

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
ФАГОУ ВО «СПБПУ»

_____ О.Н.Остапенко

_____ ноября 2015 года

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

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

Актуальность темы диссертации

Создание полупроводниковых когерентных источников излучения в видимой области спектра является актуальной задачей в течение ряда последних десятилетий. При этом наиболее сложным в реализации оказался желто-зеленый диапазон длин волн (500–600 нм). Интерес к созданию таких лазеров не является чисто научным, а в значительной степени связан с потенциальными возможностями их многочисленных применений: в компактных проекционных устройствах, в системах навигации и связи, в медицине. Тем не менее, сложным и слабо освоенным остается этот диапазон длин волн и до сих пор, хотя работы по созданию таких лазеров не прекращаются. Примером тому служит диссертационная работа С.В. Гроина

Полупроводниковые соединения A^2B^6 на данный момент остаются основными материалами для создания источников стимулированного излучения в желто-зеленом диапазоне длин волн, несмотря на существующую конкуренцию со стороны излучающих гетероструктур на III-N-материалах. Действительно, на основе III-нитридов уже созданы зеленые лазеры с длиной волны порядка 530 нм, но более длинноволновый диапазон для этих материалов пока недоступен.

Представленная диссертационная работа является логическим продолжением исследований, выполненных в лаборатории, где работает автор, где разработаны способы выращивания A^2B^6 излучающих структур с CdSe квантовыми точками (КТ) в активной области методом молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ) и уже созданы образцы зеленых лазеров. Следующая задача состояла в снижении порогов генерации и повышении эффективности зеленых лазеров, а также в продвижении их в желтый диапазон длин волн. Решению этих задач, а именно: разработке новых подходов в технологии МПЭ, разработке новой конструкции нелегированных лазерных гетероструктур с КТ CdSe в активной области и реализация компактных лазерных конвертеров на их основе, и посвящена диссертационная работа Гроина С.В..

Основные научные результаты, их новизна и практическая значимость

Знакомство с диссертацией и общение с автором на научном семинаре показали, что Гроин С.В. прекрасно владеет информацией по решаемым задачам, отлично ориентируется во всех аспектах своей работы, а именно: в тонкостях молекулярно-пучковой эпитаксии, в методах управления технологическим процессом при создании слоев и структур с заданными свойствами, в методах контроля процесса выращивания и исследования свойств слоев и лазерных структур. Следует отметить наличие в диссертации детального анализа проблемы на момент начала исследований, в котором четко сформулированы главные трудности ее решения и пути их

преодоления. Все это, а также выполненные автором детальные расчеты лазерных гетероструктур, а затем их технологическая реализация позволили создать на основе соединений A^2B^6 зеленые и желтые лазеры с оптической накачкой, имеющие рекордные выходные параметры.

В диссертационной работе впервые для лазерных гетероструктур на основе полупроводников A^2B^6 разработан и успешно реализован волновод с переменным показателем преломления, обладающий высоким кристаллическим совершенством и увеличенным фактором оптического ограничения. Использование такого волновода в лазерных гетероструктурах позволило снизить пороговую мощность возбуждения до 1,2–1,5 кВт/см². Данный результат достигнут благодаря использованию короткопериодных сверхрешеток $Zn(Mg)SSe/ZnSe$, обеспечивших не только оптическое ограничение, но и компенсацию внутренних механических напряжений в гетероструктуре.

Автором предложены и реализованы новые технологические подходы в методе МПЭ, позволившие существенно снизить плотность протяженных и точечных дефектов в лазерных гетероструктурах. Это достигнуто путем оптимизации формирования гетеровалентного интерфейса $GaAs/A^2B^6$ и смещения условий роста для МПЭ в сторону более равновесных, в результате чего существенно снижены пороговые характеристики лазерных гетероструктур до рекордных значений (0,8 кВт/см² при 300К).

Важным результатом является предложенный способ увеличения длины волны излучения из квантовых точек $CdSe$ в желтую область при использовании напряженной квантовой ямы $ZnCdSe$ в качестве материала ограничивающей матрицы. Это позволило получить эффективную лазерную генерацию на длинах волн вплоть до 593 нм при низкой пороговой мощности возбуждения 2,5 кВт/см² при 300К. При этом внутренние механические напряжения сжатия, вносимые квантовой ямой в активную область, были скомпенсированы с помощью упруго растянутых короткопериодных

сверхрешеток $ZnS_xSe_{1-x}/ZnSe$ в волноводных слоях, что обеспечило высокое кристаллическое совершенство гетероструктурам.

Отдельно стоит отметить следующий важный практический результат. На основе низкопороговых лазерных гетероструктур A^2B^6 , излучающих в зеленом и желтом спектральных диапазонах, созданы полупроводниковые лазерные конвертеры с оптической накачкой коммерческим инжекционным InGaN/GaN лазерным диодом с длиной волны 437 нм. Конвертеры имеют пороговую плотность тока 500–750 мА, максимальную выходную импульсную мощность 90–160 мВт при длительности импульса 200 нс и максимальную квантовую эффективность конверсии ~14%.

Научная новизна, практическая значимость и достоверность технологических разработок автора подтверждена самим фактом создания на основе выращенных структур лазеров зелено-желтого диапазона длин волн с оптической накачкой и лазерных конвертеров, имеющих рекордные выходные характеристики. Этот факт свидетельствует о перспективности данного направления и данной технологии в решении проблемы создания компактных полупроводниковых лазеров этого диапазона длин волн. Продемонстрирована также перспективность использования InGaN/GaN инжекционных лазеров для оптической накачки лазерных структур на основе полупроводников A^2B^6 .

Диссертация написана четким, ясным языком, материал изложен последовательно, логично. Все научные результаты, выводы и рекомендации, представленные автором в диссертации, можно считать новыми. Достоверность, научная новизна и практическая значимость результатов не вызывают сомнений. Результаты работы опубликованы в ведущих научных изданиях и прошли апробацию на международных и российских конференциях. В опубликованных статьях автора и автореферате в полной мере отражено содержание диссертации.

Результаты диссертационной работы Гроина С.В. можно рекомендовать к использованию в учреждениях Российской Академии Наук и на предприятиях электронной промышленности, занимающихся разработкой и производством полупроводниковых лазеров и других оптоэлектронных приборов.

По материалам диссертации имеются следующие вопросы.

1. Реализованный в работе волновод с переменным показателем преломления на основе сверхрешеток ZnMgSSe/ZnSe имеет сравнительно небольшой градиент валентной зоны. Каков при этом градиент зоны проводимости, и была ли проведена оптимизация конструкции волновода по величине этого градиента?

2. В чем состоит механизм объемной сегрегации Cd в квантовых точках CdSe, расположенных в ZnCdSe квантовой яме-матрице, приводящий к увеличению содержания Cd в КТ, а также к увеличению размера КТ, и чем он отличается от хорошо известной поверхностной сегрегации, обусловленной различием в энергиях связи взаимодействующих элементов?

3. Из диссертации не ясно, проводились ли количественные оценки содержания Cd в симметричных и асимметричных активных областях для лазерных гетероструктур с квантовыми точками CdSe в квантовой яме ZnCdSe, излучающих в желтой области спектра? Если да, то какие значения получены?

4. Что можно сказать о сроке службы созданных лазеров и конверторов?

Указанные замечания не затрагивают основные результаты и не снижают высокую оценку диссертации.

Диссертационная работа С.В. Гроина является законченным научным исследованием, выполненным на высоком научно-методическом уровне. По актуальности темы, новизне и степени обоснованности результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их научной и практической значимости диссертационная работа С.В. Гроина

«Низкопороговые лазерные гетероструктуры зеленого и желтого спектрального диапазона на основе квантовых точек CdSe/Zn(Cd)Se, выращенных на арсениде галлия методом молекулярно-пучковой эпитаксии» полностью удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, Гронин Сергей Вячеславович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Отзыв составил:

Профессор
кафедры физики полупроводников и наноэлектроники
Санкт-Петербургского политехнического университета
Петра Великого
д.ф.-м.н.

Сидоров Валерий Георгиевич

Адрес: ул. Политехническая, 29,
Санкт-Петербург, 195251
Телефон: 8-812-552-96-51
E-mail: sidorov@rphf.spbstu.ru

Работа заслушана и обсуждена на научном семинаре кафедры физики полупроводников и наноэлектроники СПбПУ 19 ноября 2015 года.

Отзыв утвержден на заседании кафедры физики полупроводников и наноэлектроники СПбПУ 19 ноября 2015 года (протокол №4).

Заведующий кафедрой
физики полупроводников и наноэлектроники СПбПУ
профессор, д.ф.-м.н.

Фирсов Дмитрий Анатольевич

Адрес: ул. Политехническая, 29,
Санкт-Петербург, 195251
Телефон: 8-812-552-96-51
E-mail: dmfir@rphf.spbstu.ru