



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 106289570 A

(43) 申请公布日 2017. 01. 04

(21) 申请号 201510290270. 5

(22) 申请日 2015. 05. 31

(71) 申请人 成都凯天电子股份有限公司
地址 610091 四川省成都市青羊区黄田坝

(72) 发明人 徐海军 薛磊 梅运桥 孙波
熊菠

(51) Int. Cl.
G01K 11/32(2006. 01)

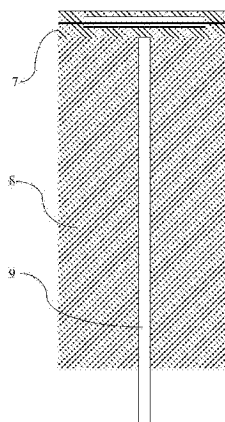
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

光纤法珀温度传感器

(57) 摘要

本发明提出的一种光纤法珀温度传感器,包括温度受感芯体 7、光纤插芯 8、多模光纤 9。多模光纤插入并固定在光纤插芯孔内,光纤端面与光纤插芯端面平齐;温度受感芯体装配在光纤插芯端面连接在一起,温度受感芯体 7 制有通过硅片 3 分隔,封装有一定气体的温度腔和真空的法珀腔 4,硅片 3 两侧的气压差等于温度腔 2 内的气体压力 P,法珀腔 4 腔长 y 与温度腔 2 内气体压力 P 成正比;当温度腔内气体受温度影响发生热胀冷缩时,气体状态随温度变化,改变硅片两侧的气压差,硅片发生形变,将温度腔 2 内的气体气压温度值转换为法珀腔 4 可直接测量的法珀腔腔长值,通过法珀干涉原理检测出硅片的形变量实现温度检测。



1. 一种光纤法珀温度传感器,包括温度受感芯体(7)、光纤插芯(8)、多模光纤(9),其特征在于:多模光纤插入并固定在光纤插芯孔内,光纤端面与光纤插芯端面平齐,温度受感芯体装配在光纤插芯端面并中心对齐;温度受感芯体(7)的硅片(3)两侧的气压差等于温度腔(2)内的气体压力P,法珀腔(4)腔长y与温度腔(2)内气体压力P成正比;当温度腔内气体受温度影响发生热胀冷缩时,气体状态随温度变化,改变硅片两侧的气压差,硅片发生形变,将温度腔(2)内的气体气压温度值转换为法珀腔(4)可直接测量的法珀腔腔长值,通过法珀干涉原理检测出硅片的形变量实现温度检测。

2. 如权利要求1所述的光纤法珀温度传感器,其特征在于:温度受感芯体由高硼硅玻璃片(1)和高硼硅玻璃片(6)以及硅片(3)共三层结构组成,高硼硅玻璃片(1)与硅片(3)、高硼硅玻璃片(6)与硅片(3)通过MEMS键合工艺键合在一起。

3. 如权利要求1所述的光纤法珀温度传感器,其特征在于:温度腔(2)内保留有一定压力的气体,法珀腔(4)内真空且底部有半反半透膜。

4. 如权利要求1所述的光纤法珀温度传感器,其特征在于:温度腔(2)内气体压力P与温度T的关系为:

$$P = \frac{nRT}{V}$$

其中:n为腔体内气体的物质的量,R为理想气体常数,T为气体热力学温度,V为腔体体积,P为温度腔内气压。

5. 如权利要求书1所述的光纤法珀温度传感器,其特征在于:法珀腔(4)腔长y与温度腔(2)内气体压力P的关系为:

$$y = \frac{3\left(\frac{B}{2}\right)^4 (1-\nu^2)}{16EC^3} P$$

式中,E为杨氏模量,\nu为泊松比,B为法珀腔4的直径,C为膜片厚度。

6. 如权利要求书1所述的光纤法珀温度传感器,其特征在于:法珀腔(4)腔长y与温度腔(2)内气体温度T的关系为:

$$y = \frac{3\left(\frac{B}{2}\right)^4 (1-\nu^2)}{16EC^3} \cdot \frac{nRT}{V}$$

7. 如权利要求2所述的光纤法珀温度传感器,其特征在于:高硼硅玻璃选用两面抛光的玻璃晶圆片,使用刻蚀工艺刻蚀凹坑阵列,暴露温度腔图形。

8. 如权利要求1所述的光纤法珀温度传感器,其特征在于:光纤插芯采用高硼硅玻璃或陶瓷材料制作,光纤插芯(8)内孔注入高温固化胶,高温固化插入光纤插芯(8)的多模光纤(9)。

9. 如权利要求2所述的光纤法珀温度传感器,其特征在于:高硼硅玻璃片(1)和高硼硅玻璃片(6)之间键合有硅片(3),温度腔(2)和法珀腔(4)在硅片(3)两侧,法珀腔(4)内真空。

10. 如权利要求1所述的光纤法珀温度传感器,其特征在于:键合后的温度腔内留有一定压力的性质稳定的气体。

光纤法珀温度传感器

技术领域

[0001] 本发明一种光纤法珀温度传感器,具体涉及一种基于光纤法布里-珀罗(Fabry-berot)干涉原理的光纤法珀温度传感器,特别是与法珀压力传感器白光干涉解算技术兼容、制造工艺和方法相近的光纤法珀温度传感器。

背景技术

[0002] 温度传感器是最早开发、应用最广的一类传感器。但真正把温度变成电信号的传感器是由德国物理学家赛贝发明的,就是后来的热电偶传感器。本世纪相继开发了包含半导体热电偶传感器在内的多种温度传感器。与之相应,根据波与物质的相互作用规律,相继开发了声学温度传感器、红外传感器和微波传感器。自 20 世纪 70 年代光纤问世以来,光纤在传感技术领域中的应用也日益受到广泛重视,随着科学技术的发展,涌现了许许多多的光纤温度传感器。光纤温度传感器的基本工作原理是将来自光源的光经过光纤送入调制器,待测参数温度与进入调制区的光相互作用后,导致光的强度、波长、频率、相位等的光学性质发生变化,称为被调制的信号光。再经过光纤送入光探测器,经解调后,获得被测参数。光纤温度传感器种类很多,但概括起来按其工作原理可分为功能型和传输型两种。功能型光纤温度传感器是利用光纤相位、偏振、强度等的各种特性随温度变换的特点,进行温度测定。这类传感器尽管具有传、感合一的特点,但也增加了增敏和去敏的困难。传输型光纤温度传感器的光纤只是起到光信号传输的作用,以避开测温区域复杂的环境。对待测对象的调制功能是靠其它物理性质的敏感元件来实现的。这类传感器由于存在光纤与传感头的光耦合问题,增加了系统的复杂性,且对机械振动之类的干扰比较敏感。光纤法珀腔的传感器可以检测温度、应变、压力、声音、气体浓度等诸多物理量和化学量,并且广泛应用于大坝、桥梁、大型机械的安全监测。在现有报道的光纤法珀温度传感器中,采用的技术方案为:采用外径大于 125 nm 的玻璃毛细管封装,由 2 个光纤的端面构成光纤法珀腔并采用胶封的方式固定于温度敏感材料中,该传感器采用不锈钢毛细金属管代替传统的空心光纤对光纤法珀腔进行封装,毛细金属管在作为法珀腔腔体的同时也是温度敏感元件。该传感器采用温度敏感的金属材料作为法珀腔的腔体,利用高精度位移机构将光纤两端插入金属毛细管中形成低精细度的光纤法珀腔。光纤在金属管的两端通过胶粘的方式固定,金属毛细管的长度为该温度传感器的标距。该传感器的核心结构为光纤法珀干涉腔(F-P 腔)。当外界温度发生变化时将直接导致金属毛细管的热膨胀,带动插入金属管内的光纤移动,引起光纤法珀腔的腔长变化。光入射到 F-P 腔后,不断地在 F-P 腔的 2 个端面之间进行反射和透射,形成多光束干涉。这种工艺都比较复杂,一致性难以保证,并且胶的老化和蠕变对于传感器的性能影响较大,难以实用。

发明内容

[0003] 本发明的目的是针对上述现有光纤法珀压力传感器温度补偿技术存在的不足之处,提供一种可显著降低成本,温度测量精度高、寿命长、易集成,便于实现高精度法珀压力

传感器系统集成、布线和解算器复用的光纤法珀温度传感器。

[0004] 本发明的上述目的可以通过以下措施来达到,一种光纤法珀温度传感器,包括温度受感芯体、光纤插芯、多模光纤,其特征在于:多模光纤 9 插入并固定在光纤插芯孔内,光纤端面与光纤插芯 8 端面平齐;温度受感芯体 7 装配在光纤插芯端面并连接在一起,温度受感芯体 7 制作有通过硅片 3 分隔的封装有一定气体的温度腔 1 和真空的法珀腔 4,硅片 3 两侧的气压差等于温度腔 1 内的气体压力 P ,法珀腔 4 腔长 y 与温度腔 1 内气体压力 P 成正比;当温度腔内气体受温度影响发生热胀冷缩时,气体状态随温度变化,改变硅片两侧的气压差,硅片发生形变,将温度腔 1 内的气体气压温度值转换为法珀腔 4 可直接测量的法珀腔腔长值,通过法珀干涉原理检测出硅片的形变量实现温度检测。

[0005] 多模光纤 9 和光纤插芯 8 通过 FC/PC 光纤接口制作工艺装配,保证光纤端面与插芯端面平齐。温度受感芯体 7 和光纤插芯 8 使用光学胶粘接或通过激光焊接工艺连接在一起;

温度受感芯体 7 由高硼硅玻璃 1、硅片 3、半反半透膜 5 和高硼硅玻璃 6 组成;感温腔 2 刻蚀在高硼硅玻璃 1 上,硅片 3 的材料为单晶硅片,高硼硅玻璃 1 与硅片 3 之间通过键合工艺键合在一起,键合时在感温腔 2 内密封一定气压的气体。

[0006] 高硼硅玻璃 6 上刻蚀有法珀腔 4,在法珀腔 4 底部镀制半反半透膜 5,高硼硅玻璃 6 与硅片 3 之间通过真空键合工艺键合在一起,法珀腔 4 内真空。

[0007] 高硼硅玻璃 1 厚度需要保证传感器在工作环境压力下不发生可测量形变,以隔绝外界压力对温度腔 2 体积的影响,保证法珀腔 5 腔长只与传感器感受的温度有关。

[0008] 本发明相比于现有技术具有如下有益效果。

[0009] 本发明中,硅片 3 两侧的气压差等于温度腔 1 内的气体压力 P ,法珀腔 4 腔长 y 与温度腔 1 内气体压力 P 成正比。当温度腔 1 内气体状态随温度变化,改变硅片 3 两侧的气压差,硅片 3 发生形变,从而实现温度与法珀腔 4 可测量的法珀腔腔长值的转换。

[0010] 本发明通过双腔体设计,保证法珀腔腔长只受外界温度影响。

[0011] 本发明的光纤法珀温度传感器与光纤法珀压力传感器具有相同的解调原理和加工工艺,通过工艺复用和解算器复用,可显著降低光纤法珀温度传感器的研发和使用成本。

[0012] 本发明采用白光干涉原理进行温度解算:向 F-P 腔发射白光,白光会在 F-P 腔两个表面发生反射,反射光之间的光程差为 F-P 腔腔长值的两倍;解算部件采用光程差补偿技术进行光程差扫描,当扫描到干涉条纹亮度最大时即为零光程差补偿值,从而实现 F-P 腔腔长解算,通过 F-P 腔腔长值—温度曲线,求解出传感器感受的温度值。

[0013] 本发明的光纤法珀温度传感器与光纤法珀压力传感器具有相同的解算原理和实现,可通过解算器复用降低系统成本。

[0014] 本发明与光纤法珀压力传感器具有相同的结构和制造工艺,可通过通过 MEMS 工艺批量化制造。

[0015] 本发明的可通过硅片 3 厚度控制实现不同灵敏度传感器设计。

[0016] 本发明基于气体理想状态方程和法珀干涉原理研制的光纤法珀温度传感器,属于接触式测温传感器。

附图说明

[0017] 下面结合附图和实施例对本发明做详细说明。

[0018] 图 1 是本发明光纤法珀温度传感器的结构示意图。

[0019] 图 2 是图 1 温度受感芯体结构示意图。

[0020] 图 3 是图 1 SOI 结构示意图。

[0021] 图中：1 高硼硅玻璃，2 温度腔，3 硅片，4 法珀腔，5 半反半透膜，6 高硼硅玻璃，7 温度受感芯体，8 光纤插芯，9 多模光纤，10 SOI 的手持层 (Handing 层)，11 SOI 的氧化层 (SiO_2 层)，12 SOI 的设备层 (Device 层)。

具体实施方式

[0022] 参阅图 1、图 2。在以下描述的实施例中，光纤法珀温度传感器由温度受感芯体 7、光纤插芯 8、多模光纤 9 组成。多模光纤插入并固定在光纤插芯孔内，光纤端面与光纤插芯端面平齐；温度受感芯体装配在光纤插芯端面连接在一起。温度受感芯体 7 制作有通过硅片 3 分隔，封装有一定气体的温度腔和真空的法珀腔 4，法珀腔 4 底部设有半反半透膜，硅片 3 两侧的气压差等于温度腔 2 内的气体压力 P，法珀腔 4 腔长 y 与温度腔 2 内气体压力 P 成正比；当温度腔内气体受温度影响发生热胀冷缩时，气体状态随温度变化，改变硅片两侧的气压差，硅片发生形变，将温度腔 2 内的气体气压温度值转换为法珀腔 4 可直接测量的法珀腔腔长值，通过法珀干涉原理检测出硅片的形变量实现温度检测。温度受感芯体由高硼硅玻璃片 1 和高硼硅玻璃片 6 及玻璃片之间的硅片 3 三层结构组成，玻璃片与硅片 3 通过 MEMS 键合工艺键合在一起。硅片 3 通过在上层高硼硅玻璃片 1 和下层高硼硅玻璃片 6 之间中空腔体，将中空腔体分隔为密封的温度腔 2 和法珀腔 5，法珀腔 4 内真空，温度腔 2 内保留有一定压力的气体。温度腔 2 内气体受热胀冷缩影响，根据理想气体状态方程，温度腔 2 内气体压力 P 与温度 T 的关系为：

$$P = \frac{nRT}{V} \quad \text{式 1}$$

其中：n 为腔体内气体的物质的量，R 为理想气体常数，约为 $8.31441 \pm 0.00026 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ，T 为气体热力学温度，V 为腔体体积，P 为温度腔内气压。

[0023] 硅片 3 两侧存在压力差，法珀腔 4 内为真空，因此硅片 3 两侧的气压差等于温度腔 2 内的气体压力 P，法珀腔 4 腔长 y 与温度腔 2 内气体压力 P 的关系为：

$$y = \frac{3\left(\frac{B}{2}\right)^3(1-\nu^2)}{16EC^3} P \quad \text{式 2}$$

式中，E 为杨氏模量， ν 为泊松比，B 为法珀腔 4 的直径，C 为膜片厚度。

[0024] 因此，法珀腔 4 腔长 y 与温度腔 2 温度 T 的关系为：

$$y = \frac{3\left(\frac{B}{2}\right)^3(1-\nu^2)}{16EC^3} \cdot \frac{nRT}{V} \quad \text{式 3}$$

可通过光纤法珀干涉仪检测出法珀腔 4 的腔长 y，通过式 2 计算出温度腔内气体压力 P。对于任一温度 T，一旦硅片 3 的形变量稳定后，温度腔 4 的体积 V 也保持不变，通过式 1

可计算出传感器所感受的外界温度 T。

[0025] 本光纤法珀温度传感器的结构、加工工艺和解调原理与光纤法珀压力传感器基本相同,便于系统集成、光纤布线、解算器复用。具体实施步骤如下:

高硼硅玻璃选用 4 英寸 300um 厚的晶圆片,如 Pyrex7740 或 BF33,两面进行研磨和抛光,清洗和干燥后使用光刻技术暴露温度腔图形,使用刻蚀工艺刻蚀深 30um、直径 1400um 的凹坑阵列,然后去除光刻胶,清洗并干燥晶圆片,温度腔形状也可以是矩形等其它形状;

选用 4 英寸 200um 厚高硼硅玻璃如 Pyrex7740 或 BF33 晶圆片,两面进行研磨和抛光,清洗和干燥后使用光刻技术暴露法珀腔图形,使用湿法或干法刻蚀工艺刻蚀深法珀腔阵列;

采用 Ta 靶真空键射工艺在法珀腔底部镀制 Ta 膜,在高温纯氧环境中将 Ta 金属氧化生成 Ta₂O₅ 半反半透膜 5,去除光刻胶,清洗并干燥晶圆片;

参阅图 3。根据需要选用特定设备层厚度的 SOI 晶圆片,清洗表面后在一定压力、纯净、性质稳定的环境下将设备层 12 与玻璃晶圆片键合在一起,键合后的温度腔内预留有气体;采用刻蚀工艺先去除 SOI 的手持层 10,再去除 SOI 的氧化层 11,清洗干净并干燥;在真空环境下将设备层 12 与玻璃晶圆片键合在一起,键合前需要保证温度腔与法珀腔中心对准;采用四边形、六边形切割划片或腐蚀划片等工艺分离温度受感芯体。

[0026] 采用外径 2.5mm、内径 126um、长 10.5mm 的光纤插芯,向光纤插芯 8 内孔注入固化胶,去除多模光纤 9 的涂覆层,将多模光纤 9 插入光纤插芯 8,高温固化。

[0027] 采用 FC/PC 光纤接头制作平台研磨插芯端面,直至光纤端面与插芯端面平齐、端面平整无划痕。

[0028] 使用光学胶或激光焊接将温度受感芯体 7 和光纤插芯 8 连接在一起,完成传感器装配,焊接时需保证温度受感芯体 7 与光纤插芯 8 中心对齐。

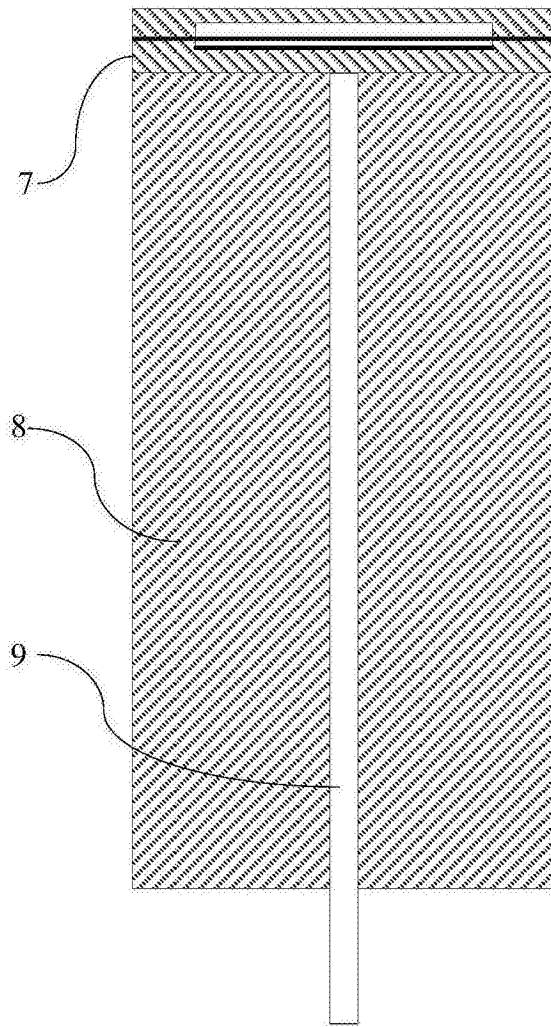


图 1

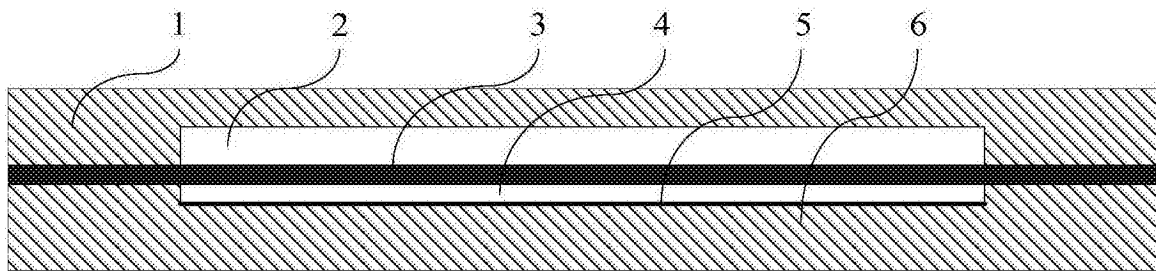


图 2

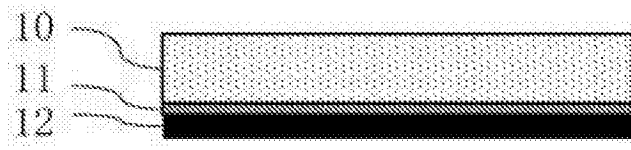


图 3