , 2020. – С. 82-84.