

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7243747号
(P7243747)

(45)発行日 令和5年3月22日(2023.3.22)

(24)登録日 令和5年3月13日(2023.3.13)

(51)国際特許分類 F I
G 0 1 R 15/20 (2006.01) G 0 1 R 15/20 C

請求項の数 19 (全25頁)

(21)出願番号	特願2021-13902(P2021-13902)	(73)特許権者	000003067 T D K株式会社 東京都中央区日本橋二丁目5番1号
(22)出願日	令和3年1月29日(2021.1.29)	(74)代理人	110001357 弁理士法人つばさ国際特許事務所
(65)公開番号	特開2022-117289(P2022-117289 A)	(72)発明者	平野 裕幸 東京都港区芝浦三丁目9番1号 T D K 株式会社内
(43)公開日	令和4年8月10日(2022.8.10)	(72)発明者	高橋 真 東京都港区芝浦三丁目9番1号 T D K 株式会社内
審査請求日	令和3年11月30日(2021.11.30)	(72)発明者	毛受 良一 東京都港区芝浦三丁目9番1号 T D K 株式会社内
		審査官	菅藤 政明

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 電流センサおよびそれを備えた電気制御装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

導体を第1方向に沿って流れる電流により発生する第2方向の磁束が付与される磁気検出部と、

第1部分と、前記導体と前記第1部分との間に配置される第2部分と、前記第1部分と前記第2部分とを磁氣的に繋ぐ第3部分とを含み、前記導体および前記磁気検出部の双方と離間しつつ、前記第2方向と直交する第1平面に沿って前記磁気検出部を前記第1部分、前記第2部分および前記第3部分により取り囲む第1軟磁性体と、

前記第1方向と直交する第3平面に沿って前記導体を取り囲む第2軟磁性体と

を有し、

前記第2軟磁性体は、前記第2方向に互いに離間して対向する第1端面および第2端面を含み、

前記磁気検出部は、前記第1端面と前記第2端面との隙間に配置されており、

前記第1軟磁性体は、前記第1方向および前記第2方向を含む第2平面に対して実質的に直交する第3方向において前記第2軟磁性体と重なり合うことなく、前記第2方向における前記第1端面と前記第2端面との間の領域に設けられている

電流センサ。

【請求項2】

前記第1部分および前記第2部分は、前記第1方向および前記第2方向を含む第2平面に沿って広がっている

請求項 1 記載の電流センサ。

【請求項 3】

前記第 3 部分は、前記第 2 平面に対して実質的に直交する第 3 方向に延在している請求項 2 記載の電流センサ。

【請求項 4】

前記磁気検出部は、前記第 1 方向および前記第 2 方向を含む第 2 平面に直交する第 3 方向に眺めた状態で前記第 1 部分および前記第 2 部分の双方と重なり合うように配置されている

請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の電流センサ。

【請求項 5】

前記第 1 部分および前記第 2 部分は、それぞれ、前記第 1 方向の両端部である第 1 端部および第 2 端部を含み、

前記第 3 部分は、前記第 1 部分の前記第 1 端部と前記第 2 部分の前記第 1 端部とを磁氣的に繋ぐように設けられている

請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の電流センサ。

【請求項 6】

前記第 1 軟磁性体は、

前記第 1 部分の前記第 2 端部と前記第 2 部分の前記第 2 端部とを磁氣的に繋ぐように設けられると共に前記第 1 方向において前記第 3 部分と対向する第 4 部分をさらに有する

請求項 5 記載の電流センサ。

【請求項 7】

前記第 1 軟磁性体の主たる構成材料である第 1 構成材料の鉄損は、前記第 2 軟磁性体の主たる構成材料である第 2 構成材料の鉄損よりも大きい

請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の電流センサ。

【請求項 8】

導体を第 1 方向に沿って流れる電流により発生する第 2 方向の磁束が付与される磁気検出部と、

第 1 部分と、前記導体と前記第 1 部分との間に配置される第 2 部分と、前記第 1 部分と前記第 2 部分とを磁氣的に繋ぐ第 3 部分とを含み、前記導体および前記磁気検出部の双方と離間しつつ、前記第 2 方向と直交する第 1 平面に沿って前記磁気検出部を前記第 1 部分、前記第 2 部分および前記第 3 部分により取り囲む第 1 軟磁性体と

を有し、

前記第 1 部分および前記第 2 部分は、それぞれ、前記第 1 方向の両端部である第 1 端部および第 2 端部を含み、

前記第 3 部分は、前記第 1 部分の前記第 1 端部と前記第 2 部分の前記第 1 端部とを磁氣的に繋ぐように設けられており、

前記第 1 部分の前記第 2 端部と前記第 2 部分の前記第 2 端部とが物理的に離間している電流センサ。

【請求項 9】

導体を第 1 方向に沿って流れる電流により発生する第 2 方向の磁束が付与される磁気検出部と、

第 1 部分と、前記導体と前記第 1 部分との間に配置される第 2 部分と、前記第 1 部分と前記第 2 部分とを磁氣的に繋ぐ第 3 部分とを含み、前記導体および前記磁気検出部の双方と離間しつつ、前記第 2 方向と直交する第 1 平面に沿って前記磁気検出部を前記第 1 部分、前記第 2 部分および前記第 3 部分により取り囲む第 1 軟磁性体と、

前記第 1 方向と直交する第 3 平面に沿って前記導体を取り囲む第 2 軟磁性体とを有し、

前記第 1 軟磁性体の主たる構成材料である第 1 構成材料の鉄損は、前記第 2 軟磁性体の主たる構成材料である第 2 構成材料の鉄損よりも大きい

電流センサ。

10

20

30

40

50

【請求項 10】

磁気検出部と、

第1方向に延在し、電流が第1の向きに流れることにより前記磁気検出部に対し第2方向に付与される第1磁束を発生する第1導体部分と、前記第1方向に延在し、前記電流が前記第1の向きと反対の第2の向きに流れることにより前記磁気検出部に対し前記第2方向に付与される第2磁束を発生する第2導体部分とを含む導体と、

第1部分と、前記第1方向において前記第1部分と対向するように配置された第2部分と、前記第1部分と前記第2部分とを磁氣的に繋ぐ第3部分とを含み、前記導体および前記磁気検出部の双方と離間しつつ、前記第2方向と直交する第1平面に沿って前記磁気検出部を前記第1部分、前記第2部分および前記第3部分により取り囲む第1軟磁性体と、

前記第1方向と直交する第3平面に沿って前記磁気検出部、前記第1導体部分および前記第2導体部分を取り囲む第2軟磁性体とを

有する

電流センサ。

【請求項 11】

前記磁気検出部は、前記第1方向に眺めた状態で前記第1部分および前記第2部分の双方と重なり合うように配置されている

請求項10記載の電流センサ。

【請求項 12】

前記第3部分は、前記第1方向に延在している

請求項10または請求項11に記載の電流センサ。

【請求項 13】

前記第1部分および前記第2部分は、それぞれ、前記第1方向および前記第2方向を含む第2平面に対して実質的に直交する第3方向の両端部である第1端部および第2端部を含み、

前記第3部分は、前記第1部分の前記第1端部と前記第2部分の前記第1端部とを磁氣的に繋ぐように設けられている

請求項10から請求項12のいずれか1項に記載の電流センサ。

【請求項 14】

前記第1軟磁性体は、

前記第1部分の前記第2端部と前記第2部分の前記第2端部とを磁氣的に繋ぐように設けられると共に前記第1方向において前記第3部分と対向する第4部分をさらに有する

請求項13記載の電流センサ。

【請求項 15】

前記第1軟磁性体は、前記第2軟磁性体によって取り囲まれた空間に配置されている

請求項10から請求項14のいずれか1項に記載の電流センサ。

【請求項 16】

前記第1軟磁性体の主たる構成材料である第1構成材料の鉄損は、前記第2軟磁性体の主たる構成材料である第2構成材料の鉄損よりも大きい

請求項10から請求項15のいずれか1項に記載の電流センサ。

【請求項 17】

前記磁気検出部は、磁気抵抗効果素子またはホール素子を含む

請求項1から請求項16のいずれか1項に記載の電流センサ。

【請求項 18】

前記磁気抵抗効果素子は、巨大磁気抵抗効果素子またはトンネル磁気抵抗効果素子である

請求項17記載の電流センサ。

【請求項 19】

請求項1から請求項18のいずれか1項に記載の電流センサを備えた電気制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 1 】

本発明は、電流センサ、およびそれを備えた電気制御装置、に関する。

【 背景技術 】

【 0 0 0 2 】

近年、ハイブリッド電気自動車（HEV: Hybrid Electric Vehicle）や電気自動車（EV: Electric Vehicle）等のバッテリーの残量の測定、モータの駆動電流の測定や、コンバータ、インバータ等の電力制御機器に、電流センサが用いられている。電流センサとしては、バスバー等の導体に電流が流れることにより発生する磁場を検出可能な磁気検出素子を含む磁気センサを備えるものが知られている。電流センサは、例えば、AMR（Anisotropic Magneto Resistive effect）素子、GMR（Giant Magneto Resistive effect）素子、TMR（Tunnel Magneto Resistive effect）素子等の磁気抵抗効果素子や、ホール素子等の磁気検出素子を有する。

10

電流センサでは、それらの磁気抵抗効果素子や磁気検出素子により、バスバー等の導体に流れる電流が非接触状態で検出されるようになっている。

【 0 0 0 3 】

例えば特許文献1には、空隙（ギャップ）を有するリング状の磁性体コアと、その空隙に配置された磁気検出素子を含む磁気センサとを備えた電流センサが開示されている。特許文献1の電流センサでは、導体から発生する磁束を磁性体コアに集束させ、空隙に配置されている磁気検出素子に、磁性体コアにより集束された磁束を印加させることができる。

20

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 4 】

【 文献 】特開 2 0 1 9 - 7 8 5 4 2 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 5 】

ところで、磁気センサを有する電流センサでは、測定精度への外乱磁場の影響が及びにくいことが望まれる。

【 0 0 0 6 】

よって、外乱磁場の影響を受けにくく、高い精度で電流の検出を行うことのできる電流センサ、およびそれを備えた電気制御装置を提供することが望まれる。

30

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 7 】

本発明の第1の実施態様としての電流センサは、磁気検出部と、第1軟磁性体と、第2軟磁性体とを有する。磁気検出部は、導体を第1方向に沿って流れる電流により発生する第2方向の磁束が付与される。第1軟磁性体は、第1部分と、導体と第1部分との間に配置される第2部分と、第1部分と第2部分とを磁気的に繋ぐ第3部分とを含む。第1軟磁性体は、導体および磁気検出部の双方と離間しつつ、第2方向と直交する第1平面に沿って磁気検出部を第1部分、第2部分および第3部分により取り囲んでいる。第2軟磁性体は、第1方向と直交する第3平面に沿って導体を取り囲んでいる。第2軟磁性体は、第2方向に互いに離間して対向する第1端面および第2端面を含んでいる。磁気検出部は、第1端面と第2端面との隙間に配置されている。第1軟磁性体は、第1方向および第2方向を含む第2平面に対して実質的に直交する第3方向において第2軟磁性体と重なり合うことなく、第2方向における第1端面と第2端面との間の領域に設けられている。

40

【 0 0 0 8 】

本発明の第2の実施態様としての電流センサは、磁気検出部と、導体と、第1軟磁性体と、第2軟磁性体とを有する。導体は、第1導体部分と、第2導体部分とを含む。第1導体部分は、第1方向に延在し、電流が第1の向きに流れることにより磁気検出部に対し第2方向に付与される第1磁束を発生する。第2導体部分は、第1方向に延在し、電流が第1の向きと反対の第2の向きに流れることにより磁気検出部に対し第2方向に付与される

50

第2磁束を発生する。磁気検出部は、記第1磁束および第2磁束が付与される。第1軟磁性体は、第1部分と、第2部分と、第3部分とを含む。第2部分は第1方向において第1部分と対向するように配置される。第3部分は、第1部分と第2部分とを磁氣的に繋ぐ。第1軟磁性体は、導体および磁気検出部の双方と離間しつつ、第2方向と直交する第1平面に沿って磁気検出部を第1部分、第2部分および第3部分により取り囲んでいる。第2軟磁性体は、第1方向と直交する第3平面に沿って磁気検出部、第1導体部分および第2導体部分を取り囲んでいる。

【0009】

本発明の一実施態様としての電気制御装置は、上記第1の実施態様としての電流センサまたは上記第2の実施態様としての電流センサを備える。

10

【発明の効果】

【0010】

本発明の第1の実施態様としての電流センサおよび第2の実施態様としての電流センサによれば、磁気検出部に対する外乱磁場の影響を低減することができる。よって、高い測定精度を得ることができる。

なお、本発明の効果はこれに限定されるものではなく、以下に記載のいずれの効果であってもよい。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の第1の実施の形態としての電流センサの全体構成例を表す斜視図である。

20

【図2A】図1に示した電流センサの断面を表す模式図である。

【図2B】図1に示した電流センサの一部を拡大して表す模式図である。

【図3】図1に示した電流センサの概略構成を示すブロック図である。

【図4】図1に示した磁気検出部の回路構成を概略的に表す回路図である。

【図5】図1に示した磁気検出部に含まれる磁気抵抗効果素子の概略構成例を表す斜視図である。

【図6】図5に示した磁気抵抗効果素子の断面構成例を表す示す概略断面図である。

【図7】図1に示した電流センサの作用効果を説明するための第1の説明図である。

【図8】参考例としての電流センサでの挙動を説明するための説明図である。

【図9】図1に示した電流センサの作用効果を説明するための第2の説明図である。

30

【図10】図1に示した電流センサの作用効果を説明するための第3の説明図である。

【図11】図1に示した電流センサの作用効果を説明するための第4の説明図である。

【図12】本発明の第1の実施の形態の第1変形例としての電流センサの断面を表す模式図である。

【図13】本発明の第1の実施の形態の第2変形例としての電流センサの断面を表す模式図である。

【図14】本発明の第1の実施の形態の第3変形例としての電流センサの断面を表す模式図である。

【図15】本発明の第1の実施の形態の第4変形例としての電流センサの断面を表す模式図である。

40

【図16】本発明の第1の実施の形態の第5変形例としての電流センサの断面を表す模式図である。

【図17】本発明の第1の実施の形態の第6変形例としての電流センサの断面を表す模式図である。

【図18】本発明の第1の実施の形態の第7変形例としての電流センサの断面を表す模式図である。

【図19】本発明の第1の実施の形態の第8変形例としての電流センサの断面を表す模式図である。

【図20】本発明の第1の実施の形態の第9変形例としての電流センサの断面を表す模式図である。

50

【図 2 1】本発明の第 1 の実施の形態の第 1 0 変形例としての電流センサの断面を表す模式図である。

【図 2 2 A】本発明の第 2 の実施の形態としての電流センサの全体構成例を表す斜視である。

【図 2 2 B】図 2 2 A に示した電流センサの磁気シールドの構成例を表す平面図である。

【図 2 3】図 2 2 A に示した電流センサの作用を表す説明図である。

【図 2 4】本発明の第 2 の実施の形態の第 2 変形例としての電流センサの全体構成例を表す斜視図である。

【図 2 5】本発明の電気制御装置の構成例を表すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

10

【0012】

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。なお、説明は以下の順序で行う。

0 . 背景

1 . 第 1 の実施の形態

導体の近傍に配置される電流センサの例。

2 . 第 2 の実施の形態

導体の近傍に配置される電流センサの例。

3 . 第 3 の実施の形態

電流センサを備えた電気制御装置の例。

20

【0013】

< 0 . 背景 >

上述の特許文献 1 に開示の電流センサでは、導体から発生する磁場が強くなり、それにより磁性体コアが磁氣的に飽和しやすくなる。このため、磁気センサの出力の線形性が劣化するおそれがある。磁性体コアの空隙（ギャップ）を広くしたり、磁性体コアの体積を大きくしたりすれば、磁気センサの出力の線形性の悪化を改善することができる。しかしながら、磁性体コアの空隙（ギャップ）を広げると、導体から発生する磁場以外の磁場（以下、「外乱磁場」という場合がある。）が磁気検出部に印加されやすくなり、電流センサによる検出精度が低下するおそれがある。

【0014】

30

本出願人は、上記課題に鑑みて、磁気検出部に対する外乱磁場の影響を低減することができ、高い測定精度を得ることのできる電流センサ及び電気制御装置を提供する。

【0015】

< 1 . 第 1 の実施の形態 >

[電流センサ 1 の構成]

最初に、図 1 から図 6 を参照して、本発明の第 1 の実施の形態としての電流センサ 1 の構成について説明する。図 1 は、電流センサ 1 の全体構成例を表す斜視図である。図 1 に示したように、電流センサ 1 は、例えば磁気検出部 2 と、集磁コア 3 と、磁気シールド 4 とを有する。電流センサ 1 は、例えば導体 5 の近傍に配置される。導体 5 は、例えば Z 軸方向に延在している。導体 5 には、Z 軸方向に沿って、電流センサ 1 の検出対象である電流 I_m が流れるようになっている。図 2 A は、電流センサ 1 の、Z 軸方向と直交する X Y 面の断面を表す模式図である。図 2 B は、電流センサ 1 のうち、磁気検出部 2 および磁気シールド 4 の Y Z 面の断面を拡大して表す模式図である。電流センサ 1 では、導体 5 に電流 I_m が Z 軸方向に沿って + Z の向きに流れると、導体 5 の周囲には磁束 B_m が誘導される。磁束 B_m は、例えば集磁コア 3 の内部を通過する。磁束 B_m は、磁気検出部 2 に対し、例えば X 軸方向に沿った - X の向きに印加されるようになっている。すなわち、磁気検出部 2 は、磁束 B_m が - X の向きに通過する位置に配置される。本実施の形態では、導体 5 の幅に沿った方向を X 軸方向とし、導体 5 の厚さ方向を Y 軸方向とする。

40

本実施の形態の「Z 軸方向」、「X 軸方向」、および「Y 軸方向」は、それぞれ、本発明の「第 1 方向」、「第 2 方向」、および「第 3 方向」に対応する一具体例である。

50

【 0 0 1 6 】

(導 体 5)

導体 5 は、例えば Cu (銅) などの高導電性非磁性材料により構成される。導体 5 は、例えば Z 軸方向を長手方向とするように延在し、Y 軸方向を厚み方向とする略板状体である。導体 5 は、おおよそ環状をなす集磁コア 3 により取り囲まれた空間を貫通するように配置されている。

【 0 0 1 7 】

(集 磁 コ ア 3)

集磁コア 3 は、自らを磁束 B m が通過するように磁束 B m を集束する軟磁性体である。図 2 A に示したように、集磁コア 3 は、例えば Z 軸方向と直交する X Y 面に沿って導体 5 を取り囲むように設けられている。なお、導体 5 を取り囲むとは、導体 5 の周囲を周回するように環状をなしている形態のみならず、導体 5 の周囲のうちの一部と対向する部分が欠落した状態の切り欠きを含む形態をも概念である。集磁コア 3 は、第 1 コア部 3 1 と、第 2 コア部 3 2 と、第 3 コア部 3 3 と、第 4 コア部 3 4 と、第 5 コア部 3 5 とを含んでいる。第 1 コア部 3 1、第 4 コア部 3 4、および第 5 コア部 3 5 は、いずれも、例えば導体 5 の幅方向である X 軸方向に延在している。第 2 コア部 3 2 および第 3 コア部 3 3 は、いずれも、例えば導体 5 の厚さ方向である Y 軸方向に延在している。第 1 コア部 3 1 と、第 4 コア部 3 4 および第 5 コア部 3 5 とは、Y 軸方向において対向するように配置されている。第 2 コア部 3 2 と第 3 コア部 3 3 とは、X 軸方向において対向するように配置されている。第 2 コア部 3 2 は、第 1 コア部 3 1 の X 軸方向の第 1 端部と、第 4 コア部 3 4 の X 軸方向の第 1 端部とを繋ぐように設けられている。第 4 コア部 3 4 の X 軸方向の第 1 端部と反対側の第 2 端部は、端面 3 T 1 を有している。第 3 コア部 3 3 は、第 1 コア部 3 1 の X 軸方向の第 1 端部と反対側の第 2 端部と、第 5 コア部 3 5 の X 軸方向の第 1 端部とを繋ぐように設けられている。第 5 コア部 3 5 の X 軸方向の第 1 端部と反対側の第 2 端部は、端面 3 T 2 を有している。端面 3 T 1 と端面 3 T 2 とは、X 軸方向に互いに離間して対向している。端面 3 T 1 と端面 3 T 2 とに挟まれた空間はコアギャップ C G である。コアギャップ C G は、X 軸方向の幅 W 3 を有する。なお、図 2 A では、第 1 コア部 3 1 と、第 2 コア部 3 2 と、第 3 コア部 3 3 と、第 4 コア部 3 4 と、第 5 コア部 3 5 とが互いに物理的に接触するように連結されている場合を例示しているが、本実施の形態はこれに限定されるものではない。例えば第 1 コア部 3 1 と、第 2 コア部 3 2 と、第 3 コア部 3 3 と、第 4 コア部 3 4 と、第 5 コア部 3 5 とが物理的に接触していなくとも、互いに磁氣的に連結されていればよい。

【 0 0 1 8 】

図 2 A に示した集磁コア 3 では、第 1 コア部 3 1 と第 2 コア部 3 2 との連結部、第 1 コア部 3 1 と第 3 コア部 3 3 との連結部、第 2 コア部 3 2 と第 4 コア部 3 4 との連結部、および第 3 コア部 3 3 と第 5 コア部 3 5 との連結部は、いずれも湾曲した形状を有している。しかしながら、本実施の形態はこの態様に限定されるものではない。例えば、これらの連結部は、屈曲した形状を有していてもよいし、角が面取りされた取り形状であってもよい。

本実施の形態の集磁コア 3 は、本発明の「第 2 軟磁性体」に対応する一具体例である。また、X Y 面は本発明の「第 3 平面」に対応する一具体例である。

【 0 0 1 9 】

(磁 気 検 出 部 2)

磁気検出部 2 は、例えば端面 3 T 1 と端面 3 T 2 との隙間であるコアギャップ C G に配置されている。電流センサ 1 では、導体 5 に電流 I m が流れると導体 5 から磁束 B m が発生し、コアギャップ C G を有する集磁コア 3 に磁束 B m が集束される。集磁コア 3 全体が磁束 B m の経路、すなわち磁路となる。したがって、コアギャップ C G に設けられている磁気検出部 2 は、集磁コア 3 に集束される磁路に配置されることとなる。そのため、本実施形態において磁気検出部 2 がコアギャップ C G に設けられる、とは、磁気検出部 2 の少なくとも一部が磁束 B m の経路に位置していればよいことを意味するものである。すなわ

ち、磁気検出部 2 の全体がコアギャップ C G 内に位置していてもよいし、磁気検出部 2 の一部のみがコアギャップ C G 内に位置していてもよい。なお、磁気検出部 2 の詳細な構成については後述する。

【 0 0 2 0 】

(磁気シールド 4)

磁気シールド 4 は、外乱磁場から磁気検出部 2 を磁氣的に遮蔽する部材である。すなわち、磁気シールド 4 は、検出対象とする磁束 B m 以外の外部からの不要な磁場 (磁束) の、磁気検出部 2 に対する影響を緩和する軟磁性体である。図 2 B に示したように、磁気シールド 4 は、X 軸方向と直交する Y Z 面に沿って磁気検出部 2 を取り囲むように、全体として環状の形状を有している。なお、磁気検出部 2 を取り囲むとは、磁気検出部 2 の周囲の周回するように環状をなしている形態のみならず、磁気検出部 2 の周囲のうちの一部と対向する部分が欠落した状態の切り欠きを含む形態をも概念である。磁気シールド 4 は、

10

【 0 0 2 1 】

磁気シールド 4 は、例えば第 1 シールド部 4 1 と、第 2 シールド部 4 2 と、第 3 シールド部 4 3 と、第 4 シールド部 4 4 とを含んでいる。第 1 シールド部 4 1 および第 2 シールド部 4 2 は、Z 軸方向および X 軸方向を含む X Z 面に沿って広がっている。第 3 シールド部 4 3 および第 4 シールド部 4 4 は、例えば導体 5 の厚さ方向である Y 軸方向に延在している。第 1 シールド部 4 1 と第 2 シールド部 4 2 とは、Y 軸方向において対向するように配置されている。第 1 シールド部 4 1 は、Y 軸方向において例えばコアギャップ C G から見て導体 5 の反対側に位置する。第 2 シールド部 4 2 は、導体 5 と第 1 シールド部 4 1 との間に配置される。第 2 シールド部 4 2 は、Y 軸方向において、例えばコアギャップ C G と導体 5 との間に位置する。また、磁気検出部 2 は、X Z 面に直交する Y 軸方向に眺めた状態で第 1 シールド部 4 1 および第 2 シールド部 4 2 の双方と重なり合うように配置されている。第 3 シールド部 4 3 と第 4 シールド部 4 4 とは、Z 軸方向において対向するように配置されている。第 3 シールド部 4 3 は、第 1 シールド部 4 1 の Z 軸方向の第 1 端部 4 1 1 と、第 2 シールド部 4 2 の Z 軸方向の第 1 端部 4 2 1 とを磁氣的に繋ぐように設けられている。第 4 シールド部 4 4 は、第 1 シールド部 4 1 の Z 軸方向の第 1 端部 4 1 1 と反対側の第 2 端部 4 1 2 と、第 2 シールド部 4 2 の Z 軸方向の第 1 端部 4 2 1 と反対側の第 2 端部 4 2 2 とを磁氣的に繋ぐように設けられている。なお、図 2 B では、第 1 シールド部 4 1 と、第 2 シールド部 4 2 と、第 3 シールド部 4 3 と、第 4 シールド部 4 4 とが互いに物理的に接触するように連結されている場合を例示しているが、本実施の形態はこれに限定されるものではない。例えば第 1 シールド部 4 1 と、第 2 シールド部 4 2 と、第 3 シールド部 4 3 と、第 4 シールド部 4 4 とが物理的に接触していなくとも、互いに磁氣的に連結されている状態であればよい。ここでいう磁氣的に連結されている状態とは、例えば 0 . 0 5 mm 以下の間隔となるように近接して配置されている状態をいう。互いに連結される 2 つのシールド部同士の間隔が例えば 0 . 1 mm 以上であると、磁氣的に分割され、磁氣的なシールド効果が低減してしまう。

20

30

【 0 0 2 2 】

図 2 B の例では、第 1 シールド部 4 1 の X 軸方向の寸法である幅 W 4 1 と第 2 シールド部 4 2 の X 軸方向の寸法である幅 W 4 2 とは、互いに実質的に等しい。また、幅 W 4 1 および幅 W 4 2 は、例えば集磁コア 3 のコアギャップ C G の幅 W 3 よりも狭い (W 4 1 , W 4 2 < W 3) 。なお、幅 W 4 1 , W 4 2 は例えば 2 mm 以上 1 0 mm 以下とし、幅 W 3 は例えば 4 mm 以上 1 2 mm 以下とすることができる。

40

【 0 0 2 3 】

図 2 B に示した磁気シールド 4 では、第 1 シールド部 4 1 と第 3 シールド部 4 3 との連結部、第 3 シールド部 4 3 と第 2 シールド部 4 2 との連結部、第 2 シールド部 4 2 と第 4 シールド部 4 4 との連結部、第 4 シールド部 4 4 と第 1 シールド部 4 1 との連結部は、いずれも湾曲した形状を有している。しかしながら、本実施の形態はこの態様に限定されるものではない。例えば、これらの連結部は、屈曲した形状を有していてもよいし、角が面

50

取りされた取り形状であってもよい。

本実施の形態の磁気シールド4は、本発明の「第1軟磁性体」に対応する一具体例である。また、本実施の形態のYZ面は、本発明の「第1平面」に対応する一具体例である。さらに、本実施の形態のXZ面は、本発明の「第2平面」に対応する一具体例である。

【0024】

集磁コア3および磁気シールド4は、例えば、珪素鋼、電磁鋼、純鉄(SUY)、パーマロイ等の軟磁性材料を主たる構成材料として含んでいる。集磁コア3は、磁気シールド4と比べて磁束 B_m の印加により着磁されやすいので、比較的残留磁化が小さい材料であるFeSiやパーマロイにより構成されるとよい。一方、磁気シールド4は集磁コア3と比べて磁束 B_m による着磁がなされにくいので、比較的残留磁化が大きい材料である純鉄Fなどを用いることができる。

10

【0025】

また、磁気シールド4の構成材料の鉄損は、例えば集磁コア3の構成材料の鉄損よりも大きいことが望ましい。導体5に所定の電流 I_m が流れることにより導体5から発生する磁束 B_m は集磁コア3および磁気シールド4に流れる。導体5に流れる電流 I_m の周波数が高くなると、鉄損が相対的に大きい材料により構成される磁気シールド4の周波数特性が低下し、磁気シールド4に流れる磁束 B_m が相対的に減少する。電流 I_m の周波数が高くなると、鉄損が相対的に小さい材料により構成される集磁コア3においても周波数特性が低下し、磁束 B_m が流れにくくなるものの、磁気シールド4に流れる磁束 B_m が相対的に減少する分、集磁コア3に流れる磁束 B_m が相対的に増加する。その結果として、磁気シールド4を有しない電流センサ1に比べ、磁気検出部2に印加される磁束 B_m の磁束密度は安定すると考えられる。磁気シールド4の構成材料の鉄損と集磁コア3の構成材料の鉄損の差が大きくなるほど、周波数特性が改善され、磁気検出部2に印加される磁束 B_m の磁束密度の減衰を抑制することができる。その結果、交流電流に対する電流センサ1の応答特性を安定化させることができる。集磁コア3の構成材料の鉄損と磁気シールド4の構成材料の鉄損との差は、例えば、 2.0 W/kg 以上であることが好ましく、 4.5 W/kg 以上 10.0 W/kg 以下であることがより好ましい。鉄損は、JIS-C-2550の規定に基づくエプスタイン試験法に従い、周波数 50 Hz 時の最大磁束密度 1.5 T の正弦波励磁のときの単位重量当たりの鉄損の大きさ(圧延方向とそれに対する直角方向の平均)として求められる値である。なお、集磁コア3の構成材料は、磁気シールド4の構成材料と同一種類の材料であってもよいし、異なる種類の材料であってもよい。例えば、集磁コア3と磁気シールド4とがともに電磁鋼により構成されるが、磁気シールド4を構成する電磁鋼の鉄損が、集磁コア3を構成する電磁鋼の鉄損よりも大きいとよい。

20

30

【0026】

図3は、電流センサの概略構成を示すブロック図である。図3に示したように、電流センサ1は、磁気検出部2と信号処理部60とを備える。信号処理部60は、例えばA/D(アナログ-デジタル)変換部61と、演算部62とを含む。A/D変換部61は、磁気検出部2から出力されるアナログ信号をデジタル信号に変換する。演算部62は、A/D変換部61によりデジタル変換されたデジタル信号を演算処理する。なお、信号処理部60は、演算部62の下流側にD/A(デジタル-アナログ)変換部をさらに含んでもよい。D/A変換部を含むことにより、信号処理部60は、演算部62にて演算処理された演算処理結果をアナログ信号として出力することができる。

40

【0027】

図4は、図1に示した磁気検出部2の回路構成を概略的に表す回路図である。図4に示したように、磁気検出部2は、例えば第1抵抗部 R_1 、第2抵抗部 R_2 、第3抵抗部 R_3 、および第4抵抗部 R_4 の4つの抵抗部をブリッジ接続してなるホイートストンブリッジ回路Cを有する。但し、磁気検出部2は、第1抵抗部 R_1 および第2抵抗部 R_2 の2つの抵抗部をハーフブリッジ接続してなる回路を有するものであってもよい。第1~第4抵抗部 R_1 ~ R_4 は、それぞれ一の磁気抵抗効果素子(MR素子)又は一のホール素子を含んでいてもよいし、複数の磁気抵抗効果素子又は複数のホール素子を含んでいてもよい。磁

50

気抵抗効果素子は、例えばAMR素子、GMR素子、またはTMR素子などである。

【0028】

磁気検出部2が有するホイートストンブリッジ回路Cは、電源ポートVと、グランドポートGと、2つの出力ポートE1、E2と、直列に接続された第1抵抗部R1および第2抵抗部R2と、直列に接続された第3抵抗部R3および第4抵抗部R4とを含む。第1抵抗部R1および第3抵抗部R3の各一端は、電源ポートVに接続される。第1抵抗部R1の他端は、第2抵抗部R2の一端と出力ポートE1とに接続される。第3抵抗部R3の他端は、第4抵抗部R4の一端と出力ポートE2とに接続される。第2抵抗部R2および第4抵抗部R4の各他端は、グランドポートGに接続される。電源ポートVには、所定の大きさの電源電圧が印加され、グランドポートGはグランドに接続される。

10

【0029】

図5は、図4に示した第1～第4抵抗部R1～R4を構成するGMR素子又はTMR素子等のMR素子の概略構成例を表す斜視図である。第1～第4抵抗部R1～R4を構成するMR素子は、例えば図5に示したように、複数の第1電極71と、複数のMR膜80と、複数の第2電極72とを有している。複数の第1電極71は、例えば基板上に設けられている。第1電極71は、下部リード電極とも称される。各第1電極71は細長い形状を有する。第1電極71の長手方向に隣接する2つの第1電極71の間には、間隙が形成されている。第1電極71の上面における、長手方向の両端近傍にそれぞれMR膜80が設けられている。図6は、図5に示した第1～第4抵抗部R1～R4を構成するMR素子の断面構成例を表す概略断面図である。図6に示したように、MR膜80は、平面視略円形状であり、第1電極71側から順に積層された自由層81、非磁性層82、磁化固定層83及び反強磁性層84を含む。自由層81は、第1電極71に電氣的に接続されている。反強磁性層84は、反強磁性材料により構成され、磁化固定層83との間で交換結合を生じさせることで、磁化固定層83の磁化の方向を固定する役割を果たす。複数の第2電極72は、複数のMR膜80上に設けられている。各第2電極72は細長い形状を有し、第1電極71の長手方向に隣接する2つの第1電極71上に配置され、隣接する2つのMR膜80の反強磁性層84同士を電氣的に接続する。第2電極72は、上部リード電極とも称される。なお、MR膜80は、第2電極72に近い位置から順に自由層81、非磁性層82、磁化固定層83および反強磁性層84が積層されてなる構成を有していてもよい。また、磁化固定層83を、強磁性層/非磁性中間層/強磁性層の積層フェリ構造とし、両強磁性層を反強磁性的に結合させてなる、いわゆるセルフピン止め型の固定層(Synthetic Ferri Pinned層, SFP層)とすることで、反強磁性層84が省略されていてもよい。

20

30

【0030】

TMR素子においては、非磁性層82はトンネルバリア層である。GMR素子においては、非磁性層82は非磁性導電層である。TMR素子およびGMR素子において、自由層81の磁化の方向が磁化固定層83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°(互いの磁化方向が平行)のときに抵抗値が最小となり、180°(互いの磁化方向が反平行)のときに抵抗値が最大となる。

【0031】

第1～第4抵抗部R1～R4がTMR素子またはGMR素子により構成される場合、磁気検出部2のホイートストンブリッジ回路Cにおいて、第1抵抗部R1および第2抵抗部R2の磁化固定層83の磁化方向はX方向に平行であって、第1抵抗部R1の磁化固定層83の磁化方向と、第2抵抗部R2の磁化固定層83の磁化方向とは、互いに反平行方向である。また、第3抵抗部R3及び第4抵抗部R4の磁化固定層83の磁化方向はX方向に平行であって、第3抵抗部R3の磁化固定層83の磁化方向と、第4抵抗部R4の磁化固定層83の磁化方向とは、互いに反平行方向である。磁気検出部2において、導体5から発生するX方向の磁場の磁界強度の変化に応じて、出力ポートE1、E2の電位差が変化し、出力ポートE1、E2の電位差に対応する信号がセンサ信号Sとして信号処理部60に出力される。差分検出器により、出力ポートE1、E2の電位差に対応する信号を増

40

50

幅し、センサ信号 S として信号処理部 60 の A/D 変換部 61 に出力するとよい。

【0032】

A/D 変換部 61 は、磁気検出部 2 から出力されるセンサ信号 S (電流に関するアナログ信号) をデジタル信号に変換し、当該デジタル信号が演算部 62 に入力される。演算部 62 は、A/D 変換部 61 によりアナログ信号から変換されたデジタル信号についての演算処理を行う。この演算部 62 は、例えば、マイクロコンピュータ、ASIC (Application Specific Integrated Circuit) などにより構成される。

【0033】

[電流センサ 1 の作用効果]

本実施形態の電流センサ 1 によれば、集磁コア 3 のコアギャップ CG に配置された磁気検出部 2 を取り囲むように磁気シールド 4 を設けるようにしている。このため、磁気検出部 2 に対する、周囲からの不要な外乱磁場の磁束の影響が緩和される。例えば外乱磁場のうちの、Y 軸方向に沿った磁場成分 H_y および Z 軸方向に沿った磁場成分 H_z は、例えば図 7 に示したように、主に磁気シールド 4 を通過する。このため、磁気シールド 4 に取り囲まれた空間に配置されている磁気検出部 2 を通過する磁場成分 H_y および磁場成分 H_z は低減される。なお、図 7 は、電流センサ 1 の作用効果を説明するための第 1 の説明図である。例えば磁場成分 H_z は 2 つに分流し、Y 軸方向において互いに対向するように配置されて XZ 面に沿って広がる第 1 シールド部 41 および第 2 シールド部 42 をそれぞれ通過することとなる。また、磁場成分 H_y も 2 つに 2 つに分流し、Z 軸方向において互いに対向するように配置されて XY 面に沿って広がる第 3 シールド部 43 および第 4 シールド部 44 をそれぞれ通過することとなる。図 7 では、磁場成分 H_z の経路を実線矢印で模式的に表し、磁場成分 H_y の経路を破線矢印で模式的に表している。

【0034】

ところが、図 8 に示した参考例としての電流センサ 101 のように、例えば磁気シールド 4 を有しない場合、磁場成分 H_y は集磁コア 3 を通過したのち磁気検出部 2 に集中して向かうこととなってしまふ。なお、電流センサ 101 の構成は、磁気シールド 4 を有しないことを除き、電流センサ 1 と実質的に同じ構成である。

【0035】

これに対し、本実施の形態の電流センサ 1 では、例えば図 9 に示したように、集磁コア 3 に流入して端面 3T1, 3T2 から流出した磁場成分 H_y は、分岐して第 1 シールド部 41 および第 2 シールド部 42 に流入する。その結果、+Y 方向の磁場成分 H_y と -Y 方向の磁場成分 H_y とが相殺され、磁場成分 H_y が実質的に存在しない領域 R が発生する。そこで磁気検出部 2 の第 1 ~ 第 4 抵抗部 R1 ~ R4 を領域 R に配置することで、磁気検出部 2 に対する磁場成分 H_y の影響を低減することができる。なお、図 9 は、電流センサ 1 の作用効果を説明するための第 2 の説明図である。

【0036】

また、電流センサ 1 では、外乱磁場のうちの、X 軸方向に沿った磁場成分 H_x についても磁気検出部 2 に到達するのを抑制することができる。図 10 に示したように、磁場成分 H_x は、分岐して磁気シールド 4 のうちの第 1 シールド部 41 および第 2 シールド部 42 の幅方向の第 1 端部にそれぞれ流入し、反対側の幅方向の第 2 端部から流出するからである。なお、図 10 は、電流センサ 1 の作用効果を説明するための第 3 の説明図である。

【0037】

また、電流センサ 1 および電流センサ 101 では、導体 5 に流れる電流 I_m が大きくなると、集磁コア 3 が磁氣的に飽和しやすくなる。そのため、磁気検出部 2 の出力の線形性が劣化し、検出される電流値の測定精度に支障を来す可能性がある。それを避けるために、軟磁性体である集磁コア 3 の体積を増加させることもできるが、電流センサ 1 および電流センサ 101 の寸法の増大を招くので望ましくない。そこで、集磁コア 3 の磁氣的な飽和を避ける他の手法として、コアギャップ CG の幅 W_3 を拡大するなどして磁気回路の磁気抵抗を増大させることが考えられる。しかしながら、その場合、電流センサ 101 のように磁気シールド 4 を有しない構造では、磁気検出部 2 が外乱磁場の影響を受けやすくな

10

20

30

40

50

ってしまう。その点、本実施の形態の電流センサ 1 では、磁気シールド 4 をコアギャップ C G に配置するようにしている。このため、コアギャップ C G の幅 W_3 を拡大して磁気回路の磁気抵抗を増大させることで集磁コア 3 の磁気的な飽和を避けつつ、磁気検出部 2 に及ぶ外乱磁場の影響を緩和することができる。

【 0 0 3 8 】

さらに、本実施の形態の電流センサ 1 では、集磁コア 3 の残留磁化および磁気シールド 4 の残留磁化の影響の低減効果も得られる。軟磁性体である集磁コア 3 および磁気シールド 4 は、図 1 1 に示したように、それぞれ、磁束 B_m の付与により残留磁化を生ずる。具体的には、集磁コア 3 では、例えば第 1 コア部 3 1 には - X 方向の残留磁化 $3 M_r$ が生じ、第 4 コア部 3 4 および第 5 コア部 3 5 には + X 方向の残留磁化 $3 M_r$ が生じる。その結果、コアギャップ C G では + X 方向の残留磁束 $3 B_r$ が発生する。また、磁気シールド 4 では、例えば第 1 シールド部 4 1 には + X 方向の残留磁化 $4 1 M_r$ が生じ、第 2 シールド部 4 2 には + X 方向の残留磁化 $4 2 M_r$ が生じる。その結果、コアギャップ C G では、第 1 シールド部 4 1 の周囲に残留磁束 $4 1 B_r$ が発生すると共に第 2 シールド部 4 2 の周囲に残留磁束 $4 2 B_r$ が発生する。残留磁束 $4 1 B_r$ および残留磁束 $4 2 B_r$ は、磁気検出部 2 に対しては - X 方向に付与される。したがって、磁気検出部 2 の近傍では、+ X 方向の残留磁束 $3 B_r$ と - X 方向の残留磁束 $4 1 B_r$, $4 2 B_r$ とが相殺しあうこととなり、実質的に磁気検出部 2 に付与される残留磁束は十分に低減される。よって、磁気検出部 2 は、集磁コア 3 の残留磁化 $3 M_r$ および磁気シールド 4 の残留磁化 $4 1 M_r$, $4 2 M_r$ の影響を実質的に受けることなく、測定対象とする磁束 B_m を高い精度で検出することができる。集磁コア 3 の残留磁束 $3 B_r$ と、および磁気シールド 4 の残留磁束 $4 1 B_r$, $4 2 B_r$ とが相殺される領域は 1 か所、または 2 か所形成することができる。第 1 シールド部 4 1 の材質および寸法ならびに第 2 シールド部 4 2 の材質および寸法を適宜選択すればよい。なお、図 1 1 は、電流センサ 1 の作用効果を説明するための第 4 の説明図である。

【 0 0 3 9 】

このように、本実施の形態の電流センサ 1 によれば、検出対象とする磁束 B_m を磁気検出部 2 に到達させつつ、磁気検出部 2 に対する、周囲からの不要な外乱磁場の磁束の影響を緩和することができる。よって、磁束 B_m を高い精度で検出し、導体 5 を流れる電流 I_m の大きさを高い精度で測定することができる。

【 0 0 4 0 】

[第 1 の実施の形態の変形例]

(変形例 1 - 1)

図 1 2 は、上記第 1 の実施の形態の第 1 変形例 (変形例 1 - 1) としての電流センサ 1 A を表す断面模式図である。上記第 1 の実施の形態の電流センサ 1 では、例えば図 2 A に示したように、磁気シールド 4 の第 1 シールド部 4 1 の幅 $W_4 1$ および第 2 シールド部 4 2 の幅 $W_4 2$ が、集磁コア 3 のコアギャップ C G の幅 W_3 よりも狭くなるようにした ($W_4 1$, $W_4 2 < W_3$) 。これに対し、変形例 1 - 1 としての電流センサ 1 A では、図 1 2 に示したように、磁気シールド 4 の第 1 シールド部 4 1 の幅 $W_4 1$ および第 2 シールド部 4 2 の幅 $W_4 2$ が、集磁コア 3 のコアギャップ C G の幅 W_3 よりも広くなるようにしている ($W_4 1$, $W_4 2 > W_3$) 。すなわち、第 1 シールド部 4 1 の X 軸方向の第 1 端部および第 2 シールド部 4 2 の X 軸方向の第 1 端部が、第 4 コア部 3 4 の一部と Y 軸方向に重なり合うと共に、第 1 シールド部 4 1 の X 軸方向の第 2 端部および第 2 シールド部 4 2 の X 軸方向の第 2 端部が、第 5 コア部 3 5 の一部と Y 軸方向に重なり合うようになっている。電流センサ 1 A の構成は、上記の相違点を除き、電流センサ 1 の構成と実質的に同じである。なお、幅 $W_4 1$, $W_4 2$ は例えば 5 mm 以上 1 1 mm 以下とし、幅 W_3 は例えば 4 mm 以上 1 0 mm 以下とすることができる。

【 0 0 4 1 】

変形例 1 - 1 としての電流センサ 1 A によれば、コアギャップ C G の幅 W_3 よりも第 1 シールド部 4 1 の幅 $W_4 1$ および第 2 シールド部 4 2 の幅 $W_4 2$ が広がっているため、外乱磁場のうちの、特に X 軸方向に沿った磁場成分 H_x が磁気検出部 2 に及ぶのを防ぐこ

とができる。すなわち、磁場成分 H_x に対するシールド効果を高めることができる。但し、上記第 1 の実施の形態の電流センサ 1 と比較すると、磁気検出部 2 を X 軸方向に通過する磁束 B_m が減衰してしまう。

【 0 0 4 2 】

(変形例 1 - 2)

図 1 3 は、上記第 1 の実施の形態の第 2 変形例 (変形例 1 - 2) としての電流センサ 1 B を表す断面模式図である。上記第 1 の実施の形態の電流センサ 1 では、例えば図 2 A に示したように、磁気シールド 4 の第 1 シールド部 4 1 の幅 W_{41} が、第 2 シールド部 4 2 の幅 W_{42} と実質的に等しくなるようにした ($W_{41} = W_{42}$)。これに対し、変形例 1 - 2 としての電流センサ 1 B では、図 1 3 に示したように、磁気シールド 4 の第 1 シールド部 4 1 の幅 W_{41} よりも第 2 シールド部 4 2 の幅 W_{42} が広くなるようにしている ($W_{41} < W_{42}$)。但し、第 2 シールド部 4 2 の幅 W_{42} は、集磁コア 3 のコアギャップ CG の幅 W_3 よりも狭くなるようにしている ($W_{42} < W_3$)。この点は、電流センサ 1 B は電流センサ 1 と同じである。また、第 1 シールド部 4 1 の幅 W_{41} およびコアギャップ CG の幅 W_3 は、電流センサ 1 と電流センサ 1 B とで実質的に同じである。なお、幅 W_{42} は例えば 5 mm 以上 11 mm 以下とすることができる。電流センサ 1 B の構成は、第 1 シールド部 4 1 の幅 W_{41} よりも第 2 シールド部 4 2 の幅 W_{42} が広いことを除き、電流センサ 1 の構成と実質的に同じである。

10

【 0 0 4 3 】

変形例 1 - 2 としての電流センサ 1 B によれば、第 2 シールド部 4 2 の幅 W_{42} が第 1 シールド部 4 1 の幅 W_{41} よりも広く、かつ、コアギャップ CG の幅 W_3 よりも狭くなっている、すなわち $W_{41} < W_{42} < W_3$ を満たしている。このため、電流センサ 1 および電流センサ 1 A と比較して、例えば磁気検出部 2 に対する残留磁化の影響をより低減することができる。

20

【 0 0 4 4 】

(変形例 1 - 3)

図 1 4 は、上記第 1 の実施の形態の第 3 変形例 (変形例 1 - 3) としての電流センサ 1 C を表す断面模式図である。上記第 1 の実施の形態の電流センサ 1 では、例えば図 2 A に示したように、磁気シールド 4 の第 1 シールド部 4 1 の幅 W_{41} が、第 2 シールド部 4 2 の幅 W_{42} と実質的に等しくなるようにした ($W_{41} = W_{42}$)。これに対し、変形例 1 - 3 としての電流センサ 1 C では、図 1 4 に示したように、磁気シールド 4 の第 2 シールド部 4 2 の幅 W_{42} よりも第 1 シールド部 4 1 の幅 W_{41} が広くなるようにしている ($W_{41} > W_{42}$)。但し、第 1 シールド部 4 1 の幅 W_{41} は、集磁コア 3 のコアギャップ CG の幅 W_3 よりも狭くなるようにしている ($W_{41} < W_3$)。この点は、電流センサ 1 C は電流センサ 1 と同じである。また、第 2 シールド部 4 2 の幅 W_{42} およびコアギャップ CG の幅 W_3 は、電流センサ 1 と電流センサ 1 C とで実質的に同じである。なお、幅 W_{41} は例えば 5 mm 以上 11 mm 以下とすることができる。電流センサ 1 C の構成は、第 1 シールド部 4 1 の幅 W_{41} が第 2 シールド部 4 2 の幅 W_{42} よりも広いことを除き、電流センサ 1 の構成と実質的に同じである。

30

【 0 0 4 5 】

変形例 1 - 3 としての電流センサ 1 C によれば、第 1 シールド部 4 1 の幅 W_{41} が第 2 シールド部 4 2 の幅 W_{42} よりも広く、かつ、コアギャップ CG の幅 W_3 よりも狭くなっている、すなわち $W_{42} < W_{41} < W_3$ を満たしている。このため、電流センサ 1 C では、電流センサ 1、1 A と比較して、例えば磁気検出部 2 に対する残留磁化の影響をより低減することができる。また、電流センサ 1、1 B と比較して、外乱磁場のうちの、特に X 軸方向に沿った磁場成分 H_x が磁気検出部 2 に及ぶのを防ぐことができる。但し、変形例 1 - 3 の電流センサ 1 C よりも変形例 1 - 1 の電流センサ 1 A のほうが、磁場成分 H_x に対するシールド効果が高い。しかしながら、変形例 1 - 3 の電流センサ 1 C では、変形例 1 - 1 の電流センサ 1 A と比較して、磁気検出部 2 を通過する磁束 B_m が減衰しにくい。

40

【 0 0 4 6 】

50

(変形例 1 - 4)

図 15 は、上記第 1 の実施の形態の第 4 変形例 (変形例 1 - 4) としての電流センサ 1 D を表す断面模式図である。上記変形例 1 - 3 の電流センサ 1 C では、Y 軸方向においてコアギャップ C G と導体 5 との間に第 2 シールド部 4 2 を配するようになっている。これに対し、変形例 1 - 4 の電流センサ 1 D では、コアギャップ C G に第 2 シールド部 4 2 を配置するようになっている。変形例 1 - 4 の電流センサ 1 D の構成は、コアギャップ C G に第 2 シールド部 4 2 を配置することを除き、変形例 1 - 3 の電流センサ 1 C の構成と実質的に同じである。

【0047】

変形例 1 - 4 としての電流センサ 1 D によれば、電流センサ 1 ~ 1 C と比較して、例えば磁気検出部 2 に対する残留磁化の影響をよりいっそう低減することができる。但し、電流センサ 1 D では、電流センサ 1 A, 1 C と比較して、磁場成分 H_x に対するシールド効果が低い。また、電流センサ 1 D では、電流センサ 1, 1 B, 1 C と比較して、磁気検出部 2 を通過する磁束 B_m が減衰しやすい。

10

【0048】

(変形例 1 - 5)

図 16 は、上記第 1 の実施の形態の第 5 変形例 (変形例 1 - 5) としての電流センサ 1 E を表す断面模式図である。上記変形例 1 - 4 の電流センサ 1 D では、第 1 シールド部 4 1 の幅 W_{41} が第 2 シールド部 4 2 の幅 W_{42} よりも広く、かつ、コアギャップ C G の幅 W_3 よりも狭くなっている ($W_{42} < W_{41} < W_3$)。これに対し、変形例 1 - 5 の電流センサ 1 E では、図 16 に示したように、磁気シールド 4 の第 2 シールド部 4 2 の幅 W_{42} が第 1 シールド部 4 1 の幅 W_{41} よりも広く、かつ、コアギャップ C G の幅 W_3 よりも狭くなるようになっている ($W_{41} < W_{42} < W_3$)。この点を除き、変形例 1 - 5 の電流センサ 1 E の構成は、変形例 1 - 4 の電流センサ 1 D の構成と実質的に同じである。

20

【0049】

変形例 1 - 5 の電流センサ 1 E によれば、電流センサ 1 ~ 1 C と比較して、例えば磁気検出部 2 に対する残留磁化の影響をよりいっそう低減することができる。但し、電流センサ 1 E では、電流センサ 1 A, 1 C と比較して、磁場成分 H_x に対するシールド効果が低い。また、電流センサ 1 E では、電流センサ 1, 1 B, 1 C と比較して、磁気検出部 2 を通過する磁束 B_m が減衰しやすい。

30

【0050】

(変形例 1 - 6)

図 17 は、上記第 1 の実施の形態の第 6 変形例 (変形例 1 - 6) としての電流センサ 1 F を表す断面模式図である。上記変形例 1 - 4 の電流センサ 1 D では、コアギャップ C G に第 2 シールド部 4 2 を配置するようになっている。これに対し、変形例 1 - 6 の電流センサ 1 F では、コアギャップ C G に第 1 シールド部 4 1 を配置するようになっている。変形例 1 - 6 の電流センサ 1 F の構成は、コアギャップ C G に第 1 シールド部 4 1 を配置することを除き、変形例 1 - 4 の電流センサ 1 D の構成と実質的に同じである。

【0051】

変形例 1 - 6 としての電流センサ 1 F によれば、電流センサ 1 D と比較して、例えば磁場成分 H_x に対するシールド効果を高めることができるうえ、磁気検出部 2 を通過する磁束 B_m の減衰を抑制することができる。

40

【0052】

(変形例 1 - 7)

図 18 は、上記第 1 の実施の形態の第 7 変形例 (変形例 1 - 7) としての電流センサ 1 G を表す断面模式図である。上記変形例 1 - 5 の電流センサ 1 E では、コアギャップ C G に第 2 シールド部 4 2 を配置するようになっている。これに対し、変形例 1 - 7 の電流センサ 1 G では、コアギャップ C G に第 1 シールド部 4 1 を配置するようになっている。変形例 1 - 7 の電流センサ 1 G の構成は、コアギャップ C G に第 1 シールド部 4 1 を配置することを除き、変形例 1 - 5 の電流センサ 1 E の構成と実質的に同じである。

50

【 0 0 5 3 】

変形例 1 - 7 としての電流センサ 1 G によれば、電流センサ 1 E と比較して、例えば磁場成分 H_x に対するシールド効果を高めることができるうえ、磁気検出部 2 を通過する磁束 B_m の減衰を抑制することができる。

【 0 0 5 4 】

(変形例 1 - 8)

図 1 9 は、上記第 1 の実施の形態の第 8 変形例 (変形例 1 - 8) としての電流センサ 1 H の外観を表す斜視図である。第 1 の実施の形態の電流センサ 1 では、磁気検出部 2 の周囲を周回する環状をなす磁気シールド 4 を有するようにした。これに対し、変形例 1 - 8 の電流センサ 1 H では、図 1 9 に示したように磁気シールド 4 の代わりに磁気シールド 4 A を有する。磁気シールド 4 A は、第 1 ~ 第 4 シールド部 4 1 ~ 4 4 のうちの第 4 シールド部 4 4 を含まずに Y Z 面において一部が開放された U 形状を有している。変形例 1 - 8 の電流センサ 1 H においても、第 1 ~ 第 3 シールド部 4 1 ~ 4 3 を含む磁気シールド 4 A を有しているので、磁気検出部 2 に対する外乱磁場の影響を低減することができる。

10

【 0 0 5 5 】

(変形例 1 - 9)

図 2 0 は、上記第 1 の実施の形態の第 9 変形例 (変形例 1 - 9) としての電流センサ 1 I の外観を表す斜視図である。第 1 の実施の形態の電流センサ 1 では、導体 5 の周囲を取り囲む第 1 ~ 第 5 コア部 3 1 ~ 3 5 を含む集磁コア 3 を有するようにした。これに対し、変形例 1 - 9 の電流センサ 1 I では、集磁コア 3 の代わりに集磁コア 3 A を有するようにした。集磁コア 3 A は、図 2 0 に示したように、第 1 ~ 第 5 コア部 3 1 ~ 3 5 のうちの第 4 コア部 3 4 および第 5 コア部 3 5 を有さずに X Y 面において一部が開放された U 形状を有している。変形例 1 - 9 の電流センサ 1 I においても、磁気シールド 4 を有しているので、磁気検出部 2 に対する外乱磁場の影響を低減することができる。なお、電流センサ 1 I は、磁気シールド 4 の代わりに図 1 9 に示した磁気シールド 4 A を有するようにしてもよい。

20

【 0 0 5 6 】

(変形例 1 - 1 0)

図 2 1 は、上記第 1 の実施の形態の第 1 0 変形例 (変形例 1 - 1 0) としての電流センサ 1 J の外観を表す斜視図である。変形例 1 - 1 0 の電流センサ 1 J は、集磁コア 3 の代わりに軟磁性体 3 B を有するようにしている。軟磁性体 3 B は、X Z 面に沿って広がる 2 枚の板状部材 3 6 , 3 7 を含んでいる。板状部材 3 6 および板状部材 3 7 は、いずれも軟磁性材料を主たる構成材料としている。板状部材 3 6 と板状部材 3 7 とは、Y 軸方向において磁気シールド 4 および磁気検出部 2 を挟んで対向配置されている。変形例 1 - 1 0 の電流センサ 1 J においても、磁気シールド 4 を有しているので、磁気検出部 2 に対する外乱磁場の影響を低減することができる。なお、電流センサ 1 J は、磁気シールド 4 の代わりに図 1 9 に示した磁気シールド 4 A を有するようにしてもよい。

30

【 0 0 5 7 】

< 2 . 第 2 の実施の形態 >

[電流センサ 6 の構成]

図 2 2 A および図 2 2 B を参照して、本発明の第 2 の実施の形態としての電流センサ 6 の構成について説明する。図 2 2 A は、電流センサ 6 の全体構成例を表す斜視図である。図 2 2 A に示したように、電流センサ 6 は、例えば磁気検出部 7 と、集磁コア 8 と、磁気シールド 9 と、導体 1 0 とを有する。

40

【 0 0 5 8 】

(導体 1 0)

導体 1 0 は、例えば第 1 部分 1 1 と第 2 部分 1 2 と、第 3 部分 1 3 と、第 4 部分 1 4 と、第 5 部分 1 5 とが順に連結されたものである。導体 1 0 は、例えば Cu (銅) などの高導電性非磁性材料により構成される。第 1 部分 1 1、第 3 部分 1 3、および第 5 部分 1 5 は、例えば X Y 面に沿って広がっている。第 2 部分 1 2 および第 4 部分 1 4 は、第 1 部分 1 1、第 3 部分 1 3、および第 5 部分 1 5 に対して立設するように、X Z 面に沿って広が

50

っている。第 2 ~ 第 4 部分 1 2 ~ 1 4 は、折り返し部分を構成している。

なお、第 2 部分 1 2 が本発明の「第 1 導体部分」に対応する一具体例であり、第 4 部分 1 4 が本発明の「第 2 導体部分」に対応する一具体例である。

【 0 0 5 9 】

(磁気検出部 7)

磁気検出部 7 は、導体 1 0 の第 2 ~ 第 4 部分 1 2 ~ 1 4 により構成される折り返し部分に形成される空間に配置されている。すなわち、磁気検出部 7 は、第 2 ~ 第 4 部分 1 2 ~ 1 4 により取り囲まれた空間に配置されている。磁気検出部 7 の構成は、上記第 1 の実施の形態で説明した磁気検出部 2 の構成と実質的に同じものとする事ができる。

【 0 0 6 0 】

(磁気シールド 9)

磁気シールド 9 は、Y Z 面に沿って磁気検出部 7 を取り囲む磁気遮蔽部材である。すなわち、磁気シールド 9 は、検出対象とする磁束 B m 以外の外部からの不要な磁場 (磁束) の、磁気検出部 7 に対する影響を緩和する軟磁性体である。磁気シールド 9 は、導体 1 0 の第 2 ~ 第 4 部分 1 2 ~ 1 4 により取り囲まれた空間に配置されている。さらに、磁気シールド 9 は、集磁コア 8 によって取り囲まれた空間に配置されている。図 2 2 B は、図 2 2 A に示した電流センサ 6 のうちの磁気シールド 9 の構成例を表す Y Z 面に沿った平面図である。磁気シールド 9 の構成は、上記第 1 の実施の形態で説明した磁気シールド 4 の構成と実質的に同じものとする事ができる。具体的には、図 2 2 B に示したように、磁気シールド 9 は、X 軸方向と直交する Y Z 面に沿って磁気検出部 7 を取り囲むように、全体として環状の形状を有している。なお、磁気検出部 7 を取り囲むとは、磁気検出部 7 の周囲の周回するように環状をなしている形態のみならず、磁気検出部 7 の周囲のうちの一部と対向する部分が欠落した状態の切り欠きを含む形態をも概念である。磁気シールド 9 は、導体 1 0 および磁気検出部 7 の双方と物理的に接触せずに離間して配置されている。

【 0 0 6 1 】

磁気シールド 9 は、例えば第 1 シールド部 9 1 と、第 2 シールド部 9 2 と、第 3 シールド部 9 3 と、第 4 シールド部 9 4 とを含んでいる。第 1 シールド部 9 1 および第 2 シールド部 9 2 は、X 軸方向および Y 軸方向を含む X Y 面に沿って広がっている。第 3 シールド部 9 3 および第 4 シールド部 9 4 は、例えば導体 1 0 の第 2 部分 1 2 および第 4 部分 1 4 が延在する Z 軸方向に延在している。第 1 シールド部 9 1 と第 2 シールド部 9 2 とは、Z 軸方向において対向するように配置されている。第 1 シールド部 9 1 は、Z 軸方向において例えば導体 1 0 のうちの第 3 部分 1 3 と磁気検出部 7 との間に配置される。第 2 シールド部 9 2 は、磁気検出部 7 から見て導体 1 0 の第 3 部分 1 3 の反対側に配置される。また、磁気検出部 7 は、X Y 面に直交する Z 軸方向に眺めた状態で第 1 シールド部 9 1 および第 2 シールド部 9 2 の双方と重なり合うように配置されている。第 3 シールド部 9 3 と第 4 シールド部 9 4 とは、Y 軸方向において対向するように配置されている。第 3 シールド部 9 3 は、第 1 シールド部 9 1 の Y 軸方向の第 1 端部 9 1 1 と、第 2 シールド部 9 2 の Y 軸方向の第 1 端部 9 2 1 とを磁氣的に繋ぐように設けられている。第 4 シールド部 9 4 は、第 1 シールド部 9 1 の Y 軸方向の第 1 端部 9 1 1 と反対側の第 2 端部 9 1 2 と、第 2 シールド部 9 2 の Y 軸方向の第 1 端部 9 2 1 と反対側の第 2 端部 9 2 2 とを磁氣的に繋ぐように設けられている。なお、図 2 2 B では、第 1 シールド部 9 1 と、第 2 シールド部 9 2 と、第 3 シールド部 9 3 と、第 4 シールド部 9 4 とが互いに物理的に接触するように連結されている場合を例示しているが、本実施の形態はこれに限定されるものではない。例えば第 1 シールド部 9 1 と、第 2 シールド部 9 2 と、第 3 シールド部 9 3 と、第 4 シールド部 9 4 とが物理的に接触していなくとも、互いに磁氣的に連結されている状態であればよい。ここでいう磁氣的に連結されている状態とは、例えば 0 . 0 5 m m 以下の間隔となるように近接して配置されている状態をいう。互いに連結される 2 つのシールド部同士の間隔が例えば 0 . 1 m m 以上であると、磁氣的に分割され、磁氣的なシールド効果が低減してしまう。

また、磁気シールド 9 は、本発明の「第 1 軟磁性体」に対応する一具体例である。また

10

20

30

40

50

、第1～第4シールド部91～94は、それぞれ、本発明の「第1～第4部分」に対応する一具体例である。また、本実施の形態のZ軸方向は、本発明の「第1方向」に対応する一具体例である。また、本実施の形態のX軸方向は、本発明の「第2方向」に対応する一具体例である。また、本実施の形態のYZ面は、本発明の「第1平面」に対応する一具体例である。さらに、本実施の形態のXZ面は、本発明の「第2平面」に対応する一具体例である。

【0062】

(集磁コア8)

集磁コア8は、自らを磁束Bmが通過するように磁束Bmを集束する軟磁性体である。集磁コア8は、例えばY軸方向と直交するXZ面に沿って磁気検出部7、磁気シールド9、ならびに導体10の第2部分12および第4部分14を取り囲むように設けられている。集磁コア8の構成材料は、上記第1の実施の形態で説明した集磁コア3の構成材料と実質的に同じものとすることができる。

10

なお、集磁コア8は、本発明の「第2軟磁性体」に対応する一具体例である。また、本実施の形態のXY面は、本発明の「第3平面」に対応する一具体例である。

【0063】

集磁コア8および磁気シールド9は、例えば、珪素鋼、電磁鋼、純鉄(SUY)、パーマロイ等の軟磁性材料を主たる構成材料として含んでいる。集磁コア8は、磁気シールド9と比べて磁束Bmの印加により着磁されやすいので、比較的残留磁化が小さい材料であるFeSiやパーマロイにより構成されるとよい。一方、磁気シールド9は集磁コア8と比べて磁束Bmによる着磁がなされにくいので、比較的残留磁化が大きい材料である純鉄Fなどを用いることができる。

20

【0064】

また、磁気シールド9の構成材料の鉄損は、例えば集磁コア8の構成材料の鉄損よりも大きいことが望ましい。

【0065】

[電流センサ6の作用効果]

図23は、電流センサ6を-Z方向に眺めた状態の、XY面に沿った断面図である。電流センサ6では、導体10の第2部分12を電流Imが+Zの向きに流れると、第2部分12の周囲には磁束Bm1が発生する。磁束Bm1は、磁気検出部7に対し、X軸方向に沿った-Xの向きに付与される。電流Imは、第2部分12から第3部分13を經由して第4部分14を-Zの向きに流れる。そのため、第4部分14の周囲には磁束Bm2が発生する。磁束Bm2は、磁気検出部7に対し、X軸方向に沿った-Xの向きに付与される。したがって、磁気検出部7の近傍では、磁束Bm1と磁束Bm2とが合成されて高密度の磁束Bmが発生し、磁気検出部7に付与される。したがって、電流センサ6によれば、比較的微弱な電流Imであっても高い感度で電流値を検出することができる。

30

【0066】

電流センサ6によれば、磁気検出部7を取り囲むように磁気シールド9を設けるようにしている。このため、磁気検出部7に対する、周囲からの不要な外乱磁場の磁束の影響が緩和される。よって、電流センサ6では、磁束Bmを高い精度で検出し、導体10を流れる電流Imの大きさを高い精度で測定することができる。

40

【0067】

(変形例2-1)

図24は、上記第2の実施の形態の第1変形例(変形例2-1)としての電流センサ6Aの外観を表す斜視図である。第2の実施の形態の電流センサ6では、磁気検出部7の周囲を周回する環状をなす磁気シールド9を有するようにした。これに対し、変形例2-1の電流センサ6Aでは、図24に示したように磁気シールド9の代わりに磁気シールド9Aを有する。磁気シールド9Aは、環状の一部に切り欠きK9Aを含んでおり、YZ面において一部が開放されたU形状を有している。変形例2-1の電流センサ6Aにおいても

50

、磁気シールド 9 A を有しているのので、磁気シールド 9 A を含まない場合と比較して磁気検出部 7 に対する外乱磁場の影響を低減することができる。

【 0 0 6 8 】

< 3 . 第 3 の実施の形態 >

図 2 5 は、電流センサ 1 などを用意した電気制御装置の構成例を表すブロック図である。上記第 1 の実施の形態およびいくつかの変形例、ならびに第 2 の実施の形態および変形例で説明した電流センサ 1 , 1 A ~ 1 J , 6 , 6 A は、いずれも、例えば図 2 5 に示した電気制御装置 1 1 0 に搭載することができる。

【 0 0 6 9 】

電気制御装置 1 1 0 は、例えば電流センサ 1 1 1 と、電源装置 1 1 2 と、制御回路 1 1 3 とを備える。電流センサ 1 1 1 は、電源装置 1 1 2 から出力され、あるいは電源装置 1 1 2 に入力される電流を測定するようになっている。電流センサ 1 1 1 において測定された電流値に関する情報は、制御回路 1 1 3 に送信されるようになっている。制御回路 1 1 3 は、例えば電流センサ 1 1 1 の動作および電源装置 1 1 2 の動作を制御する装置である。制御回路 1 1 3 は、例えば電流センサ 1 1 1 からの情報に基づいて電源装置 1 1 2 からの出力電流の調整を行う。電流センサ 1 1 1 には、上記実施の形態等で説明した電流センサ 1 , 1 A ~ 1 J , 6 , 6 A を適用することができる。なお、本発明の電気制御装置としては、例えば、ハイブリッド電気自動車 (H E V : Hybrid Electric Vehicle) や電気自動車 (E V : Electric Vehicle) 等のバッテリーマネジメントシステム、インバータ及びコンバータ等が挙げられる。

【 0 0 7 0 】

以上説明した実施形態および変形例は、本発明の理解を容易にするために記載されたものであって、本発明を限定するために記載されたものではない。したがって、上記実施形態等に関連された各要素は、本発明の技術的範囲に属する全ての設計変更や均等物をも含む趣旨である。すなわち、本発明は上記実施の形態等に限定されるものではなく、種々の変形が可能である。

【 符号の説明 】

【 0 0 7 1 】

1 , 6 ... 電流センサ、 2 , 7 ... 磁気検出部、 3 , 8 ... 集磁コア、 3 T 1 , 3 T 2 ... 端面、 3 1 ... 第 1 コア部、 3 2 ... 第 2 コア部、 3 3 ... 第 3 コア部、 3 4 ... 第 4 コア部、 3 5 ... 第 5 コア部、 4 , 9 ... 磁気シールド、 4 1 , 9 1 ... 第 1 シールド部、 4 2 , 9 2 ... 第 2 シールド部、 4 3 , 9 3 ... 第 3 シールド部、 4 4 , 9 4 ... 第 4 シールド部、 5 , 1 0 ... 導体、 B m ... 磁束、 C G ... コアギャップ、 I m ... 電流。

10

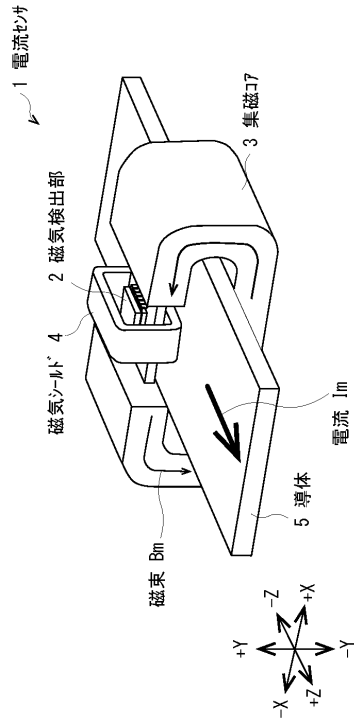
20

30

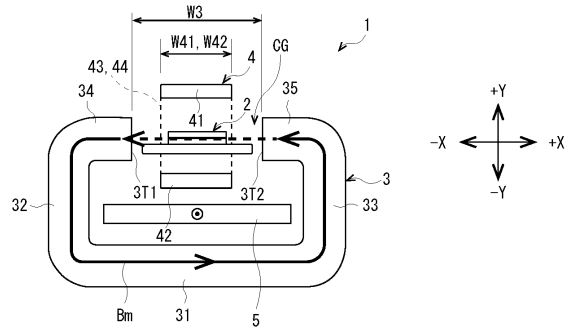
40

50

【図面】
【図 1】



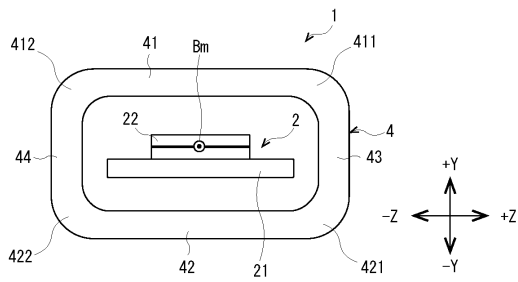
【図 2 A】



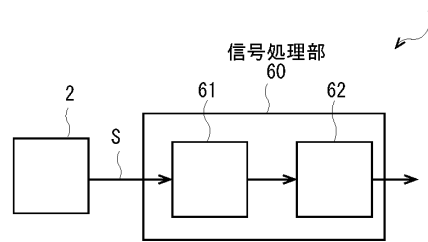
10

20

【図 2 B】



【図 3】

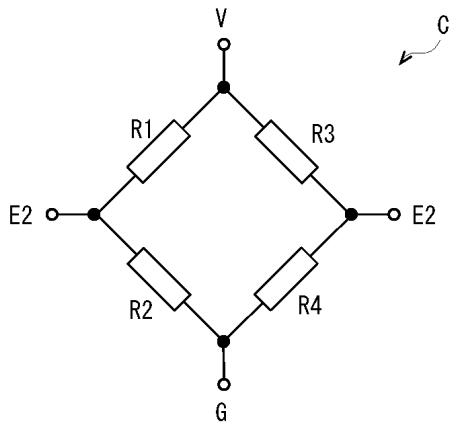


30

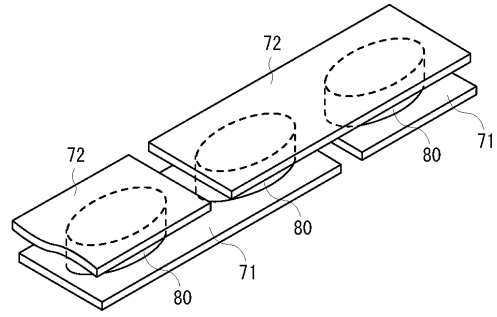
40

50

【 図 4 】

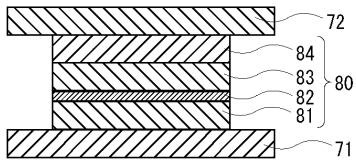


【 図 5 】

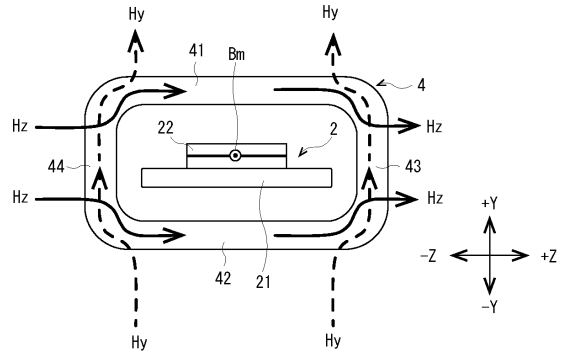


10

【 図 6 】



【 図 7 】



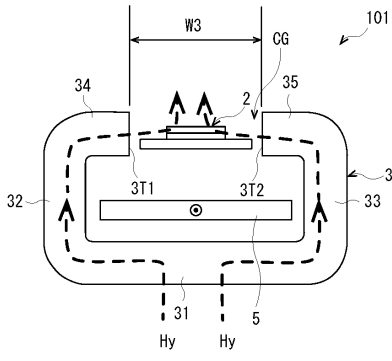
20

30

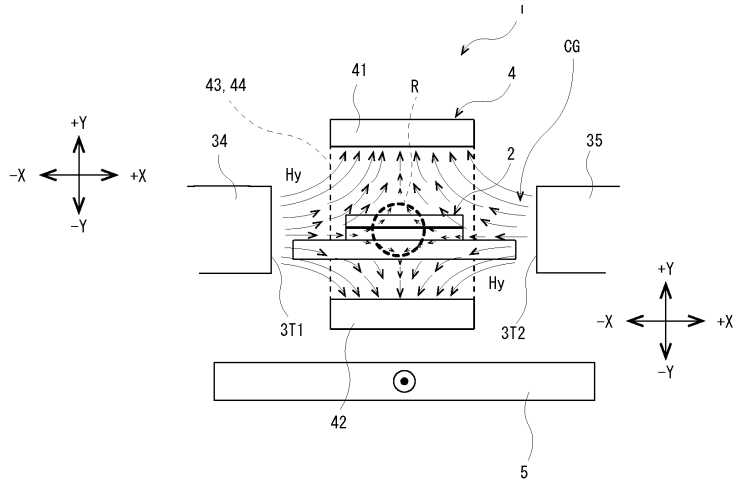
40

50

【 8 】

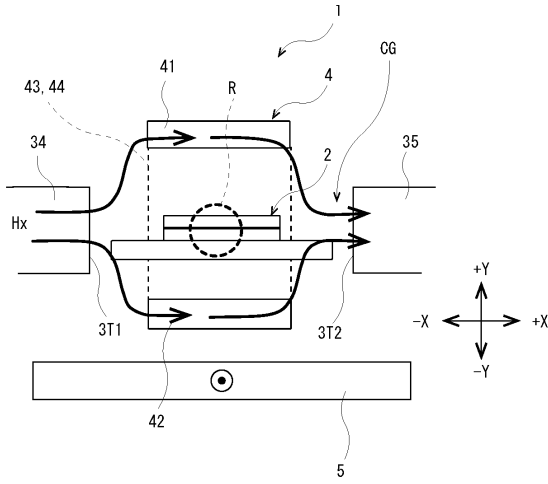


【 9 】

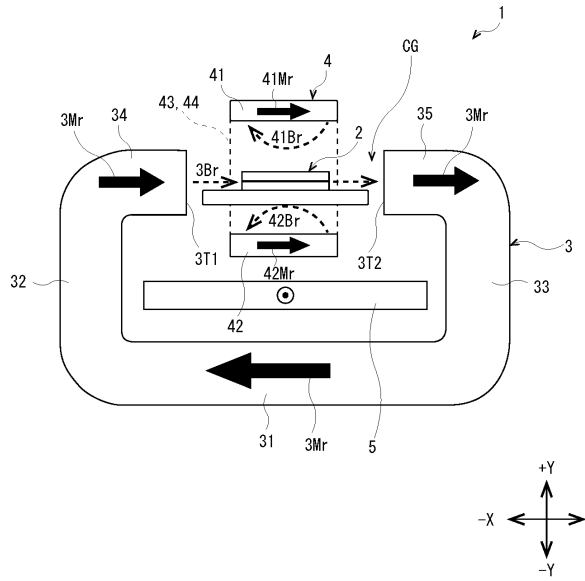


10

【 10 】



【 11 】



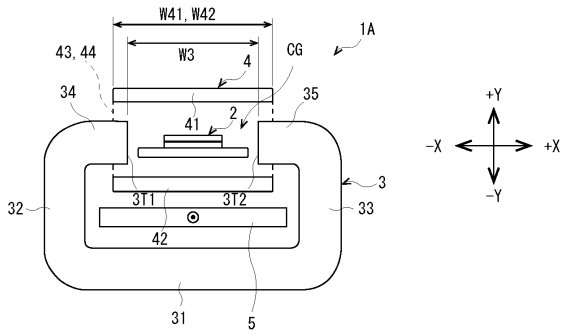
20

30

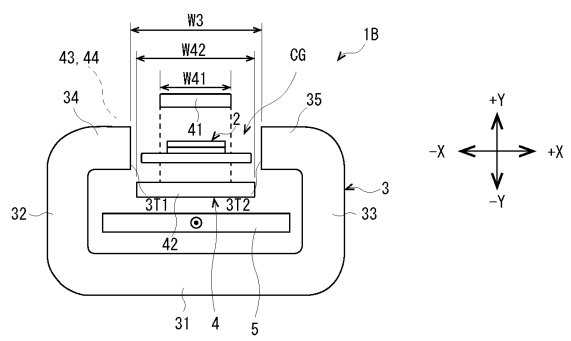
40

50

【図 1 2】

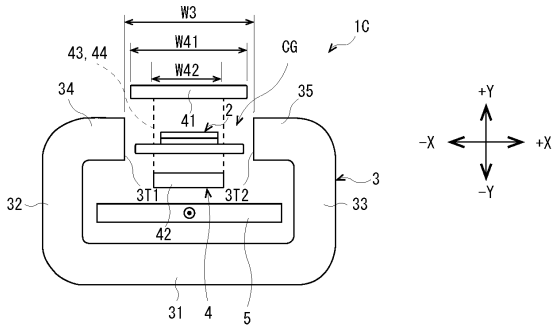


【図 1 3】

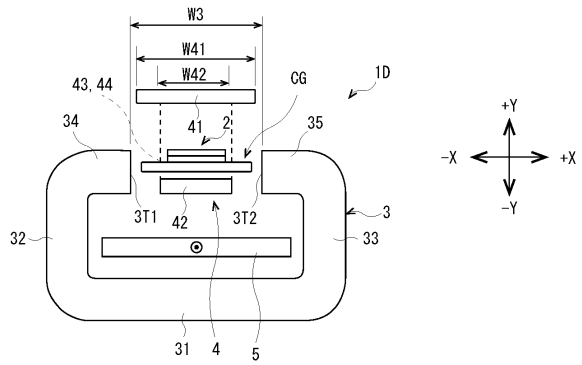


10

【図 1 4】

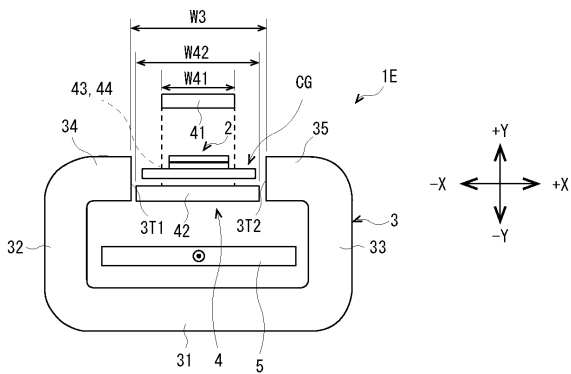


【図 1 5】

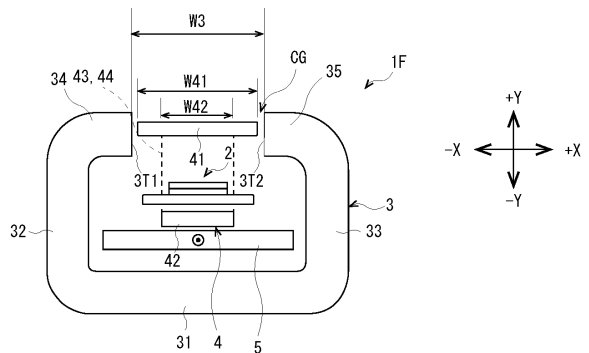


20

【図 1 6】



【図 1 7】

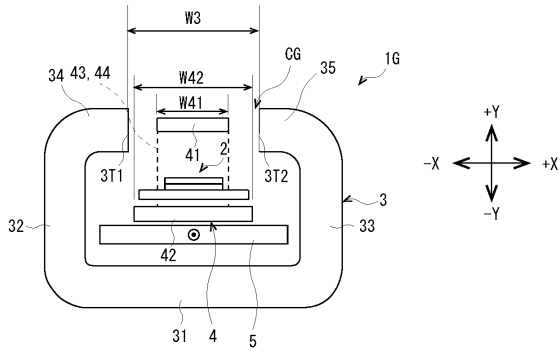


30

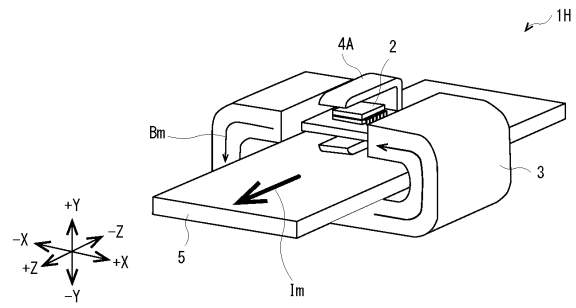
40

50

【図 18】

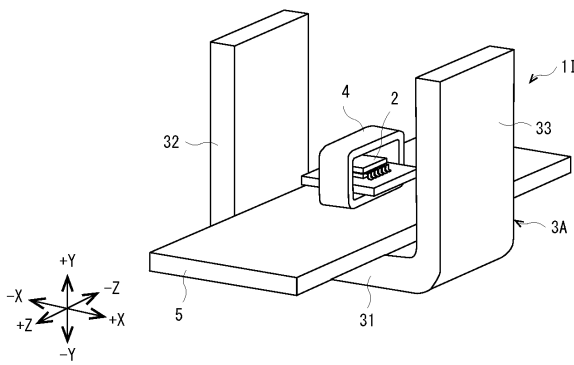


【図 19】

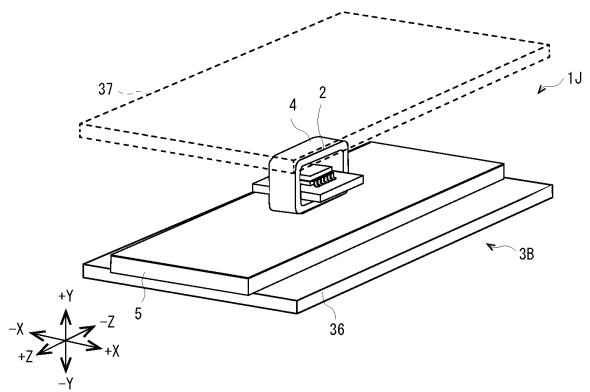


10

【図 20】

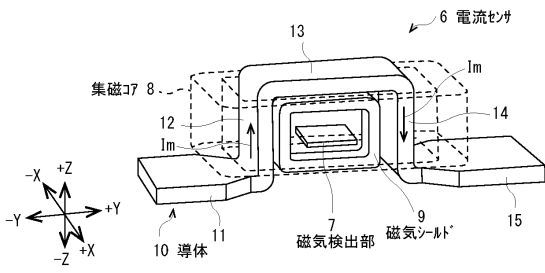


【図 21】

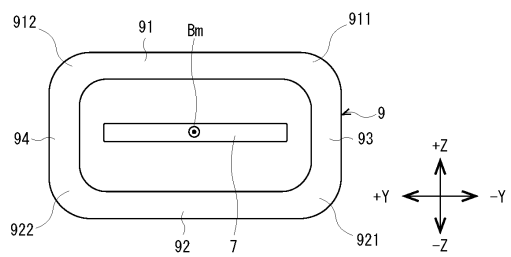


20

【図 22 A】



【図 22 B】

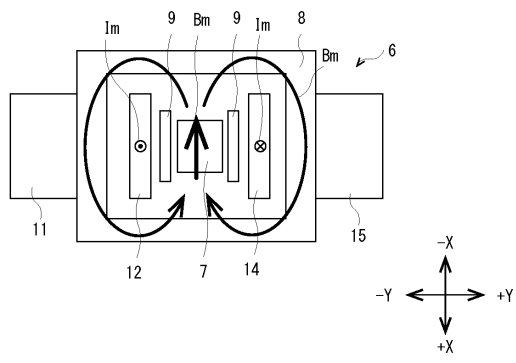


30

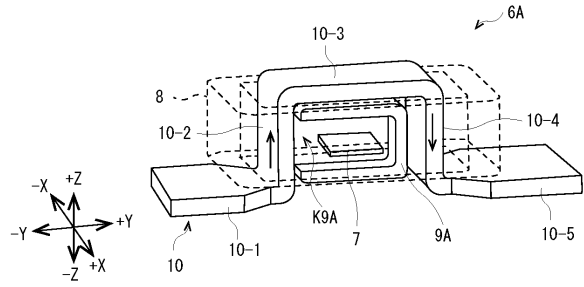
40

50

【図 2 3】

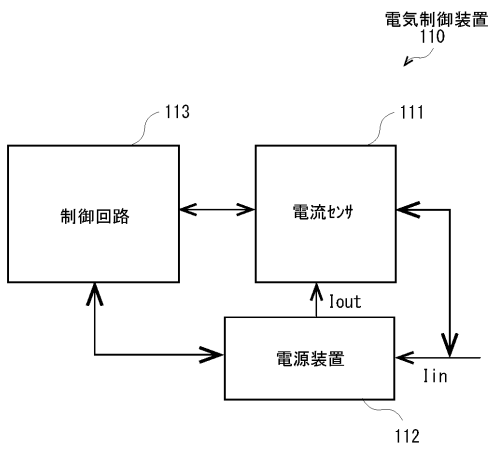


【図 2 4】



10

【図 2 5】



20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 再公表特許第2013/161773(JP, A1)
特開2001-66328(JP, A)
特開2015-210272(JP, A)
特開2005-55405(JP, A)
特開2015-132534(JP, A)
特開2013-72662(JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01R 15/20