

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26790063

研究課題名(和文)トポロジカル絶縁体によるアレイ型テラヘルツイメージングデバイスの開発

研究課題名(英文)Development of terahertz wave detector based on topological insulator

## 研究代表者

牧野 孝太郎(Makino, Kotaro)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・ナノエレクトロニクス研究部門・産総研特別研究員

研究者番号：30727764

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：トポロジカル絶縁体として機能すると期待される超格子型Ge-Sb-Te相変化材料を用いたテラヘルツ波の検出デバイスの研究開発を行った。テラヘルツ時間領域分光法により超格子型Ge-Sb-Te相変化材料がテラヘルツ波を吸収することが明らかとなった。この材料を用いてフォトコンダクタ型の光検出デバイスを作製した。テラヘルツ波の照射によって電気抵抗が変化し、それが比較的遅いタイムスケールで緩和するダイナミクスが観測された。

研究成果の概要(英文)：In this study, terahertz wave detector based on topological insulators which have Dirac electrons was demonstrated. GeTe/Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> interfacial phase change memory materials (iPCM) were used and THz-induced electrical response was measured. We found that the irradiation of THz pulse causes decrease in the resistance of the device.

研究分野：光物性

キーワード：テラヘルツ波 トポロジカル絶縁体 相変化材料

### 1. 研究開始当初の背景

テラヘルツ (THz) 領域における電磁波は電波と光の性質を併せ持ち、分光学におけるプローブとして活用され、また近年では、セキュリティ、食品・医薬品の検査、生体の観察などイメージング技術や、大容量無線通信技術、さらには宇宙観測など幅広い分野へと展開しつつある。しかしながら、THz 波の検出技術は発生技術と比較しても遅れを取っているのが現状である。THz 波のエネルギーは半導体のバンドギャップと比較して小さく、また周波数は電気回路の動作周波数と比較して高いため、既存の光学・電波工学の手法では検出が困難なためである。とりわけイメージングにおいては THz 波を高感度・高速で検出可能なアレイ型の検出器が求められている。

従来、THz 波の検出には光誘導アンテナや電気・光学サンプリングなどの光学的な手法が主に用いられてきた。しかし、フェムト秒レーザーが必要となるため、THz 波の発生にフェムト秒レーザーを使用しない場合には装置が大型化・高価格化してしまう。また、ポロメータを THz 波の検出に使用することが可能であるが、大型で冷却が必要な場合があり、感度が不十分であり実用上の障害となる。THz 波技術の発展には上述の問題を解決できる新しい検出器が求められる。

### 2. 研究の目的

THz イメージング手法の実用化にはデジタルカメラにおける CCD や CMOS と同様に動作する電気的なイメージングデバイスが必要とされている。最近では半導体の量子井戸・量子ドットや超電導体に加え、グラフェンやカーボンナノチューブなどのナノカーボン材料が用いられているが、デバイスの作成が困難である。

本研究ではより簡便なデバイスの実現を目指し、トポロジカル絶縁体に着目した。トポロジカル絶縁体はその表面に THz 波を吸収して電気信号に変換することが可能なディラックコーンと呼ばれる特殊な電子構造を有している。特に本研究では GeSb/Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> 超格子型相変化 (GST 超格子) を用い、THz 波のアレイ型検出器への応用を目標とした研究を行った。

### 3. 研究の方法

本研究は主に THz 波時間領域分光法 (THz-TDS) による GST 超格子の THz 波への応答の評価と、実際に検出デバイスを作製し、THz 波の検出のデモンストレーションを行う計画であった。まずは THz TDS 測定装置の構築を行ない、THz 波に対する透過及び反射測定を実施する。検出の実験ではアレイ

型デバイスの作製に先立ち、シングルセルデバイスを作製する。このデバイスを使用し、実際に THz 波を照射した際の電気的な応答を計測することで、まずは GST 超格子の THz 波検出器としての特性を評価する。後半にはシングルセルデバイスでの結果を基に、アレイ型イメージングデバイスの作製を行う。

### 4. 研究成果

まず、GST 超格子、GST 合金、及び Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 基板に対して THz-TDS 測定を行った。この測定ではサンプルに対して垂直に THz 波パルス照射し、透過したパルスを時間分解測定した。さらに、時間領域におけるパルス波形をフーリエ変換することで透過スペクトルを得た。図 1 に得られた時間領域信号を示す。なお、サンプルをそのまま通過した 1st pulse 以外にも、サンプル内で複数回反射した後に射出されたパルスも観測されており、図 1 には 2nd pulse 以降の信号も含まれている。この結果より、基板及び GST 合金は THz 波に対して吸収を示さず、透明であるが明らかとなった。これは基板と GST 合金がバンドギャップを有した半導体 (絶縁体) であり、室温においてキャリア数が少ない事を示唆している。一方、GST 超格子においては透過率が低下し、THz が吸収されることが明らかとなった。これはディラックコーンが存在し、エネルギーがバルクのバンドギャップよりも低い THz 波が吸収されることに対応している。フーリエ変換スペクトルにおいても同様の傾向が得られ、さらに周波数に依存しない事が確かめられた。これらの結果より、GST 超格子はテラヘルツ波に対して吸収を示し、テラヘルツ波への応答が期待できることが示された。

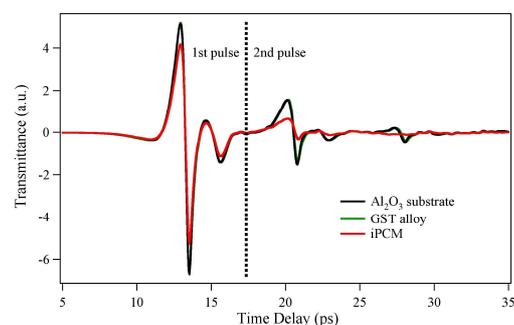


図 1 : THz-TDS 測定により得られた時間領域信号

次に、ガラス基板上に GST 超格子を積層させ、タングステンにより電極パターンを作製し、簡単な光検出デバイスを作製した。図 2 に作製したデバイスの写真を示す。このデバイスにバイアス電圧を印加しておき、流れる電流を時間分解測定し、THz 波パルスが照射され

た際に電流に変化が生じるかを測定した。光源にはLiNbO<sub>3</sub>プリズムを用い、フェムト秒レーザーパルスを照射した際に非線形光学効果によって発生するTHz波パルスをデバイスのアクティブエリア中央に集光させて照射した。

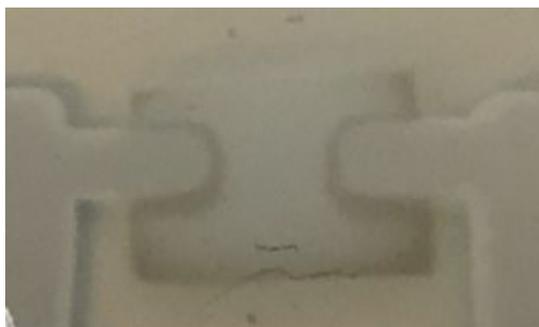


図2：作製したTHz波検出デバイス

その結果、図3に示すようにTHz波パルスの照射に伴う電流の変化を検出することに成功した。なお、この測定ではバイアス電圧を8Vとし、THzパルスのパワー、繰り返し周波数、スポット径をそれぞれ820μW、500Hz、1mmとして測定を行ない、得られた信号から暗電流を引き去った後に電流アンプ及び電圧アンプにより信号を増幅し、デジタルオシロスコープにより512回積算を行っている。この測定結果より、GST超格子を用いた光検出器により、THzが検出可能であることが確かめられた。

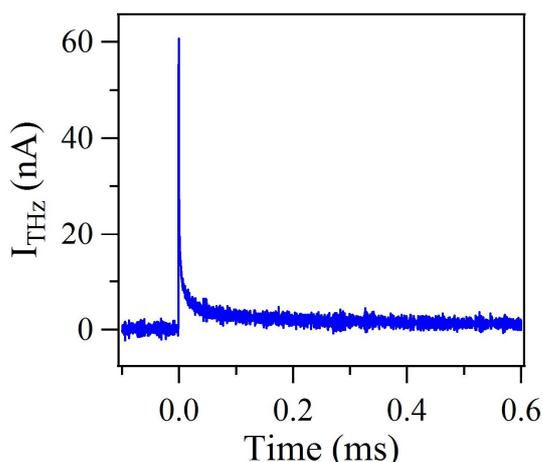


図3：THz波が照射された際に検出デバイスより出力された電流信号の時間分解測定結果

その後、図4に示すように2次元アレイ化したデバイスを作製した。残念ながら、THz波をデバイス全面に照射することが困難であり、またアクティブエリアの面積が確保できないこともあり、イメージングのデモンストレーションには至っていないが、アレイ化デバイスの作成には成功している。

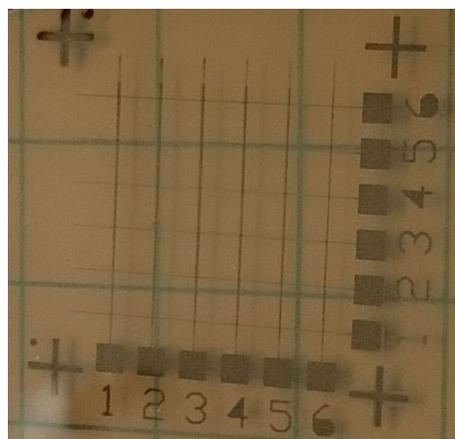


図4：作製したアレイTHz波検出デバイス

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

K. Makino, S. Kuromiya, K. Takano, M. Nakajima, Y. Saito, J. Tominaga, and T. Nakano “Photoconductive THz detection with GeTe/Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> interfacial phase change material.” Proceedings of European Phase Change and Ovonic Science 2015, 24, 2015

〔学会発表〕(計6件)

牧野孝太郎、齊藤雄太、富永淳二、中野隆志、「超格子相変化記録材料におけるコヒーレントフォノン分光」第62回応用物理学会春季学術講演会、東海大学、2015. 3. 11.

K. Makino, Y. Saito, J. Tominaga, and T. Nakano “GeTe/Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> interfacial phase change materials for THz and IR light detection” Topotronics 2015, OIST, Okinawa, Japan, March 9-10, 2015.

K. Makino, S. Kuromiya, K. Takano, M. Nakajima, Y. Saito, J. Tominaga, and T. Nakano “GeTe/Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> interfacial phase change materials for THz and IR light detection.” The Second International Symposium on Frontiers in THz Technology, Hamamatsu (Japan), AUG. 30 - Sep. 2, 2015.

K. Makino, S. Kuromiya, K. Takano, M. Nakajima, Y. Saito, J. Tominaga, and T. Nakano “Photoconductive THz detection with GeTe/Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> interfacial phase change material.” 2015 European Phase Change and Ovonic Symposium, Amsterdam

(Netherlands), Sep. 6-9, 2015.

K. Makino, S. Kuromiya, K. Takano, M. Nakajima, H. Iida, M. Kinoshita, Y. Saito, J. Tominaga, and T. Nakano " THz detection by GeTe/Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> interfacial phase change (iPCM) materials. " JSAP-OSA Joint Symposia, Nagoya (Japan), Sep. 13-16, 2015.

K. Makino, S. Kuromiya, K. Takano, M. Nakajima, Y. Saito, P. Fons, A. V. Kolobov, J. Tominaga, T. Nakano, M. Hase " THz study and ultrafast control of interfacial phase change memory material " Gordon Research Conference "Ultrafast Phenomena in Cooperative Systems", Lucca (Barga), (Italy), Feb. 14-19, 2016.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

牧野孝太郎 (MAKINO, Kotaro)

産業技術総合研究所・ナノエレクトロニクス

研究部門・研究員

研究者番号：30727764

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者