

研究報告

磁気インピーダンス効果を有する積層型薄膜磁界 検出素子

西部祐司, 森川健志, 山寺秀哉, 坂田二郎, 野々村裕, 竹内正治, 多賀康訓

Thin Film Magnetic Element Utilizing Magneto-Impedance Effect

Yuji Nishibe, Takeshi Morikawa, Hideya Yamadera, Jiro Sakata, Yutaka Nonomura,
Masaharu Takeuchi and Yasunori Taga

要 旨

アモルファス磁性体に高周波電流通電時に外部磁界を加えると素子両端のインピーダンスが鋭く変化する磁気インピーダンス効果 (Magneto Impedance Effect) が4年ほど前に毛利らによりアモルファス磁性ワイヤにおいて見出された。この効果は新しい磁界検出原理であり、これを用いると高性能な磁気センサ実現の可能性がある。そこで、我々は、デバイス化におけるメリットを考え、MI効果を有する薄膜素子の検討を試みた。その結

果、導体膜 (Cu) とアモルファス軟磁性膜 (CoSiB , FeCoSiB) の積層構造化と磁性膜への磁気異方性付与により、ワイヤを凌ぐMI効果を有する薄膜素子を実現することができた。磁界10Oeに対するインピーダンス変化率は、100%以上であり、世の中のMI素子と比較してトップである。この素子は、小型で、高分解能、高応答性を有しており、回転センサは勿論のこと、方位、電流、変位など多様なセンサへ応用展開ができる。

Abstract

A Magneto-Impedance (MI) effect which exhibited the strong dependence of impedance on external magnetic field was found in amorphous wire by Mohri etc. four years ago. It is well known that the Magneto-Impedance (MI) effect is a new magnetic field detection principle and presents a possibility of achieving magnetic sensors with high performance. Therefore, our research interest has focused on MI phenomenon in thin film element, taking account of compatibility with circuit and easiness of installation. We have proposed a multi-layered thin film element with the MI effect, which consists of the Cu layer covered with amorphous magnetic layers and the magnetic layers with magnetic anisotropy added in the

transverse direction of the element. The MI effect in this multi-layered thin film element is much superior to that in conventional wire element. As a result, when an external magnetic field was applied, a high impedance change ratio was achieved, such as 100% / 10 Oe, and is much higher than that of any other element having MI effect. This thin film element utilizing MI effect has the advantages of small size, light weight, high resolution, and quick response. Therefore, this thin film element is useful not only for application of rotary encoder, but also for sensing purposes of various physical quantities such as displacement, current and direction.

キーワード

磁気インピーダンス効果, 磁界, 高周波, アモルファス, 軟磁性体, 薄膜, センサ

1. はじめに

近年、コンピュータ・情報処理機器における記録媒体であるフロッピディスク、ハードディスクの高密度化が進むにつれて、小型・軽量で、高感度、高速応答性、高安定・高信頼性を有する磁気ヘッド、つまり磁界センサが重要となってくる。こうしたニーズは、自動車、工作機械、家電、メカトロニクス分野においても、知能制御化に伴って高くなっている。例えば、FA、電気自動車、知能ロボット等のインバータ制御モータでは、高速応答・高安定の電流センサが望まれている。

一方、4年ほど前に毛利らにより1MHz以上の高周波電流が通電されたアモルファス磁性ワイヤ (FeCoSiB, CoSiB) にて外部からの磁界によりインピーダンスが鋭く変化する磁気インピーダンス効果 (Magneto-Impedance Effect) が見いだされた^{1, 2)}。MI効果は新しい磁界原理として注目され、この効果を利用することにより高性能な磁気センサの実現の可能性があると考えられている。最近、論文、学会などで磁気センサを実現したとの報告がある³⁻⁵⁾。そこで、我々は、デバイス化において薄膜素子が磁気センサとして有望と考え、MI効果を有する薄膜素子の研究・開発を行っている⁶⁻⁸⁾。

本文は、MI効果、薄膜化のメリット、我々が考案した積層型薄膜MI素子の構成と作製方法、及び特性について述べたものである。

2. 磁気インピーダンス効果

磁気インピーダンス効果 (Magneto-Impedance Effect) は、Fig. 1に示すように1MHz以上の高周波電流をアモルファス磁性ワイヤ (FeCoSiB, CoSiB) に通電した時にワイヤ両端のインピーダンス (インダクタンスと抵抗) が数Oeから数十Oeという低外部磁界印加に対して10%から80%もの大きな変化が生ずる現象である。この効果は、作製 (急冷) 時にワイヤ内部に発生する応力により導入される磁気異方性とアモルファス構造が大きく起因していると言われている^{1, 2)}。MI効果を有するワイヤを用いた磁界検出素子は、以下に示す特長を有する。

- 1) コイルが不要な構造
- 2) 低磁界検出 (数Oeから数十Oe)
- 3) 高感度 (数十%のインピーダンス変化率)
- 4) ヒステリシスのない特性

MI効果によるワイヤ素子と世の中で広く利用されている各種磁気センサとの比較をTable 1にまとめる。分解能の点では、フラックスゲート型センサほどではないが、ホール素子、磁気抵抗素子より優れている。サイズの点では、薄膜素子であるホール素子、磁気抵抗素子ほどではないが、フラックスゲート型センサより小型化が可能となる。応答性の点では、コイルレス素子であることより、

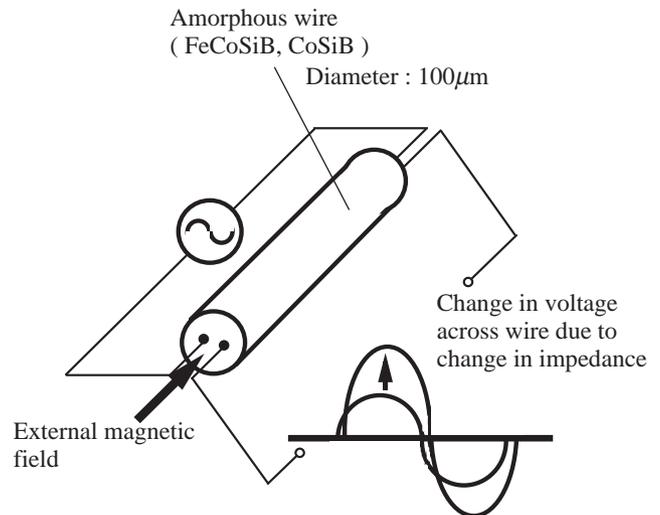


Fig. 1 Magneto impedance (MI) effect for amorphous wire.

Table 1 Comparison of various type of magnetic sensors.

	Fluxgate sensor	Hall element MR element	MI element (wire)
Small size	Good	Excellent	Good
High resolution	Ecellent	Poor	Ecellent
Temperature dependence	Good	Poor	Good
Quick response	Poor	Ecellent	Ecellent
Easiness of insatllation	Good	Ecellent	Poor

ホール素子，磁気抵抗素子と同等である。しかし，装着性，回路一体化等の点は，ワイヤという特殊形状のために他のセンサより劣り問題となる。以上より，MI効果によるワイヤ素子は，小型化が可能で高感度が期待されるが，装着性では問題がある磁界検出素子と位置づけることができる。

そこで，MI効果を有するワイヤ素子の上記問題を考慮して，我々はMI効果を有する薄膜素子を実現することを目標とした。薄膜化のメリットは，Table 2に示すように4つある。1つ目はオンチップデバイス化が可能となり装着性の点でワイヤ素子と比較して有利となる点，2つ目は積層化，パターン化により構造面でのフレキシビリティが高くなる点，3つ目は磁場中成膜，磁場中熱処理により膜の磁気特性の制御が容易な点，4つ目はワイヤでは作製できる組成はFe-Co系に限られるがスパッタリングを用いれば広範囲にわたる組成の膜が作製可能となる点である。2つ目から4つ目までのメリットは，薄膜化がワイヤより優れたMI効果発現の可能性のあることを物語っている。

今回，積層化可能と磁場中成膜による磁気特性の制御性に着目して，高性能な薄膜MI素子の実現を目指すことにした。

Table 2 Advantages of thin film element in comparison with amorphous wire element and approaches to attain advantages.

Advantage	Approach
Compatability with circuit	Monolithic device
Adaptability for structure	<ul style="list-style-type: none"> • Multi-layer • patterning
Control of magnetic property in thin film	<ul style="list-style-type: none"> • Deposition in magnetic field • Annealing in magnetic field
Variety of alloy compositions	Deposition by sputtering

3．薄膜磁界検出素子

3．1 素子の設計コンセプト

薄膜素子設計において，アモルファス磁性ワイヤの類似性を考慮し，Fig. 2に示す素子を考案した。素子外観は単線路形状であり，素子断面は導体膜をアモルファス軟磁性膜で挟み込んだ積層構造である。

考案した素子の特長は2つある。1つは，低抵抗である導体膜の周りをアモルファス軟磁性膜で覆う積層構造（磁気的には閉磁路構造）とした点である。導体膜の抵抗率（例えば，Cu膜は $4.5\mu\Omega\text{cm}$ ）はアモルファス磁性膜の抵抗率（例えば，CoSiB膜は $130\mu\Omega\text{cm}$ ）より2桁小さいことより，通電電流の大部分はコア部である導体膜に流れると考えられ，シェル部である磁性膜内を貫く周回磁束を効率良く発生させることができる。もう1つは，電流方向と直交する方向（素子幅方向）が容易磁化軸となるようにアモルファス軟磁性膜に一軸磁気異方性を付与した点である。これにより，素子長手方向からの外部磁界 H に対する素子幅方向の透磁率 μ の変化を大きくさせることができる。

本素子のインピーダンス Z は以下の式(1)のようにインダクタンス L と抵抗 R で表される。

$$Z(u) = R(u) + j\omega L(u) \quad (1)$$

インダクタンス L と抵抗 R は，透磁率 μ の関数となるので，外部磁界 H に対して変化する。

上記2つの特長により，外部磁界 H に対して大

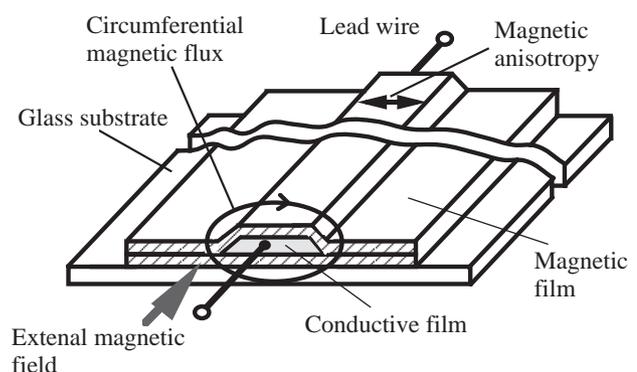


Fig. 2 Thin film magnetic field element utilizing Magneto Impedance (MI) effect.

きな素子インピーダンス Z (インダクタンス L と抵抗 R)変化を引き出すことができる。

3.2 素子の構造と作製

作製した素子をFig. 3に示す。導体膜は低抵抗であるCu膜、アモルファス軟磁性膜はCoSiB膜(負磁歪)とした。外形寸法は、磁性膜幅2mm、長さ10mm、導体膜幅0.5mmである。厚みは、下部磁性膜が $2\mu\text{m}$ 、導体膜が $3\mu\text{m}$ 、上部磁性膜が $2\mu\text{m}$ である。下部磁性膜、及び上部磁性膜には素子幅方向が容易磁化方向となるように一軸異方性を付与している。

素子はRFマグネトロンスパッタによりガラス基板(コーニング7059)上に、磁性膜、非磁性導体膜、磁性膜の順に成膜することにより作製した。素子形成にはメタルマスクを用いた。磁性膜の成膜には $\text{Co}_{73}\text{Si}_{12}\text{B}_{15}$ の焼結ターゲットを、非磁性導体膜の成膜にはCuのターゲットを用いた。磁性膜に一軸磁気異方性を付与するために、磁場中成膜を行った。磁場は、基板両端に磁石を配置することにより膜面に平行に105Oeを加えた。

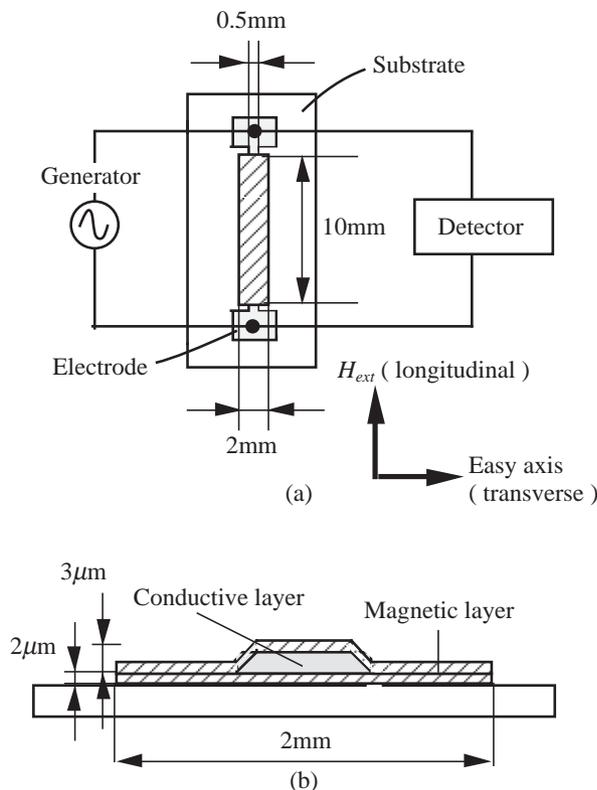


Fig. 3 Schematic drawing of the layered MI element : (a)top view, (b)cross-sectional view.

3.3 磁性膜の特性

成膜条件について検討した。Fig. 4には、アルゴン圧を $3 \times 10^{-3}\text{Torr}$ 一定とした時のスパッタ電力と作製したCoSiB膜の保磁力との関係を示す。スパッタ電力を大きくするに伴い保磁力は小さくなった。スパッタ電力500Wとすることにより、保磁力を0.3Oeまで下げることができ軟磁性膜が実現できる。この結果の解釈については、詳細はまだ明らかでないが、磁性膜に発生する内部応力と密接に関連しているのではないかと考えられる。なお、この時の成膜速度は 0.4nm/sec であり、成膜中の基板温度は 50°C 以下であった。膜構造はX線回折法によりアモルファスであることを確認した。

上記条件で作製したCoSiB膜のM-H特性をFig. 5に示す。測定はVSMにより行った。保磁力 H_c は0.3Oeと軟磁性を示した。飽和磁化 M_s は 540emu/cc

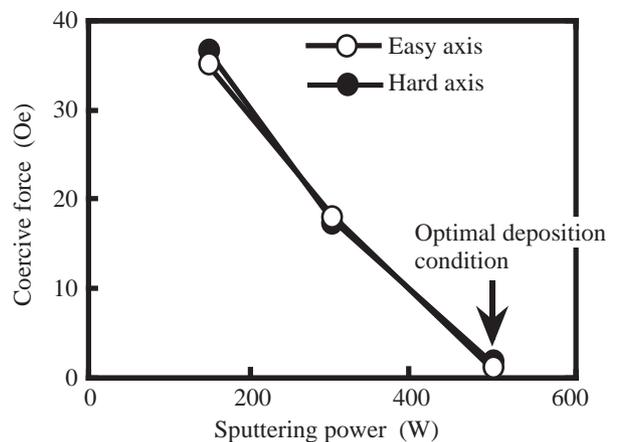


Fig. 4 Dependences of coercive forces in CoSiB thin film on sputtering power.

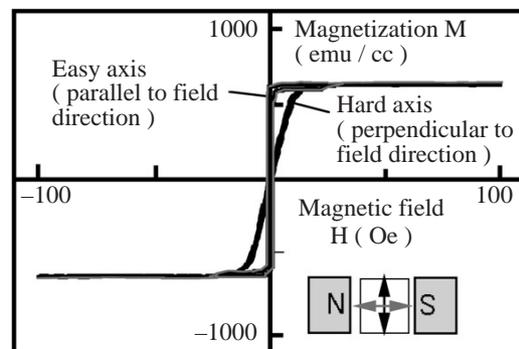


Fig. 5 M-H hysteresis loops for CoSiB thin film.

であった。磁界を印加した方向と平行な方向が容易磁化方向となり、それと直交する方向は困難磁化方向となる。異方性磁界 H_k は90eであった。

Fig. 6にはCoSiB膜の磁区(ドメイン)構造を示す。磁区観察はビッター法により行った。容易磁化方向と平行にストライプ状のドメイン、及び180°磁壁が見られる。この結果より、磁場中成膜により磁場印加方向にドメインが揃う、つまり磁区制御されていることが分かった。

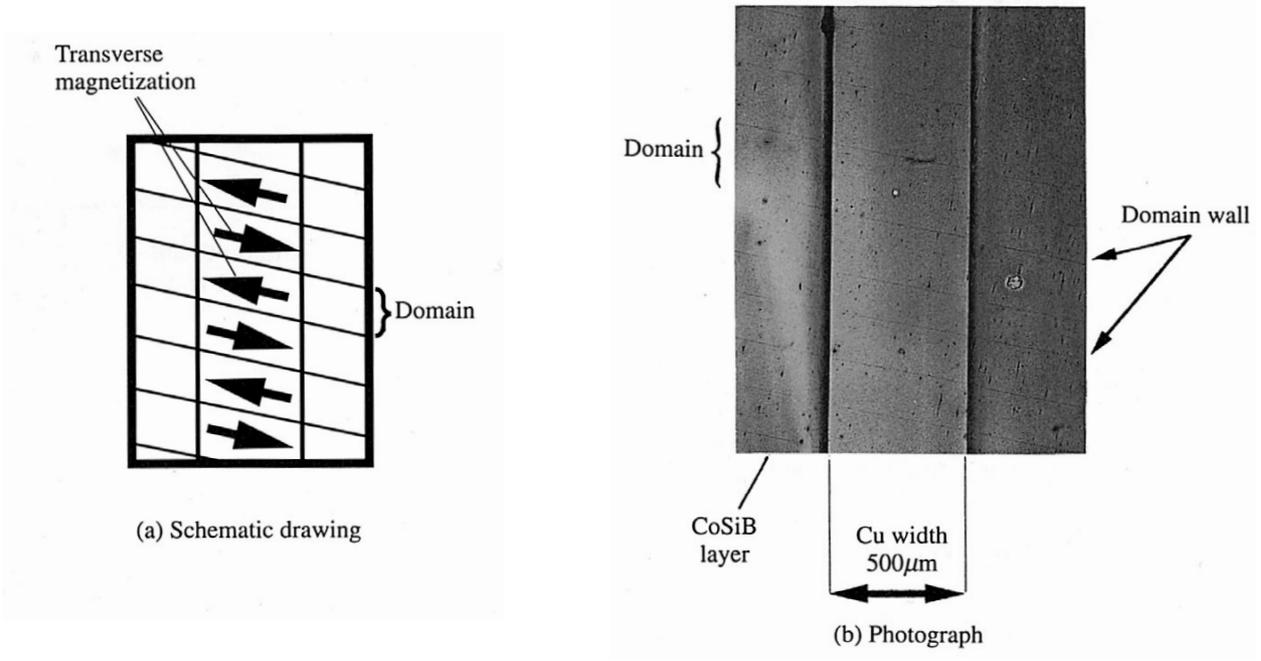


Fig. 6 Domain pattern in CoSiB layer for CoSiB/Cu/CoSiB element.

4. 素子の基本特性

4.1 インピーダンスの検出磁界依存性

Fig. 7に、オシロスコープで観察したCoSiB/Cu/CoSiB素子の両端電圧波形を示す。これは周波数 $f_{drv} = 1\text{MHz}$, $I_{drv} = 8.5\text{mA}$ の正弦波低電流を入力したときの波形である。外部磁界 $H_{ext} = 0\text{Oe}$ 時の両端電圧の振幅は $V_0 = 4.5\text{mV}$ であるが、 $H_{ext} = 90\text{e}$ とすると $V(H_{ext} = 90\text{e}) = 11.2\text{mV}$ に上昇する。出力

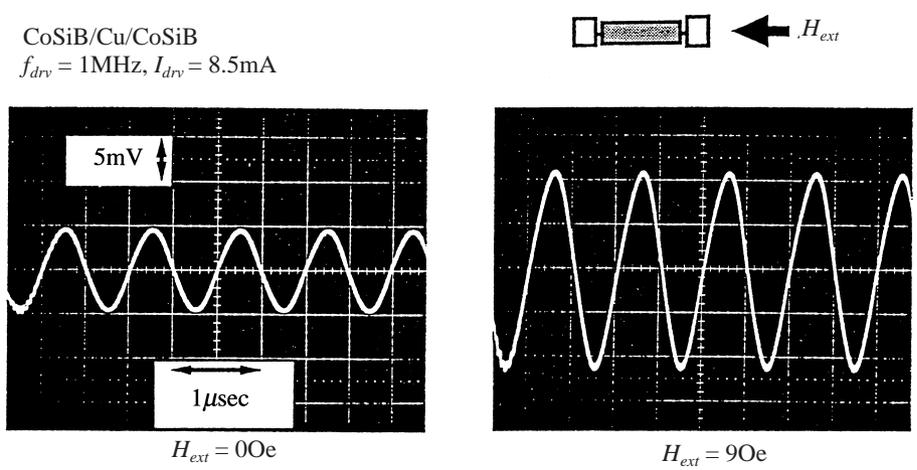


Fig. 7 Waveforms of voltage of CoSiB/Cu/CoSiB element at $H_{ext} = 0\text{Oe}$ and $H_{ext} = 90\text{e}$. Driving current is 8.5mA and frequency is 1MHz.

電圧の変化率は $\Delta V / V_0 = (V(H_{ext} = 90\text{Oe}) - V(H_{ext} = 0\text{Oe})) / V(H_{ext} = 0\text{Oe}) = 140\%$ と非常に大きな値である。なお、外部磁界は長手方向から素子に一樣に加えられた。

Fig. 8には、1MHz、9.5mA駆動時のインピーダンスの外部磁界依存性を示す。外部磁界が0Oeから増加するにつれインピーダンスは0.34Ωから増加していき、 $H_{ext} = 90\text{Oe}$ において0.73Ωの最大値をとった後に減少していく。式(2)で示されるインピーダンス変化率は $\Delta|Z|/|Z_0| = 120\%$ であり、磁界感度に換算すると13% / Oeである。

$$\frac{\Delta|Z|/|Z_0|}{|Z(H_{ext} = 0\text{Oe})|} = \frac{(|Z_{\text{maximum}}| - |Z(H_{ext} = 0\text{Oe})|)}{|Z(H_{ext} = 0\text{Oe})|} \quad (2)$$

ここで $|Z_{\text{maximum}}|$ はインピーダンスの最大値である。この出力特性は H_{ext} の増減に対してヒステリシスを示さない。また負の方向の H_{ext} に対して同様な変化を見せ双峰特性を示す。

インピーダンス変化の詳細を検討するため、Fig. 9に、Fig. 8に示したCoSiB/Cu/CoSiB素子のインピーダンス $|Z|$ をリアクタンス X と抵抗 R の成分に分離した結果を示す。このFig. 9は H_{ext} が正符号の場合のみについて示している。 X は $|Z|$ の場合と同様に $H_{ext} = 90\text{Oe}$ で最大値をとる。このときの磁

界を H_p とする。これは R についても同様の傾向を示す。この1MHzでの $|Z|$ の内訳をみると、リアクタンス X 分と抵抗 R 分の比が約1:1であり、薄膜MI素子としては抵抗分の占める割合が非常に大きい。この結果から、積層薄膜MI素子では1MHzでも現れる大きな抵抗変化が、高出力化の一因となっていることが明らかとなった。

これらの傾向は、磁性膜を零磁歪材料としたFeCoSiB/Cu/FeCoSiB素子においても同様であった。インピーダンスが最大値を示す磁界は H_p 、180Oe、インピーダンス変化率は $\Delta|Z|/|Z_0| = 140\%$ であった。

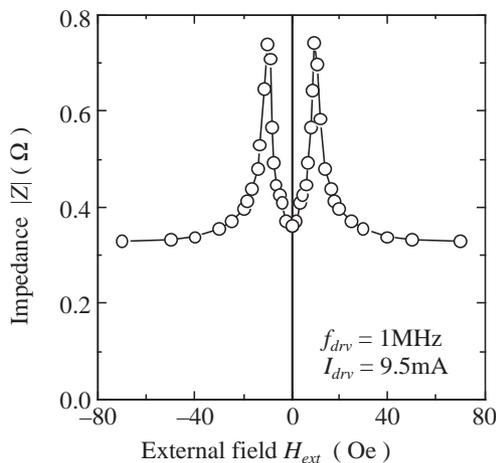
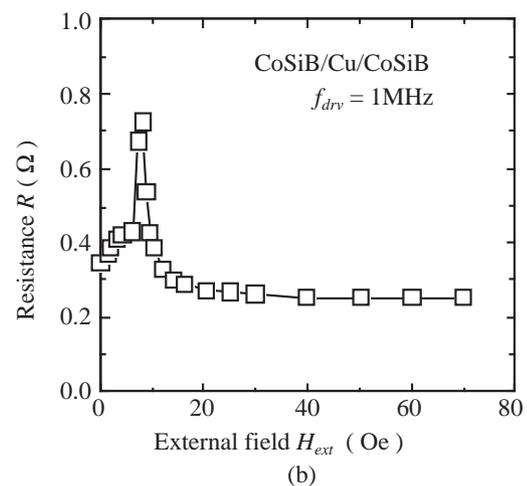
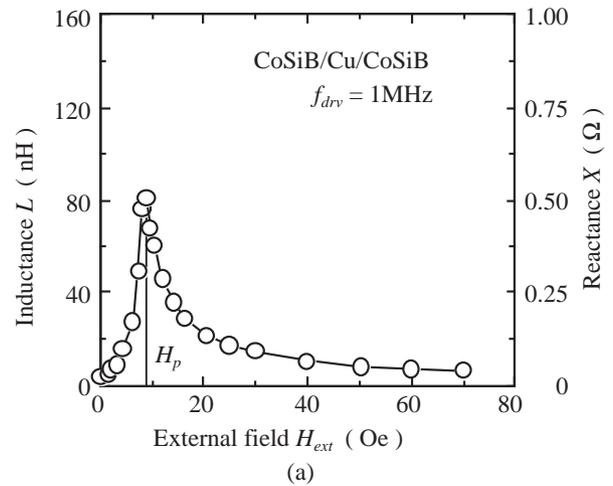


Fig. 8 Dependence of impedance on external field for CoSiB/Cu/CoSiB element.

Fig. 9 Dependence of (a) reactance X and (b) resistance R on external field.

Fig. 10に、CoSiB/Cu/CoSiB素子の磁性膜のアスペクト比（縦と横寸法の比率）を変化させた素子の $f_{drv} = 1\text{MHz}$ における $|Z| - H_{ext}$ 特性を示す。この素子は磁性膜の長さを2mm一定とし、幅方向の長さをそれぞれ5mm, 2mm, 0.5mmとしたものである。Cu膜の幅は $100\mu\text{m}$ である。磁性膜が幅方向に長くなるにしたがい、印加される外部磁界 H_{ext} に対する反磁界が大きくなり有効印加磁界が減少し、インピーダンスが最大値となる磁界 H_p が高磁界側にシフトする。この結果は、この薄膜MI素子の H_p を磁性膜のアスペクト比によって制御できることを示している。 $\Delta|Z|/|Z_0|$ が各素子間で異なるが、これは駆動電流の流れる断面のCoSiB膜とCu膜の面積比が異なることに起因する。

4.2 感度の検出磁界指向性

Fig. 11にFeCoSiB/Cu/FeCoSiB素子のインピーダンス変化率 $\Delta|Z|/|Z_0|$ の磁界方向依存性を示す。 $\theta = 0^\circ$ 方向が、素子の長手方向に磁界を加えた場合の変化率に相当する。 $|\theta| = 7.5^\circ$ 及び $|\theta - 180| = 7.5^\circ$ は100%以上の大きな変化率を示すが、それ以外では変化率は50%以下と小さい。 $45^\circ \leq \theta \leq 135^\circ$ 及び $225^\circ \leq \theta \leq 315^\circ$ においては、変化率の符号が反転し、その絶対値は25%以下である。また、この図には示していないが、膜厚方向の磁界に対しては反磁界の影響で変化率は非常に小さい。これら

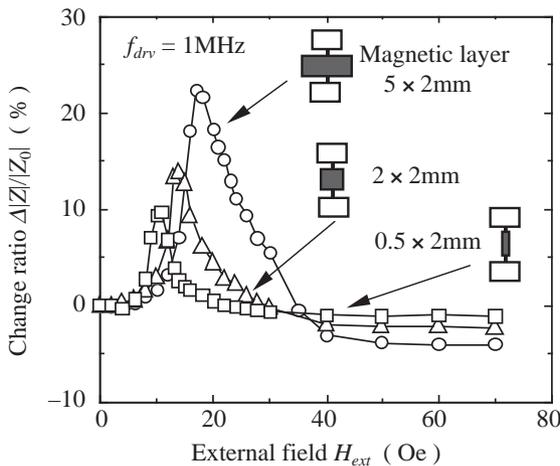


Fig. 10 Dependences of impedance change ratio on external field for CoSiB/Cu/CoSiB elements. These elements have various aspect ratios of CoSiB layers.

の結果から、この薄膜MI素子は指向性が非常に強い素子であることがわかる。最大変化率が $\theta = 0^\circ, 180^\circ$ からずれた方向に現れる理由は、磁化容易軸方向が $\theta = 0^\circ, 180^\circ$ からずれているためであることが磁区観察の結果から分かっている。

4.3 感度の動作周波数依存性

Fig. 12に、最大インピーダンス変化率 $\Delta|Z|/|Z_0|$ の周波数依存性を示す。比較のため厚さ $2\mu\text{m}$ のCoSiB単層膜素子の結果も併せて示す。10MHz以下

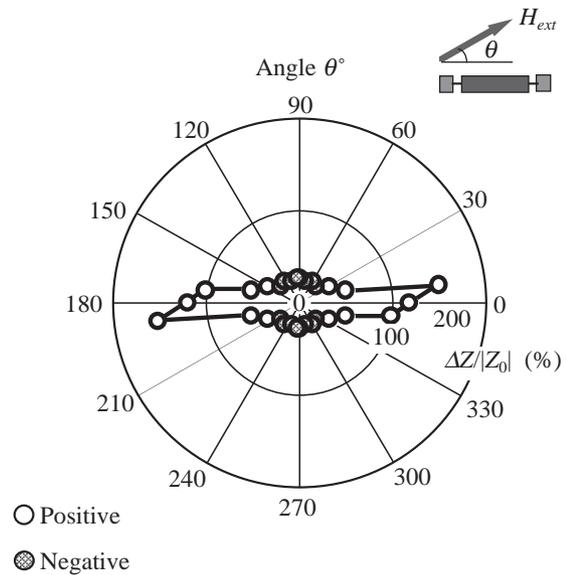


Fig. 11 Directivity of impedance change ratios for FeCoSiB/Cu/FeCoSiB element. Driving frequency is 1MHz.

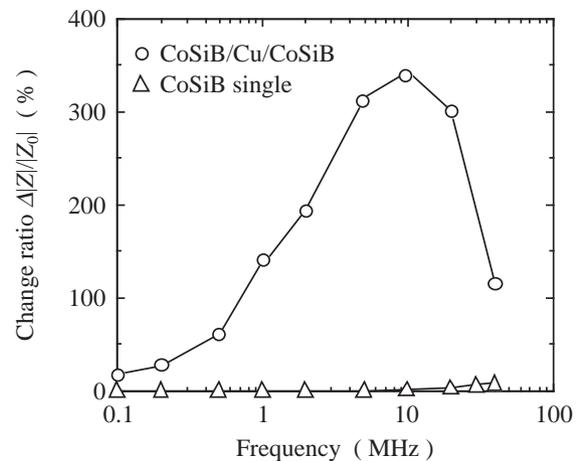


Fig. 12 Dependences of impedance change ratio on ac driving frequency.

下では、単層膜素子の $\Delta|Z|/|Z_0|$ は非常に小さい。これに対し、積層型素子の $\Delta|Z|/|Z_0|$ は $f_{drv} = 100\text{kHz}$ における $\Delta|Z|/|Z_0| = 20\%$ から周波数とともに上昇し、 $f_{drv} = 10\text{MHz}$ では300%以上の変化率を示す。一方10MHzを越える領域では単層膜素子の $\Delta|Z|/|Z_0|$ がわずかに上昇するのに対して、積層型素子の $\Delta|Z|/|Z_0|$ は減少し始める。いずれの周波数領域においても、積層型素子の $\Delta|Z|/|Z_0|$ は単層膜素子のそれと比較して1桁以上大きく、MI素子の積層膜化により $\Delta|Z|/|Z_0|$ が大幅に向上する。これは、今回の積層素子の全抵抗値はCu膜の抵抗が支配的であり、この膜の抵抗変化を顕著に発現させる構成となっているためである。

5. 特性向上の検討

この章では、サンドイッチ型薄膜MI素子のインピーダンス変化率をさらに向上させるために有効な手法を述べる。

5.1 絶縁層導入の効果

この節では、アモルファス磁性膜と導電体膜の間に絶縁体である SiO_2 を挿入した $\text{CoSiB}/\text{SiO}_2/\text{Cu}/\text{SiO}_2/\text{CoSiB}$ 素子を作成し、その出力特性について述べる。この素子構成により、駆動交流電流が導体層に閉じこめられ磁性層への電流漏れがなくなるため、磁性層の駆動効率が増加する。Fig. 13はこの素子の出力結果である。この図は前章での素子が最大インピーダンス変化率を示す10MHzでの測定結果であるが、絶縁層の挿入により変化率が3倍に上昇する。これは以下の2つの要因による。

(1)Cu層への電流閉じこめによる交流磁界効率の向上

(2)Cu層での渦電流損失の増加

5.2 導体膜幅の効果

Fig. 14には、 SiO_2 絶縁層を挿入した素子のCu幅を0.1, 0.2, 0.5mmとした場合のインピーダンス変化率の周波数依存性を示す。前節で述べたようにどの素子の場合も、絶縁層を有しない積層素子よりも変化率が大きい。Cu幅が大きいほど変化率が大きく、かつその最大値が低周波側で現れる。これは、Cu幅の増大により電磁界時の素子抵抗成分が低下し、インピーダンスに占めるリアクタン

ス ($X = \omega L$) 成分が低周波数域でより支配的になることと、Cu幅方向の表皮効果による抵抗成分の変化が低周波数域でより顕著になることの重ね合わせによる。

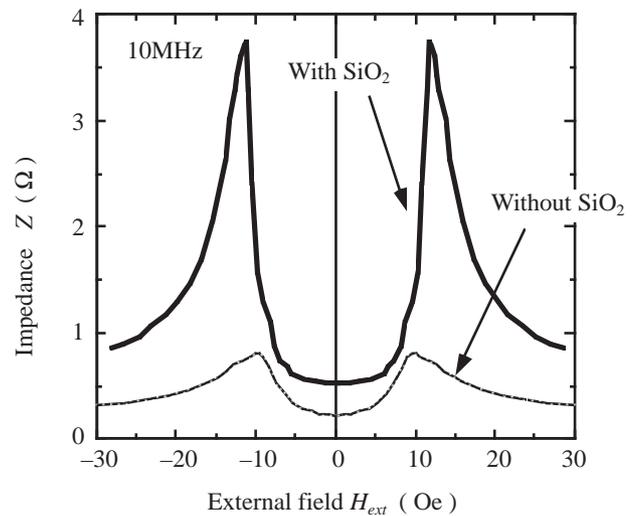


Fig. 13 Impedance – field characteristics of $\text{CoSiB}/\text{SiO}_2/\text{Cu}/\text{SiO}_2/\text{CoSiB}$ element. The field is applied in the longitudinal direction.

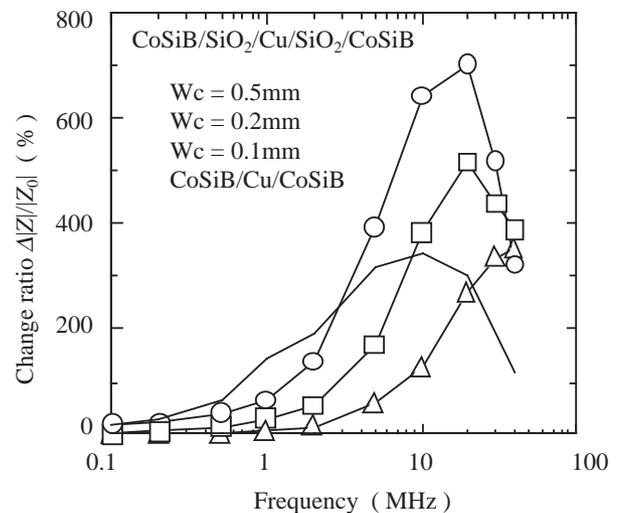


Fig. 14 Dependences of impedance change ratio on driving frequency. Maximum impedance changes appear at 11Oe for various elements.

6. おわりに

(1)我々が考案した導体膜と磁性膜との積層型薄膜素子において、ワイヤを凌ぐ磁気インピーダンス効果を生じさせることができた。

(2)本素子は、通電電流周波数1MHzから40MHzにおいて、磁界に対するインピーダンス変化率が100%以上である。特に10MHzにおいて、インピーダンス変化率は300%である。

(3)導体膜と磁性膜との間に絶縁膜を挿入することにより、インピーダンス変化率を向上させることができる。例えば、通電電流周波数10MHzでは、300%から900%と3倍に向上した。

(4)この積層型薄膜素子は、MI効果を利用した薄膜素子としては世の中でトップのインピーダンス変化率を有する。

参 考 文 献

- 1) 川島, 光沢, 吉田, 毛利, パニナ : "アモルファス磁性ワイヤの磁気インダクタンス効果とMI素子", 日本応用磁気学会誌, 17-2(1993), 423
- 2) 武士田, 野田, パニナ, 吉田, 内山, 毛利 : "アモルファス磁性微細ワイヤの磁気インピーダンス効果素子", 日本応用磁気学会誌, 18-2(1994), 493
- 3) Yoshida, Y., Uchiyama, T., Mohri, K. and Ohga, S. : "Quick Response Field Sensor using 200 MHz Amorphous MI Element Multivibrator Resonance Oscillator", IEEE Trans. Magnetics, 29-6(1993), 3177
- 4) 武士田, 内山, 毛利 : "アモルファスワイヤ磁気インピーダンス素子コルピッツ発振形高感度マイクロ磁界センサ", 電気学会論文誌A, Vol. 115-A-10(1995), 943
- 5) 千田, 武井, 石井, 越本, 戸島 : "磁気-インピーダンス効果を用いた薄膜磁気センサの基礎特性", 日本応用磁気学会誌, 19-2(1995), 465
- 6) Morikawa, T., Nishibe, Y., Yamadera, H., Nonomura, Y., Takeuchi, M. and Taga, Y. : "Thin Film Magnetic Sensor with High Sensitivity utilizing Magneto-Impedance Effect", Tech. Dig. of the 13th Sensor Symp., (1995), 93
- 7) 森川, 西部, 山寺, 野々村, 竹内, 多賀 : "高感度な積層型薄膜磁気インピーダンス素子", 日本応用磁気学会誌, 20-2(1996), 553
- 8) Morikawa, T., Nishibe, Y., Yamadera, H., Sakata, J., Nonomura, Y., Takeuchi, M. and Taga, Y. : "Enhancement of Magneto-Impedance Effect in Layered Thin Films by Insulator Separation", IEEE Trans. Magnetics, 32-5(1996), 4965

著者紹介



西部祐司 Yuji Nishibe
 生年：1959年。
 所属：機能デバイス研究室。
 分野：センサデバイスの研究開発。
 学会等：電気学会会員。



森川健志 Takeshi Morikawa
 生年：1964年。
 所属：特別研究室。
 分野：センサデバイスの研究開発。
 学会等：日本応用磁気学会，IEEE会員。
 1993年R&D100選受賞。



山寺秀哉 Hideya Yamadera
 生年：1957年。
 所属：半導体プロセス研究室。
 分野：センサ用薄膜材料・プロセスおよび薄膜物性の研究。
 学会等：応用物理学会，日本応用磁気学会，電気学会会員。



坂田二郎 Jiro Sakata
 生年：1954年。
 所属：機能デバイス研究室。
 分野：薄膜物性評価・制御（薄膜の機能物性）。
 学会等：日本化学会，応用物理学会会員。
 工学博士。



野々村裕 Yutaka Nonomura
 生年：1954年。
 所属：機能デバイス研究室。
 分野：センサデバイスに関する研究開発。
 学会等：応用物理学会，日本応用磁気学会，IEEE会員。
 1993年R&D100選受賞。
 工学博士。



竹内正治 Masaharu Takeuchi
 生年：1943年。
 所属：デバイス部。
 分野：センサデバイスに関する研究開発。
 学会等：日本応用磁気学会，計測自動制御学会，電気学会会員。
 1993年R&D100選受賞。
 工学博士。



多賀康訓 Yasunori Taga
 生年：1944年。
 所属：特別研究室。
 分野：電子デバイス開発。
 学会等：電気学会，表面技術協会，Am. Inst. Phys.，Am. Vacuum Soc.，IEEE会員。
 工学博士。