

(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2018-200307
(P2018-200307A)

(43) 公開日 平成30年12月20日(2018. 12. 20)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)		
GO 1 R	33/02	(2006.01)	GO 1 R	33/02	V	2 G O 1 7		
GO 1 R	33/09	(2006.01)	GO 1 R	33/09		5 F O 9 2		
HO 1 L	43/08	(2006.01)	HO 1 L	43/08	P			
HO 1 L	43/02	(2006.01)	HO 1 L	43/08	Z			
			HO 1 L	43/02	Z			
審査請求 未請求 請求項の数 20 O L (全 28 頁)								
(21) 出願番号 特願2018-92421 (P2018-92421)			(71) 出願人 303046277					
(22) 出願日 平成30年5月11日 (2018. 5. 11)			旭化成エレクトロニクス株式会社					
(31) 優先権主張番号 特願2017-99774 (P2017-99774)			東京都千代田区有楽町一丁目1番2号					
(32) 優先日 平成29年5月19日 (2017. 5. 19)			(74) 代理人 100066980					
(33) 優先権主張国 日本国 (JP)			弁理士 森 哲也					
(31) 優先権主張番号 特願2017-113548 (P2017-113548)			(74) 代理人 100103850					
(32) 優先日 平成29年6月8日 (2017. 6. 8)			弁理士 田中 秀▲てつ▼					
(33) 優先権主張国 日本国 (JP)			(72) 発明者 益田 征典					
			東京都千代田区神田神保町一丁目105番					
			地 旭化成エレクトロニクス株式会社内					
			Fターム(参考) 2G017 AA01 AC07 AD55					
最終頁に続く								

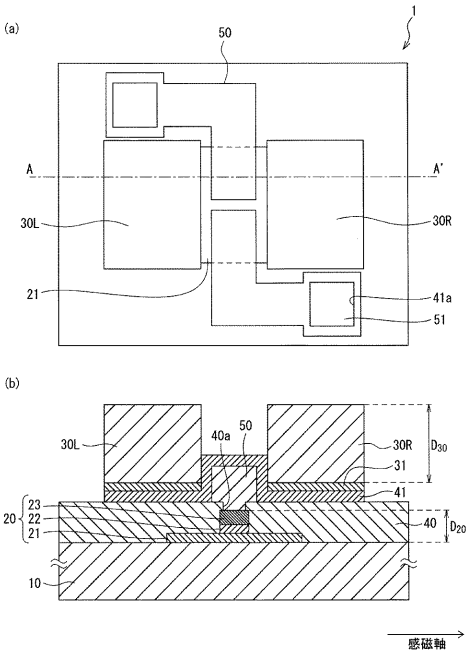
(54) 【発明の名称】 磁気センサ

(57) 【要約】

【課題】磁気センサの検出精度をより向上させる。

【解決手段】磁気センサ1は、基板10と、基板10上に、磁化自由層21と非磁性層22と磁化固定層23とが積層された素子部20と、磁気収束部30L、30Rと、を備え、上面視で、磁化自由層21の面積は磁化固定層23の面積よりも大きく、磁化自由層21と磁気収束部30L、30Rとは、上面視で少なくとも一部が重なる第1の重複領域Pを有する。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

基板と、

前記基板上に、磁化自由層と非磁性層と磁化固定層とが積層された素子部と、
磁気収束部と、

を備え、

上面視で、前記磁化自由層の面積は前記磁化固定層の面積よりも大きく、

前記磁化自由層と前記磁気収束部とは、上面視で少なくとも一部が重なる第 1 の重複領域を有する磁気センサ。

【請求項 2】

前記素子部は、前記基板上に前記磁化自由層と前記非磁性層と前記磁化固定層とがこの順に積層される請求項 1 に記載の磁気センサ。

【請求項 3】

前記磁気収束部と前記素子部とは電氣的に絶縁されている請求項 1 又は請求項 2 に記載の磁気センサ。

【請求項 4】

前記磁化固定層の少なくとも一部と前記磁気収束部の少なくとも一部とは、上面視で重ならない請求項 1 から請求項 3 の何れか一項に記載の磁気センサ。

【請求項 5】

上面視で前記第 1 の重複領域と前記磁化固定層の一部とが重なる第 2 の重複領域の面積は、前記第 1 の重複領域の面積から前記第 2 の重複領域の面積を減算した面積よりも小さい請求項 1 から請求項 4 の何れか一項に記載の磁気センサ。

【請求項 6】

上面視で前記第 1 の重複領域と前記磁化固定層の一部とが重なる第 2 の重複領域の面積は、前記磁化固定層の面積の $3/8$ 以下である請求項 1 から請求項 5 の何れか一項に記載の磁気センサ。

【請求項 7】

前記磁化固定層と前記磁気収束部とは上面視で重ならない請求項 1 から請求項 6 の何れか一項に記載の磁気センサ。

【請求項 8】

上面視で前記磁気収束部は矩形であり、

前記素子部は感磁軸を有し、

前記素子部は、前記磁気収束部の各辺のうち前記感磁軸の方向と略直交する辺に沿って配置されている請求項 1 から請求項 7 の何れか一項に記載の磁気センサ。

【請求項 9】

前記磁気収束部を二つ備え、

前記素子部は上面視で前記二つの磁気収束部に挟まれて配置されている請求項 1 から請求項 8 の何れか一項に記載の磁気センサ。

【請求項 10】

前記素子部は前記磁化固定層を複数有し、

前記素子部を複数備え、

前記複数の素子部は電氣的に直列に接続されている請求項 1 から請求項 9 の何れか一項に記載の磁気センサ。

【請求項 11】

前記素子部は感磁軸を有し、

上面視で、前記複数の素子部は、前記感磁軸の方向と略直交する方向に並んで配置されている請求項 10 に記載の磁気センサ。

【請求項 12】

前記素子部は感磁軸を有し、

上面視で、前記素子部の前記感磁軸の方向に直交する方向の長さは、前記磁気収束部の

10

20

30

40

50

前記感磁軸の方向に直交する方向の長さよりも短い請求項 1 から請求項 11 の何れか一項に記載の磁気センサ。

【請求項 13】

前記素子部は所定の感磁軸を有し、

上面視で、前記磁化固定層の少なくとも一部は、前記磁化自由層の重心を通り、前記感磁軸の方向と直交する線分上に配置されている請求項 1 から請求項 12 の何れか一項に記載の磁気センサ。

【請求項 14】

前記磁気収束部の膜厚は、前記素子部の膜厚よりも大きい請求項 1 から請求項 13 のいずれか一項に記載の磁気センサ。

10

【請求項 15】

前記素子部及び前記磁気収束部は、側面視で前記素子部の上端部が、前記磁気収束部の下端部よりも低くなるように配置されている請求項 1 から請求項 14 のいずれか一項に記載の磁気センサ。

【請求項 16】

前記素子部は感磁軸を有し、

上面視で、前記磁気収束部における前記感磁軸と略平行方向に沿った長さは、前記磁気収束部における前記感磁軸と略垂直方向に沿った長さよりも 2 倍以上長い請求項 1 から請求項 15 のいずれか一項に記載の磁気センサ。

【請求項 17】

20

前記磁気収束部は、前記基板上に形成された第 1 の軟磁性体と、

前記第 1 の軟磁性体とは別に形成された第 2 の軟磁性体と、を含む請求項 1 から請求項 16 のいずれか一項に記載の磁気センサ。

【請求項 18】

前記磁気収束部の少なくとも一部は、めっき膜を含む請求項 1 から請求項 17 のいずれか一項に記載の磁気センサ。

【請求項 19】

前記磁化自由層は、第 1 の強磁性層と、第 1 の磁気結合層と、第 2 の強磁性層とがこの順に積層されてなり、

前記磁化固定層は、第 3 の強磁性層と、第 2 の磁気結合層と、第 4 の強磁性層と、第 1 の反強磁性層と、がこの順に積層されてなり、

30

前記第 1 及び第 2 の磁気結合層は導電性の非磁性材料で形成され、

前記第 1 及び第 2 の磁気結合層の膜厚は、前記第 1 ～ 第 4 の強磁性層のいずれか一つの膜厚よりも小さく、前記第 2 の強磁性層及び前記第 3 の強磁性層は少なくとも Co 及び Fe を含む請求項 1 から請求項 18 のいずれか一項に記載の磁気センサ。

【請求項 20】

前記第 1 の強磁性層の膜厚は、前記第 2 ～ 第 4 の強磁性層の膜厚の総和よりも大きい請求項 19 に記載の磁気センサ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

40

【0001】

本発明は、磁気センサに関する。

【背景技術】

【0002】

磁場を検出する磁気センサとして、GMR（巨大磁気抵抗）効果やTMR（トンネル磁気抵抗）効果を用いたスピバルブ型MR磁気センサがある。

スピバルブ型MR磁気センサは、非磁性層を強磁性層で挟んだ構造（強磁性層／非磁性層／強磁性層）を有し、一方の磁性層の磁化を反強磁性層で固定し（磁化固定層）、もう一方の強磁性層（磁化自由層）の磁化は外部磁場に対して自由に回転できる構造を有している（スピバルブ構造）。スピバルブ型MR磁気センサは、外部磁場Hが加わり、

50

磁化固定層の磁化と磁化自由層の磁化との相対角が変化すると、非磁性層である中間層を流れる電流が変化するため、磁場を検出することができる（例えば、特許文献 1 参照）。

【 0 0 0 3 】

スピンバルブ型 M R 磁気センサは微小な磁場で大きな磁気抵抗（ M R ）変化を示すことが知られており、主にハードディスクの磁気ヘッド等に用いられている。また、スピンバルブ型 M R 磁気センサは、ホール効果を用いた磁気センサと比較して高感度であること、つまり微小磁場の検出が可能であることが知られている（例えば、特許文献 2 参照）。

M R センサには他の方式があり、例えば A M R（異方性磁気抵抗）効果を利用した A M R 磁気センサがある。A M R 磁気センサは G M R 磁気センサや T M R 磁気センサと比較して感度は小さいが、ノイズ特性が優れており、磁気検出能は G M R 磁気センサや T M R 磁気センサと比較しても同等レベルである（例えば、特許文献 3 参照）。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 4 】

【特許文献 1】特開平 9 - 1 9 9 7 6 9 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 0 5 - 2 2 1 3 8 3 号公報

【特許文献 3】特許第 5 0 4 4 0 7 0 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 5 】

20

上述したような G M R 効果や T M R 効果を用いたスピンバルブ型 M R 磁気センサは、ホール素子や A M R 素子に比べて磁気感度が高いという特徴を持つ。しかし、生体から発生する磁場等、非常に微小な磁場を得るには感度が足りない。

そこで、本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであって、検出精度をより向上させることの可能な磁気センサ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】

【 0 0 0 6 】

基板と、基板上に、磁化自由層と非磁性層と磁化固定層とが積層された素子部と、磁気収束部と、を備え、上面視で、磁化自由層の面積は磁化固定層の面積よりも大きく、磁化自由層と磁気収束部とは、上面視で少なくとも一部が重なる第 1 の重複領域を有することを特徴としている。

30

【発明の効果】

【 0 0 0 7 】

本発明の一態様によれば、磁気センサの感度特性を向上させ、検出精度をより向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 8 】

【図 1】本発明の一実施形態に係る磁気センサの一例を示す概略構成図である。

【図 2】比較例としての磁気センサの一例を示す概略構成図である。

【図 3】磁性体群の配置の一例を示す図である。

40

【図 4】磁性体群の配置の一例を示す図である。

【図 5】磁性体群の配置の一例を示す図である。

【図 6】磁性体群の配置の一例を示す図である。

【図 7】磁性体群の配置の一例を示す図である。

【図 8】磁性体 3 0 L' と磁性体 2 1' との重複幅と、感磁エリア 2 3' の増幅率の平均値との関係を示す特性図の一例である。

【図 9】感磁エリア 2 3' に占める面積 Q の割合と、感磁エリア 2 3' の増幅率の平均値との関係を示す特性図の一例である。

【図 1 0】重複部分を示す模式図である。

【図 1 1】本発明の一実施形態に係る磁気センサのその他の例を示す概略構成図である。

50

【図 1 2 A】本発明の一実施形態に係る磁気センサのその他の例を示す平面図である。

【図 1 2 B】図 1 2 A に示す磁気センサの断面図である。

【図 1 3】素子部の膜構造を説明するための説明図である。

【図 1 4】比較例としての磁気センサのその他の例を示す平面図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下の詳細な説明では、本発明の実施形態の完全な理解を提供するように多くの特定の具体的な構成について記載されている。しかしながら、このような特定の具体的な構成に限定されることなく他の実施態様が実施できることは明らかである。また、以下の実施形態は、特許請求の範囲に係る発明を限定するものではなく、実施形態で説明されている特徴的な構成の組み合わせの全てを含むものである。

10

以下、図面を参照して、本発明の一実施形態を説明する。以下の図面の記載において、同一部分には同一符号を付している。ただし、図面は模式的なものであり、厚みと平面寸法との関係、各層の厚みの比率等は現実のものとは異なる。

【0010】

< 磁気センサ >

本発明の一実施形態に係る磁気センサは、基板と、基板上に、磁化自由層と非磁性層と磁化固定層とが積層された素子部と、磁気収束部と、を備え、上面視で、磁化自由層の面積は磁化固定層の面積よりも大きく、磁化自由層と磁気収束部とは、上面視で少なくとも一部が重なる第 1 の重複領域を有するように構成される。

20

またプロセスの容易性の観点から、素子部は、基板上に磁化自由層と非磁性層と磁化固定層とがこの順に積層されることが望ましい。

【0011】

(感磁軸)

本発明では、磁気センサが磁場を検知する方向を「感磁軸」と記載する。磁気センサの感磁軸の向きと測定対象である磁場の向きとが平行である時に、磁場を検知する感度が最もよい。磁気センサは、感磁軸の向きと磁場の向きとが垂直である時には、磁場を検知せず出力変動がないことが望ましいが、変化が起こってもよい。

【0012】

(重複領域 P)

30

本発明に係る磁気センサは、上面視で、磁化自由層の一部と磁気収束部の少なくとも一部とが重なる部分を有する。本発明では、これを「重複領域 P」と定義する。

重複領域 (第 1 の重複領域) P は、上面視で磁化自由層の一部と磁気収束部の少なくとも一部とが重なることを表し、重複領域 P の断面を見た時、後述の図 1 (b) に示すように磁気収束部 30 (30 L、30 R) と磁化自由層 21 とは接していない。

ここで、重複領域 P と、下記に定義する重複部分 Q 及び R を示す模式図を図 10 に示す。重複領域 P は、図 10 (a) に示すように、磁化自由層 21 と磁気収束部 30 とが重なる部分であり、重複部分 Q と重複部分 R の和に相当する。

【0013】

(重複部分 Q)

40

本発明に係る磁気センサは、上面視で、磁化固定層 23 の一部と磁気収束部 30 の少なくとも一部とが重なる部分を有していても、有していなくてもよい。本発明では、図 10 (b) に示すように、磁化自由層 21 と磁気収束部 30 とが重なる部分である重複領域 P のうち、磁化固定層 23 と重なる部分 (第 2 の重複領域) を「重複部分 Q」と定義する。

磁気感度増加の観点から、上面視での磁化固定層 23 に占める重複部分 Q の割合は、3 / 8 以下である方が望ましく、2 / 8 以下である方がさらに望ましく、1 / 8 以下である方がさらに望ましく、Q = 0 である方がさらに望ましい。

【0014】

(重複部分 R)

図 10 (a)、(b) に示すように、重複領域 P のうち、重複部分 Q を除く部分を「重

50

複部分 R」 と定義する。

本発明に係る磁気センサは、磁気感度増加の観点から、重複部分 Q の面積が重複部分 R の面積よりも小さい方が望ましい。

磁気収束部と磁化自由層とはどちらが上方にあってもよい。通常は、素子作製の簡便性の観点から、素子部を作製した後、保護層を成膜し、その上に磁気収束部を作製するため、磁気収束部は磁化自由層よりも上側に来る。磁気収束部を下側にする場合、磁気収束部を作製した後、基板上全面に SiO_2 等の絶縁層を形成し、上面が同じ高さになるように研磨した後に素子部を形成することで、実現することができる。また、磁気収束部と磁化自由層との間には、例えば、 SiO_2 や SiN で構成される絶縁層を設けることができる。 SiO_2 や SiN に限るものではなく他の物質で構成される絶縁膜であっても適用することができる。

10

【0015】

次に、本発明の一実施形態に係る磁気センサの各構成部について、例を挙げて説明する。

(1) 磁化自由層

本発明の一実施形態に係る磁気センサにおける磁化自由層は、外部磁場によって容易に磁化される強磁性材料で主に構成される。磁化自由層は、一つの材料で構成される場合に限るものではなく多層膜であってもよい。強磁性材料としては、 NiFe 、 CoFeB 、 CoFeSiB 、 CoFe 、及び NiFeSiB 等のうちのいずれかを用いることができるが、この限りではない。磁化自由層は、磁気感度向上のため磁化自由層中に Ru や Ta 等の非磁性層が挿入された多層膜であることが好ましい。なお、磁化自由層の微細加工形状は問わない。

20

良好な磁気特性を得るためには、 NiFe (第1の強磁性層)、 Ru (第1の磁気結合層)、及び CoFeB (第2の強磁性層) が、この順に積層された積層膜が磁化自由層として望ましい。

【0016】

(2) 非磁性層

本発明の一実施形態に係る磁気センサにおける非磁性層は、絶縁性の非磁性材料で構成される。一般的に、 TMR 素子の場合 Al_2O_3 又は MgO 等の絶縁材料を用いることができるが、この限りではない。高磁気感度化のため、非磁性層に MgO を利用することが好ましい。なお、非磁性層の微細加工形状は問わない。

30

また本発明の他の実施形態に係る磁気センサにおける非磁性層は、絶縁性でなくてもよい。非絶縁性の非磁性材料としては、 Cu や Ag 、 Au 等を用いることができるが、この限りではない。

【0017】

(3) 磁化固定層

本発明の一実施形態の磁気センサにおける磁化固定層は、外部磁場によって磁化方向が容易に変化しないように、強磁性材料を主に用いて構成される。磁化固定層は、一つの材料で構成される場合に限るものではなく、多層膜であってもよい。一例として、磁化固定層は、強磁性材料を反強磁性材料でピン止めした構造が用いられる。軟磁性材料としては、 NiFe 、 CoFeB 、 CoFeSiB 及び CoFe 等のうちのいずれかを用いることができるが、この限りではない。磁気感度向上のため、磁化固定層中に Ru 又は Ta 等の非磁性層が挿入された多層膜であることが好ましい。また、反強磁性材料として IrMn 又は PtMn 等を用いることができるが、本発明はこの構成に限定されない。なお、磁化固定層の微細加工形状は問わない。

40

【0018】

良好な磁気特性を得るために、 CoFeB (第3の強磁性層)、 Ru (第2の磁気結合層)、 CoFe (第4の強磁性層)、及び IrMn (第1の反強磁性層) が、この順に積層された積層膜が磁化固定層として望ましい。

外部から磁場が印加された時、磁化自由層面内では、磁化自由層の重心を通り、素子部

50

の感磁軸と直交する線分上が最大になるような磁化分布が存在する。外部磁場に対して磁化の変化が大きい方がより感度の高い素子を得られることから、より高い感度の素子を作製するため、磁化固定層の少なくとも一部は、後述の図1に示すように、上面視で、磁化自由層の重心を通り、素子部の感磁軸と直交する線分上に配置されることが好ましい。

【0019】

(4) 素子部

本発明の一実施形態に係る磁気センサにおける素子部は、磁化自由層と、第一の方向に磁化が固定された磁化固定層と、磁化自由層と磁化固定層との間に配置された非磁性層と、を含み、磁化自由層、非磁性層及び磁化固定層の順に積層される。素子部は、基板上に、磁化自由層、非磁性層及び磁化固定層の順に積層されてもよく、逆に、磁化固定層、非磁性層及び磁化自由層の順に積層されてもよい。

10

微細加工プロセスの簡便さの観点から、上部からエッチングを行うため、磁化自由層と磁化固定層の上面視での面積は、基板側にある方が大きいことが望ましい。また、素子の磁気感度向上の観点から、磁化自由層の面積は大きいことが望ましい。以上2点を考慮した上で素子全体の面積効率を考えると、磁化自由層を磁化固定層よりも基板側に形成し、磁化自由層の一部の上に磁化固定層を形成することが望ましい。つまり、上面視で磁化固定層は磁化自由層内に含まれることが望ましい。すなわち、磁化自由層の面積は、磁化固定層の面積よりも大きくなる。

【0020】

上記三つの層（磁化固定層、磁化自由層及び非磁性層）の上又は下、又は三つの層の間に他の層が挿入されていてもよい。

20

素子部の最上部には、酸化防止の観点から、非磁性のキャップ層を備えていることが好ましい。非磁性のキャップ層は、配線部との接続の観点から、Au又はRu等の導電性材料であることが好ましい。

密着性の観点から、キャップ層と、磁化自由層（又は磁化固定層）との間にTi又はTa等の金属層を備えていることが望ましい。素子部は公知の方法で形成することができ、一例としては、スパッタリング法により形成することができる。また、複数の素子部を形成する場合、基板上に形成された、少なくとも磁化自由層、非磁性層及び磁化固定層がこの順又は逆の順に積層された積層膜を、フォトリソグラフィ法で形成されたマスク部材を用いてドライエッチングやウェットエッチングすることにより形成することができる。

30

【0021】

この時、素子部の途中でエッチングを停止させることにより、素子部の形状を制御してもよい。この場合、エッチング停止点より上側の層が、エッチング停止点の下側の層上に複数部分に分かれて形成されていてもよい。

また、エッチング停止点は任意に設定することができる。例えば、上側の層に磁化固定層（又は磁化自由層）と非磁性層の一部とが含まれ、下側の層に非磁性層の一部と磁化自由層（又は磁化固定層）とが含まれていてもよい。また、上側の層に磁化自由層、非磁性層、及び磁化固定層、が含まれ、下側の層はそれ以外の層（例えばTa又はRu等）で構成されていてもよい。

【0022】

積層膜の磁化容易軸を決定するために、磁化容易軸にしたい方向と平行に、成膜中に磁場を印加してもよい。

40

ここで、磁化容易軸とは、磁性体のもつ磁気異方性の特性により、磁化されやすい方向のことを意味する。磁気異方性は、磁性体の形状によって決まる形状磁気異方性、結晶方位によって決まる結晶磁気異方性、磁性原子の配列によって起こる誘導磁気異方性等により決定される。

また、積層膜を成膜後に、磁場中で熱処理を行うことで磁化容易軸を決定してもよい。

また、磁化自由層を上面視で細長い形状に加工することで、磁化容易軸を決定してもよい。

【0023】

50

また、素子部に流入する磁束密度を均一にするため、上面視で、素子部の、感磁軸に直交する方向における長さは、磁気収束部の、感磁軸に直交する方向における長さよりも短いことが好ましい。

また、磁気センサのノイズ低減の観点から、素子部は並列または直列に接続されていることが望ましい。さらに、絶縁破壊耐性向上のため、素子部は直列に接続されていることがより望ましい。また、素子部全体を効率的に磁気増幅するため、磁気収束部の感磁軸に直交する辺に沿って素子部を配置することが望ましい。

【0024】

また、磁化自由層は、第1の強磁性層と、第1の磁気結合層と、第2の強磁性層とがこの順に積層されてなり、磁化固定層は、第3の強磁性層と、第2の磁気結合層と、第4の強磁性層と、第1の反強磁性層と、がこの順に積層されてなり、第1及び第2の磁気結合層は導電性の非磁性材料で形成され、第1及び第2の磁気結合層の膜厚は、第1～第4の強磁性層のいずれか一つの膜厚よりも小さく、第2の強磁性層及び第3の強磁性層は少なくともCo及びFeを含んでいてよい。

また、良好な磁気特性を得るため、第1の強磁性層の膜厚は、第2～第4の強磁性層の膜厚の総和よりも大きいことが好ましい。

【0025】

(5) 磁気収束部

本発明の一実施形態に係る磁気センサにおける磁気収束部は、膜厚方向が磁化困難軸方向となっている軟磁性材料により構成される。軟磁性材料は、NiFe、CoFeSiB、NiFeCuMo及びCoZrNb等が挙げられるがこの限りではない。磁気収束部はスパッタリング法やめっきによって作製することができる。すなわち、磁気収束部は公知の方法で形成することが可能である。一例としては、配線等が形成された積層部の全面に、Cu又はNiFe等の材料を用いてシード層を作り、フォトリソグラフィ法でマスク部材を形成し、さらにめっき膜を形成し、マスク部材や余分なシード層を除去することにより、磁気収束部を形成するか、蒸着法やスパッタリング法により磁気収束部を形成し、さらに、マスク部材を取り除くことで形成することができる。または、磁気収束部は、別途リボン状に形成された軟磁性体を切り出して形成し、素子部に近接するように貼りつけることでも形成できる。磁気収束部は、めっき等によって作製された第1の軟磁性体に、リボン状に形成された第2の軟磁性体を貼り付けて組み合わせてもよい。保磁力を抑制するために、膜面内の磁気特性に関して、素子部の感磁軸方向と平行な方向が、感磁軸に垂直な方向に比べて磁化困難軸的であることが望ましい。

【0026】

また本発明の他の実施形態に係る磁気センサにおける磁気収束部は、素子部と電氣的に絶縁されて構成される。磁気収束部と素子部とを電氣的に絶縁するための構成としては、後述する保護層に用いられる酸化ケイ素、窒化ケイ素及び酸化アルミニウム等を磁気収束部と素子部の間に形成するが挙げられるが、この限りではない。

効率的に磁気増幅するため、上面視で、感磁軸に垂直な方向の磁気収束部の辺に、素子部ができるだけ近くなるように配置することが望ましい。磁気収束部は1つだけでも効果を発揮するが、より効果的な磁気増幅のため、上面視で、素子部を挟むように少なくとも2つの磁気収束部を配置することが望ましい。したがって、図11に示すように、素子部20が複数ある場合、素子部20は、上面視で、感磁軸の方向と略直交する方向に並んで配置されていることが望ましい。なお、図11に示す磁気センサは、図1に示す磁気センサにおいて、各部の寸法は若干異なるものの、素子部20を複数有すること以外は同一であるので、同一部には同一符号を付与している。

【0027】

また、磁気収束部で発生する磁氣的なノイズが素子部に伝搬し、デバイス特性が悪化することを防ぐため、磁気収束部と素子部とは絶縁されていることが望ましい。

また、磁化固定層と磁気収束部とが重なると、素子部の凹凸を反映して磁気収束部の形状が変化する。そのため、磁化固定層と磁気収束部とは重ならないように配置することが

望ましい。また、素子部を均一に磁気増幅するため、磁気収束部は矩形であることが望ましい。

【0028】

また、効率的に磁気増幅するために、後述の図1(b)に示すように、磁気収束部の膜厚 D_{30} は、素子部の膜厚 D_{20} よりも大きいことが好ましい。

また、簡便なプロセスで作製できるように、図1(b)に示すように、磁気収束部は素子部に対し、側面視で素子部の上端部が、磁気収束部の下端部よりも低くなるように配置されていることが好ましい。

また、効率的に磁気増幅するために、後述の図3で説明するように、磁気収束部は、上面視で、感磁軸と略平行方向に沿った長さが、感磁軸と略垂直方向に沿った長さよりも2倍以上長いことが好ましい。

10

【0029】

また、簡便なプロセスで効率的な磁気増幅を可能にするため、図12A及び図12Bに示すように磁気収束部は、基板上に形成された第1の軟磁性体と、第1の軟磁性体とは別に形成された第2の軟磁性体と、を含んでいてもよい。例えば、第2の軟磁性体を、別途リボン状に形成された軟磁性体を切り出して形成し、これを第1の軟磁性体に張り付けてもよい。なお、図12A及び図12Bに示す磁気センサは、図11に示す磁気センサにおいて、磁気収束部の構成が異なること以外は同一であるので、同一部には同一符号を付与しその詳細な説明は省略する。

また、簡便なプロセスで効率的な磁気増幅を可能にするため、磁気収束部の少なくとも一部は、めっきプロセス工程によって形成されるめっき膜を含んでいてもよい。

20

【0030】

(6) 保護層

本発明の一実施形態に係る磁気センサにおける保護層は、素子部、配線部、及び磁気収束部等との絶縁を保つために用いる。保護層の材料は素子部、配線部、及び磁気収束部等を絶縁可能なものであれば特に制限されず、一例として酸化ケイ素、窒化ケイ素及び酸化アルミニウム等が挙げられる。保護層は素子部の表面全体を覆うように形成され、保護層の、素子部と配線部との接合部分や、電極等の上部に相当する領域には、通電窓(すなわち、開口部)が存在する。本発明において通電窓の位置や形状は限定されない。

【0031】

30

(7) 配線部

本発明の一実施形態に係る磁気センサにおける配線部は、保護層(絶縁層)上に形成された通電窓を介して電極と素子部とを接続する。また、配線部は、複数の磁気センサを、直列接続又は並列接続する場合、素子部同士を電氣的に接続するためにも用いる。密着性の観点から、キャップ層(又は素子部の最上層)と配線部との間にTi又はTa等の層を備えていることが望ましい。

素子部同士を直列又は並列に接続して、複数の磁気センサを直列又は並列に接続する場合、磁気収束部を用いた効率的な磁気増幅を行うという観点から、上面視で素子部の感磁軸方向と略直交する方向に延びるように素子部同士を接続することが好ましい。

【0032】

40

配線部の材料としては、素子部同士、また、電極間を電氣的に接続することが可能な導電性の材料(例えばAu、Cu、Cr、Ni、Al、Ta及びRu等)であれば特に制限されない。また、配線部は単一の材料で構成されていてもよく、また、複数の材料が混合又は積層されることにより構成されていてもよい。配線部は公知の方法で形成することが可能であり、一例としては、フォトリソグラフィ法でマスク部材を形成し、マスク部材を含む基板全面に、蒸着法やスパッタリング法により導電性材料を形成し、さらに剥離液を用いてマスク部材を剥離すること(すなわち、リフトオフ法)により形成することができる。

また、素子部にバイアス磁場を加える目的で、素子部と接続しない配線部を別に設けてもよい。

50

【 0 0 3 3 】

(8) 電極

本発明の一実施形態に係る磁気センサにおける電極は、外部の回路等との接続に用いる。密着性の観点から、基板または素子部上に電極を設ける場合には、基板と電極との間に T i、T a 等の層を備えていることが望ましい。基板上に素子部を残し、その上部に電極を作製してもよい。電極の材料としては、配線部同様、導電性の材料（例えば A u、C u、C r、N i、A l、T a 及び R u 等）であれば特に制限されないが、素子特性の観点から、酸化されにくい材料（A u 又は R u 等）である方が好ましい。

【 0 0 3 4 】

また、電極は単一の材料から構成されていてもよく、また、複数の材料が混合されたもの又は積層されたものから構成されていてもよい。電極は公知の方法で形成することが可能であり、一例としては、フォトリソグラフィ法でマスク部材を形成し、さらに、マスク部材を含む積層部全面に、蒸着法やスパッタリング法により導電性材料を形成し、さらに剥離液を用いてマスク部材を剥離すること（すなわち、リフトオフ法）により形成することができる。プロセス工数の観点から、配線部と同一プロセスで作製することが望ましい。

また、配線部及び電極を保護層が覆っている場合、電極部は、外部と電氣的に接続するための通電窓を有する。

【 0 0 3 5 】

< 具体例 >

以下、本発明の一実施形態に係る磁気センサの具体例を、図面を用いて説明する。また、従来技術との比較を行い、優位性を示す。なお、以下に説明する各図において、同一の構成を有する部分には同一の符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。

【 0 0 3 6 】

< 実施形態 >

(構成の一例)

図 1 は、本発明の一実施形態に係る磁気センサ 1 の構成の一例を示す模式図であり、図 1 (a) は平面図、図 1 (b) は図 1 (a) の A - A ' 断面図である。なお、図 1 (a) には、各層の重なりが明確になるように、一部外部に露出していない磁気センサ 1 内部の境界線も破線で示している。

図 1 に示す磁気センサ 1 は、基板 1 0 と、基板 1 0 上に配置された素子部 2 0 と、素子部 2 0 を覆う保護層 4 0 と、保護層 4 0 に形成された通電窓としての開口部 4 0 a を通じて素子部 2 0 と接続される配線部 5 0 と、配線部 5 0 及び保護層 4 0 を覆う保護層 4 1 と、を備える。さらに、磁気センサ 1 は、保護層 4 1 上に、シード層 3 1 を介して積層された磁気収束部 3 0 を備える。上面視で、配線部 5 0 と重なる保護層 4 1 の一部には、通電窓 4 1 a が形成され、配線部 5 0 が露出した部分が電極 5 1 を形成している。

【 0 0 3 7 】

磁気収束部 3 0 は一対の磁気収束部 3 0 L 及び 3 0 R を含む。磁気収束部 3 0 L 及び 3 0 R は、上面視で矩形状に形成され、素子部 2 0 の感磁軸の方向と磁気収束部 3 0 L 及び 3 0 R それぞれの対向する一対の辺とが平行となり、且つ、磁気収束部 3 0 L 及び 3 0 R それぞれの他方の一対の辺同士が平行となり、これら磁気収束部 3 0 L と 3 0 R との間に、素子部 2 0 をその両側から挟むように配置される。図 1 (a) では、素子部 2 0 の左側の磁気収束部を磁気収束部 3 0 L とし、右側の磁気収束部を磁気収束部 3 0 R として記載している。また、素子部 2 0 の感磁軸の方向を磁気センサ 1 の幅方向、すなわち図 1 において左から右に向かう方向としている。

素子部 2 0 は磁化自由層 2 1 と、非磁性層 2 2 と、磁化固定層 2 3 とがこの順で基板 1 0 上に積層されて構成される。

さらに本発明の一実施形態に係る磁気センサ 1 は、図 1 に示すように、上面視で、磁化自由層 2 1 の一部と、磁気収束部 3 0 の少なくとも一部とが重複するように配置される。

【 0 0 3 8 】

10

20

30

40

50

(製造方法の一例)

本発明の第一実施形態に係る磁気センサ 1 の製造方法を示す。以下に示す製造方法は一例であって、必ずしも以下の方法で作製する必要はない。

まず、基板 10 上に、スパッタリング法等の公知の方法で、磁化自由層 21、非磁性層 22 及び磁化固定層 23 となる強磁性層と非磁性層と強磁性層との積層膜を交互に成膜する。次に、この積層膜上に、フォトリソグラフィ法等により、マスク部材を形成する。マスク部材は、積層膜上に所望の箇所で所望の形状で形成してよい。

【0039】

次に、このマスク部材をマスクに、イオンミリング等の公知の方法で積層膜をエッチングする。これにより、基板 10 上の積層膜を所望の形状に加工しマスク部材を除去する。この時、エッチングにより、積層膜の一部から構成される積層部を複数形成してもよい。

次に、この積層部の上に、フォトリソグラフィ法等によりマスク部材を形成する操作を再度行う。この時マスク部材の開口部は、上面視で、積層部内に収まるように形成する。

次に、積層部の上に形成されたマスク部材をマスクに、イオンミリング等の公知の方法で積層部をエッチングする。このとき、積層部に含まれる「強磁性層 / 非磁性層 / 強磁性層」構造の、非磁性層付近でエッチングを止め、マスク部材を除去する。その際、下側の強磁性層が一部エッチングされてもよい。これにより素子部 20 が形成される。

【0040】

次に素子部 20 を含む基板 10 全体を覆うように、CVD 法等公知の方法で保護層 40 となる絶縁膜を成膜する。この絶縁膜上に、フォトリソグラフィ法等により、開口部 40a 形成用のマスク部材を形成する。さらに RIE 等の公知の方法で絶縁膜をエッチングし、開口部 40a を形成し、マスク部材を除去する。これにより、開口部 40a を備えた保護層 40 が形成される。

次に、この開口部 40a を備えた保護層 40 の上に、フォトリソグラフィ法等により、配線部 50 及び電極 51 形成用のマスク部材を形成する。さらにスパッタリング法等公知の方法で金属薄膜を成膜し、マスク部材を除去することでマスク部材上の金属薄膜が剥離され、配線部 50 及び電極 51 が同時に形成される。

【0041】

次に、CVD 法等公知の方法で全面に保護層 41 となる絶縁膜を成膜し、さらに、保護層 41 の上に、スパッタリング法等公知の方法でめっきシード層 31 を形成する。さらに、このシード層 31 上にフォトリソグラフィ法等により磁気収束部 30 形成用の領域のみが開口されたマスク部材を形成する操作を行う。

次に、電解めっき等の公知の方法で磁気収束部 30 となるめっき膜を形成し、マスク部材を除去する。さらにイオンミリング等公知の方法で、露出している表面全体を覆うシード層 31 を除去することで、磁気収束部 30L 及び 30R を形成する。さらに、フォトリソグラフィ法等により電極 51 となる領域のみが開口されたマスク部材を形成する操作を行う。そして、RIE 等公知の方法で保護層 41 となる絶縁膜をエッチングして通電窓 41a を形成し、マスク部材を除去する。この操作により、電極 51 と外部端子とを接続することが可能になる。

以上の工程により、本発明の第一実施形態に係る磁気センサ 1 を得ることができる。

【実施例】

【0042】

以下、本発明の実施例について説明する。この実施例では、素子部 20 と磁気収束部 30 とが、上面視で重なる重複領域 P を有するように作製し、その磁気感度に関して検討した。

【0043】

< 実施例 1 >

[磁気センサの形成]

実施例 1 に係る磁気センサとして、図 11 に示す磁気センサ 1 を次の成膜及び微細加工

プロセスを経て作製した。図 11 の A - A' 断面図は、図 1 (b) に対応する。

まず、図 13 に示すように、表面に SiO_2 が $1\text{ }\mu\text{m}$ 程度成膜された基板 10 上に、磁化自由層 21 の下地層となる Ta、磁化自由層 21 となる NiFe、Ru 及び CoFeB がこの順に積層された多層膜、非磁性層 22 となる MgO、磁化固定層 23 となる CoFeB、Ru、CoFe 及び IrMn がこの順に積層された多層膜、キャップ層となる Ta 及び Ru がこの順で積層された多層膜を、この順で積層し積層膜を形成した。

【0044】

次にこの積層膜上にフォトリソグラフィー法により、積層膜から、素子部 20 となる積層部を複数形成するための第 1 のマスク部材を形成した。次に、ECR プラズマエッチング装置を用いて、積層膜のうち、第 1 のマスク部材で覆われていない部分を除去し、複数の積層部を形成した。その後、第 1 のマスク部材を除去した。

10

次に、フォトリソグラフィー法により、素子部 20 を形成するための第 2 のマスク部材を、全ての積層部の上に 2 つずつ形成した。次に、ECR プラズマエッチング装置を用いて、第 2 のマスク部材で覆われていない積層部を非磁性層 22 となる層まで除去した。これにより、複数の素子部 20 を基板 10 上に形成した。その後、第 2 のマスク部材を除去した。

【0045】

次に、複数の素子部 20 が形成された基板 10 上に、 SiO_2 で構成される保護層 40 を成膜した。次に、開口部 40a を作製するためフォトリソグラフィー法により、全ての素子部 20 の磁化固定層 23 の中央付近のみ露出し、それ以外の領域を覆う第 3 のマスク部材を保護層 40 上に形成した。そして、この第 3 のマスク部材をマスクに、RIE エッチング装置を用いて保護層 40 の露出部分をエッチングした。これにより、配線部 50 との接続のための開口部 40a を有する保護層 40 を形成した。その後、第 3 のマスク部材を除去した。

20

次に、フォトリソグラフィー法により、各開口部 40a を直列に接続するような配線部 50 が形成される領域と、電極 51 が形成される領域とが露出し、それ以外の領域を覆う第 4 のマスク部材を保護層 40 上に形成した。次に、マグネトロンスパッタリング装置を用いて全面に金属膜を積層した。その後、リフトオフ法により第 4 のマスク部材を除去し、金属膜から配線部 50 及び電極 51 を形成した。

【0046】

30

次に、磁場中熱処理装置を用いて、膜面内で感磁軸とする方向と垂直な方向に磁場をかけながら 325 で 1 時間熱処理（第 1 の熱処理）を行い、磁場をかけたままで 100 以下まで冷却した。その後さらに、感磁軸とする方向に磁場をかけながら 325 で 1 時間熱処理（第 2 の熱処理）を行い、磁場をかけたままで 100 以下まで冷却した。

次に、配線部 50 及び電極 51 を含む基板 10 上全面に SiO_2 で構成される保護層 41 を積層後、マグネトロンスパッタリング装置を用いて、さらに保護層 41 上全面にシード層 31 となる Ta / Cu 層を積層した。さらに、フォトリソグラフィー法により、磁気収束部 30 が形成される領域以外を覆う、第 5 のマスク部材をシード層 31 となる Ta / Cu 層上に形成した。

【0047】

40

次に、電解めっきにより、第 5 のマスク部材の開口部の、シード層 31 上に磁気収束部 30 を形成した。この時、磁気収束部 30 L、30 R の、素子部 20 側の端部は、上面視で磁化自由層 21 の両端をそれぞれ $20\text{ }\mu\text{m}$ ずつ覆うように形成した。その後リフトオフ法により第 5 のマスク部材を除去し、エッチング装置を用いて余分なシード層 31 を除去した。さらに、フォトリソグラフィー法等により電極 51 となる領域のみが開口されたマスク部材を形成する操作を行い、第 6 のマスク部材を形成した。そして、この第 6 のマスク部材をマスクに、RIE エッチング装置を用いて保護層 41 の露出部分をエッチングし、マスク部材を除去した。

以上の操作により、磁気センサ 1 を作製した。

作製した磁気センサ 1 に 1 V の電圧をかけながら、感磁軸とする方向から外部磁場を「

50

- 0.6 Oe 以上 0.6 Oe 以下」の範囲で変化させ、磁気抵抗変化の測定を行った。

【0048】

< 比較例 1 >

次に、比較例 1 について説明する。

図 1 4 は、比較例 1 に係る磁気センサ 2 の構成の一例を示す平面図であり、素子部 2 0 を三つ備えている例である。なお、図 1 4 には、各層の重なりが明確になるように、一部外部に露出していない磁気センサ 2 内部の境界線も破線で示している。また、図 1 4 における素子部 2 0 を一つのみとした場合の磁気センサの平面図は、図 2 (a) となる。図 1 4 の A - A ' 断面図及び図 2 (a) の A - A ' 断面図は、いずれも図 2 (b) である。

図 1 4 に示す比較例 1 に係る磁気センサ 2 は、図 1 1 に示す実施例 1 における磁気センサ 1 において、磁気収束部 3 0 の、素子部 2 0 側の端部が、上面視で磁化自由層 2 1 の両端からそれぞれ 5 μm ずつ離れた位置となるように形成したものである。これ以外は、実施例 1 における磁気センサ 1 と同様であり、同一部には同一構成を付与している。また、実施例 1 と同様の方法で磁気センサ 2 の形成と磁気抵抗変化の測定とを行った。

【0049】

< 感度の比較 >

実施例 1 と比較例 1 とについて感度の比較を行った。

本発明の一実施形態に係る磁気センサ 1 の抵抗変化の原理は、すでに公知である、TMR 効果 (Tunnel Magneto Resistance effect) によるものである。TMR 効果による抵抗値の変化は、磁化自由層の磁化と磁化固定層の磁化の相対角の変化によるものであり、これらの界面において抵抗が変化する。TMR センサ等の感度の定義は、公知であるように、磁化の相対角度が 0 ° である時の抵抗値を R_p 、180 ° である時の抵抗値を R_{ap} 、抵抗変化範囲を $2H_k$ としたとき、次式 (1) で表すことができる。

$$\left(\left(R_{ap} - R_p \right) / R_p \right) \times 100 \right) / 2H_k \left[\% / Oe \right] \quad \dots \dots (1)$$

前記の定義により感度を比較すると、実施例 1 では、感度が 226 % / Oe となり、比較例 1 では、感度が 118 % / Oe となった。実施例 1 と比較例 1 との違いは、図 1 1 及び図 1 4 からわかるように、磁気収束部 3 0 の配置位置のみである。以上の結果より、本発明の一実施形態に係る磁気センサ 1、つまり、上面視で磁化自由層 2 1 と磁気収束部 3 0 L、3 0 R とがそれぞれ重なっている方が、感度がより高いことがわかる。

【0050】

< 実施例 2 >

次に実施例 2 について説明する。

実施例 2 では、実施例 1 の磁気センサ 1 における各磁性体と同等の構成を有する磁性体群を想定し、有限要素法による磁場解析シミュレーションを行った。なお、後述の実施例 3 ~ 実施例 2 5、比較例 2 ~ 比較例 1 0 も同様にして磁場解析シミュレーションを行った。

磁場解析シミュレーションでは、任意の形状、透磁率の磁性体をコンピュータ上に作製することができる。形状を定義された磁性体を、任意の大きさの小領域に区切り、磁場を印加すると、磁性体中の各小領域の磁化状態を計算することができる。磁性体の磁化の値の大小は、感度の増幅率と対応している。

【0051】

そこで実施例 2 では、磁気収束部 3 0 に対応する磁性体 3 0 ' と磁化自由層 2 1 に対応する磁性体 2 1 ' とを定義し、磁性体 3 0 ' が在る時の磁性体 2 1 ' の磁化が、磁性体 3 0 ' が無い時の磁性体 2 1 ' の磁化に対して何倍になっているかを調査した。この値を「増幅率」と定義する。

ここで、本発明の一実施形態に係る磁気センサ 1 の抵抗変化が起こる部分は、上面視で、磁化自由層 2 1 と磁化固定層 2 3 とが重なっている部分である。本発明の一実施形態に係る磁気センサ 1 の抵抗変化に相当するのは、磁化自由層 2 1 と磁化固定層 2 3 とが上面視で重なっている領域の磁化の変化である。そこで本シミュレーションでは、磁性体 2 1

の中央付近の領域を感磁エリア 23' とし、感磁エリア 23' の磁化の平均値を増幅率の計算に使用した。

【0052】

なお、以下の実施例では計算を簡単にするため、感磁エリア 23' の長さを磁性体 21' の長さとして一致させて増幅率を計算するが、感磁エリア 23' の感磁軸と垂直な方向の長さは磁性体 21' の長さとは異なっても良い。増幅率は、感磁エリア 23' の磁化の平均値に依存するため、感磁軸と垂直な方向の長さが変わっても磁化の平均値はほとんど変わらないためである。また、ここでは、上面視で、磁性体 21' と磁性体 30' とが重なる領域の面積を「面積 P」とし、感磁エリア 23' と磁性体 30' とが重なる領域の面積を「面積 Q」とし、磁性体 21' と磁性体 30' とが重なる領域のうち、感磁エリア 23' と重ならない部分の面積を「面積 R」としている。

10

面積 P、Q、及び R の関係を図 10 に示す。面積 P、Q 及び R は、上述の重複領域 P、重複部分 Q 及び重複部分 R に対応しており、 $P = Q + R$ の関係にある。

「面積 P」が「0」よりも大きい場合が実施例、「面積 P」が「0」の場合が比較例となる。

【0053】

図 3 は実施例 2 に係る磁性体群 a2 の配置を示す模式図であり、図 3 (a) は平面図、図 3 (b) は図 3 (a) の A - A' 断面図である。なお、以後、磁性体群とは、磁化自由層 21 に対応する磁性体 21' と、磁化固定層 23 に対応する感磁エリア 23' と、磁気収束部 30L に対応する磁性体 30L' と、磁気収束部 30R に対応する磁性体 30R' とを表す。

20

【0054】

まず、磁場解析シミュレーション上の、磁気センサ 1 における各磁性体と同等の構成を有する磁性体群について、磁化自由層 21 に対応する磁性体 21' を、長さ $L_{21} = 140 \mu\text{m}$ 、幅 $W_{21} = 100 \mu\text{m}$ 、厚さ $D_{21} = 0.1 \mu\text{m}$ 、透磁率 2000 として配置した。磁性体 21' の厚さ D_{21} の中心から、厚さ方向に $1 \mu\text{m}$ 離れた平面上に、本発明に係る磁気収束部 30L 及び 30R に対応する磁性体 30L' 及び 30R' の底面がくるように配置した。磁性体 30L' 及び 30R' は、長さ $L_{30} = 750 \mu\text{m}$ 、幅 $W_{30} = 10 \text{mm}$ 、厚さ $D_{30} = 10 \mu\text{m}$ 、透磁率 2000 として、それぞれ磁性体 21' の幅方向の左側と右側とに配置した。このとき、上面視で磁性体 30L' の幅方向右端が、磁性体 21' の幅方向左端よりも $5 \mu\text{m}$ 右側となり、磁性体 30R' の幅方向左端が、磁性体 21' の幅方向右端よりも $5 \mu\text{m}$ 左側となるように配置した。また、感磁エリア 23' を、磁性体 21' と重心が同じ位置に、長さ $L_{23} = 140 \mu\text{m}$ 、幅 $W_{23} = 40 \mu\text{m}$ の大きさで定義した。

30

【0055】

このように定義すると実施例 2 では、面積 P は $140 \times 5 \times 2 = 1400 \mu\text{m}^2$ となる。また、感磁エリア 23' と磁性体 30' (30L'、30R') とが重複部分を持たないので、面積 Q は $0 \mu\text{m}^2$ 、面積 R は $R = P - Q$ より $1400 \mu\text{m}^2$ となる。

したがって、面積 Q は面積 R よりも小さい。

また、感磁エリア 23' に占める面積 Q の割合は「0」である。

40

上記のように配置された磁性体 21' と磁性体 30L' 及び 30R' に対して、図 3 に示すように図 3 における左側から右側へ、つまり、磁性体 21' (素子部 20) の感磁軸方向に 0.1 nT の磁場を印加し、その時の磁性体 21' の感磁エリア 23' の磁化を取得した。

また、磁性体 30L'、30R' は配置せず、磁性体 21' のみを配置して、同様の手順で感磁エリア 23' の磁化を取得して、感磁エリア 23' の増幅率の平均値を算出した。

【0056】

以下、実施例 3 ~ 実施例 25 及び比較例 2 ~ 比較例 10 について説明する。

実施例 3 ~ 実施例 25 それぞれに係る磁性体群 a3 ~ a25 及び比較例 2 ~ 比較例 10

50

それぞれに係る磁性体群 $b_2 \sim b_{10}$ は、それぞれ実施例 2 において、磁場解析シミュレーション上の、磁気センサ 1 における各磁性体と同等の構成を有する。また、各磁性体群 $a_3 \sim a_{25}$ 、 $b_2 \sim b_{10}$ は、実施例 2 において、磁性体 $30L'$ 及び $30R'$ と、磁性体 $21'$ との配置位置又は感磁エリア $23'$ の幅 W_{23} を異ならせたものである。それ以外は、実施例 2 と同様の方法で、感磁エリア $23'$ の増幅率の平均値を算出した。

【0057】

ここで、磁性体 $30L'$ 及び $30R'$ と、磁性体 $21'$ とが、磁性体 $21'$ の幅方向左右端それぞれにおいて、上面視で重なるように配置した場合の、磁性体 $30L'$ と磁性体 $21'$ との重なり幅を重複幅 WP とする。なお、磁性体 $30L'$ と磁性体 $21'$ との重なり幅と磁性体 $30R'$ と磁性体 $21'$ との重なり幅とは同一となるように配置する。つまり、磁性体 $21'$ と磁性体 $30L'$ との位置関係と、磁性体 $21'$ と磁性体 $30R'$ との位置関係とは同一となるように配置する。また、磁性体 $30L'$ 及び $30R'$ と、磁性体 $21'$ とが、磁性体 $21'$ の幅方向左右端それぞれにおいて、上面視で重ならないように配置した場合には、磁性体 $30L'$ と磁性体 $21'$ との間隔はマイナス値の重複幅 WP で表すものとする。

【0058】

< 実施例 3 >

実施例 3 に係る磁性体群 a_3 の配置を示す模式図は、図 3 に示す模式図と同一である。

実施例 3 は実施例 2 において、重複幅 WP を $10 \mu m$ としたものである。感磁エリア $23'$ の幅 W_{23} は $40 \mu m$ である。

実施例 3 では、面積 P は $140 \times 10 \times 2 = 2800 \mu m^2$ となる。また、感磁エリア $23'$ と磁性体 $30'$ とが重複部分を持たないので、面積 Q は $0 \mu m^2$ 、面積 R は $R = P - Q$ より $2800 \mu m^2$ となる。

したがって、面積 Q は面積 R よりも小さい。また、感磁エリア $23'$ に占める面積 Q の割合は「0」である。

【0059】

< 実施例 4 >

実施例 4 に係る磁性体群 a_4 の配置を示す模式図は、図 3 に示す模式図と同一である。

実施例 4 は実施例 3 において、重複幅 WP を $15 \mu m$ としたものである。

実施例 4 では、面積 P は $140 \times 15 \times 2 = 4200 \mu m^2$ となる。また、面積 Q は $0 \mu m^2$ 、面積 R は $4200 \mu m^2$ となる。

したがって、面積 Q は面積 R よりも小さい。また、感磁エリア $23'$ に占める面積 Q の割合は「0」である。

【0060】

< 実施例 5 >

実施例 5 に係る磁性体群 a_5 の配置を示す模式図は、図 3 に示す模式図と同一である。

実施例 5 は実施例 3 において、重複幅 WP を $20 \mu m$ としたものである。

実施例 5 では、面積 P は $140 \times 20 \times 2 = 5600 \mu m^2$ となる。また、面積 Q は $0 \mu m^2$ 、面積 R は $5600 \mu m^2$ となる。

したがって、面積 Q は面積 R よりも小さい。また、感磁エリア $23'$ に占める面積 Q の割合は「0」である。

【0061】

< 実施例 6 >

実施例 6 に係る磁性体群 a_6 の配置を示す模式図は、図 3 に示す模式図と同一である。

実施例 6 は実施例 3 において、重複幅 WP を $25 \mu m$ としたものである。

実施例 6 では、面積 P は $140 \times 25 \times 2 = 7000 \mu m^2$ となる。また、面積 Q は $0 \mu m^2$ 、面積 R は $7000 \mu m^2$ となる。

したがって、面積 Q は面積 R よりも小さい。また、感磁エリア $23'$ に占める面積 Q の割合は「0」である。

【0062】

< 実施例 7 >

図 4 は実施例 7 に係る磁性体群 a 7 の配置を示す模式図であり、図 4 (a) は平面図、図 4 (b) は図 4 (a) の A - A ' 断面図である。

実施例 7 は実施例 3 において、重複幅 W P を $30\ \mu\text{m}$ としたものである。つまり、上面視で磁性体 $30\text{L}'$ の幅方向右端と、感磁エリア $23'$ の幅方向左端とが一致し、磁性体 $30\text{R}'$ の幅方向左端と、感磁エリア $23'$ の幅方向右端とが一致するように配置した。

実施例 7 では、面積 P は $140 \times 30 \times 2 = 8400\ \mu\text{m}^2$ となる。また、面積 Q は $0\ \mu\text{m}^2$ 、面積 R は $8400\ \mu\text{m}^2$ となる。

したがって、面積 Q は面積 R よりも小さい。また、感磁エリア $23'$ に占める面積 Q の割合は「0」である。

10

【0063】

< 実施例 8 >

図 5 は実施例 8 に係る磁性体群 a 8 の配置を示す模式図であり、図 5 (a) は平面図、図 5 (b) は図 5 (a) の A - A ' 断面図である。

実施例 8 は実施例 3 において、重複幅 W P を $35\ \mu\text{m}$ としたものである。

実施例 8 では、面積 P は $140 \times 35 \times 2 = 9800\ \mu\text{m}^2$ となる。また、感磁エリア $23'$ と磁性体 $30'$ とは、片側 $5\ \mu\text{m}$ ずつ感磁エリア $23'$ の両側に重複幅を持つので、面積 Q は、 $140 \times 5 \times 2 = 1400\ \mu\text{m}^2$ 、面積 R は $8400\ \mu\text{m}^2$ となる。

したがって、面積 Q は面積 R よりも小さい。また、感磁エリア $23'$ の面積は、 $140 \times 40 = 5600\ \mu\text{m}^2$ であるため、感磁エリア $23'$ に占める面積 Q の割合は $1/4$ である。

20

【0064】

< 実施例 9 >

実施例 9 に係る磁性体群 a 9 の配置を示す模式図は、図 5 に示す模式図と同一である。

実施例 9 は実施例 8 において、重複幅 W P を $37.5\ \mu\text{m}$ としたものである。

実施例 9 では、面積 P は $140 \times 37.5 \times 2 = 10500\ \mu\text{m}^2$ となる。また、片側 $7.5\ \mu\text{m}$ ずつ感磁エリア $23'$ の両側に重複幅を持つので、面積 Q は、 $140 \times 7.5 \times 2 = 2100\ \mu\text{m}^2$ 、面積 R は $8400\ \mu\text{m}^2$ となる。

したがって、面積 Q は面積 R よりも小さい。また、感磁エリア $23'$ の面積は、 $140 \times 40 = 5600\ \mu\text{m}^2$ であるため、感磁エリア $23'$ に占める面積 Q の割合は $3/8$ である。

30

【0065】

< 実施例 10 >

実施例 10 に係る磁性体群 a 10 の配置を示す模式図は、図 5 に示す模式図と同一である。

実施例 10 は実施例 8 において、重複幅 W P を $40\ \mu\text{m}$ としたものである。

実施例 10 では、面積 P は $140 \times 40 \times 2 = 11200\ \mu\text{m}^2$ となる。また、片側 $10\ \mu\text{m}$ ずつ感磁エリア $23'$ の両側に重複幅を持つので、面積 Q は、 $140 \times 10 \times 2 = 2800\ \mu\text{m}^2$ 、面積 R は $8400\ \mu\text{m}^2$ となる。

したがって、面積 Q は面積 R よりも小さい。また、感磁エリア $23'$ の面積は、 $140 \times 40 = 5600\ \mu\text{m}^2$ であるため、感磁エリア $23'$ に占める面積 Q の割合は $1/2$ である。

40

【0066】

< 比較例 2 >

図 6 は比較例 2 に係る磁性体群 b 2 の配置を示す模式図であり、図 6 (a) は平面図、図 6 (b) は図 6 (a) の A - A ' 断面図である。

比較例 2 は実施例 3 において、磁性体 $30\text{L}'$ 及び $30\text{R}'$ と、磁性体 $21'$ とを、上面視で磁性体 $30\text{L}'$ の幅方向右端が、磁性体 $21'$ の幅方向左端から $10\ \mu\text{m}$ 左側となり、磁性体 $30\text{R}'$ の幅方向左端が、磁性体 $21'$ の幅方向右端から $10\ \mu\text{m}$ 右側となるように配置した。つまり、重複幅 W P を $-10\ \mu\text{m}$ としたものである。感磁エリア $23'$

50

の幅 W_{23} は $40\ \mu\text{m}$ である。

比較例 2 では、磁性体 $21'$ と磁性体 $30'$ とが重複部分を持たないので、面積 P は $0\ \mu\text{m}^2$ となり、面積 P は $P = Q + R$ であるため、面積 P 、 Q 及び R は全て $0\ \mu\text{m}^2$ となる。

【0067】

< 比較例 3 >

比較例 3 に係る磁性体群 $b3$ の配置を示す模式図は、図 6 に示す模式図と同一である。

【0068】

比較例 3 は比較例 2 において、重複幅 WP を $-5\ \mu\text{m}$ としたものである。

比較例 3 では、面積 P は $0\ \mu\text{m}^2$ となり、面積 P 、 Q 及び R は全て $0\ \mu\text{m}^2$ となる。

10

【0069】

< 比較例 4 >

図 7 は比較例 4 に係る磁性体群 $b4$ の配置を示す模式図であり、図 7 (a) は平面図、図 7 (b) は図 7 (a) の $A-A'$ 断面図である。

比較例 4 は比較例 2 において、磁性体 $30L'$ 及び $30R'$ と、磁性体 $21'$ とを、上面視で磁性体 $30L'$ の幅方向右端と、磁性体 $21'$ の幅方向左端とが一致し、磁性体 $30R'$ の幅方向左端と、磁性体 $21'$ の幅方向右端とが一致するように配置した。つまり、重複幅 WP を $0\ \mu\text{m}$ としたものである。

比較例 4 では、面積 P は $0\ \mu\text{m}^2$ となり、面積 P 、 Q 及び R は全て $0\ \mu\text{m}^2$ となる。

【0070】

20

< 実施例 11 >

実施例 11 に係る磁性体群 $a11$ の配置を示す模式図は、図 3 に示す模式図と同一である。

実施例 11 は、実施例 2 における感磁エリア $23'$ を、磁性体 $21'$ と重心が同じ位置に、長さ $L_{23} = 140\ \mu\text{m}$ 、幅 $W_{23} = 60\ \mu\text{m}$ の大きさで定義した。また、重複幅 WP を $5\ \mu\text{m}$ とした。

実施例 11 では、面積 P は $140 \times 5 \times 2 = 1400\ \mu\text{m}^2$ となる。また、感磁エリア $23'$ と磁性体 $30'$ とが重複部分を持たないので、面積 Q は $0\ \mu\text{m}^2$ 、面積 R は $1400\ \mu\text{m}^2$ となる。

したがって、面積 Q は面積 R よりも小さい。また、感磁エリア $23'$ に占める面積 Q の割合は「0」である。

30

【0071】

< 実施例 12 >

実施例 12 に係る磁性体群 $a12$ の配置を示す模式図は、図 3 に示す模式図と同一である。

実施例 12 は実施例 11 において、重複幅 WP を $10\ \mu\text{m}$ とした。

実施例 12 では、面積 P は $140 \times 10 \times 2 = 2800\ \mu\text{m}^2$ となる。また、面積 Q は $0\ \mu\text{m}^2$ 、面積 R は $2800\ \mu\text{m}^2$ となる。

したがって、面積 Q は面積 R よりも小さい。また、感磁エリア $23'$ に占める面積 Q の割合は「0」である。

40

【0072】

< 実施例 13 >

実施例 13 に係る磁性体群 $a13$ の配置を示す模式図は、図 3 に示す模式図と同一である。

実施例 13 は実施例 11 において、重複幅 WP を $15\ \mu\text{m}$ とした。

実施例 13 では、面積 P は $140 \times 15 \times 2 = 4200\ \mu\text{m}^2$ となる。また、面積 Q は $0\ \mu\text{m}^2$ 、面積 R は $4200\ \mu\text{m}^2$ となる。

したがって、面積 Q は面積 R よりも小さい。また、感磁エリア $23'$ に占める面積 Q の割合は「0」である。

【0073】

50

< 実施例 14 >

実施例 14 に係る磁性体群 a 14 の配置を示す模式図は、図 4 に示す模式図と同一である。

実施例 14 は実施例 11 において、重複幅 WP を $20\ \mu\text{m}$ とした。つまり、上面視で磁性体 30L' の幅方向右端と、感磁エリア 23' の幅方向左端とが一致し、磁性体 30R' の幅方向左端と、感磁エリア 23' の幅方向右端とが一致するように配置した。

実施例 14 では、面積 P は $140 \times 20 \times 2 = 5600\ \mu\text{m}^2$ となる。また、感磁エリア 23' と磁性体 30' とが重複部分を持たないので、面積 Q は $0\ \mu\text{m}^2$ 、面積 R は $5600\ \mu\text{m}^2$ となる。

したがって、面積 Q は面積 R よりも小さい。また、感磁エリア 23' に占める面積 Q の割合は「0」である。

【0074】

< 実施例 15 >

実施例 15 に係る磁性体群 a 15 の配置を示す模式図は、図 5 に示す模式図と同一である。

実施例 15 は実施例 11 において、重複幅 WP を $25\ \mu\text{m}$ とした。

実施例 15 では、面積 P は $140 \times 25 \times 2 = 7000\ \mu\text{m}^2$ となる。また、感磁エリア 23' と磁性体 30' とは、片側 $5\ \mu\text{m}$ ずつ感磁エリア 23' の両側に重複幅を持つので、面積 Q は、 $140 \times 5 \times 2 = 1400\ \mu\text{m}^2$ となる。また、面積 R は $5600\ \mu\text{m}^2$ となる。

したがって、面積 Q は面積 R よりも小さい。また、感磁エリア 23' の面積は、 $140 \times 60 = 8400\ \mu\text{m}^2$ であるため、感磁エリア 23' に占める面積 Q の割合は $1/6$ となる。

【0075】

< 実施例 16 >

実施例 16 に係る磁性体群 a 16 の配置を示す模式図は、図 5 に示す模式図と同一である。

実施例 16 は実施例 15 において、重複幅 WP を $30\ \mu\text{m}$ とした。

実施例 16 では、面積 P は $140 \times 30 \times 2 = 8400\ \mu\text{m}^2$ となる。また、感磁エリア 23' は、片側 $10\ \mu\text{m}$ の重複幅を持つので、面積 Q は、 $140 \times 10 \times 2 = 2800\ \mu\text{m}^2$ 、面積 R は $5600\ \mu\text{m}^2$ となる。

したがって、面積 Q は面積 R よりも小さい。また、感磁エリア 23' の面積は、 $140 \times 60 = 8400\ \mu\text{m}^2$ であるため、感磁エリア 23' に占める面積 Q の割合は $1/3$ となる。

【0076】

< 実施例 17 >

実施例 17 に係る磁性体群 a 17 の配置を示す模式図は、図 5 に示す模式図と同一である。

実施例 17 は実施例 15 において、重複幅 WP を $35\ \mu\text{m}$ とした。

実施例 17 では、面積 P は $140 \times 35 \times 2 = 9800\ \mu\text{m}^2$ となる。また、感磁エリア 23' と磁性体 30' とは、片側 $15\ \mu\text{m}$ ずつ感磁エリア 23' の両側に重複幅を持つので、面積 Q は、 $140 \times 15 \times 2 = 4200\ \mu\text{m}^2$ 、面積 R は $5600\ \mu\text{m}^2$ となる。

したがって、面積 Q は面積 R よりも小さい。また、感磁エリア 23' の面積は、 $140 \times 60 = 8400\ \mu\text{m}^2$ であるため、感磁エリア 23' に占める面積 Q の割合は $1/2$ となる。

【0077】

< 実施例 18 >

実施例 18 に係る磁性体群 a 18 の配置を示す模式図は、図 5 に示す模式図と同一である。

実施例 18 は実施例 15 において、重複幅 WP を $37.5\ \mu\text{m}$ とした。

実施例 18 では、面積 P は $140 \times 37.5 \times 2 = 10500 \mu\text{m}^2$ となる。また、感磁エリア 23' と磁性体 30' とは、片側 $17.5 \mu\text{m}$ ずつ感磁エリア 23' の両側に重複幅を持つので、面積 Q は、 $140 \times 17.5 \times 2 = 4900 \mu\text{m}^2$ 、面積 R は $5600 \mu\text{m}^2$ となる。

したがって、面積 Q は面積 R よりも小さい。また、感磁エリア 23' の面積は、 $140 \times 60 = 8400 \mu\text{m}^2$ であるため、感磁エリア 23' に占める面積 Q の割合は約 $3/5$ (58.3%) となる。

【0078】

< 実施例 19 >

実施例 19 に係る磁性体群 a 19 の配置を示す模式図は、図 5 に示す模式図と同一である。

10

実施例 19 は実施例 15 において、重複幅 WP を $40 \mu\text{m}$ とした。

実施例 19 では、面積 P は $140 \times 40 \times 2 = 11200 \mu\text{m}^2$ となる。また、感磁エリア 23' と磁性体 30' とは、片側 $20 \mu\text{m}$ ずつ感磁エリア 23' の両側に重複幅を持つので、面積 Q は、 $140 \times 20 \times 2 = 5600 \mu\text{m}^2$ 、面積 R は $5600 \mu\text{m}^2$ となる。

したがって、面積 Q は面積 R と同一となる。また、感磁エリア 23' の面積は、 $140 \times 60 = 8400 \mu\text{m}^2$ であるため、感磁エリア 23' に占める面積 Q の割合は約 $2/3$ となる。

【0079】

20

< 比較例 5 >

比較例 5 に係る磁性体群 b 5 の配置を示す模式図は、図 6 に示す模式図と同一である。

比較例 5 は、実施例 11 において、磁性体 30L' 及び 30R' と、磁性体 21' とを、上面視で磁性体 30L' の幅方向右端が、磁性体 21' の幅方向左端から $10 \mu\text{m}$ 左側となり、磁性体 30R' の幅方向左端が、磁性体 21' の幅方向右端から $10 \mu\text{m}$ 右側となるように配置した。つまり、重複幅 WP を $-10 \mu\text{m}$ としたものである。

比較例 5 では、磁性体 21' と磁性体 30' とが重複部分を持たないので、面積 P は $0 \mu\text{m}^2$ となり、面積 P は $P = Q + R$ であるため、面積 P 、 Q 及び R は全て $0 \mu\text{m}^2$ となる。

【0080】

30

< 比較例 6 >

比較例 6 に係る磁性体群 b 6 の配置を示す模式図は、図 6 に示す模式図と同一である。

比較例 6 は比較例 5 において、重複幅 WP を $-5 \mu\text{m}$ としたものである。

比較例 6 では、面積 P は $0 \mu\text{m}^2$ となり、面積 P 、 Q 及び R は全て $0 \mu\text{m}^2$ となる。

【0081】

< 比較例 7 >

比較例 7 に係る磁性体群 b 7 の配置を示す模式図は、図 7 に示す模式図と同一である。

比較例 7 は実施例 11 において、磁性体 30L' 及び 30R' と、磁性体 21' とを、上面視で磁性体 30L' の幅方向右端と、磁性体 21' の幅方向左端とが一致し、磁性体 30R' の幅方向左端と、磁性体 21' の幅方向右端とが一致するように配置した。つまり、重複幅 WP を $0 \mu\text{m}$ としたものである。

40

比較例 7 では、面積 P は $0 \mu\text{m}^2$ となり、面積 P 、 Q 及び R は全て $0 \mu\text{m}^2$ となる。

【0082】

< 実施例 20 >

実施例 20 に係る磁性体群 a 20 の配置を示す模式図は、図 3 に示す模式図と同一である。

実施例 20 は、実施例 2 における感磁エリア 23' を、磁性体 21' と重心が同じ位置に、長さ $L_{23} = 140 \mu\text{m}$ 、幅 $W_{23} = 80 \mu\text{m}$ の大きさで定義した。また、重複幅 WP を $5 \mu\text{m}$ とした。

実施例 20 では、面積 P は $140 \times 5 \times 2 = 1400 \mu\text{m}^2$ となる。また、感磁エリア

50

23' と磁性体 30' とが重複部分を持たないので、面積 Q は $0 \mu\text{m}^2$ 、面積 R は $1400 \mu\text{m}^2$ となる。

したがって、面積 Q は面積 R よりも小さい。また、感磁エリア 23' に占める面積 Q の割合は「0」である。

【0083】

< 実施例 21 >

実施例 21 に係る磁性体群 a21 の配置を示す模式図は、図 4 に示す模式図と同一である。

実施例 21 は実施例 20 において、重複幅 WP を $10 \mu\text{m}$ とした。

実施例 21 では、面積 P は $140 \times 10 \times 2 = 2800 \mu\text{m}^2$ となる。また、面積 Q は $0 \mu\text{m}^2$ 、面積 R は $2800 \mu\text{m}^2$ となる。

10

したがって、面積 Q は面積 R よりも小さい。また、感磁エリア 23' に占める面積 Q の割合は「0」である。

【0084】

< 実施例 22 >

実施例 22 に係る磁性体群 a22 の配置を示す模式図は、図 5 に示す模式図と同一である。

実施例 22 は実施例 20 において、重複幅 WP を $15 \mu\text{m}$ とした。

実施例 22 では、面積 P は $140 \times 15 \times 2 = 4200 \mu\text{m}^2$ となる。また、感磁エリア 23' と磁性体 30' とは、片側 $5 \mu\text{m}$ の重複幅を持つので、面積 Q は、 $140 \times 5 \times 2 = 1400 \mu\text{m}^2$ 、面積 R は $2800 \mu\text{m}^2$ となる。

20

したがって、面積 Q は面積 R より小さい。また、感磁エリア 23' の面積は、 $140 \times 80 = 11200 \mu\text{m}^2$ であるため、感磁エリア 23' に占める面積 Q の割合は約 $1/8$ である。

【0085】

< 実施例 23 >

実施例 23 に係る磁性体群 a23 の配置を示す模式図は、図 5 に示す模式図と同一である。

実施例 23 は実施例 20 において、重複幅 WP を $20 \mu\text{m}$ とした。

実施例 23 では、面積 P は $140 \times 20 \times 2 = 5600 \mu\text{m}^2$ となる。また、感磁エリア 23' と磁性体 30' とは、片側 $10 \mu\text{m}$ の重複幅を持つので、面積 Q は、 $140 \times 10 \times 2 = 2800 \mu\text{m}^2$ 、面積 R は $2800 \mu\text{m}^2$ となる。

30

したがって、面積 Q は面積 R と同一となる。また、感磁エリア 23' の面積は、 $140 \times 80 = 11200 \mu\text{m}^2$ であるため、感磁エリア 23' に占める面積 Q の割合は約 $1/4$ である。

【0086】

< 実施例 24 >

実施例 24 に係る磁性体群 a24 の配置を示す模式図は、図 5 に示す模式図と同一である。

実施例 24 は実施例 20 において、重複幅 WP を $25 \mu\text{m}$ とした。

40

実施例 24 では、面積 P は $140 \times 25 \times 2 = 7000 \mu\text{m}^2$ となる。また、感磁エリア 23' と磁性体 30' とは、片側 $15 \mu\text{m}$ ずつ感磁エリア 23' の両側に重複幅を持つので、面積 Q は、 $140 \times 15 \times 2 = 4200 \mu\text{m}^2$ 、面積 R は $2800 \mu\text{m}^2$ となる。

したがって、面積 Q は面積 R より大きい。また、感磁エリア 23' の面積は、 $140 \times 80 = 11200 \mu\text{m}^2$ であるため、感磁エリア 23' に占める面積 Q の割合は約 $3/8$ である。

【0087】

< 実施例 25 >

実施例 25 に係る磁性体群 a25 の配置を示す模式図は、図 5 に示す模式図と同一である。

50

実施例 25 は実施例 20 において、重複幅 WP を $30\ \mu\text{m}$ とした。

実施例 25 では、面積 P は $140 \times 30 \times 2 = 8400\ \mu\text{m}^2$ となる。また、感磁エリア 23' と磁性体 30' とは、片側 $20\ \mu\text{m}$ ずつ感磁エリア 23' の両側に重複幅を持つので、面積 Q は、 $140 \times 20 \times 2 = 5600\ \mu\text{m}^2$ 、面積 R は $2800\ \mu\text{m}^2$ となる。

したがって、面積 Q は面積 R より大きい。また、感磁エリア 23' の面積は、 $140 \times 80 = 11200\ \mu\text{m}^2$ であるため、感磁エリア 23' に占める面積 Q の割合は $1/2$ である。

【0088】

< 比較例 8 >

比較例 8 に係る磁性体群 b_8 の配置を示す模式図は、図 6 に示す模式図と同一である。

10

比較例 8 は、実施例 20 において、上面視で磁性体 30L' の幅方向右端が、磁性体 21' の幅方向左端から $10\ \mu\text{m}$ 左側となり、磁性体 30R' の幅方向左端が、磁性体 21' の幅方向右端から $10\ \mu\text{m}$ 右側となるように配置した。つまり、重複幅 WP を $-10\ \mu\text{m}$ とした。

比較例 8 では、磁性体 21' と磁性体 30' とが重複部分を持たないので、面積 P は $0\ \mu\text{m}^2$ となり、面積 P は $P = Q + R$ であるため、面積 P 、 Q 及び R は全て $0\ \mu\text{m}^2$ となる。

【0089】

< 比較例 9 >

比較例 9 に係る磁性体群 b_9 の配置を示す模式図は、図 6 に示す模式図と同一である。

20

比較例 9 は比較例 8 において、重複幅 WP を $-5\ \mu\text{m}$ とした。

比較例 9 では、面積 P は $0\ \mu\text{m}^2$ となり、面積 P 、 Q 及び R は全て $0\ \mu\text{m}^2$ となる。

【0090】

< 比較例 10 >

比較例 10 に係る磁性体群 b_{10} の配置を示す模式図は、図 7 に示す模式図と同一である。

比較例 10 は比較例 8 において、上面視で磁性体 30L' の幅方向右端と、磁性体 21' の幅方向左端とが一致し、磁性体 30R' の幅方向左端と、磁性体 21' の幅方向右端とが一致するように配置した。つまり、重複幅 WP を $0\ \mu\text{m}$ とした。

比較例 10 では、磁性体 21' と磁性体 30' とが重複部分を持たないので、面積 P は $0\ \mu\text{m}^2$ となり、面積 P 、 Q 及び R は全て $0\ \mu\text{m}^2$ となる。

30

【0091】

< 増幅率の比較 >

実施例 2 ~ 実施例 25 及び比較例 2 ~ 比較例 10 の、感磁エリア 23' の幅 (W_{23} と表記) と、上面視での磁性体 30L' (又は磁性体 30R') と磁性体 21' との重複幅 (WP と表記) と、 P 、 Q 及び R の面積と、感磁エリア 23' に占める面積 Q の割合 (Q/S_{23} と表記) と、感磁エリア 23' における増幅率の平均値との関係を表 1 にまとめて示す。

なお、表 1 中においても、重複幅 WP は、磁性体 30L' 及び 30R' と磁性体 21' とが上面視で重ならず、上面視で磁性体 21' と磁性体 30' との間に間隔がある場合、重複幅 WP をマイナス値として表記している。

40

【0092】

【表 1】

	$W_{23}[\mu\text{m}]$	$WP[\mu\text{m}]$	P	Q	R	$Q/S_{23}[\%]$	増幅率
比較例2	40	-10	0	0	0	0	59.3
比較例3		-5	0	0	0	0	71.7
比較例4		0	0	0	0	0	89.4
実施例2		5	1400	0	1400	0	101.6
実施例3		10	2800	0	2800	0	109.6
実施例4		15	4200	0	4200	0	116.2
実施例5		20	5600	0	5600	0	121.7
実施例6		25	7000	0	7000	0	125.4
実施例7		30	8400	0	8400	0	122.8
実施例8		35	9800	1400	8400	1/4	104.4
実施例9		37.5	10500	2100	8400	3/8	91.4
実施例10		40	11200	2800	8400	1/2	76.3
比較例5	60	-10	0	0	0	0	58.4
比較例6		-5	0	0	0	0	70.9
比較例7		0	0	0	0	0	88.8
実施例11		5	1400	0	1400	0	101.0
実施例12		10	2800	0	2800	0	108.2
実施例13		15	4200	0	4200	0	113.3
実施例14		20	5600	0	5600	0	114.0
実施例15		25	7000	1400	5600	1/6	105.3
実施例16		30	8400	2800	5600	1/3	91.0
実施例17		35	9800	4200	5600	1/2	73.5
実施例18		37.5	10500	4900	5600	3/5	63.6
実施例19		40	11200	5600	5600	2/3	52.9
比較例8	80	-10	0	0	0	0	56.7
比較例9		-5	0	0	0	0	69.3
比較例10		0	0	0	0	0	87.4
実施例20		5	1400	0	1400	0	98.8
実施例21		10	2800	0	2800	0	102.8
実施例22		15	4200	1400	2800	1/8	99.1
実施例23		20	5600	2800	2800	1/4	91.2
実施例24		25	7000	4200	2800	3/8	81.1
実施例25		30	8400	5600	2800	1/2	69.2

【0093】

図8に、上面視での磁性体30L'と磁性体21'との重複幅WPを横軸、感磁エリア23'の増幅率の平均値を縦軸とした、これら間の関係を示す。

また、図9に、感磁エリア23'に占める面積Qの割合 Q/S_{23} を横軸、感磁エリア23'の増幅率の平均値を縦軸とした、これら間の関係を示す。

なお、図8及び図9において、記号「 $\square$ 」は感磁エリア23'の幅 W_{23} が40 μm である場合、記号「 $\bullet$ 、 $\circ$ 」は幅 W_{23} が60 μm である場合、記号「 $\blacktriangle$ 、 $\triangle$ 」は幅 W_{23} が80 μm である場合を表す。また、記号「 $\square$ 、 $\bullet$ 、 $\blacktriangle$ 」は実施例2～実施例25を表し、記号「 $\square$ 、 $\circ$ 、 $\triangle$ 」は、比較例2～比較例10を表す。

【 0 0 9 4 】

ここで、実施例と比較例との違いは、磁性体 3 0 ' の配置位置のみであるから、表 1、図 8 及び図 9 から、多くの実施例で、各比較例に対して増幅率が向上し、より優れた感度特性を得られることがわかる。

また、磁化自由層 2 1 と磁気収束部 3 0 の重複部分の幅が大きい時は、磁気センサ 1 全体のサイズが小さくなっている。すなわち、優れた感度特性を維持しつつ、小型化できるという点で、比較例よりも優れていると言える。

つまり、本発明の一実施形態に係る磁気センサ 1 は、比較例に対してより小型で、優れた感度特性を得ることができる。

【 0 0 9 5 】

ここで、仮想空間上の磁性体 2 1 ' は磁化自由層 2 1 に対応する。また、磁性体 3 0 ' は磁気収束部 3 0 に対応する。感磁エリア 2 3 ' は磁化固定層 2 3 に対応する。面積 P、Q、R は、それぞれ、重複領域 P、重複部分 Q 及び R に対応する。

つまり、実施例 2 ~ 実施例 2 5、比較例 2 ~ 比較例 1 0 の結果から、磁気センサが重複領域 P を有するとき、比較例に比べてより優れていることが分かる。

さらに、重複領域 P を有する磁気センサにおいて、重複部分 Q の面積が重複部分 R の面積よりも小さい時、または、上面視での磁化固定層に占める重複部分 Q の割合が 3 / 8 以下である時、磁気センサは、比較的高い増幅率を得られることがわかる。

【 0 0 9 6 】

以上、本発明を実施の形態を用いて説明したが、本発明の技術的範囲は上記実施の形態に記載の範囲には限定されない。上記実施の形態に、多様な変更または改良を加えることが可能であることが当業者に明らかである。その様な変更または改良を加えた形態も本発明の技術的範囲に含まれ得ることが、特許請求の範囲の記載から明らかである。

特許請求の範囲、明細書、および図面中において示した装置および方法における動作、手順等の各処理の実行順序は、特段「より前に」、「先立って」等と明示しておらず、また、前の処理の出力を後の処理で用いるのでない限り、任意の順序で実現しうることに留意すべきである。特許請求の範囲、明細書、および図面中の順序に関して、便宜上「まず」、「次に、」等を用いて説明したとしても、この順で実施することが必須であることを意味するものではない。

【 符号の説明 】

【 0 0 9 7 】

- 1、2 磁気センサ
- 1 0 基板
- 2 0 素子部
- 2 1 磁化自由層
- 2 1 ' 磁性体
- 2 2 非磁性層
- 2 3 磁化固定層
- 2 3 ' 感磁エリア
- 3 0、3 0 L、3 0 R 磁気収束部
- 3 0 '、3 0 L '、3 0 R ' 磁性体
- 3 1 シード層
- 4 0 保護層
- 4 0 a 開口部
- 4 1 保護層
- 4 1 a 通電窓
- 5 0 配線部
- 5 1 電極
- a 2 ~ a 2 5 実施例 2 ~ 実施例 2 5 の磁性体群
- b 2 ~ b 1 0 比較例 2 ~ 比較例 1 0 の磁性体群

10

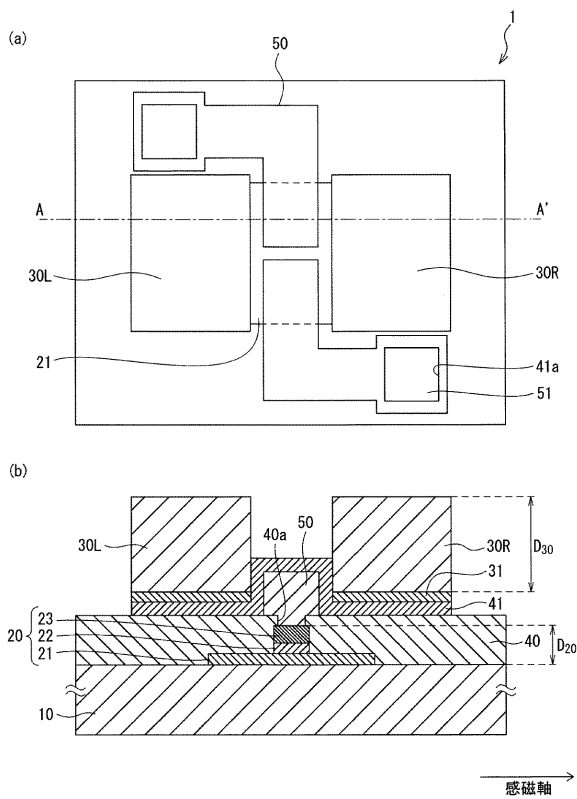
20

30

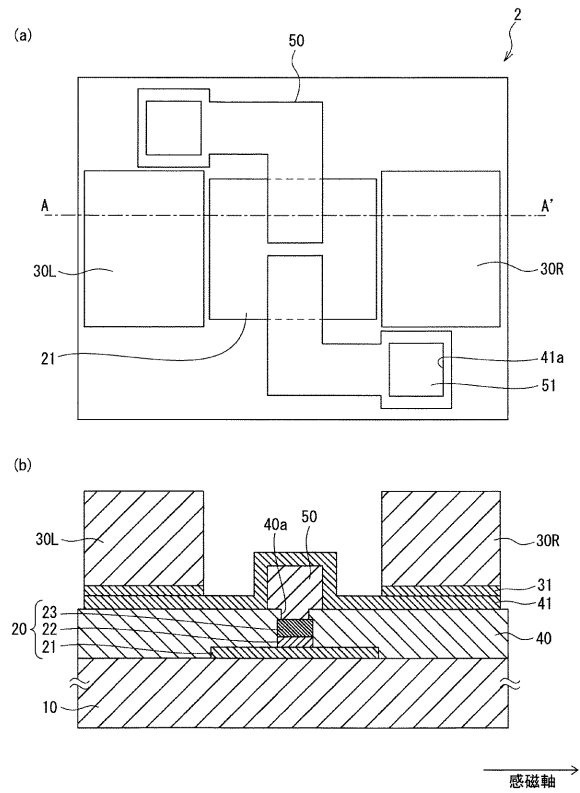
40

50

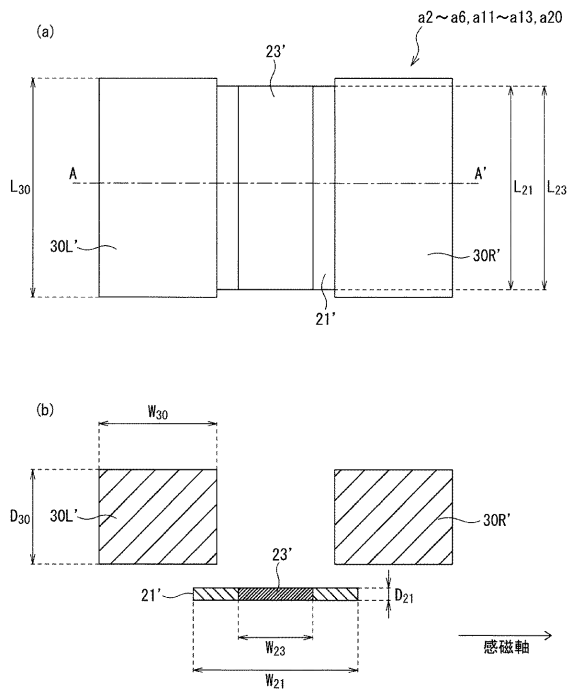
【図 1】



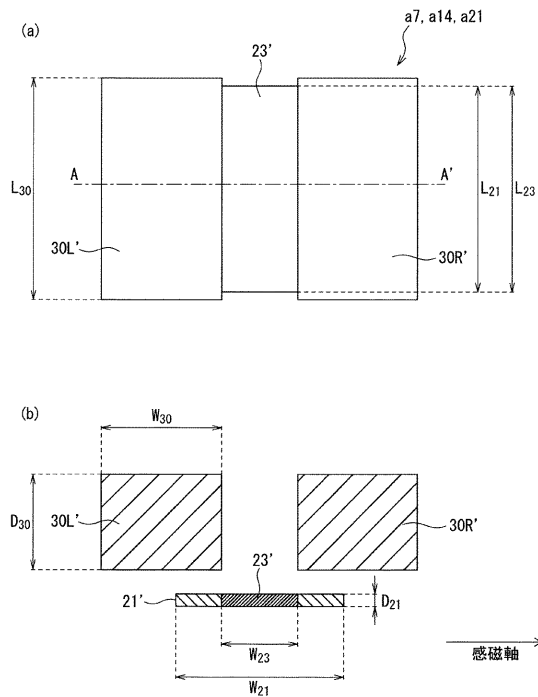
【図 2】



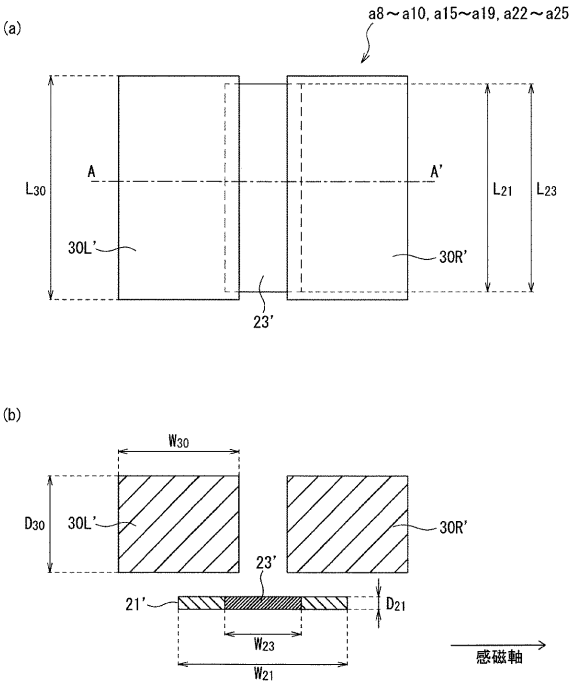
【図 3】



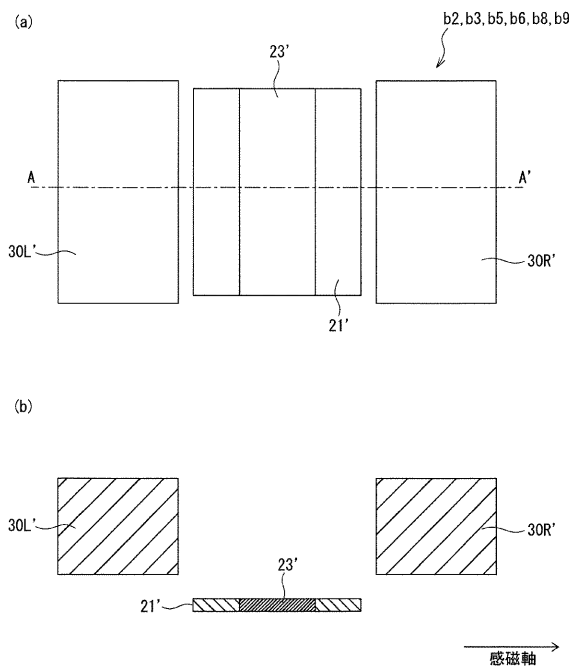
【図 4】



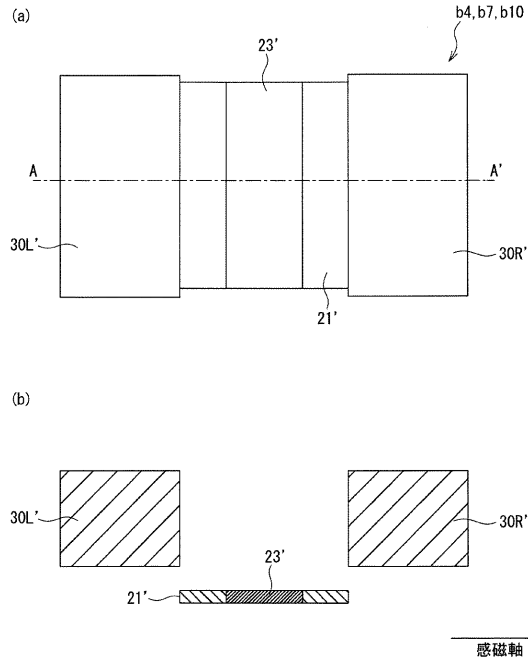
【図 5】



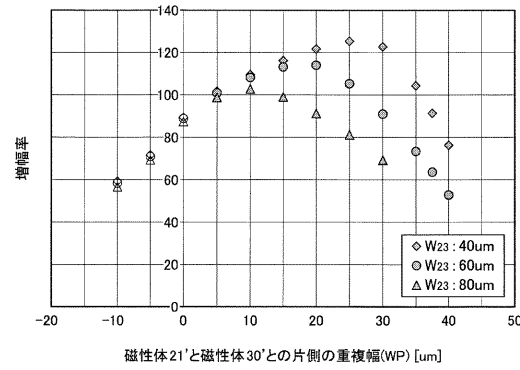
【図 6】



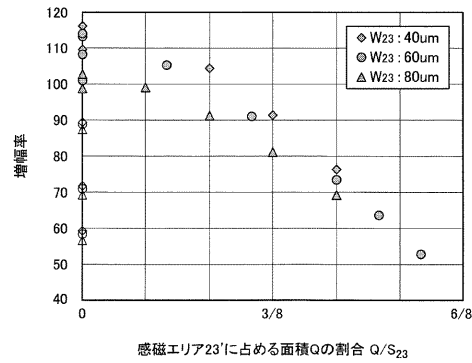
【図 7】



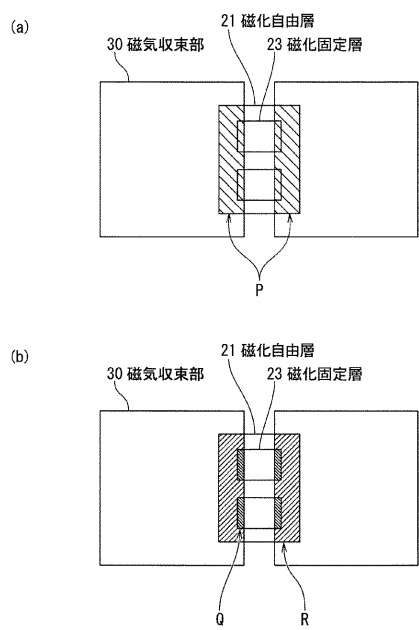
【図 8】



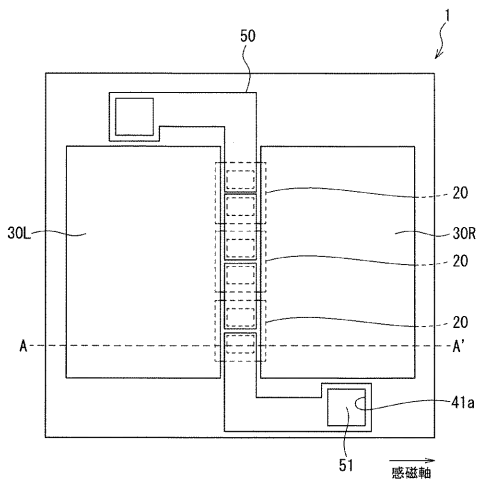
【図 9】



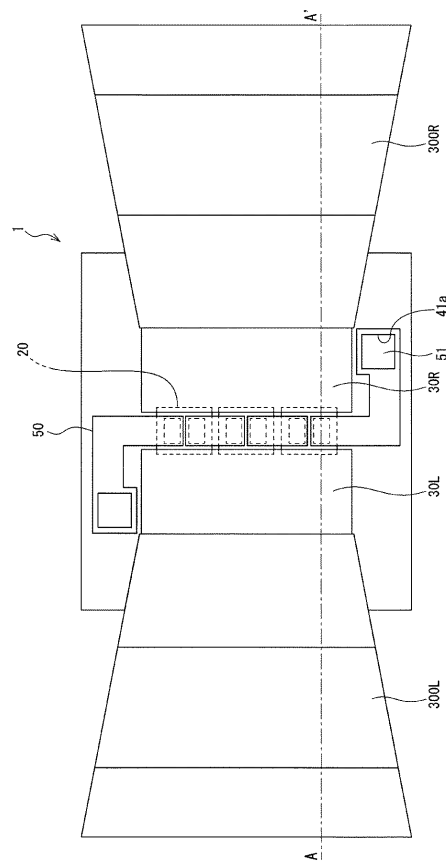
【図 1 0】



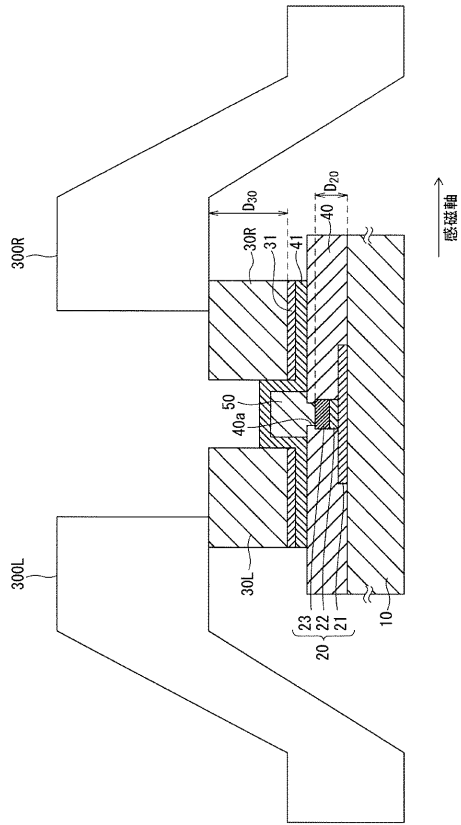
【図 1 1】



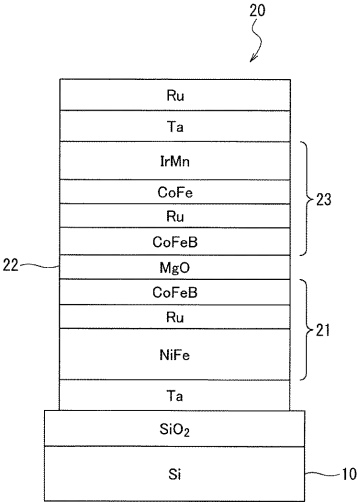
【図 1 2 A】



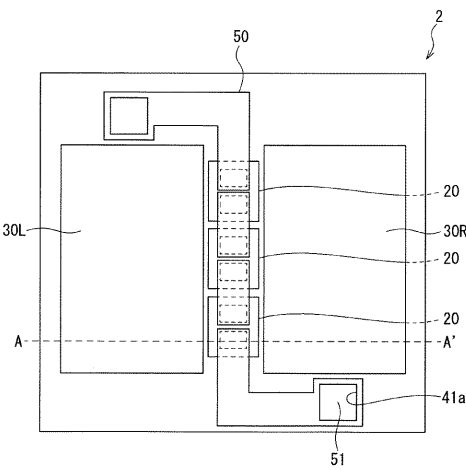
【図 1 2 B】



【図 1 3】



【図 1 4】



フロントページの続き

F ターム(参考) 5F092 AA01 AA12 AB01 AC08 AC12 AD03 AD06 AD08 BB17 BB22
BB23 BB31 BB35 BB36 BB42 BB43 BB53 BB55 BC03 BC04
BC12 BC13 BC42 CA01 CA09 GA03