

トランス結合型透磁率測定装置の広帯域化のための改良

田丸 慎吾

(産総研 新原理コンピューティング研究センター)

Modification of transformer coupled permeameter for wider bandwidth

Shingo Tamaru

(AIST, Research Center for Emerging Computing Technologies)

はじめに

インバータやコンバータなどのパワーエレクトロニクスモジュールは、脱炭素社会実現に向けた中核技術の一つとして、その重要性が益々高まっている。一般にパワエレモジュールは、スイッチング周波数が高いほど小型化できるため有利であるが、現時点ではインダクタコアの損失が周波数の上昇に従い急激に増加し、高周波化の阻害要因となっている。従って、コアに用いられる軟磁性材料の高周波特性の向上、具体的には数 100kHz から数 10MHz の帯域における損失のメカニズム解明及びその低減は喫緊の課題となっている。この帯域をカバーする従来の透磁率測定装置は、トロイダル形状の試料にコイルを巻き、その自己ないしは相互インダクタンスを測ることにより、試料の透磁率を得ていた。しかしながらこの方法は 1)最終的なトロイダル形状にするまで測定できない、2)外部磁場が印可できないといった問題があった。最終形状に固める前の粉末状態の単一磁性粒子の高周波透磁率を、外部磁場を印可しつつ測定できれば、特性を理解する上で極めて有利である。この目的のため、我々は単一磁性粒子を、短絡終端された平面導波路(CPW)で挟み、電磁石に挿入して測定する「トランス結合型透磁率測定装置」(以下 TC-Perm)を開発し、横幅が約 100 μm 程度、厚さが 1 μm 以下のセンダストやパーマロイ単一粒子の透磁率を、10MHz-20GHz という広帯域に渡って高感度で測定できることを示した¹⁾。その後当該装置の帯域をさらに広げるため、以下に示す改良を行った。

装置の概要

従来の TC-Perm では、高周波側は治具内で起こる反射により 22GHz 近傍に現れるノッチによって、低周波側は使用するベクターネットワークアナライザ(VNA)の帯域によって制限されていた。これらの問題を解決するため、治具を図 1、装置構成を図 2 に示すように改良した。治具は裏面 GND と、表面に形成された CPW の GND との間にビアを通すことにより、スロットモードを抑え、メインの伝搬モードだけが励起されるように設計変更した。装置構成については、VNA を 100kHz-44GHz をカバーするモデルに置き換え、また 100MHz より低域では低雑音アンプ(LNA)で信号を増幅する回路を付加した。これらの結果、治具は 40GHz 付近まで反射がなくスムーズな伝送特性を示すようになった。また低周波側も図 3 に示す通り、低周波での雑音が約 1/40 と大幅に減少した。改良後の装置を用いて 300 μm ×600 μm 、厚さ 100nm のパーマロイ標準試料の透磁率を、200mT の磁場下で測定したところ、300kHz-40GHz という広帯域に渡り高感度で測定できることが確認された。本発表ではこれらの改良の詳細及び、得られた TC-Perm の測定性能について解説する。(謝辞) 本研究開発は総務省 SCOPE(受付番号 JP195003002) の受託を受けたものです。

参考文献

- 1) S. Tamaru et. al, J. Magn. Magn. Mater. 501, 166434(2020).

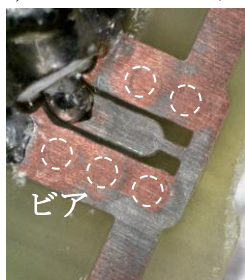


図 1、新設計した TC-Perm 治具写真

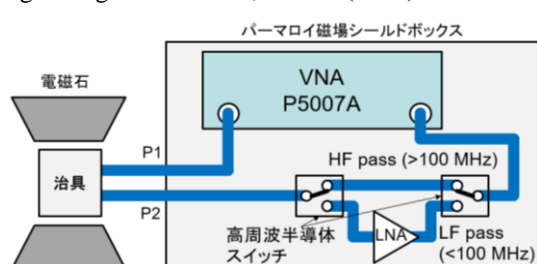


図 2、低周波(<100MHz)において LNA を入れた TC-Perm 装置の回路構成

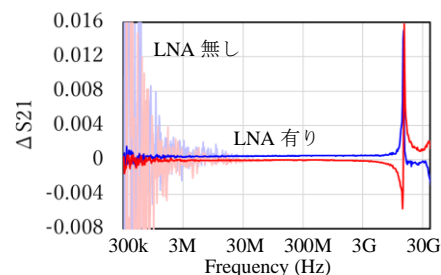


図 3、LNA 有無によるパーマロイ標準試料測定結果の比較

ノイズ抑制シートにおける bimodal 型

複素透磁率スペクトルメカニズム

五十嵐利行、田丸慎吾*、菊池伸明**、吉田栄吉**、岡本聡**

((株)トーキン、*産総研、**東北大)

Physical mechanism of bimodal complex permeability spectrum of a noise-suppression sheet

T. Igarashi, S. Tamaru*, N. Kikuchi**, S. Yoshida**, and S. Okamoto**

(TOKIN Corp., *AIST, **Tohoku Univ.)

はじめに

ノイズ抑制シート(NSS)は電子機器内部での不要電磁波吸収を目的に、1995年に(株)トーキンより BUSTERAID®として上市され、携帯移動端末をはじめとして幅広く利用されている。NSSの構成は、表皮深さ以下に薄くした軟磁性扁平磁粉を有機バインダーと混練し、シート状に加工したものとなっている。その開発当初から bimodal 型の複素透磁率スペクトルを示すことが知られていたが、これまでは定性的な解釈に留まっており、その起源に関する理解は十分ではなかった。本研究では、シート試料とその構成要素である単一扁平磁粉の複素透磁率スペクトルがほぼ同一であることを明らかにし、さらにその挙動が磁気 Vortex 理論で説明できることを示したので、その結果をまとめて報告する。

実験方法

NSSの特性について広く調べることを目的として、一般的に製品に用いているセンダストに加えて $\text{Fe}_{74.8}\text{Al}_{25.2}$ と $\text{Fe}_{50.2}\text{Co}_{47.6}\text{V}_{2.2}$ 、ならびに純 Fe を用いて、シート試料および単一扁平粒子での複素透磁率測定を行った。シート試料はシールドロープコイル法、単一粒子はトランス結合型透磁率測定法(TC-Perm)²⁾を用いた。

結果

Fig. 1 に代表例として Fe を用いた場合のシート試料と単一扁平粒子の複素透磁率スペクトルを示す。これまで広く知られてきたセンダストを用いた NSS と同様に、Fe でも bimodal 型の複素透磁率スペクトルが得られた。さらに、単一粒子でも、ほぼ同様の結果となっていることが確認された。この結果は、NSS の bimodal 型の複素透磁率スペクトルが個々の粒子特性に起因したものであることを明瞭に示している。さらに他の材料系でもほぼ同様の結果であり、bimodal 型の複素透磁率スペクトルは材料に依らない扁平磁粉ならびに NSS のユニバーサルな特徴であることが分かった。その起源について詳細な検討を行った結果、扁平微粒子内に磁気 Vortex の磁化状態が形成されており、低周波ピークは磁気 Vortex コアの共鳴で、高周波ピークは磁気 Vortex の flux closure 状態での共鳴でそれぞれ定量的によく説明できることが分かった。

本研究開発は総務省 SCOPE(受付番号 195003002) の受託を受けたものです。

参考文献

- 1) 五十嵐利行, 東北大学博士論文(2021)
- 2) S. Tamaru et al., J. Magn. Magn. Mater. 501, 166434, (2020).

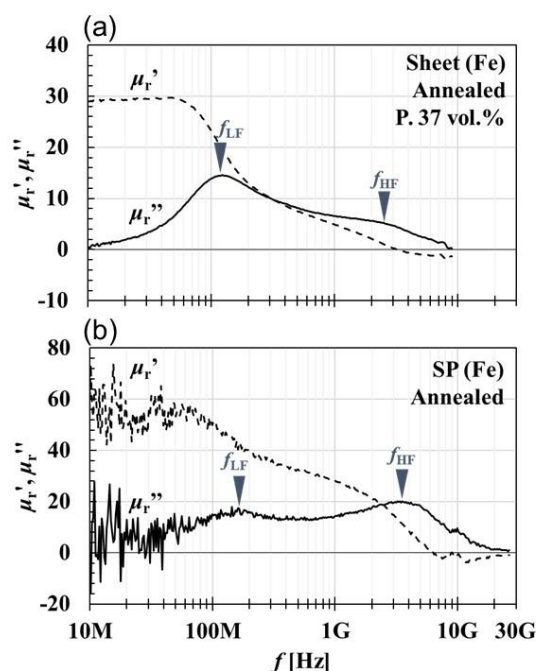


Fig. 1 Complex permeability spectra of (a) sheet sample and (b) single flake of Fe.

Fe 単一扁平粒子の透磁率スペクトルの粒径依存性

大沼智幸、五十嵐利行*、田丸慎吾**、菊池伸明、吉田栄吉、岡本聡
(東北大、*(株)トーキン、**産総研)

Size dependence of complex permeability spectrum of Fe single flakes

T. Onuma, T. Igarashi, S. Tamaru, N. Kikuchi, S. Yoshida, and S. Okamoto
(Tohoku Univ., *TOKIN Corp., **AIST)

はじめに

近年、スマートフォンなどの小型端末において、その内部の高集積化された部品間の電磁干渉が問題視されており、その対策としてノイズ抑制シート(NSS)が広く用いられている。NSSは金属磁性扁平粒子の集合組織であり、bimodal型の透磁率スペクトルを示すことが広く知られている。われわれは単一粒子においてもbimodal型の透磁率スペクトルが得られ、詳細な検討の結果、扁平粒子内に生じる磁気 Vortex の理論で説明できることを示した^{1,2)}。今回、Fe 単一扁平粒子の透磁率の粒径依存性を調べた結果を報告する。

実験方法

Fe 単一粒子の透磁率測定にはトランス結合型透磁率測定法(以下 TC-Perm)³⁾を用いた。この測定法は短絡終端された2つのコプレーナウェーブガイドを重ねて構成した誘導結合トランスに被測定単一磁性粒子を挿入し、ベクトルネットワークアナライザで透過係数 S_{21} を測定することにより、磁性粒子の複素透磁率を測定するものである。試料は、厚み $0.9\mu\text{m}$ 、直径 $50\mu\text{m}$ 、 $100\mu\text{m}$ 、 $200\mu\text{m}$ の三種類の純 Fe 扁平粒子を用いた。

実験結果

Fig.1 に TC-Perm により測定した直径 $200\mu\text{m}$ の Fe 扁平粒子の複素透磁率の虚部 μ'' の周波数スペクトルの一例を示す。これまでに知られていた bimodal 型ではなく、三つの共鳴ピークが存在していることが確認できた。Fig.2 に Fe 扁平粒子の各直径に対するそれぞれ三つの共鳴ピーク周波数の変化を示す。最も高い共鳴周波数 High および最も低い共鳴周波数 Low のピークは扁平粒子の直径によらずほぼ一定の値をとり、中間の共鳴周波数 Middle は直径が大きいくほど周波数が低下する傾向が観測された。

ここで High のピークが磁気 Vortex の flux closure 状態での共鳴に起因し、Low のピークが Vortex コアの共鳴に起因すると仮定し、理論値との比較を行った。その結果、High と Low の共鳴周波数は磁気 Vortex 理論で定量的に説明でき、さらに磁気 Vortex 径は Fe 扁平粒子の直径に依存せず、 $80\sim 100\mu\text{m}$ 程度のサイズであることが示唆された。これらのことから、High および Low の共鳴は磁性粒子内に存在するひとつまたは複数の磁気 Vortex に起因するものと判断される。Middle のピークの要因については考察中である。

謝辞

本研究は総務省 SCOPE (受付番号 195003002)の研究助成によるものである。

参考文献

- 1) 五十嵐利行, 東北大学博士論文(2021)
- 2) 五十嵐利行 他, 第45回日本磁気学会学術講演会講演概要(2021)
- 3) S. Tamaru, N. Kikuchi, T. Igarashi, S. Okamoto, H. Kubota and S. Yoshida, J. Magn. Magn. Mater, vol. 501, p. 166434, 2020.

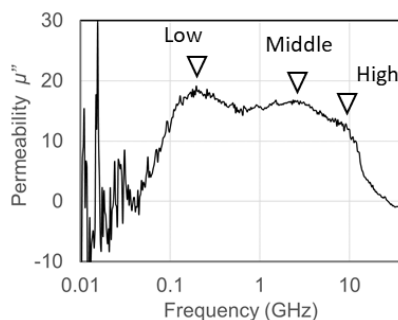


Fig.1 Permeability spectrum of an Fe particle. ($d=200\mu\text{m}$) (imaginary part μ'')

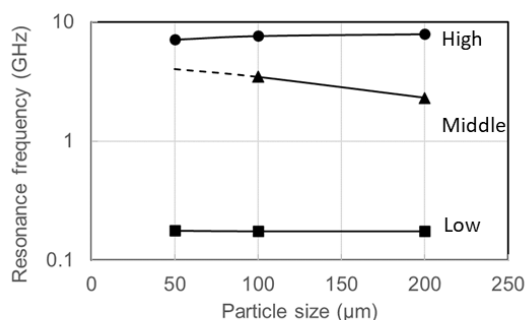


Fig.2 Particle size dependence of Resonance frequency.

伝送線路内の RF 電流集中によるシート状磁性体の共鳴周波数シフト

山口正洋 宮澤安範
(東北大学)

FMR frequency shift of a magnetic sheet caused by RF current crowding in transmission line

M. Yamaguchi, Y. Miyazawa
(Tohoku Univ.)

1. はじめに ノイズ抑制体の伝送減衰率等の測定¹⁾では、磁界源となる信号線の幅が有限のため、反磁界が影響して FMR 周波数が高周波側にシフトすることがある^{2),3)}。これでは説明できない高周波シフトが観測された⁴⁾ため、本研究ではマイクロストリップ線路 (MSL) を電磁界解析し、まず信号線の幅方向の端部へ電流が集中し、信号線の周囲磁界が局在化することを定量的に示した。この信号線の上にノイズ抑制シートや磁性薄膜等を置くと、強い反磁界が生じ、共鳴周波数は更に高周波側にシフトしうることを示す。

2. MSL の電流および磁界解析 Fig. 1 に MSL の電磁界解析モデル (Ansys 社、HFSS Ver 14.0) を示す。導体の材料は Cu、厚さは $18\ \mu\text{m}$ とし、誘電体の比誘電率は $\epsilon_r=2.17$ とした。信号線幅 w_{sig} を $95\sim 4740\ \mu\text{m}$ の範囲で変化させ、特性インピーダンス Z_0 をほぼ $50\ \Omega$ を保つよう誘電体厚を変化させた。代表的解析結果として、Fig. 2 は $f=2\ \text{GHz}$ における信号線断面内の電流分布を示す。Cu の表皮厚 δ は $1.4\ \mu\text{m}$ であり、導体厚より十分薄い。このため、表皮効果と近接効果によって信号線の幅方向の端部へ電流が著しく集中している。このため、周囲磁界も局在化する。Fig. 3 は、信号線が幅広であると磁性体は信号線端部の上空でのみ局所的に励磁される。その幅は信号線より狭いため反磁界が強く、FMR 周波数は高くなる。信号線と磁性体との垂直距離 (Fig. 1 中の h) が広がれば、影響は低減される。これを示唆する実験結果が得られている⁵⁾。高透磁率材料では漏洩磁束に関する特性長⁶⁾が長いので影響は限定的と思われ、検討中である。なお、電流分布が一様るとき、信号線幅が十分広ければ反磁界を無視できるので、傾向は逆となる。

謝辞 ご討論頂いた東北大学 藪上 信教授、岩崎千里氏に感謝します。本研究は、総務省電波資源拡大のための研究開発「不要電波の高分解能計測・解析技術を活用したノイズ抑制技術の研究開発」(JPJ000254) の成果である。

参考文献

- 1) IEC 62333-2:2006, 2006.
- 2) S. Muroga et al., IEEE Trans. Magn., **49**, 7, 4032, 2013.
- 3) S. Muroga et al, J. Electronic Materials, **48**, 3, 1342-1346, 2018.
- 4) M. Yamaguchi et al, EMC Sapporo & APEMC 2019, MonPM2C.6, 2019.
- 5) 高木、他、マイクロストリップ型プローブにおける測定誤差の検討、本学術講演会発表予定, 2021.
- 6) R. E. Jones, IEEE Trans Magn., MAG- 14, 509-511, 1978.

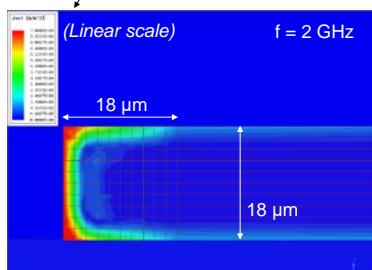
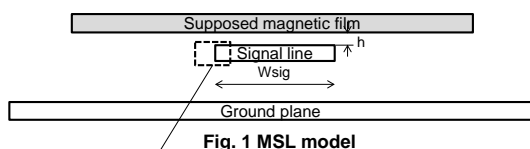


Fig. 2 Simulated current crowding ($w_{\text{sig}}=4,700\ \mu\text{m}$)

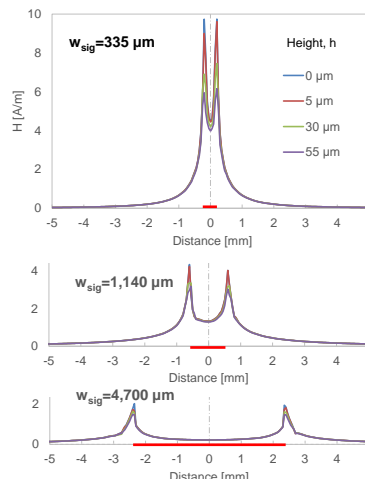


Fig. 3 Simulated magnetic field intensity above signal line

sub-100MHz 向け新規磁性多層 EMI シールド膜

喜々津哲、黒崎義成、白鳥聡志、藤田篤史*、西垣寿*、松中繁樹*
(株)東芝、*芝浦メカトロニクス(株)

New EMI Shielding Layer with Magnetic Multilayer for sub-100MHz Frequency Range

A. Kikitsu, Y. Kurosaki, S. Shirotori, A. Fujita, H. Nishigaki, S. Matsunaka
(Toshiba Corp., *Shibaura Mechatronics Corp.)

はじめに

半導体素子が高密度に実装された機器における電磁波干渉(EMI)対策として、素子のモールド上にシールド膜を直接成膜する direct-on-chip シールドが検討されている¹⁾。著者らは、磁性層/金属層界面での電磁波の多重反射を利用した多層シールド膜の提案²⁾に基づき検討した結果、Cu/NiFeCu/Cu 多層膜において 300-600 MHz の帯域で Cu よりも高いシールド性能が得られ、さらに[Cu(100 nm)/ NiFeCuMo(100 nm)]₁₀の構成の多層膜が、100 kHz~100 MHz の周波数帯域において高いシールド性能を示すことを見出した³⁾。しかしながら、これらの磁性多層膜は大きな凹凸のある樹脂モールド上では軟磁性が劣化し十分なシールド特性が得られていない。また、磁気異方性もあるため direct-on-chip シールド膜として用いるには課題が残る。

本研究では、後者の積層構造に着目し、軟磁性層との積層構成を検討した結果、樹脂基板上でもガラス基板上でも 100MHz 以下で高いシールド性能を持ち、かつ磁気異方性が小さいものを見出したので報告する。

実験方法

多層膜サンプルは、前回³⁾と同様に Cu と NiFeCuMo 合金ターゲットを用いて、芝浦メカトロニクス製スパッタ装置 CCS-2800 により成膜した。基板にはガラスおよび数 μm の凹凸を有する 2.5cm 角の樹脂モールドを用いた。シールド性能は過去の文献²⁾と同様の手法を用い、基板の二つの辺に沿った方向で測定した。シールド効果 MSE (dB) を $-20\log(\text{透過パワー}/\text{投入パワー})$ で定義し、ネットワークアナライザを用いて周波数依存性を調べた。

結果および検討

Fig.1、2 にガラス基板、樹脂基板上に成膜した、[Cu(100)/NiFeCuMo(100)]₁₀/ [Ta(5)/NiFeCuMo(50)]₅₅/

[Ta(5)/NiFeCuMo(300)]₁₀ 積層膜のシールド特性を示す。リファレンスとして Cu 3μm の特性も示す。樹脂基板であってもガラス基板と同様に、30-50 MHz にピークを持つ特性が得られた。さらに方向依存性も小さく、等方的な特性となっている。多層膜を構成する 3 種の各磁性層の役割はまだよくわかっていないが、ヒステリシスループが軟磁性層単層のような振る舞いを示すことから、各層が静磁気相互作用によって[Cu/NiFeCuMo]₁₀層の磁壁共鳴をエンハンスしていることが想定される。

参考文献

- 1) M. Yamaguchi, et al.: *IEEE Trans. Magn.*, **46**, 2450 (2010)
- 2) K. Yamada et al.: 2011 IEEE International Symposium on EMC, p.432
- 3) A. Kikitsu: 第 44 回日本磁気学会学術講演概要集 14aD-10(2020), abstract of JEMS2020, 3238 (2020)

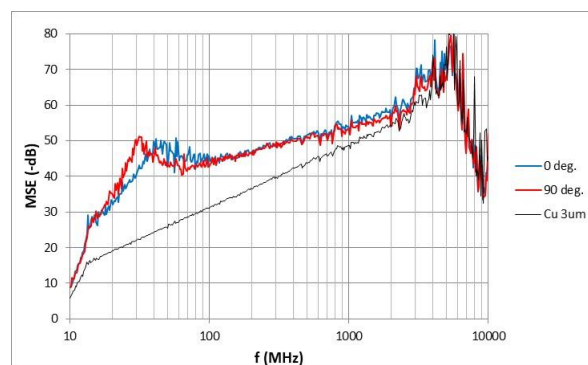


Fig.1 Shield effect of the multilayer sample on a glass substrate

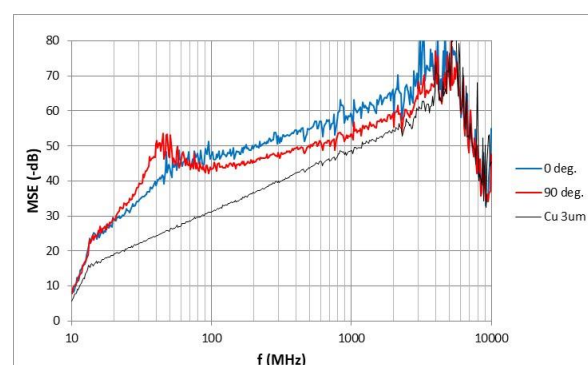


Fig.2 Shield effect of the multilayer on a mold substrate

逆磁歪効果型歪センサの高周波振動特性の評価

高野凌、石山和志 (東北大学)、星貴之 (ピクシーダストテクノロジーズ)

Evaluation of high frequency vibration characteristics of inverse
magnetostrictive effect type strain sensor

R. Takano, K. Ishiyama (Tohoku Univ.), T. Hoshi (Pixie Dust Technologies)

はじめに

これまで我々は、振動センサとして磁歪膜と導体膜の積層構造からなる逆磁歪効果を用いた歪センサを応用する研究を行ってきた。先行研究においては2kHzまでの振動周波数を検知できるセンサとしての特性を測定したり。しかし、我々のセンサは検出回路のキャリア周波数が高く、さらに薄膜であり渦電流損が小さいことから、更に高い振動周波数帯域でも特性を損なわず数 ppm オーダーの歪を検出することが可能だと推測される。先行研究においてセンサ自体をカンチレバー構造とすることで振動検知特性を測定していたが、自由振動させていたため機械的共振周波数以上の測定が困難であった。そこで、100kHz程度までの振動検知特性を評価する装置の構築に取り組んだ。本稿では、下記に示すようにセンサを振動子で直接振動させることで高周波を印加することを試みた。振動源として20kHz近傍を共振周波数とするランジュバン型振動子を採用した実験装置を用いた検討結果を述べる。

実験方法

Fig. 1 に片持ち梁構造を用いた振動印加実験の模式図を示す。振動子を固定治具によって一定の高さに保持している。振動子に交流電圧を与えることで固定部分に対して上面が振動(変位)する。センサの片端は振動子の上面に接着されており、もう片端はステージに固定されている。これよりセンサには振動子の変位により歪が生じる。歪の印加によりセンサが伸び縮みすることで逆磁歪効果によりセンサ素子の透磁率が変化し、インピーダンスの変化へ変換される。このインピーダンス変化を検出回路において検出することで歪検知を行った。

実験結果及び考察

Fig. 2 に実際に20kHzの振動を印加し、振動子の先端を $14\mu\text{m}_{\text{p-p}}$ で振動させ、センサ表面に15ppmの歪を印加した時の出力を示す。このデータから、センサ出力波形が印加した振動周波数である20kHzの波形として出力された。このことからセンサへ正確に高周波歪を印加できており、高周波領域におけるセンサの評価ができると言える。この結果から得られたセンサの歪み感度の評価については学術講演会で報告する。

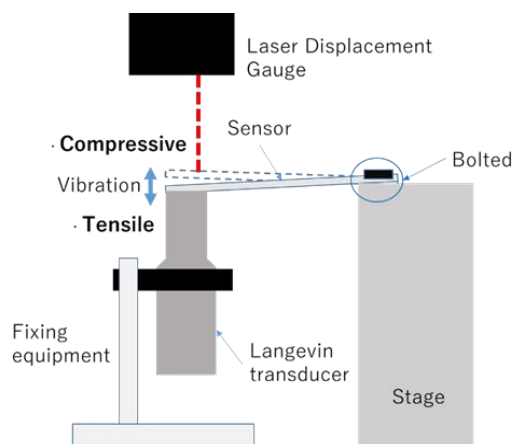


Fig. 1 Design of vibration testing equipment.

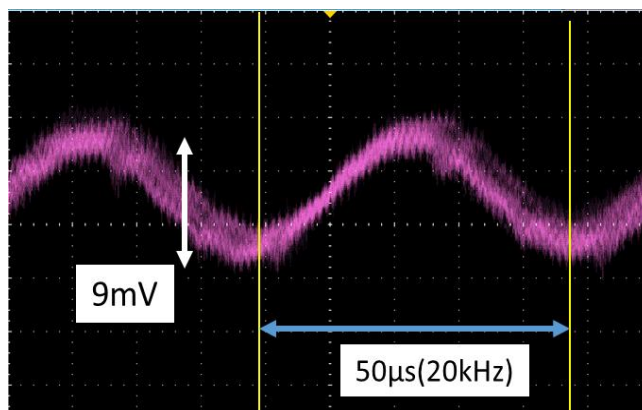


Fig. 2 Output from 20kHz-vibrated sensor.

参考文献

- 1) 曾良, 柁, 石山, 日本磁気学会論文特集号, 4, 41 (2020).

磁性薄帯用磁気ひずみ測定システムの評価

森 修, 佐藤茂行, 内海 良一, 遠藤 恭*

(東栄科学産業, *東北大学)

Evaluation of Measurement System for Magnetostriction of Magnetics Alloy Ribbons

O. Mori, S. Sato, R. Utsumi, Y. Endo*

(Toei Scientific Industrial co., Ltd, *Tohoku University)

はじめに 従来、磁性合金薄帯の磁気ひずみ評価には容量変化法やひずみゲージといった評価法が幅広く利用されている。これらの評価法は薄帯に電磁気的な変化を誘導して機械的な変化を引き起こし、物理的な変化を検出することによって磁気ひずみ定数を算出する簡便な方法である¹⁾。その一方で、薄帯を何枚も重ねた試料の作製や試料サイズを大きくする必要があるのであるなどの欠点も抱えている。これに対して昨年、我々は磁性合金薄帯に異なる応力を付与し、そのときのインダクタンスの外部磁界依存性（電磁気的な変化）をコイルにより検出することによって薄帯の磁気ひずみを評価することのできる新たな方法を検証し、報告した²⁾。本研究では、この磁性薄帯用磁気ひずみ評価法を用いて市販のFe系アモルファス薄帯2605SA1（日立金属）の磁気ひずみの熱処理による変化を評価した。

実験方法 Fig.1 は、本実験における測定システム図である。本評価法では、幅8mmの細長い薄帯の中央部を検出コイル内部に挿入して薄帯の両端を治具で固定した状態で電磁石のギャップ部に設置する。固定した薄帯両端のうち一端にフォースゲージを取り付けて薄帯の長手方向に引張応力を付与する。このとき、薄帯内部の異方性磁界が変化する。したがって、薄帯に一定の応力($\sigma_{//}$)を付与しながら薄帯幅方向に0~300mTの直流磁界(H_{dc})を印加し、薄帯が挿入された検出コイルのインダクタンス(L)をLCRメータにより測定する。得られたインダクタンスの逆数($1/(L-L_0)$) (L_0 : 空心コイルのインダクタンス)と H_{dc} との関係を、300g~700gの応力に対してまとめる。得られた結果をもとにして、同じ $1/(L-L_0)$ 値において、 H_{dc} の応力の違いによる変化量($\Delta H = H_{dc1} - H_{dc2}$)を導出し、 $\Delta H = 3\lambda_s(\sigma_{//1} - \sigma_{//2})/M$ (M : 薄帯の磁化) (*) にあてはめて薄帯の磁気ひずみ(λ_s)を評価する。

実験結果 Fig.2 は異なる応力を付与したときのFe系アモルファス薄帯における $1/(L-L_0)$ と H_{dc} の関係を熱処理前後で比較したものである。熱処理の有無に関係なく80~100mTの H_{dc} では、いずれの $1/(L-L_0)$ も直線的に増加した。また、応力の増加にともない、同じ $1/(L-L_0)$ 値に対して H_{dc} が増加した。このときの ΔH と応力の変化量を、(*)式にあてはめてそれぞれの λ_s を算出した。その結果、 λ_s 値は熱処理前が27ppmで、公称値と同じ値が得られた。これに対し、熱処理後の λ_s は11ppmとなった。この結果から、磁性薄帯を熱処理したことにより、薄帯内部のひずみが緩和され、 λ_s が低下することを確認できた。今後はナノ結晶材料の磁性薄帯を用いて同様に熱処理前後の λ_s の比較を行う予定である。

参考文献

- 1) 荒井賢一, 津屋昇, 日本応用磁気学会 2,5 (1978).
- 2) 遠藤恭, 島田寛, 森修, 佐藤茂行, 内海良一, 第44回日本応用磁気学会学術講演、14aD-5.

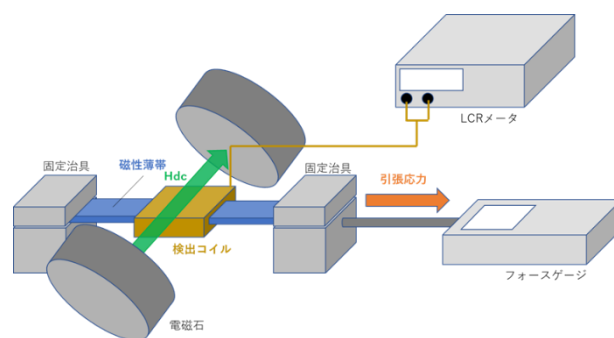


Fig.1 磁性薄帯磁歪測定系

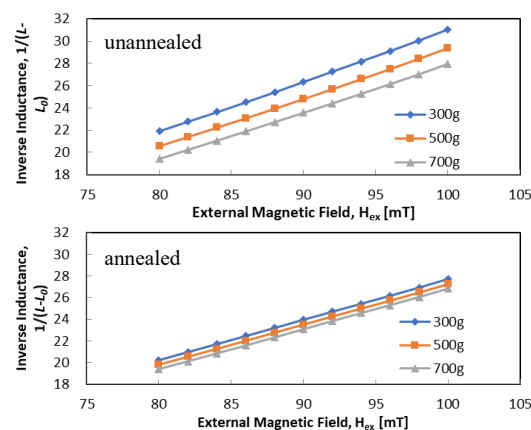


Fig.2 磁性薄帯の熱処理前後の $1/(L-L_0)$ の磁場依存性

マイクロストリップ型プローブにおける測定誤差の検討

高木 薫, 石原知弥, 沖田和彦, 岩崎千里, 藪上 信, 山口正洋, 茶谷健一*

(東北大学,*株式会社トーキン)

Study of measurement error of ferromagnetic resonance frequency using Microstrip Line-Type Probe

K. Takagi, S. Ishihara, K. Okita, C. Iwasaki, S. Yabukami, M. Yamaguchi, K. Chatani*

(Tohoku Univ., *TOKIN Corporation)

1. はじめに

著者らはフレキシブルマイクロストリップ線路型プローブを開発し、透磁率計測を報告した¹⁾。この計測法では反磁界の影響による強磁性共鳴周波数の高周波へのシフトが課題である。本稿ではマイクロストリップ導体幅およびサンプルと導体との距離を変えて透磁率を計測し、反磁界の影響を検討した。

2. 実験方法

Fig. 1 に測定系の概要図を示す。システムのセットアップは、以前の研究¹⁾で使用されたものと同様である。プローブはマイクロストリップ導体幅 0.36 mm¹⁾と 1.2 mm の二種類のプローブを用いた。ヘルムホルツコイルを用いて、2 T 中でスルーキャリブレーションを行った。線幅 0.36 mm のプローブでは直流磁界を RF 磁界に垂直な方向へ印加した。線幅 1.2 mm のプローブでは RF 磁界と平行方向へ印加した。キャリブレーション後、2 T の強磁界を除いて、磁性体の寄与分のみが反映された透過係数 S_{21} を測定し、磁性体のインピーダンス $Z=2Z_0(1-S_{21})/S_{21}$ に換算する¹⁾。2次元有限要素法磁場解析を用いてインダクタンスと比透磁率実部 μ_r' の関係から複素透磁率 μ_r を求める¹⁾。サンプルと信号線との距離をアクリルシートおよびアクリル板を用いて 0.1 mm から 2 mm まで変化させて測定した。

3. 測定結果

測定試料はトーキンの NiZn ferrite sheet (10 mm × 10 mm, 0.1 mm thick)²⁾とした。Fig. 2 に線幅 1.2 mm のプローブでサンプルと信号線の距離を 2 mm としたときの複素透磁率を Nicolson-Ross-Wier (NRW)法³⁾及び Shielded Loop Coil 法⁴⁾との比較結果を示した。強磁性共鳴周波数が約 1 GHz となり他測定方法とほぼ一致した。Fig. 3 に 2 種類のプローブを用いてサンプルとマイクロストリップ導体との距離を変化させた際の強磁性共鳴周波数の測定値を示した。サンプルと導体の距離を離すと、強磁性共鳴周波数が 1 GHz に近づいた。これは距離が離れると磁性体への励磁範囲が拡がり、局所的な反磁界の影響が低減したためと考えられる⁵⁾。概ね距離 0.4 mm 以上で強磁性共鳴周波数はほぼ一定となり、反磁界の影響が抑えられたと考えられる。

謝辞

本研究の一部はビジネス・インキュベーション・プログラムの研究成果である。本研究の一部は総務省電波資源拡大のための研究開発及び異システム間の周波数共用技術の高度化に関する研究開発「不要

電波の高分解能計測・解析技術を活用したノイズ抑制技術の研究開発」(JPJ000254)の成果である。

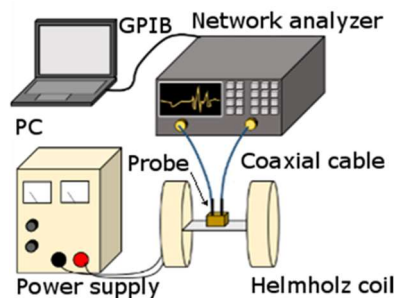


Fig. 1 Schematic of measurement system.

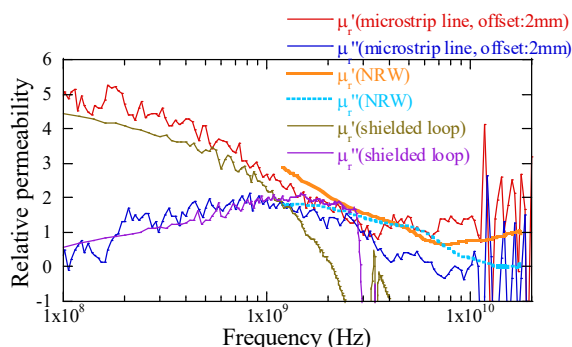


Fig. 2 Relative permeability of NiZn ferrite sheet.

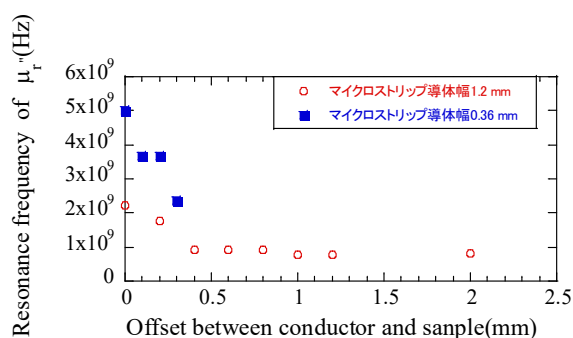


Fig. 3 Resonance frequency as a function of offset between conductor and sample.

参考文献

- (1) S. Yabukami *et al.*, *IEEE Trans. Magn.*, 57 (2021, in press).
- (2) JFE TECHNICAL REPORT, 26, 77 (2010).
- (3) A. M. Nicolson and G. F. Ross, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 19, 377 (1970).
- (4) M. Yamaguchi *et al.*, *IEEE Trans. Magn.*, 32, 4941(1996).
- (5) Sho Muroga *et al.*, *IEEE Trans. Magn.*, 49, 4032 (2013).

磁性膜を配置した MSL の磁気回路解析による回路定数の推定

三上 貴大, 室賀 翔, 田中 元志
(秋田大学大学院理工学研究科)

Circuit parameter estimation of MSL with magnetic film using magnetic circuit analysis

Takahiro MIKAMI, Sho MURUGA, Motoshi TANAKA

(Graduate School of Engineering Science, Akita University)

1. はじめに 電子機器に磁性体を用いた電磁ノイズ抑制体 (NSS) を実装するための設計指針の確立が求められている. 筆者らは, NSS を配置したマイクロストリップ線路 (MSL) 断面を磁気回路解析し, 等価電気回路を推定する方法を提案した¹⁾. しかし, 磁気回路の構築のためには, MSL 断面の磁束密度分布を電磁界シミュレーションにより算出する必要があった. そこで, NSS の例として Co-Zr-Nb 膜を配置した MSL 断面の磁束密度の解析的な算出を試みた²⁾が, その計算過程の一部に誤りがあった. その誤りを修正した結果, 解析的な導出のためには近似等を用いた計算過程の単純化が必要であることが明らかになった. そこで, 磁気回路の磁束が主に流れる枝路の磁気抵抗のみを用いた推定を試みた.

2. 特性長の解析的導出 解析対象¹⁾は, 比誘電率 9.8 のアルミナ基板上に試作した単線 MSL とした. MSL は, 線路長 10 mm, 幅 95 μm である. Co-Zr-Nb 膜は, 低周波で比透磁率約 700, 材料固有の強磁性共鳴 (FMR) 周波数約 1 GHz, 抵抗率 120 $\mu\Omega\text{cm}$ である. Co-Zr-Nb 膜を配置した MSL をネットワークアナライザ (NA5224A, Keysight) を接続して伝送特性を測定し, 電磁界シミュレータ (Ansys® HFSS™, Ansys Inc.) を用いて解析した.

図 1 に Co-Zr-Nb 膜を配置した MSL 断面の磁束経路および磁気回路を示す²⁾. ϕ_0 は全磁束, ϕ_m は磁性体内を流れる磁束を表す. また, w_m は, 磁性膜内の磁束密度の値が, 信号線端部直上の磁性膜内の磁束密度の値の約 37% ($=1/e$, e はネイピア数) 以上である範囲を示し, 磁気回路構築に必要である. Co-Zr-Nb 膜内の磁束密度に関する微分方程式³⁾より, w_m を算出した.

$$w_m = \sqrt{\frac{g}{1/\mu_{r1}h + a/\mu_{rt}}} \quad (1)$$

ただし, μ_{r1} は真空中の比透磁率 ($\mu_r = 1$), μ_r は Co-Zr-Nb 膜の比透磁率, g は誘電体と磁性体の距離 ($g = t_s + t_d$), $a = \phi_m/\phi_0$ である. 磁気回路を用いると, a は (2) 式で表せる²⁾.

$$a = \frac{\phi_m}{\phi_0} = \frac{\mathcal{R}_a \mathcal{R}_d}{\mathcal{R}_a \mathcal{R}_d + \mathcal{R}_m \mathcal{R}_m + \mathcal{R}_d \mathcal{R}_m} \quad (2)$$

ここで, 各磁気抵抗は各磁束 ϕ_a , ϕ_m , ϕ_d が通る断面積とその磁路から計算した^{1,4)}. なお, 磁性膜内で発生する渦電流によって磁性膜上部に漏れ出す磁束量は, 他の枝路を流れる磁束量と比較して小さいと考え, \mathcal{R}_a の枝路の一部を無視して計算した.

3. インダクタンスの推定 磁気回路解析より推定したインダクタンスを実験値と比較して図 2 に示す. 推定値は実験値とおおよそ一致し, 2.7 GHz 付近の実効的な FMR 周波数で低下し, 極小となった後に徐々に一定値に漸近した. この周波数特性は, Co-Zr-Nb 膜が局所的に励磁されることによる形状異方性 (反磁界) の影響を考慮した実効的な比透磁率の実部の影響と考えられる. なお, 6 GHz 付近以上の周波数帯域では負の値を示すのは, 波長共振の影響と考えられる.

4. おわりに Co-Zr-Nb 膜を配置した MSL のインダクタンスを解析的に推定可能であることを示した. 今後, 必要な周波数帯で十分なノイズ抑制効果を得るための設計指針の構築を検討する.

謝辞 本研究の一部は, 科研費 20K04497, 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究の助成を受けた.

参考文献 1) Mikami et al., *IEEE Trans. Magn. Early access*, 2021. 2) 三上他, 第 44 回磁気学会学術講演会, 14aD-11, 2020. 3) R.Jones, *IEEE Trans. Magn.*, 14(5), p.509, 1978. 4) TDK, “磁気回路設計ガイド”, As of June 22, 2021.

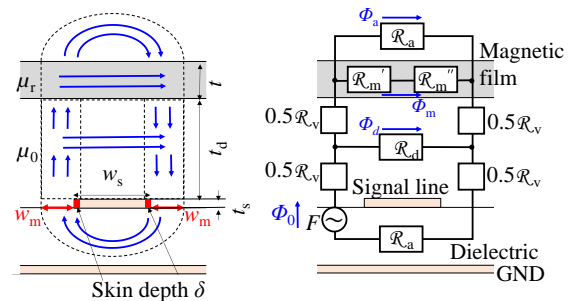


図 1 MSL 断面の磁束経路および磁気回路

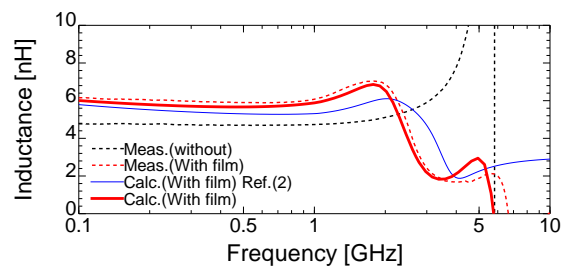


図 2 インダクタンスの推定

小型化した単層薄膜磁気インピーダンス素子の変化率

谷井雅, 菊池弘昭

(岩手大学)

Impedance change ratio of miniaturized single layer thin film MI element

M. Tanii, H. Kikuchi

(Iwate Univ.)

1. はじめに

磁気インピーダンス素子は、高透磁率磁性体に高周波電流を通電した場合に外部磁場により、その透磁率が変化し、それに伴い表皮効果、強磁性共鳴を介してインピーダンスが変化する現象であり、磁気センサに応用されている。生体磁気応用を見据えた高感度化の検討が中心的であるが、局所的な非破壊評価応用等への展開を見据えて、我々は小型化を目指して磁性薄膜による研究を行ってきた¹⁾。これまで大きなインピーダンス変化が報告されている薄膜素子は 2-10 mm の素子長で多層構造である。本研究では薄膜で単純構造の単層を用いて、これまで報告例の少ない 1 mm 以下の磁気インピーダンス素子において数 100% の変化率の実現について検討した。

2. 実験方法

薄膜磁気インピーダンス素子には $\text{Co}_{85}\text{Nb}_{12}\text{Zr}_3$ アモルファス薄膜を用いた。膜厚 1-5 μm の薄膜をスパッタ・リフトオフ法により素子長 1 mm, 素子幅 10-80 μm の矩形素子に微細加工した。成膜後に磁性体部は磁界中熱処理を行い、各素子の容易軸を幅方向に制御した。1 MHz から 3 GHz の周波数範囲において素子のインピーダンスをネットワークアナライザにより測定した。測定の際にはヘルムホルツコイルを用いて外部磁界を素子の長手方向に印加した。

3. 実験結果

Fig. 1 は幅 40 μm , 厚さ 5 μm の素子におけるインピーダンスの周波数依存性を示した図である。この素子は全長 1.4 mm の矩形素子であり、反磁界分布低減のため中央 1mm の部分に通電を行っている。印加磁界 0 でのインピーダンスは約 8 Ω 一定で、100 MHz 以上で表皮効果によりわずかに増加する。外部磁界を印加した場合、数 100 MHz 帯域でのインピーダンス変化の増大が顕著になり、1 GHz 付近でピークを取る。Fig. 2 は同一素子における 1~1.5 GHz でのインピーダンスの外部磁界依存性を示した図である。周波数 1.1 GHz でのインピーダンス変化率は 400% が得られており、一連の検討の中で最大の変化率となっている。センサの動作原理としては 100 MHz 低周波から側で数 100 MHz 領域においては表皮効果による抵抗増加があり、GHz 帯付近では強磁性共鳴が関与している。バイアス磁化率の理論やマクスウェルの方程式に基づくインピーダンスの計算の結果、膜厚が大きくなるにつれてインピーダンス変化は大きくなるが、ピークをとる周波数は共鳴周波数に依存して膜厚による変化しない結果が得られた。実験においても素子幅、膜厚によらずインピーダンスのピークはおよそ 1 GHz 付近で得られており、強磁性共鳴の寄与が支配的となり最大変化率が得られていると考えられる。解析結果も含めて詳細は会議にて報告する。

参考文献

1) H. Kikuchi, et. al., IEEE Magnetics Letters, vol. 10, #8107205, pp. 1-5, 2019.

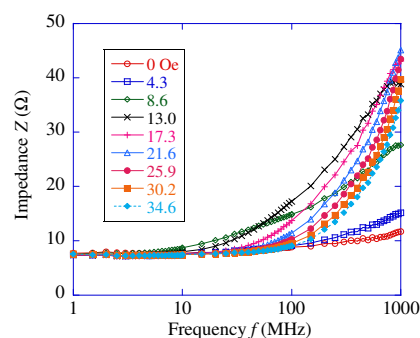


Fig. 1 Frequency dependence of impedance Z for 40 μm wide and 5 μm thickness element.

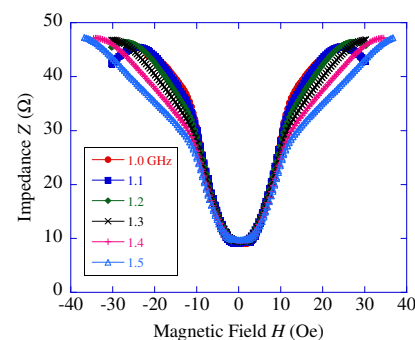


Fig. 2 Field dependence of impedance Z from 1.0 GHz to 1.5 GHz.

高安定 MI センサによる車両通行計測と車種推定アルゴリズムの検討

姚睿軒、内山剛

(名古屋大学)

Vehicle Traffic Measurement and Vehicle Type Estimation Algorithm Using Highly Stable MI Sensor

R. Yao, T. Uchiyama

(Nagoya University)

はじめに

5年一回実施している一般交通量調査は、全国の道路の交通量などの基礎資料を得ることを目的に実施したものである。調査方法については、主に交通量常時観測装置、簡易型トラフィックカウンタ、人手により観測する方法などである。磁気センサを用いた車両通行計測装置は、設置しやすい、低消費電力、即時で計測できるなどの利点があるため、コストの削減、作業サイクルの短縮などに役立つ。さらに、最も一般的な計測方法—画像処理法と比べて、厳しい気象条件での検出が可能であり高精度に電気自動車を検知することも期待できる。我々はこれまでに、MI センサを道路横に設置した車両通行計測実験により、車両の台数、速度の計測が可能であることを報告している。今回は、直流磁界から安定に磁界を計測できる MI センサを用いた車両通行計測装置の性能評価と車種推定アルゴリズムについて検討した結果を報告する。

実験方法

電池 (単電源 0~5V) で動作する MI センサ (動作周波数 DC~500Hz) を試作し、計測装置として性能を評価するために、感度、環境ノイズ、フィルタについて調べた。実際の道路に計測装置を設置し、対照として、スピードガン、カメラによる速度測定を同時に行って、得たデータを処理してセンサの性能を評価した。また、理論モデルに基づいたシミュレーションにより車種推定アルゴリズムに関して検討を行った。

実験結果

試作センサは、 $\pm 20 \mu\text{T}$ の範囲内は優秀なリニアリティ (線性度) を示した。また、車両通過に伴う変動磁場の計測結果により、車両通行計測に必要な周波数帯域は $0.1 \sim 10\text{Hz}$ で、磁場変動は、 μT レベルであることを確認した。さらに、実験環境で測定した σ ノイズは約 10nT (DC~500Hz)、信号雑音比 (SNR) は 59.04dB である。帯域を制限するために、カットオフ周波数 26.1Hz のローパスフィルタを利用すると、 3σ 磁場は 4.94nT となり、ノイズが正規分布している場合、それ以上の信号の検出確率は 99.7% となる。

Fig.1 は、車両通行に伴う変動磁場分布を車種別にまとめた結果を示す。変動磁場の大きさは $0.1 \sim$ 数 $10 \mu\text{T}$ の範囲であった。各車種で測定した変動磁場分布は概ね同じ範囲内で、車体が大きいほど変動磁場が大きくなる傾向はみられなかった。

Fig.2 は大型車両 (トラック) の波形例を示す。大型車両の波形には多ピークを発見した。これは大型車両の特徴的な波形であると考えられる。

波形の最初と最後のピーク間の時間を T_{pp} として定義する。車長と T_{pp} の関係を検証のため、車両通行の理論モデルを分析し、シミュレーションした。車両通過に伴う変動磁場波形が、対称の場合のみを分析した。Fig.3 は、バス及び普通乗用車の実測した波形とシミュレーションによる計算値である。普通乗用車の実測波形と計算波形は類似しており、 T_{pp} と車長は線形関係であることが検証できる。つまり、車体上の磁化分布が単純な場合は、 T_{pp} だけでも小型車両と大型車両を分けられる。実際には磁化分布が複雑な車両が含まれるため、小型車両と大型車両の車種を判別するためには、変動磁場の波形と T_{pp} の条件を組み合わせるアルゴリズムを考える必要がある。

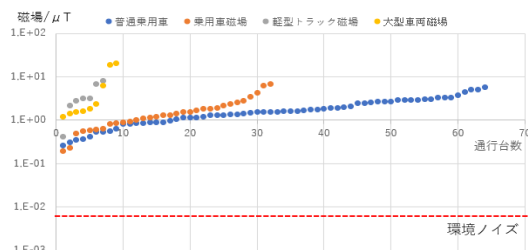


Fig.1 Magnetic field distribution of different types of vehicles

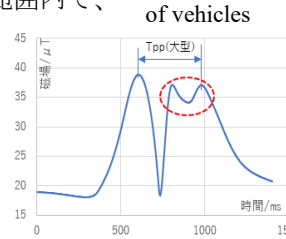


Fig.2 Measured waveforms of large vehicles (truck)

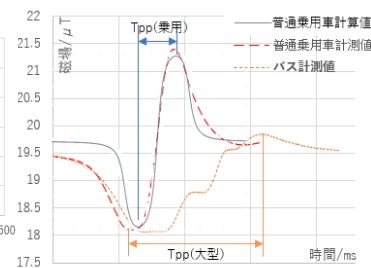


Fig.3 Measured waveforms of small and large cars and simulation calculation values

コプレーナ型薄膜磁界センサの電磁界解析

石原 知弥, 植竹 宏明*, 岩崎 千里, 藪上 信, 山口 正洋
(東北大学, *電磁材料研究所)

Analysis of coplanar line type thin film magnetic field sensor by electromagnetic field simulation

Tomoya Ishihara, Hiroaki Uetake*, Chisato Iwasaki, Shin Yabukami, Masahiro Yamaguchi
(Tohoku University, *Research Institute for Electric and Magnetic Material)

1. はじめに

筆者らは、伝送線路と磁性薄膜を一体化した薄膜磁界センサ¹⁾を研究してきた。このセンサについて電磁界解析を行い、バイアス磁界による S パラメータの変化の傾向が実測値とおおむね対応したため報告する。

2. 実験方法および計算方法

Fig. 1 にセンサ素子の写真を示す。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×1.15 mm, 1 μm 厚)を RF マグネトロンスパッタにより成膜し、回転磁界中処理(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、コプレーナの幅方向へ磁気異方性を付与した。次に、SrTiO 薄膜(膜厚 3 μm)を基板加熱しながら成膜し、最上層には Cu 薄膜によるコプレーナ線路(450 μm 幅, ギャップ 32 μm, 膜厚 1.6 μm)をリフトオフにより作成した。これは導体のみで特性インピーダンスがほぼ 50 Ω となる寸法である。コプレーナ線路には高周波キャリアが通電され、キャリアに CoNbZr 薄膜の磁化容易軸方向の透磁率が反映される。センサの測定はネットワークアナライザ(HP8722ES)の透過法測定により S_{21} のゲインと位相の周波数特性を求めた。ネットワークアナライザの周波数範囲は 50 MHz-40.05 GHz(801 点)とし、バンド幅は 1 kHz, 平均化回数は 16 回とした。センサへの接続には GSG プロブを使用し、バイアス磁界の印加には電磁石を用いた。解析には ANSYS Electronics Desktop 2020 R1(ANSYS 社)の三次元有限要素法電磁界解析ソフト HFSS を用いた。CoNbZr にはシールドドループコイル法²⁾により測定した複素透磁率を解析周波数ごとに入力した。導電率は 8×10^5 siemens/m とした。SrTiO の比誘電率は 7 とした。各解析周波数でメッシュの最適化を行った。

3. 結果

Fig. 2 は S_{21} の実数部および虚数部を実測値と理論値と比較したものである。それぞれの S_{21} はレファレンス($\mu_r \approx 1$ に相当)に対する相対的な変化分として表記した。印加磁界は 25 Oe とした。 S_{21} の実数部は約 2.5 GHz で実測値, 解析値ともに極小値をとるという傾向でおおむね対応した。これは、約 2.5 GHz で強磁性共鳴により、複素透磁率の虚数部が最大となり損失が増大したためと考えられる。また、 S_{21} の虚数部は約 2.5 GHz で実測値, 解析値ともに 0 に近づき、約 2.5 GHz 以降は増大する傾向となった。これは、約 2.5 GHz で強磁性共鳴により複素透磁率

の実数部が急峻に減少して負になるためと考えられる。この結果から、複素透磁率の変化による S_{21} の変化を解析可能であると考えられる。よって、複素透磁率の測定値と三次元有限要素法電磁界解析を用いてセンサ動作の解析が可能であることを示した。

謝辞

電磁界解析にご支援いただいた東北大学学術研究員宮澤安範様に感謝いたします。本研究の一部は科研費(16H04378), JSPS「二国間交流事業共同研究」(JPJSBP120197704), 総務省電波資源拡大のための研究開発「不要電波の高分解能計測・解析技術を活用したノイズ抑制技術の研究開発」(JPJ000254)の研究成果である。

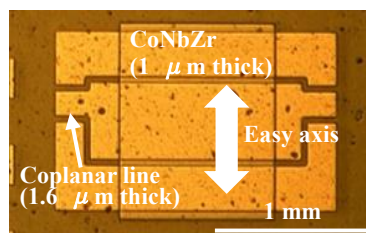
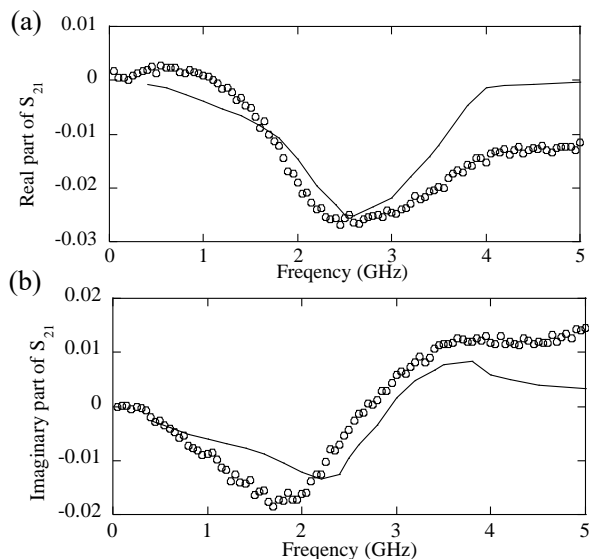


Fig.1. Schematic view of sensor.



(a) Real part of S_{21} (b) Imaginary part of S_{21}
Fig.2. Frequency dependency of S_{21} .

参考文献

- 1) H. Kudo, H. Uetake, H. Onodera, L. Tonthat, K. Okita, S. Yabukami, J. Hayasaka, K. I. Arai, *T. Magn. Soc. Jpn.*, 4, 32-36(2020).
- 2) M. Yamaguchi, S. Yabukami, K. I. Arai, *IEEE Trans. Magn.*, 32, 4941-4943(1996).

アモルファスワイヤを用いた磁気センサにおいて励磁パルス電流の立下り時間が出力電圧に及ぼす影響

金子陽美, 赤城文子
(工学院大)

Effects of fall time of excitation pulse current on output voltage for magnetic sensor with amorphous wire

T.Kaneko, F.Akagi
(Kogakuin Univ.)

はじめに

近年、磁気センサは生体磁気信号検出などの目的から、超高感度化とマイクロサイズ化が求められている。アモルファス磁性ワイヤを用いた磁気センサ（磁気インピーダンスセンサ）は、高周波パルス電流をワイヤに通電することで、ワイヤに巻いたピックアップコイルに生じる誘導起電力を出力電圧として磁界を検出する。本研究では、マイクロマグネティクスシミュレーションにより、FeCoSiB アモルファスワイヤを用いた磁気センサに GHz オーダーのパルス電流を流した時の出力電圧の外部磁界依存性と、センサ内部の磁化挙動を検討したのでその結果について報告する。

計算手法と計算モデル及び計算条件

磁性体の磁化挙動は、渦電流の効果を取り込んだ Landau-Lifshitz-Gilbert 方程式を用いて計算した。計算モデルは Fig.1 に示す、ワイヤ径 $10\ \mu\text{m}$ 、長さ $200\ \mu\text{m}$ （ただし、実際のワイヤ長は mm オーダーとして軸方向の静磁界は 0 と仮定した）、セルサイズ $0.2 \times 0.2 \times 100\ \mu\text{m}$ の円柱モデルとした。磁気特性は、飽和磁化 $1.0\ \text{T}$ 、異方性定数 $250\ \text{J/m}^3$ 、セル間の交換定数は面内 $1.0 \times 10^{-11}\ \text{J/m}$ 、z 軸方向 $2.0 \times 10^{-11}\ \text{J/m}$ とした。出力電圧は、励磁パルス電流の立下り時におけるピーク電圧とした。FeCoSiB ワイヤは、作製過程で超急冷されることにより、圧縮応力が発生するため、表層部は円周方向に磁気異方性がつく [1]。従って、表層 $0.75\ \mu\text{m}$ の領域は面内、それ以外の領域では軸方向に磁化容易軸を仮定した。

計算結果

Fig.2 に、立下り出力の外部磁界依存性を示す。この結果は、立下り時間 $1.0\ \text{ns}$ において実測と同様の傾向を示している。立下り時間によらず、ある磁界強度をピークに出力は減少し、立下り時間が短いほど出力がピークとなる外部磁界強度は高くなる。また、外部磁界が高くなるにつれ、立下り時間が短いほど出力が高くなる。立下り時間が短いほど、外部磁界への応答が速くなるため、出力が高くなると考えられる。

立下り出力時の磁化挙動を確認したところ、立下り時間 $0.385\ \text{ns}$ ではワイヤ表層の磁化回転のみ、立下り時間 $5.0\ \text{ns}$ ではワイヤ表層の磁化回転に加えてワイヤ内部の磁壁移動が生じていた。今回検討したセンサはワイヤ表層の高速な磁化回転により高出力が得られるが、立下り時間が長いと磁壁移動も生じるため出力が低下すると考えられる。

参考文献

1) 川島克裕 他, アモルファス磁性ワイヤの Matteucci 効果の発生機構, 日本応用磁気学会誌, 16, p.560-565

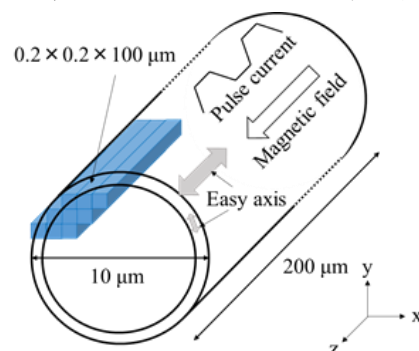


Fig.1 Model of magnetic sensor with amorphous wire

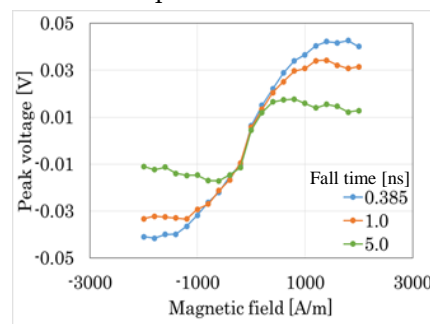


Fig.2 Relationship between peak voltage and magnetic field when the fall time is used as a parameter

高周波磁界により励磁した Wiegand ワイヤのパルス出力特性

衛藤風馬, 山田努, 竹村泰司
(横浜国立大学)

Output pulse voltage of Wiegand wire excited by AC magnetic field at high frequency

Fuma Eto, Tsutomu Yamada, Yasushi Takemura
(Yokohama National Univ)

はじめに

熱ひねり加工を施した Wiegand ワイヤは、高速な磁壁移動によって大バルクハウゼンジャンプと呼ばれる急峻な磁化反転を生じ、この周りに検出コイルを設置することでこの磁化反転に伴う誘導起電力が得られる。これは、Wiegand 効果と呼ばれる¹⁾。Wiegand 効果の特徴は、低速で変化する磁界に対してその変化速度にほぼ無依存なパルスを出力することであり、実用的に有用なものである。他方、高速で変化する磁界に対して、パルス出力がどのように変化するかは明らかにされていなかった。本稿では、周波数を 50 Hz から 50 kHz と変化させたときに、パルス出力がどのように変化するかについて測定及び考察をしたので報告する。

実験方法

1 mm 長、200 turn の検出コイルを作製し、11 mm 長の Wiegand ワイヤ中央の外周部に設置した。ソレノイドコイルによりワイヤ長に対してほぼ様な交流磁界を印加した。以下では励磁磁界の強度を $8.0 \text{ mT}/\mu_0$ 、周波数を 50~50 kHz としたときに、Wiegand ワイヤに誘起されるパルス出力（開放電圧）を測定した。

実験結果

Fig.1 には、 $f = 50 \text{ Hz}$ の交流磁界で励磁させたときの検出コイルに誘起されるパルス電圧波形を示す。Fig.2 には、 $f = 50 \text{ Hz}$ 、500 Hz、5 kHz、50 kHz と変化させたときのパルス電圧波形を示す。Fig.2 は、パルスの正の半周期のみを周波数ごとに重ねて表示しており、縦軸はパルス電圧の波高値で規格化している。Fig.2 を見ると、 $f = 50 \text{ Hz} \sim 5 \text{ kHz}$ のときのパルス波形は半値幅が $10 \mu\text{s}$ 程度と殆ど変化が見られないが、 $f = 50 \text{ kHz}$ のときのパルス出力は、他周波数での出力に対して幅が狭くなった。このとき交流磁界の半周期は $10 \mu\text{s}$ とパルス幅と同程度になり、またワイヤ内部の磁壁移動速度は 500 m/s 程度と考えられており、半周期で磁壁はワイヤ長より短い 5 mm 移動することになる。詳細なデータや考察について当日、報告する。

参考文献

- 1) Wiegand and Velinsky, U.S. Patent 3, 820, 090, 1974.
- 2) Takemura *et al.*, *IEEE Trans. Magn.*, **53**, 4002706, 2017.

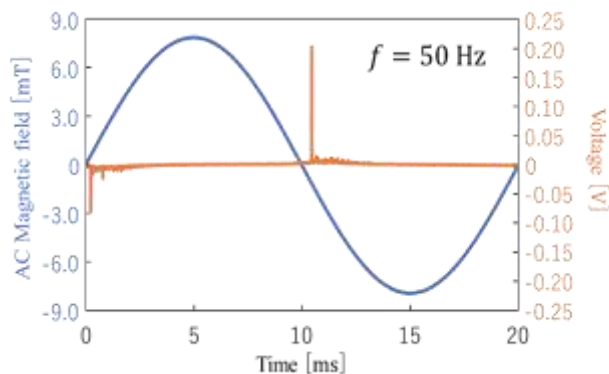


Fig. 1 Waveforms of excitation AC magnetic field and output voltage from Wiegand wire ($f = 50 \text{ Hz}$).

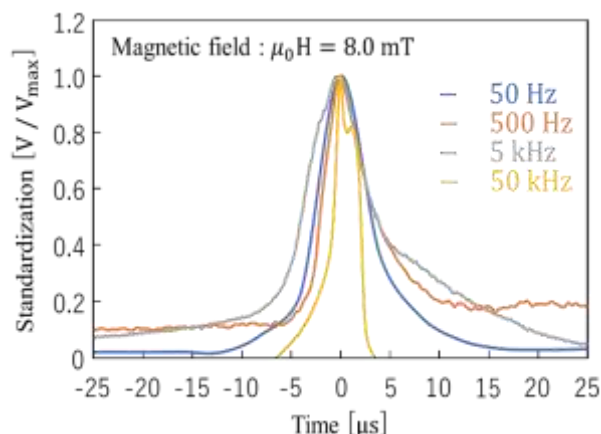


Fig. 2 Output waveforms of Wiegand wire under excitation AC magnetic field of various frequency.

Wiegand ワイヤと高透磁率材料をコアに用いる受電コイルの比較

川添駿平、川手祐理、山田努、竹村泰司
(横浜国立大学)

Receiving coils with cores using Wiegand wire and high permeability material

Shumpei Kawazoe, Yuri Kawade, Tsutomu Yamada, Yasushi Takemura
(Yokohama National University)

はじめに

Wiegand ワイヤに外部磁界を印加すると、大バルクハウゼンジャンプと呼ばれる急峻な磁化反転を生じるため、この周りに設置した検出コイルにはパルス電圧が生じる¹⁾。この出力は外部磁界の変化速度に依存しないという特徴があり、発電型エンコーダなどに利用されている。また、体内インプラントへのワイヤレス給電のような励磁コイルと受電コイルが離れる場合には、高周波磁界を発生させることが難しい場合が想定され、Wiegand ワイヤの特性を利用した低周波のワイヤレス給電が検討されている²⁾。ここで、一般的なワイヤレス給電では受電コイルのコアに高透磁率フェライトが使用されているが、誘導起電力を発生させる原理および誘導される電圧波形が異なるため、それぞれの特性が優位となる条件を比較することは難しい。本研究では Wiegand ワイヤと MnZn フェライトを用いたコアコイルの比較を、後段の整流・平滑回路を含め詳細に検討した。

実験方法

Fig.1 に示すように、4500 turn の給電用検出コイルのコアに Wiegand ワイヤ($\phi:0.25$ mm, length:11 mm)³⁾および MnZn フェライト($\phi:0.44$ mm, length:11 mm)を使用し、正弦波交流磁界 $\mu_0H = 5$ mT で一様に励磁した。検出コイル後段には、ダイオードブリッジ整流回路及び平滑コンデンサを接続し、負荷で得られる電力を測定した。

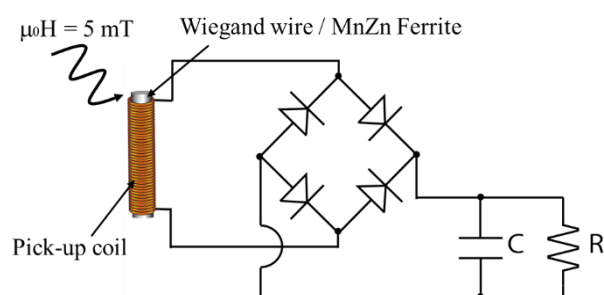


Fig. 1 Configuration of measurement.

実験結果

Fig. 2 に励磁周波数 $f = 100$ Hz, 1 kHz, 10 kHz とした場合に、負荷で得られる 1 周期当たりのエネルギーの負荷特性を示す。ただし、負荷電圧を各コアの断面積で規格化した値から算出した。この実験条件においては、いずれの周波数においても、Wiegand ワイヤをコアとする出力増幅が優位であることが確認できた。低周波条件下でも高い波高値をもつ Wiegand パルスやダイオードでの損失の違いが寄与していると考えられる。詳細は当日報告する。

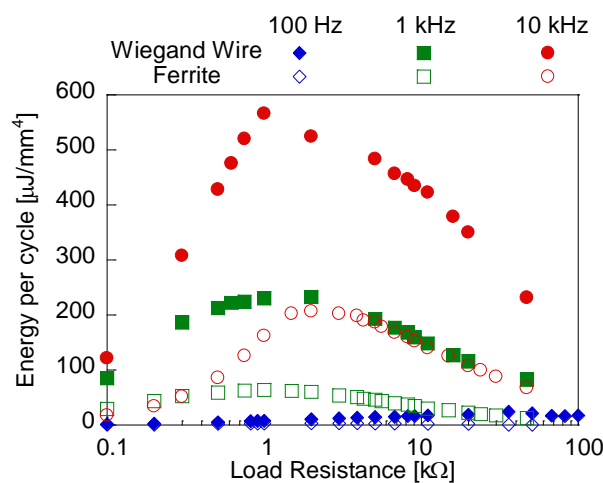


Fig. 2 Energy per cycle in the load resistance.

参考文献

- 1) J. R. Wiegand and M. Velinsky, U.S. Patent 3, 820, 090, 1974.
- 2) Takahashi et al., J. Mag. Soc. Jpn. 42, 49, 2018.
- 3) Takemura et al., IEEE Trans. Magn. 53, 4002706, 2017.