

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Сергея Олеговича Усова «Гетероструктуры для светодиодов видимого диапазона и транзисторов с высокой подвижностью электронов на основе квантоворазмерных слоев InGaN, InAlN и короткопериодных сверхрешеток InGaN/GaN», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – «Физика полупроводников»

Создание нового поколения высокоэффективных источников белого света в системе полупроводниковых материалов InAlGaN, основанных на смешении излучения отдельных светодиодов, излучающих на различных длинах волн (RGB подход), или же монолитных полихромных источников белого света, обладающих более простой конструкцией, позволит значительно улучшить характеристики современных систем освещения, обеспечив, в том числе, динамическое управление цветовыми параметрами белого света, а именно: позволит достичь высокой светоотдачи и обеспечить высокий индекс цветопередачи в максимально широком диапазоне цветовых температур белого света. Основными проблемами, все еще препятствующими получению высокоэффективных RGB белых светодиодов на основе InGaN/GaN, являются низкая эффективность излучения в желто-зеленом и красном диапазонах и, в случае монолитных светодиодов, содержащих в активной области несколько InGaN квантовых ям с разной длиной волны излучения, обеспечение эффективной инжекции носителей заряда в слой InGaN с различным содержанием индия. В связи с этим, диссертационная работа С. О. Усова, посвященная изучению способов управления морфологией и распределением содержания индия в In-содержащих нитридных гетероструктурах, предназначенных для создания активных областей светодиодов и транзисторов с высокой электронной подвижностью является весьма актуальной и практически значимой.

В диссертации проведен подробный анализ структурных, оптических и электрических свойств светодиодных гетероструктур синего и желто-зеленого спектрального диапазонов в зависимости от их дизайна и условий их выращивания методом МОС-гидридной эпитаксии. Новизна результатов, полученных в работе, заключается в реализации новых подходов к дизайну InGaN/GaN активных областей высокоэффективных светодиодов синего и желто-зеленого спектральных диапазонов и определении оптимального дизайна монолитных белых светодиодов, позволяющего управлять спектральными характеристиками их излучения.

В работе изучена зависимость изменения морфологии квантоворазмерных слоев InGaN различного состава и толщины от состава атмосферы в эпитаксиальном реакторе, и реализован способ управления морфологией, позволяющий либо получать однородные по составу InGaN слои, либо формировать массив связанных или изолированных InGaN островков. Последнее особенно важно для создания светодиодов желто-зеленого спектрального диапазона без потери их эффективности, связанной с релаксацией упругих напряжений типичной для таких InGaN/GaN гетероструктур. Впервые

изучены структурные и оптические свойства обогащенных индием областей в гетероструктурах InGaN/GaN, выращенных в режиме субмонослойного осаждения.

Автором проведено изучение дизайна светодиодных гетероструктур с монолитной InGaN/GaN активной областью, излучающей в синем (440-460 нм) и желто-зеленом (540-560 нм) диапазонах длин волн, смешение которых приводит к излучению белого света. Исследовано влияние барьеров между квантовыми ямами на зависимости спектров электролюминесценции от тока. Изучены барьеры на основе слоев GaN или сверхрешеток InGaN/GaN, и показано, как в зависимости от типа и параметров барьеров изменяются цветовые параметры излучения. Оптимальный дизайн и условия роста монолитных светодиодных гетероструктур позволили реализовать дихромные белые светодиоды с максимальной коррелированной цветовой температурой белого света 9500-10000 К и внешней квантовой эффективностью ~10 %.

Помимо исследований светодиодных гетероструктур, автором проведены также подробные исследования перспективных гетероструктур на основе соединения InAlN для различных применений. Продемонстрирована возможность получения распределенных брэгговских отражателей на основе InAlN/GaN композиций с коэффициентом отражения более, чем 99 % во всем видимом диапазоне длин волн и InAlN/AlN/GaN гетероструктур для транзисторов с высокой электронной подвижностью и экстремально большой слоевой концентрацией электронов.

Перечисленные результаты подтверждают большую научную и практическую значимость проведенной автором работы. Достоверность полученных в диссертации результатов не вызывает сомнений в связи с большим объемом экспериментальных данных, полученных с использованием разных стандартных методик измерений, публикацией результатов работы в авторитетных научных журналах и представлением их на многочисленных всероссийских и международных конференциях.

Считаю, что в целом диссертационная работа С. О. Усова по объему и уровню приведенных исследований, их актуальности, научной новизне и практической значимости результатов отвечает требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а сам диссертант несомненно заслуживает присвоения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – «Физика полупроводников».

Ведущий специалист,
к.ф.-м.н.

(Карпов Сергей Юрьевич)

ООО «Софт-Импакт», а/я 83, 194156 Санкт-Петербург, Россия, тел. (812) 554 4570, адрес электронной почты sergey.karpov@str-soft.com

19 сентября 2016 г.