

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2018-14389

(P2018-14389A)

(43) 公開日 平成30年1月25日(2018.1.25)

(51) Int.Cl.		F I	テーマコード (参考)		
HO 1 L	43/12	(2006.01)	HO 1 L	43/12	2 G O 1 7
HO 1 L	43/08	(2006.01)	HO 1 L	43/08	Z
GO 1 R	33/09	(2006.01)	GO 1 R	33/06	R

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2016-142435 (P2016-142435)	(71) 出願人	000010098 アルプス電気株式会社 東京都大田区雪谷大塚町1番7号
(22) 出願日	平成28年7月20日 (2016.7.20)	(74) 代理人	100085453 弁理士 野▲崎▼ 照夫
		(74) 代理人	100120204 弁理士 平山 巖
		(74) 代理人	100108006 弁理士 松下 昌弘
		(74) 代理人	100135183 弁理士 大窪 克之
		(72) 発明者	小池 文人 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】デュアルスピバルブ磁気検出素子の製造方法およびデュアルスピバルブ磁気検出素子を使用した磁気検出装置の製造方法

(57) 【要約】

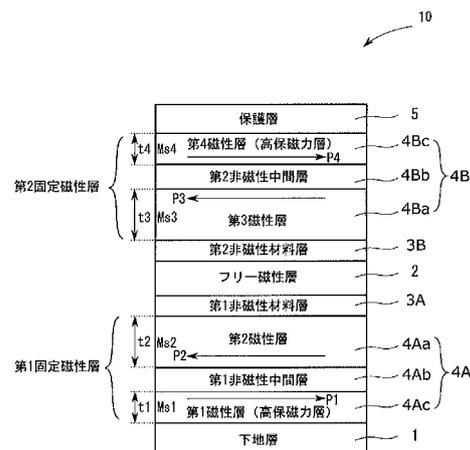
【課題】抵抗変化率が高いセルフピン型のデュアルスピバルブ検出素子の製造方法を提供する。

【解決手段】

第1固定磁性層4Aと第1非磁性材料層3Aとフリー磁性層2と第2非磁性材料層3Bと第2固定磁性層4Bが隣接し、第1固定磁性層4Aは、第1非磁性材料層3A側から第2磁性層Aaと第1非磁性中間層4Abと第1磁性層4Acの順に隣接しており、第2固定磁性層4Bは、第2非磁性材料層3B側から第3磁性層4Baと第2非磁性中間層4Bbと第4磁性層4Bcの順に隣接しているデュアルスピバルブ磁気検出素子10の製造方法は、(a)第1磁性層4Acを磁場中で成膜する工程と、(b)第4磁性層4Bcを(a)の工程において印加される磁場と逆方向の磁場中で成膜する工程と、を有する。

【選択図】図1

【図1】



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

第 1 固定磁性層と第 1 非磁性材料層とフリー磁性層と第 2 非磁性材料層と第 2 固定磁性層が隣接しており、

前記第 1 固定磁性層が、前記第 1 非磁性材料層側から第 2 磁性層と第 1 非磁性中間層と第 1 磁性層の順に隣接して、前記第 2 固定磁性層が、前記第 2 非磁性材料層側から第 3 磁性層と第 2 非磁性中間層と第 4 磁性層の順に隣接しているデュアルスピバルブ磁気検出素子の製造方法において、

( a ) 前記第 1 磁性層を、磁場中で成膜する工程と、

( b ) 前記第 4 磁性層を、前記 ( a ) の工程において印加される磁場と逆方向の磁場中で成膜する工程と、を有して、

前記第 2 磁性層の磁化と前記第 3 磁性層の磁化を同じ向きに固定することを特徴とするデュアルスピバルブ磁気検出素子の製造方法。

## 【請求項 2】

前記 ( a ) の工程と前記 ( b ) の工程との間に、

( c ) 前記第 2 磁性層を前記 ( a ) の工程において印加される磁場と同方向の磁場中で成膜する工程と、

( d ) 前記第 3 磁性層を前記 ( a ) の工程において印加される磁場と同方向の磁場中で成膜する工程と、

を有する請求項 1 記載のデュアルスピバルブ磁気検出素子の製造方法。

## 【請求項 3】

前記第 1 磁性層の保磁力  $H_c 1$  が前記第 2 磁性層の保磁力  $H_c 2$  よりも高く、前記第 4 磁性層の保磁力  $H_c 4$  が前記第 3 磁性層の保磁力  $H_c 3$  よりも高い請求項 1 または請求項 2 に記載のデュアルスピバルブ磁気検出素子の製造方法。

## 【請求項 4】

前記第 1 磁性層の膜厚  $t_1$  が前記第 2 磁性層の膜厚  $t_2$  よりも薄く、前記第 1 磁性層の磁化量  $M_s 1 \cdot t_1$  が前記第 2 磁性層の磁化量  $M_s 2 \cdot t_2$  と実質的に同じであり、

前記第 4 磁性層の膜厚  $t_4$  が前記第 3 磁性層の膜厚  $t_3$  よりも薄く、前記第 4 磁性層の磁化量  $M_s 4 \cdot t_4$  が前記第 3 磁性層の磁化量  $M_s 3 \cdot t_3$  と実質的に同じである請求項 3 に記載のデュアルスピバルブ磁気検出素子の製造方法。

## 【請求項 5】

請求項 1 ないし 4 のいずれかの製造方法により、同一の基板上に複数のデュアルスピバルブ磁気検出素子を形成することを特徴とするデュアルスピバルブ磁気検出素子を使用した磁気検出装置の製造方法。

## 【請求項 6】

前記第 1 の固定磁性層の固定磁化方向と第 2 の固定磁性層の固定磁化方向とを素子ごとに相違させた、複数の前記デュアルスピバルブ磁気検出素子を、同じ基板上に形成する請求項 5 記載のデュアルスピバルブ磁気検出素子を使用した磁気検出装置の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明はセルフピン型のデュアルスピバルブ磁気検出素子の製造方法およびデュアルスピバルブ磁気検出素子を使用した磁気検出装置の製造方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

従来の非接触式の磁気センサでは、磁気抵抗効果素子を使用した磁気検出装置が使用されている。特許文献 1 に記載されている磁気センサは、セルフピン型の磁気抵抗膜 (Magnetic Resistance 膜、以下、「セルフピン型 MR 膜」という) を有する磁気検出素子を備えている。セルフピン型 MR 膜を備えた磁気検出素子は、固定磁性層のピン止めに反強磁性膜の交換結合力を使用せず、固定磁性層自身の大きな保磁力を使用し、かつ強力な反平

10

20

30

40

50

行結合層を使用した多層膜構造のピン層（SFP）構造を備えている。この構造には、MR膜の薄膜化、高耐熱性、磁気検出素子の1チップ化、磁場中アニール不要（低コスト、工程短い）等のメリットがある。

【0003】

特許文献2に記載されているデュアルスピバルブ磁気検出素子は、デュアル構造のスピバルブMR膜を備えている。デュアルスピバルブ構造は、MR膜の膜厚中心に設けられたフリー磁性層（自由層）の上下にそれぞれ、非磁性中間層、固定磁性層および反強磁性層が設けられた構造である。フリー磁性層の近くにある2つの固定磁性層の固定磁化方向を同じ向きとし、電子のスピン依存散乱の発生確率を増加させることによって、抵抗変化率（MR）を増加させる。このため、デュアルスピバルブ構造は、磁気検出素子の出力の増加を可能にする。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2012-119613号公報

【特許文献2】特開2000-215421号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献1の磁気検出素子におけるセルフピン型MR膜は、成膜時の磁場印加方向によって固定磁性層の磁化の向きが決定される。しかし、デュアルスピバルブ構造にする場合に、フリー磁性層の近くにある2つの固定磁性層の固定磁化方向を一致させる最適な方法が知られていなかった。

20

【0006】

反強磁性層を備えたデュアルスピバルブ構造の磁気検出素子は、磁場中アニール工程によって固定磁性層の磁化方向を固定する。この磁場中アニール工程において印加される磁場方向により、固定磁化層の磁化方向が決定される。このため、1つの基板に感度軸方向（固定磁化方向）が相違する磁気検出素子を組み合わせる配置することができないという問題がある。

【0007】

30

本発明は、上記従来課題を解決するものであり、フリー磁性層の近くにある2つの固定磁性層の固定磁化方向を一致させて、抵抗変化率（MR）を増加させたセルフピン型MR膜を備えたデュアルスピバルブ磁気検出素子の製造方法およびデュアルスピバルブ磁気検出素子を使用した磁気検出装置の製造方法を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明は、第1固定磁性層と第1非磁性材料層とフリー磁性層と第2非磁性材料層と第2固定磁性層が隣接しており、

前記第1固定磁性層が、前記第1非磁性材料層側から第2磁性層と第1非磁性中間層と第1磁性層の順に隣接して、前記第2固定磁性層が、前記第2非磁性材料層側から第3磁性層と第2非磁性中間層と第4磁性層の順に隣接しているデュアルスピバルブ磁気検出素子の製造方法において、

40

（a）前記第1磁性層を、磁場中で成膜する工程と、

（b）前記第4磁性層を、前記（a）の工程において印加される磁場と逆方向の磁場中で成膜する工程と、を有して、

前記第2磁性層の磁化と前記第3磁性層の磁化を同じ向きに固定することを特徴とするものである。

【0009】

本発明のデュアルスピバルブ磁気検出素子の製造方法は、前記（a）の工程と前記（b）の工程との間に、

50

(c) 前記(a)の工程において印加される磁場と同方向の磁場中で、前記第2磁性層を成膜する工程と、

(d) 前記(a)の工程において印加される磁場と同方向の磁場中で、前記第3磁性層を成膜する工程と、

を有するものであってもよい。

【0010】

前記デュアルスピバルブ磁気検出素子は、前記第1磁性層の保磁力 $H_c1$ が前記第2磁性層の保磁力 $H_c2$ よりも高く、前記第4磁性層の保磁力 $H_c4$ が前記第3磁性層の保磁力 $H_c3$ よりも高いものであることが好ましい。

【0011】

また、前記デュアルスピバルブ磁気検出素子は、前記第1磁性層の膜厚 $t1$ が前記第2磁性層の膜厚 $t2$ よりも薄く、前記第1磁性層の磁化量 $M_s1 \cdot t1$ が前記第2磁性層の磁化量 $M_s2 \cdot t2$ と実質的に同じであり、前記第4磁性層の膜厚 $t4$ が前記第3磁性層の膜厚 $t3$ よりも薄く、前記第4磁性層の磁化量 $M_s4 \cdot t4$ が前記第3磁性層の磁化量 $M_s3 \cdot t3$ と実質的に同じであることが好ましい。

【0012】

次に、本発明のデュアルスピバルブ磁気検出素子を使用した磁気検出装置の製造方法は、本発明のデュアルスピバルブ磁気検出素子の製造方法により、同一の基板上に複数のデュアルスピバルブ磁気検出素子を形成するものである。

【0013】

本発明のデュアルスピバルブ磁気検出素子を使用した磁気検出装置の製造方法は、前記第1の固定磁性層の固定磁化方向と第2の固定磁性層の固定磁化方向とを素子ごとに相違させた、複数の前記デュアルスピバルブ磁気検出素子を、同じ基板上に形成する製造方法として構成できる。

【発明の効果】

【0014】

本発明のデュアルスピバルブ磁気検出素子の製造方法は、(a)の工程において第1磁性層に印加される磁場と逆方向の磁場を印加して第4磁性層を成膜する(b)の工程を備えている。(b)の工程において成膜される第4磁性層と第3磁性層との間の相互作用により、第4磁性層の固定磁性方向を1磁性層と同じ向きにすることができる。その結果、フリー磁性層の近くにある第2磁性層および第3磁性層の固定磁化方向を一致させることができ、抵抗変化率(MR)の高いデュアルスピバルブ磁気検出素子とすることが可能となる。

【0015】

本発明の磁気検出装置の製造方法は、固定磁化方向が素子ごとに相違する複数のデュアルスピバルブ磁気検出素子を同一基板上に成膜できるため、磁気センサを小型化でき、同一の磁気センサ内で、複数の磁気検出素子の相互の寸法関係や、相互の固定磁化方向を高精度に設定することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】本発明の実施形態の製造方法により製造されるデュアルスピバルブ磁気検出素子10の膜構成を示す説明図、

【図2】本発明の実施形態の製造方法により製造される磁気センサ30の回路ブロック図、

、

【図3】図3の磁気センサ30に使用される磁気検出素子10を示す平面図、

【図4】(A)~(D)は、図2の磁気センサ30の製造方法において、複数の磁気検出素子の固定磁性層形成工程を模式的に示す平面図、

【図5】比較例1の磁気検出素子20の膜構成を示す説明図、

【図6】実施例1の磁気検出素子10のR-H曲線、

【図7】比較例1の磁気検出素子20のR-H曲線、

10

20

30

40

50

【図 8】実施例 1 の磁気検出素子 10 と比較例 1 の磁気検出素子 20 の抵抗変化率 MR を比較するグラフ。

【発明を実施するための形態】

【0017】

< 第 1 の実施形態 >

図 1 に本発明の第 1 の実施形態の製造方法により製造されるデュアルスピバルブ磁気検出素子 10 (以下、適宜、「磁気検出素子 10」ともいう)の膜構成が示されている。

【0018】

< 磁気検出素子 >

磁気検出素子 10 は、基板の表面から、下地層 (シード層) 1、第 1 固定磁性層 4 A、第 1 非磁性材料層 (非磁性中間層) 3 A、フリー磁性層 (強磁性自由層) 2、第 2 非磁性材料層 (非磁性中間層) 3 B、第 2 固定磁性層 4 B、および保護層 5 の順に積層されて成膜されている。第 1 固定磁性層 4 A は、第 1 非磁性材料層 3 A 側から、第 2 磁性層 4 A a と第 1 非磁性中間層 4 A b と第 1 磁性層 4 A c の順に隣接している。第 2 固定磁性層 4 B は、第 2 非磁性材料層 3 B 側から、第 3 磁性層 4 B a と第 2 非磁性中間層 4 B b と第 4 磁性層 4 B c の順に隣接している。これら各層は、例えばスパッタ工程や CVD 工程で成膜される。

【0019】

磁気検出素子 10 は、いわゆるデュアルスピバルブ型であり、フリー磁性層 2 を共有する 2 つの磁気検出素子が、下地層 1 側および保護層 5 側にそれぞれ形成された構成となり、磁気検出素子 10 の出力を向上させている。

【0020】

下地層 1 は、NiFeCr 合金 (ニッケル・鉄・クロム合金) あるいは Cr などで形成されている。

【0021】

フリー磁性層 2 は、その材料および構造が限定されるものではない。例えば、材料として CoFe 合金 (コバルト・鉄合金)、NiFe 合金 (ニッケル・鉄合金) などを用いて、単層構造、積層構造、積層フェリ構造などとして形成することができる。

第 1 非磁性材料層 3 A および第 2 非磁性材料層 3 B は、Cu (銅) などを用いて形成することができる。

【0022】

第 1 固定磁性層 4 A は、第 1 磁性層 4 A c および第 2 磁性層 4 A a と、これらの二層の間に位置する非磁性中間層 4 A b と、で構成されたセルフピン止め構造となっている。第 1 磁性層 4 A c の固定磁化方向と、第 2 磁性層 4 A a の固定磁化方向とは、相互作用により反平行となっている。非磁性材料層 3 A に隣接する第 2 磁性層 4 A a の固定磁化方向 P2 が固定磁性層 4 A の固定磁化方向である。この固定磁化方向 P2 が延びる方向が磁気検出素子 10 の感度軸方向である。

【0023】

第 1 磁性層 4 A c および第 2 磁性層 4 A a は、FeCo 合金 (鉄・コバルト合金) で形成される。FeCo 合金は、Fe の含有割合を高くすることにより、保磁力が高くなる。非磁性材料層 3 A に隣接する第 2 磁性層 4 A a はスピバルブ型の巨大磁気抵抗効果 (GMR 効果) に寄与する層である。第 1 非磁性中間層 4 A b は Ru (ルテニウム) などで形成されている。Ru からなる非磁性中間層 4 A b の膜厚は、3 ~ 5 または 8 ~ 10 であることが好ましい。

【0024】

図 1 において部材番号の後の大文字アルファベットは、複数の同じ機能の部材 (層) を区別するために付したものである。例えば、第 2 非磁性材料層 3 B は、上述した第 1 非磁性材料層 3 A と機能が同じであり、第 2 固定磁性層 4 B と第 1 固定磁性層 4 A も機能が同じである。第 3 磁性層 4 B a、第 2 非磁性中間層 4 B b および第 4 磁性層 4 B c は、それぞれが上述した第 2 磁性層 4 A a、第 2 非磁性中間層 4 A b および第 1 磁性層 4 A c と同

10

20

30

40

50

じ機能であるから同じ材料を用いることができる。

【0025】

図1に示されているように、第1固定磁性層4Aにおける第2磁性層4Aaの固定磁化方向P2と、第2固定磁性層4Bにおける第3磁性層4Baの固定磁化方向P3とは同じである。フリー磁性層2の両側に第2固定磁性層4Bと第3磁性層4Baとが存在することで、磁気検出素子10の抵抗変化率(MR)を高くすることができる。

【0026】

第1固定磁性層4Aでは、第1磁性層4Acの保磁力Hc1が第2磁性層4Aaの保磁力Hc2よりも高い。第2固定磁性層4Bでは、第4磁性層4Bcの保磁力Hc4が第3磁性層4Baの保磁力Hc3よりも高い。したがって、第1固定磁性層4Aにおける第2磁性層4Aaの固定磁化方向P2は、第1磁性層4Acの固定磁化方向P1によって決定される。第2固定磁性層4Bにおける第3磁性層4Baの固定磁化方向P3は、第4磁性層4Bcの固定磁化方向P4によって決定される。

10

【0027】

FeCo合金は、Feの含有割合を高くすることにより保磁力が高くなる。FeCo合金を用いる場合には、第1磁性層4Acおよび第4磁性層4Bcを、第2磁性層4Aaおよび第3磁性層4BaよりもFeの含有割合が高いFeCo合金を用いて構成すればよい。例えば、第1磁性層4Acおよび第4磁性層4Bcを $Fe_xCo_{100-x}$ (Xは55at%以上65at%以下)で形成し、第2磁性層4Aaおよび第3磁性層4Baを $Fe_xCo_{100-x}$ (Xは15at%以下)で形成すればよい。

20

【0028】

磁気検出素子10の性質を安定に保持するために、第1磁性層4Acの磁化量 $M_s1 \cdot t_1$ と第2磁性層4Aaの磁化量 $M_s2 \cdot t_2$ とを実質的に同じ大きさとする。このため、第1磁性層4Acの膜厚 $t_1$ は第2磁性層4Aaの膜厚 $t_2$ よりも薄く、第4磁性層4Bcの膜厚 $t_4$ は、第3磁性層4Baの膜厚 $t_3$ よりも薄い。第1磁性層4Acの膜厚 $t_1$ および第4磁性層4Bcの膜厚 $t_4$ は、 $14$ 以上 $20.5$ 以下であることが好ましい。第2磁性層4Aaの膜厚 $t_2$ および第3磁性層4Baの膜厚 $t_3$ は、 $16.5$ 以上 $26$ 以下であることが好ましい。

【0029】

<磁気検出素子の製造方法>

30

以下、図1を参照して磁気検出素子10の製造方法を説明する。

<第1固定磁性層4Aの形成>

第1固定磁性層4Aの形成工程は、第1磁性層4Ac、第1非磁性中間層4Abおよび第2磁性層4Aaをスパッタ工程で成膜する。

第1磁性層4Acを形成する工程(a)では、図1の右方向(P1方向)に磁場を印加しながらスパッタ工程を行う。第1磁性層4Acの固定磁化方向P1は、工程(a)において印加された磁場の方向により決定される。第1磁性層4Acは保磁力が高いため、固定磁化方向P1はその後に印加される磁場によって変化しにくい。

【0030】

第1固定磁性層4Aは、高保磁力層であって、第1磁性層4Acの保磁力が第2磁性層4Aaよりも十分に高いため、固定磁化方向がP1方向に決められた第1磁性層4Acとの相互作用によって、その後に成膜される第2磁性層4Aaの固定磁化方向P2が反平行に固定される。このときの相互作用は、既に成膜が完了した高保磁力層である第1固定磁性層4Aの固定磁化方向P1によって決められる。そのために、第2磁性層4Aaを成膜するスパッタ工程(c)において、どの向きの磁場が印加されても、あるいは磁場が印加されていなくても、第2磁性層4Aaの固定磁化方向P2に影響を与えない。

40

【0031】

例えば、図示右向きの磁場を印加しながら第1磁性層4Acを成膜し、第1非磁性中間層4Abを成膜した後に、図示右向き磁場の印加を継続したまま第2磁性層4aを成膜する。あるいは、第1磁性層4Acを成膜するときのみ図示右向きの磁場を印加して、第2

50

磁性層 4 a は磁場を印加することなく成膜する。いずれの場合も、成膜後の第 2 磁性層 4 A a の固定磁化方向は P 2 方向に固定される。

【 0 0 3 2 】

このように、第 2 磁性層 4 A a を成膜する工程 ( c ) は、磁場中または無磁場中のいずれでなされてもよいが、第 2 磁性層 4 A a を磁場中で成膜する場合、第 1 固定磁性層 4 A の成膜工程の簡易化の観点から、第 1 磁性層 4 A c を成膜する工程 ( a ) と同じ磁場を継続して与えながら行うことが好ましい。

【 0 0 3 3 】

第 1 磁性層 4 A c、第 1 非磁性中間層 4 A b および第 2 磁性層 4 A a の成膜が完了すると、所定の厚さの R u 層である第 1 非磁性中間層 4 A b を挟んだ状態で、強い相互作用 ( 反平行結合 ) が働き、磁化の向きが固定され、第 1 磁性層 4 A c の固定磁化方向 P 1 が図示右向きに決められ、第 2 磁性層 4 A a の固定磁化方向 P 2 が図示左向きに決められる。このときの磁化の固定力は、第 1 固定磁性層 4 A の高保磁力により維持される。したがって、その後は、外部磁場がどの向きとなっても、固定磁化方向 P 1 と固定磁化方向 P 2 が固定されたままとなり、変化しにくい。

10

【 0 0 3 4 】

< 第 2 固定磁性層 4 B の形成工程 >

固定磁化方向 P 1 , P 2 が決められた第 1 固定磁性層 4 A の上に、第 1 非磁性材料層 3 A、フリー磁性層 2 および第 2 非磁性材料層を形成した後、第 2 固定磁性層 4 B を形成する。

20

【 0 0 3 5 】

第 2 固定磁性層 4 B の形成工程では、第 3 磁性層 4 B a、第 2 非磁性中間層 4 B b および第 4 磁性層 4 B c の 3 層がスパッタ工程で順に成膜される。第 2 固定磁性層 4 B の固定磁化方向 P 3 , P 4 は、高保磁力層である第 4 磁性層 4 B c の磁化の向きによって決められる。そのため、第 3 磁性層 4 B a の固定磁化方向 P 3 と第 4 磁性層 4 B c の固定磁化方向 P 4 は、第 3 磁性層 4 B a と第 2 非磁性中間層 4 B b と第 4 磁性層 4 B c の 3 層の成膜が完了した時点での相互作用によって決定される。

【 0 0 3 6 】

先に成膜される第 3 磁性層 4 B a は第 4 磁性層 4 B c よりも保磁力が小さい。そのため、第 3 磁性層 4 B a の成膜工程 ( d ) では、磁場が印加されても印加されなくても、また磁場の向きがどちらを向いていても、完成後の第 2 固定磁性層 4 B の固定磁化の向きに影響を与えることがない。したがって、第 3 磁性層 4 B a を成膜するときに、成膜工程の簡易化の観点から、第 1 磁性層 4 A c の成膜と同じ方向の磁場の印加を継続したままで行うことが好ましい。

30

【 0 0 3 7 】

第 3 磁性層 4 B a が成膜された後に、第 2 非磁性中間層 4 B b を成膜し、さらにその上に高保磁力層である第 4 磁性層 4 B c を徐々に膜厚が大きくなるように成膜していくが、この成膜工程 ( b ) で、第 3 磁性層 4 B a の磁化を固定すべき方向 ( P 3 方向 ) に磁場を与える。すなわち、第 1 磁性層 4 A c を成膜したときの磁場の向き ( P 1 ) と逆向きの P 3 方向の磁場を与えながら第 4 磁性層 4 B c を成膜する。

40

【 0 0 3 8 】

第 3 磁性膜 4 B a は保磁力が小さく、内部の磁化は外部磁場に追従して変化しやすい。よって、既に成膜されている第 3 磁性膜 4 B a に P 3 方向の磁場を与えると、第 3 磁性膜 4 B a が P 3 方向に磁化されることになる。この磁場を継続しながら、すなわち、第 3 磁性膜 4 B a を P 3 方向に磁化させながら、第 2 非磁性中間層 4 B b の上に、第 4 磁性層 4 B c を成膜していくと、その過程で、所定の膜厚の R u 層である第 2 非磁性中間層 4 B b を挟んだ相互作用 ( 反平行結合 ) が発生し、第 4 磁性層 4 B c は、磁場の印加方向とは逆向きの P 4 方向に磁化されながら成膜されていく。第 4 磁性層 4 B c の成膜が完了すると、高保磁力層である第 4 磁性層 4 B c の磁化の向きが P 4 方向に固定される。そして、前記相互作用 ( 反平行結合 ) により、第 4 磁性層 4 B c の固定磁化方向 P 4 が決められ、第

50

3 磁性層 4 B a の固定磁化方向 P 3 が、P 4 方向と反平行に強固に固定される。

【0039】

第2固定磁性層 4 B を構成する第3磁性層 4 B a , 第2非磁性中間層 4 B b および第4磁性層 4 B c の成膜が完了すると、その後は、前記相互作用（反平行結合）により、固定磁化方向 P 3 と P 4 が強固に固定され、その後は容易に変化することはない。この安定的な固定磁化は、第4磁性層 4 B c の高保磁力により維持される。

【0040】

上述した磁気検出素子 10 の製造方法において、各磁性層を成膜する際に印加される磁場の方向と、形成された各磁性層の固定磁化方向を以下の表に示す。なお、下記の表において（ ）を付した矢印は、その方向に磁場を印加しなくてもよいことを示す。

【表1】

【表1】

	第1磁性層	第2磁性層	第3磁性層	第4磁性層
磁場印加方向	→	(→)	(→)	←
固定磁化方向	→	←	←	→

【0041】

上述した（a）および（c）の工程では、第1磁性層 4 A c の第1磁化量と第2磁性層 4 A a の第2磁化量との比（第1磁化量 / 第2磁化量）が、0.75 ~ 1.25 となるように第1固定磁性層 4 A を形成することが好ましい。第1磁性層 4 A c と第2磁性層 4 A a とは、磁化量（飽和磁化  $M_s 1 \cdot$  膜厚  $t_1$ 、飽和磁化  $M_s 2 \cdot$  膜厚  $t_2$ ）の差が実質的にゼロとなる構成とすることがより好ましい。ここで「実質的にゼロ」とは、 $[(第1磁性層 4 A c の磁化量 - 第2磁性層 4 A a の磁化量) / 第1磁性層 4 A c と第2磁性層 4 A a の平均磁化量]$  が絶対値で 0.7% 以下であることをいう。

【0042】

上述した（d）および（b）の工程は、第3磁性層 4 B a の第3磁化量と第4磁性層 4 B c の第4磁化量との比（第3磁化量 / 第4磁化量）が、0.75 ~ 1.25 となるように第2固定磁性層 4 B を形成することが好ましい。両層は、磁化量の差が実質的にゼロとなる構成とすることがより好ましい。

【0043】

<アニール工程>

第4磁性層 4 B c の成膜工程（b）の後に、磁場を印加することなくアニール処理するアニール工程を行ってもよい。ここで、「磁場を印加しないでアニールする」とは、所定方向の磁場を意図的に印加しないで熱処理することを意味し、完全な無磁場において熱処理されることに限られない。アニール工程における加熱温度は 200 ~ 350 程度で、加熱時間は 1 時間 ~ 3 時間程度である。アニール工程を経ることで各層が安定化する。

【0044】

<磁気センサ>

図2に本発明の実施形態の製造方法により製造される磁気センサ（磁気検出装置）30 が示されている。

【0045】

磁気センサ 30 は、フルブリッジ回路 32 X およびフルブリッジ回路 32 Y を有している。フルブリッジ回路 32 X は、2つの磁気検出素子 10 X a と2つの磁気検出素子 10 X b とを備えており、フルブリッジ回路 32 Y は、2つの磁気検出素子 10 Y a と2つの磁気検出素子 10 Y b とを備えている。磁気検出素子 10 X a , 10 X b , 10 Y a , 10 Y b はいずれも、図1に示した磁気検出素子 10 の膜構造を備えている。これらを特に区別しない場合、以下適宜、磁気検出素子 10 と記す。

【0046】

フルブリッジ回路 32 X とフルブリッジ回路 32 Y とは、検出磁場方向を異ならせるために、図2中に矢印で示した固定磁化方向が異なる磁気検出素子 10 を用いたものであ

10

20

30

40

50

て、磁場を検出する機構は同じである。そこで、以下では、フルブリッジ回路 3 2 X を用いて磁場を検出する機構を説明する。

【 0 0 4 7 】

フルブリッジ回路 3 2 X は、磁気検出素子 1 0 X a と磁気検出素子 1 0 X b とが直列に接続されて第 1 の直列部 3 2 X a が構成され、磁気検出素子 1 0 X b と磁気検出素子 1 0 X a とが直列に接続されて第 2 の直列部 3 2 X b が構成されている。第 1 の直列部 3 2 X a と第 2 の直列部 3 2 X b が並列に接続されて構成されている。

【 0 0 4 8 】

第 1 の直列部 3 2 X a を構成する磁気検出素子 1 0 X a と、第 2 の直列部 3 2 X b を構成する磁気検出素子 1 0 X b に共通の電源端子 3 3 に、電源電圧  $V_{dd}$  が与えられる。第 1 の直列部 3 2 X a を構成する磁気検出素子 1 0 X b と、第 2 の直列部 3 2 X b を構成する磁気検出素子 1 0 X a に共通の接地端子 3 4 が接地電位  $GND$  に設定されている。

10

【 0 0 4 9 】

フルブリッジ回路 3 2 X を構成する第 1 の直列部 3 2 X a の midpoint 3 5 X a の出力電位 ( $Out X 1$ ) と、第 2 の直列部 3 2 X b の midpoint 3 5 X b の出力電位 ( $Out X 2$ ) との差動出力 ( $Out X 1$ ) - ( $Out X 2$ ) が X 方向の検知出力 (検知出力電圧)  $V_{Xs}$  として得られる。

【 0 0 5 0 】

フルブリッジ回路 3 2 Y も、フルブリッジ回路 3 2 X と同様に作用することで、第 1 の直列部 3 2 Y a の midpoint 3 5 Y a の出力電位 ( $Out Y 1$ ) と、第 2 の直列部 3 2 Y b の midpoint 3 5 Y b の出力電位 ( $Out Y 2$ ) との差動出力 ( $Out Y 1$ ) - ( $Out Y 2$ ) が Y 方向の検知出力 (検知出力電圧)  $V_{Ys}$  として得られる。

20

【 0 0 5 1 】

図 2 に矢印で示すように、フルブリッジ回路 3 2 X を構成する磁気検出素子 1 0 X a および磁気検出素子 1 0 X b の感度軸方向と、フルブリッジ回路 3 2 Y を構成する磁気検出素子 1 0 Y a および各磁気検出素子 1 0 Y b の感度軸方向とは直交している。

【 0 0 5 2 】

図 2 に示す磁気センサ 3 0 では、それぞれの磁気検出素子 1 0 のフリー磁性層 2 の向きが外部磁場  $H$  の方向に倣うように変化する。このとき、第 2 磁性層 4 A a の固定磁化方向  $P 2$  および第 3 磁性層 4 B a の固定磁化方向  $P 3$  と、フリー磁性層 3 の磁化方向との、ベクトルの関係で抵抗値が変化する。

30

【 0 0 5 3 】

例えば、外部磁場  $H$  が図 2 に示す方向に作用したとすると、フルブリッジ回路 3 2 X を構成する磁気検出素子 1 0 X a では感度軸方向と外部磁場  $H$  の方向が一致するため電気抵抗値は小さくなり、一方、磁気検出素子 1 0 X b では感度軸方向と外部磁場  $H$  の方向が反対であるため電気抵抗値は大きくなる。この電気抵抗値の変化により、検知出力電圧  $V_{Xs} = (Out X 1) - (Out X 2)$  が極大となる。外部磁場  $H$  が紙面に対して右向きに変化するにしたがって、検知出力電圧  $V_{Xs}$  が低くなっていく。そして、外部磁場  $H$  が図 2 の紙面に対して上向きまたは下向きになると、検知出力電圧  $V_{Xs}$  がゼロになる。

【 0 0 5 4 】

一方、フルブリッジ回路 3 2 Y では、外部磁場  $H$  が図 2 に示すように紙面に対して左向きのときは、全ての磁気検出素子 1 0 で、フリー磁性層 2 の磁化の向きが、感度軸方向 (固定磁化方向  $P 2$ ,  $P 3$ ) に対して直交するため、磁気検出素子 1 0 Y a および磁気検出素子 1 0 X b の電気抵抗値は同じである。したがって、検知出力電圧  $V_{Ys}$  はゼロである。図 2 において外部磁場  $H$  が紙面に対して下向きに作用すると、フルブリッジ回路 3 2 Y の検知出力電圧  $V_{Ys} = (Out Y 1) - (Out Y 2)$  が極大となり、外部磁場  $H$  が紙面に対して上向きに変化するにしたがって、検知出力電圧  $V_{Ys}$  が低くなっていく。

40

【 0 0 5 5 】

このように、外部磁場  $H$  の方向が変化すると、それに伴いフルブリッジ回路 3 2 X およびフルブリッジ回路 3 2 Y の検知出力電圧  $V_{Xs}$  および  $V_{Ys}$  も変動する。したがって、

50

フルブリッジ回路 3 2 X およびフルブリッジ回路 3 2 Y から得られる検知出力電圧  $V_{Xs}$  および  $V_{Ys}$  に基づいて、検知対象の移動方向や移動量（相対位置）を検知することができる。

【0056】

図 2 には、X 方向と、X 方向に直交する Y 方向の磁場を検出可能に構成された磁気センサ 3 0 を示した。しかし、X 方向または Y 方向の磁場のみを検出するフルブリッジ回路 3 2 X またはフルブリッジ回路 3 2 Y のみを備えた構成としてもよい。

【0057】

図 3 に、磁気検出素子 1 0 X a と磁気検出素子 1 0 X b の平面構造が示されている。図 2 と図 3 は、B Y a - B Y b 方向が Y 方向である。図 3 には、磁気検出素子 1 0 X a , 1 0 X b の固定磁化方向を矢印で示している。

10

【0058】

図 3 に示すように、磁気検出素子 1 0 X a と磁気検出素子 1 0 X b は、ストライプ形状の素子部 1 2 を有している。素子部 1 2 の長手方向が B Y a - B Y b 方向に向けられている。素子部 1 2 は複数本が平行に配置されており、隣り合う素子部 1 2 の図示右端部が導電部 1 3 a を介して接続され、隣り合う素子部 1 2 の図示右端部が導電部 1 3 b を介して接続されている。素子部 1 2 の図示右端部と図示左端部では、導電部 1 3 a , 1 3 b が互い違いに接続されており、素子部 1 2 はいわゆるミアンダ形状に連結されている。磁気検出素子 1 0 X a , 1 0 X b の、図示右下部の導電部 1 3 a は接続端子 1 4 a と一体化され、図示左上部の導電部 1 3 b は接続端子 1 4 b と一体化されている。

20

【0059】

各素子部 1 2 は複数の金属層（合金層）が積層されて構成されている。図 1 に素子部 1 2 の積層構造が示されている。

【0060】

< 磁気センサの製造方法 >

図 2 に示す磁気センサ 3 0 は、例えば、次のようにして製造することができる。図 4 ( A ) ~ 図 4 ( D ) は、本実施形態における磁気センサ 3 0 の製造方法を模式的に示す図であり、成膜工程における基板と磁場の印加方向との関係を示している。なお、図 4 ( A ) ~ ( D ) は、各工程で形成される磁気検出素子 1 0 の固定磁化方向 P 2 および P 3 ( 図 1 参照 ) を模式的に示すものであり、基板 3 1 における各磁気検出素子 1 の配置を示すものではない。

30

【0061】

図 4 ( A ) の工程では、基板 3 1 に 2 つの磁気検出素子 1 0 X b を形成する。磁気検出素子 1 0 X b の第 1 固定磁性層 4 A の第 1 磁性層 4 A c ( 図 1 参照 ) を成膜する ( a ) の工程において、基板 3 1 に  $180^\circ$  方向の磁場を与えながら成膜し、第 2 固定磁性層 4 B の第 4 磁性層 4 B c を成膜する ( b ) の工程において、基板 3 1 に  $0^\circ$  方向の磁場を与えながら成膜する。これにより、フリー磁性層 2 の近くにある第 2 磁性層 4 A a および第 3 磁性層 4 B a の固定磁化方向 P 2 , P 3 が  $0^\circ$  方向の磁気検出素子 1 0 X b を形成することができる。

40

【0062】

図 4 ( B ) ( C ) および ( D ) の工程では、( a ) ・ ( b ) の成膜工程において与える磁場の方向を、 $270^\circ \cdot 90^\circ$  ,  $0^\circ \cdot 180^\circ$  、および  $90^\circ \cdot 270^\circ$  方向に変化させて、同一の基板 3 1 に磁気検出素子 1 0 Y b , 1 0 X a および 1 0 Y a を形成する。図 4 ( B ) ( C ) および ( D ) の工程でも図 4 ( A ) と異なる方向の磁場を与えながら同様に成膜して、磁気検出素子 1 0 Y b , 1 0 X a および 1 0 Y a の固定磁化方向を決定する。磁場の印加方向は、基板 3 1 と磁場との相対関係により決まるから、印加する磁場の方向を変化させる際、基板 3 1 または磁場印加手段のいずれを移動させても良い。

【0063】

このように、固定磁性層の形成工程を、磁場を印加する方向を変化させて繰り返すことにより、同一の基板 3 1 に固定磁化方向の異なる磁気検出素子 1 0 X a , 1 0 X b , 1 0

50

Y a , 1 0 Y b を形成することができる。図 4 ( A ) から図 4 ( D ) の工程により形成される磁気検出素子 1 0 X b , 1 0 Y b , 1 0 X a , 1 0 Y a における、第 2 磁性層 4 A a および第 3 磁性層 4 B a の固定磁化方向、ならびに第 1 磁性層 4 A c および第 4 磁性層 4 B c を成膜する ( a ) の工程および ( b ) の工程において与える磁場の方向を以下の表に示す。

【表 2】

【表 2】

磁気検出素子	第 2、3 磁性層の磁化方向	成膜時に与える磁場の方向	
		第 1 磁性層	第 4 磁性層
1 0 X b	0°	1 8 0°	0°
1 0 Y b	9 0°	2 7 0°	9 0°
1 0 X a	1 8 0°	0°	1 8 0°
1 0 Y a	2 7 0°	9 0°	2 7 0°

10

【 0 0 6 4 】

基板 3 1 上に固定磁性層 4 の固定磁化方向が相違する複数種の磁気検出素子 1 0 X a , 1 0 X b , 1 0 Y a および 1 0 Y b の成膜が完了した後に、磁場を印加しない状態でアニール工程を行う。これにより、磁気検出素子 1 0 をエージングして安定な磁気センサ 3 とすることができる。

【 0 0 6 5 】

その後、1つの基板 3 1 上に形成された各磁気検出素子 1 0 X a , 1 0 X b , 1 0 Y a , 1 0 Y b を結線することで図 2 に示すフルブリッジ回路 3 2 X とフルブリッジ回路 3 2 Y とを形成し、磁気センサ 3 0 の製造を完了する。

20

【実施例】

【 0 0 6 6 】

セルフピン止め型のデュアルスピンバルブ磁気検出素子 1 0 を以下のようにして製造した。

< 第 1 および第 2 固定磁性層形成工程 >

第 1 固定磁性層 4 A の第 1 磁性層 4 A c ( 図 1 参照 ) を、6 0 0 e ( 1 0 e = 約 7 9 . 6 A / m ) の磁場を印加して形成した ( 工程 ( a ) ) 。固定磁性層 4 A の第 2 磁性層 4 A a および固定磁性層 4 B の第 3 磁性層 4 B a を、工程 ( a ) と同じ大きさの磁場を同じ方向に印加して形成した ( 工程 ( c ) および ( d ) ) 。固定磁性層 4 B の第 4 磁性層 4 B c を、工程 ( a ) と同じ大きさの磁場を反対方向に印加して形成した ( 工程 ( b ) ) 。このようにして、形成された磁気検出素子 1 0 を 2 9 0 で 3 時間アニールした。以下の実施例および比較例において、括弧内の数値は各層の膜厚を示し、単位は ( オングストローム ) である。

30

【 0 0 6 7 】

( 実施例 1 )

本実施例の磁気検出素子 1 0 ( 図 1 参照 ) の膜構成は以下の通りである。

基板 / 下地層 1 : N i F e C r ( 6 0 ) / 第 1 磁性層 4 A c : F e <sub>60</sub> a t % C o <sub>40</sub> a t % ( 1 9 . 5 ) / 非磁性中間層 4 A b : R u ( 3 . 6 ) / 第 2 磁性層 4 A a : C o <sub>90</sub> a t % F e <sub>10</sub> a t % ( 2 4 ) / 第 1 非磁性材料層 3 A : C u ( 2 0 . 5 ) / フリー磁性層 2 : [ N i <sub>81.5</sub> a t % F e <sub>18.5</sub> a t % ( 2 0 ) / C o <sub>90</sub> a t % F e <sub>10</sub> a t % ( 1 2 ) ] / 第 2 非磁性材料層 3 B : C u ( 2 0 . 5 ) / 第 3 磁性層 4 B a : C o <sub>90</sub> a t % F e <sub>10</sub> a t % ( 2 4 ) / 非磁性中間層 4 B b : R u ( 3 . 6 ) / 第 4 磁性層 4 B c : F e <sub>60</sub> a t % C o <sub>40</sub> a t % ( 1 9 . 5 ) / 保護層 5 : T a ( 7 0 )

40

【 0 0 6 8 】

( 比較例 1 )

図 5 は、比較例 1 の磁気検出素子 2 0 の膜構成を示す説明図である。同図に示すように、磁気検出素子 2 0 はデュアルスピンバルブ磁気検出素子ではなく、フリー磁性層 2 が保

50

護層 5 に隣接し、固定磁性層 4 が下地層 1 に隣接して形成された、いわゆるボトムタイプのものであって、膜構成は以下の通りである。

基板 / 下地層 1 : NiFeCr ( 60 ) / 第 1 磁性層 4 c : Fe<sub>60</sub>at% Co<sub>40</sub>at% ( 19.5 ) / 非磁性中間層 4 b : Ru ( 3.6 ) / 第 2 磁性層 4 a : Co<sub>90</sub>at% Fe<sub>10</sub>at% ( 24 ) / 非磁性材料層 3 : Cu ( 20.5 ) / フリー磁性層 2 : [ Ni<sub>81.5</sub>at% Fe<sub>18.5</sub>at% ( 20 ) / Co<sub>90</sub>at% Fe<sub>10</sub>at% ( 12 ) ] / 保護層 5 : Ta ( 70 )

【 0069 】

図 6 および図 7 は、実施例 1 および比較例 1 の磁気検出素子 10 および 20 の R - H 曲線である。図 8 は、実施例 1 および比較例 1 の磁気検出素子 10 および 20 の抵抗変化率 ( MR ) を示すグラフである。これらに示されるように、実施例 1 のデュアルスピバルブの磁気検出素子 10 は、ボトムタイプの磁気検出素子 10 を基準として抵抗変化率 ( MR ) が 30 % も高くなった。

10

【 符号の説明 】

【 0070 】

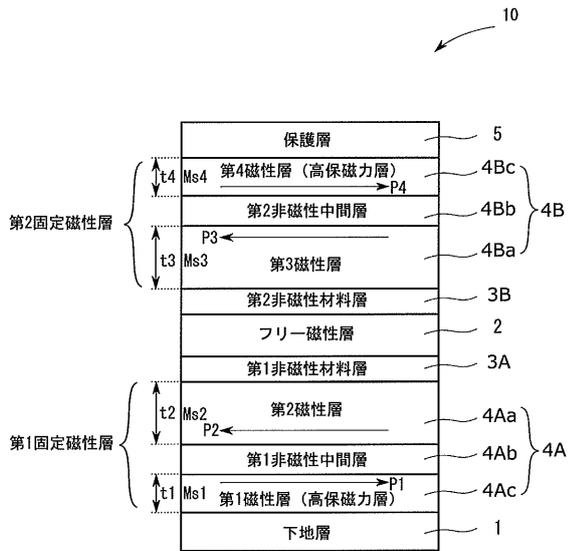
- 1 下地層
- 2 フリー磁性層
- 3 , 3 A , 3 B 非磁性材料層 , 第 1 非磁性材料層 , 第 2 非磁性材料層
- 4 , 4 A , 4 B 固定磁性層 , 第 1 固定磁性層 , 第 2 固定磁性層
- 4 c , 4 A c , 第 1 磁性層
- 4 b , 4 A b , 非磁性中間層 , 第 1 非磁性中間層 ,
- 4 a , 4 A a , 第 2 磁性層
- 4 B a 第 3 磁性層
- 4 B b 第 2 非磁性中間層
- 4 B c 第 4 磁性層
- 5 保護層
- 10 , 10 X a , 10 X b , 10 Y a , 10 Y b 磁気検出素子 ( デュアルスピバルブ磁気検出素子 )
- 20 磁気検出素子
- 30 磁気センサ ( 磁気検出装置 )
- 31 基板

20

30

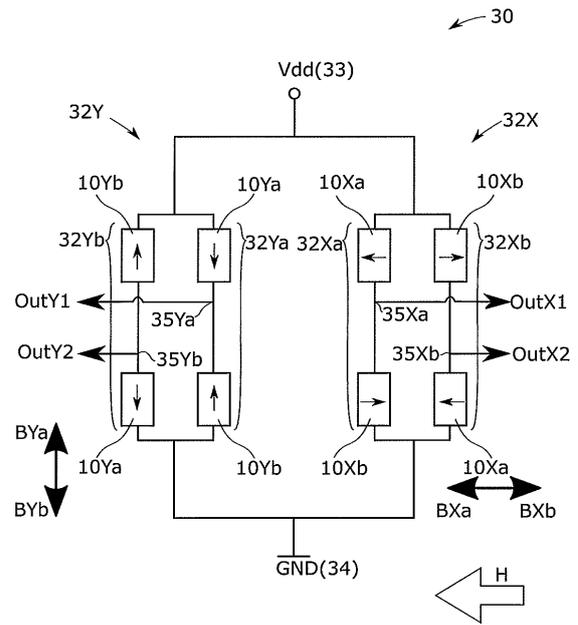
【 図 1 】

【 図 1 】



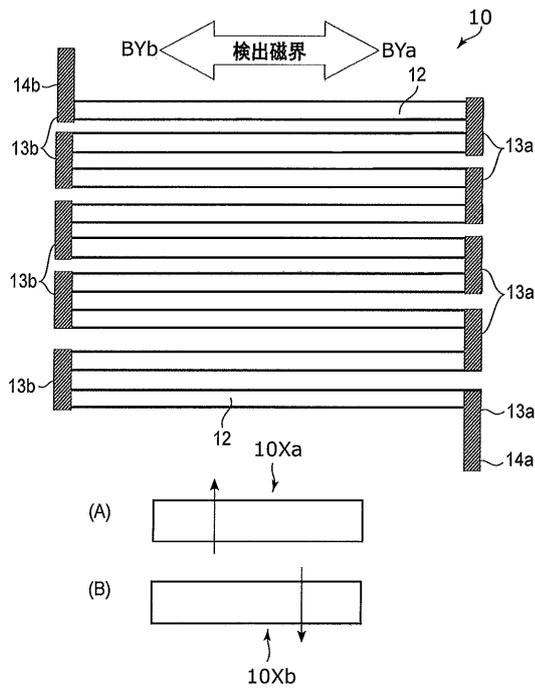
【 図 2 】

【 図 2 】



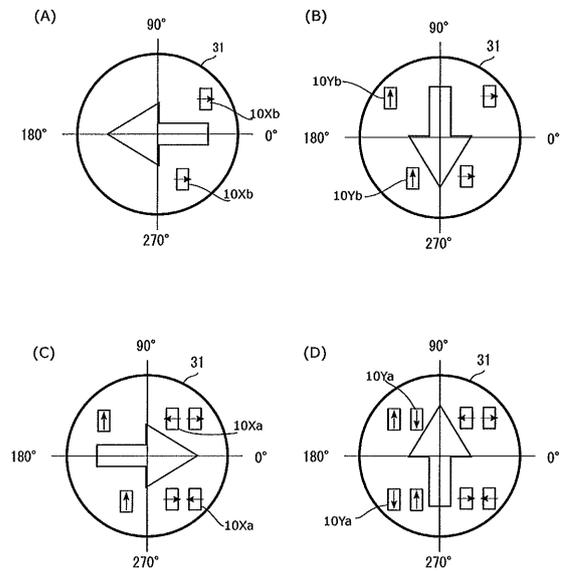
【 図 3 】

【 図 3 】



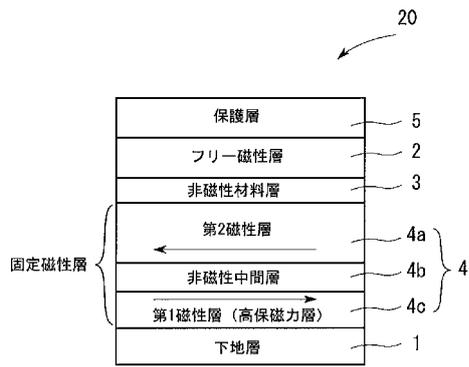
【 図 4 】

【 図 4 】



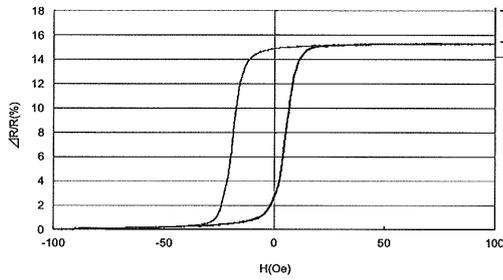
【 図 5 】

【 図 5 】



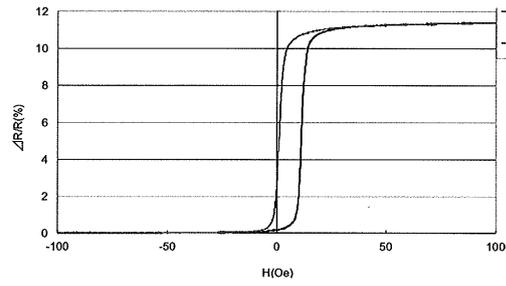
【 図 6 】

【 図 6 】



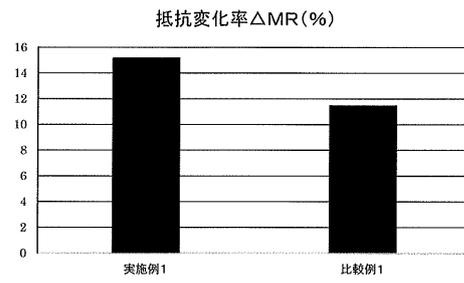
【 図 7 】

【 図 7 】



【 図 8 】

【 図 8 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 遠藤 広明

東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

(72)発明者 斎藤 正路

東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

Fターム(参考) 2G017 AA02 AB09 AD55 AD65 BA09

5F092 AA02 AA11 AB01 AC08 AD08 BB09 BB10 BB22 BB31 BB42

BB53 BC07 BC08 BC42 BC46 CA02 CA22 CA25