

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТЕПЛООВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СВЕТОДИОДНОЙ ЛАМПЫ С НИТЕВИДНЫМИ ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ

Ю. А. Бумай, О. С. Васьков, В. С. Нисс

*Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 65,
220013 Минск, Беларусь, e-mail: bumai@tut.by*

Методом тепловой релаксационной дифференциальной спектроскопии исследована структура теплового сопротивления светодиодной лампы (~4 Вт) с нитевидными излучателями с колбой, заполненной инертным газом с высокой теплопроводностью, и без колбы. Получен профиль растекания теплового потока по элементам лампы. Показан вклад инертного газа в тепловое сопротивление лампы. Проведено сравнение с эффектом уменьшения теплового сопротивления при прямом принудительном охлаждении нитевидных излучателей.

Ключевые слова: светодиодная лампа; нитевидные излучатели; структура теплового сопротивления; время тепловой релаксации; метод тепловой релаксационной дифференциальной спектроскопии.

INVESTIGATION OF THE THERMAL RESISTANCE STRUCTURE OF A LED LAMP WITH FILAMENT EMITTERS

Yu. A. Bumai, O. S. Vaskov, V. S. Niss

*Belarusian National Technical University, Nezavisimosti av. 65, 220013 Minsk, Belarus
Corresponding author: Yu. A. Bumai (bumai@tut.by)*

The structure of the thermal resistance of the filament LED lamp (~ 4 W) with a bulb filled with a high thermal conductivity inert gas with and without it was studied by thermal relaxation differential spectrometry. The heat flow spreading profile over the lamp elements is obtained. The contribution of an inert gas to the thermal resistance of a lamp is shown. A comparison is made with the effect of reducing the thermal resistance under direct forced cooling of the filament emitters.

Key words: LED lamp; filament emitter; thermal resistance structure; heat relaxation time; TRDS method.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время ведется разработка эффективных конструкций все более мощных светодиодных светильников. Одним из требований, позволяющим увеличить срок службы светильников, является снижение температуры активных областей светодиодов, входящих в структуру лампы, т.е. к улучшению отвода тепла в окружающую среду (тепловому дизайну). В данной работе методом тепловой релаксационной дифференциальной спектроскопии (ТРДС) [1, 2] исследовались тепловые параметры и структура теплового сопротивления светодиодной лампы (~4 Вт) с нитевидными излучателями. Особенностью данной лампы такого типа является заполнение ее стеклянной колбы инертным газом с высокой теплопроводностью (как правило, гелием). Внешний вид и схематическая структура лампы приведены на рис. 1. В работе

также исследовалась деградация лампы, обусловленная разгерметизацией ее колбы в режимах с принудительным обдувом вентилятором и без обдува.

ОСНОВЫ МЕТОДА

Релаксационные методы для определения структуры внутреннего теплового сопротивления силовых полупроводниковых приборов основаны на анализе переходных электрических процессов, связанных с разогревом полупроводникового прибора проходящим через него током. Временные зависимости изменения напряжения на активном переходе прибора, пересчитываемого в температуру его перегрева ΔT с использованием температурного коэффициента напряжения, дают возможность анализа путей прохождения теплового потока по элементам структуры, представляя ее в виде эквивалентной тепловой RC цепи для многослойных систем. Разработанная методика ТРДС основана на построении дифференциального спектра, который определяется на основе производных высших порядков (вплоть до третьего) от динамического теплового импеданса. Дифференциальный спектр анализируется в рамках модели Фостера, по особой методике преобразуется в дискретный (модель Кауера), соответствующий реальным процессам распространения тепла в приборе. Метод ТРДС, используемый для исследования структуры теплового сопротивления мощных светодиодов и МОП транзисторов, достаточно подробно изложен в работах [1, 2]. Развитая дифференциальная методика расширяет число определяемых тепловых структурных элементов светодиодных приборов до $n = 10-12$.

Метод ТРДС дополнен также анализом растекания теплового потока в слоях исследуемых структур, который проводится на основе концепции тепловой эффузии. Из послойных значений компонентов теплового сопротивления R_{th} и тепловой емкости C_{th} определяется активная площадь сечения теплового потока S_a исследуемых приборов и профиль ее распределения [1, 2]. Измерения выполнены на разработанном в Белорусском национальном техническом университете релаксационном импеданс-спектрометре тепловых процессов [3].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Внешний вид и схематическая структура лампы приведены на рис. 1.

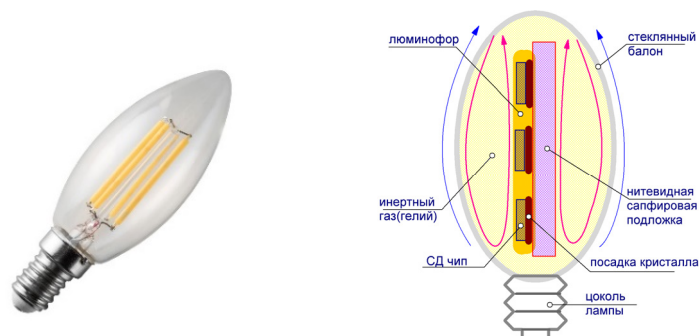


Рисунок 1. – Внешний вид исследуемой лампы с нитевидными излучателями и ее схематичная структура

На рис.1 выделены 5 основных компонентов структуры нитевидной светодиодной (СД) лампы, определяющих полное тепловое сопротивление исследуемого образца – СД

кристалл, посадка кристалла, нитевидная подложка, тепловые сопротивления растекания в газовой среде в колбе лампы и во внешнюю среду. Растекание тепла в лампе через люминофор, как правило, не существенно и при анализе не учитывалось.

На рис. 2 приведены временные зависимости температур перегрева, а также ТРДС спектры лампы с колбой и без нее и результат их дискретизации в рамках модели Кауера. Видно, что через 1 с после включения начинается существенный разогрев лампы, а после 100 с лампы выходят на стационарный режим. Температура перегрева исходной лампы достигает 58 °С, той же лампы без колбы 75 °С.

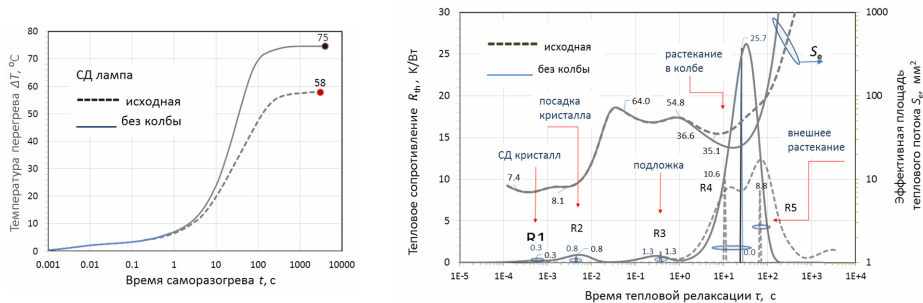


Рисунок 2. – Зависимость температуры перегрева исходной лампы и лампы без колбы от времени и соответствующие спектры тепловых сопротивлений

Дискретизация спектров (рис. 2) проводилась в рамках модели структуры на рис.1. Соответственно на дискретных ТРДС спектрах R1 идентифицировано как тепловое сопротивление светодиодных (СД) кристаллов, R2 принадлежит слою посадки кристалла, R3 – тепловое сопротивление нитевидных сапфировых подложек. С растеканием тепла в стеклянной колбе лампы по гелию связано тепловое сопротивление R4. Тепловое сопротивление R5 связано с растеканием тепла во внешнюю среду. Эффективная площадь теплового потока сужается при растекании тепла внутри колбы. Причиной, вероятно, является наличие более горячих областей на противоположной стороне сапфировых подложек напротив светодиодов.

Из рис.2 видно, что при удалении стеклянной колбы (или ее деградации, приводящей к замене гелия воздухом) резко возрастает тепловое сопротивление R4 во внешнюю среду и еще больше уменьшается площадь теплового потока в области R4 из-за гораздо более низкой теплопроводности воздуха.

Для проверки эффективности отвода тепла в лампе был проведен принудительный обдув как исходной лампы, так и лампы без колбы. Необходимо отметить, что температура перегрева активной области СД исходной лампы в результате обдува понизилась незначительно (с 58 °С до 47 °С) (рис. 3).

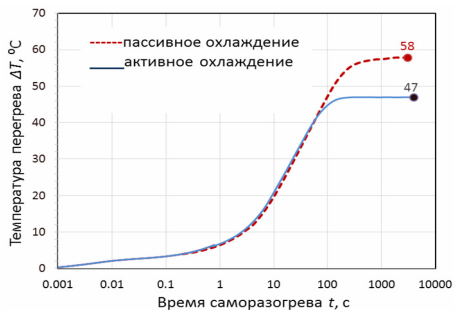


Рисунок 3. – Зависимость температуры перегрева исходной лампы от времени при пассивном и активном охлаждении

В то же время температура перегрева лампы без колбы понизилась существенно (рис. 4).

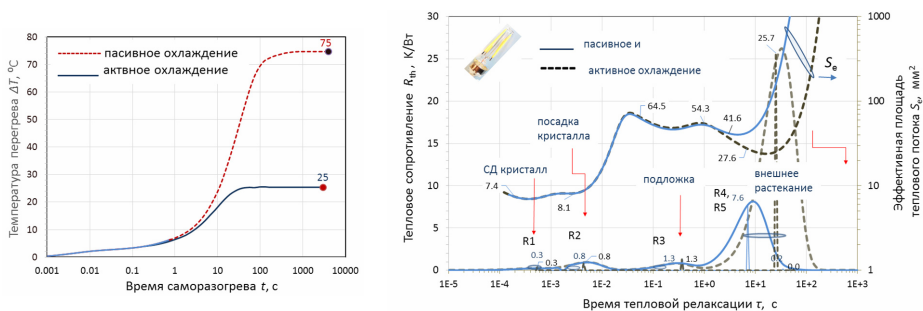


Рисунок 4. – Зависимость температуры перегрева лампы без колбы от времени и соответствующие спектры тепловых сопротивлений при пассивном и активном охлаждении

Эти факты свидетельствуют о хорошем тепловом дизайне лампы, т.е. наличие гелия внутри колбы дает эффект, сравнимый с принудительным охлаждением. В ТРДС спектрах на рис. 4 видны соответствующие этому изменения тепловых сопротивлений R4, R5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, методом ТРДС исследованы структура тепловых сопротивлений и растекание теплового потока в светодиодной лампе с нитевидными излучателями. Установлен вклад в полное тепловое сопротивление каждого из элементов структуры лампы. Исследовано изменение теплового сопротивления лампы и его структуры при принудительном охлаждении. Определена деградация структуры теплового сопротивления лампы без колбы. Показано, что метод ТРДС позволяет подробно исследовать особенности тепловой конструкции сложных светодиодных приборов с целью снижения температуры перегрева их активных областей, и, следовательно, уменьшения их деградации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Zakgeim, A.L. Comparative Analysis of the Thermal Resistance Profiles of Power Light-Emitting Diodes Cree and Rebel Types / A.L. Zakgeim, [et al.] // EuroSimE 2013: 14th International Conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems. – 2013. – №01. – P. 1/7–7/7
2. Васильков, О.С. Диагностика технологических характеристик мощных транзисторов с помощью релаксационного импеданс-спектрометра тепловых процессов / О.С. Васильков [и др.] // Изв. вузов. Материалы электрон. техники. – 2014. № 1. – С. 47–52.
3. Бумай, Ю.А. Релаксационный импеданс-спектрометр тепловых процессов / Ю.А. Бумай [и др.] // Электроника инфо. – 2010. – № 3. – С. 58–59.