



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115561195 A

(43) 申请公布日 2023. 01. 03

(21) 申请号 202211281592.X

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2022.10.19

G01N 21/3504 (2014.01)

G01N 21/01 (2006.01)

(71) 申请人 国网四川省电力公司电力科学研究院

地址 610000 四川省成都市高新区锦晖西二街16号

申请人 华东师范大学重庆研究院
国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司

(72) 发明人 王杰 刘睿 吕天健 闫明
曾和平 张静 黄勤清 周文
蔡玉汝

(74) 专利代理机构 重庆强大凯创专利代理事务所(普通合伙) 50217
专利代理师 李东旭

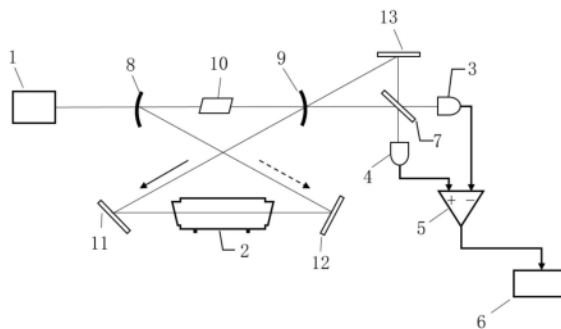
权利要求书1页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

一种单腔双梳光源及基于单腔双梳光源的气体检测系统

(57) 摘要

本发明涉及气体检测技术领域,公开了一种单腔双梳光源,包括:泵浦光源、谐振腔和气体池,所述泵浦光源在谐振腔内形成存在重复频率差的第一光梳和第二光梳,所述气体池设于谐振腔内,所述第一光梳和第二光梳分别对向通过气体池并重复若干次。本发明通过单腔双光梳光源对气体进行检测,解决了传统的双光梳光谱技术需要对独立的双光梳进行锁腔的问题,减小了系统复杂性,降低成本,具备高实用性。



1. 一种单腔双梳光源,其特征在于,包括:泵浦光源、谐振腔和气体池,所述泵浦光源在谐振腔内形成存在重复频率差的第一光梳和第二光梳,所述气体池设于谐振腔内,所述第一光梳和第二光梳分别对向通过气体池并重复若干次。

2. 根据权利要求1所述的单腔双梳光源,其特征在于:所述谐振腔包括高反镜、输出镜、第一反射镜、第二反射镜和增益介质,所述高反镜、增益介质和输出镜依次设于同一直线上,所述第一反射镜、气体池和第二反射镜依次设于同一直线上;所述泵浦光源朝向高反镜,通过高反镜入射到增益介质形成方向相反的第一光梳和第二光梳;所述第一光梳经输出镜和第一反射镜的反射通过气体池后,经第二反射镜和高反镜的反射入射到增益介质;所述第二光梳经高反镜和第二反射镜的反射与第一光梳对向通过气体池后,经第一反射镜和输出镜的反射入射到增益介质;所述第一光梳和第二光梳分别对向通过气体池并重复若干次后经输出镜射出。

3. 根据权利要求2所述的单腔双梳光源,其特征在于:所述第一光梳和第二光梳的中心波长均为1550nm,所述增益介质为掺铒玻璃。

4. 根据权利要求1所述的单腔双梳光源,其特征在于:所述谐振腔包括波分复用器、增益介质、偏振控制器、半导体可饱和吸收镜、第一光纤耦合器、第一光纤准直器和第二光纤准直器,所述第一光纤准直器、波分复用器、增益介质、偏振控制器、半导体可饱和吸收镜、第一光纤耦合器和第二光纤准直器依次光纤连接,所述泵浦光源朝向波分复用器,所述气体池设于第一光纤准直器和第二光纤准直器之间。

5. 根据权利要求4所述的单腔双梳光源,其特征在于:所述泵浦光源的中心波长为980nm,所述波分复用器为980/1550nm的波分复用器,所述增益介质为掺铒光纤。

6. 根据权利要求1所述单腔双梳光源,其特征在于:所述气体池上设有进气口、出气口和通光窗口。

7. 一种基于单腔双梳光源的气体检测系统,其特征在于,包括权利要求1至6任一项所述的单腔双梳光源,还包括:合束器、第一光电探测器、第二光电探测器和电信号分析设备,所述第一光梳和第二光梳分别对向通过气体池并重复若干次后,经合束器合束拍频后分束为第一分束光和第二分束光,分别由第一光电探测器和第二光电探测器接收;所述第一光电探测器和第二光电探测器分别与电信号分析设备电连接。

8. 根据权利要求7所述的基于单腔双梳光源的气体检测系统,其特征在于:所述合束器为合束片,所述谐振腔的外光路包括第三反射镜,所述第二光梳通过第三反射镜入射到合束片,所述合束片与两束入射光呈45度角放置。

9. 根据权利要求7所述的基于单腔双梳光源的气体检测系统,其特征在于:所述合束器为第二光纤耦合器,所述第一光纤耦合器和第二光纤耦合器光纤连接,所述第二光纤耦合器分别与第一光电探测器和第二光电探测器光纤连接。

10. 根据权利要求7至9任一项所述的基于单腔双梳光源的气体检测系统,其特征在于:所述电信号分析设备包括差分放大器和频谱仪,所述第一光电探测器和第二光电探测器分别与差分放大器电连接,所述差分放大器与频谱仪电连接。

一种单腔双梳光源及基于单腔双梳光源的气体检测系统

技术领域

[0001] 本发明涉及气体检测技术领域,具体涉及一种单腔双梳光源及基于单腔双梳光源的气体检测系统。

背景技术

[0002] 气体检测技术现在广泛应用于各种生产场景,能够帮助维修管理人员监控、检测设备运行情况。在监控电气设备的运行、检测化工生产时环境的有毒气体等实际应用中,大多数被检测气体的浓度低,因此要求高灵敏度的气体监测手段。因为气体分子在红外波段有较强吸收,且吸收峰的特征性强,所以通过测量气体的吸收谱线能够确定气体分子的种类与浓度,故在气体检测领域具有重要应用价值。目前,气体光谱检测方法有非色散红外法、傅立叶变换红外光谱法、差分光学吸收光谱法和可调谐二极管激光吸收光谱等。

[0003] 非色散红外法利用广谱光源检测待测气体,通过窄带滤光片滤出特定红外波段,测量进入红外传感器的红外光的强度,并基于气体选择吸收特性对分析气体分子成分。其对特定气体分子分析快速、准确;但是其测量波段窄、精度较低,难以测量复杂的多组分气体。

[0004] 傅里叶变换红外光谱技术通过傅立叶变换将信号光和本征光的干涉图转换成红外光谱图,可以对测量气体进行定性、定量的分析,其测量精度高、噪声低,常用于大气污染物的监测,但是其灵敏度低,难以实现ppm(百万分之一)及以下的气体浓度检测,同时受到机械移动速度的限制,其测量耗时较长。

[0005] 差分光学吸收光谱通过探测气体窄带吸收特性,并根据朗伯比尔定律推演微量气体种类和浓度信息。此技术设备低廉简单,且精度高;但该方法主要用于光学介质均匀分布的非散射体系,因此其应用范围有很大的局限性。

[0006] 可调谐二极管激光吸收光谱技术利用可调谐的半导体激光光源,通过频率扫描,得到气体分子的吸收光谱,再利用吸收峰的波长和高度获得气体的种类、浓度等信息。此技术灵敏度高和分辨率高,但是响应速度慢,同时受限于光源调谐范围,应用范围有限。

[0007] 因此,目前传统气体光谱检测技术普遍存在测量耗时、精度低,以及探测灵敏度有限和对多组分气体定量分析困难等问题。

[0008] 飞秒光学频率梳具有频谱宽、脉宽窄、重复频率稳定度等特点,为高分辨宽谱带红外光谱测量提供了更好的选择。双光梳光谱气体检测技术是在光梳技术基础上发展的一种新型光谱检测技术。原理与傅里叶变换光谱技术类似,不同之处在于其采用两个有微小重复频率差的光学频率梳作为全静态的干涉光源,而不再需要傅里叶变换光谱技术中的干涉仪的机械动臂,使得测量系统稳定性、分辨率、精度以及测量速度有了极大的提升。但是由于光梳光谱宽,单个梳齿能量低,从而导致该方法检测灵敏度低,因此通常需要结合腔增强技术进一步提高灵敏度。腔增强红外光梳光谱是指用光学谐振腔作为气体池,通过光在腔内往返振荡,增加气体吸收的有效光程,提高光谱测量灵敏度。现阶段的双光梳光谱气体检测技术均使用两台独立的光梳,需要抑制噪声处理,以保证双光梳的相干性。此技术需要精

细的锁腔设备和信号增强设备对双光梳进行锁腔和信号增强处理,系统成本较高。且双光梳对外界环境敏感,不利于户外使用,存在实用性差的问题。

发明内容

[0009] 本发明意在提供一种基于单腔双梳光源,通过单腔双光梳光源对气体进行检测,解决了传统的双光梳光谱技术需要对独立的双光梳进行锁腔的问题,减小了系统复杂性,降低成本,具备高实用性。

[0010] 本发明提供的技术方案为:一种单腔双梳光源,包括:泵浦光源、谐振腔和气体池,所述泵浦光源在谐振腔内形成存在重复频率差的第一光梳和第二光梳,所述气体池设于谐振腔内,所述第一光梳和第二光梳分别对向通过气体池并重复若干次。

[0011] 本发明的工作原理及优点在于:针对现有的气体光谱检测技术在测量分辨率、灵敏度、精度、成本等方面的问题。单腔双梳光源的泵浦光源在谐振腔内形成存在重复频率差的第一光梳和第二光梳,然后直接在谐振腔内分别对向通过气体池并重复若干次。通过上述结构实现了腔内增强的方式,免去了传统技术手段需要对独立的双光梳进行锁腔后信号增强的步骤及相应设备,优化了结构。此外本发明结合单腔双梳方式的高相干性的特点和腔内增强的结构能够进一步增强气体分子对相应波段双光梳的吸收,使双光梳充分携带多组分气体样品的吸收信息,从而能够检测到较弱的吸收谱线,提高了检测灵敏度。

[0012] 本发明通过发出存在重复频率差的第一光梳和第二光梳分别对向通过气体池并重复若干次后,对光信号进行分析,得到气体检测结果。单腔双梳的方式,不需要第二台光梳光源,本身具有高相干性,无需抑制噪声处理,解决了传统的双光谱技术存在的相干性问题。因此减少了对锁腔设备和技术的要求,不需要额外的锁腔及频率控制,减小了系统复杂性,降低成本,具备高实用性。

[0013] 进一步,所述谐振腔包括高反镜、输出镜、第一反射镜、第二反射镜和增益介质,所述高反镜、增益介质和输出镜依次设于同一直线上,所述第一反射镜、气体池和第二反射镜依次设于同一直线上;所述泵浦光源朝向高反镜,通过高反镜入射到增益介质形成方向相反的第一光梳和第二光梳;所述第一光梳经输出镜和第一反射镜的反射通过气体池后,经第二反射镜和高反镜的反射入射到增益介质;所述第二光梳经高反镜和第二反射镜的反射与第一光梳对向通过气体池后,经第一反射镜和输出镜的反射入射到增益介质;所述第一光梳和第二光梳分别对向通过气体池并重复若干次后经输出镜射出。

[0014] 通过上述谐振腔结构,泵浦光源产生双向的光,多次震荡,锁模后产生双光梳,第一光梳和第二光梳在腔内多次反射后重复经过气体池,被待测气体部分吸收,从而使光梳携带气体吸收谱的“指纹”信息。通过将气体池置于腔内,无需额外的锁腔,降低了对外界环境的要求,并且单腔双梳的高相干性和腔内增强能够起到光梳与分子相互作用的增强效果,增加了气体检测的灵敏度与响应度,有利于对提高电力设备故障气体中复杂多组分气体的检测能力。

[0015] 进一步,所述第一光梳和第二光梳的中心波长均为1550nm,所述增益介质为掺铒玻璃。

[0016] 第一光梳和第二光梳的中心波长与光源所使用的增益介质有关,并且光源的光谱需要覆盖待测气体的吸收峰。单腔光源入射到增益介质通过受激辐射产生中心波长均为

1550nm的双光梳,并存在与同一谐振腔内,有效抑制共模噪声,实现光频梳之间的高相干性。掺铒玻璃作为光路中的增益介质,能有效放大光信号。

[0017] 进一步,所述谐振腔包括波分复用器、增益介质、偏振控制器、半导体可饱和吸收镜、第一光纤耦合器、第一光纤准直器和第二光纤准直器,所述第一光纤准直器、波分复用器、增益介质、偏振控制器、半导体可饱和吸收镜、第一光纤耦合器和第二光纤准直器依次光纤连接,所述泵浦光源朝向波分复用器,所述气体池设于第一光纤准直器和第二光纤准直器之间。

[0018] 通过光纤传导光信号,能够进一步优化本发明气体检测系统的结构,降低设备技术和环境的要求,有利于应用在户外电力设备故障气体的检测。

[0019] 进一步,所述泵浦光源的中心波长为980nm,所述波分复用器为980/1550nm的波分复用器所述增益介质为掺铒光纤。

[0020] 泵浦光源的中心波长选用980nm,980nm泵浦光源的输出大都是非偏振光,为了匹配光源的输出光纤,选用980/1550nm的波分复用器。由于980nm和1550nm的间隔较大,他们的耦合系数差别也较大,因此更容易实现耦合器的波分复用,将980nm的光几乎全部耦合进光纤中。将掺铒光纤作为光纤中的增益介质,能有效放大光信号,与波分复用系统兼容,泵浦效率高,工作性能稳定。

[0021] 进一步,所述气体池上设有进气口、出气口和通光窗口。

[0022] 通过进气口将待测气体导入到气体池中。通过出气口对气体池抽真空,排出原残留样品气体。光梳经通光窗口通过气体池,实现对气体的检测。

[0023] 本发明还提供一种基于单腔双梳光源的气体检测系统,包括上述单腔双梳光源,还包括:合束器、第一光电探测器、第二光电探测器和电信号分析设备,所述第一光梳和第二光梳分别对向通过气体池并重复若干次后,经合束器合束拍频后分束为第一分束光和第二分束光,分别由第一光电探测器和第二光电探测器接收;所述第一光电探测器和第二光电探测器分别与电信号分析设备电连接。

[0024] 第一光梳和第二光梳分别对向通过气体池并重复若干次后,经合束器合束拍频后分束,并分别由第一光电探测器和第二光电探测器接收将光信号转化为电信号,电信号分析设备将电信号进行分析,得到气体检测结果。本发明基于单腔双梳的气体检测系统无需机械或光谱扫描,从传统光谱法的秒级测量速度提升到毫秒量级,从而快速响应成谱实现。通过合束器采用拍频法将光频与气体相互作用的信息转换到射频域,并由电信号分析设备直接测量,降低了对光谱信号检测的难度,提高测量精度。

[0025] 进一步,所述合束器为合束片,所述谐振腔的外光路包括第三反射镜,所述第二光梳通过第三反射镜入射到合束片,所述合束片与两束入射光呈45度角放置。

[0026] 合束片与两束入射光呈45度角放置,能够有效第一光梳和第二光梳通过合束片合为一束光,将双梳在空间重合光束,并反射和透射到两个光电探测器上,以实现合束后光信号的充分接收。

[0027] 进一步,所述合束器为第二光纤耦合器,所述第一光纤耦合器和第二光纤耦合器光纤连接,所述第二光纤耦合器分别与第一光电探测器和第二光电探测器光纤连接。

[0028] 第一光梳和第二光梳通过第一光纤耦合器分别输出至第二光纤耦合器。通过第二光纤耦合器合束拍频后分束为第一分束光和第二分束光,并分别由第一光电探测器和第二

光电探测器接收,采集时域干涉信号并转化为电信号,以实现合束后光信号的充分接收。

[0029] 进一步,所述电信号分析设备包括差分放大器和频谱仪,所述第一光电探测器和第二光电探测器分别与差分放大器电连接,所述差分放大器与频谱仪电连接。

[0030] 通过差分放大器将第一光电探测器和第二光电探测器的电信号抑制共模噪声并放大,频谱仪将放大后的电信号数据记录并进行分析,从而得到气体分子的超精细光谱图,即双光梳吸收光谱。相比于示波器,频谱仪可以直接将电信号转换成频域的强度信号,无需进行傅里叶变换。

附图说明

[0031] 图1为本发明一种基于单腔双梳光源的气体检测系统实施例一的结构示意图;

[0032] 图2为本发明一种基于单腔双梳光源的气体检测系统的腔内吸收增强原理图;

[0033] 图3为本发明一种基于单腔双梳光源的气体检测系统的双光梳拍频的光频梳齿图;

[0034] 图4为本发明一种基于单腔双梳光源的气体检测系统的双光梳拍频的拍频信号图;

[0035] 图5为本发明一种基于单腔双梳光源的气体检测系统实施例二的结构示意图。

具体实施方式

[0036] 下面将结合附图对本发明技术方案的实施例进行详细的描述。以下实施例仅用于更加清楚地说明本发明的技术方案,因此只作为示例,而不能以此来限制本发明的保护范围。

[0037] 需要注意的是,除非另有说明,本申请使用的技术术语或者科学术语应当为本发明所属领域技术人员所理解的通常意义。

[0038] 说明书附图中的标记包括:泵浦光源1、气体池2、第一光电探测器3、第二光电探测器4、差分放大器5、频谱仪6、合束片7、高反镜8、输出镜9、掺饵玻璃10、第一反射镜11、第二反射镜12、第三反射镜13、波分复用器14、掺饵光纤15、偏振控制器16、半导体可饱和吸收镜17、第一光纤准直器18、第二光纤准直器19、第一光纤耦合器20、第二光纤耦合器21。

[0039] 实施例一:

[0040] 如图1所示,本实施例公开了一种基于单腔双梳光源的气体检测系统,包括单腔双梳光源、气体池2、合束器、第一光电探测器3、第二光电探测器4、差分放大器5和频谱仪6。

[0041] 单腔双梳光源包括泵浦光源1和谐振腔,谐振腔包括高反镜8、输出镜9、第一反射镜11、第二反射镜12和增益介质。高反镜8、增益介质和输出镜9依次设于同一直线上,第一反射镜11、气体池2和第二反射镜12依次设于同一直线上。增益介质设于高反镜8和输出镜9的中间,气体池2设于第一反射镜11和第二反射镜12的中间,泵浦光源1朝向高反镜8。本实施例中增益介质为掺饵玻璃10。

[0042] 泵浦光源1的中心波长为980nm,泵浦光源1通过谐振腔的掺饵玻璃10形成方向相反且存在重复频率差的第一光梳和第二光梳,第一光梳和第二光梳的中心波长为1550nm。

[0043] 气体池2用于存储痕量多组分气体,设有进气口和出气口,以及用于超灵敏红外光谱检测的通光窗口。

[0044] 第一反射镜11和第二反射镜12为平面反射镜。高反镜8、输出镜9、第一反射镜11、第二反射镜12四个腔镜中组成的环形谐振腔内允许两种不同方向的光在腔内传播。其环形谐振腔的总腔长为L(光在环形谐振腔内传播时的光路长度),高反镜8与输出镜9的曲率半径均为R,两镜间距离为L',由谐振腔的稳定性条件可得:

$$-1 < 1 - \frac{L'}{R} - \frac{(L' + L(1 - 2\frac{L'}{R}))}{R} - \frac{L}{R} < 1。$$

[0045] 本实施例中合束器为合束片7,谐振腔的外光路包括第三反射镜13,合束片7设于沿输出镜9的直线上,使第一光梳通过输出镜9后射向合束片7,在第二光梳通过输出镜9射出的光路上设置第三反射镜13,使第二光梳通过输出镜9后通过第三反射镜13的反射后射向合束片7。合束片7与两束入射光呈45度角放置。

[0046] 第一光梳和第二光梳经合束器合束拍频后分束为第一分束光和第二分束光,分别设置第一光电探测器3和第二光电探测器4进行接收后经电信号分析设备进行处理,电信号分析设备包括差分放大器5和频谱仪6。第一光电探测器3和第二光电探测器4分别与差分放大器5电连接,差分放大器5与频谱仪6电连接。频谱仪6可以选用频谱仪6或示波器,本实施例中采用频谱仪6,可以直接将电信号转换成频域的信号,无需进行傅里叶变换。

[0047] 本实施例的实施过程如下:

[0048] CH₄、CO₂、CO、C₂H₄等混合气体是电力设备运行安全监测与预警中常见的重要特征气体,可以用于表征系统故障、运行安全,以及排除故障来源。例如,CH₄、C₂H₄气体对应油过热故障类型,CH₄、CO₂、CO、C₂H₄气体对应油和纸过热故障类型等。但是,这几种气体的特征谱线分布在不同的光谱波段,且吸收较弱,对其同时检测存在困难,其中CH₄光谱波段在1630-1750nm,CO₂光谱波段在1754-1828nm,C₂H₄光谱波段在1510-1540nm,CO光谱波段在1578-1585nm。

[0049] 本实施例针对CH₄、CO₂、CO、C₂H₄等混合气体进行检测。

[0050] 首先通过进气口将待测气体导入到气体池2中,并将进气口和出气口密闭,将气体池2设于第一反射镜11和第二反射镜12之间,待池内气体扩散均匀。

[0051] 泵浦光源1的中心波长为980nm。泵浦光源1通过谐振腔的掺铒玻璃10形成方向相反且存在重复频率差的第一光梳和第二光梳,第一光梳和第二光梳的中心波长为1550nm,光谱范围为1300-2000nm,重复频率分别为 $f_{r1}=100\text{MHz}$, $f_{r2}=100\text{MHz}+1\text{Hz}$ 。

[0052] 打开泵浦光源1,使光源通过高反镜8入射到掺铒玻璃10形成方向相反的第一光梳和第二光梳;第一光梳经输出镜9和第一反射镜11的反射通过气体池2后,经第二反射镜12和高反镜8的反射入射到掺铒玻璃10;第二光梳经高反镜8和第二反射镜12的反射与第一光梳对向通过气体池2后(图1中实线箭头为第一光梳传播方向,虚线箭头为第二光梳传播方向),经第一反射镜11和输出镜9的反射入射到掺铒玻璃10。其中第一光梳和第二光梳分别入射到掺铒玻璃10后再次经过上述多次反射后通过气体池2并重复若干次,直到光梳在腔内完成振荡,最后经输出镜9射出。上述过程中泵浦光在掺铒玻璃10处产生双向的1550nm光,多次震荡,锁模后产生双光梳。第一光梳和第二光梳在腔内多次经过气体池2,被待测气体部分吸收,从而使光梳携带气体吸收谱的“指纹”信息。通过将气体池2置于腔内,无需额外的锁腔,降低了对外界环境的要求,并且单腔双梳的高相干性能够达到光梳与分子相互作用的增强效果,增加了气体检测的灵敏度与响应度,有利于对提高电力设备故障气体中复杂多组分气体的检测能力。

[0053] 待测气体分子对透射光的吸收随经过次数的关系如图2所示,最终平均通过次数 n_b 与腔增强的精密度 F 相关,其和腔镜反射率的关系式为: $F = (\pi\sqrt{r_2 r_4}) / (1 - r_2 r_4)$, r_2 和 r_4 分别为高反镜8和输出镜9的反射率。腔内的待测气体所造成透射光功率 P 变化表达式为:

$$\frac{\partial P}{P} = \frac{2Fa(f)d}{\pi}, \quad a(f) \text{ 为吸收系数, } d \text{ 为吸光路径。}$$

[0054] 上述过程中第一光梳和第二光梳在谐振腔内多次通过气体池2,采集气体吸收信息,并分别经输出镜9射出。第二光梳经第三反射镜13在合束片7上与第一光梳合束拍频,并再次分束为第一分束光和第二分束光。其中第一分束光包括第一光梳的透射光和第二光梳的反射光,第二分束光包括第一光梳的反射光和第二光梳的透射光。此过程中,第一光梳和第二光梳从谐振腔的输出镜9分别输出,第二光梳经第三反射镜13反射在合束片7上与第一光梳拍频,由于不同气体吸收峰不同,产生的拍频信号也不相同,依此实现对多个气体分子吸收峰的同时测量,然后通过合束片7分束,分别入射到两个光电探测器上。

[0055] 第一分束光和第二分束光分别由第一光电探测器3和第二光电探测器4接收,采集时域干涉信号并转化为电信号。通过差分放大器5将第一光电探测器3和第二光电探测器4的电信号抑制共模噪声并放大,频谱仪6将放大后的电信号数据记录并进行分析,该频谱仪6可以直接将双光梳拍频的干涉信号转换成频域的强度信号,从而得到气体分子的超精细光谱图,即双光梳吸收光谱。

[0056] 如图3所示,本实施例中的光梳是指红外单腔双光梳光源,光谱范围为1000-14000nm均可,由于光梳光谱以由 N 根等间距的频率齿分布, N 为任意整数,通常 N 在 10^5 左右。其中每根光频率齿相当于一束单纵模激光,光梳的第一根梳齿的频率为 f_0 ,相邻频率齿间距为 f_r ,则第 n 根梳齿的绝对频率表示为 $f_n = (f_0 + nf_r)$,其中 $0 < n < N$,图3中光频梳齿实线为第一光梳 $f_{n(1)} = f_0 + nf_{r1}$,虚线为第二光梳 $f_{n(2)} = f_0 + nf_{r2}$ 。此外因为双光梳是在同一谐振腔内产生的,只是由于经过光学器件顺序不同而使得其重频有微小差别,因此具有好的相干性,不需要额外的频率控制,减少了对锁频锁相系统的需求,降低了成本。

[0057] 如图4所示,双光梳的拍频信号在第 n 个梳齿处的表达式为 $f_b = |(f_0 + nf_{r2}) - (f_0 + nf_{r1})| = m \Delta f$ 。双光梳光源零频均为 f_0 ,重复频率分别为 f_{r1} 和 f_{r2} ,且重频差为 $\Delta f = f_{r2} - f_{r1}$ 。吸收谱线遵循朗伯比尔定律, $I(v) = I_0(v) \exp[-\sigma(v)Nd]$, I 表示光强, v 为光的频率, N 为吸光物质分子数浓度, d 为吸光路径, $\sigma(v)$ 为介质吸收截面,一定温度下与入射光的波长等有关。

[0058] 此拍频方法将光频与气体相互作用的信息转换到射频域,大幅降低了对光谱信号检测的难度。例如,若光梳在第 n 个梳齿处检测到CH4吸收信号,相应梳齿处会产生一个频率为 f_b 的拍频信号,即 $f_b = n|f_{n(2)} - f_{n(1)}| = n \Delta f$, Δf 为已知量,再将射频域变换到光频域,通过模拟比对相应气体分子吸收峰位置获取气体成分信息,并由朗伯比尔定律计算气体浓度。

[0059] 待测量结束后,通过出气口对气体池2抽真空,排出原残留样品气体。

[0060] 本实施例基于单腔双梳的变压器油中故障气体检测系统无需机械或光谱扫描,从传统光谱法的秒级测量速度提升到毫秒量级,从而快速响应成谱实现。通过单腔双梳的方式,不需要第二台光梳光源,本身具有高相干性,无需抑制噪声处理,解决了传统的双光谱技术存在的相干性问题。因此减少了对锁腔设备和技术的要求,不需要额外的锁腔及频率

控制,减小了系统复杂性,降低成本,具备高实用性。此外本发明结合单腔双梳方式的高相干性的特点和腔内增强的结构能够进一步增强气体分子对相应波段双光梳的吸收,使双光梳充分携带多组分气体样品的吸收信息,从而能够检测到较弱的吸收谱线,提高了检测灵敏度。使用腔内增强的结构,降低了对锁腔设备和技术以及环境的要求,有利于应用在户外电力设备故障气体的检测。采用拍频法将光频与气体相互作用的信息转换到射频域,并由频谱仪6或示波器直接测量,降低了对光谱信号检测的难度从而提高测量精度。

[0061] 实施例二:

[0062] 如图5所示,本实施例与实施例一不同之处在于:

[0063] 谐振腔包括波分复用器14、增益介质、偏振控制器16、半导体可饱和吸收镜17、第一光纤耦合器20、第一光纤准直器18和第二光纤准直器19。第一光纤准直器18、波分复用器14、增益介质、偏振控制器16、半导体可饱和吸收镜17、第一光纤耦合器20和第二光纤准直器19依次光纤连接。泵浦光源1朝向波分复用器14,气体池2设于第一光纤准直器18和第二光纤准直器19之间。

[0064] 本实施例中合束器为第二光纤耦合器21,第一光纤耦合器20和第二光纤耦合器21光纤连接,第二光纤耦合器21分别与第一光电探测器3和第二光电探测器4光纤连接。

[0065] 本实施例中增益介质为掺铒光纤15,泵浦光源1的中心波长为980nm,波分复用器14为980/1550nm的波分复用器14。

[0066] 第一光纤耦合器20和第二光纤耦合器21均为2*2的光纤耦合器。

[0067] 其余结构与实施例一相同。

[0068] 本实施例的实施过程如下:

[0069] 打开泵浦光源1,980nm的泵浦光源1经过980/1550nm的波分复用器14进入到谐振腔内并分为第一光梳和第二光梳,第一光梳和第二光梳的重复频率为分别 $f_{r1}=100\text{MHz}$, $f_{r2}=100\text{MHz}+1\text{Hz}$ 。

[0070] 第一光梳通过第一光纤准直器18射出并重复通过气体池2,随后经第二光纤准直器19重新耦合进入光纤,再经过第一光纤耦合器20、半导体可饱和吸收镜17、偏振控制器16和掺铒光纤15后通过第一光纤准直器18再次射出。第二光梳通过偏振控制器16、半导体可饱和吸收镜17和第一光纤耦合器20后,通过第二光纤准直器19射出并重复通过气体池2后经第一光纤准直器18重新耦合进入光纤,随后经过掺铒光纤15再回到偏振控制器16(图5中实线箭头为第一光梳传播方向,虚线箭头为第二光梳传播方向)。其间多次通过气体池2后,第一光梳和第二光梳通过第一光纤耦合器20分别输出至第二光纤耦合器21。通过第二光纤耦合器21合束拍频后分束为第一分束光和第二分束光。

[0071] 第一分束光和第二分束光分别由第一光电探测器3和第二光电探测器4接收,采集时域干涉信号并转化为电信号。通过差分放大器5将第一光电探测器3和第二光电探测器4的电信号抑制共模噪声并放大,频谱仪6将放大后的电信号数据记录并进行分析,该频谱仪6可以直接将双光梳拍频的干涉信号转换成频域的强度信号,从而得到气体分子的超精细光谱图,即双光梳吸收光谱。通过模拟比对相应气体分子吸收峰位置获取气体成分信息,并由朗伯比尔定律计算气体浓度。

[0072] 待测量结束后,通过出气口对气体池2抽真空,排出原残留样品气体。

[0073] 以上的仅是本发明的实施例,方案中公知的具体结构及特性等常识在此未作过多

描述,所属领域普通技术人员知晓申请日或者优先权日之前发明所属技术领域所有的普通技术知识,能够获知该领域中所有的现有技术,并且具有应用该日期之前常规实验手段的能力,所属领域普通技术人员可以在本申请得出的启示下,结合自身能力完善并实施本方案,一些典型的公知结构或者公知方法不应当成为所属领域普通技术人员实施本申请的障碍。应当指出,对于本领域的技术人员来说,在不脱离本发明结构的前提下,还可以作出若干变形和改进,这些也应该视为本发明的保护范围,这些都不会影响本发明实施的效果和专利的实用性。本申请要求的保护范围应当以其权利要求的内容为准,说明书中的具体实施方式等记载可以用于解释权利要求的内容。

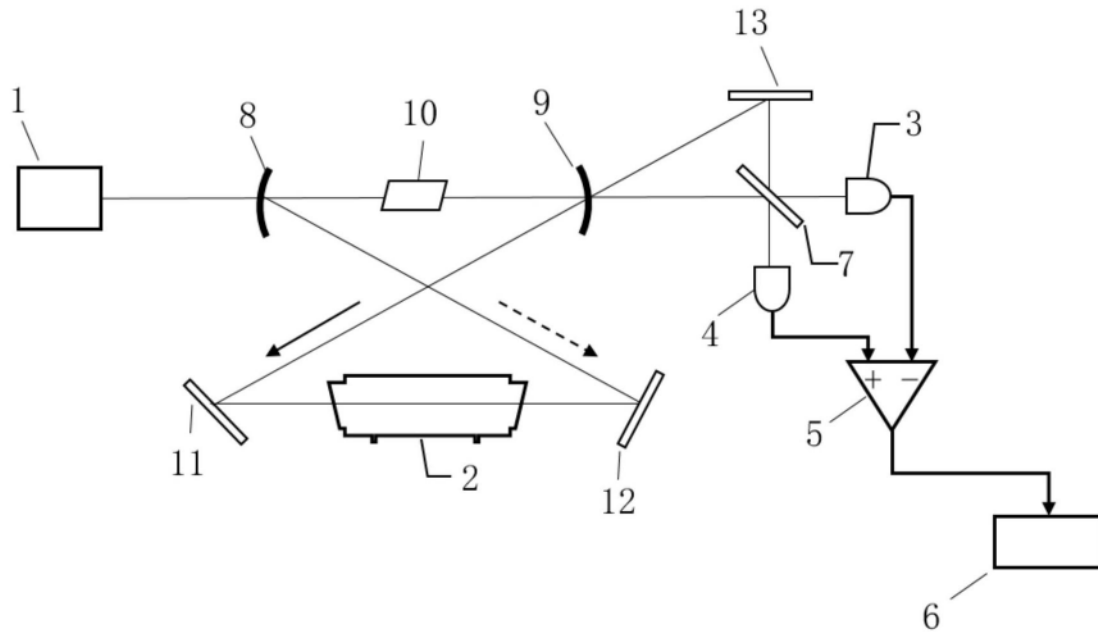


图1

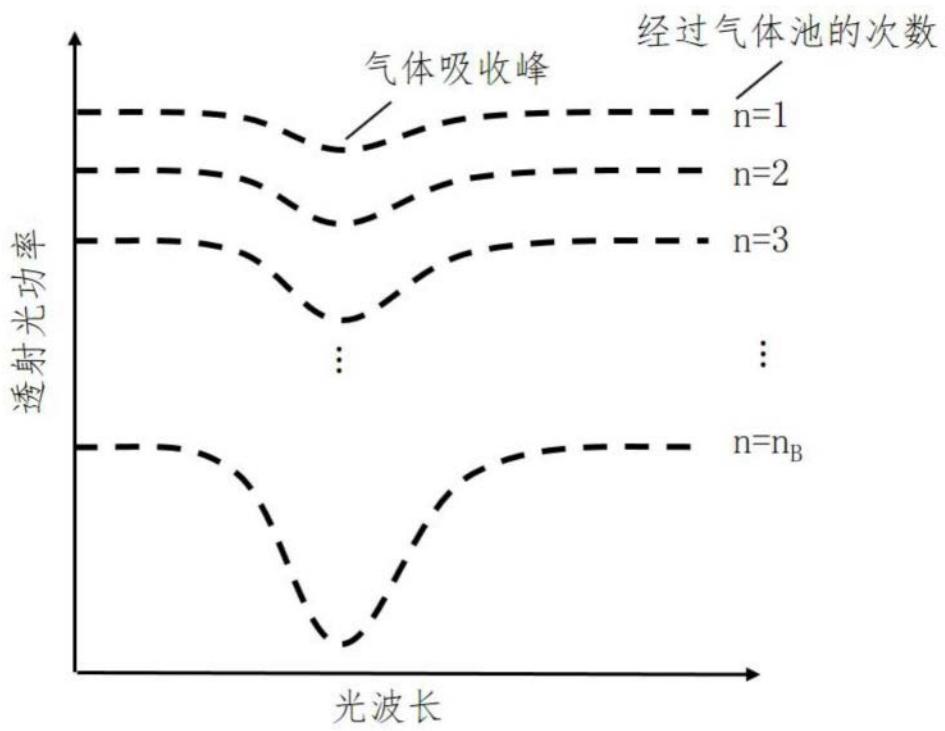


图2

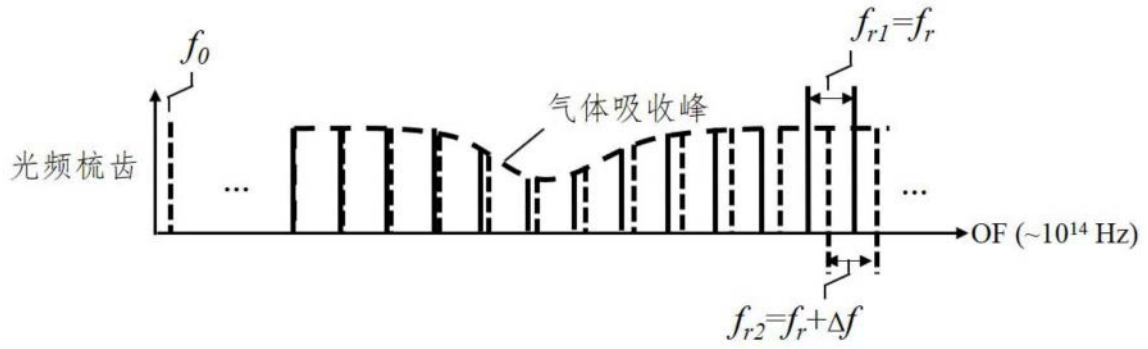


图3

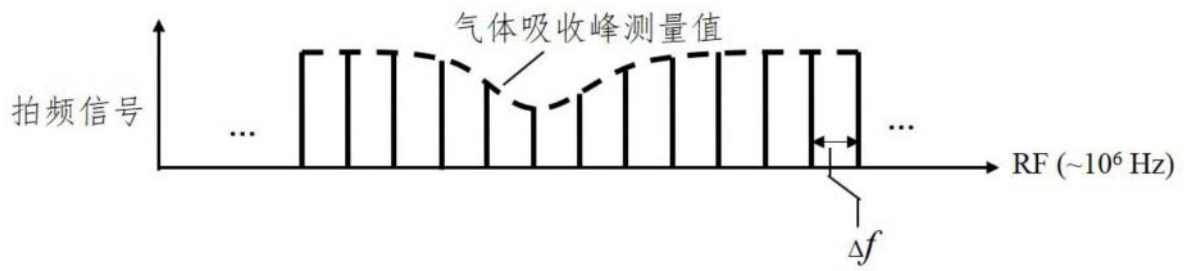


图4

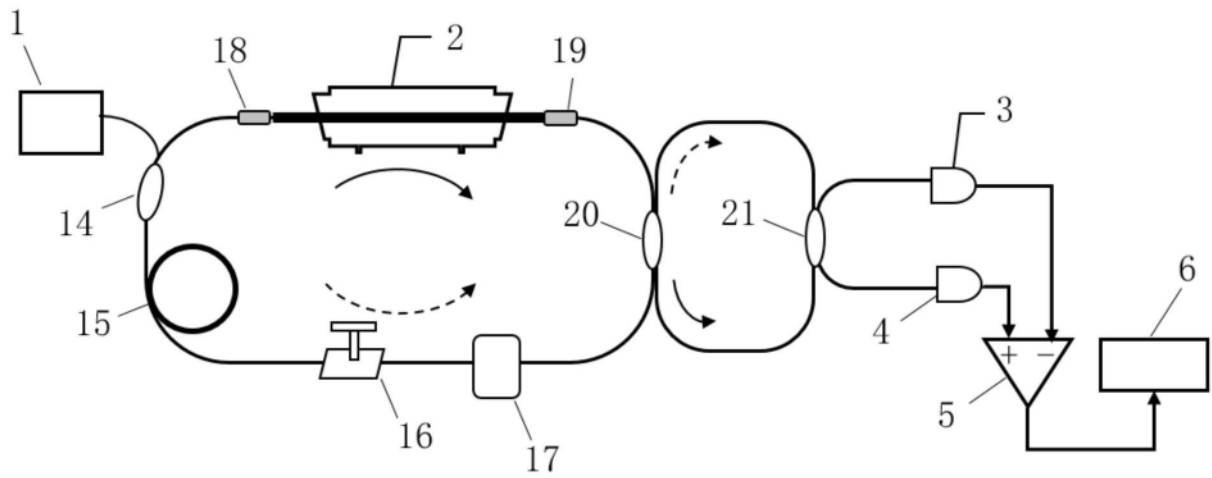


图5