

(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
2017 年 7 月 6 日(06.07.2017)



(10) 国際公開番号

WO 2017/115839 A1

- (51) 国際特許分類:
G01R 33/09 (2006.01) H01L 43/08 (2006.01)
G01R 33/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/089053
- (22) 国際出願日: 2016 年 12 月 28 日(28.12.2016)
- (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 2015-256150 2015 年 12 月 28 日(28.12.2015) JP
- (71) 出願人: コニカミノルタ株式会社(KONICA MINOLTA, INC.) [JP/JP]; 〒1007015 東京都千代田区丸の内二丁目 7 番 2 号 Tokyo (JP). 国立大学法人東北大学(TOHOKU UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 Miyagi (JP).
- (72) 発明者: 藤原耕輔(FUJIWARA, Kousuke); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 大兼幹彦(OOGANE, Mikihiro); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 安藤康夫(ANDO, Yasuo); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 国立

大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 城野純一(JONO, Junichi); 〒1007015 東京都千代田区丸の内二丁目 7 番 2 号 コニカミノルタ株式会社内 Tokyo (JP). 寺内孝(TERAUCHI, Takashi); 〒1007015 東京都千代田区丸の内二丁目 7 番 2 号 コニカミノルタ株式会社内 Tokyo (JP).

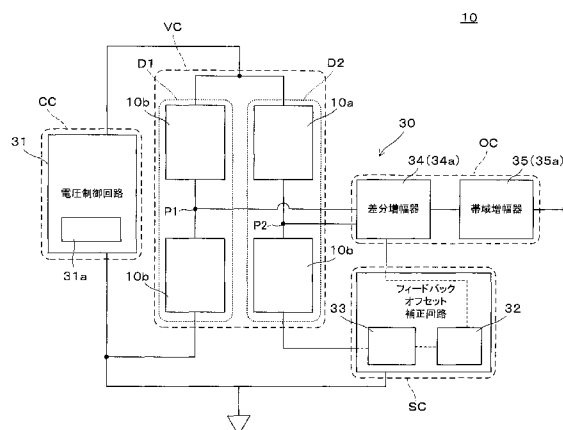
- (74) 代理人: 福田充広(FUKUDA, Mitsuhiro); 〒1010047 東京都千代田区内神田 2 丁目 5 番 3 号 児谷ビル 1 階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨー

[続葉有]

(54) Title: MAGNETIC SENSOR, SENSOR UNIT, MAGNETIC DETECTION DEVICE, AND MAGNETIC MEASUREMENT DEVICE

(54) 発明の名称: 磁気センサー、センサーユニット、磁気検出装置、及び磁気計測装置

[図1]



31 Voltage control circuit
34(34a) Differential amplifier
35(35a) Bandpass amplifier
SC Feedback offset correction circuit

(57) Abstract: The present invention is provided with: an element array 10a that contains a plurality of tunnel magnetoresistive elements 20, each of which has a fixed magnetic layer 21, a free magnetic layer 22, and an insulation layer 23 provided between the fixed magnetic layer 21 and the free magnetic layer 22, the tunnel resistance of the insulation layer 23 of each of the tunnel magnetoresistive elements 20 being changed under the effects of an external magnetic field; and an electrical circuit 30 for applying a voltage to the plurality of tunnel magnetoresistive elements 20 that constitute a part of the element array 10a. The voltage applied to the tunnel magnetoresistive elements 20 is 0.1-50 mV.

(57) 要約: 固定磁性層 21 と、自由磁性層 22 と、固定磁性層 21 及び自由磁性層 22 間に設けられた絶縁層 23 とをそれぞれ有し、外界磁場の影響で絶縁層 23 のトンネル抵抗をそれぞれ変化させる複数のトンネル磁気抵抗素子 20 を含む素子アレイ 10a と、素子アレイ 10a を構成する複数のトンネル磁気抵抗素子 20 に電圧を印加する電気回路 30 とを備え、各トンネル磁気抵抗素子 20 に印加される電圧が、0.1 mV 以上 50 mV 以下である。



ロツパ (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, RS, SE, SI, SK,
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, KM, 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：

磁気センサー、センサーユニット、磁気検出装置、及び磁気計測装置

技術分野

[0001] 本発明は、トンネル磁気抵抗素子を含む磁気センサー、センサーユニット、磁気検出装置、及び磁気計測装置に関する。

背景技術

[0002] トンネル磁気抵抗素子は、磁気センサー、磁気ヘッド、磁気メモリー等の分野で応用が期待されている。トンネル磁気抵抗素子を用いた磁気検出装置では、多数のトンネル磁気抵抗素子を並列や直列に接続して感度を高めている（特許文献１～４参照）。

[0003] 例えば、特許文献１の装置では、トンネル磁気抵抗素子を並列に接続しさらに並列に接続した第１のセルと、トンネル磁気抵抗素子を並列に接続しさらに直列に接続した第２のセルとを、並列又は直列に接続して磁気センサーを構成し、ノイズ低減及び感度向上を図っている。

[0004] 特許文献２の装置では、磁化の向きが互いに異なるピンド層を備える２つ以上のトンネル磁気抵抗素子を単一チップ上に形成して、異なる向きの磁界を検出できるようにしている。ここで、トンネル磁気抵抗素子は、直列接続された複数のトンネル磁気抵抗素子からなるトンネル磁気抵抗素子群となっている。

[0005] 特許文献３の装置では、多数のトンネル磁気抵抗素子を並列及び／又は直列に配列したＴＭＲモジュールをそれぞれ備える多数の集積体からなる生体磁気計測システムを開示しており、ＴＭＲモジュールをブリッジ接続して差動増幅型の回路を構成することについての開示がある。

[0006] 特許文献４の装置では、複数の強磁性トンネル素子を直列に接続したセンサー素子に電圧を印加して感度の高い状態でセンサー素子を動作させている。

[0007] 上記特許文献1～4に記載のように、トンネル磁気抵抗素子を直列又は並列接続して磁気センサーを構成するトンネル磁気抵抗素子の集積度を高めると、磁気センサーのノイズを低減することができる。その一方で、磁気センサーの集積度を高めた場合、素子間のバラツキや不良素子によって磁気センサーの信号レベルが低下する。なお、磁気センサーへの供給電圧を上げると感度も上がるが、一般的にノイズも上がってしまい、結果的に感度が実質的に向上しなくなってしまう。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特開2011-102730号公報

特許文献2：特開2004-93576号公報

特許文献3：国際公開第2012/161037号

特許文献4：特開平11-112054号公報

発明の概要

[0009] 本発明は、上記背景技術に鑑みてなされたものであり、信号レベルを上げつつノイズを低減した磁気センサーを提供することを目的とする。

[0010] また、本発明は、上記磁気センサーを組み込んだセンサーユニット、磁気検出装置、及び磁気計測装置を提供することを目的とする。

[0011] 上記目的を達成するため、本発明に係る磁気センサーは、固定磁性層と、自由磁性層と、固定磁性層及び自由磁性層間に設けられた絶縁層とをそれぞれ有し、外界磁場の影響で絶縁層のトンネル抵抗をそれぞれ変化させる複数のトンネル磁気抵抗素子を含む素子アレイと、素子アレイを構成する複数のトンネル磁気抵抗素子に電圧を印加する電気回路とを備え、各トンネル磁気抵抗素子に印加される電圧が、0.1mV以上50mV以下である。

[0012] 上記磁気センサーでは、各トンネル磁気抵抗素子に印加される電圧を50mV以下とすることにより、各トンネル磁気抵抗素子の感度を実質的に向上させつつ、各トンネル磁気抵抗素子で発生するノイズを低減できる。その一方、各トンネル磁気抵抗素子に印加される電圧を0.1mV以上とすること

により、トンネル磁気抵抗素子の直列数又は並列数が過度に増えることを防止でき、トンネル磁気抵抗素子の良品率等の信頼性を高めることにもなる。すなわち、絶縁層への印加電圧を0.1 mV以上とすることで、感度を確保するためにトンネル磁気抵抗素子の直列数又は並列数を過度に増やしたり絶縁層を過度に薄くしたりする必要がなくなり、トンネル磁気抵抗素子に適度のバイアス効果を生じさせることが容易になる。

[0013] 上記目的を達成するため、本発明に係るセンサーユニットは、上述した複数の磁気センサーを、直列接続、並列接続、又は直列接続及び並列接続の両方によって連結して一体化している。

[0014] 上記センサーユニットは、上述の磁気センサーを備えることにより、感度向上及びノイズ低減効果を有するものとなる。

[0015] 上記目的を達成するため、本発明に係る磁気検出装置は、上述した少なくとも1つの磁気センサーと、少なくとも1つの磁気センサーからの検出出力を信号処理する制御部とを備える。

[0016] 上記磁気検出装置は、上述の磁気センサーを備えることにより、感度向上及びノイズ低減効果を有するものとなる。

[0017] 上記目的を達成するため、本発明に係る生体用の磁気計測装置は、上述した複数の磁気センサーを有し生体からの磁場の影響下に配置される生体磁場検出部と、前記生体磁場検出部の出力を信号処理する制御部とを備える。

[0018] 上記磁気計測装置は、上述の磁気センサーを備えることにより、生体感度向上及びノイズ低減効果を有するものとなる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]第1実施形態に係る磁気センサーを説明する概念図である。

[図2]図1の磁気センサーを構成する素子アレイを説明する概念図である。

[図3]図2に示す素子アレイの変形例を説明する図である。

[図4]図4A～4Eは、素子アレイにおける磁気抵抗素子の空間的配置を説明する概念図である。

[図5]図5A及び5Bは、磁気センサーを構成するトンネル磁気抵抗素子を説

明する拡大図である。

[図6]トンネル磁気抵抗素子にかかる電圧と感度との関係を説明する図である。

[図7]トンネル磁気抵抗素子の絶縁層膜厚とTMR比との関係を説明する図である。

[図8]第2実施形態に係るセンサーユニット及び磁気検出装置を説明する概念図である。

[図9]第3実施形態に係る磁気計測装置を説明する概念図である。

発明を実施するための形態

[0020] 〔第1実施形態〕

以下、図面を参照しつつ、本発明に係る第1実施形態の磁気センサーについて説明する。

[0021] 図1に示す磁気センサー10は、複合的な回路であり、例えば生体磁場のように非常に微小な磁場強度を室温以下で検出する。この磁気センサー10は、ブリッジ回路VCと、電圧制御回路CCと、補正回路SCと、出力回路OCとを備える。磁気センサー10のうち、電圧制御回路CCと、補正回路SCと、出力回路OCとは、駆動用の電気回路30となっている。

[0022] ブリッジ回路VCは、ホイートストーンブリッジタイプの回路構成を有しており、複数のトンネル磁気抵抗素子（TMR素子）20を含む素子アレイ10aと、固定抵抗10bとで構成される。固定抵抗10bは、抵抗値が固定された素子であり、温度その他の環境変動が少ないものとなっている。なお、図1の例では、磁気センサー10は、1つの素子アレイ10aと3つの固定抵抗10bとで構成されているが、2つ以上の素子アレイ10aで構成してもよい。具体的には、ブリッジ回路VCを例えば直列に配置した2つの素子アレイ10aと、直列に配列した2つの固定抵抗10bとで構成することができる。さらに、素子アレイ10aの感度方向を調整することにより、ブリッジ回路VCを4つの素子アレイ10aで構成することもできる。

[0023] 図2に示すように、図1の磁気センサー10のうちブリッジ回路VCを構

成する素子アレイ 10 a は、複数のトンネル磁気抵抗素子 20 の直列接続及び並列接続の両方によって構成されている。これにより、複数のトンネル磁気抵抗素子 20 を適宜組合せることができ、磁気センサー 10 の感度を向上させ及びノイズを低減することができる。隣接するトンネル磁気抵抗素子 20 は、向きを揃えて配置され配線 11 で直列に接続されて磁気抵抗素子群 20 a となっている。直列接続型の磁気抵抗素子群 20 a は、複数存在し、これらが例えば 2 次元の格子点上に配置され、配線 12 で並列に接続されている。素子アレイ 10 a は、直列接続された 20 個以上 10000 個以下のトンネル磁気抵抗素子 20 を含む。トンネル磁気抵抗素子 20 を 20 個以上とすることで極微弱な磁界の検出に関して感度向上及びノイズ低減を実効的なものとできる。また、トンネル磁気抵抗素子 20 を 10000 個以下とすることで大型化を回避しつつコストを下げることもできる。なお、図 3 に示すように、素子アレイ 10 a は、トンネル磁気抵抗素子 20 を並列接続して磁気抵抗素子群 20 a を構成し、並列接続型の複数の磁気抵抗素子群 20 a を直列接続してもよい。

[0024] 図 2 や図 3 の空間的配置を基本として、必要とする抵抗値になるようにトンネル磁気抵抗素子 20 の直列数や並列数を設定する際、例えば下記図 4 A や図 4 B に示すように、配線 11 がジグザグ状になるように配置することもできる。これにより、素子アレイ 10 a の許容スペース内での自由度が高まる。また、図 4 C に示すように、電極 13, 14 を片側に集約させた構成でもトンネル磁気抵抗素子 20 を直列及び並列に接続することもできる。

[0025] 1 つの磁気抵抗素子群 20 a だけが極端に抵抗値が低い場合、そこに電流が集中して素子アレイ 10 a 全体での性能が効率良く発揮できない。そのため、トンネル磁気抵抗素子 20 を直列に接続したときに各磁気抵抗素子群 20 a での抵抗値に差が発生しないようにすることが重要である。しかしながら、絶縁層 23 の膜厚がバラつくことで、各トンネル磁気抵抗素子 20 の抵抗値もバラツキが発生する。そこで、図 4 D に示すように、絶縁層 23 の膜厚が厚くなる部位ではトンネル磁気抵抗素子 20 の面積を大きくして抵抗値

を下げ、各磁気抵抗素子群 20 a 間では実質的なインピーダンスを合わせる構成にしてもよい。上記のインピーダンスマッチングは、トンネル磁気抵抗素子 20 の面積で調整するだけではなく、図 3 の構成を基本として、各並列数を変えることで実施してもよい。

[0026] なお、トンネル磁気抵抗素子 20 の形状は矩形であることに限らないため、例えば図 4 E に示すように、円形のトンネル磁気抵抗素子 20 を組み合わせた素子アレイ 10 a でもよい。

[0027] 以上の説明は、トンネル磁気抵抗素子 20 の空間配列を平面で考えた場合の一例であるが、例えば成膜したシリコンウエハを何枚も重ねた構成で、高さ方向にアレイ化の数を確保する構成であってもよい。

[0028] 素子アレイ 10 a は、一方の電極 13 を介して図 1 に示す電圧制御回路 31 の高電位側に接続され、他方の電極 14 を介して検出側の出力回路 0 C に接続される。磁界の影響によりトンネル磁気抵抗素子 20 の抵抗値が変化する。これにより、素子アレイ 10 a の電極 14 の電位が変化し、結果的に全体の磁気センサー 10 の出力も変化する。この素子アレイ 10 a の電位変化を検出することで、詳細は後述するが磁界を検出できる。さらに、多数の磁気抵抗素子群 20 a によって、電流を確保することができ、磁気センサー 10 の検出出力の安定化を図ることができる。

[0029] 素子アレイ 10 a の抵抗値は、0.1 k Ω 以上 10 k Ω 以下である。素子アレイ 10 a に印加される電圧は、0.1 V 以上 20 V 以下である。上記抵抗値及び電圧が以上のような範囲であれば、比較的一般的なセンサー回路の守備範囲であり、磁気センサー 10 の電気回路 30 の構成要素として汎用的な増幅回路、電圧源等を活用することができ、簡易な回路で高精度の信号検出が容易になる。

[0030] 図 5 A 及び 5 B に拡大して示すように、個々のトンネル磁気抵抗素子 20 は、固定磁性層 21 と、自由磁性層 22 と、固定磁性層 21 及び自由磁性層 22 間に設けられた絶縁層 23 とを有する。トンネル磁気抵抗素子 20 の両端には、電極 24 が設けられており、電極 24 は、配線 11（又は配線 12

）に接続されている。

[0031] 固定磁性層 2 1 は、磁化の向きが固定されており、自由磁性層 2 2 は、外部からの磁束の影響を受けて磁化の向きが変化する。絶縁層 2 3 は、固定磁性層 2 1 の磁化の向きと自由磁性層 2 2 の磁化の向きとの角度差によって固定磁性層 2 1 から自由磁性層 2 2 に流れるトンネル電流を変化させる。つまり、トンネル磁気抵抗素子 2 0 を通過する磁束の変化に応じてトンネル磁気抵抗素子 2 0 の抵抗値が変化する。

[0032] 同一の素子アレイ 1 0 a 内において、これを構成する複数のトンネル磁気抵抗素子 2 0 は向きを揃えて配置されており、複数のトンネル磁気抵抗素子 2 0 の固定磁性層 2 1 の磁化の向きは、実質的に互いに一致している。なお、素子アレイ 1 0 a 内では、全てのトンネル磁気抵抗素子 2 0 の固定磁性層 2 1 の磁化の向きが互いに一致していることが理想的ではあるが、生体磁気の測定に支障のない範囲で磁化の向きが揃っていればよい。

[0033] また、同一の素子アレイ 1 0 a 内において、これを構成する複数のトンネル磁気抵抗素子 2 0 が向きを揃えて配置されている結果として、複数のトンネル磁気抵抗素子 2 0 の磁場のかからない状態における自由磁性層 2 2 の磁化の向きも実質的に互いに一致している。自由磁性層 2 2 の磁化の向きも固定磁性層 2 1 の場合と同様に、生体磁気の測定に支障のない範囲で磁化の向きが揃っていればよい。

[0034] 以下、トンネル磁気抵抗素子 2 0 の磁化の向き及び特性変化の例について説明する。図 5 (A) 及び 5 (B) に示すトンネル磁気抵抗素子 2 0 の固定磁性層 2 1 の磁化の向き S は、 $+x$ 方向に平行となっている。トンネル磁気抵抗素子 2 0 の磁場のかからない状態での自由磁性層 2 2 の磁化の向き F_1 は、固定磁性層 2 1 の磁化の向き S と異なる方向、具体的には直交する $+y$ 方向に平行となっている。

[0035] トンネル磁気抵抗素子 2 0 に外部磁場等により大きな磁界 H がかけると、自由磁性層 2 2 は、特定の向きに沿って磁化する。図 5 A に示すように、固定磁性層 2 1 と同じ方向に磁界 H がかけると、トンネル磁気抵抗素子 2 0 の

自由磁性層 22 の磁化の向き F_2 は、固定磁性層 21 と同じ方向である矢印 A の方向へ振れる。一方、図 5 B に示すように、固定磁性層 21 と反対方向に磁界 H がかけると、トンネル磁気抵抗素子 20 の自由磁性層 22 の磁化の向き F_3 は、固定磁性層 21 と反対方向である矢印 B の方向へ振れる。

[0036] ここで、トンネル磁気抵抗素子 20 において、自由磁性層 22 の磁化の向きが固定磁性層 21 の磁化の向きと同じ方向に振れるとトンネル電流が増加して絶縁層 23 の抵抗値が下がり、反対方向に振れるとトンネル電流が減少して絶縁層 23 の抵抗値が上がる。したがって、図 5 A に示すトンネル磁気抵抗素子 20 の抵抗値は下がり、図 5 B に示すトンネル磁気抵抗素子 20 の抵抗値は上がる。トンネル磁気抵抗素子 20 の抵抗値は、磁界 H の強さにしたがって所定の範囲で変化する。これにより、トンネル磁気抵抗素子 20 を直列に集積した素子アレイ 10 a 全体での抵抗が変化し、素子アレイ 10 a の電極 13, 14 間の電位が変化する。素子アレイ 10 a の電極 13, 14 間の電位は、図 1 のブリッジ回路 VC の電位差として検出され、磁気センサー 10 の出力（具体的には出力電圧）が変化し、磁気検出信号が得られる。

[0037] 固定磁性層 21 は、例えば $CoFeB$ 、 $CoFe$ 等で形成されている。また、自由磁性層 22 は、例えば $NiFe$ 、 $CoFe$ 、 $CoNiFe$ 、 $CoZrNb$ 等で形成されている。

[0038] 各トンネル磁気抵抗素子 20 に印加される電圧（実質的には絶縁層 23 に印加される電圧）は、0.1 mV 以上 50 mV 以下である。トンネル磁気抵抗素子 20 は、既に説明したように、外界磁場の影響で絶縁層 23 のトンネル抵抗をそれぞれ変化させる。

[0039] 各トンネル磁気抵抗素子 20 に印加される電圧（実質的には絶縁層 23 に印加される電圧）を 50 mV 以下とすることにより、各トンネル磁気抵抗素子 20 の感度を実質的に向上させつつ、各トンネル磁気抵抗素子 20 で発生するノイズを低減できる。その一方、各トンネル磁気抵抗素子 20 の絶縁層 23 に印加される電圧を 0.1 mV 以上とすることにより、トンネル磁気抵抗素子 20 の直列数又は並列数が過度に増えることを防止でき、トンネル磁

気抵抗素子 20 の良品率等の信頼性を高めることにもなる。すなわち、絶縁層 23 への印加電圧を 0.1 mV 以上とすることで、トンネル磁気抵抗素子 20 の直列数又は並列数を過度に増やしたり絶縁層 23 を過度に薄くしたりする必要がなくなり、トンネル磁気抵抗素子 20 に適度のバイアス効果を生じさせることが容易になる。

[0040] 図 6 は、トンネル磁気抵抗素子 20 にかかる電圧と感度との関係を示すチャートである。横軸はトンネル磁気抵抗素子 20 への印可電圧又はバイアス電圧 (mV) を示し、縦軸は検出電位差 (mV) と外界磁場の強度 (μT) との比である。検出電位差 (mV) とは、トンネル磁気抵抗素子 20 が外界磁場を受け抵抗値が変化することによりブリッジ回路上で発生する電位差を、適当な増幅率を持つアンプを介して見た電位差のことである。アンプの増幅率は、トンネル磁気抵抗素子 20 の性能、及び、検出する磁界強度に応じて、取扱い易い出力（例えば数 100 mV から 1 V 程度の出力）が得られるよう設定する。図示のチャートにおいて、トンネル磁気抵抗素子 20 の直列数が異なるものを試料としてプロットしている。図 6 に示す実施例の場合、絶縁層 23 に印加される電圧を小さくするほど、感度の性能が向上する。これは、バリア層である絶縁層 23 が薄いため、小さな電圧（数 10 mV 程度）でもバイアス効果が生じている可能性が考えられる。よって、トンネル磁気抵抗素子 20 に印加される電圧（実質的には絶縁層 23 に印加される電圧）は、さらに 0.5 mV 以上 20 mV 以下であることが好ましい。この場合、トンネル磁気抵抗素子 20 の感度向上及びノイズ低減がより確実になるとともに、信頼性の高いトンネル磁気抵抗素子 20 を比較的容易に製造することができる。

[0041] トンネル磁気抵抗素子 20 において、絶縁層 23 の単位面積あたりの抵抗値は、 $1 \times 10^3 \Omega / \mu m^2$ 以上 $1 \times 10^{12} \Omega / \mu m^2$ 以下である。抵抗値を下限 $1 \times 10^3 \Omega / \mu m^2$ 以上とすることにより、膜厚をある程度確保してショートが発生を抑制することができ、抵抗値を上限 $1 \times 10^{12} \Omega / \mu m^2$ 以下とすることにより、トンネル電流の発生を確保してトンネル磁気抵抗素子 20

の感度低下を防止できる。なお、抵抗値が上記範囲である場合、絶縁層 2 3 の膜厚は、例えば 1.0 ~ 3.0 nm 程度となる。この程度の膜厚の場合、膜厚が増加するほど TMR 比を高くすることができる。TMR 比は、 $(R_2 - R_1) / R_1 \times 100 (\%)$ で定義される。ここで、値 R_1 は固定磁性層 2 1 の磁化の向きと自由磁性層 2 2 の磁化の向きとが同方向であるとき（平行状態という）の抵抗値であり、値 R_2 は固定磁性層 2 1 の磁化の向きと自由磁性層 2 2 の磁化の向きとが逆方向であるとき（反平行状態という）の抵抗値である。

[0042] 図 7 は、絶縁層 2 3 が酸化マグネシウム (MgO) で形成されている場合の絶縁層 2 3 の膜厚と TMR 比との関係を説明する図である。同図に示すように、絶縁層 2 3 の膜厚が 1.1 ~ 1.4 nm の試料での TMR 比測定の結果から、膜厚が厚いほど感度が高いことが分かる。特に、膜厚 1.4 nm で TMR 比は最高に近い性能が得られている。この結果から、絶縁層 2 3 の膜厚が 1.1 nm 以上 3.0 nm 以下、さらに 1.2 nm 以上 2.5 nm 以下であることが好ましい。よって、 MgO で形成された絶縁層 2 3 の単位面積あたりの抵抗値は、さらに $2 \times 10^3 \Omega / \mu m^2$ 以上 $2 \times 10^9 \Omega / \mu m^2$ 以下であることが好ましいといえる。

[0043] 絶縁層 2 3 の面積は、 $1 \mu m^2$ 以上 $1 mm^2$ 以下である。絶縁層 2 3 の面積は、絶縁層 2 3 の膜厚方向に垂直な方向の面積である。絶縁層 2 3 の面積を下限 $1 \mu m^2$ 以上とすることで絶縁層 2 3 を含めたトンネル磁気抵抗素子 2 0 の製造精度や加工性を向上させることができ、絶縁層 2 3 の面積を上限 $1 mm^2$ 以下とすることで製造時のホコリ等による初期不良の発生を抑制でき、トンネル磁気抵抗素子 2 0 の信頼性を高めることができる。

[0044] 絶縁層 2 3 の面積は、さらに $25 \mu m^2$ 以上 $0.04 mm^2$ 以下であることが好ましい。

[0045] 絶縁層 2 3 は、コヒーレントトンネル効果をもつ材料で形成されている。コヒーレントトンネル効果により、TMR 比を高めることができ、トンネル磁気抵抗素子 2 0 延いては素子アレイ 1 0 a の感度を高めることができる。

絶縁層 23 は、具体的には、酸化マグネシウム、スピネル、及び酸化アルミニウムのいずれか 1 つで形成されている。

[0046] 以下、トンネル磁気抵抗素子 20 の集積化によるノイズの低減効果について説明する。

[0047] 例えば、ブリッジ回路 VC にかかるブリッジ電圧又は磁気センサー 10 への印可電圧が一定で、トンネル磁気抵抗素子 20 の直列数を増やすということは、1 個のトンネル磁気抵抗素子 20 にかかる電圧が直列数に応じて小さくなるということである。トンネル磁気抵抗素子 20 の $1/f$ ノイズの大きさ S_v は、以下の代表式 (1) で与えられる。

$$S_v = \frac{\alpha V^2}{Af} (V^2/Hz) \quad \dots \quad (1)$$

ただし、上記式 (1) において、 α は係数であり、 V は 1 個のトンネル磁気抵抗素子 20 の電圧 (素子電圧) であり、 A は素子面積であり、 f は周波数である。つまり、1 個のトンネル磁気抵抗素子 20 内で発生するノイズの電圧成分は、素子電圧 V のみを変数であるとき、上記ノイズの大きさ S_v の平方根すなわち素子電圧 V に比例すると考えられる。

[0048] 直列した全てのトンネル磁気抵抗素子 20 のノイズ総量、つまり磁気センサー 10 の出力中のノイズの電圧ノイズ強度 S_{noise} が各トンネル磁気抵抗素子 20 で発生するノイズの電圧成分の二乗平方和で与えられるとすれば、直列の素子数を N とし、他の要素を係数 C 又は C' に纏めると、ノイズ総量を示す電圧ノイズ強度 S_{noise} については、以下の式 (2) 又は (3) が成り立つことが期待できる。なお、式 (3) では、 $N \times V$ 、つまり磁気センサー 10 への印可電圧が一定としている。このことは、印可電圧を一定にして直列の素子数を増やせば、 $1/\sqrt{N}$ のファクターでノイズが減ることを意味する。

$$S_{noise} = C \times \sqrt{N} \times V (V/\sqrt{Hz}) \quad \dots \quad (2)$$

$$S_{noise} = C' \times \sqrt{1/N} (V/\sqrt{Hz}) \quad \dots \quad (3)$$

[0049] また、トンネル磁気抵抗素子 20 で発生する $1/f$ ノイズの大きさ S_v を表す上記代表式 (1) から、素子面積 A が増えることによる電圧ノイズ強度 S_{noise} への影響については、別の係数 C'' を用いて以下の代表式 (4) が成り立つことが期待できる。

$$S_{noise} = C'' \times \sqrt{1/A} (V/\sqrt{Hz}) \quad \dots \quad (4)$$

[0050] つまり、ブリッジ電圧が一定でトンネル磁気抵抗素子 20 の並列数を増やすことによる素子面積 A の実効的増加によるノイズ低減効果も、直列接続によるノイズ低減と同じ効果が期待できる。以上のことから、直列及び並列の接続数は、多ければ多いほど、ノイズ低減効果の改善が期待できるため（素子電圧の分散と素子面積の拡大）、加工が可能な範囲で多く設定することが望ましい。なお、詳細な説明を省略するが、実験でも上記の計算又は評価に近いノイズ低減の効果を確認できた。

[0051] 図 1 に戻って、ブリッジ回路 VC を駆動するための電気回路 30 は、既に説明したように、電圧制御回路 CC と、補正回路 SC と、出力回路 OC とを有する。ブリッジ回路 VC には、電気回路 30 の電圧制御回路 CC と補正回路 SC とを接続して電圧をかける。つまり、電気回路 30 は、ブリッジ回路 VC を構成する素子アレイ 10a（延いては複数のトンネル磁気抵抗素子 20）及び固定抵抗 10b に電圧を印加する。具体的には、電気回路 30 のうち電圧制御回路 CC は、電源部 31a を有し、素子アレイ 10a を 1 つ以上含むブリッジ回路 VC を構成する一対の直列部 $D1$ 、 $D2$ の一端に対して基準電圧を印加する。また、補正回路 SC は、フィードバック部 32 と補正部 33 とを有し、ブリッジ回路 VC を構成する一方の直列部 $D2$ の他端に対してオフセット電圧を印加する。つまり、ブリッジ回路 VC の一方の直列部 $D1$ には、電圧制御回路 CC から出力される基準の電圧のみが印可され、ブリッジ回路 VC の他方の直列部 $D2$ には、電圧制御回路 CC から出力される基準の電圧と、補正回路 SC から出力される補正用の電圧とが印可される。

[0052] 補正回路 SC は、ブリッジ回路 VC の検出端子 $P1$ 、 $P2$ 間の電位差から

得た電圧信号すなわちオフセット電圧を直列部D 2の一端に印加することで、ブリッジ回路V Cの検出端子P 1, P 2間の電位差を打ち消すように動作する。

[0053] 補正回路S Cにおいて、後述する出力回路O Cの増幅部3 4からの差分増幅信号がフィードバック部3 2に入力される。フィードバック部3 2は、実際にはローパスフィルター等からなり、検出端子P 1, P 2間の電位差に相当する差分増幅信号から高周波成分を除いた低周波成分からなる電圧信号を補正部3 3にフィードバックする。補正部3 3は、フィードバック部3 2から入力された電圧信号に基づいて、ブリッジ回路V Cの直列部D 2の接地側（つまり、固定抵抗1 0 b）に対して、検出端子P 1, P 2間の電位差を相殺するような電圧信号すなわちオフセット電圧を印可する。結果的に、ブリッジ回路V Cの検出端子P 1, P 2間の電圧差が、直流成分又は極低周波成分に関してある基準値以下（例えば0 V）になるよう制御が行われる。この補正回路S Cの働きにより、ブリッジ回路V C内でわずかにでも一致しない抵抗値差によって生じる直流又は極低周波の電圧差を打ち消すことができ、非常に小さな磁場強度の変動を検出するために、増幅部3 4における増幅率を高く設定することができる。また、例えば、環境温度や環境外乱によって生じる、検出したい磁場とは無関係に変動するブリッジ回路V C間の電位差も打ち消すことができる。さらに、素子アレイ1 0 aの抵抗値が設計どおりでない場合（一部のトンネル磁気抵抗素子2 0がショートしている場合を含む）であっても、ブリッジ回路V Cの検出端子P 1, P 2間の電圧差をその平均的な値が目標値（例えば0 V）になるよう簡易に調整を行うことができる。

[0054] 出力回路O Cは、増幅部3 4とフィルタ一部3 5とを有する。増幅部3 4は、ブリッジ回路V Cの検出端子P 1, P 2間の出力信号つまり電位差を増幅する。増幅部3 4としては、例えばオペレーショナル・アンプリファイア等で構成される差分増幅器3 4 aが用いられる。つまり、ブリッジ回路V Cの検出端子P 1, P 2間の電圧差は、差分増幅器3 4 aを介してアナログの

電圧増幅信号として取り出される。

[0055] フィルター部35は、増幅部34からの増幅信号から所定帯域の磁気信号対応成分のみを選択的に通過させるローパスフィルター、ハイパスフィルター、又はローパスフィルター及びハイパスフィルターの両方のいずれかを有する。フィルター部35としては、例えばアクティブタイプの帯域増幅器35a等が用いられるが、パッシブタイプの帯域フィルターを用いることもできる。差分増幅器34aからの電圧増幅信号は、フィルター部35に入力され、不要な周波数帯域の信号を除去した上で、検出したい磁場に相当する周波数帯域に絞った電圧の信号値が出力される。

[0056] 以上において、磁気センサー10を高感度化するために、磁気センサー10から出力される信号強度を高くし、かつノイズを小さくする必要がある。

[0057] 一般的には、信号強度を強くするためには、磁気センサーを、トンネル磁気抵抗効果を高くする構造にしたり、磁気センサーに印加する電圧を上げたりするといった対策がある。また、ノイズを小さくするためには、磁気センサー内のトンネル磁気抵抗素子を集積化したり、磁気センサーに印加する電圧を下げたりするといった対策がある。しかしながら、トンネル磁気抵抗素子を集積化すると、素子間の性能バラツキや不良素子の混入により、磁気センサーとしてのトンネル磁気抵抗効果が低下する傾向がある。また、磁気センサーに印加する電圧は、感度の性能とノイズの性能とでトレードオフになっており、磁気センサーを最適な構成にすることが難しい。

[0058] そこで、本実施形態のように、磁気センサー10を複数のトンネル磁気抵抗素子20で集積化した構成とし、各トンネル磁気抵抗素子20に印加される電圧を1.0mV以上50mV以下とすることで、磁気センサー10をノイズを大きく低減しつつ、高い感度性能を確保できる構造であり、優れた磁気分解能を有するものとすることができる。

[0059] 以下、磁気センサー10の具体的な実施例について説明する。

(実施例1)

以下、実施例1の磁気センサー10の設計値を示す。実施例1の磁気セン

サー 10 は、高磁気分解能タイプのセンサーである。実施例 1 の磁気センサー 10 は、ノイズ低減効果が比較的大きくなっている。

磁気センサー抵抗値：1.04 k Ω

磁気センサー面積（概算）：49.73 mm²

磁気センサー幅（正方形として）：7.05 mm

ブリッジ回路電圧（磁気センサーにかかる電圧）：8 V

TMR 素子直列数：1110 個

TMR 素子並列数：5 列

絶縁層膜厚：1.35 nm

絶縁層の単位面積あたりの抵抗値： $3 \times 10^4 \Omega / \mu\text{m}^2$

TMR 素子寸法（縦）：80 μm

TMR 素子寸法（横）：80 μm

TMR 素子の面積（絶縁層の面積）：6400 μm^2

TMR 素子の抵抗：4.69 Ω

TMR 素子にかかる電圧：3.6 mV

[0060]（実施例 2）

以下、実施例 2 の磁気センサー 10 の設計値を示す。実施例 2 の磁気センサー 10 は、高空間分解能タイプのセンサーである。実施例 2 の磁気センサー 10 は、トンネル磁気抵抗素子 20 が高密度に配置され、サイズが比較的小さくなっている。

磁気センサー抵抗値：1.42 k Ω

磁気センサー面積：（概算）2.28 mm²

磁気センサー幅：（正方形として）1.51 mm

ブリッジ回路電圧（磁気センサーにかかる電圧）：8 V

TMR 素子直列数：340 個

TMR 素子並列数：12 列

絶縁層膜厚：1.2 nm

絶縁層の単位面積あたりの抵抗値： $2 \times 10^4 \Omega / \mu\text{m}^2$

TMR素子寸法（縦）：20 μm

TMR素子寸法（横）：20 μm

TMR素子の面積（絶縁層の面積）：400 μm^2

TMR素子の抵抗：50.00 Ω

TMR素子にかかる電圧：11.8 mV

[0061]（実施例3）

以下、実施例3の磁気センサー10の設計値を示す。実施例3の磁気センサー10は、絶縁層23の膜厚が比較的厚くても本実施形態の効果を満たすものとなっている。

磁気センサー抵抗値：1.11 k Ω

磁気センサー面積（概算）：3.94 mm 2

磁気センサー幅（正方形として）：1.98 mm

ブリッジ回路電圧：0.5 V

TMR素子直列数：25個

TMR素子並列数：5列

絶縁層膜厚：2.2 nm

絶縁層の単位面積あたりの抵抗値： $5 \times 10^6 \Omega / \mu\text{m}^2$

TMR素子寸法（縦）：150 μm

TMR素子寸法（横）：150 μm

TMR素子の面積（絶縁層の面積）：22500 μm^2

TMR素子の抵抗：222.22 Ω

TMR素子にかかる電圧：10.0 mV

[0062]〔第2実施形態〕

以下、第2実施形態に係るセンサーユニット及び磁気検出装置について説明する。なお、第2実施形態のセンサーユニット等に含まれる磁気センサーは第1実施形態の磁気センサーを応用したものであり、特に説明しない事項は第1実施形態と同様である。

[0063] 図8に示すように、磁気検出装置300は、少なくとも1つのセンサーユ

ニット２００と、制御部４０とを備える。センサーユニット２００は、配線部１５を介して制御部４０に接続されている。

[0064] センサーユニット２００は、上述した複数の磁気センサー１０（図１参照）を直列接続によって連結して一体化している。図８では、説明を簡単にするために、１つの磁気センサー１０を円筒状に図示している。図８の例では、磁気検出装置３００において、４つ磁気センサー１０を一直線上に配列し直列に接続して１つのセンサーユニット２００を構成し、複数のセンサーユニット２００を隣接的に並列に配列している。なお、センサーユニット２００において、磁気センサー１０を並列接続のみ又は直列接続及び並列接続の両方によって連結してもよい。

[0065] 制御部４０は、信号検出部４１と、記憶部４２と、入出力部４３と、主制御部４４とを有する。

[0066] 制御部４０のうち信号検出部４１は、主制御部４４の制御下で、各センサーユニット２００から出力された検出信号を受け付ける。信号検出部４１では、例えば各センサーユニット２００から入力検出された所定帯域の磁気信号が処理しやすい形に変化される。具体的には、センサーユニット２００からの磁気信号は、アナログ信号であり、主制御部４４での処理のため信号検出部４１においてデジタル信号に変換される。

[0067] 記憶部４２は、主制御部４４を動作させるための所定のプログラムやデータを記憶する。また、記憶部４２は、主制御部４４の制御下で、信号検出部４１でデジタル変換された磁気信号を記憶する。各センサーユニット２００から得られる磁気信号は、個々のセンサーユニット２００と対応させて検出データとして記憶させることができ、このような経時的な検出データが時系列的に順次記録される。これにより、記憶部４２は、プログラムに基づいて動作する主制御部４４からの指示や入出力部４３を介したオペレーターの指示にしたがい、計測された磁気信号についてマッピング等を行った結果も記憶することができる。

[0068] 入出力部４３は、オペレーターの指示により主制御部４４に所定のプログ

ラムにしたがった動作を開始させたり、主制御部４４の動作により、センサーユニット２００の検出結果を信号検出部４１に読み取らせるとともに記憶部４２に記憶させたりする。入出力部４３は、主制御部４４の制御下で動作し、センサーユニット２００の検出結果から得た磁気計測結果を例えばディスプレイ等に表示する。

[0069] 主制御部４４は、信号検出部４１、記憶部４２、入出力部４３の動作を統括的に制御する。主制御部４４は、信号検出部４１を介して得た磁気信号に対してフィルタリング、強調等の処理を行うことができる。また、主制御部４４は、信号検出部４１を介して得た磁気信号を編集することができる。具体的には、各センサーユニット２００から得た磁気信号データを２次元的にマッピングしたり、その経時的な変化をビデオ画像に変換したりして、結果を入出力部４３に表示させることができる。

[0070] 以上説明したセンサーユニット２００及び磁気検出装置３００では、上述の磁気センサー１０を備えることにより、感度向上及びノイズ低減効果を有するものとなる。

[0071] 〔第３実施形態〕

以下、第３実施形態に係る磁気計測装置について説明する。なお、第３実施形態の磁気計測装置に含まれる磁気センサー及びセンサーユニットは第１及び第２実施形態の磁気センサー等を応用又は変形したものであり、特に説明しない事項は第１及び第２実施形態と同様である。

[0072] 図９に示すように、生体用の磁気計測装置４００は、生体磁場検出部５０と、制御部６０とを備える。

[0073] 生体磁場検出部５０は、生体からの磁場の影響下に配置され、生体からの微弱な磁界を磁気信号として取り出す。生体磁場検出部５０は、図８に示すものと同様のセンサーユニット２００（つまり、複数の磁気センサー１０（図１参照）を組み合わせたもの）を多数有し、これら多数のセンサーユニット２００を２次元的に配置した構造を有する。複数のセンサーユニット２００は、検出対象である生体の表面に沿って配置面を湾曲させたものとできる

。図9の例では、センサーユニット200は、例えば周囲を覆うシールド部51aと、シールド部51aの内側に配置されて多数のセンサーユニット200を支持する本体51bとを含むヘルメット型の磁気シールド装具51に内蔵され、被験者HSの頭部に沿って湾曲して配置される。生体磁場検出部50は、被験者HSの頭部に装着され、被験者HSの生体磁気を検出する。

[0074] 制御部60は、生体磁場検出部50の出力を信号処理する。制御部60は、第2実施形態で説明した磁気検出装置300の制御部40と同様の動作を行う。

[0075] 上記磁気計測装置400では、上述の磁気センサー10を備えることにより、生体感度向上及びノイズ低減効果を有するものとなる。磁気センサー10は微細であるため、磁気センサー10を2次元的又は3次元的に高密度に配置すれば、空間分解能が向上し、高精度化を図ることができる。

[0076] 生体からの微弱な磁界は、例えば心臓に起因するもので数十pT程度、脳機能に起因するもので100pT弱程度であると言われている。この磁界を検出する場合に必要な生体感度について説明する。

[0077] 図1に記載のブリッジ回路VC内に抵抗値1kΩの素子アレイ10aを配置し、ブリッジ回路VCに2Vの電圧を印加したとき、各素子アレイ10aにかかる電圧は1Vとなる。この状態において、例えば、各素子アレイ10aに1pT（1fTの1,000倍）の磁界が加わったときに、ブリッジ回路VC上で1mVの電圧差が発生する。その際、ノイズが1μV程度の性能であれば、例えば100pT弱程度の脳磁場も良好なSN比で検出することができる。

[0078] 上記の条件で信号検出したときの生体感度は、電圧表記では1mV／1pTであり、TMR比（つまり抵抗値の変化率）表記では0.1％／1pTである。

[0079] 以上、実施形態に係る磁気センサー等について説明したが、本発明に係る磁気センサー等は、上記のものには限られない。例えば、トンネル磁気抵抗素子20の配列は、用途に応じて適宜変更することができる。また、トンネ

ル磁気抵抗素子 20 の固定磁性層 21 の磁化の方向又は自由磁性層 22 の磁化の方向も適宜変更することができる。

[0080] また、上記実施形態において、電気回路 30 に増幅部 34 やフィルター部 35 を設けたが、設けなくてもよい。

[0081] また、上記実施形態において、磁気センサー 10 は、集積体である素子アレイ 10a を 1 つの単位として、例えば固定磁性層 21 の磁化の方向又は自由磁性層 22 の磁化の方向が異なる複数の素子アレイ 10a を組み合わせて構成される。

[0082] また、第 2 実施形態において、磁気検出装置 300 をセンサーユニット 200 で構成したが、1 つの磁気センサー 10 で構成してもよい。

請求の範囲

- [請求項1] 固定磁性層と、自由磁性層と、前記固定磁性層及び前記自由磁性層間に設けられた絶縁層とをそれぞれ有し、外界磁場の影響で前記絶縁層のトンネル抵抗をそれぞれ変化させる複数のトンネル磁気抵抗素子を含む素子アレイと、
- 前記素子アレイを構成する前記複数のトンネル磁気抵抗素子に電圧を印加する電気回路とを備え、
- 各トンネル磁気抵抗素子に印加される電圧が、0.1 mV以上50 mV以下である、磁気センサー。
- [請求項2] 前記各トンネル磁気抵抗素子に印加される電圧が、0.5 mV以上20 mV以下である、請求項1に記載の磁気センサー。
- [請求項3] 前記素子アレイは、前記複数のトンネル磁気抵抗素子の、直列接続、並列接続、又は直列接続及び並列接続の両方によって構成されている、請求項1及び2のいずれか一項に記載の磁気センサー。
- [請求項4] 前記素子アレイは、直列接続された20個以上10000個以下の前記トンネル磁気抵抗素子を含む、請求項1～3のいずれか一項に記載の磁気センサー。
- [請求項5] 前記素子アレイの抵抗値は、0.1 k Ω 以上10 k Ω 以下である、請求項1～4のいずれか一項に記載の磁気センサー。
- [請求項6] 各トンネル磁気抵抗素子の前記絶縁層の単位面積あたりの抵抗値は、 $1 \times 10^3 \Omega / \mu\text{m}^2$ 以上 $1 \times 10^{12} \Omega / \mu\text{m}^2$ 以下である、請求項1～5のいずれか一項に記載の磁気センサー。
- [請求項7] 前記絶縁層は、コヒーレントトンネル効果をもつ材料で形成されている、請求項1～6のいずれか一項に記載の磁気センサー。
- [請求項8] 前記絶縁層は、酸化マグネシウム、スピネル、及び酸化アルミニウムのいずれか1つで形成されている、請求項1～7のいずれか一項に記載の磁気センサー。
- [請求項9] 各トンネル磁気抵抗素子の前記絶縁層の面積は、 $1 \mu\text{m}^2$ 以上1 m

m^2 以下である、請求項 1 ～ 8 のいずれか一項に記載の磁気センサー。

[請求項10] 前記素子アレイに印加される電圧は、0.1 V 以上 20 V 以下である、請求項 1 ～ 9 のいずれか一項に記載の磁気センサー。

[請求項11] 前記電気回路は、前記素子アレイを 1 つ以上含むブリッジ回路を構成する一対の直列部に対して基準電圧を印加する電源部と、前記ブリッジ回路を構成する一方の直列部に対してオフセット電圧を印加する補正部と、前記ブリッジ回路の検出端子間の出力信号から得た信号を前記補正部にフィードバックするフィードバック部とを有する、請求項 1 ～ 10 のいずれか一項に記載の磁気センサー。

[請求項12] 前記電気回路は、前記ブリッジ回路の検出端子間の出力信号を増幅する増幅部と、前記増幅部からの増幅信号から所定の帯域の磁気信号成分を通過させるローパスフィルター、ハイパスフィルター、又はローパスフィルター及びハイパスフィルターの両方を有するフィルター部とを備える、請求項 1 ～ 11 のいずれか一項に記載の磁気センサー。

[請求項13] 請求項 1 ～ 12 のいずれか一項に記載の複数の磁気センサーを、直列接続、並列接続、又は直列接続及び並列接続の両方によって連結して一体化した、センサーユニット。

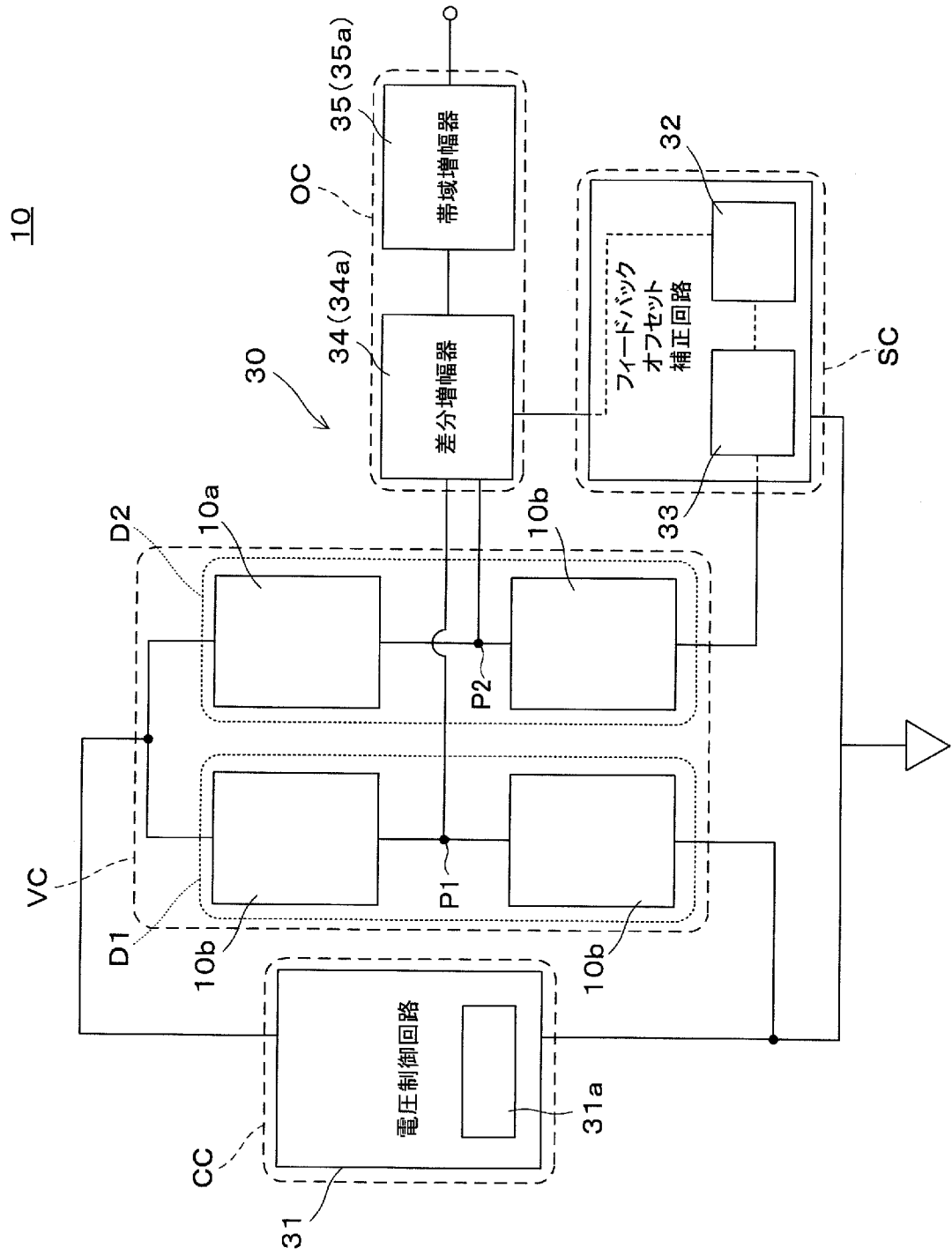
[請求項14] 請求項 1 ～ 12 のいずれか一項に記載の少なくとも 1 つの磁気センサーと、前記少なくとも 1 つの磁気センサーからの検出出力を信号処理する制御部とを備える、磁気検出装置。

[請求項15] 請求項 1 ～ 12 のいずれか一項に記載の複数の磁気センサーを有し生体からの磁場の影響下に配置される生体磁場検出部と、前記生体磁場検出部の出力を信号処理する制御部とを備える、生体用の磁気計測装置。

[請求項16] 100 pT 以下の磁界を計測する、請求項 15 に記載の生体用の磁気計測装置。

[図1]

FIG. 1



[図2]

FIG. 2

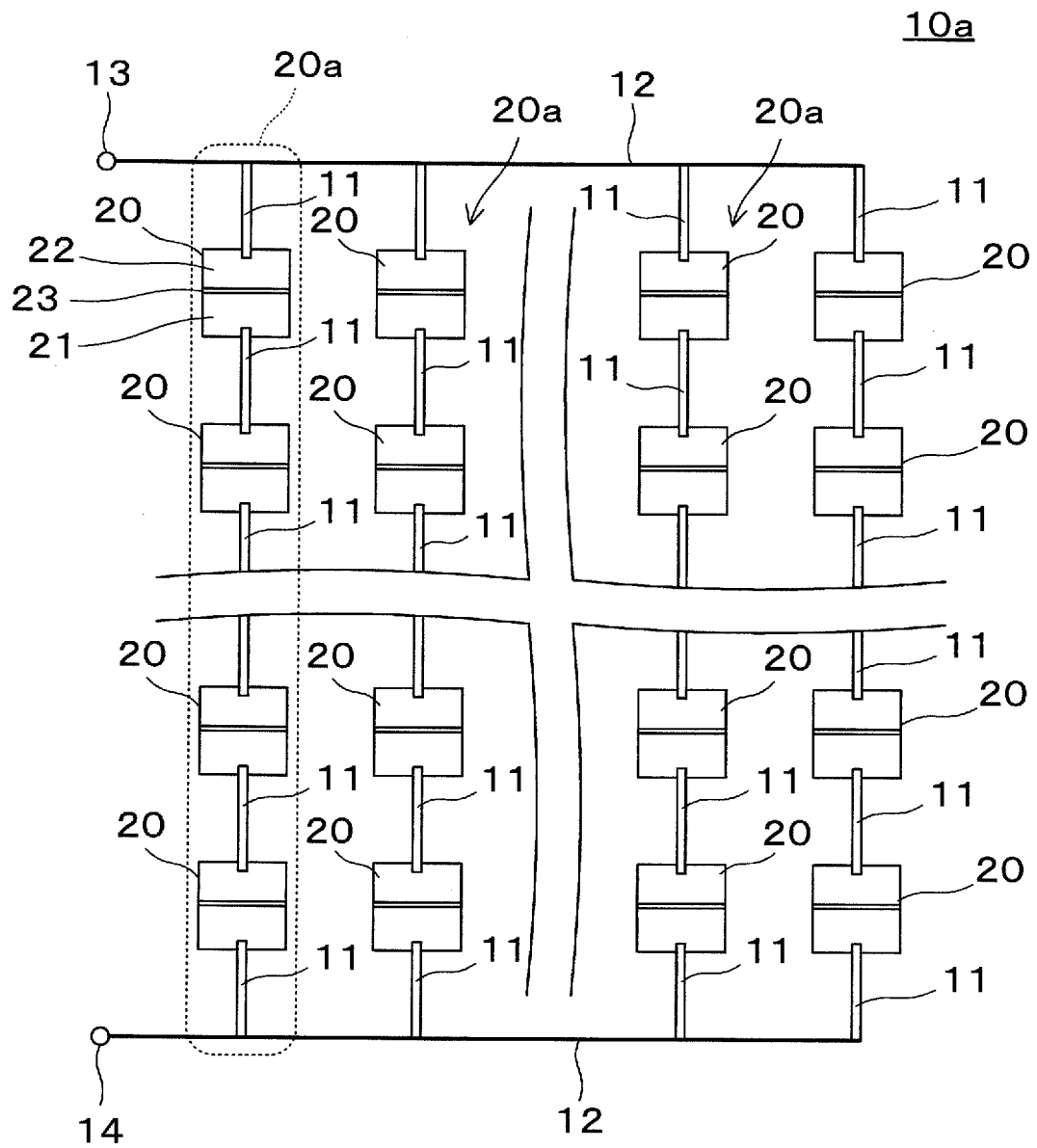
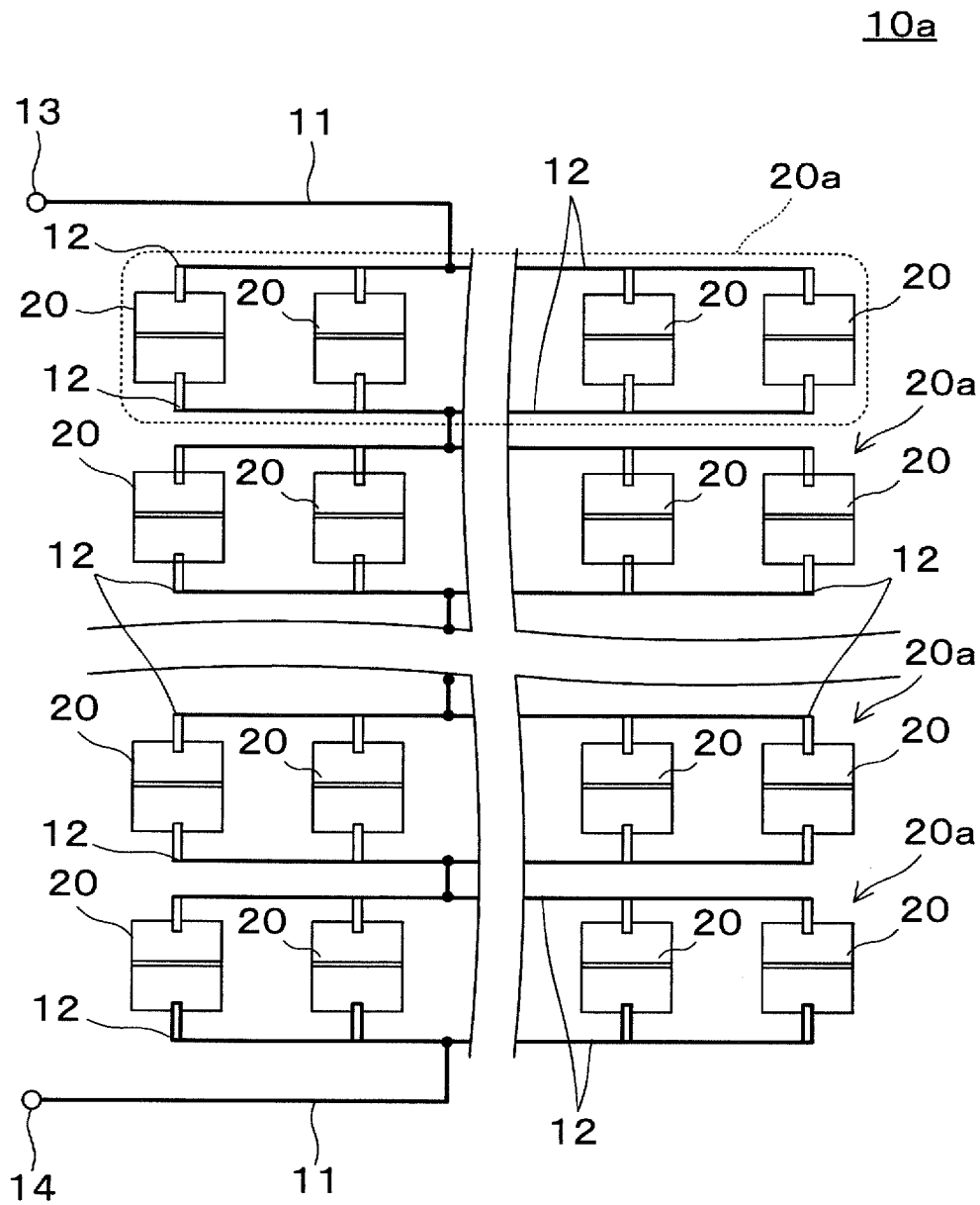
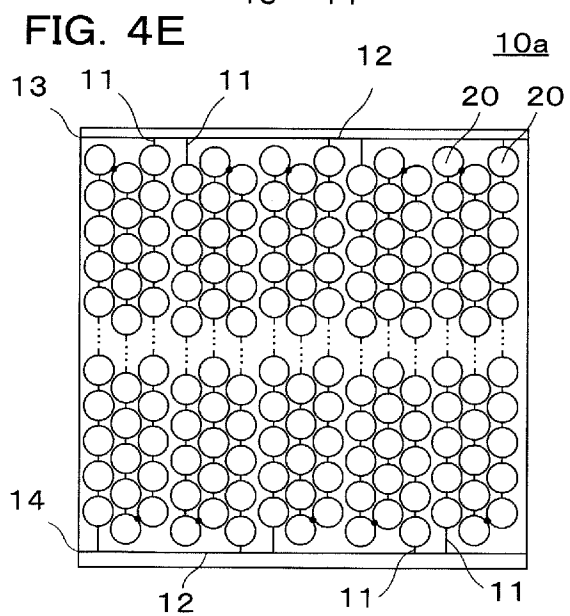
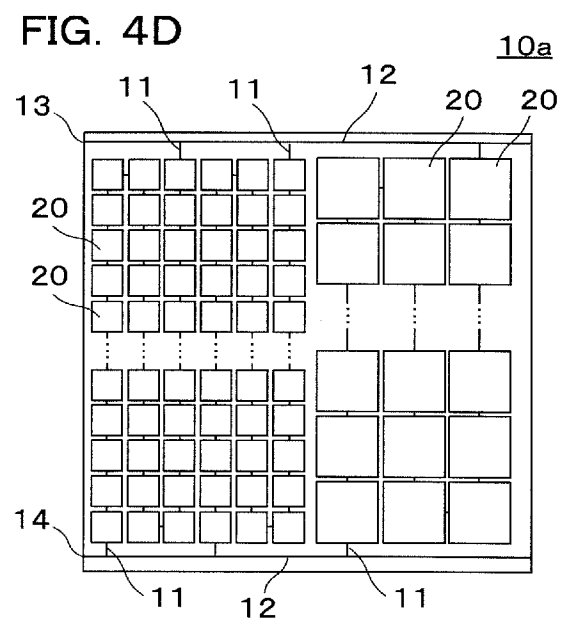
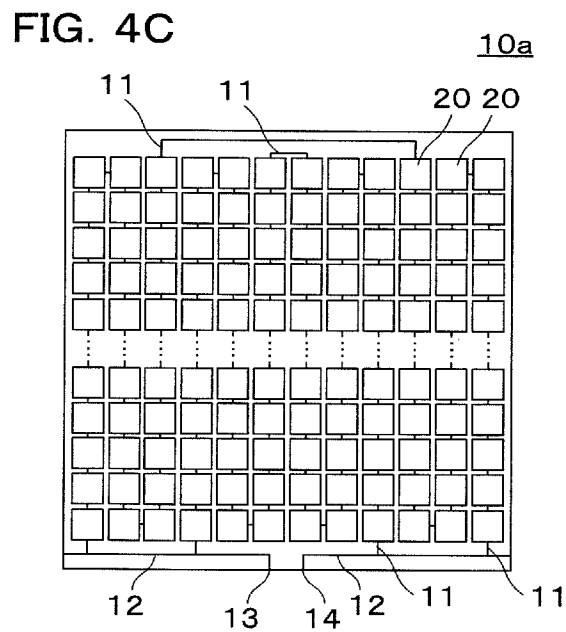
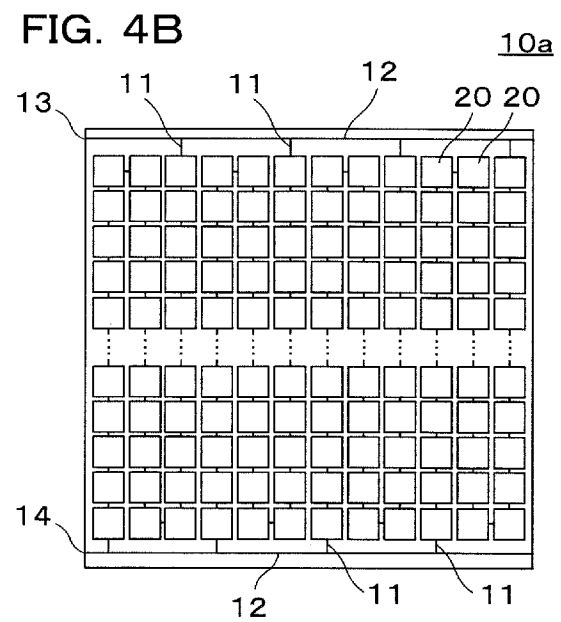
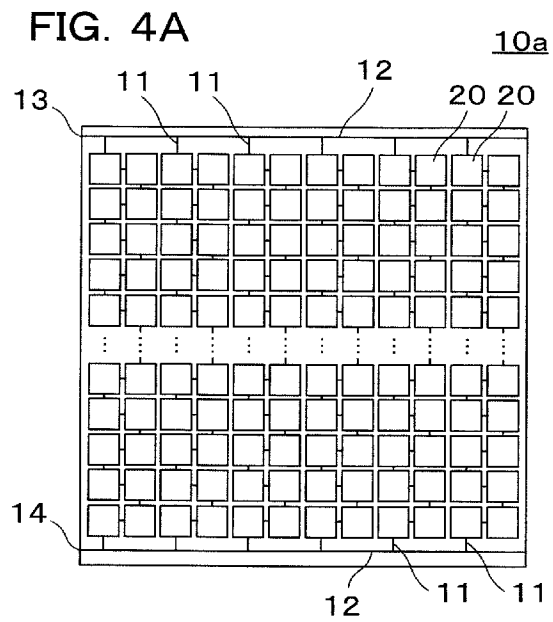


FIG. 3



[図4]



[図5]

FIG. 5A

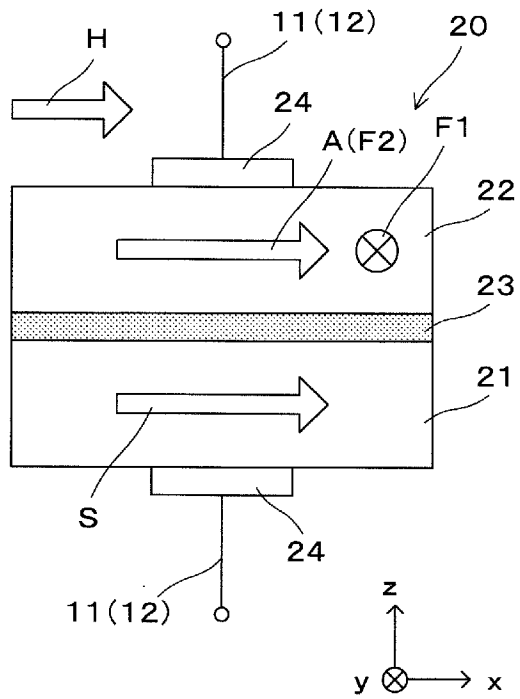
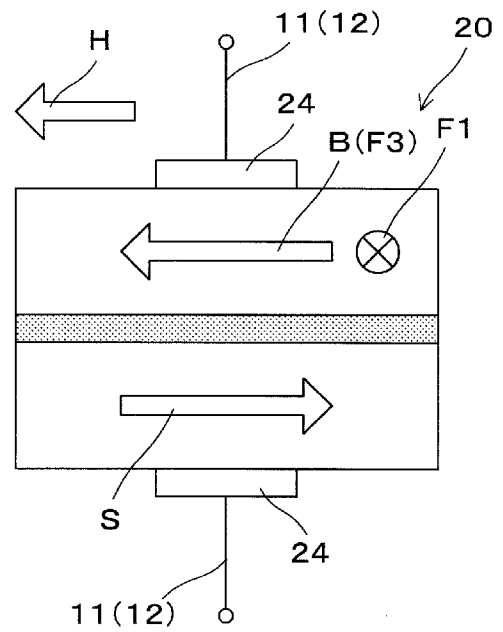
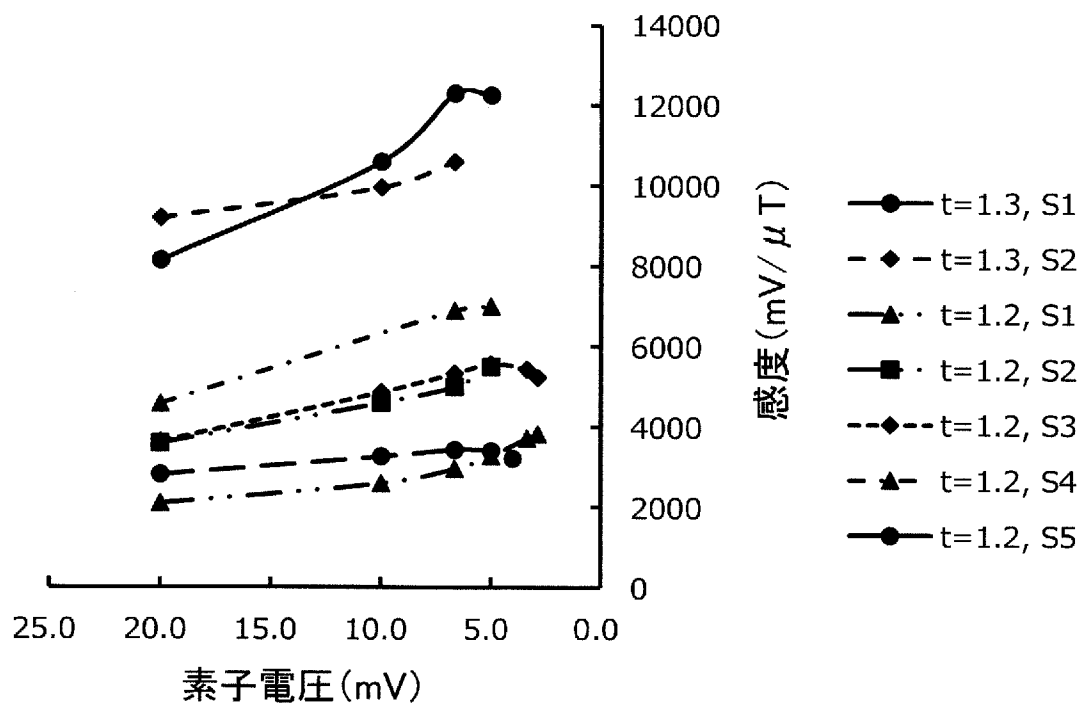


FIG. 5B



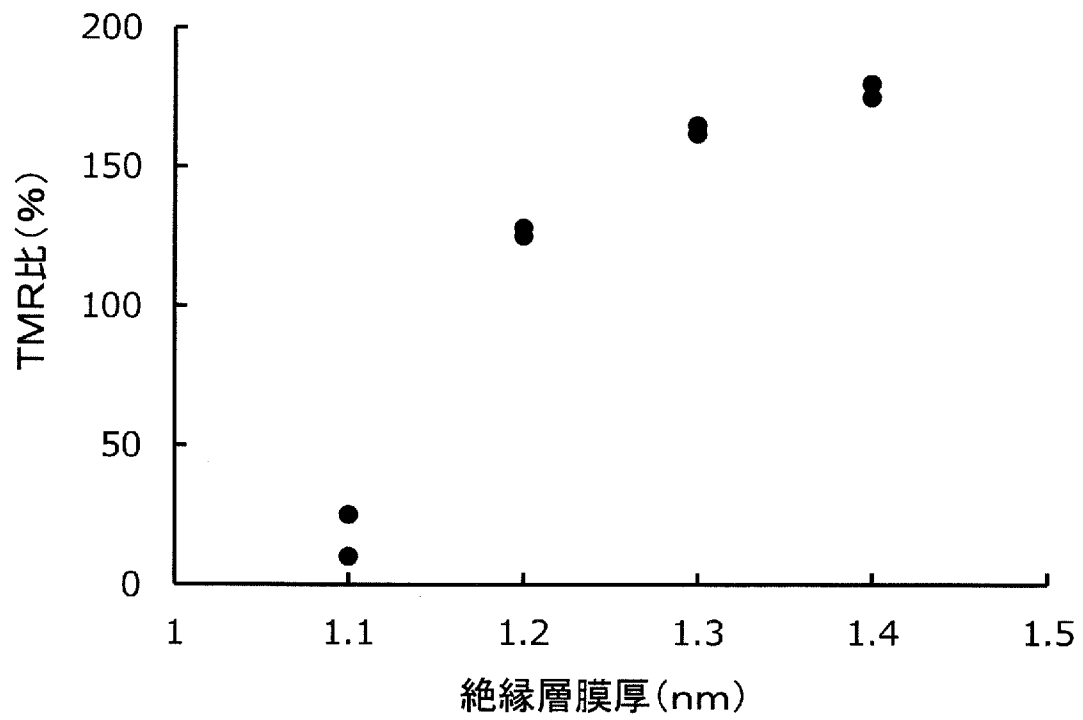
[図6]

FIG. 6



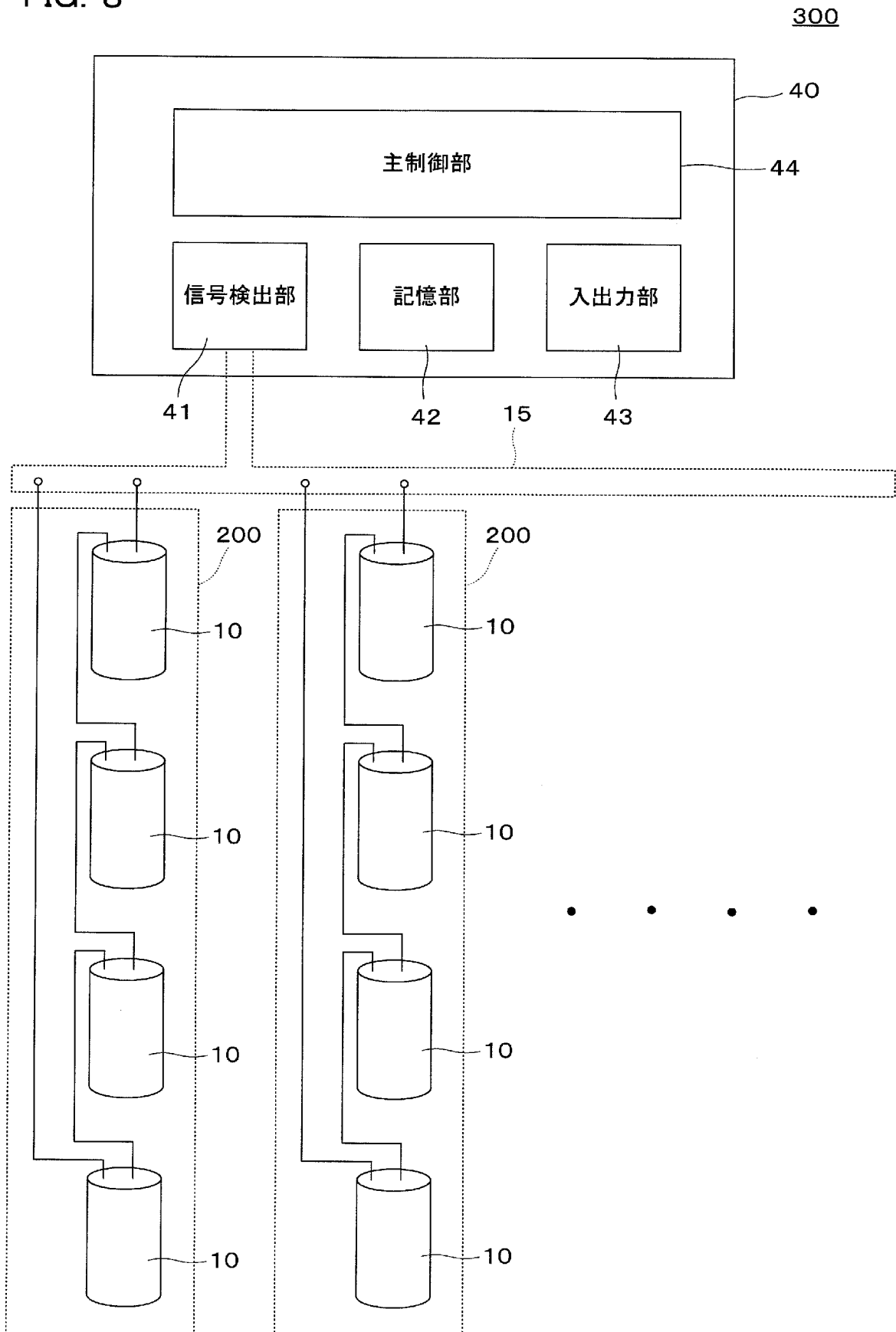
[図7]

FIG. 7



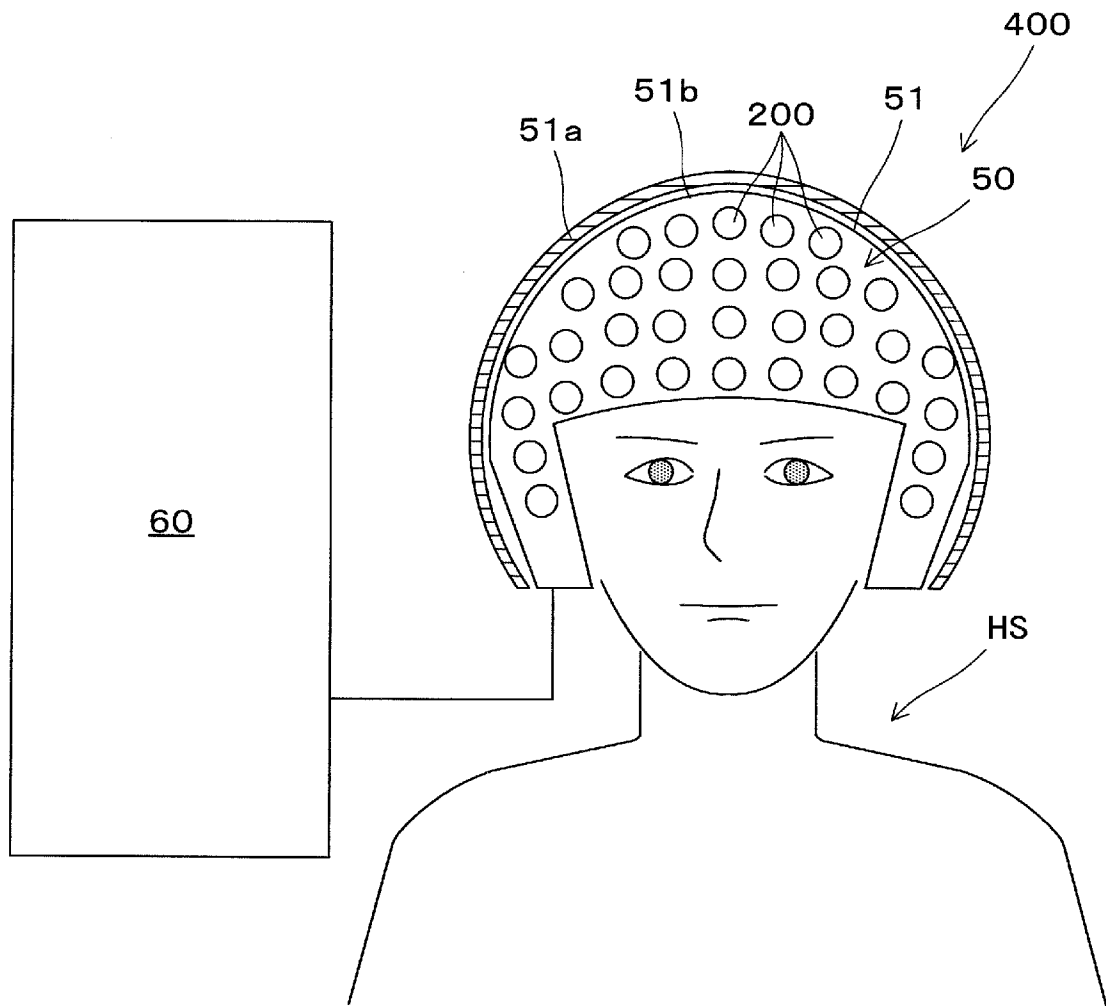
[図8]

FIG. 8



[図9]

FIG. 9



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/089053

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R33/09(2006.01)i, G01R33/02(2006.01)i, H01L43/08(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, G01R33/02, H01L43/08

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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.
X Y	JP 2015-125019 A (Toshiba Corp.), 06 July 2015 (06.07.2015), paragraphs [0012] to [0014], [0046], [0192] to [0207]; fig. 30 to 32 & US 2015/0177286 A1 paragraphs [0055] to [0057], [0090], [0236] to [0251]; fig. 30 to 32 & EP 2891892 A2	1 2-16
Y	WO 2015/146656 A1 (Konica Minolta, Inc.), 01 October 2015 (01.10.2015), paragraphs [0020] to [0030]; fig. 1 to 5 (Family: none)	2-16

☒ 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
06 March 2017 (06.03.17)

Date of mailing of the international search report
21 March 2017 (21.03.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/089053

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 2008-170368 A (Mitsubishi Electric Corp.), 24 July 2008 (24.07.2008), paragraphs [0016] to [0032]; fig. 1 to 5 (Family: none)	5-16
Y	JP 2001-093119 A (Hitachi, Ltd.), 06 April 2001 (06.04.2001), paragraph [0040] & US 6710986 B1 column 12, lines 6 to 14	6-16
Y	JP 2013-175615 A (Independent Administrative Institution National Institute for Materials Science), 05 September 2013 (05.09.2013), paragraphs [0009], [0028]; fig. 3 & US 2013/0221461 A1 paragraphs [0014], [0051] to [0056]; fig. 3 & US 8872291 B2	7-16
Y	WO 2012/014415 A1 (Hitachi, Ltd.), 02 February 2012 (02.02.2012), paragraph [0031] (Family: none)	9-16
Y	JP 2012-152515 A (Konica Minolta Holdings, Inc.), 16 August 2012 (16.08.2012), paragraphs [0001], [0009], [0014] to [0015], [0041] to [0043]; fig. 5 (Family: none)	15-16
A	JP 2011-103336 A (Denso Corp.), 26 May 2011 (26.05.2011), entire text; all drawings (Family: none)	1-16
A	WO 2012/032962 A1 (Konica Minolta Opto, Inc.), 15 March 2012 (15.03.2012), entire text; all drawings & US 2013/0165766 A1 & EP 2614770 A1 & CN 103188992 A	1-16

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, G01R33/02(2006.01)i, H01L43/08(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. G01R33/09, G01R33/02, H01L43/08

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	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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
X Y	JP 2015-125019 A（株式会社東芝）2015.07.06 段落0012-0014、0046、0192-0207、 図30-図32 & US 2015/0177286 A1、段落0055-0057、0090、0236-0251、 FIG.30-FIG.32 & EP 2891892 A2	1 2-16
Y	WO 2015/146656 A1（コニカミノルタ株式会社）2015.10.01 段落0020-0030、図1-図5（ファミリーなし）	2-16

☒ 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

06.03.2017

国際調査報告の発送日

21.03.2017

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）

續山 浩二

2 S

4 4 5 4

電話番号 03-3581-1101 内線 3216

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 2008-170368 A (三菱電機株式会社) 2008.07.24 段落 0016-0032、図1-図5 (ファミリーなし)	5-16
Y	JP 2001-093119 A (株式会社日立製作所) 2001.04.06 段落 0040 & US 6710986 B1、第12欄第6行-14行	6-16
Y	JP 2013-175615 A (独立行政法人物質・材料研究機構) 2013.09.05 段落 0009、0028、図3 & US 2013/0221461 A1、段落 0014、0051-0056、FIG. 3 & US 8872291 B2	7-16
Y	WO 2012/014415 A1 (株式会社日立製作所) 2012.02.02 段落 0031 (ファミリーなし)	9-16
Y	JP 2012-152515 A (コニカミノルタホールディングス株式会社) 2012.08.16, 段落 0001、0009、0014-0015、 0041-0043、図5 (ファミリーなし)	15-16
A	JP 2011-103336 A (株式会社デンソー) 2011.05.26 全文、全図 (ファミリーなし)	1-16
A	WO 2012/032962 A1 (コニカミノルタオプト株式会社) 2012.03.15 全文、全図 & US 2013/0165766 A1 & EP 2614770 A1 & CN 103188992 A	1-16