

Title	Coherent Manipulation of Photonic Quantum States towards Mono-Cycle Entangled Photon Pairs and Quantum Phase Gate
Author(s)	田中, 陽
Citation	大阪大学, 2014, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/34527
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 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

氏名 (田中 陽)

論文題名

Coherent Manipulation of Photonic Quantum States towards Mono-Cycle Entangled Photon Pairs and Quantum Phase Gate
(モノサイクルもつれ光子対と量子位相ゲートに向けた光学的量子状態のコヒーレント操作)

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。さらに、量子もつれ光子対等を用いた量子計測の研究も注目されている。それらの研究では、必要となる量子状態の発生や制御方法の実現が非常に重要である。本研究では特に、モノサイクルもつれ光子対の生成とその量子状態の評価、ならびに、光子に対する量子位相ゲートの実現に向けた、テーパー光ファイバ結合微小球共振器の単一光子レベルでの応答に関する実験的な研究を行った。

モノサイクルもつれ光子対とは、光の一振動周期（数フェムト秒）程度の時間相関幅を持つ光子対である。最近、分極反転周期をチャープした非線形光学結晶から同軸に発生する光子対を用いる理論提案がなされていたが、発生する光子対の帯域が数オクターブにも及ぶという問題があった。本研究ではまず、非同軸発生光子対により、より少ない帯域で同程度の時間相関幅を実現する方法を提案した。次に、非周期的に分極反転した非線形光学結晶（MgSLT）を用い、スペクトル幅194 THzという世界最大の帯域を持つ光子対の生成に成功した。原理的には1.2サイクルの時間相関幅を実現可能である。さらに、150 THzを超える二光子のエネルギー相関を観測、また異なる振動数成分間での二光子量子干渉実験により、高い忠実度(90%)での二光子の量子もつれを、超広帯域で初めて実証した。

一方、光子の量子位相ゲートの実現に向け、テーパー光ファイバ結合微小球は、高いQ値、小さいモード体積、低損失の光ファイバ入出力などの優れた特長を持つ。しかし、単一光子レベルでの入出力応答や、その安定性に関する研究は行われていなかった。本研究では、10 nsあたりの平均光子数が0.4の微弱コヒーレント光を用い、単一光子レベルの位相シフトスペクトルの変化の観測に初めて成功した。また、偏光量子ビットに対する系の応答を量子状態トモグラフィーにより評価し、出力状態の光子の偏光の純粋度が、平均で98%、最小でも89%を超える事を示した。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (田 中 陽)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	招へい教授 竹内 繁樹
	副 査	教 授 井元 信之
	副 査	教 授 芦田 昌明

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・処理や計測に応用する量子情報科学の研究が進展している。それらの研究では、必要となる量子状態の発生や制御方法の実現が重要である。本論文は、光の一振動周期（数フェムト秒）程度の時間相関幅を持つ光子対である「モノサイクルもつれ光子対」の生成とその量子状態の評価、ならびに、光子に対する量子位相ゲートの実現に向けた、テーパー光ファイバ結合微小球共振器の単一光子レベルでの応答に関する実験的な研究を行ったものである。

モノサイクルもつれ光子対の発生に関しては、従来の理論提案では、発生する光子対の帯域が数オクターブにも及ぶという問題があった。田中陽君は、非同軸方向に発生する光子対を用いることで、より少ない帯域で同程度の時間相関幅を実現する方法を提案、非周期的に分極反転した非線形光学結晶を用い、1.2サイクルの時間相関幅に相当する、スペクトル幅194 THzという世界最大の帯域を持つ光子対の生成に成功している。これは、量子光学分野における重要な成果として、米国光学学会の学会誌 Optics Express誌にフルペーパーとして発表されている。さらに、150 THzを超える二光子のエネルギー相関を観測、また異なる振動数成分間での二光子量子干渉実験により、高い忠実度(90%)での二光子の量子もつれを、超広帯域で初めて実証するなどの顕著な成果を得ている。

また田中陽君は、光子の量子位相ゲートの実現に向け、テーパー光ファイバと微小球共振器を結合させた系に着目、10 nsあたりの平均光子数が0.4という微弱コヒーレント光を用い、キャビティによる位相シフトスペクトルの変化の単一光子レベルでの観測に初めて成功している。また、系の応答を量子状態トモグラフィーにより評価し、出力状態の光子の偏光の純粋度が、平均で98%と高く維持される事を示した。これらは、量子光学、非線形光学における重要な成果であり、Optics Express誌にフルペーパーとして発表されている。

以上の成果は、量子光学・量子情報科学の進展に大きく貢献するものであり、博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。