G100065

テラヘルツ・カラスキャナーを用いた成分分析型内部透視イメージング

北口 貴之^{*1}, ムケシュ ジェワリヤ, 安井 武史

Non-destructive inspection and component analysis using terahertz color scanner

Takayuki KITAGUCHI^{*1}, Mukesh JEWARIYA and Takeshi YASUI^{*2}^{*1} The University of Tokushima, Institute of Technology and Science
Minami-josanjima 2-1, Tokushima, 770-8506 Japan

Terahertz (THz) spectroscopic imaging is an interesting new tool for nondestructive testing and other applications because of good penetration to non-metal material and spectral fingerprints in THz region. However, the current speed of image acquisition is relatively low, making it difficult to use it on moving objects. In this paper, We proposed a fast terahertz color scanner based on electro-optical time-to-space conversion and linefocusing of a terahertz beam. The proposed system functions as a color scanner in the terahertz spectral region with fast line-scanning and can be used to image objects, which are moved on a translation stage. We evaluated basic performance of the developed system.

Key Words : Terahertz wave, Non-destructive test, Component analysis

1. 緒 言

テラヘルツ波（周波数 0.1~10THz, 波長 30 μm ~3mm）は、電波と光波の中間に位置する電磁波である。THz パルスは非金属物質に対して良好な透過特性を持ち、イメージング計測や分光計測が可能等といった様々な特徴を有す。また最近では、THz 領域において、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っており、この THz 指紋スペクトルを利用した THz 分光法が新たな分析手段として期待されている。これら THz 波の特徴を利用すれば、従来の X 線や超音波には難しかった、非接触・非侵襲な内部透視イメージングが可能となる。さらに、カラー（分光）画像も取得できるので、THz 指紋スペクトルを利用して「どこに」、「なにが」あるかを識別できる。このような THz 波を用いた成分分析型内部透視イメージング技術は、セキュリティ分野⁽¹⁾、バイオ分野⁽²⁾、製薬分野⁽³⁾等における有力な検査ツールと期待されている。しかし、通常の手法は点計測を基本としているため、画像取得には機械的な 2 次元走査が必要となり、長い測定時間（数時間以上）を要する。その結果、測定対象が静止物体のみに限定され、実用を損ねてきた。

ここで、電気光学的時間-空間変換による実時間 THz 時間波形計測と線集光 THz 結像光学系による実時間 THz ラインイメージングを複合すれば、機械的走査機構が不要になり、大幅な時間短縮が実現できる⁽⁴⁾。われわれは、THz ビームをサンプルに対してライン状に集光し、一般のカラスキャナーと同じくラインの動き（または測定対象の動き）に合わせて実時間で分光ラインイメージを連続測定することにより、従来法と比較して高速な THz 分光イメージング装置を実現した。本講演では、われわれが開発した THz カラスキャナーを報告する。

2. 実験装置

実験装置図を図 1 に示す。フェムト秒チタン・サファイア再生増幅器（パルス幅 150fs, 平均出力 800mW, 繰返し周波数 1kHz, 中心波長 800nm）から発生した高強度フェムト秒パルス光は、偏光ビームスプリッター（PBS）

^{*1} 学生員, 徳島大学大学院先端技術科学教育部知的力学システム工学専攻機械創造システム工学コース (〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町 2-1)

^{*2} 正員, 徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部 (〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町 2-1)
E-mail: yasui@me.tokushima-u.ac.jp

により THz パルス発生用のポンプ光と検出用のプローブ光に分割される．ポンプ光を非線形光学結晶（ZnTe1）に入射することにより，高強度 THz パルスを発生させる．THz パルスとプローブ光を THz 検出用電気光学結晶（ZnTe2）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光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）⁽⁵⁾．クロスニコル配置の偏光子ペア（P, A）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（L）を介して高速 CMOS カメラの水平座標に展開される．一方，CMOS カメラの垂直座標は 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（CL1）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（TL, CL2）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．このように，水平座標に時間軸，垂直座標に空間軸が展開された 2 次元時空間 THz イメージを，高速ロックイメージング検出する（500fps）⁽⁶⁾．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と位相の THz 分光ラインイメージを実時間で得る．

Fig. 1 Experimental setup. PBS: Polarization beam splitter; OC: optical chopper; ZnTe1 and ZnTe2: zinc telluride crystals; IRF: infrared cutoff filter; NDF: Neutral density filter; $\lambda/2$: Half wave plate; CL1 and CL2: THz cylindrical lenses; S: sample; L2: THz plano-convex lens; BE: beam expander; P: polarizer; A: analyzer; L: plano-convex lens.

3. 実験結果

まず，THz カラースキャナー装置を構築し，その基本特性を評価した．サンプルを何も置かない状態で THz パルスの電場時間波形を取得した．図 2 は測定時間 1000ms で取得された THz 電場の時間波形を示しており，約 0.5ps のモノサイクル THz パルスが得られていることが確認できる．なお，本装置の測定時間窓が約 39.5ps であることも示されている．次に，この電場時間波形をフーリエ変換することによって取得された振幅スペクトルを図 3 に示す．約 1THz 程度のスペクトル帯域が得られていることが確認できる．また，0.55THz 付近及び 0.75THz 付近のスペクトル・ディップは，大気中水蒸気の水蒸気による吸収線を示している．

次に、開発装置を用いた分光測定の妥当性を評価するため、メタルホールアレイ（MHA）の計測を行った。MHAは、金属板に周期構造を設けたTHz帯フォトニクス結晶の1つであり、THz帯のバンドパスフィルタ

Fig. 2 THz pulse wave-form.

Fig. 3 Amplitude and phase spectrum of THz pulses.

として機能することが知られている。ここでは、ステンレス板に、開口直径 0.38mm、開口間隔 0.75mm の周期構造を施すことにより、0.4THz に透過率ピークを有する MHA を計測した。測定された電場時間波形と振幅スペクトルを図 4 および図 5 に示す。時間波形では、約 2.5ps 周期の周期的な信号が観測される一方で、振幅スペクトルには鋭敏な透過率ピークが 0.4THz に現れており、本装置を用いて正確に分光計測が出来ていることを確認した。

Fig. 4 THz pulse wave-form of MHA.

Fig. 5 Amplitude and phase spectrum of MHA.

4. 結言

電気光学的時間一空間変換による実時間 THz 時間波形計測と線集光 THz 結像光学系による実時間 THz ラインイメージングを複合した THz カラーキャナー装置を構築した。本装置の測定時間窓は約 39.5ps であり、MHA 透過後の振幅スペクトルの測定結果から、分光計測における妥当性が証明された。従って本装置の線集光部をサンプルに対し走査させることで、実時間での THz 分光イメージングが期待できる。

文 献

- (1) K. Kawase, Y. Ogawa, Y. Watanabe, and H. Inoue: "Nondestructive terahertz imaging of illicit drugs using spectral fingerprints," Opt. Express, Vol.11, Issue 20, pp.2549~2554 (2003)
- (2) T. Löffler, T. Bauer, K. Siebert, H. Roskos, A. Fitzgerald, and S. Czesch: "Terahertz dark-field imaging of biomedical tissue," Opt. Express, Vol.9, Issue 12, pp.616~621 (2001)
- (3) Y.-C. Shen and P. F. Taday: "Development and application of terahertz pulsed imaging for non destructive inspection of pharmaceutical tablet," IEEE J. Selected Topics in Quantum Electron., Vol.14, Issue 2, pp.407~415 (2008)
- (4) T. Yasuda, T. Yasui, T. Araki, and E. Abraham: "Real-time two-dimensional terahertz tomography of moving objects," Opt. Comm., Vol.267, Issue 1, pp.128~136 (2006)
- (5) J. Shan, A. S. Weling, E. Knoesel, L. Bartels, M. Bonn, A. Nahata, G. A. Reider, and T. F. Heinz: "Single-shot measurement of terahertz electromagnetic pulses by use of electro-optic sampling," Opt. Lett., Vol.25, Issue 6, pp.426~428 (2000)
- (6) F. Miyamaru, T. Yonera, M. Tani, and M. Hangyo: "Terahertz two-dimensional electrooptic sampling using high speed complementary metal-oxide semiconductor camera," Jpn. J. Appl. Phys., Vol.43, No.4A, pp.L489~L491 (2004)