ファイバ光学系での光量子計算実現に向けたファイバ結合型光パラメトリック増幅器の開発

Development of a fiber-pigtailed optical parametric amplifier for continuous-variable optical quantum computing in a fiber-closed system

日本電信電話株式会社 NTT 先端集積デバイス研究所[1]，東大院工[2]，理研 RQC[3]
○柏崎貴大[1]，山嶋大地[2]，高梨直人[2]，井上飛鳥[1]，梅木毅伺[1]，古澤明[2,3]
NTT Device Technology Labs[1], The University of Tokyo[2], RIKEN RQC[3]
○T. Kashiwazaki,[1] T. Yamashima[2], N. Takanashi,[2] A. Inoue,[1] T. Umeki,[1] and A. Furusawa[2,3]
E-mail: takahiro.kashiwazaki.dy@hco.ntt.co.jp

はじめに

時間領域にわたって多重化された連続量光クラスター状態を用いる測定誘起型光量子コンピュータは，大規模・高速かつ汎用的な量子計算が可能であることから期待されている[1]．これは，空間を飛来する光を用いることで，時間軸上に量子ビットを多数並べることができるため，計算の大規模化に際し，超伝導量子ビットやイオントラップ方式等でとられる素子の集積化や装置の並列化を用いる必要がない．つまり装置を大きくすることなく計算規模を大きくできるというスケーラビリティを有する．

これまでこれらの光量子計算の原理検証実験は，光学定盤の上に多数のミラーやレンズを配置した空間光学系により行われてきた．これは量子性を保つために光損失を抑え，かつ光同士の干渉度を最大限に高めるためであり，そのためには実験の度に光学系を微調整する必要があった．しかし，光量子コンピュータの実機開発においてはメンテナンスフリーなシステム構築が求められており，光ファイバや光集積回路の活用が不可欠である．特に量子性の起源となるスクィーズド光の生成に関して，光ファイバや集積回路に閉じた系で，任意の量子計算が可能となる二次元クラスター生成に必要な 4.5 dB 以上のノイズ圧搾は未報告であった．

今回，我々は低損失なファイバ接続型光パラメトリック増幅器（OPA）を実現し，光ファイバ部品のみで構成された系において，6 THz 側帯波において 6 dB 以上量子ノイズが圧搾されたスクィーズド光の生成に成功したので報告する．

低損失光パラメトリック増幅器

これまで我々はドライエッチング技術により作製された周期分極反転 $LiNbO_3$（PPLN）導波路 OPA を用いて，光ファイバ光学系において 3 dB 程度のスクィージングを報告してきた[2]．今回スクィージングレベルを高めるため，導波路低損失化が期待される機械研磨加工を用いて，長さ 45 mm の PPLN 導波路を作製した[3]．Fig. 1 (a)は作製した導波路の光損失評価結果を示している．ドライエッチングにより作製された導波路では 1.2 dB 以上の損失を示すのに対し，今回作製した導波路は 0.5 dB 以下の低損失性を示した．さらに，作製した導波路をレンズやミラーを用いて，光ファイバ接続型のモジュールとして実装した．モジュールの外観写真を Fig. 1(b)に示す．

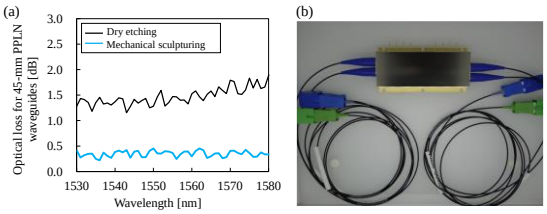

Fig. 1 (a) Optical attenuation spectra for 45-mm-long waveguides. (b) Photograph of the fiber-pigtailed optical parametric amplifier.

THz 側帯波におけるスクィージングレベル測定

作製したファイバ接続型 OPA を用いて光ファイバ部品のみにより構成された光学系においてスクィージングレベルの測定を行った．なお，測定には全光型の光直交位相振幅分散測定手法[3]を採用し，6 THz 側帯波におけるスクィーズドノイズレベルを評価した．Fig. 2 に示すように真空レベルよりも 6 dB 以上低いノイズが観測されている．これは任意の量子計算に必要となる二次元クラスター生成がファイバ光学系においても実現できることを示唆しており，今後の量子コンピュータ実機開発を大きく加速させる．

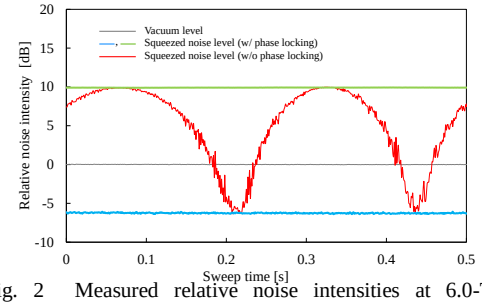

Fig. 2 Measured relative noise intensities at 6.0-THz sideband frequency.

参考文献

[1] S. Takeda and A. Furusawa, APL Photonics **4**, 60902 (2019).
[2] 柏崎貴大 他，第 82 回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集，12p-N103-1 (2021).
[3] T. Kashiwazaki, et al., Appl. Phys. Lett. **119**, 251104 (2021).

© 2022年 応用物理学会