

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2012年7月5日(05.07.2012)



(10) 国際公開番号
WO 2012/090631 A1

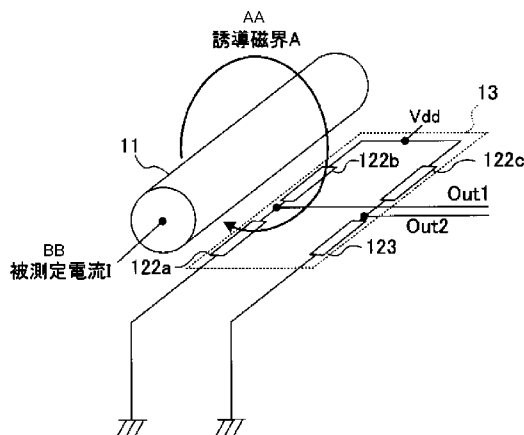
- (51) 国際特許分類:
G01R 33/09 (2006.01) G01R 15/20 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/077245
- (22) 国際出願日: 2011年11月25日(25.11.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2010-289629 2010年12月27日(27.12.2010) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): アルプス・グリーンデバイス株式会社(ALPS GREEN DEVICES CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1458501 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 井出 洋介 (IDE, Yosuke) [JP/JP]; 〒1458501 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス・グリーンデバイス株式会社内 Tokyo (JP). 齋藤 正路 (SAITO, Masamichi) [JP/JP]; 〒1458501 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス・グリーンデバイス株式会社内 Tokyo (JP). 高橋 彰 (TAKAHASHI, Akira) [JP/JP]; 〒1458501 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス・グリーンデバイス株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 青木 宏義, 外(AOKI, Hiroyoshi et al.); 〒1020084 東京都千代田区二番町4番3 二番町カシュービル7F Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,

[続葉有]

(54) Title: ELECTROMAGNETIC PROPORTIONAL CURRENT SENSOR

(54) 発明の名称: 磁気比例式電流センサ

[図1]



AA... INDUCTION FIELD A
BB... MEASUREMENT CURRENT I

(57) Abstract: The current between elements is measured with high precision by eliminating any variation in the zero magnetic resistance (R_0) and the temperature coefficient of resistance (TCR₀). A magnetic field detection bridge circuit (13) is provided that comprises four magneto-resistive sensors (122a to 122c, and 123) the resistance of which changes with the application of an induction magnetic field from a current to be measured. The four magneto-resistive sensors (122a to 122c, and 123) have: a ferromagnetic solid layer, which is formed by antiferromagnetic coupling of a first ferromagnetic film and a second ferromagnetic film via an antiparallel coupling film; a nonmagnetic intermediate layer; and a free soft magnetic layer. The first and second ferromagnetic films have virtually the same Curie temperature, the difference in the amount of magnetization is essentially zero, the direction of magnetization of the ferromagnetic solid layers of the three magneto-resistive sensors (122a to 122c) is the same, and the direction of magnetization of the ferromagnetic solid layer of the one magneto-resistive sensor (123) is 180° different from the direction of magnetization of the ferromagnetic solid layers of the three magneto-resistive sensors (122a to 122c).

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2012/090631 A1

ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, 添付公開書類:
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, — 国際調査報告 (条約第 21 条(3))
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

素子間におけるゼロ磁場抵抗値 (R_0) や抵抗温度係数 (TCR_0) のズレを無くし、高精度に電流測定を行うこと。被測定電流からの誘導磁界の印加により抵抗値が変化する4つの磁気抵抗効果素子 (122a~122c, 123) で構成された磁界検出ブリッジ回路 (13) を有し、4つの磁気抵抗効果素子 (122a~122c, 123) は、反平行結合膜を介して第1の強磁性膜と第2の強磁性膜とを反強磁性的に結合させてなる強磁性固定層と、非磁性中間層と、軟磁性自由層とを有し、第1の強磁性膜及び第2の強磁性膜は、キュリー温度が略同じであり、かつ、磁化量の差が実質的にゼロであり、3つの磁気抵抗効果素子 (122a~122c) の強磁性固定層の磁化方向が同じであり、1つの磁気抵抗効果素子 (123) の強磁性固定層の磁化方向が3つの磁気抵抗効果素子 (122a~122c) の強磁性固定層の磁化方向と180°異なる方向である。

明 細 書

発明の名称：磁気比例式電流センサ

技術分野

[0001] 本発明は、磁気抵抗効果素子（TMR素子、GMR素子）を用いた磁気比例式電流センサに関する。

背景技術

[0002] 電気自動車においては、エンジンで発電した電気をを用いてモータを駆動しており、このモータ駆動用の電流の大きさは、例えば電流センサにより検出される。この電流センサは、導体の周囲に、一部に切り欠き（コアギャップ）を有する磁気コアを配置し、このコアギャップ内に磁気検出素子を配置してなるものである。

[0003] 電流センサの磁気検出素子として、磁化方向が固定された固定磁性層、非磁性層、及び磁化方向が外部磁界に対して変動するフリー磁性層の積層構造を備える磁気抵抗効果素子（GMR素子、TMR素子）などが用いられている。このような磁気抵抗効果素子を用いる電流センサにおいては、磁気抵抗効果素子と固定抵抗素子とでフルブリッジ回路を構成している（特許文献1）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2007-248054号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、磁気抵抗効果素子と固定抵抗素子とでフルブリッジ回路を構成する場合、磁気抵抗効果素子の膜構成と、固定抵抗素子の膜構成が異なるために、ゼロ磁場抵抗値（ R_0 ）や、ゼロ磁場での抵抗温度係数（TCR）が磁気抵抗効果素子と固定抵抗素子との間で異なってしまう。このため、温度変化により、ブリッジ回路の出力である中点電位が変動してしまい、出

力に誤差が生じてしまい、高精度に電流測定を行うことができないという問題がある。

[0006] 本発明はかかる点に鑑みてなされたものであり、素子間におけるゼロ磁場抵抗値 (R_0) や抵抗温度係数 (TCR (Temperature Coefficient Resistivity) α) のズレを無くし、高精度に電流測定を行うことができる磁気比例式電流センサ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

[0007] 本発明の磁気比例式電流センサは、被測定電流からの誘導磁界の印加により抵抗値が変化する4つの磁気抵抗効果素子で構成され、前記誘導磁界に略比例する電圧差を生じる2つの出力を備える磁界検出ブリッジ回路と、前記誘導磁界を減衰させる磁気シールドと、を具備し、前記磁界検出ブリッジ回路の電圧差を用いて前記被測定電流の電流値を算出する磁気比例式電流センサであって、前記4つの磁気抵抗効果素子は、反平行結合膜を介して第1の強磁性膜と第2の強磁性膜とを反強磁性的に結合させてなるセルフピン止め型の強磁性固定層と、非磁性中間層と、軟磁性自由層とを有し、前記第1の強磁性膜及び前記第2の強磁性膜は、キュリー温度が略同じであり、かつ、磁化量の差が実質的にゼロであり、前記4つの磁気抵抗効果素子のうち3つの磁気抵抗効果素子の強磁性固定層の磁化方向が同じであり、残り1つの磁気抵抗効果素子の強磁性固定層の磁化方向が前記3つの磁気抵抗効果素子の強磁性固定層の磁化方向と180°異なる方向であることを特徴とする。

[0008] この構成によれば、磁気検出ブリッジ回路が膜構成の同じ4つの磁気抵抗効果素子で構成されているので、素子間におけるゼロ磁場抵抗値 (R_0) や抵抗温度係数 (TCR α) のズレを無くすことができる。このため、環境温度によらず中間電位のばらつきを小さくでき、高精度に電流測定を行うことができる。

[0009] 本発明の磁気比例式電流センサにおいては、前記磁気シールド及び前記磁界検出ブリッジ回路が同一基板上に形成されてなることが好ましい。

[0010] 本発明の磁気比例式電流センサにおいては、前記磁気シールドが前記磁界

検出ブリッジ回路より前記被測定電流に近い側に配置されることが好ましい。

[0011] 本発明の磁気比例式電流センサにおいては、前記4つの磁気抵抗効果素子は、その長手方向が互いに平行になるように配置された複数の帯状の長尺パターンが折り返してなる形状を有し、前記誘導磁界が前記長手方向に直交する方向に沿うように印加されることが好ましい。

[0012] 本発明の磁気比例式電流センサにおいては、前記第1の強磁性膜が40原子%～80原子%のFeを含むCoFe合金で構成され、前記第2の強磁性膜が0原子%～40原子%のFeを含むCoFe合金で構成されていることが好ましい。

[0013] 本発明の磁気比例式電流センサにおいては、前記磁気シールドは、アモルファス磁性材料、パーマロイ系磁性材料、及び鉄系微結晶材料からなる群より選ばれた高透磁率材料で構成されていることが好ましい。

発明の効果

[0014] 本発明の磁気比例式電流センサは、被測定電流からの誘導磁界の印加により抵抗値が変化する4つの磁気抵抗効果素子で構成された磁界検出ブリッジ回路を有し、4つの磁気抵抗効果素子は、反平行結合膜を介して第1の強磁性膜と第2の強磁性膜とを反強磁性的に結合させてなる強磁性固定層と、非磁性中間層と、軟磁性自由層とを有し、第1の強磁性膜及び第2の強磁性膜は、キュリー温度が略同じであり、かつ、磁化量の差が実質的にゼロであり、4つの磁気抵抗効果素子のうち3つの磁気抵抗効果素子の強磁性固定層の磁化方向が同じであり、残り1つの磁気抵抗効果素子の強磁性固定層の磁化方向が前記3つの磁気抵抗効果素子の強磁性固定層の磁化方向と180°異なる方向であるので、素子間におけるゼロ磁場抵抗値 (R_0) や抵抗温度係数 (TCR_0) の違いに起因する出力誤差を無くし、高精度に電流測定を行うことができる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]本発明の実施の形態に係る磁気比例式電流センサを示す図である。

[図2]本発明の実施の形態に係る磁気比例式電流センサを示す図である。

[図3]図1に示す磁気比例式電流センサを示す断面図である。

[図4]本発明の実施の形態に係る磁気比例式電流センサにおける磁気検出ブリッジ回路を示す図である。

[図5]図2に示す磁気比例式電流センサの電流測定状態を示す図である。

[図6]図5に示す磁気比例式電流センサにおける磁気検出ブリッジ回路を示す図である。

[図7]図2に示す磁気比例式電流センサの電流測定状態を示す図である。

[図8]図7に示す磁気比例式電流センサにおける磁気検出ブリッジ回路を示す図である。

[図9]本発明の実施の形態に係る磁気比例式電流センサにおける磁気抵抗効果素子のR-H曲線を示す図である。

[図10](a)～(c)は、本発明の実施の形態に係る磁気比例式電流センサにおける磁気抵抗効果素子の製造方法を説明するための図である。

[図11](a)～(c)は、本発明の実施の形態に係る磁気比例式電流センサにおける磁気抵抗効果素子の製造方法を説明するための図である。

発明を実施するための形態

[0016] 以下、本発明の実施の形態について、添付図面を参照して詳細に説明する。

[0017] 図1及び図2は、本発明の実施の形態に係る磁気比例式電流センサを示す図である。本実施の形態においては、図1及び図2に示す磁気比例式電流センサは、被測定電流Iが流れる導体11の近傍に配設される。この磁気比例式電流センサは、導体11に流れる被測定電流Iによる誘導磁界を検出する磁界検出ブリッジ回路（磁気検出ブリッジ回路）13を有する。磁界検出ブリッジ回路13は、被測定電流Iからの誘導磁界の印加により抵抗値が変化する4つの磁気抵抗効果素子122a～122c、123を有する。このように磁気抵抗効果素子を有する磁界検出ブリッジ回路13を用いることにより、高感度の磁気比例式電流センサを実現することができる。

[0018] この磁界検出ブリッジ回路13は、被測定電流Iにより生じた誘導磁界に略比例する電圧差を生じる2つの出力を備える。図2に示す磁界検出ブリッジ回路13においては、磁気抵抗効果素子122bと磁気抵抗効果素子122cとの間の接続点に電源Vddが接続されており、磁気抵抗効果素子122aと磁気抵抗効果素子123との間の接続点にグランド(GND)が接続されている。さらに、この磁界検出ブリッジ回路13においては、磁気抵抗効果素子122aと磁気抵抗効果素子122bとの間の接続点から一つの出力(Output1)を取り出し、磁気抵抗効果素子122cと磁気抵抗効果素子123との間の接続点からもう一つの出力(Output2)を取り出している。これら二つの出力の電圧差から、磁気比例式電流センサは被測定電流Iを算出する。

[0019] 図3は、図1に示す磁気比例式電流センサを示す断面図である。図3に示すように、本実施の形態に係る磁気比例式電流センサにおいては、磁気シールド30及び磁界検出ブリッジ回路13が同一基板21上に形成されている。図3に示す構成においては、磁気シールド30が被測定電流Iに近い側に配置されている。すなわち、導体11に近い側から磁気シールド30、磁気抵抗効果素子122a~122c、123の順に配置する。これにより、磁気抵抗効果素子122a~122c、123を導体11から遠ざけることができ、被測定電流Iから磁気抵抗効果素子122a~122c、123に印加される誘導磁界を小さくすることができる。このため、広い範囲の電流測定が可能になる。

[0020] 図3に示す層構成について詳細に説明する。図3に示す磁気比例式電流センサにおいては、基板21上に絶縁層である熱シリコン酸化膜22が形成されている。熱シリコン酸化膜22上には、アルミニウム酸化膜23が形成されている。アルミニウム酸化膜23は、例えば、スパッタリングなどの方法により成膜することができる。また、基板21としては、シリコン基板などが用いられる。

[0021] アルミニウム酸化膜23上には、磁気抵抗効果素子122a~122c、

1 2 3 が形成されており、前述の磁界検出ブリッジ回路 1 3 が作り込まれる。磁気抵抗効果素子 1 2 2 a ~ 1 2 2 c, 1 2 3 としては、TMR 素子（トンネル型磁気抵抗効果素子）、GMR 素子（巨大磁気抵抗効果素子）などを用いることができる。本発明に係る磁気比例式電流センサにおいて用いられる磁気抵抗効果素子の膜構成については後述する。

[0022] 磁気抵抗効果素子は、図 2 の拡大図に示すように、その長手方向が互いに平行になるように配置された複数の帯状の長尺パターン（ストライプ）が折り返してなる形状（ミアンダ形状）を有する GMR 素子であることが好ましい。このミアンダ形状において、感度軸方向（Pin 方向）は、長尺パターンの長手方向（ストライプ長手方向）に対して直交する方向（ストライプ幅方向）である。このミアンダ形状においては、誘導磁界がストライプ長手方向に直交する方向（ストライプ幅方向）に沿うように印加される。

[0023] このミアンダ形状においては、リニアリティを考慮すると、ピン（Pin）方向の幅が $1 \mu\text{m} \sim 10 \mu\text{m}$ であることが好ましい。この場合において、リニアリティを考慮すると、長手方向が誘導磁界の方向に対して垂直になることが望ましい。このようなミアンダ形状にすることにより、ホール素子よりも少ない端子数（2 端子）で磁気抵抗効果素子の出力を採ることができる。

[0024] また、アルミニウム酸化膜 2 3 上には、電極 2 4 が形成されている。電極 2 4 は、電極材料を成膜した後に、フォトリソグラフィ及びエッチングにより形成することができる。

[0025] 磁気抵抗効果素子 1 2 2 a ~ 1 2 2 c, 1 2 3 及び電極 2 4 を形成したアルミニウム酸化膜 2 3 上には、絶縁層としてポリイミド層 2 5 が形成されている。ポリイミド層 2 5 は、ポリイミド材料を塗布し、硬化することにより形成することができる。

[0026] ポリイミド層 2 5 上には、磁気シールド 3 0 が形成されている。磁気シールド 3 0 を構成する材料としては、アモルファス磁性材料、パーマロイ系磁性材料、又は鉄系微結晶材料等の高透磁率材料を用いることができる。なお

、磁気シールド30は、適宜省略しても良い。

[0027] また、ポリイミド層25上には、シリコン酸化膜31が形成されている。シリコン酸化膜31は、例えば、スパッタリングなどの方法により成膜することができる。ポリイミド層25及びシリコン酸化膜31の所定の領域（電極24が存在する領域）にコンタクトホールが形成され、そのコンタクトホールに電極パッド26が形成されている。コンタクトホールの形成には、フォトリソグラフィ及びエッチングなどが用いられる。電極パッド26は、電極材料を成膜した後に、フォトリソグラフィ及びめっきにより形成することができる。

[0028] このような構成を有する磁気比例式電流センサにおいては、図3に示すように、被測定電流Iから発生した誘導磁界Aを磁気抵抗効果素子で受け、その抵抗変化に応じた電圧が出力される。

[0029] 本発明の磁気比例式電流センサにおいては、図3に示すように磁気シールド30を有する。磁気シールド30は、被測定電流Iから生じ磁気抵抗効果素子に印加される誘導磁界を減衰させることができる。したがって、誘導磁界Aが大きい場合でも電流測定が可能である。つまり、広い範囲の電流測定が可能である。また、この磁気シールド30により、外部磁界の影響を低減させることができる。

[0030] 上記構成を有する磁気比例式電流センサは、磁気検出素子として磁気抵抗効果素子、特にGMR素子やTMR素子を有する磁界検出ブリッジ回路13を用いる。これにより、高感度の磁気比例式電流センサを実現することができる。また、この磁気比例式電流センサは、磁気検出ブリッジ回路13が膜構成の同じ4つの磁気抵抗効果素子で構成されているので、素子間におけるゼロ磁場抵抗値（ R_0 ）や抵抗温度係数（TCR₀）のズレを無くすることができる。このため、環境温度によらず中点電位のばらつきを小さくでき、高精度に電流測定を行うことができる。また、上記構成を有する磁気比例式電流センサは、磁気シールド30及び磁界検出ブリッジ回路13が同一基板上に形成されてなるので、小型化を図ることができる。さらに、この磁気比例式

電流センサは、磁気コアを有しない構成であるので、小型化、低コスト化を図ることができる。

[0031] 本発明において使用する磁気抵抗効果素子の膜構成は、例えば、図10(a)に示すものである。すなわち、磁気抵抗効果素子は、図10(a)に示すように、基板41に設けられた積層構造を有する。なお、図10(a)においては、説明を簡単にするために、基板41には磁気抵抗効果素子以外の下地層などは省略して図示している。磁気抵抗効果素子は、シード層42a、第1の強磁性膜43a、反平行結合膜44a、第2の強磁性膜45a、非磁性中間層46a、軟磁性自由層（フリー磁性層）47a、48a、及び保護層49aを含む。

[0032] シード層42aは、NiFeCrあるいはCrなどで構成される。保護層49aは、Taなどで構成される。なお、上記積層構造において、基板41とシード層42aとの間に、例えば、Ta、Hf、Nb、Zr、Ti、Mo、Wのうち少なくとも1つの元素を含む非磁性材料などで構成される下地層を設けても良い。

[0033] この磁気抵抗効果素子においては、反平行結合膜44aを介して第1の強磁性膜43aと第2の強磁性膜45aとを反強磁性的に結合させており、いわゆるセルフピン止め型の強磁性固定層（SFP層：Synthetic Ferri Pinned層）が構成されている。

[0034] この強磁性固定層において、反平行結合膜44aの厚さを0.3nm~0.45nm、もしくは、0.75nm~0.95nmにすることにより、第1の強磁性膜43aと第2の強磁性膜45aとの間に強い反強磁性結合をもたらすことができる。

[0035] また、第1の強磁性膜43aの磁化量（ $M_s \cdot t$ ）と第2の強磁性膜45aの磁化量（ $M_s \cdot t$ ）が実質的に同じである。すなわち、第1の強磁性膜43aと第2の強磁性膜45a間で磁化量の差が実質的にゼロである。このため、SFP層の実効的な異方性磁界が大きい。したがって、反強磁性材料を用いなくても、強磁性固定層（Pin層）の磁化安定性を十分に確保でき

る。これは、第1の強磁性膜の膜厚を t_1 とし、第2の強磁性膜の膜厚を t_2 とし、両層の単位体積あたりの磁化及び誘導磁気異方性定数をそれぞれ M_s , K とすると、SFP層の実効的な異方性磁界が次式(1)で示されるためである。したがって、本発明の磁気比例式電流センサに用いる磁気抵抗効果素子は、反強磁性層を有しない膜構成を有する。

式(1)

$$e f f \quad H k = 2 (K \cdot t_1 + K \cdot t_2) / (M_s \cdot t_1 - M_s \cdot t_2)$$

[0036] 第1の強磁性膜43aのキュリー温度(T_c)と第2の強磁性膜45aのキュリー温度(T_c)とは、略同じである。これにより、高温環境においても両膜43a, 45aの磁化量($M_s \cdot t$)差が略ゼロとなり、高い磁化安定性を維持することができる。

[0037] 第1の強磁性膜43aは、40原子%~80原子%のFeを含むCoFe合金で構成されていることが好ましい。これは、この組成範囲のCoFe合金が、大きな保磁力を有し、外部磁場に対して磁化を安定に維持できるからである。また、第2の強磁性膜45aは、0原子%~40原子%のFeを含むCoFe合金で構成されていることが好ましい。これは、この組成範囲のCoFe合金が小さな保磁力を有し、第1の強磁性膜43aが優先的に磁化する方向に対して反平行方向(180°異なる方向)に磁化し易くなるためである。この結果、上記式(1)で示す Hk をより大きくすることが可能となる。また、第2の強磁性膜45aをこの組成範囲に限定することで、磁気抵抗効果素子の抵抗変化率を大きくすることができる。

[0038] 第1の強磁性膜43a及び第2の強磁性膜45aは、その成膜中にミアンダ形状のストライプ幅方向に磁場が印加され、成膜後の第1の強磁性膜43a及び第2の強磁性膜45aに誘導磁気異方性が付与されることが好ましい。これにより、両膜43a, 45aはストライプ幅方向に反平行に磁化することになる。また、第1の強磁性膜43a及び第2の強磁性膜45aの磁化方向は、第1の強磁性膜43aの成膜時の磁場印加方向で決まるため、第1の強磁性膜43aの成膜時の磁場印加方向を変えることにより、同一基板上

に磁化方向が異なる強磁性固定層を持つ複数の磁気抵抗効果素子を形成することが可能である。

[0039] 強磁性固定層の反平行結合膜44aは、Ruなどにより構成される。また、軟磁性自由層（フリー層）47a、48aは、CoFe合金、NiFe合金、CoFeNi合金などの磁性材料で構成される。また、非磁性中間層46aは、Cuなどにより構成される。また、軟磁性自由層47a、48aは、その成膜中にミアンダ形状のストライプ長手方向に磁場が印加され、成膜後の軟磁性自由層47a、48aには誘導磁気異方性が付与されることが好ましい。これにより、磁気抵抗効果素子においては、ストライプ幅方向の外部磁場（被測定電流からの磁場）に対して線形的に抵抗変化し、ヒステリシスを小さくすることができる。このような磁気抵抗効果素子においては、強磁性固定層、非磁性中間層及び軟磁性自由層により、スピバルブ構成を採っている。

[0040] 本発明の磁気比例式電流センサで用いる磁気抵抗効果素子の膜構成の例としては、例えば、NiFeCr（シード層：5nm）/Fe₇₀Co₃₀（第1の強磁性膜：1.65nm）/Ru（反平行結合膜：0.4nm）/Co₉₀Fe₁₀（第2の強磁性膜：2nm）/Cu（非磁性中間層：2.2nm）/Co₉₀Fe₁₀（軟磁性自由層：1nm）/NiFe（軟磁性自由層：7nm）/Ta（保護層：5nm）である。このような膜構成の磁気抵抗効果素子について、R-H波形を調べたところ、図9に示すようになり、反強磁性膜により固定磁性層の磁化を固定するタイプの磁気抵抗効果素子のR-H波形と同じ特性が得られたことが分かった。なお、図9に示すR-H波形については、通常測定される条件で求めた。

[0041] 本発明の磁気比例式電流センサにおいては、図4に示すように、4つの磁気抵抗効果素子122a~122c、123のうち3つの磁気抵抗効果素子122a~122cの強磁性固定層の磁化方向（第2の強磁性膜の磁化方向：Pin2）が同じであり、残り1つの磁気抵抗効果素子123の強磁性固定層の磁化方向（第2の強磁性膜の磁化方向：Pin2）が3つの磁気抵抗

効果素子 122a ~ 122c の強磁性固定層の磁化方向と 180° 異なる方向である。

[0042] このように配置された 4 つの磁気抵抗効果素子を有する磁気比例式電流センサは、磁気検出ブリッジ回路 13 の 2 つの出力 (OUT1、OUT2) の電圧差を検出することにより被測定電流を測定する。ここで、4 つの磁気抵抗効果素子のゼロ磁場抵抗値は略同じ (R_0) である。また、4 つの磁気抵抗効果素子の抵抗変化は磁場の強さに略比例し、抵抗変化率も略同じである。

[0043] 図 5 に示すように、図 5 の紙面向かって左側から被測定電流が流れると、図 6 に示すように、4 つの磁気抵抗効果素子 122a ~ 122c, 123 には、誘導磁界 A が同じ方向に印加される。

[0044] 2 つの磁気抵抗効果素子 122a, 122b (OUT1 側) の強磁性固定層の磁化方向は同じであるため、誘導磁界 A の強さによらず、磁気抵抗効果素子 122a の抵抗値と磁気抵抗効果素子 122b の抵抗値とは常に同じ値を示す。したがって、OUT1 の出力は常に一定 ($V_{dd}/2$) である。このため、磁気抵抗効果素子 122a, 122b は固定抵抗素子と同じ役割を果たす。

[0045] 一方、2 つの磁気抵抗効果素子 122c, 123 (OUT2 側) の強磁性固定層の磁化方向は互いに反平行であるため、誘導磁界 A の強さに応じて磁気抵抗効果素子 122c, 123 は異なる方向に抵抗変化する。誘導磁界による磁気抵抗効果素子 122c の抵抗変化を $-\Delta R$ とすると、磁気抵抗効果素子 122c の抵抗値は $R_0 - \Delta R$ であり、磁気抵抗効果素子 123 の抵抗値は $R_0 + \Delta R$ である。つまり、磁気抵抗効果素子 122c, 123 の合成抵抗値は、誘導磁界 A の強さによらず $2R_0$ である。したがって、OUT2 の出力は、

$$V_{OUT2} = V_{dd} \cdot (R_0 + \Delta R) / 2R_0 = V_{dd} / 2 + V_{dd} \cdot \Delta R / 2R_0$$

となる。つまり、抵抗変化 ΔR と OUT2 の出力とは略線形の関係にある。

OUT1 の出力は常に $V_{dd} / 2$ であるから、OUT1 と OUT2 の電圧差

は $V_{dd} \cdot \Delta R / 2R_0$ 。(または、 $-V_{dd} \cdot \Delta R / 2R_0$) となり抵抗変化 ΔR に略比例する。 ΔR は磁場の強さに略比例するから、誘導磁界と略比例の関係にある電圧差が得られる。

[0046] また、図7に示すように、図7の紙面向かって右側から被測定電流が流れると、2つの磁気抵抗効果素子122a, 122b (OUT1側) 及び2つの磁気抵抗効果素子122c, 123 (OUT2側) には、誘導磁界Aが図8に示すようにそれぞれ印加される。この場合の動作も図5及び図6の場合と同様である。

[0047] このように、本発明の磁気比例式電流センサは、同じ膜構造を有する4つの磁気抵抗効果素子で磁気検出ブリッジ回路を構成し、1つの磁気抵抗効果素子の第1の強磁性膜 (第2の強磁性膜) の磁化方向を他の3つの磁気抵抗効果素子の第1の強磁性膜 (第2の強磁性膜) の磁化方向と反平行方向になるようにしている。このため、4つの磁気抵抗効果素子のゼロ磁場抵抗値 (R_0) や抵抗温度係数 (TCR_0) を一致させることができ、温度変化により中点電位がばらつかない、高精度の電流センサを実現することができる。

[0048] 上述のような4つの磁気抵抗効果素子を用いた磁気比例式電流センサは、反強磁性膜で固定磁性層の磁化を固定するタイプの磁気抵抗効果素子を用いて作製することもできる。この場合、4つの磁気抵抗効果素子のうち1つの磁気抵抗効果素子の固定磁性層 (Pin層) の交換結合方向を他の3つの磁気抵抗効果素子の固定磁性層の交換結合方向と反平行方向にするために、レーザー局所アニールを適用するか、あるいは、磁気抵抗効果素子に隣接して磁界印加用コイルを設置する必要がある。このような方法は、磁気抵抗効果素子がチップ最表面付近にあるセンサやデバイスを作製する場合には適用することができるが、本発明の磁気比例式電流センサのように、磁気抵抗効果素子上に厚い有機絶縁膜や厚い磁気シールド膜などを設置したデバイスの作製には適していない。このため、本発明に係る磁気比例式電流センサにおいては、上述の反強磁性膜を有しない磁気抵抗効果素子が特に有用である。

[0049] 本発明に係る磁気比例式電流センサでは、ポリイミド膜などの有機絶縁膜

で磁気抵抗効果素子やその配線などを絶縁分離している。有機絶縁膜は、一般にスピコートなどで有機材料を塗布した後に、 200°C 以上の加熱処理を施すことにより形成される。この有機絶縁膜は磁気検出ブリッジ回路形成の後工程で形成されるため、磁気抵抗効果素子も一緒に加熱されてしまう。反強磁性膜で固定磁性層の磁化を固定するタイプの磁気抵抗効果素子の製造工程においては、この有機絶縁膜の形成工程の熱履歴により固定磁性層の特性が劣化しないように、磁場を印加しながら加熱処理する必要がある。本発明に係る磁気比例式電流センサでは、反強磁性膜を用いていないため、磁場を印加しながら加熱処理を行わなくても固定磁性層の特性を維持することが可能である。したがって、磁化容易軸が加熱処理中の磁場方向と直交する軟磁性自由層のヒステリシスの劣化を抑えることができる。

[0050] また、反強磁性膜で固定磁性層の磁化を固定するタイプの磁気抵抗効果素子を用いる場合、反強磁性材料のブロッキング温度（交換結合磁界が消失する温度）がおよそ 300°C ～ 400°C であり、この温度に向けて交換結合磁界が徐々に低下していくため、高温になるほど固定磁性層の特性が不安定となる。本発明に係る磁気比例式電流センサでは、反強磁性膜を用いていないため、固定磁性層の特性は主に固定磁性層を構成する強磁性材料のキュリー温度に依存する。一般に、 CoFe などの強磁性材料のキュリー温度は反強磁性材料のブロッキング温度よりもはるかに高い。したがって、第1の強磁性膜と第2の強磁性膜の強磁性材料のキュリー温度を一致させて高温領域においても磁化量（ $M_s \cdot t$ ）差をゼロに保つことにより、高い磁化安定性を維持することができる。

[0051] また、反強磁性膜で固定磁性層の磁化を固定するタイプの磁気抵抗効果素子を用いる場合、アニール時の印加磁場方向に交換結合磁界を発生させるため、第1の強磁性膜の磁化量（ $M_s \cdot t$ ）と第2の強磁性膜の磁化量（ $M_s \cdot t$ ）とで意図的に差を付ける必要がある。これは、磁化量差がゼロの場合、第1の強磁性膜及び第2の強磁性膜が共に飽和する磁界が、アニール時に印加できる磁場（ $\sim 15 \text{ kOe}$ （ $\times 10^3 / 4\pi \text{ A/m}$ ））を超えてしまい

、その結果、アニール後の第1の強磁性膜及び第2の強磁性膜の磁化分散が大きくなって、 $\Delta R/R$ の劣化を引き起こすためである。また、 $\Delta R/R$ をより大きくするため、第1の強磁性膜よりも第2の強磁性膜の膜厚を厚く（磁化量を大きく）する人が多い。一般に、第2の強磁性膜の方が第1の強磁性膜より磁化量が多い場合、素子側壁において第2の強磁性膜から軟磁性自由層へ印加される還流磁界が大きくなり、出力のアシメトリへ与える影響が大きくなる。また、この還流磁界は温度依存が大きいいため、アシメトリの温度依存も大きくなる。本発明に係る磁気比例式電流センサにおいては、磁気抵抗効果素子の第1の強磁性膜と第2の強磁性膜の磁化量差がゼロであるため、このような問題を解決することもできる。

[0052] また、本発明に係る磁気比例式電流センサの磁気抵抗効果素子は反強磁性材料を含まないため、材料コストや、製造コストを抑制することもできる。

[0053] 図10(a)～(c)及び図11(a)～(c)は、本発明の実施の形態に係る磁気比例式電流センサにおける磁気抵抗効果素子の製造方法を説明するための図である。まず、図10(a)に示すように、基板41上に、シード層42a、第1の強磁性膜43a、反平行結合膜44a、第2の強磁性膜45a、非磁性中間層46a、軟磁性自由層（フリー磁性層）47a、48a、及び保護層49aを順次形成する。第1の強磁性膜43a及び第2の強磁性膜45aの成膜中には、ミアンダ形状のストライプ幅方向に磁場を印加する。図10において、第1の強磁性膜43a、第2の強磁性膜45aともに印加磁場方向は紙面奥側から手前側に向かう方向である。成膜後は第1の強磁性膜43aが印加磁場方向に優先的に磁化し、第2の強磁性膜45aは第1の強磁性膜43aの磁化方向とは反平行方向（180°異なる方向）に磁化する。また、軟磁性自由層（フリー磁性層）47a、48aの成膜中には、ミアンダ形状のストライプ長手方向に磁場を印加する。

[0054] 次いで、図10(b)に示すように、保護層49a上にレジスト層50を形成し、フォトリソグラフィ及びエッチングにより、磁気抵抗効果素子122a～122c側の領域上にレジスト層50を残存させる。次いで、図10

(c) に示すように、イオンミリングなどにより、露出した積層膜を除去して、磁気抵抗効果素子 1 2 3 を設ける領域の基板 4 1 を露出させる。

[0055] 次いで、図 1 1 (a) に示すように、露出した基板 4 1 上に、シード層 4 2 b、第 1 の強磁性膜 4 3 b、反平行結合膜 4 4 b、第 2 の強磁性膜 4 5 b、非磁性中間層 4 6 b、軟磁性自由層（フリー磁性層） 4 7 b、4 8 b、及び保護層 4 9 b を順次形成する。第 1 の強磁性膜 4 3 b 及び第 2 の強磁性膜 4 5 b の成膜中には、ミアンダ形状のストライプ幅方向に磁場を印加する。図 1 1 において、第 1 の強磁性膜 4 3 b、第 2 の強磁性膜 4 5 a とともに印加磁場方向は紙面手前側から奥側に向かう方向である。上記と同じ原理により、第 1 の強磁性膜 4 3 a と第 2 の強磁性膜 4 5 a は反平行方向（ 180° 異なる方向）に磁化する。また、軟磁性自由層（フリー磁性層） 4 7 b、4 8 b の成膜中には、ミアンダ形状のストライプ長手方向に磁場を印加する。

[0056] 次いで、図 1 1 (b) に示すように、保護層 4 9 a、4 9 b 上にレジスト層 5 0 を形成し、フォトリソグラフィ及びエッチングにより、磁気抵抗効果素子 1 2 2 a ~ 1 2 2 c、1 2 3 の形成領域上にレジスト層 5 0 を残存させる。次いで、図 1 1 (c) に示すように、イオンミリングなどにより、露出した積層膜を除去して、磁気抵抗効果素子 1 2 2 a ~ 1 2 2 c、1 2 3 を形成する。

[0057] このように、本発明の磁気比例式電流センサによれば、磁気検出ブリッジ回路が膜構成の同じ 4 つの磁気抵抗効果素子で構成されているので、素子間におけるゼロ磁場抵抗値 (R_0) や抵抗温度係数 (TCR_0) のズレを無くすることができる。このため、環境温度によらず中点電位のばらつきを小さくでき、高精度に電流測定を行うことができる。

[0058] 本発明は上記実施の形態に限定されず、種々変更して実施することができる。例えば、上記実施の形態における材料、各素子の接続関係、厚さ、大きさ、製法などは適宜変更して実施することが可能である。その他、本発明は、本発明の範囲を逸脱しないで適宜変更して実施することができる。

産業上の利用可能性

[0059] 本発明は、電気自動車のモータ駆動用の電流の大きさを検出する電流センサに適用することが可能である。

[0060] 本出願は、2010年12月27日出願の特願2010-289629に基づく。この内容は、全てここに含めておく。

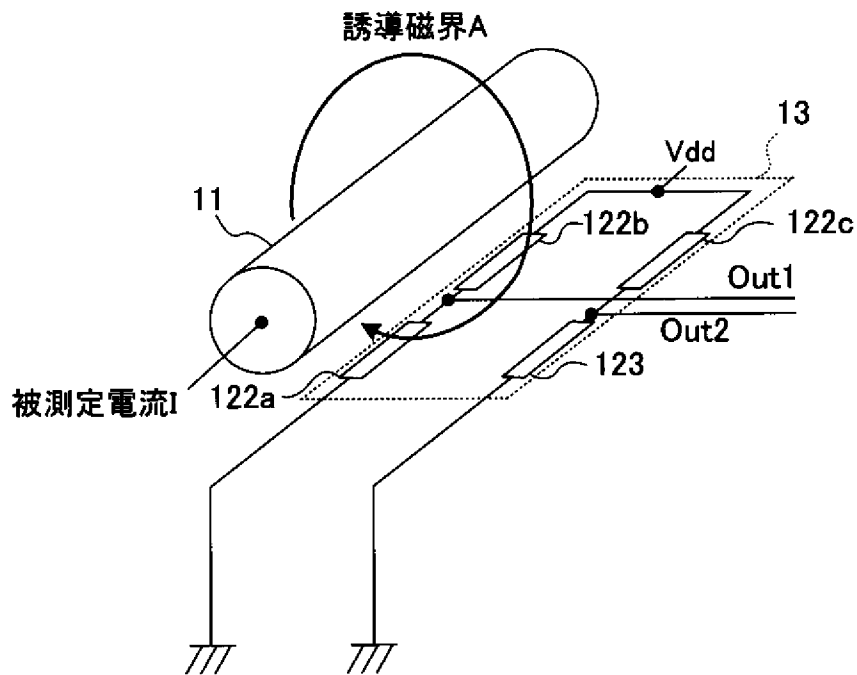
請求の範囲

- [請求項1] 被測定電流からの誘導磁界の印加により抵抗値が変化する4つの磁気抵抗効果素子で構成され、前記誘導磁界に略比例する電圧差を生じる2つの出力を備える磁界検出ブリッジ回路と、前記誘導磁界を減衰させる磁気シールドと、を具備し、前記磁界検出ブリッジ回路の電圧差を用いて前記被測定電流の電流値を算出する磁気比例式電流センサであって、
- 前記4つの磁気抵抗効果素子は、反平行結合膜を介して第1の強磁性膜と第2の強磁性膜とを反強磁性的に結合させてなるセルフピン止め型の強磁性固定層と、非磁性中間層と、軟磁性自由層とを有し、前記第1の強磁性膜及び前記第2の強磁性膜は、キュリー温度が略同じであり、かつ、磁化量の差が実質的にゼロであり、前記4つの磁気抵抗効果素子のうち3つの磁気抵抗効果素子の強磁性固定層の磁化方向が同じであり、残り1つの磁気抵抗効果素子の強磁性固定層の磁化方向が前記3つの磁気抵抗効果素子の強磁性固定層の磁化方向と180°異なる方向であることを特徴とする磁気比例式電流センサ。
- [請求項2] 前記磁気シールド及び前記磁界検出ブリッジ回路が同一基板上に形成されてなることを特徴とする請求項1記載の磁気比例式電流センサ。
- [請求項3] 前記磁気シールドが前記磁界検出ブリッジ回路より前記被測定電流に近い側に配置されることを特徴とする請求項1又は請求項2記載の磁気比例式電流センサ。
- [請求項4] 前記4つの磁気抵抗効果素子は、その長手方向が互いに平行になるように配置された複数の帯状の長尺パターンが折り返してなる形状を有し、前記誘導磁界が前記長手方向に直交する方向に沿うように印加されることを特徴とする請求項1から請求項3のいずれかに記載の磁気比例式電流センサ。
- [請求項5] 前記第1の強磁性膜が40原子%～80原子%のFeを含むCoF

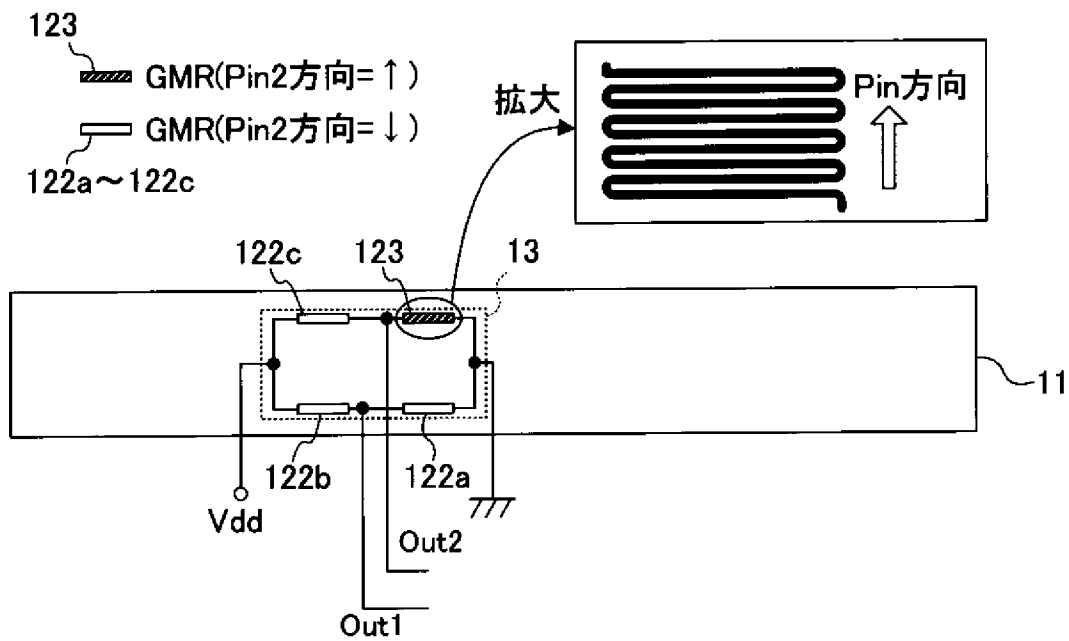
e合金で構成され、前記第2の強磁性膜が0原子%~40原子%のFeを含むCoFe合金で構成されていることを特徴とする請求項1から請求項4のいずれかに記載の磁気比例式電流センサ。

[請求項6] 前記磁気シールドは、アモルファス磁性材料、パーマロイ系磁性材料、及び鉄系微結晶材料からなる群より選ばれた高透磁率材料で構成されていることを特徴とする請求項1から請求項5のいずれかに記載の磁気比例式電流センサ。

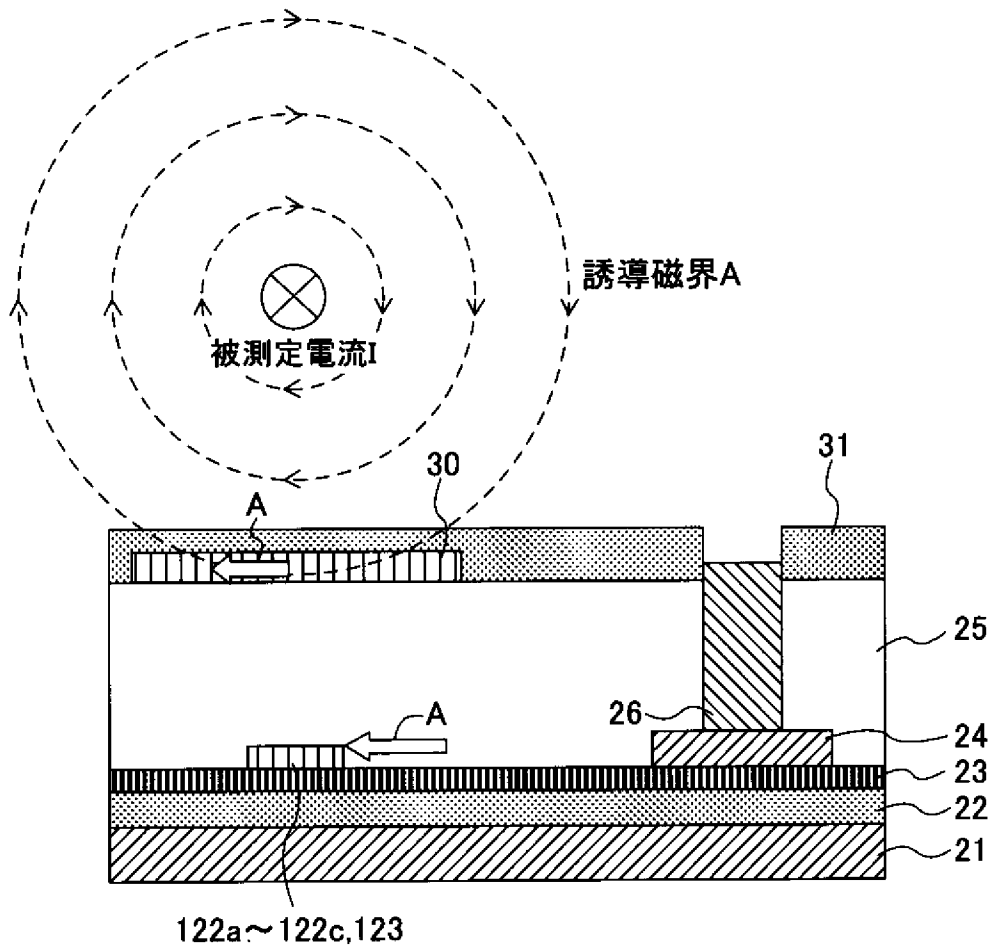
[図1]



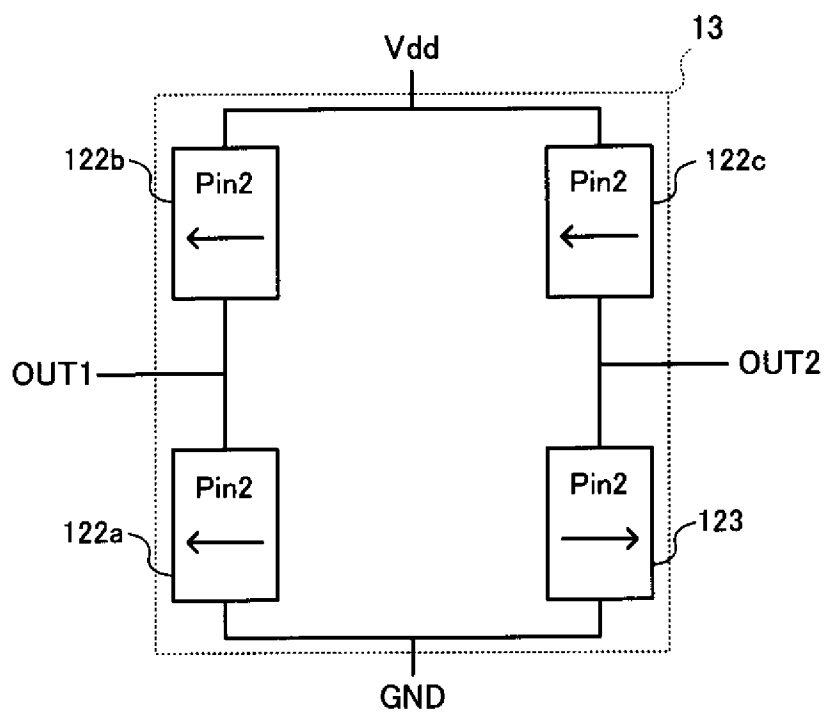
[図2]



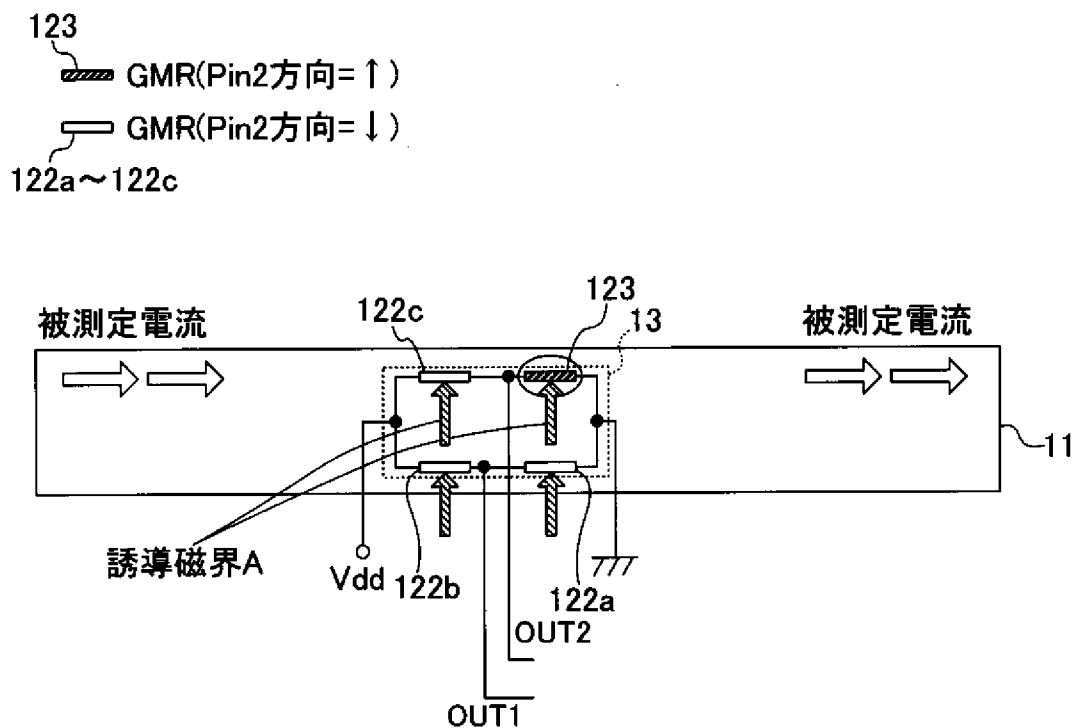
[図3]



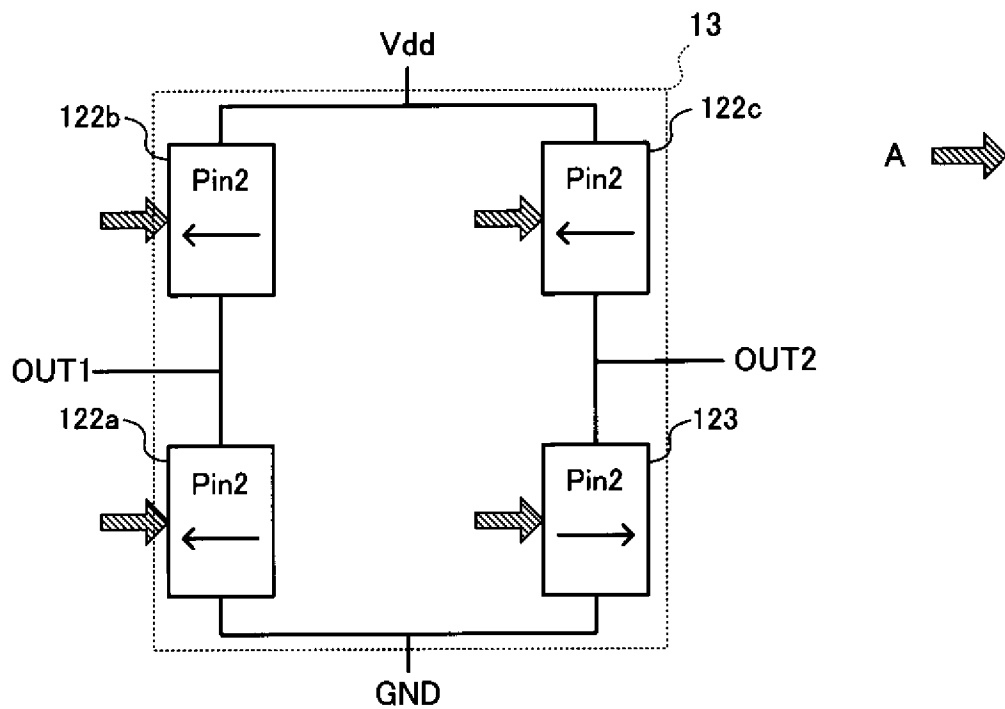
[図4]



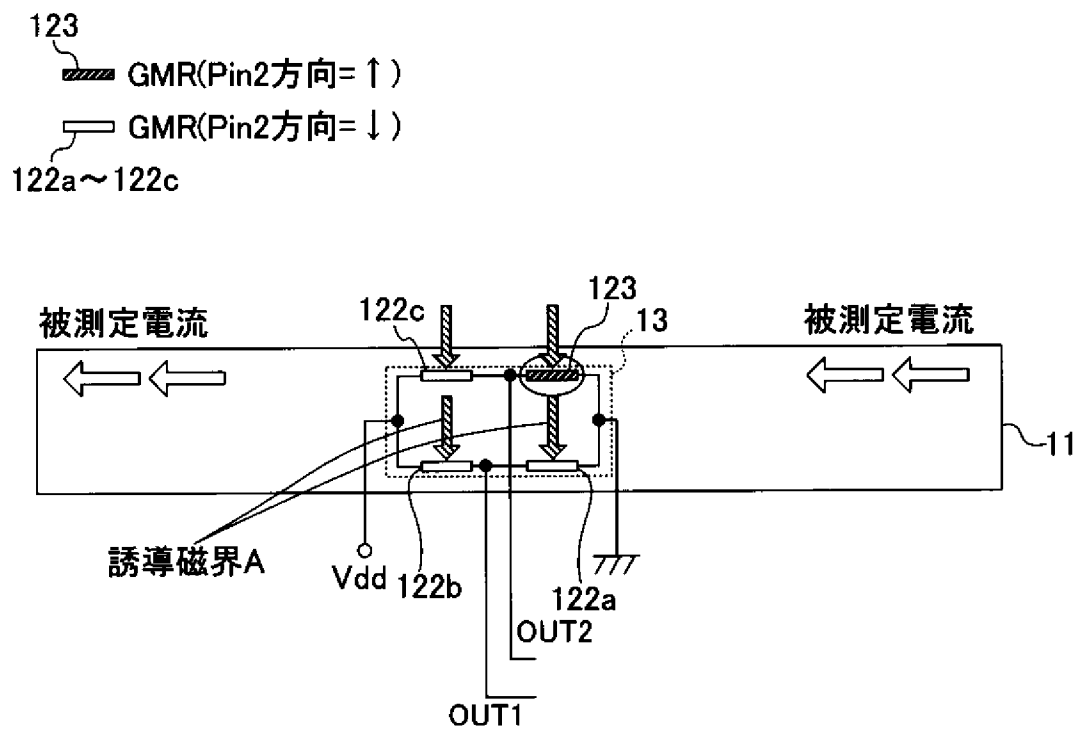
[図5]



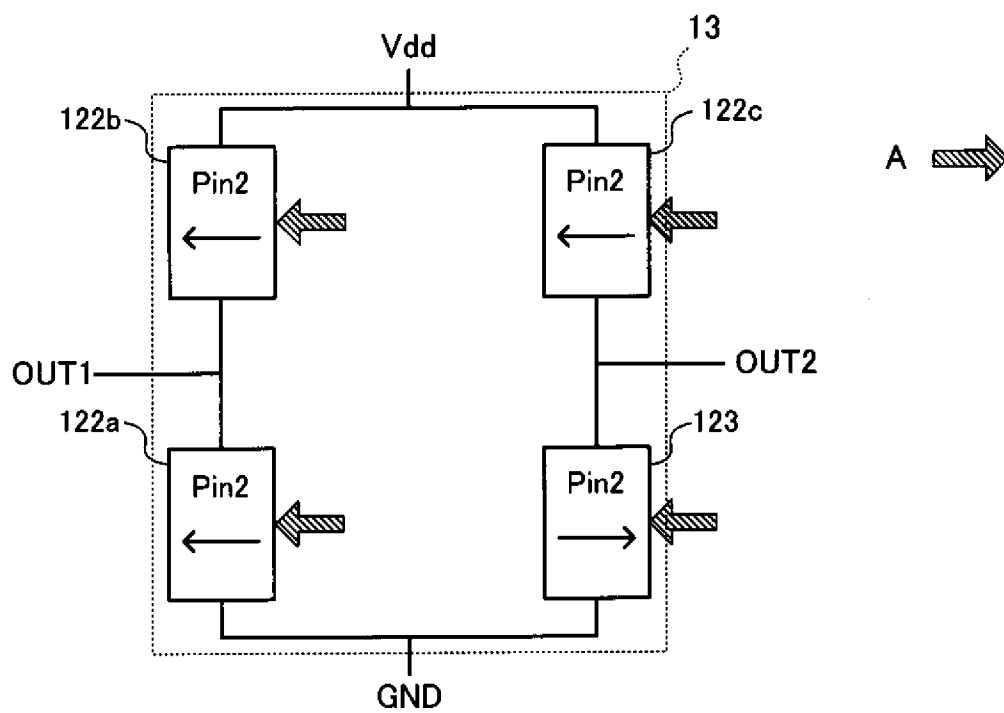
[図6]



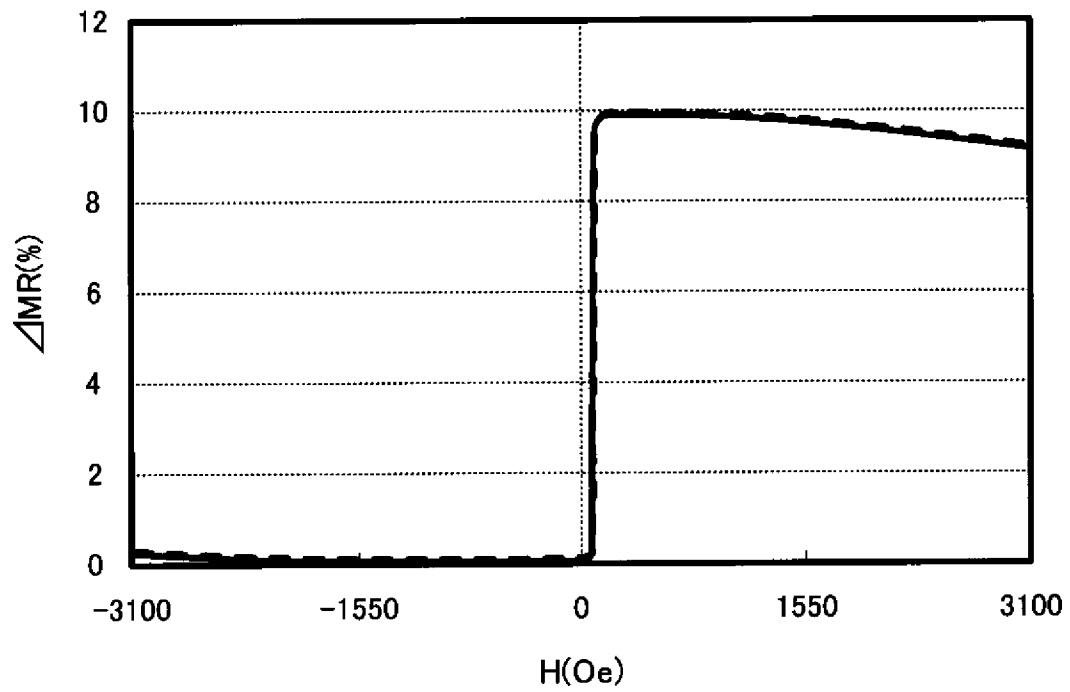
[図7]



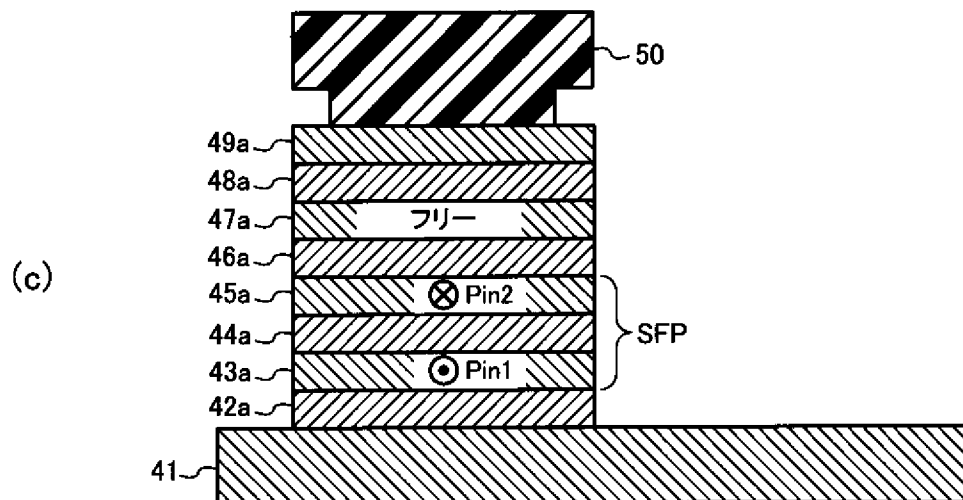
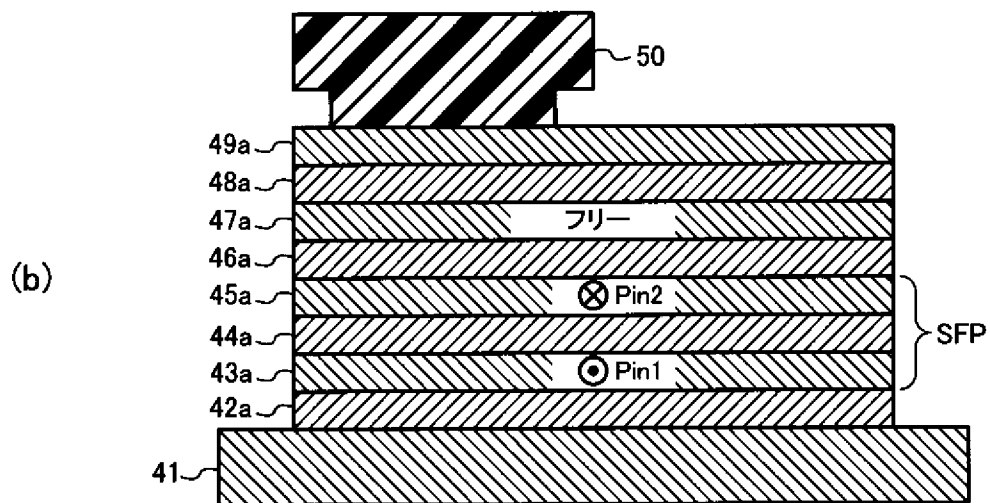
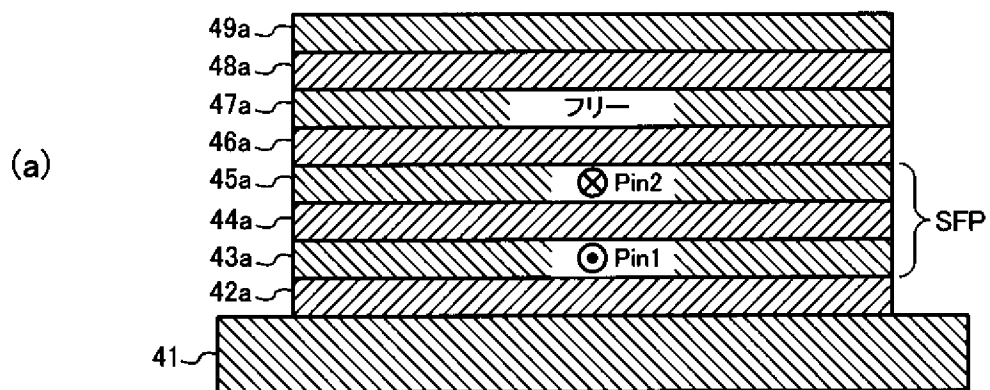
[図8]



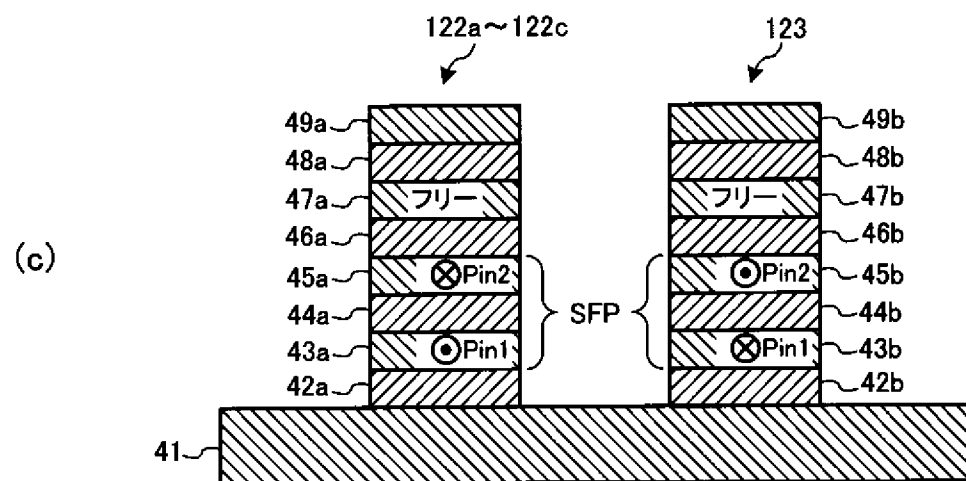
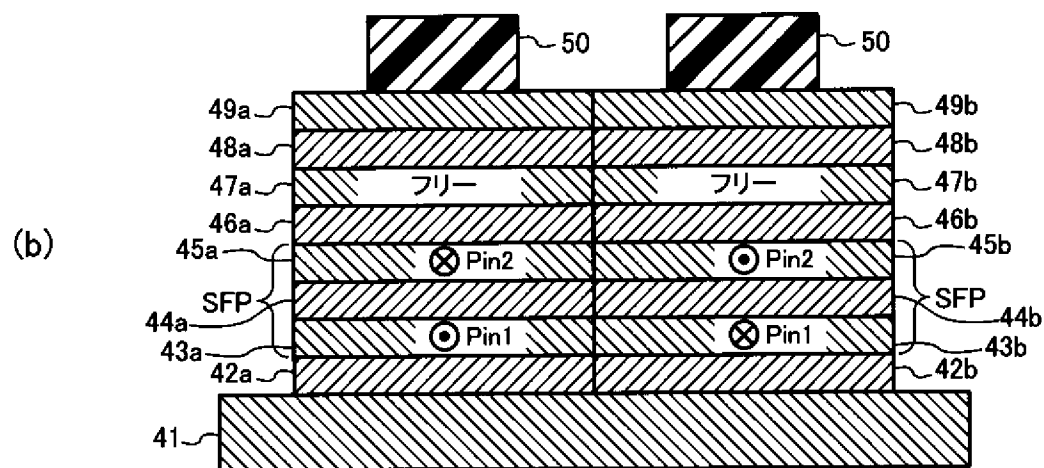
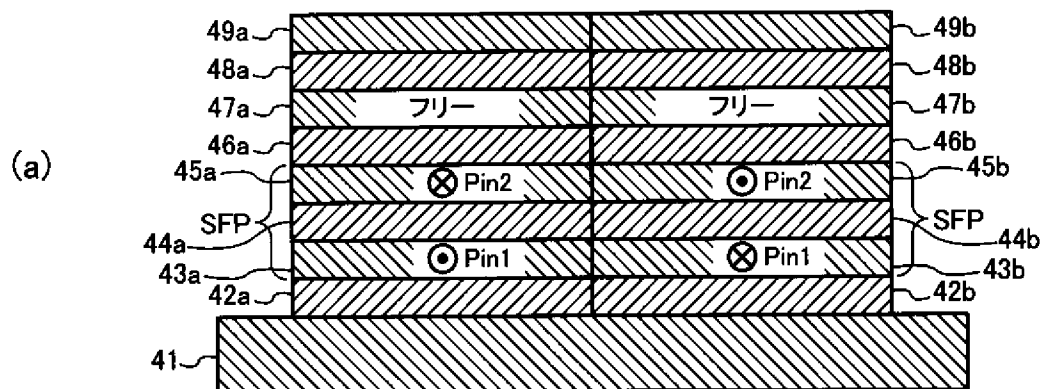
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/077245

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R33/09(2006.01) i, G01R15/20(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01R15/14-26, G01R33/09, G01R19/00-32, G01R21/08, H01F38/20-40

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2010/143718 A1 (Alps Green Devices Co., Ltd.), 16 December 2010 (16.12.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-6
A	JP 2009-180604 A (Hitachi Metals, Ltd.), 13 August 2009 (13.08.2009), entire text; all drawings & US 2010/0327857 A1 & EP 2256463 A1 & WO 2009/096093 A1 & CN 101932912 A	1-6
A	JP 2004-132790 A (Fuji Electric Holdings Co., Ltd.), 30 April 2004 (30.04.2004), entire text; all drawings (Family: none)	1-6

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
20 December, 2011 (20.12.11)Date of mailing of the international search report
24 January, 2012 (24.01.12)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/077245

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2010-258981 A (Alps Green Devices Co., Ltd.), 11 November 2010 (11.11.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-6
A	JP 2003-060256 A (Alps Electric Co., Ltd.), 28 February 2003 (28.02.2003), entire text; all drawings & US 2003/0030522 A1 & EP 1292029 A2	1-6
A	JP 2007-263654 A (Hitachi Metals, Ltd.), 11 October 2007 (11.10.2007), entire text; all drawings (Family: none)	1-6

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. G01R33/09(2006.01)i, G01R15/20(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01R15/14-26, G01R33/09, G01R19/00-32, G01R21/08, H01F38/20-40

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2011年
日本国実用新案登録公報	1996-2011年
日本国登録実用新案公報	1994-2011年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2010/143718 A1 (アルプス・グリーンデバイス株式会社) 2010.12.16, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-6
A	JP 2009-180604 A (日立金属株式会社) 2009.08.13, 全文, 全図 & US 2010/0327857 A1 & EP 2256463 A1 & WO 2009/096093 A1 & CN 101932912 A	1-6

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)	「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日
20.12.2011

国際調査報告の発送日
24.01.2012

国際調査機関の名称及びあて先
 日本国特許庁 (ISA/J P)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)	2 S	3 0 0 5
堀 圭史		
電話番号 03-3581-1101 内線 3258		

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2004-132790 A (富士電機ホールディングス株式会社) 2004. 04. 30, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-6
A	JP 2010-258981 A (アルプス・グリーンデバイス株式会社) 2010. 11. 11, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-6
A	JP 2003-060256 A (アルプス電気株式会社) 2003. 02. 28, 全文, 全図 & US 2003/0030522 A1 & EP 1292029 A2	1-6
A	JP 2007-263654 A (日立金属株式会社) 2007. 10. 11, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-6