

Влияние внедрения золотых плазмонных наночастиц на параметры генерации мод шепчущих галерей в микрорезонаторах с активной средой.

Самофалов Г.А. (ИТМО), Хныкина К.А. (ИТМО)

Научный руководитель – к.ф.-м.н., зав. лаб. Богданов

К.В.¹(ИТМО)

Введение. Оптические активные микрорезонаторы с модами шепчущей галереи (МШГ) представляют собой перспективные композитные структуры для создания высокочувствительных сенсоров, микролазеров с низким порогом возбуждения и антиконтрафактных меток [1]. Резонаторы на базе МШГ за счёт многократного внутреннего отражения модулируют оптические сигналы высокой интенсивности и добротности с уникальным оптическим откликом. Одним из перспективных направлений в развитии таких структур за счёт улучшения спектральных характеристик МШГ является внедрение плазмонных наночастиц, которые усиливают электромагнитное поле за счет локализованного поверхностного плазмонного резонанса. Ранее были получены сферы только с квантовыми точками, что позволило продемонстрировать наличие мод шепчущей галереи в исследуемых в настоящей работе структурах [1]. Также были изучены сферы с золотыми наночастицами в качестве агента гигантского комбинационного рассеяния (ГКР) [2]. Таким образом, работа МШГ и плазмонного усиления была подтверждена по отдельности. Золотые плазмонные наночастицы (ЗПН), используемые в данной работе, обладают размером от 20 нм, что может влиять на параметры сферичности микросфер, используемых в качестве базы резонатора. Изменение сферичности может приводить к значительным потерям усиления, поэтому важно продемонстрировать возможность получения резонансных состояний на микросферах с активным слоем из квантовых точек состава AgInS_2 и ЗПН на поверхности. Основная гипотеза заключается в том, что существует конфигурация архитектуры, при которой добавление ЗПН может усилить амплитуды резонансных частот, добротность и чувствительность микрорезонаторов. Однако в исследуемой конфигурации их близкое расположение к активному слою может привести к ухудшению параметров МШГ, а целью работы является проверка условий, при которых возможно появление МШГ в присутствии ЗПН.

Основная часть. Для создания микрорезонаторов использовался метод электростатического осаждения, который позволяет создавать многослойные структуры с контролируемой толщиной и последовательностью слоев. В качестве основы использовались полимерные микросферы размером ~ 3 мкм, на которые послойно наносились квантовые точки (КТ) с максимумом люминесценции на 650 нм и ЗПН с размером 20 и 40 нм. С целью изучения влияния взаимодействия между КТ и ЗПН в активном слое микрорезонатора был создан образец с нанесением смеси растворов. Кроме того, были созданы образцы с последовательным нанесением слоев в двух вариациях: в первом случае сначала наносился слой квантовых точек, а затем слой ЗПН, а во втором случае последовательность была обратной — сначала слой ЗПН, а затем слой КТ.

Для контроля процесса нанесения наноструктур и оценки стабильности коллоидных систем проводился анализ дзета-потенциала с использованием прибора Nano-ZS (Malvern, Великобритания). Успешными считались образцы, у которых наблюдалось изменение знака дзета-потенциала с положительного на отрицательный после нанесения ЗПН и КТ, что свидетельствовало о корректном формировании структуры. Для анализа спектральных характеристик и резонансных частот образцов использовалась микро-рамановская спектроскопия с использованием спектрометра inVia (Renishaw, Великобритания). Были

зарегистрированы узкие резонансные линии в исследуемых структурах на спектрах высокого разрешения.

Продemonстрировано, что при совместном нанесении квантовых точек и ЗПН в одном слое наблюдались резонансы МШГ. Такая конфигурация сборки активной среды приводит к усилению как люминесцентного фона КТ, так и к усилению резонансных мод микрорезонатора. Сравнительный анализ показал, что микрорезонаторы с квантовыми точками и ЗПН демонстрируют интенсивность фоновой люминесценции в ~5 раз большую чем при нанесении раствора квантовых точек

Выводы. По результатам исследования были получены следующие выводы:

1. Добавление ЗПН в структуру микрорезонаторов с модами шепчущей галереи может приводить к ухудшению сферичности микросфер, однако частицы размером до 40 нм не приводят к созданию значительной шероховатости влияющей на параметры генерации.
2. Взаимное расположение ЗПН и КТ при создании микрорезонаторов при использовании смеси растворов приводит к расположению КТ в горячих точках массивов ЗПН и соответственно к усилению люминесцентного фона и параметров генерации МШГ.

Список использованных источников:

1. Tkach A. P., Miropoltsev M. A., Kundelev E. V., Sokolova A. V., Khorkina S. A., Rogach A. L., Bogdanov K. V. The Impact of the Gain Medium Properties and the Resonator Morphology on the Whispering Gallery Mode Spectrum of Polystyrene Microspheres Coated with AgInS₂/ZnS Quantum Dots // Optics and Laser Technology. – 2024. – V. 179. – P. 111359.
2. М. А. Миropoltsev, А. Р. Tkach, К. А. Maleeva, К. В. Bogdanov. Fabrication of SERS-active structures via electrostatic deposition of colloidal gold nanoparticles on polymer microspheres // St. Petersburg Polytechnic University Journal. Physics and Mathematics. – 2022. – V. 15. – №. S3. 3. – P. 182-187.

Автор _____ Самофалов Г.А.

Научный руководитель _____ Богданов К.В.