



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106908511 B

(45)授权公告日 2019.08.02

(21)申请号 201710132317.4

(22)申请日 2017.03.07

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106908511 A

(43)申请公布日 2017.06.30

(73)专利权人 清华大学
地址 100084 北京市海淀区100084信箱82
分箱清华大学专利办公室

(72)发明人 唐飞 霍新明 王晓浩

(74)专利代理机构 北京鸿元知识产权代理有限公司 11327

代理人 邸更岩

(51) Int. Cl.
G01N 27/62(2006.01)

(56)对比文件

CN 104766780 A, 2015.07.08,
US 4736101 A, 1988.04.05,
CN 102842479 A, 2012.12.26,
CN 105655224 A, 2016.06.08,
US 5198665 A, 1993.03.30,

审查员 唐雯雯

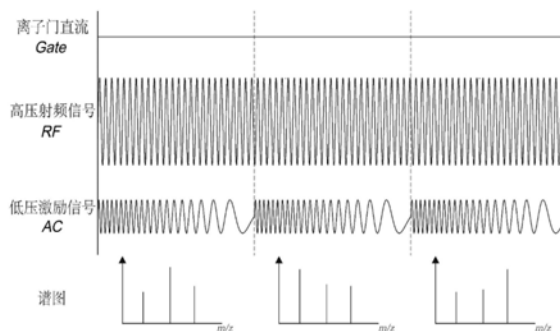
权利要求书1页 说明书7页 附图4页

(54)发明名称

一种小型离子阱质谱进行大范围离子持续分析的方法

(57)摘要

一种小型离子阱质谱进行大范围离子持续分析的方法,所述的方法通过在离子阱电极上施加固定的正弦高压射频信号和离子门电极直流信号,保持离子阱处于进样状态;并且利用中性缓冲气体辅助离子冷却;同时循环扫描加载在离子阱上的正弦低压激励信号的频率,当激励信号与束缚的离子发生共振激发时,离子将通过出射电极上的狭缝或小孔离开离子阱,被离子检测器检测,完成质谱分析,从而达到一边进样与冷却一边质量分析的效果。该方法对射频电源要求低,并且无需时序分立的离子进样、离子冷却、扫描分析以及离子清除的环节,可以实现大质量范围离子的持续快速高效质谱分析,在小型离子阱质谱的现场快速检测方面有良好的应用前景。



CN 106908511 B

1. 一种小型离子阱质谱进行大范围离子持续分析的方法,其特征在于:利用单个离子阱同步进行如下步骤:

1) 在离子阱电极上施加固定的正弦高压射频信号和固定的离子门电极直流信号,使离子阱始终处于离子进样状态;

2) 进入离子阱内的离子通过与缓冲气体的碰撞完成离子冷却,不同质荷比的离子被束缚在离子阱内,以不同的频率振动;

3) 持续地周期性循环扫描加载在离子阱上的低压激励信号的频率,当低压激励信号与束缚的离子发生共振激发时,离子通过出射电极上的狭缝或小孔离开离子阱,被离子阱外的检测器检测;

从而实现利用单个离子阱对离子同步进行持续进样与持续扫描的质谱分析,低压激励信号每循环扫描一个周期,离子阱得到一张该周期内所有进样离子的质谱图。

2. 按照权利要求1所述的一种小型离子阱质谱进行大范围离子持续分析的方法,其特征在于:所述的低压激励信号为交流正弦波形,其频率采用单调的形式进行周期性循环扫描,扫描过程中其幅值保持固定不变或与频率进行同步扫描。

3. 按照权利要求1所述的一种小型离子阱质谱进行大范围离子持续分析的方法,其特征在于:所述的高压射频信号为频率与幅值均保持固定不变的正弦波。

4. 按照权利要求1所述的一种小型离子阱质谱进行大范围离子持续分析的方法,其特征在于:所述的离子阱为利用四极电场进行质量分析的三维离子阱。

5. 按照权利要求1所述的一种小型离子阱质谱进行大范围离子持续分析的方法,其特征在于:所述的离子阱为利用四极电场进行质量分析的二维离子阱。

6. 按照权利要求4所述的一种小型离子阱质谱进行大范围离子持续分析的方法,其特征在于:所述的出射电极为三维离子阱的开有狭缝或小孔的后端盖电极或环电极,以提供离子到达检测器。

7. 按照权利要求5所述的一种小型离子阱质谱进行大范围离子持续分析的方法,其特征在于:所述的出射电极为二维离子阱的开有狭缝或小孔的X方向电极、Y方向电极或后端盖电极,以提供离子到达检测器。

8. 按照权利要求1-7任一权利要求所述的一种小型离子阱质谱进行大范围离子持续分析的方法,其特征在于:所述的缓冲气体为中性气体。

一种小型离子阱质谱进行大范围离子持续分析的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及利用质谱仪器进行生物物质的检测领域,特别涉及一种适合于小型化离子阱质谱仪器进行大质量范围离子的持续快速高效质谱分析的检测方法。

背景技术

[0002] 离子阱是一种利用四极电场进行离子的捕获,囚禁与分析的装置。自从1960年由Paul等通过美国专利US2939952提出以来,离子阱已经在质谱分析、冷原子技术以及量子信息处理等领域得到了广泛的应用。特别是在质谱分析领域,离子阱凭借其相对简单的结构和强大的时间串级质谱能力,已经成为最为重要的质量分析器之一。

[0003] 近年来,随着现场检测与原位分析需求的不断增加,使便携式的小型化质谱仪得到了快速的发展与应用。质谱仪小型化的第一步就是质量分析器的小型化。传统的离子阱一般分为三维离子阱和二维离子阱,为了得到理想的四极电场,其电极形状需要做成双曲面形状,这并不便于仪器小型化。于是近年来相继有各种简化的离子阱问世,如三维圆柱离子阱(US6762406)、二维矩形离子阱(US20040135080)以及二维平板离子阱(CN101599410)等。另外得益于MEMS技术的快速发展,离子阱已经可以做到更小的尺寸。但是除了离子阱自身的尺寸之外,仪器的功耗与尺寸也受到控制电源的参数与尺寸的影响,所以如何开发一个可以简化仪器电源设计的适合于小型离子阱质谱仪使用的质谱分析方法显得至关重要。

[0004] 美国专利US4540884、US4736101以及US5420425中提到了多种离子阱的分析方法。这些方法都需要在离子阱电极上施加适当的高压射频信号,这样不同质荷比的离子会按照马修方程所描述的规律束缚在离子阱内,并以不同的“久期频率”运动。各种方法中,最为常用的是在质量分析时保持加载在离子阱电极上的正弦高压射频信号(RF)的频率不变,然后扫描射频的幅值,则不同质荷比离子的马修方程稳定参数 q 值会依次增加,当 q 大于0.908时,离子会脱离稳定状态离开离子阱到达检测器而完成分析,这种RF幅值扫描模式也被称为质量选择不稳定模式或边界激发模式。为了提高分析性能,可以在此基础上引入一个固定频率的正弦低压激励信号(AC),使得在RF幅值扫描过程中,离子还未达到不稳定边界($q < 0.908$),就与低压激励信号发生共振,而被扫描出离子阱,这种RF幅值扫描模式被称为共振激发模式。但是上述基于RF幅值扫描的方法需要射频系统具有较高的品质因数,并要能实现较好的扫描线性度。所以现在的射频电源大多是采用线圈谐振的方式来实现的,这也导致电源不容易做小。除了RF幅值扫描模式之外,还可以固定高压射频信号的幅值,通过扫描其频率完成离子阱的分析。这种模式需要耦合一个较大功耗的功率放大器,所以也不易于小型化。后来,丁力等人在国际专利(W00129875A, PCT/GB00/03964)中提出了一种利用方波驱动四极场而实现质谱分析的方法。在该方法中,利用一组开关接在高电平与低电平电压之间,通过开关的切换产生一个可以扫描频率的方波信号输出到三维离子阱的环电极上,并在两个端盖电极之间施加一个低压激励信号实现共振激发,从而完成质量分析。这种数字离子阱驱动方式的电源结构简单,输出稳定,后来在二维离子阱上也得到了应用。但是利用高压方波信号驱动离子阱,其马修方程稳定参数边界值为 $q = 0.7125$,小于正弦驱动时的

0.908, 所以其相比于正弦射频信号驱动方式增大了低质量截止限(LMCO)。而且相关研究表明, 对于小型化的离子阱需要较高的射频频率才能完成离子的束缚, 这种数字离子阱模式需要从高频向低频端扫描方波频率, 所以这种模式在低频率端对小型离子阱的分析效果还有待进一步验证。另外, 在专利US4736101和US866952中还提到一种其他的离子阱质谱分析模式。其要求在质量分析时固定高压射频信号的幅值与频率, 然后扫描低压激励信号的频率, 当该频率接近离子“久期频率”而发生共振时, 离子将离开离子阱到达检测器完成质谱分析。这种模式已经被普渡大学Dalton T. Snyder等人通过实验验证。因为其可以采用固定的高压射频信号, 对电源要求低, 并且可以实现大质量范围的质谱分析, 所以该方法适用于小型离子阱质谱仪。

[0005] 然而另一方面, 在上述提到的所有质谱分析方法中, 一次完整的质谱分析都需要经历离子进样、离子冷却、质量分析和离子清除四个阶段。每个阶段一般需要几十毫秒的时间, 所以一次质谱分析需要超过上百毫秒。这样无法满足日益增加的高速、高通量现场质谱分析的需要。而且对于连续电离的离子源, 只有在离子进样阶段的离子被有效的分析到, 而其他阶段的离子都被离子门隔离到离子阱之外, 所以离子阱的分析效率(即离子利用率=进样时间/质谱分析总时间)也是有限的。如何提高离子阱质谱的分析速度与效率是质谱发展的一个重要问题。2008年ThermoFinnigan公司在美国专利US20080142705中提出了一种利用两个离子阱的串联阵列提高质谱分析效率与速度的方法, 其结合了高压离子阱离子捕获能力强与低压离子阱质量分析效果优的特点。然而这种双气压阱的模式在原来离子阱质谱的基础上多了一个线性离子阱和缓冲气单元, 增加了系统的复杂性, 不利于小型化。2015年复旦大学公开的专利CN104766780中提出了一种利用同步扫描高压束缚方波与低压激励方波的频率的方法来实现离子阱的质谱分析。这种模式无需常规离子阱质谱的四个时序阶段, 只要一个离子共振逐出阶段, 就能够实现离子质量分析, 提高了离子阱的分析速度与效率。然而这种模式下需要同步扫描高压射频与低压激励信号的频率, 这样离子的“久期频率”会随之改变, 所有的离子是在同一个马修方程稳定参数 q 值($q < 0.7125$)处发生共振激发而被逐出离子阱的, 为了避免离子在边界处($q = 0.7125$)再次发生激发, 就必须限制射频信号的频率扫描范围, 进而限制了离子阱的质量分析范围。而且其也面临上文提到的方波驱动离子阱一样的问题。

发明内容

[0006] 本发明的目的是提供一种适合于小型离子阱质谱进行大范围离子持续分析的方法, 以克服现有质谱分析方法无法兼顾适合小型化的电源设计与性能要求、大质量分析范围以及高离子利用率和快速分析等矛盾。

[0007] 本发明的技术方案如下:

[0008] 一种小型离子阱质谱进行大范围离子持续分析的方法, 其特征在于: 利用单个离子阱同步进行如下步骤:

[0009] 1) 在离子阱电极上施加固定的正弦高压射频信号和固定的离子门电极直流信号, 使离子阱始终处于离子进样状态;

[0010] 2) 进入离子阱内的离子通过与缓冲气体的碰撞完成离子冷却, 不同质荷比的离子被束缚在离子阱内, 以不同的频率振动;

[0011] 3) 循环扫描加载在离子阱上的低压激励信号的频率,当低压激励信号与束缚的离子发生共振激发时,离子通过出射电极上的狭缝或小孔离开离子阱,被离子阱外的检测器检测;

[0012] 从而实现利用单个离子阱对离子同步进行持续进样与持续扫描的质谱分析,低压激励信号每循环扫描一个周期,离子阱得到一张该周期内所有进样离子的质谱图。

[0013] 本发明中,所述的低压激励信号为交流正弦波形,其频率采用从小到大或从大到小的单调形式进行周期性循环扫描,再频率扫描的过程中其幅值保持固定不变或与频率一起进行同步扫描。

[0014] 本发明中,所述的高压射频信号为正弦波,并且在整个质谱分析过程中始终保持固定的频率与幅值。

[0015] 本发明中,所述的离子阱为三维离子阱,二维离子阱,或任何其他利用四极电场进行质量分析的离子阱。

[0016] 本发明中,所述的出射电极为离子阱的后端盖电极、环电极、X方向电极、Y方向电极,或其他任何开有狭缝或小孔提供离子到达检测器通道的电极。

[0017] 本发明中,所述的缓冲气体为氦气、氮气或其他任何中性气体。

[0018] 本发明同时具有以下优点及突出性效果:

[0019] ①所述的分析方法只需要扫描低压激励信号,而无需扫描高压射频信号,所以降低了系统对射频电源的要求,便于小型化;

[0020] ②所述的方法中因为射频信号固定,不同的离子以不同的q值被共振激发,这样储存在离子阱内的大质量范围的离子都能被有效的分析到;

[0021] ③所述的方法中离子进样、离子冷却与扫描分析都发生在同一个扫描周期内,所以所有的进样离子将被有效的分析,即可以实现100%的离子利用率;

[0022] ④同时整个分析过程只要一个阶段就可以完成,相比与传统的模式提高了离子阱质谱的分析速度。

附图说明

[0023] 图1是本发明所涉及的一种小型离子阱质谱进行大范围离子持续分析的方法在低压激励信号循环扫描三个周期内的控制时序图。

[0024] 图2是传统的RF幅值扫描模式、传统的AC频率扫描模式以及本发明涉及的分析方法的时序对比示意图。

[0025] 图3是验证本发明所涉及分析方法效果所采用的二级真空腔的矩型离子阱质谱仪的结构示意图。

[0026] 图4是验证本发明所涉及的分析方法效果所采用的矩形离子阱质量分析器的结构图。

[0027] 图5是利用本发明的分析方法控制矩形离子阱所需要的控制信号加载示意图。

[0028] 图6是利用本发明的分析方法得到的100 $\mu\text{m}/\text{mL}$ 浓度的人血紧张素的质谱图。

[0029] 图7是利用本发明的分析方法得到的在不同的扫描周期(20ms-300ms)下50 $\mu\text{m}/\text{mL}$ 浓度的阿米替林的质谱图。

[0030] 图8是利用本发明的分析方法控制三维离子阱质量分析器所需要的控制信号加载

示意图。

[0031] 图中:1-离子门电极;2-X方向电极;3-Y方向电极;4-后端盖电极;5-离子检测器;6-大气压离子源;7-第一级真空腔;8-第二级真空腔;9-大气压接口取样锥;10-四极杆;11-离子透镜电极;12-离子光学元件;13-引入缓冲气的毛细管。14-环电极。

具体实施方式

[0032] 下面结合附图和具体实施方式对本发明提供的一种小型离子阱质谱进行大范围离子持续分析的方法做进一步说明。

[0033] 本发明提供的一种小型离子阱质谱进行大范围离子持续分析的方法,其利用单个离子阱同步进行如下步骤:

[0034] 1) 在离子阱电极上施加固定的正弦高压射频信号和固定的离子门电极直流信号,使离子阱始终处于离子进样状态;

[0035] 2) 进入离子阱内的离子通过与缓冲气体的碰撞完成离子冷却,不同质荷比的离子被束缚在离子阱内,以不同的频率振动;

[0036] 3) 循环扫描加载在离子阱上的低压激励信号的频率,当低压激励信号与束缚的离子发生共振激发时,离子通过出射电极上的狭缝或小孔离开离子阱,被离子阱外的检测器检测;

[0037] 从而实现利用单个离子阱对离子同步进行持续进样与持续扫描的质谱分析,低压激励信号每循环扫描一个周期,离子阱得到一张该周期内所有进样离子的质谱图。

[0038] 本发明中,所述的低压激励信号为交流正弦波形,其频率采用从小到大或从大到小的单调形式进行周期性循环扫描,再频率扫描的过程中其幅值保持固定不变或与频率一起进行同步扫描;所述的高压射频信号为正弦波,并且在整个质谱分析过程中始终保持固定的频率与幅值。

[0039] 本发明中,所述的离子阱为三维离子阱,二维离子阱,或任何其他利用四极电场进行质量分析的离子阱;所述的出射电极为离子阱的后端盖电极、环电极、X方向电极、Y方向电极,或其他任何开有狭缝或小孔提供离子到达检测器通道的电极。

[0040] 本发明中,所述的缓冲气体为氦气、氮气或其他任何中性气体。

[0041] 图1为本发明所涉及的一种小型离子阱质谱进行大范围离子持续分析的方法在低压激励信号循环扫描三个周期内的控制时序图。本发明在进行质谱分析时,固定加载在离子阱电极上的正弦高压射频信号(RF)的幅值与频率,调节并选择合适的离子门电极(Gate)直流电压,使得离子阱始终处于离子进样的状态;同时在离子阱内通入中性缓冲气体辅助完成离子冷却,这样具有不同质荷比的大质量范围的离子都能束缚在离子阱内,以不同的“久期频率”运动;与此同时再循环扫描加载在离子阱电极上的低压激励信号(AC)的频率,当低压激励信号与束缚的离子发生共振激发时,离子将通过出射电极上的狭缝或小孔离开离子阱,被离子阱外的检测器检测到而完成质谱分析,从而该方法达到了一边进样与冷却一边扫描分析的效果;所述的低压激励信号每循环扫描一个周期,离子阱便可以得到一张该周期内所有进样离子的质谱图。该发明中所采用的离子阱可以是任何利用四极电场进行质量分析的离子阱,如三维离子阱或二维离子阱。这里我们首先以在正弦高压射频信号和正弦低压激励信号驱动下的二维线性离子阱为例,对该发明内容的原理以及效果做具体阐

述:

[0042] 根据牛顿第二定律和电场力公式,离子在进入离子阱后的运动规律在理论上与Mathieu于1868年提出的二阶线性微分方程有相同的形式。在不考虑Z方向电场(Z方向电场影响势阱深度,一般只起到离子轴向压缩的作用)、离子间相互碰撞以及高阶场的影响下,Mathieu公式能够推导出离子运动稳定性特征,其影响稳定性的参数可表示为:

$$[0043] \quad a_x = -\frac{16U_{RF}}{m/z(x_0^2 + y_0^2)\Omega^2} \quad q_x = \frac{8V_{RF}}{m/z(x_0^2 + y_0^2)\Omega^2} \quad (1)$$

[0044] 其中, V_{RF} 为所施加射频交流电压的幅值, Ω 为射频电压的角频率, U_{RF} 是直流偏置的大小, m/z 为离子的质荷比, x_0 和 y_0 分别为离子阱的场半径。传统的RF幅值扫描模式,一般将高压射频信号的直流偏置 U_{RF} 设置为零,然后扫描射频电压的幅值 V_{RF} ,当 q_x 值大于0.908后,离子将摆脱离子阱控制从X方向电极上的狭缝弹出离子阱。当引入低压激励信号(AC)后,通过共振激发模式,可增强离子在X方向的动能,在离子 q_x 值未达0.908前完成出射。

[0045] 根据Mathieu方程的相关理论,离子在四级场内X方向的振动频率 $\omega_{x,n}$ (n 为振动级次)可以表示为:

$$[0046] \quad \omega_{x,n} = (2n + \beta_x) \frac{\Omega}{2} \quad 0 \leq \beta_x \leq 1 \quad n = 0, \pm 1, \pm 2 \dots \quad (2)$$

[0047] 其中与离子的振动频率相关的系数 β_x 由与参数 a_x 和 q_x 相关的迭代公式所定义:

$$[0048] \quad \beta_x^2 = a_x + \frac{q_x^2}{(\beta_x + 2)^2 - a_x - \frac{q_x^2}{(\beta_x + 4)^2 - a_x - \frac{q_x^2}{(\beta_x + 6)^2 - a_x - \dots}}} + \frac{q_x^2}{(\beta_x - 2)^2 - a_x - \frac{q_x^2}{(\beta_x - 4)^2 - a_x - \frac{q_x^2}{(\beta_x - 6)^2 - a_x - \dots}} \quad (3)$$

[0049] 通过公式(1), (2), (3)可以得到,在离子阱尺寸(x_0, y_0)固定,射频频率 f_{RF} ($\Omega = 2\pi f_{RF}$)固定,只考虑离子在X方向振动的基本频率 f_0 ($f_0 = \omega_{x,0}/2\pi$)的情况下:

$$[0050] \quad m/z = V_{RF} \times f(q_x) \quad q_x = g(\beta_x) \quad \beta_x = x(f_0) \quad (4)$$

[0051] 从而:

$$[0052] \quad m/z = V \times f\{g[x(f_0)]\} = V \times \Psi(f_0) \quad (5)$$

[0053] 即离子的质荷比将成为离子振动基本频率 f_0 的函数,通过扫描低压激励AC信号的频率 f_{AC} ,即可以通过共振激发的方式扫描 f_0 ,从而完成质量分析。不同于传统RF幅值扫描模式中所有质荷比离子均在同一个稳定性参数 q 值下完成出射的情况,在这种扫描低压激励信号频率的方式中,不同的离子以不同的稳定性参数 q 值完成共振激发。这种扫描低压激励信号频率的分析方法也称为AC频率扫描模式。如图2给出了传统的RF幅值扫描模式、传统的AC频率扫描模式以及本发明涉及的分析方法的时序对比示意图。在传统的RF幅值扫描模式和传统的AC频率扫描模式中,一次完整的质量分析需要经历离子引入、离子冷却、质量分析、离子清空四个阶段。每个阶段都需要几十毫秒的时间,所以整个分析周期需要上百毫

秒。而本发明所描述的方法因为在质谱分析过程中省去了各个分离的阶段,而是将离子进样、离子冷却与质量分析合并为一,所以,在传统的RF扫描模式和传统的AC扫描模式下进行一次质量分析的短时间内,可以进行多次本发明所涉及到的分析周期。另外在两种已有的传统分析模式中,对于持续电离的离子源,只有在离子进样阶段的离子才能进入离子阱内而被有效的分析到,其他时间的离子均被离子门电极阻挡在离子阱之外,所以离子利用率有限。而本专利的方法始终保持离子进样状态,所以理论上可以实现100%的离子利用率。

[0054] 下面我们先采用二维矩形离子阱作为实施案例对本发明内容做进一步阐述。

[0055] 实施例1

[0056] 图3为验证本发明所涉及分析方法效果所采用的二级真空腔的矩型离子阱质谱仪的结构示意图。它包括一个可在大气环境下进行电离的大气压离子源6和具有气压梯度的两级真空腔,第一级真空腔7内包括一进样用的大气压接口取样锥9、四极杆10和离子透镜电极11,两级真空腔之间设有离子光学元件12,它们可以配合进行离子的传输;第二级真空腔8内包括一离子检测器5和用于引入氦气作为缓冲气体的毛细管13,所采用的质量分析器是矩形离子阱。矩形离子阱的结构示意图如图4所示,结构上包括:离子门电极1,带有离子出射狭缝的一对X方向电极2,以及一对Y方向电极3和后端盖电极4。对于本发明所涉及的分析方法,其高压射频信号和低压激励信号的加载方式如图5所示。首先,采用谐振式的射频电源控制矩形离子阱,在矩型离子阱的X方向电极、Y方向极板上分别施加频率 f_{RF} 为1.021MHz、相位相反的射频电压,便可在离子阱内部形成四极场来完成对离子的束缚。然后,矩形离子阱依靠扫描低压激励AC信号的频率 f_{AC} 来完成质量分析,而该信号由自制的辅助AC信号发生电路产生,通过线圈变压器耦合到射频电压上,驱动矩形离子阱。辅助AC信号发生电路由FPGA芯片ep3c55f484i7配合高速DA芯片以及功率放大器共同组成,可以实现最高500kHz的不失真输出,扫频的频率分辨率为50Hz,幅值范围为 $\pm 10V$ 。

[0057] 图6给出了利用本发明所涉及的一种小型离子阱质谱进行大范围离子持续分析的方法所得到的100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的人血紧张素溶液的谱图,其中高射频信号幅值为884.5V,频率为1.021MHz,离子门电极1的电压为6V,后端盖电极4的电压为60V,低压激励信号(AC)的幅值为3.5V,频率从500kHz到50kHz进行线性扫描,扫描周期为100ms。从图中可以看出质量轴范围超过2500质量数,该实验表明本专利所发明的分析方法虽然将传统分析方法中各时序阶段合而为一,但仍能进行有效的质谱分析。

[0058] 图7为50 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的amitriptyline hydrochloride溶液,采用本发明所涉及的一种小型离子阱质谱进行大范围离子持续分析的方法得到质谱图。实验所用的射频频率为1.021MHz,幅值为274.5V,离子门电极1电压为6.4V,后端电极4盖电压为60V,电压激励AC信号的幅值为2V,频率从500kHz到50kHz进行周期性循环扫描,扫描周期从20ms依次变到300ms。实验表明,针对本实验所采用的二级真空腔的矩型离子阱质谱仪,采用本专利分析方法最小扫描周期只需20ms。而先前研究表明,该系统在传统扫描模式下完成质量分析一般需要160ms进样、10ms冷却、100ms分析和10ms清除,分析周期约280ms,离子利用率约为57.1%。即本专利分析方法将矩形离子阱分析速度提高了近14倍,并且因为在整个质谱分析过程中离子阱始终保持离子进样状态,所以本专利分析方法理论上实现了100%的离子利用率。

[0059] 另外需要说明的是在本实施例中,分析过程中后端盖电极4保持较高的幅值,离子

检测器位于X方向电极附近,所以离子是从X方向电极上的狭缝离开离子阱的。如果在分析过程中后端盖4电极保持合适较低的幅值,离子检测器放在后端盖电极4附近,便可以实现基轴向质量选择出射的快速质谱分析,离子会从离子门电极1进样,然后通过循环扫描低压激励信号的频率实现共振激发,最终离子从离子阱的后端盖电极4离开离子阱,完成质量分析。

[0060] 实施例2

[0061] 实施例1中提到的矩形离子阱可以采用本发明所涉及的一种小型离子阱质谱进行大范围离子持续分析的方法。而经过变形,该方法同样可以适用于三维离子阱的大质量范围高效快速分析当中。如图8,对于一个三维离子阱,在环电极14上施加固定的高压射频信号,并保持离子门1电压固定,离子阱便可以保持在离子进样的状态,与此同时再扫描加载在后端盖电极4上的低压激励信号的频率,就可以达到与二维离子阱一样的一边进样与冷却一边进行质量分析的效果。

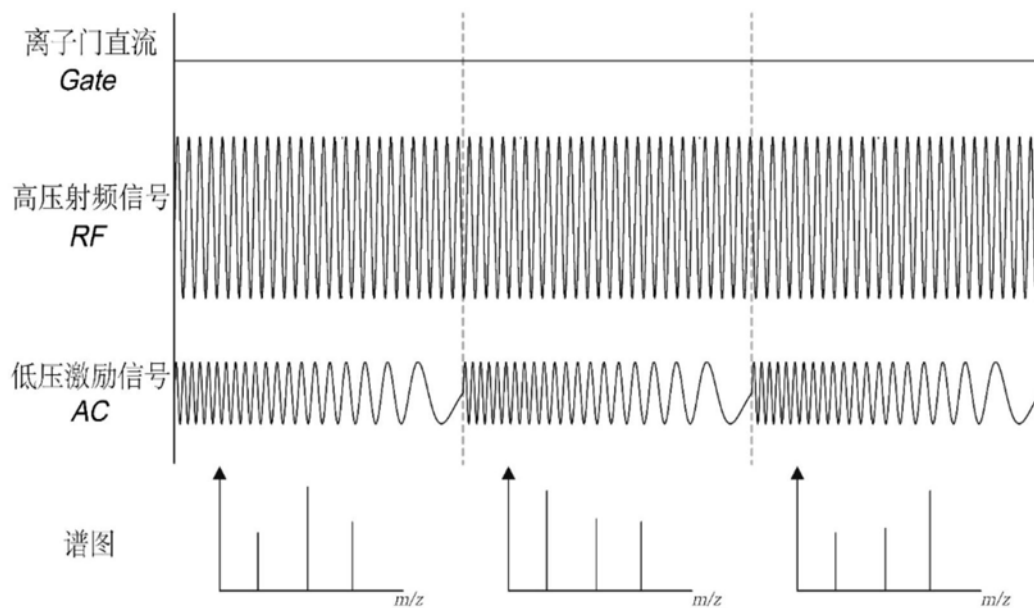


图1

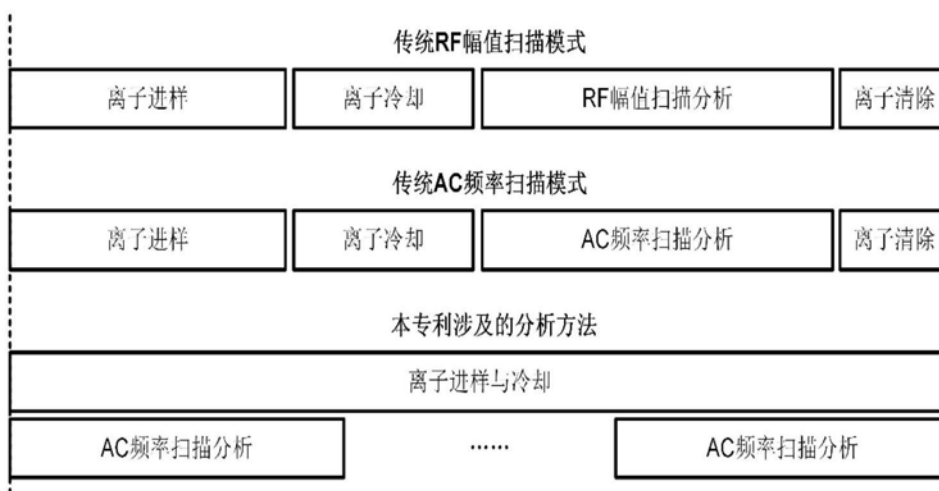


图2

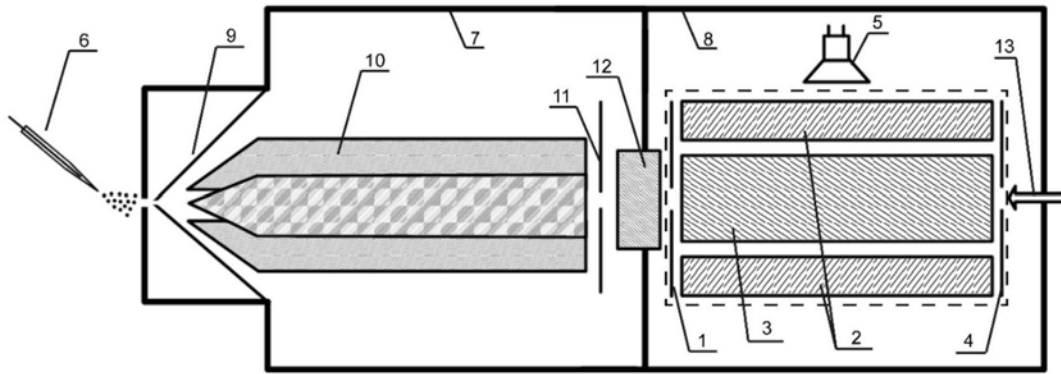


图3

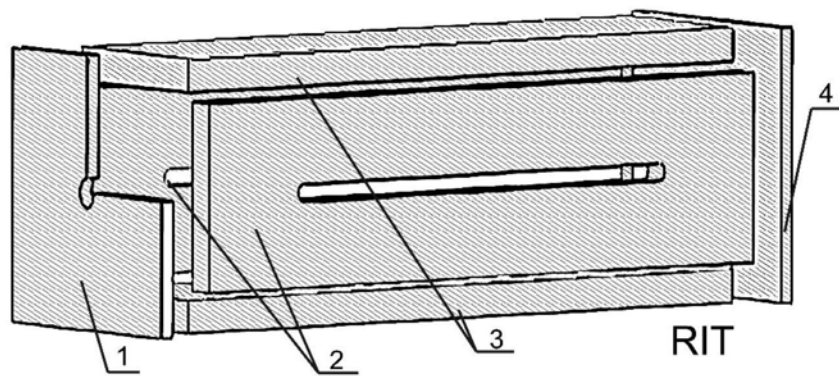


图4

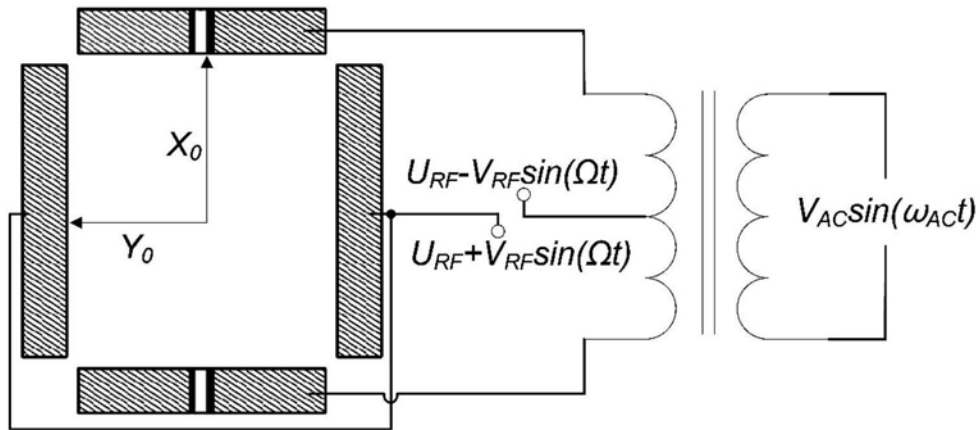


图5

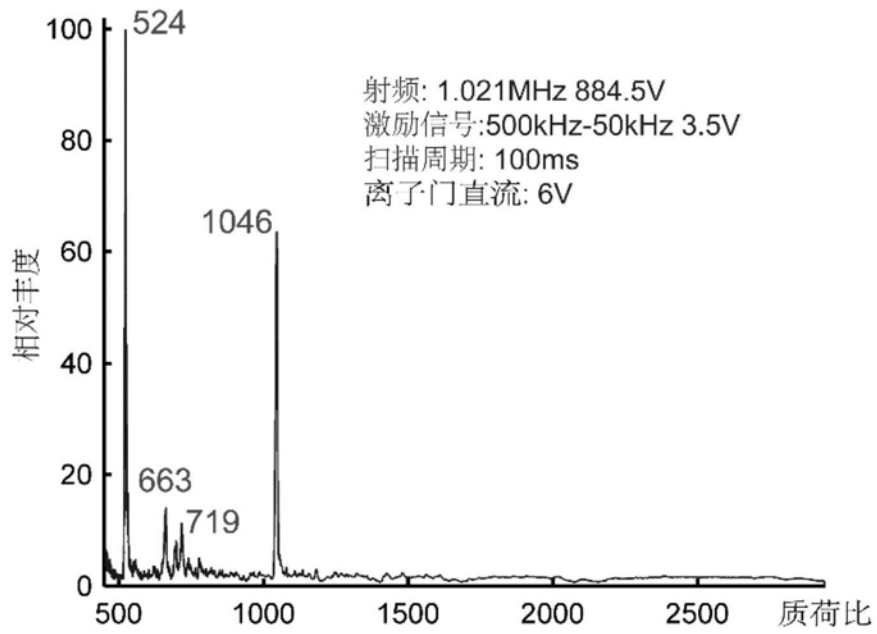


图6

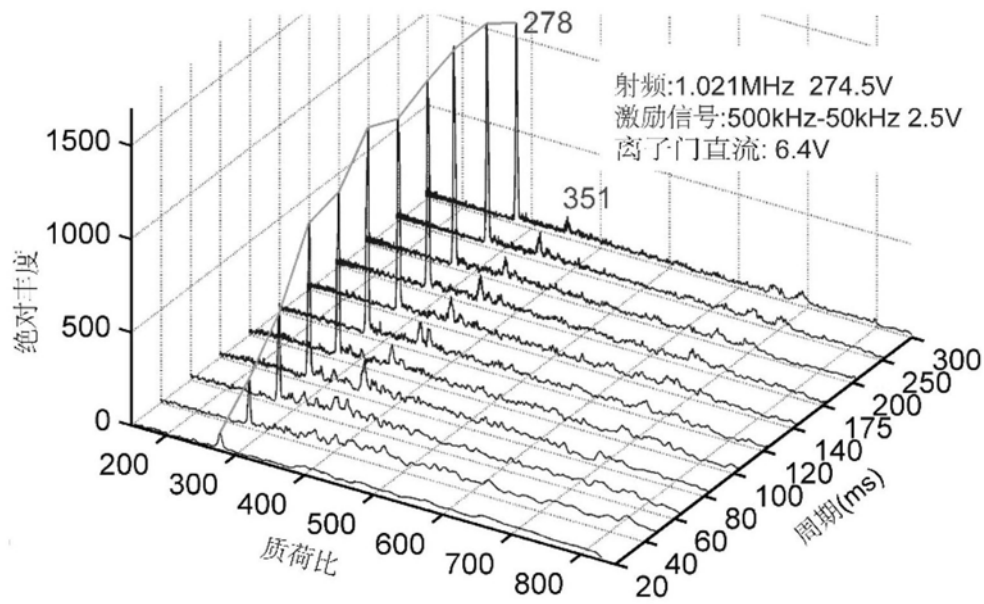


图7

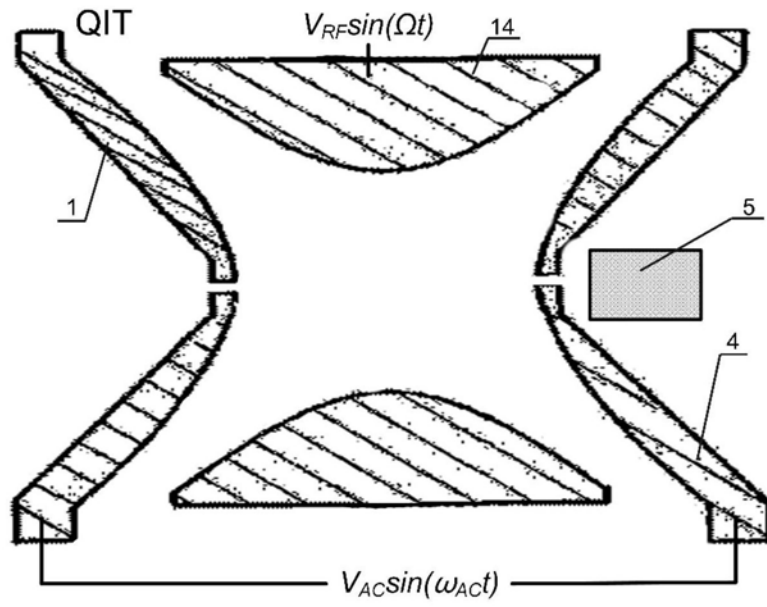


图8