

(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2015-14494
(P2015-14494A)

(43) 公開日 平成27年1月22日(2015.1.22)

(51) Int.Cl. F I テーマコード(参考)
GO 1 R 15/22 (2006.01) GO 1 R 15/07 Z 2 GO 2 5

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2013-140477 (P2013-140477)
(22) 出願日 平成25年7月4日(2013.7.4)

(71) 出願人 504180239
国立大学法人信州大学
長野県松本市旭三丁目1番1号
(74) 代理人 100099759
弁理士 青木 篤
(74) 代理人 100092624
弁理士 鶴田 準一
(74) 代理人 100114018
弁理士 南山 知広
(74) 代理人 100151459
弁理士 中村 健一
(72) 発明者 佐藤 敏郎
長野県長野市若里四丁目17番1号 国立
大学法人信州大学工学部内

最終頁に続く

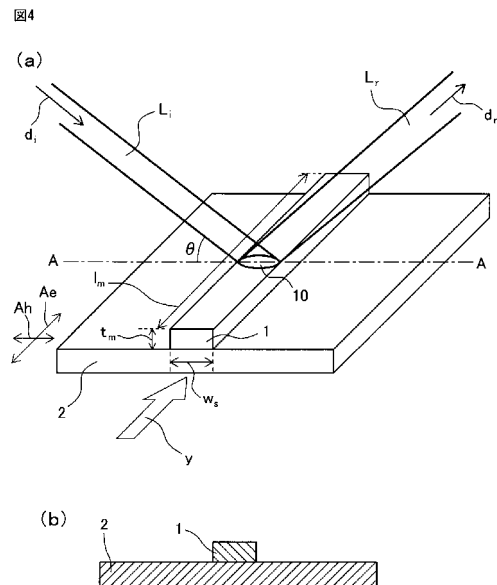
(54) 【発明の名称】 形状磁気異方性を有する磁性体を用いた光プローブ電流センサ

(57) 【要約】

【課題】従来の光プローブ電流センサにおいては、磁性体の面内方向に誘導磁気異方性あるいはまた結晶磁気異方性を用いて磁気異方性を付与させ、センサ感度を得ているが、自動車の内部等、200程度の環境下におかれると、磁性体の磁気モーメントの方向が変化してしまい、センサ感度が変化してしまうという問題が生じていた。

【解決手段】本発明の光プローブ電流センサは、測定対象である電流が流れる導体の近傍に配置され、形状磁気異方性を備え、磁化容易軸方向に沿った部分の長さが磁化困難軸方向に沿った部分の長さより長い磁性体と、磁性体に光を照射する光源と、磁性体で反射された反射光の偏光状態に基づいて磁性体に印加された磁界を検出する磁界検出部と、磁界検出部が検出した磁界に基づいて、導体に流れる電流を算出する電流算出部と、を有することを特徴とする。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

測定対象である電流が流れる導体の近傍に配置され、形状磁気異方性を備え、磁化容易軸方向に沿った部分の長さが磁化困難軸方向に沿った部分の長さより長い磁性体と、
前記磁性体に光を照射する光源と、
前記磁性体で反射された反射光の偏光状態に基づいて前記磁性体に印加された磁界を検出する磁界検出部と、
前記磁界検出部が検出した磁界に基づいて、導体に流れる電流を算出する電流算出部と、
を有することを特徴とする光プローブ電流センサ。

10

【請求項 2】

前記磁性体の磁化困難軸方向に沿った部分の長さは、前記光源からの光が前記磁性体上に照射される領域における磁化困難軸方向の長さより大きい、請求項 1 に記載の光プローブ電流センサ。

【請求項 3】

前記磁性体は、磁化容易軸方向に沿って 1 つまたは複数の溝を有する、請求項 1 または 2 に記載の光プローブ電流センサ。

【請求項 4】

前記 1 つまたは複数の溝のうちの少なくとも 1 つの溝の深さは、前記磁性体の厚さ以下である、請求項 3 に記載の光プローブ電流センサ。

20

【請求項 5】

導体を流れる電流の方向が、前記磁性体の磁化容易軸方向と一致している、請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載の光プローブ電流センサ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光プローブ電流センサに関し、特に形状磁気異方性を有する磁性体を備えた光プローブ電流センサに関する。

【背景技術】

【0002】

家電製品、電気/ハイブリッド自動車など各種電子機器には、電流量を観測するための電流センサが多く利用されている。特に近年は、外部から伝搬する電磁ノイズあるいは機器自身から発生するノイズが測定電流に与える影響が問題視されており、S/N比が良い高精度な電流センサが要求されている。

30

【0003】

しかしながら、従来利用されているホール素子を用いた電流センサは、センサに接続された導線（ワイヤハーネス）にノイズが誘導されることにより、高精度な電流測定ができないという問題が生じていた。そこで、光磁気ディスクの技術を応用した磁性体における磁気カー（Kerr）効果を利用した光プローブ電流センサが報告されている（例えば、特許文献 1）。これは電磁ノイズの影響を受けない光をプローブとしているため、劣悪な電磁ノイズ環境下でも高精度な電流検出が可能であるというものである。

40

【0004】

図 1 に従来の光プローブ電流センサの構成を示す。図 1 (a) は導体に電流を流していない状態を示し、図 1 (b) は導体に電流を流した状態を示す。図 1 (a) に示すように、導体 2 の近傍に磁性体 100 を配置して導体 2 に流れる電流によって生じる磁界を検出する。磁性体 100 は磁気異方性を有しており、初期の磁気モーメントの方向 m_{p0} を導体 2 に流れる電流の向きと一致させておく。磁性体 100 には、例えば誘導磁気異方性あるいはまた結晶磁気異方性を利用して磁気異方性を付与している。

【0005】

磁性体 100 には、光源 11 から偏光プリズム 12 を通して直線偏光を含む入射光 L_1

50

を照射する。入射光 L_i は磁性体 100 の表面で反射され、反射光 L_r として磁界検出部 20 へ出射される。磁界検出部 20 において、反射光 L_r は $1/2$ 波長板あるいは $1/4$ 波長板 13 で方位調整されたのち、偏光ビームスプリッタ 14 に入射され、S 偏光 L_s と P 偏光 L_p に分離される。S 偏光 L_s 及び P 偏光 L_p はそれぞれ第 1 受光素子 15 及び第 2 受光素子 16 に入射され、それぞれの出力電圧がオペアンプ 17 の反転入力端子と非反転入力端子に入力され両者の差分が検出される。オペアンプ 17 の出力電圧は導体 2 に流れる電流と相関関係があるため、電流算出部 30 においてオペアンプ 17 の出力電圧に基づいて導体 2 に流れる電流を算出することができる。

【0006】

ここで、導体 2 に電流が流れていない場合には、反射光 L_r は直線偏光のままであり、 $1/2$ 波長板あるいは $1/4$ 波長板 13 を通った光は円偏光を示す。従って、P 偏光 L_p 及び S 偏光 L_s の大きさは同一であり、電流は検出されない。

10

【0007】

一方、図 1 (b) に示すように、導体 2 に電流 I が流れる場合は、電流 I によって生じた磁界 m により、磁性体 100 の磁気モーメントの方向が m_{p0} から m_p へ変化する。磁性体 100 に光を照射する様子を図 2 に示す。導体 2 の上に磁性体 100 が配置されており、導体 2 には矢印 y の方向に電流 I が流れているとする。また、磁性体 100 は幅 w_0 、長さ l_0 、厚さ t_0 の大きさを有するものとする。長さ l_0 及び幅 w_0 は入射光 L_i の照射領域 10 に比べて十分大きい。光源 11 から出射された光 L_i は矢印 d_i の方向から入射し、磁性体 100 の表面上の照射領域 10 で反射されて矢印 d_r の方向へ反射光 L_r として反射される。このとき、照射領域 10 において磁性体 100 の磁気モーメントの方向が m_{p0} から m_p に変化しているため、反射光 L_r は楕円偏光となる。このように、磁化した磁性体の表面に直線偏光を照射した場合に、反射光が楕円偏光となる現象を「磁気カー効果」という。

20

【0008】

反射光 L_r が楕円偏光となると、P 偏光 L_p 及び S 偏光 L_s の大きさに差が生じ、差分に比例した電流が検出される。このようにして、光を利用して電流を検出できるため、電磁波等のノイズが存在する環境下においても正確に電流を検出することができる。

【0009】

電流センサは様々な環境下において使用されることが要求されており、特に電気/ハイブリッド自動車において利用する場合には、周囲温度が 200 程度まで高温になってもセンサ感度や特性が変わらないことが要求されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献 1】特開 2012 - 193981 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

しかしながら、従来の光プローブ電流センサにおいては、磁性体の面内方向に誘導磁気異方性あるいはまた結晶磁気異方性を用いて磁気異方性を付与させ、センサ感度を得ているが、自動車の内部等、 200 程度の環境下に置かれると、磁性体の磁気モーメントの方向が変化してしまい、センサ感度が低下してしまうという問題が生じていた。

40

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明の光プローブ電流センサは、測定対象である電流が流れる導体の近傍に配置され、形状磁気異方性を備え、磁化容易軸方向に沿った部分の長さが磁化困難軸方向に沿った部分の長さより長い磁性体と、磁性体に光を照射する光源と、磁性体で反射された反射光の偏光状態に基づいて磁性体に印加された磁界を検出する磁界検出部と、磁界検出部が検出した磁界に基づいて、導体に流れる電流を算出する電流算出部と、を有することを特徴

50

とする。

【発明の効果】

【0013】

本発明の光プローブ電流センサによれば、形状磁気異方性を利用して磁性体に磁気異方性を付与しているため、周囲温度が変化してもセンサ感度に影響する磁気異方性が変化せず、温度特性の良い光プローブ電流センサを構成することができるという効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】従来の光プローブ電流センサの構成を示す図である。

10

【図2】従来の光プローブ電流センサに用いられる磁性体の斜視図である。

【図3】本発明の実施例1に係る光プローブ電流センサの構成を示す図である。

【図4】本発明の実施例1に係る光プローブ電流センサに用いられる磁性体の斜視図及び断面図である。

【図5】本発明の実施例1に係る光プローブ電流センサの動作手順を説明するためのフローチャートである。

【図6】本発明の実施例1に係る光プローブ電流センサを構成する磁性体のサイズと反磁界係数との関係を示す図である。

【図7】本発明の実施例1に係る光プローブ電流センサの温度特性を示すグラフである。

【図8】本発明の実施例2に係る光プローブ電流センサに用いられる磁性体の斜視図及び断面図である。

20

【図9】本発明の実施例3に係る光プローブ電流センサに用いられる磁性体の斜視図及び断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、図面を参照して、本発明に係る光プローブ電流センサについて説明する。ただし、本発明の技術的範囲はそれらの実施の形態には限定されず、特許請求の範囲に記載された発明とその均等物に及ぶ点に留意されたい。

【0016】

〔実施例1〕

30

本発明の実施例1に係る光プローブ電流センサについて説明する。図3に本発明の実施例1に係る光プローブ電流センサの構成を示す。図3(a)は導体2に電流が流れていない状態を示し、図3(b)は導体2に電流が流れている状態を示している。また、図4に、本発明の実施例1に係る光プローブ電流センサに用いられる磁性体の斜視図及び断面図を示す。本発明の実施例1に係る光プローブ電流センサは、測定対象である電流Iが流れる導体2の近傍に配置された磁性体であって、形状磁気異方性を備え、磁化容易軸方向A_eに沿った部分の長さl_mが磁化困難軸方向A_hに沿った部分の長さw_sより長い磁性体1と、磁性体1に光L_iを照射する光源11と、磁性体1で反射された反射光L_rの偏光状態に基づいて磁性体1に印加された磁界を検出する磁界検出部20と、磁界検出部20が検出した磁界に基づいて、導体2に流れる電流Iを算出する電流算出部30と、を有する。

40

【0017】

光源11は、直線偏光を含む光を出力する光源である。例えば、He-Neレーザ等の気体レーザや半導体レーザなどのレーザ光を出力するレーザ光源を用いることができる。光源11が出力する光は例えば直径が100μm程度である。

【0018】

光源11から出力された光は、偏光子12に入射され、偏光子12は光源11から出射される光を所定の偏光軸方向を有する直線偏光に偏光する。直線偏光した光は磁性体1に入射されるため、これを入射光L_iと呼ぶ。偏光子12として、例えば、グラントムソン偏光プリズムやグランテラー偏光プリズムを用いることができる。

【0019】

50

本発明の実施例 1 に係る光プローブ電流センサに用いられる磁性体の斜視図及び断面図をそれぞれ図 4 (a) 及び図 4 (b) に示す。図 4 (b) の断面図は、図 4 (a) の A - A において、導体 2 の水平面に対して垂直方向に切った断面図である。磁性体 1 は測定対象である電流が流れる導体 2 の近傍に配置されるが、接している必要はない。また、磁性体 1 は導体 2 上に直接配置してもよいが、 SiO_2 膜等の層間絶縁膜 (図示せず) を磁性体 1 と導体 2 との間に設けてもよい。

【 0 0 2 0 】

磁性体 1 は、形状磁気異方性を備え、いわゆる短冊状の形状を備えている。磁性体 1 は、Fe、Co、Ni、Gd のうちの少なくとも一種を含む軟磁性体であり、例えばイットリウム - 鉄 - ガーネット (Y I G : Yttrium-Iron-Garnet) フェライト単結晶である。形状磁気異方性を備えた磁性体は、磁化容易軸方向と磁化困難軸方向を有するが、「短冊状」とは、磁性体 1 の磁化容易軸方向 A_e に沿った部分の長さ l_m が、磁化困難軸方向 A_h に沿った部分の長さ w_s より長いことを意味している。磁性体を短冊状に加工することで、結晶磁気異方性などに対して周囲温度の影響を受け難い形状磁気異方性が支配的になる。その結果、磁性体の異方性磁界 (センサ感度) の温度特性が改善する。

10

【 0 0 2 1 】

図 3 (a) に示すように、導体 2 に電流が流れていない状態、即ち、磁性体 1 に磁界が印加されていない状態における磁性体 1 の磁気モーメントの方向 m_p は磁化容易軸方向 A_e と一致している。磁性体 1 の厚さを t_m とすると、 t_m は入射光 L_i が透過しない程度に厚ければよく、例えば $0.1 \mu\text{m}$ 程度あれば十分である。

20

【 0 0 2 2 】

磁性体 1 には、入射光 L_i が d_i の方向から入射し、照射領域 10 で d_r の方向に反射光 L_r として反射される。入射光 L_i の全てが磁性体 1 の表面で反射されるためには、磁性体 1 の磁化困難軸方向 A_h の長さ w_s が、照射領域 10 の幅以上であればよい。即ち、磁性体の磁化困難軸方向 A_h に沿った部分の長さ w_s は、光源からの光が磁性体 1 上に照射される領域における磁化困難軸方向の長さより大きいことが好ましい。例えば、入射光 L_i が磁性体 1 に対して角度 θ で入射し、円形状の入射光 L_i の径が d_i である場合は、 $w_s / \sin \theta$ を満たすように w_s を決めればよい。

【 0 0 2 3 】

磁界検出部 20 は、磁気カー効果を利用して磁性体 1 に印加される外部磁界の磁界強度を検出するものである。磁界検出部 20 は、 $1/2$ 波長板あるいは $1/4$ 波長板 13 と、偏光ビームスプリッタ 14 と、第 1 受光素子 15 と、第 2 受光素子 16 と、オペアンプ 17 と、を備えている。 $1/2$ 波長板あるいは $1/4$ 波長板 13 は、反射光 L_r の偏光方向を微調整する。偏光ビームスプリッタ 14 は、反射光 L_r を S 偏光 L_s 及び P 偏光 L_p に分離する。S 偏光 L_s は第 1 受光素子 15 によって受光され、P 偏光 L_p は第 2 受光素子 16 によって受光される。第 1 受光素子 15 及び第 2 受光素子 16 とし、例えば、フォトダイオード、フォトランジスタ、または CCD センサを用いることができる。第 1 受光素子 15 及び第 2 受光素子 16 は、それぞれオペアンプ 17 の反転入力端子及び非反転入力端子に光電変換した信号を出力する。電流算出部 30 は、オペアンプ 17 の出力結果である差分値に基づいて導体 2 に流れる電流を算出する。

30

40

【 0 0 2 4 】

次に、本発明の実施例 1 に係る光プローブ電流センサの動作について、図 5 のフローチャートを用いて説明する。まず、磁性体 1 に外部磁界が印加されていない状態で、光プローブ電流センサの調整を行うために、導体 2 に電流を流さない状態 ($I = 0 [A]$) とする (S 101)。

【 0 0 2 5 】

次に、ステップ S 102 において、 $1/4$ 波長板 (あるいは $1/2$ 波長板) 13 で P・S 偏光の強度を揃える。具体的には以下のように調整する。導体 2 に電流が流れていない場合、即ち磁性体 1 に印加される磁界がゼロである場合に、偏光ビームスプリッタ 14 で分離される 2 つの偏光成分 L_s 、 L_p の強度が等しくなるように、 $1/2$ 波長板あるいは 1

50

1/4波長板13の遅相軸の角度を調整する。具体的には、1/2波長板あるいは1/4波長板13の遅相軸を入射光L_iの偏光面に対して45度傾けることにより、偏光ビームスプリッタ14で分離される2つの偏光成分L_sとL_pの光強度をほぼ等しくする。このように調整することにより、L_sとL_pの強度の差分を検出することにより、磁性体1における磁界の大きさを検出することができる。導体2に電流が流れていない状態では、オペアンプ17の差動出力Vは0[V]となる(S103)。

【0026】

次に、ステップS104において、導体2に電流Iを流す(I = I[A])。導体2に流れる電流Iの向きは矢印yの方向であり、磁性体1の磁化容易軸方向A_e、即ち、短冊状の磁性体1の長尺方向と一致している。図3(b)に示すように、導体2に電流Iが矢印yの方向に流れた場合、導体2の周りに磁界mが発生する。その結果、磁性体1の磁気モーメントはm_{p2}の方向に変化する。この状態で、磁性体1に入射光L_iを照射すると、入射光L_iが磁性体1の磁化ベクトルm_{p2}により磁気カー効果を受けて偏光面が回転し、反射光L_rは楕円偏光となる(S105)。その結果、その旋光角の大きさに応じて2つの偏光成分L_sとL_pの間に強度差が生じ、P・S偏光の強度差から差動出力V = V_o[V]を検出することができる(S106)。次に、ステップS107において、電流算出部30が差動出力V_oから導体2に流れる電流Iを算出する。

10

【0027】

次に、本発明の実施例1に係る光プローブ電流センサに用いる磁性体の形状の設計方法について説明する。磁性体の形状は、磁性体に生じる異方性磁界H_kに基づいて設計することができる。形状磁気異方性による反磁界H_dが優勢である場合、異方性磁界H_kは概ねH_dに一致する。図4(a)のように磁性体1を短冊状に加工した場合、反磁界H_dは次式で表される。

20

$$H_d = N M_s \dots \dots \dots (1)$$

ここで、Nは反磁界係数、M_sは磁性体の飽和磁化である。飽和磁化M_sは、磁性体材料に固有の値であるので、磁性体の形状と反磁界係数Nとの関係が重要である。反磁界係数Nは次式で表される(ただし、l_m w_s t_m)。

【0028】

【数1】

30

$$N = \frac{t_m}{w_s + t_m} - \frac{1}{2} \left(\frac{w_s t_m}{l_m^2} \right) \ln \left(\frac{4l_m}{w_s + t_m} \right) + \frac{w_s t_m (3w_s + t_m)}{4l_m^2 (w_s + t_m)} \dots \dots \dots (2)$$

上式を用いることにより、一例として以下のような組み合わせが得られる。

【0029】

【表1】

40

l _m [μm]	w _s [μm]	t _m [μm]	M _s [T]
10	10	0.1	2.15

この場合、反磁界係数NはN = 0.0099と算出される。

式(1)より反磁界H_dは

$$H_d = 0.0099 \times 2.15 \times 10^4 \quad 213 [0e] = 16.9 [kA/m] \quad (\text{純鉄の場合})$$

と求められる。

50

【0030】

式(2)を用いることにより、反磁界係数 N から磁性体1の形状を決定することができる。例えば、磁性体1の磁化容易軸方向の長さ l_m をパラメータとした場合の反磁界係数 N と磁性体1の磁化困難軸方向の長さ w_s との関係を図6に示す。ここで、磁性体1の厚さ t_m は $0.1[\mu m]$ としている。反磁界係数 N は、 w_s の増加に伴って単調に減少するが、 l_m が5または $10[\mu m]$ の場合は、 w_s の増加に伴って増加する場合が現れる。この結果から、磁性体1の短冊形状の長手方向の長さ、即ち、磁化容易軸方向の長さ l_m は $10[\mu m]$ より大きいことが望ましいと言える。

【0031】

図7に、実施例1に係る光プローブ電流センサに用いられる磁性体の温度特性のグラフを示す。同図には、磁性体を配置した環境の温度を 25 から 150 まで変化させたときの印加磁界強度 $H[Oe]$ と磁化 $M[kG]$ との関係を示している。温度を 25 から 150 まで変化させても磁気特性に大きな変化は見られないことから、実施例1に係る光プローブ電流センサに用いられる磁性体を利用することにより、少なくとも 150 まで環境温度を上昇させても磁気特性が変動しないことがわかる。この結果から、本発明のように磁性体の形状を磁化容易軸方向に沿った部分の長さが磁化困難軸方向に沿った部分の長さより長くなるようにして形状磁気異方性を付与することにより、高温の環境下においても正確に磁界を測定することができ、ひいては正確な電流測定が可能であることがわかる。

【0032】

〔実施例2〕

次に、本発明の実施例2に係る光プローブ電流センサについて説明する。測定システムや測定手順は実施例1と同様であるので詳細な説明は省略する。実施例2の光プローブ電流センサが、実施例1の光プローブ電流センサと異なっている点は、磁性体が、磁化容易軸方向に沿って1つまたは複数の溝を有する点である。図8に本発明の実施例2に係る光プローブ電流センサに用いられる磁性体の斜視図及び断面図を示す。図8(b)は図8(a)のB-B線で導体2の水平面に対して垂直方向に切断した断面図である。磁性体1'には、磁化容易軸方向Aeに沿って溝1aが設けられている。溝1aは磁性体1'の厚さ(t_m)方向に向かって貫通するように形成されている。溝1aは磁性体1'の磁化容易軸方向Aeの全ての領域に渡って形成されている必要はないが、形状磁気異方性が十分に現れる長さであることが好ましい。溝1aが磁性体1'の磁化容易軸方向Aeの全ての領域に渡って形成されている場合は、2つの磁性体を並列させて配置したのと同じ状態となる。

【0033】

また、図8(a)、(b)には溝1aを1つだけ形成した例を示したが、これには限られず、溝を複数設けてもよい。さらに、同図には、溝1aを入射光 L_i の反射領域10と重なるように形成した例を示したが、これには限られず、 w_s を反射領域10の磁化困難軸方向の長さよりも十分大きくして、反射領域10の外部に設けるようにしてもよい。

【0034】

実施例2に係る光プローブ電流センサによれば、形状磁気異方性を備えた磁性体に1つまたは複数の溝を設けているので、溝を形成していない場合に比べて形状磁気異方性を強く出現させることができる。また、磁性体の形状磁気異方性のレベルは磁化容易軸方向の長さ l_m と磁化困難軸方向の長さ w_s の比によって決まるため、溝を設けることによって、実効的な磁化困難軸方向の長さを短縮し、磁化容易軸方向の長さも短縮することができるため、磁性体のサイズを縮小することができる。

【0035】

〔実施例3〕

次に、本発明の実施例3に係る光プローブ電流センサについて説明する。測定システムや測定手順は実施例1と同様であるので詳細な説明は省略する。実施例3の光プローブ電流センサが、実施例1の光プローブ電流センサと異なっている点は、磁性体が、磁化容易

軸方向に沿って1つまたは複数の溝を有し、1つまたは複数の溝のうちの少なくとも1つの溝の深さ d は、磁性体の厚さ t_m 以下である点である。図9に本発明の実施例3に係る光プローブ電流センサに用いられる磁性体の斜視図及び断面図を示す。図9(b)は図9(a)のC-C線で導体2の水平面に対して垂直方向に切断した断面図である。磁性体1'には、磁化容易軸方向 A_e に沿って溝1bが設けられている。溝1bは磁性体1'の厚さ方向に向かって形成されているが、貫通はしていない。溝1bは磁性体1'の磁化容易軸方向 A_e の全ての領域に渡って形成されている必要はないが、形状磁気異方性が十分に現れる長さであることが好ましい。

【0036】

また、図9(a)、(b)には溝1bを1つだけ形成した例を示したが、これには限られず、溝を複数設けてもよい。溝を複数設けた場合には、溝が磁性体の厚さ方向に向かって貫通しているもの($d = t_m$)と貫通していないもの($d < t_m$)とを混在させてもよい。さらに、同図には、溝1bを入射光 L_i の反射領域10と重なるように形成した例を示したが、これには限られず、磁性体の磁化困難軸方向の長さ w_s を反射領域10の大きさよりも十分大きくして、溝1bを反射領域10の外部に設けるようにしてもよい。

10

【0037】

実施例3に係る光プローブ電流センサによれば、形状磁気異方性を備えた磁性体に1つまたは複数の溝を設けているので、溝を形成していない場合に比べて形状磁気異方性を強く出現させることができる。さらに溝を磁性体の厚さ方向に貫通させないようにすることにより、入射光 L_i が磁性体から漏れることを防止することができる。

20

【0038】

以上のように、磁性体に形状磁気異方性を付与させる方法として、磁性体を細長い短冊状に形成する構成について説明したが、磁性体の面内の一方向に細長い針状の結晶構造を有するようにしてもよい。

【0039】

また、以上の実施例においては磁性体を光プローブ電流センサに応用した例について説明したが、これには限られず、上述した磁性体を用いて磁界を検出する他の用途にも応用可能である。

【符号の説明】

【0040】

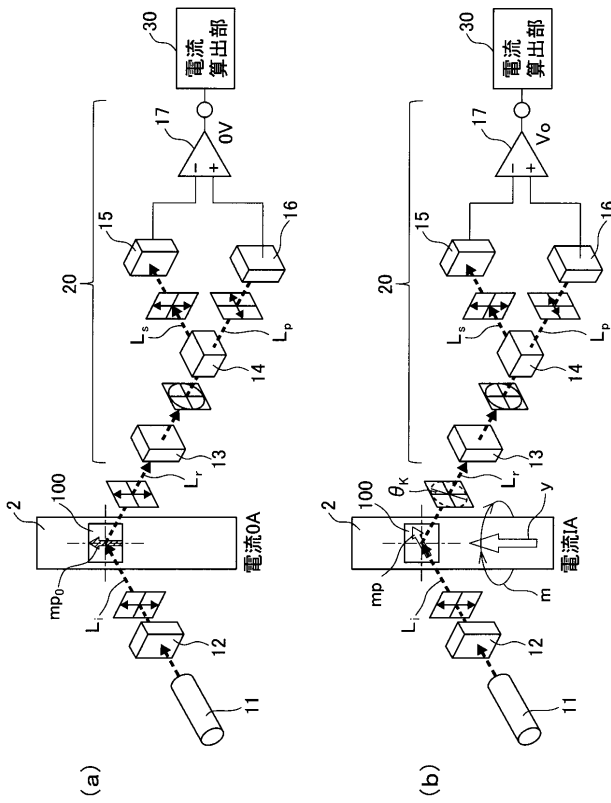
30

- 1 磁性体
- 2 導体
- 11 光源
- 12 偏光子
- 13 1/2波長板あるいは1/4波長板
- 14 偏光ビームスプリッタ
- 15 第1受光素子
- 16 第2受光素子
- 17 オペアンプ
- 20 磁界検出部
- 30 電流算出部

40

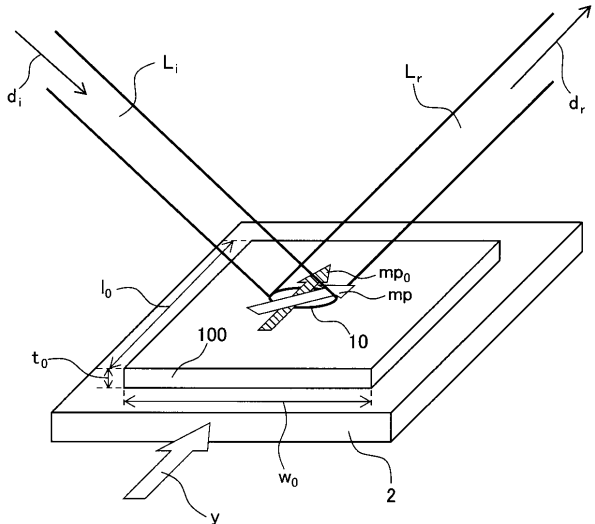
【 図 1 】

図1



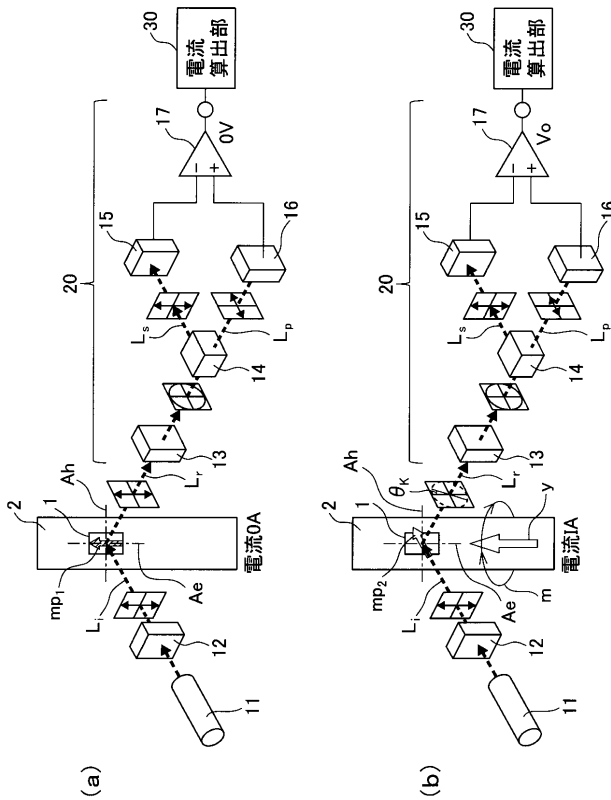
【 図 2 】

図2



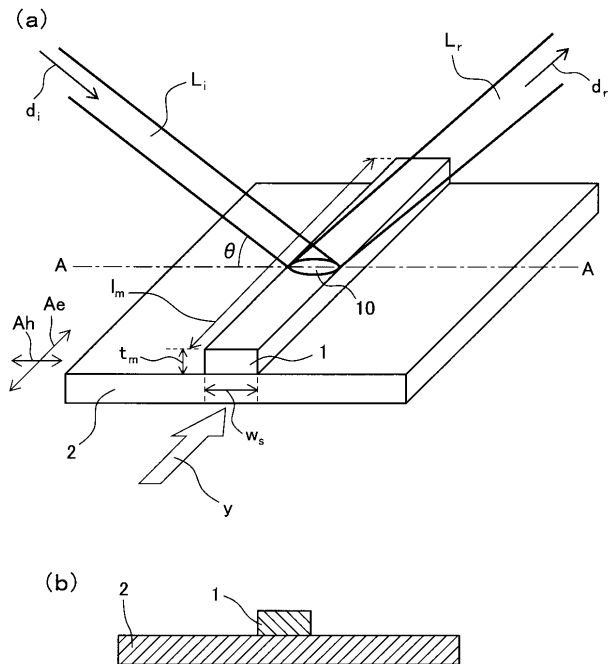
【 図 3 】

図3



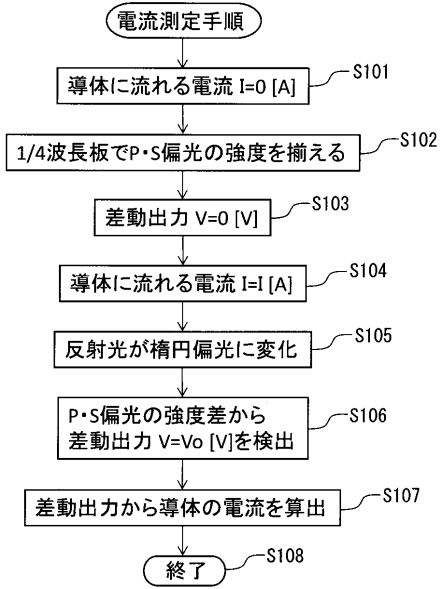
【 図 4 】

図4



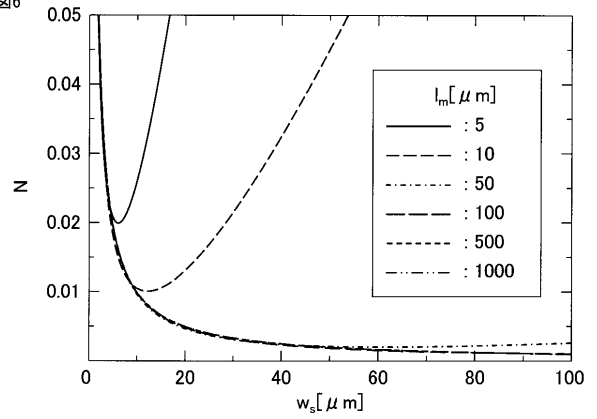
【 図 5 】

図5



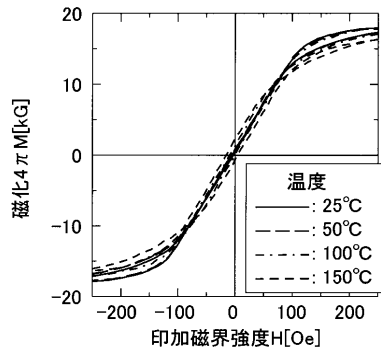
【 図 6 】

図6



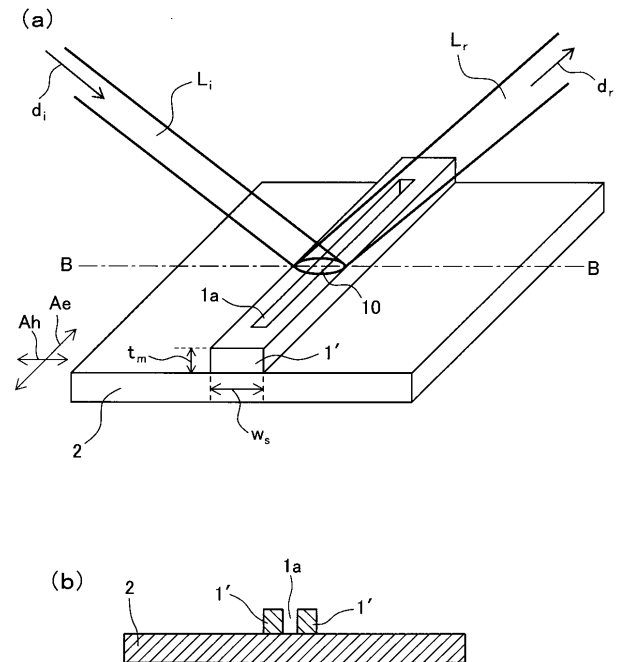
【 図 7 】

図7



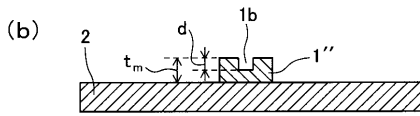
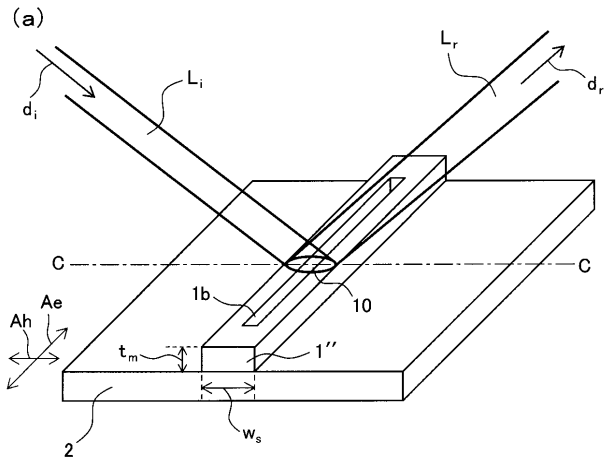
【 図 8 】

図8



【 図 9 】

図9



フロントページの続き

(72)発明者 曾根原 誠

長野県長野市若里四丁目1番1号 国立大学法人信州大学工学部内

Fターム(参考) 2G025 AA08 AB00 AB10 AC01