



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113125379 A

(43) 申请公布日 2021.07.16

(21) 申请号 202110343974.X

(22) 申请日 2021.03.30

(71) 申请人 中国人民解放军陆军军医大学第一附属医院

地址 400038 重庆市沙坪坝区高滩岩正街30号

(72) 发明人 袁侨英 顾永林 彭建彬 曾冬梅 周琪 涂灵 石霞 熊玮

(74) 专利代理机构 北京轻创知识产权代理有限公司 11212

代理人 王澎

(51) Int. Cl.

G01N 21/39 (2006.01)

G01N 21/01 (2006.01)

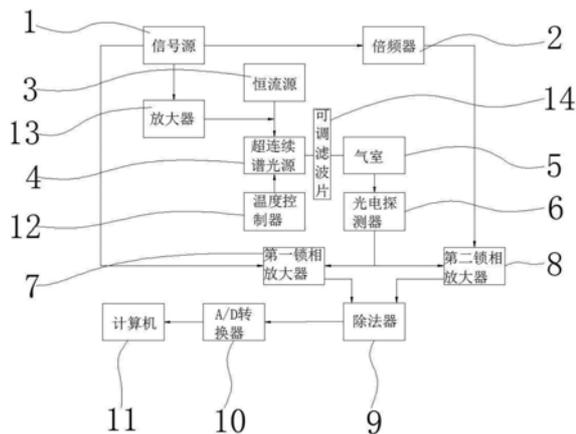
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

基于光纤超连续谱激光的无创精准气体检测装置及方法

(57) 摘要

本发明涉及基于光纤超连续谱激光的无创精准气体检测装置及方法,信号源分别与第一锁相放大器的输入端以及倍频器的输入端连接,恒流源的输出端与超连续谱光源的输入端连接,信号源与连接恒流源和超连续谱光源的导线连接用于对注入超连续谱光源的电流进行正弦调制,倍频器的输出端连接第二锁相放大器的输入端,超连续谱光源、气室和光电探测器依次连接,光电探测器的输出端分别与第一锁相放大器和第二锁相放大器的输入端连接。本发明的有益效果是:基于光纤超连续谱激光的腔外频率调制谐波检测的全新的技术方案,满足呼吸气体精准分析医疗诊断应用的高信噪比、高灵敏度等应用需求,实现呼吸气体中氧气、二氧化碳、其他相关气体的测定和鉴别。



1. 基于光纤超连续谱激光的无创精准气体检测装置,其特征在于,包括信号源(1)、倍频器(2)、恒流源(3)、超连续谱光源(4)、气室(5)、光电探测器(6)、第一锁相放大器(7)、第二锁相放大器(8)、除法器(9)、A/D转换器(10)和计算机(11),所述信号源(1)分别与所述第一锁相放大器(7)的输入端以及所述倍频器(2)的输入端连接,所述恒流源(3)的输出端与所述超连续谱光源(4)的输入端连接,所述信号源(1)与连接所述恒流源(3)和所述超连续谱光源(4)的导线连接用于对注入超连续谱光源(4)的电流进行正弦调制,所述倍频器(2)的输出端连接所述第二锁相放大器(8)的输入端,所述超连续谱光源(4)、所述气室(5)和所述光电探测器(6)依次连接,通过所述光电探测器(6)将经过所述气室(5)的光的光信号转换为电信号,所述光电探测器(6)的输出端分别与所述第一锁相放大器(7)和所述第二锁相放大器(8)的输入端连接,所述第一锁相放大器(7)的输出端以及所述第二锁相放大器(8)的输出端均与所述除法器(9)的输入端连接,所述除法器(9)的输出端依次连接所述A/D转换器(10)和所述计算机(11)。

2. 根据权利要求1所述的基于光纤超连续谱激光的无创精准气体检测装置,其特征在于,还包括温度控制器(12),所述温度控制器(12)与所述超连续谱光源(4)连接用于控制所述超连续谱光源(4)的温度。

3. 根据权利要求1所述的基于光纤超连续谱激光的无创精准气体检测装置,其特征在于,还包括放大器(13),所述信号源(1)的输出端与所述放大器(13)的输入端连接,所述放大器(13)的输出端与所述超连续谱光源(4)的输入端连接。

4. 根据权利要求1至3任一项所述的基于光纤超连续谱激光的无创精准气体检测装置,其特征在于,还包括可调滤波片(14),所述超连续谱光源(4)和所述气室(5)之间设有所述可调滤波片(14)用于根据需要控制进入所述气室(5)的光谱宽度和光谱中心波长。

5. 基于光纤超连续谱激光的无创精准气体检测方法,采用上述权利要求1至4任一项所述的基于光纤超连续谱激光的无创精准气体检测装置进行气体检测,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一,根据待检测气体种类,从高分辨率光谱数据库中选取相应的吸收光谱谱线,并提取其光谱参数:气体分子在吸收峰处的吸收系数 α_0 ;

步骤二,调节超连续谱光源(4),使得超连续谱光源(4)的光源中心频率稳定在 ν_0 处;

步骤三,将信号源(1)产生的高频正弦信号输入到超连续谱光源(4),以调节超连续谱光源(4)的输出频率,当光源电流被正弦调制之后,光源的频率和输出光强也会受到相应的调制:

$$\nu = \nu_0 + \nu_m \sin \omega t$$

$$I_i(t) = I_0 [1 + \eta \sin \omega t]$$

其中, ν_0 是调制的中心频率, ν_m 是频率调制幅度; η 是光强调制系数; $\omega = 2\pi f$, f 是电流调制频率;

步骤四,确认超连续谱光源(4)的射入光强 I_0 以及光线在气室(5)内的里程 L ,通过光电探测器(6)检测检测透射光强 $I(t)$,根据公式:

$$I(t) = I_0 \left[1 + \eta \sin \omega t - \frac{\alpha_0 CL}{1 + x^2 \sin^2 \omega t} \right],$$

可得出一次谐波和二次谐波的系数分别为:

$$I_f = I_0 n$$

$$I_{2f} = -ka_0 C L I_0,$$

式中, $k = \frac{2[2 + x^2 - 2(1 + x^2)^{1/2}]}{x^2(1 + x^2)^{1/2}}$, $x = v_m / \delta v$, δv 为吸收线半宽;

所以, 根据上述公式, 即可得到待测气体的浓度 C 。

6. 根据权利要求5所述的基于光纤超连续谱激光的无创精准气体检测方法, 其特征在于, 所述步骤二和步骤三中, 通过温度控制器 (12) 对超连续谱光源 (4) 进行定点恒温温度控制。

7. 根据权利要求5所述的基于光纤超连续谱激光的无创精准气体检测方法, 其特征在于, 所述步骤二中, 根据需要可通过可调滤波片 (14) 控制进入所述气室 (5) 的光谱宽度和光谱中心波长以适用于不同气体的检测。

基于光纤超连续谱激光的无创精准气体检测装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及气体检测技术领域,尤其涉及基于光纤超连续谱激光的无创精准气体检测装置及方法。

背景技术

[0002] 呼吸贯穿人体生命的始终,每个人呼气成分的构成独一无二并且稳定,具有重要的生理意义,但迄今为止,对于人体不同病理生理状态下实时检测呼吸气体成分、浓度等呼吸代谢指标的个体化精确测定评估仍不能实现,对于更多的呼吸气体成分分析没有更好的获取,对不同浓度、不同成分的气体不能进行定量识别,阻碍了深入研究呼吸气体代谢与机体健康、诊断预测疾病的内在机制。

发明内容

[0003] 本发明所要解决的技术问题是提供基于光纤超连续谱激光的无创精准气体检测装置及方法,满足呼吸气体精准分析医疗诊断应用的高信噪比、高灵敏度等应用需求,实现呼吸气体中氧气、二氧化碳、其他相关气体的测定和鉴别。

[0004] 本发明解决上述技术问题的技术方案如下:基于光纤超连续谱激光的无创精准气体检测装置,包括信号源、倍频器、恒流源、超连续谱光源、气室、光电探测器、第一锁相放大器、第二锁相放大器、除法器、A/D转换器和计算机,所述信号源分别与所述第一锁相放大器的输入端以及所述倍频器的输入端连接,所述恒流源的输出端与所述超连续谱光源的输入端连接,所述信号源与连接所述恒流源和所述超连续谱光源的导线连接用于对注入超连续谱光源的电流进行正弦调制,所述倍频器的输出端连接所述第二锁相放大器的输入端,所述超连续谱光源、所述气室和所述光电探测器依次连接,通过所述光电探测器将经过所述气室的光的光信号转换为电信号,所述光电探测器的输出端分别与所述第一锁相放大器和所述第二锁相放大器的输入端连接,所述第一锁相放大器的输出端以及所述第二锁相放大器的输出端均与所述除法器的输入端连接,所述除法器的输出端依次连接所述A/D转换器和所述计算机。

[0005] 本发明的有益效果是:光纤气体传感器具有灵敏度高、精度高、分辨率高、动态范围大等特点,具有较高的灵敏度、高的鉴别性和快的响应速度,最适合作为呼吸气体检测应用,基于光纤超连续谱激光的腔外频率调制谐波检测的全新的技术方案,满足呼吸气体精准分析医疗诊断应用的高信噪比、高灵敏度等应用需求,实现呼吸气体中氧气、二氧化碳、其他相关气体的测定和鉴别。

[0006] 在上述技术方案的基础上,本发明还可以做如下改进。

[0007] 进一步,还包括放大器,所述信号源的输出端与所述放大器的输入端连接,所述放大器的输出端与所述超连续谱光源的输入端连接。

[0008] 采用上述进一步方案的有益效果是:通过设置放大器将信号源输入的信号进行放大从而实现输入到超连续谱光源的电流进行控制。

[0009] 进一步,还包括可调滤波片,所述超连续谱光源和所述气室之间设有所述可调滤波片用于根据需要控制进入所述气室的光谱宽度和光谱中心波长。

[0010] 采用上述进一步方案的有益效果是:通过设置可调滤波片从而控制进入气室的光谱宽度和光谱中心波长,针对不同的待测气体,覆盖其吸收谱线,因此使该装置可检测更多的气体成分目标。

[0011] 进一步,还包括温度控制器,所述温度控制器与所述超连续谱光源连接用于控制所述超连续谱光源的温度。

[0012] 采用上述进一步方案的有益效果是:超连续谱光源的温度的稳定性会影响检测的数据的准确性,较大的温度波动会导致输出波长的漂移,而且较大的热震荡会缩短超连续谱光源的寿命设置损坏超连续谱光源。

[0013] 本发明还提供基于光纤超连续谱激光的无创精准气体检测方法,采用上述所述的基于光纤超连续谱激光的无创精准气体检测装置进行气体检测,包括以下步骤:

[0014] 步骤一,根据待检测气体种类,从高分辨率光谱数据库中选取相应的吸收光谱谱线,并提取其光谱参数:气体分子在吸收峰处的吸收系数 α_0 ;

[0015] 步骤二,调节超连续谱光源,使得超连续谱光源的光源中心频率稳定在 ν_0 处;

[0016] 步骤三,将信号源产生的高频正弦信号输入到超连续谱光源,以调节超连续谱光源的输出频率,当光源电流被正弦调制之后,光源的频率和输出光强也会受到相应的调制:

$$[0017] \quad \nu = \nu_0 + \nu_m \sin \omega t$$

$$[0018] \quad I_i(t) = I_0 [1 + \eta \sin \omega t]$$

[0019] 其中, ν_0 是调制的中心频率, ν_m 是频率调制幅度; η 是光强调制系数; $\omega = 2\pi f$, f 是电流调制频率;

[0020] 步骤四,确认超连续谱光源的射入光强 I_0 以及光线在气室内的里程 L ,通过光电探测器检测检测透射光强 $I(t)$,根据公式:

$$[0021] \quad I(t) = I_0 \left[1 + \eta \sin \omega t - \frac{\alpha_0 CL}{1 + x^2 \sin^2 \omega t} \right],$$

[0022] 可得出一次谐波和二次谐波的系数分别为:

$$[0023] \quad I_f = I_0 \eta$$

$$[0024] \quad I_{2f} = -k \alpha_0 CL I_0,$$

$$[0025] \quad \text{式中, } k = \frac{2[2 + x^2 - 2(1 + x^2)^{1/2}]}{x^2(1 + x^2)^{1/2}}, x = \nu_m / \delta \nu, \delta \nu \text{ 为吸收线半宽};$$

[0026] 所以,根据上述公式,即可得到待测气体的浓度 C 。

[0027] 采用上述方案的有益效果是:本发明具有灵敏度高、精度高、分辨率高、动态范围大等特点,具有较高的灵敏度、高的鉴别性和快的响应速度,最适合作为呼吸气体检测应用,基于光纤超连续谱激光的腔外频率调制谐波检测的全新的技术方案,满足呼吸气体精准分析医疗诊断应用的高信噪比、高灵敏度等应用需求,实现呼吸气体中氧气、二氧化碳、其他相关气体的测定和鉴别。

[0028] 进一步,所述步骤二和步骤三中,通过温度控制器对超连续谱光源进行定点恒温温度控制。

[0029] 采用上述进一步方案的有益效果是：超连续谱光源的温度的稳定性会影响检测的数据的准确性，较大的温度波动会导致输出波长的漂移，而且较大的热震荡会缩短超连续谱光源的寿命设置损坏超连续谱光源。

[0030] 进一步，所述步骤二中，根据需要通过可调滤波片控制进入所述气室的光谱宽度和光谱中心波长以适用于不同气体的检测。

[0031] 采用上述进一步方案的有益效果是：通过设置可调滤波片从而控制进入气室的光谱宽度和光谱中心波长，针对不同的待测气体，覆盖其吸收谱线，因此使该装置可检测更多的气体成分目标。

附图说明

[0032] 图1为本发明的结构示意图；

[0033] 附图中，各标号所代表的部件列表如下：

[0034] 1、信号源，2、倍频器，3、恒流源，4、超连续谱光源，5、气室，6、光电探测器，7、第一锁相放大器，8、第二锁相放大器，9、除法器，10、A/D转换器，11、计算机，12、温度控制器，13、放大器，14、可调滤波片。

具体实施方式

[0035] 以下结合附图对本发明的原理和特征进行描述，所举实例只用于解释本发明，并非用于限定本发明的范围。

[0036] 如图1所示，本发明的实施例包括信号源1、倍频器2、恒流源3、超连续谱光源4、气室5、光电探测器6、第一锁相放大器7、第二锁相放大器8、除法器9、A/D转换器10和计算机11，所述信号源1分别与所述第一锁相放大器7的输入端以及所述倍频器2的输入端连接，所述恒流源3的输出端与所述超连续谱光源4的输入端连接，所述信号源1与连接所述恒流源3和所述超连续谱光源4的导线连接用于对注入超连续谱光源4的电流进行正弦调制，所述倍频器2的输出端连接所述第二锁相放大器8的输入端，所述超连续谱光源4、所述气室5和所述光电探测器6依次连接，通过所述光电探测器6将经过所述气室5的光的光信号转换为电信号，所述光电探测器6的输出端分别与所述第一锁相放大器7和所述第二锁相放大器8的输入端连接，所述第一锁相放大器7的输出端以及所述第二锁相放大器8的输出端均与所述除法器9的输入端连接，所述除法器9的输出端依次连接所述A/D转换器10和所述计算机11。

[0037] 在本实施例中，锁相放大器13是一种用于测量动态信号的电子仪器。它的主要组成部分有振荡器，混频器和低通滤波器，它的最基本，也是最常用的功能是从被噪声淹没的信号中测出某一频率的信号的相位和幅值。光电探测器6能把光信号转换为电信号。模数转换器，是把经过与标准量(或参考量)比较处理后的模拟量转换成以二进制数值表示的离散信号的转换器，简称ADC或A/D转换器10。倍频器2使输出信号频率等于输入信号频率整数倍的电路。

[0038] 优选的，还包括放大器13，所述信号源1的输出端与所述放大器13的输入端连接，所述放大器13的输出端与所述超连续谱光源4的输入端连接，通过设置放大器13将信号源1输入的信号进行放大从而实现输入到超连续谱光源4的电流进行控制。

[0039] 进一步，还包括可调滤波片14，所述超连续谱光源4和所述气室5之间设有所述可

调滤波片14用于根据需要控制进入所述气室5的光谱宽度和光谱中心波长,通过设置可调滤波片14从而控制进入气室5的光谱宽度和光谱中心波长,针对不同的待测气体,覆盖其吸收谱线,因此使该装置可检测更多的气体成分目标。

[0040] 在本实施例中,还包括温度控制器12,所述温度控制器12与所述超连续谱光源4连接用于控制所述超连续谱光源4的温度。超连续谱光源4的温度的稳定性会影响检测的数据的准确性,较大的温度波动会导致输出波长的漂移,而且较大的热震荡会缩短超连续谱光源4的寿命设置损坏超连续谱光源4。

[0041] 本发明还公开基于光纤超连续谱激光的无创精准气体检测方法,采用上述所述的基于光纤超连续谱激光的无创精准气体检测装置进行气体检测,包括以下步骤:

[0042] 步骤一,根据待检测气体种类,从高分辨率光谱数据库中选取相应的吸收光谱谱线,并提取其光谱参数:气体分子在吸收峰处的吸收系数 α_0 ;

[0043] 步骤二,调节超连续谱光源4,使得超连续谱光源4的光源中心频率稳定在 ν_0 处:

[0044] 步骤三,将信号源1产生的高频正弦信号输入到超连续谱光源4,以调节超连续谱光源4的输出频率,当光源电流被正弦调制之后,光源的频率和输出光强也会受到相应的调制:

$$[0045] \quad \nu = \nu_0 + \nu_m \sin \omega t$$

$$[0046] \quad I_i(t) = I_0 [1 + \eta \sin \omega t]$$

[0047] 其中, ν_0 是调制的中心频率, ν_m 是频率调制幅度; η 是光强调制系数; $\omega = 2\pi f$, f 是电流调制频率;

[0048] 步骤四,确认超连续谱光源4的射入光强 I_0 以及光线在气室5内的里程 L ,通过光电探测器6检测检测透射光强 $I(t)$,根据公式:

$$[0049] \quad I(t) = I_0 \left[1 + \eta \sin \omega t - \frac{\alpha_0 CL}{1 + x^2 \sin^2 \omega t} \right],$$

[0050] 可得出一次谐波和二次谐波的系数分别为:

$$[0051] \quad I_f = I_0 \eta$$

$$[0052] \quad I_{2f} = -k \alpha_0 CL I_0,$$

[0053] 式中, $k = \frac{2[2 + x^2 - 2(1 + x^2)^{1/2}]}{x^2(1 + x^2)^{1/2}}$, $x = \nu_m / \delta \nu$ 为吸收线半宽;

[0054] 所以,根据上述公式,即可得到待测气体的浓度 C 。

[0055] 进一步,所述步骤二和步骤三中,通过温度控制器12对超连续谱光源4进行定点恒温温度控制,超连续谱光源4的温度的稳定性会影响检测的数据的准确性,较大的温度波动会导致输出波长的漂移,而且较大的热震荡会缩短超连续谱光源4的寿命设置损坏超连续谱光源4。

[0056] 所述步骤二中,根据需要可通过可调滤波片14控制进入所述气室5的光谱宽度和光谱中心波长以适用于不同气体的检测,通过设置可调滤波片14从而控制进入气室5的光谱宽度和光谱中心波长,针对不同的待测气体,覆盖其吸收谱线,因此使该装置可检测更多的气体成分目标。

[0057] 将本实施例中的基于光纤超连续谱激光的气体检测装置运用于医疗临床检测,优

选的具有以下参数:呼吸气体检测灵敏度:不低于 10^{-6} ;呼吸气体检测种类:不少于2种;呼吸气体图谱检测波长范围:450-1100nm;呼吸气体图谱检测分辨率:不大于5nm;呼吸气体检测不确定度:小于5%。

[0058] 实现呼吸气体代谢检测的临床验证及数据的采集。呼吸气体代谢检测的临床验证及数据的采集、标准制定,静息、活动状态机动态比较分析,精确测定氧气含量、二氧化碳含量、呼吸商,其他气体的测定和鉴别。

[0059] 本发明光纤气体传感器具有灵敏度高、精度高、分辨率高、动态范围大等特点,具有较高的灵敏度、高的鉴别性和快的响应速度,最适合作为呼吸气体检测应用,基于光纤超连续谱激光的腔外频率调制谐波检测的全新的技术方案,满足呼吸气体精准分析医疗诊断应用的高信噪比、高灵敏度等应用需求,实现呼吸气体中氧气、二氧化碳、其他相关气体的测定和鉴别。

[0060] 从气体代谢检测角度提供在体、实时、无创、精准分析的新技术,为正常人群的生理状态分析、病理机制探索提供新的技术平台,为呼吸气体代谢异常的患者早期疾病预警、针对性健康指导奠定基础,有利于健康大数据采集、制定全民健康策略。作为现代医疗检测的一种辅助手段,利用传感器进行阵列组合,通过模糊神经网络对不同浓度的气体进行定量识别。研究基于超连续谱等新型激光的呼吸气体图谱探测传感技术,实现多组分呼吸气体的高灵敏度探测传感。

[0061] 以上所述仅为本发明的较佳实施例,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

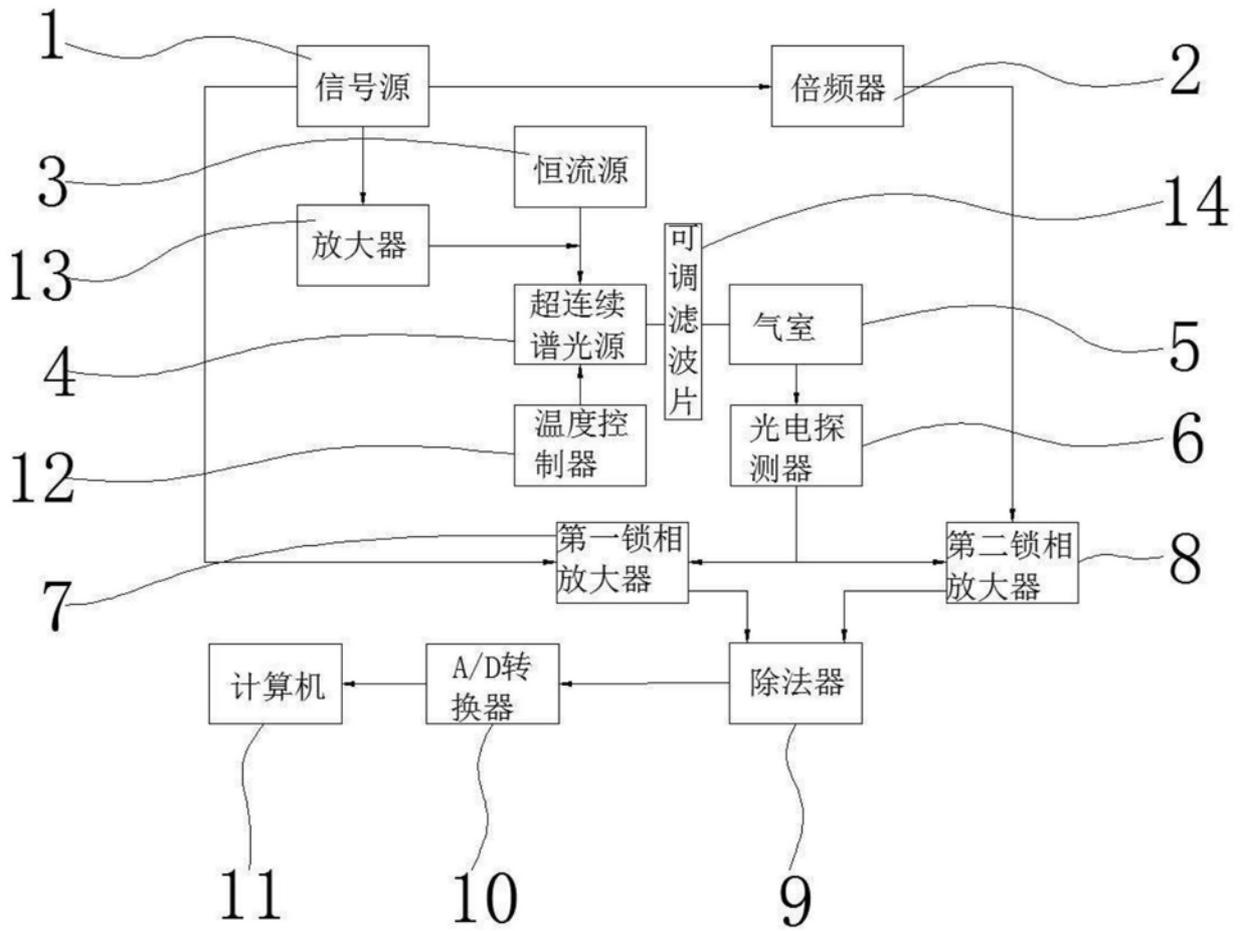


图1