

科学研究費補助金（学術創成研究費）公表用資料  
〔研究進捗評価用〕

平成17年度採択分

平成20年 3月31日現在

研究課題名（和文）

超高効率量子もつれ光源および検出器の創成と量子もつれ回復プロ  
トコルの研究

研究課題名（英文）

Development of superefficient entangled-photon sources, detectors  
and entanglement recovery protocol

研究代表者

枝松圭一（Edamatsu, Keiichi）

東北大学・電気通信研究所・教授



推薦の観点：創造的・革新的・学際的学問領域を創成する研究

研究の概要：量子もつれ光子の発生，検出，制御とそれを用いた新たな量子情報通信技術の創成を目指す，

- (1) 通信波長帯における超高効率量子もつれ光源および光子検出器の実現，
- (2) 半導体を用いた量子もつれ光子対の効率的な発生および制御方法の開発，
- (3) 量子もつれ回復プロトコルの開発・実証，

の3点を柱とした研究開発を行う。

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学／原子・分子・量子エレクトロニクス，物性I

キーワード：量子光学，量子情報，光物性

1. 研究開始当初の背景

最近，原子や分子などの極微の世界をつかさどる「量子力学」の原理を直接応用した，従来にはない高速性，安全性などの特長を持つ「量子情報通信」技術が脚光を浴びています。たびたび新聞等をにぎわす，量子コンピュータや量子暗号などがそれにあたります。なかでも，二つ以上の粒子が遠く離れても量子力学的に互いに相関を持つ状態，すなわち「量子もつれ」は，量子情報通信技術において最も重要な概念の一つです。一方，光の量子である「光子」は，量子情報通信技術において，情報を遠くに伝達する媒体として最も有望視されています。従って，量子もつれを有する光子を発生，検出，制御する技術の開発は，将来の量子情報通信の実用化にとって欠くことのできない重要なステップです。

2. 研究の目的

本研究では，量子もつれ光子の発生，検出，制御とそれを用いた新たな量子情報通信技術の創成を目指す，

- (1) 通信波長帯における超高効率量子もつれ光源および光子検出器の実現，
- (2) 半導体を用いた量子もつれ光子対の効率的な発生および制御方法の開発，

(3) 長距離伝送に伴う量子通信の品質低下を補うための，量子もつれ回復プロトコルの開発・実証，

の3点を柱とした研究開発を行っています。

3. 研究の方法

(1) 通信波長帯における超高効率量子もつれ光源および光子検出器の開発

独自の設計による励起光源および擬位相整合非線形光学素子を作製し，パラメトリック下方変換による高効率な量子もつれ光子対発生，和周波発生による高速かつ高い効率をもった光子検出法を研究しています。

(2) バルクおよび微小共振器構造半導体を用いた量子もつれ光子対の効率的な発生および制御方法の開発

我々はこれまでに，半導体を用いた量子もつれ光子の発生に世界で初めて成功しています。本研究ではそれをさらに高度化して，純度および発生効率の高い量子もつれ光子発生素子の実現を目指し，材料開発，光学測定，物性理論の各グループが密接に協力して研究を進めています。

(3) 長距離伝送に伴う量子もつれの低下を補うための，量子もつれ回復プロトコルの開

## 発・実証

長距離伝送では量子的情報の劣化が避けられないため、それを補う量子情報回復プロトコルが種々提案されています。本研究で開発する超高効率な量子もつれ光源および検出器を用いた、効率的な量子もつれ回復プロトコルの提案とその実験的検証を行います。

### 4. これまでの成果

#### (1) 通信波長帯における超高効率量子もつれ光源および光子検出器の開発

励起光源となる柔軟性の高いレーザパルス光源を開発するとともに、量子もつれ光子発生用の **Type-2** 擬位相整合周期分極反転ニオブ酸リチウム(PPLN)素子を作製しています。この素子のパラメトリック下方変換効率を測定した結果、従来報告されている中でも最高水準の効率を達成していることがわかりました。これらの量子もつれ光子の発生方法に関連する特許も出願しています。さらに、通信波長帯の光子を可視光帯の光子に高効率で変換・検出するための素子の開発をすすめています。

#### (2) バルクおよび微小共振器構造半導体を用いた量子もつれ光子対の効率的な発生および制御方法の開発

半導体を用いた量子もつれ光子発生で問題となっていた、目的の光子対以外の光子の寄与を大幅に小さくして、高純度の量子もつれをもつ光子対を発生することに成功しました(図1)。この成果により、量子情報通信に直接応用可能な真の量子もつれ光子を発生する半導体デバイスへの道を拓きました。

また、量子もつれ光子生成効率を飛躍的に高めるための半導体微小共振器構造を、理論、実験の両面から開発しています。これまでに、酸化亜鉛(ZnO)や塩化第一銅(CuCl)を用いて、光と電子励起状態との間の相互作用エネルギーを従来になく大きくすることができる微小共振器試料の作製に成功しています。ま

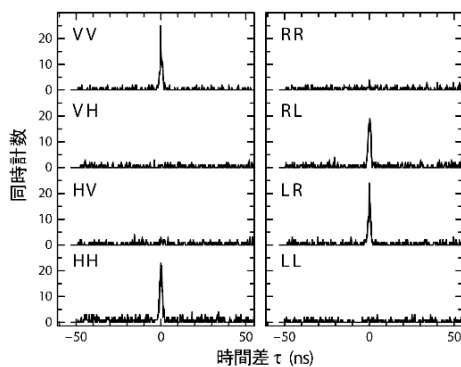


図 1. 半導体(CuCl)から発生した量子もつれ光子の偏光相関の測定例。

た、その研究過程で、酸化亜鉛の薄膜上にマイクロピラミッド構造が成長するという新たな発見も得られました。

### 5. 今後の計画

今後は、さらに高効率かつ高純度の量子もつれ光子を発生できる素子の開発を進めると同時に、高効率光子検出素子の開発を急ぎます。また、量子もつれ光子を発生するための半導体材料と微小共振器構造の開発を加速し、多数個の量子もつれ光子を同時に生成できる超高効率の素子を実現します。そして、それらの素子を用いた新しい量子もつれ回復プロトコルの提案と実証実験へと発展させたいと考えています。

### 6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

#### 査読付論文

- [1] H. Oka and H. Ishihara: High-efficient generation of entangled photons by controlling cavity bipolariton states, *Phys. Rev. Lett.* **100**, 170505/1-4 (2008).
- [2] S. Nagano, R. Shimizu, Y. Sugiura, K. Suizu, **K. Edamatsu**, and H. Ito: 800-nm band cross-polarized photon pair source using type-II parametric down-conversion in periodically poled lithium niobate, *Jpn. J. Appl. Phys.* **46**, L1064-L1067 (2007).
- [3] **K. Edamatsu**: Entangled photons: generation, observation, and characterization (invited review paper), *Jpn. J. Appl. Phys.* **46**, 7175-7187 (2007).
- [4] G. Oohata, R. Shimizu, and **K. Edamatsu**: Photon polarization entanglement induced by biexciton: experimental evidence for violation of Bell's inequality, *Phys. Rev. Lett.* **98**, 140503/1-4 (2007).
- [5] D. Kim, S. Wakaiki, S. Komura, M. Nakayama, Y. Mori, and K. Suzuki: Self-assembled formation of ZnO hexagonal micropylramids with high luminescence efficiency, *Appl. Phys. Lett.* **90**, 101918/1-3 (2007).

他, 59 件

特許出願 6 件

招待講演 20 件

国際会議一般講演 54 件

国内学会発表 130 件

新聞報道等 4 件

ホームページ等

<http://www.quantum.riec.tohoku.ac.jp>