



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111447876 A

(43)申请公布日 2020.07.24

(21)申请号 201880071926.6

(74)专利代理机构 北京康信知识产权代理有限公司 11240

(22)申请日 2018.09.27

代理人 刘彬

(30)优先权数据

62/587,147 2017.11.16 US

16/142,334 2018.09.26 US

(51)Int.Cl.

A61B 6/00(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2020.05.07

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2018/053137 2018.09.27

(87)PCT国际申请的公布数据

W02019/099109 EN 2019.05.23

(71)申请人 莫克斯泰克公司

地址 美国犹他

(72)发明人 埃里克·米勒 戴维·S·霍夫曼

文森特·F·琼斯

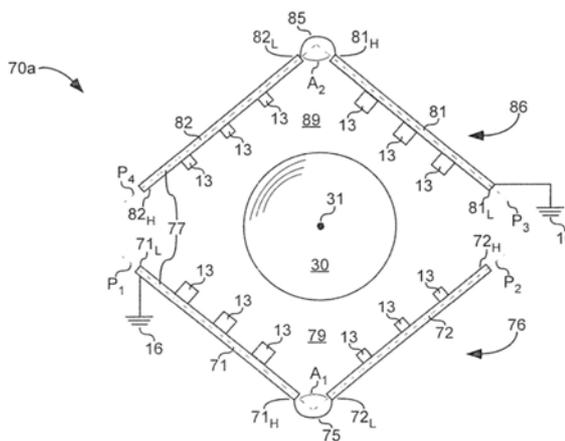
权利要求书3页 说明书10页 附图17页

(54)发明名称

具有非平面电压倍增器的X射线源

(57)摘要

为了减少对电压倍增器所产生的大电压进行电压隔离所需的电绝缘材料量,所述电压倍增器(10,60,76,77,86,111,112,116)可以被成形为使电场梯度平滑。所述电压倍增器可以包括多个区段,每个区段位于不同平面(P₁₋₇)中。所述电压倍增器可以包括负电压倍增器(76)和正电压倍增器(86),每个电压倍增器相对于彼此以不同角度倾斜。所述电压倍增器(171,172,180,181,182)可以包含弯曲形状。



1. 一种x射线源,包括:

电压倍增器,所述电压倍增器能够倍增输入电压以产生具有 $\geq 2\text{kV}$ 的绝对值的输出偏置电压,所述电压倍增器包括:

位于第一平面中的低压区段以及位于第二平面中的高压区段;

所述第一平面和所述第二平面形成V形,其中所述V形的通道的角度 $\geq 60^\circ$ 且 $\leq 170^\circ$;

所述低压区段能够产生绝对值 $\geq 1\text{kV}$ 的偏置电压并且将输入电力提供到所述高压区段;以及

所述高压区段能够产生绝对值 $\geq 1\text{kV}$ 的偏置电压并且在所述输出偏置电压下将输出电力提供到高压设备;

x射线管,所述x射线管位于所述V形的所述通道中;以及

所述电压倍增器电耦合到所述x射线管并且能够将所述输出偏置电压提供到所述x射线管。

2. 根据权利要求1所述的x射线源,其进一步包括:

电晕防护器;

所述电晕防护器包含至少部分地缠绕所述电压倍增器的弯曲轮廓;

所述电晕防护器在所述弯曲轮廓的凹面处具有电阻率 $\geq 10^5 \Omega \cdot \text{m}$ 的材料;以及

电压传感器,所述电压传感器电耦合到所述输出偏置电压并且位于所述弯曲轮廓的凸面上。

3. 根据权利要求1所述的x射线源,其中:

所述V形是初级V形,所述电压倍增器是负电压倍增器,所述输出偏置电压是负输出偏置电压,所述负电压倍增器电耦合到所述x射线管的阴极并且能够将所述负输出偏置电压提供到所述阴极,所述低压区段是负低压区段,并且所述高压区段是负高压区段;

所述x射线源进一步包括正电压倍增器,所述正电压倍增器能够倍增输入电压以产生 $\geq 2\text{kV}$ 的正输出偏置电压,所述正电压倍增器包括:

位于第三平面中的正低压区段以及位于第四平面中的正高压区段;

所述第三平面和所述第四平面形成次级V形,其中所述次级V形的通道的角度 $\geq 60^\circ$ 且 $\leq 170^\circ$;

所述正低压区段能够产生 $\geq 1\text{kV}$ 的偏置电压并且将输入电力提供到所述正高压区段的输入;以及

所述正高压区段能够产生 $\geq 1\text{kV}$ 的偏置电压,电耦合到所述x射线管的阳极,并且能够将所述正输出偏置电压提供到所述阳极。

4. 一种x射线源,包括:

电压倍增器,所述电压倍增器包含:

负电压倍增器,所述负电压倍增器能够倍增输入电压以产生具有 $\leq -2\text{kV}$ 的值的负输出偏置电压,所述负电压倍增器具有限定负低压端的电压绝对值最低的末端,以及限定负高压端的电压绝对值最高的末端;

正电压倍增器,所述正电压倍增器能够倍增输入电压以产生具有 $\geq 2\text{kV}$ 的值的正输出偏置电压,所述正电压倍增器具有限定正低压端的电压最低的末端,以及限定正高压端的电压最高的末端;以及

所述负电压倍增器和所述正电压倍增器相对于彼此以不同角度倾斜,使得所述电压倍增器的端视图通过所述负电压倍增器的平面与所述正电压倍增器的平面相交而形成X形;

x射线管,所述x射线管位于所述X形的通道中;

所述负电压倍增器:电耦合到所述x射线管的阴极;位置上比所述正电压倍增器更接近所述阴极;以及能够在所述负输出偏置电压下将电力提供到所述阴极;以及

所述正电压倍增器:电耦合到所述x射线管的阳极;位置上比所述负电压倍增器更接近所述阳极;以及能够在所述正输出偏置电压下将电力提供到所述阳极。

5. 根据权利要求4所述的电压倍增器,其中所述X形的所述通道的角度 $\geq 15^\circ$ 且 $\leq 170^\circ$ 。

6. 根据权利要求4所述的x射线源,其进一步包括:

电晕防护器;

所述电晕防护器包含至少部分地缠绕所述负电压倍增器和所述正电压倍增器的弯曲轮廓;

所述电晕防护器在所述弯曲轮廓的凹面处具有电阻率 $\geq 10^5 \Omega \cdot \text{m}$ 的材料;

电压传感器,所述电压传感器电耦合到所述输出偏置电压并且位于所述弯曲轮廓的凸面上;

负电压传感器,所述负电压传感器电耦合到所述负输出偏置电压并且位于所述弯曲轮廓的凸面上;以及

正电压传感器,所述正电压传感器电耦合到所述正输出偏置电压并且位于所述弯曲轮廓的所述凸面上。

7. 一种x射线源,包括:

电压倍增器,所述电压倍增器能够倍增输入电压以产生具有 $\geq 2\text{kV}$ 的绝对值的输出偏置电压,所述电压倍增器包括:

具有最低电压绝对值的第一端以及具有最高电压绝对值的第二端,具有从所述第一端至所述第二端逐渐增加的电压绝对值,所述电压倍增器能够在所述第一端与所述第二端之间产生绝对值 $\geq 2\text{kV}$ 的偏置电压;以及

弯曲形状,其中电压绝对值的增加方向在所述弯曲形状中至少部分地缠绕一条轴线,所述轴线定义为电压倍增器轴线;

x射线管,所述x射线管位于所述弯曲形状的凹面上;以及

所述电压倍增器电耦合到所述x射线管并且能够在所述输出偏置电压下将电力提供到所述x射线管。

8. 根据权利要求7所述的x射线源,其进一步包括:

电晕防护器,所述电晕防护器包含弯曲轮廓,所述弯曲轮廓至少部分地缠绕所述电压倍增器;以及

在所述弯曲轮廓的凹面处的材料的电阻率除以在所述弯曲轮廓的凸面处的材料的电阻率 $\geq 10^6$ 。

9. 根据权利要求7所述的x射线源,其中:

所述电压倍增器是负电压倍增器,所述输出偏置电压是 $\leq -2\text{kV}$ 的负输出偏置电压,所述负电压倍增器电耦合到所述x射线管的阴极,并且所述弯曲形状是初级弯曲形状;

所述x射线源进一步包括正电压倍增器,所述正电压倍增器:

能够从具有最低电压的第一端子至具有最高电压的第二端子将输入电压倍增,具有从所述第一端子至所述第二端子逐渐增加的电压,以将 $\geq 2\text{kV}$ 的正输出偏置电压提供到所述x射线管的阳极;以及

包含次级弯曲形状,其中电压的增加方向在所述次级弯曲形状中至少部分地缠绕所述电压倍增器轴线。

10. 根据权利要求9所述的x射线源,其中如从所述电压倍增器轴线的末端查看,所述初级弯曲形状或所述次级弯曲形状顺时针缠绕所述电压倍增器轴线,并且所述初级弯曲形状或所述次级弯曲形状中的另一个逆时针缠绕所述电压倍增器轴线。

具有非平面电压倍增器的X射线源

技术领域

[0001] 本申请大体上涉及x射线源。

背景技术

[0002] 电压倍增器可以产生几千伏特的电压差。在x射线源中,此电压差可以用于使电子从阴极发出,到达阳极上则停止,并且产生x射线。用于隔离此电压差的电绝缘材料可能笨重且昂贵。对于便携式装置(例如,便携式x射线源),此种电绝缘材料的重量可能特别成问题。如果装置需要插入到较小位置中,则电绝缘材料的尺寸可能是一个问题。需要减少对电压倍增器所产生的大电压进行电压隔离所需的电绝缘材料量。

发明内容

[0003] 已经认识到,减少对x射线源中的电压倍增器所产生的大电压进行电压隔离所需的电绝缘材料量将会非常有利。本发明涉及具有满足此需求的电压倍增器的x射线源的各种实施例。电压倍增器可以被成形为使电场梯度平滑,从而减少所需的电绝缘材料。

[0004] 在一个实施例中,电压倍增器可以包括位于第一平面中的低压区段以及位于第二平面中的高压区段。第一平面和第二平面可以形成V形。

[0005] 在另一实施例中,电压倍增器可以包括负电压倍增器和正电压倍增器。负电压倍增器和正电压倍增器可以相对于彼此以不同角度倾斜,使得电压倍增器的侧视图通过电压倍增器的平面相交而形成X形。

[0006] 在另一实施例中,电压倍增器可以包括具有最低电压绝对值的第一端以及具有最高电压绝对值的第二端,以及从所述第一端至所述第二端逐渐增加的电压绝对值。电压倍增器还可以包含弯曲形状,其中电压绝对值的增加方向在弯曲形状中至少部分地缠绕电压倍增器轴线。

[0007] 附图说明(附图可能未按比例绘制)

[0008] 图1是根据本发明的实施例的电压倍增器10的示意性端视图,所述电压倍增器包括位于第一平面 P_1 中的低压区段11以及位于第二平面 P_2 中的高压区段12,第一平面 P_1 和第二平面 P_2 形成具有V形通道的角度 A_1 的V形。

[0009] 图2是根据本发明的实施例的图1的电压倍增器10的示意性透视图。

[0010] 图3a是根据本发明的实施例的x射线源30a的示意性端视图,所述x射线源包括图1的电压倍增器10,x射线源30a进一步包括:(i)在V形通道19中的x射线管30,其中x射线管轴线31与V形通道19对准;以及(ii)电晕防护器35,所述电晕防护器具有至少部分地缠绕电压倍增器10和x射线管30的弯曲轮廓。

[0011] 图3b是根据本发明的实施例的x射线源30b的示意性端视图,所述x射线源类似于x射线源30a,但进一步包括在电晕防护器35的弯曲轮廓的凸面上的电压传感器39。

[0012] 图4和图5是根据本发明的实施例的x射线源40和50的示意性透视图,所述x射线源类似于x射线源30a和30b,但不具有电晕防护器35和电压传感器39。

[0013] 图6是根据本发明的实施例的电压倍增器60的示意性端视图,所述电压倍增器类似于电压倍增器10,但进一步包括电耦合在低压区段11与高压区段12之间的中间电压区段61。

[0014] 图7a至图7b是根据本发明的实施例的x射线源70a和70b的示意性端视图,所述x射线源类似于图3a至图5中的x射线源,但是V形是初级V形,电压倍增器10是负电压倍增器76,低压区段11是负低压区段71并且高压区段12是负高压区段72;x射线源进一步包括正电压倍增器86,包含位于第三平面P₃中的正低压区段81和位于第四平面P₄中的正高压区段82,第三平面P₃和第四平面P₄形成具有次级V形通道89的角度A₂的V形。

[0015] 图8是根据本发明的实施例的x射线源80的示意性端视图,所述x射线源类似于x射线源70,但进一步包括第一向量V₁、第二向量V₂,以及在第一向量V₁与第二向量V₂之间的角度A₅。

[0016] 图9是根据本发明的实施例的x射线源80的示意性俯视图。

[0017] 图10a至图10b是根据本发明的实施例的x射线源100a和100b的示意性端视图,所述x射线源类似于x射线源80,但进一步包括:(i) 第二平面P₂与第四平面P₄之间的角度A₆;(ii) 第五平面P₅中的负电压感测电阻器107以及第六平面P₆中的正电压感测电阻器108;以及(iii) 包围x射线管30的第一平面P₁、第二平面P₂、第三平面P₃、第四平面P₄、第五平面P₅,以及第六平面P₆。

[0018] 图11是根据本发明的实施例的x射线源110的示意性端视图,所述x射线源包括x射线管30和电压倍增器116,电压倍增器包括负电压倍增器111和正电压倍增器112,负电压倍增器111和正电压倍增器112相对于彼此以不同角度倾斜,使得电压倍增器的端视图通过负电压倍增器111的平面P_N和正电压倍增器112的平面P_P相交而形成X形。

[0019] 图12是根据本发明的实施例的x射线源110的示意性俯视图。

[0020] 图13是根据本发明的实施例的x射线源130的示意性端视图,所述x射线源130类似于x射线源110,但进一步包括正高压端112_H与负高压端111_H之间的距离D_H,所述距离大于正低压端112_L与负低压端111_L之间的距离D_L。

[0021] 图14是根据本发明的实施例的x射线源140的示意性端视图,所述x射线源类似于x射线源110,但进一步包括在端视图中相交的电压倍增器111和112。

[0022] 图15a是根据本发明的实施例的x射线源150的示意性端视图,所述x射线源类似于x射线源110、130和140,但进一步包括:(i) 电晕防护器35,所述电晕防护器具有至少部分地缠绕电压倍增器116和x射线管30的弯曲轮廓;以及(ii) 负电压传感器159,所述负电压传感器电耦合到负输出偏置电压74并且位于弯曲轮廓的凸面上。

[0023] 图15b是根据本发明的实施例的从与图15a中所示相反的一端查看的x射线源150的示意性端视图,还示出电耦合到正输出偏置电压84并且位于弯曲轮廓的凸面上的正电压传感器169。

[0024] 图16是根据本发明的实施例的x射线源150的示意性俯视图。

[0025] 图17a是根据本发明的实施例的电压倍增器171的示意性端视图,所述电压倍增器包括具有最低电压绝对值的第一端171_L和具有最高电压绝对值的第二端171_H;从第一端171_L至第二端171_H逐渐增加的电压绝对值;在弯曲形状中至少部分地缠绕一条轴线的电压绝对值的增加方向171_C,所述轴线定义为电压倍增器轴线173。

[0026] 图17b是根据本发明的实施例的电压倍增器172的示意性端视图,所述电压倍增器类似于电压倍增器171,然而不同之处在于,电压倍增器171的弯曲形状是连续且平滑的,电压倍增器172的弯曲形状是分段的,即由多个区段174形成。

[0027] 图18是根据本发明的实施例的电压倍增器180的示意性端视图,所述电压倍增器180类似于电压倍增器171或172,电压倍增器180包含:具有初级弯曲形状的负电压倍增器181,其具有电压绝对值的增加方向181c;以及具有次级弯曲形状的正电压倍增器182,其具有电压的增加方向182c。

[0028] 图19是根据本发明的实施例的包括x射线管30和电压倍增器180的x射线源190的示意性端视图。

[0029] 图20是根据本发明的实施例的x射线源190的示意性俯视图。

[0030] 图21是根据本发明的实施例的x射线源210的示意性端视图,所述x射线源类似于x射线源190,但进一步包括电晕防护器35,所述电晕防护器具有至少部分地缠绕电压倍增器180和x射线管30的弯曲轮廓。

[0031] 图22是根据本发明的实施例的x射线源220的示意性端视图,所述x射线源类似于x射线源210,但进一步包括电耦合到负输出偏置电压74的负电压传感器206以及电耦合到正输出偏置电压84的正电压传感器207,两者均位于弯曲轮廓的凸面上。

[0032] 定义

[0033] 如本文所使用,术语“对准”包含精确对准,使得对准的物品平行,并且还包含基本上对准,使得对准的物品在大致相同的方向上延伸并且几乎平行,例如,在平行的 10° 内、 20° 内或 30° 内。

[0034] 如本文所使用,相对于电压倍增器的形状的术语“弯曲形状”包含连续、平滑、弯曲形状(例如,柔性电路板,参看图17a),并且还包含由多个小区段形成的弯曲形状,所述多个小区段铰接以形成弯曲形状(例如,参看图17b中的区段174)。

[0035] 如本文所使用,术语“kV”表示千伏特。

[0036] 如本文所使用,除非另外规定,否则术语“低压”和“高压”是指电压绝对值。因此,相对于2kV和-2kV,20kV和-20kV均为“高压”。

[0037] 如本文所使用,术语“V形”包含具有渐缩至点的两条线或渐缩至通道的两个平面的形状,并且包含具有比传统V大的内角的形状。因此,尽管传统的V具有约 40° 的内角,但是如本文所使用的术语“V形”包含类似形状,其中两条线或两个平面之间的角度 $\geq 10^\circ$ 且 $\leq 170^\circ$ 。

具体实施方式

[0038] V形

[0039] 如图1至图6中所说明,示出电压倍增器,包括第一平面 P_1 中的低压区段11和第二平面 P_2 中的高压区段12。第一平面 P_1 和第二平面 P_2 可以形成具有V形通道19的角度 A_1 的V形。角度 A_1 的实例包含 $\geq 10^\circ$ 、 $\geq 25^\circ$ 、 $\geq 45^\circ$ 、 $\geq 60^\circ$ 、 $\geq 70^\circ$ 、 $\geq 80^\circ$,或 $\geq 90^\circ$,以及 $\leq 100^\circ$ 、 $\leq 120^\circ$ 、 $\leq 140^\circ$ 、 $\leq 160^\circ$ 、 $\leq 170^\circ$ 。

[0040] 低压区段11可以包含具有低压区段11中的最低电压绝对值的低压端 11_L ,以及具有低压区段11中的最高电压绝对值的高压端 11_H 。低压区段11可以产生低压端 11_L 与高压端

11_H之间的电压差,例如,≥500伏特、≥1kV、≥10kV,或≥30kV的电压差。

[0041] 高压区段12可以包含具有高压区段12中的最低电压绝对值的低压端12_L,以及具有高压区段12中的最高电压绝对值的高压端12_H。高压区段12可以产生低压端12_L与高压端12_H之间的电压差,例如,≥500伏特、≥1kV、≥10kV,或≥30kV的电压差。

[0042] 低压区段11的高压端11_H可以将输入电力提供到高压区段12的低压端12_L(例如,通过电气连接15)。高压区段12可以在输出偏置电压下(由附图标记34表示)将输出电力提供到高压设备。输出偏置电压34的实例包含≥1kV、≥2kV、≥20kV,或≥60kV的绝对值。

[0043] 如图3a至图5中所示,x射线源30a、30b、40和50可以包括电压倍增器10加上x射线管30。x射线管30可以包含两端42,一端可以是阴极且另一端是阳极。电压倍增器10可以从高压区段12的高压端12_H电耦合到x射线管30,并且可以将输出偏置电压34提供到x射线管30的末端42中的一端。电压倍增器10还可以从低压区段11的低压端11_L电耦合到36x射线管30。如果x射线管30是单极的,则这种电连接36还可以是与接地电压16的连接。在本文中提及接地电压16可以是与接地电压16的直接连接,或通过其它中间组件与接地电压16连接。

[0044] x射线管30可以位于电压倍增器10的V形通道19中。从与阴极相关联的电子发射极延伸到与阳极相关联的目标材料的x射线管轴线31可以与V形通道19对准,如图3a至图5中所示。

[0045] 电压倍增器10的V形以及x射线管轴线31与V形通道19的对准可以使电场梯度平滑化,因此允许以减小的电绝缘材料获得更大电压隔绝。因此,对于给定的x射线管额定电压,x射线源可以较小且较轻。

[0046] 如图3a和3b中所示,x射线源30a和30b可以进一步包括电晕防护器35。电晕防护器35可以包含弯曲轮廓。弯曲轮廓可以至少部分地缠绕电压倍增器10和/或x射线管30的弯曲圆柱形形状。因此,例如,弯曲轮廓可以缠绕电压倍增器10和/或x射线管30的弯曲圆柱形形状的360°圆周达至少135°、至少180°、至少270°或至少315°。例如,图3a的弯曲轮廓缠绕360°圆周的约240°。在图3a至图3b中示出沿着x射线管轴线31具有一致截面形状的电晕防护器35的弯曲轮廓。然而,弯曲轮廓可以具有变窄的轮廓或形状(类似于圆锥形状)以节省空间并且改进电场梯度。例如,电晕防护器35的弯曲轮廓可以在较低电压附近更接近x射线管30或电压倍增器10并且在较高电压附近更远离x射线管30或电压倍增器10。

[0047] 电晕防护器35在弯曲轮廓的凹面处可以具有电阻率≥10⁵Ω*m、≥10⁷Ω*m、≥10⁹Ω*m,或≥10¹¹Ω*m的材料。此材料可以是陶瓷或可以包含陶瓷。在弯曲轮廓的凸面处的材料可以具有比凹面处的材料低的电阻率。这提供面向电压倍增器的电绝缘表面以减少电弧放电的可能性,并且在凸面处提供具有较高导电率的表面,以成形并平滑化电场梯度。因此,例如,弯曲轮廓的凹面处的材料的电阻率除以弯曲轮廓的凸面处的材料的电阻率可以是≥10⁴、≥10⁶、≥10⁸、≥10¹⁰、≥10¹²,或≥10¹⁴。

[0048] 如图3b中所示,凸面处的材料的一个选项是电压传感器39。这提供了以下双重优势:提供具有比凹面处的材料低的电阻率的材料,并且节省了空间。电压感测电阻器占用宝贵的空间,尤其在便携式x射线源中,并且节省此空间可能是相当大的优势。标准电压感测电阻器的另一问题是所述电阻器通常具有矩形形状,其中拐角处的电场梯度可能很高,因此增加电弧放电故障的可能性。将此电压感测电阻器39放置于平滑的弯曲轮廓上可以有助于避免此种电弧放电故障。电压感测电阻器39可以是涂在凸面上的介电油墨。电压感测电

阻器39的其它可能性包含可以附接到凸面的导线或附接到凸面的金属(例如,Ag、Au、Cu)迹线。

[0049] 电压感测电阻器39可以缠绕电压倍增器10和/或x射线管30的弯曲圆柱形形状的相当大部分,例如,缠绕电压倍增器10和/或x射线管30的弯曲圆柱形形状的360°圆周至少135°、至少180°、至少270°或至少315°。例如,图3b的电压感测电阻器39的弯曲轮廓围绕电压倍增器10和x射线管30的弯曲圆柱形形状缠绕360°圆周的约240°。

[0050] 如图5中所示,为了进一步使电场梯度平滑并且减小电弧放电故障的可能性,x射线管30可以朝向高压区段12的高压端12_H移位。因此,与在高压区段12上具有最高电压绝对值的位置(例如,高压端12_H)相比,在低压区段11上具有最低电压绝对值的位置(例如,低压端11_L)可以距离x射线管30远 ≥ 1.5 倍、远 ≥ 2 倍、远 ≥ 3 倍,或远 ≥ 4 倍。换句话说, $D_1/D_2 \geq 1.5$ 、 $D_1/D_2 \geq 2$ 、 $D_1/D_2 \geq 3$,或 $D_1/D_2 \geq 4$,其中 D_1 是低压区段11的低压端11_L与x射线导管30之间的距离,并且 D_2 是高压区段12的高压端12_H与x射线管30之间的距离。在一个实施例中,高压区段12的高压端12_H可以直接接触x射线管30。先前句子中的术语“直接接触”意指高压端12_H的电子组件接触x射线管30,而不仅仅是导线将高压端12_H电连接到x射线管30。因此,如果 $D_2 = 0$,则 D_1/D_2 可以等于无穷大。

[0051] 如图6中所示,电压倍增器60可以类似于电压倍增器10,其中低压区段11的第一平面 P_1 和高压区段12的第二平面 P_2 形成V形,但进一步包括电耦合在低压区段11与高压区段12之间的中间电压区段61。中间电压区段61可以从低压区段11的高压端11_H接收输入电力,可以产生绝对值 ≥ 500 伏特、 ≥ 1 kV,或 ≥ 10 kV的偏置电压,并且可以将输入电力提供到高压区段12的低压端12_L。因此,例如,低压区段11的高压端11_H和高压区段12的低压端12_L可以具有相同电压,或如图1至图5中所示具有 ≤ 0.1 伏特、 ≤ 1 伏特、 ≤ 10 伏特,或 ≤ 100 伏特的电压差,或如图6中所示,低压区段11的高压端11_H和高压区段12的低压端12_L可以具有 ≥ 500 伏特、 ≥ 1 kV,或 ≥ 10 kV的电压差。

[0052] 中间电压区段61可以位于第七平面 P_7 中。第七平面 P_7 可以不同于第一平面 P_1 和第二平面 P_2 。均位于第七平面 P_7 的同一侧上的第七平面 P_7 与第一平面 P_1 之间的角度 A_3 以及第七平面 P_7 与第二平面 P_2 之间的角度 A_4 各自可以具有相同值或不同值,并且此类值可以 $\geq 5^\circ$ 、 $\geq 15^\circ$ 、 $\geq 30^\circ$ 、 $\geq 60^\circ$,或 $\geq 90^\circ$ 且 $\leq 110^\circ$ 、 $\leq 130^\circ$ 、 $\leq 150^\circ$ 、 $\leq 170^\circ$,或 $\leq 175^\circ$ 。

[0053] 在图7a至图10中的x射线源70、80和100可以包括x射线管30和电压倍增器77。电压倍增器77可以包含负电压倍增器76和正电压倍增器86,所述负电压倍增器和正电压倍增器中的每一者可以具有上述电压倍增器10和60的特性。

[0054] 负电压倍增器76可以包含第一平面 P_1 中的负低压区段71和第二平面 P_2 中的负高压区段72。第一平面 P_1 和第二平面 P_2 可以形成具有初级V形通道79的角度 A_1 的初级V形,所述角度具有上述角度 A_1 的值。

[0055] 负低压区段71可以包含具有负低压区段71中的最低电压绝对值的负低压端71_L,以及具有负低压区段71中的最高电压绝对值的负高压端71_H。负低压区段71可以产生负低压端71_L与负高压端71_H之间的电压差,例如, ≥ 500 伏特、 ≥ 1 kV、 ≥ 10 kV,或 ≥ 30 kV的电压差。

[0056] 负高压区段72可以包含具有负高压区段72中的最低电压绝对值的负低压端72_L,以及具有负高压区段72中的最高电压绝对值的负高压端72_H。负高压区段72可以产生负低压端72_L与负高压端72_H之间的电压差,例如, ≥ 500 伏特、 ≥ 1 kV、 ≥ 10 kV,或 ≥ 30 kV的电压差。

[0057] 负低压区段11的负高压端71_H可以将输入电力提供到负高压区段72的负低压端72_L。负高压区段72可以在负输出偏置电压下(由附图标记74表示)电耦合到x射线管30的阴极91并且可以将输出电力提供到x射线管30的阴极91。负输出偏置电压74的实例包含 $\leq -1\text{kV}$ 、 $\leq -2\text{kV}$ 、 $\leq -20\text{kV}$,或 $\leq -60\text{kV}$ 。

[0058] 正电压倍增器86可以包含第三平面P₃中的正低压区段81以及第四平面P₄中的正高压区段12。第三平面P₃和第四平面P₄可以形成具有次级V形通道89的角度A₂的次级V形。角度A₂的实例包含 $\geq 10^\circ$ 、 $\geq 25^\circ$ 、 $\geq 45^\circ$ 、 $\geq 60^\circ$ 、 $\geq 70^\circ$ 、 $\geq 80^\circ$,或 $\geq 90^\circ$,以及 $\leq 100^\circ$ 、 $\leq 120^\circ$ 、 $\leq 140^\circ$ 、 $\leq 160^\circ$ 、 $\leq 170^\circ$ 。

[0059] 正低压区段81可以包含具有正低压区段81中的最低电压的正低压端81_L,以及具有正低压区段81中的最高电压的正高压端81_H。正低压区段81可以产生正低压端81_L与正高压端81_H之间的电压差,例如, ≥ 500 伏特、 $\geq 1\text{kV}$ 、 $\geq 10\text{kV}$,或 $\geq 30\text{kV}$ 的电压差。

[0060] 正高压区段82可以包含具有正高压区段82中的最低电压的正低压端82_L,以及具有正高压区段82中的最高电压的正高压端82_H。正高压区段82可以产生正低压端82_L与正高压端82_H之间的电压差,例如, ≥ 500 伏特、 $\geq 1\text{kV}$ 、 $\geq 10\text{kV}$,或 $\geq 30\text{kV}$ 的电压差。

[0061] 正低压区段81的正高压端81_H可以将输入电力提供到正高压区段82的正低压端82_L。正高压区段82可以在正输出偏置电压下(由附图标记84表示)电耦合到x射线管30的阳极92并且可以将输出电力提供到x射线管30的阳极92。正输出偏置电压84的实例包含 $\geq 1\text{kV}$ 、 $\geq 2\text{kV}$ 、 $\geq 20\text{kV}$,或 $\geq 60\text{kV}$ 。

[0062] 电压倍增器77可以适用于双极装置,例如,双极x射线管。负电压倍增器76、正电压倍增器86和x射线管31可以被定向成最小化电场梯度。x射线管30可以位于初级V形通道79中以及次级V形通道89中。而且,例如,如在图7a、图8和9的x射线源70a和80上所说明,从与阴极91相关联的电子发射极延伸到与阳极92相关联的目标材料的x射线管轴线31可以与初级V形通道79和次级V形通道89对准。或者,如在图7b的x射线源70b上所说明,x射线管轴线31可以与通道79和通道89不对准。可以基于x射线源壳体的总体限制以及所需的x射线源电压在这些设计之间进行选择。

[0063] 用于最小化电场梯度的设计的另一实例是图8至图9中的x射线源80,所述x射线源具有负电压倍增器76、正电压倍增器86以及具有如上所述但定向不同的x射线管31。向量将用于描述其定向。第一向量V₁可以从负低压区段71上具有最低电压绝对值的位置(例如,负低压端71_L)延伸到负高压区段72上具有最高电压绝对值的位置(负高压端72_H)。第二向量V₂可以从正低压区段81上具有最低电压的位置(例如,正低压端81_L)延伸到正高压区段82上具有最高电压的位置(正高压端82_H)。平行于x射线管轴线31查看,第一向量V₁与第二向量V₂之间的角度A₅可以 $\geq 45^\circ$ 、 $\geq 70^\circ$ 、 $\geq 90^\circ$ 或 $\geq 110^\circ$;并且可以 $\leq 120^\circ$ 、 $\leq 150^\circ$,或 $\leq 170^\circ$ 。

[0064] 用于最小化电场梯度的设计的其它实例是图10a至图10b中的x射线源100a和100b,所述x射线源类似于先前描述的那些x射线源,但如下进行修改。第一平面P₁和第三平面P₃可以定向成平行的,如图10所示,或者可以定向成以 $\leq 3^\circ$ 、 $\leq 5^\circ$ 、 $\leq 10^\circ$ 、 $\leq 20^\circ$,或 $\leq 30^\circ$ 的角度相交。作为另一实例,第二平面P₂和第四平面P₄可以是平行的或可以以 $\leq 150^\circ$ 、 $\leq 110^\circ$ 、 $\leq 90^\circ$ 、 $\leq 50^\circ$ 、 $\leq 25^\circ$ 的角度A₆相交。

[0065] 负电压感测电阻器107可以电耦合在负输出偏置电压74与接地电压16之间,所述负电压感测电阻器107位于第五平面P₅中。正电压感测电阻器108可以电耦合在正输出偏置

电压84与接地电压16之间,所述正电压感测电阻器108位于第六平面P₆中。

[0066] 如图10a中所示,负低压区段71、负高压区段72、正低压区段81、正高压区段82、负电压感测电阻器107和正电压感测电阻器108可以围绕x射线管30。如图10a至图10b中所示,第一平面P₁、第二平面P₂、第三平面P₃、第四平面P₄、第五平面P₅和第六平面P₆可以围绕x射线管30。

[0067] 最小化电场梯度的另一实例是将负输出偏置电压74和正输出偏置电压84定位在x射线管30的相对侧上。位于x射线管30的相对侧上意指负高压区段72的负高压端72_H与正高压区段82的正高压端82_H之间的直线105必须穿过x射线管30。

[0068] X形

[0069] 图11至图16中所示的电压倍增器116包含负电压倍增器111和正电压倍增器112。负电压倍增器111可以将输入电压倍增以产生具有例如 ≤ -500 伏特、 $\leq -1\text{kV}$ 、 $\leq -2\text{kV}$,或 $\leq -10\text{kV}$ 的值的负输出偏置电压74。负电压倍增器111可以具有限定负低压端111_L的电压绝对值最低的末端,以及限定负高压端111_H的电压绝对值最高的末端。正电压倍增器112可以将输入电压倍增以产生具有例如 ≥ 500 伏特、 $\geq 1\text{kV}$ 、 $\geq 2\text{kV}$,或 $\geq 10\text{kV}$ 的值的正输出偏置电压84。正电压倍增器112可以具有限定正低压端112_L的电压最低的末端,以及限定正高压端112_H的电压最高的末端。负电压倍增器111和正电压倍增器112可以相对于彼此以不同角度倾斜,使得电压倍增器的端视图通过负电压倍增器111的平面P_N与正电压倍增器112的平面P_P相交而形成X形。

[0070] 电压倍增器116可以与x射线管30组合以形成x射线源110(图11至图12)、130(图13)、140(图14)和150(图15a至图16)。x射线管30可以位于X形通道119中。为了减小电场梯度,负电压倍增器111可以电耦合到x射线管30的阴极91;位置上可以比正电压倍增器112更接近阴极91;并且可以在负输出偏置电压74处将电力提供到阴极91。而且,正电压倍增器112可以电耦合到x射线管30的阳极92;位置上可以比负电压倍增器111更接近阳极92;并且可以在正输出偏置电压84处将电力提供到阳极92。

[0071] 为了减小电场梯度,从与阴极91相关联的电子发射极到与阳极92相关联的目标材料的x射线管轴线31可以与X形通道119对准。X形通道119的角度可以 $\geq 5^\circ$ 、 $\geq 15^\circ$ 、 $\geq 30^\circ$ 、 $\geq 45^\circ$ 、 $\geq 60^\circ$,或 $\geq 80^\circ$,并且可以 $\leq 100^\circ$ 、 $\leq 120^\circ$ 、 $\leq 140^\circ$ 、 $\leq 160^\circ$,或 $\leq 170^\circ$ 。

[0072] 如图11中所示,为了进一步使电场梯度平滑并且减小电弧放电故障的可能性,x射线管30可以朝向负高压端111_H和/或朝向正高压端112_H移位。例如,与负高压端111_H相比,负低压端111_L可以距离x射线管30远 ≥ 1.5 倍、远 ≥ 2 倍、远 ≥ 3 倍,或远 ≥ 4 倍。与正高压端112_H相比,正低压端112_L可以距离x射线管30远 ≥ 1.5 倍、远 ≥ 2 倍、远 ≥ 3 倍,或远 ≥ 4 倍。

[0073] 换句话说, $D_3/D_4 \geq 1.5$ 、 $D_3/D_4 \geq 2$ 、 $D_3/D_4 \geq 3$,或 $D_3/D_4 \geq 4$;和/或 $D_5/D_6 \geq 1.5$ 、 $D_5/D_6 \geq 2$ 、 $D_5/D_6 \geq 3$,或 $D_5/D_6 \geq 4$;其中D₃是负低压端111_L与x射线管30之间的距离,D₄是负高压端111_H与x射线管30之间的距离,D₅是正低压端112_L与x射线管30之间的距离;并且D₆是正高压端112_H与x射线管30之间的距离。

[0074] 在一个实施例中,负高压端111_H和/或正高压端112_H可以直接接触x射线管30。先前句子中的术语“直接接触”意指负高压端111_H和/或正高压端112_H的电子组件接触x射线管30,而不仅仅是导线将负高压端111_H和/或正高压端112_H电连接到x射线管30。因此,如果D₄=0,则D₃/D₄可以等于无穷大,并且如果D₆=0,则D₅/D₆可以等于无穷大。

[0075] 如图13中所示,为了减小电场梯度,与高压端111_H和112_H彼此的距离相比,低压端111_L和112_L可以彼此更接近。因此,例如,正高压端112_H与负高压端111_H之间的距离 D_H 可以是正低压端112_L与负低压端111_L之间的距离 D_L 的 ≥ 2 倍, ≥ 3 倍, ≥ 4 倍,或 ≥ 5 倍。

[0076] 如图13至图15b中所示,负电压倍增器111和正电压倍增器112可以在端视图中相交。如图14中所示,X形中的负电压倍增器111的每个支腿的长度 L_1 或 L_2 可以是负电压倍增器111的总长度(L_1+L_2)的 $\geq 5\%$ 、 $\geq 10\%$ 、 $\geq 10\%$,或 $\geq 20\%$ 。X形中的正电压倍增器112的每个支腿的长度 L_3 或 L_4 可以是正电压倍增器112的总长度(L_3+L_4)的 $\geq 5\%$ 、 $\geq 10\%$ 、 $\geq 10\%$,或 $\geq 20\%$ 。

[0077] 如图15a至图16中所示,电晕防护器35可以具有弯曲轮廓。弯曲轮廓可以至少部分地缠绕负电压倍增器111、正电压倍增器112,和/或x射线管30的弯曲圆柱形形状。因此,例如,弯曲轮廓可以缠绕负电压倍增器111、正电压倍增器112,和/或x射线管30的弯曲圆柱形形状的 360° 圆周达至少 135° 、至少 180° 、至少 270° 或至少 315° 。例如,图15a和15b的弯曲轮廓缠绕 360° 圆周的约 290° 。在图15a至图16中示出沿着x射线管轴线31具有一致截面形状的电晕防护器35的弯曲轮廓。然而,弯曲轮廓可以具有变窄的形状轮廓或形状(类似于圆锥形状)以节省空间并且改进电场梯度。例如,电晕防护器35的弯曲轮廓可以在较低电压附近更接近x射线管30或电压倍增器10并且在较高电压附近更远离x射线管30或电压倍增器10。

[0078] 电晕防护器35在弯曲轮廓的凹面处可以具有电阻率 $\geq 10^5 \Omega \cdot m$ 、 $\geq 10^7 \Omega \cdot m$ 、 $\geq 10^9 \Omega \cdot m$,或 $\geq 10^{11} \Omega \cdot m$ 的材料。此材料可以是陶瓷或可以包含陶瓷。在弯曲轮廓的凸面处的材料可以具有比凹面处的材料低的电阻率。这提供面向电压倍增器的电绝缘表面以减少电弧放电的可能性,并且在凸面处提供具有较高导电率的表面,以成形并平滑化电场梯度。因此,例如,弯曲轮廓的凹面处的材料的电阻率除以弯曲轮廓的凸面处的材料的电阻率可以是 $\geq 10^4$ 、 $\geq 10^6$ 、 $\geq 10^8$ 、 $\geq 10^{10}$ 、 $\geq 10^{12}$,或 $\geq 10^{14}$ 。

[0079] 在凸面处的材料的一个选项是电耦合到负输出偏置电压74的负电压传感器159和/或电耦合到正输出偏置电压84的正电压传感器169。这提供了以下双重优势:提供具有比凹面处的材料低的电阻率的材料,并且节省了空间。电压感测电阻器占用宝贵的空间,尤其在便携式x射线源中,并且节省此空间可能是相当大的优势。标准电压感测电阻器的另一问题是所述电阻器通常具有矩形形状,其中拐角处的电场梯度可能很高,因此增加电弧放电故障的可能性。将此电压感测电阻器159和169放置于平滑的弯曲轮廓上可以有助于避免此种电弧放电故障。

[0080] 电压感测电阻器159和169可以是涂在凸面上的介电油墨。电压感测电阻器159和169可以缠绕电压倍增器116和/或x射线管30的弯曲圆柱形形状的相当大部分,例如,缠绕电压倍增器10和/或x射线管30的弯曲圆柱形形状的 360° 圆周达至少 135° 、至少 180° 、至少 270° 或至少 315° 。例如,图15a和15b的电压感测电阻器159和169的弯曲轮廓缠绕 360° 圆周的约 290° 。

[0081] 弯曲形状

[0082] 如图17a至图17b中所示,电压倍增器171和172可以包含具有最低电压绝对值的第一端171_L以及具有最高电压绝对值的第二端171_H。可能存在从第一端171_L至第二端171_H逐渐增加的电压绝对值。电压倍增器171或172可以将输入电压倍增以在第一端171_L与第二端171_H之间产生具有例如 $\geq 1kV$ 、 $\geq 2kV$ 、 $\geq 10kV$,或 $\geq 30kV$ 的绝对值的输出偏置电压。

[0083] 电压倍增器171和172可以包含弯曲形状。电压绝对值的增加方向171c可以在弯曲形状中至少部分地缠绕一条轴线,所述轴线定义为电压倍增器轴线173。因此,例如,弯曲形状可以缠绕电压倍增器轴线173的360°圆周达至少45°、至少90°、至少135°、至少180°、至少270°或至少315°。例如,图17a和17b的弯曲形状缠绕360°圆周的约150°。

[0084] 在图17a至图22中示出具有沿着电压倍增器轴线173和x射线管轴线31的一致截面形状的电晕防护器35的弯曲轮廓和电压倍增器171、172、181和182的弯曲形状。然而,弯曲轮廓和弯曲形状可以具有变窄的轮廓或形状(类似于圆锥形状)以节省空间并且改进电场梯度。例如,电晕防护器35的弯曲轮廓、电压倍增器171、172、181的弯曲形状或两者可以在较低电压附近更接近x射线管30并且在较高电压附近更远离x射线管30。

[0085] 弯曲形状可以形成“C”形。弯曲形状可以是连续的且平滑的,例如,具有柔性电路板,如图17a中所示。或者,可以通过铰接成形成弯曲形状的多个小区段174形成弯曲形状,如图17b中所示。例如,类似于图17b的铰接弯曲形状可以包含 ≥ 4 个区段174、 ≥ 6 个区段174、 ≥ 8 个区段174、 ≥ 10 个区段174,或 ≥ 20 个区段174。在一个实施例中,每一对相邻区段174之间的每一接合点或铰接部可以将区段174朝向电压倍增器轴线173向内弯曲,如图17b中所示。

[0086] x射线管30可以位于弯曲形状的凹面上。输出偏置电压可以电耦合到x射线管30。电压倍增器轴线173可以与x射线管轴线31对准。

[0087] 图18至图22的电压倍增器180类似于电压倍增器171和172,不同之处在于电压倍增器180包含负电压倍增器181和正电压倍增器182两者。负电压倍增器181可以从具有最低电压绝对值的第一端181_L至具有最高电压绝对值的第二端181_H将输入电压倍增,具有从第一端子181_L至第二端子181_H逐渐增加的电压绝对值,以提供 $\leq -1\text{kV}$ 、 $\leq -2\text{kV}$ 、 $\leq -10\text{kV}$,或 $\leq -30\text{kV}$ 的负输出偏置电压74。

[0088] 负电压倍增器181可以包含初级弯曲形状,其中电压绝对值的增加方向181c在初级弯曲形状中至少部分地缠绕电压倍增器轴线173。因此,例如,初级弯曲形状可以缠绕电压倍增器轴线173的360°圆周达至少45°、至少90°、至少135°、至少180°、至少270°或至少315°。

[0089] 正电压倍增器182可以从具有最低电压的第一端子182_L至具有最高电压的第二端子182_H将输入电压倍增,具有从第一端子182_L至第二端子182_H逐渐增加的电压,以提供 $\geq 1\text{kV}$ 、 $\geq 2\text{kV}$ 、 $\geq 10\text{kV}$,或 $\geq 30\text{kV}$ 的正输出偏置电压84。

[0090] 正电压倍增器182可以包含次级弯曲形状,其中电压的增加方向182c在次级弯曲形状中至少部分地缠绕电压倍增器轴线173。因此,例如,次级弯曲形状可以缠绕电压倍增器轴线173的360°圆周达至少45°、至少90°、至少135°、至少180°、至少270°或至少315°。

[0091] 如图19至图22中所示,x射线源190、210和220可以包括x射线管30和电压倍增器180。x射线管30可以位于初级弯曲形状的凹面上和/或次级弯曲形状的凹面上。负电压倍增器181可以电耦合到x射线管30的阴极91并且可以在负输出偏置电压74下将电力提供到x射线管30的阴极91。正电压倍增器182可以电耦合到x射线管30的阳极92并且可以在正输出偏置电压84处将电力提供到x射线管30的阳极92。电压倍增器轴线173可以与x射线管轴线31对准,x射线管轴线31从与阴极91相关联的电子发射极延伸到与阳极92相关联的目标材料。

[0092] 如图21中所示,与第二端181_H相比,第一端181_L可以距离x射线管30远 ≥ 1.5 倍、远

≥ 2 倍、远 ≥ 3 倍,或远 ≥ 4 倍。与第二端子182_H相比,第一端子182_L可以距离x射线管30远 ≥ 1.5 倍、远 ≥ 2 倍、远 ≥ 3 倍,或远 ≥ 4 倍。此设计可以减小电场梯度并且可以减小电弧放电故障的风险。

[0093] 如图21至图22中所示,电晕防护器35可以包含弯曲轮廓。弯曲轮廓可以与x射线管轴线31和/或电压倍增器轴线173对准。弯曲轮廓可以至少部分地缠绕电压倍增器180和/或x射线管30的弯曲圆柱形形状。因此,例如,弯曲轮廓可以缠绕电压倍增器180和/或x射线管30的弯曲圆柱形形状的360°圆周达至少135°、至少180°、至少270°或至少315°。

[0094] 电晕防护器35可以具有在弯曲轮廓的凹面处电阻率高的材料,和/或在弯曲轮廓的凸面处电阻率低的材料,如上所述。在凸面处的材料的一个选项是电耦合到负输出偏置电压74的负电压传感器206和/或电耦合到正输出偏置电压84的正电压传感器207。这样为电压感测电阻器159和169提供上述优势。

[0095] 为了改进电场的成形,负电压传感器181中电压绝对值的增加方向206_c可以与初级弯曲形状中电压绝对值的增加方向181_c对准,和/或正电压传感器182中电压的增加方向207_c可以与次级弯曲形状中电压的增加方向182_c对准。

[0096] 电压感测电阻器206和207可以是涂在凸面上的介电油墨。电压感测电阻器206和207可以缠绕电压倍增器180和/或x射线管30的弯曲圆柱形形状的相当大部分,例如,缠绕360°圆周达至少135°、至少180°、至少270°或至少315°。

[0097] 为了改进电场梯度的成形,如图21至图22中所示,负电压倍增器181的第二端181_H和正电压倍增器182的第二端子182_H可以位于x射线管30的相对侧上。而且,如从电压倍增器轴线173的末端查看,初级弯曲形状或次级弯曲形状可以顺时针缠绕电压倍增器轴线173,并且初级弯曲形状或次级弯曲形状中的另一个可以逆时针缠绕电压倍增器轴线173。

[0098] 通过在电压倍增器上的不同位置处使用不同尺寸的电子组件13,例如,电容器和/或二极管,可以改进本文所描述的电压倍增器的可靠性,同时也最小化尺寸和成本。可以在最低电压端处或更接近最低电压端使用较大电子组件13(例如,具有更高额定电压的电容器/二极管),并且可以在最高电压端处或更接近最高电压端使用较小电子组件13(例如,具有更低额定电压的电容器/二极管)。因此,图示出可以是电容器或二极管的两个或三个不同尺寸的电子组件13。例如,对于图1至图10中的电压倍增器,低压区段11可以包含具有比高压区段12的电容器和/或二极管高 $\geq 10\%$ 的额定电压的电容器和/或二极管。作为另一实例,对于图11至图14中的电压倍增器,负低压端111_L可以包含具有比负高压端111_H处的电容器和/或二极管高 $\geq 10\%$ 的额定电压的电容器和/或二极管;以及正低压端112_L可以包含具有比正高压端112_H处的电容器和/或二极管高 $\geq 10\%$ 的额定电压的电容器和/或二极管。作为另一实例,对于图15至图22中的电压倍增器,电压倍增器可以包含具有比最接近第二端171_H的电容器和/或二极管高 $\geq 10\%$ 的额定电压的最接近第一端171_L的电容器和/或二极管。

[0099] 本文所描述的电压倍增器可以是能够接收输入电压并且倍增所述电压以产生 ≥ 1 kV的输出电压的任何电压倍增器/发电机。例如,本文所描述的电压倍增器可以是科克罗夫特-沃尔顿倍增器/发电机;本文所描述的电压倍增器可以是半波或全波。在电路板的面向V形通道19、79和89、x射线管轴线31、X形通道119以及电压倍增器轴线173的一侧上示出图中的电子组件,但是这些电子组件可以位于电路板的相对侧上或电路板的两侧上。

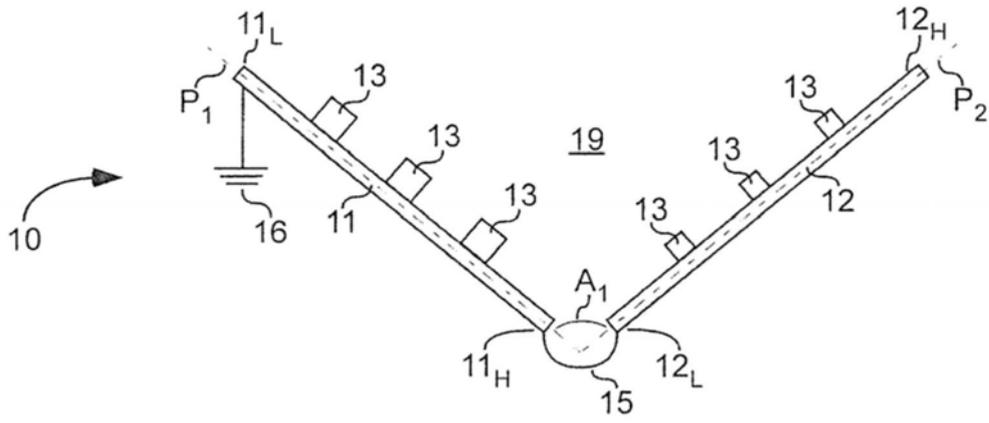


图1

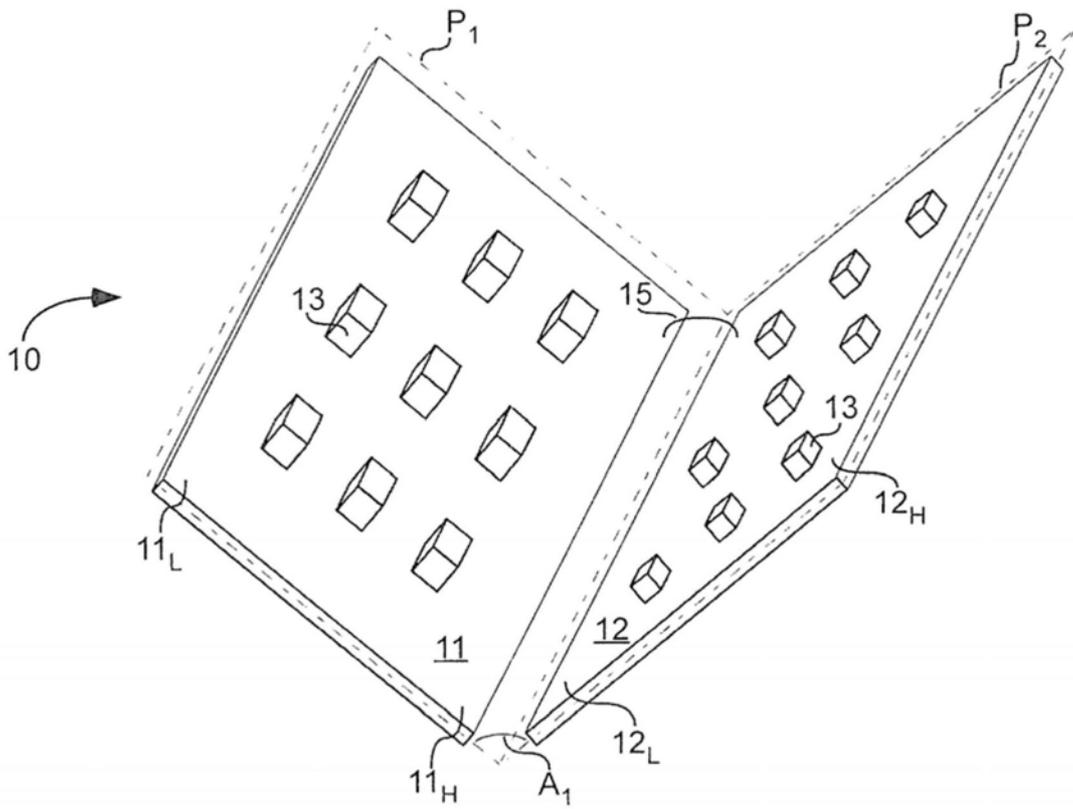


图2

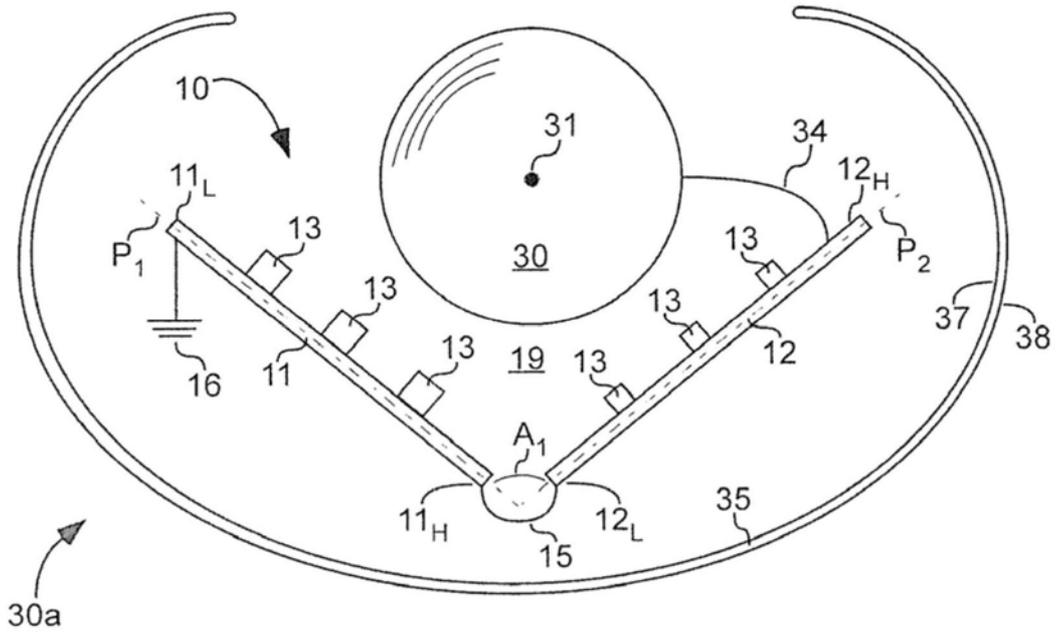


图3a

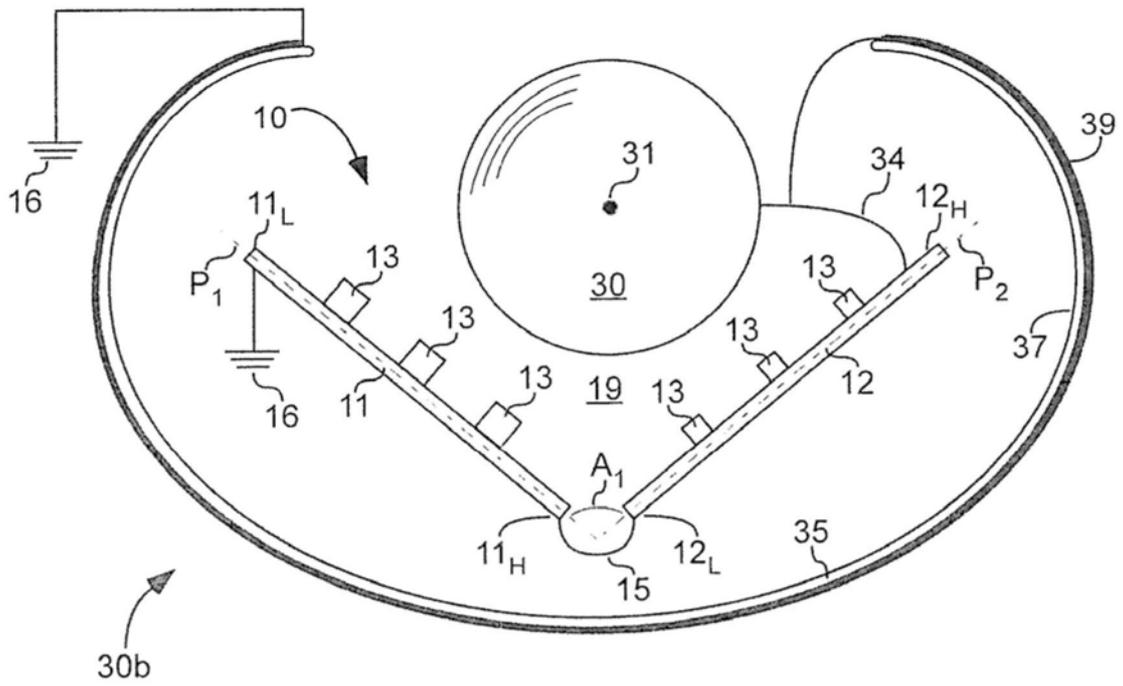


图3b

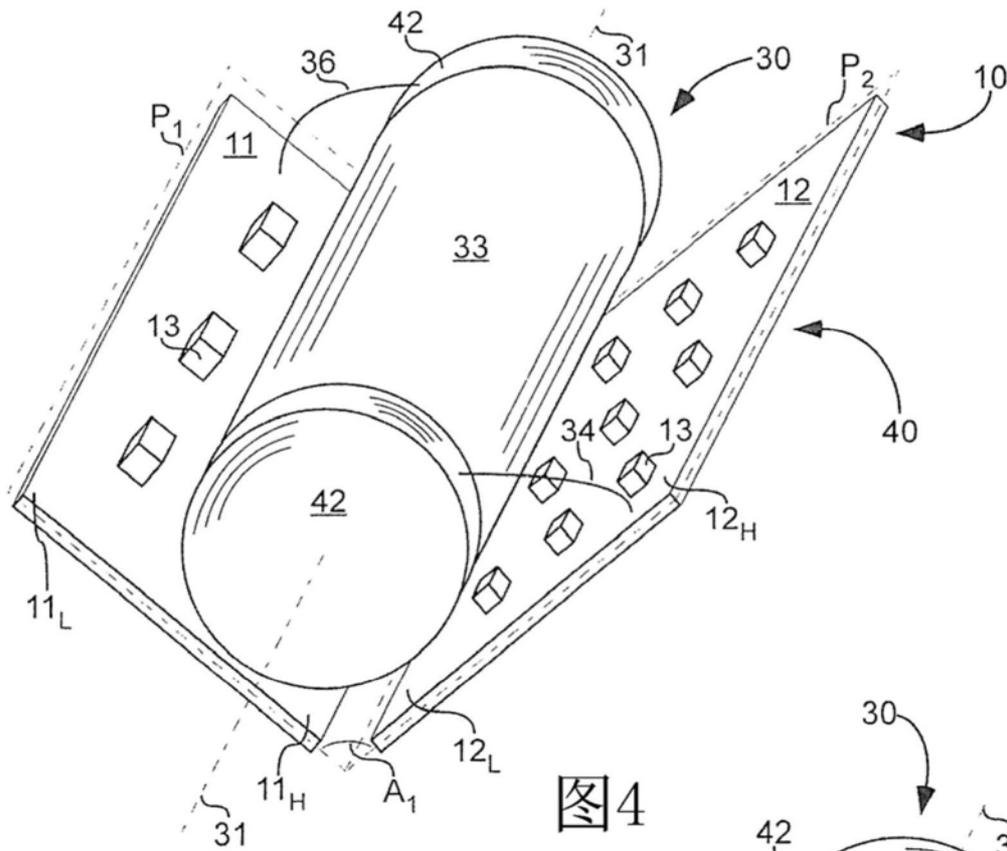


图4

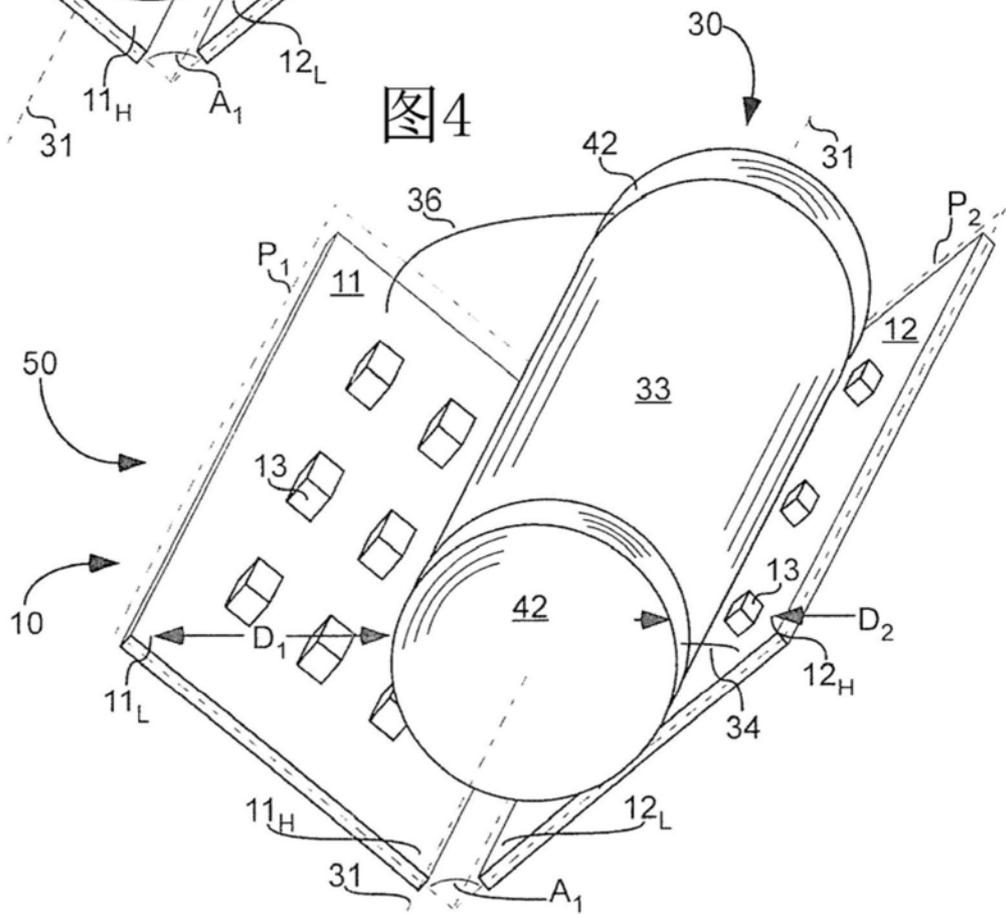


图5

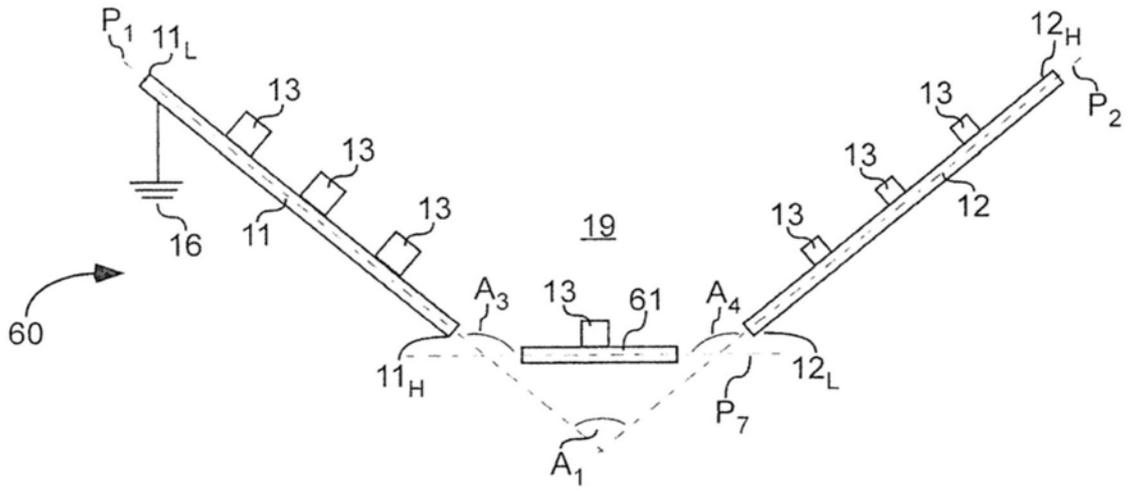


图6

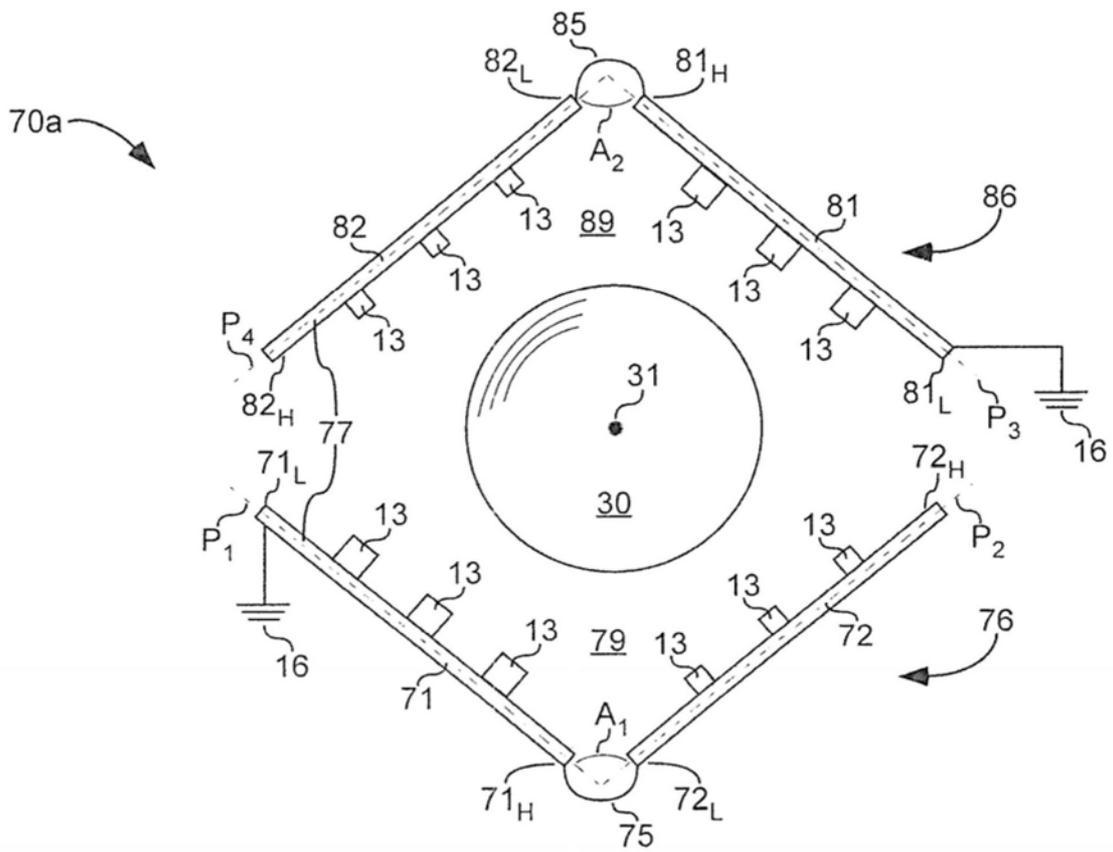


图7a

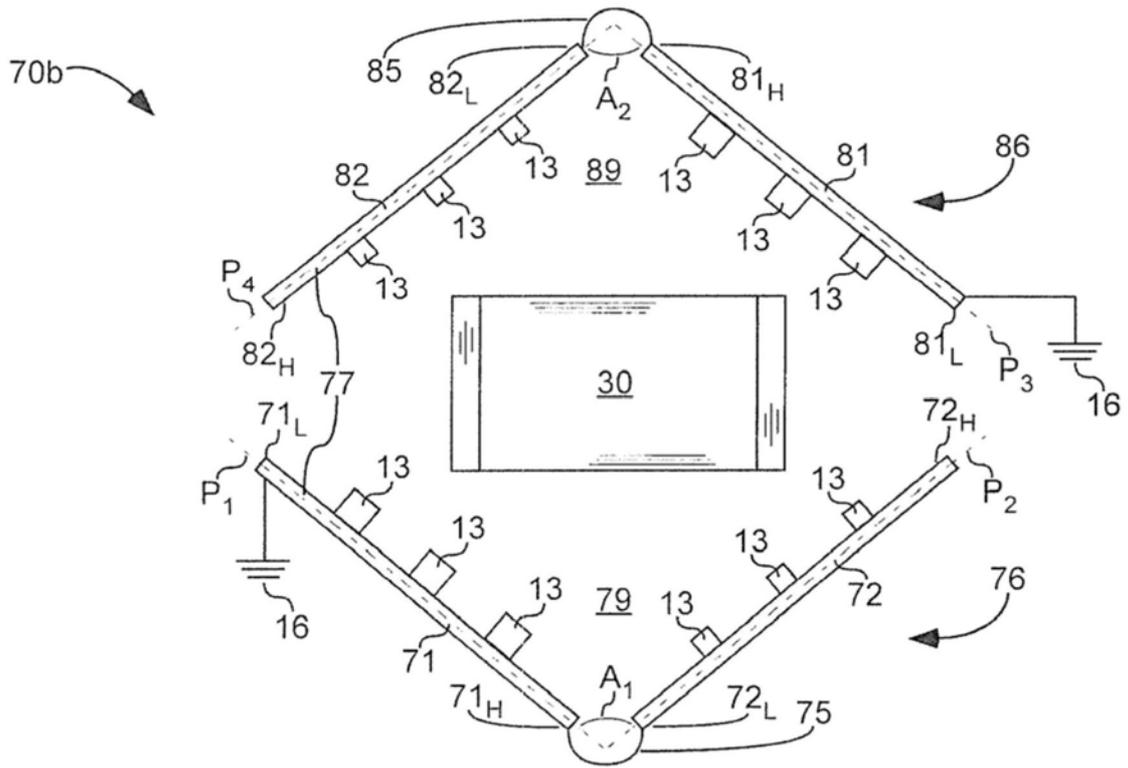


图7b

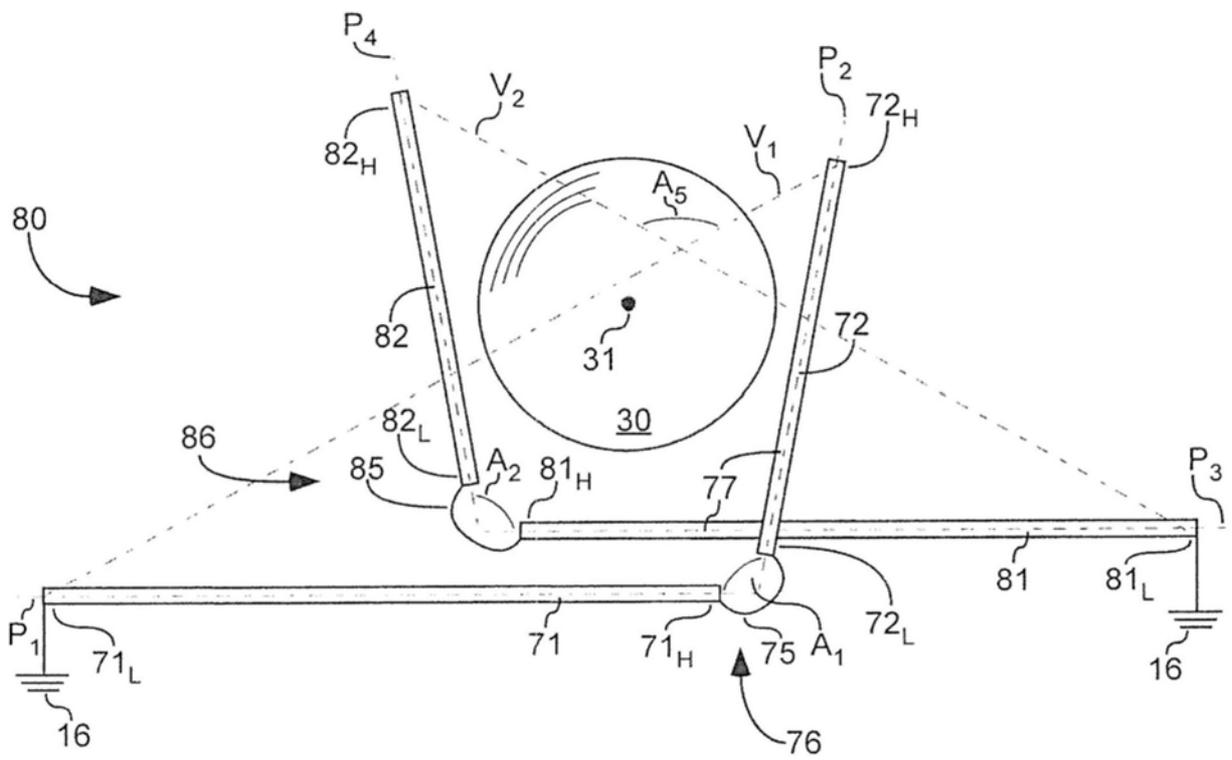


图8

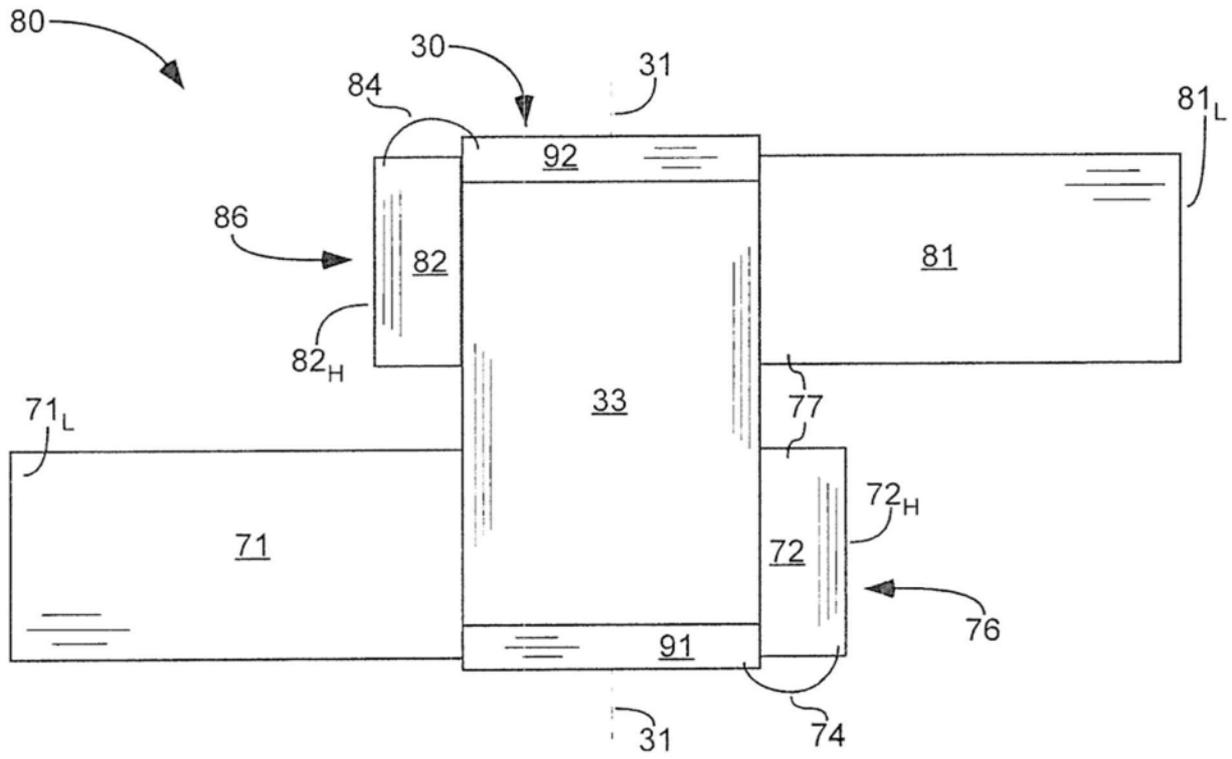


图9

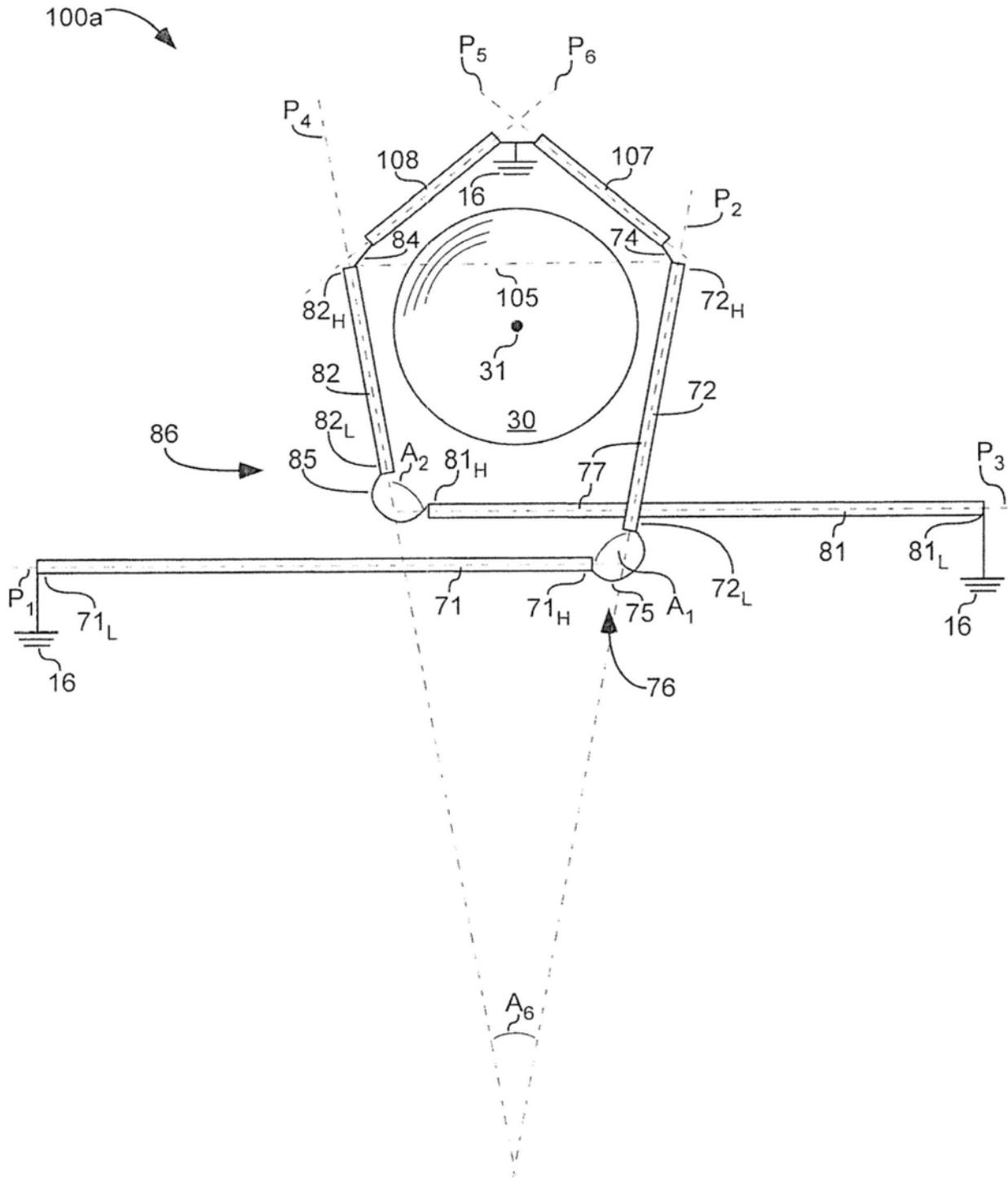


图10a

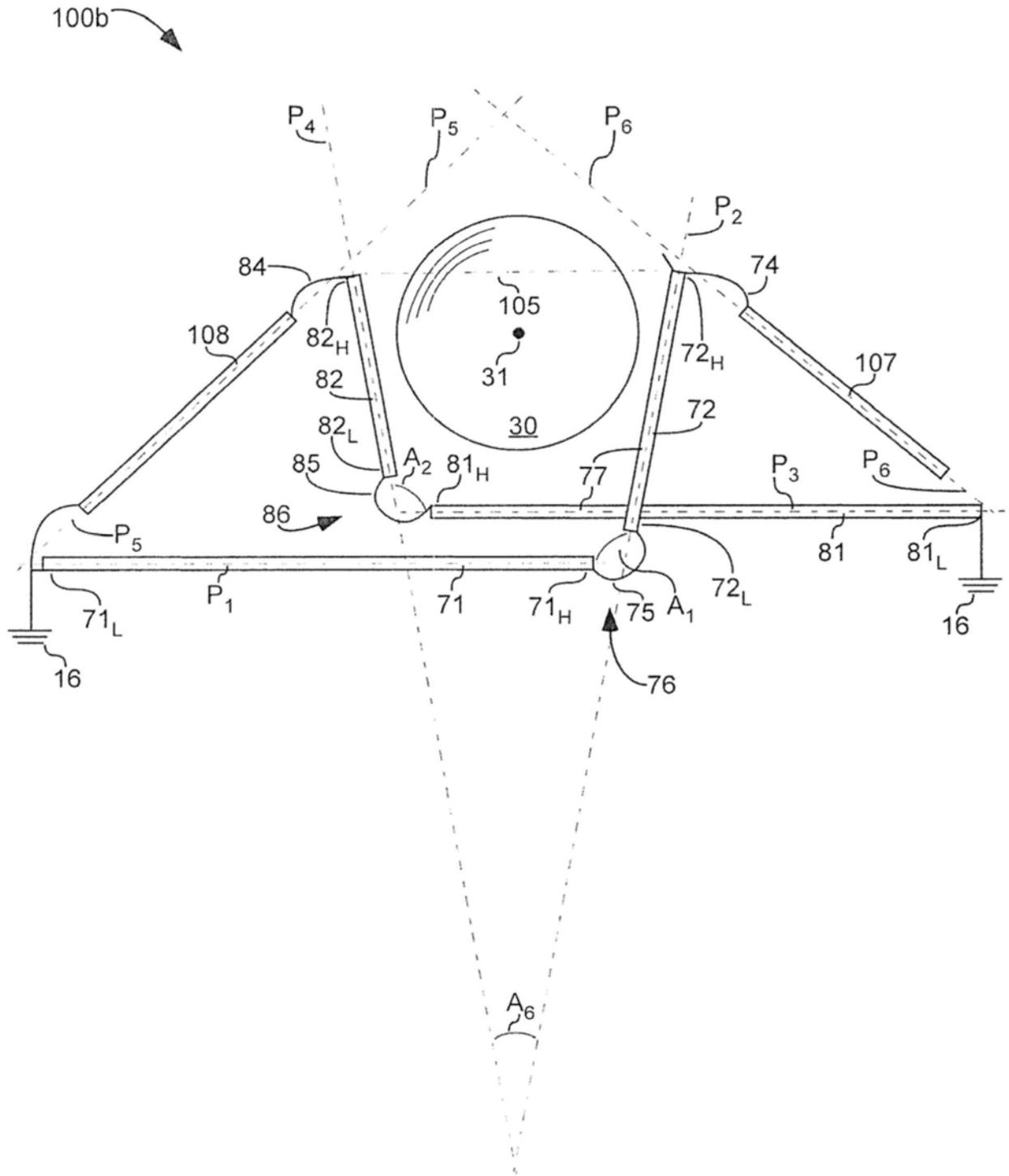


图10b

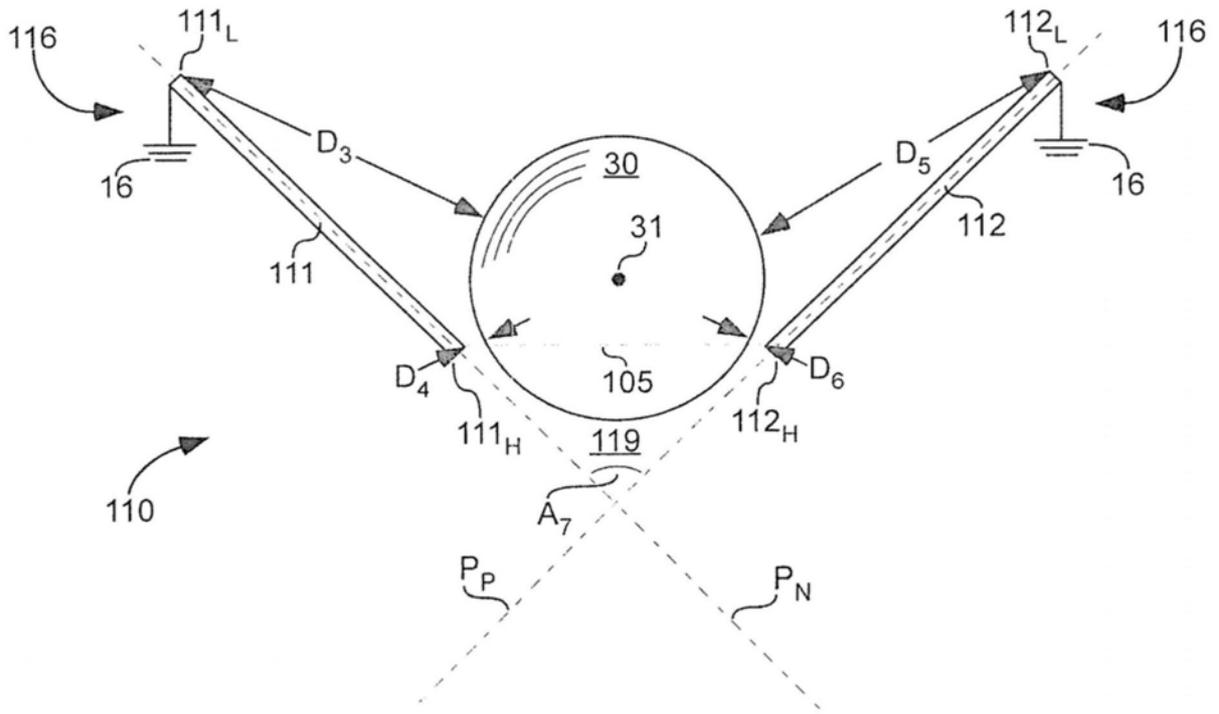


图11

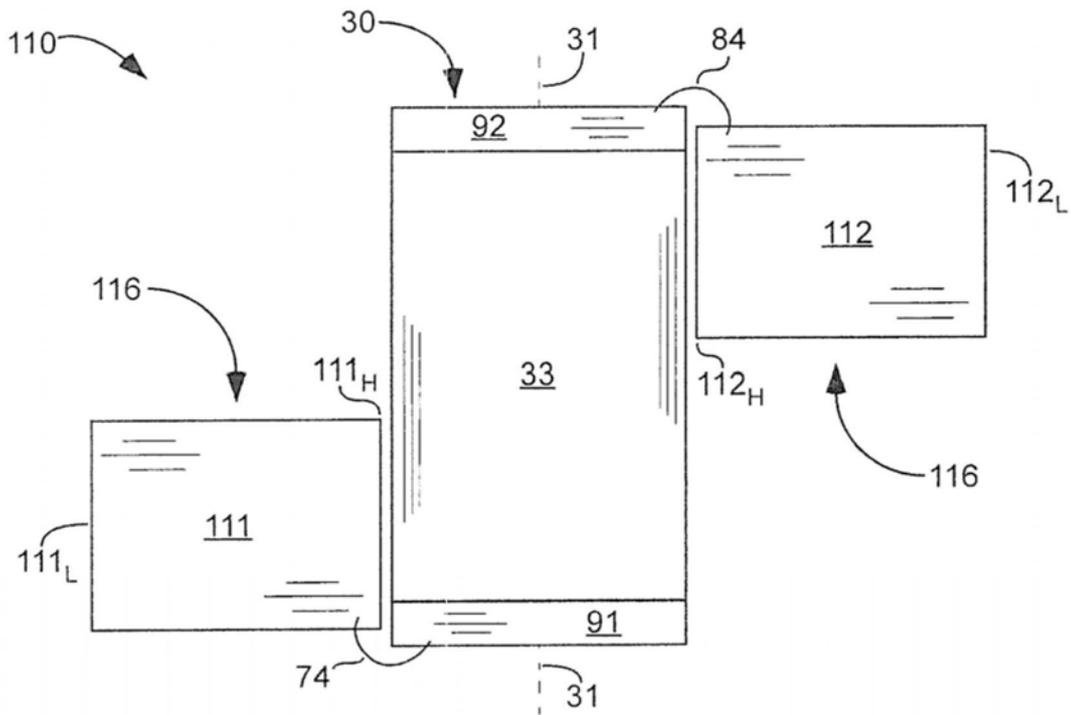


图12

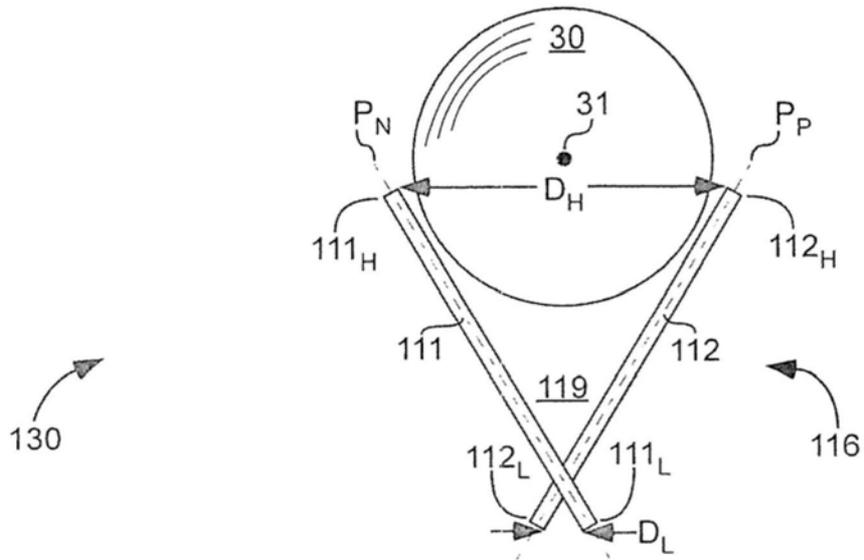


图13

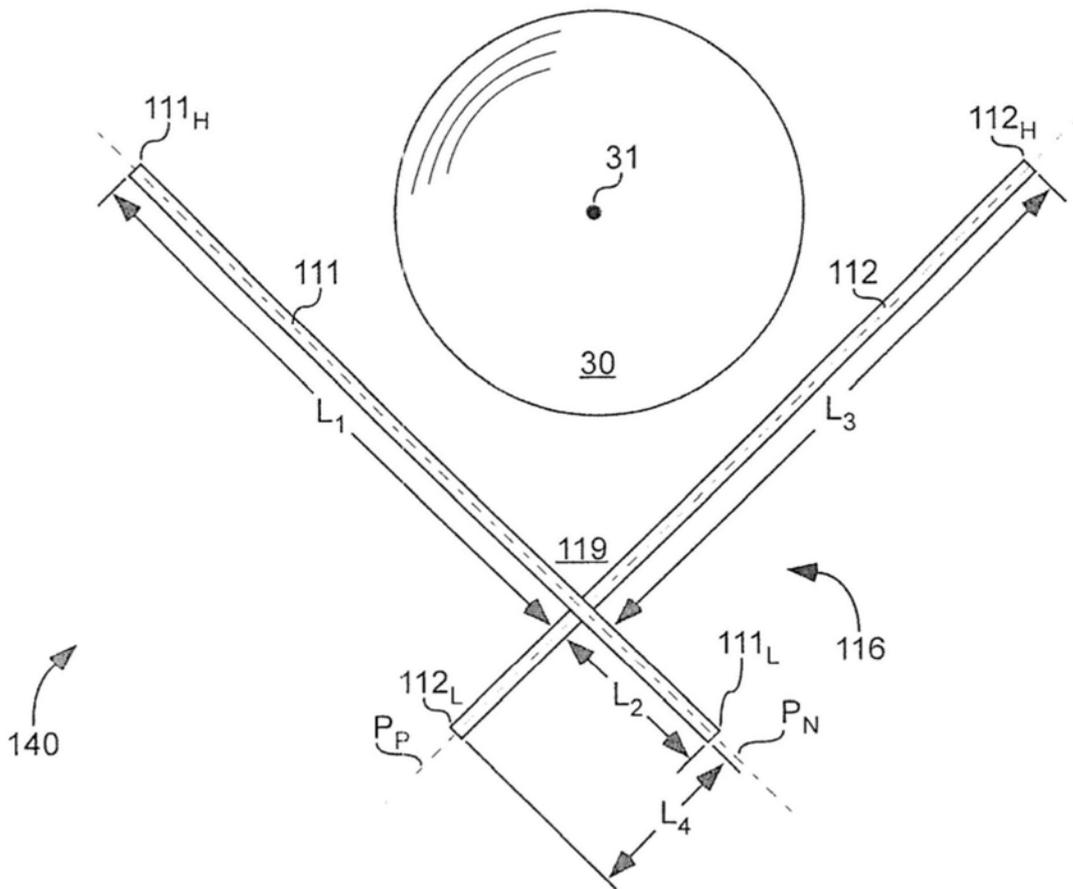


图14

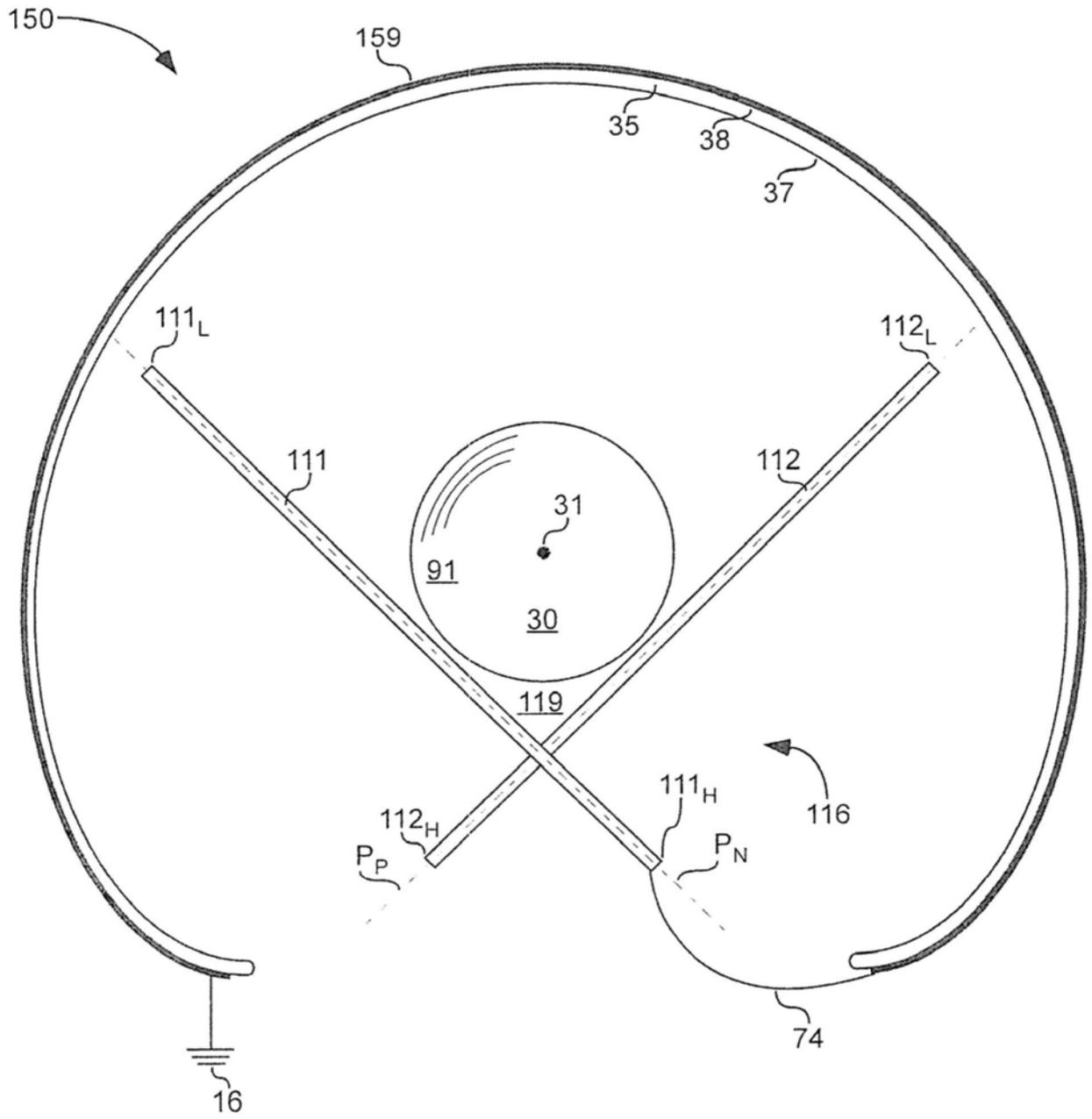


图15a

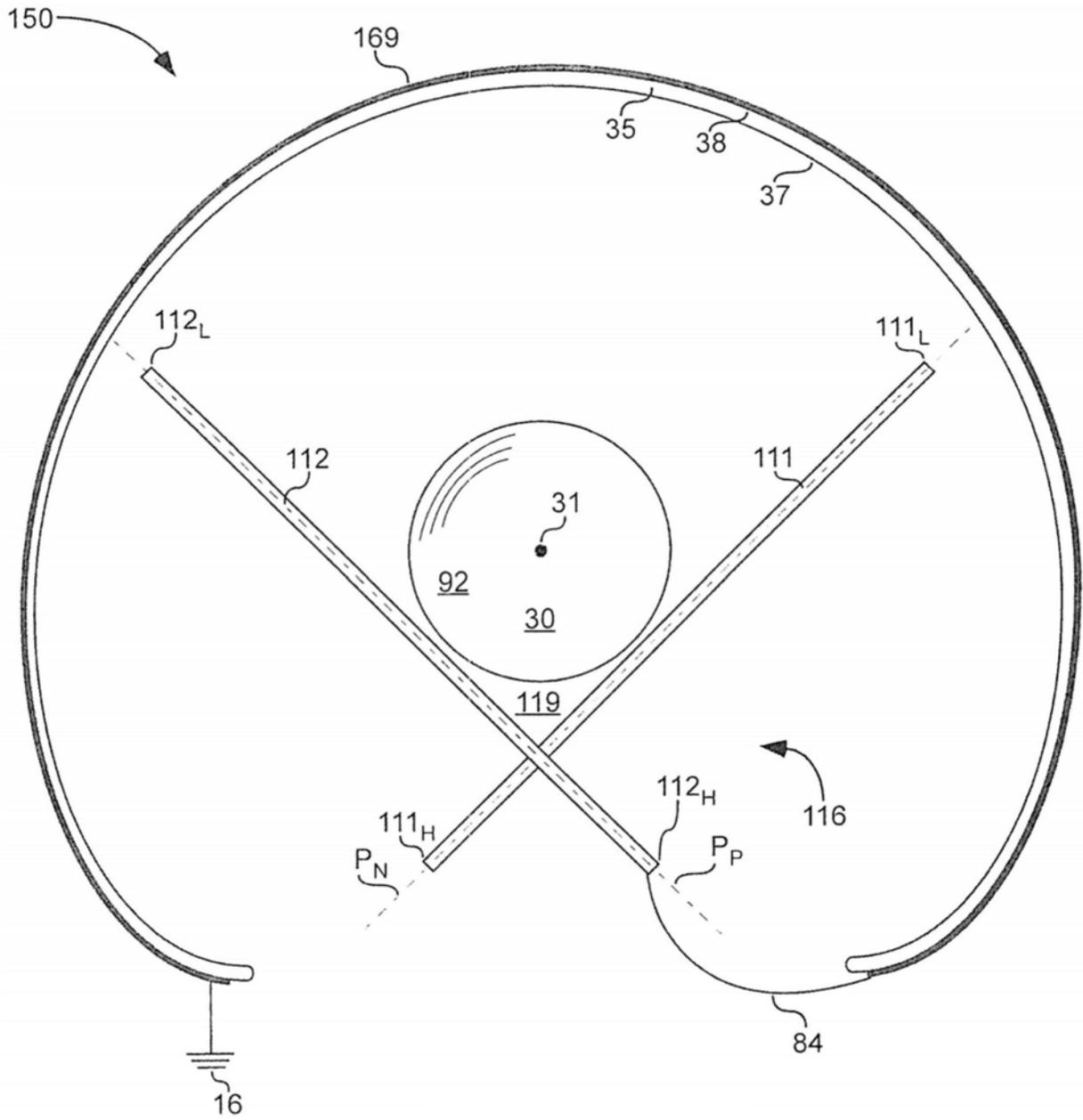


图15b

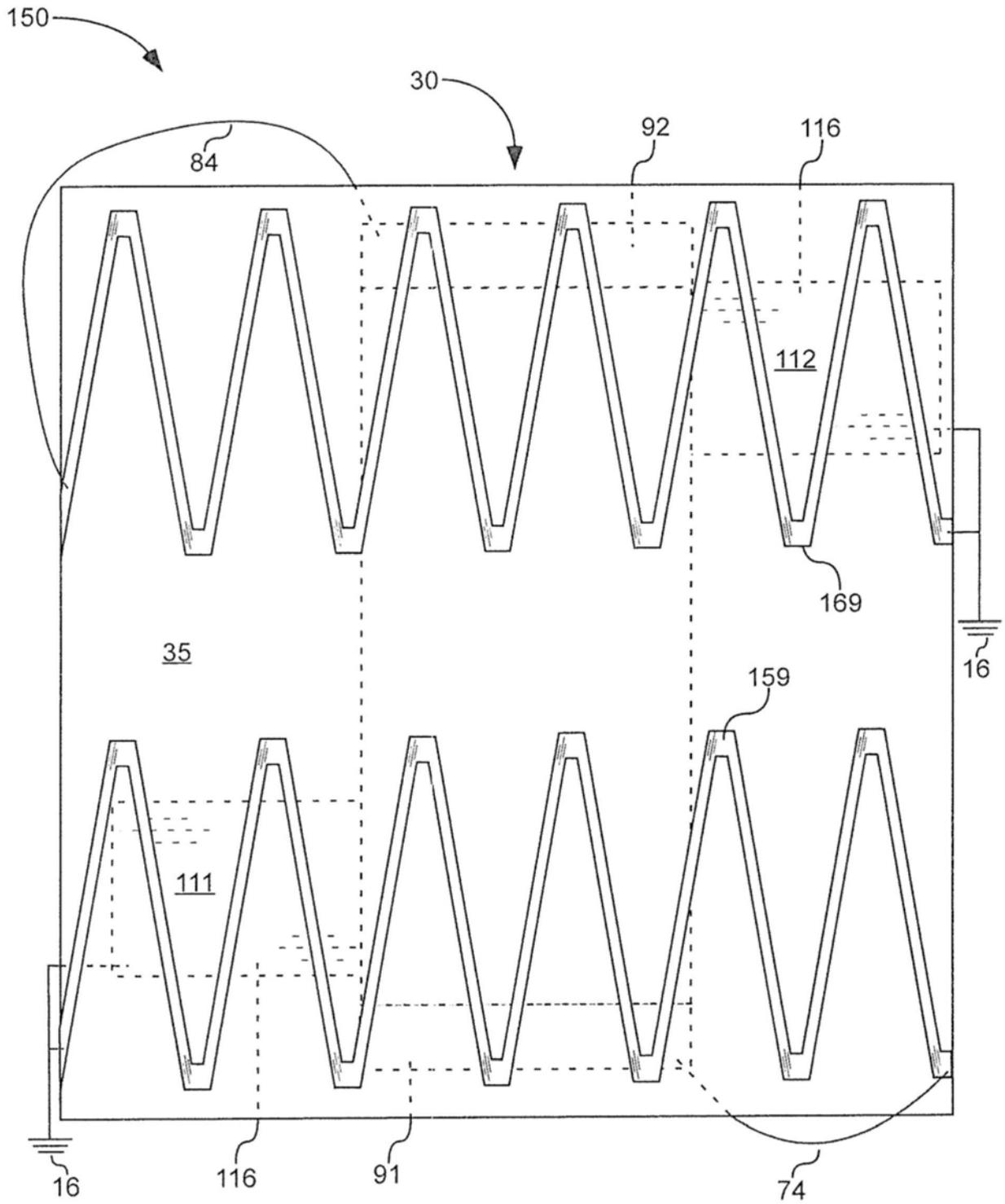


图16

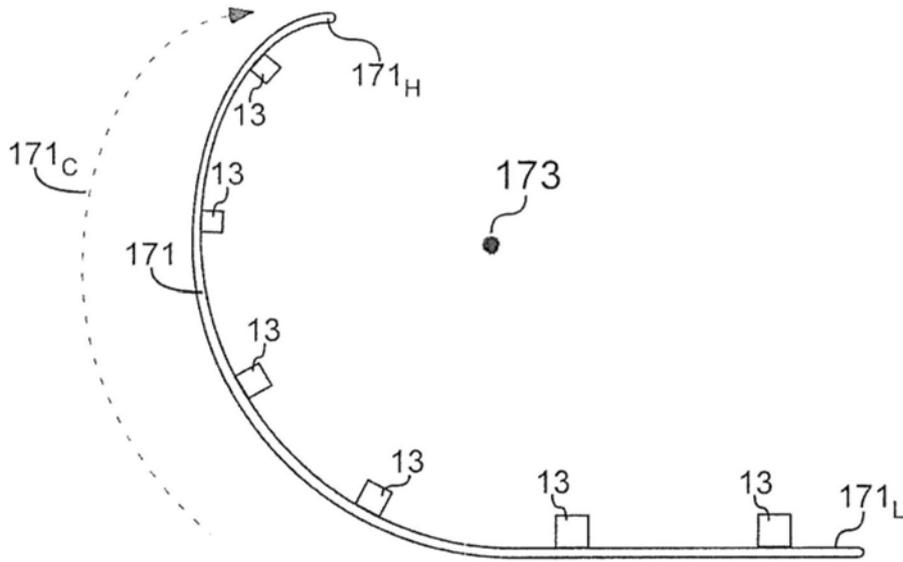


图17a

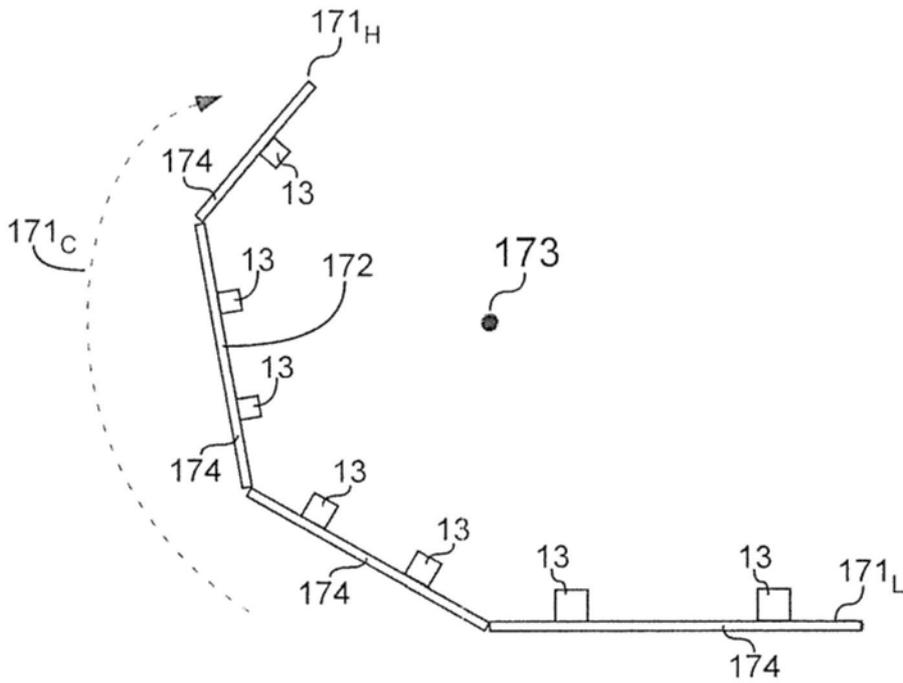


图17b

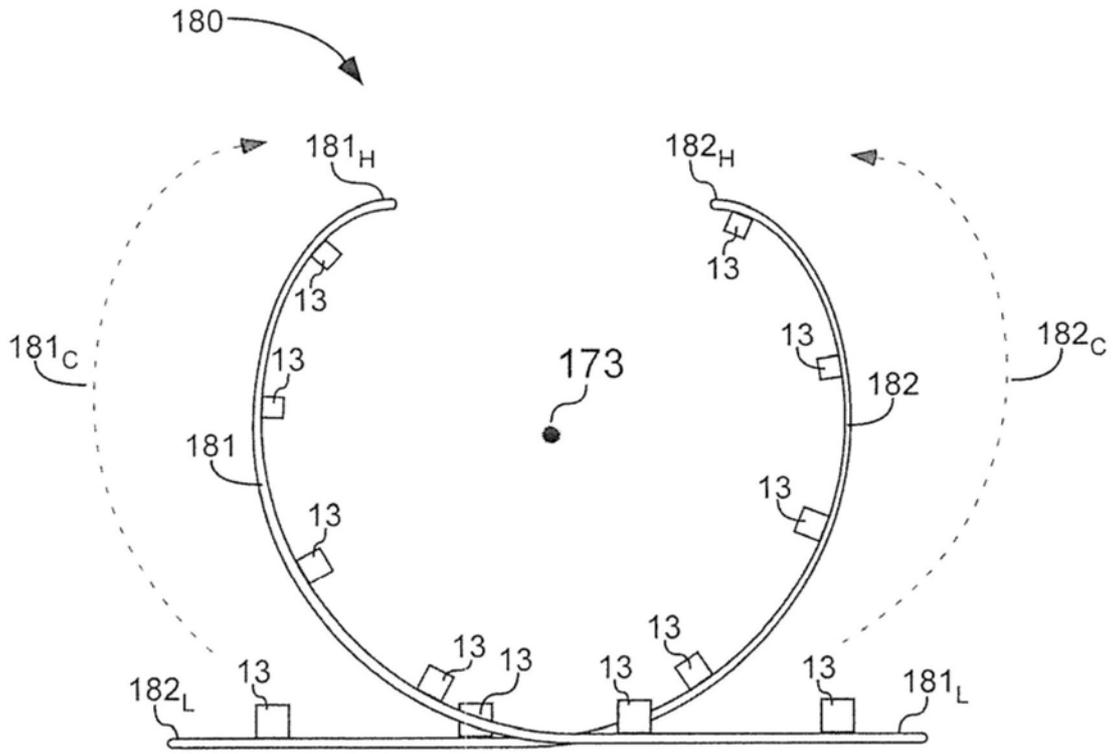


图18

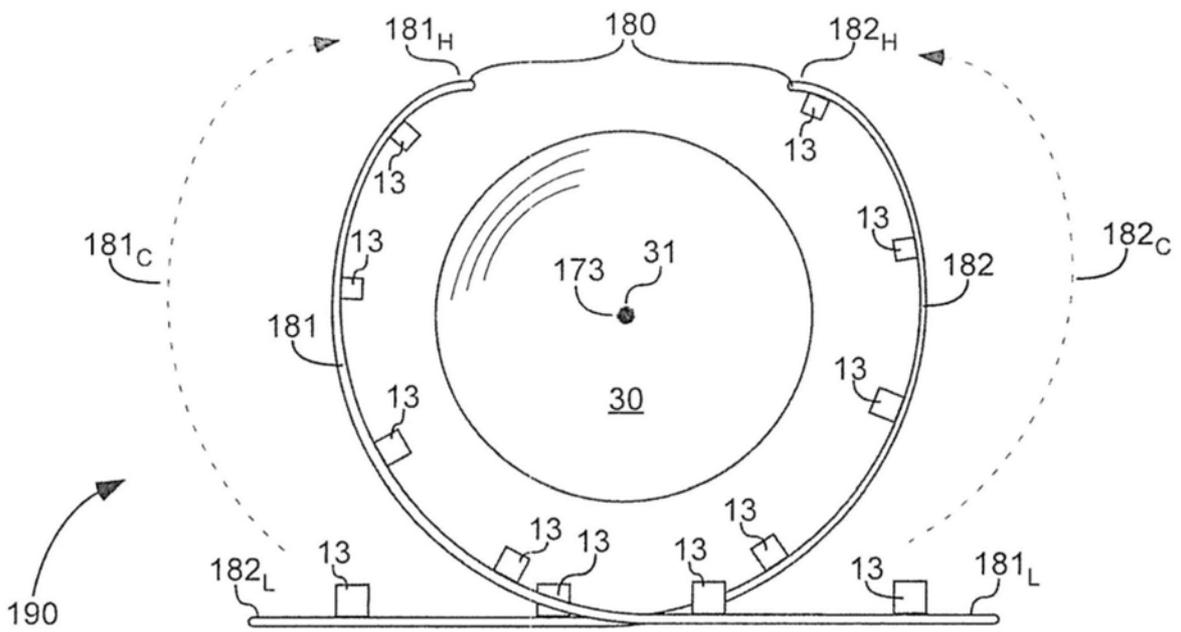


图19

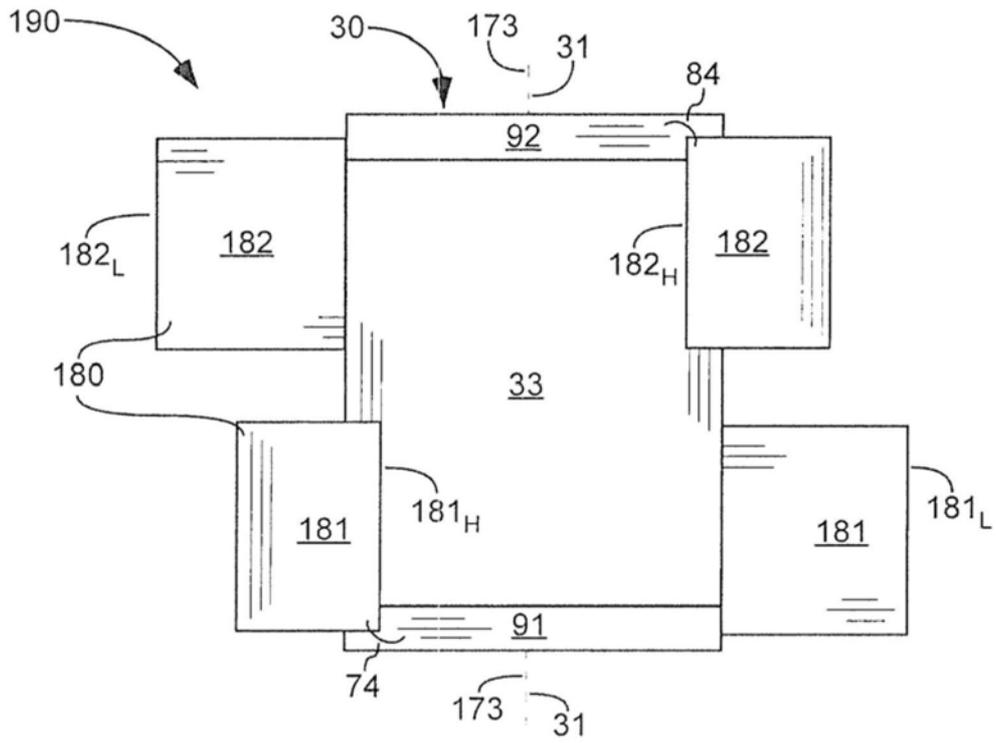


图20

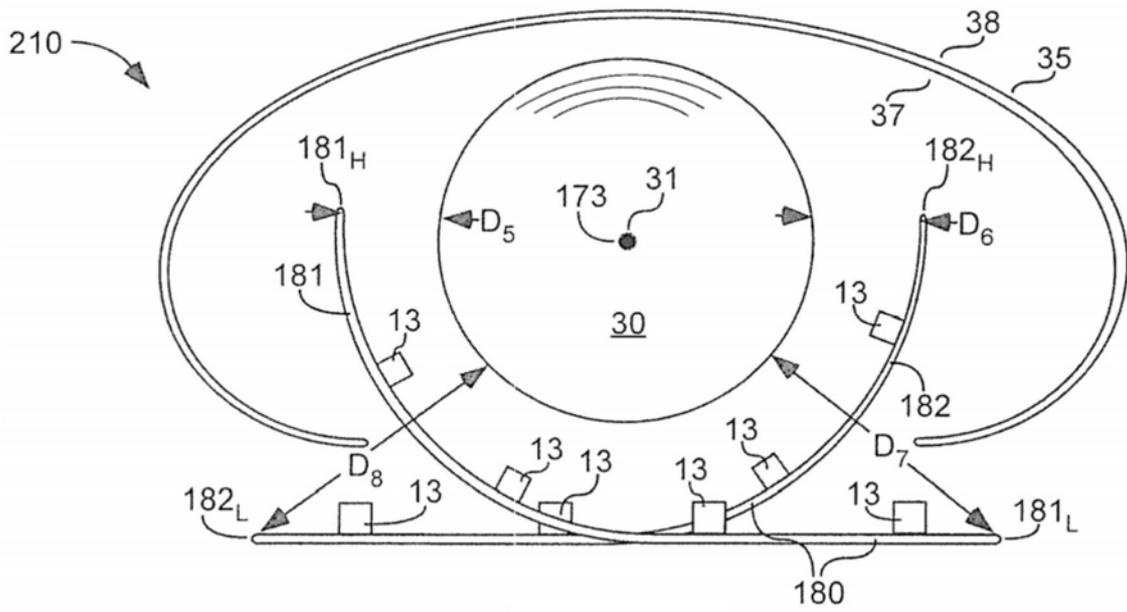


图21

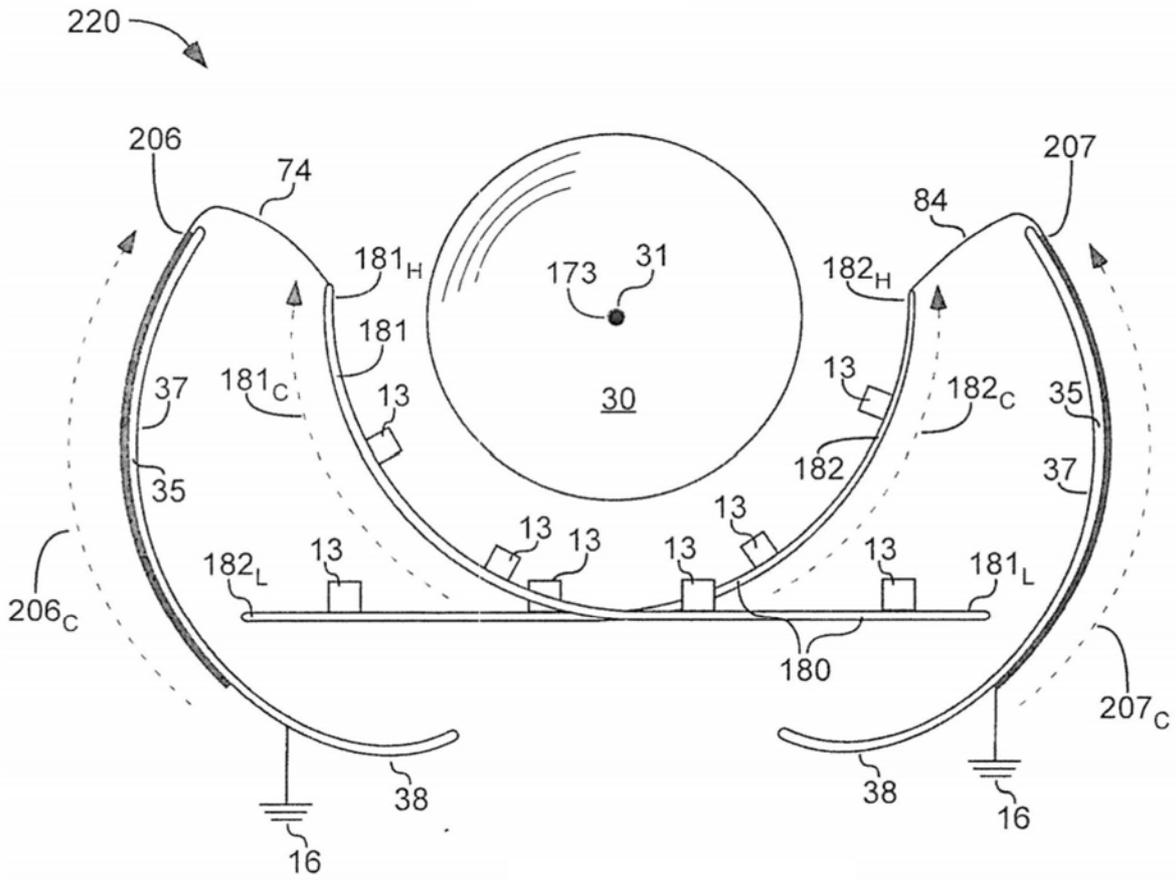


图22