

5. S.W. Wang, H. Yu, H. Zhang, A. Wang, M. Zhao, Y. Chen, L. Mei, J. Wang, «Broadband Few-Layer MoS₂ Saturable absorber», Adv. Mater. 26, 3538 (2014).

6. T.L. Feng, S.Z. Zhao, K.J. Yang, G.Q. Li, D.C. Li, J. Zhao, W.C. Qiao, L.H. Zheng, J. Xu, G.J. Zhao, Y.G. Wang, «A diode-pumped passively Q-switched Tm,Ho:YAP laser with a single-walled carbon nanotube», Las. Phys. Lett., 10(9), 6 (2013).

УДК 621.382.019.3

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СВЕТОДИОДОВ С МАЛЫМ ТЕЛОМ СВЕЧЕНИЯ

Манего С.А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Для определения срока службы светоизлучающих устройств (СУ) широко используются методики ускоренных испытаний при повышенных значениях температуры окружающей среды (T_A) и прямого тока (I_F). В основу этих методик могут быть положены различные теоретические модели и механизмы деградации светового потока светоизлучающего устройства. Аналогия процесса старения, описанного моделью и реальных процессов старения СУ, определяющих их надежность, признается как неформальная многими исследователями. Поскольку скорость дрейфа параметров весьма мала, то для ее увеличения и оценки других составляющих модели используют форсированные испытания СУ при повышенных температурах и токах нагрузки.

Анализ практики передовых мировых производителей светодиодных устройств позволил сделать вывод, что непосредственным результатом превращения качества в основной фактор конкурентоспособности стал отказ от методов контроля и отбраковки как средства обеспечения надежных свойств и выработки гарантий качества для потребителей. Среди причин, ограничивающих возможность применения этих методов в современных условиях, можно указать: стоимостные (обеспечение надежности компонентов за счет жестких методов тестирования, что многократно увеличивает их себестоимость), физические (существуют физические пределы повышения надежности продукции за счет отбраковочных испытаний), организационные (длительность стандартизированных процедур аттестации качества электронных компонентов приходит в противоречие с короткими циклами разработки), сравнительно низкий уровень гарантий качества. Невозможность эффективно разрешить указанные ограничения стимулировала переход к более совершенным методам оценки и прогнозирования надежности СУ, основным на концепции предотвращения появления дефектов и статистического подхода в оценке надежных параметров СУ. Одним из таких методов предлагается использовать люминесцентные методы исследования деградации СУ.

Известно, что спектры спонтанного излучения светодиодных излучателей (СИ) содержат информацию о физических особенностях излучательного процесса в активной среде светодиода. Однако интерпретация спектра как интегральной характеристики обычно осложняется в силу наложения одновременно многих факторов: перегрев активной области СИ, неравномерного распределения состава в активной области, неравномерное распределение плотности тока, как активной области СИ, так и по всей матрице СУ. Все эти факторы формируют усредненную форму спектра излучения, которая описывается в рамках лоренцев форм-фактора для однородного уширения [1]. В работе для получения объективной информации о надежности СУ содержащих светодиоды с малым телом свечения (СИД с МТС), с учетом комплексного влияния всех воздействующих факторов, была проведена количественная оценка изменения параметров спектров электролюминесценции СИД с МТС.

Для анализа спектров люминесценции светодиодов использовались светодиоды на основе структур твердых растворов AlInGaP/GaAs. Такие твердые растворы используют для создания сверхъярких светодиодов, излучающих в красном, оранжевом и желтом диапазонах видимого спектра. Отметим, что при изменении состава в точке пересечения экстремумов Г-Х, свойства AlInGaP изменяются, он становится непрямозонным полупроводником, эффективность его излучения заметно понижается. Для высокой эффективности светодиодов вблизи точки пересечения энергия излучения должна быть меньше ширины запрещенной зоны на несколько кТ, что являются базовым вариантом структур для современных лазеров и светодиодов. Для анализа спектров люминесценции были отобраны две группы светодиодов с малым телом излучения (Группа № 1 и Группа № 2), созданных на основе чипа AlInGaP/GaAs (ELC-645-29-20) фирмы EPIGAP Optoelectronic GmbH, группа № 1 (20 шт.) в корпусе КТ-1-4.04НБ и группа № 2 (20 шт.) – корпус КУТ-32 (ГОСТ 16504-81). При создании светодиодов группы № 1 и № 2, для

некоторых светодиодах, проводилась повторная разварка проволоочки. Мощность ультразвуковой волны приварки контактных проволоочек была: для светодиодов группы № 1-1-ая сварка – 0,3875 Вт, 2-ая сварка – 0,0375 Вт. (20 шт.). Для светодиодов группы № 2, разварка проволоочек проводилась при мощностях: 1-ая сварка – 0,5125 Вт, 2-ая сварка – 0,2 Вт. (20 шт.). Максимум интенсивности излучения светодиодов ($\lambda \cong 645$ нм). Режимы форсированных испытаний проводились с коэффициентами ускорения K_p при $T = 80$ °C и $T = 120$ °C ($K_p = 0,236$ и $K_p = 0,45$ соответственно). Термоэлектрический отжиг проводился при следующих условиях ($I_n = 10$ mA, $T = 80$ °C и 110 °C, $t = 1400$ ч).

Спектры люминесценции при температуре ($T = 293$ °K) и тока накачки (0,05-10 mA) представлены на рисунке 1.

Анализ экспериментальных данных показал, что краевые полосы люминесценции соответствуют стандартным форм-факторам (с гауссовым и лоренцевым уширением). Для описания реальных спектров электролюминесценции светодиодов применялся форм-фактор в виде $1/ch$ δ с экспоненциальными асимптотами.

$$R(h\nu) = \int_0^{\infty} R_0(E)F(E - h\nu, \gamma)dE,$$

где $F(E - h\nu, \gamma)$ – форм-фактор однородного уширения.

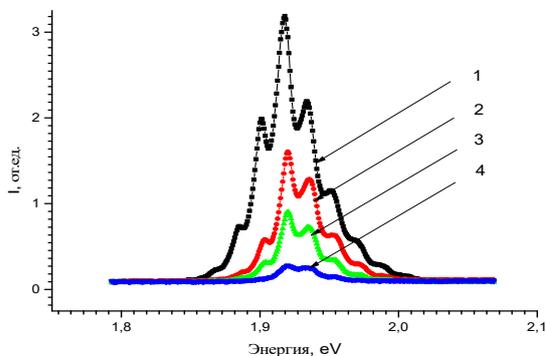


Рисунок 1 – Интенсивность излучения СИД с МТС при токах накачки $I = 1$ -10mA, 2- 1mA, 3-0,44 mA, 4-0,05 mA

Теоретические расчеты не дают аналитического вида для форм-фактора в промежуточных случаях описывающих различные вклады в однородное уширение всех релаксационных процессов. Численные теоретические расчеты форм-фактора приводят к не-лоренцевой форме, в общем случае – асимметричной форме.

Т.е. не-лоренцевость проявляется прежде всего в крыльях контура, где срезаются лоренцевы асимптоты. Воспользуемся форм-фактором предложенным в работе [2] имеющий асимметричные экспоненциальные асимптоты, определяемые константами ε_1 и ε_2 .

Анализ изменения экспоненциальных асимптот ε_1 и ε_2 (Рис. 2) показывает, что с увеличением времени термоэлектрического отжига они убывают. Ширина спектра люминесценции на половине максимума $\Delta h\nu = 46$ мэВ. Оценка эффективного релаксационного времени показало около 6.3 фс, т.е. данный форм-фактор относится к не-марковскому процессу. Реальные контуры спектров излучения асимметричны.

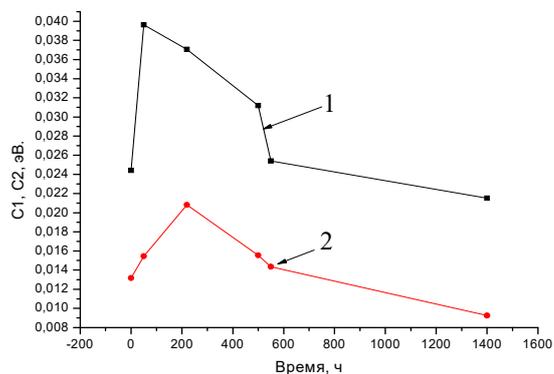


Рисунок 2 – Экспоненциальных асимптот $\varepsilon_1(1)$ и $\varepsilon_2(2)$ от длительности термоэлектрического отжига

Таким образом, анализ структуры спектров спонтанного излучения светодиодов с малым телом свечения показал что, с увеличением тока накачки краевая полоса излучения подвержена размытию главным образом за счет однородного уширения коротковолнового края. Анализируя изменение информационных параметров (ε_1 , ε_2 , τ , $\Delta h\nu$) от длительности термоэлектрического отжига можно оценить надежность светодиодов с малым телом свечения.

Литература

1. Елисеев П.Г. Излучение квантово-размерных структур InGaAs. I. Спектры спонтанного излучения / П.Г. Елисеев, И.В. Акимова // Физика и техника полупроводников, 1998, том 32, № 4, С. 472–477.
2. Елисеев П.Г. Излучение квантово-размерных структур InGaAs. II. Форм-фактор однородного уширения/ П.Г. Елисеев, И.В. Акимова // Физика и техника полупроводников, 1998, том 32, № 4, С. 478–483.