

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.373.862

Микулич
Роман Юрьевич

Генерация излучения на модах шепчущей галереи в полупроводниковых
лазерах

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-41 80 01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные
компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах»

Научный руководитель
Степанов Андрей Анатольевич
канд.техн.наук, доцент

Минск 2018

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие исследования полупроводниковых структур заняли прочное положение среди наиболее быстро развивающихся направлений физики. Источники и приемники на основе гетероструктур, работающие в диапазоне длин волн от 2 до 5 мкм, могут быть использованы в системах контроля химического состава газообразных и жидких сред, оптической связи или в тепловидении. До недавнего времени основными материалами для изготовления оптоэлектронных приборов в вышеуказанном спектральном диапазоне были соли свинца (PbS, PbSe и др.), а также твердые растворы HgCdTe; на сегодняшний день эти материалы все более оттесняются на второй план ввиду их металлургической нестабильности, восприимчивости к влаге и плохой теплопроводности, а также из-за успехов в создании квантово-каскадных лазеров на диапазон от 5 до 14 мкм на основе полупроводников A^3B^5 и сопутствующей этому разработке методов фотолитографии и сборки приборов.

Однако, в квантово-каскадных лазерах в диапазоне длин волн от 2 мкм и более есть существенный недостаток: их активная область не обладает достаточно большим коэффициентом оптического усиления. Добротность дисковых резонаторов (работающие на модах шепчущей галереи) на несколько порядков выше чем у Фабри-Перо. С другой стороны дисковые лазеры просты в изготовлении и обладают на порядок большими максимальными рабочими токами.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Несмотря на высокую востребованность, до настоящего времени так и не создан лазер среднего инфракрасного диапазона, работающий при комнатной температуре, малогабаритный и пригодный для массового производства и применения. Использование дисковых структур в качестве излучателей для датчиков газов и жидкостей увеличит эффективность последних.

Степень разработанности проблемы. Научное объяснение явлению шепчущей галереи дал Лорд Рэлей, основываясь на собственных наблюдениях в соборе святого Павла в Лондоне. Одни из первых WGM-лазеров были сделаны в Bell Laboratories в 1991 году на основе гетероструктур InP/InGaAsP, которые работают в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра длин волн. Авторами российских работ являются группа ученых лаборатории инфракрасной оптоэлектроники в физико-техническом институте имени Иоффе, которая создала и изготовила образцы лазеров, исследуемых в данной работе.

Цель и задачи исследования. Целью диссертации является детальное изучение особенностей генерации излучения в лазерах с дисковыми резонаторами.

Для выполнения поставленной цели в работе были сформулированы следующие задачи:

–Получить спектры электролюминесценции и генерации в зависимости от тока накачки лазера;

–Определить для исследуемых образцов значения пороговых и максимальных рабочих токов;

–Исследовать возможность применения лазеров в качестве источников излучения для технического, медицинского и экологического мониторинга.

Объектом исследования является лазеры, работающие на модах шепчущей галереи в диапазоне длин волн от 2 до 5 мкм.

Предметом работы выступают спектральные свойства, электрические параметры и характеристики лазеров, работающие на модах шепчущей галереи в среднем инфракрасном диапазоне спектра.

Область исследования. Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-41 80 01 «Твердотельная

электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Научная новизна диссертационной работы заключается в измерении и исследовании спектральных свойств, электрические параметры и характеристик лазеров, работающих на модах шепчущей галереи в среднем инфракрасном диапазоне спектра, а также исследование возможности применения лазеров как излучателей в датчиках газов и жидкостей.

Положения, выносимые на защиту

Установлено, что температурная зависимость ширины запрещенной зоны твердых растворов $\text{Ga}_{0.96}\text{In}_{0.04}\text{As}_{0.03}\text{Sb}_{0.97}$, $\text{Ga}_{0.92}\text{In}_{0.08}\text{As}_{0.07}\text{Sb}_{0.93}$, $\text{Ga}_{0.80}\text{In}_{0.20}\text{As}_{0.17}\text{Sb}_{0.83}$ и $\text{InAs}_{0.88}\text{Sb}_{0.12}$ описывается эмпирическим соотношением Варшни с параметрами: $E_g(0) = 745,9; 709,0; 626,0; 312,0$ мэВ, $\alpha = 3,94 \cdot 10^{-4}; 3,65 \cdot 10^{-4}; 4,04 \cdot 10^{-4}; 3,86 \cdot 10^{-4}$ эВ/К и $\beta = 261,5; 181,1; 178,5; 195,0$ К соответственно.

Теоретическая значимость диссертации заключается в том, что в ней показаны перекрытие спектров излучения лазеров и спектров поглощения газов и жидкостей, исследована и определена температурная зависимости ширины запрещенной зоны GaInAsSb и InAsSb , а также особенности поведения мод шепчущей галереи в этих лазерах.

Практическая значимость диссертации состоит в том, что на основе энергоэффективных лазеров и селективного оптического абсорбционного метода можно создать экономичные и компактные приборы измерения концентраций газов и жидкостей.

Апробация и внедрение результатов исследования

Результаты исследования были неоднократно представлены на 11-ом Белорусско-Российском семинаре “Полупроводниковые лазеры и системы на их основе” 22—26 мая 2017, Минск, Беларусь; 6-ой Международной научно-технической конференции «Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов» Могилев, 19–20 сентября 2017 г

Публикации

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в трех опубликованных работах.

Структура и объем работы. Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, трёх глав и заключения, библиографического списка. Общий объем диссертации – 51 страница. Работа содержит 29 рисунков. Библиографический список включает 39 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы разработки лазера работающего в среднем инфракрасном диапазоне длин волн, определены основные направления исследований, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, показана связь с научными программами и проектами, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации результатов диссертации и их опубликованность, а также, структура и объем диссертации.

В **первой главе** рассмотрены особенности генерации излучения инфракрасными лазерами, работающих на модах шепчущей галереи и светодиодам, технологии изготовления полупроводниковых лазеров, конструкционные особенности датчиков газов и жидкостей, а также исследованы фундаментальные линии поглощения газов и жидкостей в среднем инфракрасном диапазоне длин волн.

Во **второй главе** описана методика проведения эксперимента, некоторые сведения о подготовке образцов, а также описана схема экспериментальной установки.

В **третьей главе** представлены результаты эксперимента, полученные при анализе спектральных свойств дисковых структур работающих в среднем инфракрасном диапазоне длин волн. Представлены и проанализированы спектры излучения лазеров в зависимости от тока возбуждения и температуры.

В **четвертой главе** представлен метод и условия детектирования газов и жидкостей. Показано то, что данные структуры можно использовать для детектирования газов и жидкостей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Определены пороговые и максимальные рабочие токи для различных конструкций лазеров и различных температурных условий.

2. Исследована и описана возможность применения дисковых лазеров для детектирования воды в нефти и нефтепродуктах, а также углекислого газа или метана в воздухе. Также описан метод и условия детектирования, влияющие на точность детектирования.

3. Получены экспериментальные спектры люминесценции исследуемых структур в зависимости в диапазоне температур от 10 до 300 К и тока возбуждения от 100 до 250 мА. Экспериментальные спектры были использованы для получения теоретической зависимости ширины запрещенной зоны от температуры. С помощью аппроксимации теоретической зависимости ширины запрещенной зоны были получены параметры эмпирического соотношения Варшни для активных зон исследуемых образцов для описанного выше температурного диапазона.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА

1-А. Кабанов, Д. М. Оптические параметры свето- и лазерных диодов для детектирования нефтепродуктов и парниковых газов в воде / Д. М. Кабанов, Р. Ю. Микулич, Д. В. Шабров // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов : материалы 6-й Международной научно-технической конференции и выставки, Могилев, 19–20 сентября 2017 г. / Белорусско-Российский университет ; редкол.: И. С. Сазанов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2017. – С. 248–253.

2-А. Кабанов, Д. М. Лазерные диоды на основе твердых растворов GaInAsSb для детектирования угарного газа / Д. М. Кабанов, Е. В. Лебедек, Р. Ю. Микулич // Полупроводниковые лазеры и системы на их основе : материалы 11-ого Белорусско-Российского семинара, Минск, 22–26 мая 2017 г. / Национальная академия наук Беларуси. Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси. ФТИ им. А. Ф. Иоффе ; ред.: И. В. Дулевич, Г. П. Яблонский. – Минск, 2017. – С. 121–123.

3-А. Кабанов, Д. М. Оже-рекомбинация в светодиодах на основе твердых растворов InAsSb / Д. М. Кабанов, Е. В. Лебедек, Р. Ю. Микулич, Ю. П. Яковлев // Полупроводниковые лазеры и системы на их основе : материалы 11-ого Белорусско-Российского семинара, Минск, 22–26 мая 2017 г. / Национальная академия наук Беларуси. Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси. ФТИ им. А. Ф. Иоффе ; ред.: И. В. Дулевич, Г. П. Яблонский. – Минск, 2017. – С. 144–146.