Усиление фотолюминесценции в комбинированных структурах с Ge/Si квантовыми точками

Зиновьев В.А.¹, Зиновьева А.Ф.¹, Ненашев А. В.¹, Двуреченский А.В.¹,
Бородавченко О.М.², Живулько В.Д.², Мудрый В.А.²

¹ ИФП СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 13

² НППЦ НАН Беларуси по материаловедению, 220072 Минск, Беларусь

DOI 10.34077/Semicond2019-267

В настоящее время многие исследовательские группы в мире занимаются поиском возможных путей создания светоизлучательных приборов на основе кремния. Одним из возможных решений является использование структур с квантовыми точками (КТ) Ge в Si, где из-за пространственного квантования снимается запрет на прямые оптические переходы в k-пространстве. Однако, данный тип КТ относится к гетероструктурам II типа, где электрон и дырка локализируются по разные стороны от гетерограницы, что приводит к малой вероятности излучательной рекомбинации. Недавно были получены результаты [1] по многократному усилению интенсивности фотолюминесценции (ФЛ) на двойных КТ за счет локализации электронов в Δ -долинах, ориентированных в k-пространстве перпендикулярно направлению роста [001] (Δ_{xy} -долинах). Однако, эффект был получен при температуре жидкого гелия, что затрудняет практическое применение данного результата. В данной работе разработаны комбинированные структуры с КТ, позволяющие поднять температуру наблюдения ФЛ до комнатной. Структуры представляют собой комбинацию из одного слоя больших (~200 нм) дискообразных КТ (нанодисков) и 4-х слоев групп КТ меньшего размера (~30 нм), выращенных на расстоянии 35 нм от слоя нанодисков. Данные структуры позволяют реализовать локализацию электронов в Δ_{xy} -долинах и получить многократное усиление сигнала ФЛ за счет увеличения интеграла перекрытия между волновыми функциями электрона и дырки. Были проведены сравнительные эксперименты на структурах с локализацией электронов в разных Δ -долинах и получено, что в структурах с преимущественной локализацией в Δ_{xy} -долинах (образец R907 на рис. 1) интегральная интенсивность ФЛ в несколько раз превышает отклик от структур с одновременной локализацией электронов в разных Δ -долинах (образец R937 на рис. 1). Для подтверждения увеличения интеграла перекрытия в структуре R907, были проведены исследования методом ЭПР. На структуре R907 в экспериментах с подсветкой получено увеличение ширины ЭПР-линии с $\Delta H=1.2$ Гс (темновое значение) до $\Delta H=1.5$ Гс. На структуре R937 увеличения ΔH не наблюдалось. Полученный результат свидетельствует о большей вероятности проникновения электронов в Ge области, в структуре с преимущественной локализацией электронов в Δ_{xy} -долинах.

Рис.1. – Спектры фотолюминесценции, полученные при 78 К для структур с 4-мя слоями групп GeSi КТ с различными толщинами Si спейсера: $d=3$ нм (R907) и $d=3, 5, 3$ нм (R937).

наблюдения ФЛ до комнатной. Структуры представляют собой комбинацию из одного слоя больших (~200 нм) дискообразных КТ (нанодисков) и 4-х слоев групп КТ меньшего размера (~30 нм), выращенных на расстоянии 35 нм от слоя нанодисков. Данные структуры позволяют реализовать локализацию электронов в Δ_{xy} -долинах и получить многократное усиление сигнала ФЛ за счет увеличения интеграла перекрытия между волновыми функциями электрона и дырки. Были проведены сравнительные эксперименты на структурах с локализацией электронов в разных Δ -долинах и получено, что в структурах с преимущественной локализацией в Δ_{xy} -долинах (образец R907 на рис. 1) интегральная интенсивность ФЛ в несколько раз превышает отклик от структур с одновременной локализацией электронов в разных Δ -долинах (образец R937 на рис. 1). Для подтверждения увеличения интеграла перекрытия в структуре R907, были проведены исследования методом ЭПР. На структуре R907 в экспериментах с подсветкой получено увеличение ширины ЭПР-линии с $\Delta H=1.2$ Гс (темновое значение) до $\Delta H=1.5$ Гс. На структуре R937 увеличения ΔH не наблюдалось. Полученный результат свидетельствует о большей вероятности проникновения электронов в Ge области, в структуре с преимущественной локализацией электронов в Δ_{xy} -долинах.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 16-29-14031 и № 18-52-00014) и Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Ф18Р-038).

[1] А. Ф. Зиновьева и др., Письма в ЖЭТФ 104, 845 (2016).