

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2011-2437

(P2011-2437A)

(43) 公開日 平成23年1月6日(2011.1.6)

(51) Int.Cl.
G 0 1 N 25/18 (2006.01)F 1
G 0 1 N 25/18テーマコード (参考)
2 G 0 4 0

審査請求 未請求 請求項の数 9 書面 (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2009-162210 (P2009-162210)
(22) 出願日 平成21年6月17日 (2009.6.17)(71) 出願人 506354216
株式会社アイフェイズ
東京都品川区上大崎2-15-19
(74) 代理人 100082670
弁理士 西脇 民雄
(72) 発明者 早川 栄太
愛知県刈谷市井ヶ谷町洲原6-143
Fターム(参考) 2G040 AB09 BA08 BA25 CA02 CB04
DA03 DA13 EA07 EB02 FA06

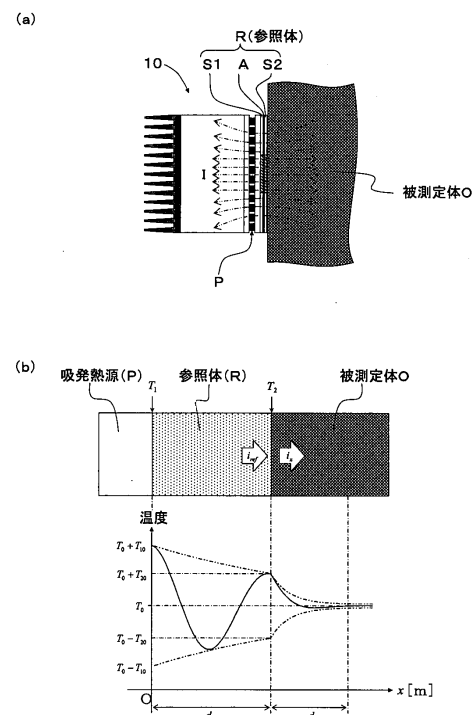
(54) 【発明の名称】 熱伝導率測定方法および熱伝導率測定装置

(57) 【要約】

【課題】測定対象を限定することなく、しかも大型の測定対象であってもサンプリングすることなく容易に熱伝導率が測定できる熱伝導率測定方法および熱伝導率測定装置を提供する。

【解決手段】本発明の熱伝導率測定方法では、熱伝導率を測定する被測定体Oの表面に熱伝導性の参照体Rをその正面側から当接させて、参照体Rの背面側に設けられたペルチェ素子Pにより参照体Rの背面側から参照体Rの正面側に向かう方向に交流的熱流束Iを生じさせた定常状態で参照体Rの背面側の温度 T_1 と参照体Rの正面側の温度 T_2 とを計測し、これらの温度 T_1 、 T_2 の振動的变化の各振幅 T_{10} 、 T_{20} に基づいて被測定体Oの熱伝導率 σ を導出する。

【選択図】 図9



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

熱伝導率を測定する被測定体表面に熱伝導性の参照体をその正面側から当接させて、
前記参照体の背面側に設けられた吸発熱源により前記参照体の背面側から前記参照体の正面側に向かう方向に交流的熱流束を生じさせた定常状態で前記参照体の背面側の温度と前記参照体の正面側の温度とを計測し、

これらの温度の振動的変化の各振幅に基づいて前記被測定体の熱伝導率を導出することを特徴とする熱伝導率測定方法。

【請求項 2】

前記参照体の背面側の温度と前記参照体の正面側の温度との各温度振幅の比に基づいて前記被測定体の熱伝導率を導出することを特徴とする請求項 1 に記載の熱伝導率測定方法。

【請求項 3】

前記参照体の背面側の温度振幅を T_{10} 、前記参照体の正面側の温度振幅を T_{20} 、これらの温度振幅の比を $k = T_{20} / T_{10}$ とし、

前記被測定体の熱伝導率 σ を、前記温度振幅の比 k から、関数

$$\sigma = \sigma_0 \left(\frac{1-k}{k} \right)^2 \equiv f(k)$$

(ただし、 σ_0 は、複数の熱伝導体に対して実測される k と σ との各値に基づいて決定される定数) により導出することを特徴とする請求項 2 に記載の熱伝導率測定方法。

【請求項 4】

板状の参照用熱伝導体と該熱伝導体の両面にそれぞれ当接して設けられた一対の板状の温度検出部とからなる参照体、該参照体の背面側に吸発熱源を有するセンサ部と、

前記吸発熱源によって前記参照体の背面側から前記参照体の正面側に向かう方向に交流的熱流束を生じさせる熱源駆動手段と、

熱伝導率の測定時に前記参照体の正面側表面部に当接される被測定体の熱伝導率を前記各温度検出部により検出される前記参照体の背面側の温度と前記参照体の正面側の温度との振動的変化の各振幅に基づいて導出する演算部と、

を有していることを特徴とする熱伝導率測定装置。

【請求項 5】

材質や厚さが異なる前記参照用熱伝導体により構成される前記センサ部が予め複数用意され、これらのセンサ部が交換可能とされていることを特徴とする請求項 4 に記載の熱伝導率測定装置。

【請求項 6】

前記参照体の背面側温度検出部により検出される温度の振幅を T_{10} 、前記参照体の正面側温度検出部により検出される温度の振幅を T_{20} 、これらの温度振幅の比を

$k = T_{20} / T_{10}$ として、

前記演算部が、前記被測定体の熱伝導率 σ を、前記温度振幅の比 k から、関数

$$\sigma = \sigma_0 \left(\frac{1-k}{k} \right)^2 \equiv f(k)$$

(ただし、 σ_0 は、複数の熱伝導体に対して実測される k と σ との各値に基づいて決定される定数) により導出することを特徴とする請求項 4 または請求項 5 に記載の熱伝導率測定装置。

【請求項 7】

前記吸発熱源がペルチェ素子であることを特徴とする請求項 4 ないし請求項 6 のうちいずれか一項に記載の熱伝導率測定装置。

【請求項 8】

前記熱源駆動手段により前記ペルチェ素子に印加される交流電圧に、所定のバイアス電圧が設定可能とされていることを特徴とする請求項 7 に記載の熱伝導率測定装置。

【請求項 9】

温度の検出を可能とする前記各温度検出部の温度検出領域が、前記ペルチェ素子により発生される熱流束の横断面中央位置にそれぞれ配置され、かつ該各温度検出領域の面積が前記ペルチェ素子の吸発熱面の面積に比べて小さく設定されていることを特徴とする請求項 7 または請求項 8 に記載の熱伝導率測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、熱伝導率測定方法および熱伝導率測定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、熱伝導率測定方法および熱伝導率測定装置が知られている（例えば、特許文献 1 等参照）。

【0003】

特許文献 1 に記載の発明では、金属表面における光の反射率が温度に依存する性質を利用して、金属表面での光の反射率を精密に測定することにより、その金属の表面温度を精密に測定する所謂サーモリフレクタンス法を利用している。

20

すなわち、予め測定対象となる金属の薄膜を形成して、この金属薄膜の一方の表面にレーザパルス光を照射しつつ、他方の表面に反射率を測定するためのレーザ光を照射して、その反射光量から反射率を精密に測定することにより、金属薄膜の一方の表面側の加熱による他方の表面側の温度応答の情報を得て、これと金属薄膜の膜厚とから金属薄膜の厚さ方向の熱伝導率を測定する。

【0004】

また、この他にも、測定対象となる物質を熱源と温度センサとによって挟んで、熱源の温度と温度センサによって検出される温度との情報から熱伝導率を測定する熱伝導率測定装置が知られている。

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2004-333262 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、特許文献 1 に記載の発明では、測定対象となる物質が、光の反射率の温度依存性が明確となっている物質に限定され、さらに測定対象となる物質の薄膜を形成する必要があるので、測定に手間が掛かる。

【0007】

40

また、測定対象となる物質を熱源と温度センサとによって挟んで測定する熱伝導率測定装置では、物理的制約により測定可能な測定対象の厚さに上限が生じ、測定対象の厚さが、上限を越えるような場合には、この測定対象を薄くサンプリングする必要があるので、測定対象が大型でサンプリングが不可能な場合には測定ができなかった。

【0008】

そこで、本発明では、測定対象を限定することなく、しかも大型の測定対象であってもサンプリングすることなく容易に熱伝導率が測定できる熱伝導率測定方法および熱伝導率測定装置を提供することを課題としている。

【課題を解決するための手段】

【0009】

50

上記目的を達成するために、請求項 1 に記載された発明は、熱伝導率を測定する被測定体表面に熱伝導性の参照体をその正面側から当接させて、前記参照体の背面側に設けられた吸発熱源により前記参照体の背面側から前記参照体の正面側に向かう方向に交流的熱流束を生じさせた定常状態で前記参照体の背面側の温度と前記参照体の正面側の温度とを計測し、これらの温度の振動的変化の各振幅に基づいて前記被測定体の熱伝導率を導出する熱伝導率測定方法の特徴としている。

【0010】

そして、請求項 2 に記載された発明は、前記参照体の背面側の温度と前記参照体の正面側の温度との各温度振幅の比に基づいて前記被測定体の熱伝導率を導出する請求項 1 に記載の熱伝導率測定方法の特徴としている。

10

【0011】

また、請求項 3 に記載された発明は、前記参照体の背面側の温度振幅を T_{10} 、前記参照体の正面側の温度振幅を T_{20} 、これらの温度振幅の比を $k = T_{20} / T_{10}$ とし、前記被測定体の熱伝導率 σ を、前記温度振幅の比 k から、関数

$$\sigma = \sigma_0 \left(\frac{1-k}{k} \right)^2 \equiv f(k)$$

(ただし、 σ_0 は、複数の熱伝導体に対して実測される k と σ との各値に基づいて決定される定数) により導出する請求項 2 に記載の熱伝導率測定方法の特徴としている。

20

【0012】

さらに、請求項 4 に記載された発明は、板状の参照用熱伝導体と該熱伝導体の両面にそれぞれ当接して設けられた一对の板状の温度検出部とからなる参照体、該参照体の背面側に吸発熱源を有するセンサ部と、前記吸発熱源によって前記参照体の背面側から前記参照体の正面側に向かう方向に交流的熱流束を生じさせる熱源駆動手段と、熱伝導率の測定時に前記参照体の正面側表面部に当接される被測定体の熱伝導率を前記各温度検出部により検出される前記参照体の背面側の温度と前記参照体の正面側の温度との振動的変化の各振幅に基づいて導出する演算部と、を有している熱伝導率測定装置の特徴としている。

【0013】

そして、請求項 5 に記載された発明は、材質や厚さが異なる前記参照用熱伝導体により構成される前記センサ部が予め複数用意され、これらのセンサ部が交換可能とされている請求項 4 に記載の熱伝導率測定装置の特徴としている。

30

【0014】

また、請求項 6 に記載された発明は、前記参照体の背面側温度検出部により検出される温度の振幅を T_{10} 、前記参照体の正面側温度検出部により検出される温度の振幅を T_{20} 、これらの温度振幅の比を $k = T_{20} / T_{10}$ として、前記演算部が、前記被測定体の熱伝導率 σ を、前記温度振幅の比 k から、関数

$$\sigma = \sigma_0 \left(\frac{1-k}{k} \right)^2 \equiv f(k)$$

40

(ただし、 σ_0 は、複数の熱伝導体に対して実測される k と σ との各値に基づいて決定される定数) により導出する請求項 4 または請求項 5 に記載の熱伝導率測定装置の特徴としている。

【0015】

さらに、請求項 7 に記載された発明は、前記吸発熱源がペルチェ素子である請求項 4 ないし請求項 6 のうちいずれか一項に記載の熱伝導率測定装置の特徴としている。

【0016】

そして、請求項 8 に記載された発明は、前記熱源駆動手段により前記ペルチェ素子に印加される交流電圧に、所定のバイアス電圧が設定可能とされている請求項 7 に記載の熱伝

50

導率測定装置を特徴としている。

【0017】

また、請求項9に記載された発明は、温度の検出を可能とする前記各温度検出部の温度検出領域が、前記ペルチェ素子により発生される熱流束の横断面中央位置にそれぞれ配置され、かつ該各温度検出領域の面積が前記ペルチェ素子の吸発熱面の面積に比べて小さく設定されている請求項7または請求項8に記載の熱伝導率測定装置を特徴としている。

【発明の効果】

【0018】

このように構成された本発明の請求項1に記載のものは、熱伝導率を測定する被測定体表面に熱伝導性の参照体をその正面側から当接させて被測定体の熱伝導率を導出するので、被測定体の表面が露出していれば、この被測定体の熱伝導率を計測することができる。

したがって、従来例の熱伝導率測定装置のように、熱源と温度センサとによって被測定体を挟んで測定する必要がなく、このため、被測定体を薄くサンプリングする必要がないので、例えば、壁や床などを形成している断熱材などの大型の被測定体であっても、その熱伝導率を容易に測定することができる。

【0019】

また、交流的熱流束による温度振動の定常状態で測定しているので、例えば、熱的過渡状態で熱伝導率を測定する場合に比べて、安定かつ正確な熱伝導率の測定が可能となる。

【0020】

しかも、本請求項に係る熱伝導率測定方法では、計測される温度の時間的な平均をとれば、この温度平均は原理的には環境温度と等しくなるので、平均的には被測定体に熱を加えないので、被測定体の温度が上昇することはなく、一定の環境温度条件の下で、一層、安定かつ正確な熱伝導率の測定が可能となる。

【0021】

そして、本発明の請求項2に記載のものは、参照体の背面側の温度と参照体の正面側の温度との各温度の相対的な振幅比に基づいて被測定体の熱伝導率を導出しているので、測定環境の変化による上記各温度の絶対的な温度変化の影響を受けにくく、環境の変化に依らず、安定かつ正確な計測が可能となる。

【0022】

このように、環境の変化に依らず安定かつ正確な計測が可能なので、複数の熱伝導体に対して、これらの温度振幅の比と熱伝導率とをそれぞれ比較することにより、温度振幅の比と熱伝導率との相関を正確に得ることができるので、熱伝導率未知の熱伝導体の熱伝導率を、その物質について測定される温度振幅の比から正確に導出することができる。

【0023】

また、本発明の請求項3に記載のものは、複数の熱伝導体に対して実測された温度振幅の比 k と熱伝導率 σ との各値に基づいて決定された関数 $\sigma = f(k)$ を適用することにより、熱伝導率未知の熱伝導体の熱伝導率を正確に導出することができる。

【0024】

さらに、本発明の請求項4に記載のものは、請求項1と同様の効果を奏する。

【0025】

そして、本発明の請求項5に記載のものは、材質や厚さが異なる参照用熱伝導体により構成されるセンサ部が予め複数用意され、これらのセンサ部が交換可能とされているので、異なるセンサ部に交換することにより、被測定体に流入される熱流束の強度を変えることができ、被測定体に応じて異なるセンサ部に交換することにより熱伝導率の測定レンジを変えることができるので、幅広い測定レンジによる熱伝導率の測定が実現できる。

このため、測定対象が制限されることなく、様々な物質の熱伝導率の測定が可能となる。

【0026】

また、本発明の請求項6に記載のものは、請求項1および請求項2と同様の効果を奏する。

10

20

30

40

50

【0027】

さらに、本発明の請求項7に記載のものは、ペルチェ素子を吸発熱源として採用することにより、より一層、安定かつ正確な熱伝導率の測定が可能となる。

ペルチェ素子は、一般に供給電流に対する熱応答性に優れており、しかも交流電流を供給した場合には、それ自体のジュール発熱を除けば、電流0の状態に関して、ほぼ対称に発熱と吸熱とを繰り返すので、本発明の熱伝導率測定装置に使用する吸発熱源として好適である。

【0028】

そして、本発明の請求項8に記載のものは、ペルチェ素子に印加される交流電圧に所定のバイアス電圧が設定可能とされているので、ペルチェ素子により参照体に供給される熱量について、平均の発熱量より平均の吸熱量を大きく設定することが可能となり、ペルチェ素子自体が発生するジュール熱分だけ吸熱量を大きく設定することにより、参照体へのジュール熱の流入を抑制できる。

【0029】

また、本発明の請求項9に記載のものは、温度検出を可能とする各温度検出部の温度検出領域が、ペルチェ素子により発生される熱流束の横断面中央位置にそれぞれ配置され、かつ各温度検出領域の面積がペルチェ素子の吸発熱面の面積に比べて小さく設定されているので、各温度検出部の温度検出領域を通過する熱流束が、ある程度コリメート（平行化）され、被測定体内部での熱拡散が無視できるようになり、正確な熱伝導率の測定が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0030】

【図1】実施例に係る熱伝導率測定装置の概略図であり、(a)は熱伝導率測定装置全体を示す平面図、(b)はセンサ本体部の側面図である。

【図2】実施例に係るセンサ部の概略図であり、(a)はセンサ部の側面図、(b)はセンサ部の分解側面図、(c)は温度センサの斜視図である。

【図3】実施例に係る熱伝導率測定装置のブロック構成図である。

【図4】実施例に係る熱伝導率測定装置の動作を示す図であり、(a)は液晶表示部に「計測準備中」と表示された状態、(b)は液晶表示部に「計測可能」と表示された状態、(c)は液晶表示部に被測定体の熱伝導率と環境温度とが表示された状態を示している。

【図5】実施例に係る制御演算部による制御の流れを示すフローチャート図である。

【図6】(a)はバイアス電圧を0に設定した場合のペルチェ素子への印加電圧のグラフ図、(b)はバイアス電圧を負に設定した場合のペルチェ素子への印加電圧のグラフ図、(c)はセンサ部の背面側の温度センサの出力電圧のグラフ図、(d)はセンサ部の表面側の温度センサの出力電圧のグラフ図である。

【図7】(a)はバイアス電圧を0に設定した場合のペルチェ素子への印加電圧のグラフ図、(b)は(a)に対応するペルチェ素子への供給電力のグラフ図、(c)は(a)に対応するセンサ部での熱流束のグラフ図である。

【図8】実施例の温度比平均値取得処理に係るグラフ図であり、(a)はペルチェ素子への平均供給電力と温度センサの出力電圧の実効値との関係を示すグラフ図、(b)はペルチェ素子への平均供給電力と温度振幅の比との関係を示すグラフ図である。

【図9】実施例に係る熱伝導率測定装置の測定原理を示す図であり、(a)はセンサ部のセンサ面が被測定体に当接された状態の側面図、(b)は参照体と被測定体との接触部近傍における熱流束方向の変位と温度振幅との相関を示す概念図である。

【図10】実施例に係る熱伝導率測定装置の測定原理を示す図であり、参照体と被測定体との接触部近傍における熱流束方向の変位と温度振幅との相関を、異なる2つの被測定体について比較して示した概念図である。

【図11】実施例に係る関数を導出する際に使用されたデータを示す図であり、複数の物質と、それらに対応する各計算値とを示す表図である。

【図12】実施例に係る関数を導出する際に使用されたデータを示す図であり、(a)は

10

20

30

40

50

比例式の比例関係を示すグラフ図、(b)は最終的に得られた関数のグラフ図である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0031】

以下、発明を実施するための最良の形態の実施例に基づいて本発明を説明する。

【実施例】

【0032】

〈熱伝導率測定装置の構成〉

図1(a)において、符号1は本実施例に係る熱伝導率測定装置である。

【0033】

熱伝導率測定装置1は装置本体部2とセンサ本体部3とによって構成されており、本装置を使用する際には、装置本体部2とセンサ本体部3とを接続ケーブル4によって接続する。

10

【0034】

装置本体部2は略直方体形状の薄型ケース5を有しており、ケース5の上面部には熱伝導率の測定値などを表示する液晶表示部6と、電源スイッチ7aと測定開始スイッチ7bとからなる操作部7とが設けられている。

【0035】

ケース5の両側部には、それぞれ接続ケーブル4用のコネクタ8とパーソナルコンピュータ接続用のUSB端子9とが設けられている。

【0036】

20

図1(b)に示すように、センサ本体部3はセンサユニット3Aと略L字状の握持部3Bとを有しており、センサユニット3Aと握持部3Bとは、センサユニット3A側のコネクタ3Aaと握持部3B側のコネクタ3Baとを介して着脱自在となっている。

【0037】

センサユニット3Aは、センサ部10を内蔵しており、センサユニット3Aの正面側からは、後述するセンサ部10のセンサ面Raが露出している。

【0038】

センサユニット3Aが握持部3Bに装着された状態では、センサ部10のセンサ面Raと握持部3Bの脚部3Bb正面側の端面3Bcとが略面一となるように構成されている。

このため、センサ本体部3を被測定体Oとしての壁材Wに押し当てて測定したり、被測定体Oとしての床材(図示省略)に載置して測定したりすることが可能となっている。

30

【0039】

図2(a)または図2(b)に示すように、センサ部10は、参照体Rと、吸発熱源としてのペルチェ素子Pと、ペルチェ素子Pの温度を安定させるための高熱容量体Cと、高熱容量体Cと外部環境との間の熱交換を効率化するヒートシンクHとを有している。

【0040】

参照体Rと、ペルチェ素子Pと、高熱容量体Cと、ヒートシンクHとは、センサ部10の正面側から、この順に当接配置されている。

【0041】

高熱容量体CおよびヒートシンクHは、ペルチェ素子P自体が発生するジュール熱を放熱すると共に、ペルチェ素子Pの温度を環境温度に近づけて温度を安定させている。

40

【0042】

参照体Rは、アクリル(PMMA)製の参照用樹脂板Aと、参照用樹脂板Aの両面にそれぞれ当接配置された一对の温度センサS1, S2とによって構成されている。

【0043】

図2(c)に示すように、本実施例に係る温度センサS1, S2には、ペルチェ素子Pと略同一サイズの正方形基板の中央に、銅線と銅コンスタンタン線とが交互に直列に接続されたサーモパイル部Dが形成されている。

【0044】

図2(a)または図2(b)に示すように、温度の検出を可能とする各温度センサS1

50

、S 2 のサーモパイル部 D は、ペルチェ素子 P により発生される熱流束 I の横断面中央位置にそれぞれ配置され、かつ各サーモパイル D 部分の面積 s がペルチェ素子 P の吸発熱面の面積 S に比べて小さく設定されている。

【0045】

温度センサ S 2、参照用樹脂板 A、温度センサ S 1、ペルチェ素子 P、高熱容量体 C、ヒートシンク H の各当接面はそれぞれ接着されており、温度センサ S 2 の参照用樹脂板 A とは当接しない面には、樹脂製の保護膜で覆われたセンサ面 R a が形成されている。

【0046】

本実施例に係る熱伝導率測定装置 1 では、予め複数のセンサユニット 3 A が用意されており、これらのセンサユニット 3 A に内蔵されるセンサ部 10 には、異なる材質や厚さの参照用樹脂板 A が設定されている。

10

【0047】

熱伝導率未知の熱伝導体の熱伝導率を測定するには、その被測定体 O の物質に応じて、これらのセンサユニット 3 A を交換して使用する。

【0048】

図 1 に示すセンサ本体部 3 の握持部 3 B の内部には、図 3 に示す 2 組のプリアンプ 11 a、11 b と熱源駆動回路 12 とが搭載されている。

【0049】

図 3 に示すように、センサ本体部 3 が有する一対の温度センサ S 1、S 2 の各電極は、2 組のプリアンプ 11 a、11 b の入力にそれぞれ接続されており、プリアンプ 11 a、11 b の出力は、接続ケーブル 4 とコネクタ 8 とを介して装置本体部 2 に接続されている。

20

【0050】

また、センサ本体部 3 が有するペルチェ素子 P の電極は、熱源駆動回路 12 の出力に接続されており、熱源駆動回路 12 の入力に接続ケーブル 4 とコネクタ 8 とを介して装置本体部 2 に接続されている。

【0051】

装置本体部 2 は、その内部に、信号処理部 13 と、制御演算部（マイクロコンピュータ）14 と、記憶部（不揮発性メモリ）15 と、通信手段（USB インターフェース回路）16 とを有している。

30

【0052】

信号処理部 13 は、FPGA（Field Programmable Gate Array）によって構成されており、2 組の ADC（AD コンバータ）回路部 17 a、17 b と DAC（DA コンバータ）回路部 17 c との他に、2 信号の信号値を積算する積算回路部 18、ローパスフィルタとしての積分回路部 19、任意波形の信号を生成するファンクションジェネレータ回路部 20 などが組み込まれている。

【0053】

これらのうち、積算回路部 18 と、積分回路部 19 とによってロックインアンプ部 L が構成されている。

【0054】

ロックインアンプ部 L は、その機能として、一対の温度センサ S 1、S 2 の電圧信号から、温度変化に対応する交流信号とは異なる周波数のノイズ信号を除去する機能（周波数フィルタ手段）と、一対の温度センサ S 1、S 2 からの交流信号の位相差 $\Delta\theta$ を抽出して、 $\Delta\theta$ に対応する位相信号を出力する機能（位相差抽出手段）とを有している。

40

【0055】

制御演算部 14 は、液晶表示部 6 と、本体操作部 7 と、信号処理部 13 と、記憶部 15 と、通信手段 16 とに接続されており、後述する全ての処理は、記憶部 15 に記憶されたプログラムに基づいて制御演算部 14 により実行される。

【0056】

本実施例に係る熱伝導率測定装置 1 では、ファンクションジェネレータ回路部 20、D

50

A C回路部 1 7 c, 熱源駆動回路 1 2 とからなる熱源駆動手段 H C によりペルチェ素子 P に交流電力を供給している。

そして、熱源駆動手段 H C は、ペルチェ素子 P により参照体 R の背面側から正面側に向かう方向に交流的熱流束 I を発生させる。

【0057】

この熱源駆動手段 H C がペルチェ素子 P に印加する電圧を V_p [V] とし、電圧 V_p が正のとき、温度センサ S 1 側から温度センサ S 2 側に向かう方向に熱流束 I が発生するように構成されている。

【0058】

また、本実施例に係る熱伝導率測定装置 1 では、プリアンプ 1 1 a, 1 1 b, A D C 回路部 1 7 a, 1 7 b, ロックインアンプ部 L からなるセンサ出力取得手段 D U により参照体 R の温度センサ S 1, S 2 よって検出される温度 T_1 , T_2 に比例したセンサ出力電圧 V_1 , V_2 の情報を取得する。

【0059】

そして、制御演算部 1 4 は、熱伝導率の測定時に、これらのセンサ出力電圧 V_1 , V_2 の情報に基づいて各温度センサ S 1, S 2 により検出される参照体 R の背面側の温度 T_1 と正面側の温度 T_2 との振動的变化の各振幅 T_{10} , T_{20} を導出し、これらの振幅 T_{10} , T_{20} に基づいてセンサ本体部 3 のセンサ面 R a に当接される被測定体 O の熱伝導率 σ を導出する。

【0060】

具体的には、センサ出力電圧 V_1 , V_2 の時系列データを時系列（時間）に関して積分処理して、これらのセンサ出力電圧 V_1 , V_2 の各平均値 V_{1m} , V_{2m} を導出し（図 6 (c), 図 6 (d) 参照）、次に、各センサ出力電圧 V_1 , V_2 の時系列データと各平均値 V_{1m} , V_{2m} のデータとからセンサ出力電圧 V_1 , V_2 の実効値（ V_1 , V_2 の 2 乗平均根） V_{1e} , V_{2e} を導出する。

【0061】

サーモパイルにより得られるセンサ出力電圧 V_1 , V_2 は、温度センサ S 1, S 2 の各温度 T_1 , T_2 に比例するので、センサ出力電圧 V_1 , V_2 の振動的变化の振幅 V_{10} , V_{20} は、各温度センサ S 1, S 2 により検出される温度 T_1 , T_2 の振動的变化の各振幅 T_{10} , T_{20} にそれぞれ比例する。

【0062】

また、一般に、振幅 V_{10} , V_{20} は実効値 V_{1e} , V_{2e} にそれぞれ比例するので、温度振幅 T_{10} , T_{20} の比 k は結果的には、センサ出力電圧 V_1 , V_2 の実効値 V_{1e} , V_{2e} に比例する。

【0063】

すなわち、

$$k = \frac{T_{20}}{T_{10}} = \frac{V_{20}}{V_{10}} = \frac{V_{2e}}{V_{1e}}$$

であるから、制御演算部 1 4 により導出された V_{1e} , V_{2e} から k を導出して、被測定体 O の熱伝導率 σ を関数

$$\sigma = \sigma_0 \left(\frac{1-k}{k} \right)^2 \equiv f(k)$$

により導出する。

【0064】

ただし、 σ_0 は、複数の熱伝導体に対して実測される k と σ との各値に基づいて決定される定数であり、本実施例では、 σ_0 を

$$\sigma_0 = \frac{1}{127.4} \text{ [W / (m} \cdot \text{K)]}$$

とする。

【0065】

〈作用〉

〔熱伝導率測定装置の使用方法〕

まず、熱伝導率の測定レンジを切り替えるために予め用意された、材質や厚さが異なる参照用樹脂板Aを有する複数のセンサユニット3Aの中から熱伝導率未知の熱伝導体の測定に適したセンサユニット3Aを選択し、このセンサユニット3Aを握持部3Bに装着する(図1(b)参照)。

10

【0066】

そして、センサ本体部3の接続ケーブル4を装置本体部2の接続ケーブル4用のコネクタ8に接続する。

【0067】

次に、装置本体部2の電源スイッチ7aを押して電源を投入すると、熱伝導率測定装置1が起動し、熱伝導率測定装置1の較正が自動的に開始されると共に、液晶表示部6に「計測準備中」の文字が表示される(図4(a)参照)。

【0068】

そして、熱伝導率測定装置1の較正が完了すると、液晶表示部6に「計測可能」の文字が表示される(図4(b)参照)。

20

【0069】

次に、被測定体Oをセンサ本体部3のセンサ面Raに当接させた状態で測定開始スイッチ7bを押す。

【0070】

そして、しばらくすると、液晶表示部6に環境温度等の測定条件と共に、被測定体Oの熱伝導率が表示される(図4(c)参照)。

【0071】

〔制御演算部14による制御の流れ〕

次に、本実施例に係る制御演算部14による制御の流れを、図5に示すフローチャート図と対応させて説明する。

30

【0072】

電源が投入されると、熱伝導率測定装置1が起動し、自動的に以下のStep1～Step7の処理が実行される。

【0073】

Step1では、液晶表示部6に「計測準備中」と表示する(図4(a)参照)。

【0074】

Step2では、周波数最適化処理を実行する。

周波数最適化処理では、まず、熱源駆動手段HCにより、振幅 V_{p0} 、振動数 f の交流電圧 V_p をペルチェ素子Pに印加する(図6(a)参照)。

40

なお、本実施例に係る熱伝導率測定装置1では、ペルチェ素子Pに印加される交流電圧 V_p に、交流電圧の基準電圧としてのバイアス電圧 V_{bias} が設定可能とされている。

【0075】

次に、温度センサS1、S2の各出力電圧 V_1 、 V_2 を計測して、ロックインアンプ部Lから出力される位相差信号に基づいて、各出力電圧 V_1 、 V_2 の位相差 $\Delta\theta_1$ 、 $\Delta\theta_2$ を取得し(図6(c)、図6(d)参照)、出力電圧 V_1 に対する出力電圧 V_2 の相対的位相差 $\Delta\theta = |\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1|$ を導出する。

【0076】

ところで、相対的位相差 $\Delta\theta$ はペルチェ素子Pに印加される交流電圧 V_p の振動数 f に

50

対して、式

$$\Delta\theta = \sqrt{\frac{\pi \cdot f}{\alpha}} D + \frac{\pi}{4}$$

に従うことが知られている。

【0077】

ただし、 α は参照用樹脂板Aを構成する物質の熱拡散率、 D は参照用樹脂板Aの厚さである。なお、上式は、本実施例に係る参照用樹脂板Aについて熱伝導方程式を適用することにより導くことができるが、その詳細は省略する。

10

【0078】

このように、電圧 V_1 に対する電圧 V_2 の相対的位相差 $\Delta\theta$ は、ペルチェ素子Pに印加する交流電圧 V_p の振動数 f に依存する。

【0079】

そこで、熱源駆動手段HCにより振動数 f を変化させつつ、センサ出力取得手段DUによって位相差 $\Delta\theta$ を計測して、位相差 $\Delta\theta$ が π の整数倍となるように振動数 f を設定することにより、電圧 V_2 の振幅が極大となるように、ペルチェ素子Pへの印加電圧の振動数を f に設定する。

なお、図9(b)に示すグラフ図は、 $\Delta\theta = 2\pi$ に設定した場合の概念図となっている。

20

【0080】

Step 3では、液晶表示部6に「計測可能」と表示する(図4(b)参照)。

【0081】

Step 4では、測定開始スイッチ7bのON・OFF状態をチェックする。

測定開始スイッチ7bがON状態ならばStep 5を実行し、OFF状態ならばStep 3に戻る。

【0082】

Step 5では、温度比平均値取得処理を実行する。

温度比平均値取得処理では、まず、熱源駆動手段HCにより、振幅 V_{p0} 、振動数 f の交流電圧 V_p をペルチェ素子Pに印加する(図6(a)参照)。

30

【0083】

そして、センサ出力取得手段DUにより、温度センサS1、S2の各出力電圧 V_1 、 V_2 の取得する(図6(c)、図6(d)参照)。

【0084】

次に、温度センサS1、S2の各出力電圧値 V_1 、 V_2 を電圧の振動周期 T で積分して、この振動周期 T で除算することにより各平均電圧 V_{1m} 、 V_{2m} を導出する(図6(c)、図6(d)参照)。

【0085】

そして、温度センサS1、S2の各出力電圧値 V_1 、 V_2 のデータから各平均電圧 V_{1m} 、 V_{2m} のデータに基づき、電圧の実効値 V_{1e} 、 V_{2e} を導出する。

40

【0086】

ところで、温度センサS1、S2により検出される各計測温度 T_1 、 T_2 と温度センサS1、S2の各出力電圧値 V_1 、 V_2 とは、それぞれ比例するので、平均温度 T_0 (理想的には、 T_0 は環境温度に等しい。)を基準とした各計測温度 T_1 、 T_2 の振幅 T_{10} 、 T_{20} は、温度センサS1、S2の各出力電圧値 V_1 、 V_2 の各平均電圧 V_{1m} 、 V_{2m} を基準とした電圧振幅 V_{10} 、 V_{20} に比例し、さらに電圧振幅 V_{10} 、 V_{20} は電圧実効値 V_{1e} 、 V_{2e} に、それぞれ比例するので、各計測温度 T_1 、 T_2 の振幅 T_{10} 、 T_{20} と各出力電圧値 V_1 、 V_2 の電圧実効値 V_{1e} 、 V_{2e} とは比例する。

【0087】

したがって、各計測温度 T_1 、 T_2 の振幅 T_{10} 、 T_{20} の比 k は、

50

$$k = \frac{T_{20}}{T_{10}} = \frac{V_{20}}{V_{10}} = \frac{V_{2e}}{V_{1e}}$$

となるので、本実施例の熱伝導率測定装置 1 では、温度センサ S 1, S 2 の各計測温度振幅 T_{10} , T_{20} から直接 $k = T_{20} / T_{10}$ を求める代わりに、 V_{1e} , V_{2e} の比 V_{2e} / V_{1e} から k を導出する。

【0088】

また、一般にペルチェ素子 P に供給される電力 P_s は、ペルチェ素子 P への印加電圧 V_p の 2 乗に比例するので、ペルチェ素子 P に振幅 V_{p0} , 振動数 f の交流電圧 V_p を

10

印加した場合（図 7（a）参照）に、電圧 V_p から供給電力 P_s の平均値 $\bar{P}$ を導出することができる（図 7（b）参照）。

【0089】

さらに、ペルチェ素子 P により被測定体 O とセンサ部 10 とからなる系に発生される熱流束密度 i は、ペルチェ素子 P に供給される電力 P_s に比例すると考えられ（図 7（c）参照、ただし、図 7（c）のグラフ図では熱流束の向きも考慮されている。）、温度センサ S 1, S 2 における各計測温度 T_1 , T_2 は、熱流束密度 i に比例すると考えられるので、結果として温度センサ S 1, S 2 の各出力電圧の実効値 V_{1e} , V_{2e} は、ペル

20

チェ素子 P に供給される平均電力 $\bar{P}$ にそれぞれ比例すると考えられる（図 8（a）参照）。

このような比例関係は、出願人による実測によっても確認されている。

【0090】

ペルチェ素子 P の平均供給電力 $\bar{P}$ と温度センサ S 1 の出力電圧の実効値 V_{1e} との比例定数をとし、ペルチェ素子 P の平均供給電力 $\bar{P}$ と温度センサ S 2 の出力電圧の実効値 V_{2e} との比例定数を α_2 とすると、本実施例に係る温度振幅の比 $k = V_{2e} / V_{1e}$ は、

30

$$k = \frac{V_{2e}}{V_{1e}} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \text{一定}$$

より、ペルチェ素子 P の平均供給電力 $\bar{P}$ に依らず、一定値になる。

【0091】

そこで、本実施例の熱伝導率測定装置 1 では、ペルチェ素子 P への印加電圧 V_p を

制御して、ペルチェ素子 P の平均供給電力 $\bar{P}$ を $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ (n は、正整数、本実施例では、 $n = 9$ としている。) と変化させて、これらに各対応する温度センサ S 1, S 2 の各出力電圧の実効値 V_{1e} , V_{2e} をそれぞれ計測し、これらの計測された各実効値 V_{1e} , V_{2e} に対して、 $k = V_{2e} / V_{1e}$ をそれぞれ導出することにより、それらの k の値

40

$k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$ を得て、これらの平均値 $\bar{k}$ を導出している（図 8（b）参照）。

【0092】

Step 6 では、 k の平均値 $\bar{k}$ から熱伝導率未知の熱伝導体の熱伝導率を導出する熱伝導率導出処理を実行する。

【0093】

50

具体的には、S t e p 5 で得られた k の平均値 $\bar{k}$ を用いて、実験式

$$\sigma = \frac{1}{127.4} \left(\frac{1-k}{k} \right)^2 \equiv f(k)$$

により、被測定体 O の熱伝導率 σ を導出する。

【0094】

S t e p 7 では、導出された熱伝導率 σ と環境温度とを液晶表示部 6 に表示する（図 4（c）参照）。

【0095】

〔熱伝導率測定の原理〕

物質温度 T の勾配 ∇T と熱流束密度 i との間には、一般にフーリエの法則 $i = -\sigma \nabla T$

（ σ は物質の熱伝導率）が成立する。

【0096】

特に本実施例に係る熱伝導率測定装置 1 では、温度センサ S 1，S 2 の各サーモパイル部 D の間を通過する熱流束部分は、ある程度平行になっていると考えられるので、一次元のフーリエの法則、すなわち、

$$i = -\sigma \frac{\partial T}{\partial x} \quad \cdots (1)$$

が成立していると考えられる。

【0097】

図 9（b）に示すように、参照体の背面側と正面側の温度を、それぞれ T_1 ， T_2 （ $T_2 < T_1$ ）とし、参照体の熱流束方向の長さを D 、参照体の熱伝導率を σ_{ref} とすると、参照体を通過する熱流束の熱流束密度 i_{ref} は、参照体を一様とすれば、フーリエの法則より近似的に

$$i_{ref} = -\sigma_{ref} \frac{T_2 - T_1}{D} = \sigma_{ref} \frac{T_1 - T_2}{D} \quad (>0) \quad \cdots (2)$$

と表すことができる。

【0098】

一方、参照体の正面側に当接された被測定体 O についても、被測定体 O 周囲の環境温度を T_0 、被測定体 O の温度が参照体との当接面の温度 T_2 から環境温度 T_0 （ $T_2 > T_0$ ）に減衰するまでの距離を d_x とすると、被測定体 O に流れ込む熱流束の熱流束密度 i_x は、被測定体 O が一様物質であれば、フーリエの法則より近似的に、

$$i_x = -\sigma_x \frac{T_0 - T_2}{d_x} = \sigma_x \frac{T_2 - T_0}{d_x} \quad (>0) \quad \cdots (3)$$

と表すことができる。

【0099】

ところで、参照体から出力される熱流束の熱流束密度 i_{ref} と、被測定体 O に流れ込む熱流束の熱流束密度 i_x とは、おおよそ比例していると考えられるので、

$$\sigma_{ref} \frac{T_1 - T_2}{D} = i_{ref} \propto i_x = \sigma_x \frac{T_2 - T_0}{d_x} \quad \cdots (4)$$

10

20

30

40

50

が成立する。

【0100】

一方、本実施例に係る熱伝導率測定装置1では交流的熱流束の熱流束密度を利用しているので、この交流的熱流束により、測定中には参照体と被測定体Oとを含む系に定常的温度波が生じている。

【0101】

そして、フーリエの法則が時間微分を含まないことから、この定常的温度波の振幅についても式(4)が成立していると考えられる。

【0102】

すなわち、環境温度 T_0 (実際には各センサ位置での平均温度) からの温度変化の振幅を、それぞれ T_{10} , T_{20} ($T_{20} < T_{10}$) とすると、

$$\sigma_{ref} \frac{T_{10} - T_{20}}{D} \propto \sigma_x \frac{T_{20} - 0}{d_x} \quad \dots (5)$$

と表すことができる。

【0103】

ここで、両辺 T_{10} で割って、

$$\frac{\sigma_{ref}}{D} \cdot \frac{T_{10} - T_{20}}{T_{10}} \propto \frac{\sigma_x}{d_x} \cdot \frac{T_{20}}{T_{10}} \quad \dots (6)$$

【0104】

$T_{20} / T_{10} = k$ (温度振幅の比) と置いて、

$$\frac{\sigma_{ref}}{D} (1 - k) \propto \frac{\sigma_x}{d_x} k \quad \dots (7)$$

【0105】

これを整理して、

$$\therefore \frac{\sigma_x}{d_x} \propto \frac{\sigma_{ref}}{D} \cdot \frac{1 - k}{k} \quad \dots (8)$$

【0106】

この式(8)の左辺は被測定体Oの熱物性量によって表されており、右辺は参照体の熱物性量を含む測定装置側の計測量によって表されている。

【0107】

すなわち、式(8)より、本実施例で計測される温度振幅の比 k (実際には、温度センサ $S1$, $S2$ の出力電圧 V_1 , V_2 から導出される。)には、被測定体Oの熱伝導率 σ_x の情報が含まれていることが分かる。

【0108】

ところで、被測定体Oの温度が参照体との当接面の温度 T_2 から環境温度 T_0 ($T_2 > T_0$) に減衰するまでの距離を d_x は、被測定体Oの熱伝導率 σ_x に依存することが予想される(図10参照)。

【0109】

そこで、式(8)を d_x について解いて、

$$d_x \propto \frac{1}{\frac{1-k}{k}} \cdot \frac{\sigma_x}{\sigma_{ref}} D = \frac{D}{\sigma_{ref}} \cdot \frac{\sigma_x}{\frac{1-k}{k}} \quad \dots (9)$$

とする。

【0110】

ここで、参照体の熱流束方向の長さDが一定値であり、参照体の熱伝導率 σ_{ref} は測定条件を整えれば一定値と見なすことができるから、

10

$$d_x \propto \frac{\sigma_x}{\frac{1-k}{k}} \equiv d_x^{(prop)} \quad \dots (10)$$

とし、 d_x に比例する量 $d_x^{(prop)}$ を、別の測定から得られた種々の物質の熱伝導率のデータと、これらの各物質の温度振幅の比kの実測値とにより、これらの値に対応する $d_x^{(prop)}$ の値が決定できる（図11参照）。

【0111】

物質の熱伝導率の公称値のデータと発明者によるkの実測値とから、 $d_x^{(prop)}$ と $\sqrt{\sigma_x}$

20

との比例関係

$$d_x^{(prop)} (\propto d) \propto \sqrt{\sigma_x} \quad \dots (11)$$

を得ることができ、出願人は最終的に実験式

$$d_x = \frac{1}{11.28} \sqrt{\sigma_x} \quad \dots (12)$$

30

を得た（図12（a）参照）。

【0112】

さらに、この式（12）を式（8）に代入して整理することにより、式

$$\sigma_x \propto \left(\frac{\sigma_{ref}}{11.28D} \right)^2 \left(\frac{1-k}{k} \right)^2 \propto \left(\frac{1-k}{k} \right)^2 \quad \dots (13)$$

が得られるので、改めて、kの各値と、それらのkの値に対応する σ_x の値との比較から、式（13）の比例係数を導出して、最終的に、温度振幅の比kと熱伝導率 σ との間に

40

$$\sigma = \frac{1}{127.4} \left(\frac{1-k}{k} \right)^2 \equiv f(k) \quad \dots (14)$$

の関係式を得ることができる。

【0113】

上述してきたように、本発明の熱伝導率測定装置1では、式（14）を利用して、温度振幅の比kから被測定体Oの熱伝導率を得る（図12（b）参照）。

【0114】

〈効果〉

本実施例に係る熱伝導率測定装置1では、熱伝導率を測定する被測定体Oの表面に熱伝

50

導性の参照体 R をその正面側から当接させて被測定体 O の熱伝導率を導出するので、被測定体 O の表面が露出していれば、この被測定体 O の熱伝導率を計測することができる。

【0115】

したがって、従来例の熱伝導率測定装置のように、熱源と温度センサとによって被測定体 O を挟んで測定する必要がなく、このため、被測定体 O を薄くサンプリングする必要がないので、例えば、壁や床などを形成している断熱材などの大型の被測定体 O であっても、その熱伝導率を容易に測定することができる。

【0116】

また、交流的熱流束 I による温度振動の定常状態で測定しているので、例えば、熱的過渡状態で熱伝導率を測定する場合に比べて、安定かつ正確な熱伝導率の測定が可能となる。

10

【0117】

しかも、計測される温度の時間的な平均をとれば、この温度平均 T_0 は原理的には環境温度と等しくなるので、平均的には被測定体 O に熱を加えないので、被測定体 O の温度が上昇することはなく、一定の環境温度条件の下で、一層、安定かつ正確な熱伝導率の測定が可能となる。

【0118】

そして、参照体 R の背面側の温度 T_1 と参照体 R の正面側の温度 T_2 との各温度 T_1 , T_2 の相対的な振幅比 k に基づいて被測定体 O の熱伝導率 σ を導出しているので、測定環境の変化による上記各温度 T_1 , T_2 の絶対的な温度変化の影響を受けにくく、環境の変化に依らず、安定かつ正確な計測が可能となる。

20

【0119】

このように、環境の変化に依らず安定かつ正確な計測が可能なので、複数の熱伝導体に対して、これらの温度振幅の比 k と熱伝導率 σ とをそれぞれ比較することにより、これらの相関を正確に得ることができるので、熱伝導率未知の熱伝導体の熱伝導率 σ を、その物質について測定される温度振幅の比 k から正確に導出することができる。

【0120】

また、複数の熱伝導体に対して実測された温度振幅の比 k と熱伝導率 σ との各値に基づいて決定された関数 $\sigma = f(k)$ を適用することにより、熱伝導率未知の熱伝導体の熱伝導率 σ を正確に導出することができる。

30

【0121】

そして、材質や厚さが異なる参照用樹脂板 A により構成されるセンサ部 10 が予め複数用意され、これらのセンサ部 10 が交換可能とされているので、異なるセンサ部 10 に交換することにより、被測定体 O に流入される熱流束 I の強度を変えることができ、被測定体 O に応じて異なるセンサ部 10 に交換することにより熱伝導率の測定レンジを変えることができるので、幅広い測定レンジによる熱伝導率の測定が実現できる。

このため、測定対象が制限されることなく、様々な物質の熱伝導率の測定が可能となる。

【0122】

さらに、ペルチェ素子 P を吸発熱源として採用することにより、より一層、安定かつ正確な熱伝導率の測定が可能となる。

40

【0123】

ペルチェ素子は、一般に供給電流に対する熱応答性に優れており、しかも交流電流を供給した場合には、それ自体のジュール発熱を除けば、電流 0 の状態に関して、ほぼ対称に発熱と吸熱とを繰り返すので、本実施例に係る熱伝導率測定装置 1 に使用する吸発熱源として好適である。

【0124】

そして、ペルチェ素子 P に印加される交流電圧 V_p に所定のバイアス電圧 V_{bias} が設定可能とされているので、ペルチェ素子 P により参照体 R に供給される熱量について、平均の発熱量より平均の吸熱量を大きく設定することが可能となり、ペルチェ素子 P 自体

50

が発生するジュール熱分だけ吸熱量を大きく設定することにより、参照体 R へのジュール熱の流入を抑制できる。

【0125】

また、温度検出を可能とする各温度センサ S 1, S 2 のサーモパイル部 D が、ペルチェ素子 P により発生される熱流束 I の横断面中央位置にそれぞれ配置され、かつ各サーモパイル部 D の面積 S がペルチェ素子 P の吸発熱面の面積 s に比べて小さく設定されているので、各温度センサ S 1, S 2 のサーモパイル部 D を通過する熱流束 I が、ある程度コリメート（平行化）され、被測定体 O 内部での熱拡散が無視できるようになり、正確な熱伝導率の測定が可能となる。

【0126】

しかも、本実施例に係る熱伝導率測定装置 1 は、ペルチェ素子 P に供給される交流電力の振動数 f と同一の振動数の温度変化データを抽出する周波数フィルタ手段が設けられているので、環境温度の変化の影響や電氣的ノイズの影響を受けにくく、正確な計測できる。

【0127】

さらに、温度センサ S 1, S 2 により検出される交流的な温度変化の位相差 $\Delta \theta$ を抽出する位相差抽出手段が設けられており、熱源駆動手段 H C により振動数 f を変化させつつ、センサ出力取得手段 D U によって位相差 $\Delta \theta$ を計測して、位相差 $\Delta \theta$ が π の整数倍となるように振動数 f を設定することにより、電圧 V_2 の振幅が極大となるように、ペルチェ素子 P への印加電圧の振動数を f に設定する周波数最適化処理がなされるので、センサ面 R a 側の温度センサ S 2 での交流的な温度変化の振幅 T_{20} は最大となり、被測定体 O をセンサ面 R a に接触させた際の温度変化のダイナミックレンジが増大し、一層正確な計測できる。

【0128】

以上、図面を参照して、本発明の実施の形態の実施例を詳述してきたが、具体的な構成は、この実施の形態に限らず、本発明の要旨を逸脱しない程度の設計の変更は本発明に含まれる。

【0129】

なお、実施例では、温度振幅 T_{10} , T_{20} の比 k と被測定体 O の熱伝導率 σ との間の相関関数を

$$\sigma = \sigma_0 \left(\frac{1-k}{k} \right)^2 \equiv f(k), \quad \sigma_0 = \frac{1}{127.4} \text{ [W / (m · K)]}$$

としたが、 σ_0 の値は、この値に確定するものではなく、複数の熱伝導体に対して実測される k と σ との各値に基づいて決定された値であればよい。

【符号の説明】

【0130】

1	熱伝導率測定装置
R a	参照体の正面側表面部
I	熱流束
O	被測定体
1 0	センサ部
R	参照体
A	参照用樹脂板（参照用熱伝導体）
S 1, S 2	温度センサ（温度検出部）
P	ペルチェ素子（吸発熱源）
H C	熱源駆動手段
1 4	制御演算部（演算部）
D	サーモパイル部（温度検出領域）

10

20

30

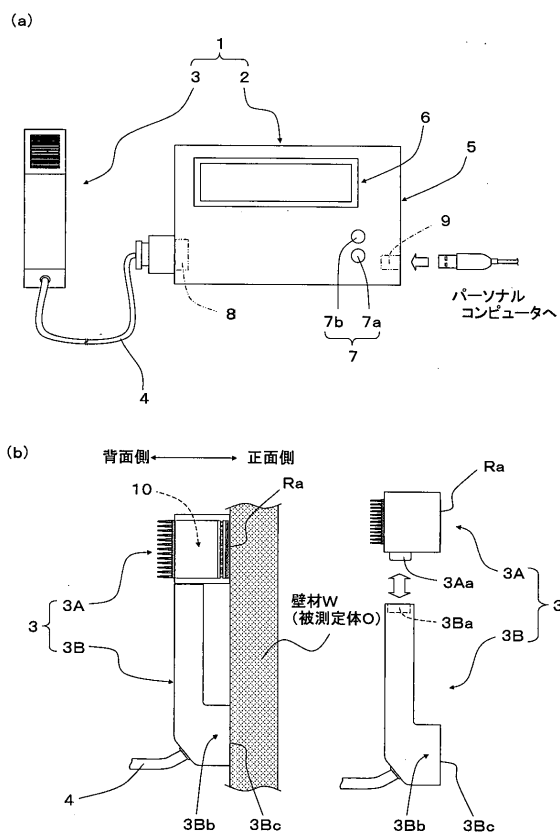
40

50

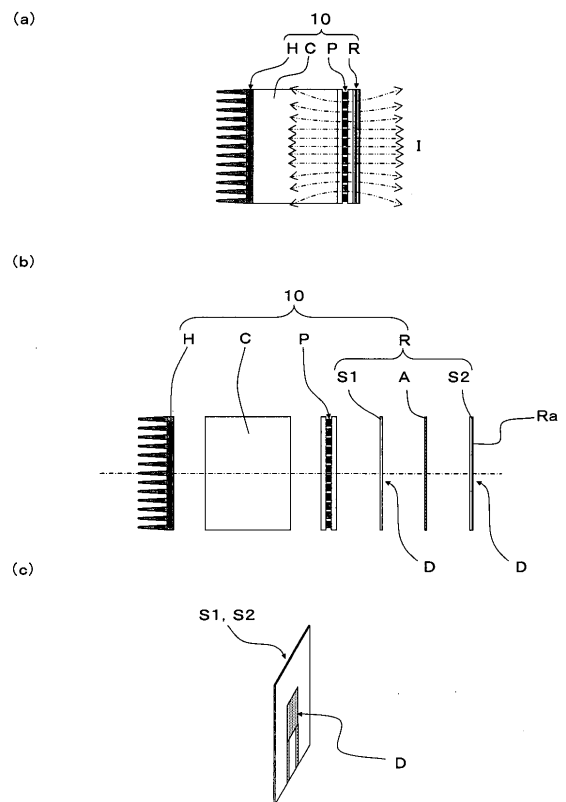
s	温度検出領域の面積
S	ペルチェ素子の吸発熱面の面積
k	参照体の背面側の温度と参照体の正面側の温度との各温度振幅の比
$f(k)$	関数
σ	被測定体Oの熱伝導率
σ_0	複数の熱伝導体に対する実測値に基づいて決定される定数
V_p	ペルチェ素子への印加電圧
V_{bias}	バイアス電圧
T_1	参照体の背面側の温度
T_2	参照体の正面側の温度
T_{10}	参照体の背面側の温度振幅
T_{20}	参照体の正面側の温度振幅

10

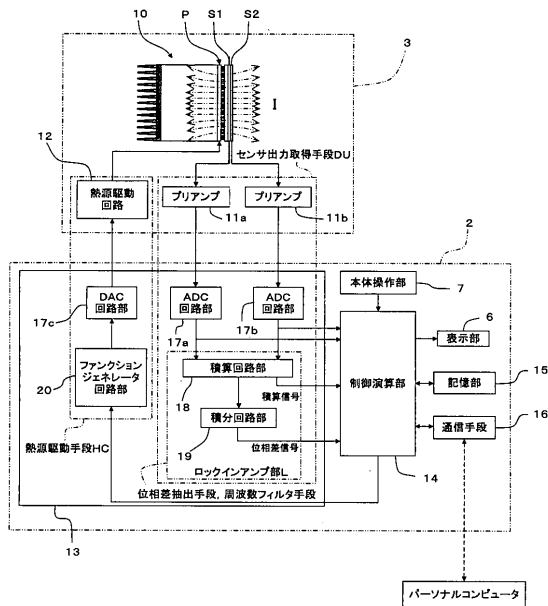
【図 1】



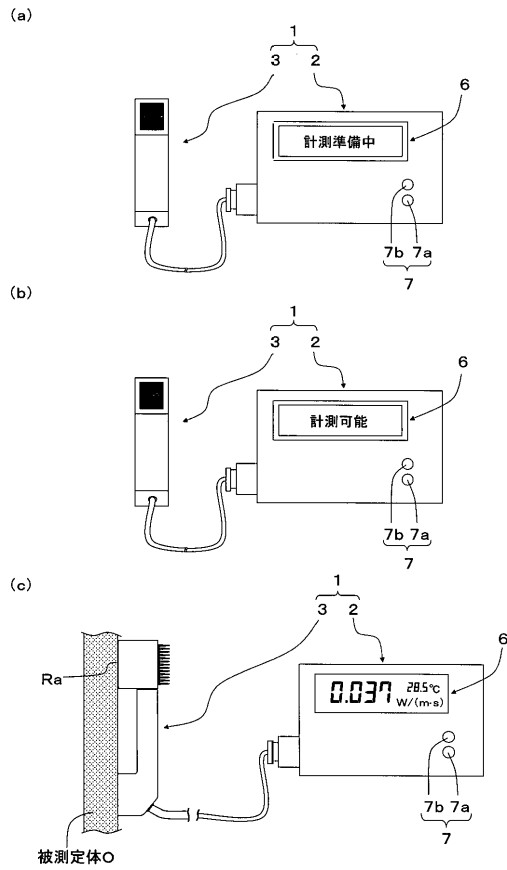
【図 2】



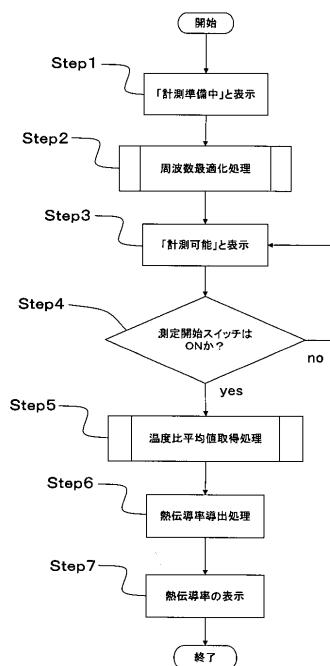
【図 3】



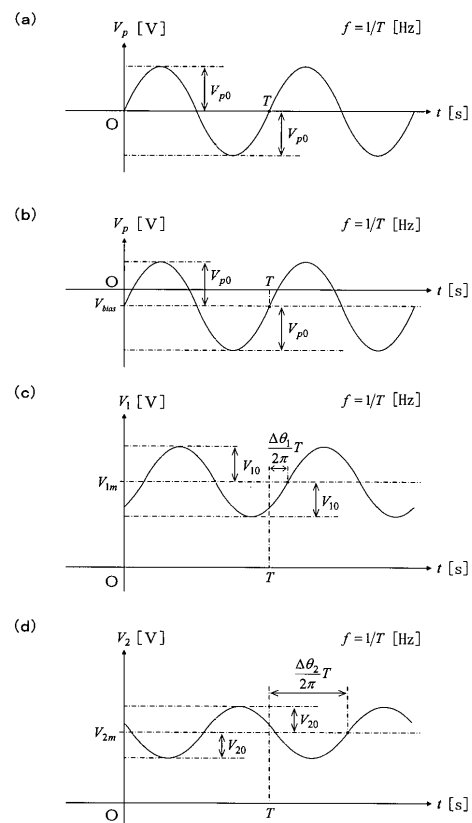
【図 4】



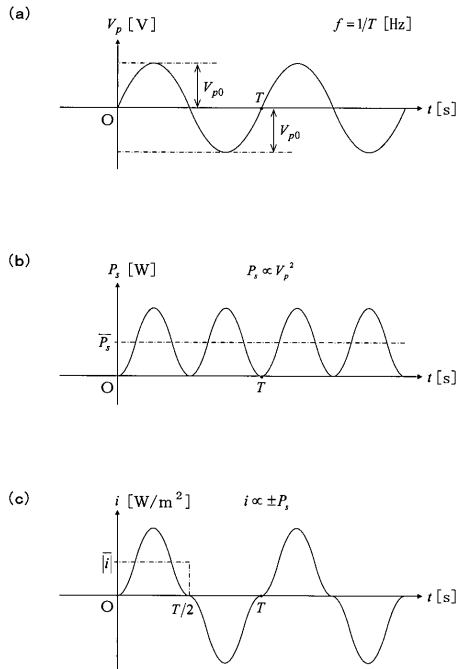
【図 5】



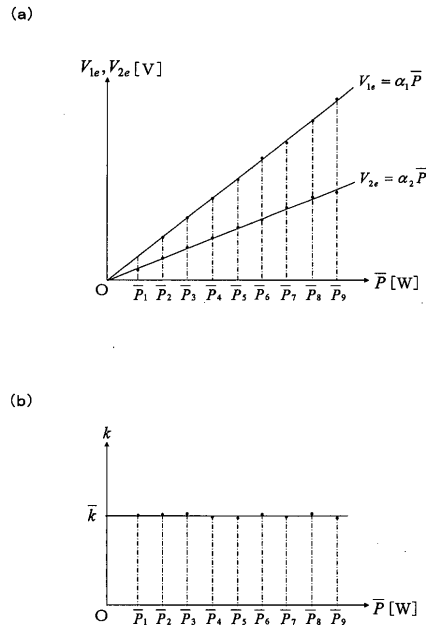
【図 6】



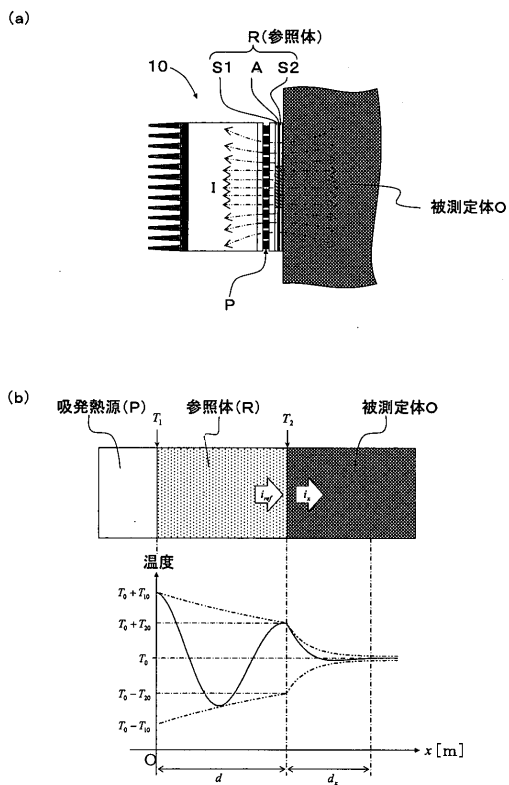
【図 7】



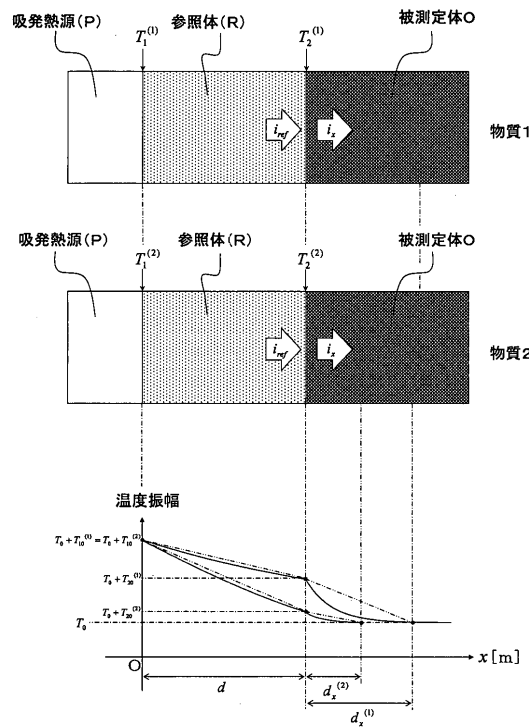
【図 8】



【図 9】



【図 10】



【図 1 1】

物質名	$\sigma_x^{(eff)}$		$k^{(exp)}$	$(1-k^{(exp)})/k^{(exp)}$		$d^{(exp)}$	$\sqrt{(\sigma_x^{(off)})^2 + (\sigma_x^{(exp)})^2}$		$\sqrt{(\sigma_x^{(off)})^2 + (\sigma_x^{(exp)})^2} \cdot \sigma = f(k)$	$\sigma = f(k)$
	公称値	実測値		公称値	実測値		公称値	実測値		
空気	0.026	0.351	1.8490	0.0141	0.1612	11.4670	3.4188	131.4928	0.027	0.027
EPS	0.03	0.3397	1.9438	0.0154	0.1732	11.2224	3.7783	125.9419	0.030	0.030
XPS	0.035	0.3360	1.9762	0.0177	0.1871	10.9532	3.9053	111.9308	0.031	0.031
発泡ポリイミド	0.040	0.3164	2.1606	0.0185	0.2000	10.8028	4.6860	116.7001	0.037	0.037
発泡ポリイミド	0.050	0.2856	2.9014	0.0200	0.2236	11.1366	6.2570	123.1402	0.049	0.049
発泡ポリイミド	0.001	0.2600	2.4402	0.0214	0.2426	11.5237	8.1005	132.7466	0.054	0.054
シリコンアクリルフォーム	0.01	0.1149	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	0.000
シリコンフォーム	0.144	0.144	5.0650	0.0641	0.7810	12.1830	90.5399	148.4261	0.202	0.202
水	0.61	0.0951	9.5152	0.0641	0.7810	11.2784	127.4398	127.4398	0.711	0.711
平均値										

ただし、括弧内の略号は、
off : 公称値
exp : 実測値
prop : 比例値

【図 1 2】

