

(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2005-17110
(P2005-17110A)

(43) 公開日 平成17年1月20日(2005.1.20)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
GO 1 R 33/02	GO 1 R 33/02	2 GO 1 7
GO 1 N 27/72	GO 1 N 27/72	2 GO 5 3

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2003-182215 (P2003-182215)	(71) 出願人	591167430 株式会社 K R I 京都府京都市下京区中堂寺南町 1 3 4 番地
(22) 出願日	平成15年6月26日 (2003. 6. 26)	(72) 発明者	上田 智章 京都府京都市下京区中堂寺南町 1 3 4 番地 株式会社関西新技術研究所内
		(72) 発明者	竹中 誠 京都府京都市下京区中堂寺南町 1 3 4 番地 株式会社関西新技術研究所内
		Fターム(参考)	2G017 AA01 AD63 AD65 2G053 AB11 CA02 CA18 CB12 CB16 DA01

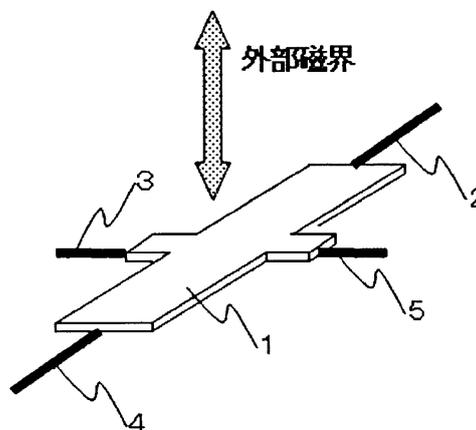
(54) 【発明の名称】 磁界検出素子

(57) 【要約】

【課題】 常温で動作可能であり、安価かつ小型で磁気分解能と空間分解能が高く、広帯域・低雑音特性を有した磁気検出素子を提供すること。

【解決手段】 高透磁率かつ高導電率で保磁力が極めて小さな感磁性材料で構成される薄膜 1 に 4 個の端子を供え、表皮効果により薄膜の厚み方向に電流密度分布の偏りが発生する程度に十分高い周波数の高周波電流を対向する端子 2、4 に印加し、薄膜面の法線方向の外部磁界から受けるローレンツ力により前記電流印加方向に対して交差する方向の対向する端子 3、5 間に出現する高周波電圧に基づいて磁界を検出するか、コイル 6 に対して薄膜面に逆位相の磁界を発生させるための電流を供給して感磁面の法線方向磁界を一定に保持することにより、外部磁界を高感度に検出する素子を実現する。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

4本の端子を有する、高透磁率かつ高導電率であり保磁力が極めて小さな感磁性材料で構成された薄膜1において、互いに対向する端子2および端子4を薄膜1に高周波電流を印加するための電流印加端子とし、前記高周波電流の印加方向に対して交差する方向に位置して互いに対向する端子3および端子5を高周波電圧を測定するための電圧測定端子とし、薄膜1の面の法線方向の外部磁界から受けるローレンツ力により比例的に発生する高周波電圧を測定することにより外部磁界を検出することを特徴とする磁界検出素子。

【請求項 2】

請求項1に記載の磁界検出素子において、電圧測定端子で測定される信号に基づいて薄膜1の感磁面の法線方向の外部磁界とは逆位相の磁界を発生させ、フィードバック電流を供給することにより感磁面の法線方向磁界を一定にするためのコイル6を設けたことを特徴とする磁界検出素子。 10

【請求項 3】

請求項2に記載の磁界検出素子において、コイル6が薄膜1の形成面上に一体的に構成されている小コイルであり、薄膜1の感磁面近傍の感磁面法線方向磁界を一定にすることを特徴とする磁界検出素子。

【請求項 4】

請求項2に記載の磁界検出素子において、コイル6が薄膜1の形成面上にはなく、薄膜1の大きさに比して数倍以上大きな大コイルであり、薄膜1の感磁面近傍だけでなく、より広い周辺部分に対しても感磁面法線方向磁界を一定に保持することを特徴とする磁界検出素子。 20

【請求項 5】

1個または複数個の請求項3に記載の磁界検出素子と1個または複数個の請求項4に記載の磁界検出素子とにより構成され、請求項4に記載の磁界検出素子が同一設置平面上にあり、請求項4に記載の磁界検出素子の薄膜1の設置位置と前記設置平面を挟んで反対側に請求項3に記載の磁界検出素子を配置し、請求項3に記載の磁界検出素子の近傍に被測定対象を配置することを特徴とする磁界検出素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

30

【発明の属する技術分野】

この発明は磁界検出素子に関する。さらに詳しくは、この発明は、心筋内を流れる微弱な分布電流に伴って発生する地磁気の百万分の一程度の微弱な心磁界を計測したり、金属内部または表面付近の金属疲労や亀裂または腐食状態を調べる目的で検査対象に電流印加している際に発生する検査対象表面付近の磁界分布を計測する非破壊検査に用いたり、100フェムトテスラから1ナノテスラ程度の微弱な磁界変化を計測することができる磁界検出素子に関する。

【0002】

【従来技術】

従来、磁界を検出する手段としては、半導体のホール効果を利用したホール素子、感磁性材料の電気抵抗が磁界に対して変化することを利用した磁気抵抗素子、フラックスゲート、感磁性線材を利用した磁気インピーダンス効果素子(特開平7-181239)、超電導量子干渉素子(SQUID: Superconducting Quantum Interference Device)等が用いられている。 40

【0003】

図2に示すように、各センサの磁気分解能としては、ホール素子で10マイクロテスラ程度、磁気抵抗素子で3ナノテスラ程度、フラックスゲートまたは磁気インピーダンス効果素子で0.1ナノテスラ程度であり、0.1ナノテスラ未満の微弱磁界を計測できる能力を有する素子としては超伝導量子干渉素子に限られていた。超伝導量子干渉素子は、地磁気の10億分の1程度の磁束を高感度に検出することができるため、さまざまな分野で応 50

用されており、近年では液体窒素温度での冷却で利用できる高温超電導量子干渉素子が実用化されている。

【0004】

しかし、素子を超伝導状態に保つために液体窒素温度あるいは液体ヘリウム温度に冷却する必要があり、デュワーと呼ばれる液体窒素あるいは液体ヘリウムを入れるための保冷容器内に超伝導量子干渉素子を収容する必要があった。または冷凍機による直接冷却を行うものでも真空断熱層を設ける必要があった。そのため装置は大型化してしまう欠点があった。また、液体ヘリウムや液体窒素に超伝導量子干渉素子を浸す必要性から、測定方向に対する制約もあった。さらに超電導量子干渉素子は電磁波にさらされると、その周期的な感磁特性(磁束密度-出力電圧特性)を失ってしまう欠点があった。

10

【0005】

常温で利用できる磁気検出素子で最も感度が良いフラックスゲートと感磁性線材を利用した磁気インピーダンス効果素子には以下の欠点がある。

【0006】

フラックスゲートでは、大きな磁性コアを飽和磁束付近まで交流磁界で励磁する必要があり、励磁コイルに交流電流を印加する必要がある。磁性コアは高透磁率であるので励磁コイルの巻線回数を多くすると電流は低減できるが、コイルのインダクタンスは大きくなってしまい、計測可能な帯域が狭くなってしまう。また、反対に巻線回数を少なくすると励磁に大電流を流す必要が生じてしまい、同期検波回路の高周波残留ノイズを低減するためにローパスフィルタを用いるとやはり計測可能な帯域が狭くなってしまう。結果的に、0

20

【0007】

磁気インピーダンス効果素子はMIセンサとも呼ばれ、図3のa)に示すように感磁性線に4つの端子を設け、磁界フィードバック用のコイルを巻いた構造をしている。磁気インピーダンス効果素子では、磁界に対するインピーダンスの変化を捕捉する方式であるので、零磁界状態においても一定のインピーダンスが存在している。したがって、零磁界状態においても円周磁界励磁のための高周波電流に同期した高周波電圧が感磁性線の両端に出現してしまい、同期検波や全波整流等の振幅検出回路を通した後の波形が図3のb)のようにリップルの多い高周波電圧波形になってしまう。図3のc)に示すように感磁性線の軸方向磁界の変化を捉えるために同期検波や全波整流を行ってもリップルノイズ低減のためにはローパスフィルタを用いねばならず、どうしても測定帯域が制限されてしまう欠点がある。また、リップルノイズを減らすために印加する高周波電流の周波数を上げ表皮厚さを薄くして、感磁性線に流れる励磁電流密度を増加させる方法もあるが、感磁性線を製造する際に張力をかけて引っ張っているために表面に近い部分の導電率は低くなっており、電気抵抗が大きくなる結果、熱雑音が増加してしまい、印加する高周波電流の周波数を一定以上引き上げて感度が逆に劣化してしまう欠点が存在している。これを説明する図として図4を示す。図4のa)およびb)は感磁性線の断面を示した図であり、表面付近は製造時の張力のために状態欠陥があり、導電率が低い領域が存在している。図4のa)のように印加周波数が高いと表皮効果の表皮厚みが小さいので印加した電流の密度は高くなるが、同時に高抵抗領域を通るためにジョンソンノイズも大きくなってしまう。図4のb)のように印加周波数が低いと、ジョンソンノイズは低減できるものの、電流密度も低下するため、印加電流の周波数と磁気分解能は図4のc)に示すような関係になる。

30

40

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

本発明が解決しようとする課題は、常温で動作可能であり、安価かつ小型で磁気分解能と空間分解能が高く、広帯域かつ低雑音特性を有した磁気検出素子を提供することである。

【0009】

【課題を解決するための手段】

この発明による磁界検出素子によれば、4本の端子を有する、高透磁率かつ高導電率であ

50

り保磁力が極めて小さな感磁性材料で構成された薄膜 1 において、互いに対向する端子 2 および端子 4 を薄膜 1 に高周波電流を印加するための電流印加端子とし、前記高周波電流の印加方向に対して交差する方向に位置して互いに対向する端子 3 および端子 5 を高周波電圧を測定するための電圧測定端子とし、薄膜 1 の面の法線方向の外部磁界から受けるローレンツ力により比例的に発生する高周波電圧を測定することにより外部磁界を検出することを特徴としている。

【0010】

熱雑音の電圧振幅はジョンソンノイズとも呼ばれ、薄膜 1 の電気抵抗と温度で決まるが、線材に比して電気抵抗を低く抑えることができるために、磁気インピーダンス効果素子よりも低く抑えることができる。また、薄膜 1 の感磁面の法線方向の磁界成分が零である場合には、ローレンツ力の影響を受けないために、電圧測定端子には高周波電圧が出現せず、リップルノイズが発生しないようにできるため、磁気インピーダンス効果素子よりも測定帯域を広くとれる。さらに薄膜 1 の製造過程において大きな張力で引っ張る必要性がないため、薄膜表面付近の導電率も高く、印加する高周波電流の周波数を磁気インピーダンス効果素子の場合よりも高くしても感度の劣化現象を発生させることなく、磁気分解能をさらに高くすることができる。さらに薄膜 1 は小型かつ安価に製造でき、小型であるために空間分解能を高くすることができる。

10

【0011】

好ましくは、印加する高周波電流と直交する方向に出現する高周波電圧が測定できるように 4 つの端子を配置することである。これによって薄膜 1 の膜面の法線方向の磁界を精確に捉えることができる。

20

【0012】

さらに好ましくは、できる限り高透磁率かつ高導電率の感磁性材料を用いて、できる限り高い高周波電流を印加することである。導体に外部から高周波磁界が印加される場合に導体中に流れるうず電流は、表面で多く、導体の内部に行くにしたがって指数関数的に減少する性質があることが知られている。これは「表皮効果」として知られている。表面の電流値に対してちょうど自然対数の底 e の逆数 $1/e$ になる深さの値を表皮の厚さと呼び、磁性材料の透磁率を μ 、導電率を σ 、対象周波数 f [Hz] とするとき表皮深さ δ [m] は数 1 の式を用いて表される。

【数 1】

$$\delta = 1 / \sqrt{(\pi f \mu \sigma)}$$

30

【0013】

できる限り高透磁率かつ高導電率の感磁性材料を用いて、できる限り高い高周波電流を印加すれば、式 1 で定まる表皮厚さを短くすることができ、印加する電流が微弱であっても、高い電流密度を達成することができ、クロストークを抑えることができる。あるいは同一の印加電流であった場合にはさらに高い電流密度を達成でき、磁気分解能を向上することができるのである。

【0014】

この発明の他の局面に従うと、前記磁界検出素子において、電圧測定端子で測定される信号に基づいて薄膜 1 の感磁面の法線方向の外部磁界とは逆位相の磁界を発生させる信号処理を行い、フィードバック電流を供給することにより感磁面の法線方向磁界を一定にすることができるコイル 6 を設けたことを特徴としている。これによって、感磁面の法線方向の磁界は常に零に保たれるので、磁界検出素子に印加される電流はローレンツ力の影響を受けることがなく、電圧測定端子には高周波電圧が発生しない。即ち、電圧測定端子で測定される信号を印加する高周波電流波形に同期させた検波を行っても同期検波出力にリップル電圧出力は発生しないので、電子回路ノイズを極めて低くすることができる。その結果、磁界検出素子の磁気分解能を極めて高くすることができる。また、コイル 6 にフィードバックする電流値は外部磁界に比例するために精確な磁気測定を行うことができる。

40

50

【0015】

この発明の他の局面に従うと、前記磁界検出素子において、コイル6が薄膜1の形成面上に一体的に構成されている小コイルであり、薄膜1の感磁面近傍の感磁面法線方向磁界を一定にすることを特徴としている。これによって、前記小コイルに流す電流値を極めて小さくとも感磁面における磁界を一定に保つことができ、コイルが小さいためにコイルを流れる電流が作る磁界も距離減衰効果のため遠方には到達しにくい性質がある。したがって、高い空間密度で本磁界検出素子を配置しても、磁界検出素子間での磁気結合が原因で発生する干渉を低く抑えることができる。したがってこの発明によれば、磁界検出素子の空間分解能を極めて高くすることができる。また、一体的に薄膜とコイルを形成するので、集積化に適しており、磁気感度が安定した磁界検出素子を実現することができる。

10

【0016】

この発明の他の局面に従うと、前記磁界検出素子において、コイル6が薄膜1の形成面上にはなく、薄膜1の大きさに比して数倍以上大きな大コイルであり、薄膜1の感磁面近傍だけでなく、より広い周辺部分に対しても感磁面法線方向磁界を一定に保持することを特徴としている。これによって、変動する外部磁界が存在する状態であっても、外部磁界が空間勾配を持たないか、空間勾配を持っていてもその勾配が極めて小さい場合には、コイル6が発生する磁界は磁界検出素子近傍だけでなく、その周辺のより広い空間においても一定の磁界に保持することができるので、外部磁界の影響を受けないかまたは影響が少ない空間を実現することができる。したがってこの発明によれば、磁気検出素子から十分遠方に位置する環境磁気ノイズ源が発生する外乱を低減あるいは消去することができる部分空間を実現することができる。

20

【0017】

さらにこの発明の他の局面に従うと、1個または複数個の小コイルを有した磁界検出素子と1個または複数個の大コイルを有した磁界検出素子とにより構成され、大コイルを有した磁界検出素子が同一設置平面上にあり、大コイルを有する磁界検出素子の薄膜1の設置位置と前記設置平面を挟んで反対側に小コイルを有した磁界検出素子を配置し、小コイルを有した磁界検出素子の近傍に被測定対象を配置することを特徴としている。この発明によれば、1つまたは複数の大コイルを有する磁界検出素子で磁界検出を行うことによって、外部磁界の存在に関わらず、1つまたは複数の大コイルが発生する磁界は感磁面のみでなく周囲の空間も一定の磁界に保持することができる。特に複数の大コイルを有する磁界検出素子を用いる場合には、各感磁面において磁界を一定値に保持するために外部磁界に大きな空間勾配がある場合であっても大コイルを有した磁界検出素子周辺の磁界を一定に保持することが可能である。さらに、各コイルの発生する磁界はコイル面を挟んでコイル面の法線方向に対して対称な磁界分布であるので、大コイルを有した磁界検出素子の感磁面と大コイル面を挟んで対称な位置の磁界も外部磁界の存在に関わらず一定に保持することが可能である。それ故、大コイルを有した磁界検出素子の感磁面と大コイル面を挟んで対称な位置に、小コイルを有した磁界検出素子を配置すれば、その周辺部分では外部磁界の影響が低減されていることになり、小コイルを有した磁界検出素子の近傍に被測定対象を配置することで、外部磁界の影響を受けることなく、小コイルを有した磁界検出素子は被測定対象からの微弱な磁界を検出することができるのである。

30

40

【0018】

【発明の実施の形態】

以下、この発明の実施の形態を図面を参照して詳しく説明する。なお、図中同一または相当部分には同一符号を付してその説明は繰返さない。

【0019】

【実施例】

(実施例1)

図1は、この発明の測定原理を説明する図である。

【0020】

本件発明者らは、先行技術であるホール素子や磁気抵抗素子、磁気インピーダンス効果素

50

子は共通してデバイス中を流れる電子が外部磁界によるローレンツ力を受けて感磁性を持つ点に着目し、磁気感度がどのような制約条件により決定しているのかを鋭意追及した。

【0021】

その結果、ホール素子には、 $1/f$ 雑音と呼ばれる結晶欠陥に依存する低周波領域の雑音と、ジョンソンノイズと呼ばれる導電率と温度に関係する熱雑音と、分配雑音と呼ばれる高周波特性に依存する雑音があり、導電率を十分高くできないことや寄生容量等により高周波特性を改善できないこと等の問題があることがわかった。

【0022】

また、磁気抵抗素子では外付けの電子回路を簡略化するためにできる限り大きな磁気抵抗を実現できるように行路長を長くっており、大きな直流抵抗分を有する。それ故、ジョンソンノイズ(熱雑音)が大きく、磁気分解能に制約を与えていることがわかった。

10

【0023】

さらに、磁気インピーダンス効果素子は前述したように、製造時の張力が原因で線表面近傍の導電率が低く、周波数を高くしても一定以上の周波数では磁気分解能が逆に劣化してしまうこと、さらに原理的に磁気インピーダンスの変化を捉えるためにリップル電圧に起因する電子回路ノイズが大きいことがわかった。

【0024】

試行錯誤の結果、パーマロイ薄膜やアモルファス薄膜でも磁性線と同様にローレンツ力によって磁気インピーダンス効果が生じることを見出し、ホール素子と同様の接続形態において高周波電流を印加すると電圧測定端子間に高周波電圧が発生し、薄膜面の法線方向の外部磁界に感応してこの電圧振幅が変化することを見出した。さらに、外部磁界の符号によって高周波電圧の位相が 180 度反転することも見出した。この出力電圧振幅は、薄膜の透磁率、導電率が高いほど大きく、印加する高周波電流の周波数が高いほど大きくなることについても明確になった。実験で使用した磁性材料においては、Co(コバルト)系アモルファスが高磁気分解能を得る上で最も好ましく、焼きなまし処理により残留磁化が殆どない材料が最適であることが判明した。

20

【0025】

図1は、4本の端子を有する、高透磁率かつ高導電率であり保磁力が極めて小さな感磁性材料で構成された薄膜1において、互いに対向する端子2および端子4を薄膜1に高周波電流を印加するための電流印加端子とし、前記高周波電流の印加方向に対して交差する方向に位置して互いに対向する端子3および端子5を高周波電圧を測定するための電圧測定端子とし、薄膜1の面の法線方向の外部磁界から受けるローレンツ力により比例的に発生する高周波電圧を測定することにより外部磁界を検出することを特徴とする磁界検出素子の基本的な3次元構造を示している。高透磁率かつ高導電率であり保磁力が極めて小さな感磁性材料としては、電磁波遮蔽用フィルムとして製造されているものが最も好ましい。

30

【0026】

上記の実施例であれば、磁気インピーダンス効果素子に比して、薄膜構造であるため導電率が同じ材料であっても、より小さな電気抵抗の素子が得られ、ジョンソンノイズの小さな素子が得られる。また、図5のa)およびb)に示すように印加する高周波電流の周波数を上げれば、式1で与えられる表皮厚みに依存して、薄膜の断面方向には電流密度分布が生じ、電流経路の電流密度が高くなるため、周波数を上げれば上げるほど、電圧測定端子間には薄膜面法線方向の磁界強度に対応してより高い振幅の高周波電圧が出力される。加えて、磁性線(アモルファスワイヤ)を製造する際には張力を加えて引っ張る必要が生じ、このためにワイヤ表面の導電率劣化をまねくが、薄膜では製造時に一切の応力をかけることなく製造することもプロセスによっては可能であり、薄膜のみ製造する場合でも応力分散の結果、表面状態を損なうことなく製造することが可能である。

40

【0027】

(実施例2)

図6は、この発明の別の実施の形態による磁気検出素子の基本構造を示す図である。電圧測定端子で測定される信号に基づいて、薄膜1の感磁面の法線方向の外部磁界とは逆位相

50

の磁界を発生させ、フィードバック電流を供給することにより感磁面の法線方向磁界を一定にする制御を行うためにコイル6を設けた構造を有している。この発明の実施の形態における動作を図7を用いて説明する。図7左上に本発明の薄膜1とコイル6が示されている。図示されない高周波電圧発振器が周波数1MHz、出力振幅±1Vのサイン波状の電圧信号をボルテージフォロワ7に供給している。この電圧信号はさらにボルテージフォロワ8を経由して、電圧/電流変換器9により電圧を電流に変換して高周波電流を磁界検出素子の電流供給端子に印加している。磁界検出素子の薄膜1の面の法線方向の外部磁界から受けるローレンツ力に対応して、電圧測定端子間には高周波電圧が出力される。この高周波電圧信号は前置増幅器10において増幅された後、リミッターと呼ばれる振幅制限回路11に入り、大きな入力値に対しては振幅制限処理が施されたのち、乗算器12に供給される。図7下段左側に図示されているように、前置増幅器の出力信号は外部磁界の符号や振幅に応じて位相や振幅が変化する。この信号はボルテージフォロワ7が出力する信号に同期して変化しているので、位相シフタ17で位相調整を行った後、乗算器12に供給し、同期検波処理を行っている。乗算器12の出力信号は図7下段右側に図示されるように外部磁界の符号や振幅に応じて、直流成分の符号や振幅が変化することになる。磁界検出素子の薄膜1の感磁面の磁束が零でない場合には乗算器12の出力には印加電流の倍周波数のリップルが含まれるのでこれを除去するためにローパスフィルタ13を通して高調波をろ過したのち、積分器14に供給している。積分器14の出力電圧はボルテージフォロワ15を経由したのち、第2の電圧/電流変換器18に入力し、電圧を電流に変換したのち、コイル6に電流を供給することによりネガティブフィードバックループが構成される。したがって、薄膜1の面の法線方向の磁界は外部磁界とコイル6により発生された外部磁界に対して逆位相のキャンセル磁界の和となり、この和が零値となるように積分器14によるネガティブフィードバックループが構成されるのである。積分器14の積分値は感磁面の法線方向の磁界が零である限り増減は起こらず、コイル6が発生する磁界は供給電流に比例するので、この積分値も外部磁界に比例した値を取る。故にボルテージフォロワ15の出力を入力とするローパスフィルタ16の出力は外部磁界に比例した電圧出力が得られるのである。

10

20

【0028】

上記の実施例であれば、磁界検出素子の薄膜1の感磁面は常時ほぼ零に保持されるため、非常に小さなリップル出力しか出力せず、したがって図7の電子回路ノイズは非常に小さな値に抑えることができる。全体として磁気インピーダンス効果素子に比べ、100倍から1000倍の磁気分解能を達成することができる。

30

【0029】

(実施例3)

図8は、この発明の別の実施の形態による磁気検出素子の機能を説明する図である。本実施例においては磁界検出素子の薄膜1の感磁面とコイル6の面とは同一平面上には位置していない。図8に示すように、コイル6に供給されている電流によって発生する磁界はコイル面の法線方向には波形19で示されるようなコイル面に対して対称な形をしている。さらに、コイル面と平行な平面上では波形20に示すようにほぼ均質な分布をしている。

40

【0030】

上記の実施例であれば、この磁界検出素子の周辺の外部磁界が瞬時を捉えて一様磁界である場合には、薄膜1の感磁面の法線方向の磁界が零になるようにコイル6に電流を供給する制御を行うことにより、太点線21で示した領域においても磁界を零にすることができる。

【0031】

(実施例4)

図9は、さらにこの発明の別の実施の形態による磁気検出素子の機能を説明する図である。本実施例においては、図9の右側に示すように、大きなコイルを有する第1の磁気検出素子を4個配置し、小型のコイルを薄膜を構成する面に一体化した第2の磁気検出素子を20個配置している。図9左側に示すように、複数の大きなコイルを有する第1の磁気検

50

出素子を配置した場合には、複数の第1の磁気検出素子を各々独立に感磁面上の面の法線方向の磁界を零に保持する制御を行うことにより、外部磁界が空間勾配を有する場合においても、各大コイルが発生する磁界21が重なり合い、太破線22のような均質な磁界分布となる。この均質な太破線22上に小型のコイルを薄膜を構成する面に一体化した第2の磁気検出素子を配置することにより、上記の実施例であれば、外部磁界の存在にも関わらず、第2の磁気検出素子の近傍から発生する微弱な磁界を観測することができる。

【0032】

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

10

【0033】

【発明の効果】

以上のように、この発明によれば、ジョンソンノイズを低く抑えるとともに、ローレンツ力を受けない状態ではリップルが出力されないため電子回路ノイズを小さくすることができ、磁気分解能を高くすることができる。それ故、従来常温で使用可能な磁界検出素子では捕捉することができなかつた0.1ナノテスラ未満の微弱な磁界を検出することが可能な小型で軽量の磁界検出素子を安価に提供することができる。

【0034】

また、大きな環境磁気ノイズの存在下においても地磁気を含めた環境磁気ノイズの影響を受けることなく、近傍に位置する測定対象が発する微弱な磁界を捕捉することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施の形態による磁界検出素子の構造を説明する図である。(実施例1)

【図2】先行技術の既存磁気センサの種類とその測定レンジを示す図である。

【図3】先行技術のひとつである感磁性線材を利用した磁気インピーダンス効果素子の原理と欠点を説明する図である。

【図4】先行技術のひとつである感磁性線材を利用した磁気インピーダンス効果素子の印加電流の周波数と磁気感度の関係を説明する図である。

【図5】この発明の実施の形態による磁界検出素子の印加電流の周波数と表皮効果の関係を示す図である。

30

【図6】この発明の実施の形態による磁界検出素子の構造を説明する図である。(実施例2)

【図7】この発明の実施の形態による磁界検出素子の制御方法の一例を説明する図である。

【図8】この発明の実施の形態による磁界検出素子の動作原理を説明する図である。(実施例3)

【図9】この発明の実施の形態による磁界検出素子の構造を説明する図である。(実施例4)

【符号の説明】

1 高透磁率かつ高導電率であり保磁力が極めて小さな感磁性材料で構成された薄膜

40

2 薄膜1に高周波電流を印加するための電流印加端子

3 ローレンツ力により比例的に発生する高周波電圧を測定する電圧測定端子

4 薄膜1に高周波電流を印加するための電流印加端子

5 ローレンツ力により比例的に発生する高周波電圧を測定する電圧測定端子

6 コイル

7 ボルテージフォロワ

8 ボルテージフォロワ

9 電圧/電流変換器

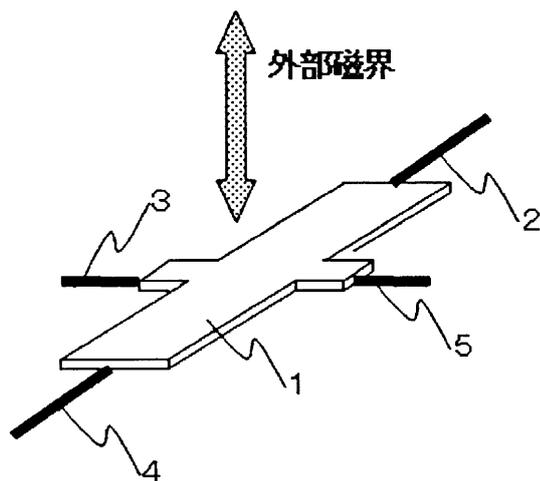
10 前置増幅器

11 電圧振幅制限回路

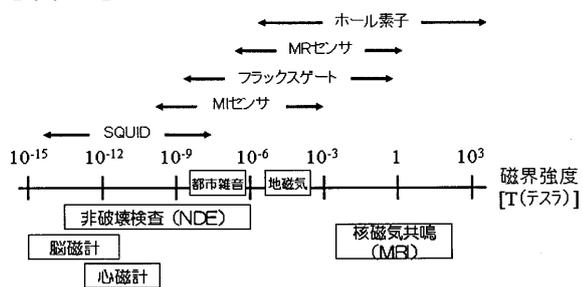
50

- 1 2 乗算器
- 1 3 ローパスフィルタ
- 1 4 積分器
- 1 5 ボルテージフォロワ
- 1 6 ローパスフィルタ
- 1 7 位相シフタ
- 1 8 電圧 / 電流変換器
- 1 9 コイル面法線方向の磁界分布波形
- 2 0 コイル面水平方向の磁界分布波形
- 2 1 零磁界制御面
- 2 2 零磁界制御面

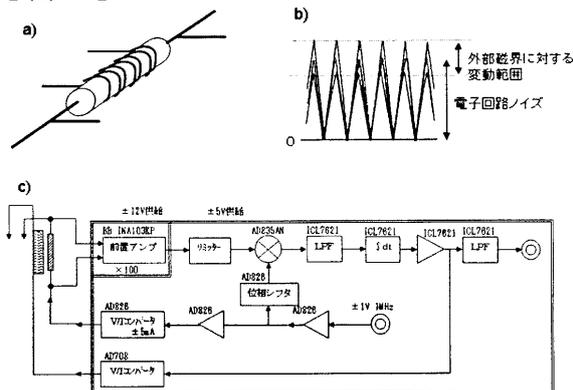
【 図 1 】



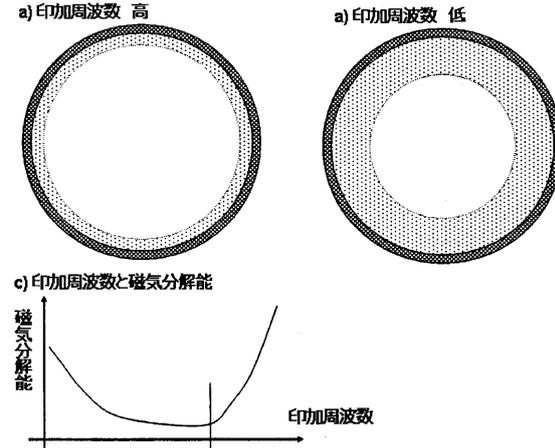
【 図 2 】



【 図 3 】

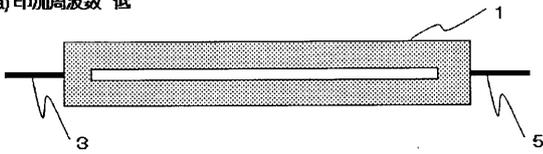


【 図 4 】

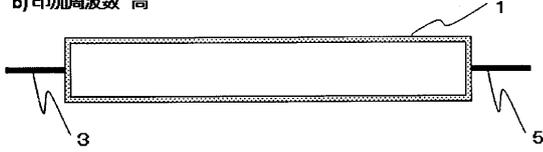


【 図 5 】

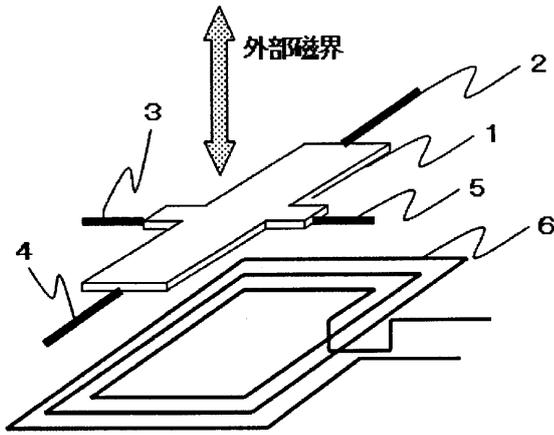
a) 印加周波数 低



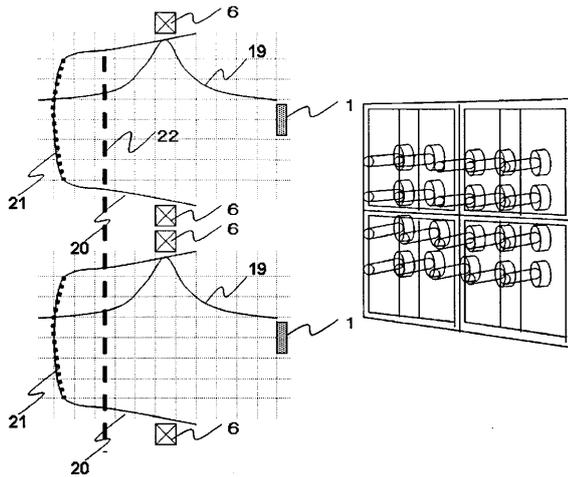
b) 印加周波数 高



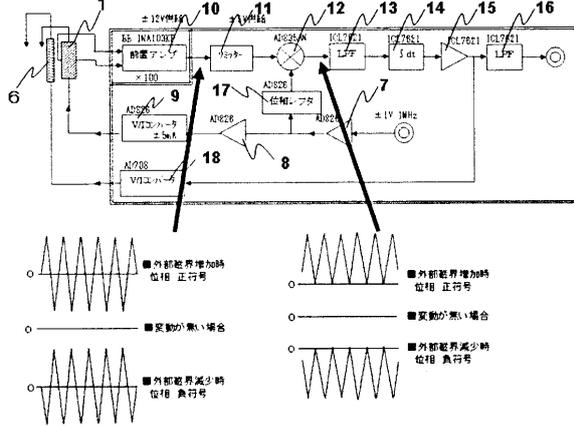
【 図 6 】



【 図 9 】



【 図 7 】



【 図 8 】

