

Аннотация проекта (ПНИЭР), выполняемого в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

Номер Соглашения о предоставлении субсидии/государственного контракта: 14.579.21.0096

Название проекта: Разработка технологии эпитаксиального выращивания приборных полупроводниковых гетероструктур на основе InP: лазеров с пассивной синхронизацией мод и фотоприемников спектрального диапазона 1300-1550 нм

Основное приоритетное направление: Информационно-телекоммуникационные системы. Комплексные проекты

Исполнитель: Общество с ограниченной ответственностью "Коннектор Оптикс"

Руководитель проекта: Новиков Иннокентий Игоревич

Должность: директор по новым разработкам

E-mail: novikov@switch.ioffe.ru

Ключевые слова: полупроводниковые гетероструктуры *ingaas/inalas/inp*, молекулярно-пучковая эпитаксия, фотоприемник, лазер с пассивной синхронизацией мод, волоконно-оптическая связь, радиофотоника.

Цель проекта

Основная цель исследований состоит в разработке технологии выращивания методом молекулярной-пучковой эпитаксии (МПЭ) приборных полупроводниковых гетероструктур на основе InP: лазеров с пассивной синхронизацией мод и фотоприемников спектрального диапазона 1300-1550 нм. Основными преимуществами промышленной МПЭ технологии роста гетероструктур являются: возможность реализации резких гетерограниц, высокая однородность параметров выращенных гетероструктур, низкий уровень фонового легирования, позволяющий реализовать заданные параметры с высокой точностью. Выполнение исследования позволит освоить и провести апробацию промышленной технологии МПЭ для создания полупроводниковых гетероструктур с пассивной синхронизацией мод и фотоприемников спектрального диапазона 1300-1550 нм на подложках фосфида индия, что является основополагающей задачей при разработке компонентной базы радиофотоники для современных оптических аналогово-цифровых преобразователей.

Основные планируемые результаты проекта

Основным результатом проекта будет разработка базовой МПЭ технологии выращивания приборных полупроводниковых гетероструктур на подложках фосфида индия: лазеров с пассивной синхронизацией мод и фотоприемников спектрального диапазона 1300-1550 нм. Достижение такого результата будет сопряжено с решением двух основных задач:

- разработка МПЭ технологии выращивания составных частей гетероструктур лазеров с пассивной синхронизацией мод и PIN-фотоприемников
- разработка МПЭ технологии выращивания гетероструктур лазеров с пассивной синхронизацией мод и PIN-фотоприемников.

Способы решения поставленных задач будут основаны на анализе современного состояния области исследований, выборе и разработке

подходов по выращиванию гетероструктур, оптимальных с точки зрения формирования активной области лазерной гетероструктуры, состава и толщины обкладок эмиттерных слоёв, контактных и буферных слоев гетероструктуры. Будут проведены экспериментальные исследования по отработке технологии роста составных частей гетероструктур, проведена характеристика структурного качества, электрических и оптических свойств выращенных гетероструктур. На основании полученных результатов будет проведена корректировка подходов и разработан технологический маршрут эпитаксиального роста гетероструктур лазеров с пассивной синхронизацией мод и фотоприемников, будут изготовлены образцы гетероструктур для их приборной апробации.

Краткая характеристика создаваемой/созданной научной (научно-технической, инновационной) продукции

Полупроводниковые наногетероструктуры соединений АЗВ5 являются базовым материалом для создания современных приборов СВЧ и оптоэлектроники, в том числе для систем специального назначения. К настоящему моменту, основными материалами для создания полупроводниковых гетероструктур активной области лазерных диодов, фотодетекторов спектрального диапазона 1520-1580 нм являются четверные твердые растворы InGaAsP, выращенные на подложках фосфида индия методом газофазной эпитаксии. В свою очередь, повышение дифференциального усиления, рост квантовой эффективности и малая температурная чувствительность продемонстрированы для сильнонапряженных полупроводниковых гетероструктур InAlGaAs/InGaAs/InP в сравнении с гетероструктурами на основе InGaAsP/InP. Более того, метод молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ) позволяет формировать напряженные гетероструктуры InAlGaAs/InGaAs/InP с большим параметром несоответствия кристаллических решеток квантово-размерных слоев и с большим числом квантовых ям без ухудшения структурного качества в сравнении с результатами на гетероструктурах, выращенных методом газофазной эпитаксии.

Полупроводниковые гетероструктуры InGaAs/InAlAs/InP на подложках фосфида индия являются перспективной платформой для создания полного спектра устройств для высокочастотного приема-передачи сигнала спектрального диапазона вблизи 1550 нм. Решение задач по созданию новых полупроводниковых приборов возможно только при создании новых типов многослойных полупроводниковых наногетероструктур соединений АЗВ5 с толщинами слоев в единицы-десятки нанометров, обладающих резко неоднородными профилями состава и легирования. Такие наногетероструктуры могут быть получены только с использованием современного оборудования для молекулярно-пучковой эпитаксии. Поэтому в качестве базовой технологии создания полупроводниковых гетероструктур InGaAs/InAlAs/InP на подложках фосфида индия был выбран метод молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ). В промышленном масштабе полупроводниковые гетероструктуры производится на многоподложечных установках типа MBE 49 компании RIBER, обеспечивающих высокую

однородность параметров по площади структуры (не хуже 1% на пяти одновременно выращиваемых подложках диаметром 76 мм), высокую воспроизводимость параметров структуры от процесса к процессу, крайне низкую плотность дефектов. Эти установки отвечают последним концепциям, принятым при изготовлении современного высокотехнологичного оборудования для МПЭ и могут работать в полностью автоматическом режиме.

Назначение и область применения, эффекты от внедрения результатов проекта

Современные разработки в сфере радиолокации, телеметрии, линии задержек основаны на использовании подходов радиофотоники. Одним из основных элементов радиофотоники является оптический аналогово-цифровой преобразователь (АЦП). Лазеры и фотоприемники являются основными составными частями данных АЦП. Лазер с пассивной синхронизацией мод позволяет формировать свехкороткие оптические импульсы с частотой вплоть до 250 ГГц. К настоящему моменту, такие частоты следования невозможно реализовать на основе других источников лазерного излучения. PIN-фотоприемники на подложке фосфида индия позволяют осуществлять обработку оптического сигнала на частотах порядка 25 ГГц и более. Суммируя вышесказанное, для развития элементной базы радиофотоники, в частности, для создания оптического АЦП, требуется разработка технологии эпитаксиального выращивания, процессирования, и корпусирования лазеров с пассивной синхронизацией мод, а также PIN-фотоприемников.

Текущие результаты проекта

На текущий момент проведен аналитический обзор современной научно-технической документации в области молекулярно-пучковой эпитаксии выращивания лазеров и фотоприемников спектрального диапазона 1300-1550 нм. С учетом аналитического обзора проведены патентные исследования в части разработок эпитаксиального роста гетероструктур лазеров с пассивной синхронизацией мод и PIN-фотоприемников спектрального диапазона 1300-1550 нм. Проведена отработка процессов эпитаксиального роста составных частей гетероструктур лазеров с пассивной синхронизацией мод и PIN-фотоприемников. Были выращены напряженные полупроводниковые гетероструктуры InGaAlAs/InGaAs/InP с несоответствием кристаллических решеток материала квантовых ям (InGaAs) и материала подложки (InP) равным 1.0, 1.3 и 1.6 %. Исследование образцов методом рентгеноструктурного анализа подтверждает совпадение расчетных и экспериментальных значений элементного состава и толщин слоев гетероструктуры. Исследование оптических свойств экспериментальных образцов подтверждает возможность применения разработанных напряженных полупроводниковых гетероструктур InGaAlAs/InGaAs/InP с параметром несоответствия InGaAs/InP 1.6 % для реализации эффективных активных областей лазерного диода спектрального диапазона 1520-1580 нм.