

自己波長切替発振レーザーを用いたテラヘルツ波帯瞬時差分吸収計測

瀧田 佑馬¹, 和田 芳夫², 池應 敏行², 縄田 耕二¹, 東 康弘², 南出 泰亜¹

¹理化学研究所 (〒980-0845 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 519-1399)

²株式会社リコー (〒981-1241 宮城県名取市高館熊野堂字余方上 5-10)

THz-Wave Fast Differential Absorption Measurement Using Spectral Multifurcated Laser

Yuma TAKIDA¹, Yoshio WADA², Toshiyuki IKEO², Kouji NAWATA¹, Yasuhiro HIGASHI²,
and Hiroaki MINAMIDE¹

¹RIKEN, 519-1399 Aramaki-Aoba, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-0845

²Ricoh Company, Ltd., 5-10 Yokara-Kami, Kumanodo Takadate, Natori, Miyagi 981-1241

Abstract: We have demonstrated fast differential absorption measurement in the THz-wave region for gas sensing applications. Our system is based on an injection-seeded THz-wave parametric generator driven by a passively Q-switched, multifurcated subnanosecond Nd:YAG microchip laser. Within a single excitation cycle of the laser, the system can generate up to three self-frequency-switched, narrowband THz-wave pulses that are separated from each other in frequency and time by 11 GHz and 78 μ s, respectively. As an experimental proof-of-concept demonstration, we performed differential absorption measurements of water vapor in the atmosphere by precisely tuning the THz-wave frequencies. Our approach paves the way toward realization of a THz-wave differential absorption lidar system for use in remote gas sensing.

Key Words: THz wave, Laser, Differential absorption spectroscopy

1. はじめに

テラヘルツ (THz) 波を用いたリモートガスセンシング技術は、THz 波帯の特徴的な吸収スペクトルを活用することで危険ガス等の極性ガス分子を検知できるため、安心・安全社会の実現に資する次世代技術として注目されている。ガスセンシングにおいて大気中のガス濃度を高精度かつ瞬時に計測するためには、対象ガス分子に対して吸収の大きな周波数と小さな周波数の2つの周波数を用いて差分吸収計測を行うことが効果的である¹⁾。

我々はこれまで、THz 帯における差分吸収計測技術の確立を目的として、外部変調なしに近接した2波長もしくは3波長間で自己切替発振するサブナノ秒 Nd:YAG マイクロチップレーザーを励起光源に用いることで、差分吸収計測に適した周波数的かつ時間的にわずかに離れた THz 波パルス列を出力する高出力 THz 波光源の開発を行ってきた。この THz 波光源を用いて、大気中の水蒸気の瞬時差分吸収計測を実証²⁾したので、報告する。

2. 実験光学系

図1に、実験光学系の概略図を示す。THz 波発生のための励起レーザー光源には、VCSEL 駆動サブナノ秒 Nd:YAG マイクロチップレーザー^{3,4)}

を用いた。このレーザーからの受動 Q スイッチ光パルスを、ニオブ酸リチウム ($\text{MgO}:\text{LiNbO}_3$) 結晶を用いた光注入型 THz 波パラメトリック発生 (is-TPG)⁵⁾により、1.0–3.5 THz で周波数可変な THz 波パルスに波長変換を行った。発生させた THz 波パルスは、ガスセルを透過させた後、高速応答ショットキーバリアダイオード (SBD) 検出器を用いて検出した。

3. 実験結果

図2に、マイクロチップレーザーの単一励起サイクル内に得られる THz 波パルス列の時間構造と周波数構造の一例を示す。マイクロチップレーザーの自己波長切替発振の動作条件を最適化することで、振幅の等しい3つの THz 波パルスがおよそ 78 μ s の時間間隔で観測された (図2(a))。さらに、is-TPG のシード光の波長掃引により THz 波の周波数を変化させた結果、スペクトル中にディップとして現れる大気中の水蒸気の吸収線が 11 GHz 離れた周波数で観測された (図2(b))。これらの結果は、マイクロチップレーザーの空間ホールバーニング効果による自己波長切替発振によって、周波数的かつ時間的にわずかに離れた THz 波パルス列が安定して得られていることを示している²⁾。

図3に、大気中の水蒸気に対する瞬時差分吸収

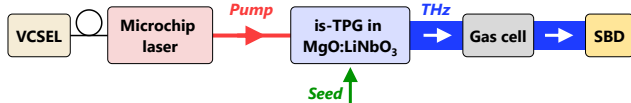


図 1. 実験光学系の概略図.

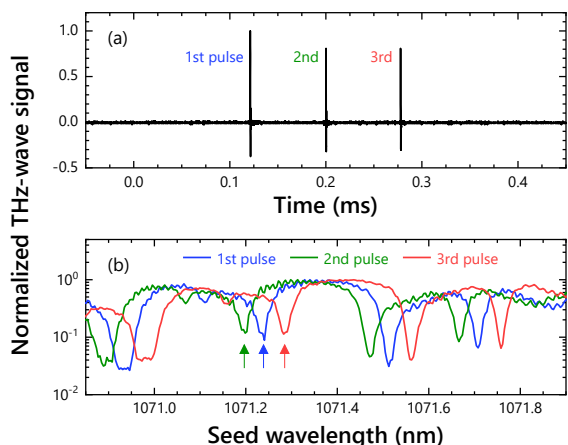


図 2. 得られた THz 波パルス列の (a) 時間構造と (b) 周波数構造.

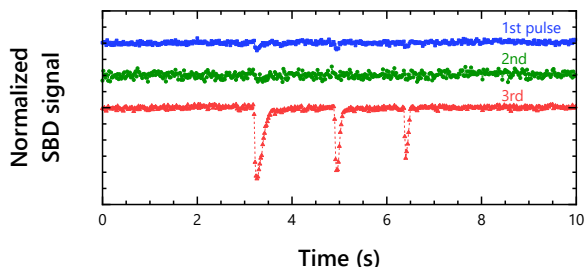


図 3. 大気中の水蒸気に対する THz 帯瞬時差分吸収計測の実験結果.

計測の実験結果を示す. THz 波周波数の 1 つ (3rd pulse) を水蒸気の吸収線に同調し, レーザーの繰り返し周波数である 50 Hz に対応した 20 ms 間隔で 3 つの THz 波パルスの信号強度をそれぞれ計測した. そして, 窒素バージしたガスセル内に大気ガスをハンドブロワーによって瞬間的に 3 回導入した. その結果, 吸収線に同調した THz 波パルスの信号強度のみがガスセル内の水蒸気の濃度変化に応じて急峻に変化したのに対して, 残り 2 つの THz 波パルスの信号強度は一定であった. この結果は, THz 帯の差分吸収計測を実現したことを示している²⁾. 講演では, 実験結果の詳細ならびにマルチパスセルを用いた高感度化に向けた取り組みについて報告する.

謝 辞

本研究の一部は, JST A-STEP 機能検証フェーズ (VP30118067340) の支援を受けたものです.

参考文献

- 1) V. Molebny, P. McManamon, O. Steinvall, T. Kobayashi, and W. Chen: Opt. Eng. **56** (2017) 031220.
- 2) Y. Takida, T. Ikeo, K. Nawata, Y. Wada, Y. Higashi, and H. Minamide: Appl. Phys. Lett. **115** (2019) 121102.
- 3) T. Suzudo, K. Hagita, T. Ikeo, K. Izumiya, N. Jikutani, Y. Higashi, and T. Taira: 4th Laser Ignition Conference 2016 (LIC'16), LIC3-1, Yokohama, Japan (2016).
- 4) T. Ikeo, K. Hagita, Y. Ishikawa, Y. Higashi, N. Jikutani, T. Taira, and T. Suzudo, 5th Laser Ignition Conference 2017 (LIC'17), LWA2.2, Bucharest, Romania (2017).
- 5) S. Hayashi, K. Nawata, T. Taira, J. Shikata, K. Kawase, and H. Minamide: Sci. Rep. **4** (2014) 5045.