

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01J 49/26 (2006.01)

G01N 30/72 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200410024946.8

[45] 授权公告日 2007年7月11日

[11] 授权公告号 CN 1326191C

[22] 申请日 2004.6.4

[21] 申请号 200410024946.8

[73] 专利权人 复旦大学

地址 200433 上海市邯郸路 220 号

[72] 发明人 丁传凡

[56] 参考文献

US6380666B1 2002.4.30

CN86108029A 1988.6.8

US5420425A 1995.5.30

US6157031A 2000.12.5

CN1271462A 2000.10.25

审查员 陈超

[74] 专利代理机构 上海正旦专利代理有限公司

代理人 陆飞 沈云

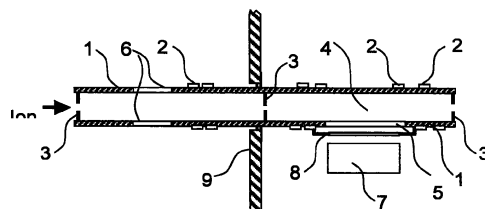
权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 6 页

[54] 发明名称

用印刷电路板构建的离子阱质量分析仪

[57] 摘要

本发明为一种用印刷电路板构建的离子阱质量分析仪。它是由一组印刷线路板合围而成的具有一中心对轴的二维立体结构，沿轴分为离子传输部和离子阱分析部，在其基底的内、外两表面上附有电导体材料构成的导电纹路。基底的外表面导体和内表面导体相联，基底的内、外表面被加工成所需的形状，以便能产生所需的电场分布。本发明制造成本低，质量分辨高，从而提高了质谱仪系统的性能价格比。



1、一种离子阱质量分析仪，其特征在于是由一组印刷线路板合围而成的具有一中心对称轴的三维立体结构；印刷线路板平行于中心对称轴，印刷电路板包含绝缘体或半导体的基底；在这些基底的内、外两表面上附有电导体材料构成的导电纹路；基底的内表面电导体被加工成所需形状，以便在传输、存储和分析离子的空间中产生所需要的电场分布，基底的外表面电导体和内表面的电导体相联，外表面电导体上被加工成所需形状，以便联接电源导体和电源，以及给内面的电导体充电使其产生所需的电场分布；沿轴分为离子传输部和离子阱分析部，外离子源产生的离子由离子传输部导入离子阱分析部。

2、根据权利要求1所述的分析仪，其特征在于在各部之间和整个分析仪的两端安装有金属片小孔板，该小孔板联结和固定其周围的印刷线路板。

3、根据权利要求1所述的分析仪，其特征在于在离子阱分析部的印刷线路板向内一侧由中间的垂直金属条带隔开成离子传输和离子导引两个区域，高频电压加在中间的金属条带上且保持边上的金属条带接地，这些金属条带产生以四极场为主的电场。

4、根据权利要求1所述的分析仪，其特征在于在离子阱分析部的印刷线路板内侧面上，线条纹路为平行于轴线的直条阵列，这些直条沿轴向分为至少三段；通过阻容电压分配元件，在每段的各平行条路间产生高频电压的分布；在各段条路间产生直流电压的差别；印刷线路板围拢成一个直线型离子阱后，离子能在轴向受到直流电场的束缚，而在与轴垂直的方向受到高频电场的束缚。

5、根据权利要求1所述的分析仪，其特征在于由四块印刷线路板合围而成一个截面为矩形的管道；在相对的两块印刷线路板上对应的离子阱分析部的内侧面上，线条纹路为同心的多个椭圆环；在另外两块相对的印刷线路板上的离子阱分析部的内侧面上，纹路为一组双曲线线条；通过阻容电压分配元件，在各条路间产生高频电压的分布，进而在印刷线路板合围而成空间内产生高频椭圆形双曲电场。

6、根据权利要求1至5之一所述的分析仪，其特征在于进一步包含一个位于离子阱分析部旁侧的离子探测器，在进行质谱扫描时离子从离子阱分析部以垂直于轴线的方向射出，穿过印刷线路板的开槽或缝隙打入离子探测器。

7、根据权利要求1至5之一所述的分析仪，其特征在于在所述离子阱分析部迭加有一个二极交变电场；该二极交变电场在指向离子探测器的方向加速离子，离子与此二极电场共振时实现出射或碰撞分解。

8、根据权利要求6所述的分析仪，在所述开槽或缝隙处安装有细薄金属网。

9、根据权利要求1至5之一所述的离子阱质量分析仪，其特征为由印刷电路板合围而成的多边管道状离子阱分析部有2-5个并列。

10、一种离子阱质谱分析仪的制造方法，其特征在于包括：用印刷电路板工艺制备多层印刷电路板；数块印刷电路板围成一个轴向多面管道状，通过焊接金属片把结构固定起来；多层印刷电路板向内一侧的板面上的导电纹路设计为能在合适的电压驱动下在管道内的工作空间里形成离子传输、捕集和质谱分析所需要的电场；在多层印刷电路板向外一侧的板面上，或向内一侧的板面边缘处的线路上焊装引线 and 电压分配元件。

11、根据权利要求10所述的分析仪制造方法，其特征在于其印刷电路板工艺制作工艺包括光刻、钻孔、制镀膜过孔、铣槽、槽内镀膜以及在向内一侧的板面上的导电纹路上镀金膜。

12、根据权利要求11的分析仪制造方法，其特征在于包括在向内一侧的板面或基板材上添加高阻半导体材料。

13、根据权利要求12所述的分析仪制造方法，其特征在于其中向内一侧的板面上的导电纹路包括纵向直条阵列，每一直条都有过孔与其他层线路连接，所述纵向直条纹路的间隙处有平行于轴线的开槽并在槽内镀膜。

14、根据权利要求10所述的分析仪制造方法，其特征在于其中印刷电路板向外一侧板面上的电压分配元件包括表面安装型电阻和电容。

15、根据权利要求10或14的分析仪制造方法，其特征在于其中的阻容电压分配元件是用来将外来驱动电压分配到向内一侧的板面上的导电直条上，其参数设置使分配的比例满足在所谓离子阱分析部中生成近似的二维四极场的条件。

16、根据权利要求15的分析仪制造方法，其特征在于阻容参数设置的分配比例可受到外接可变电阻的调节，有选择地在离子阱分析部内生成的近似二维四极场中叠加少量高次多极场。

## 用印刷电路板构建的离子阱质量分析仪

### 技术领域

本发明属质量分析技术领域，具体涉及一种用印刷电路板构建的离子阱质量分析仪。

### 技术背景

有多种离子光学方法可以产生四极电场。而这些不同的离子光学系统又可以有不同的用处。比如说,用作传输离子用的离子导引装置;用作质量分析或质量选择用的四极滤质器;以及用作储存和分析离子用的离子阱等。在上述各种装置中,四极滤质器一般需要工作在高真空条件下,而离子导引和离子阱在较低真空条件下就可以工作。

将离子导引和离子阱结合起来,人们发明出了离子阱质量分析仪,或称之为离子阱质谱仪。它是目前可以和多种离子源结合起来使用的一种主要串级质量分析仪。这种具有串级质谱分析功能的仪器还可以用于分析复杂分子体系的结构,已被广泛用于生物和化学体系的成份和结构分析。

通常,四极离子光学系统需要有很高的机械加工精度,部分零件甚至还需要被加工成双曲面。这种要求高精度的机械加工和组装工艺,使得生产出的产品非常昂贵,因此产量也很低。另外,虽然用作离子导引的电极系统不要求很高的机械加工精度,但它们也不能用作质量分析。自从具有质量分析功能的离子阱被商业化以后,人们认识到,使用一个偏离理想形状的离子阱的电极系统反而可以得到较好的质量分析结果。例如,一个经过特别变形的离子阱的电极系统也可以得到很好的离子信号强度和分辨能力。更进一步,人们甚至考虑用圆筒型的电极代替双曲面电极来构建离子阱。这种低造价的离子阱也可以适当地调节某些参数而得到超过 1000 的质量分辨能力。例如,改变圆筒型的内径和入/出射孔径,以及两个端盖电极之间的距离等。

对于三维离子阱质谱,其最大的缺点是其的离子存储空间较小。当被存储的离子数目较大时,多个离子间的空间电荷效应将破坏它的质量分辨能力。近年来,人们在研究中发现,二维的直线性离子阱可以存储比三维离子阱质谱多至少一个量级的离子,而且可以避免明显的空间电荷效应影响。这种二维的线性离子阱在实际的应用中已变得越来越广泛。图 1 给出了一种典型二维线性离子阱的一种结构,它和由三个部分构建的四极质量分析仪很相似。在图 1 中,加在部分一和部分三的直流电压比加在部分二上的直流电压高。当离子(这

里假定是正离子)满足四极稳定条件时,将被加在垂直于离子阱轴向的射频电场和加在平行于离子阱轴向的直流电场束缚住,质量分析也可以在此时进行。

但是,即使是直线形离子阱,其机械加工也不是很容易。电极的加工要求有很高平行度和高对称性的组装,使得生产成本变得很昂贵。

专利号为 CN85102274 的中国专利描述了一种用正方型电极构成的四极场系统,它可以产生沿 0 边界的连续变化的电位。理论上,这种装置可以在电极内部产生理想的四极电场。但实际上,由于很难得到具有高热稳定性的电阻涂料。所以当高压射频电场加在此电阻涂料上时,功率的损耗将导致温度的上升,进而导致装置匹配的失调,最终导致射频电源的失调。尽管可以用开关线路来驱动四极电场以避免上述问题,但不平衡的温度上升将仍可导致电极内部的电场分布,最终破坏质量分析的进行。

近年来,人们一直在继续寻找构成质谱仪新材料的研究工作。

## 发明内容

本发明的目的在于提出一种制造成本低,质量分辨高的离子阱质量分析仪及其制备方法。以便使目前一些商用的质谱仪系统得以简化和变得更廉价。

本发明提出的离子阱质量分析仪,是由一组印刷线路板合围而成的具有一中心对称轴的三维立体结构;印刷线路板平行于中心对称轴,印刷电路板包含绝缘体或半导体的基底;在这些基底的内、外两表面上附有电导体材料构成的导电纹路;这里,基底的内面是指朝向中心对称轴的一面,基底的外面是指远离中心对称轴的一面。基底的内面上被加工成所需形状,以便可以产生用来传输、存储和分析离子的空间中产生所需要的电场分布,基底的外表面电导体和内表面的电导体相联,外表面电导体上被加工成所需形状,以便可以联接电源导体和电源,以及可以给内面的电导体充电使其产生所需的电场分布。

上述离子阱质量分析仪中,由数块印刷线路板围成一个多边管道,包围其中的轴向工作空间;向内一侧的印刷线路板面上的导电纹路能在合适的电压驱动下在工作空间内形成离子传输,捕集和质谱分析所需要的电场;向外一侧的印刷线路板面上的导电纹路用于安装引线、电压分配元件和传导电信号,电信号通过板中的过孔或镀膜槽施于内侧纹路。

上述离子阱质量分析仪中,沿轴分为离子传输部和离子阱分析部。外离子源产生的离子由离子传输部导入离子阱分析部。其各部之间和整个分析仪的两端安装有金属片孔板,该小孔板联结和固定其周围的印刷线路板,并起限制气流导通的作用。

上述离子阱质量分析仪中，印刷线路板向内一侧的面上的电场产生纹路在合适的电压驱动下在分析部内产生以四极场为主的电场。在离子阱分析部的印刷线路板内侧面上，线条纹路为平行于轴线的直条阵列，这些直条沿轴向分为至少三段；通过阻容电压分配元件，在每段的各平行条路间产生高频电压的分布；在各段条路间产生直流电压的差别。印刷线路板围拢成一个直线型离子阱后，离子能在轴向受到直流电场的束缚，而在与轴垂直的方向受到高频电场的束缚。

上述离子阱质量分析仪中，具体可以由四块印刷线路板合围而成一个截面为矩形的管道。在相对的两块印刷线路板上对应所谓离子阱分析部的内侧面上，线条纹路为同心的多个椭圆环；在另外两块相对的印刷线路板上所谓的离子阱分析部的内侧面上，纹路为一组双曲线线条。通过阻容电压分配元件，在各条纹路间产生高频电压的分布，进而在印刷线路板合围而成空间内产生高频椭圆形双曲电场。

上述离子阱质量分析仪中，还进一步包含一个位于离子阱分析部旁侧的离子探测器，在进行质谱扫描时离子从离子阱分析部以垂直于轴线的方向出射，穿过印刷线路板的开槽或缝隙打入离子探测器。在所谓开槽或缝隙处可安装细薄金属网，以防电场畸变。

上述离子阱质量分析仪中，离子阱分析部允许迭加一个二极交变电场；该二极交变电场在指向离子探测器的方向加速离子，离子与此二极电场共振时实现出射或碰撞分解。

本发明的离子阱质量分析仪，也可以由印刷线路板合围而成数个(2个以上，一般为2-5个)并列的多边管道状离子阱分析部。每个分析部都具有上述对分析部描述的特征。在合适的电压驱动下，各分析部中离子按照其质荷比有选择地达到共振激发，从一个离子阱分析部射入下一个离子阱分析部或离子探测器。

上述离子阱质量分析仪的制造方法，包括：用印刷线路板工艺制备多层印刷线路板；数块印刷线路板围成一个轴向多面管道状，通过焊接金属片把结构固定起来。多层印刷线路板向内一侧的板面上的导电纹路设计为能在合适的电压驱动下在管道内的工作空间里形成离子传输，捕集和质谱分析所需要的电场；在多层印刷线路板向外一侧的板面上，或向内一侧的板面边缘处的线路上焊装引线 and 电压分配元件。

上述方法中，印刷线路板工艺制作工艺包括光刻、钻孔、制镀膜过孔、铣槽、槽内镀膜以及在向内一侧的板面上的导电纹路上镀金膜。其中，向内一侧的板面或基板材上添加高阻半导体材料。向内一侧的板面上的导电纹路包括纵向直条阵列，每一直条都有过孔与其他层线路连接。在纵向直条纹路的间隙处有平行于轴线的开槽并在槽内镀膜。其中印刷线路板向外一侧板面上的电压分配元件包括表面安装型电阻和电容。

上述方法中，阻容电压分配元件是用来将外来驱动电压分配到向内一侧的板面上的导电直条上，其参数设置使分配的比例满足在所谓离子阱分析部中生成近似的二维四极场的条件。其设置的分配比例可受到外接可变电阻的调节，有选择地在离子阱分析部内生成的近似二维四极场中叠加少量高次多极场。

### 附图说明

图 1:前人所设计的一种离子阱结构示意图;

图 2:本发明所设计的一种用印刷线路板所建造的作为离子阱质量分析仪的结构示意图;

图 3:本发明所设计的一种用四块印刷线路板所建造的具有正方形截面隧道形状的结构示意图;

图 4:(A),本发明所设计的一种用四块印刷线路板所建造的内表面结构示意图;(B),沿中心对称轴方向的直流电压分布示意图;

图 5:用于本发明的工作电压分配的一种电路示意图;所有电阻,电容等元件都安置在印刷线路板的外表面。

图 6:一种用印刷线路板所建造的质量分析仪的例子。此质量分析仪是基于离子共振激发和引出的方法;

图 7:计算模拟显示,被束缚的离子可以被从印刷线路板所建造的离子阱中共振激发和引出。

图 8:另一种用四块印刷线路板所建造的椭圆形离子阱的例子;

图 9:印刷线路板所建造仪器结构截面图。图中显示了为避免空间电荷效应在电极间隙的镀膜和栅网。

图 10:一个由多个离子阱通道所组成的离子阱质量分析仪。离子可以根据它们的质量和电荷比被引出到下一个离子阱通道。

图 11:一个具有菱形结构的印刷线路板离子阱示意图。

图中标号: 1 为印刷电路版, 2 为印刷电路版外表面上的接线点, 3 为带有小孔的金属板, 4 为通道空间, 5 为狭缝, 6 为印刷电路版上被刻蚀掉的部分, 7 为离子探测器, 8 为用于固定印刷电路版支腿, 9 为隔板, 10 为印刷电路版外表面上的导电条带, 11 为印刷电路版内表面上的导电条带, 12 为离子门, 13 为离子分析单元, 14 为离子截停部, 41 为电容, 42 为电阻, 43 为高频电源, 44 为直流电源, 51 为交流电源, 52 为变压器, 53 为直流电源, 71、72、73、74 为电极, 75 为门, 76 为离子存储区, 77 为狭缝, 91 为镀

膜槽, 92 为金属镀膜层, 93 为出口狭缝, 94 为金属网, 95 为离子云, 96 为选出离子, 97 为再选离子。

### 具体实施方式

下面结合图例来进一步详细描述用印刷电路板所建造的离子阱结构。图 1 所示的为一个由用印刷电路板所建造的离子光学装置。在此装置中, 四块长条形的印刷电路板按相邻两两相互垂直地组成一个截面为正方形的通道状的空间结构 4。加工有小孔的金属板 3(其详细结构如图 3 所示), 其作用有二, 一是将印刷电路板固定在一起, 二是将空间 4 隔开成几个更小的空间。图 2 显示了两个隔开的更小空间。其左边的空间主要功能是将离子源产生的离子接收到并传输到下一个空间部分中去。此部分一般被称为离子导引部装置。其工作压力一般比较高。其右边的空间主要功能是存储和分析离子, 因此我们称它为离子“存储部”。存储部通常需要较低的气体压力或采用不同的气体组份, 因此有小孔的金属板 3 还具有限制气体流量并使得可以对不同部分进行差分抽真空的作用。印刷电路板装置被隔板 9 隔开成不同的真空室, 每个真空室由不同的抽真空设备抽真空。在右边的空间里, 由于安装了粒子探测器(通常由电子倍增器组成), 其真空度一般要求保持在  $10^{-5}$  托左右。在由印刷电路板构建的离子导引装置和离子存储装置区间内, 其气体压力取决于各自区间的真空泵抽速, 小孔尺寸以及在印刷电路板上所加工成的沟槽或小孔的大小。

图 2 给出了在离子源和离子存储区域内只有一个差分抽气装置的结构示意图。事实上, 当离子源部分压力更高时, 如在大气压下, 整个系统可以有多个差分抽气装置。在这种情况下, 印刷电路板构建的离子光学装置将设计得更长, 以穿过多个差分抽气室。离子导引部和小孔隔板也应有多个。

如图 3 所示, 印刷电路板至少应有两个金属层, 分别覆盖在印刷电路板的两个表面。通常所用的制作印刷电路板的“印刷刻蚀”方法可用来制备导电路径。在内表面上所制备的线路形状需按照特定的设计, 使得它们在外加电压的作用下可以产生所需要的电场分布。外表面上所制备的线路形状必须保证可以按需要传输电信号以及固定各种所需的元器件。(如果不用这些元器件, 则更多的真空引线将被用于将外接的工作电源连接到各个工作电极上)。内表面上的电极可以由不同的几何形状的导电过孔与外表面上的金属电极相联。

带有小孔的金属板 3 上有多个支腿(图 3 中的 8)它们的作用是用来固定印刷电路板的。在印刷电路板中对应于支柱的地方加工有小孔。这些小孔使得支腿可以穿过并焊接在外表面的金属面上。如 12 所示。

图 4(A)还显示了印刷电路板内表面上的金属条带。从中可以看出, 三个竖向的金属条带上各有两个小孔供固定带有小孔的隔板用。



图 4(A)还显示了印刷线路板的两个不同区域。这两个区域由中间的垂直金属条带隔开,且它们的形状也不相同。在离子传输和离子导引区域,当高频电压加在中间的条带上且保持边上的条带接地时,这些金属条带可以产生主要成份为四极场的电场,但含有相当成份十二极场的电场分布。此种电场分布形式,可以将离子汇聚在中心对称轴附近并被传输到下一个用印刷线路板构筑的区域。这里需要指出的是,离子在运行过程中与系统中的残余气体分子碰撞是不可避免的。

整个离子导引部可以被分成几个更小区域(图 4 中只给出了小区域 3 个)。每个小区域中将含有相同的高频电压分布,但加到每个小区域中的直流电压各不相同。直流电压的作用是提供给离子一个轴向电场,使得它们可以在这个电场作用下,穿过离子导引区域并进入下一个区域:即离子存储部区域。直流电压的作用还有,在离子被引出离子阱前收集离子。此外,直流电压还可以用来在中心对称轴方向上加速离子,使得它们可以被碰撞活化。

构筑离子阱必需要有三个组成部分,即离子门 12,离子分析单元 13 和离子截停部 14。除了垂直于轴向的条带之外,导电图案实际上是由横跨三个部分且各组对齐列阵状的导电条带组合而成。每一行的条带将连接到相同的高频电源上。中间的一行电压值最高,两边的电压较低或者为零。但是,还有另外的直流电压加在不同条带上,且加在 13 上的电压要比加在 12 上的要高。因此它们将在轴向上形成势阱 16。加在离子门上的直流偏压可以调降到足够低,使得离子可从离子导引区进入离子存储部(即开门)。它也可以调升到足够高,使得离子既不能进入也不能返回到离子导引区(即所谓的关门)。

作为一个实例,图 5 列出了一个可提供高频和直流电压分布的阻容电路图,其元件包括电容 41 和电阻 42。它们被连接在 PCB 的外表面。图中的圆圈表示用来将电信号从一层进入另一层(此处表示从外表面到内表面的过孔)。图中还给出了高频电源 43 和三个直流电源 44,以及所提供的电压  $V_g$ ,  $V_t$  和  $V_s$ 。他们分别代表门电压,存储电压和截停电压。RC 电路的设计应使得高频电压在横向,即垂直于轴向方向上逐渐减小。直流电压在不同的部分有所不同。由 PCB 所组成的离子存储部可以使得在垂直于轴的方向上有一个高频电场分布,且此电场沿轴向均匀分布,以使得离子受到径向束缚。与此同时。在轴向分布的 DC 电场可以阻止离子从离子阱的两端逃离出去。

图 4B 给出了由 DC 偏压所形成的不同部分 DC 电位沿轴向的分布。提供离子导引部分电压分配的线路图没有列出,但它和上面提到的应相似或更简单。部分元件可以直接固定和连接在 PCB 的外表面上。

基于上述描述,下面给出离子分析的具体步骤:

由外部离子源产生的离子通过第一个加工有小孔的真空隔离板被引入到离子导引部分。通过控制加在 PCB 离子导引部分内表面上的电源频率和幅度,使得具有一定质荷比的离子可以被传输到下一个部分中去。离子在离子导引空间的运动轨迹为振荡运动。又由于此区域内较高的气体压力,离子的振荡幅度将由于和周围的气体分子碰撞而越来越小,也即动能越来越小。同时由于加在不同部分的 DC 所产生的较小轴向电势差可以保持离子在轴向方向上具有一定的动能。此动能使得离子可以沿着轴向继续运动到下一个空间部分。在此被称为离子导引时间,当门电压被调降到离子导引最后一级相近的电压时,离子将通过第二个小孔并继续向前运动直到它们被加在离子门的 DC 所挡住。同时加在离子阱区域内的高频电场将被调到可以保持具有一定质荷比的离子具有稳定的运行轨迹。

在离子阱内,离子作前后运动。它们被径向的高频四极电场和轴向的 DC 截停电场所束缚,并通过碰撞失去动能。当离子引入过程完成后,门电压被调至高位使得离子不再能进入离子阱内并产生一个轴向对称的势垒。被冷却下来的离子将被聚集到中心轴附近并在分析区间内分布。

下一步,高频存储电场在仪器控制下进行扫描。扫描可以是固定频率扫描幅度与时间的关系,也可以是在幅度固定的情况下作频率扫描。在每一种情况下,原来处于稳定状态下的离子变成不稳定而被驱逐出离子阱。部分被驱逐出的离子将穿过 PCB 上的狭缝 5 并到达安装在 PCB 板上的离子探测器探测到。为确保离子被在狭缝方向上被逐出和被探测到,所使用的高频电场中可含有适当的直流成份。此直流成份可使得离子只在某一方向上不稳定(即在狭缝和离子探测器方向上)。DC 电压可用不同方法加入。有关离子不稳定性的控制原理已由前人作详细描述。

图 6 给出了一种加入 DC 电压的方法,即用两个可控的 DC 电压源 53,每个串接到高频电源 43 的一个相上。

另一种逐出离子的方法即所谓的共振逐出。图 6 是一个共振逐出模式下提供给 PCB 中离子阱部的通用连线图。图中并未列出所有的电场分布元件。这里并没有直接将 AC 电源 51 连在四极电极上,而是使用了一个变压器 52 将电源 51 偶合并分配到 PCB 的左右两边部分。这样做的目的是为了使 PCB 的电极组件既可产生存储四极场又可产生偶级激发场。即离子的运动可以在共振条件被满足时被激发。关于离子共振激发的原理已有详细描述,这里不再赘述。

当高频电场作离子扫描并将离子逐出狭缝而被探测时,则得到所需要的质谱。

共振激发还可以用于母离子的选择和解离。因此串级质谱的功能也可以在离子阱中完成。母体离子的选择和质量选择性活化的功能与通常质谱中的作用相同。

这里需要指出的是,高频电场不一定必需是正弦波,虽然目前大多数 RF 振荡器都产生正弦波。PCB 离子阱也可以使用开关电源驱动。在此情况下,PCB 材料的介电特性可能会有较小的影响。由于没有可调谐的 LC 振荡器。即没有调谐问题,参数及元件的选择可以更为简单。

图 7 给出了共振逐出离子阱的模拟计算结果。在模拟计算时,我们假定由 PCB 组成的离子阱截面为正方形。其面积为 10X10 平方毫米。每个 PCB 内表面上有五个导电条带。两两 PCB 相连接的拐角处相互联结并接地。离子阱部四周共有 16 个电极。它们可形成四极存储电场和偶级激发场。每个中间条带上加载+500 或-500V 的电压。中间条带边上的八个条带上各加载为 72%~80%的电压。当存储 RF 频率为 460KHz,激发频率为 115KHz 时,6 个受共振的离子加大其振动幅度并从狭缝中被逐出。尽管 16 个条带不能形成完全的四极电场,计算模拟显示,此时仍可得到高达 1500 的质量分辨能力和每秒 800amu 的扫描速度。

上面描述的仅是用 PCB 构造质谱计的一个实例。事实上还有很多其他方法可以构造所需要的用作离子传输和质量分析电场。例如,三段式的直线型条带电极所组成的离子质量分析部也可以用曲线形的条带电极所组成。图 8 给出了包含在正方形通道内的由四个 PCB71,72,73 和 74 所构造的椭圆离子阱的例子。此例中,两个相对电极 71 和 73 上的纹路为椭圆形,而另外两个相对电极 72 和 74 为双曲形。门 75 被加载可变的 DC 电压。它被用来将离子引入离子存储区 76。至少有一个 PCB 上有一长形孔或狭缝 77,它被用来逐出离子。此小孔或狭缝上可以装备有金属网。椭圆离子阱一般很难用通常的机械加工方法加工制作。但与别的 3D 离子阱相比有其特殊的功能。

PCB 技术可以将非常复杂的加工技术简化成简单的印刷刻蚀工序,因此可以大大的降低生产成本。

PCB 的基底材料必须是相当坚固和非多孔性的。这些要求是为了防止在使用过程中电极变形和吸附脱附气体。标准的 FR-4 板可用来制造中短期使用的并具有中等分析精度的仪器。为避免 PCB 上非金属积累表面电荷,可以用具有高电阻率的材料,如有机导电材料去喷涂这些部分。此外,也可以用将 PCB 基质材料改性,如掺杂的方法以降低绝缘性质。如图 9 所示,在要求具高精度电场的区域,如分析区最好用镀膜槽而不是简单地在铜箔面上上刻蚀。PCB 内表面上的金属层必须较厚,如>0.1MM。若能作表面镀金则更好。出口狭缝 93 必须用导体涂抹。若设计成较宽的狭缝,为降低电场畸变,可用金属网 94 覆盖在狭缝 93 上。

本发明到现在为止都是描述如何构造单通道的 PCB 设备。事实上,也可以用 PCB 来构筑多通道的离子传输和质量分析系统。将多个通道的装置结合在一起可以较大地提高离子传输和质量分析效率。尤其是当被用作串级质谱分析时,通常单个离子阱可以用时序操作方法用作串级质谱分析。每个阶段,除了选择出的母离子外,其余离子都被逐出离子阱外。如果需要对另外一个母离子做分解,则必需重新引入离子,再作重复实验。此种实验将消耗大量的实验时间和样品。

图 10 给出了用 PCB 构造的有多个平行的离子阱通道所组成的质量分析器。不同于上述的逐出所有非母体离子,这里选择母体离子的过程是只将母体离子逐出到下一个离子阱中,逐出的方法与前述的用于质量扫描的共振逐出法类似。不同点仅在于用第二个离子阱代替原来的探测器。第二个离子阱通道也可采用同样的高频电压来驱动。而这里用的偶极激发的强度和相位可设定为:或者是将离子进一步激发并逐出到下一个阱通道中。或者是有效地捕集这些离子,并进行碰撞解离成碎片的实验,或者是给离子减速。在作解离成碎片的实验的情况下,子离子在第二个阱中形成并被存储在下。接下来,某一种子离子 96 也可以被进一步选出来被逐出至再下一个离子阱中(即第三个离子阱中)。此离子可被更进一步解离成碎片离子 97。最终三次串级质谱实验的结果可用共振逐出的方法逐出第三个离子阱而到达离子探测器中被检测到。由于在此种情况下,PCB 的两面都被加工成离子阱通道,所有的电子元件可以固定在额外伸长的 PCB 板上。与通常的串级质谱分析方法不同的是,在此实验中,每一步只是选出拟研究的离子,而剩余的离子则全部保存在离子阱中。我们还可以从剩下的离子中选出下一个离子作相同的研究而不是重新将离子引入离子阱中。由于 PCB 离子阱的离子存储能力很大,多步骤的离子分析方法仍可保证良好的信号强度。因此,这种方法不仅是可行的,且具有更高的效率。另一方面,由于构筑 PCB 离子阱的成本较低廉,多级的构型的造价并不很贵。

虽然我们这里只是给出了少数几个实例,用 PCB 构造离子阱和质量分析仪的其它很多种方法同样可以达到目的。因此用 PCB 构造具有同样功能器件的技术也包括在此发明内。比如,离子阱的截面也不一定是正方形或长方形,且所有的边也不一定必须由 PCB 构筑而成。图 11 给出了其中的一个例子。此例中,由 PCB 构筑的离子阱具有接近于菱形的形状。最高的存储高频电压要加在角上的金属箔条上,而不是各边中心的箔条上。因此电压是沿每条边分布(几乎线性)。当偶极激发加载在左右两个角的时候,离子被从一个小孔逐出至离子探测器。此小孔可以是条狭缝或者是个金属网片。

所有可以用于加工 PCB 的方法都可用作构造离子阱装置。例如,通常用于高频线路的夹心式接地层可用来消除高频干扰,以及起到散热的作用。因此也使得 PCB 各部分的温度均匀分布。此外,整块的导电板可以被用来屏蔽外场对分析区的干扰。

最后,由于低廉的加工成本,这些设备还可以用于复杂系统的消耗部分,例如,用于构造飞行时间系统的离子源等。此外,当分析含腐蚀性或有害成分时,常常需要频繁更换被腐蚀的部分。它们也都可以用本发明中所描述的 PCB 设备和方法构造。

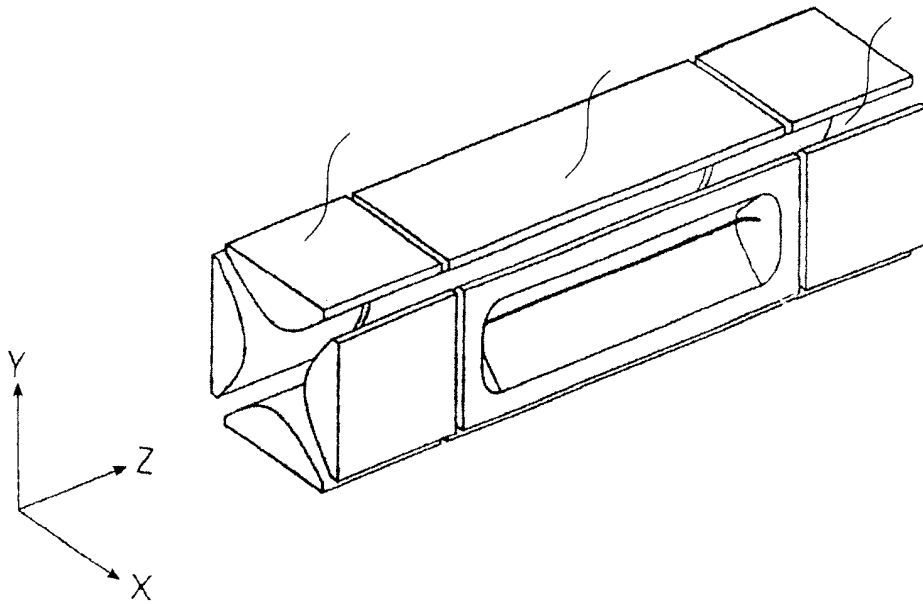


图 1

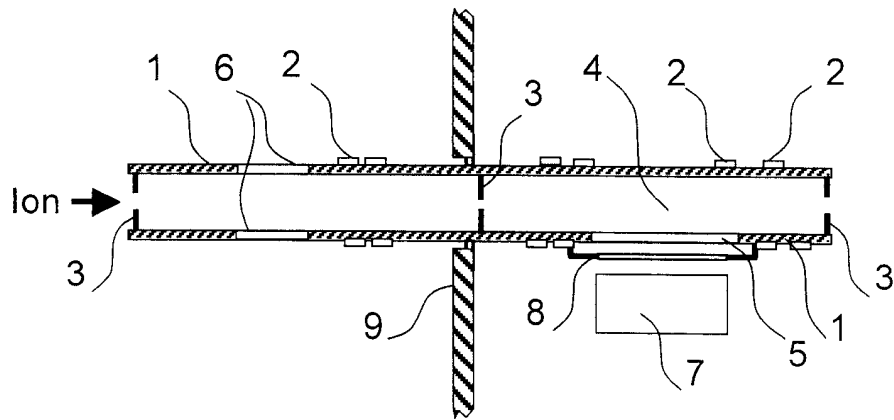


图 2

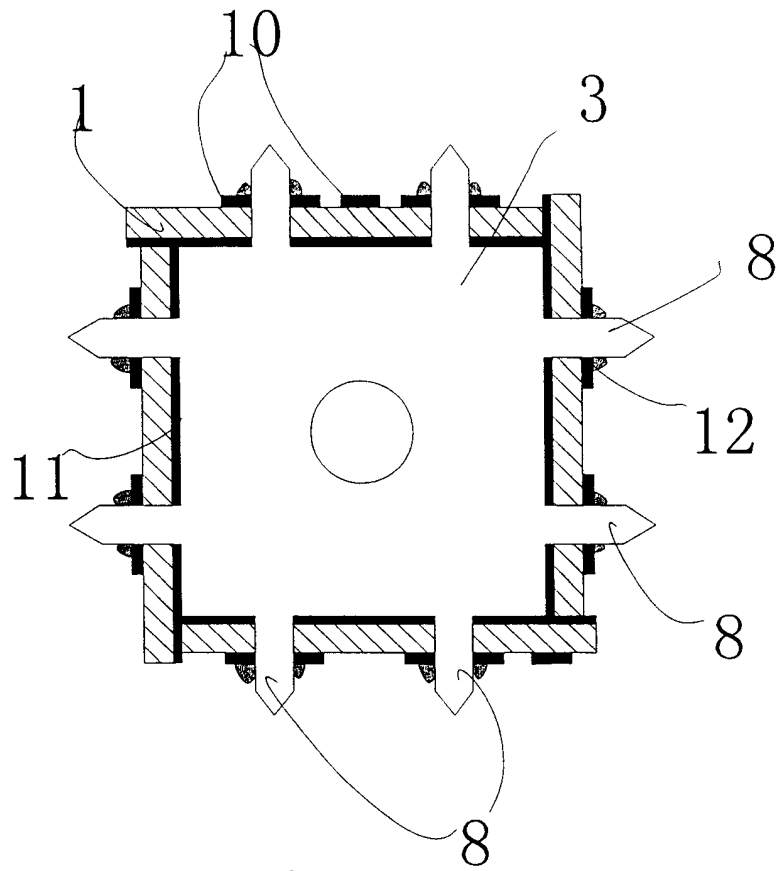


图3

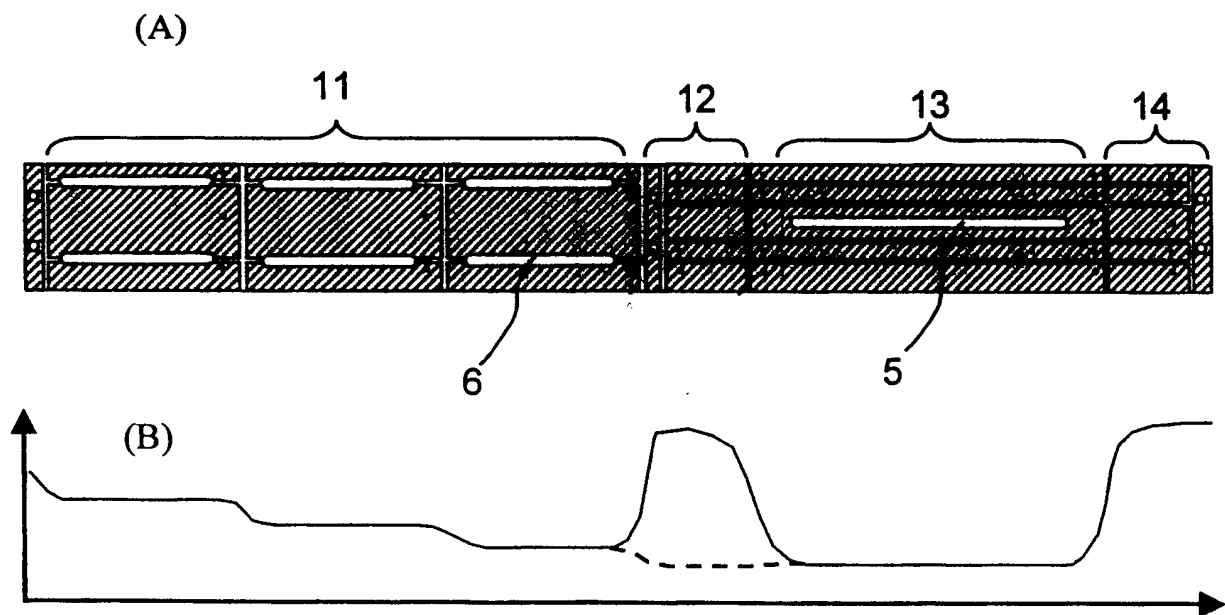


图4

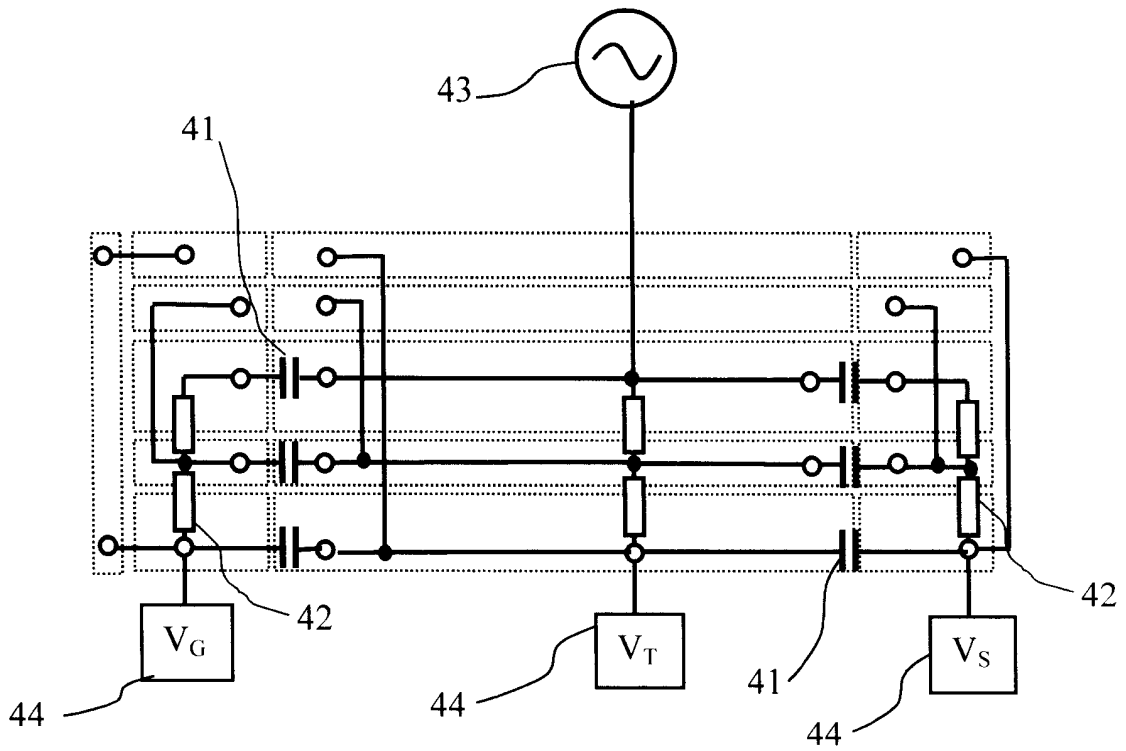


图 5



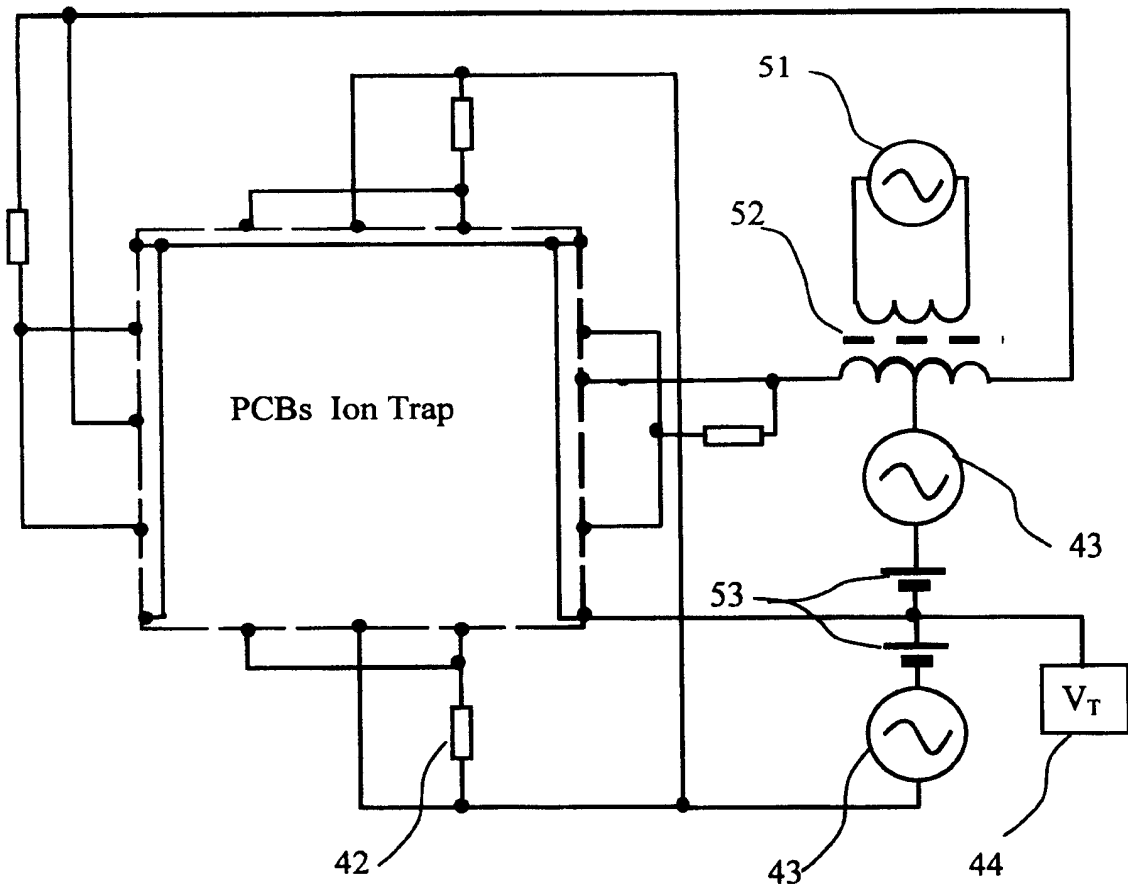


图 6

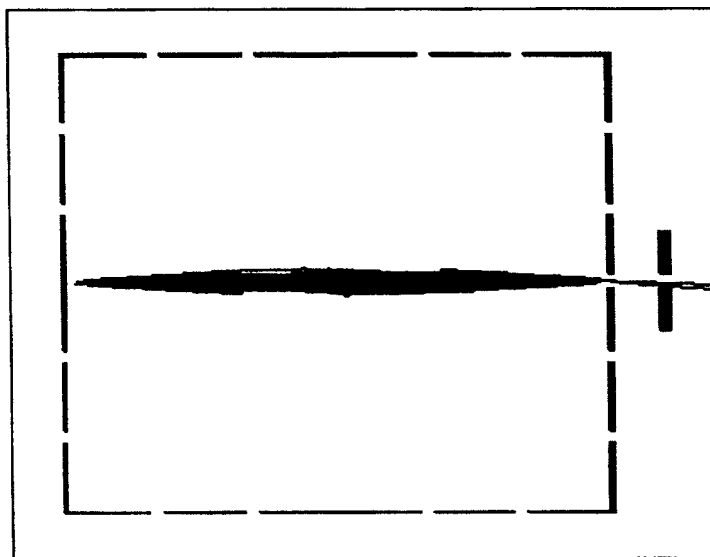


图 7

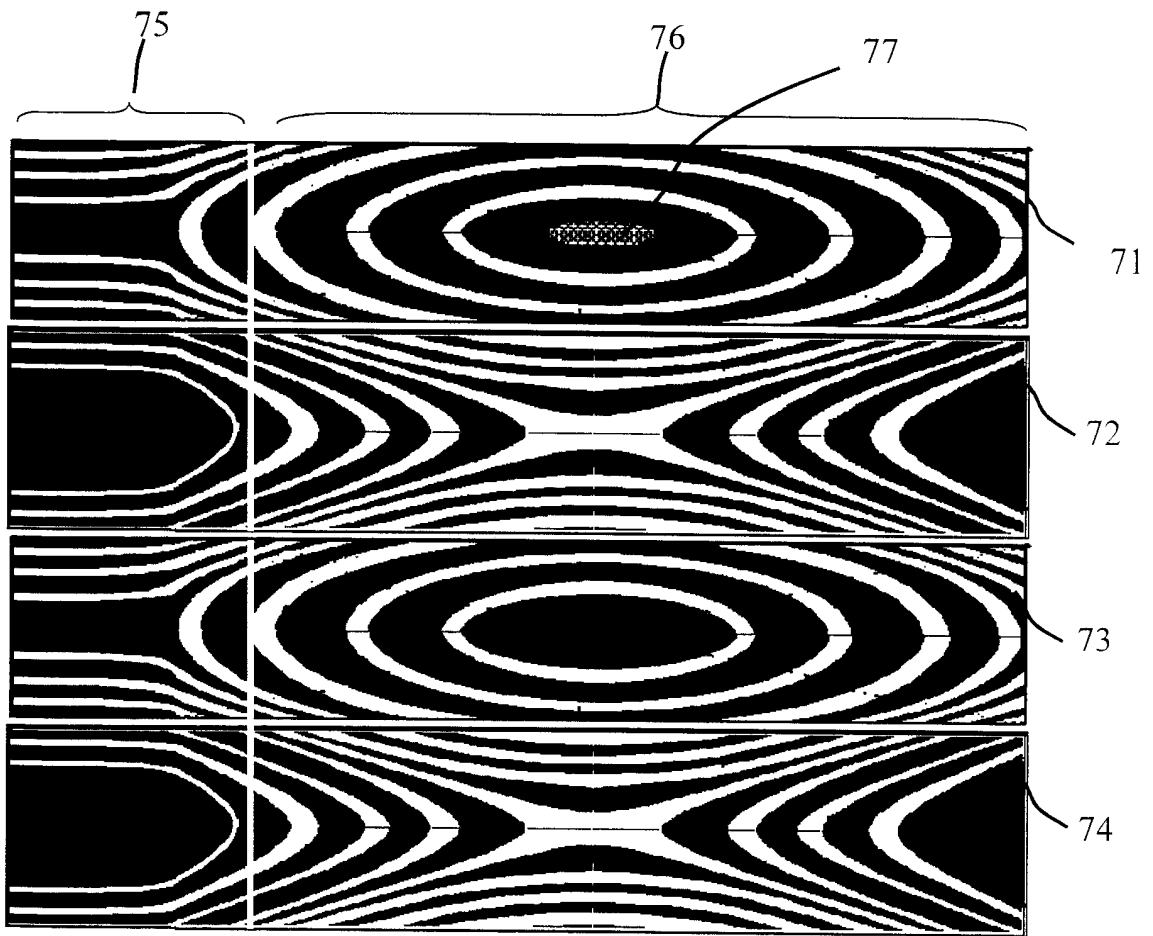


图 8

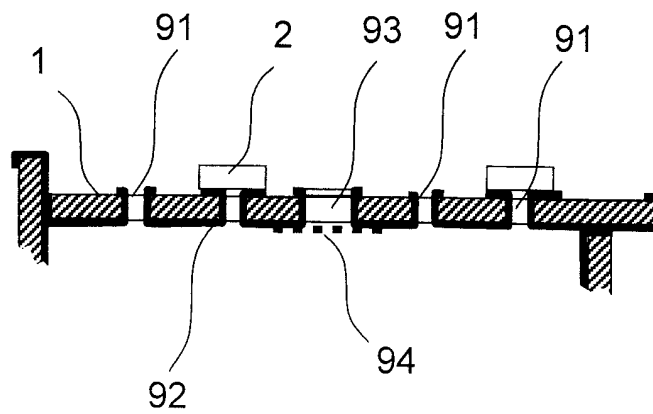


图 9

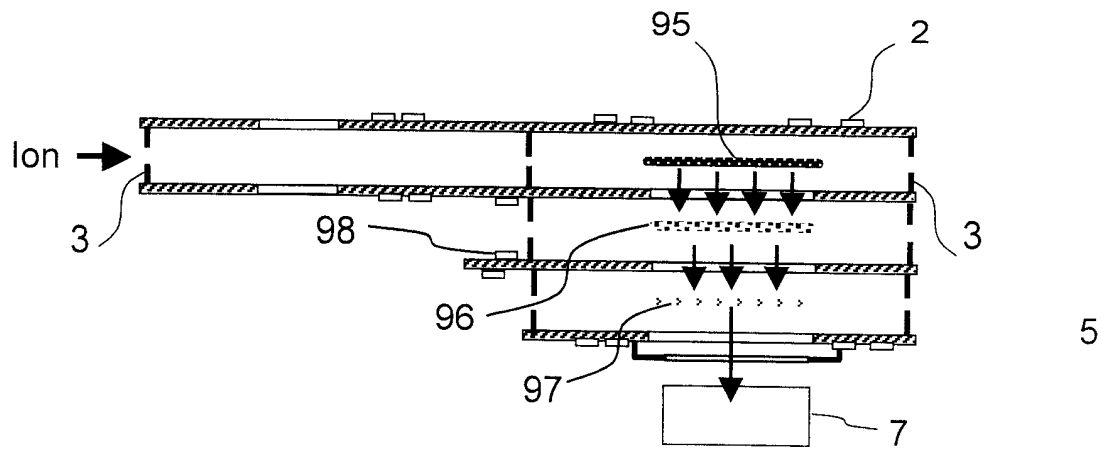


图 10

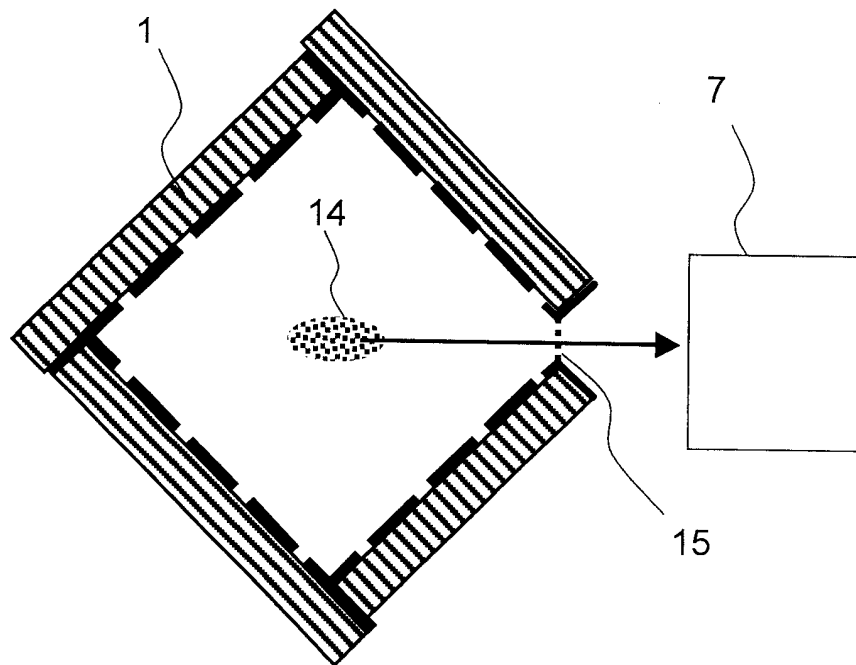


图 11