

## Резюме проекта, выполняемого

в рамках ФЦП

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

по этапу № 1

Номер Соглашения о предоставлении субсидии: 14.616.21.0074

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

Приоритетное направление: Индустрия наносистем (ИП)

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

Период выполнения: 11.01.2017 - 31.12.2019

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

Индустриальный партнер: Открытое акционерное общество "ОКБ-Планета"

Иностранный партнер: Центр нанонауки и нанотехнологий

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  $5 \pm 1$  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  $5 \pm 1$  мкм и  $9 \pm 1,5$  мкм. Проведен выбор направления исследований, в том числе предварительные эксперименты по выращиванию гетероструктур квантово-каскадных лазеров. На основе математического моделирования было показано, что в качестве активных областей для квантово-каскадных лазеров спектрального диапазона  $5 \pm 1$  мкм наилучшим образом подходит использование конструкции на основе напряженной гетеропары в системе InGaAs, что снижает 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 на двух научных конференциях.

В ходе выполнения работ на отчетном 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  $5 \pm 1$  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 волны 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 Оптик» (располагающее необходимой технологией полупроводниковых многослойных наногетероструктур) и ОАО «Полюс», (обладающее необходимым оборудованием и научно-техническим заделом для постростовой обработки и создания кристаллов полупроводниковых лазеров). Ключевыми потребителями могут выступить ОАО «НПП «Салют», ОАО «НПП «Ижект» 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/photonics/quantum-cascade-laser-markets-report-pho026a.html>)

### 7. Наличие исполнителей

Общество с ограниченной ответственностью "Коннектор Оптик" - 2017 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

\_\_\_\_\_  
ведущий научный сотрудник  
(должность)

  
\_\_\_\_\_  
(подпись)

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

