



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107709965 B

(45) 授权公告日 2021.06.08

(21) 申请号 201680032915.8

(22) 申请日 2016.05.31

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107709965 A

(43) 申请公布日 2018.02.16

(30) 优先权数据  
15170755.1 2015.06.05 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2017.12.05

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/EP2016/062231 2016.05.31

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02016/193246 EN 2016.12.08

(73) 专利权人 皇家飞利浦有限公司  
地址 荷兰艾恩德霍芬

(72) 发明人 J. 马拉

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司  
72001

代理人 马步天 陈岚

(51) Int.Cl.  
G01N 15/00 (2006.01)  
G01N 15/06 (2006.01)

(56) 对比文件  
TW 328112 B, 1998.03.11  
US 2014251813 A1, 2014.09.11  
US 2014131204 A1, 2014.05.15  
US 2014102948 A1, 2014.04.17  
CN 1869648 A, 2006.11.29  
谢志辉等. 放电等离子体联合其它物化方法处理VOCs技术的研究进展.《高压电器》. 2004, 第40卷(第6期), 第449-452页.

审查员 蒋佳春

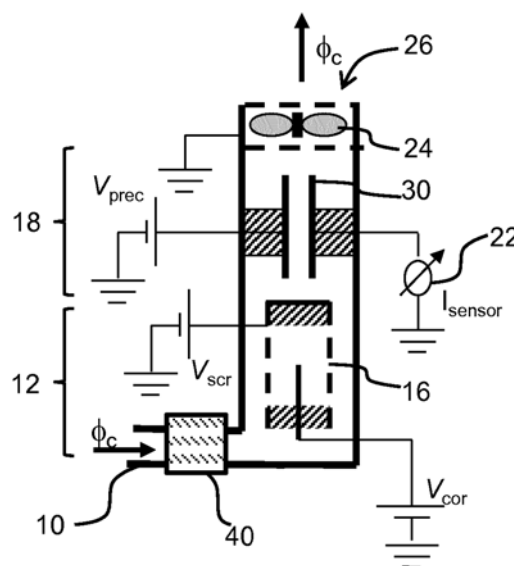
权利要求书3页 说明书9页 附图4页

(54) 发明名称

颗粒传感器和感测方法

(57) 摘要

一种颗粒传感器包括静电颗粒加电区段和平行板颗粒沉淀区段,以及用于检测所沉淀的颗粒以产生传感器信号的传感器。预过滤器放置在颗粒加电区段的上游。预过滤器特性使得响应于没有被预过滤器过滤掉的夹带颗粒的传感器信号通过校准常数 $S$ 与进入颗粒传感器的颗粒的表观颗粒数目浓度 $N_{app}$ 有关,相比于在缺失预过滤器时存在的对于进入颗粒传感器的颗粒的计数平均颗粒直径 $d_{p,av}$ 的依赖性而言,该校准常数 $S$ 不那么依赖于 $d_{p,av}$ 。因而,从平行板沉淀区段中的颗粒沉积得到的传感器信号对颗粒大小分布的依赖性(该依赖性由沉淀区段中的非完全颗粒沉积引起)至少部分地通过预过滤器而补偿,该预过滤器具有其过滤功能对颗粒大小的适当依赖性。



1. 一种颗粒传感器,包括:

用于接收具有夹带的颗粒的气体流的输入部;

静电颗粒加电区段(12);

平行板颗粒沉淀区段(18);以及

用于检测所沉淀的颗粒以产生传感器信号的传感器,

其中所述传感器信号 $I_{sensor}$ 通过校准常数 $S_1$ 与进入加电区段(12)的气体流中的颗粒的表观颗粒数目浓度 $N_{app}$ 有关,使得 $I_{sensor}=f(N_{app}, S_1)$ ,所述校准常数 $S_1$ 根据以下第一关系依赖于进入所述加电区段(12)的所述气体流中的颗粒的计数平均直径 $d_{p,av(cs)}$ :

$$S_1 = f_1(d_{p,av(cs)}),$$

其中所述颗粒传感器包括定位在所述加电区段(12)的上游的预过滤器(40),所述预过滤器能够从进入所述预过滤器的气体流中过滤颗粒的部分,颗粒过滤的分数程度 $\eta$ 根据以下第二关系依赖于进入所述预过滤器的颗粒的计数平均颗粒直径 $d_{p,av}$ :

$$\eta = f_2(d_{p,av}), \text{ 并且}$$

其中预过滤器特性使得响应于没有被所述预过滤器过滤掉的夹带的颗粒而产生的传感器信号通过校准常数 $S$ 与进入所述预过滤器的颗粒的表观颗粒数目浓度 $N_{app}$ 有关,所述校准常数 $S$ 根据以下第三关系依赖于进入所述预过滤器的颗粒的计数平均直径 $d_{p,av}$ :

$$S = f_3(d_{p,av}),$$

相比于所述第一关系,对于25nm到100nm的计数平均直径的范围,所述第三关系不那么依赖于相应的计数平均直径,使得从所述平行板沉淀区段获得的传感器信号对其输入部处的颗粒大小分布的依赖性至少部分地得以补偿,以便所述传感器信号不那么依赖于所述颗粒传感器的输入部处的颗粒大小分布。

2. 根据权利要求1所述的颗粒传感器,其中所述第一关系能够通过以下线性关系进行近似:

$$S_1 = A_1 \cdot d_{p,av(cs)} + B_1$$

其中 $A_1$ 和 $B_1$ 是依赖于所述平行板颗粒沉淀区段的设计、所施加的颗粒沉淀电压和气体流速的正常数。

3. 根据权利要求1或2所述的颗粒传感器,其中所述预过滤器包括活性炭过滤器。

4. 根据权利要求3所述的颗粒传感器,其中所述预过滤器具有每0.1升/分钟的所采样气体流至少1ml的体积。

5. 根据权利要求2、3或4所述的颗粒传感器,其中所述第二关系能够根据以下幂关系进行近似:

$$\eta = \frac{A_2}{(d_{p,av})^{B_2}}$$

其中 $A_2$ 和 $B_2$ 是依赖于通过所述预过滤器的气体流速度和所述预过滤器的特性的正常数。

6. 根据权利要求5所述的颗粒传感器,其中所述平行板颗粒沉淀区段、所述预过滤器以

及操作气体流速度设计成使得由所述第三关系根据以下近似函数给定的校准常数S在范围 $25\text{nm} \leq d_{p,av} \leq 50\text{nm}$ 内达到最小值:

$$S = \frac{A_1 d_{p,av} + B_1}{1 - \frac{A_2}{(d_{p,av})^{B_2}}}。$$

7. 一种设计颗粒传感器的方法,所述方法包括以下步骤:

设计静电颗粒加电区段(12)和平行板颗粒沉淀区段(18);

选择用于检测所沉淀的颗粒以产生传感器信号的传感器,其中所述传感器信号通过校准常数 $S_1$ 与进入静电加电区段的颗粒的表观颗粒数目浓度 $N_{app}$ 有关,使得 $I_{sensor} = f(N_{app}, S_1)$ ,所述校准常数 $S_1$ 根据以下第一关系依赖于进入加电区段的气体流中的颗粒的计数平均直径 $d_{p,av(cs)}$ :

$$S_1 = f_1(d_{p,av(cs)}), \text{ 以及}$$

设计用于定位在所述加电区段(12)的上游的预过滤器(40),并且其中所述预过滤器具有进入所述预过滤器的气体流中的颗粒的计数平均直径 $d_{p,av}$ 与所述预过滤器内的颗粒沉积的分数程度 $\eta$ 之间的第二关系:

$$\eta = f_2(d_{p,av}),$$

其中所述方法包括选择预过滤器特性使得响应于没有被所述预过滤器过滤掉的夹带的颗粒的所述传感器信号通过校准常数S与进入所述预过滤器的颗粒的表观颗粒数目浓度 $N_{app}$ 有关,所述校准常数S根据以下第三关系依赖于进入所述预过滤器的颗粒的计数平均直径 $d_{p,av}$ :

$$S = f_3(d_{p,av}),$$

所述第三关系相比于所述第一关系不那么依赖于相应的计数平均直径。

8. 根据权利要求7所述的方法,其中所述第一关系能够通过以下线性关系进行近似:

$$S_1 = A_1 \cdot d_{p,av(cs)} + B_1$$

其中 $A_1$ 和 $B_1$ 是依赖于平行板沉淀区段的设计、沉淀电压和流速的正常数。

9. 根据权利要求7或8所述的方法,其中所述第二关系能够通过以下幂关系进行近似:

$$\eta = \frac{A_2}{(d_{p,av})^{B_2}}$$

其中 $A_2$ 和 $B_2$ 是依赖于通过所述预过滤器的气流速度和所述预过滤器的特性的正常数。

10. 根据权利要求9所述的方法,其中所述平行板沉淀区段、所述预过滤器以及操作气流速度设计成使得由所述第三关系根据以下近似函数给定的校准常数S在范围 $25\text{nm} \leq d_{p,av} \leq 50\text{nm}$ 内达到最小值:

$$S = \frac{A_1 d_{p,av} + B_1}{1 - \frac{A_2}{(d_{p,av})^{B_2}}}。$$

11. 一种颗粒感测方法,包括以下步骤:

接收具有夹带的颗粒的气体流;

使所述气体流穿过预过滤器(40),其中所述预过滤器根据以下第二关系具有进入所述预过滤器的所述气体流中的颗粒的计数平均颗粒直径 $d_{p,av}$ 与所述预过滤器内的颗粒沉积的分数程度 $\eta$ 之间的预过滤器关系:

$$\eta = f_2(d_{p,av});$$

使经预过滤的气体流穿过静电颗粒加电区段(12);以及

使用平行板颗粒沉淀区段(18),检测所沉淀的颗粒的电荷以产生传感器信号,

其中所述传感器信号通过校准常数 $S_1$ 与进入静电加电区段的颗粒的表观颗粒数目浓度 $N_{app}$ 有关,使得 $I_{sensor} = f(N_{app}, S_1)$ ,所述校准常数根据以下第一关系依赖于进入所述静电加电区段的颗粒的计数平均颗粒直径 $d_{p,av(cs)}$ :

$$S_1 = f_1(d_{p,av(cs)}),$$

其中响应于没有被所述预过滤器过滤掉的夹带颗粒的传感器信号通过校准常数 $S$ 与进入所述预过滤器的颗粒的表观颗粒数目浓度 $N_{app}$ 有关,所述校准常数 $S$ 根据以下第三关系不那么依赖于进入所述预过滤器的颗粒的计数平均直径 $d_{p,av}$ :

$$S = f_3(d_{p,av}),$$

对于25nm到100nm的计数平均直径的范围,所述第三关系相比于所述第一关系不那么依赖于相应的计数平均直径,使得从所述平行板沉淀区段获得的传感器信号对其输入部处的颗粒大小分布的依赖性至少部分地得以补偿,以便所述传感器信号不那么依赖于所述颗粒传感器的输入部处的颗粒大小分布。

12. 根据权利要求11所述的方法,其中所述第一关系能够通过以下线性关系进行近似:

$$S_1 = A_1 \cdot d_{p,av(cs)} + B_1$$

其中 $A_1$ 和 $B_1$ 是依赖于所述平行板颗粒沉淀区段的设计、沉淀电压和流速的正常数。

13. 根据权利要求11或12所述的方法,其中所述第二关系能够通过以下幂关系进行近似:

$$\eta = \frac{A_2}{(d_{p,av})^{B_2}}$$

其中 $A_2$ 和 $B_2$ 是依赖于通过所述预过滤器的气流速度和所述预过滤器的特性的正常数。

14. 根据权利要求13所述的方法,其中平行板沉淀区段、所述预过滤器以及操作气流速度设计成使得由所述第三关系根据以下近似函数给定的校准常数 $S$ 在范围 $25\text{nm} \leq d_{p,av} \leq 50\text{nm}$ 内达到最小值:

$$S = \frac{A_1 d_{p,av} + B_1}{1 - \frac{A_2}{(d_{p,av})^{B_2}}}.$$

## 颗粒传感器和感测方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及颗粒传感器,其特别地用于确定空气所带的超细颗粒(“UFP”)的表观颗粒数目浓度(即,每单位体积的颗粒的表观数目)。

### 背景技术

[0002] 这种类型的已知颗粒传感器典型地包括用于建立通过传感器的气流的构件(例如,通风机或泵)。气流随后穿过具有用于对空气所带的颗粒在电学上加电的离子化电极的颗粒加电区段,以及用于从流中基本上移除所有空气所带的颗粒的颗粒沉淀区段。

[0003] 传感器还包括颗粒测量区段,所述颗粒测量区段具有用于测量电流(electrical current) ( $I_{sensor}$ )的电流计,所述电流( $I_{sensor}$ )源自于颗粒沉淀区段中每单位时间的颗粒束缚电荷的沉积。

[0004] 通过所测量的电流( $I_{sensor}$ ),可以基于以下等式来计算所谓的表观超细颗粒数目浓度( $N_{app}$ ):

$$[0005] \quad N_{app} = S \cdot I_{sensor} \quad (1)$$

[0006] 在以上等式中, $S$ 表示校准常数。表观超细颗粒数目浓度( $N_{app}$ )等于颗粒长度浓度(即,当单位空气体积中的所有空气所带的UFP将作为串而在那里排列时,所述单位空气体积中的所有空气所带的UFP的串的总长度)与预确定的平均颗粒直径( $d_{p,av}^*$ )的比值。此处,平均颗粒直径表示算术平均颗粒直径,其还被称作计数平均颗粒直径。对于UFP,等式(1)有效,而与在基本上所有加电的空气所带的颗粒沉积于颗粒沉淀区段中时 $d_{p,av}^*$ 的值无关。

[0007] 颗粒沉淀区段可以包括设置在法拉第笼内的机械颗粒过滤器或者平行板静电颗粒沉淀器。从可制造性的观点来看,后者要比前者更优选。还合期望的是使用具有小尺寸的传感器设计。然而,这种选择仅允许所有加电的空气所带的UFP的部分沉淀,在增加的UFP大小下特别是如此。特别地,难以确保将从所采样的气流中移除基本上所有的加电的空气所带的颗粒,因为这要求应用高颗粒沉淀电压(大于100V,这从电子的观点来看是不具吸引力的)和/或小的流速(小于每分钟0.3升,这减少灵敏性)和/或颗粒沉淀器内的长的沉淀长度(这导致大的设备大小)。

[0008] 因而,当使用平行板静电沉淀器时,可能意味着,并非所有加电的空气所带的颗粒都将从所采样的气流中移除,并且这妨碍了依据 $N_{app}$ 的对 $I_{sensor}$ 的明确解释,在所采样的颗粒的计数平均直径 $d_{p,av}$ 未知时特别是如此。

[0009] 因此存在对于一种颗粒传感器设计的需要,其中传感器电流可以依据颗粒长度浓度更加正确地解释,甚至是在没有在传感器的颗粒沉淀区段中沉淀来自所采样的气流的所有加电的颗粒的情况下。

### 发明内容

[0010] 本发明由权利要求书限定。

[0011] 根据依照本发明的一方面的示例,提供了一种颗粒传感器,包括:

[0012] 用于接收具有夹带的颗粒的气体流的输入部;

[0013] 静电颗粒加电区段;

[0014] 平行板颗粒沉淀区段;以及

[0015] 用于检测所沉淀的颗粒以产生传感器信号的传感器,

[0016] 其中传感器信号 $I_{sensor}$ 通过校准常数 $S_1$ 与进入加电区段的气体流中的颗粒的表观颗粒数目浓度 $N_{app}$ 有关,使得 $I_{sensor} = f(N_{app}, S_1)$ ,该校准常数 $S_1$ 根据以下第一关系依赖于进入加电区段的气体流中的颗粒的计数平均直径 $d_{p,av(cs)}$ :

$$[0017] \quad S_1 = f_1(d_{p,av(cs)}),$$

[0018] 其中颗粒传感器包括定位在加电区段的上游的预过滤器,该预过滤器能够过滤来自进入预过滤器的气体流的颗粒的部分,颗粒过滤的分数程度 $\eta$ 根据以下第二关系依赖于进入预过滤器的颗粒的计数平均颗粒直径 $d_{p,av}$ :

$$[0019] \quad \eta = f_2(d_{p,av}), \text{ 并且}$$

[0020] 其中预过滤器特性使得响应于没有被预过滤器过滤掉的夹带颗粒而产生的传感器信号通过校准常数 $S$ 与进入预过滤器的颗粒的表观颗粒数目浓度 $N_{app}$ 有关,该校准常数 $S$ 根据以下第三关系依赖于进入预过滤器的颗粒的计数平均直径 $d_{p,av}$ :

$$[0021] \quad S = f_3(d_{p,av}),$$

[0022] 相比于第一关系,第三关系不那么依赖于相应的计数平均直径。

[0023] 这种传感器设计利用预过滤器以使得整体传感器设备(即,预过滤器、颗粒加电区段和平行板颗粒沉淀区段)的响应与颗粒大小分布的细节更无关,因为这种大小分布信息一般是未知的。以该方式,从平行板沉淀器中的所沉淀的加电颗粒获得的传感器信号对其输入部处的颗粒大小分布的不合期望的依赖性至少部分地得以补偿,使得传感器信号不那么依赖于(或者根本就不依赖于)整体传感器设备的输入部处的颗粒大小分布。校准常数然后可以用于使传感器信号与进入整体传感器设备的输入部的所采样的气体流中的表观颗粒数目浓度相关。“不那么依赖于”可以理解为对校准值 $S$ 关于计数平均颗粒直径的函数做出了最佳拟合线的较浅梯度。

[0024] 必须使用近似来表征预过滤器和传感器响应,以便尝试至少部分地移除传感器信号针对所采样的气体流中的颗粒长度浓度的任何给定值下的计数平均颗粒直径的依赖性。因而,依赖性通常将不被完全移除。优选地,在最感兴趣的计数平均颗粒直径 $d_{p,av}$ 的范围内(例如,25nm到100nm),从传感器变换因数(早前限定为校准常数 $S$ )的恒定值的最大偏离小于25%并且更优选地小于15%。相比于在所述第一关系中,依赖性较小,该第一关系存在于预过滤器缺失时,并且目标是在物理限度内尽可能多地移除对 $d_{p,av}$ 的这种依赖性,所述物理限度依赖于预过滤器和颗粒沉淀区段的行为。

[0025] 第一关系例如可以通过以下线性关系进行近似:

$$[0026] \quad S_1 = A_1 \cdot d_{p,av(cs)} + B_1 \quad (3)$$

[0027] 其中 $A_1$ 和 $B_1$ 是依赖于平行板颗粒沉淀区段的设计、沉淀电压和流速的正常数。

[0028] 通过测试平行板沉淀区段的实际设计并且然后拟合该线性函数,可以通过实验找

到参数 $A_1$ 和 $B_1$ 。

[0029] 预过滤器可以包括活性炭过滤器,并且它可以具有每0.1升/分钟的采样气流至少1ml的体积。

[0030] 第二关系可以例如通过以下幂关系进行近似:

$$[0031] \quad \eta = \frac{A_2}{(d_{p,av})^{B_2}} \quad (4)$$

[0032] 其中 $A_2$ 和 $B_2$ 是依赖于通过预过滤器的气流速度和预过滤器的特性的正常数。通过对预过滤器设计进行测试或建模并且然后利用该幂关系拟合结果,可以基于针对预过滤器而选择的设计选项来确定参数 $A_2$ 和 $B_2$ 。

[0033] 平行板颗粒沉淀区段、预过滤器设计以及操作气流速度优选地设计成使得由以下近似函数给定的校准常数 $S$ 在范围 $25\text{nm} \leq d_{p,av} \leq 50\text{nm}$ 内达到最小值:

$$[0034] \quad S = \frac{A_1 d_{p,av} + B_1}{1 - (A_2/d_{p,av}^{B_2})} \quad (8)$$

[0035] 以该方式,由于预过滤器的存在,整体校准常数 $S$ 变得与校准常数 $S_1$ 相比不那么依赖于 $d_{p,av}$ 。所实现的依赖性减少源自于预过滤器的设计细节与平行板沉淀区段的设计以及所应用的工艺条件的组合。

[0036] 依照本发明的另一方面,提供了一种设计颗粒传感器的方法,该方法包括以下步骤:

[0037] 设计静电颗粒加电区段和平行板颗粒沉淀区段;

[0038] 选择用于检测所沉淀的颗粒以产生传感器信号的传感器,其中传感器信号通过校准常数 $S_1$ 与进入静电加电区段的颗粒的表观颗粒数目浓度 $N_{app}$ 有关,使得 $I_{sensor} = f(N_{app}, S_1)$ ,该校准常数 $S_1$ 根据以下第一关系依赖于进入加电区段的气体流中的颗粒的计数平均直径 $d_{p,av(cs)}$ :

$$[0039] \quad S_1 = f_1(d_{p,av(cs)}), \text{ 以及}$$

[0040] 设计用于定位在加电区段的上游的预过滤器,并且其中预过滤器具有预过滤器内的颗粒沉积的分数程度 $\eta$ 与进入预过滤器的气体流中的颗粒的计数平均直径 $d_{p,av}$ 之间的第二关系:

$$[0041] \quad \eta = f_2(d_{p,av}),$$

[0042] 其中该方法包括选择预过滤器特性使得响应于没有被预过滤器过滤掉的夹带的颗粒的传感器信号通过校准常数 $S$ 与进入预过滤器的颗粒的表观颗粒数目浓度 $N_{app}$ 有关,该校准常数 $S$ 根据以下第三关系依赖于进入预过滤器的颗粒的计数平均直径 $d_{p,av}$ :

$$[0043] \quad S = f_3(d_{p,av}),$$

[0044] 该第三关系相比于第一关系不那么依赖于相应的计数平均直径。

[0045] 如上文所解释的,这种设计方案产生了一种传感器,其中从平行板沉淀区段中的所沉积的加电颗粒获得的传感器信号不那么依赖于整体传感器设备的输入部处的颗粒大小分布,优选地,达到下述程度:在可接受的精确程度内,不需要考虑颗粒大小分布的详情。

[0046] 依照本发明的另一方面,提供了一种颗粒感测方法,包括:

[0047] 接收具有夹带颗粒的气体流;

[0048] 使气体流穿过预过滤器,其中预过滤器具有根据以下第二关系的、预过滤器内的颗粒沉积的分数程度 $\eta$ 与进入预过滤器的气体流中的颗粒的计数平均颗粒直径 $d_{p,av}$ 之间的预过滤器关系:

$$[0049] \quad \eta = f_2(d_{p,av});$$

[0050] 使经预过滤的气体流穿过静电颗粒加电区段;以及

[0051] 使用平行板颗粒沉淀区段,检测所沉淀的颗粒的电荷以便产生传感器信号,

[0052] 其中传感器信号通过校准常数 $S_1$ 与进入静电加电区段的颗粒的表观颗粒数目浓度 $N_{app}$ 相关,使得 $I_{sensor} = f(N_{app}, S_1)$ ,该校准常数根据以下第一关系依赖于进入静电加电区段的颗粒的计数平均颗粒直径 $d_{p,av(cs)}$ :

$$[0053] \quad S_1 = f_1(d_{p,av(cs)}),$$

[0054] 其中响应于没有被预过滤器过滤掉的夹带颗粒的传感器信号通过校准常数 $S$ 与进入预过滤器的颗粒的表观颗粒数目浓度 $N_{app}$ 有关,该校准常数 $S$ 根据以下第三关系不那么依赖于进入预过滤器的颗粒的计数平均直径 $d_{p,av}$ :

$$[0055] \quad S = f_3(d_{p,av}),$$

[0056] 该第三关系相比于第一关系不那么依赖于相应的计数平均直径。

## 附图说明

[0057] 现在将参照附图来详细地描述本发明的示例,在附图中:

[0058] 图1示出了已知颗粒传感器的第一示例;

[0059] 图2示出了已知颗粒传感器的第二示例;

[0060] 图3示出了校准值 $S_1$ 如何依赖于外来颗粒的计数平均直径 $d_{p,av}$ ,所述校准值 $S_1$ 使图2的设计中的传感器信号与外来颗粒浓度相关;

[0061] 图4示出了依照本发明的颗粒传感器的第一示例;

[0062] 图5示出了要由图4的颗粒传感器中的预过滤器满足的过滤关系的示例;以及

[0063] 图6示出了校准常数 $S$ 如何关于颗粒传感器中所包括的预过滤器的设计而变得不那么依赖于进入颗粒传感器的颗粒的计数平均直径 $d_{p,av}$ 的示例,所述校准常数 $S$ 使图4的颗粒传感器设计中的传感器信号与进入颗粒传感器的气体流中的颗粒的浓度相关。

## 具体实施方式

[0064] 本发明提供了一种颗粒传感器,包括静电颗粒加电区段和平行板颗粒沉淀区段,以及用于检测所沉淀的颗粒以产生传感器信号的传感器。预过滤器放置在加电区段之前。预过滤器特性使得响应于没有被预过滤器过滤掉的夹带的颗粒的传感器信号通过校准常数 $S$ 与颗粒传感器输入部处的表观颗粒数目浓度 $N_{app}$ 有关,相比于其中不存在预过滤器情况而言,所述校准常数 $S$ 不那么依赖于进入颗粒传感器的气体流中的颗粒的计数平均直径 $d_{p,av}$ 。因而,从沉淀区段中的所沉淀的颗粒得到的传感器信号对颗粒大小分布的依赖性(其



由不同颗粒大小下的颗粒沉淀的不同程度而引起)通过预过滤器而至少部分地补偿,该预过滤器拥有它的颗粒过滤函数对颗粒大小的适当依赖性。

[0065] 将首先更加详细地描述已知电气超细颗粒(UFP)传感器的设计和操作。这些传感器例如测量在介于大约10nm和500nm之间的颗粒大小范围中的颗粒。

[0066] 最基本的传感器实现方式在图1中示出。

[0067] 传感器包括用于接收流速 $\phi_c$ 下的空气的入口10。

[0068] UFP加电区段12包括被多孔屏电极16围绕的空气离子化高电压电极14。

[0069] 进一步下游的是UFP沉淀区段18,其包括含有颗粒过滤器的法拉第笼20,所述颗粒过滤器能够从穿过UFP传感器的所采样的气流中基本上过滤所有的空气所带的颗粒。

[0070] 电流计22连接到法拉第笼。它测量在每单位时间沉积在法拉第笼内部的颗粒束缚电荷的量,作为电流 $I_{sensor}$ 。 $I_{sensor}$ 构成传感器信号。

[0071] 存在用于使包括空气所带的UFP的采样气流移动通过传感器的构件24。这可以是通风机、泵或者离子风。存在以流速 $\phi_c$ 排出空气的空气流出口26。

[0072] 如上文所提及的,所采样气流中的所推断的表观UFP数目浓度 $N_{app}$ 根据以下而与所测量的 $I_{sensor}$ 有关:

$$[0073] \quad N_{app} = S \cdot I_{sensor} \quad (1)$$

[0074] 这意味着一般 $I_{sensor} = f(N_{app}, S)$ 。

[0075] S是校准常数,其基本上与颗粒大小分布的细节无关并且因而基本上与计数平均UFP直径 $d_{p,av}$ 无关。此外,将表观颗粒数目浓度 $N_{app}$ 限定为:

$$[0076] \quad N_{app} = \frac{Nd_{p,av}}{d_{p,av}^*} \quad (2)$$

[0077] N是总UFP数目浓度, $d_{p,av}$ 是计数平均颗粒直径,并且 $d_{p,av}^*$ 可以是任何预选择的默认平均颗粒直径(通常 $d_{p,av}^* = 50\text{nm}$ )。

[0078] 因而, $N_{app}$ 与N和 $d_{p,av}$ 的乘积成比例。乘积 $Nd_{p,av}$ 表示颗粒长度浓度( $\text{m}/\text{m}^3$ )。仅知晓 $N_{app}$ 足以评估UFP相关联的空气污染水平的相对严重性。对于此目的而言,并不要求分别知晓N和 $d_{p,av}$ 二者。

[0079] 等式2对于平均UFP颗粒大小范围 $25\text{nm} \leq d_{p,av} \leq 120\text{nm}$ 是有效的。该范围涵盖了遍及UFP直径范围 $10\text{nm} \leq d_p \leq 500\text{nm}$ 而典型遇到的UFP大小分布。

[0080] 替代于在图1中示出的UFP传感器实施例,可以使用图2中的可替换实施例。

[0081] 针对相同组件而使用与图1中相同的参考标记。替代于法拉第笼20,提供了平行板静电颗粒沉淀器30,并且将电流计22附连到板电极,加电颗粒沉淀到该板电极上。平行板沉淀器例如可以体现为两个平行的平坦电极板或者包括被外电极围绕的内电极的同心电极组。可替换的实施例对于本领域技术人员将是显而易见的。

[0082] 假设所有空气所带的加电UFP都沉淀,则以上等式(等式1和2)仍然适用。

[0083] 当UFP传感器要以低成本和小尺寸大规模生产时,出于方便组装的目的,代替于图1中的实施例而使用图2中的实施例是优选的。

[0084] 如上文所提及的,当使用平行板静电沉淀器时,有可能意味着,并非所有空气所带

的颗粒都将从所采样的气流移除,并且这妨碍了依据 $N_{app}$ 对 $I_{sensor}$ 的明确解释。

[0085] 图3示出了,当仅有部分的空气所带的UFP沉淀在传感器沉淀区段中时,在 $\phi_c$ 和 $V_{prec}$ 的不同值下的等式1中的 $d_{p,av}$ 与校准值 $S_1$ 之间的关系的示例。 $V_{prec}$ 是跨过面对彼此的两个平行板电极施加的电压。

[0086] 图3(a)中所有的曲线图(plot)都针对 $\phi_c=0.6$ 升/分钟的流速,但是如所示出的具有三个不同值的 $V_{prec}$ 。无穷值的 $V_{prec}$ 涉及理想(但不实际)的情况,其中发生完全的颗粒沉淀并且它给出与 $d_{p,av}$ 无关的 $S_1$ 的期望恒定值。图3(a)和3(b)中的实线适用于大小分布的宽度中的标准偏差 $\sigma=1.7$ 的对数正态颗粒大小分布。虚线适用于标准偏差 $\sigma=2.1$ 的对数正态颗粒大小分布,而点线适用于标准偏差 $\sigma=1.3$ 的对数正态颗粒大小分布。从图3(a)清楚的是, $S_1$ 主要是 $d_{p,av}$ 的函数并且基本上与 $\sigma$ 无关。

[0087] 图3(b)中的所有曲线图都是针对流速 $\phi_c=0.3$ 升/分钟,但是如所示出的具有三个不同值的 $V_{prec}$ 。

[0088] 看起来,图3(a)和3(b)中在有限的 $V_{prec}$ 值下的 $S_1$ 的值对于平行板沉淀器的实际设计而言不再恒定。这源自于加电颗粒在其中的非完全沉淀。

[0089] 本发明基于一研究,该研究已经示出:作为颗粒的非完全沉淀的结果,校准常数( $S_1$ )变得按照以下线性关系主要依赖于经由计数平均颗粒直径( $d_{p,av}$ )的颗粒大小分布的性质:

$$[0090] \quad S_1 = A_1 \cdot d_{p,av} + B_1 \quad (3)$$

[0091] 计数平均颗粒直径( $d_{p,av}$ )针对进入传感器,即传感器的加电区段的颗粒。因而,为了区分在空气入口与传感器之间存在其它组件的情况,可以在加电区段的入口处限定计数平均颗粒直径( $d_{p,av(cs)}$ ),使得校准常数单独与传感器有关。

[0092] 于是:

$$[0093] \quad S_1 = A_1 \cdot d_{p,av(cs)} + B_1 \quad (3a)$$

[0094] 一般地,存在涉及传感器性能的第一关系: $S_1=f_1(d_{p,av(cs)})$ 。

[0095] 该线性关系见于图3的示例中。已经证明了该等式至少在范围 $25\text{nm} \leq d_{p,av} \leq 100\text{nm}$ 中有效。

[0096] 正常数 $A_1$ 和 $B_1$ 的数值依赖于流速、沉淀电压以及平行板沉淀器的设计细节。它们可以或者被计算,或者实验地确定。

[0097] 因而,平行板沉淀区段的实际行为可以通过等式3进行近似。

[0098] 因为对于夹带于采样气流中的颗粒而言,计数平均颗粒直径( $d_{p,av}$ )典型地未知,所以校准常数( $S_1$ )未知,甚至在 $A_1$ 和 $B_1$ 已知时,并且表观超细颗粒数目浓度( $N_{app}$ )不能通过仅测量电流( $I_{sensor}$ )来可靠地确定,所述电流( $I_{sensor}$ )源自于平行板静电颗粒沉淀器中每单位时间的颗粒束缚电荷的沉积。

[0099] 本发明至少部分地基于通过包括颗粒加电区段上游的过滤器而补偿以上解释的效应,其中过滤器布置为从所采样的气流中移除部分的颗粒。

[0100] 根据本发明的传感器的示例在图4中示出。设计与图2中示出的相同,但是具有在传感器的入口10处的活性炭过滤器40。

[0101] 在传感器加电区段12上游安装适当设计的活性炭(AC)过滤器40帮助减少校准因

子对(一般未知的)计数平均颗粒直径的依赖性,如下文所解释的。

[0102] 通过物理吸收,在包含硅树脂的气体到达传感器的加电区段中的离子化电极之前,AC过滤器能够从所采样的气流中移除它们。此外,AC过滤器通过AC材料上的扩散性UFP沉积而从所采样的气流中移除部分的空气所带的UFP。已经发现在微粒AC材料上的UFP沉积的分数程度 $\eta$ 根据以下形式的幂关系而随着(进入过滤器的颗粒的)增加的计数平均UFP直径 $d_{p,av}$ 而减少:

$$[0103] \quad \eta = \frac{A_2}{(d_{p,av})^{B_2}} \quad (4)$$

[0104] 一般地,存在第二关系 $\eta=f_2(d_{p,av})$ 。

[0105] 在以上等式中, $\eta$ 表示作为进入过滤器的颗粒的计数平均直径的函数的过滤器所移除的颗粒长度浓度的分数。

[0106] 正常数 $A_2$ 和 $B_2$ 的数值依赖于过滤器的特性并且它们可以实验地确定。

[0107] 在等式4中, $A_2$ 和 $B_2$ 是这样的正常数:其值依赖于AC过滤器的微粒大小、通过AC过滤器的表面气流速度 $v_s$ 以及AC过滤器的长度。

[0108] 发现等式4对于值 $\eta < 0.8$ 在范围 $25\text{nm} \leq d_{p,av} \leq 100\text{nm}$ 中是有效的。

[0109] 针对AC过滤器中的分数颗粒长度沉积值的集合的幂拟合的两个示例在图5中示出为 $\eta$ 对比 $d_{p,av}$ 的曲线图。

[0110] 曲线图50针对在表面气流速度 $0.025\text{m/s}$ 下利用 $16\text{mm}$ 的活性炭床长度所获得的实验过滤数据,活性炭床包括直径为 $2\text{mm}$ 的圆柱形碳微粒。

[0111] 曲线图52针对在表面气流速度 $0.025\text{m/s}$ 下利用 $32\text{mm}$ 的活性炭床长度所获得的实验过滤数据,活性炭床包括直径为 $2\text{mm}$ 的圆柱形碳微粒。

[0112] 为了使得能够实现包含硅树脂的蒸汽从所采样的空气中的充足且持久的移除,微粒AC过滤器应当优选地具有每 $0.1$ 升/分钟的采样气流至少 $1\text{ml}$ 的体积。因而,当所采样的气流为 $0.4$ 升/分钟时,活性炭过滤器应当具有至少 $4\text{ml}$ 的体积。在微粒AC床的典型密度 $\rho_c = 0.5$ 克/ $\text{cm}^3$ 下, $4\text{ml}$ 的AC床包括大概 $2$ 克的微粒AC材料。

[0113] 通过改变AC过滤器直径、AC过滤器长度和/或AC过滤器中的AC微粒大小,可以针对要求来调谐AC过滤器中的UFP颗粒的扩散性沉积。

[0114] 因为AC过滤器中的扩散性UFP沉积遵循等式4,离开AC过滤器并且然后进入UFP加电区段的表观UFP数目浓度 $N_{app,down}$ 根据以下而与整体设备的输入部处的采样空气中的UFP浓度 $N_{app}$ 有关:

$$[0115] \quad N_{app,down} = N_{app} \cdot (1 - \eta) = N_{app} \cdot \left[ 1 - \frac{A_2}{(d_{p,av})^{B_2}} \right] \quad (5)$$

[0116] 随后,进入传感器沉淀区段的浓度 $N_{app,down}$ 根据以下而造成传感器信号 $I_{sensor}$ :

$$[0117] \quad N_{app,down} = (A_1 d_{p,av(cs)} + B_1) \cdot I_{sensor} \quad (6)$$

[0118] 组合等式(5)和(6)得出:

$$[0119] \quad N_{app} = \left[ \frac{A_1 d_{p,av(cs)} + B_1}{1 - \frac{A_2}{(d_{p,av})^{B_2}}} \right] \cdot I_{sensor} \quad (7)$$

[0120] 要指出,利用恰当设计的预过滤器(例如,直径至少2mm的圆柱形活性炭微粒),在 $d_{p,av(cs)}$ 和 $d_{p,av}$ 之间,仅保留微小差异,使得 $d_{p,av(cs)}$ 可以近似地被 $d_{p,av}$ 替代。这得出:

$$[0121] \quad N_{app} = \left[ \frac{A_1 d_{p,av} + B_1}{1 - \frac{A_2}{(d_{p,av})^{B_2}}} \right] \cdot I_{sensor} \quad (7a)$$

[0122] 方括号中的部分表示由第三关系 $S=f_3(d_{p,av})$ 限定的有效校准常数。

[0123] 通过以使得以下有效校准常数在范围 $25\text{nm} \leq d_{p,av} \leq 50\text{nm}$ 中达到最小值的这种方式调谐图4中的AC过滤器的设计:

$$[0124] \quad S = \frac{A_1 d_{p,av} + B_1}{1 - \frac{A_2}{(d_{p,av})^{B_2}}} \quad (8)$$

[0125] 相比于根据等式3a的 $S_1$ 对 $d_{p,av(cs)}$ 的依赖性而言,等式8中的校准常数S变得不那么依赖于 $d_{p,av}$ 。

[0126] 以上等式(3a)的第一关系涉及进入加电区段的颗粒的值 $d_{p,av(cs)}$ 。如果没有存在预过滤器,则值 $d_{p,av(cs)}$ 变得等同于第二和第三关系中的值 $d_{p,av}$ 。

[0127] 本发明的益处基于,相比于缺失预过滤器的情况,在存在预过滤器的情况下,S对 $d_{p,av}$ 的依赖性的改进。

[0128] 存在不同过滤器对于S对 $d_{p,av}$ 的依赖性的影响在图6中图示。曲线图60给出了在缺失AC过滤器的情况下S对 $d_{p,av}$ 的依赖性。然后S可以由等式3表示。与曲线图60相比,曲线图61图示了在颗粒加电区段的上游安装具有16mm的活性炭床长度的AC过滤器时,在S中所引发的改变。表面气流速度0.025m/s下的采样空气穿过该AC过滤器,该AC过滤器包括直径2mm的圆柱形碳微粒。从曲线图61观察到,S在 $d_{p,av}=25\text{nm}$ 时达到最小值。当AC过滤器的长度增加到32mm时,获得曲线图62,所有其它参数保持与曲线图60和61中的相同。在曲线图62中,S在 $d_{p,av}=35\text{nm}$ 时达到最小值。当利用 $d_{p,av}=50\text{nm}$ 的UFP颗粒的测试气溶胶来校准颗粒传感器时,在存在32mm AC过滤器的情况下,当颗粒传感器随后用于确定具有在25nm到100nm范围中的 $d_{p,av}$ 值的UFP大小分布的表观颗粒数目浓度 $N_{app}$ 时,S的由此获得的(固定)值将在误差上小于20%。当与由图6中的曲线图60表示的情况(其中在颗粒加电区段上游没有存在过滤器)相比时,这给出了跨 $d_{p,av}$ 值的宽范围的 $N_{app}$ 的更可靠估计。

[0129] S对 $d_{p,av}$ 的减少的依赖性因而可以基于下述来实现:存在于UFP传感器中的工艺条件和UFP传感器的设计与AC床的设计的组合,当在范围 $25\text{nm} \leq d_{p,av} \leq 50\text{nm}$ 内实现S的最小值时,S对 $d_{p,av}$ 的相对依赖性变得最小。

[0130] 当S对 $d_{p,av}$ 的依赖性充分减少时,等式1针对 $I_{sensor}$ 与 $N_{app}$ 之间的关系而近似地再次适用,甚至是在仅部分的UFP沉淀在传感器的沉淀区段中的情况下。

[0131] 最终结果是,预过滤器使得整体传感器设备(即,预过滤器、加电区段和平行板沉淀区段)的响应基本上与整体设备输入部处的(如由计数平均颗粒直径表示的)颗粒大小分布无关。传感器信号对于其输入部处的颗粒大小分布的不合期望的依赖性于是极大地得以补偿。然后可以使用单个校准常数来使传感器信号与整体传感器设备的输入部处的表观颗粒数目浓度相关。

[0132]  $A_1$ 和 $B_1$ 的数值依赖于流速、沉淀电压以及平行板沉淀器的设计细节,而 $A_2$ 和 $B_2$ 的数值依赖于预过滤器的特性。

[0133] 本发明的方案还解决了另一个问题。在诸如图2中示出的UFP传感器设计中,当所采样的空气包括含硅气体的硅烷时,传感器的加电区段中的HV离子化电极的离子化尖端逐渐变得涂覆有白色 $\text{SiO}_2$ 沉积物。这些气体在离子化电极尖端周围的等离子体区中变得氧化,由此将 $\text{SiO}_2$ 残留物沉积到电极上。由于 $\text{SiO}_2$ 材料的绝缘本性,电极的离子化行为变得最终被打乱,引起传感器故障。

[0134] 包括活性炭材料的预过滤器在气态化合物到达离子化电极之前从气流移除气态化合物。特别地,含硅树脂的气体的移除防止电气绝缘的二氧化硅残留物在离子化电极上的形成,否则这将导致电极功能性随时间的降低。

[0135] 因而,通过预过滤(当其利用预过滤器中的活性炭执行时)基本上减少UFP传感器对于由离子化电极上的 $\text{SiO}_2$ 沉积引起的干扰的敏感性。其中的活性炭材料可以存在为微粒、纤维、涂覆在泡沫支撑材料上和中的颗粒、或者涂覆在支撑片材上的精细颗粒。

[0136] 也存在其它合适的预过滤器,例如,机械纤维性过滤器。可以使用任何这样的颗粒过滤器:其可以设计为创建关于经数目平均的颗粒直径的期望补偿函数,即,在图5中示出的关系。

[0137] 本发明提供了一种已经以上文解释的方式设计的颗粒传感器、如上文解释的设计方法、以及使用该颗粒传感器的颗粒感测方法。

[0138] 通过研究附图、公开内容和所附权利要求,本领域技术人员在实践所要求保护的发明时,可以理解和达成对所公开实施例的其它变型。权利要求中,词语“包括”不排除其它元素或步骤,并且不定冠词“一(a或an)”不排除复数。在互不相同的从属权利要求中列举某些措施的纯粹事实并不表示不能有利地使用这些措施的组合。权利要求中的任何附图标记不应解释为限制范围。

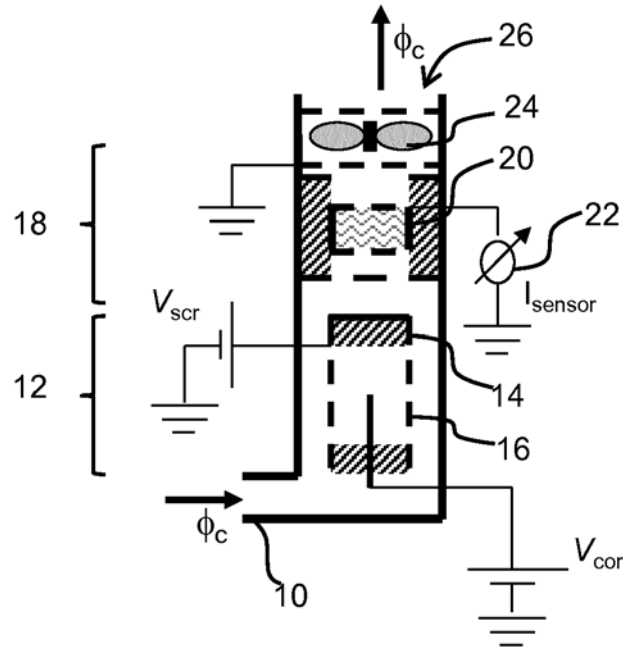


图 1

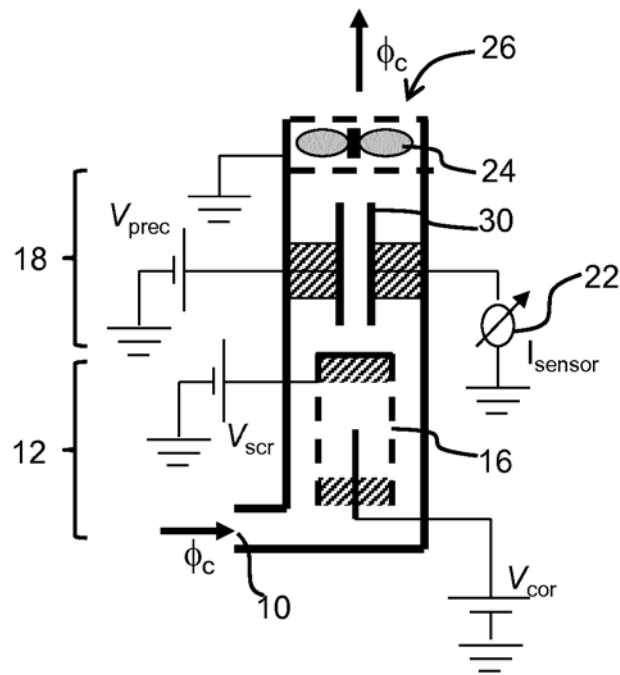
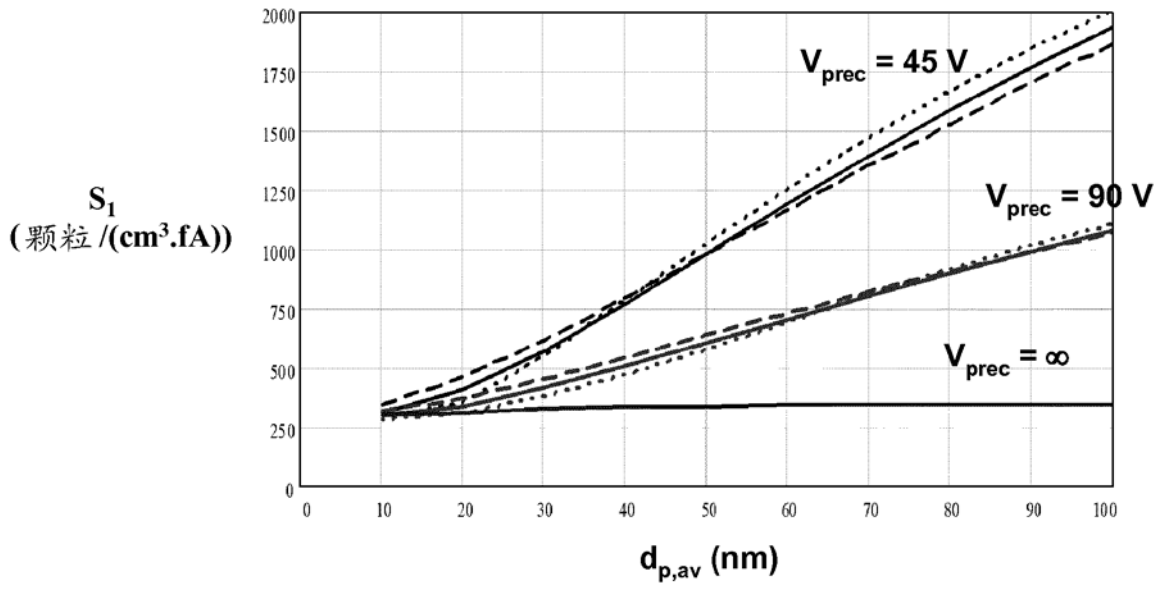
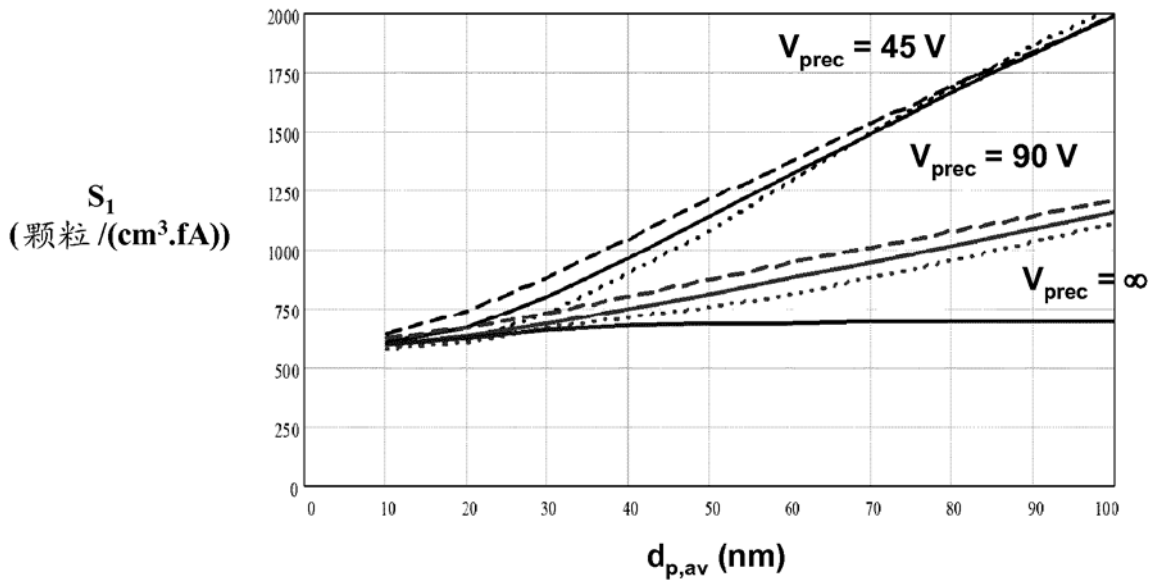


图 2



(a)



(b)

图 3

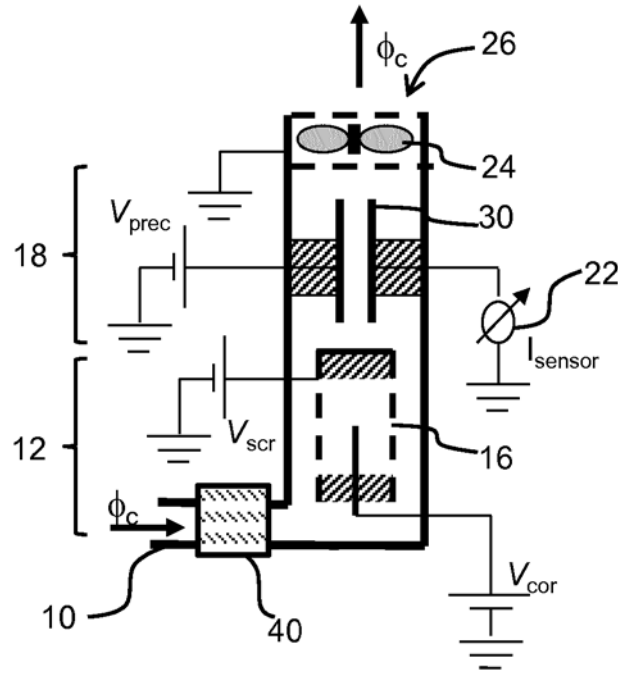


图 4

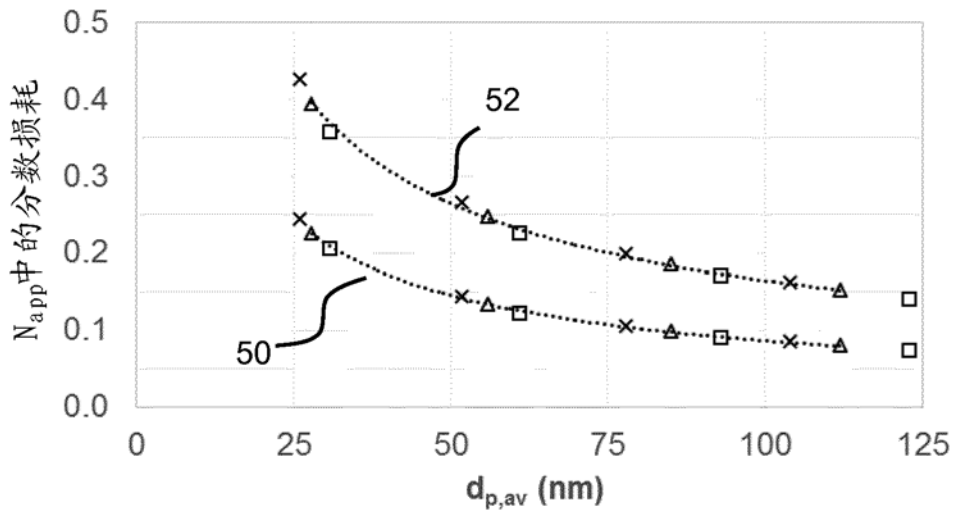


图 5



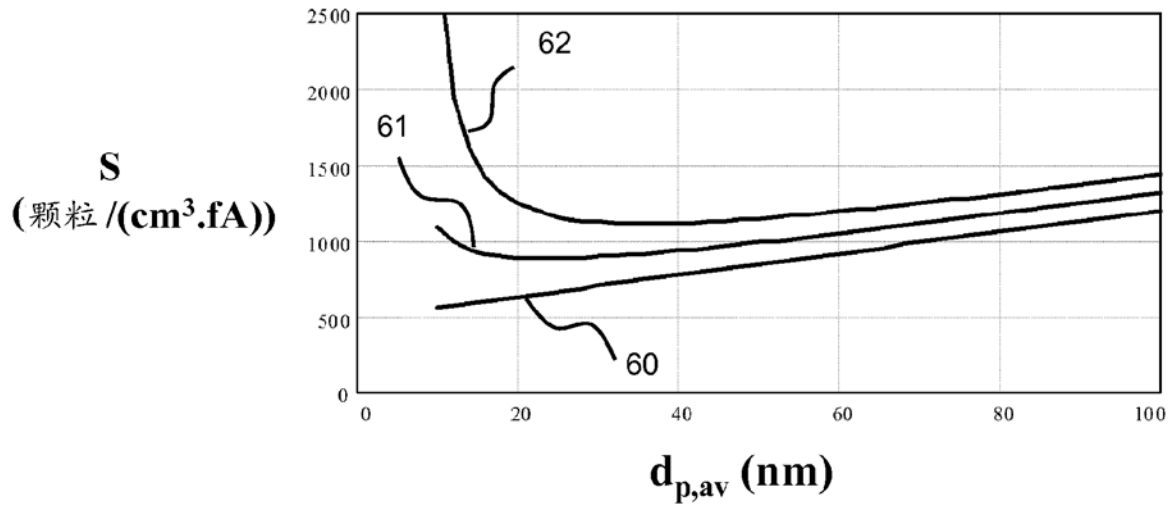


图 6