



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107710021 B

(45)授权公告日 2019.09.27

(21)申请号 201580081257.7

(22)申请日 2015.07.09

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107710021 A

(43)申请公布日 2018.02.16

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2018.01.05

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/CN2015/083636 2015.07.09

(87)PCT国际申请的公布数据
W02017/004824 EN 2017.01.12

(73)专利权人 深圳帧观德芯科技有限公司
地址 518000 广东省深圳市前海深港合作
区前湾一路1号A栋201室(入驻深圳市
前海商务秘书有限公司)

(72)发明人 曹培炎 刘雨润

(74)专利代理机构 深圳市六加知识产权代理有
限公司 44372

代理人 罗水江

(51)Int.Cl.
G01T 1/24(2006.01)
H01L 27/146(2006.01)
H01L 31/09(2006.01)

(56)对比文件
JP 特开2013-142578 A,2013.07.22,
JP 特开2013-142578 A,2013.07.22,
JP 特开2002-217444 A,2002.08.02,
CN 103296035 A,2013.09.11,
CN 103633187 A,2014.03.12,
CN 103715214 A,2014.04.09,
CN 104434152 A,2015.03.25,

审查员 徐恩波

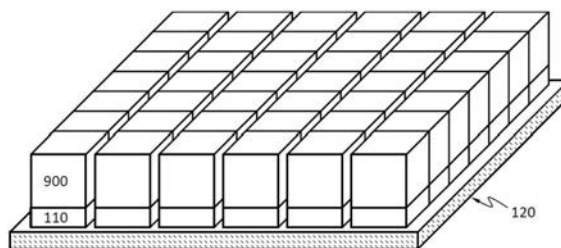
权利要求书2页 说明书9页 附图16页

(54)发明名称

制作半导体X射线检测器的方法

(57)摘要

本文公开制作适合于检测X射线的装置(100)的方法,该方法包括:使晶片(其包括X射线吸收层(110))附着到衬底(900)表面,其中该表面导电;使晶片变薄;在晶片形成电触点(119A);使电子层(120)接合到晶片使得晶片的电触点(119A)电连接到电子层(120)的电触点(125)。



1. 一种制作适合于检测X射线的装置的方法,所述方法包括:
获取包括X射线吸收层的晶片;
获取衬底,所述衬底的表面导电;
使所述晶片附着到所述表面;
使所述X射线吸收层变薄;
在所述X射线吸收层中形成电触点;
使电子层接合到所述X射线吸收层使得所述X射线吸收层的电触点电连接到所述电子层的电触点。
2. 如权利要求1所述的方法,其中所述衬底未从所述晶片去除。
3. 如权利要求1所述的方法,其中所述衬底对于X射线具有小于 $1000\text{m}^2/\text{kg}$ 的质量衰减系数。
4. 如权利要求1所述的方法,其中所述衬底包括硅、玻璃、二氧化硅、Al、Cr、Ti或其组合。
5. 如权利要求1所述的方法,其中变薄包括使所述X射线吸收层的厚度减少到200微米或更少。
6. 如权利要求1所述的方法,其中所述X射线吸收层包括GaAs。
7. 如权利要求6所述的方法,其中所述GaAs未掺杂铬。
8. 如权利要求1所述的方法,其中使所述晶片附着到所述表面包括将金属层沉积到所述X射线吸收层。
9. 如权利要求1所述的方法,其进一步包括在所述X射线吸收层形成二极管。
10. 如权利要求1所述的方法,其进一步包括在所述X射线吸收层上形成离散电触点。
11. 如权利要求1所述的方法,其中所述X射线吸收层的电触点包括延伸到所述X射线吸收层内的结构。
12. 一种制作适合于检测X射线的装置的方法,所述方法包括:
获取包括牺牲衬底和在所述牺牲衬底上的X射线吸收层的晶片;
其中,所述X射线吸收层包括第二掺杂区,并且,所述第二掺杂区和所述牺牲衬底位于所述X射线吸收层的同一侧;
获取衬底,所述衬底的表面导电;
使所述晶片附着到所述表面;
通过去除所述牺牲衬底来暴露所述第二掺杂区;
在所述第二掺杂区上形成电触点;
将电子层接合到所述X射线吸收层,使得所述第二掺杂区的电触点电连接到所述电子层的电触点。
13. 如权利要求12所述的方法,所述晶片进一步包括在所述牺牲衬底与所述第二掺杂区之间的蚀刻停止层。
14. 如权利要求12所述的方法,所述晶片进一步包括本征区,其中所述本征区和所述牺牲衬底夹入了所述第二掺杂区。
15. 如权利要求14所述的方法,其中所述本征区具有小于200微米的厚度。
16. 如权利要求12所述的方法,所述晶片进一步包括轻掺杂区,其中所述轻掺杂区和所

述牺牲衬底夹入了所述第二掺杂区。

17. 如权利要求16所述的方法,其中所述轻掺杂区具有小于200微米的厚度。

18. 如权利要求12所述的方法,其中所述第二掺杂区是外延层。

19. 如权利要求12所述的方法,所述晶片进一步包括第一掺杂区,其中所述第二掺杂区夹在所述第一掺杂区与所述牺牲衬底之间。

20. 如权利要求19所述的方法,其中所述第一掺杂区被重掺杂。

21. 如权利要求19所述的方法,其中所述第一掺杂区是外延层。

22. 如权利要求19所述的方法,其中所述第一和第二掺杂区形成二极管。

23. 如权利要求12所述的方法,其中所述第二掺杂区的电触点包括延伸到所述X射线吸收层内的结构。

制作半导体X射线检测器的方法

【技术领域】

[0001] 本发明公开涉及X射线检测器,特别涉及制作半导体X射线检测器的方法。

【背景技术】

[0002] X射线检测器可以是用于测量X射线的通量、空间分布、光谱或其他性质的设备。

[0003] X射线检测器可用于许多应用。一个重要应用是成像。X射线成像是放射摄影技术并且可以用于揭示组成不均匀和不透明物体(例如人体)的内部结构。

[0004] 早期用于成像的X射线检测器包括照相底片和照相胶片。照相底片可以是具有感光乳剂涂层的玻璃底片。尽管照相底片被照相胶片取代,由于它们所提供的优越品质和它们的极端稳定性而仍可在特殊情形中使用它们。照相胶片可以是具有感光乳剂涂层的塑胶胶片(例如,带或片)。

[0005] 在20世纪80年代,出现了光激励萤光板(PSP板)。PSP板可包含在它的晶格中具有色心的萤光材料。在将PSP板暴露于X射线时,X射线激发的电子被困在色心中直到它们受到在板表面上扫描的镭射光束的激励。在镭射扫描板时,捕获的激发电子发出光,其被光电倍增管收集。收集的光转换成数码图像。与照相底片和照相胶片相比,PSP板可以被重复使用。

[0006] 另一种X射线检测器是X射线图像增强器。X射线图像增强器的部件通常在真空中密封。与照相底片、照相胶片和PSP板相比,X射线图像增强器可产生即时图像,即不需要曝光后处理来产生图像。X射线首先撞击输入萤光体(例如,碘化铯)并且被转换成可见光。可见光然后撞击光电阴极(例如,包含铯和铋复合物的薄金属层)并且促使电子发射。发射电子数量与入射X射线的强度成比例。发射电子通过电子光学器件投射到输出萤光体上并且促使该输出萤光体产生可见光图像。

[0007] 闪烁体的操作与X射线图像增强器有些类似之处在于闪烁体(例如,碘化钠)吸收X射线并且发射可见光,其然后可以被对可见光合适的图像感测器检测到。在闪烁体中,可见光在各个方向上传播和散射并且从而降低空间分辨率。使闪烁体厚度减少有助于提高空间分辨率但也减少X射线吸收。闪烁体从而必须在吸收效率与分辨率之间达成妥协。

[0008] 半导体X射线检测器通过将X射线直接转换成电信号而在很大程度上克服该问题。半导体X射线检测器可包括半导体层,其在感兴趣波长吸收X射线。半导体层吸收一个X射线光子时就会产生多个载流子(例如,电子和空穴),并且这些载流子在电场下会扫掠到半导体层上的电触点。现有的半导体X射线检测器(例如,Medipix)中需要的繁琐的热管理会使具有大面积和大量像素的检测器难以生产或不可能生产。

【发明内容】

[0009] 本文公开制作适合于检测X射线的装置的方法,该方法包括:使晶片(其包括X射线吸收层)附着到衬底表面,其中该表面导电;使晶片变薄;在晶片中形成电触点;使电子层接合到晶片使得晶片的电触点电连接到电子层的电触点。

[0010] 根据实施例,衬底未从晶片去除。

- [0011] 根据实施例,衬底对于X射线具有小于1000m²/kg的质量衰减系数。
- [0012] 根据实施例,衬底包括硅、玻璃、二氧化硅、Al、Cr、Ti或其组合。
- [0013] 根据实施例,变薄包括使晶片的厚度减少到200微米或更少、100微米或更少,或50微米或更少。
- [0014] 根据实施例,晶片包括GaAs。
- [0015] 根据实施例,GaAs未掺杂铬。
- [0016] 根据实施例,使晶片附着到衬底表面包括将金属层沉积到晶片。
- [0017] 根据实施例,方法进一步包括在晶片中形成二极管。
- [0018] 根据实施例,方法进一步包括在晶片上形成离散电触点。
- [0019] 本文公开制作适合于检测X射线的装置的方法,该方法包括:使晶片(其包括X射线吸收层)附着到衬底表面,其中该表面导电,其中晶片包括牺牲衬底、该牺牲衬底上的第二掺杂区;通过去除牺牲衬底来暴露第二掺杂区;在第二掺杂区上形成电触点;使电子层接合到晶片使得晶片的电触点电连接到电子层的电触点。
- [0020] 根据实施例,方法进一步包括在牺牲衬底与第二掺杂区之间蚀刻停止层。
- [0021] 根据实施例,方法进一步包括本征区,其中该本征区和牺牲衬底夹入了第二掺杂区。
- [0022] 根据实施例,本征区具有小于75微米、小于100微米、小于125微米或小于200微米的厚度。
- [0023] 根据实施例,方法进一步包括轻掺杂区,其中该轻掺杂区和牺牲衬底夹入了第二掺杂区。
- [0024] 根据实施例,轻掺杂区具有小于75微米、小于100微米、小于125微米或小于200微米的厚度。
- [0025] 根据实施例,第二掺杂区是外延层。
- [0026] 根据实施例,方法进一步包括第一掺杂区,其中第二掺杂区夹在第一掺杂区与牺牲衬底之间。
- [0027] 根据实施例,第一掺杂区被重掺杂。
- [0028] 根据实施例,第一掺杂区是外延层。
- [0029] 根据实施例,第一和第二掺杂区形成二极管。
- [0030] 根据实施例,晶片的电触点包括延伸到X射线吸收层内的结构。

【附图说明】

- [0031] 图1A示意示出根据实施例的检测器的横截面图。
- [0032] 图1B示意示出根据实施例的检测器的详细横截面图。
- [0033] 图1C示意示出根据实施例的检测器的备选详细横截面图。
- [0034] 图1D示意示出X射线吸收层上的电触点可具有延伸到X射线吸收层内的结构。
- [0035] 图2示意示出根据实施例器件可具有像素阵列。
- [0036] 图3A示意示出根据实施例的电子层。
- [0037] 图3B示意示出根据实施例的电子层。
- [0038] 图3C示意示出根据实施例的电子层。

- [0039] 图4A示出根据实施例,图3A中的RDL的顶视图。
- [0040] 图4B示出根据实施例,图3A中的RDL的顶视图。
- [0041] 图5A-5D示意示出根据实施例制作X射线吸收层的流程。
- [0042] 图6A-6D示意示出根据实施例制作X射线吸收层的流程。
- [0043] 图7A示出根据实施例多个晶片可接合到单个电子层,其中每个晶片可包括X射线吸收层。
- [0044] 图7B示出根据实施例单个X射线吸收层可接合到单个电子层。
- [0045] 图8示意示出根据实施例适合于医学成像(例如胸部X射线放射摄影、腹部X射线放射摄影等)的系统,其包括本文描述的半导体X射线检测器。
- [0046] 图9示意示出根据实施例适合于牙齿X射线放射摄影的系统,其包括本文描述的半导体X射线检测器。
- [0047] 图10示意示出根据实施例的货物扫描或非侵入式检查(NII)系统,其包括本文描述的半导体X射线检测器。
- [0048] 图11示意示出根据实施例的另一个货物扫描或非侵入式检查(NII)系统,其包括本文描述的半导体X射线检测器。
- [0049] 图12示意示出根据实施例的全身扫描器系统,其包括本文描述的半导体X射线检测器。
- [0050] 图13示意示出根据实施例的X射线电脑断层摄影(X射线CT)系统,其包括本文描述的半导体X射线检测器。
- [0051] 图14示意示出根据实施例的电子显微镜,其包括本文描述的半导体X射线检测器。

【具体实施方式】

[0052] 图1A示意示出根据实施例的检测器100的横截面图。检测器100可包括X射线吸收层110和电子层120(例如,ASIC),用于处理或分析入射X射线在X射线吸收层110中产生的电信号。在实施例中,检测器100不包括闪烁体。X射线吸收层110可包括半导体材料,例如硅、锗、GaAs、CdTe、CdZnTe或其组合。半导体对于感兴趣的X射线能量可具有高的质量衰减系数。

[0053] 如在图1B中的检测器100的详细横截面图中示出的,根据实施例,X射线吸收层110可包括由第一掺杂区111、第二掺杂区113的一个或多个离散区114形成的一个或多个二极管(例如,p-i-n或p-n)。第二掺杂区113可通过本征区112(可选)而与第一掺杂区111分离。离散区114通过第一掺杂区111或本征区112而彼此分离。第一掺杂区111和第二掺杂区113具有相反类型的掺杂(例如,区111是p型并且区113是n型,或区111是n型并且区113是p型)。在图1B中的示例中,第二掺杂区113的离散区114中的每个与第一掺杂区111和本征区112(可选)一起形成二极管。即,在图1B中的示例中,X射线吸收层110具有多个二极管,其具有第一掺杂区111作为共用电极。第一掺杂区111还可具有离散部分。

[0054] 在X射线光子撞击X射线吸收层110(其包括二极管)时,它可被吸收并且通过许多机制产生一个或多个载流子。一个X射线光子可产生10至100000个载流子。载流子可在电场下向二极管中的一个电极漂移。场可以是外部电场。电触点119B可包括离散部分,其中的每个与离散区114电接触。在实施例中,载流子可在多个方向上漂移使得单个X射线光子产生

的载流子大致未被两个不同离散区114共用(“大致未被共用”在这里意指这些载流子中不到2%、不到0.5%、不到0.1%或不到0.01%流向与余下载流子不同的离散区114中的一个)。围绕这些离散区114中的一个的足迹入射的X射线光子产生的载流子大致未与这些离散区114中的另一个共用。与离散区114关联的像素150可以是围绕离散区114的区域,其中由在其中入射的X射线光子产生的载流子中的大致全部(超过98%、超过99.5%、超过99.9%或超过99.99%)流向离散区114。即,这些载流子中不到2%、不到1%、不到0.1%或不到0.01%流到像素外。

[0055] 如在图1C中的检测器100的备选详细横截面图中示出的,根据实施例,X射线吸收层110可包括具有半导体材料(例如硅、锗、GaAs、CdTe、CdZnTe或其组合)的电阻器,但不包括二极管。半导体对于感兴趣的X射线能量可具有高的质量衰减系数。

[0056] 在X射线光子撞击X射线吸收层110(其包括电阻器但不包括二极管)时,它可被吸收并且通过许多机制产生一个或多个载流子。一个X射线光子可产生10至100000个载流子。载流子可在电场下向电触点119A和119B漂移。场可以是外部电场。电触点119B包括离散部分。在实施例中,载流子可在多个方向上漂移使得单个X射线光子产生的载流子大致未被电触点119B的两个不同离散部分共用(“大致未被共用”在这里意指这些载流子中不到2%、不到0.5%、不到0.1%或不到0.01%流向与余下载流子不同的离散部分中的一个)。围绕电触点119B的这些离散部分中的一个的足迹入射的X射线光子产生的载流子大致未与电触点119B的这些离散部分中的另一个共用。与电触点119B的离散部分关联的像素150可以是围绕离散部分的区域,其中由在其中入射的X射线光子产生的载流子中的大致全部(超过98%、超过99.5%、超过99.9%或超过99.99%)流向电触点119B的离散部分。即,这些载流子中不到2%、不到0.5%、不到0.1%或不到0.01%流到与电触点119B的一个离散部分关联的像素外。

[0057] 电子层120可包括电子系统121,其适合于处理或解释X射线吸收层110上入射的X射线光子产生的信号。电子系统121可包括例如滤波网路、放大器、积分器和比较器等模拟电路或例如微处理器等数字电路和内存。电子系统121可包括像素共用的部件或专用于单个像素的部件。例如,电子系统121可包括专用于每个像素的放大器和在所有像素之间共用的微处理器。电子系统121可通过通孔131电连接到像素。通孔之间的空间可用填充材料130填充,其可使电子层120到X射线吸收层110的连接的机械稳定性增加。在不使用通孔的情况下使电子系统121连接到像素的其他接合技术是可能的。电子层121可配置成由像素对X射线光子计数或配置成测量像素处累积的载流子的数量(例如,通过使用像素共用的模数转换器(ADC))。

[0058] 图1D示意示出电触点119A和119B可具有延伸到X射线吸收层110内的结构。例如,结构可以是钻入X射线吸收层110内的孔(例如,通过深反应离子蚀刻(DRIE)或镭射器)并且用金属填充。结构可与X射线吸收层110的材料形成欧姆接触或肖特基接触。电触点119A的结构和电触点119B的结构可形成交错模式但不会电短路。这些结构可有助于收集从X射线光子产生的载流子。载流子仅需要向这些结构中的一个而不是X射线吸收层110的表面漂移,由此减少复合或捕获的机会。电触点119B的结构中的每个可与电触点119A的结构中的最近一个相隔一定短距离(例如,20 μm 、50 μm 或100 μm)。这些结构收集载流子的时间可以是大约0.1-1ns。

[0059] 图2示意示出检测器100具有像素150的阵列。阵列可以是矩形阵列、蜂窝状阵列、六边形阵列或任何其他适合的阵列。每个像素150配置成检测其上入射的X射线光子、测量X射线光子的能量或两者兼而有之。例如,每个像素150可配置成在一段时间内对其上入射的、能量落在多个仓中的X射线光子的数目计数。所有像素150可配置成在相同时段内对其上入射的、能量在多个仓内的X射线光子的数目计数。每个像素150可具有它自己的模数转换器(ADC),其配置成使代表入射X射线光子的能量的模拟信号数字化为数字信号。ADC可具有10位或更高的分辨率。每个像素150可配置成测量它的暗电流,例如在每个X射线光子入射在其上之前或与之并发。每个像素150可配置成从其上入射的X射线光子的能量减去暗电流的贡献。像素150可配置成平行作业。例如,在一个像素150测量入射X射线光子时,另一个像素150可等待X射线光子到达。像素150可以独立可定址,但不是必须独立地址。

[0060] 图3A示意示出根据实施例的电子层120。该电子层120包括衬底122,其具有第一表面124和第二表面128。如本文使用的“表面”不一定被暴露,而可以全部或部分被掩埋。电子层120包括第一表面124上的一个或多个电触点125。该一个或多个电触点125可配置成电连接到X射线吸收层110的一个或多个电触点119B。电子系统121可在衬底122中或衬底122上。电子层120包括一个或多个通孔126,其从第一表面124延伸到第二表面128。电子层120包括第二表面128上的再分布层(RDL)123。RDL 123可包括一个或多个传输线127。电子系统121通过通孔126电连接到电触点125和传输线127。

[0061] 衬底122可以是变薄衬底。例如,衬底可具有750微米或更少、200微米或更少、100微米或更少、50微米或更少、20微米或更少或5微米或更少的厚度。衬底122可以是硅衬底或其他适合的半导体或绝缘体衬底。衬底122可通过将较厚衬底研磨到期望厚度而产生。

[0062] 一个或多个电触点125可以是金属或掺杂半导体的层。例如,电触点125可以是金、铜、铂、钯、掺杂硅等。

[0063] 通孔126经过衬底122并且使第一表面124上的电部件(例如电触点125)电连接到第二表面128上的电部件(例如,RDL)。通孔126有时称为“硅直通孔”,但它们可在除硅以外的材料的衬底中制造。

[0064] RDL 123可包括一个或多个传输线127。这些传输线127使衬底122中的电部件(例如,通孔126)在衬底122上的其他位点电连接到接合垫。传输线127可与衬底122电隔离,但在某些通孔126和某些接合垫处除外。传输线127可以是对于感兴趣的X射线能量具有小的质量衰减系数的材料(例如A1)。RDL 123可将电连接再分布到更多便利位点。在检测器100具有大量像素时,RDL 123尤其有用。如果检测器100没有大量像素,可省略RDL 123并且来自像素的信号可在第一表面124上路由。

[0065] 图3A进一步示意示出在电触点119B和电触点125处X射线吸收层110与电子层120之间的接合。该接合可以是适合的技术,例如直接接合或倒装接合。

[0066] 直接接合是没有任何额外中间层(例如,焊料凸点)的晶圆接合工艺。接合工艺基于两个表面之间的化学接合。直接接合可在升高的温度下进行但并非必须要高温。

[0067] 倒装接合使用沉积到接触垫(例如X射线吸收层110的电触点119B,或电触点125)上的焊料凸点199。X射线吸收层110或电子层120翻转并且X射线吸收层110的电触点119B与电触点125对齐。焊料凸点199可熔融以将电触点119B和电触点125焊接在一起。焊料凸点199之间的任何空隙空间可用绝缘材料填充。

[0068] 图3B示意示出根据实施例的电子层120。图3B中示出的电子层120与图3A中示出的电子层120在下列方面不同。电子系统121在衬底122中掩埋。电子层120包括一个或多个通孔126A,其从第一表面124延伸到第二表面128。通孔126A使电触点125电连接到第二表面128上的RDL 123中的传输线127。电子层120进一步包括一个或多个通孔126B,其从第二表面128延伸到电子系统121。通孔126B使传输线127电连接到电子系统121。X射线吸收层110和电子层120也可通过例如直接接合或倒装接合等适合的技术接合在一起(例如,在电触点119B和电触点125处)。

[0069] 图3C示意示出根据实施例的电子层120。图3C中示出的电子层120与图3A中示出的电子层120在下列方面不同。电子系统121在衬底122中掩埋。电子层120在第一表面124上不包括一个或多个电触点125。相反,包括掩埋电子系统121的衬底122通过直接接合而接合到X射线吸收层110。在衬底123中形成孔并且用金属填充它们来形成将电触点119B电路由到第二表面128的通孔126A并且形成将电子系统121电路由到第二表面128的通孔126B。然后在第二表面128上形成RDL123,使得传输线127使通孔126A和126B电连接来完成从电触点119B到电子系统121的电连接。X射线吸收层110可包括多个离散晶片。晶片中的每个可独立或共同接合到电子层120。包括多个离散晶片的X射线吸收层110可有助于适应X射线吸收层110与电子层120的材料的膨胀系数之间的差异。

[0070] 可从电触点125逐列读出信号。例如,来自一个电触点125的信号可存储在与之关联的电子系统121中的寄存器中;信号可相继从一个列移向下一个,并且最终到其他处理电路。根据实施例,如果存在RDL123,图4A示出图3A中的RDL 123的顶视图来图示通孔125和传输线127相对于电触点125和电子系统121的位置。电触点125、电子系统121和传输线127因为它们在该视图中并不直接可见而采用虚线示出。

[0071] 可从电触点125逐像素读出信号。例如,来自一个电触点125的信号可存储在与之关联的电子系统121中的寄存器中;信号可相继从一个电触点125移向下一个,并且最终到其他处理电路。根据实施例,如果存在RDL 123,图4B示出图3A中的RDL 123的顶视图来图示通孔125和传输线127相对于电触点125和电子系统121的位置。电触点125、电子系统121和传输线127因为它们在该视图中并不直接可见而采用虚线示出。

[0072] 图5A-5D示意示出根据实施例制作X射线吸收层110的流程。图5A示意示出流程以具有牺牲层187、蚀刻停止层188、第一掺杂区111、第二掺杂区113和本征区112的衬底199开始。区111、112和113在上文描述。区112和113以及区111(可选)可起到X射线吸收层110的作用。区111、112、113可以是在蚀刻停止层188上外延生长的层。在一个示例中,牺牲层187是GaAs晶圆。第二掺杂区113是N型GaAs外延层,其可具有约5微米的厚度。本征区112可以是具有小于75微米、小于100微米、小于125微米或小于200微米厚度的本征GaAs外延层。备选地,本征区112可用轻掺杂P型层或轻掺杂N型层代替。“轻掺杂”意指掺杂剂的能量水准未并入杂质带。相比之下,“重掺杂”意指掺杂剂的能量水准并入杂质带。第一掺杂区111可以是具有1微米或以上厚度的重掺杂P型GaAs外延层。在实施例中,可省略第一掺杂区111。

[0073] 图5B示意示出衬底199附着到衬底900。可存在金属层930来形成到第一掺杂区111(如果存在第一掺杂区111)或到本征区112的电接触(如果缺乏第一掺杂区111)。

[0074] 衬底900可以是对于感兴趣的X射线能量具有低质量衰减系数(例如, $<1000\text{m}^2/\text{kg}$)的材料。这样的材料的示例可包括硅、二氧化硅、Al、Cr、Ti等。衬底900不必是单个材料。在

一个示例中,衬底900可包括硅体并且与X射线吸收层110接触的表面可以是金属层。在另一个示例中,衬底900是硅晶圆并且与X射线吸收层110接触的表面是重掺杂硅。在另一个示例中,衬底900是玻璃晶圆并且与X射线吸收层110接触的表面是金属层。衬底900可具有足够的强度以在后续制造工艺期间对X射线吸收层110提供机械支承。与X射线吸收层110接触的表面可以是例如重掺杂硅、Al、Cr、Ti等导电材料。衬底900可配置成电连接到或充当X射线吸收层110的电触点119A。

[0075] 图5C示意示出通过蚀刻去除牺牲层187。蚀刻通过蚀刻停止层188而停止。即使区111-113可具有与牺牲层187相同的材料,蚀刻停止层188防止蚀刻区111-113而允许蚀刻牺牲层187。可后续去除蚀刻停止层188。

[0076] 图5D示意示出离散区114和电触点119B可部分由第二掺杂区113形成。电子层120然后可附着到晶片189,如上文描述的。

[0077] 图6A-6D示意示出根据实施例制作X射线吸收层110的流程。图6A示意示出流程可以具有本征或轻掺杂层184和第一掺杂区111(可选)的衬底199开始。区111在上文描述。在一个示例中,层184是GaAs晶圆。层184可以是本征或轻掺杂P型GaAs。第一掺杂区111可以是具有1微米或以上厚度的重掺杂P型GaAs外延层。在实施例中,可省略第一掺杂区111。

[0078] 图7B示意示出晶片189附着到衬底900。可存在金属层930来形成到第一掺杂区111(如果存在第一掺杂区111)或到层184的电接触(如果缺乏第一掺杂区111)。

[0079] 衬底900可以是对于感兴趣的X射线能量具有低质量衰减系数(例如, $<1000\text{m}^2/\text{kg}$)的材料。这样的材料的示例可包括硅、二氧化硅、Al、Cr、Ti等。衬底900不必是单个材料。在一个示例中,衬底900可包括硅体并且与X射线吸收层110接触的表面可以是金属层。在另一个示例中,衬底900是硅晶圆并且与X射线吸收层110接触的表面是重掺杂硅。在另一个示例中,衬底900是玻璃晶圆并且与X射线吸收层110接触的表面是金属层。衬底900可具有足够的强度以在后续制造工艺期间对X射线吸收层110提供机械支承。与X射线吸收层110接触的表面可以是例如重掺杂硅、Al、Cr、Ti等导电材料。衬底900可配置成电连接到或充当X射线吸收层110的电触点119A。

[0080] 图6C示意示出层184通过例如研磨等适合的方法而变薄到小于75微米、小于100微米、小于125微米或小于200微米的适合厚度。

[0081] 图6D示意示出第二掺杂区113可设置在层184上。层184、第二掺杂区113和第一掺杂区111(可选)可充当X射线吸收层110。离散区114和电触点119B可部分由第二掺杂区113形成。电子层120然后可附着到晶片189,如上文描述的。

[0082] 如通过图5A-5D的流程或图6A-6D的流程制作的X射线吸收层110可使用适合的方法(例如图3A、3B或3C中的)接合到电子层120。

[0083] 图7A示出根据实施例多个晶片可接合到单个电子层120,其中每个晶片可包括X射线吸收层110。晶片相对于电子层120的较小尺寸可有助于适应晶片与电子层120的热膨胀系数差异。晶片的热膨胀系数与电子层120的热膨胀系数之间的比率可以是二或以上。使多个晶片接合到单个电子层120可产生大面积检测器。

[0084] 图7B示出根据实施例单个X射线吸收层110可接合到单个电子层120。图7B尤其适合于应用在检测器的尺寸不必很大的情形(例如,口内X射线应用)。

[0085] 图8示意示出这样的系统,其包括本文描述的半导体X射线检测器100。该系统可用

于医学成像,例如胸部X射线放射摄影、腹部X射线放射摄影等。系统包括X摄影源1201。从X射线源1201发射的X射线穿过物体1202(例如,胸部、肢体、腹部等人体部位),由于物体1202的内部结构(例如,骨头、肌肉、脂肪和器官等)而衰减不同程度并且被投射到半导体X射线检测器100。半导体X射线检测器100通过检测X射线的强度分布来形成图像。

[0086] 图9示意示出这样的系统,其包括本文描述的半导体X射线检测器100。该系统可用于医学成像,例如牙齿X射线放射摄影。系统包括X射线源1301。从X射线源1301发射的X射线穿过物体1302,其是哺乳动物(例如,人类)口腔的部分。物体1302可包括上颚骨、颞骨、牙齿、下颚或舌头。X射线由于物体1302的不同结构而衰减不同程度并且被投射到半导体X射线检测器100。半导体X射线检测器100通过检测X射线的强度分布来形成图像。牙齿比龋齿、感染和牙周膜吸收更多的X射线。牙科患者接收的X射线辐射的剂量典型地是小的(对于全口系列是近似0.150mSv)。

[0087] 图10示意示出货物扫描或非侵入式检查(NII)系统,其包括本文描述的半导体X射线检测器100。系统可用于在例如海运集装箱、车辆、轮船、行李等传输系统中检查和识别物品。系统包括X射线源1401。从X射线源1401发射的X射线可从物体1402(例如,海运集装箱、车辆、轮船等)背散射并且被投射到半导体X射线检测器100。物体1402的不同内部结构可有差异地背散射X射线。半导体X射线检测器100通过检测背散射X射线的强度分布和/或背散射X射线光子的能量来形成图像。

[0088] 图11示意示出另一个货物扫描或非侵入式检查(NII)系统,其包括本文描述的半导体X射线检测器100。系统可用于公交站和机场处的行李筛查。系统包括X射线源1501。从X射线源1501发射的X射线可穿过行李1502,由于行李的内含物不同而有差异地衰减并且被投射到半导体X射线检测器100。半导体X射线检测器100通过检测透射的X射线的强度分布来形成图像。系统可揭示行李的内含物并且识别公共交通上禁用的专案,例如枪支、毒品、锋利武器、易燃物。

[0089] 图12示意示出全身扫描器系统,其包括本文描述的半导体X射线检测器100。该全身扫描器系统可为了安全筛查目的来检测人体上的物体而不物理脱衣或进行物理接触。全身扫描器系统能够检测非金属物体。全身扫描器系统包括X射线源1601。从X射线源1601发射的X射线可从被筛查的人1602和其上的物体背散射,并且被投射到半导体X射线检测器100。物体和人体可有差异地背散射X射线。半导体X射线检测器100通过检测背散射X射线的强度分布来形成图像。半导体X射线检测器100和X射线源1601可配置成在线性或旋转方向上扫描人。

[0090] 图13示意示出X射线电脑断层摄影(X射线CT)系统。X射线CT系统使用电脑处理的X射线来产生被扫描物体的特定区域的断层摄影图像(虚拟“切片”)。断层摄影图像在各种医学学科中可用于诊断和治疗目的,或用于缺陷检测、失效分析、计量、元件分析和逆向工程。X射线CT系统包括本文描述的半导体X射线检测器100和X射线源1701。半导体X射线检测器100和X射线源1701可配置成沿一个或多个圆形或螺旋形路径同步旋转。

[0091] 图14示意示出电子显微镜。该电子显微镜包括电子源1801(也叫作电子枪),其配置成发射电子。电子源1801可具有各种发射机制,例如热离子、光电阴极、冷发射或等离子体源。发射的电子经过电子光学系统1803,其可配置成使电子成形、加速或聚焦。电子然后到达样本1802并且图像检测器可从其处形成图像。电子显微镜可包括本文描述的半导体X

射线检测器100,用于进行能量色散X射线光谱分析(EDS)。EDS是用于样本的元素分析或化学表征的分析技术。当电子入射在样本上时,它们促使从样本发射特征X射线。入射电子可激发样本中原子的内壳层中的电子、从壳层逐出电子,同时在电子所在的地方形成电子空穴。来自外部较高能量壳层的电子然后填充该空穴,并且较高能量壳层与较低能量壳层之间的能量差可采用X射线的形式释放。从样本发射的X射线的数量和能量可以被半导体X射线检测器100测量。

[0092] 这里描述的半导体X射线检测器100可具有其他应用,例如在X射线望远镜、X射线乳房摄影、工业X射线缺陷检测、X射线显微镜或显微放射摄影、X射线铸件检查、X射线无损检验、X射线焊缝检查、X射线数字减影血管造影等中。可使用该半导体X射线检测器100来代替照相底片、照相胶片、PSP板、X射线图像增强器、闪烁体或另一个半导体X射线检测器。

[0093] 尽管本文公开各种方面和实施例,其他方面和实施例对于本领域内技术人员将变得明显。本文公开的各种方面和实施例是为了说明目的而不意在为限制性的,其真正范围和精神由下列权利要求指示。

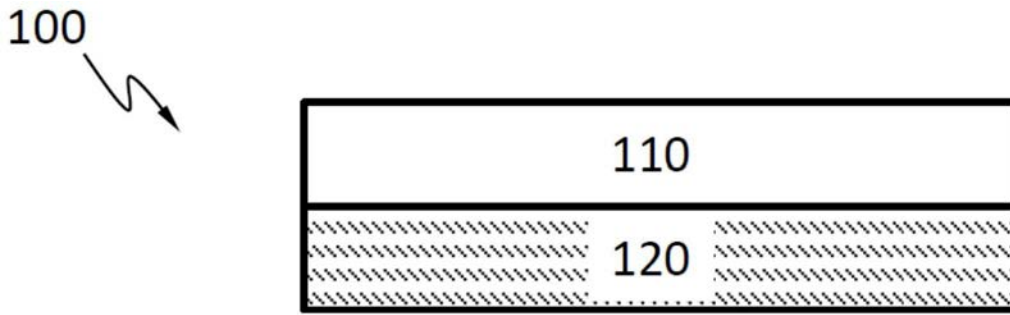


图1A

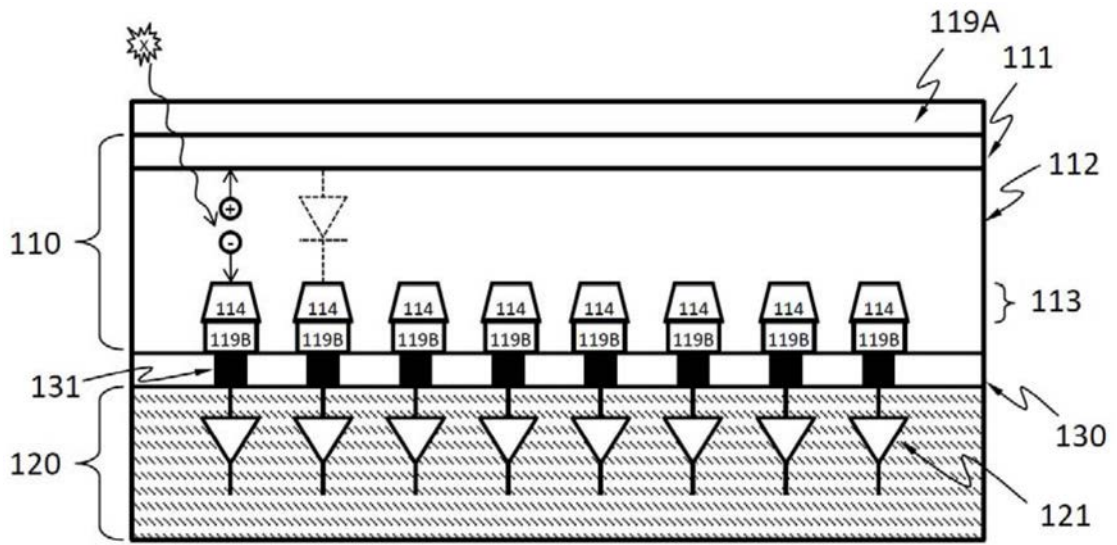


图1B

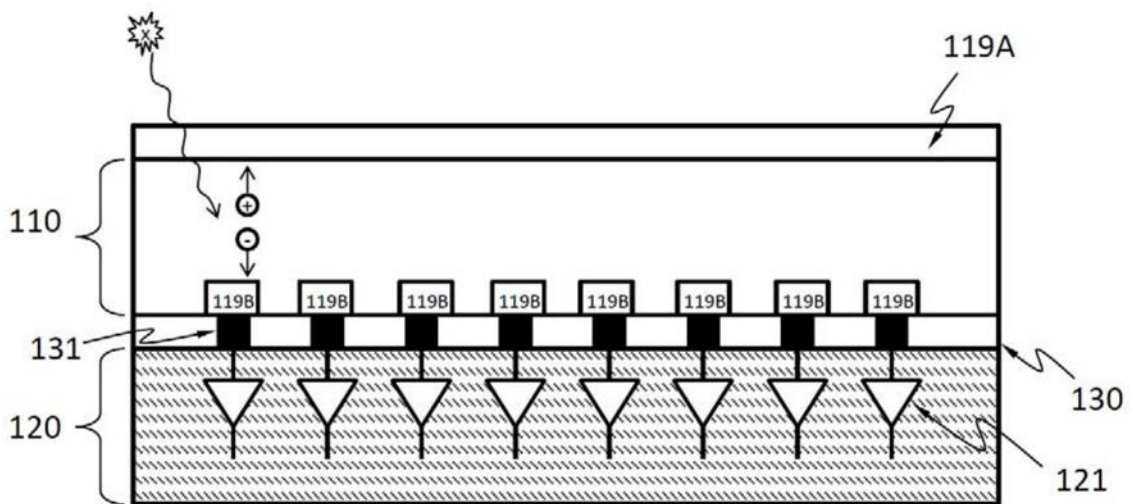


图1C

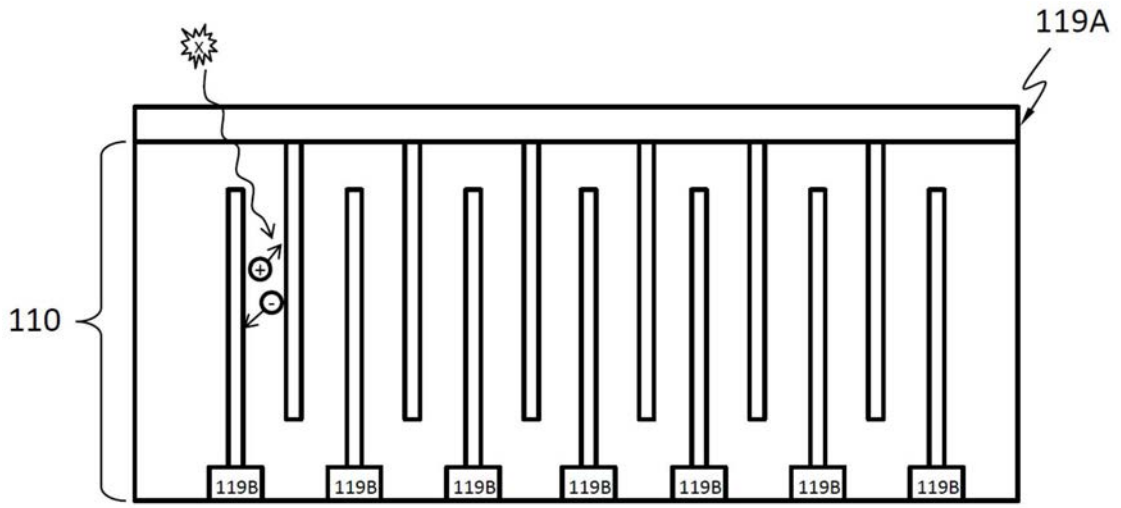


图1D

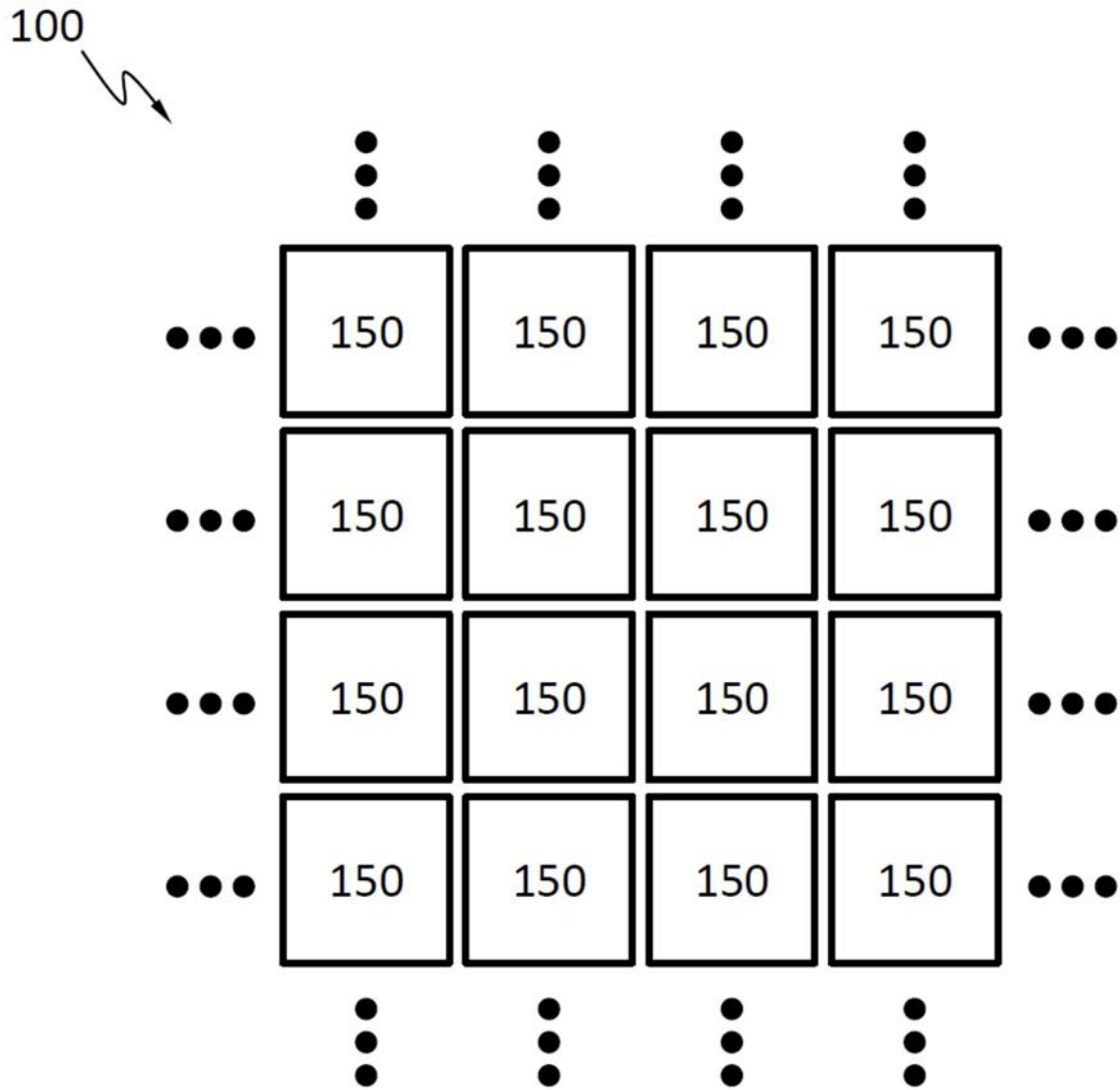


图2

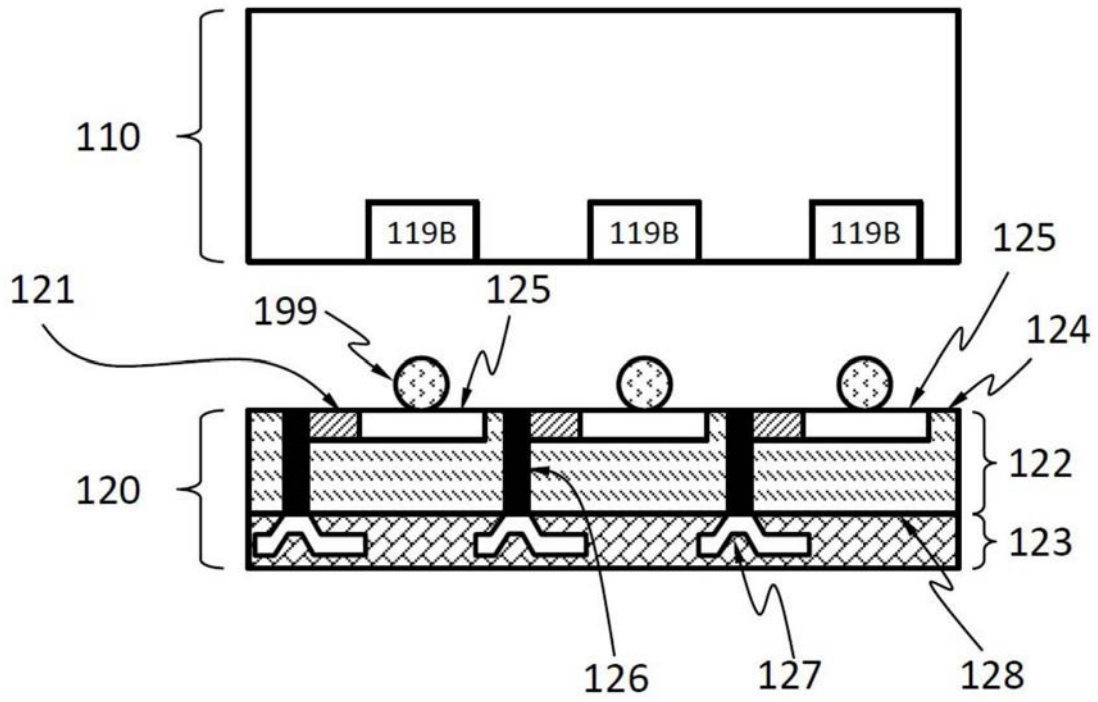


图3A

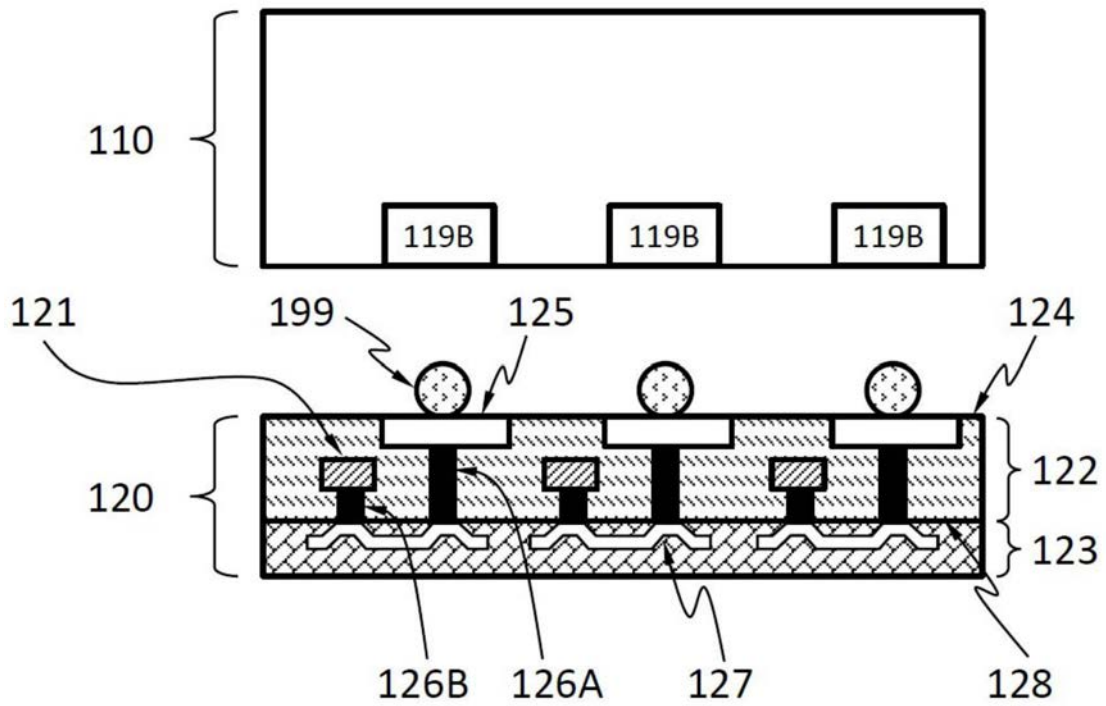


图3B

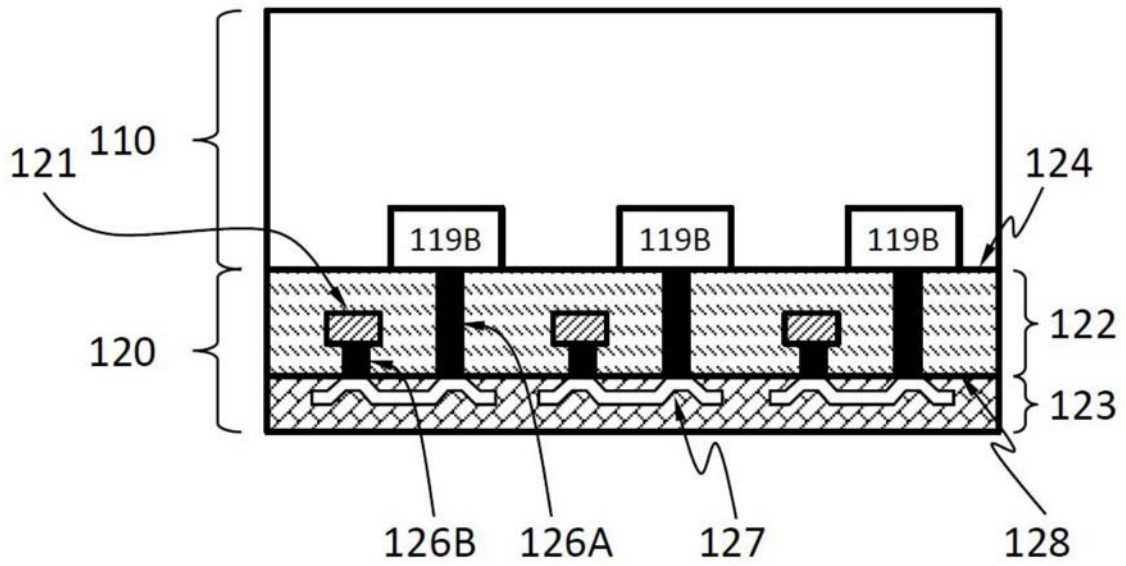


图3C

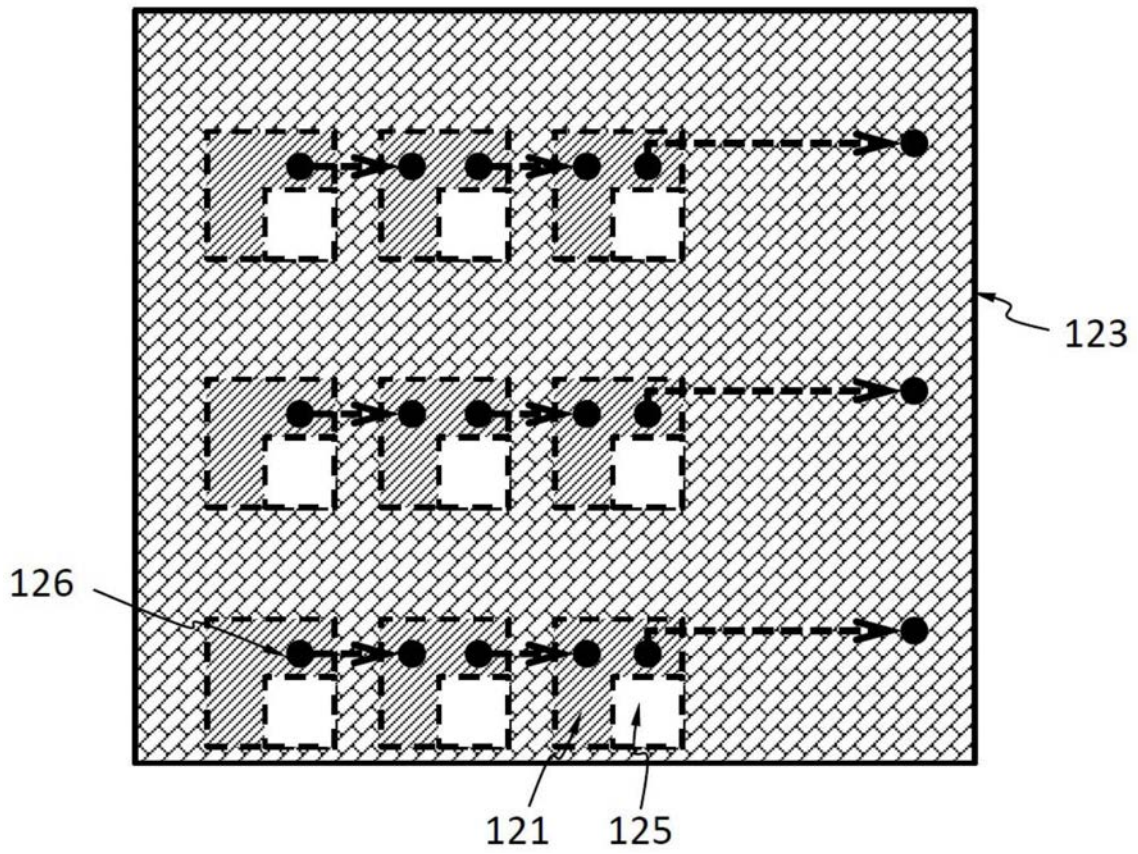


图4A

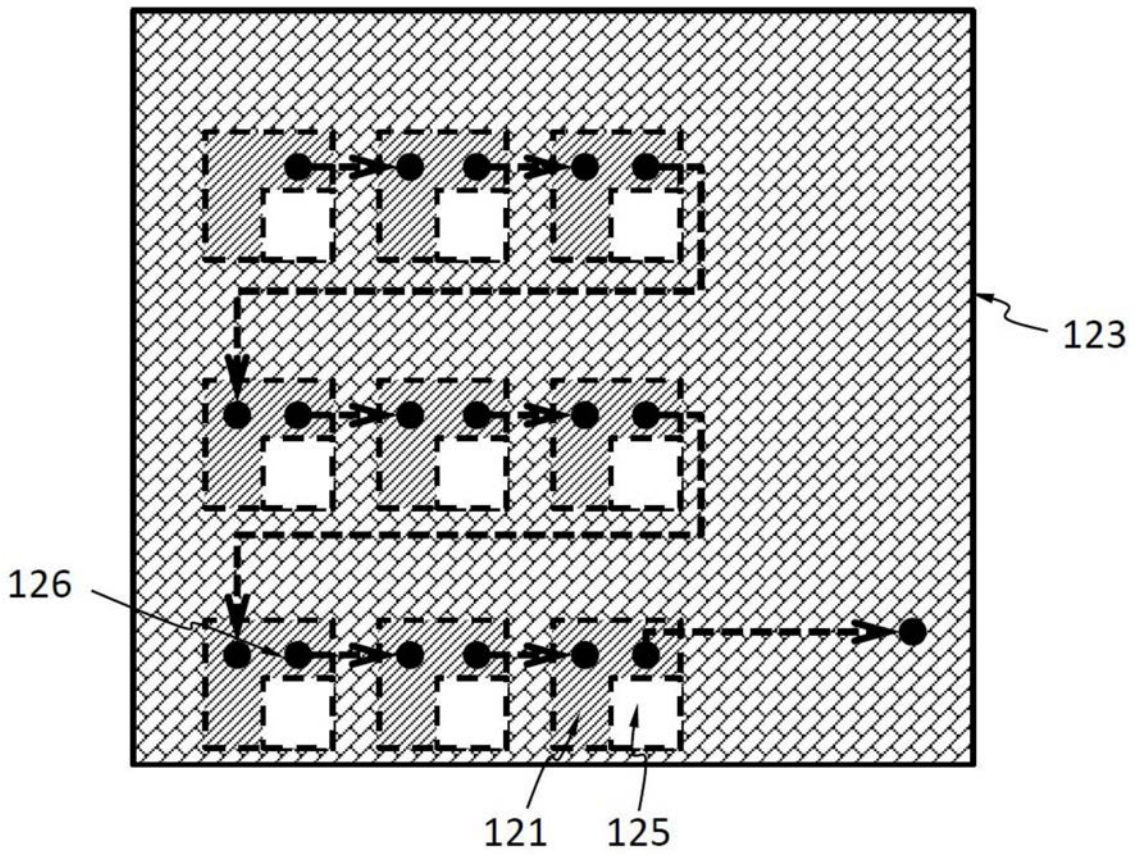


图4B

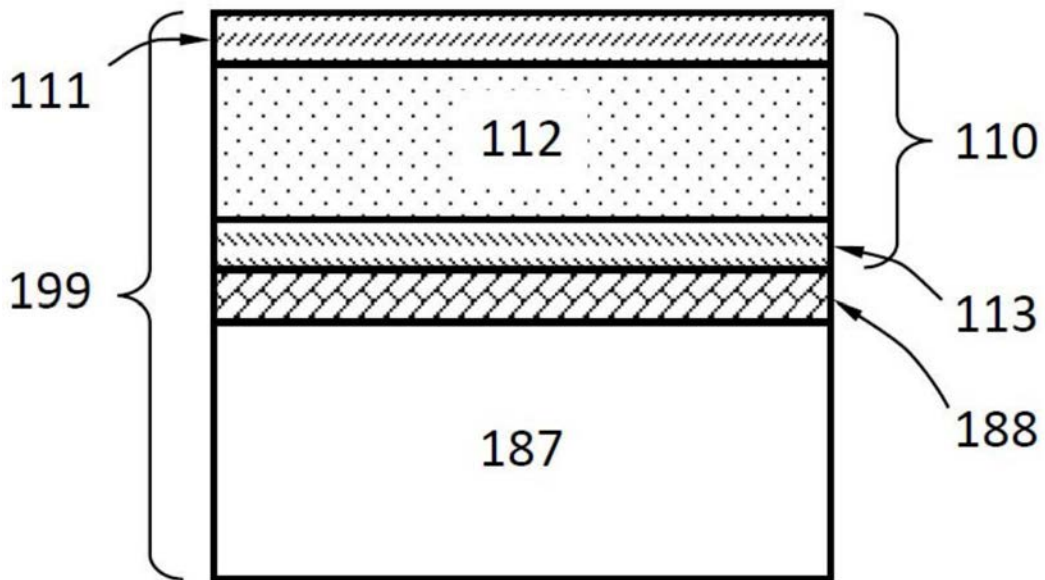


图5A

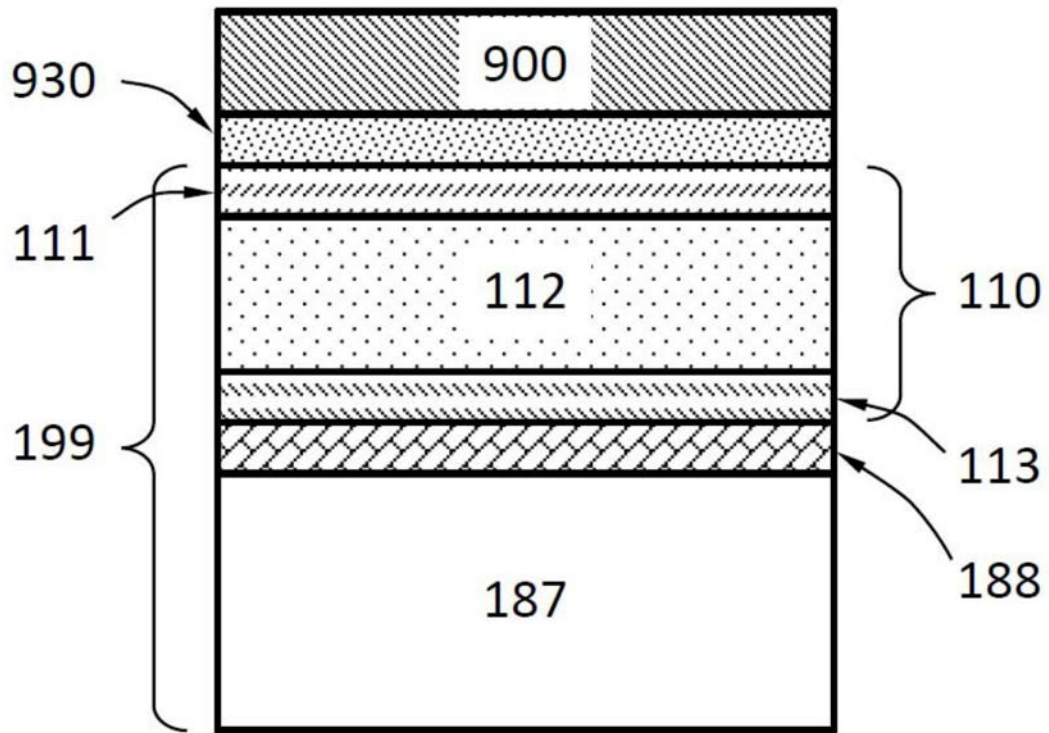


图5B

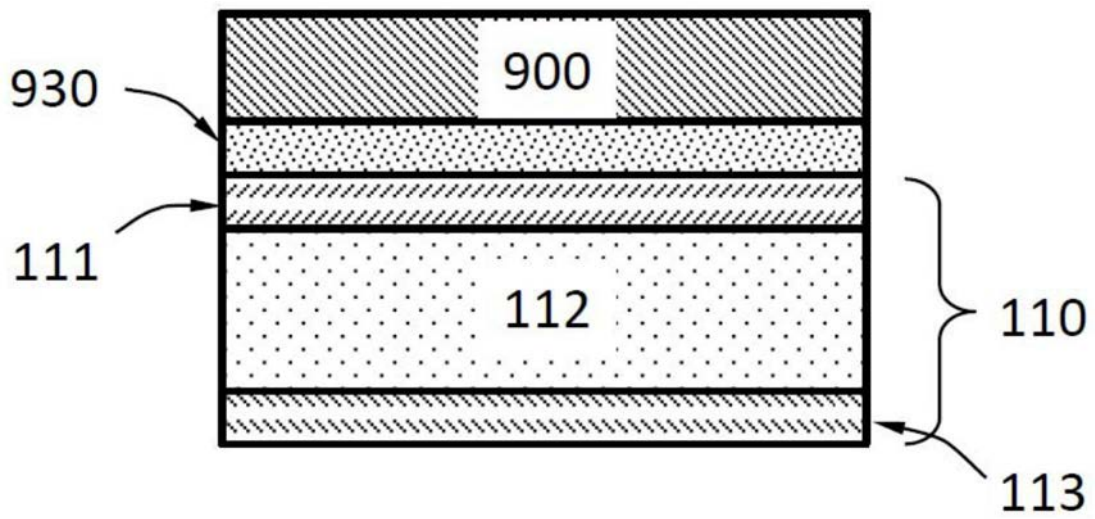


图5C

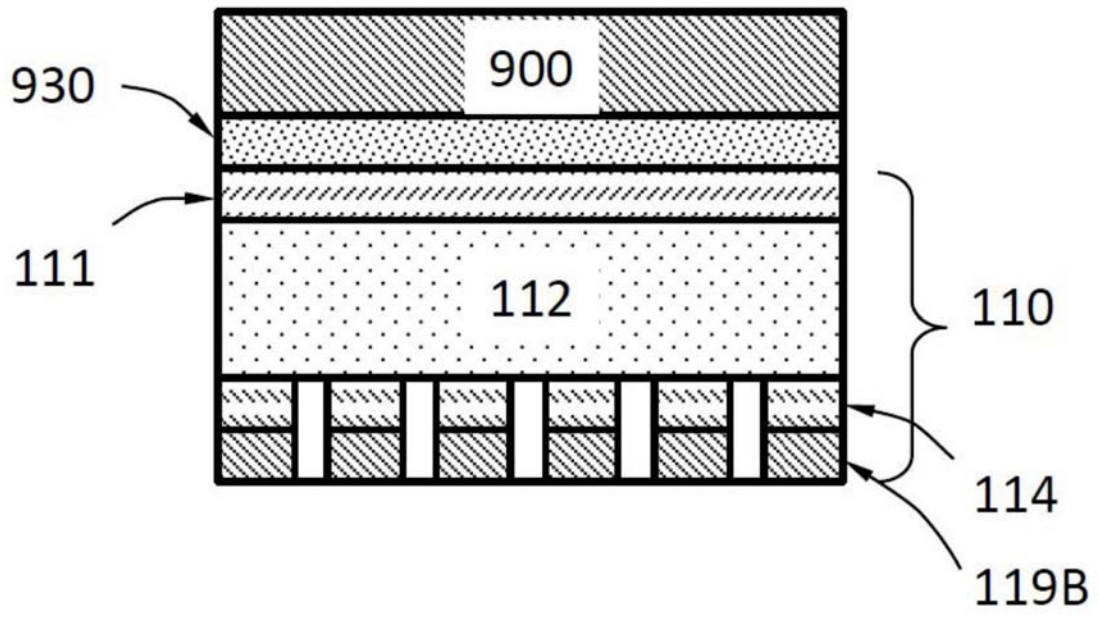


图5D

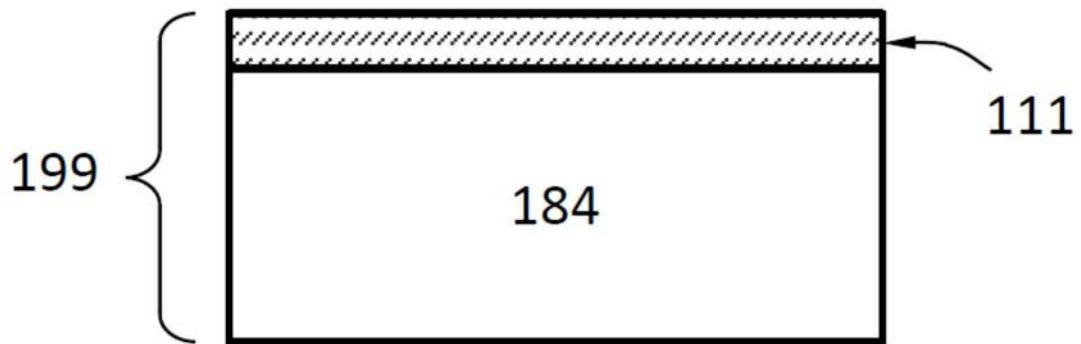


图6A

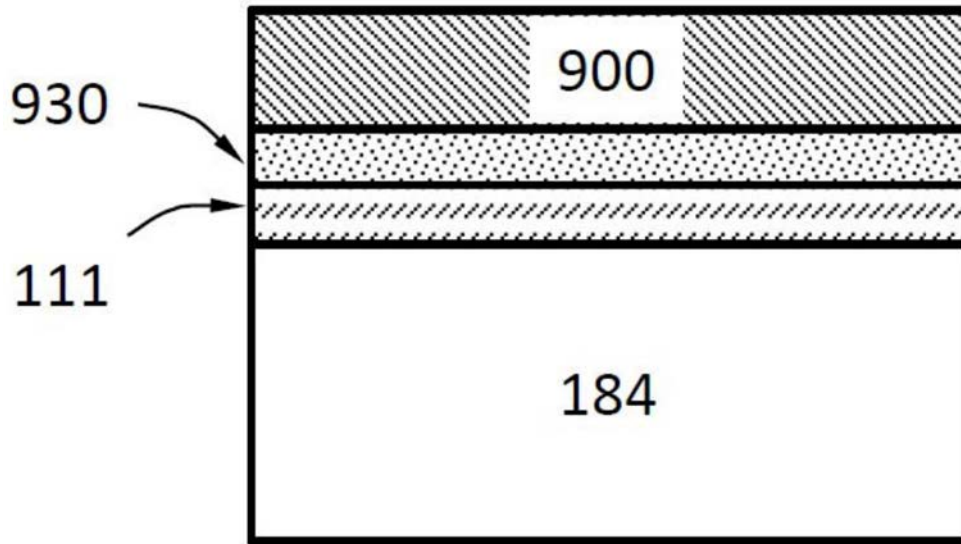


图6B

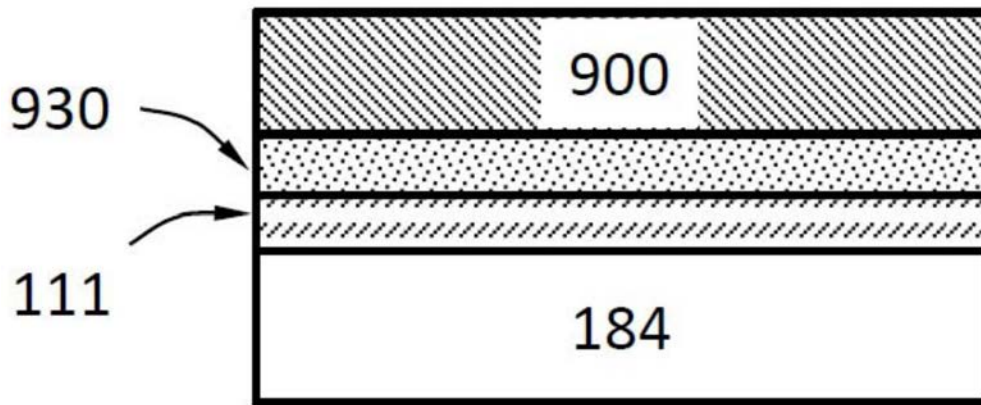


图6C

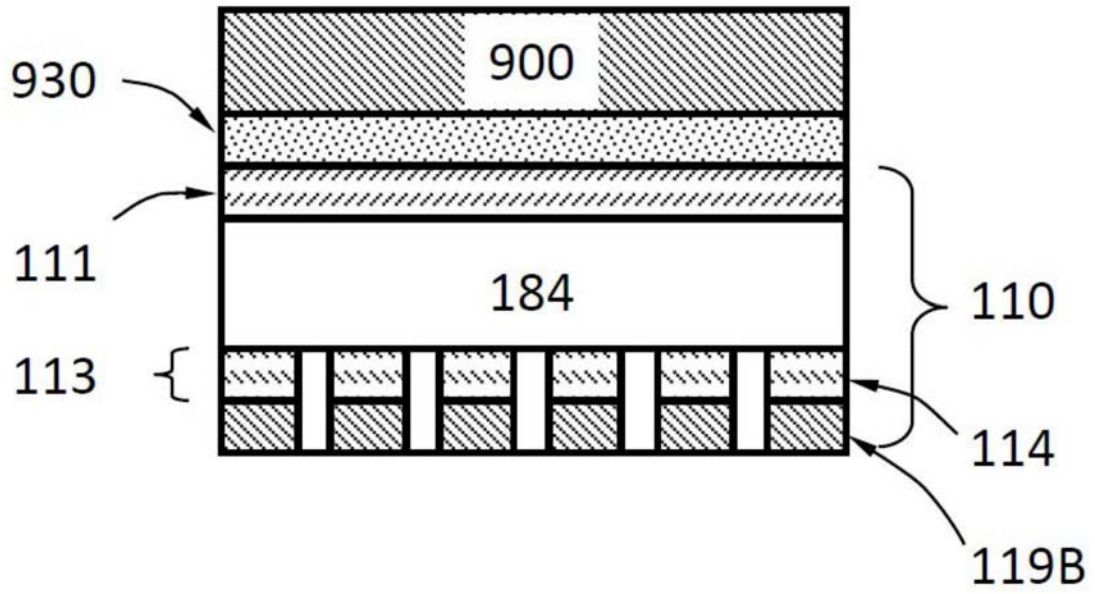


图6D

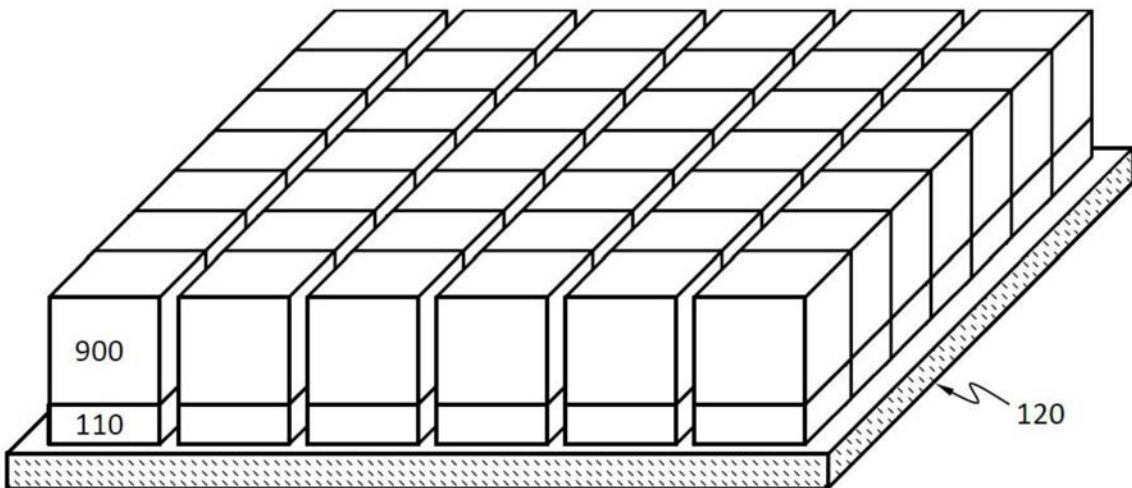


图7A

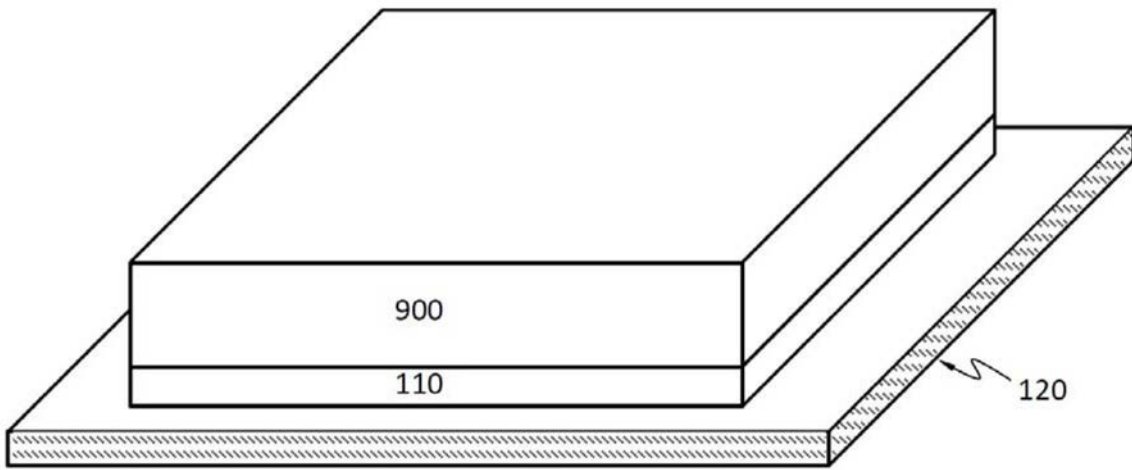


图7B

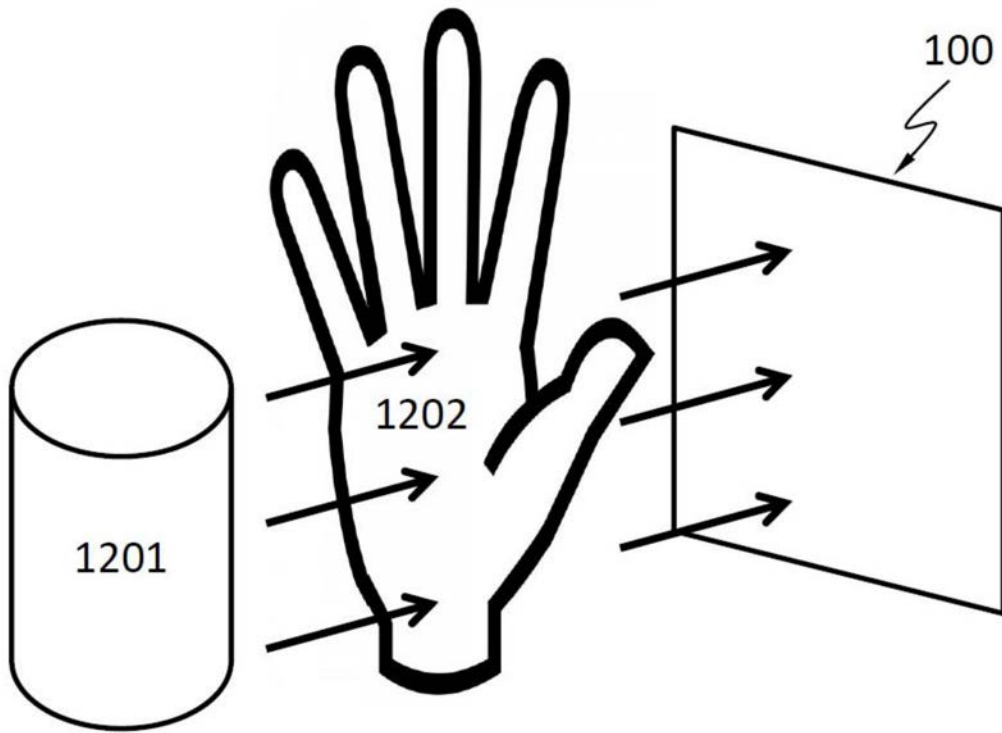


图8

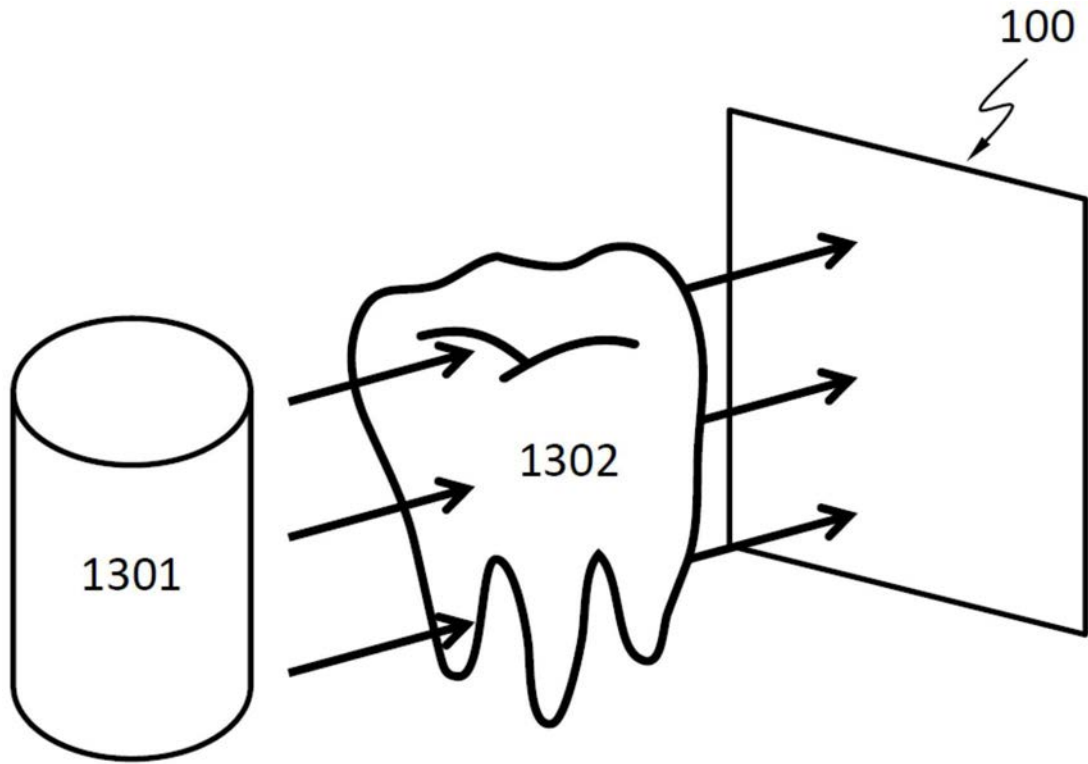


图9

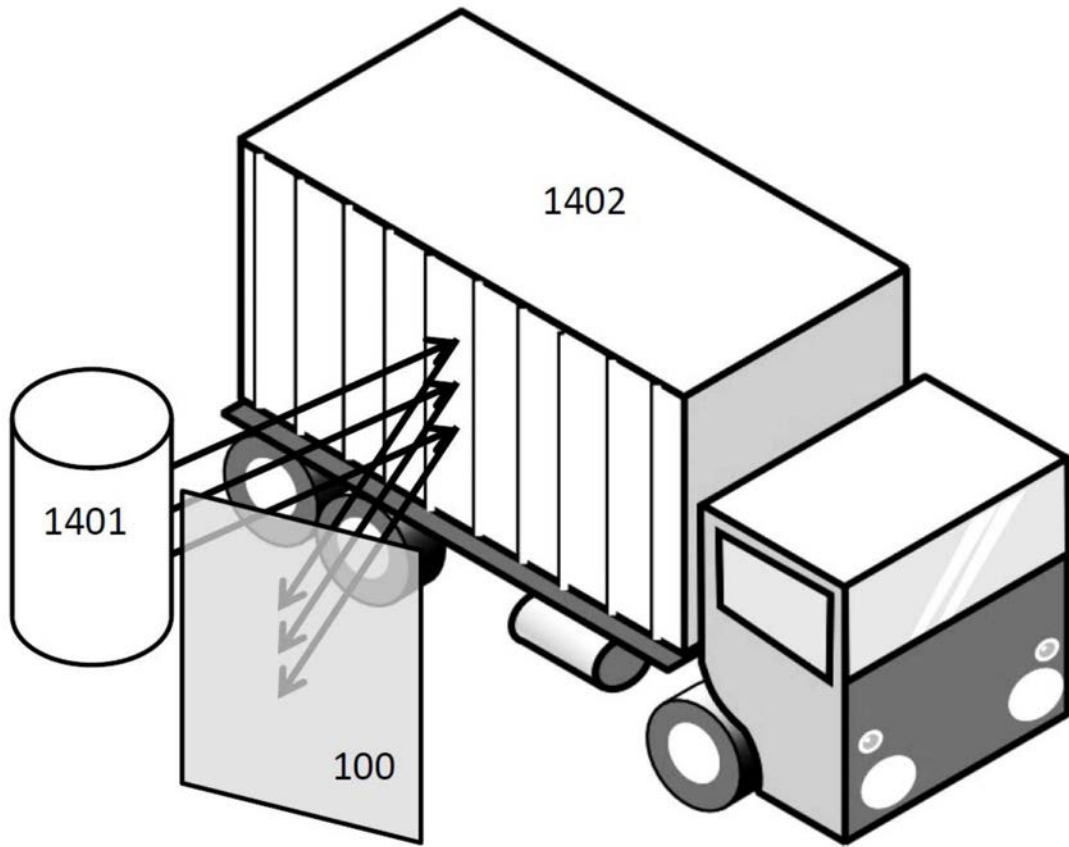


图10

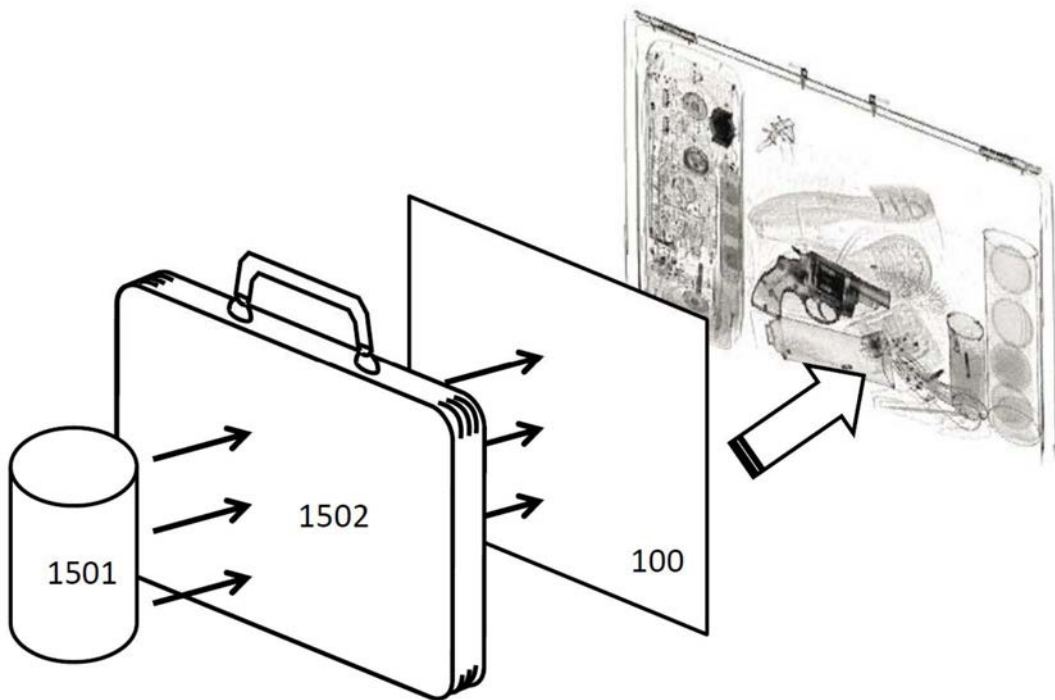


图11

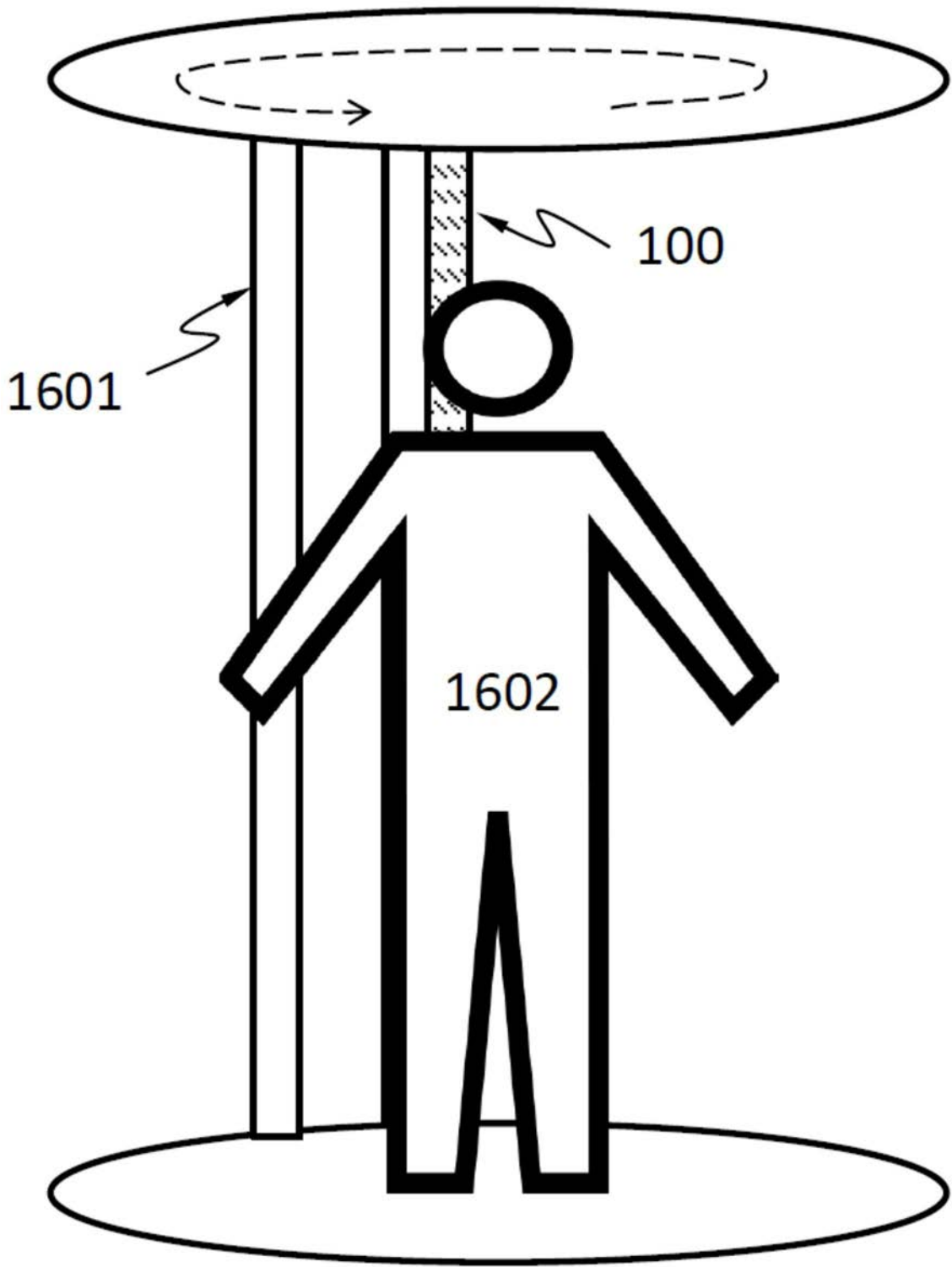


图12

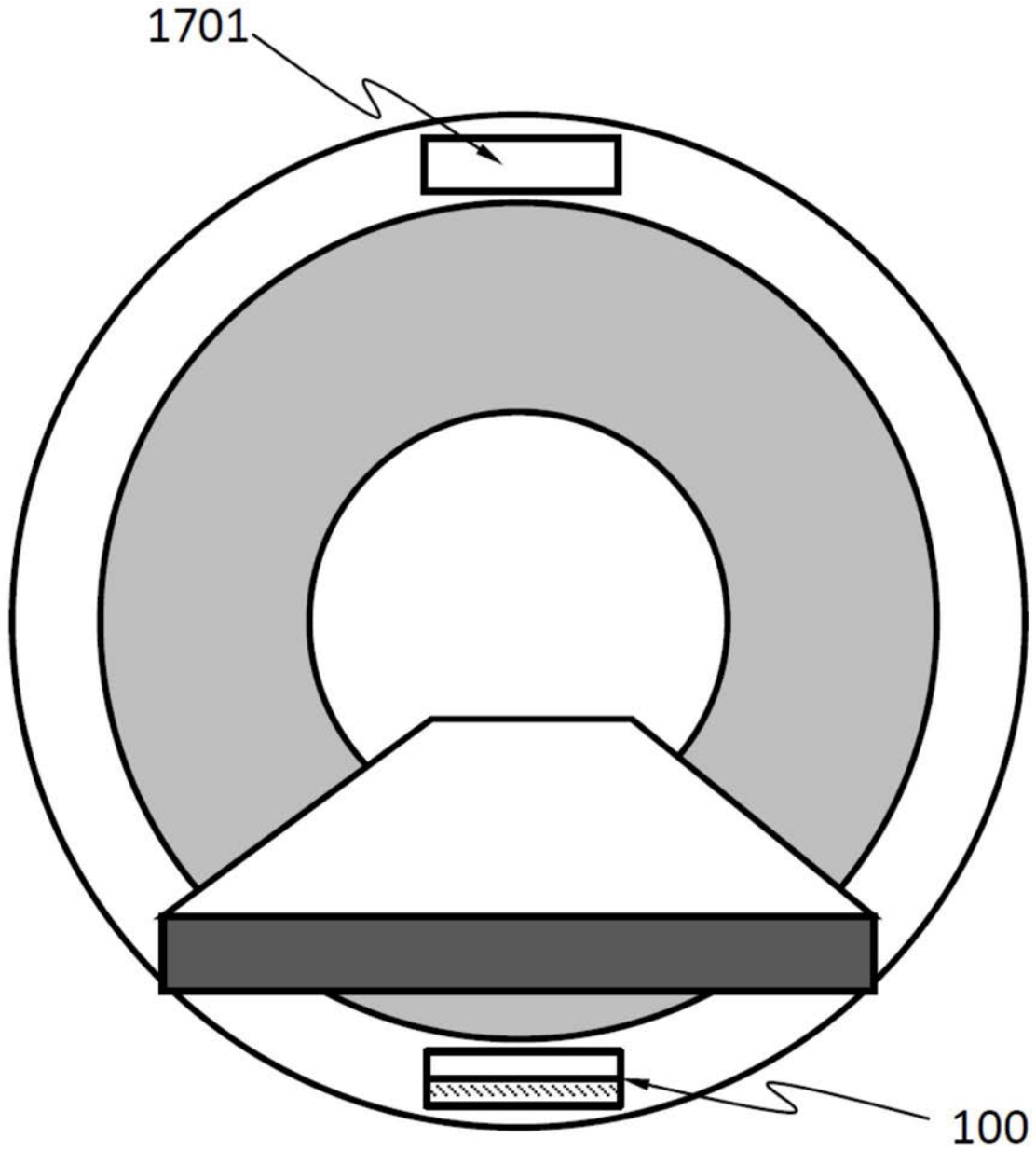


图13

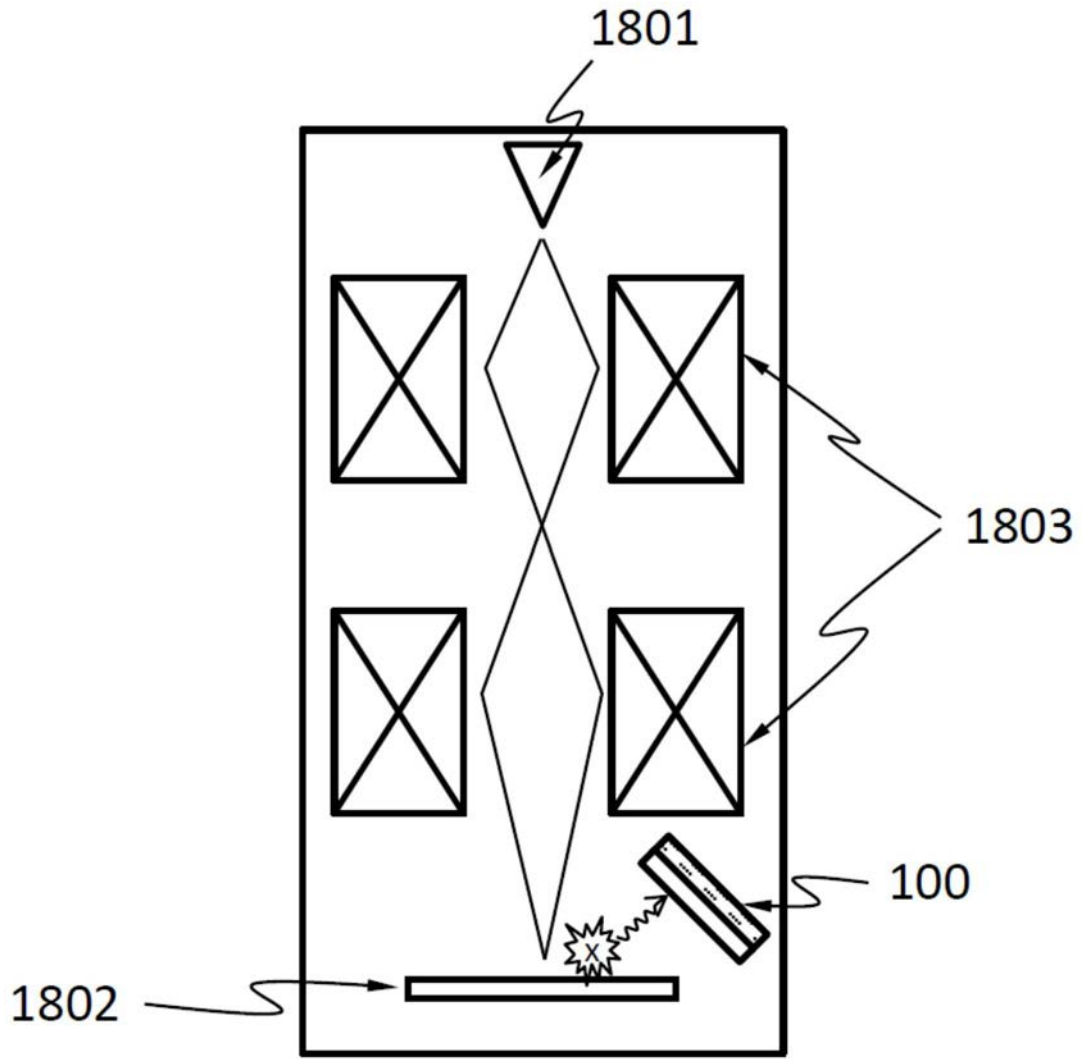


图14