2波長モード同期ファイバーレーザーとアダプティブ・サンプリング式 デュアル THz コム分光法を用いた低圧ガス計測

Low-pressure molecular gas spectroscopy using a combination of adaptive sampling

dual THz comb spectroscopy with a dual-wavelength mode-locked fiber laser

徳島大学¹. JST. ERATO 美濃島知的光シンセサイザ². 北京航空航天大学³

^O(M1)新田 一樹^{1,2}. (D) 陈 杰^{1,3},南川 丈夫^{1,2},郑 铮³,安井 武史^{1,2}

^OK. Nitta^{1,2}, C. Jie^{1,3}, T. Minamikawa^{1,2}, Z. Zheng³, and T. Yasui^{1,2} Tokushima Univ.¹, JST, ERATO MINOSHIMA IOS², Beihang Univ.³ E-mail: nitta@femto.me.tokushima-u.ac.jp http://femto.me.tokushima-u.ac.jp/

テラヘルツ(THz)波は、光波と電波の境界に位置する電磁波であり、極性気体分子に回転遷移に よる吸収スペクトルが現れる周波数帯に位置する。THz 領域で観測される吸収線はドップラー拡 がりよりも圧力拡がりが支配的であるため、低圧状態でガス分析を行うことで高い分子分別性が 期待できる。さらに THz 波はエアロゾルの粒子径よりも大きいため、散乱の影響を受けにくいと いった特徴が挙げられる。これらより、エアロゾル混在ガス中の複数の気体分子種を簡便かつ迅 速に同時分析する手法として、THz 分光が注目されている。精密 THz 分光法の1つにデュアル THz コム分光法(THz-DCS)がある。この手法では繰り返し周波数(=frep1, frep2)がわずかに異なる(A fren=fren2-fren1)2台のフェムト秒レーザーをTHz発生及びTHz検出に用い、多数の周波数モード列 が櫛の歯状に等間隔で並んだ THz コムを広帯域スペクトルの周波数目盛りとして利用することに より、高確度・高分解能・広帯域が実現できる[1-3]。通常は、周波数安定化制御された2台のフェ ムト秒レーザーが利用されるが、高価格性や複雑性のため汎用性を損ねていた。THz-DCS に汎用 性を付与するため、非制御で単一共振器の2波長独立モード同期ファイバーレーザーの利用が報 告されている[4]。しかし非制御レーザーを用いると、タイミングジッターのため、周波数ダウン スケーリング・ファクター(=frep/Δfrep)が時間と共に揺らいで周波数軸の線形性が担保できなくなり、 スペクトル分解能や確度が低下する。このような問題に対して、タイミングジッターを反映した アダプティブ・クロックを生成し、それに基づいて信号取り込みを行うことにより、周波数軸の 線形性を回復するアダプティブ・サンプリング法が提案されている[5-7]。本研究では、2波長独 立モード同期ファイバーレーザー (λ_l =1523nm, f_{repl} =48.804MHz; λ_2 =1558nm, f_{rep2} = $f_{rep1}+\Delta f_{rep}=48.804204$ MHz, $\Delta f_{rep}=204$ Hz)を用いた THz-DCS に、アダプティブ・サンプリング法を 導入し、低圧状態でガス分光した。

デュアル THz スペクトラム・アナライザーを用いてデュアル THz コム間の高次のビート信号を 抽出し[6]、これをアダプティブ・クロックとした。実験セットアップを図1に示す。ガスセルに アセトニトリル(CH₃CN)を注入し、低圧状態とした(700Pa)。吸収スペクトルを、提案手法(アダ プティブ・クロック・サンプリング法)を用いて取得した結果を図2に示す(積算回数100,000回)。 結果より、アセトニトリルの吸収スペクトルである18.4GHz間隔の鋭い吸収線が良く見えている。 これらの線幅は、202MHz であった。アダプティブ・クロックを用いることにより、2 波長独立モ ード同期ファイバーレーザーを用いても、タイミングジッターの影響を受けずに低圧ガス分光計 測を行えることを確認した。

本研究は、JST-ERATO 美濃島知的光シンセサイザ(JPMJER1304)の助成を受けて行われた。

- [1] Appl. Phys. Lett. 88, 241104 (2006). [2] IEEE-TST **3**, 322-330 (2013). [3] Sci. Rep. 4, 3816 (2014). [4] Sci. Rep. 8, 11155 (2018).
- [5] Nat. Comm. 5, 3375 (2014).
- [6] Sci. Rep. 5,10786 (2015).
- [7]新田他,2018年秋季応物学会,21p-212A-3



Fig.1. Experimental setup

Fig.2. Absorption spectrum