



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101405830 B

(45) 授权公告日 2010. 11. 10

(21) 申请号 200780010223. 4

(22) 申请日 2007. 02. 08

(30) 优先权数据

11/354, 737 2006. 02. 15 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2008. 09. 22

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2007/003385 2007. 02. 08

(87) PCT申请的公布数据

W02007/097920 EN 2007. 08. 30

(73) 专利权人 凡利安股份有限公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 J·D·杰斯特 J·迪普

P·威廉姆斯 C·W·帕金斯

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公

司 31100

代理人 钱慰民

(51) Int. Cl.

H01J 49/30 (2006. 01)

H01J 37/08 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 3742275 A, 1973. 06. 26, 全文.

US 4124801 A, 1976. 09. 24, 全文.

审查员 常建军

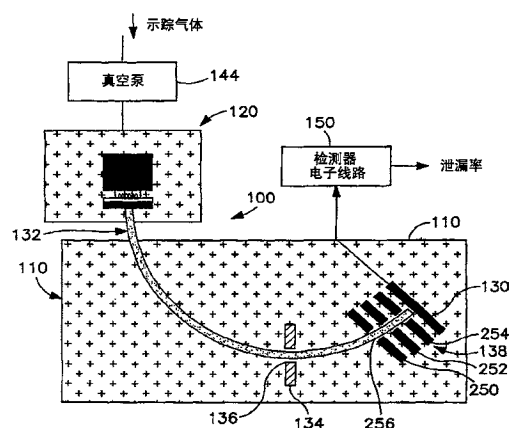
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 4 页

(54) 发明名称

用于跟踪气体泄漏检测的高灵敏度无缝离子源质谱仪

(57) 摘要

一种质谱仪包括具有定义间隙的空间上分离的极靴的主磁体,主磁体在间隙中产生磁场;离子源,用于产生离子和加速离子使之进入间隙中的磁场,离子源位于间隙之外;以及离子检测器,用于检测离子源产生的以及通过磁场偏转的选中的离子种类。离子检测器位于间隙中选中离子种类的自然焦点处。可以在示踪气体泄漏检测器中使用所述质谱仪。



1. 一种质谱仪,包括:

主磁体,所述主磁体包含用于定义一间隙的空间上分离的极靴,所述主磁体在所述间隙中产生主磁场;

离子源,用于产生离子并且使离子加速进入所述间隙中的主磁场中,所述离子源位于所述间隙外,其中所述离子源包括:

用于定义伸长的提取器缝的提取器电极;

用于定义伸长的基准缝的基准电极;

位于提取器缝旁边以产生离子化电子的至少一个灯丝;

与提取器电极隔开的反射器电极,其中使灯丝所产生的离子化电子从灯丝加速到提取器缝附近的离子化区域以便使气体离子化,并且通过提取器缝来提取离子化区域中所产生的离子,并且使这些离子加速穿过基准缝从而进入主磁体的极靴之间的间隙;和

源磁体,所述源磁体包括空间上分离的极靴,用于产生源磁场以约束离子化电子的轨道;以及

离子检测器,用于检测由离子源产生且经主磁场偏转的、选中的离子种类,所述离子检测器位于所述间隙中选中的离子种类的自然焦点处,其中提取器电极、基准电极和反射器电极的尺寸和间隔被配置成形成一种用于使离子源中所产生的离子朝着提取器缝聚焦的电场,使得主磁铁使选中的离子种类偏转到离子检测器而无需使用物理入口缝。

2. 如权利要求1所述的质谱仪,其特征在于,所述极靴具有面对着所述间隙的表面,并且其中所述离子源包括伸长的入口缝,所述伸长的入口缝具有与极靴表面相垂直的长尺寸。

3. 如权利要求2所述的质谱仪,其特征在于,所述间隙具有在极靴之间的宽度,并且其中入口缝的长度足以使离子填充所述间隙的宽度。

4. 如权利要求2所述的质谱仪,其特征在于,所述间隙具有在极靴之间的宽度,并且其中入口缝的长度等于或大于所述间隙的宽度。

5. 如权利要求1所述的质谱仪,其特征在于,所述主磁体被配置成至少在离子源和离子检测器之间由离子横穿而过的区域中产生基本上均匀的磁场。

6. 如权利要求1所述的质谱仪,其特征在于,还包括:位于主磁体的极靴之间的准直仪,用于阻挡离子源和离子检测器之间的轨道外的离子;以及位于主磁体的极靴之间的离子光学透镜。

7. 如权利要求1所述的质谱仪,其特征在于,还包括:真空器皿,用于定义在主磁体的极靴和源磁体的极靴之间的真空腔室;以及用于对真空腔室抽真空的真空泵系统。

8. 如权利要求1所述的质谱仪,其特征在于,所述主磁体的主磁场使所述源磁体的极靴之间的区域中的源磁场发生变形。

9. 如权利要求1所述的质谱仪,其特征在于,所述主磁体和源磁体在离子源中产生磁场,其中提取器电极和反射器电极产生具有等电势面的电场,并且其中在离子化区域中磁场和等电势面是近似地平行的。

10. 一种质谱仪,包括:

主磁体,所述主磁体包含用于定义一间隙的空间上分离的极靴,所述主磁体在所述间隙中产生主磁场;

离子源,用于产生离子并且使离子加速进入所述间隙中的主磁场中,所述离子源位于所述间隙外,其中所述离子源包括:

用于定义伸长的提取器缝的提取器电极;

用于定义伸长的基准缝的基准电极;

位于提取器缝旁边以产生离子化电子的至少一个灯丝;

与提取器电极隔开的反射器电极,其中使灯丝所产生的离子化电子从灯丝加速到提取器缝附近的离子化区域以便使气体离子化,并且通过提取器缝来提取离子化区域中所产生的离子,并且使这些离子加速穿过基准缝从而进入主磁体的极靴之间的间隙;和

源磁体,所述源磁体包括空间上分离的极靴,用于产生源磁场以约束离子化电子的轨道;以及

离子检测器,用于检测由离子源产生且经主磁场偏转的、选中的离子种类,所述离子检测器位于所述间隙中选中的离子种类的自然焦点处,其中提取器电极、基准电极和反射器电极的尺寸和间隔被配置成形成一种用于使离子源中所产生的离子朝着提取器缝聚焦的电场,并且其中至少一个灯丝包括位于提取器缝的相对的末端附近的第一和第二灯丝。

11. 如权利要求 10 所述的质谱仪,其特征在于,所述提取器电极、基准电极和反射器电极被定形为产生一种用于使离子化区域中所产生的离子聚焦到线焦点的电场,接着通过主磁场的聚焦动作对线焦点进行成像。

12. 如权利要求 10 所述的质谱仪,其特征在于,通过穿透提取器电极和基准电极之间的加速电场,在离子化区域中产生离子提取区域。

13. 如权利要求 10 所述的质谱仪,其特征在于,在与灯丝相邻的区域中,斜切所述提取器电极。

14. 如权利要求 10 所述的质谱仪,其特征在于,所述反射器电极配备有用于产生电场的杯状凹陷,所述杯状凹陷所产生的电场有助于使离子化区域中所产生的离子聚焦。

15. 一种离子源,包括:

用于定义伸长的提取器缝的提取器电极;

用于定义伸长的基准缝的基准电极;

位于提取器缝的相对的末端旁边以产生离子化电子的第一和第二灯丝;

包括空间上分离的极靴的源磁体,所述极靴用于产生磁场以约束离子化电子的轨道;以及

与提取器电极隔开的反射器电极,其中使灯丝所产生的电子加速到提取器缝附近的离子化区域以便使气体离子化,并且通过提取器缝来提取离子化区域中所产生的离子,并且使这些离子加速穿过基准缝,其中提取器电极、基准电极和反射器电极的尺寸和间隔被配置成形成一种用于使离子源中所产生的离子朝着提取器缝聚焦的电场。

16. 如权利要求 15 所述的离子源,其特征在于,所述反射器电极配备有用于产生电场的杯状凹陷,所述杯状凹陷所产生的电场有助于使离子化区域中所产生的离子聚焦。

用于跟踪气体泄漏检测的高灵敏度无缝离子源质谱仪

[0001] 有关申请的交叉参考

[0002] 本申请涉及题为“MASS SPECTROMETER FOR TRACE GAS LEAKDETECTION WITH SUPPRESSION OF UNDESIRE IONS”的共同待批的美国专利申请,该申请共同转让给本申请的受让人,并且与本申请同时于 2006 年 2 月 15 日提交。

技术领域

[0003] 本发明涉及用于泄漏检测应用的质谱仪,尤其,涉及具有高灵敏度的质谱仪。

背景技术

[0004] 氦质谱仪泄漏检测是众知的泄漏检测技术。使用氦作为示踪气体,它在密封测试件中通过时的泄漏最小。然后把氦抽到泄漏检测仪器和对其进行测量。氦的量对应于泄漏率。仪器的重要部件是检测和测量氦的质谱仪。质谱仪使输入气体离子化并且进行分析,以便分离氦成分,然后对其进行测量。在一个方法中,使测试件的内部与泄漏检测器的测试端口耦合。使氦喷射在测试件的外部,通过泄漏在内部抽取,并且通过泄漏检测器测量。

[0005] 图 1 示出传统质谱仪的示意图。偶极磁体 10 产生与图 1 的平面垂直的磁场。位于偶极磁体 10 的极靴之间的离子源 12 包括具有入口缝 16 的板 14。现有技术质谱仪中的离子源利用宽度 S_E 极小的入口缝,一般宽度为 0.5 毫米而长度为几个毫米,以便物理地限定离子光学物体。在磁场中几个偏转角之后,使从这个离子光学物体散射的离子再会聚成图像。 90° 和 180° 的弯曲角是最普通的。如果离子从入口缝 16 以半角 α 散射并且按具有半径 R 的圆形轨道在磁场中行进,则在 180° 偏转之后形成入口缝的 1:1 图像。使图像展宽一个量 $R\alpha^2$,这导致在中心轨道各侧散射的离子的磁场中的不同轨道,以致总的图像宽度是 $S_E + R\alpha^2$ 。在图像位置处定义出口缝 20 的板 18 只允许给定质荷比的离子通过而到达检测器(未示出),这根据检测到的离子而产生离子电流。不同质荷比 (m/z) 的离子在不同的半径上行进,并且不能够通过出口缝 20。

[0006] 已经考虑到 180° 偏转设计对于不昂贵的产生质量的系统是方便的,因为认为焦点位置是众知的。然而,相应的折衷是事实上必须把包括电子—产生灯丝是整个离子源放置在磁隙内部。因此占用了磁隙的一部分的灯丝和其它离子源部件的空间减少了入口缝的长度,从而降低了检测到的信号。一般质谱仪设计的更严重的缺陷在于在简单设计中,离子源和入口缝之间没有任何离子—光学聚焦元件,入口缝的作用并非理想离子光学物体。在离子源中从入口缝返回一些距离处形成离子,并且使这些离子向缝的方向加速。离子源的离子光学性能导致离子出现而从接近源的一个点处散射,以致如果该缝位于离开入口缝 180° 处,但是发生在出口缝位置之前的一些距离处,则 180° 聚焦点不对应于出口缝的位置。既然是这样,离子束在到达出口缝之前再次展宽,并且进一步降低检测到的信号或需要较大的出口缝,这降低了质量分辨能力。在如此的情况中,入口缝的实际作用是作为角度—限制缝。

[0007] 在泄漏率极低的氦质谱仪中的离子电流的数量级为毫微微安培 (10^{-15} 安培)。对

于泄漏检测器质谱仪技术的当前状态,十分稳定地检测这个小信号以提供不混淆的泄漏率信号是困难的。为了达到现代泄漏检测器应用中要求的高灵敏度(例如,1e—11std—立方厘米/秒或更小),电流泄漏检测器质谱仪利用一些类型的信号放大,诸如电子倍增器。电子倍增器是昂贵的和复杂的部件。它们需要一般为500到1800伏的高电压电源,并且需要经常调谐。电子倍增器的增益从单元接通之时开始衰减。此外,电子倍增器的寿命有限,对于用户来说,寿命到期必须以高成本进行更换。一般在泄漏检测器通常工作的真空度较差的情况下,寿命特别短,并且增益漂移是特别值得注意的。

[0008] 因此,存在改善用于跟踪气体泄漏检测的质谱仪和方法的需求。

发明内容

[0009] 根据本发明的第一方面,一种质谱仪包括:主磁体,该主磁体包含定义间隙的空间上分离的极靴,主磁体在间隙中产生主磁场;离子源,产生离子和使离子加速而进入间隙中的主磁场,该离子源位于间隙外;以及离子检测器,检测通过离子源产生的和通过主磁场偏转的、选中的离子种类。离子检测器位于间隙中选中的离子种类的自然焦点处。

[0010] 离子源可以包括定义伸长的提取器缝的提取器电极;定义伸长的基准缝的基准电极,至少一个灯丝的位置与提取器缝相邻;以及与提取器电极隔开的反射器电极。加速灯丝产生的离子化的电子使之从灯丝到接近提取器缝的离子化区域,以用于气体的离子化,通过提取器缝提取离子化区域中产生的离子,并且加速而通过基准缝进入主磁体的极靴之间的间隙。离子源还可以包括源磁体,该源磁体包括产生源磁场以约束离子化电子的轨道的、空间上分离的极靴。

[0011] 根据本发明的第二方面,提供一种用于检测示踪气体的方法。该方法包括:在主磁体的空间上分离的极靴之间的间隙中产生磁场;使位于间隙外的离子源中的示踪气体离子化;使示踪气体加速而进入主磁体的极靴之间的间隙以致间隙中的磁场使示踪气体离子偏转;以及在选中的示踪气体离子种类的自然焦点处用位于间隙中的检测器检测选中的示踪气体离子种类。

附图说明

[0012] 为了较佳地理解本发明,对结合在这里作为参考的附图进行参考,其中:

[0013] 图1是传统质谱仪的简化的示意图;

[0014] 图2是逆流泄漏检测器的示意方框图;

[0015] 图3是根据本发明一个实施例的质谱仪的简化的示意性侧视图;

[0016] 图4是图3的简化的示意性终端图;

[0017] 图5是沿图4的线5—5取得的离子源的部分横截面图;以及

[0018] 图6示出根据本发明一个实施例的质谱仪的实施。

具体实施方式

[0019] 图2中示意性地示出适用于本发明实施例的实施的一种泄漏检测器。测试端口30通过逆流阀32和34耦合到前置泵36。泄漏检测器还包括高真空泵40。测试端口30通过中段阀42和44耦合到位于高真空泵40的前置线48和入口50之间的、高真空泵40上的

中段端口 46。前置线阀 52 把前置泵 36 耦合到高真空泵 40 的前置线 48。高真空泵 40 的入口 50 耦合到质谱仪 60 的入口。泄漏检测器还包括：两者都耦合到测试端口 30 的测试端口热电偶 62 和通风阀 64；通过校正泄漏阀 68 耦合到高真空泵 40 的中段端口 46 的经校正的泄漏 66；以及耦合到前置泵 36 的镇流阀 70。

[0020] 在操作中，前置泵 36 起初通过关闭前置线阀 52 和通风阀 64 和打开逆流阀 32 和 34 而排放测试端口 30 和测试件（或嗅探器探针）。当测试端口 30 处的压力到达与高真空泵 40 的前置线压力兼容的水平时，打开前置线阀 52，使测试端口 30 暴露于高真空泵 40 的前置线 48。通过测试端口 30 抽取氦示踪气体，并且在反方向上通过高真空泵 40 扩散到质谱仪 60。前置泵 36 继续使端口 30 的压力降低到与高真空泵 40 中的中段压力兼容的点上。在该点处，关闭逆流阀 32 和 34 和打开中段阀 42 和 44，使测试端口 30 暴露于高真空泵 40 的中段端口 46。通过测试端口 30 抽取氦示踪气体，并且以相反方向通过高真空泵 40 的上部扩散到质谱仪 60，因为更短的反方向路径而允许更多气体扩散。由于高真空泵 40 对于样品中的较重气体具有更低反向扩散率，因此它阻断这些气体到达质谱仪 60，从而有效地分离通过高真空泵 40 扩散到质谱仪 60 的示踪气体，并且对其进行测量。

[0021] 图 3—5 中示出根据本发明一个实施例的质谱仪 100。质谱仪 100 对应于图 2 中的质谱仪 60。质谱仪 100 包括一般为双极磁体的主磁体 110、离子源 120 和离子检测器 130。主磁体 110 包括定义间隙 116 的空间上分离的极靴 112 和 114（图 4）。离子源 120 位于间隙 116 之外，因此没有位于极靴 112 和 114 之间。离子检测器 130 位于极靴 112 和 114 之间的间隙中，以截取离子源 120 产生的离子中选中的种类。离子源 120 产生的离子进入主磁体 110 的极靴 112 和 114 之间的间隙 116，并且通过间隙 116 中的磁场偏转。偏转是离子的质荷比、离子能量和磁场的函数。诸如氦离子之类的选中的离子种类沿离子轨道 132 而行，而其它离子种类沿不同的轨道而行。离子检测器 130 位于极靴 112 和 114 之间的间隙 116 中，并且位于选中离子种类的自然焦点处。

[0022] 质谱仪 100 还可以包括具有缝 136 以及离子光学透镜 138 的准直仪 134。准直仪 134 允许沿离子轨道 132 而行的离子通过缝 136 到达离子检测器 130，并且阻挡沿其它轨道而行的离子。离子光学透镜 138 工作于接近离子源电势的高的正电势，并且动作而阻挡氦之外的散射离子种类到达离子检测器。这个动作是由于下述的事实产生的，即，在中性气体原子或腔室壁的情况中，进行散射碰撞的非氦离子，充分地改变它们到达缝 136 的轨道，在这些碰撞中丢失了能量，因此不能够克服离子光学透镜 138 强加的能量势垒。离子光学透镜 138 还动作而使沿离子轨道 132 而行的离子聚焦到离子检测器 130 上。

[0023] 真空外壳 140 密封真空腔室 142，该真空腔室 142 包括一部分离子源 120 和主磁体 110 的极靴 112 和 114 之间的间隙 116。真空泵 144 具有与真空外壳 140 连接的入口。真空泵 144 使真空腔室 142 保持合适的压力的真空，一般在 10^{-5} 托的数量级，供质谱仪 100 工作。真空泵 144 一般是涡轮分子真空泵、扩散泵或其它分子泵，并且对应于图 2 所示的高真空泵。如泄漏检测器技术领域中所众知，诸如氦之类的示踪气体在反方向上通过所有或一部分真空泵 144 扩散到质谱仪 100，并且对其进行测量。已知这种配置为逆流泄漏检测器配置。在逆流配置中，从真空腔室 142 泵取重气体，而较轻的气体在反方向上通过真空泵 144 扩散到质谱仪 100。要理解，本发明不局限于逆流泄漏检测器中的使用。

[0024] 通过离子检测器 130 检测沿离子轨道 132 而行的离子，并且转换成电信号。把电

信号提供给检测器电子线路 150。检测器电子线路 150 放大离子检测器信号,并且提供表示泄漏率的输出。

[0025] 如图 4 中较佳地示出,离子源 120 包括灯丝 170 和 172、提取器电极 174、基准电极 176 以及反射器电极 180,所有这些都位于真空外壳 140 中。离子源 120 还包括位于真空外壳 140 外的源磁体 190。源磁体 190 包括位于真空腔室 142 相对侧上的空间上分离的极靴 192 和 194。要理解,从主磁体 110 延伸的边缘场可以替代地提供由源磁体所提供的磁场。

[0026] 灯丝 170 和 172 的每一个都可以是螺旋形线圈的形式,并且可以由灯丝固定器 196 来支撑。在一个实施例中,灯丝 170 和 172 的每一个都是由涂覆了氧化钽的 0.006 英寸直径的钽线制造的。每个灯丝线圈的长度可以为 3 毫米,并且直径为 0.25 毫米。最好,每次把能量供给一个灯丝以延长离子源寿命。

[0027] 提取器电极 174 可以配备有伸长的提取器缝 200,而基准电极 176 可以配备有伸长的基准缝 202。对准作为离子—光学透镜的伸长的缝 200 和 202,并且提供从离子源 120 沿离子轨道 132 提取离子的路径。在图 5 中,示出主磁体 110 的极靴 112 和 114 的内表面。如进一步所示出的,提取器缝 200 的长尺寸垂直于极靴 112 和 114 的内表面。提取器缝 200 的长度 204 满足离子束的宽度填充极靴 112 和 114 之间的间隙 116,其中定义间隙 116 的宽度为极靴 112 和 114 之间的真空腔室 142 中的间隔。提取器缝 200 和基准缝 202 之间的加速电场穿透提取器缝,并且使电场具有杯状凹陷 210 的形状,以为刚好在提取器缝之前形成的氦离子提供有效的提取和聚焦。与现有技术质谱仪比较,因为离子源位于主磁体之外而提取器缝长度可能相对较长。在一个实施例中,提取器缝 200 的长度 204 是 8 毫米,提取器缝 200 的宽度是 3 毫米,而间隙 116 具有 10 毫米的尺寸。还选择基准缝 202 的尺寸以保证波束宽度填充间隙。这个配置保证所需要的示踪气体种类的相当高的离子流。

[0028] 潜在的信号源损耗是离子束在提取器缝长度方向上的散射,是由于接近提取器缝 200 和基准缝 202 的终端处的穿透场的总聚焦 / 散焦效应引起的。在一些实施例中,因为外部离子源,提取器缝长度可以制造得等于或大于间隙 116 的宽度。然后,所发射的离子是在提取器缝中心部分中形成的那些离子,并且发射这些离子或多或少笔直通过而到达检测器。由于穿透基准缝的加速电场而还存在一些散射,但是也可以把该缝制造成等于或大于间隙 116 的宽度,以致在中心部分中的离子实质上没有散射。为了增加提取器缝和 / 或基准缝的长度,必须或要求增加离子源的总尺寸。

[0029] 如在图 4 和 5 中进一步示出,提取器电极 174 配备有分别与灯丝 170 和 172 相邻的斜面边缘 206 和 208。斜面边缘 206 和 208 决定灯丝 170 和 172 附近的电场的形状,以增强到离子化区域的电子输送。

[0030] 如图 4 所示,基准电极 176 位于提取器电极 174 和主磁体 110 之间。反射器电极 180 位于上面,并且与提取器电极 174 分开。反射器电极 180 包括提供所要求的电场分布的杯状凹陷 210。另一方面,可以保持反射器电极 180 使之与提取器电极 174 具有相同的电势,并且反射器电极 180 可以接触提取器电极 174 或与提取器电极 174 制造在一起作为单个单元。

[0031] 源磁体 190 的极靴 192 和 194 可以具有一般平行的、面对真空腔室 142 的空间上分离的表面,并且在灯丝 170 和 172、提取器电极 174 和反射器电极 180 的区域中产生磁场 212。如图 4 所示,通过主磁体 110 的边缘磁场使磁场 212 向上变形。所产生的磁场分布导

致灯丝 170 和 172 发射的电子围绕磁场线方向盘旋而到达离子化区域 220。离子化区域 220 位于提取器缝 200 之上（图 4）。在灯丝 170、172 和离子化区域 220 之间区域中的电场和磁场导致离子化的电子向离子化区域 220 加速。在离子化区域 220 中，气体分子通过来自灯丝 170、172 的电子进行离子化，通过提取器缝 200 从离子源 120 提取，并且通过基准缝 202 对其进行加速。

[0032] 离子源 120 位于主磁体 110 的外部，以致提取器缝 200 的长度 204 没有受到主磁体 110 的极靴 112 和 114 的限制。可以选择提取器缝 200 的尺寸以发射高离子流。在通过遵循经过基准缝 202 的通路的角度为 135° 的角度的偏转之后，光束光学器件产生聚焦点，如图 3 所示。质谱仪 100 包括根据质荷比分离离子的主磁体 100 以及源磁体 190，源磁体 190 在离子源 120 中灯丝 170 和 172 的相对侧上包括极靴 192 和 194。两个磁体足够地靠近以致它们在强度和场形状两方面相互影响，如图 3 所示。在一个实施例中，主磁体 110 在极中心具有 1.7 千高斯的场强度，而源磁体 190 在极中心具有 600 高斯的场强度。

[0033] 设计离子源 120 的磁场和电场，以致至少在离子化区域 220 中，磁通线近似地符合和平行于恒定电势的表面（等电势面）。因为约束通过灯丝 170 和 172 产生的离子化电子束使之沿磁场线而行，因此在粗略地恒定电势的体积中产生离子。结果，离子束具有极小的能量扩散，并且从离子源 120 极有效地传送到离子检测器 130，从而提供高灵敏度。

[0034] 选择磁体 110 和 190 相对于离子源 120、离子检测器 130 的位置，并且相互选择以有效地形成和发射离子。主磁体 110 和源磁体 190 相互靠近。超过主磁体 110 的间隙 116 延伸的边缘场使源磁体 190 的另外的均匀磁场变形。

[0035] 通过形状和包括反射器电极 180、提取器电极 174、基准电极 176 和这些电极中的开口（缝）、以及相邻的腔室壁的离子源 120 中的一些单元的间隔来定义等电势面的线。控制这些单元的尺寸和间隔以形成“杯—开口—向下（cup-open-down）”电场形状，使源中产生的离子向提取器缝 200 聚焦，以进行更有效的提取。

[0036] 反射器电极 180 和提取器电极 174 的相当厚的壁形成稍微比灯丝直径宽的通道，电子可以通过该通道流动而无损耗，同时限制了来自负向充电灯丝的电场穿透。这限制了离子从离子化区域 220 到电子云的负电势中的灯丝 170 和 172 的泄漏，保证事实上把源中产生的离子中的高百分比从源以高灵敏度发射到离子检测器 130。

[0037] 设计各个离子源单元，以致提取器电极 174、反射器电极 180 和基准电极 176 的电场产生形成与物理入口缝不同的、“虚拟”的离子光学物体线的电场。排除了物理入口缝和物理缝的不可避免的束损耗，以致离子束发射是极高的。在基准电极 176 中的缝的作用只是限制离子束的角度发散，而不是作为入口缝和离子光学物体。

[0038] 物理入口缝的排除允许具有灵敏度或分辨率损耗最小的质谱仪的小型化。可以定义质谱仪的分辨能力为离子束半径 R 对图像宽度和出口缝宽度 SEX 之和的比。对于具有形成系统的离子光学物体的宽度 S_E 的物理入口缝的传统质谱仪设计，图像宽度是 $(S_E + R\alpha^2)$ 。设置出口缝宽度使之等于或稍大于图像宽度，以便发射所有到达的离子，以致分辨能力 R/P 因此而为：

$$[0039] \quad RP = R/2(S_E + R\alpha^2)$$

[0040] 因为本发明中的离子光学物体是宽度可忽略的线，而不是通过宽的离子束照射的缝，所以在离子焦点处的图像宽度是 $R\alpha^2$ 而非 $(S_E + R\alpha^2)$ 。因此，分辨能力是：

[0041] $RP = R / (2R \alpha^2) = 1 / (2 \alpha^2)$

[0042] 因此,只要可以忽略离子光学物体的宽度,分辨能力就与离子束轨道的半径无关。具有这种设计,如果要求减少离子束半径 R 以便得到小型化的设备,则只要离子束散射 α 保持不变,分辨能力就保持不变。与离子束半径成比例地减小图像宽度,并且可以使出口缝宽度减小一个可比拟的量,以在发射退出离子源的所有离子的同时,匹配图像宽度和保持不变的质量一分辨能力。对比之下,在传统质谱仪中,为了在减小半径的同时保持不变的质量一分辨能力,必须按比例减小入口缝宽度,从而减小通过缝发射的离子的分数以及减小设备的灵敏度。

[0043] 把电压施加于灯丝 170 和 172、反射器电极 180、提取器电极 174、以及基准电极 176,以提供电场而进行如上所述的工作。在一个实施例中,当氦为示踪气体时,以 200 到 280 伏作为反射器电极 180 的偏置,以 200 到 280 伏作为提取器电极 174 的偏置以及以接地(0 伏)作为基准电极 176 的偏置。此外,以 100 到 210 伏作为灯丝 170 和 172 的偏置以提供用于示踪气体离子化的高能电子。在一个特定实施例中,以 250 伏作为反射器电极 180 和提取器电极 174 的额定偏置,以 160 伏作为灯丝 170 和 172 的额定偏置以及使基准电极 176 接地。规定上述电压是相对于地的。要理解,只是作为例子来给出这些值,并非对本发明的范围的限制。

[0044] 如图 3 所示,离子光学透镜 138 可以包括电极 250、252 和 254,每个电极都具有作为到离子检测器 130 的离子通路的孔径 256。电极 250、252 和 254 构成使离子向离子检测器 130 聚焦的 Einzel 透镜,并且施加于电极 252 的电势的作用为抑制除允许到达检测器之外的、散射到轨道中的、与氦不同的离子种类。在一个实施例中,分别以 0 伏、180 伏和 0 伏作为电极 250、252 和 254 的偏置。

[0045] 在一个实施例中,可以设计包括离子检测器 130 和检测器电子线路 150 的检测器组件,用于在宽范围上进行离子流的高灵敏度测量,并且具有高的信噪比。离子检测器 130 可以是连接到静电计级运算放大器的反相输入端的法拉第板。沿离子轨道 132 而行的离子通过透镜 138 撞击法拉第板,并且在板中产生极小的电流。配置放大器作为具有带宽一限制电容器的反跨导放大器。可以在一个范围中选择反馈电阻以提供 1×10^9 和 1×10^{13} 之间的增益。选择电容器以允许检测器的规定的暂态响应,但是抑制频率比要求的暂态响应高的噪声。为了进一步减小 $1/f$ 噪声,通过 Peltier 或热—电冷却器来冷却放大器。冷却器是具有 94°C 的最大 ΔT 的两级类型。冷却器的冷侧与静电计放大器结合,而热侧与检测器结构柱结合。在这个热配置中,静电计放大器的极低的温度降低了输入偏置和偏移电流,因此当质谱仪主体处于其最高的工作温度时, $1/f$ 噪声分量降低到该设备的最低可实现的水平。这保证了在环境热条件的最坏情况下的可能最低的噪声。

[0046] 图 6 中示出质谱仪 100 的实施例子。头部边缘 270 支撑了包括灯丝 170(图 6 中未示出)和 172、提取器电极 174、基准电极 176、和反射器电极 180、准直仪 134、离子检测器 130、离子光学透镜 138 和检测器电子线路 150 的离子源部件。

[0047] 上面给出,包括但是不局限于,压力水平、材料、尺寸、电压和场强度的各种参数值来描述本发明的各个实施例。要理解,给出这些值只是为了作为例子而并非对本发明范围的限制。

[0048] 因此已经描述了本发明至少一个实施例的几个方面,要理解,各种变型、修改和改

进对于熟悉本领域的技术人员是显而易见的。旨在使这些变型、修改和改进作为本揭示的一部分,并且旨在使其落在本发明的精神和范围内。因此,上述说明和附图仅仅是作为例子。

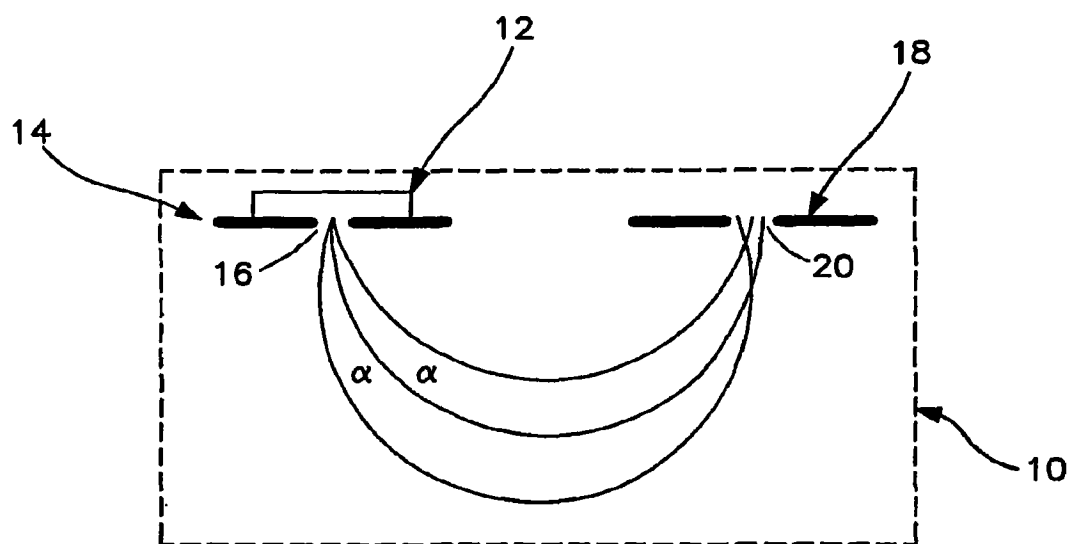


图 1

现有技术

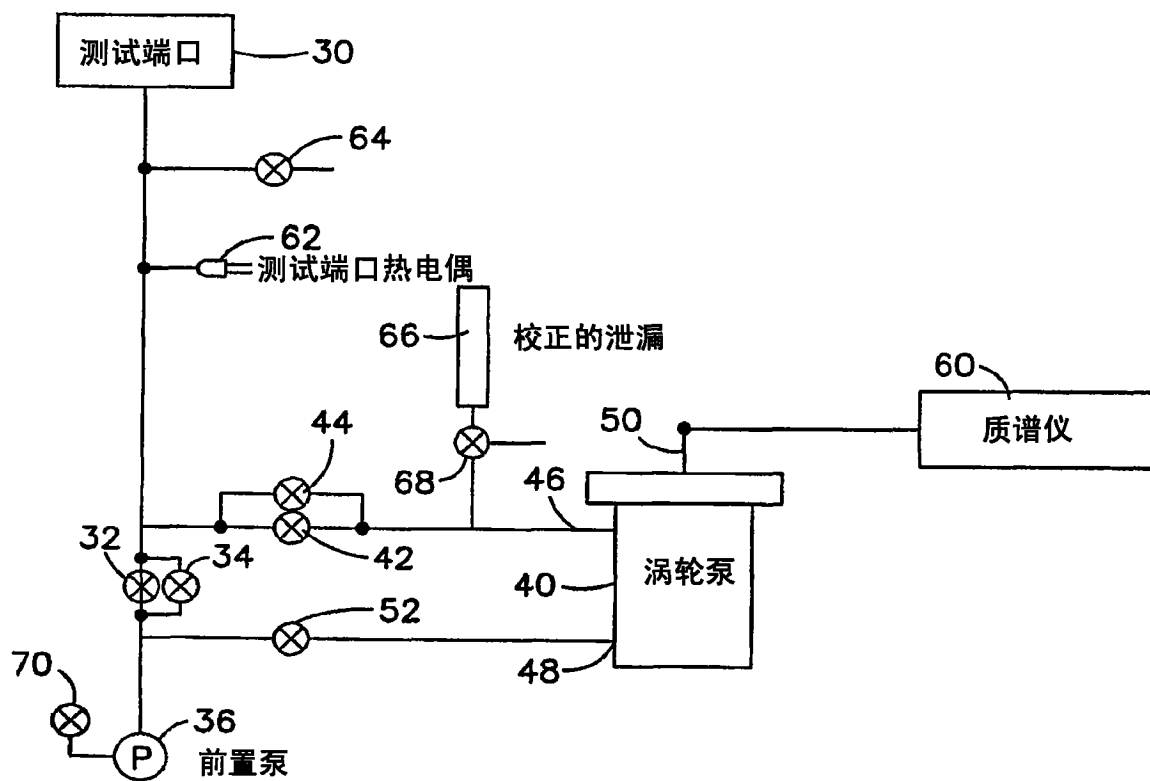


图 2

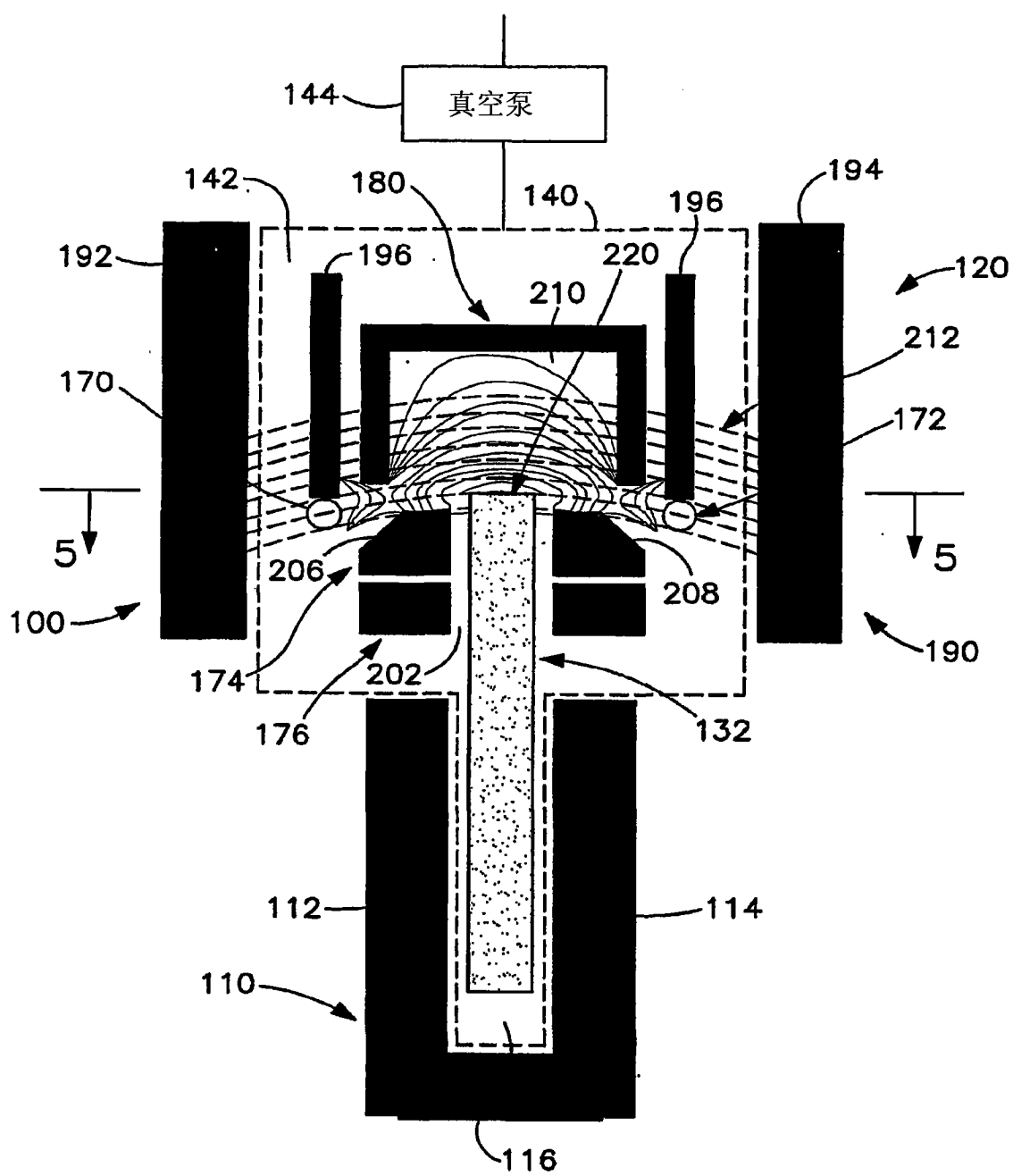


图 4

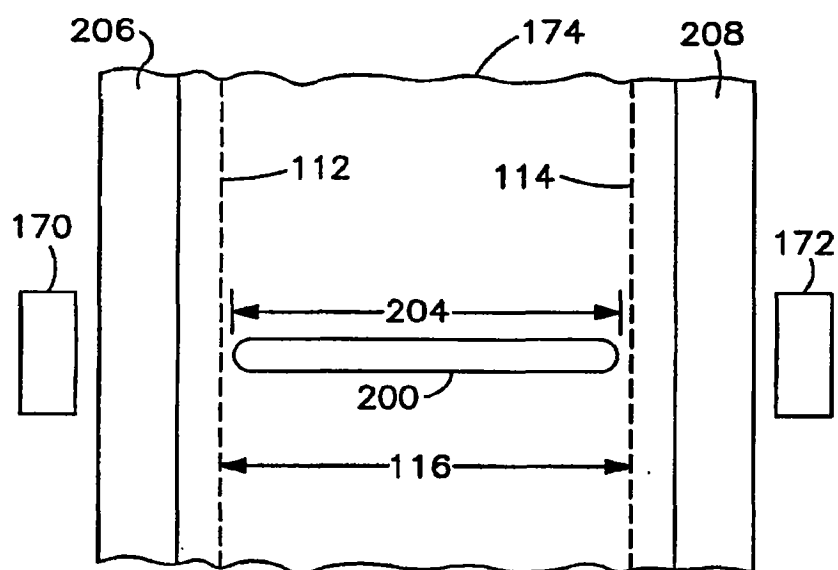


图 5

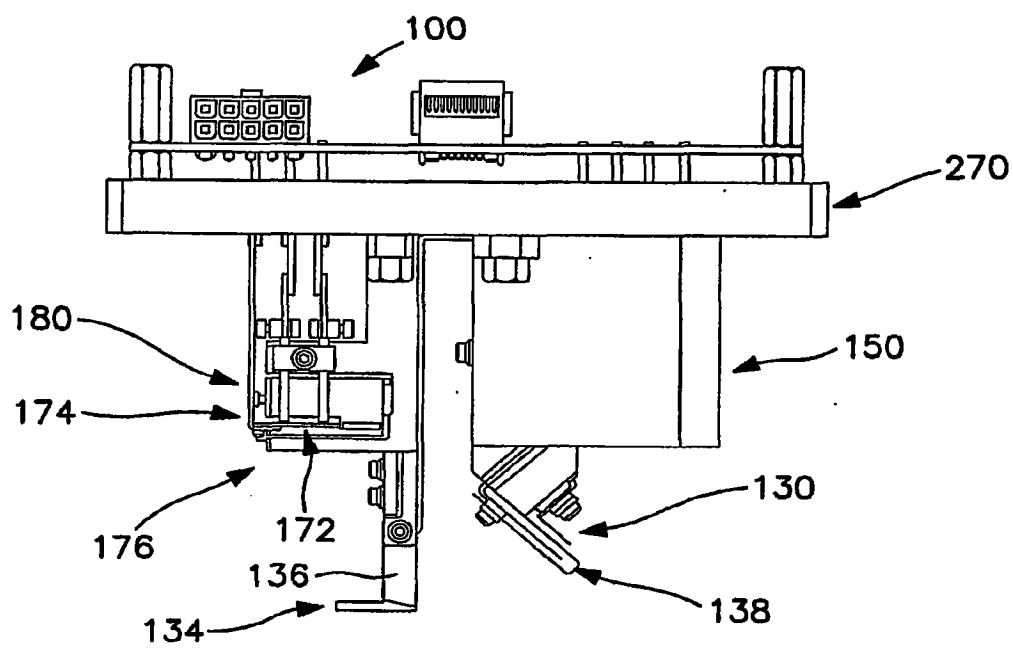


图 6