Резонансы Ми и коллективные явления в спектрах фотолюминесценции одиночных резонаторов и их цепочек, сформированных на кремниевых структурах с наноостровками Ge(Si)

М.В. Степихова¹, К.В. Барышникова², М.И. Петров², V. Rutskaia³, А.В. Перетокин¹, А.Н. Яблонский¹, А.В. Новиков¹, J. Schilling³, З.Ф. Красильник¹

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

² Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия 199034, Биржевая линия В.О., д. 14

³ Martin-Luther-University Halle-Wittenberg, Halle (Saale), Germany 06120, Karl-Freiherr-von-Fritsch-Str., 3

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

DOI 10.34077/RCSP2021-79

В работе обсуждаются резонансные явления, наблюдаемые в спектрах фотолюминесценции (ФЛ) одиночных Ми резонаторов и их цепочек, сформированных на кремниевых структурах с наноостровками Ge(Si). Интерес к таким структурам обусловлен, прежде всего, возможностями создания на их основе эффективных источников излучения, совместимых с технологией СБИС. Идея развития низкоразмерных резонаторов, в данном случае, связана с перспективами управления процессами взаимодействия излучения с активной средой и, как следствие, оптическими и излучательными свойствами кремниевых материалов.

Рис. 1. Спектры фотолюминесценции цепочки Ми резонаторов и исходной структуры с наноостровками Ge(Si). На рисунке приведен спектр цепочки, представленной 11-ю резонаторами с диаметром 380 нм, расстояние между резонаторами – 50 нм. СЭМ снимок такой цепочки показан на вставке.

рesonаторов добротность линий ФЛ возрастала пропорционально N^3 , где N – число резонаторов в цепочке, и достигала значений $Q \sim 2 \cdot 10^3$. Интересно, что коллективные явления наблюдались лишь в цепочках резонаторов с диаметрами менее 460 нм, т.е. резонаторов, вклад в люминесцентный отклик которых вносят основные моды. Другим проявлением коллективных резонансов является значительный рост сигнала ФЛ, который на выделенной длине волны резонанса оказывался сравнимым и даже превышал сигнал ФЛ, измеряемый в исходной, непротессированной области образца (Рис.1). Последнее объясняется эффектом Парселла. Как показывают результаты теоретических расчетов, фактор Парселла в таких структурах может превышать порядок величины.

Работа поддержана РФФИ (проект 20-52-12062 ННИО_а).

Рассмотрены одиночные Ми резонаторы с диаметрами 340 – 500 нм, и их цепочки с числом резонаторов в цепочке, варьируемым от 2 до 11. Исследуемые резонаторы формировались на кремниевой структуре с 10-ю вертикально упорядоченными слоями наноостровков Ge(Si), выращенной на подложке SOI. Для формирования резонаторов использовались технологии электронно-лучевой литографии и реактивного ионного травления в индуктивно-связанной плазме. Излучающие свойства полученных резонаторов исследовались методом микро-ФЛ с высоким пространственным и спектральным разрешением. В рамках проведенных исследований выявлены особенности люминесцентных откликов одиночных резонаторов и их взаимосвязь с параметрами резонатора. В спектрах ФЛ цепочек резонаторов обнаружены проявления коллективных резонансов, связываемых с тонкой структурой линий, положение которых непосредственно зависит от диаметра резонаторов, а добротность – от их числа. В исследованных цепочках