

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 №4: Разработка программ и методик экспериментальных исследований экспериментальных образцов лазерных 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 №4 в период с 01.01.2016 по 30.06.2016 выполнены следующие работы:

#### 1. Субсидия:

- разработан проект лабораторного технологического регламента изготовления экспериментальных образцов мощных импульсных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм);
- разработана программа и методики экспериментальных исследований экспериментальных образцов мощных импульсных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм);
- изготовлены экспериментальные образцы мощных импульсных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм);
- проведены экспериментальные исследования экспериментальных образцов мощных импульсных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм);
- проведены дополнительные патентные исследования в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96;
- проведен анализ и обобщение экспериментальных результатов по исследованию экспериментальных образцов лазерных наногетероструктур и мощных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм).

#### 2. Внебюджет:

- разработана постростовая технология диэлектрических изолирующих покрытий рельефа активного элемента мощных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм);
- разработана методика исследований диэлектрических изолирующих покрытий рельефа активного элемента мощных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм);
- изготовлены экспериментальные образцы диэлектрических изолирующих покрытий рельефа типа мелкая меза активного элемента мощных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм);
- проведены исследования экспериментальных образцов диэлектрических изолирующих покрытий рельефа типа мелкая меза активного элемента мощных

полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм);

- изготовлены экспериментальные образцы диэлектрических изолирующих покрытий рельефа типа глубокая меза активного элемента мощных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм);

- проведены исследования экспериментальных образцов диэлектрических изолирующих покрытий рельефа типа глубокая меза активного элемента мощных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм);

- изготовлены экспериментальные образцы мощных полупроводниковых лазеров для диапазона длин волн (1400-1600 нм) с диэлектрическим изолирующим покрытием рельефа типа глубокая меза;

- проведены исследования экспериментальных образцов мощных полупроводниковых лазеров для диапазона длин волн (1400-1600 нм) с диэлектрическим изолирующим покрытием рельефа типа глубокая меза;

- разработаны рекомендации по корректировке проекта лабораторного технологического регламента изготовления экспериментальных образцов мощных полупроводниковых лазеров на основе анализа и обобщения экспериментальных результатов по нанесению диэлектрических изолирующих покрытий рельефа мезы активного элемента мощных полупроводниковых лазеров.

В ходе выполнения этапа №4 были получены следующие результаты:

1. Разработан проект лабораторного технологического регламента изготовления экспериментальных образцов мощных импульсных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм). По рекомендации Индустриального партнера глубокая меза изготавливалась методом сухого травления.
2. Разработана программа и методики экспериментальных исследований экспериментальных образцов мощных импульсных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм), соответствующая п.п. 3.17 ТЗ.
3. Изготовлены экспериментальные образцы мощных импульсных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм) в количестве 5 шт.
4. Проведены экспериментальные исследования экспериментальных образцов мощных импульсных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм). Образцы удовлетворяют п.п. 4.3.3 ТЗ, кроме п.п. 4.3.3.3 ТЗ (максимальная оптическая мощность в импульсном режиме генерации более 10 Вт) которому удовлетворяют 4 из 5 шт. Образцы имели разброс по максимальной оптической мощности 9.8-11.6 Вт при температуре теплоотвода 10°C.
5. Проведены дополнительные патентные исследования в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96. Патентные исследования показали, что заявленные в ТЗ параметры мощных непрерывных и импульсных полупроводниковых лазеров для безопасного

для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм) являются актуальными и отвечают тенденциям развития мощных полупроводниковых лазеров, а так же продолжают соответствовать современному уровню в данной области техники. Так же предложена конструкция лазерной наногетероструктуры для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм), которая обеспечивает наилучшее ограничение электронов в квантовой яме, низкие внутренние оптические потери и хорошие электрические свойства благодаря хорошему транспорту дырок сквозь барьерный слой. Показано, что данная конструкция удовлетворяет условиям патентоспособности.

6. Проведен анализ и обобщение экспериментальных результатов по исследованию экспериментальных образцов лазерных наногетероструктур и мощных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм). Анализ показал, что для достижения мощностных характеристик согласно ТЗ для экспериментальных образцов мощных непрерывных и импульсных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм) необходимо внести корректировки в экспериментальные образцы лазерных наногетероструктур для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм). Для этого предложено провести подлегирование волноводных слоев лазерных наногетероструктур для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм) до уровня легирования порядка  $1-5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  (примеями n- и p-типа проводимости). Так же предложено на границе квантовая яма/p-волновод ввести барьерный слой AlInAs для уменьшения процесса температурного выброса электронов из квантовой ямы в p-волновод.

7. Разработана постростовая технология диэлектрических изолирующих покрытий рельефа активного элемента мощных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм) для конструкций мелкая и глубокая меза. В качестве диэлектрического изолирующего покрытия отработано нанесение материалов ZnSe и SiO<sub>2</sub>.

8. Разработана методика исследований диэлектрических изолирующих покрытий рельефа активного элемента мощных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм), включающая в себя определение толщин диэлектрического изолирующего покрытия на планаре и вертикальной стенке мезы по снимку сделанному на растровом электронном микроскопе, а также определение электрических утечек и пробивного напряжения.

9. Изготовлены экспериментальные образцы диэлектрических изолирующих покрытий рельефа типа мелкая меза активного элемента мощных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм) в количестве 6 шт. 3 образца с изолирующим диэлектрическим покрытием ZnSe и 3 образца с изолирующим диэлектрическим покрытием SiO<sub>2</sub>.

10. Исследованы экспериментальные образцы диэлектрических изолирующих покрытий рельефа типа мелкая меза активного элемента мощных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм). Показано, что образцы имеют высокую воспроизводимость по толщине напыляемого диэлектрического покрытия. Во всех образцах отсутствуют

электрические утечки, но пробивное напряжение больше в образцах с диэлектрическим изолирующим покрытием ZnSe.

11. Изготовлены экспериментальные образцы диэлектрических изолирующих покрытий рельефа типа глубокая меза активного элемента мощных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм) в количестве 6 шт. 3 образца с изолирующим диэлектрическим покрытием ZnSe и 3 образца с изолирующим диэлектрическим покрытием SiO<sub>2</sub>.

12. Исследованы экспериментальные образцы диэлектрических изолирующих покрытий рельефа типа глубокая меза активного элемента мощных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм). Показано, что образцы имеют высокую воспроизводимость по толщине напыляемого диэлектрического покрытия. В образцах с ZnSe электрические утечки отсутствуют, а в образцах с SiO<sub>2</sub> в одном из трех образцов наблюдались электрические утечки. Пробивное напряжение больше в образцах с диэлектрическим изолирующим покрытием ZnSe.

13. Изготовлены экспериментальные образцы мощных полупроводниковых лазеров для диапазона длин волн (1400-1600 нм) с диэлектрическим изолирующим покрытием рельефа типа глубокая меза в количестве 6 шт. 3 образца с изолирующим диэлектрическим покрытием ZnSe и 3 образца с изолирующим диэлектрическим покрытием SiO<sub>2</sub>.

14. Исследованы экспериментальные образцы мощных полупроводниковых лазеров для диапазона длин волн (1400-1600 нм) с диэлектрическим изолирующим покрытием рельефа типа глубокая меза. Показано, что лазерные характеристики в образцах близки и не зависят от материала диэлектрического изолирующего покрытия.

15. Разработаны рекомендации по корректировке проекта лабораторного технологического регламента изготовления экспериментальных образцов мощных полупроводниковых лазеров на основе анализа и обобщения экспериментальных результатов по нанесению диэлектрических изолирующих покрытий рельефа мезы активного элемента мощных полупроводниковых лазеров. Для изготовления экспериментальных образцов мощных полупроводниковых лазеров для диапазона длин волн (1400-1600 нм) рекомендовано использовать в качестве диэлектрического изолирующего покрытия ZnSe как для непрерывного, так и для импульсного режимов генерации.

На основании результатов работ проведенных на 4-ом этапе проекта были сделаны следующие выводы:

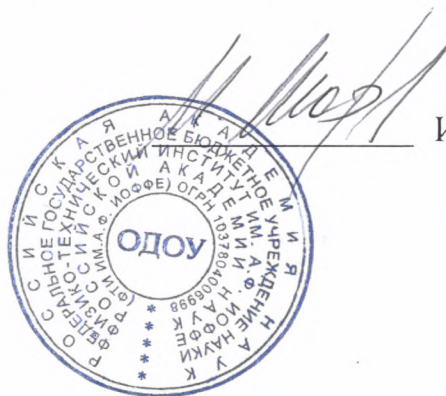
- экспериментальные образцы мощных импульсных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм) удовлетворят практически полностью ТЗ за исключением того, что не во всех 5 образцах максимальная оптическая мощность превышает 10 Вт в импульсном режиме генерации. Для 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, а так же попробовать ввести на

границу квантовая яма/p-волновод широкозонный барьерный слой, который должен снизить процесс термического выброса электронов из квантовой ямы в p-волновод;  
- показано, что в качестве диэлектрического изолирующего покрытия для создания конструкций мелкая и глубокая меза при изготовлении экспериментальных образцов мощных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм) целесообразно использовать ZnSe толщиной не менее 10000 Å, т.к. это повышает надежность приборов и уменьшает вероятность их неработоспособности.

Новизна полученных результатов состоит в том, что экспериментально показано, что в качестве диэлектрического изолирующего покрытия для создания мощных полупроводниковых лазеров для безопасного для глаз диапазона длин волн (1400-1600 нм) целесообразно использовать ZnSe.

Проведенные в рамках этапа №4 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