



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113433072 B

(45) 授权公告日 2023.04.28

(21) 申请号 202010207453.7

审查员 游清萍

(22) 申请日 2020.03.23

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113433072 A

(43) 申请公布日 2021.09.24

(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 赵焱 齐云 何海律

(74) 专利代理机构 深圳中一专利商标事务所

44237

专利代理师 高星

(51) Int. Cl.

G01N 21/17 (2006.01)

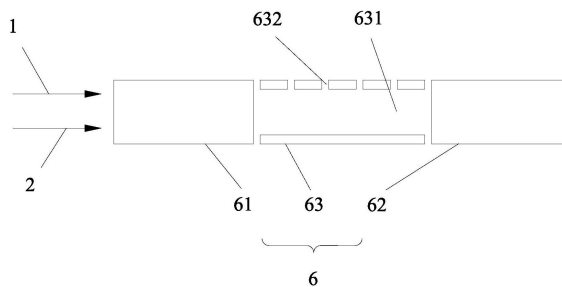
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种气体浓度传感器和气体浓度检测装置

(57) 摘要

本申请适用于气体测量传感装置技术领域，提供了一种气体浓度传感器和气体浓度检测装置，气体浓度传感器包括依次设置的第一光纤、空芯光子晶体光纤和第二光纤，空芯光子晶体光纤呈空心的管状结构，且空芯光子晶体光纤的管状结构内部形成声学谐振腔，探测光和泵浦光均从第一光纤远离空芯光子晶体光纤的一端入射。实现了光声光谱学传感器探头的小型化，能够适用于微量气体、微小空间等情形下的测量；只需要延长光纤即可进行远距离测量；光声声波信息充斥在整个声学谐振腔中，通过检测探测光在声学谐振腔中的相位差检测光声信息，提高了对声学谐振腔中的声波信息的利用率；同时还能够避免引入麦克风造成的声学谐振腔品质因数的降低。



1. 一种气体浓度检测装置,其特征在于,包括气体浓度传感器,所述气体浓度传感器包括依次设置的第一光纤、空芯光子晶体光纤和第二光纤,所述空芯光子晶体光纤呈空心的管状结构,且所述空芯光子晶体光纤的管状结构内部形成声学谐振腔,探测光和泵浦光均从所述第一光纤远离所述空芯光子晶体光纤的一端入射;所述气体浓度检测装置还包括用于产生所述泵浦光的泵浦光源、用于产生所述探测光的探测光源,以及用于检测所述气体浓度传感器的光信号的检测组件,所述泵浦光源和所述探测光源均连接在所述第一光纤远离所述空芯光子晶体光纤的一端,且所述检测组件通过检测所述探测光的干涉状态获取气体的浓度参数;

所述探测光源包括探测光激光器,以及用于调整所述探测光的偏振状态的探测光起偏器,所述泵浦光源包括泵浦光激光器、用于调整所述泵浦光的偏振状态的泵浦光起偏器、用于调整所述泵浦光的光强度的声光调制器,以及用于控制所述声光调制器的射频源,所述气体浓度检测装置还包括波分复用器,所述探测光和所述泵浦光经所述波分复用器耦合至所述第一光纤;

所述泵浦光激光器采用半导体激光器,发生的泵浦光首先经过所述声光调制器对强度进行调制,所述声光调制器收到所述射频源的控制,同时所述半导体激光器通过控制温度使中心波长在一定范围内扫描,经过调制的泵浦光的光波频率在一定范围内进行扫描,以形成泵浦光频率-气体分子吸收率的对应关系曲线,进而获得气体分子的吸收峰位置;所述射频源的载波频率落在所述声学谐振腔的谐振频率范围内,使所述声学谐振腔内引起谐振,增强信号强度;

所述探测光在所述气体浓度传感器处发生双模干涉,所述检测组件连接所述第二光纤远离所述空芯光子晶体光纤的一端;

在采用双模干涉时,所述空芯光子晶体光纤偏离所述第一光纤和所述第二光纤的共同轴线设置,探测光在所述空芯光子晶体光纤中具有多个传感模式,不同传播模式下的探测光具有不同的光场分布,在光声声场的影响下,探测光的不同模式下产生不同的相位差,第一模式下相位差为 Φ_1 ,第二模式下相位差为 Φ_2 ;两个模式的探测光在进入第二光纤时产生双模干涉,光强度随着 Φ_1 和 Φ_2 的差值不同,也存在不同,通过检测从第二光纤出射的探测光的强度信息,得到 Φ_1 和 Φ_2 的差值信息,从而得到泵浦光被待测气体吸收的情况,双模干涉结果会随着光声声场发生变化,双模干涉的干涉强度,同样反映气体对不同波长的泵浦光的吸收程度,通过测量吸收峰的位置和吸收峰的强度,确定待测气体的种类和浓度;

所述探测光在所述气体浓度传感器处发生法布里-珀罗干涉,所述气体浓度检测装置还包括设置于所述探测光激光器和所述第一光纤之间的光环形器,所述检测组件连接所述光环形器,且所述光环形器被配置为使所述探测光激光器发出的所述探测光照射所述气体浓度传感器后,被所述检测组件接收;

所述光环形器设置于所述探测光起偏器和所述波分复用器之间;

所述检测组件包括沿所述探测光的光路依次设置的滤波器和光探测器,还包括与所述光探测器信号连接的锁相放大器,所述锁相放大器与所述射频源信号连接。

2. 如权利要求1所述的气体浓度检测装置,其特征在于,所述检测组件还包括用于处理和记录所述锁相放大器得到的数据的处理器。

一种气体浓度传感器和气体浓度检测装置

技术领域

[0001] 本发明涉及气体测量传感装置技术领域,具体涉及一种气体浓度传感器和气体浓度检测装置。

背景技术

[0002] 气体成分或者浓度的探测对于环境气候监测、工业农业生产,以及医学诊断等领域有着非常重要的意义。随着激光技术、弱信号检测技术的发展,光声光谱技术逐渐进入大众视野,光声光谱技术是一种无背景噪音的探测气体浓度的方式,具备灵敏度高和选择性强的优点。

[0003] 传统方案中,基于光声光谱学的气体浓度传感器的声学谐振腔设置于自由空间中,通过一光纤准直器将探测光耦合至圆柱形的声学谐振腔内。这样的光声光谱学气体浓度传感器受光纤准直器以及麦克风尺寸的限制,声学谐振腔的尺寸较大,在特殊的需要微型探测器的场景中,上述方法难以满足传感器小型化要求。

发明内容

[0004] 本申请的目的在于提供一种气体浓度传感器,旨在解决传统的光声光谱学气体浓度传感器体积过大的技术问题。

[0005] 本申请是这样实现的,一种气体浓度传感器,包括依次设置的第一光纤、空芯光子晶体光纤和第二光纤,所述空芯光子晶体光纤呈空心的管状结构,且所述空芯光子晶体光纤的管状结构内部形成声学谐振腔,探测光和泵浦光均从所述第一光纤远离所述空芯光子晶体光纤的一端入射。

[0006] 在本申请的一个实施例中,所述空芯光子晶体光纤开设有若干气孔,所述气孔连通所述空芯光子晶体光纤的管状结构的内侧与外侧。

[0007] 在本申请的一个实施例中,所述第一光纤和所述第二光纤采用单模光纤。

[0008] 本申请的另一目的在于提供了一种包括了如上所述的气体浓度传感器的气体浓度检测装置,所述气体浓度检测装置还包括用于产生所述泵浦光的泵浦光源、用于产生所述探测光的探测光源,以及用于检测所述气体浓度传感器的光信号的检测组件,所述泵浦光源和所述探测光源均连接在所述第一光纤远离所述空芯光子晶体光纤的一端,且所述检测组件通过检测所述探测光的干涉状态获取气体的浓度参数。

[0009] 在本申请的一个实施例中,所述探测光源包括探测光激光器,以及用于调整所述探测光的偏振状态的探测光起偏器,所述泵浦光源包括泵浦光激光器、用于调整所述泵浦光的偏振状态的泵浦光起偏器、用于调整所述泵浦光的光强度的声光调制器,以及用于控制所述声光调制器的射频源,所述气体浓度检测装置还包括波分复用器,所述探测光和所述泵浦光经所述波分复用器耦合至所述第一光纤。

[0010] 在本申请的一个实施例中,所述探测光在所述气体浓度传感器处发生法布里-珀罗干涉,所述气体浓度检测装置还包括设置于所述探测光激光器和所述第一光纤之间的光

环形器,所述检测组件连接所述光环形器,且所述光环形器被配置为使所述探测光激光器发出的所述探测光照射所述气体浓度传感器后,被所述检测组件接收。

[0011] 在本申请的一个实施例中,所述光环形器设置于所述探测光起偏器和所述波分复用器之间。

[0012] 在本申请的一个实施例中,所述探测光在所述气体浓度传感器处发生双模干涉,所述检测组件连接所述第二光纤远离所述空芯光子晶体光纤的一端。

[0013] 在本申请的一个实施例中,所述检测组件包括沿所述探测光的光路依次设置的滤波器和光探测器,还包括与所述光探测器信号连接的锁相放大器,所述锁相放大器与所述射频源信号连接。

[0014] 在本申请的一个实施例中,所述检测组件还包括用于处理和记录所述锁相放大器得到的数据的处理器。

[0015] 实施本申请的一种气体浓度传感器,至少具有以下有益效果:

[0016] 相较于传统方案中在自由空间形成声学谐振腔的方案,本实施例提供的方案在空芯光子晶体光纤的内部空腔内形成微型的声学谐振腔,同时利用激光干涉的原理检测探测光的相位差,以代替传统方案中采用石英音叉、多层石墨烯光声探头这样的麦克风探头。这样一来,实现了光声光谱学传感器探头的小型化,使之能够适用于微量气体、微小空间等情形下的测量;且只需要延长光纤即可进行远距离测量;由于声波信息是充斥在整个声学谐振腔中的,通过检测探测光在声学谐振腔中的相位差检测光声信息,提高了对声学谐振腔中的声波信息的利用率;同时还能够避免引入麦克风造成的声学谐振腔品质因数的降低。

附图说明

[0017] 为了更清楚地说明本申请实施例中的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0018] 图1是本申请实施例提供的气体浓度传感器的结构示意图;

[0019] 图2是本申请的一个实施例提供的气体浓度检测装置的结构示意图;

[0020] 图3是本申请的另一实施例提供的气体浓度检测装置的结构示意图;

[0021] 图4是本申请实施例提供的气体浓度检测装置调试射频源的谐波频率时的声学谐振腔的响应曲线;

[0022] 图5是本申请实施例提供的气体浓度检测装置测量某浓度乙炔气体时的输出曲线。

[0023] 上述附图所涉及的标号明细如下:

[0024] 1-探测光;11-探测光激光器;12-探测光起偏器;2-泵浦光;21-泵浦光激光器;22-泵浦光起偏器;23-声光调制器;31-波分复用器;32-环形器;33-射频源;41-滤波器;42-光探测器;43-锁相放大器;5-处理器;6-气体浓度传感器;61-第一光纤;62-第二光纤;63-空芯光子晶体光纤;631-声学谐振腔;632-气孔。

具体实施方式

[0025] 为了使本申请的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本申请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用以解释本申请,并不用于限定本申请。

[0026] 需说明的是,当部件被称为“固定于”或“设置于”另一个部件,它可以直接或者间接位于该另一个部件上。当一个部件被称为“连接于”另一个部件,它可以是直接或者间接连接至该另一个部件上。术语“上”、“下”、“左”、“右”、“前”、“后”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”等指示的方位或位置为基于附图所示的方位或位置,仅是为了便于描述,不能理解为对本技术方案的限制。术语“第一”、“第二”仅用于便于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明技术特征的数量。“多个”的含义是两个或两个以上,除非另有明确具体的限定。

[0027] 为了说明本申请所述的技术方案,以下结合具体附图及实施例进行详细说明。

[0028] 请参阅图1,本实施例提供了一种气体浓度传感器6,包括依次设置的第一光纤61、空芯光子晶体光纤63和第二光纤62,空芯光子晶体光纤63沿一直线光轴设置,第一光纤61和第二光纤62均沿该光轴设置;空芯光子晶体光纤63呈空心的管状结构,且空芯光子晶体光纤63的管状结构内部形成声学谐振腔631,探测光1和泵浦光2均从第一光纤61远离空芯光子晶体光纤63的一端入射。

[0029] 具体而言,本实施例提供的气体浓度传感器6是这样工作的:

[0030] 在本实施例中,泵浦光2被调制为载波,其载波频率落在空芯光子晶体光纤63的谐振频率范围内,且泵浦光2本身的光波频率在气体分子的吸收峰附近进行扫描。这样一来,泵浦光2与气体分子相互作用,产生光声声场,光声声场的产生频率等于泵浦光2的载波频率,进一步落在空芯光子晶体光纤63的谐振频率范围内,因此光声声场能够在声学谐振腔631中被增强。探测光1入射后,在光声声场的影响下探测光1的相位发生变化,通过如激光干涉的方法对探测光1的相位变化加以检测,即可得到气体分子对各个频率上的泵浦光2的吸收率,最终经计算即可得到气体分子的浓度。

[0031] 实施本实施例提供的气体浓度传感器6,至少能够达到以下技术效果:

[0032] 相较于传统方案中在自由空间形成声学谐振腔631的方案,本实施例提供的方案在空芯光子晶体光纤63的内部空腔内形成微型的声学谐振腔631,同时利用激光干涉的原理检测探测光1的相位差,以代替传统方案中采用石英音叉、多层石墨烯光声探头这样的麦克风探头。这样一来,实现了光声光谱学传感器探头的小型化,使之能够适用于微量气体、微小空间等情形下的测量;且只需要延长光纤即可进行远距离测量;由于声波信息是充斥在整个声学谐振腔631中的,通过检测探测光1在声学谐振腔631中的相位差检测光声信息,提高了对声学谐振腔631中的声波信息的利用率;同时还能够避免了引入麦克风造成的声学谐振腔631品质因数的降低。

[0033] 应当理解,对于采用法布里-珀罗干涉原理进行测量的情景,第一光纤61、空芯光子晶体光纤63和第二光纤62应当是同轴设置的,此时探测光1在声学谐振腔631中存在一个相位的递增因子,探测光1的干涉结果能够直接计算出该递增因子,通过检测得到该递增因子即可得到待测气体对泵浦光2的吸收强度;对于采用双模干涉的情景,空芯光子晶体光纤63应当是偏离第一光纤61和第二光纤62的共同轴线设置的,此时空芯光子晶体光纤63中存

在不同的传播模式,不同模式下探测光1的光程不同,通过检测不同模式传播的探测光1在通过声学谐振腔631后产生的相位差,即可获得待测气体对泵浦光2的吸收强度。下文会进行更加详细的说明。

[0034] 请参阅图1,作为本实施例的一个具体方案,第一光纤61与空芯光子晶体光纤63的端面垂直于光轴设置,空芯光子晶体光纤63与第二光纤62的端面垂直于光轴设置,这样,第一光纤61与空芯光子晶体光纤63的端面平行于空芯光子晶体光纤63与第二光纤62的端面,两端面之间形成一个法布里-珀罗干涉腔,可以通过测量探测光1经过法布里-珀罗干涉腔后的强度,获知空芯光子晶体光纤63内探测光1的相位差,经进一步的计算即可得到空芯光子晶体光纤63内某种特定气体的含量。

[0035] 请参阅图1,在本申请的一个实施例中,空芯光子晶体光纤63开设有若干气孔632,气孔632连通声学谐振腔631与空芯光子晶体光纤63的管状结构的外侧。通过开设有用于供气体流通的气孔632,这样可以在不影响空芯光子晶体光纤63与第一光纤61或者第二光纤62的连接的前提下,保证空芯光子晶体光纤63内外的空气流通。

[0036] 在本申请的一个实施例中,第一光纤61和第二光纤62采用单模光纤。采用单模光纤可以使得光在第一光纤61和第二光纤62中传播时,仅有一个传播模式,进而能够实现探测光1的法布里-珀罗干涉或者双模干涉。

[0037] 请参阅图2和图3,本申请的另一目的在于提供了一种包括了如上所述的气体浓度传感器6的气体浓度检测装置,气体浓度检测装置还包括用于产生泵浦光2的泵浦光2源、用于产生探测光1的探测光1源,以及用于检测气体浓度传感器6的光信号的检测组件,泵浦光2源和探测光1源均连接在第一光纤61远离空芯光子晶体光纤63的一端,且检测组件通过检测探测光1的干涉状态获取气体的浓度参数。

[0038] 具体而言,本实施例提供的气体浓度检测装置是这样工作的:

[0039] 在本实施例中,泵浦光2源和探测光1源分别产生泵浦光2和探测光1,泵浦光2被调制为载波,其载波频率落在空芯光子晶体光纤63的谐振频率范围内,且泵浦光2本身的光波频率在气体分子的吸收峰附近进行扫描。泵浦光2源和探测光1源均通过光纤连接在第一光纤61远离空芯光子晶体光纤63的一端,泵浦光2与空芯光子晶体光纤63内的气体分子相互作用,产生光声声场,光声声场的产生频率等于泵浦光2的载波频率,进一步落在空芯光子晶体光纤63的谐振频率范围内,因此光声声场能够在声学谐振腔631中被增强。探测光1入射后,在光声声场的影响下探测光1的相位发生变化,检测组件连接第一光纤61或者第二光纤62,对探测光1的相位差进行检测,即可得到气体分子对各个频率上的泵浦光2的吸收率,最终经计算即可得到气体分子的浓度。

[0040] 实施本实施例提供的气体浓度传感器6,至少能够达到以下技术效果:

[0041] 相较于传统方案中在自由空间形成声学谐振腔631并采用麦克风探头(如石英音叉、多层石墨烯光声探头等)检测声信息的方案,本实施例提供的方案在空芯光子晶体光纤63的内部空腔内形成微型的声学谐振腔631,同时利用激光干涉的原理检测探测光1的相位差,直接检测声学谐振腔631内的气体的光信息。这样一来,实现了光声光谱学传感器探头的小型化,使之能够适用于微量气体、微小空间等情形下的测量;且只需要延长光纤即可将泵浦光2源、探测光1源,以及检测组件设置在距离待测气体较远的位置,实现了远距离测量;同时提高了对声学谐振腔631中的声波信息的利用率,避免了引入麦克风造成的声学谐

振腔631品质因数的降低。

[0042] 请参阅图2和图3,在本申请的一个实施例中,探测光1源包括探测光激光器11,以及用于调整探测光1的偏振状态的探测光起偏器12,泵浦光2源包括泵浦光激光器21、用于调整泵浦光2的偏振状态的泵浦光起偏器22、用于调整泵浦光2的光强度的声光调制器23,以及用于控制声光调制器23的射频源33,气体浓度检测装置还包括波分复用器31,探测光1和泵浦光2经波分复用器31耦合至第一光纤61。

[0043] 请参阅图2和图3,作为本实施例的一个具体方案,泵浦光激光器21采用半导体激光器,发生的泵浦光2首先经过声光调制器23对其强度和频率进行调制,声光调制器23收到射频源33的控制,同时半导体激光器通过控制其温度使其中心波长在一定的范围内扫描。经过调制的泵浦光2的光波频率可以在一定范围内进行扫描,以形成泵浦光2频率-气体分子吸收率的对应关系曲线,进而获得气体分子的吸收峰位置;载波频率则落在声学谐振腔631的谐振频率范围内,以使得泵浦光2在声学谐振腔631内引起谐振,增强信号强度。经过调制的泵浦光2进一步经过泵浦光起偏器22成为具有固定偏振状态的偏振光。探测光激光器11则采用外腔激光器,经过探测光起偏器12调节并固定探测光1的偏振状态后,再通过波分复用器31与泵浦光2耦合,两束光再从同一侧单模光纤处入射到气体浓度传感器6中,在气体浓度传感器6中探测光1的相位发生变化,进而通过探测光1本身的干涉图样对其相位变化进行测量,最终获得待测气体对各波长的泵浦光2的吸收率,得到待测气体的吸收峰。

[0044] 请参阅图2,在本申请的一个实施例中,探测光1在气体浓度传感器6处发生法布里-珀罗干涉,气体浓度检测装置还包括设置于探测光激光器11和第一光纤61之间的光环形器32,检测组件连接光环形器32,且光环形器32被配置为使探测光激光器11发出的探测光1照射气体浓度传感器6后,被检测组件接收。具体而言,光环形器32被配置为使探测光激光器11发出的光向第一光纤61的方向照射,使从第一光纤61的方向照来的光向检测组件的方向照射。

[0045] 在本实施例中,检测组件通过法布里-珀罗干涉原理对探测光1的相位的递增因子进行检测。探测光1在空芯光子晶体光纤63的两端多次反射,其相位差递增且存在一特定的递增因子,相位差递增且亮度成比例递减的探测光1形成法布里-珀罗干涉;在光声场的影响下,探测光1的光程变化,相位递增因子随之变化,进而探测光1形成的法布里-珀罗干涉图样发生变化;法布里-珀罗干涉条纹的半角宽度随着探测光1在空芯光子晶体光纤63内的光程的增大而减小,进而可以根据法布里-珀罗干涉条纹的半角宽度确定待测气体吸收峰的位置和吸收峰的强度,确定待测气体的种类和浓度。

[0046] 请参阅图2,在本申请的一个实施例中,光环形器32设置于探测光起偏器12和波分复用器31之间。这样做的好处在于,由于从空芯光子晶体光纤63反射回来的探测光1必然是夹杂着泵浦光2的,将光环形器32设置于探测光起偏器12和波分复用器31之间,可以使得反射的探测光1信号在波分复用器31处滤除一部分泵浦光2,同时避免反射的探测光1信号再次经过探测光起偏器12造成能量损失。

[0047] 请参阅图3,在本申请的一个实施例中,探测光1在气体浓度传感器6处发生双模干涉,检测组件连接第二光纤62远离空芯光子晶体光纤63的一端。在采用双模干涉的方案中,空芯光子晶体光纤63偏离第一光纤61和第二光纤62的共同轴线设置。探测光1在空芯光子晶体光纤63中具有多个传播模式,不同传播模式下的探测光1具有不同的光场分布。在光声

声场的影响下,探测光1的不同模式下产生了不同的相位差,比如,第一模式下相位差为 ϕ_1 ,第二模式下相位差为 ϕ_2 ;两个模式的探测光1在进入第二光纤62时产生双模干涉,其光强度随着 ϕ_1 和 ϕ_2 的差值不同,也在存不同,通过检测从第二光线62出射的探测光1的强度信息,即可得到 ϕ_1 和 ϕ_2 的差值信息,进一步得到泵浦光2被待测气体吸收的情况。双模干涉结果会随着光声声场发生变化。双模干涉的干涉强度,同样能够反映气体对不同波长的泵浦光2的吸收程度,通过测量吸收峰的位置和吸收峰的强度,即可确定待测气体的种类和浓度。

[0048] 请参阅图2和图3,在本申请的一个实施例中,检测组件包括沿探测光1的光路依次设置的滤波器41和光探测器42,还包括与光探测器42信号连接的锁相放大器43,锁相放大器43与射频源33信号连接。滤波器41用于滤除光信号中残余的泵浦光2;射频源33驱动声光调制器23的同时,也为锁相放大器43提供参考信号,锁相放大器43检测光弹词器输出的探测光1光信号,进而根据参考信号将探测光1光信号中的一次谐波信号分离,获得气体对泵浦光2的吸收强度参数;泵浦光2的频率在一定范围内扫描,即可得到气体的吸收光谱。

[0049] 请参阅图2和图3,在本申请的一个实施例中,检测组件还包括用于处理和记录锁相放大器43得到的数据的处理器5。

[0050] 作为本实施例的一个具体方案,处理器5储存有待测气体浓度为0时的校准数据,处理器5在接收到的锁相放大器43测得的数据的基础上减去校准数据,即得到最终的气体浓度数据。

[0051] 图4展示了以上实施例提供的气体浓度检测设备的声学谐振腔632的响应曲线。在泵浦光2中心波长对准某已知气体的吸收线时,随着光声调制器23的调制频率扫描过不同频率,由锁相放大器43检测出的一阶信号的幅值显示出多个不同的谐振峰。在进行待测气体分子测量时,光声调制器23的频率对准某一个谐振峰以增强光声信号。

[0052] 图5展示了以上实施例提供的气体浓度检测设备器测量待测气体的信号图形。随着泵浦光2中心波长调谐扫描过待测气体吸收线,可以由锁相放大器43的输出得到一阶信号。该一阶信号的幅值为待测气体的光声信号。当待测气体环境中乙炔待测气体浓度为0时,锁相放大器43输出的一阶信号为系统噪声。本系统在泵浦光2功率为125毫瓦,积分时间为170秒时,由阿伦方差分析得出的最小可探测灵敏度为17ppb (Part per billion,十亿分之一)。

[0053] 以上所述仅为本申请的可选实施例而已,并不用以限制本申请,凡在本申请的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本申请的保护范围之内。

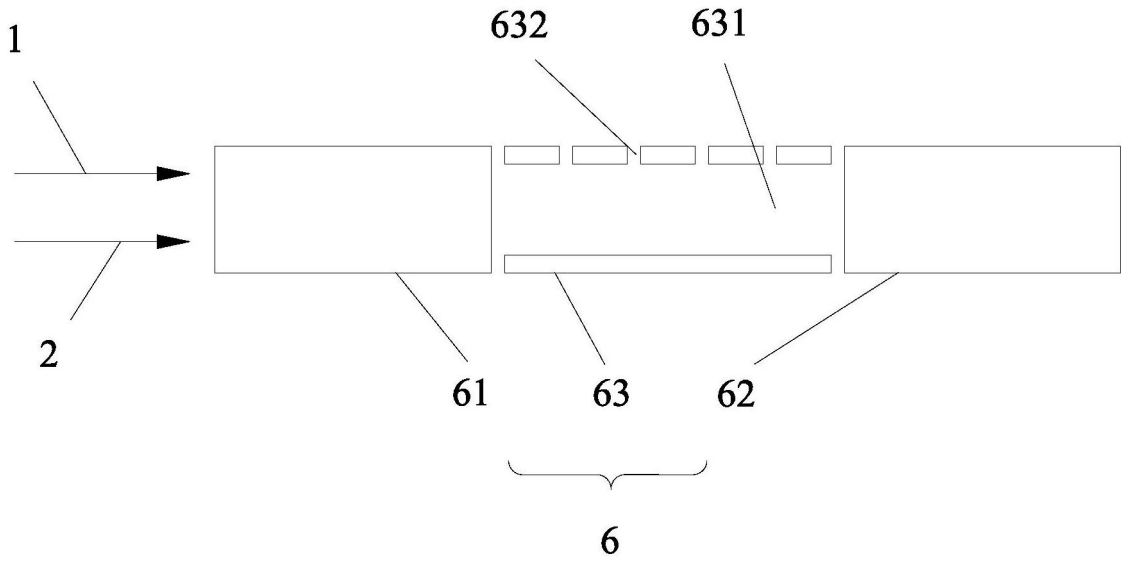


图1

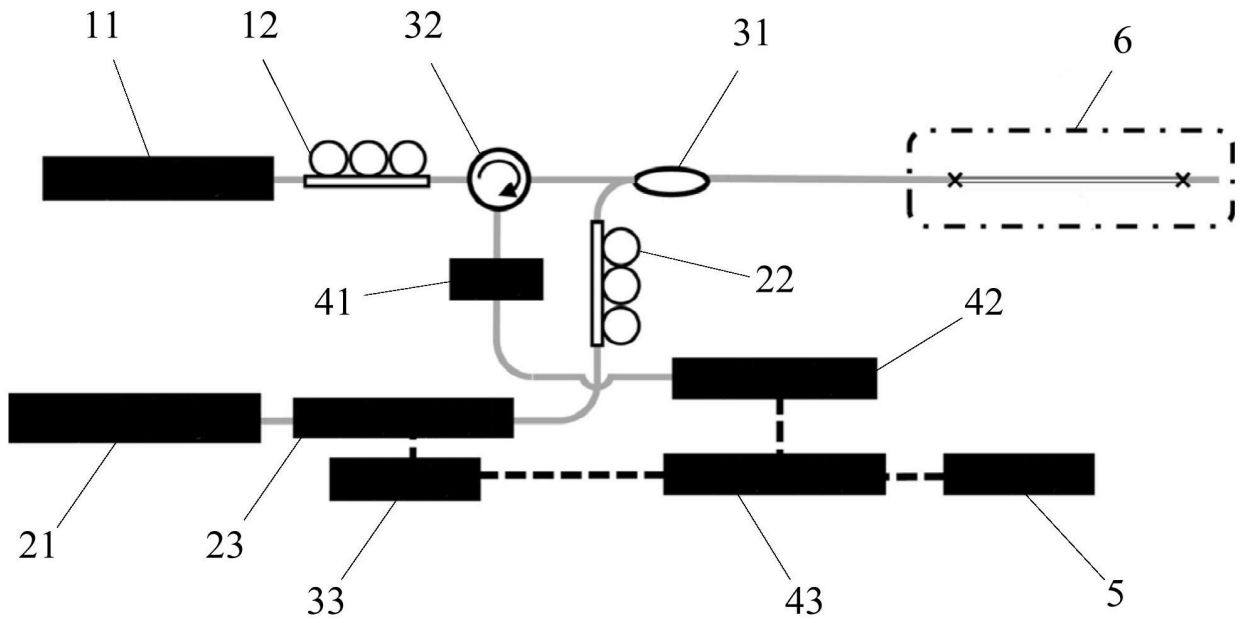


图2

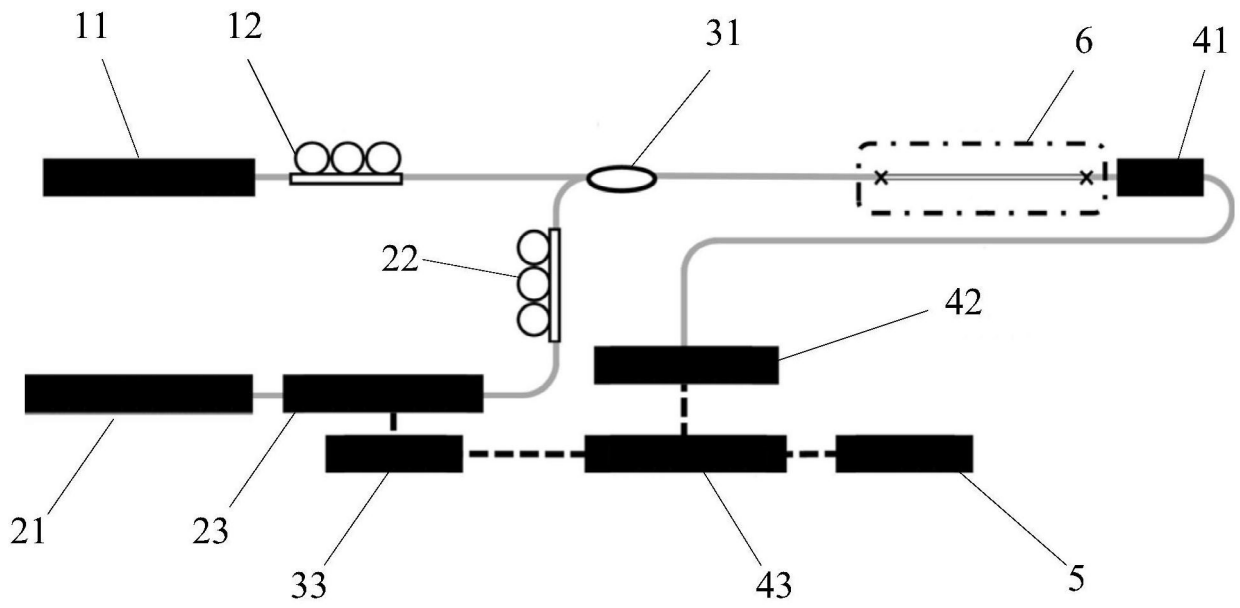


图3

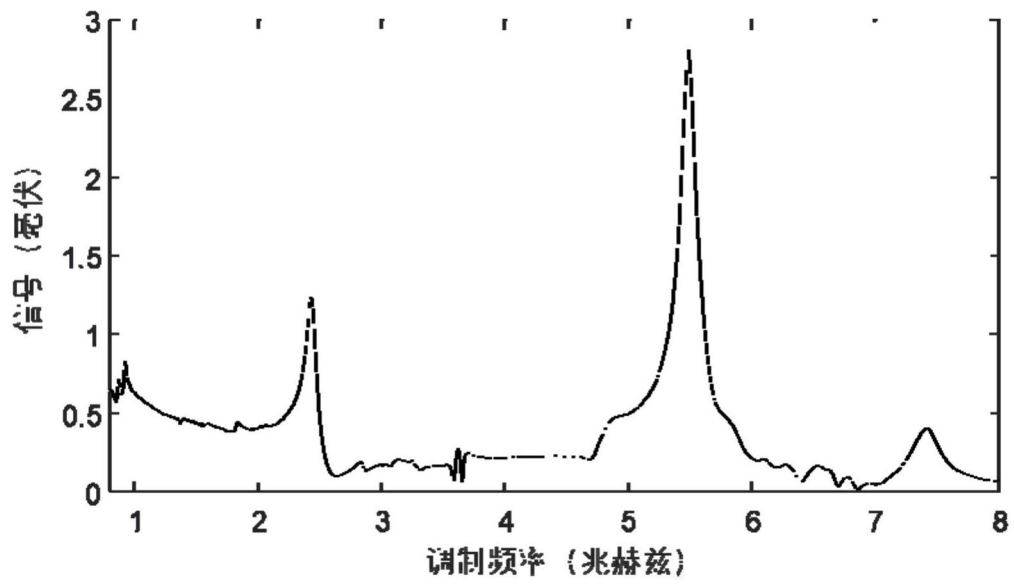


图4

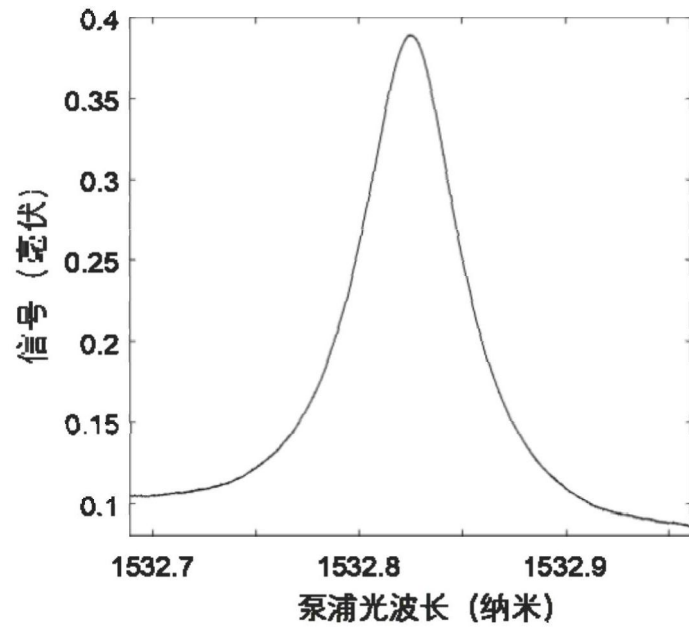


图5