

Title	The realization of highly indistinguishable heralded single photon sources and the implementation of a Controlled-SWAP photonic quantum circuit
Author(s)	谷田, 真人
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/59843
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed 大阪大学の博士論文について https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

近年、量子力学の基本的な性質を、情報通信・処理に応用する量子情報科学の研究が進展している。例えば、特定の問題を高速に解ける量子計算や、不確定原理により盗聴を排除する量子暗号などがある。その量子情報の担い手として、光子は、単一の量子のゲート操作や状態検出が容易であること、重ね合せ状態が壊れにくいことと言った特徴を持つ、有力な担体である。光子を用いた量子情報処理の一つの方法として、波長板やビームスプリッタなどの線形光学素子を用いる方法がある。この方法では、ビームスプリッタにおける光子の量子干渉が重要な役割を果たす。本研究では、理想的な量子干渉性を実現する方法を確立し、さらにそれを用いた大規模光量子回路の実現に向けた研究を行った。

二光子間で完全な量子干渉を起こすには、二つの光子が全く同一な状態である必要がある。本研究では、パラメトリック蛍光対を用いた単一光子源において、同一性が最も高くなる条件を理論・実験の両面から検証した。まず、先行研究では見過ごされていた、非線形結晶内での蛍光の生成確率の不均一性を考慮した理論を構築した。そして、実験的な検証の結果、よく一致していることを確認、また、既報告最高値96%の明瞭度を光子生成率4倍以上で実現した。

続いて、この光源を用いてこれまで実現されていない制御スワップ操作の光量子回路による実現を目指した。制御スワップ操作は、量子計算の基本ゲートであると共に、様々な応用に利用できる。2008年の理論提案は、3個の量子ゲート（量子干渉）が連結された複雑な光路干渉計を必要とし、その安定化が問題であった。そこで本研究では、特殊な光学素子を用いたコンパクトで安定な光量子回路の実装方法を発案した。さらに、従来なされていた個々のゲートに対するエラー解析理論を拡張し、発案した光量子回路の詳細なエラー解析を行った。また、考案した光量子回路を実際に構築、個々の動作状況に基づくエラー解析により、古典限界を超えた制御スワップ操作が期待できることを確認した。

論文審査の結果の要旨

近年、量子力学の基本的な性質を、情報通信・処理に応用する量子情報科学の研究が進展している。その量子情報の担い手として、光子は、単一の量子のゲート操作や状態検出が容易であること、重ね合せ状態が壊れにくいことと言った特徴を持つ、有力な担体である。本論文は、光子の半透鏡上での2光子量子干渉を利用した光量子回路の実現と、その為に必要不可欠な良質な単一光子源に関して研究したものである。

まず本論文では、パラメトリック蛍光対を用いた単一光子源において、同一性が最も高くなる条件を理論・実験の両面から検証している。谷田真人君は、先行研究で見過ごされていた、非線形結晶内での蛍光の生成確率の不均一性を考慮した理論を構築、さらに、実験的な検証の結果、よく一致していることを確認するとともに、その研究に基づき、既報告で世界最高値にならぶ96%の明瞭度を、光子生成率4倍以上で実現した。これは、光子を用いた量子情報科学における重要な成果であり、米国光学会の学会誌である、Optics Express誌にフルペーパーとして発表されている。

また谷田真人君は、この光源を用いて、これまで実現されていない「制御スワップ操作」の光量子回路の実現を目指した。谷田真人君は、3個の量子ゲート（量子干渉）が連結された複雑な光路干渉計からなる2008年の理論提案を、特殊な光学素子を用いたコンパクトで安定に実装するオリジナルな方法を発案、さらに、従来なされていた個々のゲートに対するエラー解析理論を拡張し、発案した光量子回路の詳細なエラー解析を行った。また、考案した光量子回路を実際に構築、個々の動作状況に基づくエラー解析により、古典限界を超えた制御スワップ操作が期待できることを確認している。制御スワップ操作は、量子計算の重要な基本ゲート操作であるとともに、量子指紋認証など興味深いあらゆる量子プロトコルへの応用も可能であり、本研究によりその実現可能性が明確に示されたことは大きな成果である。

以上の成果は、光子を用いた量子情報通信処理の進展に大きく貢献するものであり、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。

[56]

氏名	谷田真人
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	第26087号
学位授与年月日	平成25年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科物質創成専攻
学位論文名	The realization of highly indistinguishable heralded single photon sources and the implementation of a Controlled-SWAP photonic quantum circuit (高い同一性を持つ伝令付単一光子源の実現と制御スワップ光量子回路の実装)
論文審査委員	(主査) 招へい教授 竹内 繁樹 (副査) 教授 井元 信之 教授 小口 多美夫