

ガーネットを利用した高分解能高周波磁界測定システムの開発(081602004)

High Accuracy High Frequency Magnetic field Measurement System Using Garnet Material

研究代表者

石山 和志 東北大学電気通信研究所

Kazushi ISHIYAMA Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

研究分担者

安達信康[†]

Nobuyasu ADACHI

[†]名古屋工業大学セラミックス基盤工学研究センター

Advanced Ceramics Research Center, Nagoya Institute of Technology

研究期間 平成 20 年度～平成 23 年度

概要

本研究では、新しい高分解能高周波磁界測定システムとして、ガーネット磁性薄膜の磁気光学効果を利用した計測方法を提案する。磁気光学効果を用いることにより、磁性材料内部の磁化状態を偏光面の回転角として観測することができる。そのため漏洩磁界に対して敏感に磁化状態が変化するガーネット材料を用い、そこに磁気光学効果を適用することで、1 ミクロンの空間分解能とミリ波帯の計測が可能な 5 ピコ秒の時間分解能とを有する磁界計測技術が実現する。本研究は、この新しい測定手法の提案と、実機試作による検証を行うものである。

Abstract

This research work proposed new technique for measuring high frequency magnetic field distributed around the electrical devices. This method uses the magneto-optical effect of Garnet materials. The polarization of the transmitting light is rotated with the magnetization of the Garnet. Therefore by measuring the rotation angle, we can estimate the magnetic field around the Garnet. This system will obtain the special resolution of 1 micron and time resolution of 5 pico-seconds.

1. まえがき

集積回路の高集積化と低電力駆動に伴い EMC 問題が電子機器における大きな課題となっている。この問題を解決するために電子部品からの漏洩電磁波を低減・防止することが重要であり、そのために微弱な磁界を正確に測定する技術が求められている。

一般的に近傍磁界測定ではループアンテナ等を用いて測定が行われるが、このアンテナは金属製であるため、測定対象となる磁場の状態に影響を与え、本来の磁界分布を乱してしまう。そこで、磁界の状態を乱さずに測定する方法として磁気光学効果を用いた低侵襲な測定方法が提案されている。ガーネット等のような磁界に与える影響が小さい材料を用いることから、低侵襲な測定が可能となる。

そこで本研究では、磁気光学効果を用い、高い空間分解能と時間分解能を実現できる測定システムを提案し、その能力を実験により確かめることを目的とした。本報告はその内容について述べるものである。

2. 研究内容及び成果

2.1 空間分解能に関する検討

本研究では、ガーネットの磁界に対する磁化変化を磁気光学特性の変化から計測するため、用いるレーザーのスポットサイズを小さくすれば高い空間分解能が得られる。しかしながらスポットサイズが小さくなれば反射光のパワーが減少するため測定感度の低下を招くことになる。そこでレーザースポット径を 1 ミクロンとし、さらに測定対象を x-y ステージにセットし 0.2 ミクロン精度で移動させることで 1 ミクロンの空間分解能を得る設計とした。実験の結果、1 ミクロン以下の微小な磁区構造が観測できていることから、1 ミクロンの空間分解能が得られていることが確

認できた。

2.2 時間分解能に関する検討

高い時間分解能を実現するために、本研究では二つのアイデアを盛り込んだ。一つはストロボ法による位相情報の計測であり、もう一つはバースト変調による高感度化である。

光源としてパルスレーザーを用い、被測定磁界の周波数に同期して発光させ、レーザー出力を計測すると、非測定磁界の特定の位相情報だけを取り出すことができる。これがストロボ法である。その際、同期位相を制御することにより 1 周期の波形を取り出すことが可能となり、高調波が重畳した波形の位相情報も取り出すことが可能である。加えてこの手法により、光ディテクタは直流信号を計測することになるため、差動方式の極めて高い感度を有するディテクタの使用が可能となった。

さらにレーザー信号に低周波の矩形波を重畳しバースト波とすることで、この低周波信号をトリガとしてロックインアンプを動作させ、ディテクタからの信号を増幅することを可能とした。非測定周波数が高くなるにしたがって出力信号が小さくなるが、この方式の採用により高い周波数までの測定を可能とした。

2.3 高い異方性を有するガーネット薄膜の合成

本測定ではガーネットの磁化が磁界印加によって変化することを基本原理としているため、高い周波数の磁界に対しても磁化が変化することが必要である。そのためには、磁性材料学における基礎方程式であるランダウリフシッツギルバート方程式から、より高い異方性が必要であることは明確である。そこでガーネットの組成、エピタキシャル成長させるための基板の選択に関する検討を行い、 $(\text{Bi}_{1-x}\text{Pr}_{0.05}\text{Lu}_{1.95})(\text{Fe}_4\text{Ga}_1)\text{O}_{12}$ 膜を(100)GGG 基板上に作製

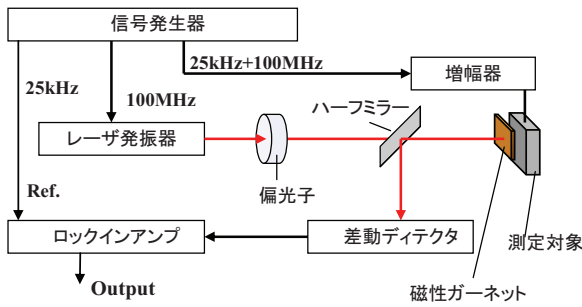


図1 測定系全体図

した膜が最も良好な特性を有することを明らかにした。

2.4 実証実験

前項までに述べた検討を踏まえ、実証実験を行った。構築した測定系を図1に示す。レーザーの発振周波数は100MHzとし、25kHzでバーストさせた。この測定系ではガーネットに対して垂直方向の磁界が計測できる。

このシステムを利用して磁界計測を行った。ここで測定対象は1ターンのコイルであり、そこに通電する電流を制御することで被測定磁界を作り出した。図2は100MHzの基本波に2倍高調波(200MHz)が重畳した磁界波形を計測した結果である。基本波、高調波いずれの振幅も測定できると同時にそれら二つの信号の位相差も知ることができる計測が可能であることが了解される。すなわち本測定手法により、振幅のみならず位相情報も計測可能な高周波磁界計測手法が確立されたことになる。また図3に示すように1GHzの磁界をこの手法で計測可能であり、高い時間分解能を有する計測が実現している。

加えて、この計測手法は高い空間分解能を有することから、レーザーをスキャンして磁界分布を測定できる。図4に測定結果を示す。ワンターンコイルが作り出す垂直磁界の分布を計測し、その位相を変化させることにより、直感的に磁界分布とその時間変化の様子を捉えることが可能となった。このほか、マイクロストリップラインからの磁界や磁気記録ヘッドの作り出す磁界分布などがすでにこの手法で計測されており、さまざまな分野においてこの測定手法が使われることになると考えられる。

3. むすび

金属を使わない低侵襲な磁界計測システムとして、ガーネットの磁気光学効果を利用する方法を提案し、実機実証した。この方法は、その高い空間分解能を利用して磁界分布が計測できること、高い時間分解能を利用して強度情報のみならず位相情報を計測できることなど、低侵襲だけにとどまらないきわめて魅力的な特徴を有する新しい測定方法である。EMCの分野はもちろんであるが、それ以外の様々な分野への応用が期待される新しい手法として今後も研究を続けていく予定である。

【誌上発表リスト】

- [1] 那須野 弘, 梶 修一郎, 石山 和志, 安達 信泰, 「パルスレーザーによる磁界波形測定」 Journal of the Magnetics Society of Japan, Vol. 35, No. 3, pp.273-276, (2011).
- [2] Hiroshi Nasuno, Shuichiro Hashi, and Kazushi Ishiyama, "Stroboscopic technique for measuring magnetic-field waveforms utilizing magneto-optical effect," IEEE Trans. Magnetics,

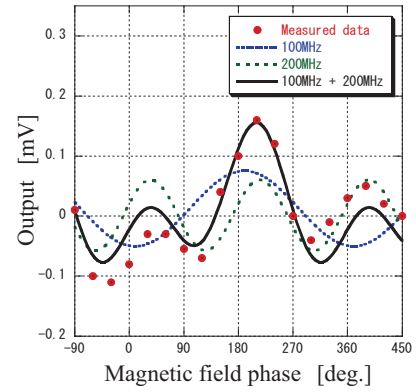


図2 100MHzに200MHzが重畳した磁界の計測例

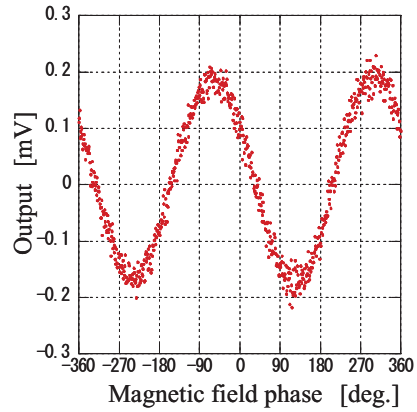


図3 1GHzの磁界の計測例

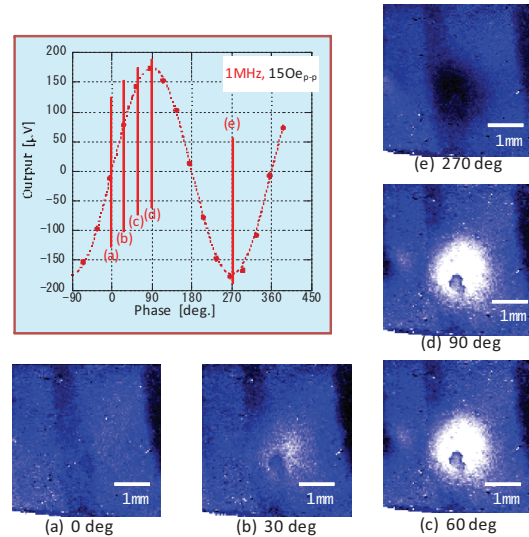


図4 測定位相を変化させた際の磁界分布

- [3] N. Adachi, K. Yogo, T. Ota, M. Takahashi, K. Ishiyama: "Magneto-optical effect and ferromagnetic resonance of Bi-Fe garnet for high frequency electromagnetic sensor," JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 109, 07A506/1-07A506/3.