



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111272663 B

(45) 授权公告日 2021.02.02

(21) 申请号 202010087714.6

(22) 申请日 2020.02.10

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 111272663 A

(43) 申请公布日 2020.06.12

(73) 专利权人 山西大学

地址 030006 山西省太原市小店区坞城路
92号

(72) 发明人 武红鹏 董磊 尚智金 李尚志

文钦佐·路易吉·斯帕格诺

安杰洛·桑保罗

彼得罗·帕蒂米斯科

(74) 专利代理机构 太原申立德知识产权代理事

务所(特殊普通合伙) 14115

代理人 程园园

(51) Int.Cl.

G01N 21/17 (2006.01)

G01N 21/25 (2006.01)

(56) 对比文件

US 2018196012 A1, 2018.07.12

US 2019145935 A1, 2019.05.16

US 2018196012 A1, 2018.07.12

CN 105651374 A, 2016.06.08

CN 107064012 A, 2017.08.18

CN 106290165 A, 2017.01.04

CN 103884419 A, 2014.06.25

审查员 杨涛

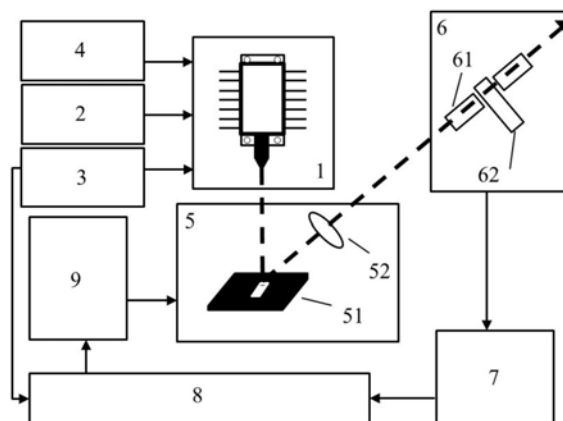
权利要求书3页 说明书9页 附图4页

(54) 发明名称

一种气体检测装置及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种气体检测装置及方法,该装置包括光源模块、类条形光束整形模块、光声信号探测模块和数据处理模块,类条形光束整形模块将激励光源整形为具有类条形光斑特性的激励光束,光声信号探测模块包括音叉式石英晶振及椭圆形声学谐振腔,具有类条形光斑特性的激励光束入射至光声信号探测装置并与待测气体作用产生的光声信号,光声信号在椭圆形声学谐振腔内共振增强后推动音叉式石英晶振的振臂振动产生电信号,通过探测电信号可反演出气体浓度;本发明采用类条形光束整形模块解决了传统圆形光斑光束整形难以及音叉式石英晶振几何结构不匹配导致的音叉振臂感声面积利用率低的问题;椭圆形声学谐振腔进一步提高了声波耦合效率和探测灵敏度。



1. 一种气体检测装置,其特征在于:包括光源模块、类条形光束整形模块(5)、光声信号探测模块(6)和数据处理模块,所述光源模块包括激励光源(1)、第一函数发生器(2)、第二函数发生器(3)和光源温度控制器(4),所述类条形光束整形模块(5)将输入的激励光源整形为具有类条形光斑特性的激励光束,所述数据处理模块包括跨阻抗前置放大器(7)、锁相放大器(8)和计算机(9);所述第一函数发生器(2)的信号输出端和激励光源(1)的电流扫描输入端连接,所述第二函数发生器(3)的信号输出端与激励光源(1)的电流调制输入端连接,第二函数发生器(3)的同步信号输出端与锁相放大器(8)的同步信号输入端连接,所述光源温度控制器(4)的输出端与激励光源(1)的温控输入端连接,所述跨阻抗前置放大器(7)的信号输入端与光声信号探测模块(6)连接,跨阻抗前置放大器(7)的信号输出端与锁相放大器(8)的输入端连接,所述锁相放大器(8)的通讯端口与计算机(9)通讯端口相连接,所述类条形光束整形模块(5)根据组成选择与计算机(9)通讯端口连接或不连接;所述激励光源(1)的输出光束传播至类条形光束整形模块(5),经类条形光束整形模块(5)整形后的具有类条形光斑特性的激励光束传播至光声信号探测模块(6);所述光声信号探测模块(6)包括音叉式石英晶振(62)及与其相匹配的椭圆形声学谐振腔(61),所述跨阻抗前置放大器(7)的两个信号输入端分别与音叉式石英晶振(62)的电极连接,并将其中一个信号输入端接地,所述椭圆形声学谐振腔(61)由两个椭圆形毛细管组成,椭圆形毛细管对称放置在音叉式石英晶振(62)的两侧,两个椭圆形毛细管中心轴线重合且穿过音叉式石英晶振(62)两振臂间隙,椭圆形毛细管端面与音叉式石英晶振(62)的振臂平行,椭圆形毛细管端面与音叉式石英晶振(62)的振臂不可接触且间距 d 不超过 $100\mu\text{m}$ 。

2. 根据权利要求1所述的一种气体检测装置,其特征在于:所述类条形光束整形模块(5)由数字微镜器件(51)和汇聚透镜(52)组成,或由鲍威尔棱镜(53)和条形狭缝(54)组成。

3. 根据权利要求2所述的一种气体检测装置,其特征在于:当所述类条形光束整形模块(5)由数字微镜器件(51)和汇聚透镜(52)组成时,所述数字微镜器件(51)的信号输入端口通过串口数据线与计算机(9)的输出端口相连;所述数字微镜器件(51)的微镜镜片固定在三维调节架上,以方便进行光路准直以及光束的整形,所述激励光源(1)与数字微镜器件(51)的间距可调,以实现照射在数字微镜器件(51)微镜镜片上的光束面积可调,所述激励光源(1)的输出光束经数字微镜器件(51)后形成的类条形激励光束经过汇聚透镜(52)后进一步将其汇聚成具有类条形光斑特性的激励光束,所述数字微镜器件(51)和汇聚透镜(52)的位置可调,以使具有类条形光斑特性的激励光束与光声信号探测模块(6)相匹配。

4. 根据权利要求2所述的一种气体检测装置,其特征在于:当所述类条形光束整形模块(5)由鲍威尔棱镜(53)和条形狭缝(54)组成时,所述激励光源(1)的输出光束通过鲍威尔棱镜(53)后形成的类条形光束及未进入鲍威尔棱镜(53)的光束传播至条形狭缝(54),通过条形狭缝(54)形成的具有类条形光斑特性且与光声信号探测模块(6)相匹配的激励光束传播至光声信号探测模块(6)。

5. 一种利用如权利要求1-4任一项所述的气体检测装置的气体检测方法,其特征在于:包括以下步骤:

(a) 激励光源(1)在第一函数发生器(2)、第二函数发生器(3)和光源温度控制器(4)的驱动下输出光束,第一函数发生器(2)输出三角波信号,通过控制三角波信号的电压幅值,对激励光源输出光束的波长在待测气体的选定吸收线附近进行扫描,具体扫描原则为:保

证输出光束波长缓慢经过待测气体的目标吸收线;第二函数发生器(3)输出正弦信号,通过控制正弦信号的频率,对激励光源(1)的输出光束波长进行调制;控制正弦信号的频率具体为:将第二函数发生器(3)的输出频率值设定为音叉式石英晶振(62)共振频率的一半;

(b) 调整激励光源(1)输出光束的传播方向,将输出光束入射至类条形光束整形模块(5);

(c) 调整类条形光束整形模块(5)或光声信号探测模块(6),将经过类条形光束整形模块(5)之后的具有类条形光斑特性的激励光束入射至光声信号探测模块(6),并保证具有类条形光斑特性的激励光束与音叉式石英晶振(62)的几何结构及装配位置相匹配;

(d) 整形之后的具有类条形光斑特性的激励光束与待测气体在光声信号探测模块(6)内相互作用后产生光声信号,声波由于椭圆形谐振腔的共振作用被放大并收集,推动音叉式石英晶振(62)的振臂振动,由音叉式石英晶振的压电效应将光声信号转换为电信号,并被跨阻抗前置放大器(7)所接收和放大;

(e) 锁相放大器(8)接收来自跨阻抗前置放大器(7)的压电信号以及第二函数发生器(3)提供的同步信号,以二次谐波解调的方法对压电信号进行处理,锁相放大器(8)解调后的相关数据通过数据串口线被传输至计算机(9)用于计算反演被测气体浓度;解调后得到的二次谐波信号的峰值对应于待测气体的浓度信息,由于压电信号与气体浓度成正比,利用事先通过已知浓度的该气体对测量装置进行浓度标定的结果,即可得到待测气体的浓度信息。

6. 根据权利要求5所述的一种利用气体检测装置的气体检测方法,其特征在于:所述步骤(b)中,当所述类条形光束整形模块(5)由数字微镜器件(51)和汇聚透镜(52)组成时,输出光束传播方向相对于数字微镜器件(51)微镜阵列所在平面的入射角度为 $30^{\circ}\sim 150^{\circ}$ 之间任意角度;所述数字微镜器件(51)的整形所用成像图片为黑色背景的白色矩形,由计算机(9)设定白色矩形面积的大小,根据激励光源(1)与数字微镜器件(51)的间距调整输出光束照射在数字微镜器件(51)上的面积,并保证该面积与设定的白色矩形面积相匹配;

当所述类条形光束整形模块(5)为鲍威尔棱镜(53)和条形狭缝(54)组成时,输出光束传播方向相对于鲍威尔棱镜(53)的顶端垂直。

7. 根据权利要求5所述的利用气体检测装置的一种气体检测方法,其特征在于:所述步骤(c)中的调整类条形光束整形模块(5)或光声信号探测模块(6),具体为:

当所述类条形光束整形模块(5)由数字微镜器件(51)和汇聚透镜(52)组成时,在确定输出光束传播方向相对于数字微镜器件(51)微镜阵列所在平面的入射角度之后,将汇聚透镜(52)放置在输出光束经过数字微镜器件(51)后的反射光路上,根据数字微镜器件(51)和汇聚透镜(52)的间距确定汇聚透镜(52)的焦距以及音叉式石英晶振(62)的装配位置,通过调整数字微镜器件(51)、汇聚透镜(52)和音叉式石英晶振(62)的位置,使具有类条形光斑特性的激励光束无接触穿过音叉式石英晶振(62)的振臂间隙及椭圆形声学谐振腔(61),并保证椭圆形声学谐振腔(61)的中心与类条形光斑中心重合;

当所述类条形光束整形模块(5)为鲍威尔棱镜(53)和条形狭缝(54)组成时,调整条形狭缝(54)与音叉式石英晶振(62)的间距,使具有类条形光斑特性的激励光束无接触穿过音叉式石英晶振(62)的振臂间隙及椭圆形声学谐振腔(61),并保证椭圆形声学谐振腔(61)的中心与类条形光斑中心重合。

8. 根据权利要求5-7任一项所述的利用气体检测装置的一种气体检测方法,其特征在于:所述步骤(a)中第一函数发生器和第二函数发生器的输出信号各项参数的控制,所述步骤(c)中数字微镜器件(51)的整形所用成像图片的尺寸参数的设定,以及所述步骤(e)中由二次谐波数据获得待测气体浓度信息的反演过程,均由计算机(9)通过运行LabView软件实现自动化控制。

一种气体检测装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及气体传感技术,具体涉及一种气体检测装置及方法。

背景技术

[0002] 痕量气体检测技术在环境、工业、航空航天、医疗技术领域发挥着重要作用。近年来,作为间接吸收光谱技术的一种,光声光谱技术以其零背景、选择性好、无波长选择性、探测灵敏度与激励光功率正相关等特性受到了极大的关注且被成功应用于众多领域。石英增强光声光谱是传统光声光谱的一种改进,该技术的核心是采用低成本,小尺寸的音叉式石英晶振(以下简称为石英音叉)替代传统的宽带麦克风,实现了微弱声波的探测。石英增强光声光谱技术的基本原理如下:气体吸收激励光源的光能跃迁至高能态,由于碰撞退激发弛豫过程产生声波,声波推动石英音叉两振臂产生对称性振动,从而借助石英材料的压电特性将与气体浓度相关的声波信号转换为易于探测分析的电学信号。此外,石英增强光声光谱传感器中通常会装配圆柱形微型声学谐振腔,以增强光声信号与石英音叉的耦合程度。石英增强光声光谱传感器有两种微型共振腔配置:一种是在轴配置,光从石英音叉两振臂间通过,两个微型腔被沿光路放置在音叉前后;另一种是离轴配置,光从微型共振腔通过,在微型共振腔中心有一小孔,面对着石英音叉两振臂之间的狭缝,石英音叉被水平的贴在小孔上。由于激励光源与石英音叉或微型共振腔相互作用会产生明显的干扰噪声,因此无论采用在轴配置还是离轴配置,激励光源都必须保证不能接触石英音叉或者微型声学谐振腔,以确保石英增强光声光谱痕量气体传感器的探测灵敏度。目前,绝大多数石英增强光声光谱痕量气体传感器采用商用标准石英音叉作为声学换能器。由于标准石英音叉两振臂间距仅为0.3mm,因此激励光源需要通过光学器件进行预处理,以确保光斑直径小于0.3mm。这一操作虽然有效降低了由于光接触产生的背景噪声,但使得光声信号与石英音叉振臂的有效作用面积积极小,从而使石英音叉振臂的绝大部分响应区间无法与光声信号相互作用,造成了石英音叉振臂内表面的利用率严重不足,如图1(a)所示。

[0003] 此外,无波长选择性及灵敏度与激励光功率正相关的特性使得石英增强光声光谱痕量气体传感器可以从大功率光源或诸如中红外、太赫兹光源等新型光源的不断发展中获得益处。然而量子级联激光器、LED等光源的发光机制使得新型光源的出射光大多为条形等不规则形状。因此,需要配套研发棱镜组或更复杂的光学准直装置将具有不规则光斑的光束整形滤波为圆形光斑才能将上述新型光源应用于石英增强光声光谱痕量气体传感器。光束整形的难度会随着原始光斑不规则度或出射光功率的增加而加大。

[0004] 综上所述,增加石英音叉振臂内表面的利用率并降低光束整形的难度及复杂度是提高石英增强光声光谱气体浓度检测灵敏度的有效方法之一。

发明内容

[0005] 针对现有技术中量子级联激光器光源、太赫兹光源、LED光源等新型光源用于石英增强光声光谱技术中时的光束整形难题,以及由于传统石英增强光声光谱技术中采用具有

圆形光斑的激励光源导致的石英音叉振臂内表面利用率低的问题,本发明旨在提供一种气体检测装置及方法,通过将激励光源光斑形状整形为条形或长椭圆形的类条形光斑,并设计与之配套的椭圆形声学谐振腔,以增强光声信号与音叉式石英晶振的作用效率,从而提高石英增强光声光谱气体浓度检测的灵敏度。

[0006] 为实现上述目的,本发明采用了以下技术方案:

[0007] 一种气体检测装置,包括光源模块、类条形光束整形模块、光声信号探测模块和数据处理模块,所述光源模块包括激励光源、第一函数发生器、第二函数发生器和光源温度控制器,所述类条形光束整形模块将输入的激励光源整形为具有类条形光斑特性的激励光束,所述数据处理模块包括光声跨阻抗前置放大器、锁相放大器和计算机;所述第一函数发生器的信号输出端和激励光源的电流扫描输入端连接,所述第二函数发生器的信号输出端与激励光源的电流调制输入端连接,第二函数发生器的同步信号输出端与锁相放大器的参考信号输入端连接,所述光源温度控制器的输出端与激励光源的温控输入端连接,所述跨阻抗前置放大器的信号输入端与光声信号探测模块连接,跨阻抗前置放大器的信号输出端与锁相放大器的输入端连接,所述锁相放大器的通讯端口与计算机通讯端口相连接,所述类条形光束整形模块根据组成选择与计算机通讯端口连接或不连接;所述激励光源的输出光束传播至类条形光束整形模块,经类条形光束整形模块整形后的具有类条形光斑特性的激励光束传播至光声信号探测模块。

[0008] 进一步地,所述类条形光束整形模块由数字微镜器件和汇聚透镜组成,或由鲍威尔棱镜和条形狭缝组成。上述类条形光束整形模块的结构简单,制作成本低,可与不同的激励光源匹配,易于广泛推广使用。

[0009] 再进一步地,当所述类条形光束整形模块由数字微镜器件和汇聚透镜组成时,所述数字微镜器件的信号输入端口通过串口数据线与计算机的输出端口相连;所述数字微镜器件的微镜镜片固定在三维调节架上,以方便进行光路准直以及光束的整形,所述激励光源与数字微镜器件的间距可调,以实现照射在数字微镜器件微镜镜片上的光束面积可调,所述激励光源的输出光束经数字微镜器件后形成的类条形激励光束经过汇聚透镜后进一步将其汇聚成具有类条形光斑特性的激励光束,所述数字微镜器件和汇聚透镜的位置可调,以使具有类条形光斑特性的激励光束与光声信号探测模块相匹配。

[0010] 更进一步地,当所述类条形光束整形模块由鲍威尔棱镜和条形狭缝组成时,所述激励光源的输出光束通过鲍威尔棱镜后形成的类条形光束及未进入鲍威尔棱镜的光束传播至条形狭缝,通过条形狭缝形成的具有类条形光斑特性且与光声信号探测模块相匹配的激励光束传播至光声信号探测模块。该技术方案的优点在于类条形光束整形模块具有机构简单,易操作,成本低的优点,有利于本发明所述气体检测装置的工业化批量生产。

[0011] 更进一步地,所述光声信号探测模块包括音叉式石英晶振及与其相匹配的椭圆形声学谐振腔,所述跨阻抗前置放大器的两个信号输入端分别与音叉式石英晶振的电极连接,并将其中一个信号输入端接地,所述椭圆形声学谐振腔由两个椭圆形毛细管组成,椭圆形毛细管对称放置在音叉式石英晶振的两侧,两个椭圆形毛细管中心轴线重合且穿过音叉式石英晶振两振臂间隙,椭圆形毛细管端面与音叉式石英晶振的振臂平行,椭圆形毛细管端面与音叉式石英晶振的振臂不可接触且间距 d 不超过 $100\mu\text{m}$ 。且应在装配精度允许的条件下尽量小,以确保椭圆形声学谐振腔与音叉式石英晶振之间形成强声学耦合。椭圆形声学

谐振腔的几何结构在实现光声信号谐振增强的情况下避免了类条形光斑激励光束与谐振腔的接触,从而有效消除了激励光与光声信号探测模块接触造成的背景噪声,从而极大的提高了装置的探测灵敏度。

[0012] 利用一种气体检测装置的检测方法,包括以下步骤:

[0013] (a) 激励光源在第一函数发生器、第二函数发生器和光源温度控制器的驱动下输出光束,第一函数发生器输出三角波信号,通过控制三角波信号的电压幅值,对激励光源输出光束的波长在待测气体的选定吸收线附近进行扫描,第二函数发生器输出正弦信号,通过控制正弦信号的频率,对激励光源的输出光束波长进行调制;

[0014] (b) 调整激励光源输出光束的传播方向,将输出光束入射至类条形光束整形模块;

[0015] (c) 调整类条形光束整形模块或光声信号探测模块,将经过类条形光束整形模块之后的具有类条形光斑特性的激励光束入射至光声信号探测模块,并保证具有类条形光斑特性的激励光束与音叉式石英晶振的几何结构及装配位置相匹配;

[0016] (d) 整形之后的具有类条形光斑特性的激励光束与待测气体在光声信号探测模块内相互作用后产生光声信号,声波由于椭圆形谐振腔的共振作用被放大并收集,推动音叉式石英晶振的振臂振动,由音叉式石英晶振的压电效应将光声信号转换为电信号,并被跨阻阻抗前置放大器所接收和放大;

[0017] (e) 锁相放大器接收来自跨阻阻抗前置放大器的压电信号以及第二函数发生器提供的同步信号,以二次谐波解调的方法对压电信号进行处理,锁相放大器解调后的相关数据通过数据串口线被传输至计算机用于计算反演被测气体浓度;解调后得到的二次谐波信号的峰值对应于待测气体的浓度信息,由于压电信号与气体浓度成正比,利用事先通过已知浓度的该气体对测量装置进行浓度标定的结果,即可得到待测气体的浓度信息。

[0018] 进一步地,所述步骤(a)中,对激励光源输出光束的波长在待测气体的选定吸收线附近进行扫描,具体扫描原则为:保证输出光束波长缓慢经过待测气体的目标吸收线;第二函数发生器输出正弦信号,通过控制正弦信号的频率,对输出光束的波长进行调制,具体为:将第二函数发生器的输出频率值设定为音叉式石英晶振共振频率的一半。

[0019] 再进一步地,所述步骤(b)中,当所述类条形光束整形模块由数字微镜器件和汇聚透镜组成时,输出光束传播方向相对于数字微镜器件微镜阵列所在平面的入射角度为 30° ~ 150° 之间任意角度;所述数字微镜器件的整形所用成像图片为黑色背景的白色矩形,由计算机设定白色矩形面积的大小,根据激励光源与数字微镜器件的间距调整输出光束照射在数字微镜器件上的面积,并保证该面积与设定的白色矩形面积相匹配;所述数字微镜器件的工作面积由电脑控制,可人为控制使其与照射在数字微镜上的光斑尺寸相匹配,从而提高了激励光源的利用率。

[0020] 当所述类条形光束整形模块为鲍威尔棱镜和条形狭缝组成时,输出光束传播方向相对于鲍威尔棱镜的顶端垂直。该方案将避免对激励光束入射角度的调整控制,简化装置的装配过程。

[0021] 更进一步地,所述步骤(c)中的调整类条形光束整形模块或光声信号探测模块,具体为:

[0022] 当所述类条形光束整形模块由数字微镜器件和汇聚透镜组成时,在确定输出光束传播方向相对于数字微镜器件微镜阵列所在平面的入射角度之后,将汇聚透镜放置在输出

光束经过数字微镜器件后的反射光路上,根据数字微镜器件和汇聚透镜的间距确定汇聚透镜的焦距以及音叉式石英晶振的装配位置,通过调整数字微镜器件、汇聚透镜和音叉式石英晶振的位置,使具有类条形光斑特性的激励光束无接触穿过音叉式石英晶振的振臂间隙及椭圆形声学谐振腔,并保证椭圆形声学谐振腔的中心与类条形光斑中心重合;

[0023] 当所述类条形光束整形模块为鲍威尔棱镜和条形狭缝组成时,调整条形狭缝与音叉式石英晶振的间距,使具有类条形光斑特性的激励光束无接触穿过音叉式石英晶振的振臂间隙及椭圆形声学谐振腔,并保证椭圆形声学谐振腔的中心与类条形光斑中心重合。

[0024] 进一步地,所述步骤(a)中第一函数发生器和第二函数发生器的输出信号各项参数的控制,所述步骤(c)中数字微镜器件的整形所用成像图片的尺寸参数的设定,以及所述步骤(e)中由二次谐波数据获得待测气体浓度信息的反演过程,均由计算机通过运行LabView软件实现自动化控制。

[0025] 与现有技术相比,本发明具有以下有益效果:

[0026] 1、与传统的圆形光斑相比,本发明采用类条形光束整形模块将输入的激励光源整形为具有类条形光斑特性的激励光束,整形之后的类条形光斑能够使得音叉式石英晶振的振臂内表面被充分利用,解决了传统圆形光斑与音叉式石英晶振几何结构的不匹配导致的音叉振臂感声面积利用率低的问题,从而增强了光声信号,提高了石英增强光声光谱气体浓度检测的灵敏度。

[0027] 2、本发明验证了LED光源、太赫兹光源、量子级联激光器光源等带状光源与石英增强光声光谱传感器联用的可行性,这意味着无需在激光束圆形化方面浪费过多的时间和金钱,降低了石英增强光声光谱传感器系统的复杂性并且节省了成本。

[0028] 3、本发明提供的两种类条形光束整形模块均可以通过调整尺寸及位置使之与不同尺寸的音叉式石英晶振相匹配,具有极强的普适性,可广泛用于环境监测、工业生产控制等领域的气体监测;同时解决了量子级联激光器光源、太赫兹光源、LED光源等新型光源用于石英增强光声光谱技术中时的光束整形难题。

[0029] 4、本发明设计的与带状光源相匹配的椭圆形声学谐振腔,可有效提升音叉式石英晶振与椭圆形声学谐振腔之间的耦合效率,从而增强光声信号,提高石英增强光声光谱气体浓度检测的灵敏度。

[0030] 5、本发明验证了具有类条形光斑特性的激励光源可有效提高石英增强光声光谱痕量气体传感器的性能,为提高光声光谱气体传感器性能提供了全新的思路和方法。

附图说明

[0031] 图1是圆形光斑激励光源与类条形光斑激励光源条件下音叉式石英晶振振臂的有效响应区间对比图,其中,图1(a)是圆形光斑激励光源,图1(b)是类条形光斑激励光源;

[0032] 图2是鲍威尔棱镜几何形状及其对激励光束的整形效果模拟图;

[0033] 图3是本发明中椭圆形声学谐振腔的几何结构图;

[0034] 图4是本发明中光声信号探测装置的几何结构图,其中,图4(a)为光声信号探测装置的立体图,图4(b)为光声信号探测装置的左视图;

[0035] 图5是本发明实施例1的一种气体检测装置的结构示意图;

[0036] 图6是本发明实施例2的一种气体检测装置的结构示意图;

[0037] 图7是配置椭圆形声学谐振腔前后,采用本发明的一种气体检测装置在相同实验条件下获得的光声信号对比图;

[0038] 图8是采用本发明的一种气体检测装置与传统方法对空气中水汽探测结果的示意图。

[0039] 其中,1-激励光源,2-第一函数发生器,3-第二函数发生器,4-光源温度控制器,5-类条形光束整形装置,6-光声信号探测装置,7-跨阻抗前置放大器,8-锁相放大器,9-计算机,51-数字微镜器件,52-汇聚透镜,53-鲍威尔棱镜,54-条形狭缝,61-椭圆形声学谐振腔,62-音叉式石英晶振。

具体实施方式

[0040] 下面结合附图并通过具体实施例来进一步说明本发明的技术方案。本领域技术人员应该明了,所述具体实施方式仅仅是帮助理解本发明,不应视为对本发明的具体限制。

[0041] 实施例1

[0042] 如图1所示,首先利用COMSOL仿真软件理论模拟音叉式石英晶振在采用不同光斑激励光源情况下音叉式石英晶振的振臂对光声信号的有效响应区间及响应幅度。分别采用传统圆形光斑和经鲍威尔棱镜形成的椭圆形类条形光斑作为激励光源,在相同实验条件下进行音叉式石英晶振的振臂对光声信号的有效响应区间及响应幅度测试,由图1(a)和(b)可以明显看出,由鲍威尔透镜形成的类条形光斑的尺寸远大于传统圆形光斑,因而声波与音叉式石英晶振之间相互作用的区域增加,音叉式石英晶振振臂内表面能够被充分利用。再进一步对模拟结果进行计算可知,与采用圆形光斑激励光源的情况相比,采用本发明的类条形光斑激励光源可使石英音叉对声波的有效响应面积增加2-3倍。

[0043] 如图2所示,采用TRACEPRO软件模拟激励光束在鲍威尔棱镜的传播路径,被汇聚之后的激励光束穿过鲍威尔棱镜弧形顶端时发生了折射,激励光束被单方向扩束,折射角度与两棱镜表面形成的夹角有关,穿过鲍威尔棱镜底面后,发生第二次折射,并且形成了扇形光幕,从而能够匹配音叉式石英晶振的几何结构。

[0044] 如图3-5所示,一种气体检测装置包括光源模块、类条形光束整形模块5、光声信号探测模块6和数据处理模块,所述光源模块包括激励光源1、第一函数发生器2、第二函数发生器3和光源温度控制器4,所述类条形光束整形模块5将输入的激励光源整形为具有类条形光斑特性的激励光束,所述数据处理模块包括跨阻抗前置放大器7、锁相放大器8和计算机9;所述第一函数发生器2的信号输出端和激励光源1的电流扫描输入端连接,所述第二函数发生器3的信号输出端与激励光源1的电流调制输入端连接,第二函数发生器3的同步信号输出端与锁相放大器8的参考信号输入端连接,所述光源温度控制器4的输出端与激励光源1的温控输入端连接,所述跨阻抗前置放大器7的信号输入端与光声信号探测模块6连接,跨阻抗前置放大器7的信号输出端与锁相放大器8的输入端连接,所述锁相放大器8的通讯端口与计算机9通讯端口相连接;所述激励光源1的输出光束传播至类条形光束整形模块5,经类条形光束整形模块5整形后的具有类条形光斑特性的激励光束传播至光声信号探测模块6。图5中虚箭头代表光路的入射方向。

[0045] 本实施例中,所述激励光源1为布式反馈二极管激光器,也可以选择LED光源,量子级联激光器,太赫兹光源等光源,但不限于此。

[0046] 本实施例中,所述类条形光束整形模块5由鲍威尔棱镜53和条形狭缝54组成,所述激励光源1的输出光束通过鲍威尔棱镜53后形成的类条形光束及未进入鲍威尔棱镜53的光束传播至条形狭缝54,通过条形狭缝54形成的具有类条形光斑特性的激励光束传播至光声信号探测模块6。所述鲍威尔棱镜53材料为N-BK7;发散角为 10° 。所述条形狭缝54长度约为4mm,宽度约为 $200\mu\text{m}$,狭缝54与鲍威尔棱镜53相距约为5cm;条形狭缝54与所述音叉式石英晶振62间距约为2cm。

[0047] 本实施例中,所述光声信号探测模块6包括音叉式石英晶振62及与其相匹配的椭圆形声学谐振腔61,所述跨阻抗前置放大器7的两个信号输入端分别与音叉式石英晶振62的电极连接,并将其中一个信号输入端接地,所述椭圆形声学谐振腔61由两个椭圆形毛细管组成,椭圆形毛细管对称放置在音叉式石英晶振62的两侧,两个椭圆形毛细管中心轴线重合且穿过音叉式石英晶振62两振臂间隙,椭圆形毛细管端面与音叉式石英晶振62的振臂平行,椭圆形毛细管端面与音叉式石英晶振62的振臂不可接触且间距 d 不超过 $100\mu\text{m}$,其中间距 d 越小谐振效果越好。所述类条形光束整形模块5整形之后的具有类条形光斑特性的激励光束入射至椭圆形声学谐振腔内。所述叉式石英晶振62和椭圆形声学谐振腔61处于同一光路。其中,音叉式石英晶振62为商用标准音叉,频率为32.76kHz。椭圆形毛细管为不锈钢。椭圆形声学谐振腔61的几何参数,包括腔长 l 、横截面长轴长度 r_1 ,横截面短轴长度 r_s ,均需通过理论技术及实验优化以确保其上述几何参数与音叉式石英晶振的几何尺寸及共振频率相匹配。通过建立一个声学模型以研究计算椭圆形声学谐振腔61的最优几何长度 l ,结果显示椭圆形声学谐振腔61的理论最佳长度 l 应满足 $c_s/4f < l < c_s/2f$,其中 c_s 是声音在待测气体中的传播速度, f 是音叉式石英晶振62的共振频率。实验优化结果显示,椭圆形声学谐振腔61的最优几何长度 l 与其短轴长度 r_s 相关,且满足经验公式 $l = c_s/2f - 8r_s/3\pi$ 。椭圆形声学谐振腔61的横截面长轴长度 r_1 ,短轴长度 r_s 的参数将依据整形后的类条形光斑激励光束的几何尺寸确定,原则是要满足激励光束可无碰触穿过椭圆形声学谐振腔61。对本实施例而言,依据整形后的类条形光束尺寸,选择长轴长度 r_1 为4mm,短轴长度 r_s 为1mm的椭圆形声学谐振腔,并依据经验公式获得椭圆形声学谐振腔的腔长 l 为4.25mm。

[0048] 利用本实施例的一种气体检测装置的检测方法,包括以下步骤:

[0049] (a) 激励光源1在第一函数发生器2、第二函数发生器3和光源温度控制器4的驱动下输出光束,第一函数发生器2输出三角波信号,通过控制三角波信号的电压幅值,对激励光源输出光束的波长在待测气体的选定吸收线附近进行连续扫描,扫描速率设置为10mHz,并保证输出光束波长缓慢经过待测气体的目标吸收线;第二函数发生器3输出正弦信号,通过控制正弦信号的频率,对激励光源1的输出光束波长进行调制,具体是将第二函数发生器3的输出频率值设定为音叉式石英晶振62共振频率的一半,即16.384kHz,输出电压幅值可以根据信号结果进行优化;

[0050] (b) 调整激励光源)输出光束的传播方向,将输出光束入射至类条形光束整形模块5;本实施例中所述类条形光束整形模块5由鲍威尔棱镜53和条形狭缝54组成,因此调整激励光源1将输出光束传播方向相对于鲍威尔棱镜53的顶端垂直。

[0051] (c) 调整类条形光束整形模块5中条形狭缝54与音叉式石英晶振62的间距,将经过类条形光束整形模块5之后的具有类条形光斑特性的激励光束无接触穿过音叉式石英晶振62的振臂间隙及椭圆形声学谐振腔61,并保证椭圆形声学谐振腔61的中心与类条形光斑中

心重合,且中心到音叉式石英晶振62振臂顶端的距离固定为1-2mm。本实施例中所述鲍威尔棱镜53的顶端是个复杂的二维曲面,准直之后的输出光束入射至鲍威尔棱镜53的顶端后,大量的球面像差产生,减少了中间部分的光束分布,增加了两端的光束分布,形成了椭圆形的类条形光束;所述条形狭缝54过滤了未经过鲍威尔棱镜53的边缘光以及经过鲍威尔棱镜53后产生的横向发散光。通过调整鲍威尔棱镜53、条形狭缝54和音叉式石英晶振62的相对距离可以使整形后的椭圆形的类条形光束满足所述音叉式石英晶振的几何形状。

[0052] (d) 整形之后的具有类条形光斑特性的激励光束与待测气体在光声信号探测模块6内相互作用后产生光声信号,声波由于椭圆形谐振腔的共振作用被放大并收集,进一步推动音叉式石英晶振62的振臂振动,由音叉式石英晶振的压电效应将光声信号转换为电信号,通过镀在音叉式石英晶振62上的电极传导至跨阻抗前置放大器7,被跨阻抗前置放大器7所接收和放大;

[0053] (e) 锁相放大器8接收来自跨阻抗前置放大器7的压电信号以及第二函数发生器3提供的同步信号,以二次谐波解调的方法对压电信号进行处理,锁相放大器8解调后的相关数据通过数据串口线被传输至计算机9用于计算反演被测气体浓度;解调后得到的二次谐波信号的峰值对应于待测气体的浓度信息,由于压电信号与气体浓度成正比,利用事先通过已知浓度的该气体对测量装置进行浓度标定的结果,即可得到待测气体的浓度信息。

[0054] 所述步骤(a)中第一函数发生器和第二函数发生器的输出信号各项参数的控制,以及所述步骤(e)中由二次谐波数据获得待测气体浓度信息的反演过程,均由计算机9通过运行LabView软件实现自动化控制。

[0055] 实施例2

[0056] 如图3、4、6所示,本实施例的一种气体检测装置与实施例1的区别在于:所述类条形光束整形模块5的组成及与计算机9的连接不同,具体如下。

[0057] 实施例2中,所述类条形光束整形模块5由数字微镜器件51和汇聚透镜52组成,所述数字微镜器件51的信号输入端口通过串口数据线与计算机9的输出端口相连;所述数字微镜器件51的微镜镜片固定在三维调节架上,以方便进行光路准直以及光束的整形,所述激励光源1与数字微镜器件51的间距可调,以实现照射在数字微镜器件51微镜镜片上的光束面积可调,所述激励光源1的输出光束经数字微镜器件51后形成的类条形激励光束经过汇聚透镜52后进一步将其汇聚成具有类条形光斑特性的激励光束,所述数字微镜器件51和汇聚透镜52的位置可调,以使具有类条形光斑特性的激励光束与光声信号探测模块6相匹配。

[0058] 其中,所述数字微镜器件51镜面大小为14mm*9.3mm;所述计算机9配有数字微镜器件51专用软件,为匹配所述商用标准石英音叉的几何结构,整形所用成像图片为黑色背景的白色矩形,所述整形图片大小140mm*93mm;所述白色矩形大小为100mm*20mm。

[0059] 本实施例的图6中虚箭头代表光路的入射方向。

[0060] 利用本实施例的一种气体检测装置的检测方法,包括以下步骤:

[0061] (a) 激励光源1在第一函数发生器2、第二函数发生器3和光源温度控制器4的驱动下输出光束,第一函数发生器2输出三角波信号,通过控制三角波信号的电压幅值,对激励光源输出光束的波长在待测气体的选定吸收线附近进行连续扫描,扫描速率设置为10mHz,并保证输出光束波长缓慢经过待测气体的目标吸收线;第二函数发生器3输出正弦信号,通

过控制正弦信号的频率,对激励光源1的输出光束波长进行调制,具体是将第二函数发生器3的输出频率值设定为音叉式石英晶振62共振频率的一半,即16.384kHz,输出电压幅值可以根据信号结果进行优化;

[0062] (b) 调整激励光源1输出光束的传播方向,将输出光束入射至类条形光束整形模块5;其输出光束传播方向相对于数字微镜器件51微镜阵列所在平面的入射角度为 $30^{\circ}\sim 150^{\circ}$ 之间任意角度,本实施例中选择激励光源1的输出光束方向相对于数字微镜器件51微镜阵列所在平面的入射角度为 90° ,所述数字微镜器件51的整形所用成像图片为黑色背景的白色矩形,由计算机9设定白色矩形面积的大小,设定为整形图片大小140mm*93mm;所述白色矩形大小为100mm*20mm。根据激励光源1与数字微镜器件51的间距调整输出光束照射在数字微镜器件51上的面积,并保证该面积与设定的白色矩形面积相匹配;

[0063] (c) 在确定输出光束传播方向相对于数字微镜器件51微镜阵列所在平面的入射角度之后,将汇聚透镜52放置在输出光束经过数字微镜器件51后的反射光路上,根据数字微镜器件51和汇聚透镜52的间距确定汇聚透镜52的焦距以及音叉式石英晶振62的装配位置,其中,所述汇聚透镜52的焦距为6cm,且汇聚透镜52的轴线方向与数字微镜器件51镜面方向呈 46° 的夹角(按照经典几何光学中反射定律计算获得);通过调整数字微镜器件51、汇聚透镜52和音叉式石英晶振62的位置,使具有类条形光斑特性的激励光束无接触穿过音叉式石英晶振62的振臂间隙及椭圆形声学谐振腔61,并保证椭圆形声学谐振腔61的中心与类条形光斑中心重合;如图4所示。

[0064] (d) 整形之后的具有类条形光斑特性的激励光束与待测气体在光声信号探测模块6内相互作用后产生光声信号,声波由于椭圆形谐振腔的共振作用被放大并收集,进一步推动音叉式石英晶振62的振臂振动,由音叉式石英晶振的压电效应将光声信号转换为电信号,通过镀在音叉式石英晶振62上的电极传导至跨阻抗前置放大器7,被跨阻抗前置放大器7所接收和放大;

[0065] (e) 锁相放大器8接收来自跨阻抗前置放大器7的压电信号以及第二函数发生器3提供的同步信号,以二次谐波解调的方法对压电信号进行处理,锁相放大器8解调后的相关数据通过数据串口线被传输至计算机9用于计算反演被测气体浓度;解调后得到的二次谐波信号的峰值对应于待测气体的浓度信息,由于压电信号与气体浓度成正比,利用事先通过已知浓度的该气体对测量装置进行浓度标定的结果,即可得到待测气体的浓度信息。

[0066] 所述步骤(a)中第一函数发生器和第二函数发生器的输出信号各项参数的控制,所述步骤(c)中数字微镜器件51的整形所用成像图片的尺寸参数的设定,以及所述步骤(e)中由二次谐波数据获得待测气体浓度信息的反演过程,均由计算机9通过运行LabView软件实现自动化控制。

[0067] 为进一步验证本发明的一种气体检测装置及方法的灵敏度,对发明的一种气体检测装置,在相同条件下,分别采用不配置和配置椭圆形声学谐振腔的情况下,利用本发明的检测方法进行光声信号测试,结果如图7所示,从图7可以看出,通过配置优化几何参数后的椭圆形声学谐振腔61可将探测信号提高约18倍,说明椭圆形声学谐振腔可与音叉式石英晶振形成强声学耦合,从而有效提高采用具有类条形光斑特性的激励光束的石英增强光声光谱气体浓度检测装置的检测灵敏度。

[0068] 如图8所示,是分别运用本发明的一种气体检测装置及传统石英增强光声光谱痕

量气体传感装置对空气中水蒸气浓度的测量结果。实线谱线和虚线谱线分别为本发明中以鲍威尔棱镜53和数字微镜器件51为类条形光束整形模块的装置探测所得信号,点划线谱线为传统石英增强光声光谱装置探测所得信号。从图8可以看出,在相同实验条件下,本发明所述的一种气体检测装置探测所得信号较采用传统石英增强光声光谱装置探测所得信号高约20倍。

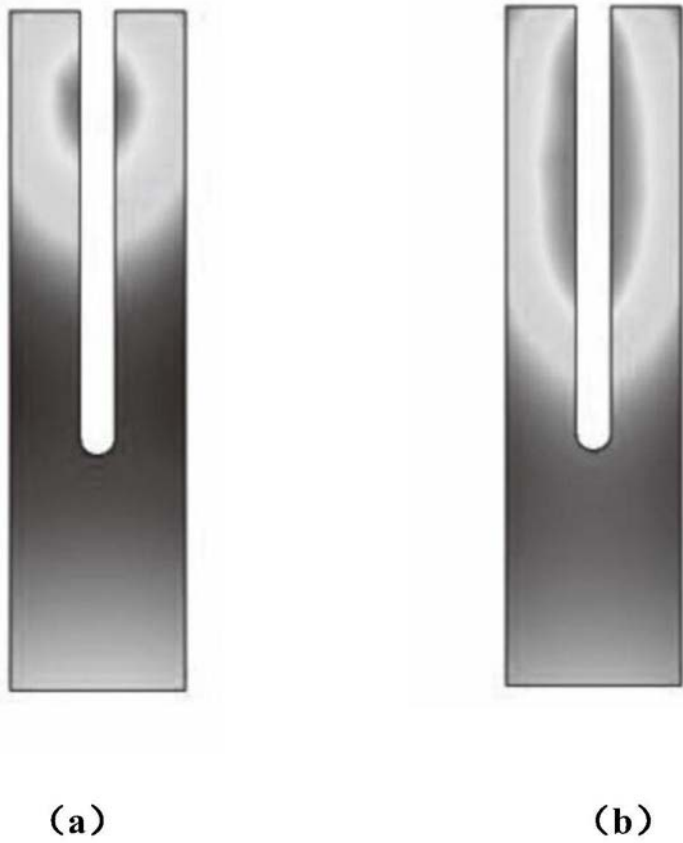


图1

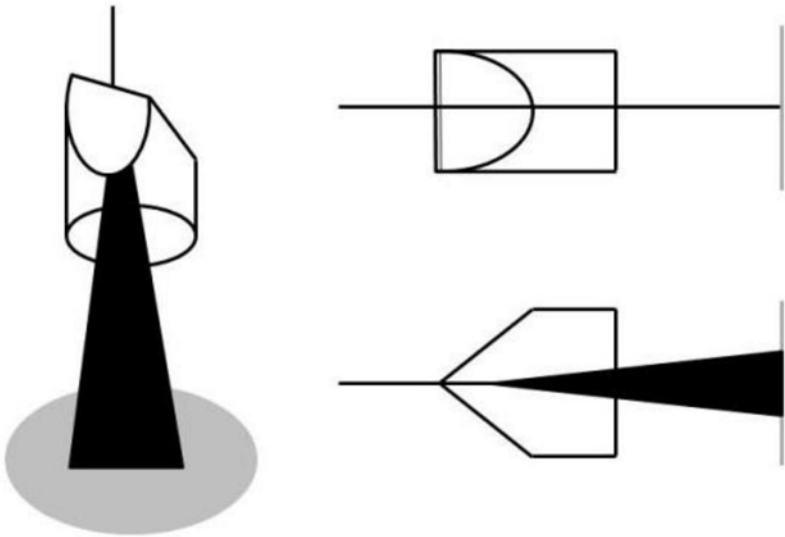


图2

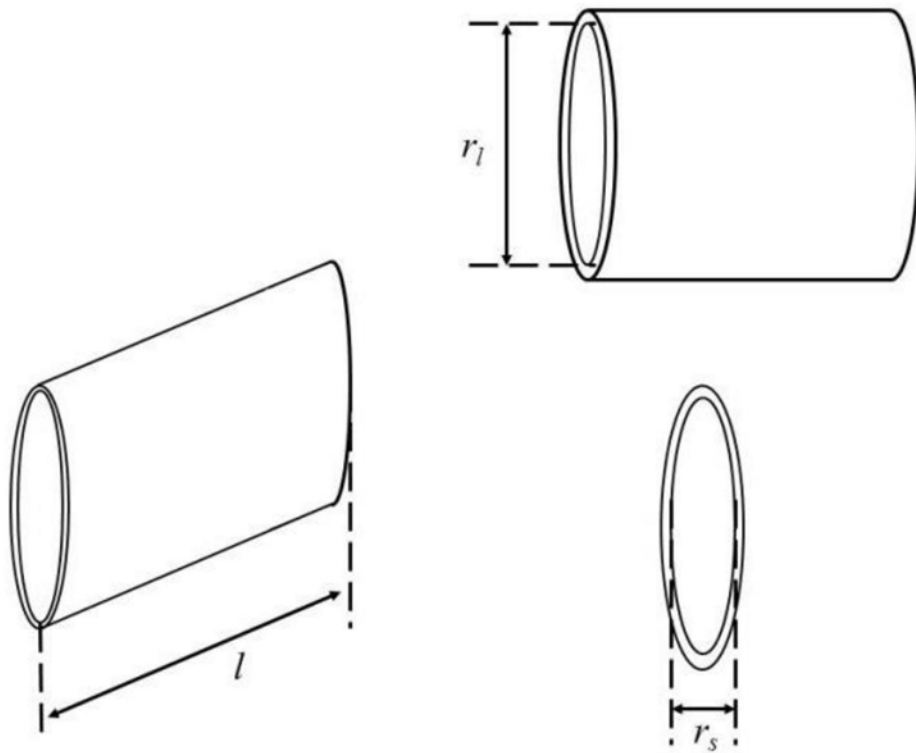


图3

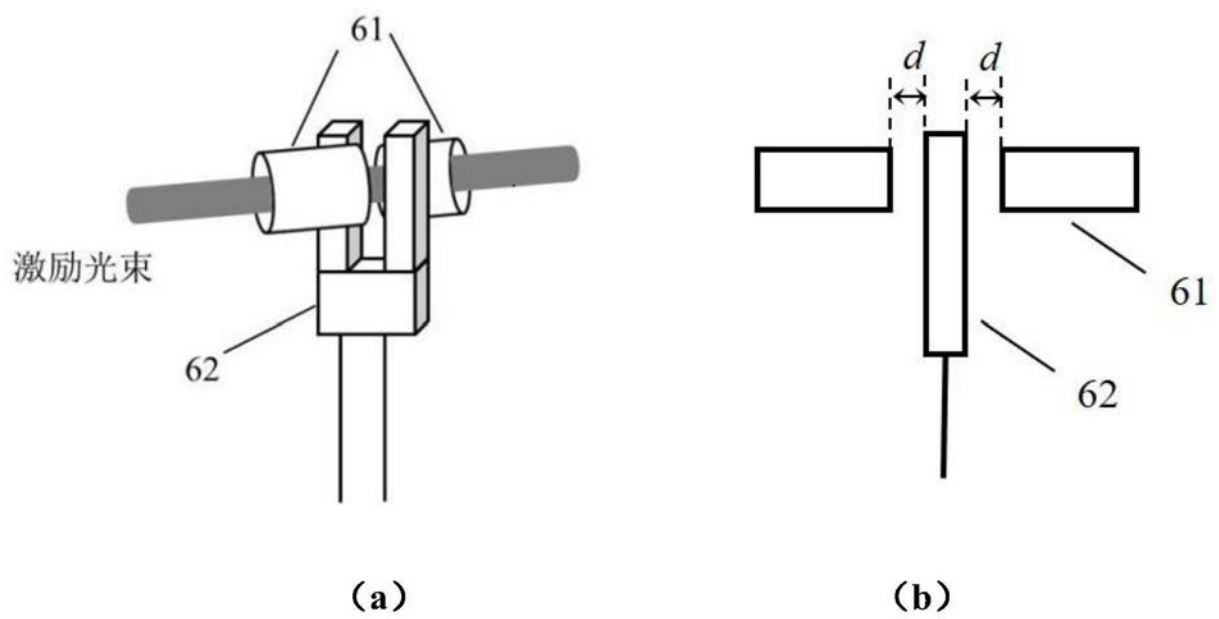


图4

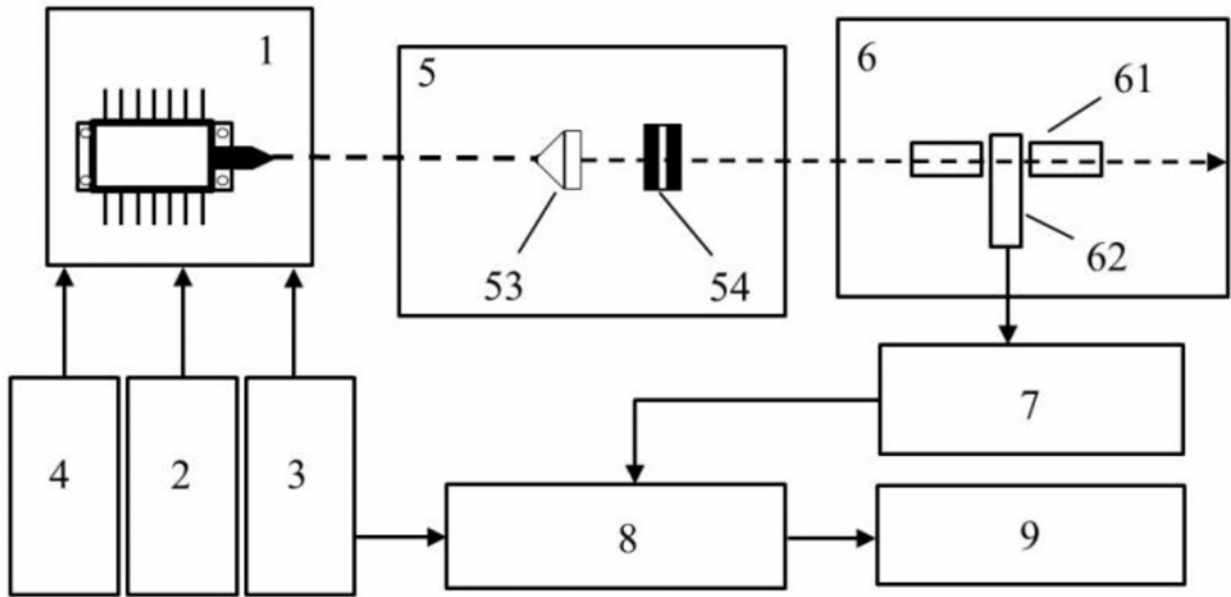


图5

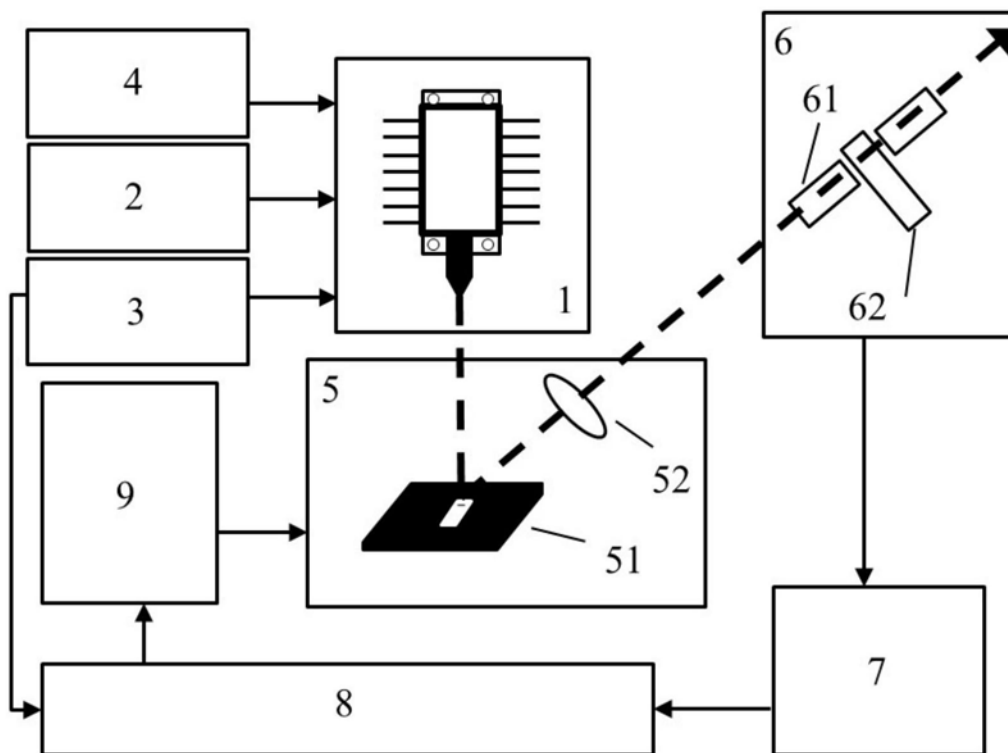


图6

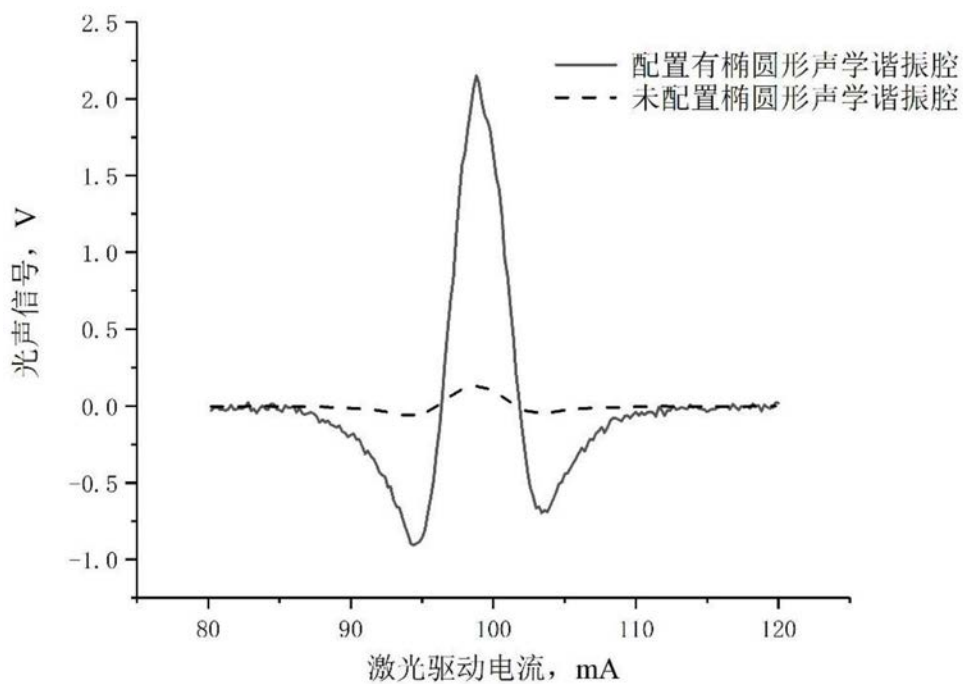


图7

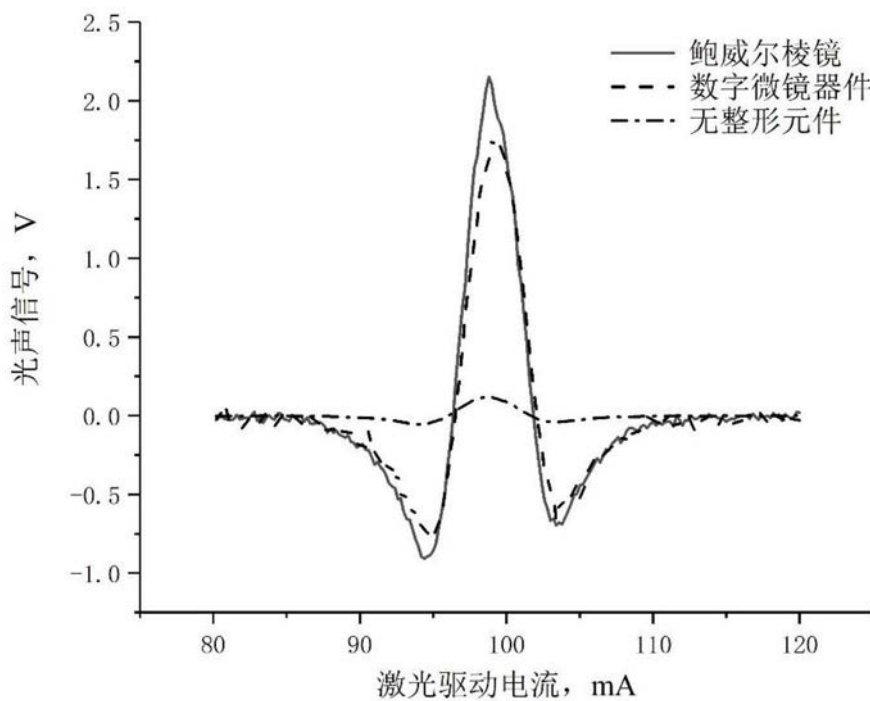


图8