Термическая стабилизация экситонов в квантовых ямах на основе GaAs, выращенного при низкой температуре

Ушанов В.И.¹, Чалдышев В.В.¹, Берт Н.А.¹, Неведомский В.Н.¹, Преображенский В.В.²,
Путято М.А.², Семягин Б.Р.²

¹ ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26

² ИФП СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13

DOI 10.34077/Semicond2019-184

Применение молекулярно-лучевой эпитаксии при низких температурах (LT-МЛЭ) для выращивания наноструктур на основе GaAs позволило сформировать новый класс материалов, обладающих субпикосекундными временами жизни носителей заряда [1]. Столь короткое время жизни обусловлено высокой концентрации антиструктурных дефектов мышьяка. Несмотря на высокую (до 2 ат.%) концентрацию избыточного мышьяка, нестехиометрические квантовые ямы (КЯ) LT-GaAs, заключенные между барьерами LT-AlGaAs или LT-AlAs, могут обладать хорошим кристаллическим качеством и резкими эпитаксиальными интерфейсами. В оптических спектрах это выражается в наличии узких экситонных линий [2]. Послеростовой отжиг при высоких температурах приводит к формированию металлических преципитатов As. При этом материал сохраняет ультра-короткое время жизни носителей заряда. Однако отжиг вызывает нарушение морфологии эпитаксиальных интерфейсов и деградацию экситонных особенностей из-за взаимодиффузии атомов Al-Ga в катионной подрешетке GaAs [2].

В данной работе проведены оптические и структурные исследования КЯ на основе GaAs с однородным и дельта (δ)-легированием изовалентными примесями Sb и P, выращенных при 200°C методом LT-МЛЭ. Цель сложного профиля легирования заключалась в подавлении взаимодиффузии в катионной подрешетке и сохранении резких экситонных особенностей при отжиге.

Ширина квантовых ям составляла 11.7 нм. δ -легирование фосфором осуществлялось на интерфейсах GaAs-AlGaAs. δ -слои Sb были выращены в середине КЯ и в барьерах на расстоянии 10 нм от интерфейсов. Постоянное легирование фосфором ям GaAs и барьеров AlGaAs было около 2.5 ат.%. Термообработка наноструктуры осуществлялась в диапазоне температур 400-750°C.

Электронно-микроскопические исследования на просвет показали высокое кристаллическое качество интерфейсов и их устойчивость к отжигам вплоть до температуры 600°C. При этом в КЯ формировались нановключения AsSbP, согласованные с матрицей по объему ячейки кристаллической решетки. Отжиг при 750°C, сохраняя достаточно резкие интерфейсы, вызывал флуктуации тощины ямы в локальных областях, прилегающих к формирующимся нановключениям.

Оптическое электроотражение (ЭО) от КЯ LT-GaAsP(δ -Sb, δ -P) выявило систему узких спектральных особенностей экситонов в КЯ (рис. 1). Энергетическое положение и ширина экситонных пиков не изменяется при отжиге до 600°C. При температуре отжига 750°C наблюдается уширение экситонных пиков, однако их энергетическое положение почти не меняется. Совместное решение уравнения Шредингера для энергий экситонов в КЯ и уравнения диффузии позволило оценить эффективный коэффициент взаимодиффузии на интерфейсе при 750°C, который оказался примерно на три порядка меньше значений для стандартных нестехиометрических КЯ LT-GaAs/AlGaAs.

Рис.1.

Электроотражение от КЯ LT-GaAsP(δ -Sb, δ -P) после отжигов при различных температурах.

[1] А.А.Пастор, У.В.Прохорова и др., ФТП, 47,1144 (2013).

[2] R.Geursen, I.Lahiri, et. al., Phys. Rev. B, 60, 10 926(1999).