



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103635989 A

(43) 申请公布日 2014. 03. 12

(21) 申请号 201280032020. 6

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2012. 06. 01

H01J 49/10 (2006. 01)

(30) 优先权数据

H01J 49/26 (2006. 01)

13/170, 282 2011. 06. 28 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2013. 12. 27

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2012/040407 2012. 06. 01

(87) PCT国际申请的公布数据

W02013/002954 EN 2013. 01. 03

(71) 申请人 安捷伦科技有限公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 J. E. 库利 S. 科萨里

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 张贵东

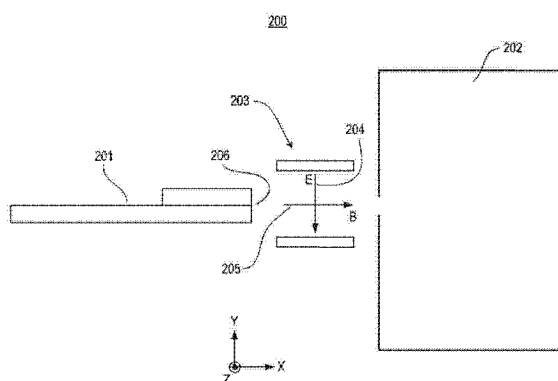
权利要求书2页 说明书9页 附图8页

(54) 发明名称

无窗电离装置

(57) 摘要

一种电离装置包括：配置成生成等离子体的等离子体源。等离子体包括光、等离子体离子和等离子体电子。等离子体源包括孔径，所述孔径布置成使得光的至少一部分穿过孔径并且入射在气体样本上。电离装置还包括电离区域；以及等离子体偏转装置，所述等离子体偏转装置包括配置成建立电场的多个电极，其中电场基本上防止等离子体离子进入电离区域。



1. 一种电离装置,其包括:

配置成生成等离子体的等离子体源,所述等离子体包括光、等离子体离子和等离子体电子,所述等离子体源包括孔径,所述孔径布置成使得所述光的至少一部分穿过所述孔径并且入射在气体样本上;

电离区域;以及

等离子体偏转装置,所述等离子体偏转装置包括配置成建立电场的多个电极,其中所述电场基本上防止所述等离子体离子进入所述电离区域。

2. 根据权利要求1所述的电离装置,其中所述等离子体偏转装置还包括配置成建立磁场的磁体,其中所述磁场基本上防止所述等离子体的电子进入所述电离区域。

3. 根据权利要求2所述的电离装置,其中所述电场和所述磁场大致正交。

4. 根据权利要求2所述的电离装置,其中所述电场和所述磁场大致平行。

5. 根据权利要求2所述的电离装置,其中所述电场和所述磁场大致反平行。

6. 根据权利要求2所述的电离装置,其中所述电场在轴向方向上定向并且所述磁场在径向方向上定向。

7. 根据权利要求2所述的电离装置,其中所述电场和所述磁场在径向方向上定向。

8. 一种质谱仪,其包括质量分析器、检测器和离子源,其中所述离子源包括根据权利要求1所述的电离装置。

9. 一种将样本气体暴露于激发光的方法,所述方法包括:

生成包括光、等离子体离子和等离子体电子的等离子体;

使来自所述等离子体的所述光的至少一部分穿过孔径到达电离区域;

使气体样本穿过所述电离区域;以及

生成电场以基本上防止所述等离子体离子进入所述电离区域。

10. 根据权利要求9所述的方法,其还包括生成磁场以基本上防止所述等离子体电子进入所述电离区域。

11. 根据权利要求10所述的方法,其中所述电场和所述磁场大致正交。

12. 根据权利要求10所述的方法,其中所述电场和所述磁场大致平行。

13. 根据权利要求10所述的方法,其中所述电场和所述磁场大致反平行。

14. 根据权利要求10所述的方法,其中所述电场在轴向方向上定向并且所述磁场在径向方向上定向。

15. 一种电离装置,其包括:

具有入口端和出口端的通道,所述入口端配置成接收气体样本;

等离子体源,所述等离子体源配置成生成光、等离子体离子和等离子体电子,所述等离子体源包括孔径,所述孔径布置成使得所述光的至少一部分穿过所述孔径并且入射在从所述通道的所述出口端释放的气体样本上;

多个电极,所述多个电极配置成建立电场以引导所述等离子体离子,孔径;以及

磁体,所述磁体配置成建立磁场以引导所述等离子体电子,其中所述磁场基本上防止所述等离子体电子通过所述孔径离开,并且所述电场和所述磁场正交。

16. 根据权利要求15所述的电离装置,其中所述磁体包括大致围绕所述等离子体源的外磁体和大致围绕所述通道的内磁体。

17. 根据权利要求 15 所述的电离装置,其中所述电场在轴向方向上定向并且所述磁场在径向方向上定向。

18. 根据权利要求 15 所述的电离装置,其还包括布置在所述孔径和所述通道之间的等离子体离子偏转电极,其中所述等离子体离子偏转电极配置成吸引或排斥穿过所述孔径的等离子体离子。

19. 根据权利要求 15 所述的电离装置,其还包括布置在所述孔径和所述通道之间的等离子体电子偏转电极,其中所述等离子体电子偏转电极配置成吸引或排斥穿过所述孔径的等离子体电子。

20. 一种质谱仪,其包括质量分析器、检测器和离子源,其中所述离子源包括根据权利要求 15 所述的电离装置。

无窗电离装置

技术领域

[0001] 本发明涉及无窗电离装置。

背景技术

[0002] 电磁能可以用于便于经由光化学应用(例如软电离和光裂解)的未知气体的成分的检查。电磁波谱的真空紫外(VUV)区特别有助于这些应用,原因是 VUV 光子的能量(一般为 6-124eV)对应于多数化学物质的电子激发和电离能量。真空紫外(VUV)光一般限定为具有在 10-200 纳米的范围内的波长的光。

[0003] 多数现有的系统涉及例如使用共振灯、频率倍增激光器或同步加速器远离待曝光的区域生成 VUV 光,并且典型地通过使 VUV 光穿过窗口设法将该光输送到感兴趣的区域。然而,在该波长范围内的窗口材料和折射光学器件是稀有的或不存在的,因此常常不能引导或集中 VUV 光。使用的窗口典型地吸收该波长谱内的大部分光,并且折射光学器件在非完美清洁环境中会被污染。另外,激光器和同步加速器会极其昂贵并且会需要大量的电力和空间。

[0004] 所谓的“无窗”光电离装置(“电离装置”)允许光谱的更大部分入射到样本上。然而,在已知无窗电离装置中,等离子体的正离子(“等离子体离子”)和等离子体的电子(“等离子体电子”)可以穿过等离子体的光理想地传输通过的孔径。等离子体离子存在于电离区域中会导致样本的分析物离子的干扰峰值,并且最终减小感兴趣的分析物离子的检测的可靠性。等离子体电子和离子会以非受控方式通过电子轰击电离或离子-分子电荷转移反应非理想地引起样本的分析物离子的硬电离。

[0005] 所以需要生成 VUV 光并且将 VUV 光输送到感兴趣的区域的更好的系统和方法。

发明内容

[0006] 根据代表性实施例,一种电离装置包括:配置成生成等离子体的等离子体源。所述等离子体包括光、等离子体离子和等离子体电子。所述等离子体源包括孔径,所述孔径布置成使得所述光的至少一部分穿过所述孔径并且入射在气体样本上。所述电离装置还包括电离区域;以及等离子体偏转装置,所述等离子体偏转装置包括配置成建立电场的多个电极,其中所述电场基本上防止所述等离子体离子进入所述电离区域。

[0007] 根据另一代表性实施例,公开一种将样本气体暴露于激发光的方法。所述方法包括:生成包括光、等离子体离子和等离子体电子的等离子体;使来自所述等离子体的所述光的至少一部分穿过孔径到达电离区域;使气体样本穿过所述电离区域;以及生成电场以基本上防止所述等离子体离子进入所述电离区域。

[0008] 根据另一代表性实施例,一种电离装置包括:具有入口端和出口端的通道,所述入口端配置成接收气体样本;等离子体源,所述等离子体源配置成生成光、等离子体离子和等离子体电子,所述等离子体源包括孔径,所述孔径布置成使得所述光的至少一部分穿过所述孔径并且入射在从所述通道的所述出口端释放的气体样本上;以及多个电极,所述多个

电极配置成建立电场以引导等离子体离子。所述电场基本上防止所述等离子体离子通过所述孔径离开。所述电离装置包括磁体,所述磁体配置成建立磁场以引导等离子体电子。所述磁场基本上防止所述等离子体的所述等离子体电子通过所述孔径离开并且所述电场和所述磁场正交。

附图说明

[0009] 当随着附图阅读时从以下详细描述最佳地理解代表性实施例。需要强调的是各种特征不必按比例绘制。实际上,为了论述的清楚起见尺寸可以任意地增加或减小。只要合适和条件允许,相似的附图标记表示相似的要素。

[0010] 图 1 示出根据代表性实施例的质谱仪的简化示意图。

[0011] 图 2A 示出根据代表性实施例的电离装置的简化示意图。

[0012] 图 2B 示出根据代表性实施例的电离装置的简化示意图。

[0013] 图 3A 示出根据代表性实施例的电离装置的横截面图。

[0014] 图 3B 示出图 3A 中所示的电离装置的放大部分。

[0015] 图 4A 示出根据代表性实施例的电离装置的横截面图。

[0016] 图 4B 示出根据代表性实施例的电离装置的部分分解部分截面图。

[0017] 图 5 示出根据代表性实施例的将样本气体暴露于激发光的方法的流程图。

具体实施方式

[0018] 在以下详细描述中,为了解释而不是限制的目的,阐述公开具体细节的代表性实施例以便提供根据本教导的实施例的透彻理解。然而,本领域的普通技术人员利用本发明将显而易见脱离本文中所公开的具体细节的根据本教导的其它实施例仍然在附带权利要求的范围内。而且,可以省略公知装置和方法的描述从而不使代表性实施例的描述晦涩。这样的方法和装置明显地在本教导的范围内。

[0019] 对于光化学应用而言用于照射气体样本的有效策略是以方便耦合到样本气体的流动的几何形状产生高密度光。下面描述允许将期望波长(例如,真空紫外(VUV)光)的光子有效耦合到流动气体样本的电离装置的代表性实施例。

[0020] 在代表性实施例中,等离子体在结构中产生,并且结构中的孔径允许入射在电离区域中的样本离子上的光子(例如,VUV 光子)的无窗发射。等离子体偏转装置设在孔径和电离区域之间。等离子体偏转装置包括偏转电极,所述偏转电极在孔径和电离区域之间的区域中生成静电场。电场偏转(通过吸引或排斥)穿过孔径的等离子体的正离子并且基本上防止这些离子到达电离区域。在实施例中,等离子体偏转装置也包括磁体,所述磁体在孔径和电离区域之间的区域中生成静磁场。静磁场基本上防止电子到达电离区域。磁场的幅度大到足以影响等离子体电子的运动,但是不大到足以影响相对较大的等离子体离子的运动。

[0021] 磁场可以正交于电场或平行于电场定向。如下面更完整地所述,在磁场正交于电场定向的情况下穿过孔径的等离子体电子在正交于电场和磁场的方向上在所谓的 EXB (其中“X”表示叉积)漂移中漂移。磁场的取向被选择成使得等离子体电子不漂移到电离区域中。在磁场平行(或反平行)于电场定向的情况下,穿过孔径的等离子体电子受到洛伦兹力。

磁场的取向被选择成使得等离子体电子偏转远离电离区域。

[0022] 在另一代表性实施例中,等离子体在构造有孔径的环形腔中产生,所述孔径沿着环形腔的内表面或壁定向,允许径向向内引导到流动气体样本的光子(例如,VUV 光子)的无窗发射。根据代表性实施例,静电场和磁场产生来自源气体的等离子体。根据代表性实施例,电场和磁场在电离装置中到处正交。这导致等离子体电子在电场向量和磁场向量的叉积($E \times B$)的方向上的漂移。由于 EXB 漂移,根据电离装置的几何形状等离子体电子的运动是围绕点(通常称为引导中心)的较快圆形运动和圆形运动中的该点的较慢漂移的叠加。相比之下,由于它们的较大质量和较弱静磁场的选择,等离子体离子不明显地受到 EXB 漂移影响,而是在静电场中轴向地加速。如下面更完整地所述,根据代表性实施例的静电场和磁场的取向和幅度有助于防止等离子体离子和等离子体电子引导到电离装置的电离区域中。

[0023] 图 1 显示根据代表性实施例的质谱仪 100 的简化示意图。方块图以更一般的形式绘制,原因是本教导可以应用于各种不同类型的质谱仪。当本描述继续时应当领会,代表性实施例的装置和方法可以与质谱仪 100 结合使用。因而,质谱仪 100 有助于获得代表性实施例的装置和方法的功能和应用的更全面理解,但是不旨在限制这些功能和应用。质谱仪 100 包括离子源 101、质量分析器 102 和检测器 103。离子源 101 包括电离装置 104,所述电离装置配置成电离气体样本(未在图 1 中显示)并且将离子提供给质量分析器 102。下面根据代表性实施例描述电离装置 104 的细节。质谱仪 100 的其它部件包括本领域普通技术人员已知的装置并且未详细地描述以避免使代表性实施例的描述晦涩。例如,质量分析器 102 尤其可以是四极质量分析器、离子阱质量分析器或飞行时间(TOF)质谱仪。

[0024] 图 2A 示出根据代表性实施例的电离装置 200 的简化示意图。电离装置 200 可以在离子源 101 中作为电离装置 104 实现。电离装置 200 包括等离子体源 201、电离区域 202 以及布置在等离子体源 201 和电离区域 202 之间的等离子体偏转装置 203。如下面更完整地所述,等离子体偏转装置 203 包括生成静电场 204 的等离子体离子偏转电极(未在图 2A 中显示)。值得注意地,电源(未显示)连接在等离子体偏转电极之间并且静电电压施加到等离子体偏转电极之间以建立静电场。静电场偏转(排斥或吸引)等离子体离子和等离子体电子远离电离区域 202。可选地,提供静磁场 205 的源以偏转等离子体电子远离电离区域 202。在某些实施例中源可以是永磁体,并且在其它实施例中,源可以是电磁体。

[0025] 来自等离子体源 201 的光通过等离子体源 201 的端部 206 处的孔径(未在图 2A 中显示)发射并且入射在电离区域 202 中的样本(未显示)的分析物分子上。光电离分析物分子,然后分析物分子提供给质谱仪 100 的质量分析器 102。根据代表性实施例,等离子体源 201 可以在 James E. Cooley 等人的名称为“具有用于气体的真空紫外照射的腔的微等离子体装置及其制造和使用方法(Microplasma Device with Cavity for Vacuum Ultraviolet Irradiation of Gases and Methods of Making and Using the Same)”的共同拥有的美国专利申请 12/613,643 中描述。公开为美国专利申请公告 20110109226 的该专利申请的公开通过引用具体地合并到本文中。

[0026] 等离子体离子和等离子体电子可能非理想地通过等离子体源 201 的端部 206 处的孔径发射。如上所述,等离子体离子和等离子体电子进入电离区域 202 是非理想的。在代表性实施例中,在端部 206 处发射的等离子体离子由静电场 204 在远离电离区域的方向(在图 2A 的坐标系中的 y 方向)上偏转,并且等离子体电子在相反的方向上由静电场 204 偏转。

[0027] 等离子体离子和等离子体电子从等离子体源 201 的端部 206 处的孔径发射并且可以形成准中性、等离子体样环境。紧靠等离子体偏转装置 203 的偏转电极形成这样的准中性等离子体样环境可以用于屏蔽静电场 204 并且减弱它对等离子体离子的影响。如果等离子体离子和等离子体电子有效屏蔽施加到等离子体偏转装置 203 的偏转电极的静电电势的长度小于偏转电极的距离,则静电场 204 防止等离子体离子到达电离区域 202 的有用性非理想地减小。

[0028] 在代表性实施例中,静电场 204 设在等离子体偏转装置 203 中。等离子体离子由静电场 204 影响并且偏转远离电离区域。例如,在如图 2A 中所示的静电场 204 的示例性取向的情况下,等离子体离子在 y 方向上被引导。等离子体离子相对较大,并且静磁场 205 的幅度选择成使得等离子体离子的运动不明显地由静磁场 205 影响。然而,等离子体电子受到 $E \times B$ 漂移并且在图 2A 中所示的坐标系中的 z 方向上(即,离开页平面)偏转。因而,如图 2A 中所示的等离子体偏转装置 203 中的静电场 204 和静磁场 205 的施加允许等离子体离子和等离子体电子的分离,由此防止在等离子体源 201 的端部 206 处形成准中性等离子体样环境,并且最终改善等离子体离子和等离子体电子偏转远离电离区域 202。

[0029] 图 2B 示出根据另一代表性实施例的电离装置 200 的简化示意图。电离装置 200 可以在离子源 101 中作为电离装置 104 实现。电离装置 200 包括等离子体源 201、电离区域 202 以及布置在等离子体源和电离区域之间的等离子体偏转装置 203。等离子体偏转装置 203 包括等离子体离子偏转电极(未显示)。如下面更完整地所述,等离子体偏转装置 203 包括生成静电场 204 的等离子体离子偏转电极(未在图 2B 中显示)。值得注意地,电源(未显示)连接在等离子体偏转电极之间并且静电电压施加到等离子体偏转电极之间以建立静电场。静电场偏转等离子体离子和等离子体电子远离电离区域 202。可选地,提供静磁场 205 的源以偏转等离子体电子远离电离区域 202。在某些实施例中源可以是永磁体,并且在其它实施例中,源可以是电磁体。

[0030] 在当前描述的实施例中,静电场 204 和静磁场 205 彼此平行地定向。可以预料静电场 204 和静磁场 205 彼此反平行地定向。

[0031] 等离子体离子由静电场 204 影响并且偏转远离电离区域(再次在 y 方向上)。具有正交于静磁场 205 的速度分量的等离子体电子受到洛伦兹力($q(E+v \times B)$)的磁分量($qv \times B$),其中 v 是电子的速度, q 是电子的电荷, E 是电场并且 B 是磁场。磁分量有益地延缓等离子体电子在 x 方向上的运动。最终,从等离子体源 201 的端部 206 发射的等离子体电子的相当大部分由等离子体偏转装置 203 偏转远离电离区域。因而,如图 2B 中所示的等离子体偏转装置 203 中的静电场 204 和静磁场 205 的施加允许等离子体离子和等离子体电子的分离,由此防止在等离子体源 201 的端部 206 处形成准中性等离子体样环境,并且最终改善等离子体离子和等离子体电子偏转远离电离区域 202。

[0032] 图 3A 示出根据代表性实施例的电离装置 300 的横截面图。电离装置 300 可以在离子源 101 中作为电离装置 104 实现。电离装置 300 围绕对称轴线 301 布置。入口 302 被提供并且配置成接收包括分析物分子的样本气体(未显示)。样本气体在入口 302 处在平行于对称轴线 301 的方向上被引导。

[0033] 有用地导电的电离装置 300 的各种部件由合适的导电材料、例如不锈钢制造。需要电绝缘的电离装置 300 的各种部件由合适的电绝缘体、例如高温塑料(例如, Vespel[®])

或合适的可加工陶瓷材料(例如,Macor[®],氧化铝或氮化硼)制造。代表性实施例的磁体示例性地为本领域普通技术人员已知的稀土磁体。

[0034] 电离装置 300 包括第一等离子体源 303 和可选的第二等离子体源 304。第一和第二等离子体源 303、304 示例性地在上面通过引用被合并的美国专利申请公告 20110109226 中被描述。值得注意地,第二等离子体源 304 提供第一等离子体源 303 的冗余功能并且未进一步详细地描述它功能。

[0035] 电离装置 300 包括邻近孔径(未在图 3A 中显示)布置的偏转装置 305,来自等离子体 306 的光传输通过所述孔径。来自等离子体的光入射在电离区域 307 中的样本气体上。在电离之后,分析物离子由离子光学器件 308 朝着出口 309 引导并且到达质量分析器(未在图 3A 中显示)。如上所述,并且如下面结合本实施例更完整地所述,偏转装置 305 配置成提供静电场,并且可选地,提供静磁场。大体上通过在下述的偏转电极之间产生大约 10V 到 100V 之间的电压差建立静电场。如上所述,磁场强度选择成偏转等离子体电子、但不偏转具有比等离子体电子更大的质量的等离子体离子。例如,静磁场为大约 5000 高斯。

[0036] 在某些实施例中,电场正交于磁场。因而,等离子体离子由静电场影响并且偏转远离电离区域 307。等离子体电子受到 $E \times B$ 漂移并且在图 3A 中所示的坐标系中的 z 方向上(即,离开页平面)偏转。

[0037] 在其它实施例中,静电场平行(或反平行)于静磁场。等离子体离子由静电场影响并且偏转远离电离区域 307。具有正交于静磁场的速度分量的等离子体电子受到洛伦兹力的磁分量并且偏转远离电离区域。

[0038] 图 3B 示出图 3A 中所示的电离装置 300 的放大部分。图 3B 更详细地描绘偏转装置 305。偏转装置 305 包括第一偏转电极 310 和第二偏转电极 311。在某些实施例中,第一和第二偏转电极 310、311 布置成产生电场,所述电场偏转来自第一等离子体源 303 和第二等离子体源 304 的等离子体离子和等离子体电子并且基本上防止等离子体离子和等离子体电子到达电离区域 307。在示例性实施例中,第一和第二偏转电极 310、311 建立在 x 维度上定向的相应的电场以基本上偏转等离子体离子和等离子体电子以防在 z 方向上行进到电离区域 307 中。

[0039] 偏转装置 305 可选地包括第一磁体 312 和第二磁体 313。第一和第二磁体 312、313 具有相反极性并且产生径向磁场。第一和第二磁体 312、313 可以包括本领域普通技术人员已知的永磁体或电磁体。类似于第一和第二偏转电极 310、311,第一和第二磁体 312、313 环形地围绕对称轴线 301 布置使得第一和第二磁体 312、313 的每一个偏转来自第一等离子体源 303 和第二等离子体源 304 的等离子体电子。

[0040] 第一孔径 314 设在第一等离子体源 303 和电离区域 307 之间,并且第二孔径 315 布置在第二等离子体源 304 和电离区域 307 之间。在代表性实施例中,第一和第二孔径 314、315 在宽度(所示的坐标系中的 z 方向)上为大约 $600\ \mu\text{m}$ 并且在高度(所示的坐标系中的 x 方向)上为大约 $250\ \mu\text{m}$ 。第一和第二偏转电极 310、311 分离(在 x 方向上)大约 1.0mm,并且电离区域 307 具有大约 3.0mm 的半径(在 y - z 平面中)。应当注意部件和它们的间隔的绝对尺寸仅仅是示例性的。然而,控制尺寸的比例以保证确保离子和电子偏转远离电离区域 307 所需的适当充分的场强。

[0041] 第一和第二孔径 314、315 通过来自生成的等离子体的光提供样本气体的无窗照

射。等离子体离子和等离子体电子可以穿越第一和第二孔径 314、315 并且垂直地(图 3B 的坐标系中的相应的 $-y$ 方向和 y 方向)行进。如果等离子体离子和等离子体电子未偏转,则等离子体离子和等离子体电子将进入电离区域 307 并且污染样本气体,如上所述。在邻近第一和第二孔径 314、315 的区域中,第一和第二偏转电极 310、311 配置成建立在 x 方向上的静电场以在远离电离区域 307 的方向上(即,在 $+x$ 方向上)偏转等离子体离子和等离子体电子。有利地,通过包含第一和第二偏转电极 310、311 以及第一和第二磁体,电离区域 307 中的等离子体离子电流相比于已知电离装置减小 1000 的因数。

[0042] 在某些实施例中第一和第二磁体 312、313 配置成提供正交于在第一和第二偏转电极 310、311 之间建立的静电场的静磁场。因而,在图 3B 所示的坐标系中,静磁场在 y 方向上。在 $-y$ 方向上(即,从第一等离子体源 303 朝着电离区域 307)行进的电子在 $-z$ 方向上(进入页平面)由 EXB 漂移偏转。类似地,在 $+y$ 方向上(即,从第二等离子体源 304 朝着电离区域 307)行进的电子在 $+z$ 方向上(离开页平面)由 EXB 漂移偏转。有利地,等离子体离子和等离子体电子偏转远离电离区域 307 并且基本上防止污染样本气体。有利地,通过包含第一和第二偏转电极 310、311 以及第一和第二磁体 312、313,电离区域 307 中的等离子体离子电流和等离子体电子电流相比于已知电离装置均减小 1000 的因数。

[0043] 在某些实施例中第一和第二磁体 312、313 配置成提供静磁场,所述静磁场平行(或反平行)于在第一和第二偏转电极 310、311 之间建立的静电场的方向。因而,在图 3B 所示的坐标系中,静磁场在 x 方向上。在 $-y$ 方向上(即,从第一等离子体源 303 朝着电离区域 307)行进的电子在 z 方向上(离开页平面)由洛伦兹力的磁分量偏转。类似地,在 $+y$ 方向上(即,从第二等离子体源 304 朝着电离区域 307)行进的电子在 $+z$ 方向上(进入页平面)由洛伦兹力的磁分量偏转。有利地,通过包含第一和第二偏转电极 310、311 以及第一和第二磁体 312、313,电离区域 307 中的等离子体离子电流和等离子体电子电流相比于已知电离装置均减小 1000 的因数。

[0044] 图 4A 示出根据代表性实施例的电离装置 400 的横截面图。电离装置 400 可以在离子源 101 中作为电离装置 104 实现。电离装置 400 包括配置成接收通道 402 的外壳 401。通道 402 包括入口 403 和出口 404。气体样本 405 设在入口 403 处。有用地导电的电离装置 400 的各种部件由合适的导电材料、例如不锈钢制造。需要电绝缘的电离装置 400 的各种部件由合适的电绝缘体、例如高温塑料(例如, Vespel[®])或合适的可加工陶瓷材料(例如, Macor[®], 氧化铝或氮化硼)制造。代表性实施例的磁体示例性地为本领域普通技术人员已知的稀土磁体。

[0045] 在大致环绕通道 402 的腔 407 中产生等离子体 406。腔 407 形成于结构 409 中,所述结构包括沿着结构的内壁 409' 的孔径 408。如下面更完整地所述,沿着内壁 409' 的孔径 408 允许在等离子体 406 中产生的光子(例如, VUV 光子)入射在通道 402 的出口 404 处的气体样本 405 上并且导致气体样本 405 的光电离。

[0046] 等离子体阳极 410 布置在腔 407 的一个端部处并且等离子体阴极 411 布置在腔 407 的相对端部处。外磁体 412 设在外壳 401 的凹陷 413 中并且大致环绕腔 407。内磁体 414 大致环绕通道 402, 如图所示。值得注意地,外和内磁体 412、414 具有相反的极性并且产生径向磁场。外和内磁体 412、414 可以包括本领域普通技术人员已知的永磁体或电磁体。在代表性实施例中,外和内磁体 412、414 提供在 2000 高斯到大约 1000 高斯的范围内的场

强。

[0047] 可选的等离子体电子偏转电极 415 靠近通道 402 的出口 404 布置。等离子体电子偏转电极 415 靠近出口 404 大致环绕通道 402, 如图 4A 中所示。可选的等离子体离子偏转电极 416 靠近通道的出口 404 布置, 电离区域 417 形成于通道 402 的出口 404 和等离子体离子偏转电极 416 之间。如下面更完整地所述, 由于通过用于产生等离子体 406 的建立电场和磁场将等离子体离子和等离子体电子限制在腔 407 中, 可以放弃等离子体电子偏转电极 415 和等离子体离子偏转电极 416。在代表性实施例中, 在大约 30V 到大约 120V 的范围内的电压设在等离子体电子偏转电极 415 和等离子体离子偏转电极 416 之间以在其间建立所需的静电场。

[0048] 邻近等离子体离子偏转电极 416 提供离子提取光学器件 418。电离的气体样本 419 设在电离装置 400 的出口 420 处。在质谱仪 100 中, 出口 420 连接到质量分析器 102。在代表性实施例中, 合适的电压差保持在离子提取光学器件之间以保证离子从电离区域 417 和质量分析器 102 的移动。

[0049] 电离装置 400 围绕对称轴线 421 布置, 所述对称轴线限定本发明的轴向方向。如下所述, 在等离子体阳极 410 和等离子体阴极 411 之间在轴向方向上建立静电电压差。磁场由外和内磁体 412、414 在向内径向方向(即, 正交于轴向方向)上建立, 如图 4A 中的箭头 422 所示。

[0050] 入口端口(未在图 4A 中显示)连接到腔 407 并且配置成接收用于生成等离子体 406 的源气体(未显示)。在一些实施例中, 源气体包括稀有气体, 例如氦、氖、氩或氙。在一些实施例中, 源气体包括氢。源气体可以被选择为对应于到达气体样本 405 的电离装置 400 的期望输出光子波长的气体混合物或成分。通过源气体的合适选择, 可以选择等离子体 406 的各种发射波长。例如, 氦(He)具有在 58.43nm 处的光共振发射谱线, 具有 21.22eV 的能量的发射光子, 而氪(Kr)具有在 116.49 和 123.58nm 处的谱线, 具有 10.64 和 10.03eV 的相应光子能量。发射波长因此可以适当地匹配期望应用。因而, 较低能量光子可以用于电离具有减小裂解的大分子。替代地, 较高能量光子可以用于分子碎片, 或者可以选择光子能量以选择性地电离某些化合物而不电离其它化合物。

[0051] 等离子体阳极 410 和等离子体阴极 411 连接到能量源(未显示)。能量源可以配置成以直流电压、脉冲电压或具有某个适当频率的振荡信号(例如射频或微波)的形式将能量提供给源气体以生成并且保持等离子体。

[0052] 在代表性实施例中, 腔 407 示例性地为环形。在操作中, 源气体供应到入口端口(未在图 4A 中显示)以生成等离子体 406。静电电压(直流电压、脉冲电压或具有某个适当频率的振荡电压(例如射频或微波))在等离子体阳极 410 和等离子体阴极 411 之间被输送。由此产生的电场维持大致限制在腔 407 的内部等离子体 406 中的放电。沿着腔 407 的内壁 409' 的孔径 408 允许径向向内定向的无窗光(例如, VUV)发射, 同时限制源气体从等离子体 406 的流动使得可以在通道 402 的入口 403 和出口 404 之间保持压力差。而且, 在轴向方向上建立的电场有助于将等离子体 406 的等离子体离子限制在腔 407 内(即, 在等离子体阳极 410 和等离子体阴极 411 之间)。

[0053] 磁场径向向内地(即, 垂直于对称轴线 421, 由箭头 422 显示)定向。静电场和磁场的该正交取向产生 EXB 漂移, 其中等离子体 406 的电子的运动是围绕引导中心的较快圆形

运动和在 EXB 的方向上(即,旋转地围绕对称轴线 421,如箭头 423 所示)的该点的较慢漂移的叠加。换句话说,等离子体 406 的等离子体电子的运动是方位角的,具有围绕对称轴线 421 的大致恒定弧速度。磁场在围绕对称轴线 421 的 EXB 漂移轨道中俘获等离子体 406 的电子。等离子体电子电离引入腔 407 中的源气体并且帮助维持等离子体 406。由等离子体电子产生的等离子体离子不明显地由较弱磁场影响,而是由等离子体阳极 410 和等离子体阴极 411 之间的轴向静电力加速,进一步维持等离子体 406。

[0054] 如下面更完整地所述,除了等离子体产生以外,等离子体阳极 410 和等离子体阴极 411 用于将等离子体离子和等离子体电子限制到腔 407 并且因此基本上防止等离子体离子和等离子体电子穿过孔径 408 并且进入电离区域 417。类似地,除了等离子体产生以外,内和外磁体 414、412 用于将电子限制在腔中并且因此基本上防止等离子体电子穿过孔径并且进入电离区域。因而,等离子体阳极 410 和等离子体阴极 411 与内和外磁体 414、412 结合用作根据代表性实施例的偏转装置。

[0055] 电离装置 400 的正交电场和磁场的相对取向不仅用于产生和维持等离子体 406,而且用于基本上将等离子体 406 的电子和离子限制在腔 407 内。由于在孔径 408 上没有窗口,因此存在离子和电子通过孔径 408 泄漏到电离区域 417 中和通道 402 中的可能性。这样的离子和电子会污染样本气体 / 离子并且最终导致质谱仪 100 的不精确测量。有利地,并且如上所述,等离子体 406 的离子由等离子体阳极 410 和等离子体阴极 411 之间的电场强烈地引导,并且基本上被防止离开孔径 408。等离子体 406 的电子被限制在旋转地围绕对称轴线的 EXB 漂移中,并且也基本上被防止通过孔径 408 离开。

[0056] 图 4B 示出图 4A 中所示的电离装置 400 的部分分解部分截面图。电离装置 400 包括配置成接收通道 402 的外壳 401。外壳 401 和通道 402 包括导电材料、例如不锈钢。

[0057] 气体样本 405 设在入口 403 处。在大致环绕通道 402 的结构 409 的腔 407 中产生等离子体 406。结构 409 示例性地是电绝缘体(例如,高温塑料或合适的可加工陶瓷材料),其使腔 407 与为了偏转等离子体离子和等离子体电子生成的电场隔离,并且与离子提取光学器件 418 隔离以保证腔 407 中的电场是轴向的(即,平行于对称轴线 421)。沿着内壁 409' 的孔径 408 允许在等离子体 406 中产生的光子(例如,VUV 光子)入射在通道 402 的出口 404 处的气体样本 405 上并且导致气体样本 405 的光电离。

[0058] 如图 4B 中所示,腔 407 示例性地为环形。在操作中,源气体供应到入口端口(未在图 4B 中显示)以在腔 407 中生成等离子体。静电电压(直流电压、脉冲电压或具有某个适当频率的振荡电压(例如射频或微波))在等离子体阳极 410 和等离子体阴极 411 之间被输送。由此产生的电场维持大致限制在腔 407 的内部等离子体 406 中的放电。腔 407 的孔径 408 允许径向向内(在箭头 422 的方向上)定向的无窗光(例如,VUV)发射,同时限制源气体从等离子体 406 的流动使得可以在通道 402 的入口 403 和出口 404 之间保持压力差。而且,在轴向方向上建立的电场有助于将等离子体 406 的等离子体离子限制在腔 407 内(即,在等离子体阳极 410 和等离子体阴极 411 之间)。

[0059] 磁场径向向内地(即,垂直于对称轴线 421,由箭头 422 显示)定向。静电场和磁场的该正交取向产生 EXB 漂移,其中等离子体 406 的电子的运动是围绕引导中心的较快圆形运动和在 EXB 的方向上(即,旋转地围绕对称轴线 421,如箭头 423 所示)的该点的较慢漂移的叠加。换句话说,等离子体 406 的等离子体电子的运动是方位角的,具有围绕对称轴线

421 的大致恒定弧速度。磁场在围绕对称轴线 421 的 EXB 漂移轨道中俘获等离子体 406 的电子。等离子体电子电离引入腔 407 中的源气体并且帮助维持等离子体 406。由等离子体电子产生的等离子体离子不明显地由较弱磁场影响,而是由等离子体阳极 410 和等离子体阴极 411 之间的轴向静电力加速,进一步维持等离子体 406。

[0060] 可选的等离子体电子偏转电极 415 靠近通道 402 的出口 404 布置。等离子体电子偏转电极 415 靠近出口 404 大致环绕通道 402,如图 4B 中所示。可选的等离子体离子偏转电极 416 靠近通道的出口 404 布置,电离区域 417 形成于通道 402 的出口 404 和等离子体离子偏转电极 416 之间。如上所述,由于通过用于产生等离子体 406 的建立电场和磁场将等离子体离子和等离子体电子限制在腔 407 中,可以放弃等离子体电子偏转电极 415 和等离子体离子偏转电极 416。

[0061] 图 5 示出根据代表性实施例的将样本气体暴露于激发光的方法 500 的流程图。可以使用根据结合图 1 ~ 4B 所述的代表性实施例的电离装置执行方法 500。在 501,方法包括生成包括光、等离子体离子和等离子体电子的等离子体。在 502,方法包括使来自等离子体的光的至少一部分穿过孔径到达电离区域。在 503,方法包括使气体样本穿过电离区域。在 504,方法包括生成电场以基本上防止等离子体离子进入电离区域。

[0062] 尽管在本文中公开了代表性实施例,但是本领域的普通技术人员领会根据本教导的许多变化是可能的并且在附带权利要求的范围内。所以除了被限制在附带权利要求的范围内以外,本发明不被限制。

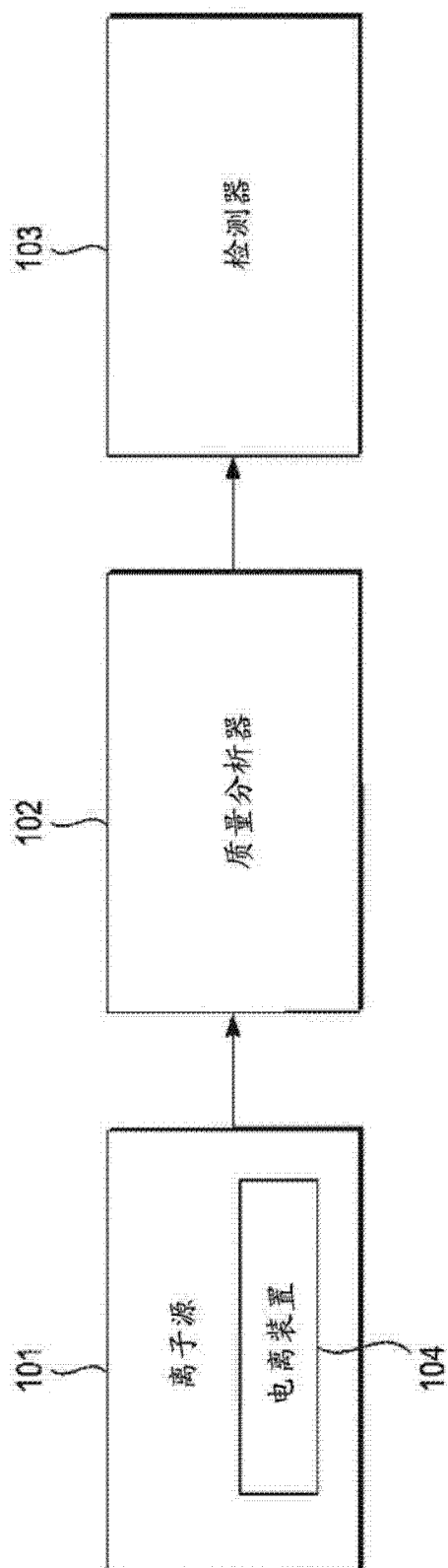


图 1

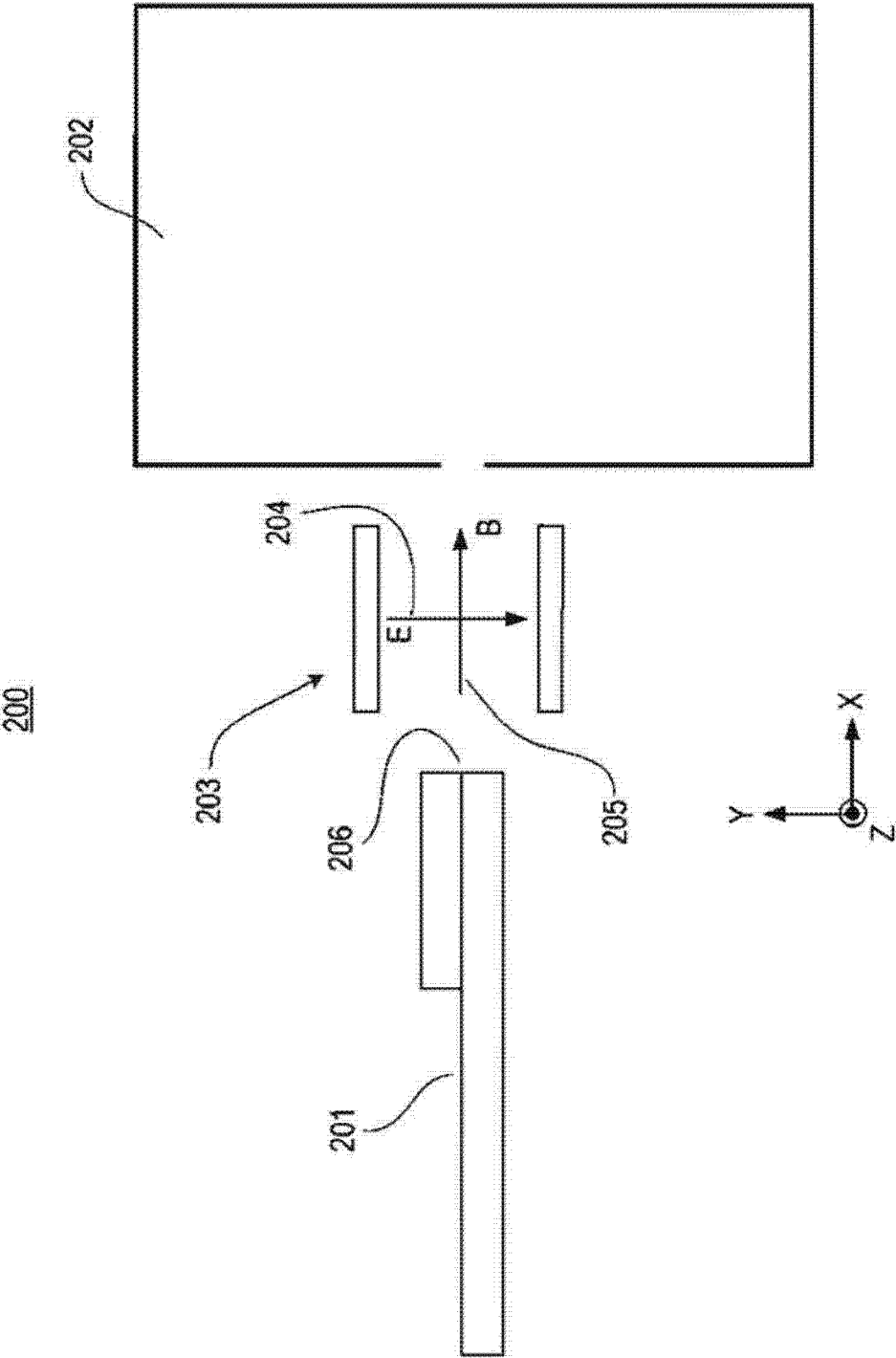


图 2A

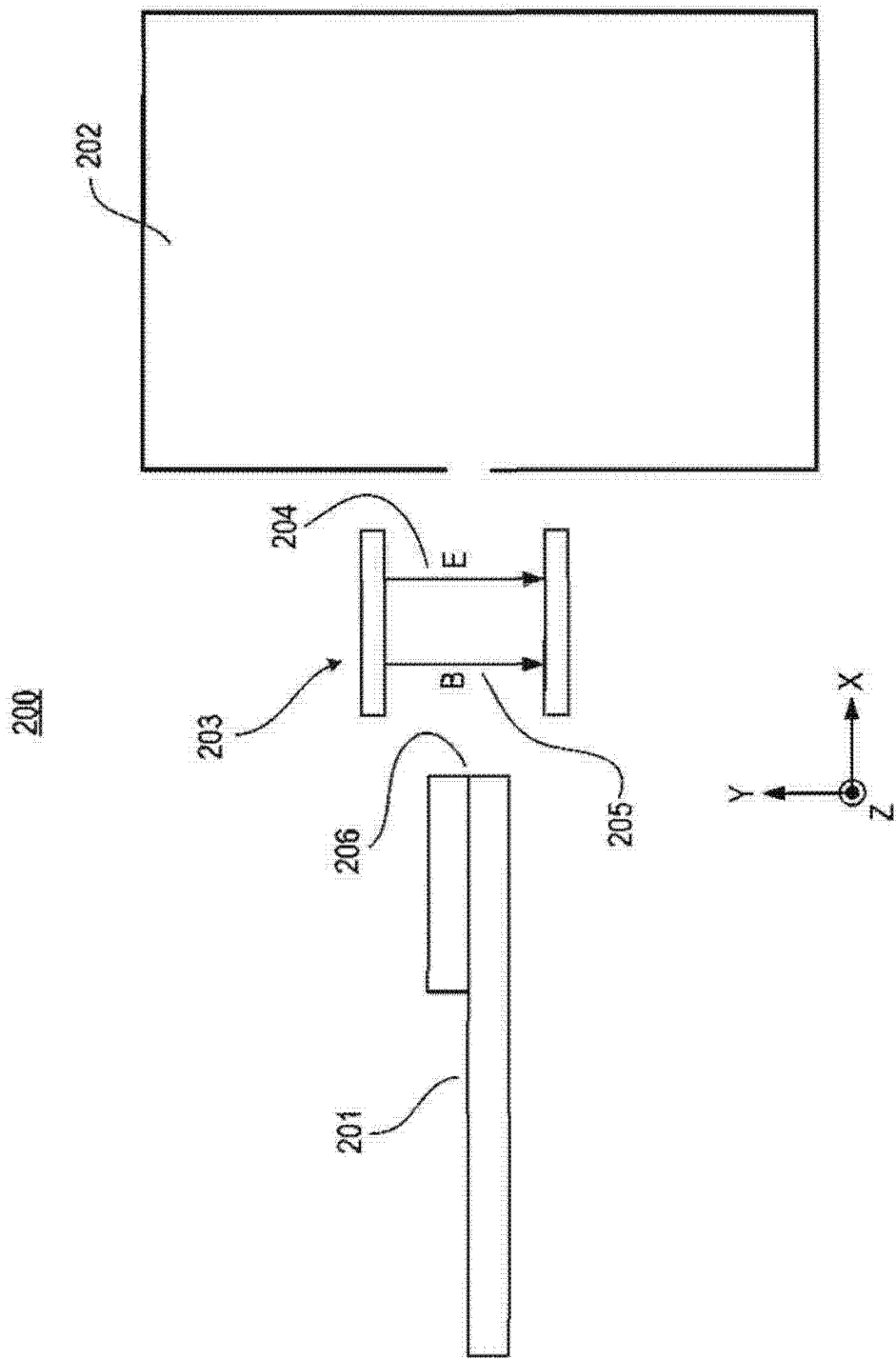


图 2B

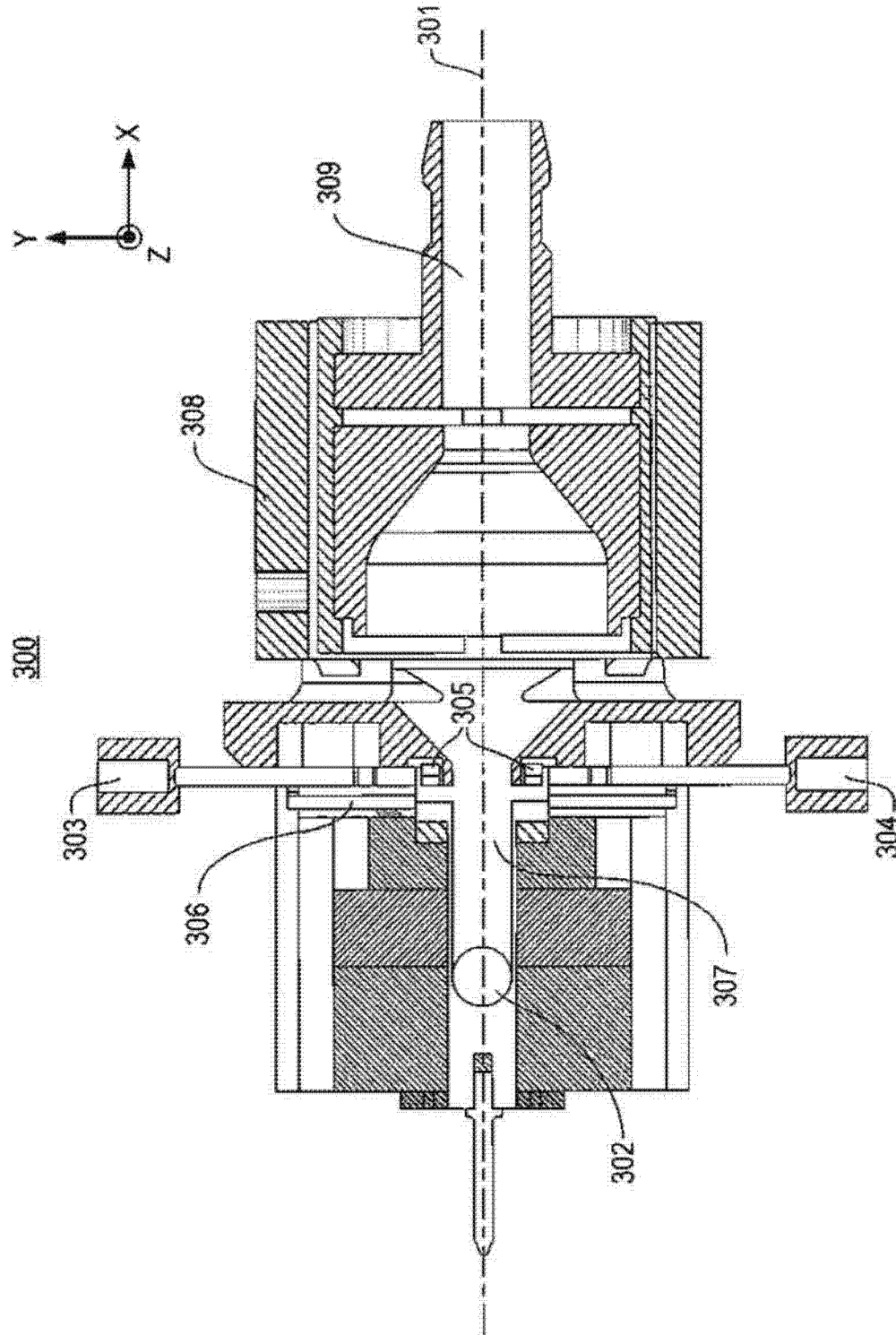


图 3A

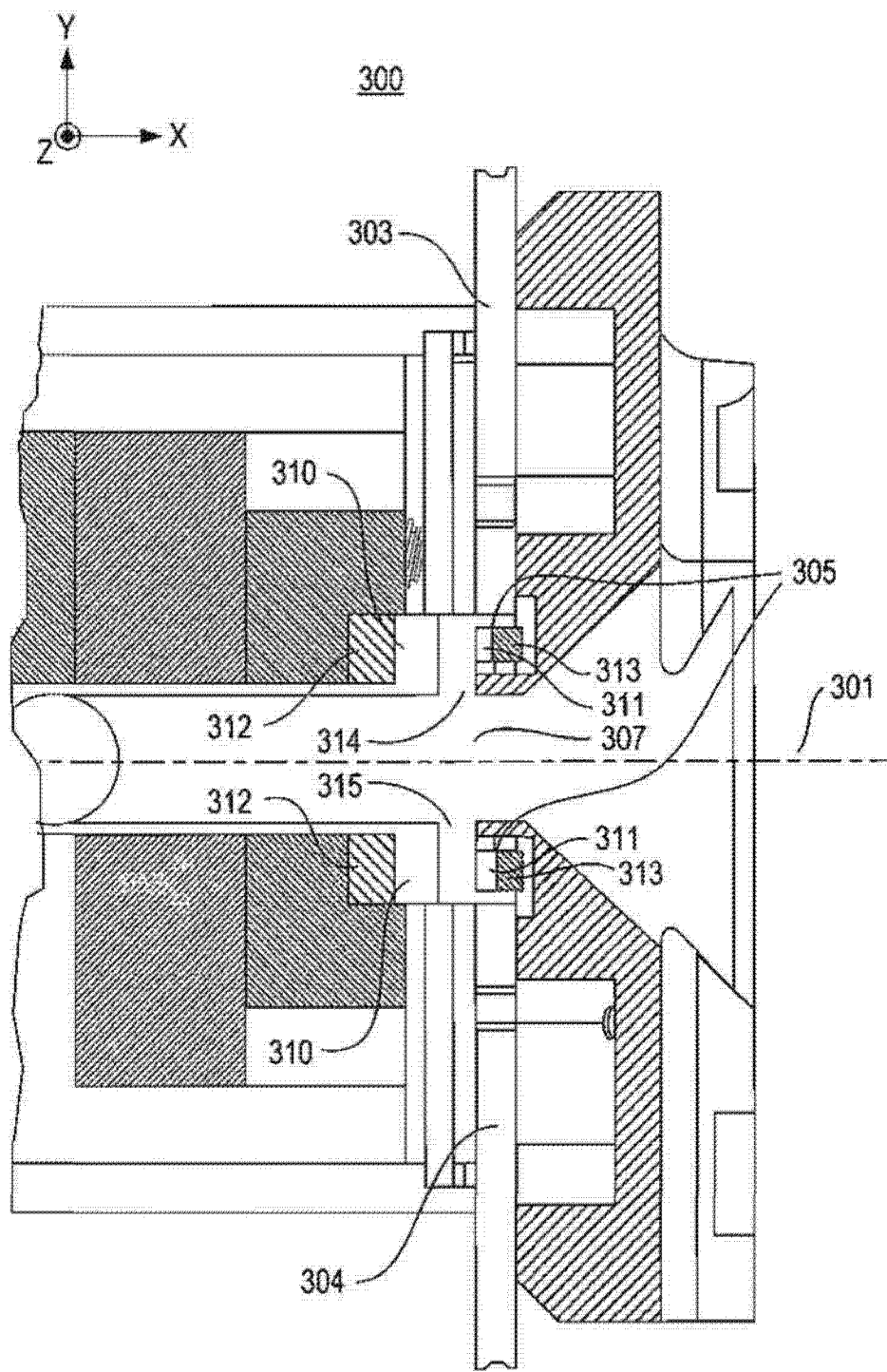


图 3B

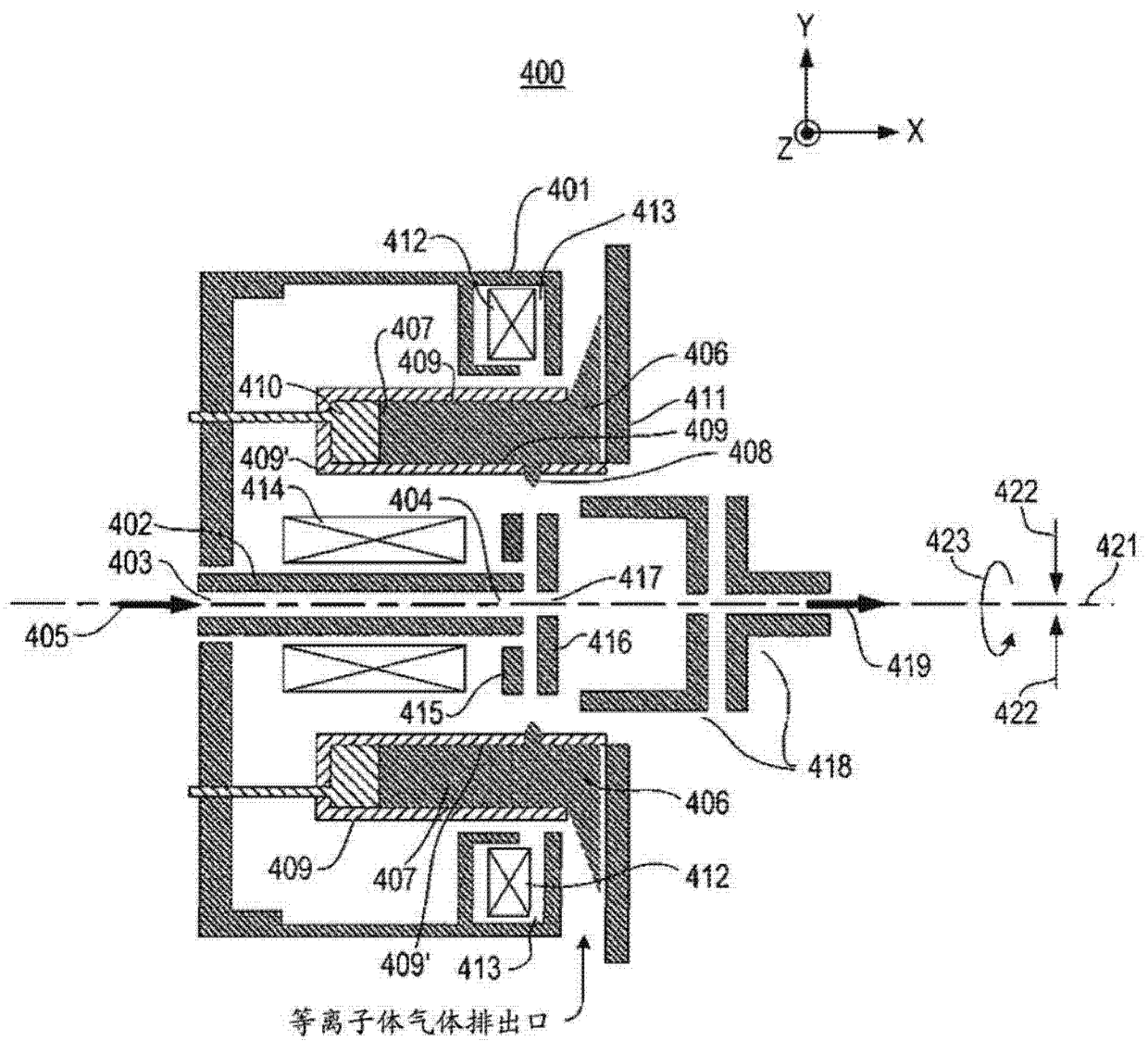


图 4A

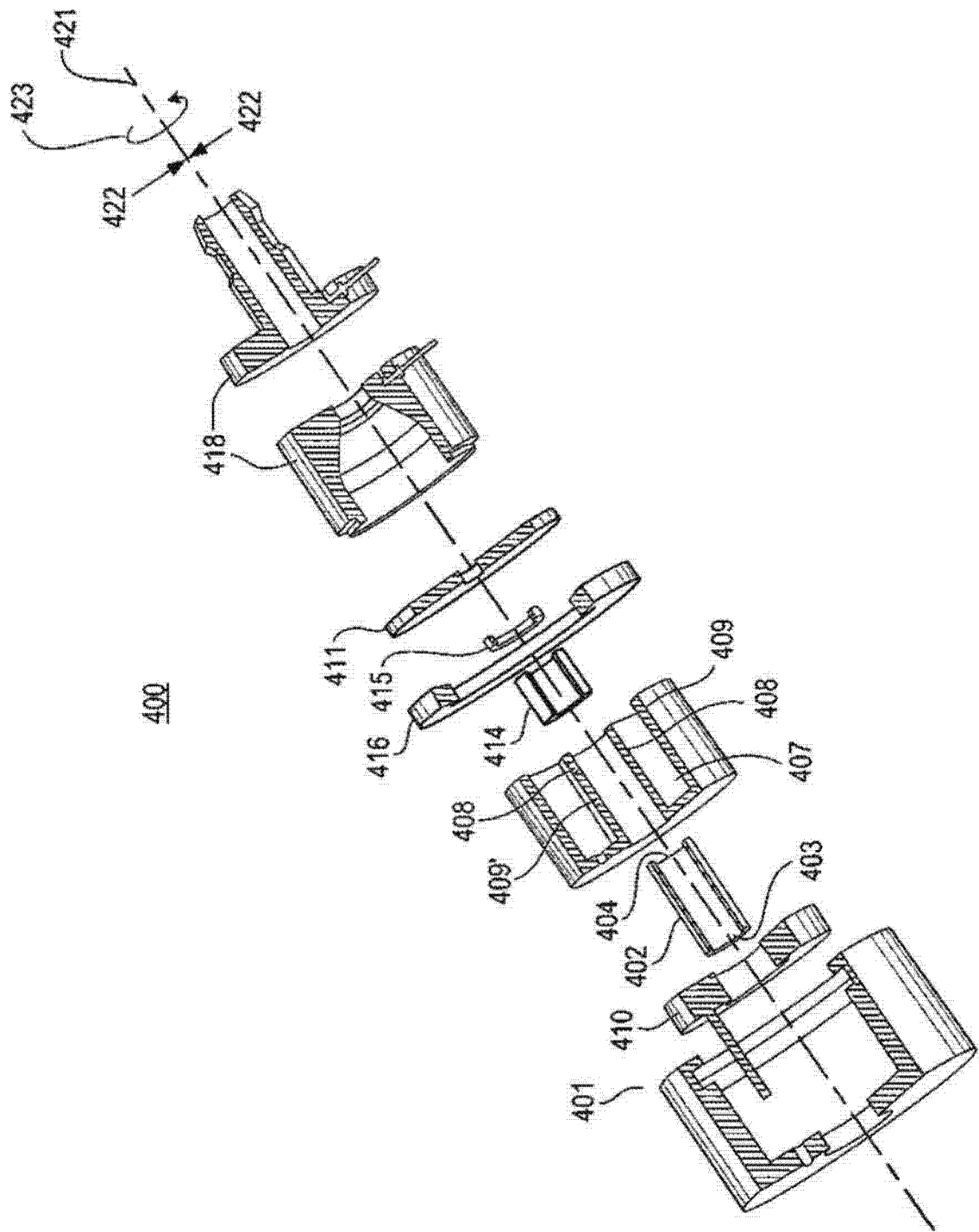


图 4B

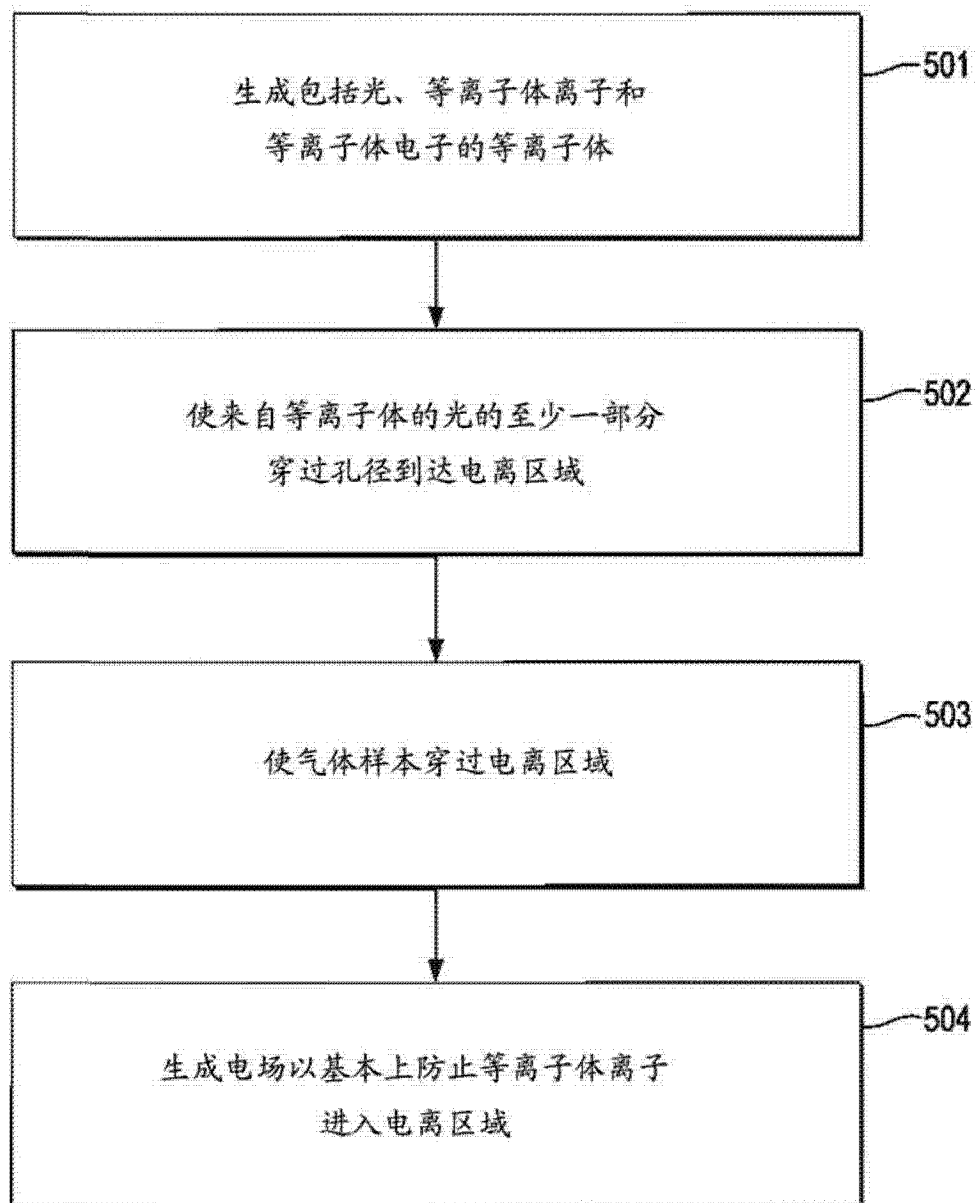
500

图 5