

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕДРЕНИЯ ЗОЛОТЫХ НАНОЧАСТИЦ В АКТИВНУЮ СРЕДУ МИКРОРЕЗОНАТОРА НА ПАРАМЕТРЫ МОД ШЕПУЧЩЕЙ ГАЛЕРЕИ

Г.А. Самофалов¹,

Научный руководитель: зав. лаб., к.ф-м.н. К.В. Богданов.

¹*Международный научно-образовательный центр физики наноструктур.
Университет ИТМО, Санкт-Петербург*

Оптические микрорезонаторы на базе мод шепчущей галереи (МШГ) представляют собой перспективные структуры для создания высокочувствительных биосенсоров, микролазеров с низким порогом возбуждения и антиконтрафактных меток [1]. Резонаторы на базе МШГ с активной люминесцентной средой за счёт многократного внутреннего отражения модулируют оптические сигналы высокой интенсивности и добротности с уникальным усиленным оптическим откликом. Одним из перспективных направлений улучшения спектральных характеристик МШГ является создание композитных активных сред с внедрением золотых наночастиц, которые за счёт поверхностного плазмонного резонанса создают локальное усиление электромагнитного поля. Данный подход применим для усиления интенсивностей резонансных состояний, однако требует оптимизации пространственного расположения компонентов структуры.

Были изучены различные варианты модификации поверхности полимерных микросфер (ПМС) диаметром ~5 мкм для определения наиболее подходящего способа создания активного слоя без использования золотых плазмонных наночастиц (ЗПН), после чего наиболее эффективные из них были выбраны для создания гибридных структур. Использовались различные способы функционализации поверхности ПМС квантовыми точками (КТ) AIS [2, 3]: метод прямой сорбции наночастиц в поры полимера, с использованием силанизатора АРТЕS и электростатическое осаждение при помощи полиэлектролита РАН. В дальнейшей работе была создана композитная активная среда, с добавлением ЗПН. Проводилось сравнение различных по синтезу и размеру ЗПН: частицы диаметром ~20 нм, восстановленные цитратом; частицы с оболочкой из бромида цетилтриметиламмония диаметром ~30 нм; а также частицы диаметром ~40 нм, полученные при восстановлении аскорбиновой кислотой (Au-AA). После чего была исследована зависимость спектральных характеристик МШГ микрорезонаторов от архитектуры. Рассматривались различные конфигурации взаимного расположения активного и плазмонного слоев. При этом в качестве пространственного разделителя КТ и ЗПН выступали слои РАН или АРТЕS. Установлено, что для структур на основе КТ использование слоя РАН обеспечивает минимальный разброс интенсивностей мод. При этом применение АРТЕS также позволяет достичь усиления отклика, однако данный метод приводит к значительному загрязнению образцов и значительному слипанию микрорезонаторов. Сравнительный анализ массивов спектральных данных для каждого типа образцов показал, что наибольшее усиление интенсивности резонансных состояний (до 5 раз) достигается при использовании частиц Au-AA. Эффект объясняется перераспределением путей релаксации энергии в гибридной системе: золото селективно подавляет нерезонансные каналы излучения, одновременно повышая относительный вклад резонансного излучения, связанного с МШГ. Это приводит к визуально наблюдаемому росту контраста и интенсивности мод на фоне общего снижения нерезонансной фотолюминесценции [4], однако этот эффект негативно сказывается на добротности резонатора. Исследование влияния последовательности нанесения слоев показало, что расположение ЗПН поверх слоя КТ максимизирует отношение сигнал-шум

за счёт рассеяния, в то время как размещение ЗПН непосредственно на поверхности резонатора под активным слоем обеспечивает лучшее сохранение добротности.

Таким образом, результаты данного исследования подтверждают эффективность создания гибридных активных сред для микрорезонаторов на базе МШГ. Использование различных конфигураций архитектуры позволяет получать структуры с различными спектральными характеристиками, варьируя баланс между усилением интенсивности резонансных мод и сохранением высокой добротности.

Эта работа была поддержана Российским научным фондом (соглашение 23-72-10010)

1. Niu B. et al. An all-optical tunable polymer WGM laser pumped by a laser diode //Nanoscale Advances. – 2022. – Т. 4. – №. 9. – С. 2153-2158.
2. Raevskaya A. et al. A fine size selection of brightly luminescent water-soluble Ag–In–S and Ag–In–S/ZnS quantum dots //The Journal of Physical Chemistry C. – 2017. – Т. 121. – №. 16. – С. 9032-9042.
3. Tkach A. P. et al. 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 & Laser Technology. – 2024. – Т. 179. – С. 111359.
4. Olszyna M. et al. Label-Free Bioanalysis Based on Low-Q Whispering Gallery Modes: Rapid Preparation of Microsensors by Means of Layer-by-Layer Technology //Advanced Functional Materials. – 2019. – Т. 29. – №. 2. – С. 1805998.