(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
2021年4月1日(01.04.2021)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2021/059391 A1

(51) 国際特許分類:
G01K 17/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2019/037557

(22) 国際出願日： 2019年9月25日(25.09.2019)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(71) 出願人: 日本電気株式会社 (**NEC CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目７番１号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 桐原 明宏 (**KIRIHARA Akihiro**); 〒1088001 東京都港区芝五丁目７番１号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 石田 真彦(**ISHIDA Masahiko**); 〒1088001 東京都港区芝五丁目７番１号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 岩崎 悠真(**IWASAKI Yuma**); 〒1088001 東京都港区芝五丁目７番１号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 大森 康智(**OMORI Yasutomo**); 〒1088001 東京都港区芝五丁目７番１号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 染谷 浩子(**SOMEYA Hiroko**); 〒1088001 東京都港区芝五丁目７番１号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 服部 貞則(**HATTORI Sadanori**); 〒1088001 東京都港区芝五丁目７番１号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP).

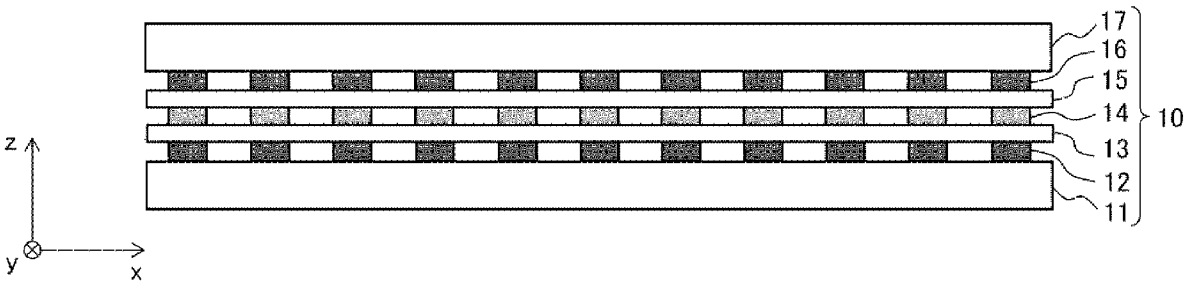
(74) 代理人: 下坂 直樹 (**SHIMOSAKA Naoki**); 〒1088001 東京都港区芝五丁目７番１号 日本電気株式会社 知的財産本部 Tokyo (JP).

(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, JO, 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), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,

(54) **Title:** HEAT-FLOW SENSOR

(54) 発明の名称： 熱流センサ



(57) **Abstract:** Provided is a highly sensitive thin-film heat-flow sensor that detects heat flow with a single conductive magnetic body, the heat-flow sensor comprising: an insulating layer; a magnetic field application layer that is arranged on a first surface of the insulating layer and composed by a conductor; and a heat-flow detection layer that is arranged on a second surface of the insulating layer, the second surface facing the first surface, and is composed by a conductive magnetic body, wherein the heat-flow detection layer faces the magnetic field application layer via the insulating layer.

(57) 要約：単一の導電性磁性体で熱流を検出する高感度の薄膜型の熱流センサを提供するために、絶縁層と、絶縁層の第１面に配置され、導電体によって構成される磁場印加層と、絶縁層の第１面に対向する第２面に配置され、導電性磁性体によって構成される熱流検出層と、を備え、熱流検出層が絶縁層を介して磁場印加層と対向する熱流センサとする。

WO 2021/059391 A1

［続葉有］

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：

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

明　細　書

発明の名称 ： 熱流センサ

技術分野

[0001] 本発明は、異常ネルンスト効果を利用した熱流センサに関する。

背景技術

[0002] 熱流センサは、単位時間に単位断面積を通過する熱量（以下、熱流と呼ぶ）を計測するセンサである。熱流は、温度の均衡が破れた非平衡状態において発生し、伝播する向きや量といった情報を含む。熱流は、温度と比べて応答が速いため、正確に計測できれば、温度を計測するよりも早く熱に関する情報を得ることができる。

[0003] 特許文献１には、ゼーベック効果を使用した熱流束センサについて開示されている。特許文献１の熱流束センサは、Ｐ型半導体材料の第１熱電部材と、Ｎ型半導体材料の第２熱電材料とを導体パターンで交互に接続した構造を有する。

[0004] 特許文献２には、異常ネルンスト効果を利用した熱電発電デバイスについて開示されている。特許文献２の熱電発電デバイスは、同じ方向に磁化しており、電気的に直列に接続され、互いに平行に配置された複数の細線から成る発電体を有する。特許文献２の発電体は、異常ネルンスト効果により、磁化の方向に対して垂直の方向の温度差で発電する。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開２０１９－０９０７５６号公報

特許文献2：特許第６０７９９９５号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 特許文献１の熱流束センサは、ゼーベック熱電素子であるため、取り出し電圧を高めるためにＰ型半導体とＮ型半導体の交互接続構造（縦型サーモパ

イル構造）にする必要があった。そのため、特許文献１の熱流束センサは、Ｐ型半導体材料の第１熱電部材と、Ｎ型半導体材料の第２熱電材料とを導体パターンで交互に接続した構造を有し、多くの接続点を含むため、構造が複雑で壊れやすいという問題点があった。また、特許文献１の熱流束センサは、面直方向に厚くすることによって感度を高くすることができるが、面直方向に厚くすると面直方向の熱抵抗が大きくなり、面直方向に流れる熱流を阻害してしまうという問題点があった。

[0007] 特許文献２の発電体を用いれば、面直方向に流れる熱流によって面内方向に発生した起電力を検出できるため、ゼーベック効果を用いた熱流センサと比べて薄型の熱流センサを実現できる。また、特許文献２の発電体には、安定に磁化した強磁性体の金属材料を適用する必要があった。磁化が不安定な材料の場合、外部からの環境磁場によって磁化状態が容易に変化し、センシング機能が損なわれる、もしくは不安定になるなどの課題が生じる。また、特許文献２の発電体を用いた熱流センサの起電力や感度を高くするためには、異常ネルンスト効果の符号や大きさが異なる２種類の強磁性体の金属材料を交互に接続した構造（横型サーモパイル構造）を形成する必要があった。

[0008] 本発明の目的は、上述した課題を解決し、単一の導電性磁性体で熱流を検出する高感度の薄膜型の熱流センサを提供することにある。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明の一態様の熱流センサは、絶縁層と、絶縁層の第１面に配置され、導電体によって構成される磁場印加層と、絶縁層の第１面に対向する第２面に配置され、導電性磁性体によって構成される熱流検出層とを備える。熱流検出層は、絶縁層を介して磁場印加層と対向する。

[0010] 本発明の一態様の熱流センサは、基板と、基板の上面に配置され、導電体によって構成される第１磁場印加層と、第１磁場印加層の上面に配置される第１絶縁層と、第１絶縁層の上面に配置され、導電性磁性体によって構成される熱流検出層と、熱流検出層の上面に配置される第２絶縁層と、第２絶縁層の上面に配置され、導電体によって構成される第２磁場印加層とを備える

。熱流検出層は、第１絶縁層を介して第１磁場印加層と対向し、第２絶縁層を介して第２磁場印加層と対向する。

発明の効果

[0011] 本発明によれば、単一の導電性磁性体で熱流を検出する高感度の薄膜型の熱流センサを提供することが可能になる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]第１の実施形態に係る熱流センサの構造の一例を示す概念図である。

[図2]第１の実施形態に係る熱流計測システムの構成について説明するための概念図である。

[図3]第１の実施形態に係る熱流計測システムに含まれる熱流センサの磁場印加層に直流電流が流れる様子を示す概念図である。

[図4]第１の実施形態に係る熱流計測システムに含まれる熱流センサの磁場印加層に直流電流が流れた際に熱流検出層が磁化する様子を示す概念図である。

[図5]第１の実施形態に係る熱流計測システムに含まれる熱流センサに外部から面直方向に熱流が流れ込む様子を示す概念図である。

[図6]第１の実施形態に係る熱流計測システムに含まれる熱流センサに外部から面直方向に熱流が流れ込んだ際に熱流検出層に電流が流れる様子を示す概念図である。

[図7]第１の実施形態に係る熱流計測システムに含まれる熱流計測装置の構成の一例を示すブロック図である。

[図8]第１の実施形態に係る熱流計測システムに含まれる熱流計測装置の動作の一例について説明するためのフローチャートである。

[図9]第１の実施形態に係る熱流計測システムに含まれる熱流検出層の製造方法の一例を示す概念図である。

[図10]第２の実施形態に係る熱流計測システムの構成について説明するための概念図である。

[図11]第２の実施形態に係る熱流計測システムに含まれる熱流計測装置の構

成の一例を示すブロック図である。

[図12]第２の実施形態に係る熱流計測システムに含まれる熱流センサに外部から面直方向に熱流が流れ込んだ際に熱流検出層に電流が流れる様子を示す概念図である。

[図13]第２の実施形態に係る熱流計測システムに含まれる熱流センサに外部から面直方向に熱流が流れ込んだ際に熱流検出層に電流が流れる様子を示す概念図である。

[図14]第２の実施形態に係る熱流計測システムに含まれる熱流センサの磁場印加層に交流電流が流れた際に熱流検出層によって検出される電圧について説明するための概念図である。

[図15]第２の実施形態に係る熱流計測システムに含まれる熱流計測装置の動作の一例について説明するためのフローチャートである。

[図16]第３の実施形態に係る熱流センサの構造の一例を示す概念図である。

[図17]第３の実施形態に係る熱流計測システムの構成について説明するための概念図である。

[図18]第３の実施形態に係る熱流計測システムに含まれる熱流センサの磁場印加層に直流電流が流れる様子を示す概念図である。

[図19]第３の実施形態に係る熱流計測システムに含まれる熱流センサの磁場印加層に直流電流が流れた際に熱流検出層が磁化する様子を示す概念図である。

[図20]第３の実施形態に係る熱流計測システムに含まれる熱流センサに外部から面直方向に熱流が流れ込む様子を示す概念図である。

[図21]第３の実施形態に係る熱流計測システムに含まれる熱流センサに外部から面直方向に熱流が流れ込んだ際に熱流検出層に電流が流れる様子を示す概念図である。

[図22]構成例に係る熱流センサの構造の一例を示す概念図である。

[図23]各実施形態に係る制御系統を実現するハードウェア構成の一例について説明するためのブロック図である。

発明を実施するための形態

[0013] 以下に、本発明を実施するための形態について図面を用いて説明する。ただし、以下に述べる実施形態には、本発明を実施するために技術的に好ましい限定がされているが、発明の範囲を以下に限定するものではない。なお、以下の実施形態の説明に用いる全図においては、特に理由がない限り、同様箇所には同一符号を付す。また、以下の実施形態において、同様の構成・動作に関しては繰り返しの説明を省略する場合がある。また、図面中の矢印の向きは、一例を示すものであり、ブロック間の信号の向きを限定するものではない。また、以下の実施形態において、実際に計測される熱流の値を熱流値と呼ぶ。

[0014] （第１の実施形態）

まず、第１の実施形態に係る熱流計測システムについて図面を参照しながら説明する。本実施形態の熱流計測システムは、異常ネルンスト効果を発現する磁性材料からなる熱流検出層を含む熱流センサを備える。以下においては、熱流センサについて説明した後に、その熱流センサを備える熱流計測システムについて説明する。

[0015] 〔熱流センサ〕

図１は、本実施形態の熱流計測システムが備える熱流センサ１０の構成の一例を示す概念図である。熱流センサ１０は、平板状の外観を有する。図１は、平板状の熱流センサ１０を側方から見た際の側面図である。

[0016] 熱流センサ１０は、基板１１、第１磁場印加層１２、第１絶縁層１３、熱流検出層１４、第２絶縁層１５、第２磁場印加層１６、およびカバー層１７を有する。

[0017] 基板１１は、その上面に第１磁場印加層１２が形成される基材である。基板１１は、熱流を伝導しやすい材料で構成される。例えば、基板１１は、ポリイミドによって構成される。なお、基板１１の材料は、熱流を伝導しやすければ、ポリイミドに限定されない。

[0018] 第１磁場印加層１２は、基板１１の上面に形成される。第１磁場印加層１

２は、第１端と第２端を有する所定のパターンで形成された導電体である。例えば、第１磁場印加層１２は、上面視において、第１端と第２端が離れた位置に配置されるミアンダ形状を有する。ミアンダ形状とは、並列して設けられた複数の配線が直列に接続されるように、隣接し合う各々の配線の端部が接続され、全体で一本の線路を形成する形状である。第１磁場印加層１２をミアンダ形状とする場合、第１端と第２端を有する配線が、基板１１の面上で折り返されるように配置される。なお、第１磁場印加層１２の形状は、第１端から第２端までの配線の線路長を長くできさえすれば、ミアンダ形状に限定されない。

[0019] 例えば、第１磁場印加層１２は、銅（Ｃｕ）やアルミニウム（ＡＩ）、金（Ａｕ）などの金属材料で構成される。なお、第１磁場印加層１２の材料は、導電性があれば、ＣｕやＡＩ、Ａｕなどの金属材料に限定されない。例えば、第１磁場印加層１２は、スパッタ法やめっき法によって形成できる。なお、第１磁場印加層１２は、スパッタ法やめっき法以外の方法で形成されてもよい。

[0020] 第１絶縁層１３は、第１磁場印加層１２と熱流検出層１４の間に配置される絶縁体である。一例として、第１絶縁層１３の二つの主面のうち、第１磁場印加層１２が配置される面を第１面と呼び、熱流検出層１４が配置される面を第２面と呼ぶ。例えば、第１絶縁層１３は、ポリイミドによって構成される。なお、第１絶縁層１３の材料は、絶縁性があれば、ポリイミドに限定されない。

[0021] 熱流検出層１４は、第１絶縁層１３と第２絶縁層１５の間に配置される。熱流検出層１４は、第１端と第２端を有する所定のパターンで形成された導電性磁性体である。例えば、第１磁場印加層１２および第２磁場印加層１６を構成する導電体のパターンと、熱流検出層１４を構成する導電性磁性体のパターンとは、互いに対向する。例えば、第１磁場印加層１２および第２磁場印加層１６を構成する導電体のパターンと、熱流検出層１４を構成する導電性磁性体のパターンとは同一の形状である。例えば、第１磁場印加層１２

および第２磁場印加層１６の各々と熱流検出層１４は、上面視において、一方のパターンの線路長に沿って、他方のパターンの線路が延在するように配置される。

[0022] なお、熱流検出層１４を構成する導電体の配線パターンと、第１磁場印加層１２および第２磁場印加層１６を構成する導電体の配線パターンとは、全く同じ配線幅でなくてもよい。熱流検出層１４を構成する導電体の配線パターンの配線幅の方が広い場合、配置ずれなどの影響があると、一本の熱流検出層１４の配線内で磁化の強さが非一様になって不均一な起電力分布が生じ、出力信号が小さくなる可能性がある。そのため、第１磁場印加層１２および第２磁場印加層１６と、熱流検出層１４を構成する導電体の配線パターンの配線幅は同程度か、もしくは、第１磁場印加層１２および第２磁場印加層１６の方が広いことが望ましい。また、熱流検出層１４を構成する導電体の配線パターンの配線幅が狭すぎると内部抵抗が大きくなり、ノイズが増える。そのため、熱流検出層１４を構成する導電体の配線パターンの配線幅は、第１磁場印加層１２および第２磁場印加層１６の配線幅の半分から同程度の範囲とするのがよい。

[0023] また、熱流検出層１４を構成する導電体の配線パターンと、第１磁場印加層１２および第２磁場印加層１６を構成する導電体の配線パターンとは、上面視において多少ずれていてもよい。許容されるずれは、熱流検出層１４を構成する導電体の配線パターンの配線間の空隙幅以下であることが好ましい。また、熱流検出層１４を構成する導電体の配線パターンの配線間の空隙を埋める絶縁層が設けられている場合、許容されるずれは、絶縁層の幅以下であることが好ましい。また、熱流検出層１４や第１磁場印加層１２、第２磁場印加層１６の作製プロセスの位置合わせ精度をｄｘとすると、熱流検出層１４を構成する導電体の配線パターンの配線間の空隙幅（絶縁層幅）はｄｘ以上にすることが望ましい（ｄｘは正の実数）。

[0024] 熱流検出層１４と第１磁場印加層１２との距離と、熱流検出層１４と第２磁場印加層１６との距離とが等しければ、第１磁場印加層１２および第２磁

場印加層１６を流れる電流によって、面直方向（ｚ方向）に発生する熱流を相殺できる。そのため、熱流検出層１４と第１磁場印加層１２との距離と、熱流検出層１４と第２磁場印加層１６との距離は等しい方がよい。

[0025] 熱流検出層１４には、第１磁場印加層１２と第２磁場印加層１６を流れる電流によって発生する磁場によって熱流センサ１０の面内方向（ｘｙ面内の方向）に磁化しやすいように、軟磁性薄膜を用いることが好ましい。例えば、熱流検出層１４には、鉄（Ｆｅ）やアルミニウム（Ａｌ）、ニッケル（Ｎｉ）などの金属を含む軟磁性材料を用いることができる。具体的には、熱流検出層１４の材料として、Fe_3Alなどの鉄－アルミニウム合金や、$Ni_{80}Fe_{20}$などのパーマロイ、Ｎｉなどの金属を用いることができる。例えば、Fe_3Alの熱流検出層１４は、フォトリソグラフィ法で形成したフォトレジストパターンやメタルマスクを用いたスパッタ法で形成できる。また、例えば、Ｎｉの熱流検出層１４は、めっき法で形成できる。

[0026] 熱流検出層１４は、センシング感度を高めるために、実効的な長さの長い形状を有することが好ましい。例えば、熱流検出層１４は、第１磁場印加層１２と同様に、上面視において、第１端と第２端が離れた位置に配置されるミアンダ形状を有する。熱流検出層１４をミアンダ形状とする場合、第１端と第２端を有する磁性体配線が、第１絶縁層１３の面上で折り返されるように配置される。熱流検出層１４をミアンダ形状の磁性体配線で実現する場合、隣接し合う配線間の間隔が近すぎると干渉し合って磁場が弱くなる可能性があるので、ある程度の間隔を空けた方がよい。なお、熱流検出層１４の形状は、第１端から第２端までの配線の線路長を長くできさえすれば、ミアンダ形状に限定されない。

[0027] 熱流検出層１４は、薄い方が、形状磁気異方性が出やすいため、面内方向に磁化しやすい。しかし、熱流検出層１４は、薄すぎると電気抵抗が大きくなってノイズが大きくなるため、求められる磁化とバランスを考慮した厚さを有することが好ましい。また、熱流検出層１４を構成する複数の配線間に、絶縁性のバッファ層を設けてもよい。

[0028] 第２絶縁層１５は、熱流検出層１４と第２磁場印加層１６の間に配置される絶縁体である。一例として、第２絶縁層１５の二つの主面のうち、第２磁場印加層１６が配置される面を第１面と呼び、熱流検出層１４が配置される面を第２面と呼ぶ。第２絶縁層１５は、第１絶縁層１３と同じ厚さであることが好ましい。例えば、第２絶縁層１５は、ポリイミドによって構成される。なお、第２絶縁層１５の材料は、絶縁性があれば、ポリイミドに限定されない。

[0029] 第２磁場印加層１６は、第２絶縁層１５の上面に形成される。第２磁場印加層１６は、第１端と第２端を有する所定のパターンで形成された導電体である。例えば、第２磁場印加層１６は、第１磁場印加層１２と同様のパターンで形成される。例えば、第２磁場印加層１６と第１磁場印加層１２とは、上面視において重なる。例えば、第２磁場印加層１６は、上面視において、第１端と第２端が離れた位置に配置されるミアンダ形状を有する。第２磁場印加層１６をミアンダ形状とする場合、第１端と第２端を有する配線が、第２絶縁層１５の面上で折り返されるように配置される。なお、第２磁場印加層１６の形状は、第１端から第２端までの配線の線路長を長くできさえすれば、ミアンダ形状に限定されない。

[0030] 例えば、第２磁場印加層１６は、銅やアルミニウム、金などの金属材料で構成される。なお、第２磁場印加層１６の材料は、導電性がありさえすれば、銅やアルミニウム、金などの金属材料に限定されない。例えば、第２磁場印加層１６は、めっきによって形成できる。なお、第２磁場印加層１６は、めっき以外の方法で形成されてもよい。

[0031] カバー層１７は、第２磁場印加層１６の上面に形成される。カバー層１７は、熱流センサ１０を保護する保護層である。カバー層１７は、機械的強度や化学的安定性、耐熱性などが高い絶縁材料であることが好ましい。例えば、カバー層１７は、ポリイミドによって構成される。なお、カバー層１７の材料は、機械的強度や化学的安定性、耐熱性などが十分であれば、ポリイミドに限定されない。

[0032] 熱流センサ１０が熱流を検知する範囲は、熱流検出層１４のパターンの範囲内である。言い換えると、熱流センサ１０は、第１磁場印加層１２および第２磁場印加層１６によって磁場が印加されている熱流検出層１４のパターンの範囲内において熱流を検出する。熱流センサ１０を用いる際には、第１磁場印加層１２の第１端と第２磁場印加層１６の第２端との間、または、第１磁場印加層１２の第２端と第２磁場印加層１６の第１端との間を導線（図示しない）によって電気的に接続する。そして、第１磁場印加層１２と第２磁場印加層１６に直流電流を流した際に、第１磁場印加層１２と第２磁場印加層１６の対向位置において反対向きに電流が流れるように構成する。

[0033] 第１磁場印加層１２と第２磁場印加層１６によって挟まれた熱流検出層１４の位置には、第１磁場印加層１２を流れる電流と、第２磁場印加層１６を流れる電流とに起因して磁場が発生する。熱流検出層１４の位置において、第１磁場印加層１２を流れる電流によって印加される磁場と、第２磁場印加層１６を流れる電流によって印加される磁場とは加算される。熱流検出層１４は、第１磁場印加層１２および第２磁場印加層１６によって印加される磁場によって、熱流センサ１０の面内方向（ｘｙ面内方向）に磁化する。第１磁場印加層１２および第２磁場印加層１６が熱流検出層１４に比べて厚いほど、熱流検出層１４に印加される磁場のばらつきが低減する。そのため、第１磁場印加層１２および第２磁場印加層１６は、熱流検出層１４よりも膜厚が厚い方がよい。

[0034] 第１磁場印加層１２および第２磁場印加層１６に流れる電流は互いに等しいことが好ましい。第１磁場印加層１２および第２磁場印加層１６に流れる電流が等しければ、それぞれの磁場印加層を流れる電流によって発生するジュール熱に起因する熱流がキャンセルされる。その結果、第１磁場印加層１２および第２磁場印加層１６を流れる電流のジュール熱に起因する面直方向（ｚｙ面内方向）の熱勾配がなくなるため、外部からの熱流の検出感度が向上する。

[0035] 熱流検出層１４に発生した起電力に応じた電圧値Ｖは、異常ネルンスト効

果によって熱流検出層１４の面内方向に発生する電場Ｅ、熱流検出層１４の第１端１４１から第２端１４２までの配線の線路長Ｌを用いて、以下の式１のように表現できる。

Ｖ＝ＥＬ・・・（１）

異常ネルンスト効果に基づいた電場Ｅは、熱流検出層１４の異常ネルンスト係数Ｑおよび透磁率μ、熱流検出層１４の上面と下面との間の温度勾配ｄＴ、熱流検出層１４の磁化Ｍを用いて、以下の式２のように表現できる。

Ｅ＝Ｑ（μＭ×ｄＴ）・・・（２）

また、温度勾配ｄＴは、熱流検出層１４の熱伝導率λと、熱流検出層１４を通過する熱流値ｑとを用いて、以下の式３のように表現できる。

ｄＴ＝－ｑ／λ・・・（３）

上記の式１～３を用いれば、熱流検出層１４に発生した起電力に応じた電圧値Ｖを用いて、その電圧値に対応する熱流値ｑを算出できる。

[0036] 以上が、本実施形態の熱流計測システムが備える熱流センサ１０の構成についての説明である。なお、図１の構成は、熱流センサ１０の構成の一例であって、本実施形態の熱流計測システムが備える熱流センサ１０の構成を図１の形態に限定するものではない。

[0037] 〔熱流計測システム〕

次に、本実施形態の熱流計測システムについて図面を参照しながら説明する。本実施形態の熱流計測システムは、熱流センサ１０の第１磁場印加層１２および第２磁場印加層１６に電流を流すための直流電源を備える。

[0038] 図２は、本実施形態の熱流計測システム１の構成の一例を示す概念図である。図２のように、熱流計測システム１は、熱流センサ１０、熱流計測装置１００、直流電源１１０、電圧計１２０を有する。図２においては、実際には積層される第１磁場印加層１２、熱流検出層１４、および第２磁場印加層１６を仮想的に横に並べて図示する。

[0039] 熱流センサ１０は、図１に示す構造を有する。熱流センサ１０は、図１のように、基板１１、第１磁場印加層１２、第１絶縁層１３、熱流検出層１４

、第２絶縁層１５、第２磁場印加層１６、およびカバー層１７を有する。実際には、第１磁場印加層１２、熱流検出層１４、および第２磁場印加層１６は積層される。なお、図２においては、カバー層１７を省略する。

[0040] 第１磁場印加層１２は、第１端１２１および第２端１２２を有する。熱流検出層１４は、第１端１４１および第２端１４２を有する。第２磁場印加層１６は、第１端１６１および第２端１６２を有する。

[0041] 第１磁場印加層１２の第２端１２２は、第２磁場印加層１６の第２端１６２に電気的に接続される。例えば、熱流検出層１４の第２端１６２と、熱流センサ１０の側面と、第１絶縁層１３と、第２絶縁層１５との間に絶縁物を充填する。そして、第１絶縁層１３および第２絶縁層１５の側面と充填された絶縁物で形成される熱流センサ１０の側面上に配線（図示しない）を配置すれば、第１磁場印加層１２の第２端１２２と第２磁場印加層１６の第２端１６２を電気的に接続できる。また、例えば、熱流検出層１４の第２端１６２と、熱流センサ１０の側面と、第１絶縁層１３と、第２絶縁層１５との間に充填された絶縁物と、第１絶縁層１３および第２絶縁層１５とを貫通するビア電極を設ければ、第１磁場印加層１２の第２端１２２と第２磁場印加層１６の第２端１６２を電気的に接続できる。ビア電極は、熱流検出層１４に接しないように設けられている。

[0042] 第１磁場印加層１２の第１端１２１は、直流電源１１０を挟んで、第２磁場印加層１６の第１端１６１に電気的に接続される。熱流センサ１０の第１端１４１は、熱流センサ１０の第２端１４２に電気的に接続される。熱流センサ１０の第１端１４１と第２端１４２の間には電圧計１２０が配置される。

[0043] 熱流計測装置１００は、直流電源１１０と電圧計１２０に接続される。熱流計測装置１００は、直流電源１１０を駆動させ、第１磁場印加層１２と第２磁場印加層１６を流れる電流を制御する。また、熱流計測装置１００は、電圧計１２０を用いて、熱流が通過することによって熱流検出層１４に発生する起電力を計測する。

[0044] 直流電源１１０は、熱流計測装置１００の制御に応じて直流電流を出力する。直流電源１１０は、第２磁場印加層１６の第１端１６１に正極が接続され、第１磁場印加層１２の第１端１２１に負極が接続される。なお、第１磁場印加層１２および第２磁場印加層１６に流す電流の向きを反対に構成する場合、直流電源１１０は、第２磁場印加層１６の第１端１６１に負極が接続され、第１磁場印加層１２の第１端１２１に正極が接続される。

[0045] 電圧計１２０は、熱流検出層１４の第１端１４１と第２端１４２に接続される直流電圧計である。電圧計１２０は、熱流検出層１４の第１端１４１と第２端１４２の間の電圧を計測し、計測した電圧値を熱流計測装置１００に出力する。

[0046] 図３には、第１磁場印加層１２と第２磁場印加層１６に電流が流れる様子を矢印で図示した概念図である。図３のように、第１磁場印加層１２と第２磁場印加層１６には、互いに反対方向に向けて電流が流れる。図３には、熱流計測装置１００が直流電源１１０を駆動して、第２磁場印加層１６の第１端１６１から第２端１６２、第１磁場印加層１２の第２端１２２から第１端１２１に向けて電流が流れる例を図示する。

[0047] 図４は、図３のように第１磁場印加層１２と第２磁場印加層１６に電流が流れた際に、第１磁場印加層１２および第２磁場印加層１６に発生する磁場によって、熱流検出層１４が磁化する様子を図示した概念図である。図４のように、第１磁場印加層１２および第２磁場印加層１６に電流が流れると、アンペールの法則に従って、第１磁場印加層１２および第２磁場印加層１６を構成する配線の周囲に磁場が発生する。第１磁場印加層１２および第２磁場印加層１６を構成する配線の周囲の磁場は、熱流検出層１４を構成する配線の位置で加算され、熱流検出層１４を磁化する。図４のように、熱流検出層１４を構成する配線のうち隣接し合う配線は互いに逆向きに磁化する。

[0048] また、第１磁場印加層１２と第２磁場印加層１６に電流が流れることによって、熱流センサ１０の内部からも、ジュール熱に起因する熱流が発生する。熱流センサ１０は、第１磁場印加層１２と第２磁場印加層１６によって熱

流検出層１４を挟み込んだ上下対称な構造を有し、第１磁場印加層１２と第２磁場印加層１６は直列に接続されている。そのため、第１磁場印加層１２と第２磁場印加層１６には等しい電流が流れる。その結果、第１磁場印加層１２で発生する熱流と第２磁場印加層１６で発生する熱流とが、熱流検出層１４において互いにキャンセルし合うため、外部からの熱流がない状態では熱流検出層１４に起電力は発生しない。

[0049] 図５は、図３および図４のように、第１磁場印加層１２と第２磁場印加層１６に電流を流した状態で、外部から熱流が到達した状況を示す概念図である。図６は、第１磁場印加層１２と第２磁場印加層１６に電流を流した状態で、外部から熱流が到達した状況において、熱流検出層１４に起電力が発生し、熱流検出層１４に電流が流れる様子を図示した概念図である。

[0050] 図５のように第１磁場印加層１２から第２磁場印加層１６に向けて熱流が熱流検出層１４を通過すると、熱流検出層１４を構成する各々の導電性磁性体において異常ネルンスト効果による起電力が発生する。このときに発生する起電力がミアンダ形状の構造の熱流検出層１４において加算された結果、熱流検出層１４の第１端１４１と第２端１４２との間で出力電圧を検出できる。熱流検出層１４の第１端１４１と第２端１４２との間の出力電圧は、熱流値に比例するため、検出された出力電圧を熱流値に変換することによって、熱流検出層１４を通過する熱流を計測できる。

[0051] 以上が、本実施形態の熱流計測システム１の構成についての説明である。なお、図２～図５の構成は、熱流計測システム１の構成の一例であって、本実施形態の熱流計測システム１の構成を図２～図５の形態に限定するものではない。

[0052] 〔熱流計測装置〕

次に、本実施形態の熱流計測システム１が有する熱流計測装置１００について図面を参照しながら説明する。図７は、熱流計測装置１００の構成の一例を示すブロック図である。図７のように、熱流計測装置１００は、電源制御部１０１、電圧計測部１０２、熱流算出部１０３、および出力部１０７を

有する。図７には、熱流計測装置１００の計測した熱流値を出力するための出力装置１３０を出力部１０７に接続する例を示す。

[0053] 電源制御部１０１は、直流電源１１０に接続される。電源制御部１０１は、直流電源１１０を駆動させ、第１磁場印加層１２と第２磁場印加層１６を流れる電流を制御する。電源制御部１０１が第１磁場印加層１２と第２磁場印加層１６に流す電流の電流値は、予め設定された値である。なお、第１磁場印加層１２と第２磁場印加層１６に流す電流の電流値を電源制御部１０１によって変更可能に設定してもよい。

[0054] 電圧計測部１０２は、電圧計１２０に接続される。また、電圧計測部１０２は、熱流算出部１０３に接続される。電圧計測部１０２は、熱流検出層１４に発生した起電力の電圧値を電圧計１２０から取得する。電圧計測部１０２は、取得した熱流検出層１４の起電力の電圧値を熱流算出部１０３に出力する。

[0055] 熱流算出部１０３は、電圧計測部１０２に接続される。また、熱流算出部１０３は、出力部１０７に接続される。熱流算出部１０３は、熱流検出層１４に発生した起電力に応じた電圧値を電圧計測部１０２から取得する。熱流算出部１０３は、取得した電圧値を熱流値に変換する。熱流算出部１０３は、算出した熱流値を出力部１０７に出力する。

[0056] 出力部１０７は、熱流算出部１０３から熱流値を取得する。出力部１０７は、取得した熱流値を出力装置１３０に出力する。

[0057] 出力装置１３０は、出力部１０７から熱流値を取得する。出力装置１３０は、取得した熱流値を出力する。例えば、出力装置１３０は、熱流値に関する情報を表示させるモニターを有する表示装置によって実現される。また、例えば、出力装置１３０は、熱流値に関する情報を紙などの媒体に印刷するプリンターによって実現される。また、例えば、出力装置１３０は、熱流値に関する情報を音声で通知するスピーカによって実現される。なお、出力装置１３０は、熱流値に関する情報を出力できさえすれば、特に限定は加えない。

[0058] 以上が、本実施形態の熱流計測システム１が有する熱流計測装置１００についての説明である。なお、図７の熱流計測装置１００は一例であって、本実施形態の熱流計測システム１が有する熱流計測装置１００を図７の形態に限定するものではない。

[0059] （動作）

次に、本実施形態の熱流計測システム１が有する熱流計測装置１００の動作について図面を参照しながら説明する。図８は、熱流計測装置１００の動作の一例について説明するためのフローチャートである。図８のフローチャートに沿った熱流計測装置１００の動作の説明においては、熱流計測装置１００を構成する構成要素を主体とするが、熱流計測装置１００を動作の主体としてみなすこともできる。

[0060] 図８において、まず、熱流計測装置１００の電源制御部１０１は、直流電源１１０を駆動させ、第１磁場印加層１２と第２磁場印加層１６に電流を流す（ステップＳ１１）。

[0061] 次に、熱流計測装置１００の電圧計測部１０２は、電圧計１２０によって計測された電圧値を計測する（ステップＳ１２）。

[0062] ここで、熱流計測装置１００の電圧計測部１０２によって計測された電圧値が閾値を超えなかった場合（ステップＳ１３でＮｏ）、ステップＳ１２に戻る。

[0063] 一方、熱流計測装置１００の電圧計測部１０２によって計測された電圧値が閾値を超えた場合（ステップＳ１３でＹｅｓ）、熱流計測装置１００の熱流算出部１０３は、その電圧値を用いて熱流値を算出する（ステップＳ１４）。

[0064] そして、熱流計測装置１００の出力部１０７は、算出された熱流値を出力装置１３０に出力する（ステップＳ１５）。

[0065] ここで、熱流の計測を継続する場合（ステップＳ１６でＹｅｓ）、ステップＳ１２に戻る。一方、熱流の計測を終了する場合（ステップＳ１６でＮｏ）、図８のフローチャートに沿った処理を終了とする。

[0066] 以上が、本実施形態の熱流計測システム１が有する熱流計測装置１００の動作についての説明である。なお、図８の熱流計測装置１００の動作は一例であって、本実施形態の熱流計測システム１が有する熱流計測装置１００の動作を図８の手順に限定するものではない。

[0067] 〔製造方法〕

次に、本実施形態の熱流計測システム１の熱流センサ１０に含まれる熱流検出層１４の製造方法について図面を参照しながら説明する。図９は、熱流検出層１４の製造方法の一例について説明するための概念図である。図９は、めっきによって熱流検出層１４を形成する例である。

[0068] 図９の（ａ）は、熱流検出層１４のパターンを形成するための絶縁層１５１を導電性基材１５２の面上に形成させた版である。

[0069] 図９の（ｂ）は、熱流検出層１４のパターンを有するめっき層１５３を導電性基材１５２の面上にめっきした状態である。めっき層１５３は、絶縁層１５１によって被覆されていない導電性基材１５２の面上に形成される。例えば、めっき層１５３は、鉄－アルミニウム合金や、パーマロイ等の軟磁性材料である。

[0070] 図９の（ｃ）は、導電性基材１５２の面上に形成されためっき層１５３を転写フィルム１５４に転写する状態を示す。例えば、転写フィルム１５４は、ポリイミド等の絶縁材料である。転写フィルム１５４は、第１絶縁層１３に相当する。

[0071] 図９の（ｄ）は、熱流検出層１４のパターンを形成するための絶縁層１５１を導電性基材１５２の面上に形成させた版から、転写フィルム１５４（第１絶縁層１３）を剥がした状態を示す。図９の（ｄ）のように、転写フィルム１５４（第１絶縁層１３）の一方の面上には、めっき層１５３（熱流検出層１４）が形成される。

[0072] 以上が、本実施形態の熱流計測システム１の熱流センサ１０に含まれる熱流検出層１４の製造方法についての説明である。なお、図９の熱流検出層１４の製造方法は一例であって、本実施形態の熱流検出層１４の製造方法を図

９で示す手順に限定するものではない。

[0073] 以上のように、本実施形態の熱流センサは、基板、第１磁場印加層、第１絶縁層、熱流検出層、第２絶縁層、および第２磁場印加層を備える。第１磁場印加層は、基板の上面に配置され、導電体によって構成される。第１絶縁層は、第１磁場印加層の上面に配置される。熱流検出層は、第１絶縁層の上面に配置され、導電性磁性体によって構成される。第２絶縁層は、熱流検出層の上面に配置される。第２磁場印加層は、第２絶縁層の上面に配置され、導電体によって構成される。熱流検出層は、第１絶縁層を介して第１磁場印加層と対向し、第２絶縁層を介して第２磁場印加層と対向する。

[0074] 本実施形態の一態様において、第１磁場印加層および第２磁場印加層を構成する導電体のパターンと、熱流検出層を構成する導電性磁性体のパターンとは互いに対向する。また、本実施形態の一態様において、第１磁場印加層および第２磁場印加層の各々と熱流検出層とが第１絶縁層および第２絶縁層の各々を介して設けられ、第１磁場印加層および第２磁場印加層の各々の配線パターンに対向して熱流検出層の配線パターンが設けられる。また、本実施形態の一態様において、第１磁場印加層および第２磁場印加層を構成する導電体のパターンと、熱流検出層を構成する導電性磁性体のパターンとは同一の形状である。また、本実施形態の一態様において、上面視において、第１磁場印加層および第２磁場印加層の各々を構成する導電体のパターンの線路長に沿って、熱流検出層を構成する導電性磁性体のパターンの線路が延在するように配置される。

[0075] 本実施形態の一態様において、熱流検出層は、軟磁性の導電性磁性体によって構成される。本実施形態の一態様において、第１磁場印加層と熱流検出層の距離と、第２磁場印加層と熱流検出層の距離とが等しい。本実施形態の一態様において、第１磁場印加層、第２磁場印加層、および熱流検出層は、一本の配線が折り返された形状のパターンで構成される。本実施形態の一態様において、第１磁場印加層、第２磁場印加層、および熱流検出層は、ミアンダ形状のパターンで構成される。本実施形態の一態様において、第１磁場

印加層および第２磁場印加層は、熱流検出層よりも膜厚が厚い。

[0076] また、本実施形態の熱流計測システムは、上述の熱流センサと熱流計測装置を備える。熱流計測装置は、第１磁場印加層および第２磁場印加層に流れる電流を制御し、熱流検出層の電圧を計測し、計測された電圧値を熱流値に変換する。

[0077] 本実施形態の一態様の熱流計測システムにおいて、第１磁場印加層、第２磁場印加層、および熱流検出層の各々は、第１端および第２端を有する。第１磁場印加層および第２磁場印加層の各々の第１端は互いに電気的に接続される。第１磁場印加層および第２磁場印加層の各々の第２端は直流電源を介して接続される。熱流計測装置は、第１磁場印加層および第２磁場印加層のいずれかの第２端から直流電流を流す制御をし、熱流検出層の第１端と第２端との間の電圧を計測する。

[0078] 本実施形態によれば、導電性磁性体からなる熱流検出層を２つの磁場印加層で挟み込むように構成することによって、熱流検出層の面内方向に効果的に磁場を印加できる。また、本実施形態によれば、２つの磁場印加層に流れる電流の電流値が等しくなるので、２つの磁場印加層に電流が流れることによって発生するジュール熱に起因する熱流を相殺できる。

[0079] また、本実施形態によれば、単一材料からなるミアンダ形状の導電性磁性体によって構成される熱流検出層に対して、外部からの一様な磁場ではなく、局所的に異なる非一様な磁場を印加できる。すなわち、本実施形態によれば、熱流検出層を構成するミアンダ形状の導電性磁性体の部分に安定した磁場を集中して印加できるため、高感度な熱流センサを得ることができる。

[0080] すなわち、本実施形態の熱流センサによれば、非一様な磁場を発生する磁場印加層を用いて、熱流検出層を非一様に磁化させることで、単一の材料で、高い取り出し電圧を有する熱電層を構成することが可能となる。言い換えると、本実施形態によれば、単一の導電性磁性体で熱流を検出する高感度の薄膜型の熱流センサを提供できる。

[0081] （第２の実施形態）

次に、第２の実施形態に係る熱流計測システムについて図面を参照しながら説明する。本実施形態の熱流計測システムは、直流電源の替わりに交流電源を備える点において、第１の実施形態の熱流計測システムと異なる。

[0082] 図１０は、本実施形態の熱流計測システム２の構成の一例を示す概念図である。図１０のように、熱流計測システム１は、熱流センサ２０、熱流計測装置２００、交流電源２１０、電圧計２２０を有する。図１０においては、実際には積層される第１磁場印加層２２、熱流検出層２４、および第２磁場印加層２６を横に並べて図示する。交流電源２１０は、設定された周期に合わせて極性が入れ替わる交流電流を出力する。

[0083] 熱流センサ２０は、図１に示す熱流センサ１０と同様の構造を有する。熱流センサ２０は、基板２１の上面に、第１磁場印加層２２、第１絶縁層２３、熱流検出層２４、第２絶縁層２５、第２磁場印加層２６、およびカバー層（図示しない）が順番に積層された構造を有する。実際には、第１磁場印加層２２、熱流検出層２４、および第２磁場印加層２６は積層される。なお、図１０においては、カバー層を省略する。以下において、熱流センサ１０と同様の構成については、説明を省略することがある。一例として、第１絶縁層２３の二つの主面のうち、第１磁場印加層２２が配置される面を第１面と呼び、熱流検出層２４が配置される面を第２面と呼ぶ。また、一例として、第２絶縁層２５の二つの主面のうち、第２磁場印加層２６が配置される面を第１面と呼び、熱流検出層２４が配置される面を第２面と呼ぶ。

[0084] 第１磁場印加層２２は、第１端２２１および第２端２２２を有する。熱流検出層２４は、第１端２４１および第２端２４２を有する。第２磁場印加層２６は、第１端２６１および第２端２６２を有する。例えば、第１磁場印加層２２、熱流検出層２４、および第２磁場印加層２６は、ミアンダ形状を有し、上面視において重なる。

[0085] 第１磁場印加層２２の第２端２２２は、第２磁場印加層２６の第２端２６２に電気的に接続される。例えば、図１のように各層を積層させた状態で、第１磁場印加層２２の第２端２２２と、第２磁場印加層２６の第２端２６２

とは、熱流センサ２０の側面に沿って配置された配線（図示しない）によって電気的に接続される。第１磁場印加層２２の第１端２２１は、交流電源２１０を挟んで、第２磁場印加層２６の第１端２６１に電気的に接続される。熱流センサ２０の第１端２４１は、熱流センサ２０の第２端２４２に電気的に接続される。熱流センサ２０の第１端２４１と第２端２４２の間には電圧計２２０が配置される。

[0086] 熱流計測装置２００は、交流電源２１０と電圧計２２０に接続される。熱流計測装置２００は、交流電源２１０を駆動させ、第１磁場印加層２２と第２磁場印加層２６を流れる交流電流を制御する。また、熱流計測装置２００は、電圧計２２０を用いて、熱流が通過することによって熱流検出層２４に発生する起電力を計測する。

[0087] 交流電源２１０は、熱流計測装置２００の制御に応じて交流電流を出力する。交流電源２１０は、第２磁場印加層２６の第１端２６１と、第１磁場印加層２２の第１端２２１との間に接続される。

[0088] 電圧計２２０は、熱流検出層２４の第１端２４１と第２端２４２に接続される交流電圧計である。電圧計２２０は、熱流検出層２４の第１端２４１と第２端２４２の間の電圧を計測し、計測した電圧値を熱流計測装置２００に出力する。

[0089] 以上が、本実施形態の熱流計測システム２の構成についての説明である。なお、図１０の構成は、熱流計測システム２の構成の一例であって、本実施形態の熱流計測システム２の構成を図１０の形態に限定するものではない。

[0090] 〔熱流計測装置〕

次に、本実施形態の熱流計測システム２が有する熱流計測装置２００について図面を参照しながら説明する。図１１は、熱流計測装置２００の構成の一例を示すブロック図である。図１１のように、熱流計測装置２００は、電源制御部２０１、電圧計測部２０２、熱流算出部２０３、補正部２０５、および出力部２０７を有する。図１１には、熱流計測装置２００の計測した熱量を出力するための出力装置２３０を出力部２０７に接続する例を示す。

[0091] 電源制御部２０１は、交流電源２１０に接続される。電源制御部２０１は、交流電源２１０を駆動させ、第１磁場印加層１２と第２磁場印加層１６を流れる交流電流を制御する。電源制御部２０１が第１磁場印加層２２と第２磁場印加層２６に流す電流の電流値は、予め設定された値である。なお、第１磁場印加層２２と第２磁場印加層２６に流す交流電流の実効値を電源制御部２０１によって変更可能に設定してもよい。

[0092] 電圧計測部２０２は、電圧計２２０に接続される。また、電圧計測部２０２は、熱流算出部２０３に接続される。電圧計測部２０２は、熱流検出層２４に発生した起電力の電圧値を電圧計２２０から取得する。電圧計測部２０２は、取得した熱流検出層２４の起電力の電圧値を熱流算出部２０３に出力する。

[0093] ここで、電圧計測部２０２によって計測される電圧について図面を参照しながら説明する。図１２および図１３は、熱流センサ２０を構成する第１磁場印加層２２および第２磁場印加層２６を流れる電流の向きによって、熱流検出層２４を流れる電流の向きが変化することについて説明するための概念図である。図１２および図１３の例では、熱流センサ２０に対して、第１磁場印加層２２から第２磁場印加層２６に向けて面直方向（＋ｚ方向）に熱流が流れるものとする。

[0094] 図１２は、交流電源２１０から－ｘ方向に電流が流れ出た状況を示す概念図である。図１２の例では、第２磁場印加層２６の第１端２６１から＋ｙ方向に向けて流れ込んだ電流が、ｙ方向に沿って向きを変えることを繰り返して第２端２６２から流れ出す。第２磁場印加層２６の第２端２６２から流れ出た電流は、第１磁場印加層２２の第２端２２２から－ｙ方向に向けて流れ込む。第１磁場印加層２２の第２端２２２から－ｙ方向に向けて流れ込んだ電流は、ｙ方向に沿って向きを変えることを繰り返して第１端２２１から流れ出す。

[0095] 図１２の例では、第１磁場印加層２２から第２磁場印加層２６に向けて面直方向（＋ｚ方向）に熱流が流れる状況において、熱流検出層２４の第１端

２４１から第２端２４２に向けて電流が流れる。

[0096] 図１３は、交流電源２１０から＋ｘ方向に電流が流れ出た状況を示す概念図である。図１３の例では、第１磁場印加層２２の第１端２２１から＋ｙ方向に向けて流れ込んだ電流が、ｙ方向に沿って向きを変えることを繰り返して第２端２２２から流れ出す。第１磁場印加層２２の第２端２２２から流れ出た電流は、第２磁場印加層２６の第２端２６２から－ｙ方向に向けて流れ込む。第２磁場印加層２６の第２端２６２から－ｙ方向に向けて流れ込んだ電流は、ｙ方向に沿って向きを変えることを繰り返して第１端２６１から流れ出す。

[0097] 図１３の例では、第１磁場印加層２２から第２磁場印加層２６に向けて面直方向（＋ｚ方向）に熱流が流れる状況において、熱流検出層２４の第２端２４２から第１端２４１に向けて電流が流れる。

[0098] 熱流算出部２０３は、電圧計測部２０２に接続される。また、熱流算出部２０３は、補正部２０５に接続される。熱流算出部２０３は、熱流検出層２４に発生した起電力に応じた電圧値を電圧計測部２０２から取得する。熱流算出部２０３は、取得した電圧値を熱流値に変換する。熱流算出部２０３は、算出した熱流値を補正部２０５に出力する。熱流算出部２０３によって算出される熱流値は、電流が流れる方向に応じて極性が周期的に入れ替わる。

[0099] 補正部２０５は、熱流算出部２０３によって算出された熱流値を取得する。補正部２０５は、取得した熱流値を補正する。一例として、補正部２０５は、熱流値の最大値と最小値の平均値をベースラインに設定し、ベースラインに合わせて熱流値を補正する。補正部２０５は、補正した熱流値を出力部２０７に出力する。

[0100] 図１４は、第１磁場印加層２２から第２磁場印加層２６に向けて概ね面直方向（＋ｚ方向）に熱流が流れる状況において、交流電源２１０から流れ出る電流に応じて極性が変化する電圧値の時間変化を示す概念図である。

[0101] 例えば、面直方向（ｚ方向）の熱流成分に加えて面内方向（ｘｙ面内）の熱流成分が存在する場合や、熱流分布が大きいことに起因して素子面内の熱

流分布が不均一な場合が想定される。このような場合、第１磁場印加層２２から第２磁場印加層２６に向けて概ね面直方向（＋ｚ方向）に熱流が流れると、異常ネルンスト効果に起因する起電力に加えて、ゼーベック効果に起因する起電力もオフセット電圧が熱流検出層１４に印加される可能性がある。異常ネルンスト効果に起因する起電力は熱流方向に対して垂直に生じることから、熱流検出層１４の第１端と第２端との間に生じる面内方向の起電力（電圧値Ｖ）は、面直方向（ｚ方向）の熱流に比例する。それに対し、ゼーベック効果に起因する起電力は、熱流方向に沿って生じることから、第１端と第２端との間に生じる面内方向の起電力（電圧値Ｖ）は、面内方向（ｘｙ面内方向）の熱流に依存する。そのため、交流電源２１０から＋ｘ方向に電流が流れ出た際に検出される電圧値Ｖ１と、交流電源２１０から－ｘ方向に電流が流れ出た際に検出される電圧値Ｖ２とは、ゼーベック効果の寄与分だけ値がずれる。

[0102] 本実施形態においては、交流電源２１０からの交流電流の極性の変化に応じて、異常ネルンスト効果に起因する面直方向（ｚ方向）の起電力Ｖaの向きは変化する。それに対し、交流電源２１０からの交流電流の極性の変化に応じて、ゼーベック効果に起因する面直方向（ｚ方向）の起電力Ｖsの向きは変化しない。そのため、以下の式４を用いて電圧値Ｖ１と電圧値Ｖ２の平均値を計算すれば、ゼーベック効果に起因する起電力Ｖsが除去され、異常ネルンスト効果に起因する起電力Ｖaを算出できる。

｜Ｖa｜＝（Ｖ１＋Ｖ２）／２・・・（４）

出力部２０７は、補正部２０５から熱流値を取得する。出力部２０７は、取得した熱流値を出力装置２３０に出力する。

[0103] 出力装置２３０は、出力部２０７から熱流値を取得する。出力装置２３０は、取得した熱流値を出力する。例えば、出力装置２３０は、熱流値に関する情報を表示させるモニターを有する表示装置によって実現される。また、例えば、出力装置２３０は、熱流値に関する情報を紙などの媒体に印刷するプリンターによって実現される。また、例えば、出力装置２３０は、熱流値

に関する情報を音声で通知するスピーカによって実現される。なお、出力装置２３０は、熱流値に関する情報を出力できさえすれば、特に限定は加えない。

[0104] 以上が、本実施形態の熱流計測システム２が有する熱流計測装置２００についての説明である。なお、図１１の熱流計測装置２００は一例であって、本実施形態の熱流計測システム２が有する熱流計測装置２００を図１１の形態に限定するものではない。

[0105] （動作）

次に、本実施形態の熱流計測システム２が有する熱流計測装置２００の動作について図面を参照しながら説明する。図１５は、熱流計測装置２００の動作の一例について説明するためのフローチャートである。図１５のフローチャートに沿った熱流計測装置２００の動作の説明においては、熱流計測装置２００を構成する構成要素を主体とするが、熱流計測装置２００を動作の主体としてみなすこともできる。

[0106] 図１５において、まず、熱流計測装置２００の電源制御部２０１は、交流電源２１０を駆動させ、第１磁場印加層２２と第２磁場印加層２６に電流を流す（ステップＳ２１）。

[0107] 次に、熱流計測装置２００の電圧計測部２０２は、電圧計２２０によって計測された電圧値を計測する（ステップＳ２２）。

[0108] ここで、熱流計測装置２００の電圧計測部２０２によって計測された電圧値が閾値を超えなかった場合（ステップＳ２３でＮｏ）、ステップＳ２２に戻る。

[0109] 一方、熱流計測装置２００の電圧計測部２０２によって計測された電圧値が閾値を超えた場合（ステップＳ２３でＹｅｓ）、熱流計測装置２００の熱流算出部２０３は、その電圧値を用いて熱流値を算出する（ステップＳ２４）。

[0110] 次に、熱流計測装置２００の補正部２０５は、熱流算出部２０３によって算出された熱流値を補正する（ステップＳ２５）。

[0111] そして、熱流計測装置２００の出力部２０７は、算出された熱流値を出力装置２３０に出力する（ステップＳ２６）。

[0112] ここで、熱流の計測を継続する場合（ステップＳ２７でＹｅｓ）、ステップＳ２２に戻る。一方、熱流の計測を終了する場合（ステップＳ２７でＮｏ）、図１５のフローチャートに沿った処理を終了とする。

[0113] 以上が、本実施形態の熱流計測システム２が有する熱流計測装置２００の動作についての説明である。なお、図１５の熱流計測装置２００の動作は一例であって、本実施形態の熱流計測システム２が有する熱流計測装置２００の動作を図１５の手順に限定するものではない。

[0114] 以上のように、本実施形態の熱流計測システムは、上述の熱流センサと熱流計測装置を備える。熱流計測装置は、第１磁場印加層および第２磁場印加層に電流を流す制御をし、熱流検出層の電圧を計測し、計測された電圧値を熱流値に変換する。

[0115] 本実施形態の一態様の熱流計測システムにおいて、第１磁場印加層、第２磁場印加層、および熱流検出層の各々は、第１端および第２端を有する。第１磁場印加層および第２磁場印加層の各々の第１端は互いに電気的に接続される。第１磁場印加層および第２磁場印加層の各々の第２端は交流電源を介して接続される。熱流計測装置は、第１磁場印加層および第２磁場印加層の各々の第２端から交流電流を流す制御をし、熱流検出層の第１端と第２端との間の電圧を計測する。

[0116] 本実施形態の一態様において、熱流計測装置は、熱流検出層の第１端と第２端との間の電圧の最大値と最小値の平均値をベースラインに設定して熱流値を補正する。

[0117] 本実施形態によれば、単一材料からなるミアンダ形状の導電性磁性体によって構成される熱流検出層に対して、周期的に向きが切り替わり、局所的に異なる非一様な磁場を印加できる。本実施形態によれば、交流電流によって熱流センサの磁化が周期的に反転することを利用し、熱流センサの面直方向に流れ込む熱流によって面内方向に発生するゼーベック効果に起因する起電

力を除去できるので、高精度な熱流センサが得られる。

[0118] また、本実施形態によれば、ゼーベック効果やノイズなどによって生じ得るオフセット信号を判別し、そのオフセット信号を除去できる。さらに、本実施形態によれば、ロックイン検出等によって、より高感度な熱流センシングを実現できる。

[0119] 例えば、測定対象となる熱流が小さい場合、熱流に起因する電圧信号が、多様な周波数のノイズに埋もれてしまう可能性がある。本実施形態の手法によれば、熱流に起因する信号が交流電流と同じ周波数で変調されていることが分かっているため、その周波数成分のみをフィルタで切り取ることによって、他の周波数成分のノイズを除去できる。その結果、本実施形態の手法によれば、多様な周波数のノイズに埋もれていた熱流に起因する電圧信号を高感度に抽出できる。

[0120] （第３の実施形態）

次に、第３の実施形態に係る熱流計測システムについて図面を参照しながら説明する。本実施形態の熱流計測システムは、磁場印加層を一層で構成する点において、第１の実施形態の熱流計測システムと異なる。以下においては、熱流センサについて説明した後に、その熱流センサを備える熱流計測システムについて説明する。

[0121] 〔熱流センサ〕

図１６は、本実施形態の熱流計測システムが備える熱流センサ３０の構成の一例を示す概念図である。熱流センサ３０は、平板状の外観を有する。図１６は、平板状の熱流センサ３０を側方から見た際の側面図である。

[0122] 熱流センサ３０は、基板３１、熱流検出層３４、絶縁層３５、磁場印加層３６、およびカバー層３７を有する。

[0123] 基板３１は、その上面に熱流検出層３４が形成される基材である。基板３１は、熱流を伝導しやすい材料で構成される。例えば、基板３１は、ポリイミドによって構成される。なお、基板３１の材料は、熱流を伝導しやすければ、ポリイミドに限定されない。

[0124] 熱流検出層３４は、基板３１と絶縁層３５の間に配置される。熱流検出層３４は、第１端と第２端を有する所定のパターンで形成された導電性磁性体である。例えば、磁場印加層３６を構成する導電体のパターンと、熱流検出層３４を構成する導電性磁性体のパターンとは、互いに対向する。例えば、磁場印加層３６を構成する導電体のパターンと、熱流検出層３４を構成する導電性磁性体のパターンとは同一の形状である。例えば、磁場印加層３６と熱流検出層３４は、上面視において、一方のパターンの線路長に沿って、他方のパターンの線路が延在するように配置される。

[0125] 熱流検出層３４は、熱流センサの面内方向（ｘｙ面内の方向）に磁化しやすい軟磁性薄膜によって実現されることが好ましい。例えば、熱流検出層３４は、鉄－アルミニウム合金や、パーマロイ等の材料で実現できる。例えば、熱流検出層３４は、センシング感度を高めるために、実効的な長さの長い形状を有することが好ましい。例えば、熱流検出層３４は上面視において、第１端と第２端が離れた位置に配置されるミアンダ形状を有する。なお、熱流検出層３４の形状は、第１端から第２端までの配線の線路長を長くできさえすれば、ミアンダ形状に限定されない。

[0126] 絶縁層３５は、熱流検出層３４と磁場印加層３６の間に配置される絶縁体である。一例として、絶縁層３５の二つの主面のうち、磁場印加層３６が配置される面を第１面と呼び、熱流検出層３４が配置される面を第２面と呼ぶ。例えば、絶縁層３５は、ポリイミドによって構成される。なお、絶縁層３５の材料は、絶縁性があれば、ポリイミドに限定されない。

[0127] 磁場印加層３６は、絶縁層３５の上面に形成される。磁場印加層３６は、第１端と第２端を有する所定のパターンで形成された導電体である。例えば磁場印加層３６は、熱流検出層３４と同様のパターンで形成される。例えば、熱流検出層３４と磁場印加層３６とは、上面視において重なる。例えば、磁場印加層３６は、上面視において、第１端と第２端が離れた位置に配置されるミアンダ形状を有する。なお、磁場印加層３６の形状は、第１端から第２端までの配線の線路長を長くできさえすれば、ミアンダ形状に限定されな

い。

[0128] 例えば、磁場印加層３６は、銅やアルミニウム、金などの金属材料で構成される。なお、磁場印加層３６の材料は、導電性がありさえすれば、銅やアルミニウム、金などの金属材料に限定されない。例えば、磁場印加層３６は、めっきによって形成できる。なお、磁場印加層３６は、めっき以外の方法で形成されてもよい。

[0129] カバー層３７は、磁場印加層３６の上面に形成される。カバー層３７は、熱流センサ３０を保護する保護層である。カバー層３７は、機械的強度や化学的安定性、耐熱性などが高い絶縁材料であることが好ましい。例えば、カバー層３７は、ポリイミドによって構成される。なお、カバー層３７の材料は、機械的強度や化学的安定性、耐熱性などが十分であれば、ポリイミドに限定されない。

[0130] 熱流検出層３４の位置には、磁場印加層３６を流れる電流に起因して磁場が発生する。熱流検出層３４は、磁場印加層３６によって印加される磁場によって、熱流センサ３０の面内方向（ｘｙ面内方向）に磁化する。

[0131] 第１の実施形態の式１～３を用いれば、熱流検出層３４に発生した起電力に応じた電圧値Ｖを用いて、その電圧値に対応する熱流値ｑを算出できる。

[0132] 以上が、本実施形態の熱流計測システムが備える熱流センサ３０の構成についての説明である。なお、図１６の構成は、熱流センサ３０の構成の一例であって、本実施形態の熱流計測システムが備える熱流センサ１０の構成を図１６の形態に限定するものではない。

[0133] 〔熱流計測システム〕

次に、本実施形態の熱流計測システムについて図面を参照しながら説明する。本実施形態の熱流計測システムは、熱流センサ３０の磁場印加層３６に電流を流すための直流電源を備える。

[0134] 図１７は、本実施形態の熱流計測システム３の構成の一例を示す概念図である。図１７のように、熱流計測システム３は、熱流センサ３０、熱流計測装置３００、直流電源３１０、電圧計３２０を有する。図１７においては、

実際には積層される熱流検出層３４と磁場印加層３６を仮想的に横に並べて図示する。

[0135] 熱流センサ３０は、図１６に示す構造を有する。熱流センサ３０は、図１６のように、基板３１、熱流検出層３４、絶縁層３５、磁場印加層３６、およびカバー層３７を有する。実際には、熱流検出層３４と磁場印加層３６は積層される。なお、図１７においては、カバー層３７を省略する。

[0136] 熱流検出層３４は、第１端３４１および第２端３４２を有する。磁場印加層３６は、第１端３６１および第２端３６２を有する。熱流検出層３４および磁場印加層３６は、ミアンダ形状を有し、上面視において重なる。

[0137] 磁場印加層３６の第２端３６２は、直流電源３１０を挟んで、磁場印加層３６の第１端３６１に電気的に接続される。熱流センサ３０の第１端３４１は、熱流センサ３０の第２端３４２に電気的に接続される。熱流センサ３０の第１端３４１と第２端３４２の間には電圧計３２０が配置される。

[0138] 熱流計測装置３００は、直流電源３１０と電圧計３２０に接続される。熱流計測装置３００は、直流電源３１０を駆動させ、磁場印加層３６を流れる電流を制御する。また、熱流計測装置３００は、電圧計３２０を用いて、熱流が通過することによって熱流検出層３４に発生する起電力を計測する。

[0139] 直流電源３１０は、熱流計測装置３００の制御に応じて直流電流を出力する。直流電源３１０は、磁場印加層３６の第１端３６１に正極が接続され、磁場印加層３６の第２端３６２に負極が接続される。なお、磁場印加層３６に流す電流の向きを反対に構成する場合、直流電源３１０は、磁場印加層３６の第１端３６１に負極が接続され、磁場印加層３６の第２端３６２に正極が接続される。

[0140] 電圧計３２０は、熱流検出層３４の第１端３４１と第２端３４２に接続される直流電圧計である。電圧計３２０は、熱流検出層３４の第１端３４１と第２端３４２の間の電圧を計測し、計測した電圧値を熱流計測装置３００に出力する。

[0141] 図１８は、磁場印加層３６に電流が流れる様子を矢印で図示した概念図で

ある。図１８には、熱流計測装置３００が直流電源３１０を駆動して、磁場印加層３６の第１端３６１から第２端３６２に向けて電流が流れる例を図示する。

[0142] 図１９は、図１８のように磁場印加層３６に電流が流れた際に、磁場印加層３６に発生する磁場が熱流検出層３４の位置に磁界を発生させる様子を図示した概念図である。図１９のように、磁場印加層３６に電流が流れると、アンペールの法則に従って、磁場印加層３６を構成する配線の周囲に磁場が発生する。磁場印加層３６を構成する配線の周囲の磁場は、熱流検出層３４を磁化する。図１９のように、熱流検出層３４を構成する配線のうち隣接し合う配線は互いに逆向きに磁化する。

[0143] 図２０は、図１８および図１９のように、磁場印加層３６に電流を流した状態で、外部から熱流が到達した状況を示す概念図である。図２１は、磁場印加層３６に電流を流した状態で、外部から熱流が到達した状況において、熱流検出層３４に起電力が発生し、熱流検出層３４に電流が流れる様子を図示した概念図である。

[0144] 図２０のように基板３１から第２磁場印加層１６に向けて熱流が熱流検出層３４を通過すると、熱流検出層３４を構成する各々の導電性磁性体において異常ネルンスト効果による起電力が発生する。このときに発生する起電力がミアンダ形状の構造の熱流検出層３４において加算された結果、熱流検出層３４の第１端３４１と第２端３４２との間で出力電圧を検出できる。熱流検出層３４の第１端３４１と第２端３４２との間の出力電圧は、熱流値に比例するため、検出された出力電圧を熱流値に変換することによって、熱流検出層３４を通過する熱流を計測できる。

[0145] また、熱流計測システム３は、低周波のノイズや、振動等の外因性の信号揺らぎに微弱信号が埋もれてしまうのを防ぐため、ノイズ源よりも高周波の周波数で磁場を変調し、ノイズの少ない周波数領域で信号を評価するロックイン検出法に適用できる。

[0146] 以上が、本実施形態の熱流計測システム３の構成についての説明である。

なお、図１６～図２１の構成は、熱流計測システム３の構成の一例であって、本実施形態の熱流計測システム３の構成を図１６～２１の形態に限定するものではない。なお、本実施形態の熱流計測システム３は、第２の実施形態のように、磁場印加層３６に交流電流を流すように構成してもよい。

[0147] 以上のように、本実施形態の熱流計測システムは、絶縁層、磁場印加層、および熱流検出層を有する熱流センサを備える。磁場印加層は、絶縁層の第１面に配置され、導電体によって構成される。熱流検出層は、絶縁層の第１面に対向する第２面に配置され、導電性磁性体によって構成される。磁場印加層および熱流検出層は、熱流検出層は、絶縁層を介して磁場印加層と対向する。

[0148] 本実施形態の一態様において、磁場印加層を構成する導電体のパターンと、熱流検出層を構成する導電性磁性体のパターンとは互いに対向する。また、本実施形態の一態様において、磁場印加層と熱流検出層とが絶縁層を介して設けられ、磁場印加層の配線パターンに対向して熱流検出層の配線パターンが設けられる。また、本実施形態の一態様において、磁場印加層を構成する導電体のパターンと、熱流検出層を構成する導電性磁性体のパターンとは同一の形状である。また、本実施形態の一態様において、上面視において、磁場印加層を構成する導電体のパターンの線路長に沿って、熱流検出層を構成する導電性磁性体のパターンの線路が延在するように配置される。

[0149] 本実施形態によれば、単一の導電性磁性体で熱流を検出する高感度の薄膜型の熱流センサを提供できる。

[0150] 上記の各実施形態の熱流計測システムは、リチウムイオン電池などの発熱体を含む製品の異常発熱を検知する用途に用いることができる。一般的な温度検知では、発熱体の温度が閾値を超えた時点で異常を検知する。それに対し、各実施形態の熱流計測システムは、発熱体からの熱流を検出するため、発熱体の温度が閾値を超える前に、閾値を超えた熱流が検知された時点において異常を検知できる。

[0151] また、各実施形態の熱流センサは、薄型化できるため、計測対象物の表面

に貼付しても、面直方向の熱流の流れを妨げにくい。そのため、各実施形態の熱流センサをプラントの配管に貼付すれば、配管からの排熱をリアルタイムで管理することができる。また、各実施形態の熱流センサによって検出された熱流のログを取れば、配管からの排熱をログで管理することもできる。

[0152] （構成例）

ここで、各実施形態に係る熱流センサの構成例について一例を挙げて説明する。図２２は、本構成例の熱流センサ５０の構造の一例について説明するための概念図である。図２２は、平板状の熱流センサ５０を側方から見た際の側面図である。本構成例の熱流センサ５０は、第１の実施形態の熱流センサ１０に対応する。図２２は、熱流センサ５０を構成する各層の位置関係を表し、各層の膜厚は正確に表していない。

[0153] 熱流センサ５０は、基板５１、第１磁場印加層５２、第１絶縁層５３、熱流検出層５４、第２絶縁層５５、第２磁場印加層５６、およびカバー層５７を有する。基板５１、第１磁場印加層５２、第１絶縁層５３、熱流検出層５４、第２絶縁層５５、第２磁場印加層５６、およびカバー層５７は、第１の実施形態の熱流センサ１０の対応する構成要素と同様であるため、詳細な説明は省略する。

[0154] 熱流センサ５０の形状は、上面視において、一辺が３０ミリメートルの正方形である。第１磁場印加層５２および第２磁場印加層５６の導電体のパターンと、熱流検出層５４の導電性磁性体のパターンは同一である。第１磁場印加層５２および第２磁場印加層５６の導電体のパターンと、熱流検出層５４の導電性磁性体のパターンは、１４９本の配線が並行しており、隣接し合う各々の配線の端部同士が接続されて一つの配線となり、ミアンダ形状をなす。第１磁場印加層５２および第２磁場印加層５６の導電体のパターンと、熱流検出層５４の導電性磁性体のパターンを構成する配線の幅w_1は１００マイクロメートルであり、それらの配線間の間隔w_2は１００マイクロメートルである。

[0155] 基板５１およびカバー層５７の材質はポリイミドである。第１磁場印加層

５２および第２磁場印加層５６の材質は銅（Ｃｕ）である。熱流検出層５４の材質はFe_3Alである。熱流検出層５４の材質はＮｉでもよい。第１絶縁層５３および第２絶縁層５５の材質はポリイミドである。

[0156] 基板５１およびカバー層５７の膜厚t_sは１０マイクロメートルである。第１磁場印加層５２および第２磁場印加層５６の膜厚t_mは１０マイクロメートルである。熱流検出層５４の膜厚t_dは１マイクロメートルである。第１絶縁層５３および第２絶縁層５５の膜厚t_iは５マイクロメートルとした。

[0157] 熱流検出層５４を効果的に磁化させるためには、$t_m \geqq t_i$かつ$t_m \geqq t_d$の条件を満たすことが望ましい。さらに、熱流検出層５４を効果的に磁化させるためには、$t_m \geqq t_i + t_d$の条件を満たすことがより望ましい。第１の理由は、第１磁場印加層５２および第２磁場印加層５６が厚いほど、電気抵抗が小さくなり、ジュール熱に起因する熱流の発生が低減するためである。第２の理由は、第１磁場印加層５２および第２磁場印加層５６が熱流検出層５４に比べて厚いほど、熱流検出層５４に印加される磁場のばらつきが低減するためである。

[0158] 以上が、本構成例の熱流センサ５０の構造の一例についての説明である。なお、図２２の熱流センサ５０の構成は、一例であって、各実施形態の熱流センサの構成を図２２の形態に限定するものではない。

[0159] 以上が、各実施形態に係る熱流センサについての説明である。なお、各実施形態の熱流センサは、一例であって、各実施形態に係る熱流センサを図面で示す形態に限定するものではない。

[0160] （ハードウェア）

ここで、各実施形態に係る熱流計測装置を実現するハードウェア構成について、図２３の情報処理装置９０を一例として挙げて説明する。なお、図２３の情報処理装置９０は、各実施形態の熱流計測装置の処理を実行するための構成例であって、本発明の範囲を限定するものではない。

[0161] 図２３のように、情報処理装置９０は、プロセッサ９１、主記憶装置９２、補助記憶装置９３、入出力インターフェース９５、および通信インターフ

ェース９６を備える。図２３においては、インターフェースをＩ／Ｆ（Interface）と略して表記する。プロセッサ９１、主記憶装置９２、補助記憶装置９３、入出力インターフェース９５、および通信インターフェース９６は、バス９８を介して互いにデータ通信可能に接続される。また、プロセッサ９１、主記憶装置９２、補助記憶装置９３および入出力インターフェース９５は、通信インターフェース９６を介して、インターネットやイントラネットなどのネットワークに接続される。

[0162] プロセッサ９１は、補助記憶装置９３等に格納されたプログラムを主記憶装置９２に展開し、展開されたプログラムを実行する。本実施形態においては、情報処理装置９０にインストールされたソフトウェアプログラムを用いる構成とすればよい。プロセッサ９１は、本実施形態に係る熱流計測装置による処理を実行する。

[0163] 第１の実施形態の熱流計測装置１００（図７）に対応させると、電源制御部１０１、電圧計測部１０２、および熱流算出部１０３の機能がプロセッサ９１の動作によって実現される。また、第２の実施形態の熱流計測装置２００（図１１）に対応させると、電源制御部２０１、電圧計測部２０２、熱流算出部２０３、および補正部２０５の機能がプロセッサ９１の動作によって実現される。

[0164] 主記憶装置９２は、プログラムが展開される領域を有する。主記憶装置９２は、例えばＤＲＡＭ（Dynamic Random Access Memory）などの揮発性メモリとすればよい。また、ＭＲＡＭ（Magnetoresistive Random Access Memory）などの不揮発性メモリを主記憶装置９２として構成・追加してもよい。

[0165] 補助記憶装置９３は、種々のデータを記憶する。補助記憶装置９３は、ハードディスクやフラッシュメモリなどのローカルディスクによって構成される。なお、種々のデータを主記憶装置９２に記憶させる構成とし、補助記憶装置９３を省略することも可能である。

[0166] 入出力インターフェース９５は、情報処理装置９０と周辺機器とを接続するためのインターフェースである。通信インターフェース９６は、規格や仕

様に基づいて、インターネットやイントラネットなどのネットワークを通じて、外部のシステムや装置に接続するためのインターフェースである。入出力インターフェース９５および通信インターフェース９６は、外部機器と接続するインターフェースとして共通化してもよい。

[0167] 情報処理装置９０には、必要に応じて、キーボードやマウス、タッチパネルなどの入力機器を接続するように構成してもよい。それらの入力機器は、情報や設定の入力に使用される。なお、タッチパネルを入力機器として用いる場合は、表示機器の表示画面が入力機器のインターフェースを兼ねる構成とすればよい。プロセッサ９１と入力機器との間のデータ通信は、入出力インターフェース９５に仲介させればよい。

[0168] 第１の実施形態の熱流計測装置１００（図７）に対応させると、出力部１０７の機能が入出力インターフェース９５の動作によって実現される。また、第２の実施形態の熱流計測装置２００（図１１）に対応させると、出力部２０７の機能が入出力インターフェース９５の動作によって実現される。

[0169] また、情報処理装置９０には、情報を表示するための表示機器を備え付けてもよい。表示機器を備え付ける場合、情報処理装置９０には、表示機器の表示を制御するための表示制御装置（図示しない）が備えられていることが好ましい。表示機器は、入出力インターフェース９５を介して情報処理装置９０に接続すればよい。

[0170] また、情報処理装置９０には、記録媒体（図示しない）に記録されたデータの読み書きを仲介するドライブ装置（図示しない）を設けてもよい。ドライブ装置は、バス９８に接続され、プロセッサ９１と記録媒体との間で、記録媒体からのデータやプログラムの読み込み、情報処理装置９０の処理結果の記録媒体への書き込みなどを仲介する。

[0171] 記録媒体は、例えば、ＣＤ（Compact Disc）やＤＶＤ（Digital Versatile Disc）などの光学記録媒体で実現できる。また、記録媒体は、ＵＳＢ（Universal Serial Bus）メモリやＳＤ（Secure Digital）カードなどの半導体記録媒体や、フレキシブルディスクなどの磁気記録媒体、その他の記録媒体に

よって実現してもよい。プロセッサが実行するプログラムが記録媒体に記録されている場合、その記録媒体はプログラム記録媒体に相当する。

[0172] 以上が、各実施形態に係る熱流計測装置を可能とするためのハードウェア構成の一例である。なお、図２３のハードウェア構成は、各実施形態に係る熱流計測装置の演算処理を実行するためのハードウェア構成の一例であって、本発明の範囲を限定するものではない。また、各実施形態に係る熱流計測装置に関する処理をコンピュータに実行させるプログラムも本発明の範囲に含まれる。さらに、各実施形態に係るプログラムを記録したプログラム記録媒体も本発明の範囲に含まれる。

[0173] 各実施形態の熱流計測装置の構成要素は、任意に組み合わせることができる。また、各実施形態の熱流計測装置の構成要素は、ソフトウェアによって実現してもよいし、回路によって実現してもよい。

[0174] 以上、実施形態を参照して本発明を説明してきたが、本発明は上記実施形態に限定されるものではない。本発明の構成や詳細には、本発明のスコープ内で当業者が理解し得る様々な変更をすることができる。

[0175] 上記の実施形態の一部又は全部は、以下の付記のようにも記載されうるが、以下には限られない。

（付記１）

絶縁層と、

前記絶縁層の第１面に配置され、導電体によって構成される磁場印加層と、

前記絶縁層の前記第１面に対向する第２面に配置され、導電性磁性体によって構成される熱流検出層と、を備え、

前記熱流検出層は、

前記絶縁層を介して前記磁場印加層と対向する、

熱流センサ。

（付記２）

前記磁場印加層を構成する導電体のパターンと、前記熱流検出層を構成す

る導電性磁性体のパターンとが互いに対向する、

付記１に記載の熱流センサ。

（付記３）

前記磁場印加層を構成する導電体のパターンと、前記熱流検出層を構成する導電性磁性体のパターンとが同一の形状である、

付記２に記載の熱流センサ。

（付記４）

上面視において、前記磁場印加層を構成する導電体のパターンの線路長に沿って、前記熱流検出層を構成する導電性磁性体のパターンの線路が延在するように配置される、

付記２または３に記載の熱流センサ。

（付記５）

基板と、

前記基板の上面に配置され、導電体によって構成される第１磁場印加層と、

前記第１磁場印加層の上面に配置される第１絶縁層と、

前記第１絶縁層の上面に配置され、導電性磁性体によって構成される熱流検出層と、

前記熱流検出層の上面に配置される第２絶縁層と、

前記第２絶縁層の上面に配置され、導電体によって構成される第２磁場印加層と、を備え、

前記第１磁場印加層、前記第２磁場印加層、および前記熱流検出層は、上面視において重なる同一形状のパターンで構成される、熱流センサ。

[0176] 前記熱流検出層は、

前記第１絶縁層を介して前記第１磁場印加層と対向し、

前記第２絶縁層を介して前記第２磁場印加層と対向する、

熱流センサ。

（付記６）

前記第１磁場印加層および前記第２磁場印加層を構成する導電体のパターンと、前記熱流検出層を構成する導電性磁性体のパターンとが互いに対向する、

付記５に記載の熱流センサ。

（付記７）

前記第１磁場印加層および前記第２磁場印加層を構成する導電体のパターンと、前記熱流検出層を構成する導電性磁性体のパターンとが同一の形状である、

付記６に記載の熱流センサ。

（付記８）

上面視において、前記第１磁場印加層および前記第２磁場印加層の各々を構成する導電体のパターンの線路長に沿って、前記熱流検出層を構成する導電性磁性体のパターンの線路が延在するように配置される、

付記６または７に記載の熱流センサ。

（付記９）

前記熱流検出層は、軟磁性の導電性磁性体によって構成される、付記５乃至８のいずれか一項に記載の熱流センサ。

（付記１０）

前記第１磁場印加層と前記熱流検出層の距離と、前記第２磁場印加層と前記熱流検出層の距離とが等しい、付記５乃至９のいずれか一項に記載の熱流センサ。

（付記１１）

前記第１磁場印加層、前記第２磁場印加層、および前記熱流検出層は、一本の配線が折り返されたミアンダ形状のパターンで構成される、付記５乃至１０のいずれか一項に記載の熱流センサ。

（付記１２）

前記第１磁場印加層および前記第２磁場印加層は、前記熱流検出層よりも膜厚が厚い、付記５乃至１１のいずれか一項に記載の熱流センサ。

（付記１３）

付記５乃至１２のいずれか一項に記載の熱流センサと、

前記第１磁場印加層および前記第２磁場印加層に流れる電流を制御し、前記熱流検出層の電圧を計測し、計測された電圧値を熱流値に変換する熱流計測装置と、を備える熱流計測システム。

（付記１４）

前記第１磁場印加層、前記第２磁場印加層、および前記熱流検出層の各々が第１端および第２端を有し、

前記第１磁場印加層および前記第２磁場印加層の各々の前記第１端が互いに電気的に接続され、

前記第１磁場印加層および前記第２磁場印加層の各々の前記第２端が直流電源を介して接続され、

前記熱流計測装置は、

前記第１磁場印加層および前記第２磁場印加層のいずれかの前記第２端から直流電流を流す制御をし、前記熱流検出層の前記第１端と前記第２端との間の電圧を計測する、付記１３に記載の熱流計測システム。

（付記１５）

前記第１磁場印加層、前記第２磁場印加層、および前記熱流検出層の各々が第１端および第２端を有し、

前記第１磁場印加層および前記第２磁場印加層の各々の前記第１端が互いに電気的に接続され、

前記第１磁場印加層および前記第２磁場印加層の各々の前記第２端が交流電源を介して接続され、

前記熱流計測装置は、

前記第１磁場印加層および前記第２磁場印加層の各々の前記第２端から交流電流を流し制御をし、前記熱流検出層の前記第１端と前記第２端との間の電圧を計測する、付記１３に記載の熱流計測システム。

（付記１６）

前記熱流計測装置は、

前記熱流検出層の前記第１端と前記第２端との間の電圧の最大値と最小値の平均値をベースラインとして前記熱流値を補正する、付記１５に記載の熱流計測システム。

符号の説明

[0177] １、２、３　　熱流計測システム

１０、２０、３０　　熱流センサ

１１、２１、３１　　基板

１２、２２　　第１磁場印加層

１３、２３　　第１絶縁層

１４、２４、３４　　熱流検出層

１５、２５　　第２絶縁層

１６、２６　　第２磁場印加層

１７、３７　　カバー層

３５　　絶縁層

３６　　磁場印加層

１００、２００、３００　　熱流計測装置

１０１、２０１　　電源制御部

１０２、２０２　　電圧計測部

１０３、２０３　　熱流算出部

１０７、２０７　　出力部

１１０、３１０　　直流電源

１２０、２２０、３２０　　電圧計

１３０、２３０　　出力装置

２０５　　補正部

２１０　　交流電源

請求の範囲

[請求項1] 絶縁層と、

前記絶縁層の第１面に配置され、導電体によって構成される磁場印加層と、

前記絶縁層の前記第１面に対向する第２面に配置され、導電性磁性体によって構成される熱流検出層と、を備え、

前記熱流検出層は、

前記絶縁層を介して前記磁場印加層と対向する、

熱流センサ。

[請求項2] 前記磁場印加層を構成する導電体のパターンと、前記熱流検出層を構成する導電性磁性体のパターンとが互いに対向する、

請求項１に記載の熱流センサ。

[請求項3] 前記磁場印加層を構成する導電体のパターンと、前記熱流検出層を構成する導電性磁性体のパターンとが同一の形状である、

請求項２に記載の熱流センサ。

[請求項4] 上面視において、前記磁場印加層を構成する導電体のパターンの線路長に沿って、前記熱流検出層を構成する導電性磁性体のパターンの線路が延在するように配置される、

請求項２または３に記載の熱流センサ。

[請求項5] 基板と、

前記基板の上面に配置され、導電体によって構成される第１磁場印加層と、

前記第１磁場印加層の上面に配置される第１絶縁層と、

前記第１絶縁層の上面に配置され、導電性磁性体によって構成される熱流検出層と、

前記熱流検出層の上面に配置される第２絶縁層と、

前記第２絶縁層の上面に配置され、導電体によって構成される第２磁場印加層と、を備え、

前記第１磁場印加層、前記第２磁場印加層、および前記熱流検出層は、上面視において重なる同一形状のパターンで構成される、熱流センサ。

前記熱流検出層は、

前記第１絶縁層を介して前記第１磁場印加層と対向し、

前記第２絶縁層を介して前記第２磁場印加層と対向する、

熱流センサ。

[請求項6] 前記第１磁場印加層および前記第２磁場印加層を構成する導電体のパターンと、前記熱流検出層を構成する導電性磁性体のパターンとが互いに対向する、

請求項５に記載の熱流センサ。

[請求項7] 前記第１磁場印加層および前記第２磁場印加層を構成する導電体のパターンと、前記熱流検出層を構成する導電性磁性体のパターンとが同一の形状である、

請求項６に記載の熱流センサ。

[請求項8] 上面視において、前記第１磁場印加層および前記第２磁場印加層の各々を構成する導電体のパターンの線路長に沿って、前記熱流検出層を構成する導電性磁性体のパターンの線路が延在するように配置される、

請求項６または７に記載の熱流センサ。

[請求項9] 前記熱流検出層は、軟磁性の導電性磁性体によって構成される、請求項５乃至８のいずれか一項に記載の熱流センサ。

[請求項10] 前記第１磁場印加層と前記熱流検出層の距離と、前記第２磁場印加層と前記熱流検出層の距離とが等しい、請求項５乃至９のいずれか一項に記載の熱流センサ。

[請求項11] 前記第１磁場印加層、前記第２磁場印加層、および前記熱流検出層は、一本の配線が折り返されたミアンダ形状のパターンで構成される、請求項５乃至１０のいずれか一項に記載の熱流センサ。

[請求項12] 前記第１磁場印加層および前記第２磁場印加層は、前記熱流検出層よりも膜厚が厚い、請求項５乃至１１のいずれか一項に記載の熱流センサ。

[請求項13] 請求項５乃至１２のいずれか一項に記載の熱流センサと、

前記第１磁場印加層および前記第２磁場印加層に流れる電流を制御し、前記熱流検出層の電圧を計測し、計測された電圧値を熱流値に変換する熱流計測装置と、を備える熱流計測システム。

[請求項14] 前記第１磁場印加層、前記第２磁場印加層、および前記熱流検出層の各々が第１端および第２端を有し、

前記第１磁場印加層および前記第２磁場印加層の各々の前記第１端が互いに電気的に接続され、

前記第１磁場印加層および前記第２磁場印加層の各々の前記第２端が直流電源を介して接続され、

前記熱流計測装置は、

前記第１磁場印加層および前記第２磁場印加層のいずれかの前記第２端から直流電流を流す制御をし、前記熱流検出層の前記第１端と前記第２端との間の電圧を計測する、請求項１３に記載の熱流計測システム。

[請求項15] 前記第１磁場印加層、前記第２磁場印加層、および前記熱流検出層の各々が第１端および第２端を有し、

前記第１磁場印加層および前記第２磁場印加層の各々の前記第１端が互いに電気的に接続され、

前記第１磁場印加層および前記第２磁場印加層の各々の前記第２端が交流電源を介して接続され、

前記熱流計測装置は、

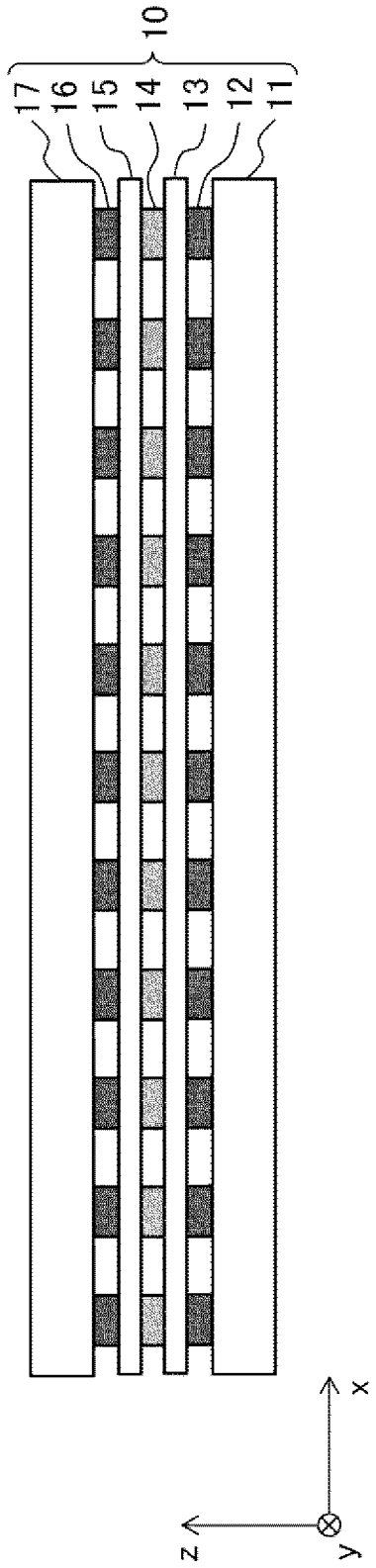
前記第１磁場印加層および前記第２磁場印加層の各々の前記第２端から交流電流を流し制御をし、前記熱流検出層の前記第１端と前記第２端との間の電圧を計測する、請求項１３に記載の熱流計測システム

。

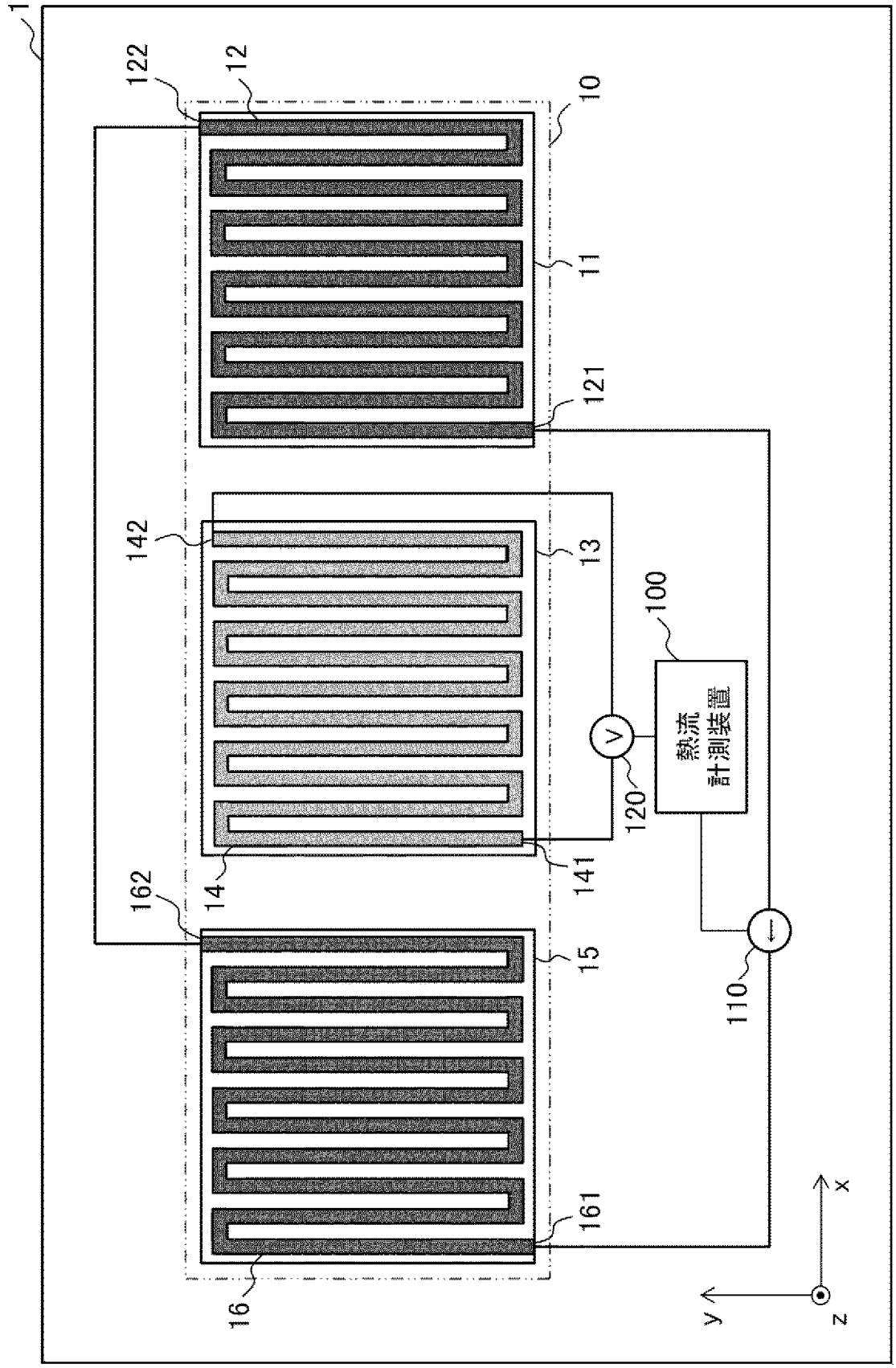
[請求項16] 前記熱流計測装置は、

前記熱流検出層の前記第１端と前記第２端との間の電圧の最大値と最小値の平均値をベースラインとして前記熱流値を補正する、請求項１５に記載の熱流計測システム。

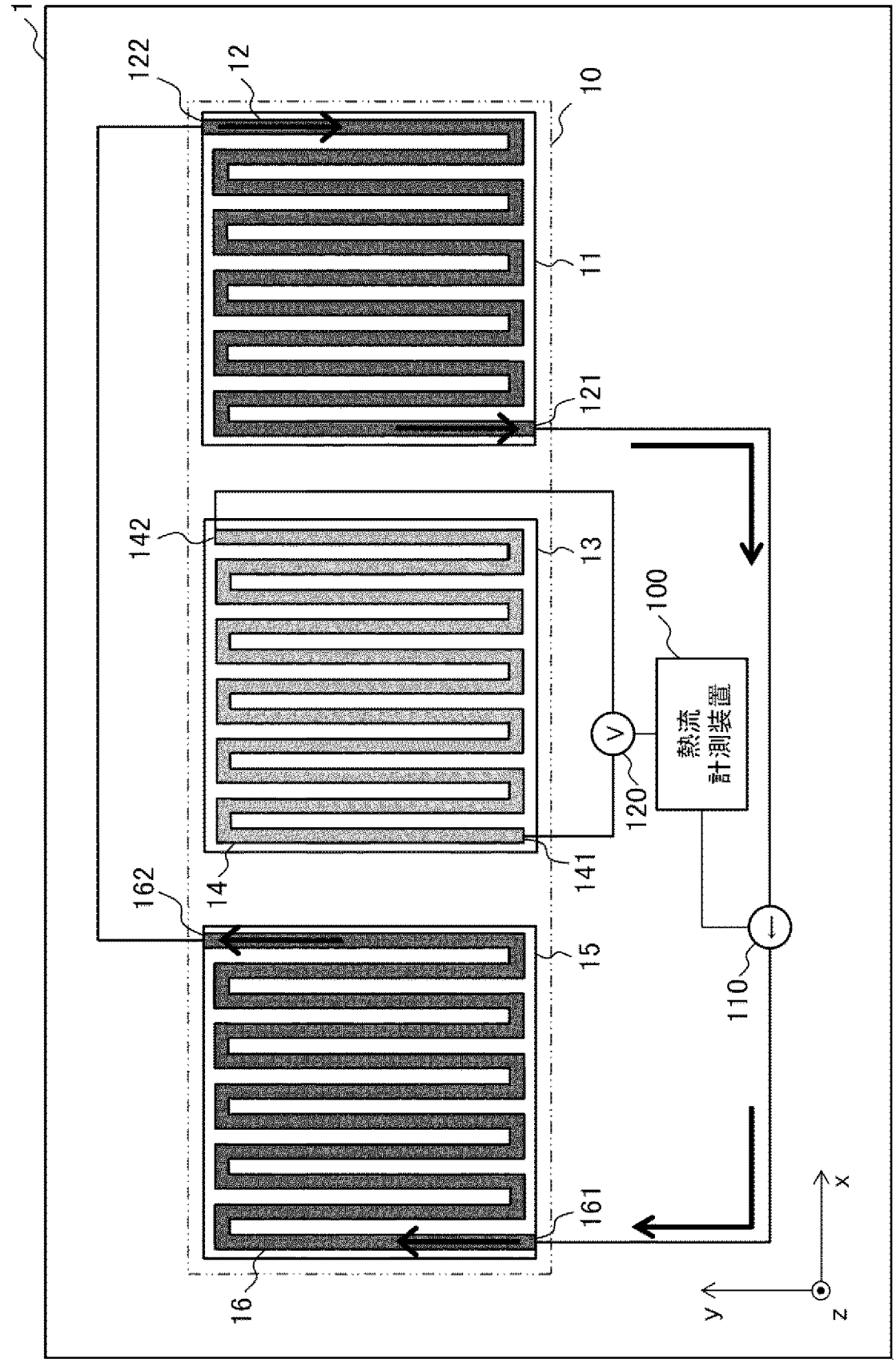
[図1]



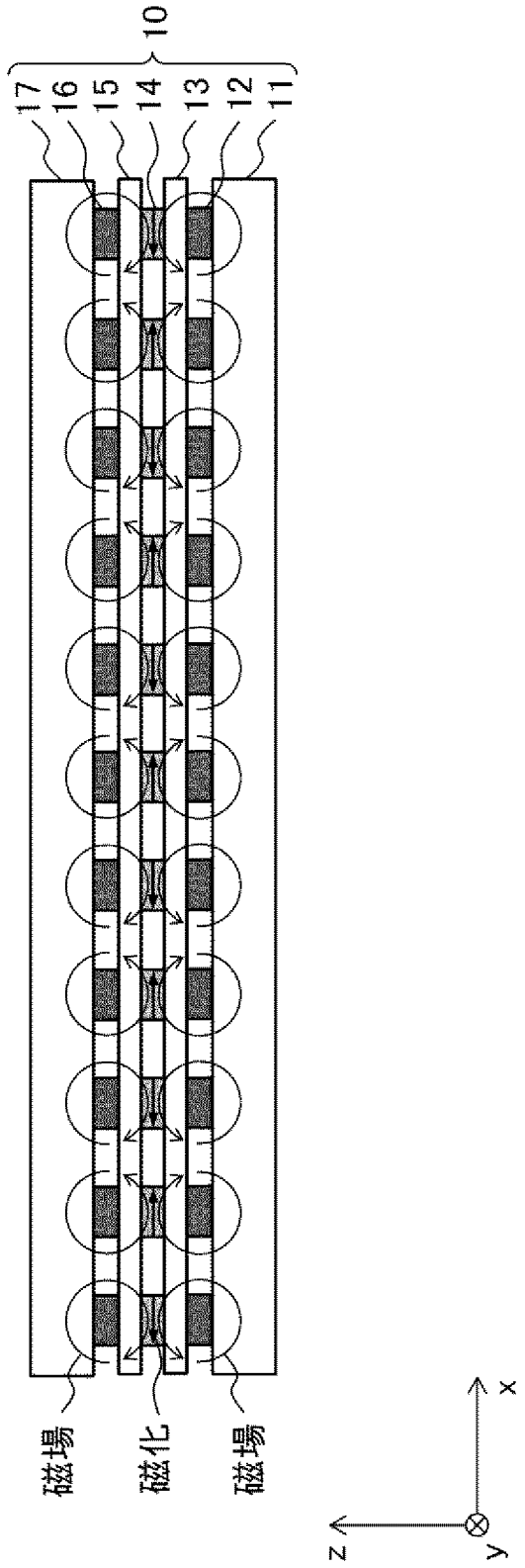
[図2]


1
122
12
10
11
121
142
13
100
V
熱流
計測装置
120
141
14
162
15
110
161
16
x
y
z

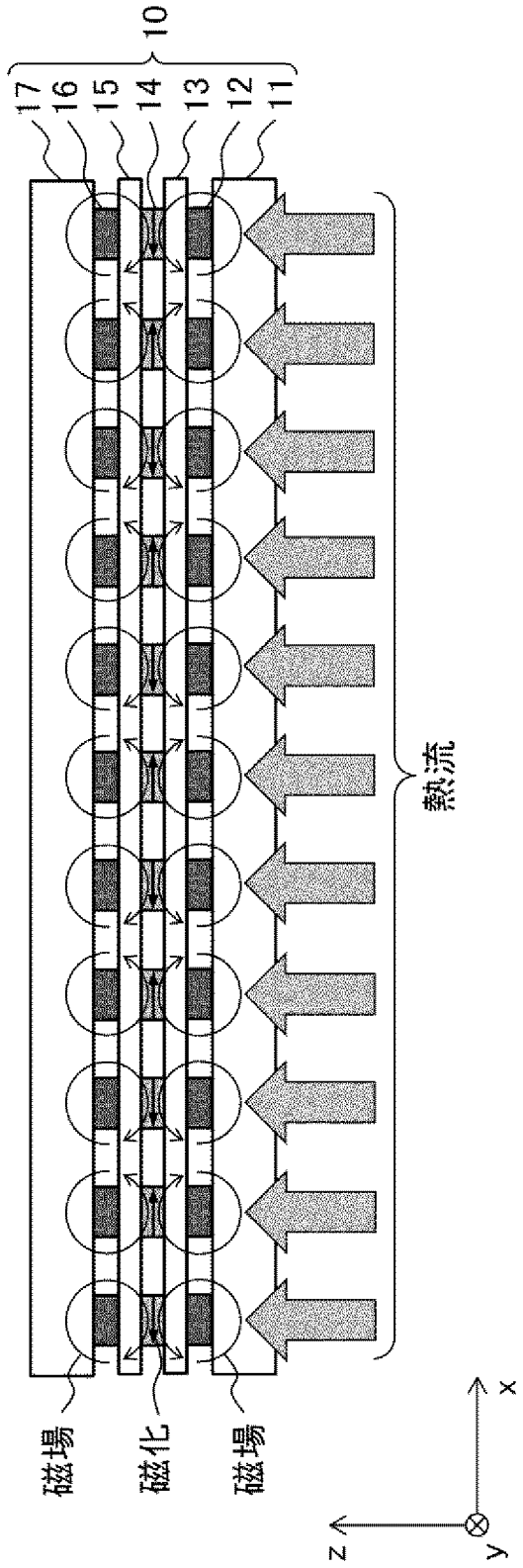
[図3]


1
122
12
10
11
121
142
13
100
V
熱流
計測装置
120
141
162
14
15
110
161
16
x
y
z

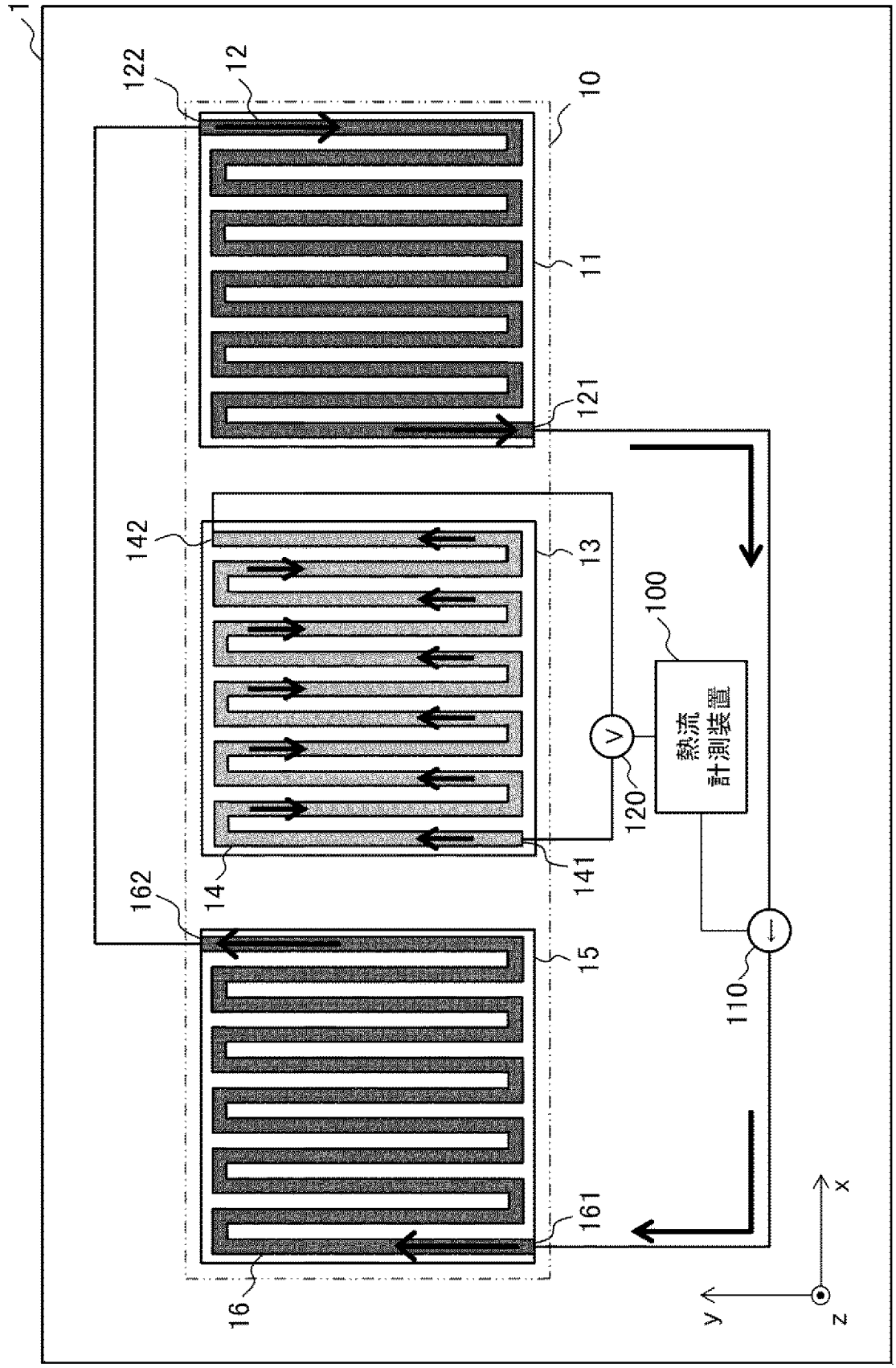
[図4]



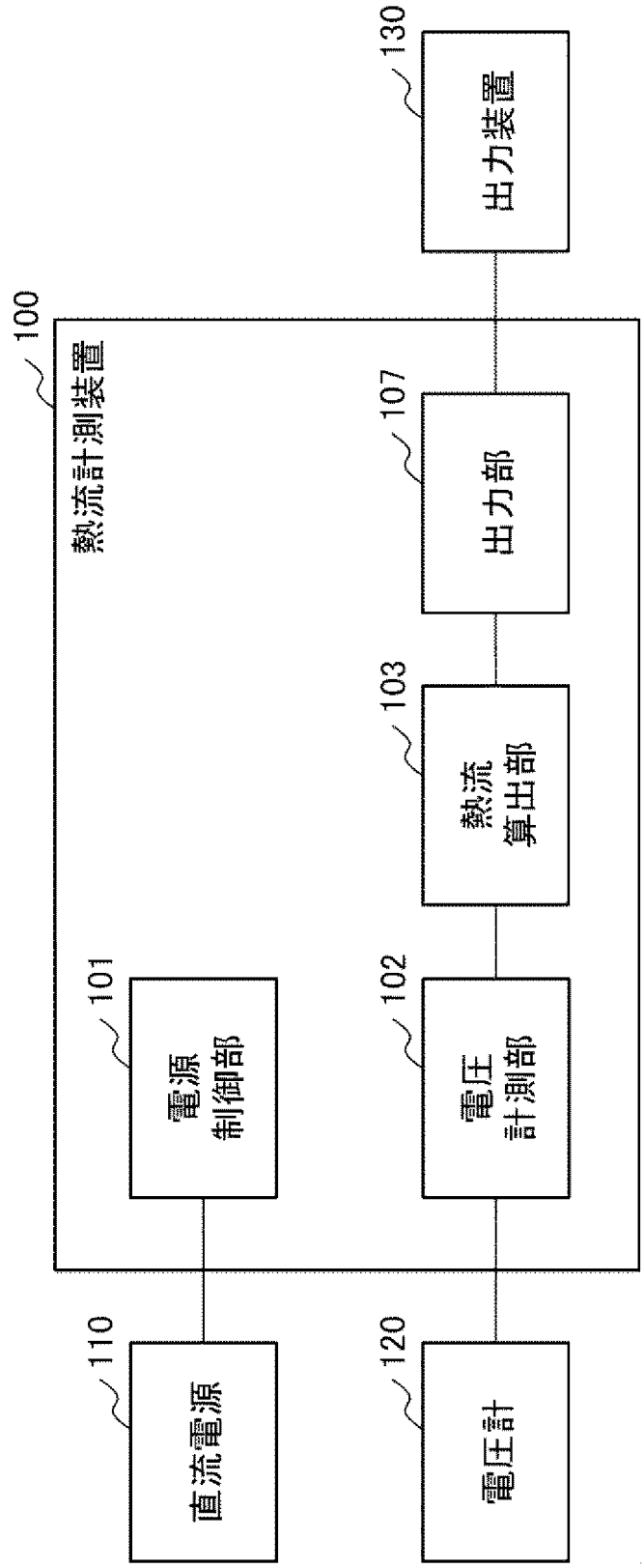
[図5]



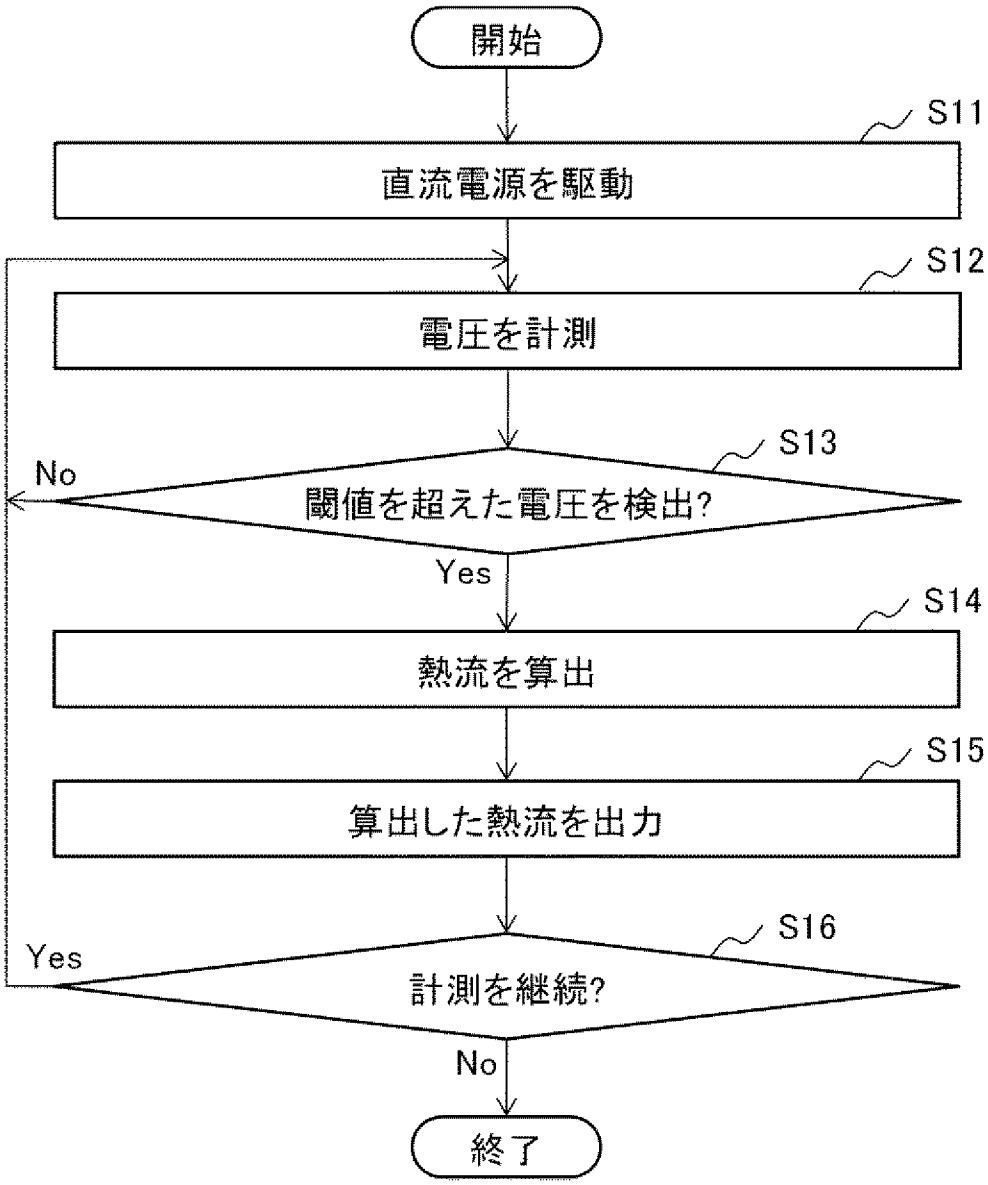
[図6]


1
122
12
10
11
121
142
13
100
V
熱流
計測装置
120
141
14
162
15
110
161
16
x
y
z

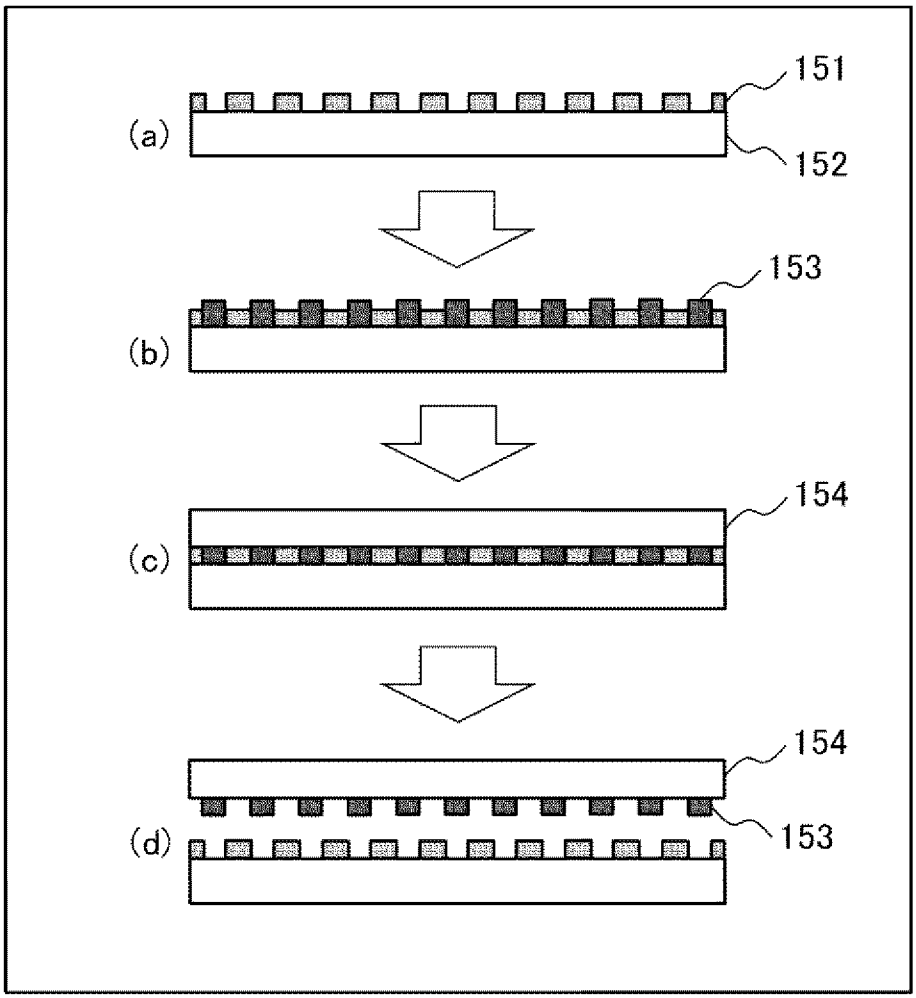
[図7]


100
熱流計測装置
101
電源
制御部
102
電圧
計測部
103
熱流
算出部
107
出力部
110
直流電源
120
電圧計
130
出力装置

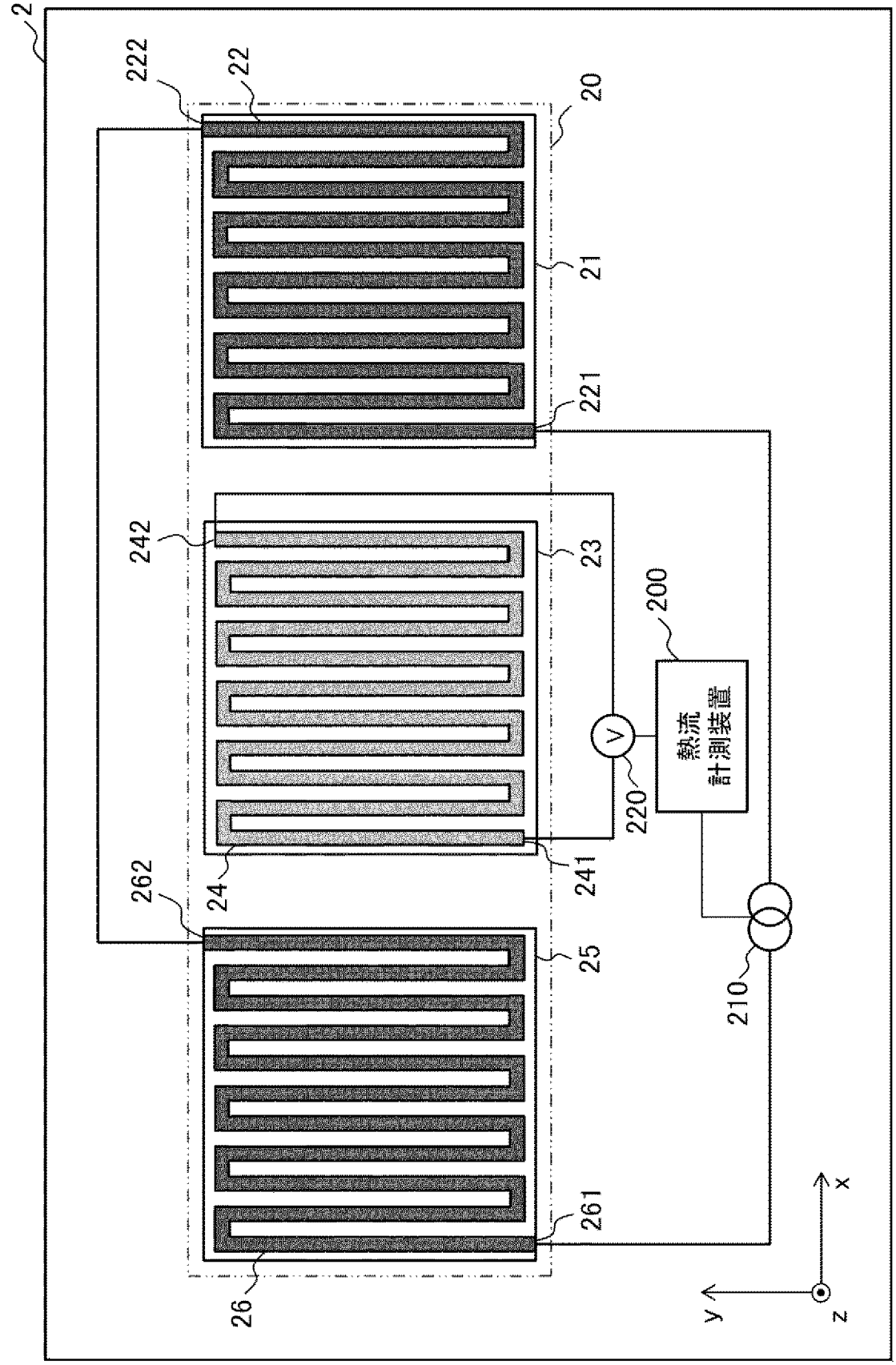
[図8]


開始
S11
直流電源を駆動
S12
電圧を計測
S13
No
閾値を超えた電圧を検出?
Yes
S14
熱流を算出
S15
算出した熱流を出力
S16
Yes
計測を継続?
No
終了

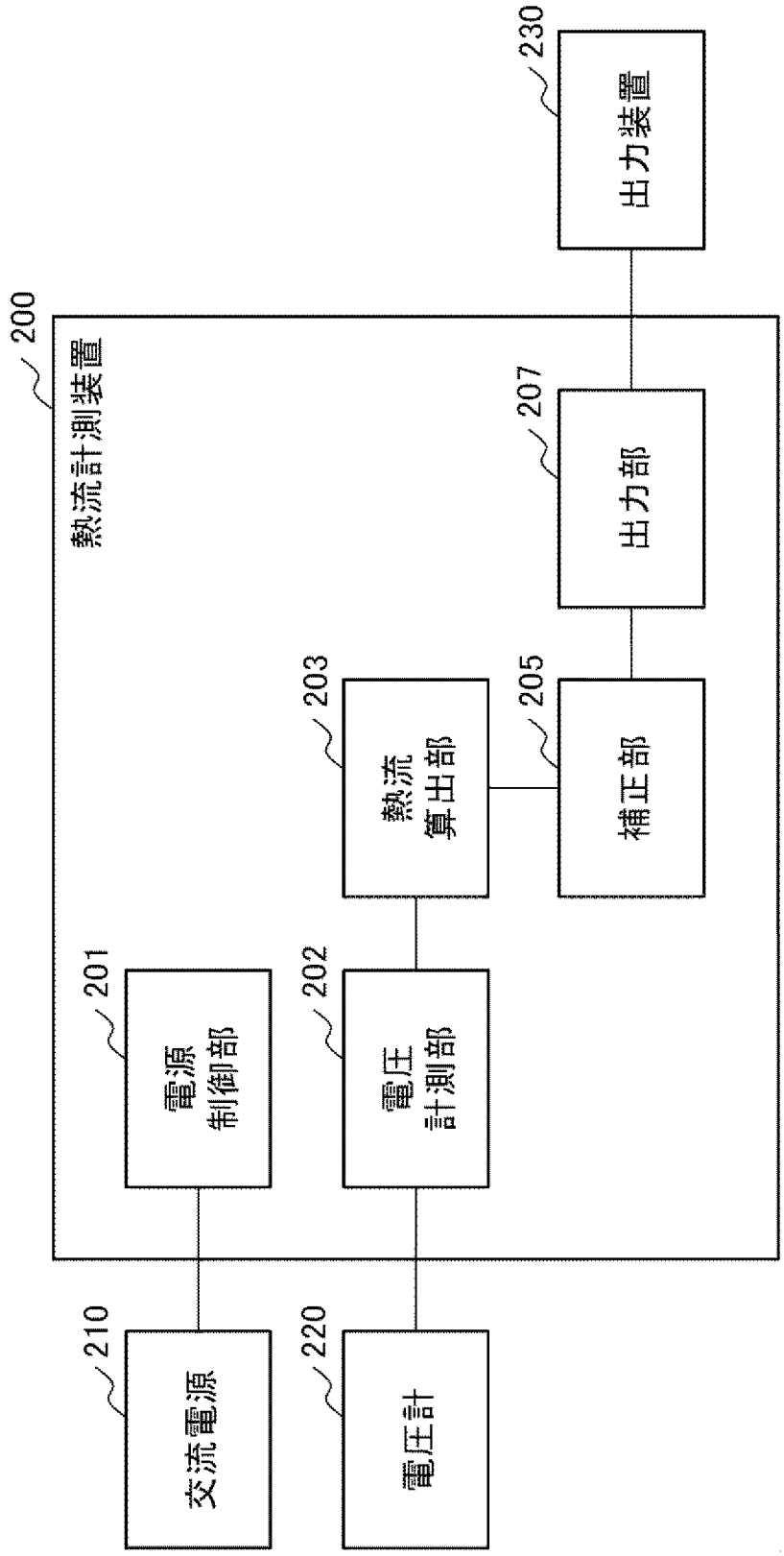
[図9]



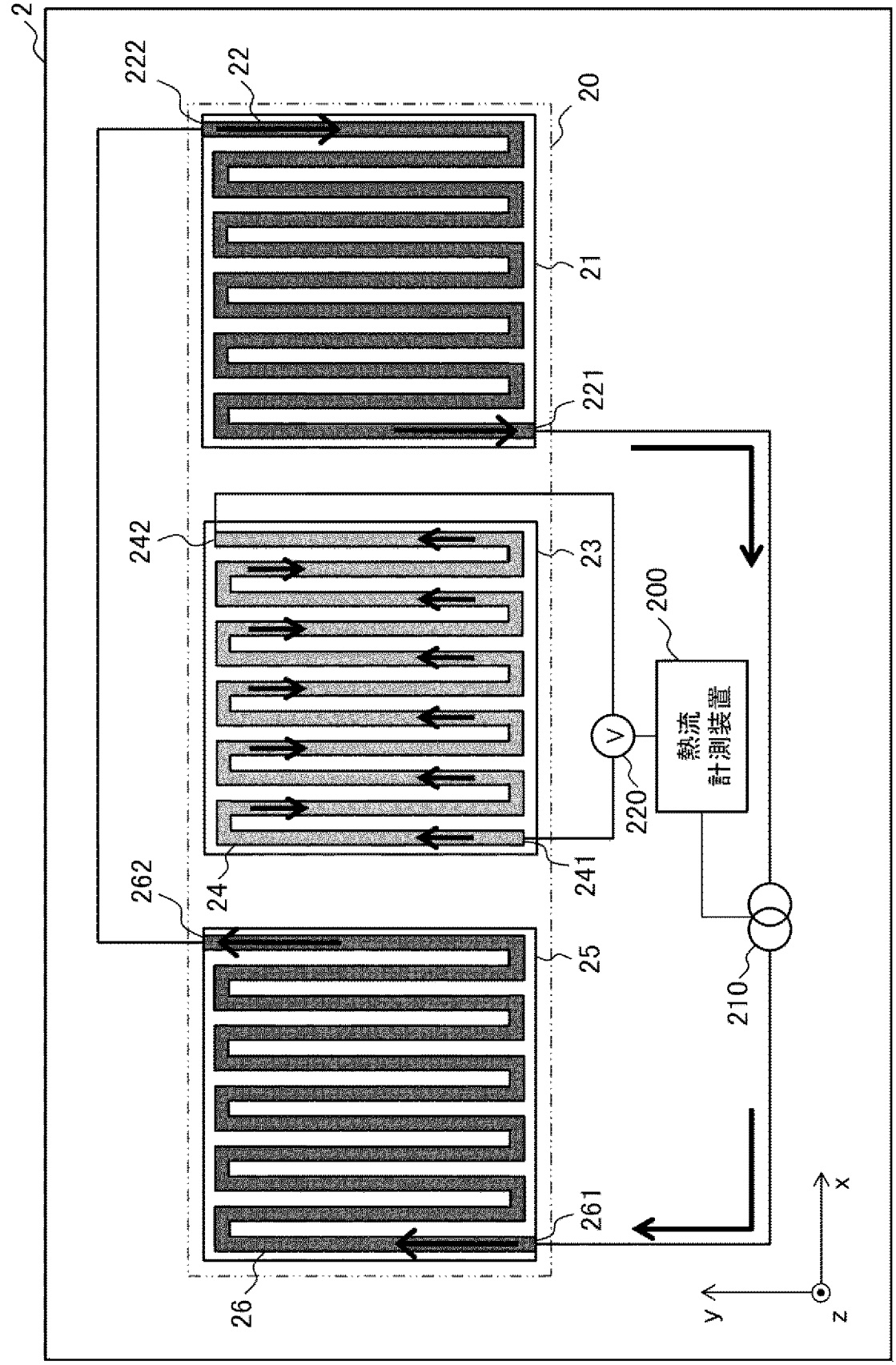
[図10]


2
222
22
20
21
221
242
23
200
熱流
計測装置
V
220
262
24
241
25
210
261
26
x
y
z

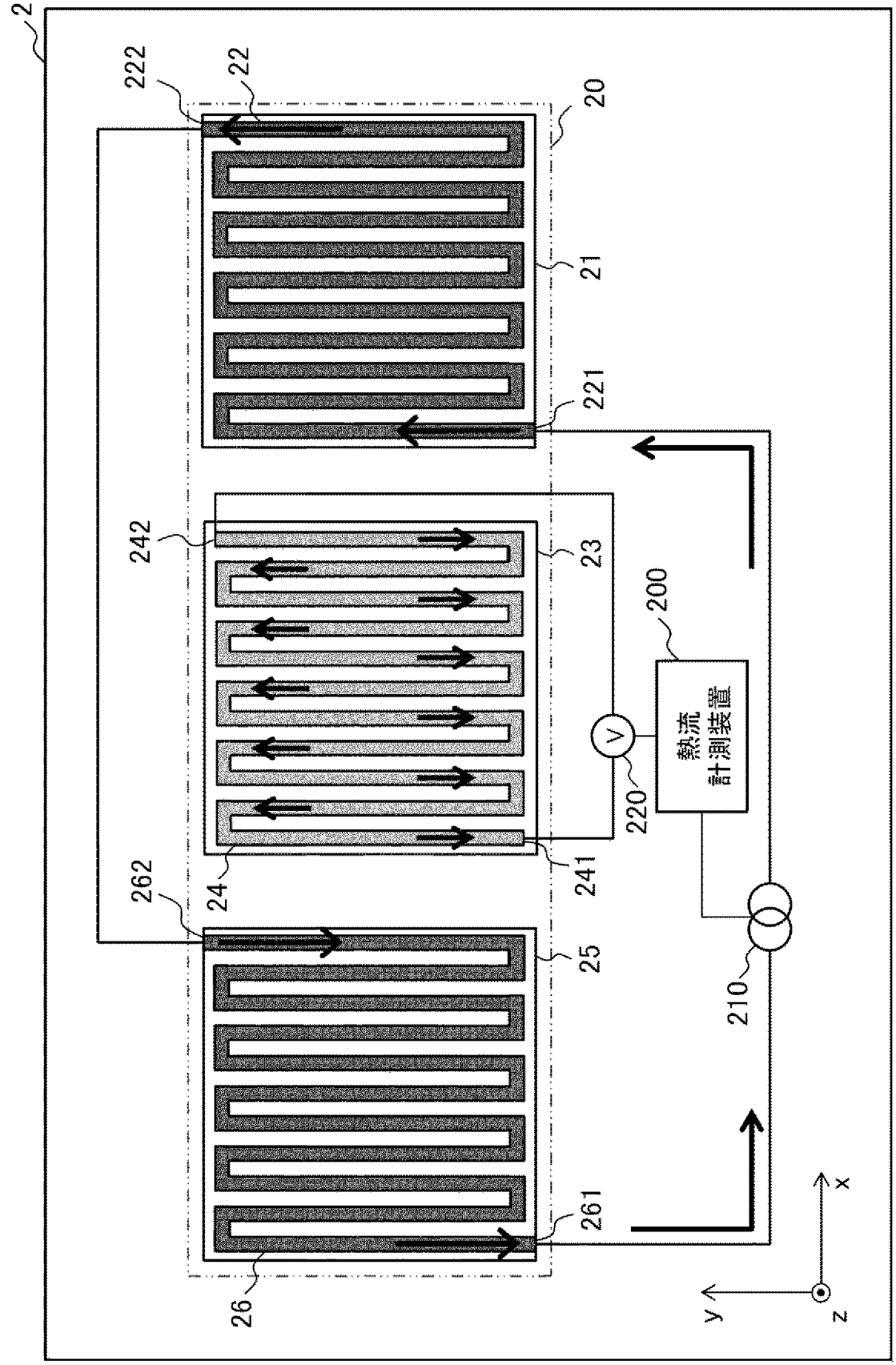
[図11]


200
熱流計測装置
201
電源
制御部
202
電圧
計測部
203
熱流
算出部
205
補正部
207
出力部
210
交流電源
220
電圧計
230
出力装置

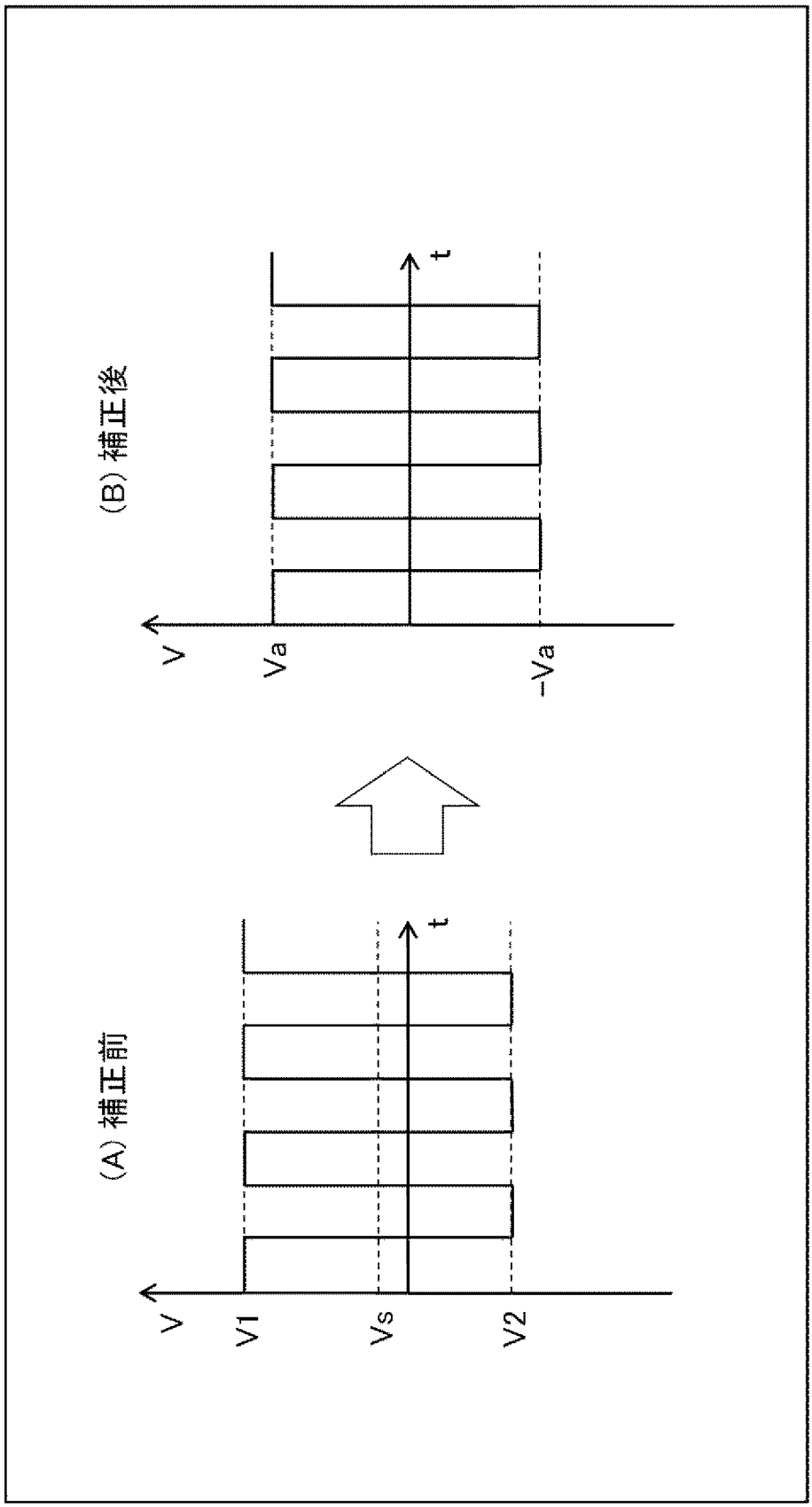
[図12]


2
222
22
20
21
221
242
23
200
熱流
計測装置
V
220
241
262
24
25
210
261
26
x
y
z

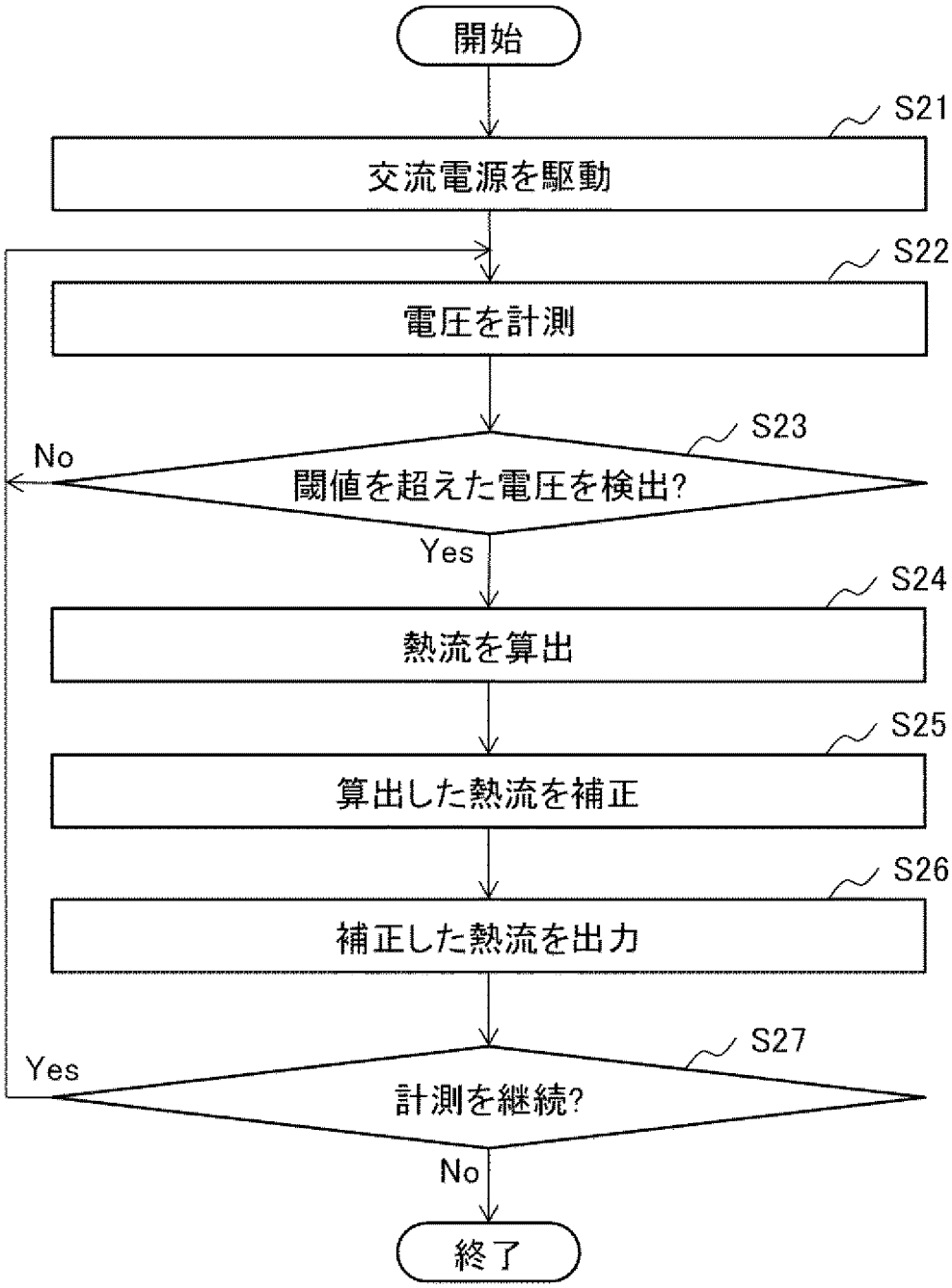
[図13]


2
222
22
20
21
221
242
23
200
熱流
計測装置
V
220
241
262
24
25
210
261
26
x
y
z

[図14]



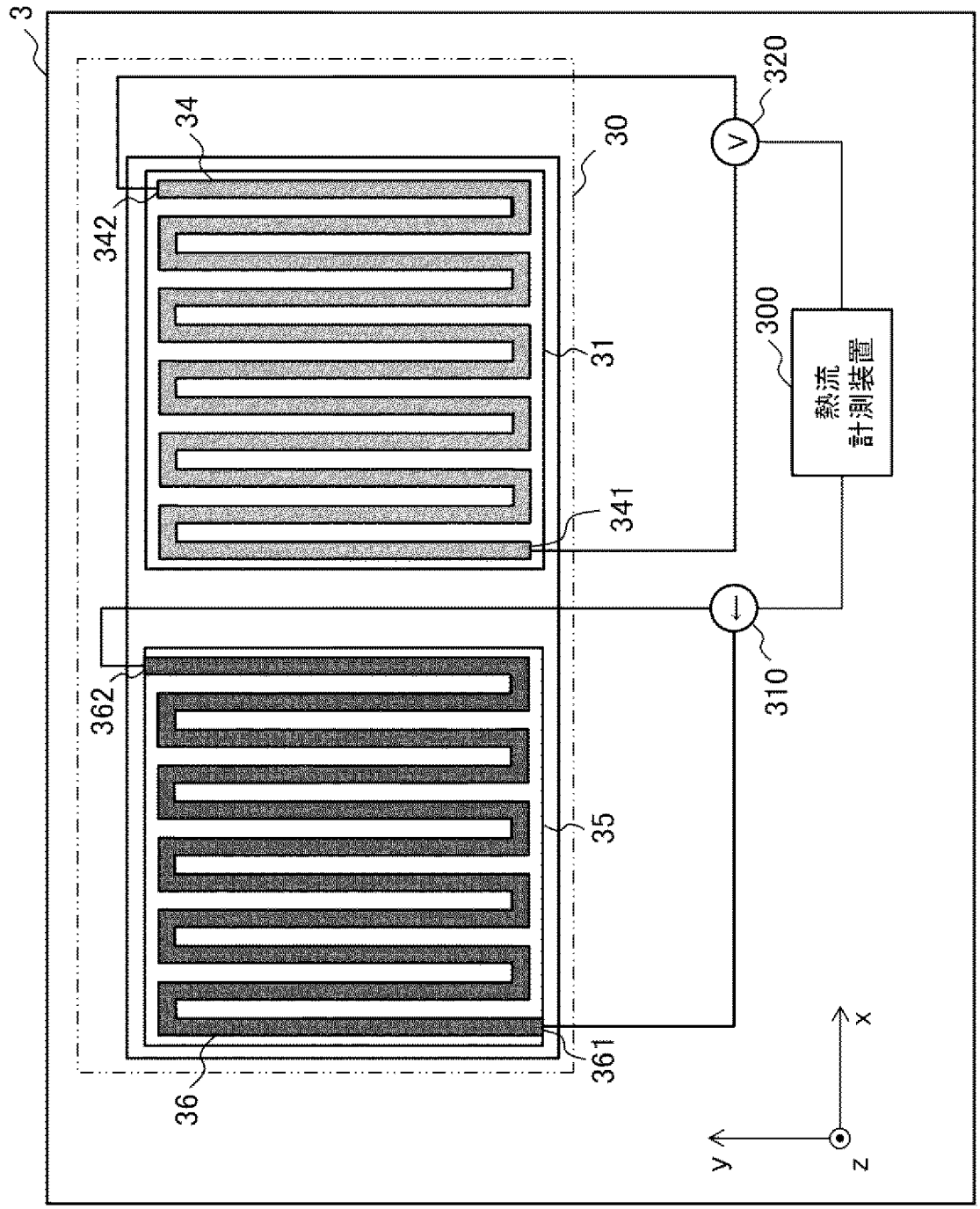
[図15]


開始
S21
交流電源を駆動
S22
電圧を計測
S23
No
閾値を超えた電圧を検出?
Yes
S24
熱流を算出
S25
算出した熱流を補正
S26
補正した熱流を出力
S27
Yes
計測を継続?
No
終了

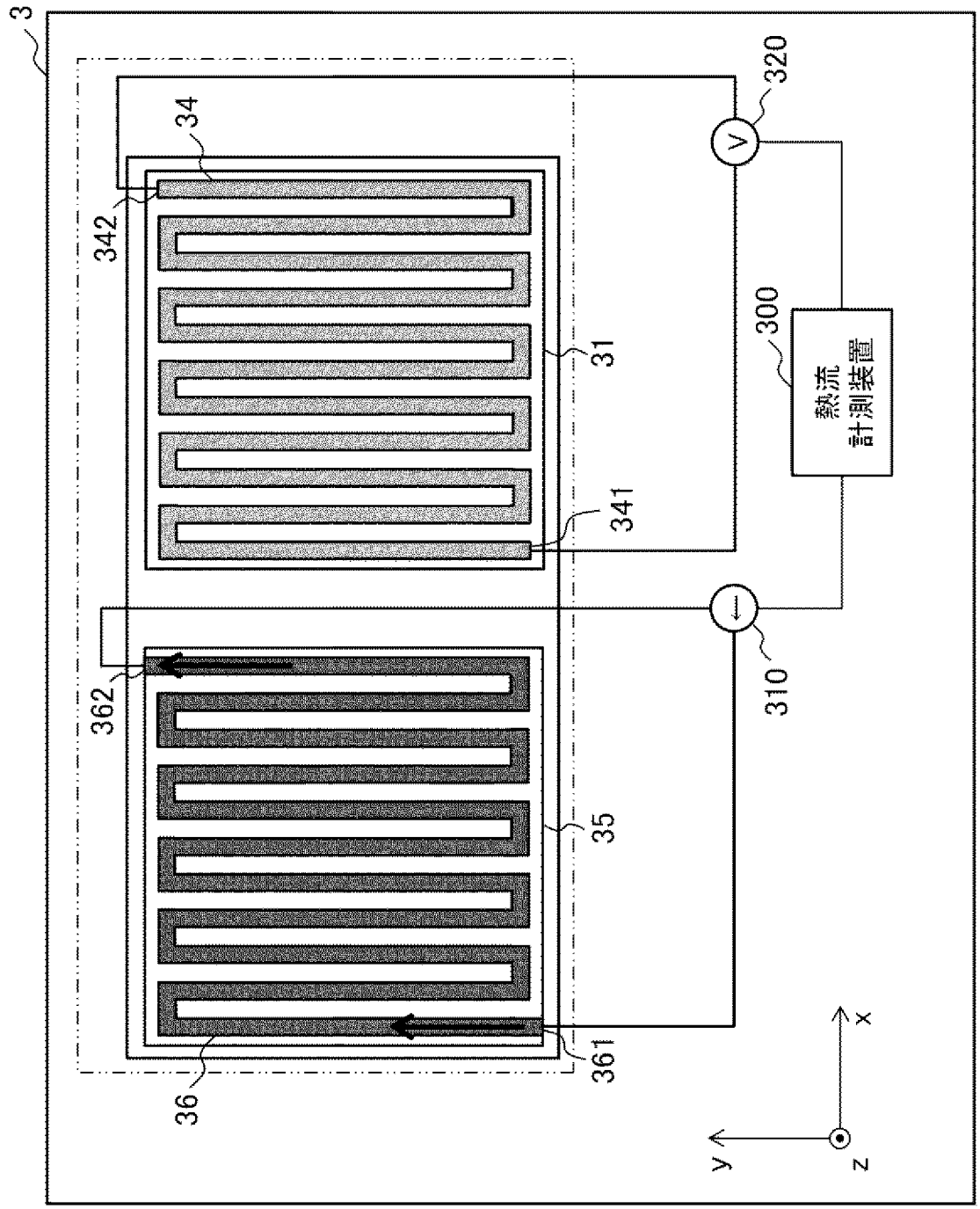
[図16]



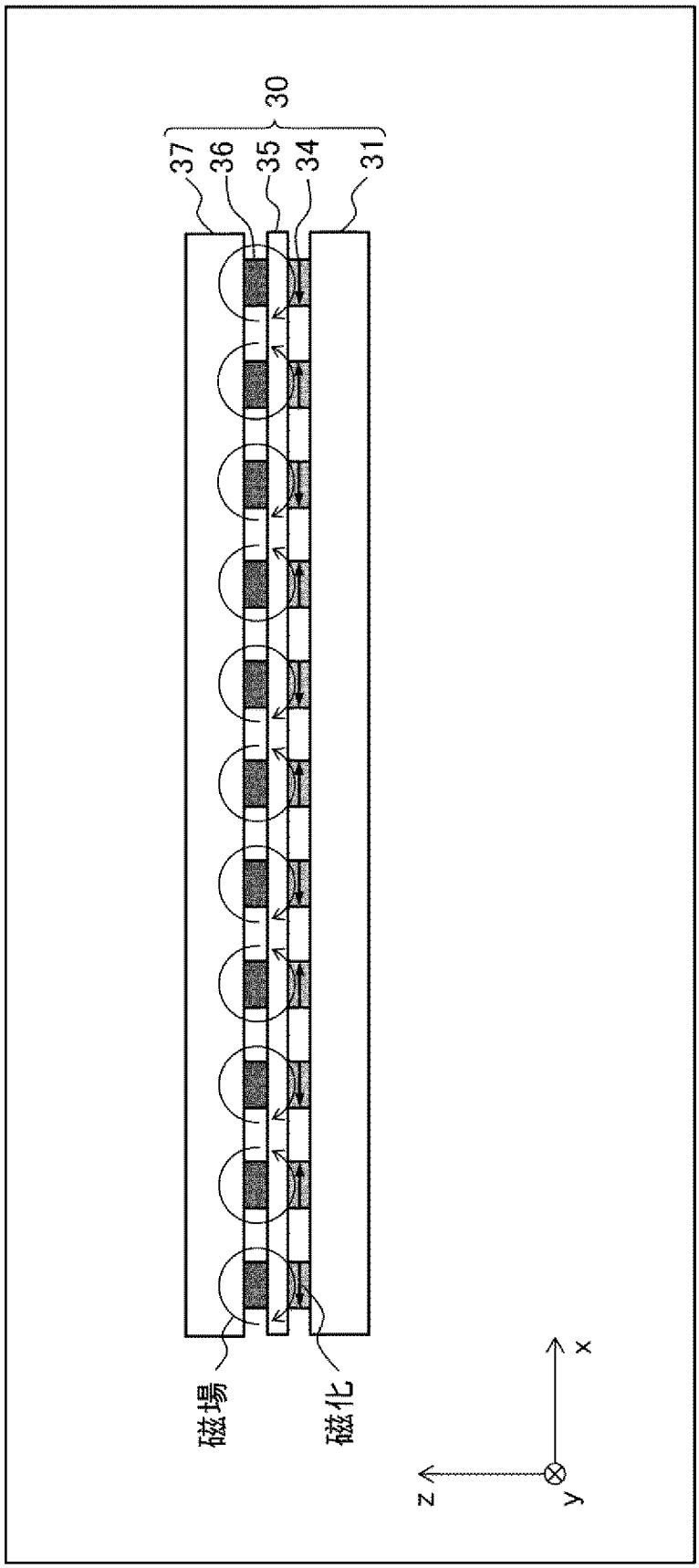
[図17]



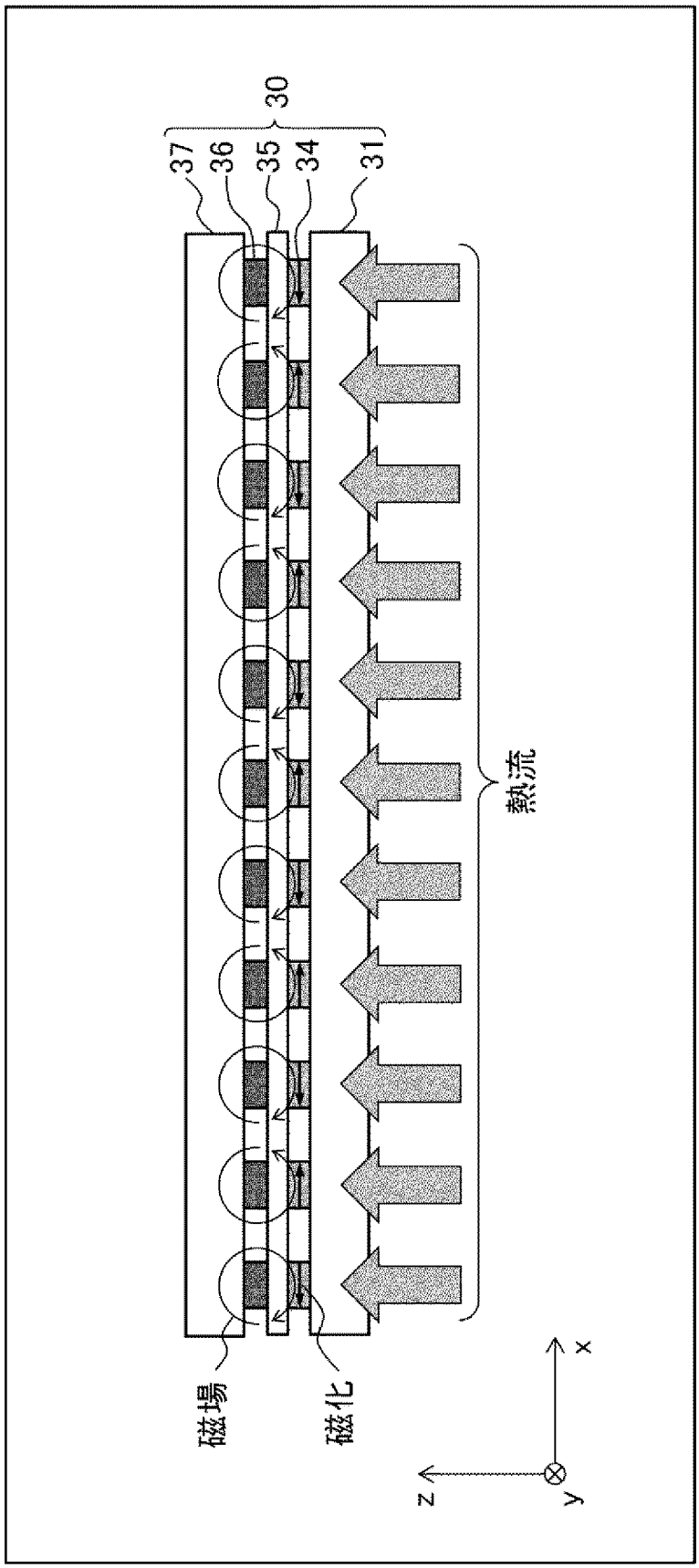
[図18]



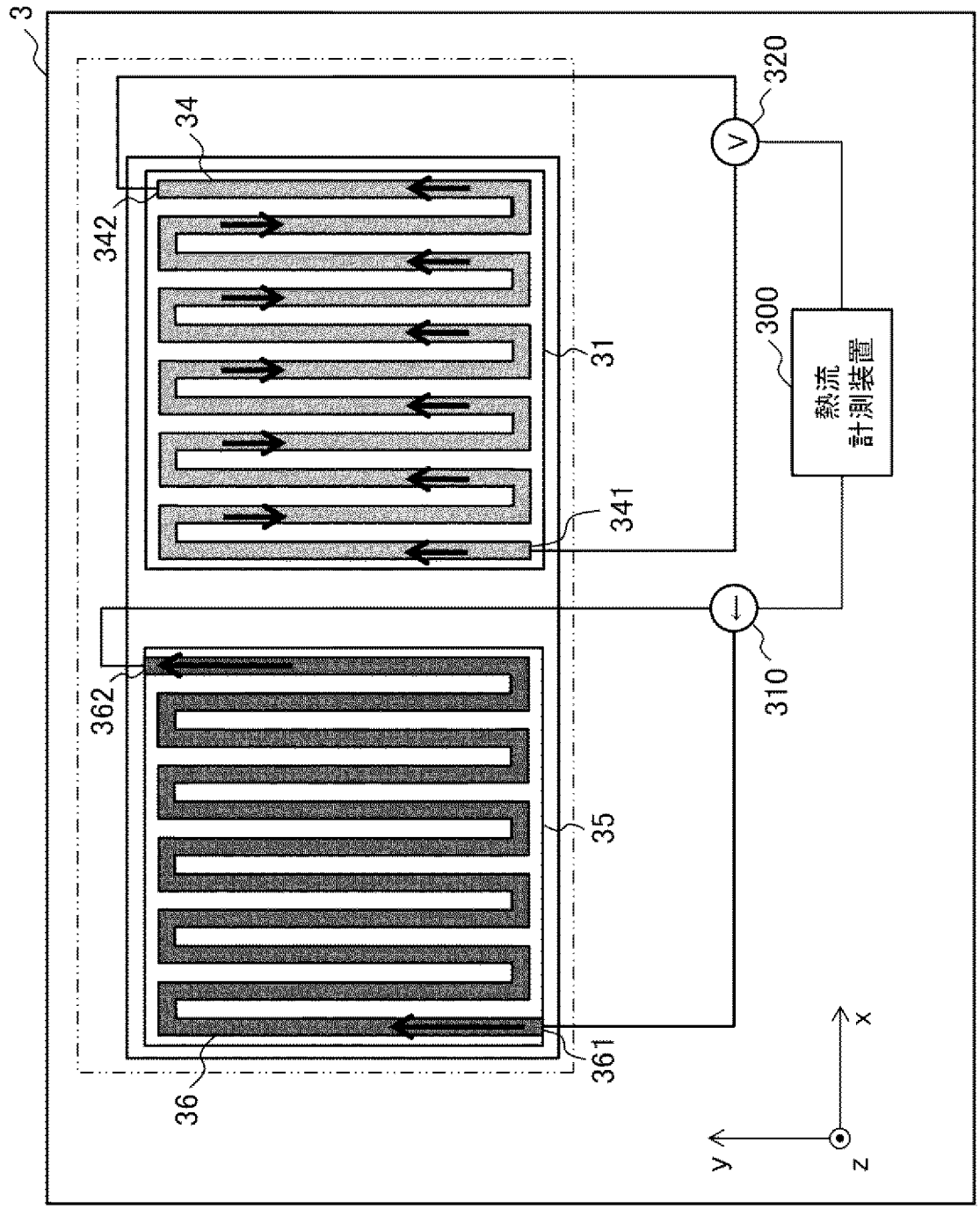
[図19]



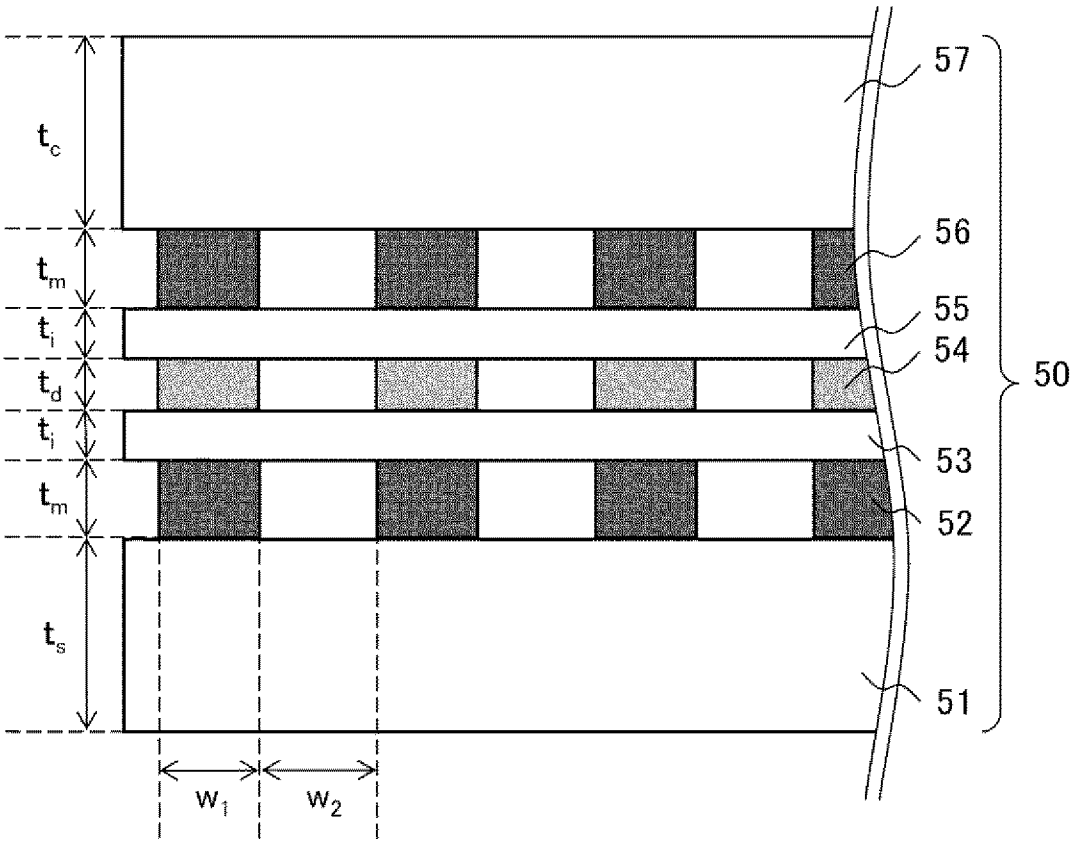
[図20]



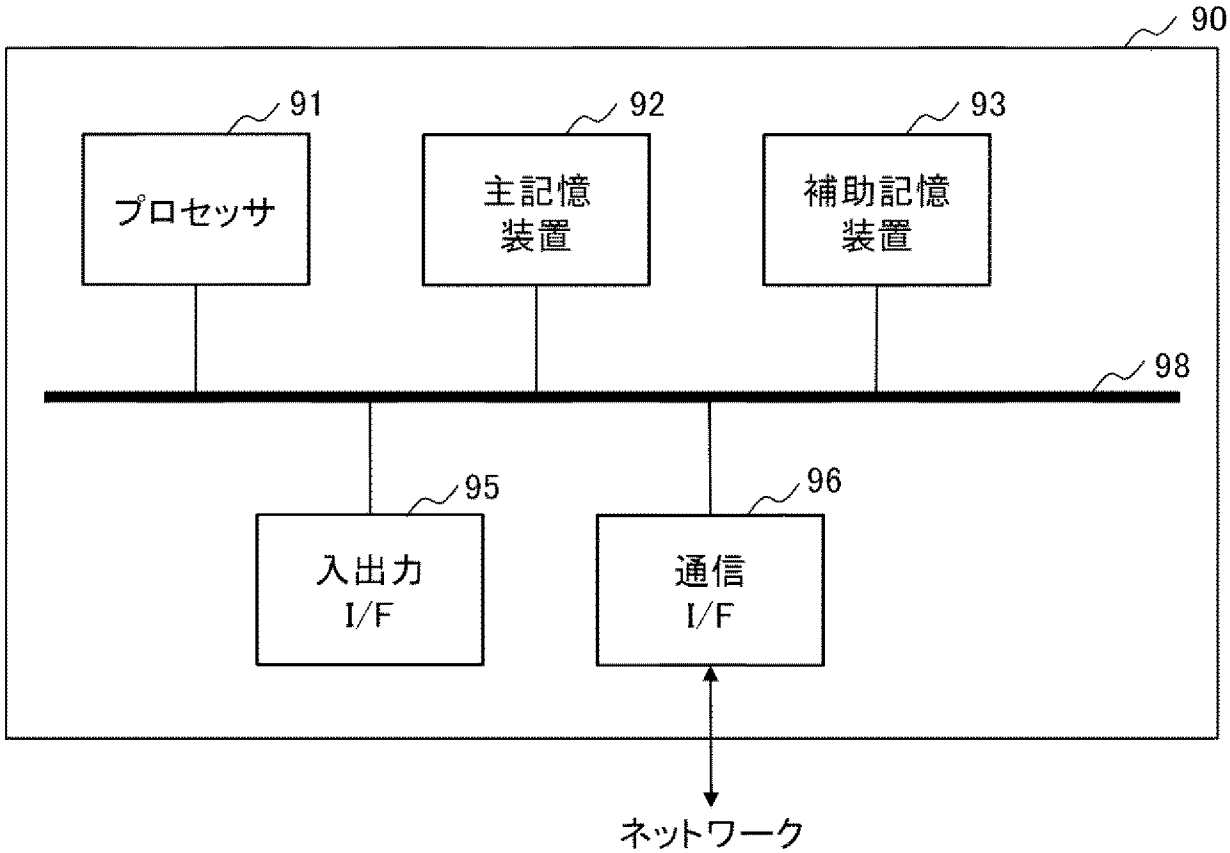
[図21]



[図22]


t_c
t_m
t_i
t_d
t_i
t_m
t_s
w_1
w_2
57
56
55
54
53
52
51
50

[図23]


90
91
プロセッサ
92
主記憶
装置
93
補助記憶
装置
98
95
入出力
I/F
96
通信
I/F
ネットワーク

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/037557

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl. G01K17/00(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)
Int.Cl. G01K17/00, H01L37/00-37/04

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

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 A	WO 2019/009308 A1 (THE UNIVERSITY OF TOKYO) 10 January 2019, paragraphs [0043]-[0051], [0054], fig. 13 (Family: none)	1-4 5-16
Y	JP 2000-67416 A (READ RITE SMI KK) 03 March 2000, paragraph [0042], fig. 6 (Family: none)	1-4

☐ 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 09.12.2019	Date of mailing of the international search report 17.12.2019
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１９／０３７５５７

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01K17/00(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.　G01K17/00, H01L37/00-37/04

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	１９７１－２０１９年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１９年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１９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	WO 2019/009308 A1 (国立大学法人東京大学) 2019.01.10, 段落 0043-0051,0054, 図 13 (ファミリーなし)	1-4
A		5-16
Y	JP 2000-67416 A (リードライト・エスエムアイ株式会社) 2000.03.03, 段落 0042, 図 6 (ファミリーなし)	1-4

☐　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	国際調査報告の発送日
０９．１２．２０１９	１７．１２．２０１９

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　２Ｆ　９３０５
菅藤　政明
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２１６