

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6540802号
(P6540802)

(45) 発行日 令和1年7月10日(2019.7.10)

(24) 登録日 令和1年6月21日(2019.6.21)

(51) Int.Cl.

F 1

GO 1 R 15/20	(2006.01)	GO 1 R	15/20	C
HO 1 L 43/08	(2006.01)	HO 1 L	43/08	Z
HO 1 L 43/06	(2006.01)	HO 1 L	43/06	Z

請求項の数 8 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2017-524652 (P2017-524652)
 (86) (22) 出願日 平成28年1月27日 (2016.1.27)
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2016/052250
 (87) 国際公開番号 WO2016/203781
 (87) 国際公開日 平成28年12月22日 (2016.12.22)
 審査請求日 平成29年7月5日 (2017.7.5)
 (31) 優先権主張番号 特願2015-120217 (P2015-120217)
 (32) 優先日 平成27年6月15日 (2015.6.15)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000006231
 株式会社村田製作所
 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号
 (74) 代理人 110001195
 特許業務法人深見特許事務所
 (72) 発明者 清水 康弘
 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号
 株式会社村田製作所内
 (72) 発明者 坂口 仁志
 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号
 株式会社村田製作所内

審査官 島▲崎▼ 純一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】電流センサ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

測定対象の電流が流れる1次導体と、
 前記1次導体を流れる前記電流により発生する磁界の強さを検出し、検出軸を有する少なくとも1つの磁気センサと、

前記磁気センサが実装される基板と、
 前記基板上に固定され、前記磁気センサの周りを囲むアーチ状の磁性体部とを備え、
 前記磁性体部が前記基板上に固定されて形成される1対の開口部は、前記検出軸に沿う方向に並んで互いに対向しており、

前記磁性体部は、天井部および該天井部から互いに間隔を置いて突出して前記基板に接する1対の脚部を含み、

前記1対の脚部の各々は、前記検出軸に沿う方向に延在し、かつ、互いの間に前記磁気センサを挟むように配置されており、

前記磁性体部の幅は、前記1次導体の幅より狭く、

前記磁気センサは、前記基板から見て、1次導体側とは反対側に位置し、かつ、前記天井部と前記1次導体との間に挟まれるように配置されている、電流センサ。

【請求項 2】

前記磁気センサとして第1磁気センサおよび第2磁気センサを有し、

前記磁性体部として第1磁性体部および第2磁性体部を有し、

前記第1磁気センサは、前記1次導体の表面側に配置され、前記第1磁性体部に周囲を

10

20

囲まれ、

前記第2磁気センサは、前記1次導体の裏面側に配置され、前記第2磁性体部に周りを囲まれ、

前記電流は、前記1次導体を前記1次導体の長さ方向に流れ、

前記第1磁気センサの検出軸および前記第2磁気センサの検出軸の各々は、前記1次導体の厚さ方向および前記長さ方向の両方に直交する方向である前記1次導体の幅方向に向いている、請求項1に記載の電流センサ。

【請求項3】

前記第1磁気センサの検出値と前記第2磁気センサの検出値とを演算することにより前記電流の値を算出する算出部をさらに備え、

10

前記1次導体を流れる前記電流により発生する磁界の強さについて、前記第1磁気センサの検出値の位相と前記第2磁気センサの検出値の位相とが逆相であり、

前記算出部が減算器または差動増幅器である、請求項2に記載の電流センサ。

【請求項4】

前記第1磁気センサの検出値と前記第2磁気センサの検出値とを演算することにより前記電流の値を算出する算出部をさらに備え、

前記1次導体を流れる前記電流により発生する磁界の強さについて、前記第1磁気センサの検出値の位相と前記第2磁気センサの検出値の位相とが同相であり、

前記算出部が加算器または加算増幅器である、請求項2に記載の電流センサ。

【請求項5】

前記第1磁気センサおよび前記第2磁気センサが、1つの前記基板に実装されており、

前記基板は、前記1次導体の前記長さ方向と直交するように配置され、前記1次導体に貫通されている、請求項2から4のいずれか1項に記載の電流センサ。

20

【請求項6】

前記磁性体部が電気的に接地されている、請求項1から5のいずれか1項に記載の電流センサ。

【請求項7】

前記1次導体および前記基板の周りを囲む、第3磁性体部をさらに備える、請求項1から6のいずれか1項に記載の電流センサ。

【請求項8】

30

前記1次導体と並び、測定対象外の電流が流れる他の1次導体をさらに備え、

前記検出軸に沿う方向にて、前記磁気センサと前記他の1次導体との間に、前記第3磁性体部が位置している、請求項7に記載の電流センサ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電流センサに関し、特に、大電流を計測する電流センサに関する。

【背景技術】

【0002】

磁気シールドを備えた磁性体装置を開示した先行文献として、国際公開第2011/046091号(特許文献1)、および、特開2003-329749号公報(特許文献2)がある。

40

【0003】

特許文献1に記載された磁性体装置は、基板と、基板の第1主面上に搭載された少なくとも1つの磁性体素子と、基板の第1主面側に配置された軟磁性体の磁気シールドとを備える。磁気シールドは、基板から見て凸になるように湾曲する湾曲領域を含む。その湾曲領域は、少なくとも、基板上面から見て磁気シールドと磁性体素子とがオーバーラップする領域を含む。磁気シールドと磁性体素子との間の空間は、磁気的に空洞である。

【0004】

特許文献2に記載された電流センサは、被測定導体と、被測定導体を流れる電流により

50

発生した磁気を検出する磁気検出素子と、被測定導体を挟んで磁気検出素子の反対側に設けられた第1磁性体と、被測定導体および磁気検出素子を挟んで第1磁性体の反対側に設けられた第2磁性体とを備える。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】国際公開第2011/046091号

【特許文献2】特開2003-329749号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0006】

特許文献1に記載された磁性体装置は、湾曲した磁気シールドによって、全方位に対するシールド効果を実現している。電流センサにおいては、磁気センサの検出軸と交差するよう磁気シールドが配置された場合、磁気センサにおける入力磁界と出力電圧との線形性が低下し、電流センサの測定精度が低下する。

【0007】

特許文献2に記載された電流センサにおいては、磁気シールドによって、1次導体と磁気センサとを囲んでいる。磁気センサは、1次導体の発熱の影響の低減、および1次導体との絶縁距離の確保の観点から、1次導体に対して間隔を置いて配置される。そのため、磁気シールドと磁気センサとの間に比較的大きな隙間が存在し、この隙間によって外部磁界に対する磁気シールドの効果が低減し、電流センサの測定精度が低下する。

20

【0008】

本発明は上記の問題点に鑑みてなされたものであって、外部磁界の影響を低減しつつ測定精度の高い電流センサを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明に基づく電流センサは、測定対象の電流が流れる1次導体と、1次導体を流れる上記電流により発生する磁界の強さを検出し、検出軸を有する少なくとも1つの磁気センサと、磁気センサが実装される基板と、基板上に固定され、磁気センサの周りを囲むアーチ状の磁性体部とを備える。磁性体部が基板上に固定されて形成される1対の開口部は、上記検出軸に沿う方向に並んで互いに対向している。

30

【0010】

本発明の一形態においては、電流センサは、磁気センサとして第1磁気センサおよび第2磁気センサを有し、磁性体部として第1磁性体部および第2磁性体部を有する。第1磁気センサは、1次導体の表面側に配置され、第1磁性体部に周りを囲まれている。第2磁気センサは、1次導体の裏面側に配置され、第2磁性体部に周りを囲まれている。上記電流は、1次導体を1次導体の長さ方向に流れる。第1磁気センサの検出軸および第2磁気センサの検出軸の各々は、1次導体の厚さ方向および上記長さ方向の両方に直交する方向である1次導体の幅方向に向いている。

【0011】

40

本発明の一形態においては、電流センサは、第1磁気センサの検出値と第2磁気センサの検出値とを演算することにより上記電流の値を算出する算出部をさらに備える。1次導体を流れる上記電流により発生する磁界の強さについて、第1磁気センサの検出値の位相と第2磁気センサの検出値の位相とが逆相である。算出部は減算器または差動増幅器である。

【0012】

本発明の一形態においては、電流センサは、第1磁気センサの検出値と第2磁気センサの検出値とを演算することにより上記電流の値を算出する算出部をさらに備える。1次導体を流れる上記電流により発生する磁界の強さについて、第1磁気センサの検出値の位相と第2磁気センサの検出値の位相とが同相である。算出部は加算器または加算増幅器であ

50

る。

【0013】

本発明の一形態においては、第1磁気センサおよび第2磁気センサが、1つの基板に実装されている。基板は、1次導体の長さ方向と直交するように配置され、1次導体に貫通されている。

【0014】

本発明の一形態においては、磁性体部は電気的に接地されている。

本発明の一形態においては、電流センサは、1次導体および基板の周りを囲む、第3磁性体部をさらに備える。

【0015】

本発明の一形態においては、電流センサは、1次導体と並び、測定対象外の電流が流れる他の1次導体をさらに備える。上記検出軸に沿う方向にて、磁気センサと他の1次導体との間に、第3磁性体部が位置している。

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、外部磁界の影響を低減しつつ電流センサの測定精度を高めることができる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の実施形態1に係る電流センサの構成を示す分解斜視図である。

20

【図2】本発明の実施形態1に係る電流センサの構成を示す平面図である。

【図3】図2の電流センサを矢印I I I方向から見た側面図である。

【図4】図2の電流センサをI V - I V線矢印方向から見た断面図である。

【図5】本発明の実施形態1に係る電流センサの回路構成を示す回路図である。

【図6】実施例に係る電流センサが備える磁気センサの配置を示す斜視図である。

【図7】図6の磁気センサを矢印V I I方向から見た平面図である。

【図8】比較例1に係る電流センサが備える磁気センサの配置を示す斜視図である。

【図9】図8の磁気センサを矢印I X方向から見た平面図である。

【図10】比較例2に係る電流センサが備える磁気センサの配置を示す斜視図である。

【図11】図10の磁気センサを矢印X I方向から見た平面図である。

30

【図12】実施例および比較例1の各々に係る電流センサにおける磁気センサの出力特性を示すグラフである。

【図13】実施例および比較例2の各々に係る電流センサにおける磁気センサの出力電圧の誤差率の分布を示すグラフである。

【図14】本発明の実施形態2に係る電流センサの構成を示す断面図である。

【図15】本発明の実施形態2に係る電流センサの回路構成を示す回路図である。

【図16】本発明の実施形態3に係る電流センサの構成を示す斜視図である。

【図17】図16の電流センサを矢印X V I I方向から見た正面図である。

【図18】本発明の実施形態3に係る電流センサの回路基板を側面から見た側面図である

。

【図19】本実施形態に係る電流センサを3相3線式の配線に適用した構成を示す正面図である。

【図20】図19の電流センサの第1磁気センサに作用する磁束を模式的に示す正面図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、本発明の各実施形態に係る電流センサについて図を参照して説明する。以下の実施形態の説明においては、図中の同一または相当部分には同一符号を付して、その説明は繰り返さない。

【0019】

50

(実施形態 1)

図1は、本発明の実施形態1に係る電流センサの構成を示す分解斜視図である。図2は、本発明の実施形態1に係る電流センサの構成を示す平面図である。図3は、図2の電流センサを矢印I—I方向から見た側面図である。図4は、図2の電流センサをIV-IV線矢印方向から見た断面図である。図5は、本発明の実施形態1に係る電流センサの回路構成を示す回路図である。図1～4においては、後述する1次導体110の幅方向をX軸方向、1次導体110の長さ方向をY軸方向、1次導体110の厚さ方向をZ軸方向として、図示している。

【0020】

図1～4に示すように、本発明の実施形態1に係る電流センサ100は、測定対象の電流が流れる1次導体110と、1次導体110を流れる測定対象の電流1により発生する磁界の強さを検出し、検出軸を有する磁気センサ120と、磁気センサ120が実装される回路基板130と、回路基板130上に固定され、磁気センサ120の周りを囲むアーチ状の磁性体部140とを備える。磁性体部140が回路基板130上に固定されて形成される1対の開口部140hは、磁気センサ120の検出軸に沿う方向に並んで互いに対向している。測定対象の電流1は、1次導体110の長さ方向(Y軸方向)に流れる。

【0021】

本実施形態においては、1次導体110は、銅で構成されている。ただし、1次導体110の材料はこれに限られず、銀、アルミニウムなどの金属またはこれらの金属を含む合金でもよい。

【0022】

1次導体110は、表面処理が施されていてもよい。たとえば、ニッケル、錫、銀、銅などの金属またはこれらの金属を含む合金からなる、少なくとも1層のめっき層が、1次導体110の表面に設けられていてもよい。

【0023】

本実施形態においては、薄板をプレス加工することにより1次導体110を形成している。ただし、1次導体110の形成方法はこれに限られず、切削または鋳造などの方法によって1次導体110を形成してもよい。

【0024】

磁気センサ120は、検出軸の一方に向いた磁界を検出した場合に正の値で出力し、かつ、検出軸の一方とは反対方向に向いた磁界を検出した場合に負の値で出力する、奇関数入出力特性を有している。磁気センサ120の検出軸の方向(感磁方向)は、1次導体110の幅方向(X軸方向)である。すなわち、磁気センサ120は、1次導体110の表面と裏面とを最短で結ぶ方向(Z軸方向)および測定対象の電流1が流れる方向(Y軸方向)の両方と直交する方向(X軸方向)の磁界を検出可能とされている。

【0025】

図5に示すように、本実施形態に係る電流センサ100において、磁気センサ120は、磁気抵抗素子である4つのAMR(Anisotropic Magneto Resistance)素子からなるホールトストンブリッジ型のブリッジ回路を有する。なお、磁気センサ120が、2つの磁気抵抗素子からなるハーフ・ブリッジ回路を有していてもよい。磁気センサ120は、差動增幅器および受動素子の各々と電気的に接続されている。

【0026】

AMR素子は、バーバーポール型電極を含むことによって、奇関数入出力特性を有している。具体的には、AMR素子は、バーバーポール型電極を含むことにより、AMR素子における磁気抵抗膜の磁化方向に対して所定の角度をなす方向に測定対象の電流が流れるようにバイアスされている。なお、磁気センサ120が、AMR素子に代えて、GMR(Giant Magneto Resistance)若しくはTMR(Tunnel Magneto Resistance)などの磁気抵抗素子またはホール素子を有していてもよい。

【0027】

磁気抵抗素子およびホール素子などの磁気センサ素子は、樹脂パッケージされていても

10

20

30

40

50

よく、または、シリコーン樹脂若しくはエポキシ樹脂などでポッティングされていてもよい。複数の磁気センサ素子がパッケージされている場合、複数の磁気センサ素子が1つにパッケージされていてもよいし、複数の磁気センサ素子の各々が別々にパッケージされていてもよい。また、複数の磁気センサ素子と電子部品とが集積された状態で、1つにパッケージされていてもよい。

【0028】

図1～4に示すように、磁気センサ120は、差動増幅器および受動素子と共に回路基板130に実装されている。なお、図1～4においては、差動増幅器および受動素子は図示していない。差動増幅器および受動素子は、磁気センサ120が実装されている回路基板130とは異なる回路基板に、実装されていてもよい。

10

【0029】

回路基板130は、1次導体110の表面上に載置されている。回路基板130は、プリント配線板であり、ガラスエポキシまたはアルミナなどの基材と、基材の表面上に設けられた銅などの金属箔がパターニングされて形成された配線とから構成されている。

【0030】

磁性体部140は、磁気センサ120において回路基板130と面していない表面のうち、磁気センサ120の検出軸に沿う方向と交差する面以外の部分を覆っている。磁性体部140は、回路基板130と対向する天井部141と、互いに間隔を置いて天井部141から突出し、回路基板130に接する1対の脚部142とを含む。天井部141は、1次導体110の厚さ方向(Z軸方向)にて磁気センサ120と対向する。1対の脚部142の各々は、1次導体110の長さ方向(Y軸方向)にて磁気センサ120と対向する。

20

【0031】

本実施形態においては、天井部141は平板形状を有し、天井部141と脚部142とは略直交している。ただし、天井部141が、外側に凸状の半球形状、または、半円筒形状などの湾曲した形状を有していてもよい。または、磁性体部140が、半円筒形状を有していてもよい。

【0032】

磁性体部140の内面と磁気センサ120の表面との間には、隙間が設けられており、磁性体部140と磁気センサ120とは互いに接触していない。磁性体部140は、接着剤または半田などにより回路基板130上に接着されている。なお、磁性体部140が、磁気センサ素子とともに1つのパッケージ内にて樹脂封止されていてもよい。

30

【0033】

本実施形態に係る電流センサ100においては、磁気センサ120と磁性体部140との間の隙間が狭いため、外部磁界源は、物理的に磁気センサ120と磁性体部140との間に位置することができない。

【0034】

磁性体部140は、珪素鋼、フェライトまたはパーマロイなどの磁性体で構成されている。磁性体部140を構成する材料として、電流センサ100の測定範囲および磁気センサ120の入力ダイナミックレンジに応じて最適な磁性体材料を選択することにより、電流センサ100の出力特性を制御することができる。また、磁性体部140と磁気センサ素子との間の距離、磁性体部140の厚さおよび磁性体部140のX軸方向の幅を適宜調整することにより、電流センサ100の出力特性を最適化することができる。

40

【0035】

磁性体部140によって磁気センサ120を覆うことにより、磁気センサ120に外部磁界の影響が及ぶことを抑制できる。特に、外部磁界のうちの高周波成分は、表皮効果によって磁性体部140の表皮深さの2～3倍程度の深さまでしか侵入することができない。よって、磁性体部140の内側に配置された磁気センサ120に外部磁界のうちの高周波成分が及ぶことを抑制できる。なお、想定される外部磁界の高周波成分の周波数に対応して、磁性体部140の厚さが決定されている。

【0036】

50

また、磁性体部 140 によって磁気センサ 120 を覆うことにより、磁気センサ 120 に作用する Y 軸方向および Z 軸方向の磁界成分を低減することができるため、電流センサ 100 の入力ダイナミックレンジを拡大することができる。

【0037】

磁性体部 140 が回路基板 130 上に固定されて形成される 1 対の開口部 140h が、磁気センサ 120 の検出軸に沿う方向に並んで互いに対向していることにより、測定対象の電流 1 により発生する磁界の磁束は磁性体部 140 を通過せずに磁気センサ 120 に進入する。これにより、磁気センサ 120 における入力磁界と出力電圧との線形性を維持して、電流センサ 100 の測定精度を高くすることができる。

【0038】

上記のように、本実施形態に係る電流センサ 100 は、磁性体部 140 を備えることにより、外部磁界の影響を低減しつつ、磁気センサ 120 における入力磁界と出力電圧との線形性を高く維持して、電流センサ 100 の測定精度を高くすることができる。

【0039】

次に、本発明の実施形態 1 に係る電流センサの作用および効果について検証するために、実施例に係る電流センサが備える磁気センサおよび比較例に係る電流センサが備える磁気センサについて実験した結果について説明する。

【0040】

図 6 は、実施例に係る電流センサが備える磁気センサの配置を示す斜視図である。図 7 は、図 6 の磁気センサを矢印 V I I 方向から見た平面図である。図 8 は、比較例 1 に係る電流センサが備える磁気センサの配置を示す斜視図である。図 9 は、図 8 の磁気センサを矢印 I X 方向から見た平面図である。図 10 は、比較例 2 に係る電流センサが備える磁気センサの配置を示す斜視図である。図 11 は、図 10 の磁気センサを矢印 X I 方向から見た平面図である。

10

20

【0041】

図 6, 7 に示すように、実施例に係る電流センサにおいては、磁性体部 140 が回路基板 130 上に固定されて形成される 1 対の開口部 140h は、磁気センサ 120 の検出軸に沿う方向 2 に並んで互いに対向している。図 8, 9 に示すように、比較例 1 に係る電流センサにおいては、磁性体部 140 が設けられていない。図 10, 11 に示すように、比較例 2 に係る電流センサにおいては、磁性体部 140 が回路基板 130 上に固定されて形成される 1 対の開口部 140h は、磁気センサ 120 の検出軸に直交する方向に並んで互いに対向している。すなわち、比較例 2 に係る電流センサは、実施例に係る電流センサとは、回路基板 130 の面内における磁性体部 140 の取付角度が 90° 異なっている。

30

【0042】

実験条件として、磁性体部 140 の材料を珪素鋼とし、磁性体部 140 の厚さを 0.2 mm とし、磁気センサ 120 の検出軸に沿う方向 2 に ±10 mT の磁界を印加した。

【0043】

ここで、磁気センサの出力電圧の誤差率について定義する。まず、磁気センサに印加された磁界の磁束密度に対する出力電圧の変位を最小二乗法を用いて 1 次関数にて近似することにより、線形性を有する仮想出力電圧の変位を算出する。印加された磁界の磁束密度の範囲における仮想出力電圧の最大値と最小値との間の間隔であるフルスケールに対する、出力電圧と仮想出力電圧との差の比率を、磁気センサの出力電圧の誤差率とする。

40

【0044】

図 12 は、実施例および比較例 1 の各々に係る電流センサにおける磁気センサの出力特性を示すグラフである。図 12 においては、縦軸に磁気センサ 120 の出力電圧 (V)、横軸に入力磁界 (mT) を示している。図 12 に示すように、磁性体部 140 が設けられていない実施例に係る磁気センサ 120 の出力電圧は、磁性体部 140 が設けられていない比較例 1 に係る磁気センサ 120 の出力電圧と比較して低くなっているが、入力磁界との線形性は維持されていた。

【0045】

50

この結果から、磁気センサ 120 に、磁気センサ 120 の検出軸に沿う方向 2 に外部磁界が印加された場合にも、磁気センサ 120 の出力への外部磁界の影響を低減しつつ、磁気センサ 120 の入力磁界と出力電圧との線形性を維持できることが確認できた。

【0046】

図 13 は、実施例および比較例 2 の各々に係る電流センサにおける磁気センサの出力電圧の誤差率の分布を示すグラフである。図 13 においては、縦軸に磁気センサ 120 の出力電圧の誤差率(%FS)、横軸に入力磁界(mT)を示している。

【0047】

図 13 に示すように、実施例に係る磁気センサ 120 の出力電圧の誤差率は、比較例 2 に係る磁気センサの出力電圧の誤差率と比較して小さかった。この結果から、入力磁界が磁性体部 140 を通過せずに磁気センサ 120 に進入するように磁性体部 140 を配置することにより、磁気センサ 120 における入力磁界と出力電圧との線形性を高く維持できることが確認できた。

【0048】

(実施形態 2)

以下、本発明の実施形態 2 に係る電流センサについて説明する。なお、本実施形態に係る電流センサは、2つの磁気センサを備える点が主に実施形態 1 に係る電流センサ 100 とは異なるため、実施形態 1 に係る電流センサ 100 と同様である構成については同一の参照符号を付してその説明を繰り返さない。

【0049】

図 14 は、本発明の実施形態 2 に係る電流センサの構成を示す断面図である。図 15 は、本発明の実施形態 2 に係る電流センサの回路構成を示す回路図である。図 14 においては、図 3 と同一の断面視にて図示している。

【0050】

図 14 に示すように、本発明の実施形態 2 に係る電流センサ 200 においては、第 1 磁気センサ 120a が、1 次導体 110 の表面側に配置され、第 2 磁気センサ 120b が、1 次導体 110 の裏面側に配置されている。具体的には、第 1 磁気センサ 120a を実装した第 1 回路基板 130a が、1 次導体 110 の表面上に載置されている。第 2 磁気センサ 120b を実装した第 2 回路基板 130b が、1 次導体 110 の裏面上に配置されている。すなわち、第 1 磁気センサ 120a と第 2 磁気センサ 120b とは、1 次導体 110 を挟んで互いに反対側に位置している。

【0051】

第 1 磁気センサ 120a は、第 1 回路基板 130a 上に固定されたアーチ状の第 1 磁性体部 140a によって周りを囲まれている。第 1 磁性体部 140a が第 1 回路基板 130a 上に固定されて形成される 1 対の第 1 開口部 140ah は、第 1 磁気センサ 120a の検出軸に沿う方向に並んで互いに対向している。

【0052】

第 2 磁気センサ 120b は、第 2 回路基板 130b 上に固定されたアーチ状の第 2 磁性体部 140b によって周りを囲まれている。第 2 磁性体部 140b が第 2 回路基板 130b 上に固定されて形成される 1 対の第 2 開口部 140bh は、第 2 磁気センサ 120b の検出軸に沿う方向に並んで互いに対向している。

【0053】

第 1 回路基板 130a および第 2 回路基板 130b の各々は、図示しない筐体に固定されている。筐体は、PPS(ポリフェニレンスルファイド)などの高温耐性を有するエンジニアリングプラスティックなどで形成されていることが好ましい。第 1 回路基板 160a および第 2 回路基板 160b の各々と筐体とを固定する方法としては、螺子による締結、樹脂による熱溶着、または、接着剤による接合などを用いることができる。螺子を用いて第 1 回路基板 160a および第 2 回路基板 160b の各々と筐体とを締結する場合には、磁界の乱れが生じないように、非磁性の螺子を用いることが好ましい。筐体は、1 次導体 110 と一体に構成されていてもよいし、1 次導体 110 に対して付け外し可能に構成さ

10

20

30

40

50

れでいてもよい。

【0054】

第1磁気センサ120aは、差動増幅器および受動素子とともに第1回路基板130aに実装されている。第2磁気センサ120bは、差動増幅器および受動素子とともに第2回路基板130bに実装されている。なお、図14においては、差動増幅器および受動素子は図示していない。

【0055】

第1磁気センサ120aおよび第2磁気センサ120bの各々の検出軸の方向(感磁方向)は、1次導体110の幅方向(X軸方向)である。すなわち、第1磁気センサ120aおよび第2磁気センサ120bの各々は、1次導体110の表面と裏面とを最短で結ぶ方向(Z軸方向)および測定対象の電流が流れる方向(Y軸方向)の両方と直交する方向(X軸方向)の磁界を検出可能とされている。

【0056】

第1磁気センサ120aおよび第2磁気センサ120bは、検出軸の一方向に向いた磁界を検出した場合に正の値で出力し、かつ、検出軸の一方向とは反対方向に向いた磁界を検出した場合に負の値で出力する、入出力特性を有している。具体的には、第1磁気センサ120aおよび第2磁気センサ120bの各々の磁気抵抗素子は、バーバーポール型電極を含むことにより、磁気抵抗素子における磁気抵抗膜の磁化方向に対して所定の角度に測定対象の電流が流れるようにバイアスされている。第1磁気センサ120aの磁気抵抗素子における磁気抵抗膜の磁化方向と、第2磁気センサ120bの磁気抵抗素子における磁気抵抗膜の磁化方向とは、同一方向である。これにより、外部磁界の影響による電流センサ200の出力精度の低下を小さくすることができる。

【0057】

図15に示すように、第1磁気センサ120aおよび第2磁気センサ120bの各々は、4つの磁気抵抗効果素子からなるブリッジ回路を有している。電流センサ200は、第1磁気センサ120aの検出値と第2磁気センサ120bの検出値とを演算することにより1次導体110を流れる測定対象の電流の値を算出する算出部290をさらに備える。算出部290は、差動増幅器である。ただし、算出部290が減算器であってもよい。

【0058】

1次導体110を流れる測定対象の電流により発生する磁界によって、第1磁気センサ120aに作用する磁束の向きと、第2磁気センサ120bに作用する磁束の向きとは反対であるため、1次導体110を流れる測定対象の電流により発生する磁界の強さについて、第1磁気センサ120aの検出値の位相と、第2磁気センサ120bの検出値の位相とは、逆相である。

【0059】

よって、第1磁気センサ120aの検出した磁界の強さを正の値とすると、第2磁気センサ120bの検出した磁界の強さは負の値となる。第1磁気センサ120aの検出値と第2磁気センサ120bの検出値とは、算出部290にて演算される。算出部290は、第1磁気センサ120aの検出値から第2磁気センサ120bの検出値を減算する。この結果から、1次導体110を流れた測定対象の電流の値が算出される。

【0060】

本実施形態に係る電流センサ200においては、第1磁気センサ120aと第2磁気センサ120bとの間に、第1回路基板130a、第2回路基板130bおよび1次導体110が位置しているため、外部磁界源は、物理的に第1磁気センサ120aと第2磁気センサ120bとの間に位置することができない。

【0061】

そのため、外部磁界源から第1磁気センサ120aに印加される磁界のうちの検出軸の方向における磁界成分の向きと、外部磁界源から第2磁気センサ120bに印加される磁界のうちの検出軸の方向における磁界成分の向きとは、同じ向きとなる。よって、第1磁気センサ120aの検出した外部磁界の強さを正の値とすると、第2磁気センサ120b

10

20

30

40

50

の検出した外部磁界の強さも正の値となる。

【0062】

その結果、算出部290が第1磁気センサ120aの検出値から第2磁気センサ120bの検出値を減算することにより、外部磁界源からの磁界は、ほとんど検出されなくなる。すなわち、外部磁界の影響が低減される。

【0063】

本実施形態の変形例として、第1磁気センサ120aおよび第2磁気センサ120bにおいて、検出値が正となる検出軸の方向を互いに反対方向(180°反対)にしてもよい。この場合、第1磁気センサ120aの検出する外部磁界の強さを正の値とすると、第2磁気センサ120bの検出する外部磁界の強さは負の値となる。

10

【0064】

一方、1次導体110を流れる測定対象の電流により発生する磁界の強さについて、第1磁気センサ120aの検出値の位相と、第2磁気センサ120bの検出値の位相とは同相となる。

【0065】

本変形例においては、算出部290として差動増幅器に代えて加算器または加算増幅器を用いる。外部磁界の強さについては、第1磁気センサ120aの検出値と第2磁気センサ120bの検出値とを加算器または加算増幅器によって加算することにより、第1磁気センサ120aの検出値の絶対値と、第2磁気センサ120bの検出値の絶対値とが減算される。これにより、外部磁界源からの磁界は、ほとんど検出されなくなる。すなわち、外部磁界の影響が低減される。

20

【0066】

一方、1次導体110を流れる測定対象の電流により発生する磁界の強さについては、第1磁気センサ120aの検出値と第2磁気センサ120bの検出値とを加算器または加算増幅器によって加算することにより、1次導体110を流れた測定対象の電流の値が算出される。

【0067】

このように、第1磁気センサ120aと第2磁気センサ120bとの入出力特性を互いに逆の極性にしつつ、差動増幅器に代えて加算器または加算増幅器を算出部として用いてよい。

30

【0068】

本実施形態に係る電流センサ200は、第1磁性体部140aおよび第2磁性体部140bを備えることにより、外部磁界の影響を低減しつつ、第1磁気センサ120aおよび第2磁気センサ120bの各々における入力磁界と出力電圧との線形性を高く維持して、電流センサ200の測定精度を高くすることができる。

【0069】

(実施形態3)

以下、本発明の実施形態3に係る電流センサについて説明する。なお、本実施形態に係る電流センサ300は、1次導体および回路基板の周りを囲む第3磁性体部をさらに備える点、および、1つの回路基板に2つの磁気センサが実装されている点が主に実施形態2に係る電流センサ200とは異なるため、実施形態2に係る電流センサ200と同様である構成については同一の参照符号を付してその説明を繰り返さない。

40

【0070】

図16は、本発明の実施形態3に係る電流センサの構成を示す斜視図である。図17は、図16の電流センサを矢印XVII方向から見た正面図である。図18は、本発明の実施形態3に係る電流センサの回路基板を側面から見た側面図である。

【0071】

図16～18に示すように、本発明の実施形態3に係る電流センサ300は、第1磁気センサ120aおよび第2磁気センサ120bが、1つの回路基板330に実装されている。回路基板330の中央に、1次導体110が挿入される矩形状の貫通孔が設けられて

50

いる。回路基板 330 は、1 次導体 110 の長さ方向(Y 軸方向)と直交するように配置され、1 次導体 110 に貫通されている。

【0072】

第 1 磁気センサ 120a は、差動増幅器である第 1 オペアンプ 380a および第 1 受動素子 390a とともに回路基板 330 に実装されている。第 2 磁気センサ 120b は、差動増幅器である第 2 オペアンプ 380b および第 2 受動素子 390b とともに回路基板 330 に実装されている。

【0073】

電流センサ 300 は、1 次導体 110 および回路基板 330 の周りを囲む、第 3 磁性体部 350 をさらに備える。第 3 磁性体部 350 は、筒状の形状を有している。第 3 磁性体部 350 は、回路基板 330 と間隔を置いて、回路基板 330 の周りを囲んでいる。第 3 磁性体部 350 と回路基板 330 との間に、図示しない絶縁体からなるスペーサが挟まれている。第 3 磁性体部 350 は、第 1 磁気センサ 120a の表面のうち、1 次導体 110 の長さ方向(Y 軸方向)と交差する面以外の部分を覆っている。第 3 磁性体部 350 は、第 2 磁気センサ 120b の表面のうち、1 次導体 110 の長さ方向(Y 軸方向)と交差する面以外の部分を覆っている。

【0074】

第 3 磁性体部 350 は、電気的に接地されていてもよい。この場合、第 3 磁性体部 350 は、電磁シールドとして機能する。

【0075】

本実施形態においては、図 18 に示すように、回路基板 330 の裏面上に、第 1 磁性体部 140a と同様の形状および材料で形成された第 4 磁性体部 340a、および、第 2 磁性体部 140b と同様の形状および材料で形成された第 5 磁性体部 340b が設けられている。第 4 磁性体部 340a および第 5 磁性体部 340b の各々は、接着剤または半田などにより回路基板 330 に接着されている。

【0076】

第 4 磁性体部 340a は、回路基板 330 に関して第 1 磁性体部 140a と略面対称に配置されている。第 5 磁性体部 340b は、回路基板 330 に関して第 2 磁性体部 140b と略面対称に配置されている。

【0077】

第 1 磁気センサ 120a は、第 4 磁性体部 340a によって、回路基板 330 と面している表面を覆われている。第 2 磁気センサ 120b は、第 5 磁性体部 340b によって、回路基板 330 と面している表面を覆われている。なお、第 4 磁性体部 340a および第 5 磁性体部 340b の各々の形状は、上記に限られず、たとえば、平板状であってもよい。また、第 4 磁性体部 340a および第 5 磁性体部 340b は、必ずしも設けられていないてもよい。

【0078】

1 次導体 110 と回路基板 330 との間には、第 1 筐体 360 が配置されている。第 1 筐体 360 は、筒状の形状を有している。第 1 筐体 360 は回路基板 330 の貫通孔に挿入され、第 1 筐体 360 の内側に 1 次導体 110 が挿入されている。第 1 筐体 360 は、PPS などの高温耐性を有するエンジニアリングプラスティックなどで形成されていることが好ましい。

【0079】

回路基板 330 と第 1 筐体 360 とを固定する方法としては、螺子による締結、樹脂による熱溶着、または、接着剤による接合などを用いることができる。螺子を用いて回路基板 330 と第 1 筐体 360 とを締結する場合には、磁界の乱れが生じないように、非磁性の螺子を用いることが好ましい。第 1 筐体 360 は、1 次導体 110 と一緒に構成されていてもよいし、1 次導体 110 に対して付け外し可能に構成されていてもよい。

【0080】

第 3 磁性体部 350 の外側に第 2 筐体 370 が配置されている。第 2 筐体 370 は、筒

10

20

30

40

50

状の形状を有している。第2筐体370の内側に第3磁性体部350が配置されている。第2筐体370は、たとえば、A B S (Acrylonitrile Butadiene Styrene)樹脂などの樹脂で構成されている。第2筐体370と第3磁性体部350とが、インサート成形されて形成されていてもよい。

【0081】

第1磁気センサ120aと第2磁気センサ120bとは、1次導体110を挟んで互いに反対側に位置している。第1磁気センサ120aおよび第2磁気センサ120bの各々の検出軸の方向(感磁方向)は、1次導体110の幅方向(X軸方向)である。

【0082】

第3磁性体部350によって第1磁気センサ120aおよび第2磁気センサ120bを覆うことにより、第1磁気センサ120aおよび第2磁気センサ120bの各々に外部磁界の影響が及ぶことを抑制できる。 10

【0083】

1次導体110を流れる測定対象の電流により発生する磁界は、第3磁性体部350の内側を周回して第1磁気センサ120aおよび第2磁気センサ120bの各々に作用する。そのため、第1磁気センサ120aおよび第2磁気センサ120bの各々における入力磁界と出力電圧との線形性を維持することができる。

【0084】

本実施形態に係る電流センサ300は、第1磁性体部140a、第2磁性体部140b、第3磁性体部350、第4磁性体部340aおよび第5磁性体部340bを備えることにより、外部磁界の影響を低減しつつ、第1磁気センサ120aおよび第2磁気センサ120bの各々における入力磁界と出力電圧との線形性を高く維持して、電流センサ300の測定精度を高くすることができる。 20

【0085】

なお、1つの回路基板330に第1磁気センサ120aおよび第2磁気センサ120bが実装されている構成に限らず、本発明の実施形態2に係る電流センサ200に第3磁性体部350を追加した構成としてもよい。

【0086】

次に、本実施形態に係る電流センサ300を、たとえば、インバータなどの3相3線式の配線に適用した場合について説明する。図19は、本実施形態に係る電流センサを3相3線式の配線に適用した構成を示す正面図である。 30

【0087】

図19に示すように、本実施形態に係る電流センサ300を3相3線式の配線に適用した場合、電流センサ300は、1次導体110と並び、測定対象外の電流が流れる2本の他の1次導体410, 411をさらに備える。第3磁性体部350は、第1磁気センサ120aおよび第2磁気センサ120bの各々の検出軸に沿う方向にて、第1磁気センサ120aおよび第2磁気センサ120bの各々と他の1次導体410, 411との間に位置している。なお、他の1次導体410, 411の配置は、図19に示すように1次導体110に対して平行に並んでいる場合に限られない。

【0088】

図20は、図19の電流センサの第1磁気センサに作用する磁束を模式的に示す正面図である。図20においては、他の1次導体410に流れた測定対象外の電流により発生した磁界の磁束と、1次導体110に流れた測定対象の電流により発生した磁界の磁束110eとを示している。 40

【0089】

図19, 20に示すように、他の1次導体410に流れた測定対象外の電流により発生した磁界の磁束410eは、第3磁性体部350を通過した後、第1磁気センサ120aの検出軸に沿う方向2に対して斜め方向に進入する。

【0090】

磁束410eは、第1磁気センサ120aより透磁率の高い第1磁性体部140aの内

50

部に主に進入して磁束 411e となり、第1磁性体部 140a を通過した後、第1磁性体部 140a から進出して磁束 412e となる。磁束 412e は、磁束 410e と同じ方向に進出する。

【0091】

このように、電流センサ 300 を 3 相 3 線式の配線に適用した場合においては、第1磁性体部 140a によって、第1磁気センサ 120a に測定対象外の電流により発生した磁界の影響が及ぶことを抑制できる。第2磁気センサ 120b においても、測定対象外の電流により発生した磁界の影響が及ぶことを第2磁性体部 140b によって抑制できる。その結果、電流センサ 300 の測定精度を高くすることができる。

【0092】

さらに、第3磁性体部 350 が電気的に接地されている場合、第3磁性体部 350 が電磁シールドとして機能するため、第1磁気センサ 120a および第2磁気センサ 120b の各々に測定対象外の電流により発生した磁界が及ぶことをより効果的に抑制できる。

【0093】

上述した実施形態の説明において、組み合わせ可能な構成を相互に組み合わせてもよい。

【0094】

今回開示された実施形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【符号の説明】

【0095】

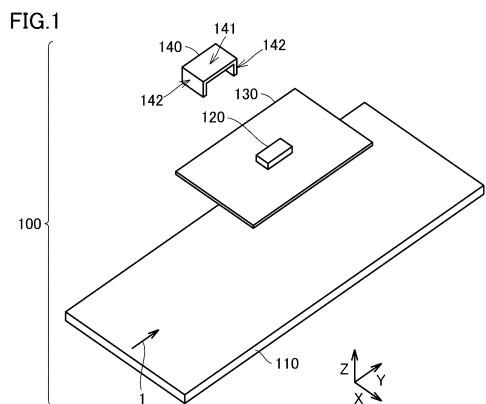
1 測定対象の電流、100, 200, 300 電流センサ、110, 410, 411
1 次導体、120 磁気センサ、120a 第1磁気センサ、120b 第2磁気センサ、130, 330 回路基板、130a, 160a 第1回路基板、130b, 160b 第2回路基板、140 磁性体部、140a 第1磁性体部、140ah 第1開口部、140b 第2磁性体部、140bh 第2開口部、140h 開口部、141 天井部、142 脚部、290 算出部、340a 第4磁性体部、340b 第5磁性体部、350 第3磁性体部、360 第1筐体、370 第2筐体、380a 第1オペアンプ、380b 第2オペアンプ、390a 第1受動素子、390b 第2受動素子、410e, 411e, 412e 磁束。

10

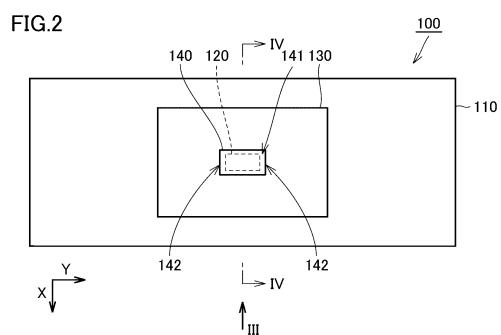
20

30

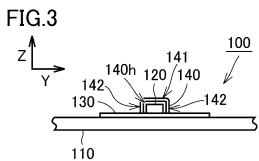
【図1】



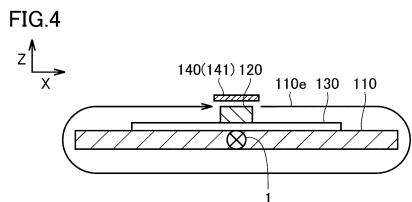
【図2】



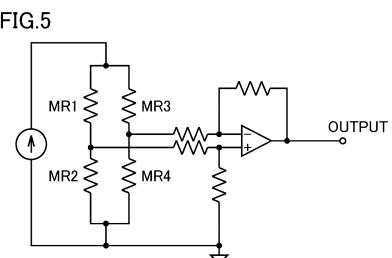
【図3】



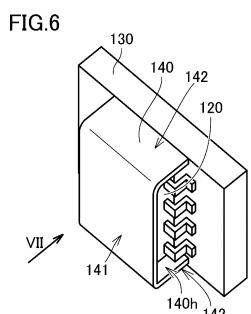
【図4】



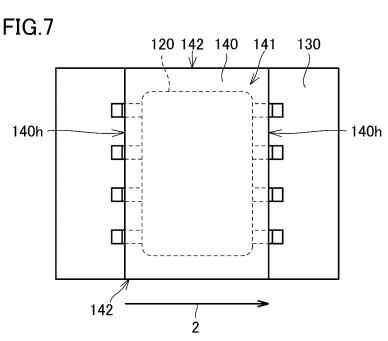
【図5】



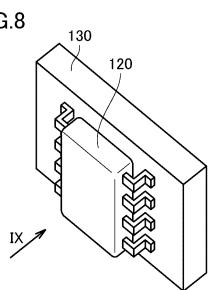
【図6】



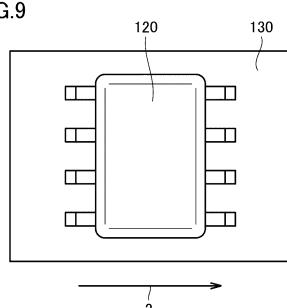
【図7】



【図8】

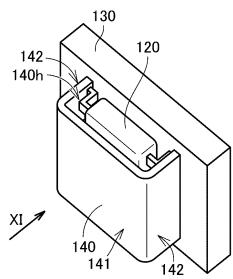


【図9】



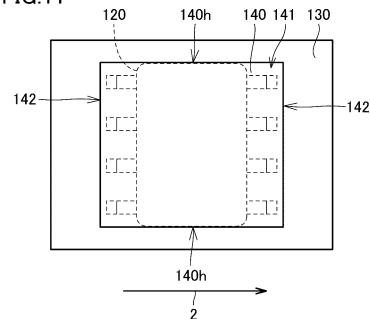
【図10】

FIG.10



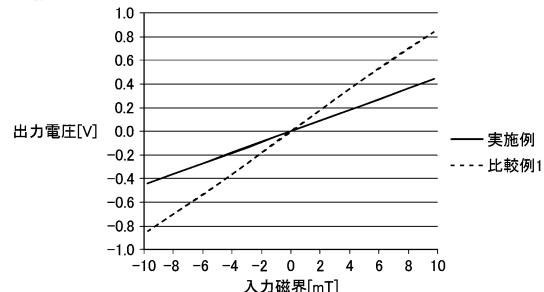
【図11】

FIG.11



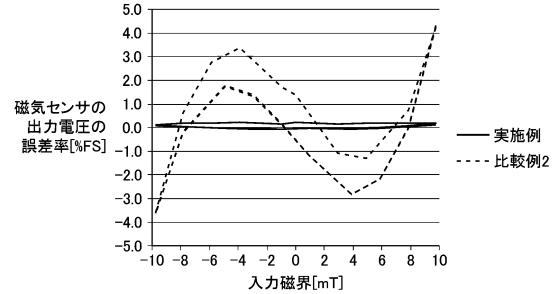
【図12】

FIG.12



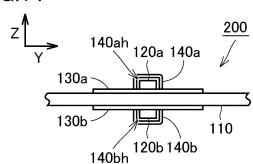
【図13】

FIG.13



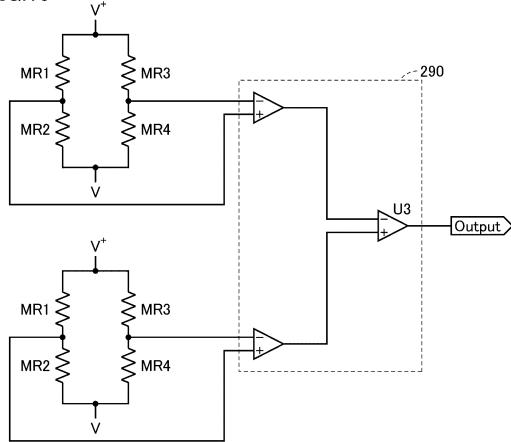
【図14】

FIG.14



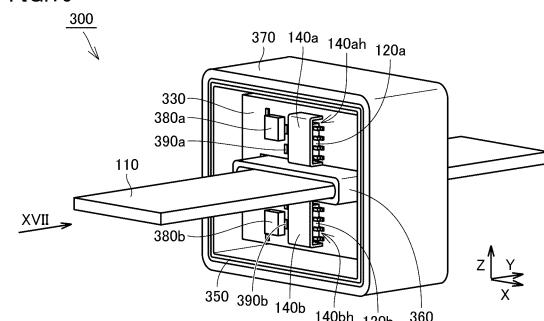
【図15】

FIG.15



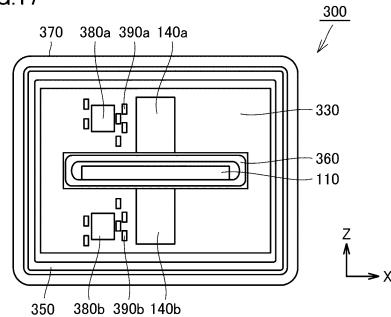
【図16】

FIG.16

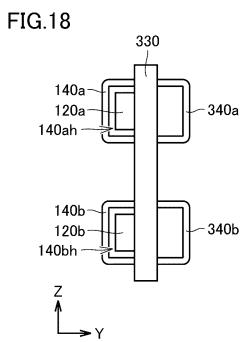


【図17】

FIG.17



【図18】



【図19】

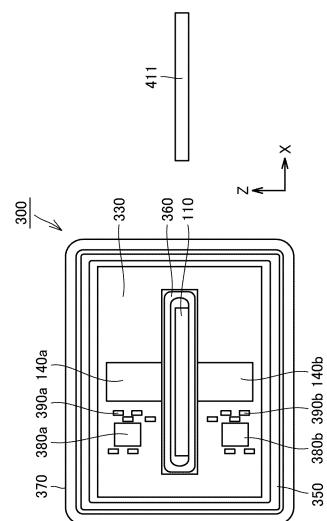
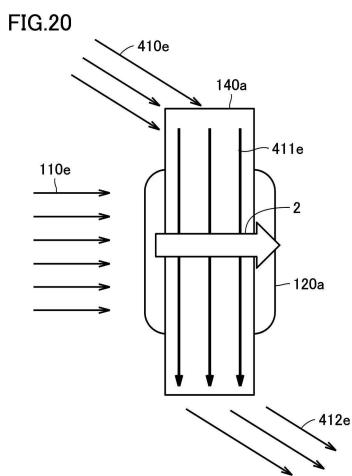


FIG.19

【図20】



フロントページの続き

(56)参考文献 実開昭64-055459(JP, U)
特開2015-049184(JP, A)
国際公開第2012/117841(WO, A1)
特開平10-142263(JP, A)
国際公開第2006/090769(WO, A1)
国際公開第2012/120939(WO, A1)
特開2005-049185(JP, A)
特開2012-247420(JP, A)
特開2010-002277(JP, A)
特開2015-090316(JP, A)
特開2010-117165(JP, A)
特開昭58-127170(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01R 15/20
H01L 43/06
H01L 43/08