



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104241076 B

(45)授权公告日 2018.06.15

(21)申请号 201410222709.6

(22)申请日 2014.05.23

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104241076 A

(43)申请公布日 2014.12.24

(30)优先权数据

13/925,623 2013.06.24 US

(73)专利权人 安捷伦科技有限公司

地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 C.W.鲁斯 H.F.普雷斯特

J.T.科南

(74)专利代理机构 北京坤瑞律师事务所 11494

代理人 封新琴

(51)Int.Cl.

H01J 49/14(2006.01)

(56)对比文件

US 5317161 A,1994.05.31,

US 3924134 ,1975.12.02,

SU 1308091 A1,1988.06.07,

CN 101868114 A,2010.10.20,

CN 101868114 A,2010.10.20,

Park Chang et al.《Effect of magnetic field in electron-impact ion sources and simulation of electron trajectories》.

《Review of Scientific Instruments》.2006,第77卷(第8期),第2页左栏1段-右栏第1段、以及附图3.

审查员 王新建

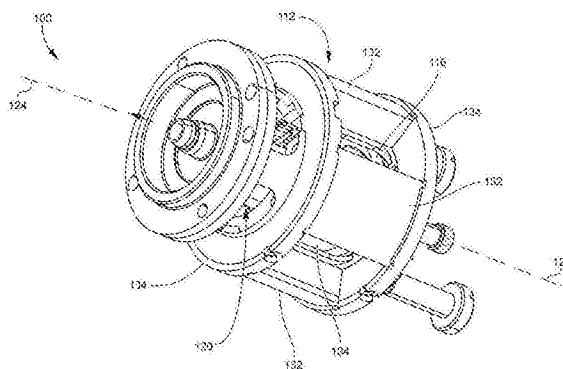
权利要求书3页 说明书10页 附图9页

(54)发明名称

轴向磁离子源及相关电离方法

(57)摘要

一种离子源,其配置成用于电子电离并产生同轴的电子和离子束。该离子源包括沿轴线的电离室、配置成用于在所述电离室中产生轴向磁场的磁体组件、电子源、以及透镜组件,其配置成用于沿着轴线将离子束从电离室引出,朝向电子源将电子束反射回,以及将更高能量的离子从离子源传送出同时朝向透镜元件反射更低能量的离子进行中和。



1. 一种离子源,包括:

主体,其包括电离室和通入所述电离室的样品入口,所述电离室包括第一端和第二端,并且具有沿着源轴线从所述第一端至第二端的长度;

磁体组件,其围绕着所述主体并且配置成用于在所述电离室中产生轴向磁场;

电子源,其定位在所述第一端并且包括热离子阴极和电子反射器,所述电子源配置成用于沿着所述源轴线加速电子束通过电离室;以及

透镜组件,其包括位于所述第二端的提取器、在所述电离室外部并且沿着所述源轴线与所述提取器间隔开的第一透镜元件、以及沿着所述源轴线与所述第一透镜元件间隔开的第二透镜元件,其中,所述提取器配置成用于沿着所述源轴线将离子束从所述电离室引出,所述第一透镜元件配置成用于朝向所述电子源反射电子束,所述第二透镜元件配置成用于传送更高能量的离子同时朝向第一透镜元件反射更低能量的离子。

2. 根据权利要求1所述的离子源,其中,所述电离室具有沿长度恒定的横截面面积或者沿至少一部分长度增大的横截面面积。

3. 根据权利要求1或2所述的离子源,其中,所述磁体组件包括以下中的至少一个:

多个磁体,其绕着所述源轴线沿周向彼此间隔开;以及

在轴线上的磁体,其定位在所述电离室外面的源轴线上并且配置成用于修改所述轴向磁场,以使得电子束在朝向所述提取器的方向上发散。

4. 根据权利要求1或2所述的离子源,包括定位在所述阴极与提取器之间的第一端的离子排斥器。

5. 根据权利要求1或2所述的离子源,包括与所述电子源和透镜组件信号连通的电压源,以及配置成用于控制电压源操作的控制器,所述电压源选自由以下构成的组:

调节施加至所述阴极的电压;

维持所述阴极与定位在所述阴极与提取器之间的第一端的离子排斥器之间的固定电位差,同时调节施加至所述阴极的电压;

基于对施加至所述阴极的电压的调节,调节施加至所述第一透镜元件的电压;

将施加至所述阴极和第一透镜元件的电压设定成足以维持电子束在所述阴极与第一透镜元件之间反射的相应值;

将施加至所述阴极和第一透镜元件的电压设定成足以维持电子束在所述阴极与第一透镜元件之间反射的相应值,并且相对于所述阴极将电压偏移添加至所述第一透镜元件,以增加电子束从第一透镜元件的反射;

将施加至所述第二透镜元件的电压设定成足以用于朝向所述第一透镜元件加速被俘获在所述第二透镜元件与提取器之间的离子的值;

将电压脉冲施加至所述电子源的导电元件;

将电压脉冲施加至所述透镜组件的导电元件;

将电压脉冲施加至所述主体;

选通电子束;以及

前述中的两个或更多个。

6. 一种用于执行电子电离的方法,所述方法包括:

引导作为电子束的电子从电子源通过具有沿着电子源与透镜组件之间的源轴线的长

度的电离室；

通过将轴向磁场施加至所述电离室，沿着所述源轴线聚焦电子束；

沿着所述源轴线在所述电子源与透镜组件之间来回反射电子；

通过将样品材料引入所述电离室朝向电子束来产生离子，其中，所述离子沿着所述源轴线聚焦成离子束；

沿着所述源轴线通过透镜组件传送离子；以及

反射俘获在透镜组件中的离子，以防止这些被俘获的离子离开透镜组件，同时将非俘获的离子从所述透镜组件传送出。

7. 根据权利要求6所述的方法，其中，进行聚焦电子以使得电子束在朝向提取器的方向上发散。

8. 根据权利要求6或7所述的方法，其中，聚焦电子包括利用绕着所述源轴线沿周向彼此间隔开的多个磁体和定位在所述电离室外面的源轴线上的在轴线上的磁体。

9. 根据权利要求6至7中任一项所述的方法，其中，通过将电压施加至阴极来进行产生电子，并且还包括以下中的至少一个：

通过调节电压来调节电子的能量；

通过调节电压来调节电子的能量，并且同时调节在阴极上的电压，调节定位在所述阴极与透镜组件之间的离子排斥器上的电压来维持在所述阴极与离子排斥器之间的固定电位差；

通过调节电压来调节电子的能量，并且将电压施加至所述透镜组件的透镜元件，以将电子束反射回所述电离室中，并且同时调节在阴极上的电压，等量地调节在透镜元件上的电压；

将电压施加至所述透镜组件的透镜元件，以将电子束反射回所述电离室中；

将电压施加至所述透镜组件的透镜元件，以将电子束反射回所述电离室中，并且将施加至所述阴极和透镜元件的电压设定成足以维持电子束在所述阴极与透镜元件之间反射的相应值；以及

将电压施加至所述透镜组件的透镜元件，以将电子束反射回所述电离室中，将施加至所述阴极和透镜元件的电压设定成足以维持电子束在所述阴极与透镜元件之间反射的相应值，并且将施加至所述阴极和透镜元件的相应电压设定成相等的值，或者相对于施加至阴极的电压将施加至透镜元件的电压增加偏移量，以增加在透镜元件的反射。

10. 根据权利要求6至7中任一项所述的方法，包括以下中的至少一个：

将电压施加至所述透镜组件的提取器，以将离子从所述电离室传送到透镜组件中；

将电压施加至所述透镜组件的提取器，以将离子从所述电离室传送到透镜组件中，并且将电压施加至定位在所述电离室外部的透镜组件的第一透镜元件，以反射电子束通过提取器并进入电离室；

将电压施加至所述透镜组件的提取器，以将离子从所述电离室传送到透镜组件中，将电压施加至定位在所述电离室外部的透镜组件的第一透镜元件，以反射电子束通过提取器并进入电离室，并且将电压施加至所述透镜组件的第二透镜元件，以反射被俘获的离子与所述第一透镜元件碰撞；

将电压施加至所述透镜组件的透镜元件，以反射被俘获的离子与所述透镜组件的另一

透镜元件碰撞;以及

执行脉冲步骤,其选自由以下构成的组:将电压脉冲施加至所述电子源的导电元件;将电压脉冲施加至所述透镜组件的导电元件;将电压脉冲施加至限定至少一部分电离室的主体;选通电子束;以及前述中的两个或更多个。

轴向磁离子源及相关电离方法

技术领域

[0001] 本发明涉及利用电子束的离子源,比如可以用于质谱,更具体地,涉及产生与电子束同轴的离子束的离子源。

背景技术

[0002] 一般而言,质谱(MS)系统包括:离子源,用于电离目的样品的组分;质量分析器,用于基于离子的不同质荷比(或 m/z 比、或者更简单地说“质量”)而将其分开;离子检测器,用于计数所分离的离子;以及电子,用于根据需要处理来自离子检测器的输出信号产生用户可解释的质谱。通常,质谱是一系列峰,其表示作为 m/z 比的函数的所检测到的离子的相对丰度。质谱可被用来确定样品组分的分子结构,从而使样品能够定性和定量地表征。

[0003] 离子源的一实例是电子电离(EI)源。在典型的EI源中,样品材料以分子蒸汽的形式被引入室。被加热的灯丝用来发射高能电子,其作为光束在加于灯丝与阳极之间的电势差的作用下被校准和加速进入室。样品材料沿着与电子束路径交叉的路径被引入到室中。由于电子束在样品和电子路径相交叉的区域中轰击样品材料而产生样品材料的电离。电离过程的主要反应可以由下列关系式来描述: $M+e^{-}\rightarrow M^{*+}+2e^{-}$,其中M表示分析物分子, e^{-} 表示电子, M^{*+} 表示所得到的分子离子。也就是说,电子足够亲近地接近分子,以通过静电斥力促使分子失去电子,因此,单电荷的正离子得以形成。电位差被用来吸引形成于室中朝向出射孔的离子,然后将所得的离子束加速到下游设备比如质量分析器中,或者首先至中间部件比如离子导向器、质量过滤器等。

[0004] 在广泛使用的交叉束、或尼尔型EI源中,离子束在与电子束正交的方向上产生。这种类型的设计容易造成离子的损失,因为在与EI源的电离室的内表面碰撞时大量的离子被抽出至灯丝或散焦和中和(丢失)。对于许多应用来说,将更有利的是产生在轴线上的电子束,即,与所得到的离子束并且与离子被传送到其中的下游设备比如例如四极质量过滤器同轴的电子束。轴向电子束可以更容易地创建将具有从EI源被成功传送到下游设备中的更高可能性的离子。

[0005] 因此,需要产生与诱导电离的电子束同轴的离子束的离子源,其中的离子损失降低了。

发明内容

[0006] 为了全部地或部分地解决上述问题和/或可能已由本领域技术人员观察到的其他问题,本公开提供了方法、过程、系统、设备、仪器和/或装置,如通过在所阐述的实施方式中的实例所述。

[0007] 根据一实施例,一种离子源包括:主体,其包括电离室和通入所述电离室的样品入口,所述电离室包括第一端和第二端,并且具有沿着源轴线从所述第一端至第二端的长度;磁体组件,其围绕着所述主体并且配置成用于在所述电离室中产生轴向磁场;电子源,其定位在所述第一端并且包括热离子阴极和电子反射器,所述电子源配置成用于沿着所述源轴

线加速电子束通过电离室;以及透镜组件,其包括位于所述第二端的提取器、在所述电离室外部并且沿着所述源轴线与所述提取器间隔开的第一透镜元件、以及沿着所述源轴线与所述第一透镜元件间隔开的第二透镜元件,其中,所述提取器配置成用于沿着所述源轴线将离子束从所述电离室引出,所述第一透镜元件配置成用于朝向所述电子源反射电子束,所述第二透镜元件配置成用于传送更高能量的离子同时朝向第一透镜元件反射更低能量的离子。

[0008] 根据另一实施例,离子处理系统包括与所述透镜组件连通的离子处理装置。

[0009] 根据另一实施例,一种用于执行电子电离的方法包括:引导作为电子束的电子从电子源通过具有沿着电子源与透镜组件之间的源轴线的长度的电离室;通过将轴向磁场施加至所述电离室,沿着所述源轴线聚焦电子束;沿着所述源轴线在所述电子源与透镜组件之间来回反射电子;通过将样品材料引入所述电离室朝向电子束来产生离子,其中,所述离子沿着所述源轴线聚焦成离子束;沿着所述源轴线通过透镜组件传送离子;以及反射俘获在透镜组件中的离子,以防止这些被俘获的离子离开透镜组件,同时将非俘获的离子从所述透镜组件传送出。

[0010] 对于本领域技术人员来说,通过研究以下附图和详细描述,本发明的其它装置、设备、系统、方法、特征以及优点将是或变得显而易见。意在将所有这些额外的系统、方法、特征以及优点包括在本说明书内、在本发明的范围之内,并且由所附权利要求保护。

附图说明

[0011] 通过参照以下附图可以更好地理解本发明。附图中的组件不一定按比例绘制,而是将重点放在说明本发明的原理上。在附图中,相同的参考标号表示整个不同视图中相应的部件。

[0012] 图1是根据一些实施例的离子源的示例的透视图。

[0013] 图2是图1中所示的离子源的透视剖视图。

[0014] 图3是由离子模拟软件所生成的离子源的模型。

[0015] 图4是与图3相同的模型,但是示出了离子轨迹,包括沿着源轴线所约束的离子束。

[0016] 图5是透镜组件周围区域的更近的视图。

[0017] 图6是由离子模拟软件所生成的离子源的另一模型。

[0018] 图7是可以设置有离子源的硬件的示例的示意图。

[0019] 图8是根据另一实施例的在图1和2中所示的离子源的一部分的示意图。

[0020] 图9是质谱(MS)系统的示例的示意图,其中可以提供如本文所公开的离子源。

具体实施方式

[0021] 图1是根据一些实施例的离子源100的实例的透视图。图2是图1所示的离子源100的透视剖视图。在所示的实施例中,离子源100通常包括限定内部电离室或容积208的主体104、磁体组件112、电子源116以及透镜组件120。

[0022] 离子源100可以具有通常围绕源轴线124所布置的整体几何形状或结构。在操作中,离子源100产生沿着源轴线124的电子束,并且可以允许在相对于源轴线124的任何方向上对样品材料流进行电离。要被分析的样品材料可以通过任何合适的手段而被引入至离子

源100,包括其中样品材料是分析分离仪器比如例如气相色谱(GC)仪器的输出的带连接符的技术。离子源100随后产生离子,并且沿着源轴线124将这些离子聚焦到离子束中。离子沿着源轴线124离开离子源100,并进入下一个离子处理装置,其可能具有沿着源轴线124的离子入口。

[0023] 电离室208具有沿着源轴线124从第一端至第二端的长度。样品入口228通过主体104形成在任何适当的位置,以提供用于从样品源引导样品材料到电离室208中的路径,其中所述样品材料与电子束相互作用。电离室208的轴向长度可以选择成提供可用于电离所需分析物分子的相对较长的存活电子束区域,从而增加离子源100的电离效率且因而仪器作为整体的灵敏度。

[0024] 磁体组件112同轴地围绕着主体104。磁体组件112配置成用于在电离室208中产生均匀的轴向磁场,其沿着源轴线124聚集并压缩电子束和所得到的离子束。磁约束电子束和相对较长的电离室208可以使得离子束的产生能够非常适于从电离室208的改进提取(发射)并最终进入下游离子处理装置,比如例如质量分析器或者质量分析器之前的另一类型的装置,比如离子导向器、离子阱、质量过滤器、碰撞室等。可以提取离子束,而不会遭遇公知发生在尼尔型离子源中的离子损失,其中在与电离室208的内表面碰撞时大量的离子被抽出至灯丝或者散焦并中(丢失)。磁体组件112可以包括绕着源轴线124沿周向彼此隔开的多个磁体132。所示的实施例包括固定至环形轭部134的对称布置的四个磁体132。磁体132可以是永磁体或电磁体。样品入口228以及其它组件比如电导管可以定位在任何成对相邻的磁体132之间的间隙中。尽管彼此由间隙隔开,但是磁体132绕着源轴线124对称布置且所产生的轴向磁场是均匀的。

[0025] 电子源116可以是配置成用于产生电子并引导电子束从第一端通过电离室208的任何装置。在所示的实施例中,电子源116包括一个或多个阴极238。阴极238配置成用于热离子发射,且因此可以是或包括由热离子发射材料比如例如铯或钨-铯合金构成的一个或多个灯丝(或者在芯上的涂层)。阴极238被加热至足以产生热离子发射的温度。加热一般是通过运行电流穿过阴极238来完成的。可以调节电流,以调节电子能量,其通常被设置为约70eV,但也可以更低或更高。电子源116还包括离子排斥器240和电子反射器244(板或电极)。阴极238定位在电子反射器244与离子排斥器240之间,其中可以被认为是由离子排斥器240而与电离室208分隔的电子源区。离子排斥器240(其也可以被认为是电子提取器)可以配置为在源轴线124上具有孔的壁或板。电子能量由被施加至离子排斥器240和电子反射器244的电压设定。施加至电子反射器244的电压加速作为生成的电子朝向透镜组件120。为此,轴向电压梯度可被施加在电子反射器244与阴极238下游的任何适当的导电元件(阳极)比如如下所述的透镜组件120的“提取器”之间。施加至电子反射器244的电压通常为负的,但是更普遍的是比离子排斥器240和达到透镜组件120的“第一透镜元件”的其他下游光学元件更不正,如下面所述。电子反射器244和阴极238可以在相同电位下工作,或者电子反射器244可以比阴极238更负,以协助排斥电子进入电离室208。

[0026] 透镜组件120设置在电离室208的第二端,轴向地相对电子源116。除其它事项外,透镜组件120配置成用于将离子束沿着源轴线124从电离室208导出并进入下一个离子处理装置。为此,透镜组件120包括可由电压源独立寻址的多个透镜元件(或电极)。每个透镜元件可以具有在源轴线124上的孔或槽。在所示的实施例中,透镜组件120包括离子提取透镜

(或离子提取器) 248、沿着源轴线124与提取器248隔开的第一透镜元件(或电子反射器) 250、沿着源轴线124与第一透镜元件250隔开的第二透镜元件(或离子反射器) 252、以及沿着源轴线124与第二透镜元件252隔开的离子源出射透镜元件(或离子束聚焦透镜元件) 256。离子源出射透镜元件256可以配置成或者还用作进入离子处理装置的入口透镜元件。透镜组件120还可以包括在第二透镜元件252与离子源出射透镜元件256之间的一个或多个额外的离子聚焦透镜元件254,其可以用于聚焦离子束。离子排斥器240和提取器248可被视为分别是电离室208的轴向第一和第二端。如由本领域技术人员所理解,适当大小的电压可被施加至提取器248,以有助于将离子束从电离室208抽出。

[0027] 第一透镜元件250刚好位于电离室208的外面,并且在其下游侧上直接相邻于提取器248。适当大小的电压可以被施加至第一透镜元件250,以将电子束反射回到电离室208中。因此,阴极238(或阴极238和电子反射器244)与第一透镜元件250协同工作,以沿着源轴线124来回反射电子束穿过电离室208,从而加强可供在电离室208中EI电离分析物的电子密度。

[0028] 为了将电子反射回电离室208中,可以将相对高幅度的电压施加至第一透镜元件250。这可能导致通常在第一透镜元件250与提取器248之间的区域中创建离子,该区域可被称为离子俘获区域。相比于电离室208,该区域中的能量很低,且因此在该区域中所产生的离子可能具有不合要求的低离子能量。因此,这些离子遭受被困在该区域。这些离子在本文中可以被称为“低能量”或“更低能量”或“俘获的”离子,这在本上下文中是指具有能量足够低得能够在计划用于离子源100的操作条件下被俘获在俘获区域的离子。通过比较,“高能量”或“更高能量”或“非俘获的”离子(通常是在电离室208中所产生的那些)能够穿透透镜组件120并进入下游离子处理装置。离子俘获可能导致不期望的空间电荷和离子电流的不稳定性,从而导致不期望的不稳定性能。

[0029] 第二透镜元件252被提供,以大致减少或消除在第二透镜元件252与提取器248之间的区域中的离子俘获。设置在第二透镜元件252上的电压可能比设置在第一透镜元件250上的电压更正。因此,第二透镜元件252反射回低能量离子朝向第一透镜元件250,并且然后这些离子与第一透镜元件250碰撞并被中和。此外,第一透镜元件250可以定位成尽可能地靠近提取器248,以减少在该俘获区域中的离子俘获。

[0030] 图3是通过离子仿真软件所产生的离子源300的模型。该模型对应于离子源300的横截面侧视图。离子源300通常类似于如上所述及图1和2所示的离子源100,并且因此相同组件由相同的参考标号表示。该模型包括定位在轴线上的射频(RF)四极质量过滤器360,离子源300在出射透镜元件256的正下游,图3示出了沿着源轴线集中的强烈电子束362,其中电子在阴极238与第一透镜元件250之间来回反射。在此模拟中,磁场强度为750高斯。在实践中,可以采用更强或更弱的磁场。

[0031] 图3还示出了一实施例,其中电离室208的至少一部分364(比如由主体104的内表面或表面所限定的一部分)是锥形的或圆锥形的,在透镜组件120的方向上发散。即,电离室208的横截面积在透镜组件120的方向上逐渐增加。这种变化的几何形状巧妙地衰减电场,这可能导致离子优先地在透镜组件120以及随后的离子处理装置的方向上行进。

[0032] 图4是与图3相同的模型,但示出了离子的轨迹,包括沿着源轴线约束的离子束466。图5是透镜组件120附加区域的放大视图。离子俘获区域由圆568表示。图4和5中示出了

从第二透镜元件252反射并且与第一透镜元件250碰撞的低能量离子470。图4和5表明,本文所公开的离子源能够显著减少或消除俘获同时保持在离子源的离子容积中所创建的更高能量离子的高效传送的离子。应当指出的是,虽然通过使用锥形离子容积几何形状对图3-5中的离子源300进行建模了,但是,通过使用比如在图2中所示的直孔(恒定内径)几何形状,其他模型被模拟并且产生类似的结果。

[0033] 在另一实施例中,轴向磁场可以被修改以适应电子束的形状并且随后以所需的方式产生离子束。例如,这可以通过修改磁组件的配置而被实现。图6是通过离子仿真软件所生成的离子源600的另一模型,示出了根据另一实施例的轴向电子束672和磁体组件612。除了相对于源轴线径向定位的磁体(径向磁体132),磁体组件612包括后部或在轴线上的磁体674。在轴线上的磁体674被定位在电离室208外部的源轴线上,在相对电离室208的电子反射器244上的一侧上。在此实例中,在轴线上的磁体674是圆盘形的,且源轴线穿过其中心。由于添加了在轴线上的磁体674,电子束672更集中在电子源端部,并且在透镜组件120的方向上逐渐扩大或发散。扩大电子束672的包络线产生更大的电离区域,这可以提高电离概率。这对于解决电离过程中空间电荷的不利影响可能是有用的。

[0034] 图7是设置有如本文所公开的离子源的硬件或电子器件700的示意图。施加至离子源的各个组件的个别电压被表示为相应的电压源776-792(其在本文中可被统称为电源或电压源)。在一些实施例中,一个或多个电压786可被施加至主体104的一个或多个导电元件。电压源776-792示出为与控制器794(例如,基于电子处理器的控制器或计算机)信号连通,以表明电压源776-792中的一个或多个的参数可以由控制器794控制。例如,这些参数可以包括电压幅度的设置和调节;所施加电压的开/关状态、定时和持续时间;施加电压至两个或更多个的电压源776-792的协调或同步等。控制器794可以包括计算机可读介质或软件796,用于实施电压源776-792的编程控制。在一些实施例中,控制器794可以全部或部分地实施(例如,利用固件和/或软件)本文所公开的一种或多种方法。

[0035] 在一些实施例中,当启动电子发射时,“初始”电子能量可以被向上设置为热离子阴极238与离子排斥器240之间的电位差。随着阴极238或离子排斥器240上的电压变化,通过调节其他组件上的电压,该电位差可以保持在理想的固定值。例如,通过调节阴极238上的电压,离子排斥器240可以斜坡优化,同时仍保持适当的电子能量偏移量,以使得其跟踪电子反射器244上的电压。另外,在第一透镜元件250上的电压可以跟踪阴极电压,以优化第一透镜元件250的电子反射功能。跟踪功能可以被实现,例如通过在图7中示意性示出的控制器794。作为默认操作,控制器794可以读取阴极电压并且将相同的值施加至第一透镜元件250。为了进一步允许细化第一透镜元件250的优化,额外所施加的偏移电压可以与默认所施加的阴极匹配电压斜坡相加,即, $V_{\text{第一透镜元件}} = V_{\text{阴极}} + V_{\text{偏移}}$ 。施加偏移电压可以在第一透镜元件250提供电子的更强反射,以尽可能减少电子侵入第一透镜元件250与提取器248之间的离子俘获区域,从而进一步增加更存活高能量离子的量并且减少不希望的低能量离子的量。同样地,斜坡电子能量改变阴极电压,且施加至第一透镜元件250的电压以及可以跟踪斜坡阴极电压。

[0036] 在一些应用中,可能是可取的是,减少或消除在离子源中发展的电子空间电荷的效应。例如,空间电荷效应可能足以促使电子束调制失控从而不利地影响离子束的稳定性。为了解决这个问题,在一些实施例中,可以将周期性的电压施加至电子源116、透镜组件120

和/或主体104的导电元件的一个或多个。周期性电压可以是周期性的DC脉冲(脉冲宽度、周期和振幅得以经验性地优化)或高频(例如,RF)电位。周期性电压可以释放污染程度增加所致的积聚的任何不必要的表面电荷。可替代地,所述电子束可被选通,以减轻积聚的空间电荷,例如通过使用适当的电子光学器件以周期性地偏转电子束远离源轴线。在一些实施例中,空间电荷效应可以通过实施在美国专利第7291845号中所公开的技术来解决,该申请的全部内容通过引用结合在本文中。

[0037] 图8是根据另一实施例的在图1和2中所示的离子源100的一部分的示意图。在本实施例中,额外的电极(或电子提取器)802被添加至阴极(灯丝)238与离子排斥器240之间的电子源116。通过将适当的电压施加至电子提取器802,电子提取器802可以用来调节电子源116中的电场条件,特别是当以低电子能量(例如,9eV至25eV)操作时。例如,电子提取器802可能协助抽取电子远离阴极238并朝向电离室208,且保持源主体104与离子排斥器240下部之间的电位差。

[0038] 图9是其中可以提供如本文所公开的离子源100的质谱(MS)系统300的实例的示意图。MS系统900通常包括样品源902、离子源100、质谱仪(MS)906、以及用于将离子源100和MS906的内部维持在受控低于大气压力水平的真空系统。真空系统由分别从离子源100和MS906引出的真空管线908和910示意性示出。真空管线908和910示意性地代表一个或多个真空产生泵以及本领域技术人员所理解的相关管道和其他组件。还可以理解的是,一个或多个其它类型的离子加工装置(未示出)可以设置在离子源100与MS906之间。各种类型的样品源、光谱仪及相关组件的结构和操作通常被本领域技术人员所理解,因此根据需要为了理解本发明所公开的主题将只进行简要地描述。在实践中,离子源100可以与MS906集成或者以其他方式被认为是MS906的前端或入口,从而在一些实施例中可以被认为是MS906的组件。

[0039] 样品源902可以是任何设备或系统,用于将要被分析的样品供给至离子源100。样品可以以从样品源902流入到离子源100中的气相或蒸汽的形式被提供。在带有连字符的系统中,比如气相色谱-质谱(GC-MS)系统,样品源902可以是GC系统,在此情况下,GC系统的分析柱通过合适的硬件与离子源100连接。

[0040] MS906通常可以包括封闭在外壳916中的质量分析器912和离子检测器914。真空管线910将质量分析器912的内部维持在非常低的(真空)压力。在一些实施例中,质量分析器912的压力范围为 10^{-4} 至 10^{-9} Torr。真空管线910还可以将任何剩余的非分析中性分子从MS906中去除。质量分析器912可以是配置成基于相应m/z比率来分离、分选或过滤分析物离子的任何设备。质量分析器的实例包括但不限于多极电极结构(例如,四极质量过滤器、离子阱等)、飞行时间质谱(TOF)分析器和离子回旋共振(ICR)阱。质量分析器912可以包括一个以上质量分析器的系统,尤其是当需要离子碎裂分析时。作为实例,质量分析器912可以是串联MS或MSⁿ系统,如由本领域技术人员所理解。作为另一实例,质量分析器912可以包括质量过滤器,后跟碰撞室,其后又跟质量过滤器(例如,三重四极杆或QQQ系统)或TOF装置(例如,qTOF系统)。离子检测器914可以是配置成用于收集并测量从质量分析器912所输出的质量判定离子的通量(或电流)的任何装置。离子检测器914的实例包括但不限于电子倍增器、光电倍增管以及法拉第杯。

[0041] 在一些实施例中,本文所公开的轴向EI源可以以高电子能量或低电子能量进行操

作。该电子束的能量可以通过调节施加至灯丝的电压而得以调节,从而调节通过灯丝的电流。在一些实施例中,电子束可以在9eV至150eV的范围上进行调节。低于70eV例如在9eV至25eV范围中的电子能量可以被认为在软电离的体制内。本文所公开的轴向EI源能够在电子能量的这些范围上有效地实施EI。即使在非常低的能量,EI源也能够产生具有足以用于许多实验的强度和电离产量的电子束。这些轴向EI源从而能够实施硬电离或软电离,并且根据希望或需要,能够在硬电离与软电离之间切换(包括在相同的实验过程中),用于优化对于给定分析物或成组分析物的电离和质量分析过程。因此,轴向EI源可以用在许多情况下,其中有利于常规软电离过程比如化学电离(CI)的常规EI被舍弃。因此,相较于其他装置比如CI源和常规EI源,本文所公开的轴向EI源可能是更普遍的电离装置。例如,轴向EI源可以有以有利于所希望的电离途径的低电子能量进行操作,比如形成分子离子或其他高质量离子。涉及以低电子能量进行轴向EI源操作的方法公开在同时与本申请提交的代理人案卷号为20120352-01的标题为“利用不同EI能量的电子电离(EI)”的美国专利申请中,其全部内容通过引用并入本文。

[0042] 要理解的是,虽然在EI的上下文中主要对以上的离子源的实例进行了描述,但是本文所教导的离子源可以另外地或替代地配置成用于化学电离(CI),其是也利用电子束的众所周知的技术。在CI的情况下,离子源可以包括用于容许反应气体进入电离室的入口。

[0043] 示例性实施例

[0044] 根据本发明公开的主题所提供的示例性实施例包括但不限于以下内容:

[0045] 1. 一种离子源包括:主体,其包括电离室和通入所述电离室的样品入口,所述电离室包括第一端和第二端,并且具有沿着源轴线从所述第一端至第二端的长度;磁体组件,其围绕着所述主体并且配置成用于在所述电离室中产生轴向磁场;电子源,其定位在所述第一端并且包括热离子阴极和电子反射器,所述电子源配置成用于沿着所述源轴线加速电子束通过电离室;以及透镜组件,其包括位于所述第二端的提取器、在所述电离室外部并且沿着所述源轴线与所述提取器间隔开的第一透镜元件、以及沿着所述源轴线与所述第一透镜元件间隔开的第二透镜元件,其中,所述提取器配置成用于沿着所述源轴线将离子束从所述电离室引出,所述第一透镜元件配置成用于朝向所述电子源反射电子束,所述第二透镜元件配置成用于传送更高能量的离子同时朝向第一透镜元件反射更低能量的离子。

[0046] 2. 根据实施例1所述的离子源,其中,所述电离室具有沿长度恒定的横截面面积或者沿至少一部分长度增大的横截面面积。

[0047] 3. 根据实施例1或2所述的离子源,其中,所述磁体组件包括绕着所述源轴线沿周向彼此间隔开的多个磁体。

[0048] 4. 根据实施例3所述的离子源,其中,所述样品入口定位在两个磁体之间。

[0049] 5. 根据实施例3或4所述的离子源,其中,所述磁体组件包括在轴线上的磁体,其定位在所述电离室外面的源轴线上并且配置成用于修改所述轴向磁场,以使得电子束在朝向所述提取器的方向上发散。

[0050] 6. 根据实施例1-5中任一项所述的离子源,包括定位在所述阴极与提取器之间的第一端的离子排斥器。

[0051] 7. 根据实施例1-6中任一项所述的离子源,其中,所述透镜组件包括出射透镜,其与所述第二透镜元件间隔开并且配置成用于沿着所述源轴线将离子束引入离子处理装置。

[0052] 8. 根据实施例1-7中任一项所述的离子源, 包括与所述电子源和透镜组件信号连通的电压源, 以及配置成用于控制电压源操作的控制器, 所述电压源选自由以下构成的组: 调节施加至所述阴极的电压; 维持所述阴极与定位在所述阴极与提取器之间的第一端的离子排斥器之间的固定电位差, 同时调节施加至所述阴极的电压; 基于对施加至所述阴极的电压的调节, 调节施加至所述第一透镜元件的电压; 将施加至所述阴极和第一透镜元件的电压设定成足以维持电子束在所述阴极与第一透镜元件之间反射的相应值; 将施加至所述阴极和第一透镜元件的电压设定成足以维持电子束在所述阴极与第一透镜元件之间反射的相应值, 并且相对于所述阴极将电压偏移添加至所述第一透镜元件, 以增加电子束从第一透镜元件的反射; 将施加至所述第二透镜元件的电压设定成足以用于朝向所述第一透镜元件加速被俘获在所述第二透镜元件与提取器之间的离子的值; 将电压脉冲施加至所述电子源的导电元件; 将电压脉冲施加至所述透镜组件的导电元件; 将电压脉冲施加至所述主体; 选通电子束; 以及前述中的两个或更多个。

[0053] 9. 根据实施例1-8中任一项所述的离子源, 包括在所述阴极与电离室之间的离子排斥器和在所述阴极与离子排斥器之间的电子提取器。

[0054] 10. 一种离子处理系统, 包括: 根据实施例1-9中任一项所述的离子源; 以及与所述透镜组件连通的离子处理装置。

[0055] 11. 根据实施例10所述的离子处理系统, 其中, 所述离子处理装置选自由以下构成的组: 离子导向器、离子阱、质量过滤器、碰撞室以及质量分析器。

[0056] 12. 根据实施例10所述的离子处理系统, 其中, 所述离子处理装置包括质量分析器, 并且还包括与所述质量分析器连通的离子检测器。

[0057] 13. 一种用于执行电子电离的方法, 所述方法包括: 引导作为电子束的电子从电子源通过具有沿着电子源与透镜组件之间的源轴线的长度的电离室; 通过将轴向磁场施加至所述电离室, 沿着所述源轴线聚焦电子束; 沿着所述源轴线在所述电子源与透镜组件之间来回反射电子; 通过将样品材料引入所述电离室朝向电子束来产生离子, 其中, 所述离子沿着所述源轴线聚焦成离子束; 沿着所述源轴线通过透镜组件传送离子; 以及反射俘获在透镜组件中的离子, 以防止这些被俘获的离子离开透镜组件, 同时将非俘获的离子从所述透镜组件传送出。

[0058] 14. 根据实施例13所述的方法, 包括引导用于施加轴向磁场的两个磁体之间的样品材料。

[0059] 15. 根据实施例13或14所述的方法, 其中, 聚焦电子包括利用绕着所述源轴线沿周向彼此间隔开的多个磁体。

[0060] 16. 根据实施例13-15中任一项所述的方法, 其中, 进行聚焦电子以使得电子束在朝向所述提取器的方向上发散。

[0061] 17. 根据实施例13-16中任一项所述的方法, 其中, 聚焦电子包括利用绕着所述源轴线沿周向彼此间隔开的多个磁体和定位在所述电离室外面的源轴线上的在轴线上的磁体。

[0062] 18. 根据实施例13-17中任一项所述的方法, 其中, 通过将电压施加至阴极来进行产生电子, 并且还包括通过调节电压来调节电子的能量。

[0063] 19. 根据实施例18所述的方法, 包括, 同时调节在阴极上的电压, 调节定位在所述

阴极与透镜组件之间的离子排斥器上的电压来维持在所述阴极与离子排斥器之间的固定电位差。

[0064] 20. 根据实施例18或19所述的方法, 包括将电压施加至所述透镜组件的透镜元件, 以将电子束反射回所述电离室中, 并且同时调节在阴极上的电压, 等量地调节在透镜元件上的电压。

[0065] 21. 根据实施例18-20中任一项所述的方法, 其中, 通过将电压施加至阴极来进行产生电子, 并且还包括将电压施加至所述透镜组件的透镜元件, 以将电子束反射回所述电离室中。

[0066] 22. 根据实施例21所述的方法, 包括将施加至所述阴极和透镜元件的电压设定成足以维持电子束在所述阴极与透镜元件之间反射的相应值。

[0067] 23. 根据实施例22所述的方法, 包括将施加至所述阴极和透镜元件的相应电压设定成相等的值, 或者相对于施加至阴极的电压将施加至透镜元件的电压增加偏移量, 以增加在透镜元件的反射。

[0068] 24. 根据实施例13-23中任一项所述的方法, 包括将电压施加至所述透镜组件的提取器, 以将离子从所述电离室传送到透镜组件中。

[0069] 25. 根据实施例24所述的方法, 包括将电压施加至定位在所述电离室外部的透镜组件的第一透镜元件, 以反射电子束通过提取器并进入电离室。

[0070] 26. 根据实施例25所述的方法, 包括将电压施加至所述透镜组件的第二透镜元件, 以反射被俘获的离子与所述第一透镜元件碰撞。

[0071] 27. 根据实施例13-26中任一项所述的方法, 包括将电压施加至所述透镜组件的透镜元件, 以反射被俘获的离子与所述透镜组件的另一透镜元件碰撞。

[0072] 28. 根据实施例13-27中任一项所述的方法, 包括执行脉冲步骤, 其选自由以下构成的组: 将电压脉冲施加至所述电子源的导电元件; 将电压脉冲施加至所述透镜组件的导电元件; 将电压脉冲施加至限定至少一部分电离室的主体; 选通电子束; 以及前述中的两个或更多个。

[0073] 29. 根据实施例13-28中任一项所述的方法, 包括从所述电子源的阴极发射电子, 并且通过将电压施加至电子源的电子提取器来抽取所发射的电子远离阴极。

[0074] 30. 根据实施例29所述的方法, 包括通过将电压施加至定位在所述电子源与电离室之间的离子排斥器来排斥离子远离电子源。

[0075] 31. 根据实施例13-30中任一项所述的方法, 包括传送离子通过所述透镜组件并进入在所述源轴线上含有入口的离子处理装置。

[0076] 32. 根据实施例13-31中任一项所述的方法, 包括在将样品材料引入所述电离室之前从气相色谱仪输出所述样品材料。

[0077] 要理解的是, 图7中示意性示出的系统控制器794可以代表配置成用于控制、监测、定时、同步和/或协调离子源的各个功能方面的一个或多个模块。系统控制器794还可以代表配置成用于控制相关光谱测量系统的功能或组件的一个或多个模块, 例如包括接收离子测量信号并且根据需要执行与数据采集和信号分析相关的其它任务, 以产生根据分析表征样品的质谱。

[0078] 为了所有这些目的, 控制器794可以包括计算机可读介质, 其包括用于执行本文所

公开的任何方法的指令。控制器794示意性地示出为通过有线或无线通信链路而与离子源的各种组件信号连通。同样为了这些目的,控制器794可以包括一个或多个类型的硬件、固件和/或软件,以及一个或多个存储器和数据库。控制器794通常包括提供总体控制的主电子处理器,并且可以包括配置成用于专用的控制操作或特定的信号处理任务的一个或多个电子处理器。系统控制器794还可以示意性地表示未具体示出的所有电压源,以及根据需要将电压施加至各个组件的时序控制器、时钟、频率/波形发生器等。控制器794还可以代表一种或多种类型的用户接口设备,比如用户输入设备(例如键盘、触摸屏、鼠标等)、用户输出设备(例如显示屏、打印机、视觉指示器或警报、听觉指示器或警报等)、由软件控制的图形用户界面(GUI)、以及用于承载由电子处理器(例如,体现在软件、数据等中的逻辑指令)可读取的介质的设备。控制器794可以包括操作系统(例如,Microsoft Windows®软件),用于控制和管理控制器794的各种功能。

[0079] 要理解的是,本文所用的术语“信号连通”指的是两个或更多个系统、设备、组件、模块或子模块能够通过某种类型的信号路径上传播的信号而相互连通。该信号可以是通信、电源、数据或能量信号,其可以将信息、电源或能量从第一系统、设备、组件、模块或子模块沿着第一与第二系统、设备、组件、模块或子模块之间的信号路径连通至第二系统、设备、组件、模块或子模块。信号路径可以包括物理、电、磁、电磁、电化学、光学、有线或无线连接。信号路径还可以包括另外的系统、设备、组件、模块、或第一与第二系统、设备、组件、模块或子模块之间的子模块。

[0080] 更一般地,术语比如“连通”和“与……连通”(例如,第一组件与第二组件“连通”)在本文中用来表示在两个或更多个组件或元件之间的结构、功能、机械、电、信号、光、磁、电磁、离子或流体的关系。因此,一组件被说成与第二组件连通的事实并非旨在排除附加组件可能存在第一与第二组件之间和/或可操作地与之相关联或与之接合的可能性。

[0081] 要理解的是,在不脱离本发明的范围的情况下,可以改变本发明的各个方面或细节。此外,前面的描述仅是为了说明的目的,而不是为了限制——由权利要求所限定的本发明的目的。

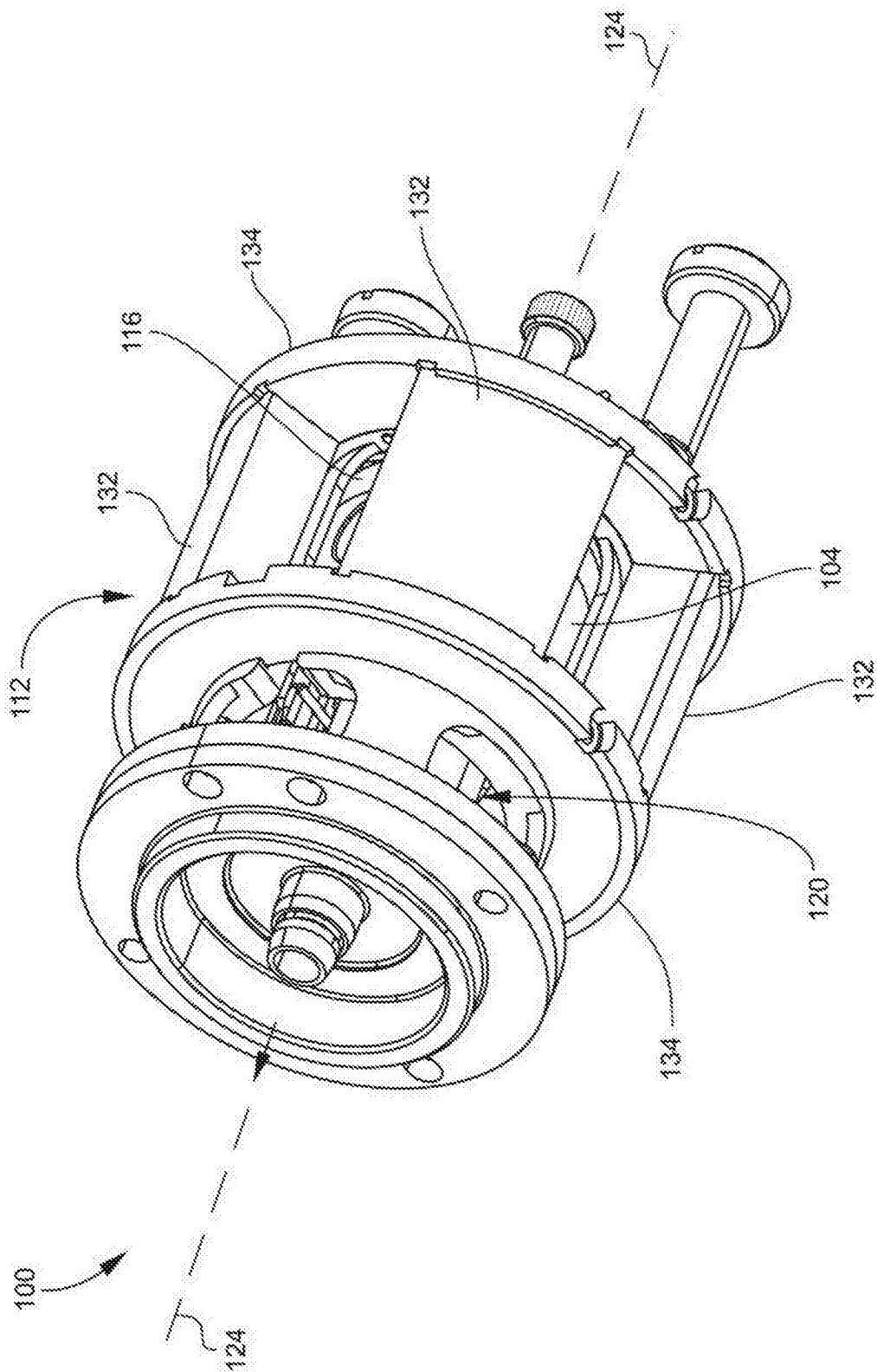


图1

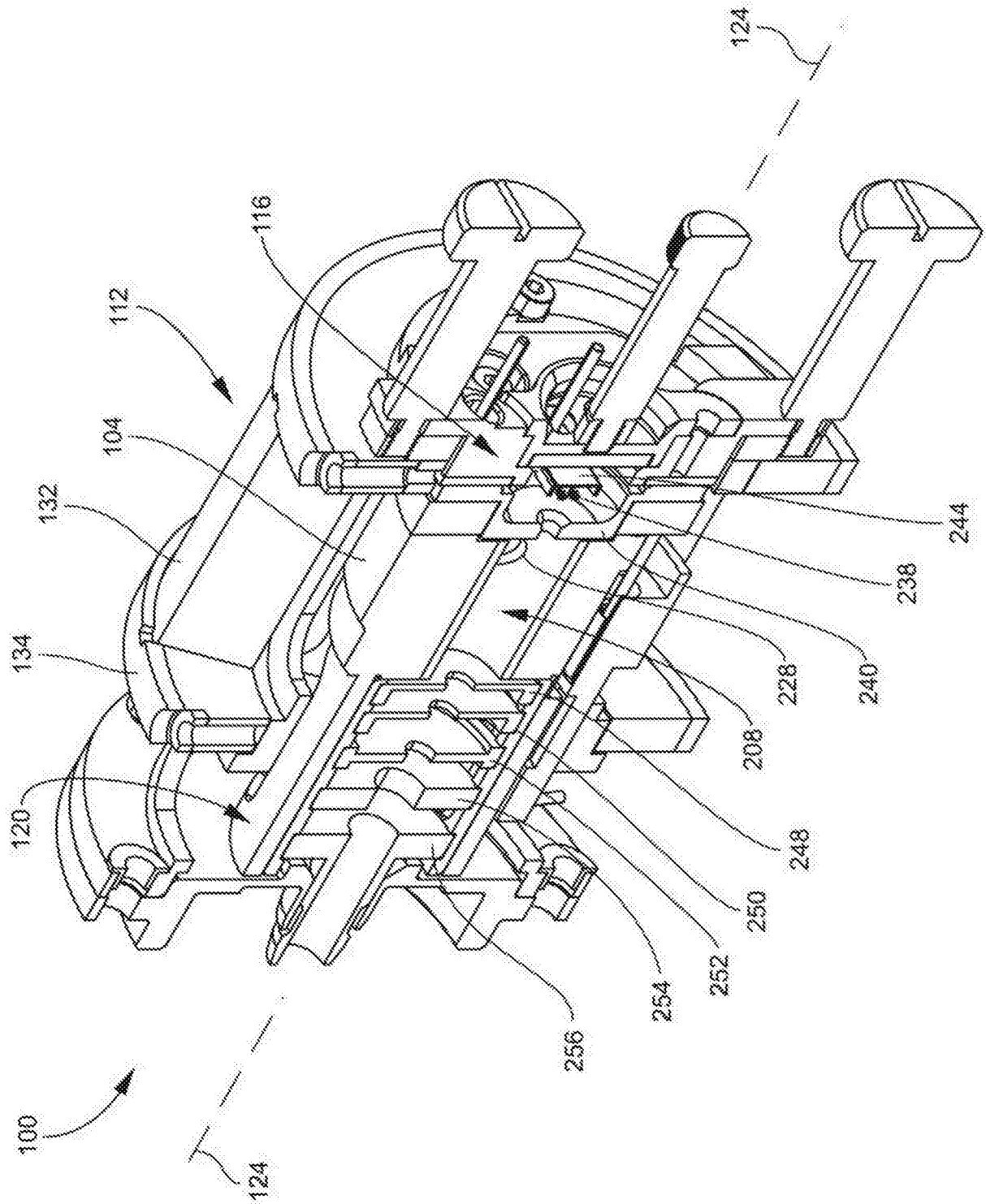


图2

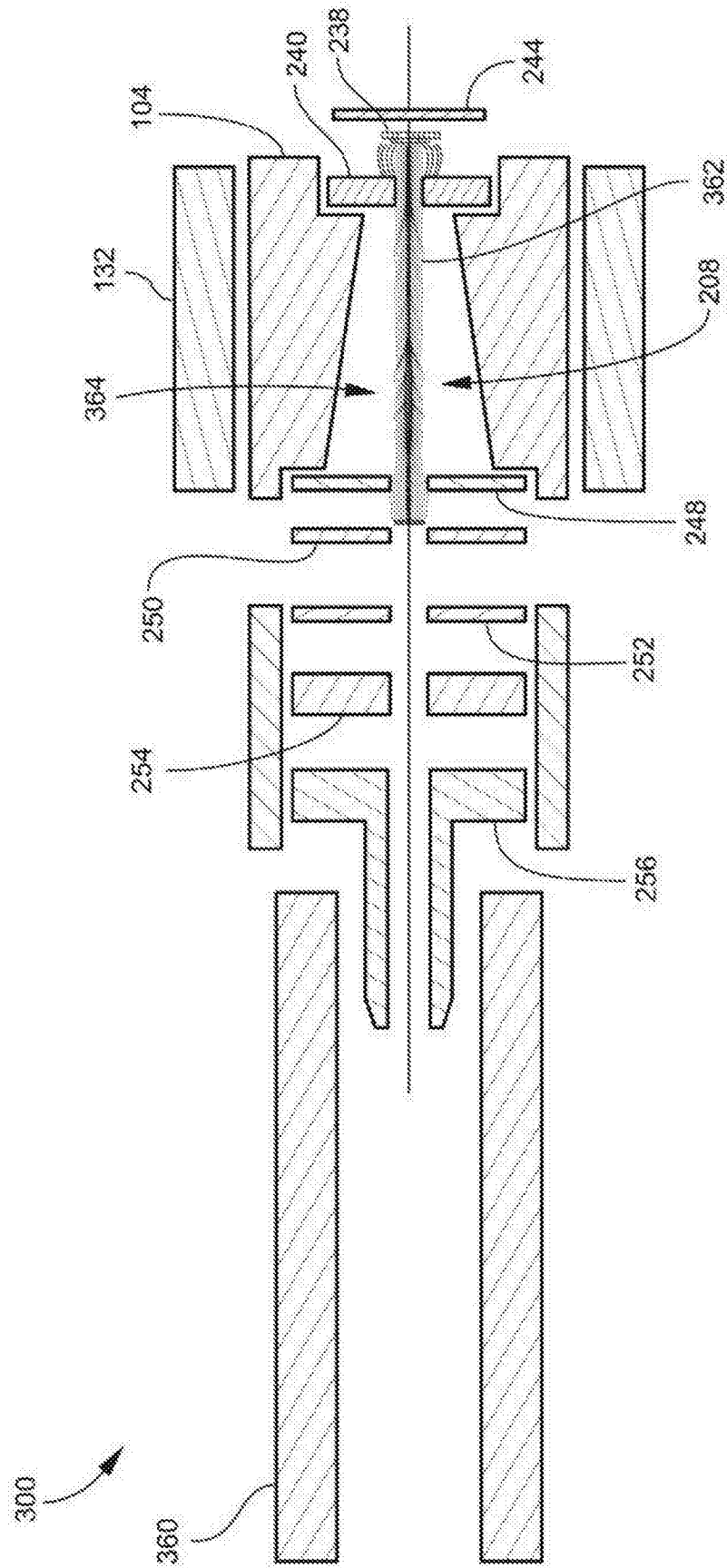


图3

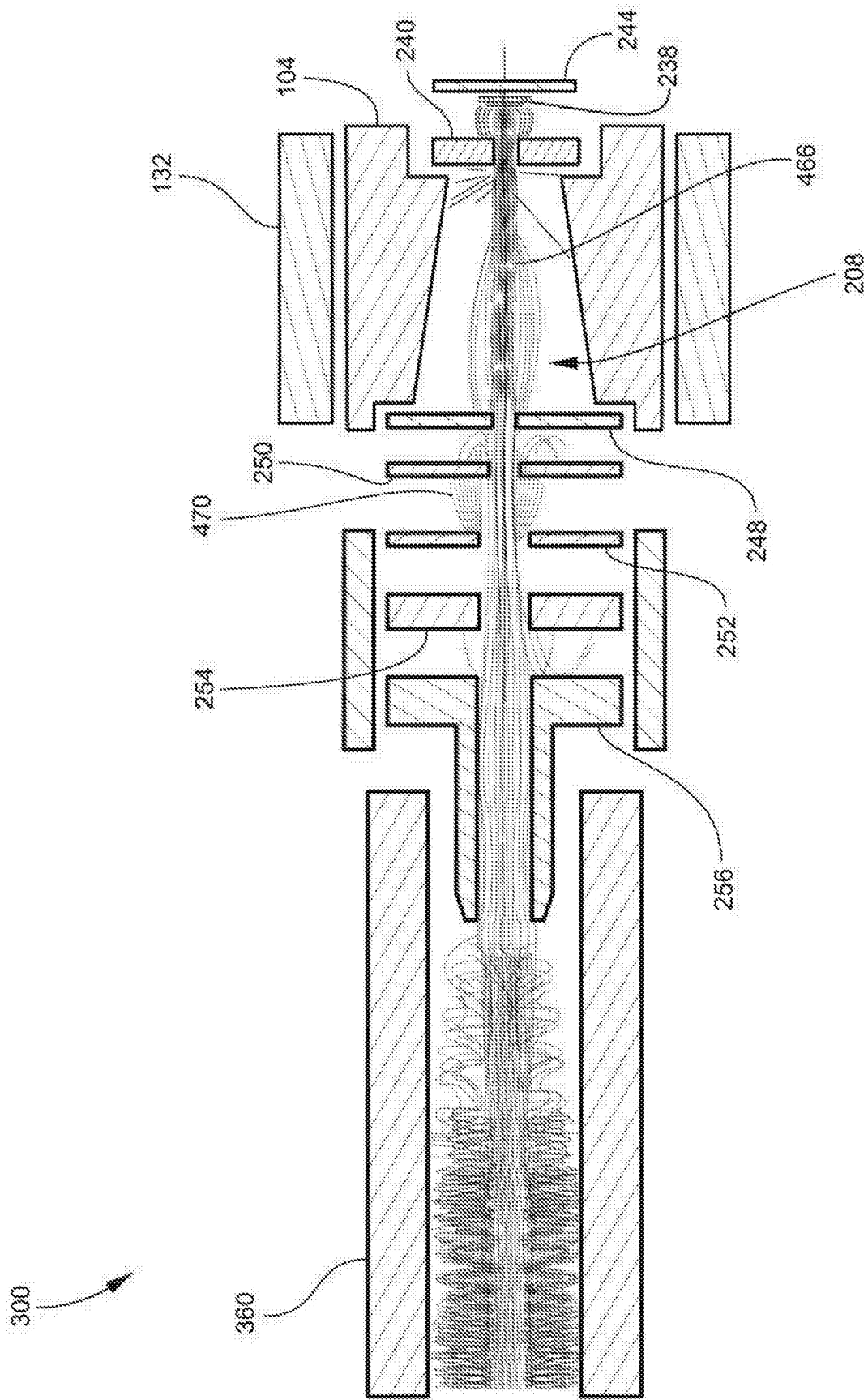


图4

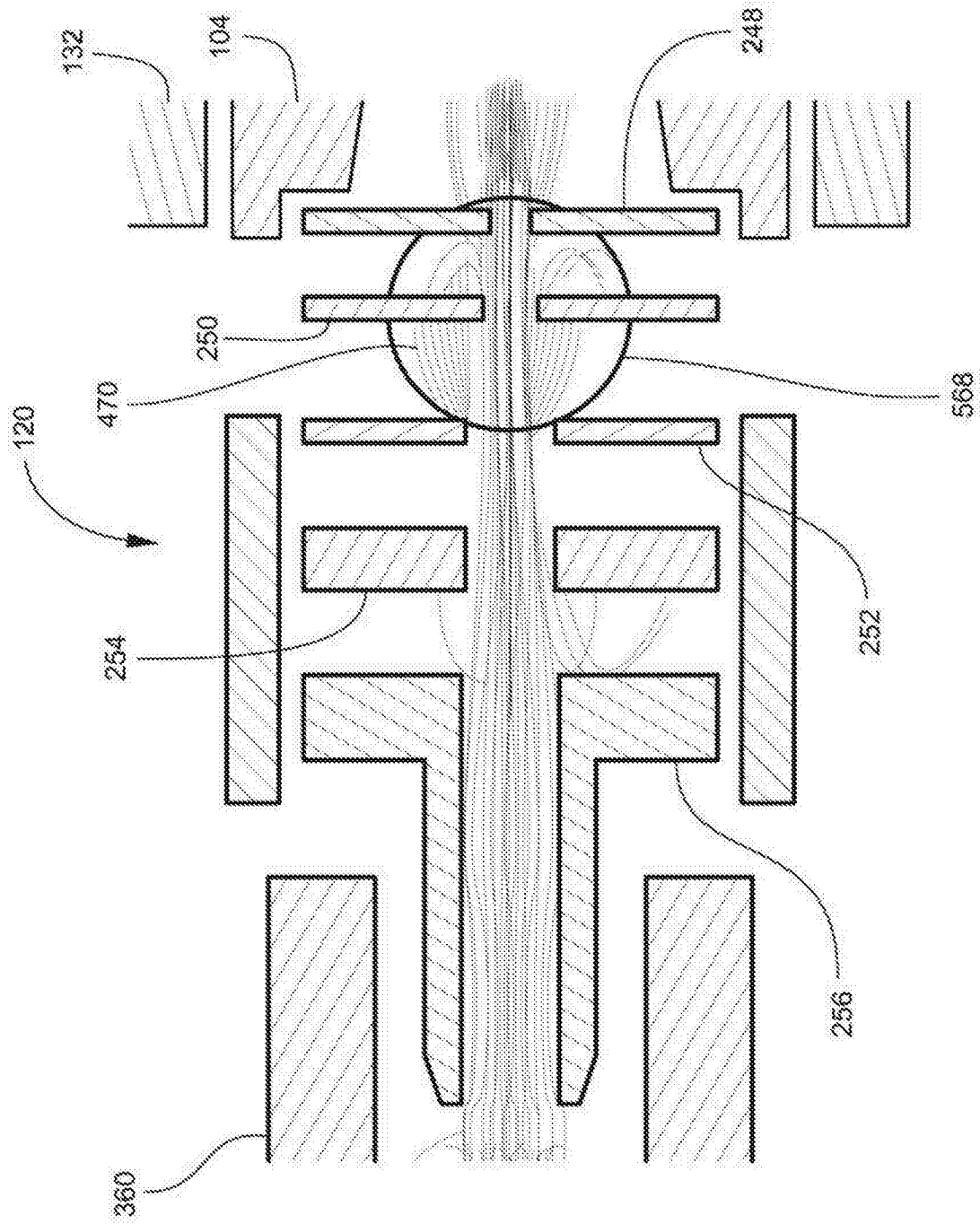


图5

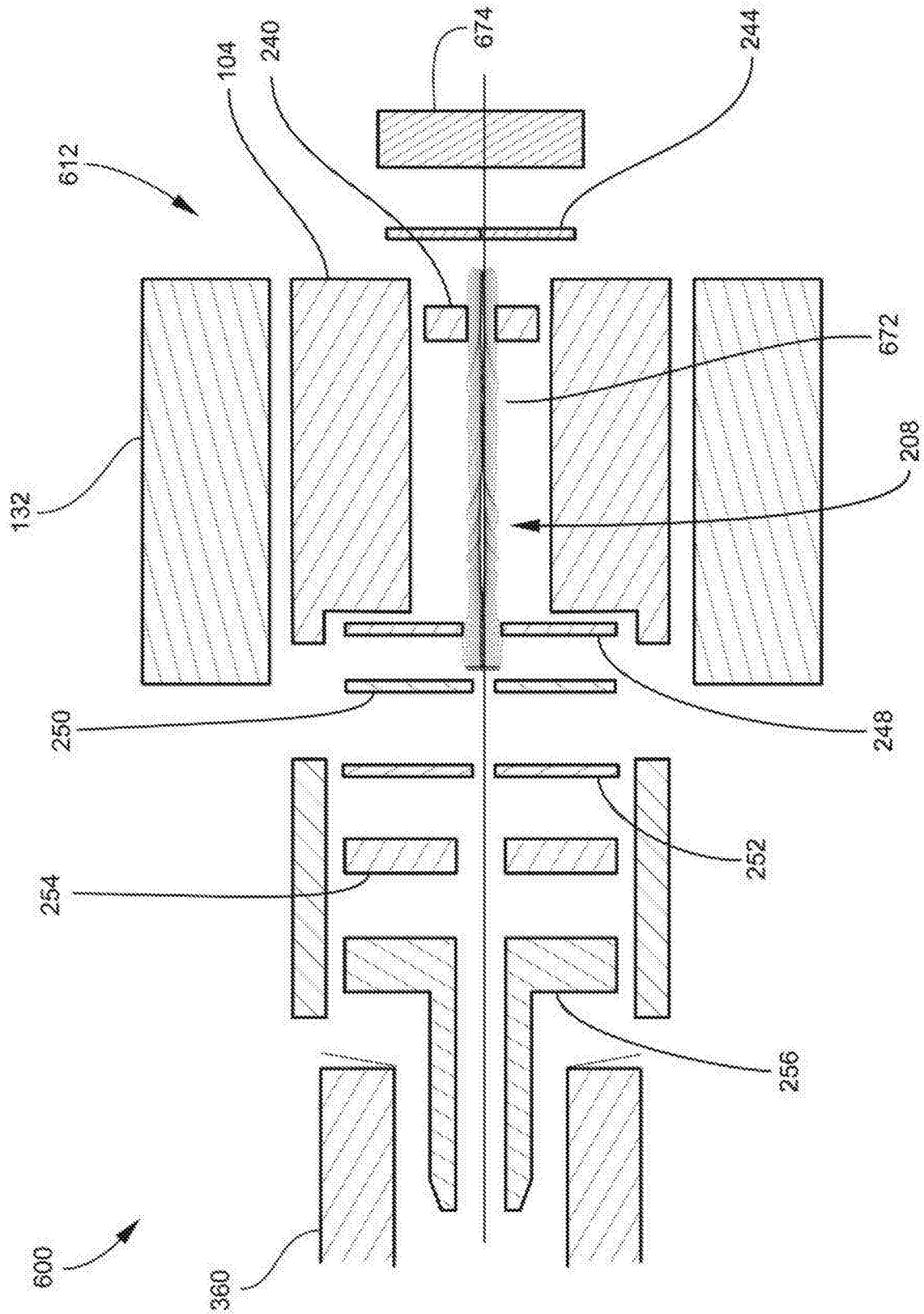


图6

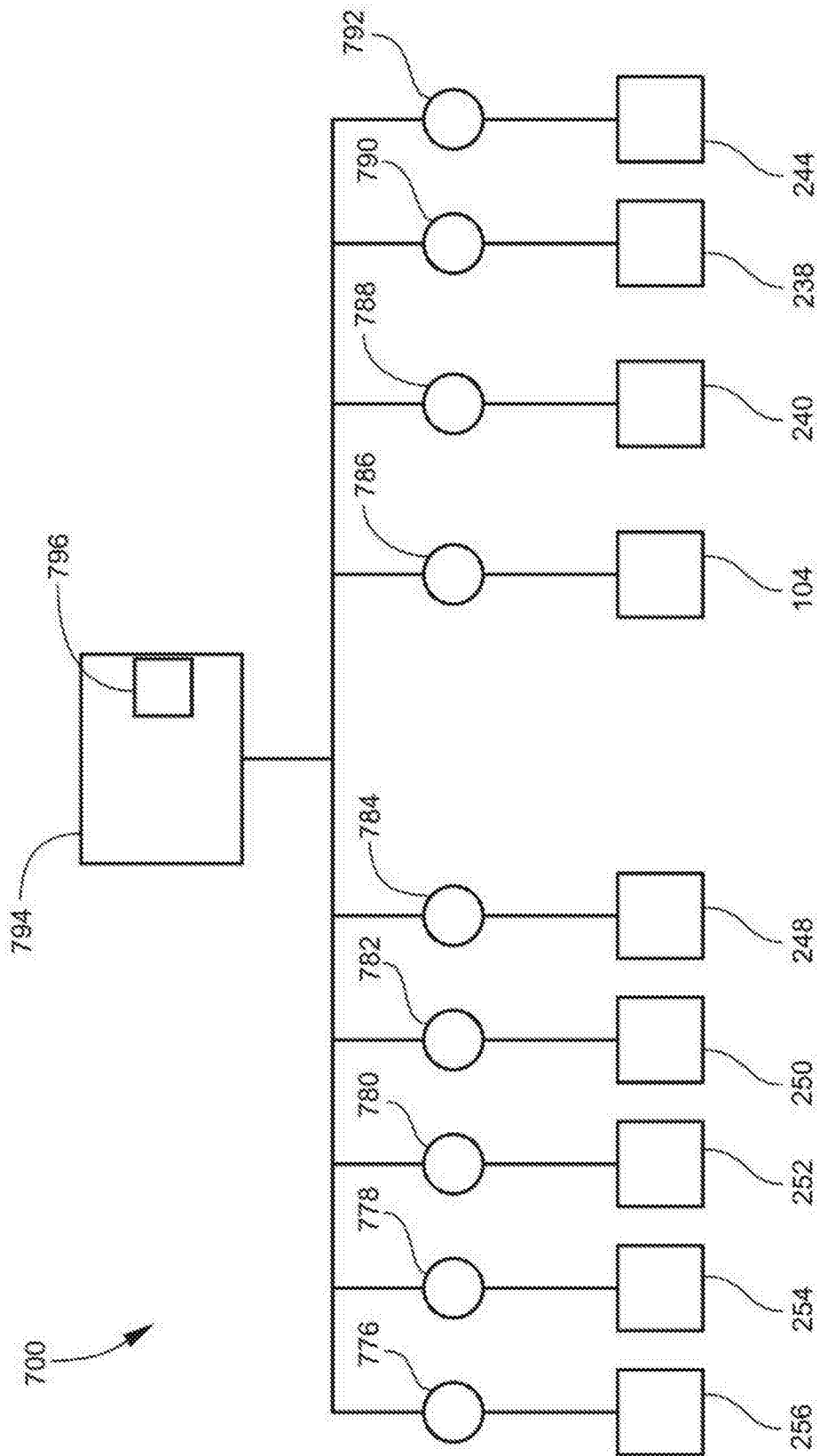


图7

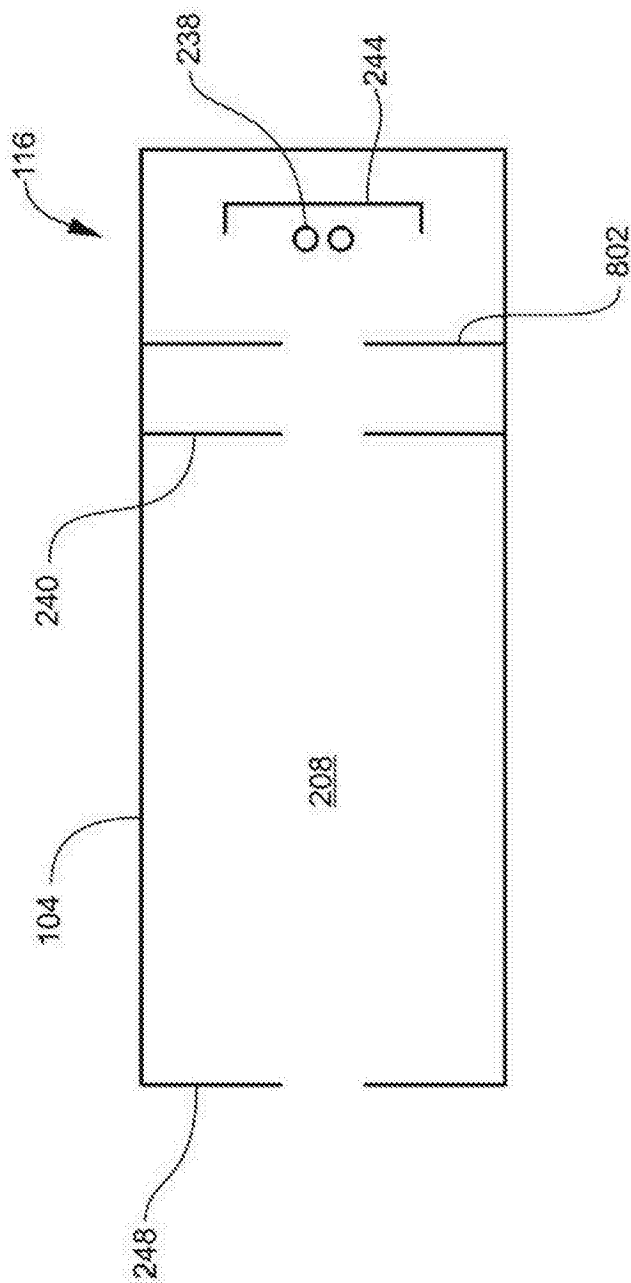


图8

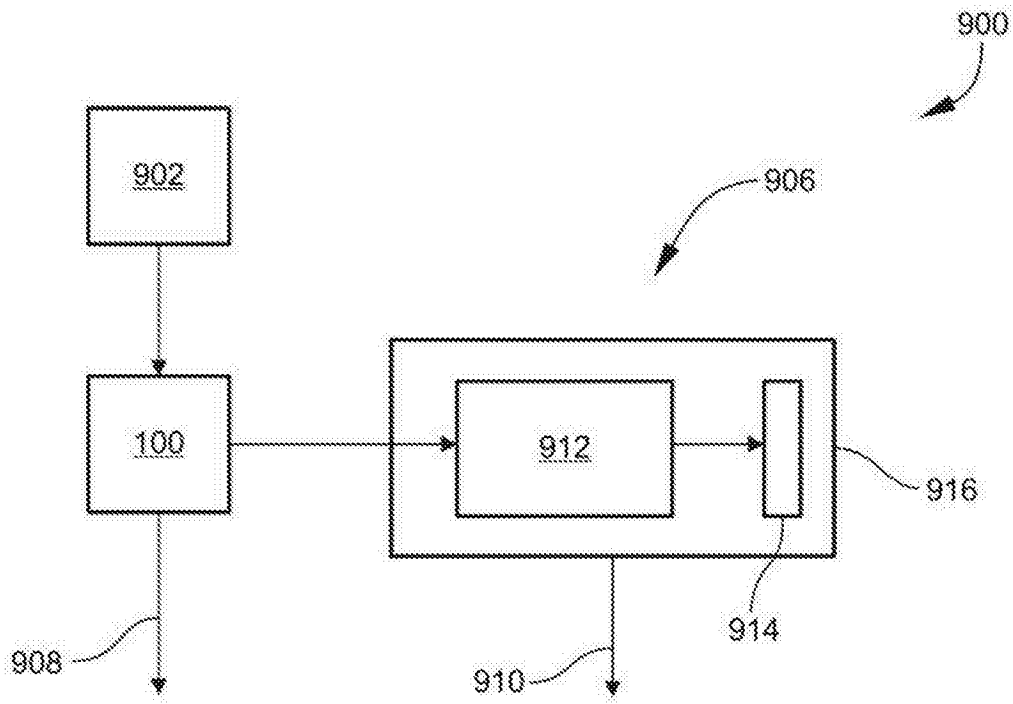


图9