Структурные и излучательные свойства упорядоченных Ge(Si) квантовых точек, встроенных в фотонные кристаллы

Ж.В. Смагина¹, В.А. Зиновьев¹, Е.Е. Родякина^{1,2}, М.В. Степихова³, А.В. Перетокин^{3,4}, С.А. Рудин¹, С.А. Дьяков⁵, А.В. Новиков³, А.В. Двуреченский^{1,2}

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

² Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2

³ ИФМ РАН, 603087, Нижегородская обл., Кстовский район, д. Афонино, ул. Академическая, д. 7

⁴ НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, ул. Минина, 24

⁵ Центр фотоники и квантовых материалов, Сколковский институт науки и технологий, 143026, Москва, ул. Нобеля, 3.

тел.: +7 (383) 333-2519, факс: +7 (383) 333-2466, эл. почта: smagina@isp.nsc.ru

DOI 10.34077/RCSP2021-76

Квантовые точки (КТ) являются ключевым элементом во многих уникальных приборных приложениях электроники и оптоэлектроники, таких как однофотонные излучатели и детекторы. Для их практической реализации требуется формирование упорядоченных структур с прецизионным расположением КТ в пространстве и контролируемым взаимодействием между носителями заряда, локализованными в соседних КТ. В данной работе представлены результаты по самоорганизации пространственно-упорядоченных Ge(Si) КТ в процессе гетероэпиаксиального роста на структурированной поверхности кремния на изоляторе (SOI) и исследованию люминесцентных свойств упорядоченных КТ, встроенных в двумерные фотонные кристаллы (ФК). Для встраивания КТ в ФК использовались два подхода [1, 2]. В первом подходе на начальном этапе методами электронной литографии и плазмохимического травления на поверхности подложки SOI создавался рисунок, который представлял собой периодическую последовательность ямок глубиной 20-50 нм, в виде квадратных или гексагональных решёток с периодом от 0.5 до 6 мкм. Затем на структурированных подложках SOI методом молекулярно-лучевой эпитаксии проводился рост многослойной Ge/Si структуры с КТ. Были созданы структуры, содержащие 5 слоёв пространственно-упорядоченных Ge(Si) КТ. Зарождение КТ происходило либо внутри ямок, либо снаружи по их периметру в зависимости от геометрических параметров ямок и периода их расположения [1]. На втором этапе полученная структура с массивами пространственно-упорядоченных в плоскости роста КТ встраивались в фотонный кристалл (ФК), представляющий собой гексагональную решётку из отверстий, вытравленных в структуре. На этом этапе задавалось контролируемое совмещение положения КТ относительно отверстий ФК. Параметры ФК выбирались таким образом, чтобы обеспечить усиление сигнала фотolumинесценции (ФЛ) в спектральном диапазоне $1.2 \div 1.55$ мкм. Период ФК варьировался в диапазоне $500 \div 2000$ нм, а диаметр отверстий – в диапазоне $110 \div 200$ нм. Исследования созданных структур с Ge(Si) КТ, встроенных в ФК с помощью первого подхода, продемонстрировали значительный (более чем на порядок) рост интенсивности сигнала ФЛ от КТ, связываемый с взаимодействием их излучения с радиационными модами ФК. Выявлена зависимость излучательных свойств структур от периода упорядочения КТ и параметров ФК.

Во втором подходе одна и та же структурированная SOI подложка использовалась как для организации упорядоченного роста Ge(Si) КТ, так и для создания ФК, в который встраиваются КТ [2]. В зависимости от используемых условий роста и параметров структурированной подложки были созданы структуры с Ge(Si) КТ, находящимися внутри ямок (одиночные КТ) или на их периферии (группы КТ). Обнаружено, что в том случае, когда в процессе роста структуры ямки не зарастают и КТ формируются по их краям, сами ямки играют роль двумерного фотонного кристалла. Об этом свидетельствует появление в спектрах ФЛ серии узких пиков в области излучения GeSi КТ и значительный рост интенсивности сигнала ФЛ за счёт взаимодействия излучения КТ с радиационными модами ФК, образованного ямками. Эффект наблюдается как для квадратной, так и для гексагональной решётки ямок. При этом необходимо отметить, что при зарождении КТ внутри ямок значительного роста интенсивности сигнала ФЛ от КТ не происходит. Работа финансировалась из средств гранта РФФИ №21-72-20184.

Литература

- [1] Ж.В. Смагина, А.В. Новиков, М.В. Степихова и др., ФТП, 54 (8), 708 (2020).
- [2] Ж.В. Смагина, В.А. Зиновьев, Е.Е. Родякина и др., ФТП, 53 (10), 1366 (2019).