

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ РАДИОФИЗИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Кафедра системного анализа и компьютерного моделирования

АФОНЕНКО
Анатолий Александрович

МОДЕЛИРОВАНИЕ КВАНТОВО-КАСКАДНЫХ ЛАЗЕРОВ
ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА

Аннотация (реферат) дипломной работы

Научный руководитель:
доктор физ.-мат. наук,
профессор Д.В. Ушаков

Допущена к защите
«__» _____ 2023г.
Зав. кафедрой системного анализа
и компьютерного моделирования
кандидат физ.-мат. наук, доцент
_____ Н.Н. Яцков

Минск, 2023

РЕФЕРАТ

Работа 44 с., 33 рис., 3 табл., 41 источник

КВАНТОВО-КАСКАДНЫЙ ЛАЗЕР, РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ, ШЕРОХОВАТОСТИ ГЕТЕРОГРАНИЦ, ИНТЕРФЕЙСНЫЕ ФОНОННЫЕ МОДЫ, ПРИМЕСНЫЕ СОСТОЯНИЯ

Объектом исследования является квантово-каскадные лазерные гетероструктуры ТГц диапазона на основе твердых растворов AlGaAs/GaAs.

Цель работы – установление закономерностей процессов рассеяния электронов на шероховатостях гетерограниц, оптических фононах и примесях и их влияния на выходные характеристики квантово-каскадных лазеров ТГц диапазона.

В работе проведен численный анализ ПЭМ изображений квантово-каскадных лазерных гетероструктур ТГц-диапазона. Найдены среднеквадратические отклонения размытия гетерограниц, автокорреляционные функции флуктуаций состава.

Проведено моделирование фононных мод квантово-каскадных гетероструктур на основе двойных и тройных полупроводниковых соединений. Рассчитаны зависимости частот интерфейсных фононных мод структуры от волнового вектора в плоскости слоев и от набега фазы на периоде сверхрешетки. Рассчитанная результирующая скорость межподзонного рассеяния в структуре с учетом интерфейсных и ограниченных мод практически не отличается от расчетов в приближении объемных фононов структуры.

Разработана двумерная модель расчета энергий и волновых функций квантово-каскадных гетероструктур с учетом заряженных примесей. Установлено, что локализованные примесные состояния возникают внутри каждой подзоны сверхрешетки. На основе самосогласованных расчётов уравнения Шредингера и уравнения Пуассона найдено, что наименьшая обратная длина экранирования получается при расположении примеси в центре широкой квантовой ямы, наибольшая — при расположении примеси в узкой квантовой яме. Перенос заряда с участием примесной зоны приводит к сглаживанию первого фононного резонанса на вольтамперных характеристиках, что особенно существенно при низких температурах.

Результаты работы могут быть использованы для разработки квантово-каскадных лазеров и детекторов.

РЭФЕРАТ

Праца 44 с., 33 мал., 3 табл., 41 крыніца

КВАНТАВА-КАСКАДНЫ ЛАЗЕР, РАССЕЙВАННЕ ЭЛЕКТРОНАЎ,
ШУРПАТАСЦІ ГЕТЭРАГРАНІЦ, ІНТЭРФЕЙСНЫЯ ФАНОННЫЯ МОДЫ,
ПРЫМЕСНЫЯ СТАНЫ

Аб'ектам даследавання з'яўляецца квантава-каскадныя лазерныя гетэраструктуры ТГц дыяпазону на аснове цвёрдых раствораў $\text{AlGaAs} / \text{GaAs}$.

Мэта працы – усталяванне заканамернасцяў працэсаў рассеявання электронаў на шурпатасці гетэрамежаў, аптычных фонанах і прымешках і іх уплыву на выходныя характарыстыкі квантава-каскадных лазераў ТГц дыяпазону.

У працы праведзены колькасны аналіз ПЭМ малюнкаў квантава-каскадных лазерных гетэраструктур ТГц-дыяпазону. Знойдзены сярэднеквадратычныя адхіленні размыцця гетэрамежаў, аўтакарэляцыйныя функцыі флуктуацый складу.

Праведзена мадэляванне фононных мод квантава-каскадных гетэраструктур на аснове падвойных і трайных паўправадніковых злучэнняў. Разлічаны залежнасці частот інтэрфейсных фононных мод структуры ад хвалевага вектара ў плоскасці пластоў і ад набегу фазы на перыядзе звышрашоткі. Разлічаная выніковая хуткасць межподзонного рассеяванні ў структуры з улікам інтэрфейсных і абмежаваных мод практычна не адрозніваецца ад разлікаў у набліжэнні аб'ёмных фонанаў структуры.

Распрацавана двухмерная мадэль разліку энергій і хвалевых функцый квантава-каскадных гетэраструктур з улікам зараджаных прымешак. Устаноўлена, што лакалізаваныя прымесныя станы ўзнікаюць ўнутры кожнай падзоны звышрашоткі. На аснове самаўзгодненых разлікаў раўненні Шродынгера і раўненні Пуасона знойдзена, што найменшая зваротная даўжыня экранавання атрымліваецца пры размяшчэнні прымешкі ў цэнтры шырокай квантавай ямы, найбольшая – пры размяшчэнні прымешкі ў вузкай квантавай яме. Перанос зарада з удзелам прымеснай зоны прыводзіць да згладжвання першага фононнага рэзанансу на вольтамперных характарыстыках, што асабліва істотна пры нізкіх тэмпературах.

Вынікі працы могуць быць выкарыстаны для распрацоўкі квантава-каскадных лазераў і дэтэктараў.

SUMMARY

Work 44 p., 33 fig., 3 tabl., 41 sources

QUANTUM-CASCADE LASER, ELECTRON SCATTERING, HETEROGENEITIES, INTERFACE PHONON MODES, IMPURITY STATES

Quantum-cascade THz laser heterostructures based on AlGaAs/GaAs solid solutions are the object of study.

The aim of the work is to establish the regularities of electron scattering processes on heteroboundaries, optical phonons and impurities and their influence on the output characteristics of quantum-cascade lasers of THz range.

In this paper a numerical analysis of TEM images of quantum-cascade laser heterostructures in THz range has been carried out. RMS deviations of blurring of heterocrystals, autocorrelation functions of composition fluctuations are found.

Modelling of phonon modes in quantum-cascade heterostructures based on double and ternary semiconductors is performed. The dependences of the frequencies of the interface phonon modes of the structure on the wave vector in the layer plane and on the phase overrun at the superlattice period are calculated. The calculated resulting inter-sub band scattering rates in the structure including the interface and confined modes practically do not differ from those calculated in the bulk phonon approximation.

A two-dimensional model for calculating energies and wave functions of quantum-cascade heterostructures including charged impurities has been developed. It is found that localized impurity states arise inside each superlattice subzone. Self-consistent calculations of the Schrodinger equation and Poisson equation have shown that the smallest inverse screening length is obtained when the impurity is located in the center of a wide quantum well and the largest one is obtained when the impurity is located in a narrow quantum well. The charge transfer involving the impurity zone leads to smoothing of the first phonon resonance in the voltampere characteristics, which is especially important at low temperatures.

The results of this work can be used to develop quantum-cascade lasers and detectors.