

Всеволод Дохтуров | niipp24@mail.ru |
Серафим Смирнов | seraphim.smirnov@mail.ru | Юлия Гончарова | xel9i@mail.ru

Влияние локализации тепловыделения

на тепловое сопротивление мощных полупроводниковых источников света

Приводятся результаты измерения теплового сопротивления мощных полупроводниковых светодиодов (СД) синего и белого цвета. Показано, что тепловое сопротивление СД определяется не только геометрическими и теплофизическими характеристиками кристалла и корпуса, но и локализацией распределения плотности тока в кристалле, а также тепловыделением в люминофоре.

Одним из важнейших параметров полупроводниковых светодиодов синего и белого света на основе нитрида галлия является температура активной области кристалла, которая в значительной мере определяет величину светоотдачи, спектр излучения, а также эксплуатационную надежность и срок службы источников [1, 2]. При условии соблюдения оптимального теплового режима срок службы СД может достигать 100 000 ч, нарушение же теплового режима (превышение на кристалле +115...+125 °С) может привести к снижению срока службы более чем в 10 раз.

Температура кристалла полупроводникового источника света ($T_{пер}$) определяется по формуле:

$$T_{пер} = T_a + R_{j-a} \times P_d$$

где T_a — температура окружающей среды, R_{j-a} — тепловое сопротивление, P_d — выделяемая

в кристалле тепловая мощность. Тепловое сопротивление СД R_{j-a} складывается из нескольких составляющих, основные из которых: тепловое сопротивление «кристалл–корпус» R_{j-p} (тепловое сопротивление от активной области кристалла до места «пайки» корпуса к радиатору) и тепловое сопротивление радиатора R_{h-a} . Величина теплового сопротивления активной области «кристалл–корпус» может быть рассчитана теоретически или измерена экспериментально. Теоретические расчеты связаны со значительными трудностями, обусловленными сложной структурой реального кристалла, сильной зависимостью теплофизических свойств материалов от температуры и наличием в кристалле неоднородностей распределения плотности тока по площади и объему кристалла. Так как R_{j-p} является важнейшим параметром СД, то требуется его точное измерение. Для этих целей применяются различные методы, в основу которых положено косвенное измерение температуры активной области при фикси-

рованным значении электрической мощности. В качестве термочувствительного параметра выбирают прямое падение напряжения, изменение длины волны максимума излучения, полуширину спектра излучения, обратный ток и др. Основными требованиями к выбранному термочувствительному параметру являются стабильность и воспроизводимость в диапазоне рабочих температур СД. Точность измерения теплового сопротивления R_{j-p} зависит не только от точности измерения температуры активной области, но и от точности задания температуры корпуса. Оптимальным для измерения является создание условий, когда температура корпуса близка к температуре окружающей среды, например при его погружении в охлаждающую жидкость. Отдельной проблемой для оценки теплового сопротивления полупроводниковых излучателей является точное определение тепловой мощности, выделяющейся в кристалле. Распространенное мнение, что в тепловую мощность превращается 30–40 % потребляемой электрической мощности, не всегда справедливо и требует экспериментальной проверки. В данной работе приводятся результаты, связанные с уточнением количества выделяющейся в кристалле тепловой мощности и ее распределения по объему и поверхности полупроводниковой структуры.

Экспериментальные исследования проводились на СД производства ОАО НИИПП (г. Томск) типа КИПД154А (рабочий ток 350 мА, световой поток 100 лм) в плоском керамическом корпусе LO50050-06 с размерами 5×5×1,2 мм с помощью установки измерения теплового сопротивления (УИТС), разработанной кафедрой РТЭМ ТУСУР (рис. 1). В данной установке использован метод измерения температуры по прямому падению напряжения. Основные технические характеристики УИТС приведены в таблице.

Перед измерением теплового сопротивления была проведена оценка выделяющейся в кристалле тепловой мощности. Тепловая мощность определялась путем вычитания из электрической мощности оптического излучения СД. Измерения полной мощности излучения проводились в интегрирующей сфере. Сначала измерялась мощность излучения светодиода без люминофорного покрытия, а затем того же диода с покрытием. Результаты измерений представлены на рис. 2. Из зависимостей следует, что мощность излучения исследуемых



Рис. 1. Установка для измерения теплового сопротивления мощных светодиодов (УИТС): 1 — электронный блок; 2 — измерительная ячейка; 3 — буфер

Таблица. Основные технические характеристики УИТС

Характеристика		Значение
Величина греющего тока, мА		5–1500
Дискретность установки греющего тока, мА		1
Величина измерительного тока, мА		2,1
Диапазон изменения напряжения на р-п-переходе (при греющем токе), В		0,5–20
Диапазон изменения напряжения на р-п-переходе (при измерительном токе), В		0–4,9
Диапазон измерения температуры, °С		0–150
Погрешность измерения температуры (не более), °С		±2
Время измерения температуры (не более), мин.		15
Габаритные размеры (не более), мм	электронного блока	230×155×240
	измерительной ячейки	190×150×160
	буфера	140×35×125
Масса установки (не более), кг		5,2

СД без люминофора изменялась от 0,18 Вт при электрической мощности 0,25 Вт ($I_{np} = 50$ мА), до 0,3 Вт при электрической мощности 1,25 Вт ($I_{np} = 350$ мА). После нанесения люминофора на поверхность кристалла мощность излучения еще уменьшалась на 15–20% — как за счет потерь в самом люминофорном покрытии, так и за счет поглощения преобразованного излучения материалом и конструктивными элементами кристалла [3]. На рис. 3 представлены результаты измерения температуры кристалла с помощью УИТС. Зависимость 1 отражает связь температуры с рабочим током для СД без люминофора, а зависимость 2 — для СД с нанесенным люминофором. Видно, что температура кристалла после нанесения

люминофора увеличивается на 6 К, что связано с дополнительным разогревом люминофора и ухудшением условий отвода тепла от кристалла из-за низкой теплопроводности кремний-органической связки люминофорного покрытия.

На рис. 4 представлены результаты расчета теплового сопротивления «кристалл–корпус» R_{j-p} исходя из анализа результатов, представленных на рис. 2 и 3. Видно, что величина определяемого теплового сопротивления не является постоянной для данного типа СД, а зависит от величины рабочего тока. Причиной такой зависимости, вероятно, является локализация области тепловыделения, обусловленная неравномерностью распределения плотности тока в кристалле [4].

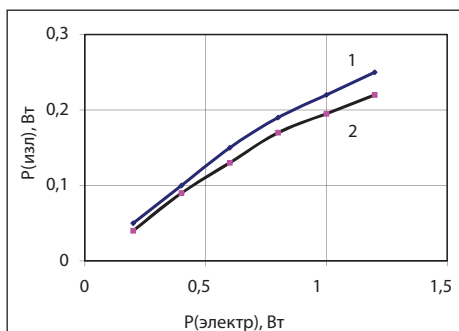


Рис. 2. Зависимости от подаваемой на СД КИПД 154 А электрической мощности: 1 — мощность излучения без люминофора; 2 — мощность излучения с люминофором

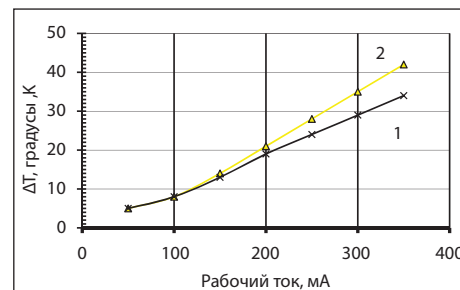


Рис. 3. Зависимость перепада температур ΔT «активная область кристалла–окружающая среда» от рабочего тока: 1 — СД без люминофора; 2 — СД с люминофором ($T_{cp} = 21$ °С)

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

- тепловая мощность, выделяющаяся в кристалле, нелинейно зависит от электрической мощности, подаваемой на СД;
- тепловое сопротивление кристалла определяется не только геометрическими и теплофизическими характеристиками кристалла и корпуса, но и является функцией рабочего тока в кристалле;
- при определении теплового сопротивления мощных проводниковых источников белого света необходимо учитывать долю выделяющегося в люминофорном покрытии тепла.

Литература

1. Луценко Е. Температура перегрева активной области коммерческих светодиодов // Полупроводниковая светотехника. 2011. № 2.
2. Дохтуров В. В., Смирнов С. В. Контроль теплового режима кристаллов в светодиодных лампах // Полупроводниковая светотехника. 2012. № 5.
3. Смирнов С. В., Саврук Е. В., Гончарова Ю. С. Температурная зависимость спектров излучения светодиодов белого свечения на основе нитрида галлия и его твердых растворов // Доклады ТУСУР. 2011. № 2(24).
4. Сергеев В. А., Ходаков А. Н. Расчет и анализ распределения плотности тока и температуры по площади структуры InGaN–GaN мощных светодиодов // ФТП. 2010. Вып. 2.

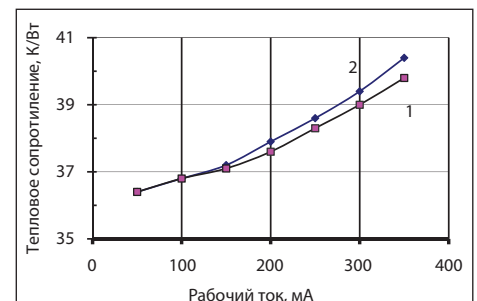


Рис. 4. Зависимость теплового сопротивления «кристалл–корпус» СД от рабочего тока: 1 — без люминофора; 2 — с люминофором