

(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
2015 年 4 月 2 日(02.04.2015)



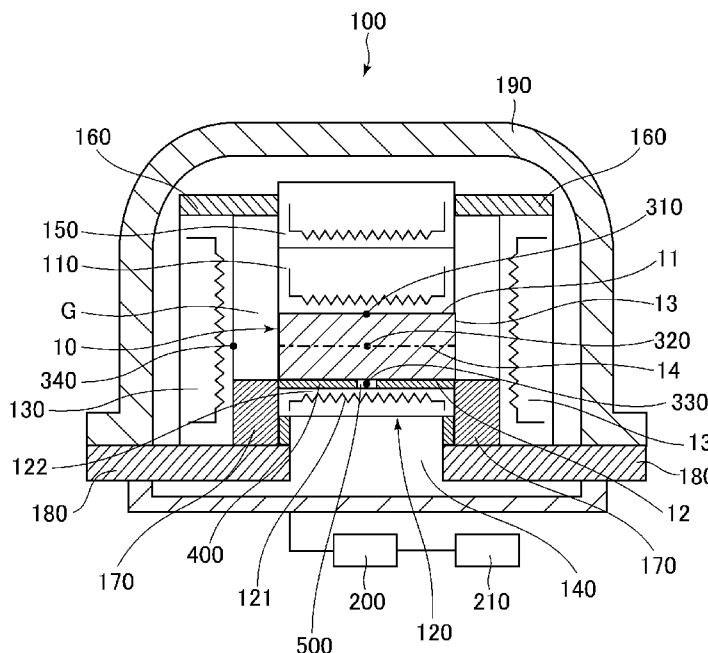
(10) 国際公開番号

WO 2015/046545 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 25/18 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/075968
- (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 2013-205335 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, 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:
— 国際調査報告 (条約第 21 条(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. A thermal-wave-absorbing heater (120) for keeping the thermal-wave absorption surface at a prescribed constant temperature is positioned opposite said thermal-wave absorption surface, said thermal-wave-absorbing heater (120) having a heating element (121) and a covering material (122) that covers the side of said heating element that faces the thermal-wave absorption surface. The first and second thermal waves are measured with a high-heat-capacity member (400) positioned between the thermal-wave absorption surface and the thermal-wave-absorbing heater, said high-heat-capacity member (400) having a higher heat capacity than the covering material of the thermal-wave-absorbing

heater.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2015/046545 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、前記温度波吸収面と対向する位置に、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の、発熱体（１２１）と前記発熱体の前記温度波吸収面側を覆う被覆材（１２２）とを有する温度波吸収ヒータ（１２０）を配置し、前記温度波吸収面と前記温度波吸収ヒータとの間に、前記温度波吸収ヒータの前記被覆材の熱容量より大きい熱容量を有する高熱容量部材（４００）を配置した状態で、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、試験体の周期加熱面から、反対側の温度波吸収面に向けて温度

波を伝播させる際、当該温度波吸収面の温度を所定の一定値に維持するために、当該温度波吸収面の温度が当該所定の一定値を下回ると、当該温度波吸収面に対向して配置されたヒータの出力を上げて当該温度波吸収面を加熱し、当該温度波吸収面の温度を上昇させる。

[0008] しかしながら、従来、試験体の温度波吸収面にヒータからの熱が一気に伝わることにより、当該温度波吸収面の温度が急激に上昇して、上記所定の一定値を大幅に上回り、その結果、当該温度波吸収面の温度を当該所定の一定値に維持することが難しくなることがあった。

[0009] 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

[0010] 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、前記温度波吸収面と対向する位置に、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の、発熱体と前記発熱体の前記温度波吸収面側を覆う被覆材とを有する温度波吸収ヒータを配置し、前記温度波吸収面と前記温度波吸収ヒータとの間に、前記温度波吸収ヒータの前記被覆材の熱容量より大きい熱容量を有する高熱容量部材を配置した状態で、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。

[0011] また、前記方法において、前記温度波吸収面と前記温度波吸収ヒータとの間に前記高熱容量部材を配置して、前記温度波吸収面の温度を所定値 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ の範囲内に維持した状態で、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、前記温度波吸収面と前記温度波吸収ヒータとの間に前記高熱容量部材を配置するとともに、前記温度波吸収面と前記温度波吸収ヒータとの間に形成され前記高熱容量部材で囲まれた隙間に、前記温度波吸収面の温度を測定するための温度センサを配置した状態で、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。

[0012] 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、発熱体と前記発熱体の前記温度波吸収面側を覆う被覆材とを有す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；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；及び前記試験体の前記温度波吸収面と前記温度波吸収ヒータとの間に配置される、前記温度波吸収ヒータの前記被覆材の熱容量より大きい熱容量を有する高熱容量部材；を有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装置を提供することができる。

[0013] また、前記装置は、前記温度波吸収面と前記温度波吸収ヒータとの間に形成され前記高熱容量部材で囲まれた隙間に配置された前記第三温度センサを有することとしてもよい。

発明の効果

[0014] 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

[0015] [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]本実施形態に係る実施例1において振幅比を計算した結果を示す説明図である。

[図5]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の一例を示す説明図である。

[図6]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の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2において熱伝導率を測定した結果のさらに他の例を示す説明図である。

発明を実施するための形態

[0016] 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。

[0017] 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。

[0018] 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。

[0019] 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。

[0020] 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 ϕ 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 θ_1 は、第一温度波 T1 の振幅 θ_0 より小さい。

[0021] 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 θ_2 に維持されていると仮定する。

[0022] 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。

[0023] ここで、原点の温度（温度波吸収面 1 2 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 1 1 の温度）は、 $\sin(\omega t + \eta)$ で表される周期（ ω は角振動数 $[s^{-1}]$ 、 t は時間 $[s]$ 、 η は任意の位相 $[rad]$ である。）で変化していると仮定する。

[0024] そして、上述のとおり、試験体 1 0 の周期加熱面 1 1 に第一温度波 T 1 が与えられ、当該試験体 1 0 の内部の所定位置 1 4 に第二温度波 T 2 が到達し、当該試験体 1 0 の温度波吸収面 1 2 の温度は所定の一定値 θ_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 1 1）で測定される第一温度波 T 1 と、任意の位置 $x = x_m$ ($d > x_m > 0$)（例えば、試験体 1 0 の内部の所定位置 1 4）で測定される第二温度波 T 2 と、の振幅比 $A (= \theta_1 / \theta_0)$ (θ_0 は第一温度波 T 1 の振幅であり、 θ_1 は第二温度波 T 2 の振幅である。) 及び位相差 ϕ 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]

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

[0025] 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、 ω は、下記の式 (IV) で表される角振動数であり、 κ 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]

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

[0026] 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 ϕ に基づき、当該試験体 10 の熱拡散率 κ が求められる。

[0027] すなわち、まず振幅比 A を上記式 (I) に代入して k を求め、次いで当該 k の値を上記式 (III) に代入して、試験体 10 の熱拡散率 κ [m^2/s] が得られる。同様に、位相差 ϕ [rad] を上記式 (II) に代入して k を求め、当該 k の値を上記式 (III) に代入して、試験体 10 の熱拡散率 κ [m^2/s] が得られる。

[0028] さらに、試験体 10 の熱伝導率 λ [$W/(m \cdot K)$] は、上述のようにして得られた熱拡散率 κ [m^2/s] と、別途測定された当該試験体 10 の密度 ρ [kg/m^3] 及び比熱 c [$J/(kg \cdot K)$] とを下記の式 (V) に代入することにより求められる。

[数5]

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

[0029] 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。

[0030] 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。

[0031] 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 θ_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。

[0032] 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。

[0033] 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。

[0034] 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。

[0035] 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。

[0036] 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しても

よい。

- [0037] 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。
- [0038] 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。
- [0039] 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。
- [0040] 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。
- [0041] 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。
- [0042] 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。

[0043] 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。

[0044] 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。

[0045] 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。

[0046] 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。

[0047] 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。

[0048] 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。

[0049] 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、 800°C 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°C において $0.5\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 以下の熱伝導率を有することとしてもよく、 1000°C において $0.3\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 以下の熱伝導率を有することとしてもよく、 1000°C において $0.2\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 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の熱伝導率の下限値は特に限られないが、例えば、当該試験体10は、 1000°C において $0.01\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 以上の熱伝導率を有することとしてもよい。

[0050] 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。

[0051] 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。

[0052] 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。

[0053] 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。

[0054] 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。

[0055] 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。

[0056] 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°C ～ 1500°C の範囲内の所定温度であることとしてもよく、 25°C ～ 1500°C の範囲内の所定温度であることとしてもよく、 700°C ～ 1500°C の範囲内の所定温度であることとしてもよく、 800°C ～ 1500°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°C ～ 1500°C 又は 800°C ～ 1500°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。

[0057] なお、例えば、試験体 10 の 1000°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°C となるような条件で測定を行う。

[0058] 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。

[0059] 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。

- [0060] 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、 $1^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$ の範囲内の所定値であることが好ましく、 $1^{\circ}\text{C} \sim 5^{\circ}\text{C}$ の範囲内の所定値であることがより好ましく、 $2^{\circ}\text{C} \sim 4^{\circ}\text{C}$ の範囲内の所定値であることが特に好ましい。
- [0061] 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。
- [0062] 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°C であり、当該振幅が 5°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。
- [0063] 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。
- [0064] 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。
- [0065] 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。

[0066] 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。

[0067] 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。

[0068] 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。

[0069] 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。

[0070] 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。

[0071] 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 1 2 の温度を低下させる。なお、温度波吸収面 1 2 の加熱を弱める場合、上述した冷却装置 1 4 0 を作動させて、温度波吸収ヒータ 1 2 0 を冷却することとしてもよい。

[0072] 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。

[0073] 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 κ 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。

[0074] 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。

[0075] 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。

[0076] そこで、温度波吸収面12と温度波吸収ヒータ120との間には他の部材を配置せず、当該温度波吸収面12と温度波吸収ヒータ120とを接触させることとしてもよい。なお、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。

[0077] 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。

[0078] 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。

[0079] 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。

[0080] 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。

[0081] 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。

- [0082] 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。
- [0083] 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。
- [0084] 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。
- [0085] 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。
- [0086] 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 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 T1 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 T2 を第二温度センサ 320 によって測定する。
- [0087] 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 T1 と第二温度波 T2 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 T1 の振幅 θ_0 と、第二温度波 T2 の振幅 θ_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 κ を求める。また、第一温度波 T1 と第二温度波 T2 との位相のずれから位相差 ϕ を求め、上記の式 (11) と式 (111) とから熱拡

散率 κ を求める。

[0088] ここで、本実施形態において特徴的なことの一つは、図3に示すように、本装置100が、発熱体121と当該発熱体121の温度波吸収面12側を覆う被覆材122とを有する温度波吸収ヒータ120と、当該温度波吸収面12と温度波吸収ヒータ120との間に配置される、当該温度波吸収ヒータ120の当該被覆材122の熱容量より大きい熱容量を有する高熱容量部材400とを有し、本方法において、当該温度波吸収面12と対向する位置に、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の、発熱体121と当該発熱体121の当該温度波吸収面12側を覆う被覆材122とを有する温度波吸収ヒータ120を配置し、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、当該温度波吸収ヒータ120の当該被覆材122の熱容量より大きい熱容量を有する当該高熱容量部材400を配置した状態で、第一温度波T1及び第二温度波T2を測定することである。

[0089] すなわち、上述した測定原理においては、温度波吸収面12（図1に示すx軸の原点）の温度が常に一定と仮定しているが、実際には、当該温度波吸収面12の温度を厳密に一定に維持することは難しく、その結果、測定誤差が生じる。

[0090] 具体的に、例えば、温度波の周期が比較的短い場合、温度波吸収ヒータ120の出力を素早く且つ頻繁に変化させることになる。しかしながら、例えば、温度波吸収ヒータ120の発熱体121の温度波吸収面12側を覆う被覆材122の熱容量が小さい場合には、当該温度波吸収ヒータ120の出力を大きく変化させることにより、当該被覆材122の温度（温度波吸収面12に対向する、温度波吸収ヒータ120の表面の温度）及び当該温度波吸収面12の温度が急激に変化してしまい、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ことが難しくなる。

[0091] そこで、本発明においては、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、当該温度波吸収ヒータ120の被覆材122の熱容量より大きい熱容量を有する高熱容量部材400を配置する。この高熱容量

部材400を温度波吸収面12と温度波吸収ヒータ120との間（特に、温度波吸収面12と、温度波吸収ヒータ120の発熱体121との間）に配置することにより、温度波吸収ヒータ120の出力の大きな変化によって当該温度波吸収面12の温度が急激に変化することを効果的に防止することができる。したがって、試験体10の温度波吸収面12の温度を所定の一定値又はその極近傍に維持することができ、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。

[0092] 具体的に、本方法においては、例えば、温度波吸収面12と温度波吸収ヒータ120との間に高熱容量部材400を配置して、当該温度波吸収面12の温度を所定値 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ の範囲内に維持した状態で、第一温度波T1及び第二温度波T2を測定する。この場合、温度波吸収面12の温度を、所定値 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ の範囲内に維持することが好ましく、所定値 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ の範囲内に維持することがより好ましい。

[0093] 高熱容量部材400の熱容量は、温度波吸収ヒータ120の被覆材122の熱容量より大きければ特に限られないが、例えば、当該被覆材122の熱容量の2倍以上であることが好ましく、5倍以上であることがより好ましい。

[0094] なお、温度波吸収ヒータ120は、発熱体121と被覆材122とを有するヒータであれば特に限られないが、例えば、好ましくは電熱ヒータである。発熱体121は、例えば、ニクロム線等の電熱線である。被覆材122は、例えば、アルミナ等の無機材料又はステンレス等の金属材料である。

[0095] また、高熱容量部材400の熱容量は、例えば、温度波吸収ヒータ120の被覆材122の熱容量より大きく、且つ 50 J/K 以上、好ましくは 100 J/K 以上であることとしてもよい。この場合、より高い精度で試験体10の熱拡散率を測定することができる。

[0096] すなわち、例えば、試験体10の周期加熱面11から温度波吸収面12に比較的大きな振幅を有する温度波が到達する場合（例えば、試験体10の厚さが比較的小さい場合）、第三温度センサ330により測定される温度に基

づき温度波吸収ヒータ 120 の出力を適切に制御して温度波吸収面 12 の温度を所定の一定値に維持することは容易ではない。

[0097] この場合、温度波吸収面 12 と温度波吸収ヒータ 120 との間に熱容量が比較的大きい（ 50 J/K 以上又は 100 J/K 以上）高熱容量部材 400 を配置することにより、温度波吸収面 12 に到達した温度波を効果的に減衰させて、その振幅を効果的に低減させることができ、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ことがより容易になる。

[0098] 高熱容量部材 400 の形状は、当該高熱容量部材 400 を試験体 10 の温度波吸収面 12 と温度波吸収ヒータ 120 との間に配置でき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。

[0099] 高熱容量部材 400 を構成する材料は、上述のような比較的大きな熱容量を有するものであれば特に限られないが、例えば、セラミックス（例えば、アルミナ）、セメント、ガラス等の無機材料、ステンレス等の金属材料及びプラスチック等の有機材料からなる群より選択される 1 つ以上であることとしてもよい。また、比較的高い温度（例えば、 $700\sim 1500^{\circ}\text{C}$ 又は $800\sim 1500^{\circ}\text{C}$ ）で熱拡散率を測定する場合には、当該測定温度で使用可能な耐熱性を有する材料から構成される高熱容量部材 400 を使用する。具体的に、この場合、無機材料又は金属材料から構成される高熱容量部材 400 を使用することが好ましい。

[0100] なお、第三温度センサ 330 は、温度波吸収ヒータ 120 と温度波吸収面 12 との間において、温度波吸収面ヒータ 120 と接触することなく配置されることとしてもよい。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、高熱容量部材 400 と接触して配置されることとしてもよい。これらの場合には、第三温度センサ 330 による、高熱容量部材 400 の温度又は当該温度に対応する温度の測定結果に基づいて、温度波吸収面 12 の温度を所定の一定値又はその極近傍に効果的に調節することができる。

[0101] また、図 3 に示すように、本装置 100 は、温度波吸収面 12 と温度波吸

収ヒータ 120 との間に形成され高熱容量部材 400 で囲まれた隙間 500 に配置された第三温度センサ 330 を有することとしてもよく、本方法においては、温度波吸収面 12 と温度波吸収ヒータ 120 との間に高熱容量部材 400 を配置するとともに、当該温度波吸収面 12 と当該温度波吸収ヒータ 120 との間に形成され当該高熱容量部材 400 で囲まれた隙間 500 に、当該温度波吸収面 12 の温度を測定するための温度センサ（第三温度センサ 330）を配置した状態で、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。

[0102] この場合、第三温度センサ 330 による、高熱容量部材 400 の温度又は当該温度に対応する温度の測定結果に基づいて、温度波吸収面 12 の温度を所定の一定値又はその極近傍により効果的に調節することができる。

[0103] 第三温度センサ 330 が配置される隙間 500 は、当該第三温度センサ 330 を収容できる空間が形成されていれば特に限られないが、例えば、高熱容量部材 400 の表面に形成された、当該第三温度センサ 330 を収容できる切り欠き又は溝であることとしてもよく、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 2 つ以上の高熱容量部材 400 の間に形成される隙間であることとしてもよい。

[0104] 温度波吸収面 12 と温度波吸収ヒータ 120 との間に形成された隙間 500 において、第三温度センサ 330 は、温度波吸収面ヒータ 120 と接触することなく配置されることとしてもよい。また、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、高熱容量部材 400 と接触して、上記隙間 500 に配置されることとしてもよい。

[0105] これらの場合、第三温度センサ 330 による、高熱容量部材 400 の温度又は当該温度に対応する温度の測定結果に基づいて、温度波吸収面 12 の温度を所定の一定値又はその極近傍により効果的に調節することができる。

[0106] また、温度波吸収面 12 と温度波吸収ヒータ 120 との間に高熱容量部材 400 を配置した状態で、試験体 10 の周期加熱面 11 から当該温度波吸収面 12 に向けて、周期が比較的短い（例えば、20 分以下、より具体的には

、1分～20分)温度波を伝播させて、当該試験体10の熱拡散率を測定することとしてもよい。高熱容量部材400を配置することによる効果は、温度波の周期が比較的短い場合に特に顕著になる。

[0107] また、温度波吸収面12と温度波吸収ヒータ120との間に高熱容量部材400を配置した状態で、比較的高い温度(例えば、700℃以上、又は800℃以上)で、試験体10の熱拡散率を測定することとしてもよい。高熱容量部材400を配置することによる効果は、測定温度が比較的高い場合に特に顕著になる。

[0108] また、例えば、試験体10の周期加熱面11に温度波を与える周期加熱ヒータ110で発生する温度波の振幅が所定値 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ の範囲内であり、当該周期加熱ヒータ110と接触しているのは当該試験体10と補助ヒータ150のみであり、当該試験体10の周期加熱面11と対向する当該周期加熱ヒータ110の表面の面積が、当該周期加熱面11の面積 $\pm 20\%$ の範囲内であることが好ましい。

[0109] また、試験体10、周期加熱ヒータ110、温度波吸収ヒータ120、補助ヒータ150等を含む測定部を収容する筐体190、当該測定部を取り囲むヒータ、壁材等の放射率が0.1以上であり、これらの熱容量が50 J/K以上であることが好ましい。

[0110] 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

[0111] 図4には、試験体10の温度波吸収面12と温度波吸収ヒータ120との間に高熱容量部材400を配置した場合、及び当該高熱容量部材400を配置しない場合のそれぞれについて、当該温度波吸収面12における温度波の振幅を理論的に検討した結果を示す。

[0112] すなわち、高熱容量部材400を配置した場合については、当該高熱容量部材400の密度が3800 (kg/m^3)、比熱が1000 ($\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$)、体積が $4.5 \times 10^{-5} (\text{m}^3)$ ($= 0.1 \times 0.15 \times 0.003$)であるという条件、また、当該高熱容量部材400を配置しない場合については

、温度波吸収面 12 と温度波吸収ヒータ 120 との間に形成される空気層の密度が $1.0 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ 、比熱が $1000 \text{ (J/kg} \cdot \text{K)}$ 、体積が $1.5 \times 10^{-5} \text{ (m}^3\text{)}$ ($= 0.1 \times 0.15 \times 0.0001$) であるという条件にて、コンピュータを使用した数値計算により熱伝導方程式を解いた。

[0113] 図 4 において、横軸は温度波の周期 (分) を示し、縦軸は試験体 10 の周期加熱面 11 から温度波吸収面 12 に到達する温度波の振幅 θ_0 と、高熱容量板 400 の温度振幅 θ 、又は温度波吸収面 12 と温度波吸収ヒータ 120 との間の空気層の温度振幅 θ との比 (θ/θ_0) を示している。また、図 4 では、高熱容量部材 400 に対して、試験体 10 から熱が三角関数的に流入してくると仮定して熱伝導方程式を解いた結果を実線で示し、当該高熱容量部材 400 を配置しない場合の結果を破線で示している。

[0114] ここで、高熱容量部材 400 の比熱を C_p 、密度を ρ 、体積を v 、試験体 10 から当該高熱容量部材 400 への熱伝達率を α 、その時の伝熱面積を S 、当該試験体 10 から当該高熱容量部材 400 に入る温度波を θ_s 、当該高熱容量部材 400 又は空気層の温度を θ とすると、下記式 (V I) で表される熱伝導率方程式が成立する。

[数6]

$$\rho C_p v \frac{d\theta}{dt} = \alpha (\theta_s - \theta) S \quad \dots (VI)$$

[0115] 上記式 (V I) を変形すると、下記式 (V I I) を得る。

[数7]

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{\alpha S}{\rho C_p v} (\theta_s - \theta) \quad \dots (VII)$$

[0116] ここで、 A を下記式 (V I I I) のように置くと、上記式 (V I I) は下記式 (I X) のようになる。

[数8]

$$A = \frac{\alpha S}{\rho C_p v} \quad \dots (VIII)$$

[数9]

$$\frac{d\theta}{dt} = A(\theta_s - \theta) \quad \cdot \cdot \cdot \text{(IX)}$$

[0117] 温度波 θ_s が下記式 (X) のように表され、高熱容量部材 400 又は空気層の温度 θ が下記 (X I) のように表されるとして、当該式 (X) 及び当該式 (X I) を上記式 (I X) に代入すると、下記式 (X I I) を得る。

[数10]

$$\theta_s = \theta_{s0} \sin \omega t \quad \cdot \cdot \cdot \text{(X)}$$

[数11]

$$\theta = \theta_0 \sin(\omega t + \delta) \quad \cdot \cdot \cdot \text{(XI)}$$

[数12]

$$\left(\frac{\omega\theta_0}{A} \sin \delta + \theta_0 \cos \delta - \theta_{s0}\right) \sin \omega t = \left(\frac{\omega\theta_0}{A} \cos \delta - \theta_0 \sin \delta\right) \cos \omega t \quad \cdot \cdot \cdot \text{(XII)}$$

[0118] ここで、時間 t によらず上記式 (I X) が成立する場合には、下記式 (X I I I) 及び下記式 (X I V) が成立する。

[数13]

$$\frac{\omega\theta_0}{A} \sin \delta + \theta_0 \cos \delta - \theta_{s0} = 0 \quad \cdot \cdot \cdot \text{(XIII)}$$

[数14]

$$\frac{\omega\theta_0}{A} \cos \delta + \theta_0 \sin \delta = 0 \quad \cdot \cdot \cdot \text{(XIV)}$$

[0119] 上記式 (X I I I) 及び上記式 (X I V) より、下記式 (X V) 及び下記式 (X V I) を得る。

[数15]

$$\theta_0 = \frac{\theta_{s0}}{\omega^2 / A^2 + 1} \cdot \frac{1}{\cos \delta} \quad \cdot \cdot \cdot \text{(XV)}$$

[数16]

$$\tan \delta = \frac{\omega}{A} \quad \cdot \cdot \cdot \text{ (XVI)}$$

[0120] さらに、上記式 (X V) を変形すると、下記式 (X V I I) を得る。

[数17]

$$\frac{\theta_0}{\theta_{s0}} = \frac{1}{\omega^2 / A^2 + 1} \cdot \frac{1}{\cos \delta} \quad \cdot \cdot \cdot \text{ (XVII)}$$

[0121] したがって、上記式 (X V I I) を使って、試験体 1 0 から高熱容量部材 4 0 0 又は空気層に温度波が伝播した際の振幅比 (θ / θ_0) を求めることができる。

[0122] 図 4 において、温度波の振幅比 θ / θ_0 が小さいほど（すなわち、振幅の減衰が大きいほど）、温度波吸収ヒータ 1 2 0 の出力が小さくなるため、温度波吸収面 1 2 の温度を所定の一定値に調節しやすいことになる。

[0123] すなわち、例えば、周期の短い温度波を使用した測定では、短い時間間隔で温度波吸収ヒータ 1 2 0 の出力を制御しなければならない。このため、温度波が減衰されないまま温度波吸収面 1 2 に到達すると、温度波吸収ヒータ 1 2 0 は短時間で出力を急激に増加させることになり、その結果、温度波吸収面 1 2 の温度がオーバーシュートし、当該温度波吸収面 1 2 における温度を所定の一定値に維持することが難しくなる。

[0124] この点、図 4 から、高熱容量部材 4 0 0 を配置しない場合には（破線）、周期の全範囲で温度波は全く減衰しない（振幅比は一定）という結果が得られた。一方、高熱容量部材 4 0 0 を配置する場合には（実線）、特に、周期が 2 0 分以下の範囲で短くなるにつれて、振幅比が急速に小さくなるという結果が得られた。

[0125] すなわち、高熱容量部材 4 0 0 を配置することにより、周期の短い温度波を使用する測定においても温度波吸収面 1 2 における温度を所定の一定値に維持しやすくなることが確認された。

実施例 2

- [0126] 図3に示すように高熱容量部材400を有する本装置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。
- [0127] 高熱容量部材400としては、温度波吸収ヒータ120の被覆材122の熱容量の約10倍の熱容量（約170 J/K）を有するアルミナ製の平板（73 mm×100 mm、厚さ30 mm）2枚を使用した。
- [0128] 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、金属製の電熱線からなる発熱体121と、当該発熱体121を被覆するセラミック製の被覆材122とを有する電熱ヒータを使用した。
- [0129] 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。
- [0130] より具体的に、図3に示すように、温度波吸収面12と温度波吸収ヒータ120との間に、隙間500を空けて2枚のアルミナ板からなる高熱容量部材400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500に、熱電対からなる第三温度センサ330を配置した。
- [0131] また、図示はしていないが、周期加熱面11に溝を形成して当該溝内に第一温度センサ310を配置するとともに、当該周期加熱面11と周期加熱ヒータ110との間（当該第一温度センサ310と当該周期加熱ヒータ110との間）に、無機繊維製のフリースを配置した。
- [0132] また、周囲ヒータ130は、予め出力を所定値±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。
- [0133] まず、試験体10としてアルミナ-シリカ系繊維質断熱材（150 mm×100 mm、厚さ30 mm）1枚を使用し、当該試験体10の100℃、2

00℃、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±0.05℃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、±2℃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。

[0134] また、試験体10として繊維補強セメント板（150mm×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±0.05℃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、±2℃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。

[0135] また、試験体10としてステンレス（SUS）板（150mm×100mm、厚さ50mm）を使用し、当該試験体10の110℃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5℃であり、周期は5分であった。試験体10の温度波吸収面12の温度は、所定値±0.05℃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、±2℃以内であった。

[0136] 図5、図6及び図7に、アルミナーシリカ系繊維質断熱材、繊維補強セメ

ント板及びS U S板の熱伝導率を測定した結果をそれぞれ示す。図5～図7において、横軸は熱伝導率を測定した温度（℃）（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（W／（m・K））を示す。

[0137] 図5及び図6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す。図7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、実線は、文献値（新編熱物性ハンドブック 日本熱物性学会編 p. 213（2008年3月25日 第1版発行））を示す。

[0138] 図5及び図6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。さらに、図7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、文献値とも一致していた。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

[0139] 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、121 発熱体、122 被覆材、130 周囲ヒータ、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 高熱容量部材、500 隙間。

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、
前記温度波吸収面と対向する位置に、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の、発熱体と前記発熱体の前記温度波吸収面側を覆う被覆材とを有する温度波吸収ヒータを配置し、
前記温度波吸収面と前記温度波吸収ヒータとの間に、前記温度波吸収ヒータの前記被覆材の熱容量より大きい熱容量を有する高熱容量部材を配置した状態で、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] 前記温度波吸収面と前記温度波吸収ヒータとの間に前記高熱容量部材を配置して、前記温度波吸収面の温度を所定値 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ の範囲内に維持した状態で、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] 前記温度波吸収面と前記温度波吸収ヒータとの間に前記高熱容量部材を配置するとともに、前記温度波吸収面と前記温度波吸収ヒータとの間に形成され前記高熱容量部材で囲まれた隙間に、前記温度波吸収面の温度を測定するための温度センサを配置した状態で、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] 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、発熱体と前記発熱体の前記温度波吸収面側を覆う被覆材とを有す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；

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；及び

前記試験体の前記温度波吸収面と前記温度波吸収ヒータとの間に配置される、前記温度波吸収ヒータの前記被覆材の熱容量より大きい熱容量を有する高熱容量部材；

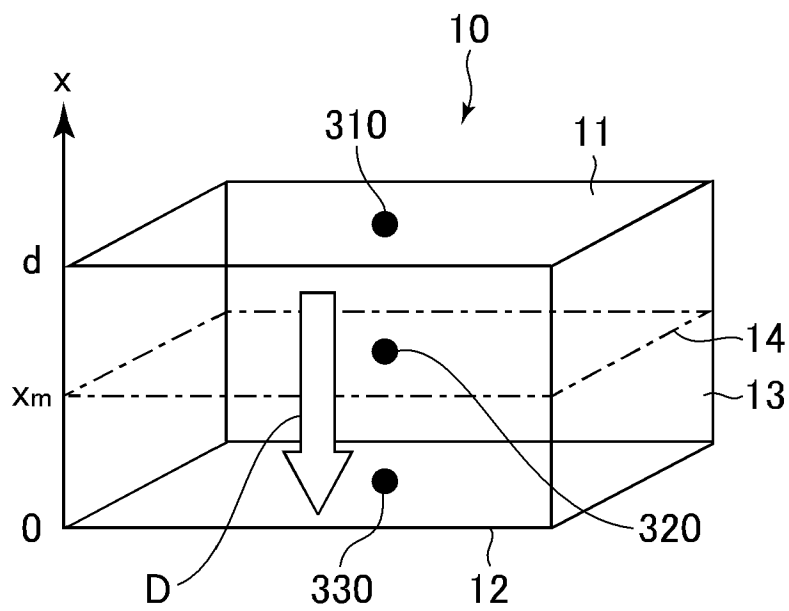
を有する

ことを特徴とする装置。

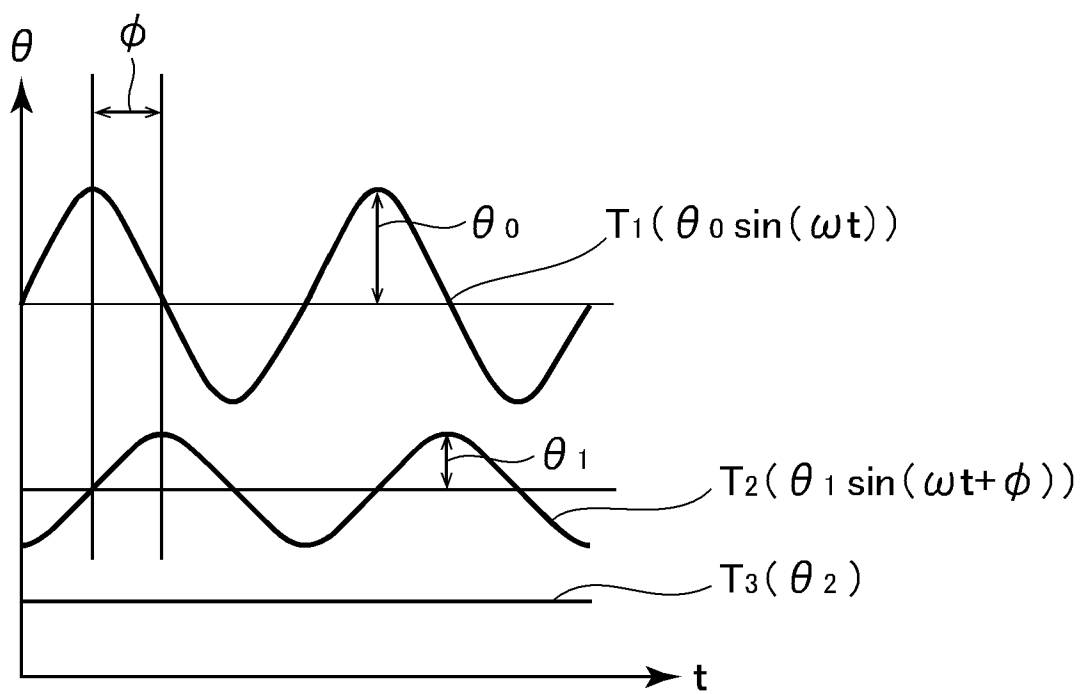
[請求項5]

前記温度波吸収面と前記温度波吸収ヒータとの間に形成され前記高熱容量部材で囲まれた隙間に配置された前記第三温度センサを有することを特徴とする請求項4に記載の装置。

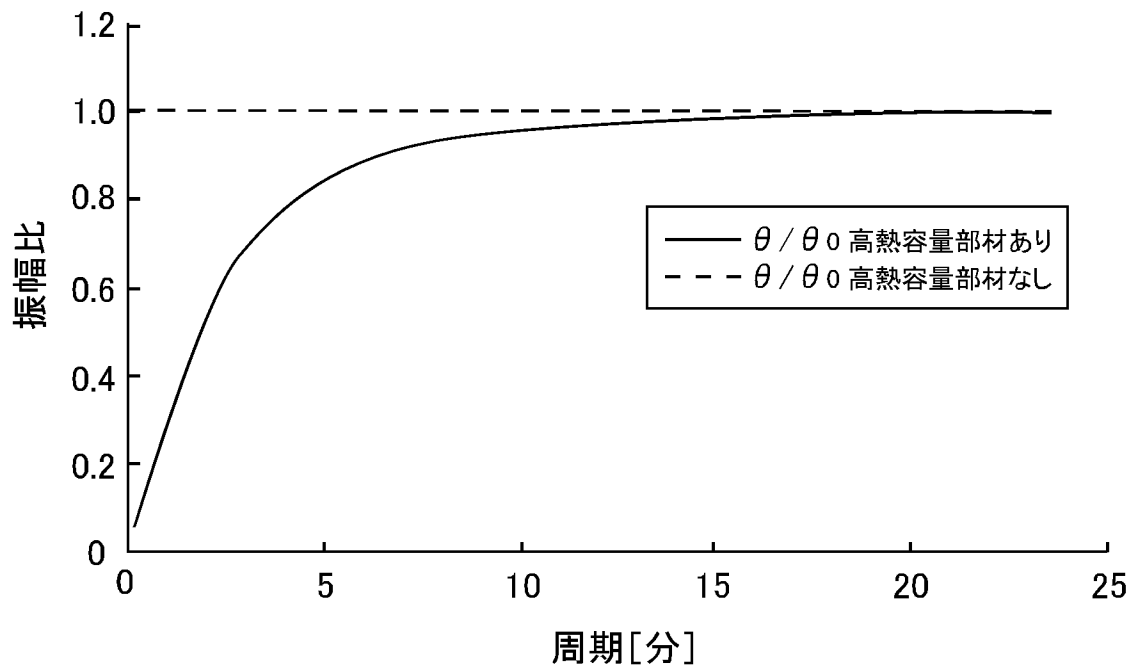
[図1]



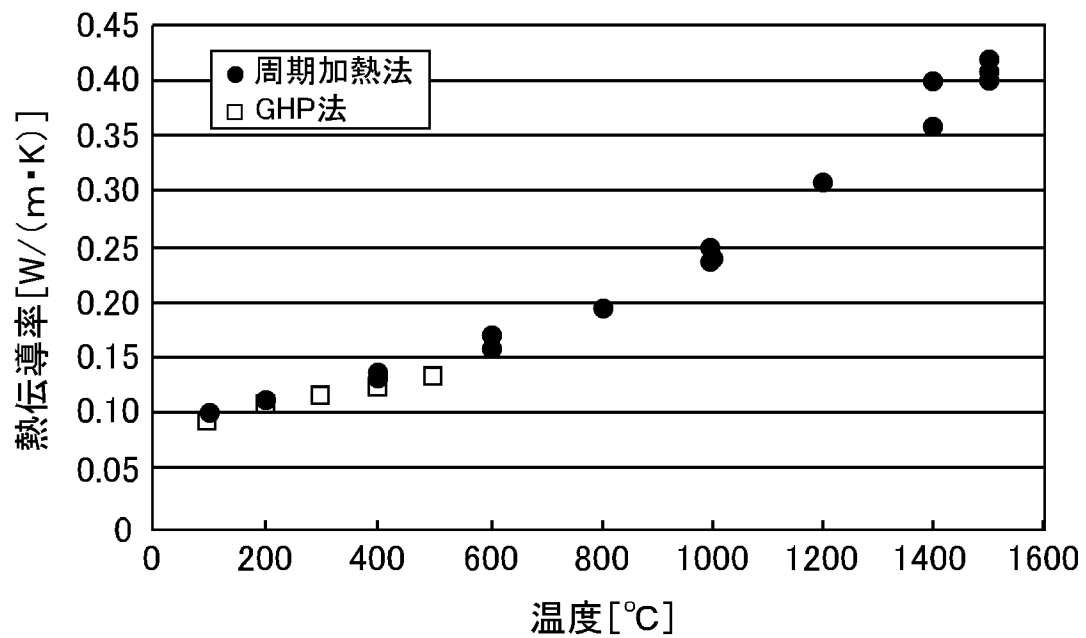
[図2]



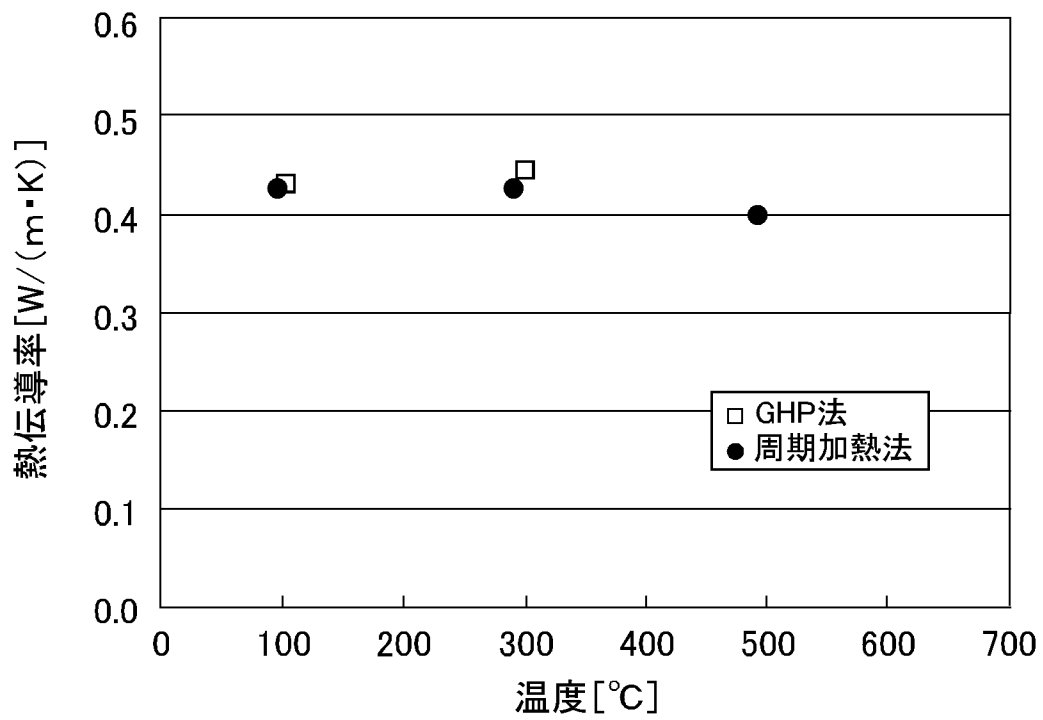
[図4]



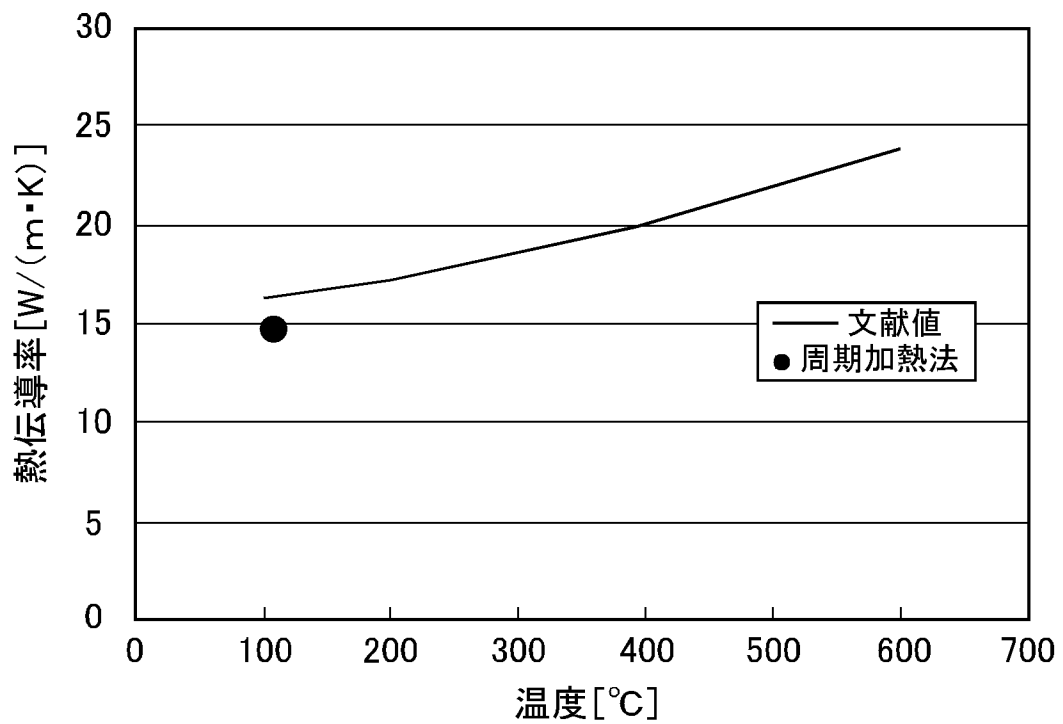
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/075968

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.
A	JP 2002-116167 A (Nichias Corp.), 19 April 2002 (19.04.2002), paragraphs [0014] to [0020]; fig. 1 (Family: none)	1-5
A	JP 2001-174425 A (Shimadzu Corp.), 29 June 2001 (29.06.2001), paragraph [0008] & US 6550961 B1	1-5
A	JP 2005-315762 A (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology), 10 November 2005 (10.11.2005), paragraphs [0031] to [0035]; fig. 2 (Family: none)	1-5

☐ 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
03 December, 2014 (03.12.14)

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 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
A	JP 2002-116167 A（ニチアス株式会社）2002.04.19, 【0014】－【0020】、【図1】（ファミリーなし）	1-5
A	JP 2001-174425 A（株式会社島津製作所）2001.06.29, 【0008】 & US 6550961 B1	1-5
A	JP 2005-315762 A（独立行政法人産業技術総合研究所）2005.11.10, 【0031】－【0035】、【図2】（ファミリーなし）	1-5

☐ 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

03.12.2014

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