

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。

その結果、極めて低損失なファイバーブラッグ格子の形成に成功し、その技術をもとに作製した高フィネスファイバー共振器においてサブ mW 閾値での誘導ブリルアン散乱発振を観測した。この短共振器長・低閾値ブリルアンレーザーの実現は、小型で高効率な全ファイバー型の超狭線幅レーザー光源の開発に繋がる。

また、共振器量子電気力学に基づく量子計算において重要な、単一光子生成における光子生成レートの世界速度限界を、系のパラメータの全領域にわたってユニバーサルに適用できる形で定式化した。

さらに、分散型量子計算の実現に向けて重要な要素技術である量子中継技術に関して、量子ノードにおける局所的な量子メモリ機能・量子ゲート機能と、長距離伝送のための通信波長帯における量子インターフェース機能とを両立する新規な手法を発明した。

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)

高畑 光善 (理工総研・次席研究員)
廣瀬 雅 (株式会社 Nanofiber Quantum Technologies・招聘研究員)
碁盤 晃久 (株式会社 Nanofiber Quantum Technologies・招聘研究員)
加藤 真也 (株式会社 Nanofiber Quantum Technologies・招聘研究員)
井上 遼太郎 (東京工業大学・招聘研究員)
小西 秀樹 (株式会社 Nanofiber Quantum Technologies・招聘研究員)
角南 慎一 (株式会社 Nanofiber Quantum Technologies・招聘研究員)

4. 研究業績

4.1 学術論文

Shinya Kato and Takao Aoki, “Single-frequency fiber Fabry–Perot Brillouin laser”, Opt. Lett. 47, 5000 (2022).

Takeru Utsugi, Akihisa Goban, Yuuki Tokunaga, Hayato Goto, and Takao Aoki, “Gaussian-wave-packet model for single-photon generation based on cavity quantum electrodynamics under adiabatic and nonadiabatic conditions”, Phys. Rev. A 106, 023712 (2022).

青木隆朗、早稲田大学、「量子演算ユニット、量子演算器」、特願 2022-079702 (2022)

4.2 総説・著書

4.3 招待講演

青木隆朗、早稲田大学、「共振器 QED による原子と光子の量子操作」、第 70 回応用物理学会春季学術講演会、2023/3/16

青木隆朗、早稲田大学、「分散型量子計算のためのナノファイバー共振器 QED デバイス技術」、第 70 回応用物理学会春季学術講演会、2023/3/17

青木隆朗、早稲田大学、「ナノ光ファイバー共振器量子電気力学」、日本物理学会 2023 年春季大会、2023/3/23

4.4 受賞・表彰

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。