

УДК 621:382

С.В. Смирнов, Е.В. Саврук, Ю.С. Гончарова

## Температурная зависимость спектров излучения светодиодов белого свечения на основе нитрида галлия и его твердых растворов

Приводятся результаты исследований спектров излучения полупроводниковых источников света типа КИПД 154А в диапазоне температур от комнатной до 150 °С. Показано, что уменьшение светового потока источника при повышенных температурах связано как с уменьшением внешней квантовой эффективности кристалла, так и с уменьшением эффективности люминофорного покрытия.

**Ключевые слова:** гетероструктура, люминофор, квантовая эффективность.

Внешний квантовый выход и спектр излучения полупроводниковых источников белого света на основе наногетероструктур InGaN/GaN в значительной мере зависят от температуры активной области, а следовательно, и от температуры окружающей среды. При повышении температуры изменяется как интенсивность люминесценции кристалла, так и положение максимума спектра люминесценции и его ширина. Длинноволновое смещение максимума спектра излучения связывают с изменением ширины запрещенной зоны, а увеличение ширины спектра – с термоупругими деформациями, пьезоэлектрическими эффектами, а также с локальными электрическими полями, создаваемыми дефектами [1–3]. От температуры также зависят и оптические характеристики люминофорного покрытия.

В данной работе исследовалась температурная зависимость спектров излучения полупроводниковых источников белого света на основе гетероструктуры InGaN/GaN типа КИПД 154А в корпусе К2 производства ОАО НИИ полупроводниковых приборов (г. Томск). Преобразование синего света кристалла в желто-красный производилось с помощью люминофора на основе смеси иттрий- и галлий-алюминиевого граната, легированного церием, типа ФЛЖ-7.

Основные типовые параметры исследуемых источников света: световой поток 90–110 лм/Вт; прямой ток 350 мА; прямое падение напряжения 2,8 В; яркость 35–40 кд; цветовая температура 4650–5000 К.

Исследования суммарного спектра излучения проводились с помощью оптического спектрометра USB2000 с разрешением 0,5 нм, а исследование спектров люминесценции люминофорного покрытия – с помощью охлаждаемого спектрометра высокого разрешения AvaSpec-2048FT-TEC.

Зависимость суммарного спектра излучения полупроводникового источника света от температуры представлена на рис. 1. На вставке представлена температурная зависимость отношения максимумов спектров излучения кристалла на длине волны 450–455 нм и люминофора на длине волны 530 нм.

Как следует из зависимостей, увеличение температуры приводит как к уменьшению интенсивности люминесценции, так и к сдвигу максимумов излучения в сторону более длинных волн. Причем с увеличением температуры изменение интенсивности люминесценции кристалла и люминофора происходит с различными скоростями, что связано с различными энергиями активации температурного гашения люминесценции. Кроме того, имеются некоторые различия в механизмах температурного гашения. Механизмы температурного гашения электролюминесценции в гетероструктурах InGaN/GaN подробно описаны в работах [1, 2].

В простейшем случае температурная зависимость квантового выхода  $\eta$  люминесценции имеет вид

$$\eta = \left[ 1 + C \cdot \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right) \right]^{-1}, \quad (1)$$

где  $C$  – константа;  $\Delta E$  – энергия активации;  $k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – температура.

Снижение квантовой эффективности люминофора на основе иттрий-алюминиевого граната, легированного церием, обусловлено несколькими причинами: первая связана с тушением люминесценции за счет диффузии кислорода в кристаллическую решетку граната; вторая – с перераспределением кристаллической фазы по толщине люминесцентного покрытия со связкой из кремний-

органического компаунда. Более тяжелые частицы люминофора под силами тяжести и поверхностного натяжения перераспределяются внутри покрытия, что приводит к уменьшению квантовой эффективности, нарушению соотношения цветов и угловой диаграммы направленности излучения.

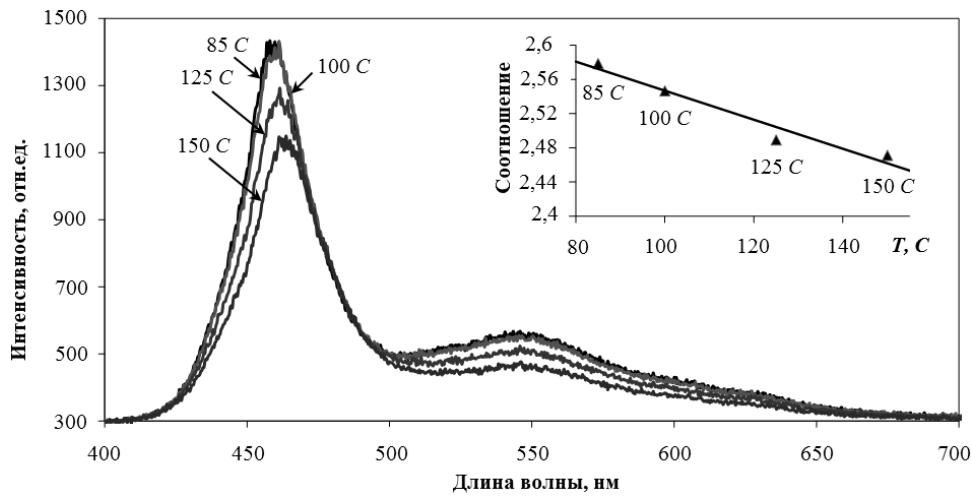


Рис. 1. Зависимость спектров излучения полупроводникового источника света

При длительной работе светодиодов, залитых эластичным компаундом или гелем, при повышенных температурах возможно осаждение кристаллов люминофора на полупроводниковый кристалл, в результате чего уменьшается поток излучения синего цвета, проходящего через люминофор.

Электронно-микроскопические исследования выявили, что при термообработке в структуре люминофорного покрытия появляются различного типа дендритные образования (рис. 2).

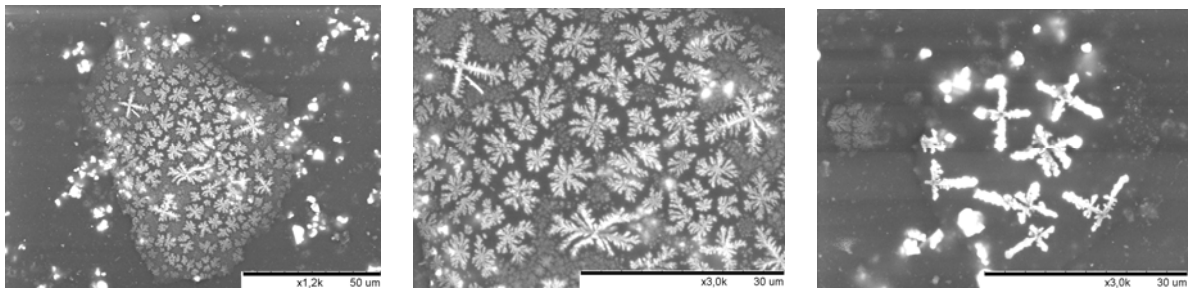


Рис. 2. Изменение структуры люминофорного покрытия на основе ФЛЖ-7 после термической обработки при 140 °C в течение 10 ч

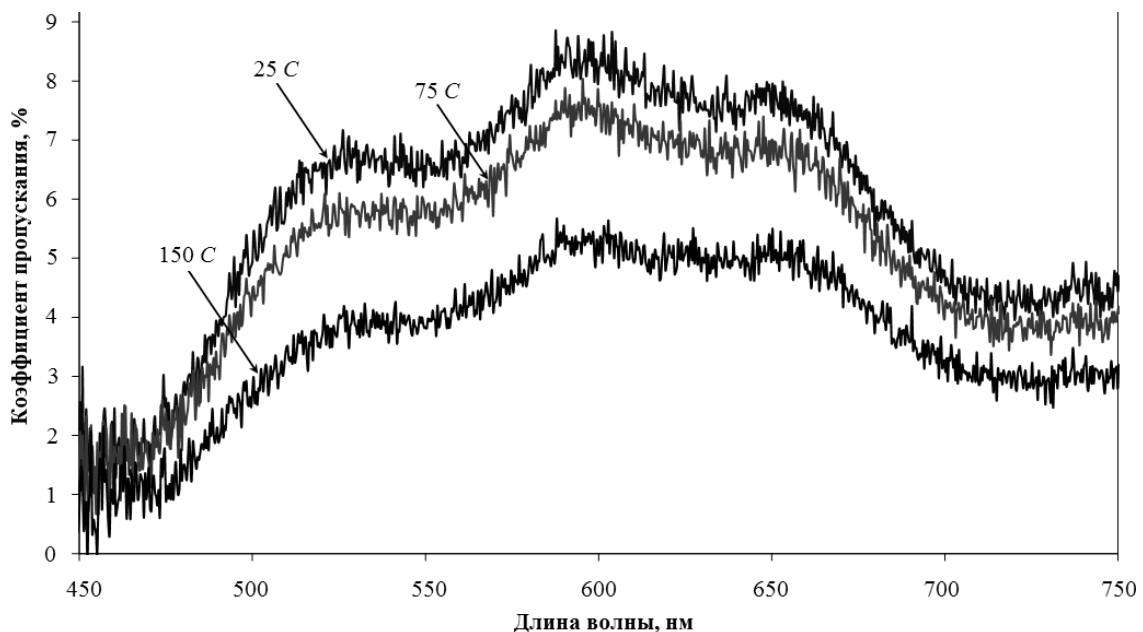


Рис. 3. Спектры поглощения люминофора ФЛЖ-7 (пластинка с люминофорным покрытием толщиной 246 мкм) при температуре 25, 75 и 150 °C

Исследование спектров пропускания покрытий (рис. 3) при разных температурах показали, что происходящие изменения не оказывают существенного влияния на поглощающую способность покрытия на длине волны 455 нм, тем не менее квантовая эффективность люминофора (рис. 4) при повышенных температурах существенно уменьшается, в результате чего происходит не только уменьшение суммарного светового потока, но и увеличение цветовой температуры за счет изменения соотношения синего и желто-красного цветов.

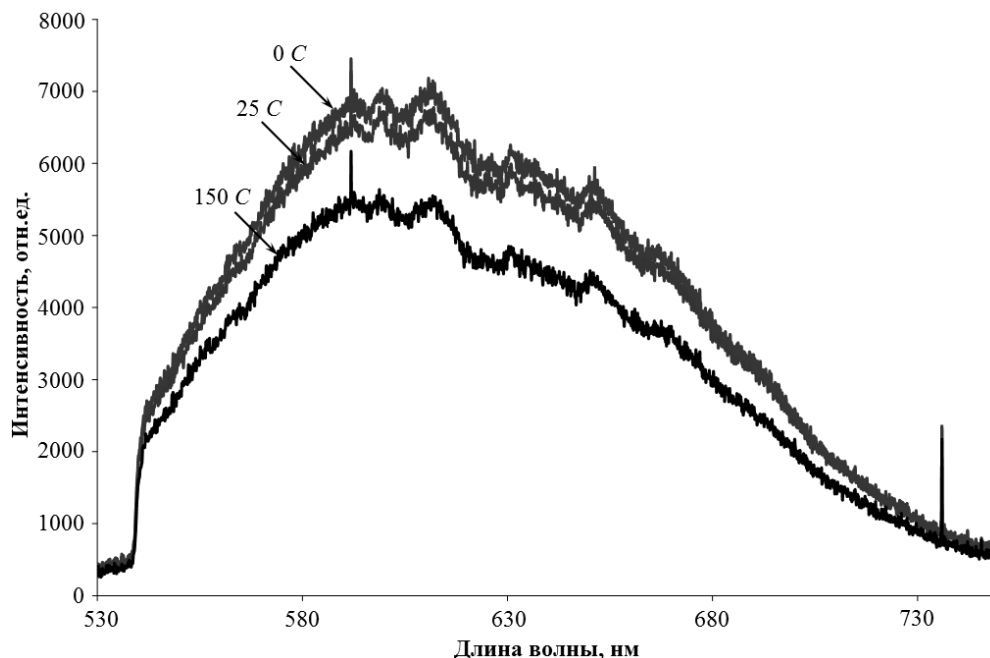


Рис. 4. Спектры возбуждения люминесценции люминофора ФЛЖ-7 излучением светодиодом синего света длиной волны 455 нм при температуре 0, 25 и 150 °C

Проведенные исследования показали, что повышение тепловой устойчивости люминофоров в полупроводниковых источниках света позволит существенно улучшить их эксплуатационные характеристики, цветопередачу и снизить скорость деградации световых характеристик.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в соответствии с договором 73/10 от 15.07.2010 г. в порядке реализации Постановления № 218 Правительства РФ.

#### Литература

1. Бадгутдинов М.Л. Спектры люминесценции, эффективность и цветовые характеристики светодиодов белого свечения на основе р-п-гетероструктур InGaN/GaN, покрытых люминофорами / М.Л. Бадгутдинов, Е.В. Коробов, Ф.А. Лукьянов // ФТТ. – 2006. – Т. 40, вып. 6. – С. 758–763.
2. Lee Jiunn-Chyi. Temperature and current dependences of electroluminescence from InGaN/GaN multiple quantum wells / J.-C. Lee, Y.-F. Wu, Y.-P. Wang, T.-E. Nee // J. Cryst. Growth. – 2008. – Vol. 310, № 23. – P. 5143–5146.
3. Meneghini M. High – temperature degradation of GaN LEDs related to passivation / M. Meneghini, L.-R. Trevisanello, U. Zehnder et al. // IEEE Trans. Electron Devices. – 2006. – Vol. 53, № 12. – P. 2981–2987.
4. Луценко Е. Температура перегрева активной области коммерческих светодиодов // Полупроводниковая светотехника. – 2011. – №2. – С. 26–29.

---

#### Смирнов Серафим Всеволодович

Д-р. техн. наук, профессор каф. физической электроники ТУСУРа  
Тел.: 8-909-540-86-23  
Эл. почта: center@ms.tusur.ru

**Саврук Елена Владимировна**

Аспирант каф. физической электроники ТУСУРа

Тел.: 8-923-406-27-69

Эл. почта: savruk@mail.ru

**Гончарова Юлия Сергеевна**

Студент, каф. автоматизации обработки информации ТУСУРа

Тел.: 8-913-816-06-90

Эл. почта: xel9i@mail.ru

Smirnov S.V., Savruk E.V., Goncharova Y.S.

**The temperature dependence of emission spectra of white LEDs on basis of gallium nitride and its solid solutions**

There are the results of the research of emission spectra of LEDs type «КИПД 154А» in the range from room temperature to 150 °С. It is shown, that reduction of luminous flux at high temperatures is connected both with the reduction of external quantum efficiency and with the reduction of luminophor covering efficiency.

**Keywords:** heterostructure, luminophor, quantum efficiency.

---