



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1961403 B

(45) 授权公告日 2010.09.15

(21) 申请号 200480033283.4

(22) 申请日 2004.11.12

(30) 优先权数据

10/706,329 2003.11.12 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2006.05.12

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2004/037956 2004.11.12

(87) PCT申请的公布数据

W02005/048290 EN 2005.05.26

(73) 专利权人 美国热电集团

地址 美国马萨诸塞州

(72) 发明人 彼得·J·崔诺 罗伯特·G·瑞特

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任  
公司 11021

代理人 王新华

(51) Int. Cl.

H01J 49/14 (2006.01)

H01J 27/20 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 1271462 A, 2000.10.25, 全文.

US 6452167 B1, 2002.09.17, 说明书第5栏  
第20行至第47行、附图3.

US 6080985 A, 2000.06.27, 全文.

US 6232706 B1, 2001.05.15, 说明书第2栏  
第16行至第55行.

HATA K ET AL. Selective formation of  
C20 cluster ions by field evaporation from  
carbon nanotubes. CHEMICAL PHYSICS LETTERS  
ELSEVIER NETHERLANDS 308 3-4. 1999, 308(3-  
4), 343-346.

审查员 赖俊科

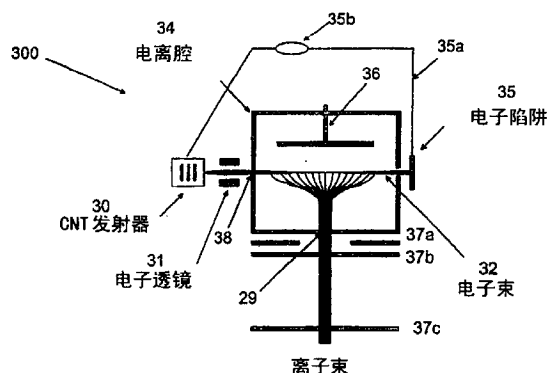
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 5 页

(54) 发明名称

碳纳米管电子电离源

(57) 摘要

一种用在质谱分析器中的离子源,包括:电子发射器,配置其以发射电子束,其中电子发射器组件包括固定在衬底上用于发射电子束的碳纳米管束、配置以控制电子束发射的第一控制栅格和配置以控制电子束能量的第二控制栅格;电离腔,其具有使电子束进入电离腔的电子束入口、用于样本引入的样本入口和为电离样本分子提供出口的离子束出口;电子透镜,其位于电子发射器组件和电离腔之间以聚集电子束;和至少一个电极,其位于离子束出口附近以聚集排出电离腔的电离样本分子。



1. 一种用在质谱分析器中的离子源,包括:

电子发射器组件,其被配置用于发射电子束,其中电子发射器组件包括固定在衬底上用于发射电子束的碳纳米管束、被配置用来控制电子束发射的第一控制栅格和被配置用来控制电子束能量的第二控制栅格;

电离腔,其具有使电子束进入电离腔的电子束入口、用于样本引入的样本入口、和为电离样本分子提供出口的离子束出口;

电子透镜,其位于电子发射器组件和电离腔之间以聚集电子束;和

至少一个电极,其设置在离子束出口附近,以聚集排出电离腔的电离样本分子。

2. 如权利要求1的离子源,其中,碳纳米管束包括从单壁碳纳米管、多壁碳纳米管及其组合中选择出的一个。

3. 如权利要求1的离子源,还包括设置在电离腔内的离子排斥极,其用来帮助电离样本分子排出电离腔。

4. 如权利要求1的离子源,还包括陷阱电极,以俘获排出电离腔的一部分电子束,以提供电子束发射的反馈控制。

5. 如权利要求1的离子源,其中,至少一个电极包括选自聚集半板、源裂缝板、 $\alpha$ 板、引出透镜和准直透镜中的至少一个。

6. 如权利要求1的离子源,其中,第二控制栅格适合于连接至电源,以使电子束的能量约为70电子伏特。

7. 一种用在质谱分析器中的离子源,包括:

电离腔,其包括用于发射电子束的碳纳米管束,其中碳纳米管束固定在电离腔的第一壁上的导电表面上;

样本入口,其设置在电离腔上用于样本引入;

离子束出口,其设置在电离腔上以为电离样本分子提供出口;以及

至少一个电极,其位于离子束出口附近,以聚集排出电离腔的电离样本分子;

其中,在电离腔的第一壁上的导电表面和第二壁上的电子能量板适合于连接至电源,这样就建立了电场以引入来自碳纳米管束的电子束发射。

8. 如权利要求7的离子源,其中,碳纳米管束包括从单壁碳纳米管、多壁碳纳米管及其组合中选择出的一个。

9. 如权利要求7的离子源,还包括设置在电离腔内的离子排斥极,以帮助电离样本分子排出电离腔。

10. 如权利要求7的离子源,其中,至少一个电极包括选自聚集半板、源裂缝板、 $\alpha$ 板、引出透镜和准直透镜中的至少一个。

11. 一种质谱分析器,包括:

根据权利要求1或7所述的基于碳纳米管的离子源;

可操作地与基于碳纳米管的离子源耦合的滤质器,用于基于它们的质荷比来分隔电离样本分子;和

可操作地与滤质器耦合的离子探测器,用于探测电离样本分子。

12. 如权利要求11的质谱分析器,其中,基于碳纳米管的离子源包括:

电子发射器组件,其被配置用来发射电子束,其中电子发射器组件包括固定在衬底上

用于发射电子束的碳纳米管束,被配置用来控制电子束发射的第一控制栅格,和被配置用来控制电子束能量的第二控制栅格;

电离腔,其具有使电子束进入电离腔的电子束入口、用于样本引入的样本入口、和为电离样本分子提供出口的离子束出口;

电子透镜,其位于电子发射器组件和电离腔之间,以聚集电子束;和

至少一个电极,其位于离子束出口附近,以聚集排出电离腔的电离样本分子。

13. 如权利要求 12 的质谱分析器,其中,碳纳米管束包括从单壁碳纳米管、多壁碳纳米管及其组合中选择出的一个。

14. 如权利要求 12 的质谱分析器,其中,基于碳纳米管的离子源还包括设置在电离腔内的离子排斥极,以帮助电离样本分子排出电离腔。

15. 如权利要求 12 的质谱分析器,其中,基于碳纳米管的离子源还包括陷阱电极,其俘获排出电离腔的一部分电子束,并提供电子束发射的反馈控制。

16. 如权利要求 12 的质谱分析器,其中,至少一个电极包括选自聚集半板、源裂缝板、 $\alpha$  板、引出透镜和对准透镜中的至少一个。

17. 如权利要求 12 的质谱分析器,其中,第二控制栅格适合于连接至电源,这样使电子束的能量为约 70 电子伏特。

18. 如权利要求 11 的质谱分析器,其中,基于碳纳米管的离子源包括:

电离腔,其包括用于发射电子束的碳纳米管束,其中碳纳米管束固定在电离腔的第一壁上的导电表面上;

样本入口,其位于电离腔上用于样本引入;

离子束出口,其位于电离腔上以为电离样本分子提供出口;和

至少一个电极,其位于离子束出口附近,以聚集排出电离腔的电离样本分子;

其中,电离腔的第一壁上的导电表面和第二壁上的电子能量板适合于连接至电源,这样就建立了电场以引入来自碳纳米管束的电子束发射。

19. 如权利要求 18 的质谱分析器,其中,碳纳米管束是从单壁碳纳米管、多壁碳纳米管及其组合中选择出的一个。

20. 如权利要求 18 的质谱分析器,还包括设置在电离腔内的离子排斥极,以帮助电离样本分子排出电离腔。

21. 如权利要求 18 的质谱分析器,其中,至少一个电极包括选自聚集半板、源裂缝板、 $\alpha$  板、引出透镜和准直透镜中的至少一个。

22. 根据权利要求 11 的质谱分析器,其中,滤质器是基于选自磁区、静电区、四极、离子陷阱和飞行时间的机构的。

23. 如权利要求 11 的质谱分析器,还包括可操作地与基于碳纳米管的离子源耦合的电子模块,用于控制电子束发射。

24. 如权利要求 11 的质谱分析器,还包括可操作地与质谱分析器耦合的计算机。

## 碳纳米管电子电离源

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 没有可以应用的。

[0003] 本发明的背景

### 技术领域

[0004] 本发明涉及用于质谱分析器的离子源 (ion source), 且特别涉及基于碳纳米管的用于质谱分析器的离子源。

### 背景技术

[0005] 质谱分析器 (Mass spectrometers) 是用于分析种类繁多的样本的有效设备。为了进行质量分析, 需要汽化样本。然后, 通过离子源离子化气体分子。一种有效的离子源尽可能将许多的样本分子转变为离子, 并产生用于特定类型分析仪的最优离子束。最普通的离子源是电子电离 (EI) 源。在 EI 源中, 电子是由源于热丝的热发射产生的, 热丝位于电离腔的外面, 其中通过流过其的电流而加热热丝。电子通过电场加速而达到需要的能级。该能级典型为约 70eV, 但是可以从约 10eV 向上变化到 150eV, 如由细丝和电离腔之间的电势差限定的一样。在电离腔内, 当电子与样本气体分子碰撞时, 每个气体分子失去电子, 而变成带正电。一旦样本分子获得正电荷, 通过施加静电场, 它们可以被加速离开电离腔并被导入至质谱分析器的入口。

[0006] 尽管在质谱分析器中使用的 EI 源的各种配置已经得到发展, 但是由 Nier 最初设计的配置及其变化都是最常见的。图 1 示出了一种基础的 Nier 设计的使用热导线细丝 10 产生电子束 19 的离子源的两幅示意图; 一示意图 (1A) 垂直于 xz 平面, 而另一示意图 (1B) 在 xy 平面内, 其中 x 轴是离子离开离子源的移动方向, y 轴在质量分离的方向, z 轴既垂直于 x 轴又垂直于 y 轴。电子束 19 通常被加速到约 70eV 的能量。电子束 19 被设计为在高真空中与引入电离腔 11 的分子相互作用。相互作用产生可以加速离开电离腔 11 的分子离子和碎片离子 (fragment ion)。

[0007] 由于电子束有些分散, 因此加入一对永磁体 14 使电子束 19 以螺旋的路径前进, 其限制了电子向窄束 (narrow beam) 的移动。垂直于磁通的电子移动的任何分量都用来偏移电子使其进入螺旋轨道。这具有在提取它们作为正离子的区域中在电离腔 11 中增加电子束 19 和分子之间相互作用的可能性的效果。以这种方式, 获得好的灵敏度和分辨率 (低离子能量传播)。

[0008] 一旦电离, 由离子排斥极 12 排斥新带电的粒子 (newly charged particles), 使其向电离腔 11 的出口移动。此外, 带电粒子被加速电势 15 加速, 由 (focusing half plate) 聚焦半板 16 聚集, 且由  $\alpha$  裂缝 17 过滤以形成聚集离子束 18。然后, 聚集离子束 18 被引入到滤质器 (mass filter) (没有示出) 中, 从而根据它们的质荷比而将它们区分开。

[0009] 样本气体和热丝之间的相互作用可以导致细丝的电子功函数的变化。为了提供一种恒定强度的电子束 19, 通常在 EI 源中提供电子陷阱 (trap) 13。电子陷阱 13 是为了俘获

离开电离腔 11 的那部分电子束 19。此外,为了对流过细丝 10 的电流提供反馈控制,电子陷阱 13 也可以用来监视电子束 19 的强度。反馈控制能使细丝 10 产生如在电子陷阱 13 处测量的恒定强度的电子束 19。

[0010] 在典型的 EI 源中,细丝 10 是导线,且由耐火金属制成。电流加热细丝 10 到发生电子的热离子发射的温度(约 2000°C)。典型地,相对于电离腔 11,将细丝 10 维持在负电场(例如,通过横跨细丝 10 和电离腔 11 之间施加电势差),以致于发射的电子在电场梯度的方向从热丝 10 加速。电子束的平移能量(translational energy)影响着气态样本分子和电子之间的相互作用的性质。

[0011] 尽管典型的离子源设计是基于被很好地确定的原则,但是离子源的性能取决于许多细微的设计特征的相互作用。存在几个与用在电子冲击或化学电离源中使用的细丝组件相关联的问题。主要的问题在于,电子的起源和轨道限定得不好。此外,电子发射依赖材料的蒸发,其导致细丝寿命是有限的。在样本气体和热丝之间的相互作用可以导致细丝的电子功函数的变化。如上所述,俘获电极(如图 1 中 13 所示)可以用在反馈电路中以调整电子束 19 的强度。然而,俘获电流的调整将改变细丝的温度。这能导致离子源中温度分布的波动,且使组件变得失效。这些效果导致绝对灵敏度、相对灵敏度和分子碎化程度(degree of molecular fragmentation)的变化。结果,由于混合物中的成分所提供的作用必定具有不确定性,因此如果不是不可能,则通常很难去卷积(de-convolute)复杂混合样本的质谱。

[0012] 因此,为了避免质量分析的复杂性,需要一种可以产生具有预定轨道和均匀密度的稳定电子流的离子源。

## 发明内容

[0013] 本发明的一方面涉及用在质谱分析器中的离子源。根据本发明各方面的离子源包括:被构造用来发射电子束的电子发射器组件,其中电子发射器组件包括固定在衬底上并且用于发射电子束的碳纳米管束、被构造用来控制电子束发射的第一控制栅格、以及被构造用来控制电子束能量的第二控制栅格;电离腔,其具有使电子束进入电离腔的电子束入口、用于样本引入的样本入口、和为电离样本分子提供出口的离子束出口;电子透镜,所述电子透镜位于电子发射器组件和电离腔之间以聚集电子束;和至少一个临近离子束出口设置的电极以集中排出电离腔的电离样本分子。

[0014] 本发明的另一方面涉及用在质谱分析器中的离子源,其中 CNT 发射器包含在微机器电离腔中。根据本发明实施例的离子源包括:电离腔,其包括用于发射电子束的碳纳米管束,其中碳纳米管束固定在电离腔的第一壁上的导电表面上;设置在电离腔上用于样本引入的样本入口;设置在电离腔上以提供用于电离样本分子出口的离子束出口;和至少一个位于离子束出口附近的至少一个电极,以集中排出电离腔的电离样本分子;其中,电离腔的第一壁上的导电表面和第二壁上的电能板适合于连接至电源,这样就建立了电场以引入源于碳纳米管束的电子束发射。

[0015] 本发明的一方面涉及质谱分析器。根据本发明实施例的质谱分析器包括:基于碳纳米管的离子源;可操作地与基于碳纳米管的离子源连接的滤质器,其用于基于它们的质荷比来分隔电离样本分子;和可操作地与滤质器连接的离子探测器,用于探测电离样本分子。

[0016] 根据下面说明书和附属的权利要求,本发明的其它方面和优点将显而易见。

[0017] 附图的简要说明

[0018] 图 1A 和 1B 说明了基于 Nier 设计的常规离子源。

[0019] 图 2A 说明了末端封闭的、多壁的碳纳米管 (MWCNT),以及图 2B 说明了根据本发明的一个实施例的外部 CNT 发射器组件的关键元件。

[0020] 图 3A 和 3B 说明了根据本发明一个实施例的基于碳纳米管的离子源。

[0021] 图 4A-4C 说明了根据本发明另一个实施例的基于碳纳米管的离子源。

[0022] 图 5 示出了根据本发明一个实施例的质谱分析器。

[0023] 具体的描述

[0024] 本发明的实施例涉及用于质谱分析技术的离子源。根据本发明实施例的离子源基于碳纳米管,且能提供具有长寿命的可靠的电子束。

[0025] 碳纳米管 (CNT) 是具有完全的球壳状碳分子 (fullerene) 顶盖的石墨薄片无缝管,其首次被发现作为多层的同轴管 (即,多壁碳纳米管,MWCNT),如图 2A 中所示。随后,在有过渡金属催化剂存在的情况下制备了单壁碳纳米管 (SWCNT)。CNT 在包括纳米尺寸的电子器件、高强度材料、电场发射、用于扫描探针显微镜学的尖头、气体存储器等的应用中显示出令人期待的潜力。

[0026] 作为电子场发射器,碳纳米管具有低功函数、耐久性和热稳定性的特征。相应的,基于 CNT 的电子场发射器可以在低压下被驱动。此外,这种器件对于与器件工作期间产生的气体相反应的抗蚀性得到改善,由此,增加了发射器的寿命。使用 CNT 作为电子场发射器以及制备基于 CNT 的场发射阵列的方法的例子例如可以在向 Choi 授予的美国专利 No. 6, 440, 761 中找到。

[0027] 图 2B 说明了一种 CNT 场发射器组件 200,其由具有在其上固定有平行的 CNT 束 21 的导电层的衬底 20 构成。在 CNT 阵列的末端正上方且与其绝缘的是第一栅格组件 (发射控制栅格) 22,其以提供必要的场发射、并且允许电子通过与能量控制电势  $V_e$  相连的第二栅格 (能量控制栅格) 23 的方式对准。电子通过第二栅格 23 向具有由电势  $V_i$  控制的电流强度的电离区 (例如,图 3A 中的电离腔 34) 发射。电势  $V_i$  通过包含陷阱电极 (例如,图 3A 中的电子陷阱 35) 的反馈电路控制发射电流密度。电势  $V_e$  用来调整电子能量,典型地,其控制在 70eV 能级。由此,CNT 发射器组件 200 提供具有预定的空间始点 (origin) 和固定轨道的、均匀密度的单能电子束。

[0028] 图 3A 示出了根据本发明一个实施例的包括 CNT 发射器组件 30 的离子源 300 的 XZ 平面中的示意图。该示意图说明了相对电离腔 34 和电子陷阱电极 35 的 CNT 电子发射器组件 30 和电子透镜 31 的位置。如所示,配置 CNT 电子发射器组件 30 以通过场发射效应产生电子束 32。通过电子透镜 32 将电子束 32 聚集成窄束 (narrow beam),然后,窄束通过电子束入口 38 进入电离腔 34。电子束 32 与电离腔 34 中的气体样本分子相互作用以产生电离样本分子。电离样本分子可以包括分子离子和碎片离子 (fragment ion)。电离样本分子可以由排斥电极 (repeller electrode) 36 排斥,以通过离子束出口 29 离开电离腔 34。离开电离腔 34 的电离样本分子通过至少一个电极 / 板 37 聚集成窄离子束 33,电极 / 板 37 也可以包括例如聚集半板 37a、源裂缝板 37b 和  $\alpha$  板 37c。然后,离子束 33 可以引入到用于分析的滤质器 / 分析器 (没有示出)。

[0029] 图 3A 中还示出的是电子陷阱 35, 其功能是俘获排出电离腔 34 的那部分电子束 32。在某些实施例中, 电子陷阱 35 可以与反馈电路 35a 和电子源 35b 相耦合, 以调整来自 CNT 电子发射器组件 30 的电子束 32 的发射。电子陷阱 35 和反馈电路 35a 使得能够控制由电子陷阱 35 俘获的电子束 32 决定的恒定能级上的电子束 32 的发射。

[0030] 图 3B 示出了在图 3A 中示出的离子源 300 的另一个示意图。如所示, 电离腔 34 包括用于引入样本气体的样本入口 28 和允许电离样本分子 (即, 离子束 33) 排出电离腔 34 的离子束出口 29。在离子束出口 29 的周围提供至少一个电极 / 板 37, 以聚集排出的离子束 33。该至少一个电极 37 起到提取和聚集电离样本分子作为离子束 33 的作用。通过离子排斥极 36 和横跨电离腔 34 和源裂缝板 37b 施加的加速电势还可以促进电离样本分子的提取。至少一个电极 37, 例如可以包括聚集半板 37a、源裂缝板 37b 和  $\alpha$  缝隙 37c。一旦离开电离腔 34, 在允许离子束 33 进入滤质器 / 分析器 (没有示出) 之前, 离子束 33 可以通过聚集半板 37a、源裂缝板 37b 和 / 或  $\alpha$  裂缝 37c 集中。

[0031] 图 4A-4C 示出根据本发明一个实施例的基于 CNT 的离子源。特别地, 基于 CNT 的离子源 400 适合用于微型质谱分析器。图 4A 示出了基于 CNT 的离子源 400 的 xz 平面的侧面示意图。图 4B 示出了包括在图 4A 所示的离子源 400 中的 CNT 电子发射器 / 离子源组件 40 的放大截面图, 而图 4C 示出了在 xy 平面内离子源 400 的示意图。

[0032] 参照图 4A 和 4B, CNT 电子发射器 40 包括碳纳米管 42 层形成于其上的衬底层 41。用于微型质谱分析器中的 CNT 电子发射器 40 的优选实施例例如可以包括约  $0.1\text{cm}^2$  的 CNT 阵列, 且将包括  $10^8$  量级的 MWCNT。然而, 本领域普通技术人员将理解, 在不脱离本发明的范围情况下, 可以使用其它尺寸和密度的 CNT 阵列。存在三个主要的综合 CNT 的方法: 碳的激光烧蚀、石墨杆的电弧放电和烃的化学气相淀积 (CVD), 如在向 Resasco 等授予的美国专利 No. 6, 333, 016B1 所公开的, 且将其引入作为参考。在这些方法中, 已经发现与光刻相关的 CVD 是制备各种 CNT 器件中最通用的。如今, 在各种配置中, 许多商用源提供了高质量的 CNT 器件。适合用于本发明的实施例的 CNT 例如, 可以从分子纳米系统获得 (Palo Alto, CA)。

[0033] 碳纳米管 42 的层可以包括无缺陷的、平行的、高度有序的碳纳米管 (CNT) 阵列。这些可能是单壁的 (SWCNT)、多壁的 (MWCNT) CNT、或其组合物。MWCNT 和 SWCNT 都可以制造成具有窄尺寸的分布、大尺度的周期性和高的阵列密度。这些属性造就了一个很稳定、可预测的且均匀稠密的电子束。在本发明的优选实施例中, 碳纳米管层 42 包括 MWCNT。

[0034] 当横跨衬底 41 层和电离腔 64 的电子能量板 43 施加电源 44 (用于产生电场) 时, 从 CNT 层 42 发射的电子被加速到电子能量板 43。如在常规的 EI 源中, 可以控制该电场 44 以提供具有所需能级的电子束, 以引起分子碎片 (fragmentation)。在典型的应用中, 可以将该电场维持在 10 到 150eV 之间。在本发明的优选实施例中, 维持该电场以提供具有相当于约 70eV 能量的电子束。

[0035] 在操作中, 通过样本入口 46 将气态样本引入电离腔 64 (参看图 4B 或 4C)。样本入口 46 可以是激光钻漏组件或任何适合的机械开口。一旦进入电离腔 64, 样本分子 45 与 CNT 层 42 发射的电子束 47 相互作用。相互作用的结果是, 样本分子 45 被电离 (充电)。然后, 可以通过包括位于电离腔 64 内的电极的离子排斥极 48 排斥电离样本分子 45, 使其向离子束出口 66 移动。在出口附近提供引出透镜 L1。向包括一个或多个电极的引出透镜 L1 提供电势, 以帮助充电的分子 45 移出离子束出口 66。一旦充电的分子 45 排出电离腔 64, 它们就

可以通过包括至少一个电极的一系列准直透镜 L2 聚集,以形成高度聚集的分子离子束 49,然后将离子束 49 引入基于它们的质荷比 ( $m/z$ ) 分隔和检测这些充电离子 45 的质谱分析器(没有示出)的滤质器(质量分析器)部分中。

[0036] 图 5 示出了根据本发明一个实施例的使用基于离子源(看图 3 和图 4)的 CNT 的质谱分析器的概图。如所示,质谱分析器 50 包括离子源 51、滤质器 52 和探测器 53。离子源 51 可以包括在图 3 或图 4 中所示的基于 CNT 的离子源。离子源 51 电离样本分子并且将它们聚集成窄离子束 57(还要参看图 3 和 4)。

[0037] 窄离子束 57 被引入到滤质器 52,其中充电的粒子根据它们的  $m/z$  而分隔。本发明的实施例可以使用现有技术中公知的任一滤质器。这些滤质器可以基于例如磁区、静电区、四极、离子陷阱、飞行的时间等。然后分隔的电荷粒子通过离子探测器 53 检测。而且,任何适合的离子探测器可以用于本发明的实施例。

[0038] 此外,质谱分析器 50 包括可以控制离子束 57 进入滤质器 52 的入口的电子模块 54。电子模块 54 可以通过两种机制实现该功能:通过控制来自 CNT 层(如在图 4 中所示的 42)的电子束的产生(如在图 4 中所示的 47),或通过控制向滤质器 52 引入离子束 57。在本发明优选的实施例中,电子模块 54 控制来自 CNT 层(参看图 3 和图 4)的电子束的产生。阻碍从 CNT 层形成电子束与阻碍分子离子束 57 进入滤质器 52 的入口正相反,其优点在于:与阻碍离子束相比较,阻碍电子束需要的过渡时间较少,而其他因素相同。这是因为,分子离子至少比电子质量大 10,000 倍,由此,在可比能量下,电子传送的速度比离子至少快 100 倍。结果,电子束的停止和开始的过渡时间比离子束的至少快 100 倍。

[0039] 此外,根据本发明实施例的基于 CNT 的电子发射器允许快速开关(即,以高频开和关),其使脉冲电离成为可能。例如,参考图 3A 和图 4B,交替地打开电子束 47 和离子排斥极 48 允许源设计者选择用来确保快速离子提取的相对高的排斥器 48 电压,而不改变电子束 47 的能量或轨道。

[0040] 再参考图 5,可以通过计算机 55 控制质谱分析器 50。计算机 55 可以是通用计算机或专门设计的计算机,其可以包括接口 56 和通过离子源 51 控制样本电离、滤质器 52 的操作(例如,使静电场或磁场倾斜)和通过离子探测器 53 对充电分子进行检测的程序。此外,计算机 55 还控制电子模块 54,例如,该电子模块 54 可以允许脉冲电离或交替打开离子源和排斥电势,如前述。在另一个本发明的实施例中,电子模块可以是计算机 55 的一部分,而不是质谱分析器 50 的一部分。

[0041] 上述例子仅用于说明。本领域的普通技术人员应当理解,在不脱离本发明的范围的情况下,各种各样的修改都是可能的。例如,在图 4 中所示的离子源有一个大致呈方形(盒子)的电离腔 64 和磁盘形的 CNT 层,也可以使用其它的几何形状。

[0042] 本发明的优点可以包括一个或多个下述部分。在根据本发明的实施例设计离子源中,计算机程序可以用来仿真离子轨道且减少与离子源的性能特征相关的变量的数量。一旦其处于服务中,相同的程序还可以用来模拟和监视基于 CNT 的离子源的性能的变化。例如,使用通过测量单独合格的校准(calibration)气体混合物提供的软件校正的应用气体库,监视和解决离子源性能变化的能力反过来简化了设备的校准。与传统的装备有 EI 的质谱分析器相比,这将显著地减少操作的复杂性。因为基于 CNT 的离子源设计摆脱了对常规的细丝替代物的需求,所以可以设计出没有移动部件的非常有能力的且可靠的通用目的的



工业气体分析器。这是因为常规的涡轮分子真空泵可以由离子泵所替代,因为不再需要快速泵下降 (pump-down) 时间—不需要为了常规的维护而中断真空。根据本发明的基于 CNT 的离子源可以在微小的热扰动的环境下工作,且可以响应快速电压调整。这使得在脉冲模式下进行质量分析成为可能。

[0043] 尽管已经通过有限数量的实施例描述了本发明,但是本领域技术人员已经从该公开中受益,并且能够理解,在不脱离这里公开的本发明的范围的情况下可以设计出其它的实施例。相应地,本发明的范围将不仅有所附的权利要求限定。

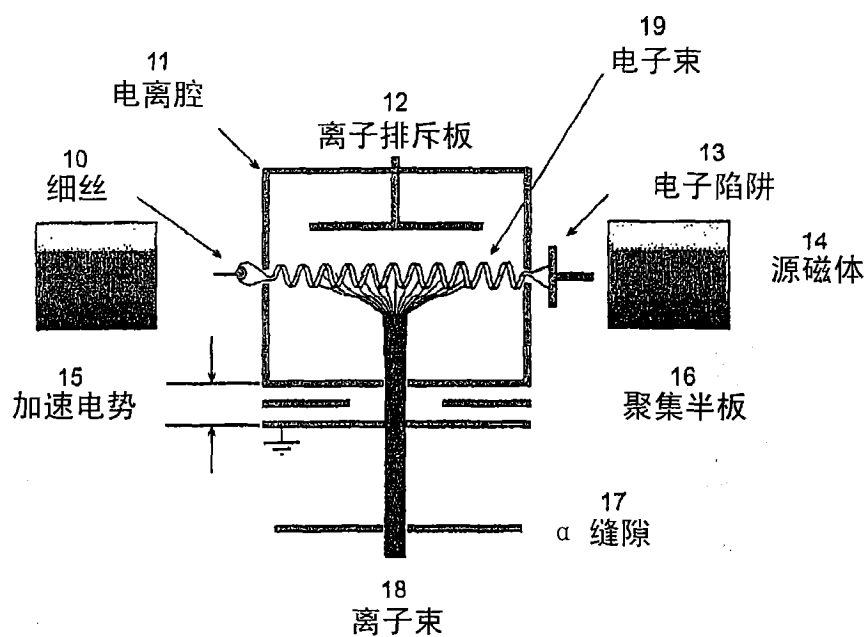


图 1 (A) XZ 平面中的视图 (现有技术)

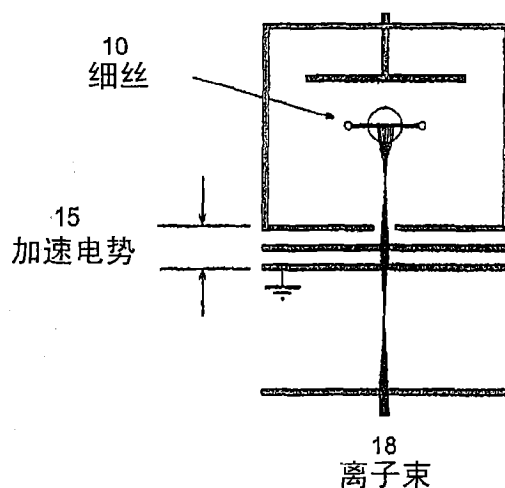


图 1 (B) XY 平面中的视图 (现有技术)

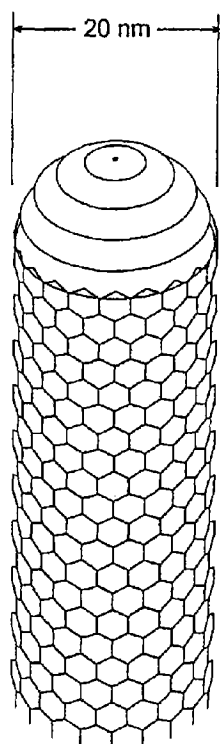


图 2(A) 末端封闭 MWCNT

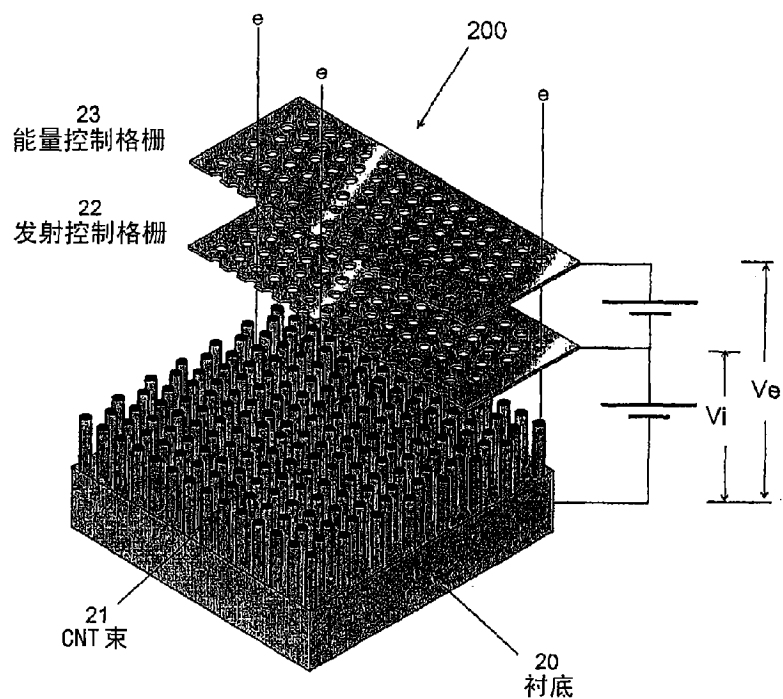


图 2(B) CNT 发射器组件

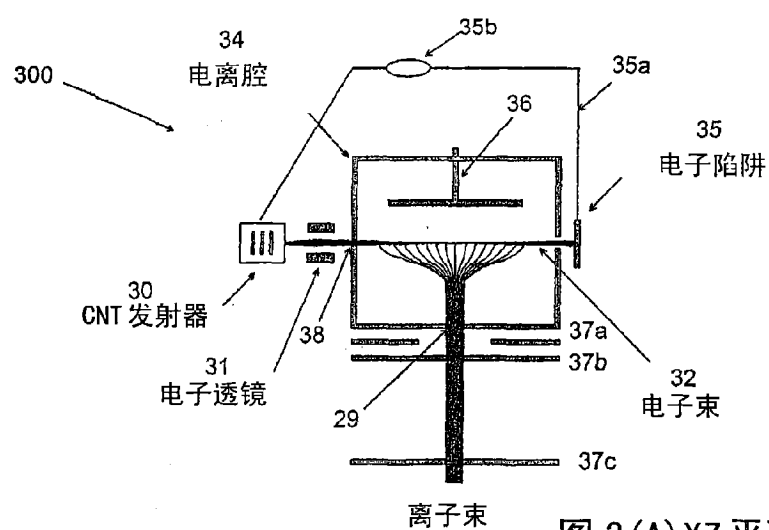


图 3(A) XZ 平面中的视图

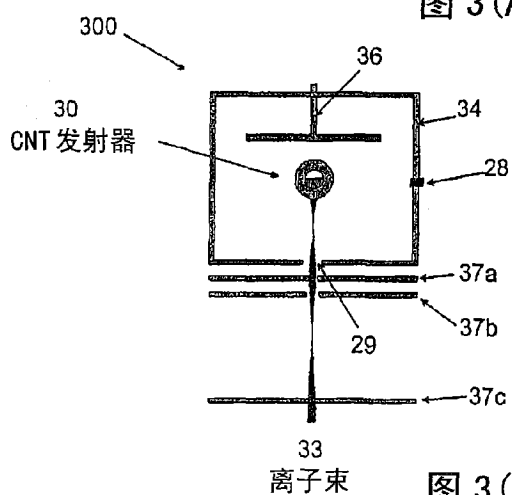
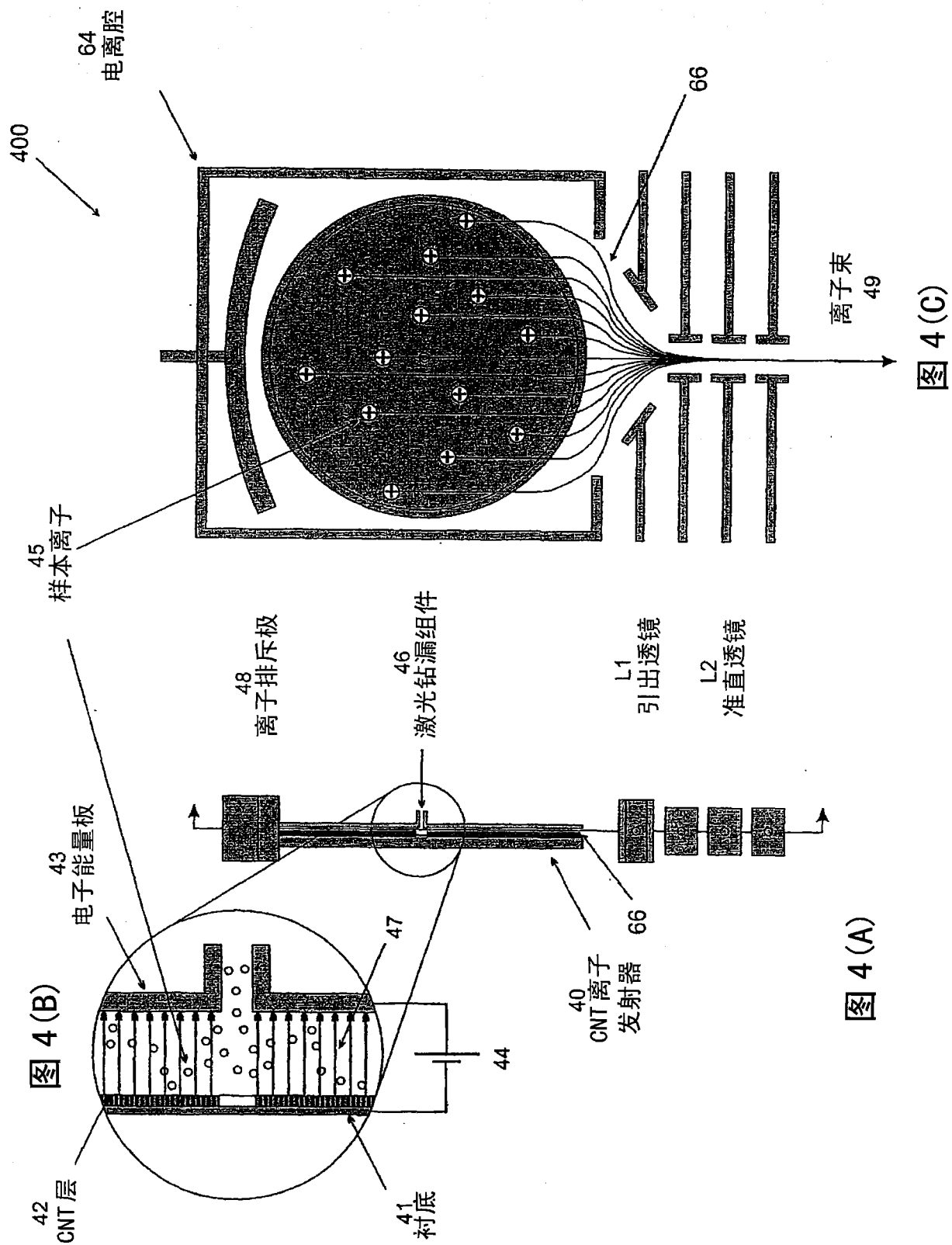


图 3(B) XY 平面中的视图



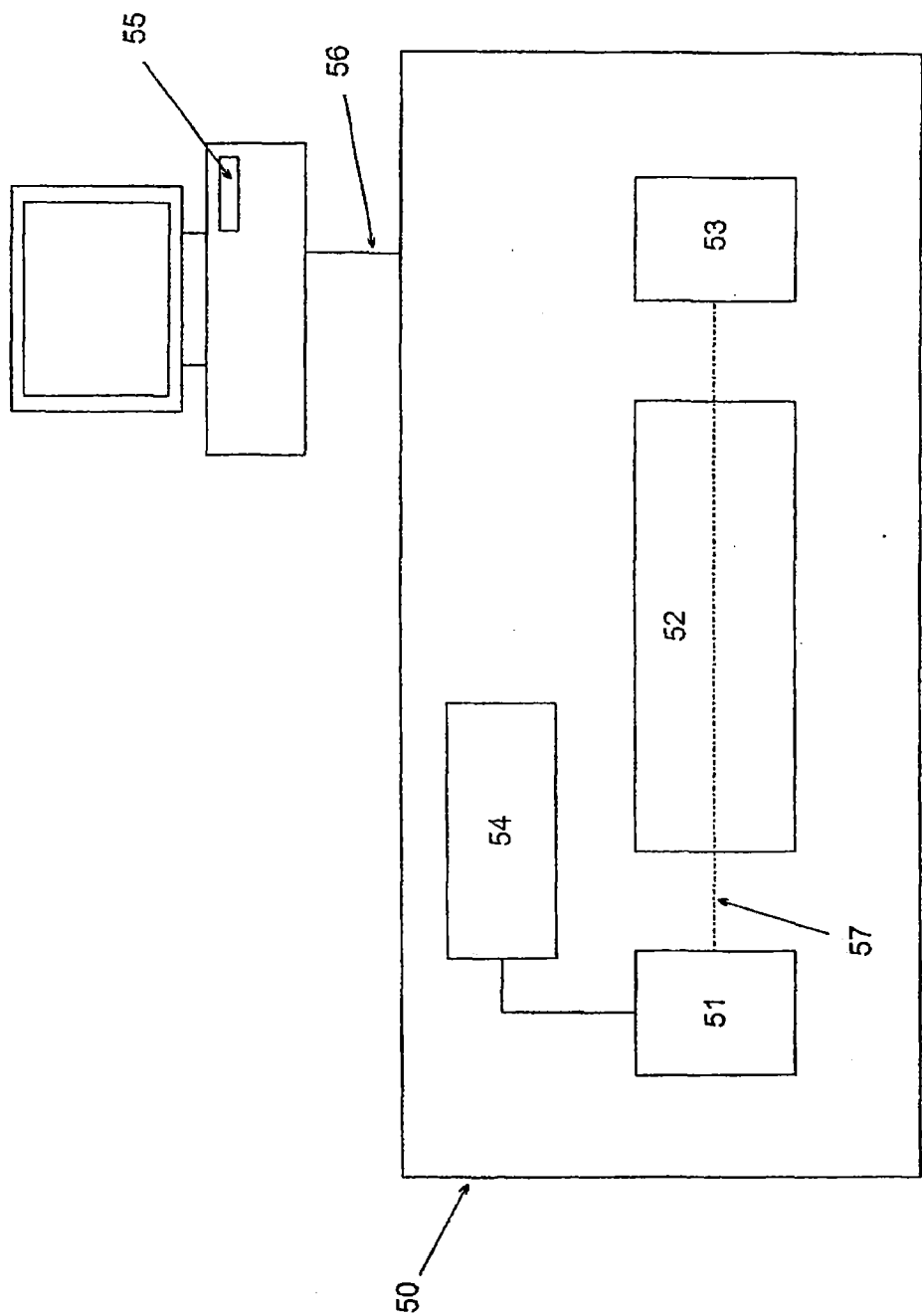


图 5