

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G01K 5/48 (2006.01)

G01L 1/24 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200710038145.0

[43] 公开日 2007年10月3日

[11] 公开号 CN 101046412A

[22] 申请日 2007.3.16

[21] 申请号 200710038145.0

[71] 申请人 东华大学

地址 201620 上海市松江区松江新城区人民
北路 2999 号

[72] 发明人 詹亚歌 向世清 杨沁玉 薛绍林

[74] 专利代理机构 上海泰能知识产权代理事务所
代理人 黄志达 谢文凯

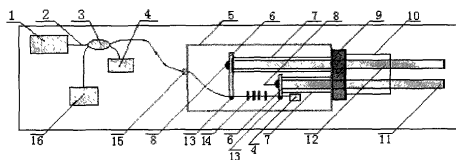
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 2 页

[54] 发明名称

光纤光栅高温传感系统

[57] 摘要

一种光纤光栅高温传感系统，包括宽带光源， 2×2 耦合器，1550nm 波段的单模通讯光纤，光纤光栅高温传感头和光谱仪。其中高温传感头包括：两个金属条，两个挡板，一个固定金属圆板（带有螺纹），一个圆柱体的陶瓷云母，两个玻璃管，两个螺丝钉，一段有布喇格光纤光栅的光纤，一个内壁带有螺纹的套筒，两个环氧树脂接点。当高温传感头传感端同时接触被测目标物体（或被放入被测温度场）时，被测温度场将热量传递给两个金属条，金属条受热发生膨胀，两个挡板距离变化，挤压或拉伸光栅，光栅的波长被光谱仪解调，根据光栅波长的变化测定温度场的温度。本发明具有测量动态范围大，测量精度高，耐高温，抗电磁干扰的特点。



1. 一种光纤光栅高温传感系统, 包括: 宽带光源(1)、1550nm 波段单模通信光纤(2)、2×2 耦合器(3)、光纤光栅高温传感头以及光谱仪(16), 其特征在于: 宽带光源(1)输出的光经 1550nm 波段单模通信光纤(2)进入 2×2 耦合器(3), 2×2 耦合器(3)输出的光进入光纤光栅高温传感头, 光谱仪(16) 测量光纤光栅高温传感头反射光的波长。

2. 根据权利要求 1 所述的光纤光栅高温传感系统, 其特征在于, 所述的光纤光栅高温传感头包括: 套筒(5)、挡板(6)、玻璃管(7)、螺钉(8)、带孔金属板(9)、陶瓷云母(10)、金属条(11; 12)、环氧树脂粘接点(13)、布喇格光纤光栅(14)以及法兰盘(15), 两个挡板(6)支持光纤布喇格光栅(14), 两个螺钉(8)把两个挡板(6)固定到金属条(11; 12)上, 带孔金属板(9)把两个金属条(11; 12)固定, 套筒(5)防止与外界热交换并防止光栅受外界影响, 玻璃管(7)和陶瓷云母(10)最大限度防止热量从金属条(11; 12)散失, 环氧树脂粘接点(13)把布喇格光纤光栅(14)固定到两个挡板(6)上, 法兰盘(15)连接套筒内外光路。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的光纤光栅高温传感系统, 其特征在于, 布喇格光纤光栅(14)不是直接接触高温物体或放入高温温度场中。

4. 根据权利要求 1 或 2 所述的光纤光栅高温传感系统, 其特征在于, 所述的金属条(11)具有较高热膨胀系数, 金属条(12)具有较低热膨胀系数, 通过两个热膨胀系数不同、长度不同的金属条可将被测高温转化为光纤光栅的应变。

光纤光栅高温传感系统

技术领域

本发明涉及光纤光栅传感，是一种可测量高温的光纤光栅高温传感系统。

背景技术

光纤光栅作为一种光学器件，是在光纤中建立起一种空间折射率周期分布，使在其中光的传播特性得以改变的器件。

当宽带光源入射到光纤布拉格光栅(以下简称为 FBG)中时，其反射光的中心波长 λ_B 由布拉格方程给出：

$$\lambda_B = 2n\Lambda \quad (1)$$

其中， n 为纤芯的有效折射率， Λ 为光栅周期。

当 FBG 所处环境的温度和应变等物理量发生变化时会导致 λ_B 变化，且波长变化量 $\Delta\lambda_B$ 在一定范围内与温度和(或)应变均成线性关系，当环境温度变化量为 ΔT 时，对应的波长漂移量 $\Delta\lambda_{BT}$ 可以表示为：

$$\Delta\lambda_{BT} = \lambda_B(\alpha + \xi) \Delta T \quad (2)$$

其中 α 和 ξ 分别为光纤的热膨胀系数和热光系数。对于普通石英光纤，在 1550nm 时，波长随温度变化的灵敏度系数约为 13pm/°C。

当 FBG 受纵向应变为 $\Delta\varepsilon$ 时，对应的波长漂移量 $\Delta\lambda_{BS}$ 可以表示为：

$$\Delta\lambda_{BS} = \lambda_B \left\{ 1 - \frac{n^2}{2} [\rho_{12} - \nu(\rho_{11} - \rho_{22})] \right\} \Delta\varepsilon \quad (3)$$

其中， ρ_{11} 和 ρ_{12} 为光纤的应力张量元， ν 为泊松比。对于普通石英光纤，在 1550 nm 时，波长随应变变化的灵敏度系数约为 1.15pm/ $\mu\varepsilon$ 。

根据上述线性关系，测出 $\Delta\lambda_B$ 即可以得出待测物理量的变化情况，因此，FBG 被广泛用于测量温度、应变、应力和位移等物理量，作为光纤光栅传感器的常用传感头元件。光纤光栅传感器具有明显的优势，包括抗电磁干扰、耐高温、体积小、灵活方便，传感信号为波长调制，复用能力强，可实现准分布式测量等。

光纤光栅传感器由于其独特的优势和广泛的应用而在光纤传感领域倍受瞩目，在十多年来有了快速的发展。然而，随着光纤光栅传感器应用范围的不断扩大，人们对其性能的要求也越来越多，工业领域中有时需要其测量较高的温度。例如油井中的温度(油井温度是确定油层的位置、厚度、含水层的深度的基本依据)会随开采深度的增加而不断升高。而目前广泛使用的电子式温度传感器(例如由铂、铑等

贵金属制造的热电偶温度计)存在可靠性低、高温漂移大、容易引发火灾等问题,因此研究新型的以光的绝对量波长为编码的光纤光栅传感器系统具有重要的意义。但是由于普通光纤光栅不能承受较高的温度,以其直接作为传感元件,当温度高于200℃时将出现较大的误差,测量不准确,根本原因是光栅的反射谱出现了变形或退化,这是一直困扰在光纤光栅温度传感领域的一个难题,因此在可查到的报道中,利用光纤光栅测量高温的报道很少。根据可查到的报道,国内有关光纤光栅传感器的研究中,最高可测温度为200℃。

发明内容

本发明的目的在于提供一种可测量高温的光纤光栅高温传感系统,弥补现有光纤光栅传感领域的不足之处,实现光纤光栅的高温传感测量。

本发明的光纤光栅高温传感系统,包括:宽带光源、1550nm波段单模通信光纤、2×2耦合器、光纤光栅高温传感头以及光谱仪,宽带光源输出的光经1550nm波段单模通信光纤进入2×2耦合器,2×2耦合器输出的光进入光纤光栅高温传感头,光谱仪测量光纤光栅高温传感头反射光的波长。

所述的光纤光栅高温传感头包括:套筒、挡板、玻璃管、螺钉、带孔金属板、陶瓷云母、金属条、环氧树脂粘接点、布喇格光纤光栅以及法兰盘,两个挡板支持光纤布喇格光栅,两个螺钉把两个挡板固定到金属条上,带孔金属板把两个金属条固定,套筒防止与外界热交换并防止光栅受外界影响,玻璃管和陶瓷云母最大限度防止热量从金属条散失,环氧树脂粘接点把布喇格光纤光栅固定到两个挡板上,法兰盘连接套筒内外光路。

所述的布喇格光纤光栅不是直接接触高温物体或放入高温温度场中,因此在测量高温时光纤光栅的反射谱不会因高温而变形,从而不会带来较大的测量误差。

所述的两根金属条具有不同的热膨胀系数,通过两个热膨胀系数不同、长度不同的金属条可将被测高温转化为光纤光栅的应变,而使光栅受到拉伸或压缩。

本发明的光纤光栅高温传感系统,借助连接在一起的具有不同热膨胀系数的两个金属条,把温度(的变化)转化为两个金属条绝对膨胀量(的变化),最后转化为光栅中心波长的变化,由光谱仪解调出波长的变化,从而得知温度的变化或具体值。

该系统既能测量较高温度又可避免受电磁干扰,同时是航天器和船舶制造业、金属炼制行业、石油开采行业中进行温度控制、疲劳和健康状态检测的重要仪器。因此在上述各个行业中都具有重要作用。本光纤光栅高温测量系统除具有抗电磁干扰的特点外,还具有测量动态范围大,耐高温,使用范围广的特点。

为便于说明计算,利用图2作为简化图。如图2所示,由线膨胀系数不同的两种金属加工而成的金属圆杆,被热的不良导体加工而成的陶瓷云母圆盘固定在一起,

金属杆的右端与陶瓷云母圆盘固定在一起，然后利用环氧树脂把光栅的两端分别粘接在另外两个陶瓷云母方柱（两者分别与金属杆固定在一起）的平面上（如图所示的 A、B 两点）。当传感头的传感端（金属杆右端）接触高温物体或处于高温场时，金属杆吸收热量并将热量从右端向左端传导，同时产生热膨胀，长度和线膨胀系数的不同导致两个金属杆热膨胀量（即 ΔL_1 和 ΔL_2 ）不同，从而 A、B 两点间距变化，光栅受到拉伸或压缩的应力作用，这样就巧妙地把待测温度转化为光栅的应变，避免因高温而损坏光栅。选择合适的波长解调系统，解调应力引起的光栅波长变化即可得知待测的温度。

取高膨胀金属长度在室温时为 L_1 ，低膨胀金属长度在室温时为 L_2 ，A、B 两点间距为 L 。设被测温度为 T 时，两金属杆的伸缩量差为 ΔL ，则此时光纤的应变为：

$$\varepsilon = \frac{\Delta L_1 - \Delta L_2}{L} = \frac{\Delta L}{L} \quad (4)$$

因此光栅的波长漂移为：

$$\Delta \lambda_B = \lambda_B (1 - p_e) \varepsilon = \lambda_B (1 - p_e) \frac{\Delta L}{L} \quad (5)$$

$$\text{其中： } p_e = -\frac{1}{\varepsilon} \frac{\Delta n_{\text{eff}}}{n_{\text{eff}}} = \frac{n_{\text{eff}}^2}{2} [p_{12} - \nu(p_{11} + p_{12})] \quad (6)$$

这里 p_{11} 和 p_{12} 为光弹张量的 Pockels 系数， ν 为泊松比，通常 p_e 为常数，对普通光纤一般有 $p_e = 0.22$ 。因此，波长变化 $\Delta \lambda_B$ 主要决定于光栅纵向伸缩量 ΔL 和 L 。而 ΔL 取决于被测温度、两金属杆的长度 L_1 和 L_2 以及两金属杆的线膨胀系数 α_1 和 α_2 。

热平衡时，金属杆上不同位置的温度不同（右端较高，左端较低），不同温度时金属的线膨胀系数也不同。为计算的简单，这里采用分段计算求和法，将每一小段的平均温度作为这一段的温度，并用这一温度对应的线膨胀系数作为这一小段的平均线膨胀系数，求得每一小段的膨胀量，最后求和得到金属杆的总膨胀量，如 7 和 8 式所示：

$$\Delta L_1 = \sum_{j=1}^n l_{1j} \cdot \Delta T_{1j} \cdot \alpha_{1j} \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

$$\Delta L_2 = \sum_{j=1}^n l_{2j} \cdot \Delta T_{2j} \cdot \alpha_{2j} \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

其中， l_{ij} 、 ΔT_{ij} 、 α_{ij} ($i=1, 2$) 分别为金属杆上响应第 j 小段的长度、温度和对应的线膨胀系数，两者的膨胀量之差即光栅的纵向伸缩量为： $\Delta L = |\Delta L_1 - \Delta L_2|$ ，我们采用压力加工黄铜（H62）和钢（45 号）分别作为高、低膨胀金属（同一温度变化范围

时有 $\alpha_{\text{铜(H62)}} > \alpha_{\text{钢45}}$), 压力加工黄铜(H62)的长度为L1, 钢(45号)的长度为L2。选取这两种金属的不同长度组合, 根据这两个金属杆的温度下降规律(见附录1)及其线膨胀系数随温度的变化规律(见附录2), 和光栅的波长一应变响应特性, 从理论上模拟了被测温度为0-500℃时光栅反射中心波长(设光栅在室温自由状态下的原波长为1550nm)与温度之间的关系, 如图3所示。为了解更高温度时光栅波长的响应情况, 采用同样方法计算了在0-1000℃(H62铜的熔点为1085℃, 钢45的熔点为1370℃)时, 光栅波长与温度之间的关系, 如图4所示。由图3和图4可知, 选择图3中A曲线所示的金属组合可提高传感器的灵敏度, 因为A曲线的斜率大于B曲线的斜率。值得提出的是金属的热膨胀系数随温度改变将有所变化, 当达到一定的温度时, L1的绝对膨胀量将大于L2的绝对膨胀量, 所以光栅应变将会有所减小, 因此图4中稍有弯曲。

由于1550nm波段的普通光纤布拉格光栅的反射中心波长被应力拉长6nm(某些优质的光纤光栅的反射中心波长可被拉长10nm以上)时可能会被拉断, 所以实验中应保证光栅波长增量小于6nm, 由图3和图4可知, 压力加工黄铜(H62)和钢(45号)的两种组合(L1=20cm, L2=18cm组合与L1=18cm, L2=20cm组合), 均可实现对高达600℃的温度进行传感测量, 并且可避免双值问题。

本发明的有益效果是:

(1) 本发明实现的光纤光栅高温传感系统只需要用两个热膨胀系数不同、长度不同的金属条以及一些附件即可构成高温传感头, 通过高温传感头把温度(的变化)转化为两个金属条绝对膨胀量(的变化), 最后转化为光栅中心波长的变化, 由光谱仪解调出波长的变化, 从而得知被测温度。

(2) 本发明实现的光纤光栅高温传感系统, 可根据被测目标的具体状况选用适当的金属条, 当被测目标明确时, 可知需要测量的温度范围和精度要求的大致状况, 因此可确定金属条的长度, 也可确定金属条的种类即可知金属条线膨胀系数。

(3) 选择不同的金属条(包括金属条的长度、长度差值、线膨胀系数改变(即金属种类变化时)), 本发明光纤光栅高温传感系统的测量动态范围和测量的灵敏性不同, 因此较为灵活。金属条的更改和拆卸方便。

附图说明

图1 光纤光栅高温传感系统实施例装置示意图。

图2 传感头结构简化图。

图3 0-500℃测温范围内光栅波长漂移量与温度的关系曲线。

图4 0-1000℃测温范围时光栅波长与温度的关系曲线。

图5 系统实验结果图。

具体实施方式

下面结合实施例和附图对本发明作进一步说明，但不应以此限制本发明的保护范围。

如图 1 所示，是本发明光纤光栅高温传感系统实施例装置示意图。由图可见，本发明光纤光栅高温传感系统，其特征构成是：一宽带光源（1）的输出光经连接光纤（2）进入 2×2 的耦合器（3）。耦合器（3）的输出光中的一部分经耦合器的第一个端臂进入光纤布喇格光栅（14），而另一部分光经耦合器的第二个臂进入折射率匹配液（4）中。布喇格光纤光栅（14）和两个金属条（11；12）是本发明中光纤光栅高温传感头的核心元件。两个金属条被固定到金属板（9）上，如图中所示，金属板左侧部分的金属条被玻璃套管保护，可减少外界干扰。通过两个螺钉（8）分别把两个截面为正方形的挡板（6）固定到金属条（11；12）的左端，挡板端面为平面，通过两个环氧树脂粘接点（13）把光纤布喇格光栅（14）固定到两个挡板上，整个传感头中金属板（9）左侧的部分被套桶（5）所保护，套桶可防止与外界热交换并防止光栅受外界影响，套桶左底面的法兰盘（15）可连接套桶内外的光纤光路。而光纤布喇格光栅（14）的反射光通过耦合器（3）进入光谱仪（16）中，通过反射光信息可推算出被测温度。

目前利用该系统在实验中实现了 500℃ 的动态范围和 1℃ 的温度分辨率，实验数据如图 5 所示。因受限于目前的实验条件，只在 0--500℃ 的范围内做实验，但结果与理论模拟分析图 4 非常一致。因此可推论该高温传感系统可测温度范围为 0-800℃，可实现的温度分辨率为 1℃。

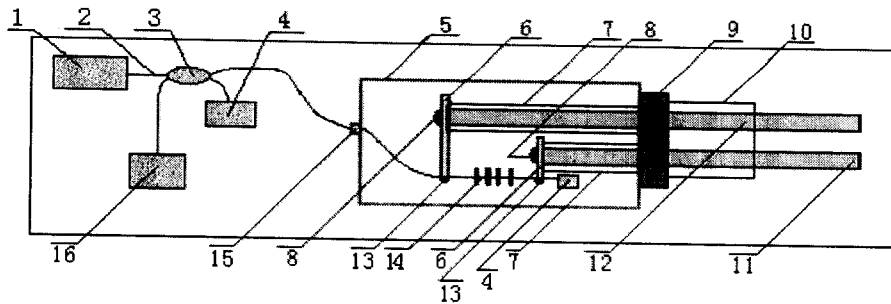


图 1

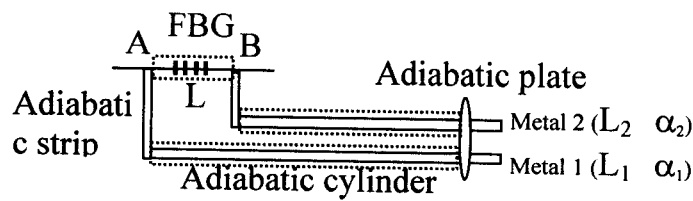


图 2

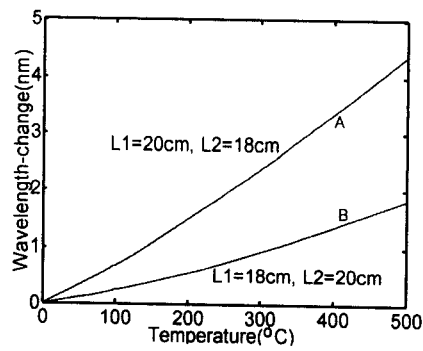


图 3.

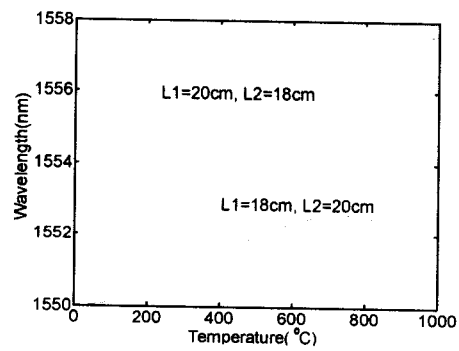


图 4.

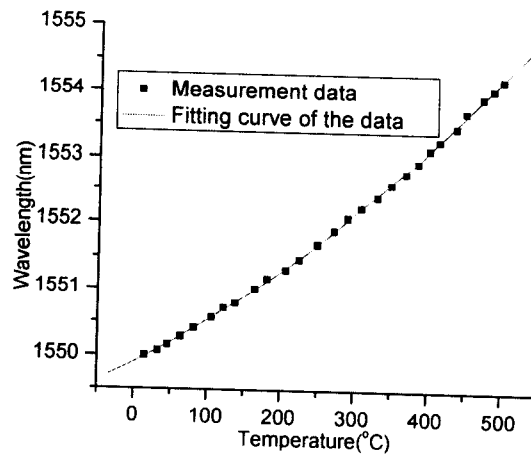


图 5