



(21) 申请号 202111201663.6

(22) 申请日 2021.10.15

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114046897 A

(43) 申请公布日 2022.02.15

(73) 专利权人 中交第一公路勘察设计研究院有
限公司

地址 710075 陕西省西安市高新区科技二
路63号

专利权人 西安石油大学

(72) 发明人 赵力国 高宏 富志鹏 冯德全
李震 乔学光

(74) 专利代理机构 四川力久律师事务所 51221
专利代理师 林秋雅

(51) Int.Cl.

G01K 11/32 (2021.01)

(56) 对比文件

CN 101893492 A, 2010.11.24

审查员 高超然

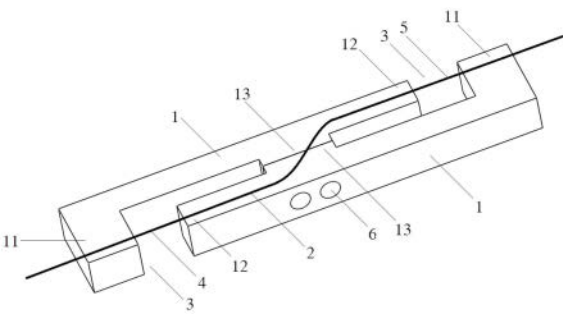
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

双F形光纤光栅温度传感器

(57) 摘要

本发明公开了一种双F形光纤光栅温度传感器,包括两个F形结构件和光纤,两个F形结构件的热膨胀系数不同,两个F形结构件呈中心对称布置,且两个F形结构件的中部固定连接,每个F形结构件的首端横梁和另一个F形结构件的尾端之间形成缺口,光纤设有第一光纤光栅和第二光纤光栅,第一光纤光栅和第二光纤光栅分别位于两个缺口处,光纤光栅两侧的光纤分别和一个F形结构件的首端横梁、另一个F形结构件的尾端固定连接。两个F形结构件具有较大的热膨胀系数差,将温度引起的两个F结构件的相对位移变化转换为光纤光栅的应变变化,提高了温度传感器的灵敏度;当温度升高与降低时,各用一个光纤光栅的中心波长变化来进行检测,测量范围增大一倍。



1. 一种双F形光纤光栅温度传感器,其特征在于,包括两个F形结构件(1)和光纤(2),两个所述F形结构件(1)的热膨胀系数不同,两个所述F形结构件(1)呈中心对称布置,且两个所述F形结构件(1)的中部固定连接,每个所述F形结构件(1)的首端横梁(11)和另一个所述F形结构件(1)的尾端(12)之间形成缺口(3),所述光纤(2)设有第一光纤光栅(4)和第二光纤光栅(5),所述第一光纤光栅(4)和所述第二光纤光栅(5)分别位于两个所述缺口(3)处,所述第一光纤光栅(4)两侧的光纤(2)分别和一个所述F形结构件(1)的首端横梁(11)、另一个所述F形结构件(1)的尾端(12)固定连接,所述第二光纤光栅(5)两侧的光纤(2)分别和一个所述F形结构件(1)的尾端(12)、另一个所述F形结构件(1)的首端横梁(11)固定连接,两个所述F形结构件(1)的中间横梁(13)通过两个螺纹紧接件(6)固定连接。

2. 根据权利要求1所述的双F形光纤光栅温度传感器,其特征在于,两个所述缺口(3)的长度相等,所述第一光纤光栅(4)和所述第二光纤光栅(5)的栅区长度相同且小于所述缺口(3)的长度。

3. 根据权利要求1所述的双F形光纤光栅温度传感器,其特征在于,所述第一光纤光栅(4)和所述第二光纤光栅(5)的栅区长度小于5mm。

4. 根据权利要求1所述的双F形光纤光栅温度传感器,其特征在于,所述第一光纤光栅(4)和所述第二光纤光栅(5)的中心波长至少相差5nm以上。

5. 根据权利要求1所述的双F形光纤光栅温度传感器,其特征在于,所述光纤(2)通过飞秒激光器不剥离涂覆层刻写所述第一光纤光栅(4)和所述第二光纤光栅(5)。

6. 根据权利要求1所述的双F形光纤光栅温度传感器,其特征在于,所述光纤(2)在施加预应力绷紧后通过粘接剂粘贴或低温玻璃焊接的方式固定于所述F形结构件(1)。

7. 根据权利要求1所述的双F形光纤光栅温度传感器,其特征在于,两个所述F形结构件(1)的形状、大小相同。

8. 根据权利要求1-7任一所述的双F形光纤光栅温度传感器,其特征在于,两个所述F形结构件(1)其中一个为因瓦合金结构件,另一个为铝合金结构件或不锈钢结构件。

双F形光纤光栅温度传感器

技术领域

[0001] 本发明涉及光传感技术领域,特别是一种双F形光纤光栅温度传感器。

背景技术

[0002] 目前,温度测量中最为常用的是电学类温度传感器,典型的如热电偶和热敏电阻温度传感器,但这些传感器存在易受电磁干扰、测量精度差、寿命短、无法长距离传输且无法串联组网等缺点。光纤光栅温度传感器由于具有抗电磁干扰、抗腐蚀、灵敏度高、复用能力强、体积小、重量轻、易于嵌入材料内部等诸多优点,因此引起了人们的广泛关注和极大兴趣。

[0003] 光纤光栅本身就具有温度敏感特性,在不经任何封装增敏的情况下,其温度灵敏度约 $10\text{pm}/^{\circ}\text{C}$ 。受限于目前信号解调仪器的波长检测精度,故基于裸光纤光栅的温度传感器的测温灵敏度较低。为此,人们不断研究提高光纤光栅测温灵敏度的方法,目前常用的光纤光栅温度传感器增敏方法有单金属基底封装、聚合物封装和双金属基底封装等。单金属基底封装就是将光纤光栅全部或两点固定在热膨胀系数较高的金属基底表面,但其增敏效果有限,制成的光纤光栅温度传感器约为裸光纤光栅的3倍左右。聚合物封装由于其热膨胀系数更大,故相比于金属基底封装,其制成的光纤光栅温度传感器灵敏度更高,但是大多数聚合物材料均存在玻璃化温度,当温度高于玻璃化温度后,其热膨胀系数、弹性模量等都会受到很大的变化,从而使得光纤光栅温度传感器的使用范围大大受限。为了进一步提高光纤光栅温度传感器的灵敏度,近年来研究人员提出双金属基底封装的方法,如专利号为CN202010954557.4、CN201910713117.7和CN200710178947.1的中国发明专利,都是基于双金属片为核心部件,通过不同的结构设计实现对温度的高灵敏测量。但这些提出的基于双金属基底封装的方法,要么灵敏度较高,但温度测量量程仅几摄氏度;要么虽然量程较大,但是灵敏度不高,且容易引起光纤光栅啁啾。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于:针对现有技术存在的光纤光栅温度传感器难以同时实现大量程和高灵敏的问题,提供一种双F形光纤光栅温度传感器,结构简单,大量程且灵敏度高。

[0005] 为了实现上述目的,本发明采用的技术方案为:

[0006] 一种双F形光纤光栅温度传感器,包括两个F形结构件和光纤,两个所述F形结构件的热膨胀系数不同,两个所述F形结构件呈中心对称布置,且两个所述F形结构件的中部固定连接,每个所述F形结构件的首端横梁和另一个所述F形结构件的尾端之间形成缺口,所述光纤设有第一光纤光栅和第二光纤光栅,所述第一光纤光栅和所述第二光纤光栅分别位于两个所述缺口处,所述第一光纤光栅两侧的光纤分别和一个所述F形结构件的首端横梁、另一个所述F形结构件的尾端固定连接,所述第二光纤光栅两侧的光纤分别和一个所述F形结构件的尾端、另一个所述F形结构件的首端横梁固定连接。

[0007] 本发明的两个F形结构件具有较大的热膨胀系数差,将温度引起的两个F结构件的

相对位移变化转换为封装于其上的光纤光栅的应变变化,从而大幅提高光纤光栅温度传感器的灵敏度。当温度升高与降低时,各用一个光纤光栅的中心波长变化来进行检测,使得温度传感器的测量范围比常规的温度传感器增大了一倍。

[0008] 作为本发明的优选方案,两个所述缺口的长度相等,所述第一光纤光栅和所述第二光纤光栅的栅区长度相同且小于所述缺口的长度,即所述第一光纤光栅和所述第二光纤光栅处于悬空状态。

[0009] 作为本发明的优选方案,所述第一光纤光栅和所述第二光纤光栅的栅区长度小于5mm,具有栅区短、抗拉强度高的特点。

[0010] 作为本发明的优选方案,所述第一光纤光栅和所述第二光纤光栅的中心波长至少相差5nm以上。

[0011] 作为本发明的优选方案,所述光纤通过飞秒激光器不剥离涂覆层刻写所述第一光纤光栅和所述第二光纤光栅。

[0012] 作为本发明的优选方案,所述光纤在施加预应力绷紧后通过粘接剂粘贴或低温玻璃焊接的方式固定于所述F形结构件。

[0013] 作为本发明的优选方案,两个所述F形结构件的中间横梁通过螺纹紧接件固定连接。

[0014] 作为本发明的优选方案,两个所述F形结构件的形状、大小相同。

[0015] 作为本发明的优选方案,两个所述F形结构件其中一个为因瓦合金结构件,另一个为铝合金结构件或不锈钢结构件。当然,两个所述F形结构件也可以采用其他热膨胀系数差较大的材质进行制作。

[0016] 综上所述,由于采用了上述技术方案,本发明的有益效果是:

[0017] 1、本发明的两个F形结构件具有较大的热膨胀系数差,将温度引起的两个F结构件的相对位移变化转换为封装于其上的光纤光栅的应变变化,从而大幅提高光纤光栅温度传感器的灵敏度。当温度升高与降低时,各用一个光纤光栅的中心波长变化来进行检测,使得温度传感器的测量范围比常规的温度传感器增大了一倍。

[0018] 2、本发明升温、降温分别采用固定于同一结构不同位置的光纤光栅来分别测量,且无论升温还是降温,总有一个处于工作状态的光纤光栅的中心波长增加,即光纤光栅被拉长。本发明采用两点固定的方式,有效避免全粘型光纤光栅温度传感器的啁啾问题。

[0019] 3、本发明的温度传感器结构简单、易于加工、封装方便。

附图说明

[0020] 图1是本发明所述的双F形光纤光栅温度传感器的结构示意图。

[0021] 图2是本发明所述的双F形光纤光栅温度传感器的俯视图。

[0022] 图3是本发明所述的F形结构件的结构示意图。

[0023] 图标1-F形结构件,11-首端横梁,12-尾端,13-中间横梁,2-光纤,3-缺口,4-第一光纤光栅,5-第二光纤光栅,6-螺纹紧接件。

具体实施方式

[0024] 下面结合附图,对本发明作详细的说明。

[0025] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0026] 实施例1

[0027] 如图1-图3所示,将写制在同一根光纤2上的第一光纤光栅4和第二光纤光栅5略微施加预应力后分别封装在两个F形结构件1的相邻两对端点之间,组成双F形光纤光栅温度传感器。两个F形结构件1的热膨胀系数差别较大,两个F形结构件1呈中心对称布置,且两个F形结构件1的中部固定连接,一个F形结构件1的首端横梁11和另一个F形结构件1的尾端12之间形成缺口3,第一光纤光栅4和第二光纤光栅5分别在缺口3处悬空放置。

[0028] 当传感器所处环境温度发生变化时,一方面由于光纤材料的热膨胀效应及热光效应导致两个光纤光栅中心波长产生较小的变化。另一方面,由于两个F形结构件1的热膨胀系数差异较大,使其相邻两对端点之间的距离将变长或缩短,从而拉紧或放松固定于其间的光纤光栅,由应力导致两个光纤光栅中心波长产生较大的变化。与常规光纤光栅温度传感器相比,由于双F结构的独特设计将热胀冷缩带来的位移变化集中施加在较短的光纤光栅上,因此无论是温度升高或降低,都必然引起两个光纤光栅之一的波长发生明显的变化,使传感器的灵敏度有了很大提高。同时,温度的升高和降低分别由两个光纤光栅独立进行测量,因此传感器的量程也比常规扩大了一倍。

[0029] 下面详细说明本发明的工作原理。

[0030] 当传感器所处环境温度升高时,第一光纤光栅4处于工作状态。一方面,由于光纤材料的热膨胀效应及热光效应导致第一光纤光栅4和第二光纤光栅5的中心波长的相对波长偏移为

$$[0031] \quad \frac{\Delta\lambda_{B-T}}{\lambda_B} = (\xi + \alpha) \cdot \Delta T \quad (1)$$

[0032] 式中, λ_B 为光纤光栅在自由状态下的布拉格中心波长, $\Delta\lambda_{B-T}$ 为由于温度升高 ΔT 使得光纤光栅中心波长的漂移量, ξ 是光纤材料的热光系数, α 是光纤材料的热膨胀系数, ΔT 为温度相对初始状态的升高值。

[0033] 另一方面,由于两个F形结构件1的热膨胀系数差异较大(这里假定其中左侧的F形结构件1是由热膨胀系数较大的材料制成,右侧的F形结构件1是由热膨胀系数低的材料制成),如图1-2所示,左侧的F形结构件1在温度升高后会产生较大的伸长,而右侧的F形结构件1则伸长较小。由于两个F形结构件1的中部固定连接。那么,图1中左侧的F形结构件1的左端与右侧的F形结构件1的左端之间的缺口3的距离会变大,其值 ΔL 为

$$[0034] \quad \Delta L = (L_h \times \alpha_h - L_l \times \alpha_l) \times \Delta T$$

[0035] 式中, L_h 和 L_l 分别为左侧的F形结构件1和右侧的F形结构件1的有效长度, α_h 和 α_l 分别为左侧的F形结构件1和右侧的F形结构件1的材料的热膨胀系数。

[0036] 二者距离的增大会拉伸固定于二者之间的第一光纤光栅4,使其内部产生额外的应变。根据光纤光栅对于应变的传感原理,这一轴向应变所引起的第一光纤光栅4的相对波长漂移量为

$$[0037] \quad \frac{\Delta\lambda_{B-\varepsilon}}{\lambda_B} = (1 - P_{eff}) \cdot \varepsilon = (1 - P_{eff}) \cdot \frac{\Delta L}{L} = (1 - P_{eff}) \cdot \frac{L_h \times \alpha_h - L_l \times \alpha_l}{L} \Delta T \quad (2)$$

[0038] 式中, $\Delta\lambda_{B-\varepsilon}$ 为由于两个F形结构件1的相对位移引起光纤光栅中心波长的漂移量, P_{eff} 为光纤的有效弹光系数, ε 为光纤光栅4的应变, L 为缺口3的初始距离(即光纤光栅的有效长度)。

[0039] 则由于环境温度升高导致第一光纤光栅4的相对波长漂移量为(1)、(2)式之和

$$[0040] \quad \frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = [(\xi + \alpha) + (1 - P_{eff}) \frac{L_h \times \alpha_h - L_l \times \alpha_l}{L}] \cdot \Delta T \quad (3)$$

[0041] 这样,通过优选F形结构件1的尺寸及材料,缩短两个F形结构件1之间缺口3的初始最小距离 L ,即可大幅提高光纤光栅对于温度的响应灵敏度。

[0042] 对于第二光纤光栅5而言,当温度升高时,温度所引起的光纤光栅的中心波长是增加的。但是此时左侧的F形结构件1的右端与右侧的F形结构件1的右端之间的缺口3的距离会缩小,使得固定于其上的第二光纤光栅5的预应力被释放。当温度进一步升高到某一值后,第二光纤光栅5的预应力会彻底释放。在这一过程中,双F结构对其没有增敏作用,仅是单纯的温度响应灵敏度。

[0043] 反之,当环境温度降低时,第二光纤光栅5处于工作状态,第二光纤光栅5除了正常的温度响应外,还将受到额外的由于双F结构施加的应变。但此时温度引起第二光纤光栅5的中心波长会变小,而双F结构施加的应变却是增加的,即应变引起的第二光纤光栅5的中心波长会增加。因此,环境温度降低导致第二光纤光栅5的相对波长漂移量为(1)、(2)式之差

$$[0044] \quad \frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = [(1 - P_{eff}) \frac{L_h \times \alpha_h - L_l \times \alpha_l}{L} - (\xi + \alpha)] \cdot \Delta T \quad (4)$$

[0045] 由于双F结构受温度降低所施加给第二光纤光栅5的应变响应比单纯的温度响应要高约一个数量级,因此第二光纤光栅5对于温度的整体响应灵敏度仍然得到较大的提高。同理,此时第一光纤光栅4仅是单纯的温度响应灵敏度,双F结构对其没有增敏作用。

[0046] 通过两个光纤光栅分别测量温度的降低和升高,因此在光纤光栅抗拉力一致的情况下,双F形光纤光栅温度传感器的量程比常规的扩大了一倍。

[0047] 本发明的双F形大量程高灵敏光纤光栅温度传感器结构简单,主要包括2个光纤光栅和双F形结构,可根据实际安装需要增加配套的接线端子及保护外壳。

[0048] 实施例2

[0049] 本实施例对实施例1的结构做进一步细化描述,具体的,本实施例中,双F形光纤光栅温度传感器包括两个F形结构件1、光纤2、第一光纤光栅4、第二光纤光栅5和螺纹紧接件6。

[0050] 如图3所示,两个F形结构件1均为F形结构,尺寸完全相同,首尾相对,但材料不同。每个F形结构件1都包括首端横梁11、尾端12和中间横梁13,其中尾端指连接首端横梁11和中间横梁13的竖杆的尾部端点。其中,一个F形结构件1的首端横梁11和另一个F形结构件1的尾端12之间分别形成缺口3,两个缺口3的长度相等。两个F形结构件1的中间横梁13通过螺纹紧接件6固定连接。

[0051] 光纤2上通过飞秒激光器不剥离涂覆层刻写有第一光纤光栅4和第二光纤光栅5,两个光纤光栅的中心波长至少相差5nm以上。第一光纤光栅4和第二光纤光栅5的栅区长度相同且小于缺口3的长度,两个光纤光栅之间的距离大于两个缺口3之间的距离。第一光纤

光栅4和第二光纤光栅5在略微施加预应力绷紧后通过粘接剂粘贴或低温玻璃焊接的方式固定在一个F形结构件1的尾端13和另一个F形结构件1的首端横梁11之间,其栅区位于缺口3位置,且处于悬空状态。

[0052] 本实施例中左侧的F形结构件1为铝合金制成,其热膨胀系数为 $2.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,右侧的F形结构件1为因瓦合金制成,其热膨胀系数为 $1.2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。如图2所示,两个F形结构件1固定联接后的总宽度等于各F形结构件1的最大宽度,即F形结构件1中的首端横梁11的长度。首端横梁11长度为中间横梁13长度的2倍。F形结构件1的厚度为2mm,首端横梁11的长度为6mm,宽度为5mm,中间横梁13的长度为3mm,宽度为5mm,首端横梁11和中间横梁13的中心距离为20mm。F形结构件1的竖杆的总长度为35mm,宽度为2mm,从横截面看,竖杆为正方形。根据上述尺寸,两个F形结构1固定联接后首尾之间形成的缺口3的宽度为5mm。

[0053] 本实施例中第二光纤光栅5和第一光纤光栅4的中心波长分别为1555nm和1548nm,取光纤2的热光系数为 $6.34 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,热膨胀系数为 $0.55 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,有效弹光系数为0.22,则根据上述参数,当温度升高时,双F形光纤光栅温度传感器的灵敏度约为90pm/ $^{\circ}\text{C}$;当温度降低时,双F形光纤光栅温度传感器的灵敏度约为40pm/ $^{\circ}\text{C}$ 。将第二光纤光栅5和第一光纤光栅4的工作波长范围保守定为5nm,则双F形光纤光栅温度传感器可覆盖约170 $^{\circ}\text{C}$ 的测量范围。

[0054] 首端横梁11和中间横梁13之间的距离、竖杆的长度可以根据材料及温度灵敏度要求而有所改变,以实现灵敏度及测量范围的调整。

[0055] 实施例3

[0056] 本实施例中,左侧的F形结构件1采用不锈钢材料制成,第二光纤光栅5和第一光纤光栅4的中心波长分别为1550nm和1544nm。其它零部件以及零部件的联接关系与实施例2相同。

[0057] 实施例4

[0058] 本实施例中,两个F形结构件1的首端横梁11和中间横梁13的距离为20mm,竖杆总长度为40mm,其它零部件以及零部件的联接关系与实施例2相同。

[0059] 实施例5

[0060] 本实施例中,左侧的F形结构件1采用因瓦合金制成,右侧的F形结构件1采用铝合金制成。其它零部件以及零部件的联接关系与实施例4相同。

[0061] 实施例6

[0062] 两个F形结构件1的厚度为2.5mm。其它零部件以及零部件的联接关系与实施例2相同。

[0063] 实施例7

[0064] 两个F形结构件1的厚度为3mm。其它零部件以及零部件的联接关系与实施例2相同。

[0065] 实施例8

[0066] 两个F形结构件1的厚度为2.5mm。其它零部件以及零部件的联接关系与实施例4相同。

[0067] 实施例9

[0068] 两个F形结构件1的厚度为3mm。其它零部件以及零部件的联接关系与实施例4相

同。

[0069] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

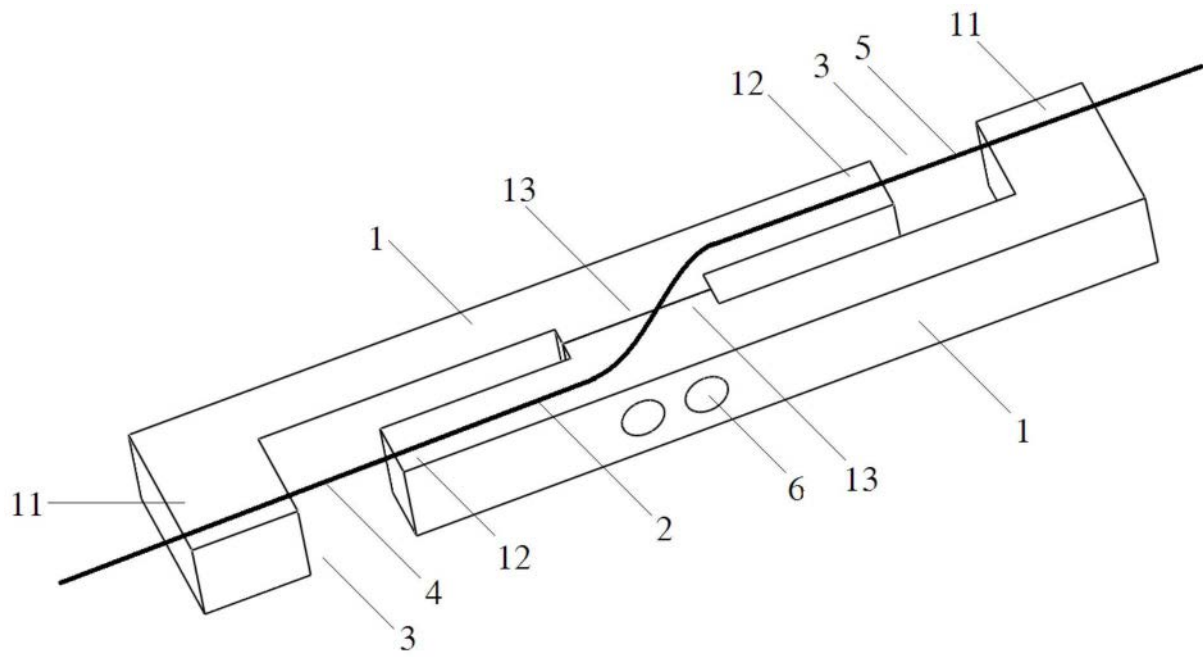


图1

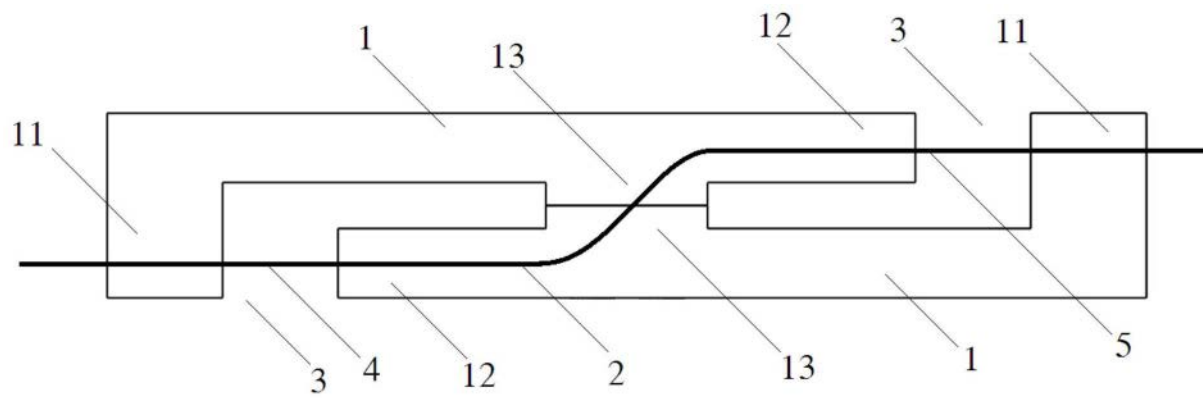


图2

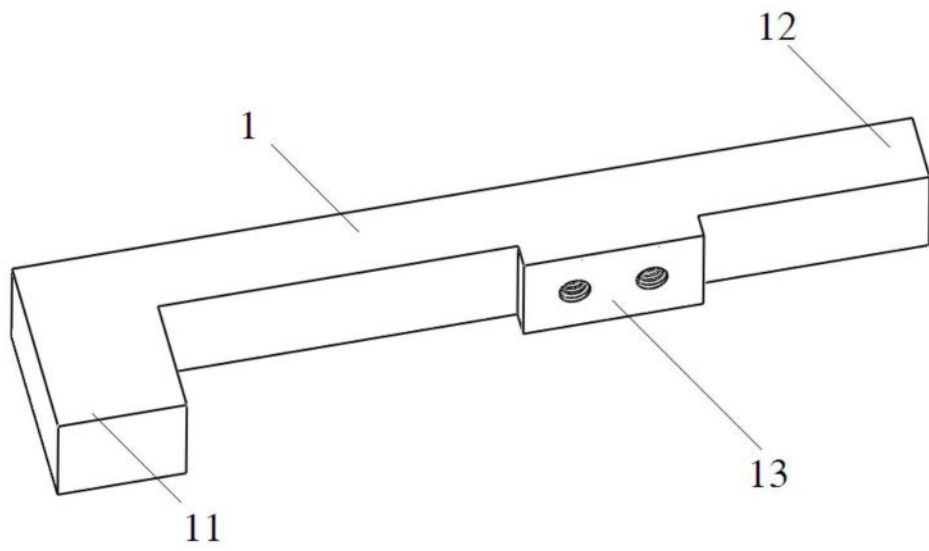


图3