



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104056721 B

(45)授权公告日 2017.07.28

(21)申请号 201410172642.X

莱尔·德怀特·纳尔森

(22)申请日 2010.04.23

(74)专利代理机构 上海脱颖律师事务所 31259

(65)同一申请的已公布的文献号

代理人 脱颖

申请公布号 CN 104056721 A

(51)Int.Cl.

B03C 3/38(2006.01)

(43)申请公布日 2014.09.24

B03C 3/41(2006.01)

(30)优先权数据

B03C 3/017(2006.01)

61/214,519 2009.04.24 US

B03C 3/155(2006.01)

61/276,792 2009.09.16 US

61/279,784 2009.10.26 US

61/337,701 2010.02.11 US

(56)对比文件

(62)分案原申请数据

CN 87102918 A, 1987.11.18,

201080028787.2 2010.04.23

CN 1624998 A, 2005.06.08,

(73)专利权人 伊利诺斯工具制品有限公司

US 3374941 A, 1968.03.26,

地址 美国伊利诺伊州

US 3764804 A, 1973.10.09,

(72)发明人 彼得·格夫特

EP 0448929 A1, 1991.10.02,

阿列克谢·克洛奇科夫

WO 0038484 A1, 2000.06.29,

约翰·E·米尼尔

审查员 刘瑶

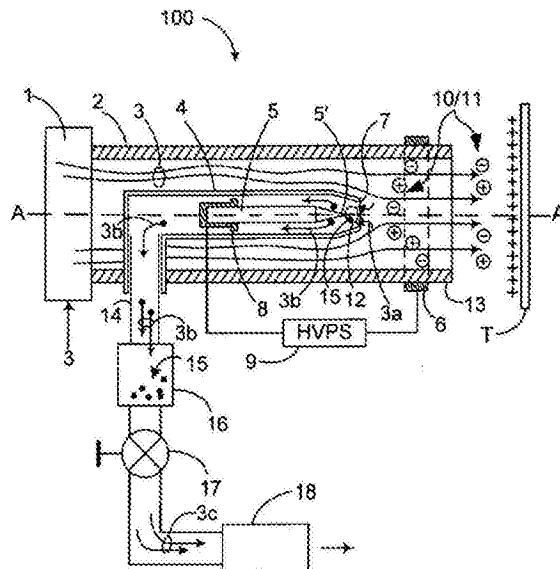
权利要求书3页 说明书12页 附图17页

(54)发明名称

用于静电中和的洁净电晕气体电离

(57)摘要

通过将污染物副产物与电晕产生的离子分离的洁净电晕气体电离包括建立具有压力并流向下游方向的非电离气体流、建立离子和污染物副产物的等离子区域，在该区域中的压力比所述非电离气流的压力足够低，以防止至少很大部分的所述副产物迁移入所述非电离气流，以及对所述等离子区域施加电场使足够引起至少很大部分的所述离子迁移入所述非电离气流。



1. 一种气体电离装置，用于将洁净的电离气流朝向电荷中和目标传送，所述装置接收至少一股具有压力的非电离气流和足够引起电晕放电的电离电势，所述装置包括：

至少一个用于接收所述非电离气流的通道，以及设置在所述通道的下游端的出口喷嘴，所述出口喷嘴用于将所述洁净的电离气流朝向所述目标传送；以及

至少一个外壳组件，包括：

外壳，所述外壳具有与所述通道气体连通的孔，从而一部分所述非电离气流可以进入所述外壳；

至少一个排出端口，所述排出端口提供在所述外壳内部并且在所述孔附近的气压，所述气压低于在所述外壳外部且在所述孔附近的非电离气流的压力；以及

至少一个电离电极，用于响应于电离电势的施加而产生离子和副产物，所述电离电极被设置在所述外壳内，使得离子可以迁移入所述非电离气流从而形成所述洁净的电离气流，并且使得所述排出端口气压引起一部分的所述非电离气流流入所述外壳孔，从而将副产物扫进所述排出端口。

2. 如权利要求1所述的气体电离装置，其中所述装置进一步包括至少一个非电离电极，用于叠加非电离电场，所述非电离电场引起离子迁移通过所述外壳孔并进入所述非电离气流，从而形成所述洁净的电离气流。

3. 如权利要求1所述的气体电离装置，其中所述通道至少部分地由导电材料形成并且包括用于响应于非电离电势的施加而叠加电场的装置。

4. 如权利要求1所述的气体电离装置，其中所述电离电势是至少等于所述电离电极的电晕阈值的射频电势，由此所述等离子区域基本上是电平衡的并且所述副产物基本上被中和。

5. 如权利要求1所述的气体电离装置，进一步包括至少一个喷射器，所述喷射器在所述外壳上游，所述喷射器具有机动连接件和排放连接件，所述机动连接件用于接收所述非电离气流，所述排放连接件用于将所述非电离气流向下游传递到所述通道。

6. 如权利要求1所述的气体电离装置，其中：

所述电离电极包括锥形发射器，所述发射器在离子电晕放电期间产生大体球形的等离子区域，所述发射器面向所述外壳孔并从所述外壳孔凹进一段距离，所述距离大致上等于或者大于所述等离子区域的直径；

所述外壳孔是大体圆形的并且具有直径；以及

所述外壳孔的直径与所述凹进距离的比值在大约0.5到大约2.0之间。

7. 如权利要求1所述的气体电离装置，其中：

所述电离电极包括至少一股线；以及

所述装置进一步包括第二通道，用于接收所述非电离气流和用于将所述洁净的电离气流传送到所述目标。

8. 如权利要求1所述的气体电离装置，其中：

所述非电离气体是正电性气体；

所述电离电势是射频电离电势；以及

所述电离电极产生包括电子、正离子、负离子和副产物的等离子区域。

9. 一种将流向下游方向的非电离气流转换成沿下游方向流向电荷中和目标的洁净的

电离气流的方法,包括:

建立包括电荷载体和污染物副产物的等离子区域;以及

在引起至少很大部分的所述电荷载体从所述等离子区域迁移入所述非电离气流的同时,防止至少很大部分的所述副产物迁移入所述非电离气流,从而产生沿下游方向流向所述目标的所述洁净的电离气流。

10. 如权利要求9所述的方法,其中所述引起步骤进一步包括将非电离电场叠加到所述等离子区域,以足够引起很大部分的所述电荷载体迁移入所述非电离气流,而不足以引起基本上任何的所述副产物迁移入所述非电离气流。

11. 如权利要求9所述的方法,其中所述引起步骤进一步包括将副产物排出所述等离子区域并且远离所述非电离气流而不使很大部分的所述电荷载体远离所述非电离气流被排出。

12. 如权利要求9所述的方法,其中所述建立步骤进一步包括在所述非电离气流内建立受保护的等离子区域,使得在所述等离子区域内基本没有非电离气体流向下游方向。

13. 如权利要求9所述的方法,其中所述建立步骤进一步包括在所述等离子区域中建立射频电离电场从而使所述污染物副产物被夹带在所述等离子区域中。

14. 如权利要求9所述的方法,其中所述建立步骤进一步包括在所述等离子区域中建立射频电离电场,由此所述等离子区域基本上是电平衡的并且所述污染物副产物基本上被中和。

15. 如权利要求9所述的方法,其中所述非电离气体是从由正电性气体构成的组中挑选出的气体的混合物,并且所述建立步骤进一步包括建立包括电子、正离子、负离子和副产物的等离子区域。

16. 一种气体电离装置,用于将洁净的电离气流向电荷中和目标传送,所述装置接收至少一股具有压力的非电离气流和足够引起电晕放电的电离电势,所述装置包括:

至少一个通道,用于接收所述非电离气流并且用于将所述洁净的电离气流向所述目标传送;以及

至少一个外壳组件,包括:

外壳,所述外壳具有与所述通道气体连通的孔,从而一部分所述非电离气流可以进入所述外壳;

至少一个排出端口,所述端口提供在所述外壳内部并且在所述孔附近的气压,所述气压低于在所述外壳外部且在所述孔附近的压力;以及

至少一个电离电极,用于响应于电离电势的施加而产生离子和副产物,所述电离电极被设置在所述外壳内使得至少很大部分所述产生的离子可以迁移入所述非电离气流从而形成所述洁净的电离气流,并且使得所述排出端口气压引起一部分的所述非电离气流流入所述外壳孔从而将至少很大部分的所述副产物扫进所述排出端口。

17. 一种将流向下游方向的非电离气流转换成沿下游方向流向电荷中和目标的洁净的电离气流的方法,包括:

建立包括离子和污染物副产物的等离子区域;以及

在引起至少很大部分的所述离子从所述等离子区域迁移入所述非电离气流的同时,防止至少很大部分的所述副产物迁移入所述非电离气流,从而产生沿下游方向流向所述电荷

中和目标的所述洁净的电离气流。

用于静电中和的洁净电晕气体电离

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请根据35U.S.C.119(e)主张以下共同代决的美国申请的权益：2009年4月24日提交的序列号为61/214,519的美国申请，并且名称为“分离电晕放电型离子发生器中的颗粒和气体离子”；2009年9月16日提交的序列号为61/276,792的美国申请，并且名称为“分离电晕放电型离子发生器中的颗粒和气体离子”；2009年10月26日提交的序列号为61/279,784的美国申请，并且名称为“用电离气流覆盖大面积”；2010年2月11日提交的序列号为61/337,701的美国申请，并且名称为“从电晕放电型离子发生器中的气体离子中分离污染物”；这些申请均通过引用整体地结合在本文中。

[0003] 发明背景

[0004] 1.发明领域

[0005] 本发明涉及使用电晕放电来产生气体离子的静电中和装置的领域，更具体地说，本发明是涉及产生无污染物的电离气流，用于在诸如半导体、电子元件、医药及类似工序和应用的制造过程中常见的洁净和超洁净环境中的电荷中和。

[0006] 2.相关领域的描述

[0007] 洁净环境中的工序和操作特别易于在所有的电绝缘表面 (electrically isolated surfaces) 上产生和积累静电荷。这些电荷产生不期望的电场，这些不期望的电场将大气中的悬浮粒子吸引到所述表面，在电介质中产生电应力，在半导体和导体中引起电流，以及在生产环境中引起静电放电和电磁干扰(EMI)。

[0008] 调控 (mediate) 这些静电危害最有效的方式是为带电荷的表面提供电离气流。这种类型的气体电离允许有效地补偿或者中和不期望的电荷，并因此，减少了与这些不期望的与电荷相关的的污染、电场和电磁干扰的影响。产生气体电离的一种传统的方法被称为是电晕放电。基于电晕放电的离子发生器，(例如，见已公布的专利申请US 20070006478、JP 2007048682) 可取之处在于它们在小空间里可以是高能效和高电离效率的。然而，这种电晕放电装置的一个公知的缺陷是在其中使用的高压电离电极/发射极(以尖端或者细线的形式) 在产生想要的气体离子的同时，也产生不期望的污染物。电晕放电还可激发如在环境大气中的水汽的微小液滴的形成。

[0009] 固体污染物副产物的形成也可能是由与环境大气/气体环境中的电晕放电相关的发射极表面腐蚀和/或化学反应造成。表面腐蚀是电晕放电过程中发射极材料蚀刻或者溅射的结果。尤其是，当电晕中存在负电性气体如空气时，电晕放电产生氧化反应。结果是，产生以不期望的气体(如臭氧和氮氧化物) 和该发射极尖端处的固体沉淀物形式的电晕副产物。出于这个原因，减少污染物颗粒释放的常规做法是使用由强耐腐蚀性材料制成的发射极。然而，这种方法也有自己的缺陷：它往往需要使用与如半导体制造之类的工艺流程无关的发射极材料，如钨。在半导体晶片制造过程中被使用于中和电荷的优选的用于离子发生器的硅发射极，不具有所需的耐腐蚀性。

[0010] 另一种减少电晕离子发生器中发射极的侵蚀和氧化效应的传统方法是连续不断地用与主气流流向相同的洁净干燥空气 (CDA)、氮气等气流/气流鞘 (sheath) 包围该发射

极。这种气流鞘通常是由如已公开的日本申请JP2006236763和美国专利5,847,917中所示出和描述的高压气源提供。

[0011] 美国专利5,447,763中的硅离子发射电极和美国专利5,650,203中的硅离子发射电极公开了相关的发射极,这些专利的全部内容通过引用结合在本文中。为避免半导体晶片的氧化,制造商使用诸如氩气和氮气的正电性气体的空气(atmosphere)。在两种情况下,电晕电离都伴随着污染物颗粒的产生,在后一种情况下,发射极的侵蚀由于电子发射和电子轰击变得恶化。这些颗粒随同鞘气流的流动而移动并且能污染电荷中和作用的物体。因此,在这种背景下,解决一个问题的办法实际上产生另外的问题。

[0012] 各种电离设备和技术都在下述美国专利和已公开的专利申请中描述,这些专利和专利申请的全部内容通过引用结合在本文中:美国专利号5,847,917,发明人Suzuki,其申请号08/539,321,于1995年10月4日提交,于1998年12月8日授权,并且名称为“空气电离装置和方法”;美国专利号6,563,110,发明人Leri,其申请号09/563,776,于2000年5月2日提交,于2003年5月13日授权,并且名称为“管线(in-line)气体离子发生器和方法”;以及公开号US 2007/0006478的美国专利申请,发明人Kotsuji,其申请号10/570085,于2004年8月24日提交,于2007年1月11日公布,并且名称为“离子发生器”。

发明内容

[0013] 本发明通过提供用于从污染物副产物中分离电晕产生的离子并且用于将洁净电离气流传送到中和目标的改进的洁净的电晕放电方法和装置克服了前述的及其它相关技术的缺陷。

[0014] 本发明可以通过叠加电离和非电离电场从而产生离子和副产物并从而引起所述离子进入非电离气流并随之流向中和的目标来达到这个结果。所述非电离电场应该足够强以便引起所述离子进入所述非电离气流从而形成电离气流,但不足够强到使基本上任何污染物副产物进入所述非电离气流。不管是否结合前述非电离电场,本发明都可以使用气压差来从污染物(如(1)小颗粒,(2)液滴和/或(3)某种不期望的气体,中的一种或者多种)中分离所述离子。

[0015] 本发明的分离方法基于正和/或负离子(一方面)和污染物副产物(另一方面)的不同的电的或者机械的移动性。一般而言,已发现由所述电晕电极/发射极产生的污染物副产物具有比正和/或负离子低若干数量级的机械的或者电的移动性。由于这个原因,并且根据本发明,电晕产生的离子能在电场和/或气体流的影响下移动远离所述电晕电极/发射极但所述低移动性的污染物副产物将悬停和被夹带(entrained)在所述发射极尖端附近。因此,并且根据本发明,当所述洁净的并且新的电离气流被传送到目标用于静电中和时,这些污染物副产物也可以从所述等离子区域被排出。

[0016] 更特别地,空气和其他气体离子是如此的小以至于它们的直径只有零点几纳米并且它们的质量是以原子质量单位(amu)来测量。它们通常带有一个电子的电荷量。例如,氮分子具有28amu的质量,氧分子具有32amu的质量,而电子具有大约 $5.5E-4$ amu的质量。通常气体离子的电移动性在大约 $1.5-2 [cm^2/Vs]$ 的范围内。

[0017] 相比之下,电晕放电污染物颗粒的直径(在几十到几百纳米范围)要大得多并且质量也大得多。由于颗粒的机械移动性与它们的质量和/或直径相关,颗粒的直径和质量越

大,它们的移动性就越差。相比较而言,10纳米的硅颗粒具有大约7.0E4amu。22纳米的空气负载颗粒具有大约0.0042 [cm²/Vs] 的电移动性。

[0018] 已进一步发现的是只有一小部分这里讨论的这种纳米污染物颗粒能携带电荷。相比之下,气体离子通常具有至少一个元电荷的电荷。

[0019] 根据这里公开的本发明的电晕放电方法和装置,在离子发射极和非电离参比电极(以下详细讨论)之间有两个不同的区域:

[0020] (a) 等离子区域,这是个很小(直径大约为1毫米)并且通常为球形的区域,通常以每个离子发射极尖端为中心或者在附近,在离子发射极尖端高强度的电场提供具有足够能量的电子以产生新的电子和光子,从而,来维持所述电晕放电;和

[0021] (b) 暗区,这是辉光等离子区域和非电离参比电极之间的离子漂移区域。

[0022] 在一种形式中,本发明包括一种方法,通过提供至少一个具有压力并流向下游方向的非电离气流的同时,在所述电离电极的等离子区域中保持较低压力的方式来分离离子和污染物颗粒。例如,这个实施例可以使用围绕所述离子漂移区域的通道,当低压发射极外壳,至少部分地设置在所述非电离气流内,实质上保护所述电离电极和其等离子区域避开所述离子漂移区域的非电离气流。导致的压差防止至少很大部分的所述污染物副产物移出所述等离子区域并进入所述非电离气流。

[0023] 另外,本发明的一些形式预想气流离子发生器在产生气体离子的同时伴有电晕副产物的移除。本发明的离子发生器可以具有至少一个通道和外壳组件。所述组件可以包括发射极外壳,用于产生包括离子和污染物副产物的等离子区域(电离电势可施加在所述等离子区域上)的装置。用于产生离子(如发射极)和其相关的等离子区域的所述装置可至少部分地设置在所述发射极外壳内并且所述外壳可具有孔以允许至少很大部分的所述离子迁移入流经离子漂移区域且在所述通道内的非电离气流(主气流)。等离子区域的至少一部分可以被保持在足够低的压力以防止基本上所有的所述电晕副产物迁移入所述主离子流,但不低到足以防止至少很大部分的所述气体离子迁移入所述主气流。因此,流经所述通道的所述离子漂移区域的气体可以被转化成洁净的电离气流从而向中和目标的下游方向传送这些离子。同时,低压发射极外壳可以保护或掩护用于产生离子及其等离子区域的所述装置避开所述非电离气流的相对高压使得基本上没有污染物副产物迁移入所述主离子流。

[0024] 在一些实施例中,本发明可以采用一个或者多个与所述发射极外壳气体连通的可选的排出端口,通过这些端口污染物副产物可以被排出。

[0025] 在另一些实施例中,本发明可采用可选的与所述排出端口和压力较环境大气低的气体源气体连通的污染物副产物阱/过滤器。

[0026] 本发明的另一可选的特征包括具有与离子发生器控制系统通信连接的输出端的真空和/或低压传感器的使用。以这样的布置,所述控制系统可以用来采取各种行动以响应触发信号。例如,如果所述排出端口中的压力水平增加到预先确定的阈值水平之上,所述控制系统可以关闭所述高压电源从而防止所述通道内的气流被电晕副产物污染。

[0027] 本发明的另一个可选方面可以包括具有机动部分(motive section)的喷射器、具有吸入端口的膨胀室和排放部分的使用。所述室的吸入端口可以与所述污染物过滤器的出口气体连通。结果是,电晕副产物可通过所述发射极外壳的排出端口拽向所述喷射器的吸

入端口。

[0028] 本发明的相关可选方面预想使用一装置,该装置用于使所气体从所述发射极外壳回流到所述喷射器的膨胀室并且用于从所有或者一些所述回流的气体中清洁电晕副产物。

[0029] 本发明的另一形式可以包括位于所述通道内或者外部的至少一个参比(非电离)电极从而当该电极被施加非电离电势时,电力地引起(electrically induce)正和/或负离子移出所述等离子区域并进入所述主气流。本发明这种形式的单独使用,或者可以与本文中讨论的压差方法和/或装置的结合使用,都可以达到本发明的目的。

[0030] 所述通道,至少部分,可以由高阻抗材料制造,参比电极可以被置于所述通道的外部表面上。结果是,由于颗粒产生和电晕化学反应被减少,通过高压气流,在较低的电晕电流下能实现高效的离子获得和迁移。

[0031] 在本发明的另一个可选方面中,交流电压可以被施加到至少一个发射极以在所述发射极尖端附近产生双极性等离子区域,并且至少大大减少电晕生成的污染物颗粒上的电荷堆积。结果是,污染物颗粒的电移动性进一步降低,离子和电晕副产物之间的分离被加强。

[0032] 当然,上述本发明的方法尤其适合于与上述本发明的装置结合使用。类似的,本发明的装置也非常适合于执行上述本发明的方法。

[0033] 从以下优选实施例的详细描述、从权利要求以及从附图中,本发明的许多其它优势和特征对本领域普通技术人员来说将变得明显。

[0034] 附图的简要说明

[0035] 下面将参考附图描述本发明的优选实施例,附图中,同一数字代表同一步骤和/或结构,并且其中:

[0036] 图1a是用于静电中和的洁净电晕气体电离的第一优选装置和方法实施例的示意图;

[0037] 图1b是用于静电中和的洁净电晕气体电离的第二优选装置和方法实施例的示意图;

[0038] 图1c是用于静电中和的洁净电晕气体电离的第三优选装置和方法实施例的示意图;

[0039] 图2a、2b、2c是用于图1a-1c中任一个或多个图中所示的优选实施例中的发射极壳组件的三个可选实施例的示意图;

[0040] 图3a是如图1a和图2a中所示的具有一个通道的气体电离装置的部分截面正视图;

[0041] 图3b是采用两个通道的优选的气体电离装置的一般结构的截面立体图。

[0042] 图3c示出具有两个通道的气体电离装置的一般结构的立体图,该装置采用图3b中所示的设计;

[0043] 图3d示出图3b和3c所示的具有两个通道的气体电离装置的另一截面立体图;

[0044] 图3e示出图3a中所示的具有一个通道的气体电离装置的另一截面立体图;

[0045] 图4a、4b和图4c是呈现使用图3c中的方法和装置实施例所取得的实证检验结果的图表;

[0046] 图5a、5b、5c和5d是示出用于图1a-1d中所描述的优选实施例中的发射极外壳和电离发射极的四个可选实施例的部分截面视图,其中每一个可选的实施例使用彼此处于各种

不同位置的喷射器和发射极外壳；

[0047] 图6是图5a中发明的气体电离装置的一般结构的立体图，该装置具有两个通道和位于发射极外壳上游的喷射器；以及

[0048] 图7是根据本发明另一实施例的、具有真空传感器和控制系统的气体电离装置的示意图。

具体实施方式

[0049] 图1a是本发明的第一优选方法和装置实施例的示意图。图3a和3b的截面正视图和截面立体图展现了图1a描述的本发明的各种结构细节，因此，对于这些图也作了参考。

[0050] 如前述附图中所示，本发明的管线式电离池 (in-line ionization cell) 100包括容纳在插座8中的至少一个发射极(例如，电离电晕电极)5，并且两者都位于中空的发射极外壳4内部。电极/发射极5可以由大量的已知金属材料或者包括单晶硅、多晶硅等非金属材料制成(取决于其被使用于的特定应用和环境)。发射极外壳4优选地位于在优选为高阻的通道2内部沿轴A-A共轴，该通道2限定用于气流通过的通路。作为一种选择，通道2可主要由半导体材料或者甚至是导电材料构成，只要至少内表面是非导电的表皮或层。这些组件连同参比电极6、用于气流3的出口13和排出端口14一起用作电离池，在电离池中发生电晕放电并且电离电流流动。高压气体源(图1a中未示出)可提供一股洁净气体3，如CDA(洁净干燥的空气)或者氮气(或其它正电性气体)，以大约30到150升每分钟范围的大体积(hight volume)通过进气端口1并进入通道2。然而，最优选的是大约40到90升每分钟范围内的速度。

[0051] 当高压电源(HVPS)9的交流(AC)电压输出(超过发射极5的电晕阈值(corona threshold))通过插座8被施加到发射极端部5'时，气体电离开始。如本领域所公知的，这导致在发射极端部5'附近并且通常从发射极端部5'发出的通常球形的等离子区域12中由交流电(或者，在可选的实施例中，直流电)电晕放电产生正负离子10、11。在这个实施例中，根据包括是否使用正电性非电离气体在内的各种不同的因素，电源9优选地给电极6施加具有范围从大约0到200伏的AC分量和DC分量的非电离电势。其中该非电离气体是空气，非电离电压可以在零伏以下浮动。电绝缘参比电极6优选地置于通道2的外表面周围从而在等离子区域，除形成的所述电离电场之外，呈现相对低强度(非电离)的电场。以这种方式，电力(和固有的扩散)使至少很大一部分离子10、11从等离子区域12进入离子漂移区域(通过外壳4的排出孔7并且朝向参比电极6)。由于接近电极6处，电场的强度是低的，离子10、11被扫进主(非电离)气体流3(从而形成为洁净的电离气流)并且通过出口管口13被引导向下游并且朝向中和目标表面或者物体T。任选地，通道2的出口管口13可以被设置成类似传统的离子传送管口。

[0052] 如图1a中所示，排出端口14可以与发射极外壳4在其一端气体连通，并且该排出端口14与真空线路18气体连通，该真空线路18被保持在比所述发射极外壳孔7附近的气压以及发射极外壳4外面的主气流3的气压都要低的气压。图1a中还示出其它可选的部件，如污染物副产物过滤器16和/或可调节阀17，可以位于端口14和线路18之间。可选的过滤器16可以是高效过滤器或过滤器组，如对于尺寸为10纳米以上的颗粒过滤率达到99.9998%的管式过滤器。

[0053] 在电离池100的一个优选实施例中,发射极5(或者一些其他等同的电离电极)接受足够高频的高压交流电(例如,射频)以便导致的电晕放电产生或者建立具有正负极性的离子10、11的等离子区域。这最好基本上是电平衡的以便污染物副产物大致电荷中和并且被夹带在该等离子区域内。在采用洁净干燥空气作为非电离气流的实施例中,由于与空气中的氧气结合,因电晕放电可暂时存在的任何电子几乎全部并且几乎瞬间失去。相反,采用正电性气体(或多种正电性气体)作为非电离气流(如氮气)的实施例能使等离子区域包括正负离子、电子和污染物副产物。

[0054] 如本领域所公知的,这种电晕放电还会导致不期望的污染物副产物15的产生。可以理解的是,如果不是因为保护性发射极外壳4,由于离子风、扩散和发射极5的端部5'发出的电斥力,副产物15会连续不断地移动进入通道2的气流3中。最终,污染物副产物15会连同新产生的离子一起被扫入非电离气流3从而被引导通过管口13并朝向电荷中和目标物体T。

[0055] 由于发射极外壳4的存在和由排出端口14呈送的低气压,不管怎么样,在由发射极端部5'产生的等离子区域12内和/或附近的气体流动模式防止污染物15进入气流3。特别地,图1a中所示的构造在孔7附近的非电离气流和等离子区域12(外壳4内)之间产生压差。因为这种压差,高速气流3的部分3a从通道2漏出,通过孔7并进入外壳4。这股气流3a产生曳力(drag force),该曳力引起几乎所有电晕产生的副产物15,从等离子区域12,进入排出端口14。所导致的携带污染物副产物15的受污染气流在所有附图中都用标号3b标注。普通技术人员将理解副产物15受到与上面所讨论的迫使离子10、11进入主气流同样的离子风、扩散和电子力。然而,本发明旨在创造条件,在该条件下,气流部分3a足够强以克服这种反向力。结果,离子10和11,以及副产物15被空气动力地和电力地分离并且以不同方向移动:正负离子10、11进入非电离气流以形成朝下游流向带电物体T的电离气流。相反,副产物15被排出和/或扫向排出端口14并且,优选地,到达副产物收集器、过滤器或者阱16。

[0056] 如图1a所示,过滤器16优选地连接到可调节阀17和低压气流源或者真空线路18。这种情况下,低压气流3b连续不断地从等离子空间12携带副产物15进入排出端口14和过滤器16。一旦气流3b已经被过滤,所导致的洁净气流3c可以被排到别处或者如下面详细讨论的那样回流入气流3。用在所述各种优选实施例中的优选的过滤器为位于美国密歇根州(邮编48314),斯特灵海茨市,地波罗马特街6558号的美国过滤系统有限公司制造的DIF-MN50型过滤器,并且这种过滤器/阱可以被用来捕捉/收集/捕获10纳米大小的微粒污染物。

[0057] 为了从发射极外壳高效地移除电晕产生的副产物,优选地具有某个最小压力流32a/32b。尽管如此,这种压力流最好任就是足够小的以允许至少很大部分的离子10、11从等离子区域12迁移出朝向非电离参比电极6。就这一点而言,应当注意的是,如本领域所公知的,大约99%的离子复合率是常见的,因此,根据上下文语境,即使少于1%的离子可被认为是很大部分的离子。低压气流3a/3b优选地在大约1-20升每分钟范围内。最优先地,低压气流3a/3b应当为大约4-12升每分钟以便可靠地排出大范围尺寸的颗粒(例如,10纳米-1000纳米)。

[0058] 如上面所提到的,通道2优选地由高阻抗的电绝缘材料如聚碳酸脂、Teflon®牌产品、陶器或者其它这样的本领域公知的材料制成。如图1a中所示,非电离参比电极6优选地被配置为嵌入在通道2墙内的窄金属带或者环。或者,参比电极6可位于通道2的外面(例如,在外表面上)。无论如何,参比电极6可以被连接到所述装置(图1a中未示出,见例如图7)的

控制系统或者参比电极6可以被连接到电源9的低电压端(例如,地面)。由发射极5接收的电势可以是大约3千伏到大约15千伏的范围并且通常约为9千伏。参比电极接收的电势是在大约0伏到大约200伏的范围内,通常约为30伏。

[0059] 可以注意到的是,射频电离电势优选地通过电容作用到电离电极5。类似地,参比电极/环6可以通过电容和电感(以及LC电路)“接地”,从该电容和电感中可取得反馈信号。这样的安排,从而,在电离电极5和非电离电极6之间具有电场。当电极间的电势差足够建立电晕放电时,电流将从发射极5流到参比电极6。由于发射极5和参比电极6都被电容隔开,相对小的直流补偿电压自动建立并且任何可能呈现的瞬态电离平衡补偿将降低到大约零伏的静止状态。

[0060] 图1b是本发明的第二优选方法和装置实施例的示意图。如使用相同标号标注所示,图1b发明的管线式电离池100' 在结构和功能上基本与图1a中的电离池100相同。因此,除以下即将明确讨论的不同之处外,以上电离池100的讨论也适用于电离池100'。如图1b所示,发射极外壳4'、插座8' 和排出端口14' 不同于电离池100的它们各自的部件。特别地,电离池100' 优选地预想使用排出端口14' ,其中用于从电源9向发射极5供应高电压的插座8' 通常一体地形成在该排出端口14' 中。此外,端口14/插座8可以采用中空管的形式,确定至少一个(并且优选为多个)定位孔以便它们被置于发射极外壳4' 内。以这种方式,低压副产物流可以经由孔A1和/或A2通过端口14' 排出。

[0061] 图1c是本发明的第三优选方法和装置实施例的示意图。如使用相同标号标注所示,图1c发明的管线式电离池100" 在结构和功能上基本与图1a中的电离池100相同。因此,除以下即将明确讨论的不同之处外,以上电离池100的讨论也适用于电离池100"。如图1所示,通道和参比电极2/6' 以及输出管口13' 不同于电离池100的它们各自的部件。特别地,电离池100" 优选地预想使用也与一体形成的参比电极起同样作用的导电沟道2/6' 。同样地,导电沟道2/6' 可以从电源9的低电压端接收工作电压。此外,输出管口13' 可以被配置如同具有比通道2/6' 更小截面的管口(或者歧管)。这种配置在发射极外壳4的孔7附近产生正压力,反过来使电离池100" 能根据需要运行,不论排出端口14是与线路18气体连通还是仅与环境大气气体连通。在这两种情况下,端口14呈现的压力比孔7附近气压的压力低。根据这里的讨论,普通技术人员将能理解将上述电离池100' 的排出端口14' 和插座8' 并入到电离池100" 作为其他的变型。

[0062] 现联合参考附图2a、2b和2c,将呈现几种不同的发射极外壳组件4a、4b和4c结构的更多细节。如图中所示,本发明预想优选的外壳组件(在图1中示意性地表示为外壳4,发射极5,插座8和排出端口14)可以采用图2a、2b和2c中所示的三种可选择的设计中的任何一个。在所有这些可选项中,中空的外壳4将优选地具有空气动力的外表面(例如,诸如椭球或者球体)以使在其周围以及通道2中流动的高速气流的速度下降最小化。任何或者全部外壳4、4' 和/或4" 可以由绝缘材料制造并且优选地由耐等离子体(plasma resistive)绝缘材料如聚碳酸脂、陶瓷、石英或者玻璃制成;在这种情况下,出口19和孔7将优选地由非导电的陶瓷制造。作为其它可选的项,一些或者全部外壳4、4' 和/或4" 的每一个可以涂覆耐等离子体绝缘材料的表层。

[0063] 继续联合参考图2a、2b和2c,离子发射极5优选地定位为沿外壳的中心轴A,并被容纳于该外壳中从而发射极5的电晕放电端从孔7向内间隔(或者,等同地说,从孔凹进)距离

R。所述凹进距离R越大,来自等离子区域12的污染物副产物就越容易如所期望的那样被低压气流3a扫向排出端口14、14'或者14"。然而,所述凹进距离R越小,来自等离子区域12的离子就越容易如所期望的那样迁移通过孔7并进入主气流2的离子漂移区域。为寻求这些竞争考量的最优平衡,已经确定的是如果距离R被选为等于或大于在发射极端部5由电晕放电产生的等离子区域12的尺寸(等离子区域通常为大约1毫米跨度)就能达到最佳的离子/副产物分离。另外,优选的距离R可与圆形孔7的直径D(在大约为2毫米到3毫米的范围内)相当。最优先的是,D/R的比值范围可以从大约0.5到大约2.0。

[0064] 虽然电离电极5优先地被配置为带有尖端的锥形针,可以理解的是本领域所公知的很多不同的发射极配置都适合在根据本发明的电离外壳组件中使用。这些配置可以包括但不限于:尖端、小直径丝(wires)、线环等等。进一步地,发射极5可以由本领域所公知的各种不同材料制成,包括金属和导电的以及半导电的非金属如硅、碳化硅、陶瓷和玻璃。

[0065] 现特别注意图2a,可以看到与尖端相对的发射极5端部优先地固定在导电插座8中。图2a中示出的发射极外壳4具有孔20,弹簧承载的连接器(pogo pin)21通过孔20可与插座8电连接以便从高压电源9(未在图2a、2b或2c中示出)输送高电压到插座。进一步地,可以注意到的是在这个实施例中,排出端口14优先地大致在发射极5的尖端附近延伸通过外壳4。并且,虽然未示出,可以注意到的是组件4还可以包括安装插头,如下面讨论的有关图2b、2c、3a和3b中的插头23。图3a和3e示出图2a的电离外壳组件4的物理实施例(如图1a所示的完整的电离池100的示意性实施例中所使用的)的立体截面正视图和立体图。

[0066] 图2b和2c示出可选的外壳组件变型4'和4"。在这两个实施例中,排出端口14'和14"具有两个功能:防止与发射极5电连接和排出来自发射极外壳的低压副产物流3b(包括电晕产生的污染物)。在这些实施例中,端口14和/或14'可以采用与插座8电连接的中空导电管形式。端口14'和/或14"也可以提供至低压源和至高压电源9的可拆卸地电连接。在图2b的情况下,电连接是由于中间导电元件22的使用而间接实现。在图2c的情况下,由于端口14"和发射极插座是一体形成的,电连接直接实现。最后,可以注意到的是,为了如图2b、2c、3a和3b各种不同展示的那样方便地安装进主通道2和/或方便地从主通道2移除,外壳组件4b和4c可以被放置在安装插头23上。从而,这种设计提供接触电离池和离子发射极的便利而便于维护和替换(如果需要的话)。

[0067] 联合参考图3a和3e,其中示出带有一个通道2的气体电离装置的各种物理描述。再联合参考图3b、3c和3d,其中示出带有两个通道2a和2b的气体电离装置的各种物理描述。可以注意到的是这两个实施例都是基于与上述,尤其是关于图1a所讨论的相同的原理运行,主要的不同是使用了一个还是两个通道。然而一个通道的实施例特别有利于非电离气流的自由流动,两个通道的实施例较容易制造并且成本较低。

[0068] 图3a提供一个实施例沿第一平面截取的截面视图。图3e提供同一实施例沿垂直于第一平面的第二平面截取的截面视图。图3b提供两个通道的实施例沿第一平面截取的截面视图。图3d提供同一实施例沿垂直于第一平面的第二平面截取的截面视图。可以注意到的是通道2a在图3b中不可见,因为它所在的装置的部分被截面移除了。图3c的立体图中示出另一电离装置实施例的一般结构。如其中所示出的,该装置实施例包括图3b和3d中所描述的装置。然而,这个实施例也包括用作排出端口14的低压气流板载源(on-board source)的喷射器26,从而无须将端口连接到任何外部的真空线路(如关于上述讨论的实施例所使用

的线路18)。本发明的这一实施例中优选使用的喷射器为ANVER JV-09系列的小型真空生成器,由位于美国马萨诸塞州(邮编01749),哈德逊,怕门特路36号的Anver公司制造并销售。如图所示出的,各种通道、端口、通路和/或孔可以由碾轧/钻孔和/或其他方式在单个电绝缘材料块B上钻孔的方式来制造,该电绝缘材料是如聚碳酸脂、Teflon®牌产品、陶瓷或者其它这样的本领域公知的材料(其轮廓用点线示出以方便看到它的内部)。或者,材料块B可以被模塑成型或者通过其他本领域已知的方式形成。如图3c中进一步所示出的,高压非电离气体源可由进口装置24接收并且被传送到T形物25(或者分支),该T形物25将该高压气流分成两部分:被引导向发射极外壳4(大致上与图1a中所示的布置相似)的主气流,和小部分的高压气流,该小部分高压气流通过T形物25被引导到喷射器26的机动端口(motive port)27。在此实施例中,喷射器26的吸入连接件28为排出端口14提供低压气流以便经过并朝向喷射器排放连接件29的污染物副产物流3b,或者废气,可以被过滤器16拦截。在这个实施例中,从过滤器16出来的洁净气体可以被排放到环境大气(或者,可选择地,回到离子发生器)。洁净电离气体的主离子流从电离池流到出口管13并流到目标中和表面或者物体(未示出)。虽然图3c中所示出及图3c所描述的实施例对于达到预期目的来说是有效的,但它确实比图5a-5d中所示以及以下详细描述的可选择的喷射器实施例需要更高的气流量。

[0069] 现在连带地转向图4a到4c,其中示出图3b、3c和3d的实施例所公开的本发明的方法及装置的测试结果。在该测试中,发明的离子发生器被安装进4英尺乘2英尺的垂直层流式微环境(down-flow mini-environment),并且该微环境被安装进等级1000的垂直层流式清洁室。因此,背景微环境大气被双重过滤,而该测试依照ISO14644等级1(0.1微米)执行。该测试的离子发生器以离子出口13面朝下的方式放置。粒子探测器(或者是凝结核计数器和/或激光颗粒计数器)被放置在离子出口13下方大约6英寸处,并且大约每15分钟测量10分钟的样本。带电板监视器(CPM)被放置在出口13下方大约12英寸处并且每15分钟测量一次平衡和放电时间。如图4a-4c中所使用的,术语阱(Trap)一般是指本发明的副产物分离/排出特性(与别处作为术语过滤器的同义词的更为有限的意思相反)。

[0070] 主要参考图4a,十纳米测试开始于对环境的背景污染物进行的检测以建立参考。这是图4a最左边的部分。在这段时间内,用于发射极的交流高压电源和非电离气流以及排出气源是关闭的(电力关闭并且阱关闭)。如所示出的,在这段时间内,粒子探测器实质上探测不到污染物副产物。

[0071] 对于第二时间段期间,用于发射极的高压电源和非电离气流被开启(大约每分钟40升氮气)及所述排出气源保持关闭(电力开启并且阱关闭)。这是图4a的中间部分并且在这段时间内,根据本发明,离子和污染物颗粒的分离并不发生。从而,传统的电晕放电导致正负离子的产生以及通过粒子探测器探测到的大规模的如十纳米大小的污染物颗粒。

[0072] 在图4a右手边的第三时间段内,高压电源和非电离气流保持开启并且排出气源也被开启(电力开启并且阱开启)。可以理解的是,在这段时间内,主非电离气流流速约为40升每分钟,T形连接器分接大约10升每分钟并且将该气流引导到喷射器的入口端口,从而吸入端口由此将大约4升每分钟的排出气流提供给测试装置的离子发生器外壳的排出端口。在这些情况下,离子被主氮气流扫向目标CPM,其中该主氮气流中预先存在的电荷已中和。相形之下,污染物副产物被排出气源排出。如图4a中所示,这些条件导致几乎没有副产物被粒子探测器探测到。因此,这个测试说明了所公开的从悬浮气体中的离子中分离电晕产生的

污染物颗粒的方法通常将产生10纳米的颗粒,其浓度小于大约每立方英尺34个颗粒,符合ISO标准14644等级1的推断(达到10纳米)。

[0073] 大于100纳米的颗粒在此测试过程中没有被测量。然而,大致上相类似的发明的离子发生器测试通常已产生100纳米的颗粒,其浓度小于大约每立方英尺0.04个颗粒,这符合ISO标准14644等级1。这被认为是去除基本上所有的污染物副产物所达到的浓度水平的一个非限制性实例。

[0074] 图4a证明了发明的方法和装置能够有效地防止污染物颗粒到达目标,而图4b和4c证明了提供这种特性对电晕放电离子发生器的性能影响可以忽略不计。

[0075] 如本领域所公知的,离子发生器的性能通常由两个参数量化:(a) 放电时间和(b) 电荷平衡。通过CPM测量的放电时间,是指中和20pF的平板电容器使之从1000伏下降到100伏(正负电压均值)所需要的时间(以秒计算)。放电时间越短表示性能越好。如图4b左手边所示,电离电势电力关闭和阱关闭时,放电时间为60秒,其中60秒是程控的最大读数。如图4b中间和右手边部分所示,当测试从电力开启并且阱关闭状态(大约13秒)转换到电力开启并且阱开启状态(大约16秒)时,放电时间的增加少于3秒。

[0076] 平衡说明的是离子发生器传递相等数目的正负离子到目标的能力。理想的离子发生器具有零伏平衡,平衡良好的离子发生器具有+5伏和-5伏之间的平衡。图4c示出-4伏的平衡,此时本发明方法和装置在电力开启/阱开启状态下运行。因此,本发明的方法和装置对于传统的电晕放电离子发生器的性能影响可以忽略不计。

[0077] 如以下所描述的,图5a、5b、5c和5d简要地描述了具有相当的性能但较低的气体消耗量的本发明的电离池的其他可选择的优选实施例。图5a-5d的电离池110a、110b、110c和110d中任何和/或全部的电离池优选使用的喷射器26'是由位于美国新泽西州(邮编07801)多佛汉密尔顿商务园区的福克斯阀发展公司制造并销售的福克斯微型喷射器。

[0078] 首先转向图5a,其中所示的电离池110a具有与喷射器26'的机动连接件(motive connection)/入口27气体连通的高压气体入口。在这种配置中,流经喷射器管口31的高速气体3在膨胀室32内部产生相对的高真空。喷射器26的吸入连接件28与电晕副产物(颗粒)阱或者过滤器16气体连通,电晕副产物(颗粒)阱或者过滤器16转而与外壳组件4e的排出端口14气体连通。以这种方式,进入外壳组件4e的气流3a变成为污染物气流3b。随后污染物气流3b通过过滤器16被净化,然后通过连接件28再循环进入主气流3。再如图所示,喷射器排放连接件29被设置成与通道2成一直线。这个系统的一个优点是所有进入的气体经过喷射器26'从而有效地创造真空。此外,气流速度在外壳组件4e外部和通道2内部达到最大。结果是,离子产出和副产物排除均达到最优化。

[0079] 图5b示出外壳组件4e相对于喷射器出口29(排放连接器)的可选择的方向。如所示出的,在这个实施例中,外壳组件4e的孔7被置于喷射器出口29的下游并且电离发射极5朝向与主气流3相反的方向。结果是,主气流的部分3a被迫进入发射极外壳组件4e并且该气流3a进一步减小电晕副产物可能从外壳组件4e逃离的可能性。结果,两股截然不同的力(进入的气动气流和真空流)迫使外壳组件4e内的污染物颗粒和其它电晕副产物进入排出端口14并且,最终到达过滤器16。

[0080] 图5c示出又一可选的优选的离子发生器实施例,其中喷射器机动连接件27被置于外壳组件4e和参比电极6的下游。本领域普通技术人员将能理解的是,在这个实施例中,发射

极外壳组件4e内的气体速度是最大的并且离子产出很高。

[0081] 图5d示出另一可选的设置,该设置结合图5b的外壳组件方向和图5c的喷射器位置。在图5c和5d的实施例中,离子必须经过喷射器26”。由于这个原因,喷射器26”的大部分或者全部优选地由高度绝缘和/或耐电晕材料制成从而保证平衡的双极离子(bipolar ion)流向中和目标。然而,在图5a和5b的实施例中,喷射器26’被置于电离外壳4e的上游并且该喷射器26’可以由导电材料(例如,不锈钢)、半导体材料(例如硅)和/或非半导体材料(例如,塑料或者陶瓷)制造。

[0082] 与图5a相关的以上讨论的管线形电离池相类似的物理结构在图6的立体图中示出。在这个实施例中,非电离气流3被提供给喷射器26’的入口27并且喷射器吸入连接件28与过滤器16气体连通。在本发明的这个实施例中使用的优选喷射器是由位于美国新泽西州(邮编07801)多佛汉密尔顿商务园区的福克斯阀发展公司制造并销售的福克斯微型喷射器。在福克斯微型喷射器基本的众所周知的功能保持不变的同时,这种喷射器可以被修改从而与本发明的任何其他优选实施例兼容。喷射器排放连接件29优选地与主通道2气体连通并且发射极外壳4的排出端口14可以与T形物35和过滤器16气体连通(通过挠性管34)。类似地,挠性管可将T形物35与压力传感器33连接并且发射极外壳4被安装到插头23。传感器33优选为一体式压力传感器,型号MPXV6115VC6U,由美国亚利桑那州(邮编85284)坦佩的飞思卡尔半导体有限公司制造。如图6中所示,各种通道、端口、通路和/或孔可以由碾轧/钻孔和/或其他方式在单个电绝缘材料块B上钻孔的方式来制造,该电绝缘材料如聚碳酸脂、Teflon®牌产品、陶瓷或者其它这样的本领域公知的材料(其轮廓用点线示出以方便看到它的内部)。或者,材料块B可以被模塑成型或者通过其他本领域已知的方式形成。

[0083] 现转向图7,这个示意图描述本发明的又一优选方面,其采用闭合回路控制系统。在这个实施例中,至少一个真空传感器33通过排出端口14监控发射极外壳4内的低压(真空)水平。传感器33的输出端可与高压电源9的基于微处理器的控制器36通信连接。优选的微控制器是由美国加州(邮编95131)圣荷塞的Atmel公司制造的ATMEGA8型微控制器。

[0084] 在操作中,基于微处理器的控制器36使用源于参比电极(指示电晕电流)的反馈信号、来自压力传感器33的信号和其它信号(例如,气流信息、状态输入等等)来控制由电源9施加给电离电极5的电离电势。进一步地,如果外壳4内的压力水平不同于一个或者多个预先设定或者需要的条件,控制系统36可以采取一些行动如关闭高压电源9从而停止离子(和污染物)的生成。可选地,控制器36也可以发送警报信号给装有离子发生器的制造工具(未示出)的控制系统。可选地,控制器36也可以在显示器37上开启可视的(和/或音频)警报信号。以这种方式,这个实施例自动保护目标中和表面或者物体不被电晕产生的副产物污染,并且保护离子发射器不会加速腐蚀。

[0085] 虽然本发明已经被结合目前被认为是最实用和优选的实施例描述,可以理解的是本发明不局限于所公开的实施例,而是旨在包含包括在所附权利要求的精神和范围内的各种修改和等同的设置。就以上描述,例如,可以认识到的是本发明的各部分间最优化的维度关系,包括尺寸、材料、形状、形式、功能以及操作方式、组装和使用的变化对本领域技术人员来说被认为是容易和显然的,并且与附图中示出的和说明书中描述的那些(部件)具有的所有等同关系都旨在被包含在所附的权利要求中。因此,前面所陈述的被视为是对本发明的原理例证性质的,而非穷尽性质的描述。

[0086] 在说明书和权利要求中使用的涉及组分定量、反应条件等的所有数字或者表达都将理解为在所有情况下都可被术语“大约”修正。因此，以下说明书和所附的权利要求中提出的数值参数都是近似值，可以根据本发明所想要获得的所期望的性能而变化。

[0087] 另外，应当理解的是，本文中列举出的任何数值范围意在包含所有包括在其中的子范围。例如，“1到10”的范围意在包括在列举的最小值1和列举最大值10之间以及包括列举的最小值1和列举最大值10的所有子范围；即，具有等于或者大于1的最小值和等于或者小于10的最大值。由于所公开的数值范围是连续的，它们包括在最小值到最大值之间的每一个值。除非明确地表示，否则在本申请中指定的各种数值范围都是近似的。

[0088] 在本文中讨论的本发明的特定优选实施例已经包括了各种数值和范围。尽管如此，可以理解的是具体的数值和范围具体地应用到所详细讨论的实施例而且在发明内容和权利要求中表达的更为宽泛的发明构思可视其它应用/环境/上下文的情况而调整。因此，这里确定的数值和范围应当被认为是本发明原理的例证性质的、而不是穷尽性质的描述。

[0089] 为了下文中描述的目的，术语“上面的”、“下面的”、“右”、“左”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”和其衍生的术语应当以附图中的方位与本发明相联系。然而，可以理解的是，本发明可以假设各种可选的变化和步骤顺序，除非明确指定相反情况。

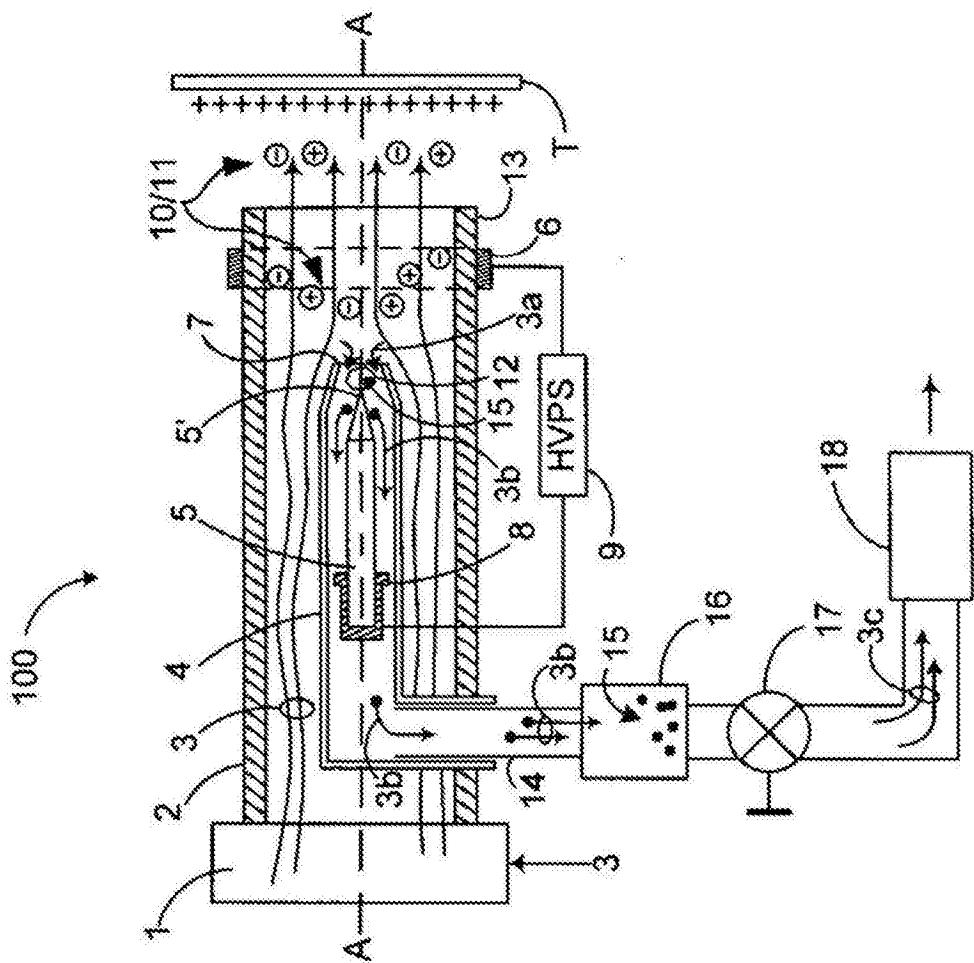


图1a

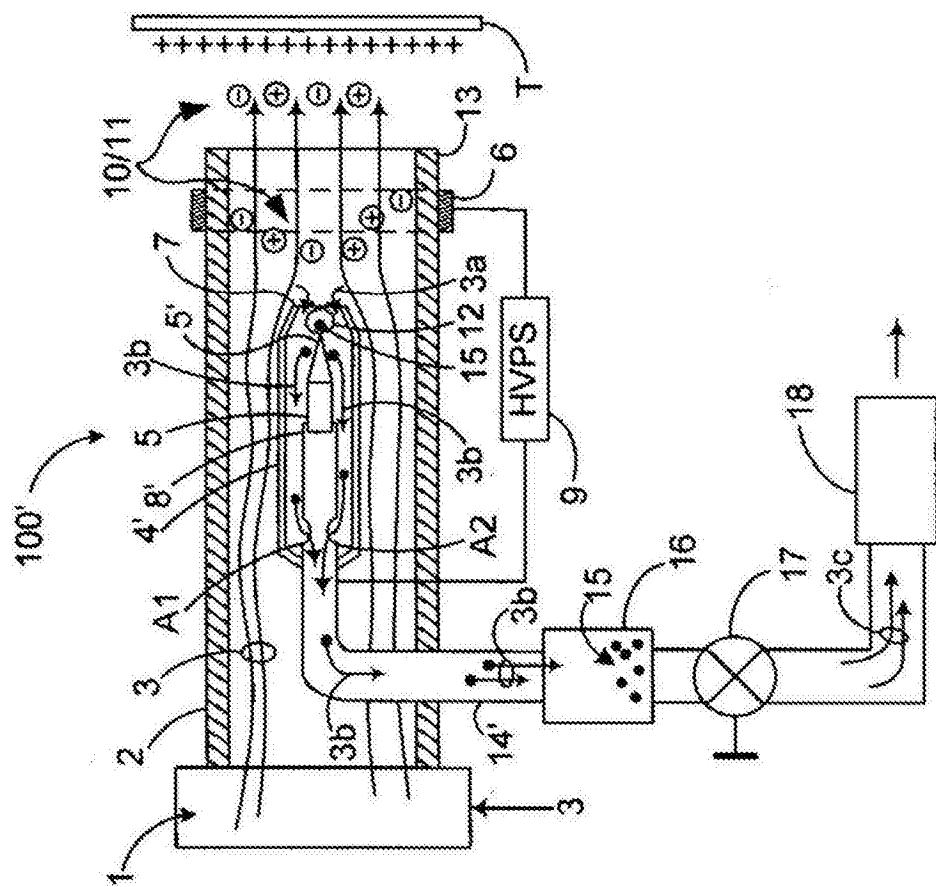


图1b

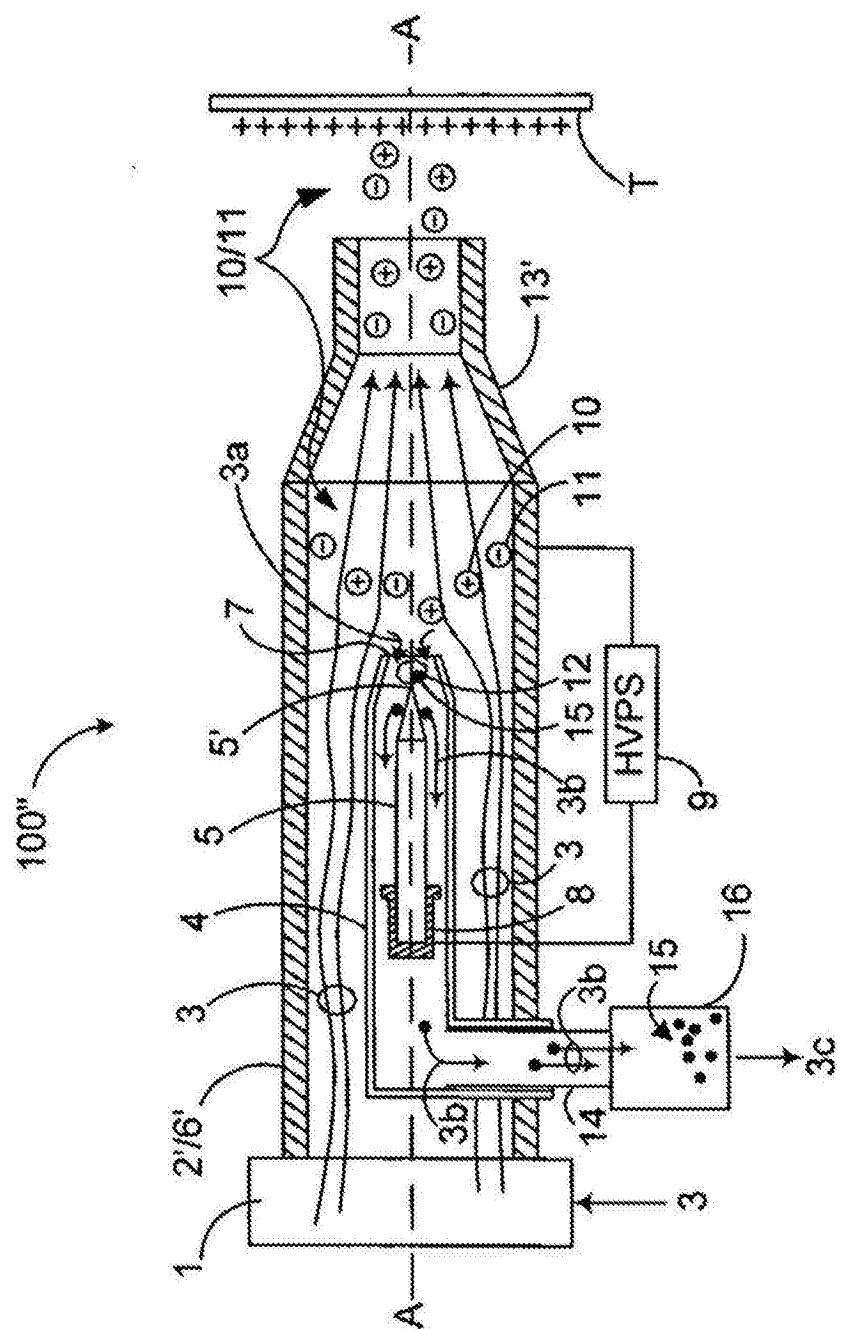


图1c

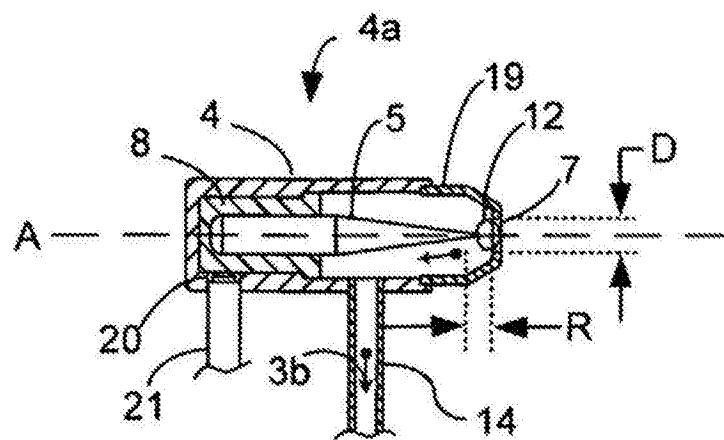


图2a

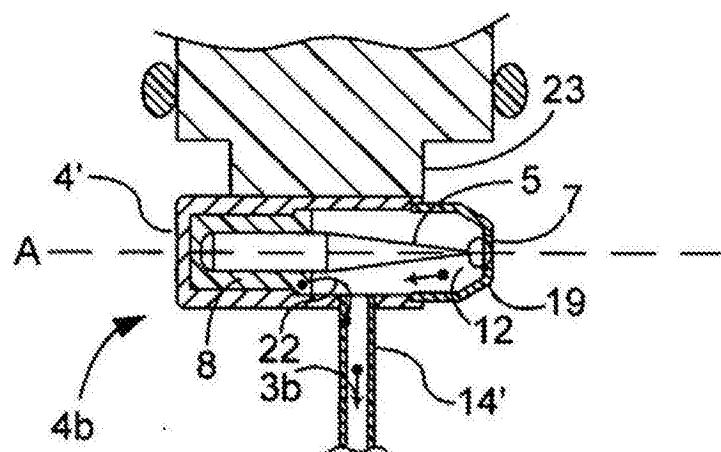


图2b

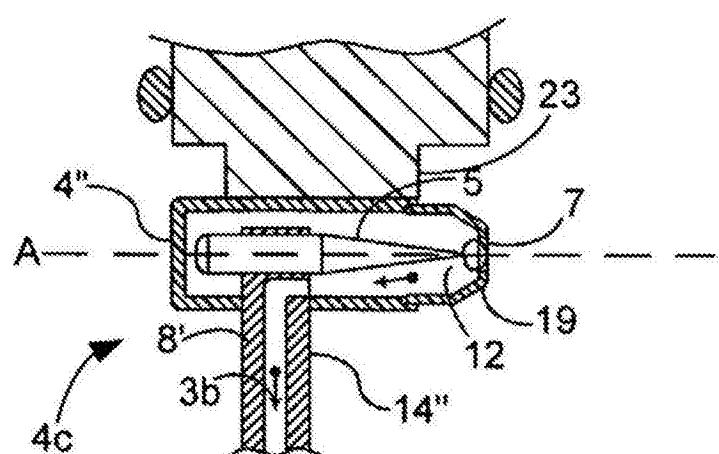


图2c

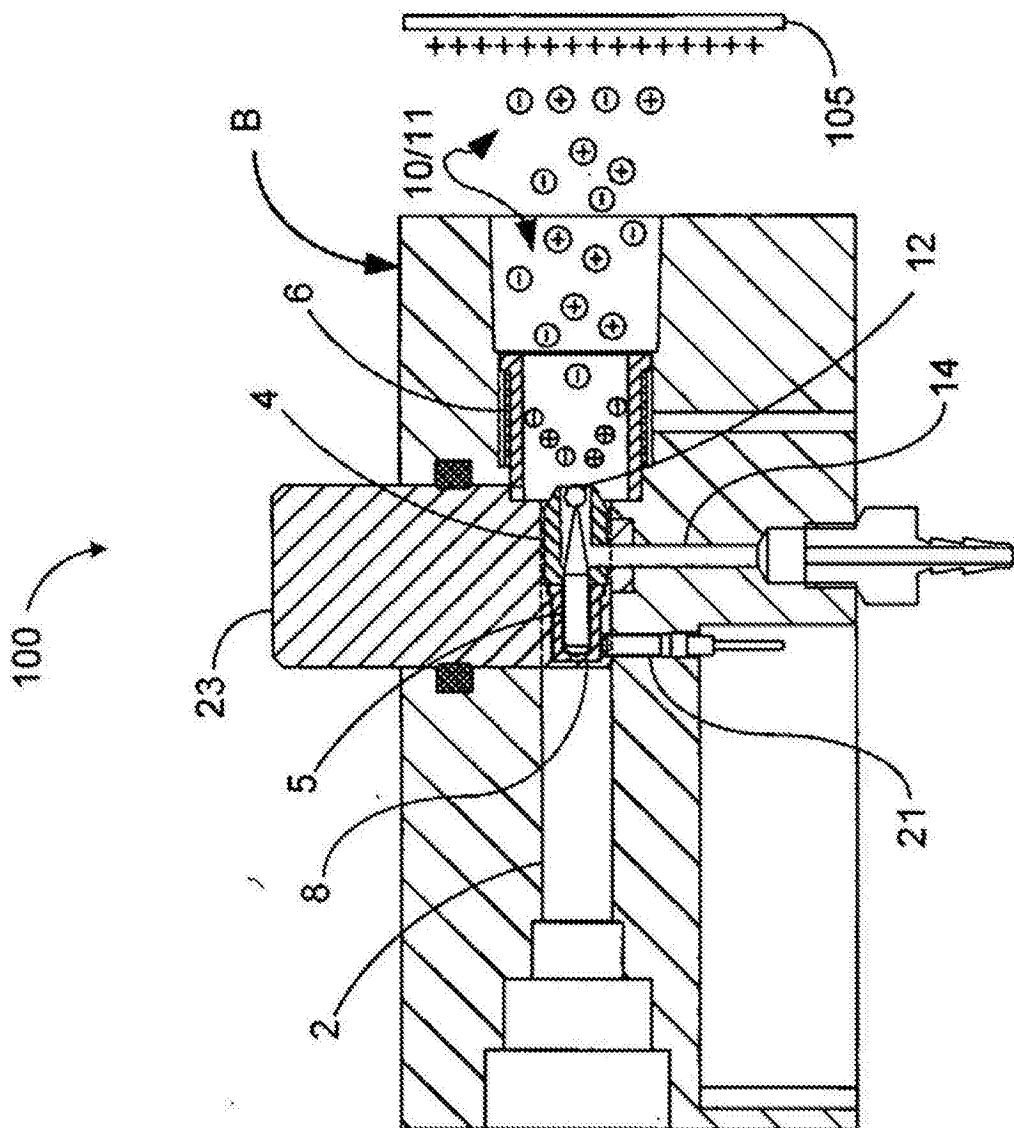


图3a

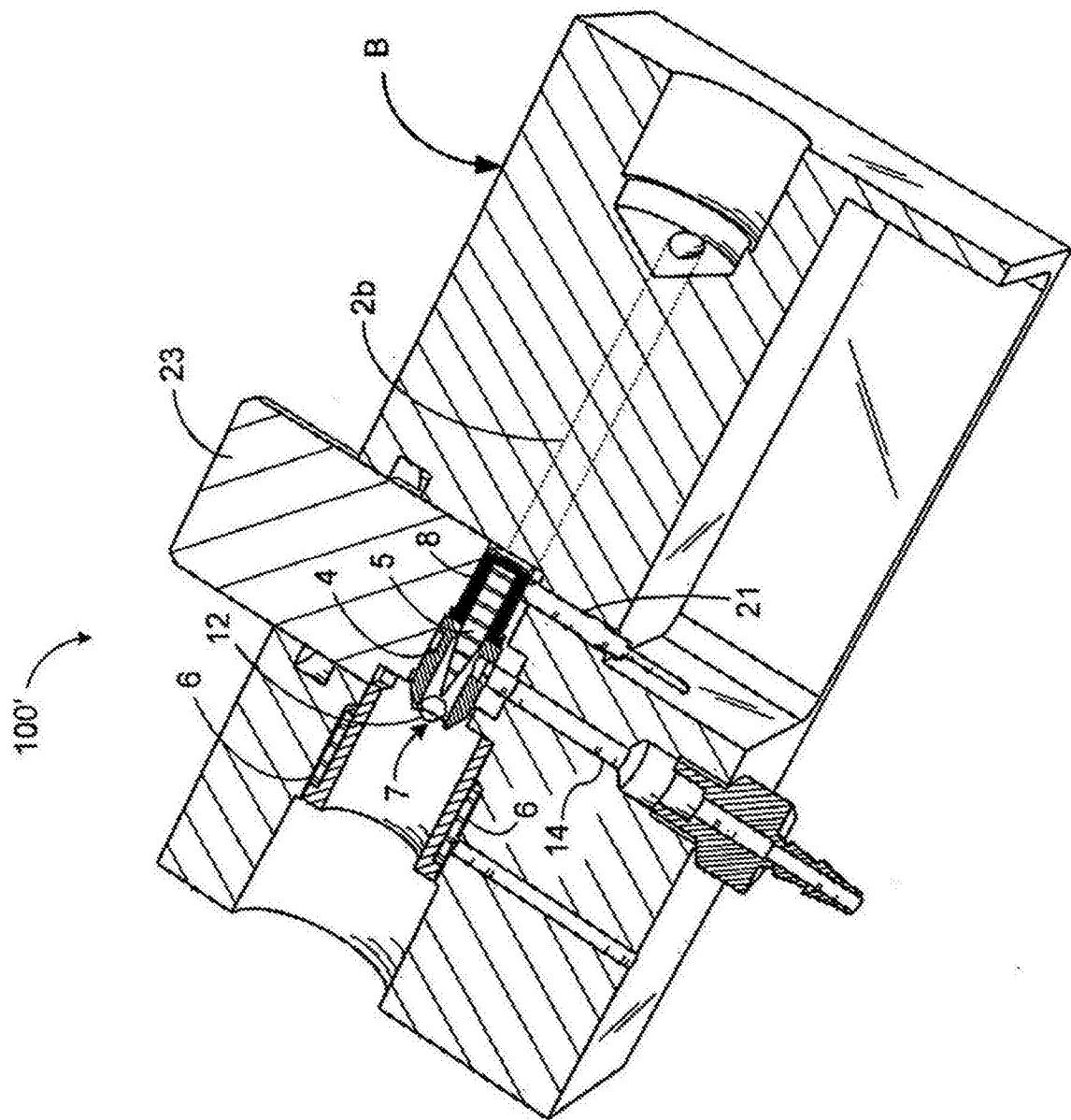


图3b

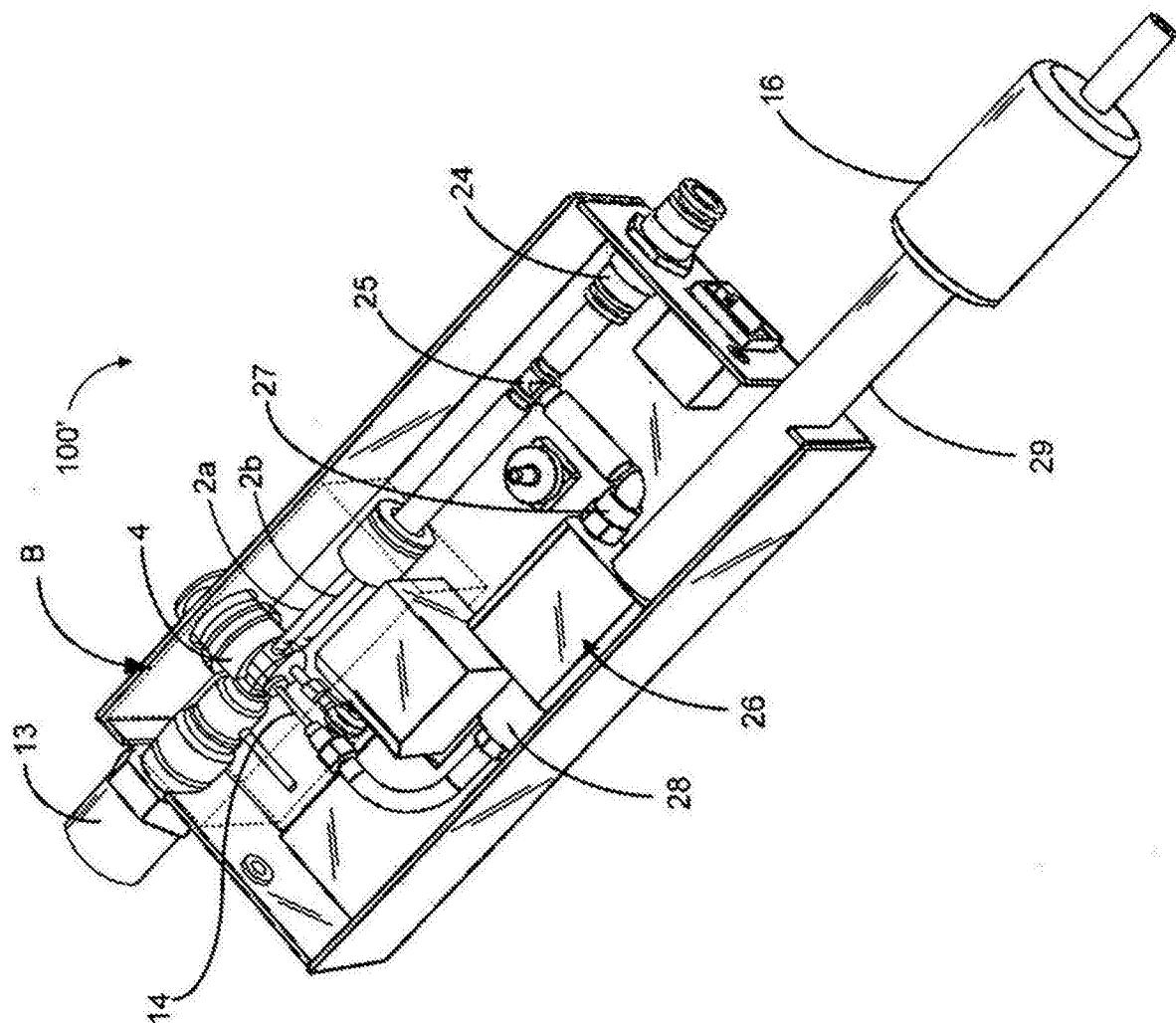


图3c

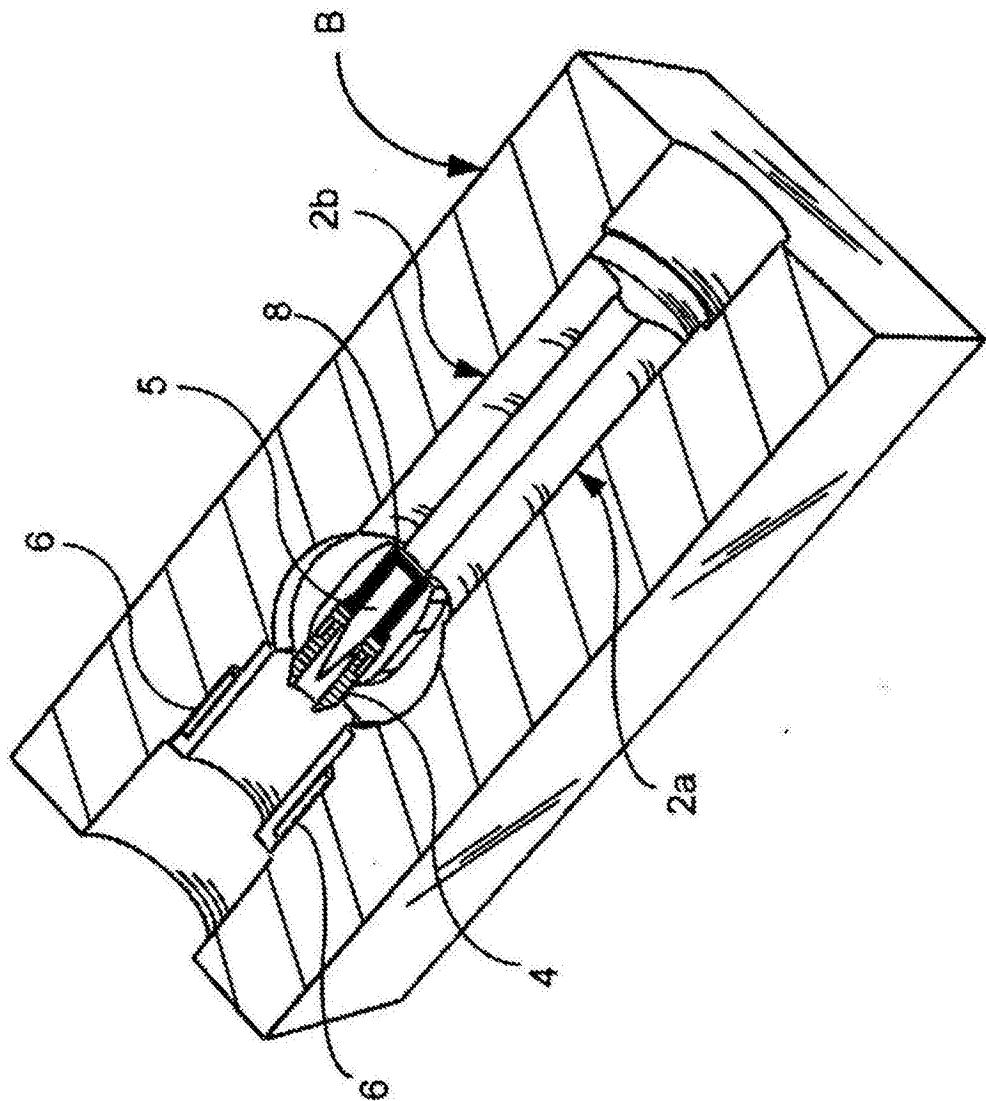


图3d

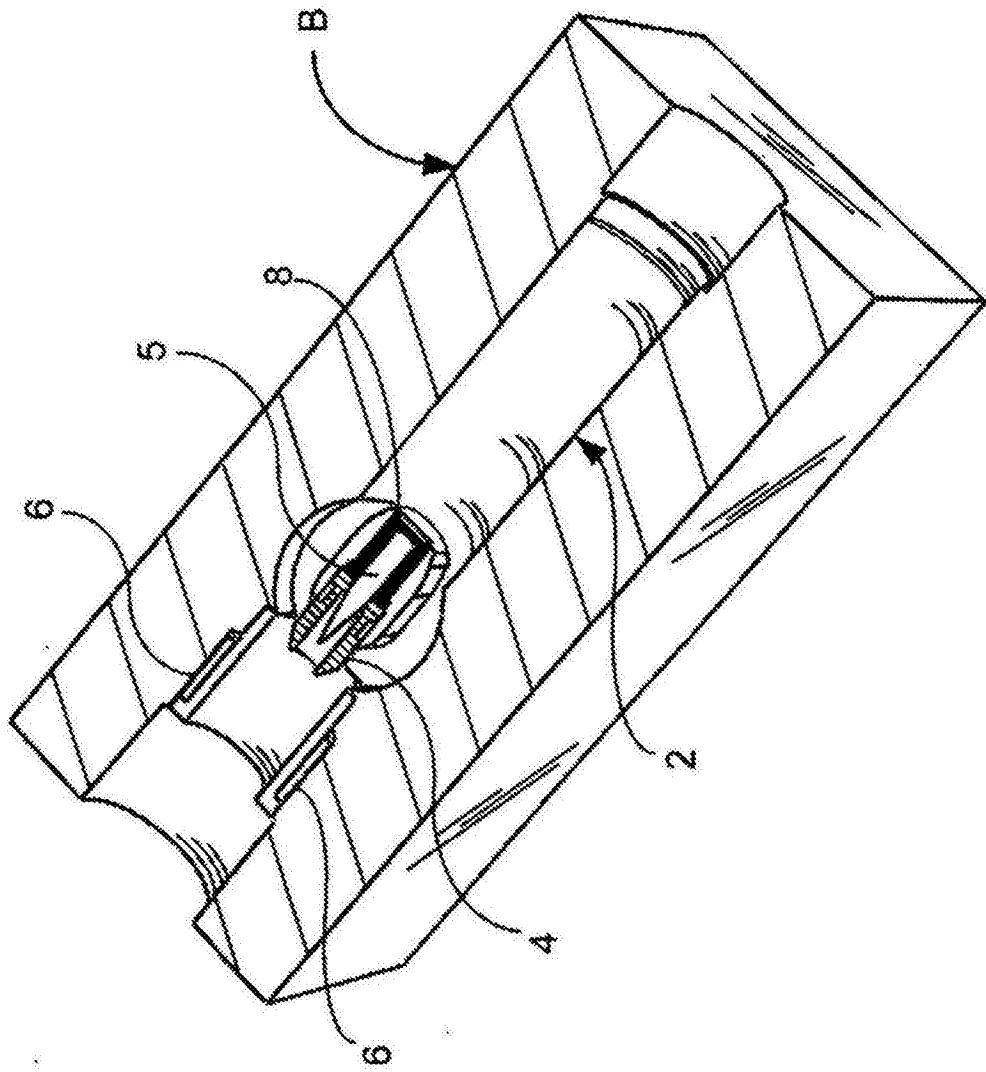


图3e

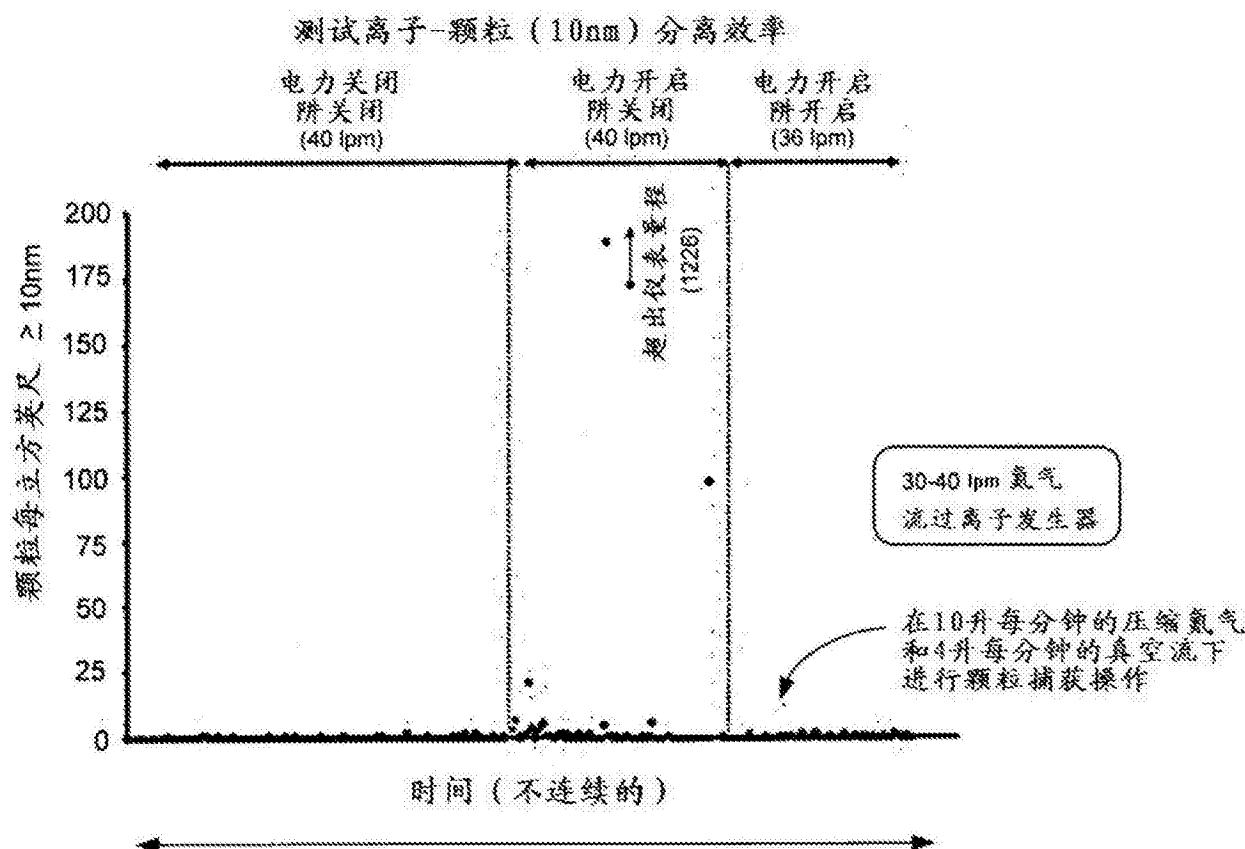


图4a

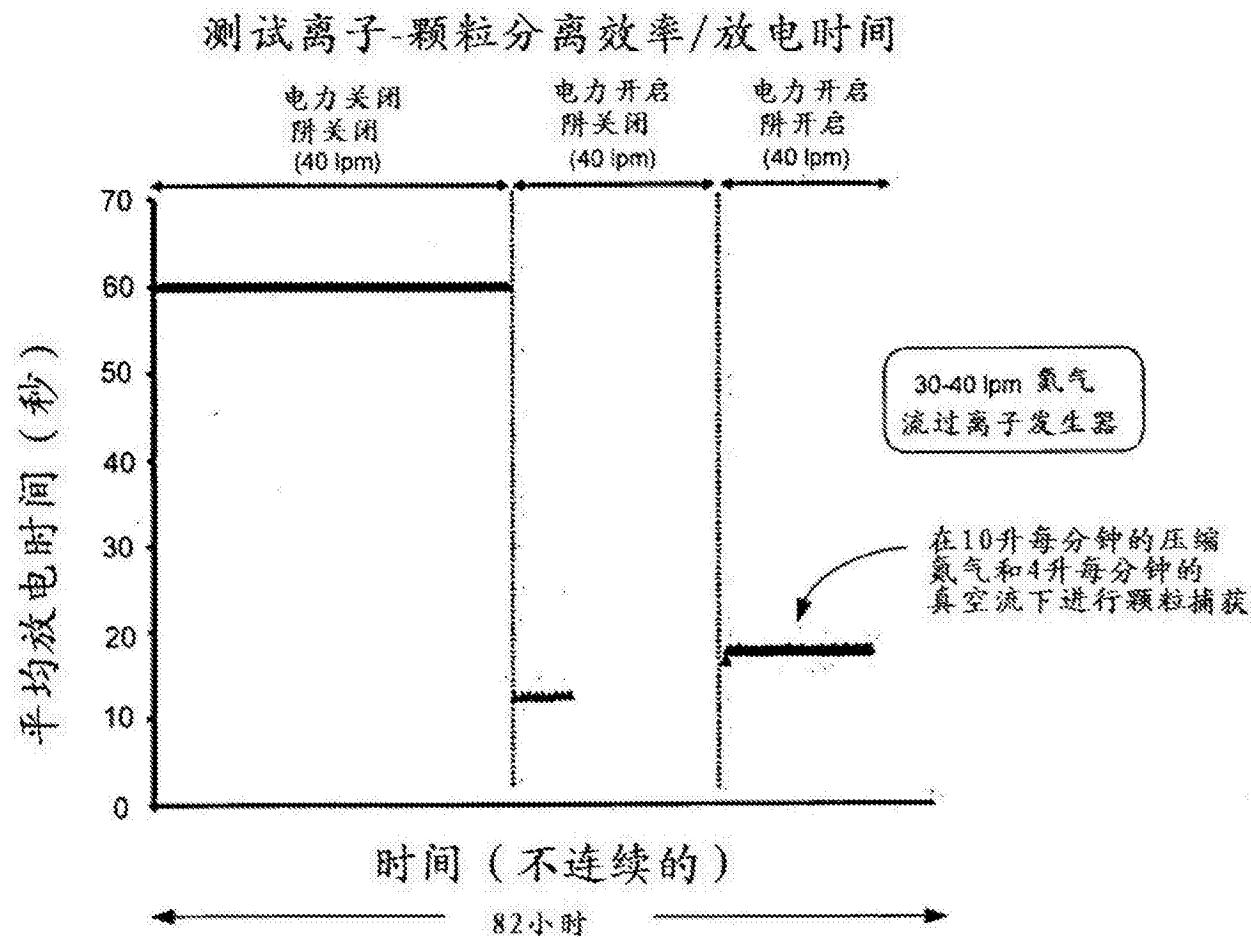


图4b

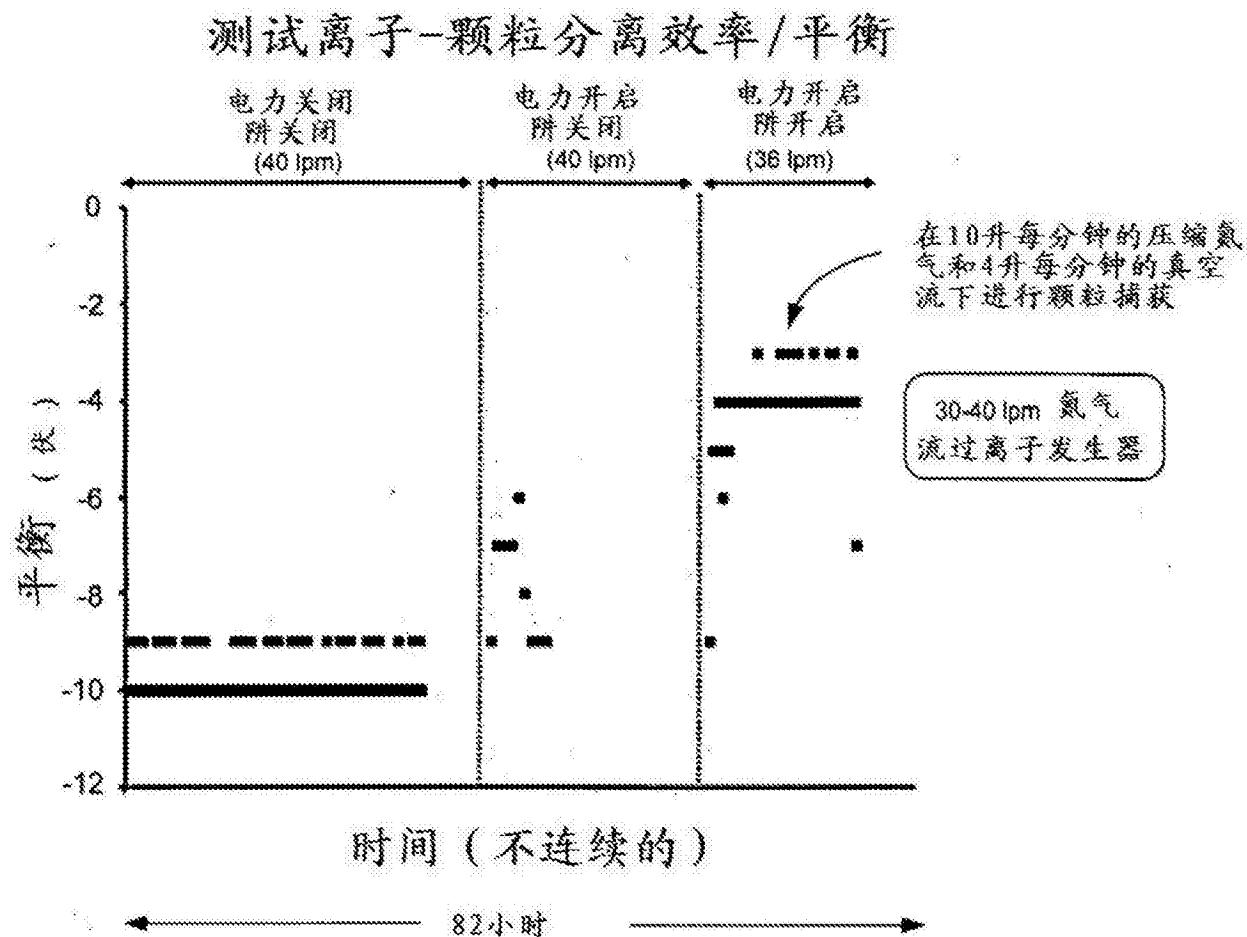


图4c

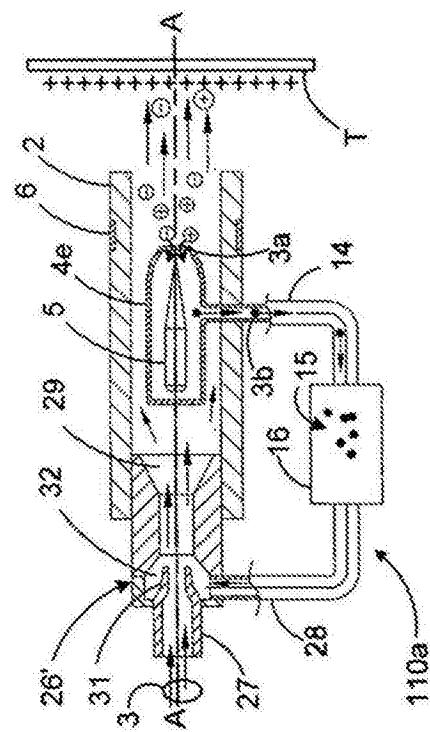


图5a

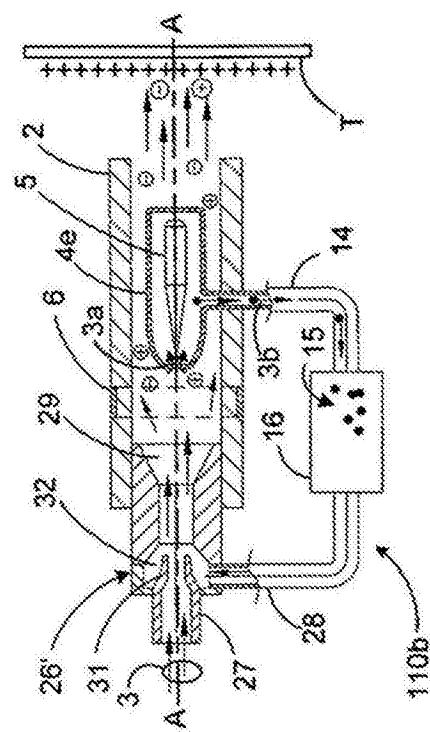


图5b

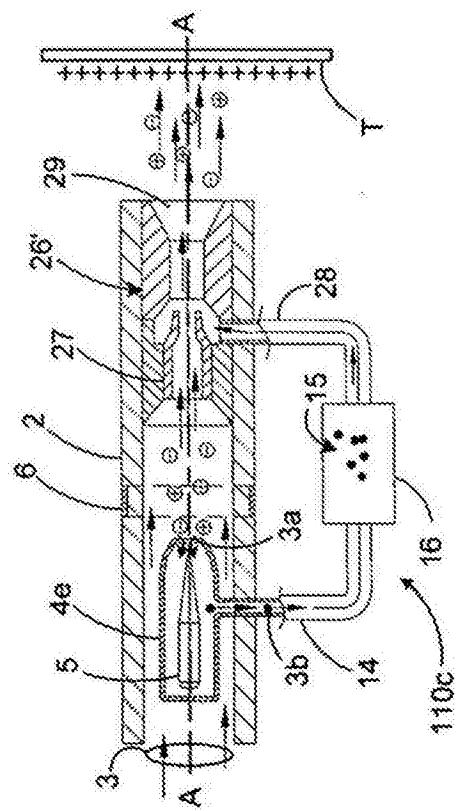


图5c

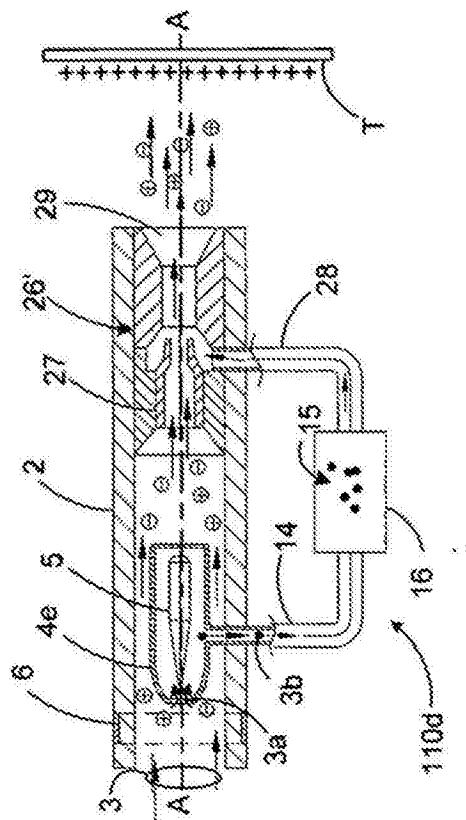


图5d

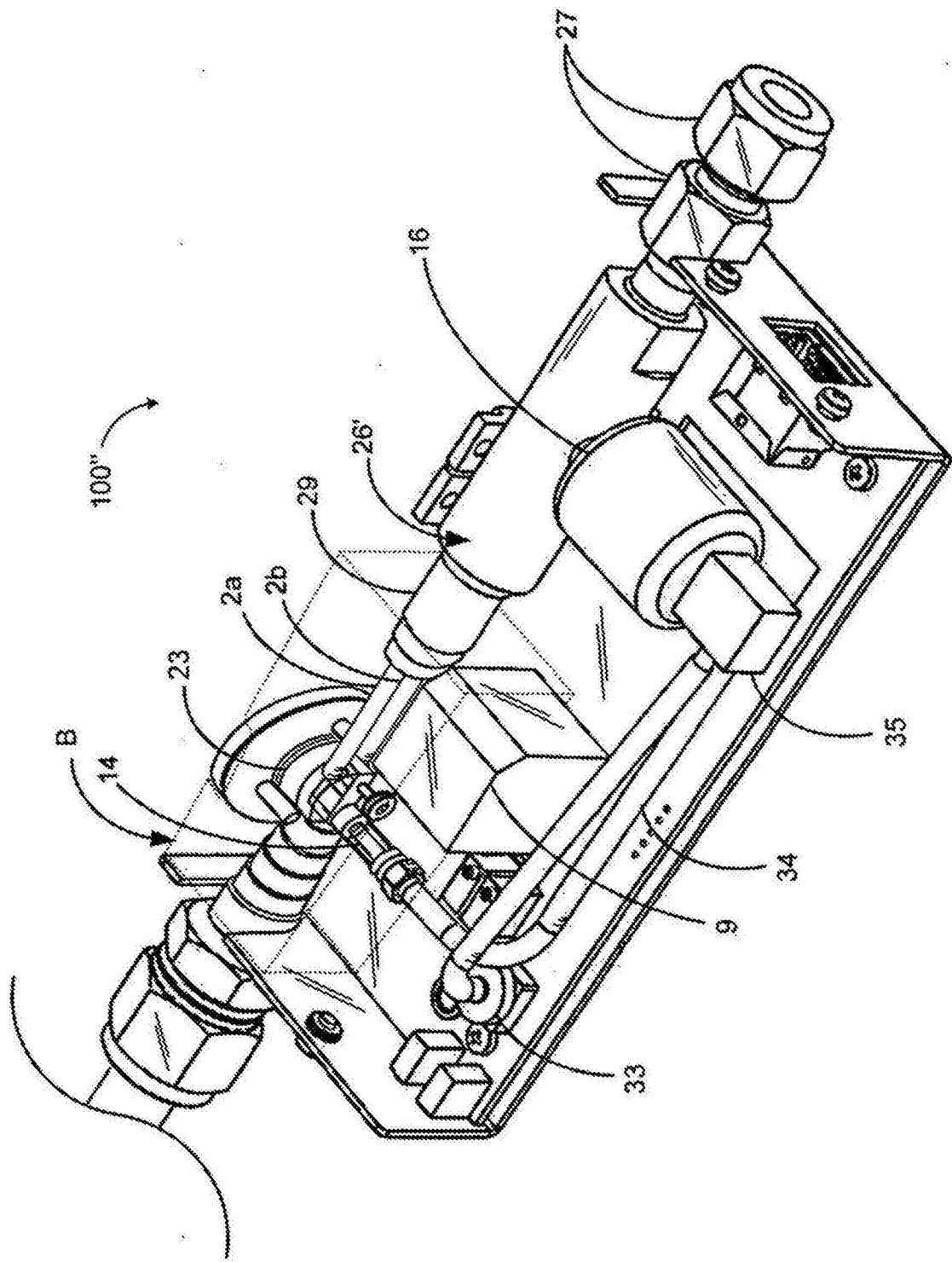


图6

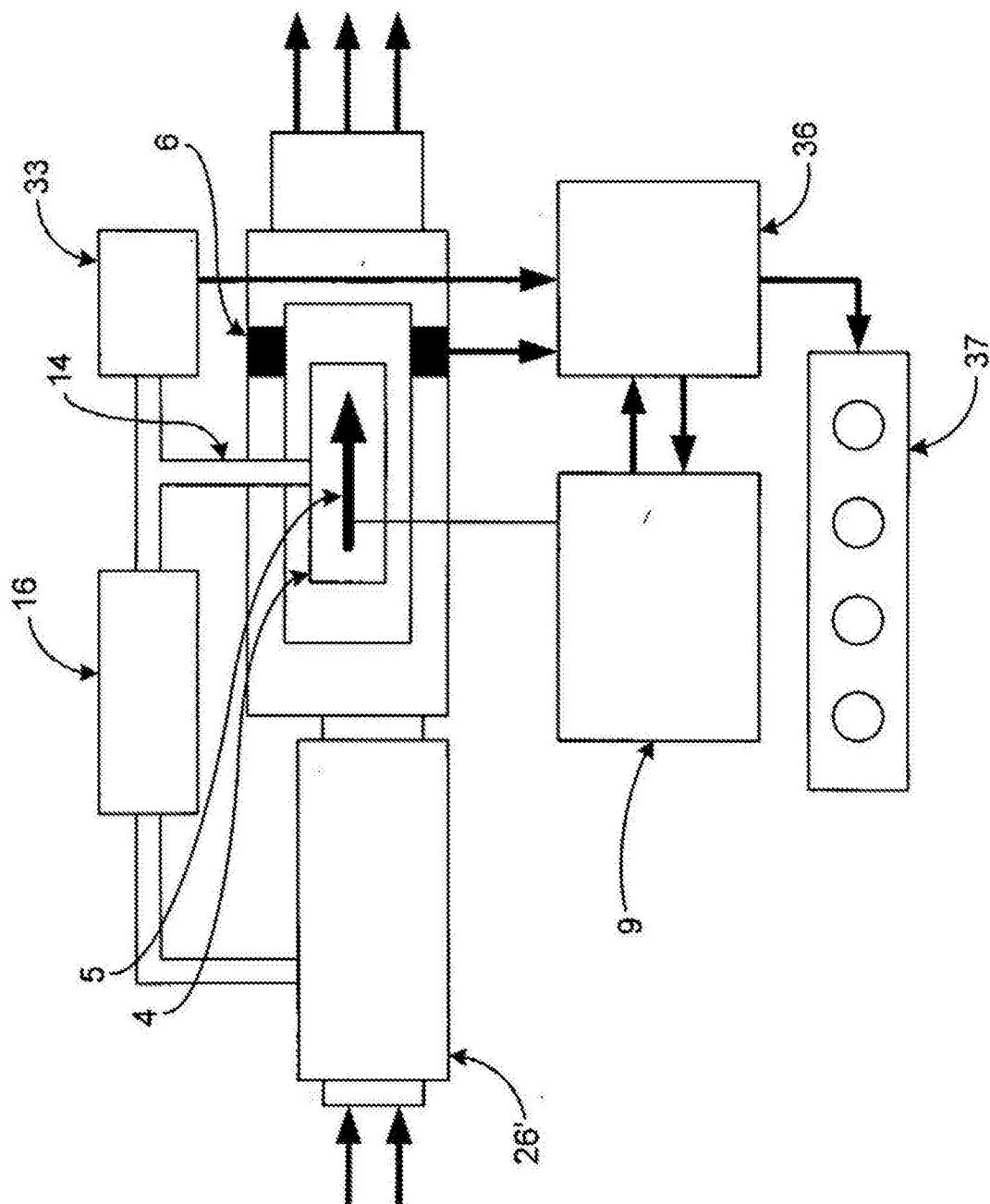


图7