



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 106340437 A

(43) 申请公布日 2017. 01. 18

(21) 申请号 201510400591. 6

(22) 申请日 2015. 07. 09

(71) 申请人 株式会社岛津制作所

地址 日本国京都府京都市

(72) 发明人 张小强 蒋公羽 黄云清 沈嘉祺

孙文剑

(74) 专利代理机构 上海光华专利事务所 31219

代理人 高彦

(51) Int. Cl.

H01J 49/06(2006. 01)

H01J 49/26(2006. 01)

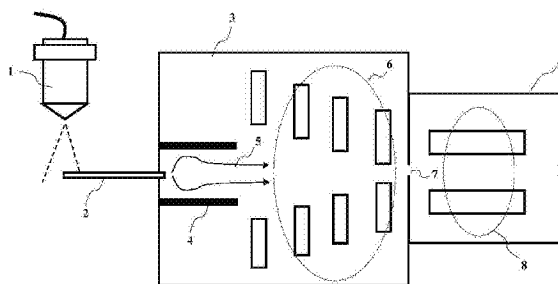
权利要求书2页 说明书7页 附图6页

(54) 发明名称

质谱仪及其应用的减少离子损失和后续真空负载的方法

(57) 摘要

本发明提供质谱仪及其应用的减少离子损失和后续真空负载的方法,所述质谱仪包括:通过真空接口连接的离子源、真空腔体及下级装置,通过在真空接口处的由携带离子的气流所形成马赫面的上游设置筒状透镜,限制离子传输路径,减少离子随气流的散射,相比于单纯依靠射频电压聚焦离子,使用气体动力学透镜可提高离子在射流区域的被捕获效率,而且可提高带电液滴的去溶剂效率,进一步提高了仪器灵敏度,同时筒状的气体动力学透镜结构简单,体积小。



1. 一种质谱仪,其特征在於,包括:

离子源,位於第一气压区域并提供离子;

具有入口和出口的真空腔体,位於气压低於所述第一气压区域的第二气压区域;所述真空腔体入口供所述第一气压区域中的离子随压差产生的气流经过而进入位於所述第二气压区域的真空腔体中,并从所述真空腔体出口离开该真空腔体;

离子导引装置,設於所述真空腔体内,且位於所述真空腔体入口后级但位於所述真空腔体出口前级;

中空的筒状透镜,設於所述真空腔体内,且位於所述真空腔体入口后级但位於所述离子导引装置前级;

其中,所述筒状透镜为气体动力学透镜,其中心轴线平行於所述气流从所述真空腔体入口进入真空腔体的方向,所述气流进入所述真空腔体后由於自由膨胀的射流而产生马赫面,所述筒状透镜的入口位於该马赫面的上游。

2. 根据权利要求 1 所述的质谱仪,其特征在於,所述筒状透镜使所述自由膨胀的气流在所述马赫面下游形成至少一个涡流区域。

3. 根据权利要求 1 所述的质谱仪,其特征在於,所述的筒状透镜使得所述自由膨胀的气流外侧形成涡流鞘,所述涡流鞘起始於所述筒状透镜的轴向末端。

4. 根据权利要求 1 所述的质谱仪,其特征在於,所述筒状透镜为绝缘材质。

5. 根据权利要求 1 所述的质谱仪,其特征在於,所述筒状透镜包含金属电极。

6. 根据权利要求 5 所述的质谱仪,其特征在於,所述金属电极为金属圆筒,并施加直流电压。

7. 根据权利要求 5 所述的质谱仪,其特征在於,所述金属电极为多极杆,并施加有射频电压和直流电压;所述多极杆的轴线与所述筒状透镜的中心轴线基本重合。

8. 根据权利要求 5 所述的质谱仪,其特征在於,所述金属电极为沿所述筒状透镜中心轴线分布的圆环阵列,并施加有射频电压和直流电压。

9. 根据权利要求 5 所述的质谱仪,其特征在於,所述金属电极为所述离子导引装置所共用。

10. 根据权利要求 1 所述的质谱仪,其特征在於,所述筒状透镜的长度和直径比例范围为 0.5 到 5。

11. 根据权利要求 1 所述的质谱仪,其特征在於,所述筒状透镜的中空部分的直径沿轴向变化。

12. 根据权利要求 11 所述的质谱仪,其特征在於,所述筒状透镜的中空部分包括:在轴向上直径减小的一或多段。

13. 根据权利要求 1 所述的质谱仪,其特征在於,所述真空腔体入口或出口为毛细管、小孔、取样锥孔、喷嘴或者所述多者组合。

14. 根据权利要求 1 所述的质谱仪,其特征在於,所述第一气压区域和第二气压区域的压力比大于 2。

15. 根据权利要求 1 所述的质谱仪,其特征在於,所述筒状透镜的内径最小值与所述真空腔体入口末端内径最小值的比例为以下多个范围中的一个:(a) 1 ~ 2, (b) 2 ~ 4, (c) 4 ~ 8, (d) 8 ~ 20。

16. 根据权利要求 1 所述的质谱仪,其特征在于,所述真空腔体入口末端至筒状透镜末端的轴向距离与所述真空入口末端至其后第一个马赫面的轴向距离的比值为 1 ~ 2。

17. 一种减少离子经过质谱仪真空接口时伴随气流自由膨胀而损失的方法,其特征在于,包括:

提供位于第一气压区域并提供离子的离子源;

提供位于气压低于所述第一气压区域的第二气压区域的真空腔体,所述真空腔体入口供所述第一气压区域中的离子随压差产生的气流经过而进入位于所述第二气压区域的真空腔体中,并从所述真空腔体出口离开该真空腔体;

提供设于所述真空腔体内且位于所述真空腔体入口后级但位于所述真空腔体出口前级的离子导引装置;

提供设于所述真空腔体内且位于所述真空腔体入口后级但位于所述离子导引装置前级的中空的筒状透镜,其中,所述筒状透镜为气体动力学透镜,其中心轴线平行于所述气流从所述真空腔体入口进入真空腔体的方向,所述气流进入所述真空腔体后由于自由膨胀的射流而产生马赫面,所述筒状透镜的入口位于该马赫面的上游。

18. 根据权利要求 17 所述的方法,其特征在于,所述的筒状透镜使得自由膨胀的气流在马赫面下游形成至少一个涡流区域。

19. 一种减少质谱仪多级真空结构中的后级真空负载的方法,其特征在于,通过根据权利要求 1 所述的质谱仪中的筒状透镜使得自由膨胀的气流束外侧形成一个涡流鞘,用以将中心气流束的至少一部分气流有效引向偏轴方向,从而降低位于近轴区域的下级真空界面接口的气体流量。

质谱仪及其应用的减少离子损失和后级真空负载的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及质谱技术领域,特别是涉及质谱仪及其应用的减少离子损失和后级真空负载的方法。

背景技术

[0002] 质谱仪的质量分析器通常工作在一定的真空度下。依据分析器的种类,比如离子阱、四级杆、飞行时间型、傅里叶变换型等,其适合的真空从10mtorr到 10^{-10} torr不等。如果待分析的离子产生在较高气压区(如大气压区),为了将离子有效地传输到分析器区域,需要一系列的真空接口以形成气压梯度。比如从大气压到下一级真空(通常气压在10mtorr到100torr之间),常用的真空接口为毛细管、小孔、取样锥孔、喷嘴或者它们的组合。在接口之后,通常安排离子导引装置以传输离子到下一个真空接口,这些导引装置可以是施加射频电压的多级杆,或者环形电极阵列,或者其它变体。

[0003] 以从大气压到1torr的气压变化为例,如果用毛细管作为真空接口,气流在毛细管中由于压力降低被加速。从毛细管中出射后,由于压力骤降,会形成超音速自由膨胀的射流(supersonic free jet)。气体先被迅速加速到几倍的音速,然后被减速,在一倍音速位置形成所谓的马赫面(Mach disc)。在马赫面之前,即超音速区域,离子被限制在射流内,但过了马赫面之后,离子出现严重的散射。所以在马赫面之后,如果用射频多级杆等离子光学装置去传输或聚焦离子,由于离子较高的散射速度而难以取得较高的效率。

[0004] 解决这个问题的传统方法是在离子出现散射前,用另一个取样锥孔捕获部分离子,取样锥孔后没有剧烈的气压突变,可以用射频多级杆等方法聚焦传输离子,但该方法的取样效率很低。近年来出现另外几种方法或装置,一种是在美国专利US7259371B2中,发明人提出需在马赫面之前,即超音速自由射流区域,用射频多级杆或者其它射频装置对离子束进行限制或聚焦,这样离子在经过马赫面时已经是比较聚焦的离子束,散射被大幅降低。使用该方法可提高离子的传输效率,因此已被很多商业仪器所使用。但这种方法也有问题,一是没有对气流本身进行调整,而射频电压的聚焦作用在高速的气流作用下非常有限,难以保证没有离子损失。而且,这种方法中最有效的射频电压是四极场形式,以保证离子束有较好的压缩效果。但对于较宽质量范围的离子,需要扫描该四极场的电压或频率以获得不同质量数离子的最大通过率。对于非扫描型质量分析器,比如飞行时间质谱,这样的方法限制了分析的效率。

[0005] 另一种装置被描述在专利W02014/001827A2中。该发明人认为离子的损失是由于自由射流的远端出现湍流而导致离子被散射,因此可沿着自由射流的方向,用一段很长的整流管,使得气流从超音速的自由射流变成较为均匀规整的层流,离子沿层流被传输而避免了散射。在整流管上可以同时施加直流或者射频电压,以更好地限制离子束或实现迁移率分离等。该装置中为了实现稳态的亚音速层流,需要典型长度为100mm左右的整流管。显然,如此长度的整流管不利于仪器的小型化,而且离子经过长距离传输而导致的损失将大大增加。

[0006] 专利 US8269164B2 中使用了另外一种方式,利用 de Laval 喷嘴结构作为真空接口,可限制射流的自由膨胀而形成准直气流,该准直气流可减少离子的散射损失。这种结构简单小巧。然而,按照本发明人的仿真和实验,这种结构侧重于形成均匀高速的气流,在距离喷嘴出口接近 100mm 处,气流的速度仍然高达两倍音速。在如此强的流场下,很难用电场手段对离子进行有效聚焦,而且高速的气流会冲到下级真空,加大了真空泵的负担。自然,可以采用偏轴结构的离子导引与真空结构,用于将离子与气流进行分离,从而减少从轴向直接进入下级真空的气流量,然而引入偏轴结构会显著增加接口的设计复杂度,也容易由于不同离子存在不同的离子迁移率出现质量歧视现象。

发明内容

[0007] 鉴于以上所述现有技术的缺点,本发明的目的是提供在质谱仪中的真空接口处的改进,在不增加后级真空负载的基础上,减少离子由于跟随自由膨胀的射流而产生的损失。

[0008] 为实现上述目标及其他相关目标,本发明提供一种质谱仪,包括:离子源,位于第一气压区域并提供离子;具有入口和出口的真空腔体,位于气压低于所述第一气压区域的第二气压区域;所述真空腔体入口供所述第一气压区域中的离子随压差产生的气流经过而进入位于所述第二气压区域的真空腔体中,并从所述真空腔体出口离开该真空腔体;离子导引装置,设于所述真空腔体内,且位于所述真空腔体入口后级但位于所述真空腔体出口前级;中空的筒状透镜,设于所述真空腔体内,且位于所述真空腔体入口后级但位于所述离子导引装置前级;其中,所述筒状透镜为气体动力学透镜,其中心轴线平行于所述气流从所述真空腔体入口进入真空腔体的方向,所述气流进入所述真空腔体后由于自由膨胀的射流而产生马赫面,所述筒状透镜的入口位于该马赫面的上游。

[0009] 可选的,所述筒状透镜使所述自由膨胀的气流在所述马赫面下游形成至少一个涡流区域。

[0010] 可选的,所述的筒状透镜使得所述自由膨胀的气流外侧形成涡流鞘,所述涡流鞘起始于所述筒状透镜的轴向末端。

[0011] 可选的,所述筒状透镜为绝缘材质。

[0012] 可选的,所述筒状透镜包含金属电极。

[0013] 可选的,所述金属电极为金属圆筒,并施加直流电压。

[0014] 可选的,所述金属电极为多极杆,并施加有射频电压和直流电压;所述多极杆的轴线与所述筒状透镜的中心轴线基本重合。

[0015] 可选的,所述金属电极为沿所述筒状透镜中心轴线分布的圆环阵列,并施加有射频电压和直流电压。

[0016] 可选的,所述金属电极为所述离子导引装置所共用。

[0017] 可选的,所述筒状透镜的长度和直径比例范围为 0.5 到 5。

[0018] 可选的,所述筒状透镜的中空部分的直径沿轴向变化。

[0019] 可选的,所述筒状透镜的中空部分包括:在轴向上直径减小的一或多段。

[0020] 可选的,所述真空腔体入口或出口为毛细管、小孔、取样锥孔、喷嘴或者所述多者组合。

[0021] 可选的,所述第一气压区域和第二气压区域的压力比大于 2。

[0022] 可选的,所述筒状透镜的内径最小值与所述真空腔体入口末端内径最小值的比例为以下多个范围中的一个:(a)1~2,(b)2~4,(c)4~8,(d)8~20。

[0023] 可选的,所述真空腔体入口末端至筒状透镜末端的轴向距离与所述真空入口末端至其后第一个马赫面的轴向距离的比值为1~2。

[0024] 为实现上述目标及其他相关目标,本发明提供一种减少离子经过质谱仪真空接口时伴随气流自由膨胀而损失的方法,包括:提供位于第一气压区域并提供离子的离子源;提供位于气压低于所述第一气压区域的第二气压区域的真空腔体,所述真空腔体入口供所述第一气压区域中的离子随压差产生的气流经过而进入位于所述第二气压区域的真空腔体中,并从所述真空腔体出口离开该真空腔体;提供设于所述真空腔体内且位于所述真空腔体入口后级但位于所述真空腔体出口前级的离子导引装置;提供设于所述真空腔体内且位于所述真空腔体入口后级但位于所述离子导引装置前级的中空筒状透镜,其中,所述筒状透镜为气体动力学透镜,其中心轴线平行于所述气流从所述真空腔体入口进入真空腔体的方向,所述气流进入所述真空腔体后由于自由膨胀的射流而产生马赫面,所述筒状透镜的入口位于该马赫面的上游。

[0025] 为实现上述目标及其他相关目标,本发明提供一种减少质谱仪多级真空结构中的后级真空负载的方法通过所述的筒状透镜使得自由膨胀的气流束外侧形成一个涡流鞘,用以将中心气流束的至少一部分气流有效引向偏轴方向,从而降低位于近轴区域的下级真空界接口的气体流量。

[0026] 相比于背景技术,本发明有如下优点:

[0027] 1. 相比于单纯依靠射频电压聚焦离子,使用气体动力学透镜可提高离子在射流区域的被捕获效率;

[0028] 2. 筒状透镜结构简单,体积小。优选尺寸为0.1~10mm内径,1~15mm长度。

[0029] 3. 对于最广泛使用的电喷雾离子源,由该气体动力学透镜所形成的涡流区域,不仅可提高离子的捕获效率,而且可提高带电液滴的去溶剂效率,进一步提高了仪器灵敏度。

[0030] 4. 已经发现,对于特定尺寸的筒状透镜,可减少进入下级真空的气流量,从而降低对下级真空泵的负担,有利于仪器的小型化。

附图说明

[0031] 图1是本发明一实施例中质谱仪的结构示意图。

[0032] 图2a至2c为本发明多个实施例中筒状透镜的截面结构示意图。

[0033] 图3是对采用图2b实施例中筒状透镜后进行气体动力学计算机仿真的仿真结果示意图。

[0034] 图4a是本发明一实施例中筒状透镜的内部电极的结构示意图。

[0035] 图4b是4a的截面示意图。

[0036] 图4c是本发明又一实施例中筒状透镜的内部电极的结构示意图。

[0037] 图5a是本发明一实施例中筒状透镜内电极和离子导引装置组合的结构示意图。

[0038] 图5b是图5a中筒状透镜部分的截面示意图。

[0039] 图5c是图5a中离子导引装置部分的截面示意图。

[0040] 图6是本发明又一实施例中质谱仪内筒状透镜设置位置变化的结构示意图。

[0041] 图 7 是本发明一实施例中质谱仪通过筒状透镜进行后级真空腔体气压控制的结构示意图。

[0042] 图 8a 及图 8b 分别为采用筒状透镜和不采用筒状透镜情况下进行气体动力学计算机仿真的仿真结果图；

[0043] 图 9 为采用和不采用筒状透镜情况下粗真空泵级压力与高真空的分子泵抽级压力的关系的实验结果比较图。

具体实施方式

[0044] 以下通过特定的具体实例说明本发明的实施方式，本领域技术人员可由本说明书所揭露的内容轻易地了解本发明的其他优点与功效。本发明还可以通过另外不同的具体实施方式加以实施或应用，本说明书中的各项细节也可以基于不同观点与应用，在没有背离本发明的精神下进行各种修饰或改变。需说明的是，在不冲突的情况下，本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。

[0045] 本发明应用于是质谱分析装置或系统，例如质谱仪等；图 1 是本发明的一优选实施例；由大气压下离子源 1（例如为电喷雾离子源等）产生的离子，经过毛细管 2 进入真空腔体 3（例如离子导引装置内的离子传输腔），所述真空腔体 3 内的典型气压为 1torr 到 10torr，由于气压差产生的气流从大气压经毛细管 2 进入真空腔体 3 时，形成自由膨胀的超音速射流，如果不加任何限制，射流的基本外廓为一个沿毛细管 2 方向延伸的同心的筒状激波（barrel shock），在激波内气流的速度可超音速；当气流冲过位于垂直面上的马赫面之后速度降到音速以下，减慢的气流由于与背景气的碰撞，速度方向逐渐变得散乱，而被气流携带传输的离子，在马赫面的下游将会面临严重损失。

[0046] 因此，为避免这一问题，在图 1 的实施例中，本发明利用一个中空筒状透镜 4 来限制射流的膨胀，其优选为气体动力学透镜，该气体动力学透镜 4 的入口位于所述马赫面的上游；下文会有详细描述，合适地选择透镜的几何尺寸，可使得气流在马赫面的后方形成一个或多个涡流区域，用以限制离子传输路径，减少离子随气流的散射；经过该气体动力学透镜 4 的调整，气流的流向可简单理解为沿图中箭头 5 所示，即自由膨胀的气流束被限制及整流，使离子将跟随气流进入离子导引装置 6，被导引及聚焦，再通过真空接口 7 进入下级装置 8；下级装置 8 的典型气压为 1mtorr ~ 200motrr，其可为离子导引装置或质量分析器等而位于下级真空腔体 9 内。

[0047] 图 2a 至 2c 是筒状的气体动力学透镜 4 的几种不同几何结构的截面图。最典型的是如图 2a 所示的圆筒形结构的透镜 41，其内部的中空部分（或称筒状空间）的直径沿长度方向没有变化，气流方向如图中箭头所示；通常该气体动力学透镜 41 直径在 1 ~ 10mm 之间，长度在 1 ~ 15mm 之间，其优选的尺寸取决于毛细管 2 的尺寸和真空腔体 3 内的气压值。比如，如采用 80mm 长，0.6mm 内径的毛细管，真空腔体 3 内气压为 2torr，可采用直径 5 ~ 10mm，长度 8 ~ 15mm 的筒状透镜。

[0048] 另外一种结构是如图 2b 所示的漏斗型的气体动力学透镜 42，气流方向沿图中箭头方向，入口的半径大，出口半径小。典型尺寸为入口 10 ~ 15mm，出口 4 ~ 10mm，长度 8 ~ 20mm。漏斗型结构的好处是可在较短长度内形成更强的涡流，同时，较大的入口保证尽可能多的离子被捕获，小的出口可以更好地聚焦气流。

[0049] 还可将前图 2a 和 2b 中的实施例结合,得到另一实施例,例如图 2c 所示的是前述直筒及漏斗型的气体动力学透镜的结构组合,气流在大直径的直筒型的气体动力学透镜 43 内经过较充分膨胀后被漏斗型的气体动力学透镜 44 限制整流,被聚焦的气流再被小直径的直筒型的气体动力学透镜 45 进行准直。相比专利 US8269164B2 中的准直气流,本实施例中的气流速度要慢得多,因此便于对携带其中的离子用电场进行操作,比如离子聚焦、或把离子从气流中拽出、或者将离子根据迁移率进行分离等,需说明的是,气体动力学透镜 43、44 及 45 可为一体成型的一个,也可以是由多个尺寸匹配地组合而成。

[0050] 图 3 给出以图 2b 实施例为例的漏斗形的气体动力学透镜进行气体动力学计算机仿真的结果。气体流场沿轴中心对称,该图为气体流场的速度分布的截面图。气流沿箭头 10 的方向,从大气压经过毛细管 2(未全部显示)进入气压为例如 1.7torr 的真空区域,42 为漏斗状的气体动力学透镜,由于该气体动力学透镜的限制作用,在自由射流中与箭头 10 的方向基本垂直的马赫面 11 被向后压缩,而在马赫面 11 后形成两个涡流区域 12,涡流的方向为顺时针向里。涡流可以使离子经过该区域时被有效减速并短暂驻留,既防止了离子撞壁损失,又不会在马赫面下游产生太过高速的层流或不稳定的湍流。在涡流区域的下游,气流流速迅速下降,用常规的离子导引装置即可有效地传输、聚焦离子。只要尺寸合适,使用图 2a 或 2c 所示的其它几何结构也可以产生类似的涡流,本发明相比现有技术重要区别改进点之一在于该涡流区域的形成。

[0051] 在上述实施例中,所述气体动力学透镜的外壳材料可以是绝缘体,比如工程塑料,环氧树脂等。但优选金属以构成筒状电极,以在气体动力学透镜的基础上加入电场透镜功能,以进一步有利于离子传输。比如,选用筒状金属电极时,通常需在筒状透镜 4 上施加不同于毛细管 2 和离子导引装置 6 的直流电位,以有利于离子传输。

[0052] 除了直流电压,还可以在筒状透镜的电极上施加一定幅值和频率的射频或交流电压。需强调的是,所述筒状的气体动力学透镜的电极可以是各种形状的,并非以筒状为限。

[0053] 图 4a 和 4b 展示一种实施例中的气体动力学透镜内的电极结构,图 4c 展示了一种气体动力学透镜内的电极结构。

[0054] 图 4a 及 4b 中展示的是气体动力学透镜内的四极场电极结构,其中,图 4a 中是与该透镜轴向垂直的截面示意图,图 4b 是该透镜的立体结构示意图。如图所示,四条电极 13 施加四极场形式的射频电压,这样在气体动力学透镜内部可形成射频四极场,以更好的压缩离子束。14 为填充在电极间的条状的绝缘部分,优选为 PEEK 等工程塑料。电极 13 与绝缘部分 14 的内表面合围成筒状空间,而图中的绝缘外壳 15 用作支撑,如此,射频四极场和空气动力学透镜共同作用,可最大程度上避免离子损失。如前所述,各电极所围成筒状空间的直径也可以沿轴变化,比如采用图 2b 中的漏斗型,每条电极和每条绝缘部分的尺寸都可沿轴变化。

[0055] 按此实施例可以类推,射频电场并不局限于四极场,也可采用六极场、八极场、十二极场等。使用高阶场可在同一射频条件下获得比四极场更宽的质量范围。或者采用沿轴向分布的环状电极阵列。图 4c 给出了筒状的气体动力学透镜内部为环形电极阵列时沿轴向的截面图,绝缘外壳 18 用作支撑,16 为环状的电极,与环状的绝缘部分 17 沿轴向交错排列。沿轴向相邻的电极 16 间施加幅值相同相位相反的射频电压以束缚离子,同时可沿轴向施加特定的直流梯度以推动离子或实现某些特定目的,比如施加反向直流梯度以滤除迁

移率过高的离子等。

[0056] 在一实施例中,所述气体动力学透镜内的电极与所述下游的图 1 中的离子导引装置 6 可以相互独立,也可以直接相连,甚至气体动力学透镜内电极可以是离子导引装置内电极的一部分。如图 5a 所示,所述离子导引装置内的射频电极 61 沿轴向延伸进入气体动力学透镜 46 的内部,在透镜 46 内形成射频四极场以聚焦、束缚离子。图 5b 是此种情况下,与轴向垂直方向截取的位于气体动力学透镜 46 处的截面图,四个射频电极 61 在气体动力学透镜 46 内的部分相当于前述实施例中气体动力学透镜内的电极 13,构成四极场,电极 61 上突出到绝缘外壳 20 以外的为电极连线,射频电极 61 之间的条状的绝缘部分 18 可与前述实施例中绝缘部分 14 相同;图 5c 是射频电极 61 在气体动力学透镜 46 以外(即离子导引装置)处的截面图。离子在气体动力学透镜 46 内,受到气流场和射频电场的共同作用,从透镜 46 出射后,主要依靠射频电场被聚焦传输。这样的结构有两个好处,一是简化了整个结构以及电压设置,二是在筒状的气体动力学透镜 46 内的射频场和离子导引装置内的射频场在边界处没有跳变,从而避免了边缘场效应。

[0057] 需说明的是,在图 4a 或图 5a 的实施例中,筒状的气体动力学透镜透镜内形成多极场的电极在轴向上为一体的电极(例如整条),在实际应用中并不局限于此。可以沿轴向分段,并施加不同的直流电压或者射频电压,以形成直流驱动或者调整射频场形。或者沿轴向在电极外侧镀上高阻薄膜,同样可以形成直流梯度。

[0058] 关于图 4a 至 4c 实施例中的绝缘部分 14 及 17,由于强气流场的存在,表面电荷积累的问题并不严重。而且可以采取多种手段来进一步降低表面电荷积累。比如,可以表面镀上一层高阻薄膜以及时导走电荷,或者涂覆抗静电涂剂等进行表面处理;或者如图 5b 中所示,使得绝缘部分 19 的内表面略低于电极 61 的内表面,以减少带电离子接触到绝缘表面的几率,但是需保证如前所述的气流场不会发生显著改变;或者增大透镜中电极内表面与绝缘部分内表面的比例来减少表面电荷,等等。

[0059] 图 6 是本发明的又一实施例,以说明气体动力学透镜的设置位置亦可发生变化。在本实施例中,气体动力学透镜 47 并非位于作为大气压接口的毛细管 2 和离子导引装置 6 之间,而是位于后级的真空接口 7 和下级装置 8(离子导引装置或质量分析器)之间。真空腔体 3 的典型气压为 $1 \sim 10\text{torr}$,下级装置 8 的典型气压为 $1\text{motrr} \sim 200\text{mtorr}$,此时真空接口 7 优选为圆孔透镜或取样锥孔。在本实施例中,对应气流从真空腔体 3 中的连续流经真空接口 7 进入下级装置 8 从而逐渐变成过渡流甚至分子流的情况,但气体动力学透镜 48 仍然可以用来进行气流的调整以达到最大的离子传输效率,只是几何尺寸需随之做优化调整。基本上,本发明中的气体动力学透镜适用于从连续流到连续流、或者连续流到过渡流、或者连续流经过渡流到分子流、或者过渡流到分子流的情况,但不适用于分子流到分子流的情况。因此在具有多级真空的系统中,可在不同的真空界面上分别或连续使用本发明中的气体动力学透镜。

[0060] 此外需要指出的是,通过特别设定所述气体动力学透镜的结构与位置参数,对于包括多个真空级的质谱系统,还可以取得对气体动力学透镜所在真空腔的后级真空负载的明显下降结果,以及其他一些真空气压的控制效果。

[0061] 图 7 展示了一种通过本发明的气体动力学透镜控制后级真空度的方法。其中的真空入口末端至气体动力学透镜 4 末端的轴向距离 L 与所述真空入口末端至其后第一个马赫

面的轴向距离 M 的比值为 1 ~ 2。在这种结构下,马赫面后突然降速的轴向气流会在气体动力学透镜 4 末端后发散,由于失去了气体动力学透镜 4 结构的壁面约束,发散的气流会降速形成位于主气流束外侧的巨大涡流鞘,其规模和尺寸远强于无该气体动力学透镜 4 时的结构,从而将主气流束的一部分偏轴引出到外侧,并降低主气流束上的流速与气流密度,使得在相同的真空腔体 3 的气压下,通过轴上的真空接口 7 引入下级装置 8(具有通过分子泵形成的高真空腔)的气流明显下降,从而有效降低其真空气压。其原理如图 8a 所示,主气流束的宽度与不施加此气体动力学透镜时的结构流场图 8b 相比明显加宽,涡流也大得多(见图中涡流 A 和涡流 B 的对比),而且在远端可以看到由于涡旋向侧方分流的现象。图 9 为实验数据,以表明通过本发明的气体动力学透镜对后级分子泵级的真空度下降效应,具体而言,现有毛细管接口尺寸取 0.5mm(内径)x84mm(长度),气体动力学透镜长度为 5mm,内径为 2.5mm 时,当前级工作气压取优值 300Pa 时,后级分子泵抽取级的气压最高能下降 3 倍以上。这意味着采用这类结构的质谱分析装置或系统可以采用具有更低抽速的廉价或小型分子泵。需要指出的是,当所述气体动力学的内径最小值与所述真空入口末端内径最小值的比例为 1 ~ 20 时,这种涡流结构便可以出现,当此比例大于 2 时,后级真空会出现明显的降压趋势,当此比例为 4 至 8 时,可以取得相对最好的降压效果。

[0062] 相比于背景技术,本发明有如下优点:

[0063] 1. 相比于单纯依靠射频电压聚焦离子,使用气体动力学透镜可提高离子在射流区域的被捕获效率;

[0064] 2. 筒状的气体动力学透镜结构简单,体积小。优选尺寸为 0.1 ~ 10mm 内径,1 ~ 15mm 长度。

[0065] 3. 对于最广泛使用的电喷雾离子源,由该气体动力学透镜所形成的涡流区域,不仅可提高离子的捕获效率,而且可提高带电液滴的去溶剂效率,进一步提高了仪器灵敏度。

[0066] 4. 已经发现,对于特定尺寸的筒状透镜,可减少进入下级真空的气流量,从而降低对下级真空泵的负担,有利于仪器的小型化。

[0067] 上述实施例仅例示性说明本发明的原理及其功效,而非用于阻挡本发明。任何熟悉此技术的人士皆可在不违背本发明的精神及范畴下,对上述实施例进行修饰或改变。因此,举凡所属技术领域中具有通常知识者在未脱离本发明所揭示的精神与技术思想下所完成的一切等效修饰或改变,仍应由本发明的权利要求所涵盖。

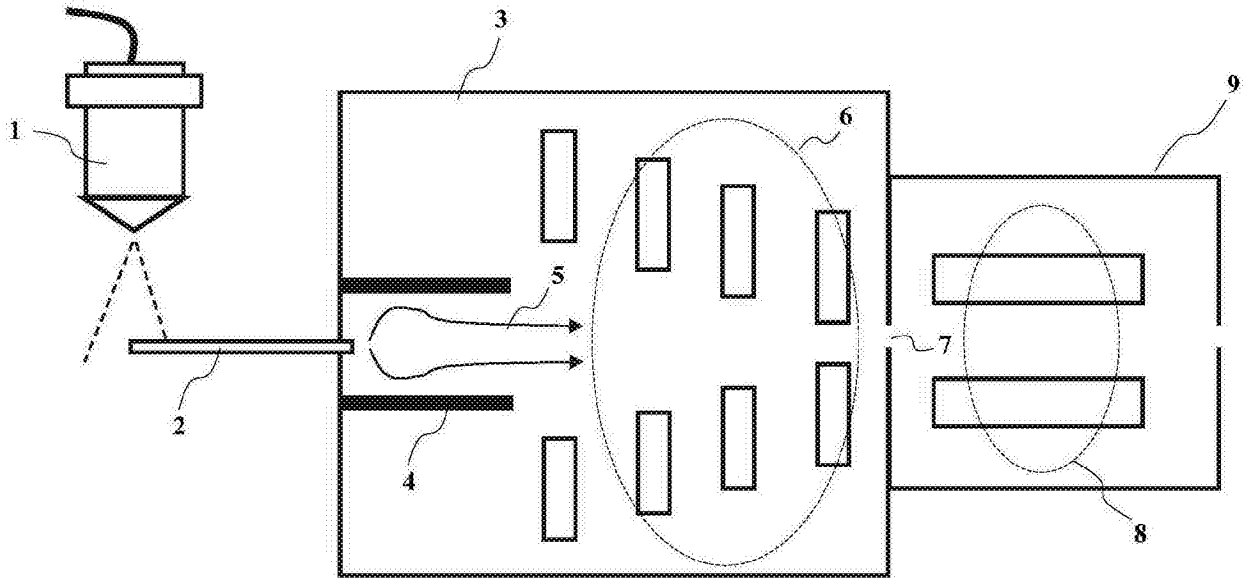


图 1

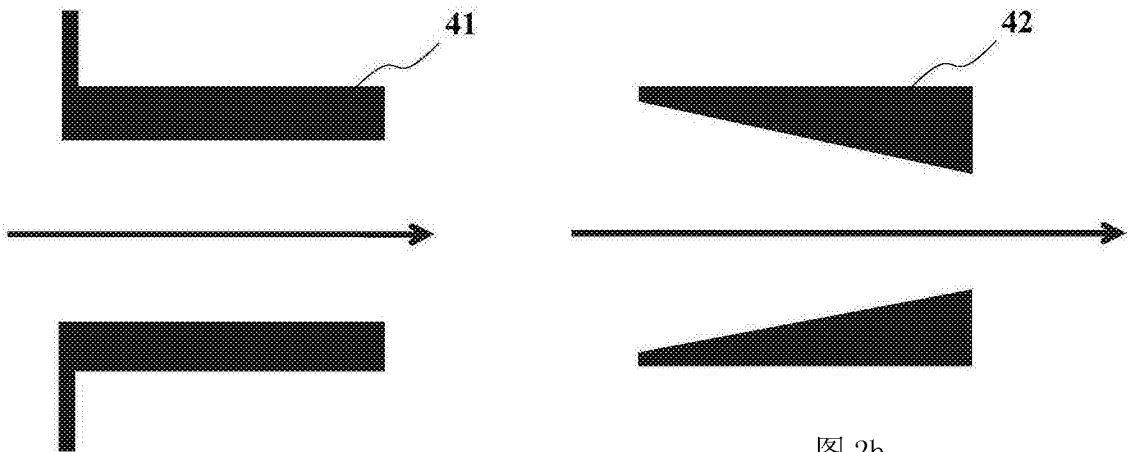


图 2a

图 2b

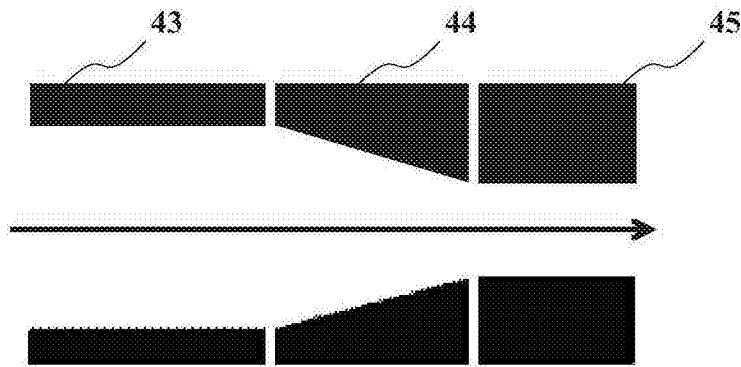


图 2c

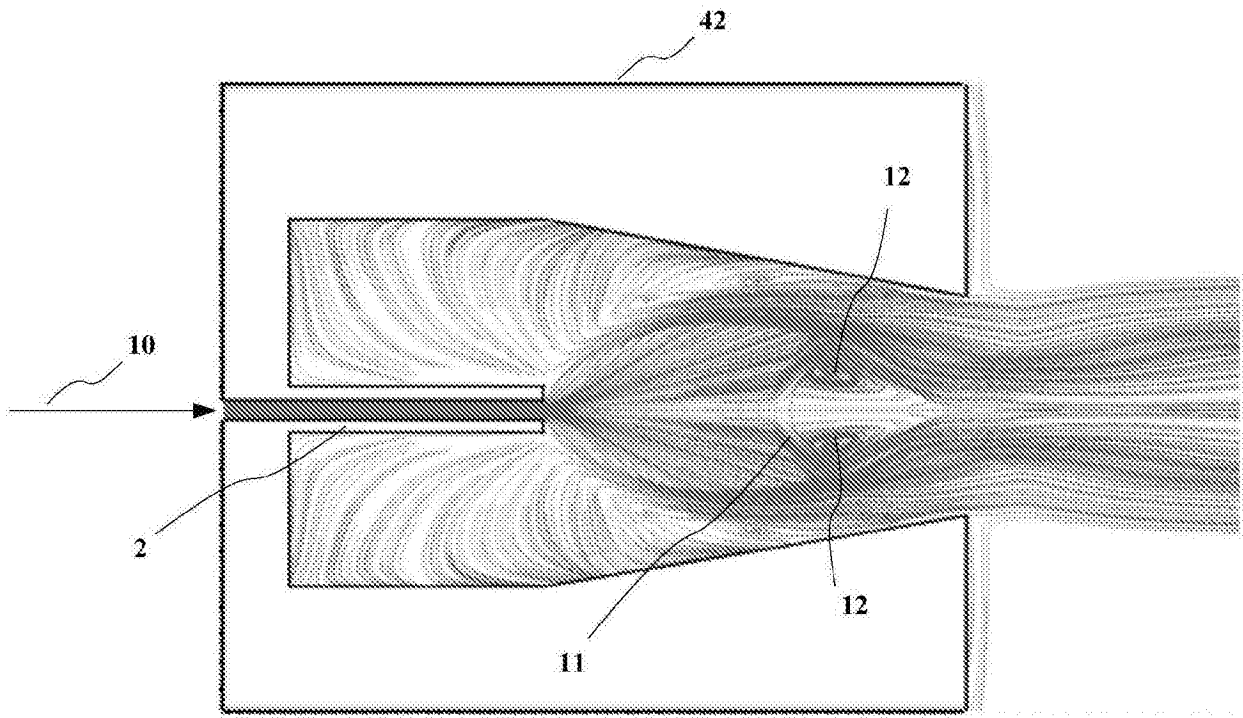


图 3

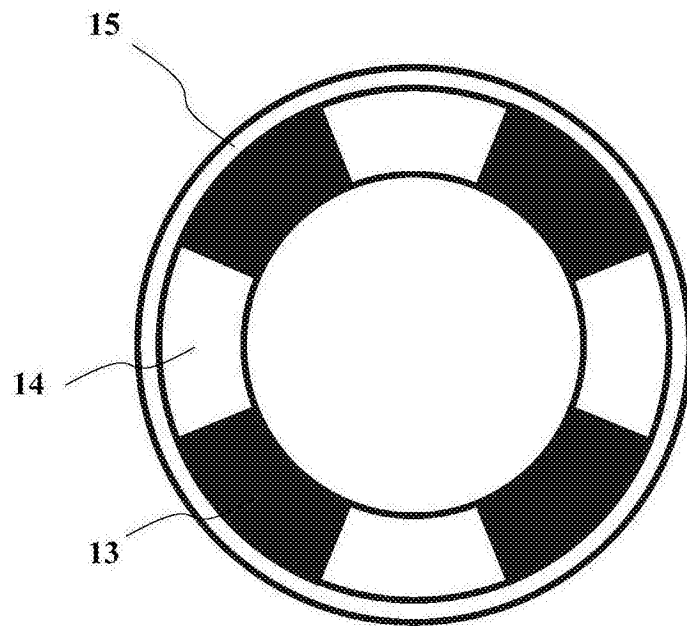


图 4a

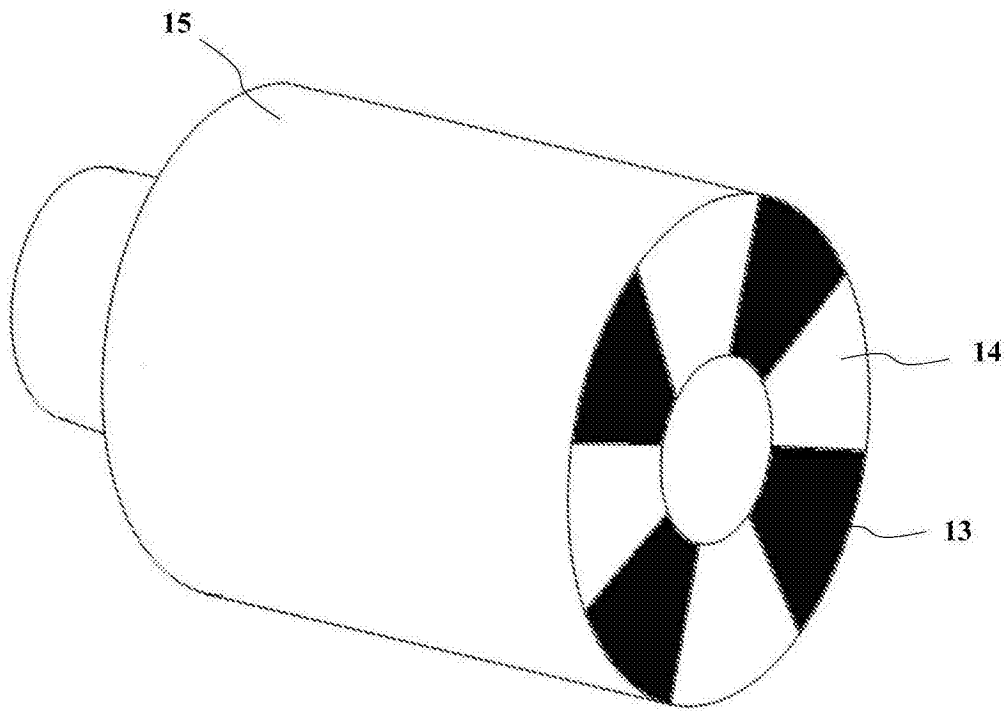


图 4b

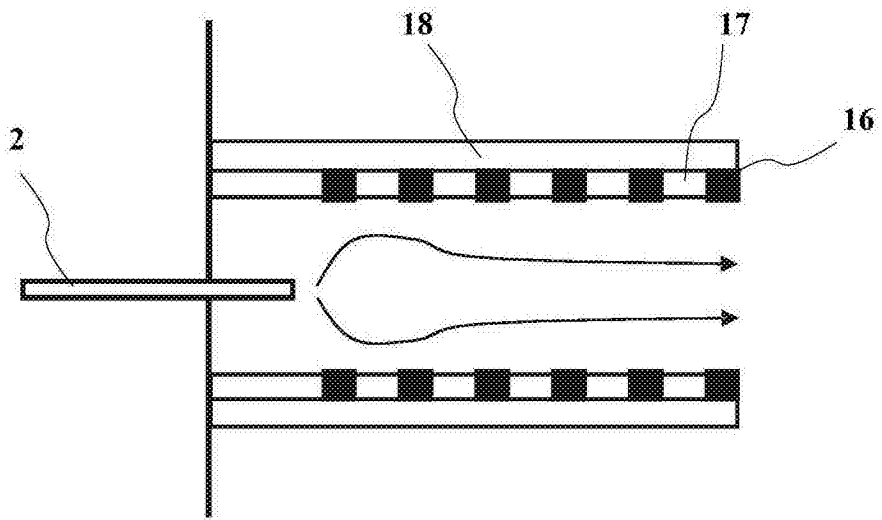


图 4c

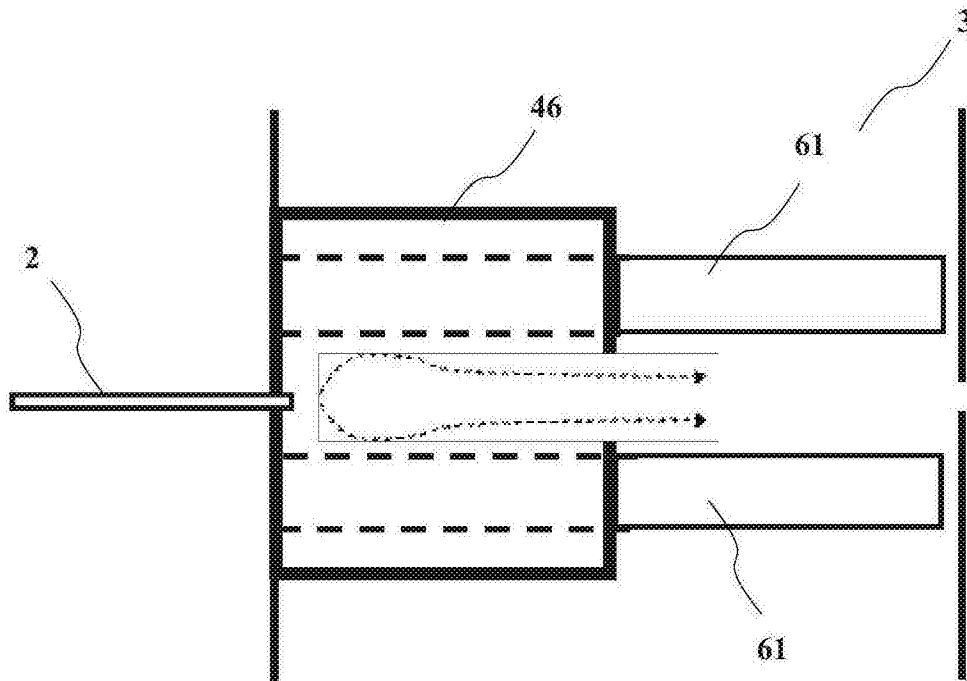


图 5a

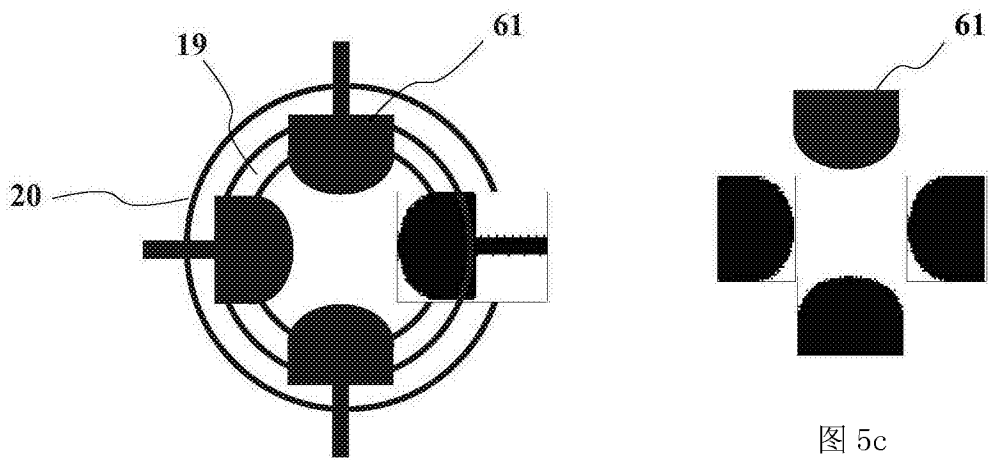


图 5b

图 5c

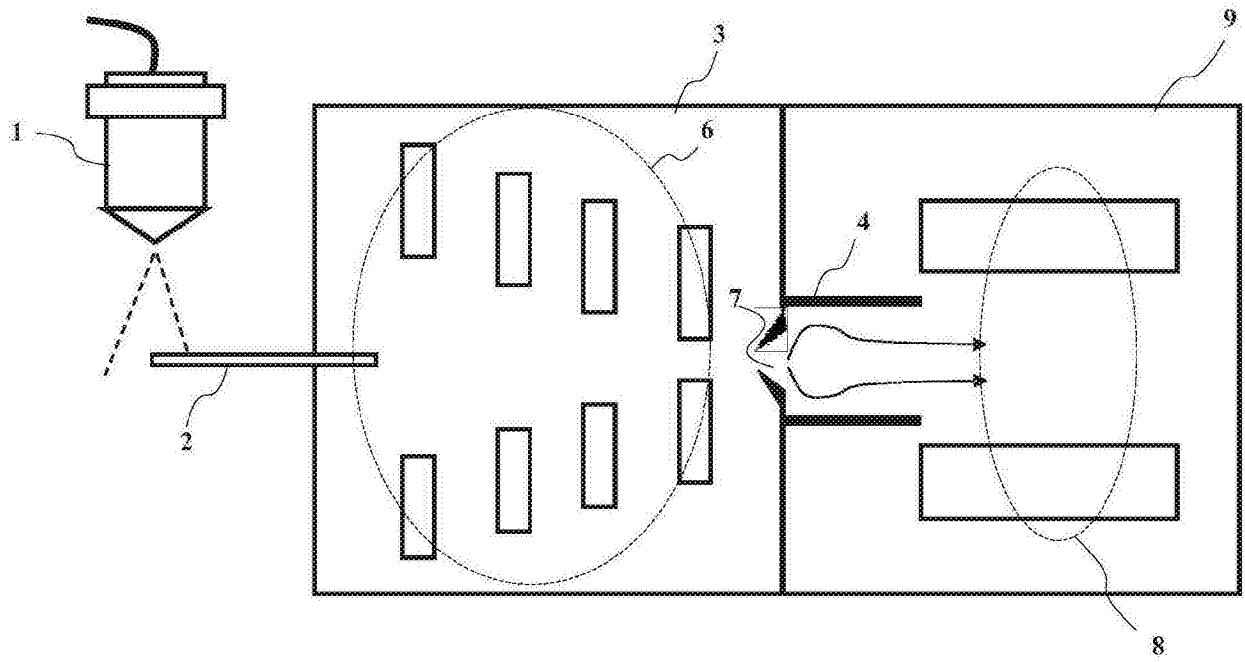


图 6

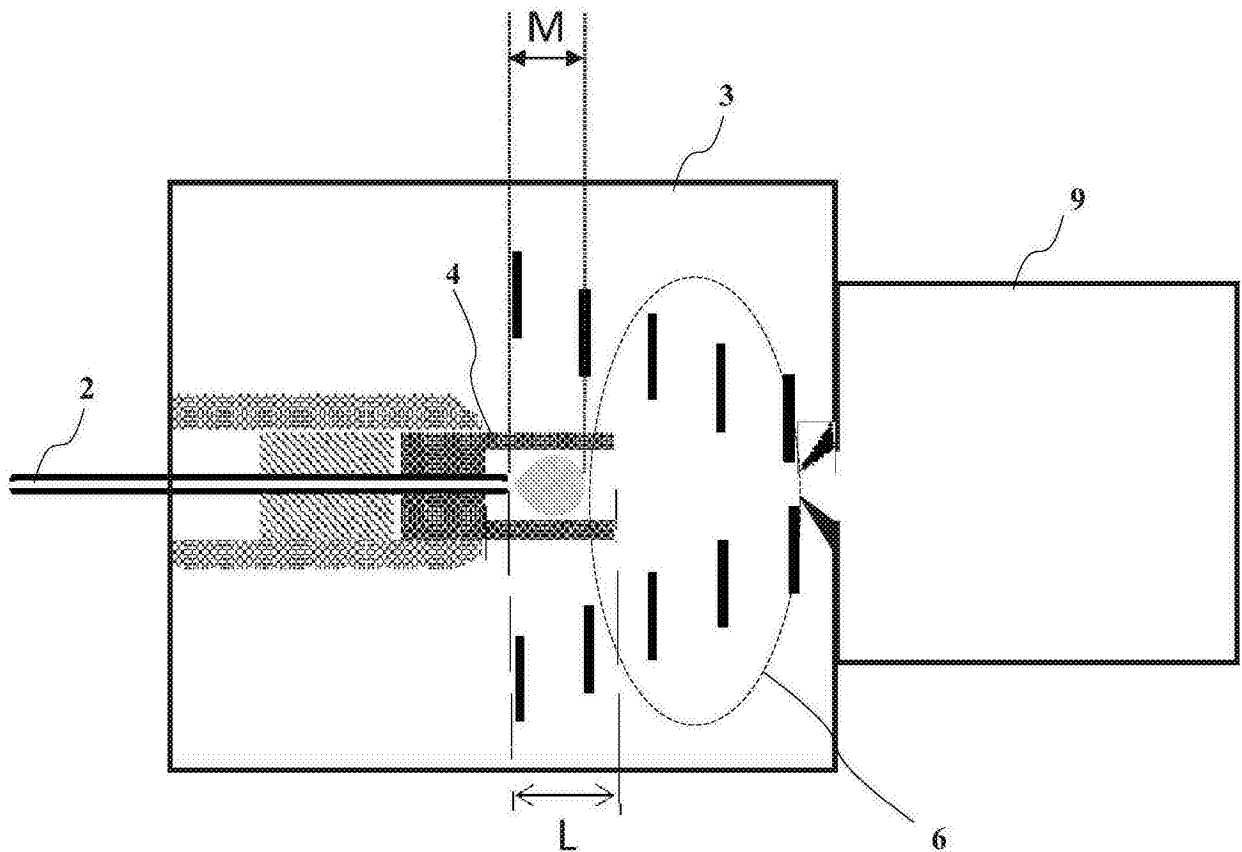


图 7

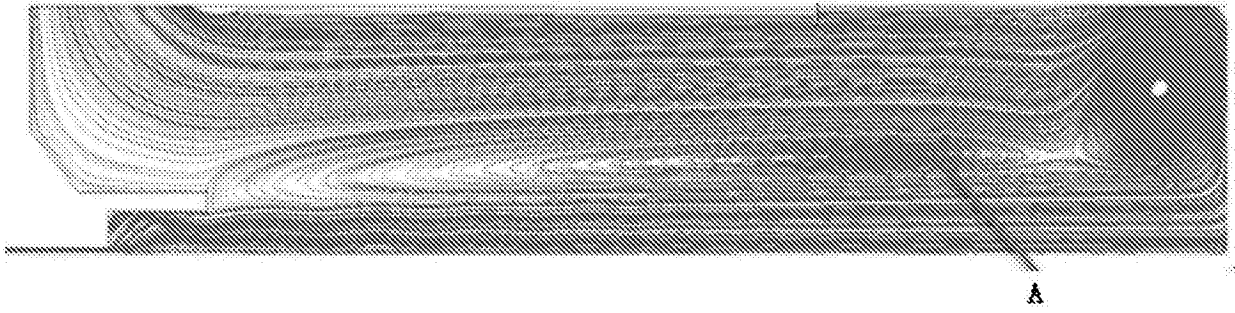


图 8a

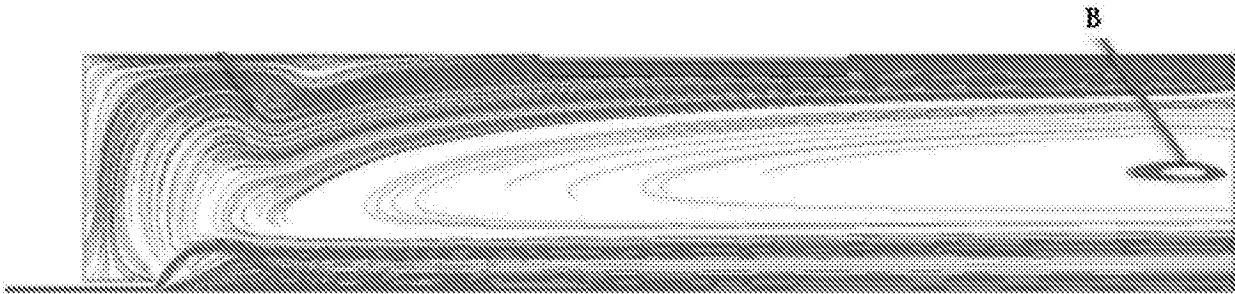


图 8b

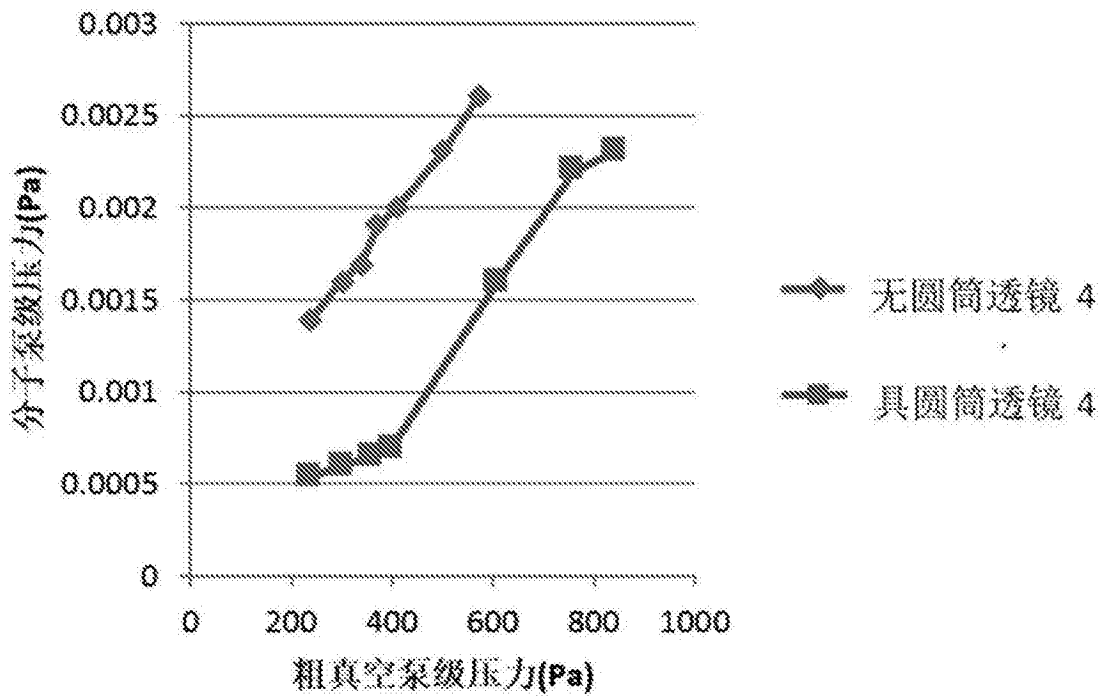


图 9