

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H01J 37/26

H01J 37/317



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03813914.6

[43] 公开日 2005 年 8 月 31 日

[11] 公开号 CN 1663013A

[22] 申请日 2003.6.16 [21] 申请号 03813914.6

[30] 优先权

[32] 2002. 6. 15 [33] GB [31] 0213772.7

[32] 2002. 8. 24 [33] GB [31] 0219818.2

[32] 2003. 1. 7 [33] GB [31] 0300265.6

[32] 2003. 2. 5 [33] GB [31] 0302591.3

[32] 2003. 2. 14 [33] GB [31] 0303402.2

[86] 国际申请 PCT/GB2003/002560 2003. 6. 16

[87] 国际公布 WO2003/107375 英 2003. 12. 24

[85] 进入国家阶段日期 2004. 12. 15

[71] 申请人 NFAB 有限公司

地址 英国登比郡

[72] 发明人 德里克·安托尼·伊斯特汉

[74] 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责任公司

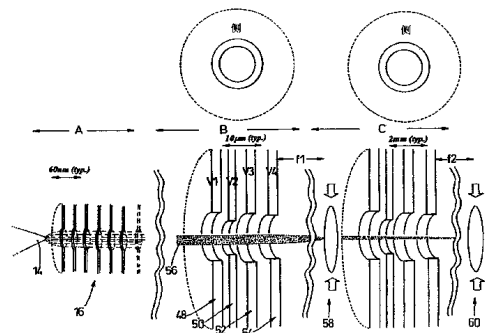
代理人 钟强 谷惠敏

权利要求书 3 页 说明书 16 页 附图 9 页

[54] 发明名称 粒子束发生器

[57] 摘要

电子源是真空中纳米尖端，如近场显微镜方法中所使用的。离子源是相似的真空中纳米尖端，其提供有如液体金属离子源中的液体金属(镓)。通过使尖端位于孔隙极板的中心并且向尖端施加适当的电压，从该纳米尺寸的尖端提取电子或者离子。该电子(离子)通过该极板，并且在使用另外的微米级(或者纳米级)圆柱形透镜聚焦之前，使用纳米级/微米级加速镜筒将该电子(离子)加速至数 KeV。最终的元件是像差校正的微型(或者次微型)单透镜，其可以将粒子束聚焦在距离设备末端几毫米的位置处。



ISSN 1008-4274

- 5 1. 一种适用于纳米技术的粒子束发生器，包括：具有提取器孔隙的提取器极板，其置于与粒子源相邻，并且操作用于将粒子从该源提取至提取器孔隙中以形成粒子束；粒子加速装置，其操作用于加速所提取的粒子以增加射束的能量；和校准装置，其操作用于校准粒子束，其特征在于，提取器孔隙和加速装置中的至少一个抑制粒子束的横向扩展，用以提供具有小于 100nm 直径的近似平行的粒子束。
- 10 2. 权利要求 1 的粒子束发生器，进一步包括聚焦装置，其操作用于通过横向抑制的粒子束提供具有小于 1nm 直径的聚焦粒子束。
- 15 3. 权利要求 1 或 2 的粒子束发生器，其中提取孔隙的直径基本上在 5nm 和 500nm 之间。
- 20 4. 权利要求 3 的粒子束发生器，其中提取孔隙的直径基本上在 5nm 和 100nm 之间。
- 25 5. 前面任何一项权利要求的粒子束发生器，其中粒子加速装置包括多个加速器极板，其布置成叠层并且相互是电绝缘的，每个加速器极板包括孔隙，其布置成与提取器孔隙共用纵轴，用以形成延伸的加速孔隙，当在提取器极板和第一加速极板之间以及在之后排成列的连续相邻的加速极板的每一对之间施加电压时，所提取的粒子沿该加速孔隙进行加速。
- 30 6. 权利要求 1~4 的粒子束发生器，其中提取极板是第一导体，其通过至少一个电阻性和绝缘材料与第二导体隔开，并且加速装置包括加速孔隙，其从提取器孔隙延伸通过该电阻性和绝缘材料并通过第二导体，其中当在第一和第二导体之间施加差分电压时，所提取的粒子进行加速。

7. 权利要求 6 的粒子束发生器，其中至少一个电阻性和绝缘材料的电阻基本上在 $1\text{k}\Omega\text{-cm}$ 和无穷大之间。
- 5 8. 权利要求 5~7 的粒子束发生器，其中加速孔隙的直径基本在 10nm 和 $1000\mu\text{m}$ 之间。
9. 前面任何一项权利要求的粒子束发生器，其中校准装置与加速装置整体形成。
- 10 10. 权利要求 9 的粒子束发生器，其中校准装置包括整体形成于加速装置壁中的圆锥体，该圆锥体具有在加速射束方向上增加的直径。
- 15 11. 权利要求 9 和 10 的粒子束发生器，其中校准装置包括至少一个校准孔隙，其具有相对于加速孔隙的较小的直径并且安置在该加速孔隙的纵轴上。
12. 前面任何一项权利要求的粒子束发生器，包括与之集成的粒子源。
- 20 13. 权利要求 12 的粒子束发生器，其中该粒子源是场发射源。
14. 前面任何一项权利要求的粒子束发生器，适于同电子粒子源一起使用。
- 25 15. 权利要求 1~13 的粒子束发生器，适于同离子粒子源一起使用。
- 30 16. 一种近场显微镜，包括前面任何一项权利要求的粒子束发生

器。

17. 一种微芯片，包括权利要求 1~15 的粒子束发生器。

粒子束发生器

5 本发明涉及（真空中的）聚焦的粒子束的产生，并且更具体地，
涉及电子束和离子束，其用于例如诸如扫描电子显微镜（SEM）的显
10 微镜方法 和纳米技术，该纳米技术用于诸如例如利用在聚焦离子束
（FIB）的情况中的诸如离子束研磨（溅射）的直接写入技术和诸如
用于电子束的聚合或氧化的表面修形方法的纳米结构和纳米结构表面
15 制造过程中的纳米光刻技术中。

 用于显微镜方法和光刻技术中的已知的粒子束发生器通常包括可
20 操作用于提供照射的粒子源。这通常是锐利的尖端，通过施加相对强
的电场，即场发射源，诸如电子或者离子的粒子从该尖端提取出来。
15 可替换地，加热的丝状体（钨丝）也可以用作源。然而，场发射源有
利地应用于需要相对高的空间分辨率的应用。源通常还包括电压驱动
粒子加速器，用以将粒子束的能量增加到所需的水平。控制可以包括
例如磁透镜的聚焦系统，用以将加速粒子聚焦在交叉点，从而在材料
表面上形成射束点。在显微镜方法的情况中，材料可以是待测样本。

20 对于诸如对于 SEM 的显微镜方法，使用线圈组以协助射束在样
本上进行扫描。样本安装在置于物镜视场下的镜台上。物镜的规格和
属性以及物镜和样本之间的距离，即操作距离，决定了显微镜的分辨
率限制。可操作用于检测二次电子和反向散射电子的检测系统通常置
25 于物镜下。已知的近场显微镜设备的缺点在于，检测系统的位置决定
了显微镜的操作距离，并且因而妨碍了有利的短操作距离的利用，由
此限制了显微镜可获得的最优分辨率。

 最终射束点的尺寸和该聚焦点中的射束电流量确定了这些设备的
30 性能。对于显微镜方法，射束点尺寸是设备的有效空间分辨率，而对

于纳米光刻技术，其确定了可以进行的最小尺寸特征。现有技术的商业粒子束发生器的初速电流状态是 1nm（对于电子）和 30nm（对于金属离子束）。

5 在显微镜方法和纳米光刻技术中，所需的是，存在这样的粒子束发生器，即其可操作用于提供具有高于当前可获得的最优分辨率的粒子束。更具体地，所需的是，存在适用于显微镜方法中和纳米光刻中的纳米级样本分析的粒子束发生器。该分辨率将在显著的景深中提供原子识别，并且在纳米级尺度下提供表面分析。

10

而且，如已知设备中所需要的相对长的操作距离也是一个缺点，即其需要使用相对高的粒子加速电压以获得该距离下的最优分辨率。然而，较高的粒子加速电压增加了粒子束的能量，其在上阈值处可能引起材料结构中所不需要的非弹性散射的增加，由此引起了对正在检验的材料辐射伤害。在显微镜方法中，具有相对高分辨率的相对低能量束提供了减少与已知装置相关的材料电子的非弹性散射的可能性，致使达到能够分析复杂分子结构的程度。

15

因此，在显微镜方法和纳米光刻技术中，所需的是，存在这样的粒子束发生器，即其可操作用于提供包括使用低于当前可利用电压的电压进行加速的粒子的束。

20

尽管作为上述显微镜方法的示例在上文中特别提及了 SEM，但是读者应当认识到，还存在其他的所谓近场显微镜设备，诸如例如扫描隧道显微镜（STM）和原子力显微镜（AFM）。

25

因此，所需的是，存在适用于用在纳米级尺度应用的可操作用于提供射束的粒子束发生器，包括使用相对低的电压进行加速的粒子，其适于同已知的近场显微镜设备结合使用。

30

而且，该近场显微镜和光刻设备是昂贵的，并且所需的是在不替换整个的设备的情况下增加分辨率、和景深、和/或减小加速电压。

5 已知的显微镜设备和光刻设备还存在缺点，这是因为它们易受到可以影响它们操作的振动的伤害，并且因此，所需的是，存在较不易受振动伤害的显微镜设备和光刻设备。

10 本发明提供了一种适用于纳米技术的粒子束发生器，包括：具有提取器孔隙的提取器极板，其置于与粒子源相邻，并且操作用于将粒子从该源提取至提取器孔隙中以形成粒子束；粒子加速装置，其可操作用于加速所提取的粒子以增加射束的能量；和校准装置，其可操作用于校准粒子束，其特征在于，提取器孔隙和加速装置中的至少一个抑制粒子束的横向扩展，用以提供具有小于 100nm 直径的近似平行的粒子束。

15

该粒子束发生器可以进一步包括聚焦装置，其可操作用于通过横向抑制的粒子束提供具有小于 1nm 直径的聚焦粒子束。

20 本发明利用电场中的粒子轨迹的尺度不变性。射束点的绝对尺寸可以涉及设备的有源元件的整体尺寸（特别是聚焦透镜的焦距）。这些元件（依照从源到最终的射束点的顺序）是粒子源和加速装置，其可以独立地或者组合地用于抑制粒子束的横向扩展。该粒子束发生器可以是次微型的，并且可以包括抑制射束扩展的微米机械的聚焦和加速装置。所以，分辨率可以保持在远小于较大设备。因此，在 100nm

25 级进行的设计可能具有至少基本大于具有毫米最大尺寸的微米机械的 100 倍的射束点尺寸。尽管较大的设备将允许使用较高的电压，并且因此将粒子束加速到可以导致较小射束点尺寸的较高的能量，但是即使考虑到了这一因素，次微型设计的射束点尺寸仍可以至少基本 10

30

提取器孔隙的直径可以基本上在 5nm 和 500nm 之间。更优选地，提取器孔隙的直径可以基本上在 5nm 和 100nm 之间。

5 粒子加速装置可以包括多个加速器极板，其布置成叠层并且相互是电绝缘的。每个加速器极板包括孔隙，其适于与提取器孔隙共用纵轴，由此形成延伸的加速孔隙。当在提取器极板和第一加速极板之间以及在之后排成列的连续相邻的加速极板的每一对之间施加电压时，所提取的粒子可以通过加速孔隙进行加速，并且由此增加了其作为组成部分的射束的能量。

10

可替换地，提取器极板可以是第一导体，其通过至少一个电阻性和绝缘材料与第二导体隔开，并且加速装置可以包括加速孔隙，其从提取器孔隙延伸通过该材料并通过第二导体，其中当在第一和第二导体之间施加差分电压时，所提取的粒子通过加速孔隙进行加速。优选地，15 该材料的电阻基本上在 $1\text{k}\Omega$ 和无穷大之间。该材料优选地是半导体材料，并且有利地掺杂了硅。

20 加速孔隙的直径有利地基本在 10nm 和 $1000\mu\text{m}$ 之间。校准装置可以与加速孔隙整体形成，并且有利地包括形成于其壁中的圆锥体。该圆锥体形状是使得其直径在加速射束的方向上增加。*

可替换地，或者另外地，校准装置可以包括至少一个校准孔隙，其具有相对于加速孔隙的较小的直径并且可以安置在该加速孔隙的纵轴上。

25

该粒子束发生器有利地包括与之集成的粒子源，其优选地是场发射源。

30 该粒子束发生器可以适于同电子粒子源一起使用，或者可替换地，可以适于同离子粒子源一起使用。

该粒子束发生器可以形成近场显微镜的一部分，并且可以安装在微芯片上。

5 通过参考附图，借助于示例，现将详细描述本发明，在附图中：

图 1 是根据本发明的第一实施例的粒子束发生器的截面 A-A 的示意图；

图 2 是适于同图 1 的粒子束发生器一同使用的第一级聚焦装置的示例的示意图；

10 图 3 是适于同图 1 的粒子束发生器和图 2 的第一级聚焦装置一同使用的第二级聚焦装置的示例的示意图；

图 4 分别是图 1 的粒子束发生器以及图 2 和 3 的第一和第二级聚焦装置的示意图；

图 5 是根据本发明的第二实施例的粒子束发生器的示意图；

15 图 6 是根据本发明的第三实施例的粒子束发生器的示意图；

图 7 是根据本发明的第四实施例的粒子束发生器的截面的示意图，同时还示出了校准装置；

图 8 是包括根据本发明的粒子束发生器的显微镜元件的截面的示意图；

20 图 9 是另外的校准装置的示意图。

参考图 1，粒子束发生器 10 包括具有提取器孔隙 13 的提取器极板 12，其使用压电控制系统（未示出）定位，使得其位于相对于粒子源 14 的中心位置。该粒子源是近场纳米尖端源。该纳米尖端是具有约 8nm 半径的标准 SEM 尖端。点线的圆环表示提取器极板在横向上可以比标示出来的大很多。加速器镜筒 16 包括由堆叠形成镜筒的一系列加速极板 18，每个极板具有孔隙，该孔被调整成使得当堆叠这些极板时，它们彼此共用共同的纵轴，并且与提取器孔隙 13 共用共同的纵轴，用以形成延伸的加速孔隙 20。每个极板 18 是彼此电绝缘的，并且可提供有其自身的电压。对于加速电子或者负离子的情况，在右

25

30

侧示出了极板 18 上的电压和纳米尖端 14 上的电压。对于该情况， V 总是负的，并且来自该镜筒的电子的最终能量是 V_T 电子伏特 (eV)。 ΔV 是该镜筒中每个极板之间的电压差并且 V_O 是尖端和提取器极板之间的电压差。(最大的负电压在尖端上，并且电压沿该镜筒向下移动而增加直到最终极板上的零电压)。粒子束发生器 10 可以适于与近场显微镜装置一同使用，并且可被设计用于操作在 300~1000eV 的能量范围中。调节电极的电压和间隔，使得纳米尖端发射电子，并且加速孔隙中的场是所需用于产生稍微会聚的射束场。电子轨迹示意性地有点线/虚线 22 表示，其中电子从图中的顶部行进至基部。这些轨迹表示由包络线所限定的整个粒子束分布，其包含从尖端发射并且通过加速器镜筒的电子中的大部分。

参考图 2，示出的第一级聚焦装置 24 包括第一微米级透镜系统。安置该微米级透镜系统以收集和聚焦来自加速器孔隙 22 的粒子束。图 2 示出了在射束分布 26 上的聚焦作用。该透镜是像差校正圆柱形单透镜，其包括三个圆柱形元件 28、30 和 32。外面的两个元件 28 和 32 处于地电位，而中间的元件提供有足够使电子聚焦在所需位置的电压。(可以施加任何极性的电压，但是当用于聚焦电子时，对于正电压而言像差是最小的，而当用于聚焦正电荷离子时，负电压的像差是最小的)。该特定的微米级透镜的近似比例显示在图的顶端。作为示例，在图中粒子束聚焦在样本夹具 34a 处，其可以横向移动以扫描样本，并且可以沿射束轴的方向移动以调节焦点。通过调节图 1 和 2 的截面上的标有 x 、 y 、 l 和 t 的相关尺寸来校正该透镜中的像差。

参考图 3，示出的第二级聚焦装置 36 包括微型单透镜，其包括三个圆柱形元件 38、40 和 42。其与前文所述的透镜基本相同，除了其较之大一千倍，并且将射束 26 聚焦在距离安置了样本夹具 34b 的设备末端若干毫米远的点上。如前文所述，通过使用压电控制系统横向移动样本来实现扫描。而且夹具 34b 还可以沿轴移动用以将样本安置在正确的焦点处。由于焦距是数毫米，因此在目标上方的空间中放

入电子检测器 44 是可能的。这用于检测和测量反向散射电子，由此可以获得扫描图像。最重要的是，对该透镜进行尽可能的像差校正。除了尺寸 a、b、l 和 t 的相关调节，还可以最优化地成形由点线/虚线示出的内表面 46 的曲率。

5

在使用中，提取器极板置于与粒子源接近的地方，并且在极板和源之间施加了电压，使得通过场发射过程使电子直接从尖端发射。如果如同聚焦离子束源的情况向尖端提供液体金属，则相似的过程还可产生离子束。这些电子/离子束的亮度是极其高的，并且它们因此可以聚焦在小的点上。为了使用该射束并且抑制其横向扩展，使用了具有纳米级提取器孔隙的提取器极板，其后是在面对该尖端的极板侧面上的高电场区域。这样，电子/离子可以成功地从纳米尖端源中提取出来并通过提取器孔隙，通过使用压电平移器件移动提取器极板，如通常在近场光谱法中所使用的，该提取器孔隙可以与位于纳米尖端源上的中心。使提取器极板相对侧上的电场与面对加速电子/离子的纳米尖端源的侧上的电场相似，并且在同一时刻产生微弱的聚焦作用。通过该孔隙的粒子束的尺寸基本上由孔隙的尺寸确定，并且计算显示，如果孔隙的尺寸约为 30nm，则大部分发射自纳米尖端源的电子或者离子可以形成于该粒子束中。

10
15
20

该源的设计与传统上使用的源的不同之处在于，该源使用了优选地位于与尖端相距小于数百纳米的位置的纳米级孔隙。这样电子可以通过微小的孔隙提取，并且可以因此随后限制在与后面透镜轴相接近的小的尺寸中。而且其还意味着，需要更小的电压用以从尖端产生场发射。通过使用具有从提取器孔隙延伸的加速孔隙的纳米级/微米级加速镜筒，可在提取器极板两侧之一上产生近似相等的电场，使得提取器极板能够用作弱透镜。这是除了其（加速孔隙）加速电子/离子的功能以外的功能。这样不允许射束在其通过设备的前进过程中明显地扩展，由于该射束的小尺寸，使得限制了透镜像差的不需要的影响，并且允许使用具有 1~1000 μm 范围的孔隙的圆柱形聚焦透镜（既是静电

25
30

的也是磁的)，其非常有利于从整体上减小设备的尺寸。

5 这允许使用具有微米级（次微型的）和毫米焦距的聚焦透镜。由于这些焦距比传统的电子显微镜小很多，因此可以将粒子束聚焦在更小的尺寸中，同时进行较少的透镜像差校正。

10 这些微型的和次微型的设计是作为孤立的设备而操作的，用于上达数 Kev 的最大值的电子/离子能量，但是它们也可以用作操作于上达并超过 100keV 的较大传统高能量电子/离子束系统的第一级。

15 来自源加速器镜筒的射束随后通过微米级圆柱形单透镜，该圆柱形单透镜位于使得来自加速器镜筒末端的射束在其到达该透镜之前不会明显扩展的距离。然后，可以使用该透镜将射束聚焦在距离最终透镜元件数微米距离处的一纳米以下的直径。为了获得最小的焦点，通过调节元件的几何特征来对其进行像差校正，如下文所述。

20 尽管可以将此聚焦的射束点直接用于 SEM 或者 FIB 技术，但是如果随后使该射束通过具有几百到数千微米的典型孔直径微型的或者次微型的单透镜，则这一点束是更加实用的。该透镜被安置在离开第一微米透镜的最优化的距离处，使得可以在距离透镜的最终透镜元件末端数毫米的距离处获得最小的射束点。该配置是非常实用的，并且允许插入 SEM 通常所需要的电子检测器。

25 尽管通过该最终透镜的射束尺寸可以小于几微米，但是仍然需要对像差进行校正（主要是球面像差）以获得最佳的性能。这是通过改变其几何特征来完成的，如下文所述。如果该透镜进行了适当的校正，则可以获得明显小于 1nm 的聚焦的射束点的尺寸。

30 对于本领域的技术人员，应当认识到，可以使用其他的同样适用于本发明工作的第一和第二级聚焦装置。

参考图 4，示出了完整的系统，其包括两个 4 元件的圆柱形单透镜、一个是微米级的，标为 B，另一个是微型的，标为 C。这些透镜位于标为 A 的电子/离子源的下游。通过对其几何特征进行众多的变化，可以使它们具有非常低的像差。这与相机和光学设备中的多元件光学透镜有些相似。这些射束元件的最终设计取决于电子/射束进入透镜时的电子/射束能量、散度和尺寸。可以改变的参数是：

5

10

15

- 1) 元件的数量
- 2) 每个电极的厚度
- 3) 电极之间的距离
- 4) 每个电极中的孔隙尺寸
- 5) 如前文应用中所示的透镜上的边缘的形状
- 6) 施加给每个电极的电压

通过适当地改变这些参数，我们几乎能够完全地从我们的系统中除去球面像差。

20

25

图 4 示出了 4 元件透镜的几何尺寸，其具有标为 48、50、52 和 54 的电极，这些电极分别具有电压 V_1 、 V_2 、 V_3 和 V_4 。射束及其方向标为 56。第一分析位置 58 位于离开微米级透镜末端距离为焦距 f_1 的位置。通过使用如扫描隧道显微镜常常使用的压电元件移动样本，实现了射束的扫描。可以移去该样本位置，并且使射束通过第二微型透镜，以便于到达距离第二透镜末端距离为 f_2 的焦点。在该点处存在压电驱动样本夹具 60。尽管所示的该第二微型透镜具有与第一透镜相同的几何特征，但是这对于其他情况不是必需的。确切的几何特征（孔隙尺寸等）将再次取决于射束通过该透镜时的特征。典型的孔隙尺寸是约 $5\mu\text{m}$ （对于微米级透镜）和 5mm （对于微型透镜），但是这些可以在宽的范围中变化。

30

在图 5 中示出了本发明的另一实施例，其中粒子束发生器是微芯

片 100，其包括一个或者多个产生窄的 ($<50\text{nm}$) 轴上射束的纳米镜筒 162。纳米尖端 114 位于该微米结构的末端，其连结到垂直悬臂（未示出）上并在中心安置，并且离开纳米镜筒 162 的第一孔隙 13 的距离大于 10nm 。纳米镜筒 162 可以是所示的一个或者多个部分，并且

5 限定了具有小于 50nm 横向尺寸的轴向射束。在图 5b 中示出了典型的纳米镜筒 162，并且其由薄的多层膜制成，该多层膜包括交替的金属（导电）层 118，中间间隔有绝缘层 119，其中通过光刻技术或者使用聚焦离子束（FIB）“研磨机”使孔隙 13 穿过该纳米镜筒 162。该

10 纳米镜筒的总长度可以上达 $2\mu\text{m}$ ，并且足够用于准确地确定（轴上）方向和射束发射度的相空间。如所示出的，纳米尖端 114 位于该孔隙上面，并且在尖端 114 和纳米镜筒电极 162 之间施加有电压差。由纳米镜筒限定的射束具有轴 164，其与多元件的微米级单透镜是同心的。该透镜包括金属（导电）电极 166，其中间间隔有绝缘体 168。所示的

15 组件包括四个中间间隔有绝缘体的金属电极并且位于距离纳米镜筒仅有几个微米的位置，其被作为微米透镜的具有相同尺寸的孔隙的绝缘膜与该纳米镜筒隔开。在前文的应用中给出了关于该透镜的适当的孔隙直径。增加叠层中金属导电电极的数目可以减小该透镜中的像差。

20 图 6 示出了一种方法，用于构造显微镜使得微米透镜可以将射束聚焦在离开设备末端小于 $50\mu\text{m}$ 距离的点处。如果该射束具有小于 1nm 并且接近 1\AA 的横向尺寸时，该条件是必需的。（该射束点基本上确定了设备的分辨率）。在图 6b 的近场显微镜方法中示出了本发明的

25 该实施例的应用，并且其包括刚性连结于近场显微镜的水平悬臂 170 的“芯片”或者体 100，其可以使用标准的纳米定位技术进行定位。在此之上的垂直悬臂固定了纳米尖端 114，并且其可以垂直移动并在水平面上进行扫描。样本安装在特殊的固定器 172 上，该固定器 172 具有用于连结样本的小的表面面积。（该原子分辨率配置仅可用于小面积的样本；对于较大的面积，增大微米透镜的焦距，并且分辨率下降至约 1nm ）。

30 显微镜主体下方的另外的垂直悬臂 174 固定了样本固

定器，并且提供将样本定位在正确的垂直距离处定位以及在水平面中进行扫描的手段。

5 在图 6a 中示出了体或芯片 100 的细节。通过光刻技术或利用激光射束进行微米机器加工在该芯片的一个边缘产生了一系列台阶。基部的台阶仅有几个 μm 厚并且宽于约 $20\mu\text{m}$ 。在该台阶 176 上形成了多层组件 178，其基本上是如图 6a 所示的粒子束发生器的主体。该多个层是通过两个阶段中的原子淀积生长的。首先产生对应于静电透镜的层，并且通过光刻技术在位于对应于图中由字母 A 标出的台阶边缘附近的层中制造对应于透镜孔的孔 113。（可以在一个光刻制程中产生多个孔，并且每个都可以是分立的显微镜）。顶层由 1 纳米厚的金膜或者碳膜覆盖，并且随后（通过原子淀积）生长对应于纳米镜筒层的连续的多个层。该层是使用水平掩膜产生的，其允许每个分立的层终止于沿台阶的不同位置。这提供了将电气接触连结到显微镜中的电极的基本方法，如曝光区域 180 所示。最后，使用聚焦离子束，在带有静电透镜的轴上钻该通过顶部多个层的纳米镜筒孔。（这还可以通过现有技术的电子束光刻技术和干蚀刻技术完成）。

20 在操作中，纳米尖端 114 位于孔隙的中心，并且调节透镜上的电压以通过轴 164 将射束聚焦到焦点 182 处的样本上。设置支撑台阶 176 的厚度和焦距，使得存在足够大的间隙，用以通过通道倍增器 184 记录反向散射电子。

25 两个另外的调整可用于允许显微镜包含于单个的芯片中。首先可以在芯片的体中制造纳米尖端和显微镜悬臂。（这可能是水平悬臂）。其次可以将探测器制造在该芯片的基部。为了该目的，最好是使用用于电子的半导体雪崩型检测器。甚至可以考虑在该芯片的基部并入用于扫描样本的机构，用以在芯片上制造最终的 SEM。

30 在使用中，典型的尺寸和电压与上文所述的关于本发明的前面的

实施例的尺寸和电压相同。对纳米尖端 114 来说一种合适的配置是使用如扫描隧道显微镜 (STM) 中所使用的垂直悬臂配置 进行定位。然而, 近来光刻的发展使得可以将该悬臂并入到显微镜本身中。纳米镜筒包括具有导电 (金属或者硅) 薄膜的多个层, 其由绝缘层隔开, 穿过该层制造了具有所需纳米级 (典型地小于 50nm) 的圆孔。这是通过光刻技术或者通过使用聚焦离子束的钻孔方法来完成的。微米级的多元件单透镜位于纳米镜筒下面并且与之同心。这可以作为分立的部分而制成, 并且可以使用标准的微米定位系统使之独立地相对于纳米镜筒进行定位。在较简单的形式中, 微米透镜被制成与纳米镜筒相同的多层结构, 并且其整体形成了显微镜的基本元件。透镜的制造可以通过多种技术来完成, 其包括光刻和激光束机器加工。

显微镜主体固定在垂直臂 (悬臂) 上, 其可以定位成垂直和横向。通过伺服机构使纳米探针位于纳米镜筒孔隙的中心上, 该伺服机构使用扇形金属薄膜中的电流, 而该扇形金属薄膜形成了纳米镜筒中的第一电极。在显微镜主体下是位于垂直悬臂末端上的样本镜台。电子束聚焦在该样本上, 并且通过使用如 STM 中使用的标准纳米定位技术 (例如使用压电机构) 移动悬臂的末端, 可以使电子束沿样本移动。如果使用电子检测器 (通道倍增器) 检测到反向散射电子, 则可以制成原表面子结构的图像。在最终的设计中, 电子检测器可以并入到显微镜芯片的基部。

使用前面的描述, 通过使液体镓流入纳米尖端并且翻转电压的极性, 可以调整适用于机器加工低于 10nm 的表面结构的聚焦离子束系统的设计。在该配置中, 其几何形状是倒转的, 使得纳米尖端位于纳米镜筒下面。(这是用于防止液体镓污染显微镜)。

在图 7 和 8 中示出了本发明的另外的实施例, 其中粒子束发生器 200 包括一对薄膜金属层 212 和 213, 其由半导体材料 284 隔开。每个金属层包括校准孔隙 286 和 288 (纳米校准器)。粒子束发生器 200

还包括加速孔隙 220，其延伸通过半导体层材料，并且与校准孔隙 286 和 288 共有一个纵轴。加速孔隙 220 的直径大于校准孔隙 286 和 288 每一个的直径。典型地，加速孔隙的直径可以是约 50nm，而纳米校准器孔隙是约 30nm。如果有足够的电压差存在于尖端和校准孔隙 286 之间，则粒子将从纳米尖端 214 发射。如果跨接在该半导体的电压差足够高，则这些粒子将被加速并且被聚焦在几乎平行的射束中。（在图 7a 和 7b 中箭头 290 示出了电子束的方向）。典型地，对于 0.5 μ m 的硅薄片或者膜，跨接在该半导体的电压可以是约 300 伏特，并且这将沿孔产生 600MV/m 的均匀场。如果纳米镜筒以图 7b 所示的两级形式制造，则较长的纳米镜筒是可能的。这里，有两个被导电膜 213 隔开的层。底部层 285 是导电的，并且可以由金属制造或者优选地由具有非常低电阻率的掺杂硅制造。如果两个金属薄膜 213 和 214 处于地电位，则整个底部镜筒 285 也处于地电位。纳米孔隙 286 执行与图 7a 中所示器件相同的功能，但是可以距离纳米尖端几微米的孔隙 288 能够减小散射，同时进一步降低（相空间）电子束发射度。此下面的镜筒 285 中的孔与上面加速部分的孔在同一时间制造。其唯一的功能是支撑纳米孔隙 288 与半导体中的孔同心。限制于孔隙尺寸 288 的直径的窄的电子束随后到达显微镜的静电聚焦元件，如图 8 所示。

在图 8 中示出了用作显微镜的完整的粒子束发生器系统，其中纳米镜筒 290 中有孔，并且纳米尖端 214 是电子源。如所示出的，窄的电子束 222 通过纳米镜筒 286/288 并且通过同心的单透镜。该透镜是简单的三元件配置，其由分别是导电层和绝缘层的 292 和 294 制成，穿过其中制造了孔隙。包含 5 个或者更多的电极的多元件透镜还可以用于减小前面关于其他实施例而提及的像差。选择电极的内径（透镜的孔隙）和间距以给出最小的像差并且因而给出最小的射束点。该透镜的内径的典型尺寸是约 2 μ m，并且每个层是约 1 μ m 厚。如果单透镜由具有三个分立层的单个薄片制成，则其制造过程可以简化。使用具有不同掺杂浓度的硅可以制造导电层 292 和绝缘层 294。对于简单的 3 元件透镜，外部的两个导电电极处于地电位，而中间的一个处于

正确的电位，用以在距离组件 296 末端的所需距离处给出焦点。该完整的组件形成了显微镜主体，并且当其是在阶梯状组件的边缘制造时，如前文在另一实施例中提及的，射束发生器基本上是远离纳米尖端的单个芯片。然而，该纳米尖端位于悬臂的末端，使得可以将其定位在纳米镜筒入口孔隙的中心，并且因此可以整体到纳米芯片中以获得完整的聚焦电子（离子）束机械，称为“片上显微镜”。应当注意，制成显微镜主体的电阻性膜可以在其中具有很多孔，使得通过将纳米探针移动到任何入口孔隙，可以进入其中。

10 在前面的实施例中，加速纳米镜筒由具有交替的金属（导电）和绝缘层的多层结构构建而成，其中穿过该结构制造了具有小于 100nm 直径的孔，并且其是电子通过的通道。通过对该组件中的导电电极施加电压，可以产生沿该镜筒中真空孔隙的高电场。本实施例是产生纳米镜筒或者加速器的较简单的方法，其对前面的组件具有相同的作用。而且，此新器件便于制造，并且可以适用于在该镜筒两端包括限制（抗散射）校准器的场合。该方法是使用微米制造技术从单个高电阻率材料片（穿过该材料片制造了孔）制造加速器。尽管不是唯一可能的，但理想的材料是单晶掺杂硅，如微芯片制造中所使用的。掺杂通常是 n 型的（尽管 p 型也是可以的），并且掺杂密度应是使电阻率在 1k Ω m-cm~100M Ω m-cm 的范围中，但这不是唯一的。所施加的跨接在该材料的薄膜的电压将确保沿任何通过该电阻性材料的直孔均存在均匀的电场。该孔被制造为垂直于薄晶片或者薄膜的平行侧，该薄晶片或者薄膜是加速器的主体，并且可被宽泛地称为纳米镜筒，符合前面关于由具有交替的绝缘薄膜和导电薄膜的多层构建的镜筒的术语。（使用了纳米镜筒是因为通过该膜的孔隙处于纳米尺度范围中）。

20 在该情况中，电场是沿（真空）孔方向的，并且因而其可以对注入到该孔中的电子进行加速。如果尖端上的电压超过表面电压约 10 伏特，则可被定位在具有典型的 50nm 孔隙的孔上方约 30nm 距离处的纳米尖端将场发射电子。半导体的两个表面覆盖有薄的金属膜，穿过该金属膜制造了与半导体中的孔同心的孔。金属膜中孔的直径小于半导体

30

中孔的直径，使得这些孔隙用作抗散射校准器，并且还可以用于减少电子束发射度。

5 处于聚焦电子中的这些纳米镜筒和射束器件的操作如下。向最接近纳米探针的金属层施加负电压，并且向纳米尖端施加较大的负电压。在另一半导体表面上的金属层处于地电位。通过正确地选择这些电压，从尖端发射的电子可被聚焦并且被加速到达在纳米镜筒的孔。可以产生具有小于 50nm 直径的几乎平行的电子束。

10 为了获得最佳的性能，校准器孔隙的直径需要小于 100nm，并且硅的厚度大于 0.5 μm 。如果该配置有效，则重要的是，器件包括校准器以减小由（纳米级孔的）壁引起的散射并且还减小射束的总发射度。后者是非常重要的，这是因为射束的总发射度与最终的射束点尺寸成比例。因此通过使用仔细挑选的校准器所引起的发射度的大的降低可以导致最终射束点尺寸的明显减少。两种方法可用于制造纳米级的校准器。在第一种方法中，纳米级的镜筒在其中具有圆锥形的孔，且较小直径的孔位于最接近纳米尖端电子源。在该方法中，可以极大地消除由孔的内壁引起的电子束的散射。圆锥的形状可以由这样的形式替换，其中在需要校准的位置更加突然地减小孔的孔隙。这些校准器在需要时可以形成在管的两个末端。在另一种方案中，在孔的一个末端或两个末端处离子蚀刻薄的金属覆盖层，用以产生校准器。这可以通过干蚀刻技术完成，或者可以通过使用聚焦离子束（FIB）研磨机来完成。

25 在图 9 中示出了一般的配置，其中电子源是位于器件第一纳米级部分入口处的纳米尖端 314，其中标出了射束方向 390。图 9a 示出了具有微米厚度的材料部分 301，穿过该材料通过干蚀刻技术制造了 50nm（典型尺寸）的圆孔。如果仔细控制蚀刻可以使该孔的壁平行。整个的显微镜镜筒或组件可以由加速部分和非加速部分构成，如前面
30 实施例中所描述的。制造这些孔隙 286 和 288 的一种方法如下。在产

生孔的过程中，在表面上产生配准特征 398 以绘出孔隙的位置。然后在该表面上通过真空淀积技术（从源进行原子淀积）涂敷纳米厚度的金层，并且 2~3nm（典型的）厚的金箔 312 和 313 安置在该第一层顶部上的孔隙上。（如果这是在洁净条件下完成的，则金箔将接合至

5 硅上的真空淀积的金层）。然后可以在该金属箔上通过射束钻孔或者干蚀刻产生孔隙 286 和 288。（为了使之可能，重要的是在粘附金层之后，配准部分是保持可见的）。图 9b 示出了特别是在加速部分入口处产生孔隙的可替换的方法。在该方法中，该孔锥形式变细成为所示的圆锥形。通过仔细地控制干蚀刻工艺，可以产生该锥形式变细的

10 形状。然后，通过使用标准的真空淀积方法在表面上淀积金属，制成顶部导电层 399。通过前面的方法制造的另外的孔隙可以安置在该组件下面，如中间的图所示。然而，同样可以的是，通过将其中具有锥形式变细的孔的第二晶片安置在中间图中所示的晶片的下面，在该位置处产生校准器。于是这取代了由薄膜金属（金）制成的孔隙。其

15 可以制造在分立的薄（硅）晶片上，该晶片被定位为使得该孔是同心的或者使得在一个区域上制造整个组件。这样，系统现在有效地包括两个具有圆锥形孔的晶片，其中该两个晶片都涂敷在它们具有金属膜的平坦侧上。同样可以的是，通过晶片的本征材料制造校准器而不必采用锥形式变细的形式，如图 9c 所示。可以在一个或多个组件（晶

20 片）的一个末端或者两个末端制造校准器。可以堆叠这些校准器以使散射最小化和/或减少射束的相空间发射度。

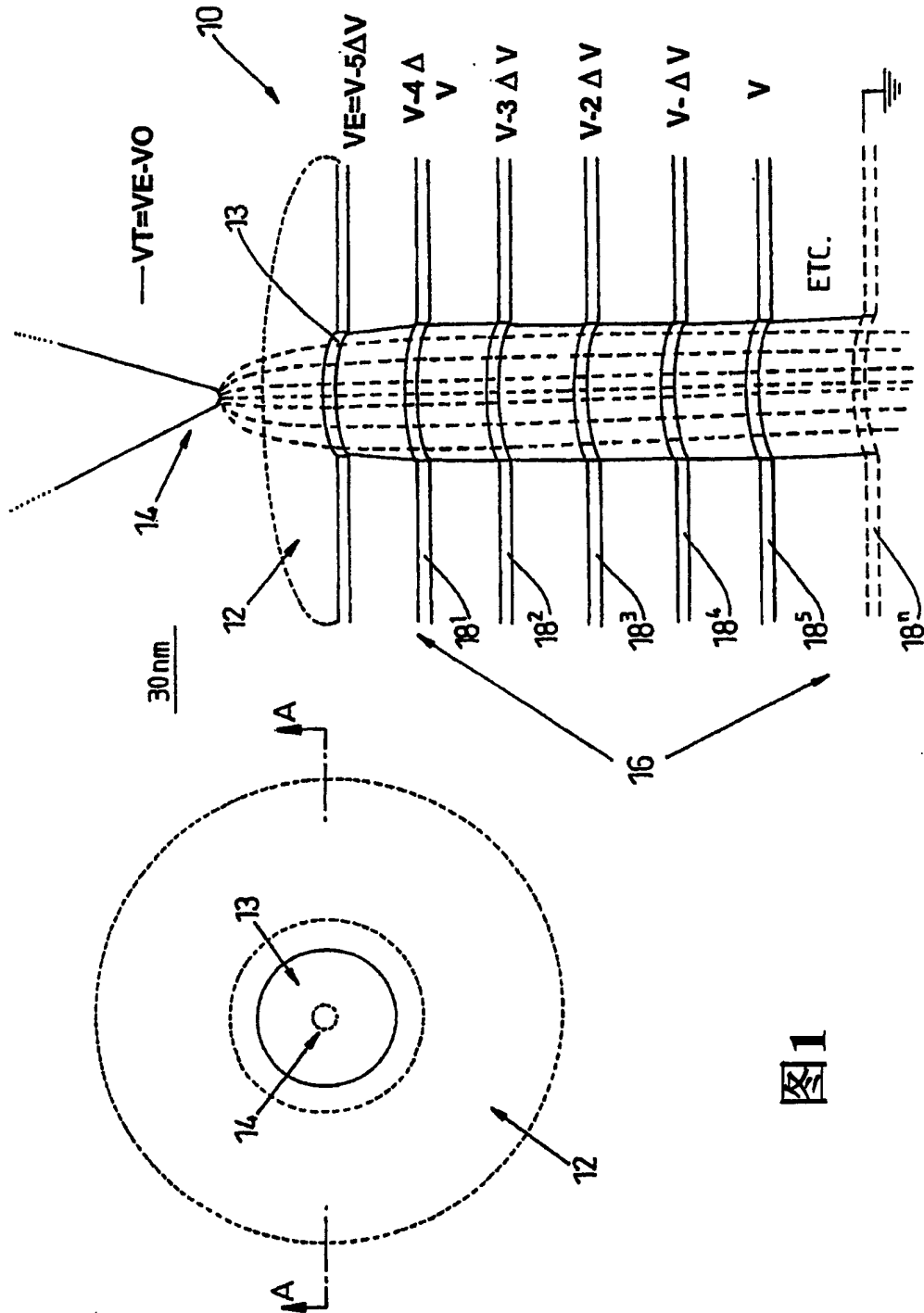


图1

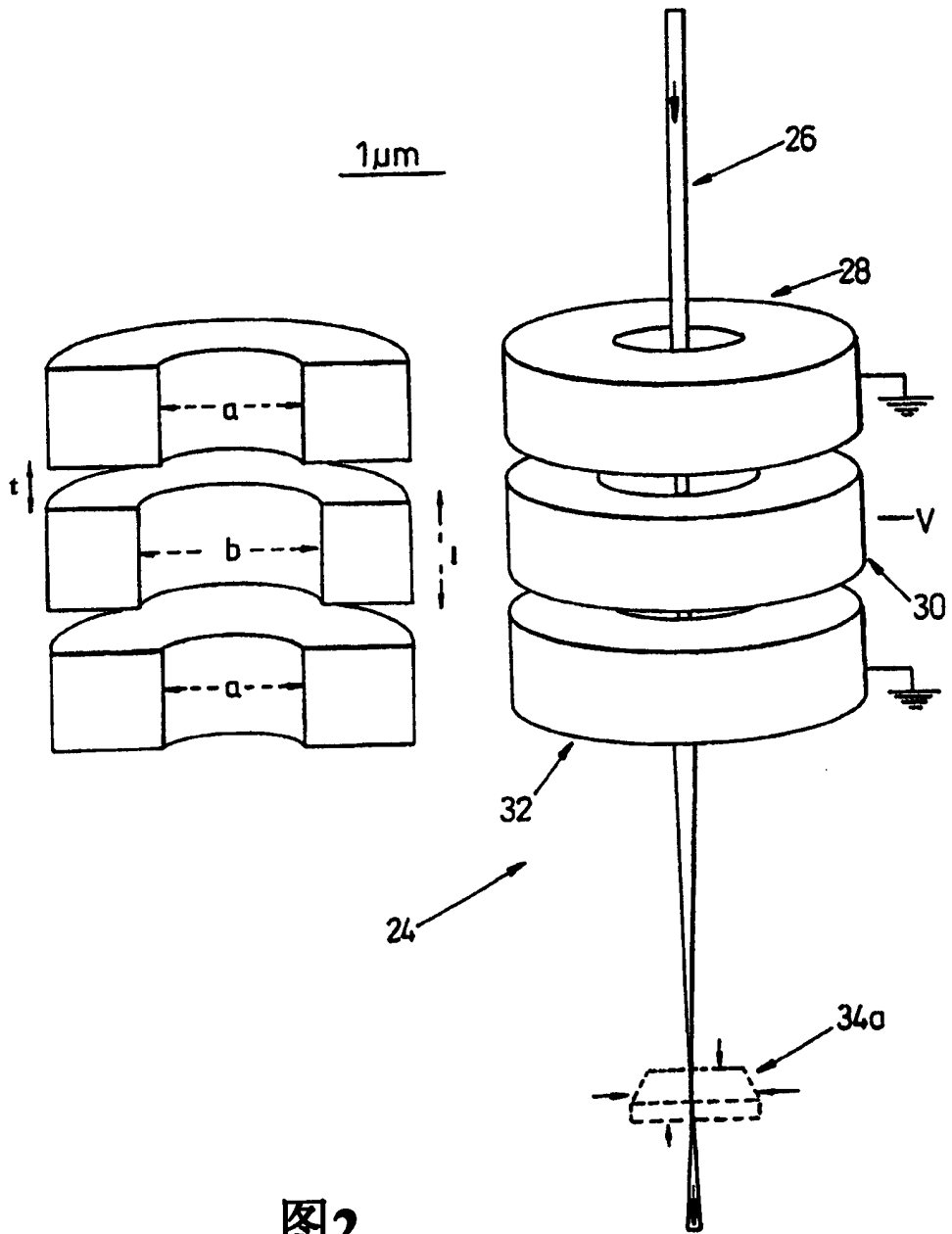


图2

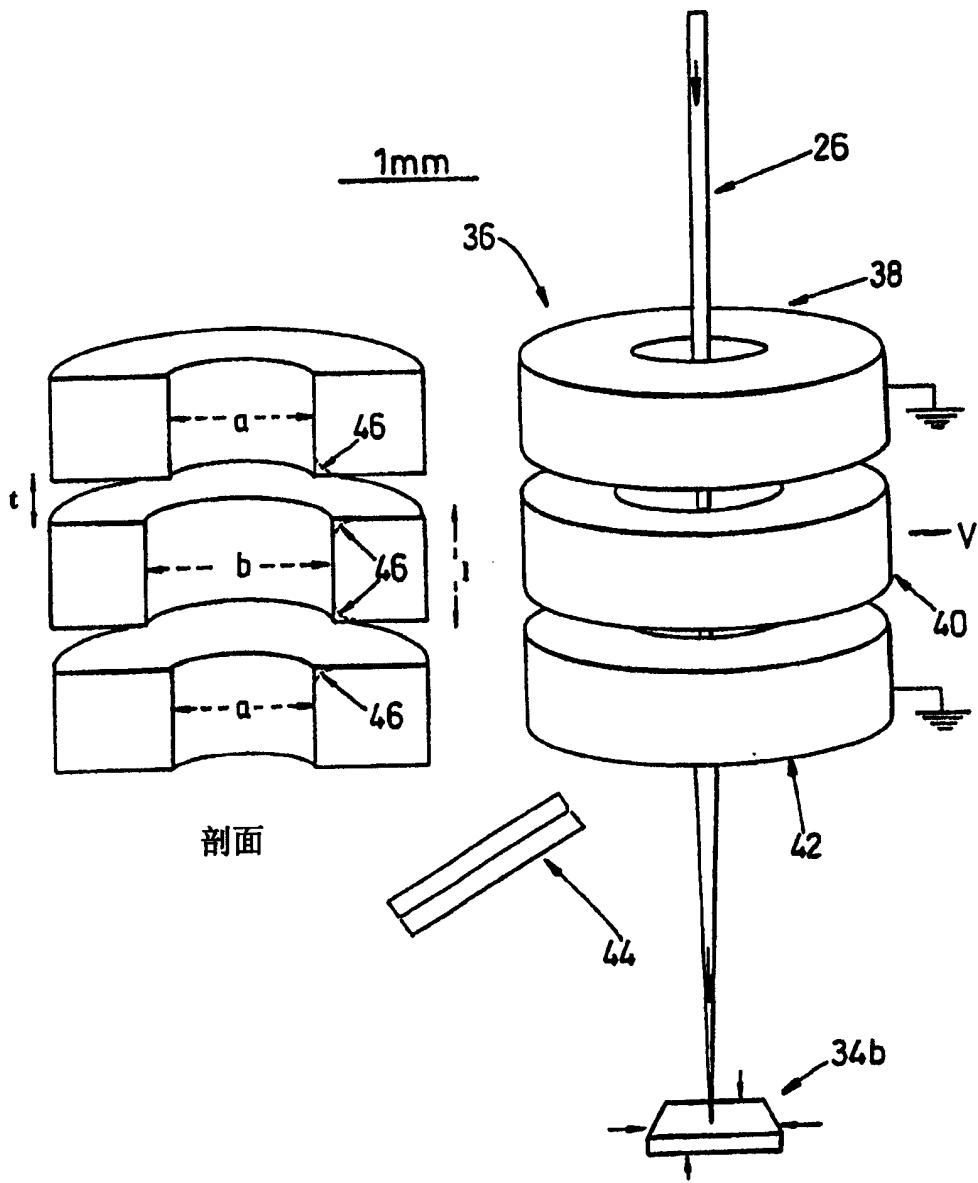


图3

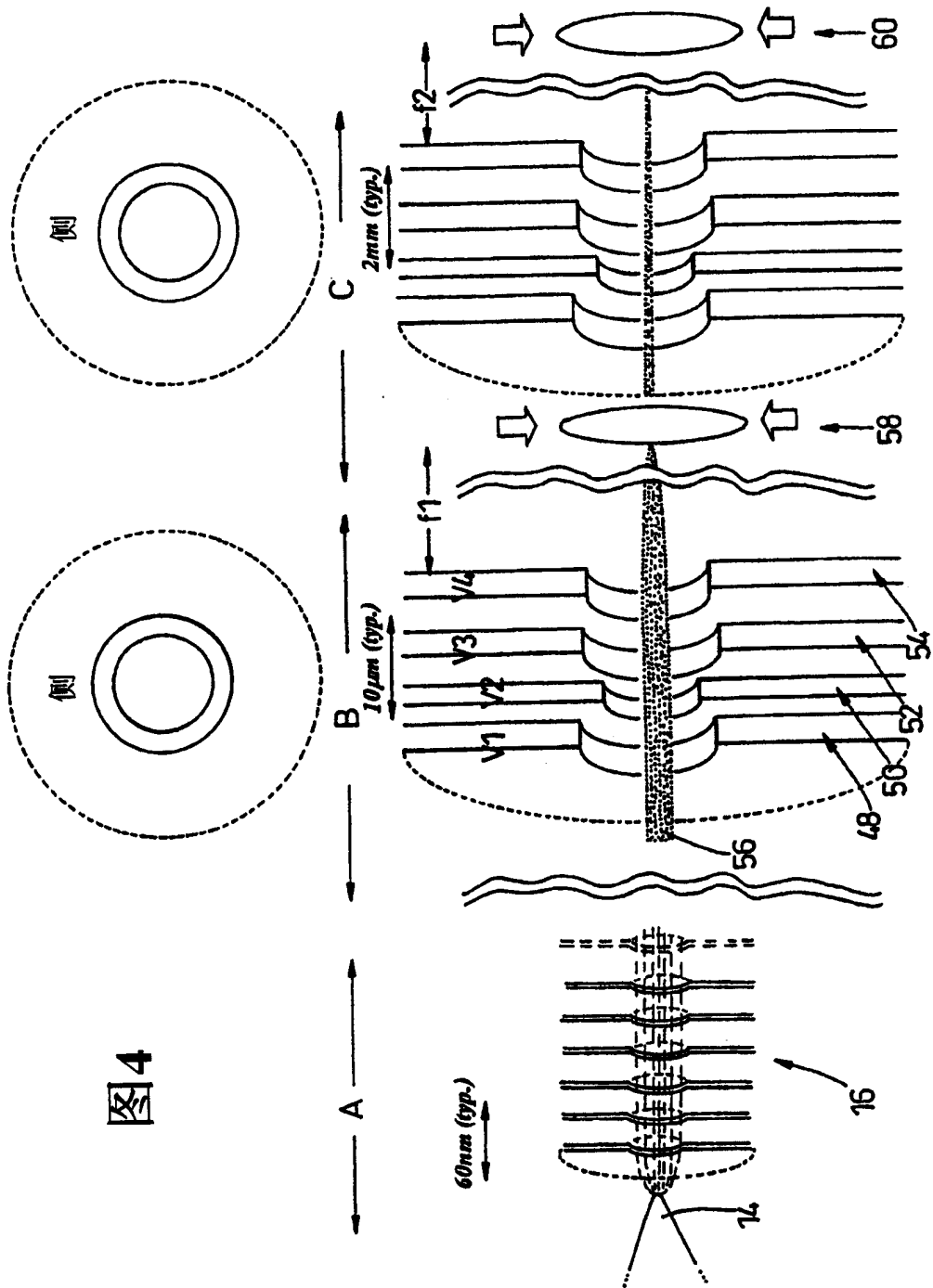


图4

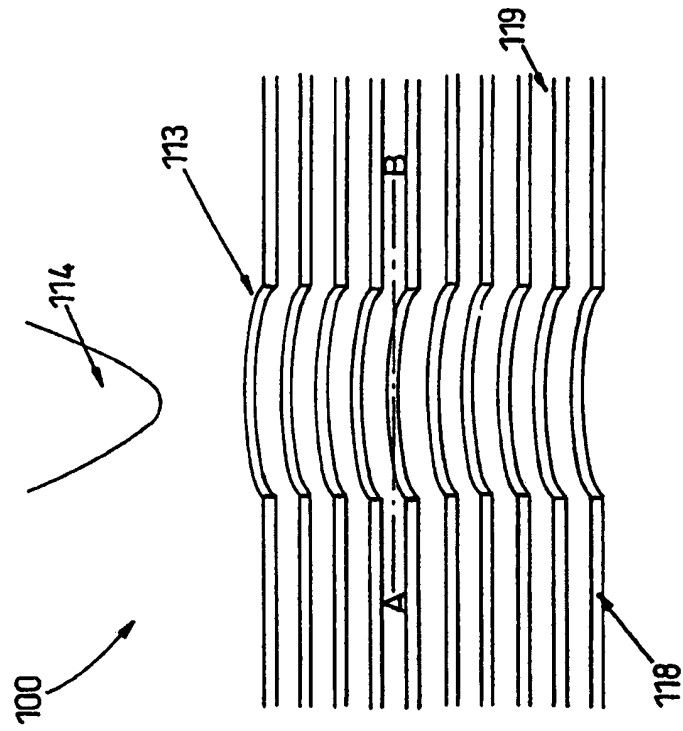


图5b

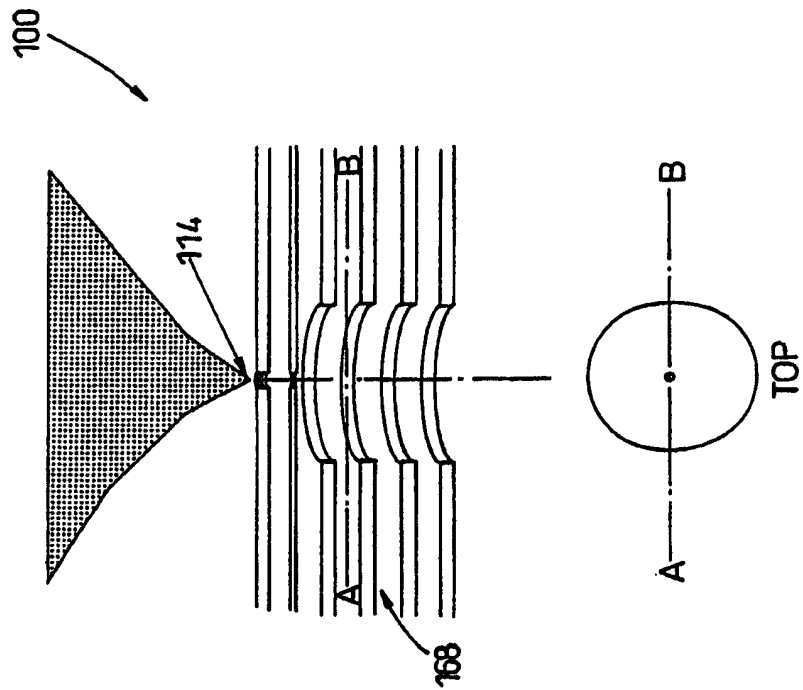


图5a

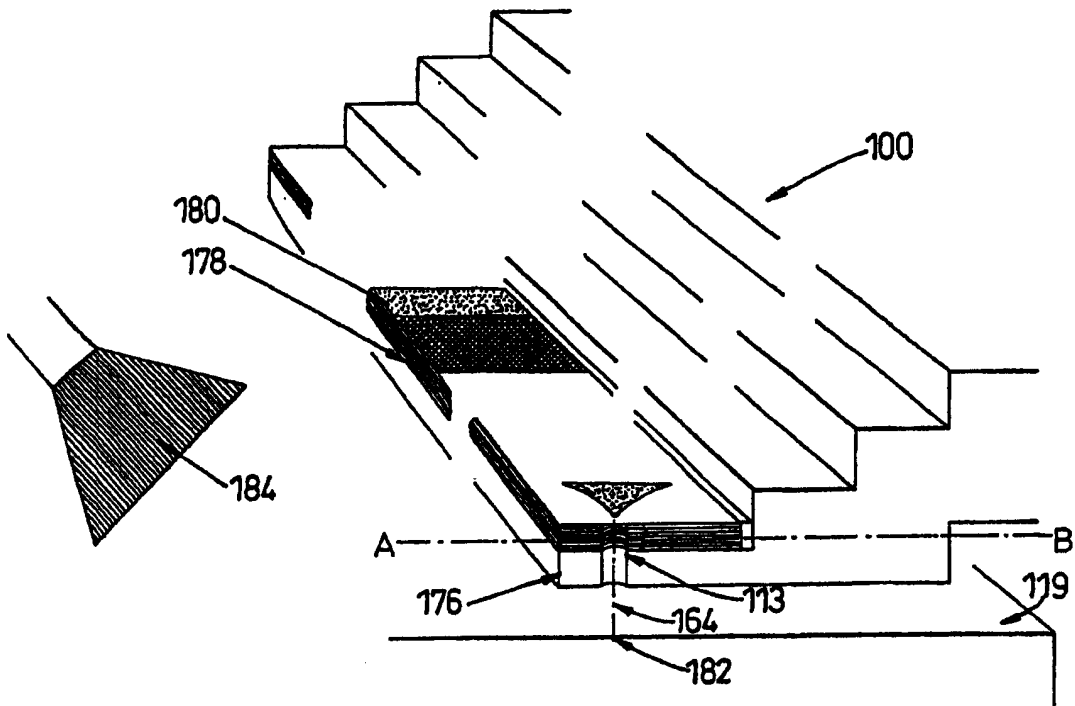


图6a

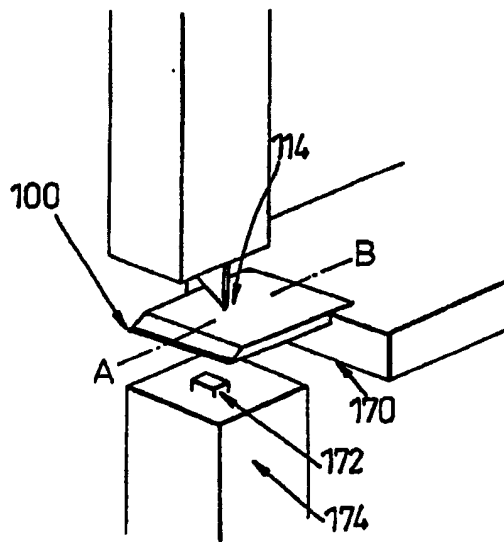


图6b

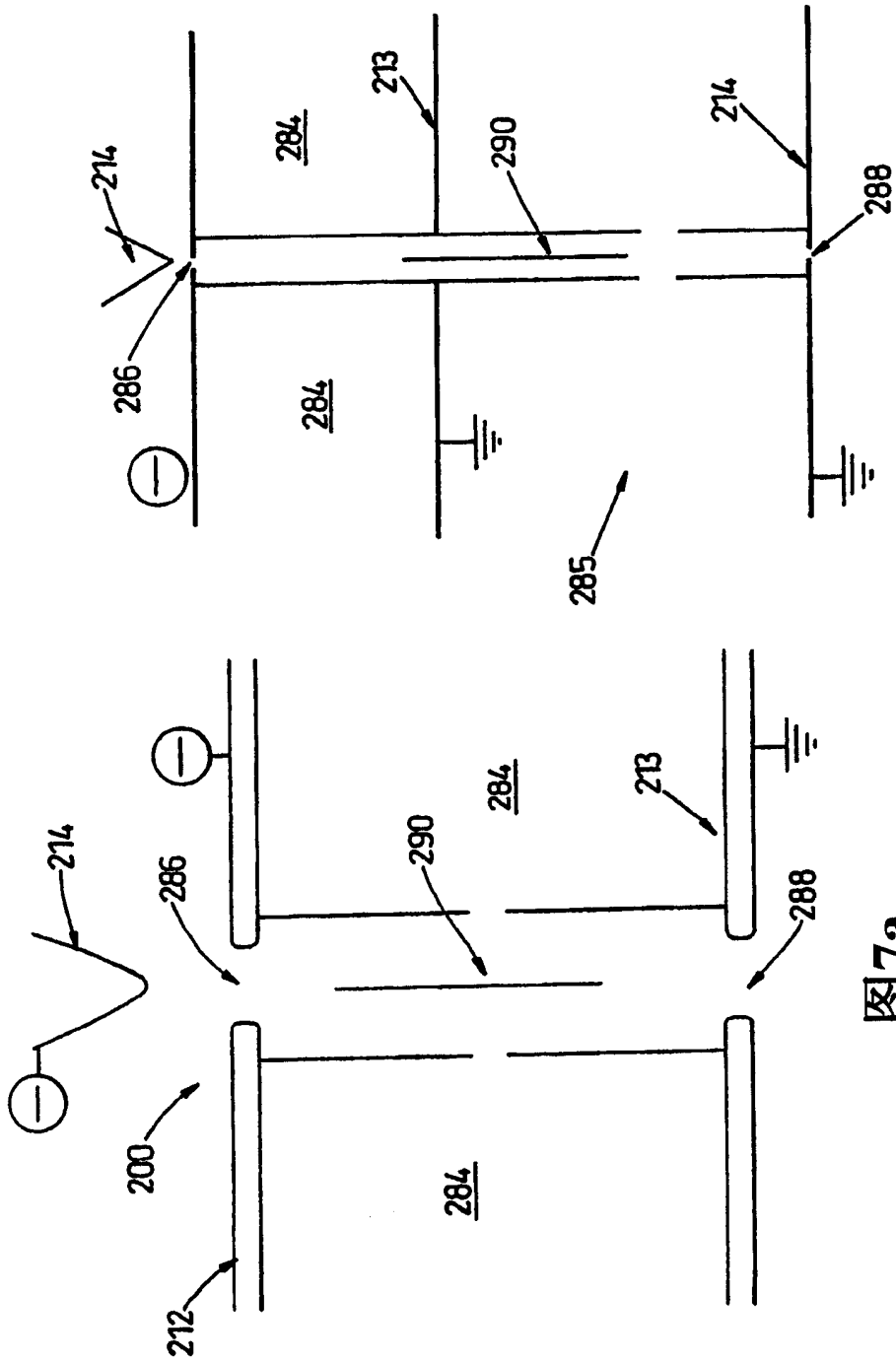
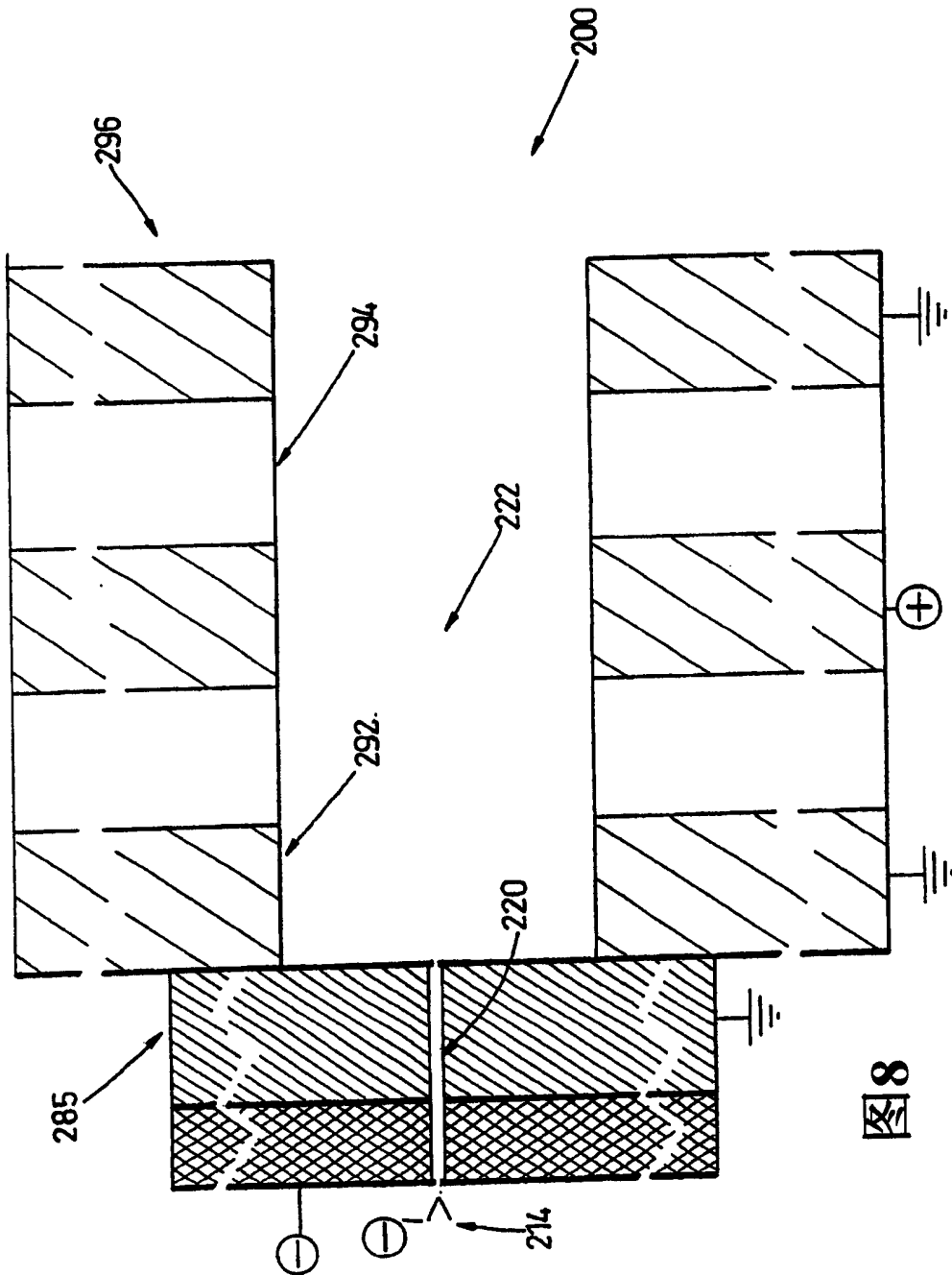


图7a

图7b



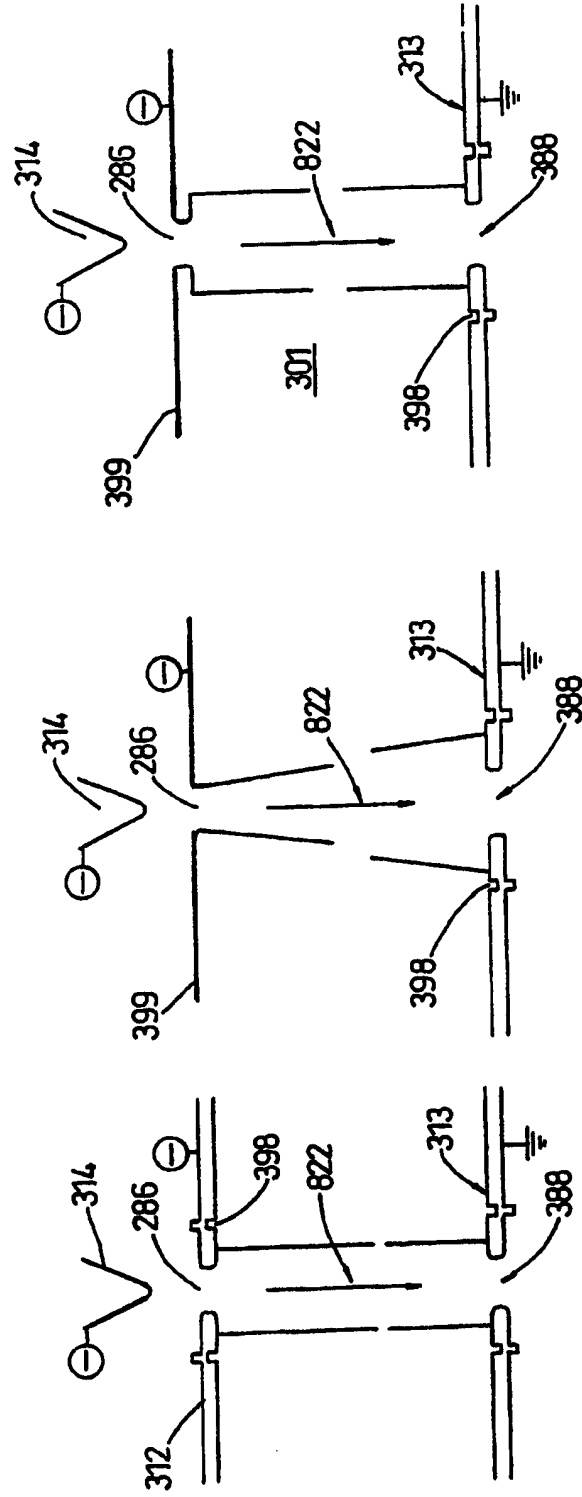


图9c

图9b

图9a