



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108801946 B

(45) 授权公告日 2021.10.22

(21) 申请号 201710286511.8

(22) 申请日 2017.04.27

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 108801946 A

(43) 申请公布日 2018.11.13

(73) 专利权人 香港理工大学深圳研究院

地址 518057 广东省深圳市南山区高新园

南区粤兴一道18号香港理工大学产学

研大楼205室

(72) 发明人 靳伟 谭艳珍 杨帆 何海律

(74) 专利代理机构 深圳中一专利商标事务所

44237

代理人 阳开亮

(51) Int. Cl.

G01N 21/31 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 104819880 A, 2015.08.05

CN 104181648 A, 2014.12.03

CN 1715876 A, 2006.01.04

US 2005231730 A1, 2005.10.20

CN 105043588 A, 2015.11.11

CN 102519499 A, 2012.06.27

审查员 刘东晓

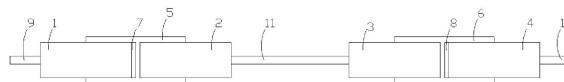
权利要求书3页 说明书10页 附图4页

(54) 发明名称

法布里-珀罗谐振腔光纤传感器及其制造和
气体检测方法

(57) 摘要

本发明属于气体测量装置技术领域,具体提供一种法布里-珀罗谐振腔光纤传感器。所述光纤传感器的结构为单模光纤-介质膜-空芯光子带隙光纤-介质膜-单模光纤,所述介质膜与空芯光子带隙光纤的距离均大于0而小于 $1\mu\text{m}$,以便气体进入空芯光子带隙光纤内。本发明的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器,通过空芯光子带隙光纤纤芯与两端介质膜组合形成的谐振腔,增加光与气体相互作用的有效长度,从而实现气体吸收信号的增强,提高气体探测灵敏度;与传统光学谐振腔相比,无需复杂的对准光学系统;而且空芯光子带隙光纤形成的谐振腔可以实现传感器小型化,极大的提高了传感器的适用性。



1. 一种法布里-珀罗谐振腔光纤传感器,其特征在于:包括轴心在同一条直线上且依次排布的第一标准光纤陶瓷插芯、第二标准光纤陶瓷插芯、第三标准光纤陶瓷插芯、第四标准光纤陶瓷插芯;

所述第一标准光纤陶瓷插芯和所述第二标准光纤陶瓷插芯通过第一套管实现套接,所述第三标准光纤陶瓷插芯和第四标准光纤陶瓷插芯通过第二套管实现套接;所述第一套管和所述第二套管为半圆筒形套管;

还包括插接于所述第一标准光纤陶瓷插芯的第一单模光纤,插接于所述第四标准光纤陶瓷插芯的第二单模光纤及一端插接于所述第二标准光纤陶瓷插芯另一端插接于第三标准光纤陶瓷插芯的空芯光子带隙光纤;所述第一单模光纤、第二单模光纤及空芯光子带隙光纤与所述第一标准光纤陶瓷插芯均共轴;

所述第一单模光纤插接于所述第一标准光纤陶瓷插芯的内径里,并与所述第一标准光纤陶瓷插芯靠近所述第二标准光纤陶瓷插芯的端面齐平;

在所述第一单模光纤靠近所述第二标准光纤陶瓷插芯的端面以及所述第一标准光纤陶瓷插芯靠近所述第二标准光纤陶瓷插芯的端面上均镀覆有第一介质膜;与所述第一介质膜正相对的所述第二标准光纤陶瓷插芯的端面到所述第一介质膜的距离大于0而小于 $1\mu\text{m}$;所述第一介质膜将所述第一单模光纤和所述第一标准光纤陶瓷插芯连成一固定的统一体;

所述第二单模光纤插接于所述第四标准光纤陶瓷插芯的内径里,并与所述第四标准光纤陶瓷插芯靠近所述第三标准光纤陶瓷插芯的端面齐平;

在所述第二单模光纤靠近所述第三标准光纤陶瓷插芯的端面以及所述第四标准光纤陶瓷插芯靠近所述第三标准光纤陶瓷插芯的端面上均镀覆有第二介质膜;与所述第二介质膜正相对的所述第三标准光纤陶瓷插芯的端面到所述第二介质膜的距离大于0而小于 $1\mu\text{m}$;所述第二介质膜将所述第二单模光纤和所述第四标准光纤陶瓷插芯连成一固定的统一体;

所述空芯光子带隙光纤的一端与所述第二标准光纤陶瓷插芯靠近所述第一标准光纤陶瓷插芯的端面齐平,另一端与所述第三标准光纤陶瓷插芯靠近所述第四标准光纤陶瓷插芯的端面齐平;

所述第一介质膜由折射率为2~3的若干第一膜层和折射率为1.2~1.8的若干第二膜层相互交替层叠而成;所述第二介质膜由折射率为2~3的若干第一膜层和折射率为1.2~1.8的若干第二膜层相互交替层叠而成;

构成所述第一膜层的材料为二氧化钛、五氧化二钽、二氧化铪、二氧化锆中的任一种;构成所述第二膜层的材料为二氧化硅、氟化镁中的任一种。

2. 如权利要求1所述的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器,其特征在于:所述第一介质膜、第二介质膜的厚度均为 $1\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$;所述第一介质膜、第二介质膜的反射率为99.0%~99.9%。

3. 如权利要求1所述的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器,其特征在于:所述第一标准光纤陶瓷插芯、第二标准光纤陶瓷插芯、第三标准光纤陶瓷插芯及第四标准光纤陶瓷插芯的内径均为 $120\mu\text{m}\sim 128\mu\text{m}$ 。

4. 如权利要求1所述的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器,其特征在于:所述第一单模光纤、第二单模光纤、空芯光子带隙光纤的直径为 $120\mu\text{m}\sim 128\mu\text{m}$ 。

5. 如权利要求1所述的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器,其特征在于:所述空芯光子带

隙光纤的纤芯直径为 $8\mu\text{m}\sim 15\mu\text{m}$ 。

6. 如权利要求1所述的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器,其特征在于:所述第一标准光纤陶瓷插芯、第二标准光纤陶瓷插芯、第三标准光纤陶瓷插芯、第四标准光纤陶瓷插芯的外径为 $2\text{mm}\sim 3\text{mm}$;所述第一套管、第二套管的内径为 $2\text{mm}\sim 3\text{mm}$ 。

7. 如权利要求1~6项任一所述的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的制造方法,其特征在于,至少包括以下步骤:

步骤S01、将第一单模光纤插入第一标准光纤陶瓷插芯内,并保持所述第一单模光纤的一端面与所述第一标准光纤陶瓷插芯的一端面齐平;

步骤S02、将所述第一单模光纤和所述第一标准陶瓷插芯相互齐平的端面进行打磨处理,然后在打磨处理后的所述端面进行镀覆第一介质膜的镀覆处理,使所述第一介质膜镀覆于所述第一单模光纤和所述第一标准陶瓷插芯的端面;

步骤S03、将空芯光子带隙光纤的一端插入第二标准光纤陶瓷插芯,并使得插入所述第二标准光纤陶瓷插芯的所述空芯光子带隙光纤的端面与所述第二标准光纤陶瓷插芯的端面齐平;

步骤S04、将所述第一标准光纤陶瓷插芯镀覆有所述第一介质膜的一端与所述第二标准光纤陶瓷插芯的一端分别插入第一套管,使所述第一标准光纤陶瓷插芯和所述第二标准光纤陶瓷插芯正对且相互固定,并确保插入所述第一套管的所述第二标准光纤陶瓷插芯的端面到所述第一介质膜的距离大于0而小于 $1\mu\text{m}$;

步骤S05、将所述空芯光子带隙光纤另一端插入第三标准光纤陶瓷插芯,并使得插入所述第三标准光纤陶瓷插芯的所述空芯光子带隙光纤的端面与所述第三标准光纤陶瓷插芯的端面齐平;

步骤S06、将第二单模光纤插入第四标准光纤陶瓷插芯内,并保持所述第二单模光纤的一端面与所述第四标准光纤陶瓷插芯的一端面齐平;

步骤S07、将所述第二单模光纤和所述第四标准陶瓷插芯相互齐平的端面进行打磨处理,然后在打磨处理后的所述端面进行镀覆第二介质膜的镀覆处理,使所述第二介质膜镀覆于所述第二单模光纤和所述第四标准陶瓷插芯的端面;

步骤S08、将所述第四标准光纤陶瓷插芯镀覆有所述第二介质膜的一端与所述第三标准光纤陶瓷插芯的一端分别插入第二套管,使所述第三标准光纤陶瓷插芯和所述第四标准光纤陶瓷插芯正对且相互固定,并确保插入所述第二套管的所述第三标准光纤陶瓷插芯的端面到所述第二介质膜的距离大于0而小于 $1\mu\text{m}$ 。

8. 如权利要求1~6任一项所述的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的气体检测方法,其特征在于,至少包括如下步骤:

步骤a. 将所述法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的空芯光子带隙光纤放置并固定在压电陶瓷上,并将所述法布里-珀罗谐振腔光纤传感器和所述压电陶瓷置于气体腔室内,所述压电陶瓷的电信号端口连接信号发生器;所述法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的第一单模光纤与分布反馈式激光器连接、第二单模光纤与光电探测器连接;

步骤b. 将所述分布反馈式激光器的激光波长调节至待测气体吸收线附近,并扫描所述分布反馈式激光器的激光波长观察所述待测气体吸收线附近的谐振腔光谱,通过所述信号发生器施加一个直流的电压到所述压电陶瓷上,实现所述法布里-珀罗谐振腔光纤传感器

谐振腔腔长的调节以改变谐振峰的位置,确保所述谐振腔其中一个谐振峰对准所述待测气体吸收线中心,以及确保所述激光器的激光波长、所述谐振峰和所述待测气体吸收线中心三者均对准重合;同时对激光器的激光波长进行周期性的波长调制,以获得谐振峰的一组二阶信号输出;

步骤c.将待测气体填充至所述气体腔室内,使所述待测气体填充进所述空芯光子带隙光纤的谐振腔内;

步骤d.在有所述待测气体和没有所述待测气体的两种情况下重复上述步骤b,并记录得到的两组二阶信号;

步骤e.通过对比步骤d中获得的两组二阶信号输出可以得到由气体吸收引起的信号变化值,获取气体测量的探测灵敏度。

法布里-珀罗谐振腔光纤传感器及其制造和气体检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及气体测量装置技术领域,具体涉及一种法布里-珀罗谐振腔光纤传感器及其制造和气体检测方法。

背景技术

[0002] 现有的直接吸收型光纤气体测量装置在测量过程中,大多是在自由空间的吸收气室进行,所采用的自由空间的吸收室如基于光纤准直器的气室、多程路径气室。

[0003] 但是,基于光纤准直器的气室受对准和损耗的影响,限制了光与气体作用的有效长度。

[0004] 虽然多程路径气室如White或者Herriott气室等可以实现很长的有效吸收长度,但是其结构复杂、体积庞大,不适合实际应用。

[0005] 于是人们采用空芯光子带隙光纤同时作为光波导和吸收气室。这种空芯光子带隙光纤同时作为光波导和吸收气室既可以保证光与气体相互作用的长度,又可以将光纤盘绕成较小尺寸,能够实现结构简单、体积紧凑等特点,但其响应时间受到较长进气时间的限制。

[0006] 在实际气体测量应用中,往往要求传感器同时具有高探测灵敏度和快速响应的特点,如呼吸检测,电力系统故障气体检测等,而使用上述气室很难同时满足气体传感器高探测灵敏度和快速响应的要求。

发明内容

[0007] 针对目前直接吸收型光纤气体测量装置在测量过程中,探测灵敏度不高以及无法快速响应等问题,本发明提供了一种法布里-珀罗谐振腔光纤传感器。

[0008] 为了达到上述发明目的,本发明采用了如下的技术方案:一种法布里-珀罗谐振腔光纤传感器,包括轴心在同一条直线上且依次排布的第一标准光纤陶瓷插芯、第二标准光纤陶瓷插芯、第三标准光纤陶瓷插芯、第四标准光纤陶瓷插芯;

[0009] 所述第一标准光纤陶瓷插芯和所述第二标准光纤陶瓷插芯通过第一套管实现套接,所述第三标准光纤陶瓷插芯和第四标准光纤陶瓷插芯通过第二套管实现套接;

[0010] 还包括插接于所述第一标准光纤陶瓷插芯的第一单模光纤,插接于所述第四标准光纤陶瓷插芯的第二单模光纤及一端插接于所述第二标准光纤陶瓷插芯另一端插接于第三标准光纤陶瓷插芯的空芯光子带隙光纤;所述第一单模光纤、第二单模光纤及空芯光子带隙光纤与所述第一标准光纤陶瓷插芯均共轴;

[0011] 所述第一单模光纤插接于所述第一标准光纤陶瓷插芯的内径里,并与所述第一标准光纤陶瓷插芯靠近所述第二标准光纤陶瓷插芯的端面齐平;

[0012] 在所述第一单模光纤靠近所述第二标准光纤陶瓷插芯的端面以及所述第一标准光纤陶瓷插芯靠近所述第二标准光纤陶瓷插芯的端面上均镀覆有第一介质膜;与所述第一介质膜正相对的所述第二标准光纤陶瓷插芯的端面到所述第一介质膜的距离大于0而小于

1 μ m;

[0013] 所述第二单模光纤插接于所述第四标准光纤陶瓷插芯的内径里,并与所述第四标准光纤陶瓷插芯靠近所述第三标准光纤陶瓷插芯的端面齐平;

[0014] 在所述第二单模光纤靠近所述第三标准光纤陶瓷插芯的端面以及所述第四标准光纤陶瓷插芯靠近所述第三标准光纤陶瓷插芯的端面上均镀覆有第二介质膜;与所述第二介质膜正相对的所述第三标准光纤陶瓷插芯的端面到所述第二介质膜的距离大于0而小于1 μ m;

[0015] 所述空芯光子带隙光纤的一端与所述第二标准光纤陶瓷插芯靠近所述第一标准光纤陶瓷插芯的端面齐平,另一端与所述第三标准光纤陶瓷插芯靠近所述第四标准光纤陶瓷插芯的端面齐平。

[0016] 本发明提供的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器,采用空芯光子带隙光纤形成的全光纤气室代替原有的自由空间气室,因此无需复杂的光学对准;以第一介质膜和第二介质膜作为谐振腔的两个反射面,第一介质膜至第二介质膜的长度结合空芯光子带隙光纤的纤芯共同构成了谐振腔,增加光与气体相互作用的有效光程,缩短空芯光子带隙光纤的实际长度,以此缩短进气时间来提高响应速度,精准度高,可以同时满足高探测灵敏度和快速响应的要求,大大提高了传感器的适用性。

[0017] 进一步地,在上述法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的基础上,本发明还提供所述法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的制造方法。

[0018] 所述法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的制造方法,至少包括以下步骤:

[0019] 步骤S01、将第一单模光纤插入第一标准光纤陶瓷插芯内,并保持所述第一单模光纤的一端面与所述第一标准光纤陶瓷插芯的一端面齐平;

[0020] 步骤S02、将所述第一单模光纤和所述第一标准陶瓷插芯相互齐平的端面进行打磨处理,然后在打磨处理后的所述端面进行镀覆第一介质膜的镀覆处理,使所述第一介质膜镀覆于所述第一单模光纤和所述第一标准陶瓷插芯的端面;

[0021] 步骤S03、将空芯光子带隙光纤的一端插入第二标准光纤陶瓷插芯,并使得插入所述第二标准光纤陶瓷插芯的所述空芯光子带隙光纤的端面与所述第二标准光纤陶瓷插芯的端面齐平;

[0022] 步骤S04、将所述第一标准光纤陶瓷插芯镀覆有所述第一介质膜的一端与所述第二标准光纤陶瓷插芯的一端分别插入第一套管,使所述第一标准光纤陶瓷插芯和所述第二标准光纤陶瓷插芯正对且相互固定,并确保插入所述第一套管的所述第二标准光纤陶瓷插芯的端面到所述第一介质膜的距离大于0而小于1 μ m;

[0023] 步骤S05、将所述空芯光子带隙光纤另一端插入第三标准光纤陶瓷插芯,并使得插入所述第三标准光纤陶瓷插芯的所述空芯光子带隙光纤的端面与所述第三标准光纤陶瓷插芯的端面齐平;

[0024] 步骤S06、将第二单模光纤插入第四标准光纤陶瓷插芯内,并保持所述第二单模光纤的一端面与所述第四标准光纤陶瓷插芯的一端面齐平;

[0025] 步骤S07、将所述第二单模光纤和所述第四标准陶瓷插芯相互齐平的端面进行打磨处理,然后在打磨处理后的所述端面进行镀覆第二介质膜的镀覆处理,使所述第二介质膜镀覆于所述第二单模光纤和所述第四标准陶瓷插芯的端面;

[0026] 步骤S08、将所述第四标准光纤陶瓷插芯镀覆有所述第二介质膜的一端与所述第三标准光纤陶瓷插芯的一端分别插入第二套管,使所述第三标准光纤陶瓷插芯和所述第四标准光纤陶瓷插芯正对且相互固定,并确保插入所述第二套管的所述第三标准光纤陶瓷插芯的端面到所述第二介质膜的距离大于0而小于 $1\mu\text{m}$ 。

[0027] 本发明提供的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的制造方法,具有工艺简单、操作方便、可行性高,而且制造的光纤传感器结构紧凑、精细等特点,可以同时满足高探测灵敏度和快速响应的要求,并且精准度高,极大的提高了传感器的适用性。

[0028] 更进一步地,本发明还提供所述法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的气体检测方法。

[0029] 所述气体检测方法,至少包括如下步骤:

[0030] 步骤a.将所述法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的空芯光子带隙光纤放置并固定在压电陶瓷上,并将所述法布里-珀罗谐振腔光纤传感器和所述压电陶瓷置于气体腔室内,所述压电陶瓷的电信号端口连接信号发生器;所述法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的第一单模光纤与分布反馈式激光器连接、第二单模光纤与光电探测器连接;

[0031] 步骤b.将所述分布反馈式激光器的激光波长调节至待测气体吸收线附近,并扫描所述分布反馈式激光器的激光波长观察所述待测气体吸收线附近的谐振腔光谱,通过所述信号发生器施加一个直流的电压到所述压电陶瓷上,实现所述法布里-珀罗谐振腔光纤传感器谐振腔腔长的调节以改变谐振峰的位置,确保所述谐振腔其中一个谐振峰对准所述待测气体吸收线中心,以及确保所述激光器的激光波长、所述谐振峰和所述待测气体吸收线中心三者均对准重合;同时对激光器的激光波长进行周期性的波长调制,以获得谐振峰的一组二阶信号输出;

[0032] 步骤c.将待测气体填充至所述气体腔室内,使所述待测气体填充进所述空芯光子带隙光纤的谐振腔内;

[0033] 步骤d.在有所述待测气体和没有所述待测气体的两种情况下重复上述步骤b,并记录得到的两组二阶信号;

[0034] 步骤e.通过对比步骤d中获得的两组二阶信号输出可以得到由气体吸收引起的信号变化值,获取气体测量的探测灵敏度。

[0035] 本发明的气体检测方法,采用本发明提供的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器作为检测的关键部件,其以本发明的上述法布里-珀罗光纤传感器第一介质膜和第二介质膜之间的长度以及上述空芯光子带隙光纤的纤芯共同构成的谐振腔结构为基础,通过谐振腔增加光与气体相互作用的有效光程,可以缩短空芯光子带隙光纤的实际长度,以此缩短进气时间来提高响应速度,可以同时满足高探测灵敏度和快速响应的要求,并且精准度高,能够极大的提高传感器的适用性。

附图说明

[0036] 下面将结合附图及实施例对本发明作进一步说明,附图中:

[0037] 图1是本发明实施例提供的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的正视图;

[0038] 图2是本发明实施例提供的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的左视图;

[0039] 图3是本发明实施例提供的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的后视图;

[0040] 图4是本发明实施例提供的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的A-A剖视图;

[0041] 图5为本发明实施例提供的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的腔长扫描测量精度的测量方法的系统示意图；

[0042] 图6为本发明实施例提供的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的谐振腔长度为9.4cm的透射谱曲线图；

[0043] 图7为本发明实施例提供的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的谐振腔长度为6.75cm的透射谱曲线图；

[0044] 图8为本发明实施例提供的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器气体检测方法的系统示意图；

[0045] 图9为本发明提供的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器气体检测得到的谐振峰对准气体吸收线中心时有乙炔气体和没有乙炔气体的谐振峰二阶信号输出曲线图；

[0046] 图10为本发明提供的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器气体检测得到的谐振峰远离气体吸收线中心时有乙炔气体和没有乙炔气体的谐振峰二阶信号输出曲线图。

[0047] 其中,1-第一标准光纤陶瓷插芯、2-第二标准光纤陶瓷插芯、3-第三标准光纤陶瓷插芯、4-第四标准光纤陶瓷插芯；5-第一套管；6-第二套管；7-第一介质膜；8-第二介质膜；9-第一单模光纤；10-第二单模光纤；11-空芯光子带隙光纤；12-多层层叠式压电陶瓷；13-电压放大器；14-信号发生器；15-外腔激光器；16-隔离器；17-偏振控制器；18-光电探测器；19-数字示波器；20-分布反馈式激光器；21-锁相放大器；22-激光控制器；23-采集卡；24-气体腔室；M-谐振腔。

具体实施方式

[0048] 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仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0049] 如图1、2、3及4所示,本发明实施例提供了一种法布里-珀罗谐振腔光纤传感器。

[0050] 所述法布里-珀罗谐振腔光纤传感器,包括轴心在同一条直线上且依次排布的第一标准光纤陶瓷插芯1、第二标准光纤陶瓷插芯2、第三标准光纤陶瓷插芯3、第四标准光纤陶瓷插芯4、第一套管5、第二套管6、第一介质膜7、第二介质膜8、第一单模光纤9、第二单模光纤10及空芯光子带隙光纤11。

[0051] 具体地,第一标准光纤陶瓷插芯1和第二标准光纤陶瓷插芯2通过第一套管5实现套接。

[0052] 第三标准光纤陶瓷插芯3和第四标准光纤陶瓷插芯4通过第二套管6实现套接。

[0053] 第一标准光纤陶瓷插芯1与第二标准光纤陶瓷插芯2正相对的端面镀覆有第一介质膜7；与第一介质膜7正相对的第二标准光纤陶瓷插芯2的端面到所述第一介质膜7的距离大于0而小于 $1\mu\text{m}$ 。

[0054] 换一句话就是,将第一标准光纤陶瓷插芯1的两端分别定义为第I端、第I'端,第二标准光纤陶瓷插芯2的两端分别定义为第II端、第II'端,第一标准光纤陶瓷插芯1的第I端和第二标准光纤陶瓷插芯2的第II端正相对时,只能在第I端的端面镀覆第一介质膜7,并且第一介质膜7与第II端的端面距离大于0而小于 $1\mu\text{m}$,该距离可以保证气体能够进入第一标准光纤陶瓷插芯1和第二标准光纤陶瓷插芯2相互靠近的端面,并且两者间距不是非常大。

[0055] 第四标准光纤陶瓷插芯4与第三标准光纤陶瓷插芯3正相对的端面镀覆有第二介质膜8;与第二介质膜8正相对的第三标准光纤陶瓷插芯3的端面到所述第二介质膜8的距离大于0而小于 $1\mu\text{m}$ 。

[0056] 换一句话就是,将第三标准光纤陶瓷插芯3的两端分别定义为第III端、第III'端,第四标准光纤陶瓷插芯4的两端分别定义为第IV端、第IV'端,第三标准光纤陶瓷插芯3的第III端和第四标准光纤陶瓷插芯4的第IV端正相对时,只能在第IV端的端面镀覆第二介质膜8,并且第二介质膜8与第III端的端面距离大于0而小于 $1\mu\text{m}$,该距离可以保证气体能够进入第三标准光纤陶瓷插芯3和第四标准光纤陶瓷插芯4相互靠近的端面,并且两者间距不是非常大。

[0057] 第一单模光纤9插接于第一标准光纤陶瓷插芯1的内径里,并与第一标准光纤陶瓷插芯1靠近第二标准光纤陶瓷插芯2的端面齐平。

[0058] 换一句话也就是第一单模光纤9从上述第I'端插入第一标准光纤陶瓷插芯1里,其插入深度需要达到第I端的端面,并且与第I端端面齐平。

[0059] 在具体加工过程中,先将第一单模光纤9插入第一标准光纤陶瓷插芯1里,然后再在第I端的端面镀覆第一介质膜7,通过第一介质膜7将第一单模光纤9和第一标准光纤陶瓷插芯1连成一固定的统一体,在本发明中,第一介质膜7镀覆在第一单模光纤9端面是实现技术方案的一关键点。

[0060] 第二单模光纤10插接于第四标准光纤陶瓷插芯4的内径里,并与第四标准光纤陶瓷插芯4靠近第三标准光纤陶瓷插芯3的端面齐平。

[0061] 换一句话也就是,第二单模光纤10从上述第IV'端插入第四标准光纤陶瓷插芯4里,其插入深度需要达到第IV端的端面,并且与第IV端端面齐平。

[0062] 在具体加工过程中,先将第二单模光纤10插入第四标准光纤陶瓷插芯4里,然后再在第IV端的端面镀覆第二介质膜8,通过第二介质膜8将第二单模光纤10和第四标准光纤陶瓷插芯4连成一固定的统一体,在本发明中,第二介质膜8镀覆在第二单模光纤10端面是能够实现技术方案的又一关键点。

[0063] 空芯光子带隙光纤11一端插接于第二标准光纤陶瓷插芯2的内径里,并与第二标准光纤陶瓷插芯2靠近第一标准光纤陶瓷插芯1的端面齐平,另一端插接于第三标准光纤陶瓷插芯3的内径里,并与第三标准光纤陶瓷插芯3靠近第四标准光纤陶瓷插芯4的端面齐平。

[0064] 换一句话也就是,空芯光子带隙光纤11的一端插入第二标准光纤陶瓷插芯2里,其插入深度达到上述第II端的端面,并且与第II端的端面齐平;另一端插入第三标准光纤陶瓷插芯3里,其插入深度需要达到第III端面,并且与第III端的端面齐平。由此,从第一标准光纤陶瓷插芯1和第二标准光纤陶瓷插芯2相互靠近的端面进入的气体,和/或第三标准光纤陶瓷插芯3和第四标准光纤陶瓷插芯4相互靠近的端面进入的气体,能够进入到空芯光子带隙光纤11的纤芯内。

[0065] 优选地,所述第一标准光纤陶瓷插芯、第二标准光纤陶瓷插芯、第三标准光纤陶瓷插芯、第四标准光纤陶瓷插芯的外径为 $2\text{mm}\sim 3\text{mm}$;

[0066] 优选地,第一标准光纤陶瓷插芯1、第二标准光纤陶瓷插芯2、第三标准光纤陶瓷插芯3、第四标准光纤陶瓷插芯4的内径均为 $120\mu\text{m}\sim 128\mu\text{m}$ 。

[0067] 优选地,第一套管5、第二套管6的内径为 $2\text{mm}\sim 3\text{mm}$ 。使得第一套管5、第二套管6能

够恰好套接在第一标准光纤陶瓷插芯1、第二标准光纤陶瓷插芯2、第三标准光纤陶瓷插芯3、第四标准光纤陶瓷插芯4的外周。

[0068] 优选地,第一套管5、第二套管6可以为半圆筒形套管,如图2所示的套管。当然,也可以是圆筒形的套管,但是,当是圆筒形套管时,必须有足够的孔,确保气体能够进入第一标准光纤陶瓷插芯1和第二标准光纤陶瓷插芯2相互靠近的部位,以及能够进入第三标准光纤陶瓷插芯3和第四标准光纤陶瓷插芯4相互靠近的部位。

[0069] 此外,其他能够实现气体进入相应的部位的套管也可以使用,只要套管在整个过程中,不与待测气体发生化学反应,不会影响待测气体的检测效果,并且能够保证第一单模光纤9、第二单模光纤10及空芯光子带隙光纤11共轴的,均可以作为本发明的套管。

[0070] 进一步优选地,第一套管5、第二套管6的材质均为陶瓷材质。陶瓷材质化学性能稳定,而且强度能够满足要求,不存在受热膨胀的问题。

[0071] 优选地,第一介质膜7由折射率为2~3的若干第一膜层和折射率为1.2~1.8的若干第二膜层相互交替层叠而成;第二介质膜8由折射率为2~3的若干第一膜层和折射率为1.2~1.8的若干第二膜层相互交替层叠而成。

[0072] 进一步优选地,构成所述第一膜层的材料为二氧化钛、五氧化二钽、二氧化铪、二氧化锆中的任一种;构成所述第二膜层的材料为二氧化硅、氟化镁中的任一种。

[0073] 优选地,所述第一介质膜7、第二介质膜8的厚度均为 $1\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$;所述第一介质膜7、第二介质膜8的反射率为99.0%~99.9%。

[0074] 例如,当测量乙炔气体时,所述第一介质膜7、第二介质膜8的厚度均为 $3\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$,该厚度对应的反射波长落在1550nm左右。

[0075] 优选地,第一单模光纤9、第二单模光纤10、空芯光子带隙光纤11的直径为 $120\mu\text{m}\sim 128\mu\text{m}$,并且第一单模光纤9、第二单模光纤10、空芯光子带隙光纤11的直径的选用,应当与相应的标准光纤陶瓷插芯的内径相一致,确保整个传感器结构稳定紧凑,最重要的是确保所有圆柱、圆筒、半圆筒的部件的轴心在同一条直线上。

[0076] 优选地,空芯光子带隙光纤11的纤芯直径为 $8\mu\text{m}\sim 13\mu\text{m}$,这主要是因为第一单模光纤9、第二单模光纤10的纤芯直径为 $8\mu\text{m}\sim 13\mu\text{m}$,相同的纤芯直径可以确保芯径匹配,提高传感器的性能。

[0077] 进一步优选地,空芯光子带隙光纤11的长度大于0而小于3m。当然,可以根据具体的需要设计空芯光子带隙光纤11的长度。比如,当设计空芯光子带隙光纤11的长度为5cm到10cm时,空芯光子带隙光纤11对应谐振腔的自由光谱范围为25pm到10pm。

[0078] 为了使得本发明的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器各个部件不发生走位或者松动,在第一套管5和第一标准光纤陶瓷插芯1、第二标准光纤陶瓷插芯2套接的部位,采用固定胶进行牢固处理;在第二套管6和第三标准光纤陶瓷插芯3、第四标准光纤陶瓷插芯4套接的部位采用固定胶进行牢固处理;在第一单模光纤9插接于第一标准光纤陶瓷插芯1的部位采用固定胶进行牢固处理;在第二单模光纤10插接于第四标准光纤陶瓷插芯4的部位采用固定胶进行牢固处理;在空芯光子带隙光纤11插接于第二标准光纤陶瓷插芯2及第三标准光纤陶瓷插芯3的部位采用固定胶进行牢固处理。

[0079] 进一步优选地,所述固定胶为环氧树脂胶。当然,不限于环氧树脂胶,只要是化学性质稳定,不容易与测量气体发生化学反应或者不容易受热熔化或分解的固定胶,均可以

使用。

[0080] 换一句话就是,只要不影响本发明的传感器测量结果的固定胶,均可以使用。

[0081] 上述描述的整个法布里-珀罗谐振腔光纤传感器,必须确保第一标准光纤陶瓷插芯1、第二标准光纤陶瓷插芯2、第三标准光纤陶瓷插芯3、第四标准光纤陶瓷插芯4、第一单模光纤9、第二单模光纤10、空芯光子带隙光纤11共轴,只有共轴才能够实现本发明的技术效果。

[0082] 本发明的原理是:第一单模光纤9表面的第一介质膜7、第二单模光纤10表面的第二介质膜8及位于第一介质膜7和第二介质膜8之间的空芯光子带隙光纤11构成法布里-珀罗谐振腔,第一介质膜7和第二介质膜8分别为法布里-珀罗谐振腔的两个反射面,空芯光子带隙光纤11的长度为谐振腔的腔长。当输入激光经过该谐振腔就会在腔内形成多光束干涉,在该谐振腔的输出端就会形成一系列精细度F值非常高的谐振峰,该激光传输的等效光程就变为谐振腔腔长的 $2F/\pi$ 倍,此时若谐振腔内存在待测气体时,该气体吸收信号也会增强 $2F/\pi$ 倍,而实际谐振腔长只需很短一段空芯光子带隙光纤即可实现,这就能够极大的满足气体传感器的高探测灵敏度和快速响应的要求。

[0083] 本发明实施例提供的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器,采用空芯光子带隙光纤形成的全光纤气室代替原有的自由空间气室,因此无需复杂的光学对准;通过空芯光子带隙光纤的纤芯形成的谐振腔增加光与气体相互作用的有效光程,缩短空芯光子带隙光纤的实际长度,以此缩短进气时间来提高响应速度,精准度高,可以同时满足高探测灵敏度和快速响应的要求,大大提高了传感器的适用性。

[0084] 在本发明实施例提供的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的基础上,本发明还进一步提供与上述法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的一种制造方法。

[0085] 在一实施例中,所述布里-珀罗谐振腔光纤传感器的制造方法至少包括以下步骤:

[0086] 步骤S01、将第一单模光纤插入第一标准光纤陶瓷插芯内,并保持所述第一单模光纤的一端面与所述第一标准光纤陶瓷插芯的一端面齐平;

[0087] 步骤S02、将所述第一单模光纤和所述第一标准陶瓷插芯相互齐平的端面进行打磨处理,然后在打磨处理后的所述端面进行镀覆第一介质膜的镀覆处理,使所述第一介质膜镀覆于所述第一单模光纤和所述第一标准陶瓷插芯的端面;

[0088] 步骤S03、将空芯光子带隙光纤的一端插入第二标准光纤陶瓷插芯,并使得插入所述第二标准光纤陶瓷插芯的所述空芯光子带隙光纤的端面与所述第二标准光纤陶瓷插芯的端面齐平;

[0089] 步骤S04、将所述第一标准光纤陶瓷插芯镀覆有所述第一介质膜的一端与所述第二标准光纤陶瓷插芯的一端分别插入第一套管,使所述第一标准光纤陶瓷插芯和所述第二标准光纤陶瓷插芯正对且相互固定,并确保插入所述第一套管的所述第二标准光纤陶瓷插芯的端面到所述第一介质膜的距离大于0而小于 $1\mu\text{m}$;步骤S05、将所述空芯光子带隙光纤另一端插入第三标准光纤陶瓷插芯,并使得插入所述第三标准光纤陶瓷插芯的所述空芯光子带隙光纤的端面与所述第三标准光纤陶瓷插芯的端面齐平;

[0090] 步骤S06、将第二单模光纤插入第四标准光纤陶瓷插芯内,并保持所述第二单模光纤的一端面与所述第四标准光纤陶瓷插芯的一端面齐平;

[0091] 步骤S07、将所述第二单模光纤和所述第四标准陶瓷插芯相互齐平的端面进行打

磨处理,然后在打磨处理后的所述端面进行镀覆第二介质膜的镀覆处理,使所述第二介质膜镀覆于所述第二单模光纤和所述第四标准陶瓷插芯的端面;

[0092] 步骤S08、将所述第四标准光纤陶瓷插芯镀覆有所所述第二介质膜的一端与所述第三标准光纤陶瓷插芯的一端分别插入第二套管,使所述第三标准光纤陶瓷插芯和所述第四标准光纤陶瓷插芯正对且相互固定,并确保插入所述第二套管的所述第三标准光纤陶瓷插芯的端面到所述第二介质膜的距离大于0而小于 $1\mu\text{m}$ 。

[0093] 上述步骤S02中,第一介质膜7镀覆在第一单模光纤9端面是实现技术方案的一关键点。此外,第一介质膜7除了镀覆在第一单模光纤9的端面外,还镀覆于第一标准陶瓷插芯1的端面,使得第一单模光纤9和第一标准陶瓷插芯1连成一体,有利于固定第一单模光纤9。

[0094] 上述步骤S07中,第二介质膜8镀覆在第二单模光纤10端面是能够实现技术方案的又一关键点。此外,第二介质膜8除了镀覆在第二单模光纤10的端面外,还镀覆于第四标准陶瓷插芯4的端面,使得第二单模光纤10和第四标准陶瓷插芯4连成一体,有利于固定第二单模光纤10。

[0095] 为了更好的牢固上述光纤传感器的各个部件,避免松动,还可以在插接好之后采用固定胶进行固定。

[0096] 本发明上述提供的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的制造方法,具有工艺简单、操作方便、可行性高,而且制造的光纤传感器结构紧凑、精细等特点,可以同时满足高探测灵敏度和快速响应的要求,并且精准度高,极大的提高了传感器的适用性。

[0097] 为了验证本发明上述实施例提供的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的制造方法制造的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的精细度数值,本发明还进一步提出一种利用上述制造方法所生产出的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的谐振腔腔长扫描测量精细度的测量方法。

[0098] 具体测量所需要的系统如图5所示。

[0099] 谐振腔腔长扫描测量精细度的具体测量方法包括如下步骤:

[0100] 将空芯光子带隙光纤11的谐振腔(为方便,本发明的谐振腔统一用字母M表示)部分放置于多层层叠式压电陶瓷12上并使用指甲油或其他方法涂抹,将谐振腔M固定在多层层叠式压电陶瓷12上,多层层叠式压电陶瓷12的信号端口连接信号发生器14,为了实现信号的放大,先将信号发生器14连接于电压放大器13上,再由电压放大器13直接与多层层叠式压电陶瓷12的信号端口连接。谐振腔M一端的第一单模光纤9与外腔激光器15连接,谐振腔M另一端的第二单模光纤10与光电探测器18连接,光电探测器连接数字示波器19,图5中16为隔离器,17为偏振控制器。

[0101] 固定外腔激光器15的波长,信号发生器14施加三角波调制的电压到多层层叠式压电陶瓷12,通过多层层叠式压电陶瓷12长度的拉伸,使固定在其表面的空芯光子带隙光纤11的长度发生拉伸,这样可以对全光纤谐振腔M的腔长进行周期性的扫描,通过数字示波器19可以观测到谐振腔M的输出谱,从而确定谐振腔M的精细度数值。

[0102] 采用本发明的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的谐振腔腔长扫描测量精细度的测量方法,获取谐振腔M的输出谱,得到该谐振腔M的精细度数值。

[0103] 其中,图6为本发明实施例法布里-珀罗谐振腔光纤传感器腔长扫描测得的谐振腔透射谱曲线图。图6表示谐振腔腔长为9.4cm的透射谱曲线图,得到对应的谐振腔精细度值

为68,进一步地计算出对应的有效光程为4.1m。

[0104] 图7为本发明实施例法布里-珀罗谐振腔光纤传感器腔长扫描测得的谐振腔透射谱曲线图。图7表示谐振腔腔长为6.75cm的透射谱曲线图,得到对应的谐振腔精细度值为128,进一步地计算出对应的有效光程为5.5m。

[0105] 本发明在上述法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的基础上,还更进一步提出一种利用上述光纤传感器对气体进行检测的方法。

[0106] 所述气体检测方法采用的系统如图8所示。

[0107] 在一实施例中,采用如图8所示的系统结合所述法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的气体检测方法,至少包括如下步骤:

[0108] 步骤a.将所述法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的空芯光子带隙光纤11的谐振腔M部分放置并固定在多层层叠式压电陶瓷12上,并将所述法布里-珀罗谐振腔光纤传感器和所述多层层叠式压电陶瓷12置于气体腔室24内,所述多层层叠式压电陶瓷12的电信号端口连接信号发生器14;所述法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的第一单模光纤9与分布反馈式激光器20连接、第二单模光纤10与光电探测器18连接;

[0109] 步骤b.将所述分布反馈式激光器20的激光波长调节至待测气体吸收线附近,并扫描所述分布反馈式激光器20的激光波长观察所述气体吸收线附近的谐振腔M光谱,通过所述信号发生器14施加一个直流的电压到所述多层层叠式压电陶瓷12上,实现所述法布里-珀罗谐振腔光纤传感器谐振腔M腔长的调节以改变谐振峰的位置,确保所述谐振腔M其中一个谐振峰对准所述气体吸收线中心,以及确保所述分布反馈式激光器20的激光波长、所述谐振峰和所述气体吸收线中心三者均对准重合;同时对所述分布反馈式激光器20的激光波长进行周期性的波长调制,以获得谐振峰的一组二阶信号输出;

[0110] 步骤c.将待测气体填充至所述气体腔室24内,使所述待测气体填充进所述空芯光子带隙光纤11的谐振腔M中;

[0111] 步骤d.在有待测气体和没有待测气体的两种情况下重复上述步骤b,并记录得到的两组二阶信号;

[0112] 步骤e.通过对比步骤d中获得的两组二阶信号输出可以得到由气体吸收引起的信号变化值,获取气体测量的探测灵敏度。

[0113] 具体地,上述气体检测方法中,所述压电陶瓷12为在多层层叠式压电陶瓷,多层层叠式压电陶瓷12的电信号端口连接电压放大器13和信号发生器14。

[0114] 光电探测器18连接锁相放大器21,锁相放大器21输出的正弦调制信号输入到激光控制器22对分布反馈式激光器20进行波长调制,图8中23为数据采集卡、16为隔离器、17为偏振控制器。

[0115] 为了更好的说明本发明提供的传感器用于气体检测的方法,下面通过实施例做进一步的解释说明。

[0116] 实施例1

[0117] 采用如图8所示的系统,对含有乙炔气体和不含有乙炔的气体进行检测。

[0118] 将乙炔气体填充至气体腔室24内,使得乙炔气体填充到谐振腔M内,在有乙炔气体和没有乙炔气体的两种情况下重复上述步骤b,可以记录到两组二阶信号,通过对比两组二阶信号输出可以得到由气体吸收引起的信号变化值,获取气体测量的探测灵敏度。

[0119] 本实施例中的乙炔气体吸收线(如P(13)吸收线为1532.83nm),通过激光控制器22的温度控制扫描分布反馈式激光器20的波长可以观察乙炔气体吸收线附近的谐振腔输出谱,通过信号发生器14施加一个直流电压经过电压放大器13放大到多层层叠式压电陶瓷12上,实现谐振腔M腔长的改变,进而改变谐振峰的位置,这样可以使在吸收线中心附近的其中一个谐振峰对准乙炔气体吸收线中心,使得分布反馈式激光器20的激光波长、谐振峰和气体吸收线中心三者均对准在一起。

[0120] 其中,图9为本发明提供的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器气体检测得到的谐振峰对准气体吸收线中心时有乙炔气体和没有乙炔气体的谐振峰二阶信号输出曲线图;图10为本发明提供的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器气体检测得到的谐振峰远离气体吸收线中心时有乙炔气体和没有乙炔气体的谐振峰二阶信号输出曲线图。

[0121] 从图9可知,测得的气体吸收信号与气体浓度有关,浓度越大,信号越强;从图10可知,两条曲线并没有发生明显变化,表示当激光器远离气体吸收线中心时气体没有被吸收,说明图9中测得的信号变化是由气体吸收引起的。通过测量8分钟内谐振峰二阶信号值的标准偏差值,可以进一步地计算出传感器的气体探测灵敏度为7ppm(百万分之一)。

[0122] 实施例1说明本发明提供的法布里-珀罗谐振腔光纤传感器的结构为基础,通过谐振腔增加等效气体吸收长度,提高气体探测的灵敏度和缩短响应时间,整体表现出了极高的精细度,可以提高传感器的适用性。

[0123] 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、等同替换或改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

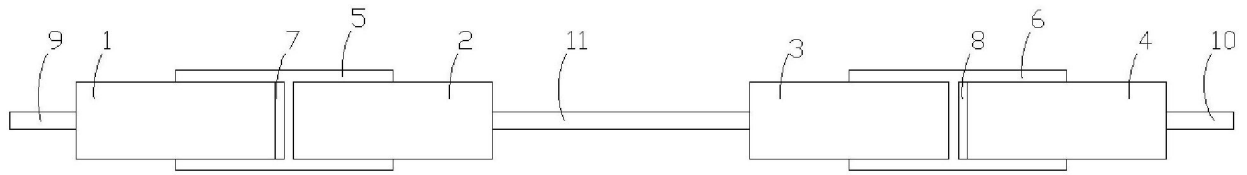


图1

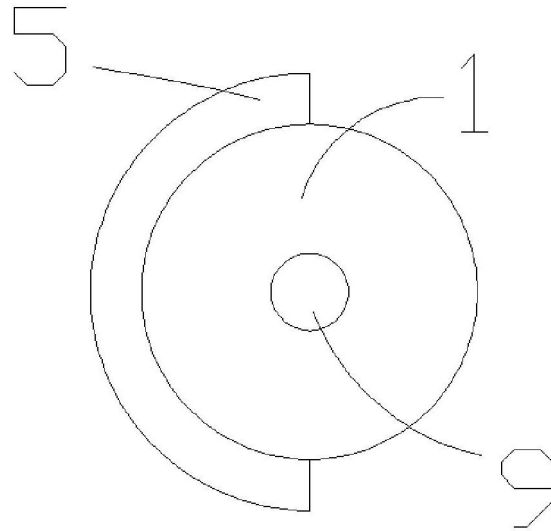


图2

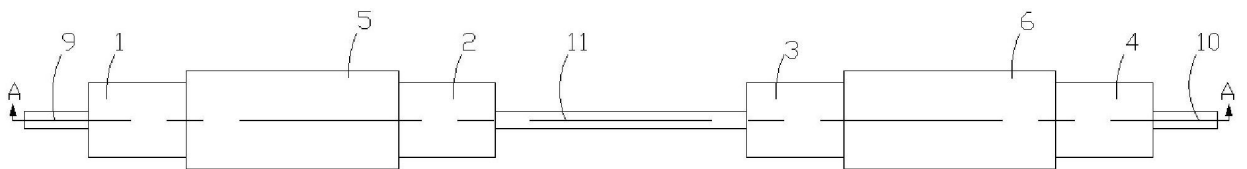


图3

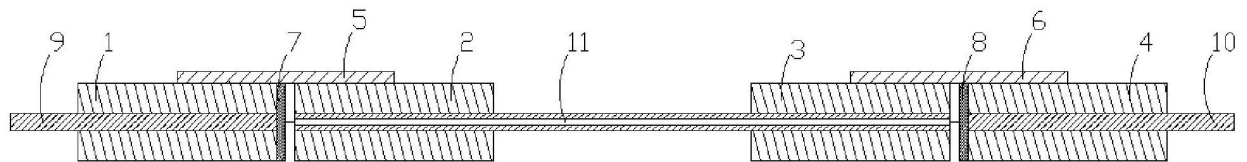


图4

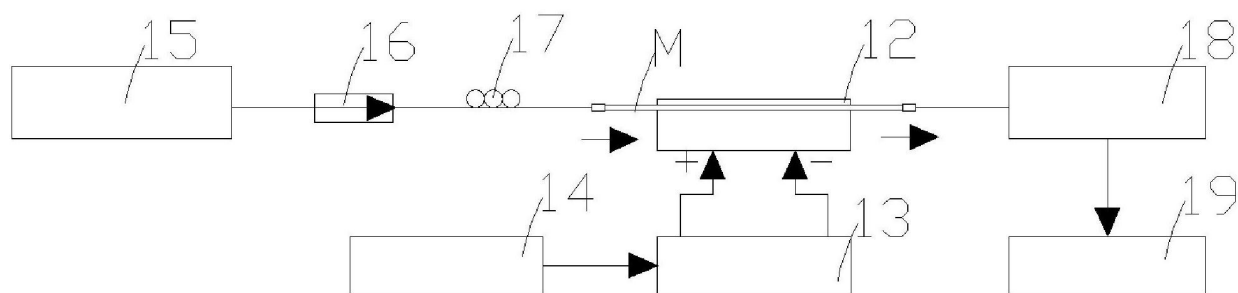


图5

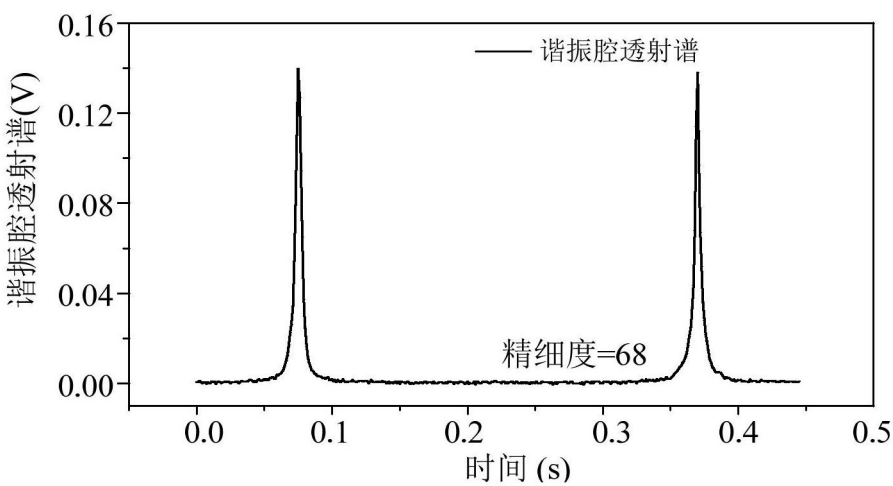


图6

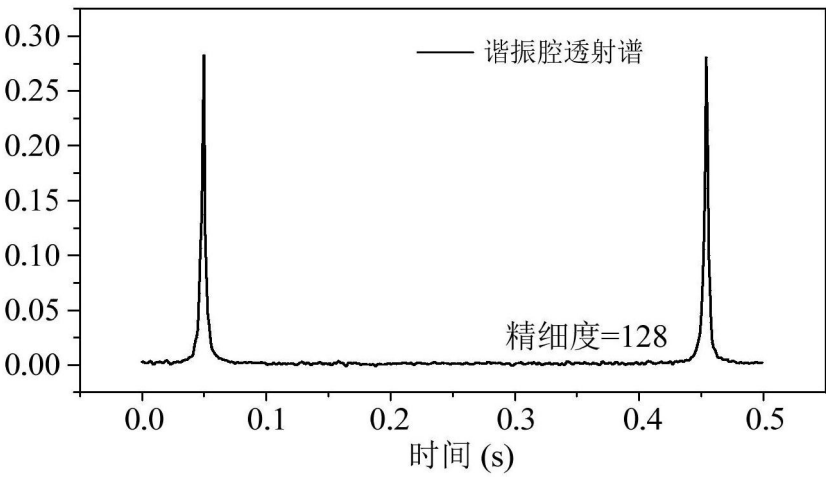


图7

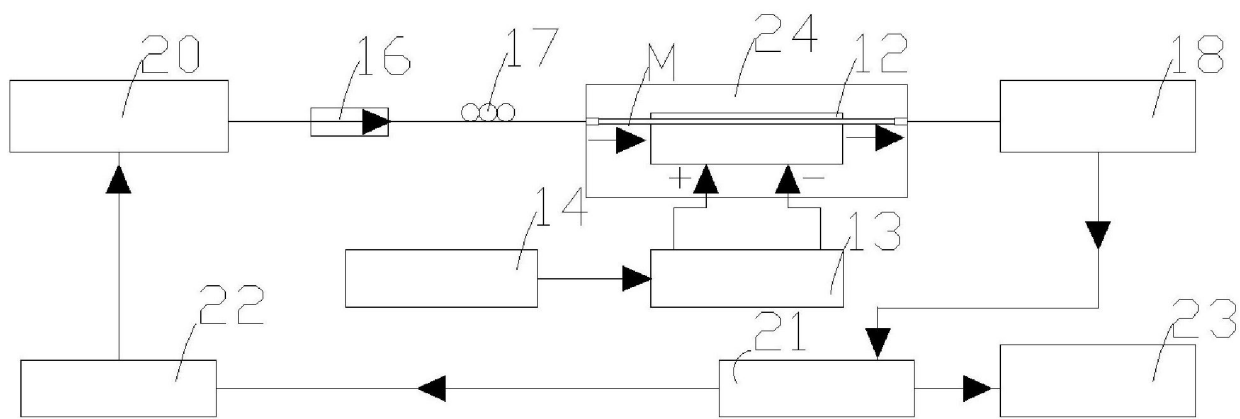


图8

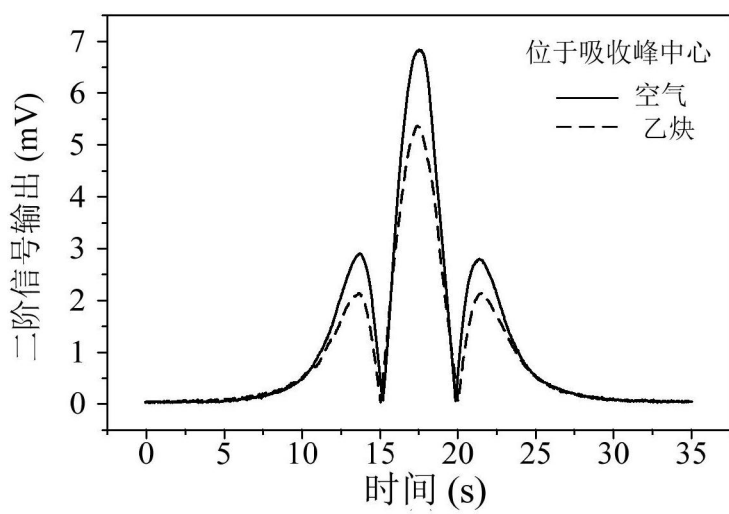


图9

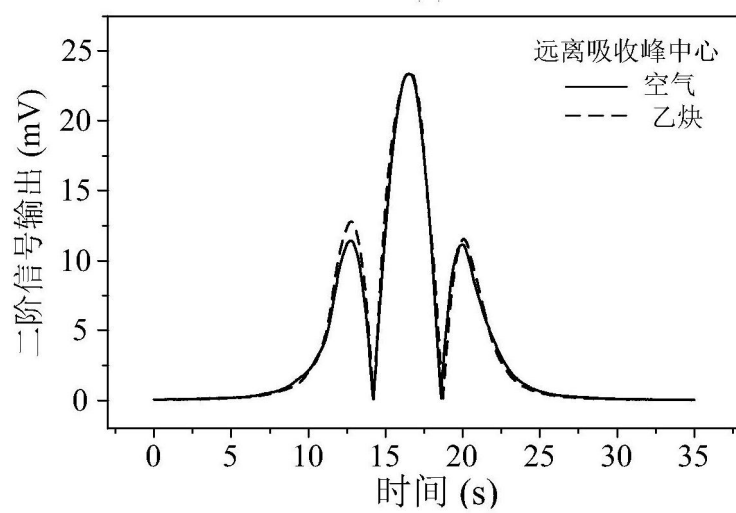


图10