Проявления связанных состояний в континууме в люминесцентном отклике наноостровков Ge(Si) в двумерных фотонных кристаллах

М.В. Степихова¹, С.А. Дьяков², А.Н. Яблонский¹, А.В. Перетокин¹, Д.В. Юрасов¹, М.В. Шалеев¹,
Н.А. Гиппиус², А.В. Новиков¹, З.Ф. Красильник¹

¹ Институт физики микроструктур РАН, д. Афонинo, Кстовский р-он, Нижегородская обл., Россия
603087, у. Академическая, д. 7

² СПб ПГУ, Санкт-Петербург, 195251, Политехническая 29

тел: +7 (831) 417-9482, факс: +7 (831) 417-9464, эл. почта: mst@ipm.sci-nnov.ru

DOI 10.34077/R CSP2021-81

В работе приводятся результаты экспериментальных исследований двумерных фотонных кристаллов (ФК), сформированных на кремниевых структурах с самоформирующимися наноостровками Ge(Si). Интерес к таким структурам вызван, прежде всего, их излучательной способностью в диапазоне длин волн 1.2-1.6 мкм и возможностями интегрирования в схемы современной микроэлектроники. В работе рассмотрены особенности процессов взаимодействия излучающей среды (наноостровков Ge(Si)) с модами ФК, в частности, так называемыми связанными состояниями в континууме (bound states in the continuum - BIC), вносящими преимущественный вклад в усиление люминесцентного отклика наноостровков.

Исследованы двумерные фотонные кристаллы с гексагональной решеткой отверстий. Период решетки ФК (a) варьировался в диапазоне от 525 до 1000 нм, соотношение радиуса отверстий (r) к периоду $r/a = 0.25 - 0.3$. Фотонные кристаллы формировались на кремниевой структуре, выращенной на подложке SOI, содержащей 5 слоев наноостровков Ge(Si). Суммарная толщина структуры над слоем окисла не превышала 250 нм. Для формирования ФК в работе использовались методики электронно-лучевой литографии и плазмохимического травления. Излучающие свойства полученных структур анализировались методами микрофотолюминесценции в стандартной геометрии нормального падения возбуждающего и детектируемого лучей, и в геометрии измерений диаграммы направленности, позволяющей анализировать зонную структуру ФК вблизи Γ точки зоны Бриллюэна (рис. 1).

Показано, что в исследованных фотонно-кристаллических структурах возможно достижение значительного увеличения люминесцентного отклика наноостровков Ge(Si) за счет эффектов резонансного взаимодействия излучающей среды с модами ФК и связанными состояниями в континууме. Последние характеризуются серией предельно узких линий в спектрах ФЛ, значения добротности которых превышают $2 \cdot 10^3$. Прослежена взаимосвязь особенностей, наблюдаемых в спектрах ФЛ, с параметрами решетки и зонной структурой ФК. Показано, что явления резонансного взаимодействия излучающей среды со связанными состояниями в континууме играют преимущественную роль в усилении сигнала ФЛ наноостровков Ge(Si), приводя к росту интенсивности сигнала более чем на два порядка величины.

Работа финансируется из средств РФФИ (проект #18-42-520047p_a) и РНФ (проект #19-72-10011) - в части теоретического расчетов.

Рис.1: Люминесцентный отклик ФК, измеренный в стандартной геометрии микро-ФЛ и в геометрии диаграммы направленности. На вставке приведена теоретически рассчитанная зонная структура исследованного ФК, где буквенные обозначения соответствуют выделенным модам, проанализированным в соответствии с теорией групп. Период решетки ФК $a=750$ нм, соотношение $r/a=0.3$.