

量子状態の高度な制御に基づく革新的量子技術基盤の創成
2016年度採択研究代表者

2020年度 年次報告書

竹内 繁樹

京都大学 大学院工学研究科
教授

大強度広帯域周波数もつれ状態の実現と応用

§ 1. 研究成果の概要

広帯域周波数量子もつれ光とは、2つの光子が、それぞれ広い周波数帯域にわたり存在し、かつそれら2つの光子の周波数(エネルギー)の和が確定した値をもつような状態である。本プロジェクトでは、導波路型チャープ擬位相整合素子を実現、さらに高分解能量子光断層撮影や量子もつれ時間分解分光の実現を目指す。また、さらなる大強度化にむけ、オンチップ導波路リング共振器を用いた量子もつれ光源や光量子情報への応用も研究する。以下、グループごとの 2020 年度実績について述べる。

竹内グループは、リッジ導波路超広帯域もつれ光子対源の評価をさらに進めると共に、同軸発生した周波数もつれ光子対を効率的に異なる空間モードに分離する方法の検証に成功した。また、多モード多光子量子もつれ状態を、従来に比べて著しく高い効率で検証する方法の、6つの光子間量子ゲートを含む光量子回路を用いて実証した。

また横山グループが開発した SiN オンチップ量子もつれ光子対源により、従来の帯域を大幅に超える帯域を実現、さらに周波数相関の新たな評価方法の考案と実証に成功した。横山グループでは、さらに、新たにスロット型導波路を応用したハイブリッド素子を作製し、高効率な FWM を確認した。

ホフマングループは、2 光子吸収の摂動理論を詳細に分析、量子もつれ光の 2 光子吸収過程のより簡明で効率的な特性評価を可能にする新理論を提案した。

岡グループは、周波数量子もつれ光を用いた pump-probe 解析を、分子系に対象を拡大し行った。その結果、十分に量子もつれ度が高い光子対では、広帯域パルスと CW 光の両方の性質を持つ光励起ダイナミクスが生じることを発見、新たな分光法への応用の可能性を示した。

徳田グループは、スラブ導波路型およびリッジ導波路型擬位相整合素子に関し、特に耐光性向上のための要素技術開発を行い素子構造に適用した。

§ 2. 研究実施体制

(1)「竹内」グループ

- ① 研究代表者:竹内繁樹 (京都大学大学院工学研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・大強度広帯域周波数もつれ状態の実現と応用に関する研究

(2)「横山」グループ

- ① 主たる共同研究者:横山士吉 (九州大学先導物質化学研究所 教授)
- ② 研究項目
 - ・広帯域周波数量子もつれ光生成にむけた導波路素子の研究

(3)「ホフマン」グループ

① 主たる共同研究者: Holger F. Hofmann

(広島大学大学院先進理工系科学研究科先進理工系科学専攻 教授)

② 研究項目

・広帯域周波数量子もつれ光の評価・応用に関する理論研究

(4)「岡」グループ

① 主たる共同研究者: 岡寿樹 (北里大学理学部 教授)

② 研究項目

・広帯域周波数量子もつれ光の評価・応用に関する理論研究

(5)「徳田」グループ

① 主たる共同研究者: 徳田勝彦 (島津製作所基盤技術研究所光技術ユニット 主任研究員)

② 研究項目

・広帯域周波数量子もつれ光発生用擬似位相整合素子の研究

【代表的な原著論文情報】

- 1) T.Kiyohara, N.Yamashiro, R.Okamoto, H.Araki, J Y. Wu, H.F.Hofmann and S.Takeuchi, “Direct and efficient verification of entanglement between two multimode-multiphoton systems”, *Optica*, vol.7, No.11, pp.1517-1523, 2020
- 2) Z.Yin, K.Sugiura, H.Takashima, R.Okamoto, F.Qiu, S.Yokoyama and S.Takeuchi, “Frequency correlated photon generation at telecom band using silicon nitride ring cavities”, *Opt.Exp.*, vol.29, No.4, pp.4821-4829, 2020
- 3) K.Fukushige, H.Kawaguchi, K.Shimazaki, T.Tashima, H.Takashima and S.Takeuchi, “Identification of the orientation of a single NV center in a nanodiamond using a three-dimensionally controlled magnetic field”, *Appl.Phys.Lett.*, vol.116, No.26, 264002/1-5, 2020
- 4) H.Takashima, H.Maruya, K.Ishihara, T.Tashima, K.Shimazaki, A.Schell, T Tran, I.Aharonovich and S.Takeuchi, “Determination of the dipole orientation of single defects in hexagonal boron nitride”, *ACS Photonics*, vol7, No.8, pp.2056-2063, 2020
- 5) K.Sugiura, Z.Yin, R.Okamoto, L.Zhang, L.Kang, J.Chen, P.Wu, S T.Chu, B E.Little and S.Takeuchi, “Broadband generation of photon-pairs from a CMOS compatible device”, *Appl.Phys.Lett.*, vol.116, No.22, 224001/1-5, 2020
- 6) T.Kiyohara, R.Okamoto and S.Takeuchi, “Unified integration scheme using an $N \times N$ active switch for efficient generation of a multi-photon parallel state”, *Opt.Exp.*, vol.28, No.12, 17490-17501, 2020
- 7) S.Nohara, R.Okamoto, A.Fujiwara, and S.Takeuchi, “Adaptive quantum state estimation for dynamic quantum states”, *Phys.Rev.A.*, vol.102, No.3, 030401/1-6, 2020

- 8) R.Okamoto, Y.Tokami and S.Takeuchi, “ Loss tolerant quantum absorption measurement”,New Journal of Physics,vol.22,103016/1-10,2020
- 9) Guo-Wei Lu, Jianxun Hong, Feng Qiu, Andrew M. Spring, Tsubasa Kashino, Juro Oshima, Masa-aki Ozawa, Hideyuki Nawata, and Shiyoshi Yokoyama, “High-temperature-resistant silicon-polymer hybrid modulator operating at up to 200Gbit s⁻¹ for energy-efficient datacentres and harsh-environment applications”,Nature Communications, vol.11,4224/1-7,2020

※名前に二重下線がある者は、研究代表者。一重下線がある者は、主たる共同研究者。