

(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2018-73913

(P2018-73913A)

(43) 公開日 平成30年5月10日(2018.5.10)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>H O 1 L 43/08 (2006.01)</b>	H O 1 L 43/08	Z 2 G O 1 7
<b>G O 1 R 33/09 (2006.01)</b>	G O 1 R 33/06	R 5 F O 9 2
<b>H O 1 L 43/12 (2006.01)</b>	H O 1 L 43/12	

審査請求 未請求 請求項の数 20 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2016-209854 (P2016-209854)	(71) 出願人	000004260
(22) 出願日	平成28年10月26日 (2016.10.26)		株式会社デンソー
			愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
		(71) 出願人	504157024
			国立大学法人東北大学
			宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号
		(74) 代理人	110001128
			特許業務法人ゆうあい特許事務所
		(72) 発明者	古市 喬干
			愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
			社デンソー内
		(72) 発明者	青 建一
			愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
			社デンソー内

最終頁に続く

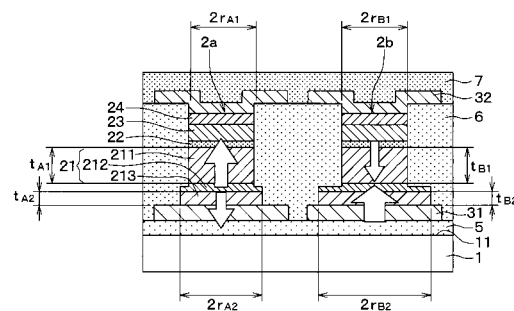
(54) 【発明の名称】 磁気センサおよびその製造方法

## (57) 【要約】

【課題】垂直磁気異方性を有する複数の磁気抵抗素子が同一チップ内に形成され、各磁気抵抗素子が備える固定層が互いに逆の向きに磁化された磁気センサにおいて、製造工程を簡略化する。

【解決手段】第1磁気抵抗素子2aおよび第2磁気抵抗素子2bは、それぞれ、一面11に垂直な磁化容易軸を有し、磁化方向が固定された固定層21と、磁化方向が可変とされた自由層23と、非磁性体で構成された中間層22と、を備え、固定層21は、第1強磁性層211と、第2強磁性層213と、第1強磁性層211と第2強磁性層213との間に配置された非磁性層212と、を備え、第1磁気抵抗素子2aが備える第1強磁性層211の磁化量は、第1磁気抵抗素子2aが備える第2強磁性層213の磁化量よりも大きく、第2磁気抵抗素子2bが備える第1強磁性層211の磁化量は、第2磁気抵抗素子2bが備える第2強磁性層213の磁化量よりも小さい。

【選択図】 図3



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

基板 ( 1 ) と、

前記基板の一面 ( 1 1 ) に形成された第 1 磁気抵抗素子 ( 2 a ) および第 2 磁気抵抗素子 ( 2 b ) と、を備え、

前記第 1 磁気抵抗素子および前記第 2 磁気抵抗素子は、それぞれ、

前記一面に垂直な磁化容易軸を有し、磁化方向が固定された固定層 ( 2 1 ) と、

磁化方向が可変とされた自由層 ( 2 3 ) と、

非磁性体で構成され、前記固定層と前記自由層との間に配置された中間層 ( 2 2 ) と、を備え、

10

前記固定層は、第 1 強磁性層 ( 2 1 1 ) と、第 2 強磁性層 ( 2 1 3 ) と、前記第 1 強磁性層と前記第 2 強磁性層との間に配置された非磁性層 ( 2 1 2 ) と、を備え、

前記第 1 磁気抵抗素子が備える前記第 1 強磁性層の磁化量は、前記第 1 磁気抵抗素子が備える前記第 2 強磁性層の磁化量よりも大きく、

前記第 2 磁気抵抗素子が備える前記第 1 強磁性層の磁化量は、前記第 2 磁気抵抗素子が備える前記第 2 強磁性層の磁化量よりも小さい磁気センサ。

**【請求項 2】**

前記第 1 磁気抵抗素子が備える前記第 1 強磁性層の磁化の向きは、前記第 2 磁気抵抗素子が備える前記第 1 強磁性層の磁化の向きと逆である請求項 1 に記載の磁気センサ。

**【請求項 3】**

20

前記第 1 強磁性層と前記第 2 強磁性層とは同一の材料で構成されており、

前記第 1 磁気抵抗素子が備える前記第 1 強磁性層の体積は、前記第 1 磁気抵抗素子が備える前記第 2 強磁性層の体積よりも大きく、

前記第 2 磁気抵抗素子が備える前記第 1 強磁性層の体積は、前記第 2 磁気抵抗素子が備える前記第 2 強磁性層の体積よりも小さい請求項 1 または 2 に記載の磁気センサ。

**【請求項 4】**

前記第 1 磁気抵抗素子が備える前記第 1 強磁性層の厚さは、前記第 2 磁気抵抗素子が備える前記第 1 強磁性層の厚さと等しく、

前記第 1 磁気抵抗素子が備える前記第 2 強磁性層の厚さは、前記第 2 磁気抵抗素子が備える前記第 2 強磁性層の厚さと等しく、

30

前記第 1 磁気抵抗素子が備える前記第 1 強磁性層の上面の面積は、前記第 1 磁気抵抗素子が備える前記第 2 強磁性層の底面の面積よりも小さく、

前記第 2 磁気抵抗素子が備える前記第 1 強磁性層の上面の面積は、前記第 2 磁気抵抗素子が備える前記第 2 強磁性層の底面の面積よりも小さい請求項 3 に記載の磁気センサ。

**【請求項 5】**

前記第 1 磁気抵抗素子が備える前記第 1 強磁性層と、前記第 2 磁気抵抗素子が備える前記第 1 強磁性層とは、上面の面積が互いに等しくされている請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 つに記載の磁気センサ。

**【請求項 6】**

前記自由層は、前記一面に平行な磁化容易軸を有する請求項 1 ないし 5 のいずれか 1 つに記載の磁気センサ。

40

**【請求項 7】**

前記非磁性層は、底面の面積が上面の面積よりも大きい請求項 1 ないし 6 のいずれか 1 つに記載の磁気センサ。

**【請求項 8】**

前記第 1 強磁性層は、底面の面積が上面の面積よりも大きい請求項 1 ないし 6 のいずれか 1 つに記載の磁気センサ。

**【請求項 9】**

前記第 2 強磁性層は、底面の面積が上面の面積よりも大きい請求項 1 ないし 6 のいずれか 1 つに記載の磁気センサ。

50

## 【請求項 10】

前記第 1 磁気抵抗素子および前記第 2 磁気抵抗素子をそれぞれ 2 つ備え、  
2 つの前記第 1 磁気抵抗素子および 2 つの前記第 2 磁気抵抗素子は、ホイートストンブリッジ回路を構成している請求項 1 ないし 9 のいずれか 1 つに記載の磁気センサ。

## 【請求項 11】

基板 ( 1 ) の一面 ( 1 1 ) に第 1 磁気抵抗素子 ( 2 a ) を形成することと、  
前記一面に第 2 磁気抵抗素子 ( 2 b ) を形成することと、を備え、  
前記第 1 磁気抵抗素子を形成すること、および、前記第 2 磁気抵抗素子を形成することは、それぞれ、

前記一面に垂直な磁化容易軸を有し、第 1 強磁性層 ( 2 1 1 ) と、第 2 強磁性層 ( 2 1 3 ) と、前記第 1 強磁性層と前記第 2 強磁性層との間に配置された非磁性層 ( 2 1 2 ) とを備え、磁化方向が固定された固定層 ( 2 1 ) を形成することと、

前記第 1 強磁性層の上面に、非磁性体で構成された中間層 ( 2 2 ) を形成することと、  
前記中間層の上面に、磁化方向が可変とされた自由層 ( 2 3 ) を形成することと、を含み、

前記固定層を形成することでは、

前記第 1 磁気抵抗素子が備える前記第 1 強磁性層の磁化量が、前記第 1 磁気抵抗素子が備える前記第 2 強磁性層の磁化量よりも大きくなり、かつ、前記第 2 磁気抵抗素子が備える前記第 1 強磁性層の磁化量が、前記第 2 磁気抵抗素子が備える前記第 2 強磁性層の磁化量よりも小さくなるように前記固定層を形成する磁気センサの製造方法。

## 【請求項 12】

前記第 1 磁気抵抗素子が備える前記第 1 強磁性層の磁化の向きが、前記第 2 磁気抵抗素子が備える前記第 1 強磁性層の磁化の向きと逆になるように前記固定層を着磁することを備える請求項 11 に記載の磁気センサの製造方法。

## 【請求項 13】

前記固定層を形成することでは、

前記第 1 強磁性層と前記第 2 強磁性層とを同一の材料で構成し、

前記第 1 磁気抵抗素子が備える前記第 1 強磁性層の体積が、前記第 1 磁気抵抗素子が備える前記第 2 強磁性層の体積よりも大きくなり、

前記第 2 磁気抵抗素子が備える前記第 1 強磁性層の体積が、前記第 2 磁気抵抗素子が備える前記第 2 強磁性層の体積よりも小さくなるように、前記固定層を形成する請求項 11 または 12 に記載の磁気センサの製造方法。

## 【請求項 14】

前記固定層を形成することでは、

前記第 1 磁気抵抗素子が備える前記第 1 強磁性層の厚さが、前記第 2 磁気抵抗素子が備える前記第 1 強磁性層の厚さと等しくなり、

前記第 1 磁気抵抗素子が備える前記第 2 強磁性層の厚さが、前記第 2 磁気抵抗素子が備える前記第 2 強磁性層の厚さと等しくなり、

前記第 1 磁気抵抗素子が備える前記第 1 強磁性層の上面の面積が、前記第 1 磁気抵抗素子が備える前記第 2 強磁性層の底面の面積よりも小さくなり、

前記第 2 磁気抵抗素子が備える前記第 1 強磁性層の上面の面積が、前記第 2 磁気抵抗素子が備える前記第 2 強磁性層の底面の面積よりも小さくなるように、前記固定層を形成する請求項 13 に記載の磁気センサの製造方法。

## 【請求項 15】

前記固定層を形成することでは、前記第 1 磁気抵抗素子が備える前記第 1 強磁性層と、前記第 2 磁気抵抗素子が備える前記第 1 強磁性層とが、上面の面積が互いに等しくなるように、前記固定層を形成する請求項 11 ないし 13 のいずれか 1 つに記載の磁気センサの製造方法。

## 【請求項 16】

前記自由層を形成することでは、前記自由層が、前記一面に平行な磁化容易軸を有する

ように、前記自由層を形成する請求項 1 1 ないし 1 5 のいずれか 1 つに記載の磁気センサの製造方法。

【請求項 1 7】

前記固定層を形成することでは、前記非磁性層の底面の面積が上面の面積よりも大きくなるように、前記自由層と、前記中間層と、前記第 1 強磁性層と、前記非磁性層の一部とを除去する請求項 1 1 ないし 1 6 のいずれか 1 つに記載の磁気センサの製造方法。

【請求項 1 8】

前記固定層を形成することでは、前記第 1 強磁性層の底面の面積が上面の面積よりも大きくなるように、前記自由層と、前記中間層と、前記第 1 強磁性層の一部とを除去する請求項 1 1 ないし 1 6 のいずれか 1 つに記載の磁気センサの製造方法。

10

【請求項 1 9】

前記固定層を形成することでは、前記第 2 強磁性層の底面の面積が上面の面積よりも大きくなるように、前記自由層と、前記中間層と、前記第 1 強磁性層と、前記非磁性層と、前記第 2 強磁性層の一部とを除去する請求項 1 1 ないし 1 6 のいずれか 1 つに記載の磁気センサの製造方法。

【請求項 2 0】

前記第 1 磁気抵抗素子と前記第 2 磁気抵抗素子とを接続する配線層 ( 3 ) を形成することを備え、

前記第 1 磁気抵抗素子を形成することでは、前記一面に 2 つの前記第 1 磁気抵抗素子を形成し、

20

前記第 2 磁気抵抗素子を形成することでは、前記一面に 2 つの前記第 2 磁気抵抗素子を形成し、

前記配線層を形成することでは、2 つの前記第 1 磁気抵抗素子および 2 つの前記第 2 磁気抵抗素子がホイートストンブリッジ回路を構成するように、前記配線層を形成する請求項 1 1 ないし 1 9 のいずれか 1 つに記載の磁気センサの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、磁気センサおよびその製造方法に関するものである。

30

【背景技術】

【0 0 0 2】

近年、磁気抵抗素子を備え、磁場強度に応じて出力が変化する磁気センサが提案されている。磁気抵抗素子は、磁化方向が固定された固定層と、磁化方向が可変とされた自由層と、固定層と自由層との間に配置された非磁性体で構成される中間層とを備えており、固定層の磁化方向と自由層の磁化方向との間の角度によって抵抗値が変化するものである。

【0 0 0 3】

このような磁気センサでは、固定層が互いに逆の向きに磁化された複数の磁気抵抗素子を組み合わせてブリッジ回路を形成することにより、温度変化をキャンセルし、精度を向上させることができる。従って、同一チップ内に固定層が互いに逆の向きに磁化された複数の磁気抵抗素子を形成する技術が求められている。

40

【0 0 0 4】

しかしながら、通常、固定層の磁化方向は、チップ全体の磁場中熱処理によってのみ決定されるため、同一チップ内で同じとなる。したがって、固定層が互いに逆の向きに磁化された複数の磁気抵抗素子を備える磁気センサを製造するためには、例えば、別々に製造された複数の磁気抵抗素子を組み合わせて配置する必要があり、磁気センサの製造工程が複雑になる。

【0 0 0 5】

また、例えば特許文献 1 では、固定層の下に設けた配線に電流を流し、これにより発生した磁場を用いて、面内方向に磁気異方性を有する固定層を着磁し、磁気抵抗素子の磁化

50

方向をチップ上で制御する方法が提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2012-17990号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、特許文献1に記載の方法では、固定層に面内方向の磁場が印加される。そのため、垂直磁気異方性を有する複数の磁気抵抗素子が同一チップ内に形成された磁気センサにおいて、複数の磁気抵抗素子を着磁し、各磁気抵抗素子が備える固定層を互いに逆の向きに磁化することはできない。

10

【0008】

なお、ブリッジ回路を形成しない場合であっても、固定層が互いに逆の向きに磁化された複数の磁気抵抗素子を同一チップ内に形成する場合には、同様の問題が発生する。

【0009】

本発明は上記点に鑑みて、垂直磁気異方性を有する複数の磁気抵抗素子が同一チップ内に形成され、各磁気抵抗素子が備える固定層が互いに逆の向きに磁化された磁気センサにおいて、製造工程を簡略化することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記目的を達成するため、請求項1に記載の発明では、基板(1)と、基板の一面(11)に形成された第1磁気抵抗素子(2a)および第2磁気抵抗素子(2b)と、を備え、第1磁気抵抗素子および第2磁気抵抗素子は、それぞれ、一面に垂直な磁化容易軸を有し、磁化方向が固定された固定層(21)と、磁化方向が可変とされた自由層(23)と、非磁性体で構成され、固定層と自由層との間に配置された中間層(22)と、を備え、固定層は、第1強磁性層(211)と、第2強磁性層(213)と、第1強磁性層と第2強磁性層との間に配置された非磁性層(212)と、を備え、第1磁気抵抗素子が備える第1強磁性層の磁化量は、第1磁気抵抗素子が備える第2強磁性層の磁化量よりも大きく、第2磁気抵抗素子が備える第1強磁性層の磁化量は、第2磁気抵抗素子が備える第2強磁性層の磁化量よりも小さい。

30

【0011】

第1強磁性層、非磁性層、第2強磁性層が積層された反強磁性結合構造においては、第1強磁性層および第2強磁性層のうち磁化量の大きい方が、着磁時に印加される外部磁界と同じ向きに磁化される。そして、磁化量の小さい方は、反強磁性結合により、磁化量の大きい方とは逆の向きに磁化される。

【0012】

そのため、上記のように2つの強磁性層の磁化量の大小関係が2つの磁気抵抗素子で逆とされた状態で、これら2つの磁気抵抗素子の固定層を同時に着磁すると、これら2つの磁気抵抗素子において、中間層と隣り合う強磁性層が逆の向きに磁化される。したがって、垂直磁気異方性を有する複数の磁気抵抗素子が同一チップ内に形成され、各磁気抵抗素子が備える固定層が互いに逆の向きに磁化された磁気センサにおいて、製造工程を簡略化することができる。

40

【0013】

また、これら2つの磁気抵抗素子において、中間層と隣り合う強磁性層が逆の向きに磁化されることにより、強磁性層、中間層、自由層で構成される部分の抵抗値の増減が、2つの磁気抵抗素子で逆となる。したがって、例えば、請求項10に記載したように、2つの第1磁気抵抗素子および2つの第2磁気抵抗素子を用いてホイートストンブリッジ回路を形成することで、出力の温度変化等をキャンセルして、測定精度を向上させることができる。

50

## 【 0 0 1 4 】

また、請求項 1 1 に記載の発明では、基板 ( 1 ) の一面 ( 1 1 ) に第 1 磁気抵抗素子 ( 2 a ) を形成することと、一面に第 2 磁気抵抗素子 ( 2 b ) を形成することと、を備え、第 1 磁気抵抗素子を形成すること、および、第 2 磁気抵抗素子を形成することは、それぞれ、一面に垂直な磁化容易軸を有し、第 1 強磁性層 ( 2 1 1 ) と、第 2 強磁性層 ( 2 1 3 ) と、第 1 強磁性層と第 2 強磁性層との間に配置された非磁性層 ( 2 1 2 ) とを備え、磁化方向が固定された固定層 ( 2 1 ) を形成することと、第 1 強磁性層の上面に、非磁性体で構成された中間層 ( 2 2 ) を形成することと、中間層の上面に、磁化方向が可変とされた自由層 ( 2 3 ) を形成することと、を含み、固定層を形成することでは、第 1 磁気抵抗素子が備える第 1 強磁性層の磁化量が、第 1 磁気抵抗素子が備える第 2 強磁性層の磁化量よりも大きくなり、かつ、第 2 磁気抵抗素子が備える第 1 強磁性層の磁化量が、第 2 磁気抵抗素子が備える第 2 強磁性層の磁化量よりも小さくなるように固定層を形成する。

10

## 【 0 0 1 5 】

このように、2つの強磁性層の磁化量の大小関係が2つの磁気抵抗素子で逆になるように固定層を形成することにより、請求項 1 に記載の発明と同様に、垂直磁気異方性を有する複数の磁気抵抗素子が同一チップ内に形成され、各磁気抵抗素子が備える固定層が互いに逆の向きに磁化された磁気センサにおいて、製造工程を簡略化することができる。

## 【 0 0 1 6 】

なお、上記各手段の括弧内の符号は、後述する実施形態に記載の具体的手段との対応関係の一例を示すものである。

20

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 0 1 7 】

【図 1】本発明の第 1 実施形態にかかる磁気センサの平面図である。

【図 2】図 1 中の II - II 線に沿った断面図である。

【図 3】図 1 中の III - III 線に沿った断面図である。

【図 4】磁気センサの製造工程を示す図 1 中の III - III 線に沿った断面図である。

【図 5】磁気センサの製造工程を示す図 1 中の III - III 線に沿った断面図である。

【図 6】磁気センサの製造工程を示す図 1 中の III - III 線に沿った断面図である。

【図 7】磁気センサの製造工程を示す図 1 中の III - III 線に沿った断面図である。

【図 8】磁気センサの製造工程を示す図 1 中の III - III 線に沿った断面図である。

30

【図 9】磁気センサの製造工程を示す図 1 中の II - II 線に沿った断面図である。

【図 10】磁気センサの製造工程を示す図 1 中の III - III 線に沿った断面図である。

【図 11】一方の強磁性層と他方の強磁性層とで磁化量が等しいときの外部磁場と固定層の磁化との関係を示すグラフである。

【図 12】一方の強磁性層と他方の強磁性層とで磁化量が等しいときの磁化の向きを示す断面図である。

【図 13】一方の強磁性層と他方の強磁性層とで磁化量が異なるときの外部磁場と固定層の磁化との関係を示すグラフである。

【図 14】一方の強磁性層と他方の強磁性層とで磁化量が異なるときの磁化の向きを示す断面図である。

40

【図 15】一方の強磁性層と他方の強磁性層とで磁化量が異なるときの磁化の向きを示す断面図である。

【図 16】本発明の第 2 実施形態にかかる磁気センサの平面図である。

【図 17】本発明の第 2 実施形態にかかる磁気センサの回路図である。

【図 18】図 16 の XVIII - XVIII 断面図である。

【図 19】磁気センサの製造工程を示す断面図である。

【図 20】本発明の第 3 実施形態にかかる磁気センサの断面図である。

【図 21】本発明の第 4 実施形態にかかる磁気センサの断面図である。

【発明を実施するための形態】

## 【 0 0 1 8 】

50

以下、本発明の実施形態について図に基づいて説明する。なお、以下の各実施形態相互において、互いに同一もしくは均等である部分には、同一符号を付して説明を行う。

【0019】

(第1実施形態)

本発明の第1実施形態について説明する。図1に示すように、本実施形態の磁気センサ100は、基板1と、磁気抵抗素子2と、配線3と、パッド4とを備えている。なお、図1では、後述する保護膜7の図示を省略している。

【0020】

基板1は、シリコン等で構成されており、基板1の一面11には、複数の磁気抵抗素子2が形成されている。後述するように、磁気抵抗素子2は、強磁性層211などを有する固定層21を備えており、磁気センサ100は、強磁性層211が一面11の法線方向における一方の向きに磁化された磁気抵抗素子2aと、他方の向きに磁化された磁気抵抗素子2bとを備えている。磁気抵抗素子2a、2bはそれぞれ第1磁気抵抗素子、第2磁気抵抗素子に相当する。

【0021】

本実施形態の磁気センサ100は、磁気抵抗素子2a、2bをそれぞれ2つ備えており、パッド4を4つ備えている。そして、2つの磁気抵抗素子2aは配線3を介してパッド4に接続されている。

【0022】

具体的には、図2に示すように、磁気センサ100は、基板1等に加えて、絶縁膜5と、側壁保護膜6と、保護膜7とを備えており、配線3は、下部配線層31と、上部配線層32とを備えている。

【0023】

絶縁膜5は、基板1と下部配線層31とを電気的に絶縁するためのものであり、一面11に形成されている。絶縁膜5は、例えばSiO<sub>2</sub>等で構成されている。絶縁膜5の上面には下部配線層31が形成されており、2つの磁気抵抗素子2aは、下部配線層31の上面に互いに離された状態で配置されている。下部配線層31は、例えばCu、Au等で構成されている。

【0024】

側壁保護膜6は、例えばAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等で構成されており、絶縁膜5、下部配線層31、および磁気抵抗素子2aを覆うように形成されている。ただし、磁気抵抗素子2aの上面は側壁保護膜6に覆われておらず、磁気抵抗素子2aの上面と側壁保護膜6の上面とに上部配線層32が形成されている。上部配線層32は、例えばCu、Au等で構成されている。

【0025】

上部配線層32の上面にはパッド4が形成されており、一方の磁気抵抗素子2aは、上部配線層32を介して4つのパッド4のうちの1つに接続されており、他方の磁気抵抗素子2aは、上部配線層32を介して他の1つのパッド4に接続されている。なお、2つの磁気抵抗素子2bも、同様に配線3を介してパッド4に接続されている。

【0026】

保護膜7は、側壁保護膜6と、上部配線層32と、パッド4の表面に形成されている。ただし、パッド4の上部においては保護膜7の一部が除去されて開口部71が形成されており、パッド4が露出している。

【0027】

4つの磁気抵抗素子2は、配線3、パッド4、および、パッド4に接続された図示しないボンディングワイヤ等を介して、図示しない電源等に接続されている。

【0028】

磁気抵抗素子2の詳細について説明する。図2、図3に示すように、磁気抵抗素子2は、固定層21と、中間層22と、自由層23と、キャップ層24とを備えており、これらの層は、下部配線層31の上面に順に積層されている。

10

20

30

40

50

## 【0029】

固定層21は、一面11に垂直な磁化容易軸を有しており、磁化方向が固定されている。具体的には、固定層21は、強磁性層211と、非磁性層212と、強磁性層213とを備えており、これらの層は、下部配線層31の上に、強磁性層213、非磁性層212、強磁性層211の順に積層されている。強磁性層211、213は、それぞれ、第1強磁性層、第2強磁性層に相当する。

## 【0030】

強磁性層211は、一面11に垂直な方向に磁化方向が固定された強磁性体膜である。図3の矢印で示すように、磁気抵抗素子2aが備える強磁性層211の磁化の向きは、磁気抵抗素子2bが備える強磁性層211の磁化の向きと逆とされている。本実施形態では、磁気抵抗素子2a、2bが備える強磁性層211は、それぞれ、強磁性層213から強磁性層211に向かう向き（図3中紙面上向き）、強磁性層211から強磁性層213に向かう向き（図3中紙面下向き）に磁化されている。

## 【0031】

強磁性層211は、例えば、Co/Pt多層膜、Co/Pd多層膜で構成されている。なお、強磁性層211を、CoCr合金にPt、Ta、B、Nbなどを添加した薄膜、または、組成の異なる磁性膜の積層構造の薄膜で構成してもよい。また、強磁性層211を、Co/Pt（またはPd）多層膜とCo-Xa/（PtまたはPd）多層膜層（XaはCr、B、Ta、Mn、V）の積層磁性膜で構成してもよい。また、強磁性層211を、Co/（PtまたはPd）多層膜とCo/{（Pt-Ya）または（Pd-Ya）}多層膜層（YaはB、Ta、Ru、Re、Ir、Mn、Mg、Zr、Nb）の積層磁性膜で構成してもよい。また、強磁性層211を、CoCr合金膜とCo/（PtまたはPd）多層膜の積層磁性膜、FePt合金、CoPt合金、CoFeB薄膜などで構成してもよい。

## 【0032】

非磁性層212は、Ru等の非磁性体によって形成された薄膜である。

## 【0033】

強磁性層213は、一面11に垂直な方向に磁化方向が固定された強磁性体膜であり、強磁性層211と逆の向きに磁化されている。すなわち、図3の矢印で示すように、磁気抵抗素子2aが備える強磁性層213の磁化の向きは、磁気抵抗素子2bが備える強磁性層213の磁化の向きと逆とされている。本実施形態では、磁気抵抗素子2a、2bが備える強磁性層213は、それぞれ図3中紙面下向き、図3中紙面上向きに磁化されている。このように、固定層21は、互いの磁化方向が反平行となる強磁性層211と強磁性層213との間に非磁性層212を介在させた、いわゆる反強磁性結合構造を有している。強磁性層213は、例えば強磁性層211と同様の材料で構成される。

## 【0034】

磁気抵抗素子2aが備える強磁性層211の磁化量は、磁気抵抗素子2aが備える強磁性層213の磁化量よりも大きくされており、磁気抵抗素子2bが備える強磁性層211の磁化量は、磁気抵抗素子2bが備える強磁性層213の磁化量よりも小さくされている。すなわち、磁気抵抗素子2aが備える強磁性層211、213の磁化量をそれぞれ $M_{A1}$ 、 $M_{A2}$ とし、磁気抵抗素子2bが備える強磁性層211、213の磁化量をそれぞれ $M_{B1}$ 、 $M_{B2}$ とすると、 $M_{A2} < M_{A1}$ 、 $M_{B1} < M_{B2}$ とされている。

## 【0035】

磁化量は単位体積当たりの磁化量と体積との積で表される。したがって、 $M_{A1} = M_{SA1} \times V_{A1}$ 、 $M_{A2} = M_{SA2} \times V_{A2}$ 、 $M_{B1} = M_{SB1} \times V_{B1}$ 、 $M_{B2} = M_{SB2} \times V_{B2}$ となる。なお、 $M_{SA1}$ 、 $M_{SA2}$ は、それぞれ、磁気抵抗素子2aが備える強磁性層211、213の単位体積当たりの磁化量であり、 $V_{A1}$ 、 $V_{A2}$ は、それぞれ、磁気抵抗素子2aが備える強磁性層211、213の体積である。また、 $M_{SB1}$ 、 $M_{SB2}$ は、それぞれ、磁気抵抗素子2bが備える強磁性層211、213の単位体積当たりの磁化量であり、 $V_{B1}$ 、 $V_{B2}$ は、それぞれ、磁気抵抗素子2bが備える強磁性層2

10

20

30

40

50



1 1、2 1 3 の体積である。

【0 0 3 6】

本実施形態では、磁気抵抗素子 2 a が備える強磁性層 2 1 1、2 1 3、磁気抵抗素子 2 b が備える強磁性層 2 1 1、2 1 3 を同一の材料で構成することにより、 $M_{S_{A1}} = M_{S_{A2}} = M_{S_{B1}} = M_{S_{B2}}$  とされている。そして、 $V_{A2} < V_{A1}$ 、 $V_{B1} < V_{B2}$  とすることにより、 $M_{A2} < M_{A1}$ 、 $M_{B1} < M_{B2}$  とされている。

【0 0 3 7】

また、本実施形態では、強磁性層 2 1 1、2 1 3 が円柱状とされている。すなわち、 $V_{A1} = S_{A1} \times t_{A1}$ 、 $V_{A2} = S_{A2} \times t_{A2}$ 、 $V_{B1} = S_{B1} \times t_{B1}$ 、 $V_{B2} = S_{B2} \times t_{B2}$  とされている。なお、 $S_{A1}$ 、 $S_{A2}$  は、それぞれ、磁気抵抗素子 2 a が備える強磁性層 2 1 1 の上面の面積、強磁性層 2 1 3 の底面の面積であり、 $S_{B1}$ 、 $S_{B2}$  は、それぞれ、磁気抵抗素子 2 b が備える強磁性層 2 1 1 の上面の面積、強磁性層 2 1 3 の底面の面積である。また、 $t_{A1}$ 、 $t_{A2}$  は、それぞれ、磁気抵抗素子 2 a が備える強磁性層 2 1 1、2 1 3 の膜厚であり、 $t_{B1}$ 、 $t_{B2}$  は、それぞれ、磁気抵抗素子 2 b が備える強磁性層 2 1 1、2 1 3 の膜厚である。

10

【0 0 3 8】

また、本実施形態では、 $r_{A1} < r_{A2}$ 、 $r_{B1} < r_{B2}$  とされている。すなわち、 $S_{A1} < S_{A2}$ 、 $S_{B1} < S_{B2}$  とされている。なお、 $r_{A1}$ 、 $r_{A2}$  は、それぞれ、磁気抵抗素子 2 a が備える強磁性層 2 1 1 の上面の半径、強磁性層 2 1 3 の底面の半径であり、 $r_{B1}$ 、 $r_{B2}$  は、それぞれ、磁気抵抗素子 2 b が備える強磁性層 2 1 1 の上面の半径、強磁性層 2 1 3 の底面の半径である。

20

【0 0 3 9】

また、本実施形態では、 $r_{A1} = r_{B1}$ 、 $t_{A1} = t_{B1}$  とされている。すなわち、 $S_{A2} \times t_{A2} < S_{A1} \times t_{A1} = S_{B1} \times t_{B1} < S_{B2} \times t_{B2}$  とされている。さらに、本実施形態では、 $t_{A2} = t_{B2}$  とされており、 $S_{A2} < S_{B2}$ 、すなわち、 $r_{A2} < r_{B2}$  となるように、 $r_{A2}$ 、 $r_{B2}$  が設定されている。

【0 0 4 0】

また、本実施形態では、磁気抵抗素子 2 a が備える非磁性層 2 1 2 は、上面が半径  $r_{A1}$  の円形状とされ、底面が半径  $r_{A2}$  の円形状とされた段付き円柱状とされている。また、磁気抵抗素子 2 b が備える非磁性層 2 1 2 は、上面が半径  $r_{B1}$  の円形状とされ、底面が半径  $r_{B2}$  の円形状とされた段付き円柱状とされている。

30

【0 0 4 1】

中間層 2 2 は、固定層 2 1 の上面に形成されている。中間層 2 2 は、非磁性体で構成されており、例えば、 $MgO$ 、 $AlO$  等の絶縁体によって形成され得る。この場合、磁気センサ 1 は、トンネル磁気抵抗 (TMR : Tunneling Magneto Resistance) 素子としての構成を有している。あるいは、中間層 2 2 は、例えば、 $Cu$ 、 $Ag$  等の導電体によって形成され得る。この場合、磁気センサ 1 は、巨大磁気抵抗 (GMR : Giant Magneto Resistance) 素子としての構成を有している。また、中間層 2 2 を半導体によって形成してもよい。

【0 0 4 2】

自由層 2 3 は、中間層 2 2 の上面に形成されている。自由層 2 3 は、磁化方向が可変とされており、本実施形態では、一面 1 1 に平行な磁化容易軸を有する。このように、自由層 2 3 が面内磁気異方性を有する構成では、磁化困難軸方向である一面 1 1 に垂直な方向の外部磁界の検出に際して、自由層 2 3 の磁化反転が緩やかであるため、広い磁界範囲での磁界強度の検出が可能となる。

40

【0 0 4 3】

自由層 2 3 は、例えば、 $Fe$ 、 $Co$ 、 $Ni$  のうちの少なくとも一つと  $B$  とを含有するアモルファス状態の合金等を用いて形成することが可能である。キャップ層 2 4 は、自由層 2 3 を保護するためのものであり、 $Ta$ 、 $Ru$  等で構成されている。

【0 0 4 4】

50

中間層 2 2、自由層 2 3、キャップ層 2 4 の上面は、円形状とされており、半径が強磁性層 2 1 1 の上面の半径と等しくされている。すなわち、磁気抵抗素子 2 a が備える中間層 2 2、自由層 2 3、キャップ層 2 4 の上面の半径は  $r_{A1}$  とされており、磁気抵抗素子 2 b が備える中間層 2 2、自由層 2 3、キャップ層 2 4 の上面の半径は  $r_{B1}$  とされている。

【0045】

磁気センサ 1 0 0 の製造方法について説明する。磁気センサ 1 0 0 は、図 4 ~ 1 0 に示す工程を行うことによって製造される。

【0046】

図 4 ( a ) に示す工程では、基板 1 の一面 1 1 に、絶縁膜 5 と、下部配線層 3 1 と、固定層 2 1 の強磁性層 2 1 3、非磁性層 2 1 2、強磁性層 2 1 1 と、中間層 2 2 と、自由層 2 3 と、キャップ層 2 4 とを順に成膜する。そして、キャップ層 2 4 の上面に、フォトリソグラフィにより、レジスト 8 1 を形成する。レジスト 8 1 は、図 1 に示す下部配線層 3 1 の上面形状に対応する形状とされている。

10

【0047】

図 4 ( b ) に示す工程では、レジスト 8 1 をマスクとして用いたエッチングにより、下部配線層 3 1、固定層 2 1、中間層 2 2、自由層 2 3、キャップ層 2 4 の一部を除去し、下部配線層 3 1 を図 1 に示す形状とする。そして、エッチングにより露出した絶縁膜 5 と、下部配線層 3 1、固定層 2 1、中間層 2 2、自由層 2 3、キャップ層 2 4、レジスト 8 1 とを覆うように、スパッタリング、CVD 等を用いて側壁保護膜 6 を形成する。

20

【0048】

図 4 ( c ) に示す工程では、レジスト 8 1 を剥離し、レジスト 8 1 の上部に形成された側壁保護膜 6 をリフトオフによって除去する。

【0049】

図 5 ( a ) に示す工程では、フォトリソグラフィを行い、キャップ層 2 4 の上面にレジスト 8 2 を成膜する。レジスト 8 2 は、磁気抵抗素子 2 a、2 b の強磁性層 2 1 3 に対応する形状に形成される。具体的には、レジスト 8 2 のうち磁気抵抗素子 2 a に対応する部分の上面は半径  $r_{A2}$  の円形状とされ、磁気抵抗素子 2 b に対応する部分の上面は半径  $r_{B2}$  の円形状とされる。

30

【0050】

図 5 ( b ) に示す工程では、例えばイオンミリング等のエッチングを用いて、固定層 2 1 からキャップ層 2 4 までの各層のうち、レジスト 8 2 で覆われていない部分を除去する。これにより、磁気抵抗素子 2 a に対応する部分の固定層 2 1 からキャップ層 2 4 は上面の半径が  $r_{A2}$  の円柱状となり、磁気抵抗素子 2 b に対応する部分の固定層 2 1 からキャップ層 2 4 は上面の半径が  $r_{B2}$  の円柱状となる。

【0051】

図 5 ( c ) に示す工程では、絶縁膜 5、下部配線層 3 1、固定層 2 1、中間層 2 2、自由層 2 3、キャップ層 2 4、レジスト 8 2 の表面を覆うように、スパッタリング、CVD 等を用いて側壁保護膜 6 を形成する。

40

【0052】

図 6 ( a ) に示す工程では、レジスト 8 2 を剥離し、側壁保護膜 6 のうちレジスト 8 2 の上部に形成された部分をリフトオフによって除去する。

【0053】

図 6 ( b ) に示す工程では、フォトリソグラフィを行い、キャップ層 2 4 の上面にレジスト 8 3 を成膜する。レジスト 8 3 は、磁気抵抗素子 2 a、2 b の強磁性層 2 1 1 に対応する形状に形成される。具体的には、レジスト 8 3 のうち磁気抵抗素子 2 a に対応する部分の上面は半径  $r_{A1}$  の円形状とされ、磁気抵抗素子 2 b に対応する部分の上面は半径  $r_{B1}$  の円形状とされる。

【0054】

図 6 ( c ) に示す工程では、エッチングを用いて、レジスト 8 3 で覆われていない部分

50

について、少なくともキャップ層 2 4 と、自由層 2 3 と、中間層 2 2 と、強磁性層 2 1 1 の一部とを除去する。本実施形態では、雰囲気中に含まれる元素を分析しながらエッチングを行い、非磁性層 2 1 2 を構成する元素が検出されたときにエッチングを停止して、キャップ層 2 4 と、自由層 2 3 と、中間層 2 2 と、強磁性層 2 1 1 と、非磁性層 2 1 2 の一部とを除去する。

#### 【0055】

これにより、上面が半径  $r_{A1}$  の円形状とされた強磁性層 2 1 1、中間層 2 2、自由層 2 3、キャップ層 2 4 と、上面の半径が  $r_{A1}$ 、底面の半径が  $r_{A2}$  の段付き円柱状とされた非磁性層 2 1 2 と、底面が半径  $r_{A2}$  の円形状とされた強磁性層 2 1 3 とを備える磁気抵抗素子 2 a が形成される。また、上面が半径  $r_{B1}$  の円形状とされた強磁性層 2 1 1、中間層 2 2、自由層 2 3、キャップ層 2 4 と、上面の半径が  $r_{B1}$ 、底面の半径が  $r_{B2}$  の段付き円柱状とされた非磁性層 2 1 2 と、底面が半径  $r_{B2}$  の円形状とされた強磁性層 2 1 3 とを備える磁気抵抗素子 2 b が形成される。

10

#### 【0056】

図 7 (a) に示す工程では、絶縁膜 5、下部配線層 3 1、磁気抵抗素子 2 a、2 b、レジスト 8 3 の表面を覆うように、スパッタリング、CVD 等を用いて側壁保護膜 6 を形成する。

#### 【0057】

図 7 (b) に示す工程では、レジスト 8 3 を剥離し、側壁保護膜 6 のうちレジスト 8 3 の上部に形成された部分をリフトオフによって除去する。

20

#### 【0058】

図 8 (a)、図 9 (a) に示す工程では、フォトリソグラフィを行い、側壁保護膜 6 の上面にレジスト 8 4 を形成する。レジスト 8 4 には、図 1 に示す上部配線層 3 2 の上面形状に対応する開口部が設けられている。レジスト 8 4 を形成した後、キャップ層 2 4、側壁保護膜 6、レジスト 8 4 の表面に、上部配線層 3 2 を形成する。

#### 【0059】

図 8 (b)、図 9 (b) に示す工程では、レジスト 8 4 を剥離し、上部配線層 3 2 のうちレジスト 8 4 の上部に形成された部分をリフトオフによって除去する。

#### 【0060】

図 8 (c)、図 9 (c) に示す工程では、フォトリソグラフィを用いて上部配線層 3 2 の一部を露出させる図示しないマスクを形成し、このマスクおよび上部配線層 3 2 の表面にパッド 4 を形成する。その後、マスクを剥離し、マスクの上部に形成されたパッド 4 をリフトオフによって除去する。また、上部配線層 3 2、パッド 4、側壁保護膜 6 の表面に保護膜 7 を形成し、フォトリソグラフィおよびエッチングにより、パッド 4 の上部に形成された保護膜 7 を除去し、開口部 7 1 を形成して、パッド 4 を露出させる。

30

#### 【0061】

図 10 に示す工程では、磁気抵抗素子 2 a、2 b の着磁を行う。具体的には、基板 1 に一面 1 1 の法線方向の磁場を印加し、磁場をある程度大きくした後、0 に戻す。これにより、図 10 の矢印で示すように、磁気抵抗素子 2 a が備える強磁性層 2 1 1 は、強磁性層 2 1 3 から強磁性層 2 1 1 に向かう向きに磁化され、強磁性層 2 1 3 は、強磁性層 2 1 1 から強磁性層 2 1 3 に向かう向きに磁化される。また、磁気抵抗素子 2 b が備える強磁性層 2 1 1 は、強磁性層 2 1 1 から強磁性層 2 1 3 に向かう向きに磁化され、強磁性層 2 1 3 は、強磁性層 2 1 3 から強磁性層 2 1 1 に向かう向きに磁化される。

40

#### 【0062】

磁気抵抗素子 2 の着磁について、図 11 ~ 15 を参照して説明する。磁化量が互いに等しい強磁性層 2 1 1 および強磁性層 2 1 3 と、これらの強磁性層の間に配置された非磁性層 2 1 2 とを備える固定層 2 1 に磁場を印加した場合、磁化曲線は図 11 に示すようになる。

#### 【0063】

すなわち、 $H < -H_s$  のとき、図 12 (a) に示すように強磁性層 2 1 1、2 1 3 は共

50

に負の向きに磁化され、磁場  $H$  が  $-H_s$  よりもある程度小さいときには、 $M = -|M_1 + M_2|$  となる。なお、 $M_1$ 、 $M_2$  はそれぞれ強磁性層 211、213 の磁化量であり、 $M$  は固定層 21 の全体としての磁化であり、 $H$  は固定層 21 に印加される磁場の強さである。また、磁化および磁場の向きについて、強磁性層 213 から強磁性層 211 に向かう向き、強磁性層 211 から強磁性層 213 に向かう向きをそれぞれ正の向き、負の向きとする。

【0064】

また、 $-H_s < H < H_s$  のとき、図 12 (b) に示すように強磁性層 211、213 がそれぞれ負の向き、正の向きに磁化され、あるいは、図 12 (c) に示すように強磁性層 211、213 がそれぞれ正の向き、負の向きに磁化され、 $M = |M_1 - M_2| = 0$  となる。

10

【0065】

また、 $H_s < H$  のとき、図 12 (d) に示すように強磁性層 211、213 が共に正の向きに磁化され、磁場  $H$  が  $H_s$  よりもある程度大きいときには、 $M = |M_1 + M_2|$  となる。

【0066】

このように、強磁性層 211、213 の磁化量が互いに等しい場合、 $H = 0$  において  $M = 0$  となる。一方、強磁性層 211、213 の磁化量が互いに異なる場合、磁化曲線は図 13 に示すようになり、強磁性層 211、213 は図 14、15 に示すように磁化され、 $H = 0$  において  $M \neq 0$  となる。なお、図 13 において、実線は磁場  $H$  が増加するときの磁化曲線を示し、一点鎖線は磁場  $H$  が減少するときの磁化曲線を示す。また、図 14 は強磁性層 211 の磁化量が強磁性層 213 の磁化量よりも大きい場合の強磁性層 211、213 の磁化の向きを示し、図 15 は強磁性層 211 の磁化量が強磁性層 213 の磁化量よりも小さい場合の強磁性層 211、213 の磁化の向きを示す。

20

【0067】

すなわち、磁場  $H$  が増加していくと、 $H < -H_{s2}$  のとき、図 14 (a)、図 15 (a) に示すように強磁性層 211、213 は共に負の向きに磁化され、磁場  $H$  が  $-H_{s2}$  よりもある程度小さいときには、 $M = -|M_1 + M_2|$  となる。

【0068】

また、 $-H_{s2} < H < H_{s1}$  のとき、図 14 (b)、図 15 (b) に示すように、強磁性層 211、213 のうち磁化量の大きい方が負の向きに磁化され、磁化量の小さい方が正の向きに磁化される。そして、磁場  $H$  が  $-H_{s2}$  よりもある程度大きく、 $H_{s1}$  よりもある程度小さいときには、 $M = -|M_1 - M_2|$  となる。

30

【0069】

また、 $H_{s1} < H < H_{s3}$  のとき、図 14 (c)、図 15 (c) に示すように、強磁性層 211、213 のうち磁化量の大きい方が正の向きに磁化され、磁化量の小さい方が負の向きに磁化される。そして、磁場  $H$  が  $H_{s1}$  よりもある程度大きく、 $H_{s3}$  よりもある程度小さいときには、 $M = |M_1 - M_2|$  となる。

【0070】

また、 $H_{s3} < H$  のとき、図 14 (d)、図 15 (d) に示すように強磁性層 211、213 は共に正の向きに磁化され、磁場  $H$  が  $H_{s3}$  よりもある程度大きいときには、 $M = |M_1 + M_2|$  となる。

40

【0071】

一方、磁場  $H$  が減少していくと、 $H_{s2} < H$  のとき、図 14 (d)、図 15 (d) に示すように強磁性層 211、213 は共に正の向きに磁化され、磁場  $H$  が  $H_{s2}$  よりもある程度大きいときには、 $M = |M_1 + M_2|$  となる。

【0072】

また、 $-H_{s1} < H < H_{s2}$  のとき、図 14 (c)、図 15 (c) に示すように、強磁性層 211、213 のうち磁化量の大きい方が正の向きに磁化され、磁化量の小さい方が負の向きに磁化される。そして、磁場  $H$  が  $-H_{s1}$  よりもある程度大きく、 $H_{s2}$  よりも

50

ある程度小さいときには、 $M = |M_1 - M_2|$  となる。

【0073】

また、 $-Hs_3 < H - Hs_1$  のとき、図14(b)、図15(b)に示すように、強磁性層211、213のうち磁化量の大きい方が負の向きに磁化され、磁化量の小さい方が正の向きに磁化される。そして、磁場Hが $-Hs_3$ よりもある程度大きく、 $-Hs_1$ よりもある程度小さいときには、 $M = -|M_1 - M_2|$  となる。

【0074】

また、 $H - Hs_3$  のとき、図14(a)、図15(a)に示すように強磁性層211、213は共に負の向きに磁化され、磁場Hが $-Hs_3$ よりもある程度小さいときには、 $M = -|M_1 + M_2|$  となる。

【0075】

このように、反強磁性結合構造を有する固定層では、非磁性層を介して結合する2つの強磁性層のうち、磁化量の大きい層が着磁時に与えられる外部磁界と同じ向きに磁化される。そして、磁化量の小さい層は、反強磁性結合により、磁化量の大きい層とは逆の向きに磁化される。

【0076】

本実施形態では、このような磁化特性を利用して、一度の着磁によって磁気抵抗素子2a、2bの強磁性層211を互いに逆の向きに磁化する。具体的には、磁場Hを $Hs_1$ よりも大きくした後、0に戻すことにより、磁気抵抗素子2aが備える強磁性層211、213をそれぞれ正の向き、負の向きに磁化し、磁気抵抗素子2bが備える強磁性層211、213をそれぞれ負の向き、正の向きに磁化する。

【0077】

以上説明したように、本実施形態では、強磁性層211と強磁性層213の磁化量の大小関係を磁気抵抗素子2a、2bで逆にすることにより、一度の着磁で、磁気抵抗素子2a、2bが備える強磁性層211を互いに逆の向きに磁化することができる。したがって、垂直磁気異方性を有する複数の磁気抵抗素子が同一チップ内に形成され、各磁気抵抗素子が備える固定層が互いに逆の向きに磁化された磁気センサにおいて、製造工程を簡略化することができる。また、これにより、磁気センサの製造にかかる時間を短縮し、また、製造コストを低減することができる。

【0078】

また、本実施形態では、磁気抵抗素子2a、2bの強磁性層211、213が同じ材料で構成され、単位体積当たりの磁化量が互いに等しくされている。そのため、強磁性層211の上面の面積、強磁性層213の底面の面積、強磁性層211、213の膜厚を制御することで、強磁性層211の磁化の向きを制御することができる。したがって、磁気センサ100の製造が容易になる。

【0079】

なお、磁気抵抗素子2aの強磁性層211と、磁気抵抗素子2bの強磁性層211とを同時に成膜することが望ましい。また、磁気抵抗素子2aの強磁性層213と、磁気抵抗素子2bの強磁性層213についても同時に成膜することが望ましい。これらの層を同時に成膜することで、磁気抵抗素子2aと磁気抵抗素子2bとで強磁性層211、213を等しい膜厚とすることができるため、素子のばらつきを抑制し、測定誤差を低減することができる。

【0080】

また、磁気抵抗素子2aと磁気抵抗素子2bとの抵抗値の差を小さくし、また、図6(c)に示す工程におけるエッチングレートのばらつきを低減するために、 $S_{A1} = S_{B1}$  とすることが望ましい。

【0081】

(第2実施形態)

本発明の第2実施形態について説明する。本実施形態は、第1実施形態に対して磁気抵抗素子2の数を変更したものであり、その他については第1実施形態と同様であるため、

10

20

30

40

50

第 1 実施形態と異なる部分についてのみ説明する。

【 0 0 8 2 】

本実施形態の磁気センサ 1 0 0 は、磁気抵抗素子 2 a、2 b をそれぞれ 4 つ備えている。4 つの磁気抵抗素子 2 a をそれぞれ磁気抵抗素子 2 a 1、2 a 2、2 a 3、2 a 4 とし、4 つの磁気抵抗素子 2 b をそれぞれ磁気抵抗素子 2 b 1、2 b 2、2 b 3、2 b 4 とする。

【 0 0 8 3 】

図 1 6 に示すように、4 つの磁気抵抗素子 2 a および 4 つの磁気抵抗素子 2 b は、配線 3 によって電氣的に接続され、図 1 7 に示すホイートストンブリッジ（フルブリッジ）回路を構成している。なお、図 1 6 では、保護膜 7 の図示を省略している。

10

【 0 0 8 4 】

すなわち、図示しない電源の正極と負極（グランド）との間に、2 つの磁気抵抗素子 2 a と 2 つの磁気抵抗素子 2 b とが、磁気抵抗素子 2 a が正極側となるように直列に接続されている。また、この電源の正極と負極との間には、これらの磁気抵抗素子と並列となるように、他の 2 つの磁気抵抗素子 2 a と他の 2 つの磁気抵抗素子 2 b とが、磁気抵抗素子 2 b が正極側となるように配置されている。

【 0 0 8 5 】

具体的には、図示しない電源の正極に、上部配線層 3 2 を介して、磁気抵抗素子 2 a 1、2 b 1 のキャップ層 2 4 が接続されている。磁気抵抗素子 2 a 1、2 b 1 の強磁性層 2 1 3 は、それぞれ、下部配線層 3 1 を介して磁気抵抗素子 2 a 2、2 b 2 の強磁性層 2 1 3 に接続されている。磁気抵抗素子 2 a 2、2 b 2 のキャップ層 2 4 は、それぞれ、上部配線層 3 2 を介して磁気抵抗素子 2 b 3、2 a 3 のキャップ層 2 4 に接続されている。磁気抵抗素子 2 b 3、2 a 3 の強磁性層 2 1 3 は、それぞれ、下部配線層 3 1 を介して磁気抵抗素子 2 b 4、2 a 4 の強磁性層 2 1 3 に接続されている。磁気抵抗素子 2 b 4、2 a 4 のキャップ層 2 4 は、それぞれ、上部配線層 3 2 を介して図示しない電源の負極に接続されている。

20

【 0 0 8 6 】

また、図 1 6 に示すように、本実施形態の磁気センサ 1 0 0 は、4 つのパッド 4 を備えている。4 つのパッド 4 のうちの 2 つは、ブリッジ回路を図示しない電源に接続するために用いられ、上部配線層 3 2 のうち磁気抵抗素子 2 a 1、2 b 1 に接続された部分と、磁気抵抗素子 2 a 4、2 b 4 に接続された部分の上面に形成されている。また、他の 2 つは、磁気抵抗素子 2 a 2、2 b 3 の接続点と、磁気抵抗素子 2 b 2、2 a 3 の接続点との電位差を測定するために用いられ、上部配線層 3 2 のうち磁気抵抗素子 2 a 2、2 b 3 に接続された部分と、磁気抵抗素子 2 b 2、2 a 3 に接続された部分の上面に形成されている。

30

【 0 0 8 7 】

このような構成において、電源の正極と負極との間に所定の電圧  $V_{cc}$  が印加されることで、図 1 7、図 1 8 の矢印で示すように電流が流れる。

【 0 0 8 8 】

このような磁気センサ 1 0 0 を製造するには、まず、図 4 ~ 7 に示す工程と同様に、図 1 6 に示す形状の下部配線層 3 1、および、各磁気抵抗素子 2 を形成する。その後、図 1 9 に示すように、図 1 6 に示す上部配線層 3 2 に対応する形状のレジスト 8 4 を形成し、キャップ層 2 4、側壁保護膜 6、レジスト 8 4 の表面に上部配線層 3 2 を形成する。そして、レジスト 8 4 を剥離し、レジスト 8 4 の上部に形成された上部配線層 3 2 をリフトオフによって除去し、ホイートストンブリッジ回路を形成した後、パッド 4 および保護膜 7 を形成し、図 1 0 に示す工程と同様に着磁を行う。

40

【 0 0 8 9 】

磁気抵抗素子 2 の抵抗値は、中間層 2 2 に接する強磁性層 2 1 1 の磁化方向により変化する。したがって、強磁性層 2 1 1 の磁化の向きを反転させることで、磁気抵抗素子 2 の抵抗値の出力特性が反転する。よって、磁気抵抗素子 2 a 2 と磁気抵抗素子 2 b 3 との接

50

続点の電位  $V_{01}$  と、磁気抵抗素子 2 b 2 と磁気抵抗素子 2 a 3 との接続点の電位  $V_{02}$  との差に基づいて磁界検出を行うことにより、例えば温度変化などの外乱の影響が低減される。

#### 【0090】

このように温度特性を補償するためのブリッジ回路を 1 チップ上に構成する場合にも、強磁性層 2 1 1、2 1 3 の磁化量の大小関係を磁気抵抗素子 2 a、2 b で逆にすることで、第 1 実施形態と同様に、磁気センサ 1 0 0 の製造工程を簡略化することができる。

#### 【0091】

##### (第 3 実施形態)

本発明の第 3 実施形態について説明する。本実施形態は、第 1 実施形態に対してエッチングストップ層を変更したものであり、その他については第 1 実施形態と同様であるため、第 1 実施形態と異なる部分についてのみ説明する。

#### 【0092】

本実施形態では、図 2 0 に示すように、強磁性層 2 1 1 がエッチングストップ層とされている。すなわち、レジスト 8 3 を用いたエッチングにおいて、強磁性層 2 1 1 を構成する元素が雰囲気中に検出されたときにエッチングを停止し、キャップ層 2 4 と、自由層 2 3 と、中間層 2 2 と、強磁性層 2 1 1 の一部とを除去する。これにより、強磁性層 2 1 1 は、底面の面積が上面の面積よりも大きい段付き円柱状とされている。

#### 【0093】

一般に、反強磁性結合構造においては、非磁性層よりも、非磁性層の両側に配置された強磁性層の膜厚が大きくされている。したがって、強磁性層 2 1 1 をエッチングストップ層とすることで、エッチング深さの制御が容易になり、磁気センサ 1 0 0 の製造が容易になる。

#### 【0094】

##### (第 4 実施形態)

本発明の第 4 実施形態について説明する。本実施形態は、第 1 実施形態に対してエッチングストップ層を変更したものであり、その他については第 1 実施形態と同様であるため、第 1 実施形態と異なる部分についてのみ説明する。

#### 【0095】

本実施形態では、図 2 1 に示すように、強磁性層 2 1 3 がエッチングストップ層とされている。すなわち、レジスト 8 3 を用いたエッチングにおいて、強磁性層 2 1 3 を構成する元素が雰囲気中に検出されたときにエッチングを停止し、キャップ層 2 4 と、自由層 2 3 と、中間層 2 2 と、強磁性層 2 1 1 と、非磁性層 2 1 2 と、強磁性層 2 1 3 の一部とを除去する。これにより、強磁性層 2 1 3 は、底面の面積が上面の面積よりも大きい段付き円柱状とされている。

#### 【0096】

強磁性層 2 1 3 をエッチングストップ層とした本実施形態においても、第 3 実施形態と同様に、エッチング深さの制御が容易になり、磁気センサ 1 0 0 の製造が容易になる。

#### 【0097】

##### (他の実施形態)

なお、本発明は上記した実施形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載した範囲内において適宜変更が可能である。

#### 【0098】

例えば、 $M_{A2} < M_{A1}$ 、 $M_{B1} < M_{B2}$  であれば、強磁性層 2 1 1、2 1 3 を上記第 1 ~ 4 実施形態とは異なる構成としてもよい。例えば、強磁性層 2 1 1 と強磁性層 2 1 3 とが互いに異なる材料で構成され、 $M_{SA1} = M_{SA2}$  または  $M_{SB1} = M_{SB2}$  とされていてもよい。また、 $M_{SA2} < M_{SA1}$  かつ  $V_{A1} = V_{A2}$  とされていてもよく、 $M_{SB1} < M_{SB2}$  かつ  $V_{B1} = V_{B2}$  とされていてもよい。また、 $S_{A1} = S_{B1}$  とされていてもよい。また、 $t_{A1} = t_{B1}$ 、あるいは、 $t_{A2} = t_{B2}$  とされていてもよい。また、 $S_{A1} = S_{A2}$ 、あるいは、 $S_{B1} = S_{B2}$  とされていてもよい。

10

20

30

40

50

## 【0099】

また、一面11に垂直な方向の外部磁界の検出に際して、広い磁界範囲で磁界強度を検出するためには、自由層23が一面11に平行な磁化容易軸を有することが望ましいが、自由層23が一面11に平行な磁化容易軸を有していなくてもよい。例えば、自由層23が一面11に垂直な磁化容易軸を有していてもよい。

## 【0100】

また、磁気センサ100が磁気抵抗素子2aを1つのみ備えていてもよいし、磁気抵抗素子2bを1つのみ備えていてもよい。また、磁気抵抗素子2を構成する各層の上面が円形状とされていなくてもよい。

## 【0101】

また、固定層21の着磁の際、磁場Hを $-H_{s1}$ よりも小さくした後、0に戻すことにより、磁気抵抗素子2aが備える強磁性層211を負の向きに磁化し、磁気抵抗素子2bが備える強磁性層211を正の向きに磁化してもよい。また、上記第2実施形態において、2つの磁気抵抗素子2aおよび2つの磁気抵抗素子2bによってホイーストンプリッジ回路を構成してもよい。また、基板1にハーフブリッジ回路を構成する磁気抵抗素子2a、2bのみが形成されていてもよい。

## 【0102】

また、固定層21の磁化容易軸は一面11に完全に垂直である必要はなく、一面11に略垂直であってもよい。

## 【符号の説明】

## 【0103】

- 1          基板
- 2 a        磁気抵抗素子
- 2 b        磁気抵抗素子
- 2 1        固定層
- 2 1 1      強磁性層
- 2 1 2      非磁性層
- 2 1 3      強磁性層
- 2 2        中間層
- 2 3        自由層

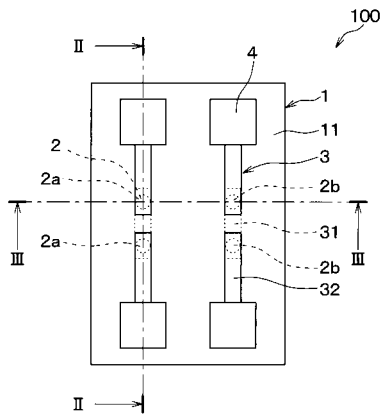
10

20

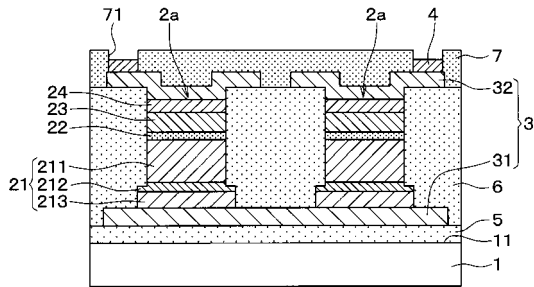
30



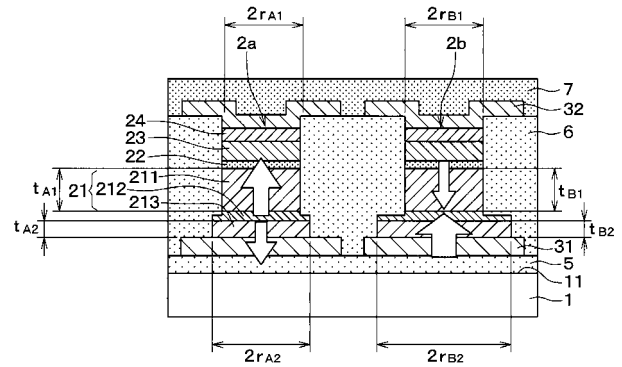
【図 1】



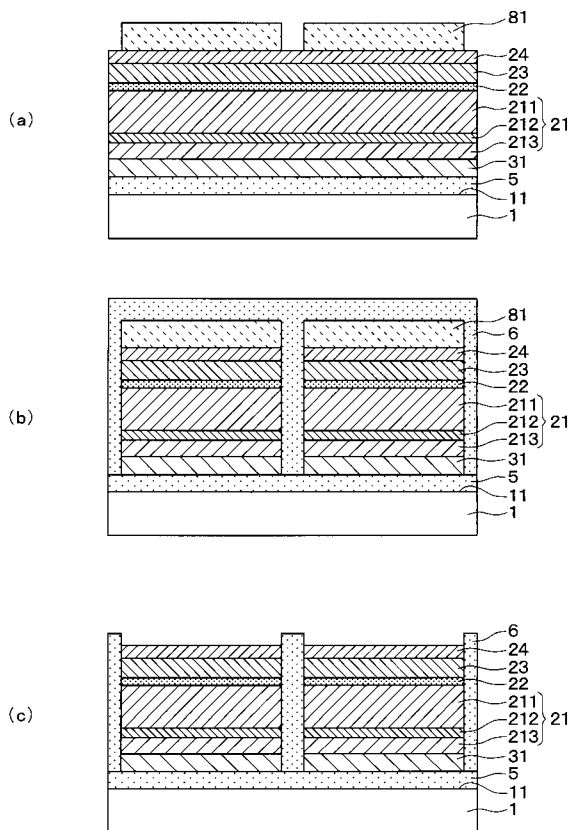
【図 2】



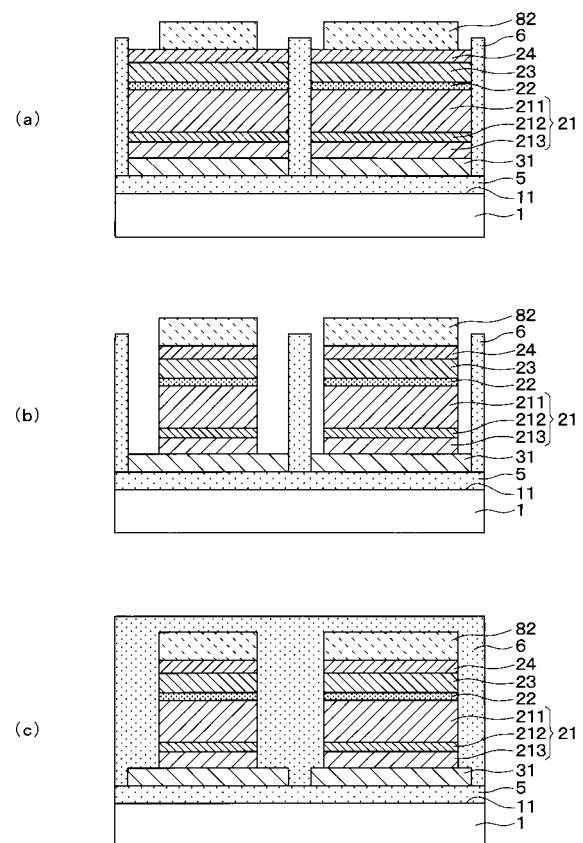
【図 3】



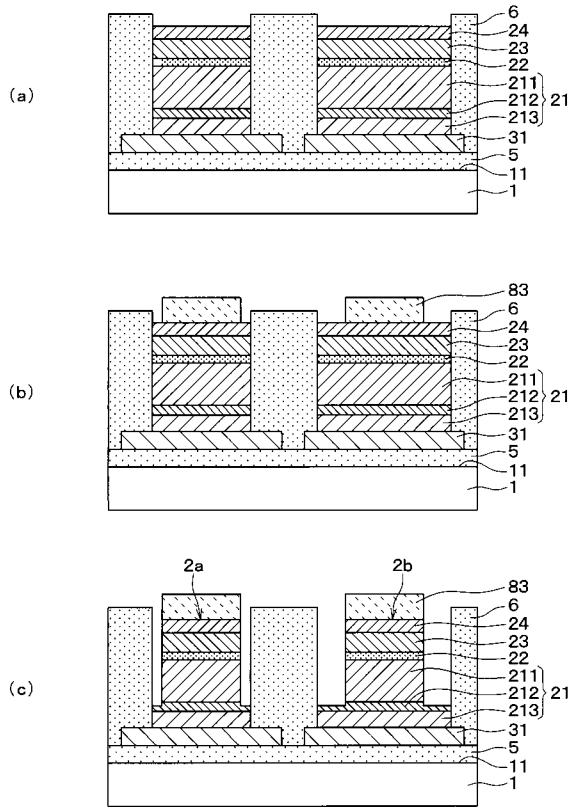
【図 4】



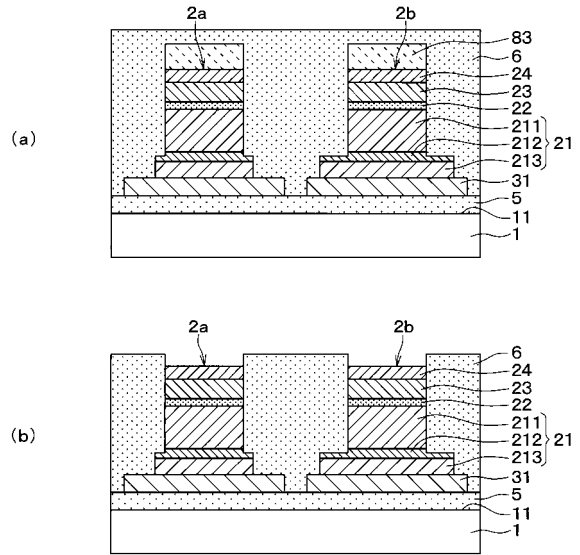
【図 5】



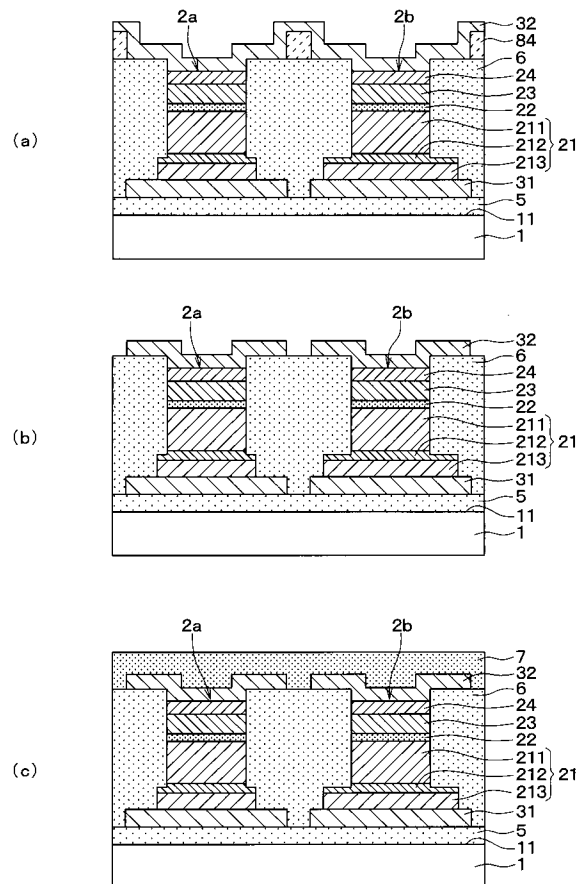
【図 6】



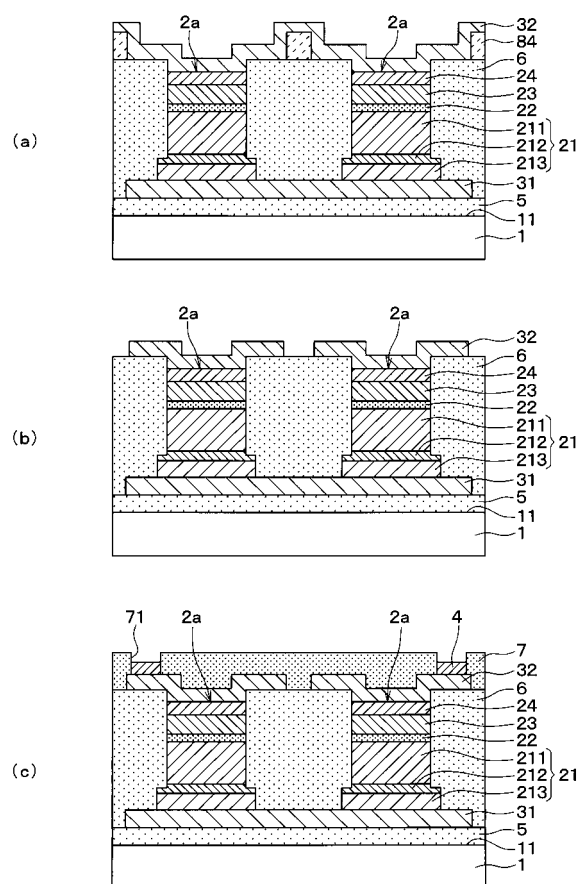
【図 7】



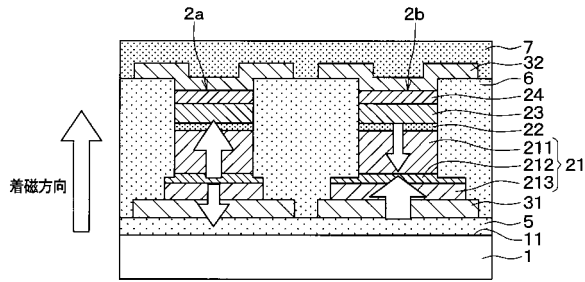
【図 8】



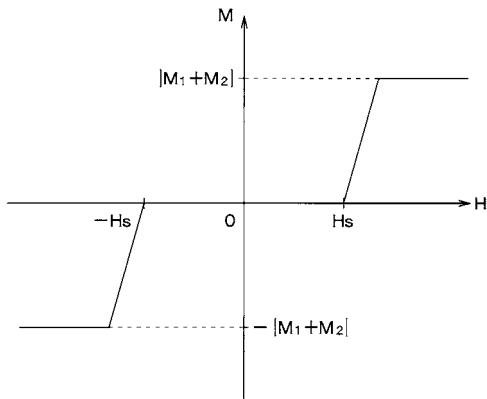
【図 9】



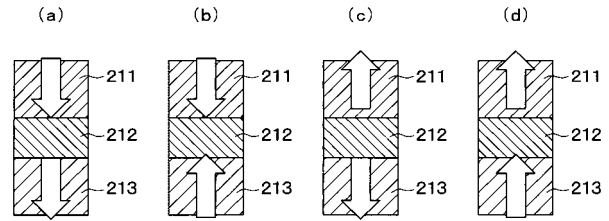
【図 10】



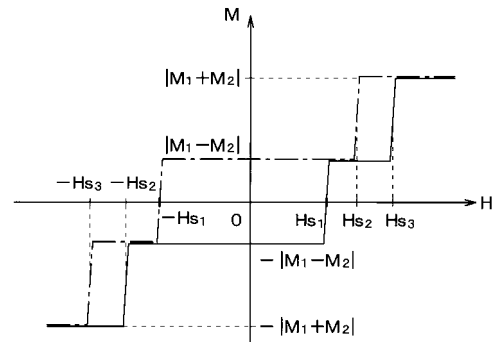
【図 11】



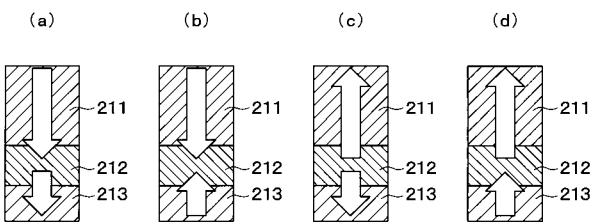
【図 12】



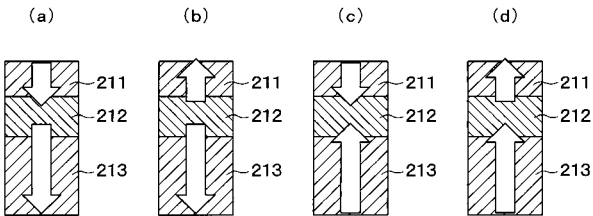
【図 13】



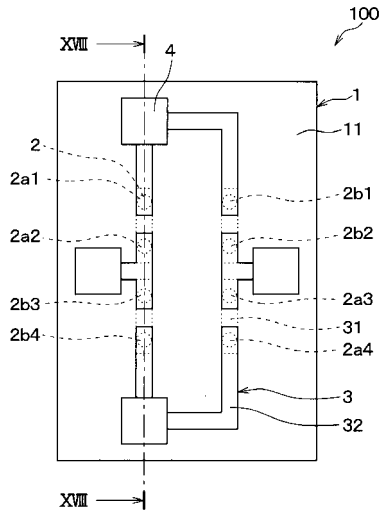
【図 14】



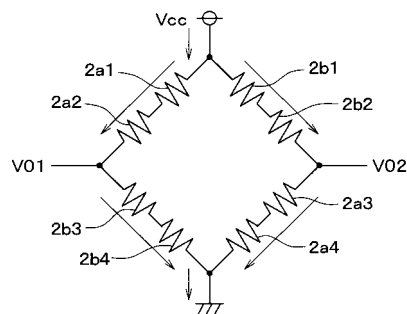
【図 15】



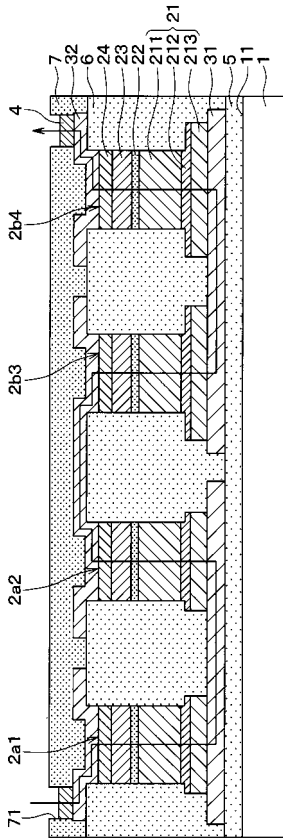
【図 16】



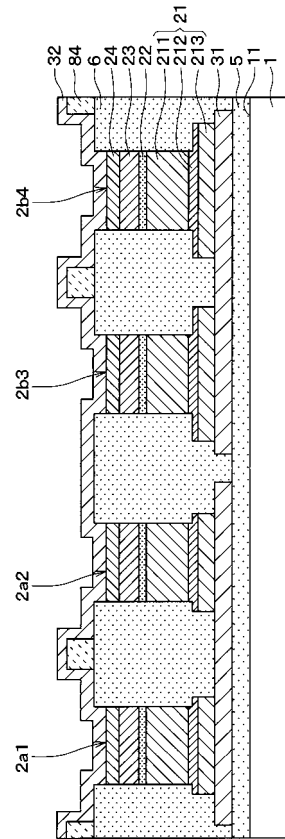
【図 17】



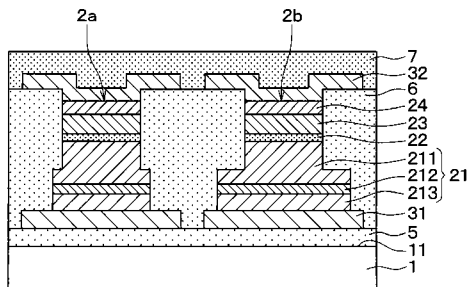
【図 18】



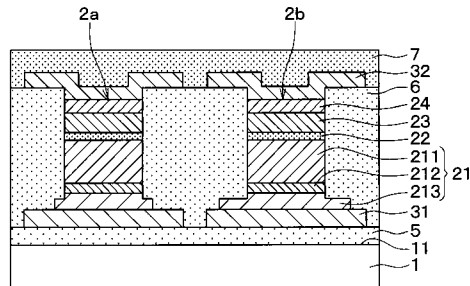
【図 19】



【図 20】



【図 21】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 阿部 竜一郎  
愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地 株式会社デンソー内
- (72)発明者 安藤 康夫  
宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 国立大学法人東北大学内
- (72)発明者 大兼 幹彦  
宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 国立大学法人東北大学内
- (72)発明者 中野 貴文  
宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 国立大学法人東北大学内

F ターム(参考) 2G017 AA02 AA10 AD55 AD63 AD65 BA09  
5F092 AA11 AB01 AC08 AC12 AD03 AD23 BB05 BB22 BB23 BB31  
BB35 BB36 BB43 BB53 BB55 BB81 BC04 BC07 BC12 BC42  
BE06 CA06 CA08