

УДК 621:382

Ю.С. Гончарова, И.Ф. Гарипов, В.С. Солдаткин

Ускоренные испытания полупроводниковых источников света на долговечность

Приводятся результаты ускоренных испытаний полупроводниковых светодиодов (СД) белого цвета в пластмассовом корпусе типа 5050 на долговечность. Определена энергия активации доминирующего процесса деградации и температура кристалла СД в процессе испытаний.

Ключевые слова: светодиод, деградация, коэффициент ускорения, энергия активации.

Срок службы светодиодных ламп определяется как время наработки до отказа основных элементов лампы, к которым относятся светодиоды (СД) и драйверы, и в настоящее время достигает 35000–50000 ч [1]. Если срок службы источника питания лампы (драйвера), собранного из стандартных элементов, легко может быть оценен как расчетным, так и экспериментальным путем, то с оценкой долговечности СД существует ряд проблем. По предварительным оценкам долговечность современных промышленных СД должна составлять не менее 10^6 ч, при этом основным критерием работоспособности СД является значение светотдачи [2]. Допустимо его снижение не более чем на 50%. Проведенные исследования показали, что наиболее существенное снижение светотдачи СД происходит после 5000 ч службы и надежного способа прогнозирования его дальнейшей работы не существует. Таким образом, важной задачей является разработка ускоренных методов испытаний СД на долговечность. В настоящее время для прогнозирования долговечности полупроводниковых приборов остается практически единственный способ – проведение ускоренных испытаний в условиях более высоких электрических и тепловых нагрузок. Процесс «старения» ускоряется. Полученные результаты экстраполируют на нормальные условия эксплуатации. Это позволяет за относительно короткий срок изучить период «старения» СД через взаимосвязь механизмов отказов со временем их проявления. В качестве ускоряющего фактора принимают температуру кристалла, обусловленную величиной рассеиваемой тепловой мощности и температурой окружающей среды. Рассеиваемая тепловая мощность зависит как от величины прямого тока СД, так и от внешней квантовой эффективности, т.е. от величины излученной мощности. Для испытаний были выбраны широко используемые в осветительных устройствах трехкристальные СД типа STW8T36B (пластмассовый корпус типа 5050) фирмы Seoul Semiconductor, имеющие номинальный световой поток 19,8 лм при прямом токе 60 мА и напряжении 3,1 В.

Для определения времени наработки изделий в форсированном режиме испытаний, как правило, используют модель развития отказов, основанную на законе Аррениуса [3]:

$$K = (J_{\text{исп}}/J_{\text{ном}})^m \exp\left[\frac{\Delta E}{K_B} \left(\frac{1}{T_{\text{пер1}}} - \frac{1}{T_{\text{пер2}}}\right)\right], \quad (1)$$

где K – коэффициент ускорения механизма отказа; m – постоянная для конкретного типа полупроводниковой светоизлучающей структуры ($m = 1$, если $J_{\text{пот}} < 2 \cdot 10^5$ А/см²); ΔE – энергия активации доминирующего механизма деградации СД; K_B – постоянная Больцмана, равная $8,617 \cdot 10^{-5}$ эВ/град; $J_{\text{ном}}$ – номинальная плотность прямого тока через p - n -переход, А/см²; $J_{\text{исп}}$ – плотность прямого тока при испытаниях; $T_{\text{пер1}}$ – рабочая температура кристалла, К; $T_{\text{пер2}}$ – температура кристалла при ускоренных испытаниях, К.

Таким образом, для корректного проведения ускоренных испытаний СД необходимо точно задать температуру кристалла, определить энергию активации механизма деградации и показателя степени m .

Температура кристалла полупроводникового источника света ($T_{\text{пер}}$) определяется суммой температуры окружающей среды (T_a) и произведения теплового сопротивления (R_{j-a}) на выделяющуюся в кристалле тепловую мощность (P_d):

$$T_{\text{пер}} = T_a + R_{j-a} \cdot P_d. \quad (2)$$

Тепловое сопротивление СД в пластмассовых корпусах состоит из нескольких составляющих, основными из них являются: тепловое сопротивление от активной области кристалла до места «пайки» корпуса к испытательной плате и тепловое сопротивление монтажной платы. Все составляющие теплового сопротивления могут быть рассчитаны или измерены экспериментально. Одним

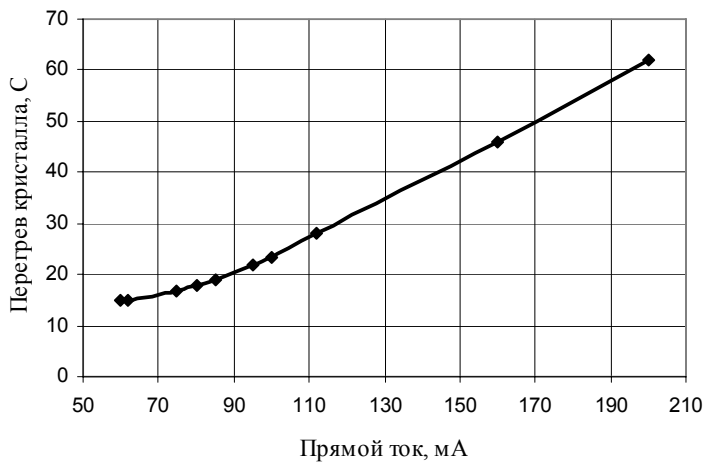


Рис. 1. Зависимость перегрева кристалла СД от тока

из эффективных методов оценки температуры кристалла в рабочем режиме и во время ускоренных испытаний является измерение изменения полуширины спектра излучения СД при заданном постоянном прямом токе по сравнению со спектром при импульсном токе [3, 4]. Результаты измерений перепада температуры кристалл – окружающая среда при испытаниях при ступенчато-возрастающей нагрузке представлены на рис. 1.

Перепад температур кристалл – окружающая среда при номинальном значении прямого тока 60 мА составляет всего 14 °С.

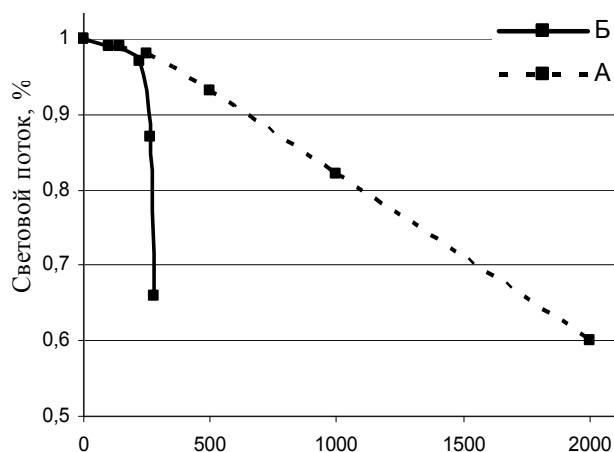


Рис. 2. Графики снижения относительного значения светового потока СД при ускоренных испытаниях

Ускоренные испытания СД на долговечность проводили в камере тепла и холода типа КТХ-74 при температуре +85 °С при номинальном прямом токе 60 мА (рис. 2, график А). На рис. 2, график Б представлена зависимость изменения светового потока при ступенчатом изменении прямого тока при температуре окружающей среды 100 °С. Существенное снижение светового потока происходит при токах более 100 мА, что связано с резким увеличением температуры кристалла, достигающей в процессе испытаний 160 °С при токе 200 мА.

Коэффициент ускорения механизма деградации K , рассчитанный по формуле (1) для СД, испытанных при температуре +85 °С и номинальном прямом токе 60 мА равен 30. Длительность испытаний составила 2000 ч, что с учетом коэффициента ускорения эквивалентно 60000 ч эксплуатации в рабочем режиме. Контроль параметров СД осуществлялся через 100; 200; 500; 1000 и 2000 ч, при этом контролировались: значение светового потока, прямое падение напряжения на СД и цветовая температура.

По результатам испытаний СД энергия активации механизма деградации E_a равна 0,56–0,6 эВ, что связано с процессами диффузии в активной области кристалла и электрических контактах [5]. Из проведенных испытаний следует, что уменьшение светового потока при ускоренных испытаниях можно приближенно аппроксимировать экспонентой и описать экспоненциальным законом деградации в виде:

$$\Phi(t) = \Phi(0)\exp(-at), \quad (3)$$

где $\Phi(0)$, $\Phi(t)$ – световой поток до и после испытаний; t – время испытаний, ч; a – коэффициент деградации, для данной партии СД имеющий величину $2,55 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$.

Одновременно со снижением светового потока при испытаниях наблюдалось увеличение цветовой температуры СД на 15–20%, что связано, на наш взгляд, с деградационными процессами в люминофорном покрытии [6]. Эти изменения легко фиксируются с помощью оптического микроскопа на СД, прошедших испытания со ступенчато-возрастающей нагрузкой. В процессе испытаний нарушается однородность распределения люминофора в компаунде. Характер распределения зависит от положения СД в процессе испытаний, при вертикальном расположении СД люминофор смещается вниз, к одной из сторон корпуса.

Заключение. Проведены ускоренные испытания полупроводниковых источников белого цвета STW8T36B (пластмассовый корпус типа 5050) фирмы Seoul Semiconductor на долговечность. В качестве ускоряющего фактора была выбрана температура кристалла. Длительность испытаний составила 2000 ч, что с учетом коэффициента ускорения эквивалентно 60000 ч эксплуатации в рабочем режиме. Производитель СД Seoul Semiconductor устанавливает гарантированное время работы 40000 ч.

В процессе испытаний установлено, что на процесс деградации СД оказывают влияние не только изменения в кристалле, но и процессы перераспределения и расслоения в люминофорном покрытии.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в соответствии с договором 73/10 от 15.07.2010 в порядке реализации постановления №218 Правительства РФ.

Литература

1. Луценко Е.В. Температура перегрева активной области коммерческих светодиодов // Полупроводниковая светотехника. – 2011. – № 2. – С. 26–29.
2. Белые светодиоды / А. Вилисов, К. Калугин, В. Солдаткин, Е. Перминова // Полупроводниковая светотехника. – 2012. – Т. 4, № 18. – С. 14–17.
3. Дохтуров В.В. Контроль теплового режима кристаллов в светодиодных лампах / В.В. Дохтуров, С.В. Смирнов // Полупроводниковая светотехника. – 2012. – № 5. – С. 37–39.
4. Тепловой режим светодиодов в сигнальных лампах синего и белого света / В.В. Дохтуров, С.В. Смирнов, Е.В. Саврук, Ю.С. Гончарова // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2012. – № 5–6. – С. 37–39.
5. Методы ускоренных испытаний на безотказность и долговечность РД 11 0755-90 / Микросхемы интегральные: Отраслевой руководящий документ. – М., 1990. – 91 с.
6. Смирнов С.В. Температурная зависимость спектров излучения светодиодов белого свечения на основе нитрида галлия и его твердых растворов / С.В. Смирнов, Е.В. Саврук, Ю.С. Гончарова // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2(24), ч. 2. – С. 55–58.

Гончарова Юлия Сергеевна

Аспирант каф. физической электроники ТУСУРа
Тел.: 8-913-816-06-90
Эл. почта: xel9i@mail.ru

Гарипов Иван Фаритович

Инженер-технолог ОАО «Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов», г. Томск
Тел.: 8-952-887-92-13
Эл. почта: vinilhlorid@rambler.ru

Солдаткин Василий Сергеевич

Аспирант каф. радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга ТУСУРа
Тел.: 8-952-807-88-03
Эл. почта: issledowatel86@mail.ru

Goncharova Y.S., Garipov I.F., Soldatkin V.S.

Accelerated testing of LED for durability

There are the results of accelerated tests of white LED semiconductors in a plastic box type 5050 for durability. The activation energy of the dominant degradation process and LED temperature was determined.

Keywords: LED degradation acceleration factor, activation energy.