

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6791237号
(P6791237)

(45) 発行日 令和2年11月25日 (2020. 11. 25)

(24) 登録日 令和2年11月9日 (2020. 11. 9)

(51) Int. Cl.	F I
GO 1 R 33/02 (2006. 01)	GO 1 R 33/02 V
GO 1 R 33/09 (2006. 01)	GO 1 R 33/09
HO 1 L 43/08 (2006. 01)	GO 1 R 33/02 Z
	HO 1 L 43/08 Z
	HO 1 L 43/08 B

請求項の数 9 (全 39 頁)

(21) 出願番号	特願2018-248475 (P2018-248475)	(73) 特許権者	000003067
(22) 出願日	平成30年12月28日 (2018. 12. 28)		T D K株式会社
(65) 公開番号	特開2020-106505 (P2020-106505A)		東京都中央区日本橋二丁目5番1号
(43) 公開日	令和2年7月9日 (2020. 7. 9)	(74) 代理人	110002907
審査請求日	令和2年2月13日 (2020. 2. 13)		特許業務法人イトーシン国際特許事務所
早期審査対象出願		(74) 代理人	100166257
			弁理士 城澤 達哉
		(74) 代理人	100076233
			弁理士 伊藤 進
		(72) 発明者	高橋 宏和
			東京都中央区日本橋二丁目5番1号 T D
			K株式会社内
		(72) 発明者	渡部 司也
			東京都中央区日本橋二丁目5番1号 T D
			K株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気センサ装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1の検出対象磁界に対応した第1の検出値を生成する第1の磁気センサと、
軟磁性材料よりなる軟磁性構造体とを備え、前記第1の磁気センサと前記軟磁性構造体
とが一体化された磁気センサ装置であって、

前記第1の磁気センサと前記軟磁性構造体は、前記軟磁性構造体が磁化を有するとき
には前記軟磁性構造体の磁化に基づく磁界が前記第1の磁気センサに印加されるように構成
され、

前記軟磁性構造体の少なくとも一部は、縞状磁区構造を有することを特徴とする磁気セ
ンサ装置。

【請求項 2】

更に、第2の検出対象磁界に対応した第2の検出値を生成する第2の磁気センサを備え
、

前記第1の検出対象磁界は、外部磁界の第1の方向に平行な方向の成分であり、
前記第2の検出対象磁界は、前記外部磁界の第2の方向に平行な方向の成分であり、
前記第2の方向に平行な方向に見たときに、前記軟磁性構造体は、前記第1の磁気セン
サとは重ならず、前記第2の磁気センサと重なるように配置されていることを特徴とす
る請求項1記載の磁気センサ装置。

【請求項 3】

前記軟磁性構造体は、前記第2の検出対象磁界を受けて前記第2の方向と交差する方向

の出力磁界成分を出力する磁界変換部を含み、

前記出力磁界成分の強度は、前記第 2 の検出対象磁界の強度と対応関係を有し、

前記第 2 の磁気センサは、前記出力磁界成分の強度を検出することを特徴とする請求項 2 記載の磁気センサ装置。

【請求項 4】

前記軟磁性構造体は、更に、少なくとも 1 つの軟磁性層を含むことを特徴とする請求項 3 記載の磁気センサ装置。

【請求項 5】

前記第 1 および第 2 の方向は、互いに直交することを特徴とする請求項 2 ないし 4 のいずれかに記載の磁気センサ装置。

【請求項 6】

更に、第 3 の検出対象磁界に対応した第 3 の検出値を生成する第 3 の磁気センサを備え、

前記第 3 の検出対象磁界は、前記外部磁界の第 3 の方向に平行な方向の成分であり、

前記第 3 の磁気センサと前記軟磁性構造体は、前記軟磁性構造体が磁化を有するときには前記軟磁性構造体の磁化に基づく磁界が前記第 3 の磁気センサに印加されるように構成されていることを特徴とする請求項 2 ないし 5 のいずれかに記載の磁気センサ装置。

【請求項 7】

前記第 1 ないし第 3 の方向は、互いに直交することを特徴とする請求項 6 記載の磁気センサ装置。

【請求項 8】

前記第 1 の磁気センサと前記軟磁性構造体は、前記第 1 の磁気センサに前記第 1 の検出対象磁界を含む外部磁界が印加されるときには前記軟磁性構造体にも前記外部磁界が印加されるように構成され、

前記外部磁界の強度は、所定の可変範囲内で変化し、

前記軟磁性構造体に印加される所定の方向に平行な方向の磁界の強度を印加磁界強度とし、前記軟磁性構造体の磁化の前記所定の方向に平行な方向の成分に対応する値を磁化対応値とし、前記印加磁界強度と前記磁化対応値を直交する 2 軸で表した直交座標系において、前記印加磁界強度を変化させたときに前記印加磁界強度と前記磁化対応値を表す座標の軌跡が描くループのうち、そのループで囲まれた領域の面積が最も大きいループをメジャーループとしたときに、前記外部磁界の強度が前記可変範囲内で変化すると、前記直交座標系において、前記印加磁界強度と前記磁化対応値を表す座標は、前記メジャーループで囲まれた領域内で移動することを特徴とする請求項 1 ないし 7 のいずれかに記載の磁気センサ装置。

【請求項 9】

前記可変範囲は、絶対値が 21.60 e 以下の範囲であることを特徴とする請求項 8 記載の磁気センサ装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁気センサと軟磁性構造体とを含む磁気センサ装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、種々の用途で、磁気センサが利用されている。磁気センサとしては、基板上に設けられた複数の磁気検出素子を用いたものが知られている。磁気検出素子としては、例えば磁気抵抗効果素子が用いられる。

【0003】

特許文献 1 には、支持体上に X 軸磁気センサ、Y 軸磁気センサおよび Z 軸磁気センサが設けられた地磁気センサが記載されている。この地磁気センサにおいて、Z 軸磁気センサは、磁気抵抗効果素子と軟磁性体を含んでいる。軟磁性体は、Z 軸に平行な方向の垂直磁

10

20

30

40

50

界成分を、Z軸に垂直な方向の水平磁界成分に変換して、この水平磁界成分を磁気抵抗効果素子に与える。

【0004】

特許文献2には、縞状磁区構造の軟磁性薄膜を含む磁気ヘッドが記載されている。特許文献2には、縞状磁区構造の軟磁性薄膜を用いることにより、膜面内に一軸異方性がつきやすい軟磁性薄膜を備えた磁気ヘッドであっても、あらゆる方向で高い高周波透磁率を示す磁気ヘッドを実現できることが記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】国際公開第2011/068146号

【特許文献2】特開平7-249518号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ここで、水平方向の磁界成分を検出する第1の磁気センサと、この第1の磁気センサの水平方向の近傍に配置された軟磁性構造体とを含む磁気センサ装置を考える。軟磁性構造体は、軟磁性材料によって構成されている。また、軟磁性構造体は、第1の磁気センサの構成要素ではない。このような磁気センサ装置の例としては、特許文献1に記載された地磁気センサがある。この地磁気センサでは、X軸磁気センサとY軸磁気センサが第1の磁気センサに対応し、Z軸磁気センサの軟磁性体が軟磁性構造体に対応する。

【0007】

上記の磁気センサ装置では、軟磁性構造体が磁気ヒステリシス特性を有していると、この磁気ヒステリシス特性に起因して、第1の磁気センサの検出値がヒステリシス特性を有し、その結果、第1の磁気センサの検出精度が低下するという問題点があった。以下、これについて詳しく説明する。軟磁性構造体が磁気ヒステリシス特性を有している場合、外部磁界によって、軟磁性構造体が一旦、磁化を有した後は、外部磁界がゼロになっても、軟磁性構造体には、ある大きさの磁化が残る。この磁化に基づく磁界は、第1の磁気センサに印加される。その結果、外部磁界がゼロのときの第1の磁気センサの検出値が、理想値とは異なってしまふ。また、外部磁界がゼロになる前の外部磁界の方向や大きさによって、外部磁界がゼロになったときに軟磁性構造体に残る磁化の方向や大きさが異なる。そのため、外部磁界がゼロになる前の外部磁界の方向や大きさによって、外部磁界がゼロになったときの第1の磁気センサの検出値が異なってしまふ。このようにして、第1の磁気センサの検出値がヒステリシス特性を有することになる。

【0008】

従来は、上記の磁気センサ装置において、第1の磁気センサの検出精度を改善するために、第1の磁気センサの構成要素ではない軟磁性構造体の磁気特性を最適化することは考えられていなかった。

【0009】

なお、特許文献2には、前述のとおり、縞状磁区構造の軟磁性薄膜を含む磁気ヘッドが記載されている。軟磁性薄膜は、磁気ヘッドの構成要素である。そのため、特許文献2における磁気ヘッドと軟磁性薄膜との関係は、上記の磁気センサ装置における第1の磁気センサと軟磁性構造体との関係とは異なる。

【0010】

本発明はかかる問題点に鑑みてなされたもので、その目的は、磁気センサの近傍に配置された軟磁性構造体の磁気ヒステリシス特性に起因した磁気センサの検出精度の低下を抑制できるようにした磁気センサ装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の磁気センサ装置は、第1の検出対象磁界に対応した第1の検出値を生成する第

10

20

30

40

50

1の磁気センサと、軟磁性材料よりなる軟磁性構造体とを備えている。第1の磁気センサと軟磁性構造体は、軟磁性構造体が磁化を有するときには軟磁性構造体の磁化に基づく磁界が第1の磁気センサに印加されるように構成されている。軟磁性構造体の少なくとも一部は、縞状磁区構造を有している。

【0012】

本発明の磁気センサ装置は、更に、第2の検出対象磁界に対応した第2の検出値を生成する第2の磁気センサを備えていてもよい。この場合、第1の検出対象磁界は、外部磁界の第1の方向に平行な方向の成分であってもよく、第2の検出対象磁界は、外部磁界の第2の方向に平行な方向の成分であってもよい。また、第2の方向に平行な方向に見たときに、軟磁性構造体は、第1の磁気センサとは重ならず、第2の磁気センサと重なるように配置されていてもよい。

10

【0013】

また、軟磁性構造体は、第2の検出対象磁界を受けて第2の方向と交差する方向の出力磁界成分を出力する磁界変換部を含んでいてもよい。出力磁界成分の強度は、第2の検出対象磁界の強度と対応関係を有している。第2の磁気センサは、出力磁界成分の強度を検出してもよい。軟磁性構造体は、更に、少なくとも1つの軟磁性層を含んでいてもよい。また、第1および第2の方向は、互いに直交していてもよい。

【0014】

本発明の磁気センサ装置が第2の磁気センサを備えている場合、磁気センサ装置は、更に、第3の検出対象磁界に対応した第3の検出値を生成する第3の磁気センサを備えていてもよい。第3の検出対象磁界は、外部磁界の第3の方向に平行な方向の成分であってもよい。第3の磁気センサと軟磁性構造体は、軟磁性構造体が磁化を有するときには軟磁性構造体の磁化に基づく磁界が第3の磁気センサに印加されるように構成されていてもよい。この場合、第1ないし第3の方向は、互いに直交していてもよい。

20

【0015】

また、本発明の磁気センサ装置において、第1の磁気センサと軟磁性構造体は、第1の磁気センサに第1の検出対象磁界を含む外部磁界が印加されるときには軟磁性構造体にも外部磁界が印加されるように構成されていてもよい。外部磁界の強度は、所定の可変範囲内で変化してもよい。

【0016】

ここで、軟磁性構造体に印加される所定の方向に平行な方向の磁界の強度を印加磁界強度とし、軟磁性構造体の磁化の上記所定の方向に平行な方向の成分に対応する値を磁化対応値とし、印加磁界強度と磁化対応値を直交する2軸で表した直交座標系において、印加磁界強度を変化させたときに印加磁界強度と磁化対応値を表す座標の軌跡が描くループのうち、そのループで囲まれた領域の面積が最も大きいループをメジャーループとする。この場合、外部磁界の強度が上記可変範囲内で変化すると、上記直交座標系において、印加磁界強度と磁化対応値を表す座標は、メジャーループで囲まれた領域内で移動してもよい。また、上記可変範囲は、絶対値が 21.6 Oe 以下の範囲であってもよい。なお、強度が 1 Oe の磁界に対応する磁束密度の大きさは、 0.1 mT である。

30

【発明の効果】

40

【0017】

本発明の磁気センサ装置によれば、軟磁性構造体の少なくとも一部が縞状磁区構造を有することにより、軟磁性構造体の磁気ヒステリシス特性に起因した第1の磁気センサの検出精度の低下を抑制することができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】本発明の一実施の形態に係る磁気センサ装置の概略の構成を示す平面図である。

【図2】本発明の一実施の形態に係る磁気センサ装置の回路構成の一例を示す回路図である。

【図3】本発明の一実施の形態における磁気抵抗効果素子を示す斜視図である。

50

【図 4】本発明の一実施の形態における 1 つの抵抗部の一部を示す斜視図である。

【図 5】本発明の一実施の形態における磁界変換部の構成の一例を示す説明図である。

【図 6】本発明の一実施の形態における 3 つの磁気センサと軟磁性構造体のそれぞれの一部を示す断面図である。

【図 7】本発明の一実施の形態における軟磁性構造体の履歴曲線の特徴と縞状磁区構造の挙動を定性的に説明するための説明図である。

【図 8】第 1 のケースにおけるメジャーループとマイナーループの一例を示す特性図である。

【図 9】図 8 の一部を拡大して示す特性図である。

【図 10】第 2 のケースにおけるメジャーループとマイナーループの一例を示す特性図である。

10

【図 11】図 10 の一部を拡大して示す特性図である。

【図 12】第 3 のケースにおけるメジャーループとマイナーループの一例を示す特性図である。

【図 13】図 12 の一部を拡大して示す特性図である。

【図 14】第 3 のケースにおける初期縞状磁区構造を示す説明図である。

【図 15】第 3 のケースにおいて印加磁界強度が 0 のときの縞状磁区構造を示す説明図である。

【図 16】第 3 のケースにおいて印加磁界強度が 0 より大きく臨界強度未満のときの縞状磁区構造を示す説明図である。

20

【図 17】第 3 のケースにおいて印加磁界強度が臨界強度以上のときの縞状磁区構造を示す説明図である。

【図 18】第 3 のケースにおけるメジャーループと初磁化曲線を示す特性図である。

【図 19】第 1 のケースにおいて印加磁界強度の絶対値の最大値が 10.20 e であるときの履歴曲線の一例を示す特性図である。

【図 20】第 1 のケースにおいて印加磁界強度の絶対値の最大値が 17.40 e であるときの履歴曲線の一例を示す特性図である。

【図 21】第 1 のケースにおいて印加磁界強度の絶対値の最大値が 21.60 e であるときの履歴曲線の一例を示す特性図である。

【図 22】第 1 のケースにおいて印加磁界強度の絶対値の最大値が 23.60 e であるときの履歴曲線の一例を示す特性図である。

30

【図 23】第 1 のケースにおいて印加磁界強度の絶対値の最大値が 31.60 e であるときの履歴曲線の一例を示す特性図である。

【図 24】第 1 のケースにおいて印加磁界強度の絶対値の最大値が 42.30 e であるときの履歴曲線の一例を示す特性図である。

【図 25】第 2 のケースにおいて印加磁界強度の絶対値の最大値が 10.20 e であるときの履歴曲線の一例を示す特性図である。

【図 26】第 2 のケースにおいて印加磁界強度の絶対値の最大値が 17.40 e であるときの履歴曲線の一例を示す特性図である。

【図 27】第 2 のケースにおいて印加磁界強度の絶対値の最大値が 21.60 e であるときの履歴曲線の一例を示す特性図である。

40

【図 28】第 2 のケースにおいて印加磁界強度の絶対値の最大値が 23.60 e であるときの履歴曲線の一例を示す特性図である。

【図 29】第 2 のケースにおいて印加磁界強度の絶対値の最大値が 31.60 e であるときの履歴曲線の一例を示す特性図である。

【図 30】第 2 のケースにおいて印加磁界強度の絶対値の最大値が 42.10 e であるときの履歴曲線の一例を示す特性図である。

【図 31】第 3 のケースにおいて印加磁界強度の絶対値の最大値が 10.30 e であるときの履歴曲線の一例を示す特性図である。

【図 32】第 3 のケースにおいて印加磁界強度の絶対値の最大値が 17.50 e であると

50

きの履歴曲線の一例を示す特性図である。

【図 3 3】第 3 のケースにおいて印加磁界強度の絶対値の最大値が 21.60 e であるときの履歴曲線の一例を示す特性図である。

【図 3 4】第 3 のケースにおいて印加磁界強度の絶対値の最大値が 23.70 e であるときの履歴曲線の一例を示す特性図である。

【図 3 5】第 3 のケースにおいて印加磁界強度の絶対値の最大値が 31.60 e であるときの履歴曲線の一例を示す特性図である。

【図 3 6】第 3 のケースにおいて印加磁界強度の絶対値の最大値が 42.10 e であるときの履歴曲線の一例を示す特性図である。

【図 3 7】第 1 のケースにおける印加磁界強度の絶対値の最大値と磁気ヒステリシスパラメータとの関係を示す特性図である。

【図 3 8】第 2 のケースにおける印加磁界強度の絶対値の最大値と磁気ヒステリシスパラメータとの関係を示す特性図である。

【図 3 9】第 3 のケースにおける印加磁界強度の絶対値の最大値と磁気ヒステリシスパラメータとの関係を示す特性図である。

【図 4 0】本発明の一実施の形態における外部磁界の強度の可変範囲の上限値の決定方法の一例を示す説明図である。

【図 4 1】第 1 のケースにおける印加磁界強度の絶対値の最大値と感度変化パラメータとの関係を示す特性図である。

【図 4 2】本発明の一実施の形態に係る磁気センサ装置に関する実験結果を示す特性図である。

【図 4 3】本発明の一実施の形態に係る磁気センサ装置に関する実験結果を示す特性図である。

【図 4 4】本発明の一実施の形態に係る磁気センサ装置に関する実験結果を示す特性図である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。始めに、図 1 を参照して、本発明の一実施の形態に係る磁気センサ装置の概略の構成について説明する。本実施の形態に係る磁気センサ装置 1 は、外部磁界の、互いに直交する 3 方向の成分を検出する装置である。

【0020】

磁気センサ装置 1 は、3 つの磁気センサ 10、20、30 と、軟磁性材料よりなる軟磁性構造体 40 と、支持部 50 とを備えている。磁気センサ 10、20、30 の各々は、少なくとも 1 つの磁気検出素子を含んでいる。支持部 50 は、磁気センサ 10、20、30 と軟磁性構造体 40 を支持する構造体である。支持部 50 は、互いに反対側に位置する下面と上面 51a とを有する基板 51 を含んでいる。

【0021】

ここで、図 1 に示したように、X 方向、Y 方向、Z 方向を定義する。X 方向、Y 方向、Z 方向は、互いに直交している。X 方向と Y 方向は基板 51 の上面 51a に平行な方向である。Z 方向は、基板 51 の上面 51a に垂直な方向であって、基板 51 の下面から上面 51a に向かう方向である。また、X 方向とは反対の方向を - X 方向とし、Y 方向とは反対の方向を - Y 方向とし、Z 方向とは反対の方向を - Z 方向とする。以下、基準の位置に対して Z 方向の先にある位置を「上方」と言い、基準の位置に対して「上方」とは反対側にある位置を「下方」と言う。また、磁気センサ装置 1 の構成要素に関して、Z 方向の端に位置する面を「上面」と言い、- Z 方向の端に位置する面を「下面」と言う。

【0022】

磁気センサ 10 は、検出対象磁界 H_x を検出して、検出対象磁界 H_x に対応した検出値 S_x を生成する。検出対象磁界 H_x は、所定の方法に平行な方向を有する。本実施の形態では特に、検出対象磁界 H_x は、外部磁界の X 方向に平行な方向の成分である。X 方向は

10

20

30

40

50

、本発明における第1の方向に対応する。検出対象磁界 H_x は、本発明における第1の検出対象磁界に対応する。本実施の形態では、検出対象磁界 H_x の強度を、検出対象磁界 H_x の方向が X 方向のときは正の値で表し、検出対象磁界 H_x の方向が $-X$ 方向のときは負の値で表す。検出値 S_x は、本発明における第1の検出値に対応する。

【0023】

磁気センサ20は、検出対象磁界 H_y を検出して、検出対象磁界 H_y に対応した検出値 S_y を生成する。検出対象磁界 H_y は、外部磁界の Y 方向に平行な方向の成分である。 Y 方向は、本発明における第3の方向に対応する。検出対象磁界 H_y は、本発明における第3の検出対象磁界に対応する。本実施の形態では、検出対象磁界 H_y の強度を、検出対象磁界 H_y の方向が Y 方向のときは正の値で表し、検出対象磁界 H_y の方向が $-Y$ 方向のときは負の値で表す。検出値 S_y は、本発明における第3の検出値に対応する。

10

【0024】

磁気センサ30は、検出対象磁界 H_z を検出して、検出対象磁界 H_z に対応した検出値 S_z を生成する。検出対象磁界 H_z は、外部磁界の Z 方向に平行な方向の成分である。 Z 方向は、本発明における第2の方向に対応する。検出対象磁界 H_z は、本発明における第2の検出対象磁界に対応する。本実施の形態では、検出対象磁界 H_z の強度を、検出対象磁界 H_z の方向が Z 方向のときは正の値で表し、検出対象磁界 H_z の方向が $-Z$ 方向のときは負の値で表す。検出値 S_z は、本発明における第2の検出値に対応する。

【0025】

軟磁性構造体40は、磁界変換部42と、少なくとも1つの軟磁性層を含んでいる。なお、磁界変換部42は、後で説明する図5および図6に示されている。磁界変換部42は、検出対象磁界 H_z を受けて Z 方向に垂直な方向の出力磁界成分を出力する。出力磁界成分の強度は、検出対象磁界 H_z の強度と対応関係を有する。磁気センサ30は、出力磁界成分の強度を検出することによって、検出対象磁界 H_z の強度を検出する。軟磁性構造体40については、後で詳しく説明する。

20

【0026】

磁気センサ10、20、30と軟磁性構造体40は、基板51の上面51aの上または上方に配置されている。 Z 方向に平行な方向に見たとき、例えば上方から見たときに、軟磁性構造体40は、磁気センサ10、20とは重ならず、磁気センサ30と重なるように配置されている。

30

【0027】

支持部50は、 X 方向および Y 方向に平行な基準平面 RP を有している。基準平面 RP は、 Z 方向に直交する。本実施の形態では特に、基準平面 RP は、基板51の上面51aである。

【0028】

基準平面 RP は、互いに異なる3つの領域 $A10$ 、 $A20$ 、 $A40$ を含んでいる。領域 $A10$ は、基準平面 RP に磁気センサ10を垂直投影してできる領域である。領域 $A20$ は、基準平面 RP に磁気センサ20を垂直投影してできる領域である。領域 $A40$ は、基準平面 RP に軟磁性構造体40を垂直投影してできる領域である。なお、基準平面 RP に磁気センサ30を垂直投影してできる領域は、領域 $A40$ と一致するかほぼ一致する。

40

【0029】

ここで、基準平面 RP 内に位置して、領域 $A40$ の重心 $C40$ を通り互いに直交する2つの直線を第1の直線 $L1$ と第2の直線 $L2$ とする。本実施の形態では特に、第1の直線 $L1$ は X 方向に平行であり、第2の直線 $L2$ は Y 方向に平行である。

【0030】

本実施の形態では、磁気センサ10は、互いに異なる位置に配置された第1の部分11と第2の部分12を含んでいる。領域 $A10$ は、基準平面 RP に第1の部分11を垂直投影してできる部分領域 $A11$ と、基準平面 RP に第2の部分12を垂直投影してできる部分領域 $A12$ を含んでいる。部分領域 $A11$ 、 $A12$ は、第1の直線 $L1$ に平行な方向における領域 $A40$ の両側に位置している。

50

【 0 0 3 1 】

また、磁気センサ 2 0 は、互いに異なる位置に配置された第 1 の部分 2 1 と第 2 の部分 2 2 を含んでいる。領域 A 2 0 は、基準平面 R P に第 1 の部分 2 1 を垂直投影してできる部分領域 A 2 1 と、基準平面 R P に第 2 の部分 2 2 を垂直投影してできる部分領域 A 2 2 を含んでいる。部分領域 A 2 1 , A 2 2 は、第 2 の直線 L 2 に平行な方向における領域 A 4 0 の両側に位置している。

【 0 0 3 2 】

本実施の形態では、部分領域 A 1 1 , A 1 2 は、いずれも第 1 の直線 L 1 と交差する位置にある。また、部分領域 A 2 1 , A 2 2 は、いずれも第 2 の直線 L 2 と交差する位置にある。

10

【 0 0 3 3 】

領域 A 1 0 のいかなる部分も第 2 の直線 L 2 とは交差しないことが好ましい。同様に、領域 A 2 0 のいかなる部分も第 1 の直線 L 1 とは交差しないことが好ましい。

【 0 0 3 4 】

本実施の形態では特に、領域 A 1 0 と領域 A 2 0 は、上方から見て、領域 A 4 0 の重心 C 4 0 を中心として領域 A 1 0 を 9 0 ° 回転すると領域 A 2 0 に重なる位置関係である。図 1 において、重心 C 4 0 を中心として反時計回り方向に部分領域 A 1 1 , A 1 2 を 9 0 ° 回転すると、部分領域 A 1 1 , A 1 2 はそれぞれ部分領域 A 2 1 , A 2 2 に重なる。

【 0 0 3 5 】

図 1 に示したように、磁気センサ装置 1 は、更に、基板 5 1 の上面 5 1 a の上または上方に配置された複数の端子を備えている。この複数の端子は、磁気センサ 1 0 に対応する電源端子 V x および出力端子 V x + , V x - と、磁気センサ 2 0 に対応する電源端子 V y および出力端子 V y + , V y - と、磁気センサ 3 0 に対応する電源端子 V z および出力端子 V z + , V z - と、磁気センサ 1 0 , 2 0 , 3 0 で共通に使用されるグランド端子 G とを含んでいる。

20

【 0 0 3 6 】

次に、図 2 を参照して、磁気センサ装置 1 の回路構成の一例について説明する。この例では、磁気センサ 1 0 は、ホイートストンブリッジ回路を構成する 4 つの抵抗部 R x 1 , R x 2 , R x 3 , R x 4 を含んでいる。抵抗部 R x 1 , R x 2 , R x 3 , R x 4 の各々は、検出対象磁界 H x に応じて変化する抵抗値を有する。抵抗部 R x 1 は、電源端子 V x と出力端子 V x + との間に設けられている。抵抗部 R x 2 は、出力端子 V x + とグランド端子 G との間に設けられている。抵抗部 R x 3 は、電源端子 V x と出力端子 V x - との間に設けられている。抵抗部 R x 4 は、出力端子 V x - とグランド端子 G との間に設けられている。

30

【 0 0 3 7 】

磁気センサ 2 0 は、ホイートストンブリッジ回路を構成する 4 つの抵抗部 R y 1 , R y 2 , R y 3 , R y 4 を含んでいる。抵抗部 R y 1 , R y 2 , R y 3 , R y 4 の各々は、検出対象磁界 H y に応じて変化する抵抗値を有する。抵抗部 R y 1 は、電源端子 V y と出力端子 V y + との間に設けられている。抵抗部 R y 2 は、出力端子 V y + とグランド端子 G との間に設けられている。抵抗部 R y 3 は、電源端子 V y と出力端子 V y - との間に設けられている。抵抗部 R y 4 は、出力端子 V y - とグランド端子 G との間に設けられている。

40

【 0 0 3 8 】

磁気センサ 3 0 は、ホイートストンブリッジ回路を構成する 4 つの抵抗部 R z 1 , R z 2 , R z 3 , R z 4 を含んでいる。抵抗部 R z 1 , R z 2 , R z 3 , R z 4 の各々は、磁界変換部 4 2 から出力される出力磁界成分に応じて変化する抵抗値を有する。抵抗部 R z 1 は、電源端子 V z と出力端子 V z + との間に設けられている。抵抗部 R z 2 は、出力端子 V z + とグランド端子 G との間に設けられている。抵抗部 R z 3 は、電源端子 V z と出力端子 V z - との間に設けられている。抵抗部 R z 4 は、出力端子 V z - とグランド端子 G との間に設けられている。

50

【 0 0 3 9 】

以下、抵抗部 $R \times 1$, $R \times 2$, $R \times 3$, $R \times 4$, $R y 1$, $R y 2$, $R y 3$, $R y 4$, $R z 1$, $R z 2$, $R z 3$, $R z 4$ のうちの任意の 1 つを抵抗部 R と言う。抵抗部 R は、少なくとも 1 つの磁気検出素子を含んでいる。本実施の形態では特に、少なくとも 1 つの磁気検出素子は、少なくとも 1 つの磁気抵抗効果素子である。以下、磁気抵抗効果素子を $M R$ 素子と記す。

【 0 0 4 0 】

本実施の形態では特に、 $M R$ 素子は、スピバルブ型の $M R$ 素子である。このスピバルブ型の $M R$ 素子は、方向が固定された磁化を有する磁性層である磁化固定層と、印加磁界の方向に応じて方向が変化可能な磁化を有する磁性層である自由層と、磁化固定層と自由層の間に配置されたギャップ層とを有している。スピバルブ型の $M R$ 素子は、 $T M R$ (トンネル磁気抵抗効果) 素子でもよいし、 $G M R$ (巨大磁気抵抗効果) 素子でもよい。 $T M R$ 素子では、ギャップ層はトンネルバリア層である。 $G M R$ 素子では、ギャップ層は非磁性導電層である。スピバルブ型の $M R$ 素子では、自由層の磁化の方向が磁化固定層の磁化の方向に対してなす角度に応じて抵抗値が変化し、この角度が 0° のときに抵抗値は最小値となり、角度が 180° のときに抵抗値は最大値となる。各 $M R$ 素子において、自由層は、磁化容易軸方向が、磁化固定層の磁化の方向に直交する方向となる形状異方性を有している。

【 0 0 4 1 】

図 2 において、塗りつぶした矢印は、 $M R$ 素子における磁化固定層の磁化の方向を表している。図 2 に示した例では、抵抗部 $R \times 1$, $R \times 4$ の各々における $M R$ 素子の磁化固定層の磁化の方向は X 方向である。抵抗部 $R \times 2$, $R \times 3$ の各々における $M R$ 素子の磁化固定層の磁化の方向は $-X$ 方向である。

【 0 0 4 2 】

また、抵抗部 $R y 1$, $R y 4$ の各々における $M R$ 素子の磁化固定層の磁化の方向は Y 方向である。抵抗部 $R y 2$, $R y 3$ の各々における $M R$ 素子の磁化固定層の磁化の方向は $-Y$ 方向である。抵抗部 $R z 1$, $R z 2$, $R z 3$, $R z 4$ の各々における $M R$ 素子の磁化固定層の磁化の方向については、後で説明する。

【 0 0 4 3 】

出力端子 $V x +$ と出力端子 $V x -$ との間の電位差は、検出対象磁界 $H x$ と対応関係を有する。磁気センサ 10 は、出力端子 $V x +$ と出力端子 $V x -$ との間の電位差に対応する検出値 $S x$ を生成する。検出値 $S x$ は、出力端子 $V x +$ と出力端子 $V x -$ との間の電位差に対して振幅やオフセットの調整を施したものであってもよい。また、検出値 $S x$ は、出力端子 $V x +$ と出力端子 $V x -$ との間の電位差を、磁界の強度を表す数値に換算したものであってもよい。

【 0 0 4 4 】

出力端子 $V y +$ と出力端子 $V y -$ との間の電位差は、検出対象磁界 $H y$ と対応関係を有する。磁気センサ 20 は、出力端子 $V y +$ と出力端子 $V y -$ との間の電位差に対応する検出値 $S y$ を生成する。検出値 $S y$ は、出力端子 $V y +$ と出力端子 $V y -$ との間の電位差に対して振幅やオフセットの調整を施したものであってもよい。また、検出値 $S y$ は、出力端子 $V y +$ と出力端子 $V y -$ との間の電位差を、磁界の強度を表す数値に換算したものであってもよい。

【 0 0 4 5 】

出力端子 $V z +$ と出力端子 $V z -$ との間の電位差は、検出対象磁界 $H z$ と対応関係を有する。磁気センサ 30 は、出力端子 $V z +$ と出力端子 $V z -$ との間の電位差に対応する検出値 $S z$ を生成する。検出値 $S z$ は、出力端子 $V z +$ と出力端子 $V z -$ との間の電位差に対して振幅やオフセットの調整を施したものであってもよい。また、検出値 $S z$ は、出力端子 $V z +$ と出力端子 $V z -$ との間の電位差を、磁界の強度を表す数値に換算したものであってもよい。

【 0 0 4 6 】

ここで、図 1 を参照して、抵抗部 $R \times 1$, $R \times 2$, $R \times 3$, $R \times 4$, $R y 1$, $R y 2$, $R y 3$, $R y 4$ の配置の一例について説明する。この例では、磁気センサ 10 の第 1 の部分 11 は抵抗部 $R \times 1$, $R \times 4$ を含み、磁気センサ 10 の第 2 の部分 12 は抵抗部 $R \times 2$, $R \times 3$ を含んでいる。また、磁気センサ 20 の第 1 の部分 21 は抵抗部 $R y 1$, $R y 4$ を含み、磁気センサ 20 の第 2 の部分 22 は抵抗部 $R y 2$, $R y 3$ を含んでいる。

【 0 0 4 7 】

図 1 において、塗りつぶした矢印は、MR 素子における磁化固定層の磁化の方向を表している。図 1 に示した例では、磁気センサ 10 の第 1 の部分 11 と、磁気センサ 10 の第 2 の部分 12 と、磁気センサ 20 の第 1 の部分 21 と、磁気センサ 20 の第 2 の部分 22 の各々において、そこに含まれる複数の MR 素子の磁化固定層の磁化の方向が同じ方向になる。そのため、この例によれば、複数の MR 素子の磁化固定層の磁化の方向の設定が容易になる。

10

【 0 0 4 8 】

次に、図 3 を参照して、MR 素子の構成の一例について説明する。図 3 に示した MR 素子 100 は、基板 51 側から順に積層された反強磁性層 101、磁化固定層 102、ギャップ層 103 および自由層 104 を含んでいる。反強磁性層 101 は、反強磁性材料よりなり、磁化固定層 102 との間で交換結合を生じさせて、磁化固定層 102 の磁化の方向を固定する。

【 0 0 4 9 】

なお、MR 素子 100 における層 101 ~ 104 の配置は、図 3 に示した配置とは上下が反対でもよい。また、磁化固定層 102 は、単一の強磁性層ではなく、2 つの強磁性層とこの 2 つの強磁性層の間に配置された非磁性金属層とを含む人工反強磁性構造であってもよい。また、MR 素子 100 は、反強磁性層 101 を含まない構成であってもよい。また、磁気検出素子は、ホール素子、磁気インピーダンス素子等、MR 素子以外の磁界を検出する素子であってもよい。

20

【 0 0 5 0 】

次に、図 4 を参照して、抵抗部 R の構成の一例について説明する。この例では、抵抗部 R は、直列に接続された複数の MR 素子 100 を含んでいる。抵抗部 R は、更に、複数の MR 素子 100 が直列に接続されるように、回路構成上隣接する 2 つの MR 素子 100 を電氣的に接続する 1 つ以上の接続層を含んでいる。図 4 に示した例では、抵抗部 R は、1 つ以上の接続層として、1 つ以上の下部接続層 111 と、1 つ以上の上部接続層 112 とを含んでいる。下部接続層 111 は、回路構成上隣接する 2 つの MR 素子 100 の下面に接し、この 2 つの MR 素子 100 を電氣的に接続する。上部接続層 112 は、回路構成上隣接する 2 つの MR 素子 100 の上面に接し、この 2 つの MR 素子 100 を電氣的に接続する。

30

【 0 0 5 1 】

次に、図 5 を参照して、軟磁性構造体 40 の磁界変換部 42 の構成の一例について説明する。この例では、磁界変換部 42 は、抵抗部 $R z 1$ に対応する下部ヨーク 42B1 および上部ヨーク 42T1 と、抵抗部 $R z 2$ に対応する下部ヨーク 42B2 および上部ヨーク 42T2 と、抵抗部 $R z 3$ に対応する下部ヨーク 42B3 および上部ヨーク 42T3 と、抵抗部 $R z 4$ に対応する下部ヨーク 42B4 および上部ヨーク 42T4 とを含んでいる。

40

【 0 0 5 2 】

下部ヨーク 42B1 , 42B2 , 42B3 , 42B4 および上部ヨーク 42T1 , 42T2 , 42T3 , 42T4 の各々は、Z 方向に垂直な方向に長い直方体形状を有している。

【 0 0 5 3 】

下部ヨーク 42B1 および上部ヨーク 42T1 は、抵抗部 $R z 1$ の近傍に配置されている。下部ヨーク 42B1 は、抵抗部 $R z 1$ よりも、基板 51 の上面 51a により近い位置に配置されている。上部ヨーク 42T1 は、抵抗部 $R z 1$ よりも、基板 51 の上面 51a からより遠い位置に配置されている。上方から見たときに、抵抗部 $R z 1$ は、下部ヨーク

50

4 2 B 1 と上部ヨーク 4 2 T 1 の間に位置している。

【 0 0 5 4 】

下部ヨーク 4 2 B 2 および上部ヨーク 4 2 T 2 は、抵抗部 R z 2 の近傍に配置されている。下部ヨーク 4 2 B 2 は、抵抗部 R z 2 よりも、基板 5 1 の上面 5 1 a により近い位置に配置されている。上部ヨーク 4 2 T 2 は、抵抗部 R z 2 よりも、基板 5 1 の上面 5 1 a からより遠い位置に配置されている。上方から見たときに、抵抗部 R z 2 は、下部ヨーク 4 2 B 2 と上部ヨーク 4 2 T 2 の間に位置している。

【 0 0 5 5 】

下部ヨーク 4 2 B 3 および上部ヨーク 4 2 T 3 は、抵抗部 R z 3 の近傍に配置されている。下部ヨーク 4 2 B 3 は、抵抗部 R z 3 よりも、基板 5 1 の上面 5 1 a により近い位置に配置されている。上部ヨーク 4 2 T 3 は、抵抗部 R z 3 よりも、基板 5 1 の上面 5 1 a からより遠い位置に配置されている。上方から見たときに、抵抗部 R z 3 は、下部ヨーク 4 2 B 3 と上部ヨーク 4 2 T 3 の間に位置している。

【 0 0 5 6 】

下部ヨーク 4 2 B 4 および上部ヨーク 4 2 T 4 は、抵抗部 R z 4 の近傍に配置されている。下部ヨーク 4 2 B 4 は、抵抗部 R z 4 よりも、基板 5 1 の上面 5 1 a により近い位置に配置されている。上部ヨーク 4 2 T 4 は、抵抗部 R z 4 よりも、基板 5 1 の上面 5 1 a からより遠い位置に配置されている。上方から見たときに、抵抗部 R z 4 は、下部ヨーク 4 2 B 4 と上部ヨーク 4 2 T 4 の間に位置している。

【 0 0 5 7 】

磁界変換部 4 2 が出力する出力磁界成分は、下部ヨーク 4 2 B 1 および上部ヨーク 4 2 T 1 によって生成されて抵抗部 R z 1 に印加される磁界成分と、下部ヨーク 4 2 B 2 および上部ヨーク 4 2 T 2 によって生成されて抵抗部 R z 2 に印加される磁界成分と、下部ヨーク 4 2 B 3 および上部ヨーク 4 2 T 3 によって生成されて抵抗部 R z 3 に印加される磁界成分と、下部ヨーク 4 2 B 4 および上部ヨーク 4 2 T 4 によって生成されて抵抗部 R z 4 に印加される磁界成分を含んでいる。

【 0 0 5 8 】

図 5 において、4 つの白抜きの矢印は、それぞれ、検出対象磁界 H z の方向が Z 方向であるときに、抵抗部 R z 1 , R z 2 , R z 3 , R z 4 に印加される磁界成分の方向を表している。また、図 5 において、4 つの塗りつぶした矢印は、それぞれ、抵抗部 R z 1 , R z 2 , R z 3 , R z 4 の MR 素子 1 0 0 の磁化固定層 1 0 2 の磁化の方向を表している。抵抗部 R z 1 , R z 4 の MR 素子 1 0 0 の磁化固定層 1 0 2 の磁化の方向は、それぞれ、検出対象磁界 H z の方向が Z 方向であるときに抵抗部 R z 1 , R z 4 に印加される磁界成分の方向と同じ方向である。抵抗部 R z 2 , R z 3 の MR 素子 1 0 0 の磁化固定層 1 0 2 の磁化の方向は、それぞれ、検出対象磁界 H z の方向が Z 方向であるときに抵抗部 R z 2 , R z 3 に印加される磁界成分の方向とは反対方向である。

【 0 0 5 9 】

ここで、磁気センサ 3 0 の作用について説明する。検出対象磁界 H z が存在しない状態では、抵抗部 R z 1 , R z 2 , R z 3 , R z 4 の MR 素子 1 0 0 の自由層 1 0 4 の磁化の方向は、磁化固定層 1 0 2 の磁化の方向に対して垂直である。

【 0 0 6 0 】

検出対象磁界 H z の方向が Z 方向であるときには、抵抗部 R z 1 , R z 4 の MR 素子 1 0 0 では、自由層 1 0 4 の磁化の方向は、磁化固定層 1 0 2 の磁化の方向に対して垂直な方向から、磁化固定層 1 0 2 の磁化の方向に向かって傾く。このとき、抵抗部 R z 2 , R z 3 の MR 素子 1 0 0 では、自由層 1 0 4 の磁化の方向は、磁化固定層 1 0 2 の磁化の方向に対して垂直な方向から、磁化固定層 1 0 2 の磁化の方向とは反対方向に向かって傾く。その結果、検出対象磁界 H z が存在しない状態と比べて、抵抗部 R z 1 , R z 4 の抵抗値は減少し、抵抗部 R z 2 , R z 3 の抵抗値は増加する。

【 0 0 6 1 】

検出対象磁界 H z の方向が - Z 方向の場合は、上述の場合とは逆に、検出対象磁界 H z

10

20

30

40

50

が存在しない状態と比べて、抵抗部 $R_z 1$, $R_z 4$ の抵抗値は増加し、抵抗部 $R_z 2$, $R_z 3$ の抵抗値は減少する。

【0062】

抵抗部 $R_z 1$, $R_z 2$, $R_z 3$, $R_z 4$ の抵抗値の変化量は、検出対象磁界 H_z の強度に依存する。

【0063】

検出対象磁界 H_z の方向と強度が変化すると、抵抗部 $R_z 1$, $R_z 2$, $R_z 3$, $R_z 4$ のそれぞれの抵抗値は、抵抗部 $R_z 1$, $R_z 4$ の抵抗値が増加すると共に抵抗部 $R_z 2$, $R_z 3$ の抵抗値が減少するか、抵抗部 $R_z 1$, $R_z 4$ の抵抗値が減少すると共に抵抗部 $R_z 2$, $R_z 3$ の抵抗値が増加するように変化する。これにより、出力端子 $V_z +$ と出力端子 $V_z -$ との間の電位差が変化する。従って、この電位差に基づいて、検出対象磁界 H_z を検出することができる。

10

【0064】

次に、図6を参照して、磁気センサ10, 20, 30と軟磁性構造体40の構造の一例について説明する。図6は、磁気センサ10, 20, 30と軟磁性構造体40のそれぞれの一部を示している。この例では、磁気センサ10, 20, 30と軟磁性構造体40は、基板51の上に配置されている。基板51は、上面51aと下面51bを有している。

【0065】

磁気センサ10は、抵抗部 $R_x 1$, $R_x 2$, $R_x 3$, $R_x 4$ の他に、それぞれ絶縁材料よりなる絶縁層66A, 67A, 68Aを含んでいる。絶縁層66Aは、基板51の上面51aの上に配置されている。抵抗部 $R_x 1$, $R_x 2$, $R_x 3$, $R_x 4$ は、絶縁層66Aの上に配置されている。図6には、抵抗部 $R_x 1$, $R_x 2$, $R_x 3$, $R_x 4$ に含まれる複数のMR素子100のうちの1つと、それに接続された下部接続層111および上部接続層112を示している。絶縁層67Aは、基板51の上面51aの上において抵抗部 $R_x 1$, $R_x 2$, $R_x 3$, $R_x 4$ の周囲に配置されている。絶縁層68Aは、抵抗部 $R_x 1$, $R_x 2$, $R_x 3$, $R_x 4$ および絶縁層67Aを覆っている。

20

【0066】

磁気センサ20の構造は、磁気センサ10と同様である。すなわち、磁気センサ20は、抵抗部 $R_y 1$, $R_y 2$, $R_y 3$, $R_y 4$ の他に、それぞれ絶縁材料よりなる絶縁層66B, 67B, 68Bを含んでいる。絶縁層66Bは、基板51の上面51aの上に配置されている。抵抗部 $R_y 1$, $R_y 2$, $R_y 3$, $R_y 4$ は、絶縁層66Bの上に配置されている。図6には、抵抗部 $R_y 1$, $R_y 2$, $R_y 3$, $R_y 4$ に含まれる複数のMR素子100のうちの1つと、それに接続された下部接続層111および上部接続層112を示している。絶縁層67Bは、基板51の上面51aの上において抵抗部 $R_y 1$, $R_y 2$, $R_y 3$, $R_y 4$ の周囲に配置されている。絶縁層68Bは、抵抗部 $R_y 1$, $R_y 2$, $R_y 3$, $R_y 4$ および絶縁層67Bを覆っている。

30

【0067】

磁気センサ30は、抵抗部 $R_z 1$, $R_z 2$, $R_z 3$, $R_z 4$ の他に、それぞれ絶縁材料よりなる絶縁層61, 62, 63, 64を含んでいる。図6に示した例では、軟磁性構造体40は、磁界変換部42と、2つの軟磁性層41, 43を含んでいる。

40

【0068】

磁界変換部42は、図5に示した下部ヨーク42B1, 42B2, 42B3, 42B4および上部ヨーク42T1, 42T2, 42T3, 42T4を含んでいる。図6では、下部ヨーク42B1, 42B2, 42B3, 42B4のうちの1つを符号42Bで示し、それに対応する上部ヨーク42T1, 42T2, 42T3, 42T4のうちの1つを符号42Tで示している。

【0069】

軟磁性層41は、基板51の上面51aの上に配置されている。下部ヨーク42B1, 42B2, 42B3, 42B4は、軟磁性層41の上に配置されている。絶縁層61は、軟磁性層41の上において下部ヨーク42B1, 42B2, 42B3, 42B4の周囲に

50

配置されている。

【0070】

抵抗部 R_z1 , R_z2 , R_z3 , R_z4 は、絶縁層 61 の上に配置されている。図 6 には、抵抗部 R_z1 , R_z2 , R_z3 , R_z4 に含まれる複数の MR 素子 100 のうちの 1 つと、それに接続された下部接続層 111 および上部接続層 112 を示している。絶縁層 62 は、下部ヨーク 42B1 , 42B2 , 42B3 , 42B4 および絶縁層 61 の上において抵抗部 R_z1 , R_z2 , R_z3 , R_z4 の周囲に配置されている。

【0071】

上部ヨーク 42T1 , 42T2 , 42T3 , 42T4 は、絶縁層 62 の上に配置されている。絶縁層 63 は、抵抗部 R_z1 , R_z2 , R_z3 , R_z4 および絶縁層 62 の上において上部ヨーク 42T1 , 42T2 , 42T3 , 42T4 の周囲に配置されている。

10

【0072】

軟磁性層 43 は、上部ヨーク 42T1 , 42T2 , 42T3 , 42T4 および絶縁層 63 の上に配置されている。絶縁層 64 は、軟磁性層 43 を覆っている。

【0073】

軟磁性層 41 , 43 は、磁界変換部 42 から出力される出力磁界成分以外の磁界に対応する磁束を吸収して、この磁界が磁気センサ 30 に印加されることを抑制する機能を有する。

【0074】

上方から見たときに、軟磁性層 41 , 43 は、磁気センサ 30 の全域またはほぼ全域にわたって存在する。基板 51 の上面 51a すなわち基準平面 RP に軟磁性層 41 を垂直投影してできる領域と、基準平面 RP に軟磁性層 43 を垂直投影してできる領域は、いずれも、領域 A40 と一致する。基準平面 RP に磁気センサ 30 を垂直投影してできる領域は、領域 A40 と一致するかほぼ一致する。

20

【0075】

図 6 に示した例では、磁気センサ 10 , 20 , 30 に含まれる全ての磁気検出素子すなわち MR 素子 100 は、基板 51 の上面 51a すなわち基準平面 RP から等しい距離の位置に配置されている。

【0076】

なお、磁界変換部 42 は、下部ヨーク 42B1 , 42B2 , 42B3 , 42B4 と、上部ヨーク 42T1 , 42T2 , 42T3 , 42T4 の一方のみを含んでいてもよい。また、軟磁性構造体 40 は、軟磁性層 41 , 43 の一方のみを含んでいてもよい。

30

【0077】

本実施の形態では、軟磁性構造体 40 は、磁気センサ 10 , 20 の近傍に配置されている。磁気センサ 10 , 20 と軟磁性構造体 40 は、磁気センサ 10 に検出対象磁界 H_x を含む外部磁界が印加されるときには軟磁性構造体 40 にも外部磁界が印加され、磁気センサ 20 に検出対象磁界 H_y を含む外部磁界が印加されるときには軟磁性構造体 40 にも外部磁界が印加され、軟磁性構造体 40 が磁化を有するときには軟磁性構造体 40 の磁化に基づく磁界が磁気センサ 10 , 20 に印加されるように構成されている。また、軟磁性構造体 40 の少なくとも一部は、縞状磁区構造を有している。

40

【0078】

縞状磁区構造とは、一方向から見たときに、いずれも細長く且つ交互に並んでいる第 1 の種類の磁区と第 2 の種類の磁区を含む磁区構造である。縞状磁区構造を有する磁性膜では、磁界が印加されていない状態において、第 1 の種類の磁区の自発磁化と、第 2 の種類の磁区の自発磁化は、互いに反対方向の成分を含む。

【0079】

以下、軟磁性構造体 40 の少なくとも一部が有する縞状磁区構造を、軟磁性構造体 40 の縞状磁区構造と言う。軟磁性構造体 40 の縞状磁区構造は、特に、Z 方向に平行な方向に見たとき、例えば上方から見たときに、いずれも細長く且つ交互に並んでいる第 1 の種類の磁区と第 2 の種類の磁区を含む磁区構造である。以下、軟磁性構造体 40 の縞状磁区

50

構造に関して、上方から見たときに第1の種類の磁区と第2の種類の磁区が延びる方向を縞の方向と言う。軟磁性構造体40に磁界が印加されていない状態において、第1の種類の磁区の自発磁化は縞の方向の成分とZ方向の成分とを含み、第2の種類の磁区の自発磁化は縞の方向の成分と-Z方向の成分とを含む。以下、軟磁性構造体40の縞状磁区構造に関して、第1の種類の磁区を第1磁区と言い、第1磁区の磁化を第1磁化と言い、第2の種類の磁区を第2磁区と言い、第2磁区の磁化を第2磁化と言う。

【0080】

軟磁性構造体40は、互いに縞の方向が異なる縞状磁区構造を有する複数の部分を含んでいてもよい。また、軟磁性構造体40は、縞状磁区構造を有する部分と、縞状磁区構造ではない部分とを含んでいてもよい。この場合、軟磁性構造体40全体の体積に対する、縞状磁区構造を有する部分の体積の比率は、50%以上であることが好ましい。

10

【0081】

以下、図7を参照して、軟磁性構造体40の履歴曲線の特徴と縞状磁区構造の挙動を定性的に説明する。まず、軟磁性構造体40に印加される所定の方向に平行な方向の磁界の強度を印加磁界強度とし、軟磁性構造体40の磁化の所定の方向に平行な方向の成分に対応する値を磁化対応値とする。また、印加磁界強度と磁化対応値を直交する2軸で表した直交座標系において、印加磁界強度を変化させたときに印加磁界強度と磁化対応値を表す座標の軌跡が描くループのうち、そのループで囲まれた領域の面積が最も大きいループをメジャーループとする。

【0082】

20

本実施の形態では、軟磁性構造体40の全体または一部を磁化評価対象部分とし、磁化評価対象部分の体積磁化の所定の方向に平行な方向の成分と磁化評価対象部分の体積との積を磁化対応値としている。本実施の形態では特に、磁化評価対象部分の体積磁化のX方向に平行な方向の成分と磁化評価対象部分の体積との積を、X方向磁化対応値 M_x とし、磁化評価対象部分の体積磁化のY方向に平行な方向の成分と磁化評価対象部分の体積との積を、Y方向磁化対応値 M_y とする。

【0083】

図7は、軟磁性構造体40のメジャーループの一例を示している。この例では、軟磁性構造体40の縞状磁区構造における縞の方向をX方向に平行な方向とし、軟磁性構造体40に印加される磁界の方向もX方向に平行な方向としている。以下、軟磁性構造体40に印加されるX方向に平行な方向の磁界の強度を、X方向印加磁界強度 AH_x とする。図7は、X方向印加磁界強度 AH_x とX方向磁化対応値 M_x を直交する2軸で表した直交座標系を示している。以下、この直交座標系において、X方向印加磁界強度 AH_x とX方向磁化対応値 M_x を表す座標を、座標 (AH_x, M_x) と言う。図7において、横軸はX方向印加磁界強度 AH_x (Oe)を示し、縦軸はX方向磁化対応値 M_x (emu)を示している。また、図7において、符号 $MALX$ で示した曲線がメジャーループである。図7におけるX方向印加磁界強度 AH_x は、軟磁性構造体40に印加される磁界の方向がX方向のときは正の値で表し、軟磁性構造体40に印加される磁界の方向が-X方向のときは負の値で表している。また、図7におけるX方向磁化対応値 M_x は、軟磁性構造体40の磁化の方向がX方向のときは正の値で表し、軟磁性構造体40の磁化の方向が-X方向のときは負の値で表している。メジャーループ $MALX$ の近傍に付加された矢印は、メジャーループ $MALX$ 上の座標 (AH_x, M_x) の移動方向を表している。

30

40

【0084】

図7において、メジャーループ $MALX$ 上の点A1は、X方向磁化対応値 M_x が正の値で飽和している状態に対応する。点A1の状態から、X方向印加磁界強度 AH_x を減少させてゆくと、メジャーループ $MALX$ 上の座標 (AH_x, M_x) は、点A2、A3、A4、A5、A6を順に経由して点A7に達する。点A2は、X方向磁化対応値 M_x が正の値でほぼ飽和している状態に対応する。点A4は、X方向印加磁界強度 AH_x が0の状態に対応する。点A6は、X方向磁化対応値 M_x が負の値でほぼ飽和している状態に対応する。点A7は、X方向磁化対応値 M_x が負の値で飽和している状態に対応する。

50

【 0 0 8 5 】

図 7 において、点 B 1 は点 A 7 と同じである。点 B 1 の状態から、X 方向印加磁界強度 $A H x$ を増加させてゆくと、メジャーループ M A L X 上の座標 ($A H x$, $M x$) は、点 B 2、B 3、B 4、B 5、B 6 を順に経由して点 B 7 に達する。点 B 2 は点 A 6 と同じである。点 B 3 は点 A 5 と同じである。点 B 4 は、X 方向印加磁界強度 $A H x$ が 0 の状態に対応する。点 B 5 は点 A 3 と同じである。点 B 6 は点 A 2 と同じである。点 B 7 は点 A 1 と同じである。

【 0 0 8 6 】

図 7 において、符号 $A 1 2 T$, $A 2 3 T$, $A 3 4 T$, $A 4 5 T$, $A 5 6 T$, $A 6 7 T$ は、上方から見た縞状磁区構造の一部の模式図を示している。また、符号 $A 1 2 S$, $A 2 3 S$, $A 3 4 S$, $A 4 5 S$, $A 5 6 S$, $A 6 7 S$ は、Y 方向に見た縞状磁区構造の一部の模式図を示している。模式図 $A 1 2 T$, $A 1 2 S$ は点 A 1, A 2 間の状態に対応している。模式図 $A 2 3 T$, $A 2 3 S$ は点 A 2, A 3 間の状態に対応している。模式図 $A 3 4 T$, $A 3 4 S$ は点 A 3, A 4 間の状態に対応している。模式図 $A 4 5 T$, $A 4 5 S$ は点 A 4, A 5 間の状態に対応している。模式図 $A 5 6 T$, $A 5 6 S$ は点 A 5, A 6 間の状態に対応している。模式図 $A 6 7 T$, $A 6 7 S$ は点 A 6, A 7 間の状態に対応している。

【 0 0 8 7 】

模式図 $A 1 2 T$, $A 2 3 T$, $A 3 4 T$, $A 4 5 T$, $A 5 6 T$, $A 6 7 T$ において、実線の矢印を含む矩形は第 1 磁区を表し、破線の矢印を含む矩形は第 2 磁区を表している。また、全ての模式図において、実線の矢印は第 1 磁化の方向を表し、破線の矢印は第 2 磁化の方向を表している。

【 0 0 8 8 】

点 A 1, A 2 間では、第 1 磁化と第 2 磁化は、いずれも、ほぼ X 方向に向いている。

【 0 0 8 9 】

点 A 2, A 4 間では、第 1 磁化は X 方向の成分と Z 方向の成分を含み、第 2 磁化は X 方向の成分と - Z 方向の成分を含む。また、点 A 2, A 4 間では、X 方向印加磁界強度 $A H x$ が減少するに従って、第 1 磁化の X 方向の成分と第 2 磁化の X 方向の成分は減少し、第 1 磁化の Z 方向の成分と第 2 磁化の - Z 方向の成分は増加する。点 A 2, A 4 間では、上述のような第 1 磁化と第 2 磁化の挙動により、X 方向印加磁界強度 $A H x$ が減少するに従って、X 方向磁化対応値 $M x$ が減少する。点 A 4 において、X 方向磁化対応値 $M x$ は正の値である。

【 0 0 9 0 】

点 A 4, A 5 間では、一部の第 1 磁区が、第 1 磁化が X 方向の成分と Z 方向の成分を含む状態から、第 1 磁化が - X 方向の成分と Z 方向の成分を含む状態に変化したり、- X 方向の成分と - Z 方向の成分を含む第 2 磁化を有する第 2 磁区に変化したりする。また、点 A 4, A 5 間では、一部の第 2 磁区が、第 2 磁化が X 方向の成分と - Z 方向の成分を含む状態から、第 2 磁化が - X 方向の成分と - Z 方向の成分を含む状態に変化したり、- X 方向の成分と Z 方向の成分を含む第 1 磁化を有する第 1 磁区に変化したりする。上述の変化が生じる第 1 磁区の数と第 2 磁区の数は、X 方向印加磁界強度 $A H x$ が減少するに従って増加する。点 A 5 の時点では、点 A 4 の時点における第 1 磁区および第 2 磁区の全てあるいはほぼ全てに関して上述の変化が完了している。点 A 4, A 5 間では、上述のような縞状磁区構造の挙動により、X 方向印加磁界強度 $A H x$ が減少するに従って、X 方向磁化対応値 $M x$ が減少する。また、点 A 4, A 5 間では、点 A 2, A 4 間に比べて、X 方向印加磁界強度 $A H x$ の変化量に対する X 方向磁化対応値 $M x$ の変化量の比率の絶対値が大きい。

【 0 0 9 1 】

点 A 5, A 6 間では、第 1 磁化は - X 方向の成分と Z 方向の成分を含み、第 2 磁化は - X 方向の成分と - Z 方向の成分を含む。また、点 A 5, A 6 間では、X 方向印加磁界強度 $A H x$ が減少するに従って、第 1 磁化の - X 方向の成分と第 2 磁化の - X 方向の成分は増加し、第 1 磁化の Z 方向の成分と第 2 磁化の - Z 方向の成分は減少する。点 A 5, A 6 間

10

20

30

40

50

では、上述のような第1磁化と第2磁化の挙動により、X方向印加磁界強度 AH_x が減少するに従って、X方向磁化対応値 M_x が減少する。点A5, A6間では、点A4, A5間に比べて、X方向印加磁界強度 AH_x の変化量に対するX方向磁化対応値 M_x の変化量の比率の絶対値が小さい。

【0092】

点A6, A7間ならびに点B1, B2間では、第1磁化と第2磁化は、いずれも、ほぼ-X方向に向いている。

【0093】

点B2, B4間では、第1磁化は-X方向の成分とZ方向の成分を含み、第2磁化は-X方向の成分と-Z方向の成分を含む。また、点B2, B4間では、X方向印加磁界強度 AH_x が増加するに従って、第1磁化の-X方向の成分と第2磁化の-X方向の成分は減少し、第1磁化のZ方向の成分と第2磁化の-Z方向の成分は増加する。点B2, B4間では、上述のような第1磁化と第2磁化の挙動により、X方向印加磁界強度 AH_x が増加するに従って、X方向磁化対応値 M_x が増加する。点B4において、X方向磁化対応値 M_x は負の値である。

10

【0094】

点B4, B5間では、一部の第1磁区が、第1磁化が-X方向の成分とZ方向の成分を含む状態から、第1磁化がX方向の成分とZ方向の成分を含む状態に変化したり、X方向の成分と-Z方向の成分を含む第2磁化を有する第2磁区に変化したりする。また、点B4, B5間では、一部の第2磁区が、第2磁化が-X方向の成分と-Z方向の成分を含む状態から、第2磁化がX方向の成分と-Z方向の成分を含む状態に変化したり、X方向の成分とZ方向の成分を含む第1磁化を有する第1磁区に変化したりする。上述の変化が生じる第1磁区の数と第2磁区の数は、X方向印加磁界強度 AH_x が増加するに従って増加する。点B5の時点では、点B4の時点における第1磁区および第2磁区の全てあるいはほぼ全てに関して上述の変化が完了している。点B4, B5間では、上述のような縞状磁区構造の挙動により、X方向印加磁界強度 AH_x が増加するに従って、X方向磁化対応値 M_x が増加する。また、点B4, B5間では、点B2, B4間に比べて、X方向印加磁界強度 AH_x の変化量に対するX方向磁化対応値 M_x の変化量の比率の絶対値が大きい。

20

【0095】

点B4, B5間においてX方向磁化対応値 M_x が0になるときのX方向印加磁界強度 AH_x の値は、保磁力 H_c である。

30

【0096】

点B5, B6間では、第1磁化はX方向の成分とZ方向の成分を含み、第2磁化はX方向の成分と-Z方向の成分を含む。また、点B5, B6間では、X方向印加磁界強度 AH_x が増加するに従って、第1磁化のX方向の成分と第2磁化のX方向の成分は増加し、第1磁化のZ方向の成分と第2磁化の-Z方向の成分は減少する。点B5, B6間では、上述のような第1磁化と第2磁化の挙動により、X方向印加磁界強度 AH_x が増加するに従って、X方向磁化対応値 M_x が増加する。点B5, B6間では、点B4, B5間に比べて、X方向印加磁界強度 AH_x の変化量に対するX方向磁化対応値 M_x の変化量の比率の絶対値が小さい。

40

【0097】

点B6, B7間では、第1磁化と第2磁化は、いずれも、ほぼX方向に向いている。

【0098】

ここまでは、軟磁性構造体40の縞状磁区構造における縞の方向をX方向に平行な方向とし、軟磁性構造体40に印加される磁界の方向もX方向に平行な方向とした場合において、X方向印加磁界強度 AH_x を変化させたときの、X方向磁化対応値 M_x の変化と、縞状磁区構造の挙動について説明してきた。上記の一連の説明は、縞の方向をY方向に平行な方向とし、軟磁性構造体40に印加される磁界の方向もY方向に平行な方向とした場合にも当てはまる。ここで、軟磁性構造体40に印加されるY方向に平行な方向の磁界の強度を、Y方向印加磁界強度 AH_y とする。上記の一連の説明中の、X方向、-X方向、X

50

方向印加磁界強度 $A H_x$ および X 方向磁化対応値 M_x を、それぞれ、 Y 方向、 $-Y$ 方向、 Y 方向印加磁界強度 $A H_y$ および Y 方向磁化対応値 M_y に置き換えれば、縞の方向を Y 方向に平行な方向とし、軟磁性構造体 40 に印加される磁界の方向も Y 方向に平行な方向とした場合において、 Y 方向印加磁界強度 $A H_y$ を変化させたときの、 Y 方向磁化対応値 M_y の変化と、縞状磁区構造の挙動の説明になる。以下、 Y 方向印加磁界強度 $A H_y$ と Y 方向磁化対応値 M_y を直交する 2 軸で表した直交座標系に描かれるメジャーロープを符号 $MALY$ で表す。この直交座標系において、 Y 方向印加磁界強度 $A H_y$ と Y 方向磁化対応値 M_y を表す座標を、座標 $(A H_y, M_y)$ と言う。

【0099】

本実施の形態では、外部磁界の強度は所定の可変範囲内で変化する。外部磁界の強度が可変範囲内で変化するとき、検出対象磁界 H_x 、 H_y 、 H_z の強度は、いずれも、外部磁界の強度の可変範囲を超えない可変範囲内で変化する。また、外部磁界の強度が可変範囲内で変化するとき、印加磁界強度と磁化対応値を直交する 2 軸で表した直交座標系において、印加磁界強度と磁化対応値を表す座標は、メジャーロープで囲まれた領域内で移動することが好ましい。

10

【0100】

外部磁界が検出対象磁界 H_x のみからなる場合すなわち外部磁界の方向が X 方向に平行な方向である場合には、外部磁界の強度が可変範囲内で変化するとき、図 7 に示した直交座標系において、座標 $(A H_x, M_x)$ は、メジャーロープ $MALX$ で囲まれた領域内で移動することが好ましい。

20

【0101】

また、外部磁界が検出対象磁界 H_y のみからなる場合すなわち外部磁界の方向が Y 方向に平行な方向である場合には、外部磁界の強度が可変範囲内で変化するとき、 Y 方向印加磁界強度 $A H_y$ と Y 方向磁化対応値 M_y を直交する 2 軸で表した直交座標系において、座標 $(A H_y, M_y)$ は、メジャーロープ $MALY$ で囲まれた領域内で移動することが好ましい。

【0102】

なお、外部磁界の方向は、 X 方向に平行な方向および Y 方向に平行な方向以外の方向であってもよい。この場合にも、外部磁界の強度が可変範囲内で変化するとき、印加磁界強度と磁化対応値を直交する 2 軸で表した直交座標系において、印加磁界強度と磁化対応値を表す座標は、メジャーロープで囲まれた領域内で移動することが好ましい。

30

【0103】

次に、少なくとも一部が縞状磁区構造を有する軟磁性構造体 40 の形成方法について簡単に説明する。軟磁性構造体 40 の材料としては、例えば $NiFe$ が用いられる。この場合、 $NiFe$ の組成としては、 Ni の比率が 82 ~ 87 重量%であるものが好ましい。

【0104】

軟磁性構造体 40 を構成する複数の要素、すなわち軟磁性層 41、43、複数の下部ヨークおよび複数の上部ヨークの各々の厚みは、500 nm ~ 10 μ m の範囲内であることが好ましい。

【0105】

軟磁性構造体 40 は、例えば、めっき法によって形成してもよい。また、軟磁性構造体 40 に対して、交流消磁を行ってもよい。交流消磁は、軟磁性構造体 40 に対して、方向が交互に切り替わり且つ強度の絶対値が徐々に小さくなる磁界である交流磁界を印加することによって行われる。

40

【0106】

交流消磁を行わなくても、少なくとも一部が縞状磁区構造を有する軟磁性構造体 40 を形成することができる。この場合、形成当初の軟磁性構造体 40 は、互いに縞の方向が異なる縞状磁区構造を有する複数の部分を含み得る。形成後の軟磁性構造体 40 に磁界が印加されると、縞状磁区構造の縞の方向は、印加磁界の方向に平行な方向に変化し得る。磁化が印加磁界の方向の成分を含む磁区と、磁化が印加磁界の方向とは反対方向の成分を含

50

む磁区の、上方から見たときの面積の比率は、印加磁界の強度に依存する。

【0107】

軟磁性構造体40に対して交流消磁を行うことにより、軟磁性構造体40の大部分において、縞状磁区構造の縞の方向を揃えることができると共に、磁化が所定方向の成分を含む磁区と、磁化が所定方向とは反対方向の成分を含む磁区の、上方から見たときの面積の比率を等しくすることができる。

【0108】

例えば、方向がX方向と-X方向に交互に切り替わる交流磁界を用いて交流消磁を行うと、縞状磁区構造の縞の方向はX方向に平行な方向になる。以下、この場合の交流消磁を、X方向の交流消磁と言う。また、方向がY方向と-Y方向に交互に切り替わる交流磁界を用いて交流消磁を行うと、縞状磁区構造の縞の方向はY方向に平行な方向になる。以下、この場合の交流消磁を、Y方向の交流消磁と言う。また、交流消磁直後の縞状磁区構造を初期縞状磁区構造と言う。

【0109】

また、本実施の形態では、交流消磁後の軟磁性構造体40において、印加磁界強度を0から変化させたときの印加磁界強度と磁化対応値を表す座標の軌跡を初磁化曲線と言う。本実施の形態では、外部磁界の強度が可変範囲内で変化するとき、印加磁界強度と磁化対応値を直交する2軸で表した直交座標系において、印加磁界強度と磁化対応値を表す座標は、例えば、メジャーリングで囲まれた領域内に形成される、メジャーリングに接しないマイナーループ上を移動する。このマイナーループは、初磁化曲線上の点を起点としてもよい。

【0110】

外部磁界が検出対象磁界 H_x のみからなる場合には、外部磁界の強度が可変範囲内で変化するとき、図7に示した直交座標系において、座標 (AH_x, M_x) は、例えば、メジャーリング $MALX$ で囲まれた領域内に形成される、メジャーリング $MALX$ に接しないマイナーループ上を移動する。このマイナーループは、初磁化曲線上の点を起点としてもよい。また、外部磁界が検出対象磁界 H_y のみからなる場合には、外部磁界の強度が可変範囲内で変化するとき、Y方向印加磁界強度 AH_y とY方向磁化対応値 M_y を直交する2軸で表した直交座標系において、座標 (AH_y, M_y) は、例えば、この直交座標系におけるメジャーリング $MALY$ で囲まれた領域内に形成される、メジャーリング $MALY$ に接しないマイナーループ上を移動する。このマイナーループは、初磁化曲線上の点を起点としてもよい。

【0111】

なお、初期縞状磁区構造における縞の方向にかかわらず、メジャーリング $MALX$ とメジャーリング $MALY$ は、形状がほぼ等しい。その理由は、以下の通りである。メジャーリング $MALX$ または $MALY$ が測定される際には、軟磁性構造体40の磁化が飽和するような強度の、所定方向の磁界が軟磁性構造体40に印加される。この時点で、初期縞状磁区構造における縞の方向にかかわらずに、軟磁性構造体40の縞状磁区構造における縞の方向は上記の所定方向に平行な方向になっている。所定方向は、X方向に平行な方向またはY方向に平行な方向である。その後、所定方向に平行な方向の磁界の強度を変化させても、縞の方向は変化しない。これは、上記の所定方向がX方向に平行な方向であってもY方向に平行な方向であっても同じである。そのため、メジャーリング $MALX$ とメジャーリング $MALY$ は、形状がほぼ等しくなる。

【0112】

軟磁性構造体40の縞状磁区構造は、交流消磁後に軟磁性構造体40に印加される磁界の方向および強度によって変化する場合がある。以下、これについて詳しく説明する。ここでは、第1のケースと第2のケースと第3のケースと第4のケースについて説明する。

【0113】

第1のケースは、X方向の交流消磁によって形成された軟磁性構造体40に、X方向に平行な方向の磁界が印加される場合である。第2のケースは、Y方向の交流消磁によって

形成された軟磁性構造体 40 に、Y 方向に平行な方向の磁界が印加される場合である。第 3 のケースは、Y 方向の交流消磁によって形成された軟磁性構造体 40 に、X 方向に平行な方向の磁界が印加される場合である。第 4 のケースは、X 方向の交流消磁によって形成された軟磁性構造体 40 に、Y 方向に平行な方向の磁界が印加される場合である。

【0114】

始めに、X 方向の交流消磁と Y 方向の交流消磁のそれぞれの具体的方法の一例について説明する。まず、X 方向の交流消磁の具体的方法の一例では、軟磁性構造体 40 に対して、方向が X 方向と - X 方向に交互に切り替わり且つ強度の絶対値が徐々に小さくなる磁界である交流磁界を印加する。交流磁界は、方向が切り替わる毎に強度の絶対値が 80 % に小さくなる磁界とする。交流磁界の最初の方法は X 方向で強度の絶対値は 1000 e である。Y 方向の交流消磁の具体的方法の一例は、X 方向と - X 方向がそれぞれ Y 方向と - Y 方向に変わる点を除いて、X 方向の交流消磁の具体的方法の一例と同じである。

10

【0115】

次に、第 1 のケースについて説明する。図示しないが、第 1 のケースでは、初期縞状磁区構造の縞の方向は、X 方向に平行な方向になり、各磁区の X Y 平面に平行な磁化の成分の方向は、X 方向または - X 方向になる。以下、X Y 平面に平行な磁化の成分を磁化面内成分と言い、X Y 平面に垂直な磁化の成分を磁化垂直成分と言う。

【0116】

第 1 のケースの初期縞状磁区構造では、第 1 磁区と第 2 磁区が Y 方向に交互に並んでいる。ここで、磁化面内成分の方向が同じである複数本の磁区の束を磁区束と言う。第 1 のケースの初期縞状磁区構造では、Y 方向に交互に並ぶ第 1 の磁区束と第 2 の磁区束が形成されている。第 1 の磁区束は、磁化面内成分の方向が X 方向である複数本の磁区の束である。第 2 の磁区束は、磁化面内成分の方向が - X 方向である複数本の磁区の束である。また、第 1 のケースの初期縞状磁区構造では、隣り合う第 1 の磁区束と第 2 の磁区束の間に、X 方向に延びる磁壁が形成されている。

20

【0117】

第 1 のケースでは、X 方向の交流消磁によって形成された軟磁性構造体 40 に X 方向に平行な方向の磁界が印加されても、縞状磁区構造の縞の方向は変わらない。X 方向印加磁界強度 AH_x を変化させたときの縞状磁区構造は、図 7 を用いて説明した通りの挙動を示す。

30

【0118】

次に、第 1 のケースにおけるメジャーループとマイナーループについて説明する。図 8 は、第 1 のケースにおけるメジャーループとマイナーループの一例を示す特性図である。図 9 は、図 8 の一部を拡大して示す特性図である。図 8 および図 9 において、横軸は X 方向印加磁界強度 AH_x (Oe) を示し、縦軸は X 方向磁化対応値 M_x (emu) を示している。

【0119】

ここで、本実施の形態におけるメジャーループとマイナーループの測定方法について、簡単に説明する。この測定方法において、試料は、X 方向と Y 方向にそれぞれ複数個ずつ並ぶように配列された複数の要素を含んでいる。上方から見たときの 1 つの要素の形状は、一辺の長さが約 260 μm の正方形である。1 つの要素の厚みは約 2 μm である。試料では、隣り合う 2 つの要素の間隔を 100 μm 以上とすることで隣り合う要素間の磁気結合を抑制している。上方から見たときの試料全体の形状は、一辺の長さが約 10 mm の正方形である。試料に印加される磁界は、ヘルムホルツコイルを用いて発生させた。試料の磁化対応値は、振動試料型磁力計を用いて測定した。

40

【0120】

図 8 および図 9 において、符号 $MALX$ を付した曲線は、メジャーループ $MALX$ である。このメジャーループ $MALX$ は、X 方向印加磁界強度 AH_x を、2500 e にした後、- 2500 e まで徐々に減少させ、その後、2500 e まで徐々に増加させたときの座標 (AH_x , M_x) の軌跡である。

50

【 0 1 2 1 】

図 8 および図 9 において、符号 7 3 を付した履歴曲線は、マイナーループの一例である。この履歴曲線 7 3 は、X 方向印加磁界強度 AH_x を、 21.6 Oe にした後、 -21.6 Oe まで徐々に減少させ、その後、 21.6 Oe まで徐々に増加させたときの座標 (AH_x , M_x) の軌跡である。履歴曲線 7 3 は、メジャーLOOP $MALX$ で囲まれた領域内に形成される、メジャーLOOP $MALX$ に接しないマイナーループであって、初磁化曲線上の点を起点としたマイナーループである。

【 0 1 2 2 】

次に、第 2 のケースについて説明する。図示しないが、第 2 のケースでは、初期縞状磁区構造の縞の方向は、Y 方向に平行な方向になり、各磁区の磁化面内成分の方向は、Y 方向または - Y 方向になる。

【 0 1 2 3 】

第 2 のケースの初期縞状磁区構造では、第 1 磁区と第 2 磁区が X 方向に交互に並んでいる。また、第 2 のケースの初期縞状磁区構造では、X 方向に交互に並ぶ第 3 の磁区束と第 4 の磁区束が形成されている。第 3 の磁区束は、磁化面内成分の方向が Y 方向である複数本の磁区の束である。第 4 の磁区束は、磁化面内成分の方向が - Y 方向である複数本の磁区の束である。また、第 2 のケースの初期縞状磁区構造では、隣り合う第 3 の磁区束と第 4 の磁区束の間に、Y 方向に延びる磁壁が形成されている。

【 0 1 2 4 】

第 2 のケースでは、Y 方向の交流消磁によって形成された軟磁性構造体 4 0 に Y 方向に平行な方向の磁界が印加されても、縞状磁区構造の縞の方向は変わらない。Y 方向印加磁界強度 AH_y を変化させたときの縞状磁区構造は、X 方向印加磁界強度 AH_x を変化させたときの縞状磁区構造の挙動と同様の挙動を示す。

【 0 1 2 5 】

次に、第 2 のケースにおけるメジャーLOOP とマイナーループについて説明する。図 1 0 は、第 2 のケースにおけるメジャーLOOP とマイナーループの一例を示す特性図である。図 1 1 は、図 1 0 の一部を拡大して示す特性図である。図 1 0 および図 1 1 において、横軸は Y 方向印加磁界強度 AH_y (Oe) を示し、縦軸は Y 方向磁化対応値 My (emu) を示している。図 1 0 および図 1 1 における Y 方向印加磁界強度 AH_y は、軟磁性構造体 4 0 に印加される磁界の方向が Y 方向のときは正の値で表し、軟磁性構造体 4 0 に印加される磁界の方向が - Y 方向のときは負の値で表している。また、図 1 0 および図 1 1 における Y 方向磁化対応値 My は、軟磁性構造体 4 0 の磁化の方向が Y 方向のときは正の値で表し、軟磁性構造体 4 0 の磁化の方向が - Y 方向のときは負の値で表している。

【 0 1 2 6 】

図 1 0 および図 1 1 において、符号 $MALY$ を付した曲線は、メジャーLOOP $MALY$ である。このメジャーLOOP $MALY$ は、Y 方向印加磁界強度 AH_y を、 250 Oe にした後、 -250 Oe まで徐々に減少させ、その後、 250 Oe まで徐々に増加させたときの座標 (AH_y , My) の軌跡である。

【 0 1 2 7 】

図 1 0 および図 1 1 において、符号 8 3 を付した履歴曲線は、マイナーループの一例である。この履歴曲線 8 3 は、Y 方向印加磁界強度 AH_y を、 21.6 Oe にした後、 -21.6 Oe まで徐々に減少させ、その後、 21.6 Oe まで徐々に増加させたときの座標 (AH_y , My) の軌跡である。履歴曲線 8 3 は、メジャーLOOP $MALY$ で囲まれた領域内に形成される、メジャーLOOP $MALY$ に接しないマイナーループであって、初磁化曲線上の点を起点としたマイナーループである。

【 0 1 2 8 】

次に、第 3 のケースについて説明する。図示しないが、第 3 のケースの初期縞状磁区構造は、第 2 のケースの初期縞状磁区構造と同じであり、初期縞状磁区構造の縞の方向は、Y 方向に平行な方向になる。第 3 のケースの初期縞状磁区構造については、後で詳しく説明する。

10

20

30

40

50

【 0 1 2 9 】

第3のケースでは、Y方向の交流消磁によって形成された軟磁性構造体40にX方向に平行な方向の磁界を印加すると共に、X方向印加磁界強度 AH_x を0から大きくしていくと、X方向印加磁界強度 AH_x がある強度以上になると、縞状磁区構造の縞の方向がY方向に平行な方向からX方向に平行な方向に回転する。この縞の方向の回転が生じるときの磁界の強度を、臨界強度と言う。

【 0 1 3 0 】

第3のケースにおいて軟磁性構造体40にX方向に平行な方向の磁界が印加されたときの縞状磁区構造の挙動については、後で詳しく説明する。

【 0 1 3 1 】

次に、第3のケースにおけるメジャーループとマイナーループについて説明する。図12は、第3のケースにおけるメジャーループとマイナーループの一例を示す特性図である。図13は、図12の一部を拡大して示す特性図である。図12および図13において、横軸はX方向印加磁界強度 AH_x (Oe)を示し、縦軸はX方向磁化対応値 M_x (emu)を示している。

【 0 1 3 2 】

図12および図13において、符号MALXを付した曲線は、メジャーループMALXである。このメジャーループMALXは、X方向印加磁界強度 AH_x を、2500eにした後、-2500eまで徐々に減少させ、その後、2500eまで徐々に増加させたときの座標(AH_x , M_x)の軌跡である。

【 0 1 3 3 】

図12および図13において、符号93を付した履歴曲線は、マイナーループの一例である。この履歴曲線93は、X方向印加磁界強度 AH_x を、21.60eにした後、-21.60eまで徐々に減少させ、その後、21.60eまで徐々に増加させたときの座標(AH_x , M_x)の軌跡である。履歴曲線93は、メジャーループMALXで囲まれた領域内に形成される、メジャーループMALXに接しないマイナーループであって、初磁化曲線上の点を起点としたマイナーループである。

【 0 1 3 4 】

次に、図14を参照して、第3のケースにおける初期縞状磁区構造について説明する。図14は、第3のケースにおける初期縞状磁区構造を示している。図14では、第1磁区と第2磁区を白黒の濃淡で模式的に表している。図14において、濃淡の中間値よりも白に近い領域は第1磁区に対応し、濃淡の中間値よりも黒に近い領域は第2磁区に対応する。

【 0 1 3 5 】

1つの磁区は、スピン磁気モーメントの方向が同じである複数の磁気双極子を含んでいる。ここで、スピン磁気モーメントのXY平面に平行な成分をスピン面内成分と言い、スピン磁気モーメントのXY平面に垂直な成分をスピン垂直成分と言う。1つの磁区において、磁化面内成分の方向は、その磁区内の複数の磁気双極子のスピン面内成分の方向と同じ方向になり、磁化垂直成分の方向は、その磁区内の複数の磁気双極子のスピン垂直成分の方向と同じ方向になる。

【 0 1 3 6 】

図14では、各磁区内のスピン垂直成分の方向と大きさを白黒の濃淡で模式的に表している。図14において、濃淡の中間値よりも白に近い領域はスピン垂直成分の方向がZ方向であることを表し、白に近いほどスピン垂直成分が大きいことを表している。また、濃淡の中間値よりも黒に近い領域はスピン垂直成分の方向が-Z方向であることを表し、黒に近いほどスピン垂直成分が大きいことを表している。

【 0 1 3 7 】

また、図14では、各磁気双極子のスピン面内成分とスピン垂直成分の方向を矢印で表している。図14において、矢印の方向はスピン面内成分の方向を表し、黒色の矢印はスピン垂直成分の方向がZ方向であることを表し、白色の矢印はスピン垂直成分の方向が-

10

20

30

40

50

Z方向であることを表している。

【0138】

図14に示したように、第3のケースでは、初期縞状磁区構造の縞の方向は、Y方向に平行な方向になり、各磁区の磁化面内成分の方向および各磁気双極子のスピン面内成分の方向は、Y方向または-Y方向になる。また、第3のケースの初期縞状磁区構造では、第1磁区と第2磁区がX方向に交互に並んでいる。また、第3のケースの初期縞状磁区構造では、第2のケースで説明した第3の磁区束と第4の磁区束が、X方向に交互に並ぶように形成されている。以下、第3の磁区束を符号203で表し、第4の磁区束を符号204で表す。隣り合う第3の磁区束203と第4の磁区束204の間には、Y方向に延びる磁壁Wが形成されている。磁壁Wの内部では、スピン磁気モーメントの方向が大きく変化し

10

【0139】

なお、これ以降の説明で使用する図14と同様の図においても、第1磁区、第2磁区、スピン磁気モーメントおよび磁壁については、図14と同様の表し方を用いる。

【0140】

また、第3のケースの初期縞状磁区構造では、スピン面内成分の方向がY方向の磁気双極子の数とスピン面内成分の方向が-Y方向の磁気双極子の数は、ほぼ等しくなっている。また、第3のケースの初期縞状磁区構造では、スピン垂直成分の方向がZ方向の磁気双極子の数とスピン垂直成分の方向が-Z方向の磁気双極子の数は、ほぼ等しくなっている。また、第3のケースの初期縞状磁区構造では、スピン面内成分の方向がX方向または-X方向の磁気双極子は、全くまたはほぼ存在しない。以上のことから、軟磁性構造体40全体の磁化のX方向に平行な成分は、0またはほぼ0になる。

20

【0141】

次に、図15ないし図17を参照して、第3のケースにおいて、軟磁性構造体40にX方向に平行な方向の磁界が印加されたときの縞状磁区構造の挙動について説明する。ここでは、軟磁性構造体40にX方向の磁界を印加すると共に、X方向印加磁界強度 AH_x を0から大きくしていく場合を例にとって説明する。

【0142】

図15は、X方向印加磁界強度 AH_x が0のときの縞状磁区構造を示している。図15は、図14の一部を拡大して示しているが、図15に示した縞状磁区構造は、図14に示した初期縞状磁区構造と同じである。

30

【0143】

X方向印加磁界強度 AH_x を0から大きくしていくと、まず、スピン面内成分の方向が、Y方向または-Y方向からX方向に向かって傾く。スピン面内成分の方向の傾き量は、X方向印加磁界強度 AH_x が大きくなるに従って大きくなる。そして、X方向印加磁界強度 AH_x が臨界強度以上になると、静磁エネルギーを小さくするために磁壁Wが移動する。それに伴って、磁気双極子の再配列が速やかに生じて、縞の方向がY方向に平行な方向からX方向に平行な方向に回転する。

【0144】

図16は、X方向印加磁界強度 AH_x が0よりも大きく臨界強度未満のときの縞状磁区構造を示している。図16ならびに他の同様の複数の図において、 AH_x を付した矢印の長さは、X方向印加磁界強度 AH_x を模式的に表している。図16に示したように、X方向印加磁界強度 AH_x が0よりも大きく臨界強度未満のときには、スピン面内成分の方向は、Y方向または-Y方向からX方向に向かって傾いている。なお、図16に示した状態では、磁壁Wは移動しておらず、縞の方向はY方向に平行な方向のままである。

40

【0145】

図17は、X方向印加磁界強度 AH_x が臨界強度以上のときの縞状磁区構造を示している。図17に示したように、X方向印加磁界強度 AH_x が臨界強度以上になると、磁壁Wが移動し、スピン面内成分の方向はX方向になり、縞の方向はX方向に平行な方向になる。また、図17に示した状態では、第1磁区と第2磁区がY方向に交互に並んでいる。ま

50

た、磁化面内成分の方向は、全て、X方向になっている。

【0146】

その後、軟磁性構造体40のX方向磁化対応値 M_x が飽和するまで、X方向印加磁界強度 AH_x を大きくすると、スピン磁気モーメントの方向は、X方向またはほぼX方向になる。

【0147】

図18は、第3のケースにおけるメジャーループと初磁化曲線を示す特性図である。図18において、横軸はX方向印加磁界強度 AH_x (Oe)を示し、縦軸はX方向磁化対応値 M_x (emu)を示している。また、図18において、符号MALXで示した曲線がメジャーループであり、符号MCiを付した曲線が初磁化曲線である。図18に示したメジャーループMALXは、図12に示したメジャーループMALXと同じである。

10

【0148】

図18において、初磁化曲線MCi上の点C1は、Y方向の交流消磁を行った後の、X方向印加磁界強度 AH_x が0の状態に対応する。初磁化曲線MCi上の点C2は、X方向印加磁界強度 AH_x が0よりも大きく臨界強度未満の状態に対応する。初磁化曲線MCi上の点C3は、X方向印加磁界強度 AH_x が臨界強度以上の状態に対応する。初磁化曲線MCi上の点C4は、X方向印加磁界強度 AH_x が臨界強度より十分に大きい状態に対応する。縞の方向がX方向に平行な方向になると、初磁化曲線MCiは、メジャーループMALXに合流する。

【0149】

20

点C2と点C4の間の初磁化曲線MCi上の範囲(点C2と点C4は含まない)に対応するX方向印加磁界強度 AH_x の範囲では、同じX方向印加磁界強度 AH_x と比較すると、初磁化曲線MCiにおけるX方向磁化対応値 M_x がメジャーループMALXにおけるX方向磁化対応値 M_x よりも小さくなる。それは、この範囲では、縞の方向が完全にX方向に平行な方向に向いていないためである。上記の範囲では、初磁化曲線MCiは、メジャーループMALXの外側にはみ出す。

【0150】

次に、第4のケースについて説明する。図示しないが、第4のケースの初期縞状磁区構造は、第1のケースの初期縞状磁区構造と同じであり、初期縞状磁区構造の縞の方向は、X方向に平行な方向になる。第4のケースでは、X方向の交流消磁によって形成された軟磁性構造体40にY方向に平行な方向の磁界を印加すると共に、Y方向印加磁界強度 AH_y を0から大きくしていくと、Y方向印加磁界強度 AH_y が臨界強度以上になると、縞状磁区構造の縞の方向がX方向に平行な方向からY方向に平行な方向に回転する。

30

【0151】

次に、第1および第3のケースについて、軟磁性構造体40の磁気ヒステリシス特性について調べた第1の実験の結果について説明する。ここで、軟磁性構造体40の磁気ヒステリシス特性を定量的に評価することを可能にするために、軟磁性構造体40の磁気ヒステリシスパラメータを以下のように定義する。磁気ヒステリシスパラメータは、軟磁性構造体40に印加される磁界の方向がX方向に平行な方向である場合と、軟磁性構造体40に印加される磁界の方向がY方向に平行な方向である場合について別々に定義される。以下、軟磁性構造体40に印加される磁界の方向がX方向に平行な方向である場合における磁気ヒステリシスパラメータをX方向磁気ヒステリシスパラメータ HPH_x と言い、軟磁性構造体40に印加される磁界の方向がY方向に平行な方向である場合における磁気ヒステリシスパラメータをY方向磁気ヒステリシスパラメータ HPH_y と言う。

40

【0152】

X方向磁気ヒステリシスパラメータ HPH_x は、交流消磁後の軟磁性構造体40においてX方向印加磁界強度 AH_x を変化させたときのX方向磁化対応値 M_x から得られる。本実施の形態では、X方向磁気ヒステリシスパラメータ HPH_x は、X方向印加磁界強度 AH_x を0よりも大きい所定値 MH_x にした後、X方向印加磁界強度 AH_x を $-MH_x$ に減少させ、その後、X方向印加磁界強度 AH_x を所定値 MH_x にしたときに、X方向印加磁

50

界強度 $A H_x$ が減少過程で 0 になったときの X 方向磁化対応値 M_x から、X 方向印加磁界強度 $A H_x$ が増加過程で 0 になったときの X 方向磁化対応値 M_x を引いた値である。

【0153】

同様に、Y 方向磁気ヒステリシスパラメータ $H P H_y$ は、交流消磁後の軟磁性構造体 40 において Y 方向印加磁界強度 $A H_y$ を変化させたときの Y 方向磁化対応値 M_y から得られる。本実施の形態では、Y 方向磁気ヒステリシスパラメータ $H P H_y$ は、Y 方向印加磁界強度 $A H_y$ を 0 よりも大きい所定値 $M H_y$ にした後、Y 方向印加磁界強度 $A H_y$ を $-M H_y$ に減少させ、その後、Y 方向印加磁界強度 $A H_y$ を所定値 $M H_y$ にしたときに、Y 方向印加磁界強度 $A H_y$ が減少過程で 0 になったときの Y 方向磁化対応値 M_y から、Y 方向印加磁界強度 $A H_y$ が増加過程で 0 になったときの Y 方向磁化対応値 M_y を引いた値である。

10

【0154】

また、磁気センサ 10, 20 の検出値のヒステリシス特性を定量的に評価することを可能にするために、磁気センサ 10, 20 毎のヒステリシスパラメータを以下のように定義する。磁気センサ 10 のヒステリシスパラメータは、軟磁性構造体 40 に対して交流消磁を行った後に検出対象磁界 H_x の強度を変化させたときの検出値 S_x から得られる。具体的には、磁気センサ 10 のヒステリシスパラメータは、検出対象磁界 H_x の強度を 0 よりも大きい所定値 P_x にした後、検出対象磁界 H_x の強度を $-P_x$ に減少させ、その後、検出対象磁界 H_x の強度を 0 にしたときに、検出対象磁界 H_x の強度が減少過程で 0 になったときの検出値 S_x から、検出対象磁界 H_x の強度が増加過程で 0 になったときの検出値 S_x を引いた値である。

20

【0155】

同様に、磁気センサ 20 のヒステリシスパラメータは、軟磁性構造体 40 に対して交流消磁を行った後に検出対象磁界 H_y の強度を変化させたときの検出値 S_y から得られる。具体的には、磁気センサ 20 のヒステリシスパラメータは、検出対象磁界 H_y の強度を 0 よりも大きい所定値 P_y にした後、検出対象磁界 H_y の強度を $-P_y$ に減少させ、その後、検出対象磁界 H_y の強度を 0 にしたときに、検出対象磁界 H_y の強度が減少過程で 0 になったときの検出値 S_y から、検出対象磁界 H_y の強度が増加過程で 0 になったときの検出値 S_y を引いた値である。

【0156】

30

X 方向磁気ヒステリシスパラメータ $H P H_x$ の値が大きいほど、磁気センサ 10 のヒステリシスパラメータの値が大きくなる。磁気センサ 10 のヒステリシスパラメータの値が大きいほど、磁気センサ 10 の検出精度の低下が大きいと言える。同様に、Y 方向磁気ヒステリシスパラメータ $H P H_y$ の値が大きいほど、磁気センサ 20 のヒステリシスパラメータの値が大きくなる。磁気センサ 20 のヒステリシスパラメータの値が大きいほど、磁気センサ 20 の検出精度の低下が大きいと言える。従って、軟磁性構造体 40 の磁気ヒステリシス特性に起因した磁気センサ 10, 20 の検出精度の低下を抑制するためには、X 方向磁気ヒステリシスパラメータ $H P H_x$ の値と Y 方向磁気ヒステリシスパラメータ $H P H_y$ の値は、小さいほど好ましい。

【0157】

40

第 1 および第 3 のケースについての実験では、X 方向印加磁界強度 $A H_x$ を変化させたときの初磁化曲線上の点を起点とした履歴曲線を求め、この履歴曲線から、X 方向磁気ヒステリシスパラメータ $H P H_x$ を求めた。実験では、履歴曲線を求める際の X 方向印加磁界強度 $A H_x$ の絶対値の最大値となる $M H_x$ の値を変化させて、 $M H_x$ の値毎に履歴曲線を求め、 $M H_x$ と磁気ヒステリシスパラメータ $H P H_x$ との関係性を求めた。

【0158】

第 2 のケースについての実験では、Y 方向印加磁界強度 $A H_y$ を変化させたときの初磁化曲線上の点を起点とした履歴曲線を求め、この履歴曲線から、Y 方向磁気ヒステリシスパラメータ $H P H_y$ を求めた。実験では、履歴曲線を求める際の Y 方向印加磁界強度 $A H_y$ の絶対値の最大値となる $M H_y$ の値を変化させて、 $M H_y$ の値毎に履歴曲線を求め、M

50

H_y と磁気ヒステリシスパラメータ HPH_y との関係を求めた。

【0159】

図19ないし図24は、第1のケースにおける履歴曲線の例を示す特性図である。図19ないし図24において、横軸はX方向印加磁界強度 AH_x (Oe)を示し、縦軸はX方向磁化対応値 M_x (emu)を示している。図19ないし図24において、符号MALXを付した曲線は、メジャーLOOP MALXである。このメジャーLOOP MALXは、図8および図9に示したメジャーLOOP MALXと同じである。

【0160】

図19には、 MH_x が10.2 Oeであるときの履歴曲線の一例を、符号71を付して示している。図20には、 MH_x が17.4 Oeであるときの履歴曲線の一例を、符号72を付して示している。図21には、 MH_x が21.6 Oeであるときの履歴曲線の一例を、符号73を付して示している。この履歴曲線73は、図8および図9に示した履歴曲線73と同じである。図22には、 MH_x が23.6 Oeであるときの履歴曲線の一例を、符号74を付して示している。図23には、 MH_x が31.6 Oeであるときの履歴曲線の一例を、符号75を付して示している。図24には、 MH_x が42.3 Oeであるときの履歴曲線の一例を、符号76を付して示している。

10

【0161】

図25ないし図30は、第2のケースにおける履歴曲線の例を示す特性図である。図25ないし図30において、横軸はY方向印加磁界強度 AH_y (Oe)を示し、縦軸はY方向磁化対応値 M_y (emu)を示している。図25ないし図30において、符号MALYを付した曲線は、メジャーLOOP MALYである。このメジャーLOOP MALYは、図10および図11に示したメジャーLOOP MALYと同じである。

20

【0162】

図25には、 MH_y が10.2 Oeであるときの履歴曲線の一例を、符号81を付して示している。図26には、 MH_y が17.4 Oeであるときの履歴曲線の一例を、符号82を付して示している。図27には、 MH_y が21.6 Oeであるときの履歴曲線の一例を、符号83を付して示している。この履歴曲線83は、図10および図11に示した履歴曲線83と同じである。図28には、 MH_y が23.6 Oeであるときの履歴曲線の一例を、符号84を付して示している。図29には、 MH_y が31.6 Oeであるときの履歴曲線の一例を、符号85を付して示している。図30には、 MH_y が42.1 Oeであるときの履歴曲線の一例を、符号86を付して示している。

30

【0163】

図31ないし図36は、第3のケースにおける履歴曲線の例を示す特性図である。図31ないし図36において、横軸はX方向印加磁界強度 AH_x (Oe)を示し、縦軸はX方向磁化対応値 M_x (emu)を示している。図31ないし図36において、符号MALXを付した曲線は、メジャーLOOP MALXである。このメジャーLOOP MALXは、図12および図13に示したメジャーLOOP MALXと同じである。

【0164】

図31には、 MH_x が10.3 Oeであるときの履歴曲線の一例を、符号91を付して示している。図32には、 MH_x が17.5 Oeであるときの履歴曲線の一例を、符号92を付して示している。図33には、 MH_x が21.6 Oeであるときの履歴曲線の一例を、符号93を付して示している。この履歴曲線93は、図12および図13に示した履歴曲線93と同じである。図34には、 MH_x が23.7 Oeであるときの履歴曲線の一例を、符号94を付して示している。図35には、 MH_x が31.6 Oeであるときの履歴曲線の一例を、符号95を付して示している。図36には、 MH_x が42.1 Oeであるときの履歴曲線の一例を、符号96を付して示している。

40

【0165】

図37は、第1のケースにおける MH_x と磁気ヒステリシスパラメータ HPH_x との関係を示す特性図である。図37において、横軸は MH_x (Oe)を示し、縦軸は磁気ヒステリシスパラメータ HPH_x (emu)を示している。図37では、 MH_x が17.4 Oe

50

e の位置を符号 77 で示した破線で表し、 MH_x が $21.6 Oe$ の位置を符号 78 で示した破線で表している。

【0166】

図 38 は、第 2 のケースにおける MHy と磁気ヒステリシスパラメータ $HPHy$ との関係を示す特性図である。図 38 において、横軸は $MHy (Oe)$ を示し、縦軸は磁気ヒステリシスパラメータ $HPHy (emu)$ を示している。図 38 では、 MHy が $17.4 Oe$ の位置を符号 87 で示した破線で表し、 MHy が $21.6 Oe$ の位置を符号 88 で示した破線で表している。

【0167】

図 39 は、第 3 のケースにおける MH_x と磁気ヒステリシスパラメータ HPH_x との関係を示す特性図である。図 39 において、横軸は $MH_x (Oe)$ を示し、縦軸は磁気ヒステリシスパラメータ $HPH_x (emu)$ を示している。図 39 では、 MH_x が $21.6 Oe$ の位置を符号 97 で示した破線で表している。

【0168】

以下、 MH_x と MHy を、印加磁界強度の上限値と言う。図 37 ないし図 39 に示したように、第 1 ないし第 3 のケースのいずれにおいても、印加磁界強度の上限値が大きくなるほど、磁気ヒステリシスパラメータの値が大きくなる傾向がある。また、第 1 ないし第 3 のケースのいずれにおいても、印加磁界強度の上限値が $21.6 Oe$ を超えると、印加磁界強度の上限値の変化に対する磁気ヒステリシスパラメータの値の変化の傾きが大きくなった。また、第 3 のケースでは、図 31 ないし図 33 に示したように、印加磁界強度の上限値が $21.6 Oe$ に達するまでは、初磁化曲線上の点を起点とした履歴曲線がメジャーループ $MALX$ に接することはないが、図 34 ないし図 36 に示したように、印加磁界強度の上限値が $21.6 Oe$ を超えると、初磁化曲線上の点を起点とした履歴曲線がメジャーループ $MALX$ の外側にはみ出している。なお、図示しないが、第 4 のケースでも、印加磁界強度の上限値が $21.6 Oe$ に達するまでは、初磁化曲線上の点を起点とした履歴曲線がメジャーループ $MALY$ に接することはないが、印加磁界強度の上限値が $21.6 Oe$ を超えると、初磁化曲線上の点を起点とした履歴曲線がメジャーループ $MALY$ の外側にはみ出す。また、第 1 および第 2 のケースでも、印加磁界強度の上限値が $21.6 Oe$ に達するまでは、初磁化曲線上の点を起点とした履歴曲線がメジャーループに接することはない。

【0169】

これらのことから、印加磁界強度の上限値が、第 3 および第 4 のケースにおいて、初磁化曲線上の点を起点とした履歴曲線がメジャーループに接したりメジャーループの外側にはみ出したりするような大きになると、第 1 ないし第 4 のケースのいずれにおいても、磁気ヒステリシスパラメータの値が特に大きくなると考えられる。

【0170】

そのため、第 1 ないし第 4 のケースのいずれにおいても磁気ヒステリシスパラメータの値が小さくなるようにするためには、印加磁界強度の上限値は、第 3 および第 4 のケースにおいて、初磁化曲線上の点を起点とした履歴曲線がメジャーループに接しない大きさであることが好ましい。具体的には、印加磁界強度の上限値は $21.6 Oe$ 以下であることが好ましい。

【0171】

また、図 37 および図 38 から、印加磁界強度の上限値が $17.4 Oe$ 以下であれば、磁気ヒステリシスパラメータの値は特に小さくなることが分かる。そのため、印加磁界強度の上限値は $17.4 Oe$ 以下であることがより好ましい。

【0172】

本実施の形態では、印加磁界強度の上限値は、外部磁界の強度の可変範囲の上限値に相当する。可変範囲の上限値は、第 3 および第 4 のケースにおいて、初磁化曲線上の点を起点とした履歴曲線がメジャーループに接しない大きさであることが好ましい。具体的には、可変範囲の上限値は、 $21.6 Oe$ 以下であることが好ましく、 $17.4 Oe$ 以下であ

ることがより好ましい。言い換えると、可変範囲は、絶対値が 21.6 Oe 以下の範囲であることが好ましく、 17.4 Oe 以下の範囲であることがより好ましい。

【0173】

外部磁界が検出対象磁界 H_x のみからなる場合において、可変範囲が上記の好ましい要件を満たす場合には、座標 (AH_x, M_x) は、メジャーLOOP MAL_X で囲まれた領域内において、メジャーLOOP MAL_X に接しないマイナーループ上を移動する。また、外部磁界が検出対象磁界 H_y のみからなる場合において、可変範囲が上記の好ましい要件を満たす場合には、座標 (AH_y, M_y) は、メジャーLOOP MAL_Y で囲まれた領域内において、メジャーLOOP MAL_Y に接しないマイナーループ上を移動する。

【0174】

外部磁界の強度の可変範囲の上限値は、以下の第1の方法または第2の方法によって決定してもよい。始めに、図40を参照して、第1の方法について説明する。図40において、横軸はX方向印加磁界強度 AH_x (Oe) を示し、縦軸はX方向磁化対応値 M_x (emu) を示している。X方向印加磁界強度 AH_x の正負の定義と、X方向磁化対応値 M_x の正負の定義は、図7と同じである。また、図40において、符号 MAL_X で示した曲線はメジャーLOOPを示し、符号 MC_i を付した曲線は第1のケースにおける初磁化曲線を示している。

【0175】

第1の方法では、X方向印加磁界強度 AH_x を変化させて、初磁化曲線 MC_i とメジャーLOOP MAL_X を得る。そして、原点における初磁化曲線 MC_i の接線を求めて、この接線とメジャーLOOP MAL_X との交点を求める。図40において、記号 L を付した破線の直線が原点における初磁化曲線 MC_i の接線であり、記号 P を付した点が接線 L とメジャーLOOP MAL_X との交点である。第1の方法では、交点 P におけるX方向印加磁界強度 AH_x を、可変範囲の上限値とする。図40に示したように、第1の方法によって決定される上限値は、第1の実験から得られた印加磁界強度の上限値の好ましい値 (21.6 Oe) に近い値になる。

【0176】

次に、図40を参照して、第2の方法について説明する。第2の方法では、メジャーLOOP MAL_X から求まる保磁力 H_c を、可変範囲の上限値とする。図40に示したように、第2の方法によって決定される上限値は、第1の実験から得られた印加磁界強度の上限値のより好ましい値 (17.4 Oe) に近い値になる。

【0177】

次に、本実施の形態に係る磁気センサ装置1の効果について説明する。本実施の形態に係る磁気センサ装置1では、磁気センサ10に検出対象磁界 H_x を含む外部磁界が印加されるときには軟磁性構造体40にも外部磁界が印加され、磁気センサ20に検出対象磁界 H_y を含む外部磁界が印加されるときには軟磁性構造体40にも外部磁界が印加され、軟磁性構造体40が磁化を有するときには軟磁性構造体40の磁化に基づく磁界が磁気センサ10, 20に印加される。

【0178】

本実施の形態では、軟磁性構造体40が磁気ヒステリシス特性を有していると、この磁気ヒステリシス特性に起因して、磁気センサ10, 20の検出値がヒステリシス特性を有し、その結果、磁気センサ10, 20の検出精度が低下するおそれがある。前述の通り、軟磁性構造体40の磁気ヒステリシス特性に起因した磁気センサ10, 20の検出精度の低下を抑制するためには、磁気ヒステリシスパラメータ HPH_x , HPH_y の値は小さいほど好ましい。

【0179】

本実施の形態では、軟磁性構造体40の少なくとも一部は縞状磁区構造を有している。外部磁界の強度の可変範囲が前述の好ましい範囲である場合には、軟磁性構造体40が縞状磁区を有さず、軟磁性構造体40のほぼ全体が還流磁区構造を有すると仮定した場合と比べて、磁気ヒステリシスパラメータ HPH_x , HPH_y の値は小さくなる。それは、縞

10

20

30

40

50

状磁区構造では、印加磁界強度がある程度小さければ、印加磁界強度の変化に伴う磁化対応値の変化が、磁壁Wの移動と縞の回転を伴わずに生じるためである。

【0180】

以上のことから、本実施の形態によれば、軟磁性構造体40が縞状磁区を有さず、軟磁性構造体40のほぼ全体が還流磁区構造を有する場合と比べて、軟磁性構造体40の磁気ヒステリシス特性に起因した磁気センサ10, 20の検出精度の低下を抑制することができる。以下、この効果を、磁気センサ装置1の第1の効果と言う。この第1の効果は、外部磁界の強度の可変範囲が前述の好ましい範囲である場合に顕著に発揮される。

【0181】

次に、磁気センサ装置1の第2の効果について説明する。始めに、磁気センサ10, 20の感度を以下のように定義する。磁気センサ10の感度は、検出対象磁界Hxの強度の微小変化に対する検出値Sxの変化の比率である。磁気センサ20の感度は、検出対象磁界Hyの強度の微小変化に対する検出値Syの変化の比率である。磁気センサ10の感度は、検出対象磁界Hxの強度によって変化し得る。検出対象磁界Hxの強度の変化に伴う磁気センサ10の感度の変化は小さいことが好ましい。同様に、磁気センサ20の感度は、検出対象磁界Hyの強度によって変化し得る。検出対象磁界Hyの強度の変化に伴う磁気センサ20の感度の変化は小さいことが好ましい。

【0182】

本実施の形態では、外部磁界の強度の可変範囲が前述の好ましい範囲である場合には、検出対象磁界Hxの強度の変化に伴う磁気センサ10の感度の変化を小さくすることができると共に、検出対象磁界Hyの強度の変化に伴う磁気センサ20の感度の変化を小さくすることができる。これが、磁気センサ装置1の第2の効果である。以下、この第2の効果が得られる理由について、定性的に説明する。

【0183】

前述の通り、外部磁界の強度の可変範囲が前述の好ましい範囲である場合には、X方向印加磁界強度AHxとX方向磁化対応値Mxを直交する2軸で表した直交座標系において、座標(AHx, Mx)は、メジャーLOOPMALXに接しないマイナーループ上を移動する。ここで、X方向印加磁界強度AHxの微小変化に対するX方向磁化対応値Mxの変化の比率を、 $dMx/dAHx$ と表す。比率 $dMx/dAHx$ は、マイナーループ上のある点におけるマイナーループに対する接線の傾きに相当する。

【0184】

本実施の形態では、軟磁性構造体40が磁化を有するときには軟磁性構造体40の磁化に基づく磁界が磁気センサ10に印加される。そのため、比率 $dMx/dAHx$ の変化は、磁気センサ10の感度に影響を与える。具体的には、検出対象磁界Hxの強度の変化に伴う比率 $dMx/dAHx$ の変化が大きいほど、検出対象磁界Hxの強度の変化に伴う磁気センサ10の感度の変化が大きくなる。

【0185】

本実施の形態では、上記マイナーループは、全体的に、メジャーLOOPMALXに比べて直線に近い。そのため、上記マイナーループ上の点が移動したときの、その点におけるマイナーループに対する接線の傾きの変化は小さい。すなわち、座標(AHx, Mx)が上記マイナーループ上を移動する場合には、検出対象磁界Hxの強度の変化に伴う比率 $dMx/dAHx$ の変化は小さい。そのため、外部磁界の強度の可変範囲が前述の好ましい範囲である場合には、座標(AHx, Mx)がメジャーLOOPMALX上を移動する場合に比べて、検出対象磁界Hxの強度の変化に伴う磁気センサ10の感度の変化が小さくなる。

【0186】

また、外部磁界の強度の可変範囲が前述の好ましい範囲である場合には、座標(AHy, My)がメジャーLOOPMALY上を移動する場合に比べて、検出対象磁界Hyの強度の変化に伴う磁気センサ20の感度の変化が小さくなる。

【0187】

次に、前述の第1の実験で得られた第1のケースについてのデータに基づいて、X方向印加磁界強度 AH_x の絶対値の最大値 MH_x とX方向感度変化パラメータとの関係を調べた結果について説明する。以下、X方向感度変化パラメータを、パラメータ $SVPx$ と言う。パラメータ $SVPx$ は、座標 (AH_x, Mx) が1つのマイナーループ上を移動する場合における比率 dMx/dAH_x の変化の大きさを表すものである。

【0188】

パラメータ $SVPx$ の値は、第1の実験における MH_x の値毎に、以下のようにして求めた。まず、 MH_x の値毎の履歴曲線のデータから、 AH_x が nOe である座標 (AH_x, Mx) のデータを抽出した。 n は、 $-MH_x$ より大きく MH_x より小さい整数である。次に、 n の値が1だけ異なり履歴曲線上で隣接する2つの座標の全ての組について、 Mx の差の絶対値を求めた。この Mx の差の絶対値は、比率 dMx/dAH_x に相当する。次に、上記の全ての組についての Mx の差の絶対値の中から最大値と最小値を抽出し、この最大値と最小値の差を求め、これをパラメータ $SVPx$ の値とした。

【0189】

図41は、 MH_x とパラメータ $SVPx$ との関係を示す特性図である。図41において、横軸は $MH_x(Oe)$ を示し、縦軸はパラメータ $SVPx(x10^{-3}emu/Oe)$ を示している。図41では、 MH_x が $17.4Oe$ の位置を符号77で示した破線で表し、 MH_x が $21.6Oe$ の位置を符号78で示した破線で表している。

【0190】

図41には示していないが、 MH_x が $2500e$ のときのパラメータ $SVPx$ の値は、約 $0.51 \times 10^{-3}emu/Oe$ である。 MH_x が $21.6Oe$ のときのパラメータ $SVPx$ の値は、 MH_x が $2500e$ のときのパラメータ $SVPx$ の値の約32%である。 MH_x が $17.4Oe$ のときのパラメータ $SVPx$ の値は、 MH_x が $2500e$ のときのパラメータ $SVPx$ の値の約11%である。

【0191】

以上の結果から、外部磁界の強度の可変範囲が前述の好ましい範囲である場合には、座標 (AH_x, Mx) がメジャーループ $MALX$ 上を移動する場合に比べて、パラメータ $SVPx$ の値が十分に小さくなることが分かる。また、図41から、 MH_x が $17.4Oe$ 以下であれば、パラメータ $SVPx$ の値が特に小さくなることが分かる。

【0192】

Y方向感度変化パラメータをX方向感度変化パラメータと同様に定義すると、第2のケースにおける MHy とY方向感度変化パラメータとの関係は、第1のケースと同様になることは明らかである。また、図31ないし図36に示したマイナーループの形状から、第3のケースでは、同じ MH_x の値に対するX方向感度変化パラメータの値は、第1のケースに比べて小さくなることは明らかである。同様に、第4のケースでは、同じ MHy の値に対するY方向感度変化パラメータの値は、第2のケースに比べて小さくなることは明らかである。

【0193】

次に、本実施の形態に係る磁気センサ装置1の第1の効果を確認するために行った第2の実験の結果について説明する。第2の実験では、比較例の試料と第1ないし第3の実施例の試料を、それぞれ複数作製した。これらの試料は、いずれも、磁気センサ装置1の試料である。第1ないし第3の実施例における軟磁性構造体40は、軟磁性層41を含んでいるが、軟磁性層43を含んでいない。第1ないし第3の実施例における軟磁性構造体40では、軟磁性層41の平面形状(上方から見た形状)を正方形とした。

【0194】

また、第1ないし第3の実施例の試料では、軟磁性層41の材料として、 $NiFe$ を用いた。 Ni の比率は、縞状磁区構造が形成されるような比率とし、第1の実施例の試料、第2の実施例の試料および第3の実施例の試料の順に Ni の比率を大きくした。また、第1ないし第3の実施例の試料では、X方向の交流消磁によって、縞状磁区構造の縞の方向を、X方向に平行な方向とした。

【0195】

比較例の試料は、軟磁性構造体40の代わりに、比較例の軟磁性構造体を含んでいる。比較例の軟磁性構造体の構成は、軟磁性層41のNiの比率を除いて、第1ないし第3の実施例の試料における軟磁性構造体40と同じである。比較例の試料における軟磁性層41では、外部磁界が印加されていない状態において全体的に環流磁区構造が形成されるように、Niの比率を、第1ないし第3の実施例の試料よりも小さくした。また、比較例の試料における軟磁性層41は、その形成方法に起因して、磁化容易軸方向がX方向に平行な方向となる誘導磁気異方性を有していた。

【0196】

第2の実験では、前述のように定義された磁気センサ10、20のヒステリシスパラメータと、磁気センサ30のヒステリシスパラメータを求めた。第2の実験では特に、磁気センサ10のヒステリシスパラメータは、軟磁性構造体40に対してX方向の交流消磁を行った後に検出対象磁界 H_x の強度を変化させたときの検出値 S_x から求めた。また、磁気センサ20のヒステリシスパラメータは、軟磁性構造体40に対してY方向の交流消磁を行った後に検出対象磁界 H_y の強度を変化させたときの検出値 S_y から求めた。

【0197】

磁気センサ30のヒステリシスパラメータは、軟磁性構造体40に対して交流消磁を行った後に検出対象磁界 H_z の強度を変化させたときの検出値 S_z から得られる。具体的には、磁気センサ30のヒステリシスパラメータは、検出対象磁界 H_z の強度を0よりも大きい所定値 P_z にした後、検出対象磁界 H_z の強度を $-P_z$ に減少させ、その後、検出対象磁界 H_z の強度を0にしたときに、検出対象磁界 H_z の強度が減少過程で0になったときの検出値 S_z から、検出対象磁界 H_z の強度が増加過程で0になったときの検出値 S_z を引いた値である。第2の実験では、磁気センサ30のヒステリシスパラメータを測定する際の交流消磁の方向を、出力磁界成分の方向に平行な方向とした。

【0198】

以下、磁気センサ10のヒステリシスパラメータを記号 $HP S_x$ で表し、磁気センサ20のヒステリシスパラメータを記号 $HP S_y$ で表し、磁気センサ30のヒステリシスパラメータを記号 $HP S_z$ で表す。

【0199】

第2の実験では、外部磁界ならびに検出対象磁界 H_x 、 H_y 、 H_z の強度を、いずれも、外部磁界の強度の好ましい可変範囲を超えない範囲内で変化させた。具体的には、第2の実験では、ヒステリシスパラメータ $HP S_x$ を求める際の検出対象磁界 H_x の強度の絶対値の最大値となる P_x を20eとしたとき、すなわち、検出対象磁界 H_x の強度を $-20e \sim 20e$ の範囲内で変化させたときのヒステリシスパラメータ $HP S_x$ を求めた。また、第2の実験では、検出値 S_x は、出力端子 V_{x+} と出力端子 V_{x-} との間の電位差を、磁界の強度を表す数値に換算したものをを用いた。以下、ヒステリシスパラメータ $HP S_x$ の単位として0eを用いる。

【0200】

また、第2の実験では、ヒステリシスパラメータ $HP S_y$ を求める際の検出対象磁界 H_y の強度の絶対値の最大値となる P_y を20eとしたとき、すなわち、検出対象磁界 H_y の強度を $-20e \sim 20e$ の範囲内で変化させたときのヒステリシスパラメータ $HP S_y$ を求めた。また、第2の実験では、検出値 S_y は、出力端子 V_{y+} と出力端子 V_{y-} との間の電位差を、磁界の強度を表す数値に換算したものをを用いた。以下、ヒステリシスパラメータ $HP S_y$ の単位として0eを用いる。

【0201】

また、第2の実験では、ヒステリシスパラメータ $HP S_z$ を求める際の検出対象磁界 H_z の強度の絶対値の最大値となる P_z を20eとしたとき、すなわち、検出対象磁界 H_z の強度を $-20e \sim 20e$ の範囲内で変化させたときのヒステリシスパラメータ $HP S_z$ を求めた。また、第2の実験では、検出値 S_z は、出力端子 V_{z+} と出力端子 V_{z-} との間の電位差を、磁界の強度を表す数値に換算したものをを用いた。以下、ヒステリシスパラ

メータ HPS_z の単位として O_e を用いる。

【0202】

図42ないし図44は、実験結果を示す特性図である。図42における縦軸は、ヒステリシスパラメータ HPS_x (O_e) を示している。図43における縦軸は、ヒステリシスパラメータ HPS_y (O_e) を示している。図44における縦軸は、ヒステリシスパラメータ HPS_z (O_e) を示している。また、図42ないし図44において、記号 CP は比較例の試料を表し、記号 $EX1$, $EX2$, $EX3$ はそれぞれ第1ないし第3の実施例の試料を表している。

【0203】

図42に示したように、第1ないし第3の実施例の試料 $EX1$, $EX2$, $EX3$ のヒステリシスパラメータ HPS_x の分布は、比較例の試料 CP のヒステリシスパラメータ HPS_x の分布に比べて、0に近づいている。このことから、本実施の形態によれば、軟磁性構造体40の全体が還流磁区構造を有する場合と比べて、磁気センサ10の検出精度の低下を抑制できることが分かる。

10

【0204】

また、図43に示したように、第1ないし第3の実施例の試料 $EX1$, $EX2$, $EX3$ のヒステリシスパラメータ HPS_y の分布は、比較例の試料 CP のヒステリシスパラメータ HPS_y の分布に比べて、0に近づいている。このことから、本実施の形態によれば、軟磁性構造体40の全体が還流磁区構造を有する場合と比べて、磁気センサ20の検出精度の低下を抑制できることが分かる。

20

【0205】

なお、図44に示したように、第1ないし第3の実施例の試料 $EX1$, $EX2$, $EX3$ のヒステリシスパラメータ HPS_z の分布と比較例の試料 CP のヒステリシスパラメータ HPS_z の分布には、顕著な違いはなかった。

【0206】

図42および図43に示したように、比較例の試料 CP では、ヒステリシスパラメータ HPS_y の分布は、ヒステリシスパラメータ HPS_x の分布に比べて、0に近づいている。これは、比較例の試料 CP では、磁化困難軸方向すなわち Y 方向に平行な方向についての磁気ヒステリシスパラメータの値が小さくなるためである。このように、軟磁性構造体40が全体的に還流磁区構造を有し、且つ一軸磁気異方性を有する場合には、磁化困難軸方向についての軟磁性構造体40の磁気ヒステリシスパラメータが小さくなる。しかし、磁化容易軸方向についての軟磁性構造体40の磁気ヒステリシスパラメータの値は大きくなる。そのため、図42に示したように、比較例の試料 CP では、ヒステリシスパラメータ HPS_x は大きくなっている。従って、軟磁性構造体40の全体が還流磁区構造を有する場合には、軟磁性構造体40に一軸磁気異方性を付与する方法では、磁気センサ10, 20の両方の検出精度の低下を抑制することはできない。

30

【0207】

これに対し、第1ないし第3の実施例 $EX1$, $EX2$, $EX3$ では、ヒステリシスパラメータ HPS_x , HPS_y の両方とも小さくなっている。この結果から、本実施の形態によれば、軟磁性構造体40が縞状磁区構造を有することによって、磁気センサ10, 20の両方の検出精度の低下を抑制することができることが分かる。

40

【0208】

なお、本発明は、上記実施の形態に限定されず、種々の変更が可能である。本発明における第1の磁気センサと軟磁性構造体は、特許請求の範囲の要件を満たすものであればよい。例えば、軟磁性構造体は、実施の形態における磁界変換部42および軟磁性層41, 43のように、磁気センサ30に関連する機能を有するものに限らず、他の機能を有するものであってもよいし、単に特許請求の範囲の要件を満たすだけの構造体であってもよい。

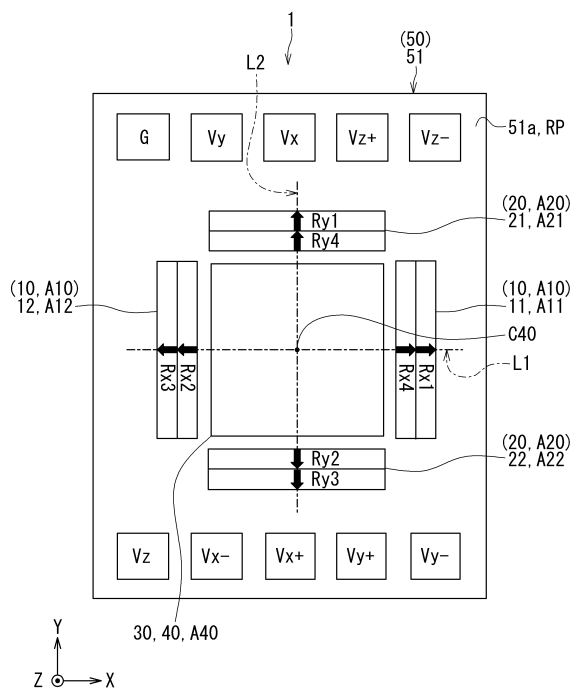
【符号の説明】

【0209】

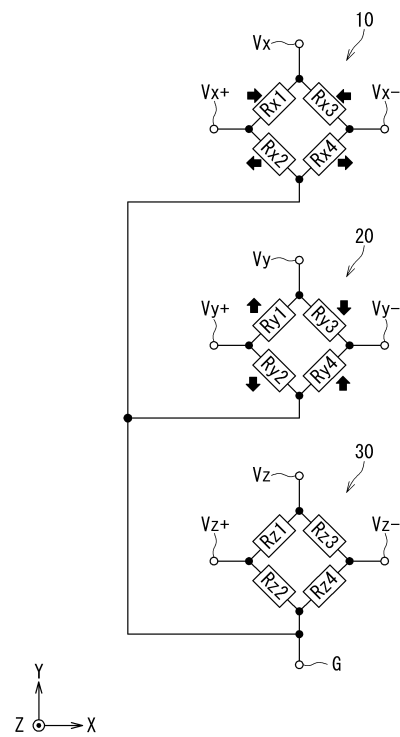
50

1 ... 磁気センサ装置、 1 0 , 2 0 , 3 0 ... 磁気センサ、 4 0 ... 軟磁性構造体、 4 1 , 4 3 ... 軟磁性層、 4 2 ... 磁界変換部。

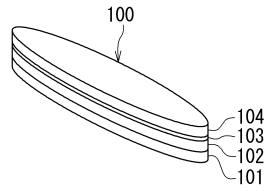
【図 1】



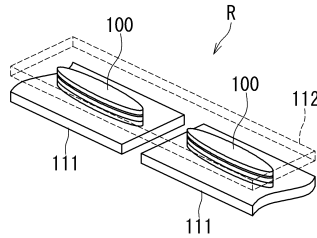
【図 2】



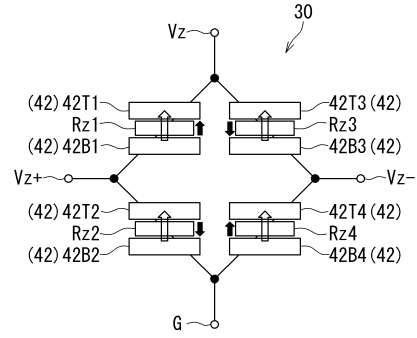
【図 3】



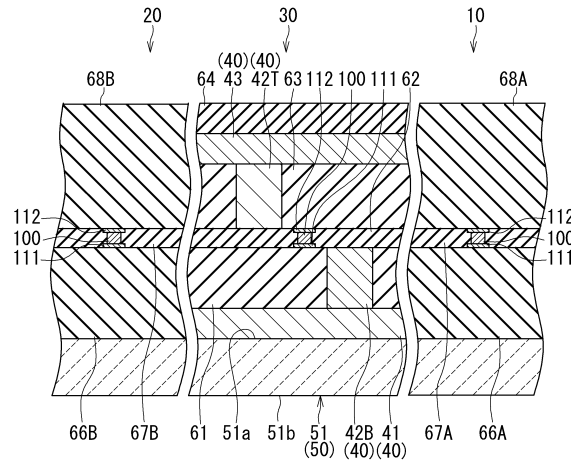
【図 4】



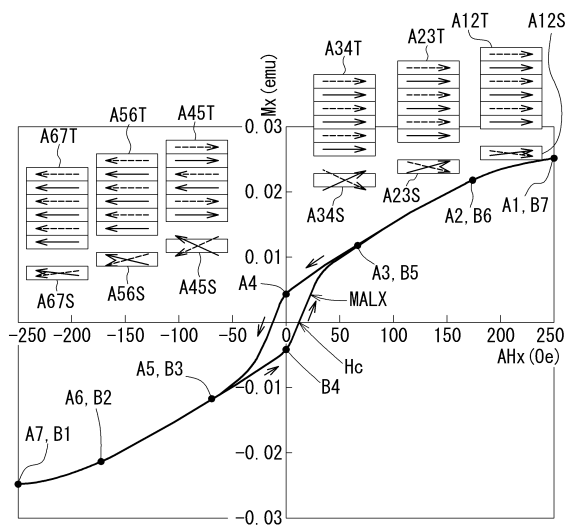
【図 5】



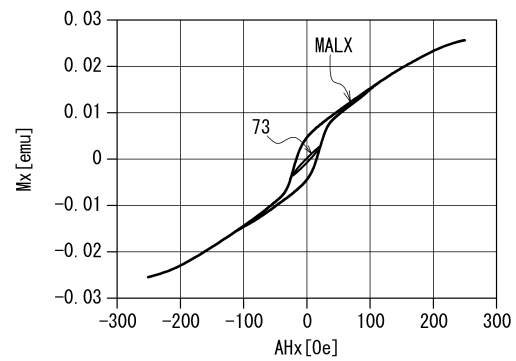
【図 6】



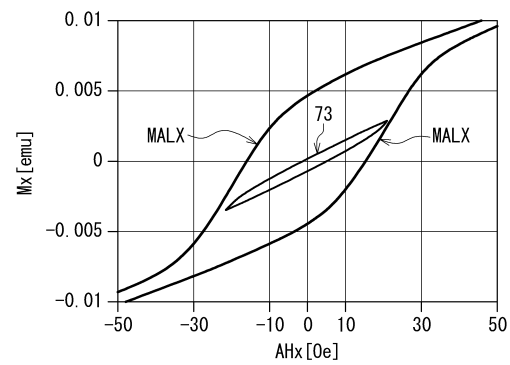
【図 7】



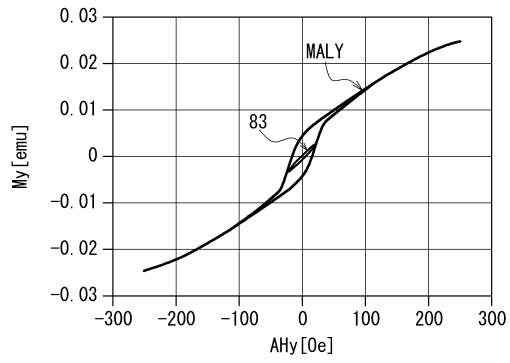
【図 8】



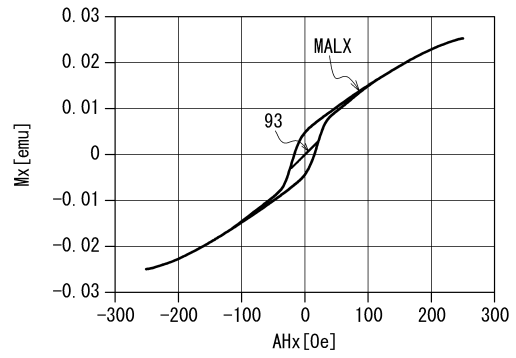
【図 9】



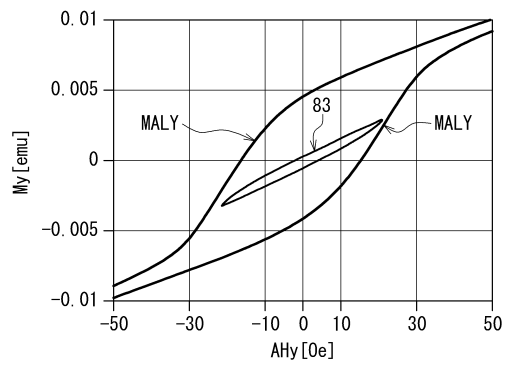
【図 10】



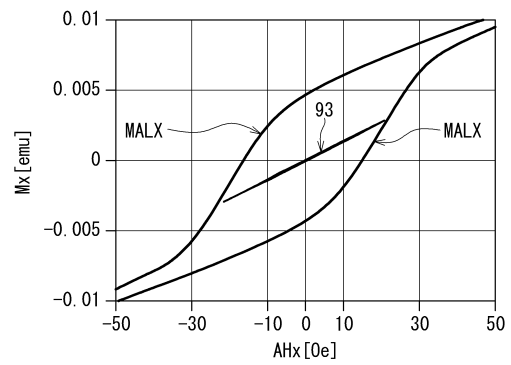
【図 12】



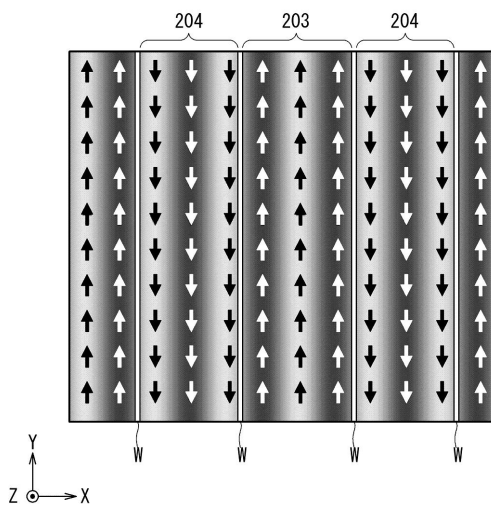
【図 11】



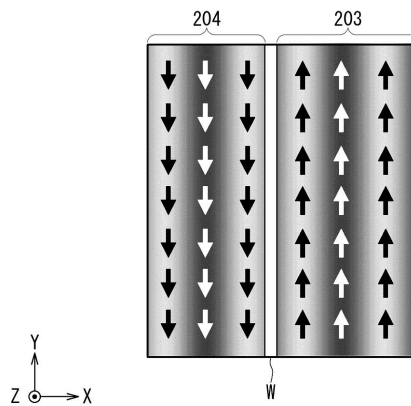
【図 13】



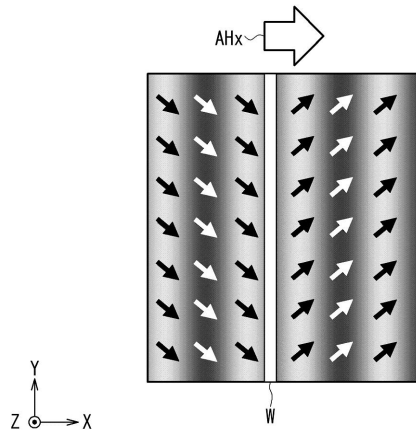
【図 14】



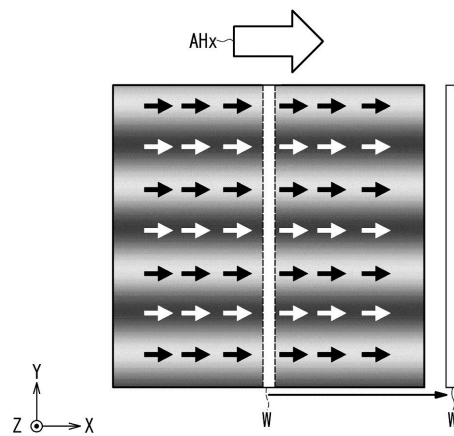
【図 15】



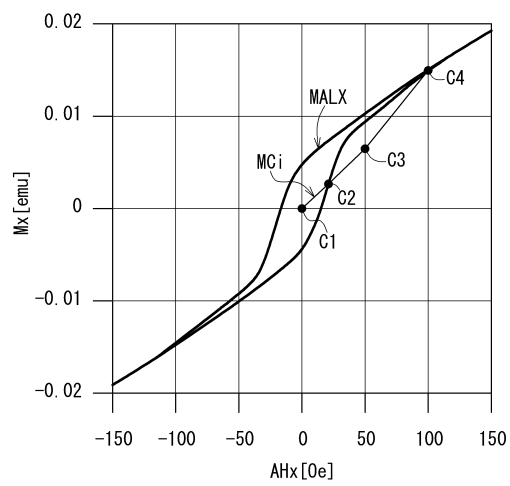
【図 16】



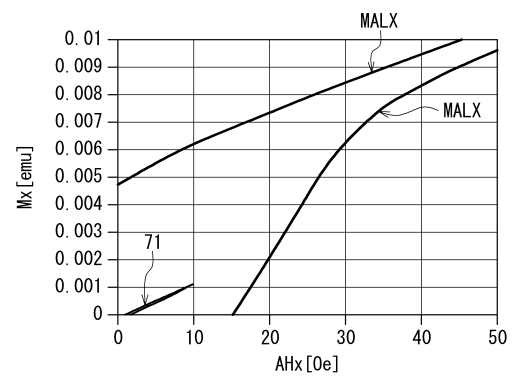
【図 17】



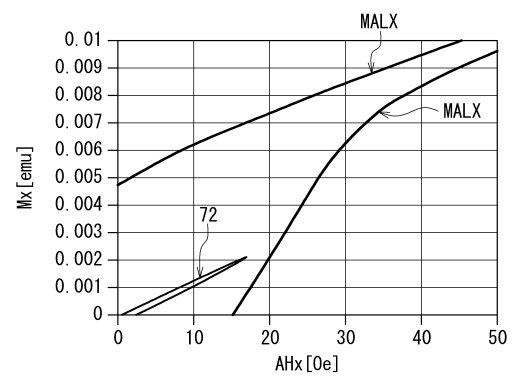
【図 18】



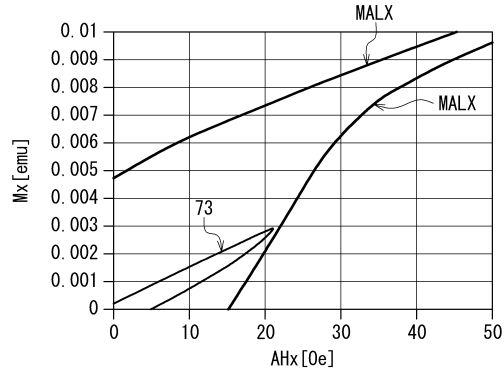
【図 19】



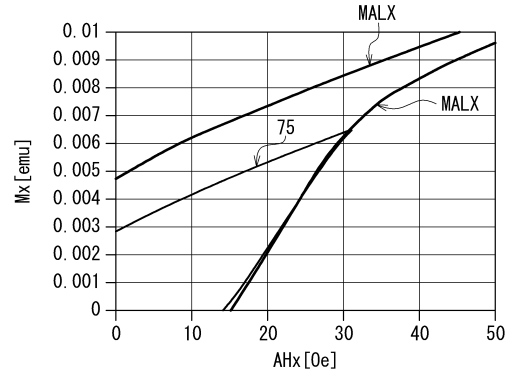
【図 20】



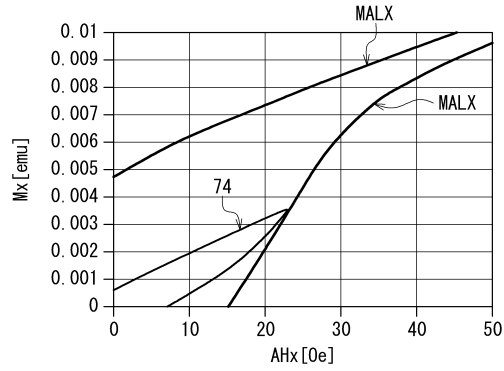
【図 2 1】



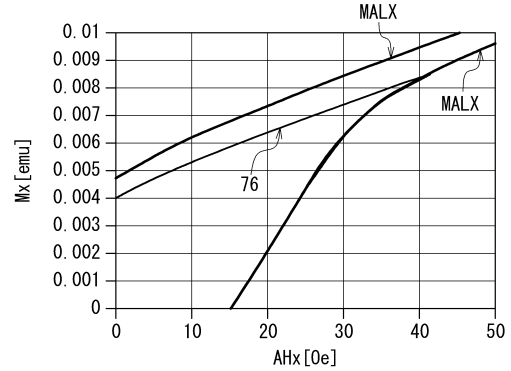
【図 2 3】



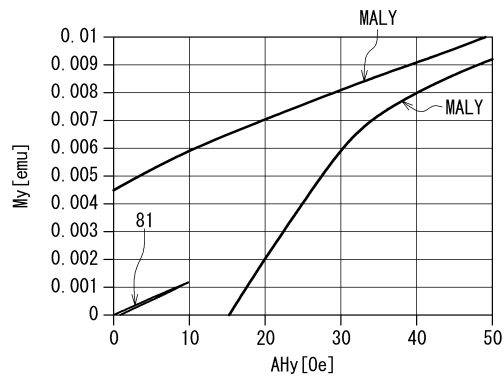
【図 2 2】



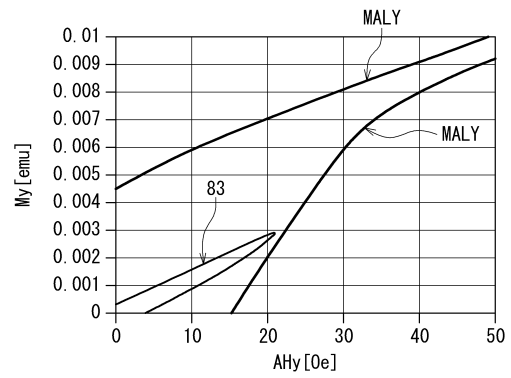
【図 2 4】



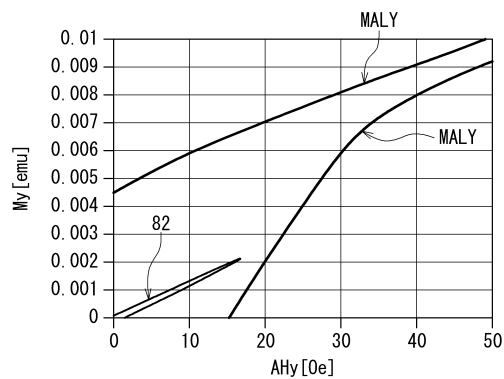
【図 2 5】



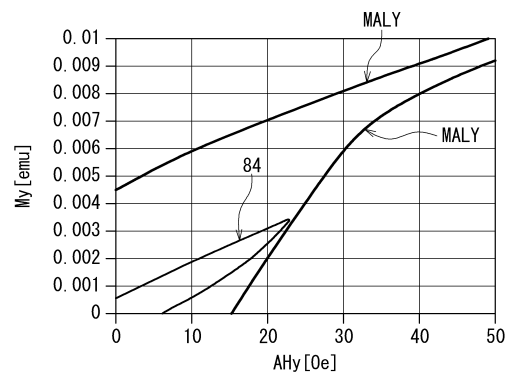
【図 2 7】



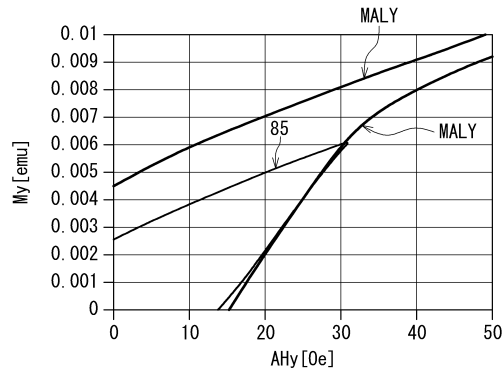
【図 2 6】



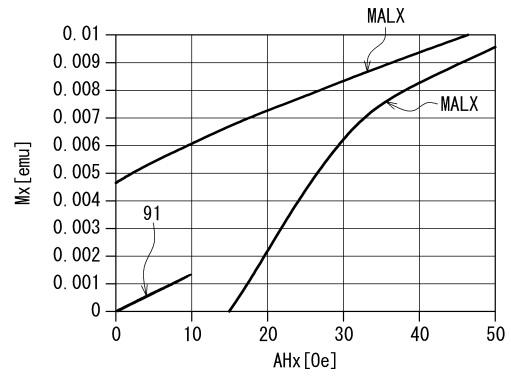
【図 2 8】



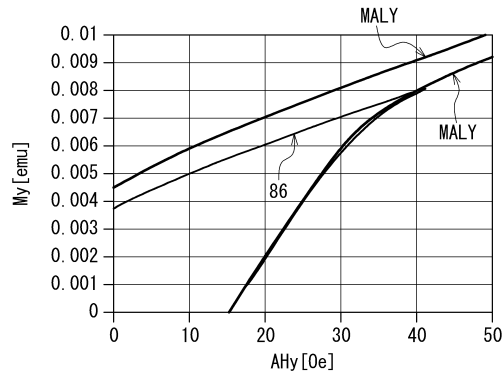
【図 29】



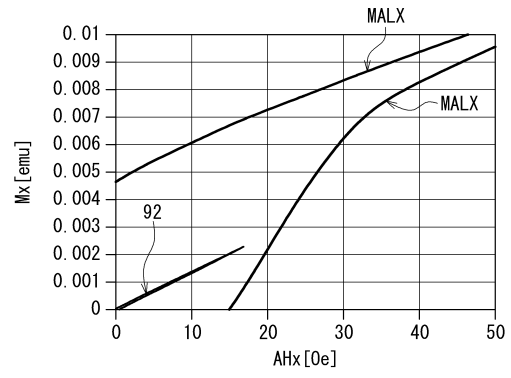
【図 31】



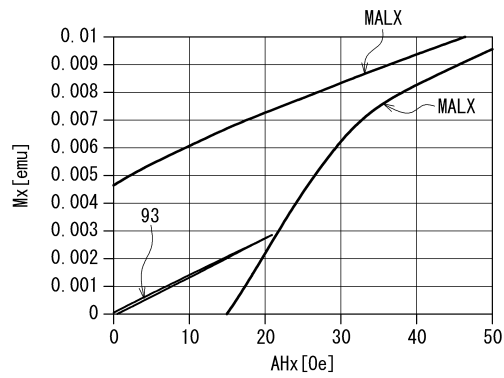
【図 30】



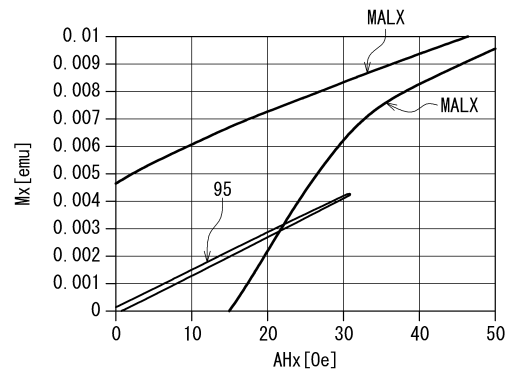
【図 32】



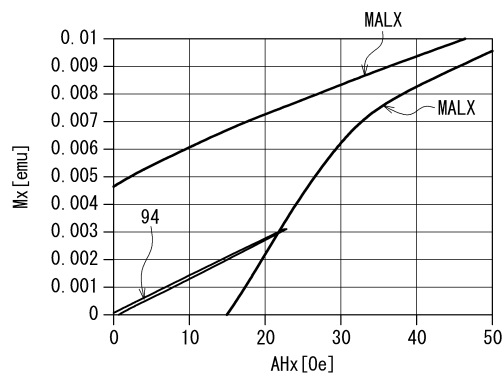
【図 33】



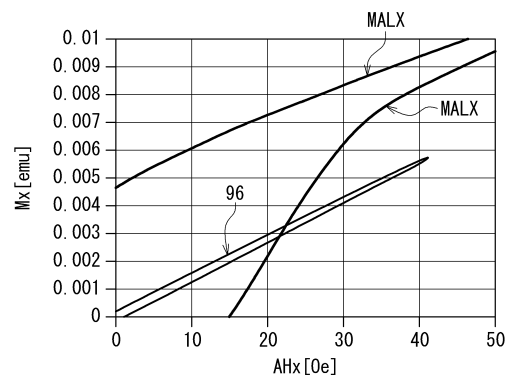
【図 35】



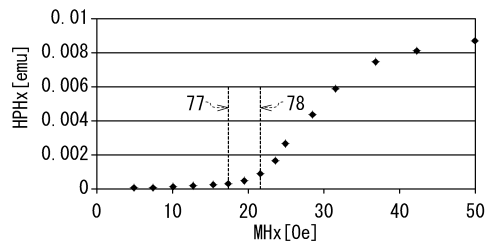
【図 34】



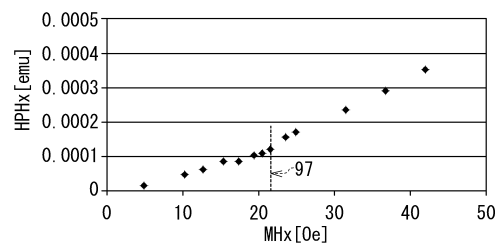
【図 36】



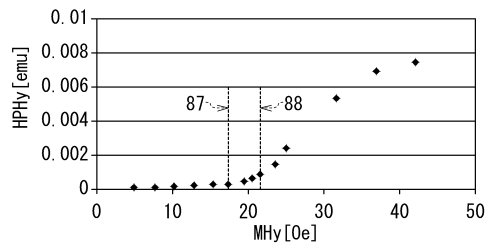
【図 37】



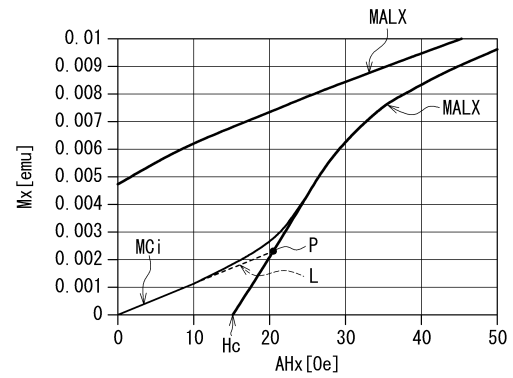
【図 39】



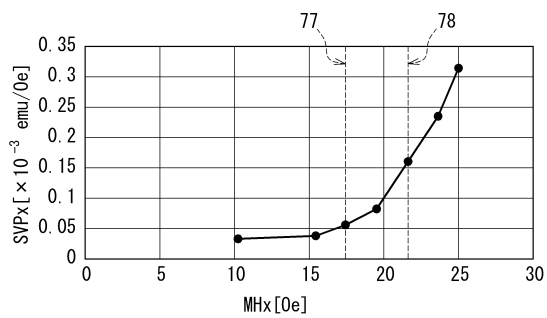
【図 38】



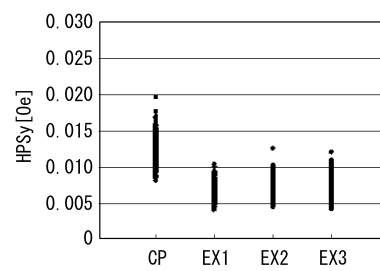
【図 40】



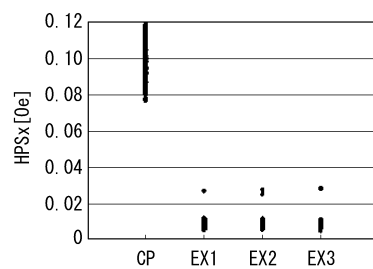
【図 41】



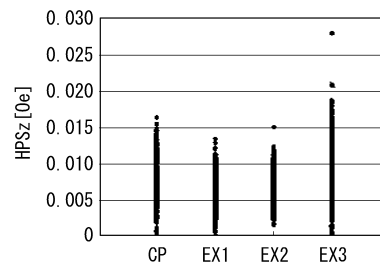
【図 43】



【図 42】



【図 44】



フロントページの続き

審査官 田口 孝明

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2016/0341843(US,A1)
米国特許出願公開第2012/0229133(US,A1)
欧州特許出願公開第03244226(EP,A1)
特開平08-271600(JP,A)
特開平02-304989(JP,A)
特開昭50-023868(JP,A)
特開2004-193540(JP,A)
特開2017-009400(JP,A)
特開平10-335714(JP,A)
特開平07-249518(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

IPC G01R 33/00-33/26、
H01L 27/22、
29/82、
43/00-43/14