

(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2008-286739

(P2008-286739A)

(43) 公開日 平成20年11月27日(2008.11.27)

(51) Int.Cl.
G01R 33/09 (2006.01)

F I
G01R 33/06

テーマコード(参考)
2G017

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2007-134078 (P2007-134078)
(22) 出願日 平成19年5月21日(2007.5.21)

(71) 出願人 000006013
三菱電機株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(74) 代理人 100113077
弁理士 高橋 省吾
(74) 代理人 100112210
弁理士 稲葉 忠彦
(74) 代理人 100108431
弁理士 村上 加奈子
(74) 代理人 100128060
弁理士 中鶴 一隆
(72) 発明者 友久 伸吾
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三
菱電機株式会社内

最終頁に続く

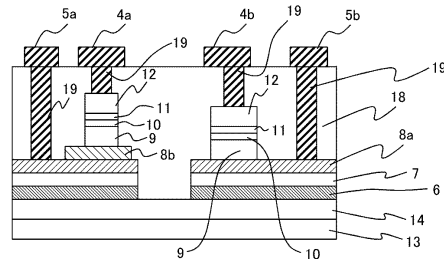
(54) 【発明の名称】 磁界検出器及び回転角度検出装置

(57) 【要約】

【課題】磁界検出範囲を極端に狭めることなく、小型化が可能で量産性に優れた多軸方向の磁界を検出できる磁界検出器並びにこの磁界検出器を用いた回転角度検出装置を提供することを目的とする。

【解決手段】磁化方向が反強磁性層8により固定される固着層9と、外部印加磁界により磁化方向が変化する自由層11と、固着層9と自由層11との間に配置されるトンネル絶縁層10をそれぞれ有する第1の磁気抵抗効果素子1aおよび第2の磁気抵抗効果素子1bが基板上に形成される。第1の磁気抵抗効果素子の反強磁性層8と固着層9間の接合面におけるブロッキング温度は、第2の磁気抵抗効果素子の反強磁性層8と固着層9間の接合面におけるブロッキング温度と異なり、かつ第1の磁気抵抗効果素子1aにおける固着層9の磁化方向は、第2の磁気抵抗効果素子1bにおける固着層9の磁化方向と異なることを特徴とする。

【選択図】 図5



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板上に形成した第 1 の磁気抵抗効果素子と第 2 の磁気抵抗効果素子を形成した磁界検出器において、

前記第 1 の磁気抵抗効果素子は、第 1 の反強磁性層と、前記第 1 の反強磁性層により磁化方向が固定される第 1 の固着層と、外部磁界により磁化方向が変化する第 1 の自由層と、前記第 1 の固着層と前記第 1 の自由層との間に配置される第 1 のトンネル絶縁層を有し、前記第 2 の磁気抵抗効果素子は、第 2 の反強磁性層と、前記第 2 の反強磁性層により磁化方向が固定される第 2 の固着層と、前記外部磁界により磁化方向が変化する第 2 の自由層と、前記第 2 の固着層と前記第 2 の自由層との間に配置される第 2 のトンネル絶縁層を有し、

前記第 1 の反強磁性層と前記第 1 の固着層間の接合面における第 1 のブロッキング温度は、前記第 2 の反強磁性層と前記第 2 の固着層間の接合面における第 2 のブロッキング温度と異なり、

かつ、前記第 1 の固着層の磁化方向は前記第 2 の固着層の磁化方向と異なることを特徴とする磁界検出器。

【請求項 2】

前記外部磁界が無磁界である場合において、前記第 1 の自由層の磁化方向が前記第 1 の固着層の磁化方向と略直交し、前記第 2 の自由層の磁化方向が前記第 2 の固着層の磁化方向と略直交することを特徴とする請求項 1 記載の磁界検出器。

【請求項 3】

前記基板は、主面及び前記主面に対して傾斜した傾斜面を有し、

前記傾斜面に第 3 の磁気抵抗効果素子が形成され、

前記第 3 の磁気抵抗効果素子は、第 3 の反強磁性層と、前記第 3 の反強磁性層により磁化方向が固定される第 3 の固着層と、前記外部磁界により磁化方向が変化する第 3 の自由層と、前記第 3 の固着層と前記第 3 の自由層との間に配置される第 3 のトンネル絶縁層を有するとともに、前記第 3 の固着層の磁化方向が前記主面と交わるように前記傾斜面に配置され、

前記第 3 の反強磁性層と前記第 3 の固着層間の接合面における第 3 のブロッキング温度は、前記第 1 のブロッキング温度または前記第 2 のブロッキング温度と等しく、

かつ、前記第 1 乃至 3 の固着層の磁化方向が夫々異なることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の磁界検出器。

【請求項 4】

前記基板は、主面と、前記主面に対して傾斜した第 1 の傾斜面と、前記第 1 の傾斜面と対向し、かつ前記主面に対して傾斜した第 2 の傾斜面を有し、

前記第 1 の傾斜面に第 3 の磁気抵抗効果素子が形成され、

前記第 3 の磁気抵抗効果素子は、第 3 の反強磁性層と、前記第 3 の反強磁性層により磁化方向が固定される第 3 の固着層と、前記外部磁界により磁化方向が変化する第 3 の自由層と、前記第 3 の固着層と前記第 3 の自由層との間に配置される第 3 のトンネル絶縁層を有するとともに、前記第 3 の固着層の磁化方向が前記主面と交わるように前記第 1 の傾斜面に配置され、

前記第 1 の磁気抵抗効果素子は前記第 1 の固着層の磁化方向が前記主面と交わるように前記第 2 の傾斜面に配置され、

前記第 3 の反強磁性層と前記第 3 の固着層間の接合面における第 3 のブロッキング温度は、前記第 1 のブロッキング温度と等しく、

かつ、前記第 1 乃至 3 の固着層の磁化方向が夫々異なることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の磁界検出器。

【請求項 5】

前記磁気抵抗効果素子は、平面形状において長手方向及び短手方向を有しており、前記固着層の磁化方向は前記短手方向であることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に

10

20

30

40

50

記載の磁界検出器。

【請求項 6】

回転体と、この回転体に配置され、前記回転体の軸を中心にして回転する磁石を備え、請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の磁界検出器が前記磁石の磁界を検出することを特徴とする回転角度検出装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、磁気抵抗効果素子を用いて磁界検出を行う磁界検出器及び回転角度検出装置に関するものである。

10

【背景技術】

【0002】

近年、トンネル磁気抵抗効果素子（TMR素子）をメモリや磁気ヘッドに応用することが検討されている。

【0003】

TMR素子は、2つの強磁性層の間に絶縁層を挟む強磁性層/絶縁層/強磁性層で構成される3層膜構造が用いられる。外部磁界により、この2つの強磁性層のスピンを互いに平行または反平行に設定することにより、この絶縁層を介して膜面垂直方向に流れるトンネル電流の大きさが変化すること、即ちTMR効果を利用する。

【0004】

20

例えば、特許文献1にはスピンプルブ型TMR素子を磁気ヘッドに適用した例が示されている。一方の強磁性層を反強磁性層と交換結合させて、その強磁性層の磁化を外部からの印加磁界にかかわらず固定する。これによっていわゆる固着層を形成している。他方の強磁性層は、磁化が外部磁界に応じて自由に回転する自由層として利用される。固着層においては、非磁性層がスペーサ層として強磁性層の間に挿入されて、これらの強磁性層に反強磁性結合を生じさせ、これらの強磁性層の磁化を反平行方向に設定する。この固着層の反平行磁界により、固着層からの漏洩磁界を相殺して、自由層に対する漏洩磁化の影響を低減させ、高感度な磁界検出を可能にしていた。

【0005】

外部磁界を検出する磁界検出器にあつては、1軸方向の磁界を検出するだけでなく、2軸や3軸方向の磁界を検出する用途もある。2軸方向の磁界を検出できる磁界検出器を同一基板上に形成し、量産性を向上させた例が特許文献2に示されている。2つの磁気抵抗素子が、長手方向が90度の角度を成すように配置され、その2つの磁気抵抗素子に対して45度方向への一軸異方性を付与することで、同一基板上に2軸方向の磁界を検出できる磁界検出器を製造可能としていた。

30

【0006】

【特許文献1】特開平7-169026号公報（0017段乃至0019段、図5）

【特許文献2】特開2006-208020号公報（0012段乃至0013段、図2）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0007】

特許文献1に示されたTMR素子を用いて、2軸や3軸方向の磁界を検出する磁界検出器を構成するには、特許文献1に示されたTMR素子が1軸方向（1次元）のみを検出するので、2個のTMR素子を組み合わせて2軸方向の磁界を検出するようにし、また3個のTMR素子を組み合わせて3軸方向の磁界を検出するように構成することになる。したがって、多軸方向の磁界を検出できる磁界検出器は、個別のTMR素子を組み合わせる必要があるため、小型化を図ることが困難であり、また、各素子の磁界検出器内の配置や軸調整の作業工程が余分に必要となり、量産性が劣るといった問題点があった。

【0008】

特許文献2に示された2軸方向の磁界を検出できる磁界検出器は、長手方向が90度の

50

角度を成すように配置された２つの磁気抵抗素子に対して４５度方向への一軸異方性を付与する方法で製造していた。しかしながら、この方法は、２つの磁気抵抗素子を個別に短手方向への一軸異方性を付与した場合と比較して、夫々の素子の磁界強度測定範囲が狭くなるという問題があった。このような方法をＴＭＲ素子に適用すると、無磁界時における夫々のＴＭＲ素子の固着層と自由層との角度を個別に最適化することができないので、無磁界時においてＴＭＲ素子の抵抗変化の中心付近にすることができず、磁界の正方向、負方向で検出できる磁界強度が均等にできなくなり、磁界検出器の測定範囲を狭くせざる得ないという問題が生じる。

【０００９】

磁界検出器を例えば回転角度を検出する回転角度検出装置に適用する場合に、特許文献 1 に示されたＴＭＲ素子を用いると、磁界検出装置が十分に小型化できない問題が生じ、特許文献 2 に示された磁界検出器を用いると、配置位置によっては磁界検出装置の不検出領域が生じてしまう恐れがあり、使用上の制約が大きくなる問題が生じる。

10

【００１０】

この発明は、上述のような課題を解決するためになされたもので、磁界検出範囲を極端に狭めることなく、小型化が可能で量産性に優れた多軸方向の磁界を検出できる磁界検出器、並びにこの磁界検出器を用いた回転角度検出装置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】

【００１１】

この発明に係る磁界検出器は、磁化方向が反強磁性層により固定される固着層と、外部印加磁界により磁化方向が変化する自由層と、固着層と自由層との間に配置されるトンネル絶縁層をそれぞれ有する第 1 の磁気抵抗効果素子および第 2 の磁気抵抗効果素子が基板上に形成される。第 1 の磁気抵抗効果素子の反強磁性層と固着層間の接合面におけるブロッキング温度は、第 2 の磁気抵抗効果素子の反強磁性層と固着層間の接合面におけるブロッキング温度と異なり、かつ第 1 の磁気抵抗効果素子における固着層の磁化方向は、第 2 の磁気抵抗効果素子における固着層の磁化方向と異なることを特徴とする。

20

【発明の効果】

【００１２】

この発明に係る磁界検出器は、第 1 の磁気抵抗効果素子と第 2 の磁気抵抗効果素子において、反強磁性層と固着層間の接合面におけるブロッキング温度が夫々異なり、かつ固着層の磁化方向が夫々異なることにより、磁界検出範囲を極端に狭めることなく、小型化が可能で量産性に優れた多軸方向の磁界を検出できる磁界検出器が得られる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【００１３】

実施の形態 1 .

図 1 は、この発明の実施の形態 1 における磁界検出器の概略構成を示す図であり、図 2 は図 1 に示す磁界検出器の電気的等価回路を示す図である。図 1 において、磁界検出器は、ＴＭＲ効果を利用する磁気抵抗効果素子 1 と、この磁気抵抗効果素子 1 に所定の大きさの定電流を供給する直流電源 2 と、磁気抵抗効果素子 1 の両電極間の電圧を検出する電圧計 3 により構成される。直流電源 2 および電圧計 3 は、例えばアルミニウム（Ａ１）で構成される配線 4 および 5 を介して、磁気抵抗効果素子 1 の上部電極層（図示せず。）および下部電極層（図示せず。）にそれぞれ接続される。

40

【００１４】

磁気抵抗効果素子 1 は、主要部として固着層 9 と、自由層 11 と、これらの自由層 11 および固着層 9 の間に配設されるトンネル絶縁層 10 を含む。この磁気抵抗効果素子 1 は、ほぼ平面形状が長方形に形成され、長手方向および短手方向を有する。固着層 9 は、短手方向に磁化され、その磁化方向は固定される。自由層 11 の磁化方向は、外部磁界 H_e の強度が 0 O e の無磁界時においては、磁化方向 15 a 即ち長手方向に向いている。外部磁界 H_e の磁化方向に応じて、自由層 11 の磁化方向が回転し、例えば磁化方向 15 b に向く。

50

【 0 0 1 5 】

図 1 に示すように、磁気抵抗効果素子 1 は、無磁界時において固着層 9 の磁化方向 1 6 と自由層 1 1 の磁化方向が直交するように設定され、無磁界状態の抵抗値を素子抵抗中心値として、外部磁界の強度及び方向に応じて高抵抗状態および低抵抗状態に素子抵抗が変化し、高感度で外部磁界 H_{ex} を検出する。図 1 の磁気検出器では一定電流が流れる磁気抵抗効果素子 1 の抵抗値の変化を電圧値で測定する。

【 0 0 1 6 】

図 3 は、図 1 に示す磁気抵抗効果素子における断面構造をより具体的に示す図である。図 3 において、磁気抵抗効果素子 1 は、基板 1 3 の表面に絶縁層 1 4 を覆い、その上に形成される下部電極層 6 と、下部電極層 6 の表面に形成される下地層 7 を含む。下地層 7 の表面上に反強磁性層 8 が形成され、この反強磁性層 8 の上に固着層 9 が形成される。固着層 9 の磁化方向は反強磁性層 8 により固定される。固着層 9 の上にトンネル絶縁層 1 0 が形成され、トンネル絶縁層 1 0 の上に自由層 1 1 が形成される。自由層 1 1 の表面上に上部電極層 1 2 が形成される。ここで反強磁性層 8 は、下地層の 7 上に形成される下層反強磁性層 8 a と、その下層反強磁性層 8 a の上に形成される上層反強磁性層 8 b により構成される。固着層 9 は、反強磁性層 8 に接する下層強磁性層 9 a と、その下層強磁性層 9 a の上に形成される非磁性層 9 b と、その非磁性層 9 b の上に形成される上層強磁性層 9 c により構成される。

10

【 0 0 1 7 】

図 1 に示す固着層 9 の磁化方向 1 6 は図 3 に示す固着層 9 における下層強磁性層 9 a の磁化方向 1 6 a に対応する。固着層 9 における上層強磁性層 9 c の磁化方向は、後述する上層強磁性層 9 c と下層強磁性層 9 a との反強磁性結合により、磁化方向が磁化方向 1 6 b の向きになる。

20

【 0 0 1 8 】

次に各層の構成について詳述する。基板 1 3 は例えばシリコン基板であり、絶縁層 1 4 は例えばシリコン酸化膜である。

【 0 0 1 9 】

下部電極層 6 および上部電極層 1 2 は、各々、膜厚 1 0 n m のタンタル (T a) 膜で構成される。下部電極層 6 が図 1 に示す配線 5 に接続され、上部電極層 1 2 が図 1 に示す配線 4 に接続される。

30

【 0 0 2 0 】

下地層 7 は、ニッケル - 鉄膜 (N i - F e 膜) であり、その膜厚は 2 n m である。下地層 7 は、その上層に形成される下層反強磁性層 8 a の結晶配向性を制御するために形成され、下部電極層 6 と下層反強磁性膜 8 a との間の格子不整合に対する緩衝層として機能する。

【 0 0 2 1 】

反強磁性層 8 は、イリジウム - マンガン膜 (I r - M n 膜) からなる下層反強磁性層 8 a と、白金 - マンガン膜 (P t - M n 膜) からなる上層反強磁性層 8 b で構成され、その膜厚はそれぞれ 1 0 n m である。

【 0 0 2 2 】

固着層 9 に用いられる強磁性層 9 a および 9 c は、コバルト - 鉄膜 (C o - F e 膜) で構成される。下層強磁性層 9 a は、強磁性体層であり、反強磁性層 8 と接触して積層されることにより、その磁化方向 1 6 が固定される。すなわち、反強磁性層 8 が、下層強磁性層 9 a のスピンの向きを固定する。更に、固着層 9 と自由層 1 1 との静磁結合の影響を低減させるため、固着層 9 を強磁性層 / 非磁性層 / 強磁性層からなる 3 層構造として、これらの強磁性層を互いに反平行方向に磁化して反強磁性結合を実現させる。したがって、上層強磁性層 9 c は、下層強磁性層 9 a と逆方向を向くことになる。下層強磁性層 9 a および上層強磁性層 9 c の膜厚はそれぞれ 3 n m である。非磁性層 9 b はルテニウム (R u) からなり、その膜厚は 0 . 8 n m である。

40

【 0 0 2 3 】

50

トンネル絶縁層 10 は酸化アルミニウム (Al_2O_3) 膜で構成され、その膜厚は 2 . 2 nm である。

【0024】

自由層 11 は、Ni - Fe 膜で構成され、その膜厚は 5 nm である。自由層 11 は、外部磁界に対して敏感に磁化方向を変化することが要求されるため、軟磁性体であるのが望ましい。

【0025】

次に、この図 3 に示す磁気抵抗効果素子 1 の製造方法について説明する。図 4 は、作製された 2 軸方向磁界検出素子の基板面上方から見た素子配置図である。この素子配置図における素子領域 A および素子領域 B に外部磁界により抵抗の変化する磁気抵抗効果素子 1 がそれぞれ作成される。磁気抵抗効果素子 1 の形状の一例として、短辺 × 長辺が $4 \mu m \times 64 \mu m$ の長方形とする。素子領域 A および素子領域 B に作成される磁気抵抗効果素子 1 を素子 A および素子 B と呼ぶことにする。領域 C は、素子 A、素子 B および下部配線層 6 が存在しない素子分離領域である。なお、実際には素子 A および素子 B の上部電極 12 に接続される配線層 4 とコンタクト部が存在するが、ここでは省略している。素子 A および素子 B におけるそれぞれの固着層 9 の磁化方向は図中に示されており、素子 A が H_a 、素子 B が H_b 方向に磁化され、磁化方向 H_a 及び H_b は直交するものとする。

【0026】

次に図 4 に示す K - K 面で切断した断面構造を用いて製造方法を説明する。図 5 は、図 4 の K - K 面で切断した 2 軸方向磁界検出素子の断面構造を示す図であり、図 6 は図 5 の製造プロセスを示す図である。

【0027】

図 6 を用いて説明する。基板 13 上に、絶縁層 14 として例えばシリコン酸化膜を 500 nm 堆積し、たとえば DC マグネトロンスパッタリング法を用いて膜厚 10 nm の Ta 膜を下部電極層 6 として形成する。次いで、この下地電極層 6 の上に、膜厚 2 nm の Ni - Fe 膜を堆積し、上層に形成される強磁性膜の結晶配向性を制御する下地層 7 を形成する。続いて、下地層 7 の上に、下層反強磁性層 8 a の Ir - Mn 膜と上層反強磁性層 8 b の Pt - Mn 膜を連続して堆積し、反強磁性層 8 を形成する。その後、レジストを塗布しパターニングを行い、レジストマスク 17 を形成する。その結果、図 6 (a) に示した構造を得る。

【0028】

その後、エッチングにより、上層反強磁性層 8 b の Pt - Mn 膜のみをエッチングした後、レジスト除去を行うことによって、素子領域 B および領域 C では Ir - Mn 膜のみの反強磁性層、すなわち下層反強磁性層 8 a が形成され、素子領域 A では Ir - Mn 膜上に Pt - Mn 膜が残った積層反強磁性層が形成され、図 6 (b) に示した構造を得る。

【0029】

更に、この反強磁性層 8 の表面上に、Co - Fe 膜 / Ru 膜 / Co - Fe 膜を膜厚 3 nm / 0 . 8 nm / 3 nm の順に形成し、固着層 9 を形成した後、トンネル絶縁層 10 としての Al_2O_3 膜を形成する。このトンネル絶縁層 10 の上に膜厚 5 nm の Ni - Fe 膜を形成し、自由層 11 を形成する。更に、DC マグネトロンスパッタリング法を用いて Ta 膜を形成し、上部電極層 12 を形成する。

【0030】

次に、素子 A および素子 B それぞれの磁気抵抗効果素子 1 に対応するパターンをレジストマスク 17 にて形成し、図 6 (c) に示した構造を得る。

【0031】

その後、このレジストマスク 17 を用いてエッチングを行い、図 6 (d) に示した構造を得る。図 6 (d) では、エッチング停止面が反強磁性層 8 である場合を示している。なお、ここでのエッチングについては、トンネル絶縁層 10 の上に形成されている導電性の部分が除去されること、及び下部電極層 6 が除去されないことが必要であるため、エッチング停止面は下部電極層 6、下地層 7、反強磁性層 8、固着層部 9 のいずれでも構わない

10

20

30

40

50

が、素子側壁におけるリーク抑制の観点からエッチング停止面はトンネル絶縁膜 10 がより望ましい。

【0032】

レジストマスク 17 を除去した後、再度レジストにて下部電極層エッチング用のパターンを形成し、下部電極層 6 のエッチングを行う。具体的には領域 C においてシリコン酸化膜の絶縁層 14 を露出させることにより素子分離を行う。その後、層間絶縁膜 18 を形成し、コンタクトホール 19 の形成と、Al 膜によるコンタクトプラグ 19 および配線 4a、5a と 4b、5b をそれぞれ形成することによって、図 5 に示した構造を得る。ここで配線 4a、5a はそれぞれ素子 A における配線 4、5 であり、配線 4b、5b はそれぞれ素子 B における配線 4、5 である。

10

【0033】

固着層 9 の磁化方向 16 を決定させる方法を述べる。まず、固着層 9 の磁化する方向の特性を述べた後に、本実施の形態 1 に適用する方法を説明する。

【0034】

単一層からなる反強磁性層 8 の上に下層強磁性層 9a を磁界中で堆積した場合を説明する。下層強磁性層 9a は反強磁性層 8 と交換結合する。例えば、下層強磁性層 9a の磁化方向が図 3 に示す磁化方向 16a になったとする。その後、非磁性層 9b および上層強磁性層 9c を成膜した後も磁化方向は磁化方向 16a を維持する。具体的には下層強磁性層 9a および上層強磁性層 9c は非磁性層 9b を介して互いに反強磁性結合を形成し、これら下層強磁性層 9a および上層強磁性層 9c の磁化方向が互いに反対方向のままで維持される。

20

【0035】

上述の交換結合は、ネール温度より低い温度において、ブロッキング温度を超えると交換結合の効果を失い、下層強磁性層 9a の磁化方向は反強磁性層 8 の制約を受けなくなる。言い換えれば、ブロッキング温度より高温状態において固着層 9 に対して飽和磁界以上の印加磁界中で熱処理を行うことで、固着層 9 における下層強磁性層 9a の磁化方向は印加された印加磁界の方向へ向けることができる。そして、その印加磁界中で温度を下げることによって、その磁化方向が維持されたまま反強磁性層 8 との交換結合を形成する。ここで、ブロッキング温度は、反強磁性層による強磁性層の磁化方向を固着するバイアス磁界が消失する温度である。

30

【0036】

本実施の形態 1 においては、2 種類の下層反強磁性層 8a および上層反強磁性層 8b を用いるので、磁場中での熱処理に際し、異なる温度での複数回の熱処理を行う。具体的には以下のように行う。まず、図 4 に示す Ha 方向 (X 方向) へ 5 kOe の磁界を印加し、300 で 3 時間、その状態を保持する。これにより、固着層 9 における下層強磁性層 9a は Ha 方向への磁化を持つことになる。Ha 方向の磁界を印加しながら冷却することにより、素子 A および素子 B とともに固着層 9 における下層強磁性層 9a が Ha 方向の磁化を有し、反強磁性層 8 と交換結合を持つようになる。

【0037】

次に、図 4 に示す Hb 方向 (Y 方向) へ 5 kOe の磁化を印加しながら、260 で 1 時間、熱処理を行う。この温度は Ir - Mn 膜 (下層反強磁性層 8a) と Co - Fe 膜間のブロッキング温度より高いものの、Pt - Mn 膜 (上層反強磁性層 8b) と Co - Fe 膜間のブロッキング温度より低い。そのため、素子 A においては Pt - Mn 膜 (上層反強磁性層 8b) と Co - Fe 膜間の交換結合が保持されているが、素子 B においては Ir - Mn 膜 (下層反強磁性層 8a) と Co - Fe 膜間の交換結合が保持されない。そのため、素子 B においては、固着層 9 における下層強磁性層 9a は Hb 方向への磁化を持つようになり、冷却時に Ir - Mn 膜 (下層反強磁性層 8a) との交換結合を生じさせる。その結果、素子 A では Ha 方向の磁化を有する下層強磁性層 9a を形成でき、素子 B では Hb 方向の磁化を有する下層強磁性層 9a を形成できる。

40

【0038】

50

以上のように、素子 A および素子 B において、下層強磁性層 9 a と反強磁性層 8 間のプロッキング温度が異なるように構成したので、それぞれ所望の方向に下層強磁性層 9 a を磁化することができる。

【0039】

上層強磁性層 9 c は、Ru 膜で構成される非磁性層 9 b を介して下層強磁性層 9 a と反平行に磁化され、反強磁性結合される。その結果、素子 A では X 軸方向即ち短手方向の磁化を有する固着層 9 における下層強磁性層 9 a を形成でき、素子 B では Y 軸方向即ち短手方向の磁化を有する固着層 9 における下層強磁性層 9 a を形成できる。

【0040】

下層強磁性層 9 a および上層強磁性層 9 c の膜厚は、共に 3 nm である。したがって、反平行に結合される 2 つの下層強磁性層 9 a および上層強磁性層 9 c の厚さが等しく、共に磁界強度は同じであるので、下層強磁性層 9 a および上層強磁性層 9 c の漏洩磁界は、方向が互いに反対であり、実質的に相殺される。図 3 に示す磁気抵抗効果素子 1 の場合、固着層 9 における漏洩磁界は、下層強磁性層 9 a および上層強磁性層 9 c により相殺され、固着層 9 と自由層 1 1 の間の静磁結合を抑制できる。これにより磁気抵抗効果素子 1 の自由層 1 1 は、固着層 9 からの漏洩磁界の影響を受けないので、無磁界時において形状磁気異方性により磁化が長手方向に向くようになる。自由層 1 1 に追加の処理をすることなく、固着層 9 及び自由層 1 1 の磁化の方向を直交させることができる。なお、固着層 9 の磁化の方向を短手方向からずらすことで、固着層 9 及び自由層 1 1 の磁化の方向を任意の角度にすることができる。

【0041】

上述のように、磁気抵抗効果素子 1 において、固着層 9 と自由層 1 1 の間の静磁結合を抑制でき、さらに無磁界時における固着層 9 と自由層 1 1 との磁化方向を実効的に直交である略直交にすることができる。これにより、無磁界 (0 O e) 時において、磁気抵抗効果素子 1 の素子抵抗値は、素子抵抗の抵抗値 R における中心値 R m を得ることができる。したがって、磁気抵抗効果素子 1 に一定の電流 I を流した場合には、図 7 に示すように、無磁界 (0 O e) における出力電圧 V m は $I \times R m$ となり、出力電圧 V a 及び V b の中心値を得ることができる。その結果、無磁界 (0 O e) 時において、磁気抵抗効果素子 1 の抵抗値 R が中心値 R m にできるので、磁界の正方向、負方向で検出できる磁界強度が均等にでき、磁界検出器の測定範囲を最大に設定することができる。ここで、電圧 V a は、自由層 1 1 の磁化方向が固着層 9 における下層強磁性層 9 a の磁化方向と平行になり、抵抗値 R が最小になった場合の電圧である。電圧 V b は、自由層 1 1 の磁化方向が固着層 9 における下層強磁性層 9 a の磁化方向と反平行になり、抵抗値 R が最大になった場合の電圧である。

【0042】

また、固着層 9 を上述のような三層構造にしたことにより、単一層で構成される固着層の場合に問題となる強磁性層の膜厚に起因する固着層の漏洩磁界を抑制することができ、同一の基板に複数の素子を作成してもそれぞれの素子で無磁界時における素子抵抗がばらつくことなく、無磁界時における素子抵抗の抵抗値 R における中心値 R m を得ることができる。なお、図 7 は、図 1 に示す構成の磁界検出器における磁界 / 出力電圧の特性曲線である。縦軸の出力電圧は任意単位で示している。

【0043】

次に、図 1 に示す磁界検出器の出力電圧について説明する。この磁界検出器の動作時においては、磁気抵抗効果素子 1 に対し、直流電源 2 から一定の電流値の電流 I が供給される。磁気抵抗効果素子 1 において、固着層 9 と自由層 1 1 との間には磁気的な相互作用がない理想状態を考える。外部磁界 H e x が固着層 9 の磁化方向 1 6 と同じ方向に印加された場合、外部磁界 H e x 印加時における磁気抵抗効果素子 1 の素子抵抗の抵抗値 R は、次式 (1) で表わされる。

$$R = R m + (R / 2) \times (| H | / | H k |) \quad (1)$$

ここで、R m は、外部磁界 H e x が 0 O e の状態、すなわち無磁界時における磁気抵抗効

10

20

30

40

50

果素子 1 の抵抗値 R における中心値を示し、 R は、磁気抵抗効果素子 1 の磁気抵抗変化率を示す。 H_k は、自由層 1 1 の飽和磁界の磁界強度を示し、 H は、外部磁界 H_{ex} の磁界強度を示す。

【0044】

この磁気抵抗効果素子 1 に一定の電流値の電流 I が供給され、抵抗値が R であるため、磁気抵抗効果素子 1 の両電極間、すなわち配線 4 および 5 の間には、次式 (2) で表わされる電圧 V が発生する。

$$V = I \times (R_m + (R / 2) \times (|H| / |H_k|)) \quad (2)$$

なお、配線 4 および 5 の抵抗値は、磁気抵抗効果素子 1 の抵抗値 R と比較して、二桁小さく、無視することができる。上式 (1) 及び式 (2) で表わされる関係から、電圧計 3 により、磁気抵抗効果素子 1 に印加される電圧 V を測定することにより、外部磁界 H_{ex} の強度を検出することができる。

【0045】

図 4 に示す 2 軸方向磁界検出素子を用いて、図 8 に示す電氣的等価回路となる磁界検出器を構成した場合、素子 A と素子 B は、それぞれが受ける磁界に応じて式 (2) に示す電圧を出力する。図 8 において、素子 A に対応する磁気抵抗効果素子 1 a は、直流電源 2 a、電圧計 3 a に接続され、素子 B に対応する磁気抵抗効果素子 1 b は、直流電源 2 b、電圧計 3 b に接続される。

【0046】

例えば、2 軸方向磁界検出素子において、外部磁界 H_{ex} が、図 9 に示す向きに存在する場合を考える。磁界強度が H である外部磁界 H_{ex} は、 X 軸に対して角度 θ で 2 軸方向磁界検出素子に入射している。素子 A は、 X 軸成分である H_{ex-x} を検出し、素子 B は、 Y 軸成分である H_{ex-y} を検出する。 H_{ex-x} の強度 C および H_{ex-y} の強度 D は、それぞれ次式 (3) 及び式 (4) で表わされる。

$$C = H \times \cos \theta \quad (3)$$

$$D = H \times \sin \theta \quad (4)$$

【0047】

上述の式 (3) 及び式 (4) から、外部磁界 H_{ex} の磁界強度 H 及び角度 θ は、それぞれ次式 (5) 及び式 (6) で表わされる。

$$H = \sqrt{C^2 + D^2} \quad (5)$$

$$\theta = \cos^{-1} (C / \sqrt{C^2 + D^2}) \quad (6)$$

【0048】

以上のように、実施の形態 1 における磁界検出器は、素子内に直交する 2 軸方向の固着層を有する磁気抵抗効果素子 1 を保有しているため、それぞれの軸方向への磁界の強度 H と入射角度 θ を検知することが可能である。即ち、2 軸方向の磁界を検出できる。また、同一基板に 2 軸を構成する各軸の磁界成分を検出する磁気抵抗効果素子 1 を近接して配置することが可能となり、2 軸方向の磁界を検出する磁界検出器を小型化することができる。さらに、2 軸方向の磁界を検出する 2 軸方向磁界検出素子を形成した基板に、この 2 軸方向磁界検出素子の出力電圧を受けて各種の処理を行う信号処理回路を組み込むことが可能となる。この場合は、磁気検出機能を含む多機能な処理装置を小型にすることができる。

【0049】

なお、磁気抵抗効果素子 1 a、1 b を切り出して 2 軸方向の磁界を検出する磁界検出器を構成する場合は、3 つの電極パッドを設ければよい。3 つの電極パッドは、素子 A の上部電極層 1 2 に接続される配線 4 a に接続する電極パッド、素子 B の上部電極層 1 2 に接続される配線 4 b に接続する電極パッド、並びに、素子 A の下部電極層 6 に接続される配線 5 a と素子 B の下部電極層 6 に接続される配線 5 b を共通に接続する電極パッドである。これに対して、1 軸方向の磁界を検出する磁界検出器を組み合わせ、2 軸方向の磁界を検出する磁界検出器を構成する場合は、4 つの電極パッドが必要となるので、少なくとも電極パッド 1 個分、並びに各素子を近づけたことによる縮小分だけは小さくすることが

10

20

30

40

50

できる。

【0050】

また、1軸方向の磁界を検出する磁界検出器を組み合わせ、2軸方向を検出する磁界検出器を構成した場合と異なり、各磁気抵抗効果素子1は同一基板に作成されたことにより、作成完了後に各素子の配置や軸調整の作業工程は不要であり、量産性を向上させることができる。

【0051】

上述のように、実施の形態1における磁界検出器は、同一基板に配置した第1の磁気抵抗効果素子1a(素子A)と第2の磁気抵抗効果素子1b(素子B)において、反強磁性層と固着層間の接合面におけるブロッキング温度が夫々異なり、かつ固着層の磁化方向が夫々異なるように構成したことにより、2軸方向の磁界を検出する磁界検出器を小型化することができ、量産性に優れた2軸方向の磁界を検出できる磁界検出器が得られる。また、上記のように構成したことにより、各軸の磁界/出力電圧の特性曲線を個別に最適化できる。これにより、特許文献2に示された磁界検出器のような不検出領域が生じてしまう恐れがあったものとは異なり、磁界検出範囲を極端に狭めることがなく、磁界検出範囲を広くすることができる。

【0052】

また、同一基板に2軸を構成する各軸の磁界成分を検出する磁気抵抗効果素子1を近接して配置することにより、実施の形態1における2軸方向を検出する磁界検出器は、1軸方向の磁界を検出する磁界検出器を組み合わせ、2軸方向を検出する磁界検出器を構成した場合に比べて、各軸の磁界成分を検出する磁気抵抗効果素子1を近づけて配置することができる。したがって、磁界検出対象面積(各磁気抵抗効果素子1を包含する面積)が小さくなるので、検出誤差を小さくでき、磁界分布を詳細に検出することができる。

【0053】

また、実施の形態1における磁界検出器は、磁界を検出することにより、電流検出、位置検出、回転検出も可能である。この実施の形態1における磁界検出器を備えた電気回路にも適用できる。電流検出においては、電流が発生する磁界を検出する。位置検出においては、所定の磁界と位置が関係づけられた磁界分布を検出する。回転検出においては、回転する磁石の磁界を検出する。

【0054】

なお、非磁性層9bはRu膜に限定されない。非磁性層9bは下層強磁性層9aと上層強磁性層9c間で強固な反強磁性結合を実現できればよく、3d遷移金属膜であることが好ましい。したがってRu膜以外の3d遷移金属膜であっても構わない。また、膜厚についても、下層強磁性層9aおよび上層強磁性層9cの反強磁性結合を維持することのできる膜厚であればよく、0.8nmに限定されない。

【0055】

また、磁気抵抗効果素子1の形状は、長方形でなくてもよく、結晶磁気異方性または誘導磁気異方性を付与することにより、任意の形状を用いることができる。

【0056】

また、反強磁性層の材質を異なる物質にすることによりブロッキング温度を変化させたが、固着層の材質を変化させたり、双方とも材質を変化させたりすることでもブロッキング温度を変化させることが可能である。

【0057】

図5に示したように、素子AにおいてPt-Mn膜とIr-Mn膜の積層構造を用いているが、素子Aは反強磁性層8がPt-Mn膜のみになるように、Ir-Mn膜の成膜後にパターニングを行っても良い。その場合には、図5で示した2軸方向磁気検出素子の断面構造は、図10のようになり、素子Aおよび素子Bには、それぞれ異なる単一層の反強磁性層にて磁化方向を保持された固着層が存在する形になる。この場合には、素子Aと素子Bの高さをほぼ等しくでき、素子Aと素子Bともレジストの露光状態が同等にできるので、素子Aと素子Bの加工精度を高めることができる。

10

20

30

40

50

【0058】

また、2軸方向磁気検出素子の素子A、素子Bにおいて、それぞれの磁化方向を直交させているが、同一平面上にそれらの素子が異なる方向であればよい。それら2つ素子の検出電圧より直交するX軸方向、Y軸方向についてそれぞれ算出することが可能である。

【0059】

実施の形態2.

図11は、この発明の実施の形態2における3軸方向の磁界を検出する磁界検出器の電氣的等価回路を示す図である。図12は実施の形態2における3軸方向磁界検出素子の概略構成を示す図である。図12(a)は斜視図であり、図12(b)は図12(a)の断面を示す図である。図11において、素子Eに対応する磁気抵抗効果素子1eは、直流電源2e、電圧計3eに接続され、素子Fに対応する磁気抵抗効果素子1fは、直流電源2f、電圧計3fに接続され、素子Gに対応する磁気抵抗効果素子1gは、直流電源2g、電圧計3gに接続される。実施の形態1における磁気検出器とは、同一基板に3つの磁気抵抗効果素子1を配置し、3軸方向の磁界が検出できる点で異なる。

10

【0060】

基板13には、主面13aに対し、傾斜した傾斜面13b、13cが形成される。それぞれの傾斜面13b、13cに向かい合うように、2つの磁気抵抗効果素子1e(素子E)、磁気抵抗効果素子1f(素子F)を配置する。素子Eおよび素子Fの差動検出により、基板に対し垂直なZ軸方向と、基板水平方向のX軸方向の磁界検出が可能となる。さらに基板水平面にY軸方向の磁気抵抗効果素子1g(素子G)を形成すれば、3軸方向の磁界を検出する3軸方向磁界検出素子を構成できる。

20

【0061】

より具体的には、図12(a)および(b)に示したように、基板13の主面13aと平行な平行面(底面)に対し、傾斜角を持った傾斜面13b、13cを有する溝を形成する。この溝の形成方法は特に限定しないが、基板を傾けたイオンリング法や、(100)配向シリコン基板を水酸化カリウム(KOH)溶液でエッチングして(111)面を構成するような方法でも可能である。この場合の傾斜角は54.74度の精度の高い傾斜面を形成できる。イオンリング法で傾斜面を形成する場合は、1度程度の誤差が生じるが、任意の傾斜角にすることができるとメリットがある。なお、溝の幅と長さに対しても制約は無く、溝の形状も、溝の幅と深さ、角度の関係により、基板面と水平な底面を持つ場合であっても構わない。

30

【0062】

図12(a)および(b)では、底面に水平部を持ち、溝の長さが深さに対して非常に長い場合を示している。その溝がY軸方向に伸びている基板13を考えることにする。溝の傾斜面13b、13cと主面13aにそれぞれ磁気抵抗効果素子1を形成する。それぞれの磁気抵抗効果素子1e、1f、1gの製造方法は実施の形態1に準ずる。なお、溝の傾斜面13bに形成される素子E、および溝の傾斜面13cに形成される素子Fは、Ir-Mn膜の反強磁性層8をもち、実施の形態1の素子Bに相当する。基板13の主面13aに形成される素子Gは、Pt-Mn膜の反強磁性層8を持ち、実施の形態1の素子Aに相当する。

40

【0063】

素子E、素子F、素子Gの形成後、磁界中での熱処理を行う。磁界中での熱処理に際しては、Y軸方向へ磁界を印加しながら、300度での熱処理を行い、素子E、素子F、素子GともにY軸方向へ固着層9の磁界を揃える。その後、260度でX軸方向への磁界を印加しながら熱処理をすることにより、素子E、素子FはともにX軸方向へ磁化の向きを揃える。このとき、素子E、素子Fは反強磁性接合の効果があるため、各素子の膜面方向へ磁化が揃うことから、実際には、図中のHe及びHf方向にそれぞれ磁化が向くことになる。素子Gでは反強磁性層8と固着層9間の接合面におけるブロッキング温度以下の熱処理を行うので、固着層9の磁化方向はY軸方向を維持し、Hg方向になる。その結果、素子EはX方向と-Z方向との合成磁界を検出し、素子FはX方向とZ方向との合成磁界

50

を検出することになる。

【 0 0 6 4 】

図 1 3 は、図 1 2 の 3 軸方向磁界検出素子における X Z 面の磁界検出を説明する図である。ここで X Z 面は、X 軸と Z 軸を包含する平面である。外部印加磁界 H_{ex} を、図 1 3 (a) に示すように X 軸成分である H_{ex-x} と Z 軸成分である H_{ex-z} に分けて考える。素子 E が検出する固着層 9 の磁化方向 H_e に平行な方向の磁界 $H-e$ は、図 1 3 (b) に示すように H_{ex-x} および H_{ex-z} の傾斜面方向の合成磁界となり、式 (7) で表せる。

$$H-e = H_{ex-x} \times \cos \theta - H_{ex-z} \times \sin \theta \quad (7)$$

【 0 0 6 5 】

同様に、素子 F が検出する固着層 9 の磁化方向 H_f に平行な方向の磁界 $H-f$ は、図 1 3 (c) に示すように H_{ex-x} および H_{ex-z} の傾斜面方向の合成磁界となり、式 (8) で表せる。

$$H-f = H_{ex-x} \times \cos \theta + H_{ex-z} \times \sin \theta \quad (8)$$

【 0 0 6 6 】

上述の式 (7) 及び式 (8) から、 H_{ex-x} および H_{ex-z} は、それぞれ式 (9) 及び式 (1 0) で表せる。

$$H_{ex-x} = (H-e + H-f) / (2 \times \cos \theta) \quad (9)$$

$$H_{ex-z} = (H-f - H-e) / (2 \times \sin \theta) \quad (10)$$

【 0 0 6 7 】

式 (9) 及び式 (1 0) から分かるように、素子 E および素子 F の出力電圧を差動で検出し、比例処理を行うことで基板に対し垂直な Z 軸方向と、基板水平方向の X 軸方向の磁界検出が可能となる。さらに、素子 E および素子 F に加えて、素子 G が検出する Y 軸方向の磁界を合わせることで、3 軸方向の磁界を検出することが可能となる。

【 0 0 6 8 】

なお、ここでは、傾斜面 1 3 b、1 3 c にそれぞれ素子 E および素子 F を形成する場合を示したが、基板 1 3 の主面 1 3 a や底面に 2 つの素子を形成し、傾斜面 1 3 b に 1 つの素子を形成する場合でも良い。

【 0 0 6 9 】

以上のように、実施の形態 2 における磁界検出器は、同一基板に 3 つの磁気抵抗効果素子 1 を傾斜面と平面に分けて配置し、その 3 つの磁気抵抗効果素子を反強磁性層と固着層間の接合面におけるブロッキング温度が異なる 2 種類で作成し、各磁気抵抗効果素子 1 の固着層の磁化方向が夫々異なるように構成したことにより、3 軸方向の磁界を検出する磁界検出器を小型化することができ、量産性に優れた 3 軸方向の磁界を検出できる磁界検出器が得られる。また上記のように構成したことにより、各軸の磁界 / 出力電圧の特性曲線を個別に最適化できる。

【 0 0 7 0 】

また、同一基板に 3 軸を構成する各軸の磁界成分を検出する素子を近接して配置することにより、実施の形態 2 における 3 軸方向を検出する磁界検出器は、1 軸方向の磁界を検出する磁界検出器を組み合わせることで 3 軸方向を検出する磁界検出器を構成した場合に比べて、各軸の磁界成分を検出する素子を近づけて配置することができる。したがって磁界検出対象体積 (各磁気抵抗効果素子 1 を包含する体積) が小さくなるので、検出誤差を小さくでき、磁界分布を詳細に検出することができる。

【 0 0 7 1 】

また、実施の形態 2 における磁界検出器は、実施の形態 1 と同様に磁界を検出することにより、電流検出、位置検出、回転検出も可能である。この実施の形態 2 における磁界検出器を備えた電気回路にも適用できる。

【 0 0 7 2 】

実施の形態 3 .

図 1 4 は、この発明の実施の形態 3 における回転角度検出装置の全体の構成を概略的に

10

20

30

40

50

示す図である。図 1 4 (a) に側面断面図を示し、図 1 4 (b) に図 1 4 (a) の L - L 面で切断した断面図を示す。

【 0 0 7 3 】

回転角度検出装置は、支持体 2 0 に載置される磁界検出部 2 3 を備える。磁界検出部 2 3 は 2 軸方向磁界検出素子を備える。この支持体 2 0 は、中央部に丘状の突出部を有し、この丘状突出部に、磁界検出部 2 3 が載置される。支持体 2 0 と対向してかつ丘状突出部を中に含むように、中空形状の回転体 2 1 が配置される。回転体 2 1 は、図 1 4 (b) に図示したように、平面形状が円形に形成される。この回転体 2 1 の内壁に、支持体 2 0 の丘状突出部の外周部と対向して、永久磁石 2 2 が配置される。永久磁石 2 2 は、たとえばサマリウム - コバルト合金で構成される。なお、回転体 2 1 と対向して配置される支持体 2 0 は、一例として方形状部および円形状部とからなる方円形状を有する。

10

【 0 0 7 4 】

磁界検出部 2 3 は、支持体 2 0 内に設置される配線 2 4 a、2 4 b および 2 4 c を介して直流電源 2 および電圧計 3 に接続される。磁界検出部 2 3、直流電源 2 および電圧計 3 により、磁界検出器が構成される。磁界検出部 2 3 は、回転体 2 1 の回転中心からずらした位置に固定的に支持体 2 0 の丘状突出部上に載置される。永久磁石 2 2 の回転にしたがって、磁界検出部 2 3 に入射する磁界強度と方向が変化する。

【 0 0 7 5 】

磁界検出部 2 3 内の 2 軸方向磁界検出素子は、内部の自由層 1 1 の膜面と回転体 2 1 の回転面とが平行となるように配置される。すなわち、永久磁石 2 2 が発生せる外部磁界 $H_e x$ が、この 2 軸方向磁界検出素子の自由層 1 1 の膜面と平行な方向に入射する。

20

【 0 0 7 6 】

回転体 2 1 は、その回転軸が、被検出対象の駆動部に結合され、この駆動部が、被検出対象物体の移動に応じて回転体 2 1 を回転させる。

【 0 0 7 7 】

図 1 4 に示す回転角度検出装置の構成において、回転体 2 1 の回転角に応じて、永久磁石 2 2 からの外部磁界 $H_e x$ が変化し、磁界検出部 2 3 における 2 軸方向磁界検出素子の自由層 1 1 の磁化方向が、外部磁界 $H_e x$ の方向と強度に応じて変化する。したがって、磁界検出部 2 3 において、2 軸方向磁界検出素子の各軸 (X 軸、 Y 軸) の磁界を検出する磁気抵抗効果素子の抵抗値を、電圧の変化などの形態で取出すことにより、外部磁界 $H_e x$ が、2 軸方向磁界検出素子の X 軸に対する角度を、式 (6) によって演算することができる。これにより、回転体 2 1 の回転角度を検出することができる。

30

【 0 0 7 8 】

回転体 2 1 の回転は、使用用途に応じて移動物体の移動量などのモニタ量に対応することができ、位置検出および回転量の検出を行うことができる。したがって、回転体 2 1 は、用途に応じて、その駆動機構の構成が適宜定められる。

【 0 0 7 9 】

以上のように、実施の形態 3 における回転角度検出装置は、同一基板に 2 軸を構成する各軸の磁界成分を検出する素子を近接して配置した小型で、磁界分布を詳細に検出することができる 2 軸方向磁界検出素子を有する磁界検出器を備えたので、小型にすることができ、磁界検出範囲を広くでき、正確な回転角度を検出することができる。

40

【 0 0 8 0 】

また、磁界分布を詳細に検出することができる 2 軸方向磁界検出素子を有する磁界検出器を備えたので、永久磁石 2 2 の磁界強度を強くする必要がない。したがって、実施の形態 3 における回転角度検出装置から洩れる漏洩磁界を低減することができる。これにより漏洩磁界の影響が問題となる精密制御装置などにも、使用することができる。

【 0 0 8 1 】

なお、磁界検出部 2 3 を回転体 2 1 の回転軸からずらした例で説明したが、この例に限らない。また、実施の形態 2 に示した 3 軸方向磁界検出素子を用いても構わない。3 軸方向磁界検出素子を用いる場合は、永久磁石 2 2 が回転する回転面近傍から離れた位置に 3

50

軸方向磁界検出素子を配置しても、回転軸方向の磁界成分を検出できるので、感度の低下を招くことなく高感度の磁界検出を行うことができる。これにより、磁界検出器の配置位置の自由度を高めることができる。また、磁界検出部 23 と直流電源 2 及び電圧計 3 が組み込まれた磁界検出器を、支持体 20 に載置しても構わない。

【0082】

なお、ここで示した実施の形態 1 乃至 3 は一例であってこれに限定されるものではない。下部電極層 6 および上部電極層 12 は Ta 膜を用いているが、金属膜であればよく、Cu、Ru、Al、Pt 膜など Ta 膜に限られるものではなく、これらの積層構造であってもよい。下地層 7 は、Ni - Fe 膜を用いているが、下部電極層 6 と同様に Ta 膜や Ru 膜であってもよく、金属膜であれば Ni - Fe 膜に限定されるものではない。反強磁性層 8 は、Ni - Mn、Ni - O、Fe - Mn であってもよい。固着層 9 および自由層 11 は強磁性体である必要があるが、Co - Ni 合金、Co - Fe - Ni、Fe - Ni 合金などの Co、Ni、Fe のいずれかを主成分として含む金属、および NiMnSb、Co₂MnGe などの合金であればよい。これらの膜による積層構造を有してもよい。

10

【0083】

トンネル絶縁層 10 は、Al₂O₃ に限らず、Ta₂O₅、SiO₂、MgO 等の酸化物、窒化物、弗化物であってもよい。また、トンネル絶縁層 10 は、例えば Al 膜を形成後、プラズマ酸化、自然酸化、オゾンなどによる酸化処理を行ってよい。さらに、トンネル絶縁層 10 の形成は、金属膜の酸化に限るものではなく、窒化、弗化であってもよい。この場合においても、酸化と同様に、ラジカル、プラズマ、反応性ガスを用いることで同様にトンネル絶縁層にすることが可能である。

20

【0084】

配線 4、5 は、Al 膜に限定されるものではなく Cu 膜など、その他の低抵抗金属種であってもよい。

【0085】

それぞれの金属膜は、DC マグネトロンスパッタリングにより形成される例を示したが、例えば分子線エピタキシー (MBE) 法、各種スパッタ法、化学気相成長 (CVD) 法、蒸着法によって形成されてもよい。

【0086】

素子形状の形成は、フォトリソグラフィと反応性イオンエッチングによっても得ることが可能である。また、電子線リソグラフィ、集束イオンビームによるパターンの形成であってもよい。

30

【0087】

また、実施の形態 1 乃至 3 で示した磁界検出法においても、ここでは一定の直流電流を流した場合における電圧変化を読み取る方法について述べたが、交流電源を用いてもよく、一定電圧下における電流検出であってもよい。

【図面の簡単な説明】

【0088】

【図 1】この発明の実施の形態 1 における磁界検出器の概略構成を示す図である。

【図 2】図 1 に示す磁界検出器の電気的等価回路を示す図である。

40

【図 3】図 1 に示す磁気抵抗効果素子における断面構造を示す図である。

【図 4】実施の形態 1 における 2 軸方向磁界検出素子の基板面上方から見た素子配置図である。

【図 5】図 4 の K - K 面で切断した 2 軸方向磁界検出素子の断面構造を示す図である。

【図 6】図 5 の製造プロセスを示す図である。

【図 7】実施の形態 1 における磁気抵抗素子の出力電圧の磁界強度依存性を示す図である。

。

【図 8】実施の形態 1 における 2 軸方向の磁界を検出する磁界検出器の電気的等価回路を示す図である。

【図 9】図 4 の 2 軸方向磁界検出素子に入射する磁界を示す図である。

50

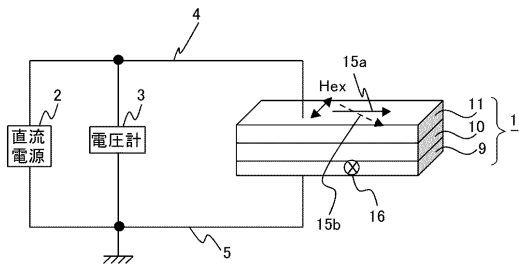
【図10】実施の形態1における他の2軸方向磁界検出素子の断面構造を示す図である。
 【図11】この発明の実施の形態2における磁界検出器の電氣的等価回路を示す図である。

【図12】実施の形態2における3軸方向磁界検出素子を示す図である。
 【図13】図12の磁界検出素子におけるXZ面の磁界検出を説明する図である。
 【図14】この発明の実施の形態3における角度検出装置の概略構成を示す図である。

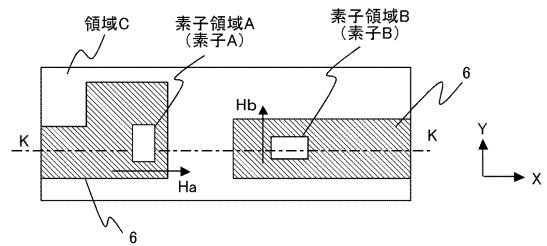
【符号の説明】

- 【0089】
 1 磁気抵抗効果素子、8 反強磁性層、9 固着層、10 トンネル絶縁層、11 自由層、13 基板、13a 主面、13b 傾斜面、13c 傾斜面、21 回転体、22 永久磁石。

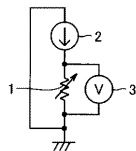
【図1】



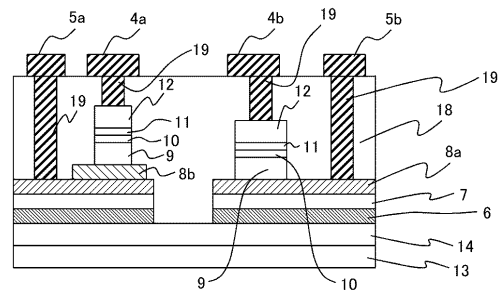
【図4】



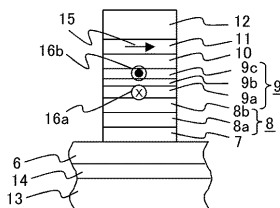
【図2】



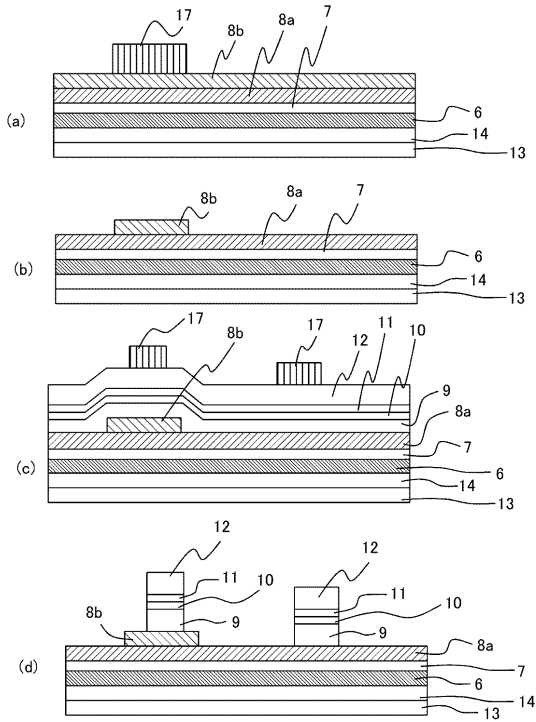
【図5】



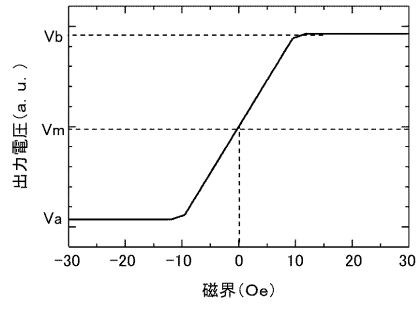
【図3】



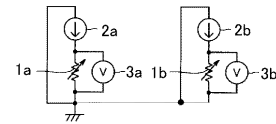
【 図 6 】



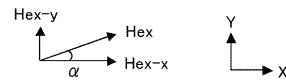
【 図 7 】



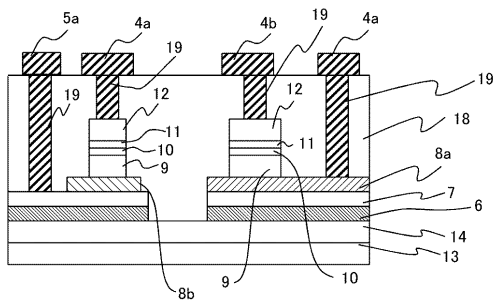
【 図 8 】



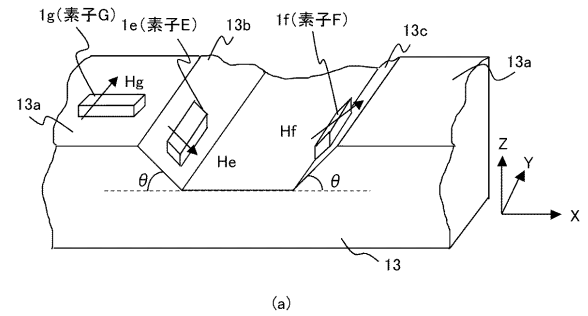
【 図 9 】



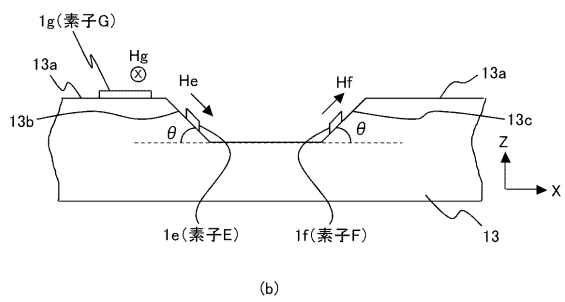
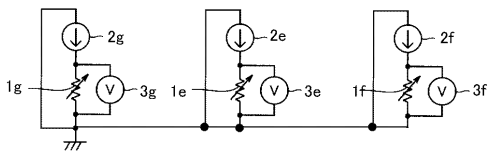
【 図 10 】



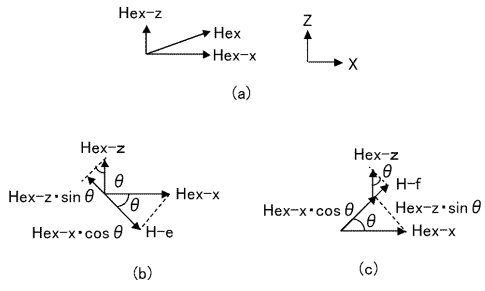
【 図 12 】



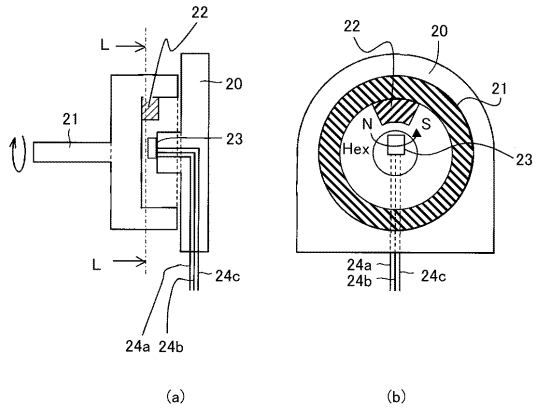
【 図 11 】



【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



フロントページの続き

- (72)発明者 黒岩 丈晴
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 長永 隆志
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 滝 正和
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 古川 泰助
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 高田 裕
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 阿部 雄次
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- Fターム(参考) 2G017 AA03 AD55 AD56 AD64