

線集光型テラヘルツ時間領域分光イメージングを用いた動体観測

Line-focused THz time-domain spectroscopic imaging of moving object

○井原淳之, 澤中健一, 安井武史, 荒木勉

○Atsushi Ihara, Ken-ichi Sawanaka, Takeshi Yasui, and Tsutomu Araki

大阪大学大学院基礎工学研究科

Graduate School of Engineering Science, Osaka University

E-mail: t-yasui@me.es.osaka-u.ac.jp, <http://sml.me.es.osaka-u.ac.jp/>

We propose a line-focused THz time-domain spectroscopic (THz-TDS) imaging system for THz spectroscopic imaging of a moving object by combination of electro-optical time-to-space conversion and real-time 1D imaging of a THz beam passing through a sample. We applied the proposed system for a moving object, and achieved the pixel rate of 2,320 pixel/sec. The proposed method will be a powerful tool in the fields of security monitoring and nondestructive testing.

1. はじめに

テラヘルツ波 (THz 波: 周波数 0.1~10THz、波長 30 μ m~3000 μ m) は、X線や超音波に代わる非接触・非侵襲な内部透視手段として、セキュリティ・工業計測・生体計測を始めとした様々な分野での応用が期待されている。特に、最近、THz 領域においてビタミン・糖・医薬品・農薬・禁止薬物・プラスチック爆弾・ガン組織を始めとした様々な物質が固有の吸収スペクトル (THz 指紋スペクトル) を示すことが明らかになり、内部透視イメージを THz 周波数毎の色付きカラー画像 (THz 分光画像) として測定可能な THz 時間領域分光 (THz-TDS) イメージングが、『どこに』『何が』あるかを識別可能な成分分析型内部透視手段として注目されている。しかしながら、基本的に点計測である従来法では、例えば1次元 (ライン状) の THz-TDS イメージを取得するためには、時間遅延走査及びサンプル走査のため2次元の機械的走査機構が必要となり、長い測定時間を必要としていた。その結果、測定対象が静止物体のみに制限され、実用化を実現する上で大きな障害となっていた。もし、このような機械的走査機構を省略できれば、測定時間の大幅な短縮が可能になり、動体サンプルへの適用も可能になると考えられる。

我々は、これまでに電気光学的時間-空間変換と線集光 THz 結像光学系を複合した実時間2次元時空間 THz イメージング法を提案し[1]、これを利用することにより機械的走査機構が不要な線集光型 THz-TDS イメージング法を開発した[2]。さらに、前回、パルス・ロックイン THz イメージング法[3]の適用により測定 SN 比を改善し、ナイフエッジ法を用いて空間分解能の評価を行った[4]。今回は、本システムを動体サンプルの測定に応用したので報告する。

2. 実験装置

実験装置図を図1に示す。高強度 THz パルスはフェムト秒チタン・サファイア再生増幅器 (波長 800nm、パルスエネルギー 600 μ J/pulse、繰り返し周波数 1kHz) からのレーザー光を ZnTe 結晶 (ZnTe1, 10mm 角 \times 4mm 厚) に入射することにより発生させる。THz パルスとプローブパルスを THz 検出用 ZnTe 結晶 (ZnTe2, 25mm 角 \times 1mm 厚) に非共軸入射することにより、THz パルス電場の時間波形がプローブパルスの空間複屈折量分布に変換される (電気光学的時間-空間変換)。クロスニコル配置の偏光子ペア (図1では省略) によってプローブ光の空間強度分布に変換された THz パルス電場時間波形は、結像レンズを介して高速 CMOS カメラ (浜松ホトニクス、インテリジェントビジョンシステム、232 \times 232 ピクセル、フレームレート 1000fps) の水平座標に展開される。一方、CMOS カ

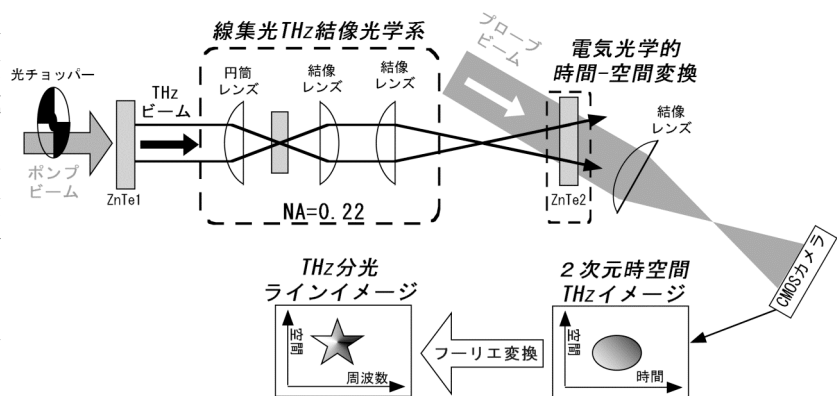


Fig. 1. Experimental setup.

メラの垂直座標は1次元イメージングに利用可能であるので、円筒 THz レンズを用いて THz ビームをサンプルに線集光し、それを THz レンズペアで ZnTe2 に結像することにより、サンプルの1次元 THz イメージを CMOS カメラの垂直座標に展開する。CMOS カメラは 1kHz レーザーパルスに同期し、さらにレーザー繰り返し周波数の 1/2 分周 (500Hz) に同期した光チョッパーを THz 発生用ポンプ光に用いることにより、THz パルスが ZnTe2 に入射した場合 (信号イメージ) と入射していない場合 (背景イメージ) のプローブ光イメージを各パルス毎に連続取得し、その差分イメージを CMOS カメラ内で算出することにより、高速なパルス・ロックイン・イメージング (フレームレート 500fps) を実現している。最終的に、2次元時空間 THz イメージの時間軸 (水平座標) を高速フーリエ変換することにより振幅の THz 分光ラインイメージを得る。

3. 測定結果

サンプルには、THz 帯フォトニック結晶の1つであるメタルホールアレイ (MHA) を用いた。MHA は、空孔率を調節することにより、透過周波数が選択可能な THz 帯バンドパスフィルターとして利用できる。今回は、空間的に異なる透過特性を有する 4 分割 MHA [SUS304 ; 透過周波数 = 0.2THz, 0.4THz, 0.8THz, 1.5THz ; 図 2] を作成し、これをモータ駆動式機械ステージで連続的に移動させながら測定を行った (1ライン測定時間=100 ミリ秒、全イメージ測定時間=10 秒)。図 3 は取得された THz 分光イメージ (232pixel*100line) を示しており、各周波数毎に異なるイメージが確認できる。0.18THz 及び 1.53THz では 4 分割 MHA の仕様通りのイメージが得られているが、0.39THz では 0.2THz-MHA、0.78THz でも 0.2THz-MHA 及び 0.4THz-MHA のイメージのクロストークが測定されている。これは、MHA が透過周波数の低周波側成分を急激に減衰させる一方で高周波側成分を若干透過させる透過スペクトル特性を持つためである。今回の線集光型実時間 THz-TDS イメージングのピクセルレートは、従来 (点計測型 THz-TDS イメージング) の 100 倍以上である毎秒 2320 ピクセルに達している。

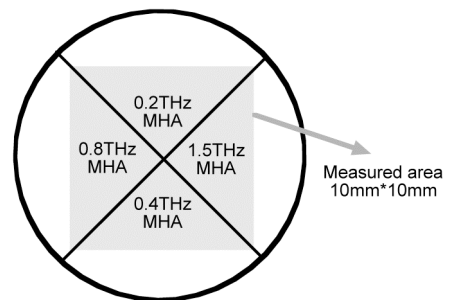


Fig. 2. Sample (4-segment MHA)

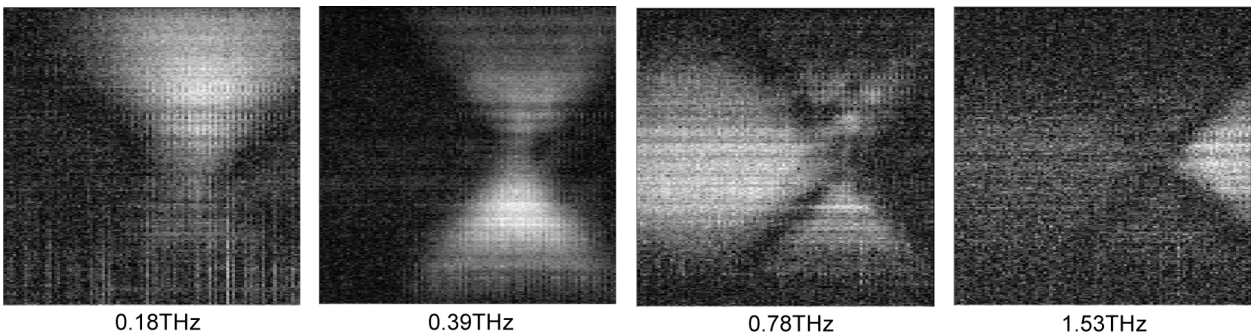


Fig. 3. THz-TDS image of 4-segment MHA

4. まとめ

電気光学的時間-空間変換と線集光 THz 結像光学系を用いた線集光型 THz-TDS イメージング法を動体サンプルに適用し、その有用性を評価した。その結果、従来法を大幅に上回るピクセルレートを達成可能なことを確認した。

本研究は科研費 18686008・18650121 及び住友財団より援助を受けた。

文献

- [1] Yasuda et al: Opt. Comm. 267 (2006) 76.
- [2] 安井武史他, Optics Japan 2005 講演予稿集, 23aP11, pp. 110-111 (2005).
- [3] F. Miyamaru et al: Jpn. J. Appl. Phys., vol. 43, pp.L489-L491(2004).
- [4] 安井武史他, Optics & Photonics Japan 2006 講演予稿集,9pP30, pp. 356-357 (2006).