

СТРУКТУРА ТЕПЛОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СВЕТОДИОДОВ РАЗЛИЧНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА

Ю. А. Бумай¹, О. С. Васьков¹, В. К. Кононенко², В. М. Ломако³,
В.С. Нисс¹, Д. И. Чижик⁴

¹ Белорусский национальный технический университет, Минск

² Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Минск

³ НП ООО ОМНИТЕЛ, Минск

⁴ Белорусский государственный университет, Минск

Основной причиной быстрой деградации и преждевременных отказов светоизлучающих диодов (СИД) в большинстве случаев служит перегрев полупроводниковых кристаллов, возникающий из-за трудностей в отводе тепла. Поэтому снижение результирующего теплового сопротивления «*p-n*-переход–окружающая среда» и выбор СИД, обладающих как можно более низким тепловым сопротивлением, относятся к одной из важнейших задач полупроводниковой электроники. Уменьшение теплового сопротивления СИД зависит от его конструкции и технологии посадки кристалла. Это приводит к необходимости контроля и определения структуры теплового сопротивления приборов с целью нахождения путей его снижения.

В работе определена структура теплового сопротивления полупроводниковых СИД синего, зеленого, желтого, красного и белого свечения на основе AlGaInN и AlGaInP. Проведен анализ вклада в тепловое сопротивление различных структурных компонентов СИД.

Измерения проводились с помощью релаксационного спектрометра теплового сопротивления, использующего переходные электрические процессы, связанные с разогревом СИД проходящим через него током [1]. Временные зависимости изменения напряжения на СИД, пересчитанные в изменение температуры $\Delta T(t)$, дают возможность анализа путей прохождения теплового потока через элементы структуры. На основе зависимости $\Delta T(t)$ с использованием производной $d(\Delta T)/dt$ производится построение особой функции $R^*(t)$ (теплового отклика или временного спектра тепловых сопротивлений), экстремумы которой позволяют определить тепловое сопротивление отдельных элементов конструкции R_i , эквивалентные теплоемкости C_i и соответствующие тепловые постоянные времени $\tau_i = R_i C_i$ [2, 3]. На основании данной функции строятся тепловые эквивалентные модели СИД Фостера и Кауера.

На рис. 1 представлены временные спектры тепловых сопротивлений зеленого, желтого и красного маломощных СИД при нагреве ступенчатым током. Для всех трех светодиодов наблюдаются два ярко выраженных максимума во временной области 1 и 10^4 мс, которые соответствуют посадке кристалла (месту присоединения кристалла к подложке) и теплоотводу соответственно. Измерения свидетельствуют об определяющем вкладе в тепловое сопротивление «переход–окружающая среда» для данных СИД слоя посадки и сопротивления растекания на теплоотвод. Совпадение теплового сопротивления растекания для разных СИД связано с тем, что все чипы были посажены на одно теплоотводящее основание из фольгированного текстолита.

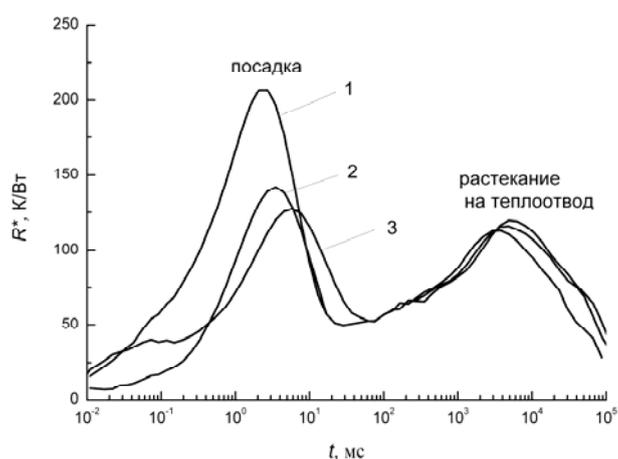


Рис. 1. Временные спектры тепловых сопротивлений $R^*(t)$ зеленого (1), желтого (2) и красного (3) СИД

Для более детального анализа участка, относящегося к внутреннему тепловому сопротивлению структуры (от чипа до корпуса), были измерены переходные характеристики пяти маломощных СИД красного свечения на AlGaInP–GaAs с разным качеством посадки кристалла. На рис. 2 виден существенный разброс в области, соответствующей посадке кристалла, значений теплового сопротивления СИД – от 50 до 255 К/Вт (сопротивление на единицу площади от 4 до $21 \text{ мм}^2 \cdot \text{К/Вт}$). Из дискретного набора компонентов теплового сопротивления (представление в виде схемы Кауера) видно, что сопротивление слоя посадки имеет структуру, соответствующую объему припоя и интерфейсным границам. Наибольшее изменение наблюдается для интерфейсной границы со стороны кристалла и, вероятно, связано с наличием вблизи ее пор или полостей в припое. Необходимо отметить, что тепловое сопротивление кристалла (первые три сопротивления

схемы Кауэра на рис. 2) и сопротивление слоя припоя толщиной 60 мкм (пятое сопротивление) совпали с расчетными.

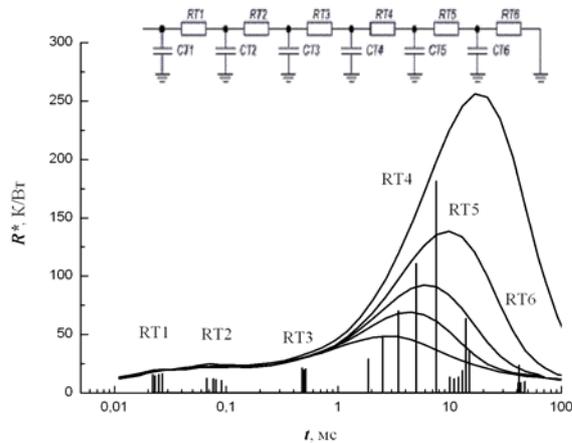


Рис. 2. Временной спектр тепловых сопротивлений $R^*(t)$ красных СИД и дискретный набор компонентов теплового сопротивления (схема Кауэра для шести ячеек)

Сравнение теплового качества посадки кристаллов для СИД с разной площадью можно осуществить, используя значение теплового сопротивления единицы площади кристалла. Исследовались СИД различных типов и свечения: мощные СИД Lumileds (1, 3 Вт), Prolight (3 Вт), Nichia (1 Вт), и маломощные СИД Epigap, Nichia. Для различных производителей оно находилось в интервале $3.3\text{--}17\text{ мм}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$. Принципиальной разницы между посадкой мощных и маломощных СИД не наблюдалось. Необходимо принять во внимание, что корпусированием чипов известных фирм занимаются также вторичные производители, не всегда обеспечивающие достаточно хороший тепловой контакт, необходимый для эффективного отвода тепла.

Таким образом, результаты исследования характеристик СИД показывают, что в тепловое сопротивление разных излучателей наибольший вклад вносит слой посадки. При этом его сопротивление определяется не только теплопроводностью материала слоя и его толщиной, но также интерфейсной границей между кристаллом и слоем посадки.

1. Бумай Ю. А., Васьков О. С., Кононенко В. К., Ломако В. М. // Электроника инфо. 2010. № 3. С. 58–59.
2. Бумай Ю. А., Васьков О. С., Доманевский Д. С. // Полупроводниковые лазеры и системы на их основе: Сб. статей 6-го Бел.–Росс. семинара. Мн., 2007. С. 108–112.
3. Bumaі Yu. A., Vaskou A. S., Kononenko V. K. // Metrology and Measurement Systems. 2010. Vol. 17, № 1. P. 39–46.