

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102116738 B

(45) 授权公告日 2012. 07. 04

(21) 申请号 201010567637. 0

CN 101644673 A, 2010. 02. 10, 全文.

(22) 申请日 2010. 11. 30

CN 101298992 A, 2008. 11. 05, 说明书第 5 页最后一段至第 8 页第一段, 图 1.

(73) 专利权人 华中科技大学

CN 101294988 A, 2008. 10. 29, 说明书第 2 页第 4 段至第 5 页第 5 段, 第 4 页最后一段至第 5 页第 1 段, 图 1.

地址 430074 湖北省武汉市洪山区珞喻路 1037 号

(72) 发明人 许荣荣 刘德明 鲁平 胡必春

审查员 张然兮

(74) 专利代理机构 北京市德权律师事务所 11302

代理人 周发军

(51) Int. Cl.

G01N 21/31 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 7241986 B2, 2007. 07. 10, 全文.

CN 2773641 Y, 2006. 04. 19, 全文.

US 2003/0109055 A1, 2003. 06. 12, 全文.

CN 101251481 A, 2008. 08. 27, 全文.

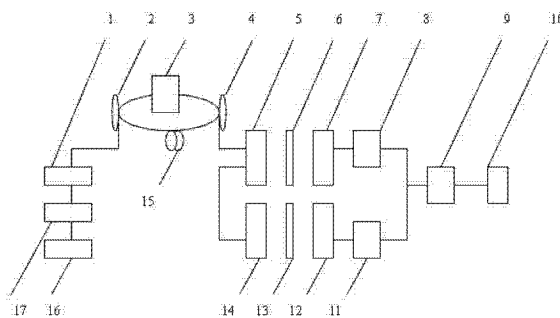
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 2 页

(54) 发明名称

基于光纤环形衰荡腔的甲烷气体传感装置

(57) 摘要

本发明涉及一种基于光纤环形衰荡腔的甲烷气体传感装置,其特征在於:采用一个宽谱光源,将其输出信号经过一个包络滤波片后进行调制产生出光脉冲,经由光纤耦合器、单模光纤和气室构成的光纤环形衰荡腔,然后通过双光纤准直器分成两路滤波后输送至光电探测器,探测到的电信号再经由采集卡送入数据处理模块分析处理。本发明将对甲烷气体浓度的测量转化为对光纤环形腔衰荡时间的测量,实现一次测量的时间也只要微秒级,并采用双光纤准直器将光纤环形衰荡腔循环输出的光脉冲序列分成两路,其中一路对应甲烷气体的多个吸收峰,另外一路光则不吸收,将这两路的输出信号进行对比,去除掉外界环境对传感系统的干扰和影响,从而增强传感器稳定度,提高其测量精度。



1. 一种基于光纤环形衰荡腔的甲烷气体传感装置,其特征在于:包括宽谱光源、包络滤波片、调制器、光纤环形衰荡腔、第一光纤准直器、第二光纤准直器、第一梳状滤波器、第一光电探测器、第三光纤准直器、第四光纤准直器、第二梳状滤波器、第二光电探测器、数据采集及处理模块、PC机和光纤;所述宽谱光源、包络滤波片、调制器、光纤环形衰荡腔、第一光纤准直器通过光纤顺序连接,所述第一光纤准直器为双光纤准直器,所述双光纤准直器的输出端一侧安装具有至少一个通带波长 λ_1 的第一梳状滤波器, λ_1 位于甲烷气体的吸收峰,所述第一梳状滤波器输出端的一侧安装第二光纤准直器,所述第二光纤准直器通过光纤连接第一光电探测器,所述第一光电探测器输出电信号经所述数据采集及处理模块后发送到所述PC机;所述双光纤准直器的光纤另一输出端连接所述第四光纤准直器的输入端,所述第四光纤准直器的输出端的一侧安装具有至少一个通带波长 λ_1' 的第二梳状滤波器,所述波长 λ_1' 与波长 λ_1 紧紧相邻而不被甲烷气体吸收,所述第二梳状滤波器连接所述第三光纤准直器,所述第三光纤准直器连接所述第二光电探测器,所述第二光电探测器输出电信号经所述数据采集及处理模块后发送到所述PC机;

所述光纤环形衰荡腔包括第一光纤耦合器、第二光纤耦合器、气隙、单模光纤;所述调制器连接所述第一光纤耦合器的低分光比端口,所述第一、第二光纤耦合器的高分光比端口通过单模光纤连接,分别只有一根尾纤的第一、第二光纤耦合器的尾纤端口与气隙连接,第二光纤耦合器的低分光比端口作为输出端连接第一光纤准直器。

2. 如权利要求1所述的基于光纤环形衰荡腔的甲烷气体传感装置,其特征在于,所述第一梳状滤波器的通带波长分别为 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 、 λ_5 ,第二梳状滤波器的通带波长分别为 λ_1' 、 λ_2' 、 λ_3' 、 λ_4' 、 λ_5' ,且 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 、 λ_5 均位于甲烷气体的吸收峰, λ_1' 、 λ_2' 、 λ_3' 、 λ_4' 、 λ_5' 依次与 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 、 λ_5 紧紧相邻而不被甲烷气体吸收。

3. 如权利要求2所述的基于光纤环形衰荡腔的甲烷气体传感装置,其特征在于:所述气隙为甲烷气体浓度传感元件,由一对准直器固定在U型支架上构成。

4. 如权利要求3所述的基于光纤环形衰荡腔的甲烷气体传感装置,其特征在于:所述第一光纤耦合器和第二光纤耦合器均为 2×1 端口单模光纤耦合器C1和C2,其分光比均为1%:99%。

5. 一种基于光纤环形衰荡腔的甲烷气体传感装置,其特征在于,包括宽谱光源、包络滤波片、调制器、光纤环形衰荡腔、第一光纤准直器、第二光纤准直器、第三光纤准直器、第四光纤准直器、第一梳状滤波器、第二梳状滤波器、光纤合束器、单模光纤延迟线、第一光电探测器、数据采集及处理模块、PC机和光纤;所述宽谱光源、包络滤波片、调制器、光纤环形衰荡腔、第一光纤准直器通过光纤顺序连接;所述第一光纤准直器为双光纤准直器,双光纤准直器的输出端一侧安装具有至少一个通带波长 λ_1 的第一梳状滤波器, λ_1 位于甲烷气体的吸收峰,所述第一梳状滤波器输出端的一侧安装第二光纤准直器,所述第二光纤准直器通过光纤连接所述光纤合束器;所述双光纤准直器的另一光纤端连接所述第四光纤准直器的输入端,所述第四光纤准直器的输出端的一侧安装具有至少一个通带波长 λ_1' 的第二梳状滤波器,所述波长 λ_1' 与波长 λ_1 紧紧相邻而不被甲烷气体吸收,所述第二梳状滤波器连接所述第三光纤准直器,所述第三光纤准直器通过所述单模光纤延迟线连接所述光纤合束器,所述光纤合束器通过光纤连接第一光电探测器,所述第一光电探测器输出电信号经

所述数据采集及处理模块后发送到所述 PC 机；

所述光纤环形衰荡腔包括第一光纤耦合器、第二光纤耦合器、气隙、单模光纤；所述调制器连接所述第一光纤耦合器的低分光比端口，所述第一、第二光纤耦合器的高分光比端口通过单模光纤连接，分别只有一根尾纤的第一、第二光纤耦合器的尾纤端口与气隙连接，第二光纤耦合器的低分光比端口作为输出端连接第一光纤准直器。

6. 如权利要求 5 所述的基于光纤环形衰荡腔的甲烷气体传感装置，其特征在于，所述第一梳状滤波器的通带波长分别为 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 、 λ_5 ，第二梳状滤波器的通带波长分别为 λ_1' 、 λ_2' 、 λ_3' 、 λ_4' 、 λ_5' ，且 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 、 λ_5 均位于甲烷气体的吸收峰， λ_1' 、 λ_2' 、 λ_3' 、 λ_4' 、 λ_5' 依次与 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 、 λ_5 紧紧相邻而不被甲烷气体吸收。

7. 如权利要求 6 所述的基于光纤环形衰荡腔的甲烷气体传感装置，其特征在于：所述气隙为甲烷气体浓度传感元件，由一对准直器固定在 U 型支架上构成。

8. 如权利要求 7 所述的基于光纤环形衰荡腔的甲烷气体传感装置，其特征在于：所述第一光纤耦合器和第二光纤耦合器均为 2×1 端口单模光纤耦合器 C1 和 C2，其分光比均为 1%：99%。

基于光纤环形衰荡腔的甲烷气体传感装置

技术领域

[0001] 本发明是一种光纤气体传感技术,涉及一种光纤环形衰荡腔甲烷气体传感装置,具有微量气体浓度检测功能。

背景技术

[0002] 目前,我国煤矿瓦斯检测大多采用半导体气敏技术和催化燃烧技术,与常规瓦斯传感技术相比,光纤甲烷传感技术具有无可比拟的技术优势:

[0003] (1) 在一根信号传导光纤上可以连接多个光纤传感器从而构成分布式测量的传感点;利用光通信技术中的时分和波分复用技术,只需要一根光纤即可传输全部传感器的信号;

[0004] (2) 抗干扰能力强,不受电磁场干扰的影响,受实际工作环境下温度变化及粉尘的影响较小;

[0005] (3) 测量范围大,灵敏度高,响应速度快,对煤矿瓦斯浓度突变等情况可作出及时的反应;

[0006] (4) 使用常温下的光信号测量,避免高温或电火花引爆甲烷的情况,安全性高;

[0007] (5) 信息容量大,便于远距离测控。与光纤通信网络兼容,易组网。

[0008] 现在多数光纤气体传感器是基于光谱吸收技术的气体传感器,与其他的光纤气体传感技术相比,基于气体光谱吸收的光纤气体传感技术有灵敏度高、响应速度快、抗高温高湿等环境干扰的能力强、气体传感探头(气室)简单可靠、易于形成网络等特点,是目前最有前途和接近于实用化的一种光纤气体传感器。许多气体在红外波段有特征吸收谱,在近红外和可见波段有较弱的倍频和泛频吸收谱线,而且正好处于石英光纤的低损耗区域内(1.0 ~ 1.7 μm)。

[0009] 光纤环形腔衰荡光谱技术,是把光纤传感技术与光腔衰荡光谱技术二者相结合,它在探测光损耗中具有非常高的灵敏度,已经在许多领域中显示出了其巨大的优势。

[0010] 光腔衰荡光谱技术是一种高分辨吸收光谱测量方法,主要是通过测量光在高反射腔中的衰荡速率来获得腔内介质的吸收系数。它与腔内吸收、长程吸收光谱技术的本质区别不在于光在腔内反射次数的多少,而在于光腔衰荡光谱测量的是光在腔内的衰荡时间,是一个强度的比值,避开了激光光强波动的影响,因而测量的精度大大提高,现已达 ppb 甚至 ppt 量级。最早利用光腔衰荡技术进行分析吸收测量的是 1988 年 o'keefe 与 Deacon 完成对氧分子的双禁戒的有效带宽,其后光腔衰荡技术测量分析技术被广泛应用于测量各种吸收,如等离子体、火焰辐射、超声喷射和气体分子等。由于其原理及结构非常简单,因而在实验室被广泛使用。

[0011] 2004 年,Chuji Wang 首次将光纤环形腔衰荡技术运用于压力传感检测,通过推导和实验数据分析,得到了光纤环型腔中的衰荡时间和外界压力之间具有良好的线性关系。并于 2007 年获得美国专利授权,专利号为 7241986B2。2006 年,Chuji Wang 利用光纤环结构对光纤布拉格光栅和长周期光纤光栅进行了温度传感实验,并于 2008 年获得美

国专利授权,专利号为 7323677B1。2008 年,杨德兴等人提出了一种基于光纤腔衰荡技术的分布式光纤传感器,可对多个物理量进行同时测量,并申请了中国发明专利,申请号为 2008100118389.7。

发明内容

[0012] 本发明提出一种基于光纤环形衰荡腔技术的甲烷气体传感器,针对目前基于光谱吸收的光纤气体传感器其灵敏度和稳定度受光源强度变化影响较大的特性有待改善的现状,将待测气体浓度由检测吸收光强的变化改变为测量光强随时间呈指数衰减的衰荡时间的大小,它同时具有对光源功率要求低,达到微瓦即可,且易采用时分复用技术组网等优点。

[0013] 本发明的基于光纤环形腔衰荡技术的甲烷气体传感器,其特征在于:包括宽谱光源、包络滤波片、调制器、光纤环形衰荡腔、第一光纤准直器、第二光纤准直器、第一梳状滤波器、第一光电探测器、数据采集及处理模块、PC 机和光纤;所述宽谱光源、包络滤波片、调制器、光纤环形衰荡腔、第一光纤准直器通过光纤顺序连接,第一光纤准直器的输出端一侧安装具有至少一个通带波长 λ_1 的第一梳状滤波器, λ_1 位于甲烷气体的吸收峰;所述第一梳状滤波器输出端的一侧安装第二光纤准直器,所述第二光纤准直器通过光纤连接第一光电探测器,所述第一光电探测器输出电信号经所述数据采集及处理模块后发送到所述 PC 机。

[0014] 作为改进方案,本发明的甲烷气体传感装置还包括第三光纤准直器、第四光纤准直器、第二梳状滤波器、第二光电探测器;所述第一光纤准直器为双光纤准直器,所述双光纤准直器通过光纤连接第三光纤准直器,第三光纤准直器的输出端一侧安装具有至少一个通带波长 λ_1' 的第二梳状滤波器,所述波长 λ_1' 与波长 λ_1 紧紧相邻而不被甲烷气体吸收,所述第二梳状滤波器输出端的一侧安装第四光纤准直器,所述第四光纤准直器通过光纤连接第二光电探测器,所述第二光电探测器输出电信号经所述数据采集及处理模块后发送到所述 PC 机。

[0015] 作为另一种改进方案,本发明的甲烷气体传感装置还包括第三光纤准直器、第四光纤准直器、第二梳状滤波器、光纤合束器、单模光纤延迟线;所述第一光纤准直器为双光纤准直器,所述双光纤准直器通过光纤连接第三光纤准直器,第三光纤准直器的输出端一侧安装具有至少一个通带波长 λ_1' 的第二梳状滤波器,所述波长 λ_1' 与波长 λ_1 紧紧相邻而不被甲烷气体吸收;所述第二梳状滤波器输出端的一侧安装第四光纤准直器,所述第四光纤准直器通过所述单模光纤延迟线连接所述光纤合束器,所述第二光纤准直器与第一光电探测器之间通过光纤连接所述光纤合束器;所述光纤合束器通过光纤连接第一光电探测器,所述第一光电探测器输出电信号经所述数据采集及处理模块后发送到所述 PC 机。

[0016] 优选的,所述光纤环形衰荡腔包括第一光纤耦合器、第二光纤耦合器、气隙、单模光纤;所述调制器连接光纤耦合器的低分光比端口,第一、第二光纤耦合器的高分光比端口通过单模光纤连接,第一、第二光纤耦合器的尾纤端口与气隙连接,第二光纤耦合器的低分光比端口作为输出端连接第一光纤准直器。

[0017] 进一步优化的,所述第一梳状滤波器的通带波长分别为 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 、 λ_5 ,
 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 、 λ_5 均位于甲烷气体的吸收峰,第二梳状滤波器的通带波长分别为 λ_1' 、

λ_2' 、 λ_3' 、 λ_4' 、 λ_5' ，且 λ_1' 、 λ_2' 、 λ_3' 、 λ_4' 、 λ_5' 依次与 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 、 λ_5 紧紧相邻而不被甲烷气体吸收。

[0018] 所述的气隙是甲烷气体浓度传感元件，由一对准直器固定在 U 型支架上构成。

[0019] 所述第一光纤耦合器和第二光纤耦合器均为 2×1 端口单模光纤耦合器 C1 和 C2，其分光比均为 1% : 99%。

[0020] 包络滤波片对宽谱光源滤波后，经过调制器调制出光脉冲，光脉冲从 C1 的 1% 进入，将 C1 和 C2 的 99% 端口与气隙连接起来，将 C1 和 C2 只有一根尾纤的那一端连接起来，中间加有一段单模光纤延迟线，这样形成一个光纤环形腔，进入环形腔的光脉冲每循环一次之后从 C2 的 1% 端口输出。

[0021] 这样，将气体的浓度转化为对光纤环形腔衰荡时间的测量。当外界有甲烷气体存在时，处于甲烷吸收峰的 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 、 λ_5 波长的光通过气隙会使得光纤环内的损耗发生变化，由于光脉冲在环内不断循环，每循环一次就会对甲烷气体的吸收损耗量放大一次，因此测量精度会较高；每个脉冲在光纤环内的衰荡时间一般在微秒级，即使在后续的处理过程中要对每个衰荡信号进行多次平均，实现一次测量的时间也只要毫秒量级，因此测量速度非常快。另外，探测的光脉冲序列为强度的相对值，因而光源所固有的强度的起伏对测量结果没有影响。由于解调方法简单，易实现小型化、工程化和实用化。可以将多个光纤环形腔采用串接或者并接或者串并混接方式实现多通道传感，同时对多点的气体进行传感。

[0022] 本发明具有以下优点：

[0023] 第一，将宽谱光源通过一个包络滤波片后调制的光脉冲注入到衰荡腔，采用一个双光纤准直器将从衰荡腔输出的光脉冲序列分成两路，分别采用不同通带波长的梳状滤波器将一路波长设定在甲烷气体的特征吸收峰，另一路波长与其紧紧相邻，但是甲烷气体对其没有吸收。将两路光脉冲在光纤环形腔的衰荡时间进行比对，可以消除外界环境的变化对传感器造成干扰和影响等不稳定因素，同时避免使用双光源导致的不一致因素降低传感器的测量精度，也大大降低了系统成本。

[0024] 第二，整个光路无需用到光放大器，可以避免放大自发辐射噪声的产生。

[0025] 第三，将光纤环形腔中气体传感元件——气隙替换成其他物理量或者化学量的传感元件，甚至不需要更换光源和探测器则可以实现对其他物理量或化学量的传感。

[0026] 第四，若采用时分复用技术，将多个光纤环形腔串接或者并接或者串并混接方式，可实现多通道传感，同时对多点的气体浓度进行检测。

附图说明

[0027] 图 1 为本发明基于光纤环形衰荡腔技术的双光路甲烷气体传感器的第一实施方式的结构示意图。

[0028] 图 2 为本发明基于光纤环形衰荡腔技术的双光路甲烷气体传感器的第二实施方式的结构示意图。

[0029] 图 3 为本发明光电探测器上探测到的双路光脉冲信号的示意图。

[0030] 图 4 为本发明基于光纤环形腔衰荡技术的双波长甲烷气体传感器，采用多个光纤环形衰荡腔并接的多通道传感系统，实现多点传感的一种结构示意图。

具体实施方式

[0031] 以下结合附图对本发明做详细说明。

[0032] 图1是本发明的第一种实施结构示意图。其测量装置包括：宽谱光源(16)，包络滤波片(17)，调制器(1)，第一光纤耦合器(2)，第二光纤耦合器(4)，气隙(3)、第一、第二、第三、第四光纤准直器(5)、(7)、(12)、(14)，通带波长分别为 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 、 λ_5 和 λ_1' 、 λ_2' 、 λ_3' 、 λ_4' 、 λ_5' 的第一、第二梳状滤波器(6)、(13)，第一、第二光电探测器(8)、(11)，数据采集及处理模块(9)和PC机(10)；宽谱光源(16)经过包络滤波片(17)后，经过调制器(1)连接到光纤耦合器(2)的低分光比端口，两个光纤耦合器(2)和(4)的高分光比端口与单模光纤(15)连接起来，只有一根尾纤的端口与气隙(3)连接形成一个光纤环形衰荡腔，其中光纤耦合器(4)的低分光比端口作为输出端接双光纤准直器(5)，分成两路，一路经梳状滤波器(6)和准直器(7)后接第一光电探测器(8)，另一路经第四光纤准直器(14)、第二梳状滤波器(13)和第三光纤准直器(12)后接第二光电探测器(11)，第一、第二光电探测(8)、(11)与数据采集及处理模块(9)相接，输出信号接入PC机(10)。

[0033] 在具体应用中，采用的第一梳状滤波器(6)的通带波长 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 、 λ_5 设定在甲烷气体的泛频吸收峰1645nm附近的几个吸收峰，第二梳状滤波器(13)的通带波长 λ_1' 、 λ_2' 、 λ_3' 、 λ_4' 、 λ_5' 依次与 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 、 λ_5 紧紧相邻而不被甲烷气体吸收，将这两路的输出信号进行比对，有利于消除外界环境的恶劣变化对传感器的干扰和影响，增强传感器的稳定度。

[0034] 光纤环形腔中接入的单模光纤(15)的长度可以根据实际情况任意调节，从几十米到几百米不等，主要是对腔长的调节，改变光脉冲在环形腔中的循环次数，有助于改善气体传感器的灵敏度特性。

[0035] 经由双光纤准直器分两路通过第一、第二梳状滤波器(6)、(13)后得到的光脉冲序列W1、W2，分别被第一、第二光电探测器(8)、(11)依次检测出来，通过数据采集模块(9)采集数据，送入PC机(10)采用指数拟合函数 $y = y_0 + A \exp(-t/\tau)$ 即可分别求得光脉冲W1在光纤环形腔中的衰荡时间 τ_1 ，光脉冲W2在光纤环形腔中的衰荡时间 τ_2 ，进一步由等式

$$N = \frac{m_0 L}{\bar{\alpha} c l} \left(\frac{1}{\tau_1} - \frac{1}{\tau_2} \right) \text{即可知道待测甲烷气体的浓度。}$$

[0036] 图2是本发明的第二种实施结构示意图，与第一种实施结构不同在于将两路光脉冲序列W1、W2通过2×1光纤合束器(18)合成一路信号后送入第一光电探测器(8)检测，并在第四光纤准直器(12)后接入了一段单模光纤延迟线(19)，使得进入第一光电探测器(8)的W2脉冲序列在时间上延迟与W1，从而将它们区分出来，如图3所示， t_d 为W1和W2间的延迟时间，必须大于调制的脉冲宽度， t_r 为光脉冲在光纤环形腔内的循环时间，将探测到的衰荡信号的峰值提取出来，即可分别求得W1的衰荡时间 τ_1 和W2的衰荡时间 τ_2 。减少一个探测器，既可以降低两个探测器性能参数的不一致给系统测量精度带来的影响，也可以降低成本。

[0037] 图4是本发明的一个应用示例图。它是在第二种实施结构的基础上，将由两个光纤耦合器(2)、(4)、气隙(3)、单模光纤(15)、双光纤准直器(5)、两个梳状滤波器(6)、(13)、准直器(7)、(12)、(14)、2×1光纤合束器(18)和单模光纤延迟线(19)的组合光路作为一个整体元件(00)，如图2中虚线框(00)所示。采用多个整体元件(00₁)、(00₂)... (00_n)并

行接入形成多个通道的传感,能同时对多个点的气体浓度进行监测。其工作过程为:宽谱光源(16)经过包络滤波片(17)滤波后,由调制器(1)调制出光脉冲,经过放大器(19)放大之后通过 $1\times N$ 光纤分支器(20)分成 N 路,可接 N 个整体元件 (00_1) 、 $(00_2)\cdots(00_n)$,除第一路外,其他 $N-1$ 路都接有不同长度的光纤延迟线 (22_1) 、 $(22_2)\cdots(22_{n-1})$,使各路信号不相互重叠并区别开,然后各路信号由 $N\times 1$ 光纤合束器(21)合为一路由高速探测器(8)检出,再通过数据采集及处理模块(9)和PC机(10)进行处理即可获得各个通道的气体浓度信息。

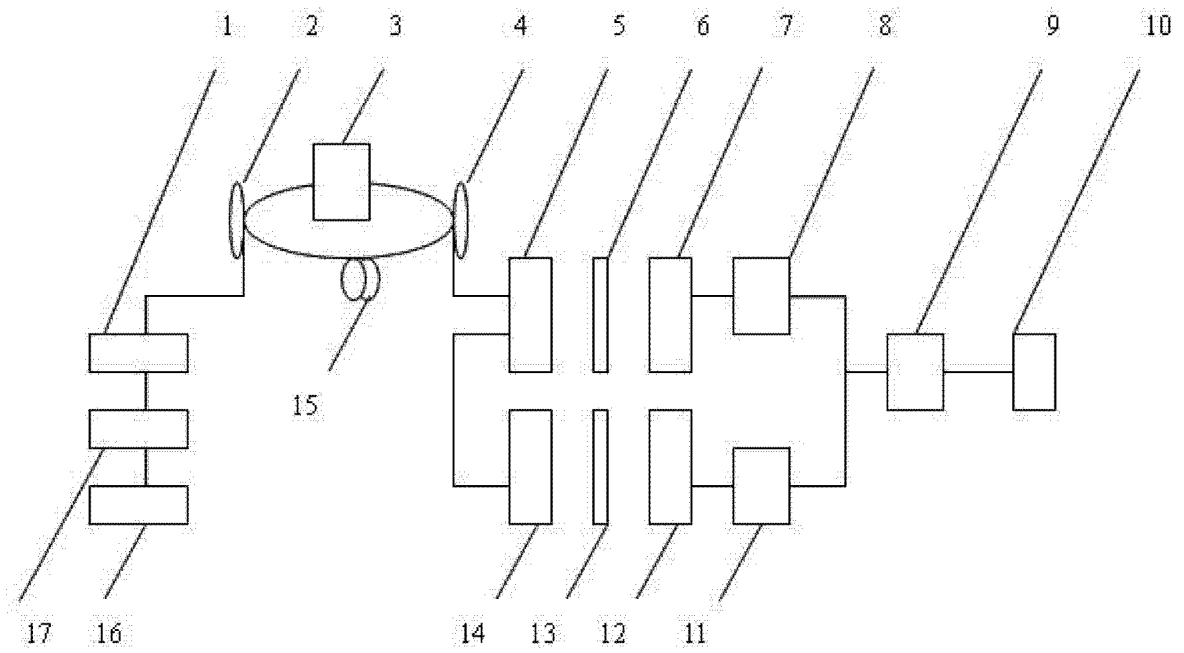


图 1

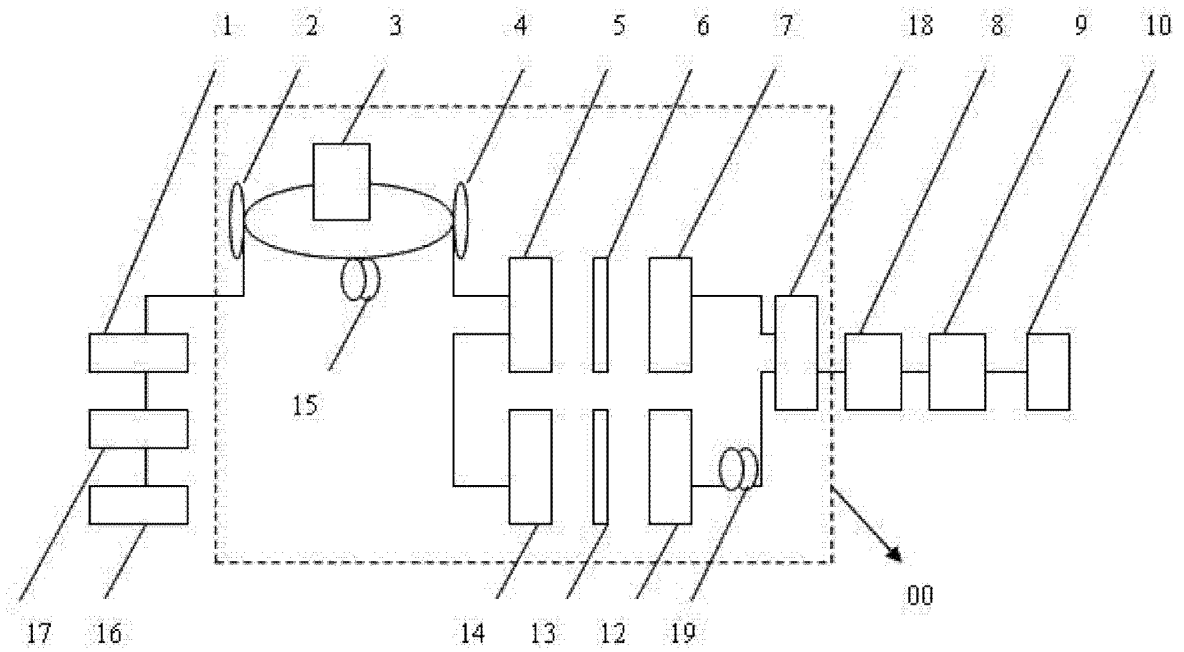


图 2

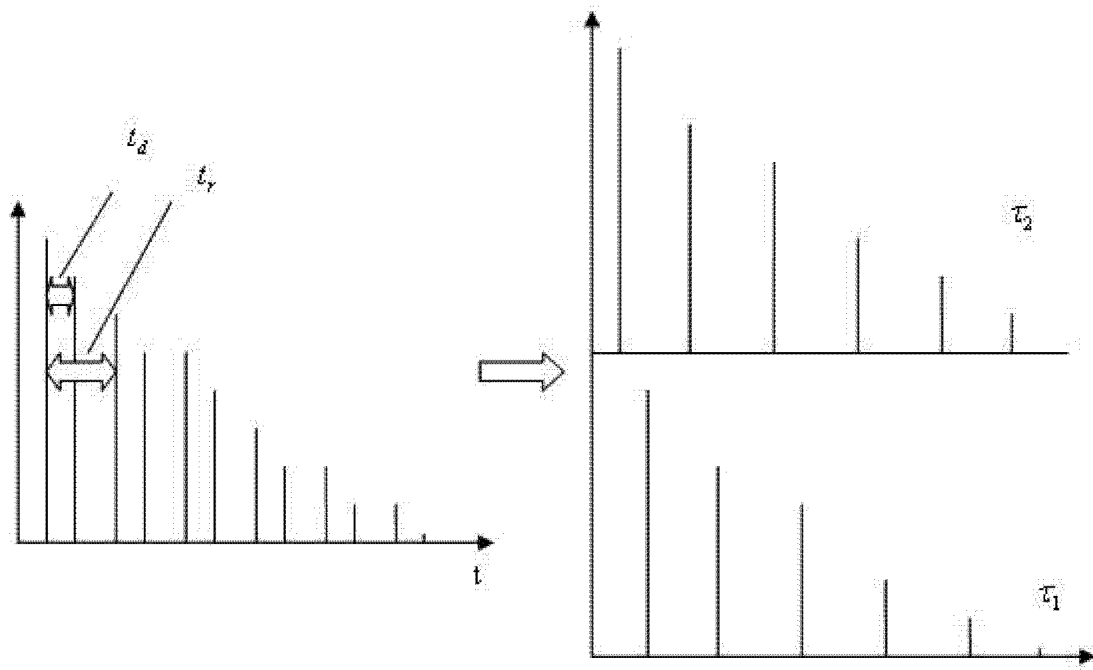


图 3

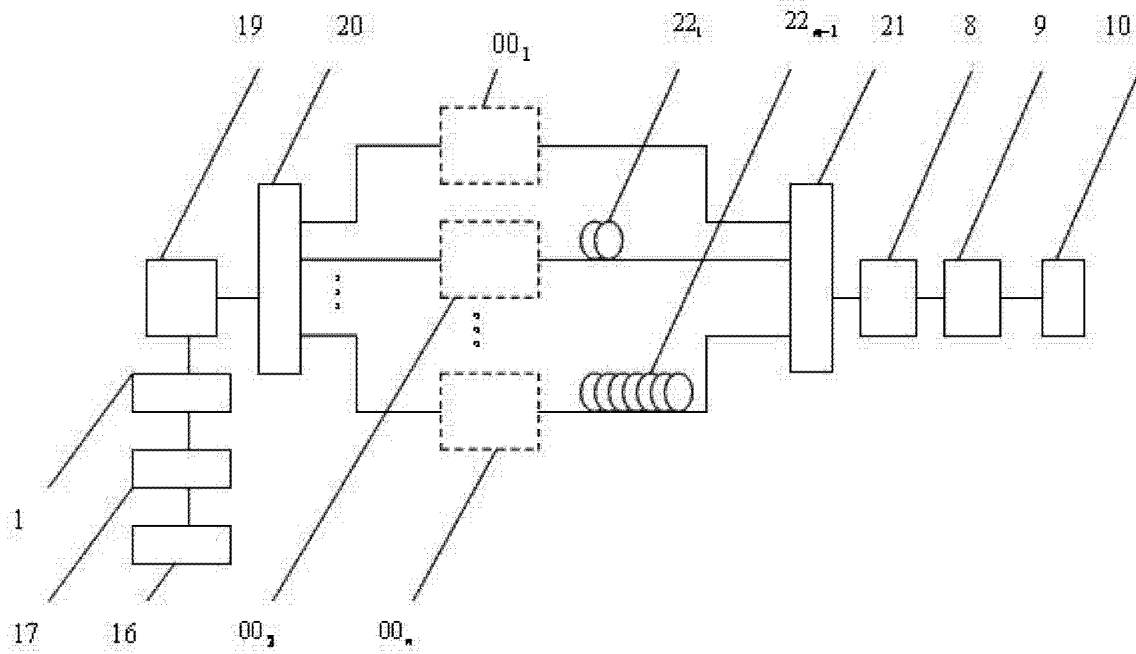


图 4