

is-TPG を用いた遮蔽物内試薬の分光イメージング

加藤 三樹矢¹, 村手 宏輔¹, 川瀬 晃道¹
¹名古屋大学 (〒464-8603 愛知県名古屋市中種区不老町)

THz Spectroscopic Imaging of Concealed Chemicals Using is-TPG System

Mikiya KATO¹, Kosuke MURATE¹, and Kodo KAWASE¹
¹Nagoya Univ., Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi 464-8603

Abstract: In 2003, we reported the first-ever development of a spectroscopic imaging system using a terahertz (THz) wave parametric oscillator (TPO). But the system has a dynamic range below four orders of magnitude, so we demonstrated screening and detection through a thin international mail envelope that was about 0.1 mm thick. Recently, we succeeded in developing a high power and high sensitivity THz wave spectroscopic imaging system using injection-seeded THz parametric generation and detection, which has achieved a dynamic range of 100 dB. It is a unique, broadband THz wave source that can produce a wavelength tunable, single wavelength Fourier transform-limited pulse. In this study, the new spectroscopic imaging system successfully identified reagents through thicker material than the thin envelopes used previously.

Key Words: Terahertz, Spectroscopy, Spectroscopic imaging

1. はじめに

現在、封筒内に隠された禁止薬物の非破壊検査技術が未発達なため、国内外で容易に禁止薬物の密輸が行われており、深刻な問題となっている。この問題の解決策として、非破壊で郵便物内の禁止薬物を識別可能な技術が必要とされている。テラヘルツ波は様々な物質を透過することや、多くの試薬がテラヘルツ波帯に特徴的な吸収スペクトル（指紋スペクトル）を有することから、非破壊・非接触薬物検査への応用が期待されている¹⁾。

2003年にはテラヘルツ波パラメトリック発振器（THz wave Parametric Oscillator: TPO）を用いたテラヘルツ分光イメージングによる封筒内に隠された禁止薬物の非破壊検査を初めて報告した²⁾。しかし、当時用いたTPOはダイナミックレンジが4桁以下であり、厚手の遮蔽物では減衰が大きかったため、国際郵便用の厚さ約0.1mmの極めて薄い封筒越しで薬物検出のデモンストレーションを行った。

近年、我々は光注入型THz波パラメトリック発生（injection-seeded THz-wave parametric generator: is-TPG）及び検出を用いたテラヘルツ分光イメージングシステムの大幅な高出力化と高感度化に成功し、100dBもの高いダイナミックレンジを得ることができた^{3,4)}。本研究では、この高ダイナミックレンジな発生・検出技術を用いたテラヘルツ分光イメージングシステムを開発し、厚手の遮蔽物越しでの分光イメージングを行ったので報告する⁵⁾。

2. 実験方法及び結果

2.1 実験方法

今回使用した is-TPG を用いたテラヘルツ分光イメージングシステムを Fig.1 に示す。マイクロチップ Nd:YAG レーザと波長可変な外部共振器型半導体レーザはそれぞれポンプ光とシード光として使用している。増幅したポンプ光をビームスプリッタで2つに分け、一方をシード光とともに発生側結晶に入射させることでテラヘルツ波を発生させた。このとき、波長を変化させた際の角度位相整合条件を満たすように、シード光はグレーティングとテレスコープ系を用いたアクロマティック光学系を通しての。発生したテラヘルツ波は焦点距離 100mm のレンズで集光され、焦点位置でのビーム径は約 1mm である。サンプルを透過したテラヘルツ波を、ポンプ光と同じタイミングで検出側結晶にシード光として入射することで、近赤外領域の信号光が発生する。この信号光を近赤外パイロ検出器により検出し、ロックインアンプを介して記録した。

2.2 実験結果

本研究で用いた試薬は、マルトース、グルコース、フルクトースの3種類の糖類粉末である。各糖類粉末（粒径 30~130 μ m）をプラスチック製の袋（10 \times 10mm）に封入し、厚さ約 1mm とした。Fig.2 (a) のように、左からマルトース、グルコース、フルクトースの順で糖類粉末を並べ、メン

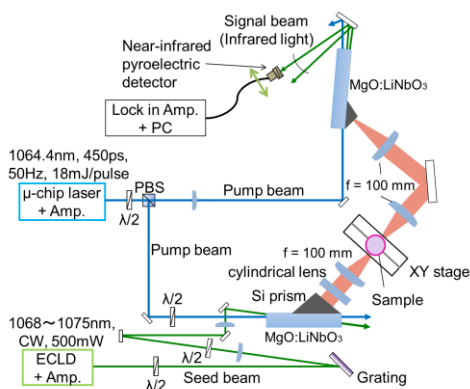


Fig. 1. THz spectroscopic imaging system.

ディングテープで固定し、Fig.2 (b-d) のように厚紙の EMS 封筒 2 枚，段ボール 2 枚，気泡緩衝材 4 枚で遮蔽した．この時のサンプルの厚さは約 23mm であり，2003 年の報告¹⁾で用いた約 0.1mm の薄い封筒よりも格段に分厚い．

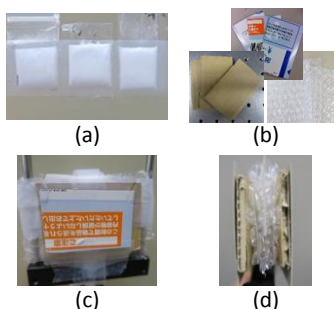


Fig. 2. Sample preparation (a) Saccharide powders, (b) Covering (EMS envelope (top), cardboard (left), and bubble wrap (right)), (c) Covered form (front), and (d) Covered form (side).

このサンプルを透過分光イメージングした結果が Fig.3 である．上から，マルトース，グルコース，フルクトースの空間パターンを示しており，各成分の識別ができていことがわかる．また，各空間パターンの糖が識別されている部分の 1 画素の吸収スペクトルを見ると (Fig.4)，それぞれの吸収ピークが確認でき，厚手の遮蔽物越しにおいても分光イメージングが可能であることがわかる．

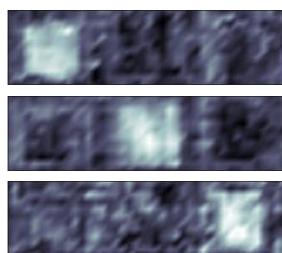


Fig. 3. Spectral imaging results (from the top: maltose, glucose, and fructose).

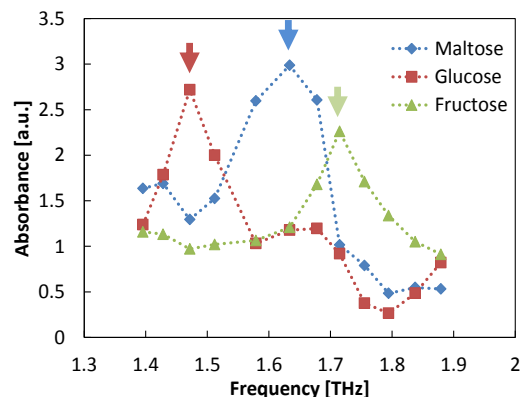


Fig. 4. One-pixel absorption spectrum of each saccharide sample.

3. 結論

光注入型 THz 波パラメトリック発生及び検出を用いて今回新たに構築したテラヘルツ分光イメージングシステムにより，2003 年の報告よりもはるかに厚い遮蔽物越しで糖類の画像識別に成功した．さらに糖類だけではなく，2003 年に報告した通り，禁止薬物及び複数の試薬が混合した場合でも分光イメージングが可能である．この測定手法は，郵便物検査，薬局での処方ミスの防止，医薬品製造工程での検査，さらには覚せい剤や爆薬の不法所持検査等への応用が期待される．

謝 辞

本研究を進めるにあたりご協力頂いた，理化学研究所の南出泰亜チームリーダー，林伸一郎研究員，名古屋大学のトリパティサロジ研究員に深く感謝いたします．

本研究は JSPS 科研費 25220606 と JST 産学共創プロジェクトの助成を受けたものです．

参考文献

- 1) M. Tonouchi: Nat. Photonics **1** 2 (2007) 97-105.
- 2) K. Kawase, Y. Ogawa, Y. Watanabe, and H. Inoue: Opt. Express **11** 20 (2003) 2549-2554.
- 3) S. I. Hayashi, K. Nawata, T. Taira, J. I. Shikata, K. Kawase, and H. Minamide: Sci. Rep **4** (2014) 5045.
- 4) K. Murate, Y. Taira, S. R. Tripathi, S. I. Hayashi, K. Nawata, H. Minamide, and K. Kawase: IEEE Trans. THz. Sci. Tech. **4** 4 (2014) 523-526.
- 5) M. Kato, S. R. Tripathi, K. Murate, K. Imayama, and K. Kawase: Opt. Express **24** 6 (2016) 6425-6432.