Секция 10. Фотонные кристаллы, микрорезонаторы и метаматериалы. Нанопотоника

Явления усиления излучающих свойств активной среды в фотонных кристаллах и фотонно-кристаллических резонаторах, сформированных на кремниевых структурах с наноструктурами Ge(Si)

Степихова М.В.¹, Яблонский А.Н.¹, Дьяков С.А.², Скороходов Е.В.¹, Шалеев М.В.¹,
Сергеев С.М.¹, Новиков А.В.¹, Гиппиус Н.А.², Красильник З.Ф.¹

¹ ИФМ РАН, 603950, Нижний Новгород, ГСП-105

² Сколковский институт науки и технологий, 143005, Москва, ул. Нобеля, 3

DOI 10.34077/Semicond2019-412

В работе рассмотрены люминесцентные свойства фотонных кристаллов (ФК) и фотонно-кристаллических резонаторов, сформированных на кремниевых структурах с наноструктурами Ge(Si). Интерес к таким структурам обусловлен, прежде всего, перспективами создания на их основе эффективных источников излучения для схем микроэлектроники с оптической обработкой сигнала. В данном случае встраивание активной среды в фотонные кристаллы и фотонно-кристаллические резонаторы предполагает поиск возможностей управления излучающими свойствами среды за счет эффектов взаимодействия с высокодобротными модами низкоразмерных резонаторов и фотонных кристаллов.

Исследованные в работе ФК и ФК-резонаторы формировались методами электронно-лучевой литографии и плазмохимического травления на многослойных структурах SOI/n(Ge QDs – Si). Период решетки ФК (a) варьировался в широких пределах от 350 до 1000 нм, т.е. в диапазоне значений, сравнимых и значительно превышающих длину волны излучения в исследуемом материале. Радиус отверстий (r) определялся соотношением $r/a = 0.2 \div 0.4$. Полученные структуры исследовались методом микро-фотолюминесценции с высоким пространственным (до 2 мкм) и спектральным (> 0.05 см⁻¹) разрешением.

Результаты проведенных исследований показывают, что, в зависимости от параметров ФК, в таких структурах возможно наблюдение явлений усиления сигнала ФЛ наноструктур Ge(Si) на высокодобротных модах ФК-резонатора и собственных модах ФК, где под собственными модами ФК подразумеваются моды, локализованные в Γ точке зоны Бриллюэна [1]. Усиление сигнала ФЛ на модах ФК-резонатора наблюдалось в резонаторах с периодом решетки ФК, не превышающим 500 нм, и имело место при условии прецизионной фокусировки возбуждающего лазерного луча в области резонатора. В ФК и резонаторах с периодом решетки, превышающим 500 нм, усиление сигнала ФЛ не зависело от области возбуждения и связано с явлениями взаимодействия оптически активной среды с собственными модами ФК. В обоих случаях имело место значительное, более чем на порядок величины, усиление сигнала ФЛ наноструктур Ge(Si), причем в последнем случае наблюдался, в том числе, и значительный рост интегральной интенсивности сигнала.

Полученные в работе экспериментальные результаты хорошо описываются в рамках теоретических моделей, позволяющих проанализировать зонную структуру исследованных ФК и особенности модового состава ФК резонаторов. Моделирование исследуемых структур проводилось методами матрицы рассеяния и конечных элементов (FEM) с использованием программного пакета COMSOL Multiphysics.

Работа поддержана РФФИ (проект #18-42-520047-р_а) и частично финансируется программой фундаментальных исследований Президиума РАН «Наноструктуры: физика, химия, биология, основы технологий».

[1] M.V. Stepikhova et al., *Semicond. Sci. Techn.* **34**, 024003 (2019).