



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 203732477 U

(45) 授权公告日 2014. 07. 23

(21) 申请号 201420098536. 7

(22) 申请日 2014. 03. 05

(73) 专利权人 中国科学院工程热物理研究所  
地址 100190 北京市海淀区北四环西路 11 号

(72) 发明人 邱琳 郑兴华 李大庆 唐大伟

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任  
公司 11021

代理人 曹玲柱

(51) Int. Cl.

G01N 25/20(2006. 01)

(ESM) 同样的发明创造已同日申请发明专利

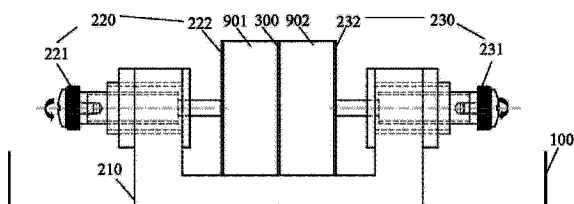
权利要求书3页 说明书11页 附图4页

(54) 实用新型名称

双螺旋平面结构谐波法测试材料热物性参数的装置

(57) 摘要

本实用新型提供了一种双螺旋平面结构谐波法测试材料热物性参数的装置。该装置包括样品固定台和双螺旋平面结构传感器。样品固定台包括：横截面呈“凹”字型的底座；以及由底座的两侧分别向中间延伸并分别抵压住待测样品的左抵压部件和右抵压部件。双螺旋平面结构传感器包括：柔性衬底，其材料为绝缘材料；形成于柔性衬底上的由一系列同心圆环组成的双螺旋平面结构，其材料为金属材料；以及通过胶黏层覆盖于双螺旋平面结构上方的柔性覆盖膜，其材料为绝缘材料；其中，在样品固定台的两抵压部件作用下，该双螺旋平面结构传感器的两外侧面分别与待测样品充分接触。本实用新型可以保证传感器和待测样品能够充分接触。



1. 一种双螺旋平面结构谐波法测试材料热物性参数的装置,其特征在于,包括:  
样品固定台,包括:  
横截面呈“凹”字型的底座;以及  
由所述底座的两侧分别向中间延伸并分别抵压住待测样品的左抵压部件和右抵压部件;  
双螺旋平面结构传感器,包括:  
柔性衬底,其材料为绝缘材料;  
形成于所述柔性衬底上的由一系列同心圆环组成的双螺旋平面结构,其材料为金属材料;以及  
通过胶黏层覆盖于所述双螺旋平面结构上方的柔性覆盖膜,其材料为绝缘材料;  
其中,在样品固定台的所述两抵压部件作用下,该双螺旋平面结构传感器的两外侧面分别与待测样品充分接触。
2. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,所述底座的两侧面各有一圆孔,该圆孔内侧具有内螺纹;  
所述左抵压部包括:左移动顶杆和固定于该左移动顶杆末端的左移动端面;  
所述右抵压部包括:右移动顶杆和固定于该右移动顶杆末端的右移动端面;  
其中,所述左移动顶杆和右移动顶杆的对应位置具有与所述内螺纹相匹配的外螺纹,所述左移动端面和右移动端面固定于相应移动顶杆的内侧,垂直于顶杆方向设置。
3. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,所述金属材料为铜、银、镍、金或铂;所述绝缘材料聚酰亚胺或聚对苯二甲酸乙二醇酯;所述胶黏层的材料为EVA类热熔胶或邦林热熔胶。
4. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,所述双螺旋平面结构中,同心圆环的宽度介于 $10\mu\text{m}\sim 1000\mu\text{m}$ 之间,相邻两同心圆环之间的间隔介于 $50\mu\text{m}\sim 1000\mu\text{m}$ 之间。
5. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,所述双螺旋平面结构传感器中:所述双螺旋平面结构的厚度介于 $0.2\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$ 之间,直径介于 $5\text{mm}\sim 50\text{mm}$ 之间,柔性衬底及柔性覆盖膜厚度在 $12.5\mu\text{m}\sim 50\mu\text{m}$ 之间,胶黏层厚度在 $5\mu\text{m}\sim 40\mu\text{m}$ 之间。
6. 根据权利要求1至5中任一项所述的装置,其特征在于,所述待测样品为固体样品或流体样品;  
当待测样品为固体样品时,所述双螺旋平面结构传感器的两外侧面分别与位于相应侧的固体样品充分接触;  
当待测样品为流体样品时,该装置还包括:流体样品容器,所述流体样品盛放于该流体样品容器中,所述左抵压部件和右抵压部件分别从两侧顶住该流体样品容器,所述双螺旋平面结构传感器垂直埋入所述流体样品中。
7. 根据权利要求6所述的装置,其特征在于,所述流体样品容器为袋状容器或两侧开口的筒状容器。
8. 根据权利要求1至5中任一项所述的装置,其特征在于,还包括:  
温控容器,呈圆桶形,所述样品固定台以及双螺旋平面结构传感器均位于该温控容器中。
9. 根据权利要求1至5中任一项所述的装置,其特征在于,还包括:

谐波测量单元,其两电流引线端分别电性连接至所述双螺旋平面结构传感器的第一端和第二端,并通过两者向双螺旋平面结构传感器提供周期正弦加热电流;其两探测电压引线端分别电性连接至所述双螺旋平面结构传感器的第一端和第二端,并通过两者探测所述双螺旋平面结构传感器两端的电压值,该电压值包括各频率下基波电压平均值  $V_{1\omega}$ ,以及三次谐波电压与自然对数频率曲线  $V_{3\omega} \sim \ln \omega$ 。

10. 根据权利要求 9 所述的方法,其特征在于,所述双螺旋平面结构的第一端引出第一引线端和第二引线端;第二端引出第三引线端和第四引线端;所述双螺旋平面结构还包括:

第一引线件,形成于所述柔性衬底上,其一端连接所述双螺旋平面结构的第一引线端,其另一端连接至所述谐波测量单元的第一探测电压引线端;

第二引线件,形成于所述柔性衬底上,其一端连接所述双螺旋平面结构的第二引线端,其另一端连接至所述谐波测量单元的第一电流引线端;

第三引线件,形成于所述柔性衬底上,其一端连接所述双螺旋平面结构的第三引线端,其另一端连接至所述谐波测量单元的第二探测电压引线端;

第四引线件,形成于所述柔性衬底上,其一端连接所述双螺旋平面结构的第四引线端,其另一端连接至所述谐波测量单元的第二电流引线端。

11. 根据权利要求 9 所述的装置,其特征在于,所述谐波测量单元包括:

函数发生器,输出角频率为  $\omega$  的交流电压信号;

电桥模块,包括:

转换器,将函数发生器输出的交流电压信号转换为电流信号,该电流信号经由第九可调电阻和双螺旋平面结构传感器后传输入地;

第一差动放大器,其第一输入端连接至转换器的输出端,其第二输入端通过第九可调电阻连接至转换器的输出端,并连接第一电流引线端,其将第九可调电阻两端的电压信号转换为第一差动信号;

第二差动放大器,其第一输入端连接至第一探测电压引线端,其第二输入端连接至第二探测电压引线端,其将由双螺旋平面结构传感器探测而来的电压信号转换为第二差动信号;

前置放大器,其两输入端分别连接至第一差动放大器的输出端和第二差动放大器的输出端,其将第一差动信号和第二差动信号的差值信号进行放大;

锁相放大器,其两输入端分别连接至前置放大器的输出端和函数发生器的输出端,其获取基波及三次谐波电压,该基波电压为第一差动信号的一次谐波的有效值,该三次谐波电压为第一差动信号和第二差动信号的差值的三次谐波分量的有效值;

微机控制与数据采集系统,其输入端连接至锁相放大器的输出端,对锁相放大器输出的一次谐波的有效值和三次谐波分量的有效值进行数据采集,其输出端连接函数发生器,控制函数发生器的输出信号。

12. 根据权利要求 11 所述的装置,其特征在于,第九可调电阻的阻值  $R_9$  满足:  $R_9 = \alpha \times R_{\text{m}}$ ,其中  $R_{\text{m}}$  为双螺旋平面结构的阻值,  $\alpha = 0.95 \sim 1.05$ 。

13. 根据权利要求 11 所述的装置,其特征在于:

在第一差动放大器的第一输入端和第二输入端分别设置第一低温漂电阻和第二低温

漂电阻连接至第九可调电阻 R9 的两端 ;且第一输入端通过第三低温漂电阻连接至地,第二输入端通过第四低温漂连接至其输出端 ;

在第二差动放大器的第一输入端和第二输入端分别通过第五低温漂电阻和第六低温漂电阻连接至双螺旋平面结构的两端,且第一输入端通过第七低温漂电阻连接至地,第二输入端通过第八低温漂连接至其输出端 ;

其中,第一低温漂电阻、第二低温漂电阻、第三低温漂电阻、第四低温漂电阻、第五低温漂电阻、第六低温漂电阻、第七低温漂电阻、第八低温漂电阻为阻值温度系数为 2ppm/°C 类型的低温漂电阻。

## 双螺旋平面结构谐波法测试材料热物性参数的装置

### 技术领域

[0001] 本实用新型涉及材料物性测试技术领域,尤其涉及一种双螺旋平面结构谐波法测试材料热物性参数的装置。

### 背景技术

[0002] 热导率( $\lambda$ , 又称导热系数)和吸热系数(定义为热导率 $\lambda$ 和热容 $\rho c_p$ 乘积的平方根, $\sqrt{\lambda\rho c_p}$ )是分别衡量材料热传输和储/放热性能的两个关键热物性参数。它们对于评价建筑节能材料性能的好坏尤为重要。因此,针对这两个参数的精确测量装置/方法的研究具有现实的意义。

[0003] 在现有热物性测量方法中,几乎所有的装置/方法只能得到一个热物性参数:热导率或者吸热系数。这主要是由所采用的传感器的金属加热/温度测量单元的特定形状结构决定的。以目前广泛应用于材料热物性表征领域的基于交流加热的谐波探测技术为例,采用数十微米宽、数毫米长的矩形带状金属作为加热/温度传感器,只能得到热导率这一参数;而采用一系列平行布置且首尾相接带状金属构成的栅栏状加热/温度传感器,只能得到吸热系数这一参数。

[0004] 图1为现有技术基于栅栏状加热/温度传感器的谐波法测试装置的示意图。对于图1所示的谐波法测试装置,测试时以数根平行布置的金属带首尾相接对待测样品进行均匀加热。

[0005] 然而,在实现本实用新型的过程中,申请人发现上述的谐波测试装置存在如下缺陷:由于无法向待测样品施加压力,因此无法保证传感器与待测样品充分接触,在这种情况下,对待测样品进行加热和从待测样品反馈信号均会受到影响,从而无法得到准确的热物性参数。

### 实用新型内容

[0006] (一)要解决的技术问题

[0007] 鉴于上述技术问题,本实用新型提供了一种双螺旋平面结构谐波法测试材料热物性参数的装置,以保证传感器和待测样品能够充分接触。

[0008] (二)技术方案

[0009] 本实用新型提供了一种双螺旋平面结构谐波法测试材料热物性参数的装置。该装置包括:样品固定台,包括:横截面呈“凹”字型的底座;以及由底座的两侧分别向中间延伸并分别抵压住待测样品的左抵压部件和右抵压部件;双螺旋平面结构传感器,包括:柔性衬底,其材料为绝缘材料;形成于柔性衬底上的由一系列同心圆环组成的双螺旋平面结构,其材料为金属材料;以及通过胶黏层覆盖于双螺旋平面结构上方的柔性覆盖膜,其材料为绝缘材料;其中,在样品固定台的两抵压部件作用下,该双螺旋平面结构传感器的两外侧面分别与待测样品充分接触。

[0010] 优选地,本实用新型装置中,底座的两侧面各有一圆孔,该圆孔内侧具有内螺纹;

左抵压部包括：左移动顶杆和固定于该左移动顶杆末端的左移动端面；右抵压部包括：右移动顶杆和固定于该右移动顶杆末端的右移动端面；其中，左移动顶杆和右移动顶杆的对应位置具有与内螺纹相匹配的外螺纹，左移动端面和右移动端面固定于相应移动顶杆的内侧，垂直于顶杆方向设置。

[0011] 优选地，本实用新型装置中，金属材料为铜、银、镍、金或铂；绝缘材料聚酰亚胺或聚对苯二甲酸乙二醇酯；胶黏层的材料为 EVA 类热熔胶或邦林热熔胶。

[0012] 优选地，本实用新型装置中，双螺旋平面结构中，同心圆环的宽度介于  $10\ \mu\text{m} \sim 1000\ \mu\text{m}$  之间，相邻两同心圆环之间的间隔介于  $50\ \mu\text{m} \sim 1000\ \mu\text{m}$  之间。

[0013] 优选地，本实用新型装置中，双螺旋平面结构传感器中：双螺旋平面结构的厚度介于  $0.2\ \mu\text{m} \sim 100\ \mu\text{m}$  之间，直径介于  $5\text{mm} \sim 50\text{mm}$  之间，柔性衬底及柔性覆盖膜厚度在  $12.5\ \mu\text{m} \sim 50\ \mu\text{m}$  之间，胶黏层厚度在  $5\ \mu\text{m} \sim 40\ \mu\text{m}$  之间。

[0014] 优选地，本实用新型装置中，待测样品为固体样品或流体样品；当待测样品为固体样品时，双螺旋平面结构传感器的两外侧面分别与位于相应侧的固体样品充分接触；当待测样品为流体样品时，该装置还包括：流体样品容器，流体样品盛放于该流体样品容器中，左抵压部件和右抵压部件分别从两侧顶住该流体样品容器，双螺旋平面结构传感器垂直埋入流体样品中。

[0015] 优选地，本实用新型装置中，流体样品容器为袋状容器或两侧开口的筒状容器。

[0016] 优选地，本实用新型装置还包括：温控容器，呈圆桶形，样品固定台以及双螺旋平面结构传感器均位于该温控容器中。

[0017] 优选地，本实用新型装置包括：谐波测量单元，其两电流引线端分别电性连接至双螺旋平面结构传感器的第一端和第二端，并通过两者向双螺旋平面结构传感器提供周期正弦加热电流；其两探测电压引线端分别电性连接至双螺旋平面结构传感器的第一端和第二端，并通过两者探测双螺旋平面结构传感器两端的电压值，该电压值包括各频率下基波电压平均值  $V_{1\omega}$ ，以及三次谐波电压与自然对数频率曲线  $V_{3\omega} \sim \ln \omega$ 。

[0018] 优选地，本实用新型装置中，双螺旋平面结构的第一端引出第一引线端和第二引线端；第二端引出第三引线端和第四引线端；双螺旋平面结构还包括：第一引线件，形成于柔性衬底上，其一端连接双螺旋平面结构的第一引线端，其另一端连接至谐波测量单元的第一探测电压引线端；第二引线件，形成于柔性衬底上，其一端连接双螺旋平面结构的第二引线端，其另一端连接至谐波测量单元的第一电流引线端；第三引线件，形成于柔性衬底上，其一端连接双螺旋平面结构的第三引线端，其另一端连接至谐波测量单元的第二探测电压引线端；第四引线件，形成于柔性衬底上，其一端连接双螺旋平面结构的第四引线端，其另一端连接至谐波测量单元的第二电流引线端。

[0019] 优选地，本实用新型装置中，谐波测量单元包括：函数发生器，输出角频率为  $\omega$  的交流电压信号；电桥模块，包括：转换器，将函数发生器输出的交流电压信号转换为电流信号，该电流信号经由第九可调电阻和双螺旋平面结构传感器后传输入地；第一差动放大器，其第一输入端连接至转换器的输出端，其第二输入端通过第九可调电阻连接至转换器的输出端，并连接第一电流引线端，其将第九可调电阻两端的电压信号转换为第一差动信号；第二差动放大器，其第一输入端连接至第一探测电压引线端，其第二输入端连接至第二探测电压引线端，其将由双螺旋平面结构传感器探测而来的电压信号转换为第二差动信号；前

置放大器,其两输入端分别连接至第一差动放大器的输出端和第二差动放大器的输出端,将其第一差动信号和第二差动信号的差值信号进行放大;锁相放大器,其两输入端分别连接至前置放大器的输出端和函数发生器的输出端,其获取基波及三次谐波电压,该基波电压为第一差动信号的一次谐波的有效值,该三次谐波电压为第一差动信号和第二差动信号的差值的三次谐波分量的有效值;微机控制与数据采集系统,其输入端连接至锁相放大器的输出端,对锁相放大器输出的一次谐波的有效值和三次谐波分量的有效值进行数据采集,其输出端连接函数发生器,控制函数发生器的输出信号。

[0020] 优选地,本实用新型装置中,第九可调电阻的阻值  $R_9$  满足:  $R_9 = \alpha \times R_m$ , 其中  $R_m$  为双螺旋平面结构的阻值,  $\alpha = 0.95 \sim 1.05$ 。

[0021] 优选地,本实用新型装置中,在第一差动放大器的第一输入端和第二输入端分别设置第一低温漂电阻和第二低温漂电阻连接至第九可调电阻  $R_9$  的两端;且第一输入端通过第三低温漂电阻连接至地,第二输入端通过第四低温漂电阻连接至其输出端;在第二差动放大器的第一输入端和第二输入端分别通过第五低温漂电阻和第六低温漂电阻连接至双螺旋平面结构的两端,且第一输入端通过第七低温漂电阻连接至地,第二输入端通过第八低温漂电阻连接至其输出端;其中,第一低温漂电阻、第二低温漂电阻、第三低温漂电阻、第四低温漂电阻、第五低温漂电阻、第六低温漂电阻、第七低温漂电阻、第八低温漂电阻为阻值温度系数为  $2\text{ppm}/^\circ\text{C}$  类型的低温漂电阻。

[0022] 优选地,本实用新型装置还包括:热物性参数获取单元,用于利用谐波测量单元获取的各频率下基波电压平均值  $V_{1\omega}$ , 以及三次谐波电压与自然对数频率曲线  $V_{3\omega} \sim \ln \omega$ , 获取待测样品的热导率和 / 或吸热系数。

[0023] 优选地,本实用新型装置中,热物性参数获取单元利用以下公式 1 和 2 计算待测样品的热导率,利用以下公式 3 计算待测样品的吸热系数:

$$[0024] \quad \text{Re} \left( \frac{2V_{3\omega}}{\alpha_{CR} V_{1\omega}} \right) = \frac{V_{1\omega}^2}{\sum_{i=1}^N 2\pi^2 r_i R \lambda} \left[ -\frac{1}{2} \ln(4\pi f) + \frac{1}{2} \ln \frac{\lambda}{\rho c_p b^2} + 0.923 \right] \quad (1)$$

$$[0025] \quad r_i = id + (i-1)b \quad (i = 1, \dots, N) \quad (2)$$

$$[0026] \quad \text{Re} \left( \frac{2V_{3\omega}}{\alpha_{CR} V_{1\omega}} \right) = \frac{V_{1\omega}^2}{32\sqrt{\pi R} (\pi D^2 / 4) \sqrt{\rho c_p \lambda} \sqrt{f}} \quad (3)$$

[0027] 式中,  $\lambda$  为待测材料的热导率;  $\sqrt{\rho c_p \lambda}$  为待测材料的吸热系数;  $\alpha_{CR}$  为双螺旋平面结构选用金属的电阻温度系数;  $D$  为双螺旋平面结构的直径;  $r_i$  为第  $i$  个同心环的半径;  $f$  为频率;  $b$  为单个环的宽度;  $d$  为环间间隔宽度;  $\rho$  为待测材料的密度;  $c_p$  为待测材料的比热;  $N$  为同心环数量;  $R$  为双螺旋平面结构的电阻; 下标  $1\omega$ ,  $3\omega$  分别代表基波和三次谐波信号。

[0028] (三) 有益效果

[0029] 从上述技术方案可以看出,本实用新型双螺旋平面结构谐波法测试材料热物性参数的装置具有以下有益效果:

[0030] (1) 采用左抵压部件和右抵压部件分别从两侧压住待测样品,保证了待测样品和传感器的充分接触,可以准确地对待测样品进行加热和从待测样品得到反馈信号;

[0031] (2) 采用双螺旋形（近似认为是双螺旋平面结构）平面结构金属作为加热 / 温度传感器, 克服了带状、栅栏状加热 / 温度传感器分别仅能得到热导率、吸热系数的问题, 能够实现材料热导率及吸热系数测量;

[0032] (3) 结合基于交流加热、频域下谐波探测原理, 双螺旋平面结构传感器直接插入两相同待测固体样品中间并由固体样品固定台的执行机构压紧的测试结构, 保证同时实现建筑节能材料传、储 / 放热特性的现场评价, 简化现场测量步骤、缩短测量时间、大大提高测量效率。

#### 附图说明

[0033] 图 1 为现有技术基于栅栏状加热 / 温度传感器的谐波法测试装置的示意图;

[0034] 图 2 为根据本实用新型实施例双螺旋平面结构谐波法测试材料热物性参数装置的示意图;

[0035] 图 3 为图 2 所示双螺旋平面结构谐波法测试材料热物性参数装置中双螺旋平面结构传感器的俯视图;

[0036] 图 4A 为图 3 所示双螺旋平面结构传感器沿 A-A 面的剖面示意图;

[0037] 图 4B 为图 4A 所述双螺旋平面结构传感器中虚线部分的放大图。

[0038] 图 5 为图 2 所示双螺旋平面结构谐波法测试材料热物性参数装置中谐波测量单元的结构示意图。

[0039] 【本实用新型主要元件符号说明】

[0040]



- 100-温控容器;
- 200-固体样品固定台;
  - 210-底座;
  - 220-左抵压部;
  - 221-左移动顶杆;
  - 222-左移动端面;
  - 230-右抵压部;
  - 231-右移动顶杆;
  - 232-右移动端面;
- 300-双螺旋平面结构传感器;
  - 310-柔性衬底;
  - 320-双螺旋平面结构;
  - 330-柔性覆盖膜;
  - 341~344-四个引线件;
  - 300a~300d-四个引线端;
  - 350-胶黏层;
- 400-谐波测量单元;
  - 410-函数发生器;
  - 420-电桥模块;
    - 421-转换器;
    - 422-第一差动放大器;
    - 423-第二差动放大器;
  - 430-前置放大器;
  - 440-锁相放大器;
  - 450-微机控制与数据采集系统;
  - R1-第一低温漂电阻;
  - R2-第二低温漂电阻;
  - R3-第三低温漂电阻;
  - R4-第四低温漂电阻;
  - R5-第五低温漂电阻;
  - R6-第六低温漂电阻;
  - R7-第七低温漂电阻;
  - R8-第八低温漂电阻;
  - R9-第九可调电阻;
  - 400a-第一电流引线端;
  - 400d-第二电流引线端;
  - 400b-第一电压引线端;
  - 400c-第二电压引线端;
- 901、902-待测固体样品;

### 具体实施方式

[0041] 为使本实用新型的目的、技术方案和优点更加清楚明白,以下结合具体实施例,并参照附图,对本实用新型进一步详细说明。需要说明的是,在附图或说明书描述中,相似或相同的部分都使用相同的图号。附图中未绘示或描述的实现方式,为所属技术领域普通技术人员所知的形式。另外,虽然本文可提供包含特定值的参数的示范,但应了解,参数无需确切等于相应的值,而是可在可接受的误差容限或设计约束内近似于相应的值。实施例

中提到的方向用语,例如“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”等,仅是参考附图的方向。因此,使用的方向用语是用来说明并非用来限制本实用新型的保护范围。

[0042] 本实用新型针对建筑节能材料热导率和吸热系数同时现场测量的需求,通过分析、改进现有谐波探测技术的测量特点,提出一种新型加热/温度传感器的结构及探测原理,由此简化测量过程并同时精确获取热导率和吸热系数,可应用于建筑节能材料传、储/放热特性的现场评价。

[0043] 在本实用新型的一个示例性实施例中,提供了一种对固体材料进行热物性探测的双螺旋平面结构谐波法测试材料热物性参数的装置。图2为根据本实用新型实施例双螺旋平面结构谐波法测试材料热物性参数装置的示意图。请参照图2,本实施例双螺旋平面结构谐波法测试材料热物性参数的装置包括:温控容器100、样品固定台200、双螺旋平面结构传感器300、谐波测量单元400以及热物性参数获取单元。

[0044] 样品固定台200包括:横截面呈“凹”字型的底座210以及由该底座的两侧分别向中间延伸并抵压住待测样品左右两外侧面的左抵压部件220和右抵压部件230。

[0045] 双螺旋平面结构传感器300包括:柔性衬底310,其材料为绝缘材料;形成于所述柔性衬底310上的由一系列同心圆环组成的金属材料的双螺旋平面结构320,其材料为金属材料;以及通过胶黏层覆盖于所述双螺旋平面结构上方的柔性覆盖膜330,其材料为绝缘材料。

[0046] 谐波测量单元400,其两电流引线端分别电性连接至所述双螺旋平面结构传感器的第一端和第二端,并通过两者向双螺旋平面结构传感器提供周期正弦加热电流;其两探测电压引线端分别电性连接至所述双螺旋平面结构传感器的第一端和第二端,并通过两者探测所述双螺旋平面结构传感器两端的电压值,该电压值包括各频率下基波电压平均值 $V_{1\omega}$ ,以及三次谐波电压与自然对数频率曲线 $V_{3\omega} \sim \ln \omega$ 。

[0047] 热物性参数获取单元,用于利用谐波测量单元获取的各频率下基波电压平均值 $V_{1\omega}$ ,以及三次谐波电压与自然对数频率曲线 $V_{3\omega} \sim \ln \omega$ ,获取待测样品的热导率和/或吸热系数。

[0048] 本实施例中,采用左抵压部件和右抵压部件分别从两侧压住待测样品,保证了待测样品和传感器的充分接触,可以准确地对待测样品进行加热和从待测样品得到反馈信号。此外,采用双螺旋形(近似认为是双螺旋平面结构)平面结构作为加热/温度传感器,克服了带状、栅栏状加热/温度传感器分别仅能得到热导率、吸热系数的问题,能同时实现材料热导率及吸热系数测量。

[0049] 以下对本实施例双螺旋平面结构谐波法测试材料热物性参数装置的各个组成部分进行详细说明。

[0050] 本实施例中,温控容器100呈圆桶形,其高度方向大于截面的尺寸。该温控容器100实际上温控容器工作时是密封的,其功能是将被测试材料加热或降温到预设范围。而如果仅是需要测量被测试材料在常温下的热物性参数,则该温控容器可以省略。

[0051] 请参照图2,样品固定台200置于温控容器5的底部,且与该底部平行放置。底座210的横截面呈“凹”字型,其两侧面各有一圆孔,该圆孔内侧具有内螺纹。左抵压部220包括:左移动顶杆221和左移动端面222。右抵压部230包括:右移动顶杆231和右移动端面232。左移动顶杆221和右移动顶杆231的对应位置具有与上述内螺纹相匹配的外螺纹。左

移动端面 222 和右移动端面 232 位于移动顶杆 221 和右移动顶杆 231 的内侧,垂直于顶杆方向布置,两者通过焊接方式连接。

[0052] 测量固体样品时,拧动左移动顶杆 221 和右移动顶杆 231 位于样品固定台外侧的部分,该左移动顶杆 221 和右移动顶杆 231 位于样品固定台内侧的顶端推动左移动端面 222 和右移动端面向内侧运动,从而推动两侧的固定样品 (901、902) 夹紧中间位置的双螺旋平面结构传感器 300。

[0053] 需要说明的是,本实施例为对固体样品进行热物性参数测试的装置。而除了对固体样品进行测试之外,本实用新型还可以对流体样品,如气体样品、液体样品和粉体样品进行热物性参数测试,在这种情况下,本实用新型双螺旋平面结构谐波法测试材料热物性参数的装置还包括:流体样品容器,其内部盛放流体样品,双螺旋平面结构传感器垂直埋入流体样品中,即其所在平面与左移动顶杆和右移动顶杆的运动方向垂直即可。其中,该流体样品容器可以是袋状容器或两侧开口的筒状容器。

[0054] 图 3 为图 2 所示双螺旋平面结构谐波法测试材料热物性参数装置中双螺旋平面结构传感器的俯视图。图 4A 为图 3 所示双螺旋平面结构传感器沿 A-A 面的剖面示意图。图 4B 为图 4A 所述双螺旋平面结构传感器中虚线部分的放大图。请参照图 3、图 4A 和图 4B,双螺旋平面结构传感器 300 包括:柔性衬底 310;形成于该柔性衬底 310 上的金属材料的螺旋平面结构 320;通过胶黏层覆盖于该螺旋平面结构 320 上方的柔性覆盖膜 330。

[0055] 双螺旋平面结构 320 分别与四个引线件 341 ~ 344 的一端部连接,四个引线件 341 ~ 344 的另一端有四个引线端 300a ~ 300d;引线端 300b 与谐波测量单元 400 的第一电流引线端 400a 电连接,引线端 300a 与谐波测量单元 400 的第一探测电压引线端 400b 电连接,引线端 300c 与谐波测量单元 400 的第二探测电压引线端 400c 电连接,引线端 300d 与谐波测量单元 400 的第二电流引线端 400d 电连接,两电流引线端 300a、300d 周期对双螺旋平面结构 320 电加热,两电压引线端 300b、300c 构成电压回路接入谐波测量单元 400。

[0056] 双螺旋平面结构传感器 300 由导电金属通过柔性电路板制作工艺附着在柔性衬底 310 上形成几十微米级厚的螺旋形(近似认为是螺旋平面结构)平面结构 320,与柔性衬底 310 为同种材料的柔性覆盖膜 330 通过胶黏层与基于柔性衬底 310 结合,用于封装螺旋平面结构 320 及四个引线件 341 ~ 344,柔性衬底 310 和柔性覆盖膜 330 在螺旋平面结构 320 及四个引线件 341 ~ 344 的底面和顶面形成具有一机械强度的绝缘保护层。数十微米厚的胶黏层能为螺旋平面结构传感器提供柔韧性,从而能抵抗与样品夹紧时的挤压力带来的螺旋平面结构传感器 11 的凹凸形变。

[0057] 所述导电金属为铜、银、镍、金或铂;所述柔性衬底和柔性覆盖膜为聚酰亚胺 (PI) 或聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET);所述胶黏层为 EVA 类热熔胶或邦林热熔胶。

[0058] 双螺旋平面结构传感器 300 的螺旋平面结构 320 和引线件 341 ~ 344 厚度在  $0.2\mu\text{m} \sim 100\mu\text{m}$  之间,螺旋平面结构 320 直径在  $5\text{mm} \sim 50\text{mm}$  之间,柔性衬底 310 及柔性覆盖膜 330 厚度在  $12.5\mu\text{m} \sim 50\mu\text{m}$  之间,胶黏层厚度在  $5\mu\text{m} \sim 40\mu\text{m}$  之间,引线件 341 ~ 344 长度在  $1\text{mm} \sim 12\text{mm}$  范围内,宽度在  $0.5\text{mm} \sim 6\text{mm}$  范围内。测量热导率时,螺旋平面结构 320 的单个环宽度在  $10\mu\text{m} \sim 100\mu\text{m}$  之间,环间间隔宽度在  $50\mu\text{m} \sim 500\mu\text{m}$  之间;测量吸热系数时,螺旋平面结构 320 的单个环宽度在  $100\mu\text{m} \sim 1000\mu\text{m}$  之间,环间间隔宽度在  $50\mu\text{m} \sim 1000\mu\text{m}$  之间。

[0059] 谐波测量单元 400 设置于控制主机中,用于产生加热电流,测量并记录各频率下基波电压平均值  $V_{1\omega}$ ,以及双螺旋平面结构 320 两端的三次谐波电压与自然对数频率曲线  $V_{3\omega} \sim \ln \omega$ 。

[0060] 图 5 为图 2 所示双螺旋平面结构谐波法测试材料热物性参数装置中谐波测量单元的结构示意图。请参照图 5,谐波测量单元 400 包括:函数发生器 410、电桥模块 420、前置放大器 430、锁相放大器 440 和微机控制与数据采集系统 450。

[0061] 函数发生器 410 输出角频率为  $\omega$  的交流电压信号。

[0062] 电桥模块 420 包括:转换器 421,将函数发生器 410 输出的交流电压信号转换为电流信号,双螺旋平面结构传感器的引线端 300d 连接至地,该电流信号经由第九可调电阻 R9 和双螺旋平面结构传感器后传输入地;第一差动放大器 422,其第一输入端连接至转换器 421 的输出端,其第二输入端通过第九可调电阻 R9 连接至转换器 421 的输出端,并连接第一电流引线端 400a,用于将第九可调电阻 R9 两端的电压信号转换为第一差动信号;第二差动放大器 423,其第一输入端连接至第一探测电压引线端 400b,其第二输入端连接至第二探测电压引线端 400c,用于将由双螺旋平面结构传感器探测而来的电压信号转换为第二差动信号。前置放大器 430,其两输入端分别连接至第一差动放大器 422 的输出端和第二差动放大器 423 的输出端,用于将第一差动信号和第二差动信号的差值信号进行放大。

[0063] 锁相放大器 440,其输入端连接至前置放大器 430 的输出端和函数发生器 410 的输出端,分别用于计算基波及三次谐波电压,该基波电压为第一差动信号的一次谐波的有效值,该三次谐波电压为第一差动信号和第二差动信号的差值的三次谐波分量的有效值;为锁相放大器 440 提供信号比较用的外部参考信号。

[0064] 微机控制与数据采集系统 450,其输入端分别连接至锁相放大器 440 的输出端,用于对锁相放大器 440 输出的一次谐波的有效值和三次谐波分量的有效值进行数据采集,其输出端连接函数发生器 410,用于控制函数发生器 410 的输出信号。

[0065] 在该谐波测量单元中,函数发生器 410 输出角频率为  $\omega$  的交流电压信号经电桥模块电路 420 中的转换器 421 转换为电流信号,该电流信号用于同时驱动可调电阻 R9 和双螺旋平面结构传感器 300,可调电阻 R9 和双螺旋平面结构传感器 300 的电压信号分别经电桥模块电路 420 中的第一差动放大器 422 和第二差动放大器 423 转变为差动信号,再经前置放大器 430 放大后输入锁相放大器 440。微机控制与数据采集系统 450 控制函数发生器 410、锁相放大器 440 及第九可调电阻 R9。

[0066] 由于实际测得的是双螺旋平面结构传感器的微弱温升,因此电流中必须用低温漂电阻,以确保温度测量的准确性。请参照图 4,在第一差动放大器 422 的第一输入端和第二输入端分别通过第一低温漂电阻 R1 和第二低温漂电阻 R2 连接至第九可调电阻 R9 的两端;且第一输入端通过第三低温漂电阻 R3 连接至地,第二输入端通过第四低温漂 R4 连接至其输出端。在第二差动放大器 423 的第一输入端和第二输入端分别通过第五低温漂电阻 R5 和第六低温漂电阻 R6 连接至双螺旋平面结构传感器 300 的两端,且第一输入端通过第七低温漂电阻 R7 连接至地,第二输入端通过第八低温漂 R8 连接至其输出端。

[0067] 本实施例中,第九可调电阻 R9 为可调电阻,其阻值接近双螺旋平面结构的阻值,其中,  $R9 = \alpha \times R_m$ ,其中  $R_m$  为双螺旋平面结构的阻值,  $\alpha = 0.95 \sim 1.05$ 。第一低温漂电阻 R1、第二低温漂电阻 R2、第三低温漂电阻 R3、第四低温漂电阻 R4、第五低温漂电阻 R5、第

六低温漂电阻 R6、第七低温漂电阻 R7、第八低温漂电阻 R8 为阻值温度系数仅为 2ppm/°C 类型的低温漂电阻。

[0068] 本实施例中,为了户外测量的方便性,热物性参数获取单元为一单独的可移动单元,但本实用新型并不以此为限。该热物性参数获取单元还可以集成在计算机中,以满足更高的精度。该热物性参数获取单元利用以下公式 1 和 2 计算待测样品的热导率,利用以下公式 3 计算待测样品的吸热系数:

$$[0069] \quad \operatorname{Re}\left(\frac{2V_{3\omega}}{\alpha_{CR}V_{1\omega}}\right) = \frac{V_{1\omega}^2}{\sum_{i=1}^N 2\pi^2 r_i R \lambda} \left[ -\frac{1}{2} \ln(4\pi f) + \frac{1}{2} \ln \frac{\lambda}{\rho c_p b^2} + 0.923 \right] \quad (1)$$

$$[0070] \quad r_i = id + (i-1)b \quad (i = 1, \dots, N) \quad (2)$$

$$[0071] \quad \operatorname{Re}\left(\frac{2V_{3\omega}}{\alpha_{CR}V_{1\omega}}\right) = \frac{V_{1\omega}^2}{32\sqrt{\pi R}(\pi D^2/4)\sqrt{\rho c_p \lambda} \sqrt{f}} \quad (3)$$

[0072] 式中,  $\lambda$  为待测材料的热导率(单位:  $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ );  $\sqrt{\rho c_p \lambda}$  为待测材料的吸热系数, (单位:  $\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{s}^{-0.5}$ );  $\alpha_{CR}$  为双螺旋平面结构选用金属的电阻温度系数(单位:  $\text{K}^{-1}$ );  $D$  为双螺旋平面结构的直径(单位:  $\text{m}$ );  $r_i$  为第  $i$  个同心环的半径(单位:  $\text{m}$ );  $f$  为频率(单位:  $\text{Hz}$ );  $b$  为单个环的宽度(单位:  $\text{m}$ );  $d$  为环间间隔宽度(单位:  $\text{m}$ );  $\rho$  为待测材料的密度(单位:  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ );  $c_p$  为待测材料的比热(单位:  $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ );  $N$  为同心环数量;  $R$  为双螺旋平面结构的电阻(单位:  $\Omega$ ); 下标  $1\omega, 3\omega$  分别代表基波和三次谐波信号。

[0073] 以下介绍本实施例双螺旋平面结构谐波法测试材料热物性参数的装置的使用方法,该使用方法包括:

[0074] 步骤 A,对双螺旋平面结构传感器 300 是否能正常工作进行校准,该步骤又分为:

[0075] 子步骤 A1,选取  $b \ll d$  (单个环宽度远小于环间间隔宽度) 的双螺旋平面结构传感器 300 用于标准 304 不锈钢或有机玻璃固体样品热导率的测量。双螺旋平面结构传感器 300 置于两块 304 不锈钢或有机玻璃固体样品 901、902 之间,304 不锈钢或有机玻璃固体样品 901、902 的外表面分别抵接左移动端面 222、右移动端面 232;

[0076] 子步骤 A2,对左右两端十字槽盘头螺栓施加扭力,驱动左移动顶杆 221、左移动端面 222、右移动顶杆 231 和右移动端面 232 沿着底座 210 内底壁进行往复运动,直至左移动端面 222、右移动端面 232 的位置能够使双螺旋平面结构传感器 300 与 304 不锈钢或有机玻璃固体样品 901、902 充分夹紧;

[0077] 子步骤 A3,将固体样品固定台 200 置于温控容器 100 内,待温度升至设定值并恒定后,将双螺旋平面结构传感器 300 与谐波测量单元 400 电连接:将双螺旋平面结构传感器 300 的引线端 300b 与谐波测量单元 400 的第一电流引线端 400a 电连接,引线端 300a 与谐波测量单元 400 的第一探测电压引线端 400b 电连接,引线端 300c 与谐波测量单元 400 的第二探测电压引线端 400c 电连接,引线端 300d 与谐波测量单元 400 的第二电流引线端 400d 电连接;

[0078] 子步骤 A4,由谐波测量单元 400 记录特定交流电流频率下双螺旋平面结构 320 两端的基波电压及三次谐波电压,三次谐波电压接近  $1/10000 \sim 1/1000$  基波电压,记录三次谐波电压与自然对数频率曲线  $V_{3\omega} \sim \ln f$ 、各频率下基波电压平均值  $V_{1\omega}$ ;

[0079] 子步骤 A5, 热物性参数获取单元根据公式 1、2 计算出待测样品的热导率值; 比较得到 304 不锈钢或有机玻璃的热导率值与其参考值, 如果在允许误差范围 (5.0%) 内即说明双螺旋平面结构传感器 300 工作正常, 接下来可以继续用于 304 不锈钢或有机玻璃样品吸热系数的校准, 否则终止检查出错原因;

[0080] 子步骤 A6, 选取  $d \ll b$  (环间间隔宽度远小于单个环宽度) 的双螺旋平面结构传感器 300 用于 304 不锈钢或有机玻璃固体样品吸热系数的测量。同样将双螺旋平面结构传感器 300 置于两块 304 不锈钢或有机玻璃固体样品 901、902 之间, 304 不锈钢或有机玻璃固体样品 901、902 的外表面分别抵接左右两移动端面 222、232;

[0081] 子步骤 A7, 重复步骤 Ab、Ac、Ad: 通过固体样品固定台 200 使双螺旋平面结构传感器 300 与待测 304 不锈钢或有机玻璃固体样品 901、902 充分夹紧; 并在温度升至设定值并恒定后, 将双螺旋平面结构传感器 300 与谐波测量单元 400 电连接: 将双螺旋平面结构传感器 300 的引线端 300b 与谐波测量单元 400 的第一电流引线端 400a 电连接, 引线端 300a 与谐波测量单元 400 的第一探测电压引线端 400b 电连接, 引线端 300c 与谐波测量单元 400 的第二探测电压引线端 400c 电连接, 引线端 300d 与谐波测量单元 400 的第二电流引线端 400d 电连接; 由谐波测量单元 400 记录特定交流电流频率下双螺旋平面结构 320 两端的三次谐波电压与自然对数频率曲线  $V_{3\omega} \sim \ln f$ 、各频率下基波电压平均值  $V_{1\omega}$ ;

[0082] 子步骤 A8, 热物性参数获取单元根据公式 3 计算出 304 不锈钢或有机玻璃固体样品 901、902 的吸热系数值; 比较得到 304 不锈钢或有机玻璃的吸热系数值与其参考值, 如果在允许误差范围 (7.1%) 内即说明双螺旋平面结构传感器 300 工作正常, 即完成对其性能的校准。接下来可以继续用于待测材料的测试, 否则终止检查出错原因。

[0083] 步骤 B, 将两块待测固体样品 901、902 置换 304 不锈钢或有机玻璃标准样品, 开始对待测样品 901、902 的测量;

[0084] 步骤 C, 重复子步骤 A1 ~ A5 完成其热导率的测试;

[0085] 步骤 D, 将  $b \ll d$  (单个环宽度远小于环间间隔宽度) 的双螺旋平面结构传感器 300 置换为  $d \ll b$  (环间间隔宽度远小于单个环宽度) 的双螺旋平面结构传感器 300, 重复步骤 A6 ~ A8 完成其吸热系数的测试; 至此, 完成了对待测固体样品 901、902 的热物性参数的全部测量。

[0086] 本实用新型测试的材料热导率范围在  $0.01 \sim 100 \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  之间, 测量不确定度估计为 8.5%。吸热系数范围在  $100 \sim 10000 \text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{s}^{-0.5}$  之间, 测量不确定度估计为 7.4%。

[0087] 至此, 已经结合附图对本实用新型两实施例进行了详细描述。依据以上描述, 本领域技术人员应当对本实用新型双螺旋平面结构谐波法测试材料热物性参数的装置有了清楚的认识。

[0088] 此外, 上述对各元件和方法的定义并不仅限于实施例中提到的各种具体结构、形状或方式, 本领域普通技术人员可对其进行简单地更改或替换。

[0089] 综上所述, 本实用新型针对建筑节能材料热导率和吸热系数同时现场测量的需求, 通过分析、改进现有谐波探测技术的测量特点, 提出一种新型加热 / 温度传感器的结构及探测原理, 由此简化测量过程并同时精确获取热导率和吸热系数, 将该装置 / 方法成功应用于建筑节能材料传、储 / 放热特性的现场评价, 具有极高的推广应用价值。

[0090] 以上所述的具体实施例,对本实用新型的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本实用新型的具体实施例而已,并不用于限制本实用新型,凡在本实用新型的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本实用新型的保护范围之内。

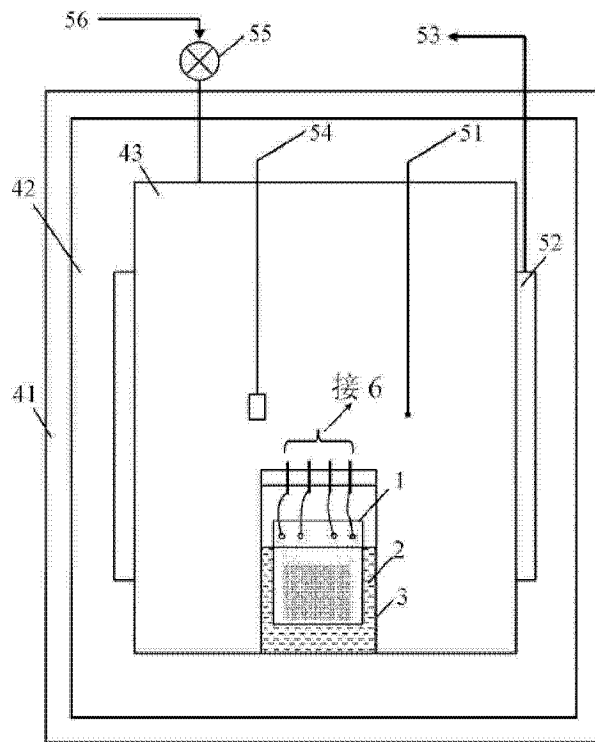


图 1

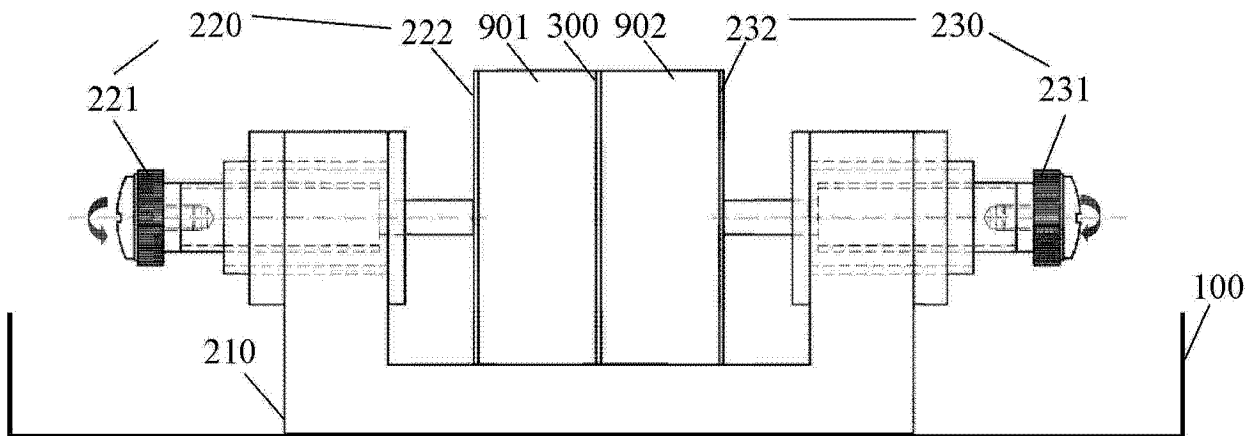


图 2



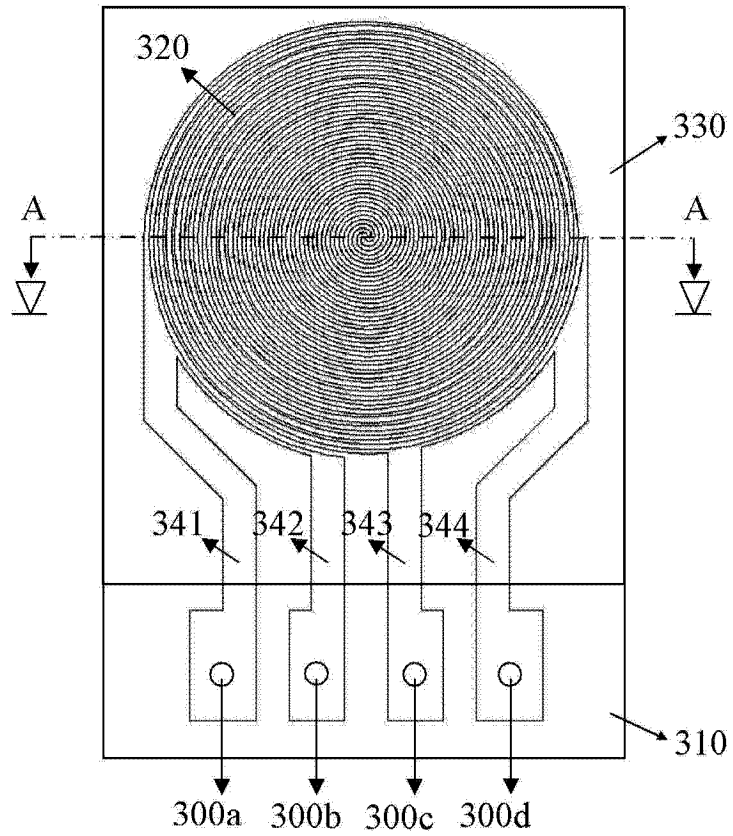


图 3

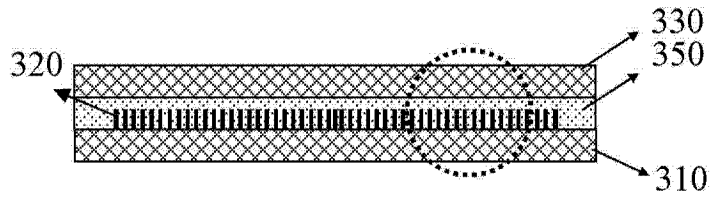


图 4A

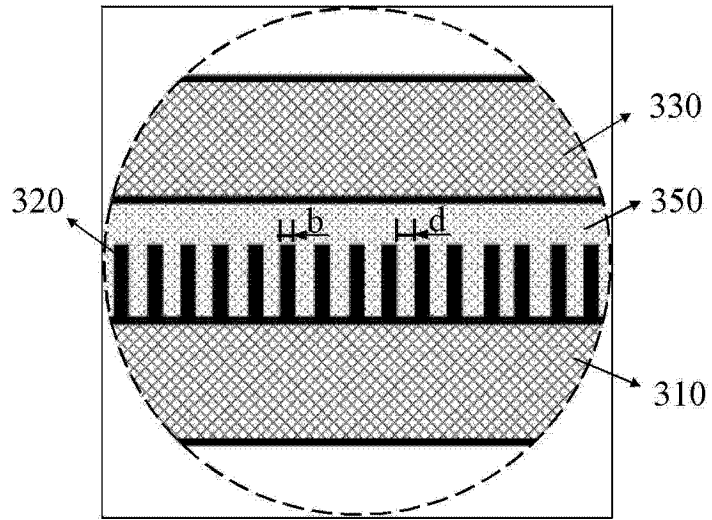


图 4B

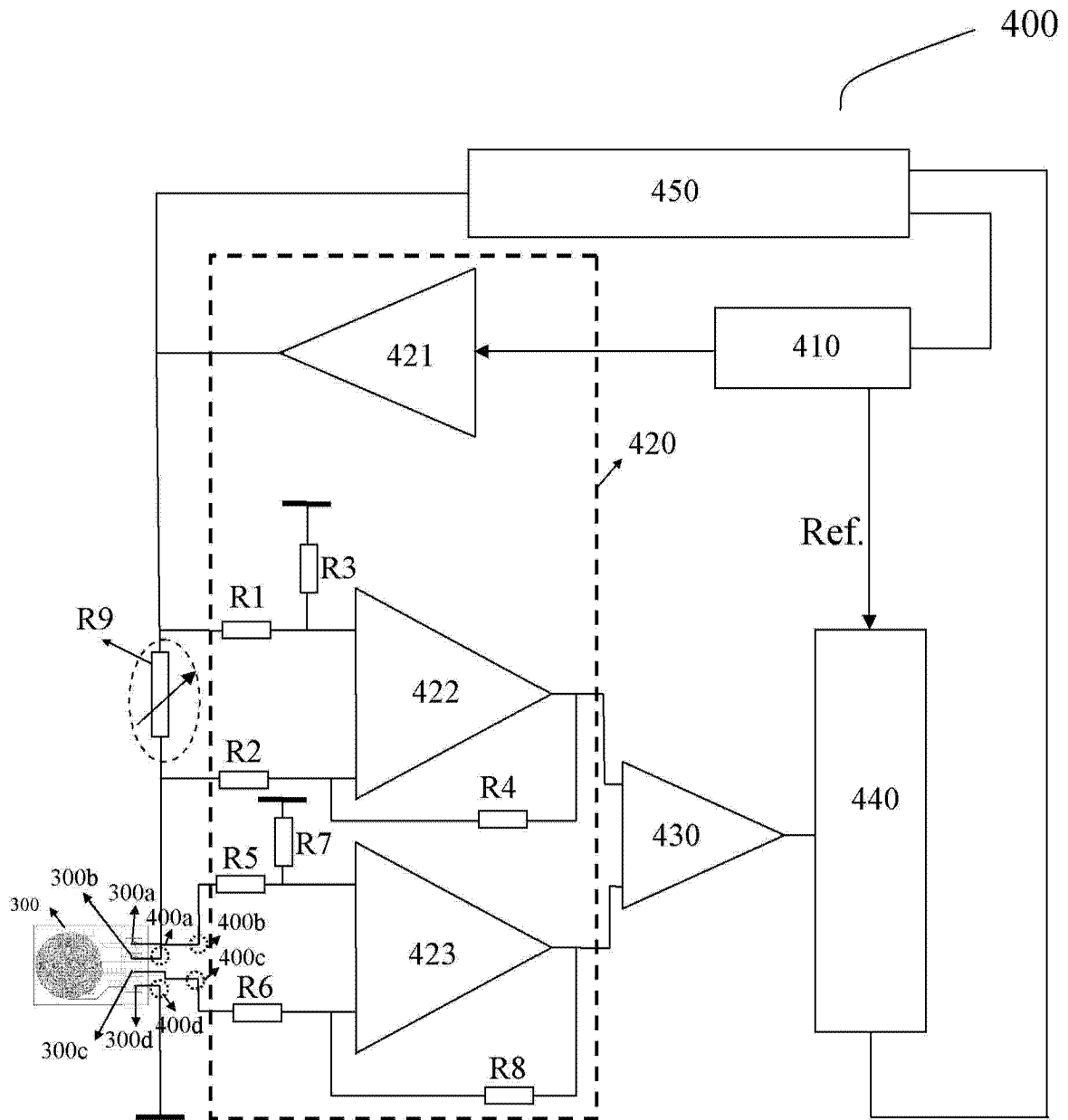


图 5