Эффект гигантского изменения показателя преломления в гетероструктурах с туннельно-связанными квантовыми ямами: теория и эксперимент

Золотарев В.В., Шашкин И.С., Соболева О.С., Головин В.С., Рудова Н.А., Шамахов В.В.,
Николаев Д.Н., Слипченко С.О., Пихтин Н.А.

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26

DOI 10.34077/Semicond2019-163

Продemonстрирован подход к инжинирингу квантово-размерных структур с высокоамплитудной модуляцией амплитуды показателя преломления за счет квантово-размерного эффектом Штарка. Областью применения данных структур являются электрооптические модуляторы, в том числе приборы с полностью электрическим управлением развертки лазерного луча в пространстве [1]. Проведены экспериментальные исследования разработанных структур, получены и интерпретированы спектры поглощения и электрорефракции двух туннельно-связанных квантовых ям в системе AlGaAs/GaAs, которые хорошо себя зарекомендовали в качестве активной области модулятора. Расчёты спектров материального поглощения вблизи края собственного поглощения были проведены с учетом локализованных в квантовых ямах экситонов [2]. С помощью соотношения Крамерса-Кронига получены спектры изменения показателя преломления. Оптимизация конструкции двух туннельно-связанных квантовых ям основана на достижении резонансного обобществления волновых функции электронов в отсутствии управляющего внешнего электрического поля и их локализации в отдельной квантовой яме при приложении внешнего электрического поля. При этом волновые функции тяжелых дырок остаются локализованными при любом значении внешнего электрического поля. Обобществление волновых функций электронов на две квантовые ямы приводит к снижению интегралов перекрытия электрон-тяжелая дырка, что обуславливает существенного снижения коэффициента поглощения вблизи края поглощения. Достижение большой модуляции коэффициента поглощения на основании соотношения Крамерса-Кронига приводит к модуляции показателя преломления с высокой амплитудой ($\Delta n_{\text{теор}}=0.036$). На основе полученных дизайнов квантово-размерных структур методом мосгидридной эпитаксии из металлоорганических соединений и гидридов были выращены волноводные диодные гетероструктуры с активной областью из одиночной и двух туннельно-связанных квантовых с различными толщинами барьеров и ям. Для данных экспериментальных образцов были проведены измерения спектров поглощения активной области при различных значениях напряжения обратного смещения. Результаты продемонстрировали предсказанный теоретически рост поглощения при обратном смещении вплоть до напряжения делокализации электронных уровней в объемный матриал волноводных слоев. На основе измеренных спектров изменения поглощения были получены спектры изменения показателя преломления (рис. 1), которые продемонстрировали хорошее согласие с теоретическими расчетами ($\Delta n_{\text{эксп}} \approx 0.04$). Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-79-10339)

Рис.1. – Экспериментальные спектры изменения поглощения и показателя преломления двух туннельно-связанных квантовых ям.

[1] И.С. Шашкин, О.С. Соболева, П.С. Гаврина, В.В. Золотарев, С.О. Слипченко, Н.А. Пихтин. ФТП 52, 1491, (2018)

[2] Hao Feng, J. P. Pang, M. Sugiyama, K. Tada and Y. Nakano, IEEE Journal of Quantum Electronics, 34, 1197, (1998)