

**Тепловые переходные процессы в сверхъярких светодиодах при импульсном прямом смещении**

Бумай Ю. А., Васьков О. С., Доманевский Д. С., Манего С. А.\*  
Белорусский национальный технический университет,  
ГНУ Институт электроники НАН Б\*

В работе исследованы быстрые тепловые процессы в красных AlGaInP светодиодах (LT7C14-4D-UJE1) фирмы Ligitek. Предложен метод анализа переходных тепловых процессов и определены тепловые сопротивления и соответствующие времена тепловой релаксации, связанные с этапами прохождения тепловым потоком элементов конструкции светоизлучающих диодов (СИД). Рассмотрены особенности протекания переходных процессов в деградировавших СИД.

Переходные характеристики измерены с использованием 16-разрядного АЦП (временное разрешение 2 мкс) при подаче импульсов тока в виде ступенек. Температура перегрева активной области СИД в каждый момент времени рассчитывалась из изменения напряжения на СИД с использованием предварительно экспериментально определенного температурного коэффициента напряжения (2 мВ/К). Исследованы как исходные СИД (№1, 4), так и СИД, деградировавшие в процессе монтажа и работы (№2, 3).

На Рис. 1а изображены временные зависимости температуры перегрева активной области СИД №1. Исследование переходных процессов в СИД дает возможность анализа путей прохождения теплового потока по элементам структуры. Исходя из аналогии тепловых и электрических процессов, динамика распространения тепла может быть проанализирована в рамках эквивалентной электрической схемы в виде RC цепочек, где  $R$  является аналогом тепловому сопротивлению, а  $C$  – теплоемкости СИД. Температура перегрева  $\Delta T$  СИД определяется полным тепловым сопротивлением его элементов и межэлементных соединений между p-n переходом СИД и окружающей средой и в рамках схемы Фостера (в виде цепочки параллельно соединенных  $R$  и  $C$ ) может быть описана формулой:

$$\Delta T(t) = P_T \sum_{i=1}^n R_i (1 - e^{-t/\tau_i}), \quad (1)$$

где  $P_T$  – потребляемая светодиоодом мощность,  $R_i$  и  $C_i$  – тепловые сопротивления и теплоемкости элементов светодиода,  $\tau_i = R_i C_i$  – соответствующие тепловые постоянные времени.

Для быстрой оценки тепловых параметров СИД наиболее удобным является анализ временной зависимости производной температуры перегрева  $d(\Delta T)/dt$  на основе формулы, полученной из (1):

$$\frac{d(\Delta T)}{dt} = \sum_{i=1}^n \frac{P_T R_i}{\tau_i} e^{-t/\tau_i} \approx \frac{P_T R(t)}{\tau(t)} e^{-t/\tau(t)}. \quad (2)$$

Вследствие того, что  $\tau_i$  сильно различаются, в определенные интервалы времени в формуле (2) основную роль играет одно из слагаемых. Поэтому целесообразно ввести зависящие от времени параметры  $\tau(t)$  и  $R(t)$ , которые в середине каждого такого интервала являются близкими к  $\tau_i$  и  $R_i$ . Параметр  $\tau(t)$  может быть найден из тангенса наклона зависимости  $\ln(d(\Delta T)/dt)$  от времени. Далее, из формулы (2) несложно определить  $R(t)$ , представляющие собой тепловые сопротивления, играющие основную роль в процессе распространения теплового потока в определенные интервалы времени, т.е. временной спектр тепловых сопротивлений структуры СИД (Рис. 16). Из рисунка следует, что четыре первых сопротивления практически не зависят от условий теплоотвода и их можно связать с находящимися внутри корпуса элементами структуры СИД №1, два последних - с электродами и условиями отвода тепла во внешнюю среду. При этом от условий охлаждения СИД наиболее сильно зависит последнее сопротивление. Внутренние тепловые сопротивления обоих исходных СИД (№1, 4) были близки и находилось в интервале 131-137 К/Вт.

Аналогичные зависимости получены в рамках упомянутого выше метода для деградировавших СИД №2, 3. Хотя яркость свечения данных СИД при визуальной оценке существенно не отличалась от исходных, динамика их нагрева выглядит иначе (Рис 2а). В зависимости  $R(t)$  при  $t > 1с$  (Рис 2б) также

проявляются особенности, заключающиеся в нерегулярном появлении anomalно высоких значений  $R$ , причем независимо от условий теплоотвода. Это, вероятнее всего, связано не с тепловыми процессами, а с локальным электрическим пробоем и последующим разогревом области пробоя, приводящими к уменьшению напряжения на СИД, которое интерпретируется в рамках данного метода как возрастание температуры. В связи с этим, необходимо также отметить, что внутреннее тепловое сопротивление СИД №2, 3 (110 К/Вт) было ниже чем у исходных.

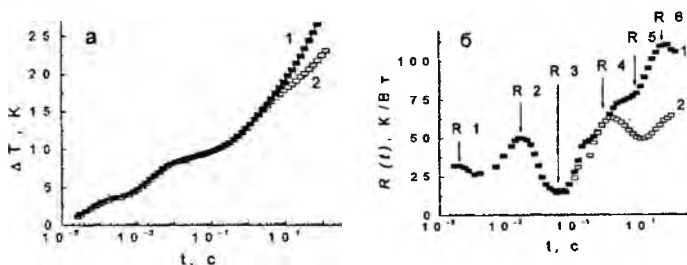


Рис. 1. Временная зависимость температуры перегрева активной области СИД №1 (а) и тепловое сопротивление  $R(t)$  (б) при нагреве током 30 мА: 1 – без теплоотвода, 2 – с теплоотводом

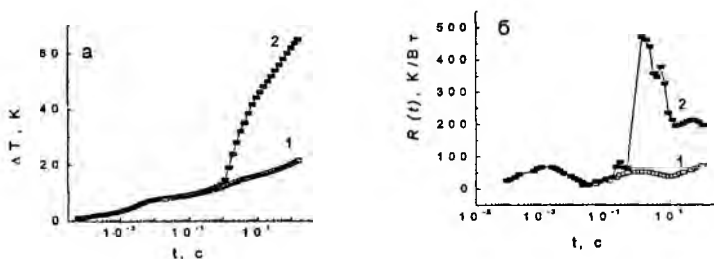


Рис. 2. Временная зависимость температуры перегрева активной области СИД №2 (а) и тепловое сопротивление  $R(t)$  (б) при нагреве током 30 мА: 1 – без теплоотвода, 2 – с теплоотводом