

研究種目：基盤研究 (A)

研究期間：2006 ~ 2009

課題番号：18206009

研究課題名 (和文) テラヘルツ波トモグラフィーの高度化に関する研究

研究課題名 (英文) A research on advanced terahertz wave tomography

研究代表者

川瀬 晃道 (Kodo Kawase)

名古屋大学・エコトピア科学研究所・教授

研究者番号：00296013

研究分野：テラヘルツ光学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎、応用光学・量子光工学

キーワード：テラヘルツ波、イメージング、トモグラフィー

1. 研究計画の概要

本研究は、超短フェムト秒ファイバーレーザーを用いたテラヘルツ電磁パルス光源とするテラヘルツトモグラフィーに関するものである。テラヘルツトモグラフィーは、工業製品の塗装膜、及び錠剤コーティングなどの評価への応用が期待されている。これらの応用のためには、装置の小型化・高分解能化が不可欠である。

我々が有する独自技術として、世界最短 13 フェムト秒 (fs) のパルス幅を有するファイバーレーザーがあり、これを励起光源として、テラヘルツ時間領域分光法 (TDS: THz Time Domain Spectroscopy) で用いられる光伝導性スイッチ (Auston Switch) あるいは有機非線形光学結晶 DAST を照射すると、極めてパルス幅の短いテラヘルツ電磁波を発生し得る。その超短テラヘルツ電磁波をターゲットに照射し、エコー反射パルス波形からトモグラフィー画像を構成する Time of Flight 方式により、かつてテラヘルツ波で実現し得なかった高い奥行分解能を達成することを目指した。

2. 研究の進捗状況

(1) 我々は、励起光源としてパルス圧縮を施した小型で堅牢なファイバーレーザーを用い、超短テラヘルツパルスを生成することで、実用的かつ高分解能なテラヘルツトモグラフィーシステムの開発に成功した。我々が開発した 17 fs という超短パルスを出力するファイバーレーザーからの出力パルスを厚さ 100 μm の有機非線形光学結晶 DAST に照射すること

で、19 年度にパルス幅 200 fs の THz パルスを生成することに成功した。続いて、生成した THz パルスを放物面鏡により集光し、サンプルに照射した。サンプルの各層から反射される THz パルスの遅延を計測することで、サンプルの多層構造を知ることができる。20 年度に、本システムで測定可能な最小膜厚を評価するためにテフロンフィルムの厚さを測定した結果、奥行き分解能 5 μm を得た。これは、世界で最も優れた奥行き分解能を有するテラヘルツトモグラフィーシステムの開発に成功したことを意味する。

(2) 本テラヘルツトモグラフィーシステムを用いて新たな応用分野の開拓を進めた。

まず、自動車産業などからニーズの高い数十 μm 厚のマルチレイヤー塗装膜の断層像取得に世界で初めて成功した。これはいかなる既存技術でも測定できなかったもので、テラヘルツトモグラフィーの奥行き分解能を数 μm まで高めたことで測定可能となった。

さらに、2 層、4 層の多層構造を持つ半導体デバイスの断層情報取得を試みた結果、2 μm までの層の 2 次元画像化に成功した。また、サンプル表面の形状や状態の違いもテラヘルツトモグラフィーによって検出可能であることが確認できた。これらのことから多層構造半導体デバイスにおけるテラヘルツトモグラフィーの有用性は十分にあると確認できた。

3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。

(理由) テラヘルツ波トモグラフィの報告は1997年の米国Rice大学のD. Mittlemanら、あるいは近年の阪大安井らによる報告など数例あるが、その際の奥行き分解能はおおよそ数十から数百 μm 程度であったのに対し、本研究で得られた奥行き分解能は数 μm という飛躍的に優れた値であり、厚さ10 μm 以下のマルチレイヤーの断層画像を撮像し得る。

4. 今後の研究の推進方策

パルス幅17 fsの超短光パルスをテラヘルツ波励起に用いることで190 fsというパルス幅のテラヘルツ波の発生に成功した。今後はレーザーの改良によって、17 fsを超える超短パルスを生成し、これを励起光に用いることで、よりテラヘルツ波の短パルス化が可能となり、トモグラフィの高分解能化が期待できる。

また、エコー波形の観測にとって、テラヘルツ波の時間波形がモノパルスであることが重要であるが、現在用いている有機非線形光学結晶DASTには吸収ピークが複数存在するためモノパルス化は原理的に困難である。それに対して、我々はLiNbO₃結晶のスラブ導波路を用いたチェレンコフ型のテラヘルツ発生を提案しており、0.2-7THzの超広帯域においてフラットなスペクトルが得られている。これをトモグラフィに用いることでテラヘルツ波形がモノパルス化するため、さらなる奥行き分解能向上を実現したい。また、これにより、エコーパルスのデコンボリューション信号処理は不要となり、サンプルからの反射波形を単純に記録するだけで断層情報取得が可能になると期待される。

5. 代表的な研究成果

[雑誌論文]

(2006年以降の査読付学術論文計43件)

- ① J. Takayanagi, H. Jinno, S. Ichino, K. Suizu, M. Yamashita, T. Ouchi, S. Kasai, H. Ohtake, H. Uchida, N. Nishizawa, and K. Kawase, "High-resolution time-of-flight terahertz tomography using a femtosecond fiber laser," Optics Express, vol. 17, pp. 7533 - 7539 (2009). 査読有
- ② K. Suizu, K. Koketsu, T. Shibuya, T. Tsutsui, T. Akiba, and K. Kawase, "Extremely frequency-widened terahertz wave generation using Cherenkov-type radiation," Optics Express, vol.17, no. 8, pp. 6676-6681 (2009). 査読有
- ③ J. Takayanagi, S. Kanamori, K. Suizu, M. Yamashita, T. Ouchi, S. Kasai, H. Ohtake, H. Uchida, N. Nishizawa and K. Kawase,

"Generation and detection of broadband coherent terahertz radiation using 17-fs ultrashort pulse fiber laser," Optics Express, vol. 16, pp. 12859 - 12865 (2008). 査読有

[学会発表]

(2006年以降の、国際会議招待講演31件、国内学会招待講演33件、国内研究会等依頼講演45件、国際会議発表34件、国内会議発表64件、計207件)

- ① K. Kawase, "THz wave generation and imaging applications (Plenary Lecture)," 20th International Conference on High Resolution Molecular Spectroscopy, A1, Prague, Czech Republic (Sept. 2-6, 2008).
- ② K. Kawase, "Terahertz wave applications (Keynote)," 9th Annual Japanese-American Kavil Frontiers of Science Symposium (JAFoS), The Beckman Center, Irvine, USA (Dec. 8-10, 2006).

[図書] (計4件)

- ① 川瀬晃道, テラヘルツ技術総覧, テラヘルツテクノロジーフォーラム編, pp. 144-150, 639-641 (NGT社, 東京, 2007)

[産業財産権]

○出願状況 (計6件)

○取得状況 (計4件)

名称: Method and apparatus for detecting materials

発明者: K. Kawase, Y. Watanabe, T. Ikari

権利者: RIKEN

種類: U.S. Patent

番号: US7,352,449 B2

取得年月日: Apr. 1, 2008

国内外の別: 国外

名称: Apparatus and method for detecting scattered material by terahertz wave

発明者: K. Kawase, T. Shibuya, Y. Ogawa, M. Yamashita,

権利者: RIKEN

種類: U.S. Patent

番号: US7,291,838 B2

取得年月日: Nov. 6, 2007

国内外の別: 国外

[その他]

ホームページ

<http://www.nuee.nagoya-u.ac.jp/labs/optlab/>