

「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出」
平成28年度採択研究代表者

H29 年度 実績報告書

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。2年度目である平成 29 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、機動的な解決を図った。以下、グループごとの平成 29 年度実績について述べる。

竹内グループは、量子光断層撮影の高速化に取り組んだ。従来開発した、コンパクトでかつ安定した2光子量子干渉計を、偏光の自由度を用いる事で、光学系内の損失を大幅に低減した。さらに、量子もつれ光源の出力効率を最適化するとともに、光子数の増大に対応し、同時計数システムの高速化を行った。その結果、1軸スキャンで25倍の高速化を達成した。また光子の新たな状態評価法として、光子量子ビット(3パラメータ)の適応量子状態推定に初めて成功した。本手法は、現在用いられている量子状態トモグラフィよりも効率的であり、今後、光子の状態評価だけでなく、他の物理系による量子状態推定にも波及する成果である。さらに、もつれ光子源の大強度化に関し、新たに作成したスラブ型導波路素子の精密な評価を実施、良好な結果を得るとともに、リッジ型導波路の作成も開始した。

オンチップ量子もつれ光源の研究に関しては、SiN リング共振器の応用と Kerr 導波路を用いた 4 光波混合の発生について検討を行った。SiN は透明性が高く近赤外波長帯のオンチップ光源を実現するためリング共振器の高精度化を進めた。Q=250,000 のリング共振器と広帯域の光入出力チップを作製した。また、オンチップの Si 系 Kerr 導波路についても検討を進め、4 光波混合発生の解析を行ったところ Si に比べて高い非線形効率を得た。今後、周波数応答や高精度導波路によって大強度量子もつれ光源のオンチップ化に向けた検討を進める。

ホフマングループは、時間とエネルギーでもつれ合った状態の、吸収ダイナミクスについて研究を行ない、吸収ダイナミクスの特徴を明らかにすることに成功した。また、「量子ダイナミクスに従う系が、ニュートンの第1法則、つまり慣性の法則を破る場合がある」ことを発見した。ニュートンの第1法則によれば、自由空間中の粒子は常に直線に沿って動くはずであるが、この法則が量子力学においても有効かどうかは明らかにされていなかった。今回、量子状態間干渉を用いた新理論手法を構築、その結果、量子力学では、最大粒子の7%が直線に沿って動いていない、つまり慣性の法則を破ることがわかった。この結果は、量子干渉に基づく、量子状態制御の新しい戦略の出発点となり得る。

岡グループは、前年度に行った原子系2光子励起の解析を分子系2段励起系へと拡張し、量子もつれ光の「量子もつれ度」の違いが励起効率の増強にどのように影響するかを理論解析した。解析モデルとして、Na₂分子の2段励起を考え、励起光源は竹内グループによる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、広帯域周波数もつれであっても量子もつれ度が低いと励起効率の増強はほとんど起こらないこと、また励起効率は量子もつれ度の増加とともに急激に増加し、本プロジェクトが提案する広帯域周波数もつれ光では、約 1000 倍程度の増強が可能であることを示した。