

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7426956号  
(P7426956)

(45)発行日 令和6年2月2日(2024.2.2)

(24)登録日 令和6年1月25日(2024.1.25)

(51)国際特許分類 F I  
G 0 1 R 33/09 (2006.01) G 0 1 R 33/09  
H 1 0 N 50/10 (2023.01) H 1 0 N 50/10 B

請求項の数 4 (全33頁)

(21)出願番号	特願2021-3268(P2021-3268)	(73)特許権者	000003078 株式会社東芝 東京都港区芝浦一丁目1番1号
(22)出願日	令和3年1月13日(2021.1.13)	(74)代理人	110004026 弁理士法人 i X
(65)公開番号	特開2022-108344(P2022-108344 A)	(72)発明者	岩崎 仁志 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会 社東芝内
(43)公開日	令和4年7月26日(2022.7.26)	(72)発明者	白鳥 聡志 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会 社東芝内
審査請求日	令和5年2月14日(2023.2.14)	(72)発明者	喜々津 哲 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会 社東芝内
		(72)発明者	東 祥弘

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 磁気センサ及び検査装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1磁気素子と、

第2磁気素子と、

第3磁気素子と、

第4磁気素子と、

前記第1磁気素子に沿う第1対応部を含む導電部材と、

前記第1磁気素子に素子電流を供給可能な素子電流回路と、

前記第1対応部に交流成分を含む第1電流を供給可能な第1電流回路と、

を備え、

前記第1電流は、

第1極性の第1電流値の第1期間と、

前記第1極性の第1パルス電流値の第1パルス期間と、

前記第1極性とは異なる第2極性の第2電流値の第2期間と、

前記第2極性の第2パルス電流値の第2パルス期間と、

を含み、

前記第1パルス電流値の絶対値は、前記第1電流値の絶対値よりも大きく、前記第2電流値の絶対値よりも大きく、

前記第2パルス電流値の絶対値は、前記第1電流値の前記絶対値よりも大きく、前記第2電流値の前記絶対値よりも大きく、

前記第 1 パルス期間は、前記第 1 期間よりも短く、前記第 2 期間よりも短く、  
 前記第 2 パルス期間は、前記第 1 期間よりも短く、前記第 2 期間よりも短く、  
 前記第 1 磁気素子は、第 1 端部及び第 1 他端部を含み、前記第 1 端部から前記第 1 他端部への方向は、第 1 方向に沿い、

前記第 2 磁気素子は、第 2 端部及び第 2 他端部を含み、前記第 2 端部から前記第 2 他端部への方向は、前記第 1 方向に沿い、

前記第 3 磁気素子は、第 3 端部及び第 3 他端部を含み、前記第 3 端部から前記第 3 他端部への方向は、前記第 1 方向に沿い、

前記第 4 磁気素子は、第 4 端部及び第 4 他端部を含み、前記第 4 端部から前記第 4 他端部への方向は、前記第 1 方向に沿い、

前記導電部材は、

前記第 2 磁気素子に沿う第 2 対応部と、

前記第 3 磁気素子に沿う第 3 対応部と、

前記第 4 磁気素子に沿う第 4 対応部と、

を含み、

前記第 1 対応部は、前記第 1 端部に対応する第 1 部分と、前記第 1 他端部に対応する第 1 他部分と、を含み、

前記第 2 対応部は、前記第 2 端部に対応する第 2 部分と、前記第 2 他端部に対応する第 2 他部分と、を含み、

前記第 3 対応部は、前記第 3 端部に対応する第 3 部分と、前記第 3 他端部に対応する第 3 他部分と、を含み、

前記第 4 対応部は、前記第 4 端部に対応する第 4 部分と、前記第 4 他端部に対応する第 4 他部分と、を含み、

前記素子電流回路は、前記第 2 磁気素子、前記第 3 磁気素子及び前記第 4 磁気素子に前記素子電流を供給可能であり、

前記第 1 電流回路は、前記第 2 対応部、前記第 3 対応部及び前記第 4 対応部に前記第 1 電流を供給可能であり、

前記第 1 他端部は、前記第 2 端部と電氣的に接続され、

前記第 1 端部は、前記第 3 端部と電氣的に接続され、

前記第 3 他端部は、前記第 4 端部と電氣的に接続され、

前記第 2 他端部は、前記第 4 他端部と電氣的に接続され、

前記素子電流回路は、前記第 1 端部及び前記第 3 端部の第 1 接続点と、前記第 2 他端部と前記第 4 他端部の第 2 接続点と、の間に前記素子電流を供給可能であり、

前記第 1 部分は、前記第 3 部分と電氣的に接続され、

前記第 1 他部分は、前記第 2 部分と電氣的に接続され、

前記第 3 他部分は、前記第 4 部分と電氣的に接続され、

前記第 2 他部分は、前記第 4 他部分と電氣的に接続され、

前記第 1 電流回路は、前記第 1 他部分及び前記第 2 部分の第 5 接続点と、前記第 3 他部分と前記第 4 部分の第 6 接続点と、の間に前記第 1 電流を供給可能である、磁気センサ。

#### 【請求項 2】

前記第 1 パルス電流値の前記絶対値は、前記第 1 電流値の前記絶対値の 10 倍以上であり、前記第 2 電流値の前記絶対値の 10 倍以上であり、

前記第 2 パルス電流値の前記絶対値は、前記第 1 電流値の前記絶対値の 10 倍以上であり、前記第 2 電流値の前記絶対値の 10 倍以上である、請求項 1 記載の磁気センサ。

#### 【請求項 3】

前記第 1 磁気素子の電気抵抗は、前記第 1 電流値の前記絶対値を大きくすると上昇し、前記電気抵抗は、前記第 2 電流値の前記絶対値を大きくすると上昇する、請求項 1 または 2 に記載の磁気センサ。

#### 【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 つに記載の磁気センサと、

10

20

30

40

50

前記磁気センサから出力される信号を処理可能な処理部と、  
を備え、

前記磁気センサは、検査対象に流れる電流により生じる磁界を検出できる、検査装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、磁気センサ及び検査装置に関する。

【背景技術】

【0002】

磁性層を用いた磁気センサがある。磁気センサを用いた検査装置がある。磁気センサに  
10  
おいて、感度の向上が望まれる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開2018-155719号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明の実施形態は、感度の向上が可能な磁気センサ及び検査装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の実施形態によれば、磁気センサは、第1磁気素子と、前記第1磁気素子に沿う  
第1対応部を含む導電部材と、前記第1磁気素子に素子電流を供給可能な素子電流回路と  
、前記第1対応部に交流成分を含む第1電流を供給可能な第1電流回路と、を含む。前記  
第1電流は、第1極性の第1電流値の第1期間と、前記第1極性の第1パルス電流値の第  
1パルス期間と、前記第1極性とは異なる第2極性の第2電流値の第2期間と、前記第2  
極性の第2パルス電流値の第2パルス期間と、を含む。前記第1パルス電流値の絶対値は  
、前記第1電流値の絶対値よりも大きく、前記第2電流値の絶対値よりも大きい。前記第  
2パルス電流値の絶対値は、前記第1電流値の前記絶対値よりも大きく、前記第2電流値  
の前記絶対値よりも大きい。前記第1パルス期間は、前記第1期間よりも短く、前記第2  
10  
20  
30  
期間よりも短い。前記第2パルス期間は、前記第1期間よりも短く、前記第2期間よりも  
短い。

【図面の簡単な説明】

【0006】

【図1】図1(a)～図1(c)は、第1実施形態に係る磁気センサを例示する模式図で  
ある。

【図2】図2(a)及び図2(b)は、第1実施形態に係る磁気センサを例示する模式図  
である。

【図3】図3(a)及び図3(b)は、第1実施形態に係る磁気センサの特性を例示する  
模式図である。  
40

【図4】図4(a)及び図4(b)は、第1実施形態に係る磁気センサの特性を例示する  
模式図である。

【図5】図5は、第1実施形態に係る磁気センサの特性を例示する模式図である。

【図6】図6は、第1実施形態に係る磁気センサの特性を例示する模式図である。

【図7】図7(a)～図7(c)は、第1実施形態に係る磁気センサの特性を例示するグ  
ラフ図である。

【図8】図8(a)及び図8(b)は、第1実施形態に係る磁気センサを例示する模式図  
である。

【図9】図9は、第2実施形態に係る磁気センサを例示する模式図である。

【図10】図10(a)～図10(d)は、第2実施形態に係る磁気センサを例示する模  
50

式図である。

【図 1 1】図 1 1 ( a ) ~ 図 1 1 ( c ) は、第 2 実施形態に係る磁気センサを例示する模式的平面図である。

【図 1 2】図 1 2 ( a ) ~ 図 1 2 ( f ) は、第 2 実施形態に係る磁気センサを例示する模式的断面図である。

【図 1 3】図 1 3 ( a ) 及び図 1 3 ( b ) は、第 2 実施形態に係る磁気センサを例示する模式的平面図である。

【図 1 4】図 1 4 ( a ) 及び図 1 4 ( b ) は、第 2 実施形態に係る磁気センサを例示する模式的平面図である。

【図 1 5】図 1 5 は、第 3 実施形態に係る検査装置を例示する模式図である。

10

【図 1 6】図 1 6 は、第 3 実施形態に係る検査装置を例示する模式図である。

【図 1 7】図 1 7 は、第 3 実施形態に係る検査装置を示す模式的斜視図である。

【図 1 8】図 1 8 は、第 3 実施形態に係る検査装置を示す模式的平面図である。

【図 1 9】図 1 9 は、第 3 実施形態に係る磁気センサ及び検査装置を示す模式図である。

【図 2 0】図 2 0 は、第 3 実施形態に係る検査装置を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0007】

以下に、本発明の各実施の形態について図面を参照しつつ説明する。

図面は模式的または概念的なものであり、各部分の厚さと幅との関係、部分間の大きさの比率などは、必ずしも現実のものと同じとは限らない。同じ部分を表す場合であっても、図面により互いの寸法や比率が異なって表される場合もある。

20

本願明細書と各図において、既出の図に関して前述したものと同様の要素には同一の符号を付して詳細な説明は適宜省略する。

【0008】

(第 1 実施形態)

図 1 ( a ) ~ 図 1 ( c ) は、第 1 実施形態に係る磁気センサを例示する模式図である。図 1 ( a ) は、平面図である。図 1 ( b ) は、断面図の 1 つの例である。図 1 ( c ) は、断面図の別の例である。

【0009】

図 1 ( a ) に示すように、実施形態に係る磁気センサ 1 1 0 は、第 1 磁気素子 1 1 E、導電部材 2 0、素子電流回路 7 5、及び、第 1 電流回路 7 1 を含む。

30

【0010】

導電部材 2 0 は、第 1 対応部 2 1 を含む。第 1 対応部 2 1 は、第 1 磁気素子 1 1 E に沿う。

【0011】

第 1 磁気素子 1 1 E は、第 1 端部 1 1 E e 及び第 1 他端部 1 1 E f を含む。第 1 端部 1 1 E e から第 1 他端部 1 1 E f への方向を第 1 方向とする。第 1 方向を Y 軸方向とする。Y 軸方向に対して垂直な方向を X 軸方向とする。Y 軸方向及び X 軸方向に対して垂直な方向を Z 軸方向とする。

【0012】

40

第 1 磁気素子 1 1 E の第 1 方向 ( Y 軸方向 ) に沿う長さを第 1 長さ L 1 とする。第 1 磁気素子 1 1 E の第 2 方向に沿う長さを第 1 幅 w 1 とする。第 2 方向は、第 1 方向と交差する。第 2 方向は、例えば X 軸方向である。第 1 長さ L 1 は、第 1 幅 w 1 よりも長い。

【0013】

図 1 ( b ) 及び図 1 ( c ) に示すように、例えば、第 1 磁気素子 1 1 E から第 1 対応部 2 1 への方向は、第 3 方向に沿う。第 3 方向は、第 1 方向及び第 2 方向を含む平面と交差する。第 3 方向は、例えば Z 軸方向である。この例では、第 1 対応部 2 1 は、Z 軸方向において、第 1 磁気素子 1 1 E と重なる。

【0014】

図 1 ( a ) に示すように、例えば、第 1 対応部 2 1 は、第 1 部分 2 1 e 及び第 1 他部分

50

2 1 f を含む。第 1 部分 2 1 e は、第 1 端部 1 1 E e に対応する。第 1 他部分 2 1 f は、第 1 他端部 1 1 E f に対応する。例えば、第 1 部分 2 1 e は、Z 軸方向において、第 1 端部 1 1 E e と重なる。第 1 他部分 2 1 f は、Z 軸方向において、第 1 他端部 1 1 E f と重なる。

【 0 0 1 5 】

図 1 ( a ) に示すように、素子電流回路 7 5 は、第 1 磁気素子 1 1 E に素子電流  $I_d$  を供給可能である。素子電流  $I_d$  は、第 1 端部 1 1 E e と第 1 他端部 1 1 E f との間に流れる。

【 0 0 1 6 】

図 1 ( a ) に示すように、第 1 電流回路 7 1 は、第 1 対応部 2 1 に交流成分を含む第 1 電流  $I_1$  を供給可能である。例えば、第 1 電流回路 7 1 は、第 1 部分 2 1 e と第 1 他部分 2 1 f との間に第 1 電流  $I_1$  を供給する。素子電流回路 7 5 及び第 1 電流回路 7 1 は、回路部 7 0 に含まれて良い。第 1 電流  $I_1$  の流れる方向は、素子電流  $I_d$  の流れる方向 ( 例えば Y 軸方向 ) に沿う。例えば、素子電流  $I_d$  の方向、及び、第 1 電流  $I_1$  の方向は、検出対象の磁界の方向と交差する。

10

【 0 0 1 7 】

第 1 磁気素子 1 1 E に検出対象の磁界が印加される。検出対象の磁界は、例えば、X 軸方向の成分を有する。第 1 磁気素子 1 1 E の電気抵抗は、検出対象の磁界に応じて変化する。第 1 磁気素子 1 1 E の電気抵抗は、例えば、第 1 端部 1 1 E e と第 1 他端部 1 1 E f との間の電気抵抗に対応する。

20

【 0 0 1 8 】

図 1 ( b ) 及び図 1 ( c ) に示すように、例えば、第 1 磁気素子 1 1 E は、第 1 磁性層 1 1、第 1 対向磁性層 1 1 o 及び第 1 非磁性層 1 1 n を含む。第 1 非磁性層 1 1 n は、第 1 磁性層 1 1 と第 1 対向磁性層 1 1 o との間に設けられる。

【 0 0 1 9 】

例えば、第 1 磁気素子 1 1 E に加わる磁界に応じて、第 1 磁性層 1 1 の磁化の向きと、第 1 対向磁性層 1 1 o の磁化の向きと、の間の角度が変化する。角度の変化により、第 1 磁気素子 1 1 E の電気抵抗が変化する。

【 0 0 2 0 】

実施形態において、第 1 磁気素子 1 1 E は、第 1 層 1 1 q を含んでも良い。第 1 層 1 1 q は、例えば、 $IrMn$  及び  $PtMn$  よりなる群から選択された少なくとも 1 つを含む。第 1 層 1 1 q は、例えば、反強磁性層である。第 1 磁性層 1 1 は、第 1 層 1 1 q と第 1 対向磁性層 1 1 o との間にある。

30

【 0 0 2 1 】

第 1 磁気素子 1 1 E は、例えば、中間磁性層 1 1 p 及び中間非磁性層 1 1 r をさらに含む。中間磁性層 1 1 p は、第 1 層 1 1 q と第 1 磁性層 1 1 との間にある。中間非磁性層 1 1 r は、中間磁性層 1 1 p と第 1 磁性層 1 1 との間にある。1 つの例において、第 1 非磁性層 1 1 n は、Cu、Au 及び Ag よりなる群から選択された少なくとも 1 つを含む。例えば、第 1 非磁性層 1 1 n は、Cu 層である。中間非磁性層 1 1 r は、例えば、Ru を含む。第 1 磁気素子 1 1 E は、例えば、GMR ( Giant magnetic resistance ) 素子である。

40

【 0 0 2 2 】

第 1 磁性層 1 1、第 1 対向磁性層 1 1 o 及び中間磁性層 1 1 p の少なくともいずれかは、例えば、 $CoFe$ 、 $CoFeNi$ 、及び、 $NiFe$  よりなる群から選択された少なくとも 1 つを含む。

【 0 0 2 3 】

実施形態において、第 1 層 1 1 q、中間磁性層 1 1 p 及び中間非磁性層 1 1 r は必要に応じて設けられ、省略されても良い。

【 0 0 2 4 】

図 1 ( b ) 及び図 1 ( c ) に示すように、磁気センサ 1 1 0 は、絶縁部材 6 5 を含んで

50

も良い。絶縁部材 6 5 の少なくとも一部は、第 1 磁気素子 1 1 E と第 1 対応部 2 1 との間に設けられても良い。第 1 磁気素子 1 1 E 及び第 1 対応部 2 1 の回りに絶縁部材 6 5 の少なくとも一部が設けられても良い。

【 0 0 2 5 】

図 1 ( b ) に示すように、第 1 対向磁性層 1 1 o が、第 1 磁性層 1 1 と第 1 対応部 2 1 との間に設けられても良い。図 1 ( c ) に示すように、第 1 磁性層 1 1 が、第 1 対応部 2 1 と第 1 対向磁性層 1 1 o との間に設けられても良い。

【 0 0 2 6 】

既に説明したように、第 1 対応部 2 1 に交流成分を含む第 1 電流  $I_1$  が供給される。第 1 電流  $I_1$  に基づく電流磁界が第 1 磁気素子 1 1 E に印加される。第 1 磁気素子 1 1 E の電気抵抗は、検出対象の磁界、及び、第 1 電流  $I_1$  に基づく電流磁界に応じて変化する。例えば、検出された電気抵抗の変化を、第 1 電流  $I_1$  の交流成分の周波数に応じて処理することで、検出対象の磁界を高い感度で検出することが可能である。電気抵抗の変化の例については、後述する。

10

【 0 0 2 7 】

以下、素子電流  $I_d$  及び第 1 電流  $I_1$  の例について説明する。

【 0 0 2 8 】

図 2 ( a ) 及び図 2 ( b ) は、第 1 実施形態に係る磁気センサを例示する模式図である。図 2 ( a ) 及び図 2 ( b ) の横軸は、時間  $t_m$  である。図 2 ( a ) の縦軸は、素子電流  $I_d$  の値である。図 2 ( b ) の縦軸は、第 1 電流  $I_1$  の値である。

20

【 0 0 2 9 】

図 2 ( a ) に示すように、この例では、素子電流  $I_d$  は、実質的に一定である。素子電流  $I_d$  は、例えば、直流である。

【 0 0 3 0 】

図 2 ( b ) に示すように、この例では、第 1 電流  $I_1$  は、第 1 期間  $T_{a1}$ 、第 1 パルス期間  $T_{p1}$ 、第 2 期間  $T_{a2}$ 、及び、第 2 パルス期間  $T_{p2}$  を含む。第 1 期間  $T_{a1}$  において、第 1 電流  $I_1$  は、第 1 極性の第 1 電流値  $I_{c1}$  である。第 1 パルス期間  $T_{p1}$  において、第 1 電流  $I_1$  は、第 1 極性の第 1 パルス電流値  $I_{p1}$  である。第 2 期間  $T_{a2}$  において、第 1 電流  $I_1$  は、第 2 極性の第 2 電流値  $I_{c2}$  である。第 2 パルス期間  $T_{p2}$  において、第 1 電流  $I_1$  は、第 2 極性の第 2 パルス電流値  $I_{p2}$  である。第 2 極性は、第 1 極性とは異なる。例えば、第 1 極性は、正及び負の一方である。第 2 極性は、正及び負の他方である。

30

【 0 0 3 1 】

例えば、第 1 期間  $T_{a1}$ 、第 1 パルス期間  $T_{p1}$ 、第 2 期間  $T_{a2}$ 、及び、第 2 パルス期間  $T_{p2}$  の和は、第 1 電流  $I_1$  の交流成分の周期  $T_{a0}$  に対応する。例えば、第 1 期間  $T_{a1}$  及び第 1 パルス期間  $T_{p1}$  は、例えば、第 1 極性期間（例えば、正期間）である。例えば、第 2 期間  $T_{a2}$  及び第 2 パルス期間  $T_{p2}$  は、例えば、第 2 極性期間（例えば、負期間）である。

【 0 0 3 2 】

第 1 パルス電流値  $I_{p1}$  の絶対値は、第 1 電流値  $I_{c1}$  の絶対値よりも大きく、第 2 電流値  $I_{c2}$  の絶対値よりも大きい。第 2 パルス電流値  $I_{p2}$  の絶対値は、第 1 電流値  $I_{c1}$  の絶対値よりも大きく、第 2 電流値  $I_{c2}$  の絶対値よりも大きい。第 1 パルス期間  $T_{p1}$  は、第 1 期間  $T_{a1}$  よりも短く、第 2 期間  $T_{a2}$  よりも短い。第 2 パルス期間  $T_{p2}$  は、第 1 期間  $T_{a1}$  よりも短く、第 2 期間  $T_{a2}$  よりも短い。

40

【 0 0 3 3 】

このように、実施形態においては、第 1 電流  $I_1$  は、交流の第 1 電流値  $I_{c1}$  及び第 2 電流値  $I_{c2}$  に加えて、パルス状の第 1 パルス電流値  $I_{p1}$  及び第 2 パルス電流値  $I_{p2}$  を含む。後述するように、例えば、第 1 極性期間における第 1 磁気素子 1 1 E の電気抵抗と、第 2 極性期間における第 1 磁気素子 1 1 E の電気抵抗と、を時間的に合成したときに、実質的に偶関数の変化が生じる。これにより、後述するように、ノイズが抑制され、検

50

出対象の磁界を高い感度の検出が可能になる。

【0034】

以下、第1磁気素子11Eの電気抵抗の例について説明する。

【0035】

図3(a)及び図3(b)は、第1実施形態に係る磁気センサの特性を例示する模式図である。

図3(a)の横軸は、第1電流値 $I_{c1}$ である。図3(b)の横軸は、第2電流値 $I_{c2}$ である。図3(a)及び図3(b)の縦軸は、第1磁気素子11Eの電気抵抗 $R_x$ である。図3(a)は、第1極性期間において、第1極性の第1電流値 $I_{c1}$ の絶対値を変えたときの電気抵抗 $R_x$ の変化を例示している。図3(b)は、第2極性期間において、第2極性の第2電流値 $I_{c2}$ の絶対値を変えたときの電気抵抗 $R_x$ の変化を例示している。

10

【0036】

図3(a)に示すように、電気抵抗 $R_x$ は、第1電流値 $I_{c1}$ の絶対値を大きくすると上昇する。図3(b)に示すように、電気抵抗 $R_x$ は、第2電流値 $I_{c2}$ の絶対値を大きくすると上昇する。電気抵抗 $R_x$ の上昇は、例えば、第1電流値 $I_{c1}$ または第2電流値 $I_{c2}$ に応じた、第1対向磁性層11oの磁化の向きの変化に基づく。

【0037】

図3(a)に例示する特性と、図3(b)に対応する特性と、を時間的に重ねると、第1磁気素子11Eの電気抵抗 $R_x$ は、第1電流 $I_1$ に対して、実質的に偶関数の特性を有する。

20

【0038】

このような特性は、第1パルス電流値 $I_{p1}$ のパルス、及び、第2パルス電流値 $I_{p2}$ のパルスにより、例えば、第1磁性層11の磁化の向きが反転することに基づくと考えられる。例えば、第1パルス電流値 $I_{p1}$ のパルスにより、第1磁性層11の磁化は、例えば、「+X向き」及び「-X向き」の一方となる。例えば、第2パルス電流値 $I_{p2}$ のパルスにより、第1磁性層11の磁化は、例えば、「+X向き」及び「-X向き」の他方となる。一方、例えば、外部磁界が実質的に無いときに、第1対向磁性層11oの磁化は、Y軸方向に沿う。第1磁性層11の磁化の向きが第1極性期間と第2極性期間とで変化することで、図3(a)及び図3(b)に例示する電気抵抗 $R_x$ の変化が得られる。

【0039】

30

以下、図2(b)のような第1電流 $I_1$ が第1対応部21に供給されたときにおいて、外部磁界が第1磁気素子11Eに印加されたときの電気抵抗 $R_{ex}$ の例について説明する。

【0040】

図4(a)及び図4(b)は、第1実施形態に係る磁気センサの特性を例示する模式図である。

図4(a)及び図4(b)の横軸は、外部磁界 $H_{ex}$ の強度である。外部磁界 $H_{ex}$ は、X軸方向の成分を含む。縦軸は、第1磁気素子11Eの電気抵抗 $R_x$ である。図4(a)及び図4(b)において、第1電流値 $I_{c1}$ または第2電流値 $I_{c2}$ は一定である。図4(a)は、第1極性期間に対応する。図4(b)は、第2極性期間に対応する。

【0041】

40

図4(a)に示すように、電気抵抗 $R_x$ は、第1極性(第1向き)の外部磁界 $H_{ex}$ の絶対値を大きくすると上昇する。図4(b)に示すように、電気抵抗 $R_x$ は、第2極性(第2向き)の外部磁界 $H_{ex}$ の絶対値を大きくすると上昇する。電気抵抗 $R_x$ の上昇は、例えば外部磁界 $H_{ex}$ に応じた、第1対向磁性層11oの磁化の向きの変化に基づく。

【0042】

図4(a)に例示する特性と、図4(b)に対応する特性と、を時間的に重ねると、第1磁気素子11Eの電気抵抗 $R_x$ は、外部磁界 $H_{ex}$ に対して、実質的に偶関数の特性を有する。

【0043】

このような特性は、第1極性期間及び第2極性期間により、例えば、第1磁性層11の

50

磁化の向きが反転することが原因であると考えられる。

【 0 0 4 4 】

このように、実施形態においては、時間的に重ね合わされた第 1 磁気素子 1 1 E の電気抵抗  $R_x$  は、第 1 電流  $I_1$  及び外部磁界  $H_{ex}$  に対して実質的に偶関数の特性を有する。

【 0 0 4 5 】

図 5 は、第 1 実施形態に係る磁気センサの特性を例示する模式図である。

図 5 は、第 1 極性周期及び第 2 極性周期を時間的に重ね合わせたときの特性を例示する。横軸は、第 1 対応部 2 1 に流れる第 1 電流  $I_1$  の値に対応する。縦軸は、第 1 磁気素子 1 1 E の電気抵抗  $R_x$  である。図 4 に示すように、実施形態において、時間的に重ね合わされた電気抵抗  $R_x$  は、第 1 電流  $I_1$  の変化に対して偶関数の特性を示す。

10

【 0 0 4 6 】

例えば、第 1 磁気素子 1 1 E の電気抵抗  $R_x$  は、第 1 対応部 2 1 に第 1 値電流  $I_{a1}$  が供給されたときに第 1 抵抗値  $R_1$  である。電気抵抗  $R_x$  は、第 1 対応部 2 1 に第 2 値電流  $I_{a2}$  が供給されたときに第 2 抵抗値  $R_2$  である。電気抵抗  $R_x$  は、第 1 対応部 2 1 に第 3 値電流  $I_{a3}$  が供給されたときに第 3 抵抗値  $R_3$  である。第 1 値電流  $I_{a1}$  の絶対値は、第 2 値電流  $I_{a2}$  の絶対値よりも小さく、第 3 値電流  $I_{a3}$  の絶対値よりも小さい。第 1 値電流  $I_{a1}$  は、例えば、実質的に 0 で良い。第 2 値電流  $I_{a2}$  の向きは、第 3 値電流  $I_{a3}$  の向きと逆である。

【 0 0 4 7 】

図 5 の例では、第 1 抵抗値  $R_1$  は、第 2 抵抗値  $R_2$  よりも低く、第 3 抵抗値  $R_3$  よりも低い。第 1 抵抗値  $R_1$  は、例えば、電気抵抗の最低値である。1 つの例において、第 1 対応部 2 1 に電流が流れないときに、電気抵抗  $R_x$  は、第 4 抵抗値  $R_4$  である。例えば、第 1 抵抗値  $R_1$  は、電流が流れないときの第 4 抵抗値  $R_4$  と実質的に同じである。例えば、第 1 抵抗値  $R_1$  と第 4 抵抗値  $R_4$  との差の絶対値の第 4 抵抗値  $R_4$  に対する比は、0.01 以下である。比は、0.001 以下でも良い。正負の電流に対して、実質的に偶関数の特性が得られる。

20

【 0 0 4 8 】

図 6 は、第 1 実施形態に係る磁気センサの特性を例示する模式図である。

図 6 は、第 1 極性周期及び第 2 極性周期を時間的に重ね合わせたときの特性を例示する。横軸は、第 1 磁気素子 1 1 E に印加される外部磁界  $H_{ex}$  の強度である。縦軸は、第 1 磁気素子 1 1 E の電気抵抗  $R_x$  である。これらの図は、 $R-H$  特性に対応する。図 6 に示すように、時間的に重ね合わされた電気抵抗  $R_x$  は、第 1 磁気素子 1 1 E に印加される外部磁界  $H_{ex}$  に対して偶関数の特性を有する。

30

【 0 0 4 9 】

図 6 に示すように、第 1 磁気素子 1 1 E の電気抵抗  $R_x$  は、第 1 磁気素子 1 1 E に第 1 磁界  $H_{ex1}$  が印加されたときに第 1 抵抗値  $R_1$  である。電気抵抗  $R_x$  は、第 1 磁気素子 1 1 E に第 2 磁界  $H_{ex2}$  が印加されたときに第 2 抵抗値  $R_2$  である。電気抵抗  $R_x$  は、第 1 磁気素子 1 1 E に第 3 磁界  $H_{ex3}$  が印加されたときに第 3 抵抗値  $R_3$  である。第 1 磁界  $H_{ex1}$  の絶対値は、第 2 磁界  $H_{ex2}$  の絶対値よりも小さく、第 3 磁界  $H_{ex3}$  の絶対値よりも小さい。第 2 磁界  $H_{ex2}$  の向きは、第 3 磁界  $H_{ex3}$  の向きと逆である。

40

【 0 0 5 0 】

図 6 の例では、第 1 抵抗値  $R_1$  は、第 2 抵抗値  $R_2$  よりも低く、第 3 抵抗値  $R_3$  よりも低い。例えば、第 1 磁気素子 1 1 E に外部磁界  $H_{ex}$  が印加されないときに、電気抵抗  $R_x$  は、第 4 抵抗値  $R_4$  である。第 1 抵抗値  $R_1$  は、外部磁界  $H_{ex}$  が印加されないときの第 4 抵抗値  $R_4$  と実質的に同じである。例えば、第 1 抵抗値  $R_1$  と第 4 抵抗値  $R_4$  との差の絶対値の第 4 抵抗値  $R_4$  に対する比は、0.01 以下である。比は、0.001 以下でも良い。正負の外部磁界  $H_{ex}$  に対して、実質的に偶関数の特性が得られる。

【 0 0 5 1 】

このような偶関数の特性を利用して、以下のように、高感度の検出が可能である。

図 7 ( a ) ~ 図 7 ( c ) は、第 1 実施形態に係る磁気センサの特性を例示するグラフ図

50

である。

図7(a)は、第1磁気素子11Eに印加される信号磁界 $H_{sig}$ (外部磁界 $H_{ex}$ )が0のときの特性を示す。図7(b)は、信号磁界 $H_{sig}$ が正のときの特性を示す。図7(c)は、信号磁界 $H_{sig}$ が負のときの特性を示す。これらの図は、磁界 $H$ と抵抗 $R$ (電気抵抗 $R_x$ に対応)との関係を示す。抵抗 $R$ は、時間的に重ね合わされた電気抵抗である。

【0052】

図7(a)に示すように、信号磁界 $H_{sig}$ が0のときは、抵抗 $R$ は、正負の磁界 $H$ に対して対称な特性を示す。交流磁界 $H_{ac}$ がゼロのときに、抵抗 $R$ は、低い抵抗 $R_0$ である。交流磁界 $H_{ac}$ に対する抵抗 $R$ の変動は、正負の極性で同じ値になる。抵抗 $R$ の変化の周期は、交流磁界 $H_{ac}$ の周期の $1/2$ 倍となる。抵抗 $R$ の変化は、交流磁界 $H_{ac}$ の周波数成分を実質的に有しない。

10

【0053】

図7(b)に示すように、正の信号磁界 $H_{sig}$ が加わると、抵抗 $R$ の特性は、正の磁界 $H$ の側にシフトする。正側の交流磁界 $H_{ac}$ において、例えば抵抗 $R$ が高くなる。負側の交流磁界 $H_{ac}$ において、抵抗 $R$ は低くなる。

【0054】

図7(c)に示すように、負の信号磁界 $H_{sig}$ が加わると、抵抗 $R$ の特性は、負の磁界 $H$ の側にシフトする。正側の交流磁界 $H_{ac}$ において、例えば、抵抗 $R$ が低くなる。負側の交流磁界 $H_{ac}$ において、抵抗 $R$ は高くなる。

20

【0055】

所定の大きさの信号磁界 $H_{sig}$ が加わったときに、交流磁界 $H_{ac}$ の正負に対して、互いに異なる抵抗 $R$ の変動が生じる。交流磁界 $H_{ac}$ の正負に対する抵抗 $R$ の変動の周期は、交流磁界 $H_{ac}$ の周期と同じである。信号磁界 $H_{sig}$ に応じた交流周波数成分の出力電圧が発生する。

【0056】

信号磁界 $H_{sig}$ が時間的に変化しない場合に上記の特性が得られる。信号磁界 $H_{sig}$ が時間的に変化する場合は、以下となる。信号磁界 $H_{sig}$ の周波数を信号周波数 $f_{sig}$ とする。交流磁界 $H_{ac}$ の周波数を交流周波数 $f_{ac}$ とする。このとき、 $f_{ac} \pm f_{sig}$ の周波数において、信号磁界 $H_{sig}$ に応じた出力が発生する。

30

【0057】

信号磁界 $H_{sig}$ が時間的に変化する場合において、信号周波数 $f_{sig}$ は、例えば、1kHz以下である。一方、交流周波数 $f_{ac}$ は、信号周波数 $f_{sig}$ よりも十分に高い。例えば、交流周波数 $f_{ac}$ は、信号周波数 $f_{sig}$ の10倍以上である。

【0058】

例えば、交流磁界 $H_{ac}$ の周期(周波数)と同じ周期(周波数)の成分(交流周波数成分)の出力電圧を抽出することで、信号磁界 $H_{sig}$ を高い精度で検出できる。実施形態においては、このような特性を利用して、検出対象である外部磁界 $H_{ex}$ (信号磁界 $H_{sig}$ )を高い感度で検出することができる。

【0059】

実施形態において、例えば、第1パルス電流値 $I_{p1}$ の絶対値は、第1電流値 $I_{c1}$ の絶対値の10倍以上であり、第2電流値 $I_{c2}$ の絶対値の10倍以上であることが好ましい。第2パルス電流値 $I_{p2}$ の絶対値は、第1電流値 $I_{c1}$ の絶対値の10倍以上であり、第2電流値 $I_{c2}$ の絶対値の10倍以上であることが好ましい。これにより、例えば、第1磁性層11の磁化の向きが容易になる。

40

【0060】

実施形態において、第1パルス期間 $T_{p1}$ は、第1期間 $T_{a1}$ の0.1倍以下であり、第2期間 $T_{a2}$ の0.1倍以下であることが好ましい。第2パルス期間 $T_{p2}$ は、第1期間 $T_{a1}$ の0.1倍以下であり、第2期間 $T_{a2}$ の0.1倍以下であることが好ましい。これにより、高感度な磁界検出が容易になる。

50

## 【 0 0 6 1 】

実施形態において、第 1 パルス期間  $T_{p1}$  は、例えば、 $1\text{ ns}$  以上  $1000\text{ ns}$  以下であることが好ましい。第 2 パルス期間  $T_{p2}$  は、例えば、 $1\text{ ns}$  以上  $1000\text{ ns}$  以下であることが好ましい。これにより、高感度な磁界検出が容易になる。

## 【 0 0 6 2 】

実施形態において、第 1 期間  $T_{a1}$  は、例えば、 $1\text{ }\mu\text{s}$  以上  $1\text{ ms}$  以下であることが好ましい。第 2 期間  $T_{a2}$  は、例えば、 $1\text{ }\mu\text{s}$  以上  $1\text{ ms}$  以下であることが好ましい。これにより、高感度な磁界検出が容易になる。上記のような信号により、例えば、交流磁界  $H_{ac}$  と同じ交流周波数成分の出力電圧の抽出による高感度な磁界検出が容易になる。

## 【 0 0 6 3 】

図 8 ( a ) 及び図 8 ( b ) は、第 1 実施形態に係る磁気センサを例示する模式図である。

図 8 ( a ) 及び図 8 ( b ) は、実施形態に係る磁気センサ 1 1 1 における素子電流  $I_d$  及び第 1 電流  $I_1$  を例示する。磁気センサ 1 1 1 も、第 1 磁気素子 1 1 E、導電部材 2 0、素子電流回路 7 5、及び、第 1 電流回路 7 1 を含む。磁気センサ 1 1 1 における素子電流回路 7 5 及び第 1 電流回路 7 1 の動作が、磁気センサ 1 1 0 におけるそれらとは異なる。これ以外の磁気センサ 1 1 1 の構成は、磁気センサ 1 1 0 の構成と同様で良い。

## 【 0 0 6 4 】

図 8 ( a ) 及び図 8 ( b ) の横軸は、時間  $t_m$  である。図 8 ( a ) の縦軸は、素子電流  $I_d$  の値である。図 8 ( b ) の縦軸は、第 1 電流  $I_1$  の値である。

## 【 0 0 6 5 】

図 8 ( b ) に示すように、第 1 電流  $I_1$  は、第 1 期間  $T_{a1}$  及び第 2 期間  $T_{a2}$  を含む。第 1 期間  $T_{a1}$  において、第 1 電流  $I_1$  は、第 1 極性の第 1 電流値  $I_{c1}$  を有する。第 2 期間  $T_{a2}$  において、第 1 電流  $I_1$  は、第 2 極性の第 2 電流値  $I_{c2}$  を有する。第 2 極性は、第 1 極性とは異なる。第 1 極性は、正極性及び負極性の一方である。第 2 極性は、正極及び負極性の他方である。例えば、第 1 期間  $T_{a1}$  及び第 2 期間  $T_{a2}$  は、第 1 電流  $I_1$  の交流成分の周期  $T_{a0}$  に対応する。

## 【 0 0 6 6 】

図 8 ( a ) に示すように、素子電流  $I_d$  は、第 1 サブ期間  $T_{d1}$ 、第 1 サブパルス期間  $T_{q1}$  と、第 2 サブ期間  $T_{d2}$ 、及び、第 2 サブパルス期間  $T_{q2}$  を含む。第 1 サブ期間  $T_{d1}$  において、素子電流  $I_d$  は、第 1 極性の第 1 素子値  $I_{d1}$  を有する。第 1 サブパルス期間  $T_{q1}$  において、素子電流  $I_d$  は、第 1 極性の第 1 パルス素子値  $I_{q1}$  を含む。第 2 サブ期間  $T_{d2}$  において、素子電流  $I_d$  は、第 2 極性の第 2 素子値  $I_{d2}$  を含む。第 2 サブパルス期間  $T_{q2}$  において、素子電流  $I_d$  は、第 2 極性の第 2 パルス素子値  $I_{q2}$  を含む。

## 【 0 0 6 7 】

例えば、第 1 サブ期間  $T_{d1}$  は、第 1 期間  $T_{a1}$  の一部である。第 1 サブパルス期間  $T_{q1}$  は、第 1 期間  $T_{a1}$  の別の一部である。例えば、第 2 サブ期間  $T_{d2}$  は、第 2 期間  $T_{a2}$  の一部である。第 2 サブパルス期間  $T_{q2}$  は、第 2 期間  $T_{a2}$  の別の一部である。

## 【 0 0 6 8 】

第 1 パルス素子値  $I_{q1}$  の絶対値は、第 1 素子値  $I_{d1}$  の絶対値よりも大きく、第 2 素子値  $I_{d2}$  の絶対値よりも大きい。第 2 パルス素子値  $I_{q2}$  の絶対値は、第 1 素子値  $I_{d1}$  の絶対値よりも大きく、第 2 素子値  $I_{d2}$  の絶対値よりも大きい。第 1 サブパルス期間  $T_{q1}$  は、第 1 サブ期間  $T_{d1}$  よりも短く、第 2 サブ期間  $T_{d2}$  よりも短い。第 2 サブパルス期間  $T_{q2}$  は、第 1 サブ期間  $T_{d1}$  よりも短く、第 2 サブ期間  $T_{d2}$  よりも短い。

## 【 0 0 6 9 】

例えば、第 1 サブ期間  $T_{d1}$  と、第 1 サブパルス期間  $T_{q1}$ 、第 2 サブ期間  $T_{d2}$ 、及び、第 2 サブパルス期間  $T_{q2}$  の和は、第 1 電流  $I_1$  の交流成分の周期  $T_{a0}$  に対応する。

## 【 0 0 7 0 】

このような素子電流  $I_d$  により、第 1 磁気素子 1 1 E の電気抵抗  $R_x$  は、時間的に重ね合わせたときに、第 1 電流  $I_1$  の第 1 電流値  $I_{c1}$  及び第 2 電流値  $I_{c2}$  に対して、実質

10

20

30

40

50

的に偶関数の特性を有する。

【0071】

磁気センサ111において、第1磁気素子11Eの電気抵抗 $R_x$ は、図3(a)及び図3(b)に例示した特性と同様の特性を有する。

【0072】

第1磁気素子11Eの電気抵抗 $R_x$ は、第1電流 $I_1$ の第1電流値 $I_{c1}$ の絶対値を大きくすると上昇する。電気抵抗 $R_x$ は、第1電流 $I_1$ の第2電流値 $I_{c2}$ の絶対値を大きくすると上昇する。

【0073】

磁気センサ111においても、電気抵抗 $R_x$ は、第1極性(第1向き)の外部磁界 $H_{ex}$ の絶対値を大きくすると上昇する。電気抵抗 $R_x$ は、第2極性(第2向き)の外部磁界 $H_{ex}$ の絶対値を大きくすると上昇する。例えば、時間的に重ね合わされた電気抵抗 $R_x$ は、外部磁界 $H_{ex}$ に対して、実質的に偶関数の特性を有する。

10

【0074】

磁気センサ111においても、このような特性は、第1極性期間及び第2極性期間により、例えば、第1磁性層11の磁化の向きが反転することが原因であると考えられる。磁気センサ111においても、例えば、電気抵抗 $R_x$ を第1電流 $I_1$ の交流成分の周波数(周期 $T_{a0}$ )に基づく処理を行うことで、ノイズを抑制できる。例えば、高い感度の検出が可能になる。

【0075】

磁気センサ111において、例えば、第1パルス素子値 $I_{q1}$ の絶対値は、第1素子値 $I_{d1}$ の絶対値の10倍以上であり、第2素子値 $I_{d2}$ の絶対値の10倍以上であることが好ましい。例えば、第2パルス素子値 $I_{q2}$ の絶対値は、第1素子値 $I_{d1}$ の絶対値の10倍以上であり、第2素子値 $I_{d2}$ の絶対値の10倍以上であることが好ましい。これにより、第1磁性層11の磁化の向きが反転が容易になる。

20

【0076】

例えば、第1サブパルス期間 $T_{q1}$ は、第1サブ期間 $T_{d1}$ の0.1倍以下であり、第2サブ期間 $T_{d2}$ の0.1倍以下であることが好ましい。例えば、第2サブパルス期間 $T_{q2}$ は、第1サブ期間 $T_{d1}$ の0.1倍以下であり、第2サブ期間 $T_{d2}$ の0.1倍以下であることが好ましい。これにより、高感度な磁界検出が容易になる。

30

【0077】

例えば、第1サブパルス期間 $T_{q1}$ は、1ns以上1000ns以下であることが好ましい。例えば、第2サブパルス期間 $T_{q2}$ は、1ns以上1000ns以下であることが好ましい。これにより、高感度な磁界検出が容易になる。

【0078】

例えば、第1サブ期間 $T_{d1}$ は、1 $\mu$ s以上1ms以下であることが好ましい。例えば、第2サブ期間 $T_{d2}$ は、1 $\mu$ s以上1ms以下であることが好ましい。これにより、高感度な磁界検出が容易になる。上記のような信号により、例えば、交流磁界 $H_{ac}$ と同じ交流周波数成分の出力電圧の抽出による高感度な磁界検出が容易になる。

【0079】

(第2実施形態)

第2実施形態においては、磁気センサは、複数の磁気素子を含む。

図9は、第2実施形態に係る磁気センサを例示する模式図である。

図10(a)~図10(d)は、第2実施形態に係る磁気センサを例示する模式図である。

40

【0080】

図9に示すように、実施形態に係る磁気センサ112は、第1磁気素子11Eに加えて、第2磁気素子12E、第3磁気素子13E及び第4磁気素子14Eを含む。第1磁気素子11Eは、第1端部11Ee及び第1他端部11Efを含む。第1端部11Eeから第1他端部11Efへの方向は、第1方向(例えばY軸方向)に沿う。第2磁気素子12E

50

は、第2端部12Ee及び第2他端部12Efを含む。第2端部12Eeから第2他端部12Efへの方向は、第1方向に沿う。第3磁気素子13Eは、第3端部13Ee及び第3他端部13Efを含む。第3端部13Eeから第3他端部13Efへの方向は、第1方向に沿う。第4磁気素子14Eは、第4端部14Ee及び第4他端部14Efを含む。第4端部14Eeから第4他端部14Efへの方向は、第1方向に沿う。

【0081】

図10(a)に示すように、磁気センサ112において、導電部材20は、第1対応部21に加えて、第2対応部22、第3対応部23及び第4対応部24を含む。第1対応部21は、第1磁気素子11Eに沿う。第2対応部22は、第2磁気素子12Eに沿う。第3対応部23は、第3磁気素子13Eに沿う。第4対応部24は、第4磁気素子14Eに沿う。例えば、第1～第4対応部21～24は、Z軸方向において、第1～第4磁気素子11E～14Eにそれぞれ重なる。

10

【0082】

図1(a)に示すように、例えば、第1対応部21は、第1端部11Eeに対応する第1部分21eと、第1他端部11Efに対応する第1他部分21fと、を含む。第2対応部22は、例えば、第2端部12Eeに対応する第2部分22eと、第2他端部12Efに対応する第2他部分22fと、を含む。第3対応部23は、例えば、第3端部13Eeに対応する第3部分23eと、第3他端部13Efに対応する第3他部分23fと、を含む。第4対応部24は、例えば、第4端部14Eeに対応する第4部分24eと、第4他端部14Efに対応する第4他部分24fと、を含む。

20

【0083】

例えば、第1部分21eは、Z軸方向において、第1端部11Eeと重なる。例えば、第1他部分21fは、Z軸方向において、第1他端部11Efと重なる。例えば、第2部分22eは、Z軸方向において、第2端部12Eeと重なる。例えば、第2他部分22fは、Z軸方向において、第2他端部12Efと重なる。例えば、第3部分23eは、Z軸方向において、第3端部13Eeと重なる。例えば、第3他部分23fは、Z軸方向において、第3他端部13Efと重なる。例えば、第4部分24eは、Z軸方向において、第4端部14Eeと重なる。例えば、第4他部分24fは、Z軸方向において、第4他端部14Efと重なる。

【0084】

図9に示すように、素子電流回路75は、第1磁気素子11E、第2磁気素子12E、第3磁気素子13E及び第4磁気素子14Eに素子電流Idを供給可能である。第1～第4磁気素子11E～14Eは、ブリッジ接続される。

30

【0085】

図10(a)に示すように、第1電流回路71は、第1対応部21、第2対応部22、第3対応部23及び第4対応部24に第1電流I1を供給可能である。

【0086】

図9に示す例においては、第1他端部11Efは、第2端部12Eeと電氣的に接続される。第1端部11Eeは、第3端部13Eeと電氣的に接続される。第3他端部13Efは、第4端部14Eeと電氣的に接続される。第2他端部12Efは、第4他端部14Efと電氣的に接続される。

40

【0087】

図9に示す例では、素子電流回路75は、第1端部11Ee及び第3端部13Eeの第1接続点CP1と、第2他端部12Efと第4他端部14Efの第2接続点CP2と、の間に素子電流Idを供給可能である。

【0088】

図9に示すように、磁気センサ112は、検出回路73を含んでも良い。検出回路73は、回路部70に含まれても良い。検出回路73は、第1他端部11Ef及び第2端部12Eeの第3接続点CP3と、第3他端部13Ef及び第4端部14Eeの第4接続点CP4と、の間の電位の変化を検出可能である。

50

## 【 0 0 8 9 】

図 1 0 ( a ) に示す例では、第 1 部分 2 1 e は、第 3 部分 2 3 e と電氣的に接続される。第 1 他部分 2 1 f は、第 2 部分 2 2 e と電氣的に接続される。第 3 他部分 2 3 f は、第 4 部分 2 4 e と電氣的に接続される。第 2 他部分 2 2 f は、第 4 他部分 2 4 f と電氣的に接続される。第 1 電流回路 7 1 は、第 1 他部分 2 1 f 及び第 2 部分 2 2 e の第 5 接続点 C P 5 と、第 3 他部分 2 3 f と第 4 部分 2 4 e の第 6 接続点 C P 6 と、の間に第 1 電流 I 1 を供給可能である。

## 【 0 0 9 0 】

第 1 対応部 2 1 を流れる第 1 電流 I 1 による磁界が第 1 磁気素子 1 1 E に印加される。第 2 対応部 2 2 を流れる第 1 電流 I 1 による磁界が第 2 磁気素子 1 2 E に印加される。第 3 対応部 2 3 を流れる第 1 電流 I 1 による磁界が第 3 磁気素子 1 3 E に印加される。第 4 対応部 2 4 を流れる第 1 電流 I 1 による磁界が第 4 磁気素子 1 4 E に印加される。

## 【 0 0 9 1 】

図 9 ( a ) に示すように、1 つの時刻 ( 第 1 時刻 ) において、素子電流 I d は、第 1 端部 1 1 E e から第 1 他端部 1 1 E f への向きに第 1 磁気素子 1 1 E を流れる。第 1 時刻において、素子電流 I d は、第 2 端部 1 2 E e から第 2 他端部 1 2 E f への向きに第 2 磁気素子 1 2 E を流れる。第 1 時刻において、素子電流 I d は、第 3 端部 1 3 E e から第 3 他端部 1 3 E f への向きに第 3 磁気素子 1 3 E を流れる。第 1 時刻において、素子電流 I d は、第 4 端部 1 4 E e から第 4 他端部 1 4 E f への向きに第 4 磁気素子 1 4 E を流れる。

## 【 0 0 9 2 】

図 1 0 ( a ) に示す例において、1 つの時刻 ( 第 1 時刻 ) において、第 1 電流 I 1 の向きは、以下である。第 1 電流 I 1 は、第 1 他部分 2 1 f から第 1 部分 2 1 e への向きに、第 1 対応部 2 1 を流れる。第 1 電流 I 1 は、第 2 部分 2 2 e から第 2 他部分 2 2 f への向きに、第 2 対応部 2 2 を流れる。第 1 電流 I 1 は、第 3 部分 2 3 e から第 3 他部分 2 3 f への向きに、第 3 対応部 2 3 を流れる。第 1 電流 I 1 は、第 4 他部分 2 4 f から第 4 部分 2 4 e への向きに、第 4 対応部 2 4 を流れる。このように、第 1 時刻において、第 1 電流 I 1 は、第 1 他部分 2 1 f から第 1 部分 2 1 e への向き、第 2 部分 2 2 e から第 2 他部分 2 2 f への向き、第 3 部分 2 3 e から第 3 他部分 2 3 f への向き、及び、第 4 他部分 2 4 f から第 4 部分 2 4 e への向きを有する。

## 【 0 0 9 3 】

例えば、第 1 時刻において第 2 磁気素子 1 2 E を流れる素子電流 I d の向きと、第 1 時刻において第 2 対応部 2 2 を流れる第 1 電流 I 1 の向きと、の関係は、第 1 磁気素子 1 1 E を流れる素子電流 I d の向きと、第 1 時刻において第 1 対応部 2 1 を流れる第 1 電流 I 1 の向きと、の関係と逆 ( 逆位相 ) である。第 4 磁気素子 1 4 E を流れる素子電流 I d の向きと、第 1 時刻において第 4 対応部 2 4 を流れる第 1 電流 I 1 の向きと、の関係は、第 3 磁気素子 1 3 E を流れる素子電流 I d の向きと、第 1 時刻において第 3 対応部 2 3 を流れる第 1 電流 I 1 の向きと、の関係と逆 ( 逆位相 ) である。

## 【 0 0 9 4 】

このような電流がブリッジ接続された複数の磁気素子に流れることにより、ノイズをより抑制できる。

## 【 0 0 9 5 】

磁気センサ 1 1 2 において、例えば、素子電流 I d 及び第 1 電流 I 1 は、図 3 ( a ) 及び図 3 ( b ) に例示した構成、または、図 8 ( a ) 及び図 8 ( b ) に例示した構成を有する。

## 【 0 0 9 6 】

図 1 0 ( b ) ~ 図 1 0 ( d ) に例示する磁気センサ 1 1 2 a ~ 1 1 2 c の構成が、図 9 に例示する磁気センサ 1 1 2 の構成と組み合わせられても良い。

## 【 0 0 9 7 】

図 1 0 ( b ) に示すように、磁気センサ 1 1 2 a において、第 1 部分 2 1 e は、第 2 他部分 2 2 f と電氣的に接続される。第 1 他部分 2 1 f は、第 4 部分 2 4 e と電氣的に接続

10

20

30

40

50

される。第 3 部分 2 3 e は、第 4 他部分 2 4 f と電氣的に接続される。第 3 他部分 2 3 f は、第 2 部分 2 2 e と電氣的に接続される。

【 0 0 9 8 】

磁気センサ 1 1 2 a において、第 1 電流回路 7 1 は、第 1 部分 2 1 e 及び第 2 他部分 2 2 f の第 7 接続点 C P 7 と、第 3 部分 2 3 e 及び第 4 他部分 2 4 f の第 8 接続点 C P 8 と、の間に第 1 電流 I 1 を供給可能である。

【 0 0 9 9 】

磁気センサ 1 1 2 a において、1 つの時刻 ( 第 1 時刻 ) において、第 1 電流 I 1 は、第 1 他部分 2 1 f から第 1 部分 2 1 e への向き、第 2 部分 2 2 e から第 2 他部分 2 2 f への向き、第 3 部分 2 3 e から第 3 他部分 2 3 f への向き、及び、第 4 他部分 2 4 f から第 4 部分 2 4 e への向きを有する。図 1 0 ( b ) に示すこのような構成が、図 9 の構成と組み合わせられても良い。

10

【 0 1 0 0 】

図 1 0 ( c ) に示すように、磁気センサ 1 1 2 b において、第 1 他部分 2 1 f は、第 4 部分 2 4 e と電氣的に接続される。第 3 他部分 2 3 f は、第 2 部分 2 2 e と電氣的に接続される。第 2 他部分 2 2 f は、第 4 他部分 2 4 f と電氣的に接続される。

【 0 1 0 1 】

磁気センサ 1 1 2 b において、第 1 電流回路 7 1 は、第 1 部分 2 1 e と、第 3 部分 2 3 e と、の間に第 1 電流 I 1 を供給可能である。

【 0 1 0 2 】

磁気センサ 1 1 2 b において、1 つの時刻 ( 第 1 時刻 ) において、第 1 電流 I 1 は、第 1 他部分 2 1 f から第 1 部分 2 1 e への向き、第 2 部分 2 2 e から第 2 他部分 2 2 f への向き、第 3 部分 2 3 e から第 3 他部分 2 3 f への向き、及び、第 4 他部分 2 4 f から第 4 部分 2 4 e への向きを有する。図 1 0 ( c ) に示すこのような構成が、図 9 の構成と組み合わせられても良い。

20

【 0 1 0 3 】

図 1 0 ( d ) に示すように、磁気センサ 1 1 2 c において、第 1 部分 2 1 e は、第 2 他部分 2 2 f、第 3 他部分 2 3 f 及び第 4 部分 2 4 e と電氣的に接続される。第 1 他部分 2 1 f は、第 2 部分 2 2 e、第 3 部分 2 3 e 及び第 4 他部分 2 4 f と電氣的に接続される。

【 0 1 0 4 】

磁気センサ 1 1 2 c において、第 1 電流回路 7 1 は、第 1 部分 2 1 e、第 2 他部分 2 2 f、第 3 他部分 2 3 f 及び第 4 部分 2 4 e の第 9 接続点 C P 9 と、第 1 他部分 2 1 f、第 2 部分 2 2 e、第 3 部分 2 3 e 及び第 4 他部分 2 4 f の第 1 0 接続点 C P 1 0 と、の間に交流を含む第 1 電流 I 1 を供給可能である。

30

【 0 1 0 5 】

磁気センサ 1 1 2 c において、1 つの時刻 ( 第 1 時刻 ) において、第 1 電流 I 1 は、第 1 他部分 2 1 f から第 1 部分 2 1 e への向き、第 2 部分 2 2 e から第 2 他部分 2 2 f への向き、第 3 部分 2 3 e から第 3 他部分 2 3 f への向き、及び、第 4 他部分 2 4 f から第 4 部分 2 4 e への向きを有する。図 1 0 ( d ) に示すこのような構成が、図 9 の構成と組み合わせられても良い。

40

【 0 1 0 6 】

磁気センサ 1 1 2 及び 1 1 2 a ~ 1 1 2 c においても、ノイズが抑制され、高い感度の検出が可能になる。

【 0 1 0 7 】

図 1 1 ( a ) ~ 図 1 1 ( c ) は、第 2 実施形態に係る磁気センサを例示する模式的平面図である。

図 1 1 ( a ) に示すように、第 2 磁気素子 1 2 E の第 1 方向 ( Y 軸方向 ) に沿う長さを第 2 長さ L 2 とする。第 2 磁気素子 1 2 E の第 2 方向に沿う長さを第 2 幅 w 2 とする。第 2 方向は、例えば X 軸方向である。第 2 長さ L 2 は、第 2 幅 w 2 よりも長い。

【 0 1 0 8 】

50

図 1 1 ( b ) に示すように、第 3 磁気素子 1 3 E の第 1 方向 ( Y 軸方向 ) に沿う長さを第 3 長さ L 3 とする。第 3 磁気素子 1 3 E の第 2 方向に沿う長さを第 3 幅 w 3 とする。第 2 方向は、例えば X 軸方向である。第 3 長さ L 3 は、第 3 幅 w 3 よりも長い。

【 0 1 0 9 】

図 1 1 ( c ) に示すように、第 4 磁気素子 1 4 E の第 1 方向 ( Y 軸方向 ) に沿う長さを第 4 長さ L 4 とする。第 4 磁気素子 1 4 E の第 2 方向に沿う長さを第 4 幅 w 4 とする。第 2 方向は、例えば X 軸方向である。第 4 長さ L 4 は、第 4 幅 w 4 よりも長い。

【 0 1 1 0 】

図 1 2 ( a ) ~ 図 1 2 ( f ) は、第 2 実施形態に係る磁気センサを例示する模式的断面図である。

10

図 1 2 ( a ) 及び図 1 2 ( b ) に示すように、例えば、第 2 磁気素子 1 2 E は、第 2 磁性層 1 2、第 2 対向磁性層 1 2 o 及び第 2 非磁性層 1 2 n を含む。第 2 非磁性層 1 2 n は、第 2 磁性層 1 2 と第 2 対向磁性層 1 2 o との間に設けられる。第 2 磁気素子 1 2 E は、第 2 層 1 2 q を含んでも良い。第 2 磁性層 1 2 は、第 2 層 1 2 q と第 2 対向磁性層 1 2 o との間にある。第 2 磁気素子 1 2 E は、中間磁性層 1 2 p 及び中間非磁性層 1 2 r を含んでも良い。中間磁性層 1 2 p は、第 2 層 1 2 q と第 2 磁性層 1 2 との間にある。中間非磁性層 1 2 r は、中間磁性層 1 2 p と第 2 磁性層 1 2 との間にある。例えば、第 2 磁気素子 1 2 E から第 2 対応部 2 2 への方向は、第 3 方向 ( 例えば Z 軸方向 ) に沿う。

【 0 1 1 1 】

図 1 2 ( c ) 及び図 1 2 ( d ) に示すように、例えば、第 3 磁気素子 1 3 E は、第 3 磁性層 1 3、第 3 対向磁性層 1 3 o 及び第 3 非磁性層 1 3 n を含む。第 3 非磁性層 1 3 n は、第 3 磁性層 1 3 と第 3 対向磁性層 1 3 o との間に設けられる。第 3 磁気素子 1 3 E は、第 3 層 1 3 q を含んでも良い。第 3 磁性層 1 3 は、第 3 層 1 3 q と第 3 対向磁性層 1 3 o との間にある。第 3 磁気素子 1 3 E は、中間磁性層 1 3 p 及び中間非磁性層 1 3 r を含んでも良い。中間磁性層 1 3 p は、第 3 層 1 3 q と第 3 磁性層 1 3 との間にある。中間非磁性層 1 3 r は、中間磁性層 1 3 p と第 3 磁性層 1 3 との間にある。例えば、第 3 磁気素子 1 3 E から第 3 対応部 2 3 への方向は、第 3 方向 ( 例えば Z 軸方向 ) に沿う。

20

【 0 1 1 2 】

図 1 2 ( e ) 及び図 1 2 ( f ) に示すように、例えば、第 4 磁気素子 1 4 E は、第 4 磁性層 1 4、第 4 対向磁性層 1 4 o 及び第 4 非磁性層 1 4 n を含む。第 4 非磁性層 1 4 n は、第 4 磁性層 1 4 と第 4 対向磁性層 1 4 o との間に設けられる。第 4 磁気素子 1 4 E は、第 4 層 1 4 q を含んでも良い。第 4 磁性層 1 4 は、第 4 層 1 4 q と第 4 対向磁性層 1 4 o との間にある。第 4 磁気素子 1 4 E は、中間磁性層 1 4 p 及び中間非磁性層 1 4 r を含んでも良い。中間磁性層 1 4 p は、第 4 層 1 4 q と第 4 磁性層 1 4 との間にある。中間非磁性層 1 4 r は、中間磁性層 1 4 p と第 4 磁性層 1 4 との間にある。例えば、第 4 磁気素子 1 4 E から第 4 対応部 2 4 への方向は、第 3 方向 ( 例えば Z 軸方向 ) に沿う。

30

【 0 1 1 3 】

第 2 層 1 2 q、第 3 層 1 3 q 及び第 4 層 1 4 q は、例えば、I r M n 及び P t M n よりなる群から選択された少なくとも 1 つを含む。1 つの例において、第 2 非磁性層 1 2 n、第 3 非磁性層 1 3 n 及び第 4 非磁性層 1 4 n は、C u、A u 及び A g よりなる群から選択された少なくとも 1 つを含む。中間非磁性層 1 2 r、1 3 r 及び 1 4 r は、例えば、R u を含む。

40

【 0 1 1 4 】

図 1 3 ( a ) 及び図 1 3 ( b ) は、第 2 実施形態に係る磁気センサを例示する模式的平面図である。

図 1 3 ( a ) に示すように、実施形態に係る磁気センサ 1 1 3 は、第 1 磁気素子 1 1 E、第 2 磁気素子 1 2 E、第 1 抵抗素子 1 1 R 及び第 2 抵抗素子 1 2 R を含む。磁気センサ 1 1 3 におけるこれ以外の構成は、例えば、磁気センサ 1 1 0 などと同じで良い。

【 0 1 1 5 】

第 1 磁気素子 1 1 E は、第 1 端部 1 1 E e 及び第 1 他端部 1 1 E f を含む。第 1 端部 1

50

1 E e から第 1 他端部 1 1 E f への方向は、第 1 方向（例えば Y 軸方向）に沿う。第 2 磁気素子 1 2 E は、第 2 端部 1 2 E e 及び第 2 他端部 1 2 E f を含む。第 2 端部 1 2 E e から第 2 他端部 1 2 E f への方向は、第 1 方向に沿う。第 1 抵抗素子 1 1 R は、第 3 端部 1 3 E e 及び第 3 他端部 1 3 E f を含む。第 3 端部 1 3 E e から第 3 他端部 1 3 E f への方向は、第 1 方向に沿う。第 2 抵抗素子 1 2 R は、第 4 端部 1 4 E e 及び第 4 他端部 1 4 E f を含む。第 4 端部 1 4 E e から第 4 他端部 1 4 E f への方向は、第 1 方向に沿う。

【0116】

導電部材 2 0 は、第 1 対応部 2 1 及び第 2 対応部 2 2 を含む。第 1 対応部 2 1 は、第 1 磁気素子 1 1 E に沿う。第 2 対応部 2 2 は、第 2 磁気素子 1 2 E に沿う。

【0117】

第 1 対応部 2 1 は、第 1 端部 1 1 E e に対応する第 1 部分 2 1 e と、第 1 他端部 1 1 E f に対応する第 1 他部分 2 1 f と、を含む。第 2 対応部 2 2 は、第 2 端部 1 2 E e に対応する第 2 部分 2 2 e と、第 2 他端部 1 2 E f に対応する第 2 他部分 2 2 f と、を含む。素子電流回路 7 5 は、第 1 磁気素子 1 1 E、第 2 磁気素子 1 2 E、第 1 抵抗素子 1 1 R 及び第 2 抵抗素子 1 2 R に素子電流 I d を供給可能である。第 1 電流回路 7 1 は、第 1 対応部 2 1 及び第 2 対応部 2 2 に第 1 電流 I 1 を供給可能である。

【0118】

磁気センサ 1 1 3 において、第 1 磁気素子 1 1 E の第 1 端部 1 1 E e は、第 1 抵抗素子 1 1 R の第 3 端部 1 3 E e と電氣的に接続される。第 1 磁気素子 1 1 E の第 1 他端部 1 1 E f は、第 2 磁気素子 1 2 E の第 2 端部 1 2 E e と電氣的に接続される。第 1 抵抗素子 1 1 R の第 3 他端部 1 3 E f は、第 2 抵抗素子 1 2 R の第 4 端部 1 4 E e と電氣的に接続される。第 2 磁気素子 1 2 E の第 2 他端部 1 2 E f は、第 2 抵抗素子 1 2 R の第 4 他端部 1 4 E f と電氣的に接続される。

【0119】

素子電流回路 7 5 は、第 1 磁気素子 1 1 E の第 1 端部 1 1 E e と第 1 抵抗素子 1 1 R の第 3 端部 1 3 E e との第 1 接続点 C P 1 と、第 2 磁気素子 1 2 E の第 2 他端部 1 2 E f と第 2 抵抗素子 1 2 R の第 4 他端部 1 4 E f との第 2 接続点 C P 2 と、の間に素子電流 I d を供給可能である。

【0120】

検出回路 7 3 は、第 1 磁気素子 1 1 E の第 1 他端部 1 1 E f と第 2 磁気素子 1 2 E 及び第 2 端部 1 2 E e の第 3 接続点 C P 3 と、第 1 抵抗素子 1 1 R の第 3 他端部 1 3 E f 及び第 2 抵抗素子 1 2 R の第 4 端部 1 4 E e の第 4 接続点 C P 4 と、の間の電位の変化を検出可能である。

【0121】

図 1 3 ( b ) に示すように、第 1 他部分 2 1 f は、第 2 部分 2 2 e と電氣的に接続される。第 1 部分 2 1 e は、第 2 他部分 2 2 f と電氣的に接続される。第 1 電流回路 7 1 は、第 1 他部分 2 1 f 及び第 2 部分 2 2 e の第 5 接続点 C P 5 と、第 1 部分 2 1 e 及び第 2 他部分 2 2 f の第 6 接続点 C P 6 と、の間に第 1 電流 I 1 を供給可能である。磁気センサ 1 1 3 においても、ノイズが抑制され、高い感度の検出が可能になる。

【0122】

図 1 4 ( a ) 及び図 1 4 ( b ) は、第 2 実施形態に係る磁気センサを例示する模式的平面図である。

図 1 4 ( a ) に示すように、実施形態に係る磁気センサ 1 1 4 は、第 1 磁気素子 1 1 E、第 2 磁気素子 1 2 E、第 1 抵抗素子 1 1 R 及び第 2 抵抗素子 1 2 R を含む。磁気センサ 1 1 4 におけるこれ以外の構成は、例えば、磁気センサ 1 1 0 などと同じで良い。

【0123】

図 1 4 ( a ) に示すように、磁気センサ 1 1 4 において、第 1 磁気素子 1 1 E の第 1 端部 1 1 E e は、第 1 抵抗素子 1 1 R の第 3 端部 1 3 E e と電氣的に接続される。第 1 磁気素子 1 1 E の第 1 他端部 1 1 E f は、第 2 抵抗素子 1 2 R の第 4 端部 1 4 E e と電氣的に接続される。第 1 抵抗素子 1 1 R の第 3 他端部 1 3 E f は、第 2 磁気素子 1 2 E の第 2 端

10

20

30

40

50

部 1 2 E e と電氣的に接続される。第 2 抵抗素子 1 2 R の第 4 他端部 1 4 E f は、第 2 磁気素子 1 2 E の第 2 他端部 1 2 E f と電氣的に接続される。

【 0 1 2 4 】

素子電流回路 7 5 は、第 1 端部 1 1 E e 及び第 3 端部 1 3 E e の第 1 接続点 C P 1 と、第 4 他端部 1 4 E f と第 2 他端部 1 2 E f の第 2 接続点 C P 2 と、の間に素子電流 I d を供給可能である。

【 0 1 2 5 】

磁気センサ 1 1 4 は、検出回路 7 3 を含んでも良い。検出回路 7 3 は、第 1 他端部 1 1 E f 及び第 4 端部 1 4 E e の第 3 接続点 C P 3 と、第 3 他端部 1 3 E f 及び第 2 端部 1 2 E e の第 4 接続点 C P 4 と、の間の電位の変化を検出可能である。

10

【 0 1 2 6 】

図 1 4 ( b ) に示すように、第 1 対応部 2 1 の第 1 部分 2 1 e は、第 2 対応部 2 2 の第 2 部分 2 2 e と電氣的に接続される。第 1 対応部 2 1 の第 1 他部分 2 1 f は、第 2 対応部 2 2 の第 2 他部分 2 2 f と電氣的に接続される。

【 0 1 2 7 】

第 1 電流回路 7 1 は、第 1 他部分 2 1 f 及び第 2 他部分 2 2 f の第 5 接続点 C P 5 と、第 1 部分 2 1 e 及び第 2 部分 2 2 e の第 6 接続点 C P 6 と、の間に第 1 電流 I 1 を供給可能である。

【 0 1 2 8 】

第 2 実施形態において、素子電流 I d 及び第 1 電流 I 1 は、図 2 ( a ) 及び図 2 ( b ) の構成、または、図 8 ( a ) 及び図 8 ( b ) の構成が適用されて良い。

20

【 0 1 2 9 】

第 1 実施形態及び第 2 実施形態において、第 1 電流値 I c 1 の絶対値、及び、第 2 電流値 I c 2 の絶対値は、時間 t m に対して変化しても良い。

【 0 1 3 0 】

第 1 実施形態及び第 2 実施形態において、例えば、第 1 極性のパルスの絶対値が、第 2 極性のパルスの絶対値と異なるように制御されても良い。第 1 実施形態及び第 2 実施形態において、例えば、第 1 電流 I 1 の直流成分が制御されても良い。例えば、第 1 電流値 I c 1 の絶対値は、第 2 電流値 I c 2 の絶対値と異なるように制御されても良い。第 2 実施形態において、例えば、第 1 素子値 I d 1 の絶対値は、第 2 素子値 I d 2 の絶対値と異なるように制御されても良い。

30

【 0 1 3 1 】

( 第 3 実施形態 )

第 3 実施形態は、検査装置に係る。後述するように、検査装置は、診断装置を含んでも良い。

【 0 1 3 2 】

図 1 5 は、第 3 実施形態に係る検査装置を例示する模式図である。

図 1 5 に示すように、実施形態に係る検査装置 5 5 0 は、実施形態に係る磁気センサ ( 図 1 5 の例では、磁気センサ 1 1 0 ) と、処理部 7 8 と、を含む。処理部 7 8 は、磁気センサ 1 1 0 から得られる出力信号 S i g X を処理する。この例では、処理部 7 8 は、センサ制御回路部 7 5 c、第 1 ロックインアンプ 7 5 a、及び、第 2 ロックインアンプ 7 5 b を含む。例えば、センサ制御回路部 7 5 c により、第 1 電流回路 7 1 が制御され、第 1 電流回路 7 1 から、交流成分を含む第 1 電流 I 1 がセンサ部 1 0 S に供給される。第 1 電流 I 1 の交流成分の周波数は、例えば、1 0 0 k H z 以下である。素子電流回路 7 5 から、素子電流 I d がセンサ部 1 0 S に供給される。センサ部 1 0 S は、例えば、少なくとも 1 つの磁気素子を含む。検出回路 7 3 により、センサ部 1 0 S における電位の変化が検出される。例えば、検出回路 7 3 の出力が、出力信号 S i g X となる。

40

【 0 1 3 3 】

この例では、検査装置 5 5 0 は、磁界印加部 7 6 A を含む。磁界印加部 7 6 A は、検出対象 8 0 に磁界を印加可能である。検出対象 8 0 は、例えば、検査対象である。検出対象

50

80は、少なくとも、金属などの検査導電部材80cを含む。磁界印加部76Aによる磁界が検査導電部材80cに印加されると、例えば、検査導電部材80cにおいて渦電流が発生する。検査導電部材80cに傷などがあると、渦電流の状態が変化する。渦電流による磁界が、磁気センサ（例えば磁気センサ110など）により検出されることで、検査導電部材80cの状態（例えば傷など）が検査できる。磁界印加部76Aは、例えば、渦電流発生部である。

【0134】

この例では、磁界印加部76Aは、印加制御回路部76a、駆動アンプ76b及びコイル76cを含む。印加制御回路部76aによる制御により、駆動アンプ76bに電流が供給される。電流は、例えば、交流である。電流の周波数は、例えば、渦電流励起周波数である。渦電流励起周波数は、例えば、10Hz以上100kHz以下である。渦電流励起周波数は、例えば、100kHz未満でも良い。

10

【0135】

例えば、センサ制御回路部75cから、第1電流I1の交流成分の周波数に関する情報（例えば信号でも良い）が、参照波（参照信号）として、第1ロックインアンプ75aに供給される。第1ロックインアンプ75aの出力が第2ロックインアンプ75bに供給される。印加制御回路部76aから、渦電流励起周波数に関する情報（例えば信号でも良い）が、参照波（参照信号）として、第2ロックインアンプ75bに供給される。第2ロックインアンプ75bは、渦電流励起周波数に応じた信号成分を出力可能である。

【0136】

このように、例えば、処理部78は、第1ロックインアンプ75aを含む。第1ロックインアンプ75aには、磁気センサ110から得られる出力信号SigXと、第1電流I1に含まれる交流成分の周波数に対応する信号SigR1と、が入力される。第1ロックインアンプ75aは、第1電流I1に含まれる交流成分の周波数に対応する信号SigR1を参照波（参照信号）とした出力信号SigX1を出力可能である。第1ロックインアンプ75aが設けられることで、ノイズを抑制して、高感度の検出が可能になる。

20

【0137】

処理部78は、第2ロックインアンプ75bをさらに含んでも良い。第2ロックインアンプ75bには、第1ロックインアンプ75aの出力信号SigX1と、検出対象80（検査対象）に向けて供給される供給信号（この例では磁界印加部76Aによる磁界）の周波数（渦電流励起周波数）に対応する信号SigR2と、が入力される。第2ロックインアンプ75bは、検出対象80（検査対象）に向けて供給される供給信号の周波数に対応する信号SigR2を参照波（参照信号）とした出力信号SigX2を出力可能である。第2ロックインアンプ75bが設けられることで、ノイズをさらに抑制して、さらに高感度の検出が可能になる。

30

【0138】

検査装置550により、検出対象80の検査導電部材80cの傷などの異常を検査できる。

【0139】

図16は、第3実施形態に係る検査装置を例示する模式図である。

40

図16に示すように、実施形態に係る検査装置551は、実施形態に係る磁気センサ（例えば磁気センサ110）と、処理部78と、を含む。検査装置551における、磁気センサ及び処理部78の構成は、検査装置550におけるそれらの構成と同様で良い。この例においては、検査装置551は、検出対象駆動部76Bを含む。検出対象駆動部76Bは、検出対象80に含まれる検査導電部材80cに電流を供給可能である。検査導電部材80cは、例えば、検出対象80に含まれる配線である。検査導電部材80cに流れる電流80iによる磁界が磁気センサ110により検出される。磁気センサ110による検出結果による異常に基づいて、検査導電部材80cを検査できる。検出対象80は、例えば、半導体装置などの電子装置でも良い。検出対象80は、例えば、電池などでも良い。

【0140】

50

この例では、検出対象駆動部 76B は、印加制御回路部 76a 及び駆動アンプ 76b を含む。印加制御回路部 76a による制御により、駆動アンプ 76b が制御され、駆動アンプ 76b から、検査導電部材 80c に電流が供給される。電流は、例えば、交流である。例えば、検査導電部材 80c に交流電流を供給する。交流電流の周波数は、例えば、10Hz 以上 100kHz 以下である。周波数は、例えば、100kHz 未満でも良い。この例においても、第 1 ロックインアンプ 75a 及び第 2 ロックインアンプ 75b が設けられることで、例えば、ノイズを抑制して、高感度の検出が可能になる。検査装置 551 の 1 つの例において、複数の磁気センサ（例えば複数の磁気センサ 110）が設けられても良い。複数の磁気センサは、例えば、センサアレイである。センサアレイにより、検査導電部材 80c を短時間で検査できる。検査装置 551 の 1 つの例において、磁気センサ（例えば磁気センサ 110）がスキャンされて、検査導電部材 80c が検査されても良い。

10

#### 【0141】

図 17 は、第 3 実施形態に係る検査装置を示す模式的斜視図である。

図 17 に示すように、実施形態に係る検査装置 710 は、磁気センサ 150a と、処理部 770 と、を含む。磁気センサ 150a は、第 1、第 2 実施形態のいずれかに係る磁気センサ及びその変形で良い。処理部 770 は、磁気センサ 150a から得られる出力信号を処理する。処理部 770 において、磁気センサ 150a から得られた信号と、基準値との比較などが行われても良い。処理部 770 は、処理結果に基づいて、検査結果を出力可能である。

#### 【0142】

例えば、検査装置 710 により、検査対象 680 が検査される。検査対象 680 は、例えば、電子装置（半導体回路などを含む）である。検査対象 680 は、例えば、電池 610 などでも良い。

20

#### 【0143】

例えば、実施形態に係る磁気センサ 150a は、電池 610 とともに用いられても良い。例えば、電池システム 600 は、電池 610 及び磁気センサ 150a を含む。磁気センサ 150a は、電池 610 に流れる電流により生じる磁界を検出できる。

#### 【0144】

図 18 は、第 3 実施形態に係る検査装置を示す模式的平面図である。

図 18 に示すように、磁気センサ 150a は、例えば、実施形態に係る複数の磁気センサを含む。この例では、磁気センサ 150a は、複数の磁気センサ（例えば、磁気センサ 110 など）を含む。複数の磁気センサは、例えば、2 つの方向（例えば、X 軸方向及び Y 軸方向）に沿って並ぶ。複数の磁気センサ 110 は、例えば、基体の上に設けられる。

30

#### 【0145】

磁気センサ 150a は、検査対象 680（例えば電池 610 でも良い）に流れる電流により生じる磁界を検出できる。例えば、電池 610 が異常な状態に近づくと、電池 610 に異常な電流が流れる場合がある。磁気センサ 150a により異常な電流を検出することで、電池 610 の状態の変化を知ることができる。例えば、電池 610 に近づけて磁気センサ 150a が置かれた状態で、2 つの方向のセンサ群駆動手段を用いて、電池 610 の全体を短時間で検査できる。磁気センサ 150a は、電池 610 の製造における、電池 610 の検査に用いられても良い。

40

#### 【0146】

実施形態に係る磁気センサは、例えば、診断装置などの検査装置 710 に応用できる。

図 19 は、第 3 実施形態に係る磁気センサ及び検査装置を示す模式図である。

図 19 に示すように、検査装置 710 の例である診断装置 500 は、磁気センサ 150 を含む。磁気センサ 150 は、第 1、第 2 実施形態に関して説明した磁気センサ、及び、それらの変形を含む。

#### 【0147】

診断装置 500 において、磁気センサ 150 は、例えば、脳磁計である。脳磁計は、脳神経が発する磁界を検出する。磁気センサ 150 が脳磁計に用いられる場合、磁気センサ

50

150に含まれる磁気素子のサイズは、例えば、1mm以上10mm未満である。このサイズは、例えば、MFCを含めた長さである。

【0148】

図19に示すように、磁気センサ150（脳磁計）は、例えば、人体の頭部に装着される。磁気センサ150（脳磁計）は、センサ部301を含む。磁気センサ150（脳磁計）は、複数のセンサ部301を含んでも良い。複数のセンサ部301の数は、例えば、約100個（例えば50個以上150個以下）である。複数のセンサ部301は、柔軟性を有する基体302に設けられる。

【0149】

磁気センサ150は、例えば、差動検出などの回路を含んでも良い。磁気センサ150は、磁気センサとは別のセンサ（例えば、電位端子または加速度センサなど）を含んでも良い。

10

【0150】

磁気センサ150のサイズは、従来のSQUID磁気センサのサイズに比べて小さい。このため、複数のセンサ部301の設置が容易である。複数のセンサ部301と、他の回路と、の設置が容易である。複数のセンサ部301と、他のセンサと、の共存が容易である。

【0151】

基体302は、例えばシリコン樹脂などの弾性体を含んでも良い。基体302に、例えば、複数のセンサ部301が繋がって設けられる。基体302は、例えば、頭部に密着できる。

20

【0152】

センサ部301の入出力コード303は、診断装置500のセンサ駆動部506及び信号入出力部504と接続される。センサ駆動部506からの電力と、信号入出力部504からの制御信号と、に基づいて、センサ部301において、磁界測定が行われる。その結果は、信号入出力部504に入力される。信号入出力部504で得た信号は、信号処理部508に供給される。信号処理部508において、例えば、ノイズの除去、フィルタリング、増幅、及び、信号演算などの処理が行われる。信号処理部508で処理された信号が、信号解析部510に供給される。信号解析部510は、例えば、脳磁計測のための特定の信号を抽出する。信号解析部510において、例えば、信号位相を整合させる信号解析が行われる。

30

【0153】

信号解析部510の出力（信号解析が終了したデータ）が、データ処理部512に供給される。データ処理部512では、データ解析が行われる。このデータ解析において、例えば、MRI（Magnetic Resonance Imaging）などの画像データが取り入れられることが可能である。このデータ解析においては、例えば、EEG（Electroencephalogram）などの頭皮電位情報などが取り入れられることが可能である。例えば、MRIまたはEEGなどのデータ部514がデータ処理部512と接続される。データ解析により、例えば、神経発火点解析、または、逆問題解析などが行われる。

【0154】

データ解析の結果は、例えば、画像化診断部516に供給される。画像化診断部516において、画像化が行われる。画像化により、診断が支援される。

40

【0155】

上記の一連の動作は、例えば、制御機構502によって制御される。例えば、一次信号データ、または、データ処理途中のメタデータなどの必要なデータは、データサーバに保存される。データサーバと制御機構とは、一体化されても良い。

【0156】

実施形態に係る診断装置500は、磁気センサ150と、磁気センサ150から得られる出力信号を処理する処理部と、を含む。この処理部は、例えば、信号処理部508及びデータ処理部512の少なくともいずれかを含む。処理部は、例えば、コンピュータなど

50

を含む。

【 0 1 5 7 】

図 1 9 に示す磁気センサ 1 5 0 では、センサ部 3 0 1 は、人体の頭部に設置されている。センサ部 3 0 1 は、人体の胸部に設置されても良い。これにより、心磁測定が可能となる。例えば、センサ部 3 0 1 を妊婦の腹部に設置しても良い。これにより、胎児の心拍検査を行うことができる。

【 0 1 5 8 】

被験者を含めた磁気センサ装置は、シールドルーム内に設置されるのが好ましい。これにより、例えば、地磁気または磁気ノイズの影響が抑制できる。

【 0 1 5 9 】

例えば、人体の測定部位、または、センサ部 3 0 1 を局所的にシールドする機構を設けても良い。例えば、センサ部 3 0 1 にシールド機構を設けても良い。例えば、信号解析またはデータ処理において、実効的なシールドを行っても良い。

【 0 1 6 0 】

実施形態において、基体 3 0 2 は、柔軟性を有しても良く、柔軟性を実質的に有しなくても良い。図 1 9 に示す例では、基体 3 0 2 は、連続した膜を帽子状に加工したものである。基体 3 0 2 は、ネット状でも良い。これにより、例えば、良好な装着性が得られる。例えば、基体 3 0 2 の人体への密着性が向上する。基体 3 0 2 は、ヘルメット状で、硬質でも良い。

【 0 1 6 1 】

図 2 0 は、第 3 実施形態に係る検査装置を示す模式図である。

図 2 0 は、心磁計の一例である。図 2 0 に示す例では、平板状の硬質の基体 3 0 5 上にセンサ部 3 0 1 が設けられる。

【 0 1 6 2 】

図 2 0 に示した例において、センサ部 3 0 1 から得られる信号の入出力は、図 1 9 に関して説明した入出力と同様である。図 2 0 に示した例において、センサ部 3 0 1 から得られる信号の処理は、図 1 9 に関して説明した処理と同様である。

【 0 1 6 3 】

生体から発生する磁界などの微弱な磁界を計測する装置として、SQUID (Superconducting Quantum Interference Device : 超伝導量子干渉素子)磁気センサを用いる参考例がある。この参考例においては、超伝導を用いるため、装置が大きく、消費電力も大きい。測定対象(患者)の負担が大きい。

【 0 1 6 4 】

実施形態によれば、装置が小型にできる。消費電力を抑制できる。測定対象(患者)の負担が軽減できる。実施形態によれば、磁界検出の S N 比を向上できる。感度を向上できる。

【 0 1 6 5 】

実施形態は、以下の構成(例えば技術案)を含んでも良い。

(構成 1)

第 1 磁気素子と、

前記第 1 磁気素子に沿う第 1 対応部を含む導電部材と、

前記第 1 磁気素子に素子電流を供給可能な素子電流回路と、

前記第 1 対応部に交流成分を含む第 1 電流を供給可能な第 1 電流回路と、

を備え、

前記第 1 電流は、

第 1 極性の第 1 電流値の第 1 期間と、

前記第 1 極性の第 1 パルス電流値の第 1 パルス期間と、

前記第 1 極性とは異なる第 2 極性の第 2 電流値の第 2 期間と、

前記第 2 極性の第 2 パルス電流値の第 2 パルス期間と、

を含み、

前記第 1 パルス電流値の絶対値は、前記第 1 電流値の絶対値よりも大きく、前記第 2 電

10

20

30

40

50

流値の絶対値よりも大きく、

前記第 2 パルス電流値の絶対値は、前記第 1 電流値の前記絶対値よりも大きく、前記第 2 電流値の前記絶対値よりも大きく、

前記第 1 パルス期間は、前記第 1 期間よりも短く、前記第 2 期間よりも短く、

前記第 2 パルス期間は、前記第 1 期間よりも短く、前記第 2 期間よりも短い、磁気センサ。

【 0 1 6 6 】

( 構成 2 )

前記第 1 パルス電流値の前記絶対値は、前記第 1 電流値の前記絶対値の 10 倍以上であり、前記第 2 電流値の前記絶対値の 10 倍以上であり、

10

前記第 2 パルス電流値の前記絶対値は、前記第 1 電流値の前記絶対値の 10 倍以上であり、前記第 2 電流値の前記絶対値の 10 倍以上である、構成 1 記載の磁気センサ。

【 0 1 6 7 】

( 構成 3 )

前記第 1 パルス期間は、1 ns 以上 1000 ns 以下であり、

前記第 2 パルス期間は、1 ns 以上 1000 ns 以下である、構成 1 または 2 に記載の磁気センサ。

【 0 1 6 8 】

( 構成 4 )

前記第 1 磁気素子の電気抵抗は、前記第 1 電流値の前記絶対値を大きくすると上昇し、

20

前記電気抵抗は、前記第 2 電流値の前記絶対値を大きくすると上昇する、構成 1 ~ 3 のいずれか 1 つに記載の磁気センサ。

【 0 1 6 9 】

( 構成 5 )

第 1 磁気素子と、

前記第 1 磁気素子に沿う第 1 対応部を含む導電部材と、

前記第 1 磁気素子に素子電流を供給可能な素子電流回路と、

前記第 1 対応部に交流成分を含む第 1 電流を供給可能な第 1 電流回路と、

を備え、

前記第 1 電流は、

30

第 1 極性の第 1 電流値の第 1 期間と、

前記第 1 極性とは異なる第 2 極性の第 2 電流値の第 2 期間と、

を含み、

前記素子電流は、

前記第 1 極性の第 1 素子値の第 1 サブ期間と、

前記第 1 極性の第 1 パルス素子値の第 1 サブパルス期間と、

前記第 2 極性の第 2 素子値の第 2 サブ期間と、

前記第 2 極性の第 2 パルス素子値の第 2 サブパルス期間と、

を含み、

前記第 1 サブ期間は、前記第 1 期間の一部であり、

40

前記第 1 サブパルス期間は、前記第 1 期間の別の一部であり、

前記第 2 サブ期間は、前記第 2 期間の一部であり、

前記第 2 サブパルス期間は、前記第 2 期間の別の一部であり、

前記第 1 パルス素子値の絶対値は、前記第 1 素子値の絶対値よりも大きく、前記第 2 素子値の絶対値よりも大きく、

前記第 2 パルス素子値の絶対値は、前記第 1 素子値の前記絶対値よりも大きく、前記第 2 素子値の前記絶対値よりも大きく、

前記第 1 サブパルス期間は、前記第 1 サブ期間よりも短く、前記第 2 サブ期間よりも短く、

前記第 2 サブパルス期間は、前記第 1 サブ期間よりも短く、前記第 2 サブ期間よりも短

50

い、磁気センサ。

【0170】

(構成6)

前記第1パルス素子値の前記絶対値は、前記第1素子値の前記絶対値の10倍以上であり、前記第2素子値の前記絶対値の10倍以上であり、

前記第2パルス素子値の前記絶対値は、前記第1素子値の前記絶対値の10倍以上であり、前記第2素子値の前記絶対値の10倍以上である、構成5記載の磁気センサ。

【0171】

(構成7)

前記第1サブパルス期間は、1ns以上1000ns以下であり、

前記第2サブパルス期間は、1ns以上1000ns以下である、構成5または6に記載の磁気センサ。

10

【0172】

(構成8)

前記第1磁気素子の電気抵抗は、前記第1電流値の前記絶対値を大きくすると上昇し、前記電気抵抗は、前記第2電流値の前記絶対値を大きくすると上昇する、構成5～7のいずれか1つに記載の磁気センサ。

【0173】

(構成9)

前記第1磁気素子は、

第1磁性層と、

第1対向磁性層と、

前記第1磁性層と前記第1対向磁性層との間に設けられた第1非磁性層と、を含む、構成1～8のいずれか1つに記載の磁気センサ。

20

【0174】

(構成10)

前記第1磁気素子は、IrMn及びPtMnよりなる群から選択された少なくとも1つを含む第1層に含み、

前記第1磁性層は、前記第1層と前記第1対向磁性層との間にある、構成9記載の磁気センサ。

30

【0175】

(構成11)

前記第1磁気素子は、中間磁性層と、中間非磁性層と、をさらに含み、

前記中間磁性層は、前記第1層と前記第1磁性層との間にあり、

前記中間非磁性層は、前記中間磁性層と前記第1磁性層との間にある、構成10記載の磁気センサ。

【0176】

(構成12)

前記第1非磁性層は、Cu、Au及びAgよりなる群から選択された少なくとも1つを含み、

前記中間非磁性層は、Ruを含む、構成11記載の磁気センサ。

40

【0177】

(構成13)

前記第1磁気素子は、第1端部及び第1他端部を含み、

前記素子電流は、前記第1端部と前記第1他端部との間に流れ、

前記第1磁気素子の第1方向に沿う第1長さは、前記第1磁気素子の第2方向に沿う第1幅よりも長く、前記第1方向は、前記第1端部から前記第1他端部への方向に沿い、前記第2方向は、前記第1方向と交差する、構成1～12のいずれか1つに記載の磁気センサ。

【0178】

50

## (構成14)

第2磁気素子と、  
第3磁気素子と、  
第4磁気素子と、  
をさらに備え、

前記第1磁気素子は、第1端部及び第1他端部を含み、前記第1端部から前記第1他端部への方向は、第1方向に沿い、

前記第2磁気素子は、第2端部及び第2他端部を含み、前記第2端部から前記第2他端部への方向は、前記第1方向に沿い、

前記第3磁気素子は、第3端部及び第3他端部を含み、前記第3端部から前記第3他端部への方向は、前記第1方向に沿い、

前記第4磁気素子は、第4端部及び第4他端部を含み、前記第4端部から前記第4他端部への方向は、前記第1方向に沿い、

前記導電部材は、

前記第2磁気素子に沿う第2対応部と、

前記第3磁気素子に沿う第3対応部と、

前記第4磁気素子に沿う第4対応部と、

を含み、

前記第1対応部は、前記第1端部に対応する第1部分と、前記第1他端部に対応する第1他部分と、を含み、

前記第2対応部は、前記第2端部に対応する第2部分と、前記第2他端部に対応する第2他部分と、を含み、

前記第3対応部は、前記第3端部に対応する第3部分と、前記第3他端部に対応する第3他部分と、を含み、

前記第4対応部は、前記第4端部に対応する第4部分と、前記第4他端部に対応する第4他部分と、を含み、

前記素子電流回路は、前記第2磁気素子、前記第3磁気素子及び前記第4磁気素子に前記素子電流を供給可能であり、

前記第1電流回路は、前記第2対応部、前記第3対応部及び前記第4対応部に前記第1電流を供給可能である、構成1～13のいずれか1つに記載の磁気センサ。

## 【0179】

## (構成15)

前記第1他端部は、前記第2端部と電氣的に接続され、

前記第1端部は、前記第3端部と電氣的に接続され、

前記第3他端部は、前記第4端部と電氣的に接続され、

前記第2他端部は、前記第4他端部と電氣的に接続され、

前記素子電流回路は、前記第1端部及び前記第3端部の第1接続点と、前記第2他端部と前記第4他端部の第2接続点と、の間に前記素子電流を供給可能であり、

前記第1部分は、前記第3部分と電氣的に接続され、

前記第1他部分は、前記第2部分と電氣的に接続され、

前記第3他部分は、前記第4部分と電氣的に接続され、

前記第2他部分は、前記第4他部分と電氣的に接続され、

前記第1電流回路は、前記第1他部分及び前記第2部分の第5接続点と、前記第3他部分と前記第4部分の第6接続点と、の間に前記第1電流を供給可能である、構成14記載の磁気センサ。

## 【0180】

## (構成16)

検出回路をさらに備え、

前記検出回路は、前記第1他端部及び前記第2端部の第3接続点と、前記第3他端部及び前記第4端部の第4接続点と、の間の電位の変化を検出可能である、構成14または1

10

20

30

40

50

5 に記載の磁気センサ。

【 0 1 8 1 】

( 構成 1 7 )

第 2 磁気素子と、  
第 1 抵抗素子と、  
第 2 抵抗素子と、  
をさらに備え、

前記第 1 磁気素子は、第 1 端部及び第 1 他端部を含み、前記第 1 端部から前記第 1 他端部への方向は、第 1 方向に沿い、

前記第 2 磁気素子は、第 2 端部及び第 2 他端部を含み、前記第 2 端部から前記第 2 他端部への方向は、前記第 1 方向に沿い、

前記第 1 抵抗素子は、第 3 端部及び第 3 他端部を含み、前記第 3 端部から前記第 3 他端部への方向は、前記第 1 方向に沿い、

前記第 2 抵抗素子は、第 4 端部及び第 4 他端部を含み、前記第 4 端部から前記第 4 他端部への方向は、前記第 1 方向に沿い、

前記導電部材は、

前記第 2 磁気素子に沿う第 2 対応部と、

第 3 対応部と、

第 4 対応部と、

を含み、

前記第 1 対応部は、前記第 1 端部に対応する第 1 部分と、前記第 1 他端部に対応する第 1 他部分と、を含み、

前記第 2 対応部は、前記第 2 端部に対応する第 2 部分と、前記第 2 他端部に対応する第 2 他部分と、を含み、

前記第 3 対応部は、前記第 3 端部に対応する第 3 部分と、前記第 3 他端部に対応する第 3 他部分と、を含み、

前記第 4 対応部は、前記第 4 端部に対応する第 4 部分と、前記第 4 他端部に対応する第 4 他部分と、を含み、

前記素子電流回路は、前記第 2 磁気素子、前記第 1 抵抗素子及び前記第 2 抵抗素子に前記素子電流を供給可能であり、

前記第 1 電流回路は、前記第 2 対応部、前記第 3 対応部及び前記第 4 対応部に前記第 1 電流を供給可能である、構成 1 ~ 1 3 のいずれか 1 つに記載の磁気センサ。

【 0 1 8 2 】

( 構成 1 8 )

前記第 1 端部は、前記第 3 端部と電氣的に接続され、

前記第 1 他端部は、前記第 4 端部と電氣的に接続され、

前記第 3 他端部は、前記第 2 端部と電氣的に接続され、

前記第 4 他端部は、前記第 2 他端部と電氣的に接続され、

前記素子電流回路は、前記第 1 端部及び前記第 3 端部の第 1 接続点と、前記第 4 他端部と前記第 2 他端部の第 2 接続点と、の間に前記素子電流を供給可能であり、

前記第 1 部分は、前記第 2 部分と電氣的に接続され、

前記第 1 他部分は、前記第 2 他部分と電氣的に接続され、

前記第 1 電流回路は、前記第 1 他部分及び前記第 2 他部分の第 5 接続点と、前記第 1 部分及び前記第 2 部分の第 6 接続点と、の間に前記第 1 電流を供給可能である、構成 1 7 記載の磁気センサ。

【 0 1 8 3 】

( 構成 1 9 )

検出回路をさらに備え、

前記検出回路は、前記第 1 他端部及び前記第 4 端部の第 3 接続点と、前記第 3 他端部及び前記第 2 端部の第 4 接続点と、の間の電位の変化を検出可能である、構成 1 7 または 1

10

20

30

40

50

8に記載の磁気センサ。

【0184】

(構成20)

構成1～19のいずれか1つに記載の磁気センサと、  
前記磁気センサから出力される信号を処理可能な処理部と、  
を備えた検査装置。

【0185】

実施形態によれば、感度の向上が可能な磁気センサ及び検査装置が提供できる。

【0186】

本願明細書において、「垂直」及び「平行」は、厳密な垂直及び厳密な平行だけではなく、例えば製造工程におけるばらつきなどを含むものであり、実質的に垂直及び実質的に平行であれば良い。

10

【0187】

以上、具体例を参照しつつ、本発明の実施の形態について説明した。しかし、本発明は、これらの具体例に限定されるものではない。例えば、磁気センサに含まれる磁気素子、磁性層、非磁性層、磁性部材、導電部材及び回路などの各要素の具体的な構成に関しては、当業者が公知の範囲から適宜選択することにより本発明を同様に実施し、同様の効果を得ることができる限り、本発明の範囲に包含される。

【0188】

また、各具体例のいずれか2つ以上の要素を技術的に可能な範囲で組み合わせたものも、本発明の要旨を包含する限り本発明の範囲に含まれる。

20

【0189】

その他、本発明の実施の形態として上述した磁気センサ及び検査装置を基にして、当業者が適宜設計変更して実施し得る全ての磁気センサ及び検査装置も、本発明の要旨を包含する限り、本発明の範囲に属する。

【0190】

その他、本発明の思想の範疇において、当業者であれば、各種の変更例及び修正例に想到し得るものであり、それら変更例及び修正例についても本発明の範囲に属するものと解される。

【0191】

本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

30

【符号の説明】

【0192】

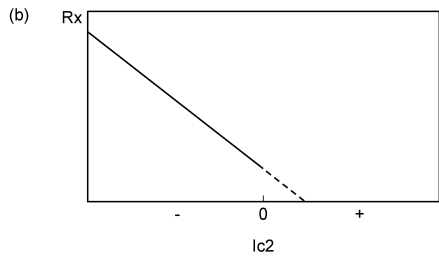
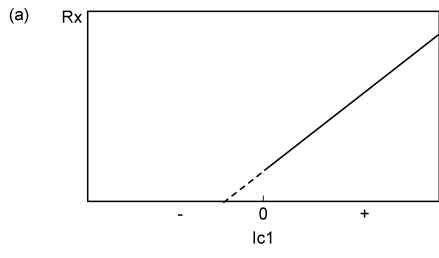
10S...センサ部、 11～14...第1～第4磁性層、 11E～14E...第1～第4磁気素子、 11Ee～14Ee...第1～第4端部、 11Ef～14Ef...第1～第4他端部、 11R、12R...第1、第2抵抗素子、 11n～14n...第1～第4非磁性層、 11o～14o...第1～第4対向磁性層、 11p～14p...中間磁性層、 11q～14q...第1～第4層、 11r～14r...中間非磁性層、 20...導電部材、 21～24...第1～第4対応部、 21e～24e...第1～第4部分、 21f～24f...第1～第4他部分、 65...絶縁部材、 70...制御回路部、 71...第1電流回路、 73...検出回路、 75...素子電流回路、 75a、75b...第1、第2ロックインアンプ、 75c...センサ制御回路部、 76A...磁界印加部、 76B...検出対象駆動部、 76a...印加制御回路部、 76b...駆動アンプ、 76c...コイル、 78...処理部、 80...検出対象、 80c...検査導電部材、 80i...電流、 110、111、112、112a～112c、113、114、150、150a...磁気センサ、 301...センサ部、 302...基体、 303...入出力コード、 305...基体、 500...診断装置、 502...制御機構、

40

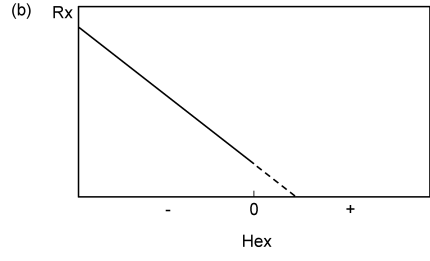
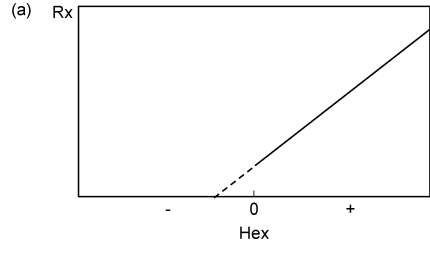
50



【 図 3 】



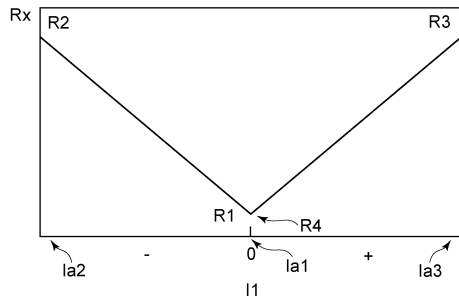
【 図 4 】



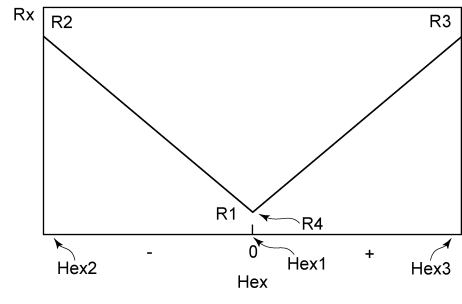
10

20

【 図 5 】



【 図 6 】

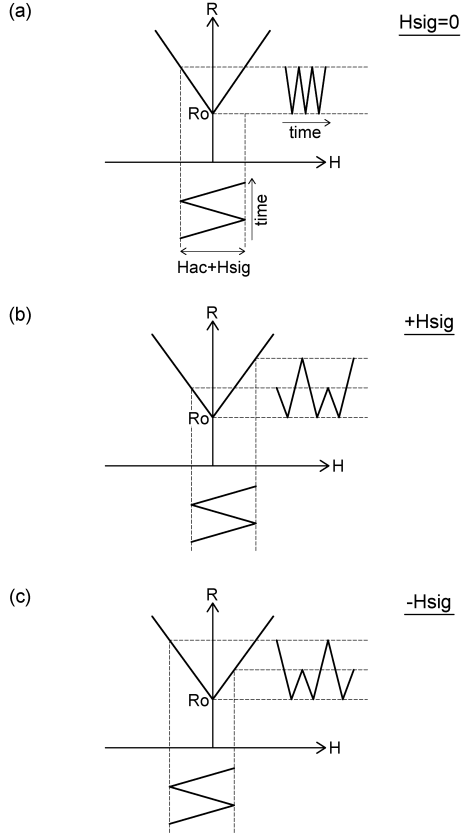


30

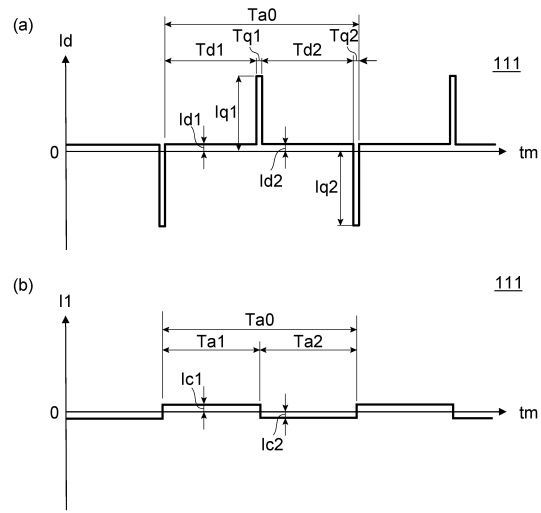
40

50

【 図 7 】



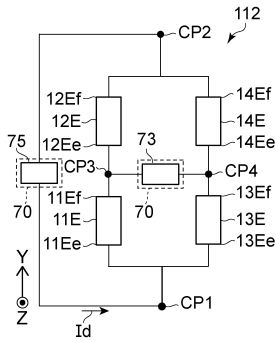
【 図 8 】



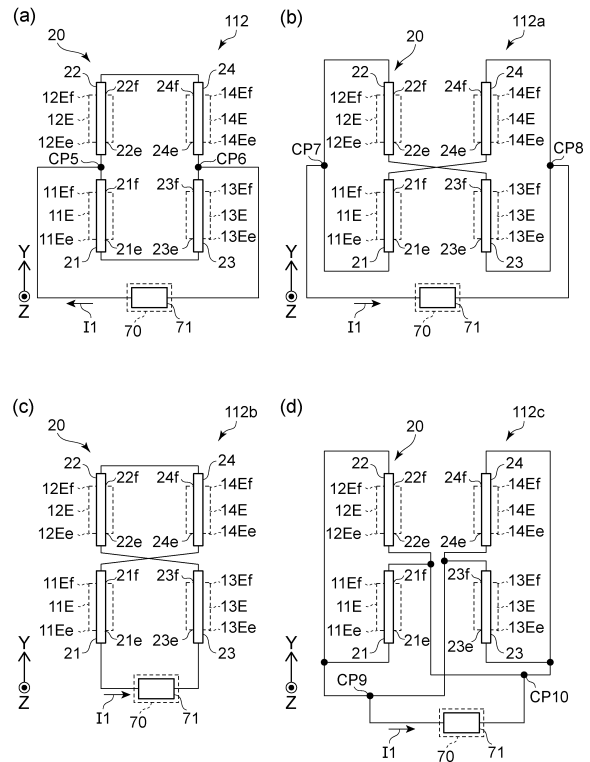
10

20

【 図 9 】



【 図 10 】

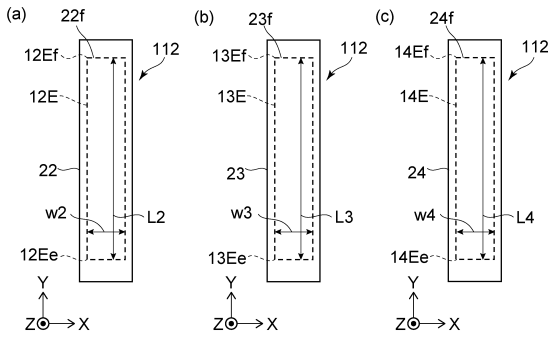


30

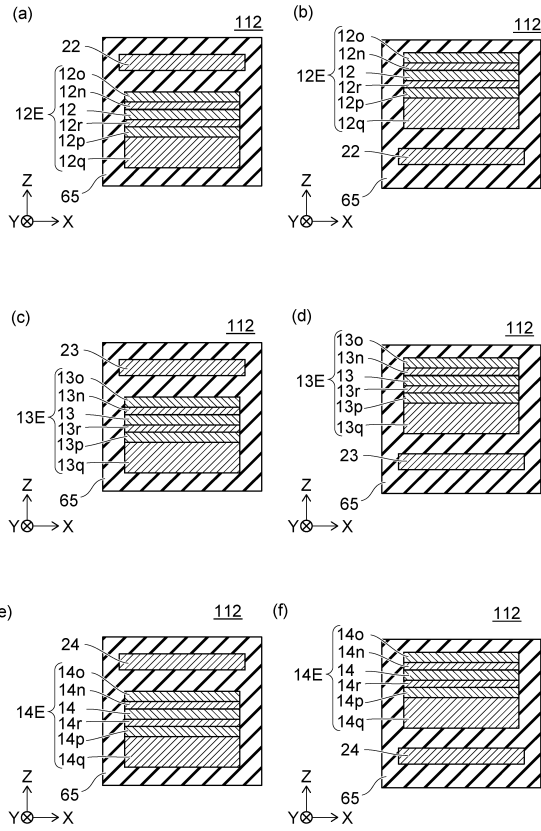
40

50

【図 1 1】



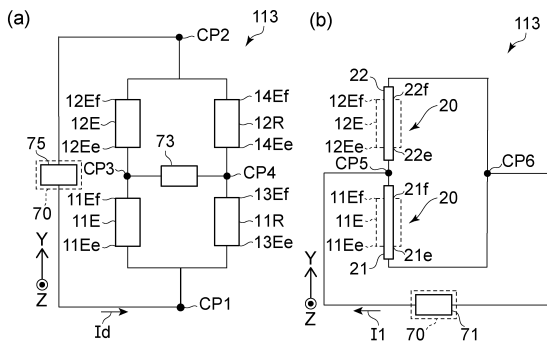
【図 1 2】



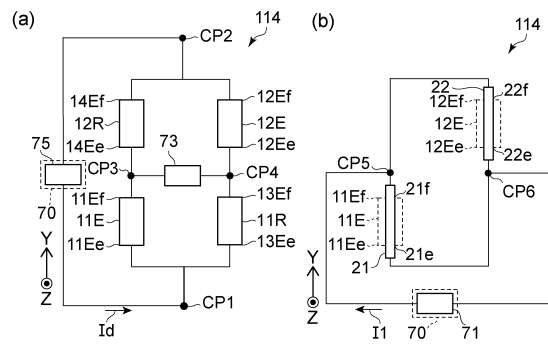
10

20

【図 1 3】



【図 1 4】

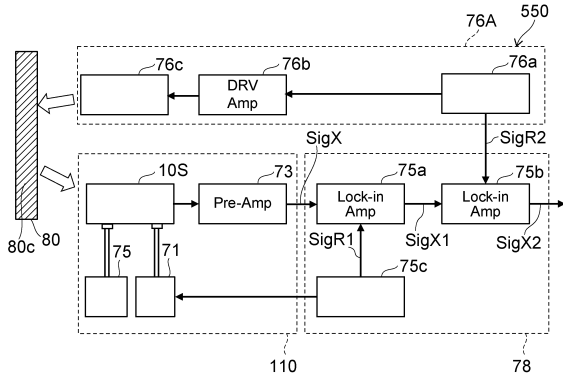


30

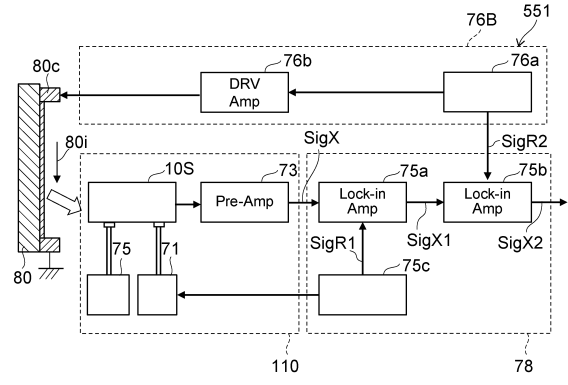
40

50

【 図 1 5 】

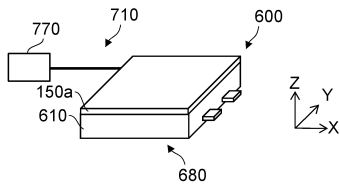


【 図 1 6 】

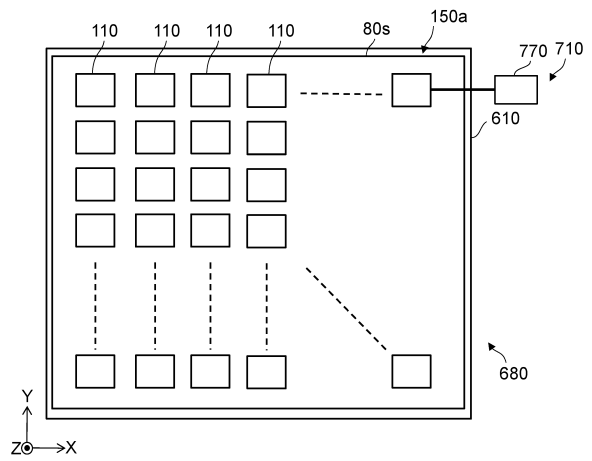


10

【 図 1 7 】



【 図 1 8 】



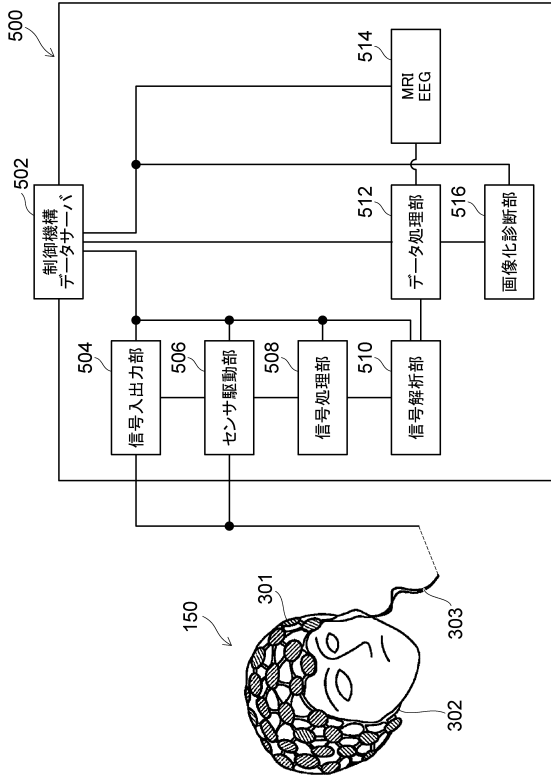
20

30

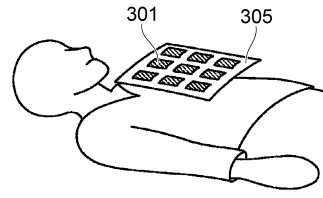
40

50

【図 19】



【図 20】



10

20

30

40

50

## フロントページの続き

- 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内  
(72)発明者 山田 健一郎  
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内  
審査官 小川 浩史  
(56)参考文献 特開2009-250931(JP,A)  
特開2018-155719(JP,A)  
特開2003-028941(JP,A)  
特許第7316719(JP,B2)  
特許第7319683(JP,B2)  
特許第7284739(JP,B2)  
(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
G01R 33/00-33/26  
H10N 50/00-59/00