

УДК 536.21

М.В. Воропаев, Д.Д. Каримбаев, Ю.А. Хотненко, А.П. Коханенко

Метод определения теплопроводности диэлектрических слоёв для светодиодных матриц видимого диапазона

Предложен метод определения теплопроводности диэлектрического слоя в печатных платах для светодиодных матриц. Приведены результаты расчётов и измерения теплового сопротивления СИД (светодиод) кристаллов на печатной плате в зависимости от типа диэлектрика и площади металлизации.

Ключевые слова: эффект растекания тепла, тепловое сопротивление, тепловое сопротивление растекания тепла, теплопроводность.

В настоящее время наметилась тенденция перехода на энергосберегающие источники освещения. Уже с начала 2011 г. перестали выпускаться лампы накаливания 100 Вт и выше. На смену лампам накаливания приходят галогенные лампы, люминесцентные лампы, ртутные лампы высокого давления, светоизлучающие диоды и т.д. В 2011 г. ОАО «НИИПП» начал совместно с ТГУ, ТПУ и ТУСУРом работу по проекту «Разработка высокоэффективных и надежных полупроводниковых источников света и светотехнических устройств и организация их серийного производства», финансируемому согласно Постановлению № 218 МинОбрнауки.

В рамках этого проекта проводится работа по созданию базовой несущей конструкции (БНК) для изготовления светоизлучающих матриц видимого диапазона. Предполагается разработать технологию изготовления материала для печатных плат с металлической основой (МРСВ). Конструкция представляет собой металлическую основу (дюралюминий, медь), на которую наносится тонкий диэлектрический слой, поверх которого приклеивается медная фольга. Очевидно, что тепловое

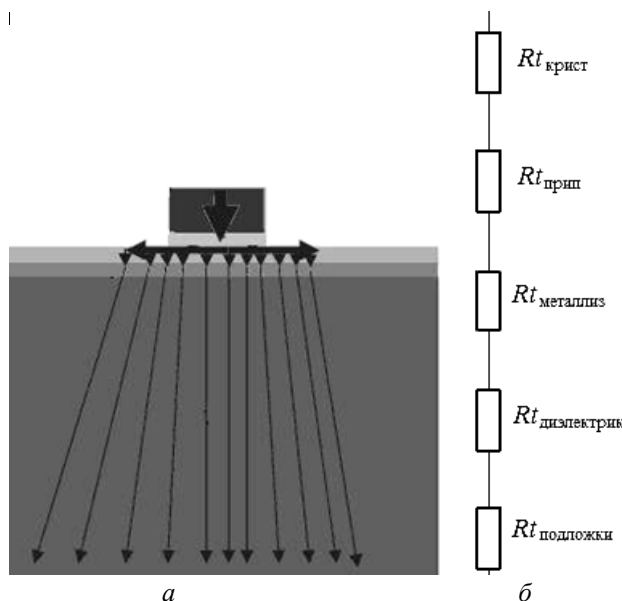


Рис. 1. Растекание тепла на образце СИД – а; принципиальная схема теплового сопротивления – б

$$Rt = Rt_{\text{крист}} + Rt_{\text{прип}} + Rt_{\text{металлиз}} + Rt_{\text{диэлектрик}} + Rt_{\text{подложки}}, \quad (1)$$

где $Rt_{\text{крист}}$ – тепловое сопротивление кристалла; $Rt_{\text{прип}}$ – тепловое сопротивление припоя; $Rt_{\text{металлиз}}$ – тепловое сопротивление слоя металлизации; $Rt_{\text{диэлектрик}}$ – тепловое сопротивление диэлектрического слоя; $Rt_{\text{подложки}}$ – тепловое сопротивление подложки.

В работе были проведены модельные расчёты статического типа (без временной зависимости) с использованием программы ANSYS [2, 3]. Для проведения расчёта в этой программе необходимо

сопротивление излучающего элемента на такой конструкции будет определяться, в первую очередь, теплопроводностью диэлектрического слоя. В данной работе представлены результаты расчётов и измерения теплового сопротивления СИД кристаллов и описана методика измерения теплопроводности диэлектрического слоя, основанная на учете эффекта растекания тепла по медной площадке.

В работе рассматриваются образцы СИД с различной теплопроводностью, различными толщинами слоя диэлектрика и различными толщинами слоя металлизации.

Если рассматривать конструкцию светодиода (рис. 1), где 1 – СИД-кристалл; 2 – припой; 3 – слой металлизации; 4 – диэлектрический слой; 5 – дюралюминиевая подложка, то тепловое сопротивление светодиода равно [1]:

было создать объёмную модель объекта исследования и создать структурную сетку для решения задачи. Для создания сетки использовался тип элементов SOLID 70 (данный тип элементов предназначен для тепловых расчётов объёмных тел). Все слои образца разбивались на элементы шестигранного типа при помощи операции Sweep, такое разбиение необходимо для равномерного распределения тепла по объёму. Каждому слою был задан тип материала с определённой теплопроводностью: металлическое основание 150 Вт/м·°С, слой диэлектрика 1 Вт/м·°С, слой металлизации 360 Вт/м·°С, слой токопроводящей пасты 60 Вт/м·°С, кристалл 65 Вт/м·°С. Расчёт проводился решением задачи уравнения теплопроводности с граничными условиями [4]. При расчётах использовались граничные условия: напряжение на кристалле 3 В, ток 100 мА, температура нижнего основания равна 20 °С.

На рис. 2, а представлены результаты расчётов теплового сопротивления в зависимости от площади слоя металлизации с тремя толщинами диэлектрических слоёв – 17, 30, 50 мкм. Толщина слоя металлизации 70 мкм.

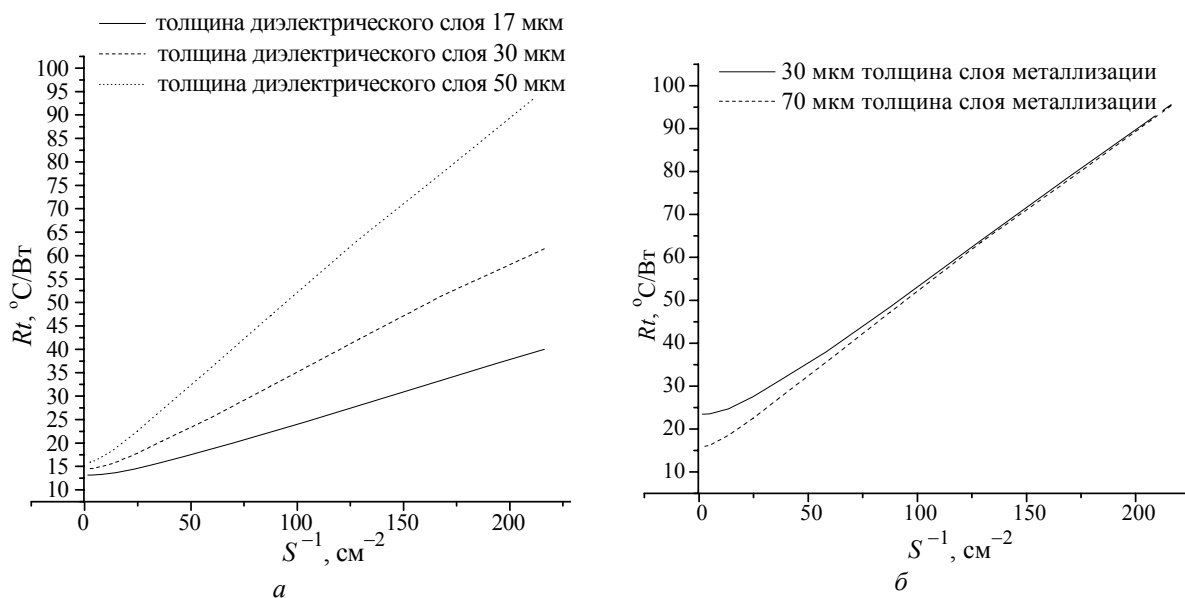


Рис. 2. Зависимость теплового сопротивления СИД от площади слоя металлизации:
 а – на образцах с различными толщинами диэлектрического слоя;
 б – на образцах с различными толщинами слоёв металлизации

На рис. 2, б представлены зависимости теплового сопротивления СИД от обратной площади слоя металлизации, с разными толщинами металлизированных слоёв. В обоих случаях толщина диэлектрического слоя равна 50 мкм. При этом на графике видно, что тепловое сопротивление у образца с толщиной металлизации 30 мкм при обратной площади металлизированного слоя 50 см⁻² больше, чем у образца с толщиной слоя металлизации 70 мкм.

Более подробное объяснение полученных результатов можно провести на основе рис. 3. Поведение теплового сопротивления СИД определяется тепловым сопротивлением растекания тепла по металлизации (Rt_2). Рассмотрим 3 случая. Первый случай, когда видна зависимость уменьшения теплового сопротивления от увеличения площади металлизации (область 1). В этом случае идёт растекание тепла по всей металлизации $Rt_{\text{диэлектрик}} > Rt_2$. Второй случай, когда $Rt_{\text{диэлектрик}} \approx Rt_2$ и тепловой поток начинает не растекаться, а уходит в подложку (область 2), в этом случае на графике наблюдается перегиб. Третий случай, когда $Rt_{\text{диэлектрик}} < Rt_2$ (область 3) и наблюдается дальнейшее растекание тепла по металлизации и тепловое сопротивление не зависит от увеличения площади металлизации. Если описать зависимость теплового сопротивления от площади слоя металлизации прямой то значение этой прямой, будет описываться выражением

$$Rt = \frac{l}{k} \cdot S^{-1} + Rt_0, \quad (2)$$

где Rt_0 – тепловое сопротивление кристалла и припоя; l – толщина слоя диэлектрика; S – площадь растекания теплового потока; k – коэффициент теплопроводности диэлектрического слоя.

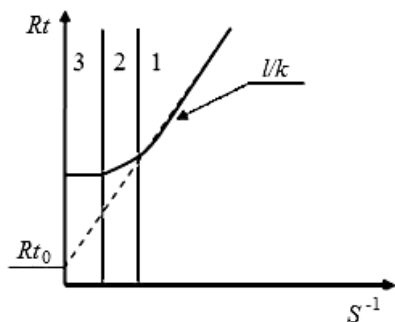


Рис. 3. Зависимость теплового сопротивления СИД от площади слоя металлизации

Были проведены эксперименты по измерению теплового сопротивления СИД на печатной плате в зависимости от типа диэлектрика и площади металлизации для определения теплопроводности диэлектрического слоя печатной платы. Тепловое сопротивление измерялось на установке в ОАО «НИИПП». В данной установке определялась мощность светодиода, температура корпуса и температура $p-n$ -перехода. В установке измерения проводятся в два этапа: 1 этап – определение мощности светодиода и температуры корпуса светодиода, 2 этап – определение температуры $p-n$ -перехода. Разогреть диод можно двумя способами первый способ разогрев диода за счёт протекания высокого тока, второй способ – разогревание диода за счёт внешней окружающей температуры в термостате. Для определения температуры $p-n$ -перехода используется зависимость напряжения на светодиоде от температуры. Сначала подается большой ток для разогрева СИДа и измеряется напряжение на нем, а затем переключаемся на измерительный ток = 1 мА, при этом также фиксируется напряжение на СИД. После этого светодиод разогревается за счёт окружающей среды в термостате и подается не греющий ток (5 мА), а измерения проводятся на измерительном токе. В тот момент когда напряжение на СИД (разогретом в термостате) равно напряжению на СИД при разогреве большим током, можно считать, что температура окружающей среды равна температуре $p-n$ -перехода при протекании греющего тока.

Измерения проводились на 2 образцах СИД видимого диапазона (образец с диэлектрическим слоем фирмы DUPONT и образец с диэлектрическим слоем полиимид) (рис. 4).

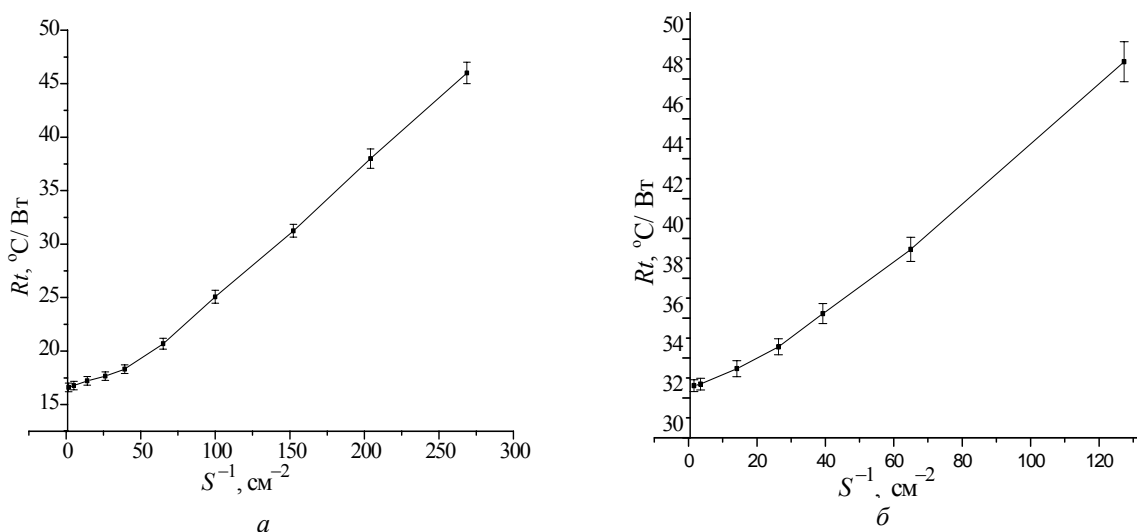


Рис. 4. Зависимость теплового сопротивления СИД от площади слоя металлизации: а – на образце с дюралюминиевой подложкой с диэлектрическим слоем полимера (фирма DUPONT); б – на образце с дюралюминиевой подложкой с диэлектрическим слоем полиимида

Получено хорошее совпадение вида экспериментальных кривых с расчетными. В результате эксперимента также наблюдается перегиб уже при обратной площади металлизации 50 см^{-2} , при меньших обратных площадях слоя металлизации график уходит в насыщение. Из экспериментального графика мы получили значения теплопроводности: – диэлектрического слоя фирмы DUPONT равной $1 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$, полиимида $0,3 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$. Таким образом в работе предложен метод определения теплопроводности диэлектрического слоя в печатных платах для светодиодных матриц. Показано, что теплопроводность полиимида в три раза меньше, чем у полимера с порошком керамики (фирма DUPONT). В результате проведенной работы в настоящее время светодиодные матрицы изготавливаются на подложках с диэлектрическим слоем фирмы DUPONT. Параллельно с этим разрабатывается технология изготовления диэлектрического слоя с порошком нитрида алюминия с целью полу-

чения теплопроводности больше или равной теплопроводности диэлектрического слоя фирмы DUPONT.

Литература

1. Мощные светодиодные матрицы на анодированной алюминиевой подложке / В.И. Осинский, В.Г. Вербицкий, В.М. Мацкевич и др. // Электроника и связь (Тематический выпуск «Проблемы электроники»). – 2008. – Ч. 1. – С. 92 – 96.
2. Каплун А.Б. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство / А.Б. Каплун, Е.М. Морозова, М.А. Олфёрова. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.
3. Босов К.А. ANSYS: справочник пользователя. – М.: ДМК-Пресс, 2005. – 640 с.
4. Тихонов А.Н. Уравнения математической физики / А.Н. Тихонов, А.А. Самарский. – М.: Наука, 2004. – 799 с.

Воропаев Михаил Владимирович

Аспирант каф. квантовой электроники и фотоники
Национального исследовательского Томского государственного университета (НИ ТГУ)
Тел.: 8-923-631-75-59
Эл. почта: voropa@sibmail.com

Каримбаев Дамир Джамалитдинович

Начальник лаборатории СЭ ОАО «НИИПП»
Тел.: 8-923-412-96-79
Эл. почта: karimbdd@mail.ru

Хотненко Юрий Анатольевич

Инженер-конструктор лаборатории СЭ ОАО «НИИПП»
Тел.: 8-923-407-19-97

Коханенко Андрей Павлович

Д-р. физ-мат. наук. профессор каф. квантовой электроники и фотоники НИ ТГУ
Тел.: 8-960-974-56-23
Эл. почта: kokh@elefot.tsu.ru

Voropaev M.V., Karimbaev D.D., Hotnenok U.A., Kohanenko A.P.

The method of determining the thermal conductivity of dielectric layers for visible LED matrix

The article describes the method for determination of thermal conductivity of the dielectric layer in printed circuit boards for LED matrices. There are given the results of calculations and measurements of the thermal resistance of LED (light emitting diode) crystals on the printed circuit board according to the insulator of the type and area of metallization.

Keywords: effect of heat spreading, thermal resistance, thermal spreading resistance of heat conduction.