



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115096341 B

(45) 授权公告日 2022. 11. 15

(21) 申请号 202211017225.9

G01D 21/02 (2006.01)

(22) 申请日 2022.08.24

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 113267206 A, 2021.08.17

申请公布号 CN 115096341 A

CN 108572047 A, 2018.09.25

CN 109974758 A, 2019.07.05

(43) 申请公布日 2022.09.23

WO 2006093210 A1, 2006.09.08

(73) 专利权人 浙江大学

DE 102011050717 A1, 2012.12.06

地址 310058 浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号

EP 3163276 A2, 2017.05.03

CN 108362313 A, 2018.08.03

(72) 发明人 何赛灵 吴胜楠 吕南飞

董天奇等. 基于Bragg光纤光栅传感器的监测系统设计.《物理实验》.2010, (第02期),

(74) 专利代理机构 杭州求是专利事务所有限公司 33200

S Wu等. FBG Incorporated Side-Open Fabry-Perot Cavity for Simultaneous Gas

专利代理师 林松海

Pressure and Temperature Measurements.

(51) Int. Cl.

《Journal of Lightwave Technology》.2016,

G01D 5/26 (2006.01)

审查员 班东师

G01D 5/353 (2006.01)

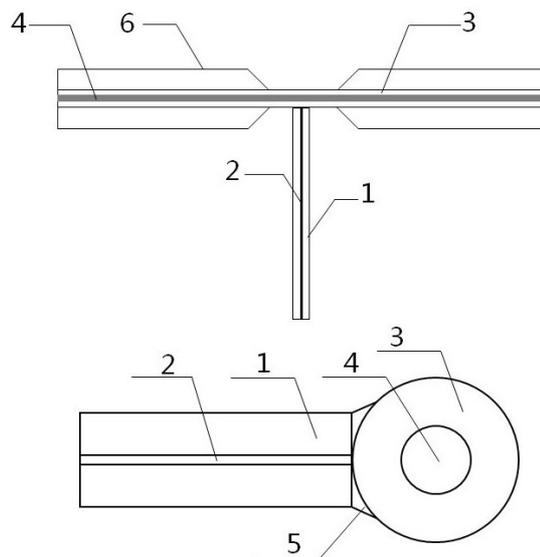
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

## (54) 发明名称

一种侧边对光的复合光纤法布里-珀罗传感器

## (57) 摘要

本发明公开一种侧边对光的复合光纤法布里-珀罗传感器,包括相连的传导光纤和传感光纤、信号解析系统;传导光纤和传感光纤皆包括相应的包层和纤芯;传感光纤纤芯为一个或多个空气通道,包层与纤芯形成至少两个折射率跃变且平行于光纤轴向的反射面,构成了至少一个位于传感光纤内部的开腔式法布里-珀罗腔,光纤包层外壁至少提供一个反射面;传导光纤与侧边垂直对准传感光纤形成T型结构,传导光纤纤芯的中心轴与传感光纤轴和空气通道形成的反射面的法线处于同一平面内,并与传感光纤轴成90°角,传导光纤纤芯的光垂直入射至传感光纤。本发明无需额外切割、熔接,可实现批量生产,成本低,重复性高,可用于对气体或液体折射率等物理参量的测量。



1. 一种侧边对光的复合光纤法布里-珀罗传感器,其特征在于,包括相连的传导光纤和传感光纤、信号解析系统;

所述的传导光纤和传感光纤皆包括其相应的包层和纤芯;

所述的传感光纤的纤芯为一个或多个空气通道,包层与纤芯形成至少两个折射率跃变且平行于光纤轴向的反射面,构成了至少一个位于传感光纤内部的开腔式法布里-珀罗腔,光纤包层外壁至少提供一个反射面;

所述传导光纤与侧边垂直对准传感光纤形成T型结构,传导光纤纤芯的中心轴与传感光纤轴和空气通道形成的反射面的法线处于同一平面内,并与传感光纤轴成 $90^{\circ}$ 角,传导光纤纤芯的光垂直入射至传感光纤;

所述的信号解析系统,为所述T型结构提供探测光,从所述T型结构的反射光信号解调出所述法布里-珀罗腔内的物理参量信号。

2. 根据权利要求1所述的一种侧边对光的复合光纤法布里-珀罗传感器,其特征在于,所述的T型结构的连接区域涂覆有胶水,用于稳定法布里-珀罗干涉腔。

3. 根据权利要求1所述的一种侧边对光的复合光纤法布里-珀罗传感器,其特征在于,所述的法布里-珀罗腔的腔长由传感光纤的外径和内径决定。

4. 根据权利要求1所述的一种侧边对光的复合光纤法布里-珀罗传感器,其特征在于,所述的法布里-珀罗腔内填充外界气体或液体,直接对环境气体或液体的折射率进行测量;或者填充敏感介质后用于测量磁场、温度、湿度、应力、振动物理参量中的一种或者多种。

5. 根据权利要求1或者4所述的一种侧边对光的复合光纤法布里-珀罗传感器,其特征在于,所述的法布里-珀罗腔的腔体对外界的折射率及温度的敏感度不同,从而实现了对目标探测物的折射率与温度的双参量同时解调。

6. 根据权利要求1所述的一种侧边对光的复合光纤法布里-珀罗传感器,其特征在于,所述的传感光纤是毛细管光纤、双边孔光纤或者单芯四孔光纤。

7. 根据权利要求1所述的一种侧边对光的复合光纤法布里-珀罗传感器,其特征在于,所述的信号解析系统,包括光源、光纤环形器、信号分析模块;

所述光源,为所述T型结构提供探测光;

所述光纤环形器,将光源输入到所述T型结构,将所述T型结构产生的反射光信号传递给信号分析模块;

所述信号分析模块,将所述T型结构的反射光信号解调出所述法布里-珀罗腔内的物理参量信号,所述的物理参量信号包括折射率、磁场、温度、湿度、应力、振动物理参量信号中的一种或者多种。

8. 根据权利要求7所述的一种侧边对光的复合光纤法布里-珀罗传感器,其特征在于,所述信号分析模块包括光谱分析仪、数据采集卡和PC终端;

所述光谱分析仪,将所述反射光信号从模拟信号转化成数字信号;

所述数据采集卡,将所述光谱分析仪的数字信号输入到所述PC终端;

所述PC终端,将接收数字信号,并通过数据分析计算所述法布里-珀罗腔内的折射率或其他物理参量信号。

## 一种侧边对光的复合光纤法布里-珀罗传感器

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光纤传感技术领域,特别是涉及多参量、低成本以及可重复生产的光纤开腔式法布里-珀罗传感器。

### 背景技术

[0002] 光纤法布里-珀罗传感器作为光干涉类结构的典型代表,是当前应用最普遍、机理最成熟的一类光器件。其具备动态范围大、灵敏度高、稳定性好、抗电磁干扰、适用于极端环境、可实现长距离复用等优点,在电力交通、生物化学、航空航天、天文气象、微生物探测等领域拥有广阔的应用场景。

[0003] 光纤法布里-珀罗传感器种类多样,制备方式包括:用毛细管准直两根光纤,在光纤端面一定距离外用套管固定反射膜片,在两根标准传导光纤之间拼接一段特种类型光纤(例如传感光纤或空芯光纤等),通过特殊放电在光纤端面形成微泡结构等。上述制备光纤法布里-珀罗传感器的方法虽然成本低廉、成品率高,但存在以下问题:法布里-珀罗腔完全封闭,只能传感温度、应变等物理量,无法测量环境气体或液体折射率;单参量测量,重复性差,特种类型光纤需要通过切割工艺得到,批量生产时很难保证特种类型光纤尺寸一致,因此每次制备的法布里-珀罗腔很难保持一致,难以批量生产出性能参数几乎一致的传感器,导致不同传感器需要做繁琐的校准工作。目前能制备出开腔式且可批量生产的光纤法布里-珀罗传感器只有飞秒激光加工、等离子束刻蚀等技术,而这类加工技术普遍成本高昂且制备周期长,限制了光纤法布里-珀罗传感器的实际应用。

### 发明内容

[0004] 为了克服现有技术的不足,本发明的目的是提供一种侧边对光的复合光纤法布里-珀罗传感器。

[0005] 一种侧边对光的复合光纤法布里-珀罗传感器,包括相连的传导光纤和传感光纤、信号解析系统;

[0006] 所述的传导光纤和传感光纤皆包括其相应的包层和纤芯;

[0007] 所述的传感光纤的纤芯为一个或多个空气通道,包层与纤芯形成至少两个折射率跃变且平行于光纤轴向的反射面,构成了至少一个位于传感光纤内部的开腔式法布里-珀罗腔,光纤包层外壁至少提供一个反射面;

[0008] 所述传导光纤与侧边垂直对准传感光纤形成T型结构,传导光纤纤芯的中心轴与传感光纤轴和空气通道形成的反射面的法线处于同一平面内,并与传感光纤轴成 $90^{\circ}$ 角,传导光纤纤芯的光垂直入射至传感光纤;

[0009] 所述的信号解析系统,为所述T型结构提供探测光,从所述T型结构的反射光信号解调出所述法布里-珀罗腔内的物理参量信号。

[0010] 所述的T型结构的连接区域涂覆有胶水,用于稳定法布里-珀罗干涉腔。

[0011] 所述的法布里-珀罗腔的腔长由传感光纤的外径和内径决定。

[0012] 所述的法布里-珀罗腔内填充外界气体或液体,直接对环境气体或液体的折射率进行测量;或者填充敏感介质后用于测量磁场、温度、湿度、应力、振动物理参量中的一种或者多种。

[0013] 所述的法布里-珀罗腔的腔体对外界的折射率及温度的敏感度不同,从而实现目标探测物的折射率与温度的双参量同时解调。

[0014] 所述的传感光纤是毛细管光纤、双边孔光纤或者单芯四孔光纤。

[0015] 所述的信号解析系统,包括光源、光纤环形器、信号分析模块;

[0016] 所述光源,为所述T型结构提供探测光;

[0017] 所述光纤环形器,将光源输入到所述T型结构,将所述T型结构产生的反射光信号传递给信号分析模块;

[0018] 所述信号分析模块,将所述T型结构的反射光信号解调出所述法布里-珀罗腔内的物理参量信号,所述的物理参量信号包括折射率、磁场、温度、湿度、应力、振动物理参量信号中的一种或者多种。

[0019] 所述信号分析模块包括光谱分析仪、数据采集卡和PC终端;

[0020] 所述光谱分析仪,将所述反射光信号从模拟信号转化成数字信号;

[0021] 所述数据采集卡,将所述光谱分析仪的数字信号输入到所述PC终端;

[0022] 所述PC终端,将接收数字信号,并通过数据分析计算所述法布里-珀罗腔内的折射率或其他物理参量信号。

[0023] 本发明的有益效果:

[0024] 本发明提供了一种侧边对光的复合光纤法布里-珀罗传感器可以实现批量生产,其每次生产的光纤法布里-珀罗传感器参数可以保持高度一致;法布里-珀罗腔为开腔式,适用于更多的测量场景,特别是用于测量环境气体或液体的折射率;成本低,制备工艺简单,成品率高,生产周期短;由于至少存在三个反射面,可形成双法布里-珀罗干涉腔复合结构,不同的腔体对外界的折射率及温度的敏感度不同,可以实现折射率与温度的双参量同时解调;法布里-珀罗腔位于光纤部内,结构更紧凑。

## 附图说明

[0025] 图1为本发明侧边对光的复合光纤法布里-珀罗传感器的复合光纤部分的结构示意图的结构示意图以及对应剖面图。

[0026] 图2为本发明的检测流程模块示意图。

[0027] 图中图标:传导光纤1、传导光纤纤芯2、传感光纤包层3、传感光纤纤芯4、连接处5、传感光纤6、光源7、光纤环形器8、信号分析模块9、光谱分析仪10、数据采集卡11、PC终端12。

## 具体实施方式

[0028] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0029] 需要说明的是,当元件被称与另一个元件“连接”或元件被称为“连接至”另一个元

件时,它可以直接与另一个元件连接或者也可以存在居中的元件。

[0030] 本申请实施例的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第一”、“第二”、等是用于区别类似的对象,而不必用于描述特定的顺序或先后次序。

[0031] 除非另有定义,本文所使用的所有的技术和科学术语与属于本发明的技术领域的技术人员通常理解的含义相同。本文中在本发明的说明书中所使用的术语只是为了描述具体的实施例的目的,不是旨在于限制本发明。

[0032] 请参阅图1,图1为本发明侧边对光的复合光纤法布里-珀罗传感器的复合光纤部分的结构示意图。本实施例中使用毛细管光纤作为所述传感光纤6。毛细管光纤一侧与传导光纤1连接,连接处5使用紫外固化胶NOA-146进行固定形成稳定的三光束干涉,光经过传感光纤纤芯4的第一层表面的位置作为第一反射面M1,光经过传感光纤纤芯4的第二层表面的位置作为第二反射面M2,光入射到传感光纤包层3外壁的位置作为第三反射面M3。需要说明的是,在其他实施例中,传感光纤6可以采用双边孔光纤或者单芯四孔光纤等包层设有至少一个空气通道的微结构光纤替代。

[0033] 传导光纤1、传感光纤6的包层可以不同,传导光纤纤芯2、传感光纤纤芯4尺寸相同或者接近。

[0034] 本实施例中提出的一种侧边对光的光纤法布里-珀罗传感器的可使用下述制备方法制作:

[0035] 1. 毛细管光纤(传感光纤)的中间部分去除涂覆层后,放入支撑结构后固定,之后放入显微镜观察,两台显微镜分别观察毛细管光纤的纤芯轴向以及垂直轴向的方向。

[0036] 2. 传导光纤的一端切平后,放上三维位移滑台夹紧。

[0037] 3. 通过三维位移滑台以及显微镜将传导光纤垂直对准毛细管光纤包层,移动传导光纤至动传导光纤的端面距离毛细管光纤包层约0.5mm处,移动传导光纤使传导光纤的轴线和毛细管光纤的轴线处于同一平面。

[0038] 4. 通过信号分析模块观察反射光谱中是否有干涉,从而判断传导光纤的轴线和毛细管光纤的轴线相互垂直并处于同一平面,如果不是,重复步骤3,直到出现干涉谱。

[0039] 5. 通过三维位移滑台使传导光纤的端面接触毛细管光纤包层,在连接处使用紫外固化胶进行固定,之后在支撑结构上固定传导光纤。

[0040] 工作时,光源的探测光首先耦合到传导光纤纤芯,然后进入毛细管光纤包层,之后探测光将继续入射到第一反射面M1、第二反射面M2和第三反射面M3,三个反射面都会将光部分反射回到毛细管包层和传导光纤纤芯的交汇位置,第一反射面M1和第二反射面M2与两者间的介质形成了第一个法布里-珀罗腔,两个反射面反射的光会产生干涉条纹,因为法布里-珀罗腔与外界连通,外界气体或液体可以流入法布里-珀罗腔,气体或液体的折射率变化会导致FP干涉的光程差变化,干涉谱会产生漂移。第二反射面M2和第三反射面M3与两者间的介质二氧化硅形成了第二个法布里-珀罗腔,两个反射面反射的光会产生干涉条纹,因为二氧化硅存在热膨胀和热光效应,因此温度的变化会导致FP干涉的光程差变化,干涉谱会产生漂移。

[0041] 图2为本实施例中的侧边对光的复合光纤法布里-珀罗传感器的检测流程模块示意图。如图2所示,A单元为侧边对光的复合光纤法布里-珀罗传感器的复合光纤部分,B单元为信号解析系统,C单元为信号分析模块。

[0042] 在本实施例中,通过往第一法布里-珀罗腔内注射溶液的方式改变腔内的折射率,然后进行折射率测试;测试所用溶液为氯化钾溶液,折射率范围为1.3374-1.3490RIU。在本实施例中,通过将A单元置于温度可控的加热装置内,然后进行温度测试,测试的温度范围为20-60°C。

[0043] 在本实施例中,传感光纤的光纤直径是167微米、内径是101微米;传感光纤的长度小于4厘米。在其他实施方式中,传感光纤的光纤直径、内径、以及长度可根据实际需求进行调整。

[0044] 在本实施例中,传导光纤的光纤直径为125微米。在其他实施方式中,可根据实际需求调整传导光纤的光纤直径。

[0045] 本实施例提供的信号解析系统包括宽带光源7、光纤环形器8以及信号分析模块9,其中信号分析模块包括光谱分析仪10、数据采集卡11以及PC终端12。

[0046] 在本实施例中,光源7为宽带光源,波长范围为1500nm到1600nm之间。在其他实施方式中,可根据实际需求调整光源的波长范围。

[0047] 光源7发出的探测光首先通过第一端口进入光纤环形器8;之后通过第二端口进入单元A侧边对光的复合光纤法布里-珀罗传感器中并在传感器中来回反射形成三光束干涉信号光;然后反射回的信号光重新进入到第二端口,并通过第二端口进入光纤环形器8中;最终形成的信号光被光纤环形器释放至第三端口并被单元C信号分析模块接收。

[0048] 在本实施例中,光谱分析仪7的波长分辨率为0.02nm。在其他实施方式中,可根据实际需求调整光谱分析的波长分辨率。

[0049] 在本实施例中,PC终端12数字滤波的窄带范围为 $0.002\text{nm}^{-1}$ 。在其他实施方式中,可根据实际需求调整PC终端数字滤波的窄带范围。

[0050] 光谱分析仪7将接收的信号光模拟量转化为信号光数字量,之后通过数据采集卡11被PC终端12接收。在本实施方式中,PC终端12对接收的光信号进行数字窄带滤波,以得到前述实施例中的第一法布里-珀罗腔和第二法布里-珀罗腔的干涉谱信号,然后根据对应的干涉谱信号解调出所需折射率和温度信号。

[0051] 可采用多峰解调法获取第一法布里-珀罗腔和第二法布里-珀罗腔的腔长,具体计算公式如下;

$$[0052] \quad L = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2n(\lambda_2 - \lambda_1)}$$

[0053] 其中 $\lambda_1$ 和 $\lambda_2$ 分别为两个相邻消逝峰的波长位置,n为法布里-珀罗腔的介质折射率。

[0054] 可采用波长解调方式解调出第一法布里-珀罗腔内的折射率变化以及第二法布里-珀罗腔内的温度变化。FP腔的光程差与FP干涉光谱的漂移量成正比,因此可以通过干涉光谱的漂移量 and 对应折射率和温度的线性关系,得到传感器的折射率灵敏度和温度灵敏度。

[0055] 本实施例中所测试的侧边对光的复合光纤法布里-珀罗传感器的折射率灵敏度为803 nm/RIU,温度灵敏度为15.9 pm/°C,实现了传感器折射率和温度双参量的同时测量。

[0056] 本实施例中所提出的侧边对光的复合光纤法布里-珀罗传感器可以实现液体或者气体的折射率与温度的同时测量。

[0057] 本实施例中所提出的侧边对光的复合光纤法布里-珀罗干涉腔的尺寸一致性取决

于传感光纤包层中的空气孔的尺寸一致性,由于传感光纤纤芯的空气通道通常是采用已经成熟的精密拉丝工艺生产而成,能够保证纤芯的直径高度一致,因此批量生产时可以保证每次制备的法布里-珀罗腔高度一致。

[0058] 本实施案例中所述的侧边对光的复合光纤法布里-珀罗传感器可以保证每次生产的法布里-珀罗腔长高度一致,故每个传感器的干涉谱的自由光谱范围也高度一致,这使得所有传感器性能指标参数也保持高度一致,包括灵敏度,分辨率等。

[0059] 以上所述实施例的各技术特征可以进行任意的组合,为使描述简洁,未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述,然而,只要这些技术特征的组合不存在矛盾,都应当认为是本说明书记载的范围。

[0060] 以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式,其描述较为具体和详细,但不能因此而理解为对发明专利范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本发明的保护范围。因此,本发明的保护范围应以所附权利要求为准。

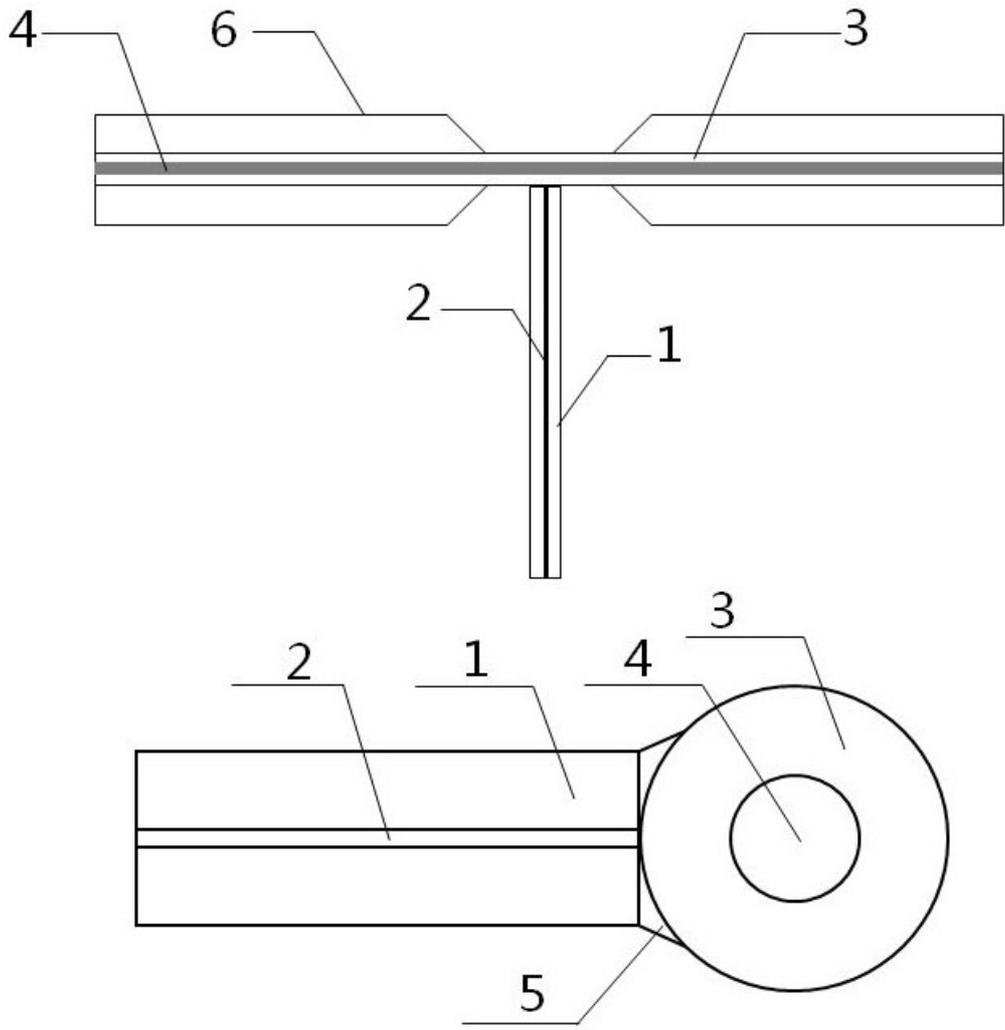


图1

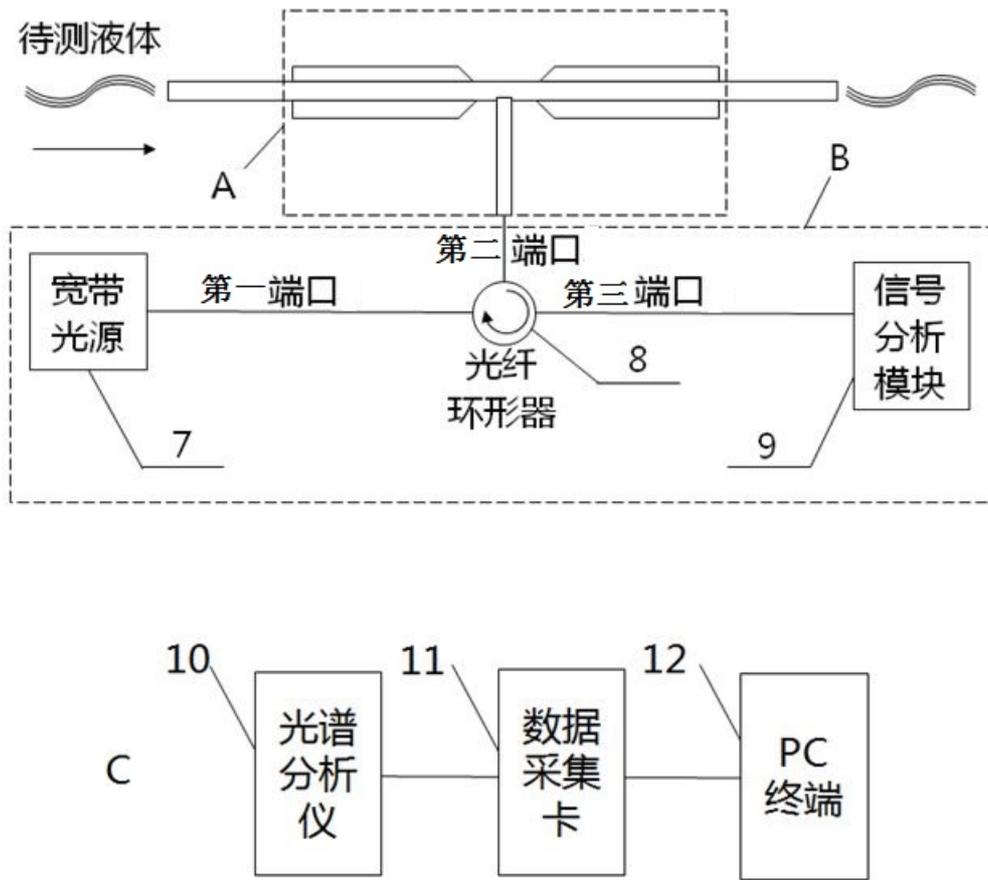


图2