

共振器量子電気力学による量子計算

研究代表者 青木 隆朗
(先進理工学部 応用物理学科 教授)

1. 研究課題

光共振器に閉じ込められた光子と原子が量子力学的に相互作用する系、すなわち共振器量子電気力学系は、量子光学の重要な研究対象であるとともに、量子計算の実装に有用である。本研究では、ナノフォトニクスに基づく共振器量子電気力学系を開発し、量子計算への応用を図る。具体的には、超低損失ナノ光ファイバー共振器に基づく共振器量子電気力学系を開発する。また、ナノ光ファイバー共振器の高いスケーラビリティに基づく量子計算要素技術の実証実験を目指す。

2. 主な研究成果

前年度に引き続き、共振器量子電気力学による量子計算の実装に適したナノ光ファイバー共振器を開発した。単一モード光ファイバーに対して深紫外レーザー光源と位相マスクを用いてファイバーブラッグ格子を形成し、高フィネスファブリーペローファイバー共振器を作製した。さらに加熱延伸加工によりナノ光ファイバーを作成することで、超低損失ナノ光ファイバー共振器を作製した。また、作製した超低損失ナノ光ファイバー共振器の性能を劣化させずに長期間保存する技術の開発を進めた。

また、ナノ光ファイバー共振器量子電気力学に基づく量子計算ハードウェアの二重チャンバー構造への改造と運用、光ピンセットによる単一原子のトラップ技術の開発を進めた。

3. 共同研究者

ラッデル サムエル ケルビン (理工総研・次席研究員)
ウェブ カレン エリザベス (理工総研・次席研究員)
ジャミーシュ ケロト (理工総研・次席研究員)
ティム ケラー (理工総研・次席研究員)
グプタ ラトネッシュ クマール (理工総研・次席研究員)
原田 健一 (理工総研・次席研究員)
高畑 光善 (理工学術院・講師)
廣瀬 雅 (株式会社 Nanofiber Quantum Technologies・招聘研究員)
基盤 晃久 (株式会社 Nanofiber Quantum Technologies・客員主任研究員)
加藤 真也 (株式会社 Nanofiber Quantum Technologies・客員主任研究員)

井上 遼太郎 (株式会社 Nanofiber Quantum Technologies ・ 客員主任研究員)

小西 秀樹 (株式会社 Nanofiber Quantum Technologies ・ 客員次席研究員)

小沢 秀樹 (株式会社 Nanofiber Quantum Technologies ・ 客員次席研究員)

4. 研究業績

4.1 学術論文

- (1) S. Horikawa, S. Yang, T. Tanaka, T. Aoki, S. Kato, High-finesse nanofiber Fabry–Pérot resonator in a portable storage container, Review of Scientific Instrument., Vol 95, No.7, 73103-73106 (2024)
- (2) Seigo Kikura, Hayato Goto, Takao Aoki, Engineering propagating cat states with driving-assisted cavity QED, arXiv (2024)

4.2 総説・著書

Takao Aoki, “Atom-based photonic”, Quantum Photonics, 1901/1/5-1901/2/7 (2024)

4.3 招待講演

- (1) Takao Aoki, “Cavity Quantum Electrodynamics with Optical Nanofibers and Trapped Atoms for Quantum Network”, Ultracold Japan, OIST, 2024/4/10
- (2) Takao Aoki, “Nanofiber Cavity Quantum Electrodynamics Systems for Distributed Quantum Computing”, ICNN2024, パシフィコ横浜, 2024/4/22
- (3) Takao Aoki, “Nanofiber Cavity Quantum Electrodynamics Systems for Distributed Quantum Computing”, Swiss-Japanese Quantum Symposium, 東京大学, 2024/6/6
- (4) 青木隆朗, 「共振器量子電気力学に基づく量子ネットワーク」, 電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会, モエレ沼公園, 2024/7/29
- (5) 青木隆朗, 「ナノファイバー共振器 QED による光・原子ハイブリッド量子コンピュータの開発」, 応用物理学会 2024 年秋季学術講演会, 朱鷺メッセ他, 2024/9/18
- (6) 碁盤晃久, “Development of Yb atom-photon interface using nanofiber cavities”, Okinawa School in Physics 2024: Coherent Quantum Dynamics, OIST, 2024/9/25
- (7) 青木隆朗, 「ナノファイバー共振器 QED 系に基づく量子ハードウェア」, 量子情報関東 Student Chapter, 早稲田大学, 2024/10/9
- (8) 青木隆朗, 「量子コンピューターと量子ネットワークの現状と将来展望」, 日本オプトメカトロニクス協会フォトンテクノロジー技術部会, 早稲田大学, 2024/11/7
- (9) Takao Aoki, “Nanofiber Cavity Quantum Electrodynamics for Quantum Network”, International Workshop on Microcavities and their applications, Otago, New Zealand, 2024/11/26
- (10) 青木隆朗, 「ナノファイバー共振器 QED に基づく新方式量子コンピュータハードウェアの開発」, スマート光・物質研究センターシンポジウム, 豊田工業大学, 2025/3/6
- (11) Takao Aoki, “Nanofiber Cavity Quantum Electrodynamics Systems for Distributed Quantum Computing”, Optical Nanofibre Applications, Physikzentrum Bad Honnef, Germany, 2025/3/21

4.4 受賞・表彰

早稲田大学リサーチアワード WASEDA RESEARCH AWARD (大型研究プロジェクト推進)

4.5 学会および社会的活動

応用物理学会 微小光学研究会 運営委員

5. 研究活動の課題と展望

引き続き、ナノ光ファイバー共振器の高いスケーラビリティに基づく量子計算要素技術の実証実験を進める。将来的には、量子ビット数の大規模化を進めるとともに、複数の共振器量子電気力学系を用いた分散型量子計算要素技術の実証実験を進める。