



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103994851 B

(45)授权公告日 2017.02.08

(21)申请号 201410206090.X

(22)申请日 2014.05.15

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 103994851 A

(43)申请公布日 2014.08.20

(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501

(72)发明人 靳伟 马军 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 张全文

(51)Int.Cl.

G01L 11/02(2006.01)

(56)对比文件

CN 103557929 A,2014.02.05,  
US 2003138185 A1,2003.07.24,  
CN 101017116 A,2007.08.15,  
CN 101614607 A,2009.12.30,  
CN 102243990 A,2011.11.16,  
CN 101135577 A,2008.03.05,  
CN 102384809 A,2012.03.21,

审查员 郝丽娜

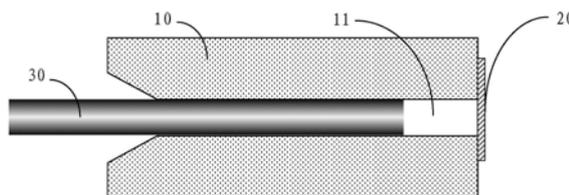
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

谐振式法布里-珀罗光纤传感器及制造和气压检测方法

(57)摘要

本发明提供了一种谐振式法布里-珀罗光纤传感器,包括传感器体以及贯穿传感器体的通孔;通孔的一端贴设有用于传感待测气压的石墨烯薄膜;另一端设有贯穿至通孔内并与通孔适配的传输光纤。本发明的谐振式法布里-珀罗光纤传感器,通过气体对石墨烯薄膜的阻尼引起石墨烯薄膜谐振频率的变化计算气体气压;因此无需密封的法布里-珀罗腔,降低了制作难度;而且用谐振替代原有测量薄膜形变量进而测量气压,有效降低了膜片反复形变导致的薄膜材料蠕变;而且传感器检测后输出的是经探测光转换的数字式频率信号,相比干涉传感器的光波信号更加便于结果分析;而且通过单根传输光纤进行激发和探测,可实现远程气压测量,大大提高了传感器的适用性。



1. 一种谐振式法布里-珀罗光纤传感器,其特征在于,由带通孔的传感器体、石墨烯薄膜和传输光纤三者组成,所述石墨烯薄膜贴设在所述通孔的一端,所述传输光纤通过所述通孔与所述传感器体适配;且所述石墨烯薄膜为条形结构,使所述谐振式法布里-珀罗光纤传感器形成不密封的法布里-珀罗谐振腔。

2. 一种权利要求1所述谐振式法布里-珀罗光纤传感器的制造方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1. 在铜片基底上生成石墨烯薄膜;

步骤2. 对生长有石墨烯薄膜的铜片表面进行涂胶,将涂胶以后的铜片烘干之后放入金属刻蚀液中;去除掉所述铜片后,将带有胶层的石墨烯薄膜清洗掉残余的金属离子;

步骤3. 将带有所述胶层的石墨烯薄膜堆叠在另外一片生长有石墨烯薄膜的铜片表面,在烘箱中加热,然后刻蚀掉铜片,得到厚度增加一倍的石墨烯薄膜;

步骤4. 通过重复以上步骤1-步骤3,堆叠出厚度为纳米级的石墨烯薄膜;

步骤5. 通过清洗去除所述石墨烯薄膜表面附着的涂胶,然后将所述石墨烯薄膜通过水中附着的方式贴设于所述传感器体端面,最后烘干得到的石墨烯薄膜作为光纤法布里-珀罗腔的第一个反射面;

步骤6. 所述传感器体采用带中间通孔的套管,所述传输光纤插入中间通孔后,在光谱仪的监测下,通过移平台来调整所述传输光纤端面与所述石墨烯薄膜的距离;最后采用环氧树脂胶将传输光纤在通孔中固定;

步骤7. 将传感器体端面的所述石墨烯薄膜利用飞秒激光或聚焦等离子术加工成条状。

3. 如权利要求1所述的谐振式法布里-珀罗光纤传感器的气体气压检测方法,其特征在于,包括如下步骤:

将从第一激光发射器发出的激发光经强度调制器调制成周期性脉冲光,并将该脉冲光与从第二激光发射器发出的探测光用光耦合器耦合后,通过环形器传输至谐振式法布里-珀罗光纤传感器,激发石墨烯薄膜谐振;

接收石墨烯薄膜谐振时被待测气体阻尼后将激发光和探测光反射后形成的包含有反射激发光和反射探测光的反射光;

通过光带通滤波器滤除反射光中的反射激发光,并将反射探测光用光探测器解调成关于待测气体气压的电信号。

## 谐振式法布里-珀罗光纤传感器及制造和气压检测方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于气压测量装置技术领域,具体涉及一种石墨烯薄膜的谐振式法布里-珀罗光纤传感器及其制造和气压检测方法。

### 背景技术

[0002] 现有的气压测量装置大多采用结构简单、检测准确的光纤法布里-珀罗光纤传感器进行,其是光纤压力传感器的一种,通常包括由光纤端面和膜片端面构成法布里-珀罗腔,当法布里-珀罗腔内的气体被激发膨胀产生气压作用于弹性膜片上时,膜片发生形变,从而改变法布里-珀罗腔的腔长,通过检测腔长变化所引起的反射光干涉光谱变化,便可以实现气压测量。但是,通过上述原理进行检测,要求法布里-珀罗微谐振腔被膜片完全的密封。因此目前大部分光纤法布里-珀罗气压传感器通过探测气压引起的膜片形变来探测气压,要求法布里-珀罗腔被膜片完全密封住。常用的密封方法有胶封或CO<sub>2</sub>加热,但是严格密封的生产过程增加了传感器生产制造的复杂度和难度;同时,薄膜反复的形变可导致膜片材料在使用中发生蠕变,从而在一段时间后降低传感器机械稳定性;在信号解调方面,所用的测量光谱变化的方法不利于快速和简单的获取气压信号,因此上述缺陷导致在采用光纤法布里-珀罗光纤传感器进行测量时会产生偏差导致测量结果不准确。

### 发明内容

[0003] 本发明实施例的目的在于克服现有技术的上述不足,提供一种通过石墨烯薄膜与气体谐振原理进行测量、无需密封的光纤法布里-珀罗光纤传感器及其制造和检测方法。

[0004] 为了实现上述发明目的,本发明实施例的技术方案如下:

[0005] 一种谐振式法布里-珀罗光纤传感器,包括传感器体以及贯穿该传感器体的通孔;所述通孔的一端贴设有用于传感待测气压的石墨烯薄膜;所述通孔内还设有从该通孔的另一端贯穿至该通孔内并与该通孔适配的传输光纤。

[0006] 采用本发明的谐振式法布里-珀罗光纤传感器,通过传感器体重的通孔、石墨烯薄膜、和传输光纤三者形成微谐振腔,通过气体对石墨烯薄膜的阻尼程度引起石墨烯薄膜谐振频率的变化计算气体气压;因此无需密封的光纤法布里-珀罗腔,降低制作难度和复杂度;用谐振替代原有通过测量薄膜的形变量进而测量气压的方法,有效降低了膜片反复形变导致的薄膜材料蠕变;而且传感器检测后输出的是经探测光转换的数字式频率信号,相比干涉传感器的光波信号更加便于结果分析;而且通过单根传输光纤进行激发和探测,可实现远程气压测量,大大提高了传感器的适用性。

[0007] 本发明进一步还提出一种谐振式法布里-珀罗光纤传感器的制造方法,包括以下步骤:

[0008] 制备石墨烯薄膜;

[0009] 在传感器体原料上加工通孔,并将石墨烯薄膜贴设于所述通孔的一端;

[0010] 将传输光纤经通孔的另一端贯穿至通孔内,调整传输光纤与石墨烯薄膜的距离,

并对传输光纤进行固定,即可得到谐振式法布里-珀罗光纤传感器。

[0011] 采用本发明的上述谐振式法布里-珀罗光纤传感器的制造方法,其生产工艺简单,相比现有的传感器无需进行精确的密封,制作难度和复杂度大大减低;而且传输光纤可以根据测量的需求进行长度设置,因此可以大大提高各种远程监测的需求,大大提高了法布里-珀罗光纤传感器的适应性。

[0012] 本发明进一步还提出一种谐振式法布里-珀罗光纤传感器的气压检测方法,包括如下步骤:

[0013] 将待测气体填充至传感器体通孔的石墨烯薄膜与传输光纤之间;

[0014] 通过传输光纤向石墨烯薄膜上发出激发光,激发石墨烯薄膜产生谐振;

[0015] 再通过传输光纤向石墨烯薄膜发出探测光,并通过传输光纤接受石墨烯薄膜在谐振中被待测气体阻尼后将探测光反射形成的反射光;

[0016] 解调反射光的光信号,获取待测气体气压。

[0017] 采用本发明的谐振式法布里-珀罗光纤传感器的气压检测方法,其以本发明的上述法布里-珀罗光纤传感器的上述微谐振腔的结构为基础,利用待测气体气压对石墨烯薄膜的阻尼引起石墨烯薄膜谐振频率的变化计算气体气压;因此无需密封的光纤法布里-珀罗腔,降低制作难度和复杂度;用谐振频率替代原有通过测量薄膜的形变量进而测量气压的方法,有效降低了膜片反复形变导致的薄膜材料蠕变;而且传感器检测后输出的是经探测光转换的数字式频率信号,相比干涉传感器的光波信号更加便于结果分析;而且通过单根传输光纤进行激发和探测,可实现远程气压测量,大大提高了传感器的适用性。

## 附图说明

[0018] 下面将结合附图及实施例对本发明作进一步说明,附图中:

[0019] 图1为本发明实施例谐振式法布里-珀罗光纤传感器的结构示意图;

[0020] 图2为本发明实施例谐振式法布里-珀罗光纤传感器具有石墨烯薄膜端面示意图;

[0021] 图3为本发明实施例谐振式法布里-珀罗光纤传感器气体检测方法中信号解调示意图;

[0022] 图4为本发明谐振式法布里-珀罗光纤传感器测得的石墨烯薄膜振动频谱响应曲线图;

[0023] 图5为本发明谐振式法布里-珀罗光纤传感器测得的石墨烯薄膜谐振频率随气压变化的曲线图。

## 具体实施方式

[0024] 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。

[0025] 本发明实例提供了一种石墨烯薄膜的谐振式法布里-珀罗光纤传感器。参见图1,图1为本发明实施例谐振式法布里-珀罗光纤传感器的结构示意图,本发明实施例的石墨烯薄膜的谐振式法布里-珀罗光纤传感器,包括具有一通孔11的传感器体10、石墨烯薄膜20、传输光纤30;其中,石墨烯薄膜20贴设于通孔11的一端将通孔11的一端封闭,传输光纤30从

传感器体10外经通孔11的另一端贯穿至通孔11内,传输光纤30插入通孔11的插入端的端面与石墨烯薄膜20之间构成法布里-珀罗微谐振腔,那么形成传输光纤30的插入端的端面、石墨烯薄膜20与传输光纤30相对的表面分别为法布里-珀罗微谐振腔的两个反射面。

[0026] 上述传感器体10的通孔11优选设计成圆形的通孔,加工方便,而且与传输光纤30的通用圆柱形形状适配,可以形成比较好的吻合;根据使用中的气体检测的需要,上述传感器体10可以选用氧化锆或者石英材质,并进一步加工形成上述通孔11,通孔的直径根据法布里-珀罗微谐振腔测量的需求,优选设计成127 $\mu\text{m}$ ,这一孔径的在测量过程中,光传输的精度使得传感器测量的结果准确性更好。传输光纤30采用单模光纤或者是多模光纤切割而成。将传输光纤30插入至上述通孔11中,然后采用在光谱仪的监测下,进一步调整传输光纤30与石墨烯薄膜20的距离,至法布里-珀罗微谐振腔的长度合适。最后采用环氧树脂胶将传输光纤30在通孔11中固定,便可以进行气体检测。

[0027] 其中,本发明上述传感器体10是传感器的支撑结构,用于承载石墨烯薄膜20,并引导和固定传输光纤30。传感器体10的形状可以是圆柱形或者长方形。为了便于加工方便和形状稳定,在传感器体10的轴向方向上加工形成上述通孔11,通孔11其中一端设计成锥形凹槽形,以方便传输光纤30的插入。

[0028] 传输光纤30用于传输气体测量过程中所需的入射光和反射光。

[0029] 进一步地,在上述实施方式中,石墨烯薄膜20采用纳米级厚度,其纳米级的厚度对所引起的震动能更加的敏感。

[0030] 本发明的上述谐振式法布里-珀罗光纤传感器的测试过程和原理与现有的法布里-珀罗干涉传感不同;将待测气体充入上述微谐振腔中,当一束激发光通过传输光纤30照射至石墨烯薄膜20上时,会使得石墨烯薄膜20被激发产生谐振,当调制激发光的频率和石墨烯薄膜20自身的谐振频率相同时,石墨烯产生最大的振幅;在石墨烯薄膜20振动的过程中,法布里-珀罗微谐振腔中的待测气体会对石墨烯薄膜20的振动存在阻尼作用,被阻尼的程度与待测气体的气压有关,通过解析石墨烯薄膜20被阻尼的程度,便可以计算出待测气体的气压。鉴于这一原理,测量过程中首先采用一束强度进行调制过的激光作为激发光,通过传输光纤30引导照射到石墨烯薄膜20的内表面,加热并激发石墨烯薄膜20谐振振动,并选择调制激光的频率与谐振频率相同的激光使石墨烯薄膜20的谐振振幅最大。当然,在谐振的过程中其振幅和频率会被微谐振腔的气体阻尼,然后石墨烯薄膜20阻尼后的振动幅度和频率再通过另一束不同波长的激光也就是探测光进行测量最大振幅被待测气体阻尼的程度,那么通过探测气压经光照射变化所引起的石墨烯薄膜20被阻尼导致振幅的变化量,气压信号就能够被解调出来。在测量过程中,激发光和探测光可以均在传输光纤中传播,然后在探测端通过一个光带通滤波器进行分离即可。

[0031] 采用本发明的上述谐振式法布里-珀罗光纤传感器,其特殊的结构和与现有的干涉测量方法不同的步骤和过程完成气体测量,测量的过程中通过气体对石墨烯薄膜20的阻尼程度进而计算气体气压;因此传感器结构中无需密封的光纤法布里-珀罗腔,降低制作难度和复杂度;而且在测量的过程中膜片不是产生较大形变,而是自身在光激发下产生谐振,替代原有通过测量薄膜材料蠕变的形变量进而测量气压的方法,这样有效降低了膜片在气压作用下反复形变所导致的薄膜材料蠕变,同时降低了器件的制作要求;而且传感器本身检测后输出的是数字式频率信号,相比现有的干涉传感器所输出的光波信号更加便于分

析,可以简化信号解调系统;而且本身石墨烯薄膜的机械振动通过单根传输光纤进行激发和探测,可实现远程气压测量,大大提高了传感器的适用性。

[0032] 本发明进一步还提出一种上述谐振式法布里-珀罗光纤传感器的制造方法,包括如下步骤:

[0033] 步骤S10、在金属基底上生成石墨烯薄膜;

[0034] 步骤S20、在上述金属基底的石墨烯薄膜的表面旋涂PMMA(聚甲基丙烯酸甲酯)胶,并进行烘干之后放入金属蚀刻液中,将金属基底被蚀刻除去。去除掉金属基底后,将带有PMMA胶层的石墨烯薄膜转移至去离子水中,清洗掉残余的金属离子;

[0035] 步骤S30、将步骤S20中获得的带有胶层的石墨烯薄膜堆叠至另一金属基底的石墨烯薄膜的表面上,于80-120℃的烘箱中加热30-60分钟,然后烘干之后再次进行蚀刻处理除去金属基底,得到厚度加倍的石墨烯薄膜;

[0036] 步骤S40、通过重复S10-S30的上述步骤,直至获得的石墨烯薄膜的厚度为纳米级;

[0037] 步骤S50、将S40中所得的石墨烯薄膜用丙酮清洗三次到五次去除石墨烯薄膜表面附着的PMMA胶,最后在80-120℃的烘箱中烘干后,便可以用于光纤法布里-珀罗光纤传感器上;

[0038] 步骤S60、原材料氧化锆或者石英玻璃块加工成上述具有通孔11的传感器体10,将步骤S50所得的石墨烯薄膜贴设至通孔11的一端,再将传输光纤30从通孔11的另一端插入通孔11后,调整传输光纤30的插入端的端面与石墨烯薄膜的距离。

[0039] 步骤S70、在传感器体10的通孔11供传输光纤30插入的一端涂环氧树脂胶固定传输光纤,并于60-90℃的加热台上热固化1-2小时或者在室温下固化12-24小时,即可得到本发明的上述谐振式法布里-珀罗光纤传感器。

[0040] 并且在上述实施方式中,步骤S10中进行石墨烯薄膜以金属基材进行生成的方式较多,比如采用CN103183337A号专利基于Ni膜退火和氯气反应的SiC衬底上制备石墨烯的方法,或者现有的通过基材生成石墨烯的方法均可,在本发明步骤S10/S30中采用的金属基材,优选可以采用铜片或者镍片。进一步地,在步骤S10中,为了使得工艺的生产加速,可以将金属基材的双表面上均制备上述石墨烯薄膜,相比仅仅只在单片上进行石墨烯生成的方式速度可以加快。而且为了保证进一步维持石墨烯薄膜的性质,在石墨烯薄膜上用旋涂的方式涂布PMMA胶,用于保护表层石墨烯起固定作用的,避免石墨烯会分散到溶液中而不能进行后续的器件表征;当然除类似的功能原理,本领域技术人员在实施过程中上述PMMA也可以采用PDMS胶进行替换,也可以实现类似或者相同的保护表层石墨烯和固定作用。

[0041] 步骤S60中将石墨烯薄膜贴设至通孔11一端的过程中,石墨烯薄膜通过水中附着的方式转移至通孔11一端上,通过水中附着的方式进行贴设,可以保证石墨烯薄膜的形状贴设的准确。同时,进行水中附着方式贴设薄膜后,对石墨烯薄膜进行干燥,除去残留的水分,以防止水分的重量导致石墨烯薄膜检测过程中发生谐振收到水分重量的影响导致检测出现误差。

[0042] 而且在上述步骤S70中,调整传输光纤30的插入端的端面与石墨烯薄膜的距离,可以通过在光谱仪的监测下,通过移平台来实现,由于法布里-珀罗微谐振腔的大小和光纤的尺寸比较精细,采用光谱仪检测可以保证对调节过程进行辅助,比较利于调节过程的进行。在这一过程中,调整传输光纤30的插入端的端面与石墨烯薄膜的距离控制以能保证检测过

程中激发光和探测光从能插入端的端面照射至石墨烯薄膜,并且能够接收石墨烯薄膜反射形成的反射探测光为准。距离的大小可以在上述条件下进行调节,然后当激光的强度衰减最低时,进行传输光纤固定,那么测量过程中效果和结果的准确度最佳。

[0043] 进一步地,再将石墨烯薄膜20贴设至通孔11上之后,还可以通过飞秒激光或者聚焦等离子束进一步加工成条形结构,如图2所示,由于采用本发明的谐振式传感器和传感与案例,谐振腔可以不需进行完全封闭,石墨烯薄膜的形状加工以形状更加利于振动为准,也可以根据需要加工成其他形状。这样切除多余的部分,使得石墨烯薄膜的更加利于谐振。

[0044] 本发明进一步还提出一种利用上述生产方法所生产出的谐振式法布里-珀罗光纤传感器进行测量的方法,进一步参见图3,图3为本发明实施例谐振式法布里-珀罗光纤传感器气体检测方法中信号解调示意图,具体包括步骤如下:

[0045] S100、利用发出波长为 $\lambda_1$ 的DFB(Distributed Feed Back)激发器301发出的激发光经过强度调制器303被调制为周期性脉冲光,与发出波长为 $\lambda_2$ 的DFB激光器304发出的探测光306,通过一光耦合器305耦合到环形器306的入射端。

[0046] S200、波长为 $\lambda_1$ 的激发光和波长为 $\lambda_2$ 的探测光,经过环形器306入射到传感器体10上的石墨烯薄膜20上。

[0047] S300、被石墨烯薄膜20反射回的反射激发光和反射探测光,通过光环形器305到达光带通滤波器307。

[0048] S400、光带通滤波器307滤掉反射光中的反射激发光成分后,剩下的反射探测光经过光探测器308转换成电信号,即可直接输出。

[0049] 其中,上述电信号可以直接用于表示待测气体的气压,当然为了直观,还可以将其含有的频率与气压进行函数转化、数字运算成气压值即可。上述过程的细节原理为,先采激发光对传感器头上的石墨烯薄膜进行激发,传感头100上的石墨烯薄膜吸收周期调制的激发光( $\lambda_1$ )之后发生形变,并产生振动,其振动频率和激发光( $\lambda_1$ )的调制频率相同。石墨烯薄膜的振动幅度通过入射到石墨烯膜的探测光( $\lambda_2$ )进行检测。当石墨烯薄膜振动时,会改变光纤法布里-珀罗微谐振腔的腔长进而引起探测光的反射谱的变化,最终导致反射探测光( $\lambda_2$ )反射强度的变化。当石墨烯薄膜的振幅也就是光探测器308的输出信号达到最大值时,强度调制器303处所施加的调制频率即为石墨烯薄膜的谐振频率。除采用上述方法外,石墨烯膜的谐振频率也可以通过PGC解调方法检测。对于条形石墨烯膜,其谐振频率 $f$ 和气压 $P$ 的关系可以用如下公式表示:

$$[0050] \quad f = \frac{1}{\sqrt{1 + 1.18 \times 10^{-5} \cdot (P/P_0) \cdot \frac{1}{\rho_p} \cdot \frac{W}{t} \cdot \Gamma}} f_0$$

[0051] 其中, $f_0$ 是石墨烯薄膜在气压为 $P_0$ 时的谐振频率, $\rho_p$ 是石墨烯的质量密度, $\Gamma$ 是阻尼相关常数, $W$ 和 $t$ 分别是条形石墨烯薄膜的宽度和厚度。可以参见图4,图4为本发明谐振式法布里-珀罗光纤传感器测得的石墨烯薄膜谐振频率随气压变化的曲线图,石墨烯薄膜和气压的关系遵从上述关系式,因此可探测不同气压下石墨烯薄膜的谐振频率,气压的信息就可以被解调出来。

[0052] 本发明的上述谐振式法布里-珀罗光纤传感器,从图2中可以看出,DFB激光器301和DFB激光器304发出的光之后需要用光隔离器302进行单向处理,防止光路中由于各种原

因产生的逆向传输光对光源系统产生的不良影响。而且图中的激光传输过程中均采用传输光纤30进行,与本发明的上述谐振式法布里-珀罗光纤传感器的传输光纤30衔接,保证测量过程中光路连续完整。

[0053] 由于在上述检测的过程中,其接受到的检测结果为探测光被石墨烯薄膜反射后形成的反射探测光,当然由于其中掺杂有激发光被反射形成的发射激发光,但是由于两者的波长不同,采用带通滤波器307可以直接过滤除去反射激发光,只剩下单一的反射探测光;相比现有的干涉法布里-珀罗光纤传感器中表示结果的干涉光,该单一的探测光的光信号直接转换成包含有频率、振幅等电信号既可直接用于表示石墨烯被阻尼的程度,通过应设函数然后直接可以计算待测气体的气压,因此相比现有将干涉光进行复杂的拆解分析的过程,结果分析更加简便准确。而且进一步参见图4和图5,图4为本发明谐振式法布里-珀罗光纤传感器测得的石墨烯薄膜振动频谱响应曲线图;图5为本发明谐振式法布里-珀罗光纤传感器测得的石墨烯薄膜谐振频率随气压变化的曲线图。因此,根据图中的函数映射关系,便可以从反射探测光信号转化的电信号中直接得知待测气体气压结果。

[0054] 本发明的谐振式法布里-珀罗光纤传感器的气压检测方法,以本发明的上述法布里-珀罗光纤传感器的上述微谐振腔的结构为基础,利用待测气体气压对石墨烯薄膜的阻尼引起石墨烯薄膜谐振频率的变化计算气体气压;用谐振频率替代原有通过测量薄膜的形变量进而测量气压的方法,降低了膜片反复形变导致的薄膜材料蠕变;而且传感器检测后输出的是经探测光转换的数字式频率信号,相比干涉传感器的光波信号更加便于结果分析;而且通过单根传输光纤进行激发和探测,可实现远程气压测量,大大提高了传感器的适用性。

[0055] 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,均应包括在本发明的保护范围之内。

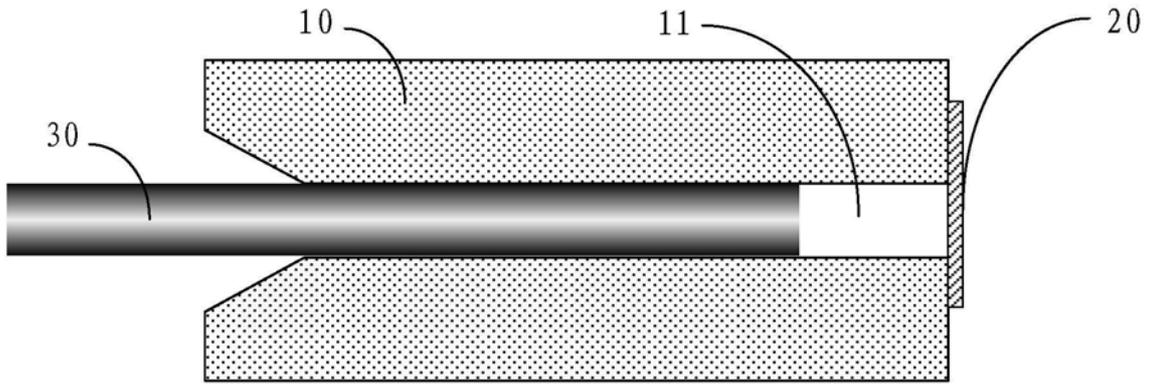


图1

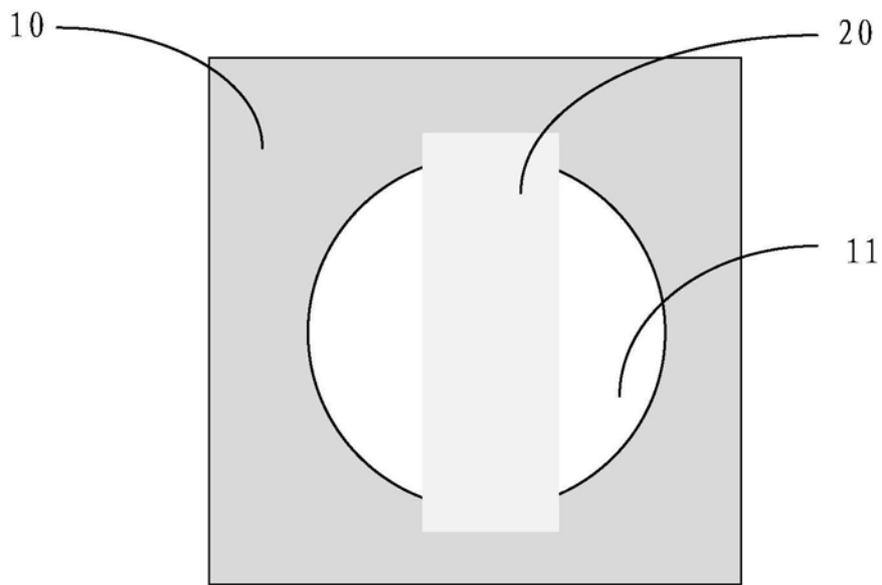


图2

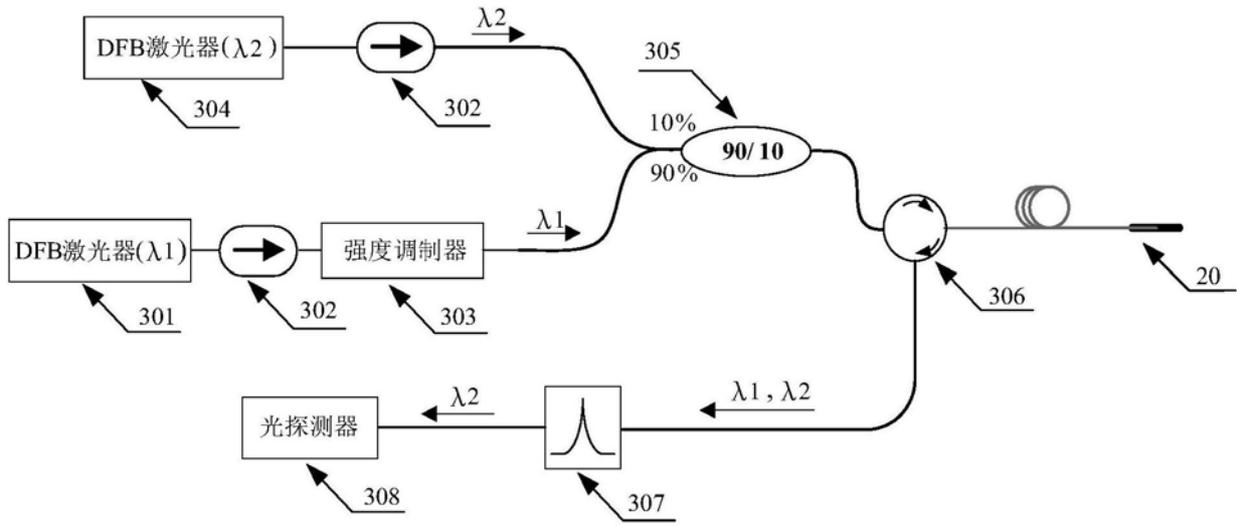


图3

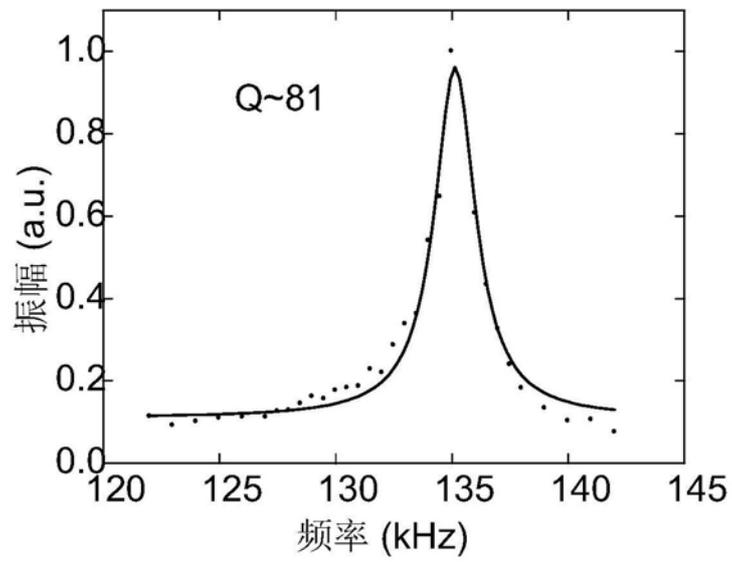


图4

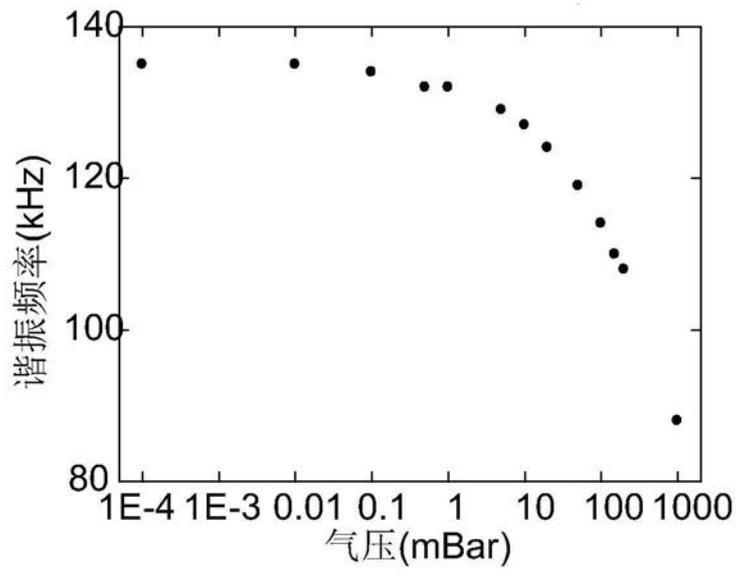


图5