

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ РАДИОФИЗИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Кафедра квантовой радиофизики и оптоэлектроники

Аннотация к дипломной работе

МОДЕЛИРОВАНИЕ КВАНТОВО-КАСКАДНЫХ ЛАЗЕРОВ
СРЕДНЕГО ИК ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ
InGaAs/AlInAs ГЕТЕРОСТРУКТУР

Тренин Сергей Игоревич

Научный руководитель – профессор Афоненко А.А.

Минск, 2024

РЕФЕРАТ

Дипломная работа: 47 страниц, 22 рисунка, 20 источников.

Ключевые слова: КВАНТОВО-КАСКАДНЫЕ ЛАЗЕРЫ; СРЕДНИЙ ИНФРАКРАСНЫЙ ДИАПАЗОН; ГЕТЕРОСТРУКТУРА InGaAs/AlInAs; МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И ВОЛНОВЫХ ФУНКЦИЙ; ВОЛЬТАМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА.

Объект исследования: квантово-каскадный лазер на основе гетероструктуры InGaAs/AlInAs, генерирующий на длине волны 9.9 мкм.

Цель работы: моделирование ККЛ среднего ИК диапазона на основе InGaAs/AlInAs гетероструктур и установление закономерностей их генерационных характеристик.

В результате выполнения работы проведено моделирование энергетической структуры и волновых функций, а также рассчитаны спектры излучения структуры в режиме генерации в приближении эффективной массы и k - p -методом. Рассчитаны зависимости плотности тока, максимального коэффициента усиления, длины волны при максимальном коэффициенте усиления и выходной мощности от напряжения. Также рассчитаны зависимости силы тока, максимального коэффициента усиления, длины волны при максимальном коэффициенте усиления и выходной мощности от температуры.

Подтверждена пригодность метода анализа спектральных характеристик ККЛ среднего ИК диапазона с использованием модели, основанной на скоростных уравнениях и учета дефазировки методом модификации собственного базиса уравнения Шредингера путем уменьшения дипольных моментов туннельно-связанных состояний. Хорошее соответствие рассчитанных спектральных характеристик с экспериментальными результатами получается при использовании k - p -метода для расчета энергетической структуры.

Полученные результаты могут быть использованы для проектирования и оптимизации ККЛ среднего ИК диапазона. Результаты работы опубликованы в сборнике 14-ой Международной НТК “Квантовая электроника”, 2023 г.

РЭФЕРАТ

Дыпломная праца: 47 старонак, 22 малюнка, 20 крыніц.

Ключавыя словы: КВАНТАВА-КАСКАДНЫЯ ЛАЗЕРЫ; СЯРЭДНІ ІНФРАЧЫРВОНЫ ДЫЯПАЗОН; ГЕТЭРАСТРУКТУРА InGaAs/AlInAs; МАДЭЛЯВАННЕ ЭНЕРГЕТЫЧНАЙ СТРУКТУРЫ І ХВАЛЕВЫХ ФУНКЦЫЙ; ВОЛЬТАМПЕРНАЯ ХАРАКТАРЫСТЫКА.

Аб'ект даследавання: квантава-каскадны лазер на аснове гетэраструктуры InGaAs / AlInAs, генервальны на даўжыні хвалі 9.9 мкм.

Мэта працы: мадэляванне ККЛ сярэдняга інфрачырвонага дыяпазону на аснове InGaAs/AlInAs гетэраструктур і ўсталяванне заканамернасцяў іх генерацыйных характарыстык.

У выніку выканання работы праведзена мадэляванне энергетычнай структуры і хвалевых функцый, а таксама разлічаны спектры выпраменьвання структуры ў рэжыме генерацыі ў набліжэнні эфектыўнай масы і k -р-метадам. Разлічаны залежнасці шчыльнасці току, максімальнага каэфіцыента ўзмацнення, даўжыні хвалі пры максімальным каэфіцыенце ўзмацнення і выхадной магутнасці ад напружання. Таксама разлічаны залежнасці сілы току, максімальнага каэфіцыента ўзмацнення, даўжыні хвалі пры максімальным каэфіцыенце ўзмацнення і выхадной магутнасці ад тэмпературы.

Пацверджана прыдатнасць метаду аналізу спектральных характарыстык ККЛ сярэдняга інфрачырвонага дыяпазону з выкарыстаннем мадэлі, заснаванай на хуткасных ураўненнях і ўліку дэфазіроўкі метадам мадыфікацыі ўласнага базісу ўраўнення Шредингера шляхам памяншэння дыпольных момантаў тунэльна-звязаных станаў. Добрая адпаведнасць разлічаных спектральных характарыстык з эксперыментальнымі вынікамі атрымліваецца пры выкарыстанні k -р-метаду для разліку энергетычнай структуры.

Атрыманыя вынікі могуць быць выкарыстаны для праектавання і аптымізацыі ККЛ сярэдняга інфрачырвонага дыяпазону. Вынікі працы апублікаваны ў зборніке 14-ай Міжнароднай НТК "Квантавая электроніка", 2023 г.

ABSTRACT

Diploma thesis: 47 pages, 22 drawings (graphs, diagrams), 20 sources.

Keywords: QUANTUM CASCADE LASERS; MID-INFRARED RANGE; InGaAs/AlInAs HETEROSTRUCTURE; MODELING OF THE ENERGY STRUCTURE AND WAVE FUNCTIONS; CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTIC.

The object of research is a quantum cascade laser based on the InGaAs/AlInAs heterostructure, generating at a wavelength of 9.9 microns.

The purpose of the work is to model the QCL of the mid-IR range based on InGaAs/AlInAs heterostructures and establish patterns of their generation characteristics.

As a result of the work, the energy structure and wave functions were modeled, and the radiation spectra of the structure in the generation mode were calculated in the approximation of the effective mass and $k \cdot p$ -method. The dependences of current density, maximum gain, wavelength at maximum gain, and total output power on voltage were calculated. The dependences of current strength, maximum gain, wavelength at maximum gain and total output power on temperature were also calculated.

The suitability of the method for analyzing the spectral characteristics of the mid-IR QCL using a model based on velocity equations and taking into account dephasing by modifying the intrinsic basis of the Schrodinger equation by reducing the dipole moments of tunnel-bound states is confirmed. It is shown that a good correspondence of the calculated spectral characteristics with the experimental results is obtained by using the $k \cdot p$ method to calculate the energy structure.

The results can be used to design and optimize the QCL of the mid-IR range. The results of the work are published in the materials of 14th International Scientific Research Conference “Quantum Electronics”, 2023.