

(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2010-256366

(P2010-256366A)

(43) 公開日 平成22年11月11日(2010.11.11)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO1R 33/09 (2006.01)	GO1R 33/06	R 2GO17
GO1R 33/02 (2006.01)	GO1R 33/02	L 5FO92
HO1L 43/08 (2006.01)	HO1L 43/08	Z

審査請求 有 請求項の数 5 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2010-143212 (P2010-143212)	(71) 出願人	000004075 ヤマハ株式会社 静岡県浜松市中区中沢町10番1号
(22) 出願日	平成22年6月23日 (2010. 6. 23)	(74) 代理人	100064908 弁理士 志賀 正武
(62) 分割の表示	特願2007-113218 (P2007-113218) の分割	(74) 代理人	100089037 弁理士 渡邊 隆
原出願日	平成15年3月26日 (2003. 3. 26)	(72) 発明者	鈴木 民人 静岡県浜松市中区中沢町10番1号 ヤマ ハ株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願2002-89328 (P2002-89328)	(72) 発明者	大橋 俊幸 静岡県浜松市中区中沢町10番1号 ヤマ ハ株式会社内
(32) 優先日	平成14年3月27日 (2002. 3. 27)		
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		

最終頁に続く

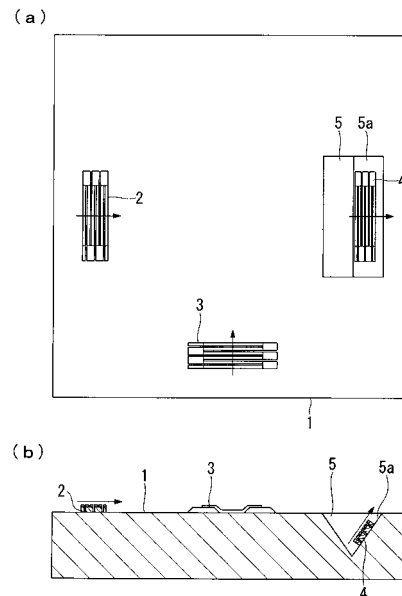
(54) 【発明の名称】 磁気センサおよびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】単一の基板上に三次元方向に交差するように配置された磁気抵抗効果素子を有する磁気センサおよびその製造方法を提供する。

【解決手段】本発明の磁気センサは、表面に酸化膜が形成された基板と、前記基板上に形成された楔型溝と、前記楔型溝および前記酸化膜表面の一部に形成された下地膜と、前記酸化膜、前記下地膜の表面上に形成された磁気抵抗効果素子と、を備え、前記楔型溝に形成された下地膜は、前記基板表面に形成された前記酸化膜の表面にまで延在し、前記磁気抵抗効果素子は、前記酸化膜の表面と前記下地膜の表面とに形成され、それぞれの感度方向が直交する2方向を形成する第1および第2の磁気抵抗効果素子と、前記斜面上に形成された前記下地膜上に形成され、感度方向が前記第1の磁気抵抗効果素子と交差する第3の磁気抵抗効果素子とからなることを特徴とする。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

表面に酸化膜が形成された基板と、
前記基板上に形成された楔型溝と、
前記楔型溝および前記酸化膜表面の一部に形成された下地膜と、
前記酸化膜、前記下地膜の表面上に形成された磁気抵抗効果素子と、
を備え、
前記楔型溝に形成された下地膜は、前記基板表面に形成された前記酸化膜の表面にまで延在し、

前記磁気抵抗効果素子は、前記酸化膜の表面と前記下地膜の表面とに形成され、
それぞれの感度方向が直交する 2 方向を形成する第 1 および第 2 の磁気抵抗効果素子と

10

、
前記斜面に形成された前記下地膜上に形成され、感度方向が前記第 1 の磁気抵抗効果素子と交差する第 3 の磁気抵抗効果素子とからなることを特徴とする磁気センサ。

【請求項 2】

前記楔型溝は、長手方向が略正方形の基板の一辺に平行で、この一辺の近傍、かつこの一辺の中央部近傍に形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の磁気センサ。

【請求項 3】

前記下地膜は、チタンまたはクロム、もしくはコバルト - 白金 - クロム合金からなることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の磁気センサ。

20

【請求項 4】

基板上に酸化膜を形成する工程と、
楔型溝を形成する部分のみが開口するように前記酸化膜にレジスト膜を形成する工程と、
前記基板を水酸化カリウム溶液でエッチングし、前記基板上に楔型溝を形成する工程と、
前記酸化膜および前記楔型溝にスパッタリング法により下地膜を形成する工程と、
前記下地膜の表面にレジスト膜を形成し、イオンミリングにより前記楔型溝および前記酸化膜の表面の一部に下地膜を形成する工程と、

前記酸化膜、前記下地膜の表面上に磁気抵抗効果素子を形成する工程と、
からなり、

30

前記楔型溝に形成された下地膜は、前記基板表面に形成された前記酸化膜の表面にまで延在し、

前記磁気抵抗効果素子は、前記酸化膜の表面と前記下地膜の表面とに形成され、
それぞれの感度方向が直交する 2 方向を形成する第 1 および第 2 の磁気抵抗効果素子と

、
前記斜面に形成された前記下地膜上に形成され、感度方向が前記第 1 の磁気抵抗効果素子と交差する第 3 の磁気抵抗効果素子とからなることを特徴とする磁気センサの製造方法。

【請求項 5】

40

基板上に酸化膜を形成する工程と、
楔型溝を形成する部分のみが開口するように前記酸化膜に開口部を有するレジスト膜を形成する工程と、

前記レジスト膜をリフローさせて前記開口部をテーパ状に形成する工程と、
イオンミリングにより前記レジスト膜で保護されていない前記酸化膜および前記基板を削り、前記開口部のテーパ形状をトレースして楔型溝を形成する工程と、

前記酸化膜および前記楔型溝にスパッタリング法により下地膜を形成する工程と、
前記下地膜の表面にレジスト膜を形成し、イオンミリングにより前記楔型溝および前記酸化膜の表面の一部に下地膜を形成する工程と、

前記酸化膜、前記下地膜の表面上に磁気抵抗効果素子を形成する工程と、

50

からなり、

前記楔型溝に形成された下地膜は、前記基板表面に形成された前記酸化膜の表面にまで延在し、

前記磁気抵抗効果素子は、前記酸化膜の表面と前記下地膜の表面とに形成され、それぞれの感度方向が直交する2方向を形成する第1および第2の磁気抵抗効果素子と

、前記斜面に形成された前記下地膜上に形成され、感度方向が前記第1の磁気抵抗効果素子と交差する第3の磁気抵抗効果素子とからなることを特徴とする磁気センサの製造方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ピンド層とフリー層とを含んでなる磁気抵抗効果素子を用いた磁気センサおよびその製造方法に関し、特に磁気センサの表面に垂直な方向の磁場を測定する高感度の磁気センサおよびその製造方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来から、磁気センサに使用される素子として、磁気抵抗効果素子が用いられている。これには、異方性磁気抵抗効果素子（AMR素子）、巨大磁気抵抗効果素子（GMR素子）、および磁気トンネル効果素子（TMR素子）がある。AMR素子は、MR膜からなり、外部磁界により、この膜の磁化が回転することにより、MR膜の抵抗値が変化するので、この出力により外部磁界の向きを検出することができる。

20

一方、GMR素子、TMR素子は、磁界の変化をより感度よく検出することができることで知られている。これらの磁気抵抗効果素子は、磁化の向きが所定の向きにピン（固定）されたピンド層と、磁化の向きが外部磁界に応じて変化するフリー層とを備えており、ピンド層の磁化の向きと、フリー層の磁化の向きの相対関係に応じた抵抗値を出力として示す。

このような素子を、直交する2方向（ここでは、以下「直交する2方向」を「X軸方向、Y軸方向」とする。）の磁界の変化をそれぞれ検出するように、それぞれ1個ずつ直交するように配置する。その際、それぞれを数個ずつの素子群としてブリッジ接続するのが一般的である。そして、それぞれの素子の出力（抵抗値の変化）を得ることにより、外部磁界の向きを検出することができる。

30

その結果、図11に示すように、一方向への一様な磁界中で、その磁界方向を含む面内で磁気センサを回転させたとき、X軸センサ出力とY軸センサ出力が90°位相のずれた形の正弦波出力となる、いわゆる二次元（二軸）磁気センサとなる。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

通常、二次元での方位を求めるには、X軸方向の出力を検出するXセンサと、Y軸方向の出力を検出するYセンサを一对にして、図11に示すように、2方向の磁界に対して感応する二次元磁気センサを形成して、X軸方向およびY軸方向の出力をそれぞれ測定し、 \sin と \cos から方位を検出する。これにより、二次元平面において、どの方位を指しているかを求めることができる。

40

一方、二次元平面ではなく、空間での方位、すなわち、三次元的に方位が求められる必要がある場合がある。例えば、医療用途において、体内における治療対象部位の位置を特定するために、体内に内視鏡やカテーテルなどを挿入した際に、これら医療機器の先端の位置や、姿勢を検出する必要がある。このような用途では、磁気方位を三次元的（X方向、Y方向だけでなくZ方向）に精度良く求める必要がある。従来、このような三次元的に方位を求めることが可能な三次元磁気センサを同一基板上に作製することができないた

50

め、薄型の三次元磁気センサが得られていなかった。したがって、携帯電話などの小型の機器には、三次元磁気センサを搭載することができなかった。

【0004】

本発明は、前記事情に鑑みてなされたもので、単一の基板上に三次元方向に交差するように配置された磁気抵抗効果素子を有する磁気センサおよびその製造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】

【0005】

本発明の磁気センサは、表面に酸化膜が形成された基板と、前記基板上に形成された楔型溝と、前記楔型溝および前記酸化膜表面の一部に形成された下地膜と、前記酸化膜、前記下地膜の表面上に形成された磁気抵抗効果素子と、を備え、前記楔型溝に形成された下地膜は、前記基板表面に形成された前記酸化膜の表面にまで延在し、前記磁気抵抗効果素子は、前記酸化膜の表面と前記下地膜の表面とに形成され、それぞれの感度方向が直交する2方向を形成する第1および第2の磁気抵抗効果素子と、前記斜面に形成された前記下地膜上に形成され、感度方向が前記第1の磁気抵抗効果素子と交差する第3の磁気抵抗効果素子とからなることを特徴とする。

10

【0006】

本発明の磁気センサにおいて、前記楔型溝は、長手方向が略正方形の基板の一辺に平行で、この一辺の近傍、かつこの一辺の中央部近傍に形成されていることが好ましい。

【0007】

本発明の磁気センサにおいて、前記下地膜は、チタンまたはクロム、もしくはコバルト-白金-クロム合金からなることが好ましい。

20

【0008】

本発明の磁気センサの製造方法は、基板上に酸化膜を形成する工程と、楔型溝を形成する部分のみが開口するように前記酸化膜にレジスト膜を形成する工程と、前記基板を水酸化カリウム溶液でエッチングし、前記基板上に楔型溝を形成する工程と、前記酸化膜および前記楔型溝にスパッタリング法により下地膜を形成する工程と、前記下地膜の表面にレジスト膜を形成し、イオンミリングにより前記楔型溝および前記酸化膜の表面の一部に下地膜を形成する工程と、前記酸化膜、前記下地膜の表面上に磁気抵抗効果素子を形成する工程と、からなり、前記楔型溝に形成された下地膜は、前記基板表面に形成された前記酸化膜の表面にまで延在し、前記磁気抵抗効果素子は、前記酸化膜の表面と前記下地膜の表面とに形成され、それぞれの感度方向が直交する2方向を形成する第1および第2の磁気抵抗効果素子と、前記斜面に形成された前記下地膜上に形成され、感度方向が前記第1の磁気抵抗効果素子と交差する第3の磁気抵抗効果素子とからなることを特徴とする。

30

【0009】

本発明の磁気センサの製造方法は、基板上に酸化膜を形成する工程と、楔型溝を形成する部分のみが開口するように前記酸化膜に開口部を有するレジスト膜を形成する工程と、前記レジスト膜をリフローさせて前記開口部をテーパ状に形成する工程と、イオンミリングにより前記レジスト膜で保護されていない前記酸化膜および前記基板を削り、前記開口部のテーパ形状をトレースして楔型溝を形成する工程と、前記酸化膜および前記楔型溝にスパッタリング法により下地膜を形成する工程と、前記下地膜の表面にレジスト膜を形成し、イオンミリングにより前記楔型溝および前記酸化膜の表面の一部に下地膜を形成する工程と、前記酸化膜、前記下地膜の表面上に磁気抵抗効果素子を形成する工程と、からなり、前記楔型溝に形成された下地膜は、前記基板表面に形成された前記酸化膜の表面にまで延在し、前記磁気抵抗効果素子は、前記酸化膜の表面と前記下地膜の表面とに形成され、それぞれの感度方向が直交する2方向を形成する第1および第2の磁気抵抗効果素子と、前記斜面に形成された前記下地膜上に形成され、感度方向が前記第1の磁気抵抗効果素子と交差する第3の磁気抵抗効果素子とからなることを特徴とする。

40

【発明の効果】

【0010】

50

本発明の磁気センサは、同一の 3 個以上の磁気抵抗効果素子と、前記磁気抵抗効果素子が配設される単一基板とを有し、前記磁気抵抗効果素子を構成する磁気抵抗効果膜の磁化の向きとが、互いに三次元方向に交差するように形成されたものであるから、別個のセンサが単一基板ではなく別に組み付けられた磁気センサの場合に生じる角度ずれや、センサの大型化を防止することができる。また、X 軸、Y 軸、Z 軸の 3 次元方向、すなわち 3 個の各素子の感度が持つ方向の地磁気レベルの正確な磁界測定をすることができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図 1】本発明の磁気センサの一実施形態を示す概略構成図で、(a) は平面図、(b) は断面図である。

10

【図 2】本発明の磁気センサで用いられる磁気抵抗効果素子を示す概略構成図で、(a) は平面図、(b) は正面図である。

【図 3】磁気センサの製造方法の第 1 の例を示す断面模式図である。

【図 4】磁気センサの製造方法の第 1 の例を示す断面模式図である。

【図 5】磁気センサの製造方法の第 2 の例を示す断面模式図である。

【図 6】磁気センサの製造方法の第 3 の例を示す断面模式図である。

【図 7】磁気センサの製造方法の第 3 の例を示す断面模式図である。

【図 8】本発明の磁気センサの製造方法の一例を示す断面模式図である。

【図 9】本発明の磁気センサの製造方法の第 1 の例で製造された磁気センサの回りに所定強度の磁場を回転させ、X 軸磁気抵抗効果素子、Y 軸磁気抵抗効果素子、Z 軸磁気抵抗効果素子で検出された磁場の強さの変化を測定した結果を示すグラフであり、(a) は X Y 平面内における磁場の強さの変化を測定した結果を示すグラフであり、(b) は Y Z 平面内における磁場の強さの変化を測定した結果を示すグラフであり、(c) は X Z 平面内における磁場の強さの変化を測定した結果を示すグラフである。

20

【図 10】本発明の磁気センサの製造方法の第 2 の例で製造された磁気センサの回りに所定強度の磁場を回転させ、X 軸磁気抵抗効果素子、Y 軸磁気抵抗効果素子、Z 軸磁気抵抗効果素子で検出された磁場の強さの変化を測定した結果を示すグラフであり、(a) は X Y 平面内における磁場の強さの変化を測定した結果を示すグラフであり、(b) は Y Z 平面内における磁場の強さの変化を測定した結果を示すグラフであり、(c) は X Z 平面内における磁場の強さの変化を測定した結果を示すグラフである。

30

【図 11】従来の二次元磁気センサの磁場の変化を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、本発明を詳しく説明する。

図 1 は、本発明の磁気センサの一実施形態を示す概略構成図で、図 1 (a) は平面図、図 1 (b) は断面図である。また、図 2 は、本発明の磁気センサで用いられる磁気抵抗効果素子を示す概略構成図で、図 2 (a) は平面図、図 2 (b) は正面図である。

この実施形態の磁気センサは、例えば、 SiO_2 / Si 、ガラスまたは石英からなる略正方形の基板 1 と、X 軸方向の磁界を検出する X 軸磁気抵抗効果素子 2、Y 軸方向の磁界を検出する Y 軸磁気抵抗効果素子 3、Z 軸方向の磁界を検出する Z 軸磁気抵抗効果素子 4 と、バイアス磁界用のコイル (図示略) と、複数の電極パッド (図示略) とから概略構成されている。

40

X 軸磁気抵抗効果素子 2 と Y 軸磁気抵抗効果素子 3 は基板 1 の同一表面 1 a 上に形成されており、X 軸磁気抵抗効果素子 2 のピンド層の磁化の向きは、基板 1 の表面 1 a と平行な一方向となっており、Y 軸磁気抵抗効果素子 3 のピンド層の磁化の向きは、基板 1 の表面 1 a と平行な一方向となっている。さらに、X 軸磁気抵抗効果素子 2 のピンド層の磁化の向きと、Y 軸磁気抵抗効果素子 3 のピンド層の磁化の向きとが直交している。

また、この実施形態の磁気センサには、楔型溝 5 が、基板 1 の一辺に平行で、この一辺の近傍、かつこの一辺の中央部近傍に形成されている。

このように、楔型溝 5 の斜面 5 a 上に、Z 軸磁気抵抗効果素子 4 が配されていることに

50

より、X軸、Y軸、Z軸の3次元方向の地磁気レベルの磁界測定が可能となる。

【0013】

X軸磁気抵抗効果素子2、Y軸磁気抵抗効果素子3、Z軸磁気抵抗効果素子4は、図2に示すように、互いに隣り合って平行に配置された複数の帯状部2a、3a、4aが、バイアス磁石2b、3b、4bを介して接続されている。

X軸磁気抵抗効果素子2、Y軸磁気抵抗効果素子3、Z軸磁気抵抗効果素子4は、これらの磁気抵抗効果素子が巨大磁気抵抗素子(GMR素子)の場合、膜厚2.4nmのタンタル(Ta)、膜厚24.0nmの白金-マンガン(Pt-Mn)、膜厚2.2nmのコバルト-鉄(Co-Fe)、膜厚2.4nmの銅(Cu)、膜厚1.2nmのコバルト-鉄(Co-Fe)、膜厚3.3nmのニッケル-鉄(Ni-Fe)、膜厚8.0nmのコバルト-ジルコニウム-ニオブ(Co-Zr-Nb)などの金属薄膜がこの順に積層された積層体で形成されている。

10

【0014】

以下、この実施形態の磁気センサの製造方法について説明する。

図3および図4は、この実施形態の磁気センサの製造方法の第1の例を示す断面模式図である。

この磁気センサの製造方法では、まず、図3(a)に示すように、厚さ数mm程度のシリコン基板11を、900~1100で熱酸化し、表面に厚さ500nm程度の二酸化ケイ素(SiO₂)層12を形成する。

【0015】

20

次に、図3(b)に示すように、二酸化ケイ素層12の表面上に、任意の厚さのフォトリソグロウを塗布し、このフォトリソグロウの表面に、楔型溝を形成する部分のみが開口するように、任意形状のマスクを配置して、焼き付け、現像処理を行って不必要なフォトリソグロウを取り除き、楔型溝を形成するための開口部を有する第1のレジスト膜13を形成する。第1のレジスト膜13の厚さは、0.8~1μm程度が好ましい。

第1のレジスト膜13として用いられるフォトリソグロウは、光や紫外線照射により感度よく架橋反応を起こして硬化し、未露光部が溶媒に可溶化(ネガ型)する樹脂であり、高解像度の任意形状を形成することができる樹脂である。また、現像液としては、専用の剥離液、アセトンなどの有機溶剤、アルカリ水溶液などが用いられる。なお、ネガレジストの代わりに、ポジレジストを用いてもよい。

30

【0016】

次に、シリコン基板11、二酸化ケイ素層12、第1のレジスト膜13からなる積層体を、パフアドフック酸に浸漬し、図3(c)に示すように、第1のレジスト膜13で保護されていない部分の二酸化ケイ素層12を除去する。

【0017】

次に、図3(d)に示すように、第1のレジスト膜13を除去する。レジスト膜13を除去するには、N-メチル-2-ピロリドンで、第1のレジスト膜13と二酸化ケイ素層12の界面を洗浄する。このとき、シリコン基板11、二酸化ケイ素層12、第1のレジスト膜13からなる積層体を、N-メチル-2-ピロリドン中に浸漬し、85で、超音波洗浄すれば、第1のレジスト膜13の除去を効率的に行なうことができる。

40

【0018】

次に、図3(e)に示すように、シリコン基板11、二酸化ケイ素層12からなる積層体を、水酸化カリウムの50%水溶液に浸漬し、90でエッチングする。これにより、シリコン基板11の二酸化ケイ素層12が形成されていない部分が、(111)面が出るようにエッチングされ、楔型溝14が形成される。

【0019】

次に、図4(a)に示すように、二酸化ケイ素層12の表面上および楔型溝14内に、スパッタリング法によって、下地膜15を形成する。

下地膜15としては、チタン(Ti)またはクロム(Cr)300μm/コバルト(Co)-白金(Pt)-Cr1000μmを用いることができる。

50

【 0 0 2 0 】

次に、下地膜 15 の表面上に、任意の厚さのフォトレジストを塗布し、このフォトレジストの表面に、任意形状のマスクを配置して、焼き付け、現像処理を行って不必要なフォトレジストを取り除き、任意の下地膜 15 のパターンを有する第 2 のレジスト膜 16 を形成する。

次に、図 4 (b) に示すように、第 2 のレジスト膜 16 で保護されていない部分の下地膜 15 を、イオンミリングにより除去し、下地膜 15 を任意形状に形成する。

【 0 0 2 1 】

次に、図 4 (c) に示すように、第 2 のレジスト膜 16 を除去する。第 2 のレジスト膜 16 を除去するには、第 1 のレジスト膜 13 を除去するのと同様な方法が用いられる。

10

【 0 0 2 2 】

次に、GMR 素子をなす GMR 多層膜 17 を、スパッタリング法、真空蒸着法、イオンプレーティング法などによって、二酸化ケイ素層 12 および下地膜 15 の表面上に形成する。

GMR 多層膜 17 は、シリコン基板 11 上に、順に積層されたフリー層と、膜厚が 2 . 4 nm の銅 (Cu) からなる導電性のスペーサ層と、ピンド層と、膜厚が 2 . 4 nm の tantalum (Ta) からなるキャッピング層とからなっている。

【 0 0 2 3 】

フリー層は、外部磁界の向きに応じて磁化の向きが変化する層であり、シリコン基板 11 の直上に形成された膜厚が 8 . 0 nm のコバルト - ジルコニウム - ニオブ (Co - Zr - Nb) アモルファス磁性層と、この上に形成された膜厚が 3 . 3 nm のニッケル - 鉄 (Ni - Fe) 磁性層と、さらに、この上に形成された膜厚が 1 . 2 nm のコバルト - 鉄 (Co - Fe) 層とからなっている。

20

Co - Zr - Nb アモルファス磁性層と Ni - Fe 磁性層は、軟質強磁性体薄膜層を構成している。Co - Fe 層は、MR 比を高めるものである。

【 0 0 2 4 】

ピンド層は、膜厚が 2 . 2 nm のコバルト - 鉄 (Co - Fe) 磁性層と、白金を 45 ~ 55 mol % 含む白金 - マンガン (Pt - Mn) 合金から形成した膜厚が 24 . 0 nm の白金 - マンガン (Pt - Mn) 反強磁性層とが積層されたものである。

Co - Fe 磁性層は、着磁 (磁化) された Pt - Mn 反強磁性層に交換結合的に裏打ちされることにより磁化 (磁化ベクトル) の向きがピン (固着) されるピンド層を構成している。

30

【 0 0 2 5 】

次に、GMR 多層膜 17 の表面上に、任意の厚さのフォトレジストを塗布し、このフォトレジストの表面に、任意形状のマスクを配置して、焼き付け、現像処理を行って不必要なフォトレジストを取り除き、任意の GMR 多層膜 17 のパターンを有する第 3 のレジスト膜 (図示略) を形成する。

次に、第 3 のレジスト膜で保護されていない部分の GMR 多層膜 17 を、イオンミリングにより除去し、GMR 多層膜 17 を任意形状に形成する。

次に、図 4 (d) に示すように、第 3 のレジスト膜を除去する。第 3 のレジスト膜を除去するには、第 1 のレジスト膜 13 を除去するのと同様な方法が用いられる。

40

得られた積層体を、永久磁石上に載置して熱処理し、ピンド層の磁化の向きを固定し、磁気センサを得る。

【 0 0 2 6 】

図 5 は、この実施形態の磁気センサの製造方法の第 2 の例を示す断面模式図である。

この磁気センサの製造方法では、前記第 1 の例において、図 3 (b) ~ (e) に示した工程を以下のようにする。

図 5 (a) に示すように、二酸化ケイ素層 12 の表面上に、任意の厚さのフォトレジストを塗布し、このフォトレジストの表面に、テーパ状の溝を形成する部分のみが開口するように、任意形状のマスクを配置して、焼き付け、現像処理を行って不必要なフォトレジ

50

ストを取り除き、テーパ状の開口部を有する第1のレジスト膜13を形成する。第1のレジスト膜13の厚さは、 $0.8 \sim 1 \mu\text{m}$ 程度が好ましい。次いで、イオンミリングにより、第1のレジスト膜13の開口部の端部に斜面を一旦、形成する。次いで、第1のレジスト膜13の開口部のレジストを加熱し、リフローさせて、開口部端部をテーパ状に形成する。

【0027】

次に、図5(b)に示すように、イオンミリングにより、第1のレジスト膜13で保護されていない部分のシリコン基板11および二酸化ケイ素層12を削る。このとき、第1のレジスト膜13の開口部のテーパ形状をトレースすれば、図5(b)に示すような、向い合う斜面と、この斜面に挟まれた底面とからなる断面台形状の溝14が形成される。

10

次いで、図5(c)に示すように、第1のレジスト膜13を除去する。

【0028】

図6および図7は、この実施形態の磁気センサの製造方法の第3の例を示す断面模式図である。

この磁気センサの製造方法では、まず、図6(a)に示すように、厚さ数mm程度のシリコン基板11を、 $900 \sim 1100$ で熱酸化し、表面に厚さ 500 nm 程度の二酸化ケイ素(SiO_2)層12を形成する。

【0029】

次に、図6(b)に示すように、二酸化ケイ素層12の表面上に、任意の厚さのフォトレジストを塗布し、このフォトレジストの表面に、楔型溝を形成する部分のみが開口するように、任意形状のマスクを配置して、焼き付け、現像処理を行って不必要なフォトレジストを取り除き、楔型溝を形成するための開口部を有する第1のレジスト膜13を形成する。第1のレジスト膜13の厚さは、 $0.8 \sim 1 \mu\text{m}$ 程度が好ましい。

20

第1のレジスト膜13として用いられるフォトレジストは、光や紫外線照射により感度よく架橋反応を起こして硬化し、未露光部が溶媒に可溶化(ネガ型)する樹脂であり、高解像度の任意形状を形成することができる樹脂である。また、現像液としては、専用の剥離液、アセトンなどの有機溶剤、アルカリ水溶液などが用いられる。なお、ネガレジストの代わりに、ポジレジストを用いてもよい。

【0030】

次に、シリコン基板11、二酸化ケイ素層12、第1のレジスト膜13からなる積層体を、パフアドフッ酸に浸漬し、図6(c)に示すように、第1のレジスト膜13で保護されていない部分の二酸化ケイ素層12を除去する。

30

【0031】

次に、図6(d)に示すように、第1のレジスト膜13を除去する。レジスト膜13を除去するには、N-メチル-2-ピロリドンで、第1のレジスト膜13と二酸化ケイ素層12の界面を洗浄する。このとき、シリコン基板11、二酸化ケイ素層12、第1のレジスト膜13からなる積層体を、N-メチル-2-ピロリドン中に浸漬し、 85 で、超音波洗浄すれば、第1のレジスト膜13の除去を効率的に行なうことができる。

【0032】

次に、図6(e)に示すように、シリコン基板11、二酸化ケイ素層12からなる積層体を、水酸化カリウムの 50% 水溶液に浸漬し、 90 でエッチングする。これにより、シリコン基板11の二酸化ケイ素層12が形成されていない部分が、(111)面が出るようにエッチングされ、楔型溝14が形成される。

40

【0033】

次に、図6(f)に示すように、二酸化ケイ素層12の表面上および楔型溝14内に、スパッタリング法によって、下地膜15を形成する。

下地膜15としては、チタン(Ti)またはクロム(Cr) $300 \mu\text{m}$ /コバルト(Co)-白金(Pt)-Cr $1000 \mu\text{m}$ を用いることができる。

【0034】

次に、下地膜15の表面上に、任意の厚さのフォトレジストを塗布し、このフォトレジ

50

ストの表面に、任意形状のマスクを配置して、焼き付け、現像処理を行って不必要なフォトレジストを取り除き、任意の下地膜 15 のパターンを有する第 2 のレジスト膜 (図示略) を形成する。

次に、図 7 (a) に示すように、第 2 のレジスト膜で保護されていない部分の下地膜 15 を、イオンミリングにより除去し、下地膜 15 を任意形状に形成する。これにより、楔型溝 14 内の一方の斜面と、二酸化ケイ素層 12 の表面の一部にのみ、下地膜 15 が存在するようにする。

【 0 0 3 5 】

次に、GMR 素子をなす第 1 の GMR 多層膜 18 を、斜めスパッタリング法などによって、二酸化ケイ素層 12 および下地膜 15 の表面全面に形成する。

10

次に、第 1 の GMR 多層膜 18 の表面上に、任意の厚さのフォトレジストを塗布し、このフォトレジストの表面に、任意形状のマスクを配置して、焼き付け、現像処理を行って不必要なフォトレジストを取り除き、任意の第 1 の GMR 多層膜 18 のパターンを有する第 3 のレジスト膜 (図示略) を形成する。

次に、第 3 のレジスト膜で保護されていない部分の第 1 の GMR 多層膜 18 を、イオンミリングにより除去し、第 1 の GMR 多層膜 18 を任意形状に形成する。これにより、図 7 (b) に示すように、楔型溝 14 内に形成された下地膜 15 の表面上にのみ、第 1 の GMR 多層膜 18 が存在するようにする。

【 0 0 3 6 】

次に、図 7 (c) に示すように、二酸化ケイ素層 12、下地膜 15 および第 1 の GMR 多層膜 18 の表面全面に、スパッタリング法により、厚さ 300 nm 程度の酸化ケイ素 (SiO) 層 19 を形成する。

20

次に、図 7 (d) に示すように、イオンミリングなどにより、酸化ケイ素層 19 を貫通して、内層の下地膜 15 が露出するように、円形状のコンタクトホール 20 を形成する。

【 0 0 3 7 】

次に、再び、酸化ケイ素層 19 の表面全面にスパッタリング法によって、下地膜 15 を形成する。このとき、コンタクトホール 20 内にも、下地膜 15 を形成し、酸化ケイ素層 19 の下層の下地膜 15 と接合するようにする。

次に、この下地膜 15 の表面上に、任意の厚さのフォトレジストを塗布し、このフォトレジストの表面に、任意形状のマスクを配置して、焼き付け、現像処理を行って不必要なフォトレジストを取り除き、任意の下地膜 15 のパターンを有する第 4 のレジスト膜 (図示略) を形成する。

30

次に、図 7 (e) に示すように、第 4 のレジスト膜で保護されていない部分の下地膜 15 を、イオンミリングにより除去し、下地膜 15 を任意形状に形成する。

【 0 0 3 8 】

次に、第 2 の GMR 多層膜 21 を、スパッタリング法などによって、下地膜 15 および酸化ケイ素層 19 の表面全面に形成する。

次に、第 2 の GMR 多層膜 21 の表面上に、任意の厚さのフォトレジストを塗布し、このフォトレジストの表面に、任意形状のマスクを配置して、焼き付け、現像処理を行って不必要なフォトレジストを取り除き、任意の第 2 の GMR 多層膜 21 のパターンを有する第 5 のレジスト膜 (図示略) を形成する。

40

次に、第 5 のレジスト膜で保護されていない部分の第 2 の GMR 多層膜 21 を、イオンミリングにより除去し、第 2 の GMR 多層膜 21 を任意形状に形成する。

次に、第 5 のレジスト膜を除去し、図 7 (f) に示すような磁気センサを得る。

【 0 0 3 9 】

なお、上記の磁気センサの製造方法では、磁気抵抗効果素子を形成する金属積層体を GMR 多層膜としたが、本発明の磁気センサの製造方法にあっては、AMR 膜であってもよい。

AMR 膜を形成する場合、上記下地膜を、膜厚が 30 nm のクロム (Cr) 層と、膜厚が 90 nm のコバルト - クロム - 白金 (Co - Cr - Pt) 層と、膜厚が 20 nm のチタ

50

ン (T i) 層からなるものとする。

また、A M R 多層膜を、膜厚が 2 0 n m のニッケル - 鉄 (N i - F e) 層と、膜厚が 1 0 n m のタンタル (T a) 層と、膜厚が 3 0 . 0 n m のコバルト - ジルコニウム - ニオブ (C o - Z r - N b 、モル比が、C o : Z r : N b = 7 9 m o l : 9 m o l : 1 2 m o l) 層と、膜厚が 1 . 5 n m のチタン (T i) 層とからなるものとする。

【 0 0 4 0 】

図 8 は、本発明の磁気センサの製造方法のさらにもう 1 つの例を示す断面模式図である。

上述の磁気センサの製造方法において、磁気抵抗効果素子を G M R 素子で形成したが、この磁気センサの製造方法では、T M R 素子で形成する。

10

以下に T M R 素子の形成方法を示す。

まず、図 8 (a) に示すように、シリコンなどからなる基板 4 1 の表面上に、下部電極を構成する T i からなる膜を、膜厚 3 0 n m 程度にスパッタリングにより形成し、次いで固定磁化層の反磁化層の反強磁性膜 (ピンド層) を構成するための P t - M n からなる膜および N i - F e からなる膜を、それぞれ膜厚が 3 0 n m および 5 n m となるようにスパッタリングにより形成する。ここでは、これらの T a 膜、P t - M n 膜、N i - F e 膜からなる磁性層を下磁性層 4 2 とする。

【 0 0 4 1 】

次に、下磁性層 4 2 の表面上に、アルミニウムを 1 n m 積層し、プラズマ酸化させて、絶縁層 4 3 となる A l ₂ O ₃ からなる膜を形成する。

20

次に、フリー層の強磁性膜を構成する N i - F e からなる膜を、例えば、スパッタリングにより膜厚が 8 0 n m となるように形成し、その上にキャッピング層を構成する T i からなる膜を膜厚が 3 0 n m となるように形成する。ここでは、これらの N i - F e 膜、T i 膜からなる磁性層を上磁性層 4 4 とする。

【 0 0 4 2 】

次に、図 8 (b) に示すように、上磁性層 4 4 を、イオンミリングなどにより分離する。

次に、図 8 (c) に示すように、下磁性層 4 2 を、イオンミリングなどにより分離する。

【 0 0 4 3 】

30

次に、図 8 (d) に示すように、層間絶縁層 4 5 を構成する S i O ₂ からなる膜を膜厚が基板 4 1 上で 3 0 0 n m となるようにスパッタリングによって形成する。

次に、図 8 (e) に示すように、層間絶縁層 4 5 に、イオンミリングなどによりコンタクトホール 4 6 を形成する。

【 0 0 4 4 】

次に、図 8 (f) に示すように、層間絶縁層 4 5 の表面全面およびコンタクトホール 4 6 内にアルミニウム膜を、その膜厚が 3 0 0 n m となるようにスパッタリングにより形成し、これを配線形状に加工して、上部電極 4 7 を形成し、T M R 素子を備えた磁気センサを得る。

【 0 0 4 5 】

40

このように、本発明の磁気センサの製造方法によれば、ピンド層の磁化の向きが互いに 3 次元方向に交差するように、複数の磁気抵抗効果素子が微小な単一基板に配された磁気センサを高精度に、容易に製造することができる。また、この製造方法によれば、このような同一の磁気センサを一度に大量に製造することができるので、製造コストを低減することができる。

【 0 0 4 6 】

図 3 および図 4 に示した製造方法の第 1 の例によって製造された、図 1 に示したような第 1 の実施形態の磁気センサに対し、磁化の向きを確認するために、1 O e (エルステッド) の磁場を磁気センサの回りに回転させ、X 軸磁気抵抗効果素子 2、Y 軸磁気抵抗効果素子 3、Z 軸磁気抵抗効果素子 4 で検出される磁場の強さの変化を測定した。ここで用い

50

た磁気センサに備えられた X 軸磁気抵抗効果素子 2、Y 軸磁気抵抗効果素子 3、Z 軸磁気抵抗効果素子 4 は GMR 素子である。

X 軸磁気抵抗効果素子 2、Y 軸磁気抵抗効果素子 3、Z 軸磁気抵抗効果素子 4 それぞれの結果を図 9 に示す。図 9 (a) は、X Y 平面内において測定した測定結果を、図 9 (b) は Y Z 平面内において測定した測定結果を、図 9 (c) は X Z 平面内において測定した測定結果をそれぞれ示す。

【 0 0 4 7 】

図 9 (a) の結果から、X 軸磁気抵抗効果素子 2 では、X Y 平面内において磁場の変化が余弦波状に測定される。Y 軸磁気抵抗効果素子 3 では、X Y 平面内において磁場の変化が正弦波状に測定される。Z 軸磁気抵抗効果素子 4 では、X Y 平面内において余弦波状に測定されるものの、測定強度が低いことが確認された。

10

また、図 9 (b) の結果から、X 軸磁気抵抗効果素子 2 では、Y Z 平面内において磁場の変化が測定されない。Y 軸磁気抵抗効果素子 3 では、Y Z 平面内において磁場の変化が余弦波状に測定される。Z 軸磁気抵抗効果素子 4 では、Y Z 平面内において正弦波状に測定されるものの、測定強度が低いことが確認された。

また、図 9 (c) の結果から、X 軸磁気抵抗効果素子 2 では、X Z 平面内において磁場の変化が余弦波状に測定される。Y 軸磁気抵抗効果素子 3 では、X Z 平面内において磁場の変化が測定されない。Z 軸磁気抵抗効果素子 4 では、X Z 平面内において余弦波状に測定されるものの、X 軸磁気抵抗効果素子 2 より 5 5 ° 位相が遅れて測定されることが確認された。

20

以上より、X 軸磁気抵抗効果素子 2 の感度方向、すなわちピンド層の磁化の向きが X 軸と平行になっており、Y 軸磁気抵抗効果素子 3 の感度方向、すなわちピンド層の磁化の向きが Y 軸と平行になっており、Z 軸磁気抵抗効果素子 4 の感度方向、すなわちピンド層の磁化の向きは X 軸と 5 5 ° の角度で交差していることが分かる。

【 0 0 4 8 】

また、図 5 に示した製造方法の第 2 の例によって製造された、図 1 に示したような第 1 の実施形態の磁気センサに対し、磁化の向きを確認するために、1 O e (エルステッド) の磁場を磁気センサの回りに回転させ、X 軸磁気抵抗効果素子 2、Y 軸磁気抵抗効果素子 3、Z 軸磁気抵抗効果素子 4 で検出される磁場の強さの変化を測定した。

X 軸磁気抵抗効果素子 2、Y 軸磁気抵抗効果素子 3、Z 軸磁気抵抗効果素子 4 それぞれの結果を図 1 0 に示す。図 1 0 (a) は X Y 平面内において測定した測定結果を、図 1 0 (b) は Y Z 平面内において測定した測定結果を、図 1 0 (c) は X Z 平面内において測定した測定結果をそれぞれ示す。

30

【 0 0 4 9 】

図 1 0 (a) の結果から、X 軸磁気抵抗効果素子 2 では、X Y 平面内において磁場の変化が余弦波状に測定される。Y 軸磁気抵抗効果素子 3 では、X Y 平面内において磁場の変化が正弦波状に測定される。Z 軸磁気抵抗効果素子 4 では、X Y 平面内において余弦波状に測定されるものの、測定強度が低いことが確認された。

また、図 1 0 (b) の結果から、X 軸磁気抵抗効果素子 2 では、Y Z 平面内において磁場の変化が測定されない。Y 軸磁気抵抗効果素子 3 では、Y Z 平面内において磁場の変化が余弦波状に測定される。Z 軸磁気抵抗効果素子 4 では、Y Z 平面内において正弦波状に測定されるものの、測定強度が低いことが確認された。

40

また、図 1 0 (c) の結果から、X 軸磁気抵抗効果素子 2 では、X Z 平面内において磁場の変化が余弦波状に測定される。Y 軸磁気抵抗効果素子 3 では、X Z 平面内において磁場の変化が測定されない。Z 軸磁気抵抗効果素子 4 では、X Z 平面内において余弦波状に測定されるものの、X 軸磁気抵抗効果素子 2 より 1 5 ° 位相が遅れて測定されることが確認された。

以上より、X 軸磁気抵抗効果素子 2 の感度方向、すなわちピンド層の磁化の向きが X 軸と平行になっており、Y 軸磁気抵抗効果素子 3 の感度方向、すなわちピンド層の磁化の向きが Y 軸と平行になっており、Z 軸磁気抵抗効果素子 4 の感度方向、すなわちピンド層の

50

磁化の向きはX軸と15°の角度で交差していることが分かる。

【0050】

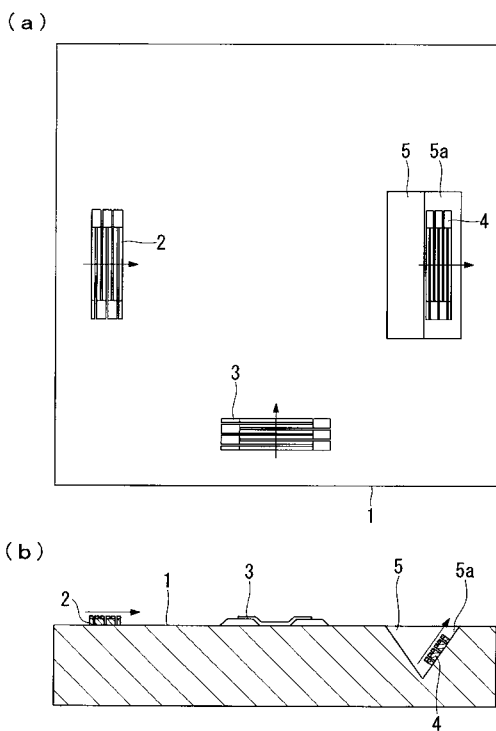
このように、本発明の磁気センサによれば、X軸磁気抵抗効果素子、Y軸磁気抵抗効果素子、Z軸磁気抵抗効果素子のそれぞれにおいて、磁場の変化を測定する感度方向が異なるから、X軸、Y軸、Z軸の3次元方向の地磁気レベルの磁界測定が可能となる。

【符号の説明】

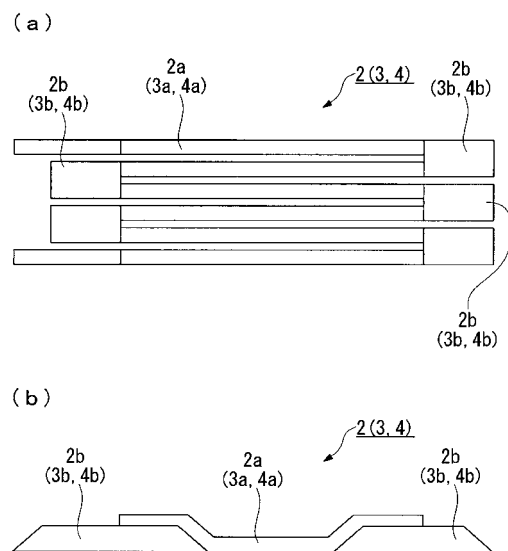
【0051】

1・・・基板、2・・・X軸磁気抵抗効果素子、3・・・Y軸磁気抵抗効果素子、4・・・Z軸磁気抵抗効果素子、5・・・楔型溝、5a・・・斜面。

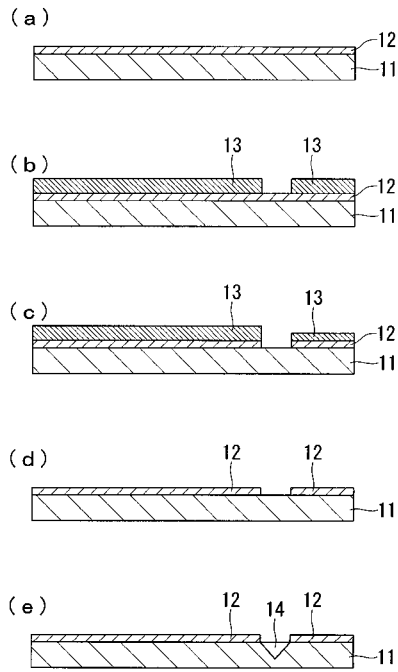
【図1】



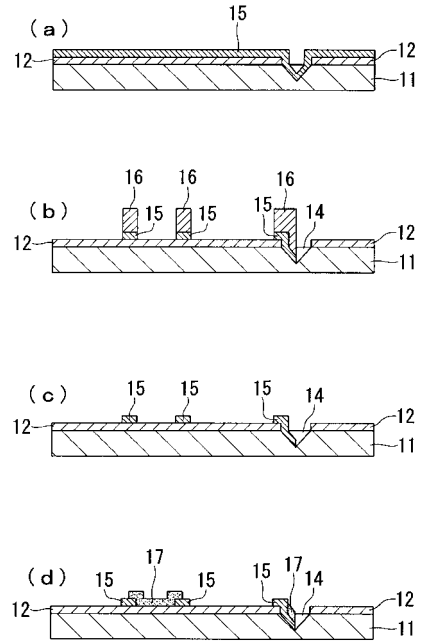
【図2】



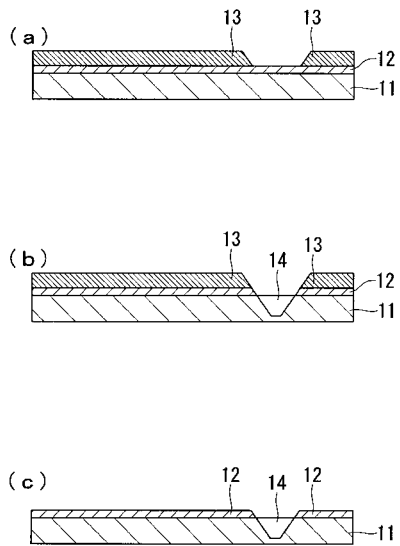
【 図 3 】



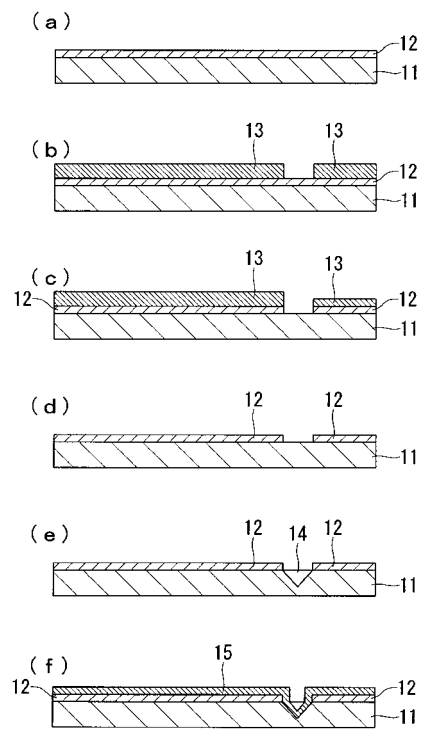
【 図 4 】



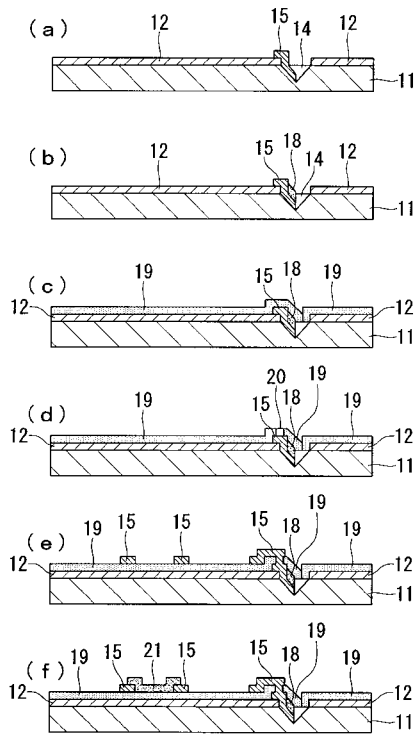
【 図 5 】



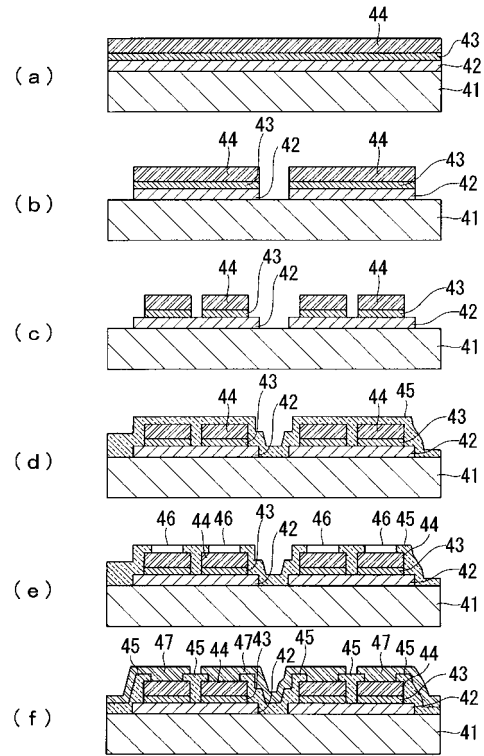
【 図 6 】



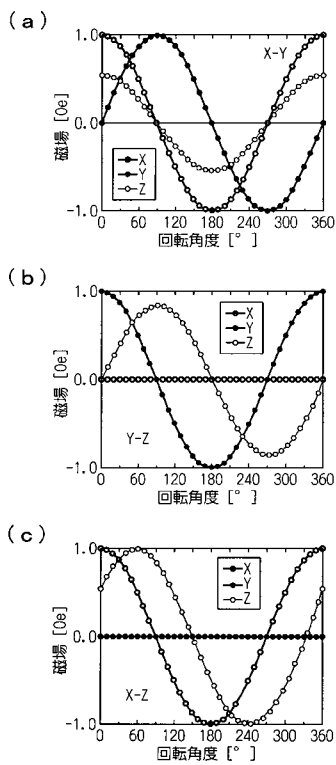
【 図 7 】



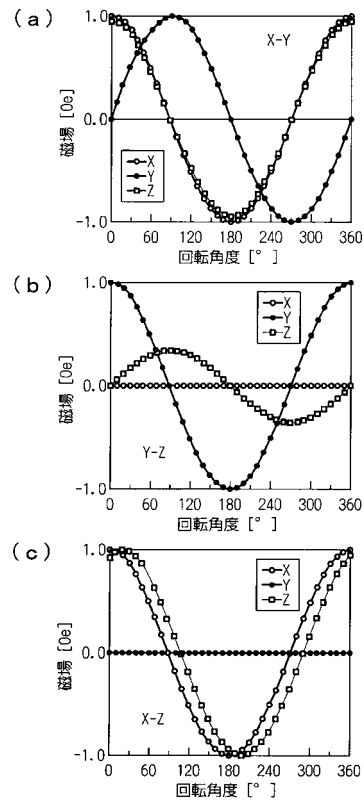
【 図 8 】



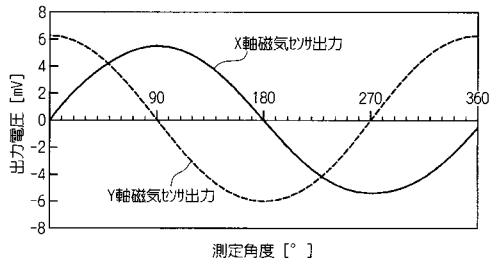
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 1 1 】



フロントページの続き

(72)発明者 佐藤 秀樹

静岡県浜松市中区中沢町10番1号 ヤマハ株式会社内

Fターム(参考) 2G017 AA03 AA13 AD55 AD56 AD60 AD65

5F092 AA13 AB01 AC05 AC08 AC12 AD03 AD06 BB04 BB05 BB10

BB17 BB22 BB31 BB35 BB42 BB43 BB53 BC03 BC04 BC13

BC18 BE06 BE24