

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(エネルギー)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。3年度目の平成30年度も、研究セミナーや、13回に上る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、公開での光量子計測セミナーも開催した。以下、グループごとの平成 30 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に加えて、当初予定を前倒しし、リッジ導波路デバイスの評価も行った。その結果、スラブ導波路からの光子対発生の温度依存性が理論と一致することを確認、またチャープ擬似位相整合リッジ導波路素子からの広帯域量子もつれ光の発生も確認できた。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による、ポンププローブ型の上方変換実験にも成功した。さらに、オンチップ光子対源に関し、高コントラストドープガラス共振器を用いた光子対発生では、現状のデバイスの入力許容上限に近い、100 mW の連続光入力においても、2光子吸収に由来する光子対発生の飽和がみられない事を確認した。

横山グループは、項目(4)のオンチップ周波数もつれ光源の研究に関して、SiN リングや導波路 Kerr デバイスなどの作製、および波長変換の高効率化を狙った SiNx 成膜の検討を進めた。その結果、SiNx については、 $x=0.5\sim 5.0$ の範囲で光学バンドギャップは 2.1eV \sim 3.0eV の調整が可能であり、また SiNx リング共振器による FWM 発生を確認することができた。また、より変換効率を高め

るために、スロット導波路を応用した波長変換デバイスの検討も行った。試作したスロット・リング共振器の Q 値は 6,000-8,000 と比較的小さいにもかかわらず、ポリマー薄膜を用いた原理実証実験では、FWM スペクトルを確認、明確な波長変換特性を得ることができた。

ホフマングループは、エネルギーと時間のように、共役関係にある観測量の量子干渉効果について詳細に検討した。また、下方変換による生成された多光子効果に対する理解を押し広め、多光子干渉効果を利用し大規模光干渉計の位相感度を向上させる新しい方法を発見した。その結果は、下方変換された光と強いコヒーレンス参照パルスとの組み合わせが、多経路干渉計の暗出力ポートにおける少数の光子のみを高感度検出することにより特徴づけられる多光子干渉効果を活性化できることを示した。

岡グループは、周波数量子もつれ光のパルス形状に加え、光子間位相を新たに自由度として導入し、これらが原子系2光子励起に与える影響を理論解析した。解析モデルは簡単のため、基底状態、中間状態、励起状態をもつ3準位原子系を考え、位相は2光子間の時間遅延として導入した。解析結果から、sinc 関数型スペクトルをもつ量子もつれ光において、励起状態の準位占有数遅延時間依存性が、量子もつれの有無で大きく変化することが分かった。これは R. de J. León-Montiel らによる先行研究 [New. J. Phys. 15, 053023 (2013)] と類似する結果であり、広帯域周波数もつれ光による時間分解分光ではパルス形状が重要になることを明らかにした。

【代表的な原著論文】

1. K.Sugiura, R.Okamoto, L.Zhang, L.Kang, J.Chen, P.Wu, S T.Chu, B E.Little and S.Takeuchi, "An on-chip photon-pair source with negligible two-photon absorption", Applied Physics Express, vol.12, pp.022006/1-022006/3, 2019
2. Feng Qiu, Andrew. M. Spring, Jianxun Hong, and Shiyoshi Yokoyama, Plate-slot Polymer Waveguide Modulator on Silicon-on-insulator, Optics Express 26, pp.11213-11221 (2018)
3. Hisaki Oka, "Enhanced vibrational-mode-selective two-step excitation using ultrabroadband frequency-entangled photons, " Physical Review A, vol. 97, pp.063859-1-6, 2018

§ 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 (新潟大学研究推進機構超域大学院、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