中赤外光コムと高分解能分散素子を用いた高分解能分光システムの構築

Development of high resolution spectrometer with mid-IR optical comb and highly dispersive element.

東大物性研[1]，トヨタ自動車[2]，○杉山 慶[1]，谷 峻太郎[1]，米田 修[2]，須藤 裕之[2]，小林 洋平[1]

ISSP, Univ. Tokyo[1], Toyota Motor Corp.[2], ○Kei Sugiyama[1], Shuntaro Tani[1], Osamu Komeda[2], Hiroyuki Suto[2], Yohei Kobayashi[1]

E-mail: sugiyama@issp.u-tokyo.ac.jp

中赤外光領域(2 –20 μm)には分子の振動回転準位に由来する多数の吸収線が存在し、呼気診断、環境モニタリング、セキュリティなど様々な分野での応用に向け、精力的な研究がなされている[1]。特に呼気診断においては、リアルタイムに複数の分子種を識別するため、分子の吸収線幅で決まる 1 GHz 程度の高分解能、秒未満の高速な測定、複数の分子吸収線のカバーできる帯域幅などの要件を満たす分光システムが必要である。広帯域かつ高分解能な分光測定が可能な手法として、FT-IR とデュアルコム分光が挙げられる。FT-IR は広い周波数帯域をカバーする一方、リアルタイムなデータ取得は困難である。また、デュアルコム分光は高分解能かつ高速な測定が可能な強力な手法であるが、中赤外領域で現在得られているSN比は$14/\sqrt{s}$程度にとどまっている[2]。我々は、高分解能の分散素子と二次元アレイ検出器を用いることで、分解能と帯域を両立しながら高速な分光が可能なシステムを構築した。

実験のセットアップを Fig. 1 に示す。高分解能の分散素子として Ge イマージョン回折格子を用い、検出器として中赤外カメラを用いた分光器となっている。繰り返し周波数 100 MHz の Yb 添加ファイバーレーザーを光源とし、Yb 添加ファイバー増幅器で 1.5 W に増幅する。フォトニック結晶ファイバーを用いて 1.5 μm までスペクトルを広げ、これと 1 μm の基本波との差周波発生により中赤外光コムを生成した。1 m のシングルパス気体セル透過後、高分解能回折格子を含む回折格子対を用いて二次元ディテクタ上に分散させ、中赤外カメラで検出した。メタンの入ったセルを透過させて得たエシェルグラムを Fig. 2 に示す。メタンによる吸収線がはっきりと見えており、105 fps で 20 dB を超えるSN比が得られている。また、1 GHz 離れた吸収線を区別できる分解能を持っている。

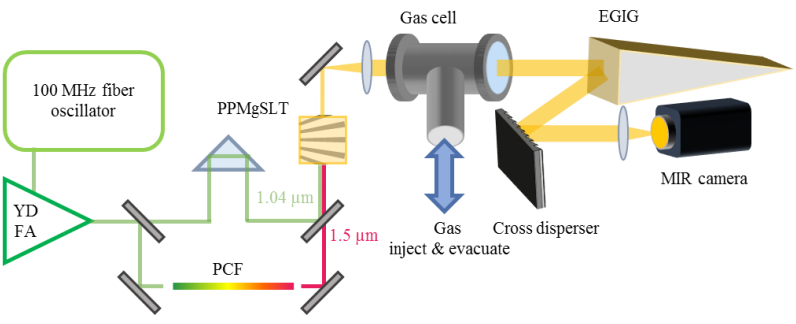

Fig. 1. Experimental setup. YDFA: Yb-doped fiber amplifier, PPMgSLT: Periodically poled MgO-doped stoichiometric lithium tantalate, PCF: Photonic crystal fiber, EGIG: Extremely-high-order germanium immersion echelle grating, MIR: Mid-IR

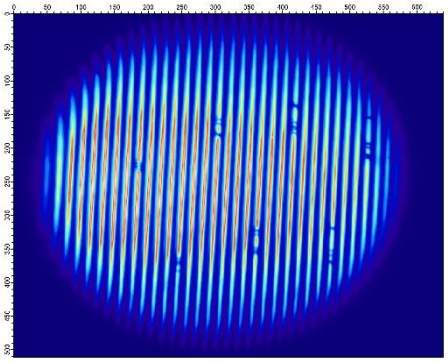

Fig. 2. Image of the 100 MHz, 3.3 μm comb through the Ge immersion grating, showing absorption of Methane. 105 fps, 0.1 ms integration.

[1] F. Adler et al., Opt. Lett. 34, 1330-1332 (2009).

[2] Henry Timmers et al., Optica 5, 727-732 (2018).

© 2019年 応用物理学会