

## 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

## Waveguide-type PPLN crystal-based broadband mid-infrared dual comb spectrometer

徳島大学 ポスト LED フォトニクス研究所<sup>1</sup>, 徳島大学<sup>2</sup>, 東邦大学<sup>3</sup>, 電気通信大学<sup>4</sup>○吉井 一倫<sup>1</sup>, 光本 涼<sup>2</sup>, 久世 直也<sup>1</sup>, 井上 一輝<sup>2</sup>, 中嶋 善晶<sup>3</sup>, 安井 武史<sup>1,2</sup>, 美濃島 薫<sup>1,4</sup>pLED, Tokushima Univ.<sup>1</sup>, Tokushima Univ.<sup>2</sup>, Toho Univ.<sup>3</sup>, Univ. of Electro-Commun.<sup>4</sup>○K. Yoshii<sup>1</sup>, R. Mitsumoto<sup>2</sup>, N. Kuse<sup>1</sup>, K. Inoue<sup>2</sup>, Y. Nakajima<sup>3</sup>, T. Yasui<sup>1,2</sup>, K. Minoshima<sup>1,4</sup>

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)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。

実用的な広帯域 MIR デュアルコム分光計(DCS)は、光コム技術の成熟しているファイバークムを基本波光源とした差周波発生[1]や光パラメトリック発振[2]により実現されている。これらの光源は数十 mW 級の高い MIR 出力を得られるが、周波数 2 分割したマルチパス構成や OPO のための共振器部のような複雑な構成を持つ。最近、ファイバークムの光を導波路型非線形結晶に結合するというシンプルなシングルパス構成により広帯域 MIR デュアルコムを実現する研究が盛んにおこなわれている。シリコンナイトライド導波路では2.8-3.6  $\mu\text{m}$  域で1-3 mW の出力を有す MIR-DCS が開発されている[3]。2018 年には、NIST のグループによりリッジ導波路型の周期分極反転ニオブ酸リチウム結晶(PPLN WG)で発生させた広帯域 MIR コムを用いた DCS が報告されている[4]。しかしながら、報告されているシングルパス構成における PPLN WG からの MIR 出力はいずれも数百  $\mu\text{W}$  [4,5]に限られていた。本研究では、文献[5,6]と同型の PPLN WG を用いた 2.4 - 4.5  $\mu\text{m}$  域で 4 mW の出力を有す広帯域 MIR コムの発生と、それらを光源とす

る MIR-DCS の開発を報告する。

## 2. 結果

PPLN WG 内での差周波発生により約 2.4  $\mu\text{m}$  から 4.5  $\mu\text{m}$  までの MIR コムが新たに発生した。基本波光を十分にカットした後、サーマルセンサーを用いて MIR コムの出力を測定した。MIR コムの出力は約 4 mW であった。結晶への入射光出力 300 mW に対する MIR 光の発生効率は約 1%であり、先行研究[4,5]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。

$\Delta f_{\text{rep}} = 100 \text{ Hz}$  に設定しコヒーレント積算回数 40,000 回にて広帯域 MIR デュアルコムスペクトルを取得した。スペクトルは帯域幅 33 THz (1,110  $\text{cm}^{-1}$  and 1,500 nm)で 330,000 本のコムモードに対応する、3.0-4.5  $\mu\text{m}$  (2,220-3,330  $\text{cm}^{-1}$ )域をカバーしている。Fig.1 に 3.8-4.5  $\mu\text{m}$  域を拡大したスペクトルを示す。大気中の  $\text{CO}_2$  とガスセル中の  $\text{N}_2\text{O}$  のスペクトルを同時に測定できている。これらのスペクトルは HITRAN モデルの計算値とよく一致している。

## 参考文献

- [1] G. Ycas, *et al.*, Nat. Photon., **12**, 202-208 (2018).
- [2] A. V. Muraviev, *et al.*, Nat. Photon., **12**, 209-214 (2018).
- [3] H. Guo, *et al.*, Optica, **7**, 1181-1188 (2020).
- [4] A. S. Kowligy, *et al.*, Opt. Lett. **43**, 1678-1681 (2018).
- [5] K. Iwakuni, *et al.*, Opt. Lett. **41**, 3980-3983 (2016).
- [6] K. Yoshii, *et al.*, Phys. Rev. Applied, **11**, 054031-1-8 (2019).

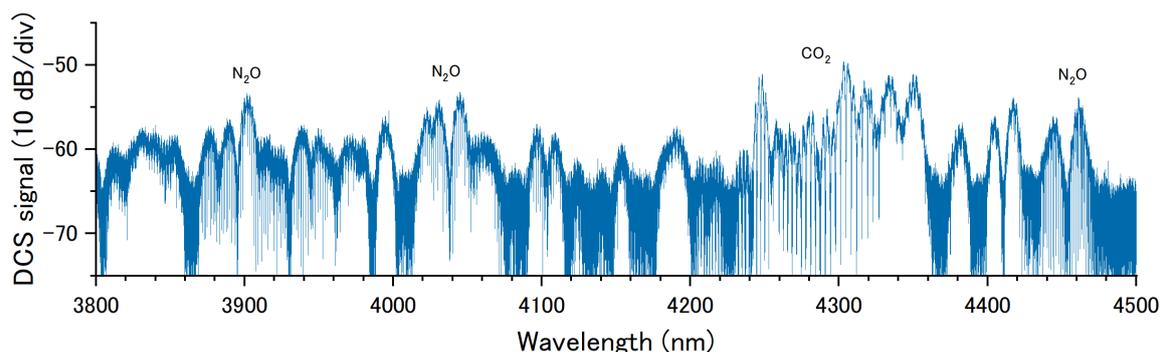


Fig. 1. Observed a broadband MIR dual-comb spectrum from 3.8-4.6  $\mu\text{m}$  in PPLN WG crystal.