

平成30年6月27日現在

機関番号：13401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05144

研究課題名(和文) 高出力THz波ジャイロトロン光源を用いた高周波パルスESR装置の開発と応用

研究課題名(英文) Development and application of a high frequency pulsed ESR system by using high power THz gyrotron as light source

研究代表者

光藤 誠太郎 (Seitaro, Mitsudo)

福井大学・遠赤外領域開発研究センター・教授

研究者番号：60261517

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)：ミリ波パルスESR測定を実現するために、高出力ミリ波源として154GHzのジャイロトロン発振器を用いたパルスESRシステムを開発した。ジャイロトロンの出力を数ナノ秒の高出力超短パルスに切り出す光駆動半導体スイッチの開発した。また、この超短パルスを励起光としてパルスESR信号を取り出す準光学伝送系の開発を行った。このシステムを用いてBDPAラジカルのFID信号を測定することに成功した。これにより、高周波領域では高出力の励起光源の不足から高周波化が困難であるとされていたパルスESR測定において、高周波ジャイロトロン発振器を用いることで可能になることを示し、さらなる高周波化が可能であることを示した。

研究成果の概要(英文)：In order to realize millimeter wave pulsed ESR measurement, a pulsed ESR system using a 154 GHz gyrotron oscillator as a high-power millimeter wave source had been successfully developed. Intense and short excitation millimeter wave pulses by using a gyrotron output, a high-power millimeter wave pulse forming system has been developed by using light controlled semiconductor shutters. Quasi-optical transmission system that obtains pulsed ESR signal by using this ultrashort pulse as excitation light. This system was successfully applied to measure the FID signal of BDPA radicals. As these results, it shows that in the high frequency region, it can be achieved by using a high frequency gyrotron oscillator in pulsed ESR measurement, which was considered to be difficult to increase the frequency from the lack of the high-power excitation light source, further higher frequency can be achieved, respectively.

研究分野：磁気共鳴法を用いた磁性や量子計算デバイスに関する研究

キーワード：高周波ESR パルスESR ミリ波 強磁場 BDPAラジカル FID ジャイロトロン 準光学

器)から連続波を平面ミラーの回転で変更することができるシステムになっている。ESRプローブからの出力は、ワイヤグリッド(WG)を90度回転させることで異なる方向に反射され、ショットキーダイオード検出器またはヘテロダイン検出器を切り替えることができる。

非常に弱いパルス ESR 信号(FID およびスピンエコー)および ESR プローブから反射された高出力の励起パルスは同様に、MOU-II で送り返され、ワイヤグリッドによるデュプレクサによって受信器側に切り替えて送られる。パルス ESR の測定では強い励起電磁波を取り除いて、微弱な ESR 信号のみを受信器に送る必要がある。そのため、受信システムでは、励起パルスと ESR 信号は、励起パルスに同期した光駆動半導体スイッチによって時系列で分離され、ESR 信号のみが高速ショットキーバリアダイオードまたはヘテロダイン検出器によって検出される。

(2) BDPA ラジカルの測定

最初に、BDPA ラジカルの FID (Free Induction Decay) 信号の測定を行った。図 2 に、高出力ミリ波源としてジャイロトロンを用いたこのパルス ESR システムによる BDPA の FID 信号を示す。測定は、cw-ESR で測定した BDPA の共鳴磁場である 5.530T を行った中心に磁場を上下に 10 Gauss ずつ変化させて測定を行った。上側は高磁場側に対応し励起パルス幅は 40 ns である。また、測定は 10 K に冷却して行った。

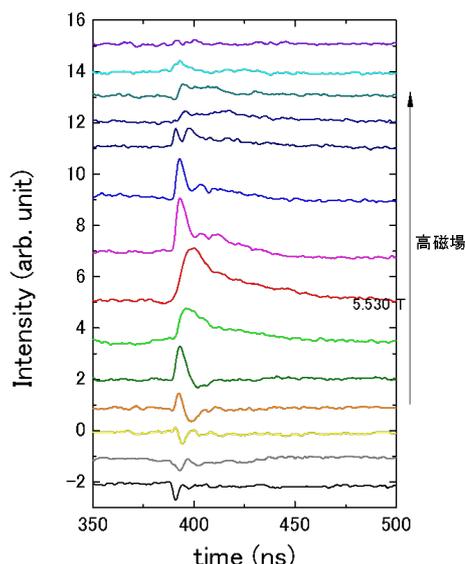


図 2 測定された BDPA ラジカルの FID 信号

共鳴磁場から約 30 Gauss (0.003 T)の範囲で FID を観測された。また、励起パルス幅を 10 ns まで減少して測定を行うと、FID 信号は減少した。このことは、40 ns の励起パルス

では 90 度条件までの励起が行えていないことを示している。現在のジャイロトロンによる試料部での励起パルスの出力は 30 W 程度と見積られる。また光駆動半導体スイッチに用いているシリコンのホットエレクトロンの緩和時間から 40 ns より長いパルスでは、成形したパルスの波形が方形からかなり崩れてくることより、これ以上の長いパルスでの実験は行わなかった。今後より高出力のジャイロトロンによる測定が望まれることが分かった。

4. 研究成果

ミリ波パルス ESR 測定を実現するために、高出力ミリ波源としてジャイロトロン発振器を用いたパルス ESR システムを開発した。このシステムを用いて BDPA ラジカルの FID 信号を観測することに成功した。本装置は国内で最高周波数のパルス ESR 測定装置であり、またジャイロトロン発振器を用いたパルス ESR 装置としては世界で初めての装置である。この成果により、ジャイロトロンがスピンダイナミクスを測定できるパルス ESR 測定に有効であることを初めて示した。また現在の 100 W 程度のジャイロトロンでは出力が不十分であり、より多くの測定に適応するためには、kW クラスのジャイロトロンを用いる必要があることが示唆された。

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) Mitsudo S., Hiiragi K., Khono K., Narioka M., Fujii Y, Application of a millimeter wave gyrotron for the pulsed ESR spectroscopy, 2017 42nd International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), 査読なし, 1, 2017,1-1.

DOI: 10.1109/IRMMW-THz.2017.8066855

(2) S. Mitsudo, C. Umegaki, K. Hiiragi, M. Narioka, Y. Fujii, Y. Tatematsu, Development of a millimeter wave pulsed ESR system by using a gyrotron as a light source, 2016 41st International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz waves (IRMMW-THz), 査読なし, 1, 2016,1-1.

DOI:10.1109/IRMMW-THz.2016.7758476

(3) S Mitsudo, C Umegaki, Y Fujii, Y Tatematsu, Quasi-optical transmission system for a pulsed ESR system by using a gyrotron as a light source, 2015 40th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz waves (IRMMW-THz), 査読なし, 1, 2015,1-2.

〔学会発表〕(計 17 件)

柁木健志、河野海志、堂野壱暉、藤井裕、光藤誠太郎、154GHz ジャイロトロン高原を用いたパルス ESR 装置の開発、日本物理学会第 73 回年次大会、2018 年 3 月 22 日～3 月 25 日、東京理科大

堂野壱暉、三浦俊亮、大矢健太、柁木健志、河野海志、光藤誠太郎、可変 Fabry-Perot 共振器を用いたミリ波帯多周波 ESR 装置の開発、日本物理学会北陸支部定期公演会、2017 年 12 月 2 日、福井大学

柁木健志、河野海志、堂野壱暉、光藤誠太郎、154 GHz ジャイロトロン光源を用いたパルス ESR 計測、電子スピンスイエンズ学会、2017 年 11 月 2 日～4 日、東京工業大学

河野海志・柁木健志・堂野壱暉・光藤誠太郎、ミリ波帯パルス ESR のためのスピネコ-検出系の開発、2017 年 11 月 2 日～4 日、電子スピンスイエンズ学会、東京工業大学

柁木健志、河野海志、成岡夢有、光藤誠太郎、ジャイロトロン光源を用いたミリ波帯パルス ESR 装置の開発、日本物理学会 第 72 回年次大会、2017 年 9 月 21 日～24 日、岩手大

S.Mitsudo, K.Hiragi, K.Khono, M.Narioka, Y.Fujii, Application of a millimeter wave gyrotron for the pulsed ESR spectroscopy, 42th IRMMW-THz 2017, カンクン(メキシコ)2017 年 9 月 9 日～14 日

柁木健志、河野海志、成岡夢有、光藤誠太郎、ジャイロトロン光源を用いたミリ波帯パルス ESR 装置の開発、日本物理学会第 72 回年次大会、大阪大学、2017 年 03 月 17 日～2017 年 03 月 20 日

柁木健志、成岡夢有、河野海志、光藤誠太郎、立松芳典、ジャイロトロン光源によるミリ波帯パルス ESR のための準光学整合器の開発、第 55 回電子スピンスイエンズ学会年会(SEST2016)、大阪市立大学、2016 年 11 月 10 日～2016 年 11 月 12 日

S. Mitsudo, K. Hiragi, K. Khono, M. Narioka, Y. Fujii, Application of a millimeter wave gyrotron for the pulsed ESR spectroscopy, 41th IRMMW-THz 2016, 2016 年 9 月 25 日-30 日、コペンハーゲン(オランダ)

柁木健志、成岡夢有、光藤誠太郎、立松芳典、河野海志、ミリ波帯パルス ESR のための準光学整合器 II の開発、日本物理学会

2016 年秋季大会、2016 年 09 月 21 日～2016 年 09 月 24 日、金沢大学

S. Mitsudo, K. Hiragi, M. Narioka, C. Umegaki, Y. Fujii, Application of millimeter wave gyrotron to pulsed ESR measurement, Asia-Pacific EPR/ESR Symposium 2016, 2016 年 8 月 28 日-9 月 2 日、イルクーツク(ロシア)

光藤誠太郎、梅垣知弘、柁木健志、成岡夢有、立松芳典、ジャイロトロン光源を用いたミリ波帯パルス ESR 装置の開発 III、日本物理学会 第 71 回年次大会、2016 年 3 月 19 日～2016 年 3 月 22 日、東北学院大

光藤誠太郎、ジャイロトロン光源を用いた最近の応用研究、第二回西日本強磁場科学研究会、2015 年 11 月 24 日、神戸大学

梅垣知弘、成岡夢有、柁木健志、光藤誠太郎、立松芳典、ジャイロトロン光源を用いた強磁場パルス ESR の開発、第二回西日本強磁場科学研究会、2015 年 11 月 24 日、神戸大学

梅垣知弘、成岡夢有、柁木健志、光藤誠太郎、立松芳典、ジャイロトロン光源を用いたミリ波帯パルス ESR のための準光学伝送系の開発、電子スピンスイエンズ学会 2015, 2015 年 11 月 02 日～2015 年 11 月 04 日、新潟朱鷺メッセ

梅垣知弘、成岡夢有、柁木健志、光藤誠太郎、立松芳典、ジャイロトロン光源を用いたミリ波帯パルス ESR 装置の開発 II、日本物理学会 2015 年秋季大会、2015 年 09 月 16 日、関西大学

S.Mitsudo, C. Umegaki, Y. Fujii and Y. Tatematsu, Quasi-optical transmission system for a pulsed ESR system by using a gyrotron as a light source, 40th Int. Conf. on Infrared, Millimeter, and THz Waves, 2015 年 08 月 23 日～2015 年 08 月 25 日、上海(中国)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔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

光藤 誠太郎 (MITSUDO SEITARO)
福井大学・遠赤外領域開発研究センター・
教授
研究者番号：60261517

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 研究協力者

藤井 裕 (FUJII YUTAKA)
福井大学・遠赤外領域開発研究センター・
准教授

立松 芳典 (TATEMATSU YOSHINORI)
福井大学・遠赤外領域開発研究センター・
教授