[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G01N 21/17 (2006.01)

[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200780031841.7

[43] 公开日 2009 年 8 月 19 日

[11] 公开号 CN 101512317A

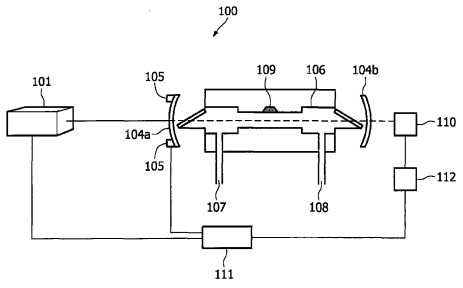
[22] 申请日 2007.8.31
[21] 申请号 200780031841.7
[30] 优先权
[32] 2006. 8.31 [33] EP [31] 06119849.5
[86] 国际申请 PCT/IB2007/053518 2007.8.31
[87] 国际公布 WO2008/026189 英 2008.3.6
[85] 进入国家阶段日期 2009.2.26
[71] 申请人 皇家飞利浦电子股份有限公司
地址 荷兰艾恩德霍芬
[72] 发明人 E·M·H·P·范戴克
J·卡尔克曼
[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
代理人 王 英
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 5 页

[54] 发明名称

具有光学功率增强腔的稳定光声示踪气体探测器

[57] 摘要

本发明提供一种光声示踪气体探测器(100)，其用于探测气体混合物中的示踪气体的浓度。光声示踪气体探测器(100)包括光源(101)、光学腔(104a，104b)、比率调制器件(105，111)和换能器(109)。光学腔(104a，104b)容纳气体混合物并放大光强。当光束的波长与光学腔(104a，104b)的长度的比率具有共振值时，提供最大的放大。比率调制器件(105，111)对比率进行调制以将光束变换为一系列光脉冲以生成声波，声波的振幅为对示踪气体的浓度的测量。换能器(109)将声波转换为电信号。



1、一种用于探测气体混合物中的示踪气体的浓度的光声示踪气体探测器（100），所述光声示踪气体探测器（100）包括：

光源（101），其用于生成光束；

光学腔（104a,104b），其用于容纳所述气体混合物并用于放大所述光束的光强，在所述光束的波长与所述光学腔（104a,104b）的长度的比率具有共振值时，所述光学腔（104a,104b）提供最大的放大；

比率调制器件（105,111），其用于调制所述比率；以及

换能器（109），其用于将所述气体混合物中的声波转换为电信号，

其特征在于，

将所述比率调制器件（105,111）配置为调制所述比率以将所述光束变换为一系列光脉冲以生成所述声波，所述声波的振幅为对所述示踪气体的所述浓度的测量。

2、如权利要求1所述的光声示踪气体探测器（100），其中，将所述比率调制器件（105,111）配置为围绕所述共振值调制所述比率。

3、如权利要求1所述的光声示踪气体探测器（100），还包括用于调整所述放大的反馈回路（110,112），所述反馈回路包括：

光电探测器（110），其用于测量所述光脉冲的所述光强，以及

调节器件（112），其耦合到所述光电探测器（110）和所述比率调制器件（111），根据测得的光强，所述调节器件（112）调节所述比率的平均值，使得围绕所述共振值大致对称地执行所述调制。

4、如权利要求3所述的光声示踪气体探测器（100），其中，将所述调节器件（112）配置为计算所述测得的光强的频率分量。

5、如权利要求1所述的光声示踪气体探测器（100），其中，将所述比率调制器件（111）配置为调制所述光束的所述波长。

6、如权利要求 1 所述的光声示踪气体探测器（100），其中，将所述比率调制器件（105,111）配置为调制所述光学腔的所述长度。

7、如权利要求 1 所述的光声示踪气体探测器（100），其中，所述换能器（109）为晶体振荡器。

8、如权利要求 7 所述的光声示踪气体探测器（100），其中，所述晶体振荡器为石英音叉。

9、一种用于对气体混合物中的示踪气体的浓度进行探测的方法，所述方法包括如下步骤：

生成（51）光束，

将所述光束变换（52）为一系列光脉冲以在所述气体混合物中生成声波，所述声波的振幅为对所述示踪气体的所述浓度的测量，

对容纳所述气体混合物的光学腔中的光进行放大，当所述光束的波长与所述光学腔的长度的比率具有共振值时，所述光学腔提供最大的放大，以及

将所述声波转换（53）为电信号，

其特征在于，

所述变换（52）步骤包括调制所述比率。

具有光学功率增强腔的稳定光声示踪气体探测器

技术领域

本发明涉及一种用于探测气体混合物中的示踪气体的浓度的光声示踪气体探测器，所述光声示踪气体探测器包括：光源，其用于生成光束；光学腔，其用于容纳气体混合物以及用于放大光束的光强，当光束的波长与光学腔的长度的比率具有共振值时，光学腔提供最大的放大；比率调制器件，其用于调制比率；以及换能器，其用于将气体混合物中的声波转换为电信号。

背景技术

从 Roosi 等人发表于 Applied Physics Letters 上的文章“Optical enhancement of diode laser-photo acoustic trace gas detection by means of external Fabry-Perot cavity”中可以知晓这样的探测器。该文献中所述的探测器发射穿过声学室中所容纳的气体的斩波激光束。由周期性地中断光束的旋转盘斩波器对激光束进行斩波。调谐激光波长以激发气体的特定分子到更高的能级。这一激发引起热能增加，引起声学室内温度和压力的局部升高。如果斩波频率与声学室的共振频率相匹配，则压力变化引起驻声波。由声学室中的麦克风对这些声波进行探测。典型地，这样的声学室的共振频率为几 kHz 的量级。在 Rossi 等人的探测器中，使用 2.6kHz 的斩波频率。

Rossi 等人还描述了通过将激光波长锁定到腔长度而使用 Fabry-Perot 腔以放大声学室中的光强。由于探测器的灵敏度与激光功率成比例，所以放大是非常有利的。从置于 Fabry-Perot 腔后的光电二极管获取反馈信号。为了生成反馈信号，通过将小正弦波加到电源电流上来对激光波长进行弱调制。激光束穿过光学腔并聚焦于光电二极管上。之后，将光电二极管信号用于激光波长的反馈，从而将激光波长锁定到腔长度。

光声示踪气体探测器的重要应用为呼吸测试。呼吸测试是医学技术的有前途的领域。呼吸测试为非侵入性的、用户友好且成本低廉的。呼吸测

试的主要示例为哮喘监测、酒精呼吸测试和胃病检测以及急性器官排斥反应。第一临床试验示出了在乳腺癌和肺癌的预筛选中的可能应用。这些挥发性生物标记具有十亿分之几（ppb）范围的典型浓度。一氧化氮（NO）是人呼吸中的最重要的示踪气体之一，且在哮喘患者中可以发现 NO 浓度提高。当前，仅使用基于化学发光或光学吸收光谱的昂贵且笨重的装置对 ppb 浓度的呼出 NO 水平进行测量。小型、手持且成本低廉的 NO 传感器形成有用的设备，所述设备可以用于对气道炎症进行诊断和监测，并能够用于医生办公室中以及用于家庭药物控制。

对于这些手持气体分析设备，将足够高的灵敏度（ppb 水平）与具有简单设计和高鲁棒性的小的便携设备结合具有挑战性。当前光声示踪气体探测器具有如下缺点，即波形因子小的激光器（如二极管激光器）不具有足够的激光功率以达到示踪气体探测所需的灵敏度。使用如 Rossi 等人所描述的光学功率增强腔可以增加光学功率。但是，Rossi 等人的设计在保持高鲁棒性的情况下不容易缩减到便携尺寸。

发明内容

本发明的目的为根据开始部分的光声示踪气体探测器提供更简单的设计。

根据本发明的第一方面，通过提供根据开始部分的光声示踪气体探测器而实现此目的，其中，将比率调制器件配置为调制比率以将光束变换为一系列光脉冲以生成声波，声波的振幅为对示踪气体的浓度的测量。

通过调制比率，同样调制光学腔中的光强的放大。每次比率具有共振值时，放大为最大。当比率远离共振值时，放大为最小。选择足够大的比率调制范围以生成具有如下光强的光脉冲，即所述光强足够在气体混合物中生成声波。声波必须具有足够的振幅以能够从中导出示踪气体的浓度。所生成的声音的量取决于感兴趣的示踪气体的浓度。优选地，调制比率，使得放大在最小放大和最大放大之间变化。光强的调制的振幅越高，示踪气体探测的精确度越高。根据本发明的光声探测器不需要斩波器，而是使用腔的内在特性代替斩波器来调制腔中的激发功率。这引起需要更少组件和更少移动部件的更简单设计。

优选地，将比率调制器件配置为围绕共振值调制比率。在每个调制周期期间，两次获取共振值；一次为在增加比率时，一次为在降低比率时。结果，当以频率 f 围绕共振值调制比率时，在光学腔中生成频率为 2f 的光脉冲。同样可以以频率 2f 生成光声信号。围绕共振值调制是有利的，腔中的功率将较高且光声信号将较强。

在优选实施例中，探测器还包括用于调整放大的反馈回路，反馈回路包括用于测量光脉冲的光强的光电探测器，以及耦合到光电探测器和比率调制器件的调节器件，根据测得的光强，所述调节器件调节比率平均值，使得围绕共振值大致对称地执行调制。

这一实施例，保持比率对称地围绕最优值并以固定时间间隔生成光脉冲。结果，也可以以固定时间间隔生成气体混合物中的压力变化，从而有助于示踪气体探测。

优选地，将调节器件配置为计算测得的光强的频率分量。通过计算测得的光强的频率分量，确定所传输的信号在调制频率 f 的多倍的振幅分量。如果围绕最优值精确对称地执行调制，则可以以频率 2f 的固定时间间隔生成光脉冲，且光电二极管信号将只包括调制频率 f 的偶数倍（2f,4f,…,2nf）的振幅分量。如果围绕最优值不精确对称地执行调制，光电二极管信号中也将包括频率 f 的奇数倍（1f,3f,…,（2n+1）f)。当调制精确地集中于最优比率上时，这些奇频率分量将为零。当探测奇频率分量时，调节器件调节比率的平均值，使得围绕共振值大致对称地执行调制。可以使用奇频率信号的相位确定反馈的方向。

通过调制光束的波长或者调制光学腔的长度可以实现比率调制。调制光学腔的长度具有如下优点，即可以更快速和更精确地完成。调制光束波长具有如下优点，即探测器不需要任何移动部分，这对制造鲁棒的和小的便携式探测器来说是非常有利的。

在优选实施例中，换能器为晶体振荡器。晶体振荡器比用于上面提到的现有技术系统中的麦克风更加灵敏。结果，可以获得更加灵敏的光声示踪气体探测器。作为附加优势，晶体振荡器的高灵敏度使得不必使用声学室，从而简化了探测器的构造。

在另一实施例中，晶体振荡器为石英音叉。石英音叉具有高精确性。

另外，石英音叉不是非常昂贵，这是因为其大规模地用于例如数字手表的制造。

根据本发明的第二方面，提供一种方法，所述方法包括以下步骤：生成光束；将光束变换为一系列光脉冲以在气体混合物中生成声波；将声波的振幅作为对示踪气体浓度的测量；放大容纳气体混合物的光学腔中的光；当光束波长与光学腔长度的比率具有共振值时，光学腔提供最大放大；以及将声波转换为电信号。变换步骤包括调制比率。

通过之后描述的实施例，本发明的这些以及其他方面变得明显，并且参照之后描述的实施例对其进行说明。

附图说明

在附图中：

图 1 示意性地示出了根据本发明的光声示踪气体探测器的实施例；

图 2 示出了光学腔中的光强与光学腔长度的相关性；

图 3a 示出了在比率调制过程中光学腔中的光强的时间相关性，围绕最优值对称地执行调制；

图 3b 示出了在图 3a 中所示的测得的光强的频率谱；

图 4a 示出了在比率调制过程中光学腔中的光强的时间相关性，围绕最优值不对称地执行调制；

图 4b 示出了在图 4a 中所示的测得的光强的频率谱；以及

图 5 示出了根据本发明的方法的流程图。

具体实施方式

图 1 示出了根据本发明的典型光声示踪气体探测器 100。光源 101 提供连续波光束。优选地，光源 101 提供激光束。将光束发射到光学腔中，所述光学腔由两个半透射镜 104a 和 104b 限定。光束穿过入射镜 104a 进入光学腔，并在两个腔镜 104a 和 104b 之间反射多次。如果两个镜 104a 和 104b 之间的距离与激光波长相匹配，则生成驻波并对光强进行放大。使用附着在腔镜 104a、104b 之一上的例如压电致动器 105 的致动器调制光学腔的长度。通过调制光学腔的长度，对激光波长与腔长度的比率进行调制。在比

率的共振值处达到光强的最大放大。调制电子器件 111 控制致动器 105 并围绕在频率 f 下提供最大放大的长度改变腔的长度。在腔长度调制的每个周期中，腔长度两次与光束波长相匹配。以频率 2f 生成光脉冲。可选地，调制电子器件 111 在探测器中不需要致动器 105 的情况下通过改变光束的波长来改变比率；或者通过改变所述腔的长度和波长来改变比率。

用光电探测器 110 对由输出镜 104b 传输的光进行测量。将来自光电探测器 110 的信号用作光束波长或光学腔长度的反馈信号。如果围绕最优值精确对称地执行调制，以频率 2f 的固定时间间隔生成光脉冲，且光电探测器信号将只包括调制频率 f 的偶数倍（2f,4f,…,2nf）下的振幅分量。如果围绕最优值不精确对称地执行调制，光电探测器信号中也将包括频率 f 的奇数倍（1f,3f,…,（2n+1）f）。当调制精确地集中于最优比率上时，这些奇频率分量将为零。当探测奇频率分量时，由调节电子器件 112 控制调制电子器件 111 以调节比率的平均值，使得再一次围绕共振值大致对称地执行调制。

在光学腔内，气室 106 用于容纳待检查的气体混合物。任意地，气室 106 包括用于允许气体流经气室 106 的气体入口 107 和气体出口 108。如果将激光波长调谐为分子跃迁，即 EI→EK，就会将处于较低能级 EI 中的一些气体分子激发到较高能级 EK。通过与其他原子或分子碰撞，这些受激分子可以将它们的激发能量传递为碰撞伴的平移能量、旋转能量或振动能量。在热平衡下，这引起热能增加，引起气室 106 内的温度和压力的局部升高。每个光脉冲将引起压力增加，之后，压力会在下一脉冲到达之前再次降低。加上所述，这一压力的增加和降低将引起具有两倍调制频率的声波。位于气室 106 中间的中央的是换能器 109（例如麦克风），其能够拾取由气体中所吸收的光生成的声波。优选地，换能器 109 为具有共振频率的晶体振荡器（例如石英音叉），其能够拾取由气体中所吸收的光生成的声波。使用晶体振荡器可以省去由 Rossi 等人使用的声学室。

图 2 示出了光学腔中的光强（y 轴）与光学腔长度（x 轴）的相关性。当腔长度与多倍光束波长相匹配时，腔内的光共振且腔内的光学功率增加。当腔长度小于或大于共振长度时，腔中的光学功率降低为最大功率的一部分。通过改变光束波长，而不是或者另外地改变所述腔的长度，可以获取相同的效果。

优选地执行比率调制使得光强在最小值和最大值之间变化。优选地，在具有位于中心的共振值的范围 21 执行调制。围绕共振值的调制得到稳定的反馈回路。当以 f=20kHz、围绕共振长度 50 以振幅 5（任意单位）对腔长度进行调制时，腔将在是否共振方面来回变动。这生成如图 3a 所示的传输信号。图 3a 示出了在比率调制过程中光学腔中的光强（y 轴）的时间（x 轴）相关性。在腔长度调制的每个周期，腔长度两次与多倍的光束波长相匹配；一次是当腔长度从 45 到 55 时，一次是当腔长度从 55 回到 45 时。以频率 2f 生成光脉冲。因为围绕比率的共振值对称地执行调制，光学功率峰值以固定时间间隔 31 出现。结果，气体混合物中的压力变化也以固定时间间隔产生。换能器 109 探测声波并将所述声波转换为包括关于气体混合物中的示踪气体浓度的信息的电信号。

图 3b 示出了图 3a 所示的测得的光强的频率谱。通过计算测得的光强的傅立叶变换来获取频率谱。在图 3b 中，确定传输信号在多倍的调制频率 f 下的振幅分量。如果围绕最优值精确对称地执行调制，如在图 3a 和 3b 中所示的情况，则以频率 2f 的固定时间间隔生成光脉冲，且光电二极管信号将只包括调制频率 f 的偶数倍（2f,4f,…,2nf）下的振幅分量。

优选地，执行调制，使得光电二极管信号变为近似正弦波。结果，大部分功率集中于最低谐波（2f）。这具有如下优势，即大部分光声信号会在这一频率生成。由于信号强度在较高频率变得较弱，对光声来说这一优势是重要的。

图 4a 示出了在比率调制过程中光学腔中的光强的时间相关性，围绕最优值不对称地执行调制。在图 4a 所示的示例中，给定了调制范围的偏移。以围绕长度 52 的振幅 5 对腔长度进行调制，而共振长度仍为 50（参照图 2）。传输信号的响应完全不同于图 3a 中所示的响应。信号变得较不对称，这导致奇频率分量的出现。

图 4b 示出了在图 4a 中所示的测得的光强的频率谱。从图 4b 中明显看出，由于偏移，光电二极管信号中也包括调制频率的奇数倍（f,3f,…,(2n+1)f）。当探测奇频率分量时，调节电子器件 112 调节比率的平均值，使得再次围绕共振值大致对称地执行调制。通过减小在奇频率处测得的信号分量找到并保持共振调制带。任一奇频率或者奇频率的任意组合都可以用于生成误差信号。当该信号为零时，找到最优位置。这一相对于驱动调制的分量

的相位提供误差信号标记。在上述实施例中，已经执行了傅立叶变换以生成误差信号。然而，本领域的技术人员也可以看到，例如可以使用电子滤波器，结合解调和相位灵敏度探测来选择某些频率分量并生成反馈信号。可选地，可以使用锁定技术测量某些频率分量的振幅和相位。

图 5 示出了根据本发明的方法 50 的流程图。用于探测气体混合物中的示踪气体浓度的方法 50 包括用于生成光束的光生成步骤 51。优选地，光束为调谐为示踪气体分子中分子跃迁的波长的连续波激光束。将光束发射到光学腔中。在变换步骤 52，将光束变换为一系列光脉冲以在气体混合物中生成声波。声波的振幅为对示踪气体的浓度的测量。变换为对腔的长度进行调制的效果，使得来自光束的光在是否共振方面来回变动。优选地，围绕腔的共振值执行调制。共振导致容纳气体混合物的光学腔中的光的放大。如果腔中发生的最高和最低强度水平之间的差别足够大，则光脉冲可以引起压力变化。在探测步骤 53 中压力变化探测为声波，并转换为表示示踪气体的测得的浓度的电输出信号。在反馈步骤 54，光电二极管 110 测量光学腔后的光强，并根据光电二极管信号确定是否围绕共振值精确地执行调制。如果有必要，根据光电二极管信号，调节变换步骤 52 中的腔长度的调制以提供更精确的示踪气体探测 53。

要注意的是，原则上也可以使用不同的反馈回路和/或调制方式在示踪气体探测器中实现光学腔和晶体振荡器的有利结合。当使用晶体振荡器代替麦克风时，使用与晶体振荡器的共振频率匹配的调制频率是重要的。

应该注意的是，以上提及的实施例是对本发明的示意而不是限制，本领域的技术人员能够在不背离所附权利要求的范围的情况下设计许多替代实施例。在权利要求中，置于括号内的任何参考标记不应该解释为对权利要求的限制。动词“包括”的使用及其结合不排除在权利要求中列举的元件或步骤以外的那些元件或步骤的存在。元件前的冠词“一”或“一个”不排除存在多个这样的元件。通过包括多个不同元件的硬件，以及通过合适的编程计算机可以实现本发明。在权利要求中列举了若干器件，通过一个和同类硬件可以具体实施若干这些器件。事实是，在互不相同的从属权利要求中引用的某些测量并不代表这些测量的组合没有优势。例如，如由多面体骨架制作的运转件的一部分所述的元件也可以用在由蜂巢状结构制作的运转件中，反之亦然。

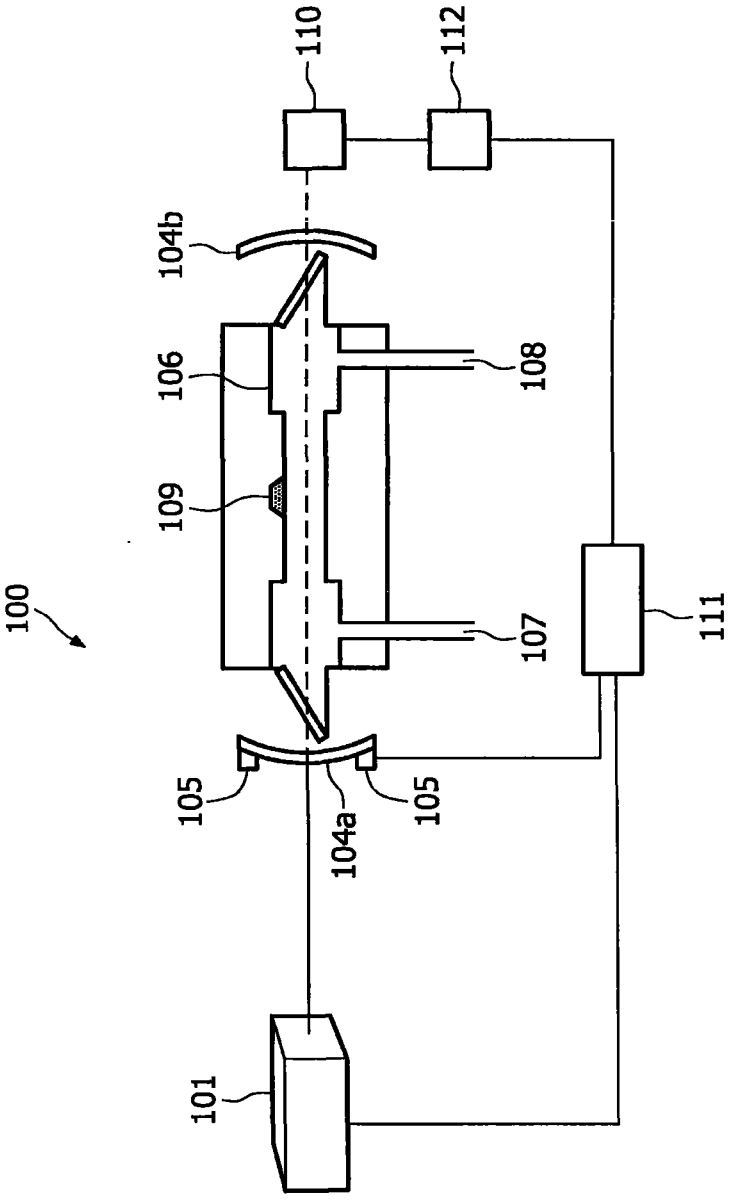


图1

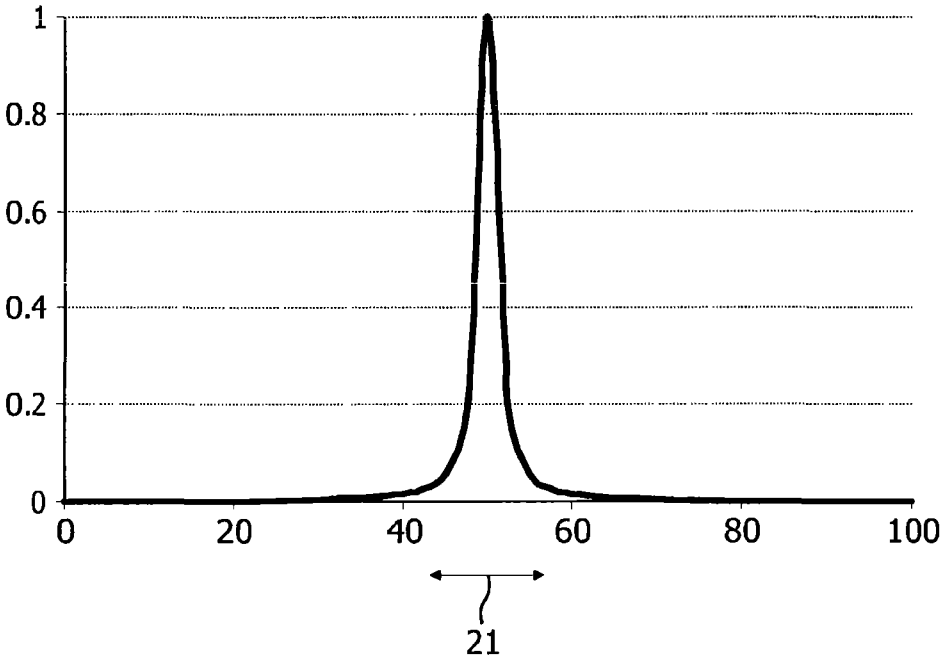


图2

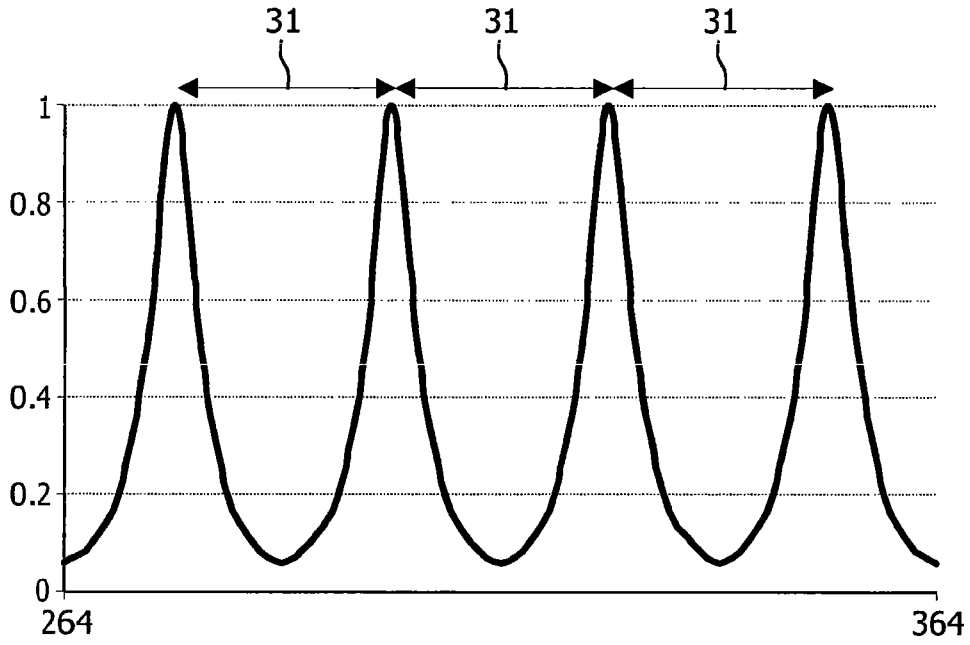

31
31
31
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
264
364

图3a

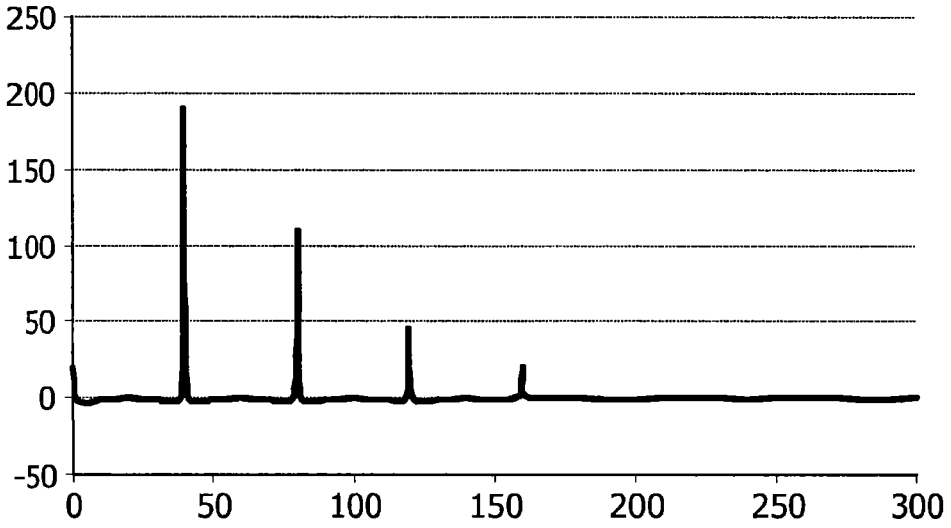

250
200
150
100
50
0
-50
0
50
100
150
200
250
300

图3b

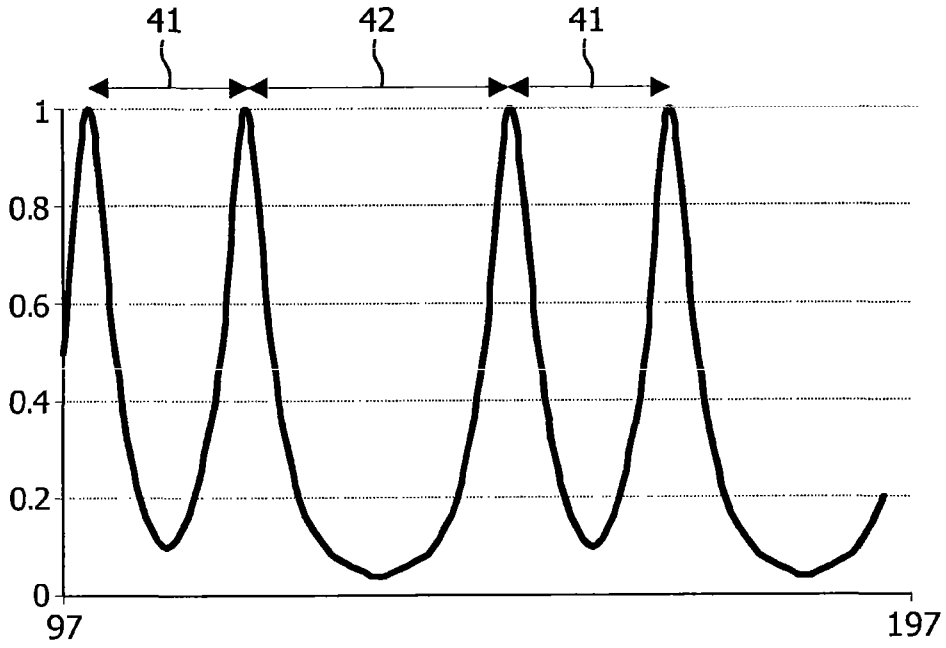

41
42
41
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
97
197

图4a

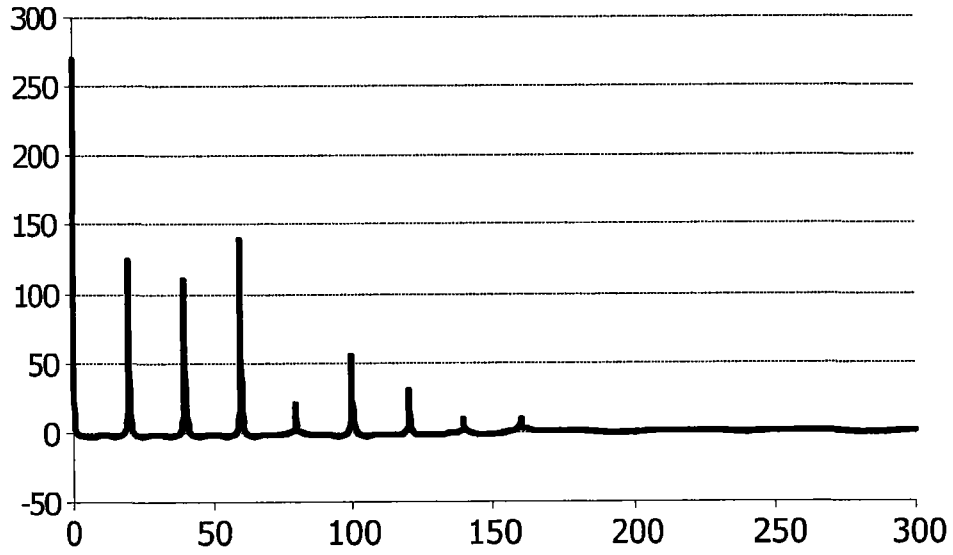

300
250
200
150
100
50
0
-50
0
50
100
150
200
250
300

图4b

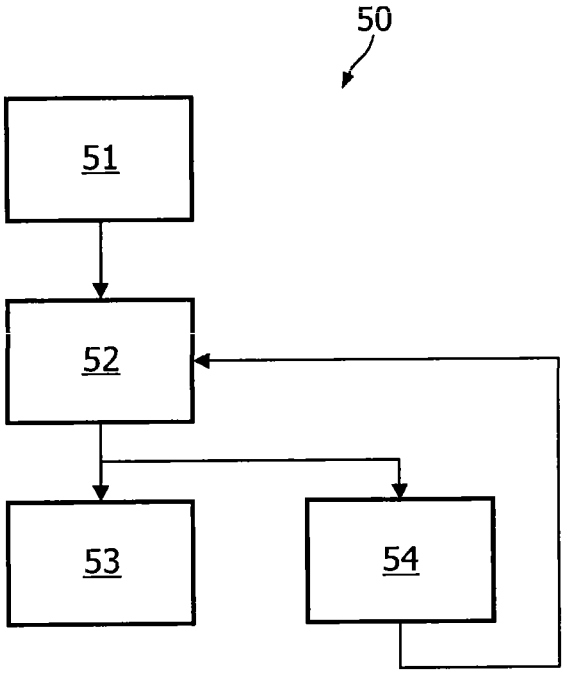


图5