



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109085138 A

(43)申请公布日 2018.12.25

(21)申请号 201811101751.7

(22)申请日 2018.09.20

(71)申请人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西
大直街92号

(72)发明人 董永康 姜秀涛 陈晨

(74)专利代理机构 哈尔滨市松花江专利商标事
务所 23109

代理人 毕雅凤

(51) Int. Cl.

G01N 21/39(2006.01)

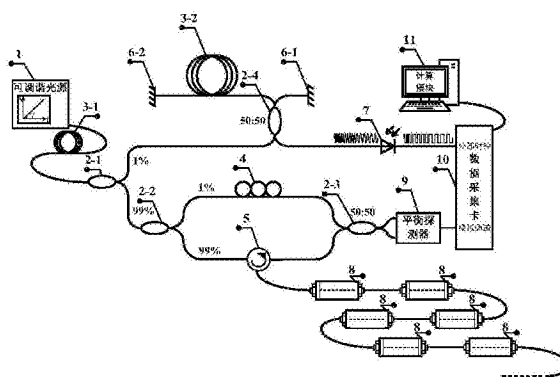
权利要求书3页 说明书8页 附图3页

(54)发明名称

一种基于调频连续波的分布式气体传感装置和方法

(57)摘要

一种基于调频连续波的分布式气体传感装置和方法,涉及气体浓度分布式测量技术,为了解决现有气体传感方法仅适用于单点检测,且取样多、实时性差的问题。可调谐光源输出的激光分别入射至辅助干涉仪和主干涉仪;辅助干涉仪,用于产生时钟信号,并发送给数据采集卡的时钟端;主干涉仪的光路中包括参考光和测试光,测试光依次进入级联的多个分布式气体装置,分布式气体装置内装有待测气体,测试光经多级反射及气体的吸收后反射光与参考光发生拍频相干;数据采集卡,用于对主干涉仪产生的拍频相干信号进行采集,并发送给计算模块;计算模块,用于根据拍频相干信号计算气体浓度。本发明适用于测量气体浓度。



1. 一种基于调频连续波的分布式气体传感装置,其特征在于,包括可调谐光源(1)、辅助干涉仪、主干涉仪、数据采集卡(10)和计算模块(11);

可调谐光源(1)输出的激光分别入射至辅助干涉仪和主干涉仪;

辅助干涉仪,用于产生时钟信号,并发送给数据采集卡(10)的时钟端;

主干涉仪的光路中包括参考光和测试光,测试光依次进入级联的多个分布式气体装置(8),分布式气体装置(8)内装有待测气体,测试光经多级反射及气体的吸收后反射光与参考光发生拍频相干;

数据采集卡(10),用于对主干涉仪产生的拍频相干信号进行采集,并发送给计算模块(11);

计算模块(11),用于根据拍频相干信号计算气体浓度。

2. 根据权利要求1所述的一种基于调频连续波的分布式气体传感装置,其特征在于,可调谐光源(1)输出的激光经第一时延光纤(3-1)后由第一耦合器(2-1)分成两路光,一路光入射至辅助干涉仪,另一路光入射至主干涉仪;

辅助干涉仪包括第四耦合器(2-4)、第一法拉第旋转镜(6-1)、第二法拉第旋转镜(6-2)和第二时延光纤(3-2);

第一耦合器(2-1)输出的一路光经第四耦合器(2-4)分成两路,一路光经第一法拉第旋转镜(6-1)反射后耦合进入第四耦合器(2-4),另一路光经第二时延光纤(3-2)后入射至第二法拉第旋转镜(6-2),再经第二法拉第旋转镜(6-2)反射后耦合进入第四耦合器(2-4),第四耦合器(2-4)输出拍频相干信号,然后经TTL时钟发生器(7)产生方波信号,该方波信号即为时钟信号。

3. 根据权利要求2所述的一种基于调频连续波的分布式气体传感装置,其特征在于,主干涉仪包括第二耦合器(2-2)、第三耦合器(2-3)、偏振控制器(4)、光纤环形器(5)、多个分布式气体装置(8)和平衡探测器(9);

第一耦合器(2-1)输出的另一路光经第二耦合器(2-2)分成两路光,一路光作为参考光经偏振控制器(4)后入射至第三耦合器(2-3)的一个输入端口,另一路光作为测试光由光纤环形器(5)的1端口进入,由光纤环形器(5)的2端口出射至级联的多个分布式气体装置(8),在分布式气体装置(8)内经多级反射以及气体的吸收后反射光重新进入光纤环形器(5)的2端口并从3端口耦合进入第三耦合器(2-3)的另一个输入端口,参考光与测试光发生拍频相干并由第三耦合器(2-3)的2个输出端输出至平衡探测器(9),平衡探测器(9)的输出端连接数据采集卡(10)的采集信号输入端。

4. 根据权利要求1所述的一种基于调频连续波的分布式气体传感装置,其特征在于,分布式气体装置(8)包括机械钢体气体容器(8-1)、第一光纤准直器(8-2)、第二光纤准直器(8-3)、进气口阀门(8-4)和出气口阀门(8-5);

机械钢体气体容器(8-1)的两端分别设有第一光纤准直器(8-2)和第二光纤准直器(8-3),靠近机械钢体气体容器(8-1)的两端分别设有进气口阀门(8-4)和出气口阀门(8-5)。

5. 根据权利要求1所述的一种基于调频连续波的分布式气体传感装置,其特征在于,分布式气体装置(8)包括空心光子晶体光纤和2个三通气阀;

2个三通气阀中各有1个口分别用于进气和出气;

空心光子晶体光纤的两端各通过1个三通气阀的另两个口与光路中的光纤耦合。

6. 根据权利要求1所述的一种基于调频连续波的分布式气体传感装置,其特征在于,计算模块(11)根据拍频相干信号计算气体浓度,具体为:

计算模块(11)对接收到的拍频相干信号进行傅里叶变换,实现由频域谱到时域谱的变换,根据反射峰间的光程差得到吸收光程;

选取时域谱中每个分布式气体装置(8)末端的信息数据段进行逆傅里叶变换,再对幅值数据作平方处理,得到气体的吸收光谱强度信息;

根据吸收光谱强度信息和吸收光程得到每一个分布式气体装置(8)内待测气体的浓度累计值;

将当前分布式气体装置(8)的浓度累计值减去其前一个分布式气体装置(8)的浓度累计值,得到当前分布式气体装置(8)内待测气体的浓度。

7. 一种基于调频连续波的分布式气体传感方法,其特征在于,该方法包括:

步骤一、开启可调谐光源(1)线性扫频输出,可调谐光源(1)输出触发信号触发数据采集卡(10)作数据采集准备;

步骤二、辅助干涉仪产生时钟信号,传输至数据采集卡(10),使数据采集卡(10)对主干干涉仪的拍频信号进行等频率间隔采集;

主干干涉仪的测试光由光纤环行器(5)的2端口导入级联的多个分布式气体装置(8),在分布式气体装置(8)内经多级反射以及气体的吸收后反射光重新进入光纤环行器(5);调节偏振控制器(4)使得从光纤环行器(5)的3端口导出的光与参考光发生拍频相干,然后由平衡探测器(9)传输至数据采集卡(10);

步骤三、数据采集卡(10)采集拍频相干信号;

步骤四、计算模块(11)对拍频相干信号进行保存,并对拍频相干信号进行傅里叶变换,实现由频域谱到时域谱的变换,根据反射峰间的光程差得到吸收光程;

步骤五、选取时域谱中每个分布式气体装置(8)末端的信息数据段进行逆傅里叶变换,再对幅值数据作平方处理,得到气体的吸收光谱强度信息;

步骤六、根据气体的吸收光谱强度信息和吸收光程得到每一个分布式气体装置(8)内待测气体的浓度累计值;

步骤七、将当前分布式气体装置(8)的浓度累计值减去其前一个分布式气体装置(8)的浓度累计值,得到当前分布式气体装置(8)内待测气体的浓度;

该方法基于权利要求3所述的一种基于调频连续波的分布式气体传感装置实现。

8. 根据权利要求7所述的一种基于调频连续波的分布式气体传感方法,其特征在于,步骤四中,拍频相干信号以电流表征,电流 $i(\omega)$ 为:

$$i(\omega) = \sum_{m=1}^M 2C_m \sqrt{I_R I_P T_m(\omega)} \cos(\omega\tau_m) \quad (\text{公式2})$$

C_m 为常数、 I_R 和 I_P 分别为参考光和测试光的强度, ω 为可调谐光源的瞬时角频率, τ_m 为第 m 个反射点的测试光相对于参考光的延时时间、 $T_m(\omega)$ 为第 m 个反射点对应的分布式气体装置(8)内气体的光谱透射率;

对公式(2)进行傅里叶变换得到傅里叶变换后的电流 $\hat{i}(\tau)$;

$$\begin{aligned}
\hat{i}(\tau) &= \frac{1}{2\pi} \int_{\omega_0 - \Delta\omega/2}^{\omega_0 + \Delta\omega/2} i(\omega) e^{-j\omega\tau} d\omega \\
&= \sum_{m=1}^M \mathcal{F}[S_m(\omega)] \otimes \mathcal{F}[\sqrt{T_m(\omega)}] \\
&= \sum_{m=1}^M [S_m^+(\tau) + S_m^{+*}(-\tau)] \otimes \mathcal{F}[\sqrt{T_m(\omega)}]
\end{aligned} \tag{公式 3}$$

其中, ω_0 为开启可调谐光源 (1) 的中心角频率, $\Delta\omega$ 为角频率调谐范围, $S_m^+(\tau) = C_m \sqrt{I_R I_P} \Delta\nu \text{sinc}[\Delta\nu(\tau - \tau_m)] e^{-j(\tau - \tau_m)\omega_0}$, $\Delta\nu$ 为频率调谐范围, τ 为探测光相对于参考光的延迟时间;

第 i 个反射点到第 j 个反射点的吸收光程 $l_{ij}(\tau)$ 为:

$$l_{ij}(\tau) = \frac{c(\tau_i - \tau_j)}{n} \tag{公式 4}$$

$i, j = 1, 2, 3, \dots, M$, M 为反射点的总数目, n 为气体的折射率。

9. 根据权利要求 8 所述的一种基于调频连续波的分布式气体传感方法, 其特征在于, 步骤五中, 对公式 3 中每个分布式气体装置 (8) 末端的信息数据段进行逆傅里叶变换, 得到:

$$i_m^+(\omega) = C_m \sqrt{I_R I_P} T_m(\omega) e^{j\omega\tau_m} \tag{公式 5}$$

再进行平方得到,

$$|i_m^+(\omega)|^2 = T_m(\omega) C_m^2 I_R I_P.$$

10. 根据权利要求 9 所述的一种基于调频连续波的分布式气体传感方法, 其特征在于, 步骤六具体为:

$$\rho = \frac{\ln T_m(\omega)^{-1} M}{l S \Phi N_A}$$

其中, ρ 为气体的浓度累计值、 M 为气体的摩尔质量、 l 为吸收光程、 S 为气体的吸收线强、 Φ 为标准大气压下气体的吸收线型、 N_A 为阿伏伽德罗常数,

$$T_m(\omega) = \frac{|i_m^+(\omega)|^2}{C_m^2 I_R I_P},$$

其中, C_m 为常数、 I_R 和 I_P 分别为参考光和测试光的强度、 $|i_m^+(\omega)|^2$ 为气体的吸收光谱强度信息。

一种基于调频连续波的分布式气体传感装置和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及气体浓度分布式测量技术。

背景技术

[0002] 大气环境的监测对于自然社会人类生存发展有着密切的联系。全球经济社会日益发展,科技迅猛进步,随之带来的环境问题也慢慢突显出来,温室效应、臭氧层破坏、酸化雨、光化学烟雾等,亟待开发和利用合理的科学手段对大气环境进行监测,防止危及社会与人民日常生活。地下综合管廊监测、隧道气体泄露监控、大气污染物排放管理、油气运输设施安全等场合都与气体监测息息相关。对于环境复杂、空气流动性差的密闭场合,不明来源的气体泄露对于维护工作人员的人身安全将构成威胁,除此以外,可燃性、易燃易爆性气体的实时监测更关乎到生命与财产的安全。

[0003] 现有的气体传感方法主要以化学分析为主,包括质谱法,电化学分析方法,仅适用于单点检测,且取样多、实时性差。

发明内容

[0004] 本发明的目的是为了解决现有气体传感方法仅适用于单点检测,且取样多、实时性差的问题,从而提供一种基于调频连续波的分布式气体传感装置和方法。

[0005] 本发明所述的一种基于调频连续波的分布式气体传感装置,包括可调谐光源1、辅助干涉仪、主干涉仪、数据采集卡10和计算模块11;

[0006] 可调谐光源1输出的激光分别入射至辅助干涉仪和主干涉仪;

[0007] 辅助干涉仪,用于产生时钟信号,并发送给数据采集卡10的时钟端;

[0008] 主干涉仪的光路中包括参考光和测试光,测试光依次进入级联的多个分布式气体装置8,分布式气体装置8内装有待测气体,测试光经多级反射及气体的吸收后反射光与参考光发生拍频相干;

[0009] 数据采集卡10,用于对主干涉仪产生的拍频相干信号进行采集,并发送给计算模块11;

[0010] 计算模块11,用于根据拍频相干信号计算气体浓度。

[0011] 优选的是,可调谐光源1输出的激光经第一时延光纤3-1后由第一耦合器2-1分成两路光,一路光入射至辅助干涉仪,另一路光入射至主干涉仪;

[0012] 辅助干涉仪包括第四耦合器2-4、第一法拉第旋转镜6-1、第二法拉第旋转镜6-2和第二时延光纤3-2;

[0013] 第一耦合器2-1输出的一路光经第四耦合器2-4分成两路,一路光经第一法拉第旋转镜6-1反射后耦合进入第四耦合器2-4,另一路光经第二时延光纤3-2后入射至第二法拉第旋转镜6-2,再经第二法拉第旋转镜6-2反射后耦合进入第四耦合器2-4,第四耦合器2-4输出拍频相干信号,然后经TTL时钟发生器7产生方波信号,该方波信号即为时钟信号。

[0014] 优选的是,主干涉仪包括第二耦合器2-2、第三耦合器2-3、偏振控制器4、光纤环形

器5、多个分布式气体装置8和平衡探测器9；

[0015] 第一耦合器2-1输出的另一路光经第二耦合器2-2分成两路光，一路光作为参考光经偏振控制器4后入射至第三耦合器2-3的一个输入端口，另一路光作为测试光由光纤环形器5的1端口进入，由光纤环形器5的2端口出射至级联的多个分布式气体装置8，在分布式气体装置8内经多级反射以及气体的吸收后反射光重新进入光纤环形器5的2端口并从3端口耦合进入第三耦合器2-3的另一个输入端口，参考光与测试光发生拍频相干并由第三耦合器2-3的2个输出端输出至平衡探测器9，平衡探测器9的输出端连接数据采集卡10的采集信号输入端。

[0016] 优选的是，分布式气体装置8包括机械钢体气体容器8-1、第一光纤准直器8-2、第二光纤准直器8-3、进气口阀门8-4和出气口阀门8-5；

[0017] 机械钢体气体容器8-1的两端分别设有第一光纤准直器8-2和第二光纤准直器8-3，靠近机械钢体气体容器8-1的两端分别设有进气口阀门8-4和出气口阀门8-5。

[0018] 优选的是，分布式气体装置8包括空心光子晶体光纤和2个三通气阀；

[0019] 2个三通气阀中各有1个口分别用于进气和出气；

[0020] 空心光子晶体光纤的两端各通过1个三通气阀的另两个口与光路中的光纤耦合。

[0021] 优选的是，计算模块11根据拍频相干信号计算气体浓度，具体为：

[0022] 计算模块11对接收到的拍频相干信号进行傅里叶变换，实现由频域谱到时域谱的变换，根据反射峰间的光程差得到吸收光程；

[0023] 选取时域谱中每个分布式气体装置8末端的信息数据段进行逆傅里叶变换，再对幅值数据作平方处理，得到气体的吸收光谱强度信息；

[0024] 根据吸收光谱强度信息和吸收光程得到每一个分布式气体装置8内待测气体的浓度累计值；

[0025] 将当前分布式气体装置8的浓度累计值减去其前一个分布式气体装置8的浓度累计值，得到当前分布式气体装置8内待测气体的浓度。

[0026] 本发明所述的一种基于调频连续波的分布式气体传感方法，该方法包括：

[0027] 步骤一、开启可调谐光源1线性扫频输出，可调谐光源1输出触发信号触发数据采集卡10作数据采集准备；

[0028] 步骤二、辅助干涉仪产生时钟信号，传输至数据采集卡10，使数据采集卡10对主干涉仪的拍频信号进行等频率间隔采集；

[0029] 主干涉仪的测试光由光纤环形器5的2端口导入级联的多个分布式气体装置8，在分布式气体装置8内经多级反射以及气体的吸收后反射光重新进入光纤环形器5；调节偏振控制器4使得从光纤环形器5的3端口导出的光与参考光发生拍频相干，然后由平衡探测器9传输至数据采集卡10；

[0030] 步骤三、数据采集卡10采集拍频相干信号；

[0031] 步骤四、计算模块11对拍频相干信号进行保存，并对拍频相干信号进行傅里叶变换，实现由频域谱到时域谱的变换，根据反射峰间的光程差得到吸收光程；

[0032] 步骤五、选取时域谱中每个分布式气体装置8末端的信息数据段进行逆傅里叶变换，再对幅值数据作平方处理，得到气体的吸收光谱强度信息；

[0033] 步骤六、根据气体的吸收光谱强度信息和吸收光程得到每一个分布式气体装置8

内待测气体的浓度累计值；

[0034] 步骤七、将当前分布式气体装置8的浓度累计值减去其前一个分布式气体装置8的浓度累计值，得到当前分布式气体装置8内待测气体的浓度。

[0035] 优选的是，步骤四中，拍频相干信号以电流表征，电流 $i(\omega)$ 为：

$$[0036] \quad i(\omega) = \sum_{m=1}^M 2C_m \sqrt{I_R I_P T_m(\omega)} \cos(\omega \tau_m) \quad (\text{公式 2})$$

[0037] C_m 为常数、 I_R 和 I_P 分别为参考光和测试光的强度， ω 为可调谐光源的瞬时角频率， τ_m 为第 m 个反射点的测试光相对于参考光的延时时间、 $T_m(\omega)$ 为第 m 个反射点对应的分布式气体装置8内气体的光谱透射率；

[0038] 对公式2进行傅里叶变换得到傅里叶变换后的电流 $\hat{i}(\tau)$ ：

$$[0039] \quad \begin{aligned} \hat{i}(\tau) &= \frac{1}{2\pi} \int_{\omega_0 - \Delta\omega/2}^{\omega_0 + \Delta\omega/2} i(\omega) e^{-j\omega\tau} d\omega \\ &= \sum_{m=1}^M \mathcal{F}[S_m(\omega)] \otimes \mathcal{F}[\sqrt{T_m(\omega)}] \\ &= \sum_{m=1}^M [S_m^+(\tau) + S_m^{+*}(-\tau)] \otimes \mathcal{F}[\sqrt{T_m(\omega)}] \end{aligned} \quad (\text{公式 3})$$

[0040] 其中， ω_0 为开启可调谐光源1的中心角频率， $\Delta\omega$ 为角频率调谐范围，

[0041] $S_m^+(\tau) = C_m \sqrt{I_R I_P} \Delta\nu \text{sinc}[\Delta\nu(\tau - \tau_m)] e^{-j(\tau - \tau_m)\omega_0}$ ， $\Delta\nu$ 为频率调谐范围， τ 为探测光相对于参考光的延迟时间；

[0042] 第 i 个反射点到第 j 个反射点的吸收光程为：

$$[0043] \quad L_{ij}(\tau) = \frac{c(\tau_i - \tau_j)}{n} \quad (\text{公式 4})$$

[0044] $i, j = 1, 2, 3, \dots, M$ ， M 为反射点的总数目， n 为气体的折射率。

[0045] 优选的是，步骤五中，对公式3中每个分布式气体装置8末端的信息数据段进行逆傅里叶变换，得到：

$$[0046] \quad i_m^+(\omega) = C_m \sqrt{I_R I_P T_m(\omega)} e^{j\omega\tau_m} \quad (\text{公式 5})$$

[0047] 再进行平方得到，

$$[0048] \quad |i_m^+(\omega)|^2 = T_m(\omega) C_m^2 I_R I_P$$

[0049] 优选的是，步骤六具体为：

$$[0050] \quad \rho = \frac{\ln T_m(\omega)^{-1} M}{l S \Phi N_A}$$

[0051] 其中， ρ 为气体的浓度累计值、 M 为气体的摩尔质量、 l 为吸收光程、 S 为气体的吸收线强、 Φ 为标准大气压下气体的吸收线型、 N_A 为阿伏伽德罗常数，

$$[0052] \quad T_m(\omega) = \frac{|i_m^+(\omega)|^2}{C_m^2 I_R I_P}$$

[0053] 其中， C_m 为常数、 I_R 和 I_P 分别为参考光和测试光的强度、 $|i_m^+(\omega)|^2$ 为气体的吸收光谱

强度信息。

[0054] 本发明构造出气体与光相互作用的结构,通过设置可调谐光源的调谐波段,满足并覆盖待测气体的吸收波段,通过相干检测调频连续波测试光的回波反射信号,解调出各个分布式气体装置中气体的浓度,达到气体浓度的定量检测的目的,实现分布式气体传感。

[0055] 本发明的有益效果:

[0056] 本发明通过改变可调谐光源的波长调谐范围,使其适应覆盖待测气体的吸收波段,即可以实现对目标气体浓度的检测,该发明对商用的半导体激光光源具有普遍适用性和兼容性;本发明可以实现长距离(km量级)上的气体浓度分布式检测,较现有气体传感装置,具有测量距离长、分布式测量、定量检测的优点。

附图说明

[0057] 图1是具体实施方式一所述的一种基于调频连续波的分布式气体传感装置的结构示意图;

[0058] 图2是具体实施方式二所述的一种基于调频连续波的分布式气体传感装置的结构示意图;

[0059] 图3是具体实施方式二中的分布式气体装置的结构示意图;

[0060] 图4是实施方式四所述的一种基于调频连续波的分布式气体传感方法的流程图。

具体实施方式

[0061] 具体实施方式一:本实施方式所述的一种基于调频连续波的分布式气体传感装置,包括可调谐光源1、辅助干涉仪、主干涉仪、数据采集卡10和计算模块11;

[0062] 采用的光纤为普通单模光纤,波长在1550nm附近的可调谐激光器作为光源。

[0063] 可调谐光源1输出的激光分别入射至辅助干涉仪和主干涉仪;

[0064] 辅助干涉仪,用于产生时钟信号,并发送给数据采集卡10的时钟端;

[0065] 主干涉仪的光路中包括参考光和测试光,测试光依次进入级联的多个分布式气体装置8,分布式气体装置8内装有待测气体,测试光经多级反射及气体的吸收后反射光与参考光发生拍频相干;

[0066] 数据采集卡10,用于对主干涉仪产生的拍频相干信号进行采集,并发送给计算模块11;

[0067] 计算模块11,用于根据拍频相干信号计算气体浓度。

[0068] 本实施方式中,可调谐光源1输出的激光经第一时延光纤3-1后由第一耦合器2-1分成两路光,一路光入射至辅助干涉仪,另一路光入射至主干涉仪;

[0069] 辅助干涉仪包括第四耦合器2-4、第一法拉第旋转镜6-1、第二法拉第旋转镜6-2和第二时延光纤3-2(10m~3000m);

[0070] 第一耦合器2-1输出的一路光经50:50的2×2第四耦合器2-4分成两路,一路光经第一法拉第旋转镜6-1反射后耦合进入第四耦合器2-4,另一路光经第二时延光纤3-2后入射至第二法拉第旋转镜6-2,再经第二法拉第旋转镜6-2反射后耦合进入第四耦合器2-4,第四耦合器2-4输出拍频相干信号,然后经TTL时钟发生器7产生方波信号,该方波信号即为时钟信号。

[0071] 本实施方式中,主干涉仪包括第二耦合器2-2、第三耦合器2-3、偏振控制器4、光纤环形器5、多个分布式气体装置8和平衡探测器9;

[0072] 第一耦合器2-1输出的另一路光经1:99的1×2的第二耦合器2-2分成两路光,1%的一路光作为参考光的偏振态通过偏振控制器4调整后入射至第三耦合器2-3的一个输入端口,99%的另一路光作为测试光由光纤环形器5的1端口进入,由光纤环形器5的2端口依次入射至级联的多个分布式气体装置8,在分布式气体装置8内经多级反射以及气体的吸收后反射光重新进入光纤环形器5的2端口并从3端口耦合进入第三耦合器2-3的另一个输入端口,参考光与测试光发生拍频相干并由第三耦合器2-3的2个输出端输出至平衡探测器9,平衡探测器9探测并转换为电压信号,数据采集卡10将模拟电压转换成数字电压值。

[0073] 计算模块11根据拍频相干信号计算气体浓度,具体为:

[0074] 计算模块11对接收到的拍频相干信号进行傅里叶变换,实现由频域谱到时域谱的变换,根据反射峰间的光程差得到吸收光程;

[0075] 选取时域谱中每个分布式气体装置8末端的信息数据段进行逆傅里叶变换,再对幅值数据作平方处理,得到气体的吸收光谱强度信息;

[0076] 根据吸收光谱强度信息和吸收光程得到每一个分布式气体装置8内待测气体的浓度累计值;

[0077] 将当前分布式气体装置8的浓度累计值减去其前一个分布式气体装置8的浓度累计值,得到当前分布式气体装置8内待测气体的浓度。

[0078] 相比于化学检测手段,光学方法更具有高分辨率,高灵敏度,实时性等诸多优点,利用可调谐光源1在近红外等波段上的成熟技术优势以及光学器件,将单模光纤作为气体传感的信息搭载媒介,借助光纤的波导结构特性,并构造及利用气体与光相互作用的结构(机械式级联气池或空心光子晶体光纤),并利用一定的对接方式实现级联,实现分布式长距离气体传感,同时具备实时性强、传感分辨率高等优点。

[0079] 将气体充入机械式级联气池或空心光子晶体光纤,通过设置系统光源的波段调谐范围使其覆盖感兴趣的样品气体吸收波段,实现光与气体的相互作用。通过解调调频连续波的回波信号,通过一定的算法即可解调出在某个气池或者某段空心光子晶体光纤中的气体浓度,利用光纤对分布在各个监测点的气池或者空心光子晶体光纤进行级联,形成一次性定量检测各个位置的气体浓度的分布式气体传感系统,超越其他现有气体传感器的单点测量的局限性和能力范围。

[0080] 具体实施方式二:结合图1和图2具体说明本实施方式,本实施方式是对具体实施方式一所述的一种基于调频连续波的分布式气体传感装置作进一步说明,本实施方式中,分布式气体装置8包括机械钢体气体容器8-1、第一光纤准直器8-2、第二光纤准直器8-3、进气口阀门8-4和出气口阀门8-5;

[0081] 机械钢体气体容器8-1的两端分别设有第一光纤准直器8-2和第二光纤准直器8-3,靠近机械钢体气体容器8-1的两端分别设有进气口阀门8-4和出气口阀门8-5。

[0082] 本实施方式中,分布式气体装置8采用机械式级联气池实现。一个准直器作为发射端,另一个准直器作为接收端,气体通过进气口阀门/出气口阀门进入/流出机械级联气池中,整个结构在常压下成密封状态。

[0083] 图2中。为气体分子,□为准直光束。

[0084] 具体实施方式三：结合图3具体说明本实施方式，本实施方式是对具体实施方式一所述的一种基于调频连续波的分布式气体传感装置作进一步说明，本实施方式中，分布式气体装置8包括空心光子晶体光纤和2个三通气阀；

[0085] 2个三通气阀中各有1个口分别用于进气和出气；

[0086] 空心光子晶体光纤的两端各通过1个三通气阀的另两个口与光路中的光纤耦合。两端衔接处在常压下成密封状态。

[0087] 本实施方式中，分布式气体装置8采用空心光子晶体光纤实现。

[0088] 具体实施方式四：结合图4具体说明本实施方式，本实施方式所述的一种基于调频连续波的分布式气体传感方法，该方法基于具体实施方式二所述的一种基于调频连续波的分布式气体传感装置实现，该方法包括：

[0089] 步骤一、开启可调谐光源1线性扫频输出，可调谐光源1输出触发信号触发数据采集卡10作数据采集准备；

[0090] 步骤二、辅助干涉仪产生时钟信号，传输至数据采集卡10，使数据采集卡10对主干干涉仪的拍频信号进行等频率间隔采集；

[0091] 主干干涉仪的测试光由光纤环行器5的2端口导入级联的多个分布式气体装置8，在分布式气体装置8内经多级反射以及气体的吸收后反射光重新进入光纤环行器5；调节偏振控制器4使得从光纤环行器5的3端口导出的光与参考光发生拍频相干，然后由平衡探测器9传输至数据采集卡10；

[0092] 步骤三、数据采集卡10采集拍频相干信号；

[0093] 步骤四、计算模块11对拍频相干信号进行保存，并对拍频相干信号进行快速傅里叶变换，实现由频域谱到时域谱的变换，根据反射峰间的光程差得到吸收光程；

[0094] 步骤五、选取时域谱中每个分布式气体装置8末端的信息数据段进行逆傅里叶变换，再对幅值数据作平方处理，得到级联气池叠加后的气体的吸收光谱强度信息；

[0095] 步骤六、根据气体的吸收光谱强度信息和吸收光程得到每一个分布式气体装置8内待测气体的浓度累计值；

[0096] 步骤七、将当前分布式气体装置8的浓度累计值减去其前一个分布式气体装置8的浓度累计值，得到当前分布式气体装置8内待测气体的浓度。

[0097] 通过一次性计算得到分布式气体装置中各级级联气池的叠加后的气体浓度后，为获得当前环境下某个级联气池中目标的浓度，需要将该环境下该级联气池叠加后的浓度减去其前一个级联气池中的叠加后的浓度得到（第一个级联气池的浓度则为真实目标环境下的气体浓度）。

[0098] 本实施方式基于调频连续波(FMCW)干涉测量法，交流的平衡探测器9用于探测主干干涉仪上的拍频信号的干涉项，其探测器电流可以表示为：

$$[0099] \quad i(\omega, \tau) = 2C\sqrt{I_R I_P} T(\omega, \tau) \cos(\omega\tau) \quad (\text{公式1})$$

[0100] 其中 ω 是可调谐光源的瞬时角频率， τ 是主干干涉仪中探测光相对于参考光的延迟时间， C 为包含探测器灵敏度的常数、特定反射点的反射率以及光学损耗系数(除气体吸收引起的光学衰减外)的常数， I_R 和 I_P 分别为参考光和测试光的强度，根据BeerLambert定律 $T(\omega, \tau) = e^{-\alpha(\omega)l(\tau)}$ 表述， $T(\omega, \tau)$ 为级联气池内气体的光谱透射率，其中 $\alpha(\omega)$ 和 $l(\tau)$ 分别表示待测气体的吸收系数和吸收光程。

[0101] 多个级联气池级联后形成探测臂,由于探测臂上级联气池中每个准直器的发射端和接受端上都会发生菲涅尔反射,以及连接光纤中发生的瑞利后向散射,探测器得到的探测电流可以表示成:

$$[0102] \quad i(\omega) = \sum_{m=1}^M 2C_m \sqrt{I_R I_P T_m(\omega)} \cos(\omega \tau_m) \quad (\text{公式 2})$$

[0103] 其中m表示沿探测臂的第m个反射点。

[0104] 通过傅里叶变换获得与不同反射位置相关的T(ω):

$$[0105] \quad \begin{aligned} \hat{i}(\tau) &= \frac{1}{2\pi} \int_{\omega_0 - \Delta\omega/2}^{\omega_0 + \Delta\omega/2} i(\omega) e^{-j\omega\tau} d\omega \\ &= \sum_{m=1}^M \mathcal{F}[S_m(\omega)] \otimes \mathcal{F}[\sqrt{T_m(\omega)}] \\ &= \sum_{m=1}^M [S_m^+(\tau) + S_m^{+*}(-\tau)] \otimes \mathcal{F}[\sqrt{T_m(\omega)}] \end{aligned} \quad (\text{公式 3})$$

[0106] 其中 $S_m^+(\tau) = C_m \sqrt{I_R I_P} \Delta\nu \text{sinc}[\Delta\nu(\tau - \tau_m)] e^{-j(\tau - \tau_m)\omega_0}$, 角频率调谐范围 $\Delta\omega = 2\pi\Delta\nu$ 设置了积分极限。根据sinc函数,可确定在 $\tau = \tau_m$ 反射位置处, $|S_m^+(\tau)|$ 存在最大值。同时,根据sinc函数,其时域分辨率为 $\Delta\tau = 1/\Delta\nu$, 对应的空间分辨率为 $\Delta l = c/2n_g\Delta\nu$, 其中c为光在真空中的速度, n_g 为光传播的介质群折射率。由于该系统的测试光从起点发射经实际反射点或反射面反射后作一次往返式传播,与参考光发生相干干涉,其相对时延所对应的光程是起点与反射点实际距离的两倍,因此吸收光程也是起点与反射点实际距离的两倍,最终的吸收光程为:

$$[0107] \quad l_{ij}(\tau) = \frac{c(\tau_i - \tau_j)}{n} \quad (\text{公式 4})$$

[0108] $i, j = 1, 2, 3, \dots, M$, M为反射点的总数目, n为气体的折射率。

[0109] 通过式4可知,基于调频连续波技术,可以实现各个反射点的位置测定,并通过两个反射点之间的距离来确定最终的吸收光程,为实现气体传感提供了有效的技术路径。

[0110] 对公式3中每个分布式气体装置8末端的信息数据段进行逆傅里叶变换,得到:

$$[0111] \quad i_m^+(\omega) = C_m \sqrt{I_R I_P T_m(\omega)} e^{j\omega\tau_m} \quad (\text{公式 5})$$

[0112] 则透射函数 $T_m(\omega)$ 可以表示为:

$$[0113] \quad T_m(\omega) = \frac{|i_m^+(\omega)|^2}{C_m^2 I_R I_P} \quad (\text{公式 6})$$

[0114] 为推算某气体浓度 ρ (g/cm^3), 需求得该气体的分子数密度 N ($\text{molecule}/\text{cm}^3$), 已知气体的摩尔质量 M (g/mol) 和阿伏伽德罗常数 N_A ($\text{molecule}/\text{mol}$), 气体浓度可表示为:

$$[0115] \quad \rho = \frac{N \cdot M}{N_A} \quad (\text{公式 7})$$

[0116] 由HITRAN数据库获取气体的吸收线强S以及标准大气压下气体的吸收线型 $\Phi(\nu)$, 在获知具体透射函数 $T(\omega)$ 以及吸收光程 $l(\tau)$ 的情况下, 最终气体浓度简化为:

[0117]
$$\rho = \frac{\ln T^{-1} M}{i S \Phi N_A} \quad (\text{公式 } 8)$$

[0118] 对于本领域技术人员而言,显然本发明不限于上述示范性实施例的细节,而且在不背离本发明的精神或基本特征的情况下,能够以其他的具体形式实现本发明。因此,无论从哪一点来看,均应将实施例看作是示范性的,而且是非限制性的,本发明的范围由所附权利要求而不是上述说明限定,因此旨在将落在权利要求的等同要件的含义和范围内的所有变化囊括在本发明内。

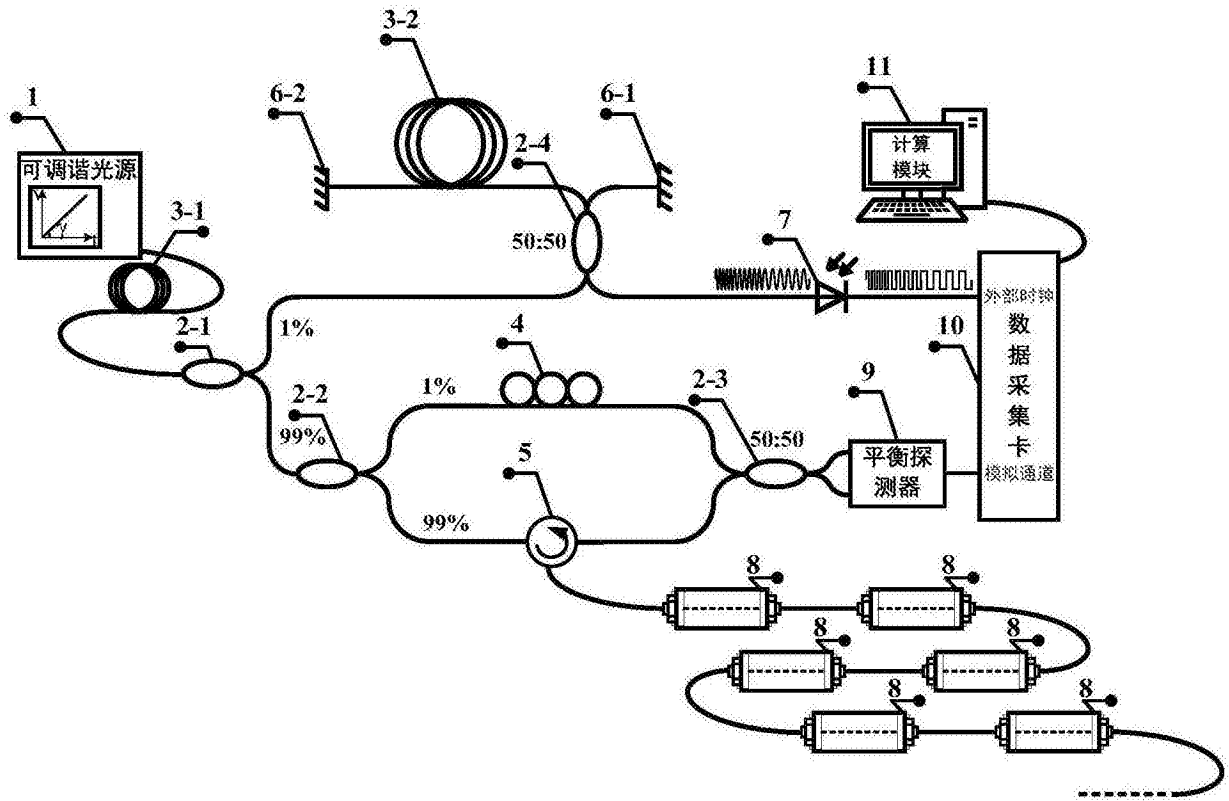


图1

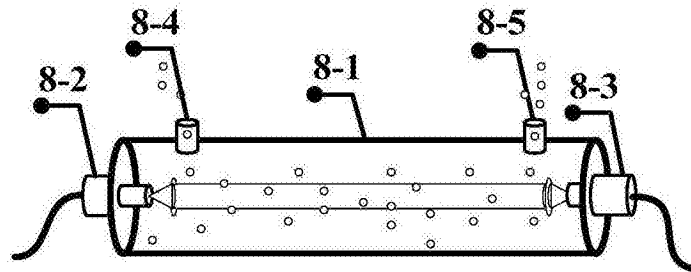


图2

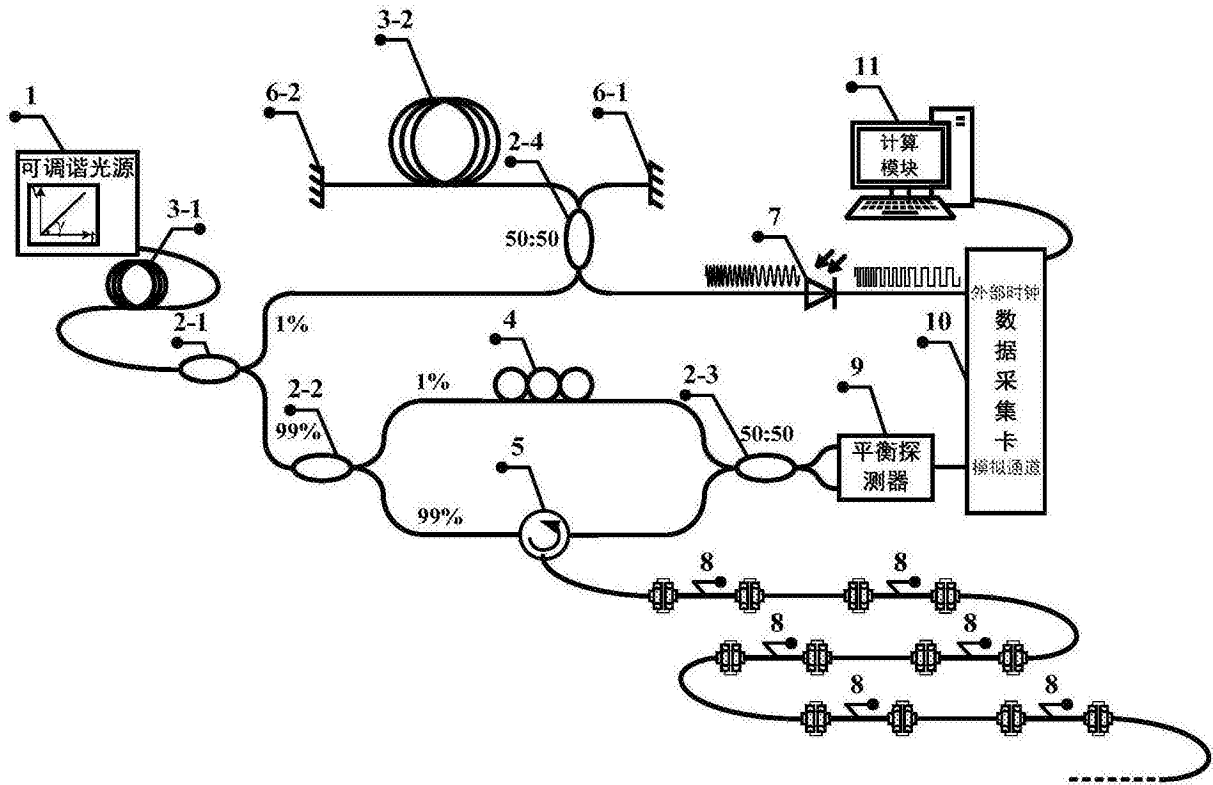


图3

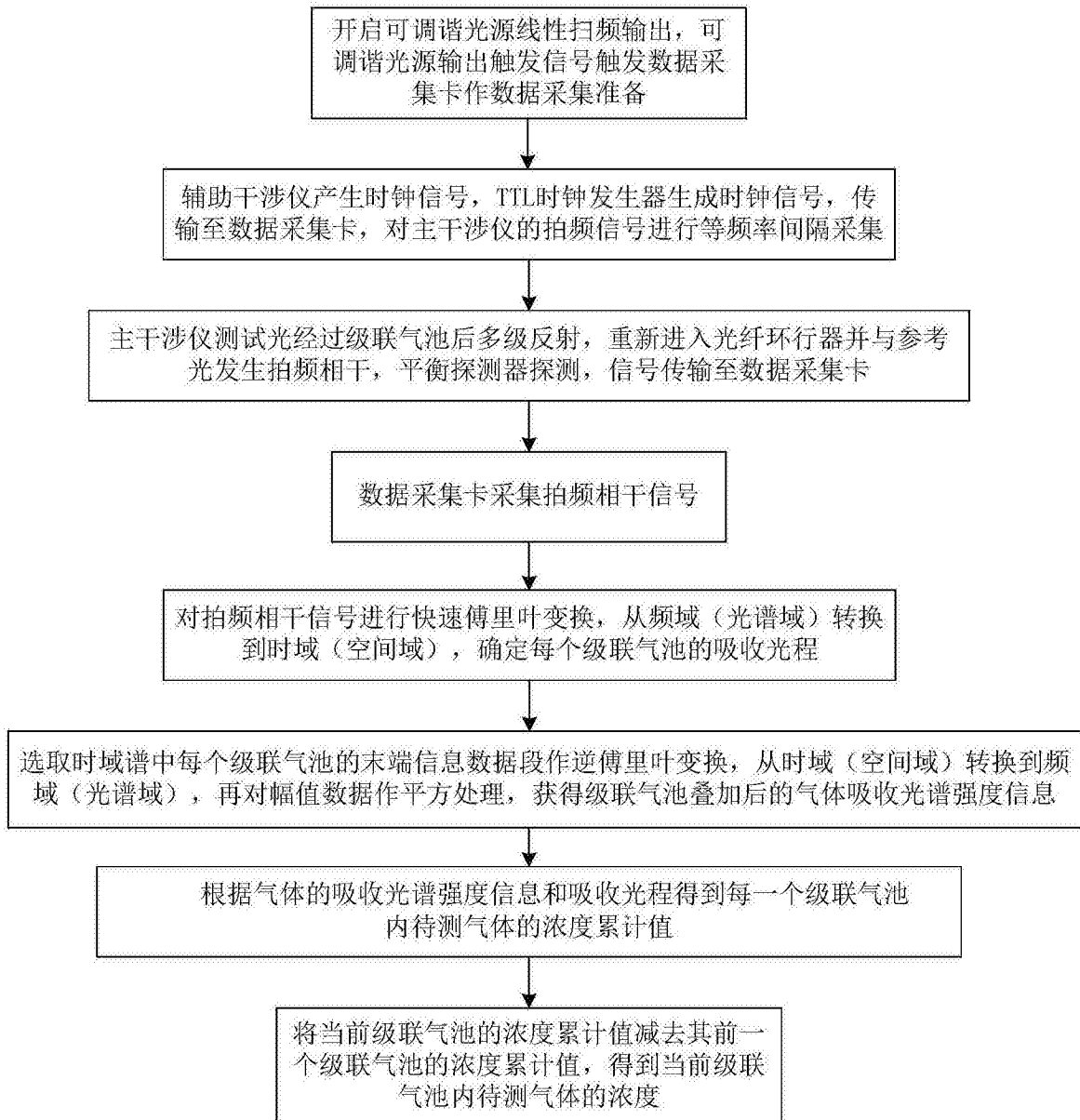


图4