

令和 2 年 6 月 22 日現在

機関番号：92704

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18750

研究課題名（和文）金属反強磁性体のテラヘルツ磁気共鳴評価手法

研究課題名（英文）A system for measuring THz magnetic resonance in metallic antiferromagnets

研究代表者

橋坂 昌幸（Hashisaka, Masayuki）

日本電信電話株式会社 NTT 物性科学基礎研究所・量子電子物性研究部・主任研究員

研究者番号：80550649

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000 円

研究成果の概要（和文）：物質のスピン物性を介して電気伝導現象を制御する「スピントロニクス」が活発に研究されている。従来のスピントロニクスは強磁性体を中心に研究されてきたが、高速情報処理への展開を見据え、THz帯に磁気共鳴周波数を持つ反強磁性体がにわかに注目を集めている。本課題では、反強磁性共鳴を評価するための新手法として、オンチップでTHzの共鳴現象を観測するための新手法の開発に取り組んだ。キャリア寿命の短い低温成長GaAs基板上に2つの光伝導スイッチを作製してCW THz信号源および検出器とし、両者を結ぶ導波路からのTHz近接場光を試料に照射して、THz帯域の共鳴吸収を評価する新しい手法を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

反強磁性体はTHz帯に共鳴周波数を持つことから、超高速情報処理技術への応用が期待できる。本課題は、半導体光伝導スイッチを用いたオンチップテラヘルツ磁場照射方法を、反強磁性磁気共鳴の検出に利用する新しいアイデアを提案するもので、スピントロニクス研究の新たな展開を拓く基礎技術となる可能性がある。得られた研究成果は、本手法が従来よりも高い周波数分解能での共鳴吸収の観測を可能にすることを示しており、実際に有用な測定系が作製できたことを示している。これらの結果は、新しいTHz技術の確立、およびスピントロニクスの高速化の可能性の提示という2つの意味で、学術的・社会的意義のある成果であると考えられる。

研究成果の概要（英文）：While conventional spintronics has been studied mainly on ferromagnets, for realizing high-speed spintronics for future information processing, antiferromagnetic resonance with THz resonance frequency has been attracting much attention. In this study, we aimed at proposing a new method for evaluating antiferromagnetic resonance in the THz frequency band. The central idea of this research is to irradiate the sample with the near-field light of a CW THz signal propagating along a waveguide. We fabricated two photoconductive switches on a low-temperature-grown GaAs substrate, which operate as a CW THz source and a detector. The THz signal propagates along a waveguide and irradiates the sample, enabling us to evaluate the resonance absorption of the sample. We found that this technique is promising for measuring THz magnetic resonance in antiferromagnetic materials.

研究分野：半導体物性

キーワード：スピントロニクス 反強磁性体 磁気共鳴 テラヘルツ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

THz エレクトロニクス、及びスピントロニクスは共に近年の進歩が著しい研究分野である。物性研究に THz エレクトロニクスを応用する試みが活況を呈し、これまでは測定が困難であった物質中の高速現象について測定が可能になってきていた。またスピントロニクスの分野では、スピン制御の高速化を目指し、THz 帯に磁気共鳴周波数を持つ反強磁性体がにわかに注目を集めるようになっていた。これら両分野の知見を融合し、反強磁性体の磁気共鳴を利用することで、スピントロニクス素子動作の高速化や、半導体 THz エレクトロニクスの利用範囲拡大などが見込まれる状況であった。

一方で、THz 技術、反強磁性体は共に実験的に扱いにくい、難しい研究対象であるため、実際にこのような試みを行ったという報告例はほとんど無く、本課題は芽生え期の研究と位置付けられる状況であった。

### 2. 研究の目的

本課題では、従来の強磁性体をベースとするスピントロニクスにさらなる新機能・高性能を追加することを目指し、反強磁性体の磁気共鳴を評価する新手法の提案を目的とした。具体的な手法として、試料を THz 信号源となる半導体基板上に設置し、オンチップで信号源から発生する局所誘導磁場を試料に照射することを考えた。半導体基板上に作製する THz 信号源(光スイッチ)や、オンチップで THz 信号を試料まで導くための導波路構造を作製すること、そしてそれらが実際に共鳴現象測定に利用可能と示すことを、目的として設定した。

### 3. 研究の方法

キャリア寿命の短い低温成長 GaAs 基板上に微小金属電極を作製し、光伝導スイッチとする。ここに THz でビートするレーザーを照射すると、ビート周波数に対応する交流信号が発生する。光スイッチで発生するこの THz 交流信号を導波路によって基板上的の任意の位置に導き、そこに置かれた試料にたいして近接場光を照射する。ビート周波数をスイープすると、試料が THz 帯に共鳴周波数を持つ場合、導波路を透過したのち検出されるスペクトルには、試料による共鳴吸収に対応する構造が現れる。このような測定を実現するためのシステムを確立し、実際にその動作を示すためのデモンストレーションを行った。

### 4. 研究成果

本研究では、まず波長を 735 ~ 785 nm で変調可能な CW レーザーを 2 台使い、両者に周波数差を持たせてミキシングすることで、GHz ~ THz 帯域でビートするレーザーを準備した。このピーティングレーザーを THz 信号励起用と検出用の 2 つに分波し、これらを低温成長 GaAs 基板上的の任意の位置に集光できる光学系を作製した。

図 1 に測定のご概念図を示す。低温成長 GaAs 基板上に微細加工によって 2 つの光伝導スイッチを作製し、これらの間は THz 信号用の導波路構造で接続した。一方の光伝導スイッチに直流バイアス電圧を印加しておき、ピーティングレーザーを照射すると、CW THz 信号を発生させることができる。この信号を導波路によってもう一方の光伝導スイッチに導き、これにさらにピーティングレーザーを照射することで、オンチップで THz 信号を検出することができる。導波路近傍に THz 帯に共鳴周波数を持つ試料を置いておくと、導波路からの近接場光を吸収し、検出信号に変化が生じる。この変化から、試料の共鳴特性を評価することができる。

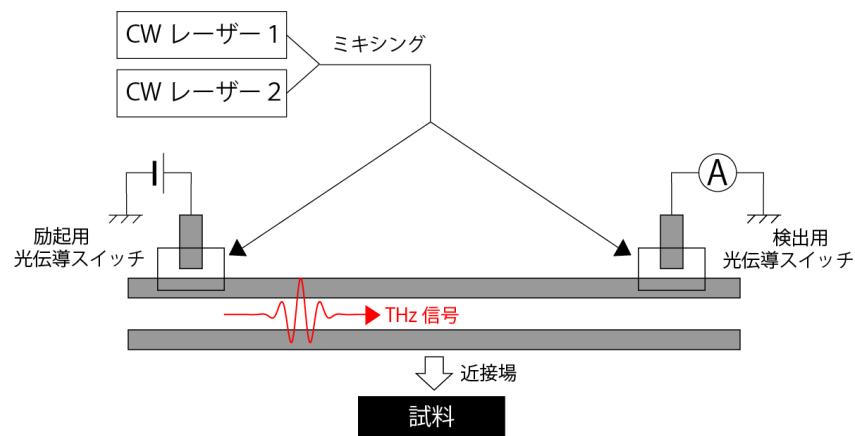


図 1 測定系のご概念図

図 2 に試料を置かない場合の参照実験の結果を広帯域スペクトルで示す。約 10 GHz から 2 THz までの広い帯域にわたって、導波路を伝搬する信号を検出できていることが分かる。本測定系は周波数分解能にすぐれ、約 10 MHz の分解能でスペクトルが得られることが確認できた。類似

の測定系で、CW レーザーではなくパルスレーザを使ったオンチップ THz スペクトル測定が知られているが、その周波数分解能は 1 GHz 程度である。この比較から、本手法の磁気共鳴の評価手法としての利点が確認できた。

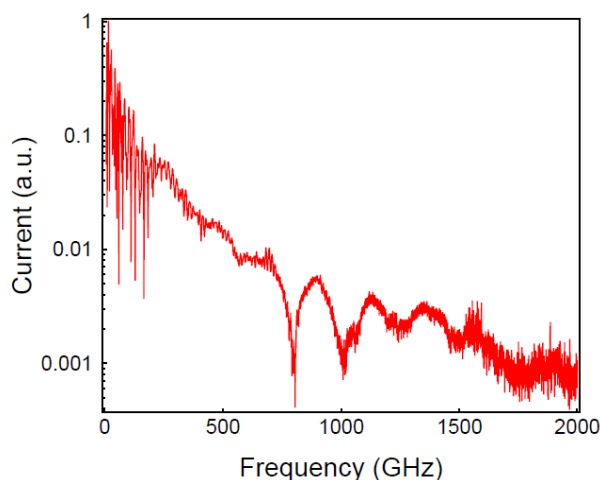


図2 伝送線路の広帯域透過スペクトル

図3に試料として500 GHz近傍に共鳴周波数を持つ  $\alpha$ -ラクトースの吸収スペクトルを観測した結果を示す。この物質は THz 測定系を評価する際のテスト試料としてしばしば利用されるものであり、本研究で作製した測定系の評価にもこれを用いた。参照実験およびラクトースの実験結果ともに周波数に対して信号強度が振動しているが、これは導波路内での THz 信号のファブリペロー干渉によるものであり、本質的ではない。試料がない場合(黒点線)と比較すると、510 ~ 540 GHz の場合にラクトースの吸収を表す信号が現れていることが分かる。この結果は、実際に本手法が共鳴測定に利用できることを明確に示している。

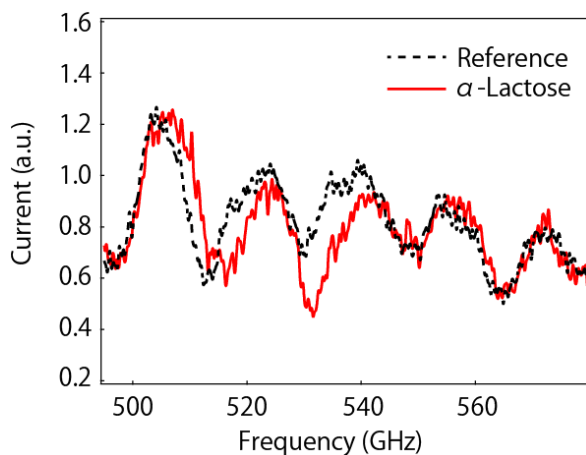


図3 テスト試料 ( $\alpha$ -ラクトース) を用いた共鳴吸収測定実験

以上の実験結果から、本研究で考案したオンチップ CW THz スペクトル測定法が THz 帯の共鳴現象測定に十分に有用であることを示すことができた。残念ながら研究期間内に本手法を反強磁性体に適用するまでは至らなかったが、反強磁性共鳴測定のための新手法として提案するに十分な結果が得られたと考えている。

なお、上記の結果については論文として発表することを予定している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>吉岡克将、熊田倫雄、村木康二、橋坂昌幸            |
| 2. 発表標題<br>広帯域高周波数分解能on-chip CW THz分光法の開発 |
| 3. 学会等名<br>第67回応用物理学会春季学術講演会              |
| 4. 発表年<br>2019年                           |

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

|                                     |                            |               |
|-------------------------------------|----------------------------|---------------|
| 産業財産権の名称<br>広帯域高周波数分解能電流測定法及び装置     | 発明者<br>吉岡克将、橋坂昌幸、村木康二、熊田倫雄 | 権利者<br>同左     |
| 産業財産権の種類、番号<br>特許、PCT/JP2020/007471 | 出願年<br>2020年               | 国内・外国の別<br>外国 |

〔取得〕 計0件

〔その他〕

|  |
|--|
| 所属グループホームページ<br><a href="http://www.brl.ntt.co.jp/group/butsuryo-g/index-j.html">http://www.brl.ntt.co.jp/group/butsuryo-g/index-j.html</a><br>本人ホームページ<br><a href="http://www.brl.ntt.co.jp/people/hashisaka.masayuki/index.html">http://www.brl.ntt.co.jp/people/hashisaka.masayuki/index.html</a> |
|--|

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                          | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                 | 備考 |
|-------|--|---------------------------------------|----|
| 連携研究者 | 森山 貴広<br><br>(Moriyama Takahiro)<br><br>(50643326) | 京都大学・化学研究所・准教授<br><br><br><br>(14301) |    |