



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106802288 A

(43)申请公布日 2017.06.06

(21)申请号 201710174184.7

(22)申请日 2017.03.22

(71)申请人 河北大学

地址 071002 河北省保定市五四东路180号  
河北大学

(72)发明人 李红莲 方立德 李小亭 李飞超  
吴琼

(74)专利代理机构 石家庄国域专利商标事务所  
有限公司 13112

代理人 胡素梅 胡澎

(51)Int.Cl.

G01N 21/39(2006.01)

G01N 21/359(2014.01)

G01N 21/3504(2014.01)

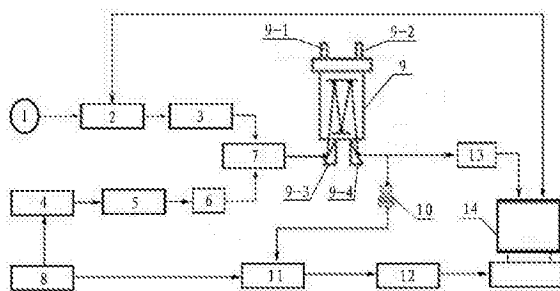
权利要求书2页 说明书9页 附图2页

## (54)发明名称

基于可调谐激光和超连续谱激光的气体检测装置和方法

## (57)摘要

本发明提供了一种基于可调谐激光和超连续谱激光的气体检测装置和方法。所述装置包括激光发射机构、光路与气路机构、检测接收与处理机构；激光发射机构用于产生激光，且所产生的激光为可调谐激光和超连续谱激光耦合后的激光；光路与气路机构用于使激光发射机构所产生的激光按照预期的轨迹进行反射、吸收；检测接收与处理机构用于接收光路与气路机构输出的信号，并对接收到的信号进行处理，以得出待测气体的种类和浓度。本发明首次将可调谐激光和超连续谱激光同时作为气体检测装置的光源，可实现高灵敏度、高分辨率、超低浓度的气体快速检测要求，可为研究空气中灾害性污染的痕量气体成分监测和形成机理等提供独特的技术手段。



1. 一种基于可调谐激光和超连续谱激光的气体检测装置,其特征是,包括激光发射机构、光路与气路机构、检测接收与处理机构;

所述激光发射机构包括超连续谱激光器、光学滤波器、光阑、二极管激光器、激光驱动器、调制信号发生器、准直器和光纤合波器;所述超连续谱激光器用于产生超连续谱激光,超连续谱激光依序经所述光学滤波器和所述光阑后入射所述光纤合波器;所述激光驱动器用于为所述二极管激光器提供工作所需温度和电流,所述调制信号发生器用于产生调制信号并通过所述激光驱动器控制所述二极管激光器输出可调谐激光,所述二极管激光器输出的可调谐激光经所述准直器后入射所述光纤合波器;所述光纤合波器用于将所述光阑输出的超连续谱激光与所述准直器输出的可调谐激光合并为一束光并输出;所述光纤合波器输出的光束即为激光光源;

所述光路与气路机构用于使所述光纤合波器输出的光束按照预期的轨迹进行反射,且在反射过程中被待测气体吸收部分能量;

所述检测接收与处理机构用于接收所述光路与气路机构输出的经过反射、吸收后的光信号,并对接收到的信号进行处理,以得出待测气体的种类和浓度。

2. 根据权利要求1所述的基于可调谐激光和超连续谱激光的气体检测装置,其特征是,所述检测接收与处理机构包括光电探测器、锁相放大器、近红外光谱仪、数据采集卡和计算机;由所述光路与气路机构输出的光信号经过一分二光纤分成两路光信号,其中一路光信号经所述近红外光谱仪传输给计算机;另一路光信号经所述光电探测器将光信号转换成电信号,输入到锁相放大器中对信号进行解调,输出谐波信号被数据采集卡采集,再传输给计算机;所述计算机对两路数据进行处理,即可得出待测气体的种类和浓度。

3. 根据权利要求1所述的基于可调谐激光和超连续谱激光的气体检测装置,其特征是,所述光路与气路机构包括吸收池、通气管和容器;在所述容器内盛有待测气体,所述容器通过所述通气管与吸收池的进气口相接,进而可向吸收池内通入待测气体;在所述吸收池内设置有若干反射镜,所述光纤合波器输出的光束入射进所述吸收池可在吸收池内按预期的轨迹反射,且反射过程中可被吸收池内的待测气体吸收部分能量。

4. 根据权利要求3所述的基于可调谐激光和超连续谱激光的气体检测装置,其特征是,所述光学滤波器为LLTF光学滤波器,所述吸收池为怀特型长光程吸收池;在所述吸收池的侧壁设置有两个反射镜,入射所述吸收池的光束首先经其中一个反射镜反射后再入射所述吸收池,出射所述吸收池的光束经另一反射镜反射后再入射所述检测接收与处理机构。

5. 根据权利要求1所述的基于可调谐激光和超连续谱激光的气体检测装置,其特征是,所述光路与气路机构包括若干反射镜,所述光纤合波器输出的光束可在所述若干反射镜之间按预期的轨迹反射,且反射过程中可被存在于反射镜之间的开放式光路中的待测气体吸收部分能量。

6. 一种基于可调谐激光和超连续谱激光的气体检测方法,其特征是,包括如下步骤:

a、搭建气体检测装置;

所述气体检测装置包括激光发射机构、光路与气路机构、检测接收与处理机构;

所述激光发射机构包括超连续谱激光器、光学滤波器、光阑、二极管激光器、激光驱动器、调制信号发生器、准直器和光纤合波器;

b、打开超连续谱激光器和二极管激光器的开关,使超连续谱激光器产生的激光依次经

过光学滤波器和光阑后入射光纤合波器,二极管激光器在调制信号发生器和激光驱动器的作用下输出可调谐激光,并将可调谐激光经准直器后输出给光纤合波器;光纤合波器将超连续谱激光与可调谐激光合并为一束光并输出;

c、光路与气路机构使光纤合波器输出的激光按照预期的轨迹进行反射,且在反射过程中由待测气体吸收激光的部分能量;

d、被吸收能量后的激光由检测接收与处理机构接收并进行处理,从而得出待测气体的种类和浓度。

7.根据权利要求6所述的基于可调谐激光和超连续谱激光的气体检测方法,其特征是,步骤a中,所述检测接收与处理机构包括光电探测器、锁相放大器、近红外光谱仪、数据采集卡和计算机;步骤d中,被吸收能量后的激光首先经一分二光纤分成两路光信号,其中一路光信号经所述近红外光谱仪后直接传输给计算机;另一路光信号依序经所述光电探测器、所述锁相放大器和所述数据采集卡传输给计算机;计算机接收两路数据并进行处理,即可得出待测气体的种类和浓度。

8.根据权利要求7所述的基于可调谐激光和超连续谱激光的气体检测方法,其特征是,步骤d中,计算机对两路电信号进行处理,分别如下:

计算机对数据采集卡输出的数据进行处理,具体是:首先根据接收到的数据获得待测气体的吸收光谱图;然后将吸收光谱图中的吸收峰与Hi tran数据库中气体的吸收峰进行比对,得出待测气体的种类;接着根据已知种类气体对光信号的吸收强度与气体浓度之间的线性关系,再结合吸收光谱图中吸收峰的强度,得出已知种类气体的浓度;

计算机根据近红外光谱仪输出的数据进行处理,具体是:首先根据接收到的数据找出吸收峰,并将吸收峰与现有气体的吸收峰进行比对,得出待测气体的种类;之后找出激光被气体吸收前后的光强及光强变化,根据吸收前后光强及光强的变化计算出已知种类气体的浓度。

9.根据权利要求6所述的基于可调谐激光和超连续谱激光的气体检测方法,其特征是,步骤a中,所述光路与气路机构包括吸收池、通气管和容器;在所述容器内盛放有待测气体;步骤c中,首先由容器通过所述通气管向吸收池内通入待测气体,然后使光纤合波器输出的激光入射吸收池并在吸收池内按照预期的轨迹进行反射,且在反射过程中由吸收池内的待测气体吸收激光的部分能量。

10.根据权利要求6所述的基于可调谐激光和超连续谱激光的气体检测方法,其特征是,步骤a中,所述光路与气路机构包括若干反射镜;步骤c中,光纤合波器输出的激光在所述若干反射镜之间按照预期的轨迹反射,且激光在反射过程中被存在于若干反射镜之间的开放式光路中的待测气体吸收部分能量。

## 基于可调谐激光和超连续谱激光的气体检测装置和方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及气体检测技术领域,具体地说是一种基于可调谐激光和超连续谱激光的气体检测装置和方法。

### 背景技术

[0002] 气体检测方法大体包括两类:传统的化学方法和现代光谱学方法。传统的化学方法具有测量手段直接、测量精度高的优点,但是它需要对待测气体进行预先取样,操作繁琐、不具有时效性;现代光谱学方法作为一种光学检测手段,它具有选择性强、灵敏度高、响应时间快等优点,在环境检测中应用越来越为广泛。

[0003] 吸收光谱法作为一种光学检测方法,其基本原理是光束通过待测气体后,经其吸收作用使光强减弱,根据吸收光强多少可以完成气体的定量分析。自20世纪60年代激光技术出现以来,由于激光具有很好的单色性、相干性和高亮度,激光吸收光谱技术以其不可替代的优势在光谱分析中占据重要地位。与传统吸收光谱相比,激光吸收光谱技术的分辨率和灵敏度可大大高于传统的光谱方法,同时,它能够在测量光谱的同时完成光谱波长的高精度定标。

[0004] 可调谐二极管激光吸收光谱技术(Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy)与其它吸收光谱技术相比,其优势在于:探测灵敏度高、一般可以达到ppb-ppm量级,能够满足大气中痕量气体监测的要求;其次,由于分子光谱的“指纹”特征,它们的选择性很强,利用二极管激光有很高光谱分辨率和可调谐性的特点,能够把待测分子与背景的干扰区分开来,避免了光谱交叉干扰;再者,它们探测的范围广,响应时间快,非常适合于大范围(大尺度)现场实时监测。但受其最主要部件——二极管激光器的限制,TDLAS技术仍存在许多问题需要解决。一是二极管激光器的调谐范围较窄,因此单一激光器测量气体种类较为单一;二是温度变化对调谐波长稳定性影响较大,所以需要测量温度进行高精度控制;另外,单纵模输出、高功率的激光器等还有待进一步的发展。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的之一就是提供一种基于可调谐激光和超连续谱激光的气体检测装置,该装置结构简单,操作方便,不必对其测量温度进行高精度控制,且能实现对多种气体的快速、精确检测。

[0006] 本发明的目的之二就是提供一种基于可调谐激光和超连续谱激光的气体检测方法,该方法是基于吸收光谱法,采用可调谐激光和超连续谱激光作为信号源,可实现对环境多组分痕量气体同时进行精确检测的目的,以便为后期的环境检测和保护提供高效、快速、准确的测量方法。

[0007] 本发明的目的之一是这么实现的:一种基于可调谐激光和超连续谱激光的气体检测装置,包括激光发射机构、光路与气路机构、检测接收与处理机构。

[0008] 所述激光发射机构包括超连续谱激光器、光学滤波器、光阑、二极管激光器、激光

驱动器、调制信号发生器、准直器和光纤合波器；所述超连续谱激光器用于产生超连续谱激光，超连续谱激光依序经所述光学滤波器和所述光阑后入射所述光纤合波器；所述激光驱动器用于为所述二极管激光器提供工作所需温度和电流，所述调制信号发生器用于产生调制信号并通过所述激光驱动器控制所述二极管激光器输出可调谐激光，所述二极管激光器输出的可调谐激光经所述准直器后入射所述光纤合波器；所述光纤合波器用于将所述光阑输出的超连续谱激光与所述准直器输出的可调谐激光合并为一束光并输出；所述光纤合波器输出的光束即为激光光源。

[0009] 所述光路与气路机构用于使所述光纤合波器输出的光束按照预期的轨迹进行反射，且在反射过程中被待测气体吸收部分能量。

[0010] 其中之一方案是：所述光路与气路机构包括吸收池、通气管和容器；在所述容器内盛有待测气体，所述容器通过所述通气管与吸收池的进气口相接，进而可向吸收池内通入待测气体；在所述吸收池内设置有若干反射镜，所述光纤合波器输出的光束入射进所述吸收池可在吸收池内按预期的轨迹反射，且反射过程中可被吸收池内的待测气体吸收部分能量。

[0011] 优选的，所述光学滤波器为LLTF光学滤波器，所述吸收池为怀特型长光程吸收池；在所述吸收池的侧壁设置有两个反射镜，入射所述吸收池的光束首先经其中一个反射镜反射后再入射所述吸收池，出射所述吸收池的光束经另一反射镜反射后再入射所述检测接收与处理机构。

[0012] 另一方案是：所述光路与气路机构包括若干反射镜，所述光纤合波器输出的光束可在所述若干反射镜之间按预期的轨迹反射，且反射过程中可被存在于反射镜之间的开放式光路中的待测气体吸收部分能量。

[0013] 因此，本发明所提供的基于可调谐激光和超连续谱激光的气体检测装置，既可检测充入吸收池内的密封气体，也可以检测开放式光路中的气体。

[0014] 所述检测接收与处理机构用于接收所述光路与气路机构输出的经过反射、吸收后的光信号，并对接收到的信号进行处理，以得出待测气体的种类和浓度。所述检测接收与处理机构包括光电探测器、锁相放大器、近红外光谱仪、数据采集卡和计算机；由所述光路与气路机构输出的光信号经过一分二光纤分成两路光信号，其中一路光信号经所述近红外光谱仪后直接传输给计算机；另一路光信号依序经所述光电探测器、所述锁相放大器和所述数据采集卡传输给计算机，所述光电探测器用于将光信号转换成电信号，锁相放大器用于对光电探测器输出的电信号进行解调并输出谐波信号，数据采集卡用于采集锁相放大器输出的信号并进行模数转换后输出给计算机；计算机对两路数据进行处理，即可得出待测气体的种类和浓度。

[0015] 本发明的目的之二是这样实现的：一种基于可调谐激光和超连续谱激光的气体检测方法，包括如下步骤：

a、搭建气体检测装置。

[0016] 所述气体检测装置包括激光发射机构、光路与气路机构、检测接收与处理机构。

[0017] 所述激光发射机构包括超连续谱激光器、光学滤波器、光阑、二极管激光器、激光驱动器、调制信号发生器、准直器和光纤合波器。所述检测接收与处理机构包括光电探测器、锁相放大器、近红外光谱仪、数据采集卡和计算机。

[0018] 所述光路与气路机构可以由吸收池、通气管和容器构成,还可以由若干反射镜构成。这两种方案分别用来测量吸收池内的密封气体和开放式光路中的气体。

[0019] b、打开超连续谱激光器和二极管激光器的开关,使超连续谱激光器产生的激光依次经过光学滤波器和光阑后入射光纤合波器,二极管激光器在调制信号发生器和激光驱动器的作用下输出可调谐激光,并将可调谐激光经准直器后输出给光纤合波器;光纤合波器将超连续谱激光与可调谐激光合并为一束光并输出。

[0020] c、光路与气路机构使光纤合波器输出的激光按照预期的轨迹进行反射,且在反射过程中由待测气体吸收激光的部分能量。

[0021] d、被吸收能量后的激光由检测接收与处理机构接收并进行处理,从而得出待测气体的种类和浓度。

[0022] 步骤d中,被吸收能量后的激光首先经一分二光纤分成两路光信号,其中一路光信号经所述近红外光谱仪后直接传输给计算机;另一路光信号依序经所述光电探测器、所述锁相放大器和所述数据采集卡传输给计算机;计算机接收两路数据并进行处理,分别如下:

计算机对数据采集卡输出的数据进行处理,具体是:首先根据接收到的数据获得待测气体的吸收光谱图;然后将吸收光谱图中的吸收峰与Hi tran数据库中气体的吸收峰进行对比,得出待测气体的种类;接着根据已知种类气体对光信号的吸收强度与气体浓度之间的线性关系,再结合吸收光谱图中吸收峰的强度,得出已知种类气体的浓度。

[0023] 计算机根据近红外光谱仪输出的数据进行处理,具体是:首先根据接收到的数据找出吸收峰,并将吸收峰与现有气体的吸收峰进行对比,得出待测气体的种类;之后找出激光被气体吸收前后的光强及光强变化,根据吸收前后光强及光强的变化计算出已知种类气体的浓度。

[0024] 超连续谱激光是一种飞秒或皮秒激光,相比于普通激光,它的波长范围更加宽广,光束更加稳定、平坦,相干性更加突出,可大大的提高光谱分析中的信噪比,缩短测量时间,可作为光源对多种气体实现高效测量。因此,超连续谱激光气体检测技术可以很好地解决TDLAS技术波长调谐范围较窄,单个激光器只能实现对单一气体测量,需要对测量温度进行高精度控制等问题和不足。超连续谱激光吸收光谱技术相对于固定波长测量方法更可靠、精确,但是因为注入电流频率不需太高(一般500Hz以下),存在的激光冗余噪声和光电检测器的热噪声都较高,因此检测的灵敏度低于调制光谱学技术。

[0025] 本发明首次将可调谐激光和超连续谱激光同时作为气体检测装置的光源,可实现高灵敏度、高分辨率、超低浓度的气体快速检测要求,可为研究空气中灾害性污染的痕量气体成分监测和形成机理等提供独特的技术手段。相比于现有的光谱检测技术,其优点具体表现在三个方面:一是超连续谱激光在气体检测过程中对测量温度变化要求低,因此该检测装置在一定测量范围内不必对测量温度进行高精度控制;二是超连续谱激光具有波长范围宽且平坦、稳定性好、高度聚焦等特性,可用来实现对多种气体的快速、精确检测,为实现同一激光光源对多气体测量提供可靠依据;三是可调谐激光的高灵敏度优势,只要选择合适的光谱波段就可测到低于ppb量级浓度的气体。

## 附图说明

[0026] 图1是本发明实施例1所提供的基于可调谐激光和超连续谱激光的气体检测装置

的结构示意图。

[0027] 图2是本发明中超连续谱激光器的结构示意图。

[0028] 图3是本发明中超连续谱激光器的主源所产生的激光脉冲与脉冲之间的稳定性测试图。

[0029] 图中:1、超连续谱激光器,1-1、主源,1-2、隔离器,1-3、高功率放大器,1-4、SC发生器,1-5、输出镜片,2、光学滤波器,3、光阑,4、激光驱动器,5、二极管激光器,6、准直器,7、光纤合波器,8、调制信号发生器,9、吸收池,9-1、进气口,9-2、排气口,9-3、第一反射镜,9-4、第二反射镜,10、光电探测器,11、锁相放大器,12、数据采集卡,13、近红外光谱仪,14、计算机。

## 具体实施方式

[0030] 为克服现有光谱学检测技术的不足,本发明提供了一种基于可调谐激光和超连续谱激光的气体检测装置和方法,从而实现以可调谐二极管激光器和超连续谱激光器同时作为检测装置信号源的检测方法,利用两种检测技术各自的优势及互补性,来实现对多组分痕量气体的快速、精确在线检测。

[0031] 以下具体实施例用于对本发明作进一步的说明,但不仅限于以下实施例。

[0032] 实施例1,基于可调谐激光和超连续谱激光的气体检测装置。

[0033] 本实施例中基于可调谐激光和超连续谱激光的气体检测装置包括激光发射机构、光路与气路机构、检测接收与处理机构。激光发射机构用于产生激光;光路与气路机构用于使激光发射机构所产生的激光按照预期的轨迹进行反射,且在反射过程中由待测气体吸收激光的部分能量。检测接收与处理机构用于接收光路与气路机构输出的经过反射、吸收后的光信号,并对接收到的信号进行处理,以得出待测气体的种类和浓度。

[0034] 如图1所示,激光发射机构包括超连续谱激光器1、光学滤波器2、光阑3、二极管激光器5、激光驱动器4、调制信号发生器8、准直器6和光纤合波器7。激光发射机构中超连续谱激光器1和二极管激光器5共同为信号源。

[0035] 超连续谱激光器1用于产生超连续谱激光。超连续谱激光为超连续谱皮秒脉冲激光或超连续谱飞秒脉冲激光。如图2所示,超连续谱激光器1主要包括四个子系统,分别是:主源1-1、高功率放大器1-3、SC发生器(即超连续谱发生器)1-4和输出镜片1-5。主源1-1发出脉冲经隔离器1-2输出至高功率放大器1-3,功率放大后在非线形光纤作用下产生展宽光谱,其光谱被输出镜片1-5收集后输出。

[0036] 主源1-1是超连续谱激光器1的“动力源泉”,主源1-1用于产生超连续谱脉冲激光。本实施例中主源1-1是一个基于核心泵浦的被动锁模Yb光纤激光器,在重复率固定情况下,通过实验研究,主源1-1所产生的激光脉冲与脉冲之间的稳定性测试如图3所示。

[0037] 由于主源1-1产生的激光功率很低,故在此通过一个高功率放大器1-3进行放大处理。高功率放大器1-3是一个基于双包层掺Yb、高功率泵浦的多发射极激光二极管模块。功率调节可以通过两种方法实现:一是软件控制;二是手动调节。对于需要较大功率的激光而言,通常采用手动调节方式,将功率调节旋钮顺时针旋至最大即可。

[0038] SC发生器1-4包含一段高度非线性光纤,对于高功率皮秒脉冲来说,非线性光纤的色散和长度能够优化生成的宽谱辐射,使其产生更加协调的光谱。另外,由于光纤较高的脉

冲峰值功率和非线性,激光经过非线性光纤产生光谱展宽,可以输出可见至近红外波段的光谱。

[0039] 根据系统特定配置需求,输出镜片1-5可以为准直或者发散镜片。输出镜片1-5是经过了特殊的光学设计和涂层处理后的镜片,便于尽可能多的收集非线性光纤输出的宽谱。

[0040] 超连续谱激光器1产生的超连续谱激光首先入射光学滤波器2,本实施例中光学滤波器2为LLTF光学滤波器(即:激光可调谐光学滤波器)。光学滤波器2用于对超连续谱激光器1产生的超连续谱激光进行滤光。例如:超连续谱激光器1产生的超连续谱激光的波长范围为400nm~2000nm,通过光学滤波器2后的激光波长范围为1000nm~1800nm。光学滤波器2的滤光范围可以调节,本发明中光学滤波器2与计算机14相接,通过在计算机14上输入相应的波长范围,可控制光学滤波器2对哪个波长范围的光进行滤除,进而保留所需波长范围的光。由光学滤波器2出射的激光入射光阑3,光阑3用于控制光学滤波器2输出激光的光通量,同时隔离杂散光。由光阑3出射的激光入射光纤合波器7。

[0041] 激光驱动器4分别与二极管激光器5和调制信号发生器8相接。激光驱动器4用于为二极管激光器5提供工作所需温度和电流;调制信号发生器8可产生调制信号,且所产生的调制信号经激光驱动器4后提供给二极管激光器5,控制二极管激光器5输出可调谐激光。二极管激光器5的输出端连接准直器6,准直器6的输出端连接光纤合波器7。可调谐激光经准直器6准直后输出给光纤合波器7。

[0042] 光纤合波器7用于将光阑3输出的超连续谱激光与准直器6输出的可调谐激光进行合并,并使合并后的光束从单条光纤输出,光纤合波器7输出的光束即为激光光源,也即是激光发射机构产生的激光。

[0043] 本实施例中光路与气路机构包括吸收池9、通气管和容器(通气管和容器在图1中未示出)。在吸收池9上设置有进气口9-1和排气口9-2。在容器内盛放有待测气体,容器通过通气管与吸收池9的进气口9-1相接,进而可向吸收池9内通入待测气体。本实施例中吸收池9为怀特型长光程吸收池。在吸收池9的外侧壁设置有两个反射镜,分别为第一反射镜9-3和第二反射镜9-4,第一反射镜9-3和第二反射镜9-4均为吸收池9的一部分。第一反射镜9-3和第二反射镜9-4背对设置。由光纤合波器7输出的激光首先经第一反射镜9-3反射后入射进入吸收池9。在吸收池9内设置有若干反射镜,这些反射镜的设置可使得激光在吸收池9内按预期的轨迹反射、吸收、接收。激光在吸收池9内经若干次反射后入射吸收池9的第二反射镜9-4,经第二反射镜9-4反射后入射光电探测器10。激光在吸收池9内被反射多次的过程中,待测气体会吸收激光的部分能量。此处,待测气体可能会吸收超连续谱激光的能量,也可能会吸收可调谐激光的能量,也可能同时都吸收两者的能量,具体要看两个激光的波长范围分布,若两者波长范围均处于待测气体的吸收波段内,则待测气体会对两个激光都有吸收。所以,在设置可调谐激光和超连续谱激光的波段时,需要保证至少一个激光的波段符合待测气体的吸收波段。但是,由于待测气体的种类未知,故在设置激光波长范围的时候,可通过计算机控制光学滤波器输出波长范围较大的激光,或控制二极管激光器输出波长范围较大的激光,找出待测气体的吸收峰所在波段时,再逐步缩小光学滤波器或二极管激光器输出的激光波长范围。通过调节吸收池9内的反射镜的角度,可增加激光在吸收池9内的光程,进而可使激光被待测气体充分吸收,以使得后期测量结果更为准确。本实施例中第一反射



镜9-3和第二反射镜9-4均为45°反射镜。

[0044] 检测接收与处理机构包括光电探测器10、锁相放大器11、近红外光谱仪13、数据采集卡12和计算机14。由光路与气路机构出射的激光(本实施例中即由第二反射镜9-4反射的激光)首先经一分二光纤分成两路光信号;其中一路光信号入射光电探测器10,光电探测器10接收光信号并转化为电信号,锁相放大器11接收光电探测器10输出的电信号并进行解调,然后输出谐波信号,锁相放大器11输出的谐波信号由数据采集卡12采集并进行模数转换,数据采集卡12再将输出的数据发送至计算机14;另一路光信号入射近红外光谱仪13,之后由近红外光谱仪13输出给计算机14。计算机14对两路数据进行处理,即可得出待测气体的种类和浓度。锁相放大器11还与调制信号发生器8相接,锁相放大器11的参考信号由调制信号发生器8产生。

[0045] 计算机14对接收到的两路数据进行处理,具体是:计算机14首先对两路数据进行噪声分析、背景扣除及平滑滤波等技术处理;接着根据两路数据分别计算待测气体的种类和浓度,可得出两组结果。

[0046] 计算机14根据数据采集卡12输出的数据进行处理,具体是:首先根据接收到的数据获得待测气体的吸收光谱图(该步骤可通过origin软件来实现);然后将吸收光谱图中的吸收峰与Hitran数据库中现有气体的吸收峰进行比对,得出待测气体的种类;接着根据已知种类气体对光信号的吸收强度与气体浓度之间的线性关系,再结合吸收光谱图中吸收峰的强度,得出已知种类气体的浓度。最后一步中,已知种类气体对光信号的吸收强度与气体浓度之间的线性关系,可预先通过相应实验获知,或可通过相应的数据模型得到,在matlab或origin软件中均可实现。

[0047] 计算机14根据近红外光谱仪13输出的数据进行处理,具体是:首先根据近红外光谱仪13输出的数据找出吸收峰,并将吸收峰与Hitran数据库中现有气体的吸收峰进行比对,得出待测气体的种类;然后根据近红外光谱仪13输出的数据,找出激光被气体吸收前后的光强及光强变化,根据吸收前后光强及光强的变化即可计算出已知种类气体的浓度。

[0048] 计算机14根据两路数据所得到的两组计算结果,其待测气体的种类是相同的,待测气体的浓度可能会存在差别,但是差别也在不确定度允许范围内。一般以根据数据采集卡12输出的数据计算的结果为准,因为这一路中存在锁相放大器,因此可以测量浓度极低情况下的待测气体。

#### [0049] 实施例2

实施例1中的装置是用于测量吸收池内的待测气体(通入吸收池内且被密封),本实施例中的装置是用于检测开放式光路中的待测气体(或者说待测气体处于空气中)。因此,与实施例1相比,本实施例中光路与气路机构由若干反射镜构成,即本实施例中不包括吸收池、通气管和容器,待测气体处于开放式光路中,若干反射镜的作用就是用于使由光纤合波器出射的激光按照预期的轨迹进行反射、吸收、接收,在反射过程中由处于若干反射镜之间的待测气体吸收激光的部分能量。本实施例中其他器件、连接关系以及相应的作用均与实施例1相同,故不再赘述。

[0050] 实施例3,基于可调谐激光和超连续谱激光的气体检测方法。

[0051] 结合图1,本发明所提供的基于可调谐激光和超连续谱激光的气体检测方法包括如下步骤:

a、搭建如图1所示的气体检测装置。气体检测装置包括激光发射机构、光路与气路机构、检测接收与处理机构。

[0052] 激光发射机构包括超连续谱激光器1、光学滤波器2、光阑3、二极管激光器5、激光驱动器4、调制信号发生器8、准直器6和光纤合波器7。超连续谱激光器1用于产生超连续谱激光,超连续谱激光依序经光学滤波器2和光阑3后入射光纤合波器7。激光驱动器4用于为二极管激光器5提供工作所需温度和电流;调制信号发生器8可产生调制信号,且所产生的调制信号经激光驱动器4后提供给二极管激光器5,控制二极管激光器5输出可调谐激光。二极管激光器5的输出端连接准直器6,准直器6的输出端连接光纤合波器7。光纤合波器7用于将光阑3输出的超连续谱激光与准直器6输出的可调谐激光进行合并,并使合并后的光束从单条光纤输出。

[0053] 光路与气路机构包括吸收池9、通气管和容器。吸收池9本身自带第一反射镜9-3和第二反射镜9-4,吸收池9为怀特型长光程气体吸收池。

[0054] 检测接收与处理机构包括光电探测器10、锁相放大器11、近红外光谱仪13、数据采集卡12和计算机14。计算机14还与光学滤波器2相接,通过计算机14可控制光学滤波器2输出激光的波长范围。

[0055] b、向吸收池9内通入待测气体。

[0056] 本实施例中是要测量吸收池9内的待测气体,如果要测量开放式光路中的气体,则将步骤a中光路与气路机构替换为若干反射镜,步骤b也相应删除。

[0057] c、打开超连续谱激光器1和二极管激光器5的开关。超连续谱激光器1产生超连续谱激光,超连续谱激光首先经光学滤波器2后被滤波,滤波后的激光再经光阑3后入射光纤合波器7。二极管激光器5在激光驱动器4和调制信号发生器8的作用下产生可调谐激光,可调谐激光经准直器6准直后输出给光纤合波器7。光纤合波器7将超连续谱激光与可调谐激光合并为一束激光并入射吸收池9的第一反射镜9-3,之后进入吸收池9内。

[0058] d、吸收池9内设有若干反射镜,激光在吸收池9内按预期的轨迹进行反射、吸收、接收,激光在吸收池9内被反射镜反射若干次,之后经第二反射镜9-4反射出吸收池9。

[0059] e、由第二反射镜9-4反射的光束经一分二光纤分为两路光信号;其中一路光信号被光电探测器10接收并转化为电信号,该电信号被锁相放大器11接收并进行解调,然后锁相放大器11输出谐波信号给数据采集卡12,数据采集卡12接收谐波信号并进行模数转换后输出给计算机14被LABVIEW所编采集程序接收;另一路光信号经近红外光谱仪13后直接输出给计算机14。

[0060] f、计算机14通过MATLAB对两路数据进行处理,即可得出待测气体的种类和浓度(此处浓度为体积浓度)。

[0061] 步骤f中计算机14对两路数据进行处理具体是:计算机14首先对两路数据进行噪声分析、背景扣除及平滑滤波等技术处理;接着根据两路数据分别计算待测气体的种类和浓度,可得出两组结果。

[0062] 计算机14根据数据采集卡12输出的数据进行处理,具体是:首先根据接收到的数据获得待测气体的吸收光谱图(该步骤可通过origin软件来实现);然后将吸收光谱图中的吸收峰与Hitran数据库中现有气体的吸收峰进行比对,得出待测气体的种类;接着根据已知种类气体对光信号的吸收强度与气体浓度之间的线性关系,再结合吸收光谱图中吸收峰

的强度,得出已知种类气体的浓度。已知种类气体对光信号的吸收强度与气体浓度之间的线性关系,可预先通过相应实验获知,或可通过相应的数据模型得到,在matlab或origin软件中均可实现。

[0063] 计算机14根据近红外光谱仪13输出的数据进行处理,具体是:首先根据近红外光谱仪13输出的数据找出吸收峰,并将吸收峰与Hi tran数据库中现有气体的吸收峰进行比对,得出待测气体的种类;然后根据近红外光谱仪13输出的数据,找出激光被气体吸收前后的光强及光强变化,根据吸收前后光强及光强的变化即可计算出已知种类气体的浓度。

[0064] 计算机14根据两路数据所得到的两组计算结果,其待测气体的种类是相同的,待测气体的浓度可能会存在差别,但是差别也在不确定度允许范围内。一般以根据数据采集卡12输出的数据计算的结果为准,因为根据这一路数据计算的结果,可以测量浓度极低情况下的待测气体。

[0065] 通过本发明中的方法,既可检测怀特型长光程气体吸收池里的密封气体,也可检测开放式光路中的气体。

[0066] 实施例4

在实施例1的基础上,本实施例中超连续谱激光器1用于产生超连续谱皮秒脉冲激光,其型号为:SC400-4,光学滤波器2为LLTF光学滤波器(激光可调谐光学滤波器),其型号为:FELH800,吸收池9为怀特型长光程吸收池,其型号为:35-V-H,光电探测器10型号为:PDA50B,数据采集卡12型号为:USB-4716,激光驱动器4型号为:LDC-3908,调制信号发生器8型号为:FLUKE284,锁相放大器11型号为:SR844,近红外光谱仪13型号为:NQ512-2.5。

[0067] 使图1中吸收池9的进气口9-1与动态气体校准仪相连接,动态气体校准仪连接一个零气瓶和一个标气瓶,零气瓶即是高纯度氮气瓶(盛装有浓度为99.9%的氮气),标气瓶即是CO<sub>2</sub>容器,通过动态气体校准仪可调整通入吸收池9内N<sub>2</sub>和CO<sub>2</sub>气体的浓度(这里指气体的体积浓度)。使进气口9-1与动态气体校准仪相连接,是为了对本发明中的气体检测装置和方法进行验证。为减少标准具产生干涉条纹干扰,本实施例大体分两步进行,首先向吸收池中通入氮气(高纯度氮气对所需波段的光不吸收),探测的信号作为背景信号,之后向吸收池中通入所需浓度的CO<sub>2</sub>气体,此时探测信号是经过背景扣除后能较好反应CO<sub>2</sub>气体吸收特性的信号。

[0068] 本实施例中气体检测方法如下:

1、按照超连续谱激光器面板上的开机顺序,打开预热15min的超连续谱激光器1,使其产生超连续谱激光。超连续谱激光依序经光学滤波器2和光阑3。

[0069] 2、在激光驱动器4中输入二极管激光器5工作所需的电流和温度,调制信号发生器8通过激光驱动器4提供给二极管激光器5锯齿波调制信号和方波信号,方波信号频率为20kHz,锯齿波调制信号频率为50Hz;调制信号发生器8还提供给锁相放大器11参考信号,参考信号为频率40kHz的方波。二极管激光器5输出的可调谐激光输出给准直器6。此步骤中的可调谐激光的波长范围与步骤1中的超连续谱激光的波长范围一般情况下是不同的,但是,应保证两者中至少一者可被待测气体吸收。当然,通过设置使得两束激光的波长范围相同也是可以的。

[0070] 3、光阑3出射的超连续谱激光和由准直器6出射的可调谐激光,这两束不同波长的激光经光纤进入光纤合波器7,经合并后出射至吸收池9的第一反射镜9-3上,微调第一反射

镜9-3的四维镜架,尽可能多的在吸收池9内反射镜的凹面上形成光点。经统计,本实施例中光点数为21,计算光程为26.4m。

[0071] 4、安装光学滤光片(即在光学滤波器2上安装光学滤光片),在PHySpecV2中设定自动扫描波长,在LABVIEW所编软件中设置所需参数进行波形数据采集。当然,也可以在打开超连续谱激光器之前就设置好此步骤。

[0072] 5、由吸收池9出射的激光经第二反射镜9-4后被一分二光纤分为两路光信号;其中一路光信号入射光电探测器10,光电探测器10接收光信号并转化为电信号,光电探测器10输出的电信号入射锁相放大器11,锁相放大器11对接收的电信号进行解调后输出谐波信号给数据采集卡12,数据采集卡12接收锁相放大器11输出的谐波信号并进行模数转换,之后输出给计算机14;另一路光信号入射近红外光谱仪13,然后由近红外光谱仪13直接输出给计算机14。计算机14根据近红外光谱仪13输出的结果即可得出激光对气体(此处为氮气)的吸收光谱图。

[0073] 6、将吸收池9中氮气排出,替换为被检测气体CO<sub>2</sub>,在设置好的LABVIEW软件中设置所需参数,由数据采集卡12和近红外光谱仪13采集数据传入计算机14。计算机14对数据采集卡12和近红外光谱仪13输出的两路数据分别进行处理,处理时,首先去除背景信号,即去除步骤5中充入氮气时相应的数据,其次还要进行噪声分析、平滑滤波等技术处理;接着根据两路数据计算待测气体的种类和浓度,可得出两组结果。

[0074] 计算机14根据数据采集卡12输出的数据进行处理,具体是:首先根据接收到的数据获得待测气体的吸收光谱图(该步骤可通过origin软件来实现);然后将吸收光谱图中的吸收峰与Hitran数据库中现有气体的吸收峰进行比对,得出待测气体的种类;接着根据已知种类气体对光信号的吸收强度与气体浓度之间的线性关系,再结合吸收光谱图中吸收峰的强度,得出已知种类气体的浓度。已知种类气体对光信号的吸收强度与气体浓度之间的线性关系,可预先通过相应实验获知,或可通过相应的数据模型得到,在matlab或origin软件中均可实现。

[0075] 计算机14根据近红外光谱仪13输出的数据进行处理,具体是:首先根据近红外光谱仪13输出的数据找出吸收峰,并将吸收峰与Hitran数据库中现有气体的吸收峰进行比对,得出待测气体的种类;然后根据近红外光谱仪13输出的数据,找出激光被气体吸收前后的光强及光强变化,根据吸收前后光强及光强的变化即可计算出已知种类气体的浓度。

[0076] 计算机14根据两路数据所得到的两组计算结果,其待测气体的种类是相同的,待测气体的浓度可能会存在差别,但是差别也在不确定度允许范围内。一般以根据数据采集卡12输出的数据计算的结果为准,因为根据这一路数据计算的结果,可以测量浓度极低情况下的待测气体。

[0077] 通过动态气体校准仪向吸收池9内通入体积浓度已知的CO<sub>2</sub>气体,最后将计算结果与已知的气体种类、浓度进行对比,即可实现对本发明的验证。

[0078] 通过实验结果表明,本发明中的方法和装置用于气体检测具有极高的准确性和有效性。需要说明的是,本发明中的方法和装置,既适用于一种气体的检测,还适用于两种或两种以上气体的检测。

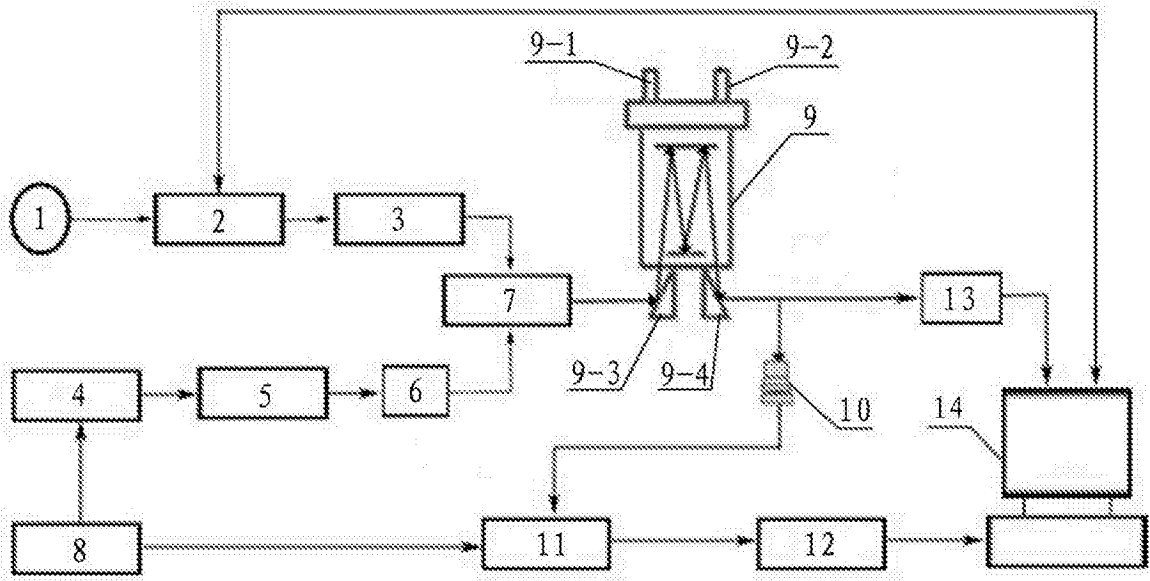


图1

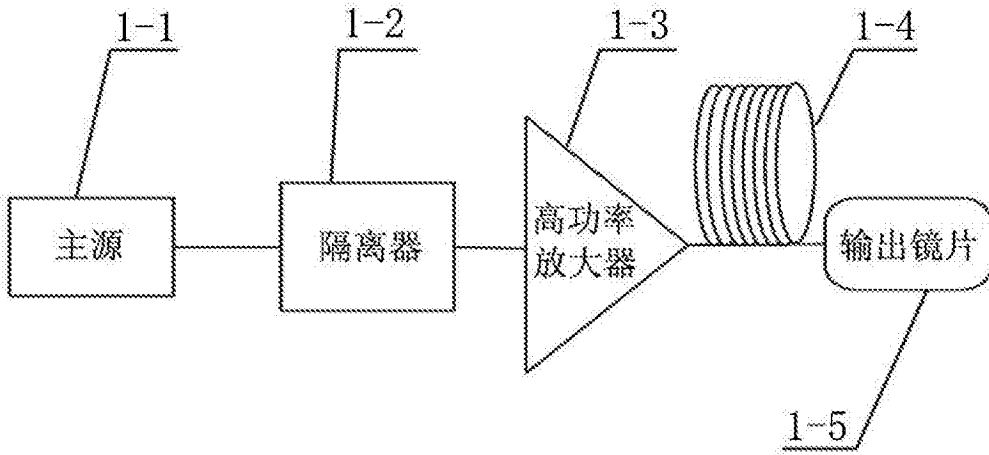


图2

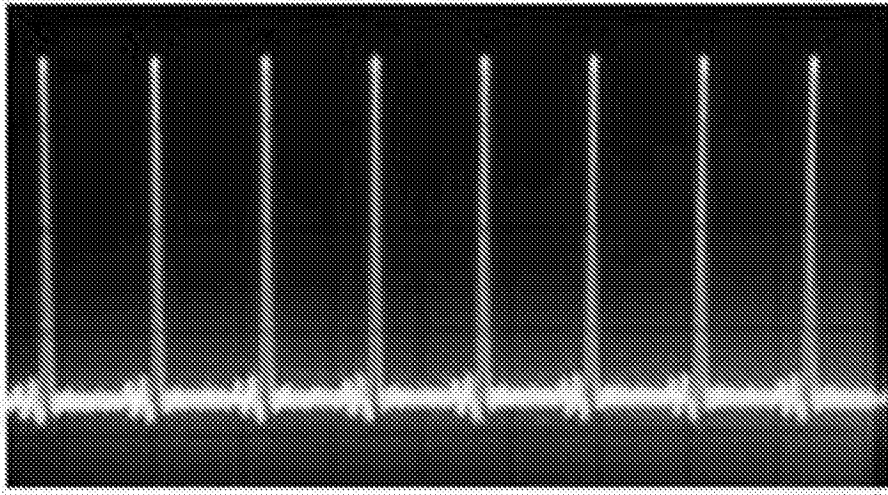


图3