(19) 国家知识产权局



(12) 发明专利



(10) 授权公告号 CN 112964396 B (45) 授权公告日 2022. 08. 02

审查员 乐小琴

(21) 申请号 202110170843.6

(22)申请日 2021.02.08

(65) 同一申请的已公布的文献号 申请公布号 CN 112964396 A

(43) 申请公布日 2021.06.15

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所 地址 100190 北京市海淀区北四环西路15 号

(72) 发明人 苑朝凯 姜宗林

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理事务所(普通合伙) 11390 专利代理师 胡剑辉

(51) Int.CI.

GO1K 17/00 (2006.01)

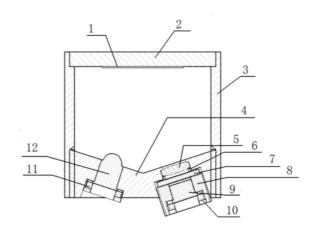
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于辐射测温的量热计

(57) 摘要

本发明属于热流测量传感器设备技术领域,针对现有技术中存在的热电偶节点焊接困难,焊接的引线使测量结果偏离实际情况,无法应用在高温电离环境下,且无法进行面测量的技术问题,本发明提供一种基于辐射测温的量热计,底座和基座连接,量热片设置在基座顶端,光电二极管的感光面设置在成像光学系统的像面上,二者相互适配对应安装在底座上;成像光学系统收集辐射信号,光电二极管将辐射信号转换为电信号,通过数据采集系统记录量热片温度的变化历程。辐射源与高温气流隔离,具有耐冲刷特性;辐射源及测量元器件与外部环境物理隔离,且量热射源及测量元器件与外部环境物理隔离,且量热片,背面无需焊接引线,可应用于高温电离环境下,减小测量误差,既可以测量单点热流,也可开展面测量。



1.一种基于辐射测温的量热计,其特征在于,包括基座、底座、量热片、光电二极管、透镜成像系统和传感器座,

所述底座和基座连接安装形成支撑框架,量热片设置在基座顶端,所述透镜成像系统安装在底座内,传感器座通过螺纹与底座连接,同时压紧透镜成像系统,通过传感器座安装固定光电二极管,光电二极管安装在传感器座内,光电二极管的输出端与采集设备相连;

通过透镜成像系统收集辐射信号,通过光电二极管将辐射信号转换为电信号,通过采集设备记录量热片温度的变化历程:

所述量热片设置为吸热元件,其材料和厚度根据所测量的热流强度和测试时间确定,主要考虑因素为:量热片选择不同材料制备而成,量热片前面温度不超过所选择材料的允许使用温度;量热片背面温度不超过温敏漆涂层的允许使用温度;量热片的响应时间小于测试时间;

所述量热片前面温度、背面温度、响应时间按照式(6)、(7)、(8)计算:

$$T_{f} = T_{0} + \frac{q\alpha t}{kl} + \frac{1}{3} \frac{ql}{k} - \frac{2ql}{k\pi^{2}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^{2}} e^{-\alpha (\frac{n\pi}{l})^{2}t}$$

$$T_{b} = T_{0} + \frac{q\alpha t}{kl} - \frac{1}{6} \frac{ql}{k} - \frac{2ql}{k\pi^{2}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n}}{n^{2}} e^{-\alpha (\frac{n\pi}{l})^{2}t}$$

$$t_{R} = \frac{l^{2}}{\alpha \pi^{2}} \ln(\frac{2}{1 - q_{ratio}})$$
(8)

式中: T_f 为量热片前面温度、 T_b 为量热片背面温度、 t_R 为量热片响应时间、 T_0 为量热片测量前初始温度、 α 为量热片材料热扩散系数、k为量热片材料热导率、1为量热片厚度、q为量热片前面加载热流,即所要测量的热流, q_{ratio} 为量热片背面测得热流值与加载热流的比值。

2.根据权利要求1所述一种基于辐射测温的量热计,其特征在于,还设置有辐射测温组件,辐射测温组件包括温敏漆涂层、激发光源、滤光片,

所述激发光源设置在底座上,通过压圈与激发光源的底座螺纹连接固定;温敏漆涂层涂敷于量热片下方,所述滤光片嵌设在光电二极管和透镜成像系统之间;

所述透镜成像系统收集温敏漆涂层的辐射信号,所述光电二极管将温敏漆涂层的辐射信号转换为电信号,通过采集设备的数据采集系统记录量热片温度的变化历程。

- 3.根据权利要求2所述一种基于辐射测温的量热计,其特征在于,所述透镜成像系统安装在底座内,依次安装橡胶圈和滤光片,通过橡胶圈隔离透镜系统和滤光片;所述滤光片设置为窄带滤光片,其安装于透镜与光电二极管之间,滤光片中心波长及通带范围对应温敏漆辐射光波长。
- 4.根据权利要求2所述一种基于辐射测温的量热计,其特征在于,所述激发光源波长与温敏漆涂层相匹配,激发光源照射温敏漆涂层产生辐射,所述温敏漆涂层的辐射强度随温度的升高而降低,利用光致发光的热猝灭效应测量量热片温度的变化。
- 5.根据权利要求1或2所述一种基于辐射测温的量热计,其特征在于,还设置有压圈a和压圈b,压圈a和压圈b的中间均设置有通孔,通过通孔走线,压圈a和压圈b的端面设置卡槽,通过卡槽安装;压圈a和压圈b的外壁设置有外螺纹,压圈a通过外螺纹与激发光源的底座螺纹连接固定;压圈b通过外螺纹与传感器座螺纹连接固定。

- 6.根据权利要求1或2所述一种基于辐射测温的量热计,其特征在于,所述底座和基座 采用热传导率小的绝缘材料制备而成,通过基座固定量热片并与底座通过螺纹相连接,基 座与量热片之间通过高温胶粘接,底座内表面设置为倾斜面,控制激发光源的照射范围和 透镜成像系统的成像范围重合。
- 7.根据权利要求1或2所述一种基于辐射测温的量热计,其特征在于,所述底座的底部 依次设置有倾斜面a、水平面、倾斜面b,倾斜面a和倾斜面b呈对称式设置在水平面的两侧,通过倾斜面a和倾斜面b安装激发光源,通过水平面安装透镜成像系统。
- 8.根据权利要求1所述一种基于辐射测温的量热计,其特征在于,适用于利用自发红外辐射测量温度,通过底座控制光电二极管和透镜成像系统呈正对式安装且无倾角。

一种基于辐射测温的量热计

技术领域

[0001] 本发明属于热流测量传感器设备技术领域,具体涉及一种基于辐射测温的量热计。

背景技术

[0002] 高超声速飞行时气动热环境非常恶劣,需要采用合适的热防护措施。热防护方法和材料的选取依赖于地面风洞实验中的热流测量结果,风洞实验中采用的热流测量传感器主要有三种:薄膜电阻温度计、同轴热电偶和量热计。三种传感器各有优缺点和适应的测量环境,其中量热计通常用于大热流和强冲刷的环境。

[0003] 量热计采用量热片作为吸热元件,通过测量量热片内部温度的变化率计算所加载的热流。目前已发展的量热计根据量热片材料的类型采用了不同的测温方式。量热片采用铜、不锈钢等金属材质时利用热电偶测量内部温度。这种类型的量热计存在的主要问题是:热电偶节点焊接困难,大小难以保证一致,造成测量结果散差大,且无法应用在高温电离环境下。当利用金刚石等绝缘材料做量热片时,量热片内部温度利用薄膜电阻测量。这种方案能够提高量热计的测量灵敏度,但满足要求的绝缘材料甚少,且金刚石制作使用成本昂贵。此外,以上两种测温方式都需要在量热片上焊接引线,以实现将温度变化产生的电信号输出。引线的存在会造成额外的热量损失,使测量结果偏离实际情况。另外,传统的量热计都是测量单点热流值,无法进行面测量。

发明内容

[0004] 针对现有技术中存在的热电偶节点焊接困难,大小难以保证一致,造成测量结果散差大,焊接引线造成额外的热量损失,使测量结果偏离实际情况,无法应用在高温电离环境下,且无法进行面测量的技术问题,本发明的目的在于提供一种基于辐射测温的量热计。辐射源与高温气流隔离,具有耐冲刷特性;辐射源及测量元器件与外部环境物理隔离,且量热片背面无需焊接引线,可应用于高温电离环境下,减小测量误差,既可以测量单点热流,也可开展面测量。

[0005] 本发明采取的技术方案为:

[0006] 一种基于辐射测温的量热计,包括基座、底座、量热片、光电二极管、成像光学系统和传感器座。

[0007] 所述底座和基座连接安装形成支撑框架,量热片设置在基座顶端,所述光电二极管的感光面设置在成像光学系统的像面上,二者相互适配对应安装在底座上;

[0008] 所述透镜成像系统安装在底座内,传感器座通过螺纹与底座连接,同时压紧透镜成像系统,通过传感器座安装固定光电二极管,光电二极管安装在传感器座内,光电二极管的输出端与采集设备相连;

[0009] 通过成像光学系统收集辐射信号,通过光电二极管将辐射信号转换为电信号,通过采集设备记录量热片温度的变化历程。

[0010] 进一步的,还设置有辐射测温组件,辐射测温组件包括温敏漆涂层、激发光源、滤光片。

[0011] 所述激发光源设置在底座上,通过压圈与激发光源的底座螺纹连接固定;温敏漆涂层涂敷于量热片下方,所述滤光片嵌设在光电二极管和成像光学系统之间;

[0012] 所述成像光学系统收集温敏漆涂层的辐射信号,所述光电二极管将温敏漆涂层的辐射信号转换为电信号,通过采集设备的数据采集系统记录量热片温度的变化历程。

[0013] 进一步的,所述量热片设置为吸热元件,其材料和厚度根据所测量的热流强度和测试时间确定,主要考虑因素为:量热片选择不同材料制备而成,量热片前面温度不超过所选择材料的允许使用温度;量热片背面温度不超过温敏漆涂层的允许使用温度,量热片背面温度变化范围尽量大,变化范围越大测量灵敏度越高;量热片的响应时间小于测试时间。

[0014] 更进一步的,所述量热片前面温度、背面温度、响应时间按照式(6)、(7)、(8)计算:

[0015]
$$T_f = T_0 + \frac{q\alpha t}{kl} + \frac{1}{3} \frac{ql}{k} - \frac{2ql}{k\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} e^{-\alpha (\frac{n\pi}{l})^2 t}$$
 (6)

[0016]
$$T_b = T_0 + \frac{q\alpha t}{kl} - \frac{1}{6} \frac{ql}{k} - \frac{2ql}{k\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n^2} e^{-\alpha (\frac{n\pi}{l})^2 t}$$
 (7)

[0017]
$$t_R = \frac{l^2}{\alpha \pi^2} \ln(\frac{2}{1 - q_{ratio}})$$
 (8)

[0018] 式中: T_f 为量热片前面温度、 T_b 为量热片背面温度、 t_R 为量热片响应时间、 T_0 为量热片测量前初始温度、 α 为量热片材料热扩散系数、k为量热片材料热导率、1为量热片厚度、q为量热片前面加载热流,即所要测量的热流, q_{ratio} 为量热片背面测得热流值与加载热流的比值,一般取0.99。

[0019] 进一步的,所述透镜成像系统安装在底座内,依次安装橡胶圈和滤光片,通过橡胶圈隔离透镜系统和滤光片;所述滤光片设置为窄带滤光片,其安装于透镜与光电二极管之间,滤光片中心波长及通带范围对应温敏漆辐射光波长,与温敏漆辐射光特性相匹配。

[0020] 进一步的,所述激发光源波长与温敏漆涂层相匹配,通过激发光源照射温敏漆涂层产生辐射,所述温敏漆涂层的辐射强度随温度的升高而降低,利用光致发光的热猝灭效应测量量热片温度的变化。

[0021] 进一步的,还设置有压圈a和压圈b,压圈a和压圈b的中间均设置有通孔,通过通孔走线,压圈a和压圈b的端面设置卡槽,通过卡槽安装;压圈a 和压圈b的外壁设置有外螺纹,压圈a通过外螺纹与激发光源的底座螺纹连接固定;压圈b通过外螺纹与传感器座螺纹连接固定。

[0022] 进一步的,所述底座和基座采用热传导率小的绝缘材料制备而成,避免传感器周边传热对测量结果的影响,进一步增强高温电离环境下的适应性。

[0023] 更为具体的是,基座采用热扩散系数低的材料制作而成,基座与量热片之间通过高温胶粘接,通过基座固定量热片并与底座相连接;底座采用绝缘材料制作而成,底座与基座之间通过螺纹连接,底座内表面设置为倾斜面,控制激发光源的照射范围和成像光学系统的成像范围相对重合,使激发光源照射区域和透镜成像区域尽可能多的重合;通过底座

固定激发光源、滤光片、光电二极管等器件。

[0024] 进一步的,所述底座的底部依次设置有倾斜面a、水平面、倾斜面b,倾斜面a和倾斜面b呈对称式设置在水平面的两侧,通过倾斜面a和倾斜面b 安装激发光源,通过水平面安装成像光学系统。

[0025] 进一步的,适用于利用自发红外辐射测量温度,通过底座控制光电二极管和成像 光学系统呈正对式安装且无倾角。

[0026] 本发明的有益效果为:

[0027] 本专利提出了一种基于辐射测温的量热计,其是利用辐射特性测量量热片温度的变化。主要优点是:

[0028] 1)辐射源在量热片背面,与高温气流隔离,具有耐冲刷特性;

[0029] 2) 量热片材质既可以是金属也可以是非金属;

[0030] 3) 辐射源及测量元器件与外部环境物理隔离,且量热片背面无需焊接引线,可应用于高温电离环境下;

[0031] 4) 利用辐射特性测量温度,避免了在量热片上焊接引线造成的热量损失,减小了测量误差。

[0032] 5) 传统的量热计都是测量单点热流值,基于本专利的测量原理既可以测量单点热流,也可开展面测量(即同时测量整个表面的热流分布)。

附图说明

[0033] 图1是自发辐射状态下的量热计构成示意图;

[0034] 图2是受激辐射状态下的量热计构成示意图;

[0035] 图3是本发明中的底座的结构示意图;

[0036] 图4是某工况下获得的量热片背面各位置温度的变化历程;

[0037] 图5是测量量热片线性变化热流结果 $(q_{In}$ 为量热片前面加载热流 $,q_{b}$ 为量热片背面测得热流);

[0038] 图6是测量量热片阶跃变化热流结果 $(q_{In}$ 为量热片前面加载热流 $,q_{b}$ 为量热片背面测得热流):

[0039] 图7是测量量热片局部凸起热流结果 $(q_{In}$ 为量热片前面加载热流 $,q_{b}$ 为量热片背面测得热流):

[0040] 其中,1、温敏漆涂层;2、量热片;3、基座;4、底座;4-1、倾斜面a;4-2、水平面;4-3、倾斜面b;5、透镜成像系统;6、橡胶圈;7、滤光片;8、传感器座;9、光电二级管;10、压圈a;11、压圈b;12、激发光源。

具体实施方式

[0041] 下面结合附图进一步说明本发明。

[0042] 实施例1

[0043] 如图1所示,一种基于辐射测温的量热计,包括基座3、底座4、量热片 2、光电二极管9、成像光学系统和传感器座8。

[0044] 所述底座4和基座3连接安装形成支撑框架,量热片2设置在基座3顶端,所述光电

二极管9的感光面设置在成像光学系统的像面上,二者相互适配对应安装在底座4上;

[0045] 所述透镜成像系统5安装在底座4内,传感器座8通过螺纹与底座4连接,同时压紧透镜成像系统5,通过传感器座8安装固定光电二极管9,光电二极管9安装在传感器座8内,光电二极管9的输出端与采集设备相连;

[0046] 通过成像光学系统收集辐射信号,通过光电二极管9将辐射信号转换为电信号,通过采集设备记录量热片2温度的变化历程。

[0047] 透镜成像系统5,用于收集温敏漆涂层1产生的辐射。设计时保证:1)压敏漆涂层所在位置为系统物面位置;2)光电二极管9光敏面为系统像面位置。

[0048] 适用于利用自发红外辐射测量温度,通过底座4控制光电二极管9和成像光学系统呈正对式安装且无倾角。

[0049] 实施例2

[0050] 如图2所示,一种基于辐射测温的量热计,包括基座3、底座4、量热片 2、光电二极管9和成像光学系统。

[0051] 所述底座4和基座3连接安装形成支撑框架,量热片2设置在基座3顶端,量热片2设置为吸热元件,其材料和厚度根据所测量的热流强度和测试时间确定;所述光电二极管9的感光面设置在成像光学系统的像面上,二者相互适配对应安装在底座4上,光电二极管9用于将温敏漆辐射光信号转换为电信号,其输出端与采集设备相连,光电二极管9安装在传感器座8内,通过压圈与传感器座8固定。传感器座8采用绝缘材料制作。一方面用于安装固定光电二极管9,另一方面传感器座8通过螺纹与底座4连接,安装到位后同时可以压紧滤光片7和透镜成像系统5。

[0052] 还设置有辐射测温组件,辐射测温组件包括温敏漆涂层1、激发光源12、滤光片7。

[0053] 所述激发光源12设置在底座4上,通过压圈与激发光源12的底座4螺纹连接固定;温敏漆涂层1涂敷于量热片2下方,激发光源12波长与温敏漆相匹配,其辐射角选取应保证激发光覆盖温敏漆涂层1;所述滤光片7嵌设在光电二极管9和成像光学系统之间;

[0054] 所述成像光学系统收集温敏漆涂层1的辐射信号,所述光电二极管9将温敏漆涂层1的辐射信号转换为电信号,通过采集设备的数据采集系统记录量热片2温度的变化历程。

[0055] 所述基于辐射测温的量热计,包括基座3、底座4、量热片2、光电二极管9和成像光学系统,以及温敏漆涂层1、激发光源12、滤光片7组成的辐射测温组件,具体组装过程:

[0056] (1)使用高温胶将量热片2与基座3相粘接;

[0057] (2) 在量热片2背面喷涂温敏漆;

[0058] (3)连接底座4与基座3:

[0059] (4)将光电二极管9装入传感器座8,并安装压圈b11,将光电二极管9 压紧固定;

[0060] (5) 将透镜成像系统5装入底座4内,再装入橡胶圈6,之后装入滤波片,将传感器座8装入,压紧透镜成像系统5、橡胶圈6及滤波片:

[0061] (6) 装入激发光源12并安装压圈a10压紧。

[0062] 本发明的又一实施例,透镜成像系统5安装在底座4内,依次安装橡胶圈6和滤光片7,通过橡胶圈6隔离透镜系统和滤光片7;橡胶圈6用于隔离透镜系统和滤光片7,避免两者接触造成损伤。

[0063] 所述滤光片7设置为窄带滤光片7,其安装于透镜与光电二极管9之间,滤光片7中

心波长及通带范围对应温敏漆辐射光波长,与温敏漆辐射光特性相匹配。滤光片7用于提高测量信号信噪比,避免激发光源12对测量结果的影响。

[0064] 本发明的又一实施例,激发光源12波长与温敏漆涂层1相匹配,激发光源12照射温敏漆涂层1产生辐射,所述温敏漆涂层1的辐射强度随温度的升高而降低,利用光致发光的热猝灭效应测量量热片2温度的变化。

[0065] 本发明的又一实施例,还设置有压圈a10和压圈b11,压圈a10和压圈b11 的中间均设置有通孔,通过通孔走线,压圈a10和压圈b11的端面设置卡槽,通过卡槽安装;压圈a10和压圈b11的外壁设置有外螺纹,压圈a10通过外螺纹与激发光源12的底座4螺纹连接固定;压圈b11通过外螺纹与传感器座8 螺纹连接固定。

[0066] 本发明的又一实施例,底座4和基座3采用热传导率小的绝缘材料制备而成。避免传感器周边传热对测量结果的影响,进一步增强高温电离环境下的适应性。

[0067] 更为具体的是,基座3采用热扩散系数低的材料制作而成,基座3与量热片2之间通过高温胶粘接,通过基座3固定量热片2并与底座4相连接;底座 4采用绝缘材料制作而成,底座4与基座3之间通过螺纹连接,控制激发光源 12的照射范围和成像光学系统的成像范围重合,通过底座4固定激发光源12、滤光片7、光电二极管9等器件。

[0068] 本发明的又一实施例,如图3所示,底座4内表面设置为倾斜面,更为具体的是,所述底座4的底部依次设置有倾斜面a4-1、水平面4-2、倾斜面b4-3,倾斜面a4-1和倾斜面b4-3 呈对称式设置在水平面4-2的两侧,通过倾斜面 a4-1和倾斜面b4-3安装激发光源12,通过水平面4-2安装成像光学系统。当对激发强度要求较高而单只激发光源强度无法满足要求时或单只激发光源无法覆盖整个温敏漆图层1时,底座采用图3形式的结构。沿周向布置多个激发光源12,激发光源12所在底座内表面带倾角,透镜成像系统5、滤光片7、传感器底座8及光电二极管9布置在底座4中心区域,与量热片2正对安装。

[0069] 标定

[0070] 实验前需要对温敏漆发光强度/红外辐射强度与温度之间的关系式进行标定。

[0071] 测量基本原理:

[0072] 基于辐射测温的量热计测量热流的原理是结合量热计工作原理和辐射测温原理。

[0073] 量热计工作原理为:假定量热片2背面及侧壁无热损失,则单位面积量热片2在某一时间间隔内传入其中的热量应等于量热片2蓄积的热量,即

[0074]
$$q = \int_0^t \rho c \frac{\partial T}{\partial t} dx$$
 (1)

[0075] 式中ρ为量热片2材料密度,c为量热片2材料比热,1为量热片2厚度。当量热片2密度和比热为常数时,上式可写为:

[0076]
$$q = \rho c l \frac{dT_{ave}}{dt}$$
 (2)

[0077] 其中T_{ave}为量热片2平均温度。实际测量中量热片2的平均温度难以测量,一般测量量热片2背面温度T代替平均温度,

[0078]
$$q = \rho c l \frac{dT}{dt}$$
 (3)

[0079] 由此可知,测量得到量热片2背面温度的变化率后经过简单的运算即可求出热流率。

[0080] 温度的测量可采用受激辐射和自发辐射两种方案进行测量。

[0081] 1) 受激辐射测量温度

[0082] 受激辐射是指在激发光的照射下,材料吸收激发光能量,随后再辐射出光信号的现象。在此可使用应用较广泛的温敏漆。温敏漆利用光致发光的热猝灭效应测量温度变化,其辐射强度随温度的升高而降低,通过测量温敏漆的辐射强度变化即可反演温度变化。温敏漆发光强度与温度间关系式通常描述为:

[0083]
$$\frac{I}{I_{ref}} = f(\frac{T}{T_{ref}})$$

[0084] 其中 I_{ref} 为参考温度 T_{ref} 下的光强,函数f一般采用二次多项式描述,通过标定确定。因此,利用光电二极管9测量温敏漆辐射强度随时间的变化历程根据式 (3) 和式 (4) 即可求出量热片2表面所加载的热流。

[0085] 2) 自发辐射测量温度

[0086] 自发辐射测量温度指利用红外测温。任何温度高于绝对零度的物体会发射红外线,通过测量一定波长范围内物体表面的辐射能量来测量对应的温度,温度越高物体的辐射信号强度越高。物体的辐射特性可以由Planck定理描述,考虑成像光学系统特性和光电二极管9特性,测量得到的辐射强度和温度间关系:

[0087] I = g(T)

[0088] 需要实验前通过标定确定函数形式。

[0089] 实验中测定辐射信号强度变化过程,根据标定的关系式计算对应的温度变化历程,再结合式(3)确定表面加载热流强度。

[0090] 本发明的又一实施,量热片2设置为吸热元件,其材料和厚度根据所测量的热流强度和测试时间确定,主要考虑因素为:量热片2选择不同材料制备而成,量热片2前面温度不超过所选择材料的允许使用温度;量热片背面温度不超过温敏漆涂层的允许使用温度,量热片2背面温度变化范围尽量大,变化范围越大测量灵敏度越高;量热片2的响应时间小于测试时间。

[0091] 所述量热片2前面温度、背面温度、响应时间按照式(6)、(7)、(8) 计算:

[0092]
$$T_f = T_0 + \frac{q\alpha t}{kl} + \frac{1}{3} \frac{ql}{k} - \frac{2ql}{k\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} e^{-\alpha (\frac{n\pi}{l})^2 t}$$
 (6)

$$[0093] T_b = T_0 + \frac{q\alpha t}{kl} - \frac{1}{6} \frac{ql}{k} - \frac{2ql}{k\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n^2} e^{-\alpha (\frac{n\pi}{l})^2 t}$$

$$(7)$$

[0094]
$$t_{R} = \frac{l^{2}}{\alpha \pi^{2}} \ln(\frac{2}{1 - q_{ratio}})$$
 (8)

[0095] 式中: T_f 为量热片2前面温度、 T_b 为量热片2背面温度、 t_R 为量热片2响应时间、 T_0 为量热片2测量前初始温度、 α 为量热片2材料热扩散系数、k为量热片2材料热导率、1为量热片2厚度、q为量热片2前面加载热流,即所要测量的热流, $q_{\rm ratio}$ 为量热片2背面测得热流值与加

载热流的比值,一般取 0.99。

[0096] 面测量可行性分析

[0097] 上述阐述过程是针对单点测量的,根据其测量原理,将探测器换为成像器件即可进行面测量。

[0098] 量热片2内部热传导过程可以用二维非稳态热传导方程进行描述,可以通过数值方法进行求解。通过数值求解可确定量热片2背面各位置温度的变化历程,结合式(3)即可确定热流。图4是某工况下获得的量热片2背面各位置温度的变化历程。

[0099] 常见的热流空间分布情况为线性变化、阶跃变化、局部凸起,针对以上情况分别进行了计算,结果如图5、6、7所示。根据结果可以确定该测量方法可以开展面测量,同时获取量热片2表面的热流分布情况,测量空间分辨率取决于材料的热传导系数,热传导系数越大空间分辨率越低。开展面测量时,成像器件的空间分辨率应小于量热片2的空间分辨率。

[0100] 以上所述并非是对本发明的限制,应当指出:对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明实质范围的前提下,还可以做出若干变化、改型、添加或替换,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

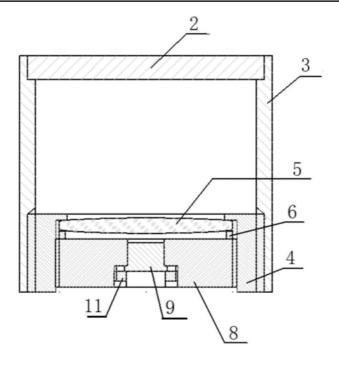


图1

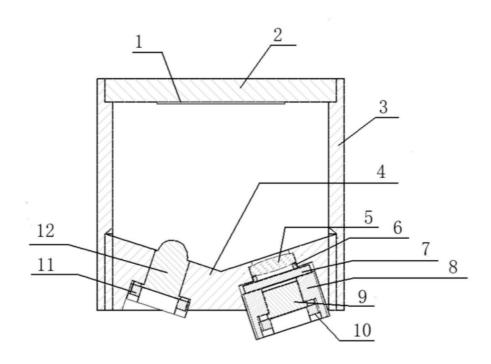


图2

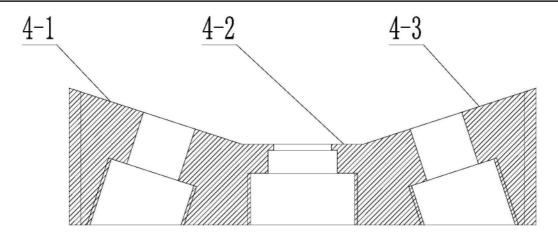


图3

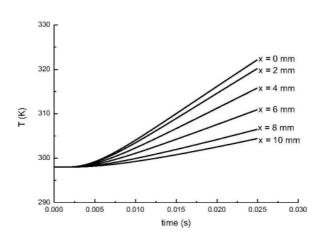


图4

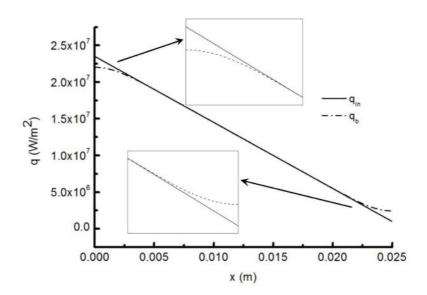


图5

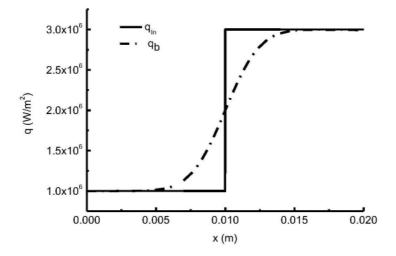


图6

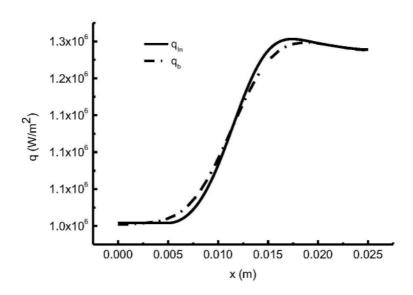


图7