

УДК 535.8

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ОПТИЧЕСКОГО ФИЛЬТРА НА ОСНОВЕ КАСКАДА МИКРОКОЛЬЦЕВЫХ РЕЗОНАТОРОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧА НА БОКОВЫХ ЧАСТОТАХ

Гончаров Ф.М. (ИТМО), Ефимов А.Е. (ИТМО)

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук Киселев Ф.Д. (ИТМО)

Введение. Квантовое распределение ключа (КРК) на боковых частотах (БЧ) является перспективным направлением развития квантовых коммуникаций [1]. Интеграция КРК в фотонно-интегральные схемы (ФИС) открывает новые перспективы для телекоммуникаций, поскольку ФИС миниатюрны, стабильны и могут быть масштабированы [2]. Однако реализация КРК на ФИС требует решения задачи переноса волоконных компонентов на чип. В частности, ключевой проблемой для КРК БЧ является отсутствие интегрального фильтра с узкой полосой и высокой глубиной фильтрации. В рамках данной работы приводится моделирование интегрального фильтра, основанного на каскаде микрокольцевых резонаторов, в том числе рассматривается влияние неточностей производства и возможности подстройки фильтра микронагревателями [3].

Основная часть. Спектральный фильтр в КРК БЧ используется в блоке получателя для отделения центральной частоты от поднесущих боковых, содержащих информацию для генерации ключа. Основными требованиями протокола КРК БЧ к спектральному фильтру являются: полоса фильтрации порядка 10 ГГц, глубина фильтрации не менее 30 дБ, потери для боковых частот должны быть минимизированы. Отдельным преимуществом будет возможность отведения отфильтрованной центральной частоты в отдельный канал для целей мониторинга системы. Данные требования могут быть удовлетворены фильтром, основанным на микрокольцевых резонаторах.

Для реализации была выбрана архитектура, состоящая из пяти колец: двух последовательных, приложенных к фильтруемому волноводу; двух последовательных колец, приложенных ко второму волноводу (отводящему центральную частоту) и центрального кольца, связывающего все остальные кольца. Такая топология колец менее чувствительна к отклонениям от подобранных параметров, а также глубина модуляции остается высокой для отличных от резонансной частот. Проведено моделирование в программе QuantCAD, которое позволило определить оптимальные параметры, при которых требования удовлетворяются.

Была произведена оценка характеристик фильтра при отклонениях параметров фильтра из-за неточностей производства. Использование микронагревателей позволяет компенсировать возможные производственные неточности, а также термостабилизировать фильтр. Данный результат возможен благодаря термооптическому эффекту.

Выводы. Смоделирован интегральный оптический фильтр, применимый к системе КРК БЧ, подобраны его оптимальные параметры, а также проведен анализ устойчивости к производственным неточностям и рассмотрен метод их компенсации с помощью микронагревателей.

Список использованных источников:

1. Pirandola S. et al. Advances in quantum cryptography //Advances in optics and photonics. – 2020. – Т. 12. – №. 4. – С. 1012-1236.
2. Liu Q. et al. Advances in chip-based quantum key distribution //Entropy. – 2022. – Т. 24. – №. 10. – С. 1334.
3. Coenen D. et al. Electro-Opto-Thermal Dynamic Compact Model for Ring Modulator Arrays //IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology. – 2024.