

令和元年6月14日現在

機関番号：32607

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06312

研究課題名（和文）リアルタイム偏波計測用集積型テラヘルツ波検出器の開発

研究課題名（英文）Development of integrated terahertz-wave detector for real time polarization measurement

研究代表者

伊藤 弘 (Ito, Hiroshi)

北里大学・一般教育部・教授

研究者番号：50525384

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：集積化した4素子のショットキーバリアダイオードからなる新たな構成のテラヘルツ波検出器と、ストークスパラメーターをベースとする偏波解析手法を提案し、素子構成を最適化することにより、可動部分の無い偏波計測用テラヘルツ波検出器モジュールを開発した。そして、作製したモジュールをテラヘルツ波エリプソメトリー測定に適用し、検出器を回転させずに生体関連材料の複素比誘電率が測定できることを実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発したテラヘルツ波検出器は、従来部品では実現が困難であった実時間での偏波計測を可能とし、ダイナミックな現象の解明にも寄与できることから、様々な計測技術の進展に重要な役割を果たすものと考えられる。また、このような可動部が無く小型・軽量で低コスト化が可能なテラヘルツ波計測機器の開発がさらに進めば、今まで利用が困難であった対象物への適用も可能となり、テラヘルツ波の利用範囲拡大にも貢献できるものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：An integrated terahertz-wave detector implementing four Schottky barrier diodes was developed for realizing real-time polarization measurement of terahertz waves without using moving parts. Configuration of integrated antennas was optimized analytically and experimentally. Fabricated antenna-integrated detector exhibited linearly polarized signal detection characteristics with a polarization factor close to unity. Using the fabricated detector module with the analysis method based on the Stokes parameters, terahertz-wave ellipsometry of purified water was accomplished and its complex relative dielectric constants were successfully revealed.

研究分野：電子デバイス・電子機器

キーワード：テラヘルツ波 検出器 平面アンテナ 偏波計測 エリプソメトリー

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

テラヘルツ波(概ね 100GHz から 10THz の電磁波)は、人類に残された最後の未開拓電磁波と呼ばれ、医療診断、薬物検査、危険物検査など、国民の生活に直結する重要な応用への研究開発が進められている。その中で、電磁波の偏波情報を利用することにより、イメージング、分光、エリプソメトリー、レーダー、無線伝送などにおいて、これまでには得られなかった材料情報の取得や、無線伝送速度の向上などが実現できると期待されている。しかし、従来の偏波計測手法では、検光子と検出器を回転させて偏波特性を計測していたため、構成部品が多く装置が大型になり、かつ計測に時間がかかるという課題があった。従って、時々刻々変化する材料特性をリアルタイム(実時間)で計測することも困難であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、実時間でテラヘルツ波の偏波特性を計測できる、新たな検出器を開発することである。具体的には、集積化した複数の素子からなる半導体検出器、アキシコンレンズを用いた集光系、及びストークスパラメーターを用いた解析法を併用することで、可動部が無く実時間で偏波計測が可能な「集積型テラヘルツ波検出器」を実現する。

3. 研究の方法

本研究では、ストークスパラメーターに基づく偏波測定法をテラヘルツ領域にまで拡大する手法を用いる。これは、2つの直交する方位間の信号強度の差と和、及び1/4波長だけ位相シフトする前後の45/135度方向の信号強度差、以上合計4種の信号測定を4つの固定した検出器で行い、電磁波の偏波状態を抽出するものである。しかし、テラヘルツ領域では1/4波長板の入手やその周波数挿引が容易ではないことから、本研究では前記4つの信号間の関係を利用し、1/4波長板を用いることなく偏波計測を実現することが特徴である。またそのために、複数の集積化した検出器を用いる。そして、4方位の信号強度を同時に測定することで、検出器を回転させずに偏波状態の計測を可能とする。

本研究では、以下の3つの項目を目標とした。

(1) 集積型検出素子の開発

偏波識別に適した小型平面アンテナの構成を解析により最適化し、SBDとの集積化により素子特性を検証することで、最終的に集積型検出素子を実現する。

(2) 準光学型モジュール及び集光系の開発

上記集積型検出素子を搭載した準光学型モジュールを作製する。また、検出素子への集光効率を向上させるための光学系も構築する。

(3) テラヘルツ波エリプソメトリーの実現

作製したモジュールを用い、生体関連材料に対するテラヘルツ波エリプソメトリーを実現することで、開発したモジュールの適用性を実証する。

4. 研究成果

(1) 集積型検出素子の開発

集積型検出素子に関しては、最適なアンテナ構成を検討するため、まず弱共振型スロットアンテナについて電磁界解析による検討を行い、それに基づき弱共振型スロットアンテナを集積したテラヘルツ波発振素子を作製して放射特性の検証を行った。その結果、弱共振型スロットアンテナが良好な直線偏波特性、及び良好な設計性を持つことを明らかにした。一方、広帯域な特性を実現するためには、自己補対型ポウタイアンテナが優れていることから、この構成についても構造設計を行った。そして、ゼロバイアス動作に適したInP系SBDとポウタイアンテナを集積したテラヘルツ波検出素子を試作し、特性評価を行った。その結果、信号周波数300GHzにおける電圧感度として2kV/Wを超える良好な値を確認した。また、検出感度の偏波方位依存性を評価した結果、図1に示すように、良好な直線偏波特性を示す2回対称の実験結果が得られ、解析計算とも良い一致を示した。さらに、優れた偏波識別特性(消光比100以上)を有することも確認した。これらの結果に基づき、最終的にポウタイアンテナを集積したInP系SBD素子からなる集積型検出素子(図2)を設計、作製した。

(2) 準光学型モジュール及び集光系の開発

検出効率の向上と複数素子への効果的な信号分配を実現するため、従来の準光学型筐体と比べ超半球シリコンレンズの径が約2倍となる広開口型筐体(図3)を設計、作製した。そして、試作した集積型検出素子を上記筐体へ実装し、検出器モジュールを実現した。また、アキシコンレンズ対を用いた円環状集光系についても光学設計を行い、テラヘルツ波に対する透過率が高い高密度ポリエチレンを用いたレンズを作製した。

(3) テラヘルツ波エリプソメトリーの実現

テラヘルツ波エリプソメトリーへの適用については、測定系を構築し、生体関連材料の一例と

して水の複素比誘電率の測定を検討した。実験は、90GHz から 140GHz の範囲で行った。そして、検出器を固定した状態で計測した各偏波における電磁波の入射強度を、ストークスパラメータを用いて楕円偏波パラメータに変換し、ニュートン法により複素比誘電率の実部と虚部を解析的に求めた。その結果、測定した周波数範囲で、複素比誘電率の実部と虚部が周波数と共に緩やかに低下する傾向が得られた(図4)。またこの結果は、検出器を回転させる従来の方法で計測した複素比誘電率の周波数依存性、及びデバイの緩和モデルを用いた解析計算値と、それぞれ良い一致を示した(図4)。これらの結果から、ストークスパラメータを用いる手法により、検出器を回転させずにテラヘルツ波エリプソメトリーが実現できることを実証し、本研究計画の目標を達成した。

一方、計測技術サイドから部品への改良指針として、複数素子と入力信号の位置関係を簡便に調整する手法を確立すべき事がわかった。そしてその解決策として、測定に用いる検出器と対称な位置に、位置出し用の検出器を設ける構成を考案した。

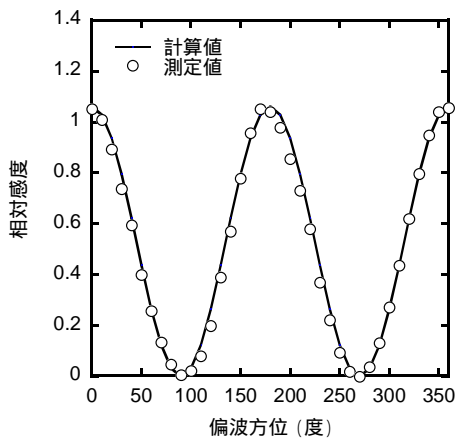


図1：開発したテラヘルツ波検出器の相対感度の偏波方位依存性（○は実験値、実線は解析計算値）

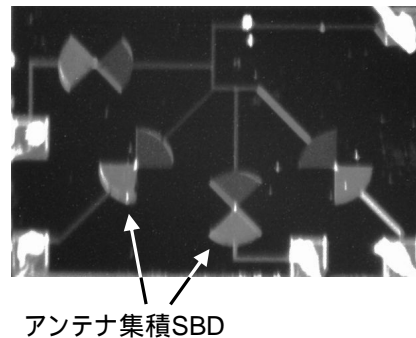


図2：開発した集積型テラヘルツ波検出器の写真（異なる偏波方位を検出する4つのSBDを集積）

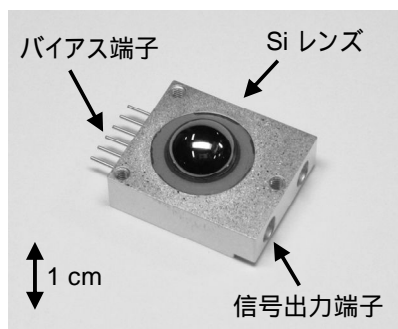


図3：開発した集積型テラヘルツ波検出器モジュールの写真

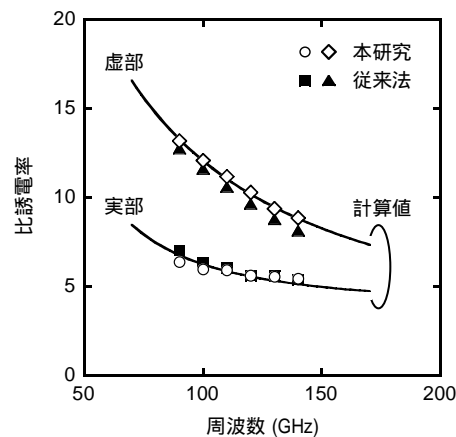


図4：開発したテラヘルツ波検出器モジュールを用いて測定した水の複素比誘電率の周波数依存性（本研究で開発した手法による測定値と従来法による測定値及び解析計算値との比較）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

Hiroshi Ito and Tadao Ishibashi: "Terahertz-Wave Generation Using Resonant-Antenna-Integrated Uni-Traveling-Carrier Photodiodes" Proc. SPIE, vol. 10209 (2017) pp. 102090R-1 - 102090R-9. (査読有)
DOI:10.1117/12.2262764

Hiroshi Ito and Tadao Ishibashi: "Photonic Terahertz-Wave Generation Using Slot-Antenna-Integrated Uni-Traveling-Carrier Photodiode" IEEE J. Selected Topics in Quantum Electron. 23, No. 4 (2017) pp. 3800907-1 - 3800907-7. (査読有)
DOI: 10.1109/JSTQE.2017.2657678

[学会発表](計4件)

Hiroshi Ito and Tadao Ishibashi: "Terahertz-Wave Generation Using Resonant-Antenna-Integrated Uni-Traveling-Carrier Photodiodes" SPIE Defense + Commercial Sensing (Image Sensing Technologies: Materials, Devices, Systems, and Applications IV, Conference S1102), Anaheim (2017) 10209-4. (招待講演)(2017.4.13 発表)

Hiroshi Ito: "Photonic THz-Wave Generation by UTC-PD and Its Related Device" PIERS (Progress In Electromagnetics Research Symposium), Shanghai, China (2016) 3P4-3. (基調講演)(2016.8.10 発表)

伊藤 弘、石橋忠夫:「半導体ヘテロ接合ダイオードを用いたCWテラヘルツ波の発生と検出」テラヘルツテクノロジーフォーラム第14回講演会、p.1、講演5。(招待講演)(2016.6.16 発表)

Hiroshi Ito: "Terahertz-Wave Emission and Detection by InP-Based Heterostructure Diodes" EMN (Energy Materials Nanotechnology) Meeting on THz, San Sebastian, Spain (2016) D07. (招待講演)(2016.5.15 発表)

6. 研究組織

(2)研究協力者

研究協力者氏名：山本 洋

ローマ字氏名：(YAMAMOTO, hiroshi)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。