

Тема проекта: Разработка МОС-гидридной технологии наногетероструктур и мощных непрерывных и импульсных полупроводниковых лазеров на их основе, излучающих в диапазоне длин волн 1400-1600 нм.

Наименование этапа №1: Выбор направления исследований, конструкции лазерных наногетероструктур и активного элемента мощных полупроводниковых лазеров.

В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии от 25 августа 2014 г. № 14.607.21.0048 с Минобрнауки России в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» на этапе № 1 в период с 25.08.2014 по 31.12.2014 выполнены следующие работы:

1. Субсидия:

- проведен аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему, исследуемую в рамках ПНИ;
- проведен выбор и обоснование направления исследований;
- проведено моделирование физических процессов распространения электромагнитных волн по волноводу лазерной наногетероструктуры отдельного ограничения;
- проведены теоретические и экспериментальные исследования по выбору и обоснованию направления исследований системы твердых растворов для разработки МОС-гидридной технологии;
- проведены патентные исследования;
- разработаны конструктивные требования к лазерной наногетероструктуре для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм);
- разработана методика изготовления макетов лазерных наногетероструктур для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм) методом МОС-гидридной эпитаксиальной технологии;
- разработана методика изготовления макетов мощных непрерывных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм);
- разработана методика изготовления макетов мощных импульсных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм);
- разработана методика экспериментальных исследований макетов лазерной наногетероструктуры для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм) методом МОС-гидридной эпитаксиальной технологии;
- изготовлены макеты лазерных наногетероструктур для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм) методом МОС-гидридной эпитаксиальной технологии;
- проведены экспериментальные исследования макетов лазерных наногетероструктур для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм).

2. Внебюджет:

- разработана эскизная конструкторская документация измерительной оснастки для экспериментальных исследований активного элемента (чипа) мощных непрерывных и импульсных полупроводниковых лазеров;
- изготовлена измерительная оснастки для экспериментальных исследований активного элемента (чипа) мощных непрерывных и импульсных полупроводниковых лазеров;
- разработана методика изготовления активных элементов мощных импульсных полупроводниковых лазеров конструкции мелкая меза;
- изготовлены активные элементы мощных импульсных полупроводниковых лазеров конструкции мелкая меза;
- проведены исследования активных элементов мощных непрерывных полупроводниковых лазеров конструкции мелкая меза;
- разработана методика изготовления активных элементов мощных импульсных полупроводниковых лазеров конструкции глубокая меза;
- изготовлены активные элементы мощных импульсных полупроводниковых лазеров конструкции глубокая меза;
- проведены исследования активных элементов мощных непрерывных полупроводниковых лазеров конструкции глубокая меза;
- разработаны требования к активному элементу (чипу) мощного непрерывного полупроводникового лазера для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм).

В ходе выполнения этапа №1 были получены следующие результаты:

1. Проведен анализ научно-технической литературы из которого выяснено, что наилучшие результаты получены для лазеров, излучающих в диапазоне длин волн 1400-1600 нм, на основе наногетероструктур GaInAsP и AlGaInAs с КЯ на подложках InP.
2. На основании аналитического обзора литературы выбрано направление исследований заключающееся: в разработке дизайна лазерной наногетероструктуры (состав и толщины эмиттерных и волноводных слоев, количество КЯ для активной области, их толщину и положение в волноводе). В основу будет положена разработанная нами концепция мощных полупроводниковых лазеров, заключающаяся в минимизации внутренних оптических потерь с целью увеличения мощности оптического излучения; в выборе системы твердых растворов, в которой будет реализовываться лазерная наногетероструктура (GaInAsP/InP или AlGaInAs/InP) исходя из обеспечения максимальной глубины КЯ для электронов с целью подавления процессов термического выброса носителей заряда из активной области в волновод; в отработке технологических режимов (температуры роста, степень легирования) для получения качественных слоев заданного состава, входящих в лазерную наногетероструктуру; в исследовании характеристик лазеров на основе рассчитанных лазерных наногетероструктур и корректировки дизайна структур по экспериментальным данным с целью выполнения показателей согласно ТЗ.

3. Предложена для использования математическая модель, в основе которой лежит моделирование профиля вертикальной (поперечной) оптической моды, для выбора дизайна лазерной наногетероструктуры. Модель позволяет рассчитать дизайн лазерной наногетероструктуры, обеспечивающий минимальные внутренние оптические потери при заданных составах слоев и длине волны излучения.
4. На основе предложенной математической модели рассчитаны и выращены 5 типов лазерных наногетероструктур. Из выращенных лазерных наногетероструктур изготовлены лазеры и исследованы их свойства. На основании исследований выдвинуты конструктивные требования к лазерным наногетероструктурам ($\lambda = 1400-1600$ нм): в лазерных наногетероструктурах должен использоваться расширенный волновод толщиной до 3 мкм; фактор оптического ограничения активной области должен составлять не менее 1.7% для обеспечения минимальной пороговой плотности тока (пороговой концентрации носителей заряда) и подавления Оже-рекомбинации в ней.
5. Проведены патентные исследования и установлено, что заявленные в ТЗ параметры для лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм) соответствуют современному мировому уровню.
6. Для создания макетов мощных непрерывных полупроводниковых лазеров предложено использовать конструкцию мелкая меза, т.к. она обеспечивает наилучший отвод тепла от активной области.
7. Для создания макетов мощных импульсных полупроводниковых лазеров предложено использовать конструкцию глубокая меза, т.к. данная конструкция позволяет подавить срыв генерации при всех амплитудах тока накачки.
8. Для экспериментального исследования макетов лазерных наногетероструктур предложена методика исследования пороговой длины волны излучения и пороговой плотности тока.
9. Изготовлены и исследованы два вида макетов лазерных наногетероструктур. Установлено, что их длина волны излучения на пороге генерации попадает в диапазон длин волн 1400-1600 нм и пороговая плотность тока составляет значение меньше 800 А/см^2 .
10. Разработана эскизно-конструкторская документация на измерительную оснастку для экспериментальных исследований активного элемента (чипа) мощных полупроводниковых лазеров, которая представляет собой стенд испытаний на 8 чипов. Согласно разработанной документации изготовлен данный стенд испытаний.
11. Разработаны методики создания активных элементов мощных полупроводниковых лазеров конструкции мелкая меза и глубокая меза. Изготовлены активные элементы мощных полупроводниковых лазеров конструкций мелкая меза и глубокая меза. Исследованы их свойства с целью выработки требований к активному элементу непрерывного лазера. Из исследований сделан вывод, что для активного элемента мощного непрерывного полупроводникового лазера целесообразно использовать конструкцию мелкая меза.

На основании результатов работ проведенных на этапе проекта были сделаны следующие выводы:

- для создания мощных непрерывных и импульсных полупроводниковых лазеров излучающих в безопасном для глаз диапазоне 1400-1600 нм необходимо использовать лазерные наногетероструктуры GaInAsP и AlGaInAs с КЯ на подложках InP, технологическое оборудование и кадровый состав получателя субсидии обеспечивает возможность получения эпитаксиальных слоев твердых растворов GaInAsP и AlGaInAs требуемых составов, параметров кристаллической решетки и легированных в широком диапазоне донорных и акцепторных примесей;
- применяемый комплексный подход по созданию лазерных наногетероструктур и лазеров на их основе (математическое моделирование, методики исследования лазерных наногетероструктур и лазеров на их основе, метод МОС-гидридной эпитаксии лазерных наногетероструктур GaInAsP и AlGaInAs и постростовые методики изготовления полупроводниковых лазеров, а так же методики по исследованию их характеристик) позволяет получать прогнозируемые результаты;
- проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили определить направление дальнейших работ по развитию методики МОС-гидридной эпитаксии лазерных наногетероструктур GaInAsP и AlGaInAs и ряд основных конструктивных требований по созданию лазерных наногетероструктур и лазеров на их основе;
- на основании исследований проведенных за внебюджетные средства сформулированы основные требования к активным элементам мощных полупроводниковых импульсных лазеров конструкции глубокая меза и непрерывных лазеров конструкции мелкая меза.

Новизна результатов состоит в использовании для создания лазерных наногетероструктур комплексного подхода, включающего в себя математическое моделирование, методики создания и исследования лазерных наногетероструктур. Данный подход позволяет выбрать оптимальные параметры лазерной наногетероструктуры и провести их корректировку с учетом экспериментальных исследований. Кроме того, впервые была применена для данного спектрального диапазона наша концепция мощных полупроводниковых лазеров, заключающаяся в минимизации внутренних оптических потерь.

Проведенные в рамках этапа №1 работы согласно План-графику выполнены в полном объеме и их результаты являются базой для проведения исследовательских работ на последующих этапах проекта для достижения показателей согласно ТЗ.

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


И.С. Тарасов

