

MEMS マルチコアヘッドによる高感度 磁気インピーダンスセンサ

内山 剛、濱田典彦*、蔡 長梅*
(名古屋大学、*愛知製鋼 (株))

Highly Sensitive Magneto-Impedance Sensor Using MEMS Multi-core Head

T. Uchiyama N. Hamada*, C. M. Cai*
(Nagoya Univ. , *Aichi steel Corp.)

はじめに これまでに、CMOSIC を利用した、パルス通電による磁化回転を利用した磁気インピーダンス (MI) センサにより、ピコテスラオーダーの磁界検出分解能が実現されている^[1]。また、我々は、磁気インピーダンスセンサのヘッドをマルチコア化することにより、ノイズフロアが低減することを報告している^[2]。本研究では、集積型高感度 MI センサへの利用を目的として、フォトリソグラフィとメッキプロセスにより作製した MEMS マルチコアヘッドによる高感度磁気インピーダンスセンサを試作し、その特性を評価した。

実験結果

図 1 は、本研究で使用した、MEMS ヘッドを示す。4 本のアモルファスワイヤ (直径 13 μm 、長さ 1 mm) に、合計 250 ターンのコイルで構成されている。長手方向の BH 曲線から推定される、ワイヤ表層部分の異方性磁界 (H_k) は、フォトリソグラフィとメッキプロセスによりヘッドを作製する前は、約 100 μT であった。しかし、プロセス時の熱応力の影響により、ヘッド作製後の H_k は、約 1000 μT まで増加した。

MEMS ヘッドを CMOSIC による磁気インピーダンスセンサ回路に組み込むことにより、磁界センサを試作した。試作した回路の信号処理部分は、パルス発生回路および CMOS インバーターによるパルス通電回路、コイル起電力を検波するスイッチ回路から構成されている^[1]。磁界センサのノイズスペクトルの測定結果を図 2 に示す。

[1] T. Uchiyama, K. Mohri, Y. Honkura, L.V. Panina, *IEEE Trans. Magn.* vol. 48, no.10, pp. 3833-3889, 2012.

[2] T. Uchiyama, N. Hamada, and C.M. Cai, ICST'13, 2013 Seventh International Conference on, 3-5, December, Wellington, pp. 573-577. 2013.

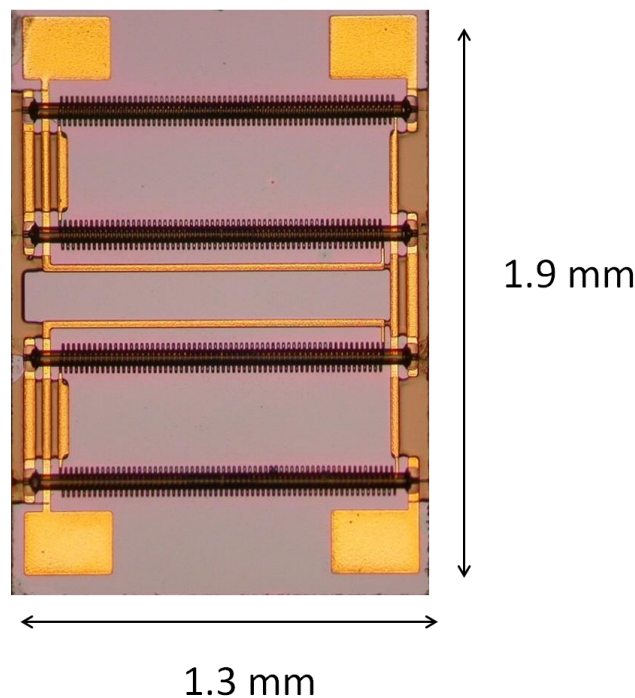


Fig.1 Prototype MEMS multi-core head, which is used in this experiment. The miniature head includes four amorphous wires with 1mm length each and pick-up coils.

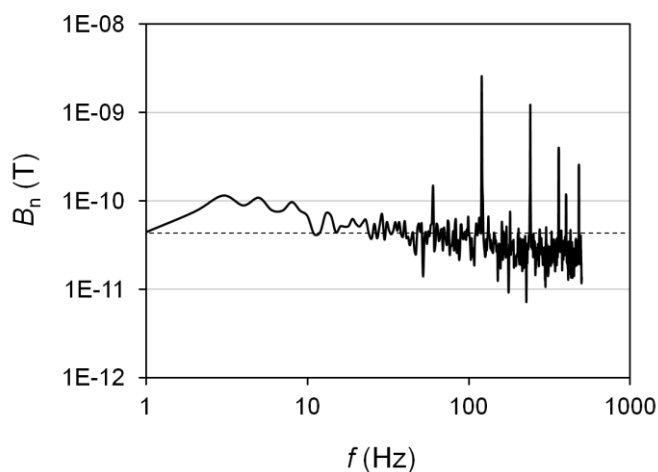


Fig.2 Noise spectral density for the miniature multi-core head MI sensor in a shield box. The noise floor for the relatively high frequency range denoted by the dashed line, is around 70 pT/Hz^{1/2}.

高周波キャリア型薄膜磁界センサ素子の 低周波領域における感度増加に関する検討

鎌田 信吾, 菊池 弘昭, 中居 倫夫, 栢 修一郎, 石山 和志
(岩手大学, 宮城県産業技術総合センター, 東北大学)

Enhancement of sensitivity in low frequency region on High-Frequency Carrier-Type Thin-film Magnetic Field Sensor

S. Kamata, H. Kikuchi, T. Nakai, S. Hashi and K. Ishiyama
(Iwate Univ, ITIM, Tohoku Univ.)

1. はじめに

高周波キャリア型磁界センサはMI素子とも呼ばれ、高感度磁気センサに用いられている。この素子を膜厚数 μm 程度までの薄膜により実現する場合、一般に動作周波数は100 MHz以上の高周波となる。駆動・検出回路との整合性を考慮した場合、数10 MHzで動作することが望ましい。そこで、ここでは高周波キャリア型薄膜素子の周波数特性において数10 MHz付近で見られるインピーダンスの特異な変化について調査し、比較的低い周波数で動作する高感度な高周波キャリア型薄膜素子の可能性について検討した。

2. 実験方法

素子には $\text{Co}_{85}\text{Nb}_{12}\text{Zr}_3$ アモルファス薄膜を用い、フォトリソグラフィとスパッタリングにより成膜・加工した。作製素子の形状は幅20, 40, 80 μm , 長さ3 mm, 厚さ約2 μm とした。素子の幅方向が磁化容易軸となるように磁界中熱処理により一軸異方性を付与した。インピーダンスの測定部位は反磁界の影響の少ない素子中央部の1 mmを用いた。インピーダンスの測定にはネットワークアナライザを用い、入力電力は-10 dBmとした。測定時にはヘルムホルツコイルにより素子長手方向に磁界を印加しながら行った。

3. 実験結果

Fig. 1には幅20 μm の素子におけるインピーダンスの周波数特性を示した。ヘルムホルツに印加する電流は0~1000 mAと変化させた。磁界印加時には高周波側でインピーダンスが増加しており、これらの変化はよく知られたものである。一方、ヘルムホルツコイルに300 mAの電流を印加した場合、20~30 MHz付近においてインピーダンスのピークが見られた。このピークは幅20, 40 μm の素子で観測されたが80 μm の素子では見られなかった。Fig. 2に幅20 μm の素子におけるインピーダンスの外部磁界依存性を示した。周波数は20, 100 MHzとした。一般に低周波領域においてはインダクタンスの変化は大きい、インピーダンスの変化には抵抗分の寄与が大きいためインピーダンスとしては20 MHz程度の低周波では変化がみられない。また、表皮効果が顕著になって変化した場合でも、その後周波数の増加とともに変化量は増大するのが一般的である。しかし、ここでは300 mAをコイルに印加した時にインピーダンスが100 MHz程度で低下した。Fig. 2より100 MHzと比較して20 MHzではインピーダンスの変化量としては小さいが、感度 dZ/dH はそれぞれ14.1, 16.1 Ω/Oe と大きな変化はなかった。このことから、この周波数領域を利用した高感度センサ素子の開発が期待される。

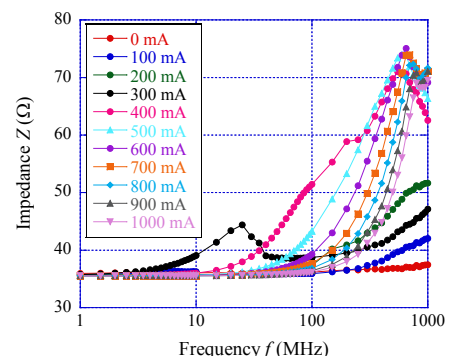


Fig. 1 Frequency characteristics for middle position of 20 μm wide elements.

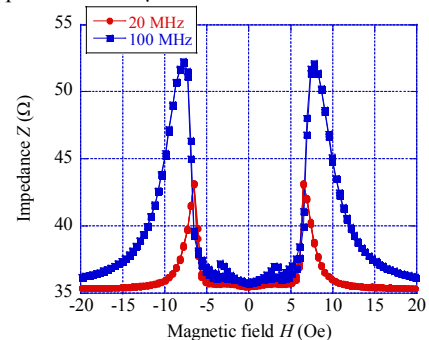


Fig. 2 Field dependence of impedance Z for 20 μm wide elements at 20 MHz and 100 MHz.

張力印加したアモルファス磁性コアを用いた フラックスゲート磁気センサ

宮田大史、山本竜馬*、森本祐治*、竹澤昌晃*
(株エムティアイ、*九州工業大学)

Flux gate sensor using amorphous magnetic core induced tensile stress

H. Miyata, R. Yamamoto*, Y. Morimoto*, M. Takezawa*
(MTI, *Kyushu Institute of Tech.)

はじめに

我々は、フラックスゲート磁気センサの感度が、そのコア材料の磁区構造に大きく影響を受けることを報告している¹⁾。磁性体の磁区構造は、張力を印加することで変化することが知られており、本研究では、磁性コア材料のアモルファス薄帯に引っ張り応力を印加した場合の磁区構造と、センサ感度の変化を調べたので報告する。

実験方法

フラックスゲートセンサのコア材料として日立金属社製のアモルファス薄帯 2605SC を用いた。Fe 基の材料であり、組成は $\text{Fe}_{81}\text{B}_{13.5}\text{Si}_{13.5}\text{C}_2$ で、飽和磁歪 $\lambda_s = 35 \times 10^{-6}$ 、飽和磁束密度 $B_s = 1.6 \text{ T}$ である。磁区観察には、縦 Kerr 効果顕微鏡を使用し、試料の一端を固定し、もう一端に重りを吊るして引っ張ることで 15 MPa の引っ張り応力を印加できるようにした。フラックスゲート磁気センサを構成する場合は、重りで薄帯に 15 MPa の張力を印加した状態で試料を樹脂で固定することで、張力印加磁性コアを得た。

実験結果と考察

Fig. 1 にセンサ感度の周波数依存性を示す。図中で丸は張力印加磁性コアを用いた場合、三角は張力を印加しない磁性コアを用いた場合の結果である。図より、張力印加によってセンサ感度が約 3 倍向上していることが分かる。Fig. 2 は残留磁化状態の磁区観察の結果であり、Fig. 2(a)に張力を印加する前、Fig. 2(b)に張力を印加した状態の磁区観察結果を示す。図中で上下方向が薄帯の長手方向であり、白色の磁区は磁化が上向き、黒色の磁区は磁化が下向きを示している。Fig. 2(a)の黒丸で囲んだ部分の磁区コントラストは薄く灰色であり、これは磁化が上下方向ではなく、斜め方向に傾いていることを意味している。一方、Fig. 2(b)の張力を印加した場合は、磁区コントラストが濃くなり、磁化が上下方向に揃ったストライプ状の磁区構造が観察された。このことより、張力印加方向に磁気異方性が誘導されていることが分かる。これは、逆磁歪効果によるものであり、張力印加によるセンサの感度向上は、励磁方向を磁化容易軸とできたことが原因だと考えられる。以上より、正の磁歪を有するアモルファス磁性コアに張力を印加することによる磁区構造制御は、フラックスゲート磁気センサの感度向上に有用であることが分かった。高い飽和磁束密度を有しながら、磁歪が大きいことで低感度、高ノイズである Fe 基アモルファス材料の磁区構造制御を行うことで、センサの小型化が期待される。

参考文献

- 1) H. Miyata, et al., J. Mag. Soc. Jpn., (2014), in press.

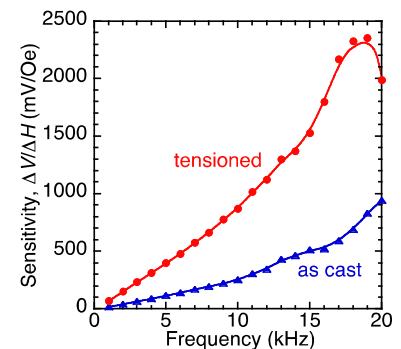


Fig.1 Magnetic field sensitivity of fluxgate sensor

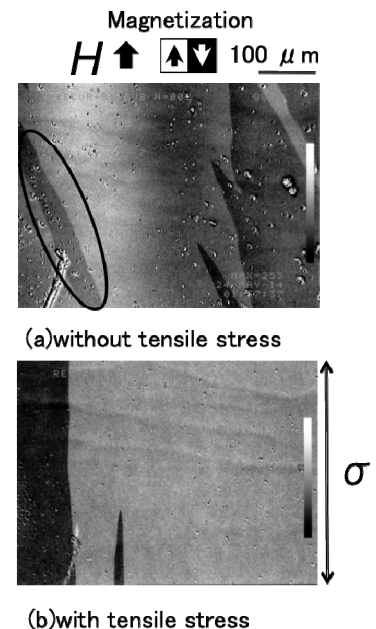


Fig.2 Magnetic domain structure

SrTiO 薄膜を用いた伝送線路型薄膜磁界センサ素子の試作

川上敏弥, 植竹宏明, 藪上信, 小澤哲也
(東北学院大学)

Development of thin film magnetic field sensor using SrTiO film

T. Kawakami H. Uetake S. Yabukami, T. Ozawa

(Tohoku Gakuin University)

1. はじめに 高い比誘電率を有する SrTiO 薄膜を用いたコプレーナ線路と CoNbZr 薄膜を組み合わせた薄膜磁界センサ¹⁾を試作し, 常温で使用可能な薄膜磁界センサ素子の作成を行った。

2. 実験方法 Fig.1 は試作したセンサ素子の構造を示したものである。本センサは誘電体薄膜の波長短縮効果を利用して磁界に対する大きな位相変化を得ることを意図したものである。センサ素子は, Cu 薄膜による直線コプレーナ線路, SrTiO 薄膜, アモルファス CoNbZr 薄膜から構成され, センサ素子はガラス基板の上にリフトオフプロセスにより積層した。CoNbZr 膜成膜は $5 \mu\text{m}$ で, RF スパッタ装置を用いて圧力 20 mTorr、電力 RF200 W、成膜時間 8 時間で行う。熱処理は回転磁場中熱処理を用いて高真空中で、回転磁界 $400 \text{ }^\circ\text{C}$ 2 時間、静磁界 $300 \text{ }^\circ\text{C}$ 1 時間で行う。SrTiO 膜成膜はスパッタ装置を用いて膜厚は $3 \mu\text{m}$ で圧力は 20 mTorr、電力 RF200 W、ヒータ部は $160 \text{ }^\circ\text{C}$ で成膜する。伝送線路用レジスト形成は膜厚 $8 \mu\text{m}$ 、ベーキング $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 20 分、現像 2 分 30 秒行う。伝送線路形成はスパッタ装置を用いて、Cr $0.2 \mu\text{m}$ 、Cu $4 \mu\text{m}$ で、圧力 20 mTorr、電力 RF200 W で成膜する。異方性付加を回転磁場中熱処理炉を用いて、高真空中で回転磁界 $320 \text{ }^\circ\text{C}$ で 2 時間、静磁界 $300 \text{ }^\circ\text{C}$ で 1 時間で行う。センサ素子をヘルムホルツコイルの中央に配置し、センサの電極にはウエハプローブを電氣的に接触させ、同軸ケーブルを介してネットワークアナライザと接続した。直流電源を用いてセンサ素子磁性薄膜の磁化困難軸方向へ直流磁界を加えて、静的に変化させた。ネットワークアナライザの透過係数 (S_{21}) の振幅および位相差を磁界変化に応じて測定した。

3. 実験結果 Fig.2 は位相変化感度のグラフである。1.5 GHz から 3.5 GHz までの周波数範囲で測定した。その中で Gain が -40 dB 以上で一番傾きの大きい周波数の感度をグラフより読み取った。心磁界の測定の際に必要な SN 比を得るため²⁾ Gain を -40 dB 以上とした。2.0 GHz の時、 128.6 deg/Oe を記録し Gain は -40.0 dB となった。Fig.2 より 2.0 GHz 付近で表皮効果と強磁性共鳴が顕著になったと考えられる。

参考文献 1) H. Uetake, S. Yabukami, T. Ozawa, N. Kobayashi, and K. I. Arai, “Highly sensitive thin film sensor using coplanar line”, *Journal of the Magnetics Society of Japan*, vol. 38, no. 2-2, pp. 83-86 (2014). 2) S. Yabukami, K. Kato, T. Ozawa, N. Kobayashi, K. I. Arai, “A coplanar line thin film sensor and measurement of MCG without magnetic shielding”, *Journal of the Magnetics Society of Japan*, vol. 38, no. 2-1, pp. 25-28 (2014).

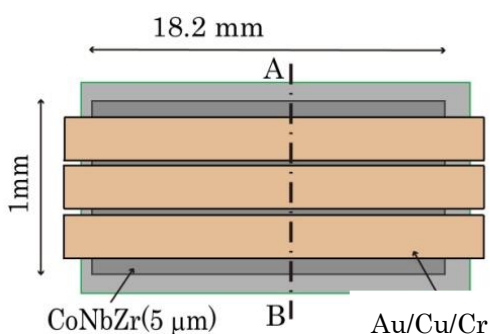


Fig. 1 Fabricated thin film sensor.

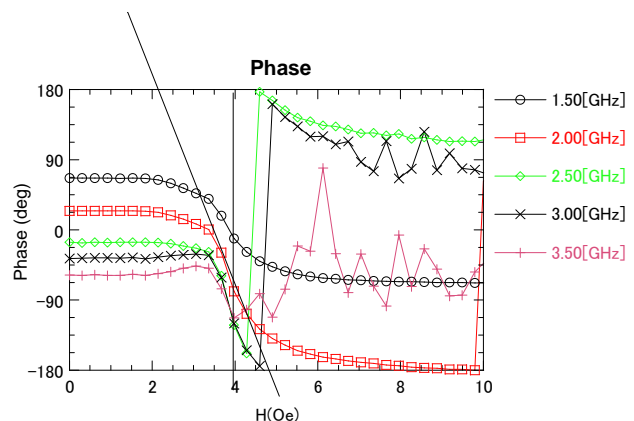


Fig. 2 Phase sensitivity.

ワイドレンジ型 MI 素子の開発

下出晃広、濱田典彦、山本道治
(愛知製鋼)

Development of wide range typed MI element

A. Shimode, N. Hamada, M. Yamamoto
(Aichi Steel Corporation)

はじめに

MI センサは、MI (Magneto-Impedance, 磁気インピーダンス) 効果を利用した小型で高感度な磁気センサであり、携帯電話等に搭載される電子コンパスとして実用化されている¹⁾。電子コンパスは、地磁気(約 0.5G)を測定する磁気センサであり、主として、 $\pm 3 \sim \pm 12\text{G}$ 程度の測定レンジのセンサが使用されている。最近では、スマートフォンやタブレット等の急速な普及や高機能化により、さらに小型、低消費電力で高感度・低ノイズ、且つ測定レンジが広い磁気センサが求められている。特に、外乱磁場環境が悪い環境での使用や、最終製品内でのアセンブリの自由度増加、低コスト化といった観点から、測定磁場レンジの拡大が強く要求されている。そこで、本研究では、測定磁場レンジに及ぼす素子長(ワイヤ長)の影響を調べた。

実験方法

回転液中紡糸法で作られた直径 $15\ \mu\text{m}$ のアモルファス磁性ワイヤをユニチカから購入した。MI 素子は、フォトリソ法とめっき法で作製した。ピックアップコイルのコイルピッチは、 $17\ \mu\text{m}$ で、素子長は $0.3 \sim 0.6\text{mm}$ の 4 水準とした。試作した MI 素子は nT センサ用電子回路 (MI-CB-1DK)²⁾ に接続し、その出力特性を測定した。出力特性において、出力の最大/最小を示す磁場を飽和磁場とした。尚、磁気センサとしての測定磁場レンジの目安は、おおよそ飽和磁場の 40%程度である。

結果

試作した MI 素子の出力特性を従来品 (AMI306) と比較して図 1 に、MI 素子の飽和磁場に及ぼす素子長の影響を図 2 に示す。図 1、2 に示されるように、素子長が短くなるにつれて、飽和磁場が増加する傾向にあった。これは、アモルファス磁性ワイヤの反磁界が増加したためであると思われる。また、 0.3mm 長の MI 素子の飽和磁場は約 60G であり、従来 (AMI306, 飽和磁場約 30G) の約 2 倍となったことから、測定レンジも約 2 倍程度確保できると考えられる。

参考文献

- 1) A. Shimode et al: Abstract of International Workshop on Magnetic Wires, IWMW2010
- 2) N. Hamada et al: Abstract of International Magnetics Conference, Intermag 2011

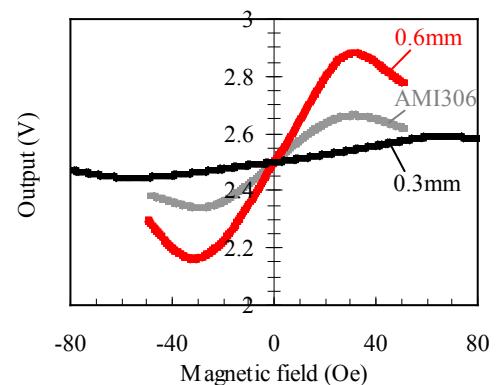


Fig.1 The output property of MI elements

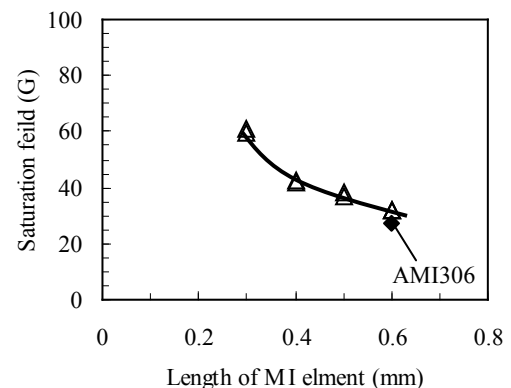


Fig.2 The effect of Length of MI element on saturation field

エネルギーハーベスティング素子を構成する磁気ワイヤにおける磁壁移動速度の測定

溝口健人, 芹沢諒平, 山田 努, 増田純夫, 小川雄一朗*, 河野志郎*, 金子文夫*, 竹村泰司
(横浜国立大学, *ニッコシー株式会社)

Measurement of domain wall motion in FeCoV compound wires for energy harvesting device

K. Mizogushi, R. Serizawa, T. Yamada, S. Masuda, Y. Ogawa*, S. Kohno*, F. Kaneko*, Y. Takemura
(Yokohama National University, *Nikkoshi Co., Ltd)

1. はじめに

ひねり処理加工した FeCoV ワイヤ (以下、複合磁気ワイヤと記述する) では大バルクハウゼンジャンプを伴う急峻な磁化反転が生じる。この磁化反転を誘導起電力として検出する磁気センサは、外部電源が不要であること、動作温度範囲が広いこと、出力波形が外部磁界の時間変化に依存しないことなどの特徴を有する⁽¹⁾⁽²⁾。我々は、これらの特徴を生かして、振動エネルギーを電気エネルギーに変換するエネルギーハーベスティング素子への応用に着目している。

磁化反転が発生する外部磁界強度 (以下、反転磁界強度と記述) を低下させることを目的にワイヤ中央部にエッチング加工を施した (Fig. 1)。この時、反磁界により発生する逆磁区を利用することで、磁壁の核生成エネルギーが不要になり反転磁界強度が低下した。本稿ではエッチング加工を施したワイヤと未加工ワイヤの磁壁移動速度を測定したので報告する。

2. 実験方法・結果

本実験では、線長 27 mm、線径 0.25 mm の FeCoV 複合磁気ワイヤ、ワイヤに直接巻きつけた幅 1 mm、巻き数 50 turn の検出コイル、励磁用磁石は 3 mm×3 mm×5 mm の NeFeB 磁石を用いた。回転軸に磁石を取り付け、その外部にワイヤと検出コイルを設置した (Fig. 2)。回転軸が回転し、磁石とワイヤが接近すると検出コイルに出力パルスが誘起される。コイル 1 とコイル 2 の出力が得られた時間差を測定し、エッチング加工を施したワイヤと未加工のワイヤの磁壁移動速度を比較した。また、ワイヤにかかる磁界強度は磁石とワイヤ間の距離 d によって変化させた。

測定の結果、エッチング加工を施したワイヤにおける磁壁移動速度は 588 m/s、未加工のワイヤでは 499 m/s となり、エッチング加工を施したワイヤの方が磁壁移動速度が大きいことを確認した (Fig. 3)。また、磁壁移動速度はワイヤに印加される磁界強度に依存しないことを確認している。

謝辞：本研究の一部は、公益財団法人 JKA「平成 24 年度自転車等機械工業振興事業」補助金 (24-71) により実施した。

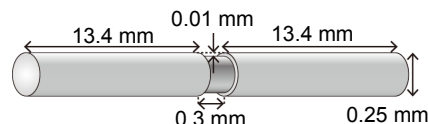


Fig. 1 Schematic of the etched compound magnetic wire.

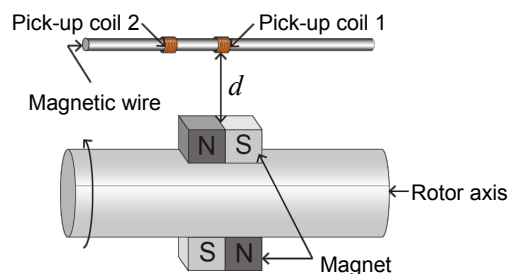


Fig. 2 Experimental set-up.

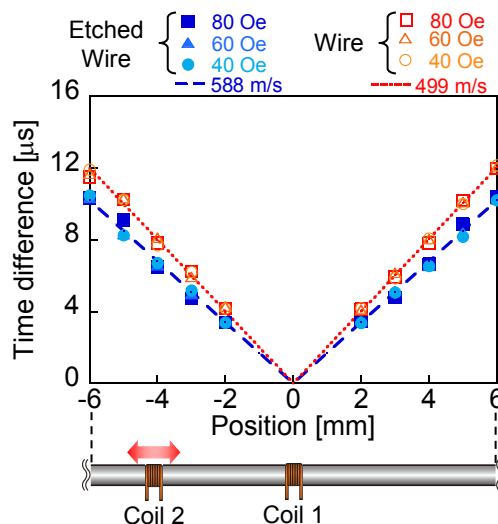


Fig. 3 Velocity of domain wall motion in FeCoV compound magnetic wires.

参考文献

- [1] M. Vázquez et al., IEEE Trans. Magn. 30, 907, 1994
[2] S. Abe et al., IEEE Trans. Magn. 33, 3916, 1997

リング磁性体とシールドリングを用いた差動トランス方式角度センサ

浦井 治雄
(広島国際大学工学部)

An Angular Sensor with Differential Transformer Structure using a Ferrite Ring Partially Shielded by a Conductor Ring
Haruo Urai
(Faculty of Engineering, Hiroshima International University)

はじめに

差動トランス型変位センサは線状軟磁磁性体の局所的透磁率がその長さ方向で2次関数的に分布していることにより実現される^[1]。一方、軟磁性体に設けた導体シールドリングは、その部分の磁性体の磁束を交流的に零にする現象が古くから知られている^[2]。これをリング磁性体に適用すると、両端が開いた直線状磁性体と等価になり、その局所透磁率の分布が2次関数的であれば、差動トランス構成を適用することが可能となる。本研究では、リング磁性体に導体シールドリングを設けたときの局所インダクタンスの分布を、磁性体分割の1次元モデルで見積もり、実測と比較し、さらに差動トランス出力のシールドリング位置依存性から、角度センサへの適用を議論する。

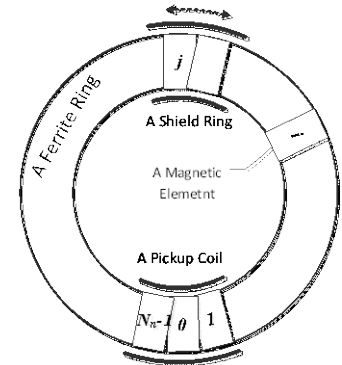


Fig.1 A calculation model for a shielded ring.

リング磁性体の局所透磁率の1次元モデル計算

Fig.1 に示すように、矩形断面のリング磁性体の断面を円形に等化し、周方向に円盤要素で分割する。各磁気要素から発生する磁界はその中心軸上の成分のみとする。リングを Nn 個の要素で均等に分割する。各要素の磁気エネルギーの総和は、各要素の未飽和条件では、各要素の内部磁界が0の場合に実現する。即ち、電流で規格化したピックアップコイル磁界 $h_0(i)$ 、各要素の電流規格化磁化 $m(i)$ 、磁化と電流で規格化した各要素間の磁界強度係数 $h_m(i,j)$ を用いると、

$$h_0(i) + \frac{1}{2\mu_0} \sum_{j=0}^{Nn-1} m(j)h_m(i,j) = 0$$

ここで、 $h_m(j,j)$ は、要素 i に対する要素 j からの右まわりと左回りの磁界強度の和を表す係数である。シールドリングの内部の要素では、磁界要素の磁化と磁界強度係数を強制的に0とする。

計算結果と実測の比較と角度センサへの適用

内外径 $19\phi - 30\phi$ 、厚さ 7.5mm の軟磁性フェライトに 20T の 5mm 長さピックアップコイル(PC)と同長の Cu シールドを設けた試料に対して、PC のインダクタンスのシールドリング位置依存の計算結果と実測の比較を Fig.2 に示す。絶対値的には30%程度計算値は小さいが、いずれもきれいな2次関数分布を示している。さらにPCの両側に各 20T 差動コイルを設けて、 30kHz 、 100mApp 駆動条件で励磁し、PC 出力のシールドリング位置 (角度表示) 依存を求めると、Fig.3 に示すように、 $\pm 100^\circ$ の範囲では非常にきれいな直線的な結果を得た。即ち、角度センサとしてのポテンシャルが実証されたといえよう。

参考文献

- 1) 山田 一, “差動変圧器の変換理論,” 電気学会雑誌, 1968年 vol.88-6.
 - 2) 浦井 治雄, “変位演算素子”. 特許番号: 特許登録第 1862721 号 (平成6年8月)。
- H25 年度学生竹川徹、佐々木優両君の本実験のデータ採取協力に感謝します。

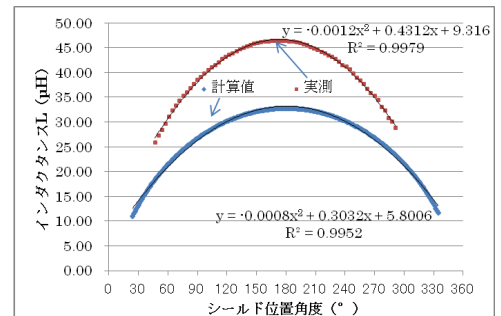


Fig.2 Coil inductance comparison between calculation and experiment.

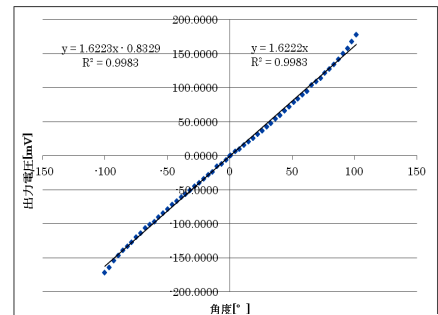


Fig.3 Differential transformer output for a ring ferrite with a shield ring as a function of shield ring position angles.

ポリスチレン被覆磁性リボンを用いたワイヤレス有機溶剤センサ

鈴木崇土、沓澤伸明、石井修
(山形大学)

Application of Magnetic Ribbon Coated with Polystyrene to a Wireless Organic Solvent Sensor

T. Suzuki, N. Kutsuzawa, and O. Ishii
(Yamagata Univ.)

はじめに

有機溶剤は塗料の希釈剤や機器の洗浄等に使用される。しかし、毒性及び引火性が高いため安全に利用するには有機溶剤センサは欠かせない。従来の半導体式センサは極低濃度ガスを検出可能である¹⁾。しかし、引火の危険性がある高濃度ガスのセンサも重要である。特に、広く使用されているトルエンの引火点は4℃であり、その時の濃度は1.17%である。我々は、磁性リボンの湾曲に伴い機械的な共振周波数が上昇する現象²⁾を利用したワイヤレスセンサを実証している^{2),3)}。本報告では、ポリスチレン被覆磁性リボンを用いて、広濃度範囲の有機溶剤を検出した結果を述べる。

実験方法

幅6mm、長さ25mm、厚さ25 μm の磁性リボン(Metglas2605SC)の片面に厚さ20 μm のポリスチレン膜を被覆した。磁性リボンには幅方向に100 Oeの磁場中で、410℃、10分間熱処理し、異方性を付与した。本磁性リボンをつトルエン雰囲気中に保持した場合の共振周波数と曲率を文献^{2), 3)}に記した方法で測定した。単位時間当たりの共振周波数の最大変化量を $|f_{cr}|$ とした。なお、トルエン濃度はトルエンガスと窒素ガスを混合し調節した。実験温度は 20 ± 6 ℃である。

実験結果

Fig.1はポリスチレン被覆磁性リボンの共振周波数及び曲率のトルエン濃度特性を示す。濃度が0%から2.26%まで増加するのに伴い曲率は 34.4 m^{-1} から 0 m^{-1} まで、共振周波数は89 kHzから68.4 kHzまで減少した。濃度が2.26%から4.27%の範囲では曲率は 0 m^{-1} 、共振周波数は60 kHzと一定であった。この濃度範囲では、磁性リボンが平坦化したため共振周波数は一定になったと考えられる。

Fig.2はポリスチレン被覆磁性リボンの $|f_{cr}|$ のトルエン濃度特性を示す。濃度が0.3%から4.27%まで増加するに伴い $|f_{cr}|$ は0.018 kHz/minから13.4 kHz/minまで上昇した。

以上の結果より、 $|f_{cr}|$ を測定する事で、磁性リボンの共振周波数が一定となる2.26%から4.27%のトルエン濃度が検出可能であることを見出した。

参考文献

- 1) <http://www.webshiro.com/syohinsetumei/mc1xg100v.htm>
- 2) O. Ishii *et al.*: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **37**, 250-254 (2013)
- 3) 鈴木, 他: 第37回日本磁気学会学術講演会, 319, (2013)

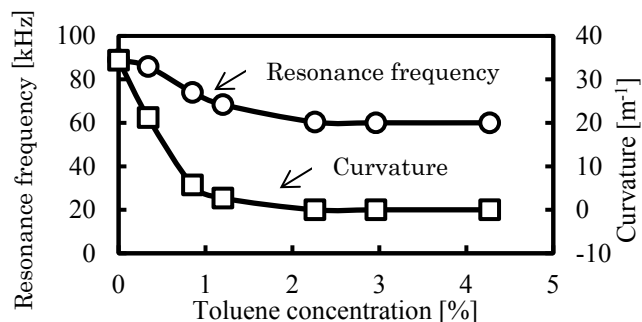


Fig.1 Toluene concentration dependence of resonance frequency (open circles) and curvature (open squares).

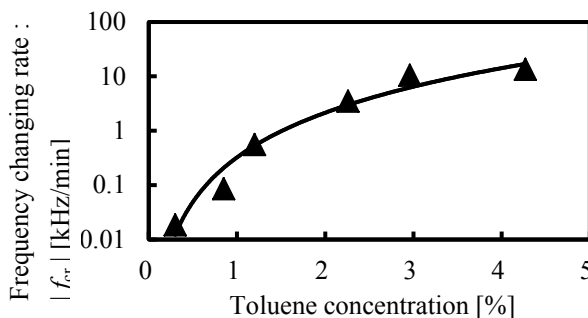


Fig.2 Toluene concentration dependence of frequency changing rate, $|f_{cr}|$.

Mo 薄膜近傍に配置した LC 回路を用いた非接触アンモニアセンサ

荒井拓真, 沓澤伸明, 小池邦博, 石井修
(山形大学)

Application of LC Circuit Adjacent to Mo Thin Film to a Wireless Ammonia Sensor

T. Arai, N. Kutsuzawa, K. Koike and O. Ishii
(Yamagata Univ.)

はじめに

LC 回路は温度、湿度等の環境パラメータを非接触検出する環境センサとして利用されている¹⁾⁴⁾。とりわけ、食品腐敗時に発生するアンモニアをパッケージ未開封状態で非接触検出する事で食品衛生の向上が期待できる。本研究では、アンモニアと選択的に反応し絶縁物へ変化する Mo を LC 回路直上に配置したセンサ構造を検討した。以下に本センサをアンモニア雰囲気中に保持した場合の共振周波数及びインダクタンス変化について述べる。

実験方法

Fig.1 に非接触アンモニアセンサの構造を示す。口型導体に Mo 被覆ポリイミドを接続し、LC 回路の 3 mm 直上に配置した。両者を 2 ml のアンモニア水を封入したシャーレ内に保持し、ネットワークアナライザに接続したピックアップコイル(半径 30 mm, 巻き数 2 回)を隣接させ共振周波数の時間変化を測定した。コイルのインダクタンスは共振周波数から算出した。シャーレ内の最大アンモニア濃度は 82 %である。

実験結果

Fig.2 に口型導体と LC 回路をアンモニア雰囲気中に保持した時の LC 回路の共振周波数及びピックアップコイルのインダクタンスの時間変化を示す。時間経過に伴い共振周波数は 10.1 MHz から 9.1 MHz まで減少し、コイルのインダクタンスは 8.1 μ H から 10.2 μ H まで増加した。反応時間は約 3 時間 20 分であった。

上記のメカニズムを以下に考察する。アンモニア雰囲気中で Mo が絶縁化し、口型導体の渦電流が減少する。従ってコイルから発生する磁束が遮蔽されず、口型導体を透過する磁束、即ちコイルのインダクタンスは増加し、共振周波数は減少したものと考えられる。

以上より、口型導体を隣接した LC 回路を用いた非接触アンモニアセンサの可能性を明らかにした。

謝辞

株式会社サンモニターに LC 回路を提供頂いた。

参考文献

- (1) I. Kiyoshi *et al.*: *IEICE. Trans. Fund.*, **E78-A**, 1412-1414, (1995)
- (2) C. A. Grimes *et al.*: *Sens. Actuators.*, **A 93**, 33-39, (2001)
- (3) S. Yabukami *et al.*: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **30**, 218-224, (2006)
- (4) 荒井拓真 他: 第 37 回日本磁気学会学術講演概要集 2013, 320,(2013)

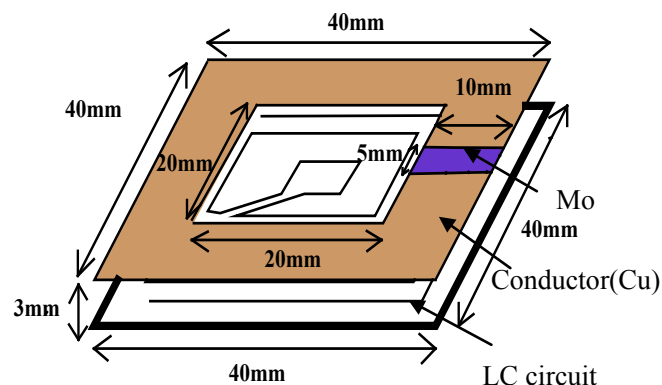


Fig.1 Structure of wireless ammonia sensor

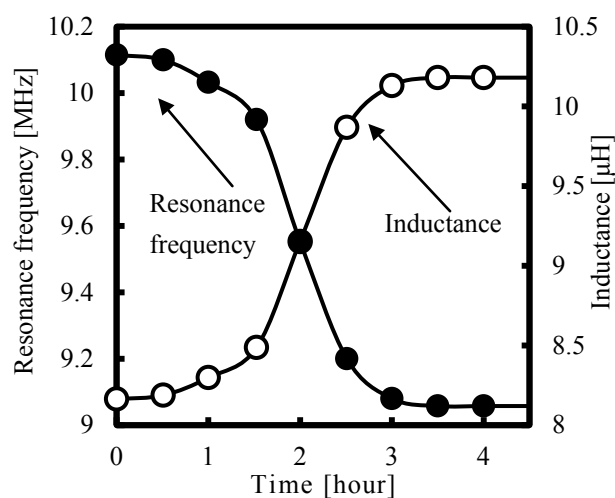


Fig.2 Time vs resonance frequency(solid circles) and inductance(open circles)

シアノアクリル酸エチル被覆磁性リボンを用いた ワイヤレスアセトンセンサ

近藤慎二, 堀内洋文, 金田拓也, 沓澤伸明, 石井修

(山形大学)

Application of Magnetic Ribbon Coated with Ethyl 2-cyanoacrylate to a Wireless Acetone Sensor

S. Kondo, H. Horiuchi, T. Kaneta, N. Kutsuzawa and O. Ishii

(Yamagata Univ.)

はじめに

磁性リボンの機械的共振を用いたワイヤレスセンサは広く研究されており、ガスや温度^{1), 2)}などの検出を可能としている。本報告では、アセトンに溶解されるシアノアクリル酸エチルを被覆した磁性リボンに注目した。このリボンは大気中で湾曲し、アセトン雰囲気中で平坦化する。この形状変化に伴い共振周波数が変化することをを用いたワイヤレスアセトンセンサを報告する。

実験方法

100 Oeの幅方向の磁界中において410 °C、10分間の熱処理を施した磁性リボン(Metaglas2605SS、幅6 mm、長さ25 mm、厚さ25 μm)上にシアノアクリル酸エチルを115 °C、30分間加熱して蒸着した。蒸着中の磁性リボン温度は冷却水を用いて3~75 °Cの範囲に制御し、各温度の蒸着量を測定した。

アセトン雰囲気中に保持したシアノアクリル酸エチル被覆磁性リボンの共振周波数及び曲率を文献2), 3)に記載された方法で測定した。アセトン濃度はアセトンをバブリングした窒素と純窒素を混合することで0~20%の範囲に制御した。

実験結果

Fig.1 はシアノアクリル酸エチルの蒸着量(白丸)及び分散(実線)の蒸着温度依存性を示す。蒸着量は磁性リボン温度の上昇に伴い減少する。これはシアノアクリル酸エチルの沸点が60~62 °Cなので、磁性リボン温度の上昇に伴いシアノアクリル酸エチルが再蒸発するためと推定される。一方、3±1 °Cの場合は磁性リボンが露結し蒸着量の分散が最大となる。この結果、蒸着量が大きく、かつ分散が小さい16±1 °Cが成膜に適していることを明らかにした。

Fig.2は蒸着量が2.68 mgのシアノアクリル酸エチル被覆磁性リボンの共振周波数(黒丸)および曲率(白丸)のアセトン濃度依存性を示す。共振周波数および曲率はアセトン濃度の上昇に伴い低下し、10%以上において一定となる。共振周波数と曲率が比例する傾向は文献3)に報告されている。10%以上のアセトン濃度では磁性リボンが平坦(曲率0 m⁻¹)となり共振周波数の一定となる。以上の結果、本センサは0~10%のアセトン濃度において動作可能であり、共振周波数検出型ワイヤレスアセトンセンサとして期待できることを明らかにした。

参考文献

- 1) S. Yoshizawa *et al.*: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **30**, 170~173 (2006)
- 2) T. Shibata *et al.*: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **33**, 50~53 (2009)
- 3) O. Ishii *et al.*: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **37**, 250~254 (2013)

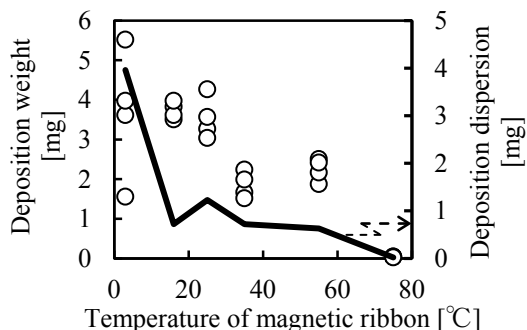


Fig.1 Temperature dependence of weight (open circles) and dispersion (solid line) of deposition

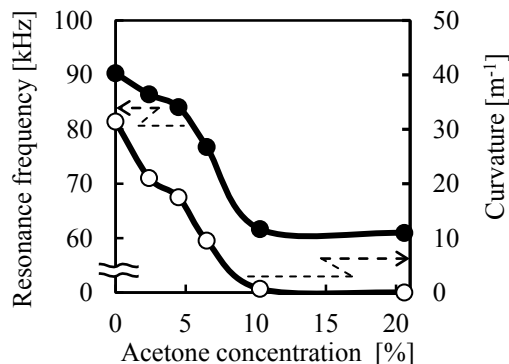


Fig.2 Acetone concentration dependence of resonance frequency (closed circles) and curvature (open circles)