

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 20 日現在

機関番号：13401
 研究種目：挑戦的萌芽研究
 研究期間：2011～2012
 課題番号：23656236
 研究課題名（和文） 高出力テラヘルツ光による高磁場中磁気共鳴励起の X 線円二色法による解析手法の開発
 研究課題名（英文） Development of analysis method of X-ray circular dichroism on magnetic resonance excitation using a high power terahertz radiation in high magnetic field
 研究代表者 出原 敏孝 (IDEHARA TOSHITAKA)
 福井大学・遠赤外領域開発研究センター・特任教授
 研究者番号：80020197

研究成果の概要（和文）：高磁場中でのテラヘルツ領域の磁気共鳴現象の励起過程を高時間分解で計測することは、磁場中の物質の挙動(物性)の基本的特性を解明する上で重要な手法であり、その実現が囑望されている。このため、本研究では、周波数の安定したテラヘルツ高出力光源-ジャイロトロンにより発生した高出力テラヘルツ光を高磁場中に置かれた試料に照射し、X 線円二色法により高時間分解計測を行う装置の開発を行うことを目的とする。以下の項目に従って本研究を実施し、所定の研究計画を完了した。1) 平成 23 年度に福井大学遠赤外領域開発研究センターで整備調整したテラヘルツ光源-Gyrotron FU II とグルノーブル(フランス)にある欧州放射光施設(ESRF) に設置済みの ESR 装置を用いて、同施設の放射光リングから供給される X 線を照射することにより、X 線円二色法により磁気共鳴の励起過程を高時間分解で計測する装置の動作試験を行い、装置全体の総合評価を行った。2) 本装置を実用化し、国内外の物性研究に展開することを検討し、ジャイロトロン周波数を高め、テラヘルツを超える領域への応用を目指した装置の開発研究の計画を立案し、テラヘルツビームと X 線ビームの融合化研究へと発展することを検討した。

研究成果の概要（英文）：Measurement with high time resolution on excitation process of magnetic resonance phenomenon in THz frequency region is important for analysis of basic behavior of material in high magnetic field. In this research subject, a high power THz radiation generated by a stable THz radiation source – gyrotron is irradiated on the sample installed in the high magnetic field and the behavior of the sample is analyzed by an X-ray circular dichroism with high time resolution. Obtained results are as follows,

- 1) Using a THz radiation source – Gyrotron FU II developed in University of Fukui and an ESR device installed in the European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) in Grunoble, France, we have carried out successfully the operation test of the measurement device with high time resolution for analysis of excitation process of magnetic resonance by use of an X-ray circular dichroism.

We are intending to advance the application of the developed device to material science in the world. In addition, we will develop the device further to higher frequency region and combined quantum beam technology between an X-ray and a THz radiation beam.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|-------|-----------|---------|-----------|
| 交付決定額 | 3,000,000 | 900,000 | 3,900,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス電子機器

キーワード：テラヘルツ光、X線円二色法、磁気共鳴、ジャイロトロン

1. 研究開始当初の背景

ジャイロトロンは、発振周波数が磁場の強度に比例して高くなることから、テラヘルツ光源としてのジャイロトロンを開発するためには、20 テスラの高磁場の下で2次高調波動作を行うことにより、やっと達成することのできる極限の高出力高周波源である。われわれは、2005年に既にこの開発に成功しており、テラヘルツを超える高周波ジャイロトロンを世界に先駆けて実現した。出力は、数Wから数十Wに達し、ジャイロトロン以外の光源の出力を3-4桁上回る光源で、しかも周波数と振幅が安定化されている。[1]現在にいたるもテラヘルツの領域でCW動作するジャイロトロンは、われわれのもの以外にはない。本研究では、かかる高周波ジャイロトロン開発の優位性に基づいて、他には実現不可能な画期的分光法の開発を企画した

2. 研究の目的

高磁場中でテラヘルツ領域の磁気共鳴現象の励起過程を高時間分解で計測することは、磁場中の物質の挙動(物性)の基本的特性を解明する上で重要な手法であり、その実現が囑望されている。このため、本研究では、周波数の安定したテラヘルツ光源-ジャイロトロンにより発生した高出力テラヘルツ光を高磁場中に置かれた試料に照射し、X線円二色法により高時間分解計測を行う装置の開発を行うことを目的とする。(図1を参照下さい) 磁気共鳴現象の励起過程を調べるために必要なテラヘルツ光の出力は、数Wから十数Wであり、周波数の安定度も要求されることから、ジャイロトロンが

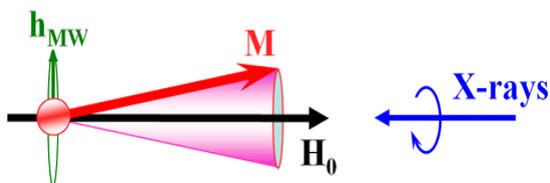


図1 本研究で開発する新分光法の原理概略

この条件を満たす唯一の光源である。X線円

二色法との併用により、画期的な分光法の開発を行い、欧州放射光施設 (ESRF) との共同研究により、開発した分光法の実用化試験を行う。

3. 研究の方法

平成23年度

1) 本研究でテラヘルツ光源として使用する既存の Gyrotron FU II は、8テスラ超伝導マグネットと封じきりのジャイロトロン管及び高電圧電源、電子銃の動作をコントロールするための補助コイルからなる。超伝導マグネットの磁場強度を変化することにより、各々の共振器モードが対応する磁場強度で発振し、磁場の設定により多くの周波数の異なる発振を得ることができる。本研究では、これらの発振のうち、基本波動作で得られる周波数 76GHz (磁場強度 2.86T), 107GHz (4.09T), 138GHz (5.25T), 200 GHz (7.62T) 及び2次高調波動作で得られる 354GHz (6.84T) を用いて計測を行う。このためこれらの周波数での動作を安定化することを目指した電子ビームのフィードバック制御を行う。目標値として、周波数の安定度 10⁻⁸、出力の安定度 10⁻³ を実現する。(出原、小川が担当)

2) このジャイロトロンを、17T超伝導マグネットを装備した高周波 ESR 装置に結合し、ジャイロトロンを光源とするサブテラヘルツ領域の高周波 ESR 分光のテストを行う。高出力テラヘルツ光の照射による試料の加熱を抑えるためと磁気共鳴現象の励起過程の進行速度を調整するためジャイロトロン出力のパルス化を試みる。周波数一定のもとのパルス発生を実現するため、ジャイロトロンは、CW動作させ、YAGレーザーが発生

する短パルスを用いて、ジャイロトロン出力をパルスに切り出すことを試みる。このための光学系として、YAG レーザーと Si シートを用いて光パルスの照射による Si シート内のキャリア増大によるテラヘルツ光の反射を利用したシステムを用いる。Si シート 1 に光パルスが照射されている間だけ、ジャイロトロンからのビームが反射され、Si シート 2 に向かい、ここでも遅延された光パルスにより、反射されるので、遅延時間で決まるテラヘルツ光の短パルス (ns から μ s のパルス幅) が発生する。ジャイロトロンは、CW 動作しているため、周波数が一定のパルスを発生することができる。(光藤が担当)

平成 24 年度

1) 福井大学遠赤外領域開発研究センターで整備調整したテラヘルツ光源-Gyrotron FU II と ESR 装置をグルノーブル(フランス)にある欧州放射光施設に搬入し、同施設の放射光リングから供給される X 線を照射することにより、(図 2 を参照下さい) X 線円二色法により磁気共鳴の励起過程を高時間分解で計測する装置の動作試験を行い、装置全体の総合評価を行った。(出原、小川、光藤、Rogalev, Goulon)

2) 本装置を実用化し、国内外の物性研究に展開することを検討する。ジャイロトロン



図 2 高出力光源-Gyrotron FU II (手前) と ESR 装置

の周波数を高め、テラヘルツを超える領域へ

の応用を目指した装置の開発研究の検討を行った。(出原、小川、光藤、Goulon が担当)

4. 研究成果

1) 平成 23 年度に福井大学遠赤外領域開発研究センターで整備調整したテラヘルツ光源-Gyrotron FU II をグルノーブル(フランス)にある欧州放射光施設(ESRF) に設置し、ジャイロトロンの実験現場での動作試験を行い、装置の性能の再現を確認した。

2) ESRF の ESR 装置を用いて、同施設の放射光リングから供給される X 線を照射することにより、X 線円二色法により磁気共鳴の励起過程を高時間分解で計測する装置の動作試験を行い、装置全体の総合評価を行った。

3) 本装置を実用化し、国内外の物性研究に展開することを検討した。また、ジャイロトロンをの周波数を高め、テラヘルツを超える領域への応用を目指した装置の開発研究の計画を立案し、テラヘルツビームと X 線ビームの融合化研究へと展開することを検討した。

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 3 件)

- (1) A. Rogalev, J. Goulon, T. Idehara, I. Ogawa, X-ray Detected Magnetic Resonance at sub-THz Frequency Using a High Power Gyrotron Source, J. Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, 査読有、33 巻、2012, 777-793.
- (2) S.P. Sabchevski, T. Idehara, A Dual Beam Irradiation Facility for a Novel Hybrid Cancer Therapy, J. Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, 査読有、33 巻、2012, 724-744.

(3) O. Dumbrajs, T. Idehara, Analysis of After-cavity Interaction in European ITER gyrotron and in the compact Sub-THz Gyrotron FU CW CI, J. Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, 査読有、33 巻、2012, 1171-1181

〔学会発表〕 (計 1 件)

(1) T.Idehara, Development of compact THz gyrotrons and their application to high power THz technologies, The Nineteenth Russian Synchrotron Radiation Conference SR-2012, 2012 年 6 月 25 日, Budker Institute, Novosibirsk

〔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〕

ホームページ等

<http://fir.u-fukui.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

遠赤外領域開発研究センター特任教授

出原 敏孝 (IDEHARA TOSHITAKA)

研究者番号 : 80020197

(2) 研究分担者

遠赤外領域開発研究センター教授

小川 勇 (OGAWA ISAMU)

研究者番号 : 90214014

(3) 研究分担者

遠赤外領域開発研究センター教授

光藤誠太郎 (MITSUDO SEITARO)

研究者番号 : 60261517

(4) 研究協力者

欧州放射光施設 (ESRF) 主任研究員

Andlei Rogalev

研究者番号 : なし

(5) 欧州放射光施設 (ESRF) 研究員

Jose Goulon

研究者番号 : なし