

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B1)

(11)特許番号

特許第7215702号
(P7215702)

(45)発行日 令和5年1月31日(2023.1.31)

(24)登録日 令和5年1月23日(2023.1.23)

(51)Int. Cl. F I
 G 0 1 R 33/02 (2006.01) G 0 1 R 33/02 L
 G 0 1 R 33/02 B

請求項の数 5 (全 21 頁)

<p>(21)出願番号 特願2022-96911(P2022-96911) (22)出願日 令和4年6月15日(2022.6.15) 審査請求日 令和4年6月17日(2022.6.17)</p> <p>早期審査対象出願</p>	<p>(73)特許権者 713000630 マグネデザイン株式会社 愛知県名古屋市昭和区福江二丁目9番33号</p> <p>(72)発明者 本蔵 義信 愛知県知多郡東浦町大字緒川字東仙台33番地の10</p> <p>(72)発明者 本蔵 晋平 愛知県知多郡東浦町大字緒川字東仙台33番地の10</p> <p>審査官 田口 孝明</p>
---	---

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 磁界ベクトルセンサ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

G S R センサと素子台座と演算処理装置とを備える磁界ベクトルセンサにおいて、
 前記 G S R センサは、G S R 素子と電子回路とからなり、
 前記 G S R 素子は、基板上に導電性を有する磁界検出用磁性ワイヤ（以下、磁性ワイヤという。）と、前記磁性ワイヤに巻回した周回コイルで形成される検出用コイルと、磁性ワイヤ通電用のワイヤ電極 2 個およびコイル電圧検出用のコイル電極 2 個からなる 4 個の電極とを備え、かつ、検出磁界方向と素子長手方向とは前記磁性ワイヤ方向で一致しており、
 前記電子回路は、パルス発信器と信号処理回路とからなり、
 前記パルス発信器は、前記磁性ワイヤに 0 . 5 ~ 4 G H z の周波数のパルス電流を流し、
 前記信号処理回路は、前記磁性ワイヤに前記パルス電流を流した時に生じる前記検出用コイルに発生するコイル電圧を検知し、その電圧を外部磁界 H に比例した出力信号に変換し、
 前記素子台座は、少なくとも 4 面の傾斜面を 4 回対称に有する台座であって、
 前記傾斜面のうち 4 面は傾斜角度 が 2 0 ~ 4 5 度よりなり、
 4 個の前記 G S R 素子が前記 4 面の傾斜面に前記 G S R 素子の前記磁性ワイヤの方向を傾斜方向に向け、かつ 4 回対称で鏡像対称に貼り付けられており、
 前記 4 個の G S R 素子は 4 個の前記電子回路に接続され、前記信号処理回路は前記パルス電流を流した時に生じる前記コイル電圧を検知し、前記コイル電圧を磁気測定値 H x 1、

H x 2、H y 1、H y 2 に変換して前記演算処理装置に入力し、
 前記演算処理装置は、前記磁気測定値 H x 1、H x 2、H y 1、H y 2 を用いて、

$$H x = (1 / 2 \cos) (H x 1 - H x 2)、$$

$$H y = (1 / 2 \cos) (H y 1 - H y 2)、$$

$$H z = (1 / 4 \sin) (H x 1 + H x 2 + H y 1 + H y 2)、$$
 を算出し、

上記式で算出された磁界 H x、H y、H z でもって各軸のピンポイントの測定位置における磁界ベクトル (H x、H y、H z) を、各軸の磁界 H x、H y、H z を同じ感度、同じ精度で測定することを特徴とする磁界ベクトルセンサ。

【請求項 2】

o n - A S I C タイプの G S R センサと素子台座と演算処理装置とを備える磁界ベクトルセンサにおいて、

前記 o n - A S I C タイプの G S R センサは、G S R 素子と特定用途集積回路 (以下、A S I C という。) を備え、かつ前記 G S R 素子と前記 A S I C とは、前記 G S R 素子は前記 A S I C の表面上に設置されるとともに両者はスルーホールを介して連結されており、前記 G S R 素子は、基板上に導電性を有する磁界検出用磁性ワイヤ (以下、磁性ワイヤという。) と、前記磁性ワイヤに巻回した周回コイルで形成される検出用コイルと、磁性ワイヤ通電用のワイヤ電極 2 個およびコイル電圧検出用のコイル電極 2 個からなる 4 個の電極とを備え、かつ、検出磁界方向と素子長手方向とは前記磁性ワイヤ方向で一致しており、

前記 A S I C は、パルス発信器と信号処理回路とを備え、

前記パルス発信器は、前記磁性ワイヤに 0 . 5 ~ 4 G H z の周波数のパルス電流を流し、
 前記信号処理回路は、前記 G S R 素子に前記パルス電流を流した時に生じる前記検出用コイルに発生するコイル電圧を検知し、その電圧を外部磁界 H に比例した出力信号に変換し、

前記素子台座は、少なくとも 4 面の傾斜面を 4 回対称に有する台座であって、

前記傾斜面のうち 4 面は傾斜角度 が 2 0 ~ 4 5 度よりなり、

4 個の前記 o n - A S I C タイプの G S R センサが前記 4 面の傾斜面に前記 G S R 素子の磁性ワイヤの方向を傾斜方向に向け、かつ 4 回対称で鏡像対称に貼り付けられており、

前記 4 個の o n - A S I C タイプの G S R センサは、前記磁性ワイヤに前記パルス電流を流した時に生じる前記コイル電圧を検知し、前記コイル電圧を磁気測定値 H x 1、H x 2、H y 1、H y 2 に変換して、前記演算処理装置に入力し、

前記演算処理装置は、前記磁気測定値 H x 1、H x 2、H y 1、H y 2 を用いて、

$$H x = (1 / 2 \cos) (H x 1 - H x 2)、$$

$$H y = (1 / 2 \cos) (H y 1 - H y 2)、$$

$$H z = (1 / 4 \sin) (H x 1 + H x 2 + H y 1 + H y 2)、$$

を算出し、

上記式で算出された磁界 H x、H y、H z でもって各軸のピンポイントの測定位置における磁界ベクトル (H x、H y、H z) を、各軸の磁界 H x、H y、H z を同じ感度、同じ精度で測定することを特徴とする磁界ベクトルセンサ。

【請求項 3】

前記台座は、四角錐台の形状からなる、請求項 1 または請求項 2 に記載の磁界ベクトルセンサ。

【請求項 4】

前記台座は、八角錐台の形状からなる、請求項 1 または請求項 2 に記載の磁界ベクトルセンサ。

【請求項 5】

前記台座は、上下面が正四角形状の上面と八角形状の下面よりなり、側面が交互に長方形の傾斜面と三角形の傾斜面よりなる変則八面錐台の形状からなる、請求項 1 または請求項 2 に記載の磁界ベクトルセンサ。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、医療、環境、ロボット分野など先端産業分野で求められている10nT以下の微小磁界の計測を可能とする超小型の磁界ベクトルセンサに関するものである。

ここで、磁界ベクトルセンサとは、ピンポイントの測定位置における磁界(H_x、H_y、H_z)は各軸のH_x、H_y、H_zと同じ感度、同じ精度で測定することを可能とするセンサである。

【背景技術】

【0002】

医療、環境、ロボット分野など先端産業分野において、生体磁気計測、生体内ナビゲーションシステム、ロボットの姿勢制御装置、地磁気異常など、微小磁界の計測あるいは微小空間における微小磁界の磁界分布の計測の必要が高まっている。磁界は3次元磁界ベクトルが広い空間に分布したものである。したがって磁界の測定は3次元磁界ベクトル測定装置で測定される。

20

【0003】

3次元磁界ベクトル測定装置は、磁気センサ素子を3個以上組み合わせて、所定の位置の磁界ベクトルを測定する装置である。MIセンサを使ったタイプとしては、愛知製鋼(株)の3次元磁気方位センサ(特許文献1)があるが、これは3個のMI素子を組み立てたもので、X軸、Y軸、Z軸方向の磁界の測定位置が食い違っており、単純に3つの素子をX軸、Y軸、Z軸に配置するだけでは所定の位置の磁界ベクトルを測定できない。

30

【0004】

FGセンサを使ったタイプとしては、MTI社のnTメータ(非特許文献1)があるが、サイズが30mmの立方体の6面に素子を張り付けたもので、磁界の傾斜が大きい場合の微小空間における特定の位置での磁界ベクトルの測定はできない。

【0005】

ホールセンサを使った磁界測定器として旭化成(株)の磁界センサ(特許文献2)がある。4個のホール素子と1個のパーマロイ集磁体を組み合わせたもので、ピンポイントの所定の位置での磁界ベクトルの測定が可能であるが、磁界検出能が10mG(=1000nT)程度で、しかもサイズは2mmと小さく、微小磁界が計測できない問題がある。小型化した場合は、微小磁界検出能が低下し、つまり両者はトレードオフの関係にあり、解決は難しい。

40

【0006】

磁気抵抗センサ(GMR、TMR)を使った磁界測定器としてサントル ナショナル ドゥ ラルシェルジ シアンティフィックの集積磁力計がある(特許文献3)。角錐台形からなるシリコン基板に角度 = 54.7°で傾斜している4つの斜面上に4回対称かつ鏡像反対称性に蒸着形成された4個のGMR磁気抵抗センサと磁気抵抗センサの感度軸に対して平行に形成された4個の磁束集中器を組み合わせたもので、ピンポイントの所定の位置での磁界ベクトルの測定が可能である。

角錐台形の台座の傾斜角度54.7度としている理由は、シリコン基板を化学エッチングすると結晶の方位に沿って溶けて54.7度となるためである。シリコン基板を使用する

50

と簡単に台座を製作することができるが、傾斜角度は54.7度に固定されるという欠点を伴う。

【0007】

本特許文献3では、 H_x 、 H_y 、 H_z は、4個の磁界検出素子で検知する磁気測定値を H_{x1} 、 H_{x2} 、 H_{y1} 、 H_{y2} とすると、

$$H_x = (1/2 \cos \theta) (H_{x1} - H_{x2}),$$

$$H_y = (1/2 \cos \theta) (H_{y1} - H_{y2}),$$

$$H_z = (1/4 \sin \theta) \{ (H_{x1} + H_{x2}) - (H_{y1} + H_{y2}) \},$$

として求めている。

【0008】

上計算式に測定値と傾斜角度 $\theta = 54.7$ 度を入力すると、測定位置における磁界 (H_x 、 H_y 、 H_z) を求めることができる。 H_x 、 H_y 、 H_z の測定誤差 σ_x 、 σ_y 、 σ_z は、分散加法性と上計算式の係数を考慮して計算すると、 $\sigma_x = \sigma_y = 1.6$ 、 $\sigma_z = 0.8$ となる。ここで σ_z は使用したセンサの磁気ノイズである。つまり、 H_x 、 H_y の測定精度は、 H_z の測定精度に比べて、2倍も悪くなっている。しかも、 H_x 、 H_z の測定精度が用いたセンサの測定精度に比べて60%も大幅に低下する。

磁気ベクトルセンサとしての条件は、ピンポイントで磁界ベクトル (H_x 、 H_y 、 H_z) が測定できることと各軸の測定値の感度および精度がほぼ同じ ($\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z$) であることが必要である。その意味では、これらの不均一性が、本磁界ベクトルセンサは、 H_z 軸と H_x 、 H_y 軸の測定精度とが大幅に違っており、磁界ベクトルセンサとは言えない。この点が本磁界ベクトルセンサの最大の欠点である。

【0009】

また、本センサが使用している磁気抵抗センサは、磁界検出能は5mG (= 500nT) 程度で微小磁界の計測には適していない。小型化と微小磁界検出能とはトレードオフの関係にあり、解決は難しい。

ここで、GMR素子は検出磁界方向と素子長手方向 (出力電圧方向) が直交しているために、素子を四角錐体の4つの斜面上に4回対称かつ鏡像反対称に配置して、出力電極とグラウンド電極の配線の対称的配置の確保に努めている。 H_x 、 H_y 、 H_z を算出する計算式は、センサ素子を4回対称かつ鏡像反対称に配置に対応した数式としている。

【0010】

GSRセンサ (特許文献4) を使ったタイプとしては、マグネデザイン(株)の三次元磁界検出装置 (特許文献5) がある。4個のGSR素子と一对のパーマロイ集磁体を組み合わせたもので、ピンポイントの所定の位置の磁界ベクトルの測定が可能であるが、磁界検出能が0.5mG (= 50nT) 程度で、一層の高感度化が必要である。

【0011】

磁界ベクトルセンサは、ピンポイントの測定位置における磁界 (H_x 、 H_y 、 H_z) は各軸の磁界 H_x 、 H_y 、 H_z を同じ感度、同じ精度で測定するものであると定義すると、これまでは磁界ベクトルセンサの開発には成功していない。さらに微小磁界10nT以下の検出能を持ち、微小空間内 (例えば6mm立方以下) の所定の位置の磁界ベクトルをピンポイントで測定でき磁界ベクトルセンサは実用化されておらず、その開発が求められている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0012】

【特許文献1】特許第3781056号公報

【特許文献2】特開2004-61380号公報

【特許文献3】特表2013-518273号公報

【特許文献4】特許第6506466号公報

【特許文献5】特許第6021239号公報

【非特許文献】

10

20

30

40

50

【 0 0 1 3 】

【非特許文献1】(株)エムティアイ社ホームページ 製品情報 F G S 3 - 1 0 0 0

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 4 】

本発明は、超高感度マイクロ磁気センサである G S R センサをはじめとして M I センサ、F G センサなどの検出磁界方向と素子の方向（素子長手方向）が平行である磁界検出素子は磁界検出能が高い点に着目して、ピンポイントの所定の位置における 1 0 n T 以下の微小な 3 次元磁界ベクトルを微小空間範囲（6 m m × 6 m m × 3 m m 以下）で測定するものである。そのためには、磁界検出素子の最適構造、独特な磁界検出ヘッドの考案、素子とヘッド部台座との組み立て方法および電子回路と磁界検出ヘッドのセンサ配線構造を考案することが主な課題となる。

10

特に、G S R センサはこれらの磁界検出素子のなかで磁界検出能が高いので代表的事例として以下に説明する。

【 0 0 1 5 】

なお、G S R センサは、基板上に導電性を有する磁界検出用磁性ワイヤとそれに巻回した周回コイルで形成した検出用コイルとワイヤ通電用の電極 2 個とコイル電圧検出用電極 2 個の計 4 個の電極で構成される G S R 素子と、その磁性ワイヤに 0 . 5 ~ 4 G H z の周波数からなるパルス電流を流す手段とパルス電流を流した時に生じるコイル電圧を検知し、コイル電圧を外部磁界 H に変換する電子回路とからなる超高感度マイクロ磁気センサである。

20

G S R センサについては、特許文献 3（本発明者による）に詳細に記載されており、本発明において引用する。

ここで、パルス周波数は、パルス電流の「立下り時間」 t の 2 倍をその周期としてその逆数をパルス周波数として便宜上定義している。すなわち、 $f = 1 / 2 t$ である。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 6 】

G S R センサの検出能は長さに比例して向上する。本発明者は、1 0 n T 以下の微小磁界を微小空間範囲で測定するために、長さ 0 . 4 m m ~ 3 m m で幅が 0 . 2 m m ~ 0 . 4 m m の小型の G S R 素子を設計した。G S R センサの検出能は 0 . 1 n T ~ 1 n T の範囲にあった。

30

【 0 0 1 7 】

ここで、G S R センサとは、G S R 素子と G S R センサ用の電子回路とからなるセンサである。

センサを構成する G S R 素子について、図 1 により説明する。G S R 素子 1 は、長さが 0 . 4 m m ~ 3 m m 、幅 0 . 2 m m ~ 0 . 4 m m の基板 1 1 上に、磁界検出用に直径 5 ~ 3 0 μ m のアモルファスの磁性ワイヤ 1 2 を基板 1 1 に形成した溝に配置し、その周りに検出コイル（以下、コイルという。）1 3 を形成する。磁性ワイヤ 1 2 は、両端にワイヤ端子 1 4 を設けて接続配線（ワイヤ電極用）1 6 を介してワイヤ電極（ワイヤ通電用の電極）1 5 に接続する。コイル 1 3 は、両端にコイル端子 1 7 を設けて接続配線（コイル電極用）1 9 を介してコイル電極（コイル通電用の電極）1 8 に接続する。なお、ワイヤ端子 1 4 または / およびコイル端子 1 7 を省略して、磁性ワイヤ 1 2 の両端または / およびにコイルの両端に電極を形成してもよい。

40

【 0 0 1 8 】

次に、G S R センサ用の電子回路は、図 2 により説明する。

電子回路 2（図 2）は、G S R 素子 2 2 の磁性ワイヤ 1 2 に 0 . 5 ~ 4 G H z の周波数からなるパルス電流を流すパルス発振器 2 1、入力側回路 2 3、出力側回路（サンプルホールド回路）2 4、寄生容量 2 5、電子スイッチ 2 6、コンデンサ 2 7、増幅器 2 8 からなり、コイル電圧として出力する。入力側回路 2 3 と出力側回路 2 4 の間にバッファ回路を設けてもよい。

50

【0019】

このGSR素子（以下、素子という。）を、傾斜角度 $= 35.2$ 度（ $\tan = 2/2$ 、 $\sin = 1/3$ 、 $\cos = 2/3$ ）を持つ4面の傾斜面を有する台座に4個を4回対称に貼り付けて、それら4個の素子の磁気測定値 $Hx1$ 、 $Hx2$ 、 $Hy1$ 、 $Hy2$ を用いて、 $Hx = (1/2 \cos) (Hx1 - Hx2)$ 、 $Hy = (1/2 \cos) (Hy1 - Hy2)$ 、 $H_z = (1/4 \sin) (Hx1 + Hx2 + Hy1 + Hy2)$ を算出して、測定位置における磁界（ Hx 、 Hy 、 H_z ）を求めることができること、および Hx 、 Hy 、 H_z の測定値の測定誤差が $x = y = z$ になることに思い至った。

【0020】

GSR素子を貼り付ける傾斜角度 $= 35.2$ 度を持つ4面の傾斜面を有する台座の形状としては、次の4つの形状が挙げられる。図3A～図3Cを用い、平面図および断面図を示して説明する。

10

【0021】

まず、図3Aに示す四角錐台である。台座の上下面は四角形状の上面と上面より大きな面積からなる下面とからなる。その側面は台形状の傾斜面（台形斜面）の4面からなる。GSR素子は台形斜面に貼り付ける。

【0022】

次に、図3Bに示す八角錐台である。台座の上下面は八角形状の上面と上面より大きな面積からなる下面とからなる。その側面は台形状の傾斜面（台形斜面）の8面からなる。GSR素子は台形斜面に貼り付ける。

20

【0023】

そして、図3Cに示す変則八面錐台である。台座の上下面は、正四角形状の上面（四角面という。）と上面より大きな面積からなる八角形状の下面（底面）とからなる。その側面は交互に長方形形状の傾斜面（長方形斜面という。）と三角形形状の傾斜面（三角形斜面という。）とからなる。長方形斜面は、上面の四角面の一辺と底面の八角形の一辺とが同じ幅よりなり、4個形成している。三角形斜面は、上面の四角面の頂点と底面の八角形の一辺よりなり、4個形成している。GSR素子は長方形斜面に貼り付ける。

【0024】

ここで、変則八面錐台の定義について補足説明する。

30

錐台（wikipedia）によると錐台とは、錐台（すいだい、英: Frustum）は、錐体から、頂点を共有し相似に縮小した錐体を取り除いた立体図形である。

しかし、本発明の変則八面錐台とは、「変則」の意味は「錐台」の上面は正四角形状で下面は八角形状（正八角形状ではない。）の異なる形状からなって不規則であること、また「錐台」の側面である傾斜面は交互に長方形形状が4面と三角形形状が4面と異なる形状からなって不規則であること、そして長方形形状の傾斜面の4面と三角形形状の傾斜面の4面との合計が「八面」であることから「変則八面錐台」と定義する。

【0025】

初めに、四角錐台の台座の斜面にそれぞれGSR素子を貼り付けて磁界（ Hx 、 Hy 、 H_z ）を求める計算式について説明する。比較として、GMR素子については四角錐台に貼り付けて同様に説明する。

40

前提として、GSR素子およびGMR素子について、X軸磁界、Y軸磁界およびZ軸磁界の向きと素子の向きで+/-が決まる。GSR素子では、磁界の向きを出力電圧（信号電圧）の+と定義する。GMR素子では、磁界の向きの左ひねりの向きを出力電圧（信号電圧）の+と定義する。

【0026】

GSR素子は、素子の方向（素子長手方向）が検出磁界方向と平行しており、4回対称にて鏡像（ミラー）対称性となる。これにより、X軸方向の磁界 Hx は $X1(+)$ - $X2(-)$ により、Y軸方向の磁界 Hy は $Y1(+)$ - $Y2(-)$ により求められる。そして、Z軸方向の磁界 H_z は $X1(+)$ + $X2(+)$ + $Y1(+)$ + $Y2(+)$ により求めら

50

れる。ここで、G S R素子は検出磁界方向と素子長手方向（出力電圧方向）が平行しているために、G S R素子を四角錐台の4つの長方形斜面上に4回対称かつ鏡像対称に配置して、出力電極とグランド電極の配線の対称的配置の確保に努めている。

【0027】

一方、G M R素子は、素子の方向（素子長手方向）は検出磁界方向と直交しており、4回対称にて鏡像（ミラー）反対称性となる。これにより、X軸方向の磁界 H_x は $X_1(+)$ - $X_2(-)$ により、Y軸方向の磁界 H_y は $Y_1(+)$ - $Y_2(-)$ により求められる。そして、Z軸方向の磁界 H_z は $(X_1(+)+Y_1(+)) - (X_2(-)+Y_2(-))$ により求められる。磁界センサを鏡像対称性に配置した場合と鏡像反対称性に配置した場合で、計算式が異なることを明記すべきである。

10

ここで、G M R素子は検出磁界方向と素子長手方向（出力電圧方向）が直交しているために、素子を四角錐台の4つの斜面上に4回対称かつ鏡像反対称に配置して、出力電極とグランド電極の配線の対称的配置の確保に努めている。

【0028】

次に、四角錐台の台形斜面の傾斜角度、サイズについて説明する。

台形斜面の傾斜角度が、 35.2 度の時、 H_x 、 H_y 、 H_z の測定誤差 x 、 y 、 z がすべて同じ、つまり $x = y = z = 0.86$ となる。しかも各軸の測定誤差が使用したセンサの測定誤差よりも改善する。実用的には z が $x (= y)$ に比べて、 25% 程度の差を許容できるとすると、傾斜角度は 20 度から 45 度程度となる。水平面方向の磁界精度を重視する場合には、 35.2 度から 20 度程度へと少し小さくし、垂直方向の磁界の精度を重視する場合は、 35.2 度から 45 度へと少し大きくすることができる。

20

【0029】

G S R素子（以下、素子という。）の長さを $0.4\text{ mm} \sim 3\text{ mm}$ とすると、四角錐台の上面の四角面の一辺の長さは素子の幅に相当し、 $0.2\text{ mm} \sim 0.4\text{ mm}$ である。

台座の高さは、素子の長さの \sin 倍である。つまり、 35.2 度の場合、 $\sin 35.2^\circ = 0.58$ 倍であるから、高さは $0.24\text{ mm} \sim 1.8\text{ mm}$ である。傾斜角度 $= 45$ 度の場合、最大の高さは 2.1 mm である。

【0030】

各素子間の整列方位のミスマッチによる干渉性を排除して、素子間の4回対称性を確保するためには、台座の加工精度および素子と台座を組み合わせたときの4回対称性が重要である。台座の加工誤差は $10\text{ }\mu\text{ m}$ 以下とする。その上で、台座の台形斜面上に4回対称に素子を設置するための基軸線マークを上下端部の位置誤差 $\pm 1\text{ }\mu\text{ m}$ で刻印し、その線と素子のアモルファスワイヤとを顕微鏡を使って誤差 $\pm 1\text{ }\mu\text{ m}$ で一致させることによって、4個の素子の4回対称性を確保した。なお素子と台座とは接着剤で固定する。

30

【0031】

以上、四角錐台を例として、磁界（ H_x 、 H_y 、 H_z ）を求める計算式、傾斜角度について説明してきた。他の八角錐台および変則八面錐台においても、G S R素子は傾斜面上に鏡像対称に貼り付けられ、その貼り付けられる傾斜面の形状は異なるが計算式、傾斜角度は同じである。サイズは、G S R素子のサイズと傾斜角度により自動的に求められる。

40

【0032】

磁界ベクトルセンサの組み立ては、図4に示すように、磁界ベクトルセンサ用基板（以下、センサ基板という。）にG S R素子とG S R素子を貼り付けた台座よりなる素子台座とA S I Cを搭載して行なう。素子台座の底辺がA S I Cよりも十分大きい場合、つまり底辺が 2 mm 以上の場合には、底辺側（底面）の中央部を中空として、そこにA S I Cを取り付け、素子台座とA S I Cの両者をセンサ基板上に設置した。

【0033】

ここで、磁界ベクトルセンサ用の電子回路を特定用途集積回路（以下、A S I Cという。）として、図5に示すように、A S I Cは、電子回路に4個の素子のコイル電圧を信号処理回路により4個の素子の磁気測定値 H_{x1} 、 H_{x2} 、 H_{y1} 、 H_{y2} に変換し、内部で

50

それらの値から磁界ベクトル値 H_x 、 H_y 、 H_z を計算する演算処理装置を含んでいる。

【0034】

なお、図6に示すように、1個のパルス発信器から1個の素子にパルス電流を流し、1つのコイル電圧を1個の素子の磁気測定値（例えば、 H_{x1} ）に変換する信号処理回路までの特定用途集積回路をASIC-x1として、4個のASIC-x1、ASIC-x2、ASIC-y1、ASIC-y2により磁気測定値 H_{x1} 、 H_{x2} 、 H_{y1} 、 H_{y2} に変換し、それらの磁気測定値を1個の演算処理装置に送信して磁界ベクトル値 H_x 、 H_y 、 H_z を計算してもよい。

【0035】

センサ基板には、表面側には16個の素子電極と16個のASIC用電極および複数個の外部接続電極を設け、表面側の外部接続電極はスルーホールを介して裏面側の対応する外部接続電極に接続する配線構造を有している。

配線は、各素子の4つの電極と基板表面上の16個の素子電極とを導線で接続する。センサ基板上の16個のASIC用電極とASIC側の素子電極とをハンダ接合する。さらに、ASIC側の外部接続電極とセンサ基板表面側の外部接続電極とをハンダ接合する。

これにより素子で検知した外部磁界をASICで信号処理して、磁界ベクトル（ H_x 、 H_y 、 H_z ）を求め、それをセンサ基板裏面側の外部接続電極から取り出すことができる（図7～図9）。

【0036】

本発明において、GSR素子を単体で斜面に設置してコイル電圧をASICまで配線した場合には、コイル電圧が低下したり、外部ノイズを感じる場合がある。このような場合、GSR素子を特定用途集積回路（例えば、ASIC-x1）の上に直接形成して、GSRセンサ（on-ASICタイプのGSRセンサと称する。）とし、それを四角錐台の台形斜面に貼り付けて磁界ベクトルセンサとしてもよい（図10～図14）。

【0037】

本発明により、医療、環境、ロボット分野など先端産業分野を中心に、生体磁気計測、生体内ナビゲーションシステム、ロボットの姿勢制御装置、地磁気異常、火星など地磁気測定など、微小磁界の計測あるいは微小空間における微小磁界の磁界分布の計測のニーズに対応することが可能になった。

なお、本発明の微小空間内で所定の位置の磁界ベクトルの測定を可能ならしめる磁界ベクトルセンサにおいては、微小空間は一様磁界として、すなわち $H_{x1} = H_{x2}$ 、 $H_{y1} = H_{y2}$ を前提としている。厳密に言えば、一様の程度は H_{x1} と H_{x2} の両者および H_{y1} と H_{y2} の両者の違いが1%以下と考え、両者の平均値が、両素子のほぼ中央の磁界であると見なしている。

【図面の簡単な説明】

【0038】

【図1】GSR素子の平面図である。

【図2】GSRセンサ用の電子回路図である。

【図3A】四角錐台の平面図およびその断面図である。

【図3B】八角錐台の平面図およびその断面図である。

【図3C】変則八面錐台の平面図およびその断面図である。

【図4】磁界センサの組み立て図である。

【図5】電子回路図で、パルス発信器～信号処理回路～演算処理装置からなるASICである。

【図6】電子回路図で、パルス発信器～信号処理回路の各軸に対応する4個のASICと演算処理装置等からなる。

【図7】四角錐台および八角錐台のGSR素子の電極とセンサ基板の電極との配線図である。

【図8】ASIC40Aの表面の電極配置図を示す。

【図9】四角錐台および八角錐台のセンサ基板の表面の電極配置および配線を示す図であ

10

20

30

40

50

る。

【図10】変則八面錐台のGSR素子の電極とセンサ基板の電極との配線図である。

【図11】変則八面錐台のセンサ基板の表面の電極配置および配線を示す図である。

【図12】素子台座に貼り付けるon-ASICタイプのGSRセンサの平面図である。

【図13】素子台座にon-ASICタイプのGSRセンサを貼り付けた平面図である。

【図14】素子台座にon-ASICタイプのGSRセンサを貼り付けたE1-E2線の断面図である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0039】

第1発明の磁界ベクトルセンサは、

10

GSRセンサと素子台座と演算処理装置とを備える磁界ベクトルセンサにおいて、

前記GSRセンサは、GSR素子と電子回路とからなり、

前記GSR素子は、基板上に導電性を有する磁界検出用磁性ワイヤ（以下、磁性ワイヤという。）と、前記磁性ワイヤに巻回した周回コイルで形成される検出用コイルと、磁性ワイヤ通電用のワイヤ電極2個およびコイル電圧検出用のコイル電極2個からなる4個の電極とを備え、かつ、検出磁界方向と素子長手方向とは前記磁性ワイヤ方向で一致しており、

前記電子回路は、パルス発信器と信号処理回路とからなり、

前記パルス発信器は、前記磁性ワイヤに0.5～4GHzの周波数のパルス電流を流し、

前記信号処理回路は、前記磁性ワイヤに前記パルス電流を流した時に生じる前記検出用コイルに発生するコイル電圧を検知し、その電圧を外部磁界Hに比例した出力信号に変換し

20

前記素子台座は、少なくとも4面の傾斜面を4回対称に有する台座であって、

前記傾斜面のうち4面は傾斜角度が20～45度よりなり、

4個の前記GSR素子が前記4面の傾斜面に前記GSR素子の前記磁性ワイヤの方向を傾斜方向に向け、かつ4回対称で鏡像対称に貼り付けられており、

前記4個のGSR素子は4個の前記電子回路に接続され、前記信号処理回路は前記パルス電流を流した時に生じる前記コイル電圧を検知し、前記コイル電圧を磁気測定値 H_x1 、 H_x2 、 H_y1 、 H_y2 に変換して前記演算処理装置に入力し、

前記演算処理装置は、前記磁気測定値 H_x1 、 H_x2 、 H_y1 、 H_y2 を用いて、

30

$$H_x = (1/2 \cos \theta) (H_x1 - H_x2)、$$

$$H_y = (1/2 \cos \theta) (H_y1 - H_y2)、$$

$$H_z = (1/4 \sin \theta) (H_x1 + H_x2 + H_y1 + H_y2)、$$

を算出し、

上記式で算出された磁界 H_x 、 H_y 、 H_z でもって各軸のピンポイントの測定位置における磁界ベクトル（ H_x 、 H_y 、 H_z ）を、各軸の磁界 H_x 、 H_y 、 H_z を同じ感度、同じ精度で測定することを特徴とする。

【0040】

本発明は、少なくとも4面の傾斜面を4回対称に有する台座を用いて検出磁界方向と素子長手方向（出力電圧方向）とが一致する磁界検出素子を台座の傾斜角度が20～45度からなる4つの斜面に4回対称かつ鏡像対象に貼り付け、電子回路により磁界検出素子の磁性ワイヤへ電流を流したときに生じるコイル電圧を検知し、変換して得られる磁気測定値を用いてピンポイントの測定位置における磁界（ H_x 、 H_y 、 H_z ）を、各軸の磁界 H_x 、 H_y 、 H_z を同じ感度、同じ精度で求めるものである。

40

【0041】

これにより、ピンポイントの測定位置における磁界（ H_x 、 H_y 、 H_z ）を、各軸の磁界 H_x 、 H_y 、 H_z を同じ感度、同じ精度で求めることが可能となり、真の磁界ベクトルセンサが得ることが可能となる。

台座の傾斜角度が20～45度とすることにより、磁界ベクトルセンサの H_x 、 H_y 、 H_z の測定精度が同じとなることを見出したのである。

50

また、検出磁界方向と素子長手方向が異なることから、4個の素子の配置が鏡像対称とすることにより、演算処理装置にて各軸の磁界 H_x 、 H_y 、 H_z を求める計算式は、上記の式となる。

すなわち、G S R 素子の特徴を生かした磁界ベクトルセンサを考案したものである。

【0042】

第2発明の磁界ベクトルセンサは、

on - A S I C タイプの G S R センサと素子台座と演算処理装置とを備える磁界ベクトルセンサにおいて、

前記 on - A S I C タイプの G S R センサは、G S R 素子と特定用途集積回路（以下、A S I C という。）を備え、かつ前記 G S R 素子と前記 A S I C とは、前記 G S R 素子は前記 A S I C の表面上に設置されるとともに両者はスルーホールを介して連結されており、前記 G S R 素子は、基板上に導電性を有する磁界検出用磁性ワイヤ（以下、磁性ワイヤという。）と、前記磁性ワイヤに巻回した周回コイルで形成される検出用コイルと、磁性ワイヤ通電用のワイヤ電極2個およびコイル電圧検出用のコイル電極2個からなる4個の電極とを備え、かつ、検出磁界方向と素子長手方向とは前記磁性ワイヤ方向で一致しており、

10

前記 A S I C は、パルス発信器と信号処理回路とを備え、

前記パルス発信器は、前記磁性ワイヤに 0.5 ~ 4 G H z の周波数のパルス電流を流し、前記信号処理回路は、前記 G S R 素子に前記パルス電流を流した時に生じる前記検出用コイルに発生するコイル電圧を検知し、その電圧を外部磁界 H に比例した出力信号に変換し

20

前記素子台座は、少なくとも4面の傾斜面を4回対称に有する台座であって、

前記傾斜面のうち4面は傾斜角度が 20 ~ 45 度よりなり、

4個の前記 on - A S I C タイプの G S R センサが前記4面の傾斜面に前記 G S R 素子の磁性ワイヤの方向を傾斜方向に向け、かつ4回対称で鏡像対称に貼り付けられており、

前記4個の on - A S I C タイプの G S R センサは、前記磁性ワイヤに前記パルス電流を流した時に生じる前記コイル電圧を検知し、前記コイル電圧を磁気測定値 H_{x1} 、 H_{x2} 、 H_{y1} 、 H_{y2} に変換して、前記演算処理装置に入力し、

前記演算処理装置は、前記磁気測定値 H_{x1} 、 H_{x2} 、 H_{y1} 、 H_{y2} を用いて、

$$H_x = (1/2 \cos \theta) (H_{x1} - H_{x2}),$$

$$H_y = (1/2 \cos \theta) (H_{y1} - H_{y2}),$$

$$H_z = (1/4 \sin \theta) (H_{x1} + H_{x2} + H_{y1} + H_{y2}),$$

30

を算出し、

上記式で算出された磁界 H_x 、 H_y 、 H_z でもって各軸のピンポイントの測定位置における磁界ベクトル (H_x 、 H_y 、 H_z) を、各軸の磁界 H_x 、 H_y 、 H_z を同じ感度、同じ精度で測定することを特徴とする。

【0043】

本発明は、4面の傾斜面に貼り付ける単体の G S R 素子に変えて、G S R 素子を特定用途集積回路（例えば、A S I C - x 1）の上に直接形成して、G S R センサ（on - A S I C タイプの G S R センサをいう。）とし、それを傾斜面に貼り付けた磁界ベクトルセンサである。

40

【0044】

これにより、第1発明における G S R 素子を単体で斜面に設置してコイル電圧を A S I C まで配線した場合に比べて、配線の長さが短くなってコイル電圧の低下防止や外部ノイズの影響防止が可能となる。また、磁界ベクトルセンサの組み立てが容易となる。

【0045】

第1発明および第2発明における4面以上の傾斜面を有し、その傾斜面のうち4面は傾斜角度が 20 ~ 45 度よりなる G S R 素子または G S R センサを貼り付ける台座の形状として、上記の3つの形状が挙げられる。

【0046】

50

先ず、図 3 A に示す四角錐台 3 A である。台座 3 0 A の上下面は四角形状の上面 3 1 A と上面より大きな面積からなる下面 3 2 A とからなる。その側面は台形状の傾斜面（台形斜面）3 3 A の 4 面からなる。G S R 素子 3 5 または G S R センサは台形斜面に貼り付ける。

【 0 0 4 7 】

次に、図 3 B に示す八角錐台 3 B である。台座 3 0 B の上下面は八角形状の上面 3 1 B と上面より大きな面積からなる下面 3 2 B とからなる。その側面は台形状の傾斜面（台形斜面 3 0 B ）の 8 面からなる。G S R 素子 3 5 または G S R センサは台形斜面に貼り付ける。

【 0 0 4 8 】

そして、図 3 C に示す変則八面錐台 3 C である。台座の上下面は、正四角形状の上面 3 1 C（四角面という。）と上面より大きな面積からなる八角形状の下面 3 2 C（底面）とからなる。その側面は交互に長方形形状の傾斜面 3 4 C（長方形斜面という。）と三角形形状の傾斜面 3 3 C（三角形斜面という。）とからなる。長方形斜面 3 4 C は、上面の四角面の一辺と底面の八角形の一辺とが同じ幅よりなり、4 個形成している。三角形斜面 3 3 C は、上面の四角面の頂点と底面の八角形の一辺よりなり、4 個形成している。G S R 素子 3 5 または G S R センサは長方形斜面 3 4 C に貼り付ける。

【 0 0 4 9 】

上記のいずれの台座も、検出方向と G S R 素子または G S R センサの長手方向が異なっても傾斜角度 3 7 を確保し、磁界ベクトルセンサの機能を果たすとともに検出感度を 0 . 1 n T ~ 1 0 n T の微小磁界の検出が可能にする。

【 0 0 5 0 】

本発明は、少なくとも 4 面の傾斜面を有し、傾斜面のうち 4 面は傾斜角度 が 2 0 ~ 4 5 度よりなる台座（上記の 4 種類の台座）を用いて、検出磁界方向と素子長手方向（出力電圧方向）とが一致する G S R 素子（G S R センサの G S R 素子を含む。）を台座の 4 つの傾斜面に 4 回対称かつ鏡像対象に貼り付け、電子回路により G S R 素子の磁性ワイヤへ電流を流したときに生じるコイル電圧を検知し、変換して磁気測定値を用いてピンポイントの測定位置における磁界ベクトル（ H_x 、 H_y 、 H_z ）を各軸の磁界 H_x 、 H_y 、 H_z と同じ感度、同じ精度で求めるものである。これは、G S R 素子の特徴を生かした磁界ベクトルセンサを考案したものである。

ここで G S R 素子とは、周波数 0 . 5 G H z ~ 4 G H z で駆動し、コイルピッチが 1 0 μ m 以下であることを特徴とする素子と定義する。なお、M I 素子も検出磁界方向と素子長手方向（出力電圧方向）とが一致する素子であることから、G S R 素子を使用する場合に比べて検出感度は低下するが、本発明の技術思想（検出磁界方向と素子長手方向（出力電圧方向）とが一致する素子で台座に 4 回ミラー反対称に取り付け、台座の傾斜角度が 2 0 度から 4 0 度で、磁界ベクトルとピンポイントに同じ感度で同じ精度で測定できる）に含まれるものである。

以下、発明の詳細について説明する。

【 0 0 5 1 】

< G S R 素子 >

G S R 素子は、図 1 および上記の説明より、基板上に導電性を有する磁界検出用磁性ワイヤ（以下、磁性ワイヤという。）と、磁性ワイヤに巻回した周回コイルで形成される検出用コイルと、磁性ワイヤ通電用のワイヤ電極 2 個およびコイル電圧検出用のコイル電極 2 個からなる 4 個の電極とから構成されており、検出磁界方向と出力電圧方向とは同じワイヤ方向で一致している。

なお、磁性ワイヤの両端および検出コイルの両端に端子を設け、これらの端子と電極との間を接続配線により接続してもよい。

以上の構成からなる G S R センサ素子は、その構成が同じ M I センサ素子および F G センサ素子なども範疇に含むものである。

【 0 0 5 2 】

10

20

30

40

50

< 電子回路 >

電子回路 2 A は、図 5 に示すように、パルス発信器 ~ 信号処理回路 ~ 演算処理装置からなる A S I C の電子回路図である。

電子回路 2 A (図 5) は、G S R センサの電子回路 2 を採用した集積回路 (以下、A S I C という。) で、パルス電流を流す 1 個のパルス発振器 2 2 1、4 個の G S R 素子 (2 2 X 1、2 2 X 2、2 2 Y 1、2 2 Y 2)、4 個の信号処理回路 2 2 2 と 4 個の信号を切り替える切替スイッチ 2 2 3、次いで A D コンバータ 2 2 4、演算処理回路 2 2 5 およびデータ通信回路 2 2 6 から構成されている。

【 0 0 5 3 】

1 個のパルス発振器 2 2 1 は 4 個の G S R 素子 (2 2 X 1、2 2 X 2、2 2 Y 1、2 2 Y 2) の各磁性ワイヤに 0 . 5 ~ 4 G H z の周波数のパルス電流を流し、信号処理回路 2 2 2 は G S R 素子にパルス電流を流した時に生じる磁性コイルに発生するコイル電圧を検知し、その電圧を外部磁界 H に比例した出力信号に変換して、H x 1、H x 2、H y 1 および H y 2 の 4 個の磁気測定値を求める。

【 0 0 5 4 】

演算処理装置は、求めた 4 個の磁気測定値を用いて、

$$H_x = (1 / 2 \cos) (H_{x1} - H_{x2}),$$

$$H_y = (1 / 2 \cos) (H_{y1} - H_{y2}),$$

$$H_z = (1 / 4 \sin) (H_{x1} + H_{x2} + H_{y1} + H_{y2}),$$

により磁界ベクトル (H x、H y、H z) を算出する。

Z 軸方向の磁界 H z は、磁界検出素子が 4 回対称かつ鏡像対象に貼り付けられていることから H x 1、H x 2、H y 1 および H y 2 の 4 個の磁気測定値の和となる。

【 0 0 5 5 】

なお、本発明では、磁性ワイヤに流す電流としてはパルス電流について説明しているが、磁性ワイヤに電流を流した時に生じるコイル電圧を検知し、コイル電圧を外部磁界 H に変換することができる高周波電流も本発明に含まれるものである。

【 0 0 5 6 】

これにより、ピンポイントで所定の位置の磁界ベクトル (H x、H y、H z) を高い検出能でもって測定することが可能となる。また、微小空間における微小磁界の磁界分布の計測も可能となる。さらに、H x、H y、H z の測定誤差は、 $\theta = 35.2$ 度とすると、 $\theta_x = \theta_y = \theta_z = 0.86$ とすべて同じになる。しかも使用した G S R センサの測定誤差より 14% 小さくなるのが分かる。

【 0 0 5 7 】

次に、電子回路 2 B は、図 6 に示すように、パルス発信器 ~ 信号処理回路の各軸に対応する 4 個の A S I C と演算処理装置等からなる。

1 個のパルス発振器 2 2 1 と 1 個の信号処理回路 2 2 2 とに対応する 1 個の G S R 素子からなる 1 個の A S I C、すなわち G S R 素子 2 2 X 1 に対応する A S I C A - x 1、G S R 素子 2 2 X 2 に対応する A S I C A - x 2、G S R 素子 2 2 Y 1 に対応する A S I C A - y 1、G S R 素子 2 2 Y 2 に対応する A S I C A - y 2 の 4 個の A S I C とする。

4 個の A S I C のそれぞれの磁性ワイヤに 0 . 5 ~ 4 G H z の周波数のパルス電流を流し、信号処理回路 2 2 2 は G S R 素子にパルス電流を流した時に生じる磁性コイルに発生するコイル電圧を検知し、その電圧を外部磁界 H に比例した出力信号に変換して、H x 1、H x 2、H y 1 および H y 2 の 4 個の磁気測定値を求める。

【 0 0 5 8 】

演算処理装置 2 2 5 は、求めた 4 個の磁気測定値を用いて、上式により磁界ベクトル (H x、H y、H z) を算出する。

【 0 0 5 9 】

< 台座 >

台座とは、磁界を検出するために G S R 素子 3 5 または G S R センサを貼り付ける台をい

10

20

30

40

50

い、その種類は四角錐台 3 A、変形四角錐台 3 B、八角錐台 3 C および変則八面錐台 3 D の 4 種類があり、いずれの台座もその傾斜面の 4 面に G S R 素子または G S R センサが鏡像対称に貼り付けられる。台座の傾斜面の特徴は以下のとおりである。

【 0 0 6 0 】

台座の傾斜面の傾斜角度 θ の傾斜角度 は 35.2 度を基準にして、 20 度 ~ 45 度の範囲とする。この角度は、磁界 H_x 、 H_y 、 H_z の検出感度と検出能力 (= 磁気センサのノイズ) を同じとするために重要である。さらに、G S R 素子は検出磁界方向と G S R 素子の長手方向が同じであるため、台座 3 0 (3 0 A、3 0 B、3 0 C、3 0 D) の G S R 素子を貼り付ける形斜面は長い緩やかな斜面とすることが磁界ベクトルセンサの小型化にとっても望ましいからである。

10

【 0 0 6 1 】

上面 3 1 の四角形または八角形 (四角形等という。) の一片を素子 3 5 の幅相当とし、底辺 3 2 の長さは、上面 3 1 の四角形等の一辺の長さ a と G S R 素子 3 5 の長さ b の $2 \cos \theta$ 倍との合計の長さに相当し、最小は 0.6 mm で最大は 6 mm であり、好ましくは 1 mm ~ 6 mm である。台座 3 0 の高さは、素子 3 5 の長さ b の $\sin \theta$ 倍である。つまり、 θ が 35.2 度の場合、台座 3 0 の高さは、 0.15 mm ~ 1.5 mm である。

なお、G S R 素子のサイズ 3 5 と長方形斜面 3 4 C のサイズは、必ずしも同一である必要はない。

【 0 0 6 2 】

台座 3 0 の傾斜面は、 20 ~ 45 度で緩やかな斜面からなる。傾斜角度 θ が 35.2 度の時、 H_x 、 H_y 、 H_z の測定誤差 Δx 、 Δy 、 Δz がすべて同じ、つまり $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0.86$ となる。実用的には Δz が Δx (= Δy) に比べて、 25 % 程度の差を許容できるとすると、傾斜角度 θ は 20 度から 45 度程度となる。水平面方向の磁界精度を重視する場合には、傾斜角度 θ は 35.2 度から 20 度程度へと少し小さくし、垂直方向の磁界の精度を重視する場合は、傾斜角度 θ は 35.2 度から 45 度へと少し大きくすることもできる。

20

【 0 0 6 3 】

また、台座 3 0 の底面 3 2 (3 2 A、3 2 B、3 2 C) には、底面に A S I C を設置する広さがある場合、底面 3 2 に中空部 3 8 を設けて A S I C を取り付けることができる。これにより、コンパクトな磁界ベクトルセンサを得ることができる。

30

【 0 0 6 4 】

台座 3 0 にて、上面 3 1 を挟んで G S R 素子を貼り付ける 4 個の台座斜面 (台形斜面または長方形斜面) に 4 個の素子 3 5 を 4 回対称に接着剤で固定し、素子台座 3 (3 A、3 B、3 C) とする。

4 回対称性を確保するために、台座 3 0 の加工誤差は、 10 μ m 以下とした上で、台座斜面上に 4 回対称に素子 3 5 を設置するための基軸線マーク 3 6 を台座斜面上の上下端部の位置誤差 ± 1 μ m で刻印し、その基軸線マーク 3 6 と G S R 素子 3 5 の磁性ワイヤ 3 5 1 とを顕微鏡を使って誤差 ± 1 μ m で一致させる。

【 0 0 6 5 】

これにより、4 個の素子 G S R 3 5 の 4 回対称性を確保が図れる。

40

【 0 0 6 6 】

< 磁界ベクトルセンサの組み立て >

図 4 を用いて、磁界ベクトルセンサの組み立て 4 を説明する。

磁界ベクトルセンサの基板であるセンサ基板 4 0 の上に、A S I C 4 0 A とそれを内挿した台座 3 0 と素子 3 5 とからなる素子台座 4 0 G を載置して組み立てる。

【 0 0 6 7 】

< 配線構造 >

図 4 は、さらに組み立て後の配線構造も示している。

センサ基板 4 0 の表面の素子電極 4 1、素子電極 4 1 と素子 3 5 の電極を接続する連結配線 4 2、素子電極 4 1 と A S I C 用電極の電極を接続する連結配線 4 3、センサ基板 4 0

50

の表面側から裏面側に貫通するスルーホール 44 およびセンサ基板 40 の裏面にはスルーホール 44 から裏面配線 45 を介して裏面出力電極 46 に接続されている。

【0068】

また、配線構造は、四角錐台および八角錐台については、図7にGSR素子35の電極とセンサ基板40の電極41との配線を示し、図8はASIC40Aの表面の電極配置図を示す。図9にセンサ基板40の表面の電極配置および配線を示している。

変則八面錐台については、図10にGSR素子35の電極とセンサ基板40の電極41との配線を示し、図11にセンサ基板40の表面の電極配置および配線を示している。

なお、ASIC40Aの表面の電極配置図は図8と同じである。

【0069】

センサ基板40には、表面側には16個の素子電極と16個のASIC40Aの素子電極および複数個の外部接続電極を設け、表面側の外部接続電極はスルーホールを介して裏面側の対応する外部接続電極に接続する構造からなっている。

【0070】

配線は、各素子35の4つの電極とセンサ基板40の表面上の16個の素子電極とを導線で接続する。センサ基板40上の16個のASIC40Aの素子電極とASIC側の素子電極とをハンダ接合する。さらに、ASIC側の外部接続電極とセンサ基板表面側の外部接続電極とをハンダ接合する。

これにより素子35で検知した外部磁界をASIC40Aで信号処理して、磁界ベクトル(H_x , H_y , H_z)を求め、それをセンサ基板40の裏面側の外部接続電極46から取り出すことができる。

【0071】

<信号処理>

ASIC40A内での信号処理は、4個の素子35の磁気測定値 H_{x1} 、 H_{x2} 、 H_{y1} 、 H_{y2} を計測し、その値を使って、 $H_x = (1/2 \cos \theta) (H_{x1} - H_{x2})$ 、 $H_y = (1/2 \cos \theta) (H_{y1} - H_{y2})$ 、 $H_z = (1/4 \sin \theta) (H_{x1} + H_{x2} + H_{y1} + H_{y2})$ を算出して、測定位置における磁界ベクトル(H_x , H_y , H_z)を求める。台座の斜面の傾斜角度を 35.2 度にした場合、各軸の検出感度と微小磁界検出能(=磁界センサのノイズ)が同じとなる。

【0072】

測定位置は、X軸とY軸方向は、台座の中央部である。Z軸方向は、台座の高さHの $1/2$ の位置(=H/2)である。台座の底面の中央位置を座標原点(0, 0, 0)として表現すれば、測定位置P点は、(0, 0, H/2)である。

測定範囲は、台座の面積×台座の高さである。その測定空間の平均値を計測していると考えられる。

【0073】

GSRセンサの検出能は、素子の長さに比例し大きくなり、本発明に用いたGSRセンサの検出能は $0.1 \text{ nT} \sim 10 \text{ nT}$ の範囲である。

【0074】

<on-ASICタイプのGSRセンサ>

GSR素子を単体で4面の傾斜面に設置して、コイル電圧をASICまで配線した場合、例えば図7または図10における接続配線42の場合には、コイル電圧が低下したり、外部ノイズを感じたりする場合がある。このような場合、GSR素子を特定用途集積回路(ASIC)の上に直接形成したon-ASICタイプのGSRセンサを使用して、それを4面の傾斜面に貼り付けて、GSR素子で検知したコイル電圧をASICにおいて信号処理を行って磁気測定値 H_{x1} 、 H_{x2} 、 H_{y1} 、 H_{y2} に変換して出力する。

【0075】

このASICより出力された磁気測定値 H_{x1} 、 H_{x2} 、 H_{y1} 、 H_{y2} をASICの外部に連結した演算処理装置にて磁界 H_x 、 H_y 、 H_z を算出して磁界ベクトル(H_x 、 H_y 、 H_z)を測定する。

10

20

30

40

50

【0076】

このon-A S I CタイプのG S Rセンサは、本発明者らが特開2019-191016号公報（超薄型高感度磁気センサ）にて開示している。本発明においてこの技術を引用するものである。

図12に構造を簡単に説明し、一例としてこのG S Rセンサを貼り付けた変則八面錐台の構造を図13および図14を用いて説明する。

G S Rセンサ7は、A S I C70の表面上に長手方向に溝72を有する絶縁性レジスト層71を形成し、その溝72に検出コイル74が巻回されている磁性ワイヤ73が整列されている。磁性ワイヤ73および検出コイル74はそれぞれ電極（733、741）を有しており、各電極は絶縁性レジスト層71内に形成されたスルーホールを介して直接A S I Cと接続される。

10

これにより、素子の電極とA S I Cの電極との素子の外部配線からスルーホールを介した内部配線になるとともに両電極間の配線距離が短縮されて上記の問題の解消が可能となる。

【0077】

変則八面錐台8の構造は、図13および図14（図13のE1-E2線における断面図）に示すように、台座80の上下面は四角形の上面801と八角形の下面（底面）802よりなり、台座80の側面は長方形斜面803と三角形斜面804が交互に形成されて各々4個よりなる。また、長方形斜面803の傾斜角度は傾斜角度806よりなる。

長方形斜面803の4個にはそれぞれG S Rセンサ81が貼り付けられている。ここではG S Rセンサ81としてA S I C811、絶縁性レジスト812、磁性ワイヤ813および磁性ワイヤ用電極と検出コイル用電極が図示されている。

20

【実施例】

【0078】

[実施例1]

本発明の実施例1について、図1～9により説明する。

G S R素子（以下、素子という。）1は、図1に示す構成にてサイズは長さが3mm、幅が0.2mmである。磁性ワイヤ13は、ガラス被覆付きの直径10 μ m、長さ2.5mmのC o F e系のアモルファス合金からなり、両端にワイヤ端子14が形成され、接続配線16を介してワイヤ電極15に接続されている。コイル13は、両端にコイル端子17を設けて接続配線19を介してコイル電極18に接続されている。

30

【0079】

電子回路は、図2に示すG S Rセンサの電子回路2を採用し、図5に示すA S I C（電子回路2A）を製作して用いた。パルス発振器221から周波数1.5GHzのパルス電流をG S R素子（22X1、22X2、22Y1、22Y2）に通電する。

信号処理回路222はG S R素子にパルス電流を流した時に生じる磁性コイルに発生するコイル電圧を検知し、その電圧を外部磁界Hに比例した出力信号に変換して、Hx1、Hx2、Hy1およびHy2の4個の磁気測定値を求める。

【0080】

演算処理装置は、求めた4個の磁気測定値を用いて、上記計算式によりHx、Hy、Hzを求めて、磁界ベクトル（Hx、Hy、Hz）を算出する。

40

【0081】

素子台座3Aは、図3Aに示すように台座30Aと台座30Aに貼り付ける4個の素子35とからなる。（3a）は素子台座3Aの平面図を示し、（3b）は（3a）の素子台座3AのA1-A2線の断面図を示す。

台座30Aは、四角錐台で、その台形斜面の傾斜角度37の傾斜角度は35.2度にして、台座30Aの上面31Aの四角形の一辺は台形斜面33Aの幅と同じにして素子35の幅相当（0.2mm）とする。台形斜面33Aの長さは3.2mmで、素子35の長さ（3mm）にほぼ相当とする。台座30の高さは1.8mmである。

【0082】

50

台座 30A に、4 個の素子 35 を 4 回対称に接着剤で固定した。4 回対称性を確保するために、台座 30A の加工誤差は $10\ \mu\text{m}$ とした上で、台座 30A の台形斜面 33A に 4 回対称に素子 35 を設置するための基軸線マーク 36 を上下端部の位置誤差 $\pm 1\ \mu\text{m}$ で刻印し、その基軸線 36 と素子 35 の磁性ワイヤ 351 とを顕微鏡を使って誤差 $\pm 1\ \mu\text{m}$ で一致させた。

【0083】

磁界ベクトルセンサ 4 の組み立ては、図 4 に示すように、センサ基板 40 の上面に台座 30A と素子 35 とからなる素子台座 40G (3A) および ASIC 40A により行った。素子台座 3A の底辺 321A の長さ $7.6\ \text{mm}$ は、ASIC 40A の幅 $2\ \text{mm}$ よりも十分大きいので、底面 32A の中央部を中空部 38 として、そこに ASIC 40A が挿入できるようにして、素子台座 3A および ASIC 40A の両者をセンサ基板 40 上に設置した。

10

【0084】

センサ基板 40 には、表面側には 16 個の素子電極と 16 個の ASIC の素子電極および複数個の外部接続電極を設け、表面側の外部接続電極はスルーホールを介して裏面側の対応する外部接続電極に接続する配線構造とした。

【0085】

配線構造は、図 7 ~ 9 により説明する。

まず、図 7 は素子台座 3A の素子 35 の電極とセンサ基板 40 の素子電極 41 を接続する配線図 4A を示す。

20

各素子 35 の 4 つの電極は、接続配線 42 を介してセンサ基板 40 の表面の 16 個の素子電極 41 と接続されている。

【0086】

次に、図 8 は ASIC 40A の表面の電極配置図を示す。

ASIC 40A の素子電極 51 と ASIC 40A の出力電極 52 が配置されている。

【0087】

最後に、図 9 にセンサ基板 40 の表面の配線図 6 を示す。

センサ基板 40 の素子電極 61 (図 6 の素子電極 41 に相当) は接続配線 64 を介して ASIC 40A 用電極 62 と接続されている。センサ基板 40 の出力電極 63 が形成されている。

30

【0088】

センサ基板 40 の裏面の配線は、図 4 に示すように、表面の出力電極 63 はスルーホール 44 および裏面の接続配線 45 を介して裏面の出力電極 46 に接続されている。

ここで、センサ基板 40 側の 16 個の ASIC 用電極 62 と ASIC 40A 側の素子電極 51 とをハンダ接合した。さらに、ASIC 40A 側の外部接続電極 (出力電極 52) とセンサ基板 40 の表面側の外部接続電極 (出力電極 63) とをハンダ接合した。

【0089】

これにより素子 35 で検知した外部磁界を ASIC 40A で信号処理して、磁界ベクトル (H_x 、 H_y 、 H_z) を求め、それをセンサ基板 40 の裏面側の外部接続電極 (出力電極 63) から取り出すことができる。

40

【0090】

ASIC 内での信号処理は、4 個の素子の磁気測定値 H_{x1} 、 H_{x2} 、 H_{y1} 、 H_{y2} を求め、その値を使って、 $H_x = (1/2 \cos \theta) (H_{x1} - H_{x2})$ 、 $H_y = (1/2 \cos \theta) (H_{y1} - H_{y2})$ 、 $H_z = (1/4 \sin \theta) (H_{x1} + H_{x2} + H_{y1} + H_{y2})$ を算出して、測定位置における磁界ベクトル (H_x 、 H_y 、 H_z) を求めた。

【0091】

測定位置は、X 軸と Y 軸方向は、台座 30 の中央部である。Z 軸方向は、台座の $1/2$ の高さの位置である。台座の底面の中央位置を座標原点 (0、0、0) として表現すれば、測定位置 P 点は、(0、0、 $1/2$) である。

測定範囲は、台座 30 の面積 \times 台座の高さである。その測定空間の平均値を計測している

50

と考えられる。

磁界センサの検出能は、 0.2 nT である。

【0092】

[実施例2]

実施例2は、図11および図12に示すように、変則八面錐体の素子台座8の長方形斜面803に4個のon-ASICタイプのGSRセンサ81(図12に示す。)を設置したものである。

ASICからの出力は接続用基板にワイヤボンディング接合した上で、接続用基板の電極と台座の電極とは半田接合で連結され、台座に埋め込まれた配線を使って、ASIC外部の演算処理装置に転送され、そこで磁界センサ H_x 、 H_y 、 H_z を計算し、それを外部の制御装置部に転送することを特徴とする磁界ベクトルセンサである。

10

【0093】

GSRセンサのサイズは、長さ 2.5 mm 、幅 1.0 mm 、磁界ベクトルセンサのサイズは底辺が 6 mm 、高さは 1.5 mm 、その磁界検出力は 0.1 nT で、実施例1に使用したGSRセンサより5倍程度優れたものである。

【産業上の利用可能性】

【0094】

本発明により、医療、環境、ロボット分野など先端産業分野を中心に、生体磁気計測、生体内ナビゲーションシステム、ロボットの姿勢制御装置、地磁気異常、火星など地磁気測定など、微小空間における微小磁界の計測に広く応用されるものと期待される。

20

【符号の説明】

【0095】

1：GSR素子(素子)

11：基板、12：磁性ワイヤ、13：コイル、14：ワイヤ端子、15：ワイヤ電極、16：接続配線(ワイヤ電極用)、17：コイル端子、18：コイル電極、19：接続配線(コイル電極用)

2：電子回路(GSRセンサの電子回路)

21：パルス発振器、22：電子スイッチ、23：GSR素子、24：電子スイッチ、25：コンデンサ、26：出力側回路(サンプルホールド回路)、27：コンデンサ、28：増幅器

30

2A：電子回路(磁界ベクトルセンサの電子回路)

221：パルス発振器、(22X1、22X2、22Y1、22Y2)：GSR素子、222：信号処理回路、223：切替スイッチ、224：ADコンバータ、225：演算処理装置、226：データ通信回路

2B：電子回路(磁界ベクトルセンサの電子回路)

A-x1：GSR素子22X1のASIC、A-x2：GSR素子22X2のASIC、A-y1：GSR素子22Y1のASIC、A-y2：GSR素子22Y2のASIC、221：パルス発振器、(22X1、22X2、22Y1、22Y2)：GSR素子、222：信号処理回路、223：切替スイッチ、224：ADコンバータ、225：演算処理装置、226：データ通信回路

40

3A：素子台座3A(四角錐台)

30A：台座、31A：上面、32A：下面(底面)、321A：底辺、33A：台形斜面、34：稜線、35：GSR素子 351：磁性ワイヤ、36：基軸線マーク、37：傾斜角度、38：中空部(中空)

3B：素子台座3B(八角錐台)

30B：台座、31B：上面、32B：下面(底面)、321B：底辺、33B：台形斜面、34：稜線、35：GSR素子 351：磁性ワイヤ、36：基軸線マーク、37：傾斜角度、38：中空部(中空)

3C：素子台座3C(変則八面錐台)

30C：台座、31C：上面、32C：下面(底面)、321C：底辺、33C：三角形

50

斜面、34C：長方形斜面、35：GSR素子 351：磁性ワイヤ、36：基軸線マーク、37：傾斜角度、38：中空部（中空）

4：磁界ベクトルセンサ（組み立て）

40：センサ基板、40A：ASIC、40G：素子台座（台座30とGSR素子からなる）、41：素子電極（センサ基板40の表面の素子電極）、42：接続配線（素子35の電極と素子電極41との配線）、43：接続配線（素子電極41とASIC用電極との配線）、44：スルーホール、45：接続配線（センサ基板40の裏面の配線）46：出力電極（センサ基板40の裏面の出力電極）

4A：センサ基板の電極配置

40：センサ基板、41：素子電極（センサ基板40の表面の素子電極）、42：接続配線（素子35の電極と素子電極41との配線）

5：ASICの電極配置

51：ASICの素子電極、52：ASICの出力電極

6：センサ基板の表面の配線図

61：素子電極（素子電極41）、62：ASIC用電極、63：出力電極、64：接続配線（素子電極61とASIC用電極62との配線）

7：on-ASICタイプのGSRセンサ

70：ASIC、71：絶縁性レジスト層、72：溝、73：磁性ワイヤ、731：磁性ワイヤ用端子、732：ワイヤ電極接続部、733：ワイヤ電極、74：検出コイル、741：コイル電極

8：素子台座（GSRセンサを貼り付けた変則八面錐体）

80：台座、801：上面、802：下面（底面）、803：長方形斜面、804：三角形斜面、805：基準線マーク、806：傾斜角度、81：on-ASICタイプのGSRセンサ、811：ASIC、812：絶縁性レジスト層、813：磁性ワイヤ

【要約】（修正有）

【課題】検出磁界方向と素子の方向が平行である磁界検出素子は磁界検出能の高い超高感度マイクロ磁気センサであるGSRセンサに着目して、1nT以下の微小な磁気ベクトルを微小空間範囲で測定する。

【解決手段】4個の磁界検出素子を、少なくとも4面の傾斜面を4回対称的に有する台座であって、その傾斜角度20～45度の傾斜面よりなる傾斜面に4回対称かつ鏡像対象に貼り付けて、それら4個の素子の磁気測定値 H_x1 、 H_x2 、 H_y1 、 H_y2 を使って、 H_x は H_x1 と H_x2 の減算から、 H_y は H_y1 と H_y2 の減算から、そして H_z は H_x1 、 H_x2 、 H_y1 、 H_y2 の加算によって、測定位置における磁界ベクトル（ H_x 、 H_y 、 H_z ）を求められる磁界ベクトルセンサを提供する。

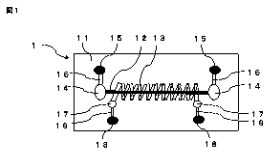
【選択図】図3A

10

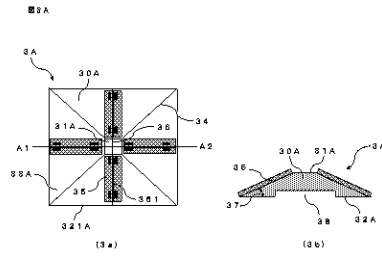
20

30

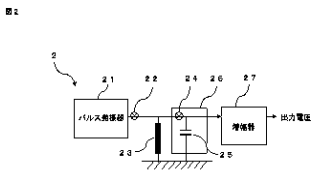
【図1】



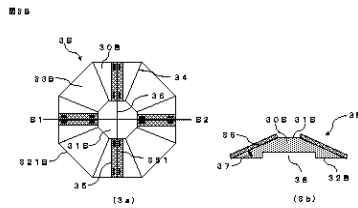
【図3A】



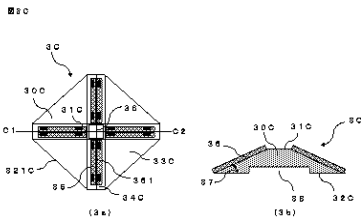
【図2】



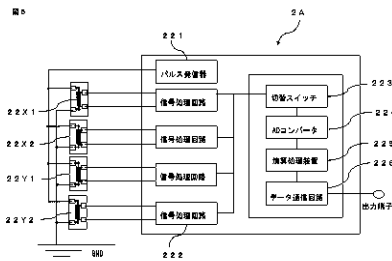
【図3B】



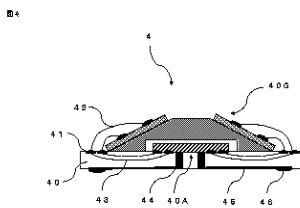
【図3C】



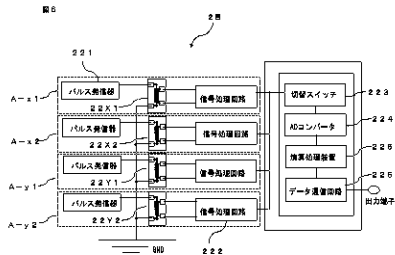
【図5】



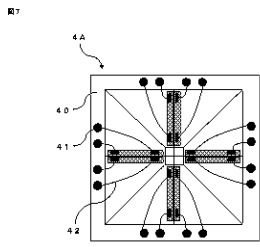
【図4】



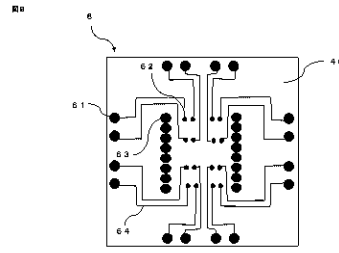
【図6】



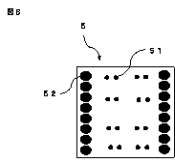
【図7】



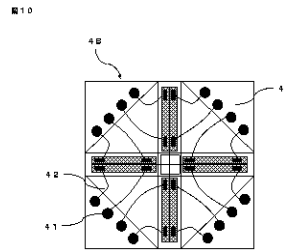
【図9】



【図8】

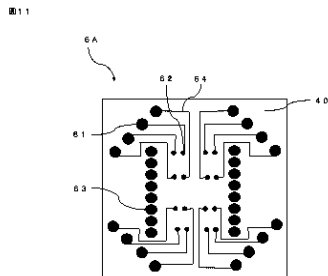


【図10】

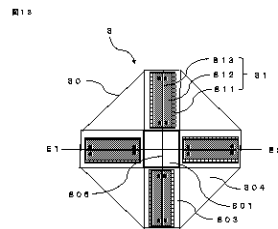


10

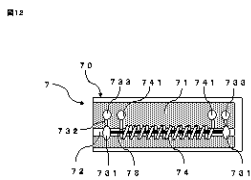
【図11】



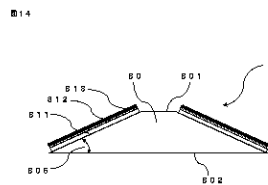
【図13】



【図12】



【図14】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2 0 2 0 - 0 4 6 2 3 4 (J P , A)
特表 2 0 1 3 - 5 1 8 2 7 3 (J P , A)
特開 2 0 0 9 - 2 2 2 6 5 0 (J P , A)
特開 2 0 1 9 - 1 9 1 0 1 6 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 1 5 / 0 3 0 9 1 2 5 (U S , A 1)
中国特許出願公開第 1 0 2 8 3 0 3 7 2 (C N , A)
国際公開第 2 0 0 8 / 0 3 2 7 4 1 (W O , A 1)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

I P C G 0 1 R 3 3 / 0 0 - 3 3 / 2 6、
1 5 / 0 0 - 1 7 / 2 2