

## Создание светодиодов зеленого диапазона на основе соединений InGaN/GaN

С. О. Усов<sup>1,2</sup>, А. Ф. Цацульников<sup>1,2</sup>, В. В. Лундин<sup>1,2</sup>, А. В. Сахаров<sup>1,2</sup>, А. Е. Николаев<sup>1,2</sup>,  
Н. А. Черкашин<sup>2,3</sup>, Н. Н. Леденцов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Научно-технологический центр микроэлектроники и субмикронных гетероструктур при Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

*тел: (812) 292-71-32, эл. почта: S.Usov@mail.ioffe.ru*

<sup>2</sup>ФТИ им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Center for Material Elaboration & Structural Studies (CEMES) of the National Center for Scientific Research (CNRS), Toulouse, France

В настоящее время ведутся интенсивные разработки высокоэффективных светодиодов (СД) на основе системы материалов AlInGaN, излучающих в широком интервале длин волн от ультрафиолетового (УФ) до красного диапазонов. На основе этих материалов возможно создание полихромных источников белого света [1] с высоким индексом цветопередачи и возможностью динамической регулировки параметров белого света. Для создания полихромных источников света необходимы эффективные источники синего, зеленого и красного диапазонов. Несмотря на значительный успех в разработке технологии изготовления светодиодов ближнего УФ и синего диапазонов на основе AlInGaN, желто-зеленые светодиоды, излучающие в интервале от 530 до 580 нм, имеют достаточно низкую внешнюю квантовую эффективность. Для сдвига длины волны излучения в длинноволновую область необходимо увеличение состава индия в слоях InGaN в активной области СД, что ведет к большому рассогласованию параметров кристаллической решетки между слоями InGaN и барьерами GaN. Это приводит к низкому кристаллическому качеству эпитаксиальных слоев из-за возникновения значительных механических напряжений и образования дислокаций несоответствия. Кроме того, наличие напряжений в слоях InGaN смещает химическое равновесие в сторону усиления десорбции индия, что снижает эффективность вхождения индия в растущий слой [2]. Поэтому для решения задачи, связанной с увеличением длины волны, было проанализировано влияние на оптические характеристики СД параметров эпитаксиального роста и дизайна активной области с высоким составом индия в слоях InGaN. Светодиодные структуры, исследованные в работе, были выращены на сапфировых подложках методом газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений на установке AIX2000HT. При различных температурах были выращены серии структур, содержащие в активной области различное число слоев InGaN, разделенных барьерами GaN. Оптические характеристики СД на основе InGaN/GaN были исследованы методами фотолюминесценции и электролюминесценции, а структурные свойства — методом просвечивающей электронной микроскопии.

В результате проведенных исследований установлено, что длина волны СД, содержащих в активной области от одного до пяти слоев InGaN с высоким, более 25%, соста-

вом индия, существенно зависит от структурных свойств и дизайна активной области InGaN/GaN. Показано, что кроме традиционного способа увеличения состава индия с помощью понижения температуры роста слоев InGaN, возможно повысить состав индия путем увеличения числа осаждаемых слоев InGaN. Это в свою очередь ведет к нарастанию неупругой релаксации напряжений, при этом состав индия в активной области возрастает в каждом последующем слое InGaN. Процесс неупругой релаксации напряжений сопровождается образованием краевых дислокаций, снижающих эффективность люминесценции [1]. Тем не менее, эффективность излучения остается высокой за счет локализации носителей на флуктуациях потенциала в областях с высоким содержанием индия. В результате исследований оптических и структурных свойств СД на основе гетероструктур InGaN/GaN была проведена оптимизация параметров роста и дизайна активной области. Это дало возможность создать эффективные зеленые СД, излучающие в диапазоне от 500 до 580 нм, которые могут быть использованы для создания полихромных источников белого света.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований и программой президиума РАН "Квантоворазмерные наноструктуры".

### Литература

1. А. В. Сахаров и др., Физика и техника полупроводников, том. 43, 841 — 846 (2009).
2. S. Yu. Karpov, R. A. Talalaev, E. V. Yakovlev and Yu. N. Makarov. Mat. Res. Soc. Symp. Proc. , 639, G3.18 (2001).