



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103115694 B

(45) 授权公告日 2015.02.04

(21) 申请号 201310017991.X

(22) 申请日 2013.01.17

(73) 专利权人 中国地震局地壳应力研究所
地址 100085 北京市海淀区西三旗安宁庄路
1号

(72) 发明人 刘爱春 马晓川 周振安 刘大鹏
李杰飞 陈晓丹

(74) 专利代理机构 北京凯特来知识产权代理有
限公司 11260
代理人 郑立明 赵镇勇

第3-4行.

WO 2005/024496 A2, 2005.03.17, 全文.

EP 2295946 A1, 2011.03.16, 全文.

CN 202494531 U, 2012.10.17, 全文.

CN 102768094 A, 2012.11.07, 全文.

US 2002/0154860 A1, 2002.10.24, 全文.

李阔, 周振安, 刘爱春. 基于光纤光栅的高
精度测温传感器研究. 《地球物理学进展》. 2008,
第23卷(第4期), 1322-1325.

审查员 董立静

(51) Int. Cl.

G01K 11/32(2006.01)

(56) 对比文件

CN 2679702 Y, 2005.02.16, 说明书第2页第
1-2行、第17-18行、最后4行, 第3页第7行, 说
明书附图图1.

CN 202511764 U, 2012.10.31, 说明书第
[0013]、[0022]段.

CN 101387516 A, 2009.03.18, 说明书第3页

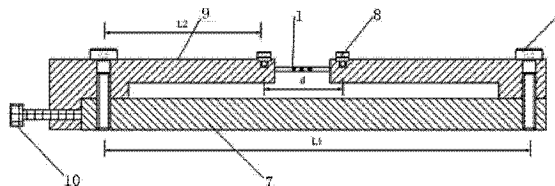
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

基于低熔点玻璃焊接的光纤光栅高灵敏度温
度传感器

(57) 摘要

本发明公开了一种基于低熔点玻璃焊接的光
纤光栅高灵敏度温度传感器, 包括基底, 基底的
两端分别固定有金属悬臂梁, 两个金属悬臂梁
的悬臂端相对设置, 两个金属悬臂梁的悬臂
端之间固定有光纤光栅, 至少一个金属悬臂
梁与所述基底之间设有微调螺杆。极大的提
高了光纤光栅温度灵敏度, 解决了光纤光栅
测温分辨率低的缺陷, 使用了低熔点玻璃焊
接工艺固定光纤光栅, 使得增敏后光纤光栅
温度传感器稳定性更好, 并设计了预拉装置,
对光纤光栅预拉程度更容易调节。



1. 一种基于低熔点玻璃焊接的光纤光栅高灵敏度温度传感器,其特征在于,包括基底,所述基底的两端分别固定有金属悬臂梁,两个金属悬臂梁的悬臂端对称设置,两个金属悬臂梁的悬臂端之间固定有光纤光栅,至少一个金属悬臂梁与所述基底之间设有微调螺杆;

所述基底材料的热胀系数 $\alpha_1 = 2.1 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$,所述悬臂梁材料的热胀系数 $\alpha_2 = 0.8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$;

所述光纤光栅通过玻璃焊接技术固定在所述金属悬臂梁上;

所述金属悬臂梁的悬臂端设有 T 型槽,所述 T 型槽的顶壁设有光纤固定螺钉,所述光纤光栅用低熔点玻璃焊接在一个金属片上,所述金属片插入到所述 T 型槽中,拧紧所述光纤固定螺钉将所述金属片锁紧。

2. 根据权利要求 1 所述的基于低熔点玻璃焊接的光纤光栅高灵敏度温度传感器,其特征在于,所述悬臂梁材料为镍铬合金。

基于低熔点玻璃焊接的光纤光栅高灵敏度温度传感器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种温度传感器,尤其涉及一种基于低熔点玻璃焊接的光纤光栅高灵敏度温度传感器。

背景技术

[0002] 地下流体温度从某种程度上反映了地壳活动的规律,地震活动中往往也伴随着地下流体温度的变化,所以地下流体温度测量便成为现今地震前兆观测的重要手段。用于地下流体观测的流体井深度从几十米到上千米不等,温度年变化很小,所以在测量时对传感器的灵敏度和稳定性要求较高。随着科技的不断进步,用于测量温度的温度计发展很快,种类繁多,如双金属温度计、水银温度计、压力式温度计、热电阻温度传感器、半导体温度传感器、红外温度传感器、石英温度传感器、光纤温度传感器、光纤光栅温度传感器等。这些温度测量装置测温原理不同,适用范围也就不同,各有优缺点。现如今用于地下流体温度测量装置主要是热电阻温度传感器和石英温度传感器,这两种传感器测量精度高、分辨率高,可以很好的反映地下流体温度变化情况。但是这两种传感器均为电学传感器,以电流作为信号载体进行传输,在野外复杂电磁环境下容易受到干扰,而且在雷雨多发季节容易受雷电损害,而克服这些问题带来的成本很高,所以需要利用新的原理制作出更适合地下流体监测的温度传感器。

[0003] 光纤光栅作为光学传感器元件,可以敏感温度和应变,而且光纤光栅具有良好的电绝缘性和抗电磁干扰能力,可以很好的弥补电学传感器的不足,非常适合应用于野外自动化监测。

[0004] 现有技术一:

[0005] 普通光纤光栅温度传感器,即直接使用裸光栅或者使用低热胀系数材料封装的光纤光栅制作而成的光纤光栅温度传感器。这种温度传感器的温度分辨率比较低,最高只能达到 0.1°C ,不适合用于高精度温度测量。

[0006] 光纤光栅具是一种光学传感元件,当一束宽带波长入射到光纤光栅时,由于光纤光栅对入射光波的作用,会使得一束窄带光波被反射回去。反射波的中心波长会随着光纤光栅周围环境的温度和光纤光栅自身的应变而发生偏移,变化关系可表示为:

$$[0007] \quad \Delta \lambda = K_s \varepsilon + K_T \Delta T \quad (1)$$

[0008] K_s 是光纤光栅的应变灵敏度系数,约为 $1.2\text{pm}/\mu\varepsilon$; K_T 为温度灵敏度系数,约为 $10\text{pm}/^{\circ}\text{C}$ 。裸光栅制作的温度传感器测温时光纤光栅处于松弛状态,光纤光栅的应变 $\varepsilon = 0$,通过测量光纤光栅反射波长的偏移量计算出温度变化量,得到所测温度值。

[0009] 现有技术一的缺点:

[0010] 此种光纤光栅温度传感器分辨率低,相应精度也低,如果进行高精度测温达不到要求。

[0011] 现有技术二:

[0012] 温度增敏光纤光栅温度传感器,通常增敏方法是将光纤光栅粘贴到大热胀系数的

材料上,利用大热胀系数材料温度变化时形变量大的特性,带动光纤光栅在温度变化过程中产生较大的应变,从而提高了光纤光栅的温度灵敏度。如图 1 所示,为温度增敏光纤光栅的封装示意图,使用这种方法制作而成的光纤光栅温度传感器,分辨率要优于裸光栅制作的温度传感器,但受到热胀材料的限制,分辨率提高有限。

[0013] 按照图 1 中方式对光纤光栅进行封装,设封装时使用热胀材料的热胀系数是 α ,当温度变化时光纤光栅会产生 $\alpha \Delta T$ 的应变,把光纤光栅的应变变量带入式(1)得:

$$[0014] \quad \Delta \lambda = (\alpha K_s + K_T) \Delta T \quad (2)$$

[0015] 此时光纤光栅温度灵敏度系数变为 $\alpha K_s + K_T$,增敏后光纤光栅温度灵敏度系数与自身的温度灵敏度和热胀材料的热胀系数有关。测温同样是通过测量反射波长的变化量来计算出温度的变化量,得到所测温度。

[0016] 现有技术二的缺点:

[0017] 温度分辨率稍有提高,但受热胀材料热胀系数的限制,仍然不能满足地震前兆观测中对温度测量的分辨率的要求。

[0018] 现有技术三:

[0019] 双金属增敏方法,利用双金属的热胀系数差别,巧妙的设计增敏结构可以大幅度提高光纤光栅的温度灵敏度。但是在现有的双金属增敏方法中,光纤光栅是使用环氧树脂粘贴在增敏结构上的,而且粘贴时,光纤光栅的粘贴面积很小。使用此种增敏方法时,光纤光栅在测温过程中一直处于受拉状态,光纤光栅的截面积很小,即使很小的拉力也会产生较大的应力。而环氧树脂胶在长期受应力作用下会发生蠕变,导致光纤光栅非温度引起的应变变化,在测量结果中会出现漂移的现象。

[0020] 使用这种增敏装置在光纤光栅的温度传感器的制作过程中要对光纤光栅进行预拉,预拉的一般是通过温度控制的,即在温度 T_1 环境中制作传感器,此时可控制光纤光栅处于临界松弛的状态(再受到很小的拉力,光纤光栅的反射波长即会偏移),然后把传感器放置到 T_2 温度下测温。此时增敏结构因温度变化产生形变,使得光纤光栅处于拉紧状态。

[0021] 如图 2 所示,为双金属光纤光栅温度增敏封装结构示意图,增敏结构的梁臂使用的是小热胀系数材料,基底是大热胀系数材料,基底与梁臂用螺钉固定在一起,两个梁臂之间留有一段空隙,在空隙中间粘贴有光纤光栅。当温度变化时,基底材料的热胀系数比较大,会产生一个较大的形变,而梁臂的热胀系数很小,形变相对也很小。光纤光栅粘贴在两个梁臂之间,所以在温度变化时光纤光栅的形变量就近似为基底的形变量。粘贴部分的光纤光栅的长度又远小于基底的长度,这样光纤光栅就会产生一个很大的应变变量,从而提高了光纤光栅在单位温度变化下的应变变量,也就提高光纤光栅对温度敏感灵敏度。

[0022] 现有技术三的缺点:

[0023] 使用双金属增敏结构,环氧树脂胶固定光纤光栅制作的温度传感器稳定性差,容易出现漂移现象。光纤光栅预拉过程比较复杂。

发明内容

[0024] 本发明的目的是提供一种灵敏度高、光纤光栅预拉程度更容易调节的基于低熔点玻璃焊接的光纤光栅高灵敏度温度传感器。

[0025] 本发明的目的是通过以下技术方案实现的:

[0026] 本发明的基于低熔点玻璃焊接的光纤光栅高灵敏度温度传感器,包括基底,所述基底的两端分别固定有金属悬臂梁,两个金属悬臂梁的悬臂端相对设置,两个金属悬臂梁的悬臂端之间固定有光纤光栅,至少一个金属悬臂梁与所述基底之间设有微调螺杆。

[0027] 由上述本发明提供的技术方案可以看出,本发明实施例提供的基于低熔点玻璃焊接的光纤光栅高灵敏度温度传感器,由于使用双金属悬臂梁结构,极大的提高了光纤光栅温度灵敏度,解决了光纤光栅测温分辨率低的缺陷;由于利用了螺旋测微的原理,设计了微调螺杆,使得对光纤光栅预拉程度更容易调节。

附图说明

[0028] 图 1 为现有技术中的光纤光栅温度增敏封装示意图;

[0029] 图 2 为现有技术中的双金属光纤光栅温度增敏封装结构示意图;

[0030] 图 3a 为本发明实施例提供的基于低熔点玻璃焊接的光纤光栅高灵敏度温度传感器的正面结构示意图;

[0031] 图 3b 为本发明实施例提供的基于低熔点玻璃焊接的光纤光栅高灵敏度温度传感器的俯视结构示意图;

[0032] 图 4a 为本发明实施例中光纤光栅固定端(金属悬臂梁的悬臂端)的俯视结构示意图;

[0033] 图 4b 为本发明实施例中光纤光栅固定端的端面结构示意图;

[0034] 图 5 为本发明实施例中光纤光栅传感器工作示意图。

[0035] 图中:1、光纤光栅,2、环氧树脂,3、尾纤,4、臂梁,5、环氧树脂粘结点,6、固定螺钉,7、基底,8、光纤光栅固定螺钉,9、金属悬臂梁,10、微调螺杆,11、金属悬臂梁调节预留槽,12、光纤光栅固定端,13、焊接光纤光栅的金属片,14、光纤光栅固定螺纹孔,15、T 型槽,16、3db 耦合器。

具体实施方式

[0036] 下面将对本发明实施例作进一步地详细描述。

[0037] 本发明基于低熔点玻璃焊接的光纤光栅高灵敏度温度传感器,其较佳的具体实施方式是:

[0038] 包括基底,所述基底的两端分别固定有金属悬臂梁,两个金属悬臂梁的悬臂端对称设置,两个金属悬臂梁的悬臂端之间固定有光纤光栅,至少一个金属悬臂梁与所述基底之间设有微调螺杆。

[0039] 所述光纤光栅通过玻璃焊接技术固定在所述金属悬臂梁上。

[0040] 所述金属悬臂梁的悬臂端设有 T 型槽,所述 T 型槽的顶壁设有光纤固定螺钉,所述光纤光栅用低熔点玻璃焊接在一个金属片上,所述金属片插入到所述 T 型槽中,拧紧所述光纤固定螺钉将所述金属片锁紧。

[0041] 所述基底材料的热胀系数大于所述悬臂梁材料的热胀系数。

[0042] 所述基底材料的热胀系数 $\alpha_1=2.1 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,所述悬臂梁材料的热胀系数 $\alpha_2=0.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。

[0043] 所述悬臂梁材料为镍铬合金。

[0044] 本发明的基于低熔点玻璃焊接的光纤光栅高灵敏度温度传感器,使用双金属悬臂梁结构的温度增敏装置,利用两种金属的热胀系数差别,极大的提高了光纤光栅温度灵敏度,使光纤光栅的测温分辨率达到了 0.003°C ,解决了光纤光栅测温分辨率低的缺陷;低熔点玻璃的熔点低、机械强度高、与石英玻璃的性质接近,固定光纤十分牢固,解决了使用环氧树脂粘贴光纤光栅会发生漂移的缺陷。本发明创新性的利用低熔点玻璃焊接工艺制作光纤光栅温度传感器,制作出的传感器相对于普通环氧树脂固定的传感器稳定性更好;本发明使用玻璃焊接技术固定光纤光栅,即先用低熔点玻璃把光纤光栅焊接到金属底片上,再用机械方式把底片固定到温度增敏装置的方法固定光纤光栅。解决了固定时低熔点玻与增敏结构金属热胀系数不匹配的问题;制作温度传感器时要对光纤光栅进行预拉,本发明利用了螺旋测微的原理,设计了预拉调节螺杆,使得对光纤光栅预拉程度更容易调节。

[0045] 本发明的原理是:

[0046] 如图 3a、3b 所示,增敏装置采用了双金属悬臂梁结构,图中基底使用大热胀系数材料(热胀系数为 α_1),悬臂梁使用低热胀系数材料(热胀系数为 α_2),光纤光栅固定在两个悬臂梁之间,悬臂梁的另外两端与基底固定。当温度变化时,底部会有发生形变 $\alpha_1 L_1$,两个悬臂梁形变量为 $\alpha_2 L_2$ (两个悬臂梁等长)。所以光纤光栅的形变量为 $\alpha_1 L_1 - 2\alpha_2 L_2$,相应光纤光栅的应变为 $(\alpha_1 L_1 - 2\alpha_2 L_2)/d$,带入公式(1)可以得到增敏后光纤光栅波长变化与温度变化的关系式:

$$[\text{0047}] \quad \Delta \lambda = [K_s (\alpha_1 L_1 - 2\alpha_2 L_2) / d + K_T] \Delta T \quad (3)$$

[0048] 增敏后光纤光栅的温度灵敏度系数为: $[K_s (\alpha_1 L_1 - 2\alpha_2 L_2) / d + K_T]$,与增敏结构尺寸和材料有关。

[0049] 增敏结构是通过提高光纤光栅单位温度形变量来提高光纤光栅的温度灵敏度,所以在增敏状态下光纤光栅两端会受到悬臂梁的拉力作用。为了便于调节光纤光栅所受拉力,此增敏结构设有预拉微调装置。图中增敏结构,左边悬臂梁与基底侧面接触的部分有螺纹孔,螺纹孔中有微调螺杆,微调螺杆的导程很小,所以可以同转动微调螺杆对光纤光栅预拉进行微调。

[0050] 光纤光栅是采用低熔点玻璃固定在两个悬臂梁之间的,固定时为了避免低熔点玻璃与悬臂梁材料热胀系数差别过大而造成玻璃焊接失效,先把光纤光栅用低熔点玻璃焊接在一个小的金属片上,此金属片的热胀系数与低熔点玻璃相近,然后把金属片插入悬臂梁上固定处的导轨中,再从悬臂梁上面的螺纹孔中使用螺丝将金属片锁紧。如图 4a、4b 所示,为光纤光栅固定端构示意图,在悬臂梁的悬臂端上部有个螺纹孔,用来固定焊接光纤光栅的金属片,如图 4a 所示;悬臂梁内部有一个 T 型槽,如图 4b 所示,可以把焊接有光纤光栅的金属片插入 T 型槽中。

[0051] 具体实例:

[0052] 首先,制作成基底(热胀系数 $\alpha_1 = 2.1 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$),基底长度为 $L_1 = 240\text{mm}$,使用低热胀系数的镍铬合金制作成悬臂梁(热胀系数 $\alpha_2 = 0.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$),两个悬臂梁各长 $L_2 = 110\text{mm}$,两个光纤光栅固定螺钉之间的距离设置为 $d = 20\text{mm}$,根据灵敏计算公式(3),可以计算出增敏后光纤光栅的温度灵敏度为: $304\text{pm}/^{\circ}\text{C}$ 。

[0053] 制作传感器时,先把光纤光栅用低熔点玻璃固定到一个小的金属片上,金属片的热胀系数与低熔点玻璃相近。把两个金属悬臂梁固定到金属底座上,两个悬臂梁之间预留

出 20mm 的间距。然后从两个悬臂梁中间的预留空隙中,将焊接有光纤光栅的金属片插入悬臂梁上的 T 型槽中,再从悬臂梁顶部的螺纹孔用螺钉把金属片固定牢固。把增敏结构放置在 20℃ 的温度环境下,松开带有预拉微调螺杆一端的悬臂梁,使用微调螺杆预拉光纤光栅,使光纤光栅的反射波长相对与松弛状态下偏离 2nm,在把松开悬臂梁上的固定螺钉拧紧,将此悬臂梁紧固在基底上。

[0054] 选择不同的尺寸大小的基底长度和调节两个悬臂梁之间的空隙,可以制作出温度灵敏度不同的温度传感器。同时在光纤光栅预拉时,要根据所测温度的具体范围选择预拉时的周围温度环境,如:要测量的温度范围为 20℃ 至 30℃,此时需要把周围温度调节到 25℃ 后进行光纤光栅的预拉。

[0055] 光纤光栅工作过程如图 5 所示,激光光源将一束宽带光波射入光纤,入射光波经过 3db 耦合器传播至温度灵敏度增敏的光纤光栅。光纤光栅根据温度变化对入射光波进行调制,反射回一束窄带光波,被反射回的光波再经过 3db 耦合器传输至光纤光栅分析仪。光纤光栅分析仪对反射光波进行测量,得到反射光波的波长并将其转换为电学信号发送给数据采集端。数据采集端接受到信号后,按照温度变化与波长变化关系对得到的信号进行处理,计算出所测温度值。

[0056] 本发明的有益效果是:

[0057] 可以大幅度提高光纤光栅的温度灵敏度,达到高精度温度测量要求;使用了玻璃焊接技术固定光纤光栅,固定效果更牢靠,稳定性更好,为光纤光栅的固定提供了一种新的方法;在增敏结构够增加有光纤光栅预拉装置,使对光纤光栅的预拉更容易控制。

[0058] 以上所述,仅为本发明较佳的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明披露的技术范围内,可轻易想到的变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应该以权利要求书的保护范围为准。

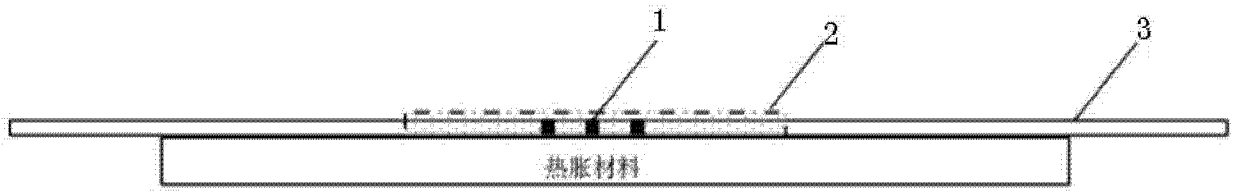


图 1

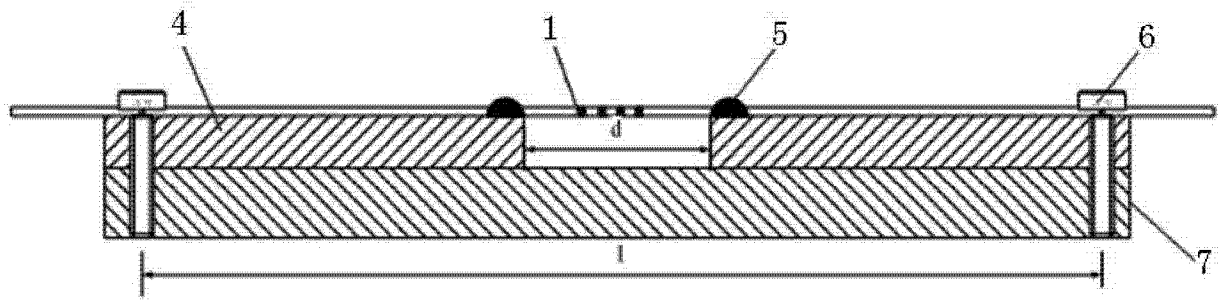


图 2

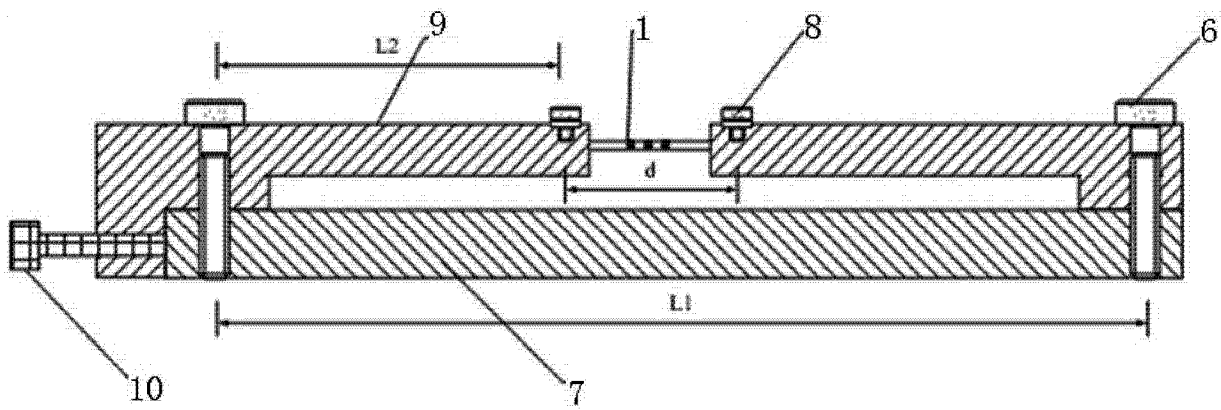


图 3a

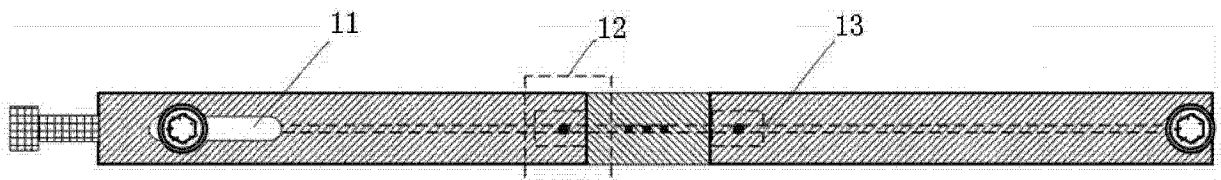
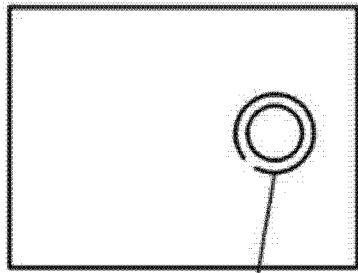
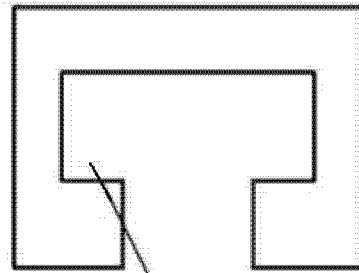


图 3b



14

图 4a



15

图 4b

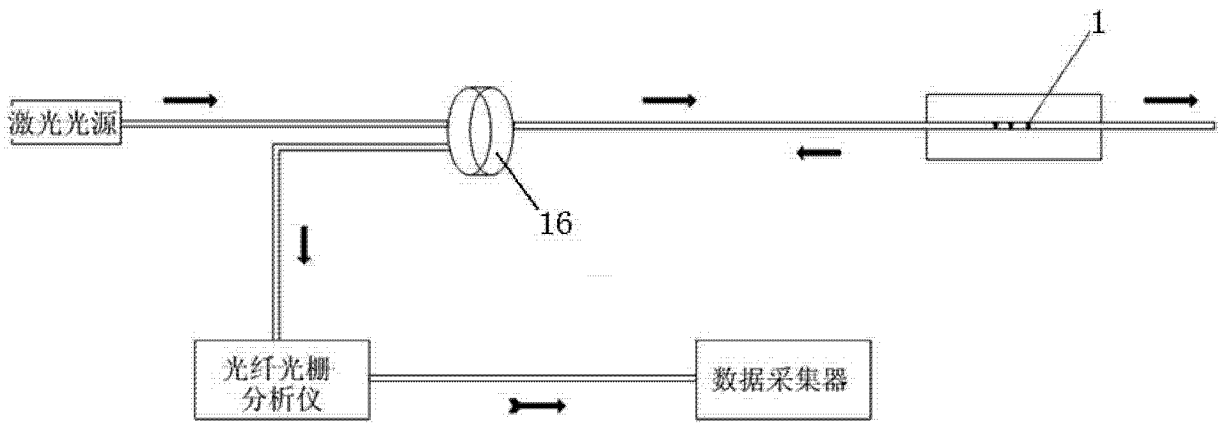


图 5