

УДК 535.016

**ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНЫХ СФЕРИЧЕСКИХ МИКРОРЕЗОНАТОРОВ С  
МОДАМИ ШЕПЧУЩЕЙ ГАЛЕРЕИ НА ОСНОВЕ ТРОЙНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК  
AgInS<sub>2</sub>**

**Ткач А.П.** (Университет ИТМО), **Мирополюцев М.А.** (Университет ИТМО), **Малеева К.А.**  
(Университет ИТМО)

**Научный руководитель – к.ф.-м.н., ст. науч. сотр. Богданов К.В.**  
(Университет ИТМО)

**Введение.** На сегодняшний момент оптические микрорезонаторы широко применяются в таких отраслях, как фотоника, робототехника и биотехнологии и др. [1,2] Одним из наиболее перспективных типов резонаторов являются резонаторы на базе МШГ, т.е. удерживающих в своем объеме электромагнитную волну путем ее полного внутреннего отражения от замкнутой вогнутой поверхности тела вращения. Множественное переотражение света в полости резонатора приводит к конструктивной интерференции и оптическому резонансу. Такая структура является чрезвычайно чувствительной к внешним воздействиям. Резонаторы с МШГ делят на два больших класса: пассивные и активные [3]. Активные резонаторы способны возбуждаться дистанционно, что является значительным преимуществом по сравнению с пассивными резонаторами, которые требуют подведения возбуждающего излучения на очень близкое расстояние под определенным углом. Однако, применение активных микрорезонаторов затруднено на практике по ряду проблем, связанных с низкой чувствительностью сенсоров, временной нестабильностью (при использовании органических красителей) и токсичностью (при использовании квантовых точек или нанокристаллов с кадмием и свинцом).

**Основная часть.** В данной работе была разработана и изучена архитектура активного сферического микрорезонатора с МШГ, где в качестве активной среды используются низкотоксичные квантовые точки AIS. Особенности используемых КТ являются биосовместимостью, т.к. они не содержат токсичных ионов, а также обладают уникальными фотолюминесцентными (ФЛ) свойствами [4]. Полосы излучения тройных КТ имеют ширину на полувысоте порядка 150-200 нм, длительные время затухания ФЛ (> 1 мкс) и относительно высокий квантовый выход ФЛ (>40%). Разделяя полученные ансамбли КТ на фракции по размерам и меняя состав, можно управлять положением максимума ФЛ в диапазоне от 500 до 800 нм, что позволяет достигать генерации МШГ в различных спектральных диапазонах. Используемый метод при получении микрорезонаторов является методом электростатического послойного нанесения (layer-by-layer deposition). Данный подход является довольно простым и удобным, поскольку он позволяет формировать плотные слои наночастиц с высокой воспроизводимостью без использования сложных методик химического синтеза. В этом методе противоположно заряженные полиэлектролиты осаждаются на поверхности микросферы для получения гладкого заряженного покрытия, которое электростатически притягивает наночастицы из раствора. Чтобы возбудить генерацию МШГ и обеспечить дистанционное возбуждение, в полимерные микросферы встраиваются квантовые точки по указанному выше методу, которые служат локальными источниками света. Полученные спектры исследуемых структур демонстрируют генерацию МШГ с отчетливо выраженными множественными парами поперечных магнитных (ТМ) и поперечных электрических (ТЕ) мод.

Расчитанная добротность исследуемого микрорезонатора составляет  $\sim 10^3$ . Данное значение добротности сопоставимо по порядку со значениями добротности похожих резонаторов, что указывает на сохранение параметров сборки при переходе на новые материалы с улучшенными свойствами. Проведён анализ отдельных генерируемых мод в спектрах МШГ при разложении их на составляющие компоненты. Также было показано, профили интенсивности пиков МШГ повторяет огибающую ФЛ КТ в растворе, при этом максимумы МШГ остаются неизменными по всей микросфере.

**Выводы.** Было продемонстрировано, что встроенный слой КТ AIS в полимерные микросферы может быть использован как активный слой для реализации возможности генерации МШГ. Полученные результаты могут быть полезны для других подходов реализации МШГ с низкой добротностью, включающих покрытие с высоким коэффициентом преломления с целью повышения чувствительности к внешнему показателю преломления.

#### **Список использованных источников:**

1. Gökyay U.S., Zakwan M., Serpengüzel A. Spherical silicon optical resonators: Possible applications to biosensing // *European Physical Journal: Special Topics*. Springer Verlag, 2014. Vol. 223, № 10. P. 2003–2008.
2. Toropov N. et al. Review of biosensing with whispering-gallery mode lasers // *Light: Science and Applications*. Springer Nature, 2021. Vol. 10, № 1.
3. Chiasera A. et al. Spherical whispering-gallery-mode microresonators // *Laser and Photonics Reviews*. Wiley-VCH Verlag, 2010. Vol. 4, № 3. P. 457–482.
4. Raevskaya A. et al. A Fine Size Selection of Brightly Luminescent Water-Soluble Ag-In-S and Ag-In-S/ZnS Quantum Dots // *Journal of Physical Chemistry C*. 2017. Vol. 121, № 16. P. 9032–9042.