



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103119689 B

(45)授权公告日 2016.10.05

(21)申请号 201180045136.9

(22)申请日 2011.08.03

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 103119689 A

(43)申请公布日 2013.05.22

(30)优先权数据

61/370,492 2010.08.04 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2013.03.20

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/CA2011/000889 2011.08.03

(87)PCT国际申请的公布数据

W02012/016330 EN 2012.02.09

(73)专利权人 DH科技发展私人贸易有限公司

地址 新加坡市

(72)发明人 亚历山大·洛博达

(74)专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限公司

责任公司 11287

代理人 容春霞

(51)Int.Cl.

H01J 49/26(2006.01)

H01J 49/04(2006.01)

H01J 49/06(2006.01)

(56)对比文件

US 2009/0008543 A1, 2009.01.08, 说明书第0011-0024段, 第0076-0097段, 说明书附图1-5, 11-13.

US 2009/0008543 A1, 2009.01.08, 说明书第0011-0024段, 第0076-0097段, 说明书附图1-5, 11-13.

US 7288761 B2, 2007.10.30, 说明书第9栏第47-65行, 说明书附图1.

WO 2007/072038 A2, 2007.06.28, 全文.

CN 101515532 A, 2009.08.26, 全文.

WO 2009/094760 A1, 2009.08.06, 全文.

审查员 李晨雄

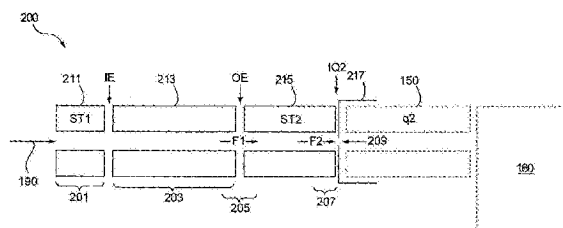
权利要求书5页 说明书18页 附图24页

(54)发明名称

用于径向幅值辅助转移的线性离子阱

(57)摘要

本发明提供用于质谱仪中的径向幅值辅助转移RAAT的系统、方法及设备,其中沿着质谱仪的纵轴使用于RAAT的离子加速,以降低离子阱中的径向激发离子的激发能量的量值,其允许所述径向激发离子退出所述离子阱。因此,所述径向激发离子以降低的径向能量退出所述离子阱,从而减小所述径向激发离子从所述离子阱的退出角度。此外,对所述离子的组合力使得径向激发离子退出所述离子阱,同时未激发离子保持在所述离子阱中。



1. 一种用于径向幅值辅助转移RAAT的质谱仪,所述质谱仪包含:

离子源;

第一轴向加速区域,其用于沿着所述质谱仪的纵轴使来自所述离子源的离子的至少一部分轴向加速;

至少一个线性离子阱,其经布置以接收来自所述离子源的所述离子,所述至少一个线性离子阱包含:

入口区域,其用于在其中接收所述离子;

出口区域,其用于将径向激发离子转移出所述至少一个线性离子阱;

至少一个DC(直流)电极,其用于施加DC势垒以防止未激发离子退出所述至少一个线性离子阱;

径向激发区域,其在所述入口区域与所述出口区域之间,所述径向激发区域用于选择性地径向激发在所述至少一个线性离子阱中捕获的所述离子,从而产生径向激发离子;

第二轴向加速区域,其用于归因于由RF场强度的降低产生的伪电势而沿着所述纵轴朝向所述出口区域使所述径向激发离子进一步加速,使得归因于所述第一轴向加速区域及所述第二轴向加速区域的对所述径向激发离子的力的组合作用致使所述径向激发离子克服所述DC势垒,同时未被径向激发的所述未激发离子保持在所述至少一个线性离子阱中;及

检测装置,其用于接收及分析退出所述至少一个线性离子阱的所述径向加速离子的至少一部分。

2. 根据权利要求1所述的质谱仪,其中所述第一轴向加速区域位于所述离子源与所述至少一个线性离子阱之间,所述第一轴向加速区域中的加速通过向所述离子的所述至少一部分提供纵向DC电势而发生。

3. 根据权利要求1所述的质谱仪,其中所述第一轴向加速区域位于所述至少一个线性离子阱中在所述出口区域之前,所述第一轴向加速区域中的加速通过以下各者中的至少一者而发生:

在所述第一轴向加速区域中提供所述RF场的差异以在所述第一轴向加速区域处产生对所述径向激发离子的伪电势纵轴向力;及

在所述第一轴向加速区域中提供纵向DC电势。

4. 根据权利要求3所述的质谱仪,其中所述提供所述RF场的所述差异包含在所述第一轴向加速区域中提供RF梯度。

5. 根据权利要求4所述的质谱仪,其中所述至少一个离子阱包含RF电极,所述RF电极之间的径向距离在所述第一轴向加速区域中增大,使得所述提供所述RF场的所述差异归因于所述距离的变化而发生。

6. 根据权利要求5所述的质谱仪,其中所述RF电极之间的所述距离是归因于所述RF电极的形状的变化。

7. 根据权利要求5所述的质谱仪,其中所述RF电极为以下各者中的至少一者:

在所述第一轴向加速区域中直径减小;

在所述第一轴向加速区域中为锥形;及

在所述第一轴向加速区域中为阶梯形。

8. 根据权利要求3所述的质谱仪,其中所述第一轴向加速区域在所述径向激发区域与

所述出口区域之间,所述至少一个线性离子阱包含所述径向激发区域中的第一组RF电极及所述第一轴向加速区域中的第二组电极,所述第二组RF电极经由引起所述径向激发区域与所述第一轴向加速区域之间的所述RF场的变化的电路电连接到所述第一组RF电极,使得所述RF场的所述差异是由所述变化引起。

9.根据权利要求4所述的质谱仪,其中所述第二轴向加速区域邻近于所述出口区域,所述至少一个DC电极邻近于所述出口区域而定位。

10.根据权利要求4所述的质谱仪,其中所述第二轴向加速区域定位在所述第一轴向加速区域与所述出口区域之间,所述至少一个DC电极定位在所述第一轴向加速区域与所述出口区域之间。

11.根据权利要求3所述的质谱仪,其中所述径向激发区域包含用于产生所述径向激发离子的至少一组RF电极及用于提供所述纵向DC电势的至少一组DC电极,其中所述第二轴向加速区域邻近于所述出口区域,所述至少一个DC电极邻近于所述出口区域而定位。

12.根据权利要求11所述的质谱仪,其中所述至少一组DC电极之间的距离从所述DC电极的入口端到所述DC电极的出口端增大,从而提供所述纵向DC电势。

13.根据权利要求11所述的质谱仪,其中所述至少一组DC电极中的每一者包含用于产生所述纵向DC电势的一系列相对DC电极,所述系列的相对DC电极经独立地控制以在DC电势在所述系列中的每一连续电极中步进时将所述纵向DC电势施加到所述离子。

14.根据权利要求1所述的质谱仪,其中所述径向激发区域包含所述第一轴向加速区域,对所述径向激发离子的纵轴向力是归因于所述径向激发区域中的经分段RF电极,所述经分段RF电极各自具有相应的所施加DC电压,所述相应的所施加DC电压从所述径向加速区域的入口端到所述径向加速区域的出口端降低。

15.根据权利要求1所述的质谱仪,其中所述径向激发区域包含所述第一轴向加速区域,对所述径向激发离子的纵轴向力是归因于所述径向激发区域中的RF电极上的电阻性涂层。

16.根据权利要求2所述的质谱仪,其中所述第一轴向加速区域在所述径向激发区域与末端阱之间,其中所述在所述第一轴向加速区域中提供纵向DC电势的差异包含:

在所述第一轴向加速区域中施加第一DC电势以用于在选择性径向激发期间捕获所述径向加速区域中的所述离子,所述第一DC电势大于所述径向激发区域中的DC电势;及,

在所述第一轴向加速区域中施加小于所述第一DC电势且小于所述径向激发区域中的所述DC电势的第二DC电势,使得所述径向激发区域中的离子通过所述第一轴向加速区域被加速,且归因于所述纵向DC电势及所述伪电势的对所述径向激发离子的力的所述组合致使所述径向激发离子克服所述DC势垒。

17.根据权利要求16所述的质谱仪,其中所述径向激发区域包含用于产生所述径向激发离子的至少一组RF电极及用于提供降低的DC电势的至少一组DC电极,且其中,在施加所述第二DC电势之前,在所述径向激发区域中施加所述降低的DC电势,因此施加对所述径向激发离子的额外加速力。

18.根据权利要求1所述的质谱仪,其中所述至少一个线性离子阱经启用以经由以下各者中的至少一者产生所述径向激发离子:

AC(交流)场;

使RF电压接近所选择离子的非稳定阈值;及

将所述RF电压升高到所述非稳定阈值或以上达激发的持续时间且接着降低所述RF电压。

19. 根据权利要求1所述的质谱仪,其中所述第二轴向加速区域为邻近于所述出口区域及在所述出口区域之前中的至少一者。

20. 一种用于质谱仪中的径向幅值辅助转移RAAT的方法,所述方法包含:

在离子源中产生离子;

在第一轴向加速区域中沿着所述质谱仪的纵轴使所述离子的至少一部分轴向加速;及

在第二轴向加速区域中将伪电势施加到离子阱中的径向激发离子,所述伪电势由RF场强度的降低产生,使得归因于所述第一轴向加速区域及所述第二轴向加速区域的对所述径向激发离子的力的组合作用致使所述径向激发离子克服DC(直流)势垒,同时未被径向激发的未激发离子保持在所述至少一个线性离子阱中,所述线性离子阱经布置以接收来自所述离子源的所述离子,所述至少一个线性离子阱包含:

入口区域,其用于在其中接收所述离子;出口区域,其用于将径向激发离子转移出所述至少一个线性离子阱;至少一个DC电极,其用于施加所述DC势垒以防止所述未激发离子退出所述至少一个线性离子阱;径向激发区域,其在所述入口区域与所述出口区域之间,所述径向激发区域用于选择性地径向激发在所述至少一个线性离子阱中捕获的所述离子,从而产生所述径向激发离子;

及在检测装置处分析所述径向激发离子的至少一部分。

21. 根据权利要求20所述的方法,其中启用所述至少一个线性离子阱以经由以下各者中的至少一者产生所述径向激发离子:

AC(加速电流)场;

使RF电压接近所选择离子的非稳定阈值;及

升高所述RF电压达激发的持续时间且接着降低所述RF电压。

22. 一种用于质谱仪中的径向幅值辅助转移RAAT的方法,所述方法包含:

将来自离子源的离子注射到经启用以用于RAAT的线性离子阱中;

径向激发所述离子的至少一部分以在所述线性离子阱中产生径向激发离子;

沿着所述质谱仪的纵轴使所述离子及所述径向激发离子中的至少一者加速,其中所述加速在所述径向激发步骤之前及在所述径向激发步骤之后中的至少一者处发生;及

归因于由RF场强度的降低产生的伪电势而沿着所述纵轴使所述径向激发离子进一步加速,使得归因于所述加速步骤及所述进一步加速的对所述径向激发离子的力的组合致使所述径向激发离子克服DC势垒且退出所述线性离子阱,同时未被径向激发的所述离子保持在所述线性离子阱中。

23. 根据权利要求22所述的方法,其中所述加速步骤在所述径向激发步骤之前发生,

且其中所述加速步骤进一步在所述离子源与所述线性离子阱之间发生。

24. 根据权利要求22所述的方法,其中通过以下各者中的至少一者而发生所述加速步骤:

在所述线性离子阱中在出口区域之前提供RF场的差异以在所述出口区域与所述线性离子阱之间产生对所述径向激发离子的伪电势纵轴向力;及

在所述离子与所述径向激发离子中的所述至少一者上提供纵向DC电势。

25. 根据权利要求24所述的方法, 其中所述提供所述RF场的所述差异包含通过以下各者中的至少一者提供RF梯度:

所述线性离子阱中的RF电极之间的增大的径向距离;

所述RF电极的形状的变化;

所述线性离子阱的至少第一部分中的所述RF电极的直径的减小;

所述RF电极在所述线性离子阱的至少第二部分中为锥形;

所述RF电极在所述线性离子阱的至少第三部分中为阶梯形; 及

所述线性离子阱包含第一组RF电极及邻近所述出口区域的至少第二组电极, 所述第二组RF电极经由引起所述RF场的所述差异的电路电连接到所述第一组RF电极。

26. 根据权利要求24所述的方法, 其中通过增大在所述线性离子阱中纵向延伸的至少一组DC电极之间的距离而发生所述提供所述纵向DC电势。

27. 根据权利要求24所述的方法, 其中通过提供在所述线性离子阱中纵向延伸的一系列相对DC电极而发生所述提供所述纵向DC电势, 所述系列的相对DC电极用于产生所述纵向DC电势, 所述系列的相对DC电极经独立地控制以在DC电势在所述系列中的每一连续电极中步进时将所述纵向DC电势施加到所述离子。

28. 根据权利要求22所述的方法, 其中所述径向激发区域包含第一轴向加速区域, 对所述径向激发离子的纵轴向力是归因于所述径向激发区域中的经分段RF电极, 所述经分段RF电极各自具有相应的所施加DC电压, 所述相应的所施加DC电压从所述径向加速区域的入口端到所述径向加速区域的出口端降低。

29. 根据权利要求22所述的方法, 其中所述径向激发区域包含第一轴向加速区域, 对所述径向激发离子的纵轴向力是归因于所述径向激发区域中的RF电极上的电阻性涂层。

30. 根据权利要求22所述的方法, 其进一步包含通过以下操作从所述线性离子阱提取所述径向激发离子:

施加邻近出口区域的第一DC电势以用于在选择性径向激发期间捕获所述线性离子阱的所述径向加速区域中的所述离子, 所述第一DC电势大于所述径向激发区域中的DC电势; 及,

施加邻近所述出口区域的第二DC电势, 所述第二DC电势小于所述第一DC电压且小于所述径向激发区域中的所述DC电势, 使得所述径向激发区域中的离子被加速到所述出口区域, 且归因于纵向DC电势及所述伪电势的对所述径向激发离子的力的所述组合致使所述径向激发离子克服所述DC势垒。

31. 根据权利要求30所述的方法, 其进一步包含在施加所述第二DC电势之前, 在所述径向激发区域中施加降低的DC电势, 因此施加对所述径向激发离子的额外加速力。

32. 一种用于径向幅值辅助转移RAAT的质谱仪, 所述质谱仪包含:

离子源;

至少一个线性离子阱, 其经布置以接收来自所述离子源的离子, 所述至少一个线性离子阱包含:

入口区域, 其用于在其中接收所述离子;

出口区域, 其用于将径向激发离子转移出所述至少一个线性离子阱;

至少一个DC(直流)电极,其用于施加DC势垒以防止未激发离子退出所述至少一个线性离子阱;

径向激发区域,其在所述入口区域与所述出口区域之间,所述径向激发区域用于选择性地径向激发在所述线性离子阱中捕获的所述离子,从而经由施加AC(交流)场产生径向激发离子;

轴向加速区域,其在所述至少一个线性离子阱的所述径向激发区域与出口之间,所述轴向加速区域用于通过提供所述轴向加速区域中的RF场的差异以在所述轴向加速区域处产生对所述径向激发离子的伪电势纵轴向力而沿着所述质谱仪的纵轴使来自所述离子源的所述离子的至少一部分轴向加速,所述RF场的所述差异由来自以下各者中的至少一者的RF梯度提供:

所述至少一个线性离子阱中的RF电极之间的增大的距离;

所述RF电极的形状的变化;

所述线性离子阱的至少第一部分中的所述RF电极的直径的减小;

所述RF电极在所述线性离子阱的至少第二部分中为锥形;

所述RF电极在所述线性离子阱的至少第三部分中为阶梯形;及

所述线性离子阱包含第一组RF电极及邻近所述出口区域的第二组电极;所述第二组RF电极经由引起所述RF场的所述差异的电路电连接到所述第一组RF电极;及

至少一个电极,其在所述径向激发区域与所述出口之间,所述至少一个电极用于提供DC(直流)势垒以防止所述未激发离子到达所述出口,对所述径向激发离子的所述伪电势纵轴向力用于克服所述DC势垒,使得所述径向激发离子克服所述DC势垒且退出所述至少一个离子阱;及

检测装置,其用于接收及分析退出所述至少一个离子阱的所述径向激发离子的至少一部分。

用于径向幅值辅助转移的线性离子阱

技术领域

[0001] 本发明大体上涉及质谱仪,且更具体来说涉及用于径向幅值辅助转移的线性离子阱。

背景技术

[0002] 质量选择性轴向喷射(MSAE)为质谱仪的线性离子引导件中用于选择离子及通过施加径向激发而沿着轴线喷射离子的技术。离子由RF(射频)四极场径向地捕获且由施加在离子引导件的末端处的静态DC(直流)电势轴向地捕获。轴向力归因于在离子引导件的边缘区域处轴向地产生的伪电势而出现,所述轴向力取决于径向激发的幅值。当所述幅值较高时,喷射径向激发离子。

发明内容

[0003] 本发明的一个实施例提供一种用于径向幅值辅助转移(RAAT)的质谱仪,所述质谱仪包含:离子源;第一轴向加速区域,其用于沿着所述质谱仪的纵轴使来自所述离子源的所述离子的至少一部分轴向加速;至少一个线性离子阱,其经布置以接收来自所述离子源的所述离子,所述至少一个线性离子阱包含:入口区域,其用于在其中接收所述离子;出口区域,其用于将径向激发离子转移出所述至少一个线性离子阱;至少一个DC(直流)电极,其用于施加DC势垒以防止未激发离子退出所述至少一个线性离子阱;径向激发区域,其在所述入口区域与所述出口区域之间,所述径向激发区域用于选择性地径向激发在所述至少一个线性离子阱中捕获的所述离子,从而产生所述径向激发离子;第二轴向加速区域,其用于归因于由RF场强度的降低产生的伪电势而沿着所述纵轴朝向所述出口区域使所述径向激发离子进一步加速,使得归因于所述第一轴向加速区域及所述第二轴向加速区域的对所述径向激发离子的力的组合作用使所述径向激发离子克服所述DC势垒,同时未被径向激发的所述未激发离子保持在所述至少一个线性离子阱中;及检测装置,其用于接收及分析退出所述至少一个线性离子阱的所述径向激发离子的至少一部分。

[0004] 本发明的另一实施例提供一种用于质谱仪中的径向幅值辅助转移(RAAT)的方法,所述方法包含:在离子源中产生离子;在第一轴向加速区域中沿着所述质谱仪的纵轴使所述离子的至少一部分轴向加速;及在第二轴向加速区域中将伪电势施加到离子阱中的径向激发离子,所述伪电势由RF场强度的降低产生,使得归因于所述第一轴向加速区域及所述第二轴向加速区域的对所述径向激发离子的力的组合作用使所述径向激发离子克服DC(直流)势垒,同时未被径向激发的未激发离子保持在所述至少一个线性离子阱中,所述线性离子阱经布置以接收来自所述离子源的所述离子,所述至少一个线性离子阱包含:入口区域,其用于在其中接收所述离子;出口区域,其用于将径向激发离子转移出所述至少一个线性离子阱;至少一个DC电极,其用于施加所述DC势垒以防止所述未激发离子退出所述至少一个线性离子阱;径向激发区域,其在所述入口区域与所述出口区域之间,所述径向激发区域用于选择性地径向激发在所述至少一个线性离子阱中捕获的所述离子,从而产生所述径向

激发离子;及在检测装置处分析所述径向激发离子的至少一部分。

[0005] 本发明的进一步实施例提供一种用于质谱仪中的径向幅值辅助转移(RAAT)的方法,所述方法包含:将来自离子源的离子注射到经启用以用于RAAT的线性离子阱中;径向激发所述离子的至少一部分以在所述线性离子阱中产生径向激发离子;沿着所述质谱仪的纵轴使所述离子及所述径向激发离子中的至少一者加速,其中所述加速在于所述径向激发步骤之前及在所述径向激发步骤之后中的至少一者处发生;及归因于由RF场强度的降低产生的伪电势而沿着所述纵轴使所述径向激发离子进一步加速,使得归因于所述加速步骤及所述进一步加速的对所述径向激发离子的力的组合使所述径向激发离子克服DC势垒且退出所述线性离子阱,同时未被径向激发的所述离子保持在所述线性离子阱中。

[0006] 本发明的又一实施例提供一种用于径向幅值辅助转移(RAAT)的质谱仪,所述质谱仪包含:离子源;至少一个线性离子阱,其经布置以接收来自所述离子源的所述离子,所述至少一个线性离子阱包含:入口区域,其用于在其中接收所述离子;出口区域,其用于将径向激发离子转移出所述至少一个线性离子阱;至少一个DC(直流)电极,其用于施加DC势垒以防止未激发离子退出所述至少一个线性离子阱;径向激发区域,其在所述入口区域与所述出口区域之间,所述径向激发区域用于选择性地径向激发在所述线性离子阱中捕获的所述离子,从而经由施加AC(交流)场产生径向激发离子;轴向加速区域,其在所述至少一个线性离子阱的所述径向激发区域与出口之间,所述轴向加速区域用于通过提供所述轴向加速区域中的所述RF场的差异以在所述轴向加速区域处产生对所述径向激发离子的伪电势纵轴向力而沿着所述质谱仪的纵轴使来自所述离子源的所述离子的至少一部分轴向加速,所述RF场的所述差异由来自以下各者中的至少一者的RF梯度提供:所述至少一个线性离子阱中的RF电极之间的增大的距离;所述RF电极的形状的变化;所述线性离子阱的至少第一部分中的所述RF电极的直径的减小;所述RF电极在所述线性离子阱的至少第二部分中为锥形;所述RF电极在所述线性离子阱的至少第三部分中为阶梯形;及所述线性离子阱包含第一组RF电极及邻近所述出口区域的第二组电极;所述第二组RF电极经由引起所述RF场的所述差异的电路电连接到所述第一组RF电极;及至少一个电极,其在所述径向激发区域与所述出口之间,所述至少一个电极用于提供DC(直流)势垒以防止所述未激发离子到达所述出口,对所述径向激发离子的所述伪电势纵轴向力用于克服所述DC势垒,使得所述径向激发离子克服所述DC势垒且退出所述至少一个离子阱;及检测装置,其用于接收及分析退出所述至少一个离子阱的所述径向激发离子的至少一部分。

附图说明

[0007] 参考以下图式描述实施方案,其中:

[0008] 图1描绘根据非限制性实施方案的质谱仪的框图;

[0009] 图2描绘根据非限制性实施方案的用于径向幅值辅助转移的线性离子阱的框图;

[0010] 图3描绘根据非限制性实施方案的可在包括图2的线性离子阱的质谱仪中施加的DC曲线;

[0011] 图4描绘根据非限制性实施方案的退出图2的线性离子阱的原型的离子的离子强度;

[0012] 图5A描绘根据非限制性实施方案的标绘为沿着线性离子阱的长度的坐标(x)的函

数的组合DC电势加上伪电势分布的基本模型的图表；

[0013] 图5B描绘根据非限制性实施方案的标绘为沿着线性离子阱的长度的坐标(x)的函数的组合DC电势加上伪电势分布的基本模型的图表；

[0014] 图6描绘根据非限制性实施方案的用于径向幅值辅助转移的线性离子阱的框图；

[0015] 图7描绘根据非限制性实施方案的可在包括图6的线性离子阱的质谱仪中施加的DC曲线；

[0016] 图8描绘根据非限制性实施方案的图6的线性离子阱的横截面；

[0017] 图9描绘根据非限制性实施方案的用于径向幅值辅助转移的线性离子阱的框图；

[0018] 图10描绘根据非限制性实施方案的可在包括图9的线性离子阱的质谱仪中施加的DC曲线；

[0019] 图11描绘根据非限制性实施方案的用于径向幅值辅助转移的线性离子阱的框图；

[0020] 图12描绘根据非限制性实施方案的可在包括图11的线性离子阱的质谱仪中施加的DC曲线；

[0021] 图13描绘根据非限制性实施方案的用于径向幅值辅助转移的线性离子阱的框图；

[0022] 图14描绘根据非限制性实施方案的可在包括图13的线性离子阱的质谱仪中施加的DC曲线；

[0023] 图15到17描绘根据非限制性实施方案的用于径向幅值辅助转移的线性离子阱的框图；

[0024] 图18描绘根据非限制性实施方案的质谱仪的框图；

[0025] 图19描绘根据非限制性实施方案的用于径向幅值辅助转移的方法的流程图；

[0026] 图20描绘根据非限制性实施方案的用于径向幅值辅助转移的线性离子阱的框图；

[0027] 图21描绘根据非限制性实施方案的用作一系列DC电极的PCB(印刷电路板)的透视图；及

[0028] 图22到24描绘根据非限制性实施方案的用于径向幅值辅助转移的线性离子阱的框图。

具体实施方式

[0029] 说明书的第一方面提供一种用于径向幅值辅助转移(RAAT)的质谱仪,所述质谱仪包含:离子源;第一轴向加速区域,其用于沿着质谱仪的纵轴轴向地加速来自所述离子源的离子的至少一部分;至少一个线性离子阱,其经布置以从离子源接收离子,所述至少一个线性离子阱包含:入口区域,其用于在其中接收离子;出口区域,其用于将径向激发离子转移出所述至少一个线性离子阱;至少一个DC(直流)电极,其用于施加DC势垒以防止未激发离子退出所述至少一个线性离子阱;径向激发区域,其在所述入口区域与所述出口区域之间,所述径向激发区域用于选择性地径向激发在至少一个线性离子阱中捕获的离子,从而产生径向激发离子;第二轴向加速区域,其用于归因于由RF场强度的降低产生的伪电势(pseudo-potential)而沿着纵轴进一步朝向出口区域加速径向激发离子,使得归因于第一轴向加速区域及第二轴向加速区域的对径向激发离子的力的组合作用使径向激发离子克服DC势垒,而未激发离子(其未被径向激发)保持在至少一个线性离子阱中。质谱仪进一步包含检测装置,其用于接收及分析退出至少一个线性离子阱的径向激发离子的至少一部

分。

[0030] 第一轴向加速区域可定位在离子源与至少一个线性离子阱之间,通过向所述离子的所述至少一部分提供纵向DC电势而发生所述第一轴向区域中的加速。

[0031] 第一轴向加速区域可定位在至少一个线性离子阱中在出口区域之前,所述第一轴向区域中的加速可通过以下各者中的至少一者而发生:在第一轴向加速区域中提供RF场的差异以在所述第一轴向加速区域处产生对径向激发离子的伪电势纵轴向力;及在第一轴向加速中提供纵向DC电势。提供RF场的差异可包含在第一加速区域中提供RF梯度。所述至少一个离子阱可包含RF电极,所述RF电极之间的径向距离在第一轴向加速区域中增大,使得提供RF场的差异归因于距离变化而发生。RF电极之间的距离可归因于RF电极的形状的变化。RF电极为以下各者中的至少一者:在第一轴向加速区域中直径减小;在第一轴向加速区域中为锥形;及在第一轴向加速区域中为阶梯形(steped)。

[0032] 第一加速区域可在径向激发区域与出口区域之间,且至少一个线性离子阱可包含径向激发区域中的第一组RF电极及第一加速区域中的第二组电极,所述第二组RF电极经由电路电连接到第一组RF电极,所述电路引起径向激发区域与第一加速区域之间的RF场的变化,使得RF场的差异是由所述变化引起。换句话说,径向激发离子的轴向加速是归因于源自RF场的变化的伪电势。

[0033] 第二轴向加速区域可邻近于出口区域,且至少一个DC电极可邻近于出口区域而定位。

[0034] 第二轴向加速区域可定位在第一加速与出口区域之间,至少一个DC电极可定位在第一加速与出口区域之间。

[0035] 径向激发区域可包含至少一组RF电极以用于产生径向激发离子,且包含至少一组DC电极以用于提供纵向DC电势。所述第二轴向加速区域可邻近于出口区域,且至少一个DC电极也可邻近于出口区域而定位。至少一组DC电极之间的距离可从DC电极的进入端到DC电极的出口端增大,从而提供纵向DC电势。至少一组DC电极中的每一者可包含一系列相对DC电极以用于产生纵向DC电势,所述系列的相对DC电极经独立控制而在DC电势在所述系列中的每一连续电极中步进时将纵向DC电势施加到离子。

[0036] 径向激发区域可包含第一轴向加速区域,且对径向激发离子的纵轴向力可归因于径向激发区域中的分段RF电极,所述分段RF电极各自具有相应的所施加DC电压,所施加DC电压从径向加速区域的进入端到径向加速区域的出口端降低。

[0037] 径向激发区域可包含第一轴向加速区域,对径向激发离子的纵轴向力是归因于径向加速区域中的RF电极上的电阻性涂层。

[0038] 第一轴向加速区域可在径向激发区域与末端阱(end trap)之间,其中在第一轴向加速区域中提供纵向DC电势的差异可包含:在第一轴向加速区域中施加第一DC电势以用于在选择性径向激发期间捕获径向加速区域中的离子,第一DC电势大于径向激发区域中的DC电势;及在第一轴向加速区域中施加小于第一DC电势且小于径向激发区域中的DC电势的第二DC电势,使得径向激发区域中的离子通过第一轴向加速区域加速,且归因于纵向DC电势及伪电势的对径向激发离子的力的组合使径向激发离子克服DC势垒。径向激发区域可包含至少一组RF电极以用于产生径向激发离子且包含至少一组DC电极以用于提供递减的DC电势,且其中,在施加第二DC电势之前,在径向激发区域中施加递减的DC电势,因此施加对径

向激发离子的额外加速力。

[0039] 至少一个线性离子阱可经启用以经由以下各者中的至少一者产生径向激发离子：AC(交流)场；使RF电压接近所选择离子的非稳定阈值；且将RF电压升高到所述非稳定阈值或所述非稳定阈值以上达激发持续时间且接着降低RF电压。

[0040] 第二径向加速区域可为邻近于出口区域及在出口区域之前的至少一者。

[0041] 说明书的第二方面提供一种用于质谱仪中的径向幅值辅助转移(RAAT)的方法，所述方法包含：在离子源中产生离子；在第一轴向加速区域中沿着质谱仪的纵轴轴向地加速所述离子的至少一部分；及在第二轴向加速区域中将伪电势施加到离子阱中的径向激发离子，所述伪电势由RF场强度的降低产生，使得归因于第一轴向加速区域及第二轴向加速区域的对径向激发离子的力的组合作用使径向激发离子克服DC(直流)势垒，同时未激发离子(其未被径向激发)保持在至少一个线性离子阱中，所述线性离子阱经布置以从离子源接收离子，所述至少一个线性离子阱包含：入口区域，其用于在其中接收离子；出口区域，其用于将径向激发离子转移出至少一个线性离子阱；至少一个DC电极，其用于施加DC势垒以防止未激发离子退出至少一个线性离子阱；径向激发区域，其在入口区域与出口区域之间，所述径向激发区域用于选择性地径向激发在至少一个线性离子阱中捕获的离子，从而产生径向激发离子。所述方法进一步包含在检测装置处分析径向激发离子的至少一部分。

[0042] 至少一个线性离子阱可经启用以经由以下各者中的至少一者产生径向激发离子：AC(加速电流)场；使RF电压接近所选择离子的非稳定阈值；及升高RF电压达激发持续时间且接着降低RF电压。

[0043] 说明书的第三方面提供一种用于质谱仪中的径向幅值辅助转移(RAAT)的方法，所述方法包含：将来自离子源的离子注射到经启用以用于RAAT的线性离子阱中；径向地激发所述离子的至少一部分以在线性离子阱中产生径向激发离子；沿着质谱仪的纵轴加速离子及径向激发离子中的至少一者，其中加速在在径向激发步骤之前及径向激发步骤之后的至少一者处发生；及归因于由RF场强度的降低产生的伪电势而沿着纵轴进一步加速径向激发离子，使得归因于所述加速步骤及所述进一步加速的对径向激发离子的力的组合使径向激发离子克服DC势垒且从线性离子阱退出，同时未被径向激发的离子保持在线性离子阱中。

[0044] 加速步骤可在径向激发步骤之前发生。所述加速步骤可在离子源与线性离子阱之间进一步发生。

[0045] 加速步骤可通过以下各者中的至少一者而发生：在线性离子阱中在出口区域之前提供RF场的差异以在线性离子阱与出口区域之间产生对径向激发离子的伪电势纵轴向力；及在离子及径向激发离子中的至少一者上提供纵向DC电势。提供RF场的差异可包含通过以下各者中的至少一者提供RF梯度：增大线性离子阱中的RF电极之间的径向距离；RF电极的形状的变化；线性离子阱的至少第一部分中的RF电极的直径的减小；RF电极在线性离子阱的至少第二部分中为锥形；RF电极在线性离子阱的至少第三部分中为阶梯形；及线性离子阱包含第一组RF电极及邻近出口区域的至少第二组电极，所述第二组RF电极经由引起RF电场的差异的电路而电连接到第一组RF电极。

[0046] 提供纵向DC电势可通过增大在线性离子阱中纵向延伸的至少一组DC电极之间的距离而发生。

[0047] 提供纵向DC电势可通过提供在线性离子阱中纵向延伸的一系列相对DC电极而发生,所述系列的相对DC电极用于产生纵向DC电势,所述系列的相对DC电极经独立地控制以在DC电势在所述系列中的每一连续电极中步进时将纵向DC电势施加到离子。

[0048] 径向激发区域可包含第一轴向加速区域,且对径向激发离子的纵轴向力可归因于径向激发区域中的分段RF电极,所述分段RF电极各自具有相应的所施加DC电压,所施加DC电压从径向加速区域的进入端到径向加速区域的出口端降低。

[0049] 径向激发区域可包含第一轴向加速区域,对径向激发离子的纵轴向力是归因于径向加速区域中的RF电极上的电阻性涂层。

[0050] 所述方法可进一步包含通过以下操作从线性离子阱提取径向激发离子:施加邻近出口区域的第一DC电势以用于在选择性径向激发期间捕获线性离子阱的径向加速区域中的离子,第一DC电势大于径向激发区域中的DC电势;及施加邻近出口区域的第二DC电势,所述第二DC电势小于第一DC电势且小于径向激发区域中的DC电势,使得径向激发区域中的离子被加速到出口区域且归因于纵向DC电势及伪电势的对径向激发离子的力的组合使径向激发离子克服DC势垒。所述方法可进一步包含在施加第二DC电势之前在径向激发区域中施加递减的DC电势,因此施加对径向激发离子的额外加速力。

[0051] 说明书的第四方面提供一种用于径向幅值辅助转移(RAAT)的质谱仪,所述质谱仪包含:离子源;至少一个线性离子阱,其经布置以从所述离子源接收离子,所述至少一个线性离子阱包含:入口区域,其用于在其中接收离子;出口区域,其用于将径向激发离子转移出至少一个线性离子阱;至少一个DC(直流)电极,其用于施加DC势垒以防止未激发离子退出至少一个线性离子阱;径向激发区域,其在入口区域与出口区域之间,所述径向激发区域用于选择性地激发在线性离子阱中捕获的离子,从而经由施加AC(交流)场而产生径向激发离子;轴向加速区域,其在至少一个线性离子阱的径向激发区域与至少一个线性离子阱的出口之间,所述轴向加速区域用于通过在轴向加速区域中提供RF场的差异而沿着质谱仪的纵轴轴向地加速来自离子源的离子的至少一部分,以在轴向加速区域处产生对径向激发离子的伪电势纵轴向力,RF场的差异通过来自以下各者中的至少一者的RF梯度而提供:至少一个线性离子阱中的RF电极之间的增大的距离;RF电极的形状的变化;线性离子阱的至少第一部分中的RF电极的直径的减小;RF电极在线性离子阱的至少第二部分中为锥形;RF电极在线性离子阱的至少第三部分中为阶梯形;且线性离子阱包含第一组RF电极及邻近出口区域的至少第二组电极,所述第二组RF电极经由引起RF电场的差异的电路而电连接到第一组RF电极。至少一个线性离子阱进一步包含径向激发区域与出口之间的至少一个电极,其用于提供DC(直流)势垒以防止未激发离子到达出口,对径向激发离子的伪电势纵轴向力用于克服DC势垒,使得径向激发离子克服DC势垒且退出至少一个离子阱。所述质谱仪进一步包含检测装置,其用于接收及分析退出至少一个离子阱的径向激发离子的至少一部分。

[0052] 质量选择性轴向喷射(MSAE)为选择及喷射质谱仪的线性离子引导件中的离子的方法。一系列所关注离子在线性离子引导件中被捕获且接着以质量选择方式被喷射穿过离子引导件的输出端。当将电压施加到位于离子引导件的输出端附近的DC势垒电极时,首先在径向方向上激发所关注离子。所述电压经设定以防止未激发离子越过势垒,同时允许经激发离子经由孔隙退出。激发离子可归因于由存在于离子引导件的末端处的边缘场施加的额外轴向力而越过势垒且通过孔隙退出。轴向力的量值取决于径向激发的幅值。

[0053] 喷射效率可受到损害,因为具有高径向幅值(及高径向能量)的离子可归因于退出离子的相对大的圆锥角而在孔隙处丢失。此外,即使离子成功通过(make it through)孔隙,其仍可归因于邻近离子引导件不能包含具有高径向幅值的离子或归因于在暴露于远离轴线的高边缘场时获得高轴向能量的离子的广延分裂而丢失。

[0054] 图1描绘质谱仪100,质谱仪100包含离子源120、离子引导件130、线性离子阱140、碰撞室150(例如,分裂模块)及检测器160,质谱仪100经启用以将离子束从离子源120一直传输到检测器160。在一些实施方案中,质谱仪100可进一步包含处理器185,其用于控制质谱仪100的操作,包括(但不限于)控制离子源120使可离子化的材料离子化及控制离子在质谱仪100的模块之间的转移。在操作中,将可离子化材料引入到离子源120中。离子源120大体上使可离子化材料离子化从而以离子束的形式产生离子190,离子190被转移到离子引导件130(也标识为Q0,指示离子引导件130不参与质量分析)中。将离子190从离子引导件130转移到四极140(也标识为Q1),其可作为质量过滤器或线性离子阱操作,如以下图式中进一步所描绘。经过滤或未经过滤的离子接着进入碰撞室150(也标识为q2),碰撞室150可经控制而以所要顺序喷射离子191,如下文描述。在一些实施方案中,可在碰撞室150中使离子191分裂。应理解,碰撞室150可包含任何合适的RF离子引导件,包括(但不限于)多极,例如四极、六极或八极。接着,将离子191转移到检测器160以产生质谱。在这样做时,离子191进入检测器160,检测器160经启用以产生进入其中的离子191的质谱。在一些实施方案中,碰撞室150包含在机械方面与四极140类似的四极。在其它实施例,碰撞室可由分裂室替代,其中离子的分裂通过任何合适方法实现,包括(但不限于),电子捕获解离(dissociation)、电子转移解离、光解离、表面诱导解离、归因于与亚稳定颗粒的相互作用(interaction)的解离或类似物。

[0055] 此外,虽然未描绘,但质谱仪100可包含任何合适数目的真空泵以在离子源120、离子引导件130、四极质量过滤器140、碰撞室150及/或检测器160中提供合适真空。应理解,在一些实施方案中,可在质谱仪100的某些元件之间产生真空差:举例来说,一般将真空差施加在离子源120与离子引导件130之间,使得离子源120处在大气压下且离子引导件130处在真空中。虽然也未描绘,但质谱仪100可进一步包含任何合适数目的连接器、电源、RF(射频)电源、DC(直流)电源、气体源(例如,用于离子源120及/或碰撞室150)及用于启用质谱仪100的操作的任何其它合适组件。

[0056] 现在关注图2,其描绘根据非限制性实施方案的用于径向幅值辅助转移(RAAT)的线性离子阱200,其与碰撞室150及检测器160对准。因此,在所描绘的实施方案中,线性离子阱200包含图1的线性离子阱140。然而,在进一步的实施方案中,线性离子阱200可包含离子引导件130。在又进一步实施方案中,线性离子阱200可包含碰撞室150。

[0057] 线性离子阱200包含入口区域201、径向激发区域203、第一轴向加速区域205、第二轴向加速区域207及出口区域209。

[0058] 入口区域210(在图2中也标记为ST1)包含用于(举例来说)从离子源120或质谱仪100的在离子源120与线性离子阱200之间的任何其它元件接收离子190的区域。入口区域201一般包含用于将离子接收到线性离子阱200中的任何合适的线性离子引导件211,包括(但不限于)多极,例如四极、六极或八极。

[0059] 径向激发区域203(位于入口区域211与出口区域207之间)经启用以选择性地径向

激发在线性离子阱200中捕获的离子,从而经由任何合适AC(交流)场产生径向激发离子。或者,线性离子阱200可经启用以通过以下各者中的至少一者产生径向激发离子:使RF电压接近所选择离子的非稳定阈值;或通过将RF电压升高到接近非稳定阈值达激发的持续时间且接着降低RF电压。因此,径向激发区域203一般包含用于在其中包含离子以及执行选择性径向激发的任何合适的线性离子引导件213,包括(但不限于)多极,例如四极、六极或八极。对离子的选择性径向激发描述于F.A.隆钧(F.A.Londry)及詹姆斯·W·海格(James W.Hage)的“从线性四极离子阱进行质量选择性轴向离子喷射(J.Am.Soc.质谱仪,2003,14,1130-1147)(Mass Selective Axial Ion Ejection from Linear Quadrupole Ion Trap(J.Am.Soc.Mass Spectrom.2003,14,1130-1147))”中,其以引用方式并入本文中。线性离子引导件213的入口在图2中标记为IE。

[0060] 线性离子阱200还包含线性离子引导件215及至少一个出口电极217(也称为出口电极217)。线性离子引导件215位于线性离子引导件213与出口电极217之间且可包括(但不限于)四极、六极及八极。应理解,可在线性离子引导件215处施加径向RF场以在其中包含离子。离子引导件215的出口在图2中还被标记为OE。

[0061] 第一轴向加速区域205在线性离子引导件213与线性离子引导件215之间包含过渡区域,在所述过渡区域处,将由纵向DC电势提供的第一纵向加速力F1施加到离子,如下文将描述。然而,一般来说,应理解,第一轴向加速区域205经启用以沿着质谱仪100的纵轴轴向地加速来自离子源120的离子190的至少一部分。

[0062] 出口区域207经启用以施加DC(直流)势垒以防止离子190退出线性离子阱200。举例来说,可将DC势垒施加到出口电极217。出口电极217包含孔隙,克服施加到其的DC势垒的离子可通过所述孔隙。

[0063] 第二轴向加速区域207包含邻近线性离子引导件215的出口端的区域及/或出口区域209。第二轴向加速区域207经启用以归因于由邻近出口区域209的RF场强度的降低产生的伪电势而沿着纵轴朝向出口区域209进一步加速径向激发离子190,使得所述归因于第一轴向加速区域205及第二轴向加速区域207的对径向激发离子190的力的组合使径向激发离子190克服DC势垒,同时未径向激发的离子190保持在线性离子阱200中。

[0064] 在第二轴向加速区域207中,施加到线性离子引导件215的RF场的边缘使包含在其中的径向激发离子经历边缘伪电势,如F.A.隆钧(F.A.Londry)及詹姆斯·W·海格(James W.Hage)的“从线性四极离子阱进行质量选择性轴向离子喷射(J.Am.Soc.质谱仪,2003,14,1130-1147)(F.A.Londry and James W.Hage的“Mass Selective Axial Ion Ejection from Linear Quadrupole Ion Trap(J.Am.Soc Mass Spectrom.2003,14,1130-1147))”中描述。边缘伪电势使径向激发离子经历朝向出口区域209的纵向力F2。应理解,力F2进一步取决于径向激发离子310的激发的幅值。又应进一步理解,力F2在纵轴上为“0”,但随着与纵轴的径向距离而增大。

[0065] 在现有技术中,为克服施加到至少一个出口电极的DC势垒,一般通过增大对离子的激发的幅值来增大F2。然而,这导致径向激发离子的非常高的退出角度,所述径向激发离子接着可在出口电极的孔隙处丢失或在其中正发生选择性径向激发的线性离子阱与下一个模块(例如碰撞室)之间丢失;换句话说,退出角度是如此高使得退出离子从通过质谱仪的路径偏移。

[0066] 为在线性离子阱200中克服此问题,应进一步理解,可将DC电势独立地施加到线性离子引导件211、213、215、出口电极217及碰撞室150中的每一者。举例来说,关注图3,其描绘可施加到线性离子引导件211、213、215、出口电极217及碰撞室150(各自如在图2中由识别符ST1、IE、OE、ST2、IQ2及Q2标识,IE及OE分别指示线性离子引导件213的入口及出口)的DC电势的第一曲线300。曲线300中的IQ2处的峰值表示施加到出口电极217的DC势垒。应进一步理解,施加到曲线300中的线性离子引导件211、213、215的DC电势产生势阱,所述势阱包含线性离子引导件213中的离子190,使得可在区域203中捕获离子190,因为DC电势ST1及ST2高于IE与OE之间的DC电势。一旦离子190被捕获,即可通过施加与所关注离子的径向运动的频率协调的辅助AC场来选择性地径向激发离子190。举例来说,可首先经由线性离子引导件211将离子190注射到线性离子阱200中;接着,可经由施加曲线300在线性离子引导213中捕获及冷却离子290;且接着,可在线性离子引导件213中选择性地径向激发在线性离子引导件213中捕获的离子190以产生径向激发离子310。举例来说,注射过程可发生1ms,捕获及冷却过程可发生100ms且激发过程可发生1ms(以60mV的AC电压施加到线性离子阱213的杆而以共振方式激发离子190的径向运动)。此外,可通过增大线性离子阱213中的压力来减少用于捕获及冷却过程的时间。在一些实施方案中,可通过利用在捕获周期期间打开缓冲气体流的脉冲阀(未描绘)在捕获周期期间增大捕获区域中(例如,在IE与OE之间)的缓冲气体的压力。此外,应理解,可针对激发而选择离子190的任何合适子集以通过至少控制施加到线性离子引导件113的AC场的频率来产生径向激发离子310。或者,可通过选择用于径向约束(radial confinement)的RF场的适当幅值来将所关注离子的径向振荡频率调整为与预定AC频率一致。应进一步理解,当激发过程在较低压力下发生时,选择的专一性(specificity)一般是较高的;因此,脉冲阀对于快速捕获离子及对于在激发周期期间降低缓冲气体的压力可为有益的。

[0067] 然而,一旦选择性径向激发在线性离子引导件213中发生,即在质谱仪200中施加第二曲线303以将离子190加速到线性离子引导件215中。应理解,曲线303实质上与曲线300类似,然而,线性离子引导件215中的DC电势现在小于IE与OE之间(即,在线性离子引导件213中)的DC电势。因此,现在归因于电势的降低而朝向出口区域207加速归因于曲线300而在线性离子引导件213中捕获的离子190(包括径向激发离子310)。应理解,电势的降低使纵向力F1被施加到离子310(包括径向激发离子310)。纵向力F1在下文也将可与F1互换。

[0068] 然而,应理解,归因于F1的对离子190(包括径向激发离子310)的加速不足以使离子190克服IQ2/出口区域207处的DC势垒。然而,径向激发离子310将在出口区域207处归因于由出口区域207处的RF场强度的降低产生的边缘伪电势而进一步经历纵向力F2(下文称为力F2且可与力F2互换)。应理解,力F2进一步取决于径向激发离子310的激发的幅值且未激发离子不经历力F2。因此,归因于力F1的由径向激发离子310经历的加速与归因于力F2的由径向激发离子310经历的进一步加速的组合使径向激发离子克服IQ2处的DC势垒且退出线性离子阱200。因为未激发离子不经历力F2,所以未激发离子虽然暴露于力F1但不退出线性离子阱200。

[0069] 在图3中,Ua被认为是线性离子引导件215中(即,在IE与OE之间)的DC电势与ST2处的DC电势之间的差异。此外,Ub被认为是ST2处的DC电势与IQ2处的DC势垒之间的差异。Ua也可称为加速电势Ua,且Ub也可称为势垒高度Ub。

[0070] 因此关注图4,其描绘针对从0V到约8.5V变化的势垒高度 U_b 测量退出用于0V(曲线410)、-0.2V(曲线420)、-1V(曲线430)、-2V(曲线440)及-4V(曲线450)的加速电势 U_a 的线性离子阱200的成功原型(prototype)的径向激发离子的离子强度的结果。图4还描绘测量退出用于-0.1V(曲线460)、-1V(曲线470)的加速电势 U_a 的线性离子阱200的成功原型的非激发离子的离子强度的结果。离子强度已被正规化且具有任意单位。 U_b 的零点(即, $U_b=0V$)对应于没有激发的离子在具有高径向幅值的离子与具有低径向幅值的离子之间没有分离的情况下高效地转移到碰撞室150/Q2中的电势。激发离子(曲线410到450)及非激发离子(曲线460、470)之间的分离在更高势垒电压下发生。对应于 $U_a=0V$ 的激发离子的曲线410在任何势垒电压下都具有最低激发离子强度(对应于最低转移效率)。应理解,较高轴向能量辅助径向激发离子310转移越过IQ2处的DC势垒。此外,与现有技术相比,不仅提取径向激发离子310的效率得以提高,而且效率较高的势垒高度 U_b 电势的范围也增大;因此,与现有技术相比,线性离子阱200具有宽松的电压容限(tolerance)。

[0071] RAAT的简化理论可解释为什么离子提取效率随着较高轴向能量(即,随着除力 F_2 之外施加到径向激发离子310的力 F_1)提高。所述理论假设离子运动受到两个力的影响——一个力从DC电势分布获得(即,DC势垒力),且另一个力从振荡电压的净作用(net effect)获得(即,力 F_2)。力 F_2 被认为是伪电势力。因此,应理解,线性离子阱200中的离子运动由DC电势及伪电势的组合动作控制。

[0072] 电势分布及伪电势分布的重要特征为可称为“范围”的性质。所述范围为在其处电势分布降低到极小值(insignificant value)的沿着线性离子阱200的纵轴的距离;即,范围为对电势分布在线性离子阱200内渗透多远的量度。

[0073] 一般来说,应理解,DC电势(例如,IQ2处的DC势垒)的范围可高于伪电势(例如,归因于出口区域207中的RF场边缘的伪电势)的范围。在图5A中描绘作用,其中组合(电势加上伪电势)分布 U 被标绘为沿着线性离子阱200的长度的无量纲坐标(x)的函数。 $x=0$ 界定出口区域中线性离子阱200内的位置;具体来说, $x=0$ 经选择以与一个位置一致,在所述位置处,IQ2处的DC势垒开始对接近具有边缘场的区域(即,出口区域207)的线性离子阱200中的离子190具有作用。较高的 x 值表示朝向线性离子阱200的边缘场的作用增大的末端的区域。曲线501展示归因于IQ2处的DC势垒的DC电势分布;应理解,曲线501表示没有径向激发的离子在从边缘场区域(即,出口区域207)被反射时经历的电势。曲线503表示归因于边缘RF场的伪电势分布。比较曲线501与曲线503,应理解,伪电势具有仅约为DC电势的范围的一半的范围。曲线505描绘针对给定强度的组合伪电势分布及DC电势分布。应理解,图5的曲线501、503及505是基于RF伪电势 U 与DC势垒的经简化 x^2 模型;在线性离子阱200中, x 一般表示沿着线性离子阱200的轴线的无量纲坐标,其中 $x=0$ 为对应于IQ2DC势垒的作用变得可忽略的区域;而 $x=1$ 对应于IQ2势垒右侧的位置。应理解, $x=0.5$ 界定沿着 x 坐标的半路点,在所述半路点处,对激发离子起作用的伪电势场的量值开始增大(例如,见曲线503)。

[0074] 应进一步理解,经简化 x^2 模型仅出于说明目的且实际电势遵循更复杂的定律。

[0075] 在任何情形下,曲线505表示由出口区域207中的线性离子阱200中的径向激发离子310针对给定量值的径向激发经历的伪电势与DC电势的总和。从曲线505应理解,根据此模型,在这些条件下,径向激发离子310需要至少0.3V的轴向能量以转移通过这些电势分布。然而,应理解,0.3V仅为近似值且不被认为是过度限制性的。在任何情形下,可来自第

一轴向加速区域205的力F1获得额外的0.3V的初始离子能。在缺少所述能量的情况下,径向激发离子310不能退出IQ2处的DC势垒,即使径向激发离子310已获得充足量的径向激发也是如此。在上文描述的说明性 x^2 模型中,无论没有至少0.3V的初始轴向能量的径向激发离子310的径向激发(及F2的量值)有多高,它们也不能越过势垒。然而,在线性离子阱200的成功原型中,径向激发离子310退出线性离子阱200的电势范围有一点模糊且在足够高的激发下,径向激发离子310仍可越过IQ2处的势垒,尽管所述过程的效率受到损害,如图4的曲线410所说明。

[0076] 曲线501、503及505可适用的实施方案由下文描述的图2及图6、9、11及13表示。

[0077] 然而,用于使径向激发离子暴露于除归因于边缘伪电势的力F2之外的至少一个额外纵向力的DC电势或RF场强度的变化的任何合适布置及实施方案在本发明的范围内。

[0078] 现在关注图5B,其中,与图5A类似,组合(电势加上伪电势)分布U被标绘为沿着线性离子阱200的长度的无量纲坐标(x)的函数。然而,图5B描绘其中伪电势的范围(曲线510)大于DC势垒的范围(曲线512)的实施方案的电势分布,其中曲线514表示曲线510与512的总和。在此布置中,对于选择性地从线性离子阱200转移激发离子来说不需要初始能量,且非激发离子仍由DC势垒抵挡。在这些注入中,额外力F1是有益的,因为其使转移过程加快,这在实际应用中是重要的。力F1的另一益处为克服归因于杆上的各个点中的表面充电而引起的纵向DC电势瑕疵。此类实施方案由下文描述的图16、17、18、21及23表示。

[0079] 现在关注图6,其描绘与线性离子阱200类似的线性离子阱600,其中相同元件具有相同数字(前面是“6”而不是“2”)。举例来说,入口区域601与入口区域201类似。此外,离子束190、碰撞室150及检测器160也如图6中描绘。然而,在这些实施方案中,线性离子引导件613包括用于提供纵向DC电势的至少一组相对DC电极620。DC电极620是锥形的,使得其之间的距离从接近线性离子引导件613的入口到接近线性离子引导件613的出口增大。因此,通过在DC电极(及线性离子阱613的主杆集合)之间施加DC电势差,可将降低的DC曲线施加到存储在线性离子引导件613中的离子190,从而产生纵向DC电势且因此轴向力F1-A被施加到存储在线性离子引导件中的离子190。

[0080] 或者,可通过移除DC电极620且用已施加电阻性涂层的杆集合替代线性离子引导件613的主杆集合且随后除任何RF及/或AC电势之外朝向线性离子引导件613的入口端施加DC电势,来将与力F1-A类似的力施加到离子190。因此,离子190将经历沿着从线性离子引导件613的入口端到线性离子引导件613的出口端的纵轴的降低的DC电势且因此经历纵向加速力。

[0081] 此外,关注图7,其描绘可在包含线性离子阱600的质谱仪中施加的DC曲线700、701、703。DC曲线700及703分别与图3的DC曲线300及303类似。因此,可在线性离子引导件613中的IE与OE之间捕获离子190且可施加选择性AC激发场以产生与径向激发离子310类似的径向激发离子710。接着,可施加DC曲线701,其中将DC电势施加到在IE与OE之间产生降低的DC场的DC电极620,因此将力F1-A施加到在线性离子引导件613中捕获的离子190(包括径向激发离子710)。接着,可施加DC曲线703(与图3中的DC曲线303类似)以将力F1施加到包括径向激发离子710的离子。归因于斜变DC场的力F1-A、归因于线性离子引导件613与线性离子引导件615之间的电势差的力F1,及归因于出口区域606中的边缘伪电势的力F2的组合使得径向激发离子710能够克服IQ2处的DC势垒且退出线性离子阱600。因为未激发离子不经

力 F_2 ,所以未激发离子不退出线性离子阱600。此外,因为径向激发离子710归因于力 F_1-A 、 F_1 及 F_2 的组合而被加速,所以激发的幅值可小于线性离子阱中仅依赖于伪电势以克服出口区域中的DC势垒的离子。

[0082] 在线性离子引导件613包含多极的实施方案中,线性离子引导件613可进一步包含用于线性离子引导件613中的每一对杆的一对相对DC电极620。举例来说,图8描绘与线性离子引导件613类似的线性离子引导件813的横截面,其中线性离子引导件813包含四极,因此具有两对杆815(总共四根杆815)。线性离子引导件813进一步包含两对相对DC电极820,每一电极820与DC电极620类似,因为每一电极820在纵向上是锥形的,如图7中描绘。因此,可通过将合适AC场或多个AC场施加到相对杆815来选择性地径向激发在线性离子引导件813中捕获的离子,且可通过将DC电压施加到相对DC电极820来产生从线性离子引导件813的入口到线性离子引导件813的出口降低的斜变DC电势,以将力 F_1-A 施加到在其中捕获的离子(包括径向激发离子);施加到电极820的DC电压与施加到电极815的DC电压不同。

[0083] 现在关注图9,其描绘与线性离子阱600类似的线性离子阱900,其中相同元件具有相同数字(前面是“9”而不是“6”)。举例来说,入口区域901与入口区域601类似。此外,离子束190、碰撞室150及检测器160也如图9中描绘。然而,在这些实施方案中,线性离子引导件913包括可向其施加不同DC电势的至少两个相对系列的DC电极920(举例来说,如在图10中描绘的DC曲线1001中)。因此,DC电极920之间的DC电势可步进以提供线性离子引导件913中的IE与OE之间的DC电势的降低,从而产生总体纵向DC电势且因此轴向力 F_1-B 被施加到存储在离子阱913中的离子190。线性离子引导件913的横截面可与图8的线性离子引导件813的横截面类似。在一些非限制性实施方案中,如图21中描绘,每一DC电极920可包含印刷电路板(PCB)2100,其中每一PCB 2100在边缘上具有电极2110(为清楚起见,仅指示一个电极2101)(例如,电极2110安置在相应PCB 2100的边缘上)且每一PCB 2110的边缘驻留在离子阱913的每一杆之间。应理解,电极2110一直延伸到PCB 2100朝向离子阱913的纵轴的边缘。应进一步理解,PCB 2100上的电极2110具有三个侧面:两个侧面沿着每一PCB 2100的平坦侧且一个侧面在PCB 2100的边缘上。此外,每一系列的相对DC电极920经独立地控制(例如,在相应PCB 2100上)以在DC电势在所述系列中的每一连续电极920中步进时将纵向DC电势施加到离子190,如现在将描述。

[0084] 现在关注图23,其描绘与线性离子阱900类似的线性离子阱2300,其中相同元件具有相同数字(前面是“23”而不是“9”)。举例来说,入口区域2301与入口区域901类似。然而,在图23中,通过将线性离子引导件2313的主杆集合分段且将不同DC电压施加到不同区段来实现对DC电极920类似的作用,以便施加与力 F_1-B 类似的力 F_1-E 。在这些实施方案中,可移除DC电极920。或者,线性离子引导件2313的经分段RF电极各自以从径向加速区域2303的入口端到径向加速区域2303的出口端降低的相应RF电压驱动。举例来说,每一区段可经由与图17的电路C1类似的电路连接(下文描述)及/或每一区段可独立地驱动。

[0085] 现在关注图10,其描绘可在包含线性离子阱900的质谱仪中施加的DC曲线1000、1001、1003。DC曲线1000及1003分别与图7的DC曲线700及703类似。因此,可在线性离子引导件913中的IE与OE之间捕获离子190,且可施加选择性AC激发场以产生与径向激发离子610类似的径向激发离子1010。接着,可施加DC曲线1001,其中将一系列DC电势差施加到在IE与OE之间产生步降DC场的DC电极920,因此将纵向DC电势施加到离子,从而导致将力 F_1-B 施加

到在线性离子引导件913中捕获的离子190(包括径向激发离子1010)。接着,如图3中,可施加DC曲线1003以将力F1施加到包括径向激发离子1010的离子。归因于斜变DC场的力F1-B、归因于线性离子引导件913与线性离子引导件915之间的电势差的力F1及归因于出口区域907中的边缘伪电势的力F2的组合使得径向激发离子1010能够克服IQ2处的DC势垒且退出线性离子阱900。因为未激发离子未经历力F2,所以未激发离子不退出线性离子阱900。此外,因为径向激发离子1010归因于力F1-B、F1及F2的组合而被加速,所以激发的幅值可小于线性离子阱中仅依赖于伪电势以克服出口区域中的DC势垒的离子。

[0086] 现在关注图11,其描绘与线性离子阱600类似的线性离子阱1100,其中相同元件具有相同数字(前面是“11”而不是“6”)。举例来说,入口区域1101与入口区域601类似。此外,离子束190、碰撞室150及检测器160也如图9中描绘。然而,在这些实施方案中,线性离子引导件1113的出口(其包括可向其施加DC电势的至少一组相对DC电极1120)邻近于至少一个出口电极1117。换句话说,线性离子引导件615的等效物未出现在线性离子阱1100中。而是,施加到DC电极1120的DC电势在轴线上产生纵向DC电势,且因此轴向力F1-C被施加到存储在线性离子引导件1113中的离子190,如图12的DC曲线1201中描绘。

[0087] 因此,参考图12,可将DC曲线1200、1201施加到包含线性离子阱1100的质谱仪。DC曲线1200及1201分别与图7的DC曲线700及701类似,然而,ST2在DC曲线1200、1201中不存在。而是,径向激发离子1210通过施加在ST1处的DC电势及DC势垒IQ2而包含在线性离子引导件1113中。接着,通过将DC电势施加到电极1120将轴向力F1-C施加在IE与OE之间,这导致轴向力F1-C加速在IE与OE之间捕获的离子(包括待朝向IQ2处的DC势垒加速的径向激发离子1210)。归因于斜变DC场的轴向力F1-C及归因于出口区域1107中的边缘伪电势的力F2的组合使得径向激发离子1210能够克服IQ2处的DC势垒且退出线性离子阱1100。因为未激发离子不经历力F2,所以未激发离子不退出线性离子阱1100。此外,因为径向激发离子1100归因于力F1-C及力F2的组合而被加速,所以激发的幅值可小于线性离子阱中仅依赖于伪电势以克服出口区域中的DC势垒的离子。因此,虽然如图6及7中描绘的轴向力F1不存在于线性离子引导件1100中,但力F1-C的量值经调整以补偿轴向力F1的缺乏以克服IQ2处的DC势垒。

[0088] 在一些实施方案中,首先将DC曲线1200施加到线性离子阱1100以捕获线性离子引导件1113中的离子190。接着,将DC曲线1201施加到线性离子阱1100以将力F1-C施加到离子190。然而,仅施加力F1-C达给定时间周期,使得径向激发离子1210获得足够能量及/或加速度以克服IQ2处的DC势垒(例如,如图5A中的0.3V)。实际上,应理解,因为离子190及/或径向激发离子1210沿着线性离子引导件1113在空间分布,所以一旦施加力F1-C,较接近线性离子引导件1113的出口区域的未激发离子190就将被从IQ2处的DC势垒反射,且将在邻近于线性离子引导件1113的出口区域的区域中被捕获,从而潜在地导致空间电荷的积累,这可影响正被施加的DC及/或RF场。此外,较接近IE(即,线性离子引导件1113的入口)的离子190(包括未激发离子190)将经历力F1-C达较长时间周期,且在遇到IQ2处的DC电势之前获得更多能量。这将导致所关注离子的轴向能量的广泛分布,这又将损害激发离子与非激发离子之间的分离的质量。注意,可通过想象沿着图4中展示的曲线460及440的 U_b 轴的模糊来使轴向能量的广泛分布的负面作用形象化。当非激发离子的模糊曲线(460)将开始与激发离子的模糊曲线(曲线440)重叠时,激发离子与未激发离子之间的分离将受到损害。

[0089] 因此,为在一些实施方案中克服此问题,施加DC曲线1201达比离子190从IE行进到OE的时间短10到100倍的时间周期。因此,可相应地选择力F1-C的量值且可施加力F1-C足够长时间,使得径向激发离子1210在轴向方向上获得足够量的能量以克服IQ2处的DC势垒,但施加足够短时间使得仅一小部分的离子190将在施加F1-C期间在IQ2处经历反射。应理解,在施加F1-C期间在IQ2处被反射的离子将不获得与剩余离子(即,未从IQ2反射的离子)相同量的轴向能量。因此,在一些实例中,即使在IQ2处反射的一小部分离子将具有径向激发,也不可适用RAAT技术来转移所述离子。所述小部分离子将丢失而无法进行分析。然而,丢失一小部分(举例来说,10%的离子)对于大多数应用来说是可接受的。因此,捕获、激发及转移径向激发离子1210的循环可包含:使用DC曲线1200捕获离子190;激发所选择群组的离子190以产生径向激发离子1210;施加DC曲线1201达较短持续时间以使用力F1-C给予离子“跳动”;再次施加DC曲线1200及转移径向激发离子1210。应理解,类似原理可应用于施加DC曲线701、1001以避免产生线性离子阱600、900、1300、2300、2400以及出现类似问题的任何其它实施方案中相同种类离子的轴向能量的广泛分布。

[0090] 现在关注图13,其描绘与线性离子阱1100类似的线性离子阱1300,其中相同元件具有相同数字(前面是“13”而不是“11”)。举例来说,入口区域1301与入口区域1101类似。然而,在线性离子阱1300中,DC电极1220已由与图9的DC电极920类似的DC电极1320替代。因此,如在图14的DC曲线1401中,可将步降电势施加在DC电极1320之间,从而产生纵向DC电势。DC曲线1400及1401与图12的DC曲线1200与1201类似,且可以类似方式施加到包含线性离子阱1100的质谱仪,然而,DC曲线1401在IE与OE之间包含步降DC电势,所述步降DC电势施加到在IE与OE之间捕获的离子(包括径向激发离子1410),从而产生纵向DC电势且因此产生对径向激发离子1410的轴向力F1-D,其组合轴向力F2辅助克服IQ2处的DC势垒,如上文描述。此外,适用于与DC曲线1201相关联的那些曲线的原理可用于确定施加DC曲线1401的时间长度。

[0091] 或者,与图23类似,可通过将线性离子引导件1313的主杆集合分段且将不同DC电压施加到不同区段来实现对DC电极1320的类似作用。在这些实施方案中,可移除DC电极1320。

[0092] 现在关注图15,其描绘与线性离子阱200类似的线性离子阱1500,其中相同元件具有相同数字(然而,前面是“15”而不是“2”)。举例来说,入口区域1501与入口区域201类似。然而,在线性离子阱1500中,线性离子引导件213、215已由单个线性离子引导件1513替代,单个线性离子引导件1513包括区域1505,区域1505还称为第一轴向加速区域1505。在这些实施方案中,通过在第一轴向加速区域1505中提供RF场的差异以在第一轴向加速区域1505之间产生对径向激发离子190的伪电势纵向力来发生第一轴向加速区域1505中的径向激发离子190的加速。举例来说,RF梯度提供在第一轴向加速区域1505中,因为RF电极(例如,组成多极的杆)具有直径变化,使得RF电极之间的距离归因于RF电极的形状变化而在第一轴向加速区域1505中增大。在图15中的所描绘的实施方案中,RF电极是锥形的。因此,施加在线性离子引导件1513中的多极的杆之间的RF场的差异产生区域1505,其导致轴向伪电势纵向力F2-A被施加到区域1505中的径向激发离子。因此,轴向力F2-A及轴向力F2的组合使得径向激发离子能够克服施加在IQ2处的DC势垒且退出线性离子阱1500。此外,因为未激发离子不经历力F2-A或力F2,所以未激发离子不退出线性离子阱1500。

[0093] 现在关注图16,其描绘与线性离子阱1500类似的线性离子阱1600,其中相同元件具有相同数字(然而,前面是“16”而不是“15”)。举例来说,入口区域1601与入口区域1501类似。然而,在线性离子阱1600中,虽然线性离子引导件1613与线性离子引导件1513类似,但线性离子引导件1613中的RF电极(例如,杆)具有区域1605中的直径的突然变化或阶梯形变化,这导致轴向伪电势纵向力F2-B被施加到区域1605中的径向激发离子,与上文描述的轴向力F2-A类似。因此,轴向力F2-B与轴向力F2的组合使得径向激发离子能够克服施加在IQ2处的DC势垒且退出线性离子阱1600。此外,因为未激发离子不经历力F2-B或力F2,所以未激发离子不退出线性离子阱1600。

[0094] 现在关注图20,其描绘与线性离子阱1500类似的线性离子阱2000,其中相同元件具有相同数字(然而,前面是“20”而不是“15”)。举例来说,入口区域2001与入口区域1501类似。然而,在线性离子阱2000中,虽然线性离子引导件2013与线性离子引导件1513类似,但线性离子引导件2013中的RF电极(例如,杆)之间的距离经由区域2005中的直径减小而增大,这导致轴向伪电势纵向力F2-D被施加到区域2005中的径向激发离子,与上文描述的轴向力F2-A类似。因此,轴向力F2-D与轴向力F2的组合使得径向激发离子能够克服施加在IQ2处的DC势垒且退出线性离子阱2000。此外,因为未激发离子不经历力F2-D或力F2,所以未激发离子不退出线性离子阱2000。

[0095] 现在关注图17,其描绘与线性离子阱200类似的线性离子阱1700,其中相同元件具有相同数字(然而,前面是“17”而不是“2”)。举例来说,入口区域1701与入口区域201类似。然而,在线性离子阱1700中,线性离子引导件1713经由电容器C1电连接到线性离子引导件1715,使得施加到线性离子引导件1713的RF场也将产生施加到线性离子引导件1715的类似RF场(然而,在幅值及/或相位方面具有差异)。区域1705中的RF场的此变化导致轴向伪电势纵向力F2-C被施加到区域1705中的径向激发离子,与上文描述的轴向力F2-A类似。因此,轴向力F2-C与轴向力F2的组合使得径向激发离子能够克服施加在IQ2处的DC势垒且退出线性离子阱1700。此外,因为未激发离子不经历力F2-C或力F2,所以未激发离子不退出线性离子阱1700。

[0096] 现在关注图22,其描绘与线性离子阱1700类似的线性离子阱2200,其中相同元件具有相同数字(然而,前面是“22”而不是“17”)。举例来说,入口区域2201与入口区域1701类似。然而,在线性离子阱2200中,IQ2处的DC势垒由辅助电极2217产生,辅助电极2217在线性离子引导件2215的杆之间从线性离子引导件2215的大致中间延伸到线性离子引导件2215的大致末端。在这些实施方案中,对激发离子起作用的F2可比当IQ2处的DC势垒由电极1717产生时小得多,因为F2在激发离子爬过由辅助电极2217产生的DC势垒之后被施加到激发离子。因此,在这些实施方案中,就主要通过经历F2-E(与力F2-C类似)而退出线性离子阱2200而言,激发离子与非激发离子不同。激发离子及非激发离子到达线性离子阱2215的大致中间,其中非激发离子由施加到辅助电极2217的DC电势的动作抵挡。激发离子从F2-E获得充足能量使得其爬过归因于辅助电极2217的DC势垒。应理解,在这些实施方案中,出口区域2209接近辅助电极2217的出口端。

[0097] 又应进一步理解,在线性离子引导件1500、1600、1700中,DC电极1517、1617、1717可分别由与辅助电极2217类似的辅助电极替代,使得分别与力F2组合的力F2-A、F2B使径向激发离子退出线性离子引导件1500、1600、1700。

[0098] 现在关注图24,其描绘与线性离子阱2200类似的线性离子阱2400,其中相同元件具有相同数字(然而,前面是“24”而不是“22”)。举例来说,入口区域2401与入口区域2201类似。然而,施加到线性离子引导件2415的RF场的强度RF1是与施加到碰撞室150的RF场相同的强度RF1,使得力F2不再存在(F2是归因于RF场的变化)。为克服此,线性离子引导件2413包含DC电极2420(与DC电极920(及/或DC电极1320)类似),使得力F1-E(与力F1-B类似)可被施加到离子190。或者,可以与图6的DC电极620类似的DC电极替代DC电极2420,使得可将纵轴向力施加到离子190及/或被径向激发的离子190。应进一步理解,用于在区域2403中施加纵轴向力的任何其它合适方法及/或设备在本实施方案的范围内,包括(但不限于)图23的经分段线性离子引导件2313及/或线性离子阱2413的杆的电阻性涂层。

[0099] 在任何情形下,在这些实施方案中,轴向加速区域2403包含第一加速区域2405,且第二加速区域2407在线性离子引导件2413、2415之间的过渡区域中,第二加速区域2407进一步远离出口区域2409。

[0100] 现在关注图18,其描绘质谱仪1800,质谱仪1800包含离子源1820、离子引导件1830、线性离子阱1840、碰撞室1850(例如,分裂模块)及检测器1860,质谱仪1800经启用以将离子束从离子源1820一直传输到检测器1860。大体上来说,质谱仪1800与质谱仪100类似。应理解,线性离子阱1840包含经启用以用于RAAT的任何线性离子阱,且因此出口电极1870(与出口电极217类似)位于线性离子阱1840的末端区域1872处。因此,当来自离子源1820的离子1890的一部分在线性离子阱1840中径向激发时,将F2施加到第二轴向加速区域1877(与上文描述的轴向加速区域207类似)中的径向加速离子1890。

[0101] 然而,线性离子阱1840中的离子的径向激发保持在阈值之下,使得力F2不足以使得径向激发离子能够克服出口电极1870的DC电势。相反,在被注射到线性离子阱1840中之前,离子1890归因于施加到离子1890的至少一部分的纵向DC电势而在第一加速区域1875中经历纵轴向力F18。在所描绘的实施方案中,第一加速区域1875定位在离子引导件1830中及/或定位在离子源1820与线性离子阱1840之间的任何其它合适位置处。力F18也保持在合适阈值之下,使得未在线性离子阱1840中被径向激发的离子1890不能克服出口电极1870处的势垒。而是,仅经历力F18及力F2两者的径向激发离子1890可克服归因于出口电极1870的势垒。

[0102] 第一加速区域1875可定位在离子源1820与线性离子阱1840之间的任何合适位置处。此外,可使用任何合适设备产生轴向力F18,举例来说,图6的DC电极620、图8的DC电极820、图9的DC电极920、图11的DC电极1120、图13的DC电极1320或类似物的任何合适组合。

[0103] 现在关注图19,其描绘用于质谱仪中的径向幅值辅助转移(RAAT)的方法1900。为辅助解释方法1900,将假设,使用质谱仪100、1800及/或线性离子阱200、600、800、900、1100、1300、1500、1600、1700或1800中的任一者来执行方法1900,然而描述将参考如适于描述的给定部分的质谱仪100、1800及/或线性离子阱200、600、800、900、1100、1300、1500、1600、1700或1800。此外,对方法400的以下论述将引起对质谱仪100、1800及/或线性离子阱200、600、800、900、1100、1300、1500、1600、1700或1800及其各种组件的进一步理解。然而,应理解,质谱仪100、1800及/或线性离子阱200、600、800、900、1100、1300、1500、1600、1700或1800及/或方法1900可变化,且不需要完全如本文中结合彼此论述而起作用,且此类变型在本实施例的范围内。

[0104] 在步骤1903处,将来自离子源120的离子190注射到经启用以用于RAAT的线性离子阱200中,如上文描述。在一些替代实施方案中,在于步骤1903中将来自离子源120的离子190注射到线性离子阱200中之前,沿着质谱仪100的纵轴使来自离子源120的离子190加速(例如,如上文参考质谱仪1800及线性离子阱1820所描述)。

[0105] 在步骤1905处,在线性离子阱200中径向激发离子190的至少一部分以产生径向激发离子。

[0106] 在步骤1907处,沿着质谱仪的纵轴使离子190及径向激发离子中的至少一者加速。在一些实施方案中,步骤1901及步骤1907中的一者发生,而在其它实施方案中,步骤1901及步骤1907两者都发生。

[0107] 在步骤1909处,归因于由RF场强度的降低产生的伪电势而沿着纵轴使径向激发离子进一步加速,使得归因于加速步骤1907(及/或加速步骤1901)及进一步加速步骤1909的对径向激发离子的力的组合使径向激发离子克服出口区域209处的DC势垒,同时未被径向激发的离子190保持在线性离子阱200中,从而在步骤1911处提取所述径向激发离子。

[0108] 当步骤1901发生时,加速在径向激发步骤1905之前发生,且加速步骤1901在离子源120与线性离子阱200之间发生。

[0109] 可通过在出口区域207之前的线性离子阱200中提供RF场的差异以在线性离子阱200之间(如在线性离子阱1500、1600及1700中)产生对径向激发离子的伪电势纵轴向力而发生加速步骤1907。或者,加速步骤1907(及/或加速步骤1901)可通过在离子190及径向激发离子中的至少一者上提供纵向DC电势而发生。

[0110] 当加速步骤1907通过提供RF场的差异而发生时,RF梯度可通过以下各者中的至少一者来提供:

[0111] RF电极之间的增大距离,如在线性离子阱1500、1600中;

[0112] RF电极的形狀的变化,如在线性离子阱1500、1600中;

[0113] RF电极为锥形,如在线性离子阱1500的至少一部分中;

[0114] RF电极为阶梯形,如在线性离子阱1600的至少一部分中;及

[0115] 提供其中第一组RF电极1713及第二组电极1715(邻近出口区域1709)是经由引起RF场的差异的电路的线性离子阱1700。

[0116] 当加速步骤1907(及/或加速步骤1901)通过提供纵向DC电势发生时,纵向DC电势可通过增大纵向延伸的至少一组DC电极620或1120之间的距离来提供,如在线性离子阱600及1100中。或者,可使用纵向延伸的一系列相对DC电极920或1320来提供纵向DC电势,如在线性离子阱900及1300中,所述系列的相对DC电极620、1120用于产生纵向DC电势,所述系列的相对DC电极620、1120经独立地控制以在DC电势在所述系列中的每一连续电极中步进时将纵向DC电势施加到离子190。在替代实施方案中,可通过使主杆集合分段且将不同DC电压施加到不同区段来将纵向DC电势施加到线性离子阱200中的离子,如图23中描绘。在又进一步替代实施方案中,可通过利用具有电阻性涂层的电极来将纵向DC电势施加到线性离子阱200中的离子。纵向力也可包含行进波。实际上,应理解,用于施加纵向力的任何合适方法及/或设备在本实施方案的范围内。

[0117] 在一些实施方案中,在步骤1911处从线性离子阱提取径向激发离子可进一步包含施加邻近于出口区域209的第一DC电势,以用于在选择性径向激发期间捕获线性离子阱200

的径向激发区域203中的离子190,第一DC电势大于径向激发区域203中的DC电势,如在图3中。接着,再次如在图3中,施加邻近于出口区域209的第二DC电势,第二DC电势小于第一DC电势且小于径向激发区域203中的DC电势,使得径向激发区域203中的离子190被加速到出口区域209且归因于纵向DC电势及伪电势的对径向激发离子的力的组合使径向激发离子克服归因于电极217的DC势垒。在一些实施方案中,在施加第二DC电势之前,在径向激发区域203中施加降低的DC电势,如在图7中,因此施加对径向激发离子的额外加速力。

[0118] 因此,通过使用在具备RAAT功能的线性离子阱中发生的纵轴向力(或多个力)与伪电势的组合,可减小用于选择性地提取具备RAAT功能的线性离子阱中的离子的径向提取度数,从而减小具备RAAT功能的线性离子阱的提取角度且提高提取效率。

[0119] 技术人员将理解,还存在可能用于实施所述实施方案的更多替代实施方案和修改,且以上实施方案及实例仅为一个或一个以上实施方案的说明。因此,范围仅由所附权利要求书限制。

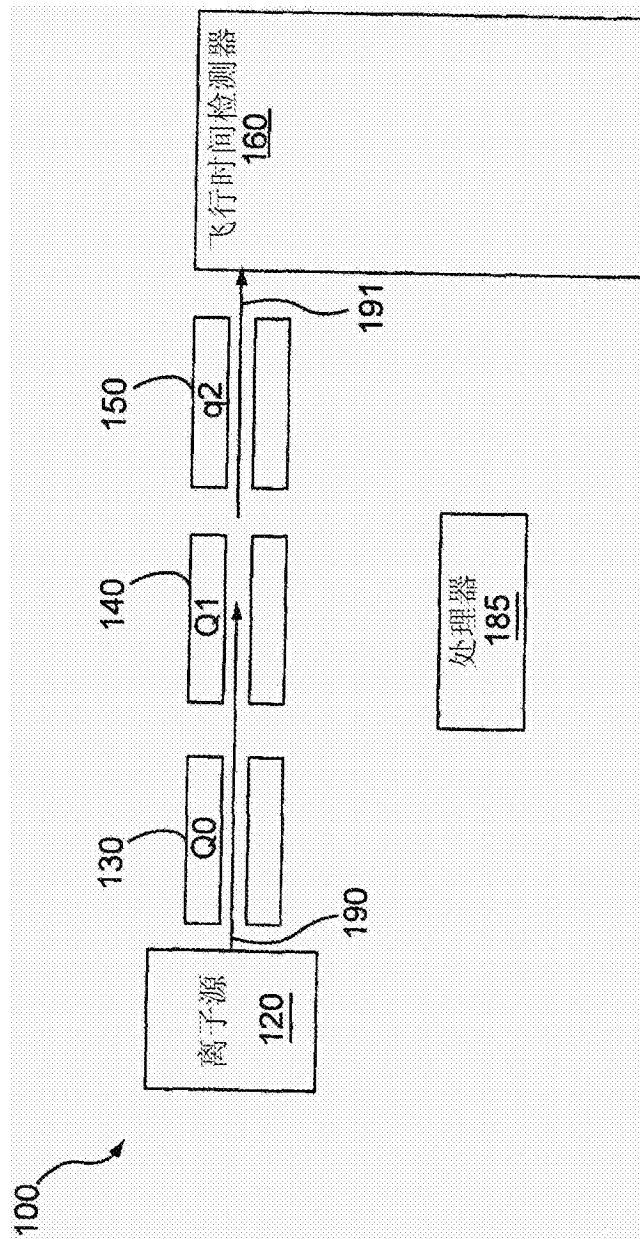


图1

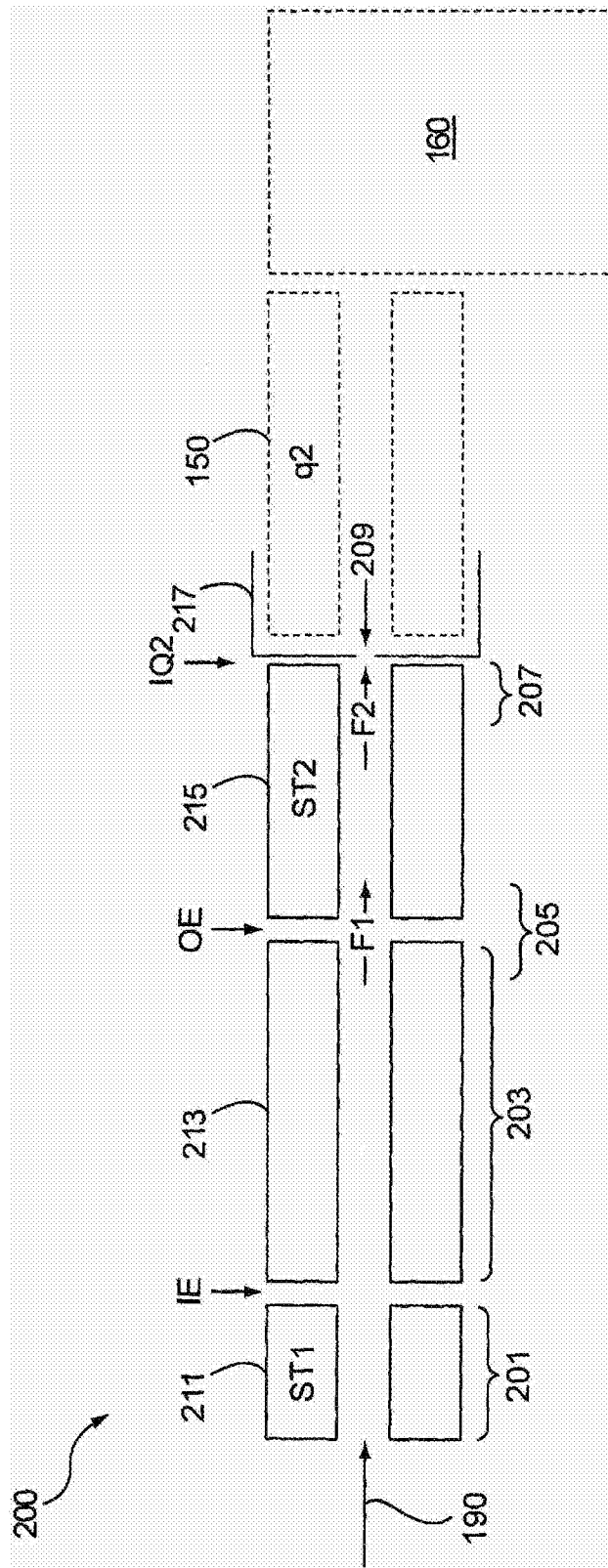


图2

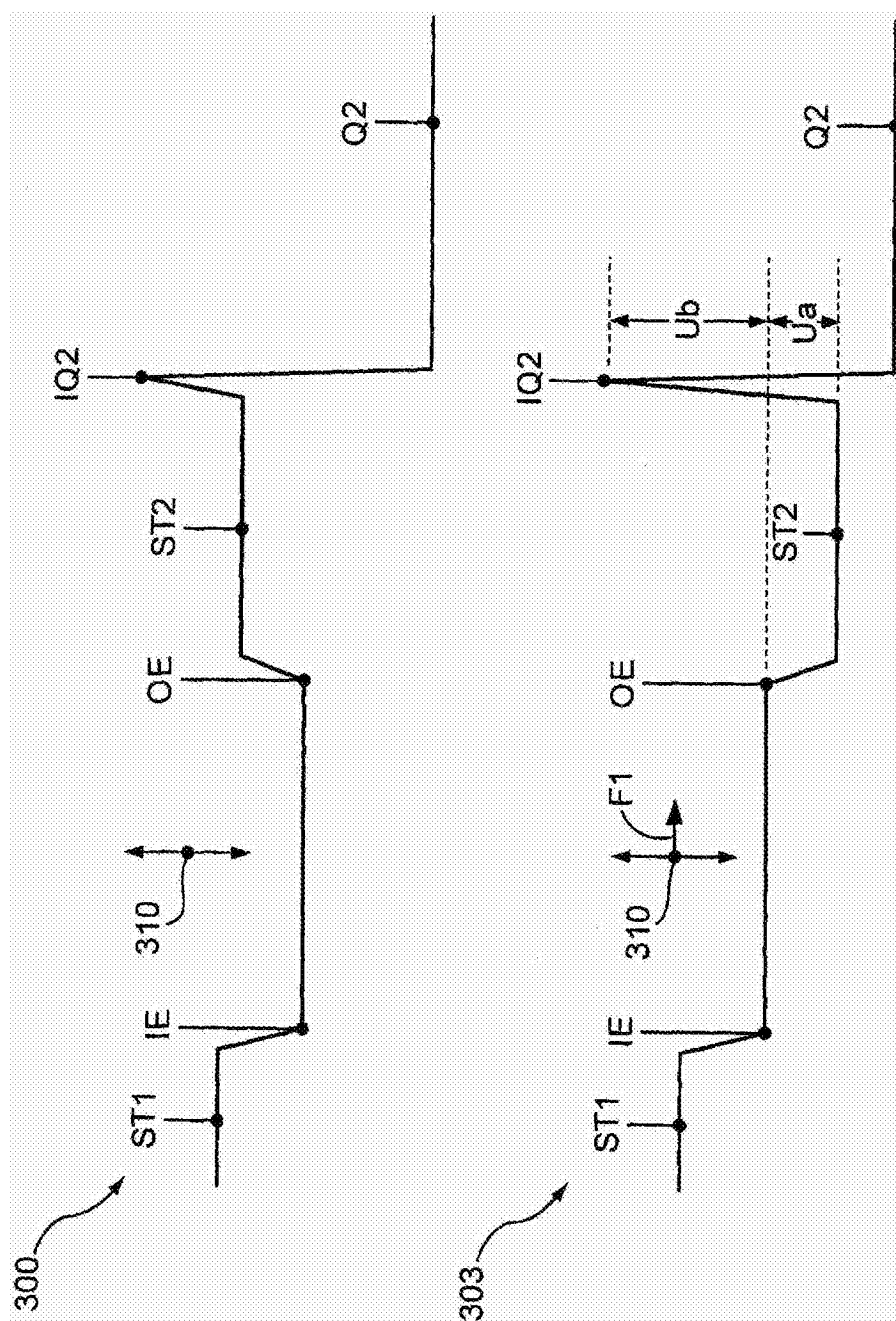


图3

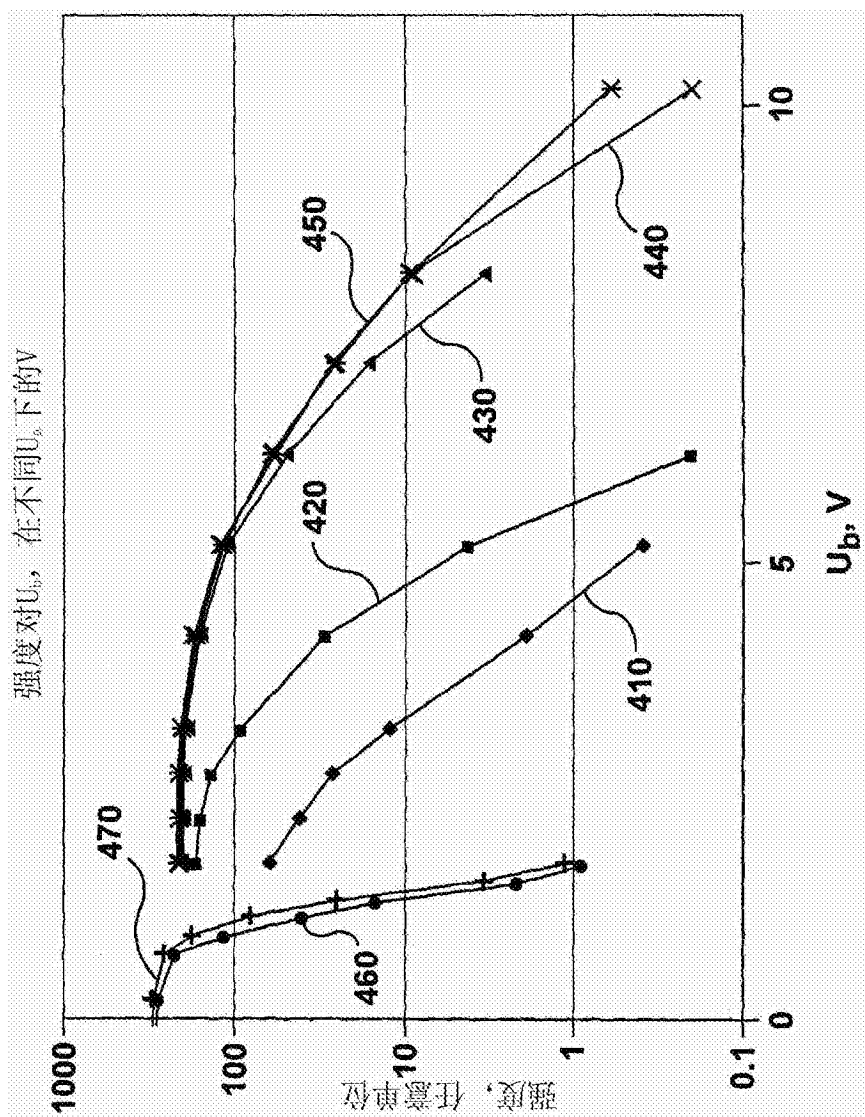


图4

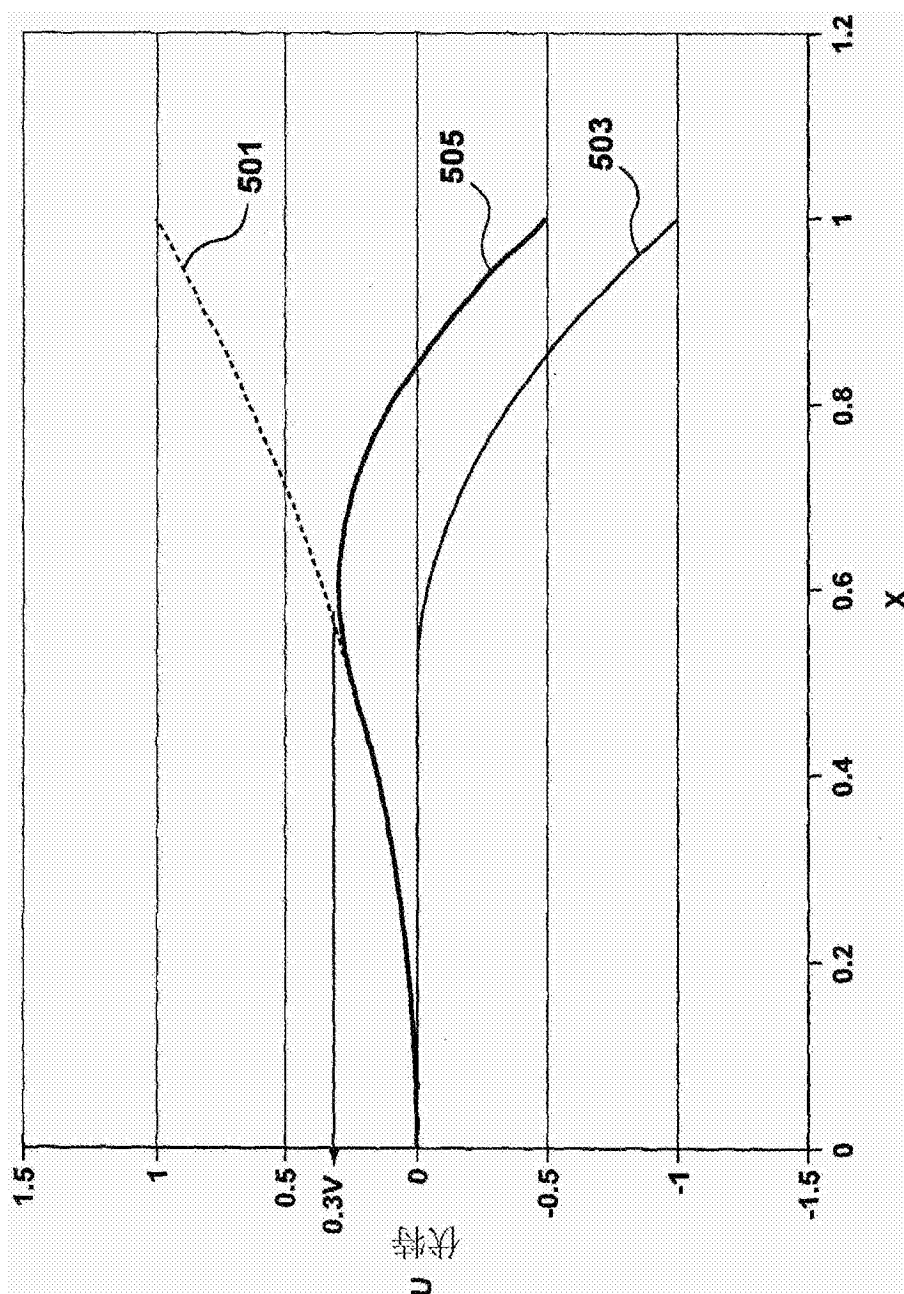


图5A

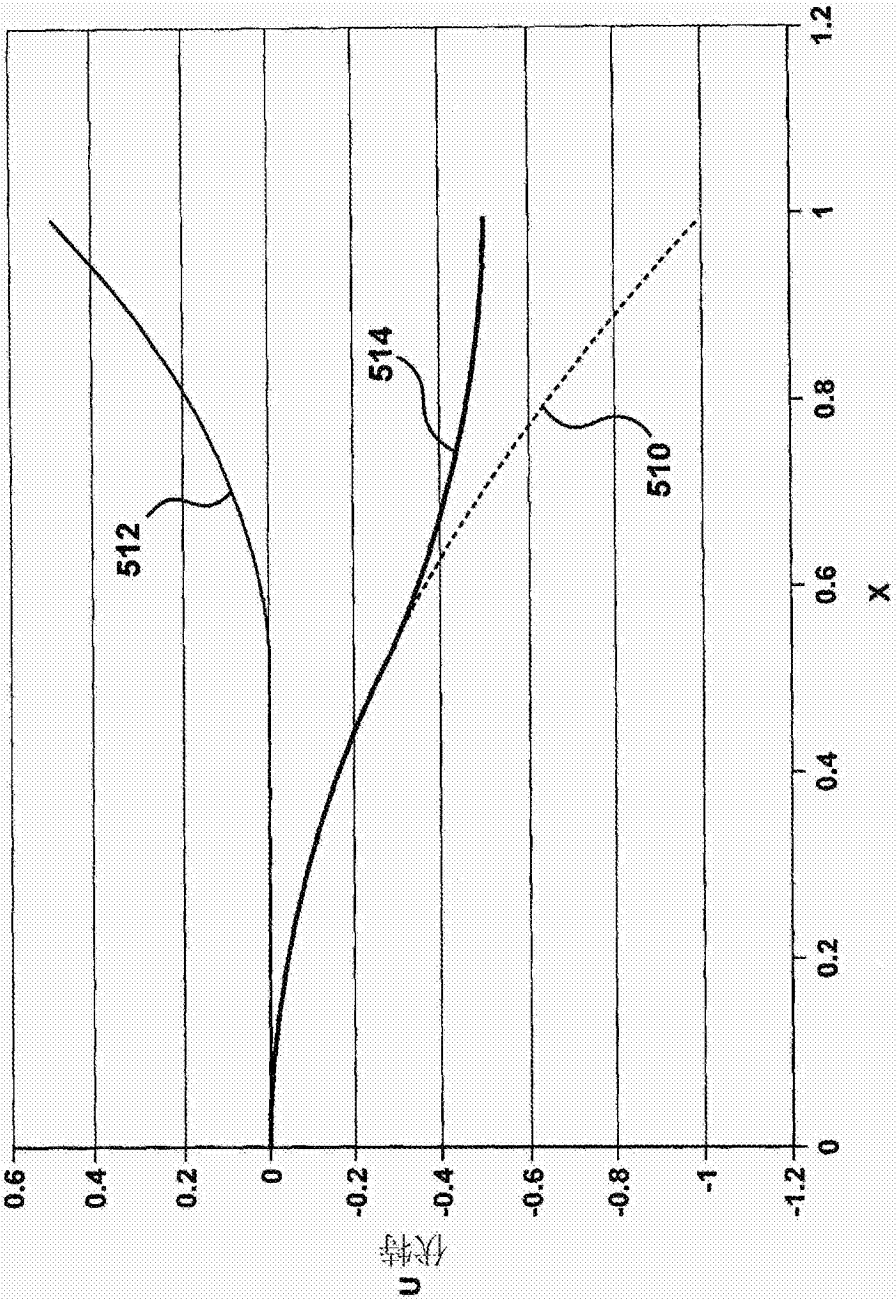


图5B

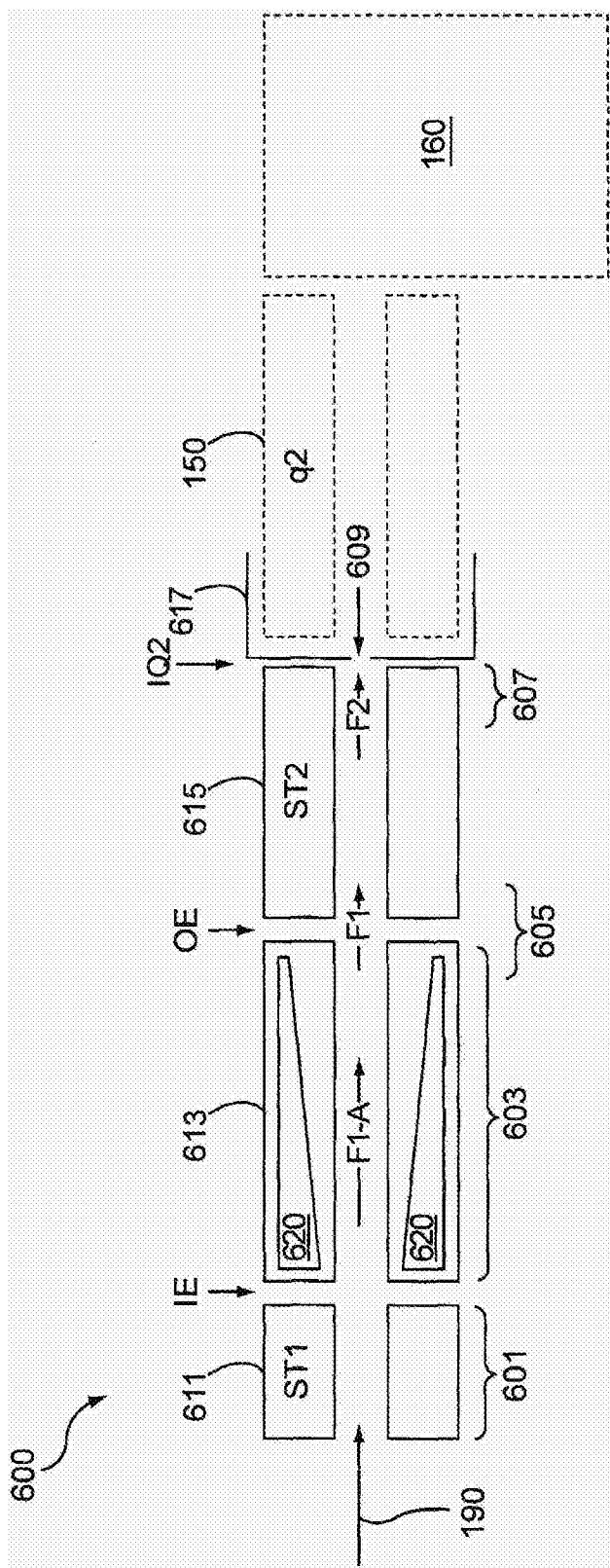


图6

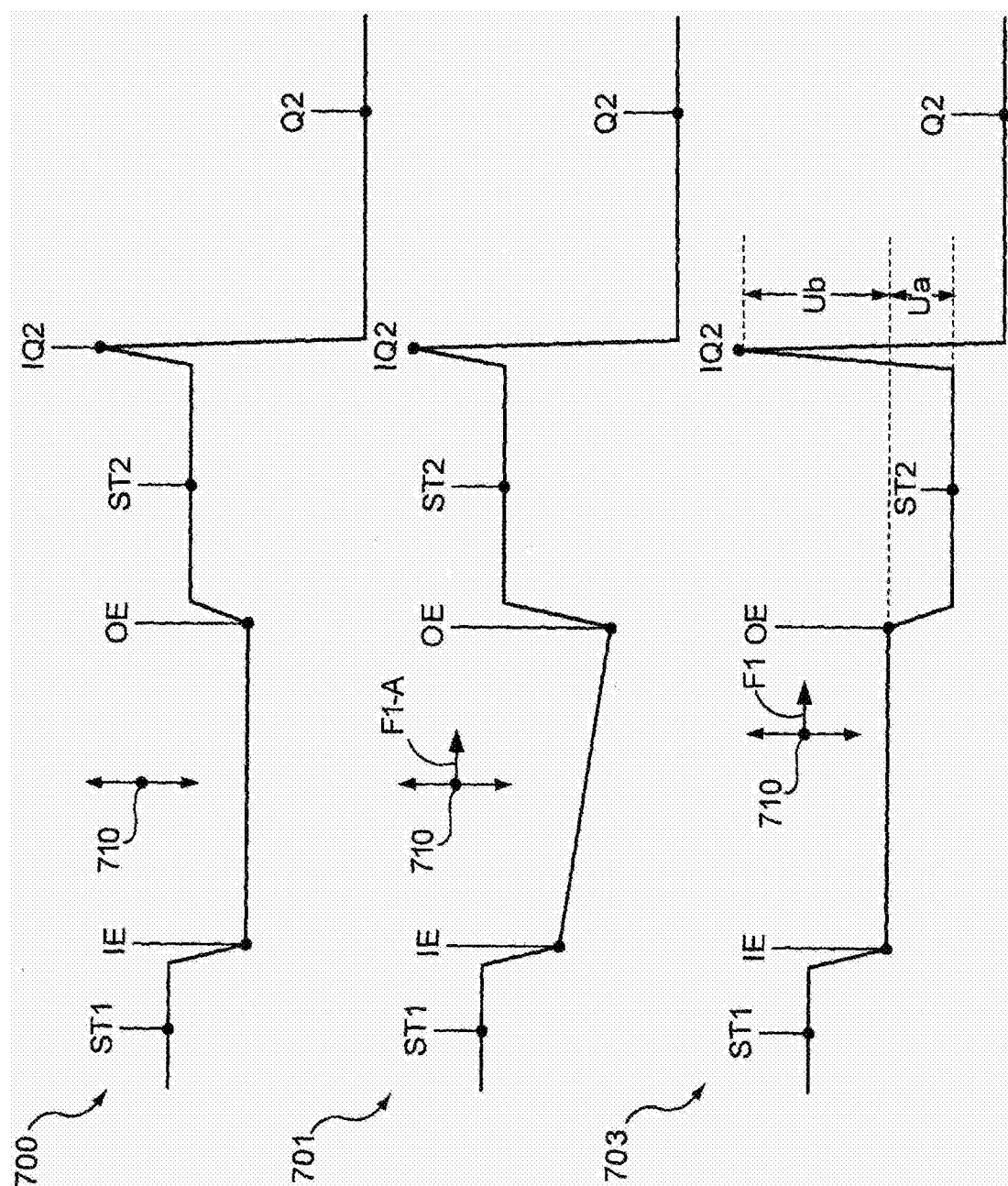


图7

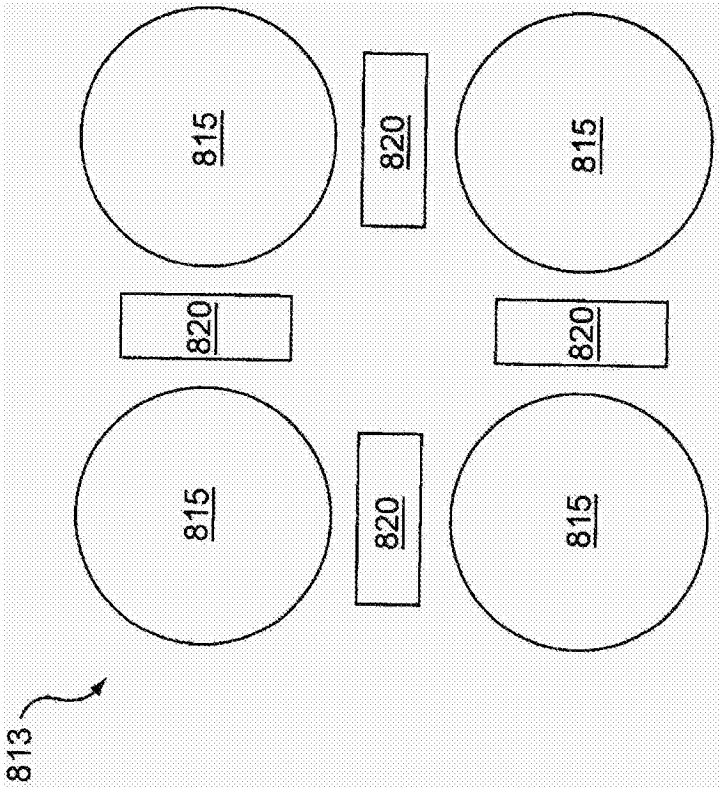


图8

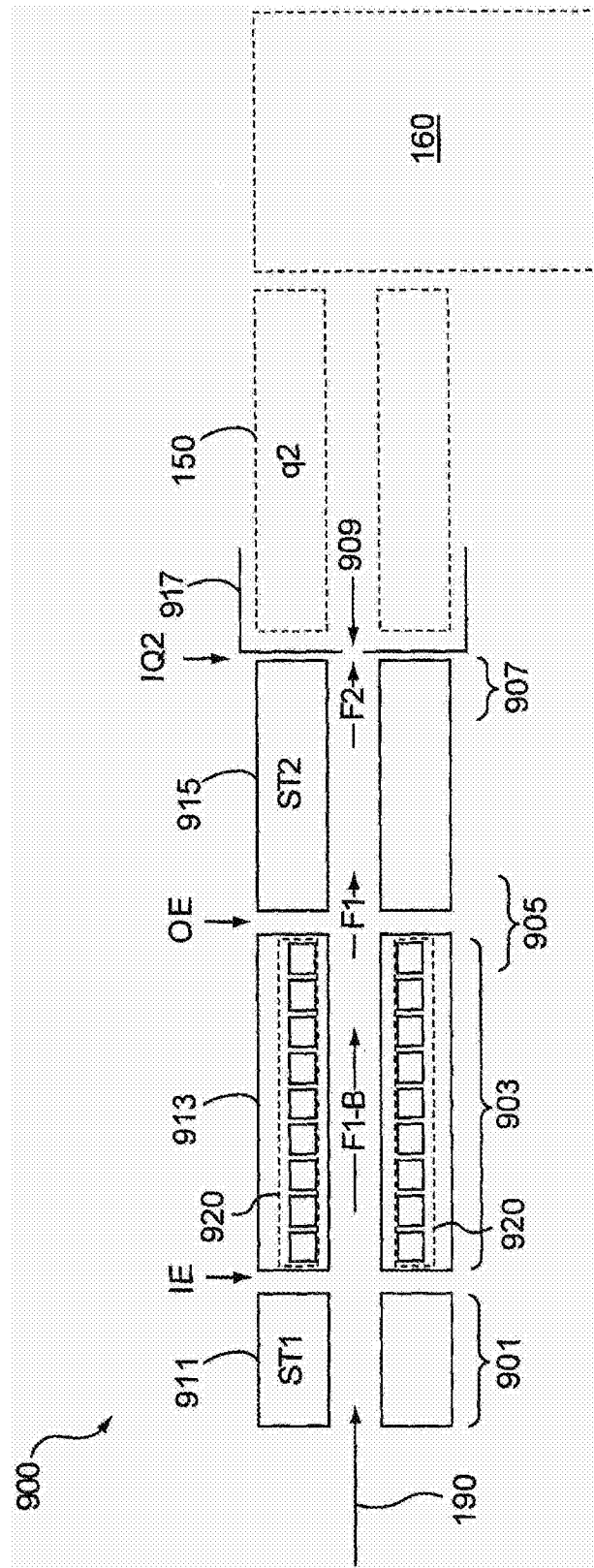


图9

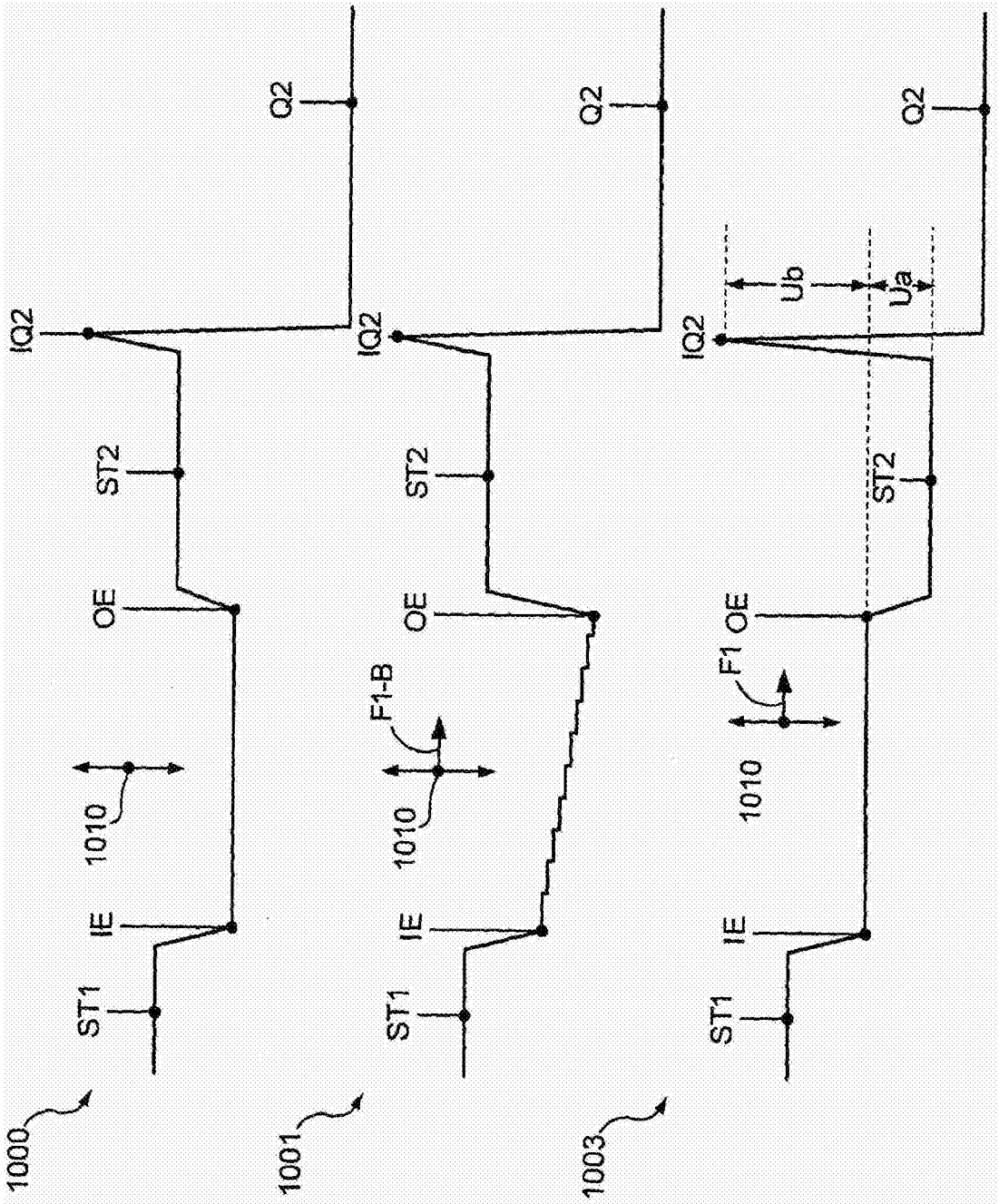


图10

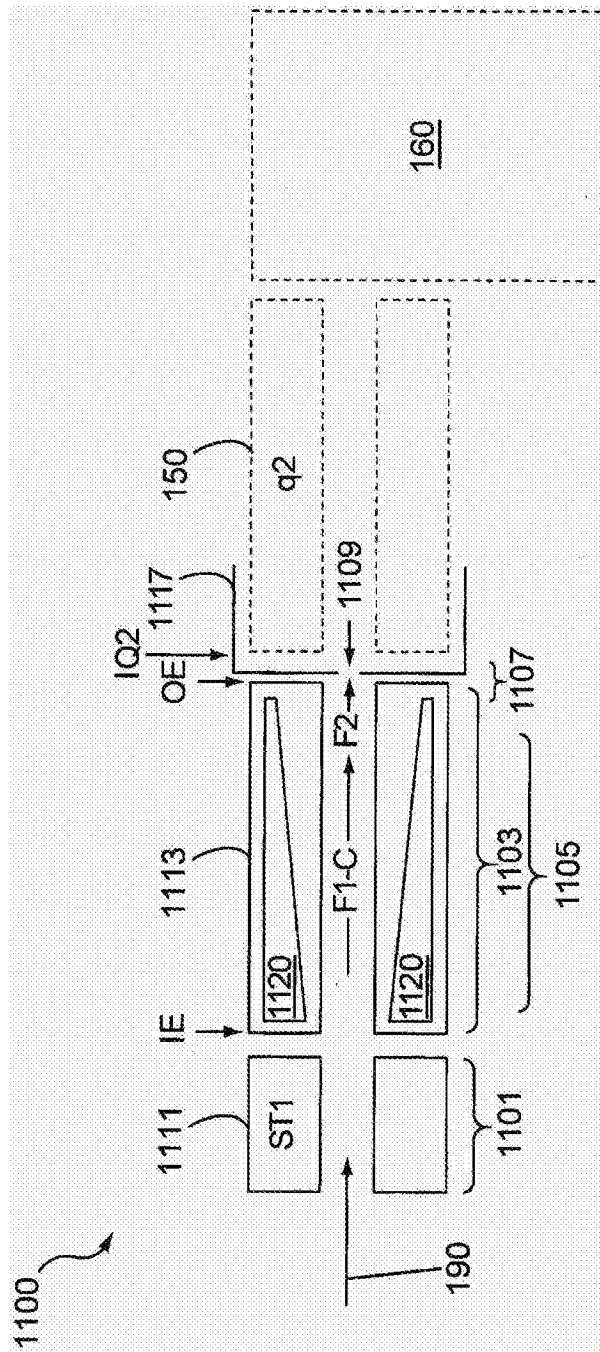


图11

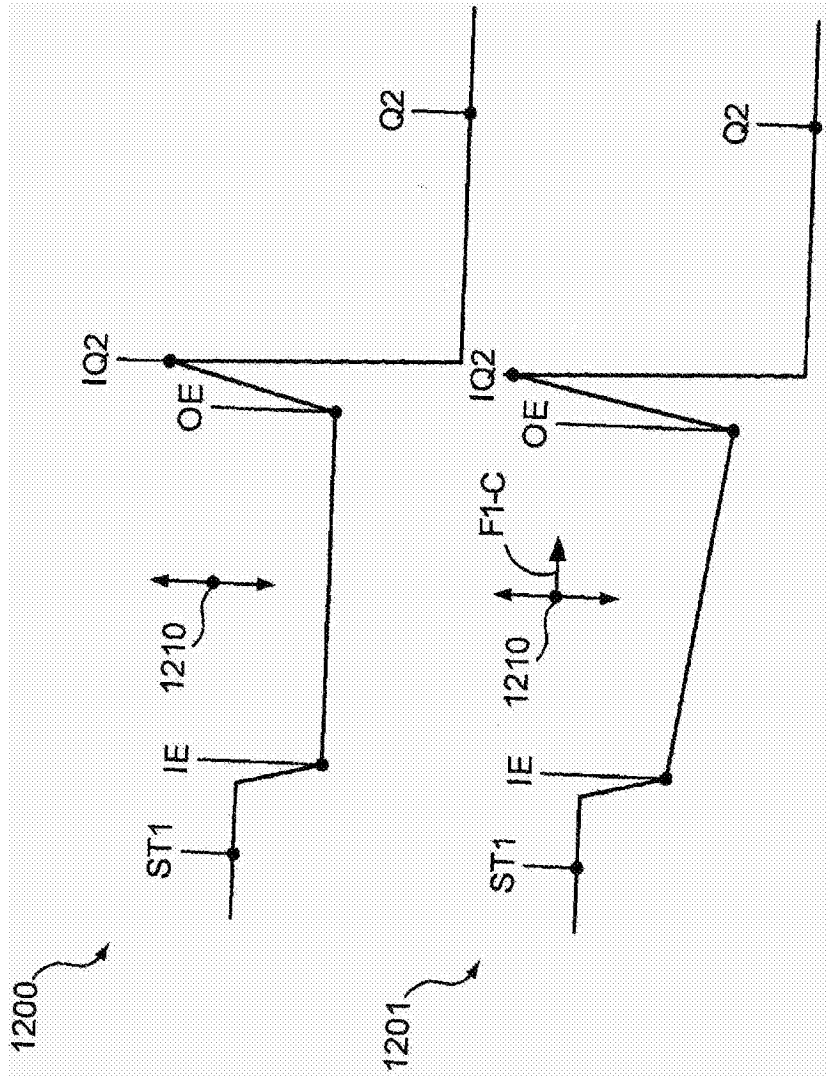


图12

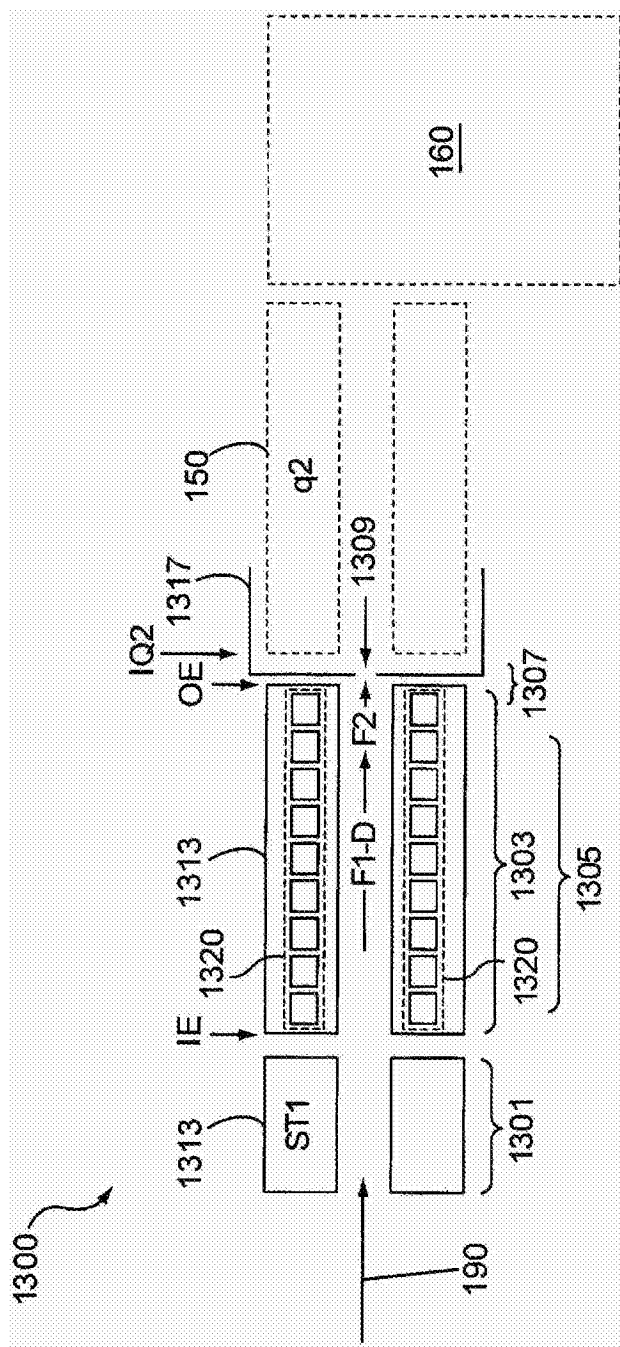


图13

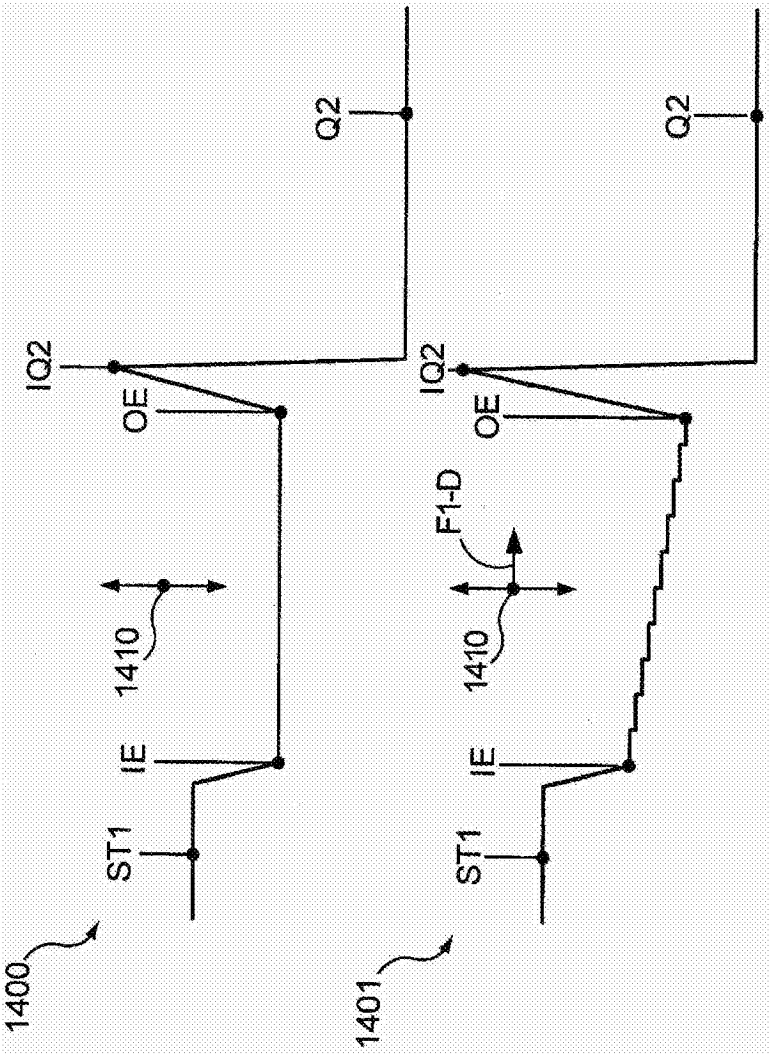


图14

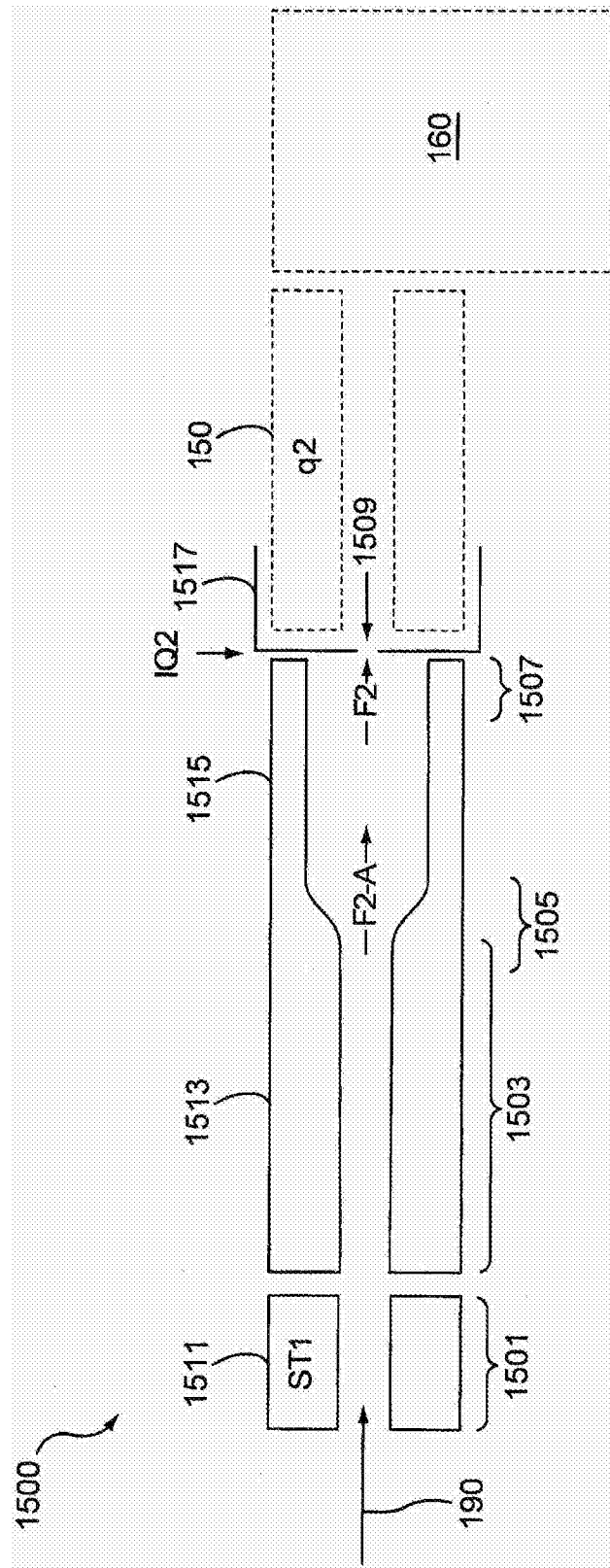


图15

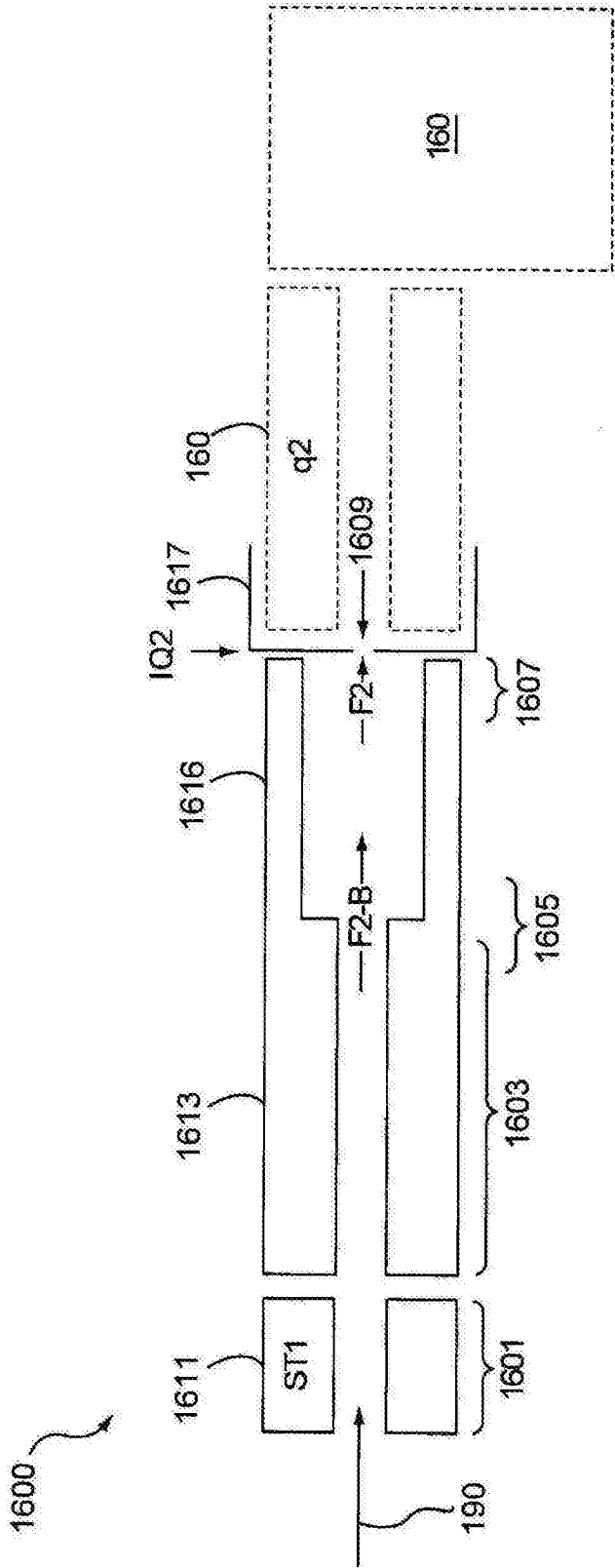


图16

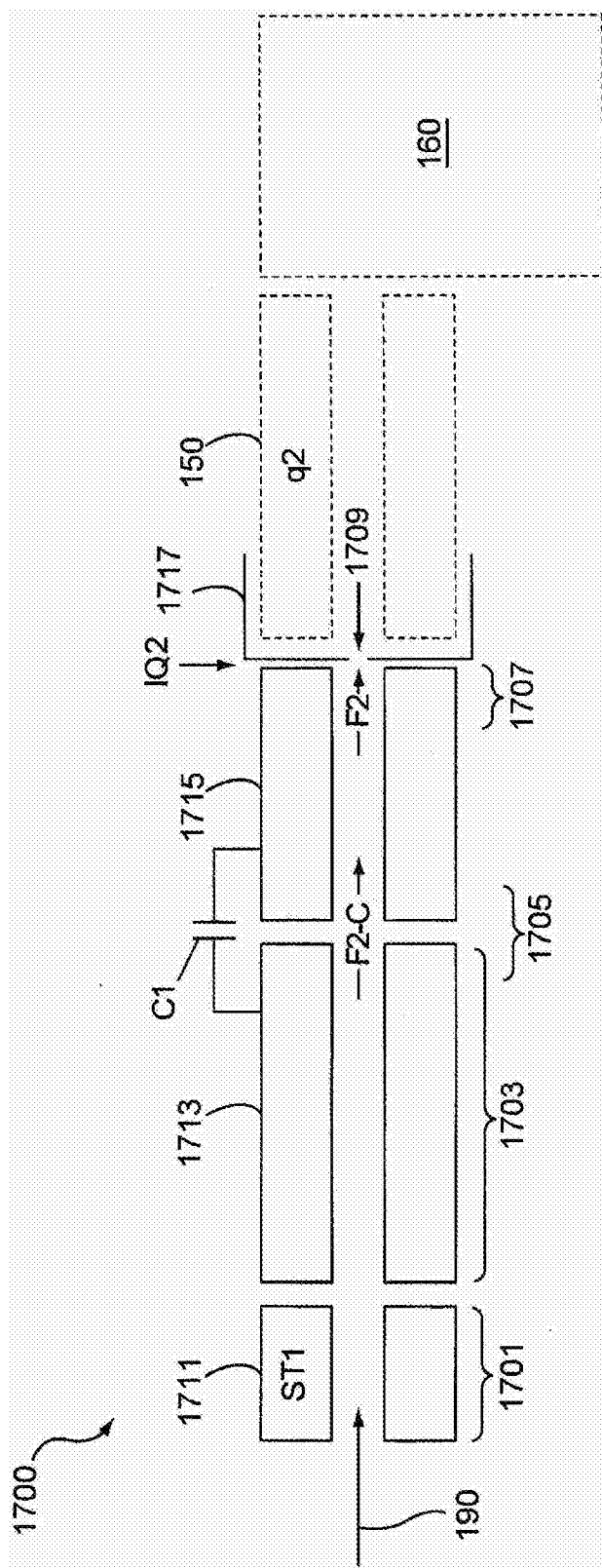


图17

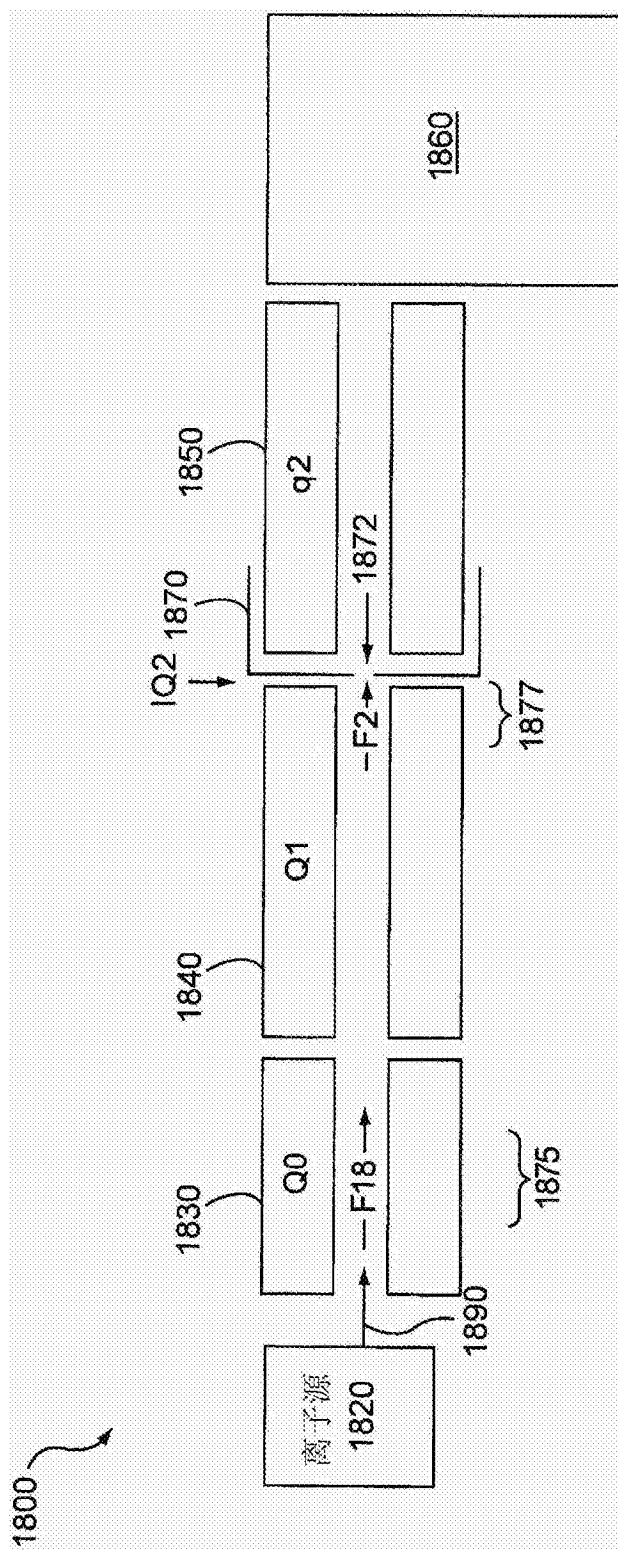


图18

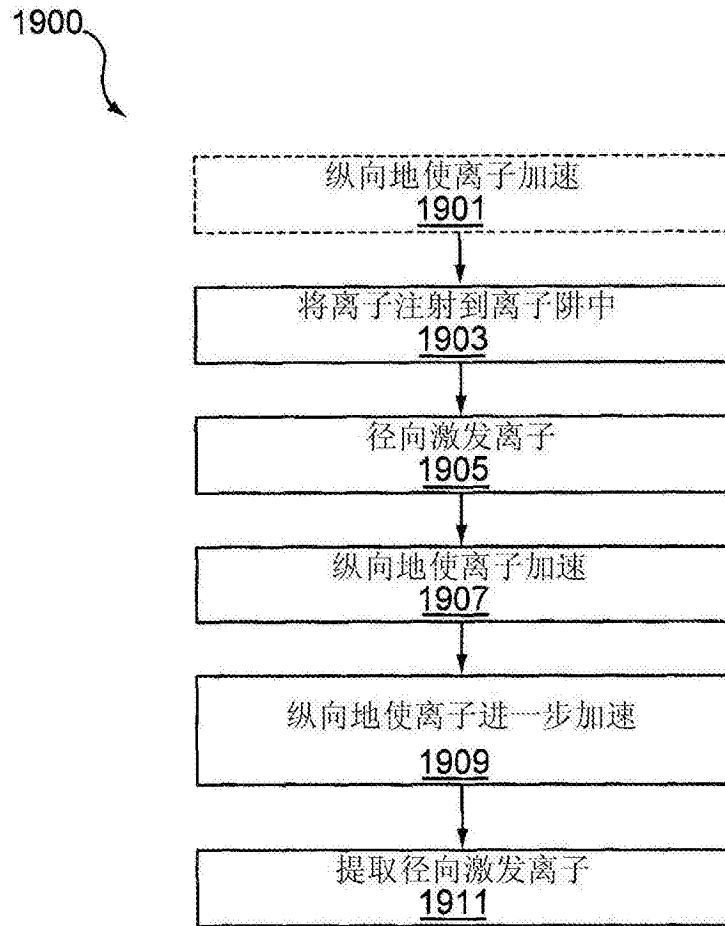


图19

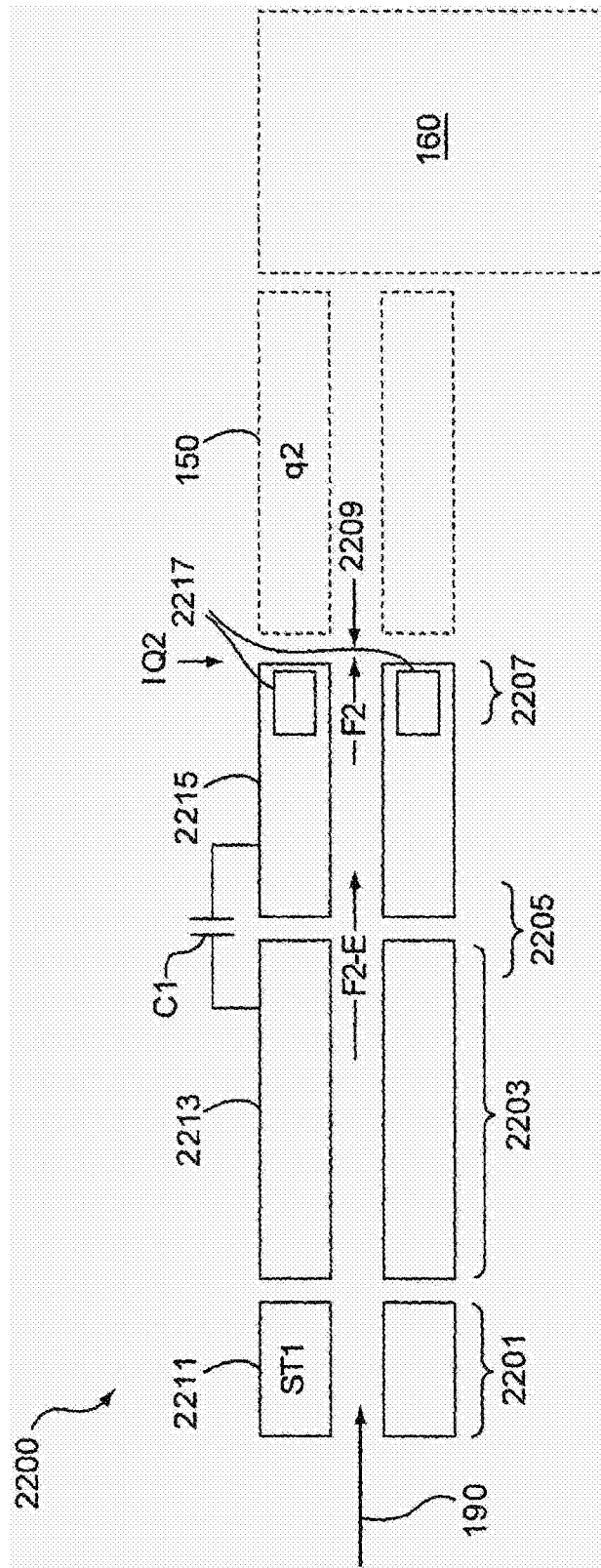


图22

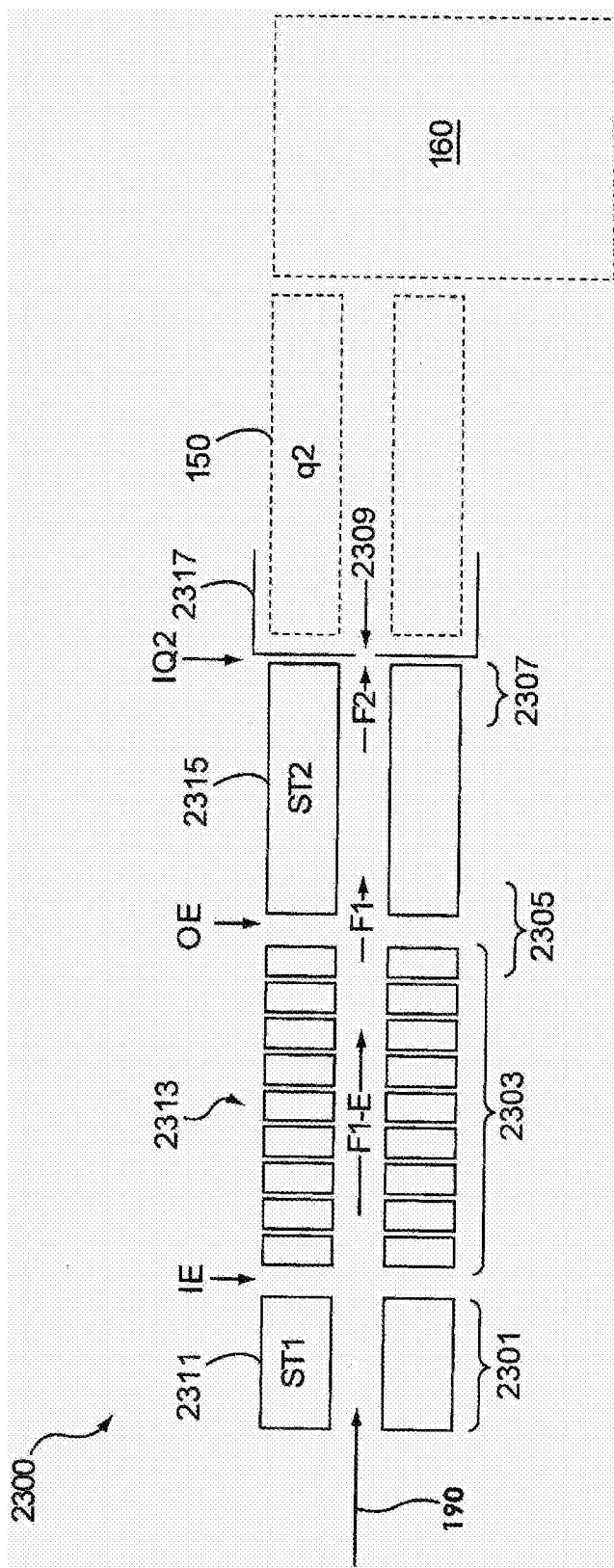


图23

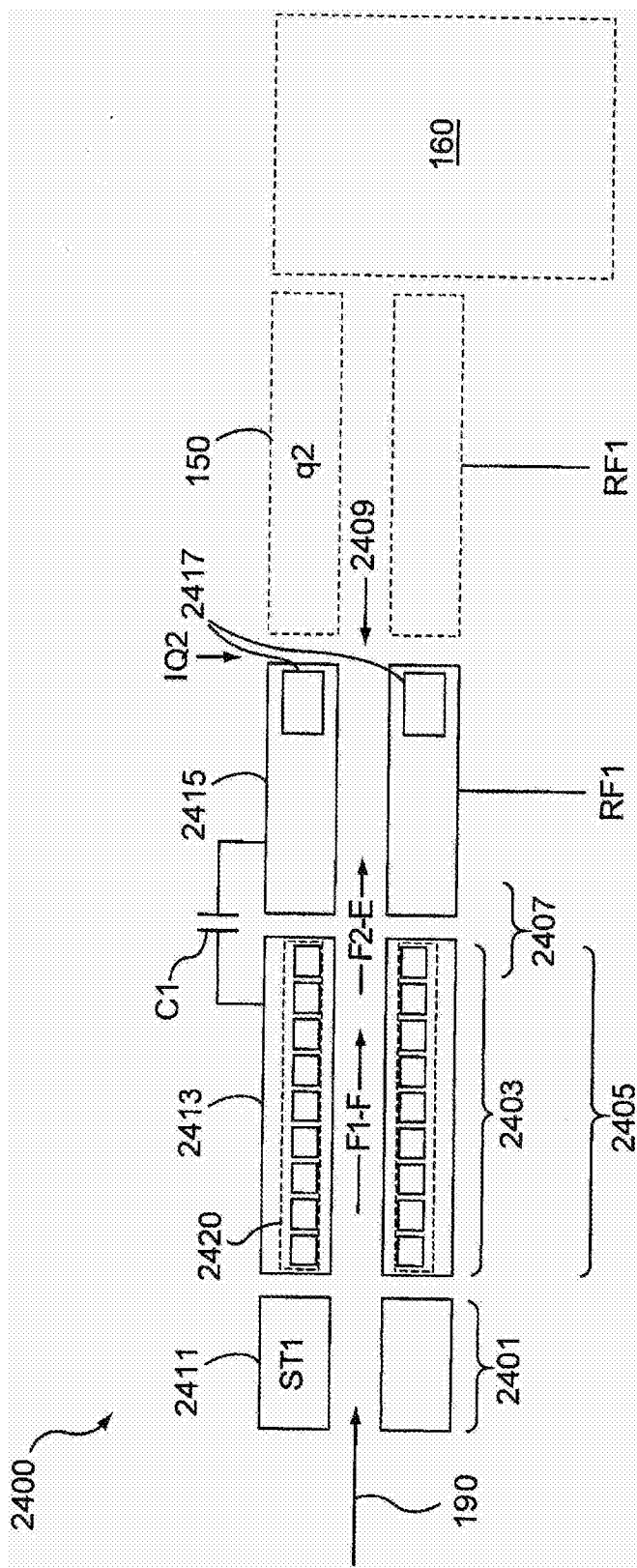


图24