

положения образца с моментом считывания данных по конкретному участку образца, что в свою очередь повысит оптическое разрешение дефектов малых размеров.

**Благодарности.** Работа проводилась и финансировалась в рамках задания 5.4 белорусской

части научно-технической программы Союзного государства «Разработка критических стандартных технологий проектирования и изготовления изделий наноструктурной микро- и оптоэлектроники, приборов и систем на их основе и оборудования для их производства и испытаний» («Луч»).

УДК 620.169.2

## УСТАНОВКА ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ПАРАМЕТРОВ И СРОКА СЛУЖБЫ УФ СВЕТОДИОДОВ

Челяпин А.Е., Бегунов П.С., Трофимов Ю.В., Поседько В.С.

Республиканское научно-производственное унитарное предприятие

Минск, Республика Беларусь

«Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси»

Минск, Республика Беларусь

**Введение.** Светодиоды ультрафиолетового диапазона всё чаще находят применение в различных отраслях производства благодаря компактности, длительному сроку службы. Светодиодные излучатели уже успешно работают во всех поддиапазонах УФ излучения: УФ-А (400-315 нм), УФ-В (315-280 нм) и УФ-С (280-100 нм). Однако, несмотря на очевидные преимущества УФ светодиодных излучателей, их реальное внедрение сдерживается следующими факторами. Во-первых, это невысокая квантовая эффективность светодиодов, особенно для приборов УФ-В и УФ-С диапазонов, во-вторых, их высокая стоимость. В настоящее время основным препятствием при создании полупроводниковых УФ светодиодов является низкая эффективность люминесценции в эпитаксиальных гетероструктурах, что обычно связывают со значительной плотностью дислокаций и высокой концентрацией фоновых примесей [1]. Кроме того, при высоких плотностях тока возникает самонагрев активной области излучателя, приводящий к снижению оптической мощности излучения УФ светодиодов и срока их службы. Срок службы УФ светодиодов должен составлять не менее 10 000 часов, при этом основным критерием работоспособности УФ светодиода является величина его светового потока, снижение которой допускается не более чем на 30%. Проведенные исследования показали, что на данный момент существует ряд методов прогнозирования срока службы УФ светодиодов, однако они не могут быть выполнены в краткие сроки и предполагают проведение долговременных испытаний.

**Экспериментальная часть.** Для определения времени наработки изделий в режиме ускоренных испытаний используют модель развития отказов, основанную на законе Аррениуса [2]:

$$K = (J_{\text{исп}}/J_{\text{ном}})^m \exp \left[ \frac{\Delta E}{K_B} \left( \frac{1}{T_{\text{пер1}}} - \frac{1}{T_{\text{пер2}}} \right) \right], \quad (1)$$

где  $K$  – коэффициент ускорения механизма отказа;  $m$  – постоянная для конкретного типа

полупроводниковой светоизлучающей структуры ( $m = 1$ , если  $J_{\text{пот}} < 2 \cdot 10^5$  А/см<sup>2</sup>);  $\Delta E$  – энергия активации доминирующего механизма деградации СД;  $K_B$  – постоянная Больцмана, равная  $8,617 \cdot 10^{-5}$  эВ/град;  $J_{\text{ном}}$  – номинальная плотность прямого тока через  $p$ - $n$ -переход, А/см<sup>2</sup>;  $J_{\text{исп}}$  – плотность прямого тока при испытаниях;  $T_{\text{пер1}}$  – рабочая температура кристалла, К;  $T_{\text{пер2}}$  – температура кристалла при ускоренных испытаниях, К.

Таким образом, для корректного проведения ускоренных испытаний СД необходимо точно задать температуру кристалла, определить энергию активации механизма деградации и показателя степени  $m$ .

Температура кристалла полупроводникового источника света ( $T_{\text{пер}}$ ) определяется согласно методу тепловых сопротивлений. Температура кристалла определяется суммой температуры окружающей среды ( $T_a$ ) и произведения теплового сопротивления ( $R_{j-a}$ ) на выделяющуюся в кристалле тепловую мощность ( $P_d$ ):

$$T_{\text{пер}} = T_a + R_{j-a} \cdot P_d. \quad (2)$$

Для исследуемых ультрафиолетовых полупроводниковых источников света основным результатом деградации является уменьшение значения излучаемого светового потока, поэтому энергия активации механизма деградации  $\Delta E$  определяется по результатам электротренировки при ступенчато-возрастающей нагрузке, с контролем величины светового потока светодиода.

Температуру корпуса УФ светодиода во время испытаний на долговечность необходимо контролировать в пределах 2 °С от заданной при испытании. Для правильного запуска и эксплуатации светодиода воздушный поток должен быть сведен к минимуму, для исключения его влияния на характеристики теплового потока.

Для оценки срока службы УФ светодиодов проводятся исследования деградации их опти-

ческих и электрических характеристик. Перед началом исследований измеряются исходные светотехнические параметры образцов: оптическая мощность, спектр, доминантная длина волны и падение напряжения при рабочем токе, указанном производителем УФ светодиода как номинальный (типичный). Измерения проводятся с помощью спектрометрического комплекса оборудования. При необходимости результаты усредняются по числу образцов.

Образцы УФ светодиодов устанавливаются на нагревательный элемент внутри разработанного термостенда, фиксируются специальными креплениями и подключаются к электрическому питанию.

На светодиоды подается максимально допустимый рабочий ток (в соответствии с рекомендациями производителя). Образцы выдерживаются во включенном состоянии в течение 1680 ч при температуре нагревательного элемента стенда соответствующей максимальной допустимой рабочей температуре светодиода. Через каждые 168 часов проводятся замеры оптической мощности, спектра, доминантной длины волны и падения напряжения при номинальном рабочем токе, указанном производителем.

**Результаты и их обсуждение.** Государственным предприятием «ЦСОТ НАН БЕЛАРУСИ» разработана и создана экспериментальная установка, позволяющая проводить деградационные измерения УФ светодиодов. Структурная схема экспериментальной установки приведена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Структурная схема экспериментальной установки

Термостенд представляет собой плату на алюминиевой основе, на которой из медных токоведущих дорожек сформированы четыре нагревательных сегмента. В каждом нагревательном сегменте установлен датчик температуры, выполненный на микросхеме DS18B20. Термостенд имеет свой источник питания и устанавливается в теплоизолированном корпусе для предотвращения влияния внешней среды на

проведение испытаний и защиты оператора от УФ излучения.

После подключения питания и разогрева термостенда температура светодиода поддерживается в заданном диапазоне согласно методике испытаний. Контроль и управление температурой термостенда осуществляется представленным на блоком управления, который анализирует сигналы датчиков температуры и управляет нагревательными сегментами.

При проведении ускоренных испытаний УФ светодиодов на долговечность температура кристалла светодиода поддерживалась равной +85 °С при прямом токе 700 мА. График изменения светового потока исследуемого светодиода марки LEUVA33U70 от времени испытаний представлен на рисунке 2.

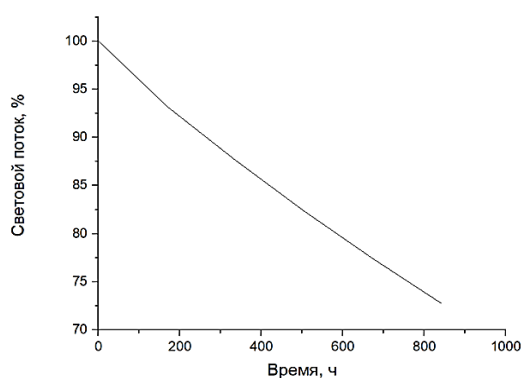


Рисунок 2 – График изменения относительного значения светового потока при ускоренных испытаниях

Снижение светового потока до 75 % от первоначального значения произошло за 860 часов испытаний, что соответствует времени работы УФ светодиод в номинальном режиме около 10000 часов.

**Заключение.** Представленная установка для экспресс-оценки долговременной стабильности параметров и срока службы УФ светодиодов позволяет проводить ускоренную деградацию светодиодов. В качестве ускоряющих деградацию факторов выбраны повышенные температура кристалла и рабочий ток. Проведены ускоренные испытания светодиодов ультрафиолетового излучения фирмы LG Innotek (Республика Корея) на долговечность.

#### Литература

1. M. Kneissl, T. Kolbe, C. Chua, V. Kueller, N. Lobo, J. Stellmach, A. Knauer, H. Rodriguez, S. Einfeldt, Z. Yang, N.M. Johnson, M. Weyers. *Semicond. Sci. Technol.*, 26, 2011.
2. Jianzheng H. et al. *Electrical, Optical and thermal degradation of high power Gan/InGaN led.* *J. Phys. D: Applied Physics.* 2008.