

導波路型 PPLN 結晶を用いた広帯域中赤外デュアルコム分光計の開発

Development of a broadband mid-infrared dual-comb spectrometer using a waveguide-type PPLN crystal

徳島大学 ポストLED フォトニクス研究所¹, 徳島大学², 電気通信大学³

○吉井 一倫¹, 久世 直也¹, 井上 一輝², 榎永 大亮², 中嶋 善晶³, 安井 武史^{1,2}, 美濃島 薫^{1,3}

pLED, Tokushima Univ.¹, Tokushima Univ.², Univ. of Electro-Commun.³

○K. Yoshii¹, N. Kuse^{1,2}, K. Inoue², D. Masunaga², Y. Nakajima³, T. Yasui^{1,2}, K. Minoshima^{1,3}

E-mail: yoshii.kazumichi@tokushima-u.ac.jp

1. はじめに

中赤外(MIR)領域は、分子の指紋領域と呼ばれ、高強度な分子吸収線が豊富に存在し微量ガスをはじめとする物質同定に利用される。一方、近赤外域では光周波数コム(光コム)を用いた新規の分光技術が盛んに研究され、特に、光コム 2 台を用いたデュアルコム分光法が広帯域・高精度・高速なフーリエ分光法として注目されている。このような背景のもと、MIR 域でのデュアルコム分光計が環境・医療分野での新たなガス分析手法として期待されている。

MIR 域光コム(MIR コム)発生の実用的手法は、光コム技術の成熟しているエルビウム(Er)ファイバーコムを基本波光源とした波長変換を用いることである。岩国らは、広帯域化した Er ファイバーコムの光を導波路型周期分極反転ニオブ酸リチウム(PPLN WG)結晶に入射することで、0.35–4.4 μm にわたる広帯域光コム発生に成功している[1]。2018 年には、NIST のグループにより PPLN WG で発生させた広帯域 MIR コムを用いたデュアルコム分光も報告されている[2,3]。本研究では、文献[1]と同型の PPLN WG 結晶を用いて、実用化を見据えた MIR コムの高出力化とそれらを光源とする MIR デュアルコム分光計の開発を目的とする。

2. 実験

基本波光源として、繰り返し周波数 $f_{\text{rep}} = 100$ MHz の Er ファイバーコム(ネオアーク社製)を用いた。出射光を増幅した後、高非線形ファイバー(HNLF)により広帯域化し、疑似位相整合周期 28.75 μm の PPLN WG に結合し MIR コムを発生させた。 f_{rep} に周波数差(Δf_{rep})を与えた MIR コムをもう 1 台開発し、連続波レーザーを介して 2 台のコムを位相同期させた。それぞれの出力光を合波した後、フィルターを用いて基本波光を取り除き MCT 検出器でビート信号を検出した。

3. 結果と考察

Fig.1(a)に光スペクトラムアナライザーで測定

した PPLN WG から発生した 0.6–5.2 μm (短波長側は測定器の限界)の広帯域光コムを示す。PPLN WG 内での差周波発生により 2.7 μm 以上の MIR コムが新たに発生している。MIR コムの出力は約 2 mW であった。結晶への入射光出力 200 mW に対する MIR 光の発生効率 は 1% であり、先行研究[1,3]の発生効率と比較し一桁程度の向上が見られた。これは入射光に付与する分散の最適化が寄与したと考えられる。

中心波長 4.26 μm (半値全幅: 120 nm)のバンドパスフィルターで抽出し $\Delta f_{\text{rep}} = 1$ kHz に設定した MIR コムのインターフェログラム信号を Fig.1(b)に示す。計測はサンプリング周波数 100 MSa/s、シングルショットで行われ、信号雑音比が約 25 の良好なセンターバースト信号が得られている。発生した 2 台の MIR コムがデュアルコム分光に十分なコヒーレンスを有することを確認した。

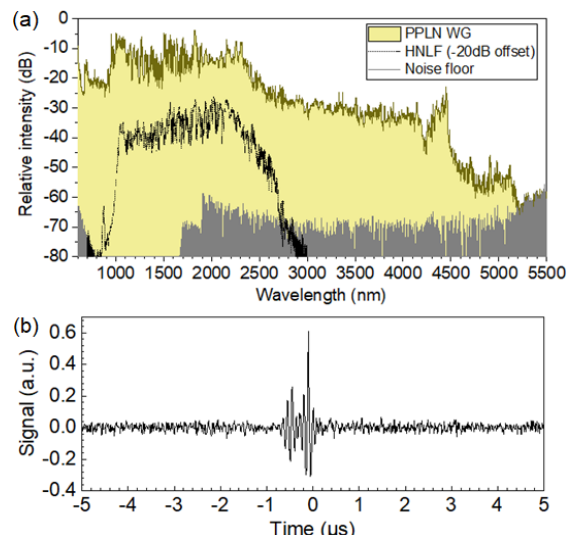


Fig. 1. (a) Observed a broadband comb spectrum from 0.6–5.2 μm in PPLN WG crystal. The spectrum of the output pulse from the HNLF (dotted line) is shown. (b) The center burst of the interferogram resulting from the multiheterodyne of the two MIR combs.

参考文献

- [1] K. Iwakuni, *et al.*, Opt. Lett., **41**, 3980 (2016).
- [2] G. Ycas, *et al.*, Nat. Photon., **12**, 202 (2018).
- [3] A. S. Kowligy, *et al.*, Opt. Lett., **43**, 1678 (2018).