

時空間変換を用いたシングルショット・テラヘルツ・ トモグラフィーの基礎研究

Single-shot terahertz tomography using time-to-space conversion

○安田敬史, 安井武史, 荒木勉

○Takashi Yasuda, Takeshi Yasui and Tsutomu Araki

大阪大学大学院 基礎工学研究科

Graduated School of Engineering Science, Osaka University

E-mail: yasuda@sml.me.es.osaka-u.ac.jp

http://sml.me.es.osaka-u.ac.jp/araki_lab/index.html

We propose a single-shot terahertz tomography for recording two-dimensional cross-sectional images of a sample directly and at video-rate. The proposed method is based on time-to-space conversion in an electro-optics(EO) crystal at a noncollinear geometry for a terahertz beam and a probe beam. We confirm that the proposed method is useful for real-time terahertz tomography through evaluation of its basic characteristics.

1. はじめに

テラヘルツ断層イメージング法(THz トモグラフィー)は、THz 電磁波パルスの自由空間伝播・非金属に対する良好な透過特性・コヒーレントなサブピコ秒パルス・低侵襲・低散乱といった特性を活かした新しい内部透視手法であり、最近では空港手荷物検査や郵便物検査、ライン製品の品質評価、生体診断といった動体の計測手段としても期待されている。しかし従来の THz トモグラフィーは点計測であるため、2次元断層イメージを得るためには2軸(時間遅延走査、サンプル走査)の走査機構が必要となり計測に時間がかかるという問題点がある。

我々は電気光学結晶(ZnTe 結晶)内での時間-空間変換を利用することで時間遅延走査及びサンプル走査が不要な実時間シングルショット THz トモグラフィーの研究を行っている。今回はシングルショット THz トモグラフィーに関する基礎研究について報告する。

2. 原理

原理図を Fig.1 に示す。本手法では、電気光学結晶(ZnTe 結晶)に THz 電磁波パルスとプローブ光を非共軸(角度 θ)に入射し両ビームを結晶内で面として重ねる。ここで THz パルスはサンプルの内部構造によって時間的($\Delta\tau$)に分離された二つのエコーパルスとする。これら二つの THz エコーパルスは結晶内でそれぞれプローブパルス光の波面と空間的に異なる位置(z 軸方向)で重なり伝播する。その結果、THz パルスエコーの遅延時間 $\Delta\tau$ は z 軸方向の空間的変位(Δz)に時間-空間変換される。したがってプローブ光学系の EO 結晶前後に偏光子と検光子をクロスニコル配置し、THz 誘起複屈折変化による透過プローブ光の z 軸強度分布を測定することでシングルショットでの時間波形計測が可能になる。ここで時間-空間変換式は以下の式で表される。

$$\Delta\tau = \frac{\Delta z \tan \theta}{c} \quad (1)$$

またプローブ光のビーム径を d とした時、時間窓 ΔT は以下の式で表されることになる。

$$\Delta T = \frac{d \tan \theta}{c} \quad (2)$$

さらに2次元検出器(CCD カメラ)の時間軸以外のもう一次元をサンプル面内の1次元空間分布測定に利用することにより実時間での2次元断層 THz イメージング(シングルショット THz トモグラフィー)が可能になる。

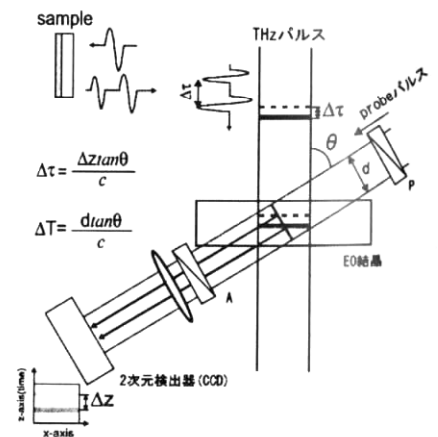


Fig.1 Principle of single-shot THz measurement

3. 測定結果

3.1 実験装置

Fig.2 に実験装置を示す。光源にはフェムト秒チタンサファイア再生増幅器(SP 社ハリケーン)を使用する。THz パルスの発生及び検出には ZnTe 結晶を用いる。発生した THz パルスは軸外し放物面鏡によってコリメートされ、別の軸外し放物面鏡によって検出用 ZnTe 結晶に集光される。プローブ光と THz パルスを検出用 ZnTe 結晶に非共軸に入射することで時間-空間変換が行われる。ZnTe 結晶上でプローブ光に転写された THz イメージはレンズ($f=150\text{mm}$)によって CCD カメラ上に結像される。この時のプローブビーム径は 5mm 、プローブと THz パルスの交叉角度は 20 度であるので式(2)より時間窓は 6ps となる。

3.2 基本特性

Fig.3-1 にシングルショット計測したときの 2 次元 THz イメージを示す。ここで横軸は時間情報、縦軸は空間 1 次元情報を示している。Fig.3-2 は切り出したシングルラインの時間波形を示している。時間校正は機械ステージによって既知の時間遅延量を与えることで行う。このとき THz パルスの時間幅は 0.6ps であった。これらの結果からシングルショットで THz パルスの時間波形が計測できている様子が確認できる。さらに本システムに反射 1 次元結像配置を導入することにより、シングルショット THz トモグラフィーが可能になる。

Fig.4 は THz イメージ(Fig.3-1)のフーリエ変換によって得られたフーリエスペクトル分布を示している。Fig.4-1 が振幅スペクトル、Fig.4-2 が位相スペクトルを示しており、 2THz の帯域が得られていることがわかる。さらに透過 1 次元結像配置を導入することによりシングルショット THz 分光イメージング(1 次元)も可能である。

4. おわりに

今回はシングルショット THz トモグラフィーに関する基礎研究について報告した。透過型配置においてシングルショット THz イメージを取得し、原理確認を行った。またこれをフーリエ変換することによりシングルショットでの THz 分光イメージングの可能性を示した。さらに、反射 1 次元結像配置の導入によりシングルショット THz トモグラフィーが可能となる。

本研究は平成 16 年度 NEDO 産業技術研究助成事業より援助を受けた。

文献

- [1] D.M. Mittleman et al, Opt. Lett., **22**, pp.904-906(1997).
- [2] J. Shen et al, Opt. Lett., **25**, pp.426-428(2000).

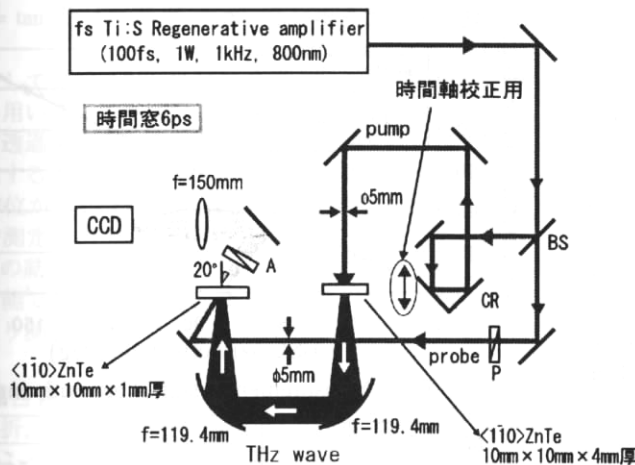


Fig.2 Experimental setup

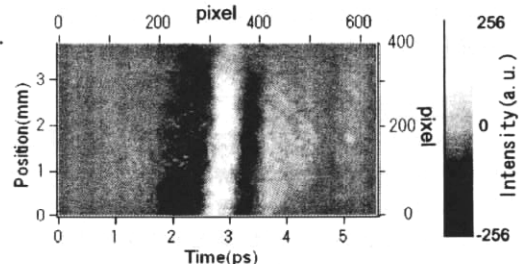


Fig.3-1 Single-shot THz image

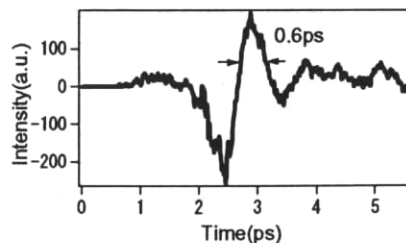


Fig.3-2 THz temporal waveform

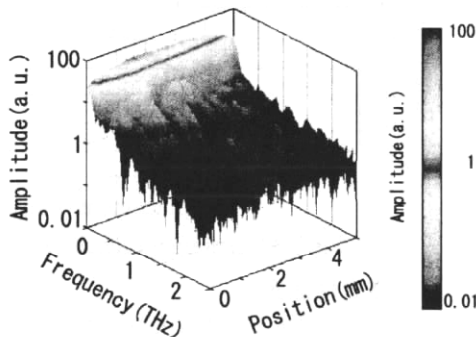


Fig.4-1 THz amplitude spectrum

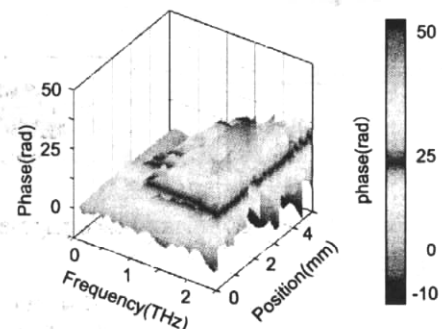


Fig.4-2 THz phase spectrum