

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-150007
(P2012-150007A)

(43) 公開日 平成24年8月9日(2012.8.9)

(51) Int.Cl.		F I	テーマコード (参考)	
GO 1 R	21/08 (2006.01)	GO 1 R	21/08	2GO 1 7
GO 1 R	33/07 (2006.01)	GO 1 R	33/06 H	2GO 2 5
GO 1 R	15/20 (2006.01)	GO 1 R	15/02 A	

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2011-8956 (P2011-8956)
(22) 出願日 平成23年1月19日 (2011.1.19)

(71) 出願人 000005821
パナソニック株式会社
大阪府門真市大字門真1006番地
(74) 代理人 100105647
弁理士 小栗 昌平
(74) 代理人 100108589
弁理士 市川 利光
(74) 代理人 100119552
弁理士 橋本 公秀
(72) 発明者 岩見 英司
大阪府門真市大字門真1048番地 パナ
ソニック電工株式会社内
(72) 発明者 宮村 雄介
大阪府門真市大字門真1048番地 パナ
ソニック電工株式会社内

最終頁に続く

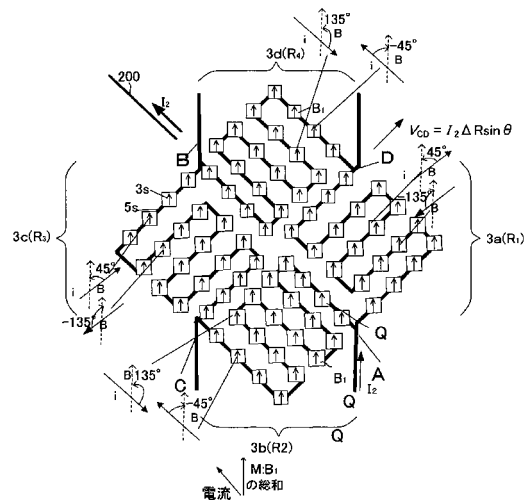
(54) 【発明の名称】 電力計測装置

(57) 【要約】

【課題】 高精度でかつ安定的に電力を計測する電力計測装置を提供する。

【解決手段】 第1乃至第4の磁性体成分3a乃至3dは、正方形の微小エレメント3sの接続体で構成されたミアンダ形状パターンで構成される。これにより、全体としては長いパターンでありながら、正方形の接続体であるため、形状異方性をもつことなく、磁化方向は、正方形の中心をとおるこの正方形の2つの辺に平行な方向となっている。従って磁化方向Pは電流経路Qに対して45°の角度をなすように構成され、一次導体200と平行な方向に電流経路をとることができ、高感度化を図ることができる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ブリッジ構造をとるように順次配列された第 1 乃至第 4 の磁性体成分で構成され、電流が流れる一次導体に対し平行な平面上に配置された磁性体薄膜と、

前記一次導体に接続され、前記磁性体薄膜に素子電流を供給する電流入出力端子を備えた給電部と、

前記電流入出力端子を結ぶ線上で、前記磁性体薄膜の中間位置に接続され、前記磁性体薄膜の出力を検出する電圧入出力端子を備えた検出部とを具備した電力計測装置であって、

前記第 1 乃至第 4 の磁性体成分のそれぞれは、磁化方向が互いに同じ方向を向くように調整された複数の微小エレメントの接続体で構成された電力計測装置。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載の電力計測装置であって、

前記第 1 乃至第 4 の磁性体成分の前記微小エレメントの磁化方向が、前記第 1 乃至第 4 の磁性体成分のそれぞれの方向に対し - 45° あるいは 135° の角度をなす電力計測装置。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の電力計測装置であって、

前記第 1 乃至第 4 の磁性体成分のそれぞれを構成する前記微小エレメントのうち隣接する各微小エレメントは接続部を介して接続されている電力計測装置。

20

【請求項 4】

請求項 3 に記載の電力計測装置であって、

前記接続部は、前記微小エレメントと同一の磁性体薄膜で構成された電力計測装置。

【請求項 5】

請求項 3 に記載の電力計測装置であって、

前記接続部は、前記微小エレメントのほぼ中心に配設された電力計測装置。

【請求項 6】

請求項 3 に記載の電力計測装置であって、

前記各微小エレメントは矩形をなし、前記電流入出力端子を結ぶ方向を縦方向、前記電圧入出力端子を結ぶ方向を横方向としたとき、縦方向と横方向の長さの比が 1 以上である電力計測装置。

30

【請求項 7】

請求項 6 に記載の電力計測装置であって、

前記各微小エレメントは正方形である電力計測装置。

【請求項 8】

請求項 6 に記載の電力計測装置であって、

前記各微小エレメントは前記縦方向を長手方向とする長方形である電力計測装置。

【請求項 9】

請求項 3 に記載の電力計測装置であって、

前記各微小エレメントは中実の円形をなす電力計測装置。

40

【請求項 10】

請求項 1 または 2 に記載の電力計測装置であって、

前記第 1 乃至第 4 の磁性体成分はそれぞれミアンダ形状パターンで構成される電力計測装置。

【請求項 11】

請求項 1 に記載の電力計測装置であって、

前記微小エレメントに対して所定の間隔を隔てて配設された補助エレメントを備えた電力計測装置。

【請求項 12】

請求項 1 に記載の電力計測装置であって、

50

前記磁性体薄膜に対して一方向に直流磁界を印加する磁界印加手段を有する電力計測装置。

【請求項 1 3】

請求項 1 2 に記載の電力計測装置であって、

前記磁界印加手段は、前記磁性体薄膜に対して一次導体による磁界に略直交する方向に磁界を印加する電力計測装置。

【請求項 1 4】

請求項 1 に記載の電力計測装置であって、

前記第 1 乃至第 4 の磁性体成分が、それぞれの区間において長手方向が隣り合う区間の長手方向とのなす角が 90° である電力計測装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電力計測装置にかかり、特に磁性体薄膜をセンサとして用い、電流及び電圧を入力して、両入力から得られる電力に相当する信号を直接出力する電力計測装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、インターネット等を利用する環境が整ってきた中で、電力の遠隔検針を含めた計測システムの開発が進められている。

20

例えば使用した電力を円盤の回転数に変換し、積算演算を行うという既存の積算電力計に、回転を検出するセンサを付加したり、電流計 (CT)、電圧計 (PT) を新たに付加するものが提案されている。このような計測システムでは、電子回路やマイクロプロセッサによる乗算計算を行い、電力を計測するなどの方法が用いられる。しかし、このような電力計は、装置が大型化するだけでなく、高価なものとなり、また、余計なエネルギーを消費しかねないという状況である。

そこで消費電力をそのまま電気量として測定することができるとともに、小型化及び集積化の可能な電力計の開発が望まれている。

【0003】

30

そして最近では、磁性体薄膜の磁気抵抗効果を利用し、消費電力を電気量のまま測定することの可能な電力計測装置が提案されている (非特許文献 1、2)。

【0004】

この電力計測装置では、交流が流れる一次導体に対し、平行となるように基板上に配された磁性体薄膜を用いたもので、この磁性体薄膜の両端に抵抗を介して一次電圧が印加され、磁性体薄膜の両端から出力を取り出す電力センサを用いている。そしてこの電力計測装置は、電力センサから、2倍周波数成分の振幅値に基づき電力 P を取り出す方式をとる。

【0005】

この電力計測装置では、強磁性体等の磁性体内において、電流と磁化のなす角度によりその磁性体の電気抵抗値が変わる現象であるプレーナホール効果を利用し、線形特性を得ることができる点に着目し、電力に比例する信号成分を取り出すようにしている。

40

ここで用いられる電力センサは、外部磁界の変化を電気信号に変換する素子であり、強磁性体薄膜や半導体薄膜等の磁界検出膜をパターンニングし、その磁界検出膜のパターンに電流を流し電圧変化として外部磁界の変化を電気信号に変換するものである。

【0006】

ここで出力信号は抵抗値 R_1 が磁気抵抗変化により $R_1 + \Delta R_1$ となるとすると、次式 (1) のようになる。

【数 1】

$$V_w = \underbrace{\frac{R1 \cdot R3 - R2 \cdot R4}{R1 + R2 + R3 + R4} \cdot \sqrt{2} I_1 \cos \alpha r}_{\omega} + \underbrace{\frac{k \cdot R3}{R1 + R2 + R3 + R4} \cdot I_1 \cdot V_1 \cos \theta + \frac{k \cdot R3}{R1 + R2 + R3 + R4} \cdot I_1 \cdot V_1 \cos(2\alpha r + \theta)}_{DC} + \text{高調波成分} \quad P=V \cdot I \cdot \cos \theta$$

(式 1)

10

V_1 : 電圧、 I_1 : 計測電流、 \cos : 力率、 α : 角周波数、
 I_2 : 素子電流(膜を流れる電流)、 $R1 - R4$: 端子間の各抵抗
 k : 膜固有の特性で決まる係数

ここで出力は、直流成分の項(DC)と、交流成分の項(ω 、 2ω)に分けられる。

A1はブリッジ抵抗のアンバランスで生ずる電力と関係のない不要な項、A2は電力に比例する項(瞬時電力)である。

【0007】

しかしながら、上記電力計測装置においては、 2ω 成分の振幅値 $I_1 \cdot V_1$ の値を計測し、別途 \cos を計測し、別途掛け算を行って、 $I_1 \cdot V_1 \cdot \cos$ を得るという方法をとっており、力率が1でない場合は力率を別途計測し演算する必要があった。また、高調波成分を有する電流波形の場合、基本波成分の電力しか取り出すことができないという問題があった。

20

また、プレーナホール効果を利用した電力計測手法では出力値が小さく、また計測電流として突入電流などの大きな電流が流れると、磁性体薄膜が磁化反転を起こし出力特性が変わるといった問題があった。

【0008】

そこで磁界センサの高感度化をはかるために、図28に示すように着磁方向の等しい4個のチップを組み合わせ、磁気抵抗素子同士を直列に接続して、1相の出力信号を出力するブリッジ回路を構成した磁界センサも提案されている(特許文献1)。

【先行技術文献】

30

【非特許文献】

【0009】

【非特許文献1】磁性膜を用いた薄膜電力計(電気学会マグネティックス研究会資料VOL.MAG-05No.182)

【非特許文献2】磁性膜を用いた薄膜電力計(電気学会マグネティックス研究会資料VOL.MAG-08No.192)

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】特開2003-66127号公報(段落0004など)

【発明の概要】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

特許文献1のブリッジ回路を用いた磁気抵抗素子では、磁気抵抗の変化を出力特性として取り出すため、ブリッジ回路を構成する各エレメントは磁気抵抗を大きくするのが望ましい。そこで各エレメントの太さを細く、長くするのが望ましい。しかしながら抵抗をあげるために細くすると、形状異方性の影響を受けやすくなる。このため、膜パターンの長手方向に磁化方向が向くことになり、図28に示したブリッジ回路では、各エレメントは矢印 B_{01} 、 B_{02} 、 B_{03} 、 B_{04} 方向となり、互いに垂直な方向に磁化される。この場合、各エレメントは向きたい磁化方向 B_{11} 、 B_{12} 、 B_{13} 、 B_{14} に対して 45° の角度をなしており、磁気センサとして十分な出力を得ることができないという問題があ

50

った。

このため、このような磁界センサを用いて電力計測を行う場合、磁界センサを十分に高感度化することが出来ず、高精度化に限界があった。

本発明は前記実情に鑑みてなされたもので、高精度でかつ安定的に電力を計測することができる電力計測装置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】

【0012】

そこで本発明は、ブリッジ構造をとるように順次配列された第1乃至第4の磁性体成分で構成され、電流が流れる一次導体に対し平行な平面上に配置された磁性体薄膜と、前記一次導体に接続され、前記磁性体薄膜に素子電流を供給する電流入出力端子を備えた給電部と、前記電流入出力端子を結ぶ線上で、前記磁性体薄膜の中間位置に接続され、前記磁性体薄膜の出力を検出する電圧入出力端子を備えた検出部とを具備した電力計測装置であって、前記第1乃至第4の磁性体成分のそれぞれは、磁化方向が互いに同じ方向を向くように調整された複数の微小エレメントの接続体で構成されたことを特徴とする。

10

【0013】

また、本発明は、上記電力計測装置であって、前記第1乃至第4の磁性体成分の前記微小エレメントの磁化方向が、前記第1乃至第4の磁性体成分のそれぞれの方向に対し - 45°あるいは135°の角度をなすものを含む。

【0014】

また、本発明は、上記電力計測装置であって、前記第1乃至第4の磁性体成分のそれぞれを構成する前記微小エレメントのうち隣接する各微小エレメントは接続部を介して接続されているものを含む。

20

【0015】

また、本発明は、上記電力計測装置であって、前記接続部は、前記微小エレメントのほぼ中心に配設されたものを含む。

【0016】

また、本発明は、上記電力計測装置であって、前記各微小エレメントは矩形をなし、前記電流入出力端子を結ぶ方向を縦方向、前記電圧入出力端子を結ぶ方向を横方向としたとき、縦方向と横方向の長さの比が1以上であるものを含む。

【0017】

また、本発明は、上記電力計測装置であって、前記各微小エレメントは正方形であるものを含む。

30

【0018】

また、本発明は、上記電力計測装置であって、前記各微小エレメントは前記縦方向を長手方向とする長方形であるものを含む。

【0019】

また、本発明は、上記電力計測装置であって、前記各微小エレメントは中実の円形をなすものを含む。

【0020】

また、本発明は、上記電力計測装置であって、前記第1乃至第4の磁性体成分はそれぞれミアンダ形状パターンで構成されるものを含む。

40

【0021】

また、本発明は、上記電力計測装置であって、前記微小エレメントに対して所定の間隔を隔てて配設された補助エレメントを備えたものを含む。

【0022】

また、本発明は、上記電力計測装置であって、前記磁性体薄膜に対して一方向に直流磁界を印加する磁界印加手段を有するものを含む。

【0023】

また、本発明は、上記電力計測装置であって、前記磁界印加手段は、前記磁性体薄膜に対して一次導体による磁界に略直交する方向に磁界を印加するものを含む。

50

【 0 0 2 4 】

また、本発明は、上記電力計測装置であって、前記第 1 乃至第 4 の磁性体成分が、それぞれの区間において長手方向が隣り合う区間の長手方向とのなす角が 90° であるものを含む

【 発明の効果 】

【 0 0 2 5 】

以上説明してきたように、本発明によれば、ブリッジ構造をとるように順次配列された第 1 乃至第 4 の磁性体成分のそれぞれが形状異方性を受けにくい膜形状である微小エレメントの接続体で構成されている。このため、ブリッジ全体としても形状異方性を抑制し、磁化方向が所望の方向を向くように構成することができる。また、バイアス磁石を使用することなく磁化方向をそろえることができる。バイアス磁石を使用しても小さな磁石で目的を達成することができる。このため、変化量のみを取り出すことができるため電力演算が可能であり、極めて簡単な構成で、力率を別途計測する必要がなく、直接高感度かつ信頼性の高い電力測定が実現可能となる。望ましくは形状異方性を持たない程度の微小エレメントで構成する。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 6 】

【 図 1 】 本発明の電力測定装置の原理説明図

【 図 2 】 同等価回路図

【 図 3 】 同等価回路の要部説明図

【 図 4 】 電力測定装置の比較例を示す説明図、(a) はシングル抵抗を用いた場合、(b) はハーフブリッジ回路を用いた場合を示す図

【 図 5 】 本発明の電力計測装置における磁化方向を示す説明図

【 図 6 】 (a) 及び (b) は本発明の電力計測装置における磁気抵抗効果の説明図

【 図 7 】 (a) 及び (b) はブリッジに対して 0° のバイアス磁界があった場合と 90° のバイアス磁界があった場合の計測電流を示す説明図

【 図 8 】 同電力計測装置における計測磁界と抵抗値との関係を示す図

【 図 9 】 同電力計測装置における計測磁界強度と素子出力電圧との関係を示す図

【 図 10 】 本発明の実施の形態 1 の電力計測装置の上面図

【 図 11 】 本発明の実施の形態 1 の電力計測装置の断面図

【 図 12 】 本発明の実施の形態 1 の電力計測装置の磁界センサの磁性体薄膜パターンの要部拡大図

【 図 13 】 本発明の実施の形態 1 の電力計測装置の磁界センサの素子特性を測定するための測定装置を示す回路説明図

【 図 14 】 本発明の実施の形態 1 の電力計測装置の磁界センサの要部断面を示す図

【 図 15 】 本発明の実施の形態 2 の電力計測装置の磁界センサを示す平面説明図

【 図 16 】 本発明の実施の形態 2 の変形例の電力計測装置の磁界センサの断面図

【 図 17 】 本発明の実施の形態 3 の電力計測装置の磁界センサの上面図

【 図 18 】 本発明の実施の形態 4 の電力計測装置の磁界センサの上面図

【 図 19 】 本発明の実施の形態 5 の電力計測装置の磁界センサの上面図

【 図 20 】 本発明の実施の形態 6 の電力計測装置の磁界センサの上面図

【 図 21 】 本発明の実施の形態 7 の電力計測装置の磁石の配置を示す図、(a) は概要断面図、(b) は磁界センサの一部破断概要図

【 図 22 】 本発明の実施の形態 8 の電力計測装置の磁石の配置を示す図、(a) は上面図、(b) は磁界センサの断面図

【 図 23 】 本発明の実施の形態 9 の電力計測装置の磁石の配置を示す図、(a) は上面図、(b) は磁界センサの断面図

【 図 24 】 本発明の実施の形態 10 の電力計測装置の磁石の配置を示す図、(a) は上面図、(b) は磁界センサの断面図

【 図 25 】 本発明の実施の形態 11 の電力計測装置の磁石の配置を示す図、(a) は上面

10

20

30

40

50

図、(b)は磁界センサの断面図

【図26】本発明の実施の形態12の電力計測装置の磁石の配置を示す図、(a)は上面図、(b)は磁界センサの断面図

【図27】本発明の実施の形態13の電力計測装置の磁石の配置を示す図、(a)は上面図、(b)は磁界センサの断面図

【図28】従来例の電力計測装置で用いられる磁界センサの説明図

【発明を実施するための形態】

【0027】

以下本発明の実施の形態について図面を参照しつつ詳細に説明する。

本発明の電力計測装置では、図1に概念図を示すように、(強)磁性体薄膜パターンからなる第1乃至第4の磁性体成分3a乃至3dでブリッジ構造を構成する。そしてこの第1乃至第4の磁性体成分3a乃至3dのそれぞれを、磁化方向が、同じ方向を向くように調整された複数の微小エレメント3sの接続体で構成したことを特徴とするものである。すなわち、電流が流れる一次導体200に対し、平行となるように、ブリッジ構造をとり、対称な第1乃至第4の磁性体成分3a乃至3dで構成される(強)磁性体薄膜パターンを配置する。そして、この一次導体200から、ブリッジ構造における電流入出力端子A、Bを介してこの強磁性体薄膜に素子電流を供給するとともに、この電流入出力端子A、Bの中間位置に電圧入力端子C及び電圧出力端子Dを接続し、出力を検出する。この電力計測装置では、ブリッジ構造を構成する第1乃至第4の磁性体成分3a乃至3dをミアンダ形状パターンで構成し、強磁性体薄膜のブリッジに対し、素子電流を供給する方向に対し直交する方向に出力取り出しを行い、直接電力を取り出すようにしている。

【0028】

本実施の形態1の第1乃至第4の磁性体成分3a乃至3dは、正方形の微小エレメント3sを導電体からなる接続部5sで接続した接続体で構成されたミアンダ形状パターンで構成されている。なおこの正方形の微小エレメント3sは膜厚 $0.1\mu\text{m}$ 、線幅(1辺の長さ) $10\mu\text{m}$ の強磁性体薄膜で構成されている。(強磁性材料については後述する)。

従って、各磁性体成分3a乃至3dは、全体としては長いパターンでありながら、正方形の接続体であるため、各微小エレメント3は形状異方性をもつことなく、製造工程で全てを所望の磁化方向に向けることができる。磁化方向は、正方形の中心をとおりこの正方形の2つの辺に平行な方向となっている。従って磁化方向 B_1 は電流経路Qに対して -45° の角度をなすように構成され、一次導体200と平行な方向に電流経路をとることができ、高感度化を図ることができる。

【0029】

つまりこの電力計測装置は、図2に原理説明図を示すように、ブリッジ構造をなすミアンダ形状パターンからなる磁性体薄膜3が中心に対して対称な位置に配置される。そして、この強磁性体薄膜パターン上にある電流入出力端子A、Bを通電部とし、素子電流 I_2 が供給される。この電流入出力端子A、Bを結ぶ線分に直交するとともに強磁性体薄膜パターンの中心を通る直線上にCDを設け、線分CDを、電圧入出力端子CDとし出力取り出しを行う。そして線分AD、線分AC、線分CB、線分BDがブリッジ構造をとる第1乃至第4の磁性体成分を構成する。つまり素子電流を供給する方向ABに直交する方向CDを出力取り出し方向としている。

【0030】

このとき、図1に示すように、磁性体薄膜3の電流入出力端子A、Bに沿って配置された導体200に電流 I_1 を流し、その電流によって生じる磁界ベクトルをH、素子の持つ自発磁化ベクトルを $M(B_1)$ としたときを考える。このとき、磁界ベクトルH、素子の持つ自発磁化ベクトル M (:微小エレメントの自発磁化 B_1 の総和を各磁性体成分ごとにマクロ的にみたもの)を合成した磁束密度ベクトルを B_{M0} とするとともに電流密度ベクトルと磁束密度ベクトル B_{M0} のなす角を θ とする。そして、磁性体薄膜3の点A-B間の各部抵抗(R_1, R_2, R_3, R_4)をR、磁界によって変化する点A-B間の各部抵抗値変化の最大値を R とする。このとき、点C-D間の電圧 V_{C-D} は、電圧 V_A

10

20

30

40

50

C と電圧 V_{A-D} との差で表すことができる。

これをプレーナホール効果により、数式化すると、

$$V_{C-D} = I_2 (R \sin 2\theta) \quad (\text{式 2})$$

で表すことができる。ここで B_{M0} は磁束密度ベクトル、 I_2 は素子電流である。

従って、交流磁界を印加した時、正負を判定することができる。

【0031】

この電力計測装置の要部を等価回路説明図として図3に示す。4つのブリッジ成分 R_1 - R_4 に固定抵抗 R_0 を介して負荷 L が接続され、交流電源 P に接続されている。まず、図2に示す等価回路図において、次式(3)が成立し、点C-D間の電圧 V_{C-D} は、点B-A間の電圧 V_{B-A} に比例する(次式(3)参照)。 V_{B-A} は負荷電圧に比例する。

10

【0032】

【数2】

$$R_{B-A} = \frac{(R_2 + R_3)(R_1 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

$$i_{R2-R3} = \frac{V_{B-A}}{R_2 + R_3}$$

$$i_{R1-R4} = \frac{V_{B-A}}{R_1 + R_4}$$

20

$$\begin{aligned} V_{C-D} &= \frac{V_{B-A}}{R_2 + R_3} R_3 - \frac{V_{B-A}}{R_1 + R_4} R_4 \\ &= \frac{(R_1 + R_4)R_3 - (R_2 + R_3)R_4}{(R_2 + R_3)(R_1 + R_4)} V_{B-A} \\ &= \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_2 + R_3)(R_1 + R_4)} V_{B-A} \end{aligned}$$

30

$$\begin{aligned} V_{C-D} &= \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_2 + R_3)(R_1 + R_4)} V_{B-A} \\ &= \frac{(R - \Delta R)^2 - (R + \Delta R)^2}{(2R)(2R)} V_{B-A} \\ &= \frac{-4R\Delta R}{4R^2} V_{B-A} \\ &= k(I) \cdot V \end{aligned}$$

40

(式3)

【0033】

そしてこの抵抗のアンバランスの度合いは負荷電流に比例する。従って、C-D間電圧 V_{C-D} は、負荷電流に比例する。

従って、C-D間電圧 V_{C-D} は負荷で消費される電力に比例することになる。

【0034】

このように、フルブリッジ回路の場合、出力は、負荷電流による抵抗変化分と負荷電圧の積となるため、式(3)から明らかなように、出力がダイレクトに電力信号 $I \cdot V$ に比

50

例した値となる。従って、適切な定数 $1/k$ を乗じることにより、C - D 間電圧 V_{C-D} から電力情報 ($I \cdot V$) を得ることができる。

【0035】

これに対し、図4(a)及び(b)に電力計測装置の比較例を示す。図4(a)は、シングル抵抗を用いた場合、図4(b)は、ハーフブリッジ回路を用いた場合である。

シングル抵抗を用いた場合、固定抵抗を R 、磁性体薄膜による抵抗成分を R_1 としたとき、磁性体薄膜の抵抗成分 R_1 両端の電圧 V_m は以下のとおりとなる。

【数3】

$$V_m = \frac{R_1}{R + R_1} V$$

10

(式4)

ここで R_1 は負荷電流に比例するが、 V_m は電力に比例しない。負荷電流が0であるときも、 $V = 0$ であれば出力 V_m は $V_m = 0$ 。

【0036】

一方、図4(b)に示すように、ハーフブリッジ回路を用いた場合を考える。

ハーフブリッジ回路を用いた場合、磁性体薄膜による2つの抵抗成分を R_1 、 R_2 としたとき、これら2つの抵抗成分を R_1 両端の出力電圧 V_1 は以下のとおりとなる。

20

【0037】

【数4】

$$\begin{aligned} V_1 &= \frac{R_1}{R_1 + R_2} V \\ &= \frac{R - \Delta R}{R - \Delta R + R + \Delta R} V \\ &= \frac{R - \Delta R}{2R} V \\ &= (0.5 + kI) V \\ &= 0.5V + kIV \end{aligned}$$

30

(式5)

【0038】

ハーフブリッジ回路において、出力は磁性体薄膜抵抗の中心値に負荷電流磁界による抵抗変化分を加えた値と負荷電圧との積に比例する。

40

そのため、出力には負荷電流によらない項 ($0.5V$) が含まれ、出力値は電力値とならない。

通常、 $kI < 0.01$ となり、 V_1 中の電力情報は、 $1/50$ 以下であり、信号処理で電力信号だけ取り出せたとしても、 S/N 比が極めて小さくなるという問題がある。ここで k は比例定数である。

【0039】

このように、シングル抵抗の場合、あるいはハーフブリッジの場合は、直接電力信号として取り出すことができないことがわかる。

これに対し、本発明のフルブリッジ回路を用いた場合、出力は負荷電流による抵抗変化分と、負荷電圧の積となるため、出力がそのまま電力信号となっている。従って、容易に

50

電力成分の取り出しを行うことが出来ることが分かる。

【0040】

以上説明してきたように、本実施の形態の電力計測装置によれば、微小エレメントの接続体として、高抵抗の第1乃至第4の磁性体成分3a乃至3dを構成し、磁化方向が電流経路をむくようにすることができる。従って、バイアス磁石を用いることなく、高感度の電力計測装置を提供することが可能となる。

【0041】

また、小型のバイアス磁石を配置することで、より高感度化を図ることができる。

【0042】

次に、本発明の電力計測装置において、磁性体薄膜に対して一方向に直流磁界を印加する磁界印加手段を有するのが望ましい点について説明する。

図5は磁化方向を示す説明図である。磁石などの磁界印加手段によりバイアス磁界(H_b)を印加して、計測を行う場合、磁性体薄膜[4つの成分]中の磁化(J)は、計測電流に応じて発生する磁界である計測磁界(H_{ex})との和となる。

$$\text{磁化}(J) = H_b + H_{ex}$$

【0043】

ところで、磁性体薄膜の電気抵抗値は、図6(a)及び(b)に説明図を示すように、R₁ - R₄の4個の磁性体薄膜成分からなるブリッジを考えた場合、電流iと磁化J間の角度をθとしたとき、

$$R_{mr} = R + R \cos^2 \theta$$

となり、抵抗R_{mr}はθが0の場合抵抗値は最大となり、θが90°の場合、最小となることがわかる。つまり、電流iと磁化J間の角度をθが0であるとき、抵抗値は最大となり、検出感度は最大となる。

【0044】

また、R₁ - R₄の4個の磁気抵抗成分からなるブリッジに対してバイアス磁界のみを印加した場合と、バイアス磁界方向に対して90°方向の計測磁界がバイアス磁界に重畳されている場合を、図7(a)及び(b)にそれぞれ示す。計測磁界は、計測電流に由来して発生している磁界である。

【0045】

又、外部からの計測磁界強度の変化に対する抵抗値の変化を図8に示す。R₁はH_{ex} = 0の場合、磁化ベクトルJの方向はバイアス磁界H_bと同じ方向となる。この時R₁に流れる電流方向と磁化ベクトルJのなす角度は45°であり、R_{mr} = R + 0.5Rとなる。計測電流が流れ、図7(b)のH_{ex}正方向に磁界が印加されると、磁化方向JはH_b方向からH_{ex}方向に傾いてくる。傾きが大きくなるにつれR₁を流れる電流と磁化方向Jのなす角θが大きくなり、R₁の抵抗値は減少する。H_{ex}がH_bと等しくなった時、磁化方向JとR₁を流れる電流のなす角度が90°となり、R_{mr} = Rとなり抵抗値は最小値をとる。さらに強いH_{ex}を与えると、磁化方向JとR₁を流れる電流のなす角は90°を超えるので、抵抗値は上昇に転じる。一方、-H_{ex}方向の磁界が加わる場合は、-H_{ex}の絶対値の増加と共に磁化方向JはH_b方向から-H_{ex}方向に傾き、抵抗値は上昇する。H_b = |-H_{ex}|のとき磁化方向JとR₁に流れる電流方向が平行(θ = 0)となり抵抗値は最大値R_{mr} = R + Rとなる。さらに-H_{ex}の絶対値を大きくすると磁化方向Jはさらに-H_{ex}側に傾き、R₁を流れる電流方向と磁化方向Jのなす角θが広がり、抵抗値は減少に転じる。R₃はR₁と同じ電流方向であるため、H_{ex}に対してR₁と同じ抵抗変化を示す。R₂、R₄に流れる電流方向はR₁に流れる電流方向と90°違うため、H_{ex}に対してR₁と逆の抵抗変化を示す。

さらに素子に印加される電圧が一定のとき、計測磁界強度と素子出力電圧との関係を図9に示す。先に求めたH_{ex}に対するR₁ ~ R₄の値を式(3)に当てはめた。また、入力電圧V_{B-D}は一定とした。

【0046】

10

20

30

40

【数 5】

$$V_{C-D} = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_2 + R_3)(R_1 + R_4)} V_{B-A}$$

(式 6)

10

【0047】

以上のように、ブリッジ構成を成す4区間が、それぞれの区間において長手方向が隣り合う区間の長手方向とのなす角が90°の関係をなすように構成し、一次導体による磁界に略直交する方向にバイアス磁界を印加することで、出力を大きくすることが出来る。

【0048】

このように、ブリッジ構造をもつ磁性体薄膜に対して一方向に直流磁界を印加する磁界印加手段を有することで、磁性体薄膜の磁化方向を容易に制御することができ、出力が大きくなり、線形性を得ることができる。なお、この構成によれば、一方向に直流磁界を印加すればよいため、ブリッジ構成を成す4区間の磁性体薄膜に対し、ひとつの磁界印加手段でよく、電力計測装置の装置構成の簡略化を図ることが可能となる。これに対し前述した非特許文献2の薄膜電力計の場合は、隣接要素毎に計測磁界の方向を変えるかあるいは一次導体を曲げる必要があり、装置構成が複雑となる。

20

また、交流の素子電流により生ずる磁界よりも大きい直流磁界を設けることで、薄膜両端の出力のふらつきを抑制することができる。

【0049】

(実施の形態1)

本実施の形態1の電力計測装置について説明する。図10にこの電力計測装置で用いられる磁界センサの上面図、図11に断面図を示す。図11は図10のX1-X1断面図である。この磁界センサは図10及び11に示すように、シリコンからなる基板1表面に絶縁膜2として酸化シリコン膜を形成し、この絶縁膜2上に強磁性特性を有する磁性体薄膜3からなる第1乃至第4の磁性体成分3a乃至3dを形成している。第1乃至第4の磁性体成分3a乃至3dは、正方形の微小エレメント3sの接続体によって4つのミアンダパターンを形成している。このミアンダパターンの導出方向に沿って給電部5A、5Bを構成する導体パターンと、検出部5C、5Dとしての導体パターンとを具備したものである。この検出部5C、5Dとしての導体パターンは、給電部5A、5Bから供給される素子電流の方向に直交する方向に形成される。そして各導体パターンの先端にはパッド10A、10B、10C、10Dが設けられている。

30

【0050】

つまり図2に原理説明図を示したように、ブリッジ構造をなす4つの磁性体薄膜3のパターンの中心に対して対称な位置にあり、この強磁性体薄膜パターンの周縁上にある点A、Bを通電部とし、この線分ABを素子電流の供給方向とする。そして、この素子電流の供給方向ABに直交するとともに、線分ABを2等分する線分CDを出力取り出し方向すなわち検出方向としている。ここで素子電流を供給する給電部5A、5Bを結ぶ線分と、検出部5C、5Dを結ぶ線分は直交している。

40

【0051】

ここで磁性体薄膜としては、単層構造の強磁性体薄膜のほか、強磁性体/非磁性導電体構造のアンチフェロ結合型薄膜、高保磁力強磁性体/非磁性導電体/低保磁力強磁性体構造の誘導フェリ非結合型薄膜、半強磁性体/強磁性体/非磁性導電体/強磁性体構造のスピンバルブ型薄膜、Co/Ag系統の非固溶系グラニューラー型薄膜などから選択して形成される。

50

また導体パターンとしては金、銅、アルミニウムなどが用いられる。

【0052】

次に、この磁界センサの製造工程について説明する。

基板1としてのシリコン基板表面に、絶縁膜2としての酸化シリコン膜を形成し、この上層に、スパッタリング法により、磁性体薄膜3を形成する。

そして、フォトリソグラフィによりこの磁性体薄膜3をパターンングし、1辺10 μ mの正方形からなる微小エレメント3sの接続体で構成した同形のミアンダ形状パターンを4つ形成する。ここで、互いに隣接するミアンダ形状パターンの主パターンの方向が90°ずつずれるように形成する。

こののち、スパッタリング法により、金などの導電体薄膜を形成し、フォトリソグラフィによりパターンングし、接続導体パターンからなる導体接続部5s及び図10及び図11に示すような給電部5A、5B及び検出部5C、5Dを形成する。またこれら給電部及び検出部に相当する位置にパッド10A、10B、10C、10Dを形成する。

そして必要に応じて保護膜を形成し、磁界センサが完成する。

【0053】

ここで、ミアンダ形状パターンの幅Wは10 μ m、長さLは1mmであった。このようにミアンダ形状パターンを構成することにより、電流方向はひとつのミアンダ形状パターンの中では、長手方向に沿った主パターンと短い副パターンの組み合わせとなっている。主パターンは副パターンに対して十分に大きいため、2方向の主パターンとみなすことができる。つまり長手方向に沿ったパターンの繰り返しパターンであるとみなすことができる。すなわち、図12に要部拡大図を示すように、主パターンは、互いに180°異なる方向のパターンとの組み合わせパターンとなる。従って、パターン長がそのまま抵抗 $R_m r$ の増大につながるようになる。

【0054】

このように本実施の形態の電力計測装置によれば、磁界センサを構成する磁性体薄膜の各ブロックをミアンダ形状パターンとしているため磁性体薄膜の幅が小さくなるだけでなく、パターン長が増大することになる。従って、そのまま $R_m r$ の増大につながるため、電気抵抗が増大し、出力を大きくすることができる。

【0055】

この磁界センサの出力特性を確認するため、図13に示すような測定装置を用いて実験を行った。図10乃至12に示した磁界センサ501の給電部A、Bに、交流電源507から変圧器506及び抵抗505を介して交流を供給する。そして、磁界センサ501の検出部C、Dにアンプ502を介して表示部としてのオシロスコープ504を接続したものである。503は安定化電源である。なおこの測定装置は鉄製のケーシング500内に収納されている。ここでは、この素子を搭載した素子基板を鉛直に配置し、素子と、測定すべき電流線との離間距離を約3mmとして測定を行った。

【0056】

このようにして得られた電流値と、素子出力電圧によれば、アンプによるオフセット以外はオフセットもなく、信頼性の高いものとなる。

【0057】

なお、前記実施の形態では、鉛直方向に配置した素子基板を用いた測定について説明したが、測定すべき電線を素子基板上に載せることによって測定を行うようにしてもよい。

【0058】

また前記実施の形態において、各ミアンダ形状パターンにおいて微小エレメント3sの1辺の幅及び膜厚は一定とするのが望ましい。

また、磁性体薄膜は、正方形の微小エレメント3sの接続体で構成されたミアンダ形状パターンのブリッジ構造であり、正方形であることから形状異方性を持つことなく形成することができ、磁化方向をそろえるのが容易である。またミアンダ形状パターンのブリッジ構造であることから、専有面積当りの長さを大きくとることができ、高抵抗化をはかることができ、素子の外形を大きくすることなく、出力を大きくすることが可能となる。ま

10

20

30

40

50

た、長い対称形であるため、素子電流方向に対して平行となるように形成することができ、高感度で、信頼性の高い磁界センサを提供することが可能となる。

【0059】

また本実施の形態の電力計測装置では、隣接する各微小エレメント3sを導体接続部5sを介して接続しており、微小エレメント3s間にギャップを生じさせることができる。従って、エレメント方向の形状異方性の影響を受けることなく、長尺で高抵抗の磁性体成分を得ることが可能となる。

【0060】

また、導体接続部5sを、微小エレメント3sのほぼ中心に配設することで、センサ出力範囲を効率的にとることができる。

ここで微小エレメント3sは、正方形をなし、電流入出力端子を結ぶ方向を縦方向、電圧入出力端子を結ぶ方向を横方向としたとき、縦方向と横方向の長さの比が1である。

【0061】

さらにまた、ブリッジ構成を成す4区間が、それぞれの区間において長手方向が隣り合う区間の長手方向とのなす角が90°の関係となるように構成されている。従って隣り合う区間で抵抗変化が反対となり、もっとも効率よく抵抗値の不均衡が起こるため、出力を大きくすることが出来る。

【0062】

ここで磁性体薄膜3は、図14に示すようにエポキシ樹脂などの保護膜11で覆われているのが望ましい。この構成によれば、磁力により表面に付着しやすい磁性粉を直接付着させないようにすることで出力特性の安定化を図ることが可能となる。

また、この電力計測装置においては磁界センサの入出力パッド10A-10Dをパッケージの4隅に配置することで端子をパッケージ内部で分離形成することができ、絶縁性を確保することが可能となる。

本実施の形態では、計測磁界を印加していないが、本実施の形態1の電力計測装置に対し、以下の実施の形態に示すように、一方向に小さな計測磁界を印加することで、より安定に電力計測を行うことが可能となる。

【0063】

このように、本発明の実施の形態1によれば、図1に矢印で示すように、第1乃至第4の磁性体成分の微小エレメント3sの磁化方向が、第1乃至第4の磁性体成分R1-R4のそれぞれの方向に対し±45°あるいは±135°の角度をなすようにすることで、極めて効率よく制御することが可能となる。

さらに、図1にそれぞれ示すように、第1乃至第4の磁性体成分の微小エレメント3sの磁化方向が、第1乃至第4の磁性体成分のそれぞれを流れる電流の方向に対し±45°あるいは±135°の角度をなすようにするのが望ましい。ここで第1乃至第4の磁性体成分のそれぞれを流れる電流の方向とは、図2においては、ブリッジを構成する各成分全体としての方向をいうものとする。

最も望ましくは、第1乃至第4の磁性体成分の前記微小エレメントの磁化方向が、図1にそれぞれ微小エレメント毎に矢印で示すように、微小エレメントのそれぞれを流れる電流の方向に対し±45°あるいは±135°の角度をなすようにするのが望ましい。

【0064】

なお、種々の実験結果から、これらの最適方向は、電流供給方向をBからAとし、電力検出方向CからDとする場合、電流供給方向をCからDとし、電力検出方向AからBとする場合など、すべての場合においても下記の通り成立することがわかっている。

第1乃至第4の磁性体成分の微小エレメント3sの磁化方向が、第1乃至第4の磁性体成分R1-R4のそれぞれの方向に対し絶対値が45°あるいは135°の角度をなすようにすることで、極めて効率よく制御することが可能となる。

さらに、第1乃至第4の磁性体成分の微小エレメントの磁化方向が、第1乃至第4の磁性体成分のそれぞれを流れる電流の方向に対し絶対値が45°あるいは135°の角度をなすようにするのが望ましい。ここで第1乃至第4の磁性体成分のそれぞれを流れる電流

10

20

30

40

50

の方向とは、微小エレメントを流れる電流の総和をいうものであり、各成分全体としての方向をいうものとする。

最も望ましくは、第1乃至第4の磁性体成分の前記微小エレメントの磁化方向が、微小エレメントのそれぞれを流れる電流の方向に対し絶対値が 45° あるいは 135° の角度をなすようにするのが望ましい。

【0065】

(実施の形態2)

次に、本発明の実施の形態2について説明する。前記実施の形態1では、隣接する各微小エレメント3sを導体接続部5sを介して接続したが、本実施の形態では導体接続部5sに代えて、磁性体薄膜で構成したことを特徴とする。本実施の形態の電力計測装置では、図15に平面説明図を示すように、微小エレメント3sと同一の材料であって幅が小さくなるように構成された磁性体薄膜からなる接続部3cをもつように構成している。この接続部3cは、断面積が微小エレメント3sの断面積よりも小さくくびれているが、微小パターン3s同士が直接接続されているのが望ましい。

製造に際しては磁性体薄膜をスパッタリング法などにより成膜し、フォトリソグラフィによりパターンニングする際、接続部3cに相当する領域で、断線しないように留意して形成する必要がある。

【0066】

また、本実施の形態においても、接続部3cは、微小エレメント3sのほぼ中心に配設される。この構成により、接続部3cを、微小エレメント3sのほぼ中心に配設することで、センサ出力範囲を効率的にとることができる。

【0067】

なお、上記電力計測装置において、図16に変形例を示すように、接続部3cは、微小エレメントよりも膜厚が小さくなるように構成されてもよい。この場合、磁性体薄膜を成膜しフォトリソグラフィにより微小エレメントと同一幅をなすようにパターンニングし、接続部に相当する領域の一部をレーザーにより蒸発させ、磁性体薄膜の一部に不連続部を形成するなどの方法により、長尺化抑制部を設け、特に形状異方性を持たない程度の長さで不連続部を形成するようにしてもよい。

【0068】

(実施の形態3)

次に、本発明の実施の形態3について説明する。本実施の形態の電力計測装置では、図17に示すように、第1乃至第4の抵抗体成分をミアンダパターンに代えて、正方形の微小エレメント3sの接続体からなる線状パターン13で構成したことを特徴とする。この場合も前記実施の形態1のミアンダパターンと同様、隣接する各微小エレメント3sを導体接続部5sを介して接続している。

この構成によれば、微小エレメント3s間にギャップを生じさせ得るので、エレメント方向の形状異方性の影響を受けることなく、長尺で高抵抗の磁性体成分を得ることが可能となる。

【0069】

また、導体接続部5sを、微小エレメント3sのほぼ中心に配設することで、センサ出力範囲を効率的にとることができる。

ここで微小エレメント3sは、正方形をなし、電流入出力端子を結ぶ方向を縦方向、電圧入出力端子を結ぶ方向を横方向としたとき、縦方向と横方向の長さの比が1である。

【0070】

さらにまた、ブリッジ構成を成す4区間が、それぞれの区間において長手方向が隣り合う区間の長手方向とのなす角が 90° の関係となるように構成されている。従って隣り合う区間で抵抗変化が反対となり、もっとも効率よく抵抗値の不均衡が起こるため、出力を大きくすることが出来る。

本実施の形態の場合も、導体接続部5sに代えて、微小エレメント3sと同一の磁性体薄膜材料で接続部を構成してもよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 1 】

(実施の形態 4)

次に、本発明の実施の形態 4 について説明する。本実施の形態の電力計測装置では、図 1 8 に示すように、第 1 乃至第 4 の抵抗体成分を円形の微小エレメント 2 3 s の接続体からなる線状パターンで構成したことを特徴とする。この場合も前記実施の形態 1 のミアンダパターンと同様、隣接する各微小エレメント 2 3 s を、導体接続部 2 5 s を介して接続している。

【 0 0 7 2 】

この構成によれば、微小エレメント 2 3 s 間にギャップを生じさせ得るので、エレメント方向の形状異方性の影響を受けることなく、長尺で高抵抗の磁性体成分を得ることが可能となる。

【 0 0 7 3 】

また、導体接続部 2 5 s を、微小エレメント 2 3 s のほぼ中心に配設することで、センサ出力範囲を効率的にとることができる。

ここで微小エレメント 2 3 s は、円形をなすため、磁界印加手段による磁界の付与においても、異方性をもたないため、磁化方向を所望の方向に制御することができる。

本実施の形態の場合も、導体接続部 2 5 s に代えて、微小エレメント 2 3 s と同一の磁性体薄膜材料で接続部を構成してもよい。

【 0 0 7 4 】

(実施の形態 5)

次に、本発明の実施の形態 5 について説明する。本実施の形態の電力計測装置では、図 1 9 に示すように、ブリッジ構造の周りに所定の間隔を隔てて同様に正方形の微小エレメント 3 3 s からなる補助パターン 3 4 を構成したことを特徴とする。本実施の形態でもブリッジ構造は、第 1 乃至第 4 の抵抗体成分を正方形の微小エレメント 3 3 s の接続体からなる線状パターン 3 3 で構成している。そしてこの場合も前記実施の形態 1 のミアンダパターンと同様、隣接する各微小エレメント 3 3 s を導体接続部 3 5 s を介して接続している。

この構成によれば、磁界センサは基本的には図 1 に示した例と同様であるが、この補助パターン 3 4 の存在により、電気抵抗は高めたままで磁気的な感度を高めるようにしたものである。微小エレメント 3 3 s と補助パターン 3 4 との間にギャップを生じさせるため、N S 分極が生じ易くなり、微小エレメント 3 3 s の磁化方向を容易に制御することができる。また外側の補助パターン 3 4 と内部の抵抗体成分とは電氣的に接触していないため、電気抵抗は前記実施の形態 1 の電力計測装置で用いられた磁界センサと同様であるが、磁気的には空間部が磁性体薄膜で埋められるため、より多くの磁束を導くことができ、高感度化を図ることができる。

【 0 0 7 5 】

このように、本実施の形態によれば、磁性体薄膜のパターンの間に空間が形成されるため、外部磁界に対する感度が低下する。そこで電気抵抗を高めたままで、磁気的な感度のみを向上すべく、電氣的に独立して内部磁性体薄膜を設けたことで、より高感度化を図ることができる。

【 0 0 7 6 】

また、ここでも導体接続部 3 5 s を、微小エレメント 3 3 s のほぼ中心に配設することで、センサ出力範囲を効率的にとることができる。

本実施の形態の場合も、導体接続部 3 5 s に代えて、微小エレメント 3 3 s と同一の磁性体薄膜材料で接続部を構成してもよい。

なお、前記実施の形態 5 では、補助パターン 3 4 は、ブリッジ構造の周りに配置したが、図中波線で示すようにブリッジ構造の内側に補助パターン 3 4 i を配置してもよい。また内側と外側との両側に配置してもよい。

【 0 0 7 7 】

(実施の形態 6)

10

20

30

40

50

次に、本発明の実施の形態6について説明する。本実施の形態の電力計測装置では、図20に示すように、第1乃至第4の抵抗成分を縦横比が1:1.5の長方形の微小エレメント43sの接続体からなる線状パターン43で構成したことを特徴とする。この場合も前記実施の形態1のミアンダパターンと同様、隣接する各微小エレメント43sを導体接続部45sを介して接続している。

この構成によれば、微小エレメント43sを長方形にし、形状異方性を生じさせ、この形状異方性を積極的に利用し、磁化方向 B_0 が電流方向 I_0 に対して $\theta = 45^\circ$ となるように制御することで、極めて効率よく、磁化方向を容易に制御することができる。また微小エレメント43s間にギャップを生じさせ得るので、エレメント方向の形状異方性の影響を受けることなく、長尺で高抵抗の磁性体成分を得ることが可能となる。

10

【0078】

また、ここでも導体接続部45sを、微小エレメント43sのほぼ中心に配設することで、センサ出力範囲を効率的にとることができる。

本実施の形態の場合も、導体接続部45sに代えて、微小エレメント43sと同一の磁性体薄膜材料で接続部を構成してもよい。

【0079】

このように、本発明の実施の形態6によれば、図20に矢印で示すように、第1乃至第4の磁性体成分の微小エレメントの磁化方向が、第1乃至第4の磁性体成分のそれぞれの方向に対し -45° あるいは 45° の角度をなすようにすることで、極めて効率よく制御することが可能となる。

20

さらに、第1乃至第4の磁性体成分の微小エレメントの磁化方向が、前記第1乃至第4の磁性体成分のそれぞれを流れる電流の方向に対し -45° あるいは 45° の角度をなすようにするのが望ましい。

最も望ましくは、第1乃至第4の磁性体成分の前記微小エレメントの磁化方向が、微小エレメントのそれぞれを流れる電流の方向に対し -45° あるいは 45° の角度をなすようにするのが望ましい。

【0080】

(実施の形態7)

次に、本発明の実施の形態7について説明する。本実施の形態の電力計測装置では、磁性体薄膜3に対して一方向に直流磁界を印加する磁界印加手段として磁石要素を構成する磁石300を配置したことを特徴とするものである。磁界センサチップ100については図10に示した前記実施の形態1の磁界センサチップ100と同様であり、微小エレメント3sの接続体で構成されたミアンダ形状パターンからなる磁性体薄膜がブリッジ構造をなすように接続されている。矢印Hbがこの磁石によるバイアス磁界である。

30

ここでは、図21(a)に概要図を示すように、一次導体による磁界に略直交する方向に磁界を印加すべく、磁界センサチップ100の磁性体薄膜3の両側に配置された一対の磁石300で挟んだものである。ここで、磁石要素つまり磁石はこの磁界センサのパッケージよりも幅方向に大きく形成されている。ここで磁界センサチップ100は図21(b)に一部破断概要図を示すように、計測磁界が、磁性体薄膜のパターン表面と平行となるように形成されている。

40

【0081】

この構成によれば、この磁石300によって印加される直流磁界によりバイアス磁界が均等にかかることになり、出力特性を安定にすることができる。なおこの構成によれば磁性体成分の磁化方向がそろっているためこのバイアス磁界は小さくてよい。また磁石の体積を増大することなく、磁性体薄膜3に対して均一で強度の強い磁場を印加することが可能となる。

【0082】

また、磁石によりバイアス磁界をかけることで、磁化方向を制御しているため、突入電流などの大電流が印加された場合も磁化反転が起らず、安定して計測が可能である。なおここでは磁性体薄膜として強磁性体薄膜を使用するのが望ましい。

50

【 0 0 8 3 】

(実施の形態 8)

次に、本発明の実施の形態 8 について説明する。本実施の形態の電力計測装置では、磁石 300 を磁界センサチップ 100 の磁性体薄膜 3 形成面に対して平行に、配置したことを特徴とするものである。

ここでは、図 22 (a) 及び (b) に上面図及び断面図を示すように、一次導体による磁界に略直交する方向に磁界を印加すべく、磁石要素つまり磁石 300 上に磁界センサチップ 100 を載置し、磁性体薄膜 3 と磁界が平行にあるように配置したものである。ここで磁石はこの磁界センサのパッケージよりも幅方向に大きく形成されている。

この構成によれば、磁性体成分の磁化方向がそろっているためこのバイアス磁界は小さくてよい。そして、上記実施の形態 7 の効果に加え、磁石がひとつでよいため、低コスト化をはかることができる。なおここでは磁性体薄膜として強磁性体薄膜を使用するのが望ましい。

10

【 0 0 8 4 】

(実施の形態 9)

次に、本発明の実施の形態 9 について説明する。本実施の形態の電力計測装置では、上記実施の形態 8 の構成に加え、集磁部としてのヨーク 210 を配したことを特徴とするものである。本実施の形態の電力計測装置においても、磁石要素つまり磁石 300 を磁界センサチップ 100 の磁性体薄膜 3 形成面に対して平行に配置である。

【 0 0 8 5 】

20

すなわち、図 23 (a) 及び (b) に上面図及び断面図を示すように、磁石 300 の磁極付近に集磁部としてのヨーク 210 が配置され、その間に磁界センサチップ 100 が配置されている。

【 0 0 8 6 】

この構成によれば、微小エレメントの接続体で磁性体成分を構成した、上記各実施の形態の電力計測装置の効果に加え、ヨークに磁束が吸われるため空気中への磁束漏れが小さくなり、小さな磁石でも大きな強度のバイアス磁界を印加することができる。磁石がひとつでよいため、低コスト化をはかることができる。なおここでは磁性体薄膜として強磁性体薄膜を使用するのが望ましい。

【 0 0 8 7 】

30

(実施の形態 10)

次に、本発明の実施の形態 10 について説明する。本実施の形態の電力計測装置では、磁石 300 を磁界センサチップ 100 の磁性体薄膜 3 形成面に対して平行に、かつ磁性体薄膜 3 を挟むように 1 対の磁石 300 で形成したことを特徴とするものである。ここでも磁性体薄膜 3 は図示しない微小エレメント (3s) の接続体で構成されている。

【 0 0 8 8 】

ここでは、図 24 (a) 及び (b) に上面図及び断面図を示すように、平行にかつ磁性体薄膜を挟むように 1 対の磁石 300 を配設している。

【 0 0 8 9 】

この構成によれば、上記実施の形態 3 の効果に加え、より均一なバイアス磁界を印加することができる。なおここでは磁性体薄膜として強磁性体薄膜を使用するのが望ましい。

40

【 0 0 9 0 】

(実施の形態 11)

次に、本発明の実施の形態 11 について説明する。図 25 (a) 及び (b) にこの電力計測装置の上面図及び断面図を示す。本実施の形態の電力計測装置では、電力計測装置の磁石 300 に集磁部としてのヨーク 210 を同じ極性の磁極間にそれぞれ設けたことを特徴とするものである。ここで磁石 300 は、前記実施の形態 10 と同様、磁界センサチップ 100 の磁性体薄膜 3 形成面に対して平行に配置している。

ここでは、磁石要素つまり一対の磁石 300 間であって、これらの磁極付近に棒状にヨーク 210 を配し、この一対の磁石とヨーク 210 との間に磁性体薄膜 3 を備えた磁界セ

50

ンサチップ100を配置したことを特徴とする。ここでも磁性体薄膜3は図示しない微小エレメント(3s)の接続体で構成されている。

【0091】

この構成によれば、ヨークに磁束が吸われるため、小さな磁石でも大きな強度を印加することができる。なおここでは磁性体薄膜として強磁性体薄膜を使用するのが望ましい。なおこの構成によれば磁性体成分の磁化方向がそろっているためこのバイアス磁界は小さくてよい。

【0092】

(実施の形態12)

次に、本発明の実施の形態12について説明する。本実施の形態の電力計測装置では、磁界センサは、磁界印加手段と同一の基板上に形成されたことを特徴とする。図26(a)及び(b)に、この電力計測装置の上面概要図及び断面概要図を示す。

例えば磁界センサを構成する磁性体薄膜3は基板上に形成されており、磁界印加手段は、この磁性体薄膜と平行になるように、この同一の基板1上に形成された第2の磁性体薄膜を具備し、第2の磁性体薄膜は磁性体薄膜の外縁よりも外側に位置するのが望ましい。なおここでは磁性体薄膜として強磁性体薄膜を使用するのが望ましい。ここでも磁性体薄膜3は図示しない微小エレメント(3s)の接続体で構成されている。

【0093】

基板としてはグレーズ加工のなされたガラス基板を用いる。そしてこのガラス基板1上にNiCo薄膜からなるミアンダ形状パターンで構成された磁性体薄膜3と、磁界印加手段6としてNdFeBからなる永久磁石とが形成されている。

この構成によれば、小型化薄型化が可能であるだけでなく、図では省略したが、配線部を磁束が貫くことがないため、より安定した電力計測が可能となる

【0094】

(実施の形態13)

次に、本発明の実施の形態13について説明する。本実施の形態の電力計測装置では、図27に示すように、磁界印加手段として、磁界センサの形成されたガラス基板1上に形成された2つの第2の磁性体薄膜6a、6bを備え、磁石要素を構成する。そしてこれら第2の磁性体薄膜6a、6bによって絶縁膜2を介してミアンダ形状パターンを構成する第1の磁性体薄膜3を挟むように構成する。ここでも磁性体薄膜3は図示しない微小エレメント(3s)の接続体で構成されている。

この構成によれば、薄膜プロセスで形成することができ、容易に小型で信頼性の高い出力計測装置を提供することが可能となる。又この構成により、高出力化、小型化及び薄型化をはかることができる。

【0095】

実施の形態1乃至12では磁界センサはチップ部品で構成し、回路基板を構成するプリント配線基板に搭載するようにしたが、本実施の形態では、回路基板を構成するプリント配線基板あるいはガラス基板上に直接磁性体薄膜のパターンを形成している。そして、給電部及び検出部を構成する導体パターンを配線パターンと同一工程で形成し、集積化する。そして増幅器やA/D変換器、CPUはチップ部品で構成する。あるいはシリコン基板上に処理回路を集積するとともに、絶縁膜を介して磁界センサを形成し、モノリシック素子とすることも可能である。

この構成によれば、より薄型化小型化が可能となる。

なお、前記実施の形態1乃至8で説明した電力計測装置においても、磁性体薄膜と磁界印加手段としての磁石を同一基板上に形成したモノリシック素子を用いてもよいことはいうまでもない。なおここでは磁性体薄膜として強磁性体薄膜を使用するのが望ましい。

【0096】

上記電力計測装置においても、基板上に磁性体薄膜を形成することで、磁界センサと処理回路が基板で一体化でき更なる薄型化・小型化が可能となる。

【0097】

10

20

30

40

50

また、磁界センサを、基板上に成膜された磁性体薄膜と、磁性体薄膜に素子電流を供給する入出力端子を備えた給電部と、磁性体薄膜両端の出力を検出する検出電極部とを具備し、配線パターンを給電部と検出電極部と同一の導体層で構成してもよい。

この構成によれば、通常の回路基板の構成に加えて、磁性体薄膜のパターンを形成するだけでよいため、極めて容易に形成可能である。

【0098】

また、上記電力計測装置において、磁性体薄膜は、素子電流を供給する方向に対して磁気抵抗が対称となるように形成されるのが望ましい。ここで磁気抵抗が対称となる構成は、電気抵抗値が等しく、かつ同一形状の磁性体薄膜パターンで構成することで得られる。

この構成によれば、素子電流の方向に対して磁気抵抗が対称となるように形成されているため、 V_{mr} 出力の最大値を大きく取ることができ、システムとしての S/N 比が向上する。

【0099】

また、上記電力計測装置において、検出部に並列接続されたコンデンサを有していてもよい。

この構成によれば、コンデンサで V_{mr} 信号を平滑化することで、周期未満の短期間で直流成分を取り出すことができるので高速で電力値を得ることができ、直流成分を簡単な回路構成で検出することが可能となる。

【0100】

また、上記電力計測装置を用い、磁性体薄膜のパターンに対し、素子電流の方向に対して磁気抵抗が対称となるように、素子電流を供給し、前記素子電流の供給によって生じられた出力の直流成分を取り出し、電力情報とする。

この構成によれば、力率を別途計測する必要がなく、簡単に計測することができ、かつ積算による場合に比べ、誤差も低減される。

【0101】

また、磁界センサは、磁性体薄膜と、磁性体薄膜に素子電流を供給する入出力端子を備えた給電部と、素子電流の供給方向に直交する方向における前記磁性体薄膜（端部間）の電圧を検出する検出部とを具備している。そして、磁性体薄膜は、素子電流の方向に対して磁気抵抗が対称となるように形成されていてもよい。

この構成によれば、磁性体薄膜の出力取り出し方向を素子電流方向に対し直交する方向とするとともに、素子電流の方向に対して磁気抵抗が対称となるように形成することで、方向の正負を判定することができ、かつ磁界を印加しないときのオフセットがなくなるため回路構成を簡単にすることができる。

【0102】

また本発明磁界測定方法は、磁性体薄膜のパターンに対し、素子電流の方向に対して磁気抵抗が対称となるように、素子電流を供給し、前記素子電流の供給方向に直交する方向で、前記磁性体薄膜（端部間）の電圧を検出することで磁界強度を測定する。

この構成によれば、磁性体薄膜の出力取り出し方向を素子電流の供給方向に対し直交する方向とするとともに、素子電流の方向に対して磁気抵抗が対称となるように形成することで、以下の効果を得ることができる。つまり方向の正負を判定することができ、かつ磁界を印加しないときのオフセットがなくなるため回路構成を簡単にすることができる。なおここでは磁性体薄膜として強磁性体薄膜を使用するのが望ましい。

【0103】

なお、前記実施の形態では、磁性体薄膜をスパッタリング法で形成したが、スパッタリング法に限定されることなく、真空蒸着法あるいは、塗布法、浸漬法などによっても形成可能である。

【0104】

また基板についても、シリコンなどの半導体基板のほか、サファイア、ガラス、セラミック等の無機系基板あるいは、樹脂等の有機系基板などいずれを用いてもよい。これらのなかでは特に、いわゆる可撓性に優れ、薄くて軽いものを用いることが好ましく、例えば

10

20

30

40

50

、印刷配線板等として広く使用されているプラスチックフィルムと同様の基板を使用することができる。より具体的には、プラスチックフィルム材質として公知の各種の材料、例えば、ポリイミド、ポリエチレンテレフタレート（PET）、ポリプロピレン（PP）、テフロン（登録商標）等が利用可能である。可撓性の基板を用いることにより、測定すべき電線を囲むように配置するなど、より高感度となるように配置することが可能となる。また、ハンダによる接合を考慮して、耐熱性の高いポリイミドフィルムを用いるようにしてもよい。なお基板の厚さは、特に限定されるものではないが、1～300 μm程度の厚さのものが好ましい。

【0105】

さらにまた、ガラス基板などの基板上に直接磁性体薄膜パターンを形成して磁界センサを形成してもよいが、一旦チップを形成し、これをガラス基板やプリント配線基板などにワイヤボンディング法や、フリップチップ法で実装するようにしてもよい。またチップ内に、処理回路も含めて集積化することでより高精度で信頼性の高い磁界センサを提供することが可能となる。

10

【0106】

なお前記実施の形態に限定されるものではなく、磁性体薄膜の出力取り出し方向を素子電流の供給方向に対し直交する方向とするとともに、素子電流の方向に対して磁気抵抗が対称となるように形成するものであれば適用可能である。これにより、方向の正負を判定することができ、かつ磁界を印加しないときのオフセットがなくなるため回路構成を簡単にすることができる。

20

また前記実施の形態では強磁性体薄膜を用いた磁界センサを用いたが、これに限定されることなく他の磁界センサを用いてもよい。

【0107】

また、強磁性体薄膜は、高感度化の点からは磁化方向が前記素子電流の方向と一致するように形成されるのが望ましい。

【符号の説明】

【0108】

- 1 基板
- 2 絶縁膜
- 3、13、33、43 磁性体薄膜（（環状及び線状）パターン）
- 3s、23s、33s、43s 微小エレメント
- 3a、3b、3c、3d 磁性体成分
- 3c、 接続部
- 5s、25s、35s 導体接続部
- 34 補助パターン
- 5A、5B、A、B 給電部
- (5C、5D)、C、D 検出部
- 6 磁界印加手段
- 10A、10B、10C、10D パッド
- R₁、R₂、R₃、R₄ 磁性体成分
- 11 保護膜
- 100 磁界センサチップ
- 200 導体
- 210 ヨーク
- 300 磁石
- 500 ケーシング
- 501 磁界センサ
- 502 アンブ
- 503 安定化電源
- 504 オシロスコープ

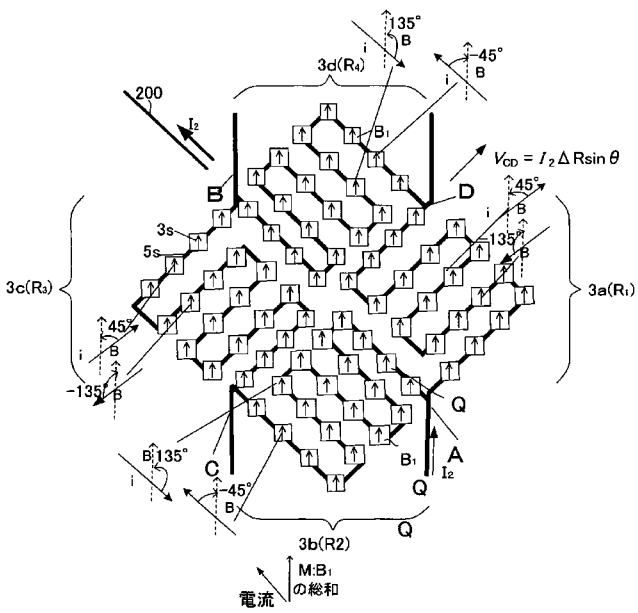
30

40

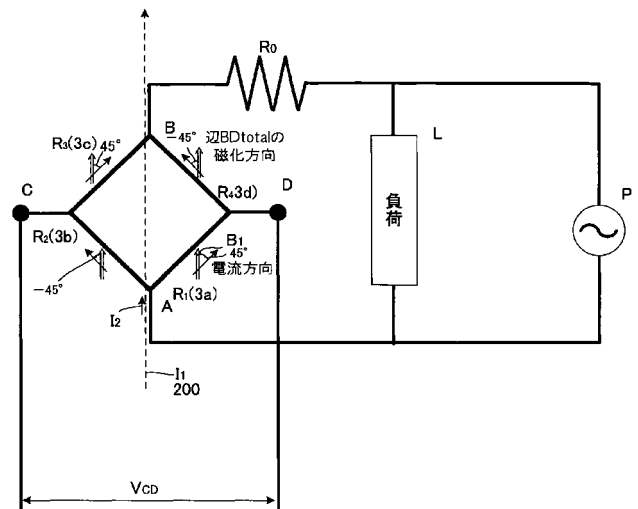
50

- 5 0 5 抵抗
- 5 0 6 変圧器
- 5 0 7 交流電源

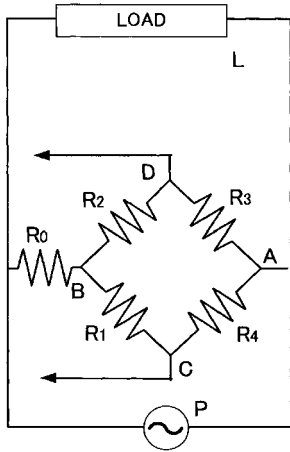
【 図 1 】



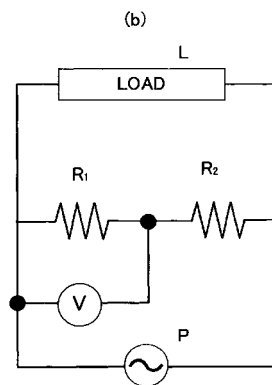
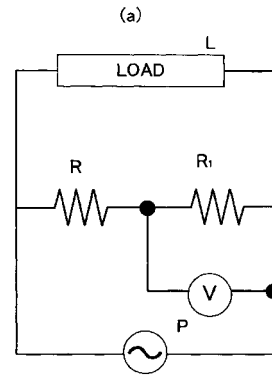
【 図 2 】



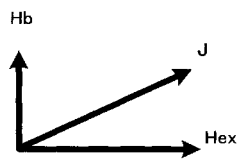
【 図 3 】



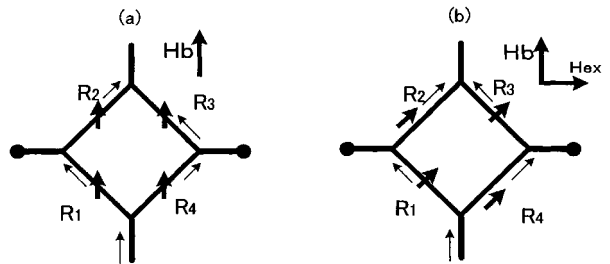
【 図 4 】



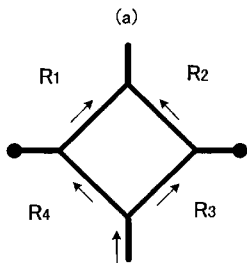
【 図 5 】



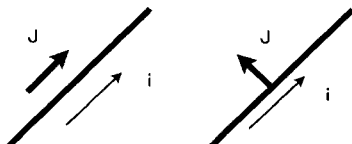
【 図 7 】



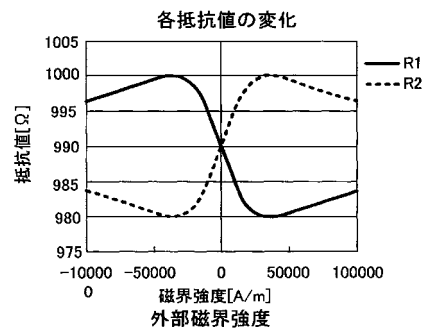
【 図 6 】



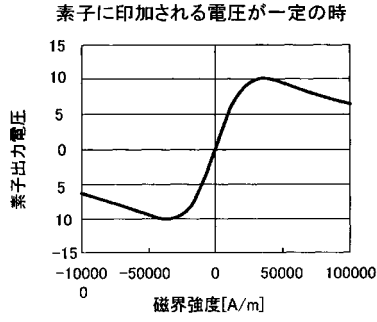
$R_{mr} = R + \Delta R \cos^2 \theta$
 θ : 電流—磁化間角度



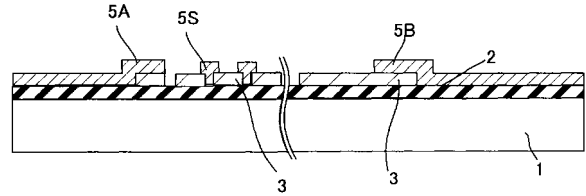
【 図 8 】



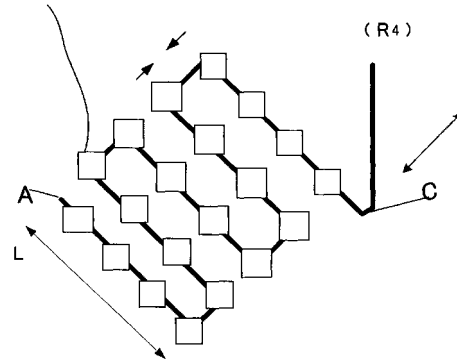
【 図 9 】



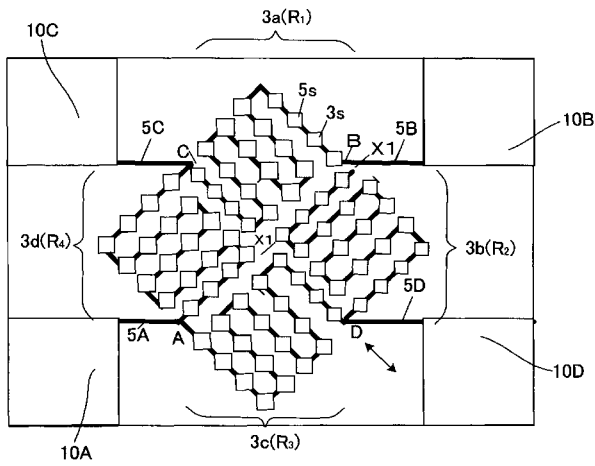
【 図 1 1 】



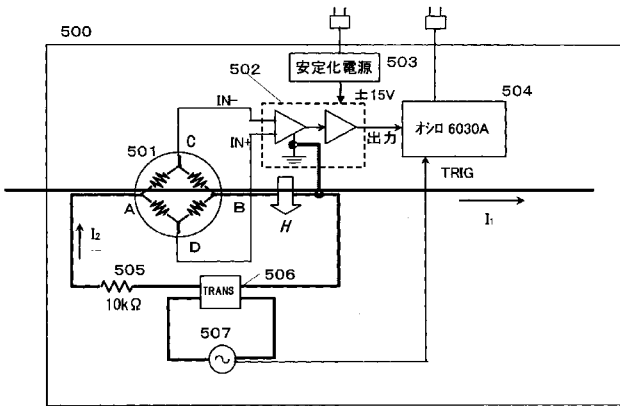
【 図 1 2 】



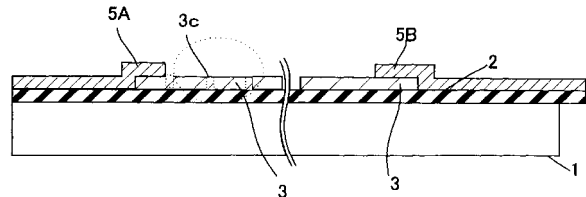
【 図 1 0 】



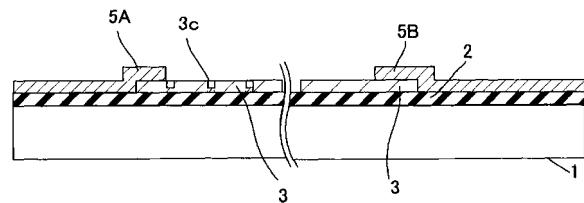
【 図 1 3 】



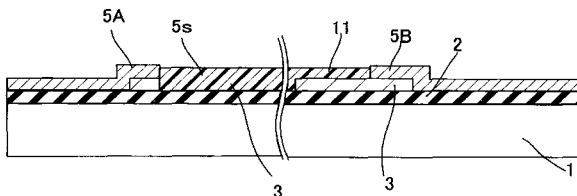
【 図 1 5 】



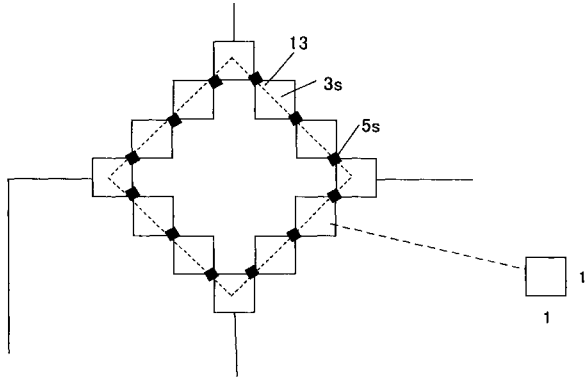
【 図 1 6 】



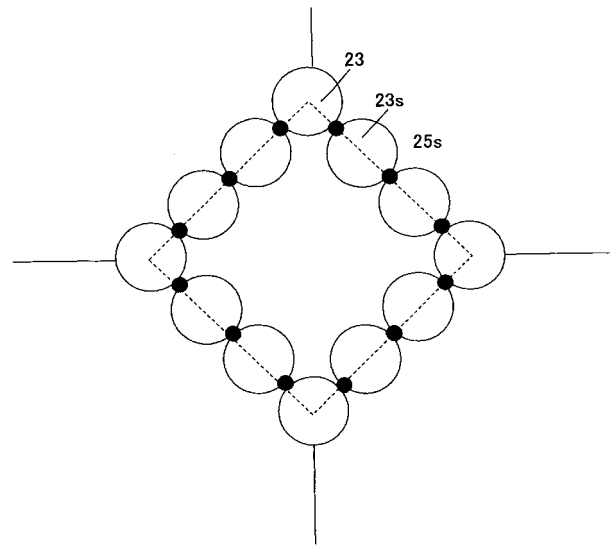
【 図 1 4 】



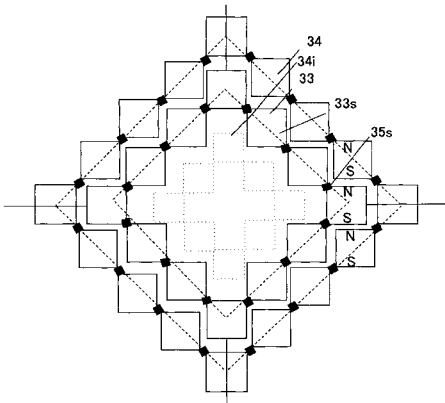
【 図 17 】



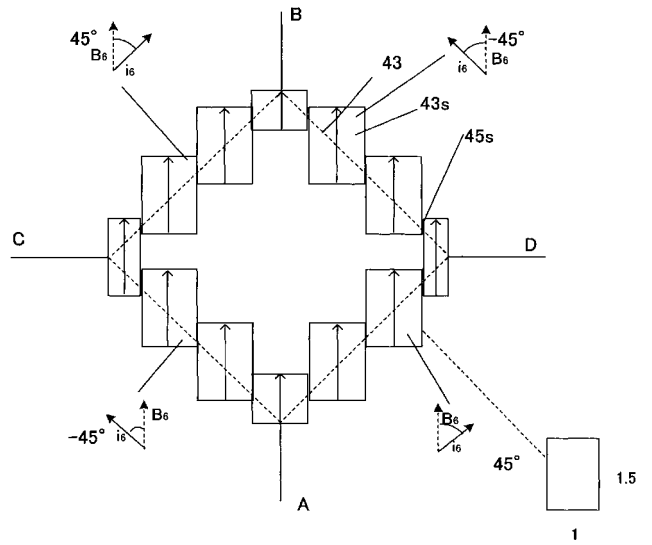
【 図 18 】



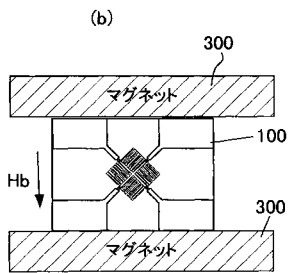
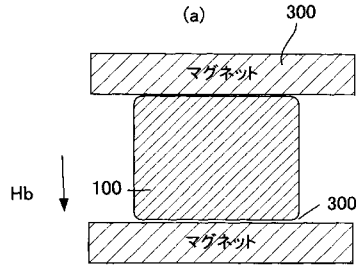
【 図 19 】



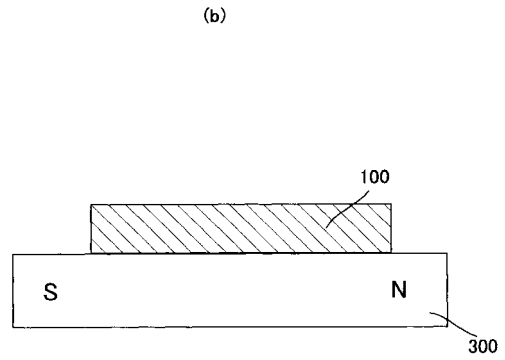
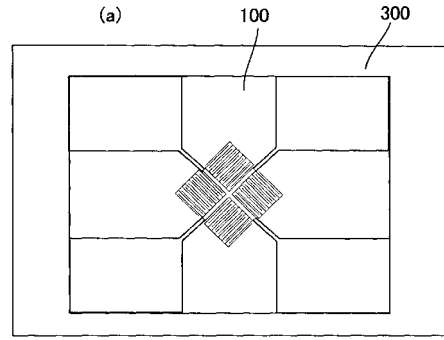
【 図 20 】



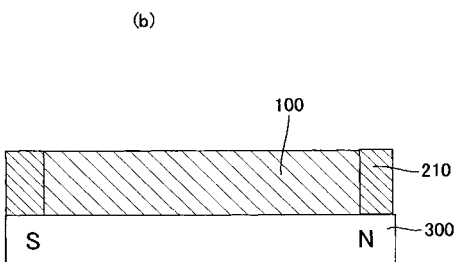
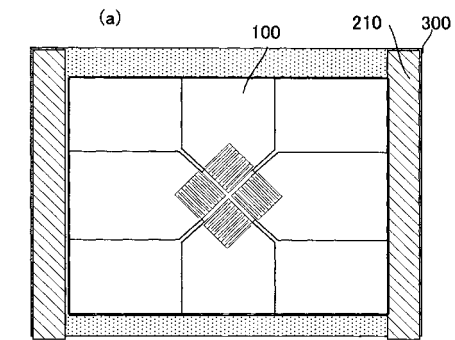
【 図 2 1 】



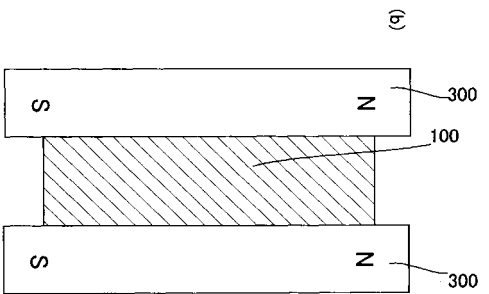
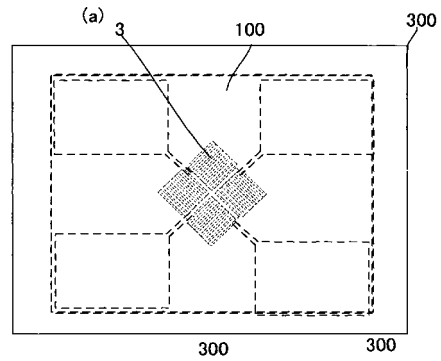
【 図 2 2 】



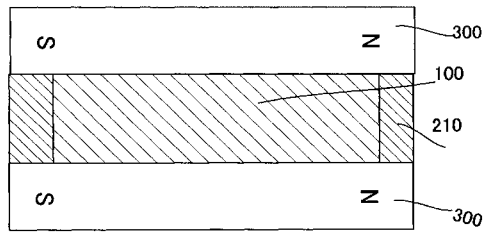
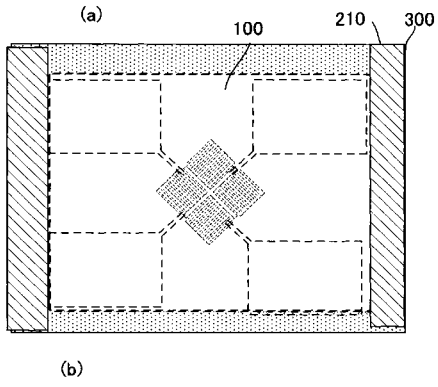
【 図 2 3 】



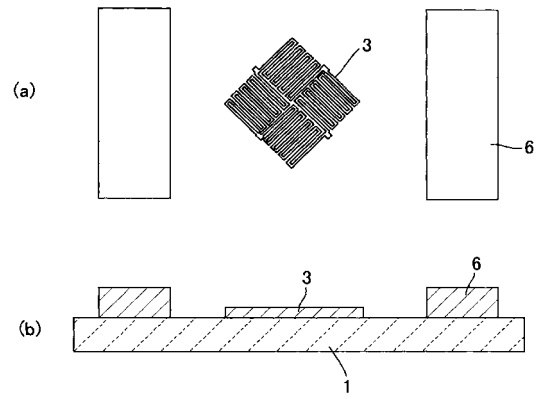
【 図 2 4 】



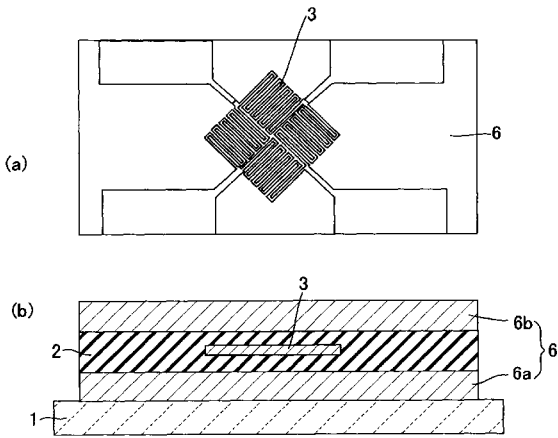
【 図 2 5 】



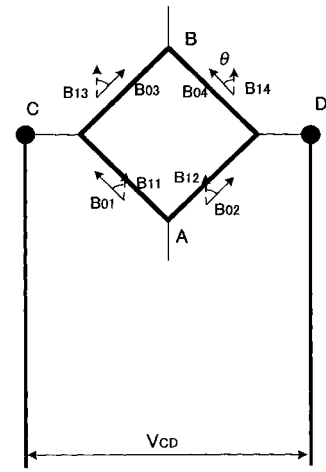
【 図 2 6 】



【 図 2 7 】



【 図 2 8 】



フロントページの続き

(72)発明者 中村 敦

大阪府門真市大字門真 1 0 4 8 番地 パナソニック電工株式会社内

(72)発明者 吉田 博

大阪府門真市大字門真 1 0 4 8 番地 パナソニック電工株式会社内

Fターム(参考) 2G017 AA13 AD53 AD64 BA05

2G025 AA00 AB01