

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
2017年度採択研究代表者

2020年度 実績報告書

神成 文彦

慶應義塾大学工学部電気情報工学科
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

波長分割多重量子シミュレータ構築のため、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の性能向上に取り組んだ。前者に関しては、光パラメトリック下降変換におけるフェムト秒励起レーザーパルスの波形整形技術と Type-II PPKTP 結晶の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昨年実証した。励起光とプローブ光の高い空間モード整合を実現するために Type-II PPKTP 結晶を導波路構造に代え、スクイーミングレベルの向上のために必要な知見を得ることができた。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を用いる。新たに開発作製した分極反転周期 3.6 mm の Type-II PPLN 導波路を用いて和周波発生を行い、量子モード混合を高い波長変換効率で実現するための線形回路であることを光子数計測実験で実証した。

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、一般には古典計算では効率的に解けないと考えられているボゾンサンプリング問題において、解が極端にスパースなスペクトルを持つことを仮定した場合、効率的に問題を解く古典的アルゴリズムが存在することを証明した。これにより、ボゾンサンプリングにおける量子—古典領域の境界を明らかにするための重要な知見が得られた。

また、周波数モードの量子モードリソースを量子通信に応用するための研究としては、GHz 周波数コム制御技術を応用し、パラメトリック下降変換の励起光源として用いることで、伝令付き単一光子生成において従来の世界記録(数 MHz オーダー)を遥かに凌駕する数 10 MHz での単一光子生成に成功した。

§ 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 (慶應義塾大学理工学部電気情報工学科 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

【代表的な原著論文情報】

- 1) W. Roga and M. Takeoka, “Classical simulation of boson sampling with sparse output”, Sci. Rep. vol.**10**, p.14739 (2020).
- 2) K. Wakui, Y. Tsujimoto, M. Fujiwara, I. Morohashi, T. Kishimoto, F. China, M. Yabuno, S. Miki, H. Terai, M. Sasaki, M. Takeoka, “Ultra-high-rate nonclassical light source with 50 GHz-repetition-rate mode-locked pump pulses and multiplexed single-photon detectors,” Opt. Express vol.**28**, pp.22399–22411 (2020).