

Резюме проекта (НИР), выполняемого в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 г.г.»

Номер проекта: № 14.740.11.0807 от 30 ноября 2010 г.

Тема: «Исследование селекции продольных мод в мощных многомодовых полупроводниковых лазерах с внутренней дифракционной решеткой»

Приоритетное направление: индустрия наносистем и материалов

Критические технологии: технологии создания электронной компонентной базы

Период выполнения: 30 ноября 2010 г - 15 ноября 2012 г.

Плановое финансирование:

Бюджетные средства – 7,5 млн. руб.

Внебюджетные средства – 1,5 млн. руб.

Исполнитель: Учреждение Российской академии наук Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.Петербург 194021, Политехническая ул., д.26

Ключевые слова: Полупроводниковые лазеры, гетероструктура, оптическая мощность излучения, дифракционная решетка, узкий спектр излучения

1. Цель исследования: исследование возможности применения внутренних дифракционных решеток для достижения одночастотного режима генерации в мощных многомодовых полупроводниковых лазерах. Для решения поставленной задачи было предложено использовать внутренний диспергирующий элемент - дифракционную решетку высокого порядка дифракции, которая обеспечивала селективную обратную связь в резонаторе лазера. Разработанная конструкция лазера позволяет сузить ширину спектра генерации лазера до значений менее 1 нм, то есть полностью решить поставленную задачу.

2. Основные результаты проекта.

1) Для получения высокоэффективных лазерных гетероструктур с низкими внутренними оптическими потерями была создана и экспериментально реализована методика их выращивания методом газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений и гидридов.

В целях определения оптимальных геометрических параметров внутренней дифракционной решетки проводилось математическое моделирование. Показано, что наилучшие результаты по селекции мод достигаются с помощью глубокой дифракционной решетки трапециевидной формы с максимально большим фактором заполнения.

Опираясь на эти расчеты, в процессе постростовой обработки лазерной гетероструктуры с помощью технологий фотолитографии и реактивного ионного травления были получены глубокие дифракционные решетки трапециевидной формы с фактором заполнения свыше 90%.

Из данной структуры по разработанной методике были изготовлены экспериментальные образцы мощных полупроводниковых лазеров с внутренней дифракционной решеткой. Образцы имели ширину полоскового контакта и апертуру излучения 100 мкм, длину полупроводникового лазера от 2 до 4 мм.

2) Измерения выходных характеристик изготовленных образцов в непрерывном режиме работы продемонстрировали следующие результаты: максимальная мощность излучения составила 5.2 Вт, пороговый ток – $I_{th}=0.9$ А, длина волны генерации $\lambda=1073$ нм, ширина спектра генерации – $\Delta\lambda=6$ Å, расходимость излучения вдоль быстрой оси – 30°.

3) Особенностью лабораторных образцов является большое значение периода дифракционной решетки ($\Lambda>2$ мкм) и, следовательно, высокий порядок дифракции ($n\geq 12$). Столь большой период дифракционной решетки позволяет использовать технологию фотолитографии для её изготовления, что существенно упрощает и удешевляет постростовой процесс. Необходимо отметить, что применение дифракционной решетки с большим периодом возможно только в лазерных структурах с низкими внутренними оптическими потерями.

4) На данный момент в России не существует аналогов по экспериментальной реализации технологии изготовления мощных полупроводниковых лазеров с внутренней дифракционной решеткой, и, соответственно, образцов лазерных диодов с достигнутыми в рамках проекта характеристиками. В мире существует лишь несколько научных групп (в частности, в Германии и США), которые

достигли сопоставимых результатов (мощность излучения 5-10 Вт, ширина спектра излучения -1-2 нм). Однако используемая ими методика изготовления лазеров данного типа подразумевает использование более высокотехнологичного и, как следствие, дорогого оборудования.

3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках исследования, разработки.

Создание объектов интеллектуальной собственности не планировалось.

4. Назначение и область применения результатов проекта.

1) В последние годы мощные полупроводниковые излучатели являются неотъемлемыми компонентами высокоэффективных оптических систем на основе твердотельных и волоконных лазеров. Такие оптические системы широко используются для сварки, резки и маркировки металлических изделий, в медицине и приборах специального назначения. Основная роль полупроводниковых излучателей в таких системах - это накачка активных элементов (твердотельных кристаллов в случае твердотельных лазеров или легированного оптического волокна в случае волоконных лазеров). Поэтому эффективность, оптическая мощность и надежность таких оптических систем определяются в первую очередь характеристиками полупроводниковых излучателей. Ширина спектра излучения лазера является критическим параметром в тех случаях когда, необходимо проводить оптическую накачку материала со спектрально узкой полосой поглощения. В этих случаях прирост оптической мощности за счет расширения спектра генерации полупроводникового лазера не вносит полезного вклада в накачку материала из-за рассогласования спектра излучения лазера и спектра поглощения накачиваемого материала. Узкой полосой поглощения обладают большинство твердотельных и волоконных лазеров, газообразные вещества, которые необходимо детектировать в атмосфере, и ряд живых тканей в организме человека. Таким образом, мощные полупроводниковые лазеры с узким спектром излучения должны найти эффективное применение для накачки твердотельных и волоконных лазеров, для мониторинга атмосферы и в медицине.

2) Разработанная технология формирования дифракционной решетки непосредственно в лазерной гетероструктуре позволяет сузить спектр излучения практически на порядок. Применение внутренней дифракционной решетки в качестве диспергирующего элемента снижает температурный сдвиг спектра излучения за счет исключения влияния температурной зависимости ширины запрещенной зоны полупроводникового материала активной области лазерной структуры. Это сильно расширяет области применения полупроводниковых лазеров, в том числе в системах специального назначения, где в первую очередь предъявляются жесткие требования к стабильности выходных параметров в широком диапазоне температур.

3) Повышение КПД оптической системы накачки повышает экономическую эффективность любой оптической системы, использующей накачку с узким спектром излучения. Наибольший выигрыш в увеличении КПД происходит на высоких уровнях излучаемой полупроводниковыми лазерами мощности. Это обусловлено тем, что спектр излучения на высоких мощностях имеет наибольшую спектральную ширину, что серьезно снижает КПД оптической системы накачки.

4) Экономическая эффективность или значимость проводимой работы состоит в увеличении КПД оптических систем накачки и разработке дешевой технологии изготовления дифракционных решеток в планарном варианте на лазерных гетероструктурах. Главный и решающий фактор, повышающий экономическую эффективность проводимой работы, заключается в разрабатываемой планарной технологии создания внутренних дифракционных решеток на лазерных структурах. Разработанная методика позволяет ограничить технологический процесс единственным фотолитографическим процессом изготовления дифракционной решетки, исключая все дополнительные технологические процессы последующего зарастивания, тем самым делая его более надежным и дешевым.

5) Результаты проведенных НИР должны быть использованы для проведения опытно-конструкторских работ (ОКР), направленных на создание базовых технологий производства мощных многомодовых полупроводниковых лазеров с внутренней дифракционной решеткой.

6) Усовершенствованные в рамках проекта выходные параметры мощных полупроводниковых лазеров еще более расширяют их рынки сбыта. Основными областями применения мощных

полупроводниковых лазеров с узким спектром излучения, изготовленных по разработанной технологии, являются системы накачки волоконных и твердотельных лазеров, медицина (офтальмология, хирургия, косметология, диагностика), газоанализаторные устройства, а также системы специального назначения.

По данным журнала «Laser Focus World» (январь 2012 г.) мировой рынок диодных лазеров в 2011 г. составил около \$4 млрд. с ежегодным приростом 5-10 % за последние несколько лет (после кризисных). В 2011 году был зафиксирован рекордный прирост уровня продаж в лазерной индустрии: увеличение продаж по сравнению с 2010 годом составило 14% или 0.9 млрд. долларов. Потенциальное развитие Российского рынка полупроводниковых лазеров оценивается примерно до 10% мирового рынка в период 2015-2020гг., т.е. 0.5 млрд. долларов США. Лазерная индустрия в целом показывает один из самых лучших темпов преодоления кризиса. Это связано с эффективностью и экономичностью лазерных технологий по сравнению с другим промышленным оборудованием. При этом важно отметить, что общий спрос на лазерные технологии не «завязан» на какой-либо одной отрасли. В настоящее время лазерные технологии используются практически во всех отраслях человеческой деятельности, начиная от сельского хозяйства и заканчивая ядерной энергетикой.

5. Эффекты от внедрения результатов проекта

Повышение КПД оптической системы накачки повышает экономическую эффективность любой оптической системы, использующей накачку с узким спектром излучения. Наибольший выигрыш в увеличении КПД происходит на высоких уровнях излучаемой полупроводниковыми лазерами мощности. Это обусловлено тем, что спектр излучения на высоких мощностях имеет наибольшую спектральную ширину, что серьезно снижает КПД оптической системы накачки. Экономическая эффективность проводимой работы состоит в увеличении КПД оптических систем накачки и разработке дешевой технологии изготовления дифракционных решеток в планарном варианте на лазерных гетероструктурах. Главный и решающий фактор, повышающий экономическую эффективность проводимой работы, заключается в разрабатываемой планарной технологии создания внутренних дифракционных решеток на лазерных структурах. Разработанная методика позволяет ограничить технологический процесс единственным фотолитографическим процессом изготовления дифракционной решетки, исключая все дополнительные технологические процессы последующего зарастивания, тем самым делая его более надежным и дешевым.

Результаты проведенных НИР должны быть использованы для проведения опытно-конструкторских работ (ОКР), направленных на создание базовых технологий производства мощных многомодовых полупроводниковых лазеров с внутренней дифракционной решеткой. Учитывая востребованность рынка к излучателям такого рода, полученные в рамках проведенной ОКР результаты интеллектуальной деятельности (РИД) в форме патента и ноу-хау могут быть переданы в следующие предприятия для создания производства мощных температурно-стабильных полупроводниковых лазеров с узким спектром излучения: ФГУП НИИ «Полюс» (г. Москва), ООО «Эльфолум» (г. С.Петербург), ОАО «НПП «Инжект» (г. Саратов).

6. Разработка программы внедрения результатов НИР в образовательный процесс.

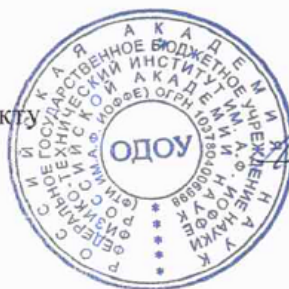
Для внедрения в образовательный процесс результатов НИР, проводимой на территории, технологическом оборудовании и силами научно-технических сотрудников ФТИ им. А.Ф. Иоффе, было заключено Соглашение о сотрудничестве в сфере науки и образования между Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Физико-техническим институтом им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук и Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. В.Ф. Устинова».

Предметом данного соглашения является внедрение результатов НИР, проводимой в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.» в уже существующий курс лекций

«Полупроводниковые лазеры» на факультете И, кафедра «Лазерная техника» в виде новых лекций и передача БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова неисключительных прав на опубликование и использование методических указаний в учебных целях. Так как упомянутые права на опубликование и тиражирование и использование методических указаний передается исключительно для использования в учебных целях, указанные права передаются безвозмездно.

Методические указания по расширению курса лекций были реализованы в виде «Краткого пособия по курсу лекций «Полупроводниковые лазеры» и внесены в рабочую программу дисциплины «Полупроводниковые лазеры» в разделе «Конструкции полупроводниковых лазеров».

Руководитель работ по проекту
д.ф.-м.н., профессор



И.С. Тарасов