

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似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。本研究チームは、研究代表者の京都大学の竹内グループが中心となり、九州大学の横山グループ、広島大学のホフマングループ、新潟大学の岡グループ、および、協力企業のご協力のもと実施している。4年度目の2019年度も、研究セミナーやチーム内ミーティングを実施、グループ間の諸課題を共有し、機動的な解決を図るとともに、チーム外機関に対する講演会等も開催した。以下、グループごとの2019年度実績について述べる。

竹内グループは、擬似位相整合素子光源の研究に関し、スラブ導波路デバイスおよびリッジ導波路デバイスの評価を引き続き実施した。その結果、スラブ導波路からのもつれ光をシングルモードファイバに結合し同時計数を確認、その2光子量子干渉信号の取得に成功した。またチャープ擬似位相整合リッジ導波路素子から、高い効率で広帯域量子もつれ光が生成されていることを確認した。さらに、広帯域量子もつれ光を用いた非線形光学に関し、もつれ光子対に含まれる光子同士の上変換による、光子相関時間の測定と、チャープ補正による圧縮に成功した。さらに、高コントラストドープガラスリング共振器およびSiNリング共振器からの広帯域もつれ光子対発生を確認した。

横山グループでは、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を進め、SiNリング共振器を用いた四光波混合発生の詳細検討とハイブリッド型光導波路を応用したリング共振器の作製を行った。SiNリング共振器は $Q=700K$ 以上の高い波長共鳴特性を有し、光強度 $300\mu W$ 以下のポンプ光入射で効率的な四光波混合発生を確認した。また、位相変調シグナル光に対

する応答実験では、20GHz 以上の高周波数変調に対してリング共振器内でポンプ光との強い相互作用が確認できた。

Hofmann グループは、広帯域周波数もつれ光源の理論・解析に関し、今年度も昨年度に引き続き、時間-エネルギー間の非古典的な相関に関する研究を進めた。さらに、竹内グループにおける広帯域量子もつれ光の量子非線形光学への応用に関する実験の進展に対応し、今年度より、量子もつれ光による2光子吸収に関する理論研究も開始した。また、量子もつれ光と強いコヒーレント光が干渉する際の位相測定感度に関する理論研究を実施した。

岡グループは、周波数量子もつれ光を用いた分子系振動電子状態分光のための分光法を提案し、単純な2原子分子モデルを例に理論解析を行った。解析モデルは、基底状態、励起状態、標的状態をもつ3準位分子系を考える。基底状態から標的状態へは直接励起できないものとし、励起状態からの発光スペクトルから標的状態を間接的に分光する。量子もつれの有無による発光スペクトルの比較解析から、量子もつれ光を用いたときのみ、標的状態を高精度に分光できることを示した。従来法では直接励起できない分子振動状態の分光が可能となり、量子もつれ光を用いた新しい分光法の可能性を拓いた。

【代表的な原著論文】

1. K. Sugiura, Z. Yin, R. Okamoto, L. Zhang, J. Chen, P. Wu, S. T. Chu, B. E. Little, and S. Takeuchi, "Broadband generation of photon-pairs from a CMOS compatible device," *Applied Physics Letters*, vol. 116, 224001, 2020
2. Jianxun Hong, Andrew M Spring, Feng Qiu, Shiyoshi Yokoyama, A high efficiency silicon nitride waveguide grating coupler with a multilayer bottom reflector, *Scientific Reports*, 9, 12988 2019
3. Hisaki Oka, "Entangled two-photon absorption spectroscopy for optically forbidden transition detection," *The Journal of Chemical Physics*, vol. 152, pp.044106, 2020

§ 2. 研究実施体制

(1)「竹内」グループ(研究機関別)

- 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(研究機関別)

- ① 主たる共同研究者:横山 士吉 (九州大学先端物質化学研究所 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(研究機関別)

- ① 主たる共同研究者: Holger F. Hofmann (広島大学大学院先端物質科学研究科 准教授)
- 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(研究機関別)

- ① 主たる共同研究者: 岡 寿樹 (新潟大学工学部工学科 准教授)
- 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