



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105699327 A

(43) 申请公布日 2016. 06. 22

(21) 申请号 201610140734. 9

(22) 申请日 2016. 03. 11

(71) 申请人 济南大学

地址 250022 山东省济南市市中区南辛庄西路 336 号

(72) 发明人 朱存光 王朋朋 王仁德 王光伟
陶雪辰 郑志丽 孟双双 崔婷婷

(74) 专利代理机构 济南圣达知识产权代理有限公司 37221

代理人 张勇

(51) Int. Cl.

G01N 21/39(2006. 01)

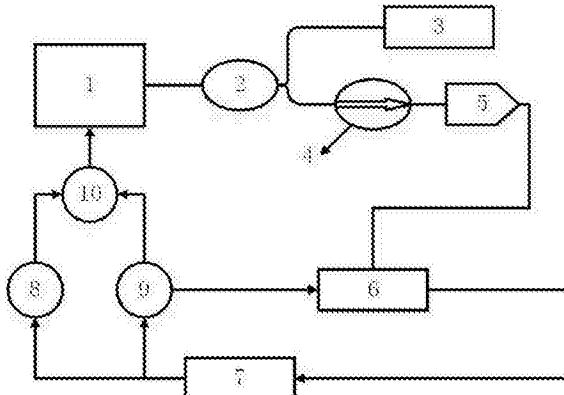
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于微纳掺铒光纤的激光器的检测系统及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于微纳掺铒光纤的激光器的检测系统及方法，该激光器为分布式布拉格反射-微纳光纤激光器，所述激光器包括由掺铒的微纳光纤作有源介质，单模光纤刻入布拉格光栅作为谐振腔共同构成；所述掺铒的微纳光纤为由一块掺铒块状玻璃借用蓝宝石光纤通过直接拉伸法拉制而成；通过紫外光照射相位掩膜板的方法写入选取的两段单模光纤分别形成布拉格光栅，每个布拉格光栅两端的尾纤长度不相等；本发明将微纳光纤的强倏逝场置于光纤激光器谐振腔中，检测灵敏度可以提高几个数量级，实现了激光输出与传感一体化。



1. 一种基于微纳掺铒光纤的激光器的检测系统，其特征是，该系统用于检测有源气体，包括已封装的分布式布拉格反射-微纳光纤激光器，该激光器与波分复用器的输入端相连，波分复用器的输出端分两路，一路与泵浦光源相连，另一路依次与隔离器、光电探测器及锁相放大器相连，所述锁相放大器还与处理器的输入端相连，处理器的输出端分别输出低频锯齿波信号及高频正弦波信号，所述低频锯齿波信号及高频正弦波信号均传输至加法器进行运算，加法器的输出连接至激光器；

处理器同时产生一个低频锯齿波信号及一个高频正弦波信号，一个低频锯齿波信号及一个高频正弦波信号通过加法器接入激光器的气室，通过改变气室中压电陶瓷驱动电压的大小来实现对输出激光波长的调制，同时通过给锁相放大器提供一个激光器的高频正弦波信号二倍频的参考信号，进行锁相解调获得含有吸收气体浓度信息的二次谐波信号，最后通过处理器多次采样并进行平均处理，通过上位机实时显示气体浓度。

2. 如权利要求1所述的一种基于微纳掺铒光纤的激光器的检测系统，其特征是，所述泵浦光源通过其所带尾纤与波分复用器的输入端相连；激光器粘贴固定在长条形压电陶瓷上；激光器的尾纤与波分复用器的公共端相连接；波分复用器的输出端连接到隔离器的正向输入端，隔离器的输出端连接入气体处理单元。

3. 如权利要求2所述的一种基于微纳掺铒光纤的激光器的检测系统，其特征是，该气体处理单元包括光电探测器、锁相放大器和现场可编程逻辑门阵列处理器，其中光电探测器的输入端和隔离器的输出端相连接，光电探测器的输出端与锁相放大器输入端相连，锁相放大器的输出端接入现场可编程逻辑门阵列处理器。

4. 如权利要求1所述的一种基于微纳掺铒光纤的激光器的检测系统，其特征是，基于微纳掺铒光纤的激光器为分布式布拉格反射-微纳光纤激光器，所述激光器包括由掺铒的微纳光纤作有源介质，单模光纤刻入布拉格光栅作为谐振腔共同构成；

所述掺铒的微纳光纤为由一块掺铒块状玻璃借用蓝宝石光纤通过直接拉伸法拉制而成；

通过紫外光照射相位掩膜板的方法写入选取的两段单模光纤分别形成布拉格光栅，每个布拉格光栅两端的尾纤长度不相等；

将拉伸到设定数值以下的掺铒的微纳光纤两端分别接入一个布拉格光栅，两个布拉格光栅接入端均为较短尾纤的一端，布拉格光栅上有多个熔接点，布拉格光栅上还设有涂覆层。

5. 如权利要求4所述的一种基于微纳掺铒光纤的激光器的检测系统，其特征是，将拉伸到设定数值以下的掺铒的微纳光纤两端分别接入一个布拉格光栅，接入方法为熔接机直接熔接。

6. 如权利要求4所述的一种基于微纳掺铒光纤的激光器的检测系统，其特征是，所述的掺铒的微纳光纤的纤芯直径在 $1\mu\text{m}$ 以下。

7. 如权利要求4所述的一种基于微纳掺铒光纤的激光器的检测系统，其特征是，在封装时，将分布式布拉格反射-微纳光纤激光器粘贴固定在长条形压电陶瓷上，使得中间的掺铒的微纳光纤以及已剥掉涂覆层的布拉格光栅部分都悬空在压电陶瓷中间的空隙中，粘贴位置为靠近光栅的且已剥掉涂覆层的尾纤部分，将粘贴上分布式布拉格反射-微纳光纤激光器的压电陶瓷固定入金属密闭容器中形成密封气室，气室与外界通过分布式布拉格反射-

微纳光纤激光器的尾纤进行连接。

8. 如权利要求4所述的一种基于微纳掺铒光纤的激光器的检测系统,其特征是,掺铒的微纳光纤为裸纤,两个布拉格光栅的光栅部分以及较短尾纤部分均为剥掉涂覆层的裸纤。

9. 如权利要求1-8任一所述的一种基于微纳掺铒光纤的激光器的检测系统,其特征是,基于微纳掺铒光纤的激光器在制作时:

选取一块掺铒块状玻璃,借用蓝宝石光纤通过直接拉伸法将掺铒块状玻璃拉制成纤芯直径小于设定数值的掺铒的微纳光纤;

选取两段单模光纤,通过紫外光照射相位掩膜板的方法写入布拉格光栅,要求布拉格光栅一端尾纤较短,一端尾纤较长;

在拉伸到设定数值以下的掺铒的微纳光纤两端分别接入布拉格光栅,接入方法为熔接机直接熔接,两个布拉格光栅接入端均为较短尾纤的一端,较长尾纤的一端形成为分布式布拉格反射-微纳光纤激光器两端的尾纤;

其中掺铒的微纳光纤为裸纤,两个布拉格光栅的光栅部分以及较短尾纤部分均为剥掉涂覆层的裸纤。

10. 如权利要求9所述的基于微纳掺铒光纤的检测系统的工作方法,其特征是,该系统用于检测有源气体,包括以下步骤:

根据待测气体选取与该气体相适应的输出激光波长的分布式布拉格反射-微纳光纤激光器作为传感基元,采用与该待测气体相适应的泵浦源,在该激光器的谐振腔内,在产生激光过程中有一部分能量的激光以倏逝场的形式外溢到纤芯外表面的空气中传播并与待测气体相互作用;

此时将激光器固定在压电陶瓷上并裸露在待测气体中,通过改变压电陶瓷驱动电压的大小来实现对输出激光波长的调制,当这部分光的波长扫描过待测气体吸收峰时,激光器产生的激光能量会因气体吸收而产生一定比例的衰减;

最终激光器输出激光经过波分复用器的一端输出并经过隔离器后由光电探测器接收并进行光电转换;

产生电流信号由负反馈放大电路转换为电压信号,经放大后进入锁相放大器,现场可编程逻辑门阵列处理器同时产生一个低频锯齿波和一个高频正弦波通过加法器接入气室,通过改变气室中压电陶瓷驱动电压的大小来实现对输出激光波长的调制;

通过给锁相放大器提供一个与激光器的高频正弦波信号二倍频的参考信号进行锁相解调获得含有吸收气体浓度信息的二次谐波信号,最后通过处理器多次采样并进行平均处理,通过上位机实时显示气体浓度。

一种基于微纳掺铒光纤的激光器的检测系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及光纤激光传感检测技术领域,尤其涉及一种基于微纳掺铒光纤的激光器的检测系统及方法。

背景技术

[0002] 工农业生产以及日常生活中,如何对有毒、有害、易燃、易爆气体进行准确、快速检测已成为急需解决的重要问题之一。这些气体组分含量可能在百万分之一量级或者以下,针对这些痕量气体则需要高灵敏度的气体检测装置。光纤气体传感器以本征安全、抗电磁干扰、耐高温高压,易远程传输和复用等优势越来越受到研究人员的重视。倏逝场型光纤气体传感器是利用待测气体与光纤中传输光场的相互作用来实现气体传感的一种新型传感器。与其它光纤气体传感器相比,具有结构相对简单、成本较低、可交叉分辨和形成分布式传感等优点。倏逝场型光纤气体传感器凭借其独特优点与应用潜力,在气体检测中崭露头角,引起人们的重视与研究。微纳光纤的出现为倏逝场型气体传感器提供了巨大的发展空间。当光纤直径接近微纳量级时,光场有很大一部分能量分布在光纤之外以倏逝场的形式进行传输,这部分能量比例甚至可以超过90%,与外界环境发生相互作用时,可以用来构建超紧凑的传感器。微纳光纤的制备技术以及微纳光纤器件的制作技术已经发展的相对成熟,*Optics Express*,vol.14(12),pp.5055-5060,2006,Shi L,Chen X F,Liu H J,et al.“Fabrication of submicron-diameter silica fibers using electric strip heater,”提出利用电加热金属条作为熔融光纤热源的方法,获得了长达10cm且直径小于 $1\mu m$ 的微纳光纤;*Nanotechnology*,vol.16,pp.1445-1448,2005,L.Tong,J.Lou,Z.Ye,G.T.Svacha, and E.Mazur.“Self-modulated taper drawing of silica nanowires,”提出了自调节拉伸法,利用这种方法可以制备出直径小至20nm的微纳光纤。*Appl.Phys.Lett*, vol.86(15),pp.151122,2005,W.Liang,Y.Y.Huang,Y.Xu,et al.“Highly sensitive fiber Bragg grating refractive index sensors,”提出利用两个微纳光纤Bragg光栅构造了一个F-P谐振腔,并利用谐振腔共振波长的移动应用为了液体浓度传感器。但是到目前为止,有关基于微纳光纤的气体传感器方面的研究报道较少,最主要原因是由于微纳光纤的拉制长度不够长,作为倏逝场型气体传感器使用时吸收路径较短,探测灵敏度受到限制。

[0003] 目前常用的气体检测方法中红外光谱吸收法一直受到广泛关注,其关键技术有差分吸收光谱技术、可调谐半导体激光吸收光谱技术以及光声光谱技术等。传统的吸收技术由于气体有效吸收光程有限,所以其检测灵敏度不会很高。

[0004] 总之,现有的气体检测在灵敏度、快速、稳定上还不能满足目前的需求,因此,亟需一种新的有源气体检测系统。

发明内容

[0005] 为解决现有技术存在的不足,本发明公开了一种基于微纳掺铒光纤的激光器的检测系统及方法,本发明利用微纳掺 Er^{3+} 光纤,制作出分布式布拉格反射-微纳光纤激光器

(Distributed Bragg Reflector-microfiber laser, 简称DBR-MFL), 以DBR-MFL为传感基元可研制成倏逝场型光纤气体传感器,掺杂 Er^{3+} 的光纤增益谱范围较宽,用掺 Er^{3+} 光纤制作的激光器输出波长可调谐范围覆盖了乙炔(1532nm)、氨气(1544nm)、一氧化碳(1567nm)、二氧化碳(1573nm)、硫化氢(1578m)等常见气体。该传感器将微纳光纤的强倏逝场置于光纤激光器谐振腔中,检测灵敏度可以提高几个数量级,实现了激光输出与传感一体化。本发明旨在提供快速、稳定、可远距离在线检测、具有高探测灵敏度和极大动态范围。

[0006] 为实现上述目的,本发明的具体方案如下:

[0007] 一种基于微纳掺铒光纤的激光器的检测系统,该系统用于检测有源气体,包括已封装的分布式布拉格反射-微纳光纤激光器,该激光器与波分复用器的输入端相连,波分复用器的输出端分两路,一路与泵浦光源相连,另一路依次与隔离器、光电探测器及锁相放大器相连,所述锁相放大器还与处理器的输入端相连,处理器的输出端分别输出低频锯齿波信号及高频正弦波信号,所述低频锯齿波信号及高频正弦波信号均传输至加法器进行运算,加法器的输出连接至激光器;

[0008] 处理器同时产生一个低频锯齿波信号及一个高频正弦波信号,一个低频锯齿波信号及一个高频正弦波信号通过加法器接入激光器的气室,通过改变气室中压电陶瓷驱动电压的大小来实现对输出激光波长的调制,同时通过给锁相放大器提供一个激光器的高频正弦波信号二倍频的参考信号,进行锁相解调获得含有吸收气体浓度信息的二次谐波信号,最后通过处理器多次采样并进行平均处理,通过上位机实时显示气体浓度。

[0009] 进一步的,所述泵浦光源通过其所带尾纤与波分复用器的输入端相连;激光器粘贴固定在长条形压电陶瓷上;激光器的尾纤与波分复用器的公共端相连接;波分复用器的输出端连接到隔离器的正向输入端,隔离器的输出端连接入气体处理单元。

[0010] 进一步的,该气体处理单元包括光电探测器、锁相放大器和现场可编程逻辑门阵列处理器,其中光电探测器的输入端和隔离器的输出端相连接,光电探测器的输出端与锁相放大器输入端相连,锁相放大器的输出端接入现场可编程逻辑门阵列处理器。

[0011] 进一步的,基于微纳掺铒光纤的激光器为分布式布拉格反射-微纳光纤激光器,所述激光器包括由掺铒的微纳光纤作有源介质,单模光纤刻入布拉格光栅作为谐振腔共同构成;

[0012] 所述掺铒的微纳光纤为由一块掺铒块状玻璃借用蓝宝石光纤通过直接拉伸法拉制而成;

[0013] 通过紫外光照射相位掩膜板的方法写入选取的两段单模光纤分别形成布拉格光栅,每个布拉格光栅两端的尾纤长度不相等;

[0014] 将芯径拉伸到设定数值以下的掺铒的微纳光纤两端分别接入一个布拉格光栅,两个布拉格光栅接入端均为较短尾纤的一端,布拉格光栅上有多个熔接点,布拉格光栅上还设有涂覆层。

[0015] 进一步的,将拉伸到设定数值以下的掺铒的微纳光纤两端分别接入一个布拉格光栅,接入方法为熔接机直接熔接。

[0016] 进一步的,所述的掺铒的微纳光纤的纤芯直径在 $1\mu\text{m}$ 以下。

[0017] 进一步的,在封装时,将分布式布拉格反射-微纳光纤激光器粘贴固定在长条形压电陶瓷上,使得中间的掺铒的微纳光纤以及已剥掉涂覆层的布拉格光栅部分都悬空在压电

陶瓷中间的空隙中,粘贴位置为靠近光栅的且已剥掉涂覆层的尾纤部分,将粘贴上分布式布拉格反射-微纳光纤激光器的压电陶瓷固定入金属密闭容器中形成密封气室,气室与外界通过分布式布拉格反射-微纳光纤激光器的尾纤进行连接。

[0018] 进一步的,掺铒的微纳光纤为裸纤,两个布拉格光栅的光栅部分以及较短尾纤部分均为剥掉涂覆层的裸纤。

[0019] 基于微纳掺铒光纤的激光器在制作时:

[0020] 选取一块掺铒块状玻璃,借用蓝宝石光纤通过直接拉伸法将掺铒块状玻璃拉制成纤芯直径小于设定数值的掺铒的微纳光纤;

[0021] 选取两段单模光纤,通过紫外光照射相位掩膜板的方法写入布拉格光栅,要求布拉格光栅一端尾纤较短,一端尾纤较长;

[0022] 在拉伸到设定数值以下的掺铒的微纳光纤两端分别接入布拉格光栅,接入方法为熔接机直接熔接,两个布拉格光栅接入端均为较短尾纤的一端,较长尾纤的一端形成为分布式布拉格反射-微纳光纤激光器两端的尾纤;

[0023] 其中掺铒的微纳光纤为裸纤,两个布拉格光栅的光栅部分以及较短尾纤部分均为剥掉涂覆层的裸纤。

[0024] 基于微纳掺铒光纤的检测系统的工作方法,该系统用于检测有源气体,包括以下步骤:

[0025] 根据待测气体选取与该气体相适应的输出激光波长的分布式布拉格反射-微纳光纤激光器作为传感基元,采用与该待测气体相适应的泵浦源,在该激光器的谐振腔内,在产生激光过程中有一部分能量的激光以倏逝场的形式外溢到纤芯外表面的空气中传播并与待测气体相互作用;

[0026] 此时将激光器固定在压电陶瓷上并裸露在待测气体中,通过改变压电陶瓷驱动电压的大小来实现对输出激光波长的调制,当这部分光的波长扫描过待测气体吸收峰时,激光器产生的激光能量会因气体吸收而产生一定比例的衰减;

[0027] 最终激光器输出激光经过波分复用器的一端输出并经过隔离器后由光电探测器接收并进行光电转换;

[0028] 产生电流信号由负反馈放大电路转换为电压信号,经放大后进入锁相放大器,现场可编程逻辑门阵列处理器同时产生一个低频锯齿波和一个高频正弦波通过加法器接入气室,通过改变气室中压电陶瓷驱动电压的大小来实现对输出激光波长的调制;

[0029] 通过给锁相放大器提供一个与激光器的高频正弦波信号二倍频的参考信号进行锁相解调获得含有吸收气体浓度信息的二次谐波信号,最后通过处理器多次采样并进行平均处理,通过上位机实时显示气体浓度。

[0030] 本发明的有益效果:

[0031] 本发明中,首先,DBR-MFL不仅具有输出激光为单模单频、低噪声、窄线宽等特点,还具有强倏逝场特性;其次,将微纳光纤的强倏逝场置于光纤激光器谐振腔中,检测灵敏度可以提高几个数量级,实现了激光输出与传感一体化;第三,封装结构设计简单,抗电磁干扰,灵敏度高,动态范围大,对有毒有害易燃易爆气体可实现远程实时在线检测。

附图说明

- [0032] 图1是本发明中的DBR-MFL结构示意图；
[0033] 图2是本发明中的DBR-MFL的封装设计结构截面图；
[0034] 图3是本发明中基于掺Er³⁺微纳光纤倏逝场特性的有源气体检测系统的结构示意图；
[0035] 图中，1-1、单模光纤涂覆层，1-2、Bragg光栅，1-3、掺铒(Er³⁺)微纳光纤，1-4、熔接点，1、已封装DBR-MFL，2、波分复用器(WDM)，3、980nm泵浦光源(LD)，4、隔离器(ISO)，5、光电探测器，6、锁相放大器，7、现场可编程逻辑门阵列(FPGA)处理器，8、低频锯齿波信号，9、高频正弦波信号，10、加法器，11、DBR-MFL，12、压电陶瓷，13、氮气，14、尾纤，15、金属密闭容器。

具体实施方式：

[0036] 下面结合附图对本发明进行详细说明：

[0037] 实施例1：

[0038] 本发明实施例1如图3所示，一种基于掺Er³⁺微纳光纤倏逝场特性的有源气体检测系统，包括980nm泵浦光源(LD)3、波分复用器(WDM)2、隔离器(ISO)4、已封装DBR-MFL 1、以及气体处理单元。980nm泵浦光源3通过其所带尾纤与波分复用器(WDM)2的980nm输入端相连；波分复用器(WDM)2的公共端与已封装DBR-MFL1的尾纤连接；波分复用器(WDM)2的1550nm端接到隔离器(ISO)4的正向输入端，隔离器(ISO)4的另一端连接入气体处理单元；气体处理单元包括光电探测器5、锁相放大器6和现场可编程逻辑门阵列(FPGA)处理器7，其中光电探测器5的输入端和隔离器(ISO)4相连接，光电探测器5的输出端与锁相放大器6相连，锁相放大器6的输出端接入现场可编程逻辑门阵列(FPGA)处理器7，FPGA同时产生一个低频锯齿波信号8和一个高频正弦波信号9通过加法器10接入已封装DBR-MFL 1，通过改变已封装DBR-MFL 1中压电陶瓷驱动电压的大小来实现对输出激光波长的调制，同时通过给锁相放大器6提供一个高频正弦波信号9二倍频的参考信号，进行锁相解调获得含有吸收气体浓度信息的二次谐波信号，最后通过FPGA多次采样并于底层程序中进行平均处理，通过上位机软件处理分析并实时显示气体浓度。

[0039] 其中待测气体为乙炔，DBR-MFL输出激光波长为1532nm。光电探测器是PIN光电探测器。

[0040] 工作原理：本发明是选取输出激光波长靠近待测气样特征吸收峰的DBR-MFL，比如待测气样为乙炔时，选取输出激光波长为1532nm的DBR-MFL作为传感基元，采用980nm泵浦源，在DBR-MFL谐振腔内，在产生激光过程中有很大一部分能量的激光以倏逝场的形式外溢到纤芯外表面的空气中传播并与待测气体乙炔相互作用。此时将DBR-MFL固定在压电陶瓷上并裸露在待测气体中，可通过改变压电陶瓷驱动电压的大小来实现对输出激光波长的调制，当这部分光的波长扫描过乙炔气体吸收峰时，DBR-MFL产生的激光能量会因气体吸收而产生一定比例的衰减。最终激光器输出激光经过WDM的1550nm端输出并经过隔离器(ISO)后由光电探测器接收并进行光电转换。产生电流信号由负反馈放大电路转换为电压信号。经放大后进入7230锁相放大器，通过给锁相放大器提供一个与激光器高频调制信号同频的参考信号进行锁相解调获得含有吸收气体浓度信息的二次谐波信号，最后通过FPGA多次采样并于底层程序中进行平均处理，通过上位机软件处理分析并实时显示气体浓度。

[0041] 如图1所示, DBR-MFL11是由掺杂Er³⁺的微纳光纤作有源介质, 普通单模光纤刻入Bragg光栅1-2作为谐振腔共同构成。

[0042] 基于微纳掺铒光纤的激光器, 该激光器为分布式布拉格反射-微纳光纤激光器, 所述激光器包括由掺铒(Er³⁺)微纳光纤1-3作有源介质, 单模光纤刻入Bragg光栅1-2作为谐振腔共同构成;

[0043] 所述掺铒(Er³⁺)微纳光纤1-3为由一块掺铒块状玻璃借用蓝宝石光纤通过直接拉伸法拉制而成;

[0044] 通过紫外光照射相位掩膜板的方法写入选取的两段单模光纤分别形成Bragg光栅1-2, 每个Bragg光栅1-2两端的尾纤长度不相等;

[0045] 将拉伸到纤芯直径小于1μm的掺铒(Er³⁺)微纳光纤1-3两端分别接入一个Bragg光栅1-2, 两个Bragg光栅1-2接入端均为较短尾纤的一端, Bragg光栅1-2上有多个熔接点1-4, Bragg光栅1-2上还设有涂覆层1-1。

[0046] 如图2所示, 将DBR-MFL11粘贴固定在长条形压电陶瓷12上, 使得中间的掺Er³⁺微纳光纤以及已剥掉涂覆层的Bragg光栅部分都悬空在压电陶瓷12中间的空隙中, 粘贴位置为靠近光栅的且已剥掉涂覆层的尾纤部分, 将粘贴上DBR-MFL11的压电陶瓷12固定入金属密闭容器15中形成密封气室, 气室与外界通过DBR-MFL的尾纤14(带涂覆层的普通光纤)进行连接。待测气体为氮气13时, 氮气13输入至金属密闭容器15中。

[0047] 实施例2: 和实时例1相同, 只是待测气体为氨气, DBR-MFL输出激光波长为1544nm。

[0048] 实施例3: 和实时例1相同, 只是待测气体为一氧化碳, DBR-MFL输出激光波长为1567nm。

[0049] 实施例4: 和实时例1相同, 只是待测气体为二氧化碳, DBR-MFL输出激光波长为1573nm。

[0050] 上述虽然结合附图对本发明的具体实施方式进行了描述, 但并非对本发明保护范围的限制, 所属领域技术人员应该明白, 在本发明的技术方案的基础上, 本领域技术人员不需要付出创造性劳动即可做出的各种修改或变形仍在本发明的保护范围以内。

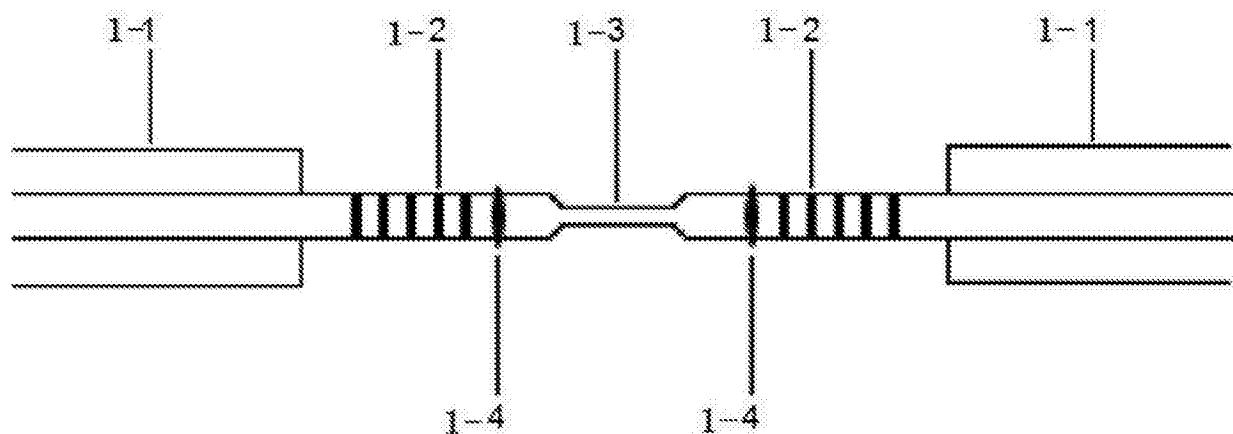


图1

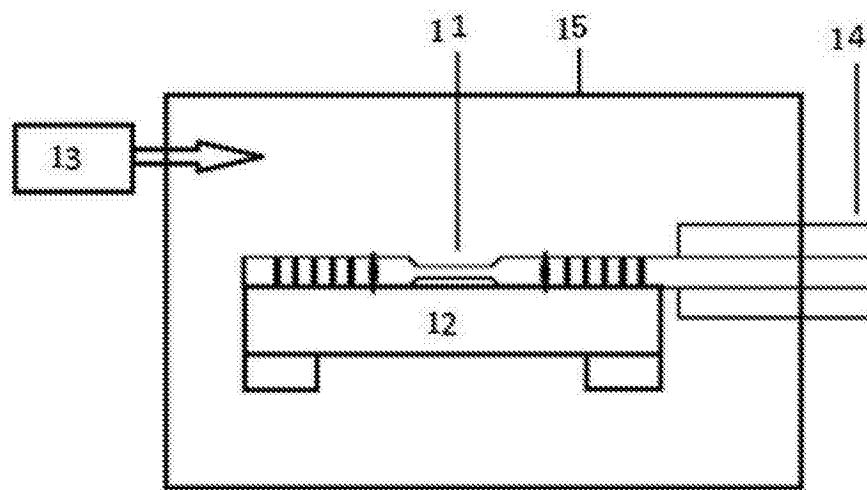


图2

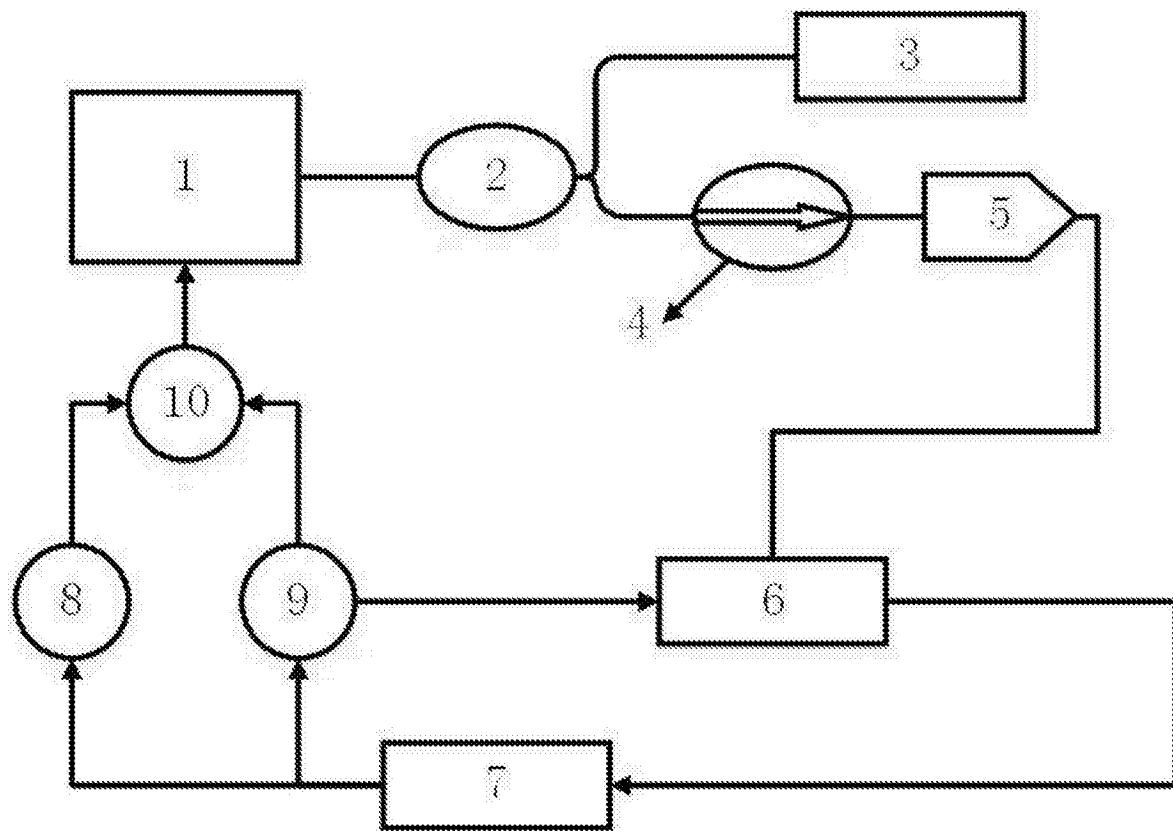


图3