

神成 文彦

慶應義塾大学理工学部電子工学科
教授

波長分割多重プログラマブル大規模量子シミュレータ

§ 1. 研究成果の概要

本研究では、超短レーザーパルス光の持つ広い周波数帯域を活用し、周波数モード間の量子相関形成を大規模かつプログラマブルに実現することで、振電準位間光遷移確率を効率的に計算できる光量子シミュレータの実験的実証を目指す。

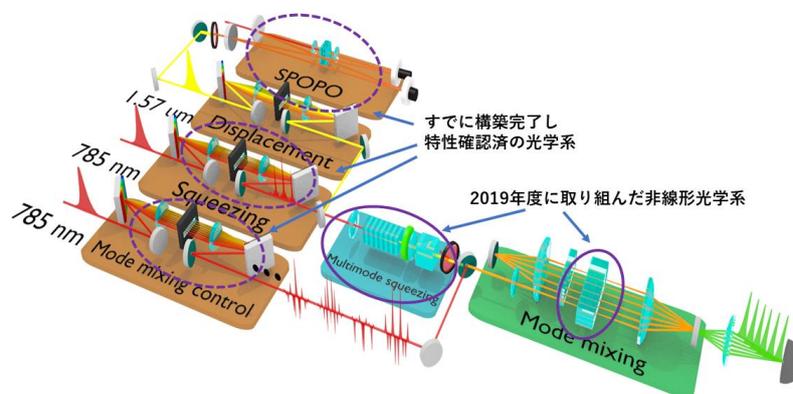


図1 本研究で提唱する光量子シミュレータの実験系とこれまでの進捗

波長分割多重量子シミュレータのための多重量子モード発生の研究を行い、波長多重スクイズドパルス光の生成、および和周波発生を用いた波長多重量子状態のモード混合に必要な干渉計構築と初期的実験に取り組んだ。これまでの光パラメトリック周波数下降変換を用いた波長多重スクイズド光の生成実験においては、多モードのスクイズドパルス光を励起超短パルスレーザーの広いスペクトル内で一括で生成可能である反面、スペクトルが重なり合ったそれらを独立に操作することが困難であった。今回、我々は、波長 800 nm 帯フェムト秒レーザーパルスの波形整形技術と

Type-II PPKTP 結晶が持つ特異な位相整合条件を用いることで波長 1550 nm 帯で波長多重スクイズドパルス光を独立したスペクトルで生成し個々に制御可能であることを実験から明らかにした。

一方、生成された周波数多重量子モードを任意に線形混合するためには、波長 800 nm 帯の量子ゲートパルスとの和周波発生が必要となる。和周波発生用光学素子として、Type-II PPLN 結晶が持つ特異な位相整合条件を用いる必要があることから、3 次分極反転 PPLN を用いて和周波発生予備実験を行い、周波数変換実験結果を固有値分解解析することで、本手法が 10 モード程度のプログラム可能な線形回路に応用可能であることを実証した。ただし、変換効率の改善のためには分極反転 PPLN 導波路が必要であるという結論に至った。

また、本量子シミュレータの応用を想定している分子の振電励起スペクトルのような問題は、解のスパース性を用いた圧縮センシングにより著しい実験装置の簡略化と現実的な光学的損失補正が可能になることを我々は見出している。サンプリング数が有限の場合の再構成精度に与える影響について詳細な数値シミュレーションを行い、系の損失増加に伴う統計的ばらつきの影響を定量的に調べた。また、解にスパース性を仮定する場合、必要なサンプリング数は系のモード数増加にはほぼ依存せず一定である傾向を数値的に確認した。これは、本提案が、ボゾンサンプリングにおける測定数(サンプリング数)の指数的大増の問題を回避できる可能性を示唆している。

一方、波長多重量子制御技術の量子通信への応用においては、昨年度までに確立した GHz 周波数コム制御技術を用いて、超高繰り返し励起レートでの伝令付き単一光子生成実験を行い、世界で初めて 10 Mcps を超える単一光子生成レートを達成した。また、同実験系を用いて偏光量子もつれ状態の生成及び量子状態トモグラフィを行った。

【代表的な原著論文】

1. Yoshiaki Tsujimoto, Chenglong You, Kentaro Wakui, Mikio Fujiwara, Kazuhiro Hayasaka, Shigehito Miki, Hiroataka Terai, Masahide Sasaki, Jonathan P. Dowling, and Masahiro Takeoka, “Heralded amplification of nonlocality via entanglement swapping”, *New Journal of Physics*, vol. 22, 023008-1-16, 2020.

§ 2. 研究実施体制

(1)「慶應・神成」グループ

- ① 主たる共同研究者:神成 文彦 (慶應義塾大学工学部電子工学科 教授)
- ② 研究項目
 - ・波長分割多重光量子シミュレータの構築

(2)「NICT・武岡」グループ

- ① 主たる共同研究者:武岡 正裕 (情報通信研究機構未来 ICT 研究所量子 ICT 先端開発センター センター長)
- ② 研究項目
 - ・波長分割多重光量子シミュレータの理論解析
 - ・波長分割多重量子制御技術の量子通信への応用