

量子状態の高度な制御に基づく革新的量子技術基盤の創出
2017 年度採択研究代表者

2020 年度 年次報告書

青木 隆朗

早稲田大学 理工学術院
教授

スケーラブルな光学的量子計算に向けた超低損失
ナノファイバー共振器 QED 系の開発

§ 1. 研究成果の概要

本研究では、スケーラブルな光学的量子計算の実装を可能にする超低損失ナノファイバー共振器を開発し、光学的量子計算の要素技術をナノファイバー共振器 QED 系で実現する。また、このアプローチにおける各要素技術、および、それらを組み合わせて構築される誤り耐性量子計算のアーキテクチャ全体の最適化に関して理論的研究を推進する。2020 年度の成果は以下の通りである。

[1]超低損失ナノファイバー共振器の開発

昨年度に引き続き、大面積位相マスクを作製し、これを用いて超低損失 FBG の作製を進めた。さらに、超低損失 FBG 作製技術と超低損失テーパ部作製技術を組み合わせることで、ナノファイバー共振器の低損失化を進めた。

[2]光学的量子計算の要素技術実証

ナノファイバー共振器 QED 系を用いた光学的量子計算の要素技術実証のため、単一原子トラップのデューティ比の向上を進めるとともに、vSTIRAP による単一光子源の開発を進めた。さらに、ナノファイバー共振器 QED 系のスケーラビリティ実証に向けて、各共振器に単一原子をトラップした 2 つの共振器 QED 系を結合した結合共振器 QED 系の立ち上げを進めた。

[3]最適化に関する理論

共振器 QED に基づく光学的量子計算に向けて、これまで光子損失と忠実度を分けて考慮することにより単一光子源、二量子ビットゲートの最適化を行ってきた。2020 年度は特に計算速度の高速化に直接つながる調整可能なパラメータとして、光子パルス長や共振器長を含めた定式化を行い、要素技術の最適化理論を総括した。各要素技術の最適化に加えて、これらを組み合わせるときに生じるユニバーサルなトレードオフ関係の抽出を行うことにより、高性能を保証しながら高速化が見込まれる最適なアーキテクチャの理論研究を推進した。量子ゲートに関しては、複数の誤り訂正方式と組み合わせたときの設計リソースの評価を行った。

§ 2. 研究実施体制

(1) 早稲田大学グループ

① 研究代表者: 青木隆朗 (早稲田大学理工学術院 教授)

② 研究項目

[1] 超低損失ナノファイバー共振器の開発

[2] 光学的量子計算の要素技術実証

(2) 明治大学グループ

① 主たる共同研究者: 金本理奈 (明治大学理工学部 准教授)

② 研究項目

[3] 最適化に関する理論

【代表的な原著論文情報】

- 1) S. K. Ruddell, K. E. Webb, M. Takahata, S. Kato, and T. Aoki, "Ultra-low-loss nanofiber Fabry-Perot cavities optimized for cavity quantum electrodynamics", *Opt. Lett.* 45, 4875 (2020).
- 2) N. Német, D. White, S. Kato, S. Parkins, and T. Aoki, "Transfer-Matrix Approach to Determining the Linear Response of All-Fiber Networks of Cavity-QED Systems", *Phys. Rev. Appl.* 13, 064010 (2020).