

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

- ① 主たる共同研究者: 岡 寿樹 (新潟大学研究推進機構超域学術院、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

§ 2. 研究実施の概要

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。初年度である平成28年度は、各グループでの研究立ち上げに加え、平成29年1月にチーム内全グループおよび協力企業が参加しキックオフミーティングを実施、また、2017年3月ワークショップ「量子計測と、生物・生命科学」を開催、関連する研究分野の先生方と幅広い議論を行った。以下、グループごとの平成28年度実績について述べる。

竹内グループは、スラブ導波路型擬似位相整合素子を用い、広帯域周波数もつれ光子の生成効率の評価を実施した。その結果、連続光励起、マルチモードファイバに結合、同軸方向への光子対発生条件下で励起光強度あたりの光子対生成効率を比較したところ、従来のバルク結晶に対し、スラブ導波路の、10倍程度の効率の向上を確認した。今後、単一モードファイバへの結合ならびに本光源の量子光断層撮影への適用を進める。また、量子もつれ時間分解分光に関しては、非縮退で発生させた量子もつれ光による和周波発生の確認に成功するなどの成果を得た。さらに、光量子回路により、3つの量子ビットに対する「制御スワップ操作」を、外部入力可能な物として初めて実現した。

横山グループは、オンチップ広帯域周波数量子もつれ光源の実現に向け、高い非線形光学特性が期待できる Si_3N_4 導波路を基盤とした微小光素子の作製を行った。非線形光学特性の増強が見込まれるリング共振器に関して Si_3N_4 成膜とデバイス作製の高精度化を進め、高Q値で低光学損失の光学特性を目指した。光学薄膜調整と導波路作製に加えて、目的とする光子生成の励起光導入効率を高め、またオンチップ光源の光子入出力効率も向上させる目的で回折格子カプラを設計・作製したデバイスを試作し、その光学特性を解析した。

ホフマングループは、量子統計におけるダイナミクスの因果関係と非古典的相関の出現との間の基本的な関係を明らかにした。我々は最近の理論において、光子数の状態の準備を光子の検出に直接関連付ける方法を示した。そこでは、準備と測定の間因果関係を、古典光学から知られている関係によって記述することができる。この理論により、広帯域もつれ光子源からのもつれ光子において観察される時間とエネルギーとの間の非古典的相関にこれらの知見を適用することが可能になった。

岡グループは、J. D. Franson らの Rb 原子2光子励起実験(Phys. Rev. Lett. 105. 173602 (2010))を本プロジェクトで提唱する広帯域周波数量子もつれ光に拡張して、従来のレーザー光と比べその励起効率がどの程度増強できるかを解析した。解析モデルは、Rb 原子の $5S_{1/2}$ を基底状態、 $5P_{3/2}$ を中間状態、 $5D_{5/2,3/2}$ を励起状態とした実験と同じ2光子励起を考え、励起光源は竹内グループによって生成された量子もつれ光を仮定して数値解析を行った。解析結果から、広帯域化

された量子もつれ光により約 1000 倍程度の増強が可能であることを示した。