

## 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 Электронного бюджета: 075-15-2019-1489, Внутренний номер соглашения 05.616.21.0111

Тема: «Исследования внутризонной динамики носителей заряда для создания мощных квантовых каскадных лазеров»

Приоритетное направление: Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика (ЭЭ)

Критическая технология:

Период выполнения: 17.10.2019 - 30.09.2020

Плановое финансирование проекта: 20.00 млн. руб.

Бюджетные средства 10.00 млн. руб.,

Внебюджетные средства 10.00 млн. руб.

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

Индустриальный партнер: Акционерное общество "ОКБ-Планета"

Иностранный партнер-участник совместного проекта: Институт электроники и систем

Ключевые слова: Квантово-каскадный лазер, молекулярно-пучковая эпитаксия, внутризонный переход, динамика носителей, мощный лазер

## 1. Цель проекта

- 1) Целью проекта является исследование динамики носителей заряда в квантовых каскадных лазерах (ККЛ), излучающих за счёт внутризонных переходов. Динамика носителей заряда в активной области полупроводниковых лазеров определяет их характеристики, включая скорость прямой модуляции, спектр излучения и, что особенно важно, выходную мощность.
- 2) Таким образом, исследование, предлагаемое в данном проекте, является ключом к разработке и созданию мощных ККЛ среднего инфракрасного (ИК) диапазона. Проект выполняется совместно с Институтом электроники и систем (Франция), имеющим большой опыт в разработке и создании мощных ККЛ среднего ИК диапазона.

## 2. Основные результаты проекта

Выполнен аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы. Рассмотрены наиболее широко применяемые подходы для создания мощных квантово-каскадных лазеров генерирующих излучение в спектральном диапазоне  $8 \pm 1,5$  мкм. Проведены патентные исследования в области создания мощных квантовых каскадных лазеров среднего инфракрасного диапазона с длиной волны генерации  $8 \pm 1,5$  мкм. Проведены предварительные теоретические исследования динамических характеристик квантово-каскадных лазеров. Проведен анализ величины задержки включения квантово-каскадных лазеров на основе решения системы балансных уравнений. Проанализировано поведение задержки включения при накачке импульсами тока с бесконечно малой и конечной длительностью фронта включения. Полученные результаты для имеют различное решение. Так при накачке ступенькой с бесконечно малой длительностью фронта включения задержки включения уменьшается с током накачки. Однако для накачки ступенькой с конечной длиной фронта наблюдается противоположная картина поведения задержки включения. Проведены предварительные исследования по эпитаксиальному выращиванию гетероструктур квантово-каскадных лазеров методом молекулярно пучковой эпитаксии на основе дизайна структуры, разработанной иностранным проектом. Получены тестовые структуры из которых сделаны образцы для экспериментальных исследований динамических характеристик лазеров. Были проведены исследования динамических характеристик характеристик квантов-каскадных лазеров. Проведенные исследования спектральных и мощностных характеристик показали, что тестовые лазеры имеют длину волны генерации вблизи 8 мкм и высокую выходную мощность. Исследования задержки включения показали, что качественно экспериментальные результаты сходятся с теоретическими оценками, однако величины задержки включения имеют значения на порядок больше чем предсказано теоретически. По итогам исследований опубликованы 1 научная статья в издании индексируемом Web of Science и Scopus. Результаты доложены на двух 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**

Мощные квантово-каскадные лазеры (ККЛ), работающие в спектральном диапазоне, который соответствует длинноволновому инфракрасному окну прозрачности атмосферы, необходимы для ряда самых современных применений, включая беспроводную оптическую связь, газовый анализ и гиперспектральную визуализацию. Хорошо известно, что спектральная область среднего ИК-диапазона содержит сильные характерные колебательные переходы многих молекул. Следует отметить, что интенсивность линий поглощения химических элементов на несколько порядков выше в среднем ИК-диапазоне, чем в более коротковолновых спектральных областях, что, в свою очередь, обеспечивает высокую чувствительность и открывает путь для обнаружения отдельных молекул.

Приложения в области дистанционного зондирования и гиперспектральной визуализации требуют не только спектральной чистоты, но и высокой выходной мощности для соответствия энергетическому балансу системы детектирования. Учитывая типичный импульсный режим работы, хорошее понимание динамики ККЛ имеет решающее значение для адекватной общей производительности этих систем. Имея это в виду, ККЛ представляют собой важнейший компонент систем газового анализа, дистанционного зондирования, интеллектуальных технологий производства, роботизированных систем и других передовых технологий.

### **5. Эффекты от внедрения результатов проекта**

Квантовые каскадные лазеры являются необходимой составляющей систем газового анализа, дистанционного неразрушающего контроля, интеллектуальных производственных технологий, роботизированных систем и других приоритетных направлений Стратегии развития РФ. Большинство устройств для удаленного детектирования и контроля используют импульсный режим работы источников излучения и требуют не только спектрального совершенства, но и высокой выходной мощности их излучения. В связи с этим исследование динамики ККЛ и создание мощных излучателей в среднем ИК диапазоне является критически важным для их практических применений.

### **6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта**

1) В результате выполнения проекта будут разработаны получения мощных квантово-каскадных лазеров с длиной волны генерации  $8\pm 1,5$  мкм. Полученные технологии могут быть внедрены на многих отечественных предприятиях среди которых можно выделить АО «ОКБ-Планета», ООО «Коннектор Оптикс», и АО «НИИ Полос». Потребителями квантовых каскадных лазеров могут выступить такие предприятия как АО «НПП «Салют», АО «НПП «Инжект» и др.

### **7. Наличие соисполнителей**

ООО "Коннектор Оптикс" 2019 г.

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


Заместитель директора по научной работе  
(должность)

  
(подпись)

Брунов П.Н.  
(фамилия, имя, отчество)

**Руководитель работ по проекту**

старший научный сотрудник ФТИ им. А.Ф. Иоффе  
(должность)

  
(подпись)

Дюделев В.В.  
(фамилия, имя, отчество)

