



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102089640 B

(45) 授权公告日 2015. 05. 13

(21) 申请号 200980126900. 8

代理人 宁晓 郑霞

(22) 申请日 2009. 05. 08

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

G01N 15/06(2006. 01)

0808385. 9 2008. 05. 08 GB

(56) 对比文件

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

EP 1757921 A2, 2007. 02. 28, 全文.

2011. 01. 10

WO 2005/066610 A1, 2005. 07. 21, 全文.

(86) PCT国际申请的申请数据

US 2003/0202169 A1, 2003. 10. 30, 全文.

PCT/GB2009/001147 2009. 05. 08

WO 02/29382 A1, 2002. 04. 11, 全文.

(87) PCT国际申请的公布数据

CN 101124470 A, 2008. 02. 13, 全文.

W02009/136166 EN 2009. 11. 12

审查员 谢百韬

(73) 专利权人 纳纽姆有限公司

地址 英国肯特

(72) 发明人 鲍里斯·扎卡尔·戈尔布诺夫

哈拉尔德·威廉·朱利叶斯·格内武赫

(74) 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理

有限公司 11262

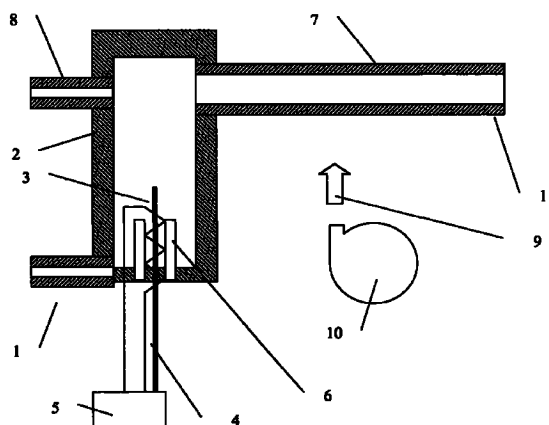
权利要求书4页 说明书18页 附图11页

(54) 发明名称

冷凝装置

(57) 摘要

本发明提供增加气体夹带的粒子的尺寸以使气体夹带的粒子可由粒子检测器检测的装置,其包括蒸发室(2)和冷凝器(7);蒸发室(2)具有允许气体进入蒸发室的入口(1)和出口,含蒸汽气体可穿过出口离开蒸发室;蒸发室(2)具有布置在其中的加热元件(3)和多孔载体(6),加热元件直接与多孔载体接触,其中多孔载体(6)在其上承载有可蒸发物质而加热元件(3)是可加热的以使可蒸发物质蒸发从而在蒸发室(2)内形成蒸汽;冷凝器(7)与蒸发室的出口流体连通,冷凝器(7)具有用于连接到粒子检测器的出口;该装置被配置使得来自蒸发室的含蒸汽气体可流进冷凝器且可蒸发物质到冷凝器中气体夹带的粒子上的冷凝发生以增加粒子的尺寸,使得它们能够由粒子检测器检测。



1. 一种用于增加气体夹带的粒子的尺寸以便使所述气体夹带的粒子由粒子检测器可检测的装置,所述装置包括蒸发室和冷凝器;

所述蒸发室具有入口和出口,所述入口用于允许气体进入所述蒸发室,而含蒸汽的气体可以穿过所述出口离开所述蒸发室;

所述蒸发室具有布置在其中的加热元件和多孔载体,所述加热元件与所述多孔载体直接接触,其中所述多孔载体在其上承载可蒸发物质并且所述加热元件是可加热的以使所述可蒸发物质蒸发以在所述蒸发室内形成蒸汽;

所述冷凝器与所述蒸发室的所述出口流体连通,并且所述冷凝器具有用于连接到所述粒子检测器的出口;

所述装置被配置以便来自所述蒸发室的含蒸汽的气体能够流进所述冷凝器中并且所述可蒸发物质到气体夹带的粒子上的冷凝在所述冷凝器中发生以增加所述粒子的尺寸,以便它们能够由粒子检测器来检测。

2. 根据权利要求 1 所述的装置,其中,所述蒸发室具有至少两个入口,其中所述至少两个入口中的第一入口用来允许包含气体夹带的粒子的样气进入所述蒸发室中,并且其中所述至少两个入口中的第二入口可连接到大体上不含粒子的载气的源。

3. 根据权利要求 1 所述的装置,其中,所述冷凝器具有至少两个入口,所述至少两个入口中的第一入口与所述蒸发室流体连通并且所述至少两个入口中的第二入口用来允许包含气体夹带的粒子的样气进入所述冷凝器中。

4. 根据权利要求 1 所述的装置,其中所述可蒸发物质选自邻苯二甲酸二甲酯、邻苯二甲酸二辛酯和二甲亚砷。

5. 根据权利要求 1 所述的装置,其中,所述可蒸发物质是具有在大气压下的沸点是至少 110°C 的液体。

6. 根据权利要求 5 所述的装置,其中,所述可蒸发物质是邻苯二甲酸二甲酯。

7. 根据权利要求 2 所述的装置,其中,所述载气是空气。

8. 根据权利要求 1-3 和 5-7 中任一项所述的装置,其中,所述多孔载体由多孔陶瓷材料或多孔织物形成。

9. 根据权利要求 1-3 和 5-7 中任一项所述的装置,其中,所述多孔载体围绕所述加热元件。

10. 根据权利要求 1-3 和 5-7 中任一项所述的装置,其中,温度传感器被布置在所述蒸发室内。

11. 根据权利要求 2 所述的装置,其中,所述第二入口具有延伸进入所述蒸发室中的喷嘴和 / 或所述第二入口与连通所述冷凝器的出口孔成一直线。

12. 根据权利要求 11 所述的装置,其中,所述第二入口与连通所述冷凝器的出口孔成一直线并且所述第二入口具有比所述出口孔的截面面积小的截面面积。

13. 根据权利要求 3 所述的装置,其中,所述蒸发室的出口孔设置有喷嘴,所述喷嘴延伸进入所述冷凝器中至与所述第二入口同水平的位置或在所述第二入口的下游的位置。

14. 根据权利要求 1-3 和 5-7 中任一项所述的装置,其中,冷却工具被提供以辅助冷却所述冷凝器中气体、蒸汽和粒子的混合物。

15. 根据权利要求 14 所述的装置,其中,所述冷却工具包括用于将空气流指引到所述

冷凝器的外部表面上一个或多个风扇。

16. 根据权利要求 1 所述的装置, 其中, 所述冷凝器具有比圆筒的表面积与体积比大的表面积与体积比。

17. 根据权利要求 16 所述的装置, 其中, 所述冷凝器设置有具有大致扁平的截面的区域。

18. 根据权利要求 16 或权利要求 17 所述的装置, 其中, 所述冷凝器具有大体上矩形的截面。

19. 根据权利要求 14 所述的装置, 其中, 所述冷却工具采用处于与所述冷凝器的外部表面接触的冷却元件的形式。

20. 根据权利要求 14 所述的装置, 其中, 所述冷却工具包括热电冷却设备或由热电冷却设备组成。

21. 根据权利要求 1-3 和 5-7 中任一项所述的装置, 其中, 所述冷凝器设置有用从所述冷凝器的内壁除去冷凝物质的工具。

22. 根据权利要求 21 所述的装置, 其中, 用于除去冷凝物质的所述工具包括沿其长度的部分的全部延伸的一个或多个引流管, 所述引流管由液态冷凝物能够通过的可渗透壁或膜与所述冷凝器的内部隔开, 所述引流管具有可连接到泵的一个或多个出口以从所述管提取液态冷凝物。

23. 根据权利要求 22 所述的装置, 其中, 所述管通过借助于一个或多个纵向延伸的可渗透壁或膜在其长度的至少部分上分割所述冷凝器的内部来形成。

24. 根据权利要求 23 所述的装置, 其中, 所述可渗透壁或膜设置有将冷凝物从所述冷凝器的内部吸入所述引流管的毛细管。

25. 根据权利要求 24 所述的装置, 其中, 所述壁或膜由 (a) 具有毛细管尺寸 < 0.1 毫米的陶瓷或不锈钢过滤材料; 或 (b) 多孔材料形成。

26. 根据权利要求 1-3 和 5-7 中任一项所述的装置, 其包含用于改变所述多孔载体的温度和 / 或所述冷凝器或其部分的温度的工具, 以便控制所关注的粒子的可检测尺寸下限, 并且因此以获得纳米粒子尺寸分布。

27. 根据权利要求 1-3 和 5-7 中任一项所述的装置, 其中, 所述蒸发室的所述入口和出口每个设置有唇缘或轮缘, 当可蒸发物质是液体时, 所述唇缘或轮缘用作对所述可蒸发物质的泄漏的屏障。

28. 根据权利要求 27 所述的装置, 其中, 所述唇缘或轮缘由延伸进入所述蒸发室的入口管或出口管的端部限定或提供。

29. 根据权利要求 28 所述的装置, 其中, 所述唇缘或轮缘为 1-8 毫米高。

30. 如权利要求 1 中限定的装置, 其中所述冷凝器包括:

冷凝器体, 其具有入口、出口和具有内部长度、内部宽度和内部高度的中空内部;

入口流量分配器管, 其连接到所述冷凝器体的所述入口并且延伸过所述冷凝器体的所述内部宽度; 以及

出口流量分配器管, 其连接到所述冷凝器体的所述出口并且延伸过所述冷凝器体的所述内部宽度;

其中, 所述冷凝器体的所述内部高度小于所述入口流量分配器管和出口流量分配器管

的每个相应的内部高度；

入口流量分配器管和出口流量分配器管的每一个在其壁中设置有一个或多个槽或孔，该一个或多个槽或孔与所述冷凝器体的所述中空内部连通，以便提供从所述入口流量分配器管穿过所述冷凝器的所述中空内部而进入所述出口流量分配器管的流动路径。

31. 根据权利要求 30 所述的装置，其中，每个流量分配器管的内部截面面积大于所述冷凝器体的内部截面面积，所述冷凝器体的所述内部截面面积为内部宽度 $\times$ 内部高度。

32. 根据权利要求 31 所述的装置，其中，每个流量分配器管的内部截面面积与所述冷凝器体的内部截面面积的比大于 1.1，所述冷凝器体的内部截面面积为内部宽度 $\times$ 内部高度。

33. 根据权利要求 30-32 中任一项所述的装置，其中，所述流量分配器管的所述壁带有通向所述冷凝器体的所述中空内部的细长窄槽并且所述冷凝器体的内部高度和所述槽的宽度的比大于 1.1。

34. 根据权利要求 1 所述的装置，其中：

所述加热元件包括用于安装在所述蒸发室的壁中的装配部分，以及杆部分；所述杆部分被安排以在使用中向内延伸进入所述蒸发室中；以及

所述多孔载体围绕所述杆部分并与所述杆部分接触，所述多孔载体承载或能够承载所述可蒸发物质；

并且提供保持工具，用于保持所述多孔载体在所述杆部分上的适当的位置。

35. 根据权利要求 34 所述的装置，其中，所述杆部分是圆柱形的。

36. 根据权利要求 34 所述的装置，其中，所述多孔载体包括配合在所述杆部分上的套管。

37. 根据权利要求 36 所述的装置，其中，所述多孔套管由多孔织物形成。

38. 根据权利要求 34-37 中任一项所述的装置，其中，所述多孔载体具有在使用中延伸进入液态可蒸发物质的贮存器中的向下悬挂部分。

39. 根据权利要求 34-37 中任一项所述的装置，其中，所述加热元件的所述杆部分具有中空内部，加热器线或加热器探针布置在所述中空内部内。

40. 根据权利要求 39 所述的装置，其中，导热填充物用于使所述加热器线或加热器探针保持在所述中空内部内的适当的位置。

41. 根据权利要求 40 所述的装置，其中，所述导热填充物选自包括焊料和其他低熔点合金以及导热树脂。

42. 根据权利要求 34-37 中任一项所述的装置，其中，所述保持工具包括配合在所述多孔载体上以使其保持在适当的位置的夹子或穿孔套管，或由该夹子或穿孔套管组成。

43. 如在权利要求 1-3 和 5-7 中任一项中限定的装置，所述装置连接到粒子检测器。

44. 根据权利要求 43 所述的装置，其中，所述粒子检测器能够进行单个粒子检测。

45. 根据权利要求 43 所述的装置，其中，所述粒子检测器是粒子计数器。

46. 根据权利要求 28 所述的装置，其中，所述唇缘或轮缘为 2-5 毫米高。

47. 根据权利要求 34-37 中任一项所述的装置，其中，所述加热元件的所述杆部分具有中空内部，热电偶布置在所述中空内部内。

48. 根据权利要求 47 所述的装置，其中，导热填充物用于使所述热电偶保持在所述中

空内部内的适当的位置。

49. 根据权利要求 41 所述的装置,其中,所述导热树脂为金属粒子填充的树脂。

50. 根据权利要求 34 所述的装置,其中,所述多孔载体包括配合在所述杆部分上的套管。

51. 根据权利要求 14 所述的装置,其中,所述冷却工具包括用于将空气流指引到所述冷凝器的外部表面上的一个或两个风扇。

冷凝装置

[0001] 本发明涉及用于与粒子计数器一起使用的冷凝装置。更特别地,本发明涉及可增加气体夹带的纳米粒子的有效尺寸使得其可由光学粒子计数器检测的冷凝装置。

[0002] 发明背景

[0003] 目前存在关于被无意地排放到空气中的纳米粒子的健康影响的极大关注。例如,在英国近年来,在呼吸系统疾病和过敏性上 500% 的增加与通过柴油发动机和其他燃烧处理所排放的粒子部分相关。虽然主要的焦点是在柴油机排放上,但是注意力正转向其他潜在的来源如使用化石燃料的发电、焚化、核能发电和飞机排放。涉及排放烟雾的处理的所有重工业具有纳米粒子排放的潜在问题。这样的处理包括冶炼、烧制、玻璃制造、焊接(welding),锡焊(melting)、核能发电和焚化。在消费品公司之中也存在关注,洗衣粉中使用的酶、粉末涂料和一次性尿布中使用的纤维以及其他产品能够导致问题。此外,US EPA 正变得越来越关注于汽油发动机排放。

[0004] 纳米粒子已知的是产生毒性作用。例如,它们可以跨越人类的血脑屏障并且金纳米粒子可以穿过胎盘从母体移动至胎儿。直径约 20 纳米的 PTFE(聚四氟乙烯)粒子的早期研究表明,原以为是惰性不溶解的材料的空中浓度低于 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 可能对鼠是致命的。此外,纳米管产生对鼠的比石英粉尘更大的毒性反应。

[0005] 除了从健康的角度关注,在微电子、制药、医疗、激光和光纤光学行业中的成千上万的洁净室中维持标准方面,空中纳米粒子的消除或控制是重要的。

[0006] 小粒子可以如下面表 1 中所示的进行分类。

[0007] 表 1

[0008]

术语	空气动力学粒子尺寸范围
粉尘	$D > 10$ 微米
粗粒子	$2.5 \text{ 微米} < D < 10 \text{ 微米}$
细粒子	$0.1 \text{ 微米} < D < 2.5 \text{ 微米}$
纳米粒子或超细粒子	$1 \text{ 纳米} < D < 0.1 \text{ 微米}$

[0009] 术语“纳米粒子”被用来指具有空气动力学粒子尺寸范围在 1 纳米至 0.1 微米(100 纳米)的粒子。

[0010] 对于球形粒子,空气动力学粒子尺寸是粒子的直径。空气中的实际粒子往往有复杂的形状。对于非球形粒子,术语“直径”是不严格适用的。例如,薄片或纤维在不同方向具有不同的尺度。同一形状的粒子可以由不同的化学物质组成并具有不同的密度。形状和密度的不同在限定粒子尺寸时会引起相当大的混淆。

[0011] 因此术语“空气动力学粒子尺寸”或“空气动力学直径”被使用,以便提供用于描述真实的具有任意形状和密度的非球形粒子的单个参数。如本文中所使用的,术语“空气

动力学直径”是具有密度为 $1\text{g}/\text{cm}^3$ 的球形粒子的直径,其具有与所关注的粒子相同的空气(在标准温度和压力下)中的惯性特性(终端沉降速度)。惯性采样仪器如级联冲击器,其使空气动力学直径能够被确定。术语“空气动力学直径”对于包括任何形状和密度的群和集合体的所有粒子是方便的。然而,它不是真正的几何尺寸,原因在于非球形粒子通常具有比球形粒子低的终端沉降速度。另一个方便的等效直径为扩散直径或热力学直径,其被限定为 $1\text{g}/\text{cm}^3$ 密度的球形,其具有与所关注的粒子相同的扩散性。

[0012] 在大气中纳米粒子的研究和监控已受到仪器的短缺牵制,该仪器可以在纳米粒子的范围中测量但它足够便宜、耐用和方便而以分布广泛为基础被使用。

[0013] 用于测量纳米粒子的一些仪器是已知的,其利用激光光学来检测和测量粒子。然而,因为光学测量不能容易地被用来检测纳米粒子尺寸范围中的粒子,所以开发用于“增长”粒子使它们更大并因此可检测的技术,并且此技术形成冷凝粒子计数器的基础。冷凝粒子计数器(CPC)通过使空中粒子的样品穿过包含蒸发的液体的室,并且然后穿过冷凝器而工作,在冷凝器中蒸发的液体被冷凝到空中粒子上以形成可以被测量的尺寸的液滴。这种仪器的一个实例被公开在 W0 02/029382(Ahn 等人)中。公开在 W0 02/029382 中的 CPC 包括圆柱形蒸发室,其沿着诸如非纺织织物的材料形成的多孔吸收载体排列。在室的一端,多孔吸收载体与挥发性液体如异丁醇的贮存器接触,使得液体可以沿载体行进并浸泡载体,其是通过毛细作用。该蒸发室的外表面由加热元件围绕,加热元件加热室引起异丁醇从载体蒸发,从而创建填充蒸汽的室。怀疑含有空中粒子的空气样品在贮存器的端部处被引入到室中,并穿过室被吸引到冷凝器中,其中异丁醇蒸汽到空中粒子上的冷凝发生,以形成可以使用光学粒子计数器测量的液滴。

[0014] 商业可用的 CPC 利用公开在 W0 02/029382 中的原理的实例是来自美国 TSI 公司,Shoreview, MN 的、可用的 Model 3025A 超细冷凝粒子计数器。

[0015] 另一已知的装置是来自 TSI (www.tsi.com) 的手持 CPC 3007,并且其操作相对于图 1 在下面被更加详细地描述。

[0016] 现有的冷凝粒子计数器存在许多的缺点。例如,它们倾向于需要高功耗以便加热工作流体,并在它们可以使用之前具有长(10 至 20 分钟)升温时间。这些缺点出现,至少部分是因为蒸发室借助于外部加热元件加热并因此在仪器达到操作温度之前,围绕室的整个外壳必须被加热。此外,对于已知的 CPC,工作流体(例如异丁醇)存在相对高的消耗,结果是通常在每次使用之前必须频繁地装满工作流体。即使在 TSI US 3007 手持冷凝粒子计数器的情况中,具有工作流体在工作流体释热元件(cartridge)必须定期更换。已知的 CPC 的另外的缺点是,使用的工作流体(如异丁醇)的难闻的气味和相对高的成本。

[0017] 因此,目前,仍然存在对可以长期使用而无需装满工作流体的冷凝粒子计数器的需要,其具有大大减少的升温时间并且其适合于小型化。

[0018] 发明概述

[0019] 本发明旨在(set out)提供一种冷凝装置,这种装置在冷凝粒子计数器中使用时,可以克服或至少减轻与已知 CPC 有关的上述的一些或所有问题。

[0020] 在第一方面中,本发明提供用于增加气体夹带的粒子的尺寸以便使气体夹带的粒子由粒子检测器可检测的装置,所述装置包括蒸发室和冷凝器;

[0021] 蒸发室具有用于允许气体进入蒸发室的入口和出口,含蒸汽的气体穿过出口可以

离开蒸发室；

[0022] 蒸发室具有布置在其中的加热元件和多孔载体，加热元件与多孔载体直接接触，其中，多孔载体在其上承载可蒸发物质并且加热元件是可加热的以使可蒸发物质蒸发从而在蒸发室内形成蒸汽；

[0023] 冷凝器与蒸发室的出口流体连通，并且冷凝器具有用于连接到粒子检测器的出口。

[0024] 所述装置被配置以便来自蒸发室的含蒸汽的气体可以流进冷凝器中并且可蒸发物质到气体夹带的粒子上的冷凝在冷凝器中发生以增加粒子的尺寸，以便它们能够由单个粒子检测器来检测。

[0025] 在一个实施方式中，蒸发室具有至少两个入口，其中一个用来允许包含气体夹带的粒子的样气进入蒸发室中，并且其中另一个可连接到大体上不含粒子的载气的源。

[0026] 在另一实施方式中，冷凝器具有至少两个入口，一个入口与蒸发室流体连通并且另一个入口用来允许包含气体夹带的粒子的样气进入冷凝器中。

[0027] 在本发明的第二方面中，提供用于增加气体夹带的粒子的尺寸以便使气体夹带的粒子由粒子检测器可检测的装置，所述装置包括：

[0028] 可蒸发物质的源；

[0029] 加热工具，其引起可蒸发物质蒸发以形成蒸汽；

[0030] 入口，其用于允许包含气体夹带的粒子的样气进入；

[0031] 冷凝器，所述冷凝器设置有用于连接到粒子检测器的出口；

[0032] 所述装置被配置使得蒸汽到气体夹带的粒子上的冷凝在冷凝器中发生以增加粒子的尺寸，使得它们能够由粒子检测器来检测；

[0033] 其特征在于可蒸发物质选自邻苯二甲酸二甲酯、邻苯二甲酸二辛酯和二甲基砷。

[0034] 在另外的方面中，本发明提供用于增加气体夹带的粒子的尺寸以便使气体夹带的粒子由粒子检测器可检测的装置，所述装置包括：

[0035] 蒸发室；

[0036] 冷凝器，其与蒸发室流体连通并具有用于连接到粒子检测器的出口；

[0037] 加热元件和多孔载体，其每一个被布置在蒸发室内，多孔载体在其上承载可蒸发物质并且加热元件是可加热的以使可蒸发物质蒸发以在蒸发室内形成蒸汽；

[0038] 第一入口，其用于允许载气流进入蒸发室中以承载蒸汽直到冷凝器；

[0039] 第二入口，其在多孔载体的下游并且包含气体夹带的粒子的样气流可以穿过第二入口被引入；

[0040] 所述装置被配置以便可蒸发物质到样气中的气体夹带的粒子上的冷凝在冷凝器中发生以增加粒子的尺寸，以便它们能够由粒子检测器来检测。

[0041] 如上所描述的，在本申请的介绍部分中，许多粒子计数器，特别是基于粒子检测的光学方法的那些，不能够有效地检测和计算具有小于约 300 纳米的粒子直径的粒子。本发明的冷凝装置使更小尺寸的粒子（例如空气动力学粒子直径下降到不到 3 纳米）能够被检测，并且通过使可蒸发冷凝物质冷凝到粒子上使粒子增长实现这一点。

[0042] 可蒸发物质可以是液体或可蒸发固体。在可蒸发物质在室温下为固体情况下，优选地一个是首先融化来形成液体并然后从液态形成蒸汽，而不是从固态升华的物质。

[0043] 可以用作可蒸发物质的固体材料的实施例包括固态碳氢化合物和长链羧酸,例如脂肪酸如硬脂酸。

[0044] 然而,当前优选的是可蒸发物质是液体。

[0045] 可使用的液体包括水和醇,如丙醇、异丙醇和异丁醇,或更高沸点的有机液体。如上面介绍中所讨论的,已知的冷凝粒子计数器的缺点之一是用作为可蒸发物质的液体在相对短的时间段内被消耗,并且因此新鲜液体必须以频繁的时间间隔来添加。关于一些已知的冷凝粒子计数器,有必要在每次使用装置时添加更多的液体。

[0046] 为了克服与已知的冷凝粒子计数器相关联的缺点,优选使用具有在大气压处的沸点是至少 110°C 的液体作为可蒸发物质。

[0047] 优选可蒸发液体的一组由邻苯二甲酸二甲酯、邻苯二甲酸二辛酯和二甲亚砷组成。一种特别优选的液体是邻苯二甲酸二甲酯。通过使用更高沸点的液体如邻苯二甲酸二甲酯,液体的消耗率大大降低,并因此液体不需要如此频繁地被装满。

[0048] 在可蒸发物质是液体并且蒸发室包含液体的贮存器或链接到液体的贮存器的情况下,存在倾斜装置(例如当在运输中时)能够导致液体泄漏到蒸发室的任何入口或出口的可能性。为了防止或最小化这种发生的可能性,蒸发室的入口和出口可以设置有作为对于液体的屏障的唇缘或轮缘。将要认识到的是,唇缘或轮缘的高度将取决于贮存器中承载的液体的体积。唇缘或轮缘可以通过延伸进入蒸发室的入口管或出口管的端部来限定或提供。通过举例的方式,唇缘或轮缘可以是 1 至 8 毫米高,更优选地 2 至 5 毫米高。

[0049] 载气可以是空气或纯净的气体或气体的混合物。例如,代替空气,载气可以是氮气。载气优选地被过滤,以便粒子和其他杂质不被承载穿过蒸发室进入冷凝器。载气可以由不含粒子的源例如气罐来提供。可选地或另外地,过滤器可以位于蒸发室的外部。例如,过滤器可以位于跨过其自身的第一入口,或者过滤器可位于第一入口的上游,因此,在任一种情况下,进入蒸发室的载气没有杂质,且尤其是微粒杂质。过滤器的实施例包括 HEPA 过滤器并且这样的过滤器是众所周知的,并不需要在这里详细地描述。

[0050] 在可选的安排中,载气可以在其已进入蒸发室后被过滤。例如,在一个实施方式中,过滤器可以由用于可蒸发物质的多孔载体组成或包括用于可蒸发物质的多孔载体。在此实施方式中,多孔载体作为过滤器膜,其越过蒸发室的内部延伸,将蒸发室分为上游间隔和下游间隔。穿过第一入口进入上游间隔的载气可包含微粒杂质,其在载气经过多孔载体时被除去,而在同一时间多孔载体上的可蒸发物质被蒸发并且蒸汽由过滤的载气带走。因此,在多孔载体的下游侧上,没有微粒杂质存在。将要认识到的是,所谓的“微粒杂质”表示除了用来检测和计算的那些的粒子。

[0051] 多孔载体可以采取各种形式并由任意数量的不同材料制成。例如,多孔载体可以由多孔陶瓷材料或多孔织物如玻璃布、石英纤维过滤石棉或棉织物形成。多孔材料应当在用于使可蒸发物质蒸发的温度处稳定,并且当可蒸发物质是液体时,多孔材料应当优选地可通过物质来弄湿。

[0052] 温度传感器例如热电偶)通常布置在蒸发室内用于检测室内部的温度。温度传感器优选地与加热元件热接触或极接近加热元件。温度传感器可被安排以便其由加热元件和/或多孔载体包围。温度传感器通常连接到温度控制设备。

[0053] 加热元件可以采取各种形式,但在每种情况下,加热元件被布置在蒸发室的内部

并且极接近多孔载体而不是围绕室的外部（正如是已知商业可用的冷凝粒子计数器的情况）。将加热元件放置在蒸发室的内部的显著优点是，它大大降低了仪器的升温时间和仪器的功耗。因此，与已知的 CPC 所需的 10-20 分钟达到操作温度对比，包含本发明的冷凝室的 CPC 可以在一分钟内升温至操作温度。

[0054] 更优选地，加热元件与多孔载体直接接触。

[0055] 例如，多孔载体可以围绕加热元件。

[0056] 在一个实施方式中，加热元件包括杆（例如圆柱形杆）部分并且多孔载体围绕所述杆（例如圆柱形杆）部分。例如，多孔载体可以包括配合在加热元件的杆（例如圆柱形杆）部分上的套管。这样的构造的形成特别适合当多孔载体由如上文限定的多孔织物形成时使用。

[0057] 多孔载体（例如套管）可能具有向下悬挂的部分，其在使用中延伸进入可蒸发物质（当是液体时）的贮存器。

[0058] 加热元件的杆部分可以具有中空内部，加热器线或加热器探针以及可选地热电偶布置在中空内部。为了确保加热器线或加热器探针与中空杆的内表面之间的良好热接触，导热填充物可被用来使加热器线或加热器探针和热电偶（当存在时）保持在适当的位置。导热填充物的实施例包括焊料和其他低熔点合金，以及导热树脂如金属粒子填充的树脂（例如环氧树脂）。

[0059] 包括上述类型的加热元件的蒸发设备被认为是新的并且代表本发明的另外的方面。因此，在另一方面中，提供用于在冷凝粒子计数器中使用的蒸发器设备，所述蒸发器设备包括：

[0060] 加热元件，其包括用于安装在冷凝粒子计数器中的蒸发室的壁中的装配部分，以及杆部分；杆部分被安排以向内延伸进入使用中的蒸发室中；以及

[0061] 多孔载体，其围绕杆部分并与杆部分接触，多孔载体承载或能够承载可蒸发物质；

[0062] 以及可选地保持工具，其用于保持多孔载体在杆部分上的适当的位置。

[0063] 加热元件的杆部分和多孔载体可如上限定。

[0064] 保持工具可以包括配合在多孔载体上以使其保持在适当的位置的夹子或穿孔套管或由其组成。

[0065] 蒸发室可以改变截面形状并且可以有例如圆形或矩形截面。

[0066] 本发明的装置可设置有第二入口，包含要计数的气体夹带的粒子的样气流穿过第二入口引入。第二入口可以被布置以便其通向蒸发室，或通向蒸发室和冷凝器之间的中间室，或通向冷凝器。

[0067] 在一个实施方式中，第二入口被安排以便其通向蒸发室。第二入口可具有延伸进入蒸发室中的喷嘴。当第二入口位于蒸发室内时，优选地与连通冷凝器的出口孔成一直线，例如以便入口的纵轴与冷凝器的纵轴对齐。第二入口优选地具有比出口孔的截面面积小的截面面积；例如第二入口当是圆形时具有比出口孔的直径（当是圆形时）小的直径。在此实施方式中，不希望受到任何理论的约束，相信的是，样气流或射流当其离开蒸发室时由载气和蒸汽的同心层围绕，当两个同心层沿冷凝器移动时，它们的混合产生。

[0068] 在另一实施方式中，第二入口被安排以便其通向冷凝器。优选地，蒸发室的出口孔

设置有延伸进入冷凝器中至与第二入口同水平的位置或在第二入口的下游的位置的喷嘴。关于这种安排,不希望受到任何理论的约束,相信的是,来自蒸发室的载气和蒸汽的流在其进入冷凝器时由样气的同心层围绕,当两个同心层沿冷凝器移动时,它们的混合产生。

[0069] 在第二入口通向冷凝器的情况下,样气可以在其进入冷凝器之前用蒸汽部分地或完全地饱和。在此实施方式中,第二入口可连接到辅助的蒸发室。

[0070] 在另外的实施方式中,所述装置被配置使得:

[0071] 第二入口被安排使得其通向蒸发室和冷凝器之间的中间室;

[0072] 中间室由分隔壁分成上游子室和下游子室,壁中的中心孔提供子室之间的连通,由此第二入口通向上游子室;

[0073] 第三入口通向下游子室,第三入口可连接到过滤气体的供应;

[0074] 喷嘴被提供,其从蒸发室的出口孔延伸进入冷凝器中至上游子室中的一位置,该位置与第二入口同水平或在第二入口的下游;

[0075] 下游子室包含圆柱挡板,圆柱挡板与所述喷嘴和分隔壁中的中心孔对齐,并且第三喷嘴通向围绕圆柱挡板的空间。

[0076] 关于上述安排,不希望受到任何理论的约束,相信的是,来自蒸发室的载气和蒸汽的流在其离开喷嘴进入上游中间子室时由样气的同心层围绕。由于载气/蒸汽和样气的两个同心层经过分隔壁中的中心孔进入下游中间室,所以它们由穿过第三入口进入的过滤的载气的另外的同心层围绕。因此,暂时形成有由载气和蒸汽的中央核心、包含气体夹带的粒子的样气的中间层和过滤的载气的外层组成的三层流。气体的三层流然后穿过圆柱挡板的内部离开中间室,并进入冷凝器中,在冷凝器中三个层的混合发生。

[0077] 在上述实施方式的每个中,在加热的载气、样气、气体夹带的粒子和蒸汽的混合物沿冷凝器经过时,冷却导致冷凝器内的气体用可蒸发物质的蒸汽变得过饱和,结果是其冷凝到粒子的表面上。当可蒸发物质是液体时,在粒子上或周围形成液滴,而当可蒸发物质正常在室温下是固态时,冷却导致包含或具有粒子的珠的形成。这样,粒子的尺寸有效地从尺寸低至 3 纳米增加到尺寸可达到并超过 1 微米。通过增加粒子的尺寸,使得它们通过光学粒子检测器如光学粒子计数器可检测。

[0078] 冷凝器通常由高导热的材料形成,并被制作足够长以确保载气、样气、蒸汽和要检测的粒子的混合物冷却到足以允许可蒸发物质冷凝到粒子上,以使粒子增长到可检测的尺寸(例如 1 微米或更大)。冷凝器可以因此采取由诸如铝或不锈钢的金属材料形成的管的形式。冷凝器的壁和装置的其他部分的厚度可以与实际的一样的薄,但是当存在升高或降低的压力(例如在 10 巴)下使用装置的意图时,壁应该足够厚以经得起这种压力。

[0079] 为了辅助冷却冷凝器中气体、蒸汽和粒子的混合物,可以提供冷却工具。

[0080] 在一个实施方式中,冷却工具包括一个或多个风扇,每个用于指引空气流到冷凝器的外部表面上。在一个实施方式中,存在一个风扇。在另一实施方式中,存在两个风扇。

[0081] 风扇可以是或可以不是空气温度控制系统的一部分。温度控制系统使冷却冷凝器表面的空气能够保持在预置温度,预置温度不受围绕冷凝室的空气温度的影响。

[0082] 可选地,冷却元件可被定位与冷凝器的外部表面接触。冷却工具可以例如是热电冷却设备(例如,珀尔帖(Peltier)冷却设备)。

[0083] 为了促进改进的冷却,冷凝器的截面可以以提高圆周与截面面积的比的方式来形

成。

[0084] 冷凝器优选地具有比圆筒的表面积与体积的比大的表面积与体积的比。通过增加表面积与体积的比,冷凝器可以被制作来更有效地导致更快速的冷却并且从而使冷凝器的尺寸能够减少。

[0085] 冷凝器可被限定为具有长度(对应于冷凝器的入口和出口之间的距离的尺寸)、宽度(正交于长度的尺寸)和高度(正交于长度和高度的尺寸)。在圆形截面的管形冷凝器的情况下,宽度和高度都是相同的,并且都对应于管的直径。在正方形截面的矩形冷凝器的情况下,宽度和高度也相同。然而,在此申请中,其中冷凝器的宽度和高度不相同,引用的“高度”表示两个尺寸中较小的。

[0086] 冷凝器的表面积与体积的比可以用多种方式增加。例如,冷凝器的至少一部分可能具有扁平的截面的部分或可能截面中具有细长的椭圆形或矩形,截面即在截面中高度大体上小于冷凝器的宽度的。在一个优选的实施方式中,冷凝器大体上是矩形截面,其中高度不到宽度的一半。

[0087] 在另一实施方式中,冷凝器可包括环形或部分环形的冷凝器体。环形冷凝器体可由两个同心圆筒形成,含热的蒸汽的气体被指引穿过内部圆筒和外部圆筒之间的环形空间,并且冷却空气被指引穿过内部圆筒的内部,而且围绕或紧靠在外部圆筒的外表面。

[0088] 为了使粒子尺寸能够被精确测量,重要的是要确保冷凝器中每个粒子的停留时间大体上相同。这意味着流速与穿过冷凝器的粒子的流动路径理想地应尽可能一致。

[0089] 在非圆柱形冷凝器(例如矩形冷凝器)连接到成直线的圆柱形入口和出口的情况下,存在入口和出口之间的非均匀流动的可能性,特别是在冷凝器的宽度(如本文限定的)比入口和出口的直径大的情况。为了克服这个潜在的问题,冷凝器(例如大体上是矩形的冷凝器)可设置有一对流量分配器管,其关于冷凝器的长度(流动的方向)大体上成直角对准。流量分配器管连接到冷凝器的入口和出口,并且每个越过冷凝器的宽度延伸,并设置有通向冷凝器的内部的细长槽或孔阵列。

[0090] 因此,在本发明的另一方面,提供用于与如本文限定的本发明的装置一起使用的冷凝器,所述冷凝器包括:

[0091] 冷凝器体,其具有入口、出口和具有内部长度、内部宽度和内部高度的中空内部;

[0092] 入口流量分配器管,其连接到冷凝器体的入口并且延伸过冷凝器体的内部宽度;以及

[0093] 出口流量分配器管,其连接到冷凝器体的出口并且延伸过冷凝器体的内部宽度;

[0094] 其中,冷凝器体的内部高度低于入口流量分配器管和出口流量分配器管的每个相应的内部高度;

[0095] 入口流量分配器管和出口流量分配器管的每个设置在其壁中,带有连通冷凝器体的中空内部的一个或多个槽或孔,以便提供从入口流量分配器管穿过冷凝器的中空内部并进入出口流量分配器管的流动路径。

[0096] 入口流量分配器管在使用中被连接或用其他方式流体连通蒸发室的出口,而出口流量分配器管被连接或用其他方式流体连通粒子检测器。

[0097] 流量分配器管的构造,以及槽或孔的定位如此以提供穿过冷凝器体到粒子检测器的气体的大体上均匀的流动。

[0098] 流量分配器管可以是例如圆形截面、椭圆形截面或多边形（规则的或不规则的）截面。在一个实施方式中，流量分配器管是圆形截面。

[0099] 每个流量分配器管的内部截面面积优选地大于冷凝器体的内部截面面积（内部宽度 $\times$ 内部高度）。作为一个实施例，如果流量分配器的截面是内部直径 D_t 的圆形并且冷凝器的内部高度是 H_c 和内部宽度是 W_c ，那么 $\pi D_t^2 > H_c * W_c$ 。 $\pi D_t^2 / (H_c * W_c)$ 的比率通常应大于 1.1 或优选地大于 2 或更加优选地比率应大于 3。

[0100] 如上面所指出的，流量分配器 102 和 104 的内部与矩形冷凝器的内部之间的流体连通可以通过提供带有通向冷凝器体的中空内部的细长窄槽或孔阵列（优选地线性）的流量分配器管的壁来实现。在流量分配器管与冷凝器体的内部之间的优选地流体连通借助于每个流量分配器管的壁中的窄槽来提供。通过形成窄的槽，流量分配器管的内部直径可以被减少，因为冷凝器中流动的均匀性由冷凝器的内部高度 (H_c) 与槽的宽度 (W_s) 的比决定。在本文中，槽的宽度表示与冷凝器的内部高度在相同方向上的尺寸（与槽的“长度”对比，其中引用的“长度”，尺寸是与冷凝器的内部宽度在相同方向上的尺寸）。通常， H_c / W_c 的比率应大于 1.1 或优选地大于 2 或更加优选地比率应大于 3。

[0101] 在另一实施方式中，流量分配器管的壁包含沿矩形冷凝器 103 的入口和出口均匀分布的孔来代替槽。孔的数量 N_h 应大于 1 或优选地大于 4 或更加优选地大于 10。孔的直径 D_h 应足够小并可以由表达式： $\pi D_t^2 > N_h * \pi D_h^2$ 来计算。 $\pi D_t^2 / (N_h * \pi D_h^2)$ 的比率应大于 1.1 或优选地大于 2 或更加优选地比率应大于 3。

[0102] 流量分配器管可以由各种材料的任一种制成。例如，它们可以由不锈钢管、PTFE、铝或任何合适的金属、玻璃、陶瓷或塑料材料制成。冷凝器体优选地由导热材料如金属制成，金属例如钢如不锈钢。

[0103] 关于冷凝器的一个潜在问题，尤其是当它们具有小的内部截面面积或宽度（例如小于 2 毫米）时，是冷凝器的壁上的冷凝可以导致堵塞。为了克服这个问题，可提供用于从冷凝器的内壁除去冷凝的物质的工具。例如，冷凝器可具有沿其长度的全部或部分延伸的一个或多个引流管，引流管通过半渗透壁或膜与冷凝器的内部隔开，液态冷凝物可以经过半渗透壁或膜，引流管具有可连接到泵以从管引出液态冷凝物的一个或多个出口。半渗透膜不断地由工作流体来填充并且因此气体流动不能穿透它们。借助于这样的安排，当可蒸发物质在冷凝器的内壁上冷凝，而不是在冷凝器中堆积和堵塞冷凝器时，其被引出穿过半渗透壁进入引流管并远离冷凝器内部。一旦被引出，冷凝物可以被送到用于后续处理的废物贮存间隔或再循环回蒸发室。

[0104] 管可以通过借助于一个或多个纵向延伸的半渗透壁或膜在其长度的至少部分上分割冷凝器的内部来形成。半渗透壁或膜可设置有将冷凝物从冷凝器的内部吸入引流管的毛细管。例如，壁或膜可以由具有毛细管尺寸 < 0.5 毫米（例如 1-10 微米）的陶瓷或不锈钢过滤材料形成。

[0105] 本发明的冷凝装置被设计以连接到粒子检测器，通常粒子检测器能够单个粒子检测和 / 或单个粒子计数。

[0106] 更典型地，本发明的冷凝装置被设计以形成冷凝粒子计数器的一部分，并且为了此目的，可以连接到粒子计数器，粒子计数器可以是例如来自英国 Naneum Limited of Canterbury 的可用的 Naneum ‘SAC 1’ 粒子计数器。

[0107] 因此,在另一方面中,本发明提供包括如本文限定的本发明的冷凝装置的冷凝粒子计数器。

[0108] 在另一方面中,本发明提供使用包括如本文限定的本发明的冷凝装置的冷凝粒子计数器对纳米粒子检测和计数的方法。

[0109] 从下面描述的和图 2-12 示出的具体实施方式,本发明的另外的方面和特征将是明显的。

[0110] 附图简述

[0111] 图 1 是已知类型的冷凝装置的示意侧视图。

[0112] 图 2 是根据本发明的第一实施方式的冷凝装置的示意图。

[0113] 图 3 是根据本发明的第二实施方式的冷凝装置的示意图。

[0114] 图 4 是根据本发明的第三实施方式的冷凝装置的示意图。

[0115] 图 5 是根据本发明的第四实施方式的冷凝装置的示意图。

[0116] 图 6 是设置有工作流体除去工具的矩形截面冷凝器 / 出口的示意侧面剖视图,其可以用图 2-5 的实施方式的任一种的冷凝器 / 出口替代。

[0117] 图 7 是设置有工作流体除去工具的可选矩形截面冷凝器 / 出口的示意侧面剖视图,其可以用图 2-5 的实施方式的任一种的冷凝器 / 出口替代。

[0118] 图 8 是根据本发明的第五实施方式的冷凝装置的示意图。

[0119] 图 9 示出由与 MetOne™激光光学粒子计数器耦合的图 2 的冷凝室(黑色正方形)和来自 TSI 的手持 3007 CPC(白色菱形)测量的气溶胶粒子数浓度(N)的比较图。

[0120] 图 10 是根据本发明的第六实施方式的冷凝装置的示意图。

[0121] 图 11 是根据本发明的第七实施方式的冷凝装置的示意图。

[0122] 图 12 是根据本发明的第八实施方式的冷凝装置和粒子计数器组件的示意图,其中组件具有使工作流体再循环的能力。

[0123] 图 13 是具有到冷凝器的入口中和在冷凝器的出口中的流量分配器的矩形冷凝器的示意图。

[0124] 图 14 是具有到冷凝器的入口中和在冷凝器的出口中的流量分配器的矩形冷凝器的截面视图(垂直平面)。

[0125] 图 15 是具有到冷凝器的入口中和在冷凝器的出口中的流量分配器的矩形冷凝器的截面视图(水平平面)。

[0126] 图 16 是具有包含到冷凝器的入口中的槽的流量分配器和具有在冷凝器的出口中的槽的另一流量分配器的矩形冷凝器的截面视图(垂直平面)。

[0127] 图 17 是根据本发明的另一实施方式穿过蒸发室的剖面图。

[0128] 图 18 是从另一角度示出图 17 的蒸发室的示意剖视图,但是其中加热元件被省略并且工作流体贮存在适当的位置。

[0129] 图 19 是示出图 18 中描绘的装置的平面图的示意剖视图。

[0130] 图 20 是用于图 17-19 的实施方式中的加热元件和多孔载体的更详细的剖视图。

[0131] 发明详述

[0132] 通过参考下面非限制性实施例中所描述的具体实施方式,现将更详细地说明本发明。

[0133] 图 1 是可以与粒子计数器结合使用的已知类型的冷凝装置的示意侧视图。一个这样的已知冷凝装置是在来自 TSI (www.tsi.com) 的手持 CPC 30007 中发现的装置。该装置包括蒸发室 1a, 其具有浸泡在挥发性工作流体中、以释热元件 2a 形式的多孔载体。室 1a 具有圆柱形的形状和大于释热元件 2a 的外径的内径。蒸发室 1a 设置有入口 4a 和出口 5a, 以及加热元件 3a, 加热元件 3a 环绕室的外壁。室的温度由传感器 6a 测量并由使用连接到室的外壁上的加热元件的接口 8a 的控制单元 7a 控制。冷凝器 9a 被放置于室 1a 与出口 5a 之间。

[0134] 包含小的气体夹带的粒子 (例如空中粒子) 的空气流借助于泵 (未示出) 经由入口 4a 被吸入室 1a 中。随着其通过蒸发室, 空气流被加热并饱和, 带有通过工作流体的蒸发形成的蒸汽。蒸汽饱和的空气流然后进入冷凝器, 其中空气的冷却以及工作流体到空中粒子上的冷凝发生。因此, 粒子通过冷凝增长到约 1 微米的可容易探测的尺寸。扩大的粒子穿出口 5a, 并且被指引至光学粒子计数器, 其中粒子被计数。

[0135] 在图 1 中所示的冷凝装置可以用于检测并计数尺寸范围从 10 纳米至 600 纳米的粒子。然而, 该装置存在许多的缺点。

[0136] 一个主要的缺点是, 工作流体必须定期且经常地更换。

[0137] 另外的缺点是, 该装置非常缓慢地升温到工作状态。在上述 TSI CPC 3007 的情况下, 该装置在其可以使用之前有 600 秒的升温时间。

[0138] 另一缺点是, 该装置的布局不容易适合于小型化。缩小装置的尺寸将使使用更小的工作流体释热元件成为必需, 其将因此需要更频繁地被重新填充。因此, 小型化将导致时间段的减少, 在该时间段期间装置能够使用而无需重新填充。

[0139] 另外的缺点是, 上述 TSI CPC 3007 仪器不能用在加压的环境中, 并且根据其产品规格, 仪器将只在水平保持时操作。

[0140] 图 1 中所示的 CPC 中释热元件中的工作流体的相对快速损耗影响冷凝单元的性能, 因为其导致室内部的空气中的工作流体的蒸汽的较低浓度。当蒸汽的浓度较低时, 蒸汽往往优先在相对大的粒子上冷凝, 并且因此较小的粒子不会被检测并计数。例如, 由于工作流体的损耗, 检测下限 (lower detection limit) 可能增加多达 10 纳米至 15 或 20 纳米。因为非常难以监控实践中的损耗的程度或损耗比率, 所以存在许多小的粒子将不被检测并计数的可能性。

[0141] 本发明的冷凝装置克服或至少缓解用已知 CPC 的上述指出的问题。

[0142] 根据本发明的第一实施方式的冷凝装置在图 2 中示出。该装置包括:

[0143] - 蒸发室 2, 其带有一个入口 1 (“第一入口”), 用于干净的气态媒质, 例如其中所有有关的气溶胶粒子已被除去的干净空气。

[0144] - 另一入口 8 (“第二入口”), 包含所关注的纳米粒子的样气 (例如空气) 流穿过入口 8 可以被吸入蒸发室中。入口 8 被定位在离第一入口一距离处, 例如入口 8 被定位在室的顶部而第一入口 1 被定位在室的底部。

[0145] - 加热元件 3, 其与温度传感器 4 充分接近地热接触, 该元件通过可由工作流体弄湿的多孔载体 6 覆盖。多孔载体 6 浸泡有低度均衡蒸汽压的工作流体, 例如半挥发性有机化合物如邻苯二甲酸二甲酯。

[0146] - 温度控制设备 5, 其保持多孔载体 6 的表面温度在维持足够高的工作流体的蒸汽

密度的形成的水平上；

[0147] - 冷凝器 / 出口 7, 其由高导热性材料制成并且足够长, 以让工作流体的液滴形成在所关注的纳米粒子上并增长至使其能够借助于单个粒子计数检测并计数的尺寸。冷凝器 / 出口 7 被定位在靠近第二入口 8 或第二入口 8 的对面, 以提供通过第一和第二入口进入室的载气和样气流的有效混合。冷凝器 / 出口 7 被定位与第二入口成一直线。

[0148] - 温度冷却设备 10, 其保持冷凝器 / 出口 7 的表面温度在维持工作流体液滴的形成和增长的水平上。冷却设备 10 放置在使冷凝器 / 出口 7 的有效冷却能够维持的位置。

[0149] 在使用中, 干净的载气 (例如空气) 流通过入口 1 进入蒸发室 2 中, 该干净的载气流已通过过滤器被过滤 (未示出) 并且其包含不可检测的气溶胶粒子 (或包含可略去量的可检测的气溶胶粒子)。在蒸发室中, 加热元件 3 被定位以与温度传感器 4 良好地热接触, 并且足以蒸发工作流体并生成维持工作流体冷凝在所关注的粒子上所必要的条件的预定温度, 由连接到温度传感器的温度控制设备 5 控制。工作流体被包含在采用覆盖物 6 的形式多孔载体中, 覆盖物 6 放置在加热元件 3 上。在圆柱形加热元件的情况下, 覆盖物将绕其表面包裹并浸泡有工作流体。因此, 经由入口 1 引进的干净的空气流使用工作流体的蒸汽饱和并移向冷凝器 / 出口 7。包含所关注的纳米粒子的气体 (例如空气) 样品穿过第二入口 8 引入到室中。在入口 8 和进入冷凝器 7 的开口之间的区域中, 由于热饱和蒸汽和含有所关注的纳米粒子的样气的未加热流的混合, 工作流体蒸汽的过饱和出现。因此, 在这个区域中, 工作流体在所关注的粒子上的非均质成核开始出现。当蒸汽和含有纳米粒子的样气的混合物进入冷凝器 7 时, 由于气体和蒸汽通过冷凝器 / 出口的壁冷却, 额外的过饱和发生。过剩的热量借助于冷却系统 10 从冷凝器 / 出口 7 的表面除去。在图 2 中示出由鼓风机产生的冷空气流 9。在冷凝器 / 出口中, 工作流体的液滴在纳米粒子上增长直到例如 1 微米的可检测的尺寸。这些液滴可以例如使用连接到室的出口 11 的光学粒子计数器 (未示出) 来计数。因此, 所关注的每一纳米粒子被单独地检测。

[0150] 如图 2 中示出的装置的实施例, 10 毫米内径 (ID) 的小型圆柱形冷凝室由 PTFE 构造, 带有由 4 毫米外径 (OD) 的不锈钢管制作的入口 1 和 8 和由 8 毫米 OD 的不锈钢管制作的冷凝器 / 出口 7。K 型热电偶用作温度传感器 4。使用的加热器 3 是由用邻苯二甲酸二甲酯浸泡的多孔 SiO_2 层覆盖的 NiCr 加热器。粒子使用 MetOne 激光粒子计数器 (Hach ULTRA 分析) 来计数。

[0151] 温度由数码管温度控制器 5 控制。据发现, 从而构建的冷凝装置能够使纳米粒子扩大到 1 至 2 微米的直径。冷凝装置在至少 2 个月的时段内使用而不需重新填充。

[0152] 本发明的另一实施方式如图 3 所示。图 3 的装置类似于图 2 的装置, 除了工作流体的贮存器 12 被提供以延长时间段, 在该时间段之上该装置可以操作而不需重新填充。当装置不在水平位置时, 为了防止来自贮存器 12 的流体逸出并且防止其干扰冷凝过程, 入口 1 和 8 以及冷凝器 / 出口 7 被安排以便其向内部地延伸到冷凝室 2 中。这些延伸防止工作流体穿过入口 1 和 8 以及出口 7 逸出。已经示出工作至少 12 个月而不需重新填充的图 3 中所描绘的类型的冷凝装置。

[0153] 这种实施方式的作用方式与用于上面图 2 的实施方式的相同。

[0154] 本发明的另外的实施方式在图 4 中示出。在此实施方式中, 其在构造上类似于图 2 的装置, 冷却元件 13 被提供, 其与冷凝器 / 出口热接触。可以是例如热电冷却元件的冷却

元件 13 连接到冷凝器 / 出口的表面。冷却元件 13 使热量能够以比可能带有风扇更加有效的方式从冷凝器 / 出口除去。冷却元件 13 的增强的冷却效果增加冷凝器内蒸汽的过饱和并使工作流体的液滴能够更为迅速地增长。冷却元件 13 的操作可以被控制以便冷凝器 / 出口 7 的表面温度比周围温度低, 并且因此该装置可以在包括炎热环境的周围温度的范围之上有效地使用。这种实施方式的性能不受周围温度的变化的影响。

[0155] 冷凝器 / 出口 7 的形状能够影响其性能。在图 5 中所示的实施方式中, 冷凝器 / 出口 7 具有矩形的截面, 由标记为 14 的元件示出。在此实施方式中, 截面 14 指的是冷凝器 / 出口 7 的中间区域。对于中间区域的任一侧, 冷凝器可以是任何的截面形状, 例如圆形。矩形截面形状呈现更大的表面积, 来自风扇 10 的冷却空气流 9 可以被指引至其上, 从而提高冷凝器 / 出口 7 的冷却效率, 而这又有助于冷凝器 / 出口 7 中蒸汽的过饱和并提高液滴增长的效率。虽然冷凝器 / 出口 7 被示出为具有平边矩形截面的中间区域, 但是矩形的短边可以是圆的而不是平的, 以便截面是细长的椭圆形状, 而不是规则的矩形。细长的椭圆的截面可以通过压平制作冷凝器 / 出口 7 的管的一部分的简单办法来创建。

[0156] 第二入口 8 也可以具有矩形或细长的椭圆的截面的形状。在实践中, 矩形的高度与宽度的比率可以从 1 到 100。

[0157] 在图 2-5 中示出的实施方式的每个中, 第二入口 8 被定位与冷凝器 / 出口成一直线, 并且入口 8 的内部截面面积小于冷凝器 / 出口 7 的内部截面面积。

[0158] 不希望受到任何理论的约束, 相信的是, 这种布置导致包含气溶胶粒子的样气 (例如空气) 流被注入到蒸汽和载气的流的中心, 以便进入冷凝器 / 出口 7 出口的混合物由包含通过载气和蒸汽的鞘围绕的纳米粒子的样气的核心流组成。在气体和蒸汽沿冷凝器 / 出口 7 移动时, 同心层之间的混合发生。

[0159] 冷凝室 2 的主体的截面形状也可为矩形, 同样地加热元件 3 的截面形状也可是矩形。加热元件 3 通常被定位并且被定向, 以便优化进入第一入口 1 的载气流用工作流体蒸汽饱和的效率。

[0160] 如果图 5 所示的矩形截面冷凝器的宽度小 (例如小于 2 毫米), 那么存在冷凝的工作流体将积累在冷凝器的内表面上从而阻塞冷凝器的风险。为了防止这种情况发生, 可以提供用于从冷凝器除去冷凝的工作流体的工具。这样做的一个方法是借助于毛细作用和压力差的结合从冷凝器的内表面除去冷凝的流体。用于实现这点的安排在图 6 中示出。

[0161] 图 6 是冷凝器的截面图。冷凝器的内部设置有两个实心多孔膜 15, 其可由工作流体弄湿并用来将冷凝器内部分割成中心通道和一对细长的流体收集室 16。在使用时, 在含有纳米粒子和不断增长的液滴的气体和蒸汽流沿膜 15 之间的中心通道通过时, 工作流体蒸汽到膜表面上的冷凝发生。因此形成的多余液体立即通过膜 15 吸收并通过毛细作用和由泵 (未示出) 维持的负压力的结合进入收集室 16 中。液体穿过出口 17 从室 16 除去, 并且然后可以被指引至废物收集室 (未示出) 或者在装置具有如图 3 中所示的工作流体贮存器 12 的情况下回收到贮存器。

[0162] 对于控制工作流体容器 16 中的液体的温度以稳定冷凝器的温度是有利的。这可以使用如图 4 中所示的外部冷却元件 (例如热电冷却元件) 来完成或可以通过穿过如图 7 中所示的热交换器循环液体来实现。

[0163] 图 7 是设置有流体收集室 16 的冷凝器的部分的截面的示意图 (冷凝器的其余部

分未示出), 流体收集室 16 连接到工作流体循环和温度控制电路。

[0164] 室 16 各有额外的出口 18 并且两个出口由一段管连接。入口 / 出口 17 经由数段管连接到泵 19 和温度控制器 20。入口 / 出口 17 和 18、连接管、泵 19 和温度控制器 20 一起形成电路, 在其周围工作流体可以被泵送。围绕电路流动并穿过流体收集室 16 的工作流体可以由温度控制器 20 保持在恒定的预定温度处, 并且这样可以控制冷凝器的内表面温度。

[0165] 该电路设置有阀 (未示出), 其使工作流体的一部分能够借助于附加的泵 (未示出) 或其他流体运输工具沿管 21 被指引至蒸发室 2 的主体中的工作流体的贮存器 12。

[0166] 图 7 中所示的管连接仅是说明性的, 并且要认识到, 该连接可以被不同地安排, 以使液体能够更均匀地冷却冷凝器。例如, 在可选的安排中, 工作流体可以从控制器 20 被指引至入口 17 并从出口 18 移动至泵 19。

[0167] 此外, 应当认识到, 左边和右边的流体收集室 16 可以被保持在不同的温度。这会在冷凝器中生成工作流体的蒸汽的多余过饱和, 并且使液滴的增长比率和液滴尺寸能够根据需要增大或减小。在这种情况下, 每个室都有其自身的温度控制循环。容器中液体的温度可以借助于尝试和错误实验性地被发现, 或根据成核理论来计算。

[0168] 使两个流体收集室 16 保持在不同的温度具有另一重要优势。当冷凝器中的过饱和和足够高时, 不同尺寸的纳米粒子可以在沿其穿过冷凝器的行进的不同位置中形成液滴, 并且因此在不同尺寸的纳米粒子上形成的液滴将增长至各种尺寸。例如, 50 纳米的粒子将产生 0.5 微米的液滴, 而 100 纳米的粒子将生成 1 微米的液滴。这使得纳米粒子的尺寸能够由液滴的尺寸得到, 设施其可以形成特性化气溶胶尺寸分布的方法的基础。

[0169] 还应当认识到, 冷凝器的内表面温度可以是非均匀的, 例如, 其可以随冷凝器的长度线性降低。这会沿冷凝器的长度逐渐增加工作流体蒸汽的过饱和, 并且因此提高装置的使不同尺寸的纳米粒子增长到不同尺寸的液滴的能力。较大的纳米粒子倾向于较早地 (在冷凝器的开始) 形成液滴, 而需要更大的过饱和的较小的粒子倾向于只在冷凝器的端部较迟地形成液滴, 并因此较小的粒子具有较少的时间来增长, 并因此与较大的纳米粒子相比较其增长到较小的液滴尺寸。这使得在冷凝室中形成的液滴的尺寸和纳米粒子的尺寸之间建立一对一的关系成为可能。这种关系可以被用于通过分析液滴的尺寸来评估纳米粒子的尺寸。

[0170] 在本发明的装置中的过饱和可通过壁的温度、装置的部件部分的尺寸和穿过装置的载气和样气流的流速来控制。这些参数的变化使得技术人员能够选择过饱和的条件。在过饱和与能够形成液滴的纳米粒子的最小尺寸之间存在众所周知的联系。因此, 通过改变这些参数 (例如加热元件 3 的温度) 的一个或几个来改变冷凝装置的检测下限是可能的。这在确定纳米粒子的尺寸分布和各种尺寸范围中纳米粒子的比例时是有力工具。它还使能带有预定检测下限, 例如 100 纳米、30 纳米、10 纳米或 3 纳米, 或具有可变的检测下限的冷凝装置的发展。这提供用于制定气溶胶粒子的尺寸的平台, 以便获得纳米粒子尺寸分布。

[0171] 还应当认识到的是, 设立以给予不同的过饱和的条件的本发明的多个冷凝装置可以彼此顺序或并联连接。顺序安排使不同尺寸的纳米粒子能够增长为不同尺寸的液滴。如果第一冷凝室设置比第二低的过饱和, 那么较大的粒子在第一室中形成液滴, 但较小的粒子仅在第二室中形成液滴, 而先前形成的液滴进一步增长并在尺寸上明显地变得更大。对于第二和第三室同样如此。因此, 多个室使多个液滴尺寸能够形成。这允许纳米粒子的尺

寸分布通过分析液滴的尺寸分布来重新得到,例如通过利用光学粒子计数器。

[0172] 在冷凝室并行安排的情况下,所关注的纳米粒子流被分成几个并行流,并且所述流被指引至不同的室。室应被设置为不同的过饱和值,以便具有不同的尺寸检测下限。这使得通过分析在这些室中增长的液滴的数量重新得到纳米粒子数的尺寸分布成为可能。

[0173] 还将认识到的是,改变冷凝装置的温度和其他参数并因此改变过饱和以及在给定测量周期期间的检测下限是可能的。这使得累积的粒子尺寸分布能够被获得。

[0174] 根据本发明的另外的实施方式的装置示意性地示出在图 8 中。在此实施方式中,该装置包括蒸发室(饱和室)2,其包含由受控电源 5 供电的加热元件 3。加热元件 3 与多孔材料 6 紧密接触,多孔材料 6 浸泡有工作流体例如半挥发性化合物,其附着于连接到电源 5 的温度传感器 4。蒸发室具有入口 1 和延伸进入通向冷凝器 7 的喷嘴 22 的出口。冷凝器设置入口 8,包含所关注的纳米粒子的气体样品可以穿过入口 8 被引入到冷凝器中。喷嘴 22 延伸进入冷凝器中,以便它打开进入入口 8 下游的冷凝器中。冷凝器 7 配备有出口 11 和冷却元件 13。

[0175] 图 8 的实施方式工作如下。干净空气(载气)流借助于流生成设备例如泵(未示出)经由入口 1 被指引进入饱和室 2 中。在该室中,加热元件 3 加热工作流体中浸泡的多孔材料 6 以产生蒸汽。包含蒸汽的空气流通过喷嘴 22 被指引至冷凝器,其中空气流被冷却,紧接着与通过入口 8 进入的包含纳米粒子的未加热的样气流混合。喷嘴 22 被设计以使热的蒸汽饱和的空气流传递进入包含纳米粒子的样气流的中心,以便热的蒸汽饱和的流由较冷的样气鞘包围。组合的气体流由控制冷凝室 7 的壁的温度的冷却元件 13 冷却。在冷凝器中,由于热的蒸汽饱和的空气与较冷的样气混合且通过冷凝器 7 的壁冷却,工作流体的过饱和发生。因此导致工作流体蒸汽冷凝到空中纳米粒子上并形成约 1 微米的液滴。这些液滴经由出口 11 被指引至光学粒子计数器并被单独地计数。

[0176] 为了减少粒子损失,喷嘴 22 和冷凝器 7 都具有圆柱形对称性,并且喷嘴 22 以这样的方式沿着冷凝器 7 的轴定位,这样的方式为喷嘴的端部向下游延伸超过第二入口 8。这使得较冷的样气流能够围绕包含蒸汽的载气流来形成。

[0177] 本发明的冷凝装置的优点是,其提供可靠的数据,并且可以被小型化以制定比已知的冷凝计数器的那些小得多的尺寸。

[0178] 在本发明的实施方式的每个中的优选工作流体是半挥发性邻苯二甲酸二甲酯。使用半挥发性化合物的主要优点是,其导致工作流体的低得多的消耗。已经发现本发明的装置可工作超过 10 个月而不需重新填充。

[0179] 流速的选择、饱和室的温度和所关注的空中粒子被引入室中的方式,通常将根据粒子的性质及其浓度作出。冷凝器出口 11 的流出总量经常是在范围从 0.1 到 4l/min。干净的载气流动占总流量的 10-90%。对于邻苯二甲酸二甲酯,饱和室的温度通常是在范围从 80-150℃。

[0180] 为了减少加热元件的功率消耗,可以使用薄膜加热器,其连接到可通过工作流体弄湿的多孔媒质。多孔媒质的一部分的优点是,其是足够长的以与室 2 的底部处的工作流体接触。

[0181] 蒸发室 2 和冷凝室 7 可由多种材料包括任何金属、玻璃或陶瓷或(对蒸发室而言)塑料如 PTFE 来制造,但是优选的使用对空气或其他载气中的氧化是惰性的或稳定的且不

与工作流体发生化学反应的材料或表面处理。耐热玻璃 (pyrex glass)、石英、陶瓷和不锈钢被用于室及其元件的各种变更。

[0182] 也将认识到,包含所关注的粒子的样气流可以通过入口 1 引入,并且干净的空气经由入口 8 引入。对于温度稳定的粒子如金属粒子,这是优选的。然而,由有机化合物形成的气溶胶粒子可能会受到由加热元件产生的高温的影响并应当因此经由入口 8 引入。

[0183] 根据本发明的另一实施方式的装置在图 10 中示出。在此实施方式中,其中蒸发室具有与图 8 的实施方式类似的布局,混合室(中间室)25 被定位在饱和室 2 和冷凝器 7 之间。混合室由具有中心孔口的分隔物 24 分成下游子室和上游子室。喷嘴 22 延伸进入上游子室,并且与喷嘴 22 对齐的圆柱挡板在上游方向从下游子室的端部延伸。这些元件可以由与装置的其余部分相同的材料来制造。混合室 25 和分隔物 24 可以具有圆柱形对称,或者其可以在截面上是矩形的。此实施方式使能够实现最低的 1 纳米的纳米粒子的下检测尺寸。第三入口 23 被提供并且其打开进入圆柱挡板周围的环形空间。

[0184] 在此实施方式中,所关注的气溶胶样品被指引进入入口 8,并且干净的空气流通过入口 23 引入。混合室使所关注的气溶胶样品流能够夹在包含工作流体蒸汽的载气的中央核心流和由来自入口 23 的干净空气形成的外层之间。使用这种类型的装置,发现当夹心中的气体层是圆柱对称的时,获得最佳结果。

[0185] 延长装置的工作寿命而无需频繁地重新填充工作流体是有利的。可以借助于两个冷凝单元与从液滴收集并重复利用工作流体的工具的组合来实现重新填充之间的操作寿命显著比较长,其中液滴已经经过粒子检测器并且其包含空中粒子。这样的组件可以包括两个冷凝单元和用三通阀的气溶胶流动操作以重导向流动的系统。与这样的组件一起使用的冷凝装置与上述其他具体实施方式略有不同,并且合适的冷凝装置的实施例在图 11 中示出。在图 11 的实施方式中,入口 1 接收气体(例如空气),其中是包含从粒子计数器回收的空中粒子的悬浮微液滴。为了防止回收的空中粒子继续通至冷凝器并因此污染包含所关注的粒子的样气,多孔媒质 26 被定位横穿蒸发室中的蒸发室空气流。多孔媒质被选择以便能够执行两种功能。首先,它必须可由工作流体弄湿,以便在加热时它可以用作蒸汽源,以及其次,它必须能够作为过滤器来收集含有微粒的微液滴,从而避免污染多孔媒质的下游区域中的蒸汽。正如上面描述的其他实施方式中,加热元件 3 定位在靠近多孔媒质的表面以蒸发沉积的工作流体。然而,加热元件 3 和多孔媒质 26 之间的热接触在此实施方式中不重要,原因在于由穿过入口 1 进入室的气体所提供的热效应。

[0186] 从以上应该理解,多孔媒质 26 应以用蒸发室的壁形成气密这样的方式来定位,以便穿过入口 1 所接收的所有气体被过滤并且所有空中粒子都被捕捉。在多孔载体上收集的工作流体的液滴可以被重新蒸发并作为蒸汽被释放进入多孔载体的下游侧上的蒸发室。

[0187] 包括上述类型的两个冷凝装置的组件消耗很少的工作流体或没有消耗工作流体,并且因此并不需要被重新填充。这样的组件在图 12 中示出。

[0188] 图 12 中所示的组件包括每个对应于图 11 中所示的装置的两个装置 27 和 28 以及光学粒子计数器 29。三个三通阀 30、31 和 32 和两个开/关阀 33 和 34 指引流体的流动以许可工作流体的再循环。

[0189] 图 12 中所示的组件的功能如下:

[0190] 包含所关注的纳米粒子的空气流经由公共入口 35 由三通阀 30 的适当调整吸入一

个冷凝装置（例如装置 28）中。当阀 34 关闭时，在装置中的纳米粒子上形成的微液滴借助于三通阀 31 被指向光学粒子计数器 29。经过计算之后，微液滴通过三通阀 32 被指引至其他装置 27。在装置 27 中，微液滴被收集到多孔媒质上并且被过滤的干净的空气通过打开阀 33 穿过出口 35 被释放到大气中。因为没有电压施加到加热元件，所以装置 27 中的蒸发室仍然是冷的，并因此储存在多孔媒质上收集的工作流体。

[0191] 在适当的时间段之后，加热装置 27，调整阀的位置，并且允许装置 28 冷却，以便其能够收集工作流体的液滴。先前闲置的设备 27 然后处在工作模式中，并且先前由多孔媒质捕获的工作流体被加热并蒸发以形成然后与上述气体样品流混合的蒸汽。在经过冷凝器和粒子计数器后，含粒子和蒸汽的空气流被指引至装置 28，其中空气被过滤并且工作流体按照上述被收集用于装置 27。然后重复这个循环。

[0192] 室之间的切换所需的时间可以通过试验和错误凭经验地确定。正常地，只需要在数百个小时的操作后切换阀。因此，系统需要相对少的能量来操作并且能量可以很容易地实现。

[0193] 如果有必要，附加的专用气体过滤器可以连接到出口 35 和 36，以在通过多孔载体过滤后阻止气体流中残留的工作流体蒸汽。然而，通过使用诸如邻苯二甲酸二甲酯的半挥发性工作流体，对于大部分应用没有必要使用附加的过滤器，因为半挥发性化合物的蒸汽压非常低。

[0194] 在上述实施方式的每个中，冷凝室可配备工作流体传感器，例如填充玻璃毛细管或露点型传感器（图中未示出）。放置在例如室内的传感器使工作流体的损耗能够被监控。

[0195] 图 13-16 示出用于在本发明的装置中使用的冷凝器的另外的类型。在此实施方式中，冷凝器具有矩形截面。

[0196] 通过使用矩形截面的冷凝器，冷凝室的尺寸可以大大减少。然而，使用一些矩形冷凝器布局，特别是其中冷凝器的入口和出口是圆形截面的管，有潜在的问题是，在冷凝器中可能存在流速的非均匀性。这可能导致一些粒子在冷凝器中要花费比其他粒子更多的时间，意味着在冷凝器中存在粒子的不均匀增长。这反过来可能会导致粒子的数量和尺寸的测量的不准确。图 13-16 示出矩形冷凝器，其提供穿过冷凝器的含蒸汽的气体的大体上均匀的流速。在此实施方式中，提供一对流量分配器，一个连接到矩形冷凝器的任一侧。流量分配器之一与蒸发室流体连通（例如连接），而另一流量分配器与粒子检测器流体连通（例如连接）。

[0197] 因此，如图 13 中所示，矩形冷凝器 103 配备第一流量分配器 102 和第二流量分配器 104，这两个都与冷凝器流体连通。用工作流体饱和的热气体（例如空气）经由入口 101 进入第一流量分配器 102。流量分配器 101 被设计用于向冷凝器 102 供应均匀的流动。因此，流量分配器 102 的入口 101 端部的对面被闭塞，见图 15。在冷凝器 103 的出口处，第二流量分配器被连接以减少冷凝器 103 的出口处流动的非均匀性。气体流动穿过出口 105 离开第二流量分配器。

[0198] 图 14 显示第一流量分配器 101、矩形冷凝器 103 和第二流量分配器 104 的相对位置。

[0199] 图 15 示意性地显示冷凝器 103、流量分配器 102 和流量分配器 104 内部的流动气流的线路。在此实施方式中，沿轨迹 106、107 和 108 移动的气块具有大体上相同的速度，并

因此在矩形冷凝器 103 中具有大体上相同的停留时间,并因此具有形成的大体上相同尺寸的液滴。

[0200] 停留时间的一致性通过设计流量分配器来实现,使得流量分配器的截面的内部面积比冷凝器的截面的内部面积充分地大。作为实施例,如果流量分配器的截面是内部直径 D_t 的圆形并且冷凝器的内部高度是 H_c 并且内部宽度是 W_c ,那么 $\pi D_t^2 > H_c * W_c$ 。 $\pi D_t^2 / (H_c * W_c)$ 的比率应大于 1.1 或优选地大于 2 或更加优选地比率应大于 3。

[0201] 流量分配器 102 和 104 的内部与矩形冷凝器的内部之间的流体连通可以通过提供具有通向冷凝器的细长窄槽或孔线性阵列的流量分配器的壁来实现。在流量分配器 102 和 104 与冷凝器 103 之间提供窄槽是有利的。在图 16 中,垂直截面视图示意性地显示槽 109 和 110。在这种情况下,流量分配器的内部直径可以被减少,由于冷凝器中流动的均匀性通过包含槽的宽度 W_s 但非冷凝器的高度 H_c 的表达式: $H_c > W_s$ 来决定。 H_c / W_c 的比率应大于 1.1 或优选地大于 2 或更加优选地比率应大于 3。

[0202] 在另一实施方式中,流量分配器包含沿矩形冷凝器 103 的入口和出口而不是沿两个槽均匀分布的孔。孔的数量 N_h 应大于 1 或优选地大于 4 或更加优选地大于 10。孔的直径 D_h 应足够小并可以由表达式: $\pi D_t^2 > N_h * \pi D_h^2$ 来计算。 $\pi D_t^2 / (N_h * \pi D_h^2)$ 的比率应大于 1.1 或优选地大于 2 或更加优选地比率应大于 3。

[0203] 在图 13-16 所示的冷凝器安排的一个实施方式中,流量分配器 102 和 104 由 7 毫米 ID 的不锈钢管制造并且长度是 40 毫米。冷凝器 103 由不锈钢板制造,尺寸为: $W_c = 20$ 毫米、 $H_c = 1.4$ 毫米和 $L_c = 30$ 毫米。然而,应该认识到,其他材料可以用于制造流量分配器,例如 PTFE、铝或任何合适的金属、玻璃、陶瓷或塑料材料。

[0204] 还将认识到的是,分配器的截面形状可以是矩形、三角形、椭圆形、多边形或任何简单几何形状的组合。

[0205] 图 17-19 示出蒸发室和相关的工作流体贮存器。

[0206] 图 17 中所示的蒸发室包括由 PTFE 形成的体 200,其围住室内部 216。室具有一对入口 220(未示出在图 17 中,但见图 18),并具有用于连接到冷凝器(未示出)的工具 202。

[0207] 加热元件安装在 PTFE 体 200 的一侧中。加热元件具有可移动地固定在 PTFE 体的壁中的装配部分 206,以及延伸进入室内部 216 的杆部分 210。夹持器 204 使装配部分 206 保持在适当的位置并且 O 环提供装配部分 206 和室体的壁之间的密封。另一 O 环提供装配部分 206 和杆 210 之间的密封。

[0208] 杆部分 212 具有中空内部,其中布置有金属电热丝 222 和热电偶 224(见图 20)。电热丝 222 和热电偶 224 借助于热填充(222)固定在适当的位置,热填充可以是例如焊料或金属填充的环氧树脂。

[0209] 电热丝和热电偶被连接到控制器(未示出)。

[0210] 在加热元件下方,蒸发室的体具有井 214/218,其用于容纳工作液体如邻苯二甲酸二甲酯。井 214/218 经由管 218(见图 18)连接到工作流体的贮存器 216。

[0211] 如图 20 中所示,杆部分由多孔材料的套管 226 围绕,在此实施方式中,多孔材料是多孔织物如石英纤维过滤器或玻璃纤维过滤器或聚合物或金属过滤器。多孔织物的套管具有尾部部分 228,其延伸进入井并作为油绳以把工作流体从井吸引上来。套管借助于夹子 230 保持在杆部分上的适当的位置,夹子 230 设置有孔,通过该孔工作液体可以蒸发,以及

在其下侧的开口,以容纳套管的尾部部分。油绳由油绳夹持器 231 围绕,油绳夹持器 231 由惰性材料例如不锈钢制成。

[0212] 在此实施方式中,加热元件直接与多孔载体接触,从而减少所需的热输入和所花费的时间以使工作流体蒸发以在室内形成饱和蒸汽。

实施例

[0213] 根据本发明的装置的几个实施例已经装配和测试,并且这些在下面被描述。

[0214] 实施例 1

[0215] 如在图 8 中所示构造的一个实施例中,蒸发室(饱和室)2 由不锈钢管(12 毫米 ID)制作并有 30 毫米的长度。3 毫米 ID 的不锈钢管被用于入口、喷嘴与出口。冷却元件由定位于距冷凝室的表面 15 毫米处的 5V DC 微型风扇构建。冷凝器室由 6 毫米 ID、长 60 毫米的不锈钢管来制造,并且加热元件由覆盖有石英纤维材料的 NiCr 加热元件来制造,石英纤维材料足够长以定位在靠近于饱和室的不锈钢圆筒的底部。约 0.5 毫升的邻苯二甲酸二甲酯注入室 2 中作为工作流体。在纳米粒子上形成的微液滴用 MetOne 激光光学粒子计数器来计数。该装置对比 SMPS(TSI)、便携式 SAC 尺寸谱仪(Naneum)和手持式仪器 3007CPC(TSI, 型号 3007)来测试。铬氧化物和大气气溶胶的纳米粒子被用于测试。在测试中,发现本发明的装置使纳米粒子能够在直径上被扩大至 1.2 微米,并且检测范围的下限估计为 4 纳米。

[0216] 实施例 2

[0217] 在使用耦合到 MetOne 激光光学粒子计数器的如图 2 中所示的装置测量的气溶胶粒子数浓度(N)和使用来自 TSI 的手持 3007CPC 测量的气溶胶粒子数浓度(N)之间进行比较。穿过入口 1 进入饱和室的干净的气流量设置在 0.3l/min 并且穿过入口 8 的样气流量设置为 0.5l/min。铬氧化物和大气气溶胶的纳米粒子被用于比较测试。

[0218] 结果在图 9 中示出,其中本发明的装置的数据点显示为黑色正方形而关于 TSI 3007CPC 仪器的数据点显示为白色菱形。在图 9 中,D 是平均直径(纳米),其通过使用参考方法校准来获得。

[0219] 发现本发明的装置使纳米粒子能够被扩大至直径为 1.2 微米。本发明的装置的检测下限估计为 3 纳米。从图 9 清楚的是,本发明的装置的检测下限比 CPC 3007(TSI)的检测下限低。

[0220] 等效物

[0221] 将容易是显然的是,对上面所描述的本发明的具体实施方式进行许多修改和变更,而不偏离本发明的根本原则。所有这些修改和变更意指由本申请来包含。

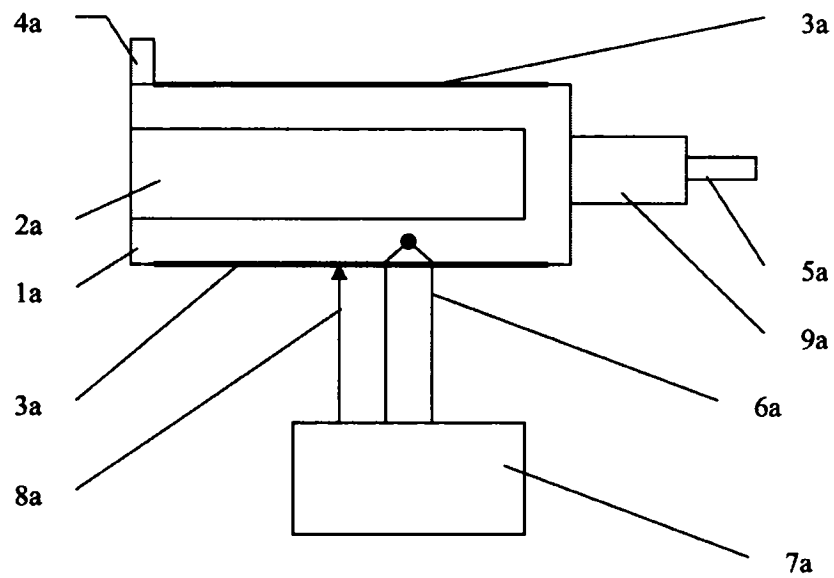


图 1

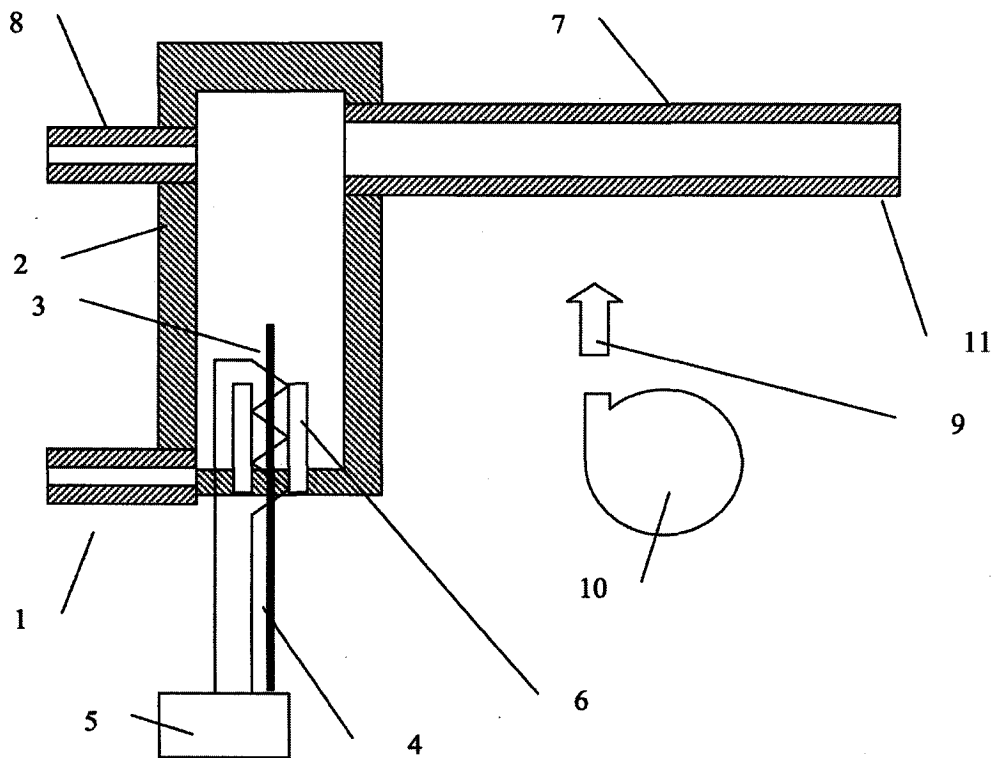


图 2

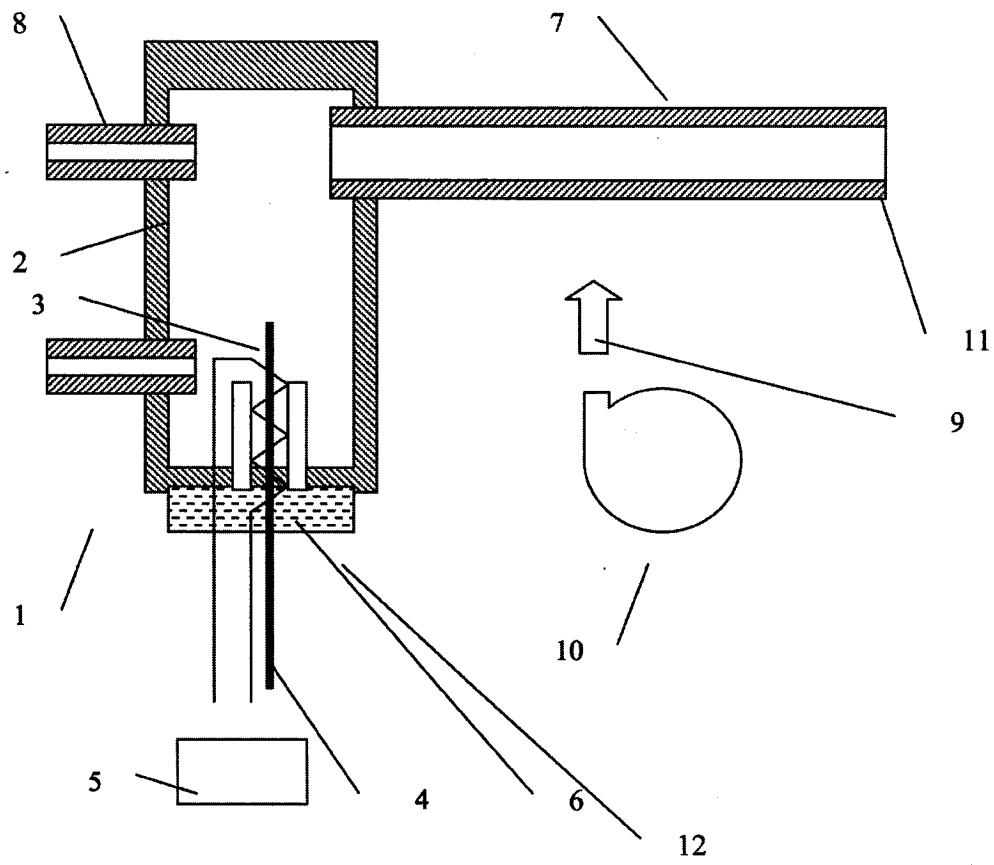


图 3

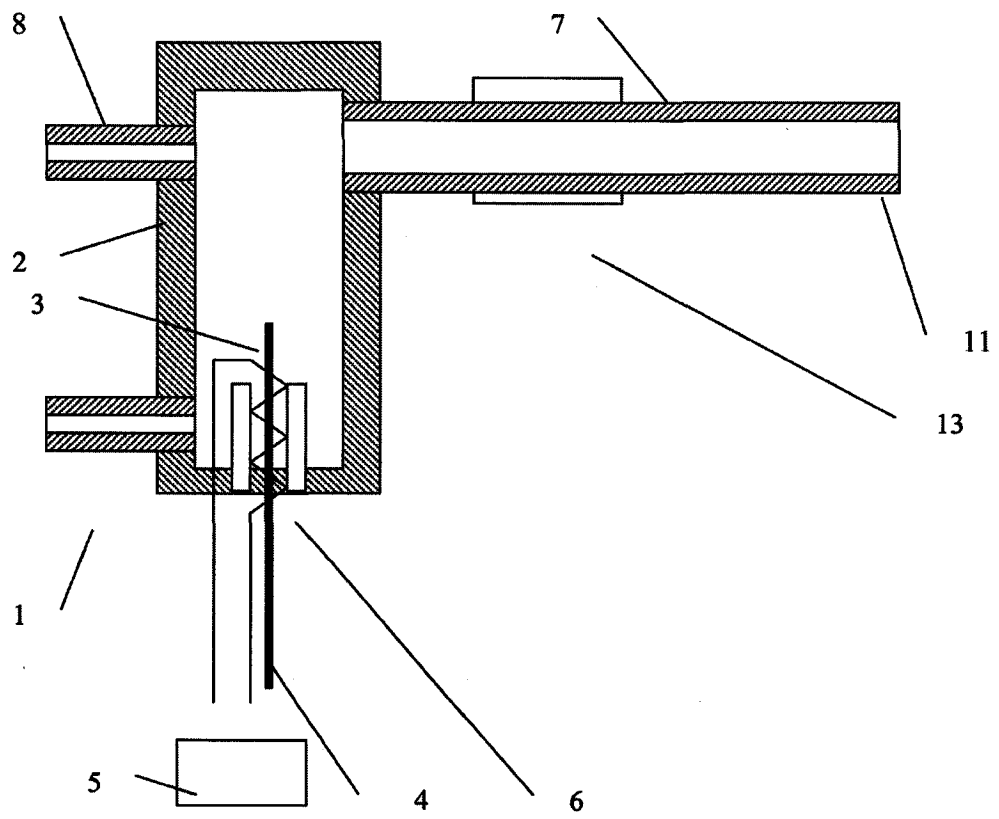


图 4

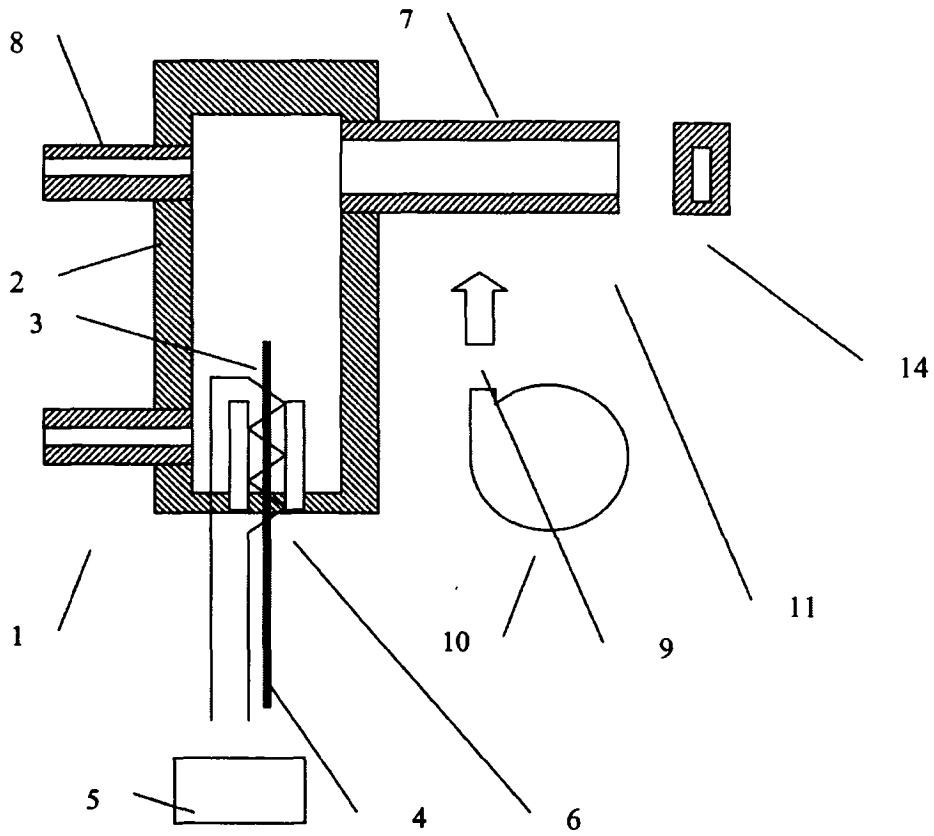


图 5

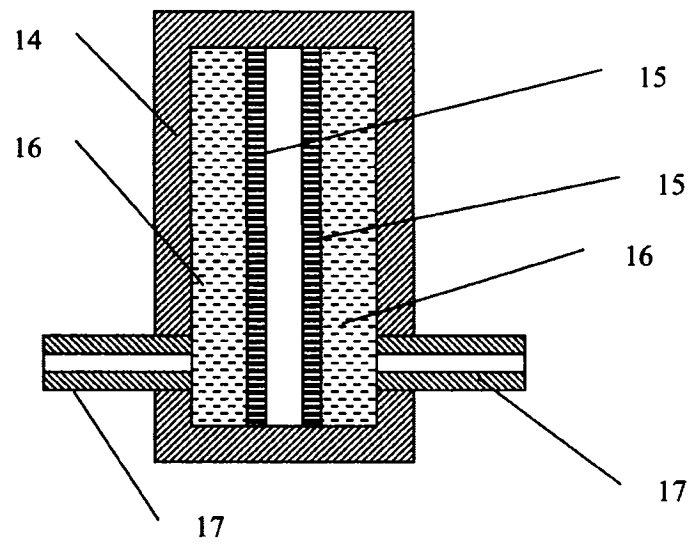


图 6

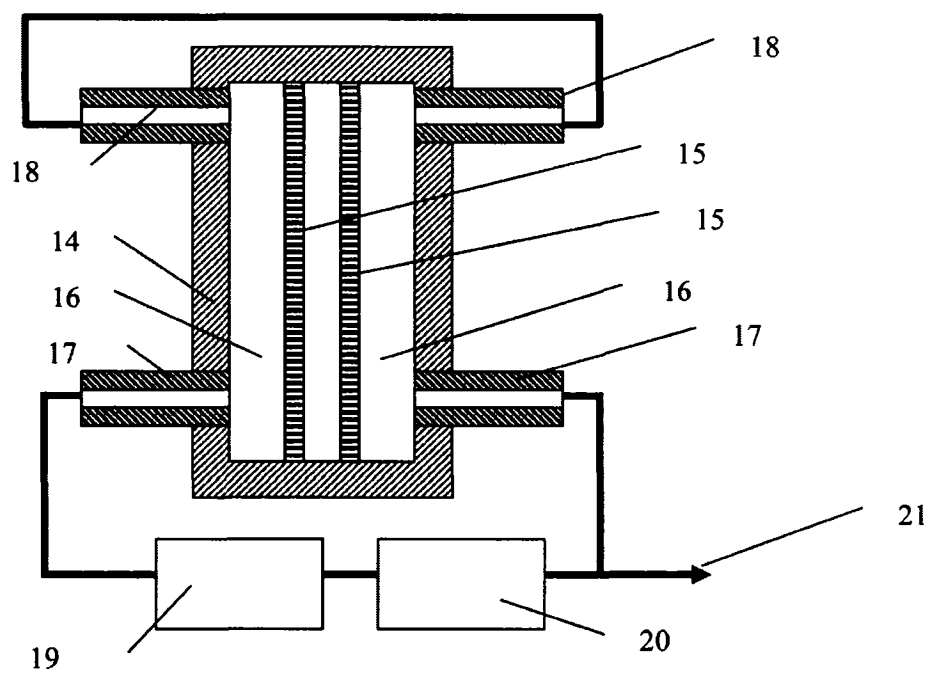


图 7

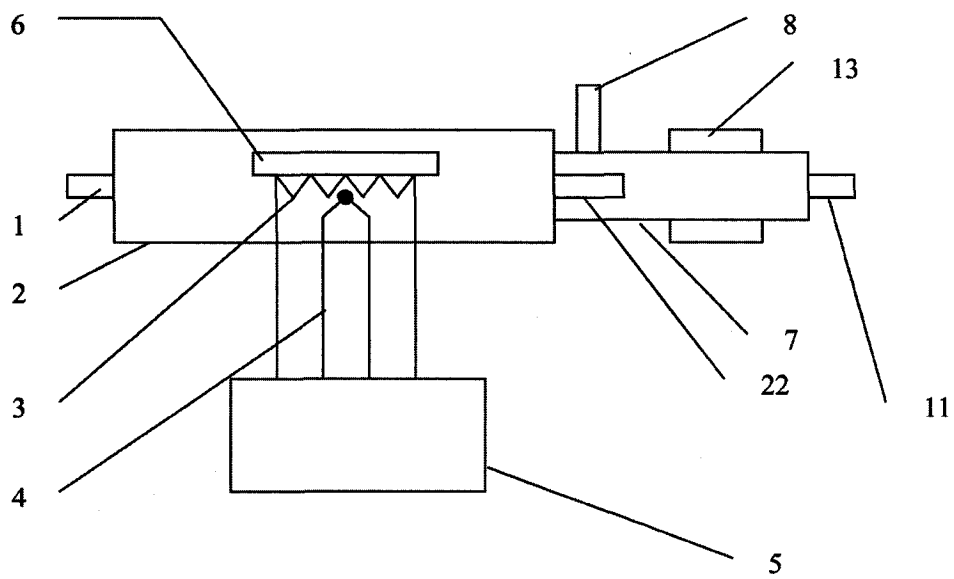


图 8

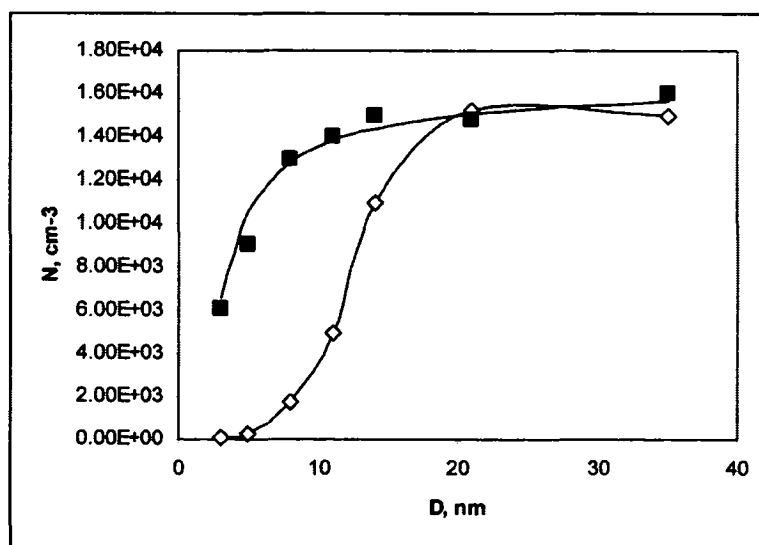


图 9

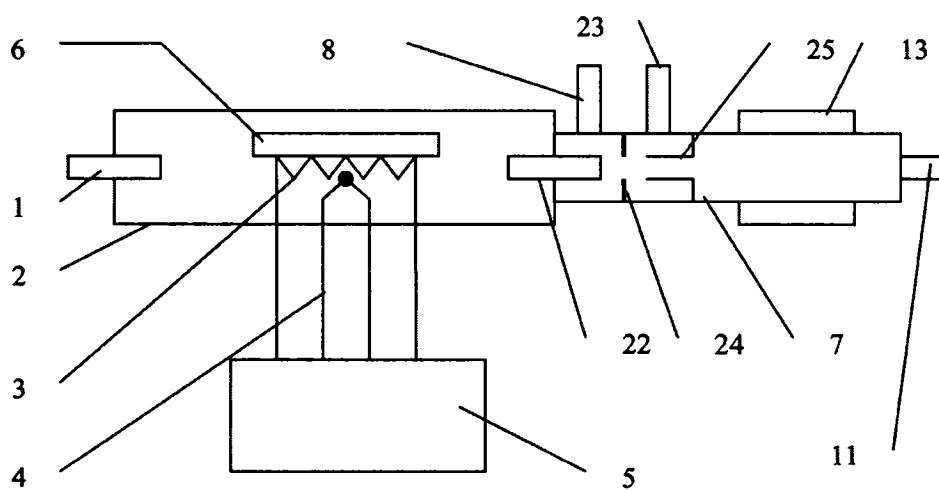


图 10

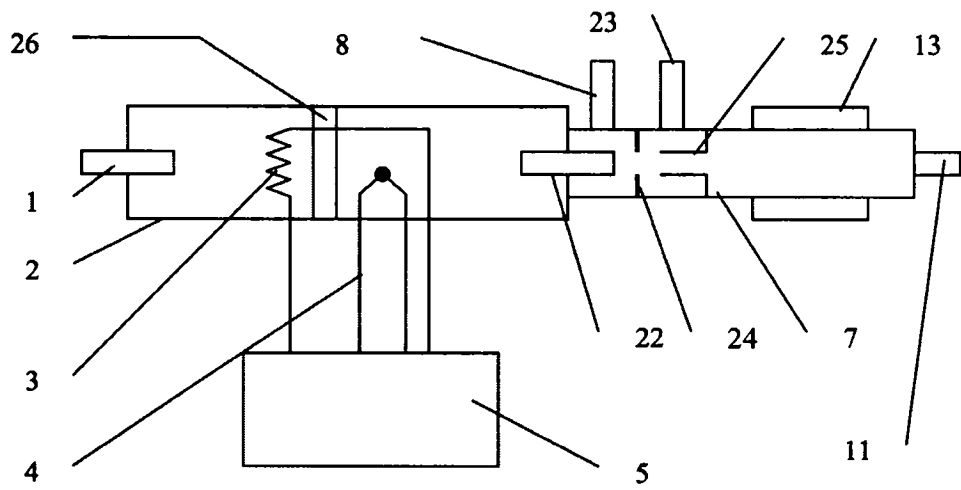


图 11

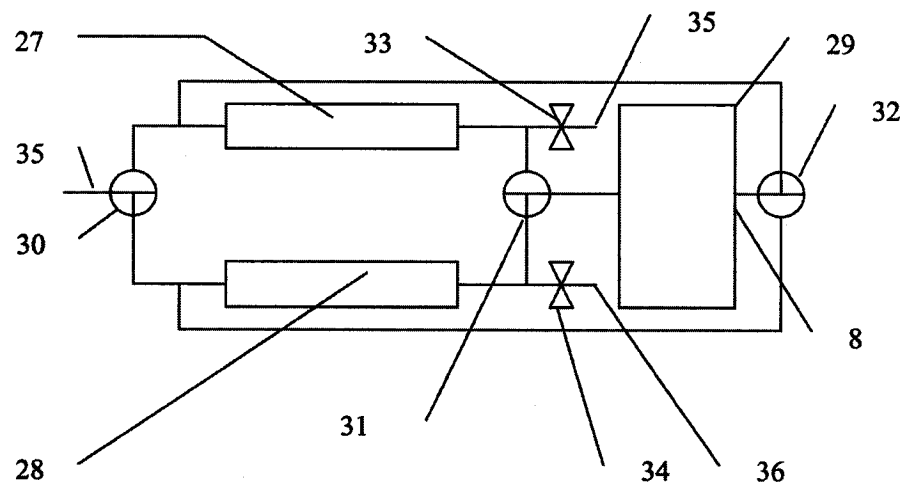


图 12

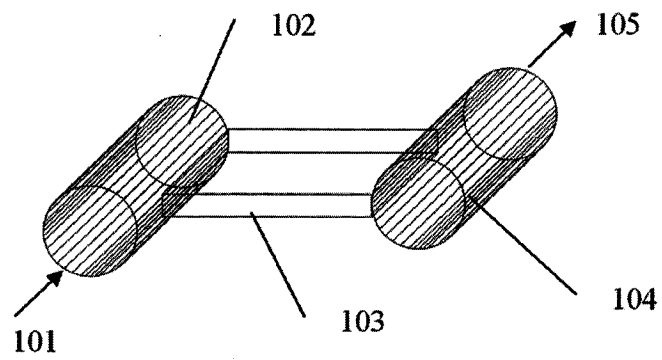


图 13

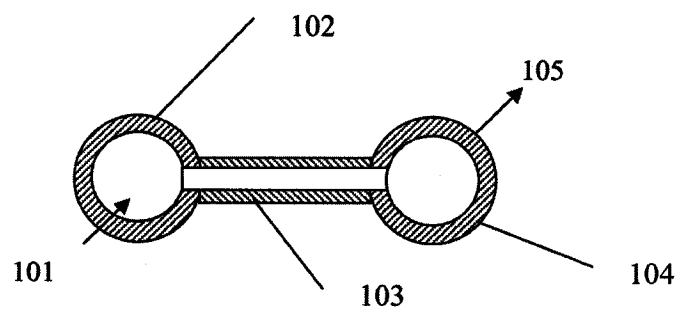


图 14

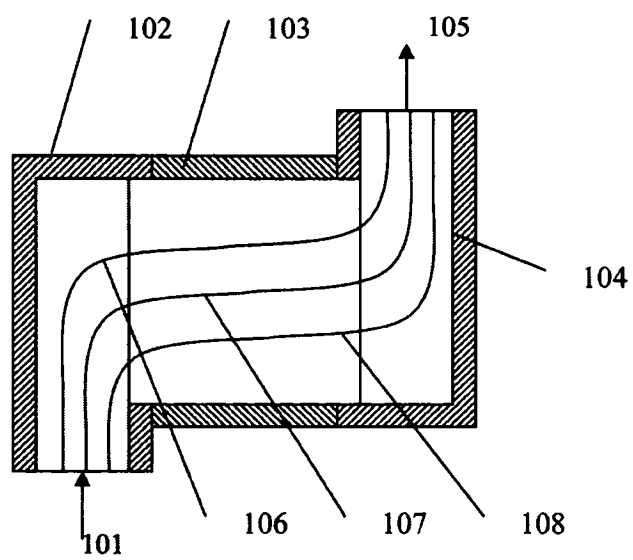


图 15

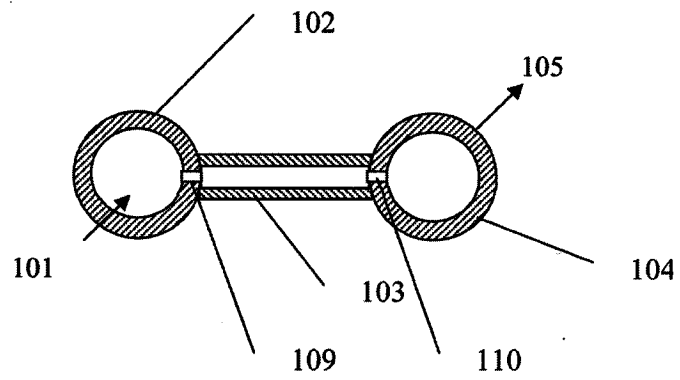


图 16

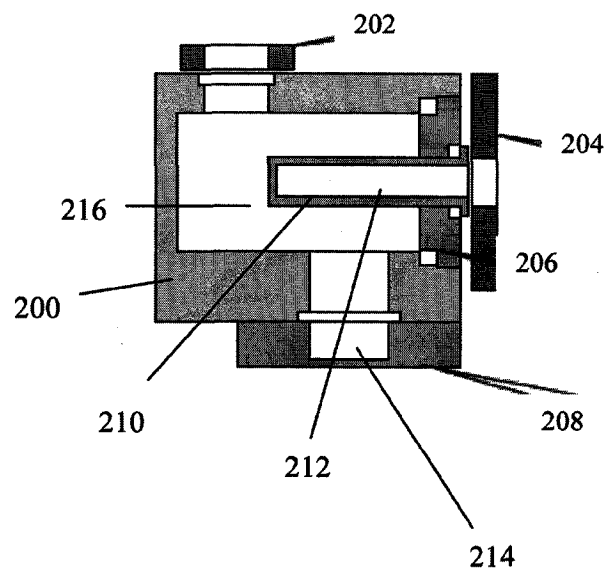


图 17

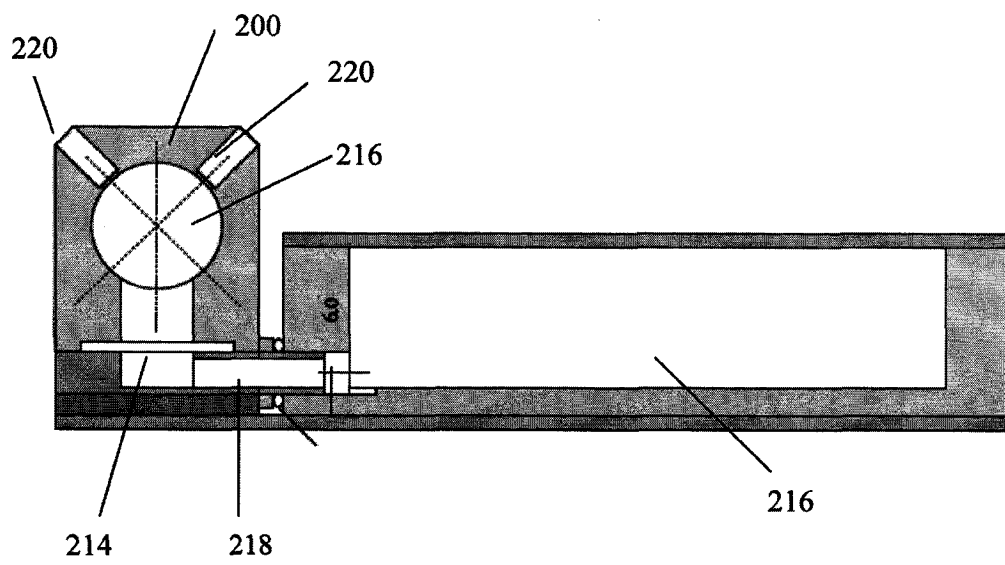


图 18

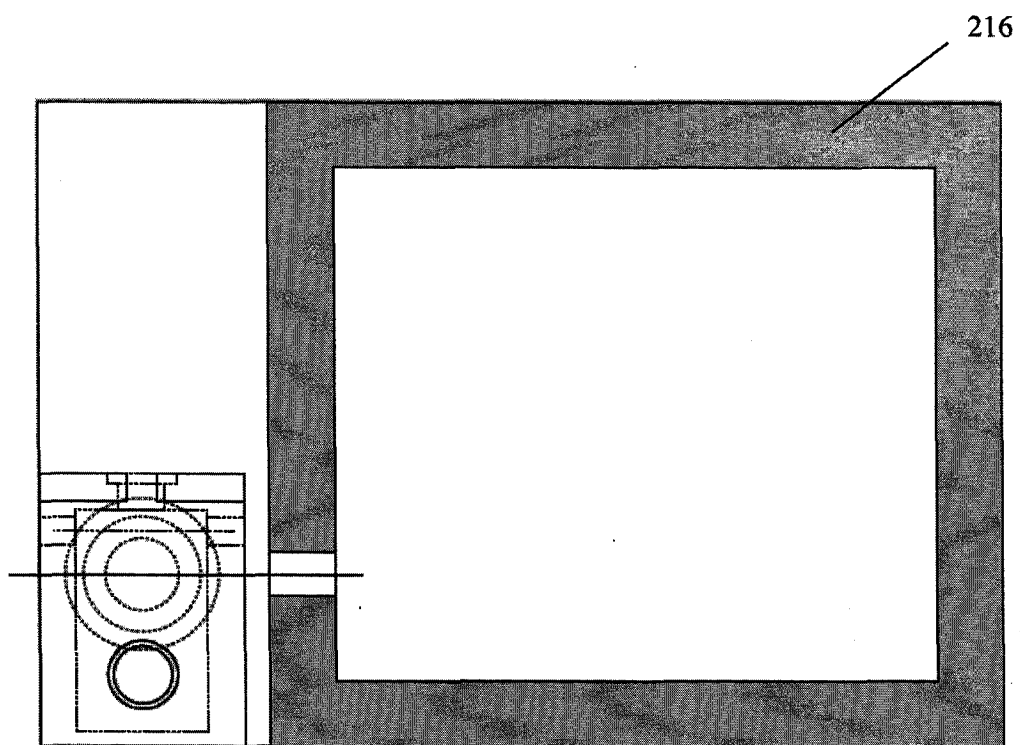


图 19

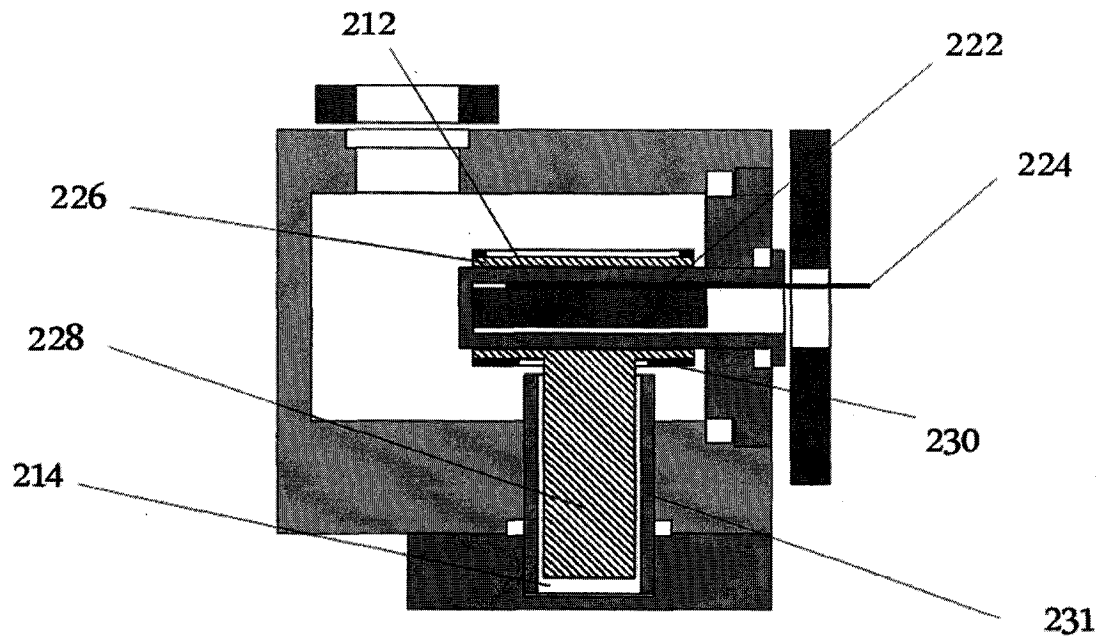


图 20