УДК 004.3:004.9

расчет Вариации Показателя преломления в Ge/SiGe гетероструктрах для создания оптических модуляторов

*Панфилов Андрей Сергеевич*

*Хазанова Софья Владиславовна*

*Бобров Александр Игоревич*

*Горшков Алексей Павлович*

*Нежданов Алексей Владимирович*

*1ННГУ им. Лобачевского, г. Нижний Новгород*

Аннотация: в работе выполняется расчет показателя преломления кремний-германиевой гетероструктуры, которую может быть использована в качестве активной среды для создания модулятора по схеме Маха-Цендера.

Ключевые слова: модулятор, интегральная схема, гетероструктура, эффект Штарка.

Введение

Развитие оптической связи требует создания всё более совершенных фотонных интегральных схем. Для соединений центров обработки данных наиболее широко используется архитектура модулятора Маха–Цендера (ММЦ), при этом ММЦ предназначен для модуляции как синфазной, так и квадратурной компоненты сигнала. Принцип действия этого устройства основан на вариации коэффициента преломления под воздействием электрического поля на телекоммуникационной длине волны. Поскольку изменение коэффициента преломления напрямую связано с коэффициентом поглощения, для реализации данных эффектов могут быть использованы полупроводниковые массивы квантовых ям как на основе материалов с прямой запрещенной зоной III – V, так и материалов группы IV. Вариация коэффициента поглощения в гетероструктурах на основе Ge/SiGe при воздействии внешнего напряжения смещения обусловлена квантово-размерным эффектом Штарка.

Моделирование изменения показателя преломления

Несмотря на то, что Ge в целом является непрямозонным полупроводником, с помощью деформации и легирования гетерослоев происходит модификация зонной диаграммы все гетеросистемы. При этом слои германия, окруженные напряженными слоями SiGe образуют квантовые ямы с гетеропереходами первого рода подобно материалам III –V, также становится возможными поглощение при прямых межзонных переходах в Г долине [1]. В ряде работ сообщалось об эффективном изменении показателя преломления (около 1,3 × 10−3) с помощью создания множественных Ge/SiGe квантовых ям. При этом электрооптические характеристики могут быть заметно улучшены за счет создания структур с туннельно-связанными квантовыми ямами (ТСКЯ). Так, в [2] продемонcтрирована работа волноводного модулятора с асимметричными Ge/SiGe ТСКЯ, который может быть реализован как для модуляции интенсивности, так и фазовой модуляции при низком напряжении смещения в кремниевой фотонной интеграции. В данной работе с помощью численного метода на основе конечных разностей было решено уравнение Шредингера, оплучены энергиии размерного квантования, огибающие волновые функции для трех различных дизайнов гетероструктур. Результаты расчетов демонстрируют заметное перераспределение электронной плотности в системах ТСКЯ, обусловленное явлением квантово-размерного эффекта Штарка. На основе рассчитанных энергий размерного квантования и огибающих волновых функций получена мнимая часть диэлектрической проницаемости как результат сложения межзонного и экситонного вкладов поглощения. Расчет энергии связи и боровского радиуса экситона проведен вариационным методом.

Используя полученные спектры поглощения в достаточно широком диапазоне длин волн (900 – 1800 нм), с помощью соотношения Крамерса-Кронига, получены спектры изменения показателя преломления под действием обратного смещения на длине волны 1550 нм.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FSWR-2022-0007.

Выводы

Результаты расчётов показывают заметное изменение показателя преломления в требуемом диапазоне длин волн (1,55 мкм), что позволяет использовать данные гетероструктуры в качестве электрооптически активной среды модулятора по схеме Маха-Цендера.

Список использованных источников

1. K. Guilloy, N. Pauc, A. Gassenq, et al., ACS Photonics, v. 3, p. 1907, 2016

2. Yi Zhang, Jianfeng Gao, Senbiao Qin et al, Nanophotonics, 10(6), 1765, 2021

CALCULATION OF REFRACTIVE INDEX VARIATION IN GE/SIGE HETEROSTRUCTURES FOR CREATING OPTICAL MODULATORS  
Khazanova S.V., Panfilov A.S., Bobrov A.I., Gorshkov A.P., Nezhdanov A.V.

Abstract: In this paper refractive index is calculated for a silicon-germanium heterostructure, which can be used as an active medium for creating a modulator using the Mach-Zehnder scheme.