

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G01K 11/32 (2006.01)

G02B 6/02 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200810105788.7

[45] 授权公告日 2009年10月28日

[11] 授权公告号 CN 100554901C

[22] 申请日 2008.5.5

[21] 申请号 200810105788.7

[73] 专利权人 中国地震局地壳应力研究所

地址 100085 北京市海淀区安宁庄路一号

共同专利权人 北京品傲光电科技有限公司

[72] 发明人 李阔 周振安 叶晓平 刘爱春  
王永根

[56] 参考文献

CN1399152A 2003.2.26

JP2003-247899A 2003.9.5

US2002/0141700A1 2002.10.3

US5295206A 1994.3.15

CN2572422Y 2003.9.10

CN2876808Y 2007.3.7

US6243527B1 2001.6.5

光纤光栅温度补偿桥式结构. 黄山等. 半导体光电, 第24卷第6期. 2003

光纤光栅温敏特性研究. 罗映祥等. 重庆三峡学院学报, 第22卷第3期. 2006

双金属结构对布拉格光栅的温度补偿研究. 胡纪平等. 电子测试, 第3期. 2008

审查员 冉小燕

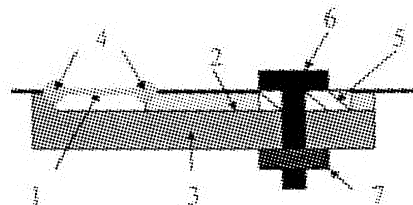
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

[54] 发明名称

工作于高、低温的高灵敏度光纤光栅温度传感器的制作方法

[57] 摘要

本发明提供的是一种工作于高、低温的高灵敏度光纤光栅温度传感器的制作方法。该传感器采用双金属结构，通过调节光纤光栅的预松长度，调节传感器的开始工作的温度。该方法解决了高灵敏度光纤光栅温度传感器无法在高、低温下工作的难题。将在温度测量领域有广泛应用前景。



1、一种工作于高、低温的高灵敏度光纤光栅温度传感器的制作方法，其特征在于：对于以双金属方式制作高灵敏度光纤光栅温度传感器，所述传感器主要由以下部分组成：光纤光栅、具有热膨胀系数为  $\alpha_1$  的金属底座、具有热膨胀系数为  $\alpha_2$  的金属长条，所述金属底座与所述金属长条固定在一起，光纤光栅的两端分别粘贴到所述金属底座和所述金属长条的端点，两粘贴点间的距离为  $d$ ， $L$  为所述金属底座上的两固定点间的长度，制作传感器时的温度为  $T_r$ ，要求传感器的起始工作温度为  $T_s$ ，当  $T_s > T_r$  时，即传感器工作于高温时，制作传感器时应使  $\alpha_1 \gg \alpha_2$ ；当  $T_s < T_r$  时，即传感器工作于低温时，制作传感器时应使  $\alpha_1 \ll \alpha_2$ ，为了使光纤光栅在所述温度  $T_s$  才开始被拉紧，在所述温度  $T_r$  下制作传感器时，光纤光栅在其两粘贴点之间的长度应比两粘贴点间的距离  $d$  长  $\Delta d$ ，即光纤光栅的预松长度  $\Delta d$ ，为了改变其开始工作的温度，所述光纤光栅预松长度  $\Delta d = [\alpha_1 L - \alpha_2 (L - d)] (T_s - T_r)$ 。

## 工作于高、低温的高灵敏度光纤光栅温度传感器的制作方法

## 一、技术领域

本发明涉及光纤传感器，尤其是双金属光纤光栅温度增敏传感器设计方法和制作工艺。

## 二、技术背景

光纤光栅具有许多其它传感器无法比拟的优点：全光测量，在监测现场无电气设备，不受电磁及核辐射干扰；零点无漂移，长期稳定；以反射光的中心波长表征被测量，不受光源功率波动、光纤微弯效应及耦合损耗等因素的影响；绝对量测量，系统安装及长期使用过程中无需定标；使用寿命长等等。

光纤光栅是利用光纤材料的光敏性，即外界入射光子和纤芯相互作用而引起后者折射率的永久性变化，用紫外激光直接写入法在单模光纤的纤芯内形成的空间相位光栅，其实质是在纤芯内形成一个窄带的滤光器或反射镜。光纤光栅属于反射型工作器件，当光源发出的连续宽带光通过传输光纤射入时，它与光栅发生耦合作用，光栅对该宽带光有选择地反射回相应的一个窄带光，并沿原传输光纤返回；其余宽带光则直接透射过去。反射回的窄带光的中心波长值（也叫 Bragg 波长）为：

$$\lambda_B = 2n_{\text{eff}}\Lambda$$

上式中， $n_{\text{eff}}$  为 FBG 的有效折射系数， $\Lambda$  为 FBG 的相邻两个栅隔之间的几何距离。当温度变化时，引起返回波长变化量相对温度变化量的灵敏度为：

$$\Delta\lambda_B / \Delta T = [(1 - P_e) \varepsilon + \zeta] \lambda_B \quad (1)$$

其中， $P_e$  为 FBG 的有效弹光常数； $\varepsilon$  为单位温度变化下 FBG 的应变系数； $\zeta$  为 FBG 的热光系数。

FBG 固有的温度分辨率很低，约  $0.1 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{pm}$ 。这在很多应用领域都无法满足要求。因此，很多研究人员就提高其温度灵敏度做了很多工作。FBG 温度传感器增敏的原理是利用 FBG 对温度和应变同时敏感的特性，通过合理的结构设计，把 FBG 和高热膨胀系数材料封装在一起。当被测温度变化时，通过高热膨胀系数材料的形变向 FBG 施加一个应变系数，使得 FBG 的返回波长变化量加大。最初，研究人员通过将 FBG 直接粘贴在大膨胀系数材料上进行温度增敏。这种方法取得的增敏效果有限，受到材料的热膨胀系数制约。1999 年 3 月，Jeahoo Hung 等人在 Applied Optics 期刊上，提出了通过双金属实现温度增敏，效果明显。双金属温度增敏原理：温度变化时，把两种热膨胀系数不同的金属长度变化量的差转化成光栅长度的变化量，使得光纤光栅的返回中心波长的变化量增加，从而提高光纤光栅的温度灵敏度。

双金属的温度增敏方法的结构原理图如附图 1 所示。单位温度变化下光纤光栅的两个粘贴点间的距离  $d$  的变化量为：

$$\Delta d = \alpha_1 L - \alpha_2 (L - d)$$

$L$  为底座 3 上的两固定点间的长度， $\alpha_1$  为 3 的热膨胀系数， $\alpha_2$  为 2 的热膨胀系数。

当光纤光栅被拉伸后，它的应变变化即为两个粘贴点间的应变变化。因此有此时单位温度变化下光纤光栅的应变变化为：

$$\varepsilon = [\alpha_1 L - \alpha_2 (L - d)] / d \quad (2)$$

把 (2) 式代入 (1)，得到光纤光栅的温度灵敏度系数为：

$$\Delta \lambda_B / \Delta T = \{(1 - P_e) [\alpha_1 L - \alpha_2 (L - d)] / d + \zeta\} \lambda_B \quad (3)$$

对于高灵敏度光纤光栅温度传感器，光纤光栅热光系数对传感器温度灵敏度的贡献远小于光纤光栅应变变化产生的贡献。传感器的测温量程约等于光纤光栅能承受的最大应变与传感器灵敏度的商。因光纤光栅所能承受的应变有限，致使高灵敏度光纤光栅温度传感器的量程有限。例如，当高灵敏度光纤光栅温度传感器的灵敏度为  $1000 \text{ pm}/^\circ\text{C}$  时，因为光纤光栅所能承受的最大应变约为  $4000 \text{ ustrain}$ ，对应的波长变化约为  $4800 \text{ pm}$ ，所以此时光纤光栅温度传感器的量程约为  $4.8^\circ\text{C}$  ( $4800 \text{ pm} \div 1000 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ )。

如何使高灵敏度光纤光栅温度传感器能在高温和低温下工作，就显得尤为重要。

### 三、 发明内容

为解决该问题，我们提出通过调节光纤光栅的预松长度，改变其开始被拉紧的温度，从而使传感器工作在不同的温度。

设制作传感器时的温度为  $T_r$ ，要求传感器的起始工作温度为  $T_s$ 。在传感器的环境温度由  $T_r$  变化到  $T_s$  的过程中，以增加为正，底座 3 的长度变化量为  $\alpha_1 L (T_s - T_r)$ ，长条 2 的长度变化量为  $\alpha_2 (L - d) (T_s - T_r)$ 。因此，光纤光栅的两个粘贴点之间的长度变化量应为：

$$\begin{aligned} \Delta d &= \alpha_1 L (T_s - T_r) - \alpha_2 (L - d) (T_s - T_r) \\ &= [\alpha_1 L - \alpha_2 (L - d)] (T_s - T_r) \end{aligned}$$

为了使光纤光栅在温度  $T_s$  才开始被拉紧，在温度  $T_r$  下制作传感器时，光纤光栅在其两粘贴点之间的长度应比两粘贴点之间的距离长  $\Delta d$ ，即光纤光栅的预松长度为  $\Delta d$ 。

$\Delta d > 0$  时，传感器在温度  $T_r$  下，其光纤光栅为松弛状态。而且，在光纤光栅有一定的长

度的情况下，其松弛量可以很大， $\Delta d$  可以很大（当  $d=40\text{mm}$ ， $\Delta d > 4\text{mm}$ ）。 $\Delta d < 0$  时，传感器在温度  $T_r$  下，其光纤光栅为拉紧状态。由于光纤光栅所能承受的应变有限，当  $d=40\text{mm}$ ， $\Delta d < -0.2\text{mm}$ 。为了使高灵敏度温度传感器的光纤光栅在温度  $T_s$  下不被拉断，应取  $\Delta d > 0$ 。

为了使  $\Delta d > 0$ ，同时传感器的温度灵敏度  $\Delta\lambda_B / \Delta T$  较高，当  $T_s > T_r$  时（即传感器工作于高温），制作传感器时应使  $\alpha_1 \gg \alpha_2$ ；当  $T_s < T_r$  时（即传感器工作于低温），制作传感器时应使  $\alpha_1 \ll \alpha_2$ 。

为了更好的控制光纤光栅的预松长度，我们设计了一款传感器，结构示意图如说明书附图图 2 和图 3 所示。通过调整长条 2 的位置，可以改变光纤光栅的两个粘贴点间的距离。先调整长条 2 的位置，配合使用波长解调仪，使光纤光栅刚好开始被拉紧，记下此时两粘贴点间的距离  $d$ 。然后，再调整长条 2 的位置以缩短  $d$ ，缩短的量即为预松长度  $\Delta d$ 。通过改变  $\Delta d$ ，就可以使传感器可以工作在不同的温度区间。

#### 四、附图说明

附图 1 是双金属温度增敏原理图；附图 2 是本发明的结构示意图（正视图）；附图 3 是本发明的结构示意图（俯视图）。

其中，1 为光纤光栅，4 为固定点，5 为条孔，6 为固定螺钉，7 为螺帽；当制作工作在高温的高灵敏度温度传感器时，2 为小热膨胀系数材料，3 为大热膨胀系数材料；当制作工作在低温的传感器时，2 为大热膨胀系数材料，3 为小热膨胀系数材料。

#### 五、具体实施方案

下面结合举例对本发明做更详细的描述：

实例 1：在  $20^\circ\text{C}$  的环境下，制作起始工作温度为  $120^\circ\text{C}$  的传感器。该传感起主要由以下部分组成：一根光纤光栅，大热膨胀系数铝 ( $\alpha = 22 \times 10^{-6}/\text{K}$ ) 底座，小热膨胀系数 invar ( $\alpha = 0.5 \times 10^{-6}/\text{K}$ ) 长条，其中 invar 长条上制作了一个长条孔，一个固定螺钉和一个螺母。根据图 2 和图 3 所示方式，先把铝底座和 invar 长条通过螺丝和螺母固定在一起。然后再用环氧树脂胶将光纤光栅的两端分别粘贴到铝底座和 invar 长条的端点。然后，就可以通过移动 invar 长条，确定  $d$ ，并根据不同的  $T_s$ ，选择不同的  $\Delta d$  了。

不妨设  $L=500\text{mm}$ ， $d=15\text{mm}$ 。此时，光纤光栅的预松长度应为：

$$\Delta d = [\alpha_2 L - \alpha_1 (L-d)] (T_s - T_r) \approx 1.05\text{mm}$$

传感器的温度灵敏度为：

$$\Delta\lambda_B / \Delta T = \{(1 - 0.22)[22 * 500 - 0.5 * (500 - 15)] / 15 + 6.7\} * 1.55 = 877 \text{ pm}/^\circ\text{C}$$

$$\Delta\lambda_B / \Delta T = \{(1-0.22)[22 * 500 - 0.5 * (500-15)] / 15 + 6.7\} * 1.55 = 877 \text{ pm}/^\circ\text{C}$$

实例 2: 在 20°C 的环境下, 制作起始工作温度为 -80°C 的传感器。该传感起主要由以下部分组成: 一根光纤光栅, 小热膨胀系数 invar 底座, 大热膨胀系数铝长条, 其中铝长条上制作了一个长条孔, 一个固定螺钉和一个螺母。根据图 2 和图 3 所示方式, 先把 invar 底座和铝长条通过螺丝和螺母固定在一起。然后再用环氧树脂胶将光纤光栅的两端分别粘贴到 invar 底座和铝长条的端点。然后, 就可以通过移动铝长条, 确定 d, 并根据不同的 Ts, 选择不同的 Δd 了。

不妨设 L=500mm, d=15mm。此时, 光纤光栅的预松长度应为:

$$\Delta d = [\alpha_2 L - \alpha_1 (L-d)] (T_s - T_r) \approx 1.04 \text{ mm} ,$$

传感器的温度灵敏度为:

$$\Delta\lambda_B / \Delta T = \{(1-0.22)[22 * 500 - 0.5 * (500-15)] / 15 + 6.7\} * 1.55 = -829 \text{ pm}/^\circ\text{C}$$

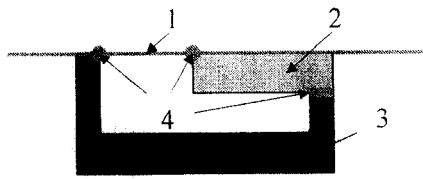


图1

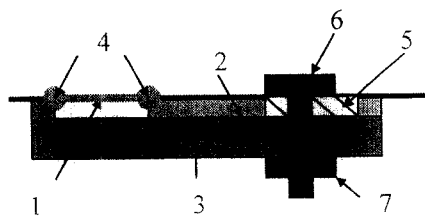


图2



图3