

(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
2011年1月20日(20.01.2011)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2011/007767 A1

- (51) 国際特許分類:
G01R 33/09 (2006.01) H01L 43/08 (2006.01)
G01D 5/245 (2006.01) H01L 43/12 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/061806
- (22) 国際出願日: 2010年7月13日(13.07.2010)
- (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 2009-164964 2009年7月13日(13.07.2009) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 日立金属株式会社(HITACHI METALS, LTD.)
[JP/JP]; 〒1058614 東京都港区芝浦一丁目2番1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): 目黒 賢一(MEGURO Kenichi) [JP/JP]; 〒1858601 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所 中央研究所内 Tokyo (JP). 星屋 裕之

(HOSHIYA Hiroyuki) [JP/JP]; 〒1858601 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所 中央研究所内 Tokyo (JP). 加藤 恵三(KATOU Keizou) [JP/JP]; 〒1858601 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所 中央研究所内 Tokyo (JP). 阿部 泰典(ABE Yasunori) [JP/JP]; 〒1058614 東京都港区芝浦1丁目2-1 日立金属株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 平木 祐輔(HIRAKI Yusuke); 〒1050001 東京都港区虎ノ門4丁目3番20号 神谷町MTビル19階 Tokyo (JP).

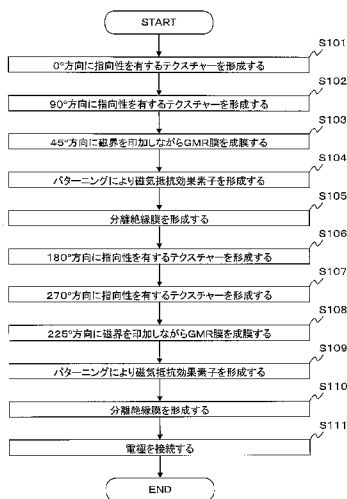
(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST,

[続葉有]

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING MAGNETORESISTIVE EFFECT ELEMENT, MAGNETIC SENSOR, ROTATION-ANGLE DETECTION DEVICE

(54) 発明の名称: 磁気抵抗効果素子の製造方法、磁気センサ、回転角度検出装置

図1



S101 A texture having directivity in the 0° direction is formed
S102 A texture having directivity in the 90° direction is formed
S103 A GMR layer is formed while applying a magnetic field in the 45° direction
S104, S109 A magnetoresistive effect layer is formed by patterning
S105, S110 An isolating insulating layer is formed
S106 A texture having directivity in the 180° direction is formed
S107 A texture having directivity in the 270° direction is formed
S108 A GMR layer is formed while applying a magnetic field in the 225° direction
S111 Electrodes are connected

(57) Abstract: Disclosed is a method which can regulate the orientation and the directionality of the magnetization of a fixed ferromagnetic layer while reducing the number of steps to form a GMR layer. The magnetic orientation of the fixed ferromagnetic layer is regulated in a plurality of directions by means of forming a plurality of patterns that have directionality. Furthermore, when a magnetoresistive effect layer is formed, a magnetic field is applied at an angle set between the angles formed by the aforementioned plurality of patterns.

(57) 要約: GMR膜を成膜する工程の数を少なくしつつ、強磁性固定層の磁化の方向と向きをともに規定することができる手法を提供する。方向性を有する複数のパターンを形成することによって強磁性固定層の磁化方向を複数方向に規定する。また、磁気抵抗効果膜を成膜するときに、前記複数のパターン同士が形成する角度の間に設定された角度で磁界を印加する。



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, 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, ES, FI, FR,

GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：

磁気抵抗効果素子の製造方法、磁気センサ、回転角度検出装置

技術分野

[0001] 本発明は、磁気抵抗効果素子の製造方法、磁気抵抗素子を用いた磁気センサ、および磁気センサを用いた回転角度検出装置に関するものである。

背景技術

[0002] 磁気抵抗効果素子を用いた磁気センサは、磁界発生機構を搭載した検知対象物の変位を非接触で検出することが可能であり、磁気エンコーダや磁気回転角度検出センサとして利用されている。磁気抵抗効果素子の中でも、スピンバルブ（以下、SVと記載する）型と呼ばれる巨大磁気抵抗効果（以下、GMRと記載する）膜を用いた磁気抵抗効果素子は、回転角度検出に対して有用である。

[0003] 特許文献1に記載されているように、SV型GMR膜は、反強磁性層／強磁性固定層／非磁性中間層／強磁性自由層の基本構成から成る。強磁性固定層は、隣接して成膜された反強磁性層との交換結合により、その磁化方向が一方向に固定されている。一方、強磁性自由層の磁化方向は、外部磁界に応じて変化する。

[0004] したがって、SV型GMR膜に対して、比較的小さい強度の信号回転磁界を印加すると、強磁性固定層の磁化と強磁性自由層の磁化の相対角度が変化し、これに応じて電気的な出力を得ることができる。すなわち、回転検知対象物に永久磁石などの磁界発生機構を搭載し、回転検知対象物の回転運動に同期して生じる回転磁界を電気信号に変換することで、回転角度センサとしての機能が得られる。

[0005] 特に、回転検知対象物の絶対角度を検出するためには、回転磁界に対して磁気抵抗効果素子の検出感度が等方的であり、任意の磁界方向に対して検出誤差が小さいことが重要となる。また、動作環境温度の変動に対して検出角

度に乖離が生じないことも必要である。

- [0006] このような課題に対して、強磁性固定層の磁化方向が異なるS V型GMR膜を用いた磁気抵抗効果素子を複数有し、これらをブリッジ回路状に接続した回転角度センサが提案されている。
- [0007] 一般に、ひとつのS V型GMR膜について、強磁性固定層のある特定部位のみを所望の複数方向に着磁することは困難である。したがって、複数の磁化方向を有する磁気抵抗効果素子を得るためには、あらかじめ強磁性固定層の磁化方向が異なるS V型GMR膜を用いた磁気抵抗効果素子を複数作製しておくことが必要である。その後、磁気抵抗効果素子を個々の素子ユニットに切断して、ブリッジ回路に実装することになる。
- [0008] 一方、回転角度センサには、高温環境下での安定動作に対する要求も強い。S V型GMR膜の熱安定性という観点では、強磁性固定層の磁化をいかに強固に固定するかがボトルネックとなる。反強磁性層との交換結合は、一般に250℃から320℃程度で消失することから、十分な熱安定性を実現することは困難であった。
- [0009] 特許文献2には、上記課題に対して、別の固定層磁化の固定方法として、反強磁性層を含まない、第一の強磁性層／反強磁性的結合層／第二の強磁性層からなる強磁性固定層の構造が開示されている。例えば、Co/Ru/Coという積層構造を適切な厚さと作製方法で形成すると、2つのCo層がRu層を介して反強磁性的に強く層間結合し、結果、反平行配列した2つのCo層の磁化が外部磁界によって変化しにくくなる。特許文献2に記載されている技術は、このことを応用している。ここでは、このような強磁性固定層構造をセルフピン型と呼ぶことにする。
- [0010] セルフピン型の強磁性固定層は、反強磁性層との交換結合を活用した通常の強磁性固定層よりも、より高温下まで磁化を安定に固定することができる。そのため、上記課題に対して好ましい構成であると言える。
- [0011] また、セルフピン型の強磁性固定層は、磁化方向を規定する手法に関しても大きな利点がある。

- [0012] 一般に、反強磁性層との交換結合を活用した通常の強磁性固定層の磁化方向は、GMR膜を成膜した後、磁界を印加しながら行う熱処理で規定される。すなわち、この手法では、同一基板上に異なる方向へ強磁性固定層の磁化を規定することが困難であった。
- [0013] 一方で、セルフピン型の強磁性固定層は、成膜する時に印加する磁界の方向を変えることで、磁化を任意の方向に設定することができる。そのため、同一基板内に、異なる方向に強磁性固定層の磁化を設定した複数のGMR膜を形成することができる。
- [0014] したがって、微細加工を用いて磁気抵抗効果素子を形成する工程を経て、ブリッジ回路へ電極端子を接続する工程を、同一基板内で実施することができる。そのため、簡便な製造フローで磁気センサを作製することが可能である。
- [0015] 特許文献3には、上記のような手法を用いた磁気センサが記載されている。
- [0016] 特許文献4には、セルフピン型の強磁性固定層を複数方向に着磁する技術として、局所的な加熱を利用した着磁方法が記載されている。
- [0017] 特許文献5には、強磁性固定層の磁化方向制御に関して、エッチングによるテクスチャー形成を用いて一軸磁気異方性を誘導する手法が開示されている。

先行技術文献

特許文献

- [0018] 特許文献1：特許第3040750号公報
特許文献2：特許第3033934号公報
特許文献3：特開2008-306112号公報
特許文献4：特表2002-519873号公報
特許文献5：特開2007-142393号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0019] 上述したように、セルフピン型の強磁性固定層を用いたGMR膜により構成される磁気センサは、(1)熱安定性に優れる、(2)同一基板上に、強磁性固定層の磁化が異なる方向に設定された複数の磁気抵抗効果素子、およびこれを接続して成るブリッジ回路を形成することが可能である、等の利点がある。
- [0020] しかしながら、例えば、相異なる4方向の強磁性固定層の磁化設定を必要とする場合には、GMR膜を成膜する工程が4回必要となる。この場合、工程数が多く、製造タクト・コストの面では不利となる。
- [0021] また、回転角度センサの性能において重要となる検出角度誤差については、ブリッジ回路を構成する個々の磁気抵抗効果素子の特性ばらつきが大きな影響を与える。すなわち、4回に分割して成膜した個々のGMR膜の特性にばらつきが生じると、検出角度誤差の点で性能が劣る懸念がある。また、4段構成となるGMR膜では、GMR膜を成膜する際のバッチ間の特性ばらつきに加えて、上段に進むほど、表面凹凸の増大などが特性乖離を引き起こす可能性がある。
- [0022] 上記特許文献4に記載の技術では、強磁性固定層の磁化固定に関して、熱安定性や強磁界耐性を犠牲にする必要があり、信頼性の高い磁気センサが得られ難い懸念がある。
- [0023] 上記特許文献5に記載の技術では、強磁性固定層の磁化容易軸を制御することができるが、磁化容易軸上のいずれの向きに磁化を設定するかまでは規定することが難しかった。
- [0024] 本発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、GMR膜を成膜する工程の数を少なくしつつ、強磁性固定層の磁化の方向と向きをともに規定することができる手法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

- [0025] 本発明に係る磁気抵抗効果素子の製造方法では、方向性を有する複数のパターンを形成することによって強磁性固定層の磁化方向を複数方向に規定す

る。また、磁気抵抗効果膜を成膜するときに、前記複数のパターン同士が形成する角度の間に設定された角度で磁界を印加する。

発明の効果

- [0026] 本発明に係る磁気抵抗効果素子の製造方法によれば、磁気抵抗効果膜を形成する工程を1回実行する毎に、磁気抵抗効果膜を複数の方向と向きへ着磁することができる。これにより、安価で、検出角度誤差が小さく、熱安定性に優れる高性能な磁気抵抗効果素子を得ることができる。

図面の簡単な説明

- [0027] [図1]実施の形態1に係る磁気抵抗効果素子の製造方法を示すフローチャートである。
- [図2]図1のステップS101等において、イオンビームエッチング法を用いてテクスチャーを形成する手法を示す模式図である。
- [図3]テクスチャーの上にGMR膜を形成した後のTEM観察図である。
- [図4]強磁性固定層の磁化方向を調べるためにテクスチャーを形成した試料の配置図である。
- [図5]印加磁界（外部磁界）の角度とGMR膜の抵抗値との関係を測定した結果を示す図である。
- [図6]実施の形態1に係る磁気抵抗効果素子の製造方法を図示したものである。
- [図7]磁気抵抗効果素子の構成例を示す模式図である。
- [図8]実施の形態2に係る磁気センサの機能ブロック図である。
- [図9]各ブリッジ回路の等価回路図である。
- [図10]第1ブリッジ回路と第2ブリッジ回路の出力を示す図である。
- [図11]実施の形態3に係る磁気センサの模式図である。
- [図12]実施の形態8に係る磁気抵抗効果素子の製造方法を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

- [0028] 以下、図面を参照しながら本発明の実施の形態を説明する。理解を容易に

するため、以下の図において同じ機能部分には同一の符号を付して説明する。

[0029] また、ここでは説明を簡略化するため、強磁性固定層の磁化方向が、基板面内のある基準方向に対して、 0° 、 90° 、 180° 、 270° の4つの向きに設定された磁気抵抗効果素子を作製する場合を例に説明を行う。上記の各角度については、所望の性能等の要件を満たすものであれば、任意の角度に設定することが可能である。すなわち、本発明における強磁性固定層の磁化方向は、上記4つの角度の向きに限定されるものではない。

[0030] (実施の形態1)

図1は、本発明の実施の形態1に係る磁気抵抗効果素子の製造方法を示すフローチャートである。図1のフローチャートは、基板側から順に、強磁性固定層／非磁性中間層／強磁性自由層を積層してGMR膜を成膜する手順を示す。以下、図1の各ステップについて説明する。

[0031] (図1：ステップS101)

基板上の特定の部位（第1部位）に、基板の基準方向に対して 0° の向き（第1方向）で直線状の第1テクスチャー（第1パターン）を形成する。実際のテクスチャーは、基板の基準方向に対して 0° の向きと 180° の向きを結ぶ方向に、直線状に形成されることになる。

[0032] ここでは、後述のステップS105と区別するため、本ステップで形成されるテクスチャーの向きは、基準方向に対して 0° であるとした。以下の説明でも、同様の考え方をを用いて、テクスチャーの方向を表現する。

[0033] テクスチャーの形成手法については、後述の図2で改めて説明する。以下のステップにおいてテクスチャーを形成する手法についても同様である。なお、本ステップを実行している様子は、後述の図6（1）で改めて図示する。

[0034] (図1：ステップS102)

基板上の特定の部位（第1部位とは異なる第2部位）に、基板の基準方向に対して 90° の向き（第2方向）で直線状の第2テクスチャー（第2パタ

ーン)を形成する。実際のテクスチャーは、基板の基準方向に対して 90° の向きと 270° の向きを結ぶ方向に、直線状に形成されることになる。なお、本ステップを実行している様子は、後述の図6(1)で改めて図示する。

[0035] (図1:ステップS103)

上記第1パターンと第2パターンを形成した部位上に、GMR膜を成膜する。このとき少なくとも、強磁性固定層を成膜する過程において、第1パターンと第2パターンがなす角度の間の角度、好ましくは 45° の角度 θ で磁界を印加しながら、成膜を行う。磁界の大きさは、通常GMR膜の強磁性層としてよく用いられるCo-Feが飽和する程度の大きさとする。具体的には、数kA/mから数十kA/m程度が適切である。

[0036] GMR膜の強磁性固定層には、ステップS101~S102で形成したテクスチャーの指向性に応じて、 0° と 180° を結ぶ方向、および 90° と 270° を結ぶ方向を磁化容易軸とする一軸磁気異方性が誘導される。言い換えると、強磁性固定層の磁化方向を規定することができる。

[0037] さらに、 $\theta = 45^\circ$ の方向に磁界を印加しながら成膜を行うと、その磁界は、第1テクスチャーの働きによって 0° の向きに分解される成分と、第2テクスチャーの働きによって 90° の向きに分解される成分とに分かれる。この作用により、強磁性固定層の磁化の向きが 0° および 90° の向きに設定されることになる。

[0038] すなわち、強磁性固定層の磁化方向は、単に 0° の向きと 180° の向きを結ぶ「方向」、および 90° の向きと 270° の向きを結ぶ「方向」に設定されるのみならず、明示的に 0° の「向き」と 90° の「向き」に設定されるのである。

[0039] なお、本ステップを実行している様子は、後述の図6(2)で改めて図示する。

[0040] (図1:ステップS104)

ステップS101~S103で得られた、磁化方向が 0° の向きと 90°

の向きに設定されたGMR膜を、後述の図6（3）で改めて説明するパターンニング等の手法により、所望の形状に加工する。

[0041]（図1：ステップS105）

A₁O₃膜などの分離絶縁膜を成膜する。

[0042]（図1：ステップS106）

基板上の特定の部位（第1部位、第2部位とは異なる第3部位）に、基板の基準方向に対して180°の向きで直線状の第3テクスチャー（第3パターン）を形成する。実際のテクスチャーは、基板の基準方向に対して0°の向きと180°の向きを結ぶ方向に、直線状に形成されることになる。なお、本ステップを実行している様子は、後述の図6（4）で改めて図示する。

[0043]（図1：ステップS107）

基板上の特定の部位（第1部位～第3部位とは異なる第4部位）に、基板の基準方向に対して270°の向きで直線状の第4テクスチャー（第4パターン）を形成する。実際のテクスチャーは、基板の基準方向に対して90°の向きと270°の向きを結ぶ方向に、直線状に形成されることになる。なお、本ステップを実行している様子は、後述の図6（4）で改めて図示する。

[0044]（図1：ステップS108）

上記第3パターンと第4パターンを形成した部位上に、GMR膜を成膜する。このとき少なくとも、強磁性固定層を成膜する過程において、第3パターンと第4パターンがなす角度の間の角度、好ましくは225°の角度θで磁界を印加しながら、成膜を行う。磁界の大きさについては、ステップS103と同様でよい。

[0045] 本ステップにより、強磁性固定層の磁化方向は、ステップS103と同様の原理で180°の「向き」と270°の「向き」に設定される。

[0046] なお、本ステップを実行している様子は、後述の図6（5）で改めて図示する。

[0047]（図1：ステップS109）

ステップS 1 0 6～S 1 0 8で得られた、磁化方向が1 8 0°の向きと2 7 0°の向きに設定されたGMR膜を、後述の図6（6）で改めて説明するパターニング等の手法により、所望の形状に加工する。

[0048]（図1：ステップS 1 1 0）

A l₂O₃膜などの分離絶縁膜を成膜する。

[0049]（図1：ステップS 1 1 1）

フォトリソ工程→イオンミリング工程→電極膜形成工程を通して、磁気抵抗効果素子に一对の電極を接続する。

[0050] 以上、本実施の形態1に係る磁気抵抗効果素子の製造方法を説明した。

[0051] 次に、各ステップの詳細について説明する。

[0052] 図2は、図1のステップS 1 0 1等において、イオンビームエッチング法を用いてテクスチャーを形成する手法を示す模式図である。図2（a）は基板とイオンガンの配置を示す側面図、図2（b）は基板にテクスチャーが形成された状態を示す斜視図である。以下では図1のステップS 1 0 1を例に取り、同ステップの実行手順を説明する。

[0053]（図1：ステップS 1 0 1：手順1）

ガラス基板に、スパッタ法によりA l₂O₃膜を3 0 n m成膜する。

[0054]（図1：ステップS 1 0 1：手順2）

ガラス基板の法線方向に対して、イオンビームの入射方向が例えば6 0°となるように、イオンガンとガラス基板を配置する。

[0055]（図1：ステップS 1 0 1：手順3）

イオンガンを用いてイオンビームエッチングを3 0秒間実行する。

[0056]（図1：ステップS 1 0 1：手順4）

ガラス基板を1 8 0°自転させ、イオンガンを用いてイオンビームエッチングを3 0秒間実行する。

[0057]（図1：ステップS 1 0 1：手順5）

手順3～4を、所定回数繰り返し実行する。この結果、図2（b）に示すような、線状の指向性を持ったテクスチャーが形成される。

[0058] 以上、図1のステップS101等の詳細について説明した。ここで、上記手順3～手順4について補足しておく。

[0059] イオンビームエッチングを行う場合は、面内のエッチング量が均一となるように、基板を自転させるのが一般的である。本実施の形態1では、意図的に基板を自転させずに処理することで、エッチング方向に指向性を持たせた。これにより、面内のエッチング量が均一なテクスチャーを、線状の指向性をもって形成することができる。

[0060] 図3は、テクスチャーの上にGMR膜を形成した後のTEM (Transmission Electron Microscope) 観察図である。図3(a)は図2のA-A'断面、図3(b)はこれに直交する図2(b)のB-B'断面の観察図である。

[0061] まず、スパッタ法によりガラス基板上に Al_2O_3 膜を成膜した。次に、スパッタ法により、下から順に、 Ta (3) / Ru (2) / $\text{Co}_{75}\text{Fe}_{25}$ (2.4) / Ru (0.35) / $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (2.5) / Cu (2.1) / $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (1) / $\text{Ni}_{85}\text{Fe}_{15}$ (2) / Cu (0.6) / Ta (2) の構成からなるGMR膜を成膜した。GMR膜構成表記において、()内数値は各膜厚(単位: nm)であり、下添え字は合金組成(単位: at%)である。GMR膜の層構成の内訳は、以下の通りである。

[0062] (下地層) Ta (3) / Ru (2)

(強磁性固定層) $\text{Co}_{75}\text{Fe}_{25}$ (2.4) / Ru (0.35) / $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (2.5)

(非磁性中間層) Cu (2.1)

(強磁性自由層) $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (1) / $\text{Ni}_{85}\text{Fe}_{15}$ (2)

(保護層) Cu (0.6) / Ta (2)

A-A'断面には、 Al_2O_3 膜表面に、周期的な凹凸が観察された。周期は10nm程度であり、振幅は1nm程度であった。図示した部位以外にも全面に渡って、比較的周期と振幅の揃った凹凸を確認することができた。B-B'断面はほぼ平坦で、明確な凹凸構造は認められなかった。

- [0063] すなわち、上述したような手法によるイオンビームエッチングによって、指向性のあるテクスチャーが形成されたことが分かる。
- [0064] 次に、このような指向性のあるテクスチャーが、強磁性層の磁気特性に与える影響について調べた。
- [0065] まず上記と同様に、ガラス基板/ Al_2O_3 膜（30 nm）に、イオンビームエッチングによって指向性のあるテクスチャーを形成した。その後、 Ta （3 nm）/ Ru （2）/ $\text{Co}_{75}\text{Fe}_{25}$ （3）/ Ru （2）という構成の積層膜を成膜し、VSM（振動試料型磁力計）を用いて、 $\text{Co}_{75}\text{Fe}_{25}$ （3）層の磁気特性を評価した。
- [0066] 評価の結果、図2における（a） $A-A'$ 方向が磁化困難軸、（b）紙面垂直方向が磁化容易軸となる一軸磁気異方性が誘導されていることが確認された。磁化困難軸を励磁した際に得られた異方性磁界 H_k は、8 kA/m程度であった。また、磁化容易軸を励磁した際は、保磁力 H_{ce} は1.6 kA/m程度であった。
- [0067] イオンビームエッチングを行わない場合には、それぞれ $H_k = 0.6$ kA/m程度、 $H_{ce} = 1$ kA/m程度であったことから、指向性のあるテクスチャーを形成することによって、大きな磁気異方性が誘導されたことが分かる。
- [0068] なお、この磁気異方性は、積層膜を成膜する時の印加磁界の有無や印加磁界の方向にほとんど依存しないことを確認している。
- [0069] 次に、指向性のあるテクスチャー上に成膜したGMR膜の特性を評価した結果について説明する。
- [0070] まず上記と同様に、ガラス基板/ Al_2O_3 膜（30 nm）に、イオンビームエッチングによって指向性のあるテクスチャーを形成した。その後、上述した Ta （3 nm）/ Ru （2）/ $\text{Co}_{75}\text{Fe}_{25}$ （2.4）/ Ru （0.35）/ $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ （2.5）/ Cu （2.1）/ $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ （1）/ $\text{Ni}_{85}\text{Fe}_{15}$ （2）/ Cu （0.6）/ Ta （2）の構成からなるGMR膜を成膜した。ここでは、GMR膜成膜時に磁界は印加していない。上記GMR

膜の構成の詳細について、ここで説明しておく。

- [0071] セルフピン型の強磁性固定層： $\text{Co}_{75}\text{Fe}_{25}$ （2.4）／ Ru （0.35）／ $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ （2.5）では、 Ru （0.35）層を介して、 $\text{Co}_{75}\text{Fe}_{25}$ （2.4）層と $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ （2.5）層が反強磁性的に強く層間結合しており、互いの磁化が反平行配列した状態となっている。
- [0072] この強磁性固定層の磁化方向を安定にするためには、（１）反強磁性的層間結合層（ここでは Ru （0.35）層）を介した層間結合エネルギーが大きいこと、（２）実効的な強磁性固定層の磁化量がゼロであること、すなわち、 $\text{Co}_{75}\text{Fe}_{25}$ （2.4）層の磁化量と $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ （2.5）の磁化量を等しくすること、が効果的である。また、ここでは、強磁性固定層と強磁性自由層の間に作用する層間結合磁界がゼロとなるように、 Cu 層の膜厚を2.1nmとした。
- [0073] ここで示したGMR膜構成は典型例を示したに過ぎず、磁気抵抗効果（MR）特性や強磁性層の磁気特性に関して、より好ましい結果が得られるように、材料や膜厚を適宜最適化しても、本発明の支障となるものではない。
- [0074] まず、比較のため、テクスチャーを形成しない場合について、MR特性を直流4端子法で測定した。この場合、強磁性固定層の磁化方向が一方向に規定されておらず、良好なMR特性が得られなかった。
- [0075] 一方、テクスチャーを形成した場合、10%程度のMR比（磁気抵抗変化率）が得られており、良好な特性を示した。MR曲線の形状から、強磁性固定層と強磁性自由層の磁化が、印加磁界の大きさに応じて平行配列（抵抗最小）および反平行配列（抵抗最大）となっている様子が確認できた。さらに、印加磁界の大きさを徐々に増加させていったところ、強磁性固定層の磁化方向は、150kA/mまで安定して固定されていることが確認された。
- [0076] 次に、強磁性固定層の磁化方向に関して詳細に調べた。
- [0077] 図4は、強磁性固定層の磁化方向を調べるためにテクスチャーを形成した試料の配置図である。同図に示すように、ガラス基板／ Al_2O_3 膜（30nm）にイオンビームエッチングによって指向性のあるテクスチャーを形成し

た試料を2枚準備した。次に、指向性テクスチャーの方向が互いに直交するように配置して、上述したGMR膜を無磁界中で成膜した。

[0078] ここでは、強磁性固定層の磁化方向として、Cu(2.1)層に接したCo₉₀Fe₁₀(2.5)層の磁化方向に着目する。

[0079] まず、強磁性固定層の磁化方向を求めるために、外部磁界方向に対するGMR膜抵抗の依存性を評価した。外部磁界の大きさは16kA/mに固定し、印加方向を0°から360°まで15°刻みで変えて測定を行った。

[0080] 強磁性固定層の磁化方向は、16kA/mの印加磁界に対して安定であるため、その方向は変化しない。一方で、強磁性自由層の磁化方向は、印加磁界の方向に向くので、強磁性固定層と強磁性自由層の磁化の相対角度が変わり、GMR効果（GMR膜の抵抗変化）が発現する。

[0081] 図5は、印加磁界（外部磁界）の角度とGMR膜の抵抗値との関係を測定した結果を示す図である。図5の上図は図4の左側のテクスチャーについての測定結果、図5の下図は図4の右側のテクスチャーについての測定結果である。GMR膜の抵抗は、外部磁界の方向に対して正弦波的に変化している。図5の上下の波形を比較すると、テクスチャーの指向性方向によってその位相が異なっている様子が分かる。

[0082] GMR膜抵抗が最小になっている時点における印加磁界の角度が、強磁性固定層の磁化方向と一致しているといえる。なぜならば、磁界印加方向と強磁性自由層の磁化は一致しており、GMR膜抵抗が最小になっている際に、強磁性固定層の磁化と強磁性自由層の磁化（すなわち印加磁界の角度）は同一の方向を向いていると考えられるからである。

[0083] 指向性テクスチャーの方向が互いに直交するように配置された試料における磁性固定層の磁化方向は、それぞれ-90°および-180°と見積もることができる。すなわちこれは、1回のGMR膜成膜によって、強磁性固定層の磁化方向を、直交した2方向に着磁することができたことに他ならない。

[0084] 本実施の形態1では、磁化方向を上述のように直交した2方向に着磁する

ことに加え、GMR膜を成膜するときに磁界を印加することにより、磁化の向きをも規定することができる。

[0085] なお、 $\theta = 45^\circ$ の方向に磁界を印加しながら成膜を行ったGMR膜における強磁性固定層の磁化は、後に続く $\theta = 225^\circ$ の方向に磁界を印加しながら行う成膜工程によって影響を受けない。これは、前述したように、磁化方向が規定されたセルフピン型の強磁性固定層： $\text{Co}_{75}\text{Fe}_{25}$ (2.4) / Ru (0.35) / $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (2.5) は、指向性テクスチャーによって誘導された大きな一軸磁気異方性と、 Ru (0.35) 層を介した強い反強磁性的な層間結合によって、その磁化方向が極めて安定であることによる。すなわち、 150 kA/m 程度以上の大きさの磁界が印加されない限り、強磁性固定層の磁化方向が変わることがないからである。

[0086] 図6は、本実施の形態1に係る磁気抵抗効果素子の製造方法を図示したものである。ここではガラス基板を上から見た平面図を工程毎に図示した。以下、図6の各工程について説明する。

[0087] (1) テクスチャー形成 (0° 、 90°)

Al_2O_3 膜を成膜したガラス基板の表面に、フォトリソ工程によって、所望の部位のみにテクスチャーが形成されるように、レジストパターンを形成する。次いで、前述したような手法により、指向性を有するテクスチャーを形成する。このフロー・セットを、テクスチャーの指向性が直交する2方向となるように、2度行う。

[0088] 本工程は、図1のステップS101～S102に相当する。本工程によって、ガラス基板の基準方向（図1では図面の右向き）に対して 0° に向いたテクスチャーと、同基準方向に対して 90° に向いたテクスチャーとが形成される。

[0089] (2) GMR膜を成膜 ($\theta = 45^\circ$)

GMR膜を成膜する時、特に、少なくとも下地層に接する側の強磁性固定層（ここでは、 $\text{Co}_{75}\text{Fe}_{25}$ (2.4) 層）を成膜する際に、 $0^\circ < \theta < 90^\circ$ 、好ましい一例としては、 $\theta = 45^\circ$ の方向に磁界を印加しながら、G

MR膜の成膜を行う。

[0090] 先に形成したテクスチャーの効果によって、印加した磁界はガラス基板の基準方向に対して 0° に向いた成分と、同基準方向に対して 90° に向いた成分とに分解される。この磁界成分の効果により、GMR膜の強磁性固定層は、それぞれ 0° の向きと 90° の向きに着磁されることになる。

[0091] なお、印加する磁界の角度は、必ずしも 45° でなくともよい。2つのテクスチャーが形成する角度の間の角度で磁界を印加すれば、テクスチャーの効果によって結果的に 0° の向きの成分と 90° の向きの成分とに分解されることになるからである。

[0092] 本工程は、図1のステップS103に相当する。

[0093] (3) 素子形成

フォトリソ工程によってレジストパターンを形成する。次いで、イオンミリング法によって、磁気抵抗効果素子を所望の形状に加工し、レジストを剥離する。本工程によって、GMR膜の強磁性固定層の磁化方向が、ガラス基板の基準方向に対して 0° の方向と 90° の方向を向いた2つの磁気抵抗効果素子が得られる。

[0094] 本工程は、図1のステップS104に相当する。

[0095] (4) テクスチャー形成 (180° 、 270°)

工程(1)と同様に、ガラス基板の表面にテクスチャーを形成する手順を2回実行する。

[0096] 本工程は、図1のステップS106～S107に相当する。本工程によって、ガラス基板の基準方向(図1では図面の右向き)に対して 180° に向いたテクスチャーと、同基準方向に対して 270° に向いたテクスチャーとが形成される。

[0097] なお、本工程でテクスチャーを形成する部位は、先に形成した2つのテクスチャーを形成した部位と正対するようにしておく。すなわち、第1部位は第3部位と正対し、第2部位は第4部位と正対するようにしておく。これにより、ガラス基板の基準方向に対してそれぞれ異なる4方向(0° 、 90°

、 180° 、 270° ）を向いた4つのテクスチャーが形成されることになる。

[0098] (5) GMR膜を成膜 ($\theta = 225^\circ$)

GMR膜を成膜する時、特に、少なくとも下地層に接する側の強磁性固定層（ここでは、 $\text{Co}_{75}\text{Fe}_{25}$ (2.4) 層) を成膜する際に、 $180^\circ < \theta < 270^\circ$ 、好ましい一例としては、 $\theta = 225^\circ$ の方向に磁界を印加しながら、GMR膜の成膜を行う。

[0099] 先に形成したテクスチャーの効果によって、印加した磁界はガラス基板の基準方向に対して 180° を向いた成分と、同基準方向に対して 270° を向いた成分とに分解される。この磁界成分の効果により、GMR膜の強磁性固定層は、それぞれ 180° の向きと 270° の向きに着磁されることになる。

[0100] 本工程は、図1のステップS108に相当する。

[0101] (6) 素子形成

工程(3)と同様に、磁気抵抗効果素子を2つ形成する。本工程によって、GMR膜の強磁性固定層の磁化方向が、ガラス基板の基準方向に対して 180° の方向と 270° の方向を向いた2つの磁気抵抗効果素子が得られる。本工程は、図1のステップS109に相当する。

[0102] このような製造方法を用いて作製した個々の磁気抵抗効果素子の特性を評価した。評価の結果、強磁性固定層の磁化方向が狙い通り、 0° 、 90° 、 180° 、 270° の4方向に着磁されており、ばらつきの小さいMR特性を得ることができた。

[0103] 図7は、磁気抵抗効果素子の構成例を示す模式図である。図6の工程(1)～(3)、および工程(4)～(6)を個別に実行し、後に各層を重ね合わせると、図7のような素子構造が得られる。

[0104] 本実施の形態1に係る手法を用いて製造した磁気抵抗効果素子は、基板上にテクスチャーが形成されている点、1つのGMR膜が複数方向に着磁されている点が特徴的である。

[0105] 以上のように、本実施の形態 1 では、ガラス基板上に 2 つのテクスチャーを形成した後、各テクスチャーが形成する角度の間の角度に磁界を印加しながら GMR 膜を成膜する。

[0106] これにより、GMR 膜を成膜する工程を 1 回実行するのみで、強磁性固定層が 2 方向に着磁された GMR 膜を成膜することができる。また、GMR 膜を成膜するときの印加磁界は、ガラス基板の基準方向に対して 0° の向きと 90° の向きの 2 つの成分に分解されるので、GMR 膜の強磁性固定層の磁化の向きを、 0° の向きと 90° の向きにそれぞれ規定することができる。

[0107] (実施の形態 2)

本発明の実施の形態 2 では、実施の形態 1 で説明した磁気抵抗効果素子を用いて構成された磁気センサについて説明する。

[0108] 磁界の回転角度を検出する磁気センサは、上述したような方法で、同一基板上に強磁性固定層の磁化方向が 0° 、 90° 、 180° 、 270° の 4 つの向きに着磁されて形成された磁気抵抗効果素子を用いて構成することができる。

[0109] 図 8 は、本実施の形態 2 に係る磁気センサの機能ブロック図である。

[0110] 本実施の形態 2 に係る磁気センサは、強磁性固定層の磁化の向きが 0° および 180° に設定された 2 対の磁気抵抗効果素子で構成される第 1 ブリッジ回路 200 と、強磁性固定層の磁化の向きが 90° および 270° に設定された 2 対の磁気抵抗効果素子で構成される第 2 ブリッジ回路 300 とを備える。また、各ブリッジ回路の出力を用いて角度検知対象物の絶対角度を算出する演算装置 100 を備える。

[0111] 図 9 は、各ブリッジ回路の等価回路図である。第 1 ブリッジ回路 200 は、磁気抵抗効果素子 31a、31b、31c、31d を備える。第 2 ブリッジ回路 300 は、磁気抵抗効果素子 32a、32b、32c、32d を備える。等価回路に示した矢印は、強磁性固定層の磁化の向き（ここでは、Cu (2.1) 層に接した $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (2.5) 層の磁化方向に着目する) を表している。

- [0112] 図10は、第1ブリッジ回路200と第2ブリッジ回路300の出力を示す図である。各ブリッジ回路の出力波形は、位相が 90° ずれた正弦波波形となる。第1ブリッジ回路200と第2ブリッジ回路300の出力を用いて逆正接演算を行うことにより、磁気センサに加わる外部磁界の絶対角度を算出することができる。
- [0113] したがって、回転運動をする検知対象物に永久磁石を搭載し、磁気センサが、永久磁石から生じる磁界を検出することで、検知対象物の絶対角度を算出する回転角度検出装置を実現することができる。
- [0114] このような方法で作製した回転角度検出装置を試験したところ、角度検出誤差が小さく、熱安定性などの信頼性にも優れ、極めて良好な結果となった。これは、各磁気抵抗効果素子の特性ばらつきが小さいことに起因している。特性ばらつきが小さい理由として、以下の（理由1）～（理由2）が考えられる。
- [0115] （理由1）GMR膜を成膜する工程の実行回数が少なくても、強磁性固定層の磁化方向を 0° 、 90° 、 180° 、 270° の4方向に着磁することが可能となった。これに起因して、GMR膜の成膜バッチ間の特性ばらつきの影響が抑制された。
- [0116] （理由2）GMR膜の成膜回数が減ったことで、膜成長に伴う表面凹凸増大の影響が少なくなり、上下のGMR膜の特性乖離が緩和された。
- [0117] なお、製造フローが簡略化されたことにより、製造タクトおよびコストを減少する効果が同時に発揮されることは、特筆すべきである。
- [0118] 以上のように、本実施の形態2に係る磁気センサは、実施の形態1で説明した手法により製造した磁気抵抗効果素子を用いて製造した。
- [0119] これにより、各磁気抵抗効果素子の特性ばらつきが小さい磁気センサを得ることができる。また、角度検出誤差が小さく、熱安定性などの信頼性に優れた磁気センサを得ることができる。さらには、GMR膜を成膜する工程が簡略化されることにより、製造タクトおよびコストを減少することができる。

[0120] (実施の形態 3)

図 1 1 は、本発明の実施の形態 3 に係る磁気センサの模式図である。同図では、記載の簡易のため、同一基板上に 4 つのテクスチャーが形成されている例を示した。

[0121] 実施の形態 1 ～ 2 で説明した磁気抵抗効果素子を、互いに直行する平面状に配置することにより、図 1 1 の x y 平面に対する法線方向（図 1 1 の z 軸方向）の磁気を検出する磁気検出部が構成される。これにより、3次元磁気センサを構成することができる。

[0122] なお、図 1 1 において、 y 軸に沿ったテクスチャーが重複しているため、同方向に関しては磁気抵抗効果素子の検出対象が重複している。この重複部分については、必ずしも必要ではないことを付言しておく。

[0123] なお、図 1 1 の z 軸方向の磁気を検出する磁気検出部は、必ずしも磁気抵抗効果素子によるものでなくともよく、任意の磁気検出手法を用いることができる。

[0124] 以上のように、本実施の形態 3 によれば、実施の形態 1 ～ 2 で説明した磁気抵抗効果素子と同様の効果を有する 3次元磁気センサを得ることができる。

[0125] (実施の形態 4)

本発明の実施の形態 4 では、GMR 膜の他構成例について説明する。

[0126] 実施の形態 1 では、反強磁性層を含まない、セルフピン型強磁性固定層を用いた GMR 膜の構成を説明した。一方、接する強磁性層と交換結合する不規則系の反強磁性層を用いた GMR 膜についても、磁界を印加しながら熱処理を施すことなく、実施例 1 と同様な製造方法により製造することができる。

[0127] 反強磁性層の材料の例としては、 $MnIr$ や $MnRu$ のように $Mn-X$ ($X: Ru, Rh, Pd, Re, Os, Ir, Pt, Au, Cr, Fe, Ni$ の 1 種以上を含む) で表される材料を用いることができる。

[0128] 本実施の形態 4 における GMR 膜は、 $Ta(3nm)/Ru(2)/Mn_8$

$\text{Ir}_{20} (6) / \text{Co}_{75} \text{Fe}_{25} (2.4) / \text{Ru} (0.35) / \text{Co}_{90} \text{Fe}_{10} (2.5) / \text{Cu} (2.1) / \text{Co}_{90} \text{Fe}_{10} (1) / \text{Ni}_{85} \text{Fe}_{15} (2) / \text{Cu} (0.6) / \text{Ta} (2)$ という構成を有する。

[0129] 本実施の形態4におけるGMR膜の構成を用いた磁気抵抗効果素子も、実施の形態1と同様の手法により製造することができる。

[0130] (実施の形態5)

本発明の実施の形態5では、テクスチャー形態の好適例について詳述する。その他の構成や手法は、実施の形態1～4と同様である。

[0131] 本実施の形態5では、イオンビームエッチング条件、具体的には、基板の法線方向とイオンビーム入射方向がなす角度、イオンのガス種、イオンの加速条件などを、実施の形態1とは変えて検討を行った。検討の結果、テクスチャーの凹凸の周期は、2 nm以上で100 nm以下の範囲が好適であることが分かった。

[0132] 周期が短すぎる場合は、エッチングにより形成されるテクスチャーが略均一な面状となってしまう、明確な凹凸、すなわちテクスチャーが認められなかった。この場合、その上に形成した強磁性固定層には一軸磁気異方性が誘導されず、本発明の目的を実現しない。一方で、周期が長すぎる場合は、凹凸構造は確認できるものの、同様に一軸磁気異方性の誘導効果は著しく低下した。

[0133] また、テクスチャーの凹凸の振幅は、0.5 nm以上で2.5 nm以下の範囲が好適であることが分かった。凹凸の振幅の増大に伴って、テクスチャー上に形成した強磁性固定層に誘導される一軸磁気異方性の大きさは単調に増加した。特に振幅が0.5 nmから急激な増加が見られ、2.8 nm付近で飽和する傾向となった。

[0134] しかしながら、テクスチャーの凹凸の振幅が2.5 nmを超えると、強磁性固定層と強磁性自由層の間に強磁性的な層間結合が認められ始めたので、凹凸振幅は2.5 nm以下にするのが望ましい。

[0135] なお、各層の膜厚は2～3 nm程度であるから、凹凸振幅が2.5 nmと

いう数値は大き過ぎるような印象を受ける。しかし、図3から分かるように、テクスチャーに見られる1 nm程度の凹凸は、GMR膜の下地層が堆積するにつれて減衰しており、下地層側の強磁性固定層の最表面では、ほとんど凹凸構造が認められない。

[0136] 基本的に界面の凹凸は、強磁性固定層内のRu層を介した反強磁性的な層間結合の低下や、強磁性固定層と強磁性自由層の間における強磁性的な層間結合の増大を招く。したがって、図3に示したような下地層側の強磁性固定層から上側の領域で界面凹凸が小さいことは、大変好都合である。

[0137] (実施の形態6)

本発明の実施の形態6では、強磁性固定層の他構成例について説明する。その他の構成や手法は、実施の形態1～5と同様である。

[0138] テクスチャー形成により誘導される一軸磁気異方性が大きいほど、強磁性固定層の磁化の安定性が向上することは言うまでもない。そこで、本実施の形態6では、強磁性固定層の組成を実施の形態1とは変えて一軸磁気異方性を評価した。なお、実施の形態1における強磁性固定層では、 $\text{Co}_{0.75}\text{Fe}_{2.5}$ (2.4 nm) が用いられている。

[0139] 強磁性固定層の組成として $\text{Co}_{0.50}\text{Fe}_{5.0}$ を用いた場合は、24 kA/mの異方性磁界が得られた。なお、実施の形態1の組成では、8 kA/mであった。また、同一のテクスチャー上にCo-Fe膜を成膜して比較すると、 $\text{Co}_{0.75}\text{Fe}_{2.5}$ と $\text{Co}_{0.50}\text{Fe}_{5.0}$ では磁化容易軸が90°異なることが判明した。

[0140] Co-Fe合金は、その組成によって、結晶構造がfcc (面心立方格子) 構造となる場合とbcc (体心立方格子) 構造になる場合がある。検討した範囲内では、bcc構造を示すCo-Fe合金組成を用いてテクスチャー上に強磁性固定層を形成した場合、より大きな一軸磁気異方性が得られた。

[0141] 注意すべきことは、強磁性固定層の下地層側と非磁性中間層側の結晶構造を合わせておくことである。なぜならば、磁化容易軸が直交するような材料を選択して積層する (例えば、 $\text{Co}_{0.50}\text{Fe}_{5.0}$ (2.1 nm) / Ru (0.35) / $\text{Co}_{0.90}\text{Fe}_{1.0}$ (2.5)) と、セルフピン型の強磁性固定層の磁化が

不安定になるからである。

[0142] これらのC o - F e層は、強磁性固定層の磁化の安定性、さらには良好なMR特性に対して重要な因子となる。例えば、C o₅₀F e₅₀ (2.1 nm) / R u (0.35) / C o₅₀F e₅₀ (1.9 nm) / C o₉₀F e₁₀ (1.0) のような構成が好適となる。

[0143] (実施の形態7)

本発明の実施の形態7では、強磁性自由層の他構成例について説明する。その他の構成や手法は、実施の形態1～6と同様である。

[0144] 実施の形態1では、強磁性自由層の組成としてC o₉₀F e₁₀ (1 nm) / N i₈₅F e₁₅ (2) を用いた例について説明した。詳細な評価によると、テクスチャーにより誘導される一軸磁気異方性は、強磁性自由層にも波及することが分かった。すなわち、強磁性自由層にも、異方性磁界H_k ~ 6 kA / mが誘導されることが認められた。

[0145] 強磁性自由層に大きな磁気異方性があると、信号磁界への追従性が悪化し、角度検出精度に影響を及ぼす懸念がある。したがって、テクスチャーにより、強磁性固定層には強い一軸磁気異方性が誘導されることが望ましく、強磁性自由層には一軸磁気異方性になるべく付与されないのが好適な形態とすることができる。

[0146] これを実現するためには、GMR膜の一部にアモルファス構造もしくは、それに近い構造を有する層を挿入し、結晶成長のリセットを行うことが有効である。材料の一例として、C o₇₂F e₈B₂₀などが好適である。例えば、強磁性自由層をC o₉₀F e₁₀ (1 nm) / C o₇₂F e₈B₂₀ (7) のような構成とする。これにより、MR特性をほとんど悪化することなく、異方性磁界H_kを2 kA / m以下とすることができた。また、このような強磁性自由層構成を用いた場合、強磁性自由層の異方性MR効果 (AMR) が小さくなり、更に好都合となる副次効果も確認できた。

[0147] 上記では、強磁性自由層の最上層にアモルファス層を適用した例について述べた。アモルファス層の適用位置については、他にも、(1) 強磁性固定

層中の非磁性中間層側の部分に挿入する、(2) 強磁性自由層中に挿入する、といった構成を用いても、本実施の形態 7 と同様の効果を得ることができる。

[0148] (実施の形態 8)

本発明の実施の形態 8 では、実施の形態 1 で説明した磁気抵抗効果素子の製造方法とは異なる手順で磁気抵抗効果素子を製造する手法を説明する。

[0149] 本実施の形態 8 では、GMR 膜を成膜する際の各層の積層順が、実施の形態 1 とは異なる。本実施の形態 8 では、基板側から順に、強磁性自由層／非磁性中間層／強磁性固定層の順で各層が積層される。また、これにともなって、テクスチャーを形成する層が実施の形態 1 とは異なる。

[0150] 図 12 は、本実施の形態 8 に係る磁気抵抗効果素子の製造方法を示すフローチャートである。以下、図 12 の各ステップについて説明する。

[0151] (図 12 : ステップ S 1201)

少なくとも、強磁性固定層を成膜する過程において、所定の基準方向（第 1 方向）とその基準方向に直行する方向（第 2 方向）の間の角度、好ましくは両者の中間の角度 θ で磁界を印加しながら、GMR 膜を成膜する。磁界の大きさは、実施の形態 1 のステップ S 103 と同様に設定する。以下では、説明の簡易のため、実施の形態 1 と同様に、第 1 方向を基準方向に対して 0° の向きとし、第 2 方向を 90° の向きとする。

[0152] 本ステップによって、GMR 膜の強磁性固定層の磁化の向きは、一時的に $\theta = 45^\circ$ の向きへ規定される。

[0153] (図 12 : ステップ S 1202)

GMR 膜上の特定の部位（第 1 部位）に、上記基準方向に対して 0° の向きで直線状の第 1 テクスチャー（第 1 パターン）を形成する。実際のテクスチャーは、上記基準方向に対して 0° の向きと 180° の向きを結ぶ方向に、直線状に形成されることになる。テクスチャーを形成する手法としては、例えば図 2 と同様にイオンビームエッチング法を用いればよい。

[0154] (図 12 : ステップ S 1203)

GMR膜上の特定の部位（第1部位とは異なる第2部位）に、上記基準方向に対して 90° の向きで直線状の第2テクスチャー（第2パターン）を形成する。実際のテクスチャーは、上記基準方向に対して 90° の向きと 270° の向きを結ぶ方向に、直線状に形成されることになる。

[0155] ステップS1202～S1203で形成するテクスチャーによって、GMR膜の強磁性固定層には、テクスチャーの指向性に応じて、 0° と 180° を結ぶ方向、および 90° と 270° を結ぶ方向を磁化容易軸とする一軸磁気異方性が誘導される。

[0156] 一時的に $\theta = 45^\circ$ の向きへ規定されていた強磁性固定層の磁化の向きは、これらテクスチャーによって $\theta = 0^\circ$ と $\theta = 90^\circ$ の向きに規定されることになる。結果として、1回のGMR成膜で、所望の特定部位に、強磁性固定層の磁化が 0° および 90° を向いている状態を作り出すことができる。

[0157] (図12：ステップS1204～S1205)

これらのステップは、図1のステップS104～S105と同様である。

[0158] (図12：ステップS1206)

少なくとも、強磁性固定層を成膜する過程において、上記基準方向に対する 180° の向きと 270° の向きの間の角度、好ましくは 225° の角度 θ で磁界を印加しながら、GMR膜を成膜する。磁界の大きさは、実施の形態1のステップS103と同様に設定する。

[0159] 本ステップによって、GMR膜の強磁性固定層の磁化の向きは、一時的に $\theta = 225^\circ$ の向きへ規定される。

[0160] (図12：ステップS1207)

GMR膜上の特定の部位（第1部位、第2部位とは異なる第3部位）に、上記基準方向に対して 180° の向きで直線状の第3テクスチャー（第3パターン）を形成する。実際のテクスチャーは、上記基準方向に対して 0° の向きと 180° の向きを結ぶ方向に、直線状に形成されることになる。

[0161] (図12：ステップS1208)

GMR上の特定の部位（第1部位～第3部位とは異なる第4部位）に、上

記基準方向に対して 270° の向きで直線状の第4テクスチャー（第4パターン）を形成する。実際のテクスチャーは、上記基準方向に対して 90° の向きと 270° の向きを結ぶ方向に、直線状に形成されることになる。

[0162] ステップS1207～S1208で形成するテクスチャーによって、GMR膜の強磁性固定層には、テクスチャーの指向性に応じて、 0° と 180° を結ぶ方向、および 90° と 270° を結ぶ方向を磁化容易軸とする一軸磁気異方性が誘導される。

[0163] 一時的に $\theta = 225^\circ$ の向きへ規定されていた強磁性固定層の磁化の向きは、これらテクスチャーによって $\theta = 180^\circ$ と $\theta = 270^\circ$ の向きに規定されることになる。結果として、1回のGMR成膜で、所望の特定部位に、強磁性固定層の磁化が 180° および 270° を向いている状態を作り出すことができる。

[0164] (図12：ステップS1209～S1211)

これらのステップは、図1のステップS109～S111と同様である。

[0165] 以上、本実施の形態8に係る磁気抵抗効果素子の製造方法を説明した。

[0166] 本実施の形態8において、GMR膜の構成としては、Ta (3 nm) / Ru (2) / $\text{Ni}_{85}\text{Fe}_{15}$ (2) / $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (1) / Cu (2.1) / $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (2.5) / Ru (0.35) / $\text{Co}_{75}\text{Fe}_{25}$ (2.4) / Ta (2) などを用いることができる。

[0167] 本実施の形態8は、実施の形態1と比較して、GMR膜の積層順が反転したことにより、製造方法フローの順序が入れ替わっているが、本質的な手法は実施の形態1と同様であると考えてよい。したがって、各工程の詳細な手順については、実施の形態1で述べた技術を転用することができるので、詳細な説明は省略する。

[0168] 本実施の形態8では、テクスチャーを形成する工程を4回行う手順を説明したが、テクスチャーを形成する工程を2回行う手順としてもよい。この場合は、 $\theta = 45^\circ$ の磁界を印加してGMR膜を成膜する工程、および $\theta = 225^\circ$ の磁界を印加してGMR膜を成膜する工程のそれぞれにおいて、マス

クを使用して必要部位のみに取捨選択的にGMR膜が形成されるようにする。

[0169] なお、本実施の形態8に係る磁気抵抗効果素子の製造方法を用いて製造した磁気抵抗効果素子の強磁性自由層には、テクスチャーによる一軸磁気異方性の付与効果は認められなかった。この点は、実施の形態1と異なり、角度検出誤差を悪化させない意味で好ましい形態とすることができる。

[0170] (実施の形態9)

本発明では、上記実施の形態1～8で説明した、イオンビームエッチング法、スパッタ法などの各層を形成するための手法に代えて、同様の作用を発揮する他の手法を用いることもできることを付言しておく。

符号の説明

[0171] 31a～31d、32a～32d：磁気抵抗効果素子、100：演算装置、200：第1ブリッジ回路、300：第2ブリッジ回路。

請求の範囲

[請求項1]

基板側から順に、強磁性固定層、非磁性中間層、強磁性自由層を積層してなる磁気抵抗効果膜を用いて磁気抵抗効果素子を製造する方法であって、

前記基板上の第1部位に、線状の第1パターンを第1方向に形成する第1パターン形成工程と、

前記基板上の第2部位に、線状の第2パターンを第2方向に形成する第2パターン形成工程と、

前記基板上に、所定の磁界印加角度をもって磁界を印加しながら磁気抵抗効果膜を形成する磁気抵抗効果膜形成工程と、

前記磁気抵抗効果膜を所定形状に加工して、1対の電極を有する磁気抵抗効果素子を形成する素子形成工程と、

を有し、

前記磁界印加角度は、

前記第1方向と前記第2方向の間の角度に設定されており、

前記第1パターン形成工程、前記第2パターン形成工程、前記磁気抵抗効果膜形成工程、および前記素子形成工程を、

前記第1方向、前記第2方向、前記第1部位、および前記第2部位を各回で変更して複数回実行する

ことを特徴とする磁気抵抗効果素子の製造方法。

[請求項2]

基板側から順に、強磁性自由層、非磁性中間層、強磁性固定層を積層してなる磁気抵抗効果膜を用いて磁気抵抗効果素子を製造する方法であって、

前記基板上に、所定の磁界印加角度をもって磁界を印加しながら磁気抵抗効果膜を形成する磁気抵抗効果膜形成工程と、

前記磁気抵抗効果膜上の第1部位に、線状の第1パターンを第1方向に形成する第1パターン形成工程と、

前記磁気抵抗効果膜上の第2部位に、線状の第2パターンを第2方

向に形成する第2パターン形成工程と、

前記磁気抵抗効果膜を所定形状に加工して、1対の電極を有する磁気抵抗効果素子を形成する素子形成工程と、

を有し、

前記磁界印加角度は、

前記第1方向と前記第2方向の間の角度に設定されており、

前記磁気抵抗効果膜形成工程、前記第1パターン形成工程、前記第2パターン形成工程、および前記素子形成工程を、

前記第1方向、前記第2方向、前記第1部位、および前記第2部位を各回で変更して複数回実行する

ことを特徴とする磁気抵抗効果素子の製造方法。

[請求項3]

前記第2方向は、前記第1方向に対して90度の方向に設定されており、

前記第1パターン形成工程、前記第2パターン形成工程、前記磁気抵抗効果膜形成工程、および前記素子形成工程をそれぞれ2回実行し、

2回目に前記第1パターン形成工程を実行する際の前記第1部位は

、

1回目に前記第1パターン形成工程を実行する際の前記第1部位と正対する位置に設定されており、

2回目に前記第2パターン形成工程を実行する際の前記第2部位は

、

1回目に前記第2パターン形成工程を実行する際の前記第2部位と正対する位置に設定されている

ことを特徴とする請求項1または請求項2記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。

[請求項4]

前記磁界印加角度は、前記第1方向と前記第2方向がなす角度の半角に設定されている

ことを特徴とする請求項 1 または請求項 2 記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。

[請求項5]

1 回目に前記磁気抵抗効果膜形成工程を実行する際には、
前記磁界印加角度は、前記第 1 方向および前記第 2 方向と 45 度をなす角度に設定されており、
2 回目に前記磁気抵抗効果膜形成工程を実行する際には、
前記磁界印加角度は、1 回目に前記磁気抵抗効果膜形成工程を実行する際の前記磁界印加角度 + 180 度の角度に設定されている
ことを特徴とする請求項 3 記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。

[請求項6]

基板側から順に、強磁性固定層、非磁性中間層、強磁性自由層を積層してなる磁気抵抗効果膜を用いて構成された複数の磁気抵抗効果素子を備え、
前記基板上の第 1 部位には、線状の第 1 パターンが第 1 方向に形成されており、
前記基板上の第 2 部位には、線状の第 2 パターンが第 2 方向に形成されており、
前記基板上にはさらに前記磁気抵抗効果膜が形成されており、
各前記磁気抵抗効果素子は、
前記磁気抵抗効果膜を所定形状に加工してなる 1 対の電極を有し、
前記強磁性固定層の磁化の向きがそれぞれ異なっている
ことを特徴とする磁気センサ。

[請求項7]

基板側から順に、強磁性自由層、非磁性中間層、強磁性固定層を積層してなる磁気抵抗効果膜を用いて構成された磁気抵抗効果素子を備え、
前記基板上には磁気抵抗効果膜が形成されており、
前記磁気抵抗効果膜上の第 1 部位には、線状の第 1 パターンが第 1 方向に形成されており、
前記磁気抵抗効果膜上の第 2 部位には、線状の第 2 パターンが第 2

方向に形成されており、

各前記磁気抵抗効果素子は、

前記磁気抵抗効果膜を所定形状に加工してなる 1 対の電極を有し、

前記強磁性固定層の磁化方向がそれぞれ異なっている

ことを特徴とする磁気センサ。

[請求項8] 前記第 2 方向は、前記第 1 方向に対して 90 度の方向に設定されており、

前記磁気抵抗効果膜を有する前記磁気抵抗効果素子を 4 個備え、

各前記磁気抵抗効果素子の磁化方向は 90 度ずつ異なっている

ことを特徴とする請求項 6 または請求項 7 記載の磁気センサ。

[請求項9] 外部磁界の絶対角度を算出する演算部と、

磁化方向が 180 度異なる 2 つの前記磁気抵抗効果素子を有する 2 対のブリッジ回路と、

を備え、

前記演算部は、

第 1 の前記ブリッジ回路の出力電圧と第 2 の前記ブリッジ回路の出力電圧の逆正接演算により前記絶対角度を算出する

ことを特徴とする請求項 8 記載の磁気センサ。

[請求項10] 請求項 6 または請求項 7 記載の磁気センサと、

前記基板の法線方向の磁気を検出する磁気検出部と、

を備えたことを特徴とする 3 次元磁気センサ。

[請求項11] 請求項 8 記載の磁気センサと、

角度検知対象物の角度と同期して回転する磁界を発生する永久磁石と、

を備え、

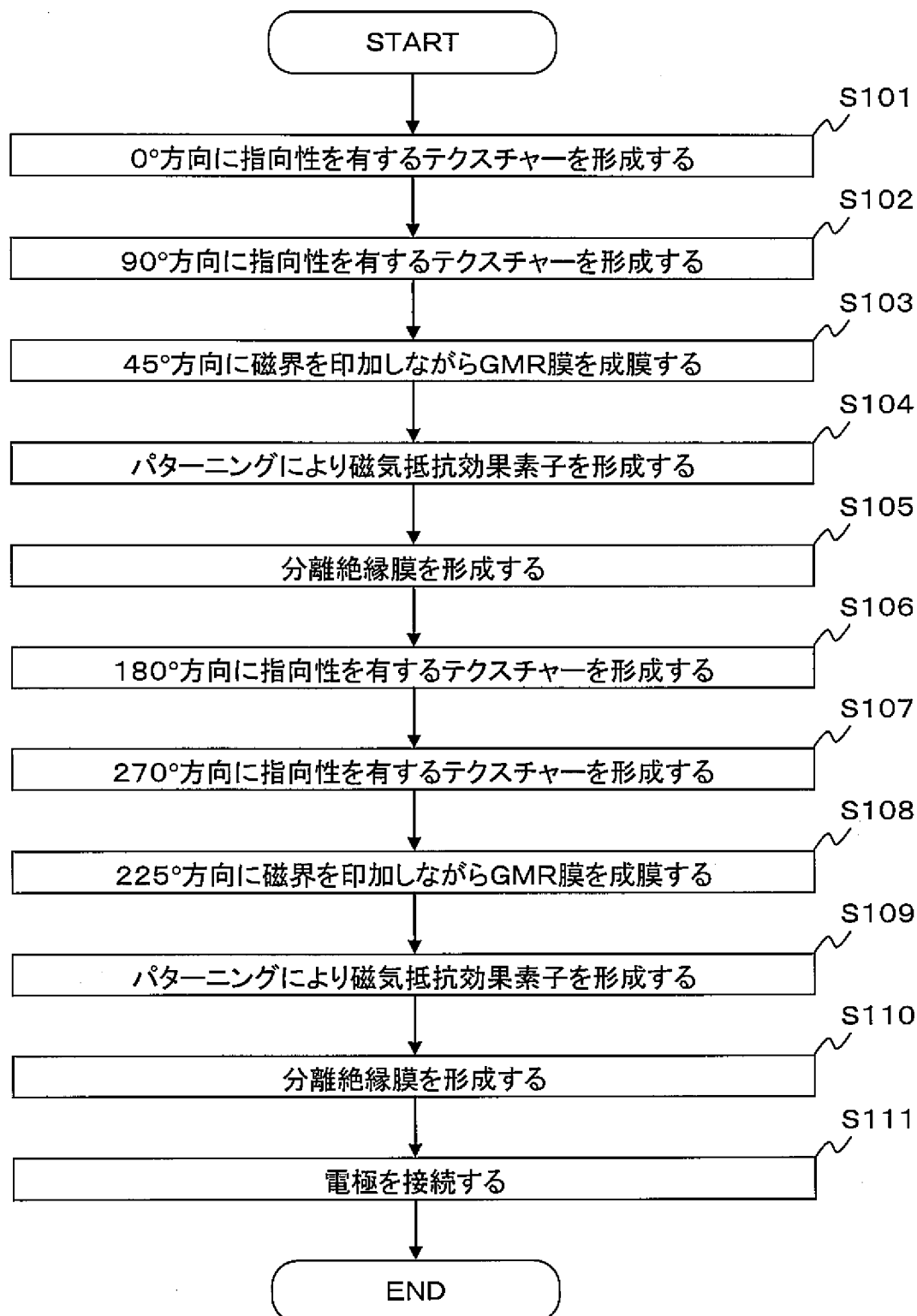
前記磁気センサは、

前記永久磁石から生じる磁界を用いて前記角度検知対象物の絶対角度を検出する

ことを特徴とする回転角度検出装置。

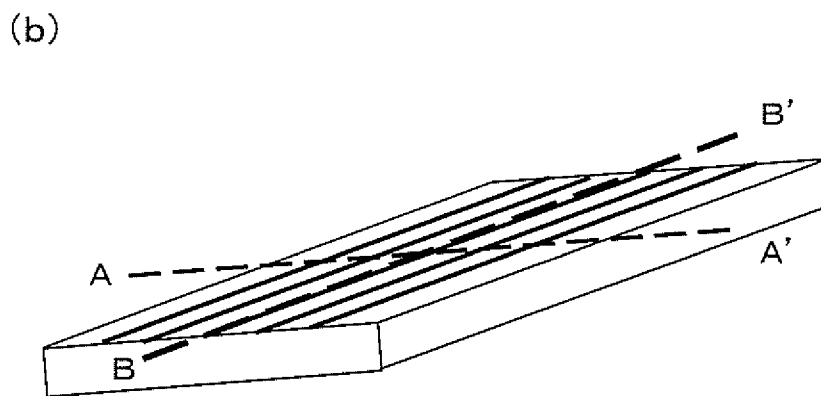
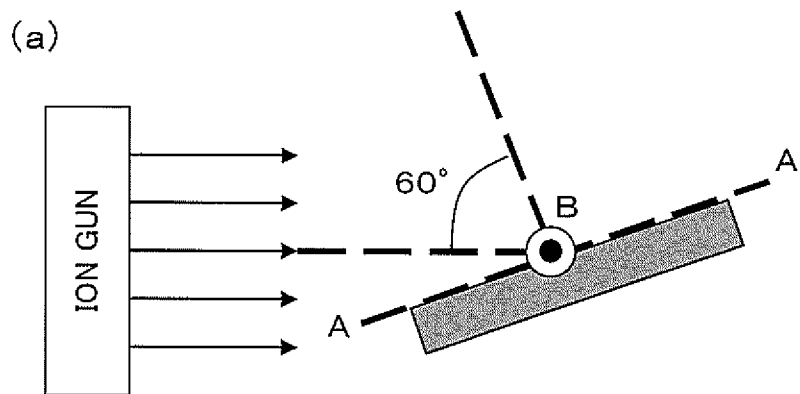
[図1]

図 1



[図2]

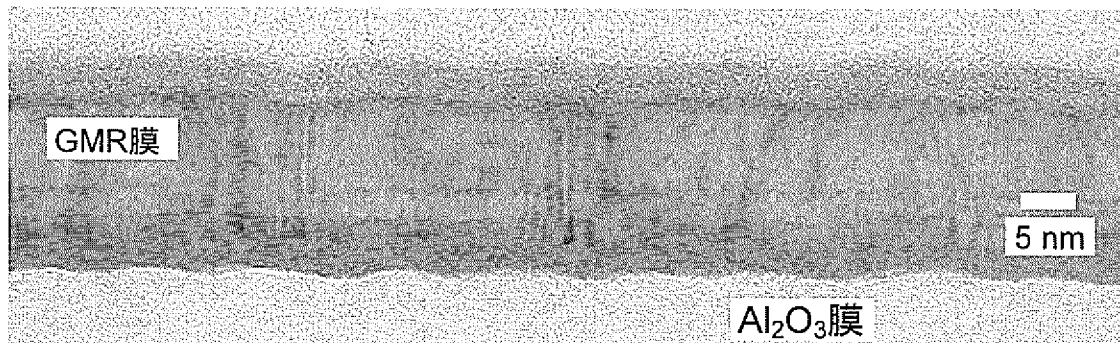
図 2



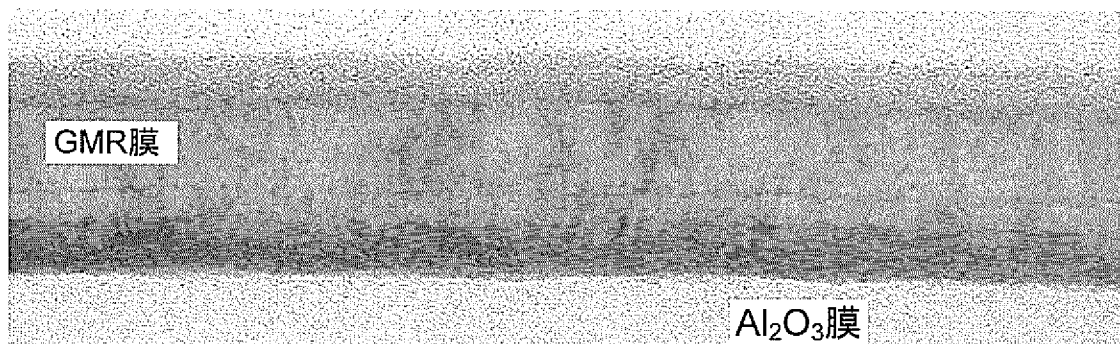
[図3]

図 3

(a) A-A'断面

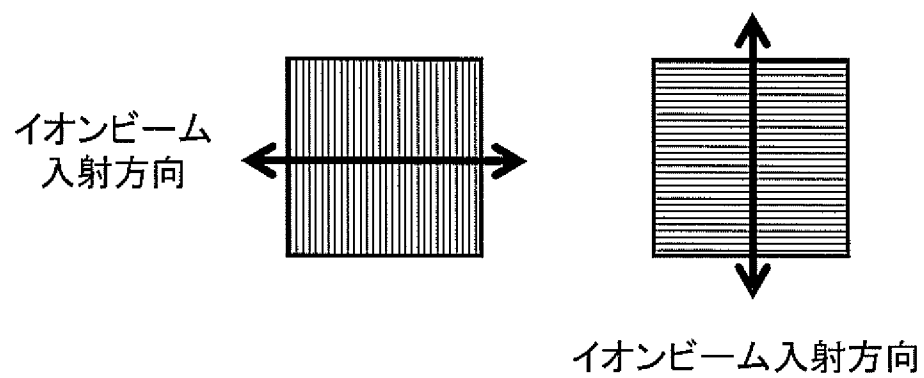


(b) 紙面垂直方向 (B-B') 断面



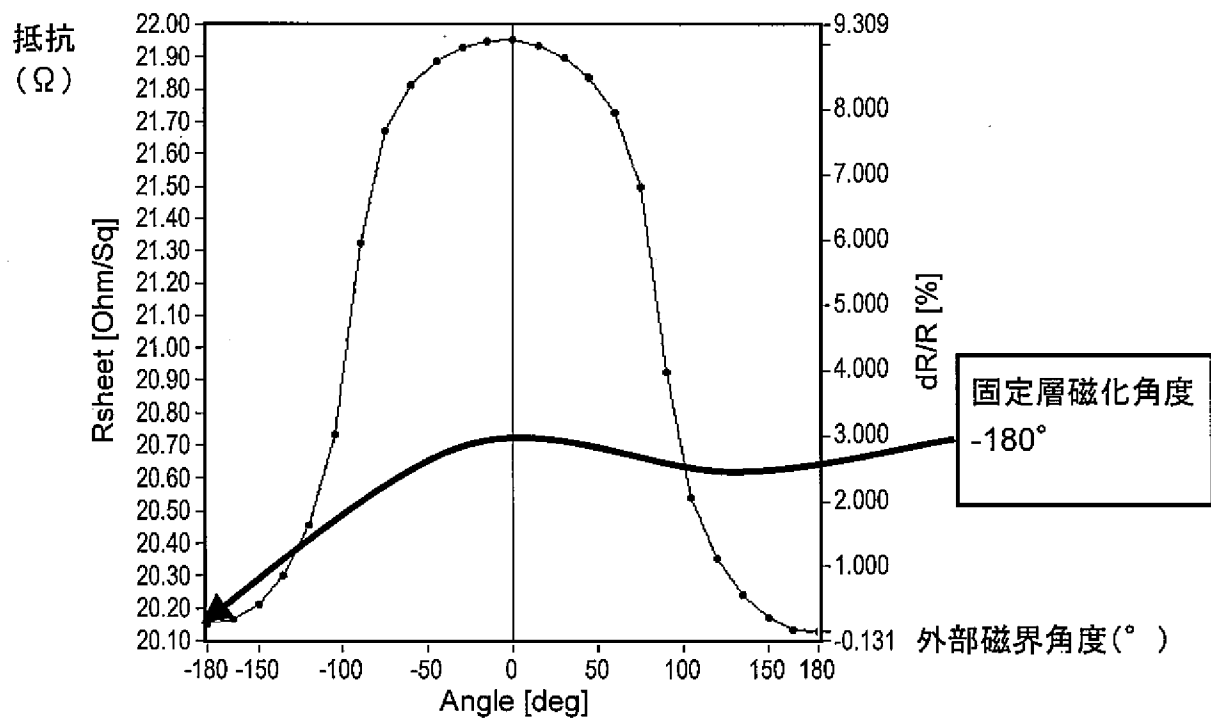
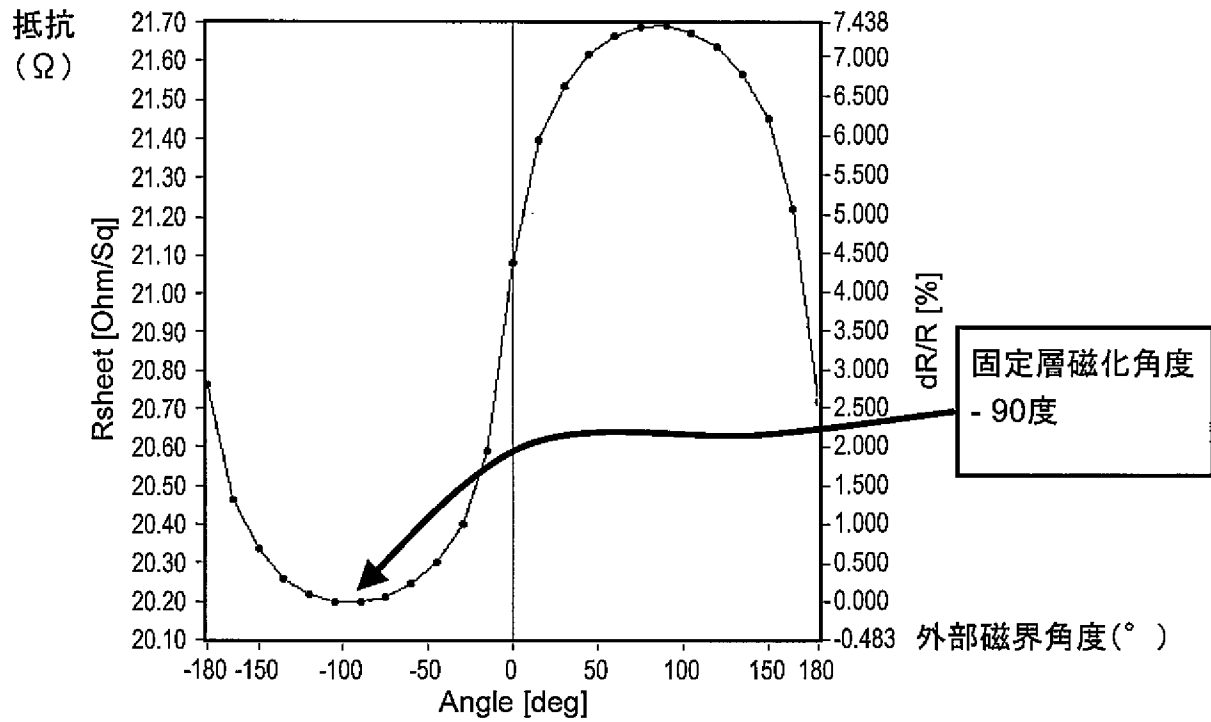
[図4]

図 4



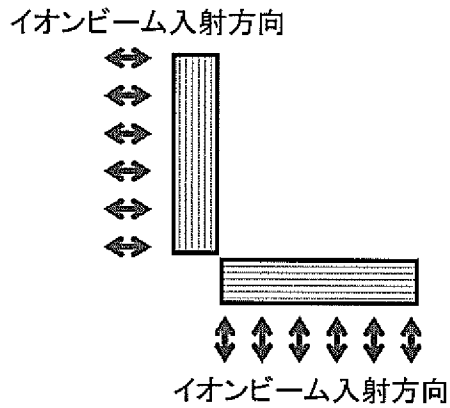
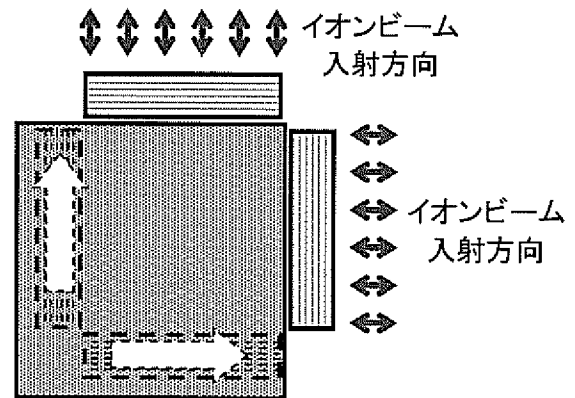
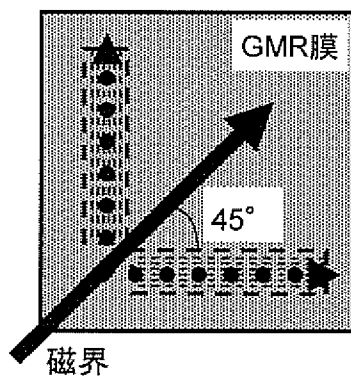
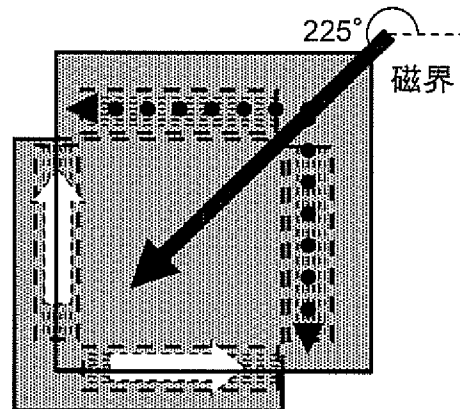
[図5]

図 5

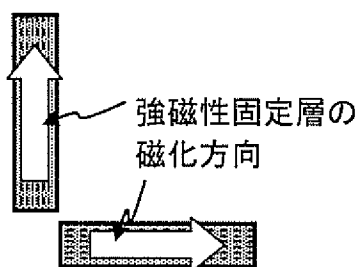


[図6]

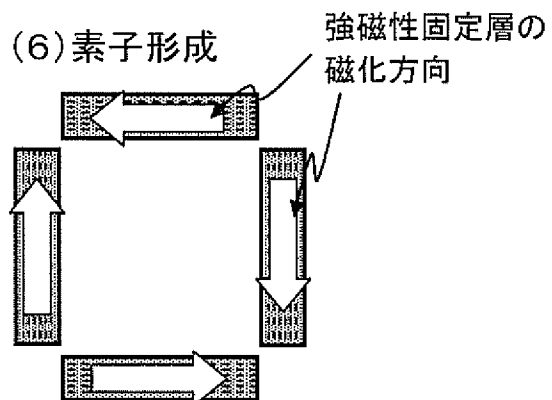
図 6

(1) テクスチャー形成 (0° , 90°)(4) テクスチャー形成 (180° , 270°)(2) GMR膜を成膜 ($\theta = 45^\circ$)(5) GMR膜を成膜 ($\theta = 225^\circ$)

(3) 素子形成

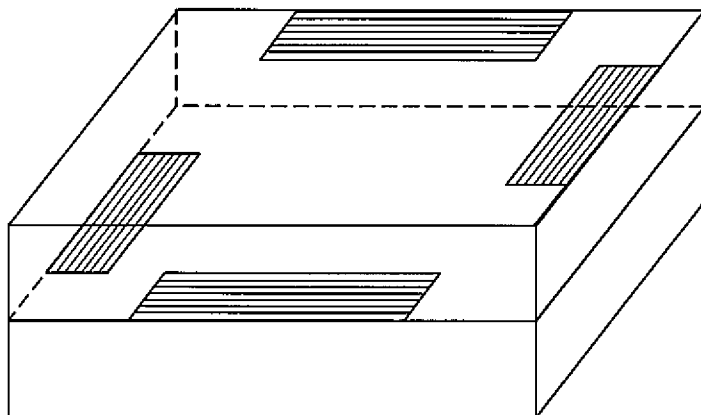


(6) 素子形成



[図7]

図 7



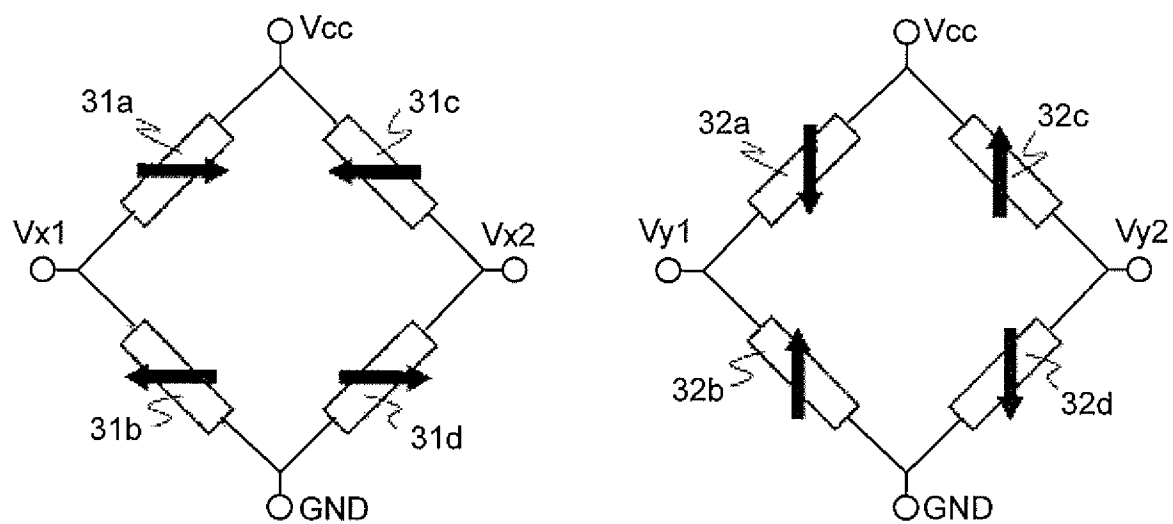
[図8]

図 8



[図9]

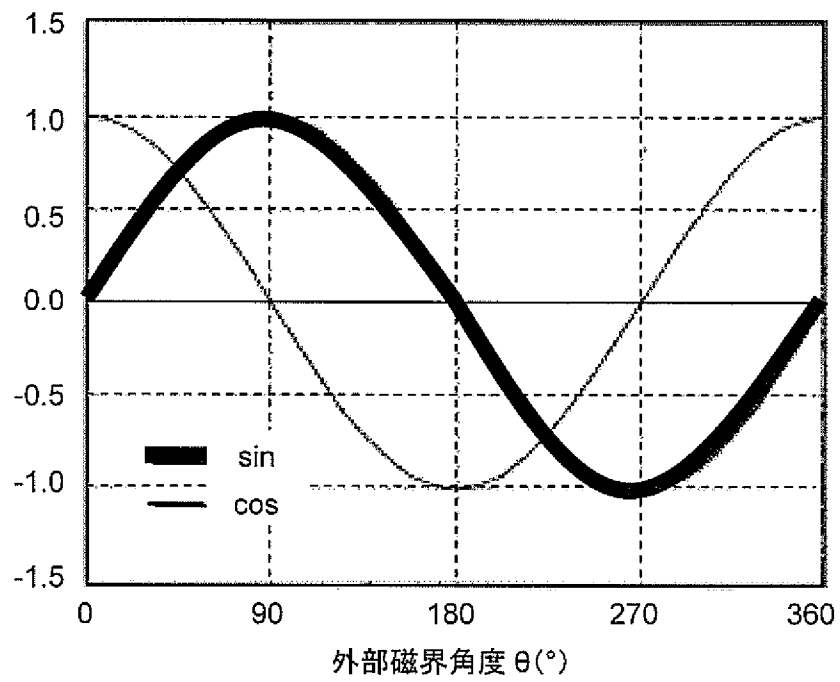
図 9



[図10]

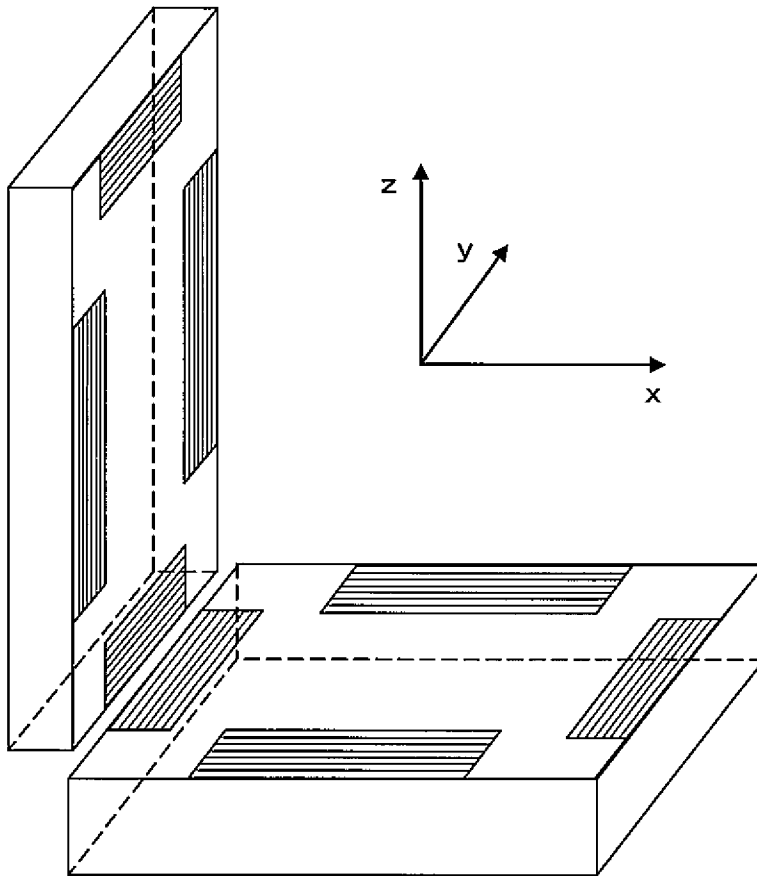
図 10

出力電圧(規格化)



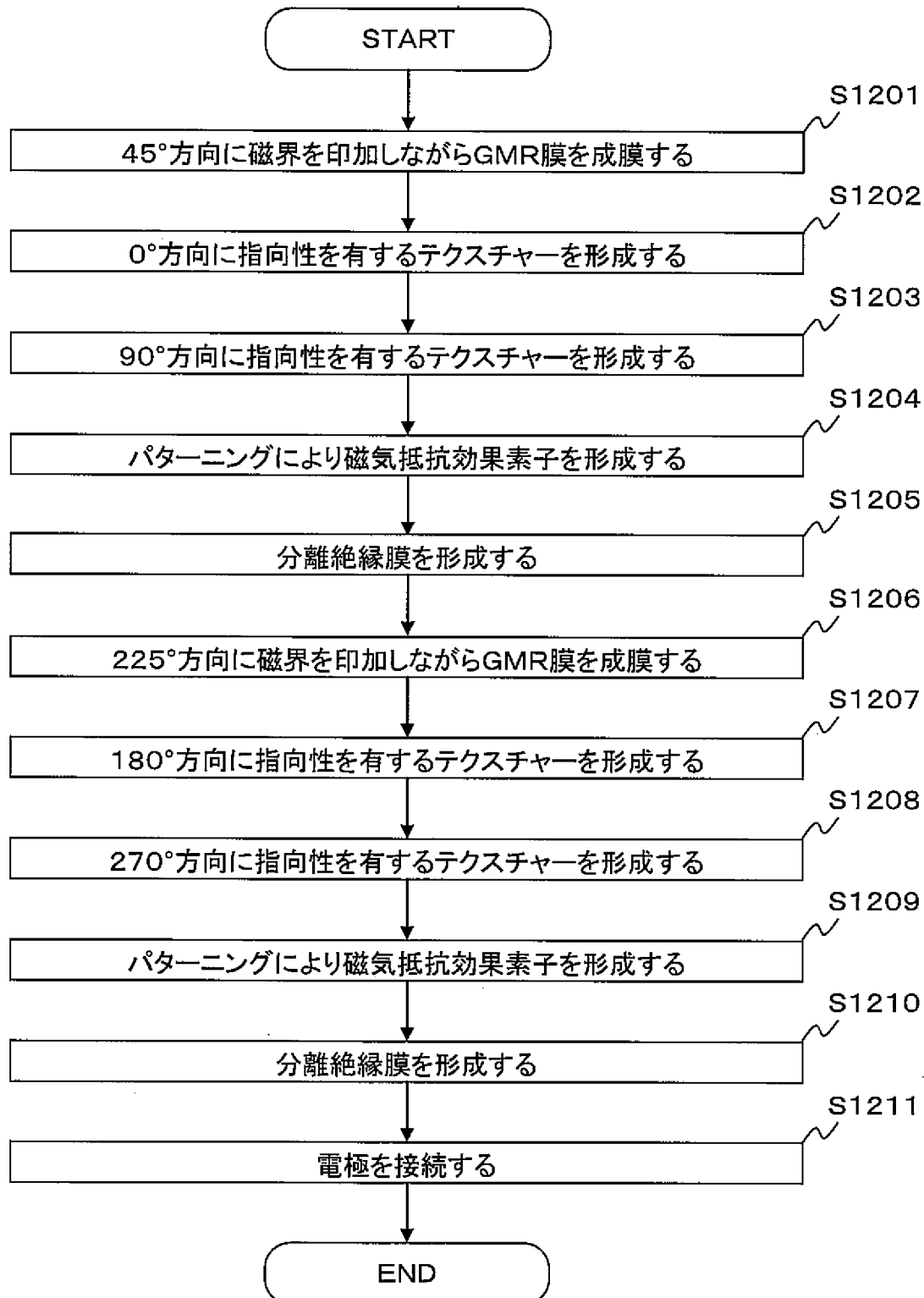
[図11]

図 1 1



[図12]

図 1 2



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/061806

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R33/09(2006.01)i, G01D5/245(2006.01)i, H01L43/08(2006.01)i, H01L43/12(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)

G01R33/09, G01D5/245, H01L43/08, H01L43/12

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 1996-2010

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2010 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2010

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.
Y	JP 2009-85953 A (MagIC Technologies Inc.), 23 April 2009 (23.04.2009), paragraphs [0024] to [0041]; fig. 1 to 6 & US 2009/0087589 A1	1-11
Y	JP 2008-306112 A (Hitachi Metals, Ltd.), 18 December 2008 (18.12.2008), paragraphs [0018] to [0021], [0033] to [0035]; fig. 1 to 2, 9 to 10 (Family: none)	1-11
Y	JP 2006-172686 A (Fujitsu Ltd.), 29 June 2006 (29.06.2006), paragraphs [0010] to [0013]; fig. 1 & US 2006/0110629 A1 & EP 1659575 A1	1, 3-6, 8-11

☒ 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
10 September, 2010 (10.09.10)Date of mailing of the international search report
21 September, 2010 (21.09.10)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/061806

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2007-317734 A (Sony Corp.), 06 December 2007 (06.12.2007), paragraphs [0065] to [0072]; fig. 3 (Family: none)	2-5, 7-11
Y	JP 2006-308573 A (Yamaha Corp.), 09 November 2006 (09.11.2006), paragraph [0010]; fig. 1 & WO 2006/098431 A1	10
A	JP 2003-502876 A (Koninklijke Philips Electronics N.V.), 21 January 2003 (21.01.2003), paragraphs [0041] to [0042]; fig. 1a to 1b & WO 2000/079298 A2	1-7

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G01R33/09(2006.01)i, G01D5/245(2006.01)i, H01L43/08(2006.01)i, H01L43/12(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 (I P C))

Int.Cl. G01R33/09, G01D5/245, H01L43/08, H01L43/12

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 0 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 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
Y	JP 2009-85953 A (マグアイシー テクノロジーズ インコーポレイテッド) 2009.04.23, 段落【0024】 - 【0041】, 【図 1】 - 【図 6】 & US 2009/0087589 A1	1-11
Y	JP 2008-306112 A (日立金属株式会社) 2008.12.18, 段落【0018】 - 【0021】, 【0033】 - 【0035】, 【図 1】 - 【図 2】, 【図 9】 - 【図 10】 (ファミリーなし)	1-11

☒ 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

「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

「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

「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)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「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

「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

「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

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 0 . 0 9 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

2 1 . 0 9 . 2 0 1 0

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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)

荒井 誠

2 S

4 4 0 1

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 8

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
Y	JP 2006-172686 A (富士通株式会社) 2006.06.29, 段落【0010】 - 【0013】, 【図 1】 & US 2006/0110629 A1 & EP 1659575 A1	1, 3-6, 8-11
Y	JP 2007-317734 A (ソニー株式会社) 2007.12.06, 段落【0065】 - 【0072】, 【図 3】 (ファミリーなし)	2-5, 7-11
Y	JP 2006-308573 A (ヤマハ株式会社) 2006.11.09, 段落【0010】, 【図 1】 & WO 2006/098431 A1	10
A	JP 2003-502876 A (コーニンクレッカ フィリップス エレクトロニクス エヌ ヴィ) 2003.01.21, 段落【0041】 - 【0042】, 【図 1a】 - 【図 1b】 & WO 2000/079298 A2	1-7