



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105144336 B

(45)授权公告日 2017.05.03

(21)申请号 201480023185.6

(22)申请日 2014.04.14

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105144336 A

(43)申请公布日 2015.12.09

(30)优先权数据

2013-092484 2013.04.25 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2015.10.23

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2014/060575 2014.04.14

(87)PCT国际申请的公布数据

W02014/175087 JA 2014.10.30

(73)专利权人 株式会社日立高新技术

地址 日本东京都

(72)发明人 今井悠太 大岛卓 森下英郎

(74)专利代理机构 北京银龙知识产权代理有限公司

公司 11243

代理人 张敬强 严星铁

(51)Int.Cl.

H01J 37/073(2006.01)

H01J 27/26(2006.01)

H01J 37/06(2006.01)

H01J 37/063(2006.01)

H01J 37/08(2006.01)

H01J 37/28(2006.01)

(56)对比文件

US 2012062094 A1,2012.03.15,

JP H04-65054 A,1992.03.02,

US 2012062094 A1,2012.03.15,

WO 2013027448 A1,2013.02.28,

JP 2005235697 A,2005.09.02,

US 6288401 B1,2001.09.11,

JP 2006324119 A,2006.11.30,

CN 102668013 A,2012.09.12,

CN 1937165 A,2007.03.28,

US 2008315089 A1,2008.12.25,

JP S54-31784 B2,1979.10.09,

审查员 肖俊峰

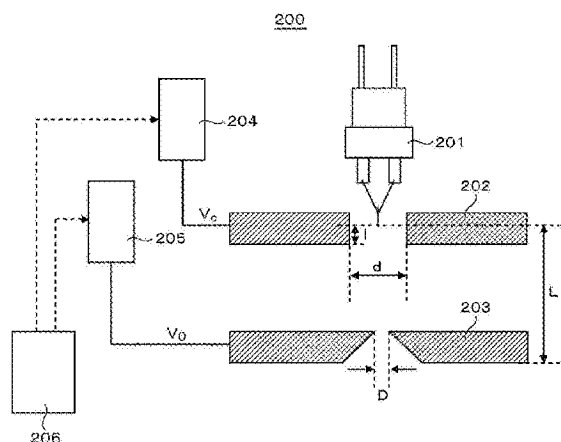
权利要求书2页 说明书11页 附图15页

(54)发明名称

电子枪、带电粒子枪及利用该电子枪、带电粒子枪的带电粒子束装置

(57)摘要

本申请的目的是提供仅使用静电透镜的较小型而像差小的带电粒子枪,并提供在大电流下也具有高亮度的场发射型带电粒子枪。带电粒子枪具有:带电粒子源;加速电极,其使从带电粒子源发射的带电粒子加速;控制电极,其配置在比加速电极靠近带电粒子源侧且具有比加速电极的开口直径大的开口直径;以及控制部,其根据施加于加速电极的电位对施加于控制电极的电位进行控制。



1. 一种电子枪,其特征在于,具有:
针状电子源,其为场发射型电子源;
加速电极,其使从上述电子源发射的电子加速;
控制电极,其配置在比上述加速电极靠近上述电子源侧且具有比上述加速电极的开口直径大的开口直径;以及
控制部,其根据施加于上述加速电极的电位对施加于上述控制电极的电位进行控制,
将上述控制电极的开口直径设为 d ,将上述电子源与上述加速电极的距离设为 L 时,则 $d/L < 1$,
上述电子源与上述加速电极的距离为 $6\text{mm} < L < 20\text{mm}$,
具备两个以上的上述控制电极,
上述控制部在上述加速电极的加速电压较低的情况下,将用于提高电子源的顶端的电场的控制电压施加于上述控制电极,并在加速电压较高的情况下,将用于抑制电子源的顶端的电场的控制电压施加于上述控制电极。
2. 根据权利要求1所述的电子枪,其特征在于,
上述电子枪是冷阴极场发射型电子枪。
3. 根据权利要求1所述的电子枪,其特征在于,
在上述加速电极与上述控制电极之间具有引出电极。
4. 根据权利要求1所述的电子枪,其特征在于,
具有控制机构,其基于上述电子的加速电压来切换所使用的电极。
5. 一种带电粒子束装置,其使用权利要求1所述的电子枪,上述带电粒子束装置的特征在于,具备:
至少一个以上的静电或磁场透镜;
试样载台,其载置观察试样;以及
检测器,其计测反射电子、二次电子中的至少一种,
利用带电粒子束对试样进行观察或分析。
6. 根据权利要求5所述的带电粒子束装置,其特征在于,
具备使用一个静电或磁场透镜的电子光学系统。
7. 根据权利要求5所述的带电粒子束装置,其特征在于,
上述电子枪的外径尺寸为 200mm 以下。
8. 根据权利要求5所述的带电粒子束装置,其特征在于,
具备使用上述电子的加速电压为 $0.1 \sim 3\text{kV}$ 的低加速的电子束来观察试样的功能。
9. 一种带电粒子枪,具有:
带电粒子源;
加速电极,其使从上述带电粒子源发射的带电粒子加速;
控制电极,其配置在比上述加速电极靠近上述带电粒子源侧且具有比上述加速电极的开口直径大的开口直径;以及
控制部,其根据施加于上述加速电极的电位对施加于上述控制电极的电位进行控制,
将上述控制电极的开口直径设为 d ,将上述带电粒子源与上述加速电极的距离设为 L 时,则 $d/L < 1$,

上述带电粒子源与上述加速电极的距离为 $6\text{mm} < L < 20\text{mm}$,

具备两个以上的上述控制电极,

上述控制部在上述加速电极的加速电压较低的情况下,将用于提高带电粒子源的顶端的电场的控制电压施加于上述控制电极,并在加速电压较高的情况下,将用于抑制带电粒子源的顶端的电场的控制电压施加于上述控制电极。

10. 一种带电粒子束装置,其使用权利要求9所述的带电粒子枪,上述带电粒子束装置的特征在于,具备:

试样载台,其载置试样;

物镜,其用于使带电粒子束集束并向观察试样照射;以及

检测器,其检测二次粒子,

利用带电粒子束对试样进行观察或分析。

11. 根据权利要求10所述的带电粒子束装置,其特征在于,

将从上述带电粒子源引出的带电粒子减速并使用。

12. 一种带电粒子枪,其具有:带电粒子源;加速电极,其使从上述带电粒子源发射的带电粒子加速;控制电极,其配置在比上述加速电极靠近上述带电粒子源侧;以及控制部,其根据施加于上述加速电极的电位对施加于上述控制电极的电位进行控制,上述带电粒子枪的特征在于,

将上述控制电极的开口直径设为 d ,将上述带电粒子源与上述加速电极的距离设为 L 时,则 $d/L < 1$,上述带电粒子源与上述加速电极的距离为 $6\text{mm} < L < 20\text{mm}$,具备两个以上的上述控制电极,

上述控制部在上述加速电极的加速电压较低的情况下,将用于提高带电粒子源的顶端的电场的控制电压施加于上述控制电极,并在加速电压较高的情况下,将用于抑制带电粒子源的顶端的电场的控制电压施加于上述控制电极。

电子枪、带电粒子枪及利用该电子枪、带电粒子枪的带电粒子束装置

技术领域

[0001] 本发明涉及用于带电粒子束装置的电子枪及带电粒子枪,并涉及利用该电子枪及带电粒子枪的带电粒子束装置。

背景技术

[0002] 为了获得高分辨率的电子显微镜,需要在试样上以收束为小径的状态照射大电流的电子束。为此,作为产生电子束的电子枪需要亮度较高的类型。

[0003] 冷阴极场发射(CFE)型电子枪常用于高亮度且高分辨率的电子显微镜,冷阴极场发射型电子枪的电子源,与热电子发射或肖特基发射等其它电子源相比,光源尺寸小且电子源的亮度大。此外,所引出的电子具有的能量散布非常小。在使用电子透镜等的电子光学系统中使电子束收束时,会产生与电子束的能量散布成比例的称为色像差的模糊。即,发射能量散布小的电子源能够减小色像差而使电子束更细地收束。

[0004] 以往,在将冷阴极场发射型电子源应用于电子枪的情况下,一般使用图2所示的引出电极21和加速电极22构成的巴特勒透镜。这里,所谓巴特勒透镜是一种具有将两张圆形的电极板并行配置而成的构造的静电透镜,两张圆板的外侧为平板状,彼此相向的内侧则从外周到中心平缓地变薄。在两张圆板上具备用于使电子束通过的开口。为了容易加工,使该形状略微变形所得透镜也称为巴特勒透镜或巴特勒型透镜。使用该构造时具有能够使电子枪的构造简易且比较小型的优点。

[0005] 并且,为了降低电子枪的像差和提高亮度,提出了一种磁场重叠型电子枪,其在静电透镜基础上还使用磁场透镜来收束电子束。例如专利文献1所示,在磁场透镜的磁场中配置电子源,使用焦点距离短的磁场透镜使从电子源发射的电子束收束,从而能够减小从电子源引出电子的静电透镜的作用,即使电子束的导入角增大也能够抑制像差增大而实现电子束的大电流化。

[0006] 现有技术文献

[0007] 专利文献

[0008] 专利文献1:日本特开2010-272381号公报

发明内容

[0009] 发明所要解决的课题

[0010] 为了实现高分辨率的电子显微镜及电子束应用装置,需要使用电子束的假想光源径小的电子枪。并且,为了使用较小的假想光源径获得具有实效的小光源径,需要减小电子枪自身的像差。在以往的使用巴特勒型透镜的电子枪中像差较大,因此在用于电子显微镜时需要利用电子枪之后的电子透镜进行缩小。从而导致无法有效地利用光源的亮度。

[0011] 另一方面,如专利文献1所示,在电子枪部上组合磁场透镜进行使用也能够实现低像差的电子枪。但是,由于将静电透镜与磁场透镜组合使用需要进行光学系统的合轴而导

致操作性降低。并且机构复杂而导致电子枪比较大型。

[0012] 并且,在以往的使用巴特勒型透镜的电子枪中,如果使施加于加速电极的电压变化则电子束的假想焦点的位置会显著变化。由此光学系统的轴有时会发生偏移,电子束的照射位置或尺寸等有时会发生变化,搭载电子枪的电子显微镜及电子束应用装置的稳定性和操作性降低。

[0013] 为此,本申请目的是提供比较小型且像差小的电子枪(及带电粒子枪)。

[0014] 用于解决课题的方法

[0015] 在本申请中,对代表性要点进行如下简单说明。

[0016] 即,本案的电子枪具有:针状电子源,其为场发射型电子源;加速电极,其使从上述电子源发射的电子加速;控制电极,其配置在比上述加速电极靠近上述电子源侧且具有比上述加速电极的开口直径大的开口直径;以及控制部,其根据施加于上述加速电极的电位对施加于上述控制电极的电位进行控制。

[0017] 并且,本案的带电粒子束装置是使用上述电子枪的带电粒子束装置,其特征在于,具备:至少一个以上的静电或磁场透镜;载置观察试样的试样载台;以及计测反射电子、二次电子中的至少一种的检测器,利用上述电子束对试样进行观察或分析。

[0018] 并且,本案的带电粒子枪具有:带电粒子源;加速电极,其使从上述带电粒子源发射的带电粒子加速;控制电极,其配置在比上述加速电极靠近上述带电粒子源侧且具有比上述加速电极的开口直径大的开口直径;以及控制部,其根据施加于上述加速电极的电位对施加于上述控制电极的电位进行控制。

[0019] 发明的效果

[0020] 采用上述带电粒子枪能够在带电粒子源附近比以往紧凑地形成电场。其结果是能够在带电粒子源附近形成焦点距离短的静电透镜。

附图说明

[0021] 图1是表示实施例1的电子枪的结构图。

[0022] 图2是表示以往的巴特勒透镜型电子枪的结构图。

[0023] 图3是表示变形例1的电子枪的结构图。

[0024] 图4是表示搭载有实施例1的电子枪的电子显微镜的真空排气系统的结构图。

[0025] 图5是表示实施例1的电子枪的加速电压与控制电压的关系图。

[0026] 图6是表示电子枪中的电子轨道图。

[0027] 图7是表示实施例1的电子枪及以往的巴特勒透镜型电子枪的像差系数的理论解析结果的图。

[0028] 图8是表示实施例1的电子枪及以往的巴特勒透镜型电子枪的获取任意的加速电压的电子束时的假想焦点位置的理论解析结果的图。

[0029] 图9是表示变形例2的电子枪的结构图。

[0030] 图10是表示电子枪中的电子轨道图。

[0031] 图11是表示变形例3的电子枪的结构图。

[0032] 图12是表示搭载有实施例1的电子枪的扫描型电子显微镜的结构图。

[0033] 图13是表示搭载有实施例1的电子枪的小型扫描型电子显微镜的结构图。

[0034] 图14是表示实施例4的离子枪的结构图。

[0035] 图15是表示搭载有实施例4的离子枪的扫描离子显微镜的结构图。

[0036] 图16是表示实施方式的带电粒子枪的结构图。

具体实施方式

[0037] 上述以外的课题、结构及效果可以通过以下实施方式的说明而明了。以下参照附图对实施方式、实施例及变形例进行说明。另外,在用于对实施方式、实施例及变形例进行说明的各图中,对具有同一功能者标记同一符号而省略重复说明。

[0038] 图16是表示实施方式的带电粒子枪的结构图。带电粒子枪200具有:带电粒子源201;使从带电粒子源201发射的带电粒子加速的加速电极203;配置在比加速电极203靠近带电粒子源201侧而具有比加速电极203的开口直径(D)大的开口直径(d)的控制电极202;以及按照施加于加速电极203的电位(V_0)对施加于控制电极202的电位(V_c)进行控制的控制部206。

[0039] 控制部206通过对电源204、205进行控制,来控制施加于控制电极202及加速电极203的电压。

[0040] 在带电粒子枪200中将带电粒子源201与加速电极203的距离设为L时则优选 $d/L < 1$ 。并且,在带电粒子枪200中优选 $6\text{mm} < L < 20\text{mm}$ 。

[0041] 并且,带电粒子枪200具有:带电粒子源201;使从带电粒子源201发射的带电粒子加速的加速电极203;配置在比加速电极203靠近带电粒子源201侧的控制电极202;按照施加于加速电极203的电位对施加于控制电极202的电位进行控制的控制部206。控制部206在加速电极203的加速电压小的情况下,将用于提高带电粒子源201的顶端的电场的控制电压施加于控制电极202,并在加速电压高的情况下,将用于抑制带电粒子源201的顶端的电场的控制电压施加于控制电极202。

[0042] 采用上述带电粒子枪能够在带电粒子源附近极为紧凑地形成电场。其结果是能够在带电粒子源附近形成焦点距离短的静电透镜而减小像差。并且,通过使用焦点距离短的静电透镜,能够减小使加速电压变化时的假想焦点位置的变化。

[0043] 虽然在以下实施例中主要是对从电子源产生电子束的电子枪进行说明,但是也能够应用于从离子源等带电粒子源产生带电粒子束的带电粒子枪。

[0044] 实施例1

[0045] <结构>

[0046] 图1是表示实施例1的电子枪的结构图。图3是表示实施例1的变形例1的电子枪的结构图。实施例1的电子枪10基本上为轴对称构造,在置于中心轴上的电子源1和加速电极3之间设置具有开口的控制电极2。电子源1、控制电极2及加速电极3设置于比 10^{-8}Pa 高的真空。电子源1、加速电极3、及控制电极2彼此电绝缘,通过加速电源5以接地部为基准向电子源1施加电位(V_0)。另外,通过控制电极电源4以电子源1的电位(V_0)为基准向控制电极2施加电压(V_c)。并且,电子枪10具有控制部6,其以与加速电压(V_0)联动地施加控制电压(V_c)的方式进行控制。并且,电子枪10具有用于调整电子源1的水平位置的位置调整机构7。电子源1是冷阴极场发射(CFE)型的电子源。

[0047] 这里,控制电极2的开口直径(d)具有比加速电极3的开口直径(D)大的构造。增大

控制电极2的开口的优点在于,能够相对地缓和电子源1的顶端的位置偏移的影响,因此容易进行制作和轴调整。在靠近电子源1的顶端(发射极顶端)的位置上配置控制电极2。从电子源1的顶端到控制电极2的下端的距离(1)优选为2mm以下。

[0048] 为了对电子源1与电极(控制电极2、加速电极3)的轴进行调整,在电子源1上设置机械地调整水平位置的调整机构7。并且如图3所示,在电子枪10A中除了电子源1之外也在控制电极2上设置位置调整机构7,使电子源1和控制电极2能够独立地动作。

[0049] 图4是表示将实施例1的电子枪搭载于电子显微镜时的真空排气系统的结构的一个例子的图。电子显微镜100具有:电子源1、控制电极2、加速电极3及聚光透镜44。为了实现CFE电子源的稳定发射而要求 10^{-8} Pa以上的高真空度(高真空)。为了实现高真空,使用例如图4所示的差动排气构造,即在壳体46上设有多级差动排气光阑43,与由差动排气光阑43分隔而成的空间对应地利用真空泵45进行排气。在该结构中,通过扩大控制电极2的开口,电子源1的顶端附近的排气导通性提高,易于利用真空泵45在电子源1的顶端附近排气。其结果是具有电子源1附近所达到的真空度提高而电流稳定性提高的优点。并且,通过提高排气导通性,即使采用更小型的真空泵也能够得到对场发射而言足够的真空,因此具有能够使排气系统整体小型化的优点。

[0050] 并且,如图4所示,从电子源1引出的电子束41与电极(控制电极2、加速电极3)接触时会导致从电极产生电子轰击解吸气体42。电子轰击解吸气体42会使电子源1附近的真空度降低而成为电流稳定性降低的原因。如本实施例所示,通过扩大控制电极2的开口,具有能够避免电子对控制电极2的冲击而能够防止真空度降低的优点。

[0051] 由于加速电极3与从电子源1引出的电子束41接触会产生电子轰击解吸气体42,因此使电子枪(电子源1、控制电极2、加速电极3)附近的真空度恶化而导致场发射的稳定性恶化。为了防止这种情况,可以在加速电极3上设置加热机构而在使用前预先产生升温解吸气体。并且,可以使用不易形成解吸气体的材料对加速电极3进行涂装。

[0052] <原理>

[0053] 这里首先对本实施例的电子源1产生电子束41的原理进行说明。

[0054] 作为场发射型电子枪中的电子源1,典型地使用例如顶端尖锐的针状的W(钨)金属。为了从电子源1发射电场而取出电子,需要在电子源1的顶端产生适当强度的电场(例如在W金属的情况下为4V/nm程度)。

[0055] 为了从本实施例的电子枪10获得具有所需能量eV的电子束41,在加速电极3与电子源1之间施加 $V_0 = V$ 的电压(V_0)。此时,由于加速电极3与电子源1的距离近,因此会在电子源1的顶端产生与电压(V_0)对应的电场。

[0056] 在加速电压(V_0)较小的情况下,则在电子源1的顶端会发生对电子引出所需程度而言的电场强度不足,因此通过向控制电极2施加正电压的控制电压(V_c)来确保最适于引出的电场强度。另一方面,在加速电压(V_0)较高的情况下,则会在电子源1的顶端施加过剩的电场。为了抑制该电场而施加负电压的控制电压(V_c),从而将施加于电子源1的顶端的电场控制于最适值。即,控制电极2用于对施加于电子源1的顶端的电场进行控制,以获得适于电子引出的电场强度。因此,优选在靠近电子源1的顶端的位置(<2mm)配置开口较大的控制电极2。

[0057] 图5是表示实施例1的电子枪的加速电压与控制电压的关系的图。图5示出了控制

电极2的开口直径(d)为8mm、控制电极2的下端与电子源1的顶端的距离(l)为1mm、电子源1与加速电极3的距离(L)为10mm时的与加速电压(V_0)对应的在电子源1的顶端产生4V/nm的电场所需的控制电压 V_c 。

[0058] 如图5所示,以能够施加与加速电压(V_0)对应的控制电压(V_c)的方式利用控制部6进行控制。此时,控制电压(V_c)与控制电极2的开口直径(d)、电子源1与加速电极3的距离(L)、电子源1与控制电极2的距离(l)构成函数。并且,为了使引出的电子量改变,也可以使控制电压(V_c)另行变化。

[0059] <电子枪的像差>

[0060] 接下来,对本实施例的电子枪的像差进行说明。

[0061] 图6是表示电子枪中的电子轨道的图。图6(a)示出了实施例1的电子枪中的电子轨道,图6(b)示出了以往的巴特勒透镜型电子枪中的电子轨道。这里,以往的巴特勒透镜型电子枪是图2所示的电子枪20。如图6(a)及(b)所示,电子从电子源位置(ESP)发射后,在控制电极位置(CEP)、引出电极位置(DEP)及加速电极位置(AEP)受到静电透镜作用而轨道弯曲。在 $V_0 < 3\text{kV}$ 的低加速的情况下,从电子源1引出的电子,在最靠近电子源1的电极(控制电极2、或引出电极21)位置向从光轴离开的方向弯曲,并在加速电极位置(AEP)向靠近光轴的方向弯曲。另一方面,在 $V_0 > 3\text{kV}$ 的高加速的情况下,电子束41在最靠近电子源1的电极(控制电极2、或引出电极21)位置向靠近光轴的方向弯曲,并在加速电极位置(AEP)向从光轴离开的方向弯曲。在加速电极位置(AEP)之后,电子轨道为直线,将该直线轨道外插于电子源1侧而与光轴相交的点称为假想焦点。电子枪10、20的静电透镜的焦点距离由f来表示。

[0062] 在本实施例的电子枪10中,使电子源1与决定电子束41的能量的电极(加速电极3)之间的距离与以往的巴特勒透镜型电子枪(以往的电子枪)20相比较小。例如,在以往的电子枪20中电子源1与决定电子束41的能量的加速电极22的距离为30mm以下程度,在本实施例的电子枪10中使电子源1与加速电极3之间的距离为6~20mm进行使用。由此,与以往的电子枪20相比,本实施例的电子枪10的电极生成的静电透镜的焦点距离(f)缩短为几分之一。在电子光学上缩短焦点距离则像差减小。

[0063] 图7是将假设为某种形状的实施例1的电子枪的像差系数的理论解析结果与以往的电子枪比较的图。图表的横轴表示加速电压,纵轴表示球面像差系数(C_s)及色像差系数(C_c)。在图7中,本实施例的电子枪记为“实施例”,以往的电子枪记为“以往型”。本实施例的电子枪10在使用例如3kV以下的低加速的电子束的情况下,与以往的电子枪20相比色像差系数小约1位。这是由于在电子源的附近形成与以往相比焦点距离短的电子透镜。

[0064] 在电子显微镜中,为了获得高分辨率而需要使电子束尽量细地收束并接触试样。电子束模糊的要因之一即色像差与色像差系数成比例,并与加速电压成反比例。即,在以低加速电压进行观察的情况下,色像差的影响显著化而电子束模糊,对显微镜的分辨率产生不良影响。并且,色像差会与电流的导入角成比例地增大。虽然为了从电子枪获得较多电流可以增大导入角,但是在电子枪的像差系数较大的情况下,则同时地像差会无法忽视地增大而导致实效的亮度显著降低。

[0065] 本实施例的电子枪与以往的电子枪相比能够减小色像差,因此即使在低加速下电子束的模糊也不显著而能够抑制对分辨率的影响。因此,即使在搭载于电子显微镜进行低加速电压的观察、例如加速电压为0.1~3kV的观察时也能够实现高分辨率观察。并且,由于

电子枪像差(球面像差、色像差)较小,因此能够在增大导入角并确保亮度的状态下增大电流。因此能够根据需要获得大电流,具有促进利用电子束的分析装置、例如EDX (Energy Dispersive X-ray spectrometry:能量色散X射线光谱仪)等的分析性能提高的优点。

[0066] <假想焦点位置>

[0067] 接下来,对与本实施例中的加速电压变化对应的电子束的假想焦点位置变动进行说明。

[0068] 如图6所示,当加速电压 V_0 变化时则假想焦点位置(VFP)发生变化。图8是将假设为某种形状的实施例1的电子枪获取任意的加速电压的电子束时的假想焦点位置(VFP)的理论解析结果与以往电子枪比较的图。横轴表示加速电压,纵轴表示与以电子源1的顶端位置为基准的假想焦点的距离。在图8中,本实施例的电子枪记为“实施例”,以往电子枪记为“以往型”。在本实施例的电子枪10中,加速电压引起的假想焦点位置(VFP)的变化,比以往电子枪20小约1位。这是因为,电子枪10的电子源1与加速电极3的距离比以往电子枪20缩短,因此例如图6所示,能够在电子源1的附近形成与以往相比焦点距离(f)短的电子透镜。由此,搭载于SEM(Scanning Electron Microscope:扫描型电子显微镜)等电子束装置时的改变加速电压时的轴偏移减小而操作性和稳定性增大。

[0069] 为了获得希望的效果而要求由电极制成的静电透镜的焦点距离(f)短。控制电极位置(CEP)较之于电子源1的顶端越靠近加速电极3配置,则静电透镜的焦点距离(f)越长而像差系数越大。并且,电子源1的顶端与控制电极2的距离(l)越长,则电子源1的顶端的电场控制所需的控制电压(V_c)的绝对值越大。

[0070] 为了应用与以往电子枪20相比减小像差且实用的高压电源,优选在以电子源1的顶端为原点取铅垂向下为正时的控制电极2的下端的垂直位置为 $-5\sim+3\text{mm}$ 程度,更优选 $-3\sim+2\text{mm}$ 。电子源1的顶端与控制电极2的下端的距离以 1mm 程度为代表性的值。这是因为,例如在电子源1与加速电极3之间的距离(L)为 10mm 、控制电极2的开口直径(d)为 8mm 时,如果在加速电压为 20kV 以下使用,则所需的控制电压为 $0\sim5\text{kV}$,能够通过一个一般常用的高压电源实现控制。

[0071] 这里优选,控制电极2的开口直径(d)、与加速电极3和电子源1的距离(L)大致具有 $d/L<1$ 的关系。这是因为,加速电极3兼用于电子的引出,加速电极3越接近电子源1,则电子源1的顶端的电场控制所需的控制电压 V_c 越小,而 d 越大则电子源1的顶端的电场控制所需的控制电压(V_c)越大。

[0072] 并且,电子源1与加速电极3的距离(L),由所用的加速电压(V_0)的值和耐压决定。例如,在需要 30kV 的电子束的情况下,如果认为真空的耐电压为 10kV/mm ,则考虑到电极的厚度而 L 需要为 5mm 以上。

[0073] 在本实施例中,作为示例采用了圆盘状且内侧为圆筒形状的电极形状,但是即便形状不同只要在发射极顶端上施加电场即可本质地获得相同效果,因此可以使用形状略有变化的电极。例如可以使用将电极的角加工为平滑的形状,也可以使控制电极的内侧具有圆锥形状。

[0074] 在本实施例中,作为电子源1使用了W金属,但是即使应用场发射源的光源系统或假想光源径小的类型,也能够减小色像差、球面像差,因此具有能够无损于小光源径地产生电子束的同样的效果。但是,由于因电子源而场发射所需的电场强度不同,因而图5所示的

控制电压 (V_c) 与加速电压 (V_0) 的关系会发生变化。因此,因所用的电子源而存在有效范围。作为光源小而进行电子枪场发射的电子源,例如电子源可以是碳纳米管,也可以采用六硼化镧 (LaB_6)。

[0075] <变形例2>

[0076] 图9是表示变形例2的电子枪的结构图。通常,静电透镜的像差与透镜作用的强度成比例地增大。在实施例1的电子枪10的情况下当 $V_0 = V_c$ 时,电极部上的透镜作用消失而像差为0, V_0/V_c 与1差值越大则透镜作用越大而像差增大。与所希望的加速电压 ($V = V_0$) 对应地,控制电子源1的顶端电场所需的控制电压 (V_c) 由电子源1的顶端与控制电极2的距离决定,距离越远则控制所需的 V_c 越大。为此,在变形例2的电子枪10B中设置多级控制电极,并由控制部6进行控制,针对所希望的加速电压选择多个控制电极中像差最小者 (V_0/V_c 接近1)。由此,能够在更大的加速电压范围内进一步减小像差。

[0077] 例如,在如图9所示配置有两个控制电极的情况下,在低加速电压下使用时,利用由第一控制电极电源93施加于第一控制电极91的电压 (V_{c1}),控制电子源1的顶端的电场。另一方面,在更高的加速电压下使用时,将电子源1和第一控制电极91置于同电位,利用由第二控制电极电源94施加于第二控制电极92的电压 (V_{c2}),控制电子源1的顶端的电场。控制部6对第一控制电极电源93、第二控制电极电源94及加速电源5进行控制。由此,能够减小静电透镜作用并减小像差。

[0078] 图10是表示在配置有两个控制电极的情况下切换由加速电压产生透镜作用的控制电极时的电子轨道。图10(a)表示利用第一控制电极控制顶端电场的情况,图10(b)表示利用第二控制电极控制顶端电场的情况。

[0079] 通过切换与加速电压 V_0 配合使用的控制电极(第一控制电极91、第二控制电极92),从电子源1发射的电子轨道在所使用的控制电极位置(第一控制电极位置(CEP1)、第二控制电极位置(CEP2))和加速电极位置(AEP)弯曲。通过这样切换多个控制电极,能够确保电子引出所需的电场强度,并减小静电透镜效应而减少像差。

[0080] <变形例3>

[0081] 图11是表示变形例3的电子枪的结构图。在变形例3的电子枪10C中,除了在以往电子枪中使用的巴特勒透镜型构造之外,在巴特勒透镜的引出电极21与电子源1之间追加了开口较大的控制电极2。

[0082] 在获取低加速例如小于3kV的电子束的情况下,巴特勒透镜的引出电极21和加速电极22置于同电位,施加电子加速所需的希望的加速电压 ($V = V_0 = V_1$)。并且将与加速电压 (V_0) 对应的控制电压 (V_c) 施加于控制电极2。由此,能够将巴特勒透镜选定为一个加速电极,并在电子源1附近生成焦点距离短的静电透镜。因此,能够减小色像差系数。电子束的模糊的要因之一即色像差与色像差系数成比例,并与加速电压成反比例。即,在低加速电压下进行观察的情况下,色像差的影响显著化。电子枪10C由于色像差系数小而即使在低加速时也能够减小色像差引起的电子束模糊。

[0083] 另一方面,在获取高加速例如4kV以上的电子束的情况下,利用控制部6进行控制以使控制电极2与电子源1为同电位,由施加于巴特勒透镜的引出电极21的引出电压 (V_1) 来决定电子的引出,并由施加于加速电极22的加速电压 (V_0) 来决定电子束的能量。色像差引起的电子束的模糊与加速电压的大小成反比例,因此利用了在高加速的情况下色像差对分

分辨率几乎无影响的特性。

[0084] 并且,电子枪10C的构造具有能够不必使以往的电子枪20的构造显著变化即可制成的优点。

[0085] 实施例2

[0086] 图12是表示将实施例1的电子枪搭载于扫描型电子显微镜时的结构的图。

[0087] 从扫描型电子显微镜101的电子枪的电极构造中的电子源1得到电子束41的过程与实施例1是同样的。从电子枪射出的电子束41为了对接触试样125的电流进行调节而被至少一级的聚光透镜44收束后,通过光阑121而最终地由物镜123收束照射于试样上的微小区域。电子束利用偏转器122在置于试样载台126上的试样125的表面上扫描,利用检测器124检出从这里产生的二次电子及反射电子而获得显微镜图像。并且,利用X射线分析装置127检出使电子束照射试样而产生的特征X射线来进行元素分析。此时使用的聚光透镜44、物镜123可以采用静电透镜、磁场透镜的某一种,偏转器122的偏转方式既可以是静电场也可以是磁场。

[0088] 虽然为了获得高分辨率的图像而需要使尽量小径的电子束与试样接触,但是由于像差的影响,向试样照射的电子束的束径(探针直径)会随着像差增大而增大。在使用以往构造的电子枪的电子显微镜的情况下,为了减少在电子枪部分产生的像差(尤其是低加速时的色像差)对分辨率的影响,需要使由聚光透镜44、光阑121及物镜123组成的光学系统的缩小率非常大。虽然使用缩小光学系统能够缩小电子枪部的像差,但是同时地能够向试样照射的电流量也会缩减。电流量对能够获得的图像的S/N或分析能力造成影响。

[0089] 在扫描型电子显微镜101中,能够使电子枪部分的像差减小1位。例如能够使在以0.1~3kV程度的低加速电压观察时显著化的由电子枪部产生的色像差减小。因此,即使减小由聚光透镜44、光阑121及物镜123组成的光学系统的缩小率,也能够无损于光源的小光源径地减小探针直径。因此,能够有效地利用电子源1的高亮度而获得高分辨率且较大的探针电流。

[0090] 并且,在扫描型电子显微镜中,一般是按照试样或希望取得的信息使加速电压变化来进行观察。在使加速电压变化时,当电子源的假想焦点位置大幅变化时,则电子束的光轴会产生偏移。当轴发生偏移时,则成为电子束的分辨率或照射电流量降低的原因,因此需要对电子枪之后的由聚光透镜、光阑及物镜等构成的电子光学系统的机械位置进行调整,或者进行使用对准用线圈来弯曲轨道等的轴调整。每次改变加速电压时都需要进行轴调整,烦杂且导致操作性及生产率降低。

[0091] 在扫描型电子显微镜101中,使加速电压变化时的假想焦点的位置变化与以往相比非常小。因此,具有在改变加速电压进行观察时容易进行光学系统调整甚至无需调整的优点。

[0092] 并且,本实施例的电子枪部是仅使用静电透镜的非常简单的结构,因此具有能够紧凑地制成电子枪的优点。此外,电子枪所需的电源等能够利用以往的电子枪所使用的类型,具有无需大幅变更电子枪的电极部以外的结构便能够构成扫描型电子显微镜的优点。

[0093] 在本实施例中对使用实施例1的电子枪的例子进行了说明,但是也可以使用变形例1、变形例2、变形例3的电子枪。

[0094] 实施例3

[0095] 图13是表示将实施例1的电子枪搭载于小型的扫描型电子显微镜时的结构的图。

[0096] 扫描型电子显微镜102是为了使装置整体小型化而透镜个数较少的构造,例如图13所示是采用透镜为一级的光学系统的扫描型电子显微镜。扫描型电子显微镜102使从电子枪发出的电子束在物镜123收束,并在经光阑121收束后向试样125照射。电子束利用偏转器122在置于试样载台126上的试样125的表面上扫描,利用检测器124检出这里产生的二次电子及反射电子而获得显微镜图像。此时使用的物镜123可以采用静电透镜、磁场透镜的某一种。

[0097] 在控制组件131中,为了获得所需能量的电子束而对施加于加速电极3的电压进行控制,同时以施加于电子源1的发射极顶端的电场最适的方式对施加于控制电极2的电压进行控制。观察倍率或焦点位置的调整可以通过在控制组件131中调整物镜所产生的磁场或电场的强度来进行,基于偏转器122的电子束在试样上的扫描速度也通过控制组件131进行控制。

[0098] 通过使用实施例1的电子枪,与以往相比能够降低电子枪部的像差,即使减小电子光学系统整体的缩小率,也能够实现大电流高分辨率。即,能够使从电子源顶端到透镜主面的距离(a)与从透镜主面到试样的距离(b)相同或更小。由此,能够使从电子源到透镜的构造紧凑。从电子枪部到物镜主面的距离(a)为20~100mm而更优选20~50mm。从物镜主面到试样的距离(b)也为100mm以下而更优选为50mm以下。并且,电子枪或物镜的外径为20~200mm。

[0099] 并且,为了进行充分发挥扫描型电子显微镜的性能的观察,需要使从电子枪产生的电子束的光轴与透镜的中心轴一致。光轴不够一致会导致分辨率或电流量降低。因此,一般需要机械地对电子枪、透镜及光阑的位置进行调整,或者进行使用对准用线圈等使电子束的轨道弯曲等的轴调整。通过使用实施例1的电子枪,在缩小率较小的电子光学系统中也能够获得高分辨率。由此能够实现本实施例的扫描型电子显微镜102这样的透镜个数减少的例如仅有一个透镜的结构,具有易于进行电子光学系统整体的合轴的优点。由此,观察时的操作性或生产率提高。

[0100] 并且,在扫描型电子显微镜102中,使加速电压变化时的假想焦点的位置变化与以往相比非常小。因此,具有在改变加速电压进行观察时容易进行光学系统调整的优点。

[0101] 并且,本实施例的电子枪部是仅使用静电透镜的非常简单的结构,因此具有能够紧凑地制成电子枪部分而能够用于小型的电子束装置的优点。

[0102] 虽然在本实施例中对使用实施例1的电子枪的例子进行了说明,但是也可以使用变形例1、变形例2、变形例3的电子枪。

[0103] 虽然在实施例2及实施例3中对扫描型电子显微镜进行了说明,但是不限于此,实施例1、变形例1、变形例2、及变形例3(以下简称为实施例1)的电子枪也能够用作透射电子显微镜、扫描透射电子显微镜等各种利用电子束的电子束应用装置的电子源。

[0104] 在用于电子束应用装置时,实施例1的电子枪与以往电子枪相比,电子枪部的像差系数小,因此在大电流下也能够使用高亮度的电子束。并且,由于和加速电压对应的假想焦点位置的变化小,因此具有容易进行改变加速电压时的电子光学系统整体的合轴的优点。

[0105] 实施例4

[0106] 实施例1的电极构造不限于电子束装置而也能够适用于其它的带电粒子束装置。例如在取代电子源而使用离子源时,能够通过改变高电压的极性而构成与电子束装置同样的带电粒子束装置。

[0107] 图14是表示实施例4的离子枪的结构图。实施例4的离子枪10D应用了实施例1的电极构造。从离子源141的顶端获取具有所希望的能量的离子束时,利用控制部6进行控制向加速电源5施加所需的负电压。此时,在离子源141的顶端与加速电极3之间产生电位差而在离子源141的顶端施加电场,因此为了从离子源141引出离子而成为最适的电场强度,利用控制部6对控制电极电源4进行控制以向控制电极2施加控制电压,从而能够获得具有所希望的能量的离子束。引出的离子束利用聚焦电极142集束并导入之后的光学系统。聚焦电极142是由三级电极构成的单透镜,第一级和第三级置于同电位,因此不使离子束的能量变化,便能够使离子束集束。

[0108] 如果想要得到低加速的离子束,特别是在 $|V_c| > |V_0|$ 的条件下使用时,离子在从离子源引出后在控制电极2与加速电极3之间减速。通常,在带电粒子减速的条件下使用静电透镜时则像差系数会增大。但是,通过使用离子枪10D的电极构造,能够将加速电极设于比以往靠近带电粒子源的位置,由此能够通过缩短静电透镜的焦点距离而减小像差系数。尤其是能够减小在使用低加速的离子束时显著化的色像差,具有能够减小使用离子束的观察、分析、加工时的束径的优点。

[0109] 图15是搭载有实施例4的离子枪的扫描离子显微镜的略图。扫描离子显微镜103利用由加速电极3和控制电极2产生的电场,并利用聚焦电极142使从离子源141引出的离子束集束,在利用光阑151将多余的射束除去后,利用物镜153向试样155上的微小区域收束地照射。离子束通过偏转器152在置于试样载台156上的试样155的表面上扫描,并利用检测器154检出从这里产生的二次粒子而获得显微镜图像。通过使用离子枪10D的电极构造,能够减小离子枪部分产生的像差,尤其是能够减小在使用低加速的离子束时显著化的色像差,因此在低加速的观察时能够进一步使射束收束得更小而分辨率提高。通常,使用低加速的离子束能够抑制对试样的损伤且更加仔细地观察表面。

[0110] 本实施例的离子枪不限于扫描离子显微镜,也能够应用于包括透射离子显微镜、离子束加工装置的其它带电粒子束装置。

[0111] 以上基于实施方式、实施例及变形例对本发明者实施的发明进行了具体说明,但是本发明当然不限于上述实施方式、实施例及变形例,而可以进行各种变更。

[0112] 符号说明

[0113] 1—电子源;2—控制电极;3—加速电极;4—控制电极电源;5—加速电源;6—控制部;7—位置调整机构;10、10A、10B、10C—电子枪;10D—离子枪;20—巴特勒透镜型电子枪;21—巴特勒透镜引出电极;22—巴特勒透镜加速电极;23—引出电源;41—电子束;42—电子轰击解吸气体;43—差动排气光阑;44—聚光透镜;45—真空泵;46—壳体;91—第一控制电极;92—第二控制电极;93—第一控制电极电源;94—第二控制电极电源;100—电子显微镜;101—扫描型电子显微镜;102—小型的扫描型电子显微镜;103—扫描离子显微镜;121—光阑;122—偏转线圈;123—物镜;124—检测器;125—试样;126—试样载台;131—控制组件;141—离子源;142—聚焦电极;143—聚焦电源;151—光阑;152—偏转器;153—物镜;154—二次粒子检测器;155—试样;156—试样载台;200—带电粒子束装置;201—带电

粒子源;202—控制电极;203—加速电极;204、205—电源;206—控制部。

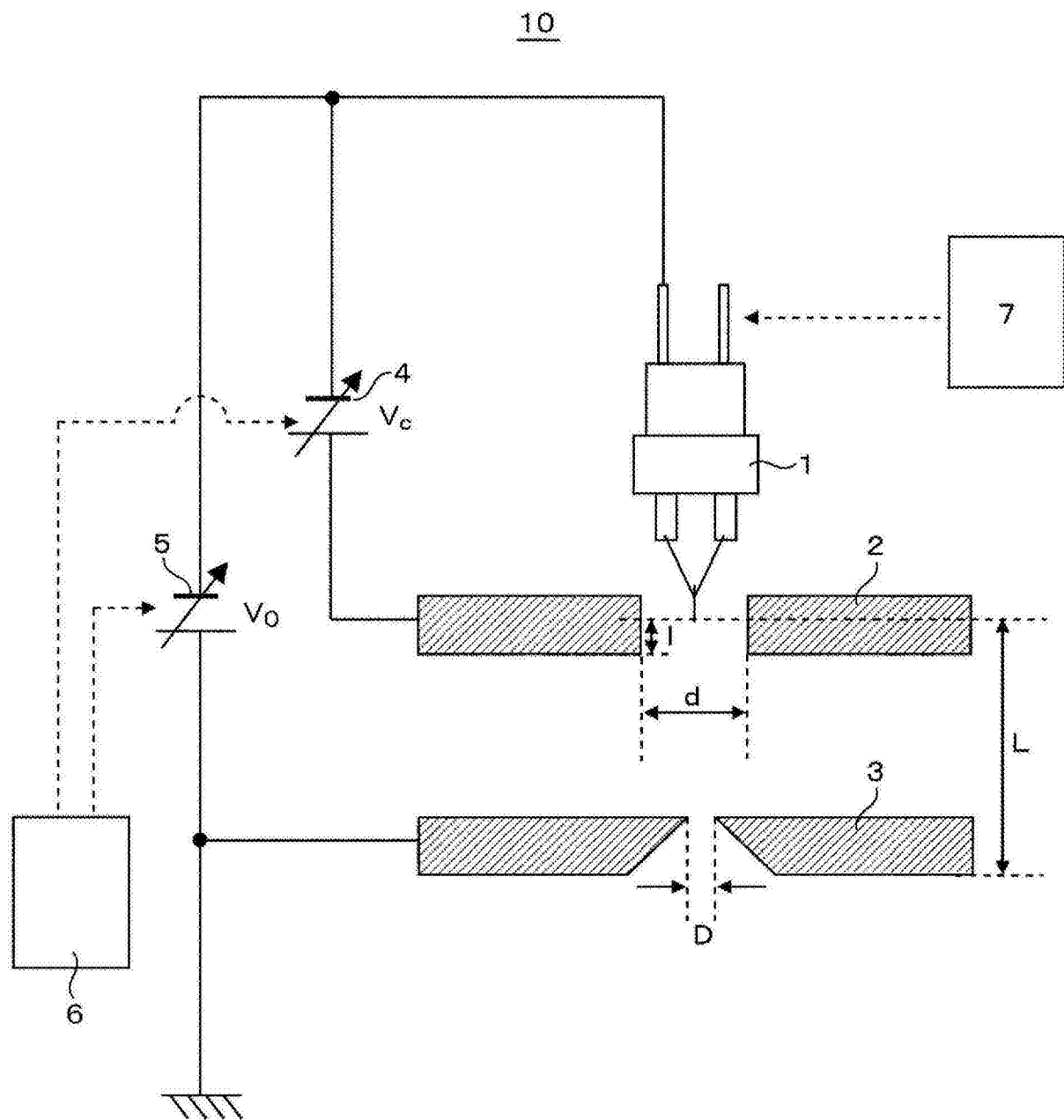


图1

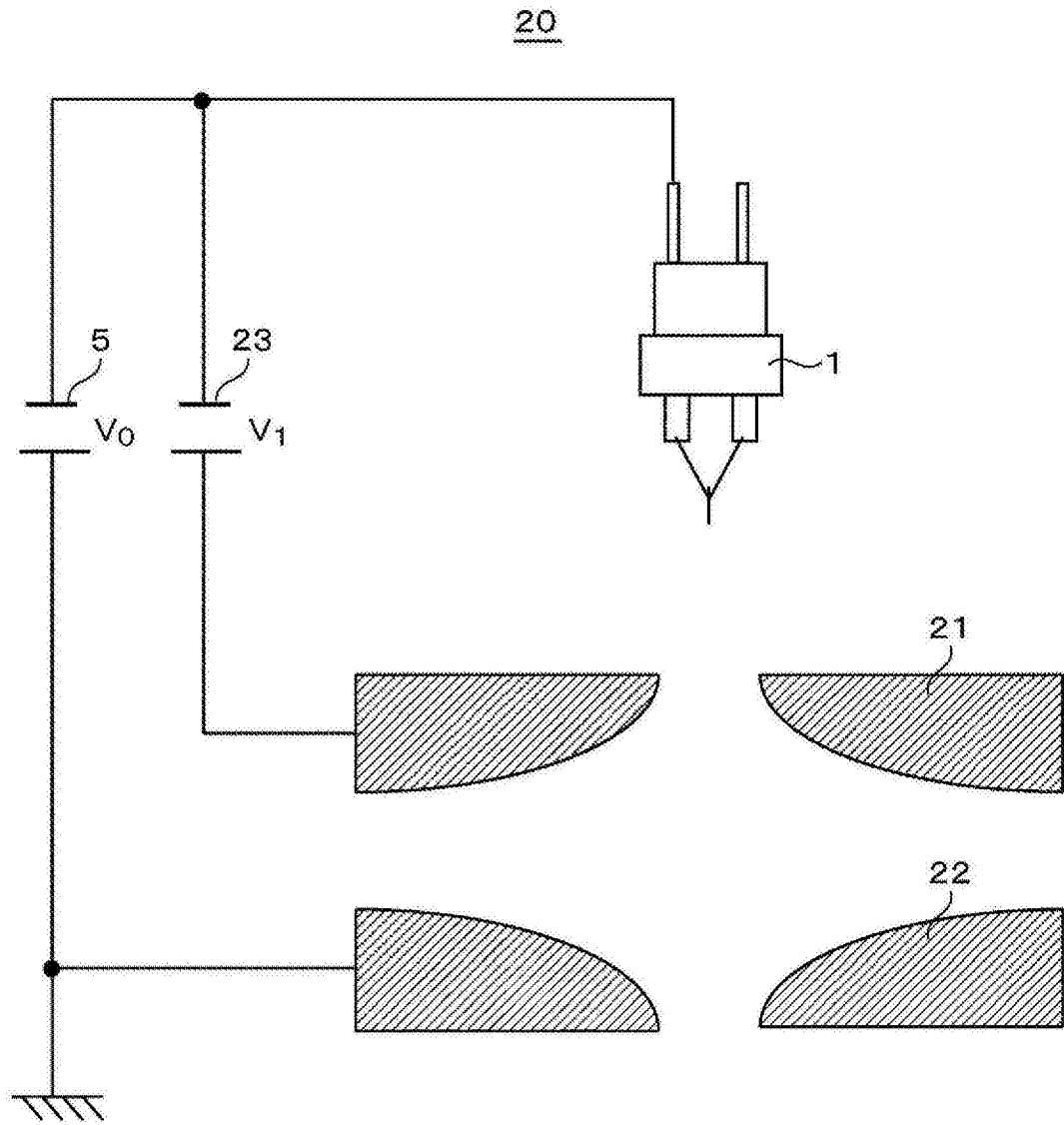


图2

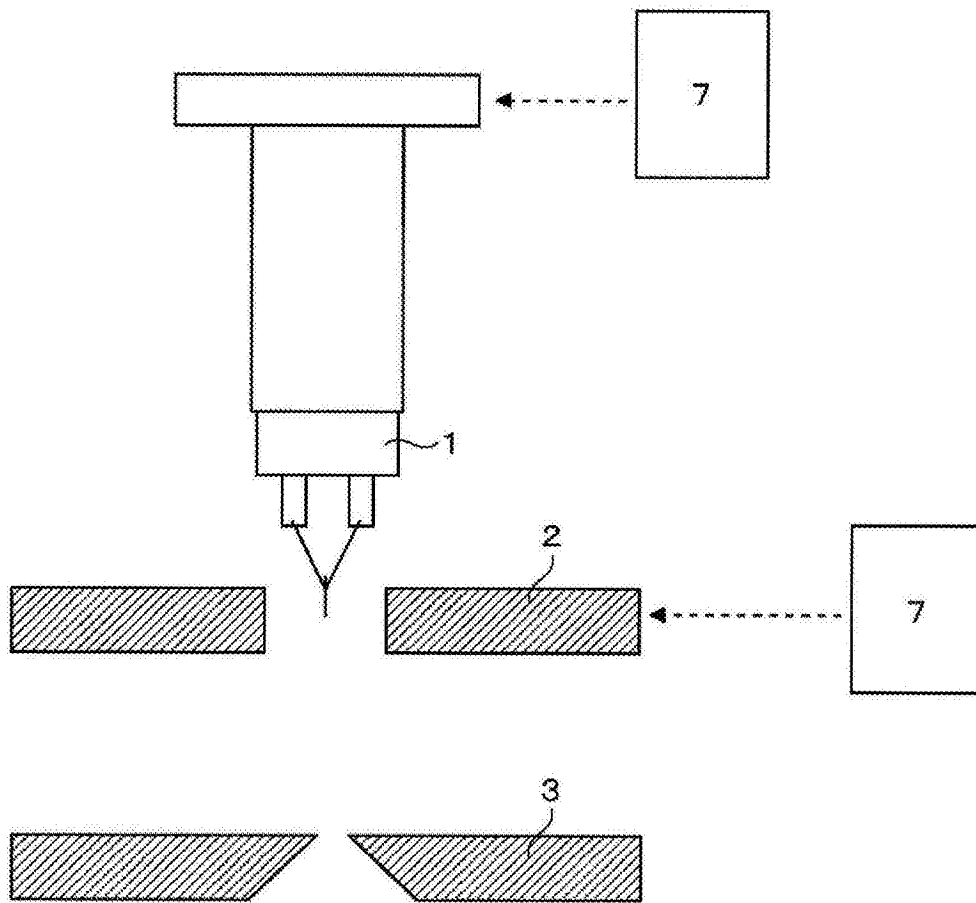
10A

图3

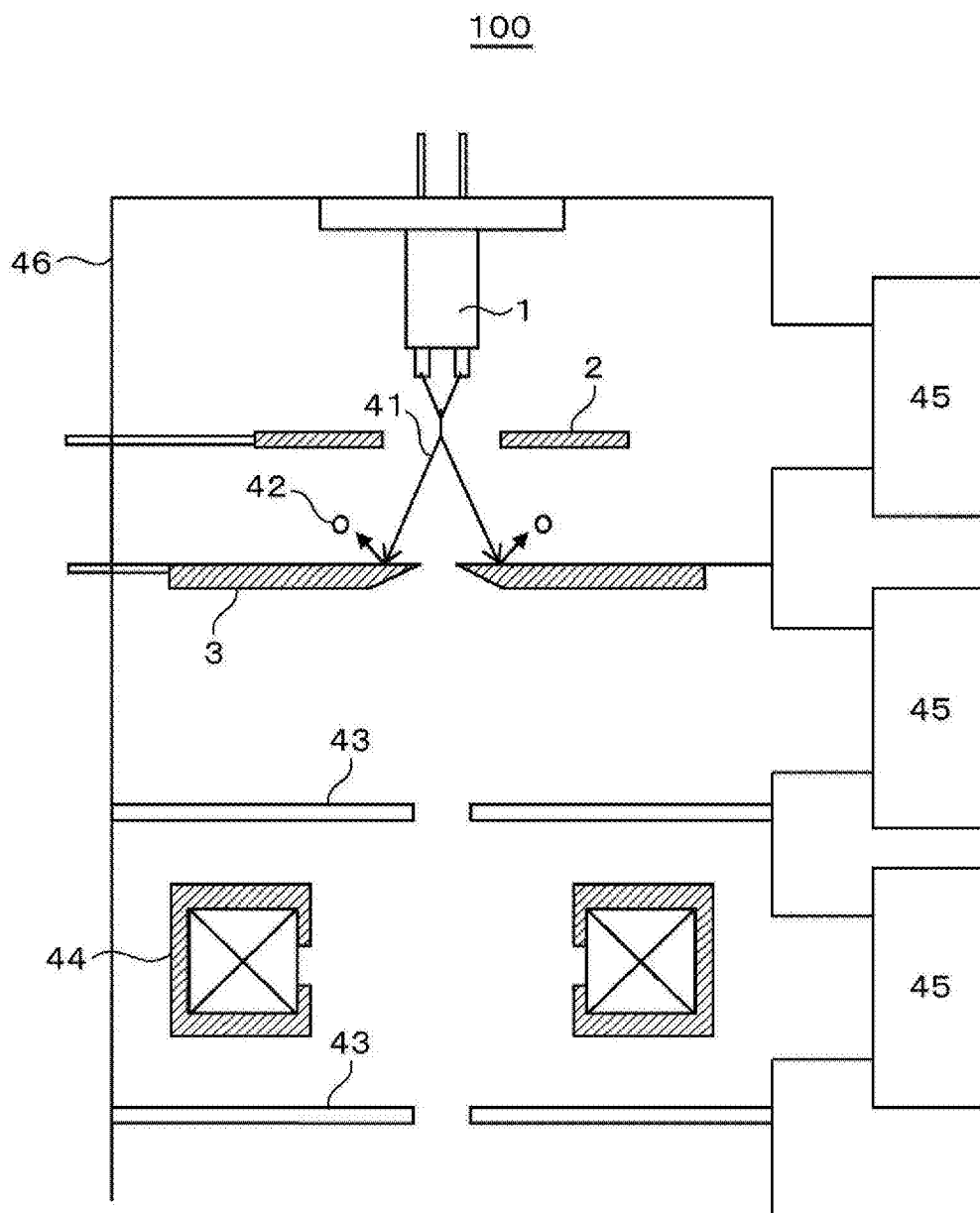


图4

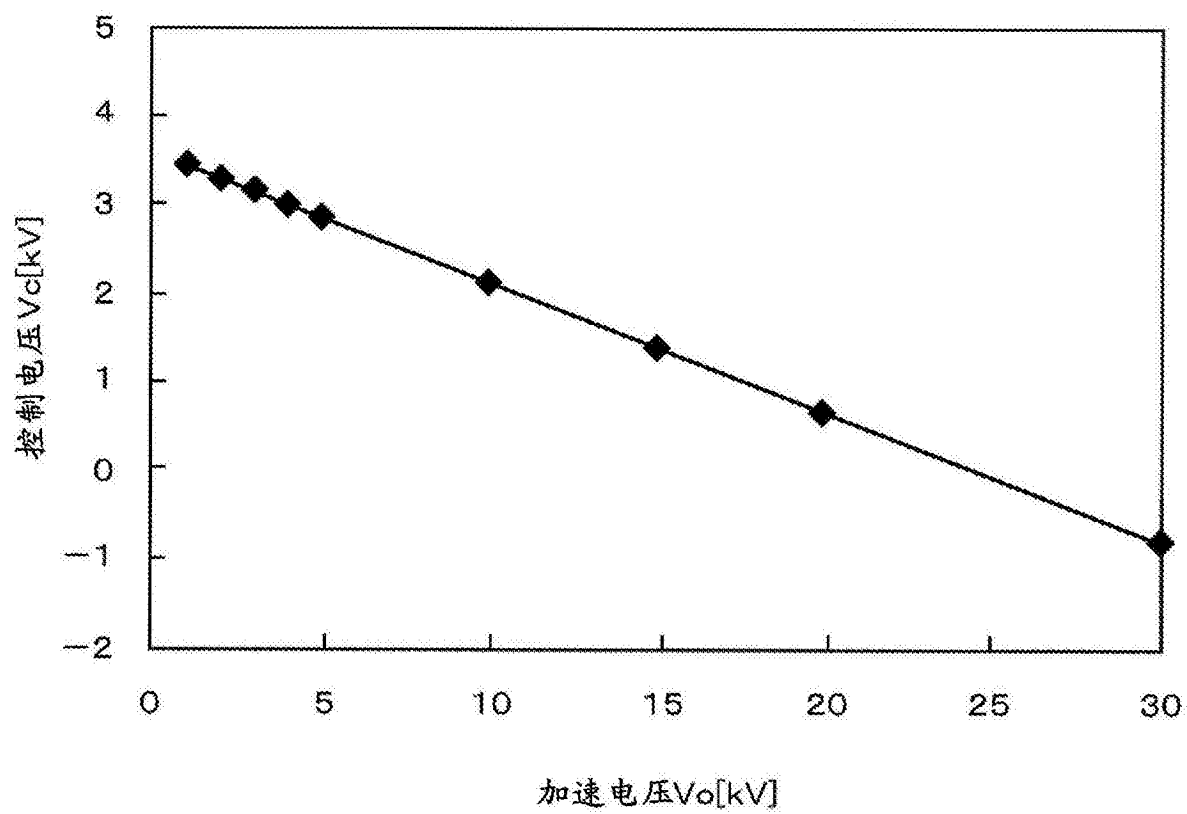


图5

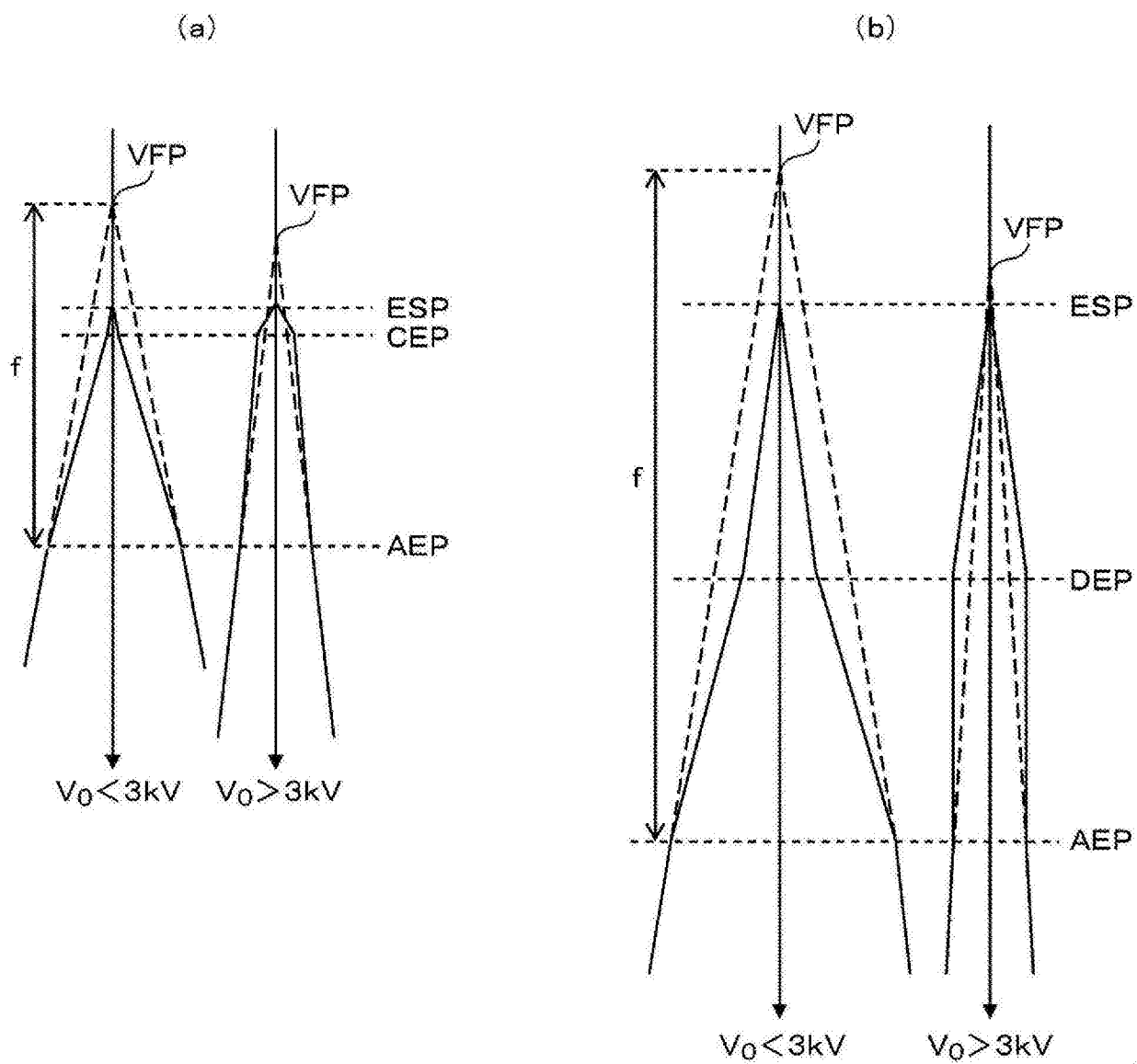


图6

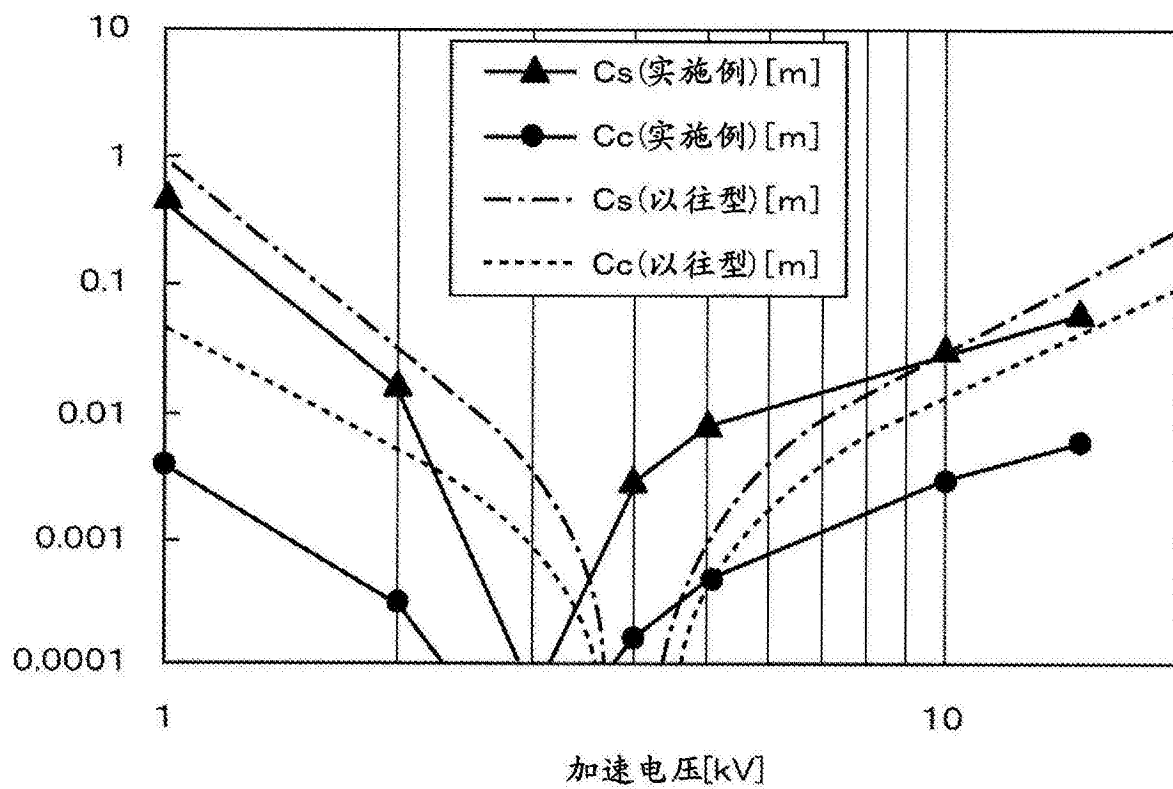


图7

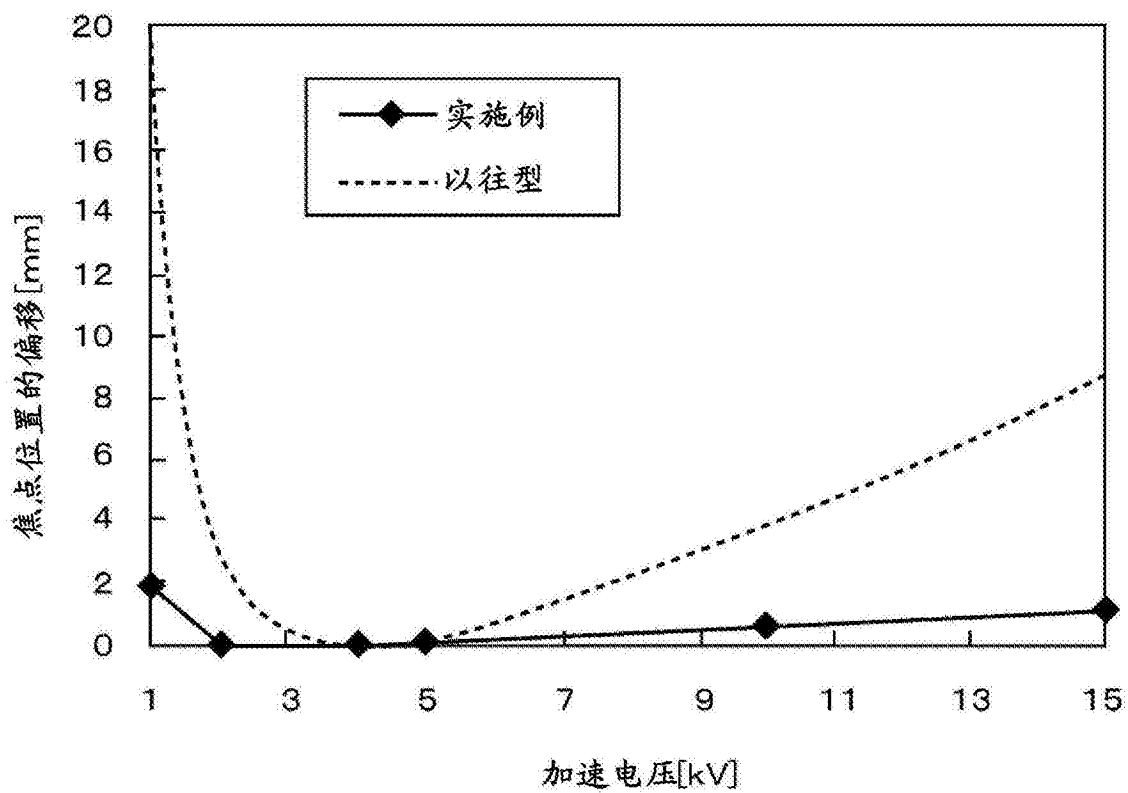


图8

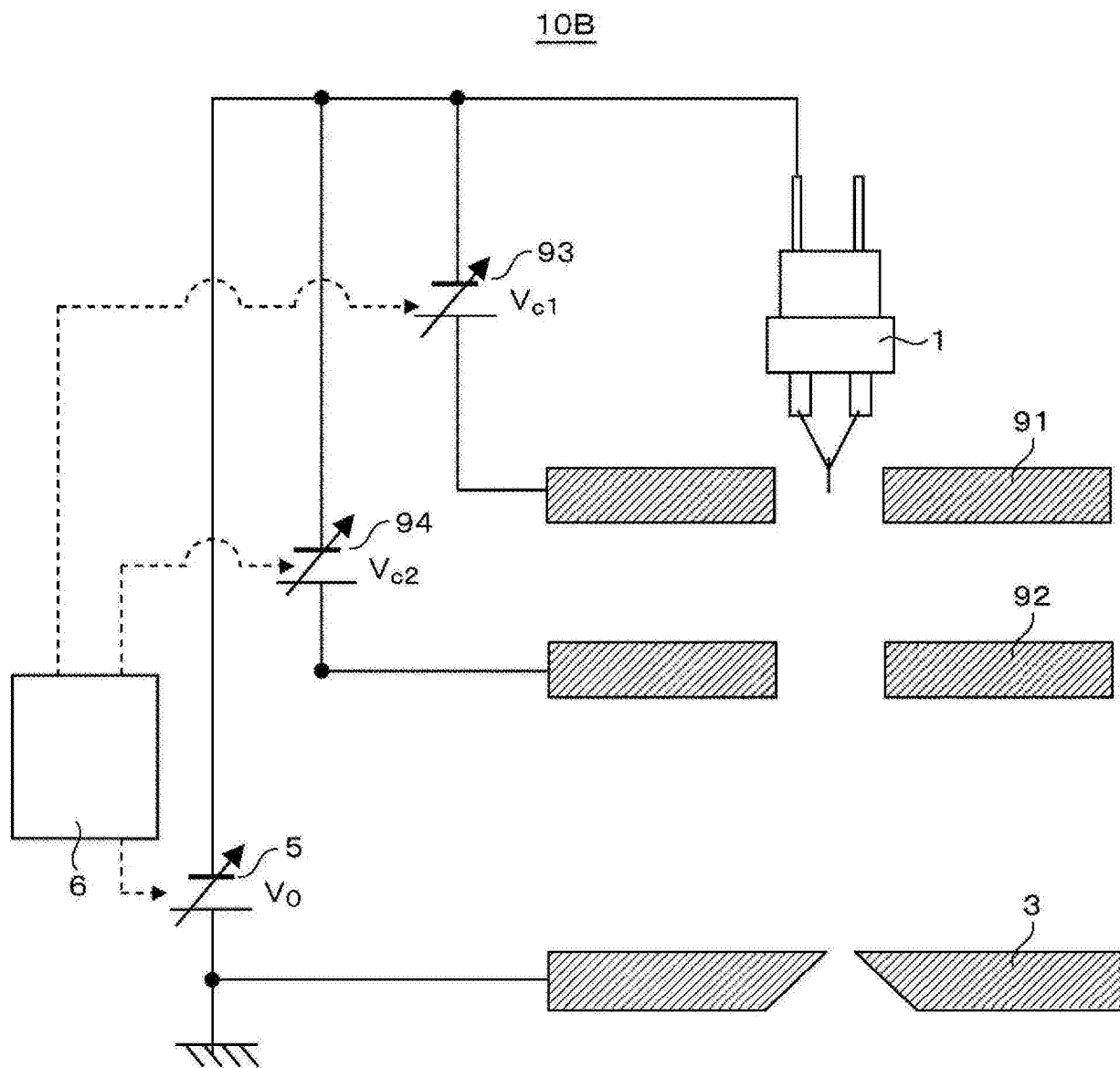


图9

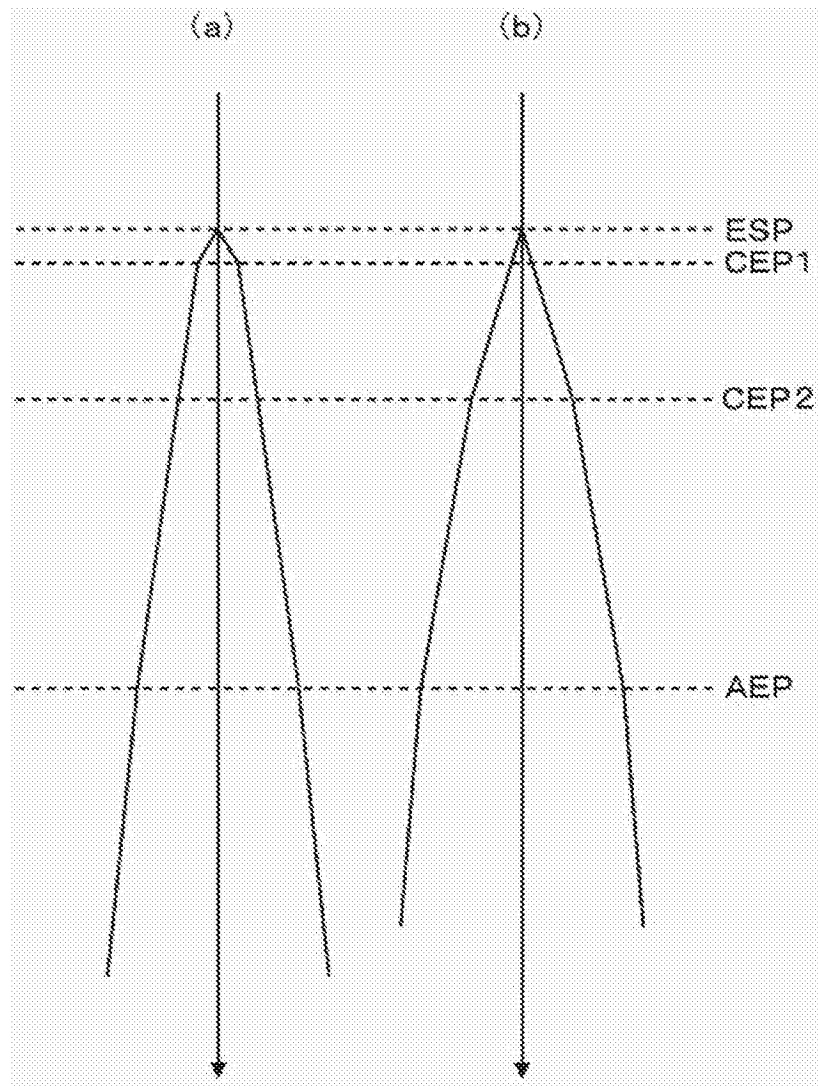


图10

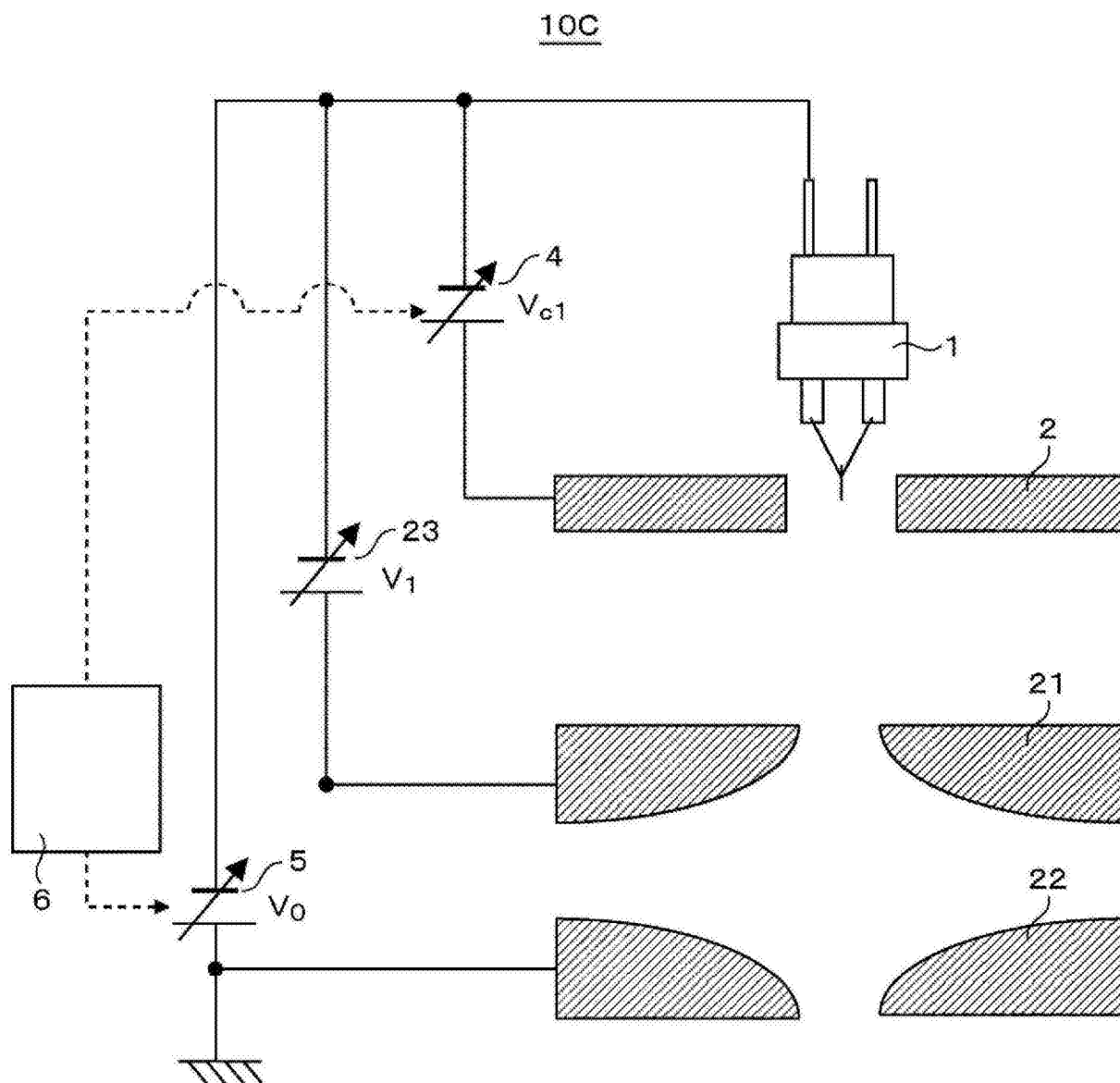


图11

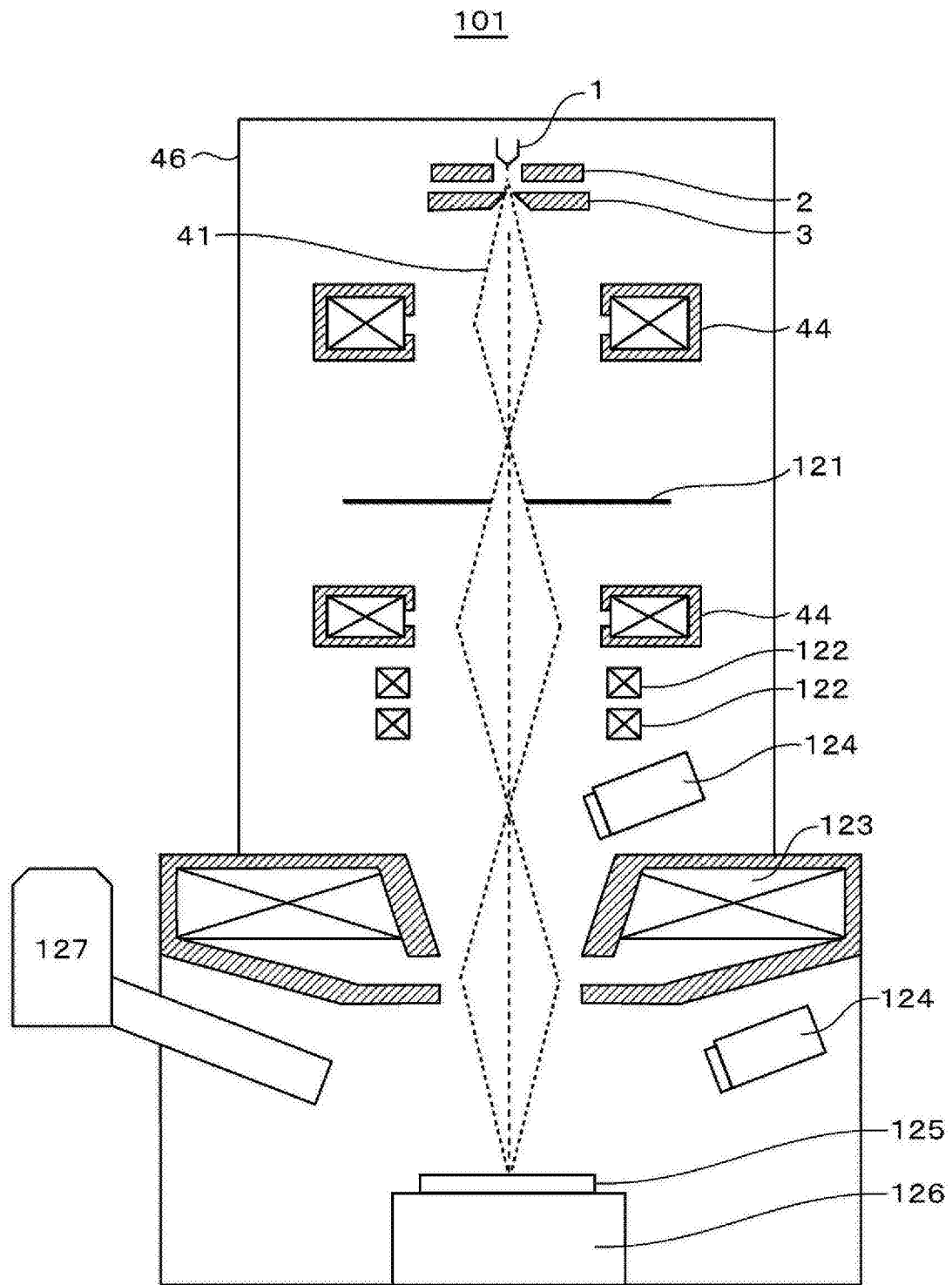


图12

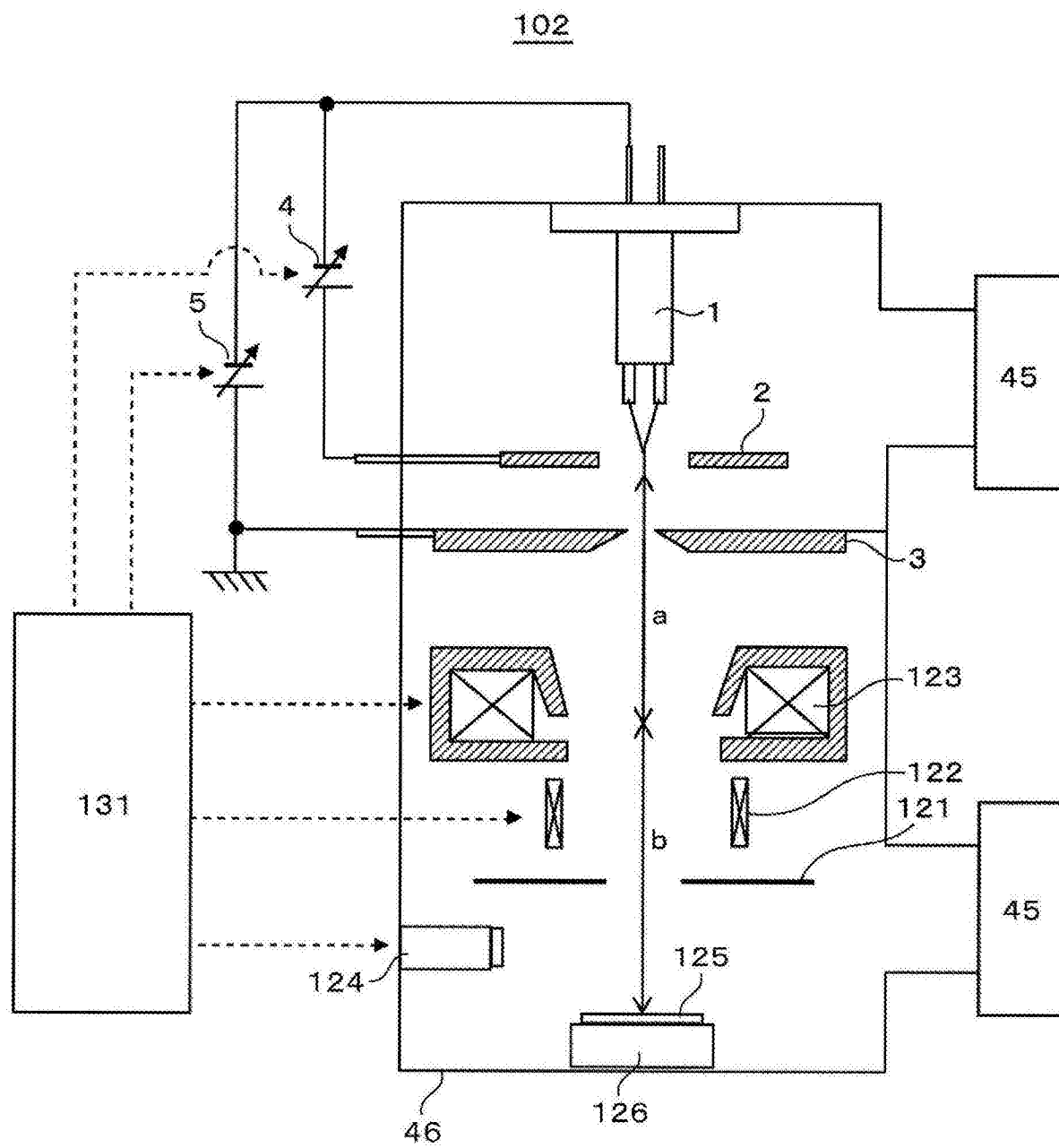


图13

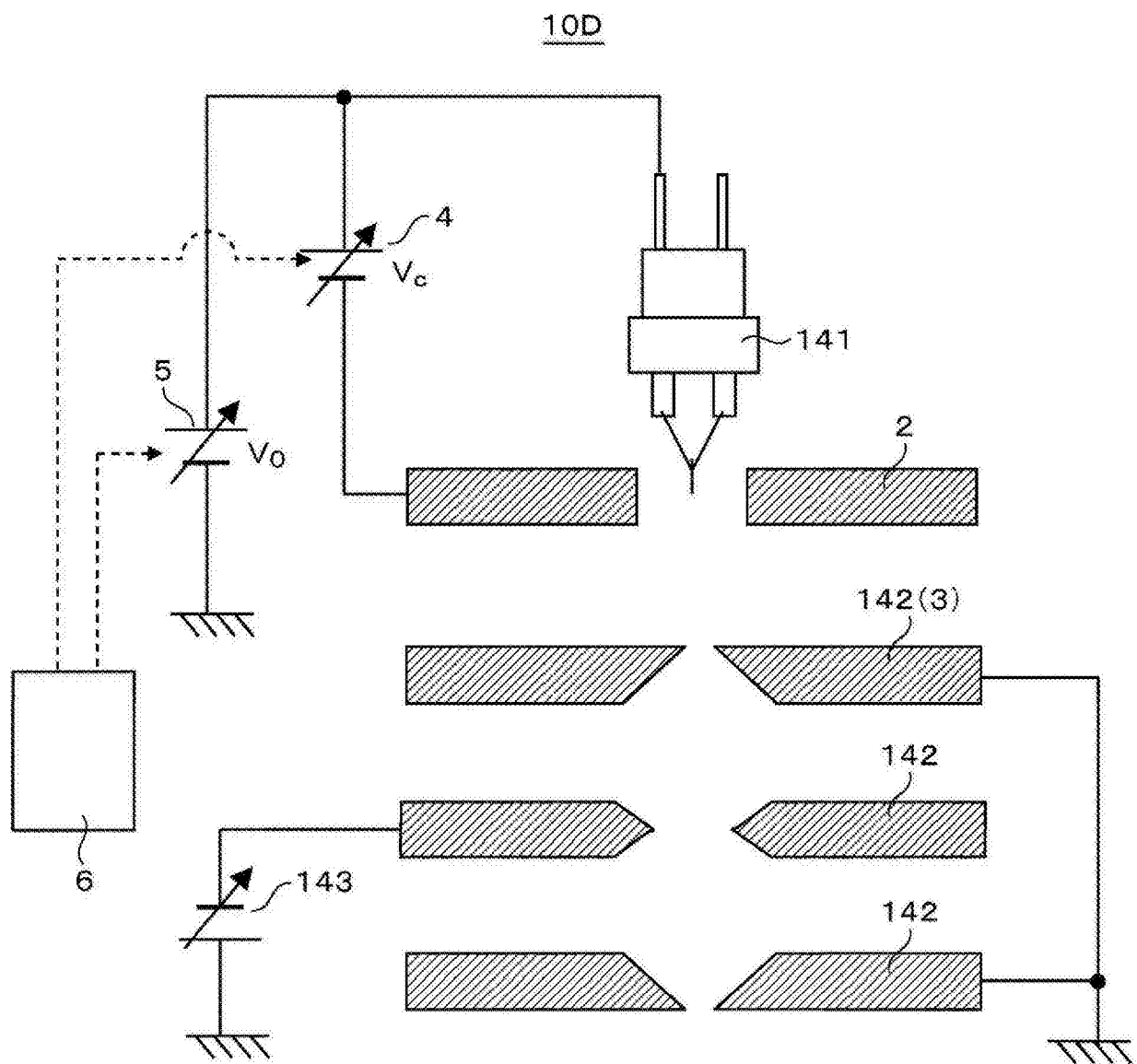


图14

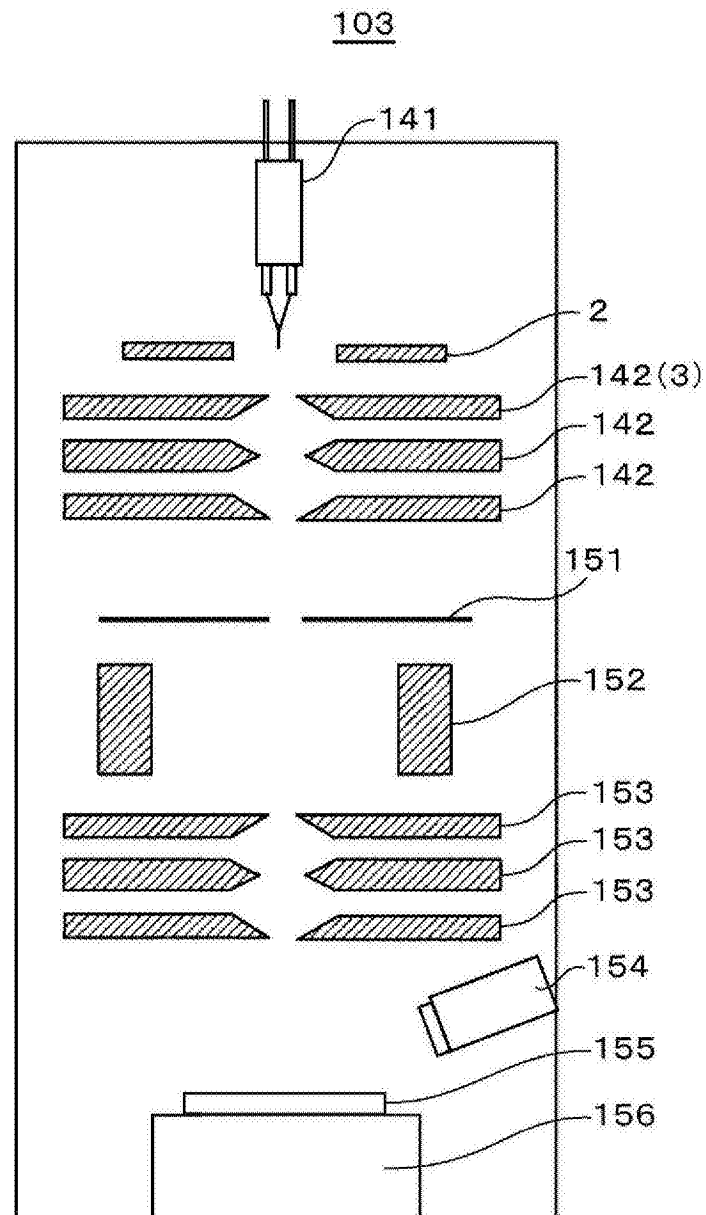


图15

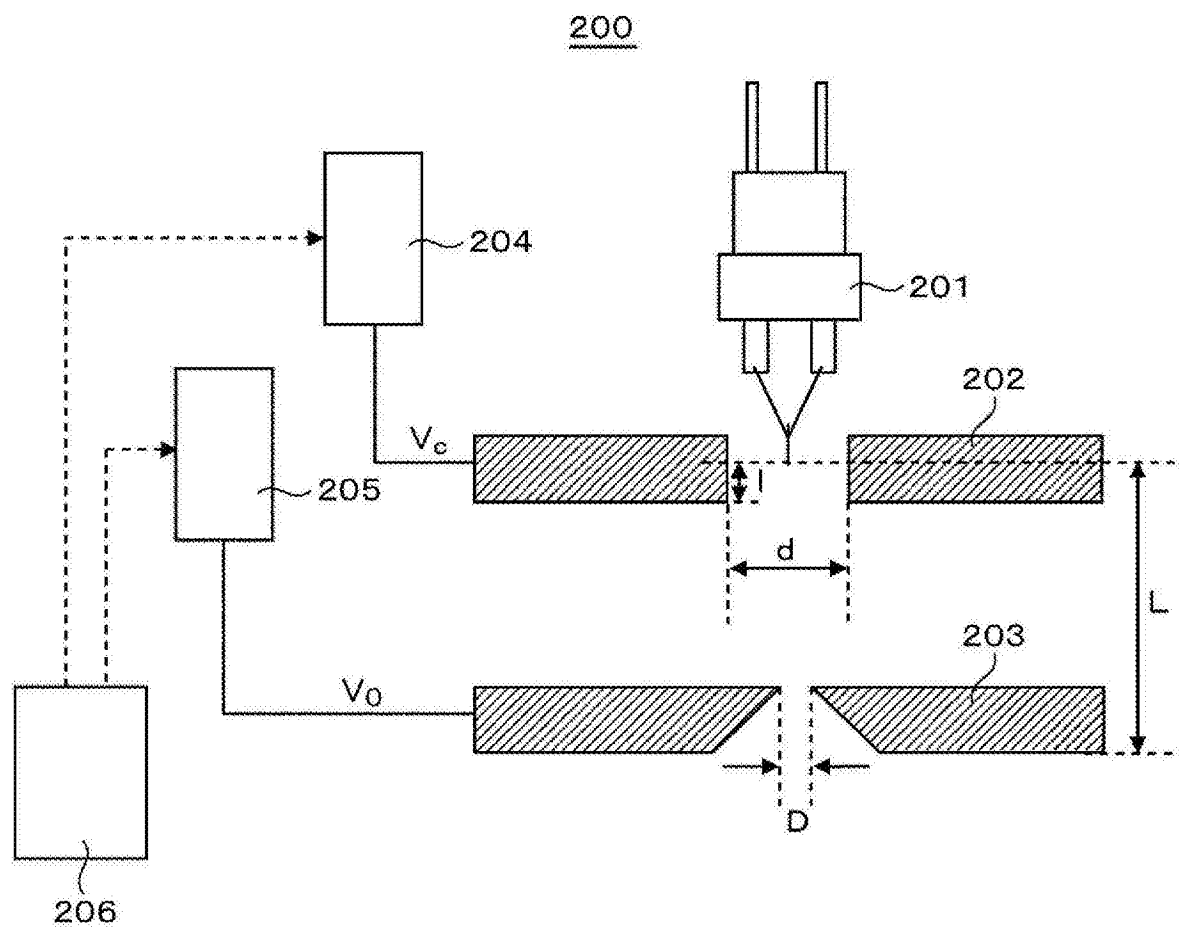


图16