

導波路型光パラメトリック増幅器による連続波 8dB スクイーミング

Continuous-wave 8-dB squeezing by a waveguide optical parametric amplifier

NTT 先端集積デバイス研究所¹, 東大工², 理研 RQC³

○柏崎 貴大¹, 山嶋 大地², 圓佛 晃次¹, 風間 拓志¹, 井上 飛鳥¹,
福井 浩介¹, 遠藤 護^{2,3}, 梅木 毅伺¹, 古澤 明^{2,3}

NTT Device Technology Labs.¹, Univ. of Tokyo², RIKEN RQC³

○Takahiro Kashiwazaki¹, Taichi Yamashima², Koji Enbutsu¹, Takushi Kazama¹, Asuka Inoue¹,
Kosuke Fukui², Mamoru Endo^{2,3}, Takeshi Umeki¹, Akira Furusawa^{2,3}

E-mail: takahiro.kashiwazaki@ntt.com

連続物理量である光の直交位相振幅に情報を符号化する光量子コンピュータは、誤り訂正可能な汎用量子計算を高速に実現できることから期待されている[1]。さらに、時間領域に多重化した量子もつれ状態に対して、測定誘起型の量子操作を施すことで、大規模な量子計算が可能であることが知られている[2]。この手法は光が空間を伝搬する性質を利用しており、装置サイズをそのままに大規模な量子計算が可能である。この高速かつ誤り訂正可能な汎用光量子コンピュータの実現には連続波励起で広帯域かつ高レベルなスクイズド光の生成が必要となる。広帯域性は高速計算や、大規模計算の実現に貢献する。また、高いスクイーミングレベルは、高忠実度の量子操作や、量子誤り訂正を可能にする。例えば、Gottesman-Kitaev-Preskill 符号を用いた誤り訂正には少なくとも 8 dB 以上のスクイズド光が必要であることが知られている[3]。

広帯域かつ高レベルなスクイズド光生成に向けて、これまで筆者らは周期分極反転ニオブ酸リチウム (PPLN) 導波路を用いた光パラメトリック増幅器 (OPA) を開発してきた。2021 年には機械研磨加工により作製された低損失な直接接合型の PPLN 導波路を用いることで、全光型直交位相振幅検波により 6 THz 側帯波で 6.3 dB のスクイズド光測定に成功した[4]。この結果から PPLN 導波路直後には 10 dB 以上のスクイズド光が生成されていることが示唆された。しかしながら、依然として誤り訂正閾値を超えるようなスクイーミングレベルの直接測定には至っていない。そこで本研究では、低損失なバランス型ホモダイン受信系を構築し、かつ余分な光学部品を排除することで、スクイズド光の実効的な光損失を約 21%から約 12%まで低減した。また、高精度な位相同期を実現するために位相同期系のシステム同定を実施し、得られたボーデ線図から制御周波数の最適化を実施した。さらに、スクイーミングおよびアンチスクイーミングの励起光強度依存性を測定結果から、本実験系における最適な励起光強度を見積もった。上記の取り組みにより、PPLN 導波路型の OPA を用いて、位相同期された連続波の 8.3 dB スクイーミング測定に成功した。Fig. 1 にスクイズド光のノイズ測定結果を示す。測定は電気スペクトラムアナライザを用いて、11 MHz を中心周波数とするゼロスパンモードで測定した。この結果は、連続波励起 OPA においては、筆者らの知る限り世界で初めて誤り訂正閾値を超える結果であり、今後の誤り訂正可能な高速な光量子コンピュータ実現に向けた重要なマイルストーンを達成したことを意味する。実験系や測定結果の詳細は当日報告する。

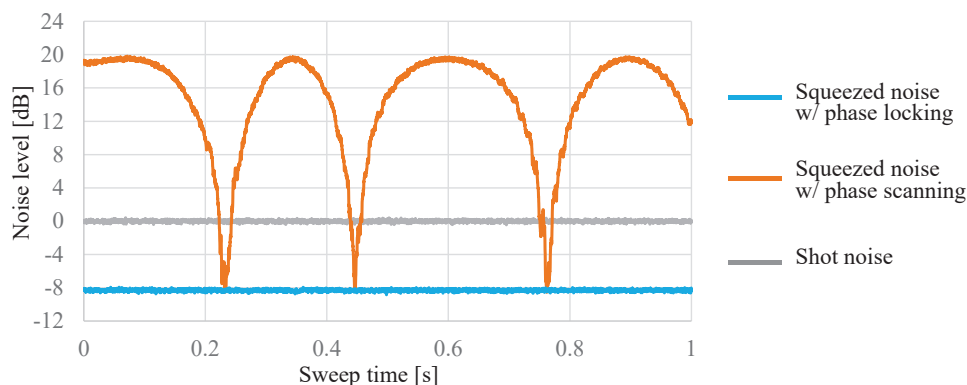


Fig. 1 Noise levels for squeezed light and a vacuum state.

[1] S. Takeda, and A. Furusawa, APL Photon. **4**, 60902 (2019), [2] W. Asavanant *et al.*, Science **366**, 373 (2019), [3] K. Fukui arXiv:1906.09767, [4] T. Kashiwazaki *et al.*, APL **119**, 251104 (2021).