

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

**特許第3670167号
(P3670167)**

(45) 発行日 平成17年7月13日(2005.7.13)

(24) 登録日 平成17年4月22日(2005.4.22)

(51) Int.Cl.⁷**G O 1 N 25/18**

F I

G O 1 N 25/18

E

請求項の数 7 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願平11-163218	(73) 特許権者	503360115
(22) 出願日	平成11年6月10日(1999.6.10)		独立行政法人科学技術振興機構
(65) 公開番号	特開2000-352561(P2000-352561A)		埼玉県川口市本町4丁目1番8号
(43) 公開日	平成12年12月19日(2000.12.19)	(74) 代理人	100089635
審査請求日	平成15年2月28日(2003.2.28)		弁理士 清水 守
		(72) 発明者	藤井 丕夫
			福岡県春日市春日9-70
		(72) 発明者	張 興
			福岡県春日市大和町1-4-2、4棟34
		(72) 発明者	藤原 誠之
			福岡県福岡市早良区四箇田団地32-306
		審査官	遠藤 孝徳
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 微細単線の熱伝導率測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

微細単線の熱伝導率測定装置において、

- (a) 基板と、
- (b) 該基板に配置される一対の電流・電圧端子と、
- (c) 該一対の電流・電圧端子間に配設される熱線と、
- (d) 該熱線に直列に接続される標準抵抗と、
- (e) 前記熱線に対向して配置される熱溜端子と、
- (f) 一端が前記熱線に接続され、もう一端が前記熱溜端子に接続される試料細線とを備え、
- (g) 前記熱線と標準抵抗に直流電流を印加したときの前記熱線及び標準抵抗の両端の電圧を測定することにより、前記熱線の加熱量及び平均温度を求め、その結果に基づいて前記試料細線の熱線へ取り付けられた端部の熱流束及び温度を算出することにより微細単線の熱伝導率の測定を行うことを特徴とする微細単線の熱伝導率測定装置。

【請求項2】

請求項1記載の微細単線の熱伝導率測定装置において、前記熱線及び標準抵抗の両端の電圧を制御装置で制御されるデジタルマルチメータにより精緻に計測することを特徴とする微細単線の熱伝導率測定装置。

【請求項3】

請求項1記載の微細単線の熱伝導率測定装置において、前記熱線が白金であることを特徴

とする微細単線の熱伝導率測定装置。

【請求項 4】

請求項 1 記載の微細単線の熱伝導率測定装置において、前記試料細線が白金であることを特徴とする微細単線の熱伝導率測定装置。

【請求項 5】

請求項 1 記載の微細単線の熱伝導率測定装置において、前記試料細線が銅であることを特徴とする微細単線の熱伝導率測定装置。

【請求項 6】

請求項 1 記載の微細単線の熱伝導率測定装置において、前記試料細線が炭素繊維素材であることを特徴とする微細単線の熱伝導率測定装置。

10

【請求項 7】

請求項 1 記載の微細単線の熱伝導率測定装置において、前記試料細線がアモルファス金属細線であることを特徴とする微細単線の熱伝導率測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、微細単線の熱伝導率測定装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

近年、炭素繊維素材やアモルファス金属細線等、熱的特性、電気的特性、磁気的特性に優れた様々な機能性線材が開発されている。これらの線材の特性評価は、線材の分子構造とも関連させて種々の観点から検討されているが、その中でも熱的特性すなわち熱伝導率は重要な評価項目の一つとなっている。

20

【0003】

しかし、直径が数十 μm 程度以下の極微細な線材について、その熱伝導率を測定することは非常に困難であり、信頼性の高い測定法は確立されておらず、したがって、極微細な線材に対して精度良く熱伝導率を求めるための新しい測定装置の開発が望まれている。

【0004】

一般的に、熱伝導率の測定法は、定常法と非定常法とに分けられる。これらの測定法の基本原理は、いずれも直接通電あるいはヒータやレーザなどにより測定試料に熱量を加え、試料に生じる温度勾配や非定常温度応答を測定することによって、熱伝導率あるいは温度伝導率を求めるものである。

30

【0005】

従って、加熱量と温度そして測定の際の熱損失を正確に測定、評価する必要がある。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、測定試料の熱伝導率が非常に高く、しかも、径が非常に細い線材の場合、その熱伝導率を測定する際に以下のような問題が生じる。

【0007】

(1) 微小熱量計測：測定試料が極微細であるため、加熱方法が難しく、また加熱量も非常に小さくなり、正確な測定が困難となる。

40

【0008】

(2) 高精度な温度計測：測定試料の熱伝導率が高いため、同一熱流束に対する温度勾配が非常に小さくなる。従って、非常に高い精度の温度計測を必要とする。しかも、測定試料が極微細な場合、センサの取り付けは不可能で温度計測がさらに困難となる。

【0009】

従来の研究では、極微細な線材を多数束ねた形に成形した試料について測定を行うことにより、上記の困難を回避している例が多い。しかし、このような測定法の場合、測定結果に繊維素材間の空気層あるいは充填材の影響を正しく評価するといった新たな困難が生じるため、繊維素材そのものの熱伝導率を精度良く求めるには限界がある。

50

【 0 0 1 0 】

レーザを用いて、極微細な単線の温度伝導率を測定した研究例はあるが、これは直接熱伝導率を測定するものではないため、熱伝導率を求める際に比熱及び密度の測定誤差の影響が含まれる。一方、極微細な単線に関して熱伝導率を直接測定した研究例も見られるが、その測定法は非常に複雑な試料の懸架部を有し、測定そのものもかなり難しい手法によるものである。また、電氣的に不良導な繊維素材に対しては適用できない等の問題点もある。

【 0 0 1 1 】

熱伝導率は、炭素繊維素材やアモルファス金属細線などの極微細単線の熱特性を評価するための、最も重要な特性の一つである。しかしながら、上記したように、一般に、このよ

10

【 0 0 1 2 】

したがって、その結果、極微細単線の熱伝導率を測定するための、効果的で精度の高い新たな方法が強く望まれている。

【 0 0 1 3 】

本発明は、上記状況に鑑みて、極微細単線の熱伝導率を測定するための効果的で、しかも、簡単な構成による微細単線の熱伝導率測定装置を提供することを目的とする。

【 0 0 1 4 】

【課題を解決するための手段】

20

本発明は、上記目的を達成するために、

〔 1 〕 微細単線の熱伝導率測定装置において、基板と、この基板に配置される一对の電流・電圧端子と、この一对の電流・電圧端子間に配設される熱線と、この熱線に直列に接続される標準抵抗と、前記熱線に対向して配置される熱溜端子と、一端が前記熱線に接続され、もう一端が前記熱溜端子に接続される試料細線とを備え、前記熱線及び標準抵抗に直流電流を印加したときの前記熱線及び標準抵抗の両端の電圧を測定することにより、前記熱線の加熱量及び平均温度を求め、その結果に基づいて前記試料細線の熱線へ取り付けられた端部の熱流束及び温度を算出することにより、微細単線の熱伝導率の測定を行うようにしたものである。

【 0 0 1 5 】

30

〔 2 〕 上記〔 1 〕記載の微細単線の熱伝導率測定装置において、前記熱線及び標準抵抗の両端の電圧を制御装置で制御されるデジタルマルチメータにより精緻に計測するようにしたものである。

【 0 0 1 6 】

〔 3 〕 上記〔 1 〕記載の微細単線の熱伝導率測定装置において、前記熱線が白金である。

【 0 0 1 7 】

〔 4 〕 上記〔 1 〕記載の微細単線の熱伝導率測定装置において、前記試料細線が白金である。

【 0 0 1 8 】

〔 5 〕 上記〔 1 〕記載の微細単線の熱伝導率測定装置において、前記試料細線が銅である

40

【 0 0 1 9 】

〔 6 〕 上記〔 1 〕記載の微細単線の熱伝導率測定装置において、前記試料細線が炭素繊維素材である。

【 0 0 2 0 】

〔 7 〕 上記〔 1 〕記載の微細単線の熱伝導率測定装置において、前記試料細線がアモルファス金属細線である。

【 0 0 2 1 】

上記のように構成したので、熱線に一定の電流を供給することによって熱線は一定の発熱量で加熱され、平均温度が上昇するが、熱線の両端は初期温度に保たれる。試料細線の

50

端は熱線の中央部に取り付けられて加熱され、もう一方の端は熱溜端子に取り付けられているため、温度は初期温度に保たれる。熱線の加熱量と平均温度上昇との関係についての解析結果及び測定結果より、試料細線の熱線側端部の温度と、熱線から試料細線へ伝えられる熱流束を正確に求めることができる。

【 0 0 2 2 】

したがって、単一の試料細線の熱伝導率を容易に測定することができる。

【 0 0 2 3 】

【 発明の実施の形態 】

以下、本発明の実施の形態を図を参照しながら説明する。

【 0 0 2 4 】

図 1 は本発明の実施例を示す微細単線の熱伝導率測定装置の斜視図、図 2 はその微細単線の熱伝導率測定システムの模式図である。

【 0 0 2 5 】

図 1 において、1 は基板であり、その基板に電流・電圧端子 2 , 3 と熱溜端子 4 とを配置する。そこで、電流・電圧端子 2 と電流・電圧端子 3 間に熱線 1 1 を、その熱線 1 1 の中間点 1 4 と熱溜端子 4 間に試料細線 1 5 を配置する。なお、1 2 は熱線 1 1 の一端で、電流・電圧端子 2 に接続され、1 3 は熱線 1 1 のもう一方の端で、電流・電圧端子 3 に接続されている。試料細線 1 5 の一端 1 6 は熱線 1 1 の中間点 1 4 に接続され、試料細線 1 5 のもう一方の端 1 7 は熱溜端子 4 に接続される。

【 0 0 2 6 】

この微細単線の熱伝導率測定システムは、図 2 に示すように、プローブとしての熱線 1 1 と標準抵抗 2 2 を直列に配置して、それらに直流電源 2 3 から電流を印加して、熱線 1 1 の両端電圧をデジタルマルチメータ（電圧抵抗ミリアンペア計）2 5 で測定し、標準抵抗 2 2 の両端電圧をデジタルマルチメータ（電圧抵抗ミリアンペア計）2 6 で測定する。なお、2 4 は直流電源 2 3 およびデジタルマルチメータ（電圧抵抗ミリアンペア計）2 5 , 2 6 を制御する制御装置である。

【 0 0 2 7 】

そこで、熱線 1 1 として半径 $r_h = 50.4 \mu\text{m}$ 、長さ $l_h = 8.85 \text{ mm}$ の Pt（白金）線を用いた装置を試作し、微細試料細線として直径 $50 \mu\text{m}$ の Cu（銅）線及び直径 $100 \mu\text{m}$ の白金線の、それぞれ熱伝導率が既知の微細単線を用いた測定を各 3 回行った。それぞれの測定結果を表 1 および表 2 に示す。本法による熱伝導率の測定値は銅、白金のいずれについても従来の推奨値（参照値）と予めシミュレーションにより評価された誤差の範囲内で一致している。

【 0 0 2 8 】

【 表 1 】

実験番号	測定値 $\lambda_f [\text{W/mK}]$	参照値 $\lambda_f [\text{W/mK}]$	比較誤差 [%]
実験 1	402.1	398	1.0
実験 2	407.3	398	2.3
実験 3	411.1	398	3.3

【 0 0 2 9 】

【 表 2 】

10

20

30

40

実験番号	測定値 λ_f [W/mK]	参照値 λ_f [W/mK]	比較誤差 [%]
実験 1	71.3	71.4	-0.1
実験 2	72.9	71.4	2.1
実験 3	69.2	71.4	-3.1

【0030】

10

以下、この測定装置による熱伝導率測定の原理および感度について説明する。

【0031】

図3は本発明の実施例を示す物理モデルと座標システムを示す図である。

【0032】

この図において、半径 r_h 、長さ L_h の熱線11は両端12, 13をリード線（電流・電圧端子）2, 3で支えられており、一定の直流電流 I を供給することにより、一定の発熱量で加熱される。また、半径 r_f 、長さ L_f の試料細線15の一端16を熱線11の中央部14に取り付け、もう一方の端17を銅線（熱溜端子）4で支える構成になっており、熱線11は試料細線15を取り付けた位置16の両側において二つに分離され、それぞれの長さを L_{h1} 及び L_{h2} とする。測定の全行程の間、熱線11の両端12, 13および試料細線15の
20
もう一方の端17は初期温度に保たれている。試料細線15の一端16の温度は、熱線 λ_h 及び試料細線 λ_f の熱伝導率の値、熱線11の全体の加熱量、熱線11及び試料細線15の熱伝達係数に依存する。

20

【0033】

この実施例の測定原理は、熱線11に取り付けたピン・フィン（pin fin）の伝熱現象に基づいている。実験では、熱線11の平均温度及び全体の発熱量を正確に測定することができる。一方、熱線11及び試料細線15に沿ったそれぞれの1次元定常熱伝導の理論解析から、熱線11の加熱量、体積平均温度、試料細線の熱線側端部16における温度及び熱流束の間の定量的関係式が得られる。したがって、熱線11の加熱量および体積平均温度の測定値とこの関係式を用いることにより、単一の試料細線15の熱伝導率を容
30
易に測定することができる。

30

【0034】

本測定装置による測定法は、電気伝導性の有無にかかわらず、すなわち、金属及び非金属の両方の試料細線に適用できる。

【0035】

上記のように、熱線11の両端12, 13及び試料細線15の一端17を、熱線11と試料細線15に比べて熱伝導率が高く、熱容量の大きいリード線（電流・電圧端子2, 3および熱溜端子4）で支える。したがって、熱線11の両端12, 13と試料細線15の一端17は、測定の全工程の間、初期温度を保っていると仮定できる。熱線11及び試料細線15で半径方向に温度が一樣だと仮定すると、関連する基礎式は1次元熱伝導方程式と
40
なり、以下のような無次元の形で表せる。

40

【0036】

熱線部Iに対して

【0037】

【数1】

$$\frac{\partial \theta_{h1}}{\partial F_0} = \frac{\partial^2 \theta_{h1}}{\partial X_{h1}^2} - 2 Bi \cdot \theta_{h1} + \frac{1}{R_c} \quad \dots (1)$$

【0038】

熱線部IIに対して

50

【 0 0 3 9 】

【 数 2 】

$$\frac{\partial \theta_{h2}}{\partial F o} = \frac{\partial^2 \theta_{h2}}{\partial X_{h2}^2} - 2 B i \cdot \theta_{h2} + \frac{1}{R_c} \quad \dots (2)$$

【 0 0 4 0 】

試料細線に対して

【 0 0 4 1 】

【 数 3 】

$$\frac{\partial \theta_f}{\partial F o} = \frac{1}{R_p} \frac{\partial^2 \theta_f}{\partial X_f^2} - 2 \frac{R_c R_d}{R_p} B i \cdot \theta_f \quad \dots (3)$$

10

【 0 0 4 2 】

ここで、パラメータ R_c 及び R_p は、熱線と試料細線の熱伝導率の比及び熱拡散率の比である。 R_d は、熱線と試料細線の半径比であり、以下のように、定義される。

【 0 0 4 3 】

【 数 4 】

$$R_c = \frac{\lambda_h}{\lambda_f}, \quad R_p = \frac{\alpha_h}{\alpha_f}, \quad R_d = \frac{r_h}{r_f} \quad \dots (4)$$

20

【 0 0 4 4 】

上記式 (1) ~ (3) における無次元変数は、以下のように定義される。

【 0 0 4 5 】

【 数 5 】

$$\theta = \frac{T - T_o}{\frac{q_v r_{h2}^2}{\lambda_f}}, \quad F o = \frac{\alpha_h t}{r_{h2}^2}, \quad B i = \frac{h r_h}{\lambda_h},$$

$$X_{h1} = \frac{X_{h1}}{r_h}, \quad X_{h2} = \frac{X_{h2}}{r_h}, \quad X_f = \frac{X_f}{r_h} \quad \dots (5)$$

30

【 0 0 4 6 】

ここで、 $B i$ は、熱線及び試料細線の周囲の自然対流及び放射伝熱の効果を含むビオー数である。

【 0 0 4 7 】

初期温度は以下ようになる。

【 0 0 4 8 】

【 数 6 】

$$F o = 0 :$$

$$\theta_{h1} = \theta_{h2} = \theta_f = 0 \quad \dots (6)$$

40

【 0 0 4 9 】

また、境界条件は以下ようになる。

【 0 0 5 0 】

【 数 7 】

$F_o > 0 :$

$$\theta_{h1} = \theta_{h2} = \theta_f = 0 ; X_{h1} = X_{h2} = X_f = 0$$

$$\theta_{h1} = \theta_{h2} = \theta_f ; X_{h1} = L_{h1}, X_{h2} = L_{h2}, X_f = L_f$$

$$\left. \frac{\partial \theta_f}{\partial X_f} \right|_{X_f=L_f} = -R_c R_d^2 \left[\left. \frac{\partial \theta_{h1}}{\partial X_{h1}} \right|_{X_{h1}=L_{h1}} + \left. \frac{\partial \theta_{h2}}{\partial X_{h2}} \right|_{X_{h2}=L_{h2}} \right] \quad \dots (7)$$

【 0 0 5 1 】

10

現在の伝熱モデルに対しては、加熱開始後、実時間で1秒程度で定常状態に達することが確かめられている。したがって、基礎方程式(1)～(3)において、左辺をゼロとした定常熱伝導を考える。

【 0 0 5 2 】

これらの方程式の一般解は、以下のように表せる。

【 0 0 5 3 】

【数8】

$$\theta_{h1} = B_1 e^{-m_h \cdot X_{h1}} + B_2 e^{m_h \cdot X_{h1}} + \frac{1}{2 R_c B_i} \quad \dots (8)$$

20

【 0 0 5 4 】

【数9】

$$\theta_{h2} = C_1 e^{-m_h \cdot X_{h2}} + C_2 e^{m_h \cdot X_{h2}} + \frac{1}{2 R_c B_i} \quad \dots (9)$$

【 0 0 5 5 】

【数10】

$$\theta_f = D_1 e^{-m_f \cdot X_f} + D_2 e^{m_f \cdot X_f} \quad \dots (10)$$

30

【 0 0 5 6 】

ここで、パラメータ m_h と m_f は以下のように定義される。

【 0 0 5 7 】

【数11】

$$m_h = \sqrt{2 B_i}, m_f = \sqrt{2 R_c R_d B_i} \quad \dots (11)$$

【 0 0 5 8 】

上記式(7)で与えられる境界条件を考慮に入れると、定数 B_1 、 B_2 、 C_1 、 C_2 、 D_1 及び D_2 は、以下のように求められる。

40

【 0 0 5 9 】

【数12】

$$B_1 = \frac{2D_1 \sinh(m_f L_f) + U(1 - e^{m_h L_{h1}})}{2 \sinh(m_h L_{h1})}$$

$$B_2 = -B_1 - U$$

$$C_1 = \frac{2D_1 \sinh(m_f L_f) + U(1 - e^{m_h L_{h2}})}{2 \sinh(m_h L_{h2})}$$

$$C_2 = -C_1 - U$$

$$D_1 = \frac{S_2}{S_1}$$

10

$$D_2 = -D_1 \quad \dots (12)$$

【0060】

ここで、 S_1 、 S_2 及び U は以下のように定義される。

【0061】

【数13】

$$S_1 = 2 \left[\sinh(m_f L_f) \{ \coth(m_h L_{h1}) + \coth(m_h L_{h2}) \} + \frac{\cosh(m_f L_f)}{V} \right]$$

20

$$S_2 = -U [e^{m_h L_{h1}} \{ 1 - \coth(m_h L_{h1}) \} + e^{m_h L_{h2}} \{ 1 - \coth(m_h L_{h2}) \} + \coth(m_h L_{h1}) + \coth(m_h L_{h2})]$$

$$U = \frac{1}{2 R_c B_i}$$

30

$$V = \sqrt{R_c R_d^3} \quad \dots (13)$$

【0062】

熱線の無次元体積平均温度は、以下のように表せる。

【0063】

【数14】

$$\theta_{vh} = \frac{1}{L_h} \int_0^{L_h} \theta_h dX$$

$$= \frac{1}{L_{h1} + L_{h2}} \left(\int_0^{L_{h1}} \theta_{h1} dX_{h1} + \int_0^{L_{h2}} \theta_{h2} dX_{h2} \right) \quad \dots (14)$$

40

【0064】

上記式(8)及び(9)を上記式(14)に代入すると、熱線の無次元体積平均温度の最終的な形は、以下になる。

【0065】

【数15】

$$\theta_{vh} = \frac{1}{m_h(L_{h1} + L_{h2})} \left\{ -B_1 e^{-m_h L_{h1}} + B_2 e^{m_h L_{h1}} + B_1 - B_2 - C_1 e^{-m_h L_{h2}} + C_2 e^{m_h L_{h2}} + C_1 - C_2 + \frac{m_h}{2 R_c B i} (L_{h1} + L_{h2}) \right\} \quad \dots (15)$$

【0066】

熱線の加熱量および体積平均温度の測定値を代入して、ニュートン法によって上記式(15)を解くと、試料細線の熱伝導率を正確に求めることができる。

10

【0067】

以下に、試料細線15の熱伝導率の測定誤差におよぼす様々なパラメータの影響を明らかにするために、感度分析を行う。測定感度Sは以下のように定義される。

【0068】

【数16】

$$S = \frac{dT_{vh}}{d\lambda_f} \quad \dots (16)$$

【0069】

ここで、 T_{vh} は熱線の体積平均温度であり、 λ_f は試料細線の熱伝導率である。

20

【0070】

図4は感度Sにおよぼす熱線の熱伝導率の影響を示し、縦軸は感度S($K^2 m/W$)、横軸は試料細線の熱伝導率 λ_f (W/mK)である。

【0071】

図4に示すように、試料細線の熱伝導率 λ_f の値が増加するにつれて感度は著しく低下する。しかし、この低下の程度は λ_f が高くなるにつれて緩やかになる。 $\lambda_f = 1000 W/mK$ の時、感度は約 $0.001 K^2 m/W$ である。熱線として、白金線が用いられるとき、温度測定の不確かさを $0.01 K$ 未満にすることが可能である。上記式(16)に基づくと、温度の不確かさが $0.01 K$ 未満の場合、試料細線の熱伝導率の不確かさは僅か1%にすぎない。一方、この図に示すように、熱線の熱伝導率 λ_h が大きくなるに従って、感度も高くなる。

30

【0072】

図5は感度におよぼす熱線の長さの影響を示す図であり、縦軸は感度S($K^2 m/W$)、横軸は試料細線の熱伝導率 λ_f (W/mK)を示している。

【0073】

この図に示すように、熱線の長さが増加するに従って、感度は低くなる。約 $1000 W/mK$ の熱伝導率測定の場合、不確かさを1%未満、つまり $S > 0.001$ にするためには、熱線の長さは $8 mm$ 未満でなくてはならない。

【0074】

図6は感度におよぼす試料細線の長さの影響を示す図であり、縦軸は感度S($K^2 m/W$)、横軸は試料細線の熱伝導率 λ_f (W/mK)を示している。

40

【0075】

この図に示すように、試料細線の熱伝導率が低い場合、感度は試料細線の長さに影響を受ける。しかし、 $\lambda_f = 800 W/mK$ の時、この影響は小さくなる。この図から、 $10 mm$ 程度までの長さをもつ試料細線の場合、感度は $0.001 K^2 m/W$ 以上であることがわかる。

【0076】

図7は感度におよぼす試料細線の半径の影響を示す図であり、縦軸は感度S($K^2 m/W$)、横軸は試料細線の熱伝導率 λ_f (W/mK)を示している。

【0077】

50

この図に示すように、試料細線の熱伝導率が低い領域では、試料細線の半径が大きくなるにつれ感度も高くなる。しかし、熱伝導率が高い領域では傾向が逆転し、半径が小さくなるほど、感度が高くなる。したがって、測定試料の半径が固定された場合、熱線部の半径は、試料細線の熱伝導率にしたがって適切な値に設定することが必要となる。

【0078】

この図は、試料細線の半径が $25 \mu\text{m}$ 以下であれば、感度は $0.001 \text{ K}^2 \text{ m/W}$ 以上であることを示している。

【0079】

図8は細線周りの熱伝達の影響を示す図であり、縦軸は感度 $S (\text{K}^2 \text{ m/W})$ 、横軸は試料細線の熱伝導率 $\lambda_f (\text{W/mK})$ を示している。

10

【0080】

この図に示すように、細線周りの熱伝達が増加するにつれ、感度が低くなるのは明らかである。熱伝達係数が $15 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ 以下であれば、熱伝達係数の不確かさが 10% であっても、熱伝導率の測定誤差は 1% 未満となる。

【0081】

本発明に係る測定装置は、直径 $10 \sim 30 \mu\text{m}$ の単線につき、 $\pm 1\%$ の誤差内で 1000 W/mK までの範囲の熱伝導率を求めることができる。さらに、白金線（直径 $100 \mu\text{m}$ ）と銅線（直径 $50 \mu\text{m}$ ）のサンプルを用いた予備実験を行い、本装置の有効性を確かめた。

【0082】

なお、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、本発明の趣旨に基づいて種々の変形が可能であり、それらを本発明の範囲から排除するものではない。

20

【0083】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したように、本発明によれば、

(A) 極微細単線の熱伝導率を測定するための効果的でしかも簡単な構成による微細単線の熱伝導率測定装置を提供することができる。

【0084】

(B) 熱線及び標準抵抗の両端の電圧を制御装置で制御されるデジタルマルチメータにより精緻に計測することにより、正確な微細単線の熱伝導率を計測することができる。

30

【0085】

(C) 電気伝導性の有無にかかわらず、すなわち、金属及び非金属の両方の試料細線に適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施例を示す微細単線の熱伝導率測定装置の斜視図である。

【図2】 本発明の実施例を示す微細単線の熱伝導率測定システムの模式図である。

【図3】 本発明の実施例を示す物理モデルと座標システムを示す図である。

【図4】 熱線の熱伝導率が感度に及ぼす影響を示す図である。

【図5】 熱線の長さが感度に及ぼす影響を示す図である。

【図6】 試料細線の長さが感度に及ぼす影響を示す図である。

40

【図7】 試料細線の半径が感度に及ぼす影響を示す図である。

【図8】 細線まわりの熱伝達が感度に及ぼす影響を示す図である。

【符号の説明】

1 基板

2, 3 電流・電圧端子

4 熱溜端子

11 熱線（プローブ）

12 熱線の一端

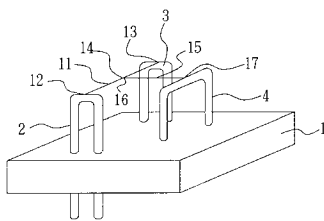
13 熱線のもう一方の端

14 熱線の間接点

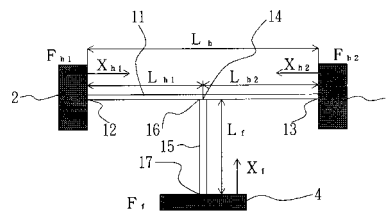
50

- 1 5 試料細線
 1 6 試料細線の一端
 1 7 試料細線のもう一方の端
 2 2 標準抵抗
 2 3 直流電源
 2 4 制御装置
 2 5 , 2 6 デジタルマルチメータ (電圧抵抗ミリアンペア計)

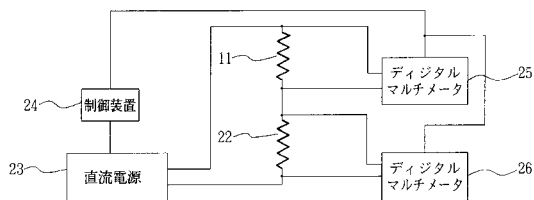
【 図 1 】



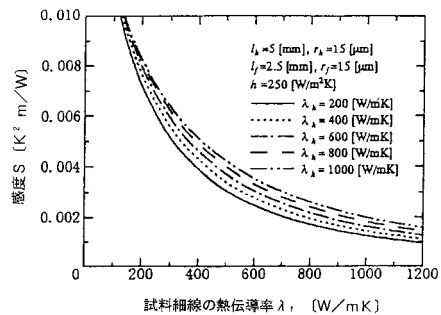
【 図 3 】



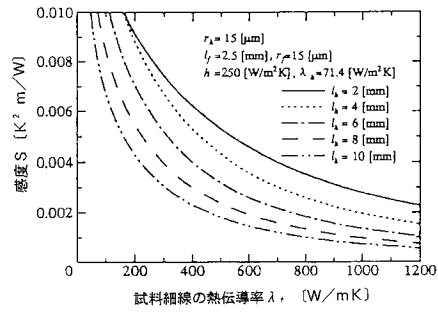
【 図 2 】



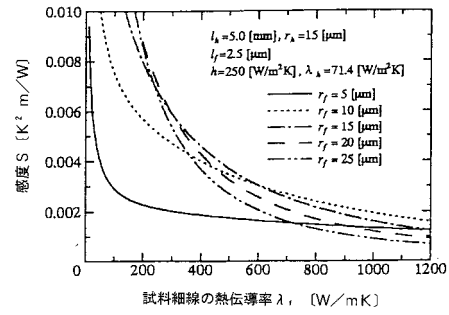
【 図 4 】



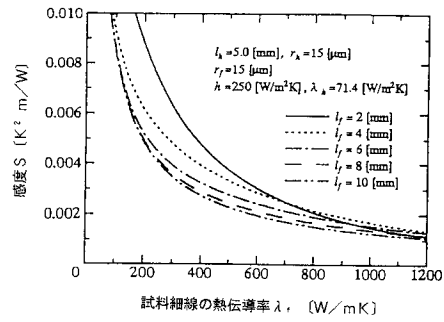
【図 5】



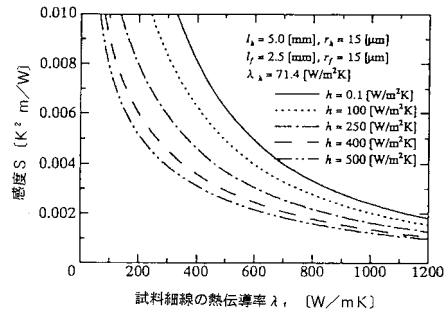
【図 7】



【図 6】



【図 8】



フロントページの続き

(56)参考文献 張興・藤原誠之・藤井丕夫, “短線加熱法による極微細単線の熱伝導率測定に関する理論研究”, *Thermophysical Properties*, 日本, 1998年11月25日, 19、A111, p. 15 - 18

張興・藤原誠之・藤井丕夫, “短線加熱法による極微細単線の熱伝導率測定—第1報:測定法の理論的検討—”, 九州大学機能物質科学研究所報告, 日本, 九州大学機能物質科学研究所, 1998年 7月31日, 第12巻、第1号, p. 29 - 36

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

G01N 25/00 - 25/72

JICSTファイル(JOIS)