



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106415237 B

(45)授权公告日 2019.11.22

(21)申请号 201580028708.0

(72)发明人 K·卡拉卡亚

(22)申请日 2015.05.18

(74)专利代理机构 北京市金杜律师事务所

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106415237 A

11256

(43)申请公布日 2017.02.15

代理人 郑立柱 郑振

(30)优先权数据

14170547.5 2014.05.30 EP

(51)Int.Cl.

G01N 15/06(2006.01)

G01N 15/04(2006.01)

G01N 5/02(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2016.11.29

(56)对比文件

US 2003123059 A1,2003.07.03,

US 2003123059 A1,2003.07.03,

US 2014031263 A1,2014.01.30,

CN 1235060 A,1999.11.17,

CN 1715864 A,2006.01.04,

CN 103623697 A,2014.03.12,

审查员 陈云龙

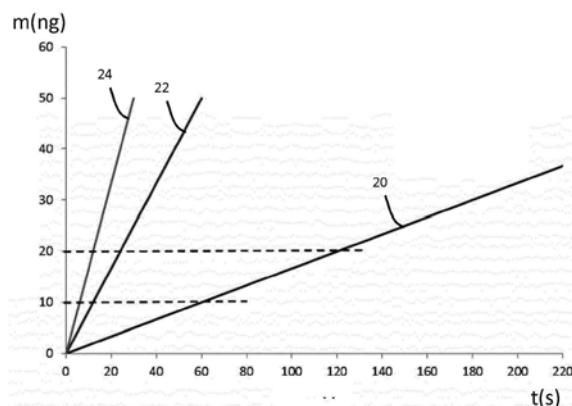
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

(54)发明名称

气溶胶颗粒质量传感器和感测方法

(57)摘要

提供了一种用于测量气溶胶内的颗粒质量的质量传感器。设置感测循环的持续时间，使得引起源于沉积颗粒的质量的预设变化。在缺少清洁的情况下，传感器的寿命取决于沉积的总质量。结果，通过该方法使得寿命基本恒定，因为每个感测操作都产生恒定量的沉积颗粒质量。这表示可以更加精确地预测寿命。



1. 一种用于测量气溶胶内的颗粒质量的质量传感器,包括:

传感器元件(52) ;

检测器,用于检测沉积在所述传感器元件上的颗粒的质量;以及

控制器(56),用于在执行感测操作的感测循环期间操作所述检测器,其中在所述感测循环期间在所述传感器元件上沉积颗粒,并且其中在不进行清洁的情况下,所述传感器的寿命取决于在多个连续感测循环期间沉积的总质量;

其中,所述控制器(56)适于响应于所述传感器的寿命内的所述多个连续感测循环中的每个感测循环期间所引发的由所沉积颗粒引起的质量的预设变化,而设置每个所述感测循环期间的持续时间。

2. 根据权利要求1所述的质量传感器,其中,所述控制器进一步适于:

从所述感测循环的持续时间中得到被采样的气溶胶的体积,从而得到每单位体积的颗粒浓度。

3. 根据权利要求1或2所述的质量传感器,其中,所述检测器包括换能器元件(54),所述换能器元件用于驱动所述传感器元件谐振并且检测所述传感器元件的谐振频率,其中,所述谐振频率取决于沉积在所述传感器元件上的颗粒的质量。

4. 根据权利要求3所述的质量传感器,其中,所述控制器进一步适于:

测量初始谐振频率( $f_0$ ) ;

计算对应于所述质量的预设变化的谐振频率偏移( $\Delta f$ ) ;以及

监控所述谐振频率以设置所述感测循环的持续时间。

5. 根据权利要求1所述的质量传感器,其中,所述传感器元件(52)包括MEMS传感器。

6. 根据权利要求5所述的质量传感器,其中,所述传感器元件(52)包括夹持-夹持式谐振器梁或夹持-自由式谐振器梁。

7. 根据权利要求1所述的质量传感器,还包括:样本进入设备(50),所述样本进入设备用于在所述感测循环期间进行操作以将被监控的气溶胶朝向所述传感器元件驱动。

8. 根据权利要求1所述的质量传感器,还包括:颗粒过滤装置(50),所述颗粒过滤装置用于选择待测量的所述颗粒质量的颗粒大小的范围。

9. 一种空气处理设备,包括根据权利要求1所述的质量传感器。

10. 一种用于测量气溶胶内的颗粒质量的方法,包括:

检测在感测循环期间沉积在传感器元件上的颗粒的质量,由此执行感测操作;以及

响应于所述传感器的寿命内的多个连续感测循环中的每个感测循环期间所引发的由所沉积颗粒引起的质量的预设变化,而设置每个所述感测循环期间的持续时间,其中在不进行清洁的情况下,所述传感器的寿命取决于在所述多个连续感测循环期间沉积的总质量。

11. 根据权利要求10所述的方法,包括:

从设置的感测循环持续时间中得到被采样的气溶胶的体积;以及

得到每单位体积的颗粒浓度。

12. 根据权利要求10或11所述的方法,其中,所述检测包括:

在所述感测循环期间,驱动传感器元件(52)谐振;

检测所述传感器元件的谐振频率,其中,所述谐振频率取决于沉积在所述传感器元件

上的颗粒的质量。

13. 根据权利要求12所述的方法,包括:

在所述感测循环的开始处测量初始谐振频率 ( $f_0$ ) ;

获得对应于所述质量的设置变化的谐振频率偏移 ( $\Delta f$ ) ;以及

监控所述谐振频率直到发生所述谐振频率偏移,以便设置所述感测循环的持续时间。

14. 根据权利要求10所述的方法,还包括:在所述感测循环期间控制样本进入设备 (50),以将被监控的气溶胶朝向所述传感器元件驱动。

15. 根据权利要求10所述的方法,还包括:执行颗粒过滤,用于选择待测量的所述颗粒质量的颗粒大小的范围。

## 气溶胶颗粒质量传感器和感测方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及测量气溶胶内的颗粒质量。

### 背景技术

[0002] 空气颗粒污染,尤其是小于 $2.5\mu\text{m}$ 直径范围的颗粒物(也称为“PM2.5”)是中国等国家的大问题,产业化的速度拓展了法规要求的界限。

[0003] 作为增加的消费者赋权的结果,对关于它们的生存空间的空气质量的要求也增加。尤其在中国,过量的PM2.5污染变成过去十年的普遍问题。该问题也通过各个中国城市中的连续测量而被确认。数据被公之于众,并且可以通过移动电话应用或通过网站连续监控。

[0004] 该数据的可获得性以及连续的国家和国际媒体关注对该问题产生了强烈的消费者关注。

[0005] 官方室外空气质量标准将颗粒物浓度定义为每单位体积的质量浓度(例如, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )。基于卫星数据来计算中国大陆的平均PM2.5污染浓度,并且发现大多数城市超过世界健康组织 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的限制,一些区域达到或者甚至超过 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的PM2.5浓度。

[0006] 标准化的参考测量方法例如使用锥形谐振器、撞击器或称重过滤器和筛而基于测量每空气采样体积的沉积或捕获颗粒的质量。

[0007] 然而,这些系统要求专业的操作指南来处理测量(例如,加权过滤器和筛)的人工部分和/或周期性维护,该周期性维护用于清洁累积的质量、维护各个系统部件和再校准。此外,它们对工作台上使用来说通常尺寸较大,并且不适合于消费者应用。

[0008] 已经提出了用于气溶胶(aerosol)污染监控的基于谐振的质量感测。例如,已经提出了使用微机械硅悬臂设备,其具有微微克等级的质量分辨率来用于个人暴露监控。滤波器可用于消除大颗粒,并且静电采样器可用于在悬臂上沉积纳米颗粒。例如,WO 2013/064157公开了一种基于MEMS的谐振颗粒测量设备,其被设计用于测量流动空气流中的气溶胶纳米颗粒。

[0009] 然而,谐振颗粒测量设备的问题是不能精确地估计寿命的终点,使得用于替换感测器太早或太迟。

[0010] 美国专利申请公开第20030123059A1公开了一种用于确定空气样本中的气溶胶颗粒的非易失性成分的方法和装置。具体地,根据质量传感器,预设用于微量天平的最大质量负载,并且当沉积最大质量负载时将引起通过加热来再生。然而,不能很好地控制每个感测循环中的传感器元件上的质量变化。

[0011] 因此,需要一种质量传感器,其可以具有近似恒定的寿命而不管使用传感器的环境如何,并且更好地控制每个感测循环中的质量变化,尤其在高污染浓度的情况下在感测循环中具有较小的质量变化。

## 发明内容

[0012] 通过权利要求来限定本发明。

[0013] 根据本发明的一个实施例,提供了一种用于测量气溶胶内的颗粒质量的质量传感器,包括:

[0014] 传感器元件;

[0015] 检测器,用于检测沉积在传感器元件上的颗粒质量,其中,在感测循环期间,颗粒沉积在传感器元件上;以及

[0016] 控制器,用于在感测循环期间操作检测器,

[0017] 其中,控制器适于设置感测循环的持续时间,使得在感测循环期间,引发由所沉积颗粒引起的质量的预设变化。

[0018] 传感器上颗粒的沉积优选限于感测循环的时间。气溶胶可以是携有颗粒的空气或者任何其他气体。

[0019] 该传感器装置被控制为使得发生感测,直到在传感器元件上沉积预设(附加)质量的颗粒为止。

[0020] 因此,对于低浓度的颗粒,感测时间较长,而对于高浓度的颗粒,感测时间较短。在不存在清洁或维护措施的情况下,传感器的寿命取决于总的沉积质量。结果,寿命基本恒定,因为每个感测操作都产生恒定量的沉积颗粒质量(即,质量的预设变化)。这意味着可以更加精确地预测寿命。还意味着,当存在高颗粒浓度时,与基于固定持续时间感测所经历的质量变化相比,可以减小每个感测循环内的质量变化。

[0021] 当然,在极其低浓度的情况下,感测循环甚至可以在引发质量的预设变化之前结束。因此,在这种情况下,质量的预设变化针对用于高于阈值的颗粒浓度。在这种情况下,传感器输出可以表示颗粒质量浓度低于特定阈值。在这些循环内与恒定质量的偏差并不会对寿命的预测增加显著的变化,因为其仅与感测循环相关,其中存在非常少的颗粒的沉积质量。

[0022] 控制器可以进一步适于:

[0023] 从感测循环的持续时间中得到被采样的气溶胶的体积,从而得到每单位体积的颗粒浓度。

[0024] 这能够将感测的质量转换为质量浓度。

[0025] 在一个实施方式中,检测器包括换能器元件,用于驱动传感器元件进入谐振并且检测传感器元件的谐振频率,其中,谐振频率取决于沉积在传感器元件上的颗粒的质量。

[0026] 该实施方式利用谐振质量传感器。这可以以低成本来实施,例如用于消费者设备,并且还可以是能够便携式/移动使用的小尺寸。

[0027] 控制器可进一步适于:

[0028] 测量初始谐振频率;

[0029] 计算对应于质量的预设变化的谐振频率偏移;以及

[0030] 监控谐振频率以设置感测循环的持续时间。

[0031] 以这种方式,传感器实质上在每个感测循环处再校准。

[0032] 任何基于谐振器的传感器都可以使用,其提供充足的质量分辨率,例如从微微克到毫克。传感器元件例如可以包括MEMS传感器。这能够制造低成本和紧凑的传感器。MEMS传

感器元件可形成为夹持-夹持 (clamped-clamped) 谐振器梁或夹持-自由 (clamped-free) 谐振器梁。

[0033] 对于所有实施例,可以通过由传感器放置于其中的器具(例如空气净化器)所驱动的气流来提供样本进入。可替换地,可提供用于在感测循环期间进行操作的专用采样进入设备来驱动被监控的气溶胶朝向传感器元件。然后,传感器仅在感测操作期间暴露给特定的气溶胶,使得寿命延长。

[0034] 样本进入设备可以是风扇或泵,其可以利用促进颗粒在传感器元件上更有效沉积的静电吸引装置来支持。此外,可选方式包括基于重力的颗粒沉积,或者热泳沉积,或者使用自然对流。

[0035] 颗粒过滤器装置或空气动力分离器(例如,撞击器、虚拟撞击器等)可用于限定待监控的气溶胶颗粒质量的颗粒大小的范围。这表示仅在感兴趣的颗粒大小范围内测量质量浓度。

[0036] 本发明的实施例还提供了一种用于测量气溶胶内的颗粒质量的方法,包括:

[0037] 检测在感测循环期间沉积在传感器元件上的颗粒的质量;以及

[0038] 设置感测循环的持续时间,使得在感测循环期间内,引发由沉积颗粒引起的质量的预设变化。

[0039] 该方法操作传感器,直到特定质量的颗粒沉积在传感器元件上。如上所述,该方法意味着寿命基本恒定,使得其可以被更精确地预测。

[0040] 本发明还提供了一种空气处理设备,包括本发明的质量传感器。

## 附图说明

[0041] 现在将参照附图详细描述本发明的示例,其中:

[0042] 图1示出了利用弹簧质量系统解释的基于谐振的质量检测的基本方面,其中,谐振传感器的质量影响谐振频率;

[0043] 图2示出了在固定时间周期内对气溶胶进行采样的传统方法;

[0044] 图3示出了对于固定质量累积而对气溶胶进行采样的本发明实施例的方法;

[0045] 图4示出了本发明的方法的实施例;以及

[0046] 图5示出了本发明的传感器的实施例。

## 具体实施方式

[0047] 本发明提供了用于测量气溶胶内的颗粒质量的质量传感器。设置感测循环的持续时间,使得引起由所沉积颗粒所引发的质量的预设变化。在缺少清洁的情况下,传感器的寿命取决于所沉积的总质量。结果,通过该方法使得寿命基本恒定,因为每个感测操作都引发恒定量的沉积颗粒质量。这意味着可以更加精确地预测寿命。

[0048] 除WO 2013/064157中描述的基于MEMS的传感器之外,用于确定收集样本的质量的其他方法包括测量所累积质量的热容量,或者测量询问信号的衰减,例如如β衰减监控器所使用的。

[0049] 这些感测方法都具有存在感测极限的问题,当累积质量超过特定等级时达到该极限。例如,测量循环期间累积的质量成为总累积质量的较小部分,使得系统将最终达到分辨

率极限。

[0050] 例如,基于谐振操作的质量传感器在与初始谐振质量相比所添加质量较小的范围中进行操作。然而,传感器的寿命期间的连续质量累积是不可避免的。该问题对于MEMS规模的设备来说更加突出,其中,所累积质量的机械和/或化学清洁是不可能的一至少对于消费者应用来说。

[0051] 因此,MEMS质量传感器的寿命可以通过考虑初始质量和每个测量循环的适当质量沉积来粗略估计。

[0052] 产生质量沉积的速率取决于使用设备的环境的问题,并且这适用于测量累积的质量的所有传感器。这使得难以预测设备的寿命,和/或预防性维护的定时。开发根据本发明实施例的方法和传感器以解决上述问题。

[0053] 将参照谐振质量传感器详细描述本发明。然而,可以使用同样可以从本发明获利的其他质量感测方法,。

[0054] 使用谐振设备的直接质量测量是已知技术。如图1所示,其基于谐振频率( $f_0$ )与谐振器的质量之间的关系。

[0055] 在图1中,谐振器质量10利用质量m和弹簧常数k来示意性表示。该示图示出了作为频率(x轴)的函数的谐振振荡的幅度(在y轴)。曲线12用于基本谐振器质量。如果添加附加质量14( $\Delta m$ ),则振荡曲线的频率向下偏移到具有频率偏移 $\Delta f$ 的曲线16。

[0056] 控制共振的等式为:

$$[0057] f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

$$[0058] \Delta f = -\frac{1}{2} \frac{\Delta m}{m} f_0 \quad (2)$$

$$[0059] \Delta m_{min} \propto \frac{m}{Q} \quad (3)$$

[0060] 等式1示出了基本谐振频率与谐振器特性之间的关系。等式2示出了由质量变化引起的频率的变化,以及等式3示出了可以检测的最小质量( $\Delta m_{min}$ )。最小值取决于谐振器的机械品质因数Q。

[0061] 在文献中具有用于气溶胶污染监控的基于谐振的质量感测的多个示例。例如,提出了使用具有微微克等级的质量分辨率的微机械硅悬臂设备来用于个人暴露监控。过滤器可用于消除大颗粒,并且静电采样器可用于在悬臂上沉积纳米颗粒。

[0062] 例如,WO 2013/064157公开了基于MEMS的谐振颗粒测量设备,其被设计为测量流动空气流中的气溶胶纳米颗粒。

[0063] 作为经验法则,质量传感器在添加质量与初始谐振质量相比较小的范围中进行操作。然而,传感器的寿命期间的连续质量累积是不可避免的。该问题对于MEMS规模的设备来说更加突出,其中,累积质量的机械和/或化学清洁是不可能的一至少对于消费者应用来说。因此,可以通过考虑初始质量以及每测量循环的适当质量沉积来粗略估计MEMS质量传感器的寿命。

[0064] 作为硅MEMS悬臂的示例,以下给出简要计算:

[0065] 尺寸:100μm宽,1000μm长,10μm厚

[0066] 体积:  $10^6 \mu\text{m}^3$

[0067] 质量: 2650ng (硅密度  $2.65\text{g/cm}^3$ )。

[0068] 对于  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  (世界卫生组织对于年平均浓度的限制) 的最小颗粒浓度检测限制以及 1 公升的采样空气体积 (1 分钟采样, 1 公升/分钟 ( $1/\text{min}$ ) 空气进气), 谐振器上 10ng 的质量沉积是合理的估计。对于增加的浓度, 质量沉积成比例地增加。这导致一定数量的测量循环, 后者取决于浓度范围而使得谐振器的原始质量加倍, 如下所总结的:

[0069]

PM 2.5 浓度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	每 1 公升的采样体积的绝对质量 (ng)	循环数 (#)
10	10	265
20	20	132
50	50	53
100	100	26

[0070] PM2.5 浓度可达到几百  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (例如, 2013 年 1 月 13 日北京,  $700\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 使得可能导致更短的寿命, 这对于使用这种消费者等级应用的系统是不合适的。

[0071] 传感器系统可以通过考虑操作寿命内的平均颗粒浓度来设计。然而, 浓度的较大变化总是带来操作寿命的过早和不可预测的结束的风险。

[0072] 使用质量传感器系统的传统方式是基于测量预定采样体积内的累积质量的浓度。通过将开始时以及测量循环结束时传感器的谐振频率进行比较来进行测量, 并且将频率偏移与质量变化 ( $\Delta m$ ) 相关。

[0073] 这要求预定的样本进入时间; 例如, 通过在给定的时间段内在传感器上方流动空气。

[0074] 图 2 示出了传统的传感器读取方法并示出了作为时间函数的累积质量。

[0075] 曲线 20 针对  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  的低浓度, 曲线 22 针对  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  的中等浓度, 以及曲线 24 针对  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$  的高浓度。

[0076] 从图中可以看出, 给定采样时间 (例如, 所示的 60s 和 120s) 内的累积质量取决于浓度。

[0077] 通过检测谐振频率的变化进行操作的质量传感器的寿命由此大大取决于颗粒物的浓度。污染等级的变化对于寿命带来不可预测的问题; 因此, 限制了这些用于消费者应用的传感器的可应用性。

[0078] 图 3 用于解释根据本发明实施例的感测方法。再次地, 曲线 20 针对  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  的低浓度, 曲线 22 针对  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  的中等浓度, 以及曲线 24 针对  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$  的高浓度。这些曲线给出了与图 2 所示不同的斜率, 从而能够更加清楚地看到该方法。

[0079] 控制传感器以设置感测循环的持续时间, 使得在感测循环期间, 引起由沉积颗粒引发的质量的预设变化。对于 10ng 和 20ng 的累积质量, 在图 3 中示出两个示例。

[0080] 该传感器操作过程确保了质量传感器的特定寿命。对于传感器限定固定的质量累计值, 并且操作具有可变的采样时间。以这种方式, 传感器系统对于高浓度操作较短的采样

时间,而对于低浓度操作较长的采样时间。然后,通过总的采样体积计算浓度,直到达到预定质量累积为止。

[0081] 可以设置最大采样时间,使得对于尤其低的浓度在特定的时间点处结束采样。在这种情况下,传感器输出将表示浓度低于阈值而不是给出绝对值。因此,恒定的质量采样被应用于高于阈值的颗粒浓度,并且在阈值以下可以应用最大采样时间。浓度例如可以是需要针对特定应用检测的最低浓度,并且将相应地选择最大采样时间的持续时间。因此,阈值以下的浓度的实际等级不是所关注的。添加针对低浓度的固定持续采样时间的范围将导致延长传感器的寿命超过仅基于恒定的质量测量的设计寿命。

[0082] 从图3可以看出,用于实现特定质量累积所要求的采样时间与空气中的污染等级成反比。这防止在谐振器上过多的质量累积,后者导致短且不可预测的寿命。尽管在该示例中预定质量被标示为10ng或20ng,但这些值当然可以根据特定的谐振器设计而进行选择。

[0083] 图4示出了如何计算空气中的颗粒物浓度。

[0084] 在步骤30中,测量(即在时间t0处)初始谐振频率(f0)。

[0085] 在步骤32中,获得将源于预定质量累积( $\Delta m$ )的谐振频率偏移( $\Delta f$ )。这在谐振频率中限定了偏移的目标值 $\Delta f_{target}$ 。

[0086] 目标值可以基于计算来得到,或者还可以访问查找表。

[0087] 循环开始于步骤34,例如,通过开始进气(例如,利用风扇,以已知的空气流速)。在步骤36中,连续地监控谐振频率,使得谐振频率的变化 $\Delta f$ 得以被监控。

[0088] 当在步骤38中确定达到先前计算的谐振频率偏移( $\Delta f_{target}$ )时,采样结束。在步骤40中输出采样时间,即,自t0以来的时间。

[0089] 在步骤42中计算采样体积V(V=空气流速\*采样时间)。

[0090] 在步骤44中,计算颗粒浓度(C=质量/V),例如以 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 为单位。

[0091] 该方法提供了针对传感器寿命的特定数量的测量循环,而不论空气中的浓度如何。以这种方式,质量传感器可以被设计为具有消费者应用所需的可预测的寿命来直接测量空气中的颗粒浓度。

[0092] 传感器的详细设计将取决于应用条件,并且应该与期望的检测限制、期望的寿命、驱动和检测电子器件的能力(例如,操作频率范围)相关联地进行选择。

[0093] 通常,如图5所示,传感器系统包括颗粒预分类单元和进气采样设备50(例如,过滤器叠层和风扇或者其他配置)、MEMS谐振器52(如下所述)、用于驱动和读出传感器和其他系统部件的电子电路54、以及用于数据处理和存储的控制器56。例如,可以通过使用风扇和/或热对流来处理进入传感器单元的气流。

[0094] 采样进入和调节单元50被设计为考虑目标的颗粒大小范围。特定颗粒物范围(例如,PM1、PM2.5、PM10)的目标可以通过使用适当的颗粒大小预分类方法来实现;例如,网/过滤器组合或者惯性/空气动力分离。在服务寿命上一致地提供足够的采样空气体积是设计这种系统的关键参数。颗粒过滤器(诸如纤维过滤器、网、惯性或空气动力分离单元)可用于颗粒选择。

[0095] 可以通过带电颗粒在接地或相对偏置的谐振器上的静电或电泳沉淀来控制颗粒的沉积。可以作为代替地使用热泳沉淀,其包括在谐振器与计数器表面之间创建温度差。沉积可以作为代替地基于随机颗粒移动。

- [0096] 用于传送采样空气体积的风扇或泵也可以用于设计系统与该关键参数兼容。
- [0097] 选择取决于最小可检测质量、“清洁空气”中的平均颗粒浓度(基准值)、经过采样子系统中的颗粒过滤器以及最终用户要求最小颗粒浓度检测的颗粒的比值。
- [0098] MEMS谐振器可用作质量传感器元件52。谐振器可设计和制造具有适当的尺寸以实现用于提供所要求的检测限制的期望谐振频率。
- [0099] 可能的谐振器结构的示例是悬臂结构(一端被夹持,另一端自由)以及双夹持或薄膜型谐振器。
- [0100] 在静电颗粒收集的情况下,悬臂设计可以特别地关注于在悬臂尖端处提供充足的电场密度。悬臂结构可以是简单的直角形式、三角形式(对于较大的夹持区域来说)或者锤头状的形式,用于增加表面积同时保持夹持端处的小面积。
- [0101] 这些参数均影响系统的谐振行为,并且可以使用基本谐振器设计原理。
- [0102] 用于驱动和读出谐振频率的电路54还取决于谐振器的机械品质因数(Q值)、换能器选择(例如,压电、热、压阻、光学、电容等)。根据对最小可检测质量的要求,Q补偿机制可实施用于增加系统的质量分辨率。电子域中的谐振频率的检测被选择适合于致动方法。在文献中已知用于这种谐振器的电路设计的基础。
- [0103] 例如,在压电致动和感测的情况下,使用结合谐振器的电阻抗的振荡器电路。在静电/电容致动和感测的情况下,使用压控振荡电路。
- [0104] 用于数据处理和操作的控制器56也根据应用要求(诸如数据采样速率、用于计算的处理负载以及数据处理算法的实施)来进行选择和设计。
- [0105] 质量传感器提供表示特定大小范围的颗粒的浓度。该信息可用于控制空气处理设备。例如,表示高污染等级的高记录质量可以引发高容量的操作模式(例如,通过选择用于空气净化设备的高风扇速度设置),而低记录质量可引发较低容量的操作模式。以这种方式,实现能量节省,并且空气净化设备的寿命可以延长。在控制通过使用从室外进气的空间的空气特性的空气处理设备的情况下,质量传感器读数可用于调节从室外的进气,例如根据室外空气污染是否超过系统要求。
- [0106] 本发明提供了可变持续时间的感测循环。然而,可以以固定的时间段来执行每个感测循环。例如,可以每X分钟执行感测,其中X取决于在被监控环境中污染等级期望变化的速率以及受控系统(诸如空气净化器)需要响应的速度。例如,污染等级可以每1至30分钟被记录,并且各个感测循环可具有对于期望的采样间隔提供足够粒度的最大持续时间;例如,1-10秒用于1分钟的采样间隔,或者1-10分钟用于30分钟的采样间隔。
- [0107] 采样间隔还可以取决于环境中“用户”的存在;例如,可以在用户不在而没有连续操作处理单元时进一步延长采样间隔。
- [0108] 然后,控制器将指示传感器每X分钟进行读出操作。对于给定值X,机械传感器的总寿命将基本恒定。
- [0109] 然而,可以通过用户设置传感器测量的频率,或者还可以取决于传感器的特定用法,例如根据响应于质量传感器读数的变化期望进行如何快速的变化。
- [0110] 传感器读数可提供给用户作为输出,例如使用显示屏幕。然后,用户可以相应地处理和对信息作出响应,并且质量传感器可以是独立的传感器设备。可替换地,传感器读数可用作较大系统内的内部控制参数,其响应于检测的污染等级而自动地反应。该较大系统可

以是空气净化器或其他空气质量控制系统。

[0111] 各个测量循环根据污染等级为可变持续时间的事实将不被用户所感知。可变持续时间仅仅意味着不同的传感器测量具有所要求不同时间段的传感器操作。优势是可以更精确地指定传感器的总寿命。

[0112] 上面参照谐振质量传感器描述了本发明，并且这在以低成本用于消费者应用的实施时尤其引入关注。然而，对于依赖于在感测循环期间的累积质量分析的任何质量传感器，产生该不可预测寿命的问题。随着累积质量的增加，感测循环期间的质量相对变化变得减小，使得分辨率随着老化而下降，直到达到极限。类似地，可能存在对可通过传感器设计累积的质量的量的绝对限制。

[0113] 第一可选方法是测量累积质量的热容量。这是另一相对简单的方法，但是精度取决于气溶胶的热特性，这可能是未知的。

[0114] 第二可选方法是测量辐射衰减。该方法例如在 $\beta$ 衰减监控器中已知。测量将是精确的，但是该方法要求辐射源，这对于消费者设备来说是不实际的。因此，该方法更适合于专业测量系统。然而，MEMS级的X射线发生器开始出现在文献中，这提供了用于消费者设备的潜力。

[0115] 第三可选方法是使用累积质量的光学监控。

[0116] 本发明可应用于空气净化器、单独的颗粒传感器单元、个人暴露监控设备、车厢颗粒测量传感器、用于户外使用的颗粒传感器（作为单独的传感器单元，或者例如用于城市管理的灯柱的传感器）、通风单元、建筑物气候管理系统的各个部分以及各种通用类型的质量传感器。还在呼吸支持和药物传输应用中具有医疗应用。

[0117] 上述示例基于PM2.5颗粒的检测，但是本发明可应用于PM10、PM1颗粒或者超细颗粒的其他类别。

[0118] 上述示例基于MEMS谐振器。然而，该方法可基于其他微谐振器，例如薄膜设备（类似于电容式微机械超声换能器）或石英晶体微天平（QCM）。谐振器可以是体声波（BAW）谐振器或表面声波谐振器（SAW）。

[0119] 系统利用控制器。可用于控制器的部件包括但不限于传统的微处理器、专用集成电路（ASIC）和现场可编程门阵列（FPGA）。

[0120] 在各个实施方式中，处理器或控制器可以与一个或多个存储介质（诸如非易失性计算机存储器，诸如RAM、PROM、EPROM和EEPROM）相关联。存储介质可以利用一个或多个程序来编码，该一个或多个程序当在一个或多个处理器和/或控制器行执行程序时执行所要求的功能。各个存储介质可固定在处理器或控制器内或者可以是便携式的，使得存储于其上的一个或多个程序可以加载到处理器或控制器中。

[0121] 本领域技术人员在研究附图、公开和所附权利要求之后在实践本发明的基础上可以理解和实现对所公开实施例的其他变化。在权利要求中，词语“包括”不排除其他元件或步骤，并且不定冠词“一个”不排除多个。在相互不同的从属权利要求中引用的特定措施的仅有事实并不表示这些措施的组合不可用于获利。权利要求中的任何参考符号不解释为限制范围。

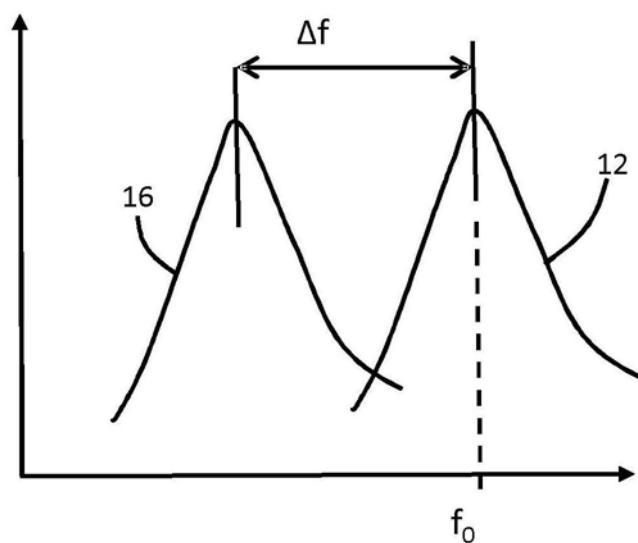
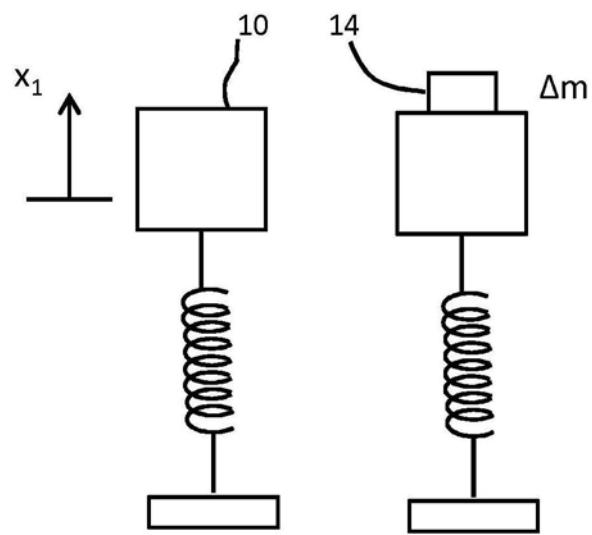


图1

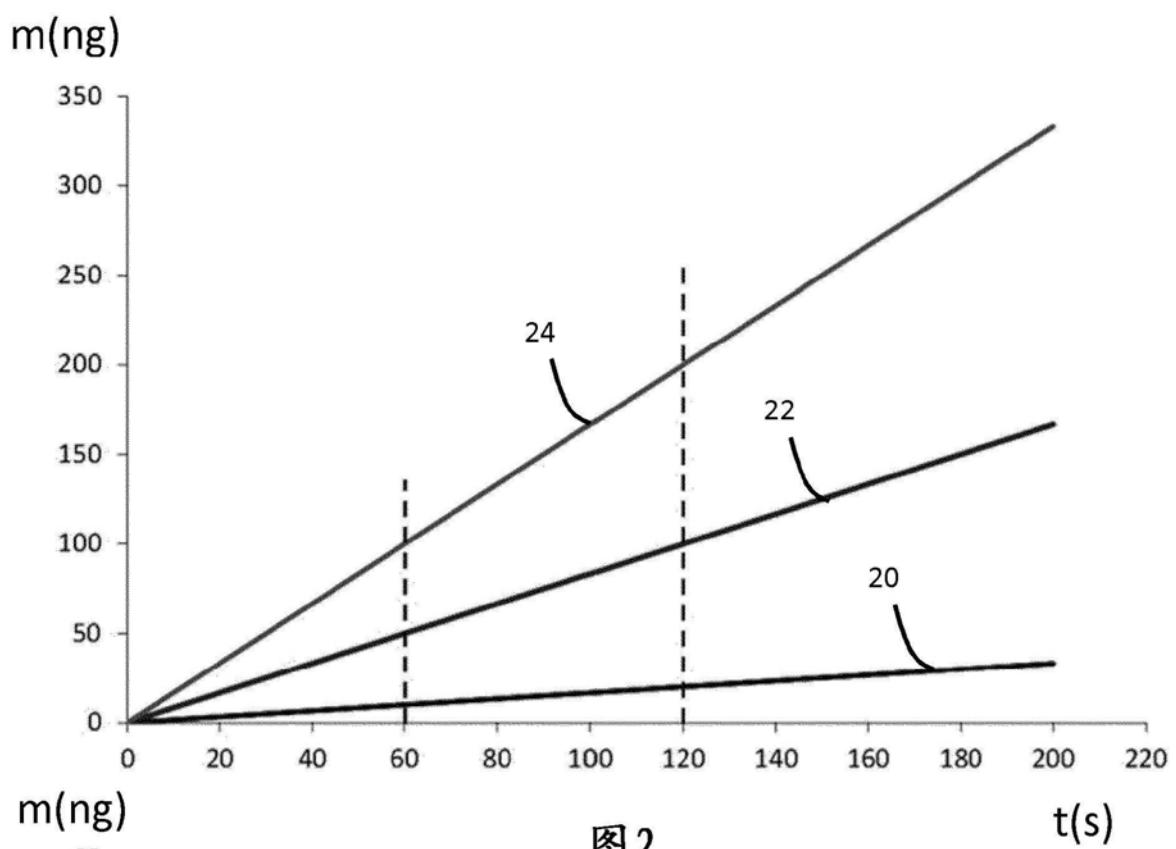


图 2

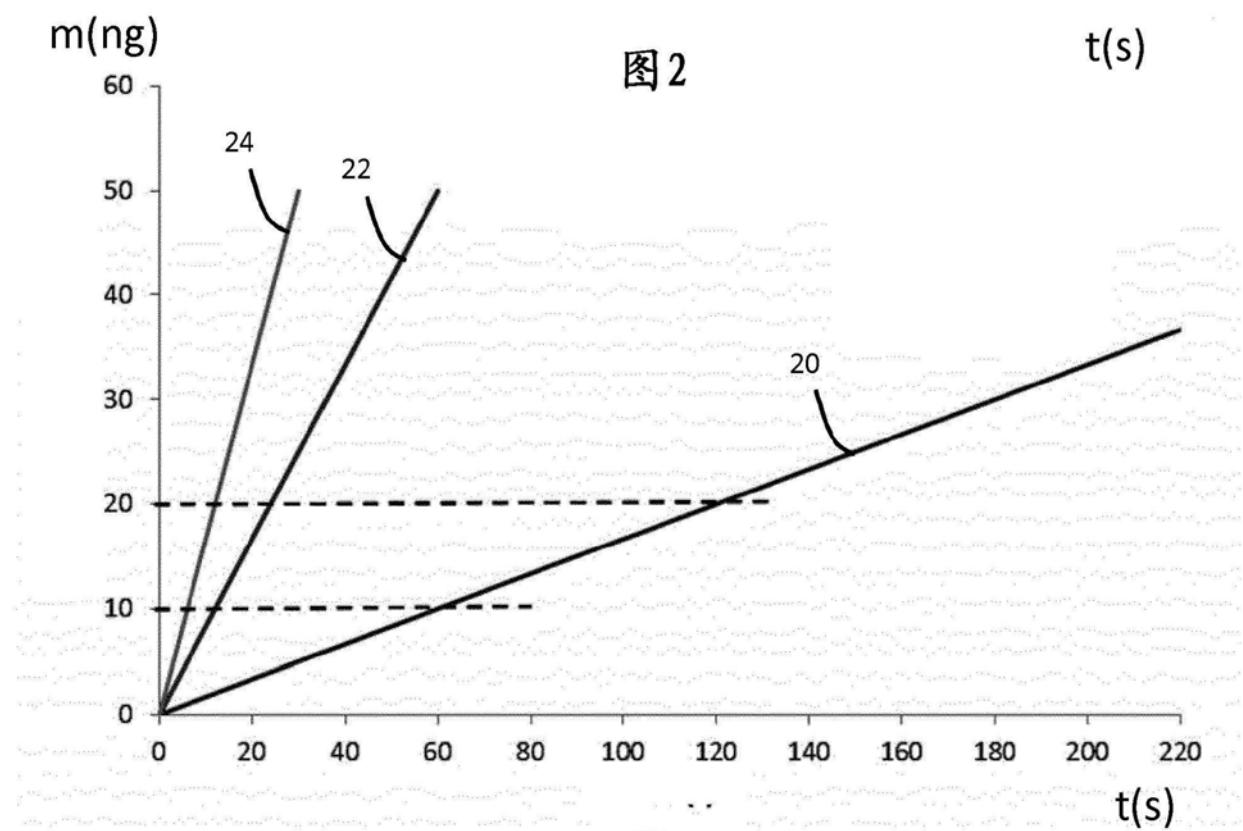


图 3

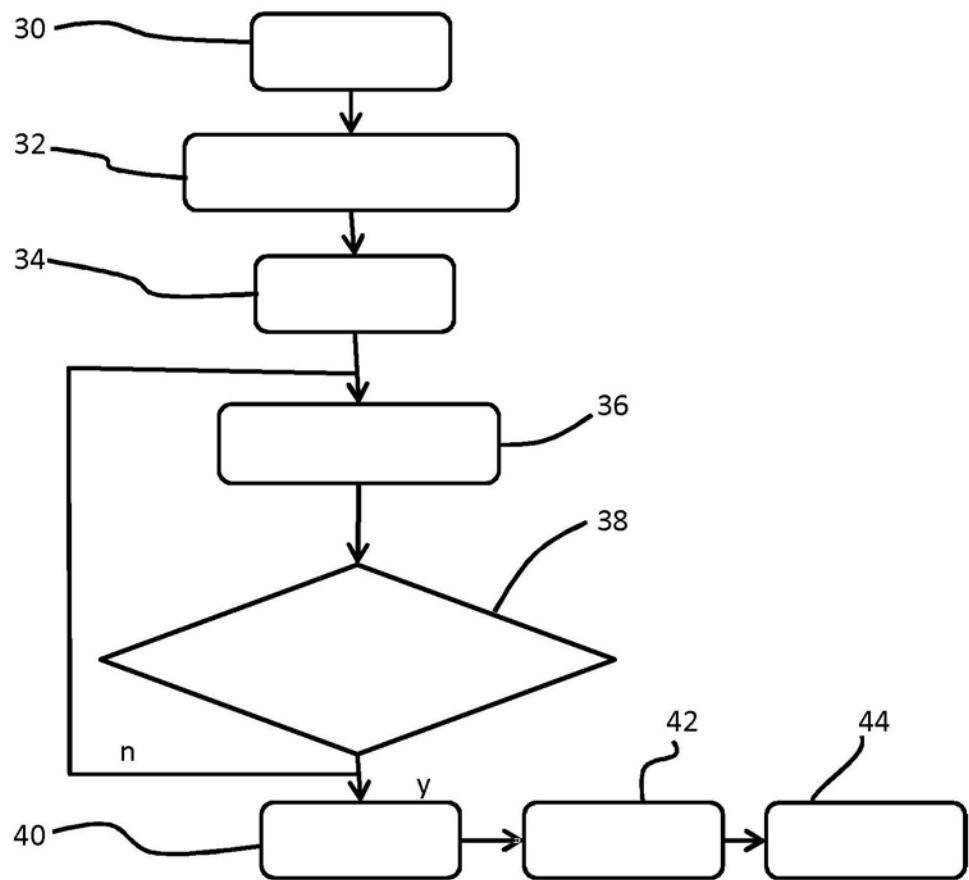


图4

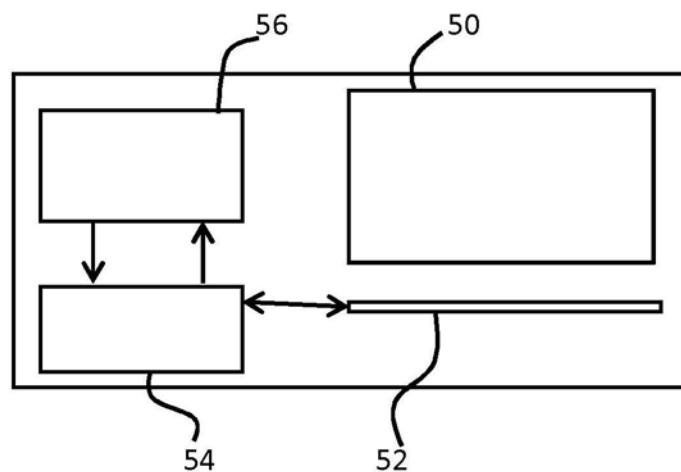


图5