

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 №3: Разработка проектов лабораторных технологических регламентов изготовления экспериментальных образцов лазерных наногетероструктур и мощных непрерывных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм).

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 №3 в период с 01.07.2015 по 31.12.2015 выполнены следующие работы:

1. Субсидия:

- разработан проект лабораторного технологического регламента изготовления экспериментальных образцов лазерных наногетероструктур для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм);
- разработан проект лабораторного технологического регламента изготовления экспериментальных образцов мощных непрерывных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм);
- разработана программа и методика экспериментальных исследований экспериментальных образцов лазерной наногетероструктуры для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм);
- разработана программа и методики экспериментальных исследований экспериментальных образцов мощных непрерывных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм);
- изготовлены экспериментальные образцы лазерных наногетероструктур для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм) методом МОС-гидридной эпитаксиальной технологии;
- проведены экспериментальные исследования экспериментальных образцов лазерных наногетероструктур для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм);
- изготовлены экспериментальные образцы мощных непрерывных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм);
- проведены экспериментальные исследования экспериментальных образцов мощных непрерывных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм).

2. Внебюджет:

- разработана постростовая технология сухого травления активного элемента мощных полупроводниковых лазеров для диапазона длин волн (1400-1600 нм);
- разработана методика исследований рельефа после сухого травления активного элемента мощных полупроводниковых лазеров для диапазона длин волн (1400-1600 нм);

- изготовлены экспериментальные образцы рельефа после сухого травления активного элемента мощных полупроводниковых лазеров для диапазона длин волн (1400-1600 нм);
- исследованы экспериментальные образцы рельефа после сухого травления активного элемента мощных полупроводниковых лазеров для диапазона длин волн (1400-1600 нм);
- разработаны рекомендации по корректировке проекта лабораторного технологического регламента изготовления экспериментальных образцов мощных полупроводниковых лазеров на основе анализа и обобщения экспериментальных результатов по сухому травлению активного элемента мощных полупроводниковых лазеров для диапазона длин волн (1400-1600 нм).

В ходе выполнения этапа №3 были получены следующие результаты:

1. Разработан проект лабораторного технологического регламента изготовления экспериментальных образцов лазерных наногетероструктур для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм). В ходе разработки предложен дизайн лазерной наногетероструктуры для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм) обеспечивающий внутренние оптические потери меньше 4 см^{-1} . Так же для получения более резкого и контролируемого профиля легирования в качестве примеси р-типа проводимости предложено использовать Mg вместо Zn.
2. Разработан проект лабораторного технологического регламента изготовления экспериментальных образцов мощных непрерывных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм). В ходе разработки показано, что для получения качественного просветляющего покрытия AlN рабочую камеру установки реактивного ионно-плазменного распыления необходимо скачивать до остаточного давления не выше 10^{-6} мм.рт.ст. Проведены исследования показывающие, что для мощных непрерывных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм) есть оптимальная длина резонатора и значение коэффициента отражения, позволяющие получить максимальную выходную мощность.
3. Разработана программа и методика экспериментальных исследований экспериментальных образцов лазерной наногетероструктуры для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм), соответствующая п.п. 3.17 ТЗ.
4. Разработана программа и методики экспериментальных исследований экспериментальных образцов мощных непрерывных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм), соответствующая п.п. 3.17 ТЗ.
5. Изготовлены экспериментальные образцы лазерных наногетероструктур для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм) методом МОС-гидридной эпитаксиальной технологии в количестве 2 шт. Одна структура предназначена для изготовления экспериментальных образцов мощных непрерывных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм) и имеет в р-эмиттере стоп-слой, а другая предназначена для изготовления экспериментальных образцов мощных импульсных полупроводниковых лазеров для

безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм) и в ней стоп-слой отсутствует.

6. Проведены экспериментальные исследования экспериментальных образцов лазерных наногетероструктур для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм). Образцы полностью удовлетворяют п.п. 4.3.1 ТЗ.

7. Изготовлены экспериментальные образцы мощных непрерывных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм) в количестве 5 шт.

8. Проведены экспериментальные исследования экспериментальных образцов мощных непрерывных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм). Образцы удовлетворяют п.п. 4.3.2 ТЗ, кроме п.п. 4.3.2.3 ТЗ (максимальная оптическая мощность более 3 Вт) которому удовлетворяют 2 шт. из 5 шт. Образцы имели разброс по максимальной оптической мощности 2.85-3.1 Вт.

9. Разработана постростовая технология сухого травления активного элемента мощных полупроводниковых лазеров для диапазона длин волн (1400-1600 нм), которая включает в себя получение 2 типов мелкой мезы и 2 типов глубокой мезы. Отличие типов мез одной конструкции состоит в разном наклоне вертикальной стенки мезы.

10. Разработана методика исследований рельефа после сухого травления активного элемента мощных полупроводниковых лазеров для диапазона длин волн (1400-1600 нм), включающая в себя определение угла наклона вертикальной стенки мезы по снимку сделанному на растровом электронном микроскопе и измерение лазерных характеристик (апертура излучения, длина волны излучения, пороговая плотность тока, максимальная выходная мощность). Для конструкции мелкая меза – максимальная выходная мощность измеряется в непрерывном режиме генерации, а для конструкции глубокая меза – в импульсном режиме генерации.

11. Изготовлены экспериментальные образцы рельефа после сухого травления активного элемента мощных полупроводниковых лазеров для диапазона длин волн (1400-1600 нм) в количестве 12 шт. (4 типа мез по 3 шт.).

12. Исследованы экспериментальные образцы рельефа после сухого травления активного элемента мощных полупроводниковых лазеров для диапазона длин волн (1400-1600 нм). Показано, что при использовании конструкции мелкая меза лазерные характеристики имеют близкие значения при разных углах наклона вертикальной стенки мезы. Для глубокой мезы показано, что при угле наклона вертикальной стенки мезы больше 63 градусов наблюдается срыв лазерной генерации.

13. Разработаны рекомендации по корректировке проекта лабораторного технологического регламента изготовления экспериментальных образцов мощных полупроводниковых лазеров на основе анализа и обобщения экспериментальных результатов по сухому травлению активного элемента мощных полупроводниковых лазеров для диапазона длин волн (1400-1600 нм). Для изготовления экспериментальных образцов мощных полупроводниковых лазеров для диапазона длин волн (1400-1600 нм) рекомендовано использовать сухое травление как для непрерывного, так и для импульсного режимов генерации.

На основании результатов работ проведенных на 3 этапе проекта были сделаны следующие выводы:

- экспериментальные образцы лазерных наногетероструктур для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм) полностью удовлетворяют ТЗ;
- экспериментальные образцы мощных непрерывных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм) удовлетворяют практически полностью ТЗ за исключением того, что не во всех 5 образцах максимальная оптическая мощность превышает мощность в 3 Вт в непрерывном режиме генерации. Для решения этой задачи необходимо внести корректировки в экспериментальные образцы лазерных наногетероструктур для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм). Предлагается провести слабое подлегирование волноводных слоев, что должно уменьшить последовательное сопротивление и увеличить максимальную оптическую мощность;
- показано, что сухое травление можно использовать для создания конструкций мелкая и глубокая меза при изготовлении экспериментальных образцов мощных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм). При создании конструкции мелкая меза для экспериментальных образцов мощных непрерывных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм) из дизайна лазерных наногетероструктур для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм) можно исключить стоп-слой. Кроме того, использование сухого травления позволяет более прецизионно контролировать глубину меза-канавки по сравнению с мокрым (химическим) травлением из-за меньших скоростей травления;
- исследования экспериментальных образцов рельефа после сухого травления активного элемента мощных полупроводниковых лазеров для диапазона длин волн (1400-1600 нм) показали, что угол наклона вертикальной стенки мезы для конструкции мелкая меза не влияет на лазерные характеристики, а для конструкции глубокая меза необходимо использовать мезу с углом вертикальной стенки мезы не более 63 градусов. При большем значении угла наблюдается срыв лазерной генерации из-за появления замкнутой моды.

Новизна полученных результатов состоит в определении технологических параметров позволяющих получить высококачественное просветляющее диэлектрическое покрытие зеркал AlN, а так же в повышении выходной оптической мощности мощных непрерывных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм) за счет подбора длины резонатора и коэффициента отражения просветляющего покрытия зеркал.

Проведенные в рамках этапа №3 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



И.С. Тарасов
И.С. Тарасов