

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5540326号
(P5540326)

(45) 発行日 平成26年7月2日(2014.7.2)

(24) 登録日 平成26年5月16日(2014.5.16)

(51) Int.Cl.		F I		
GO 1 R 15/20	(2006.01)	GO 1 R 15/02		B
GO 1 R 33/09	(2006.01)	GO 1 R 33/06		R
HO 1 L 43/08	(2006.01)	HO 1 L 43/08		Z

請求項の数 6 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2013-502216 (P2013-502216)	(73) 特許権者	310014322
(86) (22) 出願日	平成24年1月27日 (2012.1.27)		アルプス・グリーンデバイス株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2012/051846		東京都大田区雪谷大塚町1番7号
(87) 国際公開番号	W02012/117784	(74) 代理人	100085453
(87) 国際公開日	平成24年9月7日 (2012.9.7)		弁理士 野▲崎▼ 照夫
審査請求日	平成25年8月20日 (2013.8.20)	(74) 代理人	100108006
(31) 優先権主張番号	特願2011-44711 (P2011-44711)		弁理士 松下 昌弘
(32) 優先日	平成23年3月2日 (2011.3.2)	(72) 発明者	井出 洋介
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス・グリーンデバイス株式会社内
		(72) 発明者	斎藤 正路
			東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス・グリーンデバイス株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電流センサ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

一方向に延在する導電体と、前記導電体の延在方向に沿って並設され前記導電体を通過する被測定電流からの誘導磁界により出力信号を出力する少なくとも二対の磁気抵抗効果素子とを具備し、

前記磁気抵抗効果素子は、磁化方向が固定された強磁性固定層、非磁性中間層、及び外部磁界に対して磁化方向が変動するフリー磁性層を含む積層構造を有し、前記強磁性固定層が、反平行結合膜を介して第1の強磁性膜と第2の強磁性膜とを反強磁性的に結合させてなるセルフピン止め型であり、

前記少なくとも二対の磁気抵抗効果素子は、前記導電体の第1区間に沿って配設される一対の磁気抵抗効果素子と、前記導電体の第2区間に沿って配設される他の一対の磁気抵抗効果素子と、を含み、

前記一対の磁気抵抗効果素子と、前記他の一対の磁気抵抗効果素子とは、前記誘導磁界が互いに異なる強度で印加され、又は前記誘導磁界が互いに異なる方向から印加されるように配設されたことを特徴とする電流センサ。

【請求項2】

前記一対の磁気抵抗効果素子を含む第1のハーフブリッジ回路と、前記他の一対の磁気抵抗効果素子を含む第2のハーフブリッジ回路とを具備し、前記第1のハーフブリッジ回路の各磁気抵抗効果素子における前記強磁性固定層の磁化方向と、前記第2のハーフブリッジ回路の各磁気抵抗効果素子における前記強磁性固定層の磁化方向と、が互いに同一で

10

20

あることを特徴とする請求項 1 記載の電流センサ。

【請求項 3】

前記一对の磁気抵抗効果素子の前記強磁性固定層の磁化方向が互いに反平行であり、前記他の一对の磁気抵抗効果素子の前記強磁性固定層の磁化方向が互いに反平行であることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 記載の電流センサ。

【請求項 4】

前記導電体は、前記第 1 区間の前記延在方向に対する垂直断面における断面積と、前記第 2 区間の前記延在方向に対する垂直断面における断面積と、が異なることを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれかに記載の電流センサ。

【請求項 5】

前記一对の磁気抵抗効果素子と前記導電体の前記第 1 区間との間の距離と、前記他の一对の磁気抵抗効果素子と前記導電体の前記第 2 区間との間の距離と、が異なることを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれかに記載の電流センサ。

【請求項 6】

前記一对の磁気抵抗効果素子と、前記他の一对の磁気抵抗効果素子とは、前記誘導磁界が、互いに逆方向から印加されるように配設されたことを特徴とする請求項 1 から請求項 5 のいずれかに記載の電流センサ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電流の大きさを測定する電流センサに関し、例えば、磁気抵抗効果素子（TMR 素子、GMR 素子）を備えた電流センサに関する。

【背景技術】

【0002】

従来、電気自動車やハイブリッドカーにおけるモータ駆動技術などの分野では、モータの駆動電流を非接触で測定することが可能な電流センサが求められている。このような電流センサとして、被測定電流からの誘導磁界により出力信号を出力する磁気抵抗効果素子が備えたものが提案されている（例えば、特許文献 1 参照）。

【0003】

特許文献 1 記載の電流センサは、4 つの磁気抵抗効果素子で構成されるホイートストンブリッジ回路を備える。このホイートストンブリッジ回路においては、互いに逆相の出力信号が得られるように構成された二対の磁気抵抗効果素子からの出力信号により被測定電流を測定する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特表 2005 - 529338 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、特許文献 1 記載の電流センサにおいては、被測定電流の測定にホイートストンブリッジ回路を用いることから、二対の磁気抵抗効果素子から互いに異なる信号強度の出力信号を得る必要がある。このため、特許文献 1 記載の電流センサにおいては、被測定電流からの誘導磁界の印加方向に対して、二対の磁気抵抗効果素子の強磁性固定層の磁化方向を異なる方向に固定することにより、二対の磁気抵抗効果素子から出力される出力信号を逆相とすることで、被測定電流の測定を可能としている。

【0006】

しかしながら、特許文献 1 記載の電流センサにおいては、二対の磁気抵抗効果素子の強磁性固定層の磁化方向が互いに異なるため、二対の磁気抵抗効果素子に外乱ノイズが作用した外乱ノイズ成分の影響で測定精度が低下する問題がある。また、磁気抵抗効果素子の

10

20

30

40

50

強磁性固定層の磁化方向の固定するため、強磁性固定層と反強磁性層との間の交換結合磁界を用いることから、動作可能温度が制限されると共に、製造工程において、磁場中の高温アニール処理が必要となるので、製造コストが増大する問題がある。

【0007】

本発明は、かかる点に鑑みてなされたものであり、高温での動作安定性に優れ、測定精度が高い電流センサ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】

【0008】

本発明の電流センサは、一方向に延在する導電体と、前記導電体の延在方向に沿って並設され前記導電体を通流する被測定電流からの誘導磁界により出力信号を出力する少なくとも二対の磁気抵抗効果素子とを具備し、前記磁気抵抗効果素子は、磁化方向が固定された強磁性固定層、非磁性中間層、及び外部磁界に対して磁化方向が変動するフリー磁性層を含む積層構造を有し、前記強磁性固定層が、反平行結合膜を介して第1の強磁性膜と第2の強磁性膜とを反強磁性的に結合させてなるセルフピン止め型であり、前記少なくとも二対の磁気抵抗効果素子は、前記導電体の第1区間に沿って配設される一対の磁気抵抗効果素子と、前記導電体の第2区間に沿って配設される他の一対の磁気抵抗効果素子と、を含み、前記一対の磁気抵抗効果素子と前記他の一対の磁気抵抗効果素子とは、前記誘導磁界が互いに異なる強度で印加され、又は前記誘導磁界が互いに異なる方向から印加されるように配設されたことを特徴とする。

【0009】

この構成によれば、被測定電流からの誘導磁界により一対の磁気抵抗効果素子から出力される出力信号と、他の一対の磁気抵抗効果素子から出力される出力信号とが互いに異なる信号強度となるので、一対の磁気抵抗効果素子の出力信号と、他の一対の磁気抵抗効果素子の出力信号と、の差動出力を得ることにより、出力信号の外乱ノイズ成分を低減でき、測定精度が高い電流センサを実現できる。また、一方向に延在する導電体に被測定電流を通流するので、電流センサの小型化が可能となると共に、被測定電流からの誘導磁界の干渉を低減できるので電流センサの測定精度が更に向上する。さらに、被測定電流が通流する際の導電体の抵抗を小さくできるので、電流センサの測定範囲を拡大することが可能となる。また、セルフピン止め型の磁気抵抗効果素子を用いることから、反強磁性層を用いずに固定磁性層の磁化方向を固定できるので、高温での動作安定性に優れる電流センサを実現できる。

【0010】

本発明の電流センサにおいては、前記一対の磁気抵抗効果素子を含む第1のハーフブリッジ回路と、前記他の一対の磁気抵抗効果素子を含む第2のハーフブリッジ回路とを具備し、前記第1のハーフブリッジ回路の各磁気抵抗効果素子における前記強磁性固定層の磁化方向と、前記第2のハーフブリッジ回路の各磁気抵抗効果素子における前記強磁性固定層の磁化方向と、が互いに同一であることが好ましい。この構成により、第1のハーフブリッジ回路から出力される出力信号中の外乱ノイズ成分と、第2のハーフブリッジ回路から出力される出力信号中の外乱ノイズ成分とが等しくなる。このため、二対の磁気抵抗効果素子の差動出力を得ることにより、外乱ノイズ成分を相殺でき、測定精度を更に向上できる。

【0011】

本発明の電流センサにおいては、前記一対の磁気抵抗効果素子の前記強磁性固定層の磁化方向が互いに反平行であり、前記他の一対の磁気抵抗効果素子の前記強磁性固定層の磁化方向が互いに反平行であることが好ましい。この構成により、一対の磁気抵抗効果素子から出力される出力信号と、他の一対の磁気抵抗効果素子から出力される出力信号とが逆相となる。このため、二対の磁気抵抗効果素子の差動出力を得ることにより、誘導磁界により出力された出力信号が加算されるので、電流センサの検出感度を向上できる。なお、反平行とは、互いに180°異なる方向であって、逆方向のことをいう。

【0012】

本発明の電流センサにおいては、前記導電体は、前記第1区間の前記延在方向に対する垂直断面における断面積と、前記第2区間の前記延在方向に対する垂直断面における断面積と、が異なることが好ましい。この構成により、一对の磁気抵抗効果素子に印加される誘導磁界と他の一对の磁気抵抗効果素子に印加される誘導磁界とが異なる磁界強度となるので、誘導磁界により一对の磁気抵抗効果素子から出力される出力信号と、他の一对の磁気抵抗効果素子から出力される出力信号とが異なる信号強度となる。このため、一对の磁気抵抗効果素子からの出力信号と、他の一对の磁気抵抗効果素子の出力信号を用いることで、被測定電流の測定が可能となる。

【0013】

本発明の電流センサにおいては、前記一对の磁気抵抗効果素子と前記導電体の前記第1区間との間の距離と、前記他の一对の磁気抵抗効果素子と前記導電体の前記第2区間との間の距離と、が異なることが好ましい。この構成により、一对の磁気抵抗効果素子に印加される誘導磁界と他の一对の磁気抵抗効果素子に印加される誘導磁界とが異なる磁界強度となるので、誘導磁界により一对の磁気抵抗効果素子から出力される出力信号と、他の一对の磁気抵抗効果素子から出力される出力信号とが異なる信号強度となる。このため、一对の磁気抵抗効果素子からの出力信号と、他の一对の磁気抵抗効果素子の出力信号を用いることで、被測定電流の測定が可能となる。

【0014】

本発明の電流センサにおいては、前記一对の磁気抵抗効果素子と、前記他の一对の磁気抵抗効果素子とは、前記誘導磁界が、互いに逆方向から印加されるように配設されたことが好ましい。この構成により、導電体の一方の面側に配設される一对の磁気抵抗効果素子に対する誘導磁界の印加方向と、導電体の他方の面側に配設される他の一对の磁気抵抗効果素子に対する誘導磁界の印加方向とが、互いに逆方向となる。このため、一对の磁気抵抗効果素子から出力される出力信号と、他の一对の磁気抵抗効果素子から出力される出力信号とが異なる信号強度及び逆相となるので、二対の磁気抵抗効果素子の差動出力をとることで、外乱ノイズ成分が除去され、誘導磁界からの出力信号が加算されるので、測定精度が高い電流センサを実現できる。

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、高温での動作安定性に優れ、測定精度が高い電流センサを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】電流引き込み型の電流センサの一例を示す平面模式図である。

【図2】第1の実施の形態に係る電流センサの平面模式図である。

【図3】上記実施の形態に係る電流センサの磁気検出ブリッジ回路を示す模式図である。

【図4】上記実施の形態に係る電流センサにおける被測定電流と出力信号との関係を示す図である。

【図5】上記実施の形態に係る電流センサの断面模式図である。

【図6】上記実施の形態に係る電流センサの磁気抵抗効果素子の積層構造を示す模式図である。

【図7】上記実施の形態に係る電流センサの製造工程の説明図である。

【図8】上記実施の形態に係る電流センサの製造工程の説明図である。

【図9】第2の実施の形態に係る電流センサの平面模式図である。

【図10】上記実施の形態に係る電流センサの断面模式図である。

【図11】第3の実施の形態に係る電流センサの断面模式図である。

【図12】第4の実施の形態に係る電流センサの断面模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

近年、電流センサの更なる小型化及び測定精度の向上が求められている。電流センサの

10

20

30

40

50

小型化のため、基板上に設けた導電体パターンに被測定電流を引き込んで被測定電流を測定する電流引き込み型の電流センサが検討されている。

【0018】

図1に電流引き込み型電流センサの一例を示す。かかる電流センサ100は、基板101上に設けられた平面視U形状の導電体102と、この導電体102の一端部に設けられたGMR素子103a、103b、及び他端部に設けられたGMR素子103c、103dとを備える。4つのGMR素子103a~103dは、強磁性固定層の磁化方向が同一方向(図1の矢印参照)に揃えられており、磁界検出ブリッジ回路を構成している。この電流引き込み型電流センサ100においては、U形状の導電体102の一端部及び他端部において、互いに逆方向から印加される誘導磁界を4つのGMR素子103a~103dを介して検出する。

10

【0019】

電流引き込み型電流センサ100においては、磁界検出ブリッジ回路を介して被測定電流を測定するため、導電体102の一端部における一对のGMR素子103a、103bから出力される出力信号と、導電体102の他端部における他の一对のGMR素子103c、103dから出力される出力信号と、を互いに異なる信号強度とする必要がある。このため、上記電流引き込み型電流センサ100においては、導電体102をU形状とし、導電体102の一端部から他端部に被測定電流を流通することにより、導電体102の一端部における被測定電流の通流方向と、他端部における被測定電流の通流方向とが互いに逆方向となるようにする。これにより、一对のGMR素子103a、103bに対する誘導磁界の印加方向と、他の一对のGMR素子103c、103dに対する誘導磁界の印加方向と、が互いに逆方向となるので、一对のGMR素子103a、103bから出力される出力信号と、他の一对のGMR素子103c、103dから出力される出力信号と、が異なる信号強度となり、磁界検出ブリッジ回路による被測定電流の測定が可能となる。

20

【0020】

また、上記電流引き込み型電流センサ100においては、4つのGMR素子103a~103dの強磁性固定層の磁化方向を同一方向に揃えているので、各GMR素子103a~103dの感度軸に対して同一方向から外乱ノイズが作用する。このため、一对のGMR素子103a、103bから出力される出力信号と、他の一对のGMR素子103c、103dから出力される出力信号との差分値をとることにより、外乱ノイズの影響をキャンセルすることが可能となる。

30

【0021】

一方で、上記電流引き込み型の電流センサ100においては、一对のGMR素子103a、103bから出力される出力信号と、及び他の一对のGMR素子103c、103dから出力される出力信号と、を互いに異なる信号強度とするため、導電体102をU形状に形成する必要があると、電流センサ100の小型化が制限される問題がある。また、U形状に湾曲した導電体102に被測定電流を流通するため、誘導磁界に干渉が生じて測定精度が低下すると共に、導電体102の抵抗が増大して被測定電流の損失や発熱が生じるため、被測定電流の測定範囲が制限される問題があった。

【0022】

本発明者らは、磁気抵抗効果素子に印加される被測定電流からの誘導磁界の磁界強度、及び誘導磁界の印加方向に着目した。電流引き込み型の電流センサにおいては、一对の磁気抵抗効果素子と、他の一对の磁気抵抗効果素子と、から異なる信号強度の出力信号を得ることができれば、一方向に延在する導電体を用いた場合においても、磁界検出ブリッジ回路による被測定電流の測定が可能となる。

40

【0023】

また、本発明者らは、反強磁性層を用いずに強磁性固定層の磁化方向を固定できるセルフピン止め型の磁気抵抗効果素子に着目した。ここで、セルフピン止め型の構造とは、後述する図6に示すように、強磁性固定層32と、非磁性中間層36と、フリー磁性層37とを含む積層構造を有し、強磁性固定層32の下に反強磁性層を持たない構造をいう。強

50

磁性固定層 3 2 は、第 1 の強磁性膜 3 3 と、反平行結合膜 3 4 と、第 2 の強磁性膜 3 5 とを含み、第 2 の強磁性膜 3 5 が、非磁性中間層 3 6 と面している。セルフピン止め型の磁気抵抗効果素子を電流引き込み型の電流センサに用いることにより、基板上に設ける複数の磁気抵抗効果素子の強磁性固定層 3 2 の磁化方向 X を任意の方向に固定することが可能となる。

【 0 0 2 4 】

本発明者らは、一方向に延在する導電体の延在方向に沿って少なくとも二対の磁気抵抗効果素子を並設した場合においても、一対の磁気抵抗効果素子及び他の一対の磁気抵抗効果素子を誘導磁界が互いに異なる強度で印加され、又は誘導磁界が互いに異なる方向から印加されるように配設することにより、一対の磁気抵抗効果素子及び他の一対の磁気抵抗効果素子から互いに異なる信号強度の出力信号が得られることを見出した。これにより、一対の磁気抵抗効果素子からの出力信号と、他の一対の磁気抵抗効果素子からの出力信号と、を用いた磁界検出ブリッジ回路による被測定電流の測定が可能となる。このような構成は、被測定電流を基板上の導電体に引き込む電流引き込み型の電流センサにおいて、少なくとも二対のセルフピン止め型の磁気抵抗効果素子を用いることで実現することができる。

10

【 0 0 2 5 】

さらに、本発明者らは、電流引き込み型の電流センサにおいて、一方向に延在する導電体を用いることにより、基板の大きさを低減でき電流センサの小型化が可能となること、誘導磁界の干渉を低減でき測定精度を向上できること、及び外部磁界に対する誘導起電力を抑制できること、などを見出し、本発明を完成するに至った。

20

【 0 0 2 6 】

以下、本発明の実施の形態について、添付図面を参照して詳細に説明する。

(第 1 の実施の形態)

図 2 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る電流センサ 1 の平面模式図である。図 2 に示すように、本実施の形態に係る電流センサ 1 は、基板 1 1 と、この基板 1 1 上に並設され被測定電流からの誘導磁界により出力信号を出力する 4 つの磁気抵抗効果素子 1 2 a ~ 1 2 d と、絶縁層を介して磁気抵抗効果素子 1 2 a ~ 1 2 d 上に積層される導電体 1 3 とを備える。導電体 1 3 は、基板 1 1 上に並設される磁気抵抗効果素子 1 2 a ~ 1 2 d に沿って一方向に延在するように設けられており、両端部に外部から被測定電流を引き込む電極パッド 1 3 a、1 3 b が設けられている。本実施の形態に係る電流センサ 1 においては、電極パッド 1 3 a、1 3 b を介して外部から引き込まれ導電体 1 3 を一方向に通流する被測定電流を、4 つの磁気抵抗効果素子 1 2 a ~ 1 2 d を含んでなる磁界検出ブリッジ回路により測定する。

30

【 0 0 2 7 】

導電体 1 3 は、延在方向 D 1 において、当該延在方向 D 1 に対して直交する高さ方向 D 3 に沿う垂直断面の断面積が互いに異なる第 1 区間 S 1 と第 2 区間 S 2 とを有する。本実施の形態においては、延在方向 D 1 における電極パッド 1 3 a 側の幅寸法 L 1 が、電極パッド 1 3 b 側の幅寸法 L 2 に対して相対的に大きくなるように導電体 1 3 を設けることで、導電体 1 3 の電極パッド 1 3 a 側を相対的に断面積が大きい第 1 区間 S 1 とし、電極パッド 1 3 b 側を相対的に断面積が小さい第 2 区間 S 2 としている。

40

【 0 0 2 8 】

磁気抵抗効果素子 1 2 a ~ 1 2 d は、導電体 1 3 の延在方向 D 1 に沿って導電体 1 3 と重畳するように配設される。本実施の形態においては、磁気抵抗効果素子 1 2 a ~ 1 2 d は、同一平面内に配設され(図 5 参照)、一対の磁気抵抗効果素子 1 2 a、1 2 b が、導電体 1 3 の第 1 区間 S 1 に沿って配設され、他の一対の磁気抵抗効果素子 1 2 c、1 2 d が、導電体 1 3 の第 2 区間 S 2 に沿って配設される。なお、磁気抵抗効果素子 1 2 a ~ 1 2 d は、被測定電流からの誘導磁界により、一対の磁気抵抗効果素子 1 2 a、1 2 b から出力される出力信号と、他の一対の磁気抵抗効果素子 1 2 c、1 2 d から出力される出力信号とが互いに異なる信号強度となる配置であれば、必ずしも同一平面内に配設する必要

50

はない。

【0029】

磁気抵抗効果素子12a～12dは、一对の磁気抵抗効果素子12a、12bの感度軸（Pin方向）と、他の一对の磁気抵抗効果素子12c、12dの感度軸（Pin方向）とが互いに反平行（180°異なる方向）となるように配設される。また、一对の磁気抵抗効果素子12a、12bは、当該磁気抵抗効果素子12a、12bの感度軸（Pin方向）が互いに反平行（180°異なる方向）となるように配設され、他の一对の磁気抵抗効果素子12c、12dは、当該磁気抵抗効果素子12c、12dの感度軸（Pin方向）が互いに反平行（180°異なる方向）となるように配設される。なお、図2において、磁気抵抗効果素子12a～12dに付された矢印は、磁気抵抗効果素子12a～12dの第2の強磁性膜35（図1において不図示、図6参照）の磁化方向を表している。各磁気抵抗効果素子12a～12dの両端部には、磁気抵抗効果素子12a～12dのフリー磁性層37（図1において不図示、図6参照）にバイアス磁界を印加するハードバイアス層14（図1において不図示、図5参照）が設けられている。なお、ハードバイアス層14は、必ずしも設ける必要はない。

10

【0030】

磁気抵抗効果素子12a～12dとしては、その長手方向が互いに平行になるように配置された複数の帯状の長尺パターン（ストライプ）が折り返してなる形状（ミアンダ形状）を有するGMR素子であることが好ましい。

【0031】

次に、図2に示す電流センサ1の磁界検出ブリッジ回路の接続について説明する。磁気抵抗効果素子12bの一方の端子、及び磁気抵抗効果素子12cの一方の端子にはそれぞれ電源電位（Vdd）が与えられており、磁気抵抗効果素子12aの一方の端子、及び磁気抵抗効果素子12dの一方の端子にはそれぞれ接地電位（GND1、GND2）が与えられている。また、磁気抵抗効果素子12aの他方の端子、及び磁気抵抗効果素子12bの他方の端子がそれぞれ接続されて第一の出力（Out1）となっており、磁気抵抗効果素子12cの他方の端子、及び磁気抵抗効果素子12dの他方の端子がそれぞれ接続されて第二の出力（Out2）となっている。

20

【0032】

磁気抵抗効果素子12a～12dは、被測定電流からの誘導磁界が印加されることで抵抗値が変化するという特性を備えているため、被測定電流からの誘導磁界に応じて第一の出力（Out1）と第二の出力（Out2）が変化する。第一の出力（Out1）と第二の出力（Out2）との電位差は誘導磁界に比例し、当該電位差（電圧）が電流センサ1の出力となる。

30

【0033】

図3は、本実施の形態に係る電流センサにおける磁気検出ブリッジ回路を示す模式図である。本実施の形態に係る電流センサ1においては、図3に示すように、中点電位（Out1）を出力する2つの磁気抵抗効果素子12a、12bの強磁性固定層32の磁化方向（第2の強磁性膜の磁化方向：Pin2）が互いに180°異なっており（反平行）、中点電位（Out2）を出力する2つの磁気抵抗効果素子12c、12dの強磁性固定層32の磁化方向（第2の強磁性膜の磁化方向：Pin2）が互いに180°異なっている（反平行）。また、4つの磁気抵抗効果素子12a～12dの抵抗変化率は同じである。磁気抵抗効果素子12a～12dは、強磁性固定層32に対する印加磁界の角度が同一である場合、同一磁界強度で同一の抵抗変化率を示すことが好ましい。

40

【0034】

本実施の形態に係る電流センサ1においては、導電体13の幅寸法L1、L2が異なる区間S1、S2にそれぞれ一对の磁気抵抗効果素子12a、12bと、他の一对の磁気抵抗効果素子12c、12dとが設けられ、一对の磁気抵抗効果素子12a、12bにより第1のハーフブリッジ回路が構成され、他の一对の磁気抵抗効果素子12c、12dにより第2のハーフブリッジ回路が構成される。

50

【0035】

図3に示すように、導電体13に被測定電流が通流されると、4つの磁気抵抗効果素子12a~12dには、それぞれ誘導磁界Aが印加される。ここで、本実施の形態に係る電流センサ1においては、導電体13は、磁気抵抗効果素子12a、12b近傍の第1区間S1における断面積が、磁気抵抗効果素子12c、12d近傍の第2区間S2における導電体13の断面積より大きいので、磁気抵抗効果素子12a、12bに対して相対的に磁界強度の小さい誘導磁界Aが印加される。このため、第1のハーフブリッジ回路を構成する一对の磁気抵抗効果素子12a、12bから出力される出力信号と、第2のハーフブリッジ回路を構成する他の一对の磁気抵抗効果素子12c、12dから出力される出力信号と、異なる信号強度となるので、磁界検出ブリッジ回路により被測定電流の測定が可能となる。

10

【0036】

ここで、図4を参照して、磁気抵抗効果素子12a~12dに誘導磁界が印加された際の実出力信号について説明する。図4は、被測定電流の大きさと磁気抵抗効果素子12a~12dからの出力信号との相関を示す概念図である。同図においては、横軸に誘導磁界の大きさを示し、縦軸に出力信号の大きさを示している。

【0037】

図4Aに示すように、導電体13の第1区間S1に沿って配設された一对の磁気抵抗効果素子12a、12bから出力される出力信号は、互いに逆相となり、同一強度となる(図4Aの破線参照)。一方、導電体13の第2区間S2に沿って配設された他の一对の磁気抵抗効果素子12c、12dから出力される出力信号は、互いに逆相となり、同一強度となると共に、一对の磁気抵抗効果素子12a、12bから出力される出力信号に対して相対的に大きくなる(図4Aの実線参照)。このため、図4Bに示すように、同じ大きさの被測定電流Iが通流する場合に、一对の磁気抵抗効果素子12a、12bを含む第1のハーフブリッジ回路からの出力信号と、他の一对の磁気抵抗効果素子12c、12dを含む第2のハーフブリッジ回路からの出力信号との間には、信号強度に差が生じる(S3参照)。これにより、磁界検出ブリッジ回路による被測定電流の測定が可能となる。

20

【0038】

このように、本実施の形態に係る電流センサ1においては、磁気抵抗効果素子12a、12dの強磁性固定層32の磁化方向を同一に揃え、この磁気抵抗効果素子12a、12dの強磁性固定層32の磁化方向に対して、磁気抵抗効果素子12b、12cの強磁性固定層32の磁化方向を反平行方向(180°異なる方向)に揃える。この構成により、誘導磁界Aにより一对の磁気抵抗効果素子12a、12bから出力される出力信号と、他の一对の磁気抵抗効果素子12c、12dから出力される出力信号とが逆相になると共に、外乱ノイズBにより一对の磁気抵抗効果素子12a、12bから出力される出力信号と、他の一对の磁気抵抗効果素子12c、12dから出力される出力信号とが等しくなる。このため、一对の磁気抵抗効果素子12a、12bからの出力信号と、他の一对の磁気抵抗効果素子12c、12dからの出力信号との差動出力を得ることにより、誘導磁界Aによる出力信号の加算及び外乱ノイズの相殺が可能となるので、測定精度及び検出感度を向上できる。したがって、検出感度及び測定精度が高い電流センサを実現できる。

30

40

【0039】

次に、電流センサ1の積層構造について詳細に説明する。図5は、図2に示す電流センサ1のV-V線における矢視断面図である。同図に示すように、本実施の形態に係る電流センサ1においては、磁界検出ブリッジ回路(磁気抵抗効果素子12a~12d)、及び導電体13が同一基板11上に積層されている。

【0040】

図5に示す電流センサ1においては、基板11上に絶縁層であるシリコン酸化膜21が形成されている。シリコン酸化膜21上には、アルミニウム酸化膜22が形成されている。アルミニウム酸化膜22は、例えば、スパッタリングなどの方法により成膜することができる。また、基板11としては、シリコン基板などが用いられる。

50

【0041】

アルミニウム酸化膜22上には、磁気抵抗効果素子12a~12dが配設され、磁界検出ブリッジ回路が形成される。磁気抵抗効果素子12a~12dとしては、TMR素子(トンネル型磁気抵抗効果素子)、GMR素子(巨大磁気抵抗効果素子)などを用いることができる。磁気抵抗効果素子12a~12dの両端部には、磁気抵抗効果素子12a~12dのフリー磁性層37にバイアス磁界を印加するハードバイアス層14が設けられる。

【0042】

磁気抵抗効果素子12a~12d及びハードバイアス層14上には、絶縁層23を介して導電体13(被測定電流線)が積層される。導電体13は、下地材料をスパッタリング法などにより成膜した後に、フォトリソグラフィ及びめっきにより形成することができる。

10

【0043】

導電体13上には、絶縁層24を介して磁気抵抗効果素子12a~12dへの外乱ノイズを吸収する磁気シールド25が設けられる。また、導電体13の両端部には、電極パッド13a、13bが形成される。電極パッド13a、13bは、電極材料を成膜した後に、フォトリソグラフィ及びめっきにより形成することができる。

【0044】

絶縁層23、24としては、例えば、ポリイミド材料を塗布し、硬化することで形成したポリイミド層などを用いることができる。磁気シールド25を構成する材料としては、アモルファス磁性材料、パーマロイ系磁性材料、又は鉄系微結晶材料等の高透磁率材料を用いることができる。

20

【0045】

磁気シールド25上には、シリコン酸化膜26が積層される。シリコン酸化膜26は、例えば、スパッタリングなどの方法により成膜することができる。

【0046】

絶縁層24及びシリコン酸化膜26の所定の領域(電極パッド13a、13bの形成領域)にはコンタクトホール27が形成され、このコンタクトホール27に電極パッド13a、13bが形成されている。コンタクトホール27の形成には、フォトリソグラフィ及びエッチングなどが用いられる。

【0047】

上記構成を有する電流センサ1は、磁気検出ブリッジ回路が膜構成の同じ4つの磁気抵抗効果素子12a~12dで構成されているので、素子間におけるゼロ磁場抵抗値(R_0)や抵抗温度係数(TCR_0)のズレを無くすることができる。このため、環境温度によらず中点電位のばらつきを小さくでき、高精度に電流測定を行うことができる。また、上記構成を有する電流センサ1は、導電体13、磁気シールド25及び磁界検出ブリッジ回路(磁気抵抗効果素子12a~12d)が同一基板上に積層されてなるので、小型化を図ることができる。さらに、この電流センサ1は、磁気コアを有しない構成であるので、小型化、低コスト化を図ることができる。

30

【0048】

次に、図6を参照して本実施の形態に係る電流センサ1の積層構造について説明する。図6は、本実施の形態に係る電流センサ1の磁気抵抗効果素子12a~12dの積層構造を示す断面模式図である。

40

【0049】

図6に示すように、磁気抵抗効果素子12a~12dは、アルミニウム酸化膜22上に積層される。磁気抵抗効果素子12a~12dは、シード層31、強磁性固定層32(第1の強磁性膜33、反平行結合膜34、及び第2の強磁性膜35)、非磁性中間層36、フリー磁性層37、及び保護層38がこの順に積層されて構成される。

【0050】

磁気抵抗効果素子12a~12dにおいては、反平行結合膜34を介して第1の強磁性膜33と第2の強磁性膜35とを反強磁性的に結合させており、いわゆるセルフピン止め

50

型の強磁性固定層32 (SFP: Synthetic Ferrimagnetic Pinned層) が構成されている。このように、セルフピン止め型の (Bottom-Spin-Value) の磁気抵抗効果素子12a~12dを構成することにより、磁気抵抗効果素子12a~12dの製造工程において、従来の磁気抵抗効果素子において必須である強磁性固定層32の磁化方向の固定のための磁場中アニールが不要となり、フリー磁性層37成膜中に付与したストライプ長手方向D1における誘導磁気異方性を保持できる。これにより、検出対象方向に対してヒステリシスを低減することが可能となる。

【0051】

この強磁性固定層32において、反平行結合膜34の厚さを0.3nm~0.45nm、もしくは、0.75nm~0.95nmにすることにより、第1の強磁性膜33と第2の強磁性膜35との間に強い反強磁性結合をもたらすことができる。

10

【0052】

第1の強磁性膜33の磁化量 ($M_s \cdot t$) と第2の強磁性膜35の磁化量 ($M_s \cdot t$) とは実質的に同じである。すなわち、第1の強磁性膜33と第2の強磁性膜35との間で磁化量の差が実質的にゼロである。このため、強磁性固定層32の実効的な異方性磁界が大きい。したがって、反強磁性材料を用いなくても、強磁性固定層32の磁化安定性を十分に確保できる。これは、第1の強磁性膜33の膜厚を t_1 とし、第2の強磁性膜35の膜厚を t_2 とし、両層の単位体積あたりの磁化及び誘導磁気異方性定数をそれぞれ M_s , K とすると、SFP層の実効的な異方性磁界が下記関係式(1)で示されるためである。したがって、本実施の形態に係る電流センサ1に用いる磁気抵抗効果素子12a~12d

20

は、反強磁性層を有しない膜構成を有する。

$$\text{式(1)} \quad \text{eff } H_k = 2(K \cdot t_1 + K \cdot t_2) / (M_s \cdot t_1 - M_s \cdot t_2)$$

【0053】

第1の強磁性膜33のキュリー温度 (T_c) と第2の強磁性膜35のキュリー温度 (T_c) とは、同一である。これにより、高温環境においても第1の強磁性膜33、第2の強磁性膜35の磁化量 ($M_s \cdot t$) 差がゼロとなり、高い磁化安定性を維持することができる。

【0054】

第1の強磁性膜33は、40原子%~80原子%のFeを含むCoFe合金で構成されていることが好ましい。これは、この組成範囲のCoFe合金が、大きな保磁力を有し、外部磁場に対して磁化を安定に維持できるからである。また、第2の強磁性膜35は、0原子%~40原子%のFeを含むCoFe合金で構成されていることが好ましい。これは、この組成範囲のCoFe合金が小さな保磁力を有し、第1の強磁性膜33が優先的に磁化する方向に対して反平行方向 (180° 異なる方向) に磁化し易くなるためである。この結果、上記関係式(1)で示す H_k をより大きくすることが可能となる。また、第2の強磁性膜35をこの組成範囲に限定することで、磁気抵抗効果素子12a~12dの抵抗変化率を大きくすることができる。

30

【0055】

第1の強磁性膜33及び第2の強磁性膜35は、その成膜中にミアング形状のストライプ幅方向に磁場が印加され、成膜後の第1の強磁性膜33及び第2の強磁性膜35に誘導磁気異方性が付与されることが好ましい。これにより、第1の強磁性膜33及び第2の強磁性膜35は、ストライプ幅方向に反平行に磁化することになる。また、第1の強磁性膜33及び第2の強磁性膜35の磁化方向 (磁化を固定する方向) は、第1の強磁性膜33の成膜時の磁場印加方向で決まるため、第1の強磁性膜33の成膜時の磁場印加方向を変えることにより、同一基板上に磁化方向が異なる強磁性固定層を持つ複数の磁気抵抗効果素子を形成することが可能である。

40

【0056】

シード層31は、NiFeCrあるいはCrなどで構成される。保護層38は、Tなどで構成される。なお、上記積層構造において、アルミニウム酸化膜22とシード層31と

50

の間に、例えば、Ta, Hf, Nb, Zr, Ti, Mo, Wのうち少なくとも1つの元素などの非磁性材料で構成される下地層を設けてもよい。

【0057】

強磁性固定層32の反平行結合膜34は、Ruなどにより構成される。また、フリー磁性層（フリー層）37は、CoFe合金、NiFe合金、CoFeNi合金などの磁性材料で構成される。また、非磁性中間層36は、Cuなどにより構成される。また、フリー磁性層37は、その成膜中にストライプ長手方向D1に磁場が印加され、成膜後のフリー磁性層37には誘導磁気異方性が付与されることが好ましい。これにより、磁気抵抗効果素子12a~12dにおいては、ストライプ長手方向D1に直交するストライプ幅方向の外部磁場（被測定電流からの磁場）に対して線形的に抵抗変化し、ヒステリシスを小さく

10

【0058】

本実施の形態に係る電流センサ1で用いる磁気抵抗効果素子12a~12dの膜構成の例としては、例えば、NiFeCr（シード層31：5nm）/Fe₇₀Co₃₀（第1の強磁性膜33：1.65nm）/Ru（反平行結合膜34：0.4nm）/Co₉₀Fe₁₀（第2の強磁性膜35：2nm）/Cu（非磁性中間層36：2.2nm）/Co₉₀Fe₁₀（フリー磁性層37：1nm）/Ni₈₁Fe₁₉（フリー磁性層37：7nm）/Ta（保護層38：5nm）である。

【0059】

次に、本発明の実施の形態に係る電流センサ1の製造方法について説明する。本実施の形態に係る電流センサ1の製造方法においては、まず、アルミニウム酸化膜22上に、反平行結合膜34を介して第1の強磁性膜33と第2の強磁性膜35とを反強磁性的に結合させてなるセルフピン止め型の強磁性固定層32と、非磁性中間層36と、フリー磁性層37とを有し、特定方向に磁化方向が固定される磁気抵抗効果素子12a~12dの第1積層膜を形成し（第1形成工程）、第1積層膜を残存させる領域以外の領域の第1積層膜をアルミニウム酸化膜22から除去し（除去工程）、第1積層膜を除去したアルミニウム酸化膜22上に、反平行結合膜34を介して第1の強磁性膜33と第2の強磁性膜35とを反強磁性的に結合させてなるセルフピン止め型の強磁性固定層32と、非磁性中間層36と、フリー磁性層37とを有し、上記特定方向と反平行方向に強磁性固定層32の磁化

20

30

【0060】

図7A~図7C及び図8A~図8Cは、本実施の形態に係る電流センサ1における磁気抵抗効果素子12a~12dの製造方法の説明図である。本実施の形態に係る電流センサ1の製造方法においては、磁気抵抗効果素子12a、12dを形成してから、磁気抵抗効果素子12b、12cを形成する。まず、図7Aに示すように、アルミニウム酸化膜22上に、シード層31、第1の強磁性膜33、反平行結合膜34、第2の強磁性膜35、非磁性中間層36、フリー磁性層37、及び保護層38を順次形成する。第1の強磁性膜33及び第2の強磁性膜35の成膜中には、ミアンダ形状のストライプ幅方向に磁場を印加する。図7A~図7Cにおいて、第1の強磁性膜33（Pin1）については、印加磁場方向は紙面奥側から手前側に向かう方向であり、第2の強磁性膜35（Pin2）については、印加磁場方向は紙面手前側から奥側に向かう方向である。ただし、第2の強磁性膜35については、必ずしもこの方向に磁場を印加する必要はない。第1の強磁性膜33と同じ方向でも、無磁場でもよい。これは、反平行結合膜34を介して交換結合が働き、第1の強磁性膜33と反平行方向に必ず磁化方向が決まるからである。この場合、反平行結合膜34の膜厚最適化と第1の強磁性膜33及び第2の強磁性膜35のMs・tの一致が

40

50

重要となる。また、フリー磁性層 37 の成膜中には、ミアンダ形状のストライプ長手方向に磁場を印加する。

【0061】

次いで、図 7 B に示すように、保護層 38 上にレジスト層 40 を形成し、フォトリソグラフィ及びエッチングにより、磁気抵抗効果素子 12 a、12 d の領域上にレジスト層 40 を残存させる。次いで、図 7 C に示すように、イオンミリングなどにより、露出した積層膜を除去して、磁気抵抗効果素子 12 b、12 c を設ける領域のアルミニウム酸化膜 22 を露出させる。

【0062】

次いで、図 8 A に示すように、レジスト層 40 を除去してから、露出したアルミニウム酸化膜 22 上に、シード層 31、第 1 の強磁性膜 33、反平行結合膜 34、第 2 の強磁性膜 35、非磁性中間層 36、フリー磁性層 37、及び保護層 38 を順次形成する。第 1 の強磁性膜 33 及び第 2 の強磁性膜 35 の成膜中には、ミアンダ形状のストライプ幅方向に磁場を印加する。図 8 A ~ 図 8 C において、磁気抵抗効果 12 a、12 d となる第 1 の強磁性膜 33 (Pin 1) については、印加磁場方向は紙面奥側から紙面手前側に向かう方向であり、磁気抵抗効果 12 b、12 c となる第 1 の強磁性膜 33 (Pin 1) については、印加磁場方向は紙面手前側から紙面奥側に向かう方向である。また、磁気抵抗効果 12 a、12 d となる第 2 の強磁性膜 35 (Pin 2) については、印加磁場方向は紙面手前側から紙面奥側に向かう方向であり、磁気抵抗効果 12 b、12 c となる第 2 の強磁性膜 35 (Pin 2) については、印加磁場方向は紙面奥側から紙面手前側に向かう方向である。また、フリー磁性層 37 の成膜中には、ミアンダ形状のストライプ長手方向に磁場を印加する。

【0063】

次いで、図 8 B に示すように、保護層 38 上にレジスト層 40 を形成し、フォトリソグラフィ及びエッチングにより、磁気抵抗効果素子 12 a、12 b、12 c、12 d の形成領域上にレジスト層 40 を残存させる。次いで、図 8 C に示すように、イオンミリングなどにより、露出した積層膜を除去して、図 2 に示すような配置で、磁気抵抗効果素子 12 a、12 b、12 c、12 d を形成する。

【0064】

このような電流センサの製造方法によれば、磁気抵抗効果素子 12 a ~ 12 d の作り込みにおいて段差が生じないので、配線形成が容易であり、配線の厚さを厚くしたり、スルーホール形成などの追加の工程が不要となる。このため、感度軸がそれぞれ異なる複数の磁気抵抗効果素子 12 a ~ 12 d を同一基板 11 上に近接して設けてなる電流センサを簡易に製造することができる。

【0065】

以上説明したように、上記実施の形態に係る電流センサ 1 においては、セルフピン止め型の磁気抵抗効果素子 12 a ~ 12 d を備えることから、反強磁性層を設けることなく強磁性固定層 32 の磁化方向を任意の方向に固定できるので、基板上に 4 つの磁気抵抗効果素子を並設した場合であっても、各磁気抵抗効果素子 12 a ~ 12 d の強磁性固定層 32 の磁化方向を任意の方向に固定できる。これにより、一方向に延在する導電体を用いた電流引き込み型の電流センサを実現できるので、湾曲した形状の導電体を用いる場合と比較して被測定電流が導電体 13 を通流する際の導電体 13 による抵抗を低減でき、被測定電流の損失及び被測定電流の通流による発熱を抑制できる。さらに、被測定電流からの誘導磁界の方向を揃えることができるので、誘導磁界の干渉及び外乱磁界に対する誘導起電力の発生を抑制することができ、測定範囲が広く、測定精度が高い電流センサを実現できる。

【0066】

特に、上記実施の形態においては、一对の磁気抵抗効果素子 12 a、12 b が、導電体 13 の相対的に断面積が大きい第 1 区間 S1 に沿って配設され、他の一对の磁気抵抗効果素子 12 c、12 d が、相対的に断面積が小さい第 2 区間 S2 に沿って配設されるので、

一对の磁気抵抗効果素子 12 a、12 b に対して印加される誘導磁界と、他の一对の磁気抵抗効果素子 12 c、12 d と印加される誘導磁界と、が異なる磁界強度となる。これにより、一对の磁気抵抗効果素子 12 a、12 b から出力される出力信号と、他の一对の磁気抵抗効果素子 12 c、12 d から出力される出力信号と、が異なる信号強度となるので、固定抵抗素子を用いることなく磁界検出ブリッジ回路により被測定電流の測定が可能となる。

【0067】

また、一对の磁気抵抗効果素子 12 a、12 b の強磁性固定層 32 の磁化方向と、他の一对の磁気抵抗効果素子 12 c、12 d の強磁性固定層 32 の磁化方向と、を互いに同一方向に固定するので、外乱ノイズにより一对の磁気抵抗効果素子 12 a、12 b から出力される出力信号と、他の一对の磁気抵抗効果素子 12 c、12 d から出力される出力信号と、が同相となる。さらに、被測定電流により、一对の磁気抵抗効果素子 12 a、12 b に印加される誘導磁界と、他の一对の磁気抵抗効果素子 12 c、12 d に印加される誘導磁界と、が異なる磁界強度となり、一对の磁気抵抗効果素子 12 a、12 b から出力される出力信号と、他の一对の磁気抵抗効果素子 12 c、12 d から出力される出力信号と、が同相で互いに異なる信号強度となるので、差動出力が発生する。この結果、一对の磁気抵抗効果素子 12 a、12 b の出力信号と、他の一对の磁気抵抗効果素子 12 c、12 d の出力信号との差動出力により被測定電流からの誘導磁界に由来する出力信号が得られると共に、外乱ノイズ成分が相殺されるので、検出感度が高く、しかも測定精度が高い電流センサを実現できる。

【0068】

また、上記実施の形態に係る電流センサにおいては、固定抵抗素子を用いることなく磁界検出ブリッジ回路を構成できるので、オフセットを低減することができると共に、一方に延在する導電体を用いても被測定電流を測定することが可能となるので、基板の面積を削減でき、電流センサの小型化及び製造コストの削減が可能となる。また、反強磁性材料を用いずに磁気抵抗効果素子を構成することが可能となるので、高温環境下においても電流センサ 1 の動作の安定性を確保できると共に、反強磁性材料を用いないことによる材料コストの低減や、磁場中のアニール処理が不要となるので、製造コストの低減が可能となる。

【0069】

また、上記実施の形態に係る電流センサにおいては、磁気検出ブリッジ回路が膜構成の同じ4つの磁気抵抗効果素子で構成されているので、素子間におけるゼロ磁場抵抗値 (R_0) や抵抗温度係数 (TCR_0) のズレを無くすることができる。このため、環境温度によらず中点電位のばらつきを小さくでき、被測定電流の測定精度を向上できる。

【0070】

なお、上記実施の形態においては、導電体 13 の電極パッド 13 a 側の領域を第1区間 S1 として一对の磁気抵抗効果素子 12 a、12 b を配設し、導電体 13 の電極パッド 13 b 側の領域を第2区間 S2 として他の一对の磁気抵抗効果素子 12 c、12 d を配設した構成について説明したが、磁気抵抗効果素子 12 a ~ 12 d の配置は、一对の磁気抵抗効果素子 12 a、12 b 及び他の一对の磁気抵抗効果素子 12 c、12 d からそれぞれ異なる信号強度の出力信号が出力される配置であれば適宜変更可能である。例えば、導電体 13 の延在方向 D1 における両端部をそれぞれ第1区間 S1 として一对の磁気抵抗効果素子 12 a、12 b をそれぞれ配設し、当該第1区間 S1 の間の区間を第2区間 S2 として、他の一对の磁気抵抗効果素子 12 c、12 d を配設してもよい。また、導電体 13 の延在方向 D1 において、導電体 13 の電極パッド 13 a 側から電極パッド 13 b 側に向けて交互に第1区間 S1 と第2区間 S2 とを設けて、一对の磁気抵抗効果素子 12 a、12 b と、他の一对の磁気抵抗効果素子 12 c、12 d とを配設してもよい。

【0071】

また、上記実施の形態においては、第1区間 S1 の幅寸法 L1 と、第2区間 S2 の幅寸法 L2 と、を異なる大きさとすることで、互いに異なる断面積の第1区間 S1 及び第2区

10

20

30

40

50

間S 2を有する導電体1 3とする構成について説明したが、第1区間S 1及び第2区間S 2の断面積を異ならせる構成については、一对の磁気抵抗効果素子1 2 a、1 2 b及び他の一对の磁気抵抗効果素子1 2 c、1 2 dからそれぞれ異なる信号強度の出力信号が出力されれば適宜変更可能である。例えば、導電体1 3の幅寸法L 1、L 2を同一とし、導電体1 3の延在方向D 1及び幅方向D 2に互いに直交する高さ方向D 3の寸法(厚み)を異なる大きさとすることで異なる断面積の第1区間S 1及び第2区間S 2を有する導電体1 3としてもよい。

【0072】

(第2の実施の形態)

次に、本発明の第2の実施の形態について説明する。以下においては、上記第1の実施の形態に係る電流センサ1との相違点を中心に説明し、説明の重複を避ける。なお、上記第1の実施の形態に係る電流センサ1と同一の構成要素には、同一の符号を付している。

【0073】

図9は、本実施の形態に係る電流センサ2の平面模式図であり、図10は、図9 X-X線における断面模式図である。本実施の形態に係る電流センサ2において、導電体5 1は、一方向に延在するように設けられており、均一の幅寸法L 1を有している。磁気抵抗効果素子1 2 a~1 2 dは、導電体5 1の延在方向D 1に沿って並設される。

【0074】

電流センサ2においては、基板1 1上の一对の磁気抵抗効果素子1 2 a、1 2 bが配設される電極パッド1 3 a側の領域と、他の一对磁気抵抗効果素子1 2 c、1 2 dが配設される電極パッド1 3 b側の領域とで積層構造が異なる。電流センサ2においては、一对の磁気抵抗効果素子1 2 a、1 2 bが、第1区間S 1において第1平面内(F 1参照)に配設され、他の一对の磁気抵抗効果素子1 2 c、1 2 dが、第2区間S 2において第2平面内(F 2参照)に配設される。このため、電流センサ2においては、導電体1 3の高さ方向D 3における一对の磁気抵抗効果素子1 2 a、1 2 bと導電体1 3との間の距離L 3と、他の一对の磁気抵抗効果素子1 2 c、1 2 dと導電体1 3との間の距離L 4とが互いに異なるので、一对の磁気抵抗効果素子1 2 a、1 2 bに印加される誘導磁界と、他の一对の磁気抵抗効果素子1 2 c、1 2 dに印加される誘導磁界と、異なる磁界強度となる。この結果、一对の磁気抵抗効果素子1 2 a、1 2 bから出力される出力信号と、他の一对の磁気抵抗効果素子1 2 c、1 2 dから出力される出力信号と、異なる信号強度となるので、磁界検出ブリッジ回路による被測定電流の測定が可能となる。

【0075】

電極パッド1 3 a側の領域では、基板1 1上にシリコン酸化膜2 1が設けられ、このシリコン酸化膜2 1上にアルミニウム酸化膜2 2を介して磁気抵抗効果素子1 2 a、1 2 bが配設される。磁気抵抗効果素子1 2 a、1 2 bの両端部には、磁気抵抗効果素子1 2 a、1 2 bのフリー磁性層3 7にバイアス磁界を印加するハードバイアス層1 4が設けられる。磁気抵抗効果素子1 2 a、1 2 b上には、絶縁層2 3、アルミニウム酸化膜5 2、絶縁層5 3、及び導電体5 1などが積層される。

【0076】

電極パッド1 3 b側の領域では、基板1 1上にシリコン酸化膜2 1、アルミニウム酸化膜2 2、絶縁層2 3がこの順で積層され、この絶縁層2 3上にアルミニウム酸化膜5 2を介して磁気抵抗効果素子1 2 c、1 2 dが配設される。磁気抵抗効果素子1 2 c、1 2 dの両端部には、磁気抵抗効果素子1 2 c、1 2 dのフリー磁性層3 7にバイアス磁界を印加するハードバイアス層1 4が設けられる。磁気抵抗効果素子1 2 a、1 2 b上には、絶縁層5 3、導電体5 1などが積層される。その他の積層構造は、第1の実施の形態に係る電流センサ1と同一であるため、説明を省略する。

【0077】

このように、電流センサ2においては、導電体5 1の電極パッド1 3 a側の領域と、電極パッド1 3 b側の領域とで異なる積層構造を有し、一对の磁気抵抗効果素子1 2 a、1 2 bと導電体1 3との間の距離L 3が、他の一对の磁気抵抗効果素子1 2 c、1 2 bと導

10

20

30

40

50

電体 1 3 との間の距離 L_4 に対して大きくなる。この構成により、一对の磁気抵抗効果素子 1 2 a、1 2 b に対して印加される誘導磁界の磁界強度が、他の一对の磁気抵抗効果素子 1 2 c、1 2 d に対して印加される誘導磁界の磁界強度より相対的に小さくなる。これにより、一对の磁気抵抗効果素子 1 2 a、1 2 b から出力される出力信号と、他の一对の磁気抵抗効果素子 1 2 c、1 2 d から出力される出力信号とが異なる信号強度となるので、磁界検出ブリッジ回路による被測定電流の測定が可能となる。

【0078】

(第3の実施の形態)

次に、本発明の第3の実施の形態について説明する。以下においては、上記第1及び第2の実施の形態に係る電流センサ1、2との相違点を中心に説明し、説明の重複を避ける。なお、上記第1の実施の形態に係る電流センサ1と同一の構成要素には、同一の符号を付している。

【0079】

図11は、本実施の形態に係る電流センサ3の断面模式図である。本実施の形態に係る電流センサ3において、導電体61は、同一方向に延在する第1及び第2の導電路61a、61bと、この第1の導電路61aと第2の導電路61bと接続する第3の導電路61cとを有する。第1及び第2の導電路61a、61bは、基板11表面に対して平行に延在するように設けられており、導電体61の延在方向D1に直交する高さ方向D3における相対位置が互いに異なるように設けられる。本実施の形態においては、第1の導電路61aが第1区間S1となり、第2の導電路61bが第2区間S2となる。

【0080】

本実施の形態においては、導電体61は、基板11表面と第1の導電路61aとの間の距離が、基板11表面と第2の導電路61bとの間の距離より小さくなるように設けられる。第1の導電路61aの一端側には、電極パッド13aが設けられ、第2の導電路61bの他端側には、電極パッド13bが設けられる。第1の導電路61aの他端部と第2の導電路61bの一端部とは、第3の導電路61cにより接続される。

【0081】

磁気抵抗効果素子12a～12dは、導電体61の延在方向に沿って並設されており、同一平面内(F3参照)に配設される。一对の磁気抵抗効果素子12a、12bが、第1の導電路61aに沿って配設され、他の一对の磁気抵抗効果素子12c、12dが、第2の導電路61bに沿って配設される。本実施の形態においては、導電体13の延在方向D1に直交する高さ方向D3において、一对の磁気抵抗効果素子12a、12bと第1の導電体61aとの間の距離 L_5 が、他の一对の磁気抵抗効果素子12c、12dと第2の導電路61bとの間の距離 L_6 に対して相対的に小さくなるように配設される。なお、磁気抵抗効果素子12a～12dは、被測定電流からの誘導磁界により一对の磁気抵抗効果素子12a、12bから出力される出力信号と、他の一对の磁気抵抗効果素子12c、12dから出力される出力信号とが異なる信号強度となる配置であれば、同一平面内に配設される構成に限定されない。

【0082】

このように、本実施の形態に係る電流センサ3においては、一对の磁気抵抗効果素子12a、12bと第1の導電路61aとの間の距離 L_5 が、他の一对の磁気抵抗効果素子12c、12dと第2の導電路61bとの間の距離 L_6 より小さくなるので、一对の磁気抵抗効果素子12a、12bに対して印加される誘導磁界の磁界強度が、他の一对の磁気抵抗効果素子12c、12dに対して印加される誘導磁界の磁界強度に対して相対的に大きくなる。これにより、一对の磁気抵抗効果素子12a、12bから出力される出力信号と、他の一对の磁気抵抗効果素子12c、12dから出力される出力信号とが異なる信号強度となるので、磁界検出ブリッジ回路による被測定電流の測定が可能となる。

【0083】

(第4の実施の形態)

次に本発明の第4の実施の形態について説明する。以下においては、上記第1、第2、

及び第3の実施の形態に係る電流センサ1、2、3との相違点を中心に説明し、説明の重複を避ける。なお、上記第1、第2、及び第3の実施の形態に係る電流センサ1、2、3と同一の構成要素には、同一の符号を付している。

【0084】

図12は、本実施の形態に係る電流センサ4の断面模式図である。本実施の形態に係る電流センサ4においては、一对の磁気抵抗効果素子12a、12bと、他の一对の磁気抵抗効果素子12c、12dとは、被測定電流Iからの誘導磁界の印加方向が、互いに逆方向から印加されるように配設される。本実施の形態においては、一对の磁気抵抗効果素子12a、12bが、導電体13の電極パッド13a側の第1区間S1において、断面視にて導電体13の延在方向に対する下面側に配設され、他の一对の磁気抵抗効果素子12c、12dが、導電体13の電極パッド13b側の第2区間S2において、断面視にて導電体13の延在方向に対する上面側に配設される。この構成により、被測定電流Iが導電体13を電極パッド13a側から電極パッド13b側に通流する際の誘導磁界が、一对の磁気抵抗効果素子12a、12bに対しては、紙面手前側から紙面奥側に向けて印加され、他の一对の磁気抵抗効果素子12c、12dに対しては、紙面奥側から紙面手前側に向けて印加される。これにより、一对の磁気抵抗効果素子12a、12bから出力される出力信号と、他の一对の磁気抵抗効果素子12c、12dから出力される出力信号とが逆相となるので、被測定電流の測定が可能となる。

10

【0085】

電極パッド13a側の領域では、基板11上にシリコン酸化膜21が設けられ、このシリコン酸化膜21上にアルミニウム酸化膜22を介して磁気抵抗効果素子12a、12bが配設される。磁気抵抗効果素子12a、12bの両端部には、磁気抵抗効果素子12a、12bのフリー磁性層37にバイアス磁界を印加するハードバイアス層14が設けられる。磁気抵抗効果素子12a、12b上には、絶縁層24、導電体13、絶縁層24、アルミニウム酸化膜52、及びシリコン酸化膜26がこの順で積層される。

20

【0086】

電極パッド13b側の領域では、基板11上にシリコン酸化膜21、アルミニウム酸化膜22、絶縁層23、導電体13、及び絶縁層24がこの順で積層され、この絶縁層24上にアルミニウム酸化膜52を介して磁気抵抗効果素子12c、12dが配設される。磁気抵抗効果素子12c、12dの両端部には、磁気抵抗効果素子12c、12dのフリー磁性層37にバイアス磁界を印加するハードバイアス層14が設けられる。磁気抵抗効果素子12c、12d上には、シリコン酸化膜26が積層される。その他の積層構造は、第1、第2、及び第3の実施の形態に係る電流センサ1、2、3と同一であるため、説明を省略する。

30

【0087】

このように、本実施の形態に係る電流センサ4においては、一对の磁気抵抗効果素子12a、12bと、他の一对の磁気抵抗効果素子12c、12dとは、被測定電流からの誘導磁界の印加方向が互いに逆方向から印加されるように配設される。この構成により、被測定電流が導電体13を通流する際に生じる誘導磁界が、一对の磁気抵抗効果素子12a、12bに対しては、紙面手前から紙面奥側に向けて印加され、他の一对の磁気抵抗効果素子12c、12dに対しては、紙面奥側から紙面手前側に向けて印加される。このように、一对の磁気抵抗効果素子12a、12bに対する誘導磁界の印加方向と、他の一对の磁気抵抗効果素子12c、12dに対する誘導磁界の印加方向とが互いに異なる方向となるので、一对の磁気抵抗効果素子12a、12bから出力される出力信号と、他の一对の磁気抵抗効果素子12c、12dから出力される出力信号とが異なる信号強度となる。これにより、磁界検出ブリッジ回路による被測定電流の検出が可能となる。

40

【0088】

なお、本発明は上記実施の形態に限定されず、種々変更して実施することが可能である。上記実施の形態において、「同一」、「平行」、「反平行」、「同相」、「逆相」などの用語については、本発明の効果を発揮する範囲内であれば、完全な「同一」、「平行」

50

、「反平行」、「同相」、「逆相」でなくともよい。また、上記実施の形態において、「反平行」とは、互いに180°異なる方向であって、逆方向のことをいう。さらに、上記実施の形態において、添付図面に図示されている大きさや形状などについては、これに限定されず、本発明の効果を発揮する範囲内で適宜変更することが可能である。その他、本発明の目的の範囲を逸脱しない限りにおいて適宜変更して実施することが可能である。

【産業上の利用可能性】

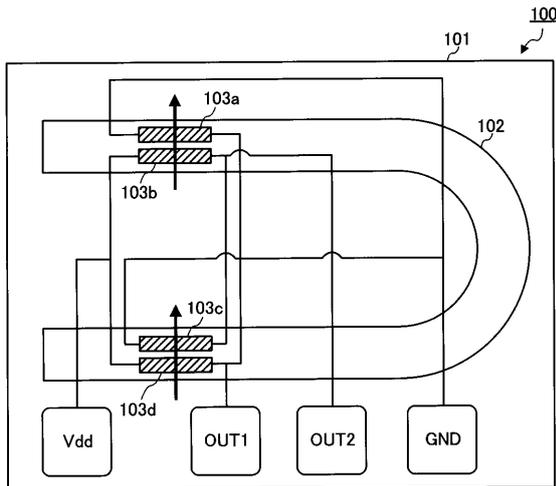
【0089】

本発明は、高温での動作安定性に優れ、測定精度が高い電流センサ実現できるという効果を有し、特に、各種電流センサや、電気自動車のモータ駆動用の電流の大きさを検出する電流センサに適用することが可能である。

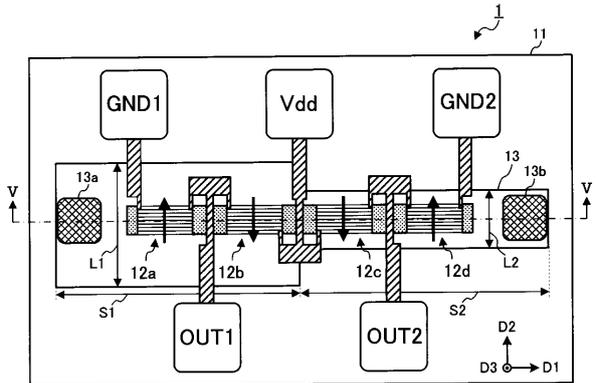
【0090】

本出願は、2011年3月2日出願の特願2011-044711に基づく。この内容は、全てここに含めておく。

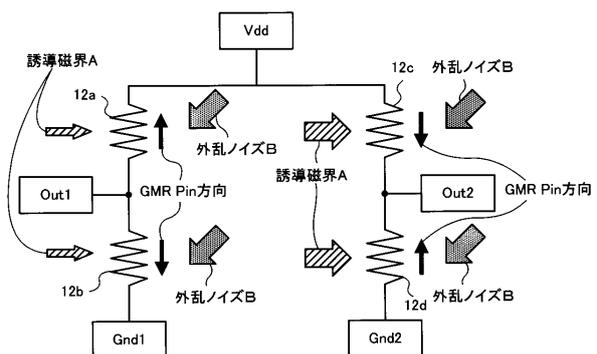
【図1】



【図2】



【図3】



【 図 4 】

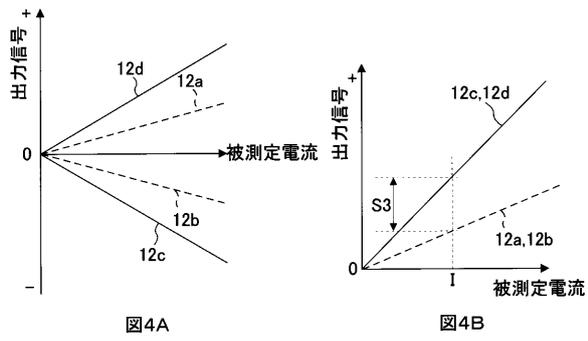
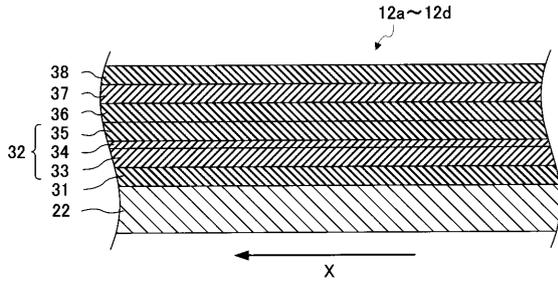


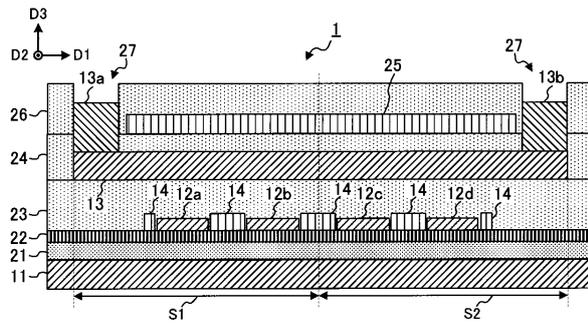
図4A

図4B

【 図 6 】



【 図 5 】



【 図 7 】

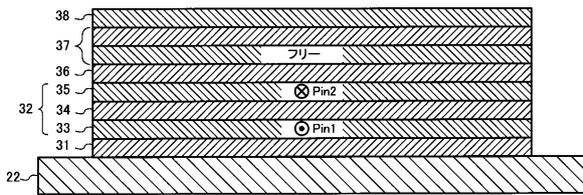


図7A

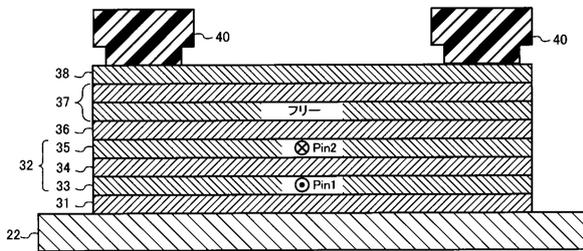


図7B

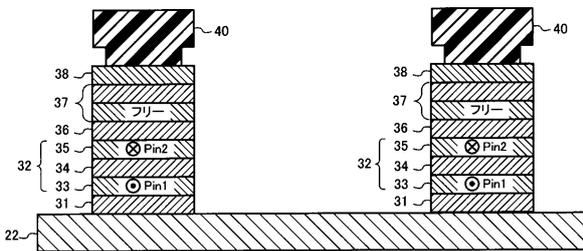


図7C

【 図 8 】

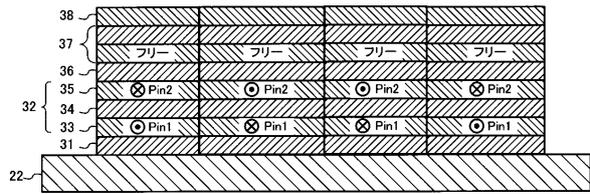


図8A

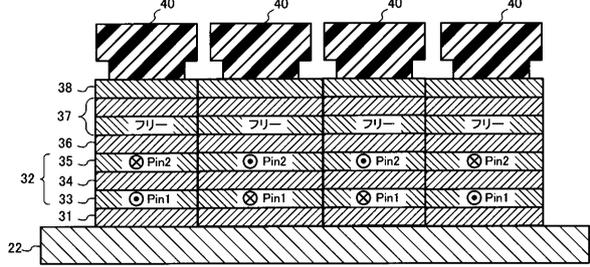


図8B

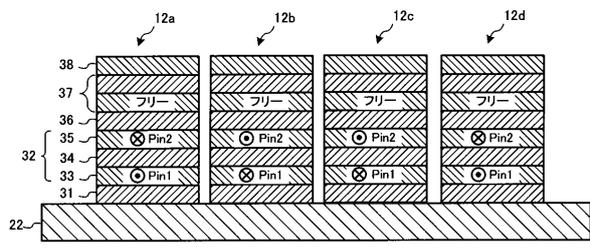
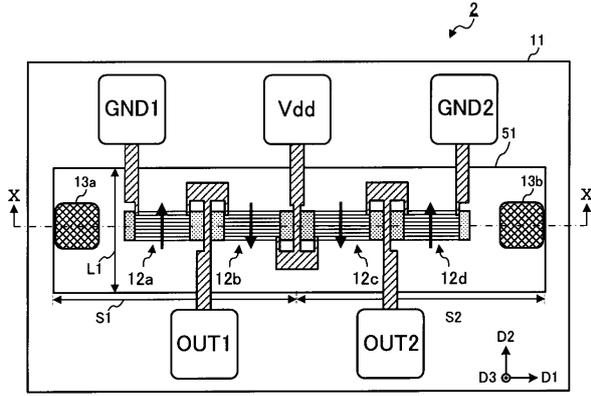
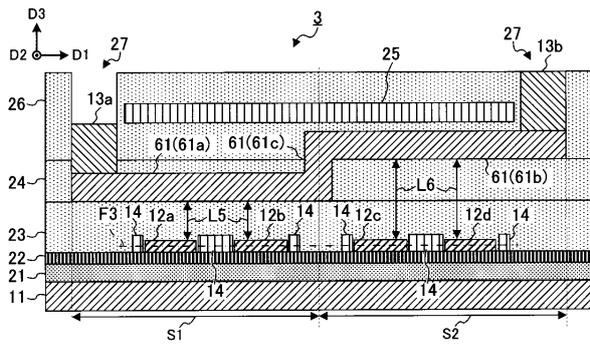


図8C

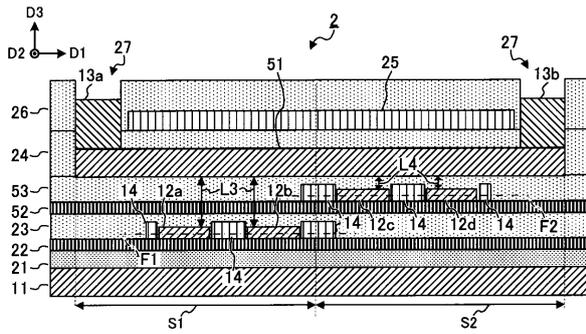
【図9】



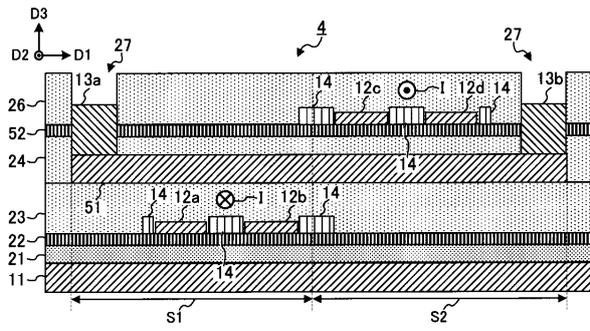
【図11】



【図10】



【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 西山 義弘
東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス・グリーンデバイス株式会社内

審査官 堀 圭史

(56)参考文献 特開平1-105178(JP,A)
特開2009-180604(JP,A)
特表2005-529338(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01R 15/14-26
G01R 19/00-32
G01R 1/20-26
G01R 21/08-09
G01R 33/02-10
H01F 27/42
H01F 38/20-40
H01L 43/08