

Резюме проекта, выполняемого

в рамках ФЦП

«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

по этапу № 2

Номер Соглашения Электронного бюджета: 075-02-2018-1015/1, Внутренний номер соглашения 14.6.16.21.0074

Тема: «Разработка и создание одночастотных квантово-каскадных лазеров для среднего инфракрасного диапазона»

Приоритетное направление: Индустрия наносистем (ИН)

Критическая технология: Нано-, био-, информационные, когнитивные технологии

Период выполнения: 11.01.2017 - 30.06.2020

Плановое финансирование проекта: 30.00 млн. руб.

Бюджетные средства 15.00 млн. руб.,

Внебюджетные средства 15.00 млн. руб.

Получатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук

Иностранный партнер: Центр нанонауки и нанотехнологий

Индустриальный партнер: Открытое акционерное общество "ОКБ-Планета"

Ключевые слова: квантово-каскадные лазеры, излучение среднего инфракрасного диапазона, спектроскопия, газоанализ

1. Цель проекта

- 1) Разработка вариантов конструкций, базовой технологии синтеза методом молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ) и технологии изготовления кристаллов одночастотных квантово-каскадных лазеров (ККЛ) средней инфракрасной области спектра для газоанализа и спектроскопии.
- 2) Целью настоящего проекта является создание лабораторных образцов одночастотных квантово-каскадных лазеров (ККЛ) для средней инфракрасной (ИК) области спектра на длинах волн 5 ± 1 мкм и $9\pm 1,5$ мкм. Разрабатываемые лазеры перекрывают наиболее значимые окна прозрачности атмосферы в среднем ИК диапазоне и будут чрезвычайно востребованы в спектроскопии и газоанализе.

2. Основные результаты проекта

Результаты первого этапа:

Сделан обзор современного состояния дел по тематике настоящего проекта (научно-технической литературы и патентные исследования). Рассмотрены все наиболее широко применяемые подходы для создания квантово-каскадных лазеров для спектральных диапазонов 5 ± 1 мкм и $9\pm 1,5$ мкм. Проведен выбор направления исследований, в том числе предварительные эксперименты по выращиванию гетероструктур квантово-каскадных лазеров, а также разработаны методы моделирования и проведено моделирование структур квантово-каскадных лазеров. На основе математического моделирования было показано, что в качестве активных областей для квантово-каскадных лазеров спектрального диапазона 5 ± 1 мкм наилучшим образом подходит использование конструкции на основе напряженной гетеропары в системе InGaAs, что понижает паразитный эффект выброса носителей заряда в континуум в сравнении со случаем использования механически-ненапряженной гетеропары. Для спектрального диапазона $9\pm 1,5$ мкм выбрана схема с трёхфононным опустошением нижнего уровня, а активная область создается из каскадов на основе пары InGaAs/AlGaAs. моделирование ККЛ для спектрального диапазона. На основе математического моделирования и предварительных экспериментов была разработана эскизная конструкторская документация. По итогам исследований опубликованы 3 научные статьи индексируемые Web of Science и Scopus. Результаты должны быть на двух научных конференциях. В ходе выполнения работ на первом этапе применялись самое современное оборудование и методики соответствующие современным общемировым стандартам.

На первом этапе выполнены все запланированные работы, указанные в плане-графике проекта.

Результаты второго этапа:

Разработана технология молекулярно-пучковой эпитаксии по выращиванию гетероструктур квантовых каскадных лазеров для спектральных диапазонов 5 ± 1 мкм и $9\pm 1,5$ мкм. На основе разработанной технологии создана лабораторная технологическая

инструкция. В соответствии лабораторной технологической инструкцией и эскизной конструкторской документацией были изготовлены экспериментальные образцы гетероструктур квантовых каскадных лазеров для спектральных диапазонов $9\pm 1,5$ мкм в количестве 3 шт. была разработана программа и методика испытаний гетероструктур квантовых каскадных лазеров для спектральных диапазонов 5 ± 1 мкм и $9\pm 1,5$ мкм. В соответствии с программой и методикой были проведены испытания изготовленных образцов. Все образцы признаны прошедшими испытания. Были проведены предварительные эксперименты по исследованию квантовых каскадных лазеров спектрального диапазона $9\pm 1,5$ мкм. Была получена лазерная генерация на четырёхсклоутых образцах при комнатной температуре. Также были исследованы динамические характеристики квантовых каскадных лазеров и исследованы температурные зависимости пороговой плотности тока и дифференциальной квантовой эффективности вплоть до температуры $+65$ градусов Цельсия. По итогам исследований опубликованы 6 научных статей индексируемых Web of Science и Scopus. Результаты доложены на трёх научных конференциях.

В ходе выполнения работ на первом этапе применялись самое современное оборудование и методики соответствующие современным общемировым стандартам.

На отчетном этапе выполнены все запланированные работы, указанные в плане-графике проекта.

3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках прикладного научного исследования и экспериментальной разработки

Не создавались

4. Назначение и область применения результатов проекта

1) Разрабатываемые квантово-каскадные лазеры спектральных диапазонов 5 ± 1 мкм и $9\pm 1,5$ мкм могут применяться во многих отраслях науки и техники таких как: для детектирования как одиночных линий поглощения, соответствующих определенным химическим соединениям, так и для детектирования широких линий поглощения (за счет наложения целого ряда узких линий поглощения), что необходимо в клинической медицине (например, для неинвазивного определения уровня глюкозы в крови и других применений).

2) Актуальность результатов обусловлена, в первую очередь, отсутствием отечественного производства квантовых каскадных лазеров (ККЛ). Закупка ККЛ среднего ИК диапазона за рубежом (за исключением опытных образцов) не представляется возможной в силу экспортных ограничений в США и Западной Европе.

3) Лазеры среднего инфракрасного диапазона необходимы для создания нового поколения систем лазерной дальнометрии, локации и связи, а также в оптической спектроскопии и в клинической медицине. Лазерная спектроскопия в среднем ИК диапазоне имеет принципиально важное значение для мониторинга окружающей среды и для решения задач обнаружения различных газообразных загрязняющих веществ, имеющих линии поглощения в этой области спектра. Средний ИК диапазон интересен тем, что включает несколько чрезвычайно важных окон прозрачности атмосферы. Оптическое излучение в этом диапазоне длин волн является невидимым и безопасным для человеческого глаза, что, с использованием окон прозрачности атмосферы, позволяет создавать высокоскоростные оптические линии связи в открытом пространстве (freespace optical communications), независимые от тумана, облаков, влажности и турбулентности атмосферы, без прокладки волоконно-оптических линий связи. Кроме перечисленных, ККЛ среднего ИК диапазона позволяют решать задачи дистанционного бесконтактного измерения температуры, регистрации продуктов горения и взрывов, а также целый ряд чрезвычайно важных специальных задач.

5. Эффекты от внедрения результатов проекта

Внедрение результатов проекта позволит разработать отечественную технологию производства квантово-каскадных лазеров излучающих в среднем инфракрасном диапазоне. Одночастотные источники инфракрасного излучения на заданной длине волны генерации требуются для детектирования как одиночных линий поглощения, соответствующих определенным химическим соединениям, так и для детектирования широких линий поглощения (за счет наложения целого ряда узких линий поглощения), что необходимо в клинической медицине (например, для неинвазивного определения уровня глюкозы в крови и других применений). Воплощение в жизнь необходимых для этого технических решений осложняется отсутствием на сегодняшний день в России технологии создания ККЛ, имеющейся в распоряжении западных партнеров.

6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта

1) В результате выполнения проекта разработано техническое задание на опытно-конструкторскую разработку и разработано технико-экономическое обоснование. Возможными исполнителями которого, помимо исполнителя проекта (ФТИ им.А.Ф.Иоффе) и промышленного партнера ОАО «ОКБ-Планета»), могут выступить ООО «Коннектор Оптикс» (располагающее необходимой технологией полупроводниковых многослойных наногетероструктур) и ОАО «Полос», (обладающее необходимым оборудованием и научно-техническим заделом для постростовой обработки и создания кристаллов полупроводниковых лазеров). Ключевыми потребителями могут выступить ОАО «НПП «Салют», ОАО «НПП «Инжект» и др.

2) В ходе выполнения ПНИЭР будут разработаны одночастотные ККЛ среднего ИК диапазона. со Целевой рынок для продукта проекта, является сравнительно большим и продолжает расти. Исследование компании BCC Research (<http://www.bccresearch.com>) доказывает, что глобальный рынок квантово-каскадных лазеров составил 5,6 миллиарда долларов

США в 2015 году, уже в 6,1 миллиарда долларов в 2016 году и прогнозируется, что достигнет более чем 9 миллиардов к 2021 году (Global Markets for Quantum Cascade Lasers <https://www.bccresearch.com/market-research/photonic/quantum-cascade-lasermarkets-report-pho026a.html>)

7. Наличие соисполнителей

Общество с ограниченной ответственностью "Коннектор Оптикс" - 2017, 2018 год

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской
академии наук

Заместитель директора
(должность)

(подпись)

Лебедев С.В.
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель работ по проекту

Главный научный сотрудник - заведующий
лабораторией
(должность)

(подпись)

Соколовский Г.С.
(фамилия, имя, отчество)

