



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117347344 A

(43) 申请公布日 2024.01.05

(21) 申请号 202311193764.2

(22) 申请日 2023.09.15

(71) 申请人 福州京东方光电科技有限公司

地址 350300 福建省福州市福清市石竹街  
道西环北路36号

申请人 京东方科技集团股份有限公司

(72) 发明人 林剑涛 刘耀

(74) 专利代理机构 北京金信知识产权代理有限公司 11225

专利代理师 崔家源

(51) Int. Cl.

G01N 21/65 (2006.01)

G01N 21/03 (2006.01)

权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种激光拉曼气体检测装置及方法

(57) 摘要

本申请提供一种激光拉曼气体检测装置及方法,其中的装置包括光源组件、反射腔和光谱分析组件,所述光源组件向反射腔内提供不同光路的入射激光;所述反射腔的内表面围成容纳待检测气体的气室,内表面构造为具有多个反射位,所述不同光路的入射激光分别经多个反射位在气室中循环反射;所述光谱分析组件,包括用于采集激光和待检测气体反应产生的球面拉曼散射光,以提供拉曼光谱信号的光谱仪。本申请的激光拉曼气体检测装置不仅可以实现多种混合气体的实时高精度检测,还具有结构简单、灵敏度高、响应速度快和抗电磁干扰的优点。



1. 一种激光拉曼气体检测装置,其特征在于,包括光源组件、反射腔和光谱分析组件,其中:

所述光源组件向反射腔内提供不同光路的入射激光;

所述反射腔的内表面围成容纳待检测气体的气室,内表面构造为具有多个反射位,所述不同光路的入射激光分别经多个反射位在气室中循环反射;

所述光谱分析组件,包括用于采集激光和待检测气体反应产生的球面拉曼散射光,以提供拉曼光谱信号的光谱仪。

2. 根据权利要求1所述的激光拉曼气体检测装置,其特征在于,所述光源组件包括两组氩氦激光器和聚焦透镜;所述聚焦透镜固定在反射腔上,与两组氩氦激光器相对设置;

所述两组氩氦激光器,分别发射两束波长为632.8nm的平行氩氦激光;

所述聚焦透镜用于将激光聚焦至气室内。

3. 根据权利要求2所述的激光拉曼气体检测装置,其特征在于,所述聚焦透镜为圆形,通过支撑件固定在反射腔上。

4. 根据权利要求2所述的激光拉曼气体检测装置,其特征在于,当反射腔的内表面构造为球面,所述聚焦透镜的焦距不超过球面半径的一半。

5. 根据权利要求1所述的激光拉曼气体检测装置,其特征在于,所述反射腔的内表面上镀有反射膜,所述反射膜的反射率大于98%。

6. 根据权利要求1所述的激光拉曼气体检测装置,其特征在于,所述反射腔还开有可封闭的进气口和可封闭的出气口,所述进气口和出气口的位置布置为避开气室中的光路。

7. 根据权利要求1所述的激光拉曼气体检测装置,其特征在于,所述光谱仪包括滤光片、单色仪和传感器,其中,所述滤光片对球面拉曼散射光的透过率大于99%,而对其它光线透过率不超过5%。

8. 根据权利要求1所述的激光拉曼气体检测装置,其特征在于,所述光谱分析组件还包括:电子设备,用于获取光谱仪输出的拉曼光谱信号并生成拉曼频谱图,利用拉曼频谱图解析出混合气体中各气体种类和对应的浓度值。

9. 一种激光拉曼气体检测方法,其特征在于,包括:

向反射腔内的待测气体提供不同光路的入射激光,所述反射腔的内表面构造为具有多个反射位;

采集经多个反射位循环反射的激光和待检测气体反应产生的球面拉曼散射光,以提供拉曼光谱信号。

10. 根据权利要求9的激光拉曼气体检测方法,其特征在于,所述方法还包括:

获取所述拉曼光谱信号并生成拉曼频谱图,利用拉曼频谱图解析出混合气体中各气体种类和对应的浓度值。

## 一种激光拉曼气体检测装置及方法

### 技术领域

[0001] 本申请涉及气体检测技术领域,特别涉及一种激光拉曼气体检测装置及方法。

### 背景技术

[0002] 痕量多组分气体检测在社会生产中有着广泛的需求,如电力变压器故障特征气体检测、气体绝缘金属封闭开关设备故障特征气体检测、磷酸铁锂储能电池热失控气体分、天然气组分在线监测、海水溶解气体监测、食品管理等。

[0003] 目前,常用的多组分气体检测方法包括气相色谱法,电化学传感器法,半导体传感器法,红外吸收光谱法、光声光谱法及光热光谱法。气相色谱法检测灵敏度高、选择性较好,但存在色谱柱易老化导致性能退化的问题,必须定期进行维修与校准;电化学传感器法及半导体传感器法检测灵敏度高、响应速度快,但不同气体组分之间通常存在较为严重的交叉干扰,且传感材料易老化,长期稳定性不理想;红外吸收光谱、光声光谱法及光热光谱法检测灵敏度高,但难以检测低浓度同核双原子气体,例如氢气、氧气和氮气等。

[0004] 综上所述,现有的多组分气体检测方法均无法实现对痕量多组分气体的高精度检测。

### 发明内容

[0005] 有鉴于此,本申请提供一种激光拉曼气体检测装置及方法,解决了现有的多组分气体检测方法均无法实现对痕量多组分气体进行高精度检测的技术问题,本申请的激光拉曼气体检测装置不仅可以实现多种混合气体的实时高精度检测,还具有结构简单、灵敏度高、响应速度快和抗电磁干扰的优点。

[0006] 第一方面,本申请实施例提供一种激光拉曼气体检测装置,包括光源组件、反射腔和光谱分析组件,其中:

[0007] 所述光源组件向反射腔内提供不同光路的入射激光;

[0008] 所述反射腔的内表面围成容纳待检测气体的气室,内表面构造为具有多个反射位,所述不同光路的入射激光分别经多个反射位在气室中循环反射;

[0009] 所述光谱分析组件,包括用于采集激光和待检测气体反应产生的球面拉曼散射光,以提供拉曼光谱信号的光谱仪。

[0010] 在一种的可能实现中,所述光源组件包括两组氩氦激光器和聚焦透镜;所述聚焦透镜固定在反射腔上,与两组氩氦激光器相对设置;

[0011] 所述两组氩氦激光器,分别发射两束波长为632.8nm的平行氩氦激光;

[0012] 所述聚焦透镜用于将激光聚焦至气室内。

[0013] 在一种的可能实现中,所述聚焦透镜为圆形,通过支撑件固定在反射腔上。

[0014] 在一种的可能实现中,当反射腔的内表面构造为球面,所述聚焦透镜的焦距不超过球面半径的一半。

[0015] 在一种的可能实现中,所述反射腔的内表面上镀有反射膜,所述反射膜的反射率

大于98%。

[0016] 在一种的可能实现中,所述反射腔还开有可封闭的出气口和可封闭的出气口,所述进气口和出气口的位置布置为避开气室中的光路。

[0017] 在一种的可能实现中,所述光谱仪包括滤光片、单色仪和传感器,其中,所述滤光片对球面拉曼散射光的透过率大于99%,而对其它光线透过率不超过5%。

[0018] 在一种的可能实现中,所述光谱分析组件还包括:电子设备,用于获取光谱仪输出的拉曼光谱信号并生成拉曼频谱图,利用拉曼频谱图解析出混合气体中各气体种类和对应的浓度值。

[0019] 第二方面,本申请实施例提供一种激光拉曼气体检测方法,包括:

[0020] 向反射腔内的待测气体提供不同光路的入射激光,所述反射腔的内表面构造为具有多个反射位;

[0021] 采集经多个反射位循环反射的激光和待检测气体反应产生的球面拉曼散射光,以提供拉曼光谱信号。

[0022] 在一种可能的实现中,所述方法还包括:

[0023] 获取所述拉曼光谱信号并生成拉曼频谱图,利用拉曼频谱图解析出混合气体中各气体种类和对应的浓度值。

[0024] 本申请的激光拉曼气体检测装置不仅可以实现多种混合气体的实时高精度检测,还具有结构简单、灵敏度高、响应速度快和抗电磁干扰的优点。

## 附图说明

[0025] 图1为本申请实施例的激光拉曼气体检测装置的功能结构图;

[0026] 图2为本申请实施例的激光拉曼气体检测装置的具体实现的结构示意图;

[0027] 图3为本申请实施例的聚焦透镜的焦距与球形外壳的半径的关系示意图;

[0028] 图4为本申请实施例的激光拉曼气体检测方法的流程图;

[0029] 图5为本申请实施例的电子设备的示意图。

[0030] 附图标识:

[0031] 1:光源;2:支撑件;3-1:进气口;3-2:出气口;

[0032] 4:聚焦透镜;5:球形外壳;6:反射膜;

[0033] 7:球形气室;8:光谱仪;9:电子设备。

## 具体实施方式

[0034] 此处参考附图描述本申请的各种方案以及特征。

[0035] 应理解的是,可以对此处申请的实施例做出各种修改。因此,上述说明书不应该视为限制,而仅是作为实施例的范例。本领域的技术人员将想到在本申请的范围和精神内的其他修改。

[0036] 包含在说明书中并构成说明书的一部分的附图示出了本申请的实施例,并且与上面给出的对本申请的大致描述以及下面给出的对实施例的详细描述一起用于解释本申请的原理。

[0037] 通过下面参照附图对给定为非限制性实例的实施例的优选形式的描述,本申请的

这些和其它特性将会变得显而易见。

[0038] 还应当理解,尽管已经参照一些具体实例对本申请进行了描述,但本领域技术人员能够确定地实现本申请的很多其它等效形式。

[0039] 当结合附图时,鉴于以下详细说明,本申请的上述和其他方面、特征和优势将变得更为显而易见。

[0040] 此后参照附图描述本申请的具体实施例;然而,应当理解,所申请的实施例仅仅是本申请的实例,其可采用多种方式实施。熟知和/或重复的功能和结构并未详细描述以避免不必要或多余的细节使得本申请模糊不清。因此,本文所申请的具体的结构性和功能性细节并非意在限定,而是仅仅作为权利要求的基础和代表性基础用于教导本领域技术人员以实质上任意合适的详细结构多样地使用本申请。

[0041] 本说明书可使用词组“在一种实施例中”、“在另一个实施例中”、“在又一实施例中”或“在其他实施例中”,其均可指代根据本申请的相同或不同实施例中的一个或多个。

[0042] 首先对本申请实施例的设计思想进行简单介绍。

[0043] 目前,常用的多组分气体检测方法包括气相色谱法,电化学传感器法,半导体传感器法,红外吸收光谱法、光声光谱法及光热光谱法。气相色谱法检测灵敏度高、选择性较好,但存在色谱柱易老化导致性能退化的问题,必须定期进行维修与校准;电化学传感器法及半导体传感器法检测灵敏度高、响应速度快,但不同气体组分之间通常存在较为严重的交叉干扰,且传感材料易老化,长期稳定性不理想;红外吸收光谱、光声光谱法及光热光谱法检测灵敏度高,但难以检测低浓度同核双原子气体,例如氢气、氧气和氮气等。

[0044] 拉曼光谱法是基于物质的拉曼散射效应,当频率为 $\nu_0$ 的入射激光通过待测气体时,入射激光会激发待测气体(单原子气体除外)分子产生频率为 $\nu_0+\nu_R$ 的球面拉曼散射光。不同气体都有各自特定的拉曼频移 $\nu_R$ ,拉曼散射光的强度与气体的浓度线性相关,因此通过检测拉曼散射光的拉曼频移及强度可同时定性与定量分析多种不同物质。实际应用中,由于气体的振动拉曼峰强度要远高于相应的转动峰强度,因此通常基于各气体的振动拉曼峰来对气体进行定量和定性分析。

[0045] 相比传统检测方法,将拉曼光谱用于检测多组分混合气体具有以下优势:可检测除单原子气体外的所有气体组分;单波长激光可实现多组分混合气体的同时测量。

[0046] 但是由于气体散射截面极低,拉曼信号弱,常规自发拉曼光谱技术很难测量痕量气体,而且不同气体散射截面各异,在相同的检测系统和检测条件下,各气体组分检测下限也有所不同。

[0047] 针对现有的多组分气体检测方法均无法实现对痕量多组分气体的高精度检测,本申请基于气体拉曼增强技术,设计一种可实现多种气体的实时高精度测量,且灵敏度高、响应速度快、结构简单、抗电磁干扰的气体检测装置。

[0048] 为了提高拉曼散射检测灵敏度,可以采用腔增强和光纤增强拉曼光谱技术。腔增强通过提高激发光强度和激光与气体作用路径来提高拉曼信号强度,主要包括多次反射腔增强、F-P腔增强、激光内腔增强。光纤增强则通过提高球面拉曼散射光收集效率来提高拉曼信号强度,主要包括镀银毛细管增强和空芯光纤增强。

[0049] 本申请采用球形气腔增强方式来提高拉曼散射检测灵敏度。基于拉曼散射效应,实现多种气体类形和浓度实时在线测量。球形气腔增强方式可以使激光在腔内循环反射的

次数更多,对应激光的增强效率也更高。

[0050] 此外,本申请采用聚焦透镜改变入射激光传播方向,并对聚焦透镜焦距进行设置,使得激光在球形气室内避开进气口和出气口等,同时采用双激光入射,进一步提高激光的增强效率。

[0051] 在介绍了本申请实施例的应用场景和设计思想之后,下面对本申请实施例提供的技术方案进行说明。

[0052] 如图1所示,本申请实施例提供一种激光拉曼气体检测装置,包括光源组件101、反射腔102和光谱分析组件103,其中:

[0053] 所述光源组件101向反射腔内提供不同光路的入射激光;

[0054] 所述反射腔102的内表面围成容纳待检测气体的气室,内表面构造为具有多个反射位,所述不同光路的入射激光分别经多个反射位在气室中循环反射;其中,待检测气体为混合气体;

[0055] 所述光谱分析组件103,包括用于采集激光和待检测气体反应产生的球面拉曼散射光,以提供拉曼光谱信号的光谱仪。

[0056] 具体的,所述光源组件包括两组氦氖激光器和聚焦透镜;所述聚焦透镜固定在反射腔上,与两组氦氖激光器相对设置;

[0057] 所述两组氦氖激光器,分别发射两束波长为632.8nm的平行氦氖激光;

[0058] 所述聚焦透镜用于将激光聚焦至气室内。

[0059] 优选的,所述聚焦透镜为圆形,通过支撑件固定在反射腔上。

[0060] 当反射腔的内表面构造为球面,所述聚焦透镜的焦距不超过球面半径的一半。

[0061] 优选的,所述反射腔的内表面上镀有反射膜,所述反射膜的反射率大于98%。

[0062] 作为一种可能的实现方式,所述反射腔还开有可封闭的出气口和可封闭的出气口,所述进气口和出气口的位置布置为避开气室中的光路。

[0063] 具体的,所述光谱仪包括滤光片、单色仪和传感器,其中,所述滤光片对球面拉曼散射光的透过率大于99%,而对其它光线透过率不超过5%。

[0064] 作为一种可能的实现方式,所述光谱分析组件还包括:电子设备,用于获取光谱仪输出的拉曼光谱信号并生成拉曼频谱图,利用拉曼频谱图解析出混合气体中各气体种类和对应的浓度值。

[0065] 图2提供了激光拉曼气体检测装置一个具体实现的结构图,包括:光源1、球形气室7、聚焦透镜4、光谱仪8和电子设备9,其中,球形气室7包括球形外壳5,所述聚焦透镜4设置在球形外壳5上并与光源1相对设置;所述球形外壳5上开有可封闭的进气口3-1和可封闭的出气口3-2;所述光谱仪8设置在球形外壳5上与聚焦透镜4相对的位置处;

[0066] 所述光源包括两组氦氖激光器,分别产生两束波长为632.8nm的平行氦氖激光。聚焦透镜将两束激光聚焦方式进入球形气室内。聚焦透镜为圆形结构,通过支撑件2(如图2所示)安装在球形外壳上,聚焦透镜的焦距为F。

[0067] 如图3所示,为了确保反射角 $\theta$ 足够大,使得第一次反射光远离进气口或出气口,避免激光过早接触到进气口或出气口造成激发光光强衰减,所述聚焦透镜的焦距F不超过球形外壳的半径R的一半,即 $F \leq R/2$ ,其中,R为所述球形外壳的内径和外径的平均值。

[0068] 所述球形外壳的内壁上镀有反射膜6(如图2所示),所述反射膜的反射率大于

98%。由此使激光在气室内低损耗的循环反射传输。

[0069] 所述进气口和出气口分别设置在聚焦透镜的两侧。

[0070] 电子设备9用于获取光谱仪输出的拉曼光谱信号并生成拉曼频谱图,利用拉曼频谱图解析出混合气体中各气体种类和对应的浓度值。

[0071] 基于同样的发明构思,如图4所示,本申请提供了一种激光拉曼气体检测方法,包括:

[0072] 步骤201:向反射腔内的待测气体提供不同光路的入射激光,所述反射腔的内表面构造为具有多个反射位;

[0073] 步骤202:采集经多个反射位循环反射的激光和待检测气体反应产生的球面拉曼散射光,以提供拉曼光谱信号。

[0074] 此外,所述方法还包括:

[0075] 获取光谱仪输出的拉曼光谱信号并生成拉曼频谱图,利用拉曼频谱图解析出混合气体中各气体种类和对应的浓度值。

[0076] 如图5所示,电子设备包括:存储器和处理器,所述存储器中存储有可执行程序,所述处理器执行所述可执行程序以实现:获取光谱仪输出的拉曼光谱信号并生成拉曼频谱图,利用拉曼频谱图解析出混合气体中各气体种类和对应的浓度值。

[0077] 上述处理器可以是通用处理器、数字信号处理器、专用集成电路(application-specific integrated circuit,ASIC),可编程逻辑器件(programmable logic device,PLD)或其组合。上述PLD可以是复杂可编程逻辑器件(complex programmable logic device,CPLD),现场可编程逻辑门阵列(field-programmable gate array,FPGA),通用阵列逻辑(generic array logic,简称GAL)或其任意组合。通用处理器可以是微处理器或者任何常规的处理器等。

[0078] 上述存储器可能包括计算机可读介质中的非永久性存储器,随机存取存储器(RAM)和/或非易失性内存等形式,如只读存储器(ROM)或闪存(flash RAM)。存储器是计算机可读介质的示例。

[0079] 本申请实施例还提供了一种存储介质,所述存储介质承载有一个或者多个计算机程序,所述一个或者多个计算机程序被处理器执行时实现:获取光谱仪输出的拉曼光谱信号并生成拉曼频谱图,利用拉曼频谱图解析出混合气体中各气体种类和对应的浓度值。

[0080] 本实施例中的存储介质可以是电子设备/系统中所包含的;也可以是单独存在,而未装配入电子设备/系统中。上述存储介质承载有一个或者多个程序,当上述一个或者多个程序被执行时,实现根据本申请实施例的方法。

[0081] 根据本申请的实施例,计算机可读存储介质可以是非易失性的计算机可读存储介质,例如可以包括但不限于:便携式计算机磁盘、硬盘、随机访问存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、可擦式可编程只读存储器(EPROM或闪存)、便携式紧凑磁盘只读存储器(CD-ROM)、光存储器件、磁存储器件、或者上述的任意合适的组合。在本申请中,计算机可读存储介质可以是任何包含或存储程序的有形介质,该程序可以被指令执行系统、装置或者器件使用或者与其结合使用。

[0082] 此外,尽管在附图中以特定顺序描述了本申请方法的操作,但是,这并非要求或者暗示必须按照该特定顺序来执行这些操作,或是必须执行全部所示的操作才能实现期望的

结果。附加地或备选地,可以省略某些步骤,将多个步骤合并为一个步骤执行,和/或将一个步骤分解为多个步骤执行。

[0083] 尽管已描述了本申请的优选实施例,但本领域内的技术人员一旦得知了基本创造性概念,则可对这些实施例作出另外的变更和修改。所以,所附权利要求意欲解释为包括优选实施例以及落入本申请范围的所有变更和修改。

[0084] 最后应说明的是:以上各实施例仅用以说明本申请的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述各实施例对本申请进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分或者全部技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本申请各实施例技术方案的范围。



图1

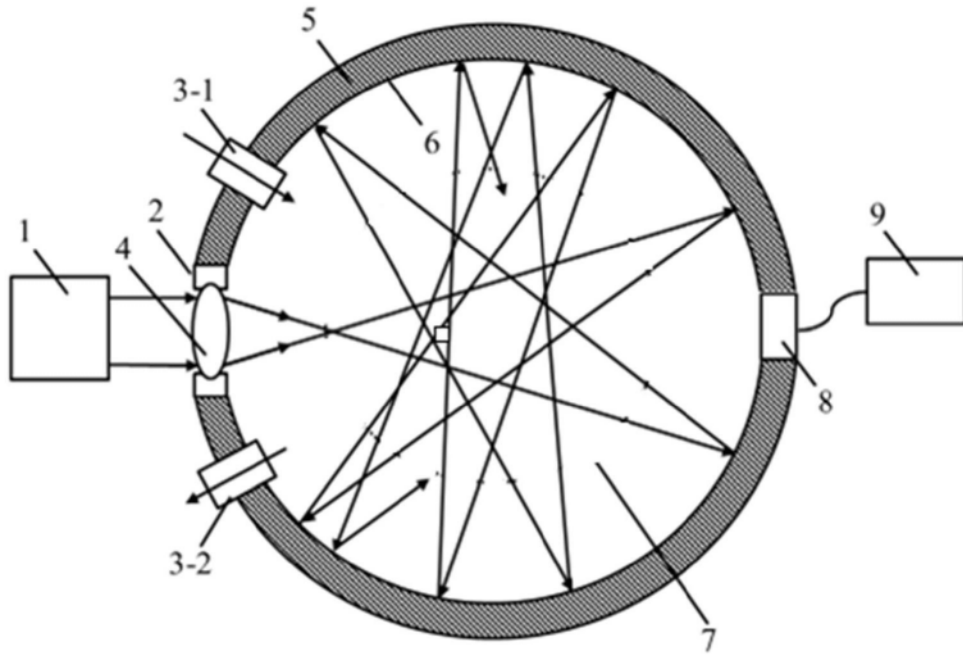


图2

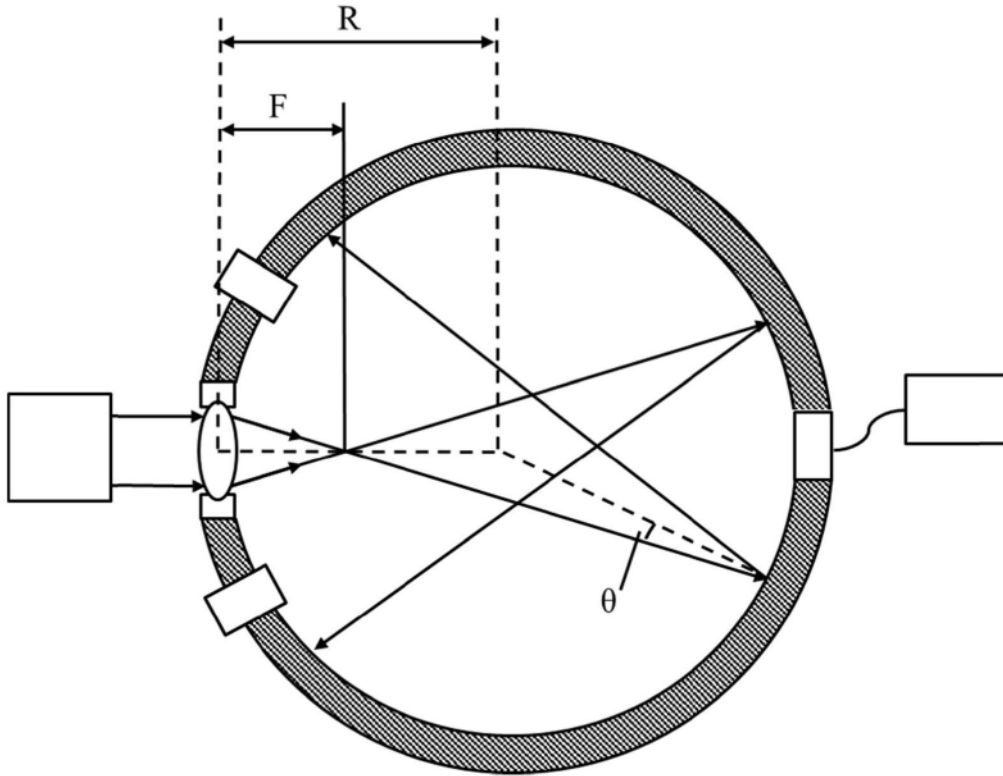


图3

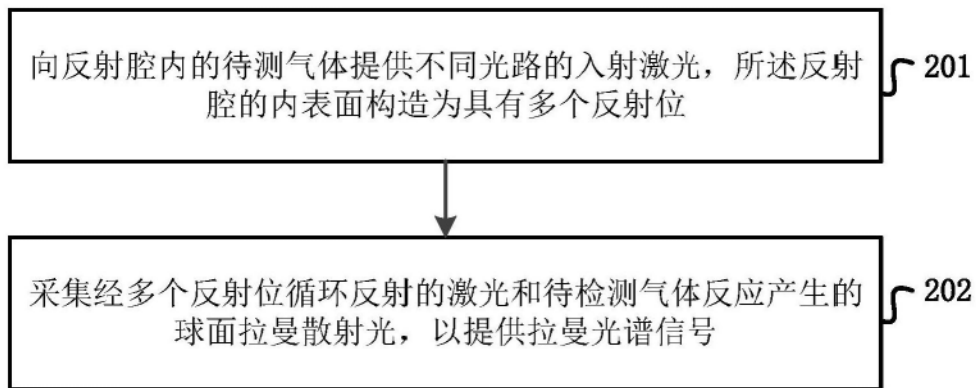


图4

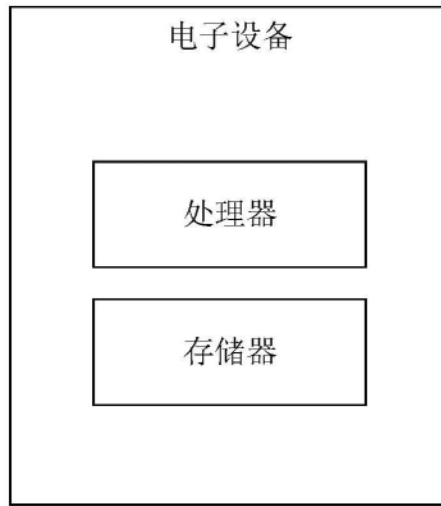


图5