Ge/Si структуры с упорядоченными квантовыми точками, встроенными в микрорезонаторы

Ж.В. Смагина¹⁾, В.А. Зиновьев¹⁾, В.А. Армбристер¹⁾, Е.Е. Родякина^{1,2)}, Б.И. Фомин¹⁾,
М.В. Степихова³⁾, А.Н. Яблонский³⁾, А.В. Новиков³⁾, А.В. Двуреченский^{1,2)}

¹⁾ Институт физики полупроводников им. Ржанова СО РАН, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13

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

³⁾ Институт физики микроструктур РАН, Нижегородская обл., д. Афонино, Кстовский район, ул. Академическая, д. 7

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

DOI 10.34077/RCSP2019-74

В настоящее время полупроводниковые источники излучения, в том числе лазеры, создаются на основе прямозонных материалов. Однако существует целый класс задач, для решения которых необходимо реализовать источники излучения на основе непрямозонных полупроводников. Гетероструктуры Ge/Si с квантовыми точками (КТ) рассматриваются сегодня как один из объектов для решения этой задачи. Привлекательностью этих структур является наличие в их спектрах люминесценции сигнала при комнатной температуре в области длин волн 1.3-1.6 мкм. Однако существенным недостатком данного типа светоизлучающих структур является низкая квантовая эффективность. Одним из подходов повышения эффективности излучательной рекомбинации носителей заряда в Ge/Si структурах является встраивание КТ в микрорезонаторы на основе фотонных кристаллов (ФК) [1, 2]. В данной работе рассматриваются следующие возможные способы повышения эффективности источников света на основе КТ: упорядочение взаимного расположения КТ и их встраивание в оптические микрорезонаторы.

Для получения структур с пространственно упорядоченными массивами КТ, встроенными в микрорезонаторы на основе двумерных фотонных кристаллов (ФК), использовались подложки кремний-на-изоляторе (SOI). Создание тестовых образцов проводилось в три этапа. На первом этапе методами электронной литографии и плазмохимического травления были созданы структурированные подложки, представляющие собой периодическую последовательность ямок в виде квадратной решётки с периодом от 0.5 мкм до 6 мкм. На втором этапе методом молекулярно-лучевой эпитаксии на структурированных подложках SOI проведено формирование пространственно упорядоченных массивов КТ и групп КТ. Были созданы два типа упорядоченных структур: 1) одиночные квантовые точки внутри ямок, 2) группы квантовых точек, упорядоченных в кольцо вокруг ямок. На третьем этапе была отработана технология создания и пространственного совмещения микрорезонаторов на базе ФК с упорядоченными массивами GeSi КТ.

Излучательные свойства структур с пространственно-упорядоченными GeSi КТ, встроенными в микрорезонаторы, исследовались методом микро-фотолюминесценции (ФЛ) с высоким пространственным и спектральным разрешением. Обнаружено, что интенсивность люминесцентного отклика возрастает для образцов с ФК по сравнению с интенсивностью от образцов с упорядоченными группами КТ без ФК. Возрастание интенсивности связано с увеличением эффективности вывода излучения из структуры за счет ФК. Яркие выраженные пики ФЛ от КТ наблюдаются в спектральном диапазоне от 0.9 до 1.0 эВ. Показано, что интенсивность сигнала от групп КТ выше, чем от одиночных КТ при одном и том же периоде упорядочения. Обнаружено, что для структур с упорядоченными группами КТ, расположенных с периодом 1 мкм относительно друг друга, наблюдается интенсивный сигнал ФЛ с тонкой структурой из резонансных линий в области свечения GeSi КТ. Для структур с одиночными КТ подобного эффекта не наблюдалось.

Работа финансировалась из средств гранта РФФИ № 16-29-14031 в части создания структур с КТ, встроенными в микрорезонаторы, гранта РФФИ № 18-29-20016-мк в части люминесцентных измерений. Электронно-лучевая литография проводилась на оборудовании ЦКП «Наноструктуры».

Литература

- [1] M. Schatz, F. Hackl, M. Glaser et al. // ACS Photonics, V. 4 (3), 665 (2017).
- [2] M. V. Stepihova, A. V. Novikov, A. N. Yablonskiy et al. // Semicond. Sci. Technol., V. 34, 024003 (2019).