Исследование энергетического спектра узкозонных наногетероструктур InSb/InAs методом фотомодуляционной фурье-спектроскопии отражения

Комков О.С.^{1,2}, Фирсов Д.Д.¹, Чернов М.Ю.², Соловьёв В.А.², Андреев А.Д.³, Иванов С.В.²

¹ Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», 197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5

² ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26

³ University of Surrey, Guildford GU2 7XH, U.K.

DOI 10.34077/Semicond2019-227

Полупроводниковые структуры, излучающие в актуальном спектральном диапазоне 3-5 мкм, находят широкое применение в экологическом мониторинге окружающей среды, реализации скрытых оптических каналов связи, неинвазивной диагностике заболеваний и др. В [1] нами подробно описан оригинальный подход к созданию таких структур, в котором осуществлён переход от эпитаксиального роста на дорогостоящих подложках InAs и GaSb к использованию метаморфного буферного слоя AlInAs на подложках GaAs. Данная работа посвящена изучению энергетического спектра ультратонких вставок InSb, выращенных методом МПЭ как в объёмном InAs, так и в КЯ InAs/InGaAs.

Предложенный нами в [2] метод фотомодуляционной фурье-спектроскопии отражения позволил осуществить неразрушающую диагностику при комнатной температуре. В первой серии структур наблюдался красный сдвиг оптических переходов между тяжёлыми дырками, локализованными на уровне размерного квантования в InSb, и электронами окружающего объёмного InAs при увеличении толщины вставки InSb от 1 до 1,6 монослоя [3]. Измеренные в этих же структурах осцилляции Франца – Келдыша позволили определить напряжённость встроенных электрических полей в InAs.

При исследовании более сложных структур InSb/InAs/InGaAs/InAlAs/GaAs наблюдались оптические переходы в субмонослойной вставке InSb, в 8 нм КЯ InAs, и в барьерах In_{0,63}Ga_{0,37}As. Сдвиг энергии этих переходов дал информацию об изменении внутренних механических напряжений в различных областях структуры, а также о влиянии на них тонкого (5 нм) слоя GaAs или InAs, дополнительно помещаемого в метаморфный буферный слой InAlAs с целью борьбы с прорастающими дислокациями [4]. И, наконец, совместное использование фотомодуляционной фурье-спектроскопии и теоретических расчётов в рамках 8-ми зонной модели Кейна дало возможность проследить перестройку энергетического спектра при использовании нескольких субмонослойных вставок InSb в КЯ InAs/InGaAs, а также влияние технологических параметров роста на энергии и вероятности оптических переходов.

Таким образом, развиваемый в данной работе метод фотомодуляционной фурье-спектроскопии проявил себя как эффективный инструмент при определении параметров излучающих низкоразмерных гетероструктур среднего ИК диапазона в условиях сложного профиля упругих напряжений, что открывает широкие возможности для оптимизации активной области метаморфных полупроводниковых лазеров диапазона 3-5 мкм на подложках GaAs.

Работа в СПбГЭТУ «ЛЭТИ» поддержана грантом РНФ (№18-79-10161), а в ФТИ им. А.Ф. Иоффе – грантом РФФИ (№18-02-00950).

[1] S.V. Ivanov et al., *Progr. in Cr. Gr. and Characterization of Materials* **65**, 20 (2019).

[2] Д.Д. Фирсов, О.С. Комков, *Письма в ЖТФ* **39**, 87 (2013).

[3] D.D. Firsov et al., *J. of the Optical Society of America B* **36**, 910 (2019).

[4] В.А. Соловьёв и др. *Письма в ЖЭТФ* **109**, 381 (2019).