

УДК 535

## АНТИ-КОНТРАФАКТНЫЕ МЕТКИ НА БАЗЕ МИКРОРЕЗОНАТОРОВ С МОДАМИ ШЕПЧУЩЕЙ ГАЛЕРЕИ

Стрелкова К.В. (ИТМО), Ткач А.П. (ИТМО)

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, Богданов К.В. (ИТМО)

**Введение.** В настоящее время контрафактная продукция неизбежно преследует многочисленные отрасли производства, развиваясь также стремительно, как и способы борьбы с ней. В рамках борьбы с такой продукцией становится необходимым улучшать способы защиты и маркировки оригинальных товаров, создавая новые методы идентификации. На данный момент существуют такие методы как защитные голограммы, RFID-метки и штрих-коды, такие методы имеют большой размер, слабую степень защиты и подвержены копированию, поэтому предназначены в основном для массового рынка. В данной работе предложен новый метод создания уникальных микрометровых меток-идентификаторов на основе физически неклонировуемых функций. Такие метки уходят от возможности копирования благодаря зависимости оптического отклика от физических характеристик микрорезонаторов с модами шепчущей галереи, внедрённых в такую метку.

**Основная часть.** В данной работе продемонстрированы защитные метки с использованием эффекта мод шепчущей галереи (МШГ) на базе полистирольных микросфер с поверхностной активной средой из квантовых точек (КТ)  $\text{AgInS}_2/\text{ZnS}$  [1]. Благодаря случайным вариациям геометрии и размера микросфер единого синтеза формируются уникальные спектральные отклики, обеспечивающие надежную защиту. При этом контролируемыми параметрами являются средний размер микросфер и максимум интенсивности полосы люминесценции ансамбля КТ, тогда как точные позиции и добротность резонансов МШГ определяются неконтролируемыми физическими факторами. Уникальная природа резонансов МШГ связана с различными вариациями параметров микросфер полученных при едином синтезе, такими как отклонение от среднего размера и сферичности. [2,3] Таким образом, контроль среднего размера микросфер и положения максимума люминесценции КТ, совместно с неконтролируемыми параметрами размера и сферичности, влияющих на резонансную составляющую, позволяет получать метки совмещающие функции маркировки и одновременно обладающие высокой степенью защиты.

В исследуемой системе реализованы четыре варианта резонаторов, параметры которых зависят от размеров микросферы ( $\sim 3$  и  $4$  мкм) и спектральных полос люминесценции КТ с максимумами на 560 и 620 нм (зеленый и оранжевый). Такой синтез позволяет формировать мультипараметрические метки, где резонансные частоты кодируют положение, а ширина резонанса определяет толщину штриха в коде. Неконтролируемое нанесение резонаторов формирует двумерный массив, а введение пространственно-координатной оси обеспечивает не только механизм шифрования, но и возможность эффективного отслеживания каждого резонатора на подложке. Таким образом, полученная система практически невозпроизводима из-за зависимости индивидуальных спектральных параметров от вариаций геометрии и размеров микросфер единого синтеза.

Дополнительно, расширение отслеживаемых характеристик, таких как область свободной дисперсии, расщепление мод, добротность, соотношение интенсивностей мод, поляризационные зависимости и ширина резонансных линий, позволит в будущем повысить уровень обеспечиваемой безопасности. Совокупность контролируемых и случайных параметров создает идеальные условия для формирования устойчивых к подделке оптических меток. Предложенная технология на основе микрорезонаторов с эффектом МШГ открывает новые перспективы развития надежных идентификаторов и может быть применена для надёжной защиты маломерными кодами объектов от подделок и обеспечения безопасной аутентификации.

**Выводы.** Представлена новая система оптически контролируемых физически неклонированных функций на основе случайно распределённых по поверхности микрорезонаторов МШГ, сформированных из микросфер, покрытых квантовыми точками AgInS<sub>2</sub>/ZnS. На примере варьирования параметров среднего размера микросферы и максимума полосы люминесценции КТ AIS продемонстрирована возможность мультипараметрической маркировки, в сочетании с защитными функциями. Возможность контроля отдельных параметров в сочетании со случайными факторами позволяет создавать маломерные метки размером от ~100 мкм, устойчивые к подделке. Данная технология открывает перспективы для применения в области анти-контрафакции и защиты товаров различного назначения, обеспечивая при этом надёжную идентификацию продукции. Перспективы дальнейшего развития технологии обусловлены большим количеством контролируемых параметров, применимых как для контроля, так и для маркировки, а также возможностью выстраивания контролируемо-заданных паттернов с использованием МШГ микрорезонаторов.

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

1. 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 AgInS<sub>2</sub>/ZnS Quantum Dots // Optics & Laser Technology. – 2024. – V. 179. – P.
2. Rakovich Y. P. et al. Whispering gallery mode emission from a composite system of CdTe nanocrystals and a spherical microcavity // Semiconductor science and technology. – 2003. – V. 18. – №. 11. – P. 914.
3. Lin Z. H. et al. Impact of plasmonic and dielectric substrates on the whispering-gallery modes in self-assembled fluorescent semiconductor polymer microspheres // Nano Letters. – 2023. – V. 23. – №. 14. – P. 6512-6519.