

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ В ПЛАТЕ ИЗ АЛЮМИНИЯ С НАНОПОРИСТЫМ ОКСИДОМ АЛЮМИНИЯ С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

И.А. Врублевский, К. В. Чернякова, Х.Т. Динь, Н.В. Лушпа

¹Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», ул. П.Бровки 6, 220013, Минск, Республика Беларусь, nikita.95@mail.ru

В работе представлены результаты исследований тепловых потоков в плате из алюминия с нанопористым оксидом алюминия. Установлено, что в этом случае форма конуса тепловой трубы с началом от поверхности с точечным источником нагрева характеризуется расширением по направлению к обратной стороне платы из алюминия. Такой эффект приводит к снижению теплового сопротивления платы.

Ключевые слова: печатная плата из алюминия; нанопористый оксид алюминия; тепловой поток; конус тепловой трубы; углеродная нить

STUDY OF DISTRIBUTION OF THERMAL FLUXES IN A PLATE OF ALUMINUM WITH NANOPOROUS ALUMINUM OXIDE BY MEANS OF THERMAL IMAGING MEASUREMENTS

I.A. Vrublevsky, K.V. Chernyakova, H.T. Dinh, N.V. Lushpa

¹Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 6 P.Brovki Street, 220013, Minsk, Belarus,

The paper presents the results of studies of heat fluxes in a printed circuit board made of aluminum with nanoporous alumina. It is established that in this case the shape of the cone of the heat pipe with the beginning from the surface with a point heating source is characterized by expansion towards the back side of the aluminum base. This effect leads to a decrease in the thermal resistance of the printed circuit board.

Keywords: aluminum printed circuit board; nanoporous alumina; heat flow; cone of the heat pipe; carbon filament

ВВЕДЕНИЕ

Рынок освещения, в ближайшей перспективе, готовится полностью перейти от систем традиционного освещения на светодиодное освещение. Как известно, одной из важнейших задач в светодиодных системах освещения является обеспечение оптимальных условий для отвода тепла от р-п перехода светодиода. Высокие рабочие температуры р-п переходов значительно ухудшают характеристики светодиодов, снижая их световой поток и уменьшая срок их службы. Особенностью работы светодиодов является преобразование в свет не более 25% потребляемой энергии. Остальная часть энергии при этом уходит на тепловые потери. Для обеспечения высокого квантового выхода в светодиодной технике необходимо использовать эффективные решения для отвода тепла от рабочей зоны размещения светодиодов. Одним из таких решений является использование алюминиевых плат с высокой теплопроводностью [1-3]. Для эффективного управления тепловыми режимами работы светодиодов необходимы знания тепловых свойств алюминиевых печатных плат. Такая плата состоит из теплоотводящего основания из алюминия, на котором на одной стороне расположен теплоотводящий диэлектрический слой с высокой электрической прочностью, ламинированный медной фольгой. Эффективность отвода тепла зависит от теплового сопротивления многослойной конструкции платы. Чем ниже тепловое сопротивление теплоотводящих слоев, тем лучше теплоотвод. Однако, в реальных условиях распределение тепла внутри устройства не является равномерным. Это связано с наличием горячих точек, для которых характерно повышенное тепловыделение. Если источником тепла является полупроводниковый кристалл, то передача тепла от него в окружающую среду в случае конструкции платы из традиционных теплоотводящих диэлектрических материалов осуществляется по конусообразному

каналу с сужением по мере удаления от начала, аналогично тому, как распространяются световые и электромагнитные волны от точечного источника.

Конструкция алюминиевой платы содержит тонкий диэлектрический слой нанопористого оксида алюминия с плохой теплопроводностью и толстое алюминиевое основание с высокой теплопроводностью. Поэтому для оптимального применения алюминиевых плат в светодиодной технике надо знать реальную форму тепловых потоков в объеме платы, которые генерируются активными полупроводниковыми кристаллами на ее поверхности.

В данной работе представлены результаты исследований распространения тепловых потоков в объеме платы из алюминия с нанопористым оксидом алюминия с использованием тепловизионных измерений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследованиях использовались образцы из алюминиевого основания с нанопористым оксидом алюминия, на поверхности которых размещался линейчатый элемент нагрева для имитации точечного теплового источника. Образцы имели размеры 60x24 мм. Толщина алюминиевого основания составляла 0,5 мм. Слой нанопористого анодного оксида алюминия, сформированный на алюминии методом анодирования алюминия, имел толщину 20 мкм. Такая толщина пористого анодного оксида алюминия обеспечивала необходимую изоляцию элемента нагрева от металлического основания. В конструкции платы из алюминия с нанопористым оксидом алюминия углеродная электропроводящая нить на основе вискозной технической нити использовалась в качестве элемента нагрева. Нить из углеродного волокна имела размеры 80 мкм (толщина)*4 мм (ширина)*170 (длина). Концы нити из углеродного волокна металлизировались слоем меди (толщина 30 мкм, гальваническое осаждение) для последующей пайки гибких подводных электродов. Фиксацию углеродной нити на поверхности анодного оксида алюминия осуществляли с помощью эпоксидного компаунда. Нагреватель с нитью из углеродного волокна имел электрическое сопротивление 60 Ом. Для получения термограмм рабочей поверхности платы и ее обратной стороны использовали тепловизионную камеру MobIR M4. После инициирования работы нагревательного элемента с интервалом в 5 с проводилась съемка термограмм двух поверхностей платы из алюминия с нанопористым оксидом алюминия. Данные по распределению температур на поверхности платы, с центром в месте расположения теплового источника, в зависимости от длительности нагрева, использовались с целью определения скорости распространения теплового потока в продольном направлении в объеме платы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Распределение температур по поверхности платы с элементом нагрева и для ее обратной стороны (рис.1.) исследовались с помощью тепловизионных измерений. Как показали исследования, для времени нагрева 5 с температура нагревательного элемента была приблизительно на 6,5 °С выше температуры поверхности платы с анодным оксидом алюминия. Средняя температура платы составляла 23,3 °С по сравнению 20,6 °С перед началом нагрева. Это указывает на хороший тепловой контакт между элементом нагрева из углеродной нити и поверхностью анодного оксида алюминия для платы из алюминия.

В работе исследованы зависимости роста температуры со временем на поверхности платы с элементом нагрева и на ее обратной стороне. Результаты исследований показали, что температура на поверхности платы с элементом нагрева и на обратной стороне имели очень близкие значения на всех стадиях нагрева. Следовательно, благодаря высокой теплопроводности алюминия генерируемое тепло успевало равномерно рассеиваться по всему объему алюминия, обеспечивая равномерный профиль распределения температуры по поверхности как на лицевой, так и на обратной стороне платы.

Скорость распространения тепловых потоков в объеме платы из алюминия с нанопористым оксидом алюминия определялась по расположению теплового фронта с температурой 40,0 °С от точки источника нагрева для времени нагрева 15 с и 20 с (рис.2.).

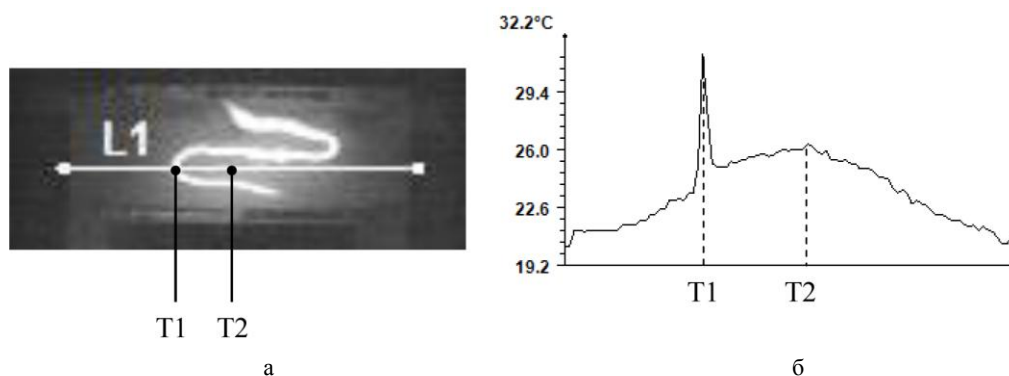


Рис. 1. Термограмма лицевой поверхности платы из алюминия с нанопористым оксидом алюминия и элементом нагрева из углеродной нити (а) и профиль распределения температуры (б) вдоль заданной линии на 5 с нагрева (мощность линейчатого нагревателя 3,5 Вт)

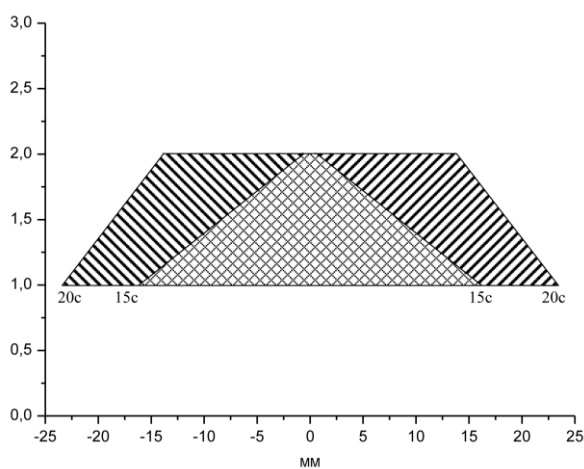


Рис.2. Распространение теплового фронта с температурой 40 °С от точечного теплового источника вдоль поверхности в объеме платы из алюминия с нанопористым оксидом алюминия (мощность линейчатого нагревателя 3,5 Вт)

Из рисунка видно, что конус тепловой трубы расширяется от поверхности с источником нагрева к обратной стороне платы. Такая форма конуса тепловой трубы полностью противоположна той, которая наблюдается для материалов из традиционных диэлектриков – сужение от поверхности с источником нагрева к обратной стороне. Таким образом, в случае платы из алюминия с нанопористым оксидом алюминия конус тепловой трубы расширяется к обратной стороне платы и, следовательно, снижается ее тепловое сопротивление.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, установлено, что в случае платы из алюминия с двухсторонним слоем нанопористого анодного оксида алюминия форма конуса тепловой трубы с началом от поверхности с точечным источником нагрева характеризуется расширением по направлению к обратной стороне платы, что приводит к снижению теплового сопротивления. Несмотря на односторонний нагрев с использованием линейчатого элемента нагрева из углеродной нити, профиль распределения температуры на обратной стороне имел равномерный вид на всех стадиях нагрева платы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Применение наноструктурированного анодного оксида алюминия при изготовлении теплонагруженных плат для силовых модулей / Е. Чернякова [и др.] // Научни известия на НТСМ. - 2016. – Т. XXV. - № 12 (174). – С. 257 – 263
2. Сравнительный анализ работы плоского нагревательного элемента на основании из анодированного алюминия / И. Врублевский [и др.] // Научни известия на НТСМ. - 2015. - Т. XXIII. - № 9. - (172). – С. 422 - 428.
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. - Sofia, 2016. - № 1. - P. 1 - 2.