

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ И ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМАМИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

М.А. Романова

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65

E-mail: rma-rda@yandex.ru

Ключевые слова: полупроводниковый источник света, ускоренные испытания, деградация.

Аннотация: В данной статье рассматривается роль температуры в работе полупроводникового источника света. Дана оценка полученным результатам ускоренных испытаний при увеличении электрических и тепловых нагрузок на долговечность светодиодов в пластмассовом корпусе типа 5050. Методика проведенных исследований основана на положениях стандарта LM-80 и рекомендациях технического комитета TM-21.

1. Введение

Одним из преимуществ современных полупроводниковых источников света перед традиционными- это низкое энергопотребление и более высокая долговечность и безотказность. В качестве полезного срока службы светодиода принято время функционирования, пока световой поток не составит 70% от исходного. В настоящее время средний срок службы достигает порядка 150000 часов [1].

Увеличение срока службы, как отдельных взятых приборов, так и целых светодиодных модулей довольно актуальная задача. Работы проводятся в направлении обеспечения и управления рабочим режимом. Известно, что при несоблюдении рабочего режима приводит к печальным последствиям. К таким, как: снижение светотдачи, изменение спектра излучения и снижение эксплуатационного срока. Особо важен процесс управления температурным режимом полупроводниковых источников света в процессе ускоренных испытаний на надежность и долговечность

2. Диагностика и надежность колориметрических параметров полупроводниковых источников света

2.1. Роль температуры в работе источника света

Полупроводниковые источники света имеют свою особенность – яркость их свечения, зависящая от протекаемого тока, а не от приложенного напряжения. Вследствие превышения или дестабилизации тока может увеличиваться температура активной области кристалла. Поэтому при разработке полупроводниковых источников света всегда

стоит задача отведения избыточного тепла от самих кристаллов. Высокие рабочие температуры р-п-р-переходов негативно воздействуют на их характеристики. Ведь температура активной области кристалла – это главный параметр полупроводниковых светодиодов синего и белого света на основе нитрида галлия, который в значительной мере определяет величину светоотдачи, спектр излучения, а также эксплуатационную надежность и срок службы источников [2, 3]. Общеизвестно, что параметры полупроводникового источника света зависят от температуры кристалла и люминофора, то и цветовая температура источника является термозависимой величиной, которая будет смещаться в сторону увеличения [4]. Это легко проследить, ведь форма спектра зависит от температуры. Так и интенсивность излучения изменяется по экспоненциальному закону, как:

$$I(h\nu) \sim \sqrt{h\nu - \Delta E_g} \exp\left(-\frac{h\nu}{kT}\right),$$

где $I(h\nu)$ – интенсивность излучения; h – постоянная Планка; ν – частота колебаний фотонов; ΔE_g – ширина запрещенной зоны; k – постоянная Больцмана; T – температура. Все входящие в формулу параметры зависят от температуры и, следовательно, дают свой вклад в форму и ширину спектра излучения [5].

Изменение характера освещения может негативно отразиться не только на восприятии человеком цвета предмета, но даже на его психике. Поэтому важно помнить о тесной связи термодинамической температуры и цветовой.

2.2. Прогноз долговечности на основе результатов ускоренных испытаний

Оценка времени наработки на отказ и γ -ресурса полупроводниковых источников света по результатам ускоренных испытаний за фиксированное время представляет сложную техническую задачу [3, 6].

Выше мы рассмотрели тесную взаимосвязь между электрическими и тепловыми параметрами светодиода и его эксплуатационными характеристиками. Исходя из этого возможный путь прогноза долговечности полупроводниковых источников света – это процесс «старения» при увеличенных электрических нагрузках. Для корректной интерпретации результатов испытаний и последующего их переноса на реальные условия эксплуатации, нужно точно знать коэффициент ускорения, рассчитанный с использованием кажущейся энергии активации процесса деградации.

Получить достоверные статистические данные для реальных условий при экстраполяции ослабления светового выхода, не всегда достаточно информации, полученной в ходе тестирования за время менее 6 тыс. часов, поэтому время испытаний приходится увеличивать до 20-30 тыс. часов. В мировой практике принято решение при проведении экстраполяции ухудшения светового выхода исключать данные, полученные в начале эксплуатации устройства, поскольку они формируют на кривой «горб», вызванный некоторым увеличением светоотдачи в начале работы и последующим ее естественным снижением [6, 7]. Это позволяет получить более корректное представление кривой ухудшения светоотдачи. Используя концепцию стандарта LM-80 и предложения технического комитета TM-21, нами была проведена пессимистическая оценка долговечности светодиодов, то есть времени, когда световой поток диода снизится на 30%.

В основе методики положена экспоненциальная экстраполяция зависимости светового потока светодиода от времени при фиксированной температуре испытаний [6]:

$$\Phi(t) = B \exp(-\alpha t),$$

где $\Phi(t)$ – световой поток; t – текущее время испытаний; α – скорость изменения свето-

вого потока; B – предэкспоненциальный множитель.

$$\alpha = A \exp\left(-\frac{E_\alpha}{k_B T_S}\right),$$

где: E_α – кажущаяся энергия активации; A – постоянная; k_B – постоянная Больцмана; T_S – температура испытаний.

Время (L_{70}), при котором световой поток светодиода снижается на 30%, определяется по формуле:

$$L_{70} = \frac{\ln\left(100 \times \frac{B_0}{p}\right)}{\alpha},$$

где: B_0 – величина максимального значения светового потока в процессе испытаний, относительные единицы; p – заданный процент от исходной световой отдачи, в данном случае $p=70\%$.

В работе были исследованы полупроводниковые источники света КИПД154А92 производства ОАО НИИПП (Томск), приборы предназначены для создания на их основе оптоэлектронных изделий различного применения. Миниатюрный корпус пригодный для автоматизированного поверхностного монтажа, представляет собой керамическую подложку с выводами в виде металлизированных контактных площадок.

Внешний вид полупроводниковых источников света представлен на рис. 1.



Рис. 1. Полупроводниковые источники света типа КИПД154А92 в пластмассовом корпусе 5050.

Основные характеристики исследуемых изделий:

- максимально допустимый постоянный прямой ток 500 мА;
- максимально допустимое постоянное обратное напряжение 5 В;
- световой поток 60-150 лм;
- максимально допустимый импульсный прямой ток (при $f=1$ кГц, $Q=10$) 700 мА;
- повышенная рабочая температура корпуса $+85$ °С;
- наработка до отказа 50000 часов.

На рис. 2 представлены два варианта экстраполяции результатов ускоренных испытаний КИПД154А92 при температуре корпуса $+85$ °С. Первый вариант экстраполяции по данным испытаний в течение 1000 часов. Второй вариант экстраполяции по данным полученным в течение испытаний от 1000 часов до 2000 часов.

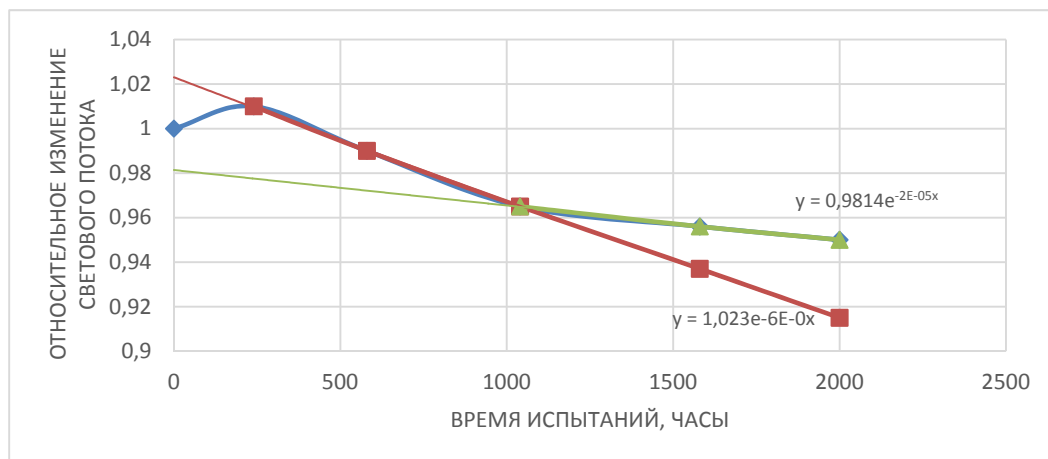


Рис. 2. Пример экстраполяции результатов ускоренных испытаний источника света КИПД154А92 в корпусе 5050-1.

Как следует из зависимостей, экстраполяция данных полученных при испытаниях от 1000 часов до 2000 часов дает более достоверные значения. Расчет по методике LM-80 дает следующие значения долговечности:

- при температуре корпуса +85 °С медианный срок службы 18800 часов;
- при температуре корпуса +45 °С медианный срок службы 305000 часов;
- при гамма-процентной наработке до отказа $\gamma=90\%$ срок службы светодиода составит 30000 часов.

На рис. 3 представлены результаты ускоренных испытаний КИПД154А92 в пластмассовом корпусе 5050-2. Из результатов следует, что долговечность изделия в большей мере зависит от температуры кристалла, а не температуры корпуса. [5, 8] Температура кристалла в корпусе 5050-2 на 30-40 °С выше, чем в корпусе 5050-1, что приводит к резкому увеличению скорости деградации.

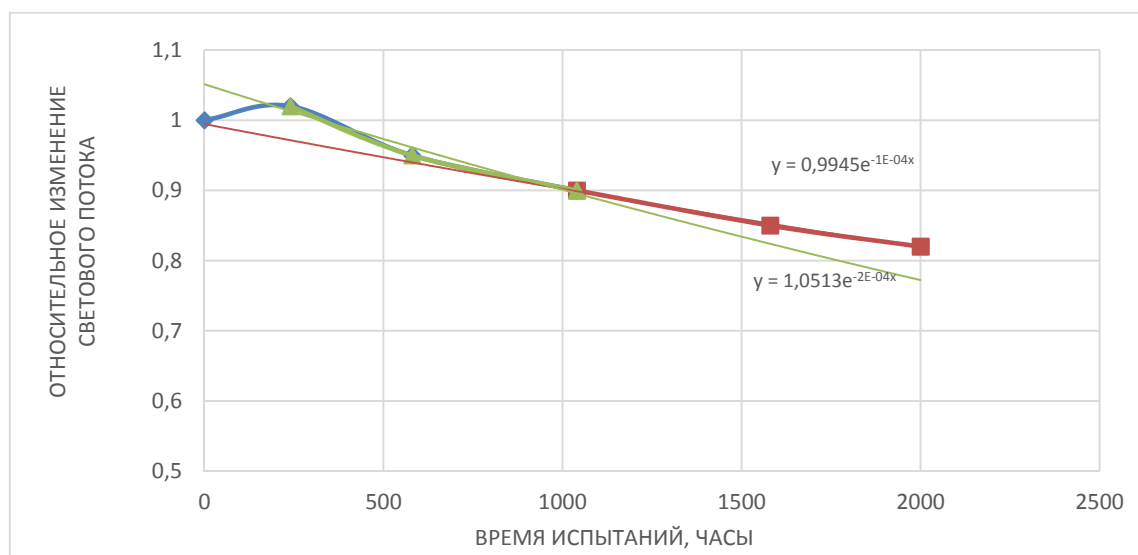


Рис. 3. Изменение параметров источника света КИПД154Г92 в корпусе 5050-2 в процессе испытаний при температуре корпуса 85 °С.

Рассчитанный по методике LM-80 медианный срок службы при +85 °С составит

порядка 5000 часов, а при +45 °С около 200000 часов, что недостаточно для обеспечения надежной работы светодиода.

3. Заключение

Задача управления электрическими и тепловыми режимами полупроводниковых источников света является весьма актуальной задачей. От их соблюдения и стабильности сильно зависит эксплуатационный срок службы, чем ниже температура кристалла, тем выше надежность источника света. На сегодняшний день разработчики светодиодных модулей пытаются решить проблемы, связанные с негативным воздействием перепада тока с помощью драйвера, который стабилизирует ток, в зависимости от температуры окружающей среды и корпуса источника света.

Список литературы

1. Гончарова Ю.С., Гарипов И.Ф., Солдаткин В.С. Ускоренные испытания полупроводниковых источников света на долговечность // Доклады ТУСУРа. 2013. № 2 (28). С. 51-53.
2. Никифоров С.Г. Почему светодиоды не всегда работают так, как хотят их производители? // Компоненты и технологии. 2005. № 7. С. 16-24.
3. Шуберт Ф. Светодиоды / Пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. 2-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 496 с.
4. Панков Ж. Оптические процессы в полупроводниках. М.: Мир, 1973. 456 с.
5. Гончарова Ю.С., Романова М.А., Смирнов С.В. Спектральный метод бесконтактного измерения температуры кристаллов полупроводниковых источников света // Доклады ТУСУР. 2015. № 2 (36). С. 38-40.
6. IES TM-21-11 Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED Light Sources. Illuminating Engineering Society of North America, 2011.
7. Короткова К.В., Романова М.А., Смирнов С.В. Температурная и временная стабильность колориметрических параметров полупроводниковых источников света // Доклады ТУСУР. 2017. № 2 (36). С. 38-40.
8. Дохтуров В.В., Смирнов С.В., Гончарова Ю.С. Влияние локализации тепловыделения на тепловое сопротивление мощных полупроводниковых источников света // Полупроводниковая светотехника. 2013. Т. 3, № 23. С. 18-19.