

広帯域中赤外光周波数コムによるリアルタイム分子分光器の開発

Development of a real-time spectrograph of molecules with a wide-spanning mid-infrared optical frequency comb

東大物性研¹, JST-ERATO², キヤノン³

○大久保 弘樹^{1,2}, 助川 隆³, 遠藤 護^{1,2}, 中村 卓磨¹, 伊藤 功^{1,2}, 谷 峻太郎¹, 小林 洋平^{1,2}

ISSP, Univ. Tokyo¹, JST-ERATO², Canon Inc.³,

○Hiroki Okubo^{1,2}, Takashi Sukegawa³, Mamoru Endo^{1,2}, Takuma Nakamura¹, Isao Ito^{1,2},

Shuntaro Tani¹, Yohei Kobayashi^{1,2}

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

【背景】中赤外光（波長 2 – 20 μm 程度）の範囲は分子固有の強い吸収帯が多数存在することから分光応用に魅力的な領域であり、近年コヒーレント光源の開発が盛んに行われている。なかでも光周波数コムは、波長域が広い、縦モード一本ごとが狭線幅、絶対周波数にアクセス可能といった特長を備えており、光周波数コムの中赤外領域への拡張が進められている[1]。このような特性のため、光周波数コムは精密分光などの基礎研究にとって不可欠であるとともに、環境測定や呼吸分析による健康診断[2]のような実社会での幅広い応用も期待される。これらの実現には、検出感度、分解能、高速性といった分光性能の向上が課題である。今回我々は高分解能かつ高速な分光を目指し、昨秋に報告した中赤外光周波数コム[3]と反射型エシェール回折格子、InSb 赤外カメラを組み合わることにより、リアルタイムで分子の赤外吸収を直接観測可能な分光装置を開発した。

【実験】使用した中赤外光周波数コムは、自作の Yb: Y₂O₃ セラミックモード同期レーザー（中心波長 1075 nm, スペクトルの半値全幅 10 nm, 繰り返し周波数 1.025 GHz）を差周波発生(DFG)の方法で波長変換して得たものである[3]。Yb 添加ファイバー増幅器の改良により、縦モード 1 本あたり 0.1 μW の DFG の出力が得られた。また、DFG を取るための fan-out 型 MgO 添加 PPSLT (Periodically Poled Stoichiometric LiTaO₃) 結晶の分極反転周期を変えることで、波長可変範囲 3.7 – 5.2 μm を実現した。反転周期を固定した場合、DFG のスペクトル幅は 100 nm である。この中赤外光を、分光したいガスを入れるためのパイプ（長さ 1 m）に通した後、回折格子と InSb 赤外カメラ（フレームレート 460 Hz）で構成される分光器に入射した。開発した分光器は図 1 のようになっている。はじめのエシェール回折格子で高次の回折光を取り出し、その後もう一つの回折格子で重なった次数を上下に分けている。この光を InSb 赤外カメラに照射することで、図 2 (a) のような二次元の分光画像を得た。この状態からパイプ中に呼吸を入れていき、CO₂ 分子の吸収のためにスペクトルの一部が図 2 (b) のように暗くなる様子を観測した。本装置では DFG のモードパワーが大きく素子の回折効率が高いため、十分な S/N 比でリアルタイムでの測定が可能である。今後はコムモード一本一本の分離を行い、広帯域・リアルタイムでの高分解分光法の確立を目指す。

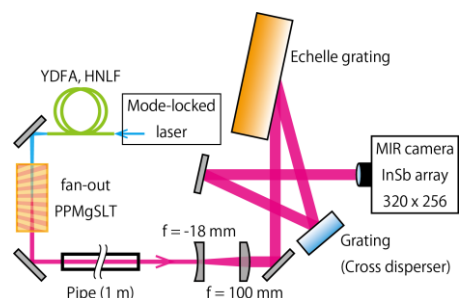


Fig 1. Schema of the developed spectrograph.

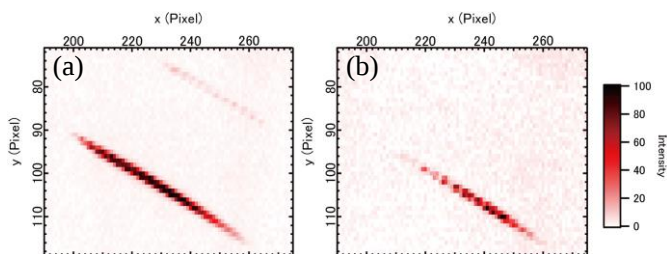


Fig 2. Two-dimensional images of a mid-IR comb around 4.3 μm (a) without breath (b) with breath.

- [1] A. Schliesser *et al.*, Nat. Photonics **6**, 440–449 (2012). [2] M. J. Thorpe *et al.*, Opt. Express **16**, 2387–2397 (2008).
[3] H. Okubo, T. Nakamura, M. Endo, I. Ito, Y. Kobayashi, 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会, 18a-S8-6 (2014).