

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。

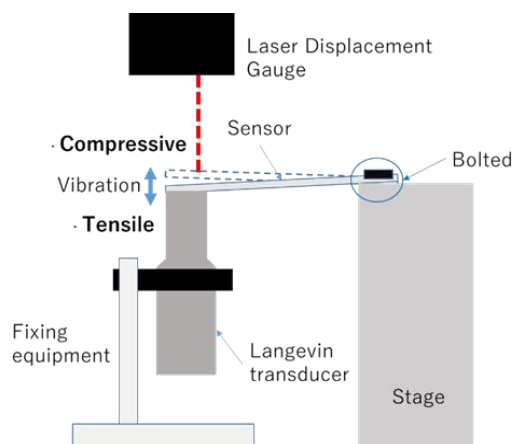


Fig. 1 Design of vibration testing equipment.

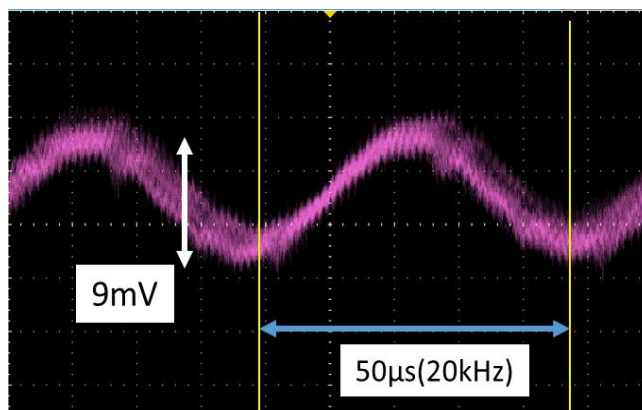


Fig. 2 Output from 20kHz-vibrated sensor.

参考文献

- 1) 曾良, 栢, 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.

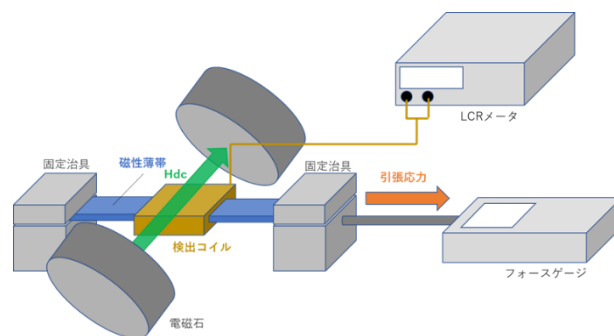


Fig.1 磁性薄帯磁歪測定系

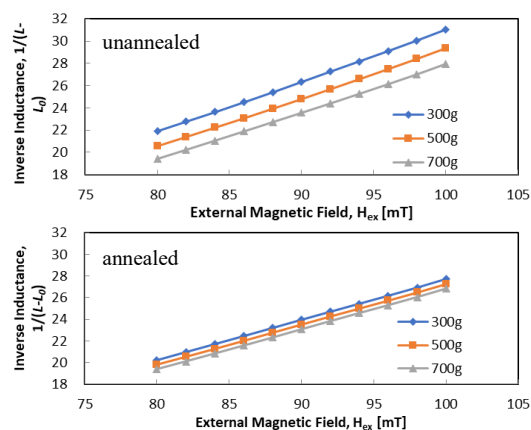


Fig.2 磁性薄帯の熱処理前後の $1/(L-L_0)$ の磁場依存性

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²⁾。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³⁾。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。

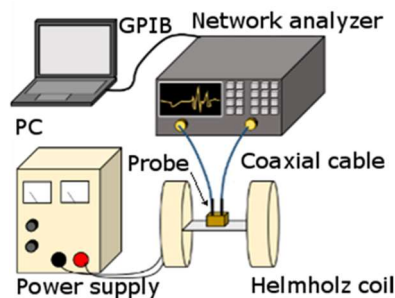


Fig. 1 Schematic of measurement system.

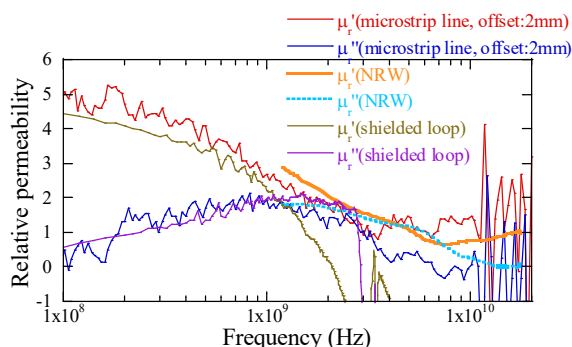


Fig. 2 Relative permeability of NiZn ferrite sheet.

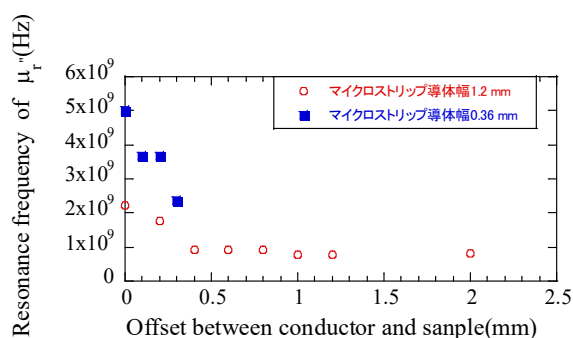


Fig. 3 Resonance frequency as a function of offset between conductor and sample.

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_{rt} 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.

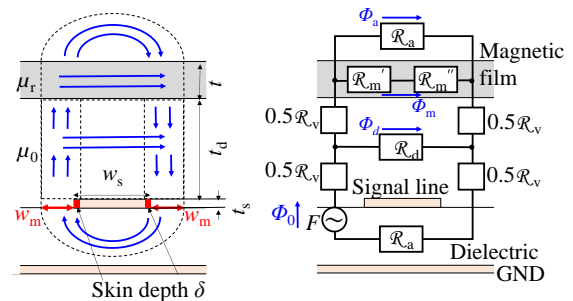


図 1 MSL 断面の磁束経路および磁気回路

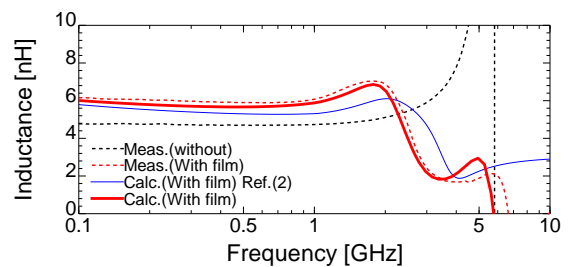


図 2 インダクタンスの推定