

(43) 国際公開日  
2015 年 4 月 2 日(02.04.2015)



(10) 国際公開番号

**WO 2015/046547 A1**

- (51) 国際特許分類:  
G01N 25/18 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2014/075970

(22) 国際出願日: 2014 年 9 月 29 日(29.09.2014)

(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 2013-205374 2013 年 9 月 30 日(30.09.2013) JP

(71) 出願人: ニチアス株式会社(NICHIAS CORPORATION) [JP/JP]; 〒1048555 東京都中央区八丁堀一丁目 6 番 1 号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 大村 高弘(OMURA, Takahiro); 〒1048555 東京都中央区八丁堀一丁目 6 番 1 号 ニチアス株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人はるか国際特許事務所(HARUKA PATENT & TRADEMARK ATTORNEYS); 〒1600023 東京都新宿区西新宿三丁目 1 番 4 号 ウエル新都心ビル 4 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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, 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.

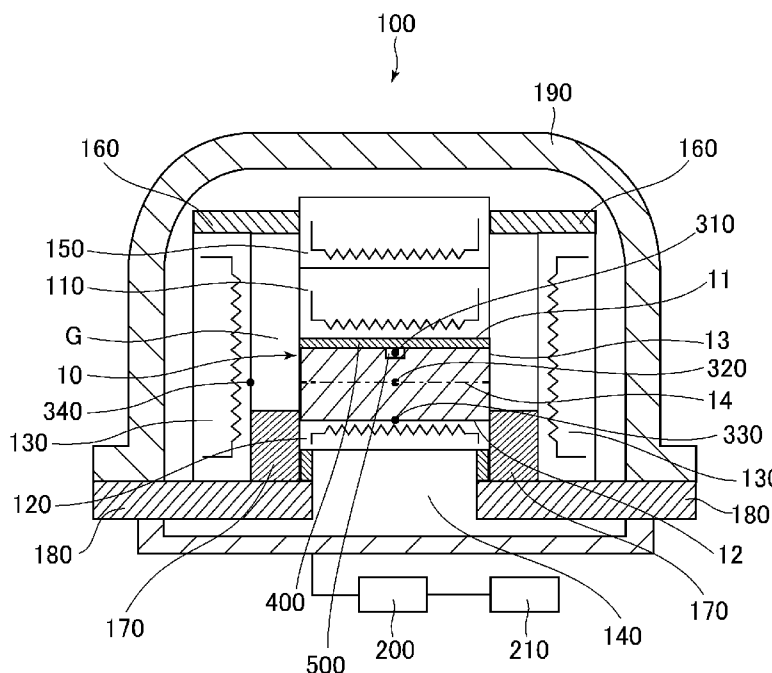
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, 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:

— 國際調查報告（條約第 21 條(3)）

**(54) Title:** METHOD AND DEVICE FOR MEASURING THERMAL DIFFUSIVITY

(54) 発明の名称：熱拡散率を測定する方法及び装置



**(57) Abstract:** This invention provides a method and a device that make it possible to measure thermal diffusivity with high precision. This method for measuring thermal diffusivity via cyclic heating includes the following: causing thermal waves to propagate from a cyclic-heating surface (11) of a specimen (10) towards a thermal-wave absorption surface (12) thereof; measuring a first thermal wave at said cyclic-heating surface; measuring a second thermal wave at a prescribed position (14) inside the specimen between the cyclic-heating surface and the thermal-wave absorption surface; and obtaining the thermal diffusivity of the specimen from the amplitude ratio or phase difference between the first thermal wave and the second thermal wave. The first and second thermal waves are measured with a temperature sensor (310, 330) for measuring the temperature of the cyclic-heating surface or the thermal-wave absorption surface positioned between said surface and a heater (110, 120) without contacting said heater, said heater being positioned opposite said surface.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2015/046547 A1



高い精度で熱拡散率を測定することができる方法及び装置を提供する。本発明に係る周期加熱法により熱拡散率を測定する方法は、試験体（１０）の周期加熱面（１１）から温度波吸収面（１２）に向けて温度波を伝播させること；前記周期加熱面における第一温度波を測定すること；前記周期加熱面と前記温度波吸収面との間の前記試験体の内部の所定位置（１４）における第二温度波を測定すること；前記第一温度波と前記第二温度波との振幅比又は位相差から前記試験体の熱拡散率を得ること；を含み、前記試験体の前記周期加熱面又は前記温度波吸収面と、前記周期加熱面又は前記温度波吸収面に対向して配置されるヒータ（１１０，１２０）との間において、前記周期加熱面又は前記温度波吸収面の前記温度を測定するための温度センサ（３１０，３３０）を、前記ヒータと接触させることなく配置した状態で、前記第一温度波及び前記第二温度波を測定する。

## 明 細 書

**発明の名称：熱拡散率を測定する方法及び装置**

### 技術分野

[0001] 本発明は、熱拡散率を測定する方法及び装置に関し、特に、周期加熱法により熱拡散率を測定する方法及び装置に関する。

### 背景技術

[0002] 試験体の熱伝導率を測定するための方法としては、定常法である保護熱板（Guarded Hot Plate：GHP）法や熱流計法の他に、非定常法である周期加熱法がある。

[0003] 周期加熱法においては、試験体の表面から内部に、一次元方向に温度波を伝播させ、当該表面で測定される温度波と、当該内部で測定される温度波と、の振幅比又は位相差から、当該試験体の熱拡散率を求め、さらに、当該熱拡散率と、別途測定された当該試験体の密度及び比熱とから当該試験体の熱伝導率を求める（特許文献1、特許文献2、非特許文献1、非特許文献2参照）。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0004] 特許文献1：特開2005-227010号公報

特許文献2：特開2000-055846号公報

#### 非特許文献

[0005] 非特許文献1：大村高弘；熱物性，21(2)，2007，86-96

非特許文献2：大村高弘、坪井幹憲；熱物性，13(4)，1999，264-270

### 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、従来の周期加熱法においては、十分に高い精度で熱拡散率を測定することが難しかった。

[0007] すなわち、従来、試験体の表面の温度を測定するための温度センサを、当

該表面を加熱するヒータと接触させて配置した場合には、当該温度センサによる測定結果と、当該表面の実際の温度との間にずれが生じ、その結果、測定誤差を生じることがあった。

[0008] 具体的に、例えば、従来市販されている一般的な熱拡散率測定装置においては、試験体の周期加熱面における温度波を測定する温度センサは、当該周期加熱面に対向して配置され当該周期加熱面に温度波を与える周期加熱ヒータの内部に組み込まれていた。

[0009] このため、温度センサは、試験体の周期加熱面に実際に与えられた温度波ではなく、周期加熱ヒータが発生させた温度波を測定することになり、測定誤差が生じていた。

[0010] 本発明は、上記課題に鑑みて為されたものであって、高い精度で熱拡散率を測定することができる方法及び装置を提供することをその目的の一つとする。

### 課題を解決するための手段

[0011] 上記課題を解決するための本発明の一実施形態に係る方法は、周期加熱法により熱拡散率を測定する方法であって、試験体の周期加熱面から温度波吸収面に向けて温度波を伝播させること；前記周期加熱面における第一温度波を測定すること；前記周期加熱面と前記温度波吸収面との間の前記試験体の内部の所定位置における第二温度波を測定すること；前記第一温度波と前記第二温度波との振幅比又は位相差から前記試験体の熱拡散率を得ること；を含み、前記試験体の前記周期加熱面及び／又は前記温度波吸収面と、前記周期加熱面及び／又は前記温度波吸収面に対向して配置されるヒータとの間において、前記周期加熱面及び／又は前記温度波吸収面の前記温度を測定するための温度センサを、前記ヒータと接触させることなく配置した状態で、前記第一温度波及び前記第二温度波を測定することを特徴とする。本発明によれば、高い精度で熱拡散率を測定する方法を提供することができる。

[0012] また、前記方法において、前記周期加熱面及び／又は前記温度波吸収面と前記ヒータとの間に接触防止部材を配置し、前記温度センサを前記ヒータと

接触させることなく配置した状態で、前記第一温度波及び前記第二温度波を測定することとしてもよい。この場合、前記温度センサの厚さは、前記接触防止部材の厚さの10分の1以下であることとしてもよい。

[0013] また、前記方法において、前記温度センサを、前記試験体の前記周期加熱面及び／又は前記温度波吸収面に形成された、前記温度センサを収容可能な溝内に配置し、前記温度センサを前記ヒータと接触させることなく配置した状態で、前記第一温度波及び前記第二温度波を測定することとしてもよい。また、前記方法において、前記温度センサの厚さは、前記試験体の厚さの10分の1以下であることとしてもよい。

[0014] 上記課題を解決するための本発明の一実施形態に係る装置は、周期加熱法により熱拡散率を測定するための装置であって、試験体の周期加熱面から温度波吸収面に向けて温度波を伝播させるために、前記周期加熱面に対向して配置される周期加熱ヒータ；前記試験体の前記温度波吸収面の温度を所定の一定値に維持するために、前記温度波吸収面に対向して配置される温度波吸収ヒータ；前記周期加熱面における第一温度波を測定するための第一温度センサ；前記周期加熱面と前記温度波吸収面との間の前記試験体の内部の所定位置における第二温度波を測定するための第二温度センサ；及び前記温度波吸収面の温度を測定するための第三温度センサ；を有し、前記試験体の前記周期加熱面及び／又は前記温度波吸収面と、前記周期加熱ヒータ及び／又は前記温度波吸収ヒータとの間において、前記第一温度センサ及び／又は前記第三温度センサは、前記周期加熱ヒータ及び／又は前記温度波吸収ヒータと接触することなく配置されていることを特徴とする。本発明によれば、高い精度で熱拡散率を測定する装置を提供することができる。

[0015] また、前記装置は、前記試験体の前記周期加熱面及び／又は前記温度波吸収面と、前記周期加熱ヒータ及び／又は前記温度波吸収ヒータとの間に配置された接触防止部材を有し、前記第一温度センサ及び／又は前記第三温度センサは、前記周期加熱ヒータ及び／又は前記温度波吸収ヒータと接触することなく配置されていることとしてもよい。この場合、前記第一温度センサ及

び／又は前記第三温度センサの厚さは、前記接触防止部材の厚さの10分の1以下であることとしてもよい。

[0016] また、前記装置において、前記試験体の前記周期加熱面及び／又は前記温度波吸収面と、前記周期加熱ヒータ及び／又は前記温度波吸収ヒータとの間において、前記第一温度センサ及び／又は前記第三温度センサは、前記周期加熱面及び／又は前記温度波吸収面に形成された溝内に配置され、前記周期加熱ヒータ及び／又は前記温度波吸収ヒータと接触することなく配置されていることとしてもよい。また、前記装置において、前記第一温度センサ及び／又は前記第三温度センサの厚さは、前記試験体の厚さの10分の1以下であることとしてもよい。

### 発明の効果

[0017] 本発明によれば、高い精度で熱拡散率を測定する方法及び装置を提供することができる。

### 図面の簡単な説明

[0018] [図1]周期加熱法により試験体の熱拡散率を測定する原理を示す説明図である。

[図2]周期加熱法において試験体を伝播する温度波の例を示す説明図である。

[図3]本実施形態に係る熱拡散率測定装置の一例について、その主な構成を断面視で示す説明図である。

[図4]本実施形態に係る熱拡散率測定装置の他の例について、その主な構成を断面視で示す説明図である。

[図5]本実施形態に係る熱拡散率測定装置のさらに他の例について、その主な構成を断面視で示す説明図である。

[図6A]本実施形態における温度センサの配置の一例を示す説明図である。

[図6B]本実施形態における温度センサの配置の他の例を示す説明図である。

[図6C]本実施形態における温度センサの配置のさらに他の例を示す説明図である。

[図7]本実施形態に係る実施例1において熱伝導率を測定した結果を示す説明

図である。

[図8]本実施形態に係る実施例2において熱伝導率を測定した結果を示す説明図である。

[図9]本実施形態に係る実施例3において熱伝導率を測定した結果の一例を示す説明図である。

[図10]本実施形態に係る実施例3において熱伝導率を測定した結果の他の例を示す説明図である。

### 発明を実施するための形態

[0019] 以下に、本発明の一実施形態について説明する。なお、本発明は、本実施形態に限られるものではない。

[0020] まず、本実施形態に係る熱拡散率測定方法（本方法）及び熱拡散率測定装置（本装置）の概要について説明する。図1は、周期加熱法により試験体の熱拡散率を測定する原理を示す説明図である。図2は、周期加熱法において試験体を伝播する温度波の一例を示す説明図である。図3は、本装置の一例の主な構成を断面視で示す説明図である。

[0021] 本方法は、周期加熱法により熱拡散率を測定する方法であって、試験体10の周期加熱面11から温度波吸収面12に向けて温度波を伝播させること；当該周期加熱面11における第一温度波T1を測定すること；当該周期加熱面11と当該温度波吸収面12との間の当該試験体10の内部の所定位置14における第二温度波T2を測定すること；当該第一温度波T1と当該第二温度波T2との振幅比又は位相差から当該試験体10の熱拡散率を得ること；を含む。

[0022] 本装置100は、周期加熱法により熱拡散率を測定するための装置であって、試験体10の周期加熱面11から温度波吸収面12に向けて温度波を伝播させるために、当該周期加熱面11に対向して配置される周期加熱ヒータ110；当該試験体10の当該温度波吸収面12の温度を所定の一定値に維持するために、当該温度波吸収面12に対向して配置される温度波吸収ヒータ120；当該周期加熱面11における第一温度波T1を測定するための第

一温度センサ 310；当該周期加熱面 11 と当該温度波吸収面 12 との間の当該試験体 10 の内部の所定位置 14 における第二温度波 T2 を測定するための第二温度センサ 320；当該温度波吸収面 12 の温度を測定するための第三温度センサ 330；を有する。

[0023] ここで、周期加熱法について説明する。周期加熱法においては、試験体 10 の周期加熱面 11 から内部に、一次元方向（図 1 に示す矢印 D の指す方向）に温度波を伝播させ、当該周期加熱面 11 で測定される第一温度波 T1（図 2 に示す  $\theta_0 \sin(\omega t)$  で近似される温度波）と、当該内部の所定の位置 14 で測定される第二温度波 T2（図 2 に示す  $\theta_1 \sin(\omega t + \phi)$  で近似される温度波）との振幅比  $A (= \theta_1 / \theta_0$ ：振幅の減衰率を示す比率）又は位相差  $\phi$  から、当該試験体 10 の熱拡散率を求める。なお、試験体 10 の内部を伝播する温度波は、次第に減衰するため、第二温度波 T2 の振幅  $\theta_1$  は、第一温度波 T1 の振幅  $\theta_0$  より小さい。

[0024] また、試験体 10 の周期加熱面 11 と反対側の温度波吸収面 12（温度波が伝播する一次元方向における周期加熱面 11 と反対側の試験体 10 の表面）の温度 T3 は、図 2 に示すように、所定の一定値  $\theta_2$  に維持されていると仮定する。

[0025] すなわち、周期加熱法においては、試験体 10 の周期加熱面 11 から温度波吸収面 12 への一次元方向の熱流を仮定する。具体的に、例えば、図 1 に示すように、この一次元方向（矢印 D の指す方向）に x 軸を設定し、試験体 10 の厚さ（周期加熱面 11 と温度波吸収面 12 との距離）が d であるとする、当該 x 軸の原点（ $x = 0$ ）の位置に当該試験体 10 の温度波吸収面 12 が配置され、 $x = d$  の位置に当該試験体 10 の周期加熱面 11 が配置される。

[0026] ここで、原点の温度（温度波吸収面 12 の温度）は所定の一定値に維持され、 $x = d$  の位置の温度（周期加熱面 11 の温度）は、 $\sin(\omega t + \eta)$  で表される周期（ $\omega$  は角振動数 [ $s^{-1}$ ]、 $t$  は時間 [ $s$ ]、 $\eta$  は任意の位相 [ $rad$ ] である。）で変化していると仮定する。

[0027] そして、上述のとおり、試験体 10 の周期加熱面 11 に第一温度波 T1 が与えられ、当該試験体 10 の内部の所定位置 14 に第二温度波 T2 が到達し、当該試験体 10 の温度波吸収面 12 の温度は所定の一定値  $\theta_2$  に維持されるという条件の下で一次元の熱伝導方程式を解くと、 $x = d$  の位置（周期加熱面 11）で測定される第一温度波 T1 と、任意の位置  $x = x_m$  ( $d > x_m > 0$ )（例えば、試験体 10 の内部の所定位置 14）で測定される第二温度波 T2 と、の振幅比  $A (= \theta_1 / \theta_0)$  ( $\theta_0$  は第一温度波 T1 の振幅であり、 $\theta_1$  は第二温度波 T2 の振幅である。) 及び位相差  $\phi$  は、それぞれ下記の式 (I) 及び式 (II) により求められる。

[数1]

$$A = \left| \frac{\sinh kx_m(1+i)}{\sinh kd(1+i)} \right| = \left\{ \frac{\cosh 2kx_m - \cos 2kx_m}{\cosh 2kd - \cos 2kd} \right\}^{1/2} \quad \dots (I)$$

[数2]

$$\phi = \arg \left\{ \frac{\sinh kx_m(1+i)}{\sinh kd(1+i)} \right\} \quad \dots (II)$$

[0028] 上記式 (I)、(II) において、 $k$  は下記の式 (III) で表され、 $i$  は虚数単位である。また、下記式 (III) において、 $\omega$  は、下記の式 (IV) で表される角振動数であり、 $\kappa$  は熱拡散率 [ $m^2/s$ ] である。また、下記式 (IV) において、 $f$  は周期 [ $s$ ] である。

[数3]

$$k = \sqrt{\frac{\omega}{2\kappa}} \quad \dots (III)$$

[数4]

$$\omega = 2\pi/f \quad \dots (IV)$$

[0029] こうして、試験体 10 の周期加熱面 11 における第一温度波 T1 と、当該試験体 10 の内部の所定位置 14 における第二温度波 T2 とを比較すること

により得られた振幅比  $A$  又は位相差  $\phi$  に基づき、当該試験体 10 の熱拡散率  $\kappa$  が求められる。

[0030] すなわち、まず振幅比  $A$  を上記式 (1) に代入して  $k$  を求め、次いで当該  $k$  の値を上記式 (111) に代入して、試験体 10 の熱拡散率  $\kappa$  [ $\text{m}^2/\text{s}$ ] が得られる。同様に、位相差  $\phi$  [ $\text{rad}$ ] を上記式 (11) に代入して  $k$  を求め、当該  $k$  の値を上記式 (111) に代入して、試験体 10 の熱拡散率  $\kappa$  [ $\text{m}^2/\text{s}$ ] が得られる。

[0031] さらに、試験体 10 の熱伝導率  $\lambda$  [ $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ] は、上述のようにして得られた熱拡散率  $\kappa$  [ $\text{m}^2/\text{s}$ ] と、別途測定された当該試験体 10 の密度  $\rho$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] 及び比熱  $c$  [ $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ] とを下記の式 (V) に代入することにより求められる。

[数5]

$$\lambda = \rho c \kappa \quad \dots (V)$$

[0032] 本装置 100 は、上述のような周期加熱法により試験体 10 の熱拡散率を測定する本方法において好ましく使用される。本装置 100 は、図 3 に示すように、周期加熱ヒータ 110 及び温度波吸収ヒータ 120 を有している。周期加熱ヒータ 110 は、試験体 10 の周期加熱面 11 に温度波を与えるよう当該周期加熱面 11 を加熱する。

[0033] 図 3 に示す例において、周期加熱ヒータ 110 には、直流電源 200 と、ファンクションジェネレーター 210 とが接続されている。直流電源 200 は、周期加熱ヒータ 110 に直流電流を供給する。ファンクションジェネレーター 210 は、周期加熱ヒータ 110 が発生させる温度波の周期及び振幅を設定する装置である。周期加熱ヒータ 110 は、ファンクションジェネレーター 210 によって設定された周期及び振幅を有する温度波を、直流電源 200 を介して発生させる。

[0034] 温度波吸収ヒータ 120 は、試験体 10 の温度波吸収面 12 の温度が所定の一定値  $\theta_2$  に維持されるよう当該温度波吸収面 12 の加熱を調節する。

- [0035] また、本装置１００は、試験体１０の側面１３（図１及び図３に示すように、周期加熱面１１と温度波吸収面１２とをつなぐ試験体１０の表面）の温度を所定範囲内に維持するために、当該側面１３に対向して配置される周囲ヒータ１３０を有している。周囲ヒータ１３０は、試験体１０の側面１３の温度が所定範囲内に維持されるよう当該側面１３の加熱を調節する。
- [0036] 周囲ヒータ１３０の配置は、当該周囲ヒータ１３０が側面１３に対向して配置されれば特に限られないが、図３に示す例において、当該周囲ヒータ１３０は、隙間Ｇを介して当該側面１３に対向して配置されている。この隙間Ｇは、気体（例えば、空気）が充填された空間であることとしてもよいし、真空であることとしてもよい。周囲ヒータ１３０の形状は特に限られないが、当該周囲ヒータ１３０は、例えば、試験体１０の側面１３を囲む筒状のヒータ（例えば、円筒ヒータ）であることとしてもよい。
- [0037] 周期加熱ヒータ１１０、温度波吸収ヒータ１２０及び周囲ヒータ１３０は、それぞれ試験体１０の周期加熱面１１、温度波吸収面１２及び側面１３を加熱できるヒータであれば特に限られないが、例えば、電熱ヒータ、ランプヒータ又はレーザー照射装置である。
- [0038] また、本装置１００は、第一温度センサ３１０、第二温度センサ３２０及び第三温度センサ３３０を有している。第一温度センサ３１０、第二温度センサ３２０及び第三温度センサ３３０は、図１及び図３に示すように、温度波が伝播される一次元方向において直線的に配置されることが好ましい。
- [0039] すなわち、第一温度センサ３１０、第二温度センサ３２０及び第三温度センサ３３０は、例えば、周期加熱面１１から温度波吸収面１２に引いた仮想的な垂線上に配置されることが好ましく、当該垂線を中心とする半径５ｍｍ以下の当該周期加熱面１１に平行な仮想的な円内に配置されることがとしてもよい。
- [0040] 温度波吸収ヒータ１２０は、第三温度センサ３３０による温度波吸収面１２の温度の測定結果に基づいて、当該温度波吸収面１２の温度が所定の一定値に維持されるよう、当該温度波吸収面１２の加熱を調節する。

[0041] また、図3に示す例において、本装置100は、周囲ヒータ130による加熱を調節するための第四温度センサ340を有している。この例において、第四温度センサ340は、試験体10の側面13に対向する、周囲ヒータ130の表面と接触して配置されている。周囲ヒータ130は、第四温度センサ340による温度の測定結果に基づいて、当該周囲ヒータ130の出力（当該周囲ヒータ130による加熱）を調節する。

[0042] 第一温度センサ310、第二温度センサ320、第三温度センサ330及び第四温度センサ340は、例えば、熱電対又は白金抵抗体である。

[0043] なお、第一温度センサ310、第二温度センサ320、第三温度センサ330及び第四温度センサ340の厚さが、試験体10の厚さに比べて無視できないくらい大きい場合には、当該温度センサを介した熱損失によって温度波が歪み、測定の誤差が生じる。このため、第一温度センサ310、第二温度センサ320、第三温度センサ330及び第四温度センサ340の厚さは、例えば、試験体10の厚さdの10分の1以下であることが好ましい。

[0044] すなわち、例えば、第一温度センサ310、第二温度センサ320、第三温度センサ330及び第四温度センサ340が、筐体を有する熱電対である場合には、当該筐体の厚さ（熱電対が円筒状の筐体を有する場合には、当該筐体の直径）が試験体10の厚さdの10分の1以下であることが好ましい。

[0045] また、図3に示す例において、本装置100は、温度波吸収ヒータ120の試験体10と反対側に配置された冷却装置140を有する。冷却装置140は、温度波が温度波吸収面12に効率よく吸収されるように、温度波吸収ヒータ120を冷却する。冷却装置140は、例えば、冷媒を含む冷却タンクである。

[0046] また、図3に示す例において、本装置100は、周期加熱ヒータ110の試験体10と反対側に配置された補助ヒータ150を有する。補助ヒータ150は、周期加熱ヒータ110からの熱損失を低減させるよう当該周期加熱ヒータ110を保温する。補助ヒータ150は、例えば、電熱ヒータである。

- 。
- [0047] また、図3に示す例において、本装置100は、周囲ヒータ130と補助ヒータ150との間に配置された断熱材160を有する。この断熱材160は、試験体10の周囲の熱的安定性を確保する。また、図3に示す例において、本装置100は、冷却装置140の周囲に配置された断熱材170を有する。この断熱材170は、試験体10の周囲の熱的安定性を確保する。また、図3に示す例においては、上述した測定系が金属板180（例えば、ステンレス板）の上に配置されるとともに、筐体190（例えば、ベルジャー）により覆われている。
- [0048] 測定の対象となる試験体10は、周期加熱ヒータ110と温度波吸収ヒータ120との間に配置されるものであれば特に限られない。具体的に、試験体10は、例えば、断熱材、断熱材と他の部材との積層体、プラスチック、金属、木材、石膏ボード及びセメントからなる群より選択されることとしてもよい。より具体的に、断熱材は、例えば、繊維質断熱材、多孔質断熱材又は真空断熱材であることとしてもよい。
- [0049] 繊維質断熱材は、例えば、ロックウール断熱材、グラスウール断熱材、アルミナ系繊維質断熱材（例えば、アルミナファイバーウール断熱材）、及びアルミナシリカ系繊維質断熱材からなる群より選択されることとしてもよい。
- [0050] 多孔質断熱材は、例えば、無機多孔質断熱材（例えば、ケイ酸カルシウム断熱材）又は発泡樹脂断熱材（例えば、発泡ゴム成形体、発泡ポリウレタン成形体又は発泡スチロール成形体）からなる群より選択されることとしてもよい。
- [0051] 断熱材と他の部材との積層体は、例えば、当該断熱材と、当該断熱材に積層された金属部材及び／又はガラス部材とを有する積層体であることとしてもよい。
- [0052] また、本方法においては、後述のとおり、比較的高い温度（例えば、80℃以上）で比較的低い熱伝導率を示す試験体10の熱拡散率を高い精度で

測定することができる。そこで、例えば、試験体 10 は、例えば、1000℃において0.5 W/(m・K)以下の熱伝導率を有することとしてもよく、1000℃において0.3 W/(m・K)以下の熱伝導率を有することとしてもよく、1000℃において0.2 W/(m・K)以下の熱伝導率を有することとしてもよい。なお、試験体 10 の熱伝導率の下限值は特に限られないが、例えば、当該試験体 10 は、1000℃において0.01 W/(m・K)以上の熱伝導率を有することとしてもよい。

[0053] 試験体 10 の形状は、周期加熱ヒータ 110 と温度波吸収ヒータ 120 との間に配置されるものであれば特に限られないが、例えば、平板状であることが好ましい。試験体 10 が平板状である場合には、周期加熱面 11 と温度波吸収面 12 とは略平行に配置される。

[0054] 試験体 10 は、1つの試験体からなることとしてもよいし、温度波が伝播する方向に積層された2つ以上の同質の試験体からなることとしてもよい。すなわち、試験体 10 は、例えば、1つの板状断熱材であることとしてもよいし、2つ以上の同一種類の板状断熱材が積層してなる積層体であることとしてもよい。

[0055] 試験体 10 が2つ以上の試験体を積層してなる場合、隣接する2つの試験体の間に隙間が形成されると、当該2つの試験体の間に気体（空気）の層が形成され、測定結果が気体の熱伝導率の影響を受け、誤差が生じる。

[0056] このため、試験体 10 が2つ以上の試験体を積層してなる場合、温度波が伝播する方向に隣接する一对の当該試験体において、一方の試験体の表面と、当該表面に対向する他方の試験体の表面との間には、例えば、0.5 mm 以上の隙間を形成しないことが好ましい。

[0057] そして、本方法においては、まず、試験体 10 の周期加熱面 11 から温度波吸収面 12 に向けて温度波を伝播させる。すなわち、周期加熱面 11 に対向する周期加熱ヒータ 110 によって、所定の周期及び所定の振幅を有する温度波を発生させる。その結果、試験体 10 の周期加熱面 11 には、周期加熱ヒータ 110 が発生させた温度波に対応する温度波が与えられる。

- [0058] 本方法において、周期加熱面 11 に与えられ、試験体 10 の内部を伝播する温度波は、完全に減衰することではなく、温度波吸収面 12 に到達する。すなわち、周期加熱ヒータ 110 は、試験体 10 の温度波吸収面 12 に到達する温度波を、当該試験体 10 の周期加熱面 11 に与える。
- [0059] また、周期加熱ヒータ 110 は、振幅の中心が所定温度である温度波を発生させる。振幅の中心の温度は、特に限られないが、例えば、 $-190^{\circ}\text{C}$ ～ $1500^{\circ}\text{C}$ の範囲内の所定温度であることとしてもよく、 $25^{\circ}\text{C}$ ～ $1500^{\circ}\text{C}$ の範囲内の所定温度であることとしてもよく、 $700^{\circ}\text{C}$ ～ $1500^{\circ}\text{C}$ の範囲内の所定温度であることとしてもよく、 $800^{\circ}\text{C}$ ～ $1500^{\circ}\text{C}$ の範囲内の所定温度であることとしてもよい。本方法においては、このような比較的高い温度（例えば、 $700^{\circ}\text{C}$ ～ $1500^{\circ}\text{C}$ 又は $800^{\circ}\text{C}$ ～ $1500^{\circ}\text{C}$ ）においても、試験体 10 の熱拡散率を高い精度で測定することができる。
- [0060] なお、例えば、試験体 10 の $1000^{\circ}\text{C}$ における熱拡散率を測定する場合には、周期加熱面 11 における温度波の振幅の中心温度と、温度波吸収面 12 における所定の一定温度との算術平均値が $1000^{\circ}\text{C}$ となるような条件で測定を行う。
- [0061] また、温度波の振幅が大きすぎる場合には、例えば、試験体 10 の周囲の気体（試験体 10 の側面 13 と接している気体（隙間 G に充填されている気体））、当該気体と接している周囲ヒータ 130、熱損失を防ぐために配置されている断熱材 160、170 等の他の部材の温度が周期的に変化して別の温度波が形成されてしまう。
- [0062] そして、この別の温度波が試験体 10 の側面 13 から当該試験体 10 の内部へ侵入し、周期加熱面 11 から温度波吸収面 12 に向けて伝播している本来の温度波と重なり、測定誤差が生じる。
- [0063] このため、周期加熱ヒータ 110 で発生させる温度波の振幅は、例えば、 $1^{\circ}\text{C}$ ～ $10^{\circ}\text{C}$ の範囲内の所定値であることが好ましく、 $1^{\circ}\text{C}$ ～ $5^{\circ}\text{C}$ の範囲内の所定値であることがより好ましく、 $2^{\circ}\text{C}$ ～ $4^{\circ}\text{C}$ の範囲内の所定値であることが特に好ましい。

- [0064] また、周期加熱ヒータ 110 で発生させる温度波は、例えば、所定温度  $\pm 10^{\circ}\text{C}$  の範囲内で変化することが好ましく、所定温度  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  の範囲内で変化することが好ましく、所定温度  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  の範囲内で変化することが好ましい。
- [0065] 温度波の振幅が上記の適切な範囲内であることにより、試験体 10 に温度波を適切に伝播させることができ、測定精度を高めることができる。なお、例えば、温度波の振幅の中心の温度が  $1000^{\circ}\text{C}$  であり、当該振幅が  $5^{\circ}\text{C}$  である場合、当該温度波は、 $1000 \pm 5^{\circ}\text{C}$  の範囲内 ( $995^{\circ}\text{C} \sim 1005^{\circ}\text{C}$ ) で周期的に変化する。
- [0066] また、温度波の周期が長すぎる場合、試験体 10 の温度が、当該試験体 10 内の当該温度波が伝播する方向における全ての位置でほぼ均一に変化してしまい、当該試験体 10 の内部を当該温度波が伝播するという状態を形成することができなくなり、測定誤差が生じる。一方、温度波の周期が短すぎる場合、当該温度波が試験体 10 の内部を伝播する間に、当該温度波が途中で完全に減衰して消滅してしまい、測定誤差が生じる。
- [0067] このため、周期加熱ヒータ 110 で発生させる温度波の周期は、例えば、1 分  $\sim$  120 分の範囲内の所定値であることが好ましく、15 分  $\sim$  100 分の範囲内の所定値であることがより好ましく、30 分  $\sim$  60 分の範囲内の所定値であることが特に好ましい。温度波の周期が上記の適切な範囲内であることにより、試験体 10 に温度波を適切に伝播させることができ、測定精度を高めることができる。
- [0068] また、温度波の振幅の中心の温度が一定とならず、時間の経過とともに上昇又は下降する場合（温度波がドリフトする場合）には、当該温度波が歪んでしまうため、周期加熱面 11 における第一温度波 T1 と、試験体 10 の内部の所定位置 14 における第二温度波 T2 との振幅比又は位相差を正確に測定できなくなり、測定誤差が生じる。
- [0069] このため、例えば、試験体 10 を伝播する、連続する 3 周期分の温度波（例えば、第一温度センサ 310 及び／又は第二温度センサ 320 により測定される）において、各 1 周期分の温度波の振幅の中心温度の平均値と、当該

3周期分の温度波の振幅の中心温度の平均値との差分が、 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内であることが好ましく、 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内であることがより好ましく、 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 以内であることが特に好ましい。

[0070] また、例えば、試験体10を伝播する、連続する3周期分の温度波において、各1周期分の温度波の振幅の中心温度の平均値の、当該3周期分の振幅の中心温度の平均値に対する変化率（当該各1周期分の平均値から当該3周期分の平均値を減じた値を、当該3周期分の平均値で除して得られた値に、100を乗じて算出される変化率）が、 $\pm 2\%$ 以内であることが好ましく、 $\pm 0.5\%$ 以内であることがより好ましく、 $\pm 0.2\%$ 以内であることが特に好ましい。このように温度波のドリフトを抑制することにより、温度波の振幅比又は位相差を正確に測定することができ、熱拡散率の測定精度を高めることができる。

[0071] また、本方法においては、試験体10の周期加熱面11から温度波吸収面12に向けて温度波を伝播させている間、当該温度波吸収面12の温度を、所定の一定値となるよう調節する。

[0072] すなわち、温度波吸収面12の温度が所定の一定値となるよう、温度波吸収ヒータ120による当該温度波吸収面12の加熱を調節する。このとき、温度波吸収ヒータ120は、第三温度センサ330による温度波吸収面12の温度の測定結果に基づき、温度波吸収面12の加熱を調節する。

[0073] 具体的に、温度波吸収ヒータ120は、温度波吸収面12の温度が所定の一定値を下回った場合には、その出力を上げて当該温度波吸収面12の加熱を強め、当該温度波吸収面12の温度を上昇させる。

[0074] また、温度波吸収ヒータ120は、温度波吸収面12の温度が所定の一定値を上回った場合には、その出力を下げて当該温度波吸収面12の加熱を弱め、当該温度波吸収面12の温度を低下させる。なお、温度波吸収面12の加熱を弱める場合、上述した冷却装置140を作動させて、温度波吸収ヒータ120を冷却することとしてもよい。

[0075] 温度波吸収面12の温度が調節されるべき所定の一定値は、例えば、周期

加熱面 1 1 における温度波の振幅の中心温度より、 $0^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ の範囲内の所定値だけ低い又は高い温度であることとしてもよく、当該振幅の中心温度より、 $0^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$ の範囲内の所定値だけ低い又は高い温度であることとしてもよく、当該振幅の中心温度より、 $0^{\circ}\text{C} \sim 5^{\circ}\text{C}$ の範囲内の所定値だけ低い又は高い温度であることとしてもよい。すなわち、温度波吸収面 1 2 の温度が調節されるべき所定の一定値は、例えば、周期加熱面 1 1 における温度波の振幅の中心温度 $\pm 20^{\circ}\text{C}$ の範囲内の所定の一定値であることとしてもよく、当該中心温度 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ の範囲内の所定の一定値であることとしてもよく、中心温度 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ の範囲内の所定の一定値であることとしてもよい。

[0076] また、本方法においては、上述のとおり、上記式 (1) ~ (111) を使って熱拡散率  $\kappa$  を求める。この測定原理は、試験体 1 0 の一方の表面（周期加熱面 1 1）の温度を周期的に変化させ、且つその反対側の表面（温度波吸収面 1 2）の温度を一定にするという条件で熱伝導方程式を解いて得られる解を使うというものであるが、実際には、温度波吸収面 1 2 の温度を完全に一定にすることは不可能である。このため、温度波吸収面 1 2 における温度の変動をどの程度まで抑えることができるかが、測定精度に大きく影響する。

[0077] この点、温度波吸収面 1 2 の温度は、所定の一定値 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ の範囲内に維持することが好ましく、所定の一定値 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ の範囲内に維持することがより好ましく、所定の一定値 $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ の範囲内に維持することが特に好ましい。温度波吸収面 1 2 の温度を上記のように所定の一定値又はその極近傍の温度に維持することにより、測定精度を高めることができる。

[0078] また、温度波吸収面 1 2 と温度波吸収ヒータ 1 2 0 との間に他の部材を配置すると、周期加熱面 1 1 から伝播してきた温度波が、当該温度波吸収面 1 2 で効率よく吸収されず（消滅せず）、測定誤差が生じることがある。

[0079] そこで、温度波吸収面 1 2 と温度波吸収ヒータ 1 2 0 との間には他の部材を配置せず、当該温度波吸収面 1 2 と温度波吸収ヒータ 1 2 0 とを接触させることとしてもよい。なお、温度波吸収面 1 2 の温度を測定するための第三

温度センサ 330 は、例えば、当該温度波吸収面 12 と接触して配置されることとしてもよい。この場合、第三温度センサ 330 は、温度波吸収ヒータ 120 と接触することなく配置されることとしてもよい。

[0080] また、本方法においては、試験体 10 の周期加熱面 11 から温度波吸収面 12 に向けて温度波を伝播させている間、当該試験体 10 の側面 13 の温度を、所定範囲内となるよう調節する。

[0081] すなわち、試験体 10 の側面 13 の温度が所定範囲内となるよう、周囲ヒータ 130 による当該側面 13 の加熱を調節する。このとき、周囲ヒータ 130 は、第四センサ 340 が温度を測定した結果に基づき、試験体 10 の側面 13 の加熱を調節する。

[0082] 具体的に、周囲ヒータ 130 は、測定温度が所定範囲を下回った場合には、その出力を上げて当該側面 13 の加熱を強め、当該側面 13 の温度を上昇させる。また、周囲ヒータ 130 は、測定温度が所定範囲を上回った場合には、その出力を下げて当該側面 13 の加熱を弱め、当該側面 13 の温度を低下させる。

[0083] 試験体 10 の側面 13 の温度が調節されるべき所定範囲は、例えば、周期加熱面 11 における温度波の振幅の中心温度と温度波吸収面 12 の所定の一定温度との算術平均値  $\pm 50^{\circ}\text{C}$  の範囲であることが好ましく、当該算術平均値  $\pm 20^{\circ}\text{C}$  の範囲であることがより好ましく、当該算術平均値  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  の範囲であることが特に好ましい。

[0084] また、本方法においては、試験体 10 の周期加熱面 11 から温度波吸収面 12 に向けて温度波を伝播させている間、当該試験体 10 の側面 13 の温度を調節するための周囲ヒータ 130 の温度を、所定の範囲内となるよう調節することとしてもよい。

[0085] すなわち、上述のとおり、周囲ヒータ 130 の温度が周期的に変化すると、周期加熱面 11 から温度波吸収面 12 に向けて伝播している本来の温度波と異なる別の温度波が形成され、測定誤差が生じる。

[0086] このため、周囲ヒータ 130 の温度の変化は可能な限り抑えることが好ま

しい。そこで、周囲ヒータ 130 の温度を、所定の範囲内、すなわち所定の一定値及びその近傍に維持する。

[0087] 具体的に、図 3 に示すように、第四温度センサ 340 を、試験体 10 の側面 13 に対向する、周囲ヒータ 340 の表面に配置し、当該第四温度センサ 340 による温度の測定結果に基づき、当該測定される温度が所定の範囲内となるよう、当該周囲ヒータ 130 の出力（当該周囲ヒータ 130 による加熱）を調節する。

[0088] 周囲ヒータ 130 の温度が調節されるべき所定範囲は、例えば、周期加熱面 11 における温度波の振幅の中心温度と温度波吸収面 12 の所定の一定温度との算術平均値  $\pm 50^{\circ}\text{C}$  の範囲であることが好ましく、当該算術平均値  $\pm 20^{\circ}\text{C}$  の範囲であることがより好ましく、当該算術平均値  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  の範囲であることが特に好ましい。

[0089] 次に、本方法においては、試験体 10 の周期加熱面 11 における第一温度波  $T_1$  と、当該試験体 10 の内部の所定位置 14 における第二温度波  $T_2$  とを測定する。すなわち、周期加熱ヒータ 110 から周期加熱面 11 に与えられた温度波  $T_1$  を第一温度センサ 310 によって測定するとともに、当該周期加熱面 11 から試験体 10 の内部の所定位置 14 に伝播された第二温度波  $T_2$  を第二温度センサ 320 によって測定する。

[0090] そして、本方法においては、上述のようにして測定された第一温度波  $T_1$  と第二温度波  $T_2$  との振幅比又は位相差から試験体 10 の熱拡散率を得る。すなわち、上述のとおり、第一温度波  $T_1$  の振幅  $\theta_0$  と、第二温度波  $T_2$  の振幅  $\theta_1$  とから振幅比  $A (= \theta_1 / \theta_0)$  を求め、上記の式 (1) と式 (111) とから熱拡散率  $\kappa$  を求める。また、第一温度波  $T_1$  と第二温度波  $T_2$  との位相のずれから位相差  $\phi$  を求め、上記の式 (11) と式 (111) とから熱拡散率  $\kappa$  を求める。

[0091] ここで、本実施形態において特徴的なことの一つは、本装置 100 において、試験体 10 の周期加熱面 11 及び／又は温度波吸収面 12 と、周期加熱ヒータ 110 及び／又は温度波吸収ヒータ 120 との間において、第一温度

ヒータ 310 及び／又は第三温度ヒータ 330 は、当該周期加熱ヒータ 110 及び／又は温度波吸収ヒータ 120 と接触することなく配置され、本方法においては、試験体 100 の周期加熱面 11 及び／又は温度波吸収面 12 と、当該周期加熱面 11 及び／又は温度波吸収面 12 に対向して配置される当該ヒータとの間において、当該周期加熱面 11 及び／又は温度波吸収面 12 の温度を測定するための当該温度センサを、当該ヒータと接触させることなく配置した状態で、第一温度波 T1 及び第二温度波 T2 を測定することである。

[0092] すなわち、例えば、従来市販されている一般的な熱拡散率測定装置においては、試験体の周期加熱面及び温度波吸収面の温度を測定する温度センサは、当該周期加熱面及び温度波吸収面のそれぞれに対向して配置されるヒータの内部に組み込まれていた。このため、温度センサは、実際には、試験体の周期加熱面及び温度波吸収面の温度ではなく、ヒータの温度を測定しており、測定誤差が生じていた。

[0093] これに対し、本発明においては、試験体 10 の周期加熱面 11 及び／又は温度波吸収面 12 の温度を測定するための温度センサを、当該周期加熱面 11 及び／又は温度波吸収面 12 に対向して配置されたヒータと接触させることなく配置することにより、当該周期加熱面 11 及び／又は温度波吸収面 12 の温度を正確に測定することができ、高い精度で当該試験体 10 の熱拡散率を測定することができる。

[0094] 具体的に、例えば、本装置 100 において、試験体 10 の周期加熱面 11 と、周期加熱ヒータ 110 との間において、第一温度センサ 310 は、当該周期加熱ヒータ 110 と接触することなく配置され、本方法においては、試験体 100 の周期加熱面 11 と、周期加熱ヒータ 110 との間において、第一温度センサ 310 を、当該周期加熱ヒータ 110 と接触させることなく配置した状態で、第一温度波 T1 及び第二温度波 T2 を測定する。

[0095] すなわち、例えば、従来市販されている一般的な熱拡散率測定装置においては、試験体の周期加熱面における温度波を測定する温度センサは、当該周

期加熱面に対向して配置され当該周期加熱面に温度波を与える周期加熱ヒータの内部に組み込まれていた。このため、温度センサは、試験体の周期加熱面に実際に与えられた温度波ではなく、周期加熱ヒータが発生させた温度波を測定しており、測定誤差が生じていた。

[0096] これに対し、本発明においては、試験体 10 の周期加熱面 11 における温度波を測定するための第一温度センサ 310 を、当該周期加熱面 11 に対向して配置された周期加熱ヒータ 110 と接触させることなく配置することにより、当該周期加熱面 11 に実際に与えられた温度波を正確に測定することができ、高い精度で当該試験体 10 の熱拡散率を測定することができる。

[0097] さらに、本装置 100 において、第一温度センサ 310 は、周期加熱ヒータ 110 と接触することなく周期加熱面 11 と接触して配置され、本方法においては、第一温度センサ 310 を周期加熱ヒータ 110 と接触することなく周期加熱面 11 と接触して配置した状態で、第一温度波 T1 及び第二温度波 T2 を測定することとしてもよい。

[0098] この場合、第一温度センサ 310 によって、試験体 10 の周期加熱面 11 に実際に与えられた温度波をより正確に測定することができ、より高い精度で当該試験体 10 の熱拡散率を測定することができる。

[0099] また、例えば、本装置 100 において、試験体 10 の温度波吸収面 12 と、温度波吸収ヒータ 120 との間において、第三温度センサ 330 は、当該温度波吸収ヒータ 120 と接触することなく配置され、本方法においては、試験体 100 の温度波吸収面 12 と、温度波吸収ヒータ 120 との間において、第三温度センサ 330 を、当該温度波吸収ヒータ 120 と接触させることなく配置した状態で、第一温度波 T1 及び第二温度波 T2 を測定することとしてもよい。

[0100] すなわち、例えば、従来市販されている一般的な熱拡散率測定装置においては、試験体の温度波吸収面の温度を測定する温度センサは、当該温度波吸収面に対向して配置され当該温度波吸収面の加熱を調節する温度波吸収ヒータの内部に組み込まれていた。このため、温度センサは、試験体の温度波吸

収面の実際の温度ではなく、温度波吸収ヒータの温度を測定しており、測定誤差が生じていた。

[0101] これに対し、本発明においては、試験体 10 の温度波吸収面 12 の温度を測定するための第三温度センサ 330 を、当該温度波吸収面 12 に対向して配置された温度波吸収ヒータ 120 と接触させることなく配置することにより、当該温度波吸収面 12 の実際の温度を正確に測定することができ、高い精度で当該試験体 10 の熱拡散率を測定することができる。

[0102] さらに、本装置 100 において、第三温度センサ 330 は、温度波吸収ヒータ 120 と接触することなく温度波吸収面 12 と接触して配置され、本方法においては、第三温度センサ 330 を温度波吸収ヒータ 120 と接触することなく温度波吸収面 12 と接触して配置した状態で、第一温度波 T1 及び第二温度波 T2 を測定することとしてもよい。

[0103] この場合、第三温度センサ 330 によって、試験体 10 の温度波吸収面 12 の温度をより正確に測定することができ、より高い精度で当該試験体 10 の熱拡散率を測定することができる。

[0104] なお、本発明においては、第一温度センサ 310 及び第三温度センサ 330 のそれぞれを周期加熱ヒータ 110 及び温度波吸収ヒータ 120 と接触させることなく配置することとしてもよいし、第一温度センサ 310 を周期加熱ヒータ 110 と接触させることなく配置し、且つ第三温度センサ 330 を温度波吸収ヒータ 120 と接触させることなく配置することとしてもよい。

[0105] また、第一温度センサ 310 及び第三温度センサ 330 のそれぞれを周期加熱面 12 及び温度波吸収面 12 と接触させて配置することとしてもよいし、第一温度センサ 310 及び第三温度センサ 330 の一方のみを周期加熱面 12 及び温度波吸収面 12 の一方のみと接触させて配置することとしてもよい。

[0106] また、本装置 100 は、試験体 10 の周期加熱面 11 及び／又は温度波吸収面 12 と、周期加熱ヒータ 110 及び／又は温度波吸収ヒータ 120 との間に配置された接触防止部材 400 を有し、第一温度センサ 310 及び／又

は第三温度センサ 330 は、当該周期加熱ヒータ 110 及び／又は温度波吸収ヒータ 120 と接触することなく配置されており、本方法においては、当該周期加熱面 11 及び／又は温度波吸収面 12 と当該ヒータとの間に接触防止部材 400 を配置し、当該温度センサを当該ヒータと接触させることなく配置した状態で、第一温度波 T1 及び第二温度波 T2 を測定することとしてもよい。

[0107] この場合、第一温度センサ 310 及び／又は第三温度センサ 330 は、周期加熱面 11 及び／又は温度波吸収面 12 と接触防止部材 400 との間に配置されることとしてもよい。また、第一温度センサ 310 及び／又は第三温度センサ 330 は、周期加熱面 11 及び／又は温度波吸収面 12 に接触して配置されることとしてもよい。また、第一温度センサ 310 及び／又は第三温度センサ 330 は、その一部又は全部が接触防止部材 400 の内部に配置されていることとしてもよい。

[0108] すなわち、例えば、非常に硬い材料から構成された試験体 10 の表面に凹凸が形成されており、当該表面に対向して配置されたヒータが当該表面と接触して配置されている場合には、当該ヒータは当該表面の一部のみと接触することとなり、当該試験体 10 の表面内で温度の分布が生じ、また、当該表面における温度波の波形に歪みが生じ、当該表面の実際の温度を正確に測定することができず、測定誤差を生じる。

[0109] これに対し、本発明においては、試験体 10 の表面と、当該表面に対向して配置されるヒータとの間に接触防止部材 400 を配置して、温度センサを当該ヒータと接触させることなく配置することにより、当該表面の温度をより正確に測定することができ、極めて高い精度で当該試験体 10 の熱拡散率を測定することができる。

[0110] 接触防止部材 400 は、試験体 10 の表面とヒータとの間において、当該表面と当該ヒータとの隙間を埋めるよう配置されるものであれば特に限られないが、例えば、柔軟性を有することが好ましい。すなわち、接触防止部材 400 は、例えば、周期加熱面 11 及び／又は温度波吸収面 12 に追従して

変形する柔軟性、及び／又は周期加熱ヒータ 110 及び／又は温度波吸収ヒータ 120 の表面に追従して変形する柔軟性を有することが好ましい。

[0111] 具体的に、接触防止部材 400 としては、例えば、織布、不織布、紙等の繊維体（具体的に、例えば、セラミックスペーパー、紙、布）、多孔質体（具体的に、例えば、スポンジ）、樹脂成形体、ゴム成形体及び粉体からなる群より選択される 1 つ以上であることとしてよい。接触防止部材 400 の厚さは特に限られないが、例えば、1～5 mm の範囲内であることとしてもよい。

[0112] 具体的に、本装置 100 は、図 3 に示すように、試験体 10 の周期加熱面 11 と、周期加熱ヒータ 110 との間に配置された接触防止部材 400 を有し、第一温度センサ 310 は、当該周期加熱ヒータ 110 と接触することなく配置されており、本方法においては、当該周期加熱面 11 と当該周期加熱ヒータ 110 との間に接触防止部材 400 を配置し、当該第一温度センサ 310 を当該周期加熱ヒータ 110 と接触させることなく配置した状態で、第一温度波 T1 及び第二温度波 T2 を測定することとしてもよい。

[0113] 試験体 10 の周期加熱面 11 と周期加熱ヒータ 110 との間に接触防止部材 400 を配置し、且つ第一温度センサ 310 を当該周期加熱ヒータ 110 と接触させることなく配置することにより、当該周期加熱面 11 における温度波をより正確に測定することができ、極めて高い精度で当該試験体 10 の熱拡散率を測定することができる。

[0114] なお、図 3 に示す例において、第一温度センサ 310 は、試験体 10 の周期加熱面 11 と接触防止部材 400 との間に配置されている。また、第一温度センサ 310 は、試験体 10 の周期加熱面 11（より具体的には、後述する溝 500 の内面）と接触して配置されている。また、第一温度センサ 310 は、その一部又は全部が接触防止部材 400 の内部に配置されていてもよい。

[0115] ここで、図 4 には、試験体 10 の周期加熱面 11 と周期加熱ヒータ 110 との間に接触防止部材 400 を配置する態様の他の例を示す。この図 4 に示

す例においては、試験体 10 の周期加熱面 11 には、後述する、第一温度センサ 310 を收容する溝 500（図 3 参照）は形成されず、第一温度センサ 310 は、周期加熱ヒータ 110 と接触することなく配置されている。

[0116] 図 4 に示す例において、第一温度センサ 310 は、試験体 10 の周期加熱面 11 と接触防止部材 400 との間に配置されている。また、第一温度センサ 310 は、試験体 10 の周期加熱面 11 と接触して配置されている。また、第一温度センサ 310 は、その一部又は全部が接触防止部材 400 の内部に配置されている。

[0117] また、本装置 100 は、同様に、試験体 10 の温度波吸収面 12 と、温度波吸収ヒータ 120 との間に配置された接触防止部材 400 を有し、第三温度センサ 330 は、当該温度波吸収ヒータ 120 と接触することなく配置されており、本方法においては、当該温度波吸収面 12 と当該温度波吸収ヒータ 120 との間に接触防止部材 400 を配置し、当該第三温度センサ 330 を当該温度波吸収ヒータ 120 と接触させることなく配置した状態で、第一温度波 T1 及び第二温度波 T2 を測定することとしてもよい。

[0118] 試験体 10 の温度波吸収面 12 と、温度波吸収ヒータ 120 との間に接触防止部材 400 を配置し、且つ第三温度センサ 330 を当該温度波吸収ヒータ 120 と接触させることなく配置することにより、当該温度波吸収面 12 の温度をより正確に測定することができ、極めて高い精度で当該試験体 10 の熱拡散率を測定することができる。

[0119] なお、第三温度センサ 330 は、試験体 10 の温度波吸収面 12 と接触防止部材 400 との間に配置されることとしてもよい。また、第三温度センサ 330 は、試験体 10 の温度波吸収面 12 と接触して配置されることとしてもよい。また、第三温度センサ 330 は、その一部又は全部が接触防止部材 400 の内部に配置されていてもよい。

[0120] また、本装置 100 においては、試験体 10 の周期加熱面 11 及び／又は温度波吸収面 12 と、周期加熱ヒータ 110 及び／又は温度波吸収ヒータ 120 との間において、第一温度センサ 310 及び／又は第三温度センサ 330

0は、当該周期加熱面11及び／又は温度波吸収面12に形成された溝500内に配置され、当該周期加熱ヒータ110及び／又は温度波吸収ヒータ120と接触することなく配置されていることとしてもよく、本方法においては、当該温度センサを、当該試験体10の当該周期加熱面11及び／又は温度波吸収面12に形成された、当該温度センサを収容可能な溝500内に配置し、当該温度センサを当該ヒータと接触させることなく配置した状態で、第一温度波T1及び第二温度波T2を測定することとしてもよい。この場合、第一温度センサ310及び／又は第三温度センサ330は、その一部が接触防止部材400の内部に配置されていることとしてもよい。

[0121] 第一温度センサ310及び／又は第三温度センサ330を、周期加熱面11及び／又は温度波吸収面12に形成された溝500内に配置して、当該第一温度センサ310及び／又は第三温度センサ330を周期加熱ヒータ110及び／又は温度波吸収ヒータ120と接触させることなく配置することにより、当該周期加熱面11及び／又は温度波吸収面12の温度をより正確に測定することができ、極めて高い精度で試験体10の熱拡散率を測定することができる。なお、第一温度センサ310及び／又は第三温度センサ330が配置される溝500は、例えば、試験体10の周期加熱面11及び／又は温度波吸収面12の一部を削り取ることにより形成することができる。

[0122] 具体的に、本装置100においては、図3に示すように、試験体10の周期加熱面11と、周期加熱面ヒータ110との間において、第一温度センサ310は、当該周期加熱面11に形成された溝500内に配置され、当該周期加熱ヒータ110と接触することなく配置されていることとしてもよく、本方法においては、当該第一温度センサ310を、当該試験体10の当該周期加熱面11に形成された、当該第一温度センサ310を収容可能な溝500内に配置し、当該第一温度センサ310を当該周期加熱ヒータ110と接触させることなく配置した状態で、第一温度波T1及び第二温度波T2を測定することとしてもよい。

[0123] 試験体10の周期加熱面11に形成された溝500に第一温度センサ31

0を配置し、当該第一温度センサ310を周期加熱ヒータ110と接触させることなく配置することにより、当該周期加熱面11における温度波をより正確に測定することができ、極めて高い精度で当該試験体10の熱拡散率を測定することができる。

[0124] なお、図4に示す例において、第一温度センサ310は、試験体10の周期加熱面11と接触防止部材400との間に配置されている。また、第一温度センサ310は、試験体10の周期加熱面11と接触して配置されている。また、第一温度センサ310は、その一部が接触防止部材400の内部に配置されていてもよい。

[0125] ここで、図5には、試験体10の周期加熱面11に形成された溝500内に第一温度センサ310を配置する態様の他の例を示す。この図5に示す例においては、試験体10の周期加熱面11と周期加熱ヒータ110との間に接触防止部材400（図3、図4参照）は配置されず、第一温度センサ310は、当該周期加熱ヒータ110と接触することなく配置されている。

[0126] 図5に示す例において、第一温度センサ310は、試験体10の周期加熱面11と周期加熱ヒータ110との間に配置されている。また、第一温度センサ310は、試験体10の周期加熱面11（より具体的には、溝500の内面）と接触して配置されている。

[0127] また、本装置100においては、同様に、試験体10の温度波吸収面12と、温度波吸収ヒータ120との間において、第三温度センサ330は、当該温度波吸収面12に形成された溝500内に配置され、当該温度波吸収ヒータ120と接触することなく配置されていることとしてもよく、本方法においては、当該第三温度センサ330を、当該試験体10の当該温度波吸収面12に形成された、当該第三温度センサ330を収容可能な溝500内に配置し、当該第三温度センサ330を当該温度波吸収ヒータ120と接触させることなく配置した状態で、第一温度波T1及び第二温度波T2を測定することとしてもよい。

[0128] 試験体10の温度波吸収面12に形成された溝500に第三温度センサ3

30を配置し、当該第三温度センサ330を温度波吸収ヒータ120と接触させることなく配置することにより、当該温度波吸収面12における温度をより正確に測定することができ、極めて高い精度で当該試験体10の熱拡散率を測定することができる。

[0129] また、本装置100においては、試験体10の周期加熱面11及び／又は温度波吸収面12と、周期加熱ヒータ110及び／又は温度波吸収ヒータ120との間に配置された接触防止部材400を有するとともに、第一温度センサ310及び／又は第三温度センサ330は、当該周期加熱面11及び／又は温度波吸収面12に形成された溝500内に当該周期加熱ヒータ110及び／又は温度波吸収ヒータ120と接触することなく配置されており、本方法においては、当該周期加熱面11及び／又は温度波吸収面12と当該ヒータとの間に接触防止部材400を配置するとともに、当該温度センサを、当該試験体10の当該周期加熱面11及び／又は温度波吸収面12に形成された、当該温度センサを収容可能な溝500内に当該ヒータと接触させることなく配置した状態で、第一温度波T1及び第二温度波T2を測定することとしてもよい。

[0130] このように、試験体10の周期加熱面11及び／又は温度波吸収面12の温度を測定するための第一温度センサ310及び／又は第三温度センサ330を、当該周期加熱面11及び／又は温度波吸収面12に形成された溝500内に配置するとともに、当該周期加熱面11及び／又は温度波吸収面12と、周期加熱ヒータ110及び／又は温度波吸収ヒータ120との間に接触防止部材400を配置して、当該第一温度センサ310及び／又は第三温度センサ330を当該周期加熱ヒータ110及び／又は温度波吸収ヒータ120と接触させることなく配置することにより、当該周期加熱面11及び／又は温度波吸収面12の温度をより正確に測定することができ、極めて高い精度で当該試験体10の熱拡散率を測定することができる。

[0131] 具体的に、本装置100は、図3に示すように、試験体10の周期加熱面11と、周期加熱ヒータ110との間に配置された接触防止部材400を有

するとともに、第一温度センサ 310 は、当該周期加熱面 11 に形成された溝 500 内に当該周期加熱ヒータ 110 と接触することなく配置されており、本方法においては、当該周期加熱面 11 と当該周期加熱ヒータ 110 との間に接触防止部材 400 を配置するとともに、当該第一温度センサ 310 を、当該試験体 10 の当該周期加熱面 11 に形成された、当該第一温度センサ 310 を収容可能な溝 500 内に当該周期加熱ヒータ 110 と接触させることなく配置した状態で、第一温度波 T1 及び第二温度波 T2 を測定することとしてもよい。

[0132] このように、試験体 10 の周期加熱面 11 における温度波を測定するための第一温度センサ 310 を、当該周期加熱面 11 に形成された溝 500 内に配置するとともに、当該周期加熱面 11 と周期加熱ヒータ 110 との間に接触防止部材 400 を配置して、当該第一温度センサ 310 を当該周期加熱ヒータ 110 と接触させることなく配置することにより、当該周期加熱面 11 における温度波をより正確に測定することができ、極めて高い精度で当該試験体 10 の熱拡散率を測定することができる。

[0133] ここで、図 6 A 及び図 6 B には、図 3 と同様、周期加熱面 11 と接触するよう接触防止部材 400 を配置するとともに、第一温度センサ 310 を、当該周期加熱面 11 に形成された溝 500 内に配置する例を拡大して示す。図 6 A に示す例においては、第一温度センサ 310 の全部が溝 500 内に配置されている。一方、図 6 B に示す例においては、第一温度センサ 310 の一部が溝 500 内に配置され、当該第一温度センサ 310 の他の一部は接触防止部材 400 の内部に配置されている。

[0134] 図 6 C には、図 4 と同様、周期加熱面 11 と接触するよう接触防止部材 400 を配置するとともに、周期加熱面 11 には溝 500 を形成することなく、第一温度センサ 310 を当該周期加熱面 11 に配置する例を拡大して示す。図 6 C に示す例において、第一温度センサ 310 は周期加熱面 11 と接触して配置されるとともに、その一部又は全部が接触防止部材 400 の内部に配置されている。

- [0135] 接触防止部材４００を配置することにより、第一温度センサ３１０と周期加熱ヒータ３１０との接触を効果的に防止することができる。ただし、例えば、第一温度センサ３１０の全部が接触防止部材４００の内部に配置される場合には、当該第一温度センサ３１０は、当該接触防止部材４００自体の温度を測定することとなる。
- [0136] この点、周期加熱面１１に溝５００を形成して当該溝５００内に第一温度センサ３１０の一部又は全部を配置することで、当該溝５００を形成しない場合に比べて、当該周期加熱面１１の温度をより正確に測定することができる。ただし、例えば、溝５００が深すぎる場合には、当該溝５００内に配置された第一温度センサ３１０により測定される温度は、必ずしも周期加熱面１１の温度と一致しなくなる。
- [0137] したがって、周期加熱面１１に形成される溝５００の深さは、第一温度センサ３１０の厚さ以下であることが好ましい。また、溝５００内に配置された第一温度センサ３１０は、その一部のみが接触防止部材４００と接触することとしてもよい。この場合、第一温度センサ３１０の一部のみが接触防止部材４００内に配置され、他の部分は当該溝５００内に配置されることとしてもよい。
- [0138] また、本装置１００は、同様に、試験体１０の温度波吸収面１２と、温度波吸収ヒータ１２との間に配置された接触防止部材４００を有するとともに、第三温度センサ３３０は、当該温度波吸収面１２に形成された溝５００内に当該温度波吸収ヒータ１２と接触することなく配置されており、本方法においては、当該温度波吸収面１２と当該温度波吸収ヒータ１２との間に接触防止部材４００を配置するとともに、当該第三温度センサ３３０を、当該試験体１０の当該温度波吸収面１２に形成された、当該第三温度センサ３３０を収容可能な溝５００内に当該温度波吸収ヒータ１２と接触させることなく配置した状態で、第一温度波Ｔ１及び第二温度波Ｔ２を測定することとしてもよい。
- [0139] このように、試験体１０の温度波吸収面１２の温度を測定するための第三

温度センサ 330 を、当該温度波吸収面 12 に形成された溝 500 内に配置するとともに、当該温度波吸収面 12 と温度波吸収ヒータ 120 との間に接触防止部材 400 を配置して、当該第三温度センサ 330 を当該温度波吸収ヒータ 120 と接触させることなく配置することにより、当該温度波吸収面 12 の温度をより正確に測定することができ、極めて高い精度で当該試験体 10 の熱拡散率を測定することができる。

[0140] また、第一温度センサ 310 及び／又は第三温度センサ 330 の厚さ（当該温度センサが筐体を有する熱電対である場合には当該筐体の厚さ）（当該温度センサが円筒状の筐体を有する熱電対である場合には当該筐体の直径）は、試験体 10 の厚さの 10 分の 1 以下であることが好ましい。

[0141] すなわち、例えば、第一温度センサ 310 及び／又は第三温度センサ 330 の厚さが、試験体 10 の厚さに比べて無視できないくらい大きい場合（例えば、試験体 10 の厚さが 10 mm である場合に、温度センサの厚さが 2 mm である場合）には、当該試験体 10 の温度を測定している位置が不明確となり、測定誤差が生じる。

[0142] これに対し、第一温度センサ 310 及び／又は第三温度センサ 330 の厚さが試験体 10 の厚さの 10 分の 1 以下であることにより、当該試験体 10 の所望の位置の温度を正確に測定することができる。

[0143] また、試験体 10 の周期加熱面 11 及び／又は温度波吸収面 12 と、周期加熱ヒータ 110 及び／又は温度波吸収ヒータ 120 との間に接触防止部材 400 を配置する場合、第一温度センサ 310 及び／又は第三温度センサ 330 の厚さは、当該接触防止部材 400 の厚さの 10 分の 1 以下であることが好ましい。

[0144] 次に、本実施形態に係る具体的な実施例について説明する。

## 実施例 1

[0145] アルミナ－シリカ系繊維質断熱材を試験体 10 として使用し、周期加熱法により、周期加熱面 11 と周期加熱ヒータ 110 との間に接触防止部材 400 を配置した場合、及び当該接触防止部材 400 を配置しない場合のそれぞれ

れについて、当該試験体 10 の熱拡散率を測定し、さらに当該熱拡散率から当該試験体 10 の熱伝導率を求めた。接触防止部材 400 としては、アルミナ繊維製のフリース（厚さ 5 mm）を使用した。

[0146] 接触防止部材 400 を配置する場合には、図 6 B に示すように、周期加熱面 11 に溝 500 を形成し、円筒形の筐体を有する熱電対である第一温度センサ 310 の半分を当該溝 500 内に配置し、残りの半分を接触防止部材 400 の内部に配置し、当該第一温度センサ 310 は周期加熱ヒータ 110 と接触することなく配置された。

[0147] 一方、接触防止部材 400 を配置しない場合には、第一温度センサ 310 は、周期加熱面 11 と周期加熱ヒータ 110 との間において、当該周期加熱面 11 及び周期加熱ヒータ 110 の両方と接触して配置された。

[0148] 図 7 には、測定結果を示す。図 7 に示すように、接触防止部材 400 を配置しない場合には、当該接触防止部材 400 を配置する場合よりも低い値の熱伝導率が得られた。これは、接触防止部材 400 を配置せず、第一温度センサ 310 を周期加熱ヒータ 110 と接触させて配置した場合には、当該第一温度センサ 310 で測定される温度波が、実際に周期加熱面 11 に与えられた温度波とは異なっていたことによるものと考えられた。

[0149] これに対し、接触防止部材 400 を配置し、第一温度センサ 310 を周期加熱ヒータ 110 と接触させることなく配置した場合には、実際に周期加熱面 11 に与えられた温度波に基づき、より高い精度で熱伝導率を測定できたと考えられた。

## 実施例 2

[0150] シリカ粒子の圧縮成形体からなる断熱材を試験体 10 として使用し、周期加熱法により、当該試験体 10 の周期加熱面 11 に形成した溝 500 に第一温度センサ 310 を配置した場合、及び周期加熱面に当該溝 500 を形成しない場合のそれぞれについて、当該試験体の熱拡散率を測定し、さらに当該熱拡散率から当該試験体 10 の熱伝導率を求めた。

[0151] 溝 500 を形成する場合には、図 6 A に示すように、円筒形の筐体を有す

る熱電対である第一温度センサ310は、その全体が周期加熱面11に形成された溝500内に配置され、周期加熱ヒータ110と接触することなく配置された。

[0152] 一方、溝500を形成しない場合、第一温度センサ310は、周期加熱面11と周期加熱ヒータ110との間において、当該周期加熱面11及び周期加熱ヒータ110の両方と接触して配置された。

[0153] 図8には、測定結果を示す。図8に示すように、溝500を形成しない場合には、当該溝500を形成した場合よりも低い値の熱伝導率が得られた。これは、溝500を形成せず、第一温度センサ310を周期加熱ヒータ110と接触させて配置した場合には、当該第一温度センサ310で測定される温度波が、実際に周期加熱面11に与えられた温度波とは異なっていたことによるものと考えられた。

[0154] これに対し、第一温度センサ310を周期加熱面11に形成された溝500内に配置し、周期加熱ヒータ110と接触させることなく配置した場合には、実際に当該周期加熱面11に与えられた温度波に基づき、より高い精度で熱伝導率を測定できたと考えられた。

### 実施例 3

[0155] 図3に示すように、試験体10の周期加熱面11と周期加熱ヒータ110との間に配置された接触防止部材400を有するとともに、第一温度センサ310が当該周期加熱面11に形成された溝500内に当該周期加熱ヒータ110と接触することなく配置されている本装置100を使用する本方法により試験体10の熱拡散率を測定し、さらに当該熱拡散率から当該試験体10の熱伝導率を求めた。

[0156] 接触防止部材400としては、アルミナ繊維製のフリース（150mm×100mm、厚さ5mm）を使用した。周期加熱ヒータ110、温度波吸収ヒータ120及び周囲加熱ヒータ130としては、電熱ヒータを使用した。第一温度センサ310、第二温度センサ320、第三温度センサ330及び第四温度センサ340としては、直径が試験体10の厚さの10分の1以下

であり、且つ高熱容量部材400の厚さの10分の1以下である円筒状の筐体を有する熱電対を使用した。

[0157] また、図示はしていないが、温度波吸収面12と温度波吸収ヒータ120との間に、隙間を空けて2枚のアルミナ板を配置するとともに、当該2枚のアルミナ板に挟まれた当該隙間に第三温度センサ330を配置した。

[0158] また、周囲ヒータ130は、予め出力を所定値 $\pm 0.05\%$ の範囲に制限して使用した。また、周期加熱面11と、試験体10の内部の所定位置14とで測定された温度波は、その一周期分の測定値を最小二乗法により三角関数に近似し、当該近似により得られた温度波の位相差から、当該試験体10の熱拡散率を測定した。

[0159] まず、試験体10としてアルミナ-シリカ系繊維質断熱材(150mm $\times$ 100mm、厚さ30mm)1枚を使用し、当該試験体10の100℃、200℃、400℃、600℃、800℃、1000℃、1200℃、1400℃及び1500℃における熱拡散率を測定し、当該熱拡散率から熱伝導率を求めた。周期加熱ヒータ110で発生させた温度波の振幅は3℃であり、周期は60分であった。試験体10の温度波吸収面12の温度は、所定値 $\pm 0.05^\circ\text{C}$ の範囲内に維持された。また、試験体10を伝播する、連続する3周期分の温度波において、各1周期分の温度波の振幅の中心温度の平均値と、当該3周期分の温度波の振幅の中心温度の平均値との差分は、 $\pm 2^\circ\text{C}$ 以内であった。また、比較のため、この試験体10の熱伝導率をGHP法によっても測定した。

[0160] また、試験体10として繊維補強セメント板(150mm $\times$ 100mm、厚さ20mm)2枚を使用し、当該試験体10の100℃、300℃及び500℃における熱拡散率を測定し、当該熱拡散率から熱伝導率を求めた。周期加熱ヒータ110で発生させた温度波の振幅は2℃であり、周期は60分であった。試験体10の温度波吸収面12の温度は、所定値 $\pm 0.05^\circ\text{C}$ の範囲内に維持された。また、試験体10を伝播する、連続する3周期分の温度波において、各1周期分の温度波の振幅の中心温度の平均値と、当該3周

期分の温度波の振幅の中心温度の平均値との差分は、 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内であった。  
また、比較のため、この試験体 10 の熱伝導率を GHP 法によっても測定した。

[0161] 図 9 及び図 10 に、アルミナ-シリカ系繊維質断熱材及び繊維補強セメント板の熱伝導率を周期加熱法で測定した結果をそれぞれ示す。図 9 及び図 10 において、横軸は熱伝導率を測定した温度 ( $^{\circ}\text{C}$ ) (周期加熱面 11 における温度波の振幅の中心温度と、温度波吸収面 12 の所定の一定温度との算術平均値) を示し、縦軸は各温度で測定された熱伝導率 ( $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ) を示す。また、図 9 及び図 10 において、丸印は周期加熱法を使用した本方法で測定した結果を示し、四角印は GHP 法で測定した結果を示している。

[0162] 図 9 及び図 10 に示すように、本装置 100 を使用した本方法による測定結果は、GHP 法による測定結果とほぼ一致した。すなわち、本装置 100 を使用した本方法によれば、広い温度範囲において高い精度で熱拡散率及び熱伝導率を測定できることが確認された。

### 符号の説明

[0163] 10 試験体、11 周期加熱面、12 温度波吸収面、13 側面、14 試験体内部の所定位置、100 熱拡散率測定装置、110 周期加熱ヒータ、120 温度波吸収ヒータ、130 側面ヒータ、140 冷却装置、150 補助ヒータ、160, 170 断熱材、180 金属板、190 筐体、200 直流電源、210 ファンクションジェネレータ、310 第一温度センサ、320 第二温度センサ、330 第三温度センサ、340 第四温度センサ、400 接触防止部材、500 溝。

## 請求の範囲

- [請求項1] 周期加熱法により熱拡散率を測定する方法であって、  
試験体の周期加熱面から温度波吸収面に向けて温度波を伝播させること；  
前記周期加熱面における第一温度波を測定すること；  
前記周期加熱面と前記温度波吸収面との間の前記試験体の内部の所定位置における第二温度波を測定すること；  
前記第一温度波と前記第二温度波との振幅比又は位相差から前記試験体の熱拡散率を得ること；  
を含み、  
前記試験体の前記周期加熱面及び／又は前記温度波吸収面と、前記周期加熱面及び／又は前記温度波吸収面に対向して配置されるヒータとの間において、前記周期加熱面及び／又は前記温度波吸収面の前記温度を測定するための温度センサを、前記ヒータと接触させることなく配置した状態で、前記第一温度波及び前記第二温度波を測定することを特徴とする方法。
- [請求項2] 前記周期加熱面及び／又は前記温度波吸収面と前記ヒータとの間に接触防止部材を配置し、前記温度センサを前記ヒータと接触させることなく配置した状態で、前記第一温度波及び前記第二温度波を測定することを特徴とする請求項1に記載の方法。
- [請求項3] 前記温度センサを、前記試験体の前記周期加熱面及び／又は前記温度波吸収面に形成された、前記温度センサを収容可能な溝内に配置し、前記温度センサを前記ヒータと接触させることなく配置した状態で、前記第一温度波及び前記第二温度波を測定することを特徴とする請求項1又は2に記載の方法。
- [請求項4] 前記温度センサの厚さは、前記試験体の厚さの10分の1以下である

ことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の方法。

[請求項5] 前記温度センサの厚さは、前記接触防止部材の厚さの 10 分の 1 以下である

ことを特徴とする請求項 2 に記載の方法。

[請求項6] 周期加熱法により熱拡散率を測定するための装置であって、  
試験体の周期加熱面から温度波吸収面に向けて温度波を伝播させるために、前記周期加熱面に対向して配置される周期加熱ヒータ；  
前記試験体の前記温度波吸収面の温度を所定の一定値に維持するために、前記温度波吸収面に対向して配置される温度波吸収ヒータ；  
前記周期加熱面における第一温度波を測定するための第一温度センサ；  
前記周期加熱面と前記温度波吸収面との間の前記試験体の内部の所定位置における第二温度波を測定するための第二温度センサ；及び  
前記温度波吸収面の温度を測定するための第三温度センサ；  
を有し、  
前記試験体の前記周期加熱面及び／又は前記温度波吸収面と、前記周期加熱ヒータ及び／又は前記温度波吸収ヒータとの間において、前記第一温度センサ及び／又は前記第三温度センサは、前記周期加熱ヒータ及び／又は前記温度波吸収ヒータと接触することなく配置されている

ことを特徴とする装置。

[請求項7] 前記試験体の前記周期加熱面及び／又は前記温度波吸収面と、前記周期加熱ヒータ及び／又は前記温度波吸収ヒータとの間に配置された接触防止部材を有し、

前記第一温度センサ及び／又は前記第三温度センサは、前記周期加熱ヒータ及び／又は前記温度波吸収ヒータと接触することなく配置されている

ことを特徴とする請求項 6 に記載の装置。

[請求項8] 前記試験体の前記周期加熱面及び／又は前記温度波吸収面と、前記周期加熱ヒータ及び／又は前記温度波吸収ヒータとの間において、前記第一温度センサ及び／又は前記第三温度センサは、前記周期加熱面及び／又は前記温度波吸収面に形成された溝内に配置され、前記周期加熱ヒータ及び／又は前記温度波吸収ヒータと接触することなく配置されている

ことを特徴とする請求項6又は7に記載の装置。

[請求項9] 前記第一温度センサ及び／又は前記第三温度センサの厚さは、前記試験体の厚さの10分の1以下である

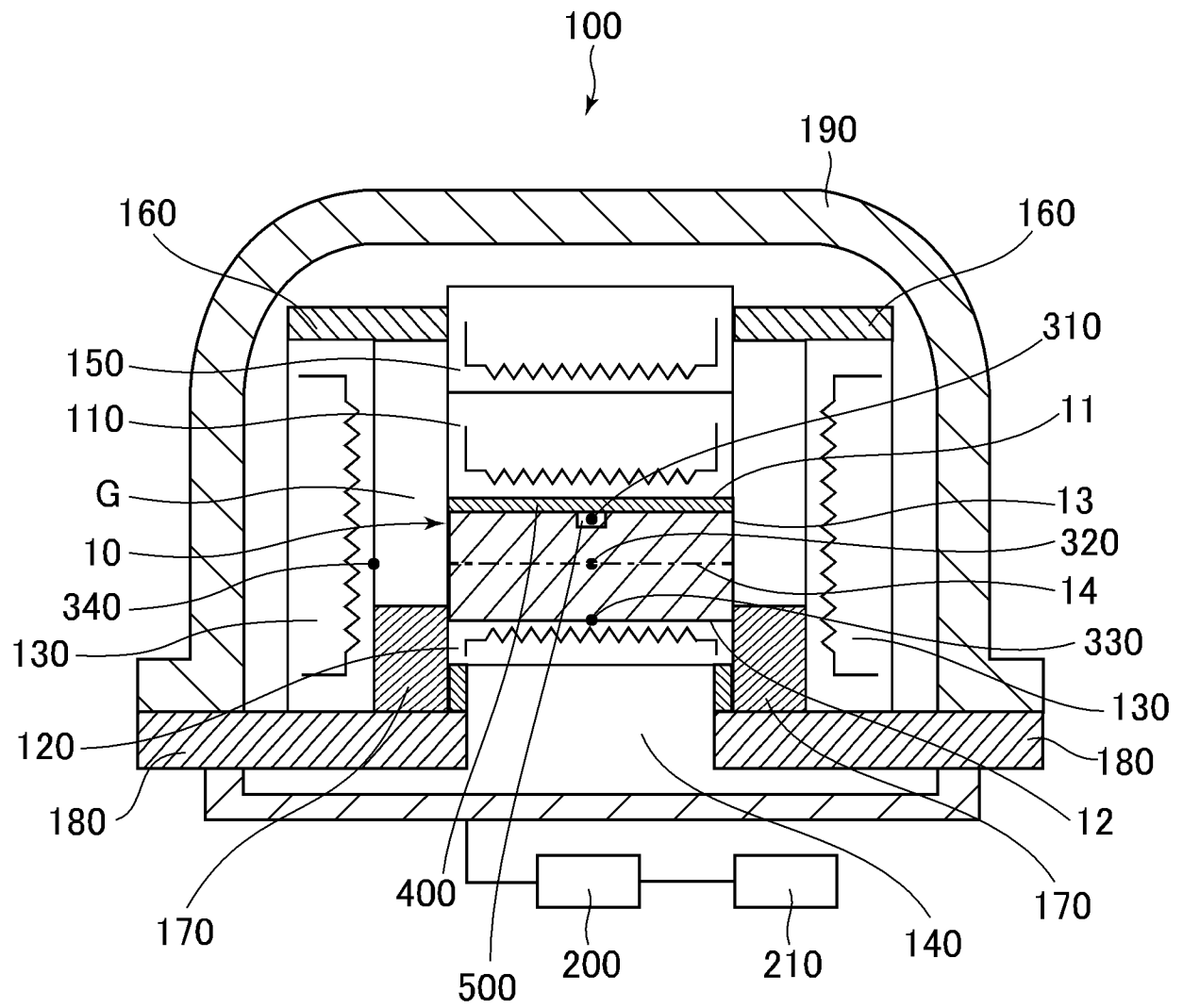
ことを特徴とする請求項6乃至8のいずれかに記載の装置。

[請求項10] 前記第一温度センサ及び／又は前記第三温度センサの厚さは、前記接触防止部材の厚さの10分の1以下である

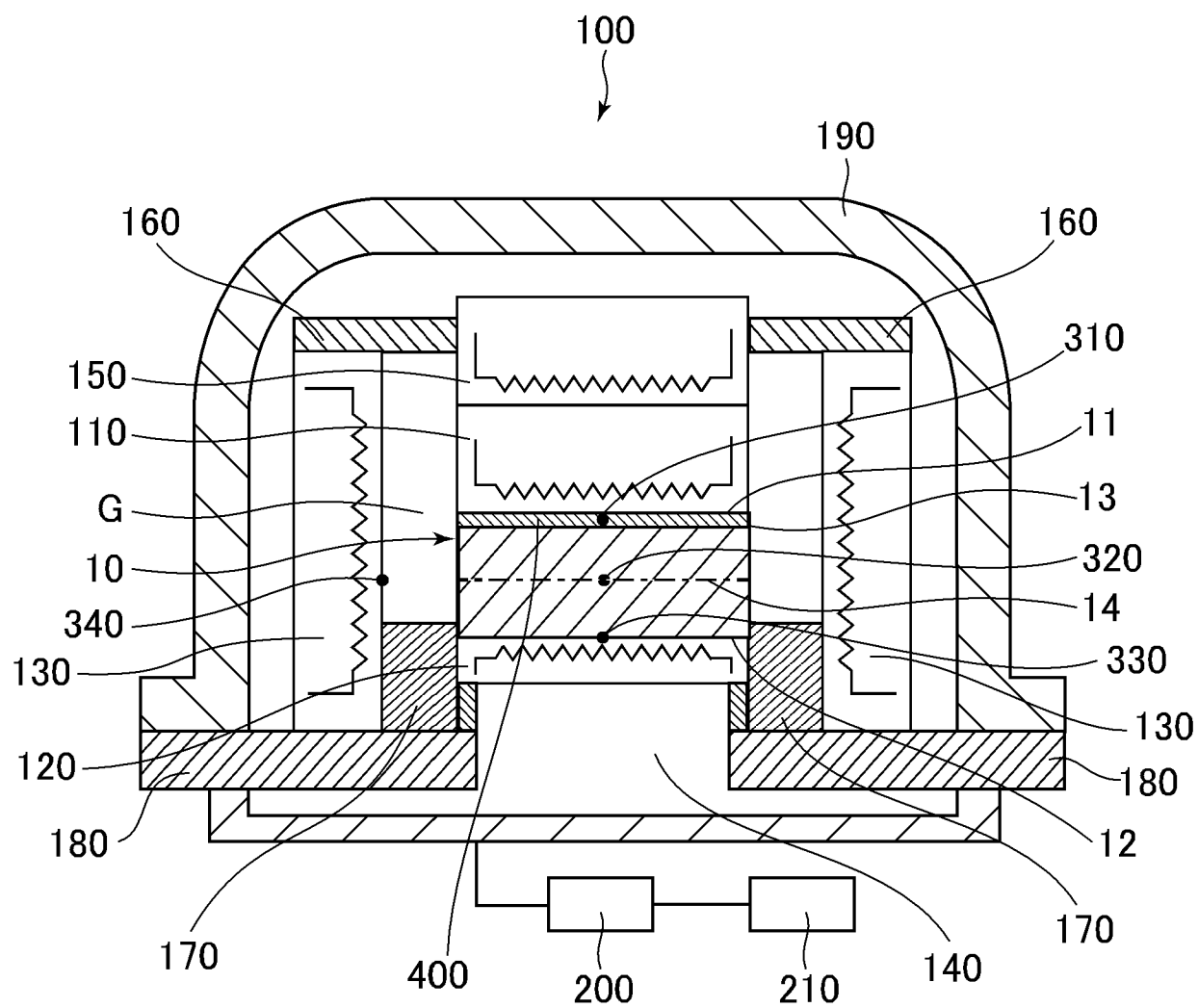
ことを特徴とする請求項7に記載の装置。



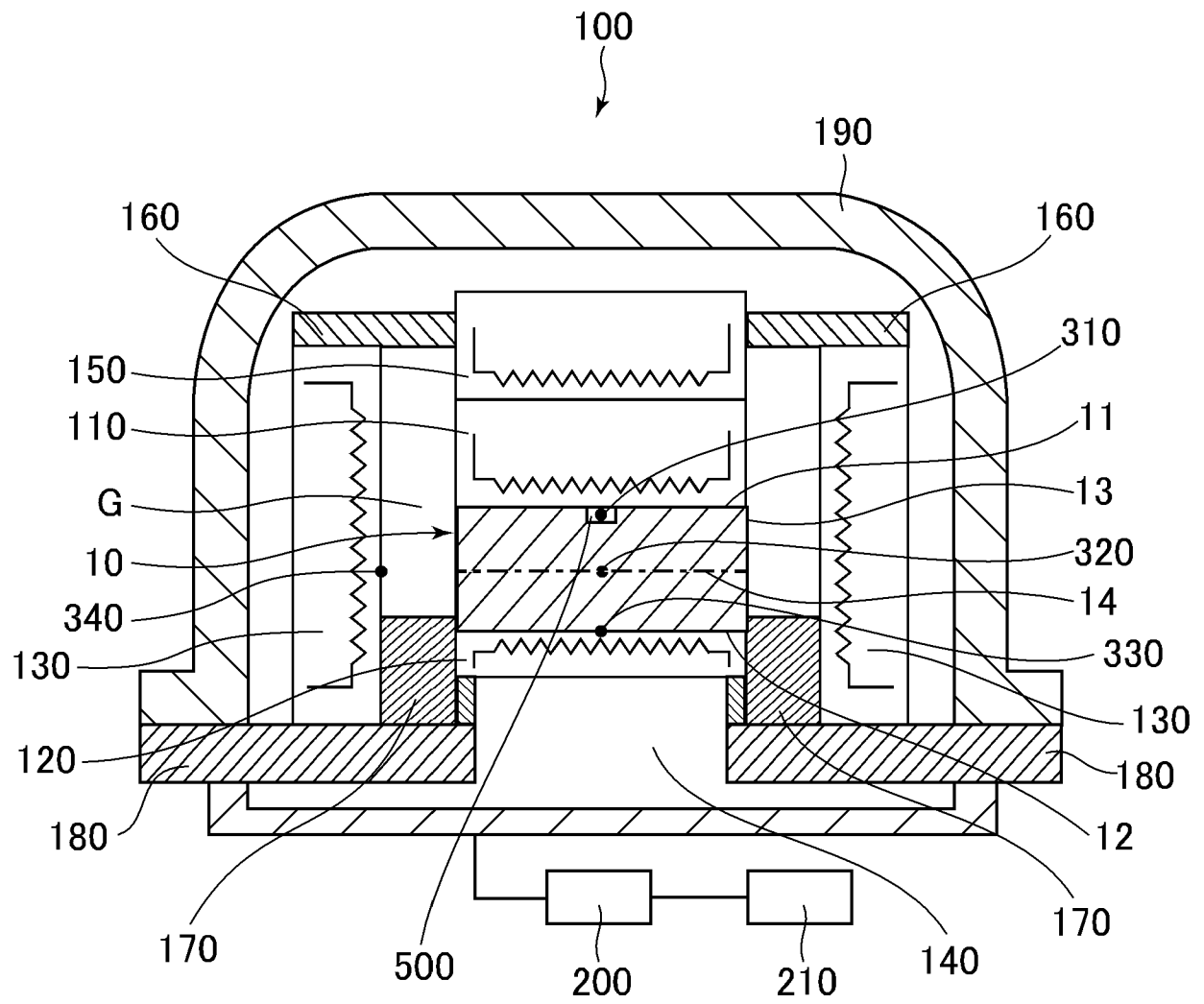
[図3]



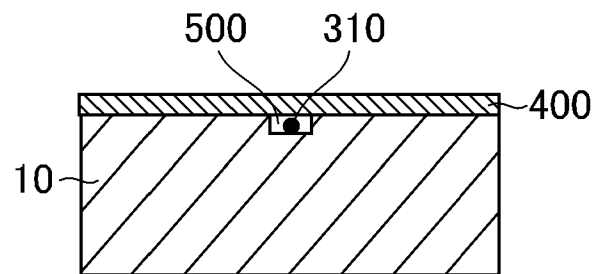
[図4]



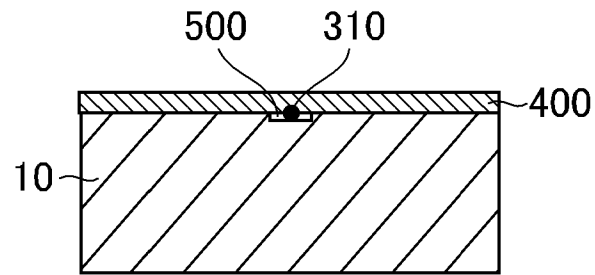
[図5]



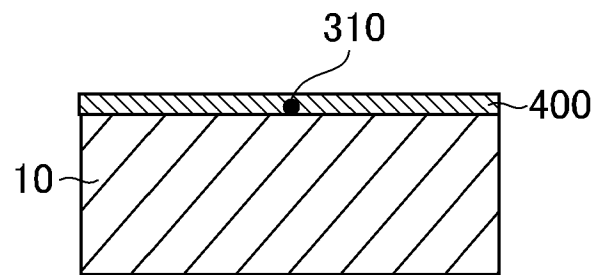
[図6A]



[図6B]



[図6C]



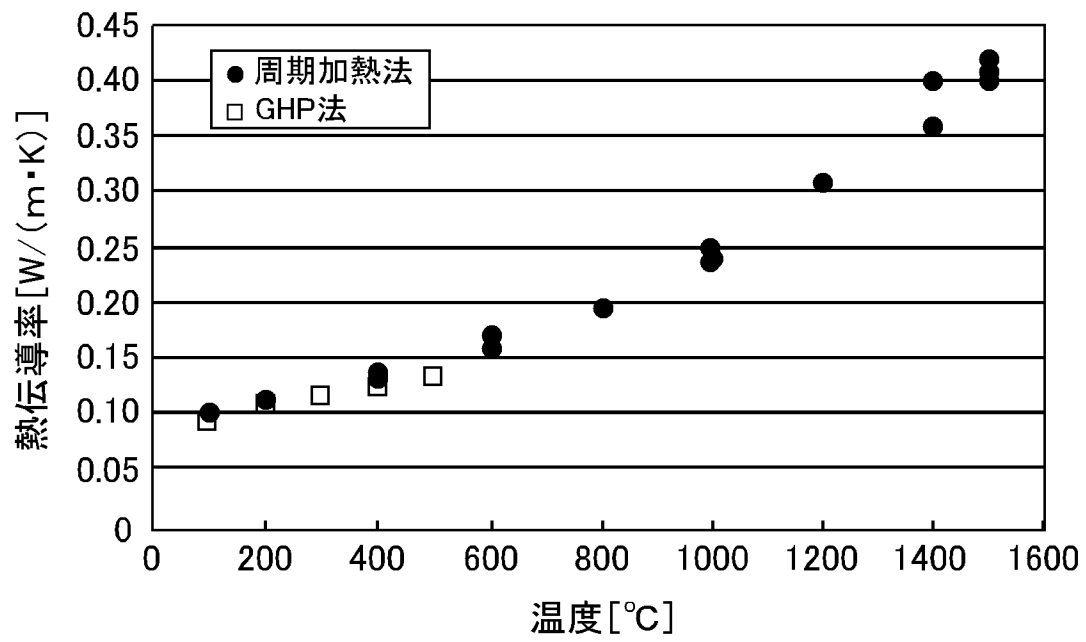
[図7]

| 測定温度<br>[°C] | 熱伝導率[W/(m·K)] |         |
|--------------|---------------|---------|
|              | 接触防止部材有       | 接触防止部材無 |
| 600          | 0.166         | 0.136   |
| 800          | 0.230         | 0.189   |

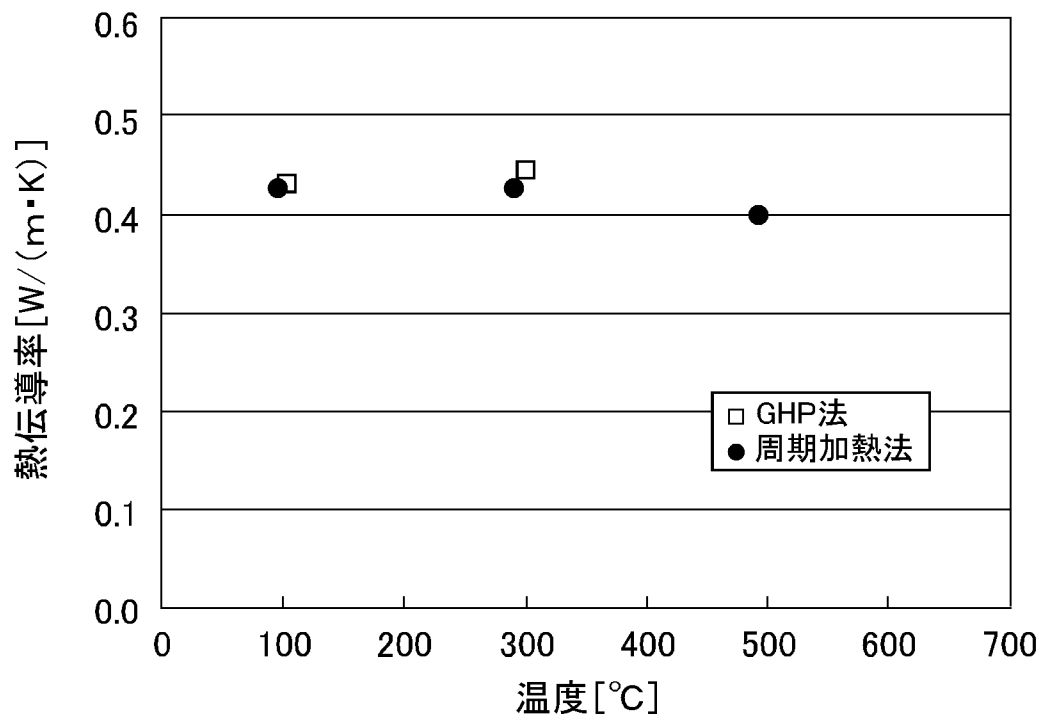
[図8]

| 測定温度<br>[°C] | 熱伝導率[W/(m·K)] |        |
|--------------|---------------|--------|
|              | 溝有            | 溝無     |
| 600          | 0.0335        | 0.0333 |
| 800          | 0.0440        | 0.0421 |

[図9]



[図10]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/075970

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N25/18(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)

G01N25/18

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 | 1996-2014 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2014 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2014 |

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

JSTPlus (JDreamIII)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                              | Relevant to claim No. |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Y         | Takahiro OMURA, Mikinori TSUBOI, "The Thermal Conductivity Test by a Cyclic Heat Method", Japan Journal of Thermophysical Properties, 16 June 2009 (16.06.2009), vol.13, no.4, pages 264 to 270 | 1-10                  |
| Y         | WO 2013/058134 A1 (Nichias Corp.), 25 April 2013 (25.04.2013), paragraphs [0086] to [0104]; fig. 6A & JP 2013-88258 A                                                                           | 1-10                  |
| Y         | JP 11-326250 A (Shinagawa Refractories Co., Ltd.), 26 November 1999 (26.11.1999), paragraph [0011] (Family: none)                                                                               | 3, 8                  |

☐ 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  
05 December, 2014 (05.12.14)

Date of mailing of the international search report  
16 December, 2014 (16.12.14)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01N25/18(2006.01)i

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01N25/18

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 | 1971-2014年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2014年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2014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）

JSTPlus(JDreamIII)

## C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>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<br>請求項の番号 |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Y               | 大村高弘 坪井幹憲, 周期加熱法による熱伝導率測定, 熱物性,<br>2009.06.16, Vol. 13, No. 4, p.264-270            | 1-10           |
| Y               | WO 2013/058134 A1 (ニチアス株式会社) 2013.04.25,<br>[0086]-[0104], [図 6A] & JP 2013-88258 A | 1-10           |
| Y               | JP 11-326250 A (品川白煉瓦株式会社) 1999.11.26,<br>【0011】 (ファミリーなし)                          | 3, 8           |

☐ 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

05.12.2014

国際調査報告の発送日

16.12.2014

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A/J P)  
郵便番号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）

東松 修太郎

2 J

5261

電話番号 03-3581-1101 内線 3252