



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105702557 A

(43) 申请公布日 2016.06.22

(21) 申请号 201510903219.7

(22) 申请日 2015.12.09

(30) 优先权数据

14/564,173 2014.12.09 US

(71) 申请人 布鲁克·道尔顿公司

地址 美国马萨诸塞州

(72) 发明人 德斯蒙德·艾伦·卡普兰

费利奇安·蒙泰安 史帝芬·扎农

(74) 专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理有限公司 11112

代理人 顾丽波 井杰

(51) Int. Cl.

H01J 49/26(2006.01)

H01J 49/06(2006.01)

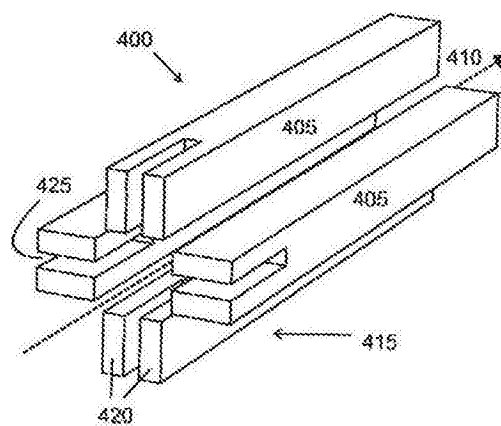
权利要求书1页 说明书7页 附图6页

### (54) 发明名称

用于质谱分析的防污染离子导向装置

### (57) 摘要

本发明涉及一种用于质谱分析的射频离子导向装置,所述射频离子导向装置通过允许被 RF 限制电场排斥的离子飞过并远离离子导向电极、并且防止所述离子撞击离子导向电极的灵敏的电势定义表面,来使污染最小化。在所述离子导向装置的入口端,多个电极中的每个电极具有叉状前端,或者具有包含面向离子导向装置内部的凹进结构的前端。对于叉状电极,叉状端的齿可具有不同的形状或锥形,并且可使用导电网格来覆盖齿间缝隙。类似地,对于具有凹进结构的电极,导电网格可覆盖凹进结构。



1. 一种射频离子导向装置,其具有围绕轴布置的多个电极以及将射频电压施加至所述多个电极以对离子进行径向限制的射频电压发生器,其中在所述离子导向装置的入口端接收离子,并且其中所述多个电极中的每个电极具有位于所述离子导向装置入口端的叉状前端。

2. 根据权利要求1所述的离子导向装置,其中,所述叉状前端包括至少两个齿。

3. 根据权利要求2所述的离子导向装置,还包括导电网格,其覆盖所述齿间的中间缝隙,从而至少部分地恢复每个电极的电势定义内表面。

4. 根据权利要求2所述的离子导向装置,其中,所述齿的厚度在远离轴的方向上减小。

5. 根据权利要求2所述的离子导向装置,其中,所述齿沿轴延伸约1厘米。

6. 根据权利要求2所述的离子导向装置,其中,所述齿间缝隙的宽度总计达到电极总宽度的一半。

7. 根据权利要求2所述的离子导向装置,其中,所述齿间缝隙的宽度沿着轴的方向逐渐减小。

8. 根据权利要求1所述的离子导向装置,其中,所述前端为两个分叉和多个分叉中的一种。

9. 根据权利要求1所述的离子导向装置,其中,所述多个电极包括至少四个杆电极。

10. 根据权利要求1所述的离子导向装置,其中,所述多个电极包括直线电极和弯曲电极中的一种。

11. 根据权利要求1所述的离子导向装置,还包括位于所述离子导向装置上游的离子源,以使得来自所述离子源的离子传输至所述入口端,并且还包括位于所述离子导向装置下游的质量分析器,以使得已穿过所述离子导向装置的离子进一步被传输至该质量分析器。

12. 根据权利要求1所述的离子导向装置,其中,所述每个电极的入口端的第一部分实质上与所述每个电极的后面的第二部分分离。

13. 根据权利要求12所述的离子导向装置,其中,所述分离的第一部分处于第一压力状态,所述后面的第二部分处于第二低压状态。

14. 根据权利要求12所述的离子导向装置,其中,施加至所述分离的第一部分的射频电压不同于施加至所述后面的第二部分的射频电压。

15. 根据权利要求1所述的离子导向装置,其中,所述电压发生器还具有向所述多个电极提供直流电压的能力。

16. 一种射频离子导向装置,其具有围绕轴安装的多个电极,以及将射频电压施加至所述多个电极以对离子进行径向限制的射频电压产生器,其中在所述离子导向装置的入口端接收离子,并且其中所述多个电极中的每个电极具有位于面向所述离子导向装置内部的表面上的凹进结构,所述凹进结构位于离子导向装置的入口端。

17. 根据权利要求16所述的离子导向装置,还包括导电网格,其至少覆盖所述凹进结构的一部分,从而至少部分地恢复每个电极的面向所述离子导向装置内部的电势定义表面。

18. 根据权利要求16所述的离子导向装置,其中所述凹进结构包括细长的凹槽或凹穴。

## 用于质谱分析的防污染离子导向装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及用于质谱分析的射频(RF)离子导向装置。

### 背景技术

[0002] 离子导向装置通常用于质谱仪(MS)中以及在离子源与质量分析器之间传输离子,并且通常由围绕公共轴线放置的大量细长平行导电杆组成。现有技术中已知各种离子导向装置的实施例。图1示出了现有技术的多极杆离子导向装置的一个示例。为了便于描述,图1的离子导向装置示例特指四极杆离子导向装置。然而,本发明的实施例也可用于其他类型的多极杆,例如六极杆、八极杆等。在图1的离子导向装置中,在电压发生器105和110的驱动下,来自离子源(图中未示出)的离子传输至离子导向装置100。

[0003] 如图1所示,构成四极杆离子导向装置100的四个导电杆被布置为两对,每一对接收被表示为 $V\cos(\omega t)$ 的相同的RF信号,其中 $V$ 和 $\omega$ 分别是RF信号的幅度和频率。一对杆接收零相位的信号( $+V\cos(\omega t)$ ),另一对杆接收180度相移的信号( $-V\cos(\omega t)$ ),从而使离子导向装置100充当对较宽范围质荷比(通常表示为 $m/z$ )的离子进行传输的离子管。 $m/z$ 比的范围具有下限和上限,超过上限和下限的离子无法再被可靠地传输。下限值比较明确(有时称为低质量截止),而上限值略微更加模糊。

[0004] 图2示意性示出了在完整质谱仪这一更广的设备场景下用于在三重四极杆质量分析器装置Q1、Q2、Q3之前传输离子的四极杆离子导向装置Q0的示例。所述质谱仪可安装在外壳200中,其分为两个单独的真空级202A、202B,并且可包括EI或CI离子源204、位于离子源204的出口处的透镜管206(用于提取离子并将其发射至四极杆离子导向装置Q0)、初级质量过滤器Q1、提供U形转弯离子路径的曲线四极杆碰撞/碎裂室Q2,以及在离子源204和离子检测器之间串行排列的次级质量过滤器Q3。

[0005] 如示出的那样,离子源204和离子检测器通常位于质谱仪的离子路径的相反的两端。由于示例所示的特定路径设置而导致离子源204和离子检测器可设置为:非常靠近彼此,仅由形成两个真空级202A、202B的边界的间壁208(虚线)隔开。除了所示的示例,同样可以利用直线等效物代替弯曲装置Q0和Q2,从而实现直线构造。

[0006] 超高(涡轮)真空泵(未示出)可布置在外壳200中以使两个真空级202A、202B保持真空。排气孔(图2中未示出)可位于外壳200的不同位置。透镜管206和离子源204位于外壳200的第一密封区域中,该区域通过壁208以及与盖子接合的密封环设置(二者均未示出)以实现真空密封。

[0007] 在沿着四极杆离子导向装置Q0的离子路径的中心,可以提供用于将相互作用的气体(例如氦气、氮气或甲烷)导入到四极杆离子导向装置Q0的进气口,离子导向装置Q0可配置为类似于美国专利第8,525,106B2号(发明人Muntean)中描述的离子导向装置那样。

[0008] 在图2所示的示例中,四极杆离子导向装置Q0呈 $90^\circ$ 弯曲。射频电压和(视情况而定的)直流(DC)偏置电压可施加到相邻的极杆电极。极杆电极的剖面可为多种不同形状,例如方形、圆形、椭圆形(hyperbolically round)、圆形凹面、扁平、直线形等。

[0009] 由于靠近源区域,离子导向装置通常受到离子导向电极上沉积物形式的污染。沉积物可由在电极上凝聚的中性分子形成,或者通过受到离子导向装置排斥的大量离子撞击电极(作为受到排斥的结果)并失去电荷从而使得基本上中性的底物分子在电极上凝聚而形成。上述内容的综合效果还可以是:中性分子在电极上凝聚,然后与撞击电极的被排斥的离子发生反应,然后分解为“生长”在电极表面上的稳定的固态结构(例如,已分解的碳氢化合物分析物分子中产生的碳沉积物)。

[0010] 图3以示例方式示出了在发明人实验室中的操作期间实际形成在两个四极杆离子导向装置电极的内表面上的沉积物(虚线轮廓)的图形表示。所示为一个入口端,在此处沿着两个极杆电极中间的轨迹箭头接收离子,所述极杆电极具有实质上为方形的截面。为清楚起见,并未示出通常位于图示电极的对面以实现径向离子限制的另外两个四极杆电极。偏离中间虚线箭头的两个虚线箭头示意性示出了与会被发射的离子相比,被排斥的离子会选择的路径。如该图明显所示以及在实验室的实践中频繁观察到的那样,沉积物主要形成在电极表面的中心部分。

[0011] 文献中已经描述了质谱仪中的这类沉积物,例如Girard等人的Journal of Chromatography Science,2010年10月,48(9),778-779以及Kenneth L. Busch的2010年9月1日的在线出版物“Ion Burn and the Dirt of Mass Spectrometry”。

[0012] 不期望在离子导向装置电极上形成沉积物,这是因为沉积层可能是电介质,并在受到被排斥的离子撞击时充电。在这种情况下,沉积物会造成不期望的电势垒,这会使离子运动偏转和弯曲,从而使MS性能恶化。

[0013] 上述沉积问题的补救方法可以是在操作期间加热离子导向装置电极,从而使所述电极更不易于接受污染沉积物。另一种补救方法是定期清洁离子导向装置电极以在沉积物已生长到过大程度时恢复MS性能。第一种解决方案(加热)增加了质谱仪设计的复杂度,这既是因为其需要额外的用于加热的硬件,也是因为其需要添加热障以防止热离子导向装置影响随后的质量分析器的性能。第二种解决方案(清洁)通常不能频繁使用,这是因为会减少仪器的正常运行时间,从而不利于MS的生产率。此外,如果没有正确地进行拆卸、清洁和重新组装(例如,由缺乏训练的员工执行),也会造成性能问题。

[0014] D.L.Swingle在International Journal of Mass Spectrometry and Ion Processes,54(1983)225-230中建议在四极杆质量过滤器的极杆电极中设置纵向槽和横向槽。虽然电极的这种结构修改可减轻污染问题,但是电极直接将材料保留在其前端,这里极易受离子撞击,因此形成沉积物。从离子轨迹仿真中可以看出,位于离子导向装置的入口区域处的电极表面将暴露于最高的离子电流,这是因为被RF限制电场排斥(即,不是稳定发射)的大部分离子将在这一点射出。

[0015] 鉴于上述内容,需要提供一种电极表面不易受到污染的离子导向装置。

## 发明内容

[0016] 本公开示出了一种离子导向装置构造,其通过基本允许被RF限制电场排斥的离子飞过并远离离子导向装置电极、并且防止所述离子撞击离子导向装置电极的灵敏的电势定义表面而在本质上使污染最小化。

[0017] 在第一方面,本发明涉及一种射频离子导向装置,其具有围绕轴布置的多个电极

以及将射频电压施加至所述多个电极以对离子进行径向限制的射频电压发生器,其中在所述离子导向装置的入口端接收离子,并且其中所述多个电极中的每个电极具有位于所述离子导向装置的入口端处的叉状前端。

[0018] 所述叉状前端可包括至少两个齿。

[0019] 在多个不同的实施例中,导电网格可覆盖齿间的中间缝隙,从而至少部分地恢复每个电极的电势定义内表面。

[0020] 所述齿的厚度可以在远离轴的方向上减小,从而使所述缝隙获得诸如实质上为V型的剖面。

[0021] 所述齿可以(从所述前端)沿轴延伸约1厘米。

[0022] 在多个不同的实施例中,齿间缝隙的宽度可以总计达到电极总宽度的一半。此外,齿间缝隙的宽度可沿着所述轴的方向逐渐减小。

[0023] 所述前端可以是两个分叉(两个齿)和多个分叉(四个或更多个齿)中的一种。

[0024] 在多个不同的实施例中,所述多个电极可包括四个或更多个(例如六个、八个等)杆电极。

[0025] 在多个不同的实施例中,所述多个电极可以包括直(或直线)电极和弯曲电极(例如,呈90°弯曲或呈180°弯曲)中的一种。

[0026] 在多个不同的实施例中,所述装置还可包括离子源(例如EI源或CI源),其位于所述离子导向装置的上游,以使得来自所述离子源的离子传输至所述入口端,并且还可包括位于所述离子导向装置下游的质量分析器(例如三重四极杆质量分析器、飞行时间分析器、傅里叶变换分析器等),以使得已穿过所述离子导向装置的离子被进一步传输至质量分析器。

[0027] 所述每个电极的入口端的第一部分可以实质上与所述每个电极的后面的第二部分分离。

[0028] 在多个不同的实施例中,所述分离的部分可以处于第一压力状态(例如在离子源中),所述后面的第二部分可以处于第二低压状态(例如在真空级中)。

[0029] 在多个不同的实施例中,施加至所述分离的部分的射频电压可以不同于施加至所述后面的第二部分的射频电压。

[0030] 所述电压发生器还能够向所述多个电极提供直流电压,以诸如在各电极处建立偏置电势,或者将所述离子导向装置用作针对例如有限质荷比范围的离子的(窄带)带通滤波器。

[0031] 本公开还示出了一种射频离子导向装置构造,其基本允许被排斥的离子撞击相比于完整极杆电极从离子导向轴偏离的极杆电极的表面,从而使所述表面上的沉积物对离子导向装置内部的电场可能造成的任何不利影响最小化。

[0032] 在第二方面,本发明涉及一种射频离子导向装置,其具有围绕轴安装的多个电极,以及将射频电压施加至所述多个电极以对离子进行径向限制的射频电压产生器,其中在所述离子导向装置的入口端接收离子,并且其中所述多个电极中的每个电极具有位于面向所述离子导向装置内部的表面上的凹进结构,所述凹进结构位于离子导向装置的入口端。

[0033] 在多个不同的实施例中,所述离子导向装置还包括导电网格,其至少可覆盖所述凹进结构的一部分,从而至少部分地恢复每个电极的面向所述离子导向装置内部的电势定

义表面。

[0034] 所述凹进结构可包括细长的凹槽或凹穴。

### 附图说明

[0035] 通过参照附图可以更好地理解本发明。附图中的部件无需符合比例,而是着重于说明本发明的原理(通常为示意性的)。

[0036] 图1示出了直线四极杆离子导向装置的示例性实施方式。

[0037] 图2示出了包括两个射频离子导向装置的三重四极杆质谱仪的示例性实施方式。

[0038] 图3示出了其内表面上受到污染的极杆电极的图形表示。

[0039] 图4和图4A至4H示出了根据本公开第一方面的射频离子导向装置和相应的电极的示例性实施例。

[0040] 图5示出了弯曲的射频离子导向装置的示例性实施例。

[0041] 图6示出了通过计算机仿真获得的示例性离子传输曲线。

[0042] 图7示出了根据本发明第二方面的射频离子导向装置和相应的电极设计的示例性实施例。

### 具体实施方式

[0043] 虽然已经参照本发明的许多实施例示出并描述了本发明,但是本领域技术人员应当认识到,可以在不背离所附权利要求书中限定的本发明的范围的情况下进行各种形式和细节的修改。

[0044] 射频离子导向装置可以非常大的传输效率(对于宽质量范围接近100%)进行操作。然而,质量范围在低端(低质量截止值)处受到限制,从而将不会发射质荷比 $m/z$ 低于该截止值的所有离子,结果是这些离子(在它们没有穿过电极之间的缝隙的情况下)撞击离子导向装置电极。离子轨迹仿真显示这些离子中的大部分受到排斥并且撞击离子导向装置的入口部分,这一点也得到了如下观测结果的支持:大部分离子导向装置污染发生在离子导向装置的入口区域,如图3所示。

[0045] 根据第一方面,本发明的一个构思是使位于离子导向装置入口处的电极结构的中心部分开放,从而使得大部分被排斥的离子能够穿过并远离电极。通过这种方式,可将被排斥的离子抽走,而无需承担所述离子对面向离子导向装置内部和/或轴的灵敏的电势定义电极表面的一部分进行撞击的风险。开放部分应当遵从这样的尺寸限制,其使得离子导向装置中心部分中的电场(其负责径向限制满足稳定性标准的离子)不能受到明显扰动。当满足这些要求时,有用离子或受关注离子的离子传输不会受到显著影响。

[0046] 在图4中呈现了实施上述构思的第一示例性方法,其中示出了具有围绕中心轴410放置的四个极杆电极405的四极杆装置400。本示例中的极杆电极405为直杆,并且基本具有方形横截面,从而使得各电极405之间的内部宽度也具有实质上为方形的剖面。

[0047] 如图4所示,在入口端415,每个极杆电极405都有两个齿420以及两个齿420之间的中间缝隙425(类似于开放的纵向槽)。由于这个形状与音叉相似,因此本实施例将被称为叉状入口端配置。齿420将进入(例如,切入)本来完整的极杆电极405的主体之中,从而使得每个齿都会提供一条从电极405之间的中心轴410到外部的直接路径。由于可以将四个极杆电

极405看作围绕中心轴410布置的相对的两对,因此这意味着两个相对的电极405的两个缝隙425实质上排列为平行于包含中心轴410的第一平面,同时另外两个相对的电极405的缝隙425也同样实质上排列为平行于包含中心轴410的第二平面,其中第二平面与第一个平面成一定角度,也就是说在这种情况下垂直地定向。

[0048] 如同从图4的示意中明显看出的那样,在离子导向装置的操作期间,离子从面对叉状入口端415的一侧靠近离子导向装置400。将射频电压按照如结合图1(可在适当时施加偏置DC电压)说明的传统方法施加至四个极杆电极405,从而使得符合由此创建的RF场的稳定性标准的离子被离子导向装置400接受并且通过离子导向装置400传输,而质荷比 $m/z$ 不在稳定性区间的离子将被排斥。被排斥离子的轨迹将会在试图进入离子导向装置400时非常迅速地变得不稳定,并会脱离稳定离子通常的中心离子路径。然而,当不稳定的离子在径向移动而不是撞击面对离子导向装置400的内部和/或轴的各极杆电极表面中的一个(使用传统离子导向装置几乎无法避免的结果)时,不稳定的离子非常可能沿径向向外穿过位于各个极杆电极405的入口端415的齿420之间的各中间缝隙425之一而无需承担撞击极杆电极表面而引起污染问题的风险。即使有些离子撞击其余电极表面的一部分,那么通过使用图4所示的配置,这种情况更可能发生在各个中间缝隙425的内侧壁之一上,然而所述内侧壁并不会直接面对离子导向装置400的内部和/或轴。如果缝隙壁上的此类撞击经过一段时间后导致沉积物的形成,则将在至少很长时间内不会对离子导向装置400的整体性能造成有害影响。

[0049] 图4A示出了图4所示的实施例的变形例,其示出了具有叉状入口端的单个方形极杆电极405。在该示例中,齿间缝隙425被导电网格430(例如桥接缝隙425的一排平行细金属丝)覆盖。由于网格430导电,它可以至少恢复极杆电极405的已从完整形状发生形变的电势定义表面的一部分,所述形变是通过去除位于入口端的开放纵向槽的材料而造成的。这种情况下,可进一步减少离子导向装置中心处的电场干扰,同时仍然在细丝之间保留足够的孔隙区域,以使被RF限制电场排斥的离子从其穿过。应当理解,网格430(至少)覆盖面对离子导向装置的内部和/或轴的一侧的缝隙。这意味着在图4A的示意中的极杆电极将取代图4的装置中下方的极杆电极。

[0050] 图4示出了RF离子导向装置400包括具有入口端415(含有两个齿420和一个中间缝隙425)的极杆电极405的一个示例。然而,这个概念可扩展至具有不止两个齿的极杆电极,例如,如同图4B的示例中的那样,具有3个中间缝隙的4齿(“多个分叉”),其中视线垂直于极杆电极405的纵向延伸。这里,齿420以均匀厚度显示,但是如果齿的厚度不均匀也不会影响基本原理。例如,中间的齿可以比外部两个齿更薄。

[0051] 图4的方形电极剖面仅以示例的方式示出。本领域技术人员将会理解,离子导向装置内的RF限制电场由各电极的面对离子导向装置内部和/或轴的导电表面的形状决定。因此,可以使电极更薄或更平,如图4C中针对一个电极405例示的那样。

[0052] 其他实施例包括:极杆电极的叉状前端的齿与极杆电极的其余部分实质上分离,如图4D所示。这带来更大的灵活性,进而带来多样性。例如,可对分离的入口端进行加热,以进一步降低电极表面形成沉积物的倾向而无需承担散失热量被传递到离子导向装置的其他部分的风险。此外,分离的离子导向装置可用于桥接压差接口,其中叉状入口区域位于第一压力状态中(例如在离子源中),其余部分位于第二低压状态中(例如随后的真空级中)。

分离的配置还提供了向离子导向装置的入口端和随后部分施加不同的RF电压的可能性。例如,参照图2,分离的部分可采用元件206的位置和功能,即,从离子源中提取离子,同时可使离子导向装置的其余部分具有弯曲的形状,如元件Q0所示。

[0053] 更多的实施例包括:叉状前端的齿具有锥形侧壁,从而使得在面向离子导向装置内部和/或轴的一侧的缝隙或槽的宽度较小,而与之相比外面一侧的缝隙或槽的宽度更宽,如图4E所示。可以认为所述缝隙具有实质上为V型的剖面。当泵送或排气要求很高以使得需要迅速有效地抽出从上流高压离子源(例如电子电离源或化学电离源)流入离子导向装置的气体时,这种配置具有优势。另外,倾斜的锥形缝隙壁可进一步减轻污染问题,因为如果离子穿过齿间的槽开口并且最终撞击缝隙侧壁,该侧壁将以远离离子导向装置中心的方式倾斜,其能够在位于极杆电极之间的RF限制电场上提供某种屏蔽效果从而能够最大程度地减少产生影响的沉积物。

[0054] 此外,本领域从业人员应当理解的是,先前附图中的杆405的方形剖面仅为示例。也可在其他配置的极杆电极中实现根据本发明的特征,例如圆形(如图4F中的入口端前视图所示,作为离子碰撞的入口)、椭圆形等。图4至图4E的示例实施例并不视为受限于这一方面。

[0055] 此外,图4示出了RF离子导向装置400包括四个极杆电极405的示例。然而,这一概念可扩展至具有不止四个极杆电极(例如,如图4G中的入口端前视图所示的六个极杆电极,或者更多)的RF离子导向装置。

[0056] 齿和/或缝隙通常可具有直线边缘或(略)圆形的边缘。可用形状的种类通常不受限制。此外,可以将缝隙宽度设置为在沿着离子导向装置轴的方向上逐渐变小,如图4H中以示例方式示出的那样。在这种情况下,可使从包含槽的电极部分到整个电极部分的过渡更加平滑,这会有利于极杆电极之间的电场的连续性。

[0057] 图5示出了呈约90°弯曲的RF离子导向装置500的实施方式。四个电极505通常具有沿着其延长线的大部分为几乎方形的横截面(不可见),然而其不对称地呈锥形或者凹进以使离子导向装置500的入口515处和出口端处呈现较薄且扁平的端部。在这种情况下,可减少电极505扁平端部的电容量,该电容量可影响例如与相邻RF部件(未示出)的极杆电极的电容耦合的量级。电极505呈现出在入口端515处具有缝隙525的叉状前端设计(如上所述那样),并且在所示示例中电极505以夹心布置方式安装在两块板形不导电基板535之间。通过这种相当封闭的设计,离子导向装置500可用作碰撞池或反应池,其被保持在相比于其周围环境的更高的压力之下,并且被供应有适当的中性气体或反应气体。使用工具SIMION™进行的离子轨迹仿真显示:通过如图4和图5所示的那样切出离子导向装置入口端处的开放纵向槽,有用离子的传输基本不受影响,因此使用常规的完整离子导向装置电极和使用叉状离子导向装置电极的离子传输情况大致相当。图6示出了具有方形剖面的极杆电极的仿真传输曲线的示例,其中一组电极如图4那样在入口端分叉或为叉状,而对比组是完整的电极。本领域从业人员可理解的基本仿真参数为(简明):内半径 $r_0=3\text{mm}$ ;杆宽度 $=3.5\text{mm}$ ;杆长度 $=50\text{mm}$ 长;缝隙宽度 $=1/3r_0$ ;缝隙长度 $=3r_0$ ;测试离子 $m/z=264u$ ;离子平均动能 $=5\text{eV}$ ;离子能量分布FWHM宽度 $=1\text{eV}$ ;离子束入口直径 $=r_0/2$ ;离子束发散 $=15$ 度;每RF相位48个轨迹;总计8个相位=每RF电压数据点384个离子。

[0058] 可以看出,与完整的方形电极相比,使用叉状入口端没有明显削弱传输率。这一点



可通过以下事实进行解释：在离子导向装置的初始部分，有用离子移动到中心附近(或者换句话说，移动到轴附近)，其中电场基本不会受到电极切除部分的影响。使用SIMION™程序的电场计算进一步显示，等势线与双曲电场在很大程度上一致，并且在离子导向装置中心不会受到干扰，而是仅在靠近电极处受到影响，这对整体性能并不关键。

[0059] 修改后的离子导向装置电极的其他实施例的离子传输仿真曲线示出了完整的极杆电极与修改后的极杆电极之间较为相似的良好匹配，但为方便起见并没有在这里示出。

[0060] 通过离子导向装置电极的上述修改，可明显延长相应配置的离子导向装置的正常运行时间，而无需频繁清洁各个电极或在操作期间加热电极。

[0061] 中心缝隙的宽度可以实质上达到面向离子导向装置内部和/或轴的有效电极表面宽度的一半。与完整的电极相比，即使进行这种显著的修改，离子传输仍然基本不会受到影响(小于5%)。

[0062] 缝隙和/或齿的优选纵向尺寸为距离电极前端约一厘米，并且可发生变化，即，可以更长或更短，这具体取决于RF电压频率和离子束的轴线能量。在一些情况下，也可以将纵向尺寸延长至一厘米以上。

[0063] 根据本发明的另一方面，如同从图7明显看出的那样(单个电极在左侧，四个电极装置在右侧)，可通过在离子导向装置电极705的面对离子导向装置700内部和/或轴的表面设置凹进结构(例如切出的纵向凹槽或凹穴740)，来降低形成在射频离子导向装置700的入口区域715的沉积物造成的负面影响。在这种情况下，创建了相比于完整的极杆电极偏离于离子导向装置的内部和/或轴的电极表面。进入离子导向装置时被RF限制电场排斥的离子不会穿过极杆电极705，而是更可能在电极表面上发生撞击，但是，由于(在凹槽或凹穴内的)表面远离离子导向装置的轴，需要相当长的时间才会使得因池内RF限制电场而潜在形成于偏离表面的沉积物所造成的不利影响变得可检测。

[0064] 在对压力控制有特别高的要求时，具有凹进结构的变形例较有优势，这是因为极杆电极可用作气密元件，而这种配置可简化在电极之间的通道中的规定压力水平的建立。

[0065] 上述关于纵向端槽实施例的变型例也可用于凹进结构的实施例。例如，同样可使用导电网格(类似于图4A)覆盖凹进结构以使电势定义表面部分地恢复。此外，电极可以具有各种形状和剖面(例如圆形)，如同已参照其他前述附图进行说明的那样。

[0066] 已经参照本发明的多个不同的实施例描述了本发明。然而，应当理解的是，在不偏离本发明范围的前提下，可对本发明的各个方面或细节进行改变，或者对不同实施例的各个方面或细节进行任意可行的组合。通常，上述说明仅出于说明目的，并非为了限制本发明，本发明仅由所附的权利要求进行限定。

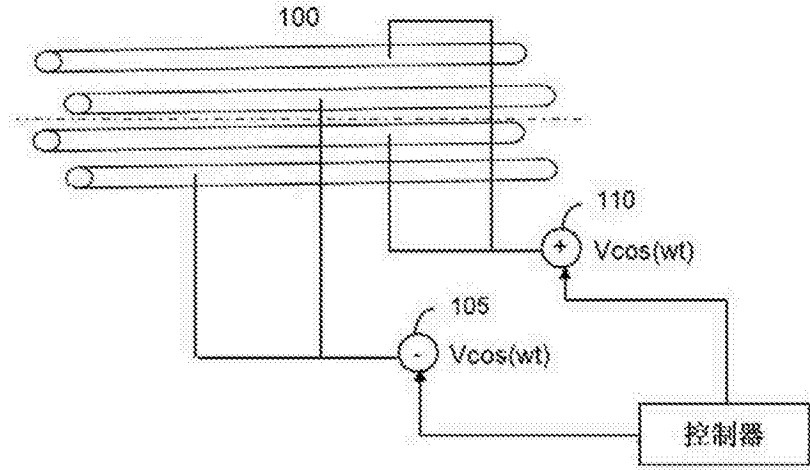


图1

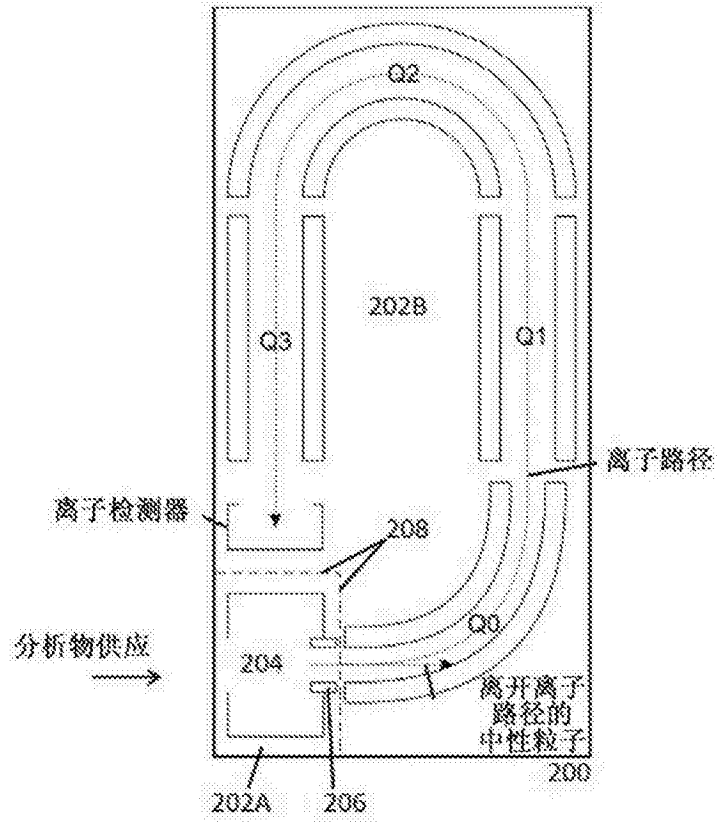


图2

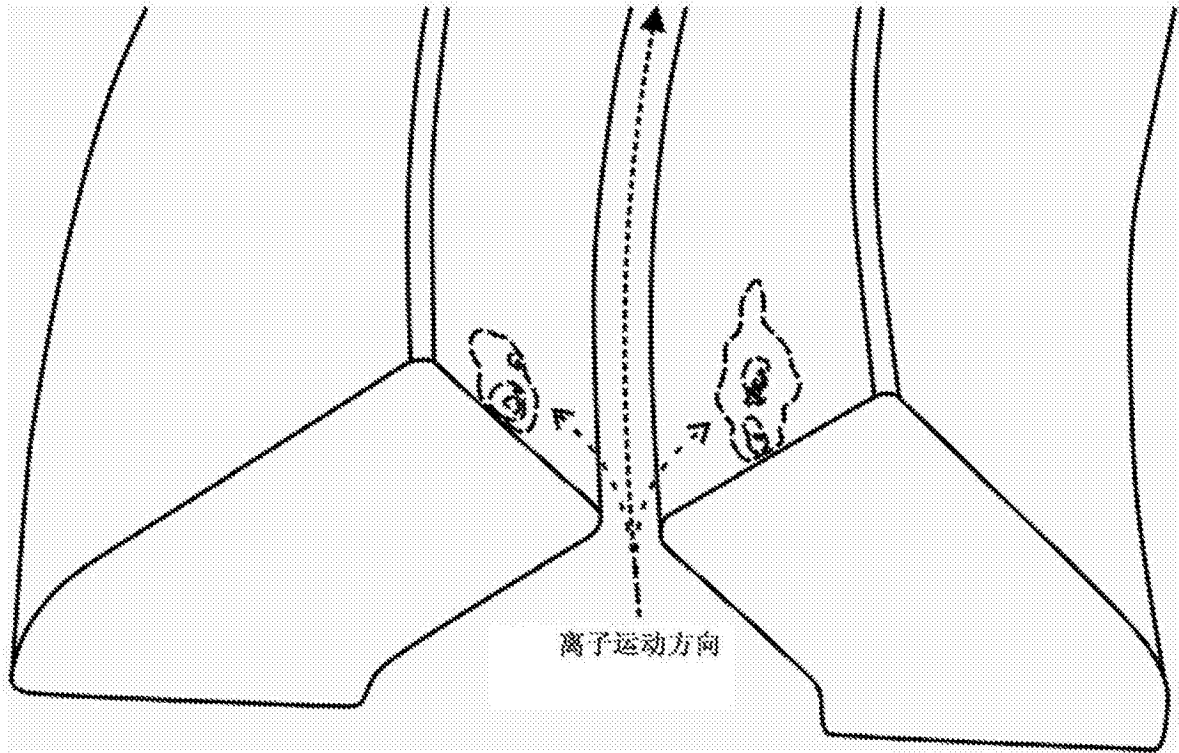


图3

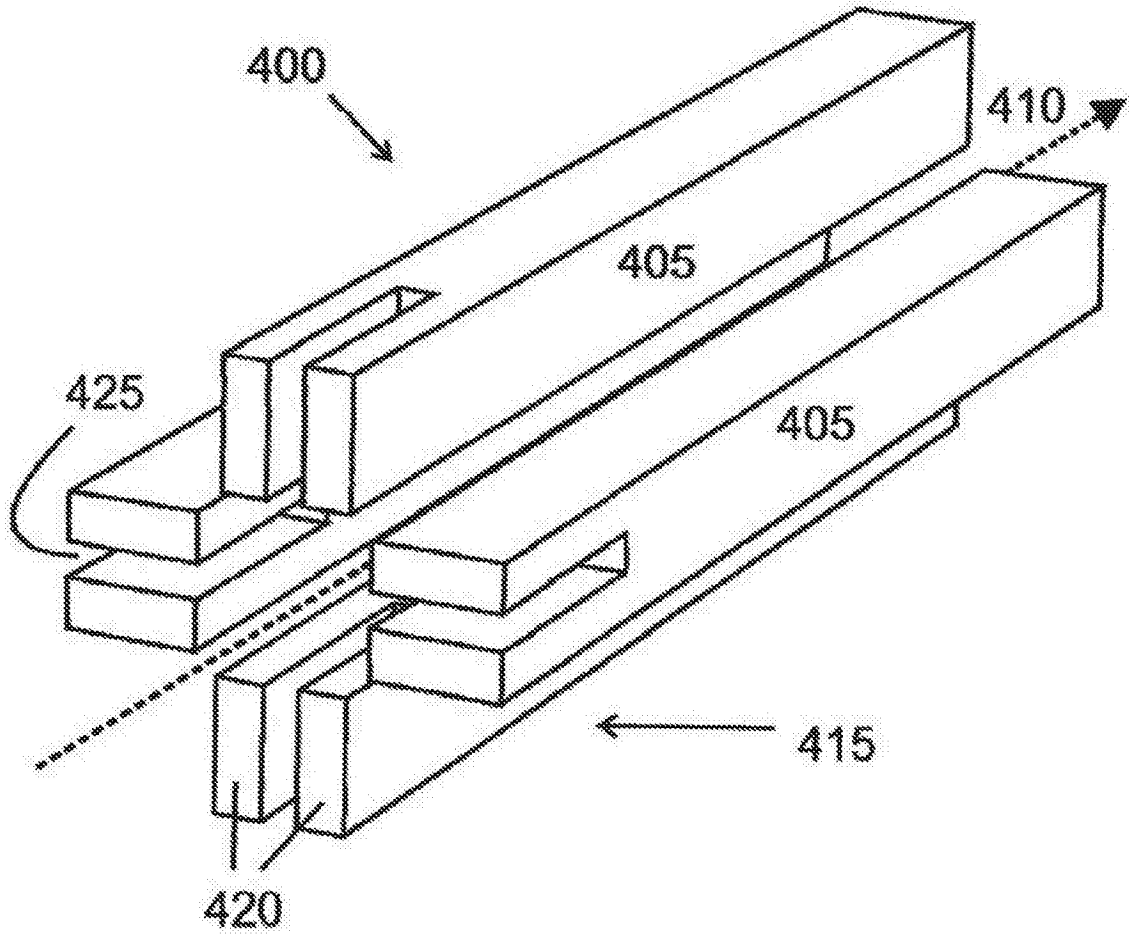


图4

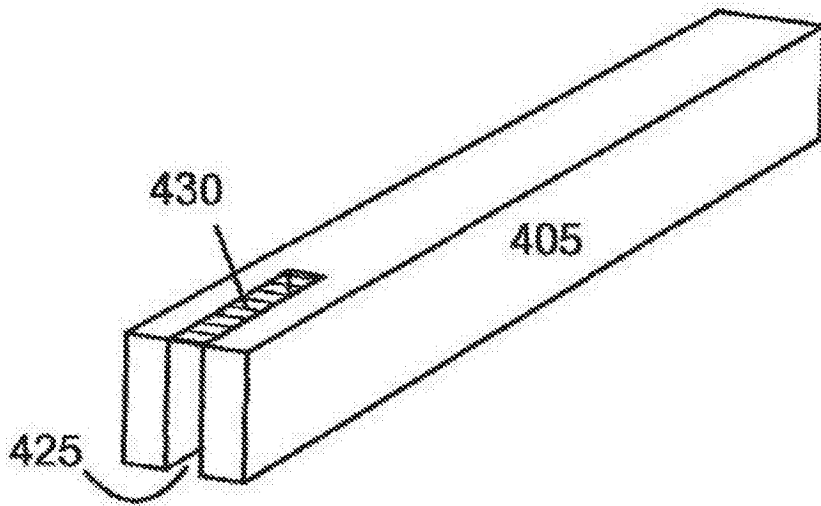


图4A

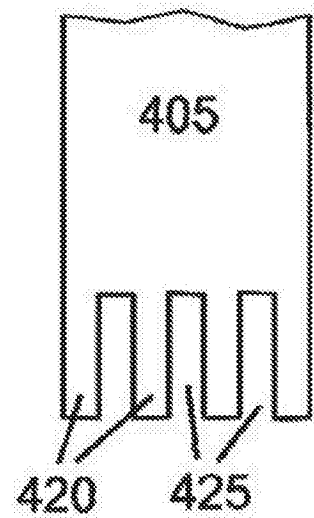


图4B

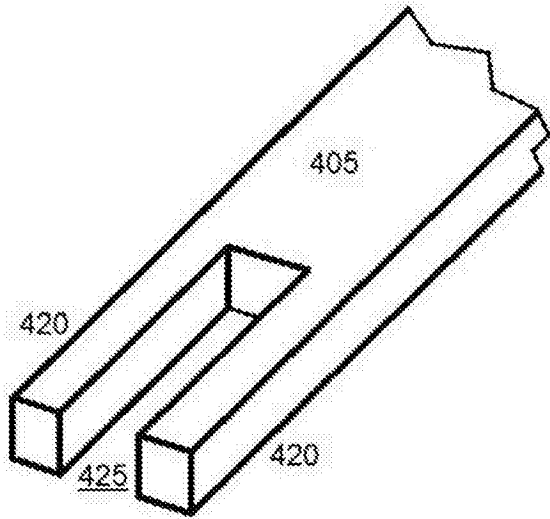


图4C

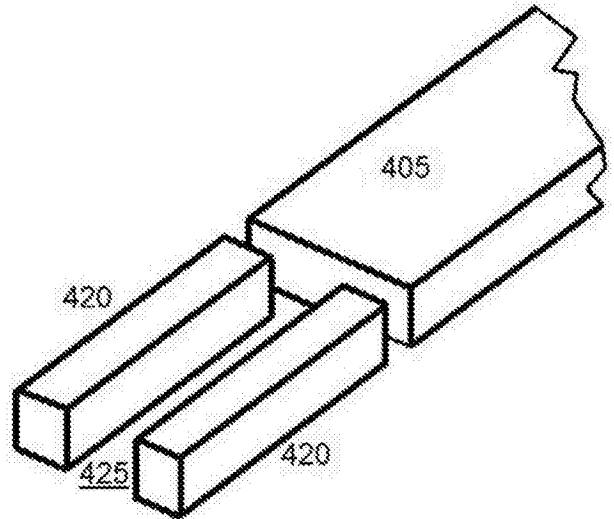


图4D

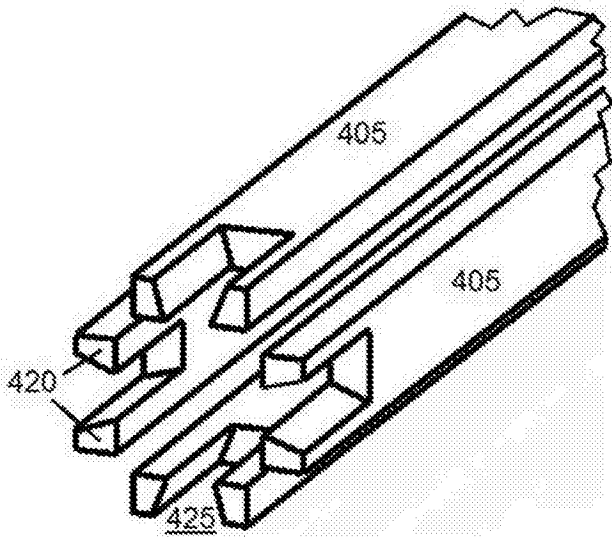


图4E

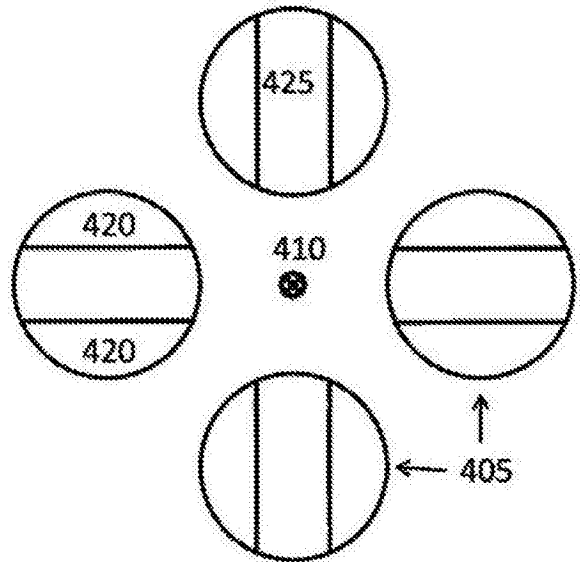


图4F

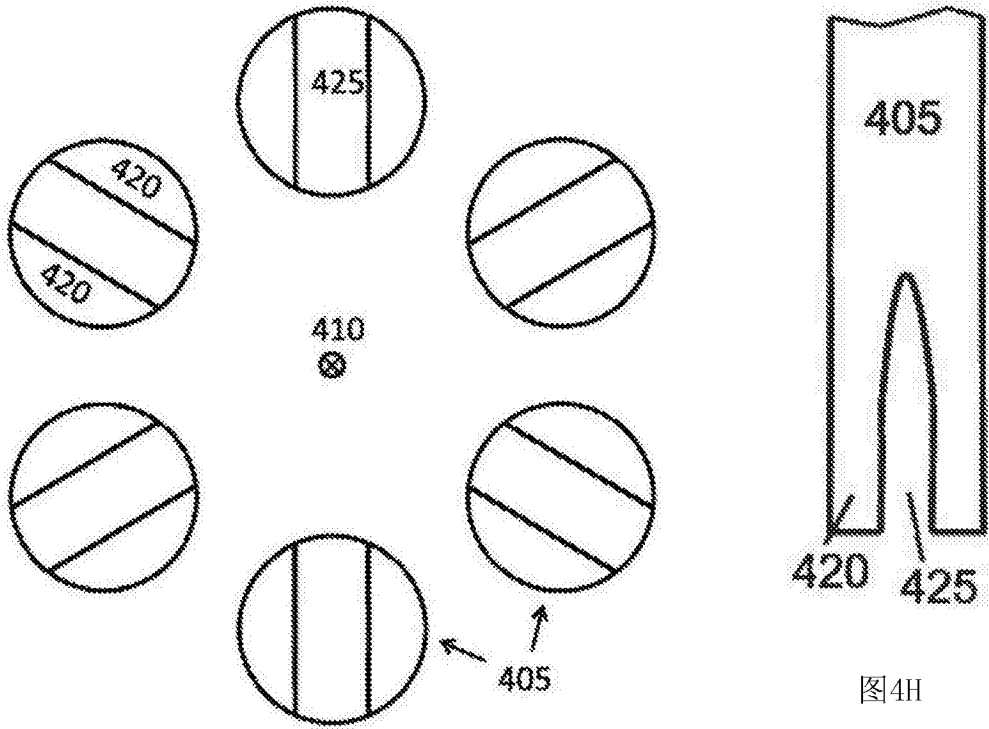


图4G

图4H

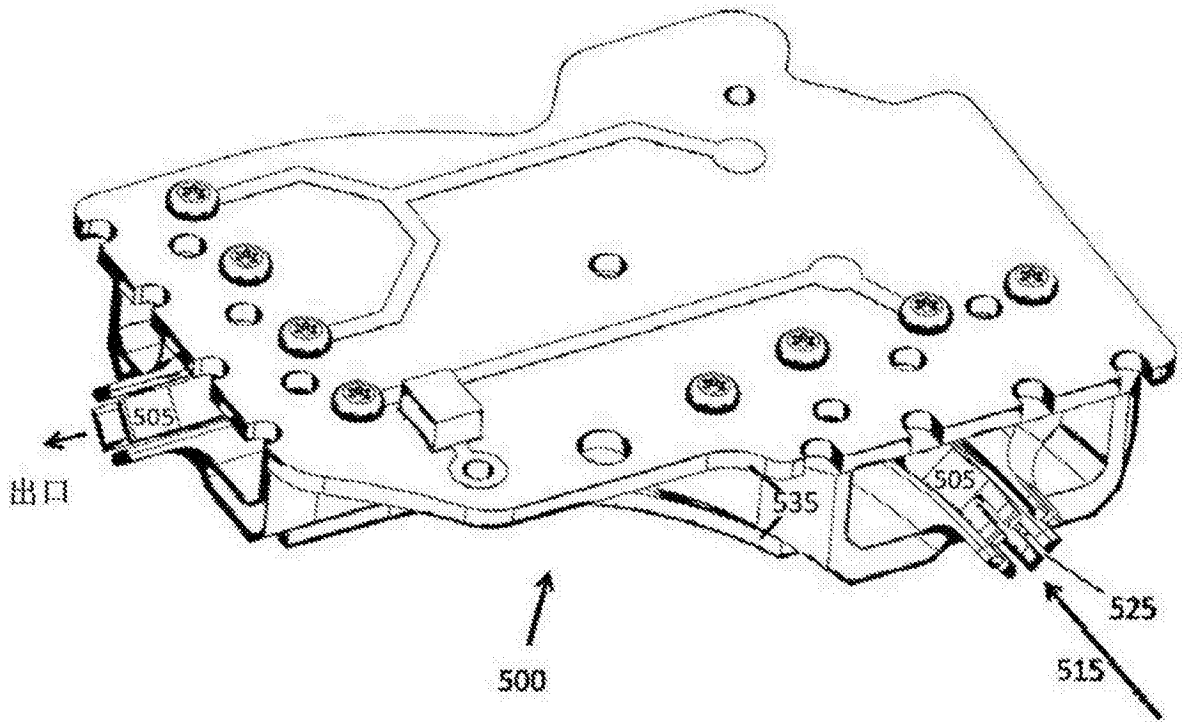


图5

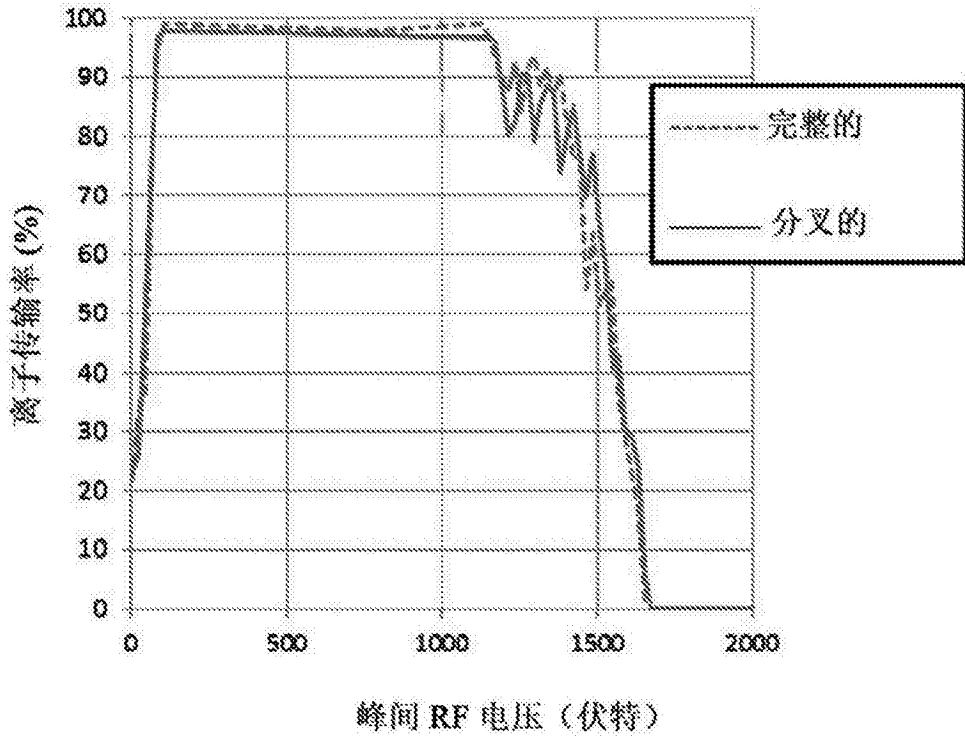


图6

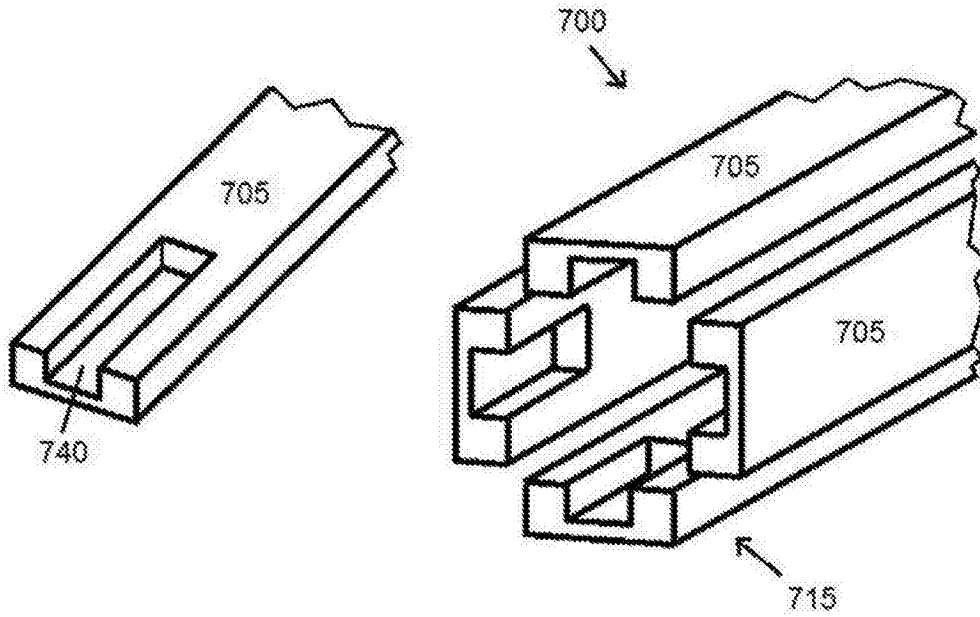


图7