



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106990091 B

(45)授权公告日 2020.04.28

(21)申请号 201710240359.X

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2017.04.13

G01N 21/65(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106990091 A

(56)对比文件

US 2012200851 A1,2012.08.09,

CN 106053428 A,2016.10.26,

(43)申请公布日 2017.07.28

万福等.光反馈腔增强吸收光谱技术的痕量乙烷检测研究.《光谱学与光谱分析》.2015,第35卷(第10期),

(73)专利权人 重庆大学

地址 400044 重庆市沙坪坝区沙坪坝正街174号

审查员 陈时靖

(72)发明人 万福 陈伟根 王品一 李剑

王有元 杜林 周淙 王飞鹏

黄正勇

(74)专利代理机构 北京同恒源知识产权代理有限公司 11275

代理人 赵荣之

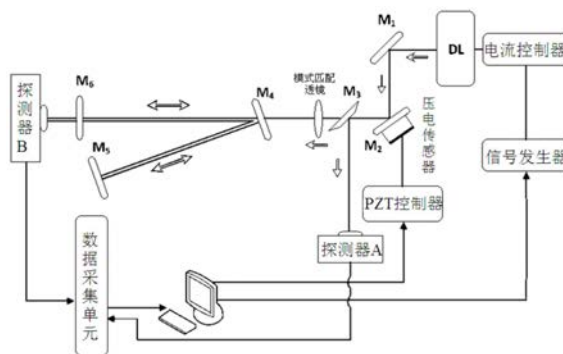
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

用于气体拉曼光谱检测信号增强的频率锁定V型增强腔

(57)摘要

本发明公开了用于气体拉曼光谱检测信号增强的频率锁定V型增强腔,包括激光单元、V型增强腔单元、频率锁定单元;所述激光单元包括激光器、电流控制器、信号发生器;V型增强腔单元包含3片呈V型结构放置的高透高反镜片;激光从M4进入增强腔并在M4、M5、M6之间来回反射上万次;所述频率锁定单元包括探测器A、探测器B、PZT及数据采集卡,其中探测器A采集腔前功率信号,探测器B采集腔后功率信号,2路信号经数据采集卡进入计算机;计算机分析腔后与腔前信号比值的变化情况,输出PZT反馈控制信号,进而调节PZT的位置,以达到反馈激光相位匹配,实现激光器输出频率的有效锁定.本发明实现了微量气体拉曼光谱散射信号的增强。



1. 一种用于气体拉曼光谱检测信号增强的频率锁定V型增强腔,其特征在于:包括激光单元、V型增强腔单元和频率锁定单元,

所述激光单元用于产生单一频率的单模TEM₀₀激光,激光单元包括依次连接的分布式反馈半导体激光器、电流控制器和信号发生器;

所述V型增强腔单元包括呈V型结构放置的高透高反镜片M₄、高透高反镜片M₅和高透高反镜片M₆,所述高透高反镜片M₄为平面镜,高透高反镜片M₅为平面镜,高透高反镜片M₆的反射面为凹球面,透射面为平面;激光从高透高反镜片M₄透射进入V型增强腔单元并在高透高反镜片M₄、高透高反镜片M₅、高透高反镜片M₆之间来回反射;

所述频率锁定单元包括探测器A、探测器B、反射镜M₂、功率采集板M₃、压电传感器、数据采集单元、PZT控制器以及计算机,其中探测器A采集腔前功率信号用于修正激光器波动的影响,探测器B采集腔后功率信号;分布式反馈半导体激光器出射的激光经反射镜M₂入射到功率采集板M₃;经功率采集板的一部分光透射到高透高反镜片M₄,另一部分光反射到控制器A;探测器A采集的信号和探测器B采集的信号经数据采集单元进入计算机,计算机分析腔后与腔前信号比值的变化情况,输出PZT反馈控制信号,通过PZT控制器调节压电传感器的位置来改变反射镜M₂的位置;

所述高透高反镜片M₄的正面反射率大于99.99%,背面透射率大于99.99%;所述高透高反镜片M₅的正面反射率大于99.99%,背面透射率大于99.99%;所述高透高反镜片M₆的正面反射率大于99.99%,背面透射率大于99.99%;

入射激光L₁与高透高反镜片M₄的交点A贴近高透高反镜片M₄的中心;透过高透高反镜片M₄的激光L₂交高透高反镜片M₆于点C,且交点C贴近高透高反镜片M₆的中心,激光L₂平行于高透高反镜片M₆上C点切平面法线方向;激光L₂经高透高反镜片M₆反射的激光L₃与高透高反镜片M₄交于点A,且激光L₃与高透高反镜片M₄的法线方向夹角为15°;激光L₃经高透高反镜片M₄反射的激光L₄交高透高反镜片M₅于点B,且激光L₄与高透高反镜片M₅法线方向平行;

激光L₃与激光L₄的夹角为30°;激光L₁与高透高反镜片的M₄法线方向夹角为15°;高透高反镜片M₄上点A到激光器的光程距离为 $3(S_{AC}+S_{AB})$ 。

2. 根据权利要求1所述的一种用于气体拉曼光谱检测信号增强的频率锁定V型增强腔,其特征在于:所述V型增强腔单元还包括模式匹配透镜,所述模式匹配透镜设置于高透高反镜片M₄与功率采集板之间。

3. 根据权利要求2所述的一种用于气体拉曼光谱检测信号增强的频率锁定V型增强腔,其特征在于:所述模式匹配透镜为平凸透镜。

用于气体拉曼光谱检测信号增强的频率锁定V型增强腔

技术领域

[0001] 本发明涉及环境、电力等行业气体检测领域，具体涉及一种用于气体拉曼光谱检测信号增强的频率锁定V型增强腔。

背景技术

[0002] 气体检测技术与装备是工业生产过程控制、环境监测、电力变压器早期故障诊断、国家安全等领域必备的重要检测手段，所需检测混合气体种类较多且浓度通常在ppm或ppb量级。目前常用的气相色谱法、质谱法、半导体气敏传感器法、红外吸收光谱及光声光谱法存在需要更换色谱柱、混合气体交叉敏感、易老化、稳定性不高等问题，无法满足各行业微量气体长期稳定检测的需要。拉曼光谱技术能利用单一波长的激光就能同时对混合特征气体直接进行检测分析，无需组分分离，抗老化能力强，在各行业高浓度气体检测领域得到较好的应用。但由于气体拉曼散射截面积小，拉曼散射效应弱，使基于拉曼光谱分析的最小检测浓度不能满足微量特征气体检测的需求。提高激光作用功率及有效作用长度是最常用且最有效的提高气体拉曼散射强度的方法。因此研究一种用于提高激光作用功率及有效作用长度的技术和方法来实现微量气体的拉曼光谱信号强度，对提升各行业微量气体检测、监测水平具有重要的学术价值和实际意义。

发明内容

[0003] 鉴于此，本发明的目的是提供一种用于气体拉曼光谱检测信号增强的频率锁定V型增强腔。本发明针对气体拉曼散射截面积小，拉曼散射效应弱，使基于拉曼光谱分析的最小检测浓度不能满足微量特征气体检测的需求的现状，提出了用于气体拉曼光谱检测信号增强的频率锁定V型增强腔，基于多光束干涉及激光器输出频率锁定增强腔模式，使激光高效耦合进入增强腔并在腔内来回多次反射，同时提高激光与气体的有效作用长度与激光功率，大幅提高气体拉曼散射强度。

[0004] 本发明的目的是通过以下技术方案实现的，一种用于气体拉曼光谱检测信号增强的频率锁定V型增强腔，包括激光单元、V型增强腔单元和频率锁定单元，

[0005] 所述激光单元用于产生单一频率的单模TEM₀₀激光，激光单元包括依次连接的分布式反馈半导体激光器、电流控制器和信号发生器；

[0006] 所述V型增强腔单元包括呈V型结构放置的高透高反镜片M4、高透高反镜片M5和高透高反镜片M6，所述高透高反镜片M4为平面镜，高透高反镜片M5为平面镜，高透高反镜片M6的反射面为凹球面，透射面为平面；激光从高透高反镜片M4透射进入V型增强腔单元并在高透高反镜片M4、高透高反镜片M5、高透高反镜片M6之间来回反射；

[0007] 所述频率锁定单元包括探测器A、探测器B、反射镜M2、功率采集板M3、压电传感器、数据采集单元、PZT控制器以及计算机，其中探测器A采集腔前功率信号用于修正激光器波动的影响，探测器B采集腔后功率信号；分布式反馈半导体激光器出射的激光经反射镜M2入射到功率采集板M3；经功率采集板的一部分光透射到高透高反镜片M4，另一部分光反射到

控制器A;探测器A采集的信号和探测器B采集的信号经数据采集单元进入计算机,计算机分析腔后与腔前信号比值的变化情况,输出PZT反馈控制信号,通过PZT控制器调节压电传感器的位置来改变反射镜M2的位置。

[0008] 进一步,所述高透高反镜片M4的正面反射率大于99.99%,背面透射率大于99.99%;所述高透高反镜片M5的正面反射率大于99.99%,背面透射率大于99.99%;所述高透高反镜片M6的正面反射率大于99.99%,背面透射率大于99.99%。

[0009] 进一步,入射激光L₁与高透高反镜片M₄的交点A贴近高透高反镜片M₄的中心;透过高透高反镜片M₄的激光L₂交高透高反镜片M₆于点C,且交点C贴近高透高反镜片M₆的中心,激光L₂平行于高透高反镜片M₆上C点切平面法线方向;激光L₂经高透高反镜片M₆反射的激光L₃与高透高反镜片M₄交于点A,且激光L₃与高透高反镜片M₄的法线方向夹角为15°;激光L₃经高透高反镜片M₄反射的激光L₄交高透高反镜片M₅于点B,且激光L₄与高透高反镜片M₅法线方向平行;激光L₃与激光L₄的夹角为30°;激光L₁与高透高反镜片的M₄法线方向夹角为15°;高透高反镜片M₄上点A到激光器的光程距离为3(S_{AC}+S_{AB})。

[0010] 进一步,所述V型增强腔单元还包括模式匹配透镜,所述模式匹配透镜设置于高透高反镜片M4与功率采集板之间。

[0011] 进一步,所述模式匹配透镜为平凸透镜。

[0012] 由于采用了上述技术方案,本发明具有如下的优点:

[0013] 本发明能提高激光与气体的有效作用长度与激光功率,实现微量气体拉曼光谱散射信号的增强,能较好的应用于微量气体拉曼光谱检测领域。

附图说明

[0014] 为了使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图对本发明作进一步的详细描述,其中:

[0015] 图1为用于气体拉曼光谱检测信号增强的频率锁定V型增强腔示意图;

[0016] 图2为V型腔镜片相对位置示意图;

[0017] 图3为基于LABVIEW的频率锁定单元流程图;

[0018] 图4为频率锁定下的腔模式。

具体实施方式

[0019] 以下将结合附图,对本发明的优选实施例进行详细的描述;应当理解,优选实施例仅为了说明本发明,而不是为了限制本发明的保护范围。

[0020] 图1所示为用于气体拉曼光谱检测信号增强的频率锁定V型增强腔结构示意图,包括激光单元、V型增强腔单元、频率锁定单元等。

[0021] 所述激光单元包括635nm分布式反馈半导体激光器(DL)、电流控制器、信号发生器等。电流控制器通过改变激光器扫描电流可以控制DL的输出频率,其中扫描电流波形由信号发生器控制(优化参数为:反锯齿波,频率2kHz,幅度40mV,偏置4.8V)。

[0022] 所述V型增强腔单元包含高透高反镜片M₄、高透高反镜片M₅和高透高反镜片M₆及增强腔外部的模式匹配透镜,3块高透高反镜片的正面反射率大于99.99%,背面透射率大于99.99%,波长630nm至680nm。其中M₄、M₅为平面镜,镜片直径25.4mm;M₆反射面为凹球面,曲

率半径250mm,透射面为平面,镜片直径25.4mm。

[0023] 3片高透高反镜呈V型结构放置,相对位置如图2所示,激光与高透高反镜片M₄、高透高反镜片M₅、高透高反镜片M₆分别交于为A、B、C,并达到以下要求:

[0024] 激光器入射激光L₁与高透高反镜片M₄的交点A贴近高透高反镜片M₄中心;透过高透高反镜片M₄的激光L₂交高透高反镜片M₆于点C,且交点C贴近高透高反镜片M₆中心,激光L₂平行于高透高反镜片M₆上C点切平面法线方向,确保腔内激光可以返回激光器,以实现频率锁定;激光L₂经高透高反镜片M₆反射的激光L₃与高透高反镜片M₄交于点A,且激光L₃与高透高反镜片M₄法线方向夹角为15°;激光L₃经高透高反镜片M₄反射的激光L₄交高透高反镜片M₅于点B,且激光L₄与高透高反镜片M₅法线方向平行;激光L₄经高透高反镜片M₅反射的激光L₅可按原路返回点A、点C,因此激光可在A、B、C三点之间来回多次反射;

[0025] 高透高反镜片M₄上点A与高透高反镜片M₅上点B距离125mm,M₄上点A与M₆上点C距离125mm。V型腔夹角(激光L₃与激光L₄夹角)为30°。腔外入射激光L₁与高透高反镜片M₄法线方向夹角为15°,因此可以防止激光器发出的激光直接被高透高反镜片M₄反射回激光器,造成频率误锁定。高透高反镜片M₄上点A与激光器距离为V型腔长(S_{AC}+S_{AB},S_{AC}为点A到点C的距离,S_{AB}为点A到点B的距离)的3倍,即750mm。激光从高透高反镜片M₄透射进入增强腔并在高透高反镜片M₄、高透高反镜片M₅、高透高反镜片M₆之间来回反射上万次,增加激光作用功率及激光与待测气体的有效作用长度。增强后的激光经M₄透射后延原路返回激光器,在相位匹配的条件下,能实现激光器输出频率有效锁定增强腔的共振频率/模式 $\nu = qc/2nL$ (ν 为激光频率,L为腔长,c为光速,n为腔内介质折射率,q取整数)。选取焦距 $f = 300\text{mm}$ 的平凸透镜作为模式匹配透镜,该透镜与高透高反镜片M₄上点A距离100mm,与激光器距离650mm,与入射激光夹角为10°,以防止激光器发出激光直接返回激光器。模式匹配透镜可以实现高斯光束的模式匹配,提高激光耦合进入增强腔的效率。

[0026] 所述频率锁定单元包括2个激光功率探测器(探测器A、探测器B)、压电传感器(PZT)及数据采集卡。其中探测器A采集腔前功率信号、探测器B采集腔后功率信号,2路信号经数据采集卡(单通道采样率500kS/s)进入计算机。利用LABVIEW软件编写PZT控制程序,将采集到的腔后与腔前信号按比值归一化处理,基于激光器腔模对称性理论对比值数据进行微分、积分处理,实现腔与激光器距离L_{C-L}(反馈光匹配相位)微小偏差的判断,输出负反馈信号控制PZT的移动,通过PZT的智能调节调控镜片M₂在最合适的位置上,从而实现激光器输出频率有效锁定V型增强腔的腔谐振模式。

[0027] 实际检测中,由于光反馈频率锁定效应,腔内可建立稳定的腔模式,腔后稳定腔模式信号如图4所示。单个激光器扫描电流周期内,腔内存在1个腔模式并出现在扫描周期中间位置(通过扫描电流频率和幅值来控制),PZT自动控制程序根据腔模式的对称性,自动调节PZT位移,此时腔内激光功率将大幅提高。

[0028] V型增强腔平均腔衰荡时间 τ_0 约为7 μs ,可得镜片有效反射率为:

$$[0029] \quad R = e^{-\frac{(L_1+L_2)}{2c\tau_0}} = 0.9999$$

[0030] 经探测器A采集的腔前功率信号为2.7mW,功率采样板M₃反射率为10%,因此进入V型增强腔内的激光功率为I_{DL} = 24.3mW。经探测器B采集的腔后功率为100 μW ,腔内激光功率为:

$$[0031] \quad I_{Cavity} = \frac{2I_{Trans}}{(1-R)}$$

[0032] 其中 I_{Trans} 为腔后功率(100 μ W), R 为镜片有效反射率(0.9999)。因此V型增强腔内激光功率为2000mW,增强倍数为 $I_{Cavity}/I_{LD} \approx 82$ 倍。

[0033] V型增强腔的品质因数为:

$$[0034] \quad F = \frac{\pi R}{(1-R^2)} = 15707$$

[0035] 一个光子平均在腔内来回反射次数为 $2F/\pi \approx 10000$ 次,等价于约25cm的光腔内实现了5km的有效作用路径。

[0036] 频率锁定V型增强腔的使用,使激光在高反镜 M_4 、 M_5 、 M_6 之间来回反射上万次,激光与待测气体的有效作用路径提升至5km,同时腔内激光功率提高82倍,从而频率锁定V型增强腔可实现了气体拉曼光谱散射信号的增强,约十多万倍。

[0037] 以上所述仅为本发明的优选实施例,并不用于限制本发明,显然,本领域的技术人员可以对本发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围。这样,倘若本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内,则本发明也意图包含这些改动和变型在内。

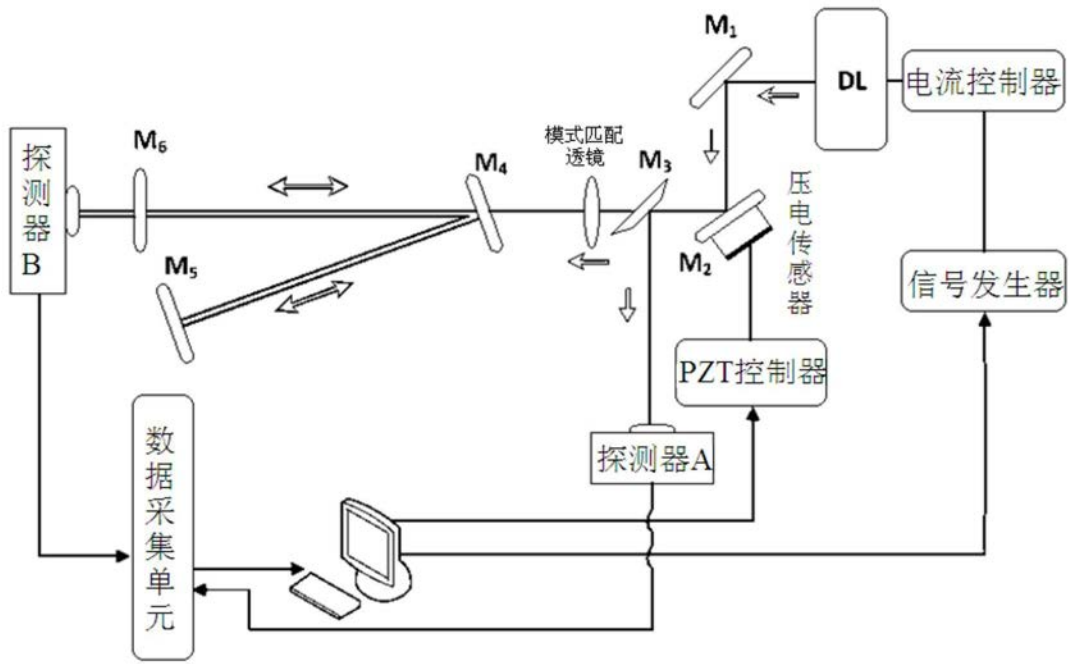


图1

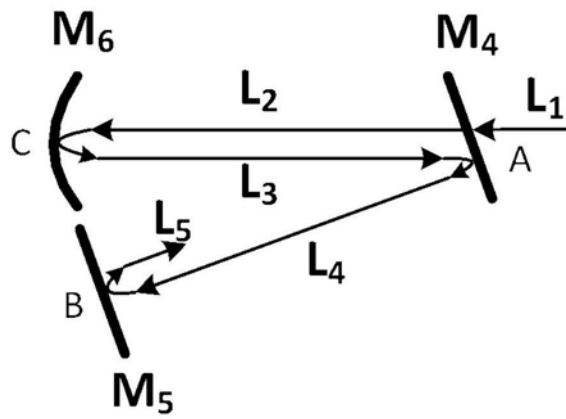


图2

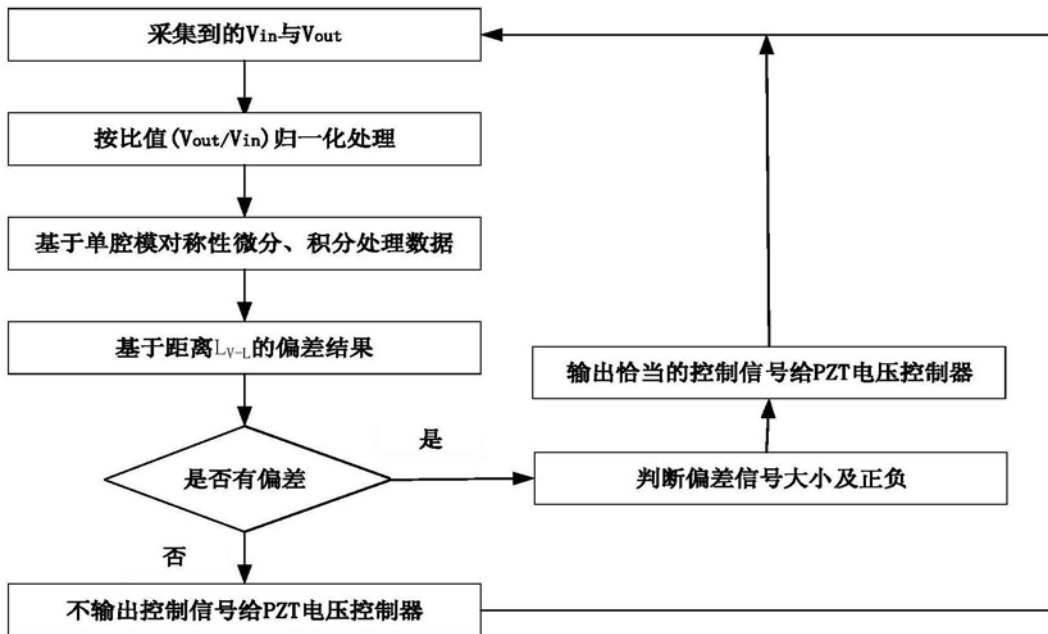


图3

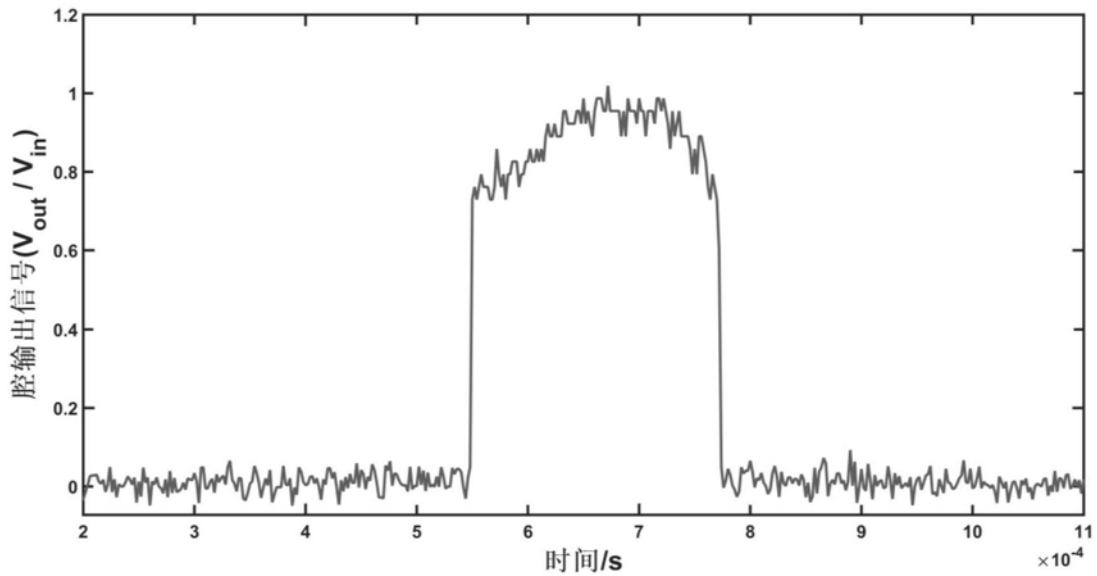


图4