

「新たな光機能や光物性の発現・利活用を基軸とする  
次世代フォトニクスの基盤技術」  
平成 27 年度採択研究代表者

H29 年度  
実績報告書

古澤 明

国立大学法人東京大学大学院工学系研究科  
教授

極限コヒーレント光通信のための量子力学的操作と  
超伝導光子数識別器および光集積システム化法の研究

## § 1. 研究実施体制

### (1)「古澤」グループ

① 研究代表者:古澤 明 (東京大学大学院工学系研究科 教授)

#### ② 研究項目

・自由空間光学系を用いた量子ゲートテレポーテーションにより 3 次位相ゲートおよび 4 次位相ゲート(非線形サインシフトゲート)の実現を目指す。ここで、3 次位相ゲートの補助入力の本グループで既に開発に成功している方法および高橋グループで作製する超伝導光子数識別器を用いて生成し、4 次位相ゲートの補助入力は青木グループで生成法を開発する共振器 QED 系を用いて生成する。

・NTT やブリストル大学と共同して、量子ゲートテレポーテーション装置の光集積システム化のための技術開発を行う。

・極限コヒーレント通信の心臓部であるコヒーレント状態からシュレーディンガーの猫状態への変換(「量子ノイズイート光アンプ」)の原理検証実験を行う。

以上のすべてに関して、海外連携研究者と共同で理論的研究を行う。

### (2)「青木」グループ

① 主たる共同研究者:青木 隆朗 (早稲田大学理工学術院 教授)

#### ② 研究項目

・微小光共振器を用いた共振器 QED 系を構築し、カー状態を生成するとともに、4 次位相ゲート(非線形サインシフトゲート)を実現する。

(3) 「高橋」グループ

① 主たる共同研究者:高橋 浩之 (東京大学大学院工学系研究科 教授)

② 研究項目

・古澤グループと協働してスペックを詰めながら、超伝導体を用いて、高い量子効率と応答速度を併せ持つ超伝導光子数識別器を開発する。具体的には、Ir 超伝導体を用いた新たなアイデアに基づく高効率・高分解能光子数検出器として、超伝導領域と常伝導領域の中間状態を用い、高速の応答特性をもつとともに複数の光子が同時に入射した際にも正しく光子数を計測することのできる Parallel Array Transition Edge Sensor (PA-TES)の開発を推進する。

## § 2. 研究実施の概要

本プロジェクトは極限コヒーレント光通信実現を目指し、そのための量子力学的操作と超伝導光子数識別器およびそれらの光集積システム化法を研究するものである。極限コヒーレント光通信のための量子力学的操作のうち最も重要なもののひとつに 3 次位相ゲートがある。古澤グループは、平成 27 年度にその簡便な実現方法を発明し、それを実現すべく、平成 28 年度にはその入力段における光波束の実時間振幅測定法を考案し、それを用いて単一光子状態波束の実時間振幅測定に世界で初めて成功している。さらに、平成 28 年度には 3 次位相ゲートにおける非線形フィードフォワードのための低レイテンシーAD-FPGA-DA ボード（アナログ-デジタル変換・フィールドプログラマブルゲートアレイ・デジタル-アナログ変換ボード）の仕様をまとめ発注した。これらを受けまず平成 29 年度は納品された低レイテンシーAD-FPGA-DA ボードの検収を行った。そして、この AD-FPGA-DA ボードを用いて 3 次位相ゲートの主要部であるダイナミックスキューイングゲートの動作実験を行いそれに成功した。

極限コヒーレント光通信のための量子力学的操作のうち、もう1つの重要なゲートである 4 次位相ゲートの補助状態を生成すべく、青木グループは共振器 QED 系を立ち上げた。極限コヒーレント光通信に必須の超伝導光子数識別器もグループ間で仕様を検討し、高橋グループがその要素技術の開発を行った。光集積システム化法については、古澤グループが平成 27 年度に量子テレポーテーションの主要部を光導波路回路化し実験を行い、平成 28 年度にはその結果に基づいて光導波路回路の再設計を行ったが、平成 29 年度には新光導波路回路の評価実験を行った。

古澤グループは、3 次位相ゲートや 4 次位相ゲートからなる極限コヒーレント光通信のための大規模量子操作(量子計算)を 1 つの量子テレポーテーション回路で行う時間領域多重の方法を発明した(平成 29 年 9 月 22 日放映 NHK ニュース7などで取り上げられた)。

代表的な原著論文

- (1) S. Takeda and A. Furusawa, "Universal quantum computing with measurement-induced continuous-variable gate sequence in a loop-based architecture", *Phys. Rev. Lett.* 119, 120504 (2017).
- (2) P. Marek, R. Filip, H. Ogawa, A. Sakaguchi, S. Takeda, J. Yoshikawa, and A. Furusawa, "General implementation of arbitrary nonlinear quadrature phase gates", *Phys. Rev. A* 97, 022329 (2018)
- (3) T. Irimatsugawa, F. Hirayama, H. Yamamori, S. Kohjiro, A. Sato, S. Nagasawa, D. Fukuda, M. Hidaka, Y. Sato, M. Ohno, H. Takahashi, "Study of Nb and NbN Resonators at 0.1 K for Low-Noise Microwave SQUID Multiplexers", *IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY*, vol. 27, No. 4, 2500305, 2017