

パルスレーザバースト変調による交流磁界分布測定

松本悠人、栢修一郎、石山和志
(東北大学電気通信研究所)

AC magnetic field measurement using pulse laser burst modulation

Y. Matsumoto, S. Hashi, K. Ishiyama

(Research Institute of Electrical Communication Tohoku University)

1. はじめに

高周波近傍磁界測定では一般的にプローブとしてループアンテナを用いた測定が行われているが、金属製であるため本来の磁界分布を乱してしまう¹⁾。そのため我々は、比較的磁界を乱しにくい磁気光学結晶であるガーネットとパルスレーザを用いたストロボ法により、低侵襲な高周波磁界分布測定システムについて検討を行っている²⁾。

これまで測定システムの原理検証にあたり被測定磁界をバースト変調させて測定を行ってきたが、実際の電子機器が測定対象の場合、この方法は適用困難である。そこでパルスレーザ側をバースト変調させると、長時間の測定のため発生する機器のドリフトや、測定対象である磁界の他にガーネットの表面形状の影響を大きく受けてしまう等の問題点が生じる。本報告では測定磁界の基準位相と逆位相の検出値の差分を測定することにより、パルスレーザバースト変調方式の問題であった磁区や表面形状の影響を除去し、ドリフトの影響を抑えた磁界分布測定手法を新たに提案し、その妥当性を検討した。

2. 実験方法

Fig.1 に本研究における磁界測定装置の概略を示す。測定対象として磁界分布の推測が容易なマイクロストリップ線路($W = 430 \mu\text{m}$)を用い、その近傍に配置したガーネットにレーザ光を垂直に照射し反射光を検出する。反射光はガーネットを通し磁気光学効果により磁界強度に依存した偏光状態の変化が起こるため、それを検出することで垂直方向成分の磁界強度が測定できる。またストロボ法を用い、測定磁界周波数とパルスレーザを同期させ特定位相にてレーザを発光させることで、交流磁界の特定位相における磁界測定が可能である。パルスレーザのバースト変調には光路にオプティカルチョッパーを挿入し物理的に光の ON/OFF を行った。このまま測定を行うと、Fig.2 に示すようにロックインアンプにてガーネットの表面形状などに由来する偏光状態の変化も検出してしまふ。そこで Fig.3 に示すように、基準位相とそこから 180deg. ずれた位相の 2 ヶ所で磁界を計測し、その差分をとることで、磁界由来の信号のみを取り出すシステムを構築した。

3. 実験結果

レーザを 100MHz で発振させ、マイクロストリップ線路上に 17dBm , 100MHz の RF 信号を印加し、チョッパーを 7.5kHz で回転させ、線路上 1.5mm 四方の磁界分布を $16\text{点} \times 16\text{点}$ で測定した結果を Fig.4 に示す。色のコントラスト差が紙面垂直方向の磁界強度の差を表しており、発生している磁界の様子が確認できている。また、測定を自動化することにより精細な磁界分布計測が可能になると考えられる。

謝辞

本研究に用いたガーネットは長岡技術科学大学の石橋隆幸准教授よりご提供いただきました。ここに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) M. Takahashi, et al., J. Appl. Phys. 107, 09E711 (2010).
- 2) H. Nasuno, S. Hashi, and K. Ishiyama IEEE Trans. Magn., vol. 47, NO. 10, Oct. 2011

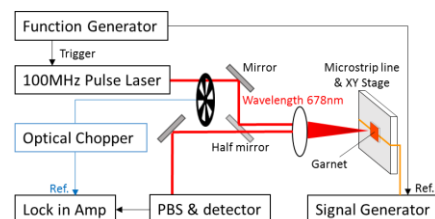


Fig.1 Schematic of magnetic field measuring system

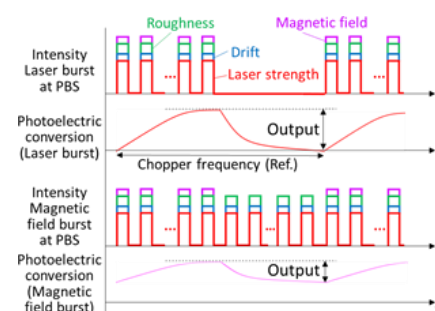


Fig.2 Schematic diagram of the various parts of the signal

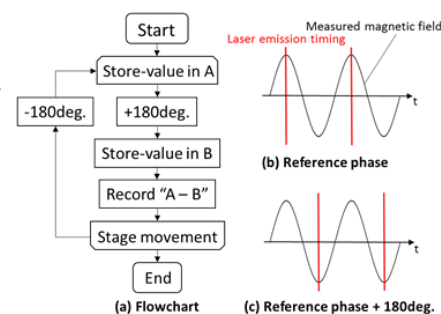


Fig.3 Measuring method

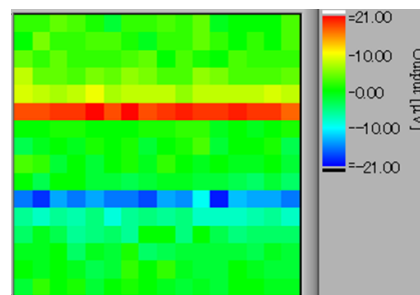


Fig.4 Magnetic field distribution measurement using differential detection

磁壁共鳴を利用した MHz 帯域での 直接通電型薄膜磁気インピーダンスセンサの可能性

住田千尋, 菊池弘昭, 植竹宏明, 藪上信, 栢修一郎, 石山和志

(岩手大学, 東北学院大学, 東北大学)

Possibility of thin-film magnetoimpedance by direct driven current at MHz region using magnetic domain resonance

C. Sumida, H. Kikuchi, H. Uetake, S. Yabukami, S. Hashi, K. Ishiyama

(Iwate Univ, Tohoku-Gakuin Univ., Tohoku Univ.)

1. はじめに

高透磁率磁性体に高周波電流を直接通電し, 外部磁場を印加すると素子のインピーダンスが急峻に変化する磁気インピーダンス効果 (MI) は, 高感度磁界センサとして利用されている. 磁性薄膜を用いた場合, 通常は数 100 MHz 以上でインピーダンス変化が顕著になるが, 先行研究において数 10 MHz の比較的低周波の領域においてインピーダンスの変化が確認された¹⁾. この原因としては, 磁壁共鳴が関与している可能性をすでに報告した²⁾. 本研究では, その磁壁共鳴を利用することで, 数 MHz から数 10MHz の比較的低周波領域で動作する薄膜磁界センサの可能性について検討したので報告する.

2. 実験方法

センサ素子には CoZrNb アモルファス膜を用いた. 磁性体の形状は厚さ 2 μm , 長さ 3 mm, 幅 20, 80 μm のものを用意した. すべての素子において磁界中熱処理を施し, 素子幅方向に磁化容易軸を制御した. 素子長手方向に外部直流磁場を印加し, ネットワークアナライザを用いて素子の長さ 1mm 部分のインピーダンスを測定した. 測定では磁場を -21.6 から 21.6 Oe 間で往復した.

3. 実験結果

Fig. 1, 2 は幅 20 μm の素子におけるインピーダンス及びインダクタンスの外部磁場依存性をそれぞれ示した図である. 高周波電力は -10 dBm とした. アモルファス薄膜磁性材料の場合, インピーダンスの変化には抵抗分の寄与が大きく, 高周波領域では強磁性共鳴や表皮効果で抵抗分の急峻な変化を実現するが, 低周波領域では, インピーダンスの変化は小さい. Fig. 2 において, 5 MHz の時, 約 6 Oe 付近でインダクタンスが急峻に変化している. このときインピーダンスも急峻に変化しており, これは磁壁共鳴によるものと考えられる. Fig. 3 は Fig. 1 の 6.5 Oe から 7.5 Oe の範囲を印加磁界のステップ間隔を細かくして測定した図である. 6.8 から 7.2 Oe にかけて大きなインピーダンス変化が得られており, また, わずかながらヒステリシスが見受けられる. この急峻なインピーダンス変化を利用した磁界センシング特性の詳細は会議にて報告する.

参考文献

- 1) S. Kamata, et. al., Abstracts of the 59th Annual Magnetism and Magnetic Materials Conference, p. 184, 2014.
- 2) 住田他, 平成 28 年電気学会全国大会講演集 Vol. 2, p. 161, 2016.

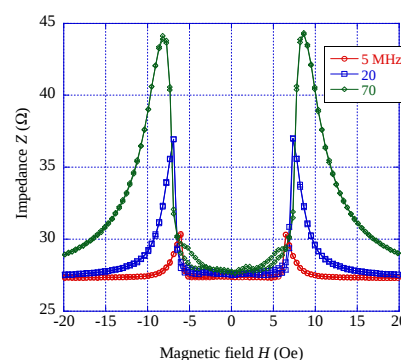


Fig. 1 Field dependence of impedance Z for 20 μm wide element from 5 MHz to 70 MHz.

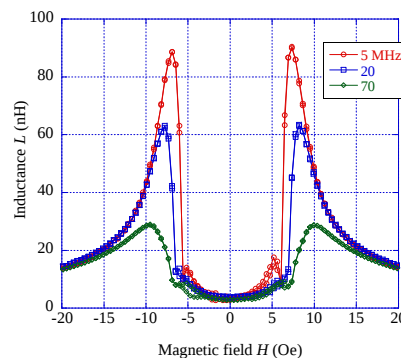


Fig. 2 Field dependence of inductance L for 20 μm wide element from 5 MHz to 70 MHz.

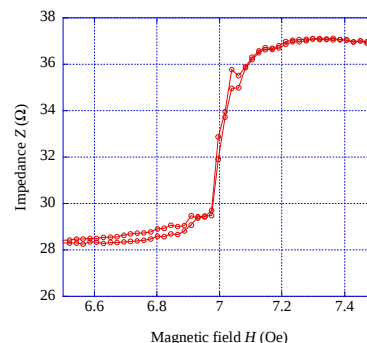


Fig. 3 Field dependence of impedance Z at 5 MHz with fine applied field step.

バイアス通電によるミアンダコプレーナ線路型薄膜センサ素子

植竹宏明, 森谷健太, 富並 剛, 薮上 信
(東北学院大学)

Meandering coplanar line type thin film sensor using direct bias for magnetic film

H. Uetake, K. Moriya, T. Tominami and S. Yabukami
(Tohoku Gakuin University)

1 はじめに バイアスを直接磁性薄膜へ通電するコプレーナ線路型センサ素子を開発した。

2 計測方法 Fig. 1 はミアンダコプレーナ型線路により構成される薄膜磁界センサ素子に直接バイアスを通電する構造の写真を示したものである。これまでは外部に設置したコイルによりセンサへバイアス磁界を印加してきたが、直流電源の安定性やコイルの大きな時定数等により、センサシステムの低周波ノイズ ($1/f$) を増大させる課題があった。そこで本研究ではセンサ素子に使用する磁性薄膜へ直接バイアス電流を通電させることで、センサを駆動することを試みた。ミアンダコプレーナ構造のセンサ素子はガラス基板 (25 mm×25 mm, 1 mm 厚) 上にアモルファス CoNbZr 薄膜 (1 mm×2.25 mm, 1 μ m 厚) を成膜し、SrTiO 薄膜 (0.5 μ m 厚) を介して Cu 薄膜によるミアンダコプレーナ線路 (110 μ m 幅、ギャップ 20 μ m, 2 μ m 厚) をそれぞれリフトオフにより作製した。磁性薄膜の両側にはバイアス用電極として Cu 薄膜成膜した。CoNbZr 薄膜へは回転磁界中熱処理後 (300°C, 2 時間 0.3 T) の後、静磁界中熱処理 (200°C, 1 時間) を施して、Fig. 1 の左右方向へ磁気異方性を付与した。キャリア信号はコプレーナの中心導体の流れ、CoNbZr 薄膜には導通しない。バイアス電流は Fig. 1 に示すような方向へ流れ、CoNbZr 薄膜内には磁化困難軸方向へバイアス磁界を発生させる。バイアス電流によりバイアス磁界が異方性磁界と近い値の際に、キャリアの位相変化および振幅変化が最大値となると考えられる。センサの評価には市販のウェハプローブ (GSG-40-150) を用いてゆっくりとバイアス電流を変化させて、ネットワークアナライザ (HP8722ES) の透過法測定によりキャリアの位相変化を S_{21} から求めた。周波数範囲は 10 MHz-10 GHz とし、バンド幅は 1 kHz, 平均化回数は 16 回とした。

3 計測結果 Fig. 2 は Fig. 1 のセンサにおいて、バイアス磁界に対する、キャリアの位相変化および変化感度を示したものである。キャリア周波数は 2.85 GHz とした。位相変化感度は約 9 Oe で 47 degree/Oe 得られ、この値は外部に設けたコイルによりバイアス磁界を与えた実験値とほぼ対応した。一

般的に電流通電によるバイアスは均一性で劣ると考えられるが、本センサの場合にはキャリア電流による RF 磁界が表皮効果により磁性薄膜の表面に偏るため、良好な感度が得られたと考えられる。

謝辞 本研究の一部は JST COI TOHOKU プロジェクトの研究成果である。また本研究の一部は科研費 (16H04378) の研究成果である。

参考文献 1) H. Uetake, T. Kawakami, K. Moriya, S. Yabukami, and T. Ozawa, *IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS*, Vol. 51, No. 11, 4005003 (2015).

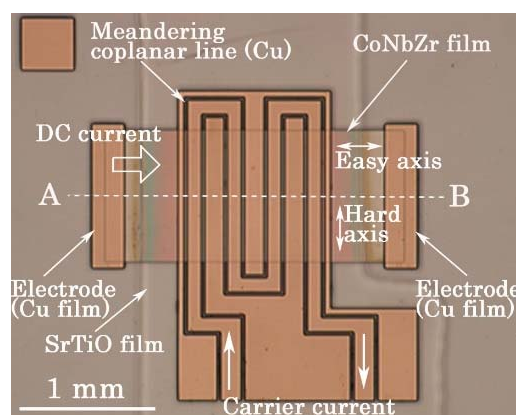


Fig. 1 Schematic of measurement system.

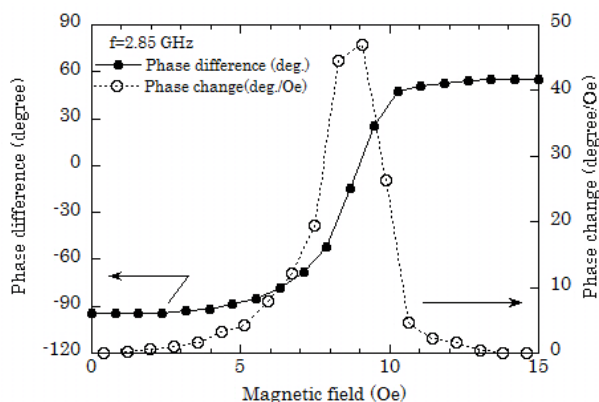


Fig. 2 Phase difference and phase change as a function of applied bias field.

複数の励磁コイルの適用による位置検出システムの検出性能改善

大崎祐太郎, 栢修一郎, 藪上信*, 金高弘恭, 石山和志
(東北大学, *東北学院大学)

Study for improvement of detection ability of position-detecting system using multi excitation coils

Y. Osaki, S. Hashi, S. Yabukami*, H. Kanetaka, K. Ishiyama
(Tohoku Univ., *Tohoku Gakuin Univ.)

1. はじめに

手の開閉時を中心に隠れ(オクルージョン)が発生しがちである手指の運動計測に対して, 我々の提案する LC 共振型磁気マーカーを用いたワイヤレス位置検出システム¹⁾は有力な候補の1つであるが, その構成上, マーカの姿勢によっては励磁効率が悪く低下し, 位置検出が困難になるという状況が不可避であった. この問題を解決するため, 複数の励磁コイルを用いて位置検出性能を改善可能な構成や方法について検討を行った.

2. 実験方法

Fig. 1 にシステムの模式図を示す. 検出コイル(計 36 個)アレイ, フェライトコア($\phi 3 \times 15\text{mm}$)に巻線を施しチップコンデンサを付与した LC 共振型磁気マーカー, 励磁コイルから成る. 従来 1 個であった励磁コイルを Fig. 1 のように, 2 個 1 組のコイルペアが交差するように計 4 個の励磁コイルを平面配置した. 各組の励磁コイルの一方には周波数 f_1 の, もう一方には周波数 f_2 の励磁磁界を同時に発生させ, 2 組のペアを交互に切り替えながら励磁を行う. ここで f_1, f_2 は, 磁気マーカーの共振時の検出コイルの誘起電圧を模式的に表した Fig. 2 に示すように, それぞれ極大, 極小に対応する周波数である.

位置検出の手順として, 初めに励磁コイルの磁界のみによる各検出コイルの誘起電圧(バックグラウンド電圧)を測定し, マーカを設置した時の各検出コイルの誘起電圧とバックグラウンド電圧の差分を取ることで得られるマーカー寄与電圧(V_{marker})を用いて, マーカから発生する磁界をダイポール磁界と近似した逆問題を解くことでマーカーの位置・方向が算出される.

この方法の短所として, 励磁磁界の切り替えと測定データ処理の複雑化により検出速度の低下は避けられないが, 各コイルペアの励磁磁界は周波数が異なる(f_1, f_2)ため単純な合成磁界とならず 3 次元的な励磁が可能である. さらに 2 組のペアを用いることでマーカーを励磁できない状況(姿勢)を完全に解消できると考えられる.

3. 実験結果

姿勢角 θ, ϕ をそれぞれ変化させ複数の座標においてマーカーを固定した状態で各点 10 回の測定を行い, 励磁コイル 1 個の場合と 4 個の場合の評価を行った. Fig. 3 に測定結果の一部を示す. 従来の方法である励磁コイルが 1 個のみの場合に比べて, 4 個の場合の測定結果はほぼ 1 点に収束しており, マーカ姿勢角の変化に対する位置検出精度が大幅に改善されることが明らかとなった.

参考文献

1) 藪上, 他, 日本応用磁気学会誌, **28**, 877 (2004)

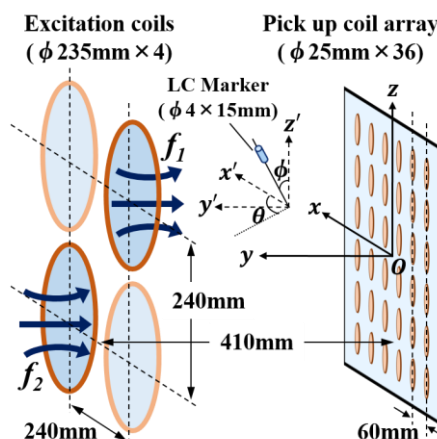


Fig. 1. Diagram of position-detecting system using 4 excitation coils.

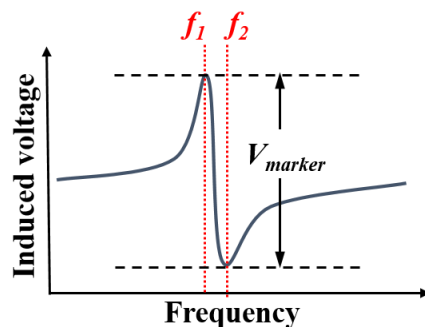


Fig. 2. Diagram of induced voltage by LC resonance of marker.

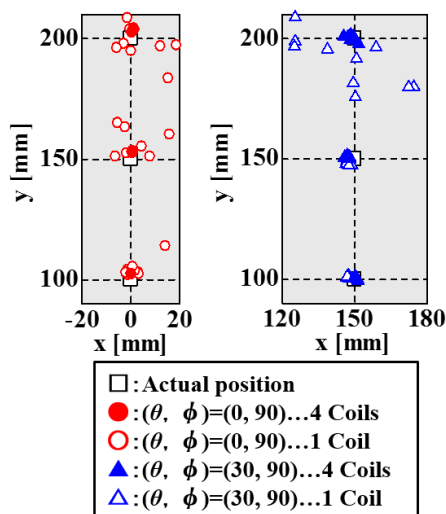


Fig. 3. Comparison of position accuracy under variation of attitude angles.

金属磁性超薄膜の Faraday 効果を利用した

光ファイバ電流センサの基礎検討

花田貴拓、井原敬人、北澤真、久保利哉*、宮本光教*、佐藤敏郎、曾根原誠
(信州大学、*シチズンファインデバイス株式会社)

Fundamental study of optical probe current sensor using
Faraday Effect of metallic magnetic thin film

T. Hanada, H. Ihara, S. Kitazawa, T. Kubo, M. Miyamoto, T. Sato, M. Sonehara
(Shinshu Univ., *CITIZEN FINEDEVICE CO., LTD)

はじめに

電磁ノイズの影響を受けない磁界センシングの方式として、光ファイバや磁性ガーネットの Faraday 効果を利用した磁界センサが既に実用化されているが^{(1),(2)}、電気電子機器の組込み電流センサへの応用はほとんどないのが実情である。本稿では、磁性ガーネットの代わりに金属磁性超薄膜の Faraday 効果を用いるセンシング方式について基礎検討を行ったので報告する。

実験方法と結果

Fig.1 に電流センサの一構成法を示す。光源には波長 1550nm、10mW 出力の ASE (Amplified Spontaneous Emission) 光源を用い、光信号伝送には偏波保持 PANDA (Polarization maintaining AND Absorption reducing) ファイバを用いる。膜面垂直方向に電流磁界 $H(I)$ が印加された金属超薄膜に直線偏光を入射すると光の偏光面が Faraday 効果により主軸から θ_F 回転した楕円偏光となる。さらに光学軸を 22.5° 回転させた $\lambda/2$ 波長板 (HWP) を透過した光の偏光面は Faraday 効果と合わせて主軸から $\theta_F + 45^\circ$ 傾いた楕円偏光となる。透過光を PBS (Polarizing Beam Splitter) で P 偏光と S 偏光に分光しフォトダイオード (PD) で受光し、電気信号に変換することで電流センシングが可能となる。今回、センサヘッド部の Co 超薄膜の Faraday 回転角を透過光強度－磁界特性を用いて評価した。

Fig.2 に 30nm-Co 膜の $\lambda/2$ 波長板透過 P 偏光および S 偏光強度と外部磁界 H との関係を示す。外部磁界に対して P 偏光および S 偏光強度ともに直線的に変化し、Faraday 回転角に換算すると 10 kOe の外部磁界で 1.68° の回転角が得られた。膜面垂直方向の 10 kOe の外部磁界では、30nm-Co 膜はまだ飽和磁化しておらず、最大 Faraday 回転角は 1.68° より大きいと推測される。発表当日は、Faraday 効果の増大とセンサヘッドの小型化を目指したセンサ構成についても報告する。

参考文献

- (1) 高橋正雄, 佐々木欣一, 大野有孝, 桑原豪, 木田聡, まぐね, Vol.1, No.3, 118 (2006).
- (2) 鎌田修, 高瀬屋京子, 日本応用磁気学会誌, Vol.23, No.4-2, 1417 (1999).

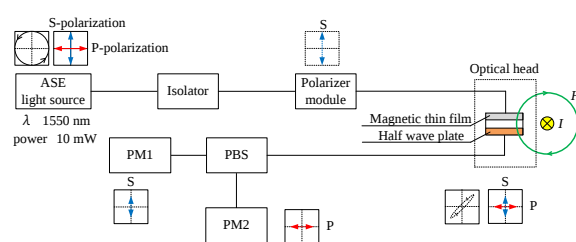


Fig. 1 An example of optical probe current sensor using Faraday Effect of metallic magnetic thin film.

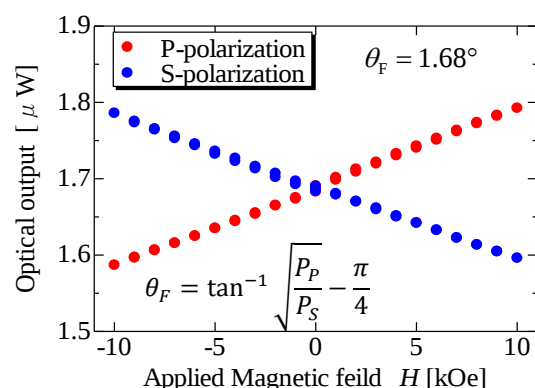


Fig. 2 Relationship between transmission P-polarized and S-polarized light intensity, and external magnetic field measured in 30nm-Co thin film.