

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

2021 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。2021 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用いた超低損失 FBG の作製を進め、損失の極めて小さな FBG の作製に成功した。

[2]光学的量子計算の要素技術実証

量子計算機の物理系として、超伝導、イオン、リドベルグ原子等に対するナノファイバー共振器 QED 系の優位性を追求した結果、ナノファイバー共振器 QED 系のスケーラビリティを活かした、高効率な分散型量子計算を可能にする革新的な実装方法を発明し、PCT 出願した。さらに、本方式の原理実証実験の立ち上げを進めた。

また、ナノファイバー共振器に基づく結合共振器 QED 系において、原子共振器間の結合を高速変調することで、光子輸送の増強現象を観測した。

[3]最適化に関する理論

アーキテクチャ全体の最適化のためには、各要素技術の実装方式、誤り訂正方式、実装時の詳細の回路設計等を考慮する必要がある。2021 年度は性能と高速化の両立に向けて、アーキテクチャ全体の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、パルス長・共振器長を含めた定式化を行った。各要素技術の最適化に加えて、これらを組み合わせた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。

§ 2. 研究実施体制

(1) 青木グループ

- 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) 金本グループ

- 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) Shinya Kato and Takao Aoki, "Photon transport enhancement through a coupled-cavity QED system with dynamic modulation", *Opt. Express* 30, 6798 (2022).
- 2) Rui Asaoka, Yuuki Tokunaga, Rina Kanamoto, Hayato Goto, Takao Aoki, "Requirements for fault-tolerant quantum computation with cavity-QED-based atom-atom gates mediated by a photon with a finite pulse length", *Phys. Rev. A* 104, 043702 (2021)
- 3) 青木隆朗、「量子計算ユニット、単一光子源、および量子計算装置」、PCT/JP2021/25783 (2021).