

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6845247号
(P6845247)

(45) 発行日 令和3年3月17日 (2021.3.17)

(24) 登録日 令和3年3月1日 (2021.3.1)

(51) Int. Cl.	F I
GO 1 R 33/02 (2006.01)	GO 1 R 33/02 A
GO 1 R 33/07 (2006.01)	GO 1 R 33/07
HO 1 L 29/82 (2006.01)	HO 1 L 29/82 Z

請求項の数 4 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2018-541223 (P2018-541223)	(73) 特許権者	517325799
(86) (22) 出願日	平成29年2月3日 (2017.2.3)		コリア ユニバーシティ リサーチ アン
(65) 公表番号	特表2019-506606 (P2019-506606A)		ド ビジネス ファウンデーション, セジ
(43) 公表日	平成31年3月7日 (2019.3.7)		ョン キャンパス
(86) 国際出願番号	PCT/KR2017/001173		大韓民国 30019 セジョン-シ
(87) 国際公開番号	W02017/135720		ョチウォン-アップ セジョン-ロ 251
(87) 国際公開日	平成29年8月10日 (2017.8.10)		1
審査請求日	平成30年9月25日 (2018.9.25)	(74) 代理人	100079049
(31) 優先権主張番号	10-2016-0013479		弁理士 中島 淳
(32) 優先日	平成28年2月3日 (2016.2.3)	(74) 代理人	100084995
(33) 優先権主張国・地域又は機関	韓国 (KR)		弁理士 加藤 和詳
		(72) 発明者	イ、 クン-ウォン
			大韓民国 30021 セジョン ジョチ
			ウォン-アップ ヘンボク 4-ギル 25

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 スピンホール現象を利用した磁界測定装置および方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

外部から印加される第1磁界を測定する磁界測定装置であって、
導電体に電流を印加する電流印加手段、
遷移金属 (transition metal) や重金属 (heavy metal)
であって、前記電流印加手段から電流が印加されてスピン (spin) 電流が形成される
導電体、

前記導電体で形成されたスピン電流が注入されるように前記導電体と積層構造となり、
垂直磁気異方性を有する磁性体、

前記磁性体の上部または下部に位置し、前記磁性体の接線方向に対して水平磁気異方性
を有し、前記磁性体に第2磁界を印加する磁界印加手段、および

前記第1磁界が印加されない状態での前記磁性体の基準磁気履歴曲線 (hysteresis)
に対する、前記第1磁界が印加されることによる前記磁性体の磁気履歴曲線 (hysteresis)
の移動 (shift) 程度を導き出した後、これを利用して前記第1
磁界の強度を算出する制御部、を含んで構成され、

前記磁気履歴曲線では、縦軸が前記導電体または磁性体での前記導電体に印加される電
流の量に対するホール電圧の割合で、横軸が前記導電体に印加される電流の量であり、

前記ホール電圧が、前記電流印加手段から電流が印加される方向と、前記導電体と前記
磁性体の積層方向とにそれぞれ垂直方向における電圧であり、

前記算出される第1磁界の強度は、前記磁性体の法線方向に印加される第1磁界の垂直

10

20

方向強度であり、

前記制御部は、前記磁界印加手段が前記第2磁界を印加し、かつ前記電流印加手段から前記導電体に印加される電流の量を、前記磁性体の磁化が反転する時点までとその後磁化が飽和するまで増加し、前記磁性体の磁化が再び反転する時点までとその後磁化が飽和するまで減少するか、前記磁性体の磁化が反転する時点までとその後磁化が飽和するまで減少し、前記磁性体の磁化が再び反転する時点までとその後磁化が飽和するまで増加するか、をしながら、前記導電体または磁性体でのホール電圧を測定して前記磁性体に対する磁気履歴曲線(hysteresis)を算出することを特徴とする、磁界測定装置。

【請求項2】

前記制御部は、

前記磁性体の磁化が反転する時点の第1電流と前記磁性体の磁化が再び反対方向に反転する時点の第2電流の絶対値が同じ状態での磁気履歴曲線(hysteresis)を前記基準磁気履歴曲線として使用することを特徴とする、請求項1に記載の磁界測定装置。

【請求項3】

前記制御部は、

予め格納された磁気履歴曲線(hysteresis)を前記基準磁気履歴曲線として使用することを特徴とする、請求項1に記載の磁界測定装置。

【請求項4】

外部から印加される第1磁界を測定する磁界測定方法であって、

遷移金属(transition metal)や重金属(heavy metal)である導電体に、電流印加手段が電流を印加する電流印加段階、

前記導電体と積層構造となって垂直磁気異方性を有する磁性体に、前記磁性体の接線方向に対して水平磁気異方性を有する磁界印加手段が第2磁界を印加する磁界印加段階、

前記導電体に電流が印加されて形成されたスピン(spin)電流が前記磁性体に注入されるスピン電流注入段階、

前記第1磁界が印加されない状態での前記磁性体の基準磁気履歴曲線(hysteresis)に対する、前記第1磁界が印加されることによる前記磁性体の磁気履歴曲線(hysteresis)の移動(shift)程度を導き出す磁気履歴曲線移動導出段階、および

前記導き出された磁性体の磁気履歴曲線(hysteresis)の移動(shift)程度を利用して前記第1磁界の強度を算出する第1磁界算出段階を含み、

前記磁気履歴曲線では、縦軸が前記導電体または磁性体での前記導電体に印加される電流の量に対するホール電圧の割合で、横軸が前記導電体に印加される電流の量であり、

前記ホール電圧が、前記電流印加手段から電流が印加される方向と、前記導電体と前記磁性体の積層方向とにそれぞれ垂直方向における電圧であり、

前記算出される第1磁界の強度は、前記磁性体の法線方向に印加される第1磁界の垂直方向強度であり、

前記磁気履歴曲線移動導出段階は、前記磁界印加手段が前記第2磁界を印加し、かつ前記電流印加手段から前記導電体に印加される電流の量を、前記磁性体の磁化が反転する時点までとその後磁化が飽和するまで増加し、前記磁性体の磁化が再び反転する時点までとその後磁化が飽和するまで減少するか、前記磁性体の磁化が反転する時点までとその後磁化が飽和するまで減少し、前記磁性体の磁化が再び反転する時点までとその後磁化が飽和するまで増加するかを、しながら、前記導電体または磁性体でのホール電圧を測定して前記磁性体に対する磁気履歴曲線(hysteresis)を算出することを含むことを特徴とする、磁界測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁界測定装置および方法に関し、より詳細には、導電体に印加される電流の

10

20

30

40

50

スピンホール現象を利用して磁気異方性を有する磁性体にスピン電流を注入し、スピントルクによって前記磁性体の磁化を反転させながら前記磁性体の磁気履歴曲線を導き出した後、その移動程度を考慮することによって前記磁性体に印加された外部磁界を精密に算出することができる、磁界測定装置および方法に関する。

【背景技術】

【0002】

磁気センサとは、外部から印加される磁界に応じて物質の磁化度または磁気抵抗などが変化する原理を利用して磁界の強さや方向などを測定する装置を意味する。磁気センサは、自動車、宇宙航空、国防などの多様な分野において従来から活用されて来たが、最近では特にスマートフォンなどの携帯用個人端末の普及が急激に増加するに伴い、その需要も急激に増えている状況にある。

10

【0003】

一般的に多く使用されている磁気センサとしては、ホール（Hall）現象を利用したホール磁気センサ、巨大な磁気抵抗現象を利用した巨大磁気抵抗（Giant Magnetoresistance：GMR）センサ、トンネリング磁気抵抗（Tunneling Magnetoresistance：TMR）センサ、飽和磁心型（Fluxgate）磁気センサなどがある。より具体的に、巨大磁気抵抗センサ（GMR）は、磁性層／非磁性層／磁性層からなる磁性多層薄膜構造であり、外部磁界により、2つの磁性層の磁化方向が平行（Parallel状態）になるときには電気抵抗が小さくて多くの電流が流れるようになるが、逆平行（Antiparallel状態）のときには電気抵抗が高まりながら低い電流が流れるという現象を利用して外部磁界を測定するようになる。また、飽和磁心型（Fluxgate）磁気センサは、高い透磁率をもつコア（core）に巻線される1次コイルおよび2次コイルを使用し、1次コイルによって誘導される2次コイルの波形に加え、外部磁界の印加による2次コイルの高調波の波形を測定して外部磁界を測定するようになる。

20

【0004】

上述したような磁気センサは、その種類によって多様な感度（sensitivity）、ノイズフロア（noise floor）、強さなどの特性を有するため、多様なアプリケーションに適応した磁性センサを選択して使用するようになる。例えば、前記巨大磁気抵抗センサ（GMR）とトンネリング磁気抵抗センサ（TMR）は、100ガウス（Gauss）水準の磁界を測定することができる上に、マイクロスケールでの製作が可能であり、ハードディスクドライブ（HDD）などの情報を読み取る用途として主に活用される。飽和磁心型（fluxgate）磁気センサは、10ガウス（Gauss）水準の磁界を高い感度で測定することができ、地磁気センサまたは電子羅針盤の用途として多く活用されている。しかし、このような磁気センサは、その強さと雑音特性が相反することから、小型を維持しながらも優れた雑音特性をもつ磁気センサの実現には困難があり、その構造的特性によって製作単価が高まるという問題も抱えている。

30

【0005】

さらに、最近では、製作費用やサイズなどを考慮した結果、シリコン（Si）工程を基盤として実現されたホールセンサが多く活用されている。しかし、前記シリコン（Si）工程を基盤として実現されたホールセンサは、その解像度が地磁気伏角解像度には及ばないなど感度（sensitivity）が大きく低下するという問題があり、これを克服するために、IMC（Integrated Magnetic Concentrator）を積層して地磁界を収束する方法によって前記センサの感度を改善している。しかし、このような場合には、前記IMC層を0.1～0.3マイクロメートル以上に厚く形成しなければならず、ノイズフロア（noise floor）が高くて解像度が低下するという問題も依然として存在する。

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

50

本発明は、上述したような従来技術の問題点を解決するために案出されたものであって、小型化を可能にしながらも感度 (s e n s i t i v i t y) およびノイズ特性を改善することができ、さらには低い製作単価での製作が可能な、磁界測定装置および方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上述した課題を解決するために、本発明の一実施形態に係る磁界測定装置は、外部から印加される第1磁界を測定する磁界測定装置であって、導電体に電流を印加する電流印加手段、前記電流印加手段から電流の印加を受けてスピン (s p i n) 電流が形成される導電体、前記導電体で形成されたスピン電流が注入される磁気異方性を有する磁性体、前記磁性体に第2磁界を印加する磁界印加手段、および前記第1磁界が印加されない状態での前記磁性体の磁気履歴曲線 (h y s t e r e s i s) に対する、前記第1磁界が印加されることによる前記磁性体の磁気履歴曲線 (h y s t e r e s i s) の移動 (s h i f t) 程度を導き出した後、これを利用して前記第1磁界の強度を算出する制御部を含んで構成されることを特徴とする。

10

【0008】

ここで、前記制御部は、前記電流印加手段から前記導電体に印加される電流の量を変動させて前記スピン電流の量を増減しながら前記磁性体に対する磁気履歴曲線 (h y s t e r e s i s) を算出した後、前記第1磁界が印加されることによる前記磁性体の磁気履歴曲線 (h y s t e r e s i s) の移動程度を算出してよい。

20

【0009】

このとき、前記制御部は、前記電流印加手段から前記導電体に印加される電流の量を変動させながら、前記導電体または磁性体におけるホール電圧を測定して前記磁性体に対する磁気履歴曲線 (h y s t e r e s i s) を算出してよい。

【0010】

このとき、前記電流印加手段から前記導電体に印加される電流は、前記磁性体の磁化が反転する時点またはその後まで増加した後、前記磁性体の磁化が再び反転する時点またはその後まで減少するか、前記磁性体の磁化が反転する時点またはその後まで減少した後、前記磁性体の磁化が再び反転する時点またはその後まで増加してよい。

30

【0011】

また、前記磁性体は、垂直磁気異方性を有し、前記算出される第1磁界の強度は、前記磁性体に印加される第1磁界の垂直方向強度であってよい。

【0012】

また、前記導電体は、遷移金属 (t r a n s i t i o n m e t a l) や重金属 (h e a v y m e t a l) であってよい。

【0013】

また、前記導電体の厚さは、スピン拡散距離 (s p i n d i f f u s i o n l e n g t h) を考慮して決定されてよい。

【0014】

また、前記導電体と前記磁性体は、積層構造をなしてよい。

40

【0015】

また、前記磁界印加手段は、前記磁性体の上部または下部に位置する水平磁気異方性磁性体を含んで構成されてよい。

【0016】

また、前記制御部は、前記第1磁界が印加されない場合の前記磁性体の磁気履歴曲線 (h y s t e r e s i s) として、予め格納された磁気履歴曲線 (h y s t e r e s i s) を使用するか、前記磁性体の磁化が反転する時点の第1電流と前記磁性体の磁化が再び反対方向に反転する時点の第2電流の絶対値が同じ状態での磁気履歴曲線 (h y s t e r e s i s) を使用してよい。

【0017】

50

また、前記制御部は、予め格納された前記第1磁界の強度による前記磁気履歴曲線(hysteresis)の移動(shift)値を利用し、前記導き出された磁性体の磁気履歴曲線(hysteresis)の移動(shift)程度から前記第1磁界の強度を算出してよい。

【0018】

本発明の他の側面に係る磁界測定方法は、外部から印加される第1磁界を測定する磁界測定方法であって、導電体に電流を印加する電流印加段階、磁気異方性を有する磁性体に第2磁界を印加する磁界印加段階、前記導電体から電流の印加を受けて形成されたスピン(spin)電流が前記磁性体に注入されるスピン電流注入段階、前記第1磁界が印加されない状態での前記磁性体の磁気履歴曲線(hysteresis)に対する、前記第1磁界が印加されることによる前記磁性体の磁気履歴曲線(hysteresis)の移動(shift)程度を導き出す磁気履歴曲線移動導出段階、および前記導き出された磁性体の磁気履歴曲線(hysteresis)の移動(shift)程度を利用して前記第1磁界の強度を算出する第1磁界算出段階を含むことを特徴とする。

10

【0019】

ここで、前記スピン電流注入段階では、前記導電体に印加される電流の量を変動させて前記スピン電流の量を増減し、前記第1磁界算出段階では、前記スピン電流の増減による前記磁性体に対する磁気履歴曲線(hysteresis)を算出した後、前記第1磁界が印加されることによる前記磁性体の磁気履歴曲線(hysteresis)の移動程度を算出してよい。

20

【0020】

このとき、前記第1磁界算出段階は、前記導電体に印加される電流の量の変動による前記導電体または磁性体でのホール電圧を測定して前記磁性体に対する磁気履歴曲線(hysteresis)を算出する段階を含んでよい。

【0021】

このとき、前記スピン電流注入段階では、前記導電体に印加される電流が、前記磁性体の磁化が反転する時点またはその後まで増加した後、前記磁性体の磁化が再び反転する時点またはその後まで減少するか、前記磁性体の磁化が反転する時点またはその後まで減少した後、前記磁性体の磁化が再び反転する時点またはその後まで増加してよい。

30

【0022】

また、前記磁性体は、垂直磁気異方性を有し、前記算出される第1磁界の強度は、前記磁性体に印加される第1磁界の垂直方向強度であってよい。

【0023】

また、前記導電体は、遷移金属(transition metal)や重金属(heavy metal)であってよい。

【0024】

また、前記導電体の厚さは、スピン拡散距離(spin diffusion length)を考慮して決定されてよい。

【0025】

また、前記導電体と前記磁性体は、積層構造をなしてよい。

40

【0026】

また、前記磁界印加段階では、前記磁性体の上部または下部に位置する水平磁気異方性磁性体を利用して前記磁性体に前記第2磁界を印加してよい。

【0027】

また、前記磁気履歴曲線移動導出段階において、前記第1磁界が印加されない場合の前記磁性体の磁気履歴曲線(hysteresis)として、予め測定されて格納された磁気履歴曲線(hysteresis)を使用するか、前記磁性体の磁化が反転する時点の第1電流と前記磁性体の磁化が再び反対方向に反転する時点の第2電流の絶対値が同じ状態での磁気履歴曲線(hysteresis)を使用してよい。

【0028】

50

また、前記第1磁界算出段階において、予め格納された前記第1磁界の強度による前記磁気履歴曲線(hysteresis)の移動(shift)値を利用し、前記導き出された磁性体の磁気履歴曲線(hysteresis)の移動(shift)程度から前記第1磁界の強度を算出してよい。

【発明の効果】

【0029】

本発明によると、導電体に印加される電流のスピンホール現象を利用して磁気異方性を有する磁性体にスピン電流を注入し、スピントルクによって前記磁性体の磁化を反転させながら前記磁性体の磁気履歴曲線を導き出し、その移動程度を考慮して前記磁性体に印加された外部磁界を算出することにより、小型化を可能にしながらも感度(sensitivity)およびノイズ特性を改善することができ、さらには低い製作単価での製作が可能

10

【図面の簡単な説明】

【0030】

本発明に関する理解を助けるために、詳細な説明の一部に含まれる添付の図面は、本発明に対する実施形態を提供し、詳細な説明と共に本発明の技術的思想を説明する。

【図1】本発明の一実施形態における、磁界測定装置の構成図である。

【図2】本発明の一実施形態における、磁界測定装置でのスピン電流の形成および注入を説明するための説明図である。

【図3】本発明の一実施形態における、磁界測定装置でのトルクを説明するための説明図である。

20

【図4】本発明の一実施形態における、磁界測定装置で、磁性体の磁気履歴曲線(hysteresis)の移動(shift)についての説明図である。

【図5】本発明の一実施形態における、磁界測定装置で、印加磁界の変化による磁性体の磁気履歴曲線(hysteresis)の変化を示したグラフである。

【図6】本発明の一実施形態における磁界測定装置で、磁気履歴曲線(hysteresis)の移動(shift)を算出する方法についての説明図である。

【図7】本発明の一実施形態における、磁界測定装置で、外部磁界の強度による磁気履歴曲線(hysteresis)の移動(shift)についての測定グラフである。

【図8】本発明の一実施形態における、磁界測定装置で、外部磁界が印加されることによる磁性体の磁気履歴曲線(hysteresis)の移動(shift)についての測定グラフである。

30

【図9】本発明の一実施形態における、磁界測定装置での特性を示したグラフである。

【図10】本発明の一実施形態における、磁界測定方法のフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0031】

本発明は、多様な変換を加えることができる上に、多様な実施形態を有することができる。以下では、特定の実施形態について、添付の図面を参照しながら詳しく説明する。

【0032】

本発明を説明するにあたり、関連する公知技術についての具体的な説明が本発明の要旨を不明確にする恐れがあると判断される場合、その詳細な説明は省略する。

40

【0033】

第1、第2などの用語が多様な構成要素を説明するために使用されたりするが、前記構成要素がこのような用語によって限定されることはなく、前記用語は1つの構成要素を他の構成要素と区別する目的としてのみ使用される。

【0034】

以下では、本発明に係る磁界測定装置および方法の例示的な実施形態について、添付の図面を参照しながら詳しく説明する。

【0035】

先ず、図1では、本発明の一実施形態における、磁界測定装置100の構成図を示して

50

いる。図1に示すように、本発明の一実施形態に係る磁界測定装置100は、電流印加手段110、導電体120、磁性体130、磁界印加手段140、および制御部150を含んで構成されてよい。以下では、本発明の一実施形態に係る磁界測定装置100について、構成部分別に詳しく説明する。

【0036】

最初に、電流印加手段110は、導電体120に所定の電流を印加するようになる。前記電流印加手段110は、外部から供給される電流を前記導電体120に伝達してもよいし、電源を利用して所定の電流を生成する回路を含んでもよい。前記電流印加手段110は、前記導電体120に適切な電流を供給することのできるものであれば、本発明の一実施形態として特に制限されることなく採択可能である。

10

【0037】

また、前記電流印加手段110から前記導電体120に印加される電流は、制御部150が制御してよい。前記制御部150は、前記電流印加手段110から前記導電体120に印加される電流の量や波形などを制御することで、前記導電体120で形成されるスピン(spin)電流を適切に調節してよい。

【0038】

次に、導電体120では、前記電流印加手段110から電流の印加を受けてスピン(spin)電流が形成されるようになる。前記導電体120としては、スピンホール現象を利用してスピン電流を形成することのできるものであれば、特に制限されることなく採択可能である。さらに、前記導電体120として遷移金属(transition metal)や重金属(heavy metal)を使用する場合には、スピン軌道相互作用(spin orbit interaction)が高まりながらスピンホール効果が効果的に現われるようになるため、本発明の一実施形態に係る磁界測定装置100の特性がさらに改善されるという長所を有する。また、前記導電体120の厚さは、導電体120を構成する物質によって様々ではあるが、スピン拡散距離(spin diffusion length)を考慮して決定することによってスピン電流が効果的に前記磁性体130に注入されるようになり、本発明の一実施形態に係る磁界測定装置100の特性がさらに改善されるようになる。例えば、タングステン(W)の場合は、スピン拡散距離(spin diffusion length)が約5nmであるため、前記タングステン(W)のスピン拡散距離を考慮して前記導電体120の厚さを決定することにより、本発明の一実施形態に係る磁界測定装置100の特性が効果的に改善されるようになる。

20

30

【0039】

次に、磁性体130と磁界印加手段140について説明する。

【0040】

前記磁性体130は、磁気異方性を有し、前記導電体130で形成されたスピン電流が注入されるようになる。また、磁界印加手段140では、前記磁性体130に所定の第2磁界を印加するようになる。

【0041】

前記磁性体130に注入されたスピン電流はスピントルクを形成し、前記磁界印加手段140による第2磁界も第2磁界トルクを形成するようになるが、前記スピントルクと前記第2磁界トルクの合が前記磁性体130の磁気異方性による内部トルクを克服するようになれば、前記磁性体130の磁化(magnetization)は反転(reversal)するようになる。

40

【0042】

特に、前記磁性体130は、垂直磁気異方性を有してよい。前記垂直磁気異方性を有する磁性体の製作については、本発明者などの他の特許(大韓民国公開特許第10-2012-0091804号)において詳しく開示している。このとき、前記算出される第1磁界の強度は、前記磁性体130に印加される第1磁界の垂直方向強度であってよい。これにより、本発明の一実施形態として、前記垂直磁気異方性を有する磁性体130を利用して前記第1磁界の垂直方向強度を効果的に算出することが可能となる。ただし、本発明が

50

必ずしもこれに限定されることはなく、前記磁性体130が垂直方向の磁気異方性を有さずに一定に傾いた角度を有したとしても本発明に適用可能であり、さらに前記第1磁界の垂直方向強度ではなく所定の角度の強度を算出することも可能である。

【0043】

また、前記導電体120と前記磁性体130は、積層構造を形成することで、前記スピン電流の注入を円滑にするなど、本発明の一実施形態に係る磁界測定装置100の特性を改善することもできる。

【0044】

次に、前記磁界印加手段140は、磁気異方性を有する磁性体130に所定の第2磁界を印加するようになる。このとき、前記磁界印加手段140は、前記磁性体130および導電体120の特性などを考慮しながら予め定められた所定の磁界値を前記磁性体130に印加してもよい。本発明の一実施形態として、前記磁性体130の上部または下部に位置する水平磁気異方性磁性体を位置させるようにすることで、前記磁性体130に前記第2磁界を印加してもよい。しかし、本発明が必ずしもこれに限定されることはなく、磁界測定状況によって前記磁界印加手段140から印加される磁界を調節することにより、本発明に係る磁界測定装置100の特性をさらに改善することもできる。

【0045】

また、制御部150では、前記第1磁界が印加されない状態での前記磁性体130の磁気履歴曲線(hysteresis)に対する、前記第1磁界が印加されることによる前記磁性体120の磁気履歴曲線(hysteresis)の移動(shift)程度を導き出した後、これを利用して前記第1磁界の強度を算出するようになる。

【0046】

このとき、前記制御部150は、前記電流印加手段110から前記導電体120に印加される電流の量を変動させて前記スピン電流の量を増減しながら前記磁性体130に対する磁気履歴曲線(hysteresis)を算出した後、前記第1磁界が印加されることによる前記磁性体130の磁気履歴曲線(hysteresis)の移動程度を算出してよい。

【0047】

さらに、より具体的に、前記制御部150は、前記電流印加手段110から前記導電体120に印加される電流の量を変動させながら、前記導電体120または磁性体130のホール電圧を測定して前記磁性体130に対する磁気履歴曲線(hysteresis)を算出することにより、前記第1磁界が印加されることによる前記磁性体130の磁気履歴曲線(hysteresis)の移動程度を算出してもよい。

【0048】

このとき、本発明の一実施形態として、前記電流印加手段110から前記導電体120に印加される電流は、前記磁性体130の磁化が反転する時点またはその後まで増加した後、前記磁性体の磁化が再び反転する時点またはその後まで減少するか、前記磁性体130の磁化が反転する時点またはその後まで減少した後、前記磁性体の磁化が再び反転する時点またはその後まで増加するように制御されてもよい。

【0049】

また、前記第1磁界が印加されない場合の前記磁性体130の磁気履歴曲線(hysteresis)として、予め格納された磁気履歴曲線(hysteresis)を使用してもよいし、前記磁性体130の磁化が反転する時点の第1電流と前記磁性体130の磁化が再び反対方向に反転する時点の第2電流の絶対値が同じ状態での磁気履歴曲線(hysteresis)を使用してもよい。

【0050】

さらに、前記制御部150は、予め格納された前記第1磁界の強度による前記磁気履歴曲線(hysteresis)の移動(shift)値を利用し、前記導き出された磁性体130の磁気履歴曲線(hysteresis)の移動(shift)程度から前記磁性体130に印加された第1磁界の強度を算出してもよい。

【0051】

より具体的に、図2では、本発明の一実施形態における、磁界測定装置100でのスピン電流の形成および注入について説明しており、図3では、本発明の一実施形態における、磁界測定装置100でのトルクを説明する図を示している。

【0052】

図2に示すように、電流印加手段110から印加される電流(J_e)は、導電体120を流れながらスピン電流(J_s)を形成するようになり、前記スピン電流(J_s)の一部は、前記磁性体130に注入されるようになる。このとき、前記図2に示すように、前記電流印加手段110から印加される電流(J_e)がy軸方向に流れるとき、前記磁性体130に注入されるスピン電流(J_s)のスピンモーメント(spin moment : 10

【数1】

$$\rightarrow$$

$$\sigma$$

)の方向はx軸方向を有するようになる。

【0053】

また、上述したように、前記磁界印加手段140では、前記磁性体130に第2磁界(H_y)を印加するようになる。このとき、前記第2磁界(H_y)は、前記電流(J_e)によるスピン電流(J_s)およびスピンモーメントの方向を考慮しながら、図2に示すよう 20

【0054】

前記導電体120は、遷移金属(Transition Metal : TM)や重金属(Heavy Metal)を使用して構成することが好ましく、さらに、前記磁性体130は、強磁性体(Ferromagnetic Material : FM)などのように磁気異方性(magnetic anisotropy)を有する物質を利用して構成されてよい。

【0055】

また、図3に示すように、前記磁性体130に注入されたスピン電流はスピントルク(τ_{ST})を形成し、前記磁界印加手段140による第2磁界も第2磁界トルク(τ_{ext}) 30

【数2】

$$\rightarrow$$

$$m$$

)は反転(reversal)するようになる。

【0056】

より具体的に、前記磁性体130に注入されたスピン電流によるスピントルク(τ_{ST})、前記磁界印加手段140の第2磁界による第2磁界トルク(τ_{ext})、および前記磁性体130の磁気異方性による内部トルク(τ_{ani})はそれぞれ、以下の数式(1)～数式(3)のように示されてよい。

【0057】

10

20

30

40

【数 3】

$$\tau_{ST} = \frac{\hbar}{2eM_{St}} J_s (\hat{m} \times \hat{\sigma} \times \hat{m})$$

・・・ (1)

ここで、

$$\hat{\sigma} = \hat{x}$$

10

である。

【0058】

【数 4】

$$\tau_{ext} = (-\hat{m} \times \vec{B}_{ext})$$

20

・・・ (2)

【0059】

【数 5】

$$\tau_{ani} = (-\hat{m} \times \vec{B}_{ani})$$

・・・ (3)

【0060】

このとき、上述したように、

【数 6】

$$\vec{m}$$

30

は前記磁性体 130 の磁化 (magnetization) を意味し、前記

【数 7】

$$\vec{\sigma}$$

40

は前記磁性体 130 に注入されるスピン電流 (J_s) のスピンモーメント (spin moment) を示す。また、前記

【数 8】

$$\vec{B}_{ext}$$

は前記第 2 磁界による磁束密度 (magnetic flux density) を意味

50

し、前記

【数 9】

$$\xrightarrow{\quad} \\ B_{ani}$$

は前記磁性体 130 の磁気異方性による磁束密度 (magnetic flux density) を意味する。

【0061】

前記数式 (1) ~ 数式 (3) から分かるように、前記スピントルク (τ_{ST}) は前記磁性体 130 に注入されるスピン電流 (J_s) に依存し、前記第 2 磁界トルク (τ_{ext}) は前記磁界印加手段 140 の第 2 磁界に依存するようになり、また前記スピントルク (τ_{ST}) と前記内部トルク (τ_{ani}) は、互いに反対方向を有するようになる。

10

【0062】

これを考慮した上で、前記磁性体 130 でのトルクおよびこれによる磁性体 130 の磁気履歴曲線 (hysteresis) を詳察すれば、以下ようになる。図 4 では、本発明の一実施形態における、磁界測定装置 100 の磁性体 130 でのトルクによる磁気履歴曲線 (hysteresis) の移動 (shift) について説明している。

【0063】

先ず、図 4 (a) では、外部から印加される磁界 (すなわち、測定対象となる第 1 磁界) がない場合に、電流印加手段 110 から印加される電流によるトルクの変化およびこれによる磁気履歴曲線を例示している。このとき、前記磁界印加手段 140 の第 2 磁界は y 方向に印加されると仮定し、これによるトルクは、y 方向第 2 磁界トルク (τ_{ext-y}) と表現する。

20

【0064】

前記電流印加手段 110 から印加される電流がない状態は、図 4 (a) の (A) に該当すると言える。このとき、スピン電流によるスピントルク (τ_{ST}) もない状態であると言える。次に、前記電流印加手段 110 から印加される電流が増加することによってスピン電流によるスピントルク (τ_{ST}) も増加するようになり (図 4 (a) の (B)、(C))、前記スピントルク (τ_{ST}) と y 方向第 2 磁界トルク (τ_{ext-y}) の合が前記磁性体 130 の磁気異方性による内部トルク (τ_{ani}) を超えるようになる地点 (図 4 (a) の (D)) において、前記磁性体 130 の磁化 (magnetization:

30

【数 10】

$$\xrightarrow{\quad} \\ m$$

) は反転 (reversal) するようになる。これにより、前記磁性体 130 の磁化 (magnetization:

【数 11】

$$\xrightarrow{\quad} \\ m$$

40

) に依存する (数式 (2) および数式 (3) 参照) 前記磁性体 130 の磁気異方性による内部トルク (τ_{ani}) と y 方向第 2 磁界トルク (τ_{ext-y}) の方向も反転するようになる。

【0065】

また、前記電流印加手段 110 から印加される電流がさらに増加してよく (図 4 (a) の (E))、続いて、前記電流印加手段 110 から印加される電流が減少したとしても (

50

図4 (a) の (F) ~ (I))、前記磁性体130の磁化 (magnetization :

【数12】

→
m

)は継続して維持されるようになる。このとき、前記電流印加手段110から印加される電流が継続して減少(あるいは、反対方向に増加)することによってスピンのトルク (τ_{ST}) も減少(あるいは、反対方向に増加)するようになり(図4 (a) の (F) ~ (I))、前記スピンのトルク (τ_{ST}) と y 方向第2磁界トルク (τ_{ext-y}) の合が再び前記磁性体130の磁気異方性による内部トルク (τ_{ani}) を越えるようになる地点(図4 (a) の (J))において、前記磁性体130の磁化 (magnetization :

【数13】

→
m

)は再び反転 (reversal) するようになる。

【0066】

これにより、図4 (a) に示すように、前記本発明の一実施形態に係る磁界測定装置100の磁性体130での磁気履歴曲線 (hysteresis) が形成されるようになる。

【0067】

これに対し、図4 (b) では、前記本発明の一実施形態における、磁界測定装置100に外部から印加される磁界(すなわち、測定対象となる第1磁界)が存在する場合の磁気履歴曲線 (hysteresis) の移動 (shift) について説明している。このとき、前記外部から印加される第1磁界は z 方向に印加されると仮定し、これによるトルクは、z 方向第1磁界トルク (τ_{ext-z}) と表現する。

【0068】

先ず、前記電流印加手段110から印加される電流がない状態(図4 (b) の (A) 地点)では、スピンのトルクによるスピンのトルク (τ_{ST}) もない状態であると言える。続いて、前記電流印加手段110から印加される電流が増加することによってスピンのトルクによるスピンのトルク (τ_{ST}) も増加するようになり(図4 (b) の (B) ~ (D))、前記スピンのトルク (τ_{ST}) と y 方向第2磁界トルク (τ_{ext-y}) の合が前記磁性体130の磁気異方性による内部トルク (τ_{ani}) と z 方向第1磁界トルク (τ_{ext-z}) の合を越えるようになる地点(図4 (b) の (E))において、前記磁性体130の磁化 (magnetization :

【数14】

→
m

)は反転 (reversal) するようになる。これにより、前記磁性体130の磁化 (magnetization :

【数15】

→
m

10

20

30

40

50

）に依存する（数式（２）および数式（３）参照）前記磁性体１３０の磁気異方性による内部トルク（ τ_{ani} ）とy方向第２磁界トルク（ τ_{ext-y} ）の方向も反転するようになる。

【００６９】

また、前記電流印加手段１１０から印加される電流がさらに増加してよく（図４（b）の（F））、続いて、前記電流印加手段１１０から印加される電流が減少したとしても（図４（b）の（G）～（I））、前記磁性体１３０の磁化（magnetization）：

【数１６】

$$\rightarrow$$

$$m$$

10

）は継続して維持されるようになる。このとき、前記電流印加手段１１０から印加される電流が継続して減少（あるいは、反対方向に増加）することによってスピントルクによるスピントルク（ τ_{ST} ）も減少（あるいは、反対方向に増加）するようになり（図４（b）の（G）～（I））、前記スピントルク（ τ_{ST} ）とy方向第２磁界トルク（ τ_{ext-y} ）の合が再び前記磁性体１３０の磁気異方性による内部トルク（ τ_{ani} ）とz方向第１磁界トルク（ τ_{ext-z} ）の合計を越えるようになる地点（図４（b）の（J））において、前記磁性体１３０の磁化（magnetization）：

20

【数１７】

$$\rightarrow$$

$$m$$

）は再び反転（reversal）するようになる。

【００７０】

これにより、図４（b）に示すように、前記外部から印加される第１磁界が存在する場合、前記磁性体１３０での磁気履歴曲線（hysteresis）は、前記外部から印加される第１磁界によるz方向第１磁界トルク（ τ_{ext-z} ）だけ移動（shift）するようになる。したがって、本発明の一実施形態に係る磁界測定装置１００の磁性体１３０での磁気履歴曲線（hysteresis）の移動（shift）程度を算出することにより、前記外部から印加される第１磁界を算出することが可能となる。

30

【００７１】

図５では、本発明の一実施形態に係る磁界測定装置１００において、磁界印加手段１４０から印加される第２磁界の変化による磁性体の磁気履歴曲線（hysteresis）の変化を示している。図５（a）に示すように、磁界印加手段１４０から印加される第２磁界（Hy）が増加することにより、前記磁性体１３０の磁化（magnetization）を反転させるための電流（Ic）値は減少するようになることを確認することができる。また、図５（b）では、本発明の一実施形態として、Pt／Co／Pt構造およびTa／CoFeB／MgO構造を含む磁界測定装置１００において、磁界印加手段１４０から印加される第２磁界（Hy）による前記磁性体１３０の磁化（magnetization）を反転させるための電流密度（Jc）値の趨勢を現したグラフを示している。図５（b）でも、前記第２磁界（Hy）が増加することにより、前記磁性体１３０の磁化（magnetization）を反転させるための電流密度（Jc）は減少するようになるということを確認することができる。

40

【００７２】

また、図６では、本発明の一実施形態における、磁界測定装置１００で磁気履歴曲線（

50

hysteresis)の移動(shift)を算出する過程をさらに詳しく示している。図6(a)に示すように、外部から印加される磁界(すなわち、測定対象となる第1磁界)の強さにより、前記磁性体130に対する磁気履歴曲線(hysteresis)は左右に移動(shift)するようになる(図6(a)の(A)~(F))。したがって、本発明の一実施形態に係る磁界測定装置100において、前記電流印加手段110から前記導電体120に印加する電流を増加または減少させながら前記導電体120または磁性体130でのホール電圧(V_H)を測定し、前記磁性体130の磁化(magnetization)が反転する地点(図6(b)のI+およびI-)を測定し、これから磁気履歴曲線(hysteresis)の移動(shift)程度を算出することにより、外部から印加される第1磁界の強さを算出することが可能となる。

10

【0073】

また、図7では、本発明の一実施形態に係る磁界測定装置100において、外部磁界の強度による磁気履歴曲線(hysteresis)の移動(shift)に関する測定グラフを示している。図7(a)に示すように、外部から印加される磁界(すなわち、測定対象となる第1磁界)の強さが増加することにより、前記磁性体130の磁気履歴曲線(hysteresis)が移動(shift)する様子を確認することができる。このとき、前記グラフは、磁界印加手段140から前記磁性体130に50 Oeの第2磁界を印加した状態で測定された。図7(a)に示すように、印加される第1磁界の強さが約数Oe水準と低いにもかかわらず、前記磁気履歴曲線(hysteresis)の移動(shift)は極めて大幅(約10mV/Oe)であることが分かる。

20

【0074】

また、図7(b)では、前記磁性体130に印加される第1磁界の強さによる磁気履歴曲線(hysteresis)の移動(shift)を、電流値を基準として測定したグラフを示している。前記図7(b)に示すように、第1磁界の変化にしたがって磁気履歴曲線(hysteresis)の移動(shift)程度が線形的に現れることが分かるし、これを利用して前記磁気履歴曲線(hysteresis)の移動(shift)程度を測定することにより、前記磁性体130に印加された第1磁界の強さを算出できるようになることが分かる。特に、磁気履歴曲線(hysteresis)の移動(shift)に対する電流値(I_{shift})を $V_{shift} = I_{shift} \times R_{sensor}$ (~数kΩ)に換算して前記磁界測定装置100の感度を算出すれば、約10mV/Oe水準の高い感度を有するという点を確認することができる。

30

【0075】

このような結果は、多様なバッファ物質(FeZr/Ta、Ta/FeZrなど)で同じように観測されたし、TaまたはFeZr単一構造でも同じような様相を示した。さらに、本発明の一実施形態として、FeZrを挿入した多層構造での磁化反転を利用することも可能である。

【実施例】

【0076】

図8では、本発明の一実施形態における、FeZr/Pt/Co/Pt/FeZr構造を含む磁界測定装置100で、外部から磁界(すなわち、測定対象となる第1磁界)が印加されることによる磁性体130の磁気履歴曲線(hysteresis)の移動(shift)に関する測定グラフを示している。図8(a)に示すように、外部から印加される第1磁界の強さが増加することにより、前記磁性体130の磁気履歴曲線(hysteresis)は右側に移動(shift)するようになることが分かる。これから前記磁気履歴曲線(hysteresis)の移動程度を導き出すことにより、外部から印加された前記第1磁界の強さを算出することが可能となる。

40

【0077】

図8(b)では、図8(a)の場合に対する前記磁性体130の磁化(magnetization)が反転(reversal)する地点での前記電流印加手段110から前記導電体120に印加される電流を測定したグラフを示している。図8(b)でも、外部

50

から印加される第1磁界の強さが増加することにより、前記導電体120または磁性体130でのホール電圧が0Vになる地点（すなわち、磁気履歴曲線（hysteresis）の中心点）での電流（IDC）が増加することを確認することができる。

【0078】

図9では、本発明の一実施形態における、磁界測定装置100の特性を現したグラフを示している。まず、図9（a）では、Ta/CoFeB/MgO構造およびPt/Co/Pt構造を含む磁界測定装置100での外部から印加される第1磁界による磁気履歴曲線（hysteresis）の移動（shift）を、電流密度（Jc）を基準として例示している。図9（a）に示すように、Pt/Co/Pt構造を含む磁界測定装置100では、第1磁界の強さが増加することによって磁気履歴曲線（hysteresis）の移動（shift）が線形的に増加することに比べ、Ta/CoFeB/MgO構造を含む磁界測定装置100では、第1磁界の強さが増加することによって磁気履歴曲線（hysteresis）の移動（shift）が線形的に減少することを確認することができる。これは、導電体120の物質によってスピン電流の方向が異なるためである。特に、前記Ta/CoFeB/MgO構造を含む磁界測定装置100では、第1磁界の強さが増加することによって前記磁気履歴曲線（hysteresis）の移動（shift）程度が極めて大きく変化するというを確認することができ、これにより、前記Ta/CoFeB/MgO構造を含む磁界測定装置100は、より高い感度（sensitivity）特性を有することができることが分かる。

【0079】

図9（b）では、多様な種類の磁気センサに対する強度およびノイズ特性を比較して示している。図9（b）に示すように、巨大磁気抵抗（GMR）センサなどは、ノイズ特性には相対的に優れてはいるが大型であり、さらにシリコン基盤ホールセンサ（Si-based Hall）などは、小型で製作可能ではあるがノイズ特性は低い。さらに、図9（b）に示すように、従来技術に係る通常の磁気センサでは、サイズおよびノイズ特性が相反（trade-off）する趨勢をみせた。これに対し、本発明の一実施形態に係る磁界測定装置100は、図9（b）に示すように、（Metal based spin-Hall sensor）、ノイズ特性に優れていながらも小型で製作可能であるという長所を示した。さらに、本発明の一実施形態に係る磁界測定装置100が優れた感度（sensitivity）特性を有するという事は、上述したとおりである。

【0080】

図10は、本発明の一実施形態における、磁界測定方法を示したフローチャートである。図10に示すように、本発明の一実施形態に係る磁界測定方法は、導電体120に電流を印加する電流印加段階S210、磁気異方性を有する磁性体130に第2磁界を印加する磁界印加段階S220、前記導電体120から電流が印加されて形成されたスピン（spin）電流が前記磁性体130に注入されるスピン電流注入段階S230、前記第1磁界が印加されない状態での前記磁性体130の磁気履歴曲線（hysteresis）に対する、前記第1磁界が印加されることによる前記磁性体130の磁気履歴曲線（hysteresis）の移動（shift）程度を導き出す磁気履歴曲線移動導出段階S240、および前記導き出された磁性体130の磁気履歴曲線（hysteresis）の移動（shift）程度を利用して前記第1磁界の強度を算出する第1磁界算出段階S250を含んでよい。

【0081】

このとき、前記電流印加段階S210では、前記導電体130に印加される電流の量を変動させて前記スピン電流の量を増減してよく、これにより、前記第1磁界算出段階S250では、前記スピン電流の増減によって前記磁性体に対する磁気履歴曲線（hysteresis）を算出した後、前記第1磁界が印加されることによる前記磁性体130の磁気履歴曲線（hysteresis）の移動程度を算出してよい。

【0082】

ここで、前記第1磁界算出段階S250は、前記導電体120に印加される電流の量の

変動による前記導電体120または磁性体130でのホール電圧を測定して前記磁性体130に対する磁気履歴曲線(hysteresis)を算出する段階を含んでもよい。

【0083】

また、前記磁界印加段階S220では、磁気異方性を有する磁性体130に所定の第2磁界を印加するようになる。本発明の一実施形態として、前記磁性体130の上部または下部に位置する水平磁気異方性磁性体を位置させるようにすることにより、前記磁性体130に前記第2磁界を印加してもよい。

【0084】

続いて、前記スピン電流注入段階S230では、前記導電体120に印加される電流が、前記磁性体130の磁化が反転する時点またはその後まで増加した後、前記磁性体130の磁化が再び反転する時点またはその後まで減少するか、前記磁性体130の磁化が反転する時点またはその後まで減少した後、前記磁性体の磁化が再び反転する時点またはその後まで増加してよい。

【0085】

このとき、前記磁性体130は、垂直磁気異方性を有してよい。また、前記算出される第1磁界の強度は、前記磁性体130に印加される第1磁界の垂直方向強度であってよい。

【0086】

また、前記導電体120は、遷移金属(transition metal)や重金属(heavy metal)であってよく、このとき、前記導電体120の厚さは、スピン拡散距離(spin diffusion length)を考慮して決定されてよい。このとき、前記導電体120と前記磁性体130は、積層構造をなしてよい。

【0087】

また、前記磁気履歴曲線移動導出段階S240では、前記第1磁界が印加されない状態での前記磁性体130の磁気履歴曲線(hysteresis)に対比し、前記第1磁界が印加されることによる前記磁性体130の磁気履歴曲線(hysteresis)の移動(shift)程度を導き出すようになる。このとき、前記第1磁界が印加されない場合の前記磁性体130の磁気履歴曲線(hysteresis)として、予め測定されて格納された磁気履歴曲線(hysteresis)を使用するが、前記磁性体130の磁化が反転する時点の第1電流と前記磁性体130の磁化が再び反対方向に反転する時点の第2電流の絶対値が同じ状態での磁気履歴曲線(hysteresis)を使用してもよい。

【0088】

続いて、前記第1磁界算出段階S250では、前記導き出された磁性体130の磁気履歴曲線(hysteresis)の移動(shift)程度を利用して前記第1磁界の強度を算出するようになる。本発明の一実施形態として、前記第1磁界算出段階S250では、予め格納された前記第1磁界の強度による前記磁気履歴曲線(hysteresis)の移動(shift)値を利用し、前記導き出された磁性体130の磁気履歴曲線(hysteresis)の移動(shift)程度から前記第1磁界の強度を算出することも可能である。

【0089】

以上の説明は、本発明の技術思想を例示的に説明したものに過ぎず、本発明が属する技術分野において通常の知識を有する者であれば、本発明の本質的な特性から逸脱しない範囲で多様な修正および変形が可能であろう。したがって、本発明に記載された実施形態は、本発明の技術思想を限定するためのものではなく説明するためのものであり、このような実施形態に限定されることはない。本発明の保護範囲は、添付の請求範囲によって解釈されなければならない。これと同等な範囲内に存在するすべての技術思想は、本発明の権利範囲に含まれるものと解釈されなければならない。

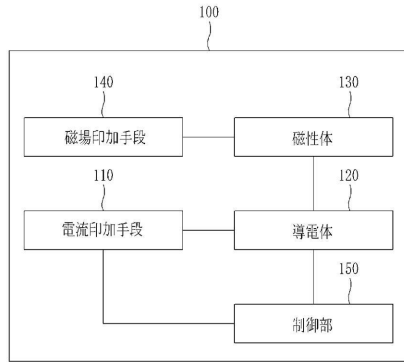
10

20

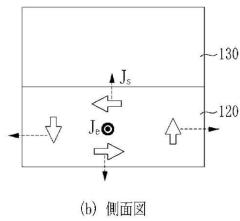
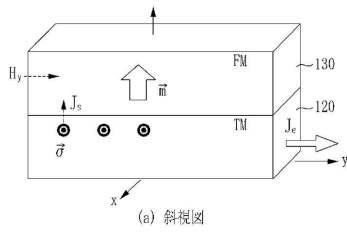
30

40

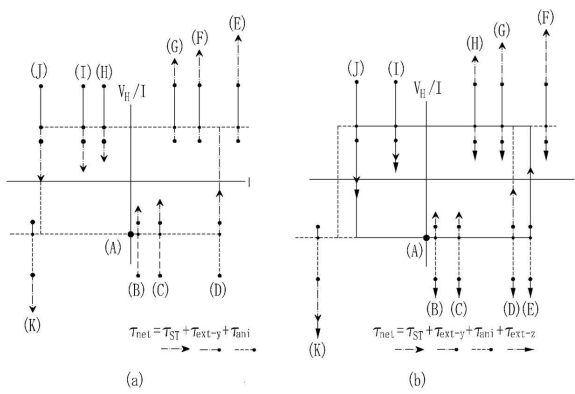
【図 1】



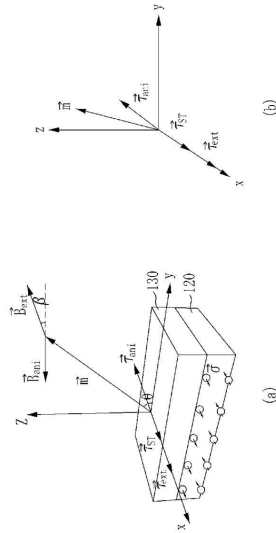
【図 2】



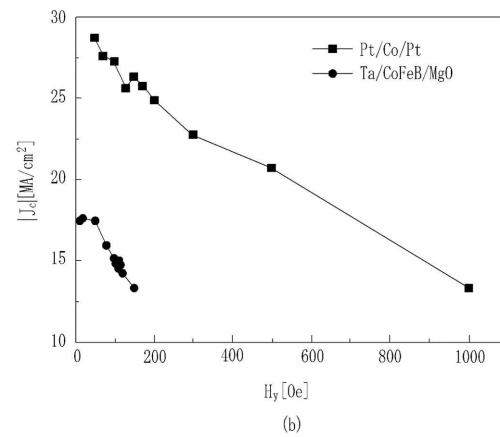
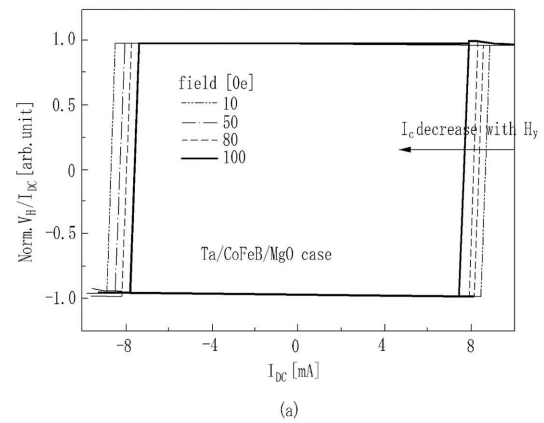
【図 4】



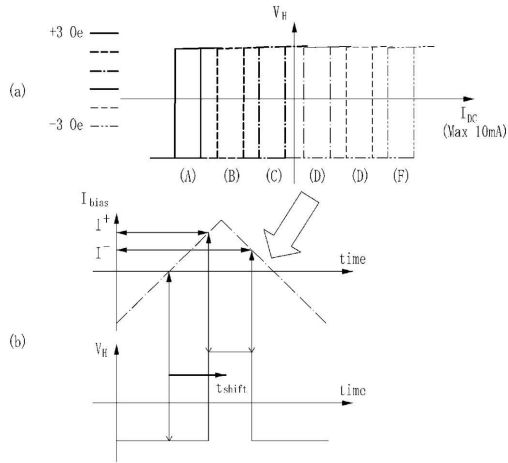
【図 3】



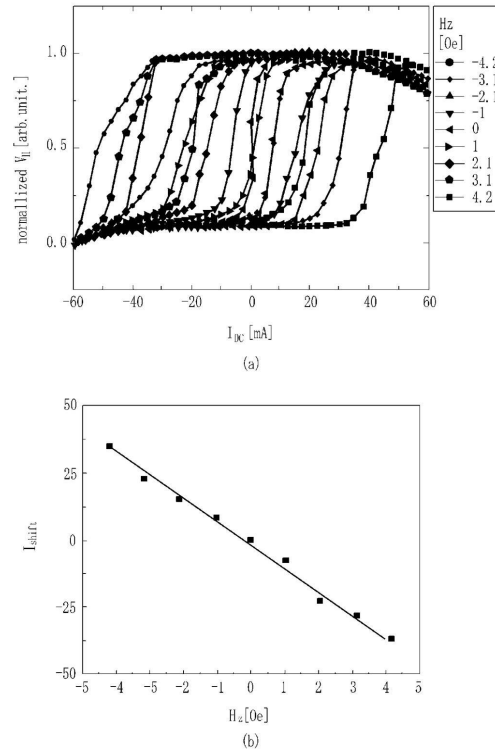
【図 5】



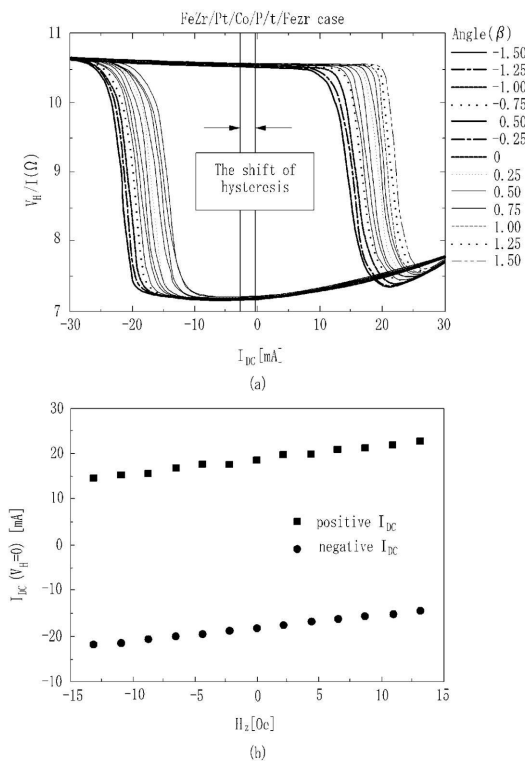
【図 6】



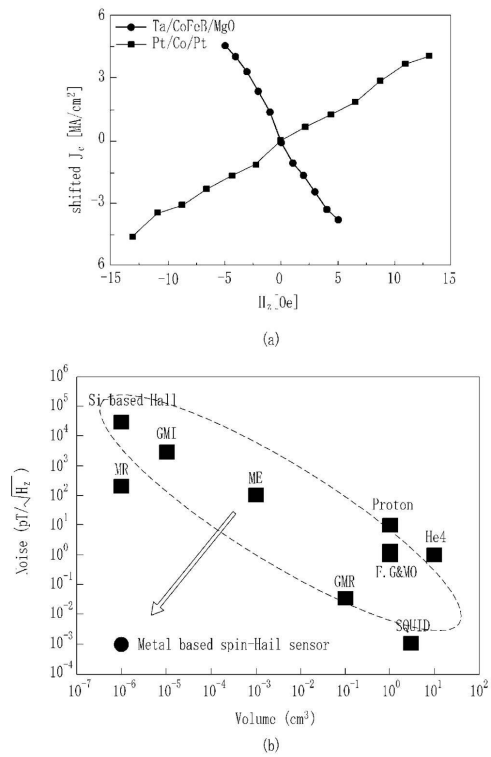
【図 7】



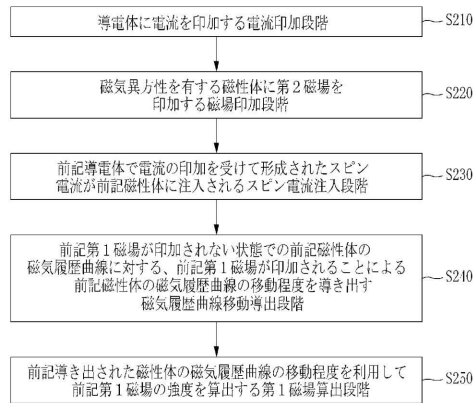
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(72)発明者 キム、 ドンソク

大韓民国 30016 セジョン ジョチウォン－ウプ ソプゴルーギル 59 ナンバー103
－501

(72)発明者 ジュ、 ソン－ジュン

大韓民国 34185 テジョン ユソン－グ ムンファンウォン－ロ 80 ナンバー1509

審査官 青木 洋平

(56)参考文献 特表2010－533367 (JP, A)

特開2006－208295 (JP, A)

特表2015－527565 (JP, A)

米国特許第06166539 (US, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01R 33/02

G01R 33/07

H01L 29/82