



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101080626 B

(45) 授权公告日 2011. 12. 21

(21) 申请号 200580043487. 0

(22) 申请日 2005. 12. 16

(30) 优先权数据

04257895. 5 2004. 12. 17 EP

04257888. 0 2004. 12. 17 EP

04257886. 4 2004. 12. 17 EP

04257898. 9 2004. 12. 17 EP

04257885. 6 2004. 12. 17 EP

04257890. 6 2004. 12. 17 EP

04257887. 2 2004. 12. 17 EP

04257889. 8 2004. 12. 17 EP

04257899. 7 2004. 12. 17 EP

(85) PCT申请进入国家阶段日

2007. 06. 18

(86) PCT申请的申请数据

PCT/GB2005/004870 2005. 12. 16

(87) PCT申请的公布数据

W02006/064256 EN 2006. 06. 22

(73) 专利权人 霍尼韦尔分析股份公司

地址 瑞士乌斯特尔

(72) 发明人 斯蒂芬·N·萨顿

罗德尼·罗伊斯顿·瓦茨

迈克尔·普罗克特

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
72001

代理人 蒋骏

(51) Int. Cl.

G01N 21/35(2006. 01)

G01N 21/39(2006. 01)

审查员 吴日雯

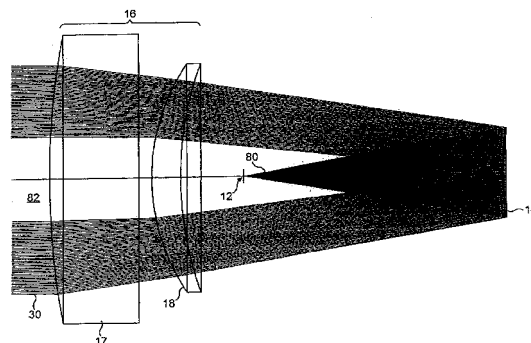
权利要求书 3 页 说明书 19 页 附图 18 页

(54) 发明名称

用于开路式气体检测器的发射单元

(57) 摘要

本发明提供一种开路式气体检测器和检测目标气体的方法,其中该检测器包括:按能被目标气体吸收的波长发射射线的射线发射器(12),例如,可调激光二极管,以及具有偏转部分和非偏转部分(15)的射线偏转器,如具有非反射部分的反射镜。偏转部分和非偏转部分都位于发射器所发射的射线的路径中,并且其中非偏转部分不对发射器所发射的射线进行偏转或与偏转部分进行不同程度的偏转。这样,中心具有阴影的射线束被用于使射线束与接收单元对准。射线偏转器优选为具有用于反射所述发射器所发射射线的反射表面以及不反射所述发射器所发射的射线或较之反射部分反射程度低的非反射部分(15)的反射镜(14)。非反射部分优选是透明的以允许射线通过它,如果需要校正,其可被用于测量发射器所发射的波长。



1. 一种开路式气体检测器,包括发射单元和接收单元,其中:
所述发射单元包括
射线发射器;
光学组件,被配置为用于将所述射线发射器发射的射线形成沿路径传输的射线束,在所述射线束形成至少一个部分对准阴影;以及
通信信号检测器;并且
所述接收单元(20)包括
检测器(22),被配置为检测来自所述发射单元的射线的所述射线束;
通信发射器,被配置为按不同于所述射线发射器发射的波长的通信波长将数据信号发送给所述发射单元,所述数据信号包含关于所述接收单元的所述检测器所检测的射线强度的数据,并且其中所述发射单元的所述光学组件被设置为把所述数据信号定向至所述通信信号检测器;
其中,所述发射单元还包括反射镜,该反射镜被配置用于把由所述射线发射器所发射的射线定向至所述光学组件,
所述通信信号检测器位于所述反射镜的远离所述光学组件的一侧,以及
所述反射镜能够向所述通信信号检测器按所述通信波长传送数据信号。
2. 如权利要求1所述的开路式气体检测器,其中所述反射镜按所述通信波长是透明的或半透明的,并按所述射线发射器所发射的波长来反射。
3. 如权利要求1所述的开路式气体检测器,其中所述反射镜是可操控的,用于沿着期望的路径定向由所述射线发射器所发射的射线。
4. 如权利要求1所述的开路式气体检测器,其中所述接收单元的所述检测器具有至少 $\pm 0.1^{\circ}$ - $\pm 0.5^{\circ}$ 范围的视场。
5. 如权利要求1所述的开路式气体检测器,其中所述射线发射器发射至少部分沿所述路径传送的调制射线。
6. 如权利要求2所述的开路式气体检测器,还包括多个支撑所述反射镜的电机机械元件,其中所述电机机械元件根据施加到其上的信号改变所述电机机械元件的位置,从而能操控所述反射镜沿期望的路径定向所述射线。
7. 如权利要求6所述的开路式气体检测器,其中每个所述电机机械元件包括具有两个相对端和位于所述两个相对端之间的中心部分的条,其中所述条在其每个端部被锚定,并且所述反射镜被支撑在所述条的中心部分使得所述反射镜可移动,并且其中所述电机机械元件具有至少150Hz-500Hz范围内的谐振频率。
8. 如权利要求1所述的开路式气体检测器,其中:
所述射线发射器包括可调激光二极管,按能被目标气体吸收的波长发射射线,并且其中所述反射镜具有偏转部分和非偏转部分,所述偏转部分和非偏转部分两者都位于所述射线发射器所发射的射线的路径中,并且其中所述非偏转部分不对所述射线发射器所发射的射线进行偏转或与所述偏转部分相比进行不同程度的偏转。
9. 如权利要求8所述的开路式气体检测器,其中所述反射镜是可操控的并具有反射表面用来反射所述射线发射器所发射的射线。
10. 如权利要求8所述的开路式气体检测器,其中所述发射单元还包括:

容器,该容器对所述射线发射器所发射的波长范围的射线半透明,所述容器被设置于已经通过所述非偏转部分的射线的路径上,并被构造为包含材料样品,该材料样品至少按所述射线发射器所发射的波长范围的一部分吸收射线,所述材料样品为目标气体,

射线检测器,被配置为用于检测已经通过所述容器的射线并根据该射线的强度产生信号,以及

控制器,被配置为用于控制由所述射线发射器所发射的波长,从而相对于所述材料样品所吸收的射线将由所述射线发射器所发射的波长保持在预定范围。

11. 如权利要求 8 所述的开路式气体检测器,其中所述光学组件包括:

至少一个元件,该元件具有面对所述反射镜的表面,并被设置用于反射从所述反射镜反射的射线并将其聚焦,使得其通过所述反射镜的非偏转部分,以及

传感器,被配置为接收由所述表面反射并通过所述反射镜的射线,并且所述传感器被配置用于产生信号,该传感器产生的该信号指示由所述射线发射器所发射的射线的强度或波长的至少一个。

12. 如权利要求 1 所述的开路式气体检测器,其中所述发射单元包括

信号发生器,被配置为用于产生具有至少两个不同调制频率成分的合成信号;

驱动器,被配置为用于利用该合成信号来驱动射线源,以产生根据所述合成信号改变波长的射线;

其中设置所述信号发生器使得下述 a) 和 b) 的至少一个既不是所述合成信号中任何调制频率成分的基频率也不是该合成信号中任何调制频率成分的基频率的谐波:

a) 所述合成信号中的任何两个调制频率成分的和或所述合成信号中的任何两个调制频率成分的相应谐波的和,以及

b) 所述合成信号中的任何两个调制频率成分之间的差或所述合成信号中的任何两个调制频率成分的相应谐波之间的差。

13. 检测空间中存在目标气体的方法,该方法包括:

组合两个或多个具有不同交错波形的信号,以产生合成信号,

利用该合成信号来驱动射线源以产生根据该合成信号改变波长的射线,

定向所述射线经过所监视空间;

检测通过所述空间的射线强度;

根据所检测的射线产生检测射线信号;

过滤所述检测射线信号以消除对应于形成该合成信号的信号之一的至少一个频率成分;

把经过滤的检测射线信号传送到信号处理器的输入端并产生非线性输出,并分析该输出以检测按目标气体的吸收波长定向通过所述空间的射线的吸收。

14. 检测空间中存在目标气体的方法,该方法包括:

组合两个或多个具有不同交错波形的信号,以产生合成信号,

利用该合成信号来驱动射线源以产生根据该合成信号改变波长的射线束,

定向所述射线束经过所监视空间;

检测通过所述空间的射线的强度;

将所述射线束与检测器对准,其中:

检测包括产生给出所检测射线的强度的测量值的信号；

在围绕所述检测器的预定环形图案以频率 f 操控所述射线束；

根据在检测步骤所产生的信号在频率 f 或 f 的谐波的变化导出所述检测器相对于在预定环形图案中被操控的所述射线束的位置；以及

把所述射线束定向至所述位置。

15. 如权利要求 14 所述的方法，其包括确定所述检测器与所述射线源之间的距离，这包括在至少两个不同的方向上定向所述射线束，所述至少两个不同的方向的每个与所述检测器和所述源之间的直线具有不同角差异，测量在所述至少两个不同的方向上由所述检测器所检测的射线强度的变化，以及确定所检测射线的强度随角差异的变化，从而给出所述检测器与所述射线源之间距离的测量值。

用于开路式气体检测器的发射单元

技术领域

[0001] 本发明涉及用于检测气体的红外检测器,所述气体也包括水蒸气。本发明尤其涉及用于检测气体的开路式气体检测器,其包括沿被监视空间中的路径发射射线束的发射单元和检测通过该空间的射线的检测单元。术语“开路式气体检测器(open path gas detector)”覆盖不考虑路径长度以及不考虑是否路径对于大气状态是开放的和/或是封闭的所有检测器。

[0002] 背景技术

[0003] 利用无色散红外光谱仪检测碳氢气体是公知的技术。其主要是沿被监视区域中的路径发射红外射线;选择红外射线的波长使得可被所关注气体(下称“目标气体”)吸收而基本上不被所监视区域的大气中的其它气体吸收。如果是户外监视,所选波长优选不被液态或气态水(如湿气,凝结水,雾,雨或喷雾)吸收。测量沿所监视区域中的路径通过的射线的强度,并通过射线强度的衰减来给出所监视区域中目标气体量的度量。

[0004] 然而,除了被目标气体吸收外,其它因素也会使红外射线衰减,包括检测射线束的衰减,大气的散射,表面的污染物如灰尘或凝聚物,组件的老化。通过使用一种参照可使红外气体检测器的可靠性显著地提高,这种参照通常是具有不同波长的红外射线,该波长优选为目标气体对其没有显著的吸收。射线可使用一个以上的参考波长,同样可使用一个以上的取样波长。由于理论上对于参考波长的信号和取样波长的信号会受到相同程度的射线衰减的影响(除了目标气体之外),因此,在目标气体所吸收的波长(“取样”波长)上所获取的信号与在目标气体不吸收的波长(“参考”波长)上所获取的信号的比率被用来补偿由于环境状态所引起的衰减。

[0005] 已知监视大气中的有毒气体是使用点式气体检测器,其可以是电化学的或光学的(在本说明书中术语“有毒”气体是指除了氧气和氮气之外的气体和水蒸气,例如硫化氢,氟化氢,氨,二氧化硫,二氧化碳和一氧化碳)。点式气体检测器设备带来了在进行大面积监视时由于在整个区域设置大量检测器而成本过高的问题。此外,如果目标气体的集聚发生在检测器之间,则不能被检测到。开路式气体检测器具有超过1米的路径长度,典型地至少10m,因此能以单个设备监视较大的区域。

[0006] 开路式气体检测器由于可利用价格实惠的可调二极管激光器而变得更加有吸引力,可调二极管激光器能调节到非常窄的波长以检测目标有毒气体的特殊吸收波长。然而,需要检测的有毒气体的浓度较低,典型为5ppm(百万分之一)以及更低,如1ppm。在如此低的浓度,检测器中的噪声可能大于目标气体的信号,使得难以检测如此低浓度的有毒目标气体。另外,信号可能随着电子的漂移或光学元件超时,温度的变化和/或大气状态等而变得难以识别。另外,可调激光二极管的相干激光射线可能使射线的强度变化在亮带和暗带之间产生干扰带,其可能远远超过低浓度目标气体所产生的信号。

[0007] 因此,迄今为止还没有用于测量低至10ppm浓度目标气体的有毒气体的可靠的低成本开路式气体检测器。

[0008] GB-235391公开了一种利用可调激光二极管作为射线源定向射线束通过测量路径

至射线检测器以检测路径中的目标气体的开路式气体检测器。激光二极管以非常窄的线宽发射射线,其比目标气体的吸收峰值窄。在该已知系统中,所扫描的激光二极管的波长包含具有频率 f 的目标气体吸收频带,目标气体的吸收频带为图 1 中的 B 线所示。在扫描过程中,所发射的激光射线的强度也随频率 f 变化,强度随波长的变化如图 1 中的曲线 A 所示。所发射的射线被检测器检测,该检测器产生与入射到其上的射线强度成比例的信号。未示出的强度随时间变化的曲线是正弦曲线。如果大气没有包含目标气体,射线的强度的变化为图 1 的曲线 A 并且检测器读出的频率信号与扫描频率 f 相同。然而,如果有目标气体在大气中,其将吸收射线,因此会使到达检测器的射线衰减。所检测到的射线强度的结果曲线是曲线 A 和 B 的组合,如图 2 所示的。从中可见,强度随时间变化的曲线具有另外的频率分量 $2f$ 。

[0009] $2f$ 分量的振幅越大,在所测量路径中的目标气体的量越大。信号的 $2f$ 分量(以及高的谐波分量)可使用相位灵敏测量放大器(锁定放大器)确定。目标气体对 $1f$ 分量的影响比对 $2f$ 分量的影响相对小。因此, $2f$ 分量与 $1f$ 分量的比例可以确定所测路径中目标气体的量。 $1f$ 和 $2f$ 分量以相同的方式受到多个衰减条件如测量路径的长度、检测射线束的衰弱、大气散射等的影响。因此, $2f : 1f$ 比值可提供所测路径中的目标气体的量的度量。

[0010] 这种基础技术的许多细节也是公知的,例如激光二极管输出的中央波长在低于 f 的频率变化。所提供的 $2f : 1f$ 比值,可进行数学分析以提供对于目标气体浓度的可靠测量。

[0011] 为获得扫描目标气体的吸收频带的波长的变化,通过激光器的电流是变化的,从而光输出能量也是变化的。由于激光二极管的特性, $1f$ 分量的量必定大。 $2f$ 分量的量随气体吸收而变,并且有毒气体的浓度越低该量也越小。 $2f : 1f$ 比值因此非常小,典型地为 10^{-4} 至 10^{-6} ,由于对其进行精确测量非常困难,因此该比值较小是这种技术的一个基本缺陷。

[0012] 用于驱动激光的电子组件和相位灵敏测量放大器可引起信号的谐波畸变。当信号的 $1f$ 分量通过这些电子组件传播时,任何非线性特性都将导致 $1f$ 分量的谐波产生,包括一个 $2f$ 的分量。该额外的 $2f$ 分量加在由目标气体的吸收产生的 $2f$ 分量中,从而导致对目标气体浓度的不正确测量,这可能产生错误的报警,在一些情况下,导致使设备缺乏可信度。

[0013] 在 GB-2353591 中,扫描波长的中间值是由反馈电路控制的,如下述。为激光二极管射线束提供射线束分离器并且定向一部分射线束沿着所测路径传输以及一部分直接被定向至检测器;在检测单元前设置一个包含目标气体(或适合于知道吸收特性的其它物质)的样品的单元使得按目标气体的波长吸收射线。如上所述,通过这种与测量射线束有相同的方式的反馈射线束确定 $2f : 1f$ 比值能使检测器的信号反应出是否二极管发射的波长能扫描目标气体的吸收频带。如果激光二极管的波长偏离了,则可从检测器中明显反应出,并允许对激光二极管进行修正以发射正确的波长。

[0014] 如上所述,上述设置的一个缺陷是当目标气体以低浓度存在于所测路径中时射线束分离器提供干扰带可能会干扰目标气体的信号。

[0015] 通常在所测路径相反两端的发射单元和检测单元之间提供所测路径适当对准是困难的。GB-2353591 给出了在检测单元和发射单元之间的双向通信链路。发射单元包括用于改变发射射线束方向的控向镜(steering mirror);周期性地扫描发射射线束并通过检

测单元所测量的最大强度确定射线束的最佳方向 ;在检测单元和发射单元之间的通信链路上提供控向镜的最佳位置的反馈以实现对准。

[0016] 开路式气体检测器的一个问题是在光学组件上的水凝聚体,其可使发射射线束衰弱。因此,需将光学组件保持在露点以上的温度以防止这种凝聚。然而,加热光路会增加系统的复杂程度并消耗大量的能量。

发明内容

[0017] 根据本发明的一个方面,其提供了一种用于检测目标气体的开路式气体检测器的发射单元,包括:

[0018] 按能被目标气体吸收的波长来发射射线的射线发射器,例如,可调激光二极管,

[0019] 具有偏转部分和非偏转部分的射线偏转器,其中偏转器被配置为使得偏转部分和非偏转部分两者都位于发射器所发射的射线的路径中,以及其中非偏转部分不对发射器所发射的射线进行偏转或与偏转部分进行不同程度的偏转。

[0020] 射线偏转器优选是反射镜,其具有用于反射所述发射器所发射的射线的反射表面,并且也具有不反射该发射器所发射的射线或反射程度比该反射表面低的非反射部分。

[0021] 射线偏转器的非偏转部分优选被偏转部分围绕并优选定位于射线偏转器的偏转部分的中心区。

[0022] 非偏转部分的作用是,使所产生的射线束带有能被检测和用于使所发射射线与检测器对准的完整或部分阴影 (shadow)。

[0023] 入射到非偏转部分的射线可通过允许其通过非偏转部分而被利用,如使非偏转部分成为开口或开孔而透明或半透明。透明或半透明的偏转器部分具有小于 3mm 的直径,优选小于 2mm,如 1.5mm。例如可利用通过非偏转部分的射线定向其至少部分通过一个对射线半透明的容器,以用于控制由射线发射器所发射的射线的波长。该容器被用于容纳至少吸收发射器所发射的波长范围的一部分射线的材料的样品,优选为目标气体的样品。设置射线检测器去检测通过容器的射线以根据该射线的强度产生信号,将该信号反馈给控制器以控制射线发射器所发射的射线的波长。被样品吸收的波长是固定的和已知的,并被用作估计发射器发射的射线和将其维持在预定范围内的基础。

[0024] 透明或半透明的非偏转部分也可以用于发射不直接来自射线发射器的射线,例如提供测量发射器所发射的射线强度的参考信号以在气体测量过程中允许射线强度波动。发射单元包括使来自射线偏转器的射线形成沿一个路径传输的射线束的光学组件。该光学组件优选包括具有表面的元件,所述表面优选为球面,其面对射线偏转器以及反射来自射线偏转器的射线并聚焦该射线以致于使该射线通过射线偏转器的非偏转部分,其入射到参考检测器以产生一个测量发射器发射的射线的信号,例如,射线的强度和 / 或波长。光学组件的反射表面优选被形成能在邻近偏转器的透明或半透明部分聚焦被反射的射线的形状。

[0025] 被透镜元件反射的射线将包括由非偏转部分产生的阴影 (shadow)。通过设置第二射线偏转器,例如反射器、棱镜或折射部件,可使在阴影中传到样品容器的射线与传到参考检测器的射线保持分离,使得其不接收从透镜元件反射的光但接收从射线源发射到非偏转部分的射线。第二偏转器将这样的射线偏转到容器。

[0026] 被所述光学组件表面反射的射线能通过额外的透镜聚焦到检测器上,该额外的透

镜可为设置第二偏转器提供有用的支持。

[0027] 优选设置一个遮罩 (shield) 以遮挡从远离射线发射器的射线偏转器侧发射并射向射线发射器的射线。遮罩遮挡这样的射线以减小或防止其与发射器发射的射线形成干扰带。

[0028] 本发明也提供一种包括用于沿一路径定向射线束的发射单元和具有用于检测通过该路径的射线的检测器的接收单元的开放式气体检测器。其也可包括检测射线束与接收单元何时对准以及操控射线偏转器的控制器。由射线偏转器的非偏转部分产生的完整或部分阴影可被接收单元检测并用于操控射线偏转器以便将阴影射向检测器。

[0029] 本发明进一步包括用于沿着一光学路径操控射线偏转器的装置,例如,反射镜。在该装置中,射线偏转器被支撑于能根据所施加的信号调节其位置的多个电动机械元件上,例如,压电元件。通过给元件施加合适的信号,可操控射线偏转器能沿预定的路径定向射线。

[0030] 压电元件可以是具有两个相对端且中心部分位于两端之间的条。每个条在其端部被锚定并且射线偏转器被支撑于条的中心部分上。利用这样的构造压电元件可具有至少 150Hz 的谐振频率,例如至少 200Hz,优选至少 300Hz,例如,大于 500Hz。

[0031] 沿路径发射的射线束中的射线优选具有小于 0.25° 的发散角,更优选小于 0.1° 以便使射线束的强度最大化,然而接收器可具有 $> \pm 0.1^\circ$ 的宽的角接收范围,例如, $> \pm 0.25^\circ$, 优选 $> \pm 0.5^\circ$, 如 1° 。

[0032] 与用于修正沿路径传输的气体检测射线束相同的光学组件也可用于收集包含与检测目标气体相关的数据的信号。这样,根据本发明的另一方面,提供一种开放式气体检测器,包括:

[0033] 发射单元包括

[0034] 射线发射器,

[0035] 配置为将发射器发射的射线形成沿路径传输的射线束的光学组件,以及

[0036] 通信信号检测器,

[0037] 接收单元包括

[0038] 配置为检测来自发射单元的射线的所述射线束的检测器和

[0039] 配置为以不同于射线发射器发射的波长的通信波长将数据信号发送给发射单元的通信发射器,数据信号包含关于检测器所检测的射线强度的数据,

[0040] 其中所述光学组件被配置为向通信信号检测器发送数据信号。

[0041] 射线偏转器可以是配置为把所述发射器发生的射线定向至所述光学组件的光学元件以便能够以通信波长将通信信号发送给设置在光学元件后的通信信号检测器。光学元件优选为反射器,如反射镜,其对于通信波长是透明或半透明的并且反射由射线发射器所发射的波长。

[0042] 可在光学组件和通信检测器之间设置一透镜以从光学组件将通信信号聚焦到检测器上。

[0043] 如上所述,发射器所发射的射线的强度可以变化以及,可形成射线的参考射线束用于测量所发射射线的强度以使补偿强度的变化。根据本发明的该方面,提供一种用于开放式气体检测器的发射单元,包括:

[0044] 射线发射器,例如,可调激光二极管,

[0045] 配置为将入射到其上的发射器所发射的射线形成沿路径传输的射线束的光学组件,所述光学组件包括至少一个具有面对入射到光学组件上的射线的表面(下称“后表面”),后表面,优选为球面,其能反射一定比例的入射到其上的射线,以及

[0046] 配置为接收由后表面反射的射线以及产生测量由发射器所发射的射线的特性的信号的参考检测器,射线的特性例如为强度和/或射线的波长。

[0047] 光学组件可以包括第一透镜以及设置在第一透镜和射线发射器之间的第二透镜,在这种情形下,后表面优选在第二透镜中提供。

[0048] 可设置另外的透镜系统以将由后表面反射的射线定向至参考检测器。

[0049] 使用光学组件的后表面的一个优点在于基本上所有的射线形成入射到后表面上的射线束并使得由后表面反射的射线是由基本上整个射线束的宽度上得到的而不仅仅是从其一部分得到。

[0050] 由射线发射器产生的热可用于加热光学组件以减小光学组件上的凝聚并给发射器散热。这样,根据本发明的另一方面,提供一种用于开路式气体检测器的发射单元,包括射线发射器,例如可调激光二极管发射器,以及配置为将发射器所发射的射线形成沿路径传输的射线束的光学组件,其中发射器与光学组件热接触从而使热能从发射器传输给光学组件。射线发射器可与光学组件结合,例如,通过粘接。

[0051] 光学组件可以包括第一透镜以及设置在第一透镜和射线发射器之间的第二透镜,在这种情形下射线发射器与第一透镜热接接触,这可利用具有中心通孔以致于射线发射器被容纳于孔中的第二透镜而实现。

[0052] 从射线源散出的热也许不足以使射线发射器冷却因此可能需要设置散热器进一步冷却;也可用传感器检测射线发射器的温度并用控制器操作冷却器以使射线发射器保持在预定的温度范围内。

[0053] 同样如果来自射线源的热不足以加热光学组件,可设置补充加热器以另外加热光学组件。

[0054] 本发明也提供一种将发射器所发射射线束与检测器对准的方法,例如,将开路式气体检测器中的射线束与检测器对准,所述射线束沿路径传输。该方法包括:

[0055] a) 产生射线束,

[0056] b) 利用检测器在射线通过路径后检测其强度以及产生所检测强度的测量值的信号,

[0057] c) 以频率 f' 在围绕检测器的预定环形图案(looped pattern)中操控射线束,

[0058] d) 从检测器信号的强度以频率 f' 或 f' 的谐波(如 $2f'$, $4f'$ 等)的变化中导出检测器相对于环形射线束的位置,

[0059] e) 向所述位置发送射线束以及可选地:

[0060] f) 在从步骤 d) 导出的检测器的位置周围的另一个环形图案中操控射线束以及

[0061] g) 任选地重复步骤 d) 至 f) 直到射线束与检测器对准。

[0062] 这样在检测器周围的路径中操控射线束并分析检测器的信号以发现路径中检测器的位置以使射线束能与检测器对准。可以重复该过程,例如,利用连续的窄的环形图案,直至实现对准。

[0063] 如上所述,射线束可以是环形截面,具有完整或部分阴影的中心并且可通过检测阴影的存在实现射线束的对准。

[0064] 检测器中频率为 f' 或 f' 的谐波的信号的振幅能用于测量环形图案的中心区域和检测器之间的角距离,例如圆形环和检测器之间的角距离,其中 f' 是射线束沿预定环形图案移动的频率。

[0065] 可在圆形或非圆形路径中操控射线束,例如椭圆形;当沿非圆形路径操控时,在基频率 f' 或其谐波,如 $2f'$ 的信号的振幅与在不同谐波,如 $4f'$ 的信号的振幅的比率可用于测量环形图案的中心区域和检测器之间的距离。

[0066] 由检测器所检测的频率为 f' 或 f' 的谐波的信号的强度变化的相位可确定检测器相对于所述环形图案的中心区域的方向,例如圆环的中心。

[0067] 本发明甚至可以在存在由发射器的机械振动所引起检测器的信号变化的情况下工作。由于机械振动的振幅、频率、相位和方向可视为未对准的一种形式,因此可利用与发现射线束与检测器之间正确对准相同的技术计算这些振动。可操控射线束以便其与所检测到的振动相同的振幅和频率但以相反的相位变动以致于至少部分地减少由所述振动所引起的射线束的未对准。

[0068] 可通过下列状态下的信号的振幅和相位(单独地)计算所述振动的振幅和方向:

[0069] - 振动的频率或其谐波或

[0070] - 为 (a) 振动的频率或其谐波和 (b) 环状运动的频率 f' 或其谐波之间的和或差的频率。

[0071] 根据本发明的另一方面,可通过在每个与检测器和发射源之间的直线具有不同角差异的至少两个不同的方向上发射射线束以检测射线束源与射线检测器之间的距离,在至少两个不同的方向上测量检测器所检测的射线强度的变化以及计算所检测射线的强度随角差异的变化以测量检测器与射线束源之间的距离。

[0072] 本发明的另一方面涉及避免上述通过计算 (1) 激光器在吸收频带附近波长进行扫描的频率为 f 的信号与 (2) 频率为 $2f$ 的信号,即导致所计算的气体水平的失真的谐波失真和气体的存在所产生的频率为 $2f$ 的信号的比率而检测目标气体的存在中所出现的问题。根据本发明的该方面,提供一种在一个空间中检测目标气体存在的方法,该方法包括:

[0073] 产生一包含两个或多个不同调制频率成分的合成信号;

[0074] 利用该合成信号驱动信号源以产生根据合成信号改变波长的射线;

[0075] 定向所述射线穿过被监视空间;

[0076] 检测穿过所述空间的射线;

[0077] 根据所检测的射线产生检测射线信号,其中合成信号为使得在监视空间中由目标气体吸收的射线导致所检测的信号包括至少一个不是合成信号的一个或多个调制频率的基波或谐波的频率成分。

[0078] 由于空间中目标气体的存在所产生的检测射线信号中的频率成分可以是合成信号中两个调制频率成分或其谐波之差和/或是合成信号中两个调制频率成分或其谐波之和。

[0079] 一个调制频率成分的频率优选大于第二调制频率成分的频率 1 至 10^8 倍,例如 1.1 至 100 倍,如大约 10 倍。

[0080] 使用具有通过组合两个或多个具有不同交错波形的信号形成的调制频率成分的合成信号可具有独特的优点。在整个时间段上,通过在合成信号中形成每个信号水平,通过两个或多个信号的信号水平的多个不同组合,可减小形成两个信号的发生器和由射线源发射的射线之间的非线性。因此本发明也提供一种检测空间中目标气体存在的方法,该方法包括:

[0081] 结合两个或多个具有不同交错波形的信号以产生合成信号,

[0082] 利用合成信号驱动射线源,例如可调激光二极管,以产生根据合成信号改变波长的射线;

[0083] 定向所述射线穿过被监视空间;以及

[0084] 检测越过所述空间的射线;

[0085] 其中合成信号中每个信号水平是随时间通过两个或多个信号的信号水平的多个不同组合获得的。

[0086] 优选合成信号能使得其平均信号水平引起射线源以目标气体的吸收波长产生射线。两个或多个信号优选包括两个或多个交错波形和直流电流,其中直流电流可以使射线源以目标气体的吸收波长产生射线。

[0087] 本发明也涉及能实现上述方法的开路式气体检测器结构的发射单元以及包括这样的发射单元的开路式气体检测器。

[0088] 利用具有两个或多个调制频率成分的合成信号去驱动气体检测器中的射线源能获得第三个优点。通过过滤掉通过检测从气体中通过的射线形成的一个频率成分的信号,可以减小由用于气体检测的电子元件的输入和输出之间的非线性引起的误差,如放大器或模数转换器。因此根据本发明的该方面提供了一种检测空间中目标气体的方法,包括:

[0089] 根据所检测的信号产生检测射线信号;

[0090] 过滤所述检测射线信号以消除对应用于形成合成信号的一个信号的至少一个频率成分;

[0091] 将过滤的检测射线信号反馈给具有非线性输出的信号处理器的输入端,如模数转换器或放大器;

[0092] 以及分析过滤信号输出,以检测按所述目标气体的吸收波长定向穿过所述空间的射线的吸收。

[0093] 这样过滤后的检测射线信号可被反馈给具有非线性输出端的信号处理器,如模数转换器或放大器,其中分析步骤包括分析所述输出端的被过滤的信号以检测按目标气体吸收波长定向经过所述空间的射线的吸收。

[0094] 空间中存在的目标气体中检测射线信号中产生的频率成分,其可以包括为合成信号或其谐波的至少两个调制频率成分之差的第一频率成分和/或为合成信号或其谐波的至少两个调制频率成分之和的第二频率成分。

[0095] 如上所述,第一和第二调制频率成分的频率的比率大于 1 : 1 并可高至 10^8 : 1,例如 1.1 : 1 至 100 : 1,如大约 10 : 1。

[0096] 本发明也涉及能实现上述方法的开路式气体检测器结构的接收器单元以及包括这样的接收器单元的开路式气体检测器。

附图说明

[0097] 下面将通过参照下述附图,对根据本发明的开路式气体检测器的发射单元和接收器单元以例子的方式进行描述:

[0098] 图 1 和 2 为开路式气体检测器的检测单元所检测的射线的强度的示图;

[0099] 图 3 示出了根据本发明的发射单元和检测单元两者的开路式气体检测器的示意图;

[0100] 图 4 为开路式气体检测器的发射单元的各部件的装配图;

[0101] 图 4a 为图 4 的光学组件 16 截面图;

[0102] 图 5 为除部分分离和部分分解外与图 4 相同的示图;

[0103] 图 6 为射线束沿待测路径传输的射线图;

[0104] 图 7 为本发明的检测单元中的波长锁定射线束的射线图;

[0105] 图 8 为发射单元中参考射线束的射线图;

[0106] 图 9 为检测单元和发射单元之间通信连接的射线图;

[0107] 图 10 所示为所检测射线的强度随最佳射线束和实际射线束之间的角距离的变化。

[0108] 图 11 为发射单元扫描射线的示意图;

[0109] 图 12 为图 10 所示的扫描射线束对检测单元检测的射线强度的影响的变化示意图;

[0110] 图 13 除表示不同的对准变化外与图 12 相同;

[0111] 图 14 为图 10, 12 和 13 中的峰值的更详细示图;

[0112] 图 15 为图 4 和 5 的开路式气体检测器中发射单元的反射镜结构的平面示图;

[0113] 图 16 为根据本发明的发射单元的分解图;

[0114] 图 17 为在各种路径长度下所检测射线的强度随最佳射线束和实际射线束之间角距离变化的示图;

[0115] 图 18 为驱动开路式气体检测器的激光二极管的元件的结构图;

[0116] 图 19 所示的三个曲线,其中两个是合成用于驱动开路式气体检测器的激光二极管的驱动信号的第三个曲线的信号成分;

[0117] 图 20 所示为目标气体吸收频带的曲线;

[0118] 图 21 所示的三个曲线,一个表示通过开路被气体检测器检测的射线的波长随时间的变化,另外两个曲线为表示目标气体吸收所产生信号成分的路径端部检测射线的强度;

[0119] 图 22 为表示路径端部检测射线的频率的曲线;

[0120] 图 23 为激光二极管的输出随图 18 所示的信号源的输出的曲线;

[0121] 图 24 为开路式气体检测器的接收器单元的元件的结构图;

[0122] 图 25 为路径端部检测的射线的波长随时间的曲线,其也是检测信号的强度的曲线;以及

[0123] 图 26 为图 25 的信号被过滤掉一个频率成分后的曲线。

具体实施方式

[0124] 图 3 为根据本发明的开路式气体检测器的示意图,其包括发射单元 10 和检测单元 20。发射单元沿待测路径发射平行射线束,其中平行射线束由附图标记 30 表示,待测路径的实际长度例如为 20 至 1,000m。

[0125] 发射单元 10 包括可调激光二极管 12,该可调激光二极管 12 在非常窄的波段内产生红外射线束,射线束向后射向可转向反射镜 14,又被反射到用于准直由反射镜 14 反射的射线束的光学组件 16 的布置,以形成平行射线束 30 沿待测路径定向到检测单元 20。检测单元 20 包括过滤掉不相关的波长的射线的过滤器(未示出)。通过过滤器后,射线入射到检测器 22 上以产生所测量的入射到检测器 22 上的射线强度的信号。处理该信号以提取所承载信息的频率分量的量值。将该值传送给发射器(未示出),发射器将通信信号(由箭头 24 所示)传回发射单元 10。发射单元包括接收所传输信号 24 的接收器(未示出但将在下面描述)。

[0126] 在开路式气体检测器的环境中,包括所发射波长的调谐和扫描的可调激光二极管的控制和操作是公知的,例如,如上面背景技术中所述。在下面将描述一种新颖的气体检测方式。

[0127] 由激光器 12 所发射的波长带宽的宽度要窄于目标气体的气体吸收带宽。在 GB-2353591 中描述的系统中,激光器的输出波长是变化的以覆盖目标气体的气体吸收带宽,这通过例如按正弦改变通过激光器的电流来实现,激光器的光学输出功率也正弦地变化。波长和功率的变化是利用驱动信号驱动激光器实现的。

[0128] 所述系统被更详细地示于图 4 至 9、15 和 16 中。首先参照图 4,4a 和 5,其中示出了光学组件 16,该光学组件 16 由准直透镜 17 以及由可调节底座(未在图 4 中示出但可参见图 16)支撑的校正透镜 18 形成,其中准直透镜 17 形成一窗口,射线束 30 可通过该窗口传输到开路中。准直透镜 17 的前表面 17a 是球面的且后表面 17b 是平面的,而校正透镜 18 的前和后表面 18a 和 18b 都是球面的。激光器 12 穿过校正透镜 18 中的轴心孔 19 延伸(参见图 4a)。激光器的电连接由柔性连接 27 实现,其可见于图 4 中。

[0129] 激光器 12 可由实际激光装置、温度稳定装置例如帕尔贴效应(Peltier Effect)加热器/散热器、温度传感装置、封装窗口以及可能安装于公共外壳中的其他元件组成。

[0130] 参见图 4a,激光器 12 由热传导支撑元件(未示出)支撑,并通过薄的粘接层 21,如环氧树脂,在其一端粘接到准直透镜 17 的平的后表面 17b。所发射的射线束 80 被激光器 12 向后发射,即,朝向远离光学组件 16 的方向。使用中,可调激光器 12 会产生热而其温度必须被控制中一个窄的范围内,通过已知设计的热电冷却元件(未示出)来消除多余的热。然而,可通过粘接层 21 将热传给准直透镜 17 来提供另外的散热,使得准直透镜 17 部分地充当散热器。将热从可调激光器 12 传给准直透镜 17 不仅仅消除激光器 12 的热量而且具有加热透镜 17 的优点。

[0131] 在正常的操作中,有必要加热发射单元的窗口,即准直透镜 17,以防止水在其上凝聚,否则会使射线束衰弱。通常,由激光器传送给准直透镜 17 的能量不足以使元件维持在露点(dew point)以上的理想温度。因此,在温度调节装置的控制下提供辅助电阻加热器(未示出,但是属于公知设计)为准直透镜 17 提供补充热量以使其保持在预定温度。这样激光器与透镜 17 间的热粘接既减小了激光器需要冷却的热量也减小了加热准直透镜 17 所需的能量。准直透镜 17 的热量散到大气中。

[0132] 发射单元 10 包括装配环 50 (参见图 4, 5, 15), 装配环 50 具有用于固定端块 54 的三个销钉 52, 其中每个端块 54 具有用于夹持压电条 56 的端部的套口 (socket)。提供三个这样的压电条 (piezoelectric strip), 如图 15 所示。图 15 与图 4 和 5 中的设置不同, 在图 15 中有六个装配销钉 52, 每个压电条用两个, 而图 4 和 5 中仅有三个装配销钉 52, 即, 每个装配销钉固定两个压电条的端部。压电条的型号为 PL127. 10, 德国 PI Ceramic of Lederhose 公司 (www.pi.ws) 有售。

[0133] 压电条 56 的每个端部被端块 54 固定并给压电条施加电位以使其弯曲; 这种弯曲能在小于 2 毫秒的时间内产生。依赖于所施加的电位, 压电条的中心可以相对地移动高至 0.25mm 的距离。

[0134] 在三个压电条 56 中每个的长度的一半处设置有套圈 (collar) 58, 套圈 58 的一端夹在可转向平面镜 14 的边缘上。所述镜是圆形的并具有中心开口 15。所述开口可以是一个实孔或优选为透明或半透明的非反射区域。开口 15 周围的非反射区域 15' 增加了平面镜中心部分不反射入射射线的面积, 这将在下面进一步说明。三个套圈 (或夹子) 58 支撑住镜 14 并允许其在压电条 56 弯曲时被移动。适当的控制算法可协调各个压电条的运动, 使得镜 14 转向预定方向, 以此改变射线束 30 沿待测路径传输的方向。利用压电条, 可按预定方式引导射线束, 例如, 如下面将讨论的, 沿圆形或椭圆形路径。

[0135] 除了如上述使用多个装配销钉 52 夹住压电条 56 的端部之外, 也可以用单个框架固定压电条; 这样的框架可以是刚性的, 以减小从一个压电条传送给另一个的横向摆动。

[0136] 压电条在 500Hz 以上的频率将产生共振, 因此可以在没有高至 500Hz 频率的共振的情况下使压电条移动。压电条的制造商仅规定压电条按仅在一端锚定的悬臂方式下工作。我们发现, 通过锚定其两端, 共振频率显著地增加, 这大大增大了本发明的系统的响应速度。

[0137] 除了提供三个压电条 56 之外, 也可以使用两个压电条和一个锚定点, 这样的结构也能控制反射镜。

[0138] 因此反射镜 14 能被压电条精确快速地控制, 其能够在大约 0.005 至 0.01 秒的时间内实现对准, 并且因此它可能即使在检测单元在大约几百 Hz 的频率移动/振动的情况下保持对准。另外, 如果需要压电条可以调节反射镜 14 沿轴向 (z-轴) 的位置。

[0139] 图 6 示出了用于产生沿待测路径的主射线束 30 的结构。可调激光器 12 将射线束 80 射向反射镜 14, 反射镜 14 将射线束向光学组件 16 反射, 由光学组件 16 沿待测路径形成平行射线束 30。由于射线束 80 或者通过反射镜 14 的中心孔 15 或者被非反射区域 15' 吸收而不被反射镜 14 反射, 因此射线束 30 具有中心阴影 82, 激光二极管 12 定位于该阴影中。

[0140] 从图 6 中可明显看出, 反射镜 14 的较小移动可能引起射线束 30 的方向的改变, 换句话说, 反射镜 14 可控制射线束 30。

[0141] 射线束中的阴影 82 的最佳直径与通过开口的射线束的最佳直径是彼此独立的, 因此可以很好地实现射线束 30 中的阴影 82 的直径大于由开口 15 所提供的。在这种情况下, 设置非反射区域 15' 的直径以提供所需的阴影 82 的直径。

[0142] 如图 6 所示, 没有必要在反射镜的轴线上设置激光器, 激光器可设置在轴线之外, 但是在这种情况下要设置激光器以使其产生的热被用于加热准直透镜 17 是困难的。

[0143] 参见图 4 和 5,截顶锥形射线吸收体或遮罩 60 被设置在反射镜 14 之前。吸收体 60 在其截顶表面 62 中具有直径为 1.5mm 的孔。吸收体 60 是空心的且透镜 66 设置在其底部。设置在透镜 66 中央的支撑体 68 具有相对于该检测单元的轴线成角度的反射表面(或反射镜)70。成角度的反射表面 70 通过截顶表面 62 反射进入吸收体 60 的射线并将其射向包含有目标气体样品的样品腔 72。这种构造示于图 7 的射线图中,其中激光器 12 产生的射线束表示为 80。射线束中的大多数撞到反射镜 14 并被反射给光学组件 16,尽管为了清楚起见没有示出反射束。然而,射线束中的一部分通过了反射镜中心的孔 15 且然后通过吸收体 60 的截顶表面 62,这里该部分射线入射到成斜角的反射镜 70 上被反射,经过准直透镜 71 透过气体样品腔 72。如图 7 所示气体腔 72 的壁由附图标记 73 表示并充当透镜,与透镜 71 一起,聚焦射线通过腔 72 射到射线检测器 74 上。

[0144] 在使用可调激光二极管的开路式气体检测器中利用参考气体腔和检测器是众所周知的,其应用的概述可参见 GB2353591。当存在目标气体时,参考气体腔模拟沿待测路径的主射线束 30 的状态。通过在腔 72 中提供目标气体,相对于目标气体的固定吸收频带,可确定激光器发射的射线的波长,如果必要可调节激光器,以使激光器发射的射线的波长能保持为恰当的波长。

[0145] 再参见图 4 和 5,反射气体参考射线束的反射表面 70 的直径与通过射线吸收体 60 中的孔的射线束的直径相同或稍大于它,使得没有射线束 80 到达其上安装有支撑体 68 和反射表面 70 的透镜 66。

[0146] 现在参见图 8,可调激光二极管 12 产生的射线束 80 被环状反射镜 14 反射以产生射线束 87 射向光学组件 16。射线束 87 通过光学组件 16 以形成平行射线束 30(见图 6)。然而,小部分被校正透镜 18 的后表面 18b 反射。后表面 18b 为球面并具有曲率使得反射射线束 87 以形成在环状反射镜 14 的中心开孔 15 处或附近具有聚焦点 85 的射线束 84。后表面不必是球面的,只要是可聚集射线以使其通过反射镜 14 的开孔 15,其他形成也可使用,优选是尽可能小以使从反射镜 14 后面穿过、通过开孔到达激光器 12 的射线束最小,因其可能引起干扰带。射线束 86 因此通过反射镜 14 的开孔 15 和锥形体 60 的截顶表面 62 的孔入射到用来支撑倾斜反射表面 70 的准直透镜 66。透镜 66 将射线束 86 聚焦到参考检测器 90 上。参考检测器 90 提供由激光器 12 实际发射的射线的测量并用于检测单元 20 所记录信号的处理中,这将在下面描述。重要的是注意到上述的结构使来自射线束的整个截面的射线通过并传输给检测单元 20,因此参考射线束是所发射的射线束真实的测量,而不是射线束一部分样品的测量。

[0147] 在图 8 中反射镜 14 中央的孔 15 在射线束 87 中央投射一个阴影 82,其然后在射线束 86 的中央形成阴影 89。该阴影包围倾斜反射表面 70,因此射线束 86 不会落到反射表面 70 上以被反射到气体参考腔 72。

[0148] 再参见图 3,由检测单元 20 所检测的有关射线的的数据被传回给(由附图标记 24 表示)发射单元 10,然后入射到光学组件 16 上,光学组件 16 将通信信号聚焦(见图 9)到反射镜 14。然而,反射镜对于通信信号的波长是透明的因此射线束 24 能通过反射镜 14。可替换地,也可以基于通信射线束的波长将通信信号与形成射线束 30 的射线相区分开,例如,通过将其射入可引起通信射线束 24 与射线束 80 相比以不同的角度转向的衍射媒质;然后可将通信检测器设置在接收被转向射线束 24 的位置。

[0149] 截顶锥形吸收体或遮罩 60 的外侧阻挡射线入射到其上, 因为射线被截顶体 60 吸收或被其外壁以远离发射单元 10 中的检测器 74、90、100 的方向反射, 因此不会干扰检测的工作。唯一的例外是射线通过截顶表面 62 的孔入射到用于将通信射线反射到气体腔 72 的反射表面 70 上。然而, 通信信号不会影响波长锁定控制工作, 通过在透镜 71 上提供吸收或反射通信射线束的波长的涂层可将通信射线过滤到通过气体腔 72 的射线束之外。任何落到透镜 66 上的通信信号将在其上聚焦, 被用于参考射线束的检测器 90 锁定, 但对参考检测器 90 有最小的影响。

[0150] 通信射线 24 在截顶锥形体 60 的外侧周围以环状射线束 96 的形式通过并入射到准直透镜 98 上 (参见图 5) 并被聚焦到用于产生包含通信射线束 24 数据的信号的通信检测器 100 上; 所述信号被馈送到微处理器 (未示出)。参考检测器 90 被设置在通信透镜 98 上但由于支撑参考检测器的透镜部分是在通信射线束上被锥形体 60 投射的阴影中, 因此不会干扰通信信号。

[0151] 注意在图 4 和 5 中通信透镜 98 没有与检测单元 10 的光轴直交而是相对于光轴倾斜; 这是为了避免透镜 98 或检测器 90 所反射的射线返回到激光二极管 12, 这将产生不期望的干扰带。为了相同的理由, 发射单元 10 中的可反射能与发射至接收单元 20 的激光射线相结合的射线的任何元件优选相对于光轴倾斜。

[0152] 图 16 为发射单元 10 的分解图, 其所示为外壳 250 中组件以高紧凑方式的组装。外壳被具有遮光罩 254 的端帽 252 封闭。

[0153] 微处理器控制发射单元 10 的工作并分析被通信检测器 100 接收的信号 24, 以及波长追踪检测器 74 和参考检测器 90 的信号, 以产生待测路径中目标气体的分析。各种数据的处理以及处理的基本原理将在下面描述。

[0154] 通过对参考检测器的输出执行与应用于接收器 20 中主检测器 22 的输出的分析类似的分析, 用来自检测器 90 的参考数据补偿由激光器 / 电子元件和某些干扰过程产生的扰动。参考检测器 90 的输出的分析结果提供能与接收器中的主检测器 22 输出的分析结果作比较的基线, 从而消除气体信号分析的扰动。

[0155] 应注意到, 上述结构没有包括提供参考信号或波长追踪信号的射线束分离器, 这是非常有利的, 因为射线束分离器会产生具有相干射线的干扰带。如果干扰带存在, 干扰带的亮和暗部分之间的强度的变化可能大于待测路径中存在的目标气体衰减结果信号, 致使目标气体的检测不可靠。因此, 能避免这种干扰带是非常有利的。

[0156] 检测单元 20 与发射单元 10 的精确对准是很重要的。发射单元 10 产生具有优选小于 0.1° 的发散角的较窄射线束 30 以使得到达检测器 22 的射线的强度最大。另一方面, 检测器 22 具有较宽的接收角, 即, 其能检测以较宽弧度接收入射到其上的射线, 例如, 大约 1° 。由于射线束 30 较窄, 如果它没有与检测器 22 适当地对准, 到达检测器的射线的强度将急剧降低使得检测待测路径中目标气体所引起的衰减更加困难。然而, 发射单元 10 和检测单元 20 之间的对准可相对快地改变; 例如, 定位于离岸石油平台的发射器和检测单元, 在大风和风大浪急的海面中石油平台的结构变形可导致未对准。由于检测单元会相对发射单元 10 以石油平台结构决定的频率摆动因此这种未对准可能会变化。检测单元和 / 或发射单元的移动可能具有几 Hz 至几百 Hz 的频率, 但如下所述, 本发明能追踪这样的移动并使发射射线束对准检测单元以补偿这种移动。

[0157] 同样,如果检测单元和 / 或发射单元被设置在北极石油区的永冻土的标杆上,永冻土可能白天融化引起标杆位置的变化导致发射单元 10 和检测单元 20 之间的未对准。这种未对准可能增加数倍间距,但本发明能追踪这种移动并使发射和检测单元对准,这将在下面描述。

[0158] 参照图 10,其示出了作为检测单元的角距离的函数的被检测单元 20 所测量的射线束强度从射线束 30 精确对准处(精确对准处的信号在点 200)下降的状态。可见,如果对准不是在最佳位置 200 处,测量信号将急剧下降。

[0159] 参照图 11,通过在环状路径中移动射线束 30 来发现最佳对准;这可利用压电条 56 操控反射镜 14 来实现。由于压电条能以大约几百 Hz 的频率移动,因此能快速地沿环状路径制导射线束。如果检测单元是沿旋转射线轴的中心轴线 202 对准的,由于检测器在整个路径 203 上将保持等距,频率为 $1f'$ (即绕路径 203 移动的射线束的频率)射线束的强度将不会随时间变化,参见图 10 中的点 201。然而,如果检测器的定位偏离中心轴 202,信号将随射线束绕其环状路径 203 移动而变化。这示于图 12 和 13 中。

[0160] 图 12(a) 为作为检测单元的角距离的函数的被检测单元 20 测量的射线束强度从射线束 30 精确对准处下降的三维示图。当处于精确对准时信号在图 12(a) 的图中的 z 轴上。如果射线束的环状路径 203 不以 z 轴线为中心,在环状路径的一个部分 204 中的射线束比直径上与其相对的部分 206 更接近对准。这样,在位置 204,当射线束为与检测器最接近对准时,信号将最大,并且当其最偏离对准时,在位置 206,信号将最小。从而检测器 22 所记录的射线是正弦波动的,如图 12b 所示。

[0161] 可使用相位灵敏测量放大器(锁定放大器)检测信号的相位以便从检测器 22 中选择信号。傅立叶变化分析可提供信号的各种分量的相位细节。

[0162] 在图 12(a) 中,检测器 22 相对 z 轴沿 $-Y$ 轴定位,即射线束 30。因此,图 12b 所示的由检测器记录的信号为频率与射线束沿路径 203 的频率相等的余弦波。对于给定的环状路径,信号的振幅可表示离精确对准位置的距离。这样可从具有射线束绕环状路径 203 移动的频率的信号振幅获得未对准的量值。

[0163] 从具有射线束绕环状路径 203 移动的频率的信号相位,可以检测到未对准的方向。这被示于图 13 中,在图 13 中,除了检测单元 20 相对于 z 轴即射线束 30 沿 $+X$ 轴定位外与图 12 相同。在图 13 所示的情况下,信号的相位改变 90° (图 13(b) 与图 12(b) 所示相比),即,其是正弦波而不是余弦波。这样利用信号的傅立叶变化分析测量具有射线束绕环状路径 203 移动的频率的信号相位,根据下表,可以确定射线束 30 未对准的方向:

[0164]

未对准方向	利用傅立叶变化分析信号的相位
$+X$	$+\cos$
$+Y$	$+\sin$
$-X$	$-\cos$
$-Y$	$-\sin$

[0165] 大多数未对准将不会正好落到 X 和 Y 轴的一个上,在这种情况下信号将提供未对准位于其间的两个轴的每个的分量。例如如果射线束的对准点落到 $+X$ 和 $-Y$ 轴之间,信号的傅立叶变换将有 $+\cos$ 分量和 $-\sin$ 分量。这两个相位分量的相对振幅表示 $+X$ 轴和 $-Y$ 轴之间的角座标。

[0166] 因此,根据处于射线束转动的频率的信号 24 的相位和振幅可发现未对准的方向和大小,从而可知道使射线束对准所需移动的方向。随着对准接近最佳,信号 24 的振幅在减小(如图 12b 和 13b 所示)。在最佳对准时,如果围绕检测器的路径是环形的,将不会观察到在频率 $1f'$ (射线束 30 绕路径 30 移动的频率)不变化,参见图 10。

[0167] 可利用相对较大直径的路径 203 进行射线束的初始对准以使检测器落到该路径内,然后随着环状射线束路径的中心区域接近与检测器 22 对准而使路径的直径变窄;在最佳对准位置,对进行气体测量。

[0168] 代替以圆形路径移动射线束,可以按椭圆路径移动,在这种情况下信号 24 的变化将以射线束绕路径的频率 $1f'$ 的两倍的频率发生。另外更高的谐波 $4f'$ 、 $6f'$ 等都可以产生。使用椭圆路径而不是圆形路径的优点在于其产生 $2f'$ 信号和更高谐波,即使是在接近射线束 30 与检测单元 20 的最佳对准位置时。各个谐波的比率给出了未对准的量值的信息,同时也提供了一种确定椭圆形路径 203 的最佳直径的方式。对于非圆形路径,如椭圆形路径,当检测器位于环形中心时以频率 $1f'$ 的信号减为零,然而一些更高谐波例如 $2f'$ 和 $4f'$ 的信号仍然存在。

[0169] 又参见图 6,可以看到所发射射线束 30 中有阴影 82。其明显地作为如图 14 所示的信号峰值处的“凹陷”。因此可利用上述椭圆路径 203 的技术来确定最佳对准位置。当射线束 30 在凹陷区域变窄时,表示未对准的信号的频率将增大到产生较大直径的频率的两倍(此时频率为 $4f'$)。这能从图 14 的线 A 中看出其中椭圆路径的主轴分别在 b 和 a 点形成最大和最小值而椭圆路径的副轴分别在 d 和 c 点形成最大值和最小值。所存在的 $4f'$ 信号能被用于向对准位置靠近的检测。如前,在最佳对准位置,频率为 $1f'$ 的信号没有变化,如线 B 所示的。

[0170] 射线束以圆形或椭圆形路径 203 的运行也能被用于测量检测器和发射单元 10、20 之间的距离。强度与未对准角距离曲线的宽度(见图 17)随检测器和发射单元之间的间距的增加而减小。对于检测器和发射单元之间的给定距离,可通过以较宽直径的路径 203 开始并逐渐减小直径而在发射器和检测单元 10、20 对准时绘制曲线。图 17 中曲线的全宽半高(FWHH)与检测器和发射单元之间的距离按反向关系相关,因此可从曲线的 FWHH(或其它所测量的宽度)导出检测器和发射单元之间的距离。图 17 示出了这样的三个表示检测器与发射单元之间不同距离的曲线 a、b、c,曲线 a 表示在检测器与发射单元之间距离最大时绘制而曲线 c 是在检测器与发射单元之间距离最小时绘制的。

[0171] 由于对于两个单元 10、20 之间目标气体的平均浓度是给定的情况,气体测量的信号是随着两单元之间的距离的增加而增加的,所以检测器和发射单元之间的距离的重要的。因此,两单元之间的距离对于确定它们之间的路径中目标气体的平均浓度是重要的。通常,在首先设置检测器和发射单元时确定它们之间的距离是非常必要的。

[0172] 可通过周期性地检查发射器和检测单元之间的对准以确保其在最佳位置。然而,经常会存在发射单元或检测单元或两者发生被迫振动的情况。由于振动引起未对准因此这种振动会导致与上述未对准情况下相同的测量信号的变动。通过对信号 24 进行傅立叶变换,可按上述关于射线束 30 和检测单元对准相同的方式发现这种变动的频率相位、振幅和方向。知道这种变动的频率相位、振幅和方向就可利用反射镜 14 根据这种变动的路径进行操控,使得尽管存在变动也能保持对准。显然,上述测量仅仅可有效地消除在反射镜能操控

的最大频率以下的频率所引起的未对准的影响。上述结构能在高至 500Hz 的频率下操控反射镜因此频率高至几百 Hz 的变动,如 300Hz 可适用于这种方式,其覆盖了实践中可能遇到的大多数变动情况。可操控反射镜具有几个优点:

[0173] •其便于射线束 30 的精确对准从而可提供发射器 10 和接收器单元 20 之间的高效率耦合,因此使得开路式气体检测器容许由大气引起的高度衰减,例如由雾引起的衰减;

[0174] •其能适应发射器 10 和接收器单元 20 之间相对移动产生的对准误差,并对其进行补偿;这样的误差可能产生于例如发射器 10 和 / 或接收器 20 的位置的改变或变动;甚至高至 150Hz 或更高的变动能被可操控射线束消除;

[0175] •由于射线束 30 可被可操控反射镜精确地对准,因此甚至在存在轻微的未对准情况下也可由较大直径光学组件捕获射线束,其可使接收器单元中的光学组件具有相对较小的直径,从而降低了成本;以及

[0176] •精确的对准使得可使用窄的发散射线束 30,例如具有 $< 0.25^\circ$, 优选 $< 0.1^\circ$ 发散角的射线束;窄的射线束发散角可使得到达检测单元的射线束的强度最大化。

[0177] 上面是关于射线束与检测器的对准的描述。下面将描述假定检测器与射线束 30 对准的情况下检测目标气体的方法。

[0178] 在背景技术部分,已经详细地给出了在气体检测器中使用激光二极管发射器测量发射器 10 和检测器 20 之间路径 30 中目标气体的量的基本技术,其中通过计算 $2f : 1f$ 比率而获得对路径中目标气体量的测量,其中 f 为激光二极管在其波长范围所扫描的频率。并提出了在该技术中信号固有的谐波畸变所产生的问题,也就是说,调制频率 f 的气体测量信号的谐波畸变也会在频率为 $2f$ (气体测量频率) 的另外信号中产生,从而导致气体测量的不精确。

[0179] 解决该问题的方案是利用激光调制技术使由气体对光学信号的吸收所产生的信号被局限于没有调制频率的谐波或信号的频率,如 $1f/2f/4f$ 等的频率。

[0180] 参见图 18,其示出用于发射器中驱动激光二极管的功能模块基本结构。特别应该注意,两个单独的信号源 501 和 502 被模块 503 叠加,连同 DC 信号 504 一起提供一个信号用于调制通过激光器 12 的电流。所述信号源是利用直接数字综合技术实现的,但是任何信号发生电路都可以应用。

[0181] 这两个信号源被用于产生两种周期信号波形,优选具有相同的函数 (function) 和振幅。两个源的频率不同,典型的是按大于 1 至 10^8 倍的系数,如 1.1 至 100,例如大约 10。两个源的波形函数优选为正弦或类似的简单波形,其具有将关于气体吸收的信息聚集到相对较少量的频率分量的优点。另外,如果需要可应用更复杂的波形,其可使气体测量信息扩展到其它频率。这对于将某些噪声源或干扰类气体从气体测量信号的分析中排除是有利的。

[0182] 图 19 示出了两个信号源 A 和 B 的输出形式,它们被叠加为合成信号 C。由于通过激光器的电流与该信号成比例以及激光器的光学波长和光学输出功率与电流成比例,曲线 C 也就是通过激光器的电流的曲线,另外其波长和光学输出功率是时间的函数。

[0183] 复合调制波形 C 与待测量气体的吸收特性之间的关系示于图 20 中。曲线 H 表示目标气体的吸收带,即射线被目标气体吸收的衰减效应作为波长的函数;这与图 1 中的曲线 B 相同。波形 C 的平均值为发生器 504 的 DC 信号,其被配置为使 DC 信号让激光器的输出波

长与所测量的目标气体的峰值吸收波长相同,如曲线 H 中的点 I。该调制波形的最后的变量参数,每个信号源 501、502 的振幅是固定的,使得使激光器 12 的波长被调整为目标气体吸收特性的全宽半高 (FWHH) 的 2 至 8 倍之间的范围内,如 J 所表示的。每个信号源的波长调制范围如图中 K 所示,其中 K 为大约 2 倍 FWHH。

[0184] 通过这种方法将复合调制波形与气体吸收相关联,使得关于气体浓度的信息按检测单元 20 所接收的信号中的频率来编码,该方法可通过参见图 21 加以理解。图中示出了三个关于时间的曲线。中间的曲线 M 表示激光器所发射的射线的调制波长与时间的关系;所检测到的目标气体的吸收峰值,即图 20 中的 I 点,示出为波长 I。当激光器 12 所发射的波长处于目标气体的峰值吸收波长时曲线 M 在值为 I 的波长线上产生的点已经被标上叉。可看出相邻叉之间的间隔的波动以及交错叉相对于两个调制频率的较高者随时间前进或后退,如图 19 中的曲线 A 所示。如果仅仅考虑交错点(为便于理解将曲线 M 中一组交错点的叉画上了圈),可看出每组交错点的点按规则间隔产生。两个组的点之间频率与两个信号源 501、502 的频率 F_A 和 F_B 相关。一组交错点的频率为 $F_A - F_B$ 而另一组的频率为 $F_A + F_B$ 。

[0185] 如果在路径 30 中存在目标气体,其将吸收图 20 中所示的目标气体吸收频带中的射线从而将减小到达检测器 22 的射线的量,该减小量与路径中目标气体的量相关。被检测器所检测的射线除了在目标气体吸收频带的波长减小外将与图 19 所示的曲线 C 相同,目标气体吸收频带的波长集中在频带的中心,如图 20 中所示的 I。如果考虑图 21 的曲线 M,其示出了吸收频带中心波长 I 的波长。由激光器 12 按波长 I 发射射线的例子,如上所述,由图 21 的叉所示,其能被分解为两个频率 $F_A - F_B$ 和 $F_A + F_B$ 。在曲线中目标气体对射线的吸收可分解为两个曲线,一个按频率 $F_A - F_B$ 另一个按频率 $F_A + F_B$,如图 21 的曲线 N 和 P 所示。实际的气体吸收函数是这些波形的叠加;然而,在图中两者的间隔所显示的更复杂的实际信号主要是由两个简单周期波形构成的。

[0186] 检测器 22 所检测的射线的随时间变化的曲线没有示出但其由三个成分构成:(a) 激光器 12 输出的光学功率,即图 19 的曲线 C, (b) 由目标气体对频率为 $F_A - F_B$ 和 $F_A + F_B$ 的射线的吸收,如图 21 中曲线 N 和 P 所示以及 (c) 由大气状态所吸收的。目标气体所吸收的成分 (b) 的量取决于路径 30 中目标气体的量,如果不存在目标气体,由检测器所检测的信号将仅仅由成分 (a) 和 (c) 构成。

[0187] 被检测射线的强度的频率光谱可通过对目标气体存在的所检测射线执行傅立叶变化获得,如图 22 所示的例子,其中两个基本调制频率 F_A 和 F_B 和由于气体存在而产生的两个主要频率成分 $F_A - F_B$ 和 $F_A + F_B$ 是明显的。未示出的这些主要频率的高次谐波也将带有关于气体存在的信息。

[0188] 频率成分 $F_A - F_B$ 和 $F_A + F_B$ 的量是气体浓度和将使光信号衰减的多个大气条件这两者的函数。为规范化这些量并消除大气条件的影响,利用 F_A 频率成分的量形成一比值 ($F_A - F_B / F_A$ 和 $F_A + F_B / F_A$)。 F_A 频率的量在很大程度上不受气体存在的影响但是同样会受到大气条件的影响,因此该比值对于大气条件是相对独立的。

[0189] 对于上述结构,可看到,利用两个独立的信号源,与气体吸收的强度相关的信息可按频率 $F_A - F_B$ 和 $F_A + F_B$ 获得,这些频率的值可随 F_A 和 F_B 的变化而改变。因此可以选择 F_A 和 F_B 以使 $F_A - F_B$ 和 $F_A + F_B$ 不是 F_A 或 F_B 的谐波。通过这种方式,可使目标气体检测的频率 $F_A - F_B$ 和 $F_A + F_B$ 不会成为 F_A 或 F_B 两者的谐波。

[0190] 利用从两个叠加信号源中获得的信号是有利的。可通过首先考虑单个源的情况来理解其优点,如 501 或 502,用于产生驱动激光进行波长扫描的信号。参见图 23,单信号源的每个可能输出水平将导致激光器发出特定光功率和波长。单信号源输出和激光输出之间的理论线性关系如图 23 所示。单信号源驱动激光二极管 12 的非线性现象也被示于图 23 中,其在理论响应曲线周围波动。如图 23 所示非线性现象将导致单信号源的输出电位的误差以及因此产生激光器输出的光功率的误差。这些误差会导致所发射光信号的波形的失真,引起气体测量的误差。

[0191] 对于两个信号源 501,502,其输出被叠加,可减小这种误差,这将在下面描述。

[0192] 任何一个光学输出功率水平可从两个光学信号源 501、502 的输出功率水平的无限多种组合中获得。如果考虑图 19 的曲线 C,曲线 C 中的 Y 点可通过曲线 A 和曲线 B 的相等部分的适当水平加在一起而得到。然而,点 Y 也可以从曲线 A 和曲线 B 不相等部分得到,例如,曲线 A 的较小部分和曲线 B 的较大部分。理论上,用于导出曲线 C 上任意点的曲线 A 和 B 中信号源水平的数目可接近无穷大。如果曲线 C 是应用来自两个信号源 501、502 的不同比例的信号 A 和 B 得到,则在一个周期时间内特定光学功率输出水平的平均失真,即由非线性响应产生的误差,将成为在所述周期时间内所用的所有信号源水平组合平均失真的函数,其能减小图 23 所示的误差。为了以另一种方式进行表达,可将图 23 的曲线视为作为信号源 501 的输出的函数的由信号源 501 引起的激光器 12 的输出的曲线。当信号源 501 的相对小比例的信号 A 被用于产生激光输出信号 C 时,信号源将以水平 1 输出,引起的激光输出大于理想值(误差 E_1)。当信号源 501 的较大比例的信号 A 用于产生激光输出信号 C 时,信号源将以水平 2 输出,引起激光输出小于理想值(误差 E_2)。同样,当信号源 501 的大比例的信号 A 用于产生激光输出信号 C 时,信号源将以水平 3 输出,引起激光输出大于理想值(误差 E_3)。误差 E_1 至 E_3 趋向于互相抵偿以及使用如果无穷多个值,误差将彼此抵偿。

[0193] 应该理解,信号源 501 的相对较小比例的信号 A 能用于以信号源输出水平 1 产生激光输出信号 C,因同时使用了信号源 502 的相对大比例的信号 B 并将两个信号叠加。类似在信号源 501 的信号源输出水平 3,信号源 502 的相对小比例的信号 B 被使用。与上面描述信号源 501 相同的考虑可用于信号源 502。可利用信号 A 和 B 的比例的变化快速产生给定水平的合成信号 C,图 23 的曲线所示的实际值与理想值之间误差将被互相抵偿,因此与仅使用一个信号源的情况相比这种激光输出能大大地减小误差。

[0194] 如果优选地将直接数字合成技术用于信号源 501、502 以产生两个信号 A 和 B,则仅仅能产生有限数目的不同信号源输出水平,上述的双频调制技术因此仅仅能以有限数目的方式输出相同的功率水平。这样的有限值被顺序地使用并且序列最终必然被重复。这会限制克服图 23 所示的误差的改进。

[0195] 序列的重复率 F_s 被定义为复合调制波形的重复率,即每秒内两个频率分量(曲线 A 和 B)同时处于零相位的次数。通过选择 F_A 和 F_B 可控制重复率。 F_s 的实际值为大于 1Hz。在一秒内输出特定光学功率的次数大约为 $2 \times F_A$;因此在特定序列中输出的次数为:

[0196] $2 \times F_A / F_s$

[0197] 给定 F_s 为 20Hz 以及 F_A 为 50Hz,则每秒内所输出特定光学功率的次数大约为 5000。在这种情况下通过使用两个信号源,可使失真减少 5000 的平方根或系数为 70。

[0198] 通过使用直接数字合成技术施加不同信号源水平的限制也限制所产生的失真的

减小。如果使用 12-bit DAC 数字合成能够有大约 2^{12} 的平方根或系数为 64 的最大改进。

[0199] 用于接收开路 30 中传输的光学信号电子部件也可通过复合调制波形 C 的利用中获益,如下所述。

[0200] 图 24 所示为接收器 20 中的基本功能模块结构。包括:将所接收的光功率转换为电信号的光电二极管 22 和跨阻放大器 510;用于在信号水平低时通过放大补偿大气传输中的变化的可编程增益放大器 511;用于消除带外信号的高通滤波器 512 和低通滤波器 513;以及将信号转换为用于数字信号处理器 515 中并发处理的数字域的模拟数字转换器 514。

[0201] 除了高通滤波器 512 外,该结构中最典型的是用于开路式气体检测器的光检测器电子系统。然而,如果高通滤波器 512 被设计为具有与复合调制波形 C 相互作用的特性,则能够实现下述优点。

[0202] 如果系统开始没有高通滤波器 512,则复合调制的所有频率分量将传输到 ADC 514 的输入端。类似于上述存在的发射器单信号源情形,即将所接收的光学功率水平转换为特定模拟信号水平随后转换为特定数字值。ADC 的操作的任何非线性现象将导致模拟信号水平被转换为错误的数字值。这种误差源导致表示信号的数字与原始模拟信号相比产生失真,从而导致所测量的气体浓度的误差。

[0203] 在前面关于图 22 的讨论中,其示出了路径中的气体浓度可由所接收信号的频率分量 $F_A - F_B$, $F_A + F_B$ 和 F_A 的量确定。较低的调制频率 F_B 的量是不需要的,利用高通滤波器从输入到 ADC 的信号中过滤掉这个频率分量对路径中气体浓度的测量不产生影响。

[0204] 然而过滤掉 F_B 的频率分量会对输入到 ADC 的信号的形式产生显著的影响。这种影响可参见图 25 和 26,过滤掉 F_B 频率之前由检测器 22 所检测的信号示于图 25 中,过滤掉 F_B 频率之后的相应曲线示于图 26 中。尽管图 25 是光学功率(信号强度)随时间变化的曲线,由于二极管 12 所发射的功率与所发射的波长同步变化,因此其与波长随时间变化的曲线相同。

[0205] 图 25 和 26 中的信号表示没有任何目标气体存在于路径 30 中。然而如果目标气体存在于路径 30 中,信号将在目标气体所吸收的波长(示于图 25 中的波长 I)处减小并且这些点以图 25 中的叉示出。如前面对于图 21 的描述,这些点随着频率 $F_A - F_B$ 和 $F_A + F_B$ 变化,以及如果存在目标气体,频率为 $F_A - F_B$ 和 $F_A + F_B$ 的信号与路径中气体的量成比例。

[0206] 当低频率 F_B 被过滤掉,信号如图 26 中所示;图 25 中的叉点表示图 26 中被转化的波长 I(目标气体吸收的波长),使得它们在频率为 F_B 的信号水平的最小值和最大值之间循环。因此,不再由总是具有相同失真的单个电信号水平表示光的波长和光功率水平而是由整个时间周期上的可能值的全部值表示。在整个时间周期上,通过转换所接收光功率水平的数字值而引入的平均失真,因此成为在整个所述时间周期上用于表示光学功率水平的所有信号水平失真的平均值的函数;以与上述关于信号源 501、502 和激光器 12 的输出之间的非线性关系同样的方式,总误差将小于按多个单个信号水平所产生的误差。

[0207] 即使在过滤掉 F_B 后,目标气体的存在仍将产生频率为 $F_A - F_B$ 和 $F_A + F_B$ 的信号,因此这种过滤除了减小各种电子元件、特别是 ADC 的非线性效应产生的误差外,不会影响上述按 $F_A - F_B$ 和 $F_A + F_B$ 对气体进行的测量。同样,这种过滤也不会影响用于形成进行目标气体的测量的 $F_A - F_B/F_A$ 和 / 或 $F_A + F_B/F_A$ 的 F_A 的值。

[0208] 在理论上,所利用的信号水平的数目可以接近无穷大,将失真减为零;然而,在上

述的信号源情形下,数目是有限的;其取决于序列重复前相同光学功率水平的发生次数以及可由数模转换器识别的不同信号水平的数目。

[0209] 序列的重复率 F_s 以及相同光学功率水平的发生数目 $2 \times F_A / F_s$ 是为上述双信号源定义的。同样,给定 F_s 为 20Hz 以及 F_A 为 50Hz,则存在特定光学功率的次数大约为 5000,失真的下降因子大约为 70。

[0210] 上述的发射器中双信号源结构、高通滤波器 512 执行接收器中的模数转换器 514 以及波形 C 的双频调制的结构,使得所获得的性能水平超过了给定电子元件组所期望的水平。

[0211] 这些性能增益,使得能利用调制波形的数字合成以及所接收的光信号到数字域的早转换,测量较之其他可能更低浓度的气体,从而可利用数字处理方法进行信号处理和测定气体浓度。同时也减小了模拟处理步骤的使用,模拟方法对温度变化、随时间的衰减更敏感,并且对于相同的性能水平成本更高。

[0212] 尽管已经根据所发射射线 (30) 的环状操控路径的频率以及由发射器机械变化在路径中产生的任何变化对本发明进行了描述,但是优选使用气体感测调制频率的高频旁带,典型为 500Hz,以确定这些成分的量。该技术在其它领域是公知的,例如,声音信号由高频载波信号的旁带叠加的简易 AM 收音机。

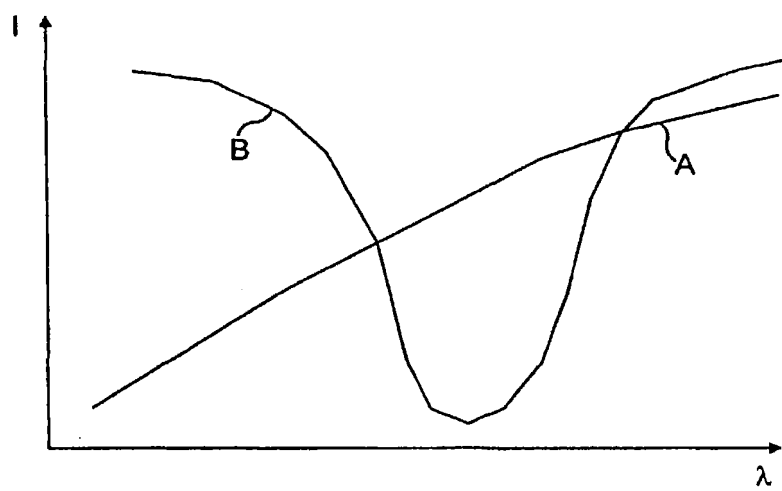


图 1

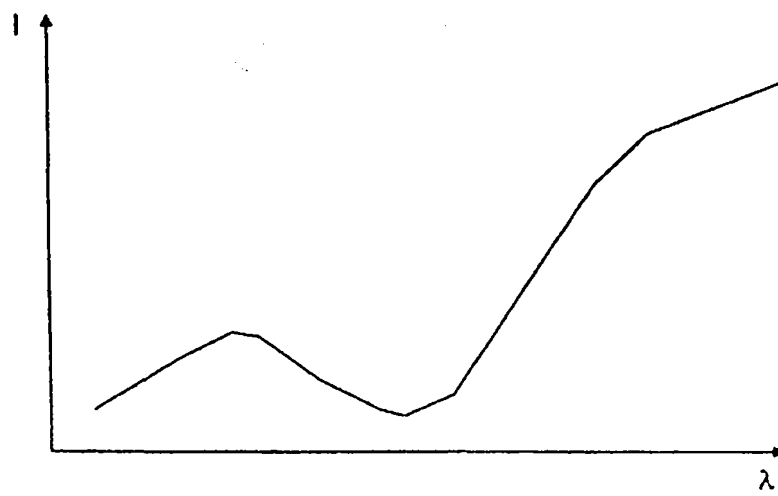


图 2

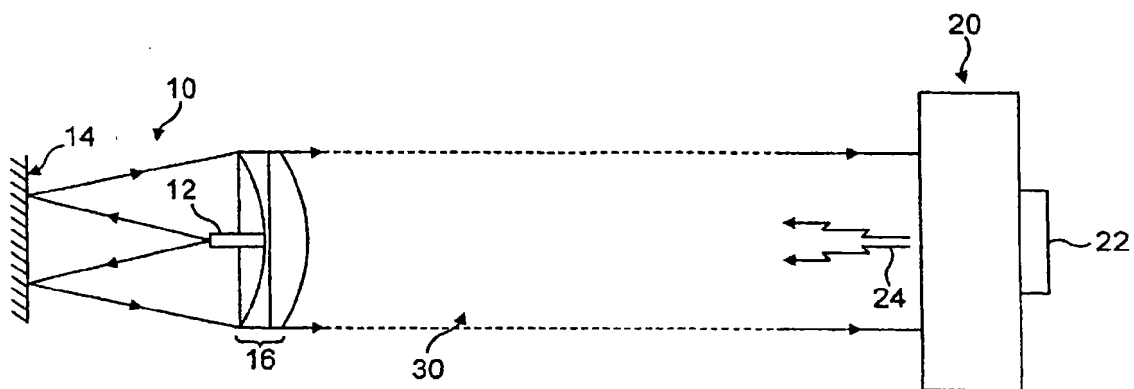


图3

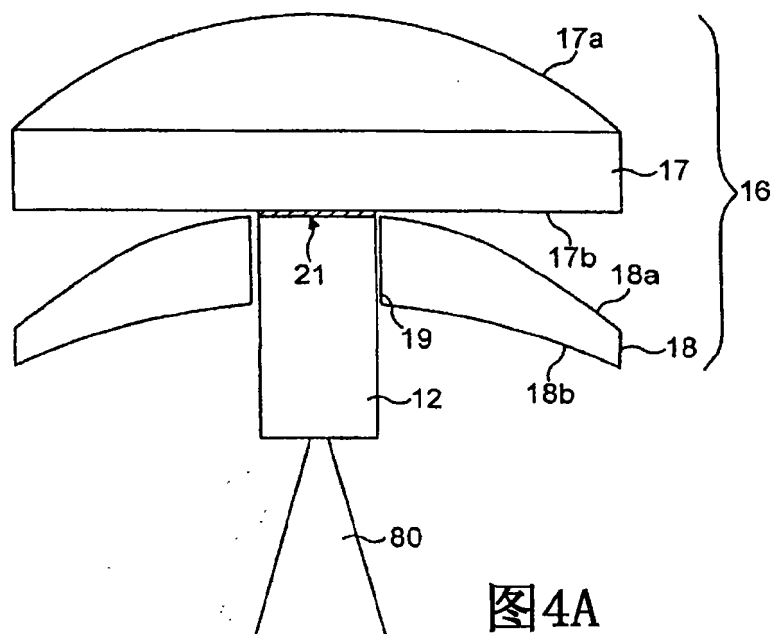
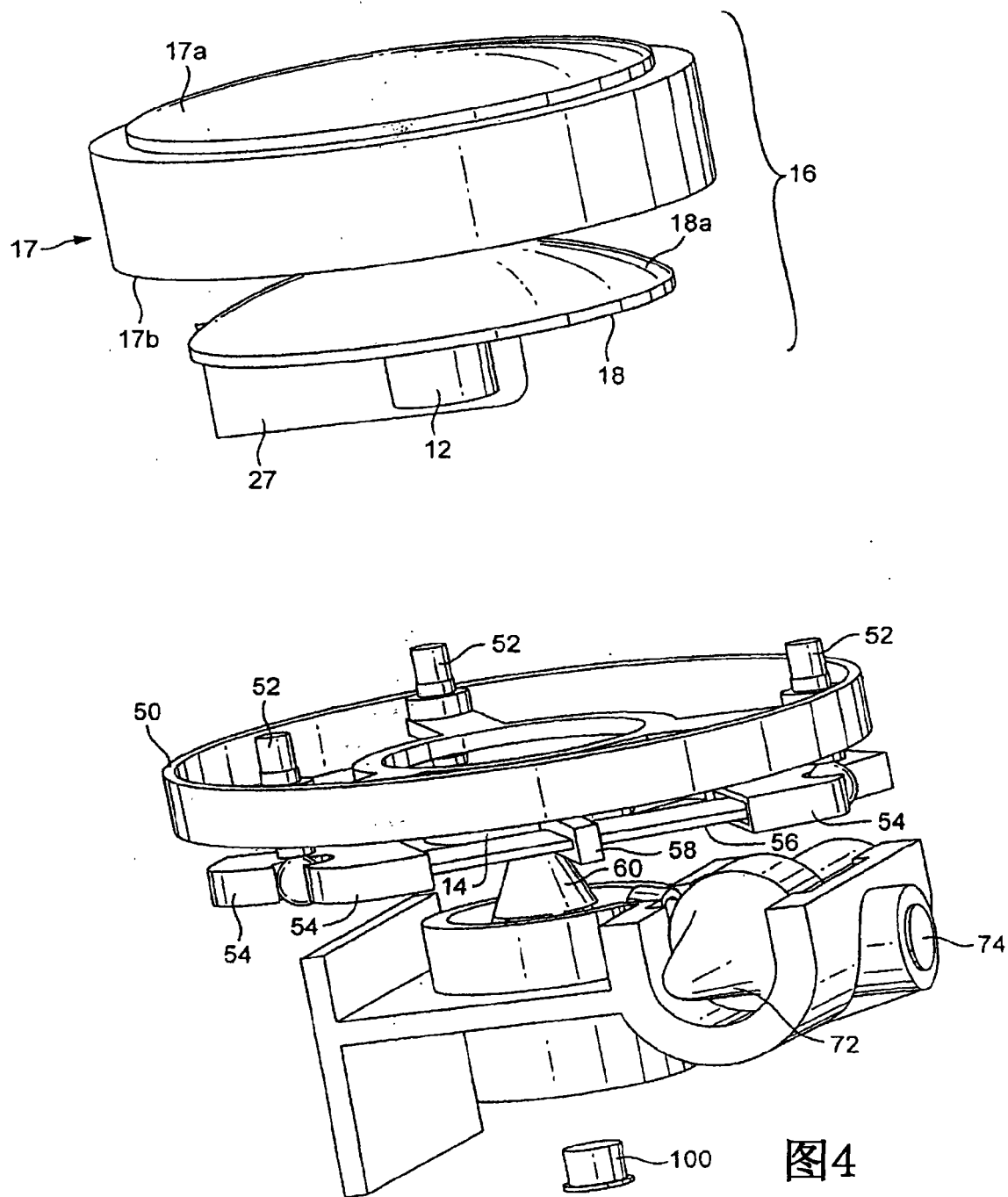


图4A



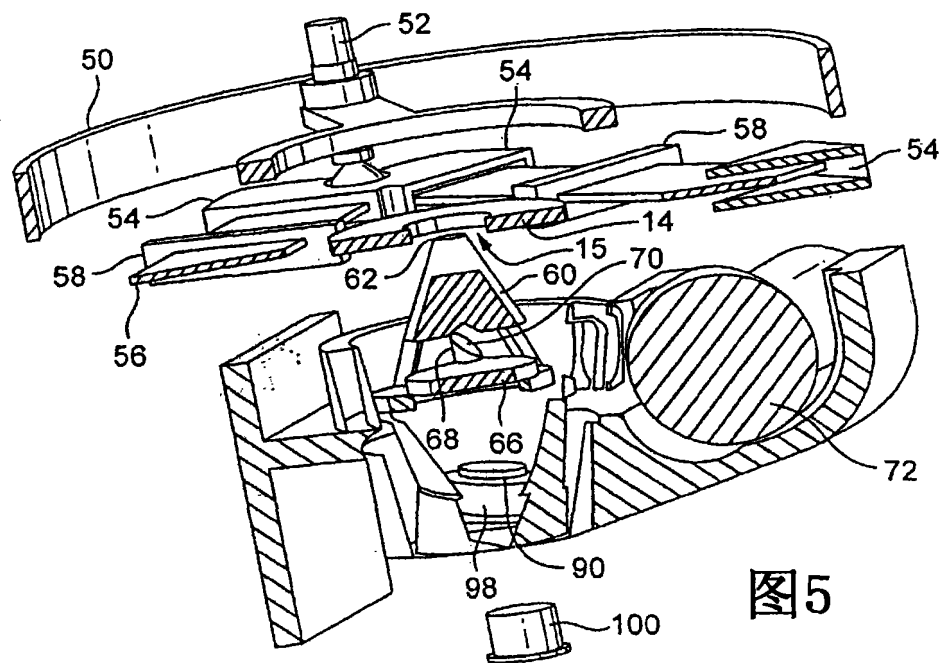
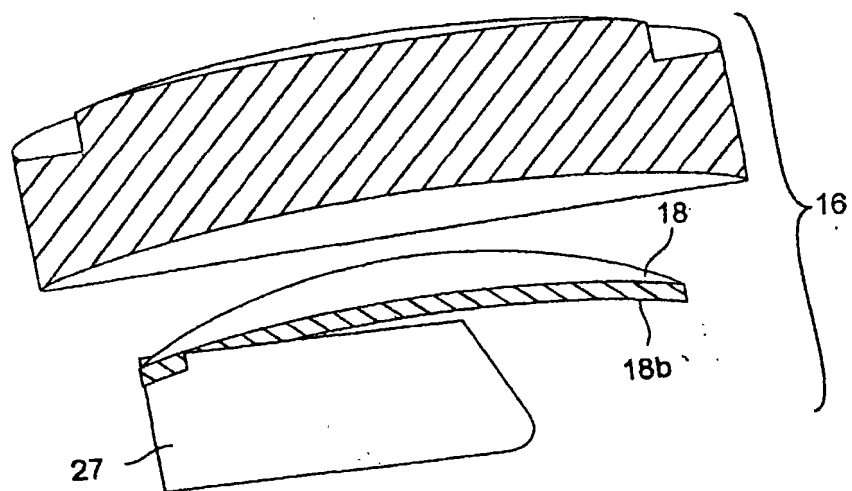


图5

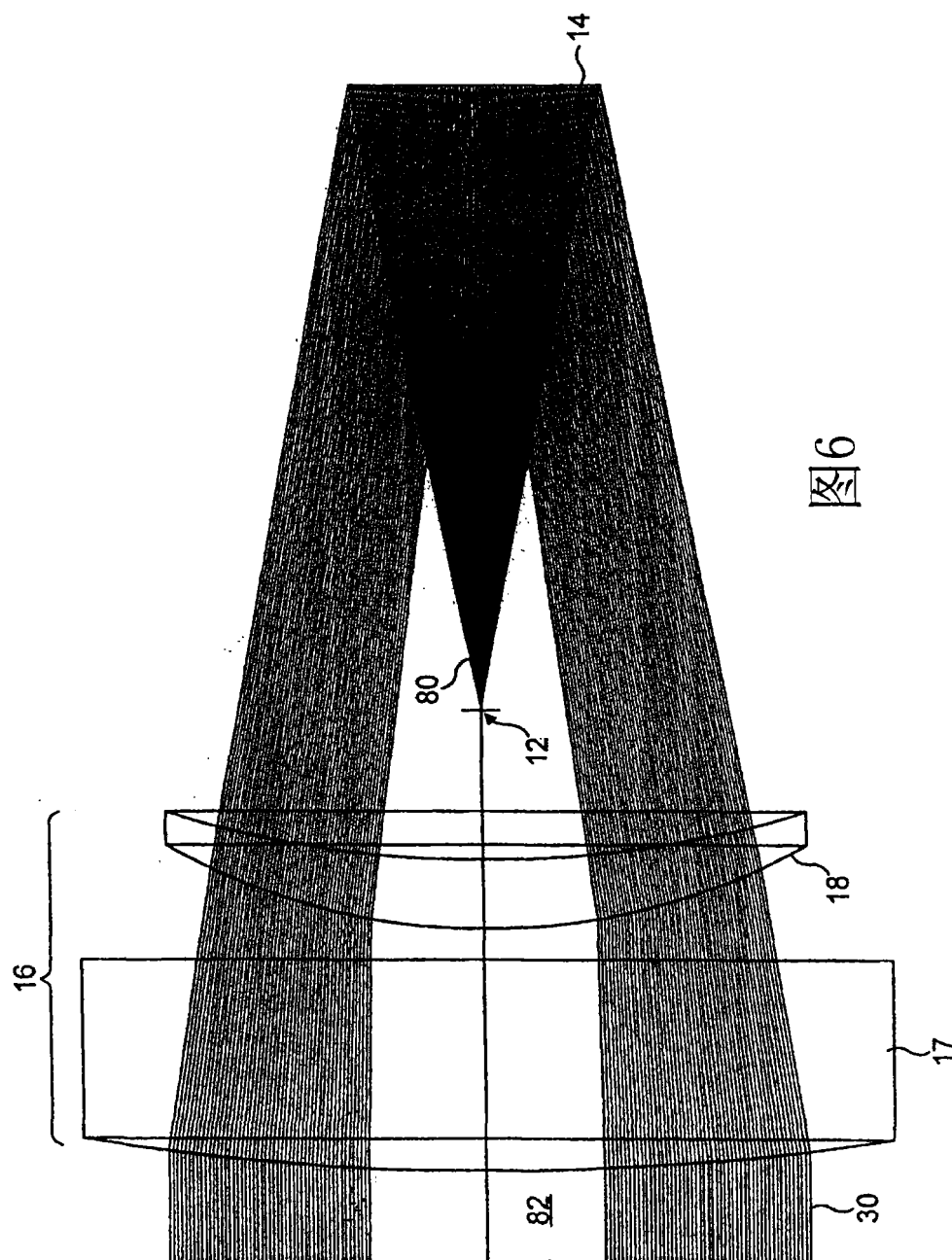


图6

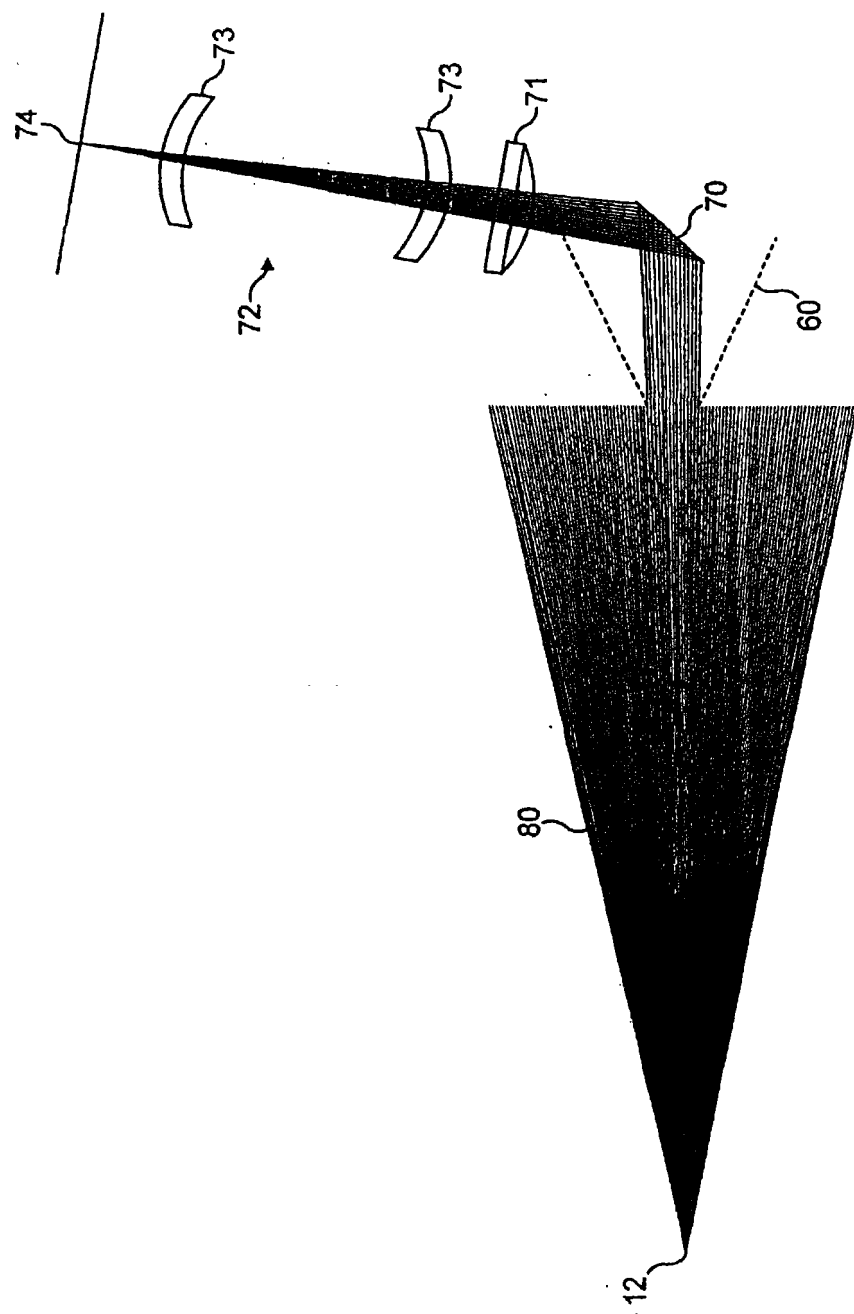
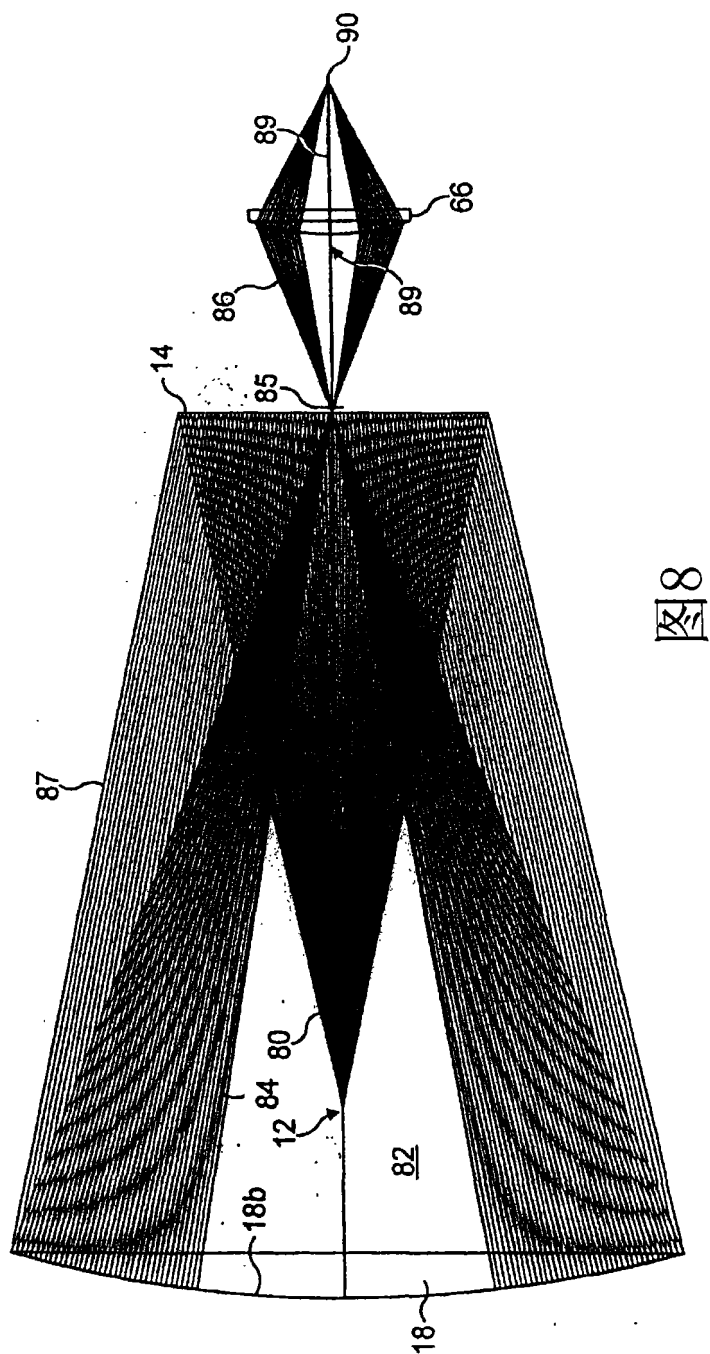


图7



8

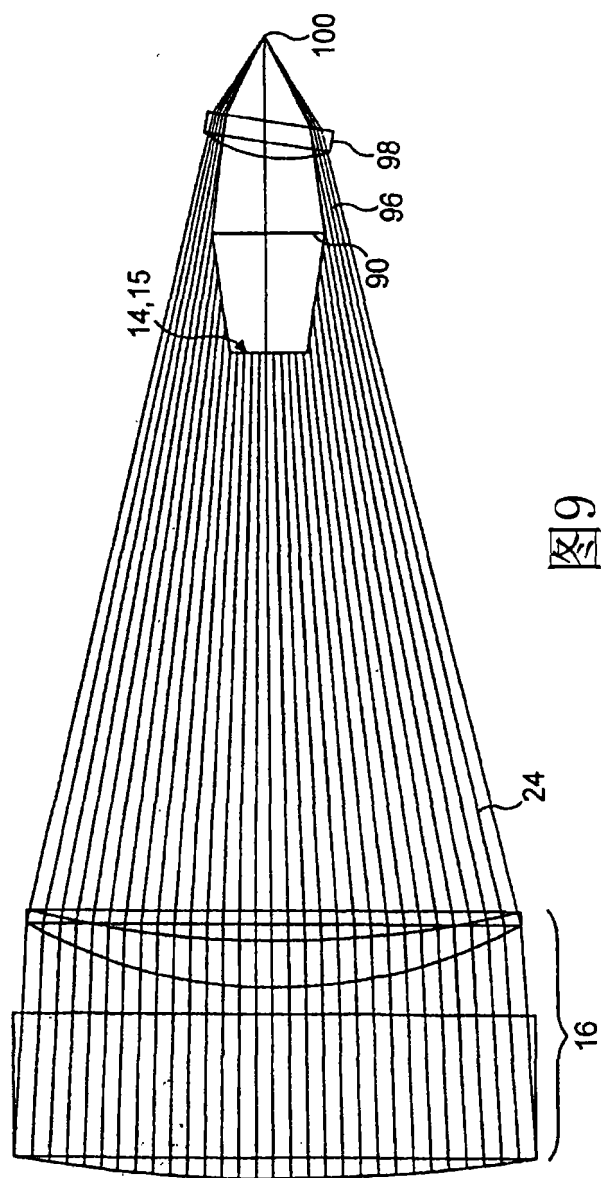


图9

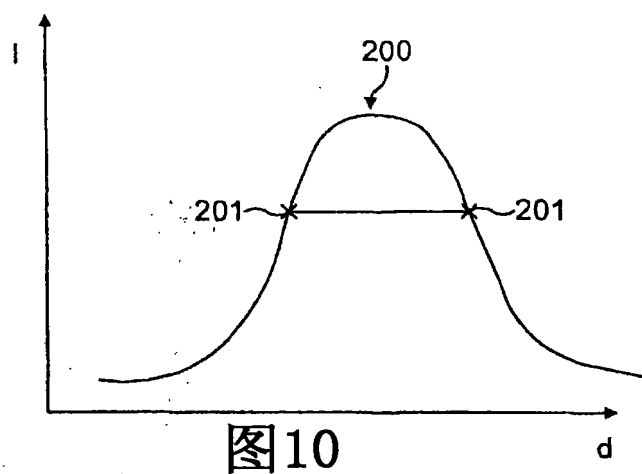


图10

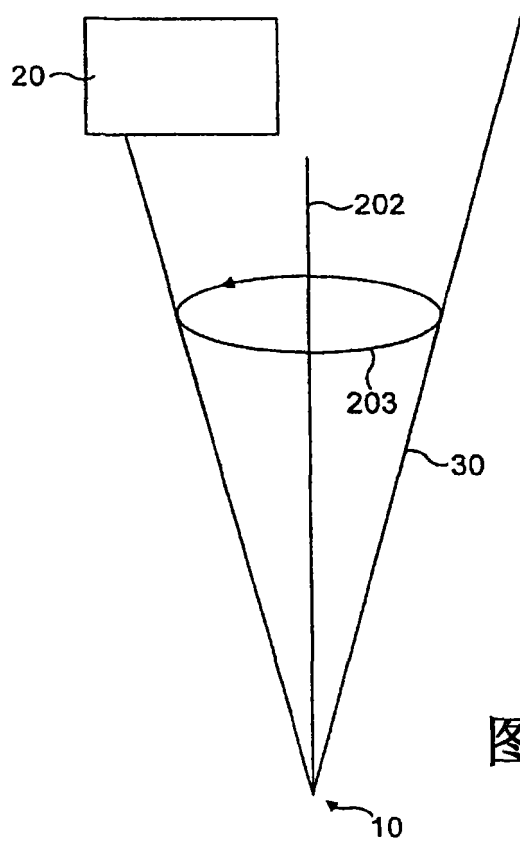


图11

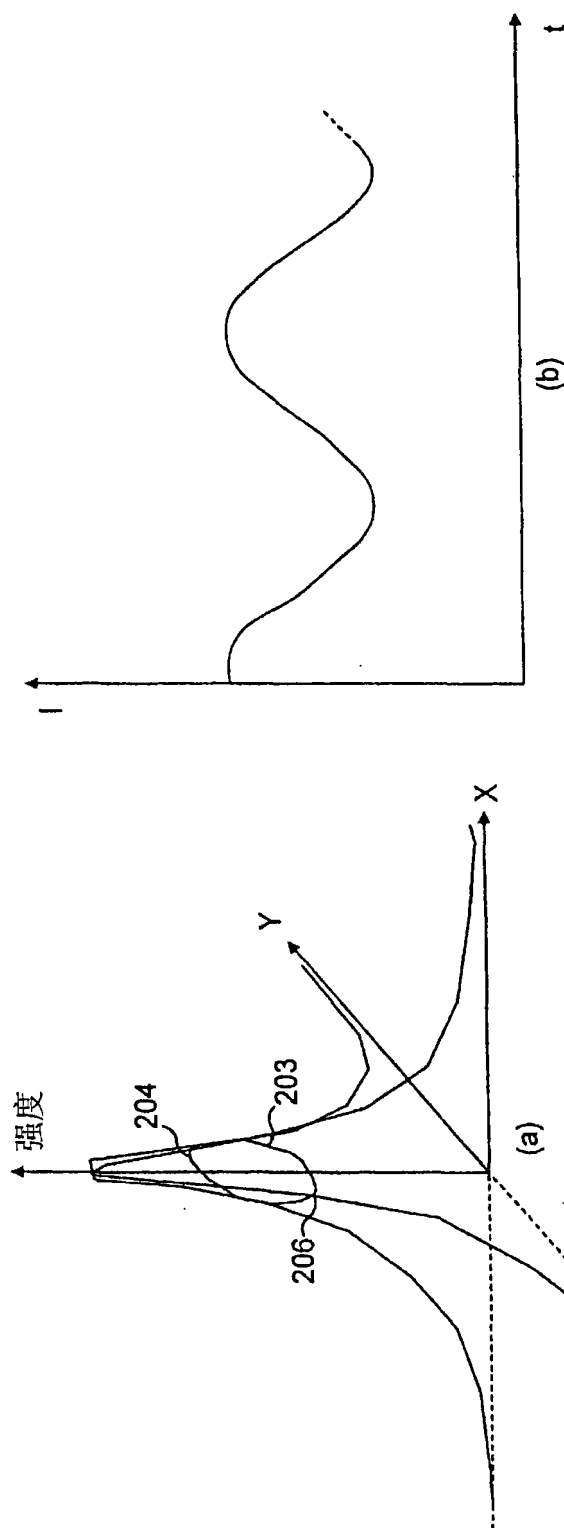


图12

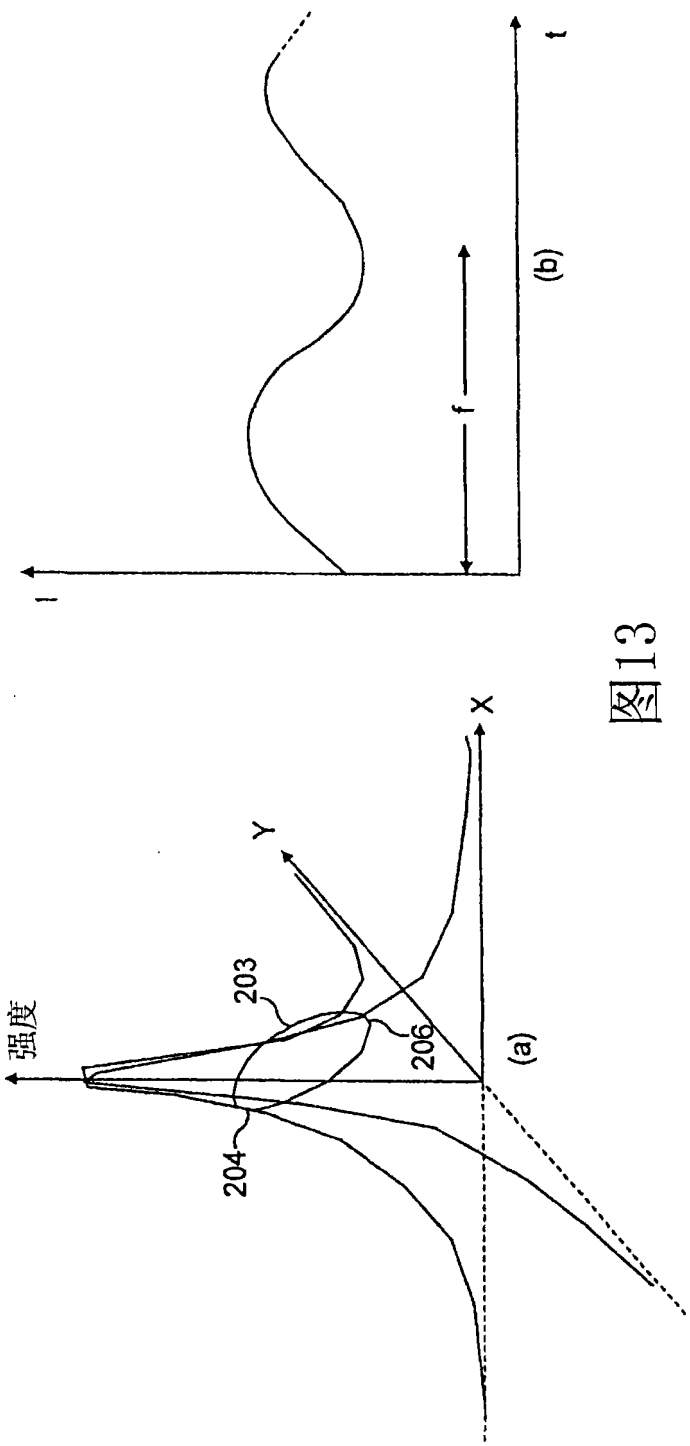


图13

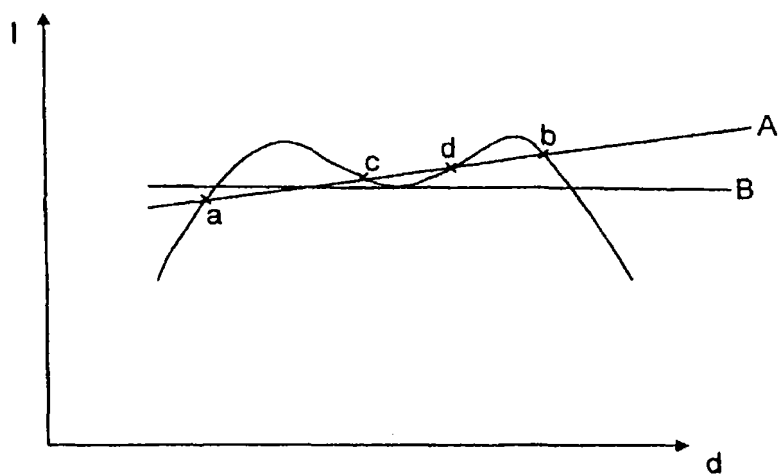


图 14

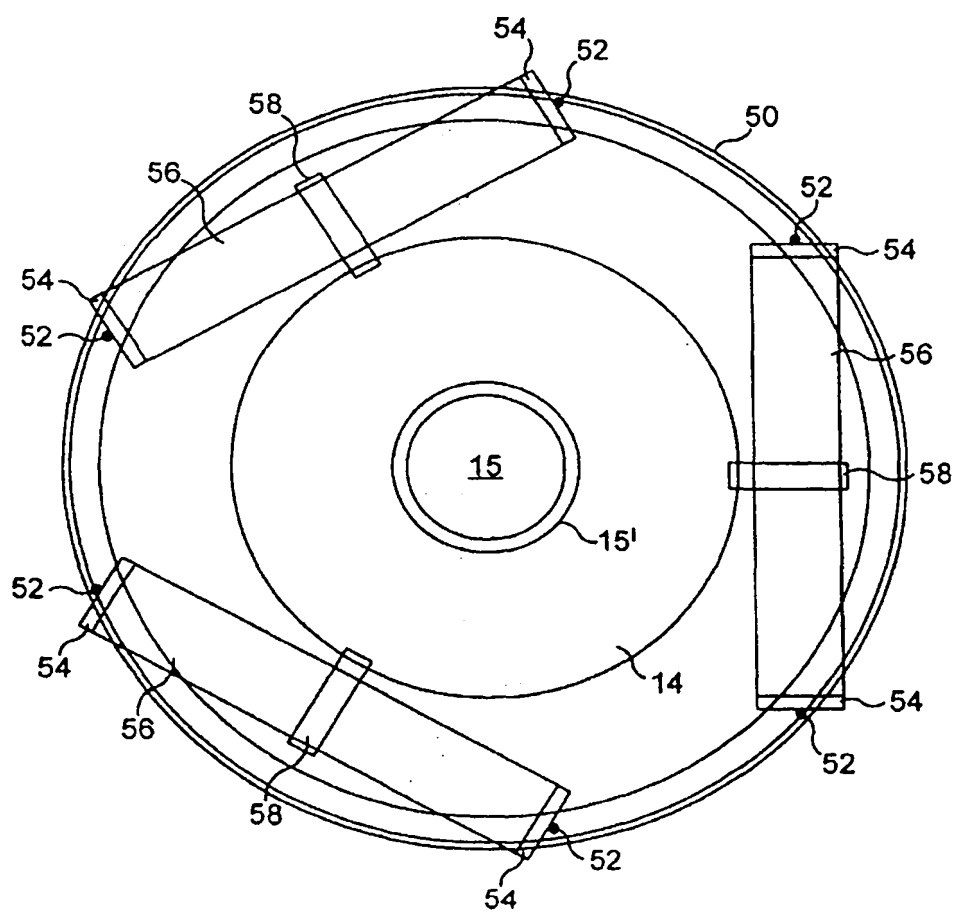


图 15

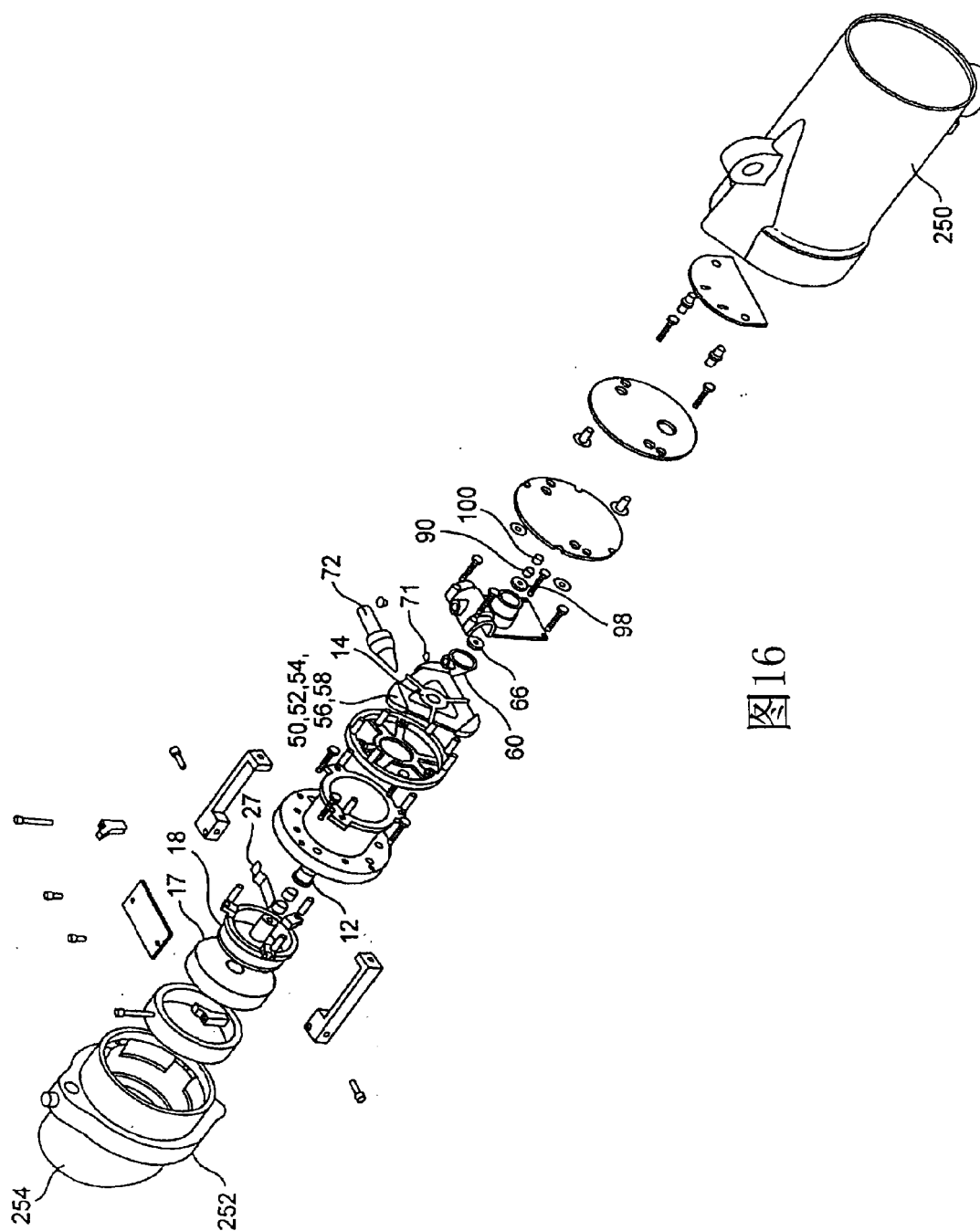


图 16

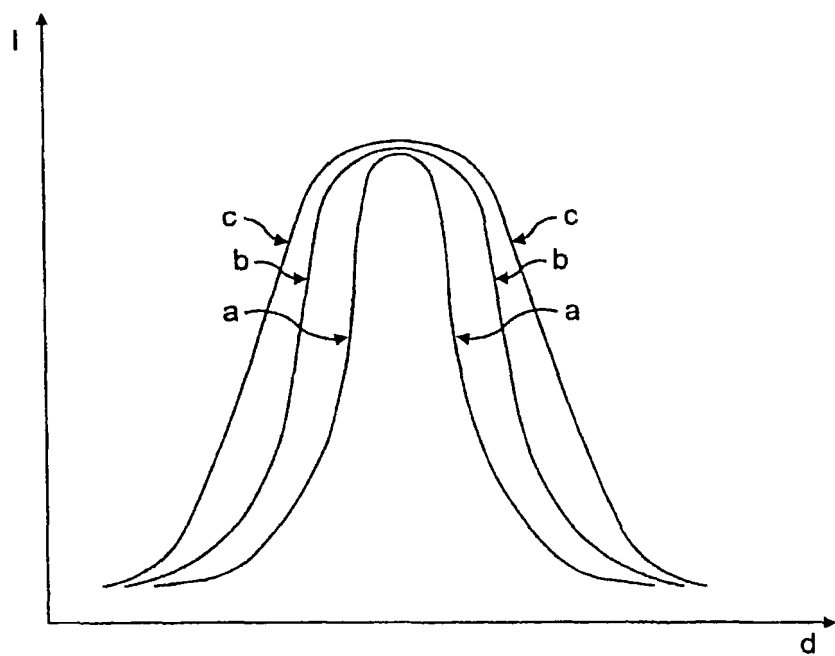


图 17

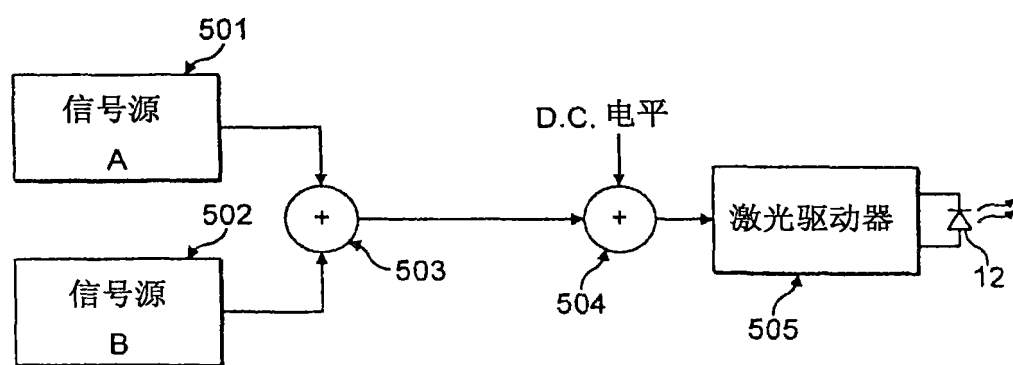


图 18

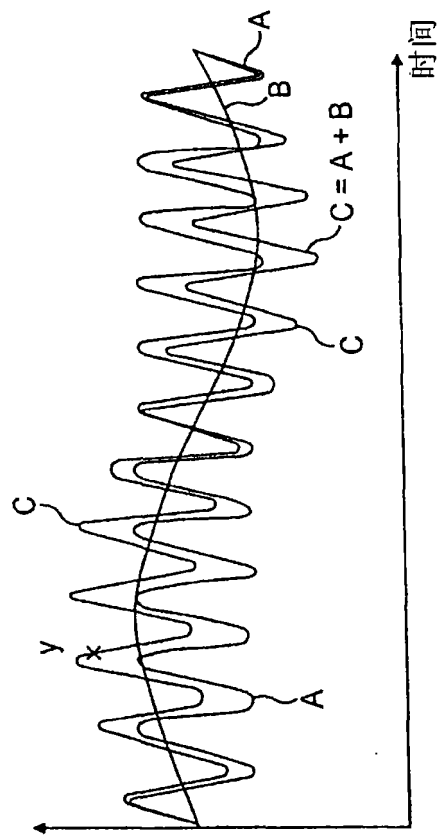


图19

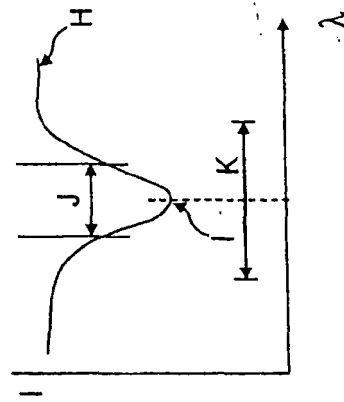


图20

- 激光驱动电流 i
- 激光输出波长
- 激光光功率输出

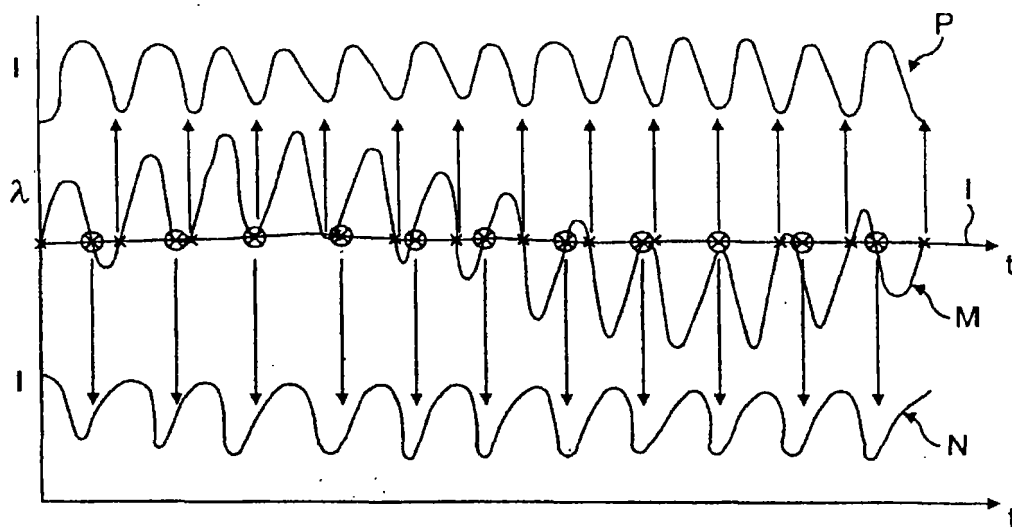


图 21

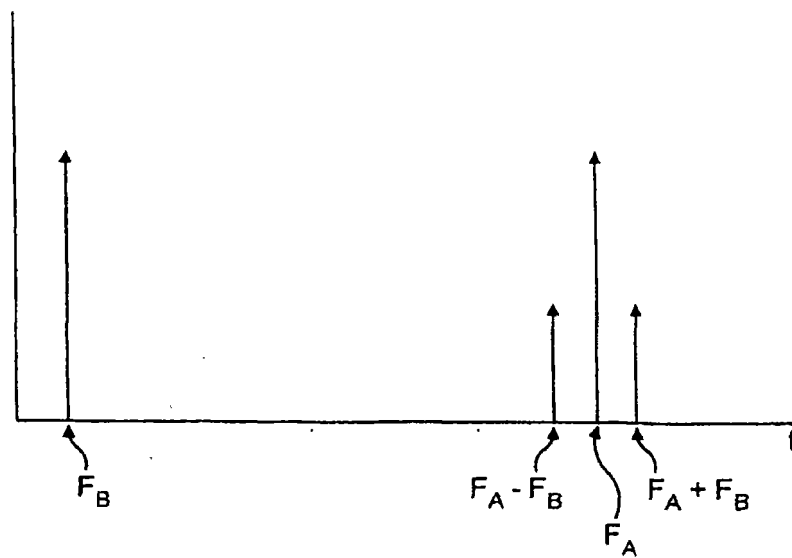


图 22

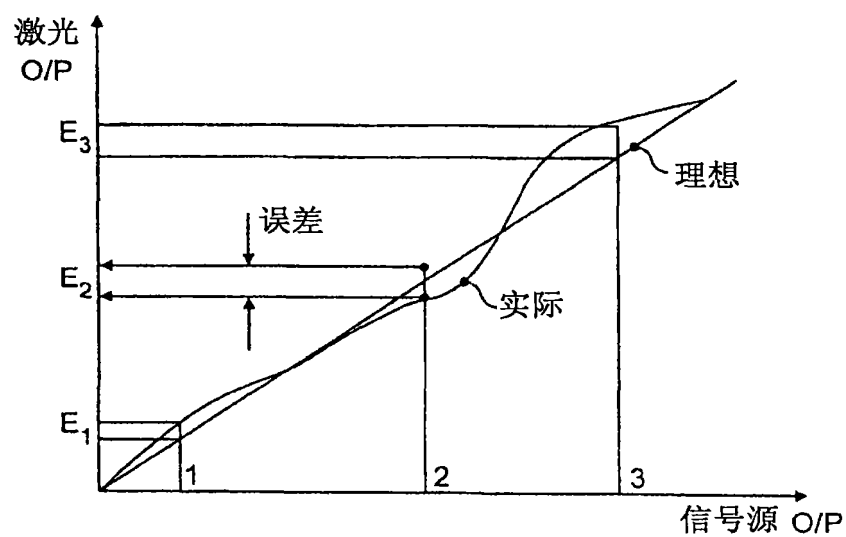


图 23

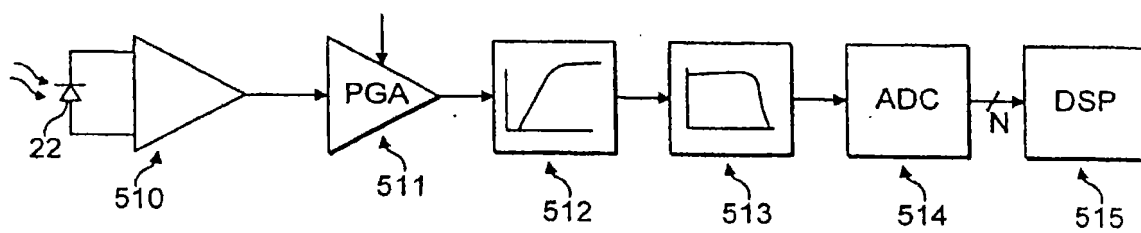


图 24

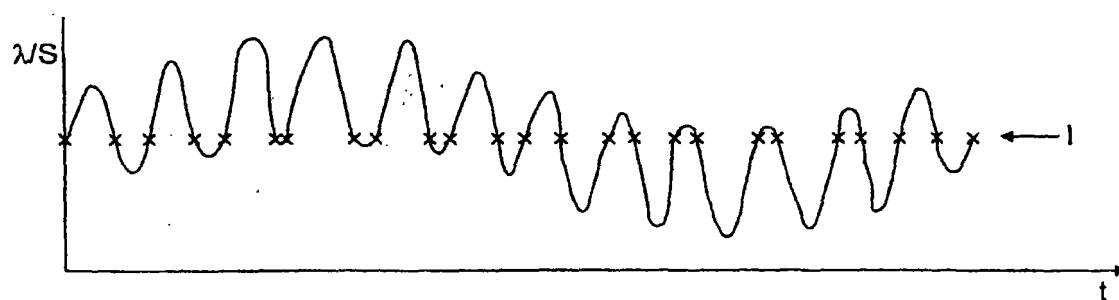


图 25

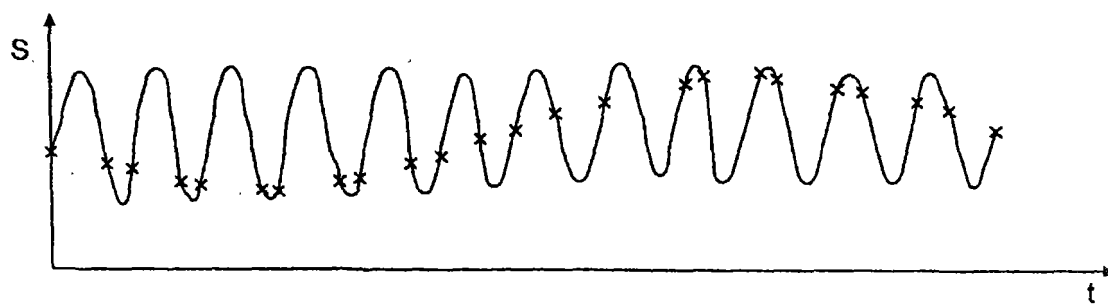


图 26