

# Измерение профиля температуры перегрева поверхности светоизлучающей гетероструктуры по температурному спаду яркости свечения

В.А. Сергеев  
Ульяновский филиал Института  
радиотехники и электроники им.  
В.А. Котельникова РАН  
Ульяновск, Россия  
sva@ulstu.ru

И.В. Фролов  
Ульяновский филиал Института  
радиотехники и электроники им.  
В.А. Котельникова РАН  
Ульяновск, Россия  
ilya-frolov88@mail.ru

О.А. Радаев  
Ульяновский филиал Института  
радиотехники и электроники им.  
В.А. Котельникова РАН  
Ульяновск, Россия  
oleg.radaev.91@mail.ru

**Аннотация**—Представлены результаты апробации способа измерения профиля распределения температуры по поверхности кристалла светодиода. В качестве температурочувствительного параметра используется яркость электролюминесценции гетероструктуры. Способ основан на регистрации распределения яркости свечения гетероструктуры светодиода цифровой КМОП камерой при питании его импульсным током большой скважности и постоянным током, вычислении относительного спада яркости свечения и определении температуры перегрева локальной области гетероструктуры по известному температурному коэффициенту спада яркости излучения.

**Ключевые слова**— светоизлучающая гетероструктура, температурный мэппинг, электролюминесценция.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Известно, что эффективность и надежность светодиодов во многом определяются температурным режимом светоизлучающей гетероструктуры. Светодиод представляет собой сложную теплоэлектрическую систему, в которой одновременно действует несколько механизмов теплоэлектрической связи, приводящих к существенно неоднородному распределению температуры по площади кристалла [1]. Эта неоднородность, в свою очередь, является причиной неоднородного распределения плотности тока в гетероструктуре, термомеханических напряжений и деформаций как самой гетероструктуры, так и других элементов конструкции светодиода. Локальный перегрев может существенно ускорять деградиационные процессы в кристалле и приводить к значительному снижению ресурса работы светодиода.

Для бесконтактного измерения температурных полей различных объектов, в том числе, полупроводниковых приборов, применяются методы компьютерной оптики, основанные на регистрации и последующей обработке термограмм, полученных в инфракрасной области спектра излучения [2-4].

В настоящей работе представлена экспериментальная апробация способа измерения температуры перегрева локальных областей кристалла светодиода методом мэппинга относительного спада яркости электролюминесценции в видимом диапазоне спектра при разогреве кристалла светодиода прямым током.

## 2. ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ

Для экспериментальной апробации предлагаемого способа использовался аппаратно-программный комплекс для измерений статических и динамических параметров электролюминесценции локальных областей кристалла светодиода [5]. В состав измерительного комплекса входит функциональный генератор DG4162, блок задания режима питания светодиода импульсным током, микроскоп Levenhuk D320L, монохромная КМОП камера FL-20BW с максимальным разрешением 5472x3648 пикселей для регистрации изображений кристалла светодиода. В качестве объекта исследований использовался зеленый светодиод XRCGRN-L1-0000-00M01 производства Cree, имеющий следующие параметры: максимально допустимый прямой постоянный ток 500 мА; тепловое сопротивление переход-точка пайки 12 К/Вт; температурный коэффициент спада светового потока 2250 ppm/K.

Измерения проводились при комнатной температуре в следующем порядке. Светодиод, закрепленный на теплоотводе, размещался на предметном столике микроскопа. Для ослабления светового потока между светодиодом и объективом микроскопа располагался нейтральный оптический светофильтр. Через светодиод пропускали импульсный ток амплитудой 300 мА, длительностью импульса 200 мкс и скважностью импульсной последовательности 200. Тепловая постоянная времени кристалла светодиода составляет порядка 500 мкс. В указанном режиме питания средний перегрев кристалла светодиода относительно температуры окружающей среды пренебрежимо мал. Время экспозиции цифровой камеры при измерении в импульсном режиме устанавливалось равным 20 с. Затем через светодиод пропускали постоянный ток 300 мА. Время экспозиции камеры составляло 10 с. Изображения кристалла светодиода, характеризующие среднюю яркость электролюминесценции, полученные в импульсном и непрерывном режиме питания с разрешением 5472 × 3648, сохранялись в памяти компьютера в формате .tif.

Обработка изображений проводилась попиксельно в среде MathCAD. Изображения кристалла условно делились на локальные области размером 10×10 пикселей. Для каждой локальной области рассчитывалось среднее значение яркости пикселей. Температура перегрева локальных областей кристалла определялась по формуле

$$\Delta T = \left( \frac{P_H t_H}{P_H Q t_H} - 1 \right) \frac{1}{k_T}, \quad (1)$$

где  $P_H$  и  $P_H$  – средние значения яркости пикселей локальной области кристалла, измеренные в непрерывном и импульсном режиме соответственно;  $k_T$  – температурный коэффициент спада светового потока;  $Q$  – скважность импульсной последовательности;  $t_H$  и  $t_H$  – время экспозиции цифровой камеры при измерениях в непрерывном и импульсном режиме соответственно.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлен эскиз кристалла светодиода (вид сверху). Размеры кристалла составляют  $980 \times 980$  мкм. Сплошными линиями показана металлизация.

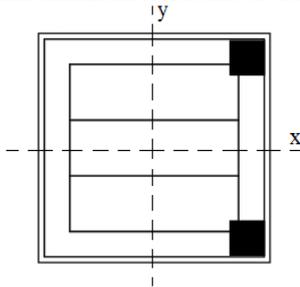


Рис. 1. Топология металлизации кристалла светодиода

На рис. 2 приведены профили распределения температуры перегрева кристалла в сечениях  $x$  и  $y$ , обозначенных пунктирной линией на рис. 1. Видно, что распределение температуры по кристаллу светодиода имеет неоднородный характер: вблизи металлизации наблюдается локальное повышение температуры, что, вероятно, связано с повышением плотности тока в этих областях. Среднее значение температуры перегрева кристалла при токе 300 мА составило 13 К. При тепловом сопротивлении переход-точка пайки 12 К/Вт и потребляемой при токе 300 мА мощности 1 Вт температура перегрева кристалла должна составлять 12 К.

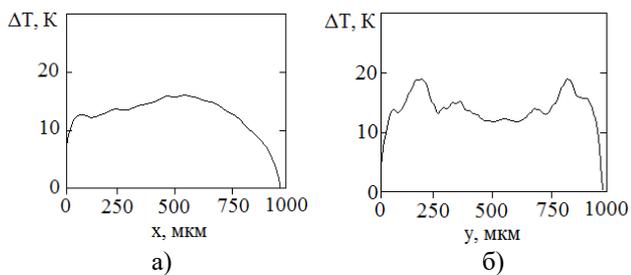


Рис. 2. Профили распределения температуры перегрева кристалла в сечениях  $x$  (а) и  $y$  (б)

Видно, что экспериментальное значение средней температуры перегрева, полученное по результатам измерений спада яркости излучения кристалла, согласуется с расчетным значением.

### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлены результаты экспериментальной апробации способа измерений температуры перегрева локальных областей кристалла светодиода по спаду яркости излучения при увеличении температуры на примере зеленого коммерческого светодиода. Показано, что результаты измерений среднего значения температуры перегрева кристалла согласуются с расчетными значениями. Способ может быть использован для оценки неоднородности профиля температуры перегрева поверхности кристаллов гетеропереходных биполярных транзисторов, для которых характерна значительная интенсивность рекомбинационного излучения [6].

### БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-01134, <http://rscf.ru/project/22-29-01134>.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Sergeev, V.A. Thermoelectric Models of High-Power Bipolar Semiconductor Devices. Part II. Nonlinear Model of LEDs / V.A. Sergeev, A.M. Khodakov / Journal of Communications Technology and Electronics. – 2015. – Vol. 60(12). – P. 1328-1332. DOI: 10.1134/S1064226915080161.
- [2] Rizkin, B.A. Artificial Neural Network control of thermoelectrically-cooled microfluidics using computer vision based on IR thermography / B.A. Rizkin, K. Popovich, R.L. Hartman // Computers and Chemical Engineering. – 2019. – Vol. 121. – P. 584-593. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2018.11.016.
- [3] Dino, I.G. Image-based construction of building energy models using computer vision / I.G. Dino, A.E. Sari, O.K. Iseri, S. Akin, E. Kalfaoglu, B. Erdogan, S. Kalkan, A.A. Alatan // Automation in Construction. – 2020. – Vol. 116. – P. 103231. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103231.
- [4] Guan, N. Heat Dissipation in Flexible Nitride Nanowire Light-Emitting Diodes / N. Guan, N. Amador-Mendez, A Kunti // Nanomaterials. – 2020. – Vol. 10. – P. 2271. DOI: 10.3390/nano10112271.
- [5] Фролов, И.В. Измерение профиля распределения граничных частот электролюминесценции по площади светоизлучающей гетероструктуры / И.В. Фролов, В.А. Сергеев, О.А. Радаев // Приборы и техника эксперимента. – 2021. – № 2. – С. 88-92. DOI: 10.31857/S0032816221010262.
- [6] Schuermeyer, F. Thermal studies on heterostructure bipolar transistors using electroluminescence / F. Schuermeyer, R. Fitch, R. Dettmer, J. Gillespie, C. Bozada, K. Nakano, J. Sewell, J. Ebel, T. Jenkins, L.L. Liou // Proceedings IEEE. Cornell Conference on High Performance Devices (Cat. No.00CH37122). – 2000. – P. 45-50. DOI: 10.1109/CORNEL.2000.902518.