Вклад процессов взаимодействия активной среды с собственными модами фотонного кристалла в люминесцентный отклик кремниевых структур с самоформирующимися наноостровками Ge(Si)

Степихова М.В.¹, Яблонский А.Н.¹, Дьяков С.А.², Ермаков О.Е.³, Скороходов Е.В.¹,
Шалеев М.В.¹, Сергеев С.М.¹, Шенгуров Д.В.¹, Гиппиус Н.А.², Богданов А.А.³,
Новиков А.В.¹, Красильник З.Ф.¹

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

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

³ Университет ИТМО, 199034, Санкт-Петербург, Биржевая линия В.О., 14

DOI 10.34077/Semicond2019-396

В последнее время значительный интерес исследователей привлекают возможности контролируемого управления свойствами полупроводниковых материалов в низкоразмерных фотонных структурах [1], где большое внимание уделяется фотонным кристаллам (ФК) и низкоразмерным ФК резонаторам, позволяющим контролируемым образом изменять излучающие свойства полупроводников [2,3]. В этой работе рассмотрены особенности люминесцентных процессов, наблюдаемых в фотонных кристаллах, сформированных на кремниевых структурах с наноостровками Ge(Si), излучающих в диапазоне длин волн 1.2 – 1.6 мкм. Рассматриваемые структуры представляют интерес с точки зрения возможностей создания на их основе эффективных источников излучения для схем кремниевой нанопотоники.

Фотонные кристаллы с периодом решетки (a) от 350 до 1000 нм формировались методами электронно-лучевой литографии и плазмохимического травления на многослойных структурах, с 5-ю слоями наноостровков Ge(Si), выращенных на подложках SOI. Фактор заполнения ФК определялся соотношением радиуса отверстий (r) к периоду решетки $r/a = 0.2 \div 0.4$. Экспериментальные исследования полученных структур выполнялись методом микро-ФЛ в стандартной геометрии нормального падения возбуждающего и детектируемого лучей, получены результаты исследований диаграмм направленности излучения ФК со сканированием по углам в выделенных Г-М и Г-К направлениях зоны Бриллюэна ФК, исследованы поляризационные особенности излучения ФК.

В рамках проведенных исследований показано, что при значительных периодах решетки ФК (более 500 нм) в исследованных структурах имеет место усиление (вплоть до двух порядков величины) сигнала ФЛ наноостровков Ge(Si) на собственных модах ФК, локализованных в Г точке зоны Бриллюэна. Полученные результаты теоретических исследований показывают, что в исследуемых структурах имеют место явления усиления сигнала ФЛ на радиационных модах ФК и связанных состояниях в континууме (bound states in the continuum [4]). В последнем случае наблюдаемые резонансные спектры сигнала ФЛ характеризуются предельно тонкой структурой линий, добротность которых превышает 10^3 . Особенности излучающих свойств ФК в условиях взаимодействия активной среды с радиационными модами ФК и связанными состояниями в континууме прослеживаются в исследованных диаграммах направленности излучения ФК, отражающих особенности модовой структуры ФК в зоне Бриллюэна.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-72-10011).

[1] I. Staude, J. Schilling, *Nature Photon.*, **11**, 274 (2017).

[2] S. Wu, et al., *Adv. Mater.*, **30**, 1803362 (2018).

[3] S. Noda, M. Fujita, T. Asano, *Nature Photon.*, **1**, 449 (2007).

[4] C.W. Hsu, et al. *Nat. Rev. Mater.*, **1**, 1 (2016).