

УДК 628.981

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ МОЩНЫХ СВЕТОДИОДНЫХ МОДУЛЕЙ

Д. т. н. В. М. Сорокин, д. т. н. Р. В. Конакова, В. С. Слипокуров, к. т. н. Я. Я. Кудрик,
к. ф.-м. н. В. В. Шинкаренко

Институт физики полупроводников им. В. Е. Лашкарева НАН Украины
Украина, г. Киев
kudryk@isp.kiev.ua

Светодиодные модули, изготовленные в условиях отечественного производства на основе чипов фирмы «EDISON Optocorporation», были исследованы при наработке в течение 9060 часов: 6800 ч при температуре теплоотвода 37°C и 2260 ч при 50°C. Деграционные процессы описаны экспоненциальной функцией, зависящей от температуры, и рассчитаны ее параметры, что позволило прогнозировать деградацию в диапазоне рабочих температур теплоотвода.

Ключевые слова: светодиодный модуль, деградация, вольт-амперная характеристика, надежность.

Отрасль светодиодной осветительной техники находится в стадии интенсивного развития, поэтому проблема прогнозирования надежности светодиодных модулей и разработка экспрессных методов для этой цели является особенно актуальной. Однако результаты, полученные экспресс-методами, не всегда достоверны. Дело в том, что при повышенных температурах (или при повышенных токах и др.) могут преобладать нетипичные механизмы деградации, которые маскируют механизмы деградации, характерные для номинального рабочего режима. При этом возможны ошибки в определении параметров надежности. Наиболее перспективными методами прогнозирования надежности являются те, которые при достаточной оперативности несут информацию о механизмах деградационных процессов. Именно такие методы позволяют обоснованно, опираясь на знание механизмов, определяющих деградационные процессы, обеспечивать совершенствование технологии светодиодных модулей. В этой работе будет показан способ прогнозирования надежности светодиодных модулей с параллельно-последовательным включением чипов, опираясь на динамику деградации их интегральных вольт-амперных (ВАХ) и световых характеристик.

Проведено исследование надежности светодиодных модулей при токе 300 мА и наработке в течение 9060 ч: 6800 ч при температуре теплоотвода 37° С и 2260 ч при температуре теплоотвода 50° С. Деградация уровня интегрального светового потока за исследованный период составила 5,6%. Модуль изготовлен на базе печатной платы с алюминиевой основой, на которой установлены светодиодные чипы, соединенные между собой по параллельно-последовательной схеме, представленной на рис. 1.

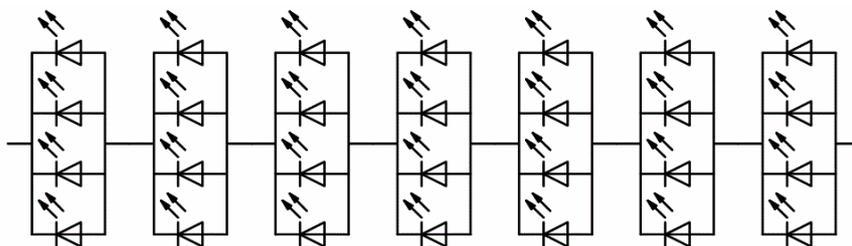


Рис. 1. Параллельно-последовательная схема соединения чипов в светодиодном модуле

Характеристики светодиодного модуля: максимальный ток 0,35 А, максимальное напряжение 24 В, максимальная рассеиваемая мощность 8,4 Вт. Сравнение ВАХ светодиодного модуля до и после наработки 9060 ч при $T_{\text{то}}=29^{\circ}\text{C}$ (рис. 2) показывает рост эффективной высоты барьера и величины последовательного сопротивления. Рост последовательного сопротивления обусловлен, вероятно, диффузионными процессами в омических контактах под влиянием разогрева рассеиваемой мощностью. С одной стороны, такой процесс уменьшает КПД модуля и увеличивает рассеиваемую мощность. С другой стороны, состоялось согласование светодиодных чипов по последовательному сопротивлению. Последовательное сопротивление более

нагруженных (вследствие разброса параметров) чипов выросло, что обусловило уменьшение тока через них. Именно это и могло стать причиной роста эффективной высоты барьера модуля.

На рис. 3 приведена зависимость интенсивности излучения светодиодного модуля от времени наработки при токе 300 мА и стабилизированных температурах теплоотвода (37 и 50°C). Видно, что деградация интенсивности свечения хорошо описывается экспоненциальной функцией вида $I = I_0 \exp[-\alpha(T)t]$, где I – интегральная интенсивность свечения; I_0 – начальная интегральная интенсивность свечения, взятая после участка приработки; t – время наработки, $\alpha(T)$ – коэффициент деградации, зависящий от температуры. Температура p – n -перехода T связана с температурой теплоотвода соотношением $T = R_T(P(1-\eta(T)) + I^2 R_s) + T_{TO}$, где P – полная рассеянная мощность на p – n -переходе; $\eta(T)$ – коэффициент полезного действия; R_T – тепловое сопротивление « p – n -переход – корпус», R_s – последовательное сопротивление, связанное с удельным сопротивлением омических контактов и сопротивлением растекания в p^+ и базовой области, T_{TO} – температура теплоотвода.

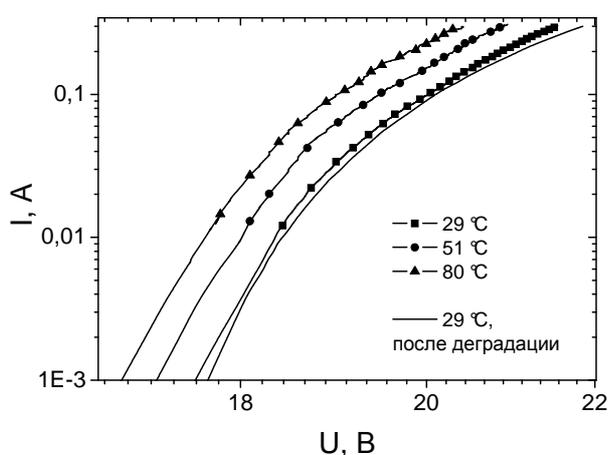


Рис. 2. ВАХ светодиодного модуля при различных значениях температуры теплоотвода.

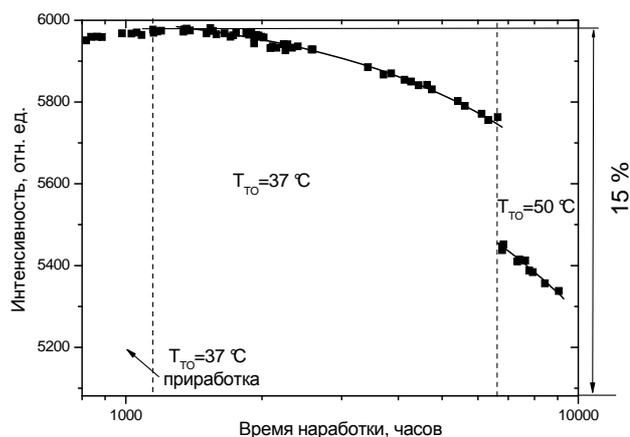


Рис. 3. Зависимость интенсивности излучения от времени наработки при токе 300 мА и стабилизированной температуре теплоотвода

Поскольку диффузные процессы имеют, как правило, активационный характер, то коэффициент деградации можно выразить в виде $\alpha(T) = \alpha_0 \exp(-E_a/kT)$, где E_a – энергия активации деградационного процесса, k – постоянная Больцмана; α_0 – константа.

На основе исследования ВАХ показано, что деградационные процессы в светодиодных чипах обусловлены диффузионными процессами в омических контактах, или p^+ -области под влиянием разогрева рассеиваемой мощностью, что позволило описать деградацию интенсивности излучения светодиода экспоненциальной функцией активационного типа. Расчетное время 50%-ной деградации светодиодного модуля при $T_{TO}=37^\circ\text{C}$ составляет 90 тыс. ч и при $T_{TO}=50^\circ\text{C}$ — 73 тыс. ч непрерывной работы.

V. M. Sorokin, R. V. Konakova, V. S. Slipokurov, Ya. Ya. Kudryk, V. V. Shynkarenko
Reliability prediction for power LED modules.

The LED modules manufactured domestically on the basis of chips by «EDISON Optocorporation» company have been studied at operating time of 9060 hours: 6800 hours at a temperature of the heat sink of 37°C and 2260 hours at 50°C . Degradation processes are described by an exponential function, which depends on the temperature. The parameters of the function are calculated, which allows predicting the degradation in the operating temperature range of heat removal.

Keywords: *light-emitting diode module degradation, current-voltage characteristics, reliability.*