

モード同期 Cr:ZnS レーザーを用いた共振器内ガス分光

Intracavity gas spectroscopy based on mode-locked Cr:ZnS laser

東大生研 ○(D)岡崎 大樹, Wenqing Song, 森近 一貴, 芦原 聡

IIS, UTokyo, Daiki Okazaki, Wenqing Song, Ikki Morichika, Satoshi Ashihara

E-mail: dokazaki@iis.u-tokyo.ac.jp

中赤外域 ($\lambda = 2 - 20 \mu\text{m}$) の超短パルス光源は光電場駆動現象や長波長光通信、樹脂材料のレーザー加工など、多くの分野で高いポテンシャルを秘めており、その需要が急速に高まっている。特に、中赤外域には様々な分子振動の共鳴が存在するため、古くから“分子の指紋領域”と称され、現在も先進的な分子振動分光法の開拓が盛んに進められている¹。

近年、 Cr^{2+} イオンや Fe^{2+} イオンを添加したカルコゲン化物を用いたレーザーが、中赤外域の超短パルス光源として有望視されている。Cr:ZnS に代表される中赤外領域で直接モード同期発振するレーザーは、非線形光学効果を用いた周波数下方変換を伴う従来型の光源と比べて、高い電力-光変換効率・優れたビーム品質・高い繰返し周波数を実現することから、“中赤外域のチタンサファイア”と称され、中赤外超高速光科学の新しい基盤技術として有望視されている。本研究ではこれまでに、中赤外共鳴する単層カーボンナノチューブを可飽和吸収体に用いることで、Cr:ZnS レーザーにおけるセルフスタートモード同期発振 (時間幅 31 fs, 中心波長 2.3 μm) や、平均出力 4.0 W (100 nJ) への増幅に成功している^{2,4}。

Cr:ZnS レーザーの優れた点の1つとして、発光中心 (2.35 μm) が大気の窓に位置することが挙げられる。しかし、モード同期によって Cr:ZnS レーザーのスペクトルは、大気吸収帯 (1.9 μm および 2.5 μm) まで広帯域化する。レーザー共振器内に気相分子由来の狭線幅な共鳴吸収が存在すると、共振器内部で形成された光ソリトンが急峻な屈折率変化による摂動を受ける。その結果、レーザースペクトルが変調されることが知られており^{5,6}、レーザーの広帯域化・短パルス化においては障壁となっている。

今回我々は、上記の現象を積極的に利用して、モード同期 Cr:ZnS レーザーを用いたガス分子のレーザー共振器内分光を行った。その実験系を Fig.1(a) に示す。通常モード同期レーザー発振器の光路内に一酸化炭素ガスセル (1 atm, 10 cm) を挿入している。共振器内分散はガスセルの MgF_2 窓 (1.5 mm, $\text{GVD} = -61 \text{ fs}^2/\text{mm}$) を含め、約 -500 fs^2 であり、レーザーはソリトンモード同期発振する。Fig.1(b) に出力スペクトルを示す。これより一酸化炭素の伸縮振動に関する第一倍音がレーザースペクトルに重畳されている様子が確認できる。変調スペクトルに関してはディップ形状ではなく、分散型の形状をしていることが水蒸気の吸収線から確認できる。126.735 THz における吸収線 (透過率 55.4 %) で変調度は 139 % と求まり、通常透過吸収分光と比べて感度の向上が期待される。また、メタンガスの振動和音に関しても同様の変調が観測された。

現在、変調信号の定量性、及び、分子の共鳴周波数情報を重畳した新規光源としての応用可能性に関する考察を進めており、本発表ではそれらを紹介する。

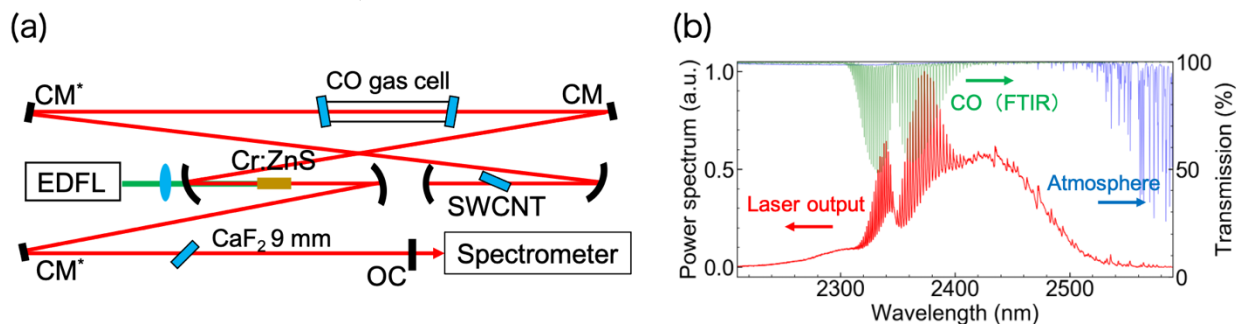


Fig. 1 (a) Experimental setup of our intracavity gas spectroscopy based on Cr:ZnS oscillator.

(b) Measured power spectrum of Cr:ZnS oscillator with CO gas cell.

- 【参考文献】 1) I. Morichika, *et al.*, *Journal of Phys. Chem. C*, **121**, 21, 11643 (2017). 2) D. Okazaki *et al.*, *Opt. Lett.* **44**, 7, 1750 (2019).
3) D. Okazaki *et al.*, *Opt. Express*, **28**, 14, 19997 (2020). 4) T. Kugel *et al.*, 第 68 回応物春季学術講演会, 19a-Z06-3 (2021).
5) V. L. Kalashnikov, *et al.*, *Phys. Rev. A*, **81**, 033840 (2010). 6) V. L. Kalashnikov, *et al.*, *Opt. Express*, **19**, 18, 17480 (2011).