

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЯРКОСТИ SMD СВЕТОДИОДОВ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ В РЕЖИМЕ СТАБИЛИЗАЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ**© 2012 А.В. Беринцев<sup>1</sup>, С.Г. Новиков<sup>2</sup>, И.С. Федоров<sup>2</sup><sup>1</sup> Научно-исследовательский технологический институт УлГУ<sup>2</sup> Ульяновский государственный университет

Поступила в редакцию 20.11.2012

В работе исследуется поведение излучающих диодов при токах порядка нескольких микроампер в диапазоне температур от 27 до 250 °С. Обнаружен линейный рост яркости с увеличением температуры для синих и зеленых светодиодов в исследуемом диапазоне.

Показана возможность использования излучающего диода в качестве сенсора температуры с оптическим выходом.

Ключевые слова: светодиод, температура, измерение, оптический датчик температуры

Появления люминесценции у современных излучающих диодов (ИД) при токах порядка нескольких микроампер является интересным фактом и стимулирует исследования в области физики работы излучающих диодов и технике их применений. Наличие зависимости параметров люминесценции при малых токах от внешних факторов, таких как температура, электрические и магнитные поля, а также радиационное воздействие, позволило бы использовать излучающие структуры в качестве первичных преобразователей и сенсоров. Сопряжение такого преобразователя с линией передачи оптического сигнала, и, посредством линии с измерительной аппаратурой позволит создать датчики нового типа.

В данной работе исследуется поведение излучающих диодов при токах порядка нескольких микроампер в диапазоне температур от 27 до 250 °С для оценки возможности использования излучающего диода в качестве сенсора температуры с оптическим выходом. Были проведены исследования зависимости яркости от температуры светодиодов красного, желтого, зеленого и синего цветов свечения.

Принцип измерения температуры с помощью р-п-перехода известен давно и широко используется для измерения температуры кристаллов светодиодов [1-5]. В качестве термочувствительного параметра обычно используется прямое падение напряжения на светодиоде, линейно зависящее от температуры в широком диапазоне. Такие измерения проводятся в режи-

мах близких к номинальным, при токах порядка десятков-сотен миллиампер. При этом нагрев кристалла осуществляется не внешним источником, а за счет выделения энергии на активном сопротивлении излучающего диода при прохождении через него тока. Температура кристалла в номинальных режимах может достигать значений 100-120 °С. В этой ситуации сложно говорить об использовании излучающих диодов в качестве температурного сенсора. Для снижения температуры кристалла возможен переход к режиму импульсного питания или в микротокковый режим. В этом режиме собственная температура кристалла близка к температуре окружающей среды. В свою очередь внешний нагрев кристалла также изменяет параметры ВАХ излучающего диода и его можно измерять с помощью различных термочувствительных параметров (токов и напряжений). Если в роли сенсора использовать излучающий диод, то в качестве термочувствительных параметров можно использовать светотехнические характеристики.

Для большинства современных излучающих диодов, работающих в номинальных режимах наблюдается снижение энергетической яркости свечения с ростом температуры. При этом установлено, что зависимость энергетической яркости излучения светодиода от тока при низком уровне инжекции близка к линейной. Верхний предел температурного диапазона, в котором исследуют излучающие диоды ограничивается значением 160 °С.

Несмотря на известные перечисленные факты в режимах малых токов яркость излучения диодов при высоких внешних температурах (выше 200 °С) к настоящему моменту мало изучена, за исключением небольшого числа работ, касаю-

*Беринцев Алексей Валентинович, инженер.*

*E-mail: berints@mail.ru*

*Новиков Сергей Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры радиофизики и электроники.*

*E-mail: novikovsg@ulsu.ru*

*Федоров Иван Сергеевич, студент.*

*E-mail: senseytreyser@mail.ru*

**Таблица 1.** Номинальные параметры и характеристики изучаемых светодиодов

Тип	Структура	Цвет	Прямое падение напряжения, В	Прямой ток, мА
FYLS-3528UBC	InGaN	синий	3,2	20
FYLS – 3528PGC	InGaN	зеленый	3,2	20
FYLS-3528BURC	AlGaInP	красный	2	20
FYLS-3528BUYC	AlGaInP	желтый	2	20

щихся в основном вопросов повышения КПД [9].

В качестве объектов исследований избраны коммерческие SMD светодиоды красного, желтого, зеленого и синего свечения фирмы Foguard optoelectronics.

Номинальные параметры и характеристики исследуемых светодиодов приведены в табл.1.

Типовые вольт-амперные характеристики (ВАХ) исследуемых излучающих диодов в режиме малых токов при комнатной температуре представлены на рис. 1.

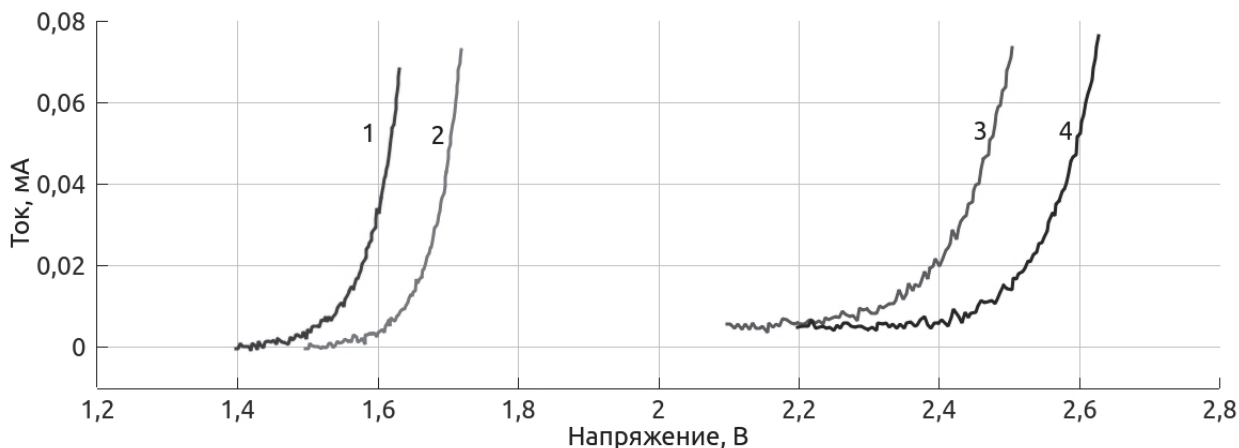
На начальном участке ВАХ для всех типов излучающих диодов наблюдаются значительные шумы, которые сопоставимы с измеряемым током и напряжением. С ростом тока данные шумы исчезают. При этом необходимо отметить, что на

начальном участке (0,5-0,7 мкА) уже визуально наблюдается слабая люминесценция структур.

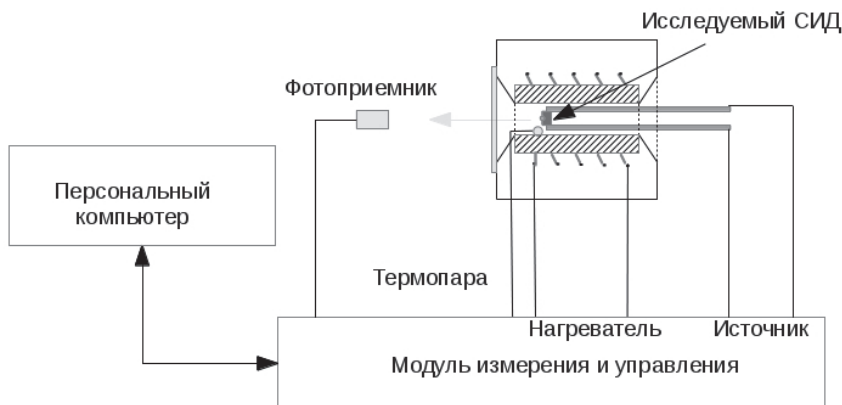
Для проведения экспериментальных исследований зависимостей параметров и характеристик излучающих диодов от температуры разработана автоматизированная установка, структурная схема которой приведена на рис. 2.

Измерительная установка состоит из нагревателя с датчиком температуры, источника тока, фотоприемника, модуля измерения и управления и персонального компьютера. Измеряемые характеристики отображаются на экране компьютера и сохраняются в виде файла, пригодного для дальнейшей обработки.

В качестве фотоприемника использован высокоскоростной кремниевый фотодиод FDS100



**Рис 1.** Начальные участки ВАХ красного – 1, желтого - 2 , зеленого - 3 и синего - 4 излучающих диодов



**Рис. 2.** Структурная схема измерительной установки

фирмы Thorlabs с полосой чувствительности от 350 до 1100 нм, временем срабатывания 10 нс и максимальным темновым током 20 нА.

Модуль измерения и управления реализован на микроконтроллере STM32F100C4T6B и обеспечивает: управление двумя выходными сигналами от 0 до 2,75 В; измерение напряжения (до трех входных сигналов); измерение температуры; измерение тока и напряжения на исследуемом ИД; обмен данными с персональным компьютером.

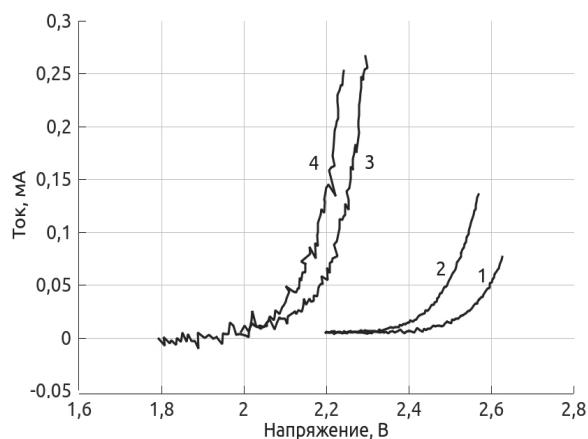
Методика измерений заключается в следующем. На первом этапе, при комнатной температуре, производится измерение вольт-амперных и яркостных характеристик светодиодов для определения рабочей точки. Рабочая точка должна удовлетворять следующему условию — минимальные значения прямого тока и напряжения на светодиоде при уровне выходного сигнала с фотоприемника соответствующего 10-15% от максимального. После установки начальных значений тока и напряжения производился постепенный нагрев образца с измерением текущих

значений температуры, относительной яркости, напряжения и тока. Использование пакета LABVIEW позволило осуществить измерение в автоматическом режиме. Погрешность измерения составила: температуры — 0,5 град; напряжения — 8 мВ; тока — 0,003 мА.

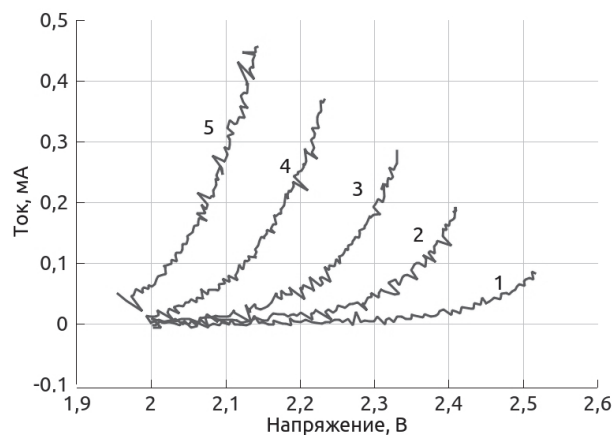
При измерениях излучающий диод подключался к источнику постоянного напряжения через постоянный резистор, в результате ток и напряжение светодиода одновременно изменяются с изменением температуры.

На первом этапе были исследованы ВАХ всех четырех излучающих диодов в зависимости от температуры. С увеличением температуры происходит снижение прямого падения напряжения на структурах, снижение внутреннего электрического сопротивления диодов, что приводит к росту тока при фиксированном напряжении. Увеличение тока сказывается на увеличении энергетической яркости.

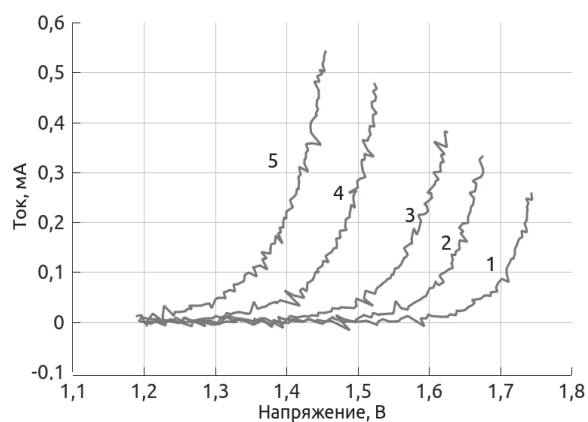
На следующем этапе проводилось измерение фототока фотоприемника, находящегося при нормальных условиях от температуры нагрева



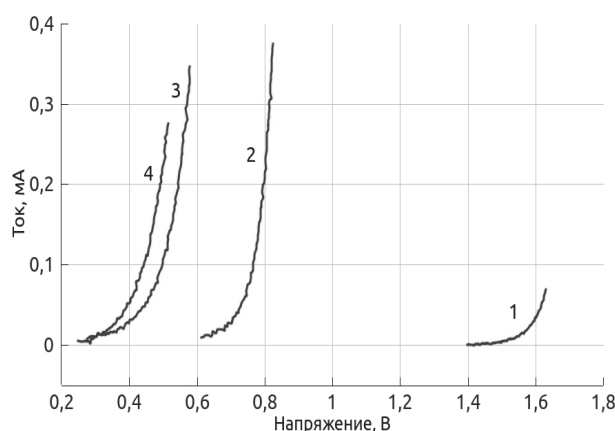
а



б



в



г

**Рис. 3.** Изменение ВАХ с температурой для синего (а), зеленого (б) желтого (в) красного (г) светодиодов: 1 – 27 °С; 2 – 100 °С; 3 - 150 °С; 4 – 200 °С; 5 – 250 °С

излучающего диода. Результаты измерений представлены на рис. 4-7.

Для синих и зеленых излучающих диодов реализованных на основе InGaN структуры в диапазоне температур до 250 °С наблюдается рост яркости (рис. 4, 5), в то время как для красных и желтых диодов наблюдается спад (рис.6,7).

Кроме того, интенсивность излучения светодиодов на основе InGaN изменяется с температурой слабее, чем светодиодов на основе AlInGaP. Причина такого поведения яркостных характеристик заключается в следующем:

Во-первых, в широкозонных материалах на основе нитридов III группы потенциальный барьер между активным и барьерными слоями гораздо выше, чем в других системах. Поэтому носителям трудно преодолеть эти барьеры, что значительно снижает вероятность утечки носителей из активной области [9].

Во-вторых, в работе [10] было отмечено, что пьезоэлектрические поля в структурах InGaN / GaN приводят к пространственному разделению электронов и дырок в ямах. Поэтому легирование барьеров донорами и экранировка электро-

нами этих полей должны увеличивать вероятность излучательной рекомбинации в квантовых ямах. Уменьшение суммарного электрического поля в барьерах уменьшает вероятность безызлучательных туннельных токов. Это также способствует увеличению квантового выхода излучения с температурой.

Для всех светодиодов зависимость яркости от температуры близка к линейной, что позволяет использовать данные структуры в качестве первичного преобразователя температуры в оптический сигнал. Отклонение от линейности составляет величину порядка 5%.

Кроме того установлено, что при низких токах, протекающих через излучающий диод все исследованные приборы сохраняют работоспособность до температур порядка 350 °С. Дальнейшее увеличение температуры приводит к выходу излучающего диода из строя, которое по видимому связано не с деградацией кристалла прибора а с деградацией соединений и деформацией подложки, на которой расположен кристалл.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что излучающие диоды синего и зе-

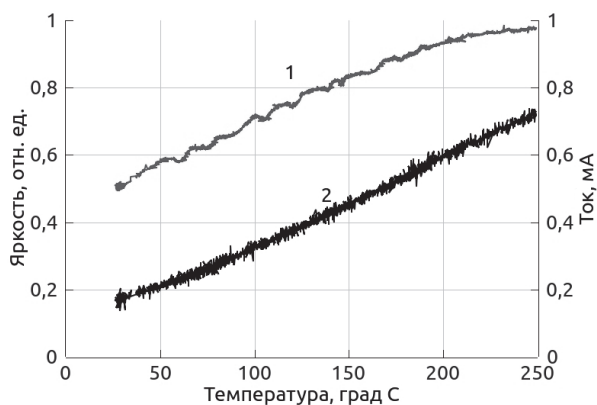


Рис. 4. Зависимость относительной яркости – 1 и тока – 2 (мА) от температуры для зеленого излучающего диода

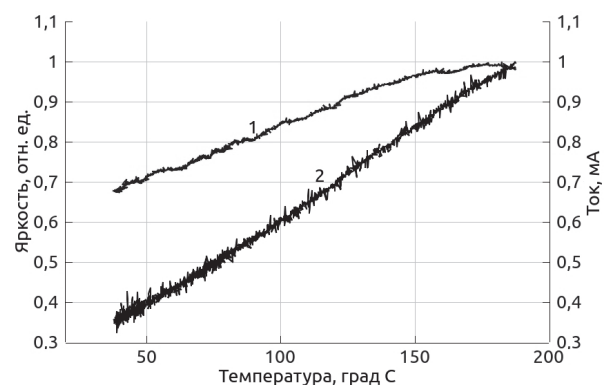


Рис. 5. Зависимость относительной яркости – 1 и тока – 2 от температуры для синего излучающего диода

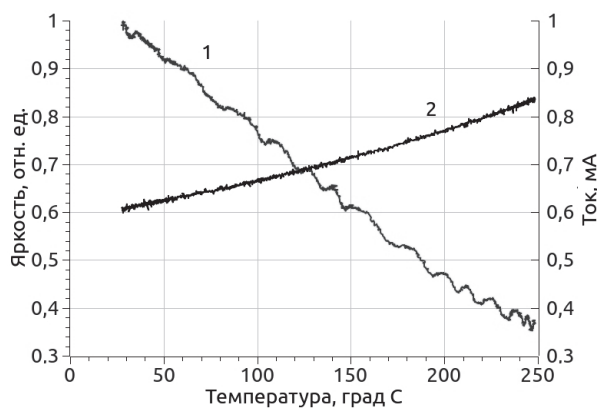


Рис. 6. Зависимость относительной яркости – 1 и тока – 2 от температуры для красного излучающего диода

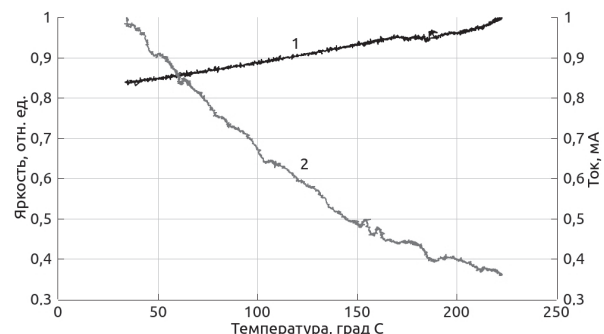


Рис. 7. Зависимость относительной яркости – 1 и тока – 2 от температуры для желтого излучающего диода

ленного цвета свечения могут использоваться для создания преобразователей «температура-яркость свечения» с простой функцией преобразования с положительным температурным коэффициентом яркости, а красные и желтые излучающие диоды – с отрицательным температурным коэффициентом. Реализация дополнительных волоконных систем передачи оптического сигнала от излучающего диода к фотоприемнику позволит пространственно разделить области повышенной измеряемой температуры и области с нормальными условиями для работы измерительной аппаратуры.

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках федеральных целевых программ «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 - 2013 годы» и «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы»*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Соболев М.М., Никитин В.Г.* Высокотемпературный диод на основе эпитаксиальных слоев GaP // Письма в ЖТФ. 1998. Т. 24. №9. С. 1-7.
2. *Сергеев В.А., Широков А.А.* Определение локальных температур в структурах красных AlInGaP/GaAs светодиодов в импульсном режиме // Письма в ЖТФ. 2009. Т. 35. Вып. 9. С. 1-10.
3. *Xi Y. and Schubert E.F.* Junction-temperature measurement in GaN ultraviolet light-emitting diodes using diode forward voltage method // Appl. Phys. Lett. 85, 2163 (2004).
4. *Емельянов А.М., Соболев Н.А., Шек Е.И.* Кремниевые светодиоды, излучающие в области зона-зонных переходов: влияние температуры и величины тока // Физика твердого тела. 2004. Т. 46. Вып. 1. С. 44-48.
5. *Сергеев В.А., Ходаков А.М.* Расчет и анализ распределений плотности тока и температуры по площади структуры InGaN/GaN мощных светодиодов // Физика и техника полупроводников. 2010. Т. 44. Вып. 2. С. 230-234.
6. *Cao X.A., LeBoeuf S.F., Rowland L.B., Yan C.H., and Liu H.* Temperature-dependent emission intensity and energy shift in InGaN/GaN multiple-quantum-well light-emitting diodes // Appl. Phys. Lett. 82, 3614 (2003).
7. *Santhanam P. et all.* Thermoelectrically Pumped Light-Emitting Diodes Operating Above Unity Efficiency // Phys. Rev. Lett. 108, 097403 (2012).
8. Влияние температуры на ампер-яркостные характеристики светодиодной структуры на основе InGaN / Н. С. Грушко [и др. ] // Физика и техника полупроводников. 2009. Т. 43. Вып. 10. С. 1396-1402.
9. *Шуберт Ф.* Светодиоды // Пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. 2-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 496 с.
10. *Мамакин С. С., Юнович А. Э., Ватмана А. Б., Маняхин Ф. И.* Электрические свойства и спектры люминесценции светодиодов на основе гетеропереходов InGaN/GaN с модулированно-легированными квантовыми ямами // ФТП. 2003. Т.37. Вып. 9. С. 1131-1137.

#### STUDY OF SMD LIGHT EMITTING DIODE BRIGHTNESS AT HIGH TEMPERATURES AT VOLTAGE STABILIZATION

© 2012 A.V. Berintsev<sup>1</sup>, S.G. Novikov<sup>2</sup>, I.S. Fedotov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Technology

<sup>2</sup>Ulyanovsk State University

We study behavior of light emitting diodes (LEDs) at the current of several mA in the temperature range of 27- 250 °C. Within this range, a linear increase of brightness with the temperature for green and blue LEDs is observed. It is shown that these LEDs could serve as a optical temperature sensor.

Key words: light emitting diode, temperature, measurement, optical temperature sensor.

---

*Alexei Berintsev, Engineer. E-mail: berints@mail.ru*  
*Sergey Novikov, Candidate of Technics, Associate Professor at the Radiophysics and Electronics Department.*  
*E-mail: novikovsg@ulsu.ru*  
*Ivan Fedorov, Student. E-mail: senseytreyser@mail.ru*