

## ОТЗЫВ

На автореферат диссертации Гроина Сергея Вячеславовича на тему: «Низкопороговые лазерные гетероструктуры зеленого и желтого спектрального диапазона на основе квантовых точек CdSe/Zn(Cd)Se, выращенные на арсениде галлия методом молекулярно-пучковой эпитаксии» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Диссертационная работа С. В. Гроина – важный шаг на пути создания полупроводниковых лазеров середины видимого диапазона (500-600 нм), востребованных во множестве областей науки и техники. Наряду с отмеченными в автореферате применениями, такими как навигация, связь, видеопроекция, следует, во-первых, добавить резонансное возбуждение D-линии атомов натрия, имеющее множество применений в фундаментальной и прикладной метрологии, наблюдательной астрономии, геофизике и геологоразведке, развитие которых в настоящее время сдерживается главным образом отсутствием компактного надежного малощумящего настраиваемого непрерывного лазера желтого диапазона. Во-вторых, реализованная автором двухкаскадная схема зеленого лазера (синий генератор – лазерный конвертер) демонстрирует явные преимущества по сравнению с традиционной трехкаскадной схемой (ИК генератор – ИК конвертер – нелинейный удвоитель).

Из сформулированных в автореферате полученных впервые научных результатов, на наш взгляд, важнейшими являются следующие.

1. Разработана концепция плавного варьирования ширины запрещенной зоны при одновременной компенсации локальных упругих напряжений за счет использования набора переменного напряженных сверх решеток на основе соединений ZnMgSSe/ZnSe и ZnSSe/ZnSe, позволяющая выращивать совершенные псевдоморфные гетероструктуры с заранее заданным профилем запрещенной зоны без изменения технологических параметров (температур подложки и источников молекулярных пучков) в процессе роста.
2. Разработана и экспериментально реализована конструкция лазерных гетероструктур  $A^2B^6$  с волноводом с плавным изменением показателя преломления на основе сверхрешеток Zn(Mg)SSe/ZnSe, обладающих повышенным значением фактора оптического ограничения и улучшенным транспортом неравновесных носителей заряда к активной области, которые привели к двукратному снижению пороговой плотности мощности возбуждения.
3. Предложена оригинальная конструкция активной области на основе квантовых точек CdSe, в которой для увеличения длины волны излучения в желтую область видимого спектра, квантовые точки помещаются в напряженную квантовую яму  $Zn_{1-x}Cd_xSe$ . На основании теоретических оценок методом огибающей волновой функции с учетом Гауссова размытия плоскости квантовых точек и частичной релаксации их упругих напряжений определены области составов ( $x = 0.4 - 0.5$ ) и толщин (3 – 4 нм) квантовых ям, позволяющих достичь длины волны излучения 600 нм. Гетероструктуры реализованы методом МПЭ с квантовыми точками CdSe/  $Zn_{1-x}Cd_xSe$ , проведенные комплексные исследования их структурных и фотолюминесцентных свойств подтвердили теоретические оценки.
4. Впервые предложено для сохранения псевдоморфности активной области квантовых точек CdSe в матрице квантовой ямы  $Zn_{1-x}Cd_xSe$ , подверженной сильной упругой деформации сжатия, использовать короткопериодные сверхрешетки  $ZnS_xSe_{1-x}/ZnSe$  ограничивающих волноводных слоев с упругой деформацией растяжения. Благодаря этому удалось преодолеть ограничения критической толщины квантовой ямы с высоким  $x$

порядка 50% и существенно снизить плотность протяженных дефектов в активной области, что позволило достичь эффективной лазерной генерации на длине волны 593 нм при рекордно низкой пороговой плотности мощности 2.5 кВт/см<sup>2</sup>.

5. На основе оптимизированных лазерных характеристик гетероструктур A<sup>2</sup>B<sup>6</sup> (пороговой плотности мощности, характеристического усиления, внутренней квантовой эффективности и внутренних потерь) был определен диапазон длин лазерного резонатора (100 – 160 мкм), соответствующих минимальной пороговой мощности, необходимой для возбуждения структур с помощью лазерного диода InGaN в составе инжекционного лазерного конвертора.

Достоверность всех экспериментальных данных диссертационной работы С. В. Гроина обеспечивается использованием современных средств и методик проведения исследований. Для выращивания гетероструктур использовалась уникальная современная двухреакторная установка молекулярной пучковой эпитаксии. Для структурной характеристики использовались методы рентгеновской дифрактометрии и просвечивающей электронной микроскопии. Для контроля плотности и типов дефектов в гетероструктурах применялась оригинальная методика с использованием люминесцентной микроскопии. Эта методика важна и с научной и с практической точек зрения. Важными являются и многие решения автора при выращивании сложных многослойных напряженных гетероструктур с заранее заданными оптическими свойствами. Важнейший результат работы - продемонстрирован компактный желтый полупроводниковый лазер, работоспособный при комнатной температуре.

Диссертационная работа С. В. Гроина по поставленным задачам, уровню их решения, актуальности и научной новизне безусловно удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям (п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842), а ее автор присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Директор РЦ «Наноконструирование фотоактивных  
Материалов» Научного парка СПбГУ  
Кандидат физ.-мат. наук

В.В. Петров

Россия, 199034, Санкт-Петербург  
Университетская наб., 7 – 9,  
Санкт-Петербургский  
Государственный университет  
тел.  
e-mail: p2v@mail.ru