

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5990963号

(P5990963)

(45) 発行日 平成28年9月14日(2016.9.14)

(24) 登録日 平成28年8月26日(2016.8.26)

(51) Int.Cl.

F I

G O 1 R 33/09 (2006.01)

G O 1 R 33/06 R

G O 1 R 15/20 (2006.01)

G O 1 R 15/20 B

請求項の数 9 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2012-66580 (P2012-66580)	(73) 特許権者	000005083
(22) 出願日	平成24年3月23日(2012.3.23)		日立金属株式会社
(65) 公開番号	特開2013-152208 (P2013-152208A)		東京都港区港南一丁目2番70号
(43) 公開日	平成25年8月8日(2013.8.8)	(74) 代理人	100122275
審査請求日	平成27年3月13日(2015.3.13)		弁理士 竹居 信利
(31) 優先権主張番号	特願2011-283926 (P2011-283926)	(74) 代理人	100102716
(32) 優先日	平成23年12月26日(2011.12.26)		弁理士 在原 元司
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(74) 代理人	100115129
			弁理士 清水 昇
		(72) 発明者	川上 誠
			大阪府三島郡島本町江川2丁目15番17号 日立金属株式会社内
		(72) 発明者	高木 保規
			大阪府三島郡島本町江川2丁目15番17号 日立金属株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気センサデバイス、及び電流センサ回路

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板と、

前記基板の面上に形成され、磁束の方向に沿って一列に、 $2n+1$ (n は自然数)個配された磁気ヨークと、

前記磁気ヨークに巻回されるコイルと、

固定層及び自由層を有し、一対の前記磁気ヨーク間に形成される磁場の強さを検出する $2m$ (m は自然数)個の磁気抵抗効果素子であって、2個ずつの磁気抵抗効果素子がそれぞれブリッジ回路を構成してなる磁気抵抗効果素子と、

を含み、

前記磁気ヨークの少なくとも一つが、前記コイルが巻回される本体部と、当該本体部に連結され、磁束の方向に交差する方向に延びる延伸部とを有し、

前記磁気ヨークには、隣接する磁気ヨークに向けてその幅が狭くなるようテーパを有してなる磁気センサデバイス。

【請求項2】

請求項1記載の磁気センサデバイスであって、

前記コイルは、前記磁気ヨークに対してソレノイド状に巻回されている磁気センサデバイス。

【請求項3】

請求項1または2に記載の磁気センサデバイスであって、

10

20

前記磁気ヨークの前記コイルが巻回される部分に、隣接する磁気ヨークに向けてその幅が狭くなるようテーパーを有してなる磁気センサデバイス。

【請求項 4】

請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の磁気センサデバイスであって、

前記一列に配された磁気ヨークのうち、磁束方向両端に配された二つの磁気ヨークのそれぞれの末端側に、磁束の方向に交差する方向に延びる延伸部を具備する磁気センサデバイス。

【請求項 5】

請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の磁気センサデバイスであって、

前記一列に配された磁気ヨークのうち、磁束方向両端に配された二つの磁気ヨークのそれぞれの末端側に、磁束の方向に交差する方向に延びる延伸部を有し、

当該延伸部が互いに連結されて閉磁路を形成する磁気センサデバイス。

【請求項 6】

請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の磁気センサデバイスであって、

前記テーパーの先端の幅は、前記磁気抵抗効果素子の実効長さよりも長い磁気センサデバイス。

【請求項 7】

請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の磁気センサデバイスであって、

一対の前記磁気ヨーク間に、それぞれ複数の前記磁気抵抗効果素子を配してなる磁気センサデバイス。

【請求項 8】

請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の磁気センサデバイスであって、

前記一列に配された磁気ヨークのうち、磁束方向両側に、隣接する磁気ヨークを有する磁気ヨークは、その磁束方向中央部が幅広に形成される磁気センサデバイス。

【請求項 9】

請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の磁気センサデバイスを含む電流センサ回路。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁気センサデバイス、及び電流センサ回路に関する。

【背景技術】

【0002】

ある場所における磁場の強さを測定する磁気センサデバイスは、各種用途に利用されている。その利用用途の一例が電流センサである。

例えば被測定電流が流れる導体を取り囲むエアギャップ付きの環状磁心を用い、この磁心に被測定電流による磁束を発生させ、ギャップ内にスピナルブ型の巨大磁気抵抗素子を置いて当該磁束を測定する構成による電流センサが特許文献 1 に開示されている。

【0003】

また、被測定電流が流れる導体近傍に磁気抵抗素子を一つ配するとともに、この磁気抵抗素子に被測定電流からの誘導電流をキャンセルする磁場を加えるためのフィードバックコイルを設け、磁気抵抗素子と 3 つの固定抵抗器とでフルブリッジ回路を構成した例が特許文献 2 に開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2008 - 128711 号公報

【特許文献 2】世界知的所有権機関国際事務局 国際公開第 2010/143666 号パンフレット

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 5 】

しかしながら、上記特許文献 1 に開示された従来の技術では、磁心を用いており、被測定電流が大きくなればなるほど、大きいサイズの磁心が必要となってしまう。引用文献 2 に開示された技術によれば、磁心を用いることなく同一基板上に形成されたフィードバックコイル、磁気コア、磁場検出ブリッジ回路により近傍にある導体を流れる被測定電流を測定できる。しかしながら、この引用文献 2 に開示された構成では、磁気抵抗素子と固定抵抗とでブリッジ回路を形成しているため、各素子の温度係数による抵抗変化の相違が排除できず、測定精度の向上が困難である。なお、特許文献 1 の磁気コアは、一次電流による誘導磁場を集め、かつフィードバック磁場を供給するためのものである。

【 0 0 0 6 】

本発明は上記実情に鑑みて為されたもので、磁気コアを用いず、また温度変化があっても測定精度を維持ないし向上できる磁気センサデバイス、及び電流センサ回路を提供することを、その目的の一つとする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

上記従来例の問題点を解決するための発明は、磁気センサデバイスであって、基板と、前記基板の面上に形成された $2n+1$ (n は自然数) 個の磁気ヨークと、前記磁気ヨークに巻回されるコイルと、固定層及び自由層を有し、一対の前記磁気ヨーク間に形成される磁場の強さを検出する $2m$ (m は自然数) 個の磁気抵抗効果素子であって、2 個ずつの磁気抵抗効果素子がそれぞれブリッジ回路を構成してなる磁気抵抗効果素子と、を含むこととしたものである。

【 0 0 0 8 】

ここで前記コイルは、前記磁気ヨークに対してソレノイド状に巻回されていてもよい。また前記磁気ヨークは、磁束の方向に沿って一列に、 $2n+1$ (n は自然数) 個配され、当該磁気ヨークの少なくとも一つが、前記コイルが巻回される本体部と、当該本体部に連結され、磁束の方向に交差する方向に延びる延伸部とを有することとしてもよい。

【 0 0 0 9 】

さらに前記磁気ヨークは、磁束の方向に沿って一列に配されるとともに、前記コイルが巻回され、当該一列に配された磁気ヨークのうち、磁束方向両端に配された二つの磁気ヨークのそれぞれが、末端側に、磁束の方向に交差する方向に延びる延伸部を具備することとしてもよい。

【 0 0 1 0 】

また前記磁気ヨークは、磁束の方向に沿って一列に、 $2n+1$ (n は自然数) 個配されるとともに、前記コイルが巻回され、当該一列に配された磁気ヨークのうち、磁束方向両端に配された二つの磁気ヨークが、それぞれの末端側から延伸される延伸部を有し、当該延伸部が互いに連結されて閉磁路を形成するものであってもよい。

【 0 0 1 1 】

これらにおいて、前記磁気ヨークの前記コイルが巻回される部分には、隣接する磁気ヨークに向けてその幅が狭くなるようテーパを有してもよく、このとき前記テーパの先端の幅は、前記磁気抵抗効果素子の実効長さよりも長いものとしてもよい。また一対の前記磁気ヨーク間に、それぞれ複数の前記磁気抵抗効果素子を配してもよい。

【 0 0 1 2 】

また、本発明の一態様に係る磁気センサデバイスは、基板と、前記基板の面上に形成され、コイルが巻回される第 1 磁気ヨークと、前記基板の面上に形成され、前記第 1 の磁気ヨークの両端部に隣接する 2 つの端部を有してそれぞれ C 字状をなす一対の第 2 の磁気ヨークと、固定層及び自由層を有し、それぞれが前記第 1 磁気ヨーク両端で、第 1 磁気ヨークと第 2 磁気ヨークとの間に形成される磁場の強さを検出する 2 つの磁気抵抗効果素子であって、当該 2 つの磁気抵抗効果素子がブリッジ回路を構成してなる磁気抵抗効果素子と、を含み、前記一対の第 2 の磁気ヨークが、磁束の方向に延びる前記第 1 の磁気ヨークの

中心線に対して線対称に配されてなる。

【 0 0 1 3 】

また本発明の一態様に係る電流センサ回路は、これらの磁気センサデバイスを含むこととしたものである。

【発明の効果】

【 0 0 1 4 】

本発明によると、磁気コアを用いず、また固定抵抗をブリッジ回路に含まず、磁気抵抗効果素子によってブリッジ回路を形成するので、温度変化に対する抵抗値変化量の差を抑制でき、測定精度を維持ないし向上できる。

【図面の簡単な説明】

10

【 0 0 1 5 】

【図 1】本発明の実施の形態に係る磁気センサデバイスにおける磁気ヨークのパターンの一例を表す平面図である。

【図 2】本発明の実施の形態に係る磁気センサデバイスの一例を表す断面図である。

【図 3】本発明の実施の形態に係る磁気センサデバイスの別の例を表す断面図である。

【図 4】本発明の実施の形態に係る磁気センサデバイスのまた別の例を表す断面図である。

【図 5】本発明の実施の形態に係る磁気センサデバイスの一例における磁束線の状況を表す説明図である。

【図 6】本発明の実施の形態に係る磁気センサ回路の例を表す概略回路図である。

20

【図 7】本発明の実施の形態に係る磁気センサ回路において生じる信号の例を表す説明図である。

【図 8】本発明の実施の形態に係る磁気センサデバイスにおける磁気ヨークのパターンの別の例を表す平面図である。

【図 9】本発明の実施の形態に係る磁気センサデバイスにおける磁気ヨークのパターンのまた別の例を表す平面図である。

【図 10】本発明の実施の形態に係る磁気センサデバイスにおける磁気ヨークのパターンのさらに別の例を表す平面図である。

【図 11】本発明の実施の形態に係る磁気センサデバイスにおける磁気ヨークのパターンのさらにもう一つの別の例を表す平面図である。

30

【図 12】本発明の実施の形態に係る磁気センサデバイスにおける磁気ヨークのパターンのまたさらに別の例を表す平面図である。

【図 13】本発明の実施の形態に係る磁気センサ回路の別の例を表す概略回路図である。

【図 14】本発明の実施の形態に係る磁気センサ回路のまた別の例を表す概略的部分的な回路図である。

【図 15】本発明の実施の形態に係る磁気センサ回路の配置例を表す説明図である。

【図 16】本発明の実施の形態に係る磁気センサデバイスに対するシールドの配置例を表す説明図である。

【図 17】本発明の実施の形態に係る磁気センサデバイスに対するまた別のシールドの配置例を表す説明図である。

40

【図 18】本発明の実施例に係る実験結果を表すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 6 】

本発明の実施の形態について図面を参照しながら説明する。本発明の実施の形態に係る磁気センサデバイス 1 は、図 1 に例示するように、基板 10 と、この基板 10 上に磁気ヨーク 11 と、磁気抵抗効果素子 12 と、コイル 13 とを薄膜プロセスで形成したものである。図 1 は、本実施の形態の磁気センサデバイス 1 の平面図である。図 1 では説明のため、コイル 13 を破線で示し、磁気ヨーク 11 の形状を見やすくしている。

【 0 0 1 7 】

またここで基板 10 は、シリコン基板であってもよいし、アルミナチタンカーバイド基

50

板 (Al_2O_3 -TiC基板)、SiC基板、ガラス基板のいずれであってもよい。

【0018】

図1に示されるように、本実施の形態では、磁束の向き（以下X軸とし、基板10の面内でX軸に直交する軸をY軸、基板面の法線方向（X、Yの両軸に直交する方向の軸）をZ軸とする）に沿って、 $2n+1$ （ n は自然数）個の磁気ヨーク11がそれぞれ間隔Gをおいて配される。また図1の例では、各磁気ヨーク11には、それぞれコイル13がソレノイド状に巻回されている。このコイル13は、（1）磁気抵抗効果素子12の検出磁場の強さに基づくフィードバック電流を流す、（2）三角波電流を流す（交流バイアス）、（3）フィードバック電流と三角波電流とを流す、（4）三角波電流と、さらに他の電流を重畳して流す、（5）三角波電流以外の電流を流してバイアスをつける、など種々の利用態様がある。

10

【0019】

磁気抵抗効果素子12は、 $2m$ （ m は自然数）個あり、各対の磁気ヨーク11間の磁場の強さを検出する位置にそれぞれ配されている。この磁気抵抗効果素子12は、XY面に並行な磁化方向が固定されている固定層と、印加される磁場によって磁化の向きが変わる自由層とを有し、これらを中間層を挟んでZ軸方向に積層して配した構成を備えるスピバルブ型のGMR素子またはTMR素子を用いる。固定層の磁化方向は、例えば磁気抵抗効果素子12の幅方向、すなわちX軸方向とする。本実施の形態では、一対または二対の磁気抵抗効果素子12によりハーフブリッジまたはフルブリッジ回路を構成する。この構成については後に述べる。

20

【0020】

この磁気抵抗効果素子12は、上記のように配されるので、磁束線のZ軸方向の成分への感度は、XY面内の成分への感度より低い。

【0021】

図2は、図1に例示した磁気センサデバイスの磁気ヨーク11を、磁束の方向に延びる中心線で破断した概略の断面図の一例である。図2では理解の容易のために、コイル13等はその配置の概要を示しており、巻数等を大幅に減らして図示している（図3、図4において同じ）。図2に例示するように本実施の形態のある例に係る磁気センサデバイス1は、次の要領で製造される。すなわち、まず基板10上に2層の絶縁層（ SiO_2 （基板側）及び Al_2O_3 （絶縁膜22側））21を形成し、この上に幅 $10\mu\text{m}$ の磁気抵抗効果素子12（SVGMR膜等）を偶数個、薄膜プロセスにより形成する。そしてさらにこの磁気抵抗効果素子12の膜よりも厚い絶縁膜22を形成し、この絶縁膜22上に、パーマロイによる磁気ヨーク11と、それに巻回されるアルミニウムのコイル13の巻線（下側）とを形成し、これらを樹脂23（絶縁体）により封止する。次に樹脂23にビアホールを形成してコイル13の巻線（下側）のそれぞれに対して導体を接続する。次にこれらの導体に対し、それぞれ接続するコイル13の巻線（上側）を形成し、さらに樹脂23（絶縁体）により封止する。ただし、コイルに導通するパッドは樹脂から露出させる。磁気ヨーク11は、磁気抵抗効果素子12の磁束の向きに沿った両側に約 $2\mu\text{m}$ ほどの幅をとって配する。この例では磁気ヨーク11の間隔Gは約 $14\mu\text{m}$ となる。また磁気抵抗効果素子12は、平面視では、互いに隣接する一対の磁気ヨーク11の間にあるが、磁気ヨーク11よりも基板10側（下方）に配される。

30

40

【0022】

また別の例を図3に例示する。図3の例では、基板10上に2層の絶縁層（ SiO_2 （基板側）及び Al_2O_3 （絶縁膜22側））21を形成した後、この上に磁気抵抗効果素子12と、パーマロイによる磁気ヨーク11と、それに巻回されるアルミニウムのコイル13の巻線（下側）とを形成する。ここで磁気ヨーク11は、約 $14\mu\text{m}$ の間隔をおいて奇数個配される。そして幅 $10\mu\text{m}$ の磁気抵抗効果素子12を、磁気ヨーク11間に形成してから絶縁膜22にて絶縁し、その後全体を樹脂23により封止する。次に樹脂23にビアホールを形成してコイル13の巻線（下側）のそれぞれに対して導体を接続する。次にこれらの導体に対し、それぞれ接続するコイル13の巻線（上側）を形成し、さらに樹脂23（

50

絶縁体)により封止する。

【0023】

さらに別の例を図4に例示する。図4の例では、基板10上に2層の絶縁層(SiO_2 (基板側)及び Al_2O_3 (絶縁膜22側))21を形成した後、この上に、パーマロイによる磁気ヨーク11と、それに巻回されるアルミニウムのコイル13の巻線(下側)を形成し、樹脂23により封止する。ここでも磁気ヨーク11は、約 $14\mu\text{m}$ の間隔をおいて奇数個配する。その後、薄膜プロセスにより、平面視で磁気ヨーク11の間に相当する位置に、磁気抵抗効果素子12を形成してから絶縁膜22を形成し、絶縁膜23にビアホールを形成してコイル13の巻線(下側)のそれぞれに対して導体を接続する。次にこれらの導体に対し、それぞれ接続するコイル13の巻線の残りの部分(上側)を形成し、樹脂23により封止する。この場合、磁気抵抗効果素子12は、平面視では、互いに隣接する一対の磁気ヨーク11の間にあるが、磁気ヨーク11よりも上方(基板10とは反対側)に位置する。

10

【0024】

いずれの例においても、互いに隣接する一対の磁気ヨーク11間の磁場の強さを検出可能な位置に磁気抵抗効果素子12が配されることとなるが、磁気抵抗効果素子12は、図2, 図4の例のように、磁気ヨーク11と同じ面に配されなくても構わない。薄膜プロセスによる磁気抵抗効果素子12は、厚さ(Z軸方向)が約 $0.025\mu\text{m}$ 、長さ(Y軸方向)が約 $100\mu\text{m}$ となっている。

20

【0025】

なお、「磁気ヨーク11間」と称した場合は、隣接する一対の磁気ヨーク11の、対向する各端面を底面とする柱状の領域内に限らず、この柱状領域の近傍を含む。

【0026】

またこれらの例で絶縁層21は、2層でなくてもよく、 SiO_2 、 Al_2O_3 、窒化ケイ素等の1層の膜、またはこれらを積層した多層の膜としても構わない。

【0027】

これら図2から図4に示した例のうち、図2に示した、磁気抵抗効果素子12を、磁気ヨーク11よりも基板10側の層に配する例とする場合、基板10に絶縁膜で平坦な面を作製し、この平坦化した面に磁気ヨーク11等よりも先に磁気抵抗効果素子を形成することとなる。この図2の例は、磁気ヨーク11等の他の要素を形成してから磁気抵抗効果素子12を形成することとなる図4の例に比べ、先行して形成される部分の削り取りなどの加工がなく、製造が比較的簡易である。

30

【0028】

図2では、基板に絶縁膜で平坦な面を作製し、先に磁気抵抗効果素子を形成する。他の部材を形成してから或いは形成した上に磁気抵抗効果素子を形成する構成よりも、平坦な面(平坦化した面)に磁気抵抗効果素子を形成できるので、磁気抵抗効果素子の特性ばらつきを抑制できる。図2の構成は、図3又は図4の構成にくらべて、磁気抵抗効果素子の特性ばらつきが小さい。

【0029】

またここでの例では、磁気ヨーク11は、一次電流による誘導磁場を集めるためのものではなく、励磁磁場の供給に用いられる。

40

【0030】

本実施の形態の一例によると、図1に例示したように、磁気ヨーク11間の磁場強さを検出可能な位置に一つずつの磁気抵抗効果素子12が配される。また図1の例(第1例)では、一列に配された磁気ヨーク11a, b, ...のうち、磁束の方向の両端にある2つの磁気ヨーク11(末端磁気ヨークと呼ぶ)が、少なくとも磁束の方向に交差する方向(例えば磁束の向きに直交する方向)に延びる延伸部Lを有している。具体的に図1の例では、延伸部Lは、末端磁気ヨークの、隣接する磁気ヨークとは反対側の端(末端部)に形成されており、磁束の方向に直交する方向、つまりY軸の両方向に延びている()。つまり、末端磁気ヨークは略T字状をなす。また、ここで末端磁気ヨークは、その本体部分B

50

の Y 軸方向の幅が、延伸部 L の X 軸方向の幅より幅太に形成されている。なお延伸部 L と本体部 B との接続部では、角を丸めてある。

【 0 0 3 1 】

このように構成したことにより、被測定電流により生じる磁束ならびにコイル 1 3 によって生じる磁束線は、主に磁気ヨーク 1 1 の長手方向 (X 軸方向) に略平行になり、各磁気抵抗効果素子 1 2 を透過する磁束 (寄与磁束) b 1 (図中、実線で示す) が略平行になる。また一方の末端磁気ヨーク 1 1 a の延伸部 L に達した磁束線 (非寄与磁束) b 2 (図中、破線で示す) は延伸部 L に沿って伸び、空間を経て他方の末端磁気ヨーク 1 1 c の延伸部 L の端部に戻り、延伸部 L に沿って磁気ヨーク 1 1 の本体部 B へとつながって閉じた経路を描く (図 5)。このことで、各磁気ヨーク 1 1 において、磁気ヨーク 1 1 a の端部から当該磁気ヨーク 1 1 a の別の箇所への磁束 b 3 (非寄与磁束 : 図中、破線で示す) が少なくなる。なお、図 5 では、説明のために磁気ヨーク 1 1 の形状のみを図示し、コイル 1 3 等を省略している。

10

【 0 0 3 2 】

また磁気ヨーク 1 1 の厚さが薄くなればなるほど、磁気ヨーク 1 1 間を透過する磁束の X Y 面内の成分は増大し、当該磁束が磁気ヨーク間に集中するようになるが、磁気ヨーク 1 1 の端部から当該磁気ヨーク 1 1 の別の箇所への非寄与磁束は発生しやすくなる。しかしながら図 1 の例によれば、この非寄与磁束の磁束線も、端部に近い側にある末端磁気ヨークの延伸部 L に戻っていく。すなわち、この例における延伸部 L は、磁気ヨーク 1 1 の各所から磁束線を捕獲する捕獲部 (リターンヨーク) としての機能を有している。これにより各磁気ヨーク 1 1 内を流れる磁束の強さを維持でき、効率的な磁束の検出が可能となる。なお、この非寄与磁束の磁束線や、末端磁気ヨーク間で伸びる磁束線は、基板 1 0 の面内 (X , Y 軸方向) のみならず空間内 (Z 軸方向) にも存在する。

20

【 0 0 3 3 】

本実施の形態の一例に係る磁気センサ回路は、いわゆる磁気平衡型の回路であり、例えば電流センサとして利用できる。この磁気センサ回路では、 n 対の磁気抵抗効果素子 1 2 が、図 6 に例示するようにハーフブリッジを構成する。そして磁気抵抗効果素子 1 2 a の一端側は直流バイアス電源 V d d の供給を受けるよう接続され、他端側は磁気抵抗効果素子 1 2 b の一端側に接続される。また磁気抵抗効果素子 1 2 b の他端側は共通端子 (G N D) に接続される。このとき、磁気抵抗効果素子 1 2 a の一端側から他端側へ向かう方向に直交する固定層の磁化方向と、磁気抵抗効果素子 1 2 b の一端側から他端側へ向かう方向に直交する固定層の磁化方向とが互いに逆向きとなるように接続する。また、磁気抵抗効果素子 1 2 a の他端側、つまり磁気抵抗効果素子 1 2 b の一端側を端子 P として、この端子 P は、コンパレータ 1 4 の負極 (-) 端子に接続される。なお、コンパレータ 1 4 の正極 (+) 端子は、基準電源 1 5 を介して共通端子 (G N D) に接続される。基準電源 1 5 の出力電位は、磁場のない場所における磁気抵抗効果素子 1 2 a , b の中点電位とする。

30

【 0 0 3 4 】

一方、各磁気ヨーク 1 1 に巻回されるコイル 1 3 は互いに直列に接続されており、このコンパレータ 1 4 の出力は、当該直列に接続されたフィードバックコイル 1 3 の一端側に、波形整形部 4 1 とローパスフィルタ (L P F) 4 2 と定電流出力部 (またはインダクタ) 4 3 とを介して接続される。またこのコイル 1 3 の一端側には、三角波発生回路 4 4 が結合容量 C を介して接続されている。さらにコイル 1 3 の他端側は固定抵抗器 1 6 を介して共通端子 (G N D) に接続され、また三角波除去部 (ローパスフィルタでよい) 4 5 を介して出力端子 O U T に接続される。

40

【 0 0 3 5 】

本実施の形態のこの一例に係る磁気センサデバイス 1 は、三角波発生回路 4 4 の発生する三角波状に変化する電流がコイル 1 3 に常時供給される。従って、この三角波状の電流による誘導磁場が磁気ヨーク 1 1 を通じて磁気抵抗効果素子 1 2 に印加され、磁気抵抗効果素子 1 2 の中点電位の出力として、三角波状の電流による誘導磁場を印加しない場合の

50

出力電位（基準電位）を中心として矩形波状に変化する出力が得られる。

【0036】

この磁気抵抗効果素子12の midpoint 電位の出力を、コンパレータ14、波形整形部41及びLPF42を通じて得ると、図7(a)に例示するように、デューティ比が略1:1の矩形波状の信号が得られることとなる。

【0037】

ここで、この磁気センサデバイス1を被測定電流の流れる導体の近傍に配すると、この被測定電流により生じる誘導磁場により磁気抵抗効果素子12a, bの抵抗値が変化する。すると端子Pの電位が midpoint 電位からずれるので(DCオフセット)、三角波状に変化する出力電位が基準電位からずれることとなる(図7(b))。従って、コンパレータ14、波形整形部41及びLPF42を通じて得られる midpoint 電位の出力は、電位のずれ量に応じて三角波のデューティ比が1:1から $T_p : T_n$ ($T_p > T_n$)へ変化したものとなる。この T_p と T_n との差が被測定電流により生じる誘導磁場の強さを表す。

【0038】

定電流出力部43は、例えばインダクタであり、図7に例示した midpoint 電位の出力に応じて、基準電位より高い midpoint 電位が得られている区間と、基準電位より低い midpoint 電位が得られている区間とで電流の向きを異ならせた、一定の大きさの電流を出力する。

【0039】

この電流はコイル13に供給され、コイル13が磁場(キャンセル磁場)を生じる。そしてこのキャンセル磁場による磁束が、先の三角波状の電流による磁束や、被測定電流から生じる誘導磁場とともに、磁気ヨーク11を通して磁気抵抗効果素子12a, bに印加される。そして磁気抵抗効果素子12a, bを通る磁束がゼロとなるときのコイル13に供給した電流量に比例した電圧信号Vを、三角波除去部45によって三角波を除去した上で固定抵抗器16の両端から取り出す(OUT)。この電圧信号Vが、被測定電流の電流量に比例した出力信号となる。

【0040】

また本実施の形態の磁気ヨーク11の形状、並びに配置は図1に例示したものに限らない。図8は、磁気ヨーク11の形状、配置の別の例(第2例)を表す概略平面図である。この図8においても、磁気ヨーク11の形状等を分かりやすくするため、コイル13を破線で表している。図8の例では、 $2n+1$ (n は自然数)個の磁気ヨーク11-1, 11-2, ..., 11-(2n+1)が、磁束の方向に沿って一列に、間隔を置いて配される。

【0041】

また各磁気ヨーク11には、コイル13が巻回されている。そしてこれら磁気ヨーク11のうち、磁束方向(X軸方向)両端に配された二つの磁気ヨーク11-1及び11-(2n+1)(末端磁気ヨーク)が、それぞれの末端側(隣接する磁気ヨーク11とは反対側)に、磁束方向とは直交する方向(Y軸方向)の少なくとも一方側に延伸される延伸部Lを備える。この第2例において、二つの磁気ヨーク11-1及び11-(2n+1)からそれぞれ延伸された延伸部Lは、互いに接続されて閉磁路を形成している。

【0042】

第2例では、被測定電流により生じる磁束ならびにコイル13によって生じる磁束線は、主に磁気ヨーク11の長手方向(X軸方向)に略平行になり、磁気ヨーク11間(平面視において、基板10の厚さ方向には磁気ヨーク11と同じ面内になくてもよい)に配された磁気抵抗効果素子12を透過する磁束が略平行になる。また一方の末端磁気ヨークの延伸部Lに達した磁束線は、延伸部Lによって形成されている閉磁路に沿って伸び、他方の末端磁気ヨークの延伸部Lを経て閉じた経路を描く。

【0043】

さらにこの第2例における延伸部Lは、図9に例示するように、磁束の方向に延びる両端以外の磁気ヨーク11の中心線(磁気抵抗効果素子12の中心を貫く線分)に対して線対称に配されてもよい(第3例)。第3例では、一方の末端磁気ヨークの延伸部Lに達した磁束線は、延伸部Lによって形成されている2つの閉磁路に沿って伸び、他方の末端磁

10

20

30

40

50

気ヨークの延伸部 L を経て閉じた経路を描くことになる。

【 0 0 4 4 】

これら第 2 , 第 3 例は、例えば磁気ヨーク 1 1 を比較的厚め（例えば $10\ \mu\text{m}$ 以上）に形成する場合など、磁気ヨーク 1 1 内を流れる磁束が大きくなる場合に有効である。また第 3 例のように、延伸部 L が磁束の方向に延びる両端以外の磁気ヨーク 1 1 の中心線に対して線対称に配される場合、互いに隣接する一対の磁気ヨーク 1 1 間の磁束をより直線的にできる。

【 0 0 4 5 】

さらに本実施の形態では、互いに隣接する一対の磁気ヨーク 1 1 間（平面視において、基板 1 0 の厚さ方向には磁気ヨーク 1 1 と同じ面内になくてもよい）に、それぞれ複数の磁気抵抗効果素子 1 2 を配してもよい（第 4 例）。図 1 0 (a) , (b) は、いずれもこの第 4 例に係る磁気センサデバイス 1 の平面図である。図 1 0 (a) , (b) に示す第 4 例では、2つの磁気ヨーク 1 1 を含み、各磁気ヨーク 1 1 がそれぞれの末端側から延伸され、互いに接続されて閉磁路を形成する延伸部 L を備える。またこの延伸部 L は、磁気抵抗効果素子 1 2 の中心を貫く磁束方向の線分に対して線対称に配され、全体として略 8 の字状の形状をなす。なお、二つの磁気抵抗効果素子 1 2 a , b を間に置いて対向する直線状の部分にはコイル 1 3 が巻回され、当該部分は延伸部 L よりも幅太に形成されている。

【 0 0 4 6 】

さらに図 1 0 (a) に示す例において、磁気抵抗効果素子 1 2 a , b 間を通り、両方向の延伸部 L に接続される磁気ヨーク 1 1 x をさらに設けてもよい（図 1 0 (b) ）。この磁気ヨーク 1 1 x は、磁気抵抗効果素子 1 2 a , b の間に挟まれる部分のうち、さらにその少なくとも一部が、他の部分よりも幅太に形成される。この磁気ヨーク 1 1 x を設けることで、各磁気抵抗効果素子 1 2 a , b を透過する磁束がより直線状になる。

【 0 0 4 7 】

ここまでの第 1 から第 4 例において、各磁気ヨーク 1 1 には、端部から予め定めた距離 d にある範囲に、端部に向けてその幅が狭くなるようテーパ部を設けている。このテーパの先端（磁気ヨーク 1 1 の端部）の幅は、磁気抵抗効果素子 1 2 の実効長さよりも長くしておいてもよい。ここで実効長さとは、磁気抵抗効果素子 1 2 のうち、磁場による抵抗変化（出力変化）を生じる部分の長さをいい、具体的には磁気抵抗効果素子 1 2 の長手方向の全長（ストライプの長さ）から電極膜が接している部分の長さを除いた部分の長さである。電極膜は、磁気抵抗効果素子 1 2 よりも比抵抗（或いは導電率）を小さくする。電極膜が接している部分では電極膜に電流の大部分が流れてしまうため、当該部分では抵抗変化を検出できない。そこで当該電極膜が接している部分を除く長さ部分が、磁気抵抗効果素子 1 2 の実効的な長さとなる。磁気抵抗効果素子 1 2 の抵抗値を大きくすると、ESD（静電破壊）を防ぐ効果が期待できるので、磁気抵抗効果素子 1 2 の全長をテーパの先端（最も幅の小さい部分）の幅よりも大きくすることが好ましい。

【 0 0 4 8 】

さらに本実施の形態の別の例（第 5 例）では、各磁気ヨーク 1 1 に、隣接する磁気ヨーク 1 1 側の端部から距離 d にある範囲に、当該端部に向けてその幅が狭くなるよう第 1 テーパ部 3 1 を設けるとともに、上記端部から距離 d より離れた範囲、すなわちコイル 1 3 が巻回される部分に、隣接する磁気ヨーク 1 1 に向ってその幅を狭くする第 2 テーパ部 3 2 をさらに設ける（図 1 1 ）。

【 0 0 4 9 】

図 1 1 に例示するように、磁束方向両側に隣接する磁気ヨーク 1 1 を有する中央の磁気ヨーク 1 1 は、その磁束方向中央部が最も幅広となり、両側の各磁気ヨーク 1 1 に向かって幅が狭くなるようにテーパが形成される。このように中央部が幅広に形成されることで、磁気ヨーク 1 1 内を通る磁束が増大しても、磁気飽和が防止され、磁気回路としての線形応答性を維持することに寄与する。また、磁気ヨーク 1 1 の端部から当該磁気ヨーク 1 1 の別の箇所への磁束 b 3 を減少させることができる。

【 0 0 5 0 】

10

20

30

40

50

ここで第2テーパ部32は、第1テーパ部31のテーパ角とは異なるテーパ角を有するものとする。図11は、図1に例示した磁気ヨーク11の形状において、各磁気ヨーク11に第2テーパ部32を設けた例を示す、本実施の形態の磁気センサデバイス1の平面図である。なお、ここでは図1に例示したパターンの磁気ヨーク11に対して第2テーパ部32を設けた例としたが、図8, 9, 10に例示したパターンの磁気ヨーク11(の本体部)に対しても同様に第2テーパ部32を設けてもよい。

【0051】

図11に示す第5例では、第1テーパ部31のテーパ角よりも第2テーパ部32のテーパ角が小さくなるように、第1、第2のテーパ部が形成されている。なお、第2テーパ部32のテーパ角は、磁気ヨーク11の膜厚に応じて実験的に調整すること

10

【0052】

この第5例の磁気ヨーク11の形状によると、第2テーパ部32を設けたことで、磁気ヨーク11の端部からの非寄与磁束をより少なくし、磁気ヨーク11間に配される磁気抵抗効果素子12を透過する磁束をより多くできる。

【0053】

ここまでの説明では、 $2n$ 個の磁気抵抗効果素子12を用いて、一对の磁気抵抗効果素子12ごとにハーフブリッジを形成する例を示した。しかしながら、本実施の形態では、4つの磁気抵抗効果素子12ごとにフルブリッジを形成してもよい。その一例となる磁気ヨーク11の配置例を図12に示す。図12の例(第6例)では、コイル13が巻回される第1磁気ヨーク11aと、略C字状をなす、2つの第2磁気ヨーク11b, cを含む。また、第2磁気ヨーク11b, cの両端部は、第1磁気ヨーク11aに対して間隔を置いて対向しており、これら第2磁気ヨーク11b, cの両端部と第1磁気ヨーク11aとの間(平面視において、基板10の厚さ方向には磁気ヨーク11と同じ面内になくてもよい)には、4つの磁気抵抗効果素子12a, b, c, dが配される。なお、第2磁気ヨーク11b, cは、磁束の方向に延びる第1の磁気ヨーク11aの中心線に対して線対称に配されている。

20

【0054】

この第6例の磁気抵抗効果素子12を用いた磁気センサ回路は、図13に例示するように、 $4n$ 個ごとの磁気抵抗効果素子12がフルブリッジを構成したものである。ここで磁気抵抗効果素子12aと磁気抵抗効果素子12bとの一端側は互いに接続されて、直流バイアス電源Vddの供給を受ける。また磁気抵抗効果素子12aの他端側は磁気抵抗効果素子12cの一端側に接続され(P)、磁気抵抗効果素子12bの他端側は磁気抵抗効果素子12dの一端側に接続される(Q)。さらに磁気抵抗効果素子12cと磁気抵抗効果素子12dとの他端側は互いに接続されて、共通端子(GND)に接続される。

30

【0055】

このとき、磁気抵抗効果素子12aの一端側から他端側へ向かう方向に直交する固定層の磁化方向と、磁気抵抗効果素子12cの他端側から一端側へ向かう方向に直交する固定層の磁化方向とが互いに直交するように接続する。また磁気抵抗効果素子12bの一端側から他端側へ向かう方向に直交する固定層の磁化方向と、磁気抵抗効果素子12dの他端側から一端側へ向かう方向に直交する固定層の磁化方向とが互いに直交するように接続する。図中では、それぞれの固定層の磁化方向を模式的に矢印で表している。

40

【0056】

また端子P及びQは、それぞれコンパレータ14の両入力端子に接続される。そしてこのコンパレータ14の出力は、また第1の磁気ヨーク11aに巻回されたフィードバックコイル13の一端側に、波形整形部41とローパスフィルタ(LPF)42と定電流出力部(またはインダクタ)43とを介して接続される。またこのフィードバックコイル13の一端側には、三角波発生回路44が結合容量Cを介して接続されている。さらにフィードバックコイル13の他端側は固定抵抗器16を介して共通端子(GND)に接続され、また三角波除去部(ローパスフィルタでよい)45を介して出力端子OUTに接続される

50

。

【 0 0 5 7 】

本実施の形態のこの一例に係る磁気センサデバイス 1 を、被測定電流の流れる導体の近傍に配すると、この被測定電流により生じる誘導磁場により磁気抵抗効果素子 1 2 a , b , c , d の抵抗値が変化して端子 P Q 間に電位差が生じる。

【 0 0 5 8 】

そして図 6 において説明したのと同様の動作により、この電位差に対応した電流が定電流出力部 4 3 からフィードバックコイル 1 3 に供給され、フィードバックコイル 1 3 が磁場（キャンセル磁場）を生じる。このキャンセル磁場による磁束は、三角波状の電流による磁場、並びに被測定電流による誘導磁場とともに第 1 磁気ヨーク 1 1 a を通って磁気抵抗効果素子 1 2 a , b , c , d に印加される。そして磁気抵抗効果素子 1 2 a , b , c , d を通る磁束がゼロとなるときのフィードバックコイル 1 3 に供給した電流量に比例した電圧信号 V が、固定抵抗器 1 6 の両端から取り出される（O U T）。この電圧信号 V が、被測定電流の電流量に比例した出力信号となる。

【 0 0 5 9 】

図 6 または図 1 3 に示された磁気センサ回路では、出力する電圧信号 V が、本磁気センサデバイス 1 が配された場所における磁場の強さに比例する。例えば、図 1 5 に例示するように、この磁気センサデバイス 1 の近傍を通る導線 2 に流れる電流 i を被測定電流としてもよい。ここで磁気センサデバイス 1 の近傍とは、磁気センサデバイス 1 により検出可能な磁場を、磁気センサデバイス 1 の配された場所に形成できる範囲内とする。

【 0 0 6 0 】

図 1 5 において、導線 2 の長手方向は、磁気センサデバイス 1 の基板 1 0 面に平行な方向（図 1 5 では図 1 における Y 軸方向）であり、この方向（図では Y 軸負の方向）に電流が流れるものとする。広く知られた物理法則により、この電流により導線 2 には電流の流れる方向を見たときに導線 2 の周りに時計回りの向きに磁束線 f が生じる。

【 0 0 6 1 】

この場合の磁気センサ回路が出力する電圧信号 V は、当該被測定電流の電流量 I_d に比例する。つまり、 $V = \quad \cdot I_d$ と表すことができる。そこで被測定電流が流れるべき導線 2 と、この磁気センサデバイス 1 との配置を定めた上で、当該導線 2 に既知の電流 I_0 を流し、そのときの磁気センサ回路が出力する電圧信号 V_0 を用いて、 $V_0 = \quad \cdot I_0$ の関係から比例係数 \quad を求める。その後は、この導線 2 を流れる電流量 I_d を、 $I_d = V / \quad$ により求めることができることとなる。この電流量 I_d （またはそれに関係する電圧信号 V）を出力することにより、図 6 または図 1 3 に示した磁気センサ回路は、電流センサ回路として動作することとなる。

【 0 0 6 2 】

なお、図 6 , 図 1 3 の例において、定電流出力部 4 3 より下段側の回路については、図 1 4 に例示するようにしてもよい。すなわち、定電流出力部 4 3 の出力を、固定抵抗器 1 6 を介してフィードバックコイル 1 3 の一端側に接続するようにしてもよい。この場合も、三角波発生回路 4 4 の出力は結合容量 C を介してコイル 1 3 の一端側に直接接続される。

【 0 0 6 3 】

またこの場合は、固定抵抗器 1 6 の両端に差動増幅器 4 6 を接続し、この差動増幅器 4 6 の出力を、出力信号とする。

【 0 0 6 4 】

さらに図 1 5 に例示した配置において、図 1 6 に例示するように、磁気センサデバイス 1 と被測定電流が流れる導体 C との間には、磁気シールド 3 を配してもよい。図 1 6 の例では磁気シールド 3 は、基板 1 0 に平行な平面状をなし、少なくとも磁気センサデバイス 1 よりも大きい面積の導電体により形成される。この磁気シールド 3 と磁気センサデバイス 1 とは非磁性の筐体内に収納されて、相互の相対的位置が固定されていてもよい。また樹脂により双方が一体にモールドされていてもよい。

【 0 0 6 5 】

図 1 7 は、磁気シールドの別の例を表すものである。この磁気シールド 4 は、Y 軸方向を長手方向とし、非測定電流が流れる導線 C の少なくとも一部、磁気センサデバイス 1 近傍（磁気センサデバイス 1 から、予め定めた距離の範囲）を取囲む筒状をなす。この例では磁気シールド 4 の導線 C と同じ側（筒状内部）に、磁気センサデバイス 1 を配する。この磁気シールド 4 は、非磁性の支持体（不図示）により、支持されてもよい。この図 1 7 の磁気シールド 4 は、外部からの磁場の影響を軽減する。磁気シールドは薄膜で構成してよい。

【実施例】

【 0 0 6 6 】

本発明の一実施例について、図 1 に例示した磁気ヨーク 1 1 のパターンを形成した場合を例として説明する。次に示す例では、磁気ヨーク 1 1 の延伸部 L の全体長さ（Y 軸方向端部間の長さ）を、

実施例 1 : 6 9 0 μm 、

実施例 2 : 3 9 0 μm 、

実施例 3 : 2 9 0 μm 、

実施例 4 : 1 9 0 μm 、

比較例 1 : 0 μm （延伸部なし）

とした（なお延伸部 L の幅は 4 0 μm とした）。

【 0 0 6 7 】

また、を 3 9 0 μm として、延伸部 L の幅を

実施例 5 : 5 0 μm 、

実施例 6 : 4 0 μm 、

実施例 7 : 3 0 μm

実施例 8 : 2 0 μm

として、それぞれの場合に磁気抵抗効果素子 1 2 の幅方向における磁束密度の分布を調べた。図 1 8 は、その結果を図示したものである。

【 0 0 6 8 】

図 1 8 に示す図では、磁気抵抗効果素子 1 2 の長手方向中央を横軸 7 μm の位置とし、コイル 1 3 に 2 0 m A の直流を流した場合の、磁気抵抗効果素子 1 2 の中央部近傍における磁束密度の大きさを表したものである。

【 0 0 6 9 】

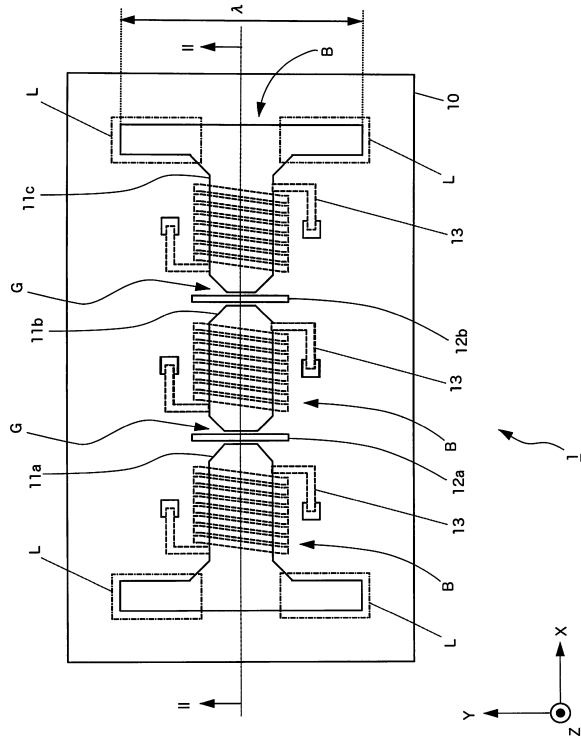
図 1 8 に例示するように、実施例 7 では、中央部近傍での磁束密度は 1 . 2 4 T となり、他の実施例 1 - 6 , 8（これらは互いに特性が略同じであるため、線が重なって見難くなっていることを考慮して、線の存在する範囲をハッチングで示す）においても少なくとも 1 . 1 5 T を超えている。これに対して比較例 1（不図示）では、中央部近傍での磁束密度は 0 . 0 1 T に留まる。つまり、実施例と比較例とでは中央部近傍での磁束密度に約 1 0 0 倍程度の差が生じている。また、延伸部 L の全体長さではあまり影響はないが、幅を変化させたときに効果に差が現れ、幅 2 0 μm 以上、4 0 μm 以下とすることが好ましい。

【符号の説明】

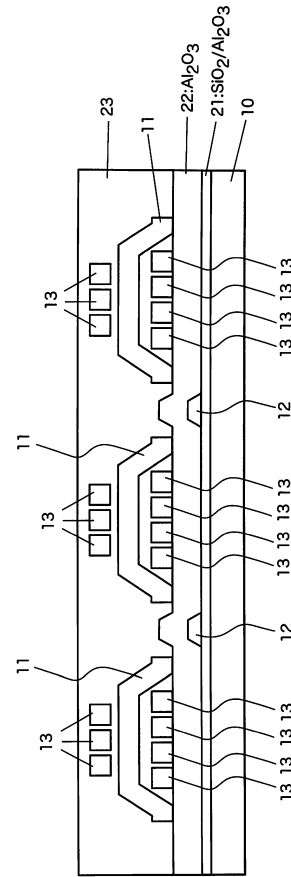
【 0 0 7 0 】

1 磁気センサデバイス、2 導線、3 , 4 磁気シールド、1 0 基板、1 1 磁気ヨーク、1 2 磁気抵抗効果素子、1 3 コイル、1 4 コンパレータ、1 5 基準電源、1 6 固定抵抗器、2 1 絶縁層、2 2 絶縁膜、2 3 樹脂、3 1 第 1 テーパー部、3 2 第 2 テーパー部、4 1 波形整形部、4 2 ローパスフィルタ、4 3 定電流出力部、4 4 三角波発生回路、4 5 三角波除去部、4 6 差動増幅器。

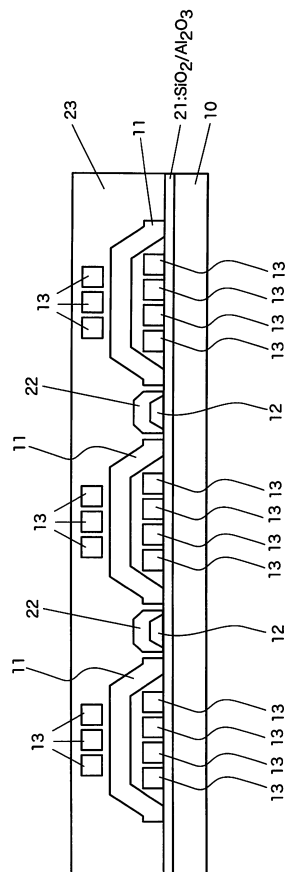
【図 1】



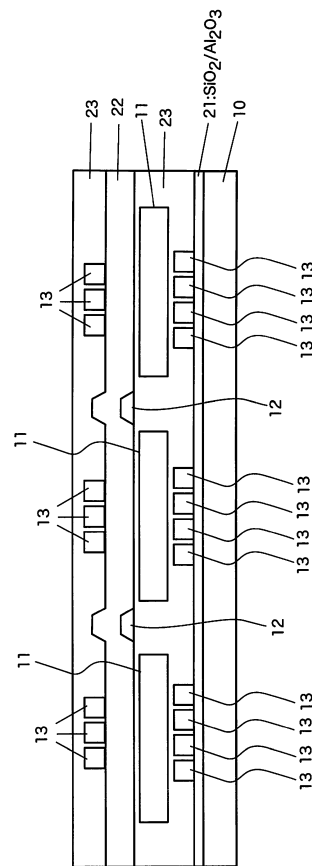
【図 2】



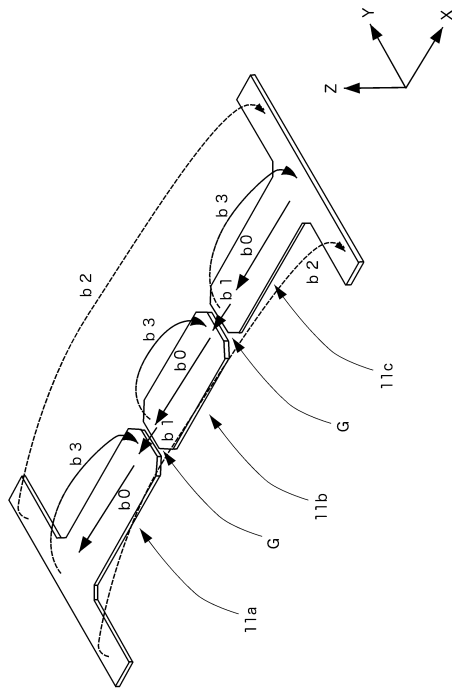
【図 3】



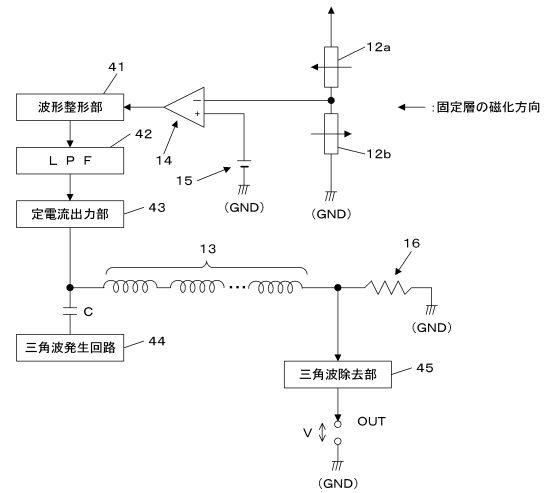
【図 4】



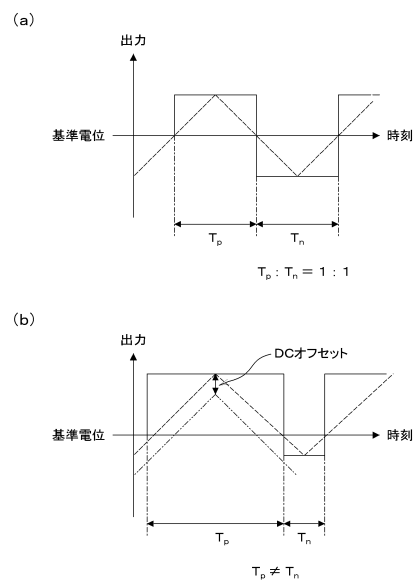
【図 5】



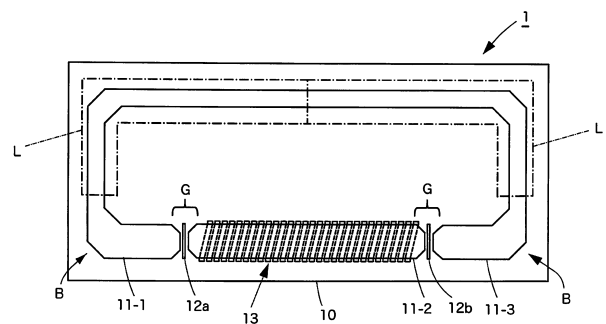
【図 6】



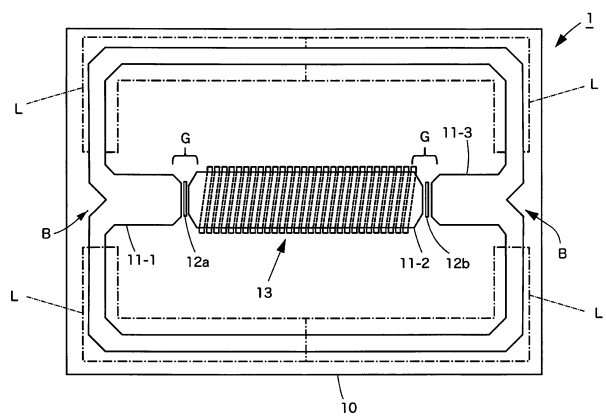
【図 7】



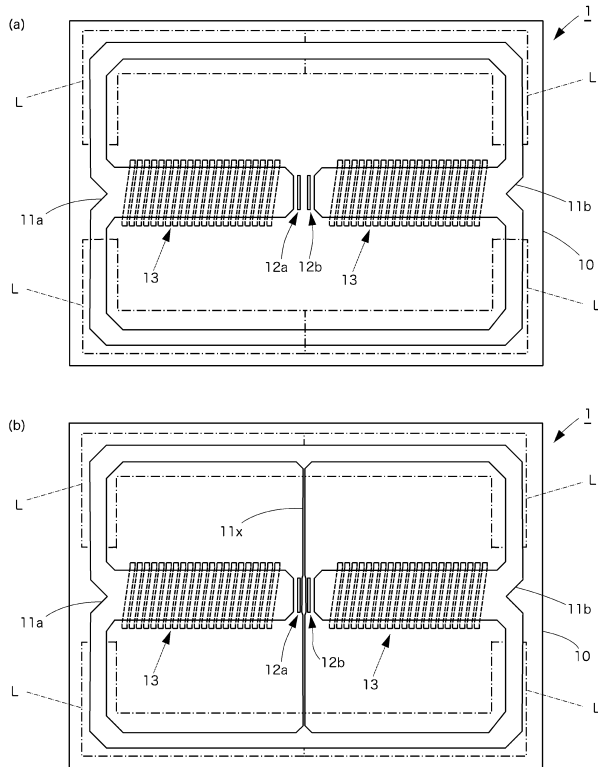
【図 8】



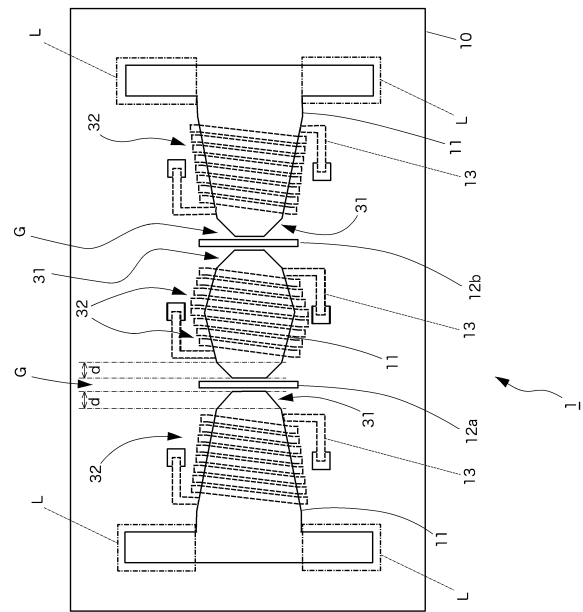
【図 9】



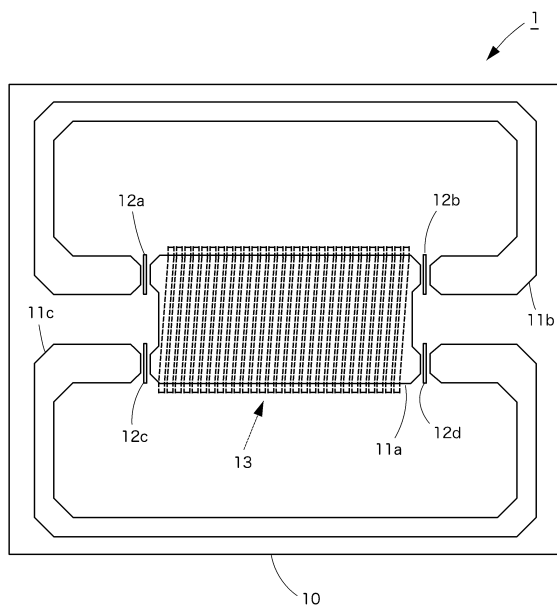
【図10】



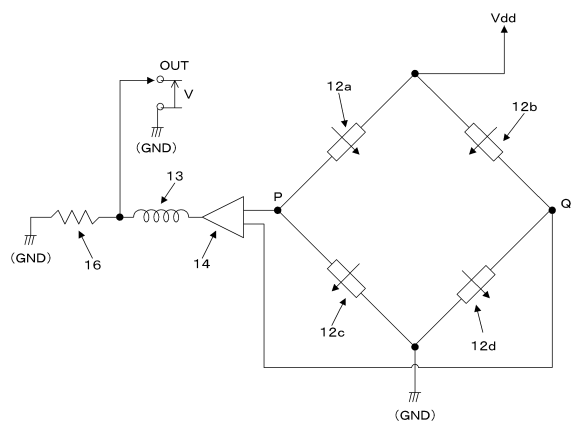
【図11】



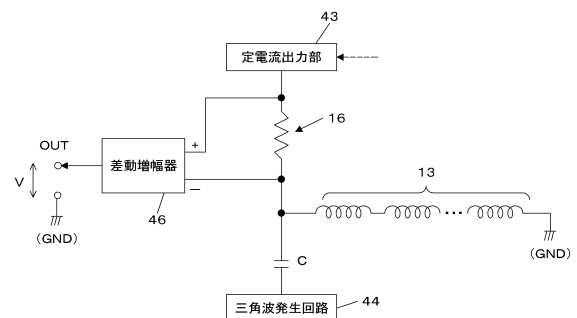
【図12】



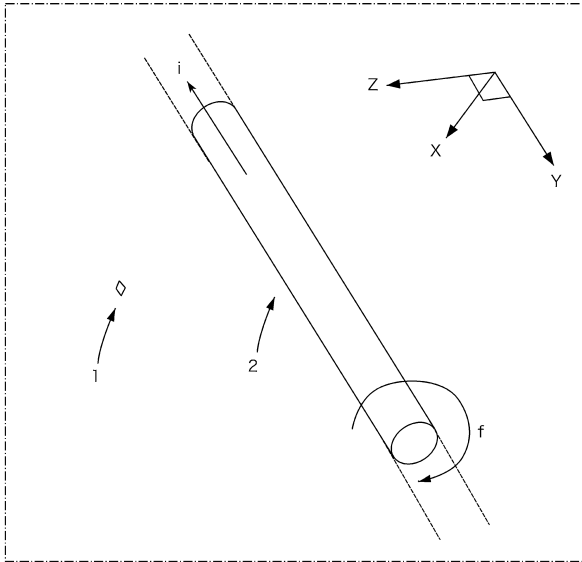
【図13】



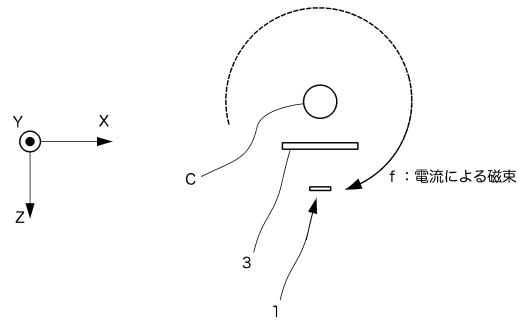
【図14】



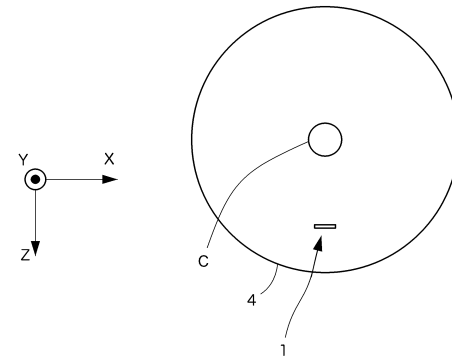
【図 15】



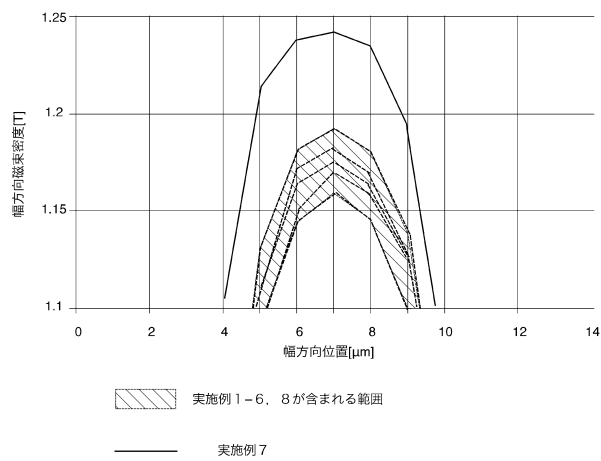
【図 16】



【図 17】



【図 18】



フロントページの続き

(72)発明者 阿部 泰典

大阪府三島郡島本町江川2丁目15番17号 日立金属株式会社内

審査官 川瀬 正巳

(56)参考文献 国際公開第2008/146809(WO, A1)

国際公開第2010/143666(WO, A1)

特開2009-300196(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01R 33/09

G01R 15/20