



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110678802 B

(45) 授权公告日 2021.12.03

(21) 申请号 201880034011.8

(22) 申请日 2018.05.16

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110678802 A

(43) 申请公布日 2020.01.10

(30) 优先权数据

62/506,841 2017.05.16 US

62/509,499 2017.05.22 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2019.11.18

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2018/032883 2018.05.16

(87) PCT国际申请的公布数据
W02018/213388 EN 2018.11.22

(73) 专利权人 奇跃公司
地址 美国佛罗里达州

(72) 发明人 B·T·肖温格特 M·D·沃森
D·廷恰 I·L·C·杨 (续)

(74) 专利代理机构 北京市中咨律师事务所
11247

代理人 贺月娇 杨晓光

(51) Int.Cl.
G02B 27/10 (2006.01)
G02B 5/18 (2006.01)

(续)

(56) 对比文件

US 2017131545 A1, 2017.05.11

WO 2010092409 A1, 2010.08.19

WO 2016046514 A1, 2016.03.31

US 2015168731 A1, 2015.06.18

US 2015153569 A1, 2015.06.04

US 2014293389 A1, 2014.10.02

US 2009251788 A1, 2009.10.08

CN 100410727 C, 2008.08.13

CN 106125308 A, 2016.11.16

CN 106125308 A, 2016.11.16

US 2016124229 A1, 2016.05.05

US 2014293389 A1, 2014.10.02

US 2017131545 A1, 2017.05.11

审查员 张瑜

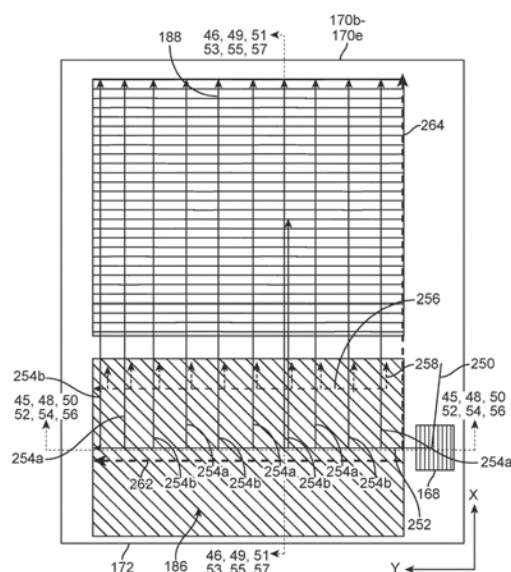
权利要求书3页 说明书51页 附图105页

(54) 发明名称

用于混合现实的系统和方法

(57) 摘要

一种虚拟图像生成系统包括：平面光波导，其具有相反的第一面和第二面；耦合 (IC) 元件，其被配置为将来自图像投影组件的准直光束光学耦合到平面光波导内作为耦合光束；第一正交光瞳扩展 (OPE) 元件，其与平面光波导的第一面相关联，用于将耦合光束分成第一组正交子光束；第二正交光瞳扩展 (OPE) 元件，其与平面光波导的第二面相关联，用于将耦合光束分成第二组正交子光束；以及出射光瞳扩展 (EPE) 元件，其与平面光波导相关联，用于将第一组正交子光束和第二组正交子光束分成从平面光波导出射的耦合子光束阵列。



[转续页]

[接上页]

(72) 发明人 J·G·麦克纳马拉 L·E·埃德温
M·A·克鲁格 W·H·韦尔奇

G02B 26/08 (2006.01)

G02B 27/42 (2006.01)

(51) Int.Cl.

G06T 19/00 (2006.01)

G02B 6/26 (2006.01)

1. 一种虚拟图像生成系统,包括:

平面光波导,其包括至少一个半反射界面和多个光导子元件,所述多个光导子元件包括具有第一厚度的一次光导子元件和具有第二厚度的至少一个二次光导子元件,其中

所述至少一个半反射界面设置在所述多个光导子元件之间,并且

所述第一厚度是所述第二厚度中的每一者的至少两倍;

耦合(IC)元件,其被配置为光学耦合来自图像投影组件的准直光束以在所述平面光波导内作为耦合光束传播;

多个衍射光学元件DOE,其与所述平面光波导相关联;

第一倍增器,其包括所述平面光波导中的具有所述第一厚度的所述一次光导子元件和所述多个DOE中的一个或多个第一DOE,其中所述第一倍增器至少部分地基于第一克隆效率将来自所述耦合元件的耦合光束倍增成多个一次子光束,所述第一克隆效率至少部分地基于所述第一厚度而被确定;

第二倍增器,其包括所述平面光波导中的具有第二厚度的所述至少一个二次光导子元件和所述多个DOE中的一个或多个第二DOE,其中

所述第二倍增器接收来自所述第一倍增器的子光束,并且至少部分地基于第二克隆效率将所述子光束倍增成耦出子光束的阵列,所述第二克隆效率至少部分地基于所述第二厚度而被确定;并且

所述耦出子光束的阵列中的子光束的总数量至少部分地基于所述第一克隆效率和所述第二克隆效率,以将所述耦合光束克隆成所述耦出子光束的阵列。

2. 根据权利要求1所述的虚拟图像生成系统,其中所述第一厚度是所述第二厚度的非倍数。

3. 根据权利要求1所述的虚拟图像生成系统,其中所述第二倍增器包括多个第二基板。

4. 根据权利要求3所述的虚拟图像生成系统,其中所述多个第二基板中的至少两个第二基板具有彼此基本相等的各自厚度。

5. 根据权利要求3所述的虚拟图像生成系统,其中所述多个第二基板中的至少两个第二基板具有彼此不同的各自厚度。

6. 根据权利要求5所述的虚拟图像生成系统,其中所述第一厚度是所述各自厚度中的至少一个各自厚度的非倍数。

7. 根据权利要求5所述的虚拟图像生成系统,其中所述各自厚度是彼此的非倍数。

8. 根据权利要求1所述的虚拟图像生成系统,其中选择所述第一厚度和所述第二厚度,使得所述耦出子光束的阵列中的至少两个相邻子光束的中心之间的间距值等于或小于所述准直光束的宽度。

9. 根据权利要求1所述的虚拟图像生成系统,其中选择所述第一厚度和所述第二厚度,使得在大于所述耦出子光束中的相邻子光束的一半的边缘之间不存在间隙。

10. 根据权利要求1所述的虚拟图像生成系统,其中所述第一倍增器包括第一反射表面和第二反射表面,所述第一反射表面在第一方向上反射第一入射光,所述第二反射表面在第二方向上反射第二入射光,并且所述第二倍增器包括仅一个反射表面,所述仅一个反射表面在第三方向上反射第三入射光,所述第三方向与所述第二方向基本相同。

11. 根据权利要求10所述的虚拟图像生成系统,其中所述至少一个二次光导子元件的

所述第二厚度被配置为使得从所述仅一个反射表面反射的子光束的至少一部分与从所述第一倍增器的所述第二反射表面反射的子光束重叠,其中所述至少一个半反射界面包括涂层,所述涂层经由物理气相沉积(PVD)、离子辅助沉积(IAD)或离子束溅射(IBS)中的一种而被设置在所述多个光导子元件之间。

12. 根据权利要求11所述的虚拟图像生成系统,其中所述至少一个半反射界面中的每一者的所述涂层为金属层、电介质层和半导体层中的一者或多者。

13. 根据权利要求1所述的虚拟图像生成系统,其中所述多个光导子元件中的所述一次光导子元件和所述二次光导子元件由具有不同折射率的材料构成。

14. 根据权利要求1所述的虚拟图像生成系统,其中所述多个DOE包括正交光瞳扩展OPE元件,所述正交光瞳扩展元件将至少两个耦入子光束分成至少两组正交子光束,所述至少一个半反射界面将所述至少两组正交子光束分成至少四组正交子光束,所述多个DOE包括出射光瞳扩展EPE元件,所述出射光瞳扩展元件将所述至少四组正交子光束分成所述耦出子光束的阵列。

15. 根据权利要求14所述的虚拟图像生成系统,其中所述OPE元件和EPE元件设置在所述平面光波导的相同面上。

16. 根据权利要求14所述的虚拟图像生成系统,其中所述至少两个耦入子光束在所述平面光波导内沿着与所述OPE元件相交的第一光路经由全内反射TIR传播,使得所述至少两个耦入子光束中的一部分被衍射为在所述平面光波导内沿着第二平行光路经由TIR传播的所述至少两组正交子光束。

17. 根据权利要求16所述的虚拟图像生成系统,其中所述第二平行光路与所述第一光路正交。

18. 根据权利要求16所述的虚拟图像生成系统,其中所述至少两组正交子光束与所述EPE元件相交,使得所述至少两组正交子光束中的一部分被衍射为从所述平面光波导的面耦出的所述耦出子光束的阵列。

19. 根据权利要求14所述的虚拟图像生成系统,其中所述EPE元件在从所述平面光波导出射的所述耦出子光束的阵列上赋予凸波前轮廓,所述凸波前轮廓在焦点处具有半径中心,以在给定的焦平面处产生图像。

20. 根据权利要求1所述的虚拟图像生成系统,其中所述准直光束限定入射光瞳,并且所述耦出子光束的阵列限定大于所述入射光瞳的出射光瞳。

21. 根据权利要求20所述的虚拟图像生成系统,其中所述出射光瞳是所述入射光瞳的至少十倍。

22. 根据权利要求20所述的虚拟图像生成系统,其中所述出射光瞳是所述入射光瞳的至少一百倍。

23. 根据权利要求1所述的虚拟图像生成系统,其中所述耦出子光束的阵列包括二维耦出子光束阵列。

24. 根据权利要求1所述的虚拟图像生成系统,进一步包括:

显示子系统,其具有图像投影组件,所述图像投影组件产生所述准直光束。

25. 根据权利要求24所述的虚拟图像生成系统,其中所述图像投影组件包括扫描装置,所述扫描装置扫描所述准直光束。

26. 一种虚拟图像生成系统, 包括:

平面光波导, 其具有第一面和与所述第一面相反的第二面;

耦合 (IC) 元件, 其被配置为将来自图像投影组件的准直光束光学耦合到所述平面光波导内作为耦合光束;

第一倍增器, 其包括所述平面光波导中的具有第一厚度的一次光导子元件和第一组正交光瞳扩展OPE元件, 以至少部分地基于第一克隆效率将所述耦合光束倍增成第一组子光束, 所述第一组OPE元件与所述平面光波导的第一面相关联, 其中所述第一克隆效率至少部分地基于所述第一厚度而被确定;

第二倍增器, 其包括所述平面光波导中的具有第二厚度的至少一个二次光导子元件和第二组正交光瞳扩展OPE元件, 以至少部分地基于第二克隆效率将所述第一组子光束中的第一子光束或所述耦合光束的一部分倍增成第二组子光束, 其中所述第二克隆效率至少部分地基于所述第二厚度而被确定, 并且所述第二组OPE元件与所述平面光波导的所述第二面相关联;

出射光瞳扩展EPE元件, 其与所述平面光波导相关联, 用于将所述第一组子光束和所述第二组子光束倍增成从所述平面光波导出射的耦合子光束的阵列, 其中所述耦合子光束的阵列使光源的数值孔径增大, 所述光源使输入光束透射到所述平面光波导中。

27. 一种虚拟图像生成系统, 包括:

平面光波导, 其包括多个光导子元件, 所述多个光导子元件包括具有第一厚度的一次光导子元件和具有各自的第二厚度的至少两个二次光导子元件, 以及分别设置在所述多个光导子元件之间的至少两个半反射界面;

耦合 (IC) 元件, 其被配置为光学耦合来自图像投影组件的准直光束, 以在所述平面光波导内作为耦合光束传播;

多个衍射光学元件DOE, 其与所述平面光波导相关联;

第一倍增器, 其包括所述平面光波导中的具有所述第一厚度的所述一次光导子元件和所述多个DOE中的一个或多个第一DOE, 其中所述第一倍增器至少部分地基于所述第一厚度将所述耦合光束倍增成多个一次子光束;

第二倍增器, 其包括所述平面光波导中的具有各自的第二厚度的所述至少两个二次光导子元件和所述多个DOE中的一个或多个第二DOE, 其中所述第二倍增器接收来自所述第一倍增器的子光束, 并且将所述多个一次子光束倍增成从所述平面光波导的面出射的耦合子光束的阵列。

用于混合现实的系统和方法

技术领域

[0001] 本公开涉及虚拟现实、增强现实和混合现实成像及可视化系统。

背景技术

[0002] 现代计算和显示技术促进了用于所谓的“虚拟现实”(VR)或“增强现实”(AR)体验的“混合现实”(AR)系统的开发,其中数字再现的图像或其部分以看起来是真实的或可以被感知为真实的方式呈现给用户。VR场景通常涉及呈现数字或虚拟图像信息且对实际的真实世界视觉输入不透明。AR场景通常涉及呈现数字或虚拟图像信息作为对用户周围的真实世界的可视化的增强(即,对真实世界视觉输入透明)。因此,AR场景涉及呈现数字或虚拟图像信息且对真实世界视觉输入透明。

[0003] MR系统通常生成并显示颜色数据,这增加了MR场景的逼真性。这些MR系统中的许多通过快速连续地循序投影与彩色图像相对应的不同(例如,原色)颜色或“场”(例如,红色、绿色和蓝色)的子图像来显示彩色数据。以足够高的速率(例如60Hz、120Hz等)投影彩色子图像可以递送在用户的脑海中平滑的彩色MR场景。

[0004] 例如,参考图1,示出了增强现实场景4,其中AR/MR技术的用户看到了以人、树、背景中的建筑物和混凝土平台8为特征的真实世界公园式设置6。除了这些项目外,AR/MR技术的终端用户还感知到他“看到”了站在真实世界平台8上的机器人雕像10以及看上去是大黄蜂的化身的飞过的卡通式化身角色12,即使这些元素10、12在真实世界中不存在。事实证明,人类的视觉感知系统非常复杂,并且产生便于在除其它虚拟或真实世界图像元素之外的虚拟图像元素的舒适、自然、丰富的呈现的VR、AR和/或MR技术具有挑战性。

[0005] 某些VR、AR和/或MR系统采用至少松散地耦合到用户头部的头戴式显示器(或头盔式显示器或智能眼镜),并且因此在终端用户的头部移动时移动。如果显示子系统检测到终端用户的头部运动,则可以更新正显示的数据,以考虑头部姿态(即用户头部的取向和/或位置)的变化。使能AR/MR(即,同时观看真实和虚拟对象)的头戴式显示器可以具有若干种不同类型的配置。在通常被称为“视频透视”显示器的一种这样的配置中,相机捕捉真实场景的元素,计算系统将虚拟元素叠加到捕捉的真实场景上,并且非透明显示器将合成图像呈现给眼睛。另一种配置通常被称为“光学透视”显示器,其中终端用户可以透视显示系统中的透明(或半透明)元素以直接观看来自环境中真实对象的光。通常被称为“合成器”的透明元素将来自显示器的光叠加在终端用户对真实世界的视图之上。

[0006] 一些头戴式VR/AR/MR系统采用位于终端用户的视场中的显示屏和将图像投影到显示屏上的图像投影组件。作为一个示例,图像投影组件可以采取基于光纤扫描的图像投影组件的形式,并且显示屏可以采取基于光波导的显示器的形式,来自图像投影组件的扫描和准直光束经由耦合(in-coupling, IC)元件注入到该显示器中,这些光束从基于光波导的显示器的表面朝向用户的眼睛出射,从而产生例如比无限远更近的单个光学观察距离(例如,手臂的长度)处的图像、多个离散的光学观察距离或焦平面处的图像,和/或在多个观察距离或焦平面处堆叠的图像层,以表示体积3D对象。

[0007] 在头戴式VR/AR/MR系统中,重要的是在给定固定的适眼距(eye relief)(即,从显示屏的最后表面到用户一只或两只眼睛的距离)的情况下,使用户眼睛的入射光瞳(即,通过角膜看到的解剖学光瞳的图像)与显示屏的出射光瞳对准并且具有相似的大小(即,用户眼睛可用的光锥的宽度),以便将仪器正确地耦合到用户一只眼睛(在单眼布置的情况下)或两只眼睛(在双眼布置的情况下)。显示屏的出射光瞳小于用户眼睛的入射光瞳通常会導致晕影(vignette)或剪切的图像,而显示屏的出射光瞳大于用户眼睛的入射光瞳会浪费部分光,但允许眼睛运动而不出现晕影或图像剪切。

[0008] 为了增加头戴式VR/AR/MR系统的可穿戴性和舒适性,需要使图像源以及在某些情况下图像投影组件尽可能地小型化。这样的图像投影组件会在不干预的情况下导致出射光瞳比一些眼睛的入射光瞳小得多,前提是假设眼睛和显示屏之间具有合理的适眼距。这样,光学元件被并入到显示子系统中以有效扩大显示屏的出射光瞳,从而匹配用户眼睛的入射光瞳。也就是说,显示屏的出射光瞳应该形成“视窗(eye box)”,该“视窗”比用户眼睛的入射光瞳(例如5至7mm)稍大(例如10mm),以允许眼睛在该视窗内移动以保持由显示屏呈现的图像的完整视图。

[0009] 除了使显示屏的出射光瞳与用户眼睛的入射光瞳匹配之外,还需要最大化VR/AR/MR系统中的显示屏的角分辨率,最小化其景深以及最大化其波前密度。最大化角分辨率可产生更清晰、更生动的虚拟图像,最大化波前密度可减轻图像伪影(例如“纱窗”效应(网格状图案和不均匀性)),并且最小化景深允许用户更轻松地适应用户当前聚焦于的虚拟内容。也就是说,景深越小,眼睛越容易适应虚拟内容,从而提供更自然的视觉真实世界体验,而景深越大,人眼越难适应虚拟内容,从而导致自然度降低,并且可能导致令人恶心的视觉体验。

[0010] 因此,仍然需要提供一种如下的VR/AR/MR系统的显示屏:其能够产生与用户眼睛的入射光瞳匹配的高度饱和的子光束(light beamlet)阵列出射光瞳,而不降低VR/AR/MR系统的可穿戴性。

[0011] 大脑的可视化中心从两只眼睛及其组件相对于彼此的运动中获得有价值的感知信息。两只眼睛相对于彼此的聚散运动(即,瞳孔朝向彼此或远离彼此以使眼睛的视线汇聚而固定在对象上的滚动运动)与眼睛晶状体的聚焦(或“调节”)紧密相关。在正常情况下,根据被称为“调节-聚散反射”的关系,改变眼睛晶状体的焦点或调节眼睛以聚焦在不同距离处的对象上将自动导致到同一距离的聚散匹配变化。同样,在正常情况下,聚散的变化将触发调节的匹配变化。已知像大多数传统的立体VR/AR/MR配置一样,违背这种反射会导致用户眼睛疲劳、头痛或其它形式的不适。

[0012] 立体可穿戴眼镜通常以用于左眼和右眼的两个显示器为特征,这两个显示器被配置以稍微不同的元素呈现而显示图像,使得人类视觉系统感知到三维视角。已经发现这样的配置使得许多用户不舒服,这是因为聚散和调节之间不匹配(“聚散-调节冲突”),必须克服这种不匹配以感知三维图像。事实上,一些VR/AR/MR用户无法容忍立体配置。因此,大多数传统的VR/AR/MR系统并不能最佳地适合以用户舒适和对用户最有益的方式呈现丰富的双眼三维的体验/场景,部分原因是现有系统无法解决人类感知系统的某些基本方面,其中包括聚散-调节冲突。

[0013] 一种解决这些问题(包括聚散-调节冲突)的可能的方法是在多个深度平面处投射

图像。为了实现此类系统,一种方法是使用多个导光光学元件将光引导到用户的眼睛处,使得光看起来源自多个深度平面。导光光学元件被设计为耦入(in-couple)与数字或虚拟对象相对应的虚拟光并通过全内反射(“TIR”)传播该虚拟光,然后耦出该虚拟光以将数字或虚拟对象显示给用户的眼睛。在AR/MR系统中,导光光学元件也被设计为对来自(例如,反射离开)实际的真实世界对象的光透明。因此,导光光学元件的部分被设计为反射虚拟光以使其经由TIR传播,同时对来自真实世界对象的真实世界光透明。

[0014] 各种光学系统在各种深度处生成图像以显示VR/AR/MR场景。一些这样的光学系统在序列号为14/555,585的美国实用新型专利申请中进行了描述,该申请的内容先前已通过引用被并入。某些VR/AR/MR系统采用可穿戴显示设备(例如,头戴式显示器、头盔式显示器或智能眼镜),这些可穿戴显示设备至少与用户的头部松散地耦合,并因此在用户的头部移动时移动。

[0015] 某些三维(“3D”)光学系统(例如VR/AR/MR系统中的那些)光学地渲染虚拟对象。对象是“虚拟的”,因为它们不是位于3D空间中相应位置中的真实物理对象。相反,当受到指向观众眼睛的光束的刺激时,虚拟对象仅存在于观看者和/或听者的脑(例如,光学中心)中。

[0016] VR/AR/MR系统还必须能够在相对于用户的各种感知位置和距离处显示虚拟数字内容。VR/AR/MR系统的设计提出了许多其它挑战,其中包括系统交付虚拟数字内容的速度、虚拟数字内容的质量、用户的适眼距(解决聚散-调节冲突)、系统的尺寸和便携性,以及其它系统和光学挑战。

[0017] 此外,VR/AR/MR系统必须能够以锐聚焦显示虚拟数字内容,以生成可信的、身临其境的、令人愉快的VR/AR/MR体验/场景所需的逼真图像。眼睛的晶状体必须改变形状(即,调节)以使图像或其部分更好地聚焦。

[0018] 头戴式显示器的尺寸限制也导致图像分辨率限制。头戴式VR/AR/MR显示系统(例如,序列号为14/555,585的美国实用新型专利申请中所述的那些,该申请的内容先前已通过引用被并入)利用经由TIR通过保持光束角度的导光光学元件透射的光束向用户显示图像。通过导光光学元件,光束直径保持基本相同。头戴式显示器的尺寸限制限制了各种光学部件(例如,光源、导光光学元件、透镜等)的尺寸,这限制了由头戴式显示器产生的光束的直径。这些光束直径限制导致上述分辨率和FOV限制。

[0019] 本文描述的系统和/或方法被配置为解决这些挑战。

发明内容

[0020] 根据本公开的第一方面,一种虚拟图像生成系统包括平面光波导(其可以是单个单一(unitary)基板),其具有相反的第一面和第二面;耦入(IC)元件,其被配置为将来自图像投影组件的准直光束作为耦入光束光学耦合到所述平面光波导内。所述图像投影组件可以包括扫描装置,所述扫描装置被配置为扫描所述准直光束。

[0021] 所述虚拟图像生成系统进一步包括:第一正交光瞳扩展(OPE)元件,其与所述平面光波导的所述第一面相关联,用于将所述耦入光束分成第一组正交子光束(light beamlet);以及第二正交光瞳扩展(OPE)元件,其与所述平面光波导的所述第二面相关联,用于将所述耦入光束分成第二组正交子光束。在一些实施例中,所述第一OPE元件设置在所述平面光波导的所述第一面上,并且所述第二OPE元件设置在所述平面光波导的所述第二

面上。所述IC元件被配置为将来自所述图像投影组件的所述准直光束光学耦合作为所述耦入光束,以在所述平面光波导内沿着交替地与所述第一OPE元件和所述第二OPE元件相交的第一光路经由全内反射(TIR)传播,使得所述耦入光束的部分分别偏转为在所述平面光波导内沿着第二平行光路经由TIR传播的所述第一组正交子光束和第二组正交子光束。在这种情况下,所述第二平行光路可与所述第一光路正交。

[0022] 所述虚拟图像生成系统进一步包括出射光瞳扩展(EPE)元件,其与所述平面光波导相关联,用于将所述第一组正交子光束和所述第二组正交子光束分成从所述平面光波导出射的耦出(out-coupled)子光束阵列(例如,二维耦出子光束阵列)。所述准直光束可以限定入射光瞳,并且所述耦出子光束阵列可以限定大于所述入射光瞳的出射光瞳,例如比所述入射光瞳大至少十倍,甚至比所述入射光瞳大至少一百倍。

[0023] 在一些实施例中,所述EPE元件设置在所述平面光波导的第一表面和第二表面之一上。所述第一组正交子光束和所述第二组正交子光束可以与所述EPE元件相交,使得所述第一组正交子光束和所述第二组正交子光束的部分被偏转为从所述平面光波导出射的耦出子光束阵列。在一些实施例中,所述EPE元件被配置为在从所述平面光波导出射的所述耦出子光束阵列上赋予凸波前轮廓。在这种情况下,所述凸波前轮廓可以在焦点处具有半径中心,以在给定的焦平面处产生图像。在另一实施例中,所述IC元件、OPE元件和EPE元件中的每一者是衍射元件。

[0024] 根据本公开的第二方面,一种虚拟图像生成系统包括平面光波导,所述平面光波导包括多个基板,所述多个基板包括具有第一厚度的第一基板、具有第二厚度的至少两个第二基板,以及分别设置在所述基板之间的至少两个半反射界面。

[0025] 在一些实施例中,所述第二厚度中的每一者小于所述第一厚度。所述第一厚度可以是所述第二厚度中的每一者的至少两倍。在另一实施例中,所述第二厚度彼此基本相等。在替代实施例中,所述第二基板中的两者或更多者具有彼此不相等的第二厚度。在这种情况下,所述不相等的第二厚度中的至少两者可以是彼此的非倍数(non-multiple)。在又一实施例中,所述第一厚度是所述第二厚度中的至少一者的非倍数,可以是所述第二厚度中的每一者的非倍数。在再一实施例中,所述多个第二基板中的至少两者具有彼此基本上不相等的第二厚度。

[0026] 在又一实施例中,所述半反射界面中的每一者包括半反射涂层,所述半反射涂层例如可以分别经由物理气相沉积(PVD)、离子辅助沉积(IAD)和离子束溅射(IBS)中的一种而被设置在所述基板之间。所述涂层中的每一者例如可以由金属(Au、Al、Ag、Ni-Cr、Cr等)、电介质(氧化物、氟化物和硫化物)和半导体(硅、锗)中的一者或多者构成。在又一实施例中,所述基板中的相邻基板由具有不同折射率的材料构成。

[0027] 所述虚拟图像生成系统进一步包括耦入(IC)元件,其被配置为光学耦合来自图像投影组件的准直光束,以作为耦入光束在所述平面光波导内传播。所述图像投影组件可以包括扫描装置,所述扫描装置被配置为扫描所述准直光束。所述半反射界面被配置为将所述耦入光束分成在所述第一基板内传播的多个一次子光束。

[0028] 所述虚拟图像生成系统进一步包括一个或多个衍射光学元件(DOE),其与所述平面光波导相关联,用于将所述多个一次子光束进一步分成从所述平面光波导的一面出射的耦出子光束阵列(例如,二维耦出子束阵列)。所述准直光束可以限定入射光瞳,并且所述耦

出子光束阵列可以限定大于所述入射光瞳的出射光瞳,例如比所述入射光瞳大至少十倍,或甚至比所述入射光瞳大至少一百倍。在一些实施例中,选择所述第一基板的所述第一厚度和所述第二基板的所述第二厚度,使得所述耦出子光束中的至少两个相邻子束的中心之间的间隔等于或小于所述准直光束的宽度。在另一实施例中,选择所述第一厚度和所述第二厚度,使得在大于所述耦出子光束中的相邻子束的一半的边缘之间不存在间隙。

[0029] 在一些实施例中,所述半反射界面被配置为将所述耦入光束分成至少两个耦入子光束,在这种情况下,所述DOE包括正交光瞳扩展(OPE)元件,所述正交光瞳扩展元件被配置为分别将至少两个耦入子光束分成至少两组正交子光束,所述半反射界面被进一步配置为将所述至少两组正交子光束分成至少四组正交子光束,并且所述DOE包括出射光瞳扩展(EPE)元件,所述出射光瞳扩展元件被配置为将所述至少四组正交子光束分成所述一组耦出子光束。所述OPE元件和EPE元件可以设置在所述平面光波导的面上。

[0030] 所述至少两个耦入子光束可以在所述平面光波导内沿着与所述OPE元件相交的第一光路由全内反射(TIR)传播,使得所述至少两个耦入子光束中的部分被衍射为在所述平面光波导内沿着第二平行光路由TIR传播的所述至少两组正交子光束。所述第二平行光路可以与所述第一光路正交。所述至少两组正交子光束可以与所述EPE元件相交,使得所述至少两组正交子光束的部分被衍射为从所述平面光波导的所述面耦出的所述一组耦出子光束。在一些实施例中,所述EPE元件可以被配置为在从所述平面光波导出射的所述耦出子光束阵列上赋予凸波前轮廓。在这种情况下,所述凸波前轮廓可以在焦点处具有半径中心,以在给定的焦平面处产生图像。

[0031] 根据本公开的第三方面,一种虚拟图像生成系统包括平面光波导,所述平面光波导包括多个基板,所述多个基板包括具有第一厚度的第一基板、分别具有至少一个第二厚度的至少一个第二基板,以及分别设置在所述基板之间的至少一个半反射界面。

[0032] 所述第一厚度是所述至少一个第二厚度中的每一者的至少两倍。在一些实施例中,所述第一厚度是所述第二厚度中的每一者的非倍数。在另一实施例中,所述第二基板包括多个第二基板。在这种情况下,所述第二厚度可以彼此相等,或者所述第二基板中的两者或更多者可以具有彼此不相等的第二厚度。所述第一厚度可以是所述第二厚度中的至少一者的非倍数。所述不相等的第二厚度中的至少两者可以是彼此的非倍数。

[0033] 在一些实施例中,所述半反射界面中的每一者包括半反射涂层,所述半反射涂层例如可以分别经由物理气相沉积(PVD)、离子辅助沉积(IAD)和离子束溅射(IBS)中的一种而被设置在所述基板之间。所述涂层中的每一者例如可以由金属(Au、Al、Ag、Ni-Cr、Cr等)、电介质(氧化物、氟化物和硫化物)和半导体(硅、锗)中的一者或多者构成。在又一实施例中,所述基板中的相邻基板由具有不同折射率的材料构成。

[0034] 所述虚拟图像生成系统进一步包括耦入(IC)元件,其被配置为光学耦合来自图像投影组件的准直光束,以作为耦入光束在所述平面光波导内传播。所述图像投影组件可以包括扫描装置,所述扫描装置被配置为扫描所述准直光束。所述半反射界面被配置为将所述耦入光束分成在所述第一基板内传播的多个一次子光束。

[0035] 所述虚拟图像生成系统进一步包括一个或多个衍射光学元件(DOE),其与所述平面光波导相关联,用于将所述多个一次子光束进一步分成从所述平面光波导的一面出射的耦出子光束阵列(例如,二维耦出子束阵列)。所述准直光束可以限定入射光瞳,并且所述耦

出子光束阵列可以限定大于所述入射光瞳的出射光瞳,例如比所述入射光瞳大至少十倍,甚至比所述入射光瞳大至少一百倍。在一些实施例中,选择所述第一基板的所述第一厚度和所述第二基板的所述第二厚度,使得所述耦出子光束中的至少两个相邻子束的中心之间的间隔等于或小于所述准直光束的宽度。在另一实施例中,选择所述第一厚度和所述第二厚度,使得在大于所述耦出子光束中的相邻子束的一半的边缘之间不存在间隙。

[0036] 在一些实施例中,所述半反射界面被配置为将所述耦入光束分成至少两个耦入子光束,在这种情况下,所述DOE包括正交光瞳扩展(OPE)元件,所述正交光瞳扩展元件被配置为分别将至少两个耦入子光束分成至少两组正交子光束,所述半反射界面被进一步配置为将所述至少两组正交子光束分成至少四组正交子光束,并且所述DOE包括出射光瞳扩展(EPE)元件,所述出射光瞳扩展元件被配置为将所述至少四组正交子光束分成所述一组耦出子光束。所述OPE元件和EPE元件可以设置在所述平面光波导的面上。

[0037] 所述至少两个耦入子光束可以在所述平面光波导内沿着与所述OPE元件相交的第一光路由全内反射(TIR)传播,使得所述至少两个耦入子光束中的部分被衍射为在所述平面光波导内沿着第二平行光路由TIR传播的所述至少两组正交子光束。所述第二平行光路可以与所述第一光路正交。所述至少两组正交子光束可以与所述EPE元件相交,使得所述至少两组正交子光束的部分被衍射为从所述平面光波导的所述面耦出的所述一组耦出子光束。在一些实施例中,所述EPE元件可以被配置为在从所述平面光波导出射的所述耦出子光束阵列上赋予凸波前轮廓。在这种情况下,所述凸波前轮廓可以在焦点处具有半径中心,以在给定的焦平面处产生图像。

[0038] 根据本公开的第四方面,一种虚拟图像生成系统包括光瞳预扩展(PPE)元件,其被配置为接收来自成像元件的准直光束并将所述准直光束分成一组初始耦出子光束。所述虚拟图像生成系统进一步包括:平面光波导;耦入(IC)元件,其被配置为将所述一组初始耦出子光束光学耦合到所述平面光波导内作为一组耦入子光束;以及一个或多个衍射元件,其与所述平面光波导相关联,用于将所述一组耦入子光束分成从所述平面光波导的一面出射的一组最终耦出子光束。所述衍射元件可以包括:正交光瞳扩展(OPE)元件,其与所述平面光波导相关联,用于将所述一组耦入子光束进一步分成一组正交子光束;以及出射光瞳扩展(EPE)元件,其与所述平面光波导相关联,用于将所述一组正交子光束分成所述一组最终耦出子光束。

[0039] 在一些实施例中,所述准直光束限定入射光瞳,所述一组初始耦出子光束限定大于所述入射光瞳的预扩展光瞳,并且所述一组最终耦出子光束限定大于所述预扩展光瞳的出射光瞳。在一个示例中,所述预扩展光瞳比所述入射光瞳大至少十倍,并且所述出射光瞳比所述预扩展光瞳大至少十倍。在一些实施例中,所述一组初始耦出子光束被光学耦合到所述平面光波导内作为二维子光束阵列,并且所述一组最终耦出子光束从所述平面光波导的所述面出射作为二维子光束阵列。在另一实施例中,所述一组初始耦出子光束被光学耦合到所述平面光波导内作为一维子光束阵列,并且所述一组最终耦出子光束从所述平面光波导的所述面出射作为二维子光束阵列。

[0040] 在一些实施例中,所述PPE元件包括:微型平面光波导;微型OPE元件,其与所述微型平面光波导相关联,用于将所述准直光束分成一组初始正交子光束;以及微型EPE元件,其与所述微型平面光波导相关联,用于将所述一组初始正交子光束分成从所述微型平面光

波导的一面出射的所述一组初始耦出子光束。所述PPE元件可以进一步包括微型IC元件,所述微型IC元件被配置为将所述准直光束光学耦合到所述平面光波导内。

[0041] 在另一实施例中,所述PPE元件包括:衍射分束器(例如, $1 \times N$ 分束器或 $M \times N$ 分束器),其被配置为将所述准直光束分成初始组发散子光束;以及透镜(例如,衍射透镜),其被配置为将所述初始组发散子光束重新准直为所述一组初始耦出子光束。

[0042] 在又一实施例中,所述PPE元件包括棱镜(例如,实心棱镜或空腔棱镜),所述棱镜被配置为将所述准直光束分成所述一组耦入子光束。所述棱镜可以包括半反射棱镜平面,所述半反射棱镜平面被配置为将所述准直光束分成所述一组耦入子光束。所述棱镜可以包括多个平行棱镜平面,所述多个平行棱镜平面被配置为将所述准直光束分成所述一组耦入子光束。在这种情况下,所述平行棱镜平面可以包括所述半反射棱镜平面。所述多个平行棱镜平面可以包括完全反射棱镜平面,在这种情况下,所述准直光束的一部分可以在第一方向上被所述至少一个半反射棱镜反射,并且所述准直光束的一部分可以被透射到所述完全反射棱镜平面以在所述第一方向上反射。所述棱镜可以包括:第一组平行棱镜平面,所述第一组平行棱镜平面被配置为将所述准直光束分成在第一方向上反射的一组初始正交子光束;以及第二组平行棱镜平面,所述第二组平行棱镜平面被配置为将所述初始正交子光束分成在不同于所述第一方向的第二方向上反射的所述一组耦入子光束。所述第一方向和所述第二方向可以彼此正交。

[0043] 在又一实施例中,所述PPE元件包括:第一平面光波导组件,其被配置为将所述准直光束分成从所述第一平面光波导组件的一面出射的二维耦出子光束阵列(例如, $N \times N$ 子光束阵列);以及第二平面光波导组件,其被配置为将所述二维耦出子光束阵列分成作为所述一组耦入子光束从所述第二平面光波导组件的一面出射的多个二维耦出子光束阵列。所述第一平面光波导组件和所述第二平面光波导组件可以分别具有不相等的厚度。

[0044] 所述二维耦出子光束阵列具有子束间间距,并且所述多个二维耦出子光束阵列在空间上彼此偏移与所述二维耦出子光束阵列的子束间间距不同的阵列间间距。在一些实施例中,所述多个二维耦出子光束阵列的阵列间间距和所述二维耦出子光束阵列的子束间间距是彼此的非倍数。所述多个二维耦出子光束阵列的阵列间间距可以大于所述二维耦出子光束阵列的子束间间距。

[0045] 在一些实施例中,所述第一平面光波导组件包括:第一平面光波导,其具有相反的第一面和第二面;第一耦入(IC)元件,其被配置为光学耦合所述准直光束,以在所述第一平面光波导内沿着第一光路由全内反射(TIR)传播;第一出射光瞳扩展器(EPE)元件,其与所述第一平面光波导相关联,用于将所述准直光束分成从所述第一平面光波导的所述第二面出射的一维子光束阵列;第二平面光波导,其具有相反的第一面和第二面;第二IC元件,其被配置为光学耦合所述一维子光束阵列,以在所述第二平面光波导内沿着垂直于所述第一光路的相应第二光路由TIR传播;以及第二出射光瞳扩展器(EPE)元件,其与所述第二平面光波导相关联,用于将所述一维子光束阵列分成从所述第二平面光波导的所述第二面出射的二维子光束阵列。在这种情况下,所述第二平面光波导的所述第一面可以被固定到所述第一平面光波导的所述第二面。所述第一平面光波导和所述第二平面光波导可以分别具有基本相等的厚度。

[0046] 所述第二平面光波导组件可以包括:第三平面光波导,其具有相反的第一面和第

二面;第三IC元件,其被配置为光学耦合第一二维子光束阵列,以在所述第三平面光波导内沿着相应的第三光路经由TIR传播;第三 EPE元件,其与所述第三平面光波导相关联,用于将所述二维子光束阵列分成从所述第三平面光波导的所述第二面出射的多个二维子光束阵列;第四平面光波导,其具有相反的第一面和第二面;第四IC元件,其被配置为光学耦合所述多个二维子光束阵列,以在所述第四平面光波导内沿着垂直于所述第三光路的相应第四光路经由TIR传播;以及第四EPE元件,其与所述第四平面光波导相关联,用于将所述多个二维子光束阵列分成从所述第四平面光波导的所述第二面出射的多个二维子光束阵列作为输入组子光束。在这种情况下,所述第四平面光波导的所述第一面可以被固定到所述第三平面光波导的所述第二面,并且所述第三平面光波导的所述第一面可以被固定到所述第二平面光波导的所述第二面。所述第一平面光波导和所述第二平面光波导可以分别具有基本相等的厚度,并且所述第三平面光波导和所述第四平面光波导可以分别具有基本相等的厚度。在这种情况下,所述第一平面光波导和所述第二平面光波导的基本相等的厚度可以不同于所述第三平面光波导和所述第四平面光波导的基本相等的厚度。所述第三平面光波导和所述第四平面光波导的相等厚度可以大于所述第一平面光波导和所述第二平面光波导的相等厚度。

[0047] 在一些实施例中,一种混合现实系统包括光源,其被配置为产生虚拟光束。所述系统还包括导光光学元件,其具有入射部、出射部、第一导光光学子元件和第二导光光学子元件。所述第一导光光学子元件具有第一厚度,所述第二导光光学子元件具有不同于所述第一厚度的第二厚度。

[0048] 在一个或多个实施例中,所述光源和所述导光光学元件被配置为使得所述虚拟光束通过所述入射部进入所述导光光学元件,通过基本全内反射传播通过所述导光光学元件,以及分成多个虚拟子光束。所述多个虚拟子光束中的至少一些可以通过所述出射部从所述导光光学元件出射。所述导光光学元件可以对于真实世界光束是透明的。

[0049] 在一个或多个实施例中,所述第一厚度和所述第二厚度的第一商或所述第二厚度和所述第一厚度的第二商都不是整数。所述入射部可以包括位于所述第一导光光学子元件上的耦入光栅。所述出射部可以包括位于所述第一导光光学子元件上的出射光瞳扩展器。所述第二导光光学子元件可以不覆盖所述第一导光光学子元件上的所述出射光瞳扩展器。

[0050] 在一个或多个实施例中,所述第二导光光学子元件的所述第二厚度便于具有预定波长的光的基本全内反射。所述预定波长可以是515nm到540nm。所述预定波长可以是520nm或532nm。所述预定波长可以是475nm或650nm。所述第二导光光学子元件的所述第二厚度便于基本上平行于所述系统的光轴的光束的基本全内反射的程度大于与所述光轴斜交的光束的基本全内反射的程度。

[0051] 在一个或多个实施例中,所述第二导光光学子元件覆盖所述第一导光光学子元件的基本上全部。所述第二厚度可以基本等于所述虚拟光束的波长的整数倍。所述第二厚度可以是475nm、520nm或650nm的整数倍。

[0052] 在一个或多个实施例中,所述第一导光光学子元件和所述第二导光光学子元件中的每一者包括相应的基本平坦的片(sheet),使得所述导光光学元件包括基本平坦的片的堆叠。所述导光光学元件还可以具有在所述第一导光光学子元件和所述第二导光光学子元件之间的折射率间隙。所述折射率间隙可以是空气层。

[0053] 在一个或多个实施例中,所述第二导光光学子元件包括在基本相同的方向上反射光的两个反射表面。所述第二导光光学子元件可以包括在基本相反的方向上反射光的两个反射表面。所述系统还可以包括第三导光光学子元件。

[0054] 在另一实施例中,一种混合现实系统包括光源,其被配置为产生虚拟光束。所述系统还包括导光光学元件,其具有入射部、出射部、第一导光光学子元件和第二导光光学子元件。所述第一导光光学子元件具有第一衍射率。所述第二导光光学子元件具有不同于所述第一衍射率的第二衍射率。

[0055] 在一个或多个实施例中,所述光源和所述导光光学元件被配置为使得所述虚拟光束通过所述入射部进入所述导光光学元件,通过基本全内反射传播通过所述导光光学元件,以及分成多个虚拟子光束。所述多个虚拟子光束中的至少一些通过所述出射部从所述导光光学元件出射。所述导光光学元件可以对于真实世界光束是透明的。

[0056] 在一个或多个实施例中,所述第一衍射率和所述第二衍射率的第一商或所述第二衍射率和所述第一衍射率的第二商都不是整数。所述入射部可以包括在所述第一导光光学子元件上的耦合光栅。所述出射部可以包括在所述第一导光光学子元件上的出射光瞳扩展器。所述第二导光光学子元件可以不覆盖所述第一导光光学子元件上的所述出射光瞳扩展器。

[0057] 在一个或多个实施例中,所述第二导光光学子元件的所述第二衍射率便于具有预定波长的光的基本全内反射。所述预定波长可以是515nm到540nm。所述预定波长可以是520nm或532nm。所述预定波长可以是475nm或650nm。

[0058] 在一个或多个实施例中,所述第二导光光学子元件的所述第二衍射率便于基本上平行于所述系统的光轴的光束的基本全内反射的程度大于与所述光轴斜交的光束的基本全内反射的程度。所述第二导光光学子元件可以覆盖所述第一导光光学子元件的基本上全部。

[0059] 在一个或多个实施例中,所述第一导光光学子元件和所述第二导光光学子元件中的每一者包括相应的基本平坦的片,使得所述导光光学元件包括基本平坦的片的堆叠。所述导光光学元件还可以具有在所述第一导光光学子元件和所述第二导光光学子元件之间的折射率间隙。所述折射率间隙可以是空气层。

[0060] 在一个或多个实施例中,所述第二导光光学子元件包括在基本相同的方向上反射光的两个反射表面。所述第二导光光学子元件可以包括在基本相反的方向上反射光的两个反射表面。所述系统还可以包括第三导光光学子元件。

[0061] 在又一实施例中,一种混合现实系统包括光源,其被配置为产生虚拟光束。所述系统还包括导光光学元件,其具有入射部、正交光瞳扩展器和多个出射光瞳扩展器。所述光源和所述导光光学元件被配置为使得所述虚拟光束通过所述入射部进入所述导光光学元件,通过基本全内反射传播通过所述导光光学元件,通过与所述正交光瞳扩展器相互作用而分成多个第一虚拟子光束,所述多个第一虚拟子光束进入所述多个出射光瞳扩展器中的相应出射光瞳扩展器,以及通过与所述多个出射光瞳扩展器相互作用而分成多个第二虚拟子光束。所述多个第二虚拟子光束中的至少一些通过所述出射光瞳扩展器从所述导光光学元件出射。

[0062] 在一个或多个实施例中,所述导光光学元件对于真实世界光束是透明的。所述多

个出射光瞳扩展器中的每一者可以包括基本平坦的片,使得所述多个出射光瞳扩展器包括基本平坦的片的堆叠。

[0063] 在一个或多个实施例中,所述正交光瞳扩展器便于具有预定波长的光的基本全内反射。所述预定波长可以是515nm到540nm。所述预定波长可以是520nm或532nm。所述预定波长可以是475nm或650nm。

[0064] 在一个或多个实施例中,所述系统还包括多个阻光器(light blocker),以选择性地阻挡到所述多个出射光瞳扩展器的光。所述多个阻光器可以包括LC光阑(shutter)或PDLC耦出光栅。所述多个阻光器中的至少一者可以邻近所述正交光瞳扩展器的边缘设置。所述多个阻光器中的至少一者可以邻近所述正交光瞳扩展器的中心部设置。

[0065] 在又一实施例中,一种混合现实系统包括光源,其被配置为产生虚拟光束。所述系统还包括导光光学元件,其具有入射部、正交光瞳扩展器和出射部。所述光源和所述导光光学元件被配置为使得所述虚拟光束通过所述入射部进入所述导光光学元件,通过基本全内反射传播通过所述导光光学元件,以及通过与所述正交光瞳扩展器相互作用而分成多个虚拟子光束。所述多个虚拟子光束中的至少一些通过所述出射部从所述导光光学元件出射。

[0066] 在一个或多个实施例中,所述正交光瞳扩展器包括第一正交光瞳子扩展器和第二正交光瞳子扩展器。所述第一正交光瞳子扩展器和所述第二正交光瞳子扩展器中的每一者将进入相应的所述第一正交光瞳子扩展器和所述第二正交光瞳子扩展器的光束分开。所述第一正交光瞳子扩展器和所述第二正交光瞳子扩展器中的每一者可以是相应的平坦的片。所述第一正交光瞳子扩展器和所述第二正交光瞳子扩展器可以堆叠在彼此的顶上。

[0067] 在一个或多个实施例中,所述第一正交光瞳子扩展器包括用于将子束引导到所述第二正交光瞳子扩展器中的第一出射边缘。所述第一出射边缘可以包括反射镜(mirror)。所述第一正交光瞳子扩展器可以包括用于将子束引导到所述第二正交光瞳子扩展器中的第二出射边缘。所述第一出射边缘和所述第二出射边缘可以各自包括相应的反射镜。

[0068] 在一个或多个实施例中,所述正交光瞳扩展器包括第一反射边缘和第二反射边缘。所述第一反射边缘和所述第二反射边缘可以彼此正交。所述正交光瞳扩展器还可以包括第三反射边缘。

[0069] 在一个或多个实施例中,所述正交光瞳扩展器包括耦入光栅和与所述耦入光栅相对设置的高衍射区域。所述正交光瞳扩展器可以包括第一光修改器,所述第一光修改器被配置为吸收第一波长范围内的光。所述正交光瞳扩展器还可以包括第二光修改器,所述第二光修改器被配置为吸收第二波长范围内的光。所述第一光修改器和所述第二光修改器可以彼此正交。

[0070] 在一个或多个实施例中,所述正交光瞳扩展器还包括第三光修改器,所述第三光修改器被配置为吸收第三波长范围内的光。所述正交光瞳扩展器可以包括形成“V”形的衍射光学元件。所述正交光瞳扩展器可以包括多个PDLC开关(swatch)。

[0071] 在又一实施例中,一种混合现实系统包括光源,其被配置为产生虚拟光束。所述系统还包括导光光学元件,其具有入射部、出射部、第一导光光学子元件和第二导光光学子元件。所述第一导光光学子元件具有第一光修改特性。所述第二导光光学子元件具有不同于所述第一光修改特性的第二光修改特性。

[0072] 一种虚拟图像生成系统包括平面光波导,所述平面光波导包括多个基板,所述多

个基板包括具有第一厚度的第一基板和具有第二厚度的至少两个第二基板,以及分别设置在所述基板之间的至少两个半反射界面。所述第一厚度可以是所述第二厚度中的每一者的至少两倍。所述系统进一步包括耦合(IC)元件,其被配置为光学耦合准直光束,以作为耦合入光束在所述平面光波导内传播。所述半反射界面被配置为将所述耦合入光束分成在所述第一基板内传播的多个一次子光束,所述系统进一步包括一个或多个衍射光学元件(DOE),其与所述平面光波导相关联,用于将所述多个一次子光束进一步分成从所述平面光波导的一面出射的耦出子光束阵列。

[0073] 一种虚拟图像生成系统包括:光瞳预扩展(PPE)元件,其被配置为接收来自成像元件的准直光束并将所述准直光束分成一组初始耦出子光束;平面光波导;耦合(IC)元件,其被配置为将所述一组初始耦出子光束光学耦合到所述平面光波导内作为一组耦入子光束;以及一个或多个衍射元件,其与所述平面光波导相关联,用于将所述一组耦入子光束分成从所述平面光波导的一面出射的一组最终耦出子光束。

[0074] 一种混合现实系统包括光源,其被配置为产生虚拟光束。所述系统还包括导光光学元件,其具有入射部、出射部、第一导光光学子元件和第二导光光学子元件。所述第一导光光学子元件具有第一厚度,并且所述第二导光光学子元件具有不同于所述第一厚度的第二厚度。

[0075] 本公开的附加和其它目的、特征和优点在具体实施方式、附图说明和权利要求书中详细描述。

附图说明

[0076] 附图示出了本公开的优选实施例的设计和利用,其中类似的元件由共同的附图标记表示。为了更好地理解如何获得本公开的上述和其它优点和目的,将通过参考在附图中示出的本公开的具体实施例来呈现上面简要描述的本公开的更具体的描述。应当理解,这些附图仅描绘了本公开的典型实施例,并且因此不被认为是对本公开范围的限制,将通过使用附图以附加的特征和细节来描述和解释本公开,在附图中:

[0077] 图1是可以由现有技术增强现实生成设备向终端用户显示的三维增强现实场景的图片;

[0078] 图2是根据本公开的一些实施例构造的虚拟图像生成系统的框图;

[0079] 图3A是可用于穿戴图2的虚拟图像生成系统的一种技术的平面图;

[0080] 图3B是可用于穿戴图2的虚拟图像生成系统的另一技术的平面图;

[0081] 图3C是可用于穿戴图2的虚拟图像生成系统的再一技术的平面图;

[0082] 图3D是可用于穿戴图2的虚拟图像生成系统的又一技术的平面图;

[0083] 图4、7和8是各种混合现实系统的详细示意图;

[0084] 图5是在图2的虚拟图像生成系统中使用的显示子系统的一些实施例的平面图;

[0085] 图6是在图5的显示子系统中使用的一次波导装置的一些实施例的概念图;

[0086] 图9是示出混合现实系统的焦平面的图;

[0087] 图10是混合现实系统的导光光学元件的详细示意图;

[0088] 图11A、12A、13A、14A和15A是根据各种实施例的进入眼睛的光束的示意图;

[0089] 图11B、12B、13B、14B和15B是根据各种实施例的由晶状体聚焦到视网膜上的相应

的图11A、12A、13A、14A和图15A中的光束的能量分布图案；

[0090] 图16A是根据一些实施例的进入眼睛的子光束的示意图；

[0091] 图16B是根据一些实施例的由晶状体聚焦到视网膜上的图16A中的子光束的能量分布图；

[0092] 图17A是根据一些实施例的产生子束阵列的导光光学元件的示意图；

[0093] 图17B是根据一些实施例的与由虹膜形成的瞳孔有关的子光束的示意图；

[0094] 图18A至18C是示出根据各种实施例的视网膜上的子光束的示意图；

[0095] 图19是根据一些实施例的传播通过光束倍增器的光束和子束的示意图；

[0096] 图20是根据一些实施例的传播通过光束倍增器并进入眼睛的光束和子束的示意图；

[0097] 图21是根据一些实施例的传播通过两个光束倍增器并进入眼睛的光束和子束的示意图；

[0098] 图22A至33I是根据各种实施例的传播通过光束倍增器的光束和子束的示意图；

[0099] 图34是图6的一次波导装置的一些实施例的平面图；

[0100] 图35是沿线35-35截取的图34的一次波导装置的截面图；

[0101] 图36是沿线36-36截取的图34的一次波导装置的截面图；

[0102] 图37是图6的一次波导装置的另一实施例的平面图；

[0103] 图38是图6的一次波导装置的又一实施例的平面图；

[0104] 图39A至39C是图34的一次波导装置的透视图，特别示出了不同焦平面处的耦出子光束的发射；

[0105] 图40A是显示屏的波导装置的相对稀疏的出射光瞳的概念图；

[0106] 图40B是修改后的图34的一次波导装置的实施例的相对密集的出射光瞳的概念图；

[0107] 图41是修改后的图40B的一次波导装置的一些实施例的平面图；

[0108] 图42是沿线42-42截取的图41的一次波导装置的截面图；

[0109] 图43是沿线43-43截取的图41的一次波导装置的截面图；

[0110] 图44是修改后的图40B的一次波导装置的另一实施例的平面图；

[0111] 图45是沿线45-45截取的图44的一次波导装置的第一变型的截面图；

[0112] 图46是沿线46-46截取的图44的一次波导装置的第一变型的截面图；

[0113] 图47A至47D是示出在修改后的图45的一次波导装置中采用的分束技术的剖面图；

[0114] 图48是沿线48-48截取的图44的一次波导装置的第一变型的截面图，特别示出了子光束的重叠；

[0115] 图49是沿线49-49截取的图44的一次波导装置的第一变型的截面图，特别示出了子光束的重叠。

[0116] 图50是沿线50-50截取的图44的一次波导装置的第二变型的截面图；

[0117] 图51是沿线51-51截取的图44的一次波导装置的第二变型的截面图；

[0118] 图52是沿线52-52截取的图44的一次波导装置的第二变型的截面图，特别示出了子光束的重叠；

[0119] 图53是沿线53-53截取的图44的一次波导装置的第二变型的截面图，特别示出了

子光束的重叠；

[0120] 图54是沿线54-54截取的图44的一次波导装置的第三变型的截面图；

[0121] 图55是沿线55-55截取的图44的一次波导装置的第三变型的截面图；

[0122] 图56是沿线56-56截取的图44的一次波导装置的第四变型的截面图；

[0123] 图57是沿线57-57截取的图44的一次波导装置的第四变型的截面图；

[0124] 图58是在图2的虚拟图像生成系统中使用的显示子系统的另一实施例的平面图；

[0125] 图59A和59B是已使用光瞳预扩展器 (PPE) 预扩展的显示屏的一次波导装置的相对密集の出射光瞳的概念图；

[0126] 图60是与图6的一次波导装置一起使用的图59A和59B的PPE的一些实施例的平面图；

[0127] 图61是沿线61-61截取的图60的一次波导装置和PPE的截面图；

[0128] 图62是沿线62-62截取的图60的一次波导装置和PPE的截面图；

[0129] 图63是使用图60的PPE的准直光束的入射光瞳到出射光瞳的预扩展和常规扩展的概念图；

[0130] 图64是与图34的一次波导装置一起使用的图59A和59B的PPE的另一实施例的平面图；

[0131] 图65是沿线65-65截取的图64的一次波导装置和PPE的截面图；

[0132] 图66是沿线66-66截取的图64的一次波导装置和PPE的截面图；

[0133] 图67A和67B是图64的PPE的不同变型的剖面图；

[0134] 图68是与图34的一次波导装置一起使用的图59A和59B的PPE的又一实施例的平面图；

[0135] 图69是沿线69-69截取的图68的一次波导装置和PPE的截面图；

[0136] 图70是沿线70-70截取的图68的一次波导装置和PPE的截面图；

[0137] 图71是图68的PPE的透视图；

[0138] 图72是沿线72-72截取的图71的PPE的第一变型的截面图；

[0139] 图73是沿线73-73截取的图71的PPE的第一变型的截面图；

[0140] 图74是沿线74-74截取的图71的PPE的第二变型的截面图；

[0141] 图75是沿线75-75截取的图71的PPE的第二变型的截面图；

[0142] 图76是与图34的一次波导装置一起使用的图59A 和59B 的PPE的又一实施例的平面图；

[0143] 图77是沿线77-77截取的图76的一次波导装置和PPE的截面图；

[0144] 图78是沿线78-78截取的图76的一次波导装置和PPE的截面图；

[0145] 图79是图76的PPE的透视图；

[0146] 图80是与图34的一次波导装置一起使用的图59A和59A的PPE的又一实施例的平面图；

[0147] 图81是沿线81-81截取的图80的一次波导装置和PPE的截面图；

[0148] 图82是沿线82-82截取的图80的一次波导装置和PPE的截面图；

[0149] 图83是图80的PPE的分解透视图；

[0150] 图84是在图83的PPE中使用的平面波导组件的一些实施例的透视图；

[0151] 图85A和85B是在图84的平面波导组件中使用的顶部和底部平面正交波导单元的透视图；

[0152] 图86A和图86B是图80的PPE的截面图；

[0153] 图87A至87C是图85A和85B的顶部和底部平面正交波导单元的传递函数的平面图；

[0154] 图88是示出由在图80的PPE中使用的顶部平面波导组件执行的光束分裂的各种产生的一个图表,所述光束分裂用于将二维子光束阵列分裂成通过累积而限定高饱和度出射光瞳的多个二维子光束阵列；

[0155] 图89A至89H是示出使用图80的PPE从单个二维子光束阵列生成多个二维子光束阵列的平面图；以及

[0156] 图90A至90D是示出图89A和89A的光束图案中的四个不同子束族与图89A的单个二维子光束阵列中的四个不同初始子束的对应关系的平面图。

具体实施方式

[0157] 下面的描述涉及在增强现实系统中使用的显示子系统和方法。然而,应当理解,尽管本公开很适合于增强现实系统中的应用,但是本公开的最广泛的方面可以不限于此,并且可以应用于任何基于波导的成像系统。例如,本公开可以应用于虚拟现实系统。因此,尽管在本文中经常就增强现实系统而言进行描述,但是本公开的教导不应限于这种用途的这种系统。

[0158] 本公开的各种实施例涉及用于在单个实施例或多个实施例中实现光学系统的系统、方法和制品。本公开的其它目的、特征和优点在具体实施方式、附图说明和权利要求书中详细描述。

[0159] 现在将参考附图详细描述各种实施例,这些实施例被提供作为本公开的说明性示例,以使本领域技术人员能够实践本公开。值得注意的是,下面的附图和示例并不意味着限制本公开的范围。在可以使用已知部件(或方法或处理)部分地或全部地实现本公开的某些要素的情况下,将仅描述这些已知部件(或方法或处理)中对于理解本公开所必需的那些部分,并且将省略这些已知部件(或方法或处理)中的其它部分的详细描述,以免模糊本公开。此外,各种实施例涵盖此处通过说明而引用的部件的当前和将来已知的等同物。

[0160] 光学系统可以独立于AR/MR系统来实现,但是下面仅出于说明性目的关于AR/MR系统描述了许多实施例。

[0161] 参考图2,现在将描述根据本公开构造的虚拟图像生成系统100的一些实施例。虚拟图像生成系统100可以作为增强现实子系统操作,提供与在终端用户50的视场中的物理对象相互混合的虚拟对象的图像。当操作虚拟图像生成系统100时,存在两种基本方法。第一种方法利用一个或多个成像器(例如相机)来捕捉周围环境的图像。虚拟图像生成系统100将虚拟图像相互混合成表示周围环境的图像的数据。第二种方法利用一个或多个至少部分透明的表面,通过该一个或多个至少部分透明的表面可以看到周围环境,并且在该一个或多个至少部分透明的表面上虚拟图像生成系统100产生虚拟对象的图像。

[0162] 虚拟图像生成系统100以及本文中教导的各种技术可以用于增强现实和虚拟现实子系统以外的应用中。例如,各种技术可以应用于任何投影或显示子系统,或者可以应用于可由终端用户的手而不是头部进行移动的微型投影仪。因此,虽然本文中经常就增强现实

子系统或虚拟现实子系统而言进行描述,但是教导不应限于这种用途的这种子系统。

[0163] 至少对于增强现实应用来说,可能期望相对于终端用户50的视场中的相应物理对象在空间上定位各种虚拟对象。虚拟对象(在此也被称为虚拟标签或标签或标出(call out))可以采取多种形式中的任何一种,基本上是被表示为图像的任何种类的数据、信息、概念或逻辑构造。虚拟对象的非限制性例子可以包括:虚拟文本对象、虚拟数字对象、虚拟字母数字对象、虚拟标签对象、虚拟场对象、虚拟图表对象、虚拟地图对象、虚拟仪器对象、或物理对象的虚拟视觉表示。

[0164] 虚拟图像生成系统100包括:由终端用户50穿戴的框架结构102;由框架结构102承载的显示子系统104,使得显示子系统104被定位在终端用户50的眼睛52的前方;以及由框架结构102承载的扬声器106,使得扬声器106被定位在终端用户50的耳道附近(可选地,另一个扬声器(未示出)被定位在终端用户50的另一个耳道附近以提供立体声/可塑形声音控制)。显示子系统104被设计成向终端用户50的眼睛52呈现基于照片的辐射图案,所述辐射图案可以被舒适地感知为物理现实的增强,具有高水平的图像质量和三维感知,以及能够呈现二维内容。显示子系统104以提供对单个相干场景的感知的高频率呈现帧序列。

[0165] 在所示例的实施例中,显示子系统104采用“光学透视”显示器,通过该“光学透视”显示器,用户可经由透明(或半透明)元件直接观看来自真实对象的光。经常被称为“合成器”的透明元件将来自显示器的光叠加在用户对现实世界的观察之上。为此,显示子系统104包括投影子系统108和部分透明的显示屏110,投影子系统108将图像投影在显示屏110上。显示屏110位于终端用户50的眼睛52与周围环境之间的终端用户50的视场中,使得来自周围环境的直射光透射通过显示屏110到达终端用户50的眼睛52。

[0166] 在所示例的实施例中,图像投影组件108将扫描光提供给部分透明的显示屏110,从而与来自周围环境的直射光合成,并从显示屏110传输到用户50的眼睛52。在所示例的实施例中,投影子系统108采用基于光纤扫描的投影设备的形式,并且显示屏110采用基于波导的显示器的形式,来自投影子系统108的扫描光被注入该基于波导的显示器中以产生例如位于比无限远更近的单个光学观看距离(例如手臂长度)处的图像、位于多个离散光学观看距离或焦平面处的图像,和/或在多个观看距离或焦平面处堆叠以表示立体3D对象的图像层。光场中的这些层可以足够紧密地堆叠在一起,以对人类视觉子系统看起来连续(即,一层位于相邻层的混淆锥内)。附加地或替代地,图片元素可以跨两个或更多个层混合,以增加光场中层之间的过渡的所感知的连续性,即使这些层以较稀疏的方式堆叠(即,一个层在相邻层的混淆锥外)。显示子系统104可以是单目的或双目的。

[0167] 虚拟图像生成系统100进一步包括被安装到框架结构102的一个或多个传感器(未示出),用于检测终端用户50的头部54的位置和运动和/或终端用户50的眼睛位置和瞳孔间距离。此类传感器可以包括图像捕捉设备(诸如相机)、麦克风、惯性测量单元、加速度计、指南针、GPS单元、无线电设备和/或陀螺仪。

[0168] 虚拟图像生成系统100进一步包括用户取向检测模块112。用户取向模块112检测终端用户50的头部54的瞬时位置,并且可以基于从传感器接收的位置数据预测终端用户50的头部54的位置。检测终端用户50的头部54的瞬时位置有助于确定终端用户50正在注视的特定实际对象,由此提供将为该实际对象生成的特定文本消息的指示,并进一步提供文本消息将被流式传输的文本区域的指示。用户取向模块112还基于从传感器接收的跟踪数据

跟踪终端用户50的眼睛52。

[0169] 虚拟图像生成系统100进一步包括可以采取多种形式中的任何一种的控制子系统。控制子系统包括多个控制器,例如一个或多个微控制器、微处理器或中央处理单元(CPU)、数字信号处理器、图形处理单元(GPU)、其它集成电路控制器,诸如专用集成电路(ASIC)、可编程门阵列(PGA)(例如现场PGA(FPGA))、和/或可编程逻辑控制器(PLU)。

[0170] 虚拟图像生成系统100的控制子系统包括中央处理单元(CPU)114、图形处理单元(GPU)116、一个或多个帧缓冲器118和用于存储三维场景数据的三维数据库120。CPU 114控制整体操作,而GPU 116根据存储在三维数据库120中的三维数据渲染帧(即,将三维场景转换为二维图像),并将这些帧存储在帧缓冲器116中。尽管未示出,但一个或多个附加集成电路可以控制帧从帧缓冲器116的读入和/或读出以及显示子系统104的图像投影组件108的操作。

[0171] 虚拟图像生成系统100的各种处理部件可以物理地包含在分布式子系统中。例如,如图3A至3D所示,虚拟图像生成系统100包括本地处理和数据模块130,该本地处理和数据模块130诸如通过有线引导或无线连接 136可操作地耦合到显示子系统104和传感器。本地处理和数据模块130 可以以各种配置被安装,诸如固定地附接到框架结构102(图3A),固定地附接到头盔或帽子56(图3B),被嵌入耳机中,可移除地附接到终端用户50的躯干58(图3C),或者以以腰带耦合方式配置可移除地附接到终端用户50的髋部60(图3D)。虚拟图像生成系统100进一步包括远程处理模块132和远程数据储存库134,远程处理模块132和远程数据储存库 134例如通过有线引线或无线连接138、140可操作地耦合到本地处理和数据模块130,使得这些远程模块132、134可操作地彼此耦合并且作为资源可用于本地处理和数据模块130。

[0172] 本地处理和数据模块130可以包括功率高效的处理器或控制器以及数字存储器(诸如闪速存储器),二者都可用于辅助处理、高速缓存和存储从传感器捕捉的、和/或使用远程处理模块132和/或远程数据储存库134获取和/或处理的数据,这些数据可能在这种处理或检索之后传递给显示子系统104。远程处理模块132可以包括一个或多个相对强大的处理器或控制器,其被配置为分析和处理数据和/或图像信息。远程数据储存库134可以包括相对大规模的数字数据存储设施,其可以通过因特网或“云”资源配置中的其它网络配置来获得。在一些实施例中,所有数据都被存储,并且在本地处理和数据模块130中执行所有计算,允许从任何远程模块完全自主使用。

[0173] 上述各种部件之间的耦合136、138、140可以包括用于提供导线或光学通信的一个或多个有线接口或端口,或者用于提供无线通信的诸如经由 RF、微波和IR的一个或多个无线接口或端口。在一些实施方式中,所有通信可以是有线的,而在其它实施方式中,所有通信可以是无线的。在更进一步的实施方式中,有线和无线通信的选择可以不同于图3A-3D中所示例的选择。因此,有线或无线通信的特定选择不应被视为限制性的。

[0174] 在所示例的实施例中,用户取向模块112被包含在本地处理和数据模块130中,而CPU 114和GPU 116被包含在远程处理模块132中,但是在替代实施例中,CPU 114、GPU 124或其部分可以被包含在本地处理和数据模块130中。3D数据库120可以与远程数据储存库134相关联。

[0175] 在描述导光光学元件的实施例的细节之前,现在本公开将提供说明性 MR系统的

简要描述。

[0176] 一种用于实现MR系统的可能的方法是使用多个个体积相位全息图、表面浮雕全息图或导光光学元件,这些元件被嵌入有深度平面信息以生成看起来源自相应深度平面的图像。换句话说,衍射图案或衍射光学元件 (“DOE”) 可以被嵌入或压印/雕刻在导光光学元件 (“LOE”;例如,平面波导) 上,使得准直光(具有基本平面波前的光束)沿着LOE基本全内反射,该准直光在多个位置处与衍射图案相交并朝向用户的眼睛出射。DOE被配置为使得通过其从LOE出射的光会发生聚,从而看起来似乎源自特定的深度平面。准直光可以使用聚光透镜(“聚光器”)产生。

[0177] 例如,第一LOE可以被配置为向眼睛传送看起来源自光学无限深度平面(0屈光度)的准直光。另一LOE可以被配置为传送看起来源自2米(1/2屈光度)的距离的准直光。再一LOE可以被配置为传送看起来源自1米(1屈光度)的距离的准直光。通过使用堆叠的LOE组件,应当理解,可以创建多个深度平面,其中每个LOE被配置为显示看起来源自特定深度平面的图像。应当理解,堆叠可以包括任何数量的LOE。然而,需要至少N个堆叠的LOE以产生N个深度平面。此外,可以使用N、2N或3N个堆叠的LOE在N个深度平面处生成RGB彩色图像。

[0178] 为了向用户呈现3D虚拟内容,混合现实(MR)系统将虚拟内容的图像投影到用户的眼睛中,以使它们看起来源自Z方向(即,垂直地远离用户的眼睛)上的各种深度平面。换句话说,虚拟内容不仅可以在X和Y方向上(即,在与用户眼睛的中心视轴正交的2D平面中)改变,而且还可以看起来在Z方向上改变,使得用户可以感觉到对象非常接近无限远或处于无限远距离处或处于两者之间的任何距离处。在其它实施例中,用户可以感知同时位于不同深度平面处的多个对象。例如,用户可以看到虚拟的龙从无限远处出现并向用户跑来。或者,用户可以同时看到距离用户3米处的虚拟鸟和距离用户手臂长度(大约1米)处的虚拟咖啡杯。

[0179] 多平面聚焦系统通过将图像投影到位于在Z方向上相对于用户眼睛的相应固定距离处的多个深度平面中的一些或全部上来创建对可变深度的感知。现在参考图9,应当理解,多平面聚焦系统可以在固定深度平面502(例如,图9所示的六个深度平面502)处显示帧。尽管MR系统可以包括任意数量的深度平面502,但是一个示例性的多平面聚焦系统在Z方向上具有六个固定深度平面502。在六个深度平面502中的一个或多个处生成虚拟内容时,产生3D感知,使得用户感知到一个或多个虚拟对象位于相对于用户眼睛的不同距离处。假设人眼对较近距离对象的敏感度大于对看上去较远的对象的敏感度,则生成更多更靠近眼睛的深度平面502,如图9所示。在其它实施例中,深度平面502可以相对于彼此等距放置。

[0180] 深度平面位置502可以以屈光度进行测量,屈光度是光焦度(optical power)的单位,光焦度等于以米为单位测量的焦距的倒数。例如,在一些实施例中,深度平面1可以是1/3屈光度远,深度平面2可以是0.3屈光度远,深度平面3可以是0.2屈光度远,深度平面4可以是0.15屈光度远,深度平面5可以是0.1屈光度远,深度平面6可以表示无限远(即,0屈光度远)。应当理解,其它实施例可以在其它距离/屈光度处生成深度平面502。因此,当在策略性放置的深度平面502处生成虚拟内容时,用户能够感知到三维的虚拟对象。例如,当在深度平面1中显示时,用户可以感知到第一虚拟对象靠近他,而另一虚拟对象看起来在深度平面6处的无限远处。或者,虚拟对象可以首先显示在深度平面6处,然后显示在深度平面5处,依此类推,直到虚拟对象看起来非常靠近用户为止。应当理解,出于说明的目的,上述示例被

显著简化。在另一实施例中,所有六个深度平面可以集中在距用户特定焦距处。例如,如果要显示的虚拟内容是距用户半米远的咖啡杯,则可以在咖啡杯的各横截面处生成所有六个深度平面,从而向用户提供咖啡杯的高度粒化的3D视图。

[0181] 在一些实施例中,AR系统可以作为多平面聚焦系统工作。换言之,所有六个LOE可以被同时照亮,以使得看起来源自六个固定深度平面的图像快速连续地生成,其中光源快速地将图像信息传送到LOE 1,然后是 LOE 2,然后是LOE 3,等等。例如,可以在时间1处注入包括光学无限远处的天空的图像的所需图像的一部分,并且可以利用保持光的准直(例如,图9中的深度平面6)的LOE 1090。然后,可以在时间2处注入更近的树枝的图像,并且可以利用被配置为创建看起来源自10米远的深度平面(例如,图9中的深度平面5)的图像的LOE 1090;然后,可以在时间3 处注入钢笔的图像,并且可以利用被配置为创建看起来源自1米远的深度平面的图像的LOE 1090。这种类型的范例可以以快速时间顺序(例如,以360Hz)方式重复,使得用户的眼睛和大脑(例如视觉皮层)感知该输入是同一图像的所有部分。

[0182] AR系统需要投影看起来源自沿Z轴的各个位置(即,深度平面)的图像(即,通过发散或会聚光束),以生成用于3D体验/场景的图像。如在本申请中所使用的,光束包括但不限于从光源辐射的光能(包括可见光能和不可见光能)的定向投影。生成看起来源自各个深度平面的图像符合用户眼睛针对该图像的聚散和调节,并最小化或消除聚散-调节冲突。

[0183] 图4示出了用于在单个深度平面处投影图像的基本光学系统400。系统400包括光源420和LOE 490,LOE 490具有衍射光学元件(未示出) 和与衍射光学元件相关联的耦入光栅492(ICG)。衍射光学元件可以是任何类型,其中包括体积或表面浮雕。在一些实施例中,ICG 492是LOE 490 的反射式镀铝部。在另一实施例中,ICG 492是LOE 490的透射衍射部。当使用系统400时,来自光源420的光束经由ICG 492进入LOE 490,并且通过基本全内反射(“TIR”)沿着LOE 490传播以显示给用户的眼睛。应当理解,尽管图4仅示出了一个光束,但是多个光束可以从宽范围的角度通过同一ICG 492进入LOE 490。光束“进入”或“被准许进入”LOE包括但不限于光束与LOE相互作用以通过基本TIR沿LOE传播。图4中示出的系统400可以包括各种光源420(例如,LED、OLED、激光器和遮蔽的广域/宽带发射器)。在其它实施例中,来自光源420的光可以经由光纤光缆(未示出)传递到LOE 490。

[0184] 现在参考图5,图像投影组件108包括产生光(例如,以限定的图案发射不同颜色的光)的一个或多个光源150。光源150可以采用多种形式中的任一种,例如,一组RGB激光器(例如,能够输出红光、绿光和蓝光的激光二极管),其可操作以根据在像素信息或数据的各个帧中指定的限定像素图案来分别产生红色、绿色和蓝色相干准直光。激光提供高色彩饱和度并且高度节能。

[0185] 图像投影组件108进一步包括扫描设备152,扫描设备152响应于控制信号而以预定的扫描图案扫描光。扫描设备152包括一个或多个光纤154(例如,单模光纤),每个光纤具有近端154a和远端154b,从光源150接收光到该近端154a,从该远端154b将光提供给显示屏110。扫描设备152 进一步包括机械驱动组件156,光纤154被安装到机械驱动组件156上。驱动组件156被配置为根据扫描图案使每个光纤154的远端154b关于支点158移位。

[0186] 为此,驱动组件156包括压电元件160和驱动电子器件162,光纤154 被安装到该压电元件160,该驱动电子器件162被配置为将电信号传送到压电元件160,从而使得光纤154

的远端154b根据扫描图案而振动。因此,光源150和驱动电子器件162的操作以生成在空间和/或时间上变化的光的形式被编码的图像数据的方式进行协调。美国专利No.2015/0309264中提供了对光纤扫描技术的描述,该专利通过引用明确地并入本文。

[0187] 图像投影组件108进一步包括光学耦合组件164,其将来自扫描设备 152的光耦合到显示屏110中。光学耦合组件164包括准直元件166,其将由扫描设备152发射的光准直成准直光束250。虽然准直元件166在图5 中被示例为与光纤154物理分离,但准直元件可以以“微透镜”布置而被物理地安装到每个光纤154的远端154b,如在序列号为15/286,215、名称为“Microlens Collimator for Scanning Optical Fiber in Virtual/Augmented Reality System(虚拟/增强现实系统中用于扫描光纤的微透镜准直器)”的美国专利申请中所述的,该申请通过引用明确地并入本文。光学耦合子系统164还包括耦合(IC) 元件168,例如,一个或多个反射表面、衍射光栅、反射镜、二向色镜或棱镜,从而以确保光沿着所需方向在显示屏110 内传播的角度将光光学耦合到显示屏110的端部,这将在下面进一步详细描述。

[0188] 如将在下面进一步详细描述的,光学耦合子系统164将准直光束250 光学耦合到显示屏110内,这将扩展准直光束250的光瞳尺寸以与终端用户50的入射光瞳尺寸相当。在下面描述的实施例中,显示屏110采用被称为“光束倍增”的技术,该技术是指这样的出射光瞳扩展的方法,这些方法专门被设计为通过以下方式扩展来自图像投影组件108的每个准直光束 250的小直径入射光瞳(例如,大约50微米到1mm):将相应的光束250 倍增成多个子光束,从而使得子光束阵列出射光瞳与用户的一只或两只眼睛的入射光瞳(例如,约5mm至7mm)有效匹配以实现固定的适眼距。值得注意的是,尽管本文将“光束倍增”技术描述为在显示屏110中执行,但是应当理解,这种“光束倍增”技术可以应用于图像生成系统100中的任何地方,其中包括在显示屏110的上游的任何类似的基板系统/子系统。

[0189] 为了实现给定填充系数而需要对准直光束250进行倍增的程度将取决于准直光束250的原始光瞳尺寸。例如,如果由图像投影组件108输出的准直光束的原始光瞳尺寸为500微米,则可能需要将该光瞳尺寸倍增十倍以实现所需的填充系数,而如果由图像投影组件108输出的准直光束250 的原始光瞳尺寸为50微米,则该光瞳可能需要倍增一百倍以实现所需的填充系数。

[0190] 优选地,显示屏的子光束阵列出射光瞳完全被子光束填充或饱和,从而最大化波前密度并最小化景深。如果子光束在出射光瞳中的填充太稀疏,则会损害显示屏的波前密度和景深;如果子光束的直径太小,则会损害显示屏的角分辨率。

[0191] 理论上,可以减小显示屏110的厚度以增加从输入到显示屏110中的单个准直光束250产生的子光束的数量,从而增加子光束对出射光瞳的填充。然而,基于耐用性和制造限制的原因,显示屏110只能被制得很薄,从而限制了出射光瞳的填充。而且,虽然为了增加子光束对出射光瞳的填充,在理论上可以增加从图像投影组件108透射到显示屏110中的准直光束250的入射光瞳,但这将需要图像投影组件108的尺寸的相应增大,从而对VR/AR系统的可穿戴性产生负面影响。显著地,以下描述的实施例在不需要增加图像投影组件108的尺寸的情况下增加了出射光瞳的填充。

[0192] 为此,显示屏110用作光瞳扩展器(PE),该光瞳扩展器(PE)扩展准直光束250(携带图像信息)的有效入射光瞳以显示给终端用户50的一只眼睛52(单眼)或两只眼睛52(双

眼)。显示屏110采取波导装置170 的形式,该波导装置170包括平面光波导172和与平面光波导172相关联的一个或多个衍射光学元件(DOE) 174,用于对光学耦合到平面光波导 172 中的准直光束250的有效入射光瞳进行二维扩展。在替代实施例中,波导装置170可以包括多个平面光波导172和分别与平面光波导172相关联的DOE 174。

[0193] 如图6最佳所示,平面光波导172具有第一端176a和第二端176b,第二端176b沿着平面光波导172的长度178与第一端176a相对。平面光波导172具有第一面180a和第二面180b,至少第一面和第二面180a、180b (统称为180)沿着平面光波导172的长度178的至少一部分形成至少一个部分内反射光路(由统称为182的实线箭头182a和虚线箭头182b示出)。平面光波导172可以采取各种形式,这些形式提供基本全内反射(TIR),以便光以小于所限定的临界角度照射面180。

[0194] DOE 174(在图5和图6中由双点划线示出)可以采取使TIR光路182 中断的多种形式,从而在沿着平面光波导172的长度178的至少一部分延伸的平面光波导172的内部185a和外部185b之间提供多个光路(由统称为184的实线箭头184a和虚线箭头184b示出)。如将在下面进一步详细描述,光沿着内部反射光路在平面光波导172内传播,并在各个位置处与DOE 174相交,以将光分成沿不同内部反射光路衍射或从平面光波导 172的面180b衍射出的子光束。

[0195] 在所示例的实施例中,DOE 174包括一个或多个衍射光栅,每个衍射光栅可以被表征为具有光波长量级的周期性结构的光学部件,该光学部件将光分割和衍射成在不同方向上行进的若干个光束。衍射光栅可以由例如可以光刻印刷在基板上的表面纳米脊、纳米图案、狭缝等构成。DOE 174 可以允许明显对象和用于这些明显对象的焦平面的定位。这可以逐帧、逐子帧、或者甚至逐像素地实现。

[0196] 如图6所示,光沿着平面光波导172传播,其中由TIR传播导致至少一些反射或“反弹”。注意到,一些实施方式可以在内部光路中采用一个或多个反射器,例如可促进反射的薄膜、电介质涂层、金属化涂层等。光沿着平面光波导172的长度178传播,并且沿着长度178在各种位置处与 DOE 174相交。DOE 174可以被包含在平面光波导172内、或与平面光波导172的一个或多个面180邻接或邻近。DOE 174完成至少两个功能。DOE 174改变光的角度,导致一部分光离开TIR,并经由平面光波导172 的面180而从内部185a出射到外部185b。DOE 174使耦出的光在观看距离处聚焦。因此,透过平面光波导172的面180观看的人可以在一个或多个观看距离处看到数字图像。

[0197] 以两个不同角度之一进入波导172的准直光束250将沿着两个TIR光路182a、182b之一,从而导致子光束256沿着两组外部光路185a、185b 之一从平面光波导172出射。也就是说,以由TIR光路182a表示的角度进入波导172的准直光束250a将导致子光束256a沿着一组外部光路185a 从平面光波导172出射,并且以由TIR光路182b表示的角度进入波导172的250b的准直光束250b将导致子光束256b沿着一组外部光路185b从平面光波导172出射。

[0198] 根据上述内容可以理解,显示子系统104产生像素信息的一系列合成图像帧,这些图像帧向用户呈现一个或多个虚拟对象的图像。描述显示子系统的更多细节在序列号为14/212,961、名称为“Display Subsystem and Method(显示子系统和方法)”的美国专利申请和序列号为14/696,347、名称为“Planar optical waveguide Apparatus With Diffraction Element(s) and Subsystem Employing Same(具有衍射元件的平面光波导

装置以及采用该装置的子系统)”的美国专利申请中提供,这两个专利申请通过引用明确地并入本文。

[0199] 如上所述,图4示出了用于在单个深度平面处投影图像的基本光学系统400。图7示出了另一光学系统400',其包括光源420、三个LOE 490 以及三个相应的耦入光栅492。光学系统400'还包括三个分束器或二向色镜462 (以将光引导至相应的LOE) 和三个LC光阑464 (以控制何时照射LOE)。当使用系统400'时,来自光源420的光束被三个分束器462分成三个亚束/子束。这三个分束器还将子束重定向到相应的耦入光栅492。在子束通过相应的耦入光栅492进入LOE 490之后,它们通过基本TIR 沿着LOE 490传播,在此它们与附加的光学结构相互作用,从而显示给用户的眼睛。在光路远侧上的耦入光栅492的表面可以涂覆有不透明材料(例如,铝),以防止光穿过耦入光栅492到达下一LOE 490。在一些实施例中,分束器462可以与波长滤波器组合以产生红色、绿色和蓝色子束。在这样的实施例中,需要三个LOE 490,以在单个深度平面处显示彩色图像。在另一实施例中,LOE 490可以各自呈现较大的单个深度平面图像区域的一部分,该较大的单个深度平面图像区域在用户的视场内在横向上角度偏移,其具有相同颜色或不同颜色(“平铺视场”)。

[0200] 图8示出了又一光学系统400",其具有六个分束器462、六个LC光阑464和六个LOE 490,每个LOE 490具有相应的ICG 492。如上面对图 7的讨论中所解释的,需要三个LOE 490,以在单个深度平面处显示彩色图像。因此,该系统400"的六个LOE 490能够在两个深度平面处显示彩色图像。

[0201] 图10示出了具有ICG 492、正交光瞳扩展器494 (“OPE”) 和出射光瞳扩展器496 (“EPE”) 的LOE 490。

[0202] 如图4至9所示,随着所生成的深度平面、场图块或颜色的数量的增加(例如,随着MR场景质量提高),LOE 490和ICG 492的数量增加。例如,单个RGB颜色深度平面需要至少三个LOE 490和三个ICG 492。因此,任何图像缺陷(例如,因光束直径受限而产生的模糊)也会因为附加的使MR场景质量降低的因素而倍增。因此,产生可接受的MR场景所需的光学元件的数量增加加剧了图像质量问题。

[0203] 上面讨论的LOE 490可以另外用作出射光瞳扩展器496 (“EPE”),以增加光源420的数值孔径,从而提高系统400的分辨率。由于光源420 产生的光具有小的直径/光斑尺寸,因此EPE 496扩大了从LOE 490出射的光的光瞳的表现尺寸,从而提高系统分辨率。在MR系统400的其它实施例中,该系统除了EPE 496之外还可以包括正交光瞳扩展器494 (“OPE”) 以在X和Y方向上扩展光。关于EPE 496和OPE 494的更多细节在上面引用的序列号为14/555, 585的美国实用型专利申请和序列号为14/726,424 的美国实用型专利申请中进行了描述,这些申请的内容先前已经通过引用并入本文中。

[0204] 图10示出了具有ICG 492、OPE 494和EPE 496的LOE 490。图10 从俯视图示出了LOE 490,该俯视图类似于从用户眼睛观看的视图。ICG 492、OPE 494和EPE 496可以是任何类型的DOE,其中包括体积浮雕或表面浮雕。

[0205] ICG 492是DOE(例如,线性光栅),其被配置为允许来自光源420 的光通过TIR传播。在图10所示的实施例中,光源420设置在LOE 490 的侧面。

[0206] OPE 494是在横向平面(即,垂直于光路)中倾斜的DOE(例如,线性光栅),使得传播通过系统400的光束将被横向偏转90度。OPE 494还沿着光路具有部分透明性和部分反射

性,从而光束部分地穿过OPE 494而形成多个(例如,11个)子束。在一些实施例中,光路沿着X轴,并且 OPE 494被配置为将子束弯曲到Y轴。

[0207] EPE 496是在轴向平面(即,平行于光路或Y方向)中倾斜的DOE(例如,线性光栅),使得传播通过系统400的子束将被轴向偏转90度。EPE 496也沿着光路(Y轴)具有部分透明性和部分反射性,从而子束部分地穿过EPE 496而形成多个(例如,7个)子束。EPE 496也在Z方向上倾斜,以使传播的子束的部分朝向用户的眼睛。

[0208] OPE 494和EPE 496也沿着Z轴至少具有部分透明性,以允许真实世界的光(例如,从真实世界对象反射的光)在Z方向上穿过OPE 494和 EPE 496到达用户的眼睛。在一些实施例中,ICG 492沿着Z轴至少具有部分透明性,以准许真实世界的光进入。

[0209] 图11A示出了进入眼睛600并被晶状体602聚焦到视网膜604上的小光斑612的第一光束610。优选地,小光斑612大约是视网膜604上感光器的大小。如图11B的图中的对应于第一光束610的能量分布曲线614所示,对应于第一光束610的第一图像或图像的第一部分处于焦点上。图11A 还示出了进入眼睛600并被晶状体602聚焦到视网膜604上的较大光斑622的第二光束620。如图11B的图中的对应于第二光束620的能量分布曲线 624所示,对应于第二光束620(具有较大光斑622)的第二图像或图像的第二部分较少聚焦(例如,离焦)。图11B示出了由晶状体聚焦到视网膜上的两个真实世界光束的能量分布图案。

[0210] 图12A示出了具有晶状体702的眼睛700,该晶状体702被调节以使得第二光束720聚焦到视网膜704上的小光斑722。因此,如图12B的图中对应于第二光束720的能量分布曲线724所示,对应于第二光束710的第二图像或图像的第二部分处于焦点上。然而,在图12A中,第一光束710 聚焦到视网膜704上的较大光斑712,从而在视网膜704上产生较大光斑712。如图12B的图中对应于第一光束710的能量分布曲线714所示,对应于第一光束710(具有较大光斑712)的第一图像或图像的第一部分较少聚焦(离焦)。图12B示出了由晶状体聚焦到视网膜上的两个真实世界光束的能量分布图案。

[0211] 视网膜上的束斑大小如下所述影响图像的分辨率。眼睛的功能是收集与“3D”场景有关的光信息,该“3D”场景由多个点光源(例如,发射或反射)组成。例如,一棵树可以包括数百万个点光源,这些点光源反射来自太阳的光。眼睛(例如其中的晶状体)将光束弯曲到视网膜上的一个光斑。理想地,视网膜上的束斑具有感光器大小。完全聚焦在对象上的眼睛会将来自该对象的光束聚焦在视网膜上尽可能小的光斑上。当眼睛相对于对象离焦时,光束将聚焦在视网膜的前面或后面,并且光斑类似于圆形而不是点。较宽的圆形光斑可以照射视网膜上的若干个感光器,从而导致图像模糊,如观看者的视皮层所解释的那样。此外,较小的束斑(例如,来自直径为2至3mm的光束)将随着晶状体更快地调节而改变束斑尺寸(即,模糊或聚焦)。另一方面,较大的光斑(例如,来自直径为0.5mm的光束)将不会随着晶状体调节而改变光斑尺寸(即,模糊或聚焦)。

[0212] 图13A示出了具有晶状体802的眼睛800,该晶状体802被调节以使得第一和第二光束810、820聚焦到视网膜804上的相应较大光斑812、822。因此,如图13B的图中对应于第一和第二光束810、820的能量分布曲线 814、824所示,与聚焦图像相比,对应于第一和第二光束810、820的第一和第二图像或一个或多个图像的第一和第二部分较少聚焦(例如,离焦)。

[0213] 图13B示出了由晶状体聚焦到视网膜上的两个真实世界光束的能量分布图案。如图11A至图13B所示,单晶状体眼睛的解剖学结构使其难以同时聚焦具有不同入射角的两个

光束。当一个光束聚焦时,另一束光束将离焦。尝试将晶状体调节至两个光束的中间焦点(如图13A和13B所示)可能导致两个离焦图像或一个或多个图像的离焦部分。由于解剖学上的限制,当单晶状体眼睛将光束或视场的一部分(“FOV”)聚焦时,其它光束或FOV 的其它部分将离焦。

[0214] 加重该图像聚焦限制的是各种其它光学、解剖学和技术上的限制。图像分辨率根据光束直径和光束角(“光学不变量”)而变化,光学不变量与可分辨光斑的数量有关(例如,在激光扫描仪行业中)。光学不变量与由像素收集的数值孔径乘以像素数量有关。较大的光束直径导致较高的图像分辨率。较小的光束直径导致保持增加的光束角度以最大化FOV的能力。这些光学限制使得光束直径优化困难,因为光束直径同时影响图像分辨率和光束角度,从而导致图像质量和FOV尺寸之间的权衡。

[0215] 图14A至图14B示出了光束直径与图像分辨率之间的关系。如图14A所示,具有最大尺寸的光束直径916(例如,足以填充眼睛900的整个瞳孔或大约2至3mm)的光束910针对给定眼睛900产生最小光斑尺寸912。如图14B中的能量分布曲线914所示,小光斑尺寸912导致相应的聚焦图像或其部分。图14B示出了由晶状体聚焦到视网膜上的真实世界光束的能量分布图案。光束910的较大直径允许眼睛900通过改变晶状体902的形状来聚焦光束900。聚焦最大尺寸的光束的能力导致增加的图像分辨率。然而,如图15A所示,具有较小光束直径1016(例如,大约0.5mm)的光束1010产生较大光斑尺寸1012。如图15B中的能量分布曲线1014所示,较大光斑尺寸1012导致相应的离焦图像或其部分。图15B示出了由晶状体聚焦到视网膜上的真实世界光束的能量分布图案。

[0216] 此外,如果光束直径为约0.5mm,则通过一些眼睛进行开环调节,结果一切看起来都处于相同的不良聚焦水平。如在针孔相机中一样,由于视网膜空间太小而无法分辨显示在其上的较大光斑,因此整个FOV的聚焦将均等且不良,如图15A和15B所示。此外,如果光束直径为约0.5mm,则瞳孔可能变得完全打开,从而导致光学像差(例如,点光源周围的光晕)。

[0217] 如上所述,各种其它光学、解剖学和技术上的限制导致头戴式显示器的性能限制。例如,与具有较大直径(例如,约2至3mm)的光束相比,具有较小直径(例如,约0.5mm)的光束将导致较低的图像分辨率和光学像差。另一方面,与具有较小直径(例如,约0.5mm)的光束相比,具有较大直径(例如,约2至3mm)的光束将导致较窄的FOV。使用FOV平衡图像分辨率会导致次佳的图像分辨率和FOV。

[0218] 以下公开内容描述了用于使用多个(例如,阵列)较小直径的光束来模拟较大直径的光束的系统和方法的各种实施例。这些光束倍增器系统和方法产生多束相互关联、相互作用的克隆子束1116,它们穿过瞳孔照射在视网膜1104上,如图16A所示。光束阵列、相对间距和光束直径的组合可以在视网膜1104处产生紧凑的能量图像(请参见图16B)。图16B示出了由晶状体1102聚焦到视网膜1104上的真实世界光束的阵列的能量分布图案,其中包括光束彼此的光学相互作用。通过借助干涉和光束阵列的其它光学特性(例如相干性、相位均匀性等)消除旁瓣中的能量(以恒定功率),光能(例如,辐照度、峰值强度等)集中在图16B的图中对应于子束1116的能量分布曲线1114所示的图的中间。这种聚焦的光能又产生具有更高图像分辨率的更清晰的图像。例如,跨子束1116的相干性和相位均匀性可以对应于具有相对较高的峰值和衰减的旁瓣的能量分布,因此可用于产生相对聚焦且外观清晰的图像。实际上,克隆的较小直径子束1116 的阵列通过锐点扩散函数1114在视网膜1104上产生较小

光斑1112,该函数近似于由较大直径光束910产生的锐点扩散函数914(请参见图14A和14B)。较小直径的子束1116的阵列允许系统克服光束直径限制(由衍射和/或装置尺寸限制导致)。同时,系统使用较小直径的光束会产生较宽的FOV。

[0219] 多个子束/子束阵列(每个子束具有较小的直径)模拟来自直径大得多的光束的光能,从而在保持基于较小光束直径的较宽FOV的同时增加图像分辨率。

[0220] 图17A示意性地示出了LOE 490,该LOE 490从单个入射光束1210产生子束1216的阵列(请参见下面描述的光束倍增器)。一些子束1216穿过由虹膜1208形成的瞳孔1206由晶状体1202聚焦。尽管图17A示出了多个子束1216,但是图17A未示出根据一些实施例的二维子束阵列。

[0221] 图17B示意性地示出了从穿过由虹膜1208形成的瞳孔1206的子束阵列中选择子束1206。

[0222] 子束斑的间距也可以影响图像质量。如图18A所示,视网膜上的子束斑1316可能重叠,其中每个子束斑1316覆盖多于一个的感光器。当相干且同相时,图18A中示出的子束斑1316的分布图案可能产生聚焦且清晰的图像。然而,当每个子束斑1316照射多于一个的感光器时,或者当照射单个感光器的多个子束具有相差时,所得到的图像的外观可能不那么清晰。

[0223] 图18B和18C示出了视网膜上的其它子束斑1316分布图案,其中每个子束斑1316可大致覆盖一个感光器。通常,这些分布图案可导致图像看起来相当聚焦和清晰,因为与图18A相比,它们受相干性和相位均匀性的影响较小。因此,光束阵列结构、相对光束/子束间距,以及光束/子束直径是可能影响视网膜处的图像的分辨率/清晰度的因素。

[0224] 图19示出了光束倍增器1430(即,薄(thin)光束倍增器),其可以是导光光学元件,例如LOE 490的OPE 494和/或EPE 496(请参见图67)。输入光束1410(例如,经由ICG或其它入射部)进入光束倍增器1430,并且通过基本TIR沿着光束倍增器1430向下传播。在输入光束1410沿着光束倍增器1430向下传播期间,每当输入光束1410与耦出光栅(“OCG”) 1498相互作用时,输入光束1410的一部分会通过OCG 1498从光束倍增器1430出射。OCG 1498被配置为允许光束的一部分从光束倍增器1430出射,同时光束的另一部分经由基本TIR沿着光束倍增器1430传播。OCG 1498可以是任何类型的衍射光学元件,其中包括体积或表面浮雕。光束倍增器1430将单个输入光束1410克隆为三个输出子束1416,每个输出子束编码与输入光束1410相同的像素信息。

[0225] 尽管光束倍增器1430在图19的视图内示出,但是光束倍增器1430可以具有与如图67所示的OPE 494和/或EPE 496相似的长度和宽度。进一步地,尽管输入光束1410被示出为在大致从左到右的方向上传播,但是光束倍增器1430可以被配置为以各种图案引导光束,其中包括但不限于产生子束1416的阵列的之字形图案(请参见例如图18B)。

[0226] 如图20所示,从光束倍增器1530出射的子束1516的仅仅部分(即,一个)穿过由虹膜1508限定的瞳孔1506以被晶状体1502聚焦。因此,即使利用光束倍增,子束1516的间距也可影响用户感知的实际光束数。图20还表明,光束倍增器1530的单位长度上的输入光束1510的反弹次数决定从光束倍增器1530的给定长度出射的子束1516的数量。

[0227] 图21示出了根据一些实施例的较薄的光束倍增器1630'。还示出了较厚的光束倍增器1630以用于比较。在大约相同的长度上,与较厚的光束倍增器1630相比,在较薄的光束

倍增器1630'中,每个输入光束1610(其入射角保持在两个倍增器之间)反弹更多次。输入光束1610以较高的空间频率来回反弹是因为在光束1610遇到较薄的光束倍增器1630'的每个表面之前穿过的距离较小。因此,与较厚的光束倍增器1630相比,从较薄的光束倍增器1630'出射的子束的密度更大。例如,每个输入光束1610在较薄的光束倍增器1630'中反弹13次,而相似的输入光束1610在较厚的光束倍增器1630中仅反弹3次。与较厚的光束倍增器1630相比,较薄的光束倍增器1630'在光束倍增器的单位长度上提供更多的光束倍增(即,克隆)。此外,当克隆效率的该线性增加在两个维度(例如长度和宽度)上倍增时,来自减小的光束倍增器厚度的克隆效率的提高是呈指数的。倍增成二维的子束之间的相应间距不一定相同(尽管优选是对称的)。而且,即使通过相干相互作用增加了光束重叠,较薄的光束倍增器1630'也可能会减小。

[0228] 图19至21中示出的光束倍增器包括两个相对的反射表面,这两个反射表面在基本相反的方向上反射光以实现基本TIR。在其它实施例中,光束倍增器包括多于两个的反射表面。例如,图22A所示的多表面光束倍增器1730包括第一和第二导光光学子元件("LOS")1730A、1730B。第一 LOS 1730A与图20所示的光束倍增器1530的相似之处在于,它具有两个(即,第一和第二)相对的反射表面1732、1734。图22A所示的第二LOS 1730B具有第三反射表面1736,该第三反射表面在与第一LOS 1730A中的第二反射表面1734基本相同的方向上反射光。

[0229] 第二LOS 1730B设置在第一LOS 1730A上,使得入射光束1710至少部分地穿过第一LOS 1730A并进入第二LOS 1730B。当入射光束1710穿过第一LOS 1730A时,其一部分被第二反射表面1734部分地反射。穿过第二LOS 1730B的入射光束1710的部分被第三反射表面1736反射,其反射方向与被第二反射表面1734反射的入射光束1710的部分的反射方向基本上相同。添加第二LOS 1730B及其第三反射表面1736的结果是通过基本TIR沿着第一和第二LOS 1730A、1730B传播的子束1716的数量倍增。

[0230] 图22A所示的第二LOS 1730B的厚度使得从第三反射表面1736反射的子束1716中的一些与从第二反射表面1734反射的子束1716基本上重叠。对于其中分子束1716中的一些彼此异相的情况,这种重叠可用于放大相位不匹配的子束之间的相消干涉的影响。另外,高重叠水平可用于最小化子束1716的数量的倍增程度。例如,当从第二和第三反射表面1734、1736的第一反弹使光束1710/子束1716的数量从1倍增到2时,第二反弹仅使子束1716的数量从2倍增到3。子束1716中的至少一些重叠的程度可通过调节输入光束1710的直径和/或输入光束1710的间隔来控制,这两者在基本TIR期间基本保持不变。例如,可通过减小输入光束1710的直径来增加多个子束1716中的两个相邻子束的边缘之间的距离。

[0231] 与图22A所示的光束倍增器1730类似,图22B所示的光束倍增器1730 包括第一和第二LOS 1730A、1730B。然而,第二LOS 1730B的厚度已经被调整/选择成使得从第三反射表面1736反射的子束1716不与从第二反射表面1734反射的子束1716重叠。因此,图22B所示的光束倍增器1730 与图22A所示的光束倍增器1730相比具有更高的子束倍增度。例如,当从第二反射表面1734和第三反射表面1736的第一反弹使得光束1710/子束1716的数量从1倍增到2时,第二反弹将使子束1716的数量从2倍增到4。继续这个模式,从第二反射表面1734和第三反射表面1736的每次反弹使子束1716的数量以基本呈指数增长的方式翻倍。

[0232] 与图22A所示的光束倍增器1730类似,图23所示的光束倍增器1830 包括第一和第

二LOS 1830A、1830B。光束倍增器1730、1830之间的区别在于,图23所示的第二LOS 1830B除了第三反射表面1836之外还具有第四反射表面1838。第三和第四反射表面1836、1838设置在第二LOS 1830B 的相对侧上,并且在基本相反的方向上反射光。

[0233] 第二LOS 1830B设置在第一LOS 1830A上,使得入射光束1810至少部分地穿过第一LOS 1830A并进入第二LOS 1830B。当入射光束1810穿过第一LOS 1830A时,其一部分被第二反射表面1834部分地反射。穿过第二LOS 1830B的入射光束1810的部分被第三反射表面1836反射,其反射方向与被第二反射表面1834反射的入射光束1810的部分的反射方向基本上相同。在反射子束1816从第二LOS 1830B出射之前,反射子束1816 的一部分被第四反射表面1838反射回第三反射表面1836。在第二LOS 1830B中添加第四反射表面1838的结果是,甚至与图22A所示的光束倍增器1730相比,经由基本TIR沿着第一和第二LOS 1830A、1830B传播的子束1816的数量进一步倍增。如图23所示,第四反射表面1838的添加导致每个光束1810/子束1816的附加反弹,从而使每次与第一和第二LOS 1830A、1830B相互作用时产生的子束的数量倍增(即,光束倍增器1830)。

[0234] 与图23所示的光束倍增器1830类似,图24所示的光束倍增器1930 包括第一和第二LOS 1930A、1930B。光束倍增器1830、1930之间的区别在于,图24所示的光束倍增器1930包括第三LOS 1930C。与第二LOS 1930B相似,第三LOS 1930C包括相对的反射表面(即,第五和第六反射表面1940、1942),这两个反射表面在基本相反的方向上反射光。第五和第六反射表面1940、1942设置在第三LOS 1930C的相对侧上。

[0235] 第三LOS 1930C设置在第二LOS 1930B之上(因此在第一LOS 1930A 之上),使得入射光束1910至少部分地穿过第一和第二LOS 1930A、1930B 并进入第三LOS 1930C。当入射光束1910穿过第一LOS 1930A时,其一部分被第二反射表面1934部分地反射。类似地,当入射光束1910穿过第二LOS 1930B时,其一部分被第三反射表面1936部分地反射。穿过第二LOS 1930B的入射光束1910的部分被第三反射表面1936反射,其反射方向与被第二反射表面1934反射的入射光束1910的部分的反射方向基本上相同。类似地,穿过第三LOS 1930C的入射光束1910的部分被第五反射面1940反射,其反射方向与分别被第二和第三反射表面1934、1936反射的入射光束1910的部分的反射方向基本上相同。

[0236] 在反射子束1916从第二LOS 1930B出射之前,反射子束1916的一部分被第四反射表面1938反射回第三反射表面1936。类似地,在反射子束 1916从第三LOS 1930C出射之前,反射子束1916的一部分被第六反射表面1942反射回第五反射表面1940。添加第三LOS 1930C及其第五和第六反射表面1940、1942的结果是使得通过基本TIR沿着第一、第二和第三 LOS 1930A、1930B、1930C传播的子束1916的数量进一步倍增。如图24 所示,第三LOS 1930C的添加导致每个光束1910/子束1916的附加反弹对,从而使得在每次与第一、第二和第三LOS 1930A、1930B、1930C相互作用时产生的子束的数量倍增(即,光束倍增器1930)。

[0237] 可以使用层压工艺制备多表面光束倍增器。在一些实施例中,将具有第二厚度的第二基板(例如,第二LOS)层压到具有第一厚度的第一基板(例如,第一LOS)上。两个基板之间的界面可以是部分反射的(例如,金属涂层/半镀银镜、薄膜涂层、二向色镜、电介质界面、衍射光栅、衍射元件等)。在另一实施例中,单独的波导/LOE可以通过部分反射的界面而被层压在一起。

[0238] 此外,第一和第二LOS(以及系统中任何多个LOS的各种子组合) 的厚度比可以影

响通过子束重叠实现的子束倍增。如果各个厚度是整数倍或商(即,因子),则克隆的子束在它们从第一和第二LOS出射时可能重叠,从而降低子束倍增度。因此,在一些实施例中(请参见图22B),第一LOS的第一厚度可以是第二LOS的第二厚度的非偶数因子。例如,第一厚度可以是第二厚度的0.3256倍(而不是例如0.2或0.5)。具有多个LOS的准随机子束阵列可能对LOS厚度中的角度或缺陷不敏感。

[0239] 还可以通过改变各表面的反射率/透射率(例如,除50/50以外)来调整光束倍增器。通过使用此技术和其它技术,可以调整倍增器以使子束上的能量均匀分布。对于适量的光束倍增(例如,足以填充眼睛的瞳孔),光束倍增器可以是两个,以确保当眼睛扫过不同的子束组时,子束(及其组)具有相同的能量。当用户的眼睛扫视FOV时,使子束上的能量相等可以使强度损失(伪影;眨眼)最小化。随着子束数量呈指数增加,子束最终将随机重叠,从而减少强度伪影。

[0240] 图25示出了光束倍增器2030,该光束倍增器2030被调整/优化以针对朝向FOV的中心2044的子束2016产生最多的光(例如,具有最佳的光束直径/能量分布)。例如,可以调整光束倍增器2030以根据将从光束倍增器2030出射的子束2016的角度改变光强度/能量。指向FOV 10的中心2044的子束2016可以是与光束倍增器2030的表面更垂直/正交(即,具有较小的入射角)。这种设计可将FOV的中心2044(一些用户的眼睛绝大部分时间注视此位置)处的伪影最小化,同时控制显示图像所需的能量。作为权衡,针对FOV外围部分处的更多偏心子束2016已较少调整/优化光束倍增器2030。

[0241] 可以用万花筒式调整的光束倍增器扩展FOV。可以调整表面的相对反射率,使得光束倍增器在光学重要区域(例如,FOV的中心)具有密集的光束倍增,而在光学次要区域(例如,FOV的外围)具有稀疏的光束倍增。可以将FOV确定为各种类型的眼睛跟踪,其中包括但不限于瞳孔间距测量和瞳孔运动跟踪。

[0242] 图67所示的OPE 494和EPE 496彼此不覆盖/叠置。然而,如果OPE 覆盖在EPE或EPE的一部分上,则从LOE 490出射到用户眼睛的光束(即,镜面反射(mirrored)光束)的多次反射的机会就会增加。镜面反射光束的相位可能会发生偏移,从而导致出现伪影(例如,牛眼或菲涅耳带伪影“FZA”)。减少FZA的一种方法是使用抗反射涂层减少镜面反射光束。减少FZA的另一种方法是将薄波导OPE与EPE分隔开。还可以调整薄波导OPE的厚度,使得FZA最小化,这是因为薄波导OPE针对一个波长使子束回到同相位(例如,使用 2π 厚度关系)。子束之间的相对相位差根据波长和扫描角而变化。可以调整薄波导OPE的厚度以使人眼最敏感的绿光情况下的FZA最小化。例如,可以针对515nm-540nm、520nm(绿色)或532nm(绿色)调整薄波导OPE。在其它实施例中,可以调整薄波导OPE以使475nm(蓝光)或650nm(红光)情况下的FZA最小化。由于人眼更能辨别中央凹周围的环形区域中的蓝光,因此某些FZA对蓝光更有害,针对蓝光最小化这些FZA可以极大地改善图像质量。因此,如果将薄波导OPE的厚度调整为具有 2π 厚度关系,则薄波导OPE可以在减小FZA的同时覆盖EPE。

[0243] 图26A和26B示出了具有折射率间隙(例如,空气间隙)2602的光束倍增器2600,该折射率间隙2602确保光将通过基本TIR在(与折射率间隙的)界面处传播,而不是部分地透射到相邻层中。通过光束倍增器的光路首先进入OPE1 2604(例如,较厚的LOS),经由OCG 2606离开OPE1 2604,经由ICG 2610进入OPE2 2608,并且通过OPE2 2608(例如,较薄的LOS)。折射率间隙2602控制通过该光束倍增器2600的光流,从而仅允许光经由OCG 2606和

ICG 2610在OPE1 2604和OPE2 2608之间穿过。通过改变OPE1 2604和OPE2 2608的厚度,可以针对OPE1 2604和 OPE2 2608实现不同的周期性关系。可以调整这种关系以产生用于子束克隆的不同空间频率。尽管上述变化的光学(光修改)特性是LOE厚度,但是也可以改变其它光学特性(例如,衍射率)以实现与本文所述类似的效果。

[0244] OPE1 2604有两个出射边缘2612、2614(请参见图26B)。在一些实施例中,两个出射边缘都耦合到OPE2 2608。在另一实施例中,可以在 OPE1 2604的各部分中改变OPE1 2604的衍射效率,以将大部分光引导到一个出射边缘(例如,2606),该边缘耦合到OPE2 2608。

[0245] 使用这样的系统,可以将OPE(作为单独的元件)从LOE 490移除(例如,请参见图10),以及将OPE拉伸到覆盖整个目镜或其大部分的单独层494中。光被耦合到LOE 490中,并进入单独的大型OPE 494,以作为两个光学元件之间的受控界面进行倍增。光束可以以阶梯的方式穿过 OPE 494,并在与OPE 494的元件进行多次相互作用时倍增。从OPE 494 出射的子束不是单个光束,而是来自OPE 494分裂的光束的多个叠加子束。

[0246] 使用该设计还可以创建包括较小区域的大区域,较小区域中包含所有或大部分信息/光能。这样的系统可以使用深度切换机制将光路由到不同的层(例如,多个深度平面层)。这些层可以是聚合物分散液晶(“PDLC”)可切换层。或者,这些层可以是具有相应LC光阑的波导。这样的系统可以使用主LOE的基于TIR的结构来针对可以由LC光阑或PDLC开关选择的冗余光学信息产生多个出射端口。在一些实施例中,单个OPE可以将光/光学信息馈送到多个EPE层(例如,对应于红、绿和蓝光的EPE)。

[0247] 图27示出了光束倍增器2700,其中单个OPE 2702使用2个空间位移的OCG 2708、2710将光/光学信息馈送到2个EPE层2704、2706。OCG1 2708通过ICG1 2712将OPE 2702耦合到EPE1 2704。OCG2 2710通过 ICG2 2714将OPE 2702耦合到EPE2 2706。OCG 2708、2710可以是能够被接通和关断的PDLC。或者,可以在OPE 2702与EPE层2704、2706 之间插入LC光阑层(未示出)。在一些实施例中,可以将EPE层的数量设置为对应于MR系统的多个深度层的数量。在替代实施例中,单个OCG 可以被分为多个窗口,这些窗口具有光阑或开关以选择性地将光/光学信息馈送到多个EPE层。在另一实施例2800(图28)中,可以在OPE 2802 的两个出射边缘处或从其中形成两个OCG 2808、2810。

[0248] 图29示出了光束倍增器2900,其具有与“镜厅(hall of mirrors)”类似地设计的OPE 2902。在该独立的大OPE模块2902中,输入/一次光束 2904通过OPE 2902而倍增,并且倍增的子束经由一个或多个OCG 2906 从OPE 2902出射。四个OPE边缘中的三个2908、2910、2912可以被抛光并涂覆铝以使其具有反射性。两个相对的反射镜2908、2912反射通过 OPE 2902传播的光束和子束,从而在反射的子束与OPE 2902相互作用时产生另外的子束(具有相同的光学信息)。这样的OPE 2902可以被调整为具有朝向OCG 2906的低衍射效率,但是随着多次通过OPE 2902,光束倍增将大大增加。可选地,OPE 2902可以具有一个或多个衍射效率相对较高的区域2914,以通过增加在光束/子束从OCG 2906出射之前经过OPE 2902的光束长度来促进光束倍增。

[0249] 在图30所示的类似实施例3000中,仅对OPE 3002的两个边缘3010、3012(垂直边缘)和第三边缘3008的一小部分进行抛光并涂覆铝以使其具有反射性。该处理导致子束倍增减小,但是使出射(例如,对于OCG(未示出))的面积量3016翻倍。这种设计增加了用于耦合出的表面积3016。

[0250] 对于图29和图30所示的两个实施例,可通过可变衍射效率来优化/调整OPE 2902、3002。例如,在这两个实施例中,可以将左上区域调整为沿上下方向衍射光,并且使反射回ICG 2918、3018的光最小化,这可能会无意地耦出OPE 2902、3002。

[0251] 图31所示的光束倍增器3100包括跨波长共享的OPE 3102。第一OCG 3104被调整为通过使蓝光和红光吸收器3106耦合到OCG 3104而耦出绿光。第二OCG 3108被调整为通过使绿光吸收器3110耦合到OCG 3108 而耦出蓝光和红光(即,品红色光)

[0252] 图32所示的光束倍增器3200包括具有三个输出区域3204、3206、3208 的OPE 3202。三个输出区域3204、3206、3208被调整为分别使用带有匹配吸收器3210、3212、3214的OCG 3204、3206、3208耦出红光3204、绿光3206和蓝光3208。OPE 3202中的DOE 3216形成具有大约90度角的“V”形3218,但是在其它实施例中,DOE可以形成具有不同角度的其它形状(例如,以修改子束密度(未示出))。

[0253] 图33A至33I所示的光束倍增器3300示出了不同OPE 3302区域的各种“被子(quilt)”,其允许针对各种耦出图案调整OPE 3302。在所有这些OPE 3302中,单个输入/一次光束3304通过OPE 3302的各种部件而被倍增、衍射和/或反射以形成具有各种耦出图案的各种倍增的光束/子束 3306。例如,图33A示出了包括具有不同衍射特性的三个部分3308、3310、3312的OPE 3302。这三个部分可以是可独立切换的PDLC部件(例如,用于改变耦出图案),或者它们可以是静态部件。图33C示出了具有衍射部3314以及第一和第二PDLC部件3316、3318(例如,用于改变耦出图案)的OPE 3302。图33G示出了在OPE 3302中具有DOE 3320的OPE 3302形成“V”形3322,与图32中的OPE 3202类似。

[0254] 现在参考图34至36,将描述显示屏110的一个特定实施例。如图34 所示,波导172是由光学透明材料(例如,玻璃、熔融石英、丙烯酸或聚碳酸酯)形成的单个单一基板或平面,但是在替代实施例中,波导172可以由在同一平面或不同平面中接合在一起的光学透明材料的单独不同的基板或面板构成。IC元件168可以与波导172的面180b紧密关联(例如,嵌入在面180b中),以经由面180b将来自图像投影组件108的准直光束 250接收到波导172中,但是在替代实施例中,IC元件168可以与波导172 的另一面180a或甚至边缘相关联(例如,嵌入在其中),以将准直光束250 耦合到波导172中作为耦入光束。DOE 174与波导172相关联(例如,包含在波导172内,或者邻接或邻近波导172的一个或多个面180a、180b),从而像上面简要讨论的那样对准直光束250的有效入射光瞳进行二维扩展。

[0255] 为此,一个或多个DOE 174包括正交光瞳扩展(OPE)元件186和出射光瞳扩展(EPE)元件188,正交光瞳扩展(OPE)元件186与波导172 的面180b紧密关联(例如嵌入在面180b中)以用于将耦入光束252分成正交子光束254,出射光瞳扩展(EPE)元件188与波导172的面180b紧密关联(例如,嵌入在面180b中)以用于将正交子光束254分成从波导 172的面180b出射到终端用户50的眼睛52的一组耦出子光束256。在波导172由不同的面板(pane)构成的替代实施例中,OPE元件174和EPE 元件188可以被并入到波导172的不同面板内。

[0256] OPE元件186沿着第一轴(图34中的水平轴或x轴)中继光,且沿着第二轴(图34中的垂直轴或y轴)扩展光的有效光瞳。特别地,如图 35最佳示出的,IC元件168光学耦入准直光束250,以作为耦入光束在波导172内沿着平行于轴262(在这种情况下,是指沿着垂直轴或y轴)的内部反射光路经由TIR传播,并且在此期间,反复与OPE元件186相交。在所示的实施例中,OPE元件186具有相对较低的衍射效率(例如,小于 50%),并包括一系列对角衍射元件

(相对于x轴成四十五度),从而在与 OPE元件186的每个交点处,耦入光束252的一部分(例如,大于90%)继续在波导172内沿着平行于轴262(y轴)的内部反射光路经由TIR传播,并且耦入光束252的剩余部分(例如,小于10%)被衍射为正交子光束254(在图35中示出为虚线),该正交子光束在波导172内沿着与轴264平行的内部反射光路(在这种情况下,沿着水平轴或x轴)经由TIR朝向 EPE元件188传播。应当理解,尽管轴264被描述为垂直于或正交于轴262(y轴),但是轴264可以替代地相对于轴262(y轴)倾斜地定向。

[0257] 以类似的方式,在与OPE元件186的每个交点处,每个正交子光束 254的一部分(例如,大于90%)继续在波导172内沿着平行于轴264(x轴)的相应内部反射光路经由TIR传播,并且相应的正交子光束254的剩余部分(例如,小于10%)被衍射为二次子光束256,该二次子光束256在波导172内沿着平行于轴262(y轴)的相应内部反射光路(由虚线示出)经由TIR传播。转而,在与OPE元件186的每个交点处,每个二次子光束256的一部分(例如,大于90%)继续在波导172内沿着平行于轴262(y轴)的相应内部反射光路经由TIR传播,并且相应二次子光束256的剩余部分(例如,小于10%)被衍射为三次子光束258,该三次子光束258与正交子束354同相位组合,并且在波导172内沿着平行于轴264(x轴)的相应内部反射光路经由TIR传播。

[0258] 因此,通过将耦入光束252分成多个正交子光束254(这些正交子光束254在波导172内沿着平行于轴264(x轴)的相应内部反射光路经由 TIR传播),耦入到显示屏110中的准直光束250的入射光瞳通过OPE元件186沿y轴垂直地扩展。

[0259] EPE元件188转而进一步沿着第一轴(图36中的水平x轴)扩展光的有效出射光瞳。特别地,如图36最佳示出的,EPE元件188像OPE元件186一样具有相对较低的衍射效率(例如,小于50%),从而在与EPE元件188的每个交点处,每个正交子光束254的一部分(例如,大于90%)继续在波导172内分别沿着平行于轴264(x轴)的相应内部反射光路传播,并且每个正交子光束254的剩余部分被衍射为耦出子光束256,该耦出子光束256从波导172的面180b(沿z轴)出射,如图36所示。也就是说,每当子光束到达EPE元件188时,其一部分将朝向波导172的面180b衍射,而剩余部分将继续在波导172内沿着平行于轴264(x轴)的内部反射光路经由TIR传播。

[0260] 因此,通过将每个正交子光束254分成多个耦出子光束256,准直光束250的入射光瞳通过EPE元件188沿x轴进一步水平地扩展,从而产生耦出子光束256的二维阵列,其就像是原始耦入光束252的更大版本。

[0261] 尽管在图34中将OPE元件186和EPE元件188示为在xy平面中不重叠,但是OPE元件186和EPE元件188可以如图39所示在xy平面中彼此重叠,或者如图38所示在xy平面中彼此部分地重叠。在两种情况下,如在图34所示的实施例中那样,OPE元件186将在波导172内沿着平行于轴262(y轴)的内部反射光路经由TIR传播的耦入光束252分成正交子光束254,该正交子光束254在波导172内沿着平行于轴264(x轴)的相应内部反射光路经由TIR传播。在这些情况下,将需要将OPE元件186和EPE元件188分别设置在波导172的相反两面180a、180b上。

[0262] 除了使子光束256从波导172的面180b耦出之外,EPE元件188还用于将子光束256的输出组沿给定焦平面聚焦,使得由终端用户50在与该焦平面匹配的观看距离处看到图像或虚拟对象的一部分。例如,如果EPE元件188只有线性衍射图案,则从波导172的面180b朝

向终端用户50的眼睛52出射的耦出子光束256将是基本平行的,如图39A所示,这些子光束将被终端用户50的大脑解释为来自光学无限远处的观看距离(焦平面)的光。然而,如果EPE元件188同时具有线性衍射图案成分和径向对称衍射图案成分,则从终端用户50的眼睛52的视角来看,从波导172的面180b出射的耦出子光束256将变得更加发散(即,将在光波前上赋予凸曲率),并且需要眼睛52适应更近的距离,以使生成的图像聚焦在视网膜上,并被终端用户50的大脑解释为来自比光学无限远更靠近眼睛52的观看距离(例如,四米)处的光,如图39B所示。从终端用户50的眼睛52的视角来看,从波导172的面180b出射的耦出子光束256将变得进一步更加发散(即,将在光波前上赋予更凸的曲率),并且需要眼睛52适应进一步更近的距离,以使生成的图像聚焦在视网膜上,并被终端用户50的大脑解释为来自更靠近眼睛52的观看距离(例如,0.5米)处的光,如图39C所示。

[0263] 尽管在本文中波导装置170描述为仅具有一个焦平面,但是应当理解,具有相关联的OPE 176和EPE 178的多个平面光波导172可用于同时或顺序地在多个焦平面处生成图像,如在美国专利公开No.2015/0309264 和2015/0346490中讨论的,这两个专利公开通过引用明确地并入本文中。

[0264] 如前所述,希望增加显示屏110的出射光瞳的饱和度或填充度。在不进行修改的情况下,显示屏110的出射光瞳不能最佳地饱和。例如,如图 40A所示,准直光束250的光瞳可以扩展到耦出子光束256的 3×3 阵列的出射光瞳300a,耦出子光束256本质上是相对稀疏的(即,耦出子光束256 之间的间隙较大)。然而,可以通过光束倍增特征来增强显示屏110,使得准直光束250的光瞳被扩展到耦出子光束256的更饱和的 9×9 阵列的出射光瞳300b,如图40B所示。

[0265] 例如,在一些实施例中,采用两个OPE 186来使从耦入光束252获得的正交子光束254的数量翻倍,从而使得从波导172的面180b出射的耦出子光束256的二维阵列的饱和度翻倍。

[0266] 特别地,如图41至43所示,描述了类似于波导装置170的波导装置 170a,但波导装置170a包括第一OPE元件186a和第二OPE元件186b,该第一OPE元件186a设置在波导172的第一面180a附近(例如,在第一面180a上),用于将在波导172内沿着平行于轴262(y轴)的内部反射光路由TIR传播的耦入光束252分成第一组正交子光束254a,以在波导172内沿着平行于轴264(x轴)的相应内部反射光路由TIR传播(在图41中最佳示出),该第二OPE元件186b设置在波导172的第二面180b 附近(例如,在第二面180b上),用于将在波导172内沿着平行于轴262 (y轴)的内部反射光路由TIR传播的耦入光束252分成第二组正交子光束254b,以在波导172内沿着平行于轴264(x轴)的相应内部反射光路由TIR传播。如图41最佳示出的,第一和第二组正交子光束254a、254b彼此交替。

[0267] 也就是说,因为在波导172内沿着平行于轴262(y轴)的内部反射光路由TIR传播的耦入光束252与波导172的相反两面180a、180b上的第一和第二OPE元件186a、186b交替地相交,因此,耦入光束252的各部分分别被衍射为第一和第二一次组子光束254a、254b,用于在波导172 内沿着平行于轴264(x轴)的交替的内部反射光路由TIR传播。另外还从子束254a、254b分别产生二次子光束256a、256b(如图41和42所示),这进一步产生了分别与正交子光束254a、254b同相位组合的三次子光束258a、258b(仅在图41中示出)。转而,第一和第二一次组子光束 254a、254b在波导172的面180b上与EPE元件188相交,其一部分分别被衍

射为从波导172的面180b出射的第一组耦出子光束256a和第二组耦出子光束256b。因此,正交子光束254的翻倍相应地增加了由显示屏110 扩展的出射光瞳300a的饱和度(如图40B所示)。

[0268] 在另一实施例中,部分反射界面被并入到波导172中以增加在波导172 内传播的子光束数量,并因此增加从波导172的面180b出射的耦出子光束256的二维阵列的饱和度。在下面所示的实施例中,波导172包括多个层叠的基板,其中具有至少一对相邻的基板以及位于每对相邻基板之间的半反射界面,使得与每个半反射界面相交的光束被分成多个子束,这些子束在波导172内经由TIR传播,从而增加了从波导172的面180b出射的耦出子光束的密度。应注意,下面描述的相邻基板未按比例绘制,并且为简单起见,示出为彼此的倍数。然而,相邻基板可以是,并且优选地是彼此的非倍数,从而使从波导的面出射的耦出子光束的填充密度最大化。

[0269] 特别地,并且参考图44至46,波导装置170b类似于所述的波导装置 170,但波导172是由一次波导172a和二次波导172b组成的复合基板。波导装置170b进一步包括设置在一次波导172a和二次波导172b之间的半反射界面190。

[0270] 在一些实施例中,半反射界面190采取半反射涂层的形式,诸如由例如金属(诸如金、铝、银、镍铬,铬等)、电介质(诸如氧化物、氟化物、硫化物等)、半导体(诸如硅、锗等)和/或具有反射特性的胶水或粘合剂构成的半反射涂层,其可以经由任何合适的工艺设置在一次波导172a和二次波导172b之间,这些工艺诸如物理气相沉积(PVD)、离子辅助沉积(IAD)、离子束溅射(IBS)等。半反射涂层190的反射率与透射率之比可以至少部分地基于涂层190的厚度选择或确定,或者半反射涂层190可以具有多个小穿孔以控制反射率与透射率之比。在替代实施例中,一次波导172a和二次波导172b由具有不同折射率的材料构成,使得波导172a、172b之间的界面对以小于临界角的角度(即,一部分光透射通过半反射界面,而剩余部分的光被半反射界面反射的入射角)入射到半反射界面上的光是半反射的。优选地,半反射界面190被设计为使得入射到半反射界面190上的光束的角度被保持。

[0271] 在任何情况下,如图45最佳示出的,IC元件168将准直光束250作为耦入光束252耦合到平面光波导172中,该耦入光束252在波导172内沿着平行于轴262(y轴)的内部反射光路经由TIR传播。半反射界面190 被配置为将耦入光束252分成多个耦入子光束。

[0272] 特别地,半反射界面190被配置为将耦入光束252分成两个一次耦入子光束(在这种情况下,为第一次耦入子光束252a(由实线示出)和第二一次耦入子光束252b(以虚线表示),它们在波导172a内沿着平行于轴 262(y轴)的内部反射光路传播)。如图45所示,半反射界面190产生二次耦入子光束252',该二次耦入子光束252'在二次波导172b内沿着平行于轴262(y轴)的内部反射光路经由TIR传播,并且从中产生第二一次耦入子光束252b。

[0273] 应当理解,由于一次波导172的厚度是二次波导172b的厚度的倍数(在这种情况下,正好为两倍厚),因此由于子光束重组,仅产生两个一次耦入子光束252a、252b。然而,在其中一次波导172a的厚度是二次波导 172b的厚度的非倍数的优选情况下,在二次耦入子光束252'和半反射界面 190之间的每个交点处产生附加的一次耦入子光束252,同样,在一次耦入子光束252和半反射界面190之间的每个交点处产生附加的二次耦入子光束252'。以这种方式,一次耦入子光束252的数量从IC0 168开始沿着轴 262呈几何增加。

[0274] OPE元件186被配置为分别将一次耦入子光束252a、252b分成两组一次正交子光

束。特别地,一次耦入子光束252a、252b与邻近波导172 的面180b的OPE元件186相交,使得一次耦入子光束252a、252b的一部分被衍射为两组一次正交子光束254a、254b,这两组一次正交子光束 254a、254b在波导172内沿着平行于轴264 (x轴)的相应内部反射光路经由TIR传播。

[0275] 如图46最佳示出的,半反射界面190被配置为将两组正交子光束254a、254b分成四组正交子光束。特别地,半反射界面190将一组一次正交子光束254a分成两组一次正交子光束254a (在这种情况下,为第一组一次正交子光束254a (1) (由实线示出)和第二组一次正交子光束254a (2) (由虚线示出)),它们在一次波导172a内沿着平行于轴264 (x轴)的相应内部反射光路经由TIR传播。如图46所示,半反射界面190产生一组二次正交子光束252',该组二次正交子光束252'在二次波导172b内沿着平行于轴264' (x轴)的相应内部反射光路经由TIR传播,并且从中产生第二组一次正交子光束25a (2)。类似地,半反射界面190将一组正交子光束254b 分成另外两组一次正交子光束(未示出),该另外两组一次正交子光束在一次波导172a内沿着平行于轴264 (x轴)的相应内部反射光路经由TIR传播。

[0276] 应当理解,由于一次波导172a的厚度是二次波导172b的厚度的倍数 (在这种情况下,正好为两倍厚),因此从每个正交子光束254仅产生两个一次正交子光束254。然而,在其中一次波导172a的厚度是二次波导172b 的厚度的非倍数的优选情况下,在二次正交子光束254'和半反射界面190 之间的每个交点处产生附加的一次正交子光束254,同样,在一次耦入子光束254和半反射界面190之间的每个交点处产生附加的二次正交子光束 254'。以这种方式,一次正交子光束254的数量从IC0 168开始沿着轴264 (x轴)呈几何增加。

[0277] EPE元件188被配置为将每个正交子束分成一组耦出子光束256。例如,多组一次正交子光束254 (仅示出多组一次正交子光束254a (1) 和 254a (2)) 与邻近波导172的面180b的EPE元件188相交,使得一次正交子光束254的部分被衍射为从波导172的面180b出射的一组耦出子光束 256。因此,耦入子光束252的数量和正交子光束254的数量的增加相应地增加了由显示屏110扩展的出射光瞳300a的饱和度(如图40B所示)。

[0278] 参考图47A至47D,现在将描述半反射界面190将光束(在这种情况下,为耦入光束252,但是相同的技术也可应用于正交光束254) 倍增成多个子束252 (在这种情况下,为两个子光束252a和252b) 的方式。在图 47A至47D的示例中,一次波导172a是二次波导172b的倍数,因此,一次子光束252和二次子光束252'可以在半反射界面190处共享多个交点。然而,如上文简要讨论的,一次波导172a优选地是二次波导172b的非倍数,以使半反射界面190处的公共交点的数量最小,从而产生附加的子光束252并最大化耦出子光束的填充度。

[0279] 在与半反射界面190的第一交点P1处,光束252的一部分透射穿过半反射界面190并进入二次波导172b中作为二次子光束252',该二次子光束252'被波导172的面180a反射回到半反射界面190的第二交点P2,同时光束252的一部分被半反射界面190反射回到一次波导172a中作为一次子光束252a,一次子光束252a被波导172的面180b反射回到半反射界面190的第三交点P3(图47A)。

[0280] 在与半反射界面190的第二交点P2处,二次子光束252'的一部分透射穿过半反射界面190并且进入一次波导172b中作为一次子光束252b,一次子光束252b被波导172的面180a反射回到半反射界面190的第四交点P4,同时二次子光束252'的一部分被半反射界面190反射回到二次波导 172b中作为二次子光束252',二次子光束252'被波导172的面180a

反射回到半反射界面190的第三交点P3(图47B)。

[0281] 在与半反射界面190的第三交点P3处,一次子光束252a的一部分透射穿过半反射界面190进入二次波导172b中,并且二次子光束252'的一部分被半反射界面190'反射回到二次波导172b中,这些部分恰好组合在一起作为二次子光束252'并被波导172的面180b反射回到第四交点P4(图 47C)。当然,一次子光束252a和二次子光束252'可以不具有公共交点P3,在这种情况下,可以产生附加的二次子光束252'。此外,在与半反射界面 190的第三交点P3处,二次子光束252'的一部分透射穿过半反射界面190 进入一次波导172a中,并且一次子光束252a的一部分被半反射界面190 反射回到一次波导172a,这些部分可以组合在一起作为一次子光束252a,一次子光束252a被波导172的面180b反射回到半反射界面190的第五交点P5(图47C)。当然,二次子光束252'和一次子光束252a可以不具有公共交点P3,在这种情况下,可以产生附加的一次子光束252。

[0282] 在与半反射界面190的第四交点P4处,一次子光束252b的一部分透射穿过半反射界面190进入二次波导172b中,二次子光束252'的一部分被半反射界面190反射回到二次波导172b中,这些部分可以组合在一起作为二次子光束252'并被波导172的面180b反射回到第五交点P5(图 47D)。当然,一次子光束252b和二次子光束252' 可以不具有公共交点P4,在这种情况下,可以产生附加的二次子光束252'。此外,在与半反射界面 190的第四交点P4处,二次子光束252'的一部分透射穿过半反射界面190 进入一次波导172a中,并且一次子光束252b的一部分被半反射界面190 反射回到一次波导172a中,这些部分组合在一起作为一次子光束252b,一次子光束252b被波导172的面180b反射回到半反射界面190的第六交点P6(图47D)。当然,二次子光束252'和一次子光束252b可以不具有公共交点P4,在这种情况下,可以产生附加的一次子光束252。

[0283] 因此,根据上述内容可以理解,光能在一次波导172a和二次波导172b 之间传递,以在波导装置170内产生并传播两个子光束252a、252b。

[0284] 重要地,与每个半反射界面上光束的预期入射角协调地,选择层叠基板的厚度,使得相邻耦出子束256的边缘之间没有间隙。

[0285] 例如,在图44至46所示的实施例中,二次波导172b的厚度小于一次波导172a的厚度,其中选择二次波导172b的厚度 Δt ,使得所得到的耦出子光束256中的相邻耦出子光束的中心之间的间距等于或小于准直子光束250的宽度 w 。当然,如果一次波导172a不是二次波导172b的倍数,则所得到的耦出子光束256中的相邻耦出子光束的中心之间的间距可以大于准直子光束250的宽度 w 。

[0286] 应注意,出于说明的目的,已经放大了相对于IC元件168的尺寸的准直光束250的宽度 w 。实际上,准直光束250的宽度 w 将比IC元件168 的尺寸小得多,IC元件168的尺寸需要足够大以容纳准直光束250的所有扫描角。在优选实施例中,针对最坏情况扫描角,相邻耦出子光束256之间的平均间距被最小化。例如,对于最坏情况扫描角,尽管在一些相邻耦出子光束256之间可能存在间隙,但是在大多数相邻耦出子光束256之间将没有间隙。

[0287] 因此,可以基于最坏情况扫描角选择二次波导172b的厚度 Δt ,以最小化相邻耦出子光束256之间的间距。应注意,最坏情况扫描角是导致耦入光束252在半反射界面190上的最小入射角的扫描角。当然,如果一次波导172a不是二次波导172b的倍数,则将产生更多耦出子光束256,从而自然地减小了相邻耦出子光束256之间的平均间距。在这种情况下,可以

有利地将厚度值 t 和 Δt 选择为具有相对较高的最小公倍数。例如,在选择厚度值 t 和 Δt 时,可以寻求使厚度值 t 和 Δt 的最小公倍数最大化,以针对最坏情况扫描角最大化耦出子光束256的数量。此外,选择厚度值 t 和 Δt 还可以产生耦出子光束256的不均匀/复杂分布,该分布可最小化由相邻耦出子光束256之间的相干光相互作用产生的不利影响。

[0288] 例如,如果假设耦入光束252和半反射界面190之间的最坏情况入射角是六十度,并且一次波导172a的厚度 t 恰好是二次波导172b的厚度 Δt 的两倍,则二次波导172b的厚度 Δt 应为耦入光束252的宽度 w 的 $\frac{\sqrt{3}}{2}$,这样,如图48所示,相邻的一次耦入子光束252之间将没有间隙,并且如图49所示,相邻的一次正交子光束254之间将没有间隙,因此,相邻耦出子光束256之间将没有间隙。

[0289] 应当理解,出于简化说明的目的,假设透射穿过半反射界面190的光不发生折射。然而,在透射穿过半反射界面190的光出现显著折射的情况下,当选择二次波导172b的厚度 Δt 时,必须考虑由这种折射引起的光的透射角度。例如,光的折射越大,透射光相对于半反射界面190的角度减小,必须将二次波导172b的厚度 Δt 减小得越多以补偿这种折射。

[0290] 根据上述内容还应当理解,在假设二次波导172b的适当厚度 Δt 的情况下,产生在一次波导172a内沿着平行于轴262(y轴)的内部反射光路经由TIR传播的一次耦入子光束252,然后产生在一次波导172a内沿着平行于轴264(x轴)的内部反射光路传播的一次耦出子光束256,这将完全填充显示屏110的出射光瞳。

[0291] 在需要减小二次波导172b的厚度 Δt 以进一步减小相邻一次耦入子光束252、一次正交子光束254和耦出子光束256之间的平均间距的情况下,一次波导172a的厚度 t 可以远大于二次波导172b的厚度 Δt ,例如,大于二次波导172b的厚度 Δt 的三倍、四倍、五倍或甚至更多倍。

[0292] 例如,如图50和51中针对波导装置170c所示,一次波导172a的厚度 t 是二次波导172b的厚度 Δt 的三倍。如图50最佳示出的,IC元件168将耦入光束252耦合到波导172中,该耦入光束在波导172内沿着平行于轴262(y轴)的内部反射光路经由TIR传播。半反射界面190被配置为将耦入光束252分成三个耦入子光束。特别地,半反射界面190将耦入光束252分成三个一次耦入子光束252(第一次耦入子光束252a(由实线示出)和另外两个一次耦入子光束252b、252c(由虚线示出)),这些一次耦入子光束在一次波导172a内沿着平行于轴262的相应内部反射光路传播。如图50所示,半反射界面190产生二次耦入子光束252',该二次耦入子光束252'在二次波导172b内沿着平行于轴264'(x轴)的内部反射光路经由TIR传播,并且从中产生两个一次耦入子光束252b、252c。

[0293] 应当理解,由于一次波导172a的厚度是二次波导172b的厚度的倍数(在这种情况下,正好为三倍厚),因此由于子光束的重组,仅产生三个一次耦入子光束252a、252b、252c。然而,在其中一次波导172a的厚度是二次波导172b的厚度的非倍数的优选情况下,在二次耦入子光束252'和半反射界面190之间的每个交点处产生附加的一次耦入子光束252,同样,在一次耦入子光束252和半反射界面190之间的每个交点处产生附加的二次耦入子光束252'。以这种方式,一次耦入子光束252的数量从IC0 168开始沿着轴262呈几何增加。

[0294] OPE元件186被配置为分别将一次耦入子光束252a至252c分成三组一次正交子光束。特别地,一次耦入子光束252a至252c与邻近波导172的面180b的OPE元件186相交,使得

一次耦入子光束252a至252c的部分被衍射为三组一次正交子光束254a至254c,这三组一次正交子光束254a至254c在波导172内沿着平行于轴264(x轴)的相应内部反射光路经由TIR传播。

[0295] 如图51最佳示出的,半反射界面190被配置为将三组正交子光束254a至254c分成九组正交子光束。特别地,半反射界面190将一组一次正交子光束254a分成三组一次正交子光束254a(第一组一次耦入子光束254a(由实线示出)和另外两组一次耦入子光束254b、254c(由虚线示出)),它们在一次波导172a内沿着平行于轴264(x轴)的相应内部反射光路经由TIR传播。如图51所示,半反射界面190产生一组二次耦入子光束252',该组二次耦入子光束252'在二次波导172b内沿着平行于轴262'(y轴)的相应内部反射光路经由TIR传播,并且从中产生两组一次耦入子光束254b、254c。类似地,半反射界面190将一组正交子光束254b分成另外三组一次正交子光束(未示出),并且将一组正交子光束254c分成另外三组一次正交子光束(未示出),这些一次正交子光束在一次波导172a内沿着平行于轴264(x轴)的相应内部反射光路经由TIR传播。

[0296] 应当理解,由于一次波导172a的厚度是二次波导172b的厚度的倍数(在这种情况下,正好为三倍厚),因此由于子光束的重组,仅产生三个一次组正交子光束254a、254b、254c。然而,在其中一次波导172a的厚度是二次波导172b的厚度的非倍数的优选情况下,在一组二次正交子光束254'和半反射界面190之间的每个交点处产生附加的一组一次正交子光束254,同样,在一次组正交子光束254和半反射界面190之间的每个交点处产生附加的一组二次正交子光束254'。以这种方式,一次正交子光束254的数量从IC0168开始沿着轴264(x轴)呈几何增加。

[0297] EPE元件188被配置为将九组正交子光束分成一组耦出子光束256。特别地,如图51所示,多组一次正交子光束254(仅示出多组一次正交子光束254a(1)至254a(3))与邻近波导172的面180b的EPE元件188相交,使得一次正交子光束254的部分被衍射为从波导172的面180b出射的一组耦出子光束256。因此,耦入子光束252的数量和正交子光束254的数量的增加相应地增加了由显示屏110扩展的出射光瞳300a的饱和度(如图40B所示)。

[0298] 值得注意的是,通过图50至51的波导装置170c实现的出射光瞳300a的这种饱和和等同于通过图45至46的波导装置170b实现的出射光瞳300a的饱和,前提是波导装置170c中耦入的准直光束250的宽度 w 比波导装置170b中耦入的准直光束250的宽度 w 小 $2/3$ 。也就是说,二次波导172b的厚度 Δt 仅需要按比例缩小以与波导装置170b中耦入的准直光束250的宽度 w 的减小相当。例如,假设耦入光束252和半反射界面190之间的相同最坏情况入射角为六十度,则二次波导172b的厚度 Δt 可以按比例缩小至耦入光束252的宽度 w 的 $\frac{\sqrt{3}}{2}$,这

样,如图52所示,相邻的一次耦入子光束252的边缘之间将没有间隙,并且如图53所示,相邻的一次正交子光束254之间将没有间隙,因此,相邻耦出子光束256的边缘之间将没有间隙。

[0299] 根据上述内容可以理解,如图44至53所示,尽管一次波导172a的厚度 t 可以比耦入到波导装置170b、170c中的准直光束250的宽度 w 大得多,但是二次波导172b的厚度 Δt 可以小于准直光束250的宽度 w 。然而,在给定最坏情况扫描角的情况下,如果消除所产生的耦出子光束256中的相邻耦出子光束的中心之间的间距所需的二次波导172b的厚度 Δt 对于可

制造性的目的而言太小,则可以替代地选择二次波导172b的厚度,使得一次波导172a和二次波导172b之间的厚度差等于差厚度 Δt ,如图54和 55的波导装置170d所示。

[0300] 因此,在这种情况下,可以将二次波导172b的厚度选择为略小于一次波导172a的厚度 t ,即 $t - \Delta t$ 。如图54最佳示出的,IC元件168将耦合入光束252耦合到波导172中,该耦合入光束在波导172内沿着平行于轴262 (y轴)的内部反射光路经由TIR传播。半反射界面190被配置为将耦合入光束252分成三个耦合入子光束。特别地,半反射界面190将耦合入光束252 分成三个一次耦合入子光束252 (第一次耦合入子光束252a (由实线示出) 和另外两个一次耦合入子光束252b、252c (由虚线示出)),它们在一次波导 172a内沿着平行于轴262的相应内部反射光路传播。如图54所示,半反射界面190产生两个二次耦合入子光束252 (1) '和(2) ',它们在二次波导172b 内沿着平行于轴262' (y轴)的相应内部反射光路经由TIR传播,并且从中产生两个一次耦合入子光束252b、252c。

[0301] OPE元件186被配置为分别将一次耦合入子光束252a至252c分成三组一次正交子光束。特别地,一次耦合入子光束252a至252c与邻近波导172 的面180b的OPE元件186相交,使得一次耦合入子光束252a至252c的部分被衍射为三组一次正交子光束254a至254c,这三组一次正交子光束254a 至254c在波导172内沿着平行于轴264 (x轴)的相应内部反射光路经由TIR传播。

[0302] 如图55最佳示出的,半反射界面190被配置为将三组正交子光束254a 至254c分成九组正交子光束。特别地,半反射界面190将一组一次正交子光束254a分成三组一次正交子光束254a (第一组一次耦合入子光束254a (由实线示出) 和另外两组一次耦合入子光束254b、254c (由虚线示出)),它们在一次波导172内沿着平行于轴264 (x轴)的相应内部反射光路传播。如图55所示,半反射界面190产生两组二次耦合入子光束254 (1) '和254 (2) ',这两组二次耦合入子光束254 (1) '和254 (2) '在二次波导172b内沿着平行于轴 264' (x轴)的相应内部反射光路经由TIR传播,并且从中产生两组一次耦合入子光束254b、254c。类似地,半反射界面190将一组正交子光束254b 分成另外三组一次正交子光束(未示出),并且将一组正交子光束254c分成另外三组一次正交子光束(未示出),这些一次正交子光束在一次波导 172a内沿着平行于轴264 (x轴)的相应内部反射光路传播。

[0303] EPE元件188被配置为将九组正交子光束分成一组耦合出子光束256。特别地,如图55所示,多组一次正交子光束254 (仅示出多组一次正交子光束254a (1) 至254a (3)) 与邻近波导172的面180b的EPE元件188的相交,使得一次正交子光束254的部分被衍射为从波导172的面180b出射的一组耦合出子光束256。因此,耦合入子光束252的数量和正交子光束254 的数量的增加相应地增加了由显示屏110扩展的出射光瞳300a的饱和度 (如图40B所示)。

[0304] 以与上面针对图44至53的波导装置170b和170c选择二次波导172b 的厚度 Δt 相同的方式,选择图54至55的实施例中的一次波导172a和二次波导172b之间的厚度差 Δt ,使得在假设耦合入光束252和半反射界面190 之间的相同最坏情况入射角为六十度的情况下,差厚度 Δt 可以被选择为耦合入光束252的宽度 w 的 $\frac{\sqrt{3}}{2}$,这样,相邻的一次耦合入子光束252和相邻的一次正交子光束254的边缘之间将没有间隙,因此,相邻耦合出子光束256的边缘之间将没有间隙。因此,在这种情况下,二次波导172b的厚度将大于耦合入光束252的宽度 w 。

[0305] 尽管图44至45所示的先前的波导装置170a至170d已经被描述为仅包括一个二次

波导172b,但是应当理解,波导装置170可以具有多个二次波导172b。例如,参考图56和图57,波导装置170e包括设置在一次波导172a上的两个二次波导172b,以及四个半反射界面190,其中一个半反射界面设置在一次波导172a和二次波导172b之一之间,其余半反射界面设置在相应二次波导172b之间。

[0306] 如图56最佳示出的,IC元件168将耦合入光束252耦合到波导172中,该耦合入光束在波导172内沿着平行于轴262(y轴)的内部反射光路经由TIR传播。半反射界面190被配置为将耦合入光束252分成三个耦合入子光束。特别地,半反射界面190将耦合入光束252分成三个一次耦合入子光束252(第一次耦合入子光束252a(由实线示出)和另外两个一次耦合入子光束252b、252c(由虚线示出)),它们在一次波导172a内沿着平行于轴262(y轴)的相应内部反射光路传播。如图56所示,半反射界面190产生两个二次耦合入子光束252',它们在相应两个二次波导172b内沿着平行于轴262'(y轴)的相应内部反射光路经由TIR传播,并且从中产生两个一次耦合入子光束252b、252c。

[0307] OPE元件186被配置为分别将一次耦合入子光束252a至252c分成三组一次正交子光束。特别地,一次耦合入子光束252a至252c与邻近波导172的面180b的OPE元件186相交,使得一次耦合入子光束252a至252c的部分被衍射为三组一次正交子光束254a至254c,这三组一次正交子光束254a至254c在波导172内沿着平行于轴264(x轴)的内部反射光路经由TIR传播。

[0308] 如图57最佳示出的,半反射界面190被配置为将三组正交子光束254a至254c分成九组正交子光束。特别地,半反射界面190将一组一次正交子光束254a分成三组一次正交子光束254a(第一组一次耦合入子光束254a(由实线示出)和另外两组一次正交子光束254b、254c(由虚线示出)),它们在一次波导172a内沿着平行于轴264(x轴)的相应内部反射光路经由TIR传播。如图57所示,半反射界面190产生两组二次耦合入子光束252',这两组二次耦合入子光束252'在相应二次波导172b内沿着平行于轴264'(x轴)的相应内部反射光路经由TIR传播,并且从中产生两个一次正交子光束252b、252c。类似地,半反射界面190将一组正交子光束254b分成另外三组一次正交子光束(未示出),并且将一组正交子光束254c分成另外三组一次正交子光束(未示出),这些一次正交子光束在一次波导172a内沿着平行于轴264(x轴)的相应内部反射光路传播。在一些实施例中,两个二次波导172b可以具有不同的厚度。另外,基于类似于上面参考图44至45描述的原因,在一些示例中,这些不同的厚度可以是彼此的非倍数。另外,一次波导172a的厚度可以是两个二次波导172b的两个不同厚度中的一者或全部两者的非倍数。在其它实施例中,两个二次波导172b可以具有相等的厚度。

[0309] EPE元件188被配置为将九组正交子光束分成一组耦合出子光束256。特别地,如图57所示,多组一次正交子光束254(仅示出多组一次正交子光束254a(1)-254a(3))与邻近波导172的面180b的EPE元件188相交,使得一次正交子光束254的部分被衍射为从波导172的面180b出射的一组耦合出子光束256。因此,耦合入子光束252的数量和正交子光束254的数量的增加相应地增加了由显示屏110扩展的出射光瞳300a的饱和度(如图40B所示)。尽管图56和57所示的波导装置170e在上面已经被描述为包括两个二次波导172b,但是应当理解,波导装置170e和本文所述的其它装置可以具有至少两个(例如,三个、四个、五个或更多个)二次波导172b。

[0310] 在先前的实施例中,由准直元件154输出的准直光束的入射光瞳仅通过显示屏110

的OPE元件186和EPE元件188的组合扩展,并且包括与 OPE元件186和EPE元件188紧密关联的特征以增加显示屏110的出射光瞳的饱和度。在本文随后描述的显示子系统104'的实施例中,图像投影组件108进一步包括光瞳预扩展(PPE) 192,其在图58所示的实施例中设置在显示屏110的准直元件166和IC元件168之间。

[0311] PPE 192代表第一光瞳扩展级,并且被设计为在耦入到显示屏110的波导装置170之前,使用一种或多种光束倍增技术将准直光束250的入射光瞳预先扩展为一组初始耦出子光束256' (在这种情况下,是指二维 3×3 阵列) 的中间出射光瞳300a (其模拟输入具有更大光瞳尺寸的常规准直光束,如图59A所示);显示屏110代表第二光瞳扩展级,它以常规方式将准直光束250的光瞳尺寸进一步扩展为一组最终耦出子光束256 (在这种情况下,是指二维 9×9 阵列) 的最终出射光瞳300b,如图59B所示。

[0312] 在替代实施例中,显示屏110可以使用上述增强的光束倍增技术将准直光束250的光瞳尺寸进一步扩展为甚至更饱和的一组最终耦出子光束 256的出射光瞳。然而,应当理解,PPE 192的使用非常有助于输出具有相对较小光瞳尺寸的光束的微型图像设备,这些具有相对较小光瞳尺寸的光束可被扩展为具有正常光瞳尺寸的光束以输入到常规PE中,从而扩展为与终端用户50的眼睛52的入射光瞳尺寸相衬的出射光瞳。例如,PPE 192可以将准直光束的入射光瞳扩展为比入射光瞳(例如,50密耳(mil) 光瞳尺寸) 大至少十倍的预扩展光瞳(例如,至少0.5mm光瞳),并且显示屏110的波导装置170可以将准直光束250的预扩展光瞳进一步扩展为比准直光束250的预扩展光瞳大至少十倍的出射光瞳(例如,至少5mm 光瞳)。通过利用多级光瞳扩展系统,与将准直光束的相对较小光瞳扩展为相对较大且饱和的出射光瞳相关联的制造约束不需要仅施加在一个光瞳扩展装置上,而是可以分布在多个扩展装置之间,从而便于整个系统的制造。

[0313] 现在参考图60至63,显示子系统104' 的一些实施例利用包括图34至 36所示的上述波导装置170和PPE 192a的常规PE,在所示的实施例中, PPE 192a采取安装在IC元件168上的波导装置170的微型版本的形式。

[0314] 为此,PPE 192a采取波导装置170'的形式,其尺寸与一次波导装置 170的IC元件168的尺寸相当。就像显示屏110的一次波导装置170一样,微型波导装置170'包括平面光波导172' 以及一个或多个DOE 174',该平面光波导172'采取由光学透明材料构成的单个单一基板或平面的形式(如上关于波导172所述),所述一个或多个DOE 174'与波导172'相关联,用于对光学耦合到波导172'中的准直光束250的有效出射光瞳进行二维预扩展。PPE 192a进一步包括IC元件168',该元件设置在波导172'的面180b'上,用于经由面180b'将来自准直元件166的准直光束250接收到波导172'中,但是在替代实施例中,IC元件168'可以设置在波导172'的另一面180a'或甚至边缘上,用于将准直光束250耦合到波导172中作为耦入光束。DOE 174'与波导172'相关联(例如,并入在波导172'内或与波导172'的面180a'、180b'中的一个或多个端接或邻近),用于如上文简要讨论的,对光学耦合到波导172'中的准直光束250的有效入射光瞳进行二维预扩展。

[0315] 为此,DOE 174包括:正交光瞳扩展(OPE) 元件186,用于将耦入光束252分成一组初始正交子光束254';以及出射光瞳扩展(EPE) 元件 188',用于将每个初始正交子光束254'分成一组初始耦出子光束256',该组初始耦出子光束256'从波导172'的面180b'出射。在图60至63所示的特定实施例中,OPE元件186'和EPE元件188'在xy平面中彼此完全重叠,因此,

OPE元件186'设置在波导172'的面180a上,并且EPE元件188'设置在波导172'的面180b上。或者,OPE元件186'和EPE元件188'在xy平面中可以完全不重叠,在这种情况下,OPE元件186'和EPE元件188'二者都可以设置在波导172'的同一面180b上。

[0316] OPE元件186'沿着第一轴(图60中的水平轴或x轴)中继光,并且沿着第二轴(图60中的垂直轴或y轴)预扩展光的有效出射光瞳。特别地,如图61最佳示出的,IC元件168'光学耦合入准直光束250作为耦合入光束252',以在波导172'内沿着内部反射光路262(在这种情况下,沿着垂直轴或y轴)经由TIR传播,并且在此期间,反复与OPE元件186'相交。在所示的实施例中,OPE元件186'具有相对较低的衍射效率(例如,小于50%),并包括一系列对角衍射元件(相对于x轴成四十五度),这样,在与OPE元件186'的每个交点处,耦合入光束252'的一部分(例如,大于90%)继续在波导172'内沿着平行于轴262(y轴)的内部反射光路经由TIR传播,并且耦合入光束252'的剩余部分(例如,小于10%)被衍射为初始正交子光束254'(在图61中示出为虚线),该初始正交子光束254'在波导172'内沿着与轴264平行的内部反射光路(在这种情况下,沿着水平轴或x轴)经由TIR朝向EPE元件188'传播。应当理解,尽管轴264被描述为垂直于或正交于轴262(y轴),但是轴264可以替代地相对于轴262倾斜地定向。

[0317] 因此,通过将耦合入光束252'分成沿着平行的内部反射光路264传播的多个初始正交子光束254',耦合入到微型波导装置170'中的准直光束250的入射光瞳通过OPE元件186'沿着y轴垂直地预扩展。

[0318] EPE元件188'转而沿着第一轴(图62中的水平x轴)进一步预扩展光的有效光瞳。特别地,EPE元件188'像OPE元件186'一样具有相对较低的衍射效率(例如,小于50%),使得在与EPE元件188'的每个交点处,每个初始正交子光束254'的一部分(例如,大于90%)继续沿着平行于轴264(x轴)的相应内部反射光路传播,并且每个初始正交子光束254'的剩余部分被衍射为初始耦合出子光束256',该初始耦合出子光束256'从波导172'的面180b'(沿z轴)出射,如图62所示。也就是说,每当子光束到达EPE元件188'时,其一部分将朝向波导172'的面180b衍射,而剩余部分将继续沿着平行于轴264(x轴)的相应内部反射光路传播。

[0319] 因此,通过将每个初始正交子光束254'分成多个初始耦合出子光束256',耦合入光束252'的出射光瞳通过EPE元件188'而沿x轴进一步水平地预扩展,从而产生初始耦合出子光束256'的二维阵列,其就像是原始耦合入光束252'的更大版本。

[0320] 以与上面参考图34至36所述的相同方式,一次波导装置170进一步对准直光束250的光瞳进行二维扩展。即,初始耦合出子光束256'被输入到一次波导装置170的IC元件168中作为耦合入子光束252(1)-252(4),这些耦合入子光束转而被OPE元件186分成四组正交子光束254(1)-254(4),这四组正交子光束254(1)-254(4)进一步被EPE元件188分成从波导172的面180b朝向终端用户50的眼睛52出射的最终耦合出子光束256。

[0321] 因此,如图63所示,单个准直光束250被OPE元件186'分成四个初始正交子光束254'的一维阵列,该一维阵列被EPE元件188'进一步分成初始耦合出子光束256'的二维4×4阵列,该二维4×4阵列被OPE元件174'进一步分成正交子光束254的二维4×16阵列,该二维4×16阵列被进一步分成最终耦合出子光束256的16×16阵列。应当理解,PPE 192a(即,微型波导装置170')的使用将显示屏110的出射光瞳的饱和度从最终耦合出子光束256的4×4阵列增加到最终耦合出子光束256的16×16阵列。当然,PPE 192a可被设计为产生初始耦合出子光束256'的更小或更大的阵列,例如2×2阵列、3×3阵列、5×5阵列等,甚至可被设计为产

生初始耦出子光束256'的非正方形矩阵,例如 2×3 阵列、 3×2 阵列、 3×4 阵列、 4×3 阵列等。重要地,一次波导装置170的波导172的厚度将大于微型波导装置170'的波导172'的厚度。在这种情况下,为了简化说明,一次波导172的厚度是二次波导172'的厚度的四倍。然而,应当理解,如上面参考图44至57的实施例讨论的,可以有利地使波导172、172'的相应厚度值的最小公倍数最大化,从而使针对最宽扫描角产生的出射光瞳的量最大化,此外,产生耦出子光束256的不均匀/复杂的分布,该分布可以使由相邻耦出子光束256之间的相干光相互作用产生的不利影响最小化。

[0322] 现在参考图64至66,显示子系统104'的另一实施例利用包括图34至36所示的上述波导装置170和PPE 192b的常规PE,像PPE 192a一样, PPE 192b对光学耦合到PPE 192b中的准直光束250的有效入射光瞳进行二维预扩展,但不同于PPE 192a, PPE 192b不是波导,而是可以采取适配器的形式。

[0323] 特别地, PPE 192b包括衍射分束器194,该衍射分束器194利用将准直光束250分成一组初始耦出子光束256'的单个DOE。如图65和66所示,衍射分束器194包括:光学平面基板196,其具有相反的第一面和第二面196a、196b;以及衍射光栅198,其与面196a、196b之一相关联,在这种情况下,与基板196的196b相关联。衍射光栅198将进入基板196的面196a的准直光束250分成一组发散子光束254',该组发散子光束254'以发散角从基板196的面196b出射。

[0324] 衍射光栅198可被设计为从单个准直光束250产生奇数个发散子光束254',或者从单个准直光束250产生偶数个发散子光束254'。重要地,当准直光束250与衍射光栅198相交时,以不同的衍射级产生子束。例如,如图67A所示,一个衍射光栅198'被设计为将准直光束250分成分别对应于五个衍射级(-2、-1、0、+1、+2)的五个发散子光束254',每个发散子光束254'与相邻发散子光束254'相隔一分离角 θ_s 。如图67B所示,另一衍射光栅198''被设计为将准直光束250分成分别对应于四个衍射级(-3、-1、+1、+3)的四个发散子光束254',每个发散子光束256'与相邻的发散子光束256'相隔一分离角 $2\theta_s$ 。

[0325] 衍射光栅198可以将准直光束250'分成发散子光束254'的一维阵列或发散子光束254'的二维(M×N)阵列。在图64至66所示的实施例中,衍射光栅将准直光束250分成发散子光束254'的 4×4 阵列。当然, PPE 192b 可以被设计为产生发散子光束254'的更小或更大的阵列,例如 1×2 阵列、 2×1 阵列、 2×2 阵列、 3×3 阵列、 25×5 阵列等,甚至可被设计为产生发散子光束254'的非正方形二维阵列,例如 2×3 阵列、 3×2 阵列、 3×4 阵列、 4×3 阵列等。

[0326] 重要地, PPE 192b对准直光束250施加保持角度的扩展。也就是说, PPE 192b将从基板196b的面196b出射的一组发散子光束254'弯曲回到准直光束250'的原始角度。为此, PPE 192b包括透镜200,在该实施例中为衍射透镜,该透镜将发散子光束254'作为一组初始耦出子光束256'重新聚焦回到准直光束250'的原始角度。尽管衍射透镜200被示为与IC元件168分离,但是衍射透镜200的功能可以被并入到IC元件168内。

[0327] 根据上述内容可以理解, PPE 192b对准直光束250的有效入射光瞳进行二维预扩展。以上面参考图34至36所述的相同方式,一次波导装置170对准直光束250的光瞳进行进一步二维扩展。也就是说,初始耦出子光束256'的 4×4 阵列被输入到一次波导装置170的IC元件168中作为耦入子光束252(仅示出252(1)至252(4))的 4×4 阵列,这些耦入子光束又被OPE 元件186分成正交子光束254(仅示出254(1)至254(4))的 4×4 阵列,该正交子光束被

EPE元件188进一步分成从波导172的面180b朝向终端用户50的眼睛52出射的最终耦出子光束256,如图64至66所示。值得注意的是,将选择图67A的实施例中的分离角 θ_s 或图67B中的分离角 $2\theta_s$,使得在与透镜200相交处的相邻初始耦出子光束256'之间的分隔距离s等于从一次波导装置170出射的最终耦出子光束256的期望间距。

[0328] 现在参考图68至73,显示子系统104的又一实施例利用包括图34至 36所示的上述波导装置170和PPE 192c的常规PE,像PPE 192a一样, PPE 192c对光学耦合到PPE 192c中的准直光束250的有效出射光瞳进行二维预扩展,但与PPE 192a不同,PPE 192c不是波导,而是可以采取棱镜的形式。

[0329] 如在图71至73最佳示出的,PPE 192c包括光学透明的棱镜体202和设置在棱镜体202内部的多个棱镜平面204,在所示的实施例中,该棱镜体202采取具有第一面202a和第二面202b的长方体的形式。多个棱镜平面204包括第一组平行棱镜平面204a和第二组平行棱镜平面204b,第一组平行棱镜平面204a相对于第一面202a成一倾斜角(在这种情况下,成四十五度角)地设置,第二组平行棱镜平面204b相对于第二面202b成一倾斜角(在这种情况下,成四十五度角)地设置。在所示的实施例中,第一组平行棱镜平面204a由两个棱镜平面202a (1) 和202a (2) 组成,第二组平行棱镜平面204b由两个棱镜平面202b (1) 和202b (2) 组成,但是在替代实施例中,每组平行棱镜平面204可以由多于两个的棱镜平面组成。

[0330] 棱镜体202包括接合在一起以形成整个棱镜体202的棱镜部206a至 202f。棱镜平面204a (1) 形成在棱镜部206a和206b之间的界面处;棱镜平面204a (2) 形成在棱镜部206b和206c之间的界面处;棱镜平面204b (1) 形成在棱镜部206d和206e之间的界面处;棱镜平面204b (2) 形成在棱镜部 206e和206f之间的界面处。

[0331] 棱镜平面204被配置为将进入棱镜体202的第一面202a的准直光束 250分成一组初始耦出子光束256' (在这种情况下,是子光束256'的 2×2 阵列),该组初始耦出子光束256'从棱镜体202的第二面202b出射。

[0332] 为此,棱镜平面204a (1) 和204b (1) 中的每一者由半反射涂层形成,诸如由例如金属(诸如金、铝、银、镍铬,铬等)、电介质(诸如氧化物、氟化物、硫化物等)、半导体(诸如硅、锗等)和/或具有反射特性的胶水或粘合剂构成的半反射涂层,其可以经由任何合适的工艺设置在相邻棱镜部 206之间,这些工艺诸如有物理气相沉积(PVD)、离子辅助沉积(IAD)、离子束溅射(IBS)等。半反射涂层190的反射率与透射率之比可以至少部分地基于涂层的厚度而被选择或确定,或者半反射涂层可以具有多个小穿孔以控制反射率与透射率之比。因此,棱镜平面204a (1) 和204b (1) 中的每一者将通过反射光束的一部分并透射光束的剩余部分来分裂光束。与此形成对比,棱镜平面204a (2) 和204b (2) 中的每一者优先地由全反射涂层形成,该全反射涂层可以由与半反射涂层相同的材料构成。然而,可以选择涂层的厚度,使得棱镜平面204a (2) 和204b (2) 是完全反射性的。

[0333] 在替代实施例中,相邻棱镜部206可以由具有不同折射率的材料构成,使得各棱镜部206之间的棱镜平面204对于以小于临界角的角度入射到半反射界面上的光而言是半反射的(在棱镜平面204a (1) 或204b (1) 的情况下) 或完全反射的(在棱镜平面204a (2) 和204b (2) 的情况下)。无论如何,每个棱镜平面204优选地被设计为使得入射到棱镜平面204上的光束的角度被保持。

[0334] 如图72最佳示出的,第一组棱镜平面204a沿着第一轴(水平轴或x 轴)中继光,并

沿着第二轴(垂直轴或y轴)预扩展光的有效出射光瞳。特别地,第一组棱镜平面204a将进入棱镜体202的第一面202a的准直光束250分成两个正交子光束254(1)'和254(2)',并且在第一方向上朝向第二组棱镜平面204b反射这些子光束254'。也就是说,准直光束250的一部分被棱镜平面204a(1)反射作为正交子光束254(1)',并且准直光束250的剩余部分被棱镜平面204a(1)透射到棱镜平面204a(2)以作为正交子光束254(2)'反射。

[0335] 如图73最佳示出的,第二组棱镜平面204b转而沿着第二轴(水平轴或x轴)进一步预扩展光的有效出射光瞳。特别地,第二组棱镜平面204b将每个正交子光束254'分成两个初始耦出子光束256',并且在与第一方向正交的第二方向上将这些初始耦出子光束256'反射出棱镜体202的第二面202b,但是第二方向可以不与第一方向正交。也就是说,正交子光束254(1)'的一部分被棱镜平面204b(1)反射为初始耦出子光束256(1)',并且正交子光束254(1)'的剩余部分被棱镜平面204b(1)透射到棱镜平面204b(2)以反射为初始耦出子光束256(2)'。同样,正交子光束254(2)'的一部分被棱镜平面204b(1)反射为初始耦出子光束256(3)',并且正交子光束254(2)'的剩余部分被棱镜平面204b(1)透射到棱镜平面204b(2)以反射为初始耦出子光束256(4)'。因此,初始耦出子光束256'的 2×2 阵列从棱镜体202的第二面202b出射。

[0336] 根据上述内容可以理解,PPE 192c对准直光束250的有效入射光瞳进行二维预扩展。以上面参考图34至36所述的相同方式,一次波导装置170对准直光束250的光瞳进行进一步二维扩展。也就是说,初始耦出子光束256'被输入到一次波导装置170的IC元件168中作为耦入子光束(仅示出252(1)至252(2))的 2×2 阵列,这些耦入子光束又被OPE元件186分成四组正交子光束(仅示出254(1)至254(2)),这四组正交子光束被EPE元件188进一步分成从波导172的面180b朝向终端用户50的眼睛52出射的最终耦出子光束256,如图68至70所示。

[0337] 优选地选择棱镜平面204之间的距离d,使得相邻的初始耦出子光束256'之间的距离s等于从一次波导装置170出射的最终耦出子光束256的期望间距。在所示的实施例中,棱镜平面204相对于棱镜体202的面202a、202b以四十五度角定向,因此,距离d可以如下表示为距离s的函数: $d = s * \sin 45^\circ$ 。一次波导装置170中的波导172的厚度可以是PPE 192c的每组平行棱镜平面204中的棱镜平面204之间的距离d的倍数(在这种情况下,是平行棱镜平面204之间的距离d的两倍),以便于最终耦出子光束256的填充。

[0338] 应当理解,可以通过相对于棱镜体202的尺寸减小PPE 192c的每组平行棱镜平面204中的棱镜平面204之间的距离,来产生初始耦出子光束256'的更大的阵列,如图74和75所示。

[0339] 例如,如图74所示,第一组棱镜平面204a可以将进入棱镜体202的第一面202a的准直光束250分成三个正交子光束254(1)'至254(3)',并且朝向第二组棱镜平面204b反射这些子光束254'。也就是说,准直光束250的一部分被棱镜平面204a(1)反射为正交子光束254(1)',并且准直光束250的剩余部分被棱镜平面204a(1)透射到棱镜平面204a(2),该剩余部分在棱镜平面204a(1)和204a(2)之间反复反射,其一部分被透射回穿过棱镜平面204a(1)作为正交子光束254(2)'和254(3)'。

[0340] 如图75所示,第二组棱镜平面204b将每个正交子光束254'分成三个初始耦出子光束256',并将这些初始耦出子光束256'反射出棱镜体202的第二面202b。因此,初始耦出子

光束256'的 3×3 阵列从棱镜体202的第二面202b出射。也就是说,每个正交子光束254的一部分被棱镜平面204b(1)反射为初始耦出子光束256(1)',并且该正交子光束254'的剩余部分被棱镜平面204b(1)透射到棱镜平面204b(2),该剩余部分在棱镜平面204b(1)和204b(2)之间反复反射,其一部分被透射回穿过棱镜平面204b(1)作为初始耦出子光束256(2)'和256(3)'。

[0341] 此外,优选地选择棱镜平面204之间的距离 d ,使得相邻的初始耦出子光束256'之间的距离 s 等于从一次波导装置170出射的最终耦出子光束256的期望间距。在所示的实施例中,棱镜平面204相对于棱镜体202的面202a、202b以四十五度角定向,因此,距离 d 可以如下表示为距离 s 的函数: $d=s*\sin 45^\circ$ 。

[0342] 因此,对于每个正交子光束254,将产生三个初始耦出子光束256',从而产生从棱镜体202的第二面202b出射的初始耦出子光束256'的 3×3 阵列。当然,PPE 192c可被设计为通过相对于棱镜体202的尺寸进一步减小PPE 192c的每组平行棱镜平面204中的棱镜平面204之间的距离来产生初始耦出子光束256'的更大的阵列,例如, 4×4 阵列、 5×5 阵列等。

[0343] 尽管PPE 192c已经被描述为产生初始耦出子光束256'的正方形阵列,但是PPE 192c可以替代地被设计为通过使棱镜平面204a(1)和204a(2)之间的距离不同于棱镜平面204b(1)和204b(2)之间的距离来产生初始耦出子光束256'的非正方形阵列,例如 2×3 阵列、 3×2 阵列、 2×3 阵列、 3×2 阵列等。此外,尽管PPE 192c已经被描述为产生初始耦出子光束256'的二维阵列,但是PPE 192c可以被设计为通过设计具有仅一组平行棱镜平面204的PPE 192c来产生初始耦出子光束256'的一维阵列,例如 1×2 阵列、 1×3 阵列等。

[0344] 此外,尽管PPE 192c已经被描述为产生以与棱镜体202的面202b正交的角度从棱镜体202出射的初始耦出子光束256',但是PPE 192c可被设计为:通过相对于棱镜体202的面202b改变一组或两组棱镜平面204中的取向来使得初始耦出子光束256'以相对于棱镜体202的面202b倾斜的角度从棱镜体202出射。

[0345] 现在参考图76至79,显示子系统104'的又一实施例利用包括图34至36所示的上述波导装置170和PPE 192e的常规PE,像PPE 192c一样,PPE 192e采取棱镜的形式,但与PPE 192c不同,PPE 192e利用与实心棱镜相反的空腔棱镜,用于对光学耦合到PPE 192e中的准直光束250的有效入射光瞳进行一维预扩展。

[0346] 如图79最佳示出的,PPE 192e包括光学透明的空腔棱镜208,该空腔棱镜包括第一三角棱镜部210a和第二三角棱镜部210b。棱镜部210a、210b彼此间隔开以在其之间形成开放空间212,该开放空间212的一侧由棱镜部210a的棱镜平面212a约束,而另一侧由棱镜部210b的棱镜平面212b约束,棱镜平面212a、212b彼此平行。第一棱镜部210a具有与棱镜平面212a相对的第一面214a和第二面214b。棱镜平面212a与第一面和第二面214a、214b成一倾斜角(在这种情况下,成四十五度角)地设置。

[0347] 棱镜平面212被配置为将进入棱镜部210的第一面202a的准直光束250分成一组初始子光束256'(在这种情况下,是初始耦出子光束256'的 1×4 阵列),该组初始子光束从第一棱镜部210a的第二面214b出射。为此,与上述PPE 192c的棱镜平面204被设计为部分反射性或完全反射性相同的方式,第一棱镜平面212a被设计为部分反射性,而第二棱镜平面212b被设计为完全反射性。每个棱镜平面212优选地被设计为使得入射到棱镜平面212上的光束的角度被保持。

[0348] 如图79最佳示出的,PPE 192c沿着第一轴(水平轴或x轴)对光的有效出射光瞳进行一维预扩展。特别地,一组棱镜平面212将准直光束250 分成四个初始耦出子光束256',并将这些初始耦出子光束256'反射出棱镜部210b的第二面214b。因此,初始耦出子光束256'的 1×4 阵列从棱镜体 210的第二面214b出射。也就是说,准直光束250的一部分被棱镜平面 212a反射为初始耦出子光束256(1)',并且准直光束250的剩余部分被棱镜平面212b透射到棱镜平面212a,该剩余部分在棱镜平面212a和棱镜平面 212b之间反复反射,其一部分被透射回穿过棱镜平面212a作为初始耦出子光束256(2)'至256(4)'。当然,PPE 192e可被设计为通过相对于棱镜208 的尺寸减小或增大棱镜平面212之间的距离,来产生初始耦出子光束256' 的更小或更大的一维阵列,例如 1×2 阵列、 1×3 阵列、 1×5 阵列等。

[0349] 根据上述内容可以理解,PPE 192e对准直光束250的有效入射光瞳进行一维预扩展。以上面参考图34至36所述的相同方式,一次波导装置170 对准直光束250的光瞳进行进一步二维扩展。也就是说,初始耦出子光束 256'被输入到一次波导装置170的IC元件168中作为耦入子光束252(1) 至252(4)的 1×4 阵列,这些耦入子光束又被OPE元件186分成正交子光束254(1)至254(4)的 1×4 阵列,这些正交子束被EPE元件188进一步分成从波导172的面180b朝向终端用户50的眼睛52出射的最终耦出子光束 256,如图76至78所示。

[0350] 优选地选择棱镜平面212之间的距离d,使得相邻的初始耦出子光束 256'之间的距离s等于从一次波导装置170出射的最终耦出子光束256的期望间距。在所示的实施例中,棱镜平面212相对于棱镜体202的面214a、214b以四十五度角定向,因此,距离d可以如下表示为距离s的函数: $d = s * \sin 45^\circ$ 。重要地,一次波导装置170中的波导172的厚度是PPE 192e 的棱镜平面212之间的距离d的倍数(在这种情况下,是棱镜平面212之间的距离d的两倍),从而便于最终耦出子光束256的填充。

[0351] 应当理解,由于仅通过相对于彼此定位棱镜平面212来设置棱镜平面212之间的距离d,因此可以任意地设置最终耦出子光束256之间的间距,无需考虑制造限制。也就是说,由于PPE 192e不在棱镜平面212之间使用光学基板,而是在棱镜平面212之间使用空腔,因此不必考虑与这种光学基板的最小厚度有关的限制。

[0352] 现在参考图80至89,显示子系统104的一些实施例利用包括图34至 36所示的上述波导装置170和PPE 192f的常规PE,在所示的实施例中,PPE 192f采取安装到IC元件168上的多层微型波导装置220的形式。

[0353] 微型波导装置220具有与一次波导装置170的IC元件168的尺寸相当的尺寸。微型波导装置220包括多个波导组件222,并且在这种情况下,包括顶部波导组件222a和底部波导组件222b。如下面进一步详细描述,每个波导组件222被配置为将一个或多个准直光束或子束(底部波导组件 222b中的准直光束250和顶部波导组件222b中的耦出子光束256')中的每一个分成耦出子光束256'的二维阵列(在这种情况下,是 4×4 阵列)。

[0354] 在本文所述的特定微型波导装置220中,如图83所示,底部波导组件 222b用于将单个准直光束250分成耦出子光束256'的二维阵列,而顶部波导组件222a用于将来自底部波导组件222b的耦出子光束256'的二维阵列分成耦出子光束256''的多个二维阵列。为此,顶部波导组件222a和底部波导组件222b彼此相对地设置,使得顶部波导组件222a接收来自底部波导组件222b的耦出子光束256'。例如,下文将要说明的,底部波导组件222b的顶表面224a被固定到顶部波导组件222a的底表面224b上。

[0355] 进一步参考图84和85A至85B,每个波导组件222包括一对正交波导单元,该对正交波导单元被配置为顶部正交波导单元226a和底部正交波导单元226b,其中顶部正交波导单元226a的底表面228b被固定到底部正交波导单元226b的顶表面228a。正交波导单元226彼此相同,唯一的区别在于它们相对于彼此正交地定向。每个正交波导单元226包括平面光波导230,该平面光波导230采取由光学透明材料构成的单个单一基板或平面的形式(如上文针对波导172所述)。各个正交波导单元226的平面光波导230具有相同尺寸,分别具有顶面230a和底面230b。每个正交波导单元226进一步包括与相应平面光波导230的底面230b相关联(例如,设置在其上)的IC元件232,以及相应地与平面光波导230的顶面230a相关联(例如,设置在其上)的EPE 234。

[0356] 每个IC元件232被配置为将一个或多个光束或子光束耦入到相应的平面光波导230中,以沿着内部反射光路(在顶部正交波导单元226a的情况下为236a;在底部正交波导单元226b的情况下为236b)经由TIR传播,并且在此期间,反复与EPE元件234相交。以与上面针对一次波导装置 170的EPE元件188所述的相同方式,EPE元件234具有相对较低的衍射效率(例如,小于50%),这样,在与EPE元件234的每个交点处,每个光束或子光束的一部分(例如,大于90%)继续沿着相应内部反射光路236 传播,并且每个光束或子光束的剩余部分被衍射为初始耦出子光束256',该初始耦出子光束256'从相应平面光波导230的顶面230a出射。在所示的实施例中,IC元件232和EPE元件234的尺寸彼此相等,并且与IC元件232和EPE元件234的相关联的相应平面光波导230的尺寸相当,这样,如在下面进一步详细描述,准直光束250的光瞳扩展被最大化,同时还便于将耦出子光束256'的二维阵列从底部正交波导单元226b耦入到顶部正交波导单元226a。

[0357] 正交波导单元226的IC元件232彼此正交地定向,使得耦入到相应波导组件222的底面224b中的每个光束或子光束(250或256')被分成初始耦出子光束256'(或256'')的二维阵列,这些初始耦出子光束从波导组件222的顶面224a出射,如图84所示。

[0358] 特别地,每个波导组件222的IC元件232相对于彼此正交地定向,使得与底部正交波导单元226b相关联的IC元件232耦入光,以沿着平行于第一轴262的内部反射光路(在这种情况下,沿着y轴)经由TIR传播,这样,光沿着第一轴262被相应的EPE元件234扩展(请参见图85B),而与顶部正交波导单元226a相关联的IC元件232耦入每个光束或子光束,以沿着平行于与第一轴264正交的第二轴264的内部反射光路(在这种情况下,沿着x轴)经由TIR传播,这样,光沿着第二轴264被相应的EPE 元件234扩展(请参见图85A)。

[0359] 如上面参考图83简要讨论的,顶部波导组件222a的底面224b被固定到底部波导组件222b的顶面224a上,从而提供底部波导组件222a的输出作为顶部波导组件222a的输入,从而从单个准直光束250产生耦出子光束256''的多个阵列。

[0360] 特别地,进一步参考图86A和86B,底部波导组件222b从准直元件 166接收准直光束250,并将准直光束250分成从底部波导组件222b的顶面224a出射的初始耦出子光束256'的二维阵列。

[0361] 也就是说,与底部波导组件222b的底部正交波导单元226b相关联的 IC元件224将准直光束250光学耦合为初始耦入光束252',以在相应平面光波导230内沿着平行于轴262(y轴)的第一内部反射光路经由TIR传播,并且与底部波导组件222b的底部正交波导单元226b相关联的EPE 元件226将准直光束250分成从相应的底部正交波导单元226b的顶面

228a 出射的初始耦出子光束256'的一维阵列。

[0362] 转而,与底部波导组件222b的顶部正交波导单元226a相关联的IC 元件224将初始耦出子光束256'的一维阵列光学耦合为初始正交子光束 256',以在相应平面光波导230内沿着平行于轴264(x轴)的相应第二内部反射光路(其与平行于轴262(y轴)的第一内部反射光路正交)经由 TIR传播,并且与底部波导组件222b的顶部正交波导单元226a相关联的EPE元件226将初始正交子光束254'分成从相应的顶部正交波导单元226a 的顶面228a出射的初始耦出子光束256'的二维阵列。

[0363] 顶部波导组件222a从底部波导组件222b接收初始耦出子光束256'的二维阵列,并将该初始耦出子光束256'的二维阵列分成中间耦出子光束 256"的多个二维阵列,这些中间耦出子光束的多个二维阵列从顶部波导组件222a的顶面224a出射。

[0364] 也就是说,与顶部波导组件222a的底部正交波导单元226b相关联的 IC元件224将初始耦出子光束256'的二维阵列光学耦合为中间耦入子光束252",以在相应平面光波导230内沿着平行于轴262(y轴)的第一内部反射光路经由TIR传播,并且与顶部波导组件222a的底部正交波导单元226b相关联的EPE元件226将中间耦入子光束252"分成初始耦出子光束256'的中间耦出子光束256"的二维阵列,其从相应的底部正交波导单元226b的顶面228a出射。

[0365] 同样,与顶部波导组件222a的顶部正交波导单元226a相关联的IC 元件224将中间耦出子光束256"的二维阵列光学耦合为中间正交子光束 254",以在相应平面光波导230内沿着相应的第二内部反射光路264(x 轴)(其与平行于轴262(y轴)的第一内部反射光路正交)经由TIR传播,并且与顶部波导组件222a的顶部正交波导单元226a相关联的EPE元件226将中间正交子光束254"分成中间耦出子光束256"的二维阵列,这些中间耦出子光束256"的二维阵列从相应的顶部正交波导单元226a的顶面 228a出射。

[0366] 因此,底部波导组件222b将准直光束250分成初始耦出子光束256' 的二维阵列,并且顶部波导组件222a将初始耦出子光束256'的二维阵列分成中间耦出子光束256"的若干个二维阵列。初始耦出子光束256'的二维阵列以及中间耦出子光束256"的每个二维阵列具有子束间间距s1,并且中间耦出子光束256"的二维阵列具有阵列间间距s2,该阵列间间距s2不同于初始耦出子光束256'和中间耦出子光束256"的二维阵列的子束间间距 s1(请参见例如图89A和89B)。阵列间间距s2和子束间间距s1是彼此的非倍数,使得子光束256"以使PPE 192f的出射光瞳的填充密度最大化,并从而使显示屏110的出射光瞳最大化的方式分布,如下面将进一步详细描述。

[0367] 值得注意的是,子束间间距s1由底部波导组件222b的波导230的相应厚度决定。类似地,阵列间间距s2由顶部波导组件222a的波导240的相应厚度决定。可以基于准直光束250的直径策略性地选择顶部和底部波导组件222的波导230的厚度。在一些示例中,子束间间距s1和阵列间间距s2尽管彼此不同,但是可以分别是准直光束250的直径的倍数,从而使PPE 192f的出射光瞳的填充度最大化。

[0368] 因此,子束间间距s1可以是准直光束250的直径("d")的倍数("m"),使得 $s1 = m \times d$ 。使用s1的该值,可以通过 $s2 = s1 + d$ 来描述阵列间间距s2。即,s1和s2可以是准直光束250的直径的连续倍数,使得 $s2 = (m+1) \times d$ 。例如,子束间间距s1可以是准直光束250的直径的三倍。使用s1的该值,阵列间间距s2可以是准直光束250的直径的四倍。如在下面所示的实

施例中例示的,这导致阵列间间距 s_2 是子束间间距 s_1 的1.33倍。

[0369] 如图83所示,第一和第二平面光波导组件222a、222b分别具有不相等的厚度 t_1 、 t_2 ,其中这些厚度由并入在光波导组件222a、222b的相应正交波导单元226a、226b内的相应平面光波导230的厚度决定。例如,如图86A和86B所示,并入到顶部平面光波导组件222a内的平面光波导230的厚度大于并入到底部平面光波导组件222b内的平面光波导230的厚度。优选地,第一和第二子束间间距 s_1 、 s_2 、以及第一和第二平面光波导组件222a、222b的厚度 t_1 、 t_2 是彼此的非倍数,从而确保从单个阵列的初始耦出子光束252'产生多个阵列的中间耦出子光束252"。

[0370] 如上面简要讨论的,底部波导组件222b将准直光束250分成初始耦出子光束256'的二维阵列,并且顶部波导组件222a将耦出子光束256'的二维阵列分成中间耦出子光束256"的若干个二维阵列。换句话说,底部波导组件222b和顶部波导组件222a分别产生两个传递函数,这两个函数被卷积而产生中间耦出子光束252"的期望图案。

[0371] 例如,如图87A所示,底部波导组件222b(作为第一扩展器)具有第一传递函数 h_1 ,使得 $y = x * h_1$,其中 x 是底部波导组件222b的光学输入(直径为 a 的光束), y 是底部波导组件222b的光学输出。在该示例中,传递函数 h_1 产生 4×4 阵列的子光束,这些子光束的直径为 a ,彼此间隔 $3a$ 的距离。类似地,如图87B所示,顶部波导组件222a(作为第二扩展器)具有第二传递函数 h_2 ,使得 $y = x * h_2$,其中 x 是顶部波导组件222a的光学输入(直径为 a 的光束), y 是底部波导组件222a的光学输出。在该示例中,传递函数 h_a 产生 4×4 阵列的子光束,这些子光束的直径为 a ,彼此间隔 $4a$ 的距离。如图87C所示,传递函数 h_1 和 h_2 可以被卷积,使得 $y = h_1 * h_2$ 。因此,可以将准直光束250(作为光学输入 x)输入到底部波导组件222b中,该底部波导组件222b将传递函数 h_1 应用于准直光束250,从而产生具有图87A所示的光束图案的中间耦出子光束256'的二维阵列。由底部波导组件222b输出的中间耦出子光束256'的二维阵列可以被输入到顶部波导组件222a中,该顶部波导组件222a将传递函数 h_2 应用于中间耦出子光束256'的二维阵列,从而产生中间耦出子光束256"的多个二维阵列,这些中间耦出子光束256"的合成产生图87C所示的子光束图案。

[0372] 现在参考图88和89A至89H,随着初始耦出子光束256'的二维阵列传播通过顶部光波导组件222a,中间耦出子光束256"的多次产生激增。结果,经过若干次光束分裂的产生,中间耦出子光束256"的密度跨顶部平面光波导组件222a的顶面224a从左向右并且从上至下逐渐增加,直到产生完全填充的耦出子光束258'的 $N \times N$ 阵列,在该情况下,为耦出子光束258'的 10×10 阵列(如图89H所示)。在所示的实施例中,七次光束分裂的产生导致密集饱和的耦出子光束258'的 10×10 阵列,其中七次光束分裂产生中间耦出子光束256(1)"至256(16)"的十六个二维阵列(在这种情况下为 4×4 阵列)。如图所示,用"0"表示的子束是初始耦出子光束256'的二维阵列的子束,而用"1"至"16"表示的子束分别是中间耦出子光束256(1)"至256(16)"的十六个二维阵列的子束。值得注意的是,在图89A至89H中使用字母机制,以便更容易地理解中间耦出子光束256"所对应于的初始耦出子光束256'。根据此字母机制,由底部波导组件222b(第一扩展器)输出(如图87A所示)并且被输入到顶部波导组件222a(第二扩展器)中(如图87B所示)的 4×4 阵列的子束256'中的每个子束对应于不同的字母("A"至"P")。以这种方式,由顶部波导组件222a(第二扩展器)输出的每个子束256"可被视为既对应于中间耦出子光束256(1)"至256(16)"的特定二维阵列,也对应于一系列相关

子束(“A”至“P”)。

[0373] 特别地,直接从初始耦出子光束256'的二维阵列产生中间耦出子光束 256(1)”的二维阵列(请参见图89A)。在第一次产生时,中间耦出子光束 256(1)”的二维阵列分别沿着x轴和y轴衍生出中间耦出子光束256(2)”的二维阵列和中间耦出子光束256(3)”的二维阵列(请参见图89B)。

[0374] 在第二次产生时,中间耦出子光束256(2)”的二维阵列沿着x轴衍生出中间耦出子光束256(4)”的二维阵列;中间耦出子光束256(2)”和256(3)”的二维阵列组合而分别沿着x轴和y轴衍生出中间耦出子光束256(5)”的二维阵列;并且中间耦出子光束256(3)”的二维阵列沿着y轴衍生出中间耦出子光束256(6)”的二维阵列(请参见图89C)。

[0375] 在第三次产生时,中间耦出子光束256(4)”的二维阵列沿着x轴生出中间耦出子光束256(7)”的二维阵列;中间耦出子光束256(4)”和256(5)”的二维阵列组合而分别沿着x轴和y轴衍生出中间耦出子光束256(8)”的二维阵列;中间耦出子光束256(5)”和256(6)”的二维阵列组合而分别沿着x轴和 y轴衍生出中间耦出子光束256(9)”的二维阵列;并且中间耦出子光束 256(6)”的二维阵列沿着y轴衍生出中间耦出子光束256(10)”的二维阵列(请参见图89D)。

[0376] 在第四次产生时,中间耦出子光束256(7)”和256(8)”的二维阵列组合而分别沿着x轴和y轴衍生出中间耦出子光束256(11)”的二维阵列;中间耦出子光束256(8)”和256(8)”的二维阵列组合而分别沿着x轴和y轴衍生出中间耦出子光束256(12)”的二维阵列;并且中间耦出子光束256(9)”和 256(10)”的二维阵列组合而分别沿着x轴和y轴衍生出中间耦出子光束 256(13)”的二维阵列(请参见图89E)。

[0377] 在第五次产生时,中间耦出子光束256(11)”和256(12)”的二维阵列组合而分别沿着x轴和y轴衍生出中间耦出子光束256(14)”的二维阵列;并且中间耦出子光束256(12)”和256(13)”的二维阵列组合而分别沿着x轴和 y轴衍生出中间耦出子光束256(15)”的二维阵列(请参见图89F)。

[0378] 在第六次产生时,中间耦出子光束256(14)”和256(15)”的二维阵列组合而分别沿着x轴和y轴衍生出中间耦出子光束256(16)”的二维阵列(请参见图89G)。

[0379] 可以理解,在图89H所示的子光束图案中用特定字母表示的所有中间耦出子光束256”可以被回溯到在图89A所示的初始耦出子光束256'的二维阵列中具有相同的特定字母的相应初始耦出子光束。例如,在图90A中可以看出,由字母“A”表示的 4×4 阵列的中间耦出子光束256”可以从由字母“A”表示的单个初始耦出子光束256a衍生而来。作为另一示例,从图90B 可以看出,由字母“D”表示的 4×4 阵列的中间耦出子光束256”可以从由字母“D”表示的单个初始耦出子光束256a衍生而来。作为又一示例,从图90C 中可以看出,由字母“M”表示的 4×4 阵列的中间耦出子光束256”可以从由字母“M”表示的单个初始耦出子光束256a衍生而来。作为再一示例,从图 90D中可以看出,由字母“P”表示的 4×4 阵列的中间耦出子光束256”可以从由字母“P”表示的单个初始耦出子光束256a衍生而来。

[0380] 根据上述内容可以理解,PPE 192f对准直光束250的有效入射光瞳进行二维预扩展。以上面参考图34至36所述的相同方式,一次波导装置170 进一步对准直光束250的光瞳进行二维扩展。也就是说,中间耦出子光束 256”被输入到一次波导装置170的IC元件168中作为耦入子光束252,耦入子光束252又被OPE元件186分成正交子光束254,正交子光束254

被 EPE 元件 188 进一步分成从波导 172 的面 180b 朝向终端用户 50 的眼睛 52 出射的最终耦出子光束 256, 如图 80 至 82 所示。值得注意的是, 尽管 PPE 192f 产生耦出子光束 256”的许多二维阵列, 并且可以构想耦出子光束 256”的二维阵列提供比耦出子光束 258’的饱和 10×10 二维阵列大的出射光瞳, 但是一次波导装置 170 可被设计为呈现出 PPE 192f 具有仅由耦出子光束 258’的 10×10 二维阵列构成的出射光瞳。

[0381] 应注意, 尽管多层微型波导装置 220 适合用作 PPE 192f, 但也可以使用更大版本的多层波导装置 220 作为一次波导装置 170, 以便扩展在一次波导装置 170 中耦入的准直光束 250 (未扩展或预扩展) 的入射光瞳。

[0382] 尽管上面已经将光束倍增器描述为 OPE 和 EPE, 但是根据本文描述的实施例的光束倍增器可以设置在 LOE 中的任何位置。例如, 本文所述的光束倍增器可以被设置为在 LOE 的各种部件之间 (例如, ICG 和 OPE 之间) 的单独的倍增级/区域。此外, 本文所述的光束倍增器可用作 ICG。

[0383] 尽管在一些附图中示出了特定数量的光束和子束, 但是应当理解, 这是为了清楚起见。附图中示出的每个单个光束或子束可以代表承载相关信息并具有相似轨迹的多个光束或子束。

[0384] 尽管在一些附图中示出了特定数量的 LOS 和反射表面, 但是其它实施例可以包括 LOS 和反射表面的其它组合。

[0385] 提供了上述 MR 系统作为可受益于更具选择性的反射性光学元件的各种光学系统的示例。因此, 本文描述的光学系统的用途不限于所公开的 MR 系统, 而是可应用于任何光学系统。

[0386] 本文描述了本公开的各种示例性实施例。在非限制性意义上参考这些示例。提供它们是为了说明本公开的更广泛适用的方面。在不脱离本公开的真实精神和范围的情况下, 可以对所描述的公开内容进行各种改变, 并且可以替换为等同物。另外, 可以做出许多修改以使特定情况、材料、物质组成、过程、过程动作或步骤适于本公开的目的、精神或范围。此外, 如本领域技术人员将理解的, 本文描述和示出的每个单独的变体具有离散的部件和特征, 在不偏离本公开的范围或精神的情况下, 这些部件和特征可以容易地与其它若干个实施例中的任何一个的特征分离或组合。所有这些修改旨在落入与本公开相关的权利要求的范围内。

[0387] 本公开包括可以使用主题设备执行的方法。这些方法可以包括提供此类合适的设备的动作。这样的提供可以由终端用户执行。换句话说, “提供” 动作仅要求终端用户获得、访问、接近、定位、设置、激活、加电或以其它动作提供主题方法中的必要设备。本文所述的方法可以以逻辑上可能的所述事件的任何顺序以及以所述事件顺序来执行。

[0388] 上面已经阐述了本公开的示例性方面以及有关材料选择和制造的细节。对于本公开的其它细节, 可以结合上面参考的专利和公开以及本领域技术人员通常已知或理解的知识来理解。就通常或逻辑上采用的其它动作而言, 上述情况同样适用于本公开的基于方法的方面。

[0389] 另外, 尽管已经参考可选地包含各种特征的若干个示例描述了本公开, 但是本公开不限于关于本公开的每个变型所预期而描述或指示的内容。在不脱离本公开的真实精神和范围的情况下, 可以对所描述的公开内容进行各种改变, 并且可以替换为等同物 (无论是

在本文中引用还是为了简洁起见未包括在本文中)。另外,在提供值范围的情况下,应当理解,在该范围的上限和下限之间的每个中间值,以及所述范围内的任何其它所述值或中间值都包括在本公开内。

[0390] 另外,可以预期,所述发明变型的任何可选特征能够独立地或与本文所述的任何一个或多个特征相结合地阐述和要求保护。对单个项目的提及包括存在多个相同项目的可能性。更具体地说,如本文和与之相关联的权利要求中使用的,除非另有明确说明,否则单数形式“一”、“一个”、“所述”和“该”包括多个指示物。换句话说,冠词的使用允许上述描述以及与本公开相关联的权利要求中具有“至少一个”该主题项目。还应注意,可以在撰写这些权利要求时排除任何可选要素。因此,该陈述旨在用作结合权利要求要素的叙述使用诸如“仅”、“只有”等之类的排他性术语,或者使用“否定”限制的先行基础。

[0391] 在不使用此类排他性术语的情况下,与本公开相关联的权利要求中的术语“包括”应允许包括任何附加要素,而不管这些权利要求中是否列举了给定数量的要素,或者特征的添加可以被视为改变这些权利要求中阐述的要素的性质。除了在此特别定义之外,在保持权利要求的有效性的同时,本文使用的所有技术和科学术语将尽可能广泛地被赋予通常理解的含义。

[0392] 本公开的广度不限于所提供的示例和/或主题说明书,而是仅由与本公开相关联的权利要求语言的范围限定。

[0393] 在前述说明书中,已经参考本公开的具体实施例对其进行了描述。然而,显而易见的是,在不脱离本公开的更广泛的精神和范围的情况下,可以对其进行各种修改和改变。例如,参考过程动作的特定顺序描述了上述过程流程。然而,可以改变许多所描述的过程动作的顺序而不影响本公开的范围或操作。因此,说明书和附图应被视为用于举例而非限制。

[0394] 在前述说明书中,已经参考本公开的具体实施例对其进行了描述。然而,显而易见的是,在不脱离本公开的更广泛的精神和范围的情况下,可以对其进行各种修改和改变。例如,参考过程动作的特定顺序描述了上述过程流程。然而,可以改变许多所描述的过程动作的顺序而不影响本公开的范围或操作。因此,说明书和附图应被视为用于举例而非限制。

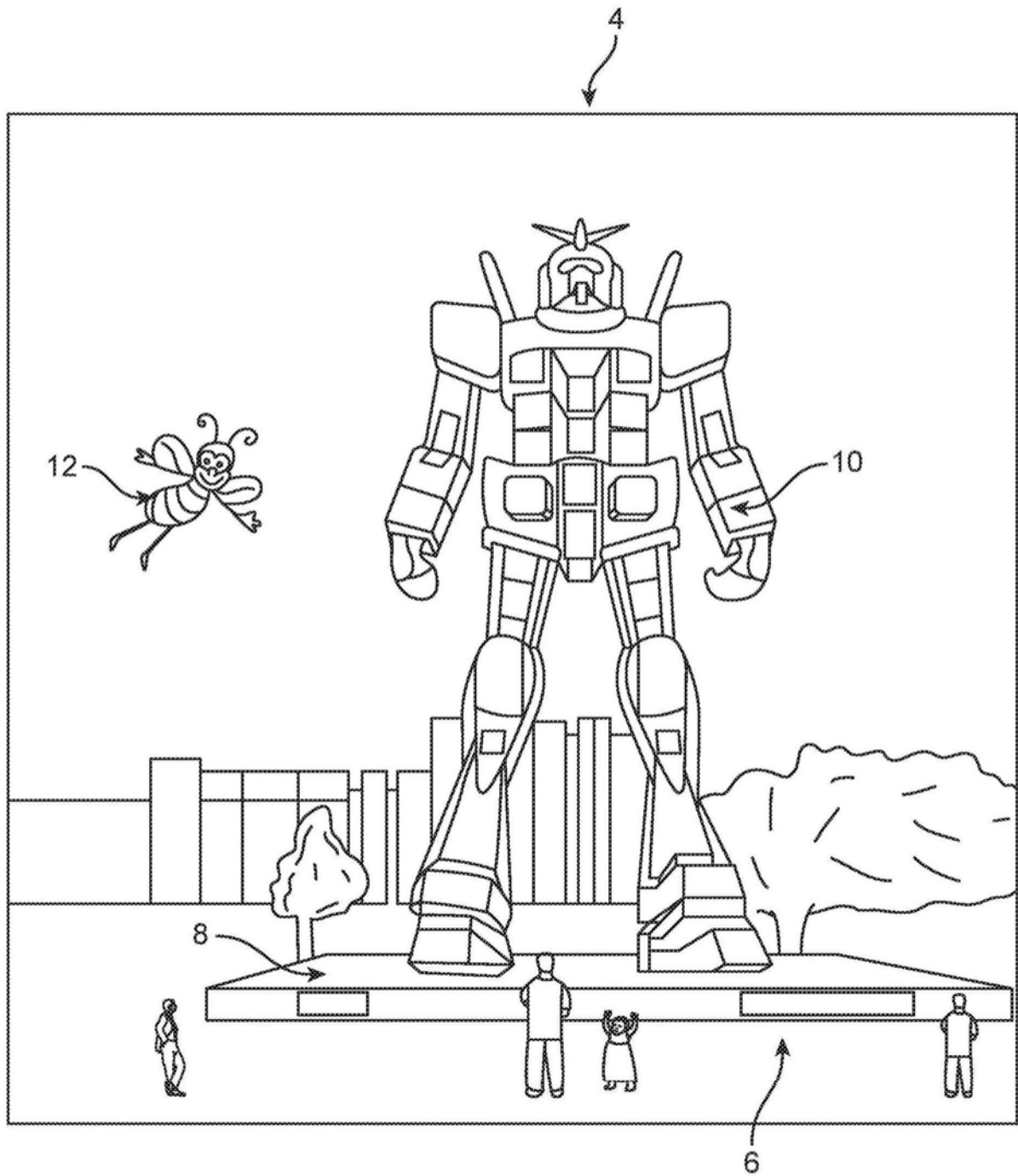


图1

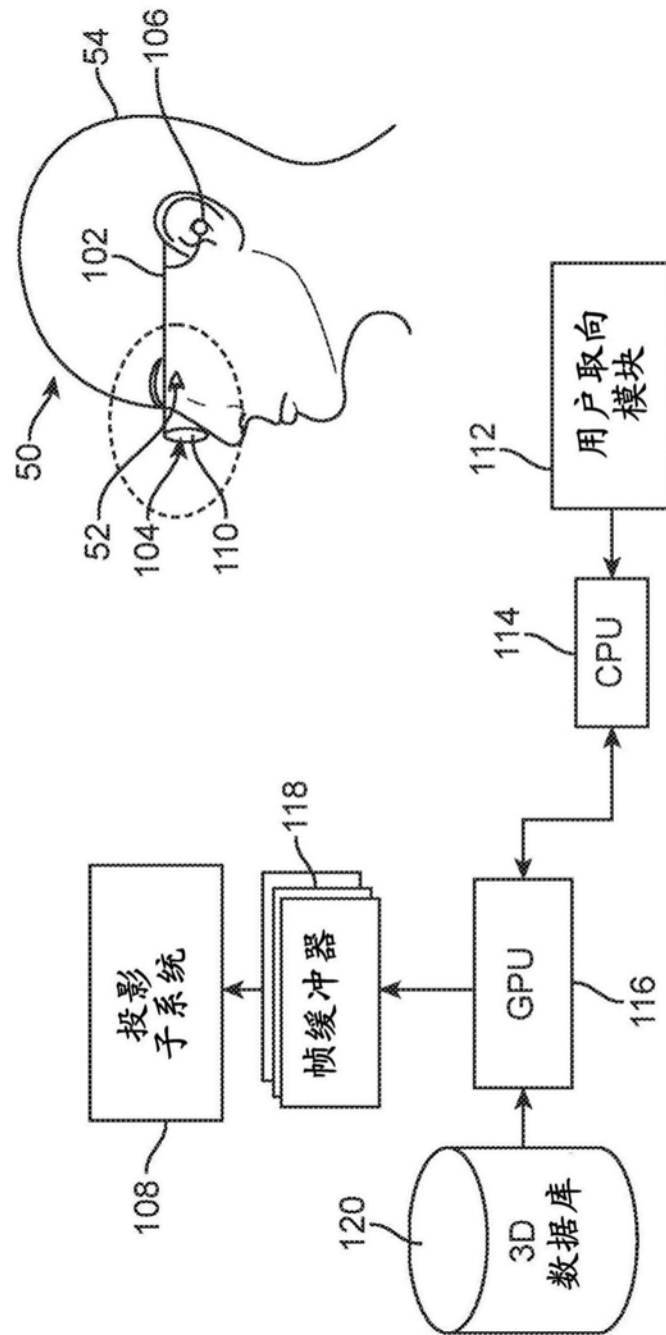


图2

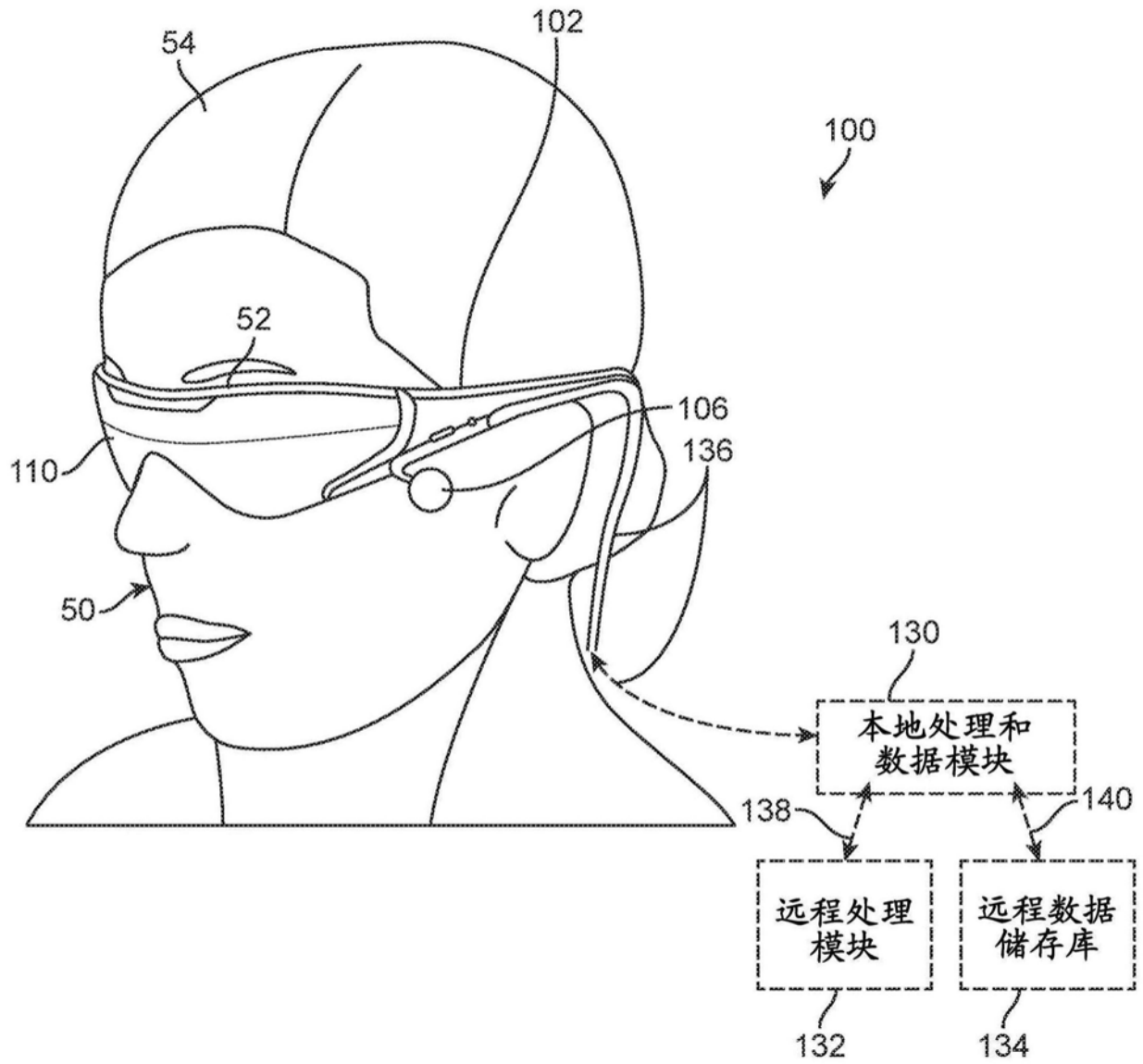


图3A

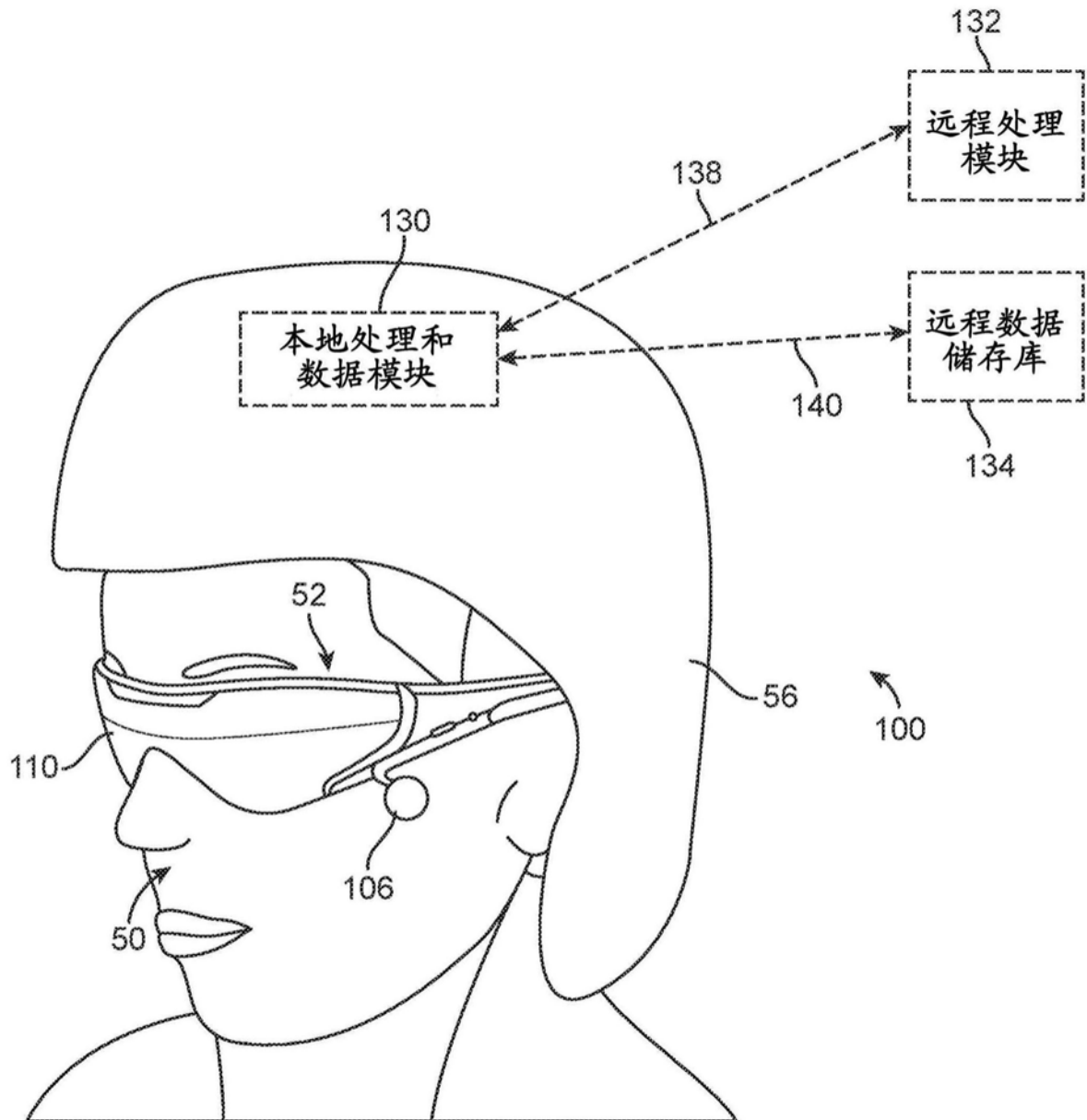


图3B

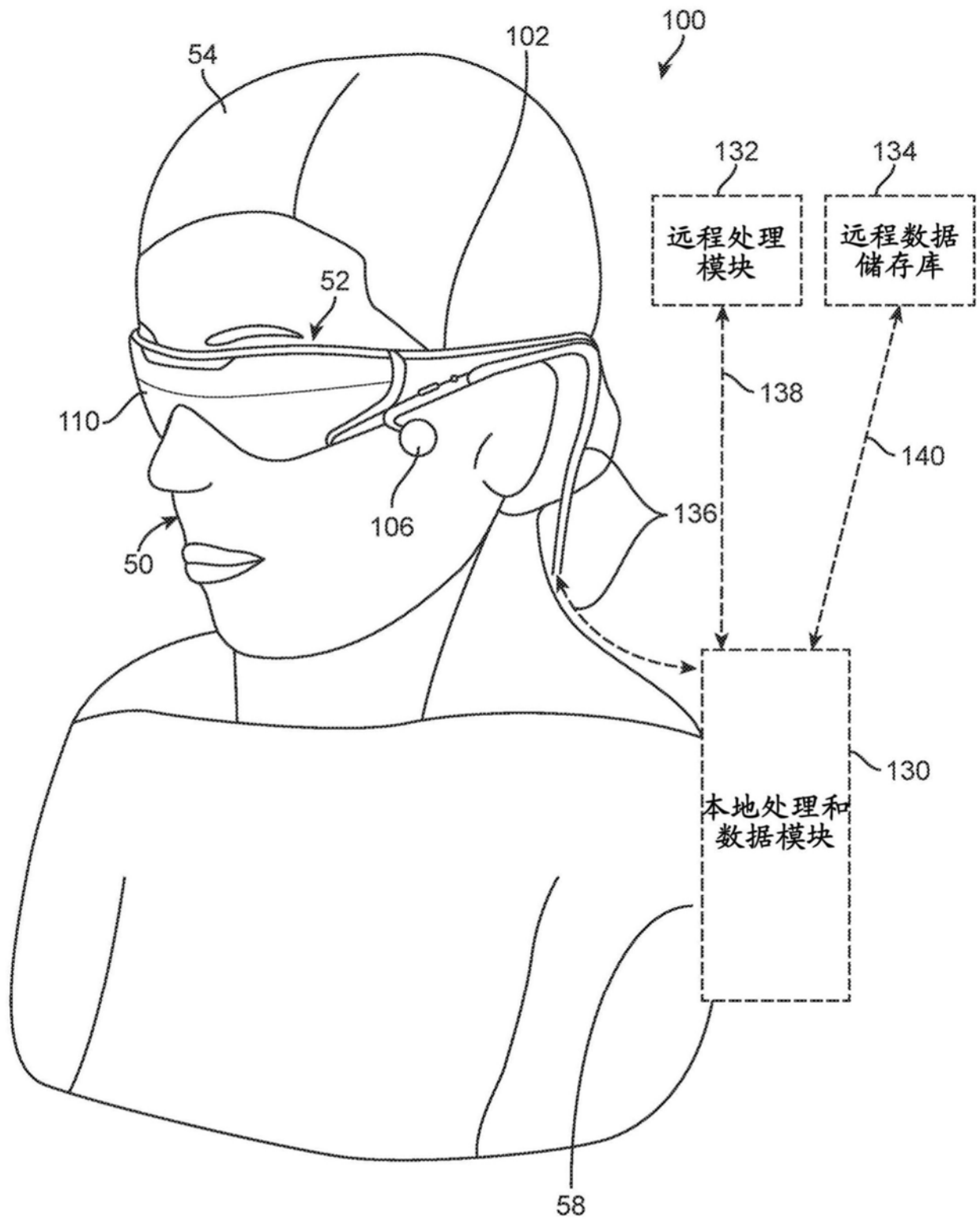


图3C

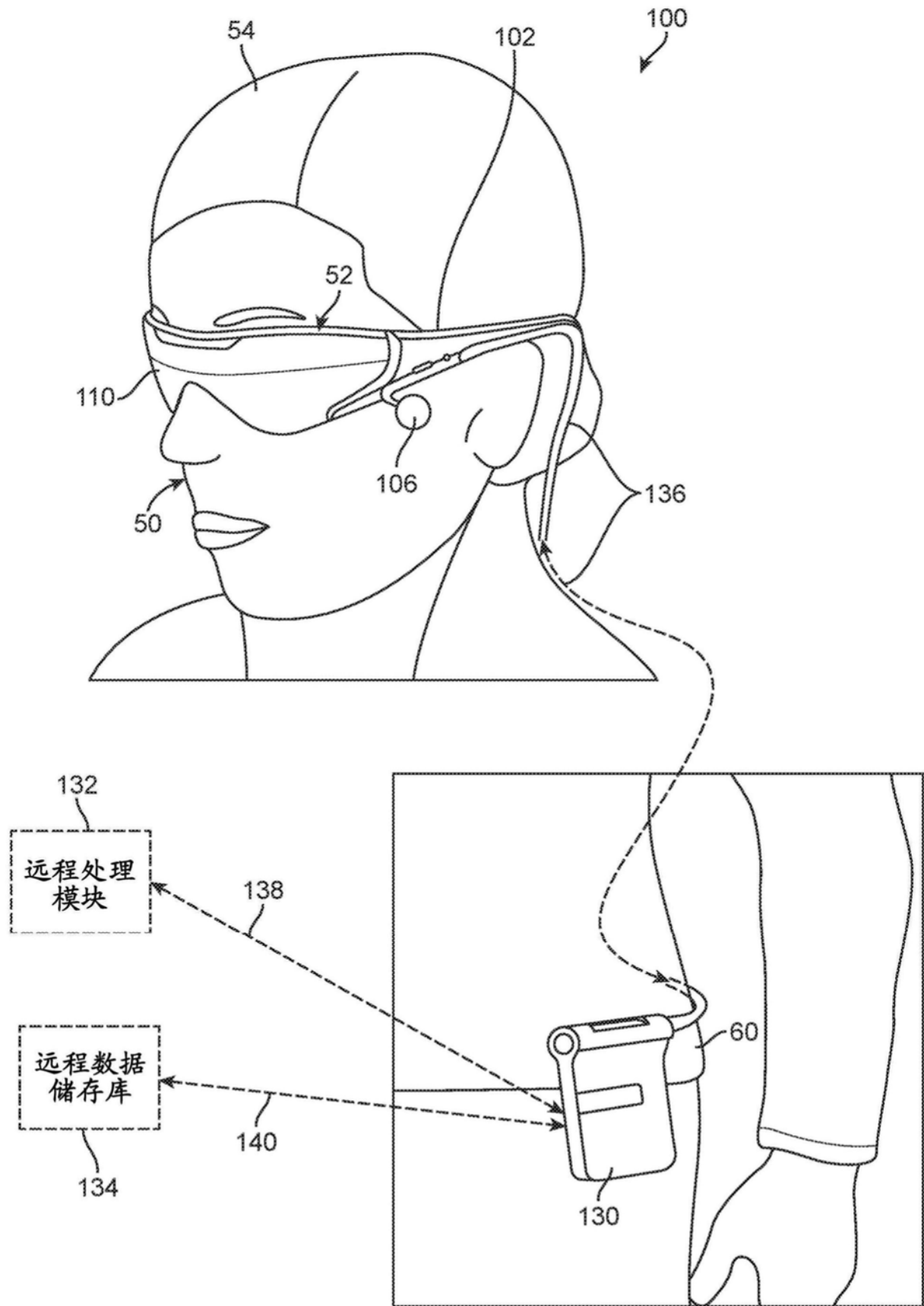


图3D

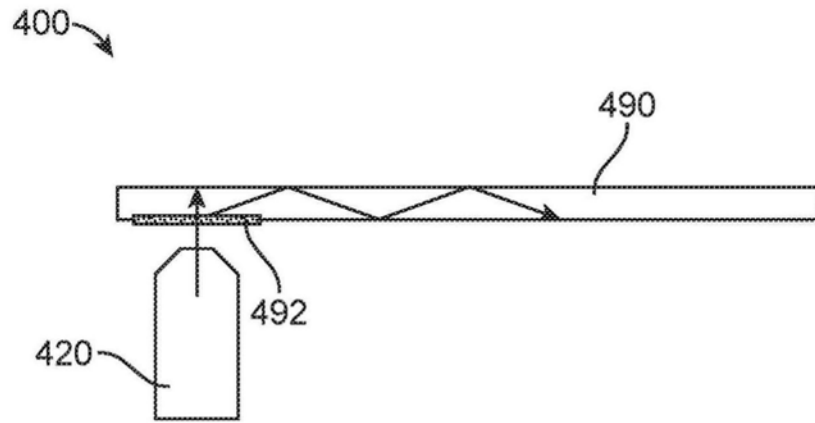


图4

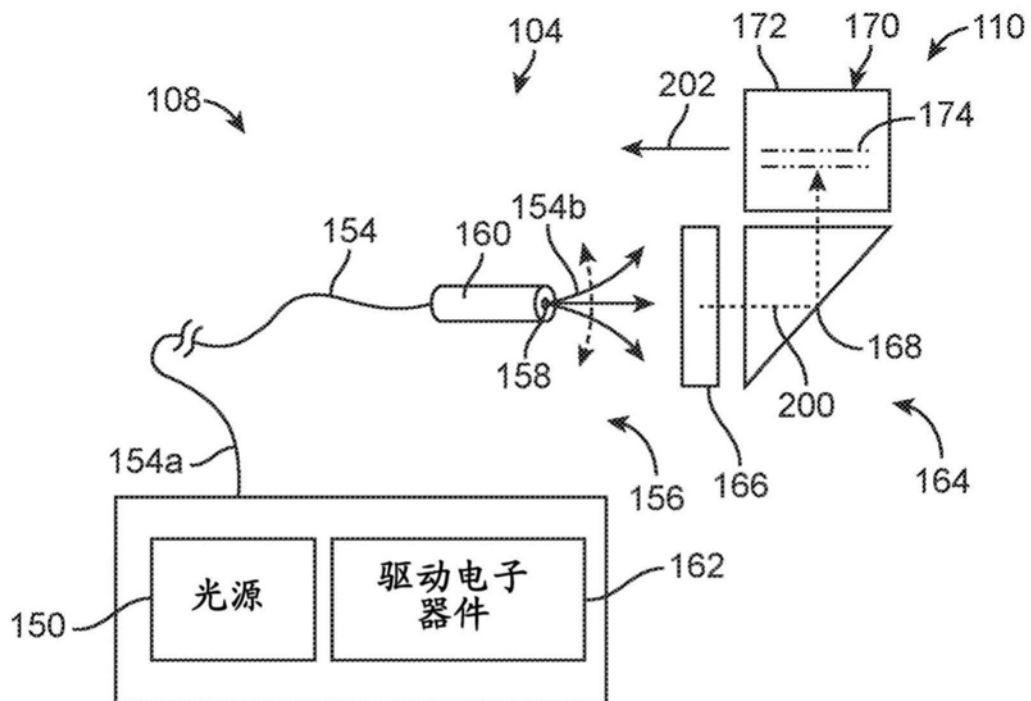


图5

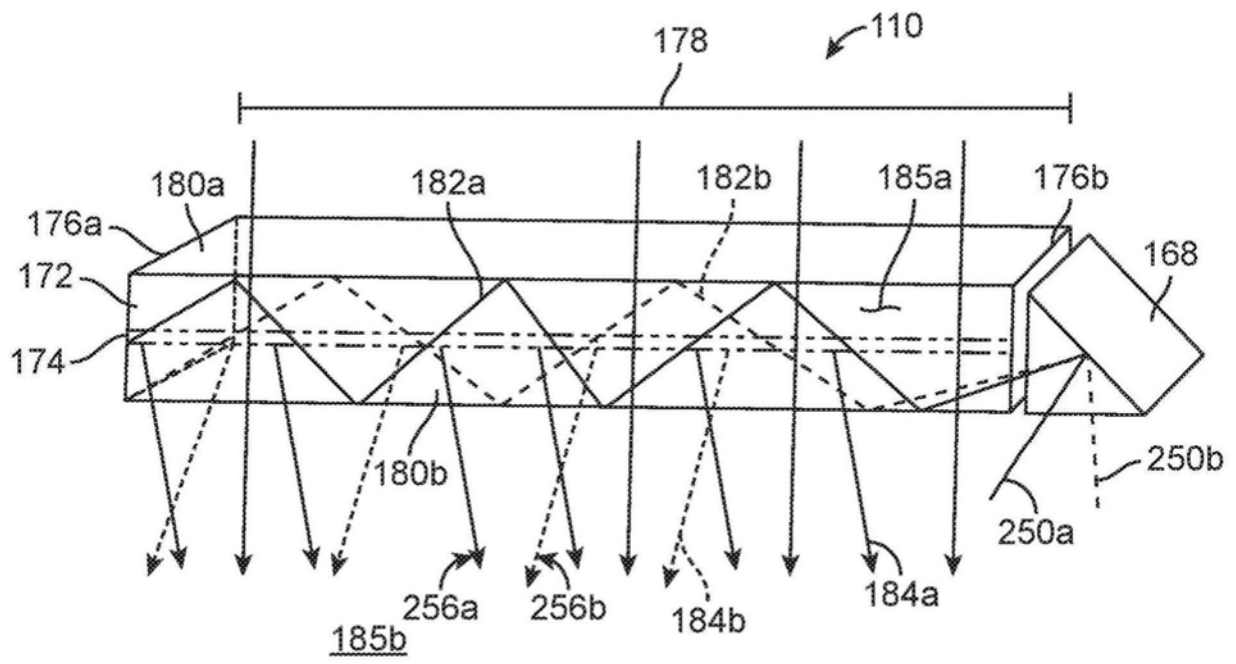


图6

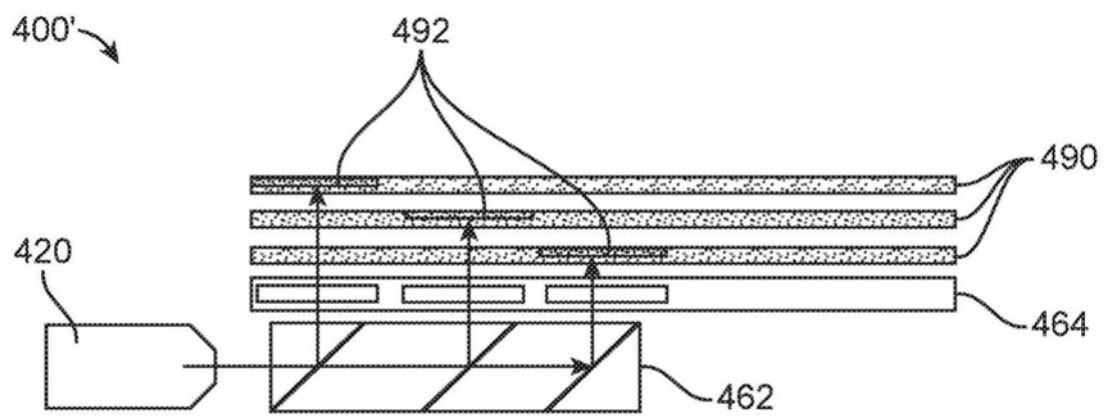


图7

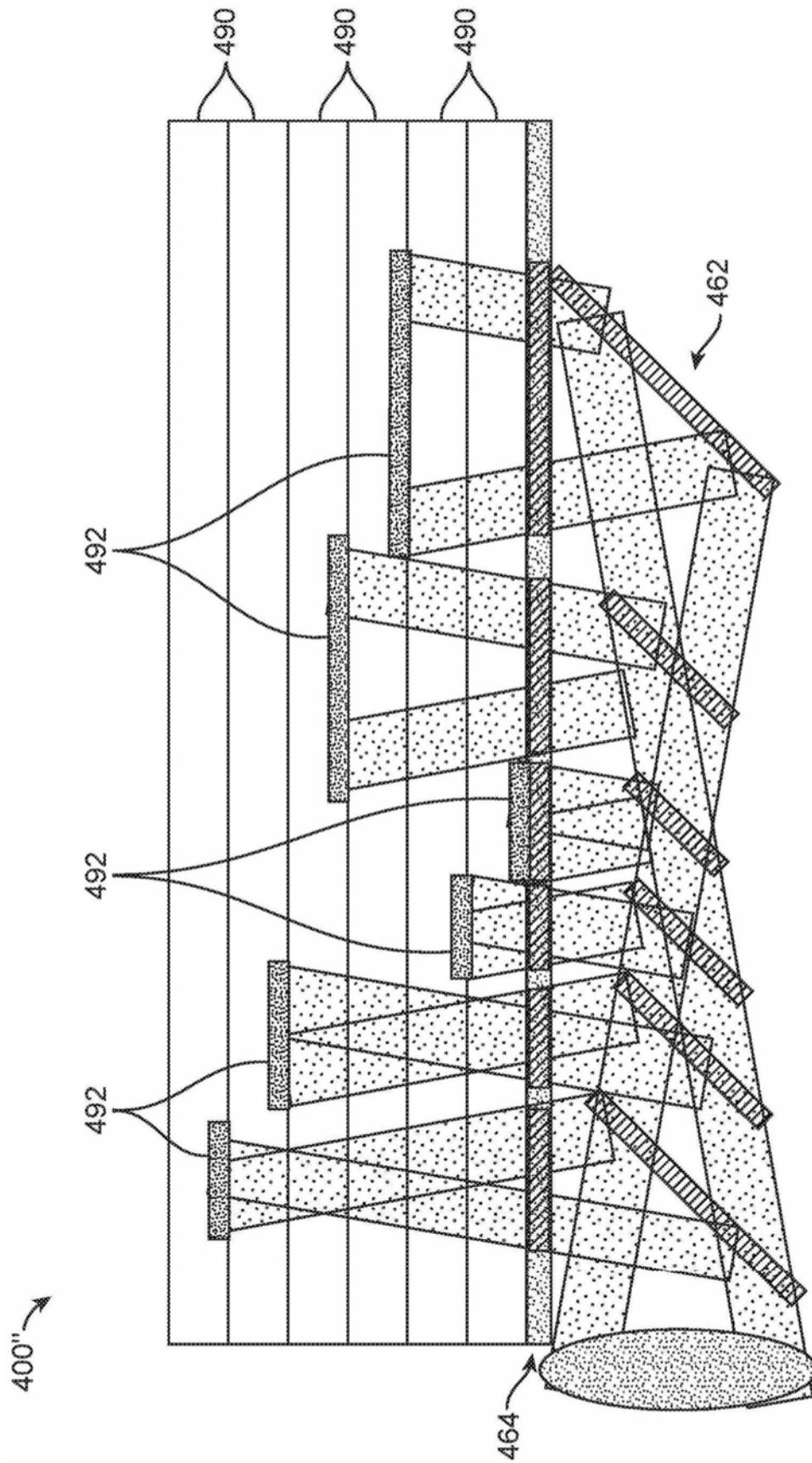


图8

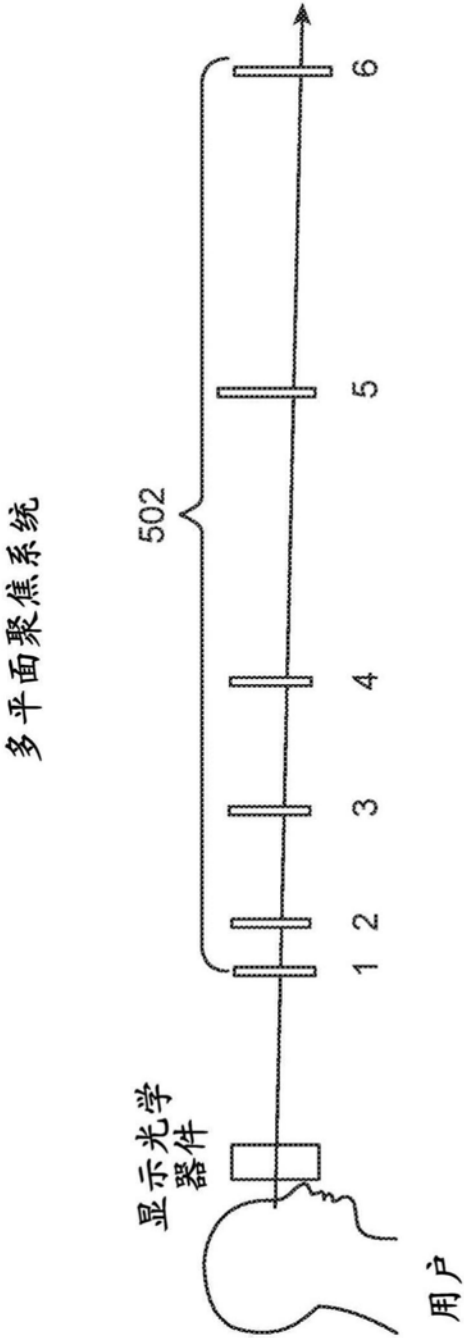


图9

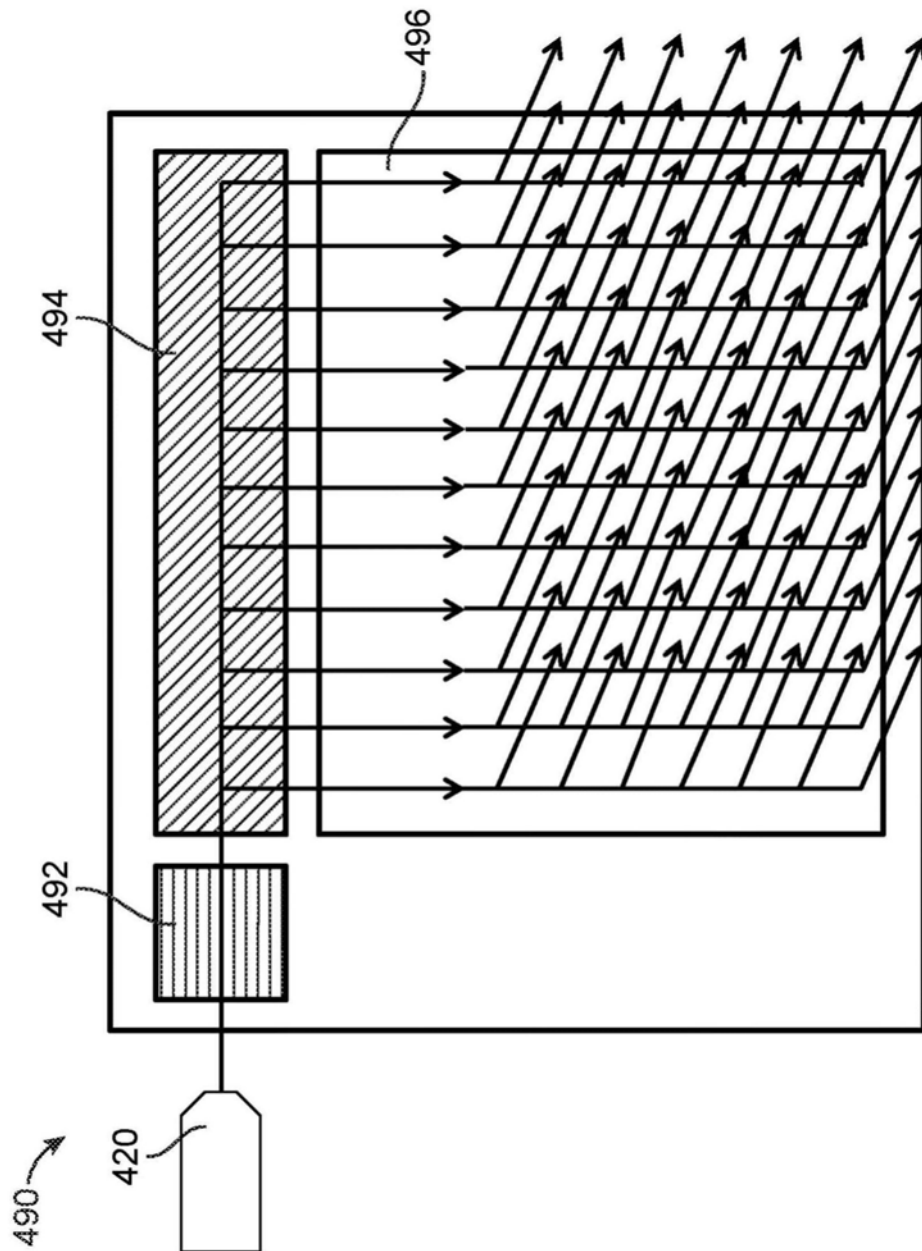


图10

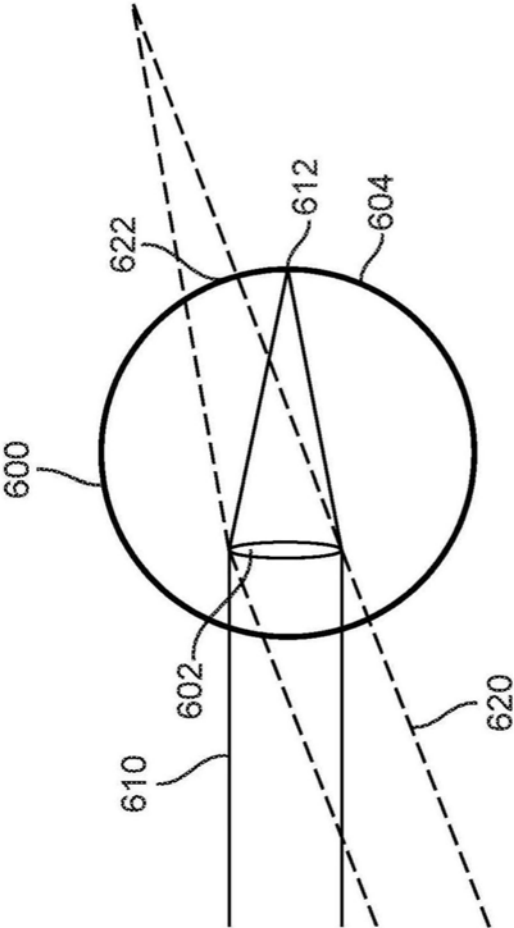


图11A

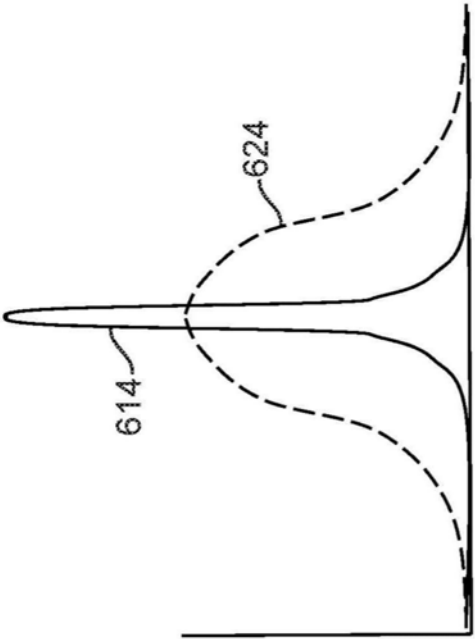


图11B

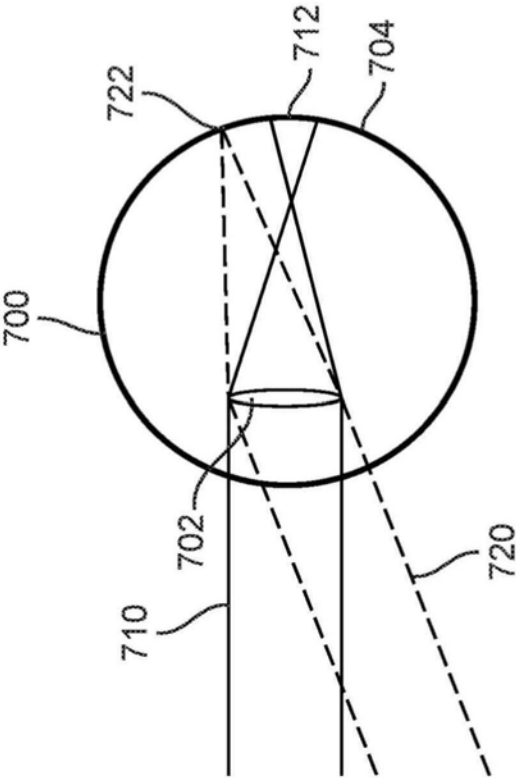


图12A

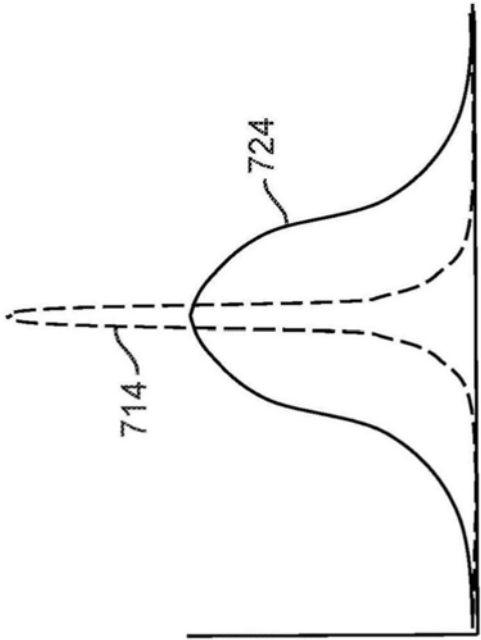


图12B

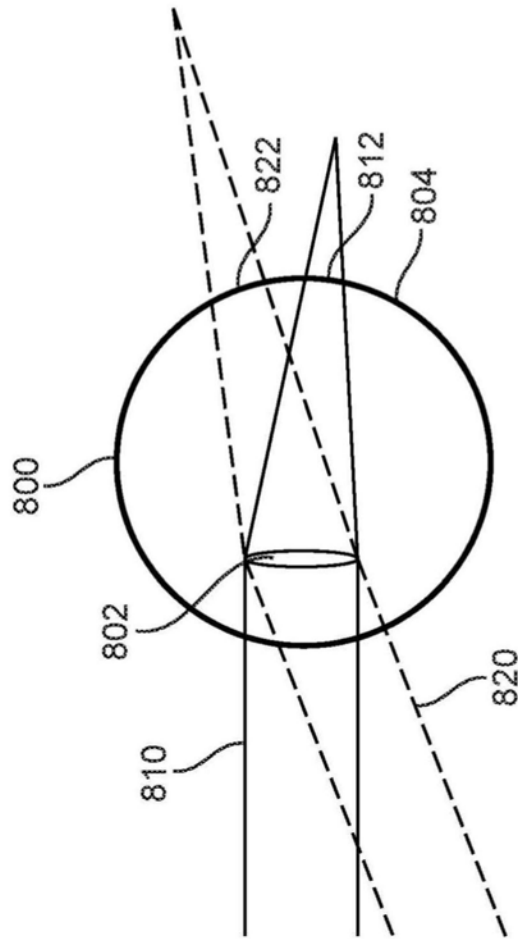


图13A

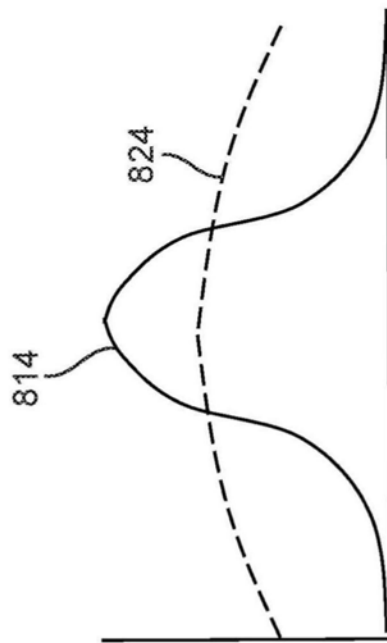


图13B

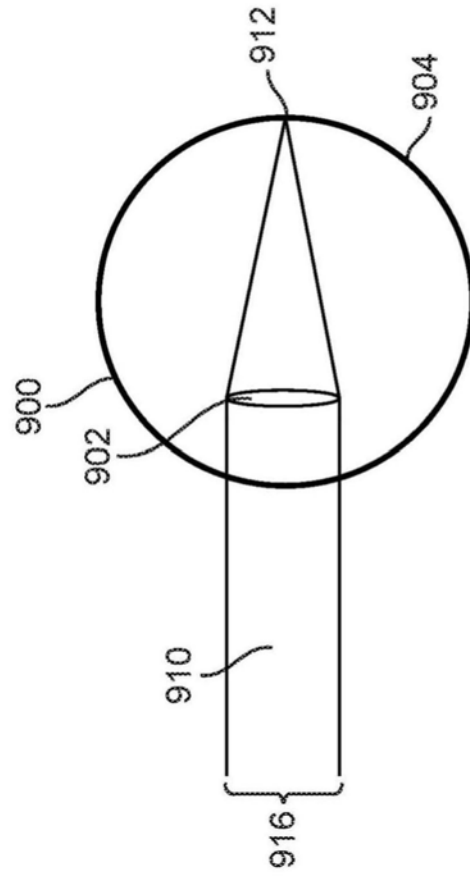


图14A

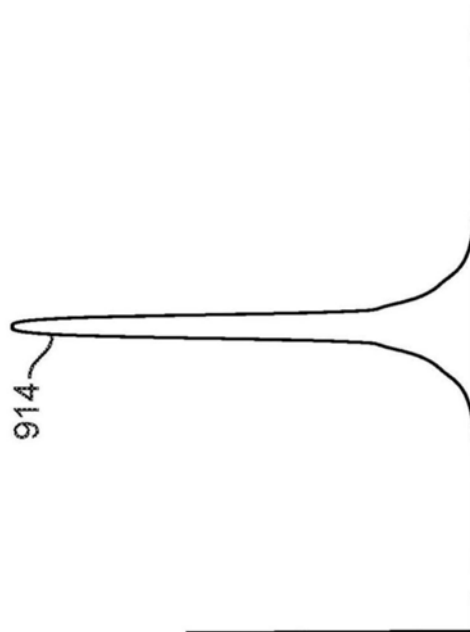


图14B

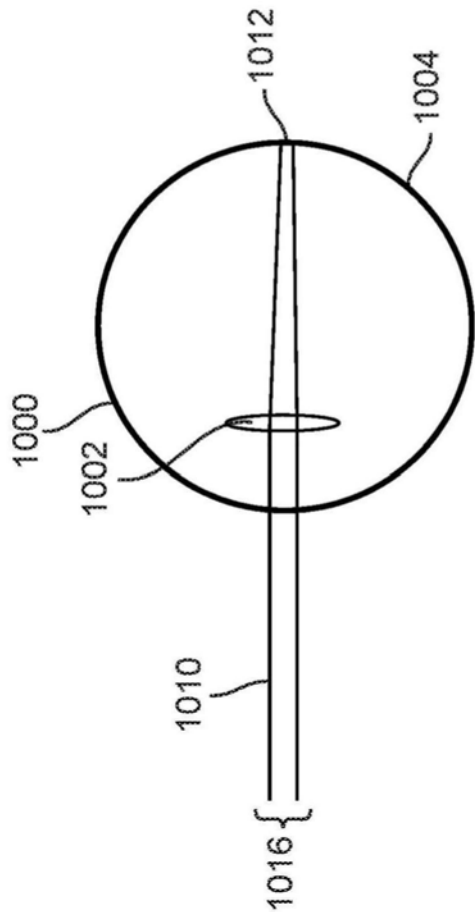


图15A

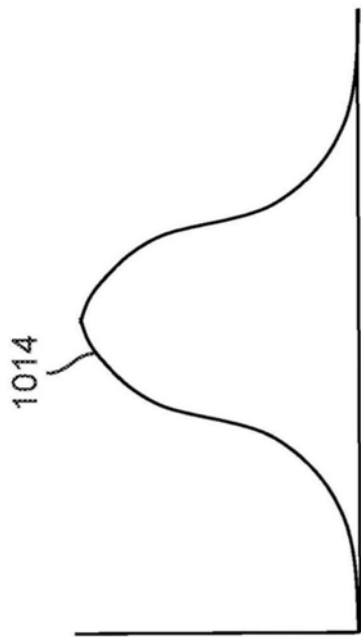


图15B

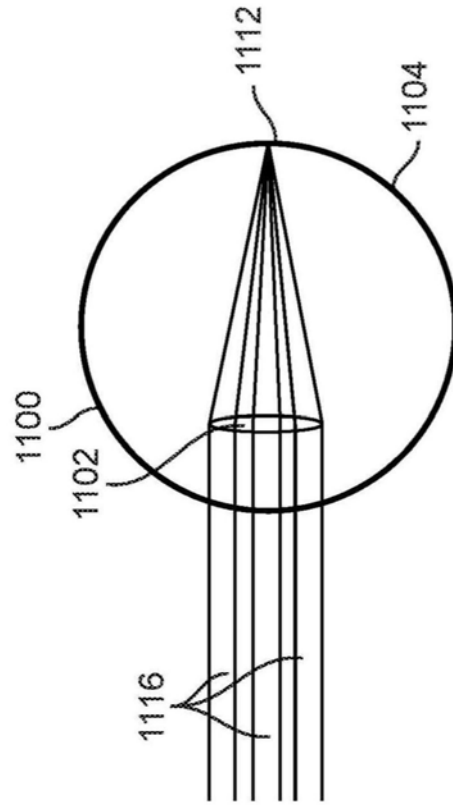


图16A

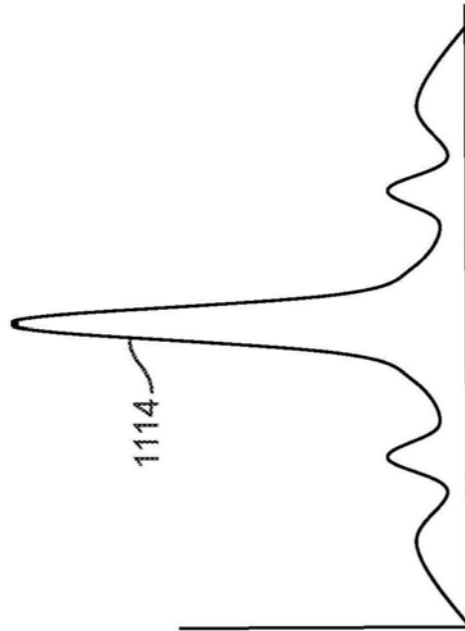


图16B

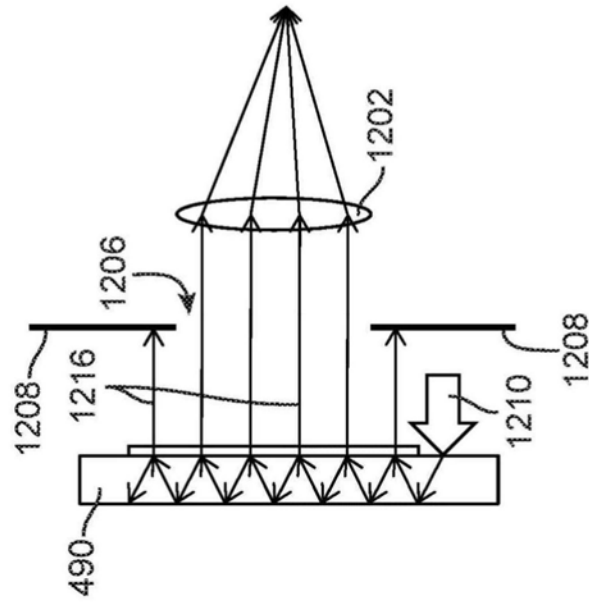


图17A

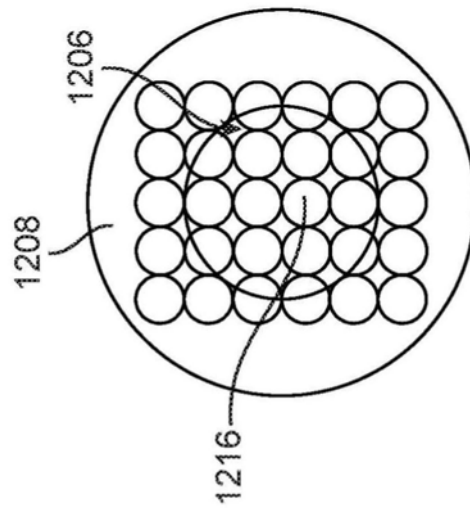


图17B

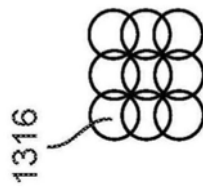


图18A

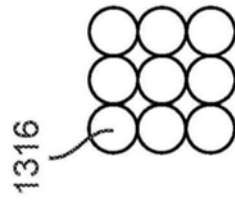


图18B

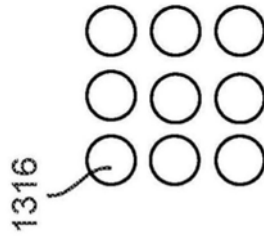


图18C

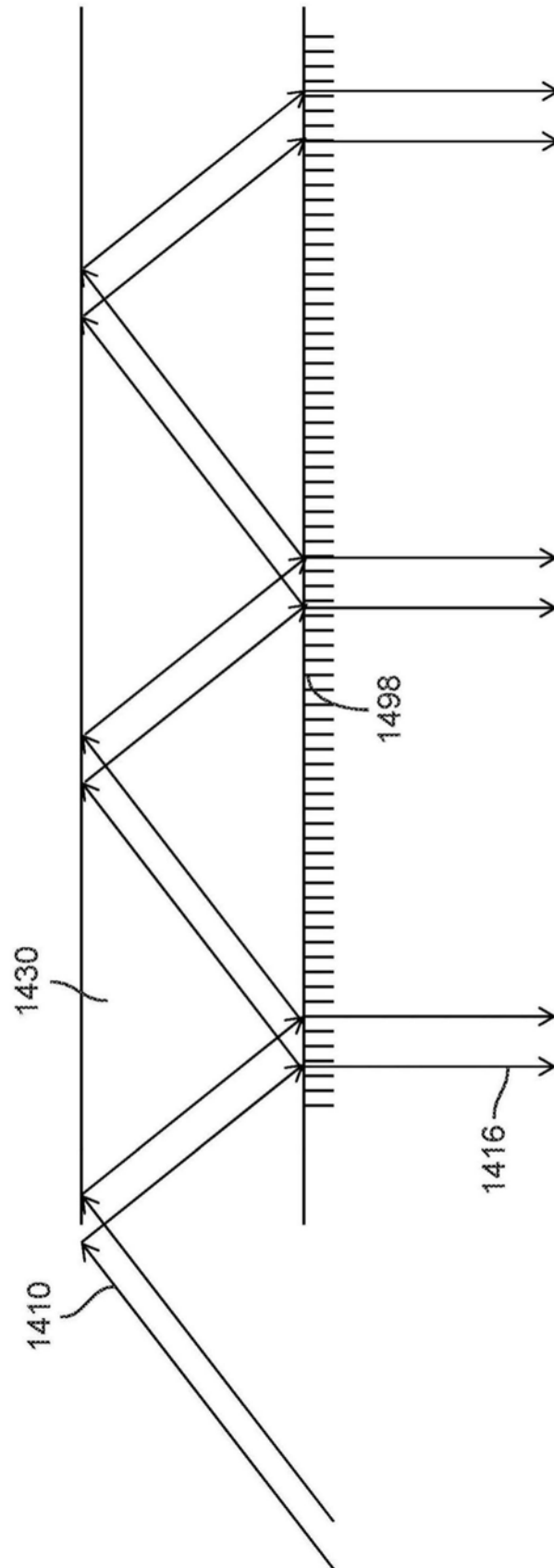


图19

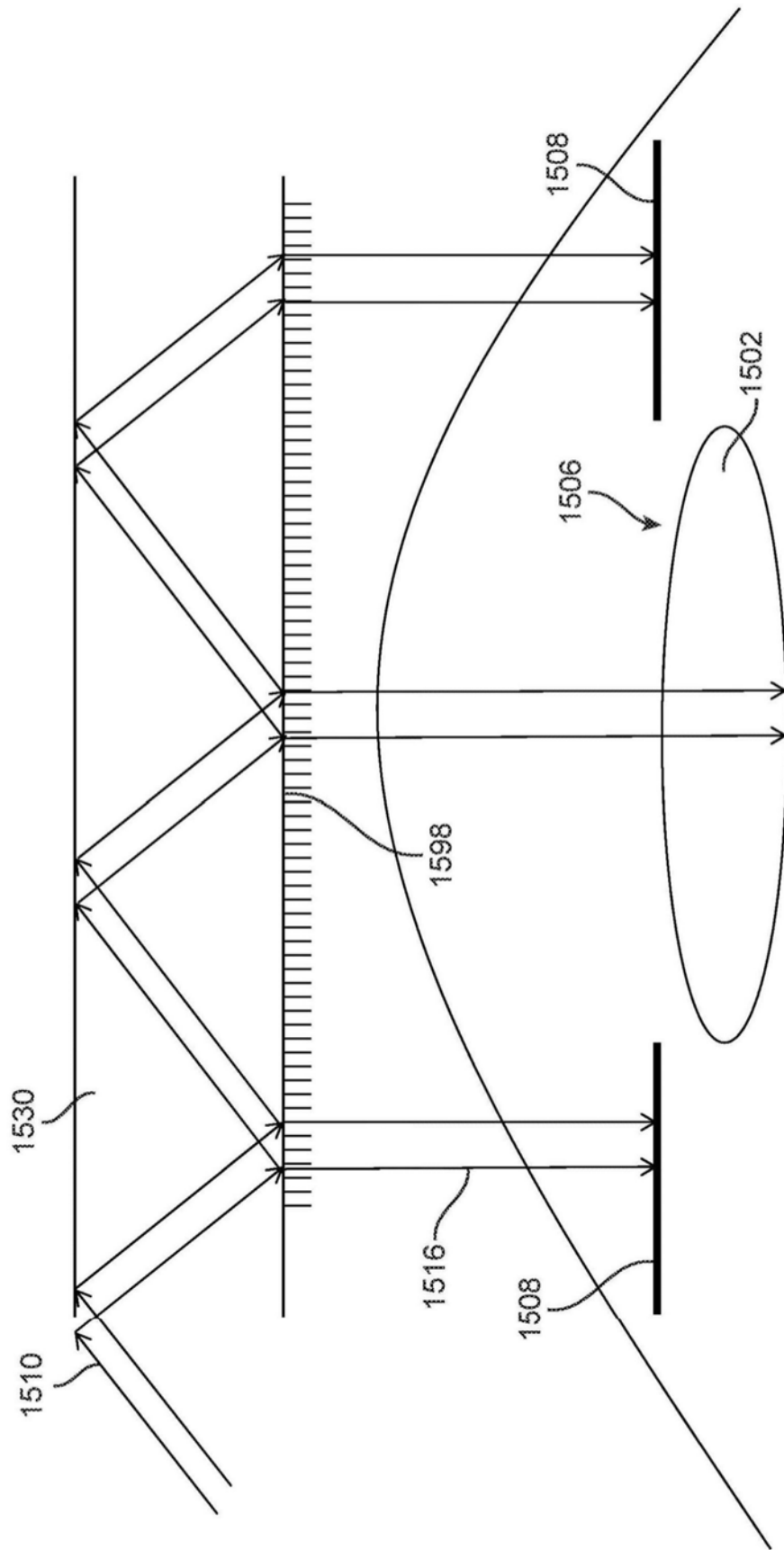


图20

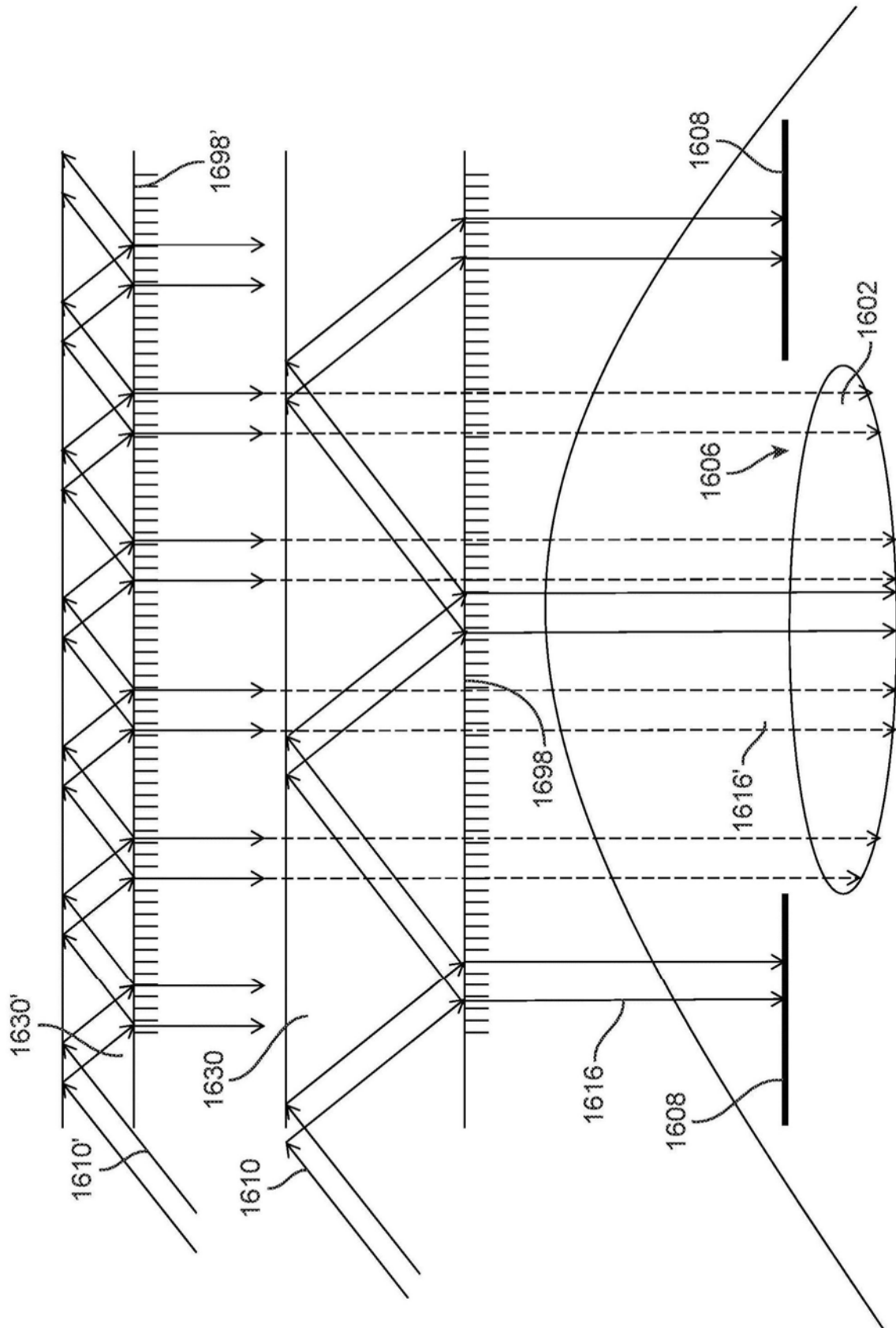


图21

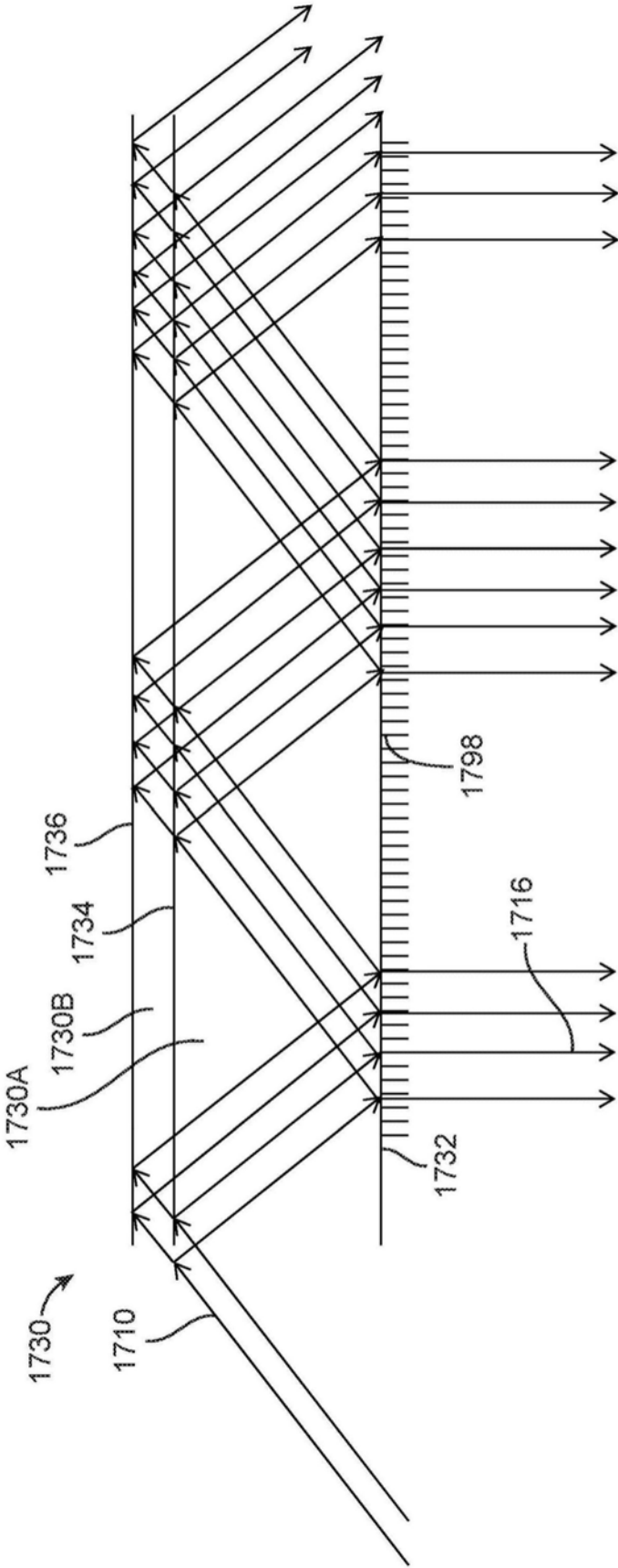


图22A

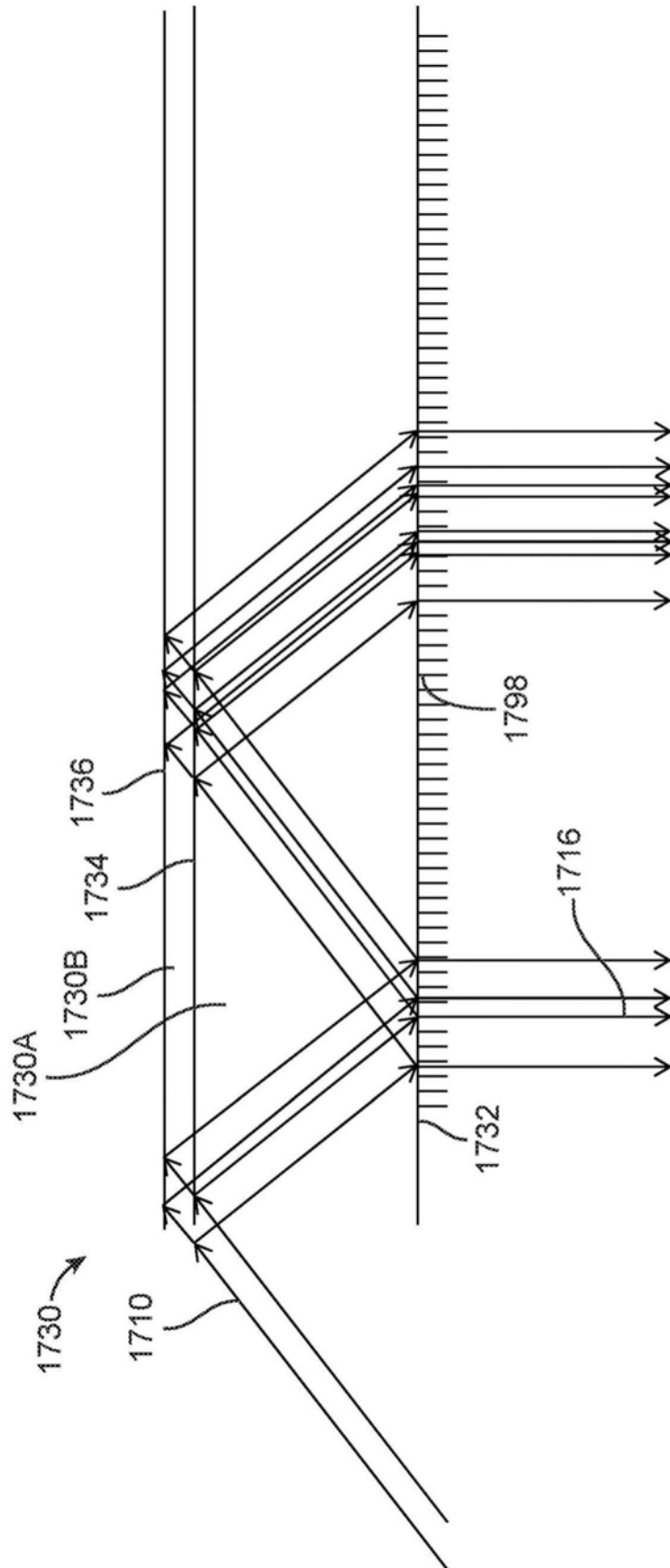


图22B

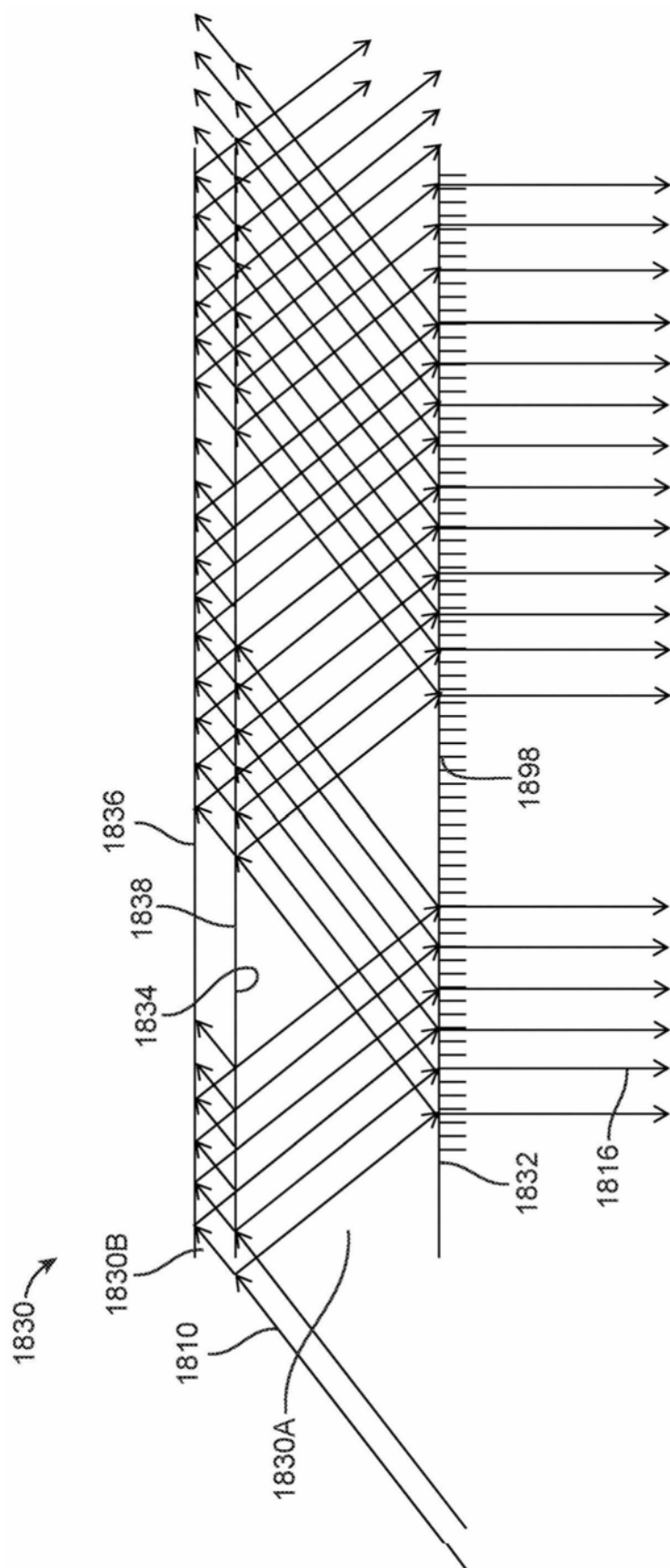


图23

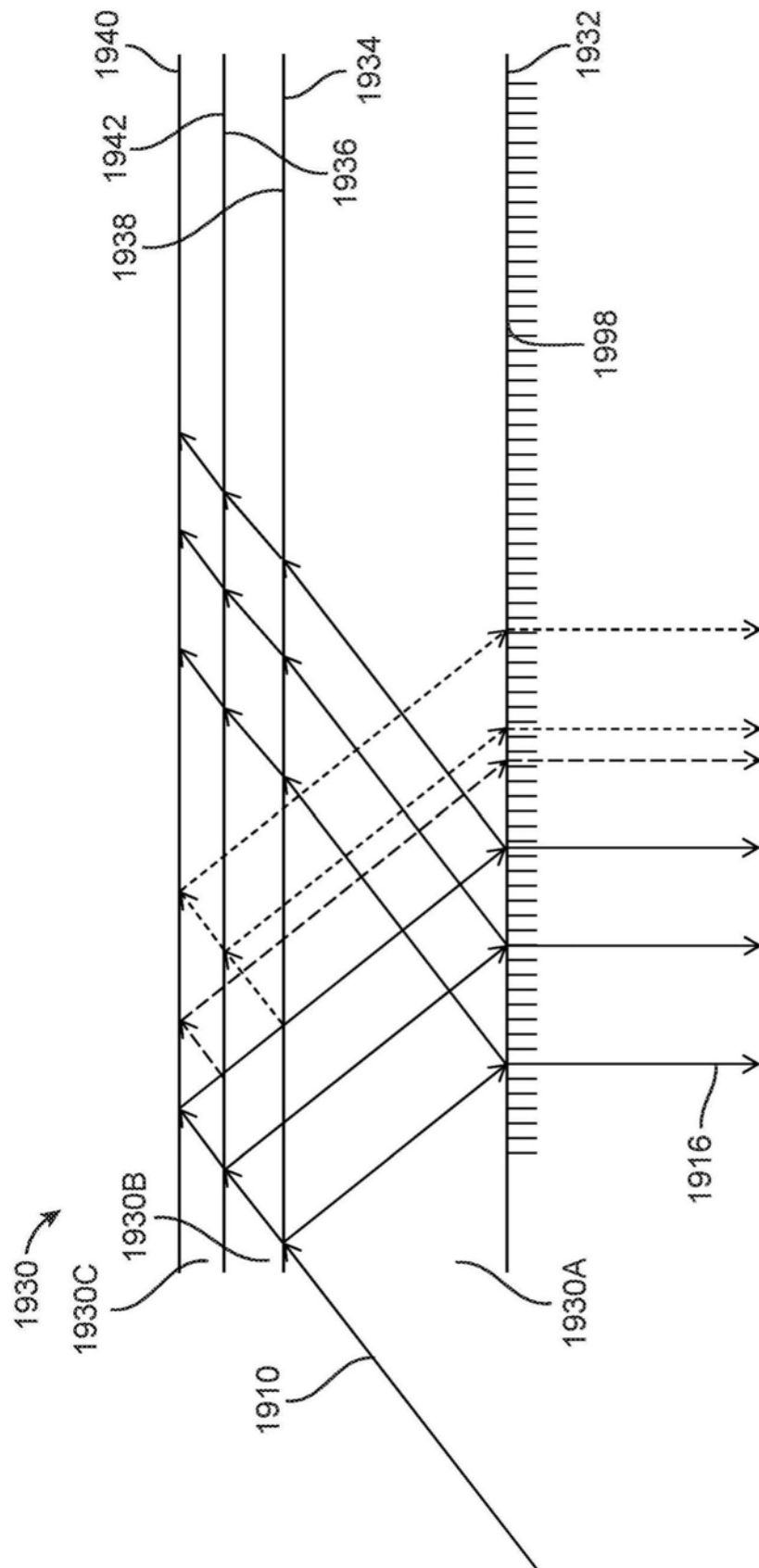


图24

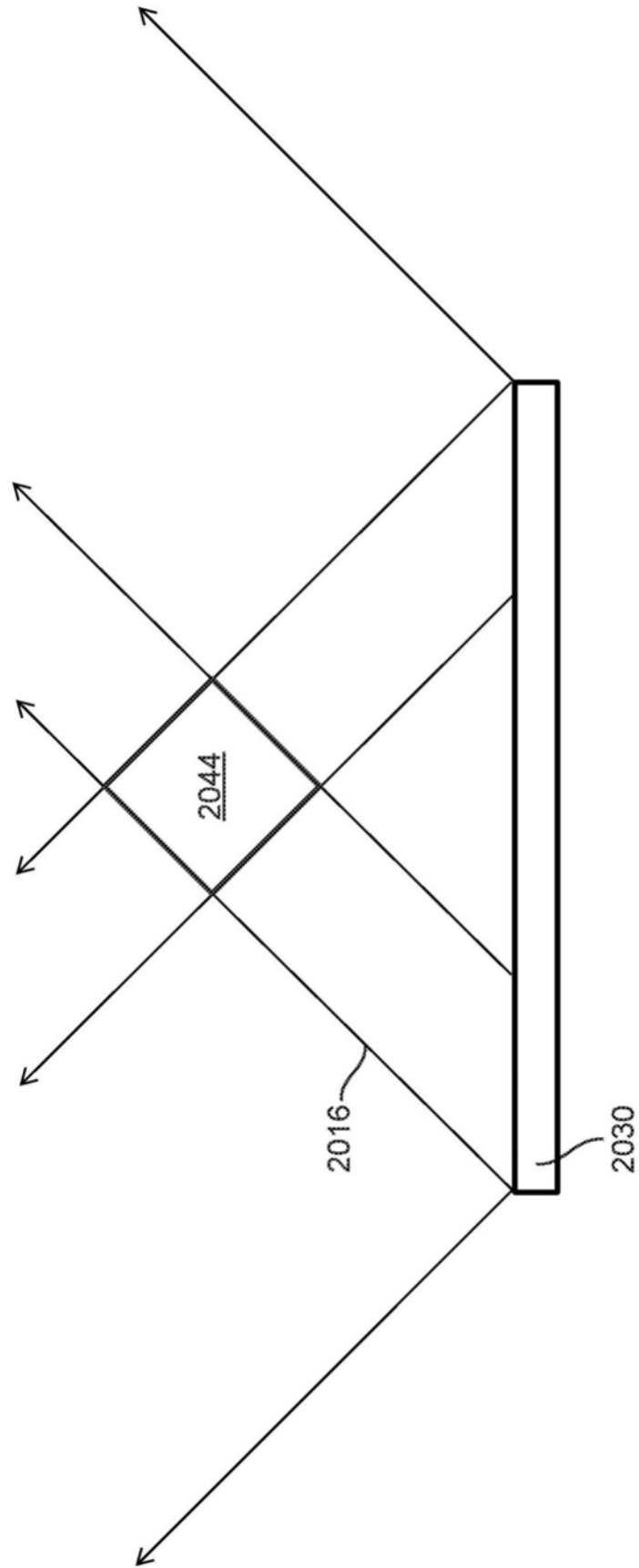


图25

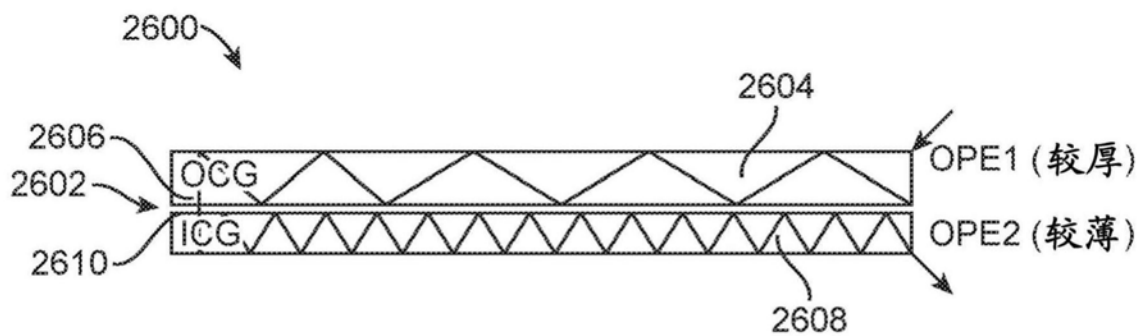


图26A

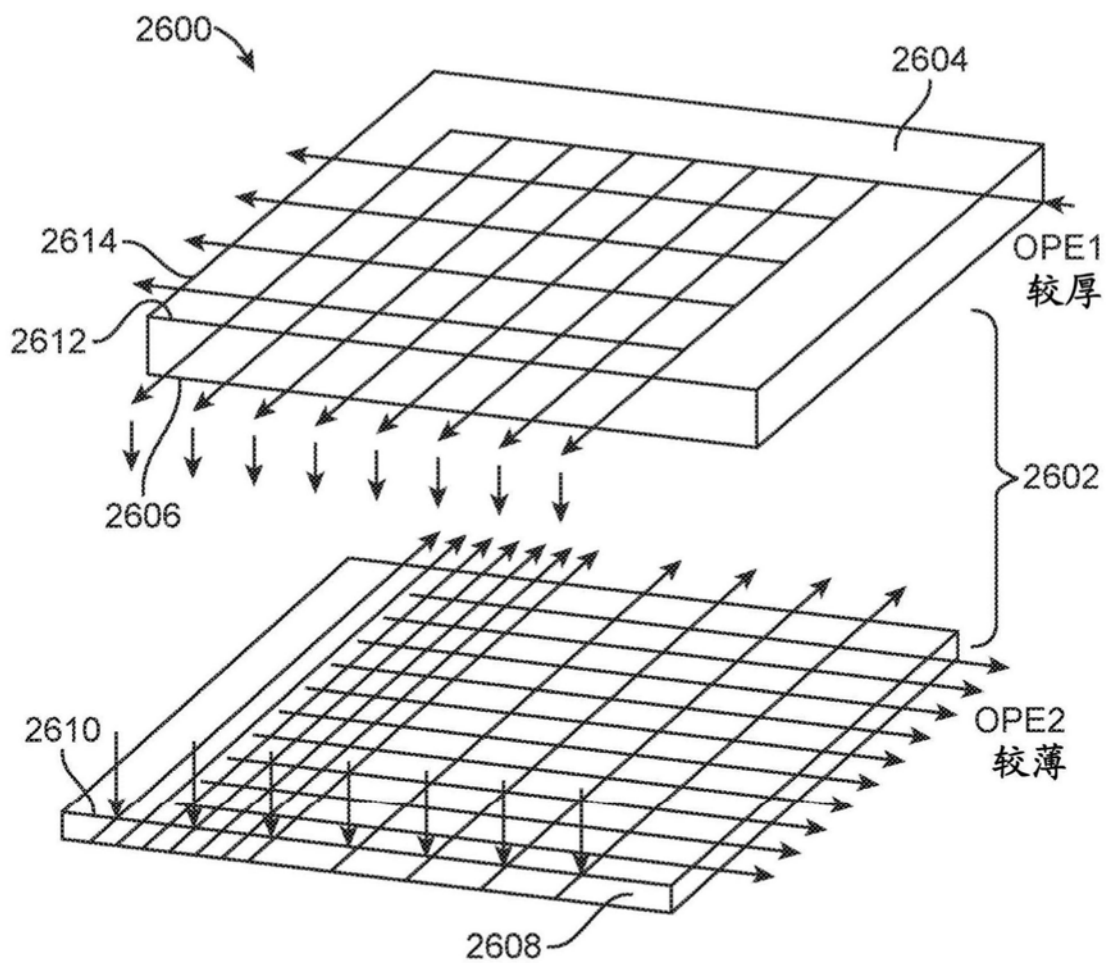


图26B

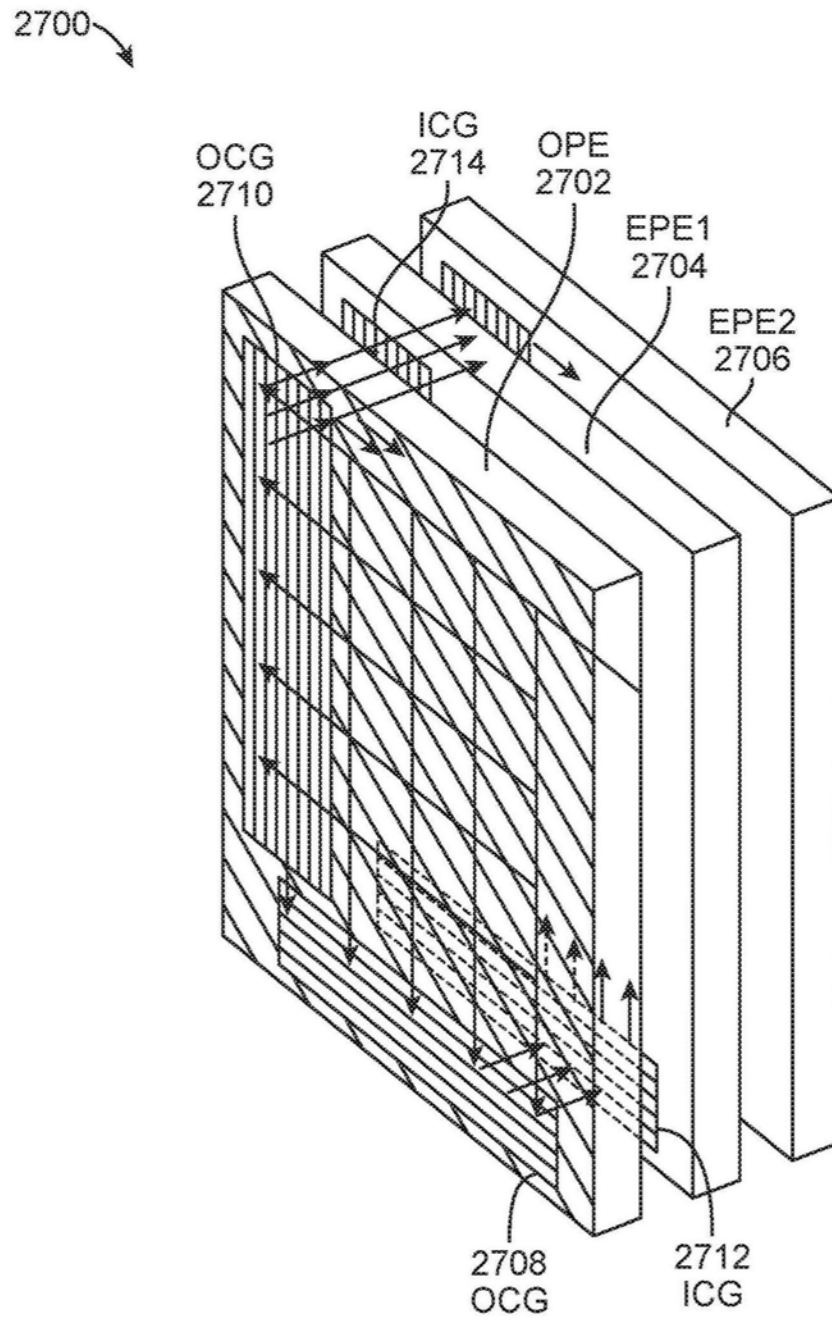


图27

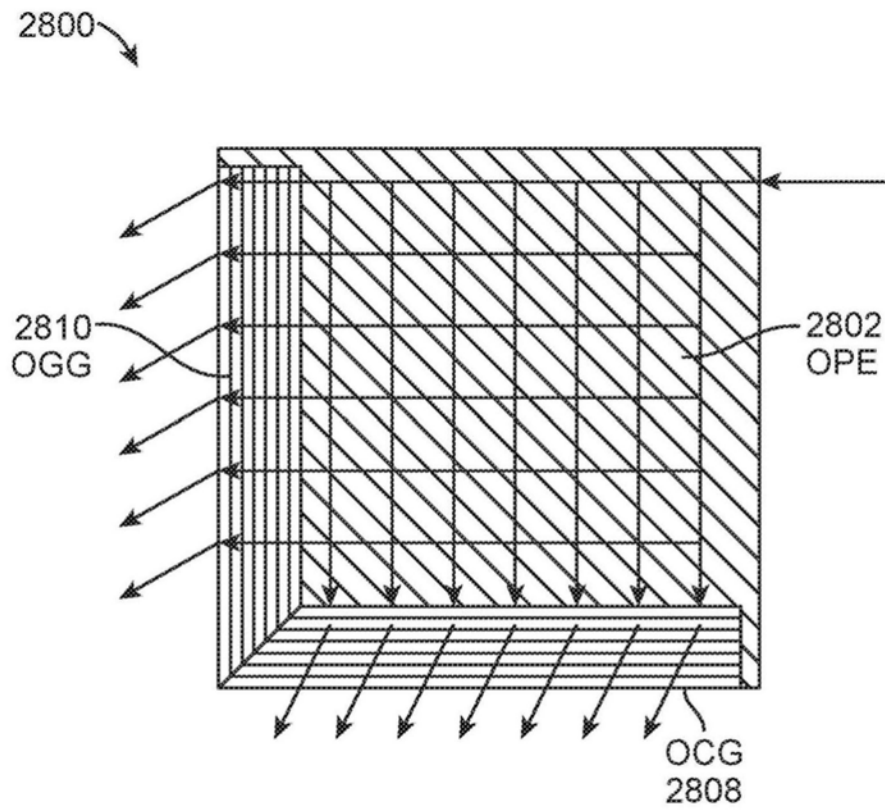


图28

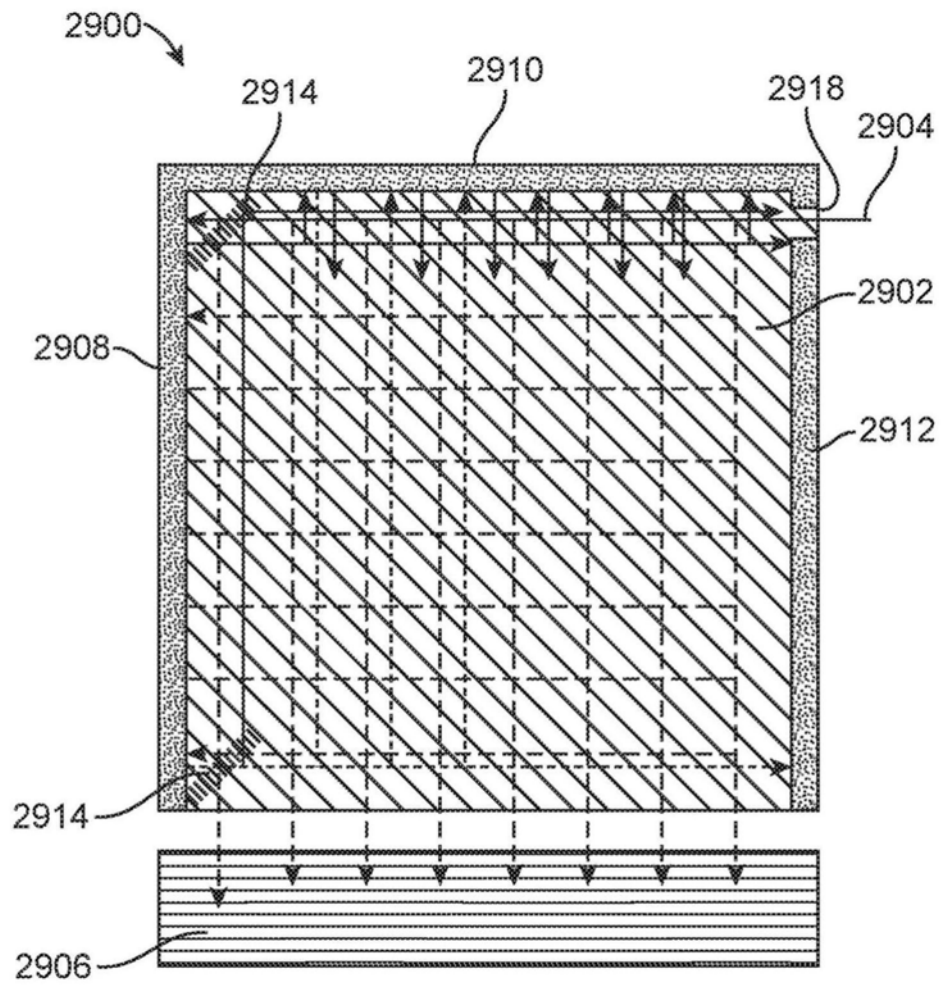


图29

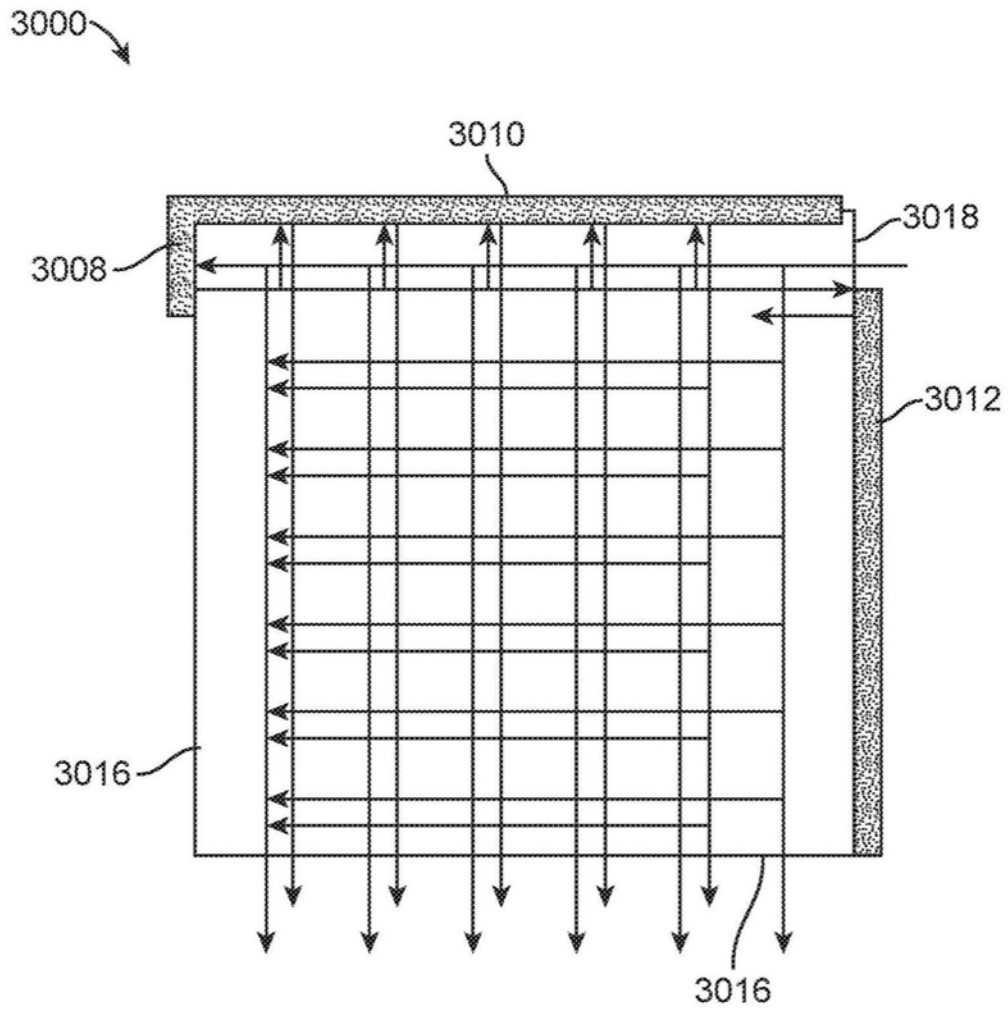


图30

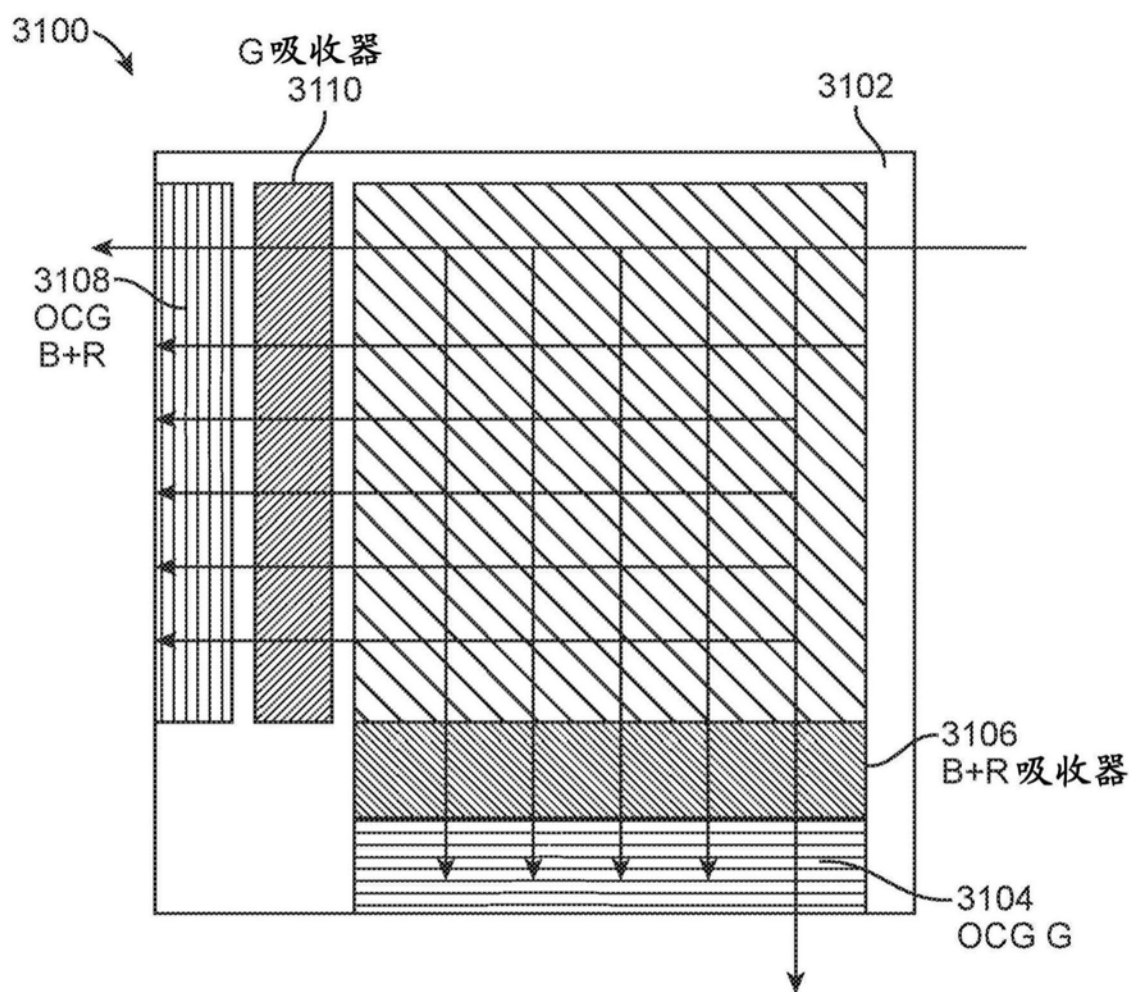


图31

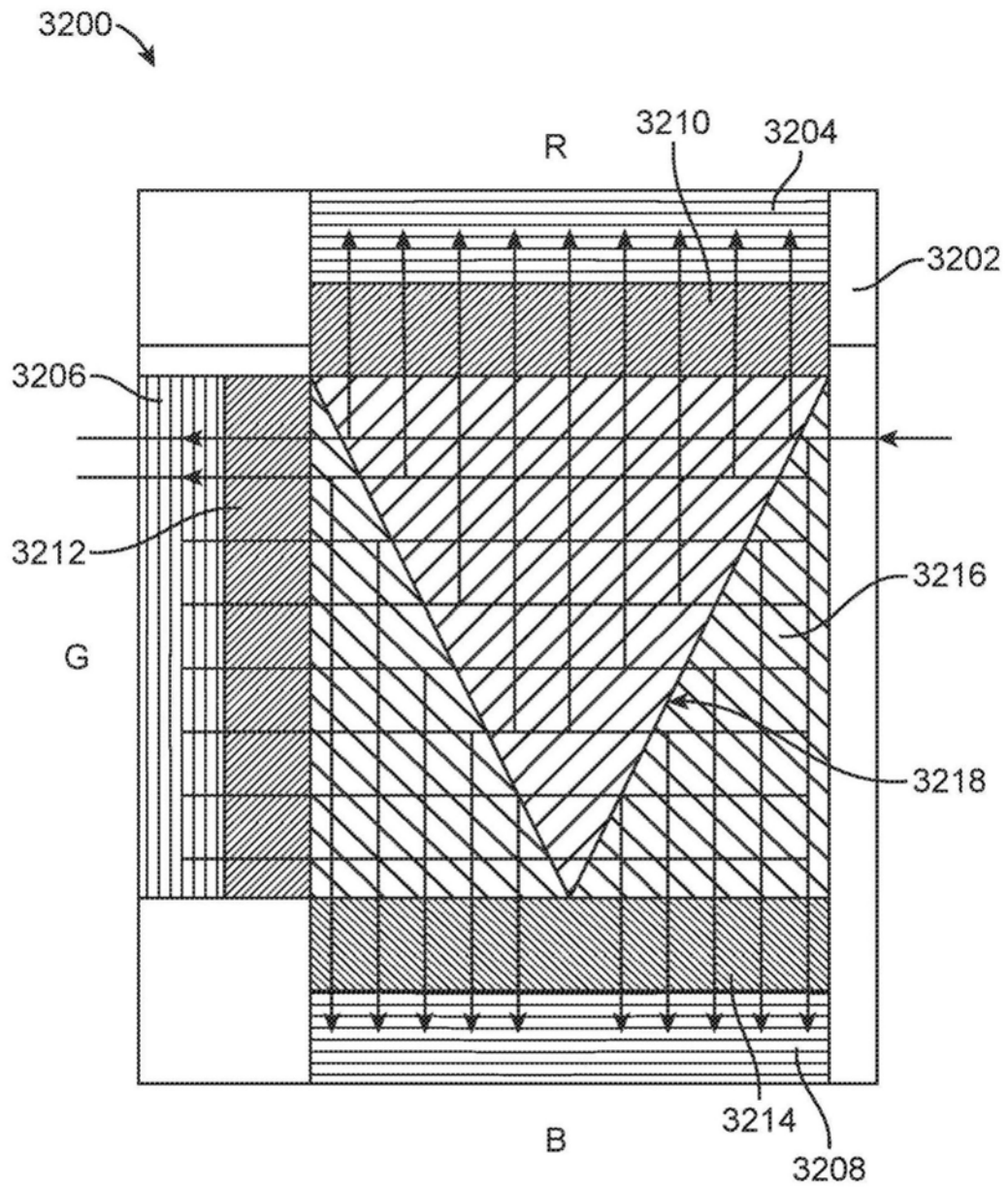


图32

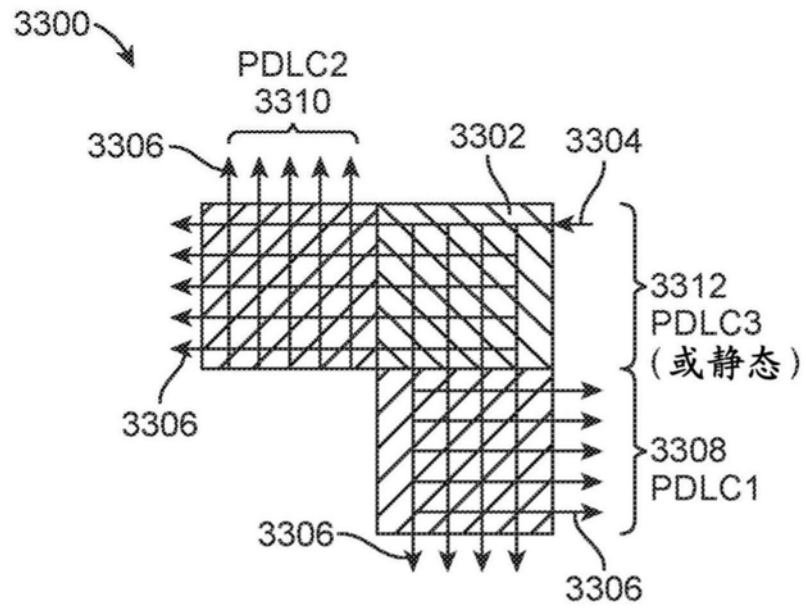


图33A

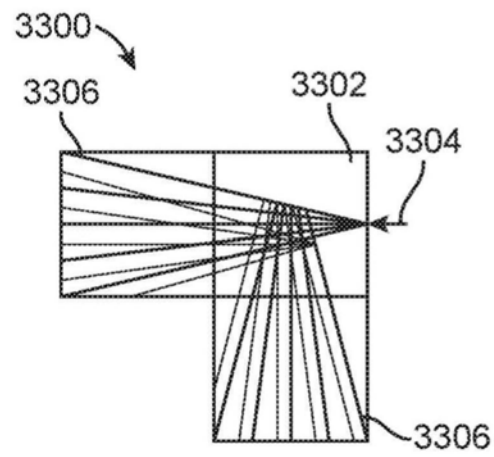


图33B

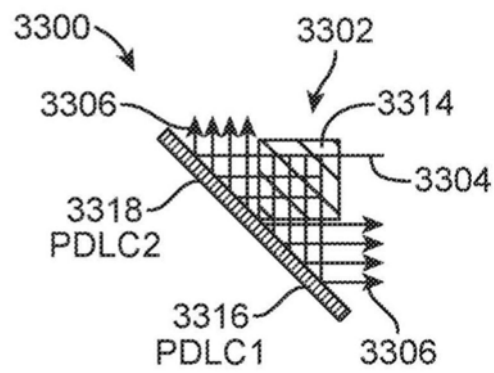


图33C

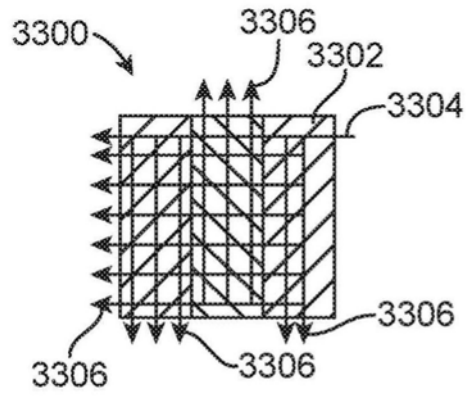


图33D

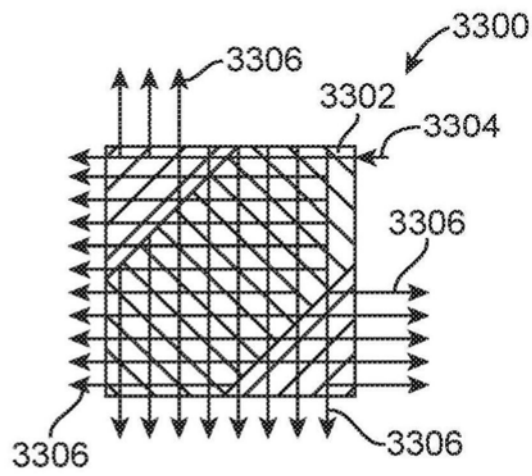


图33E

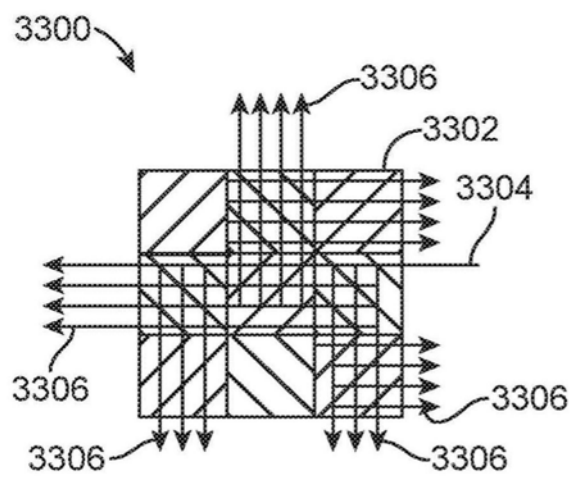


图33F

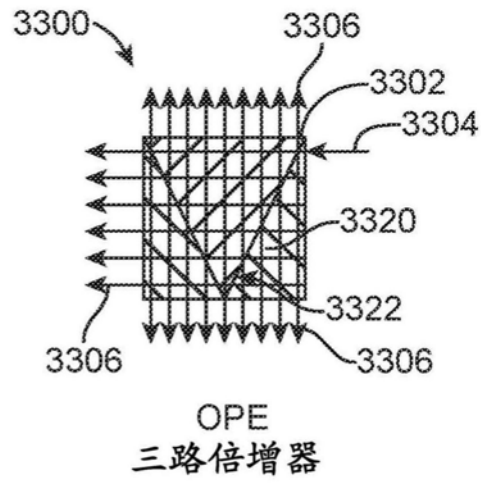


图33G

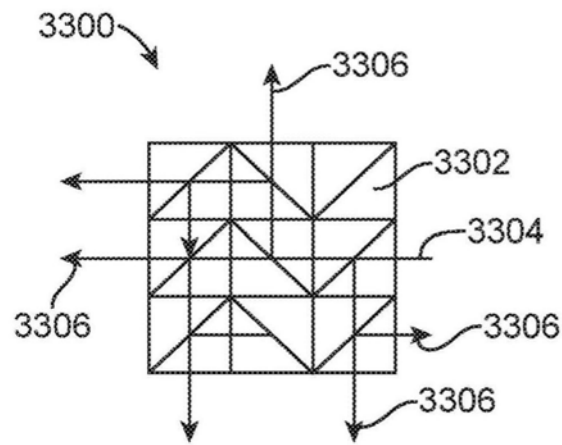


图33H

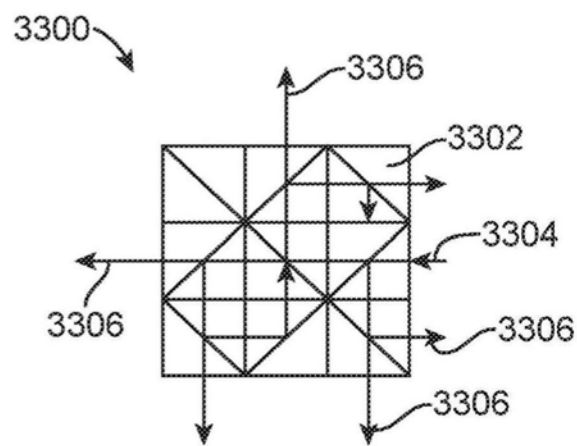


图33I

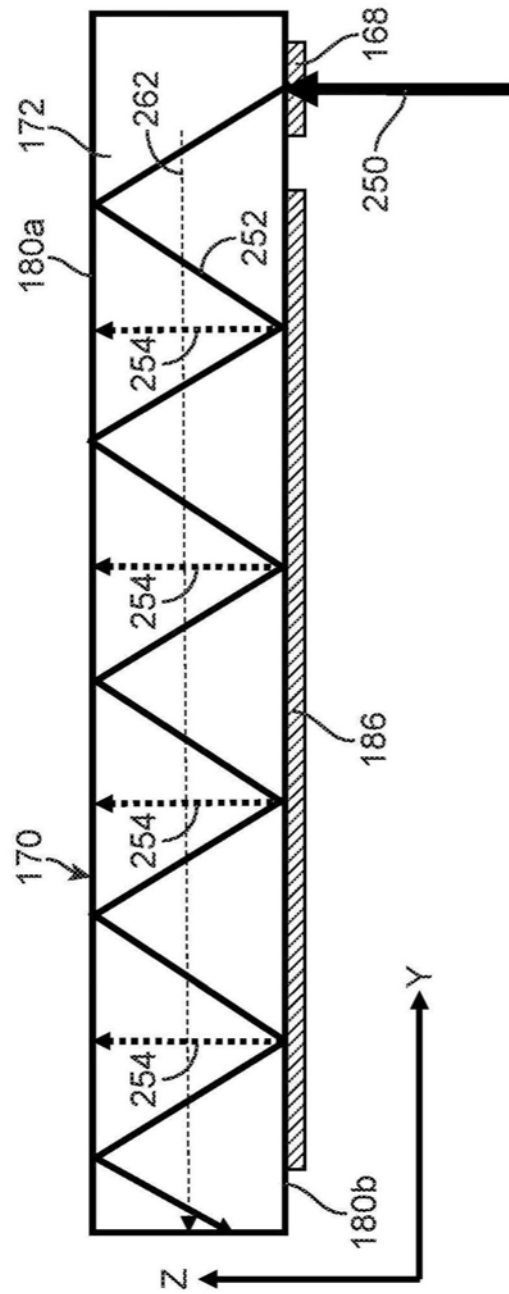


图35

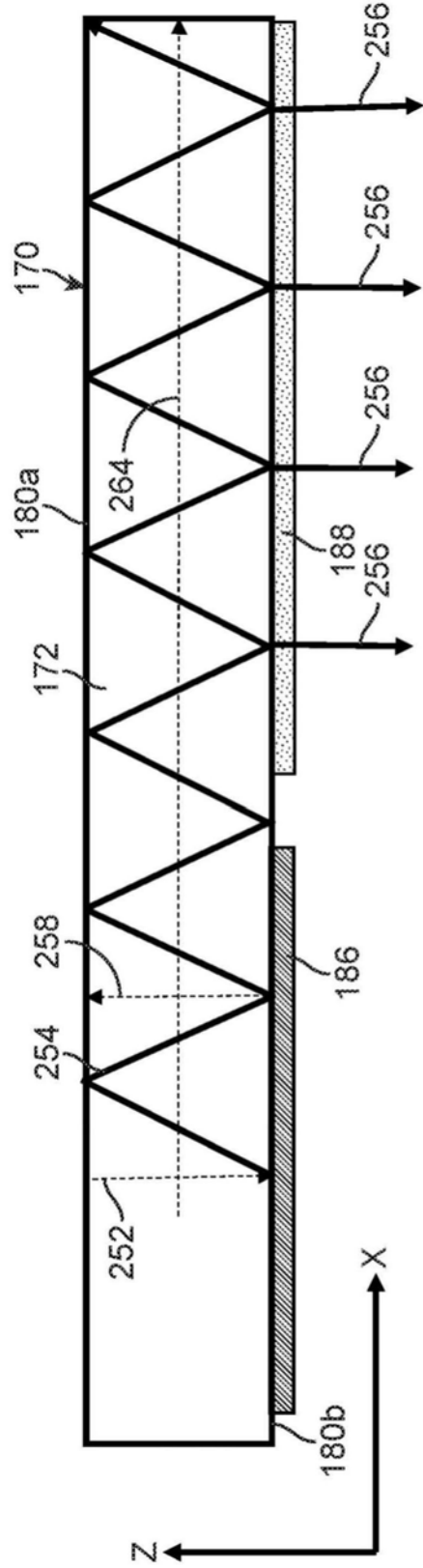


图36

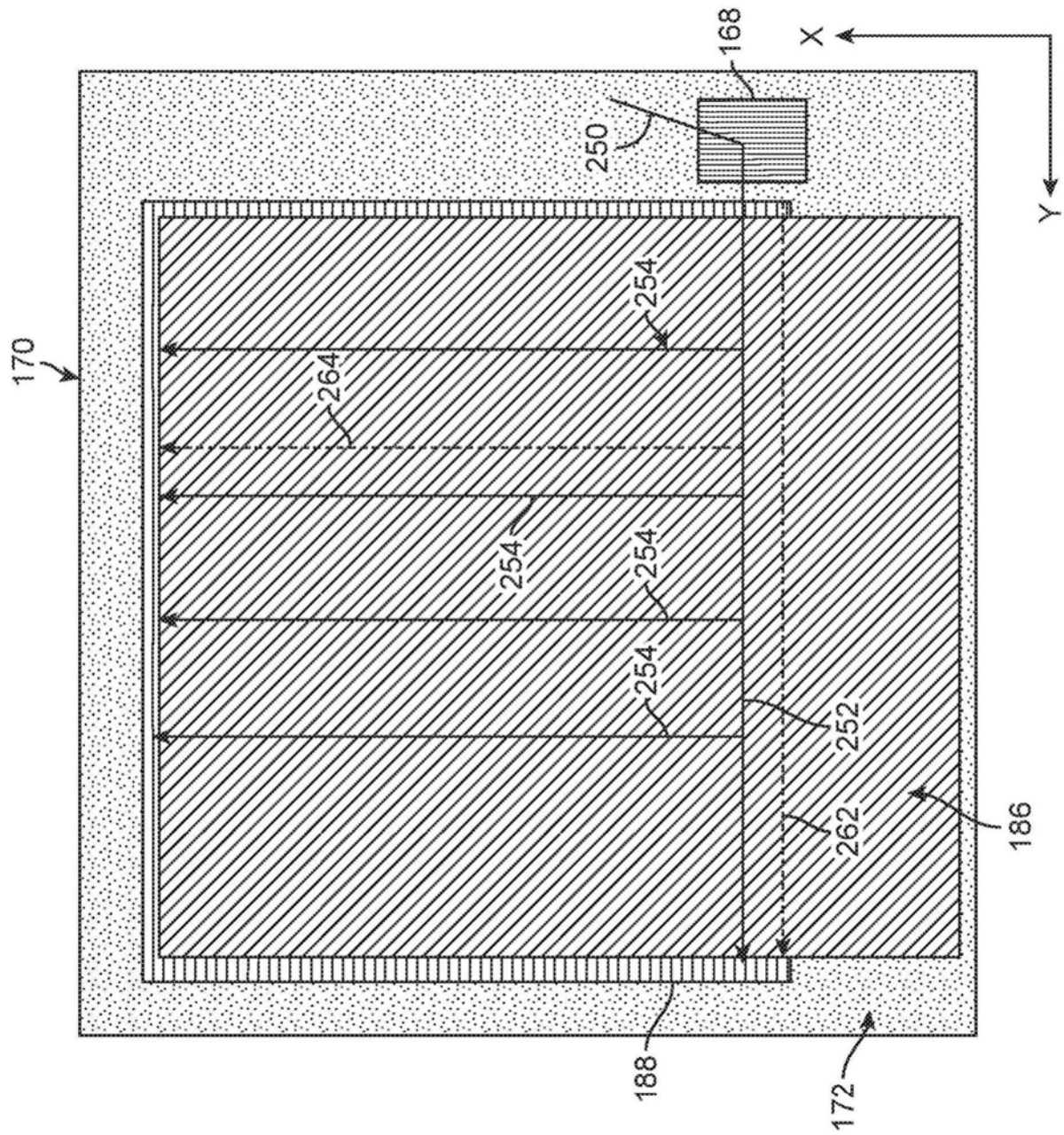


图37

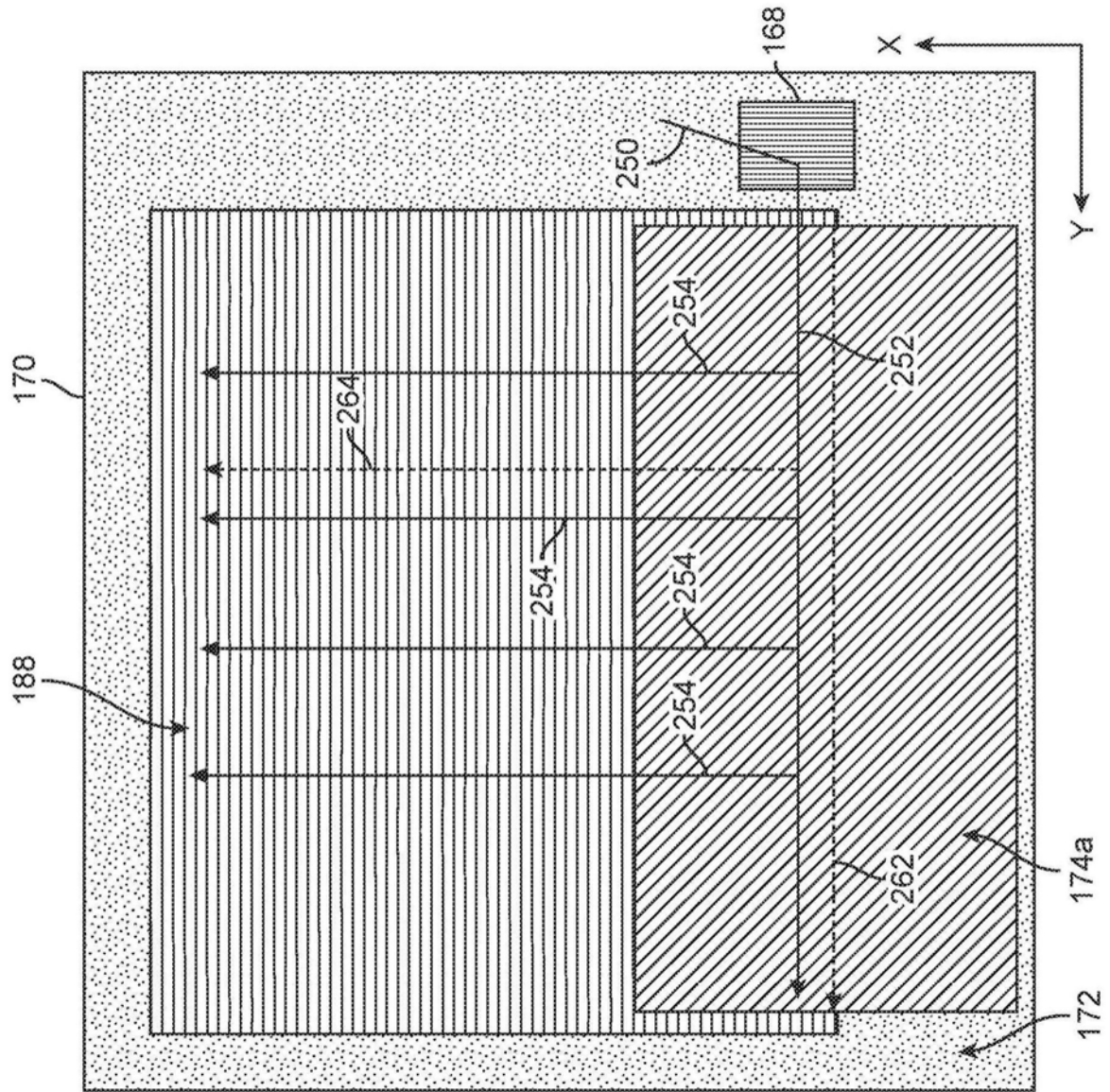


图38

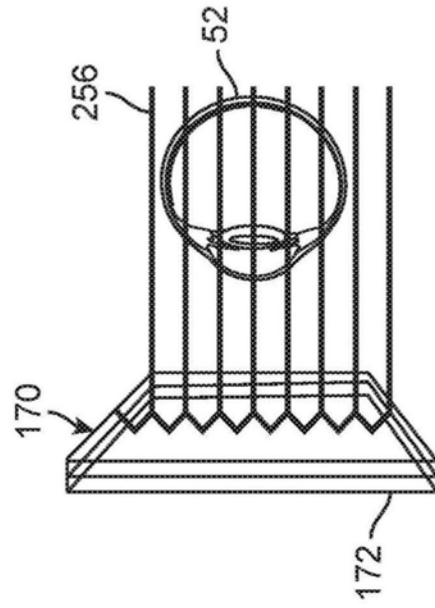


图39A

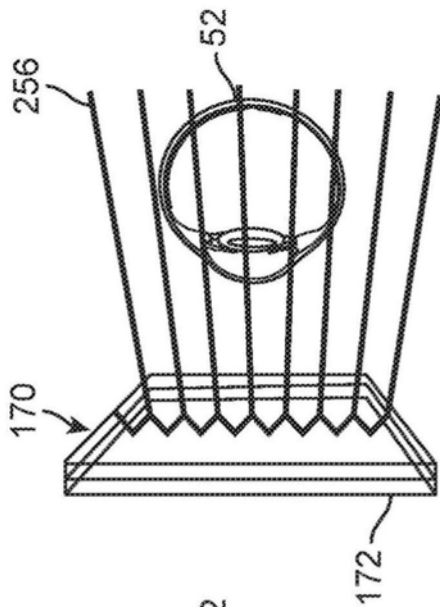


图 39C

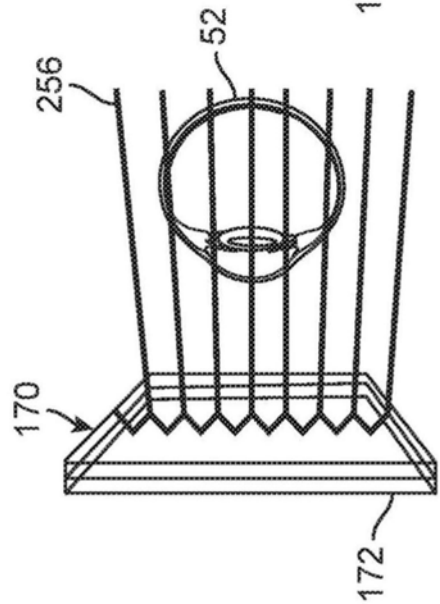


图 39B

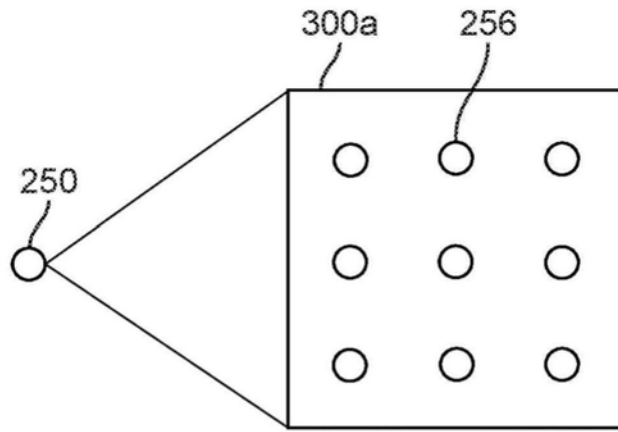


图40A

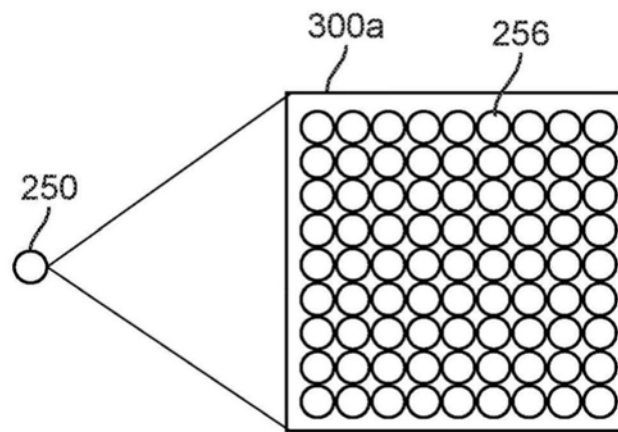


图40B

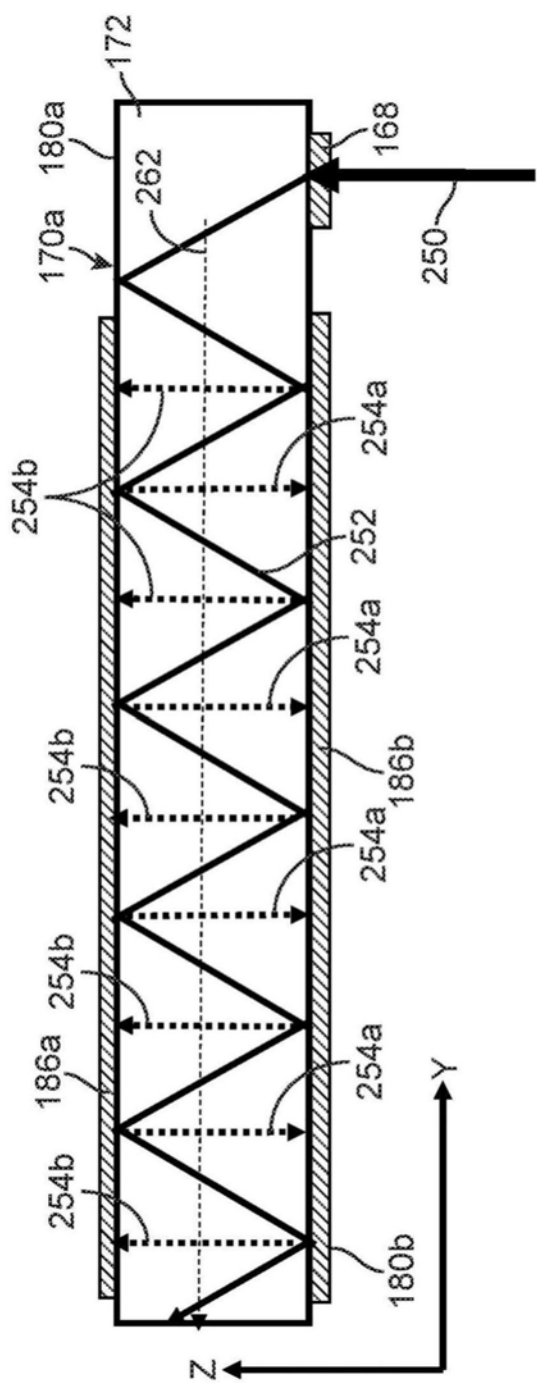


图42

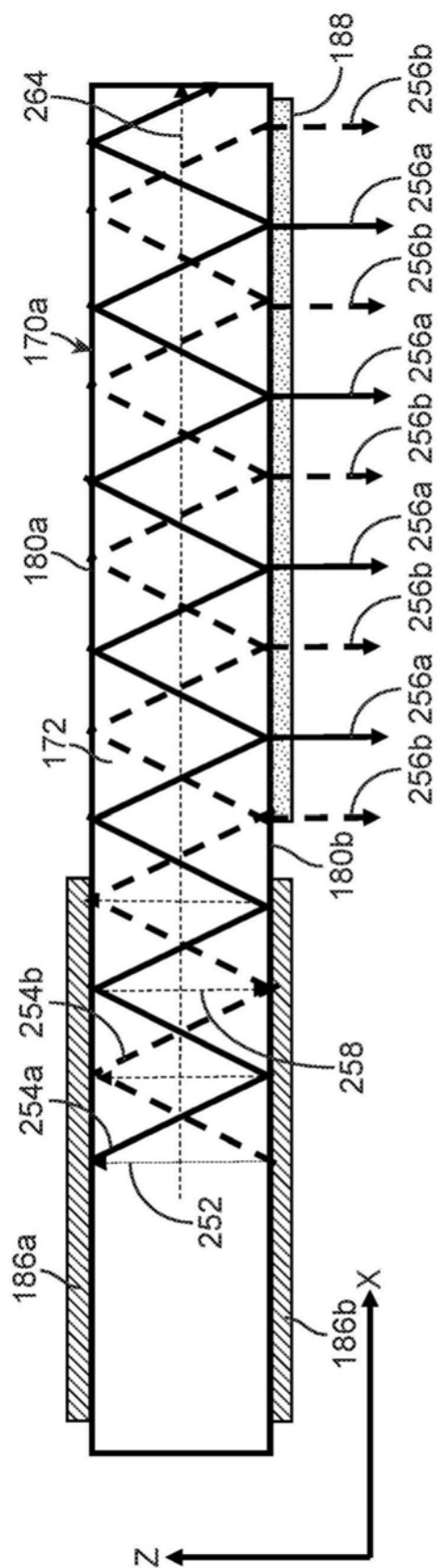


图43

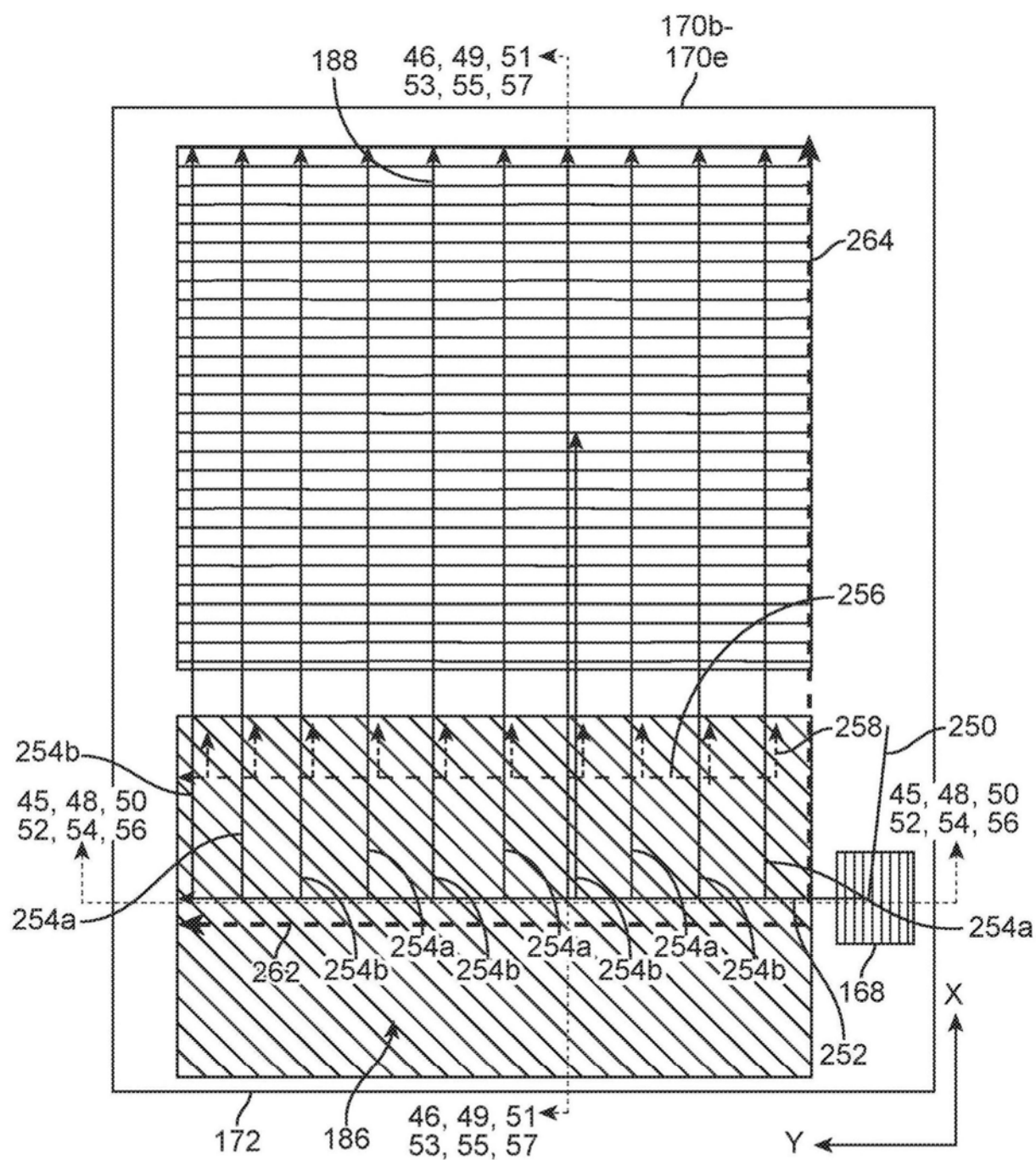


图44

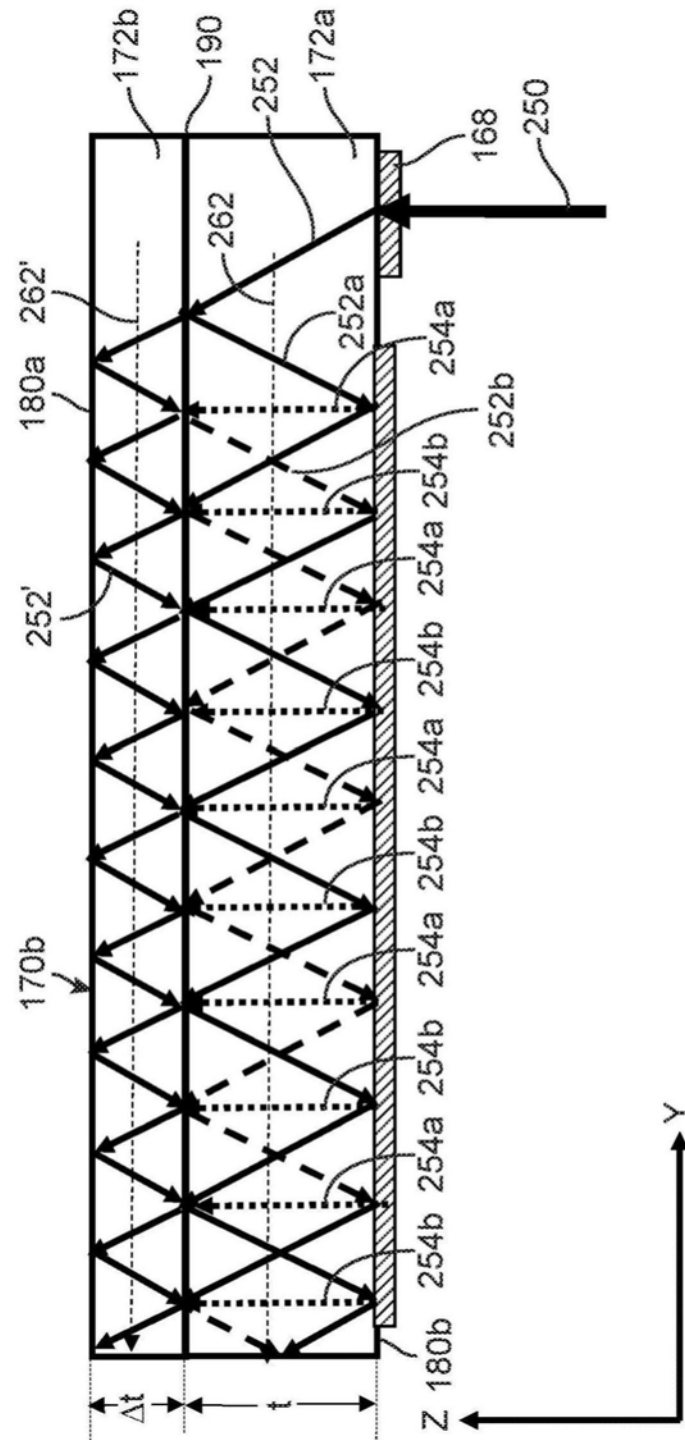


图45

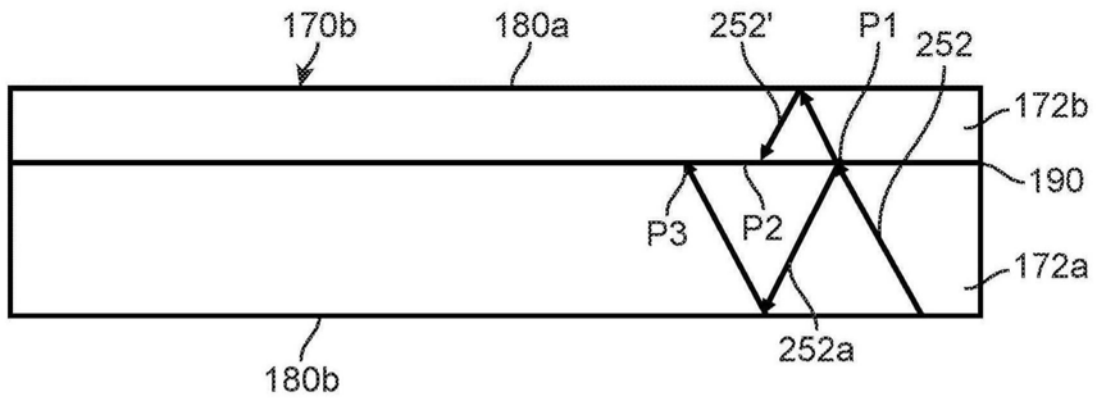


图47A

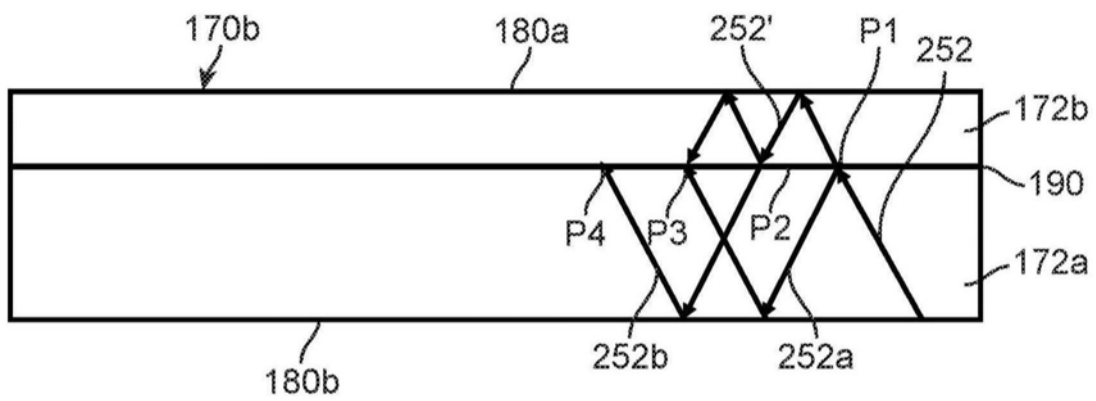


图47B

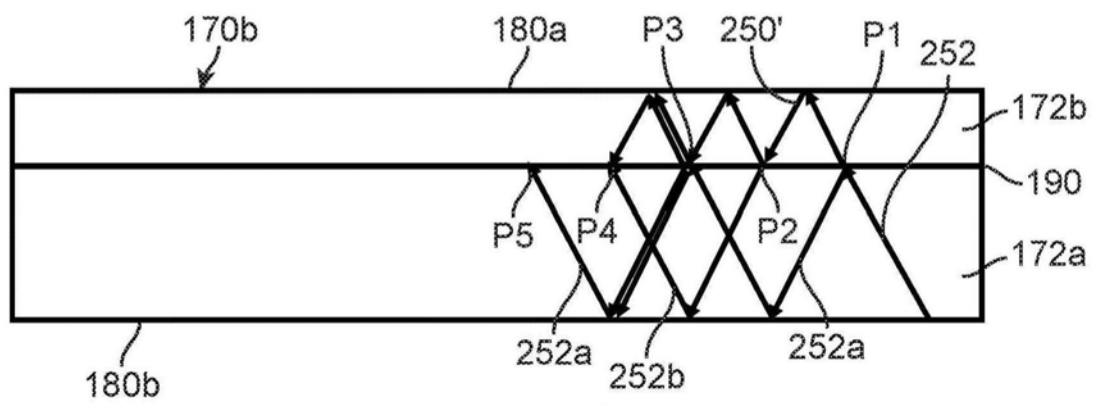


图47C

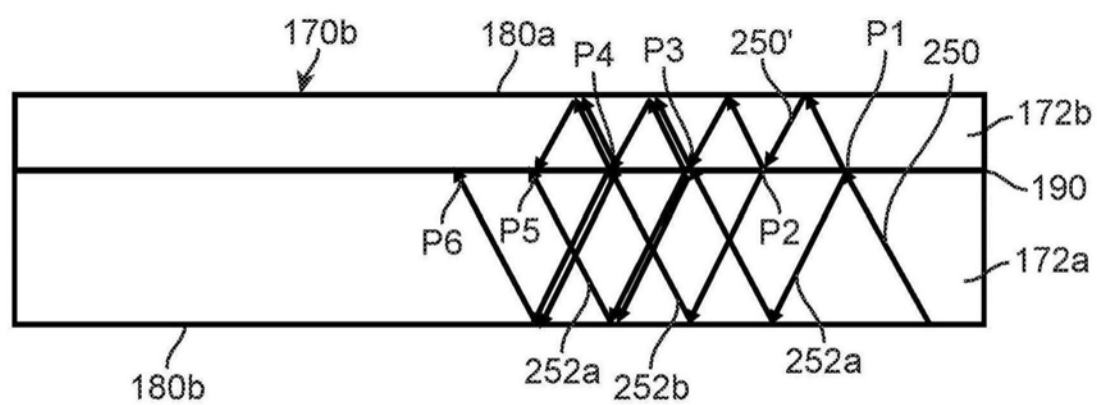


图47D

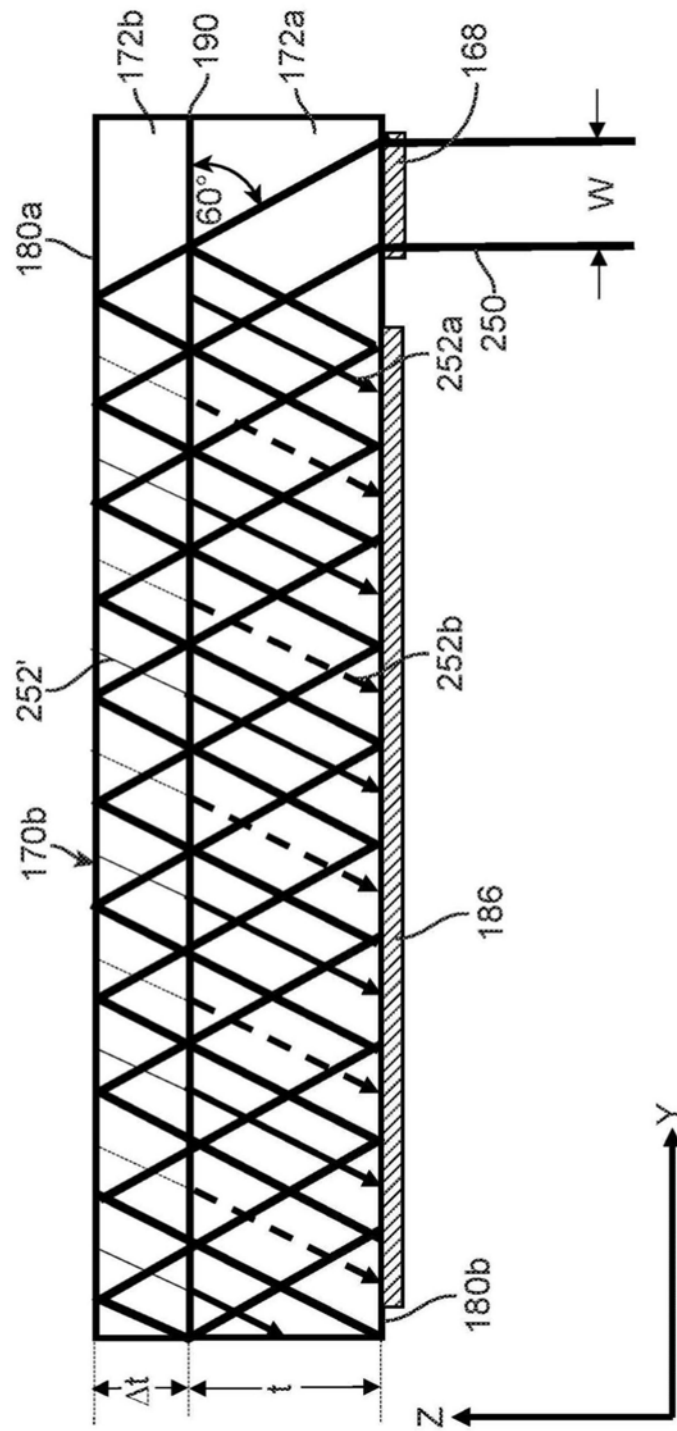


图48

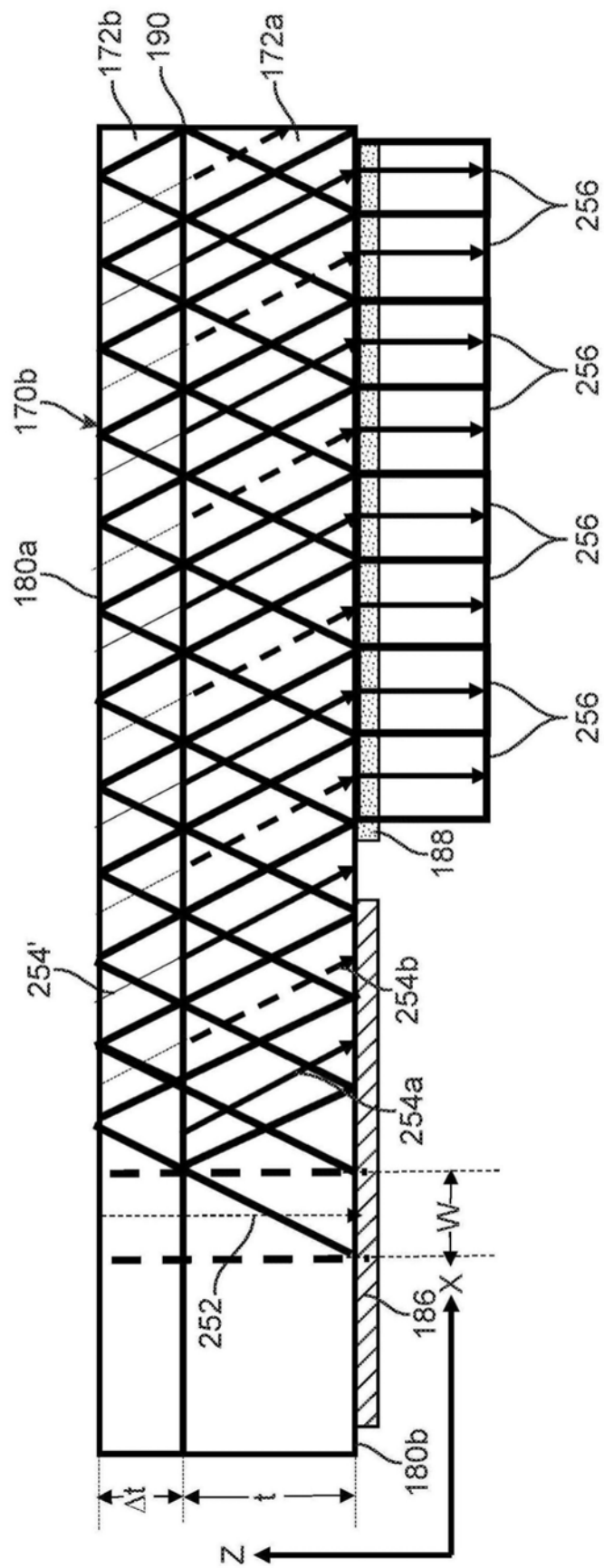


图49

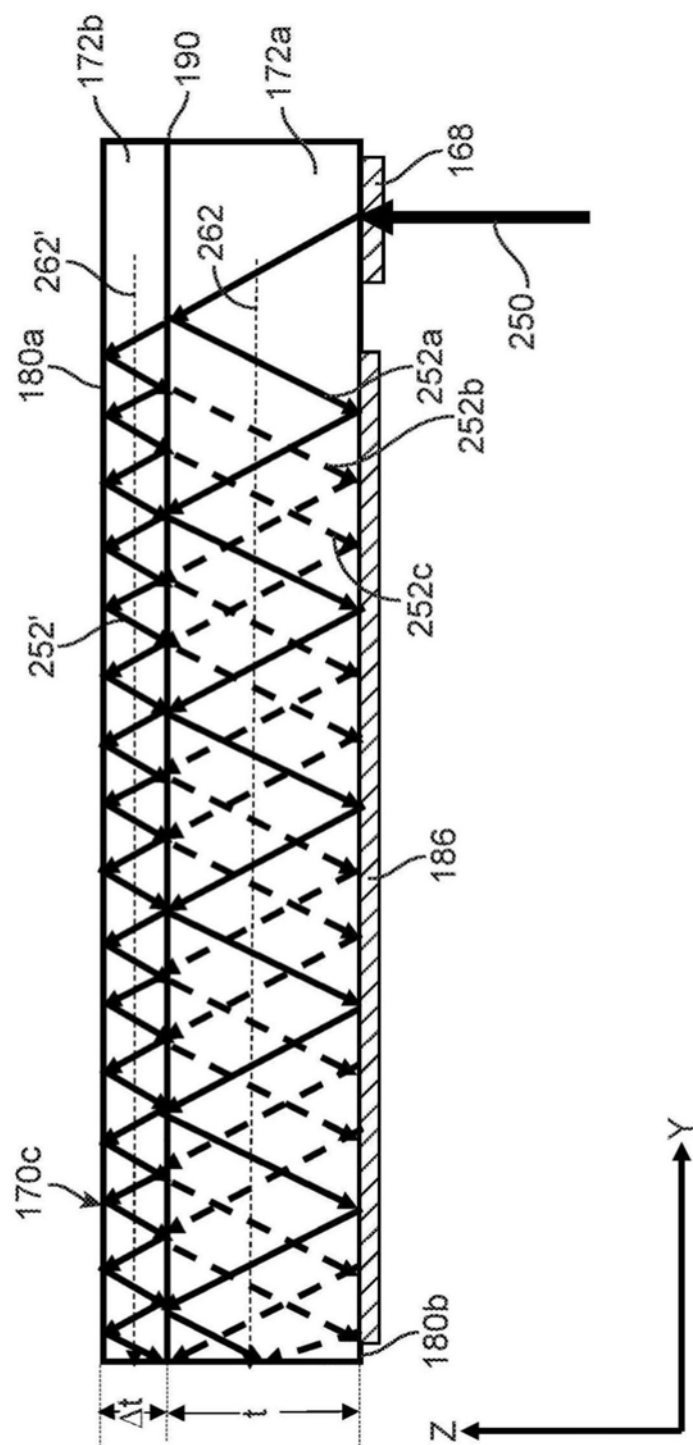


图50

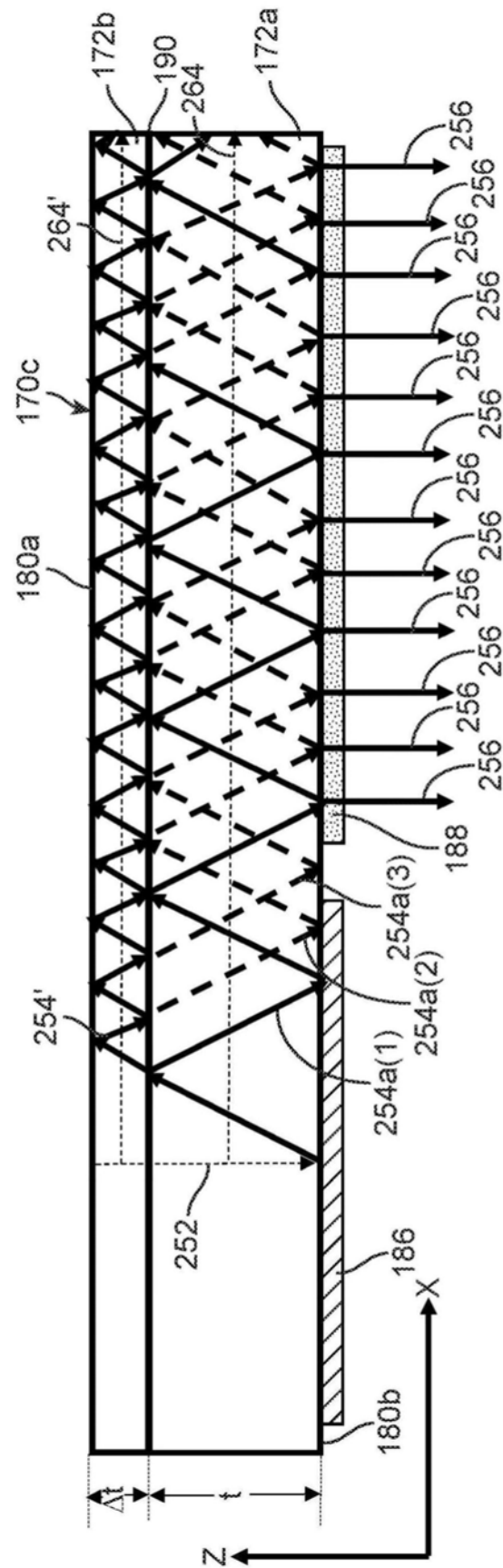


图51

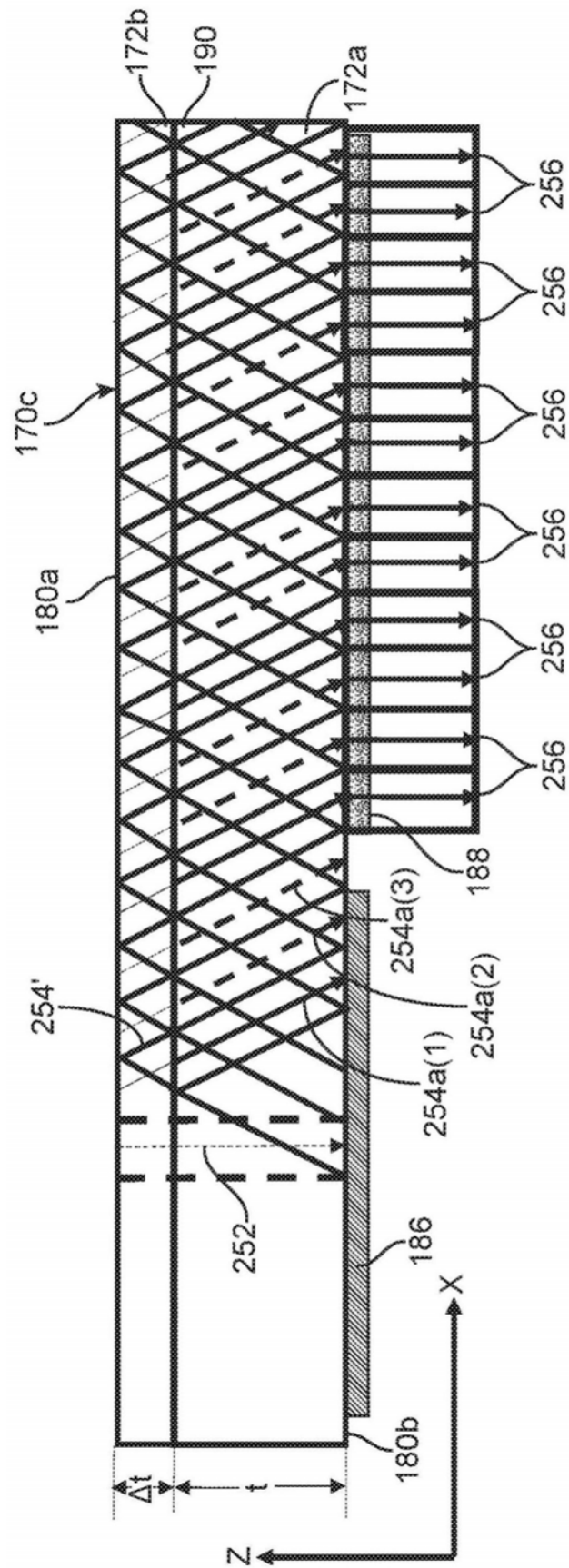


图53

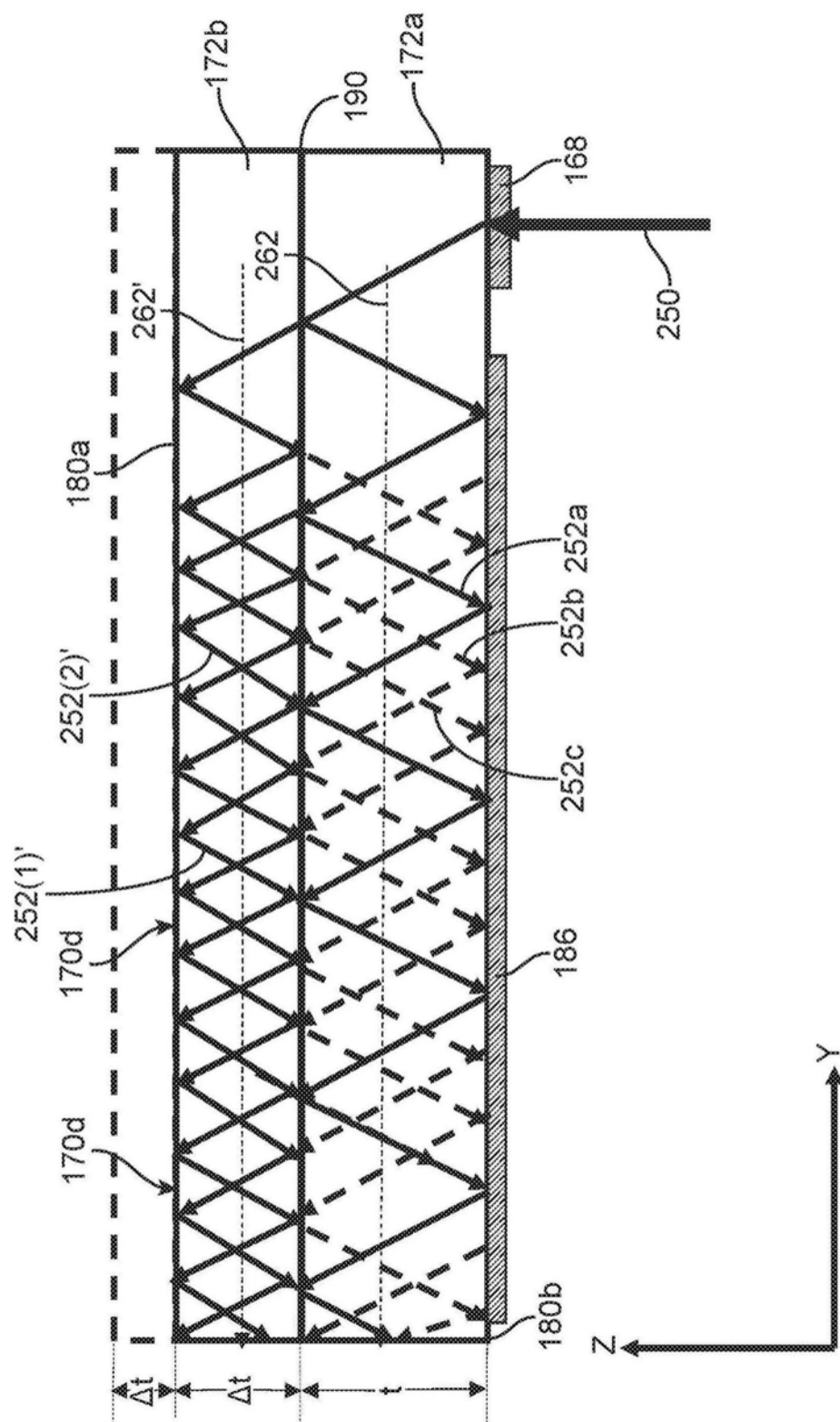


图54

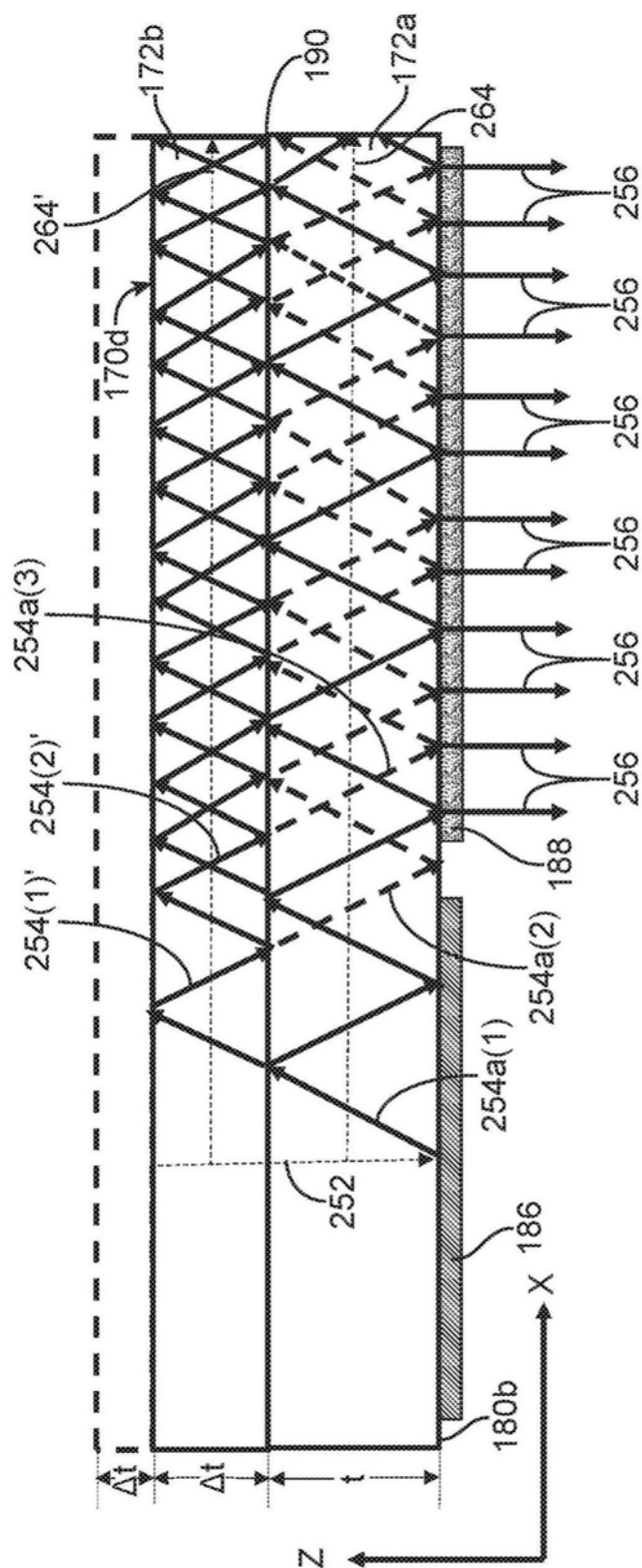


图55

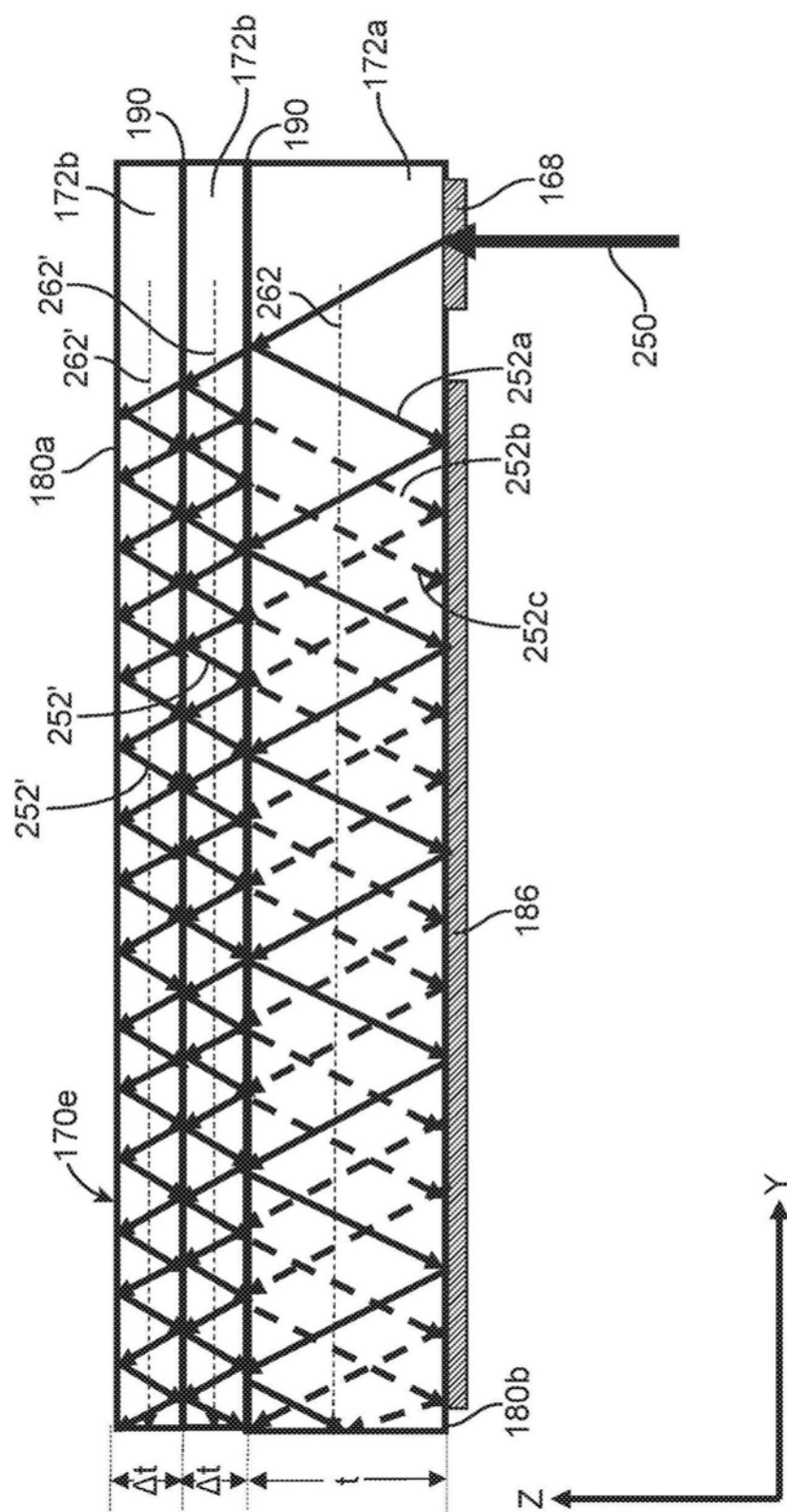


图56

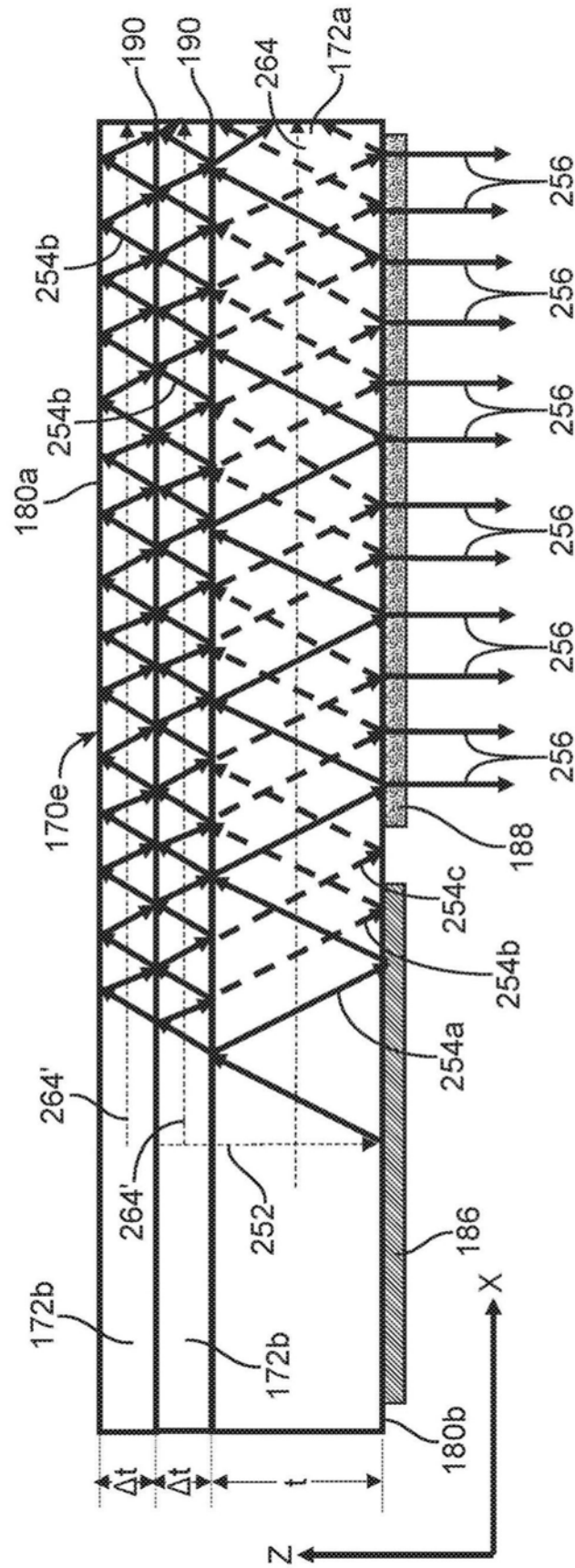


图57

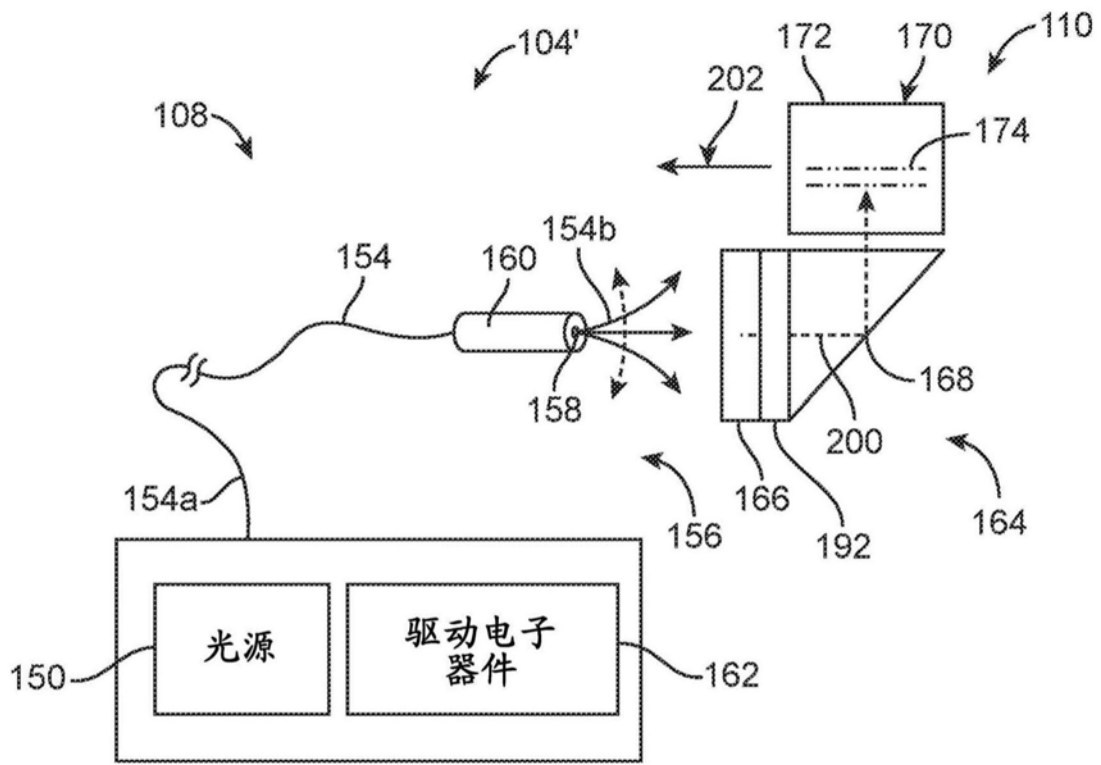


图58

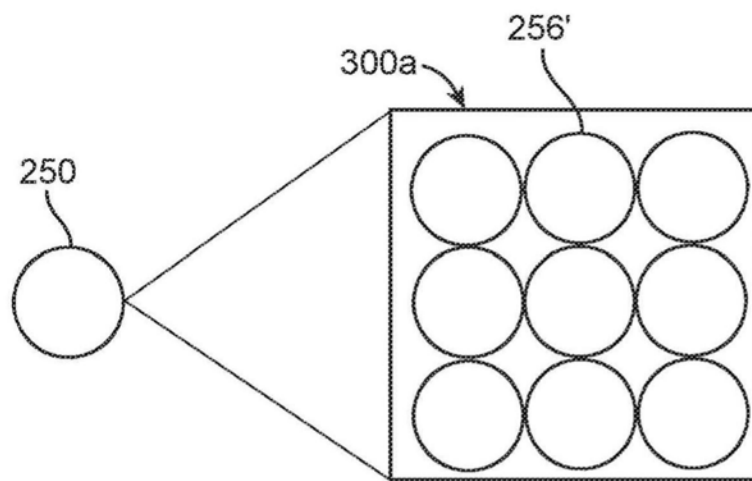


图59A

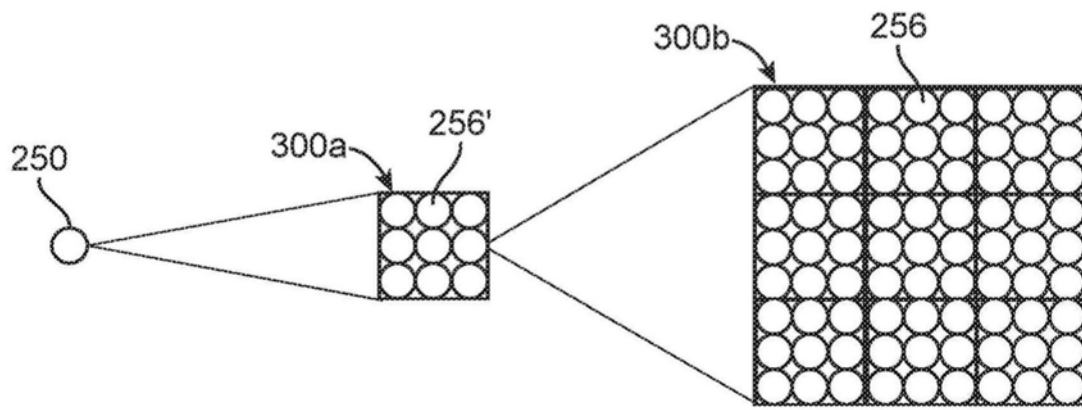


图59B

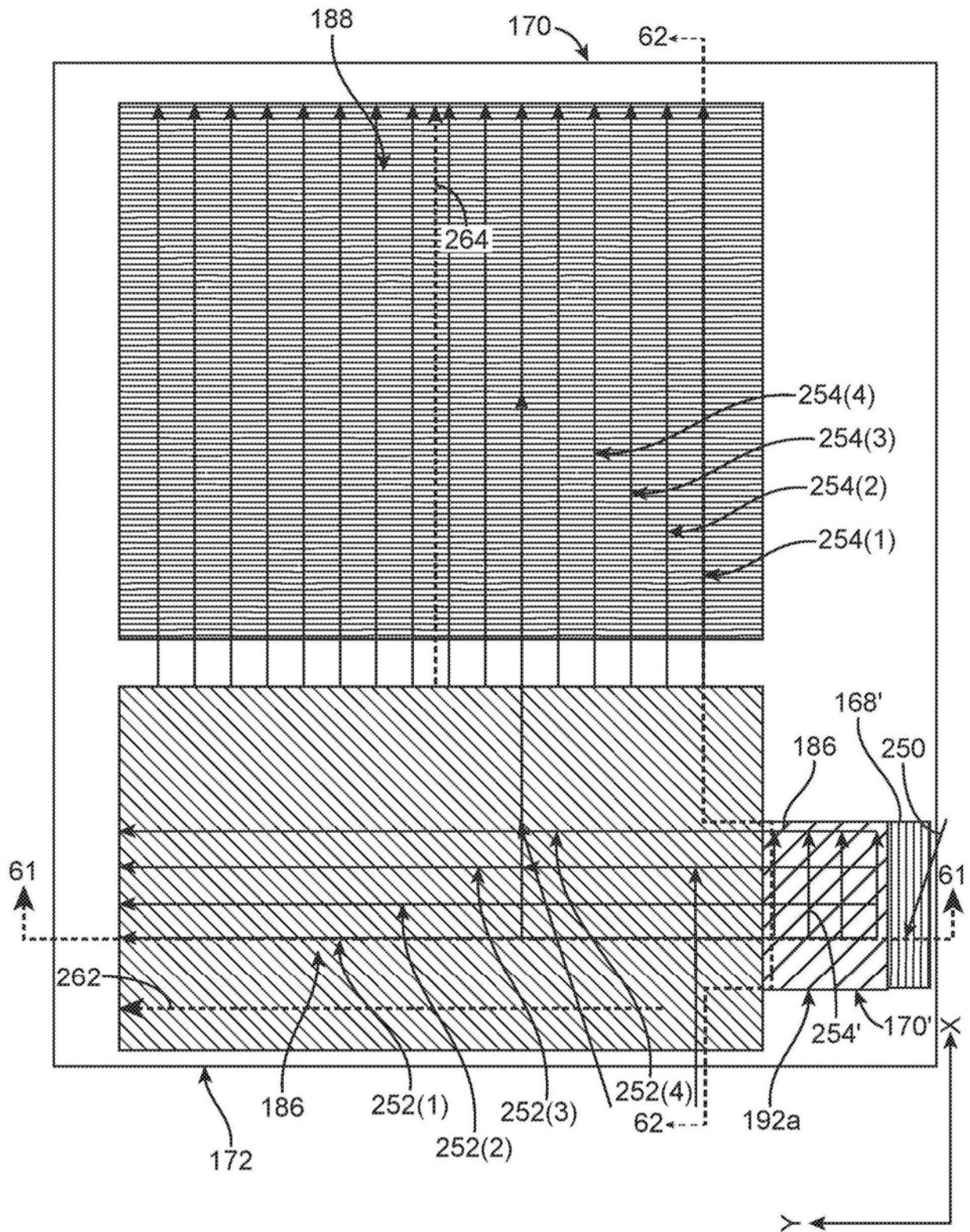


图60

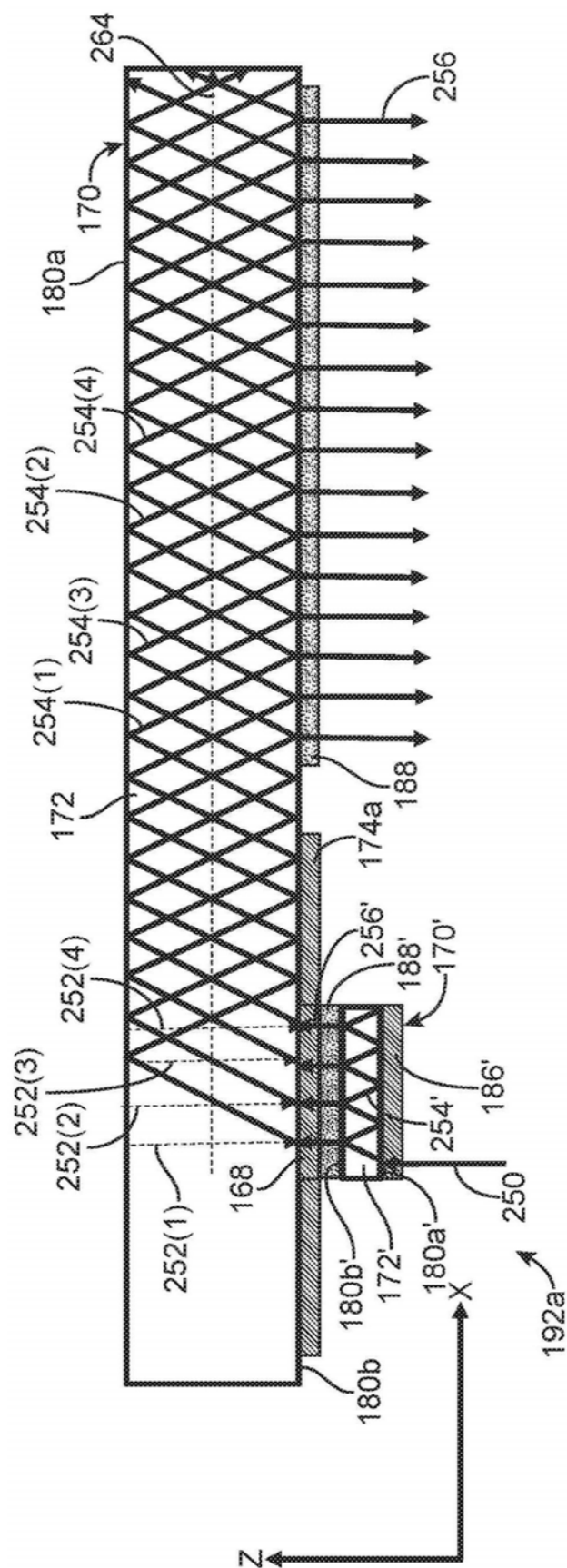


图62

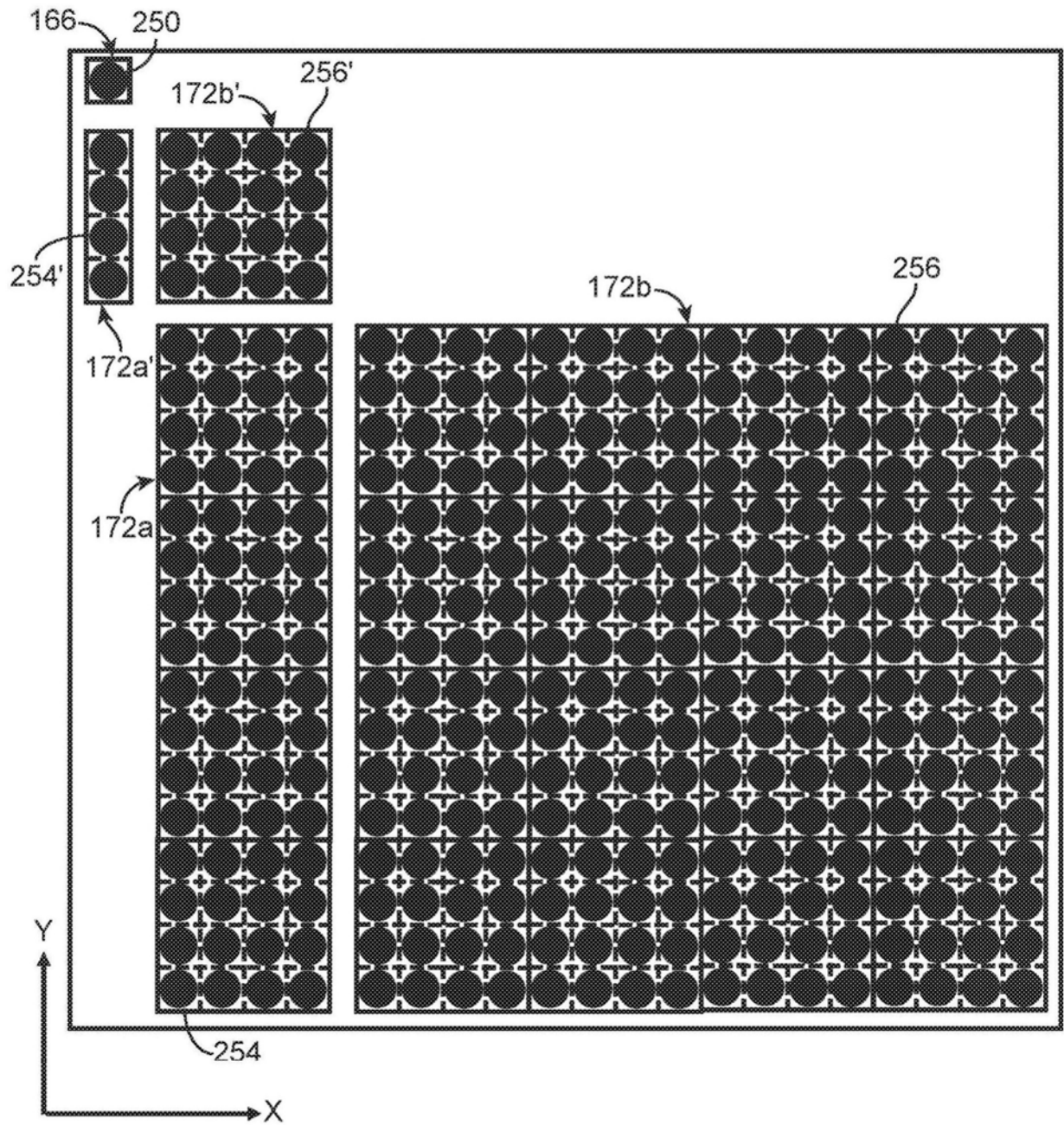


图63

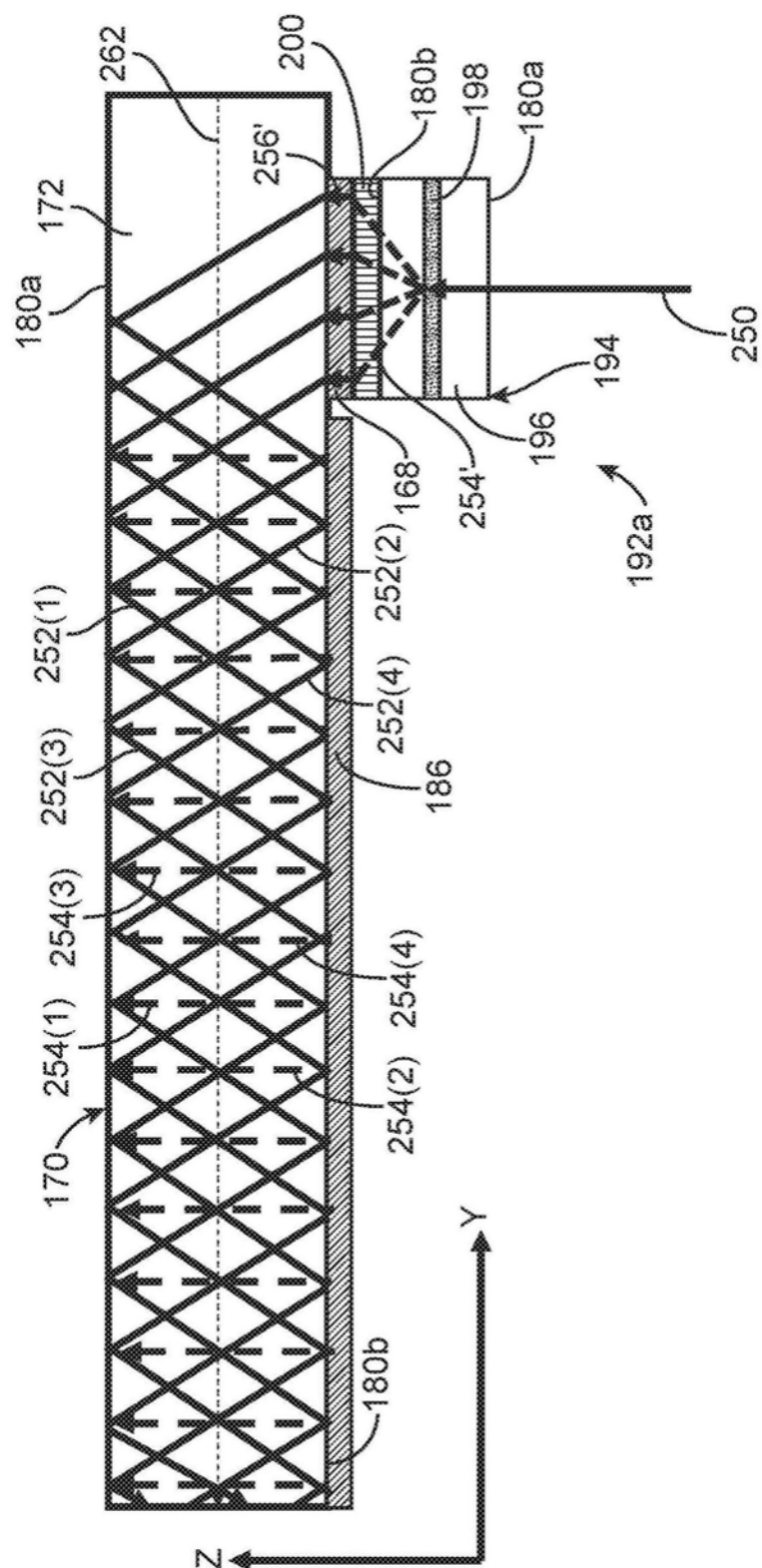


图65

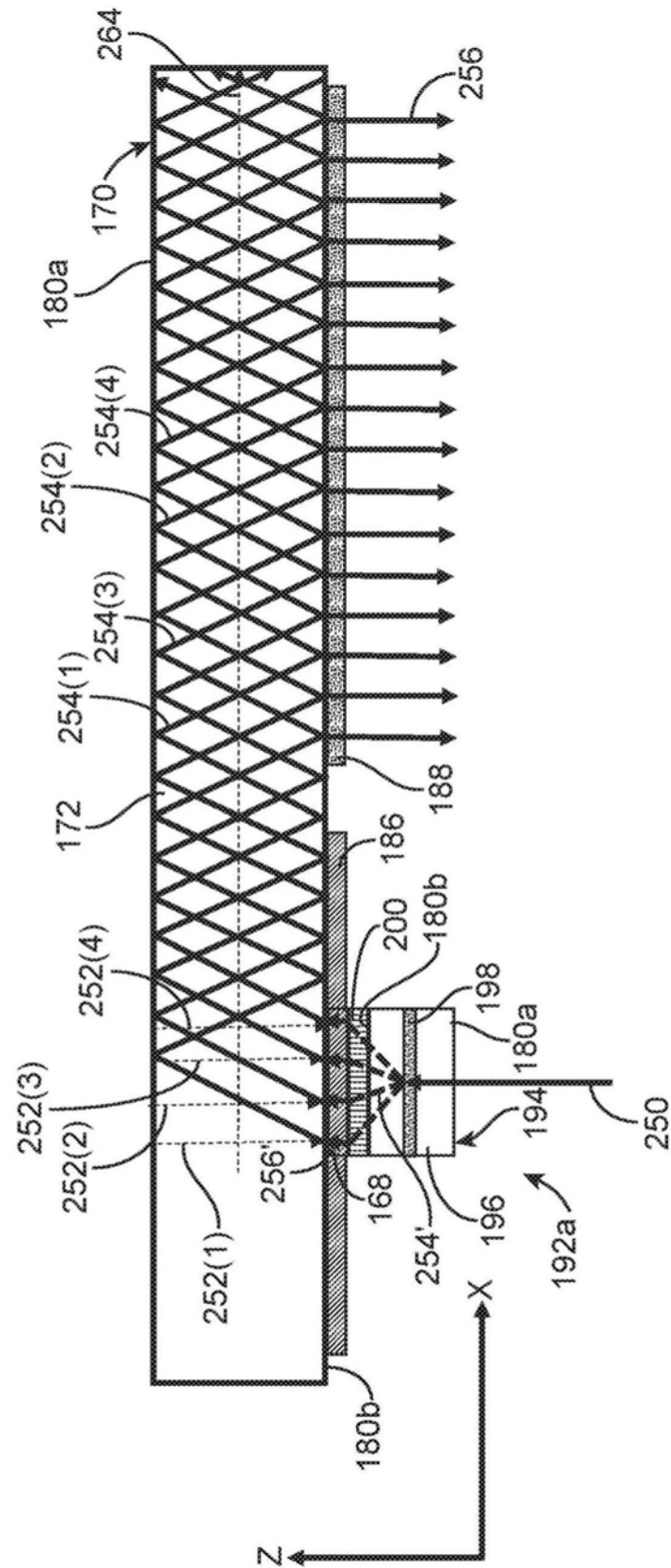


图66

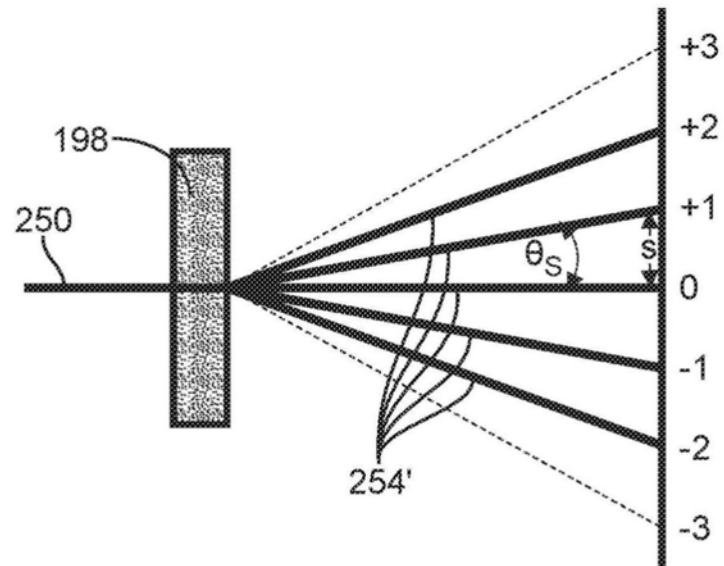


图67A

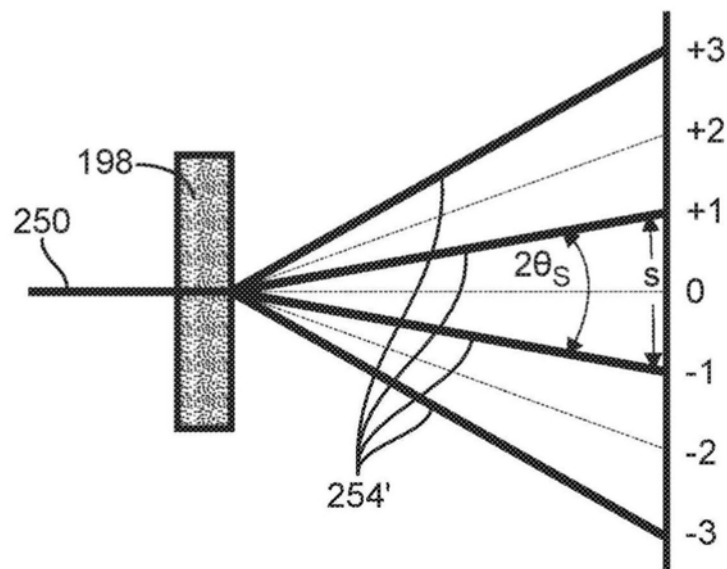


图67B

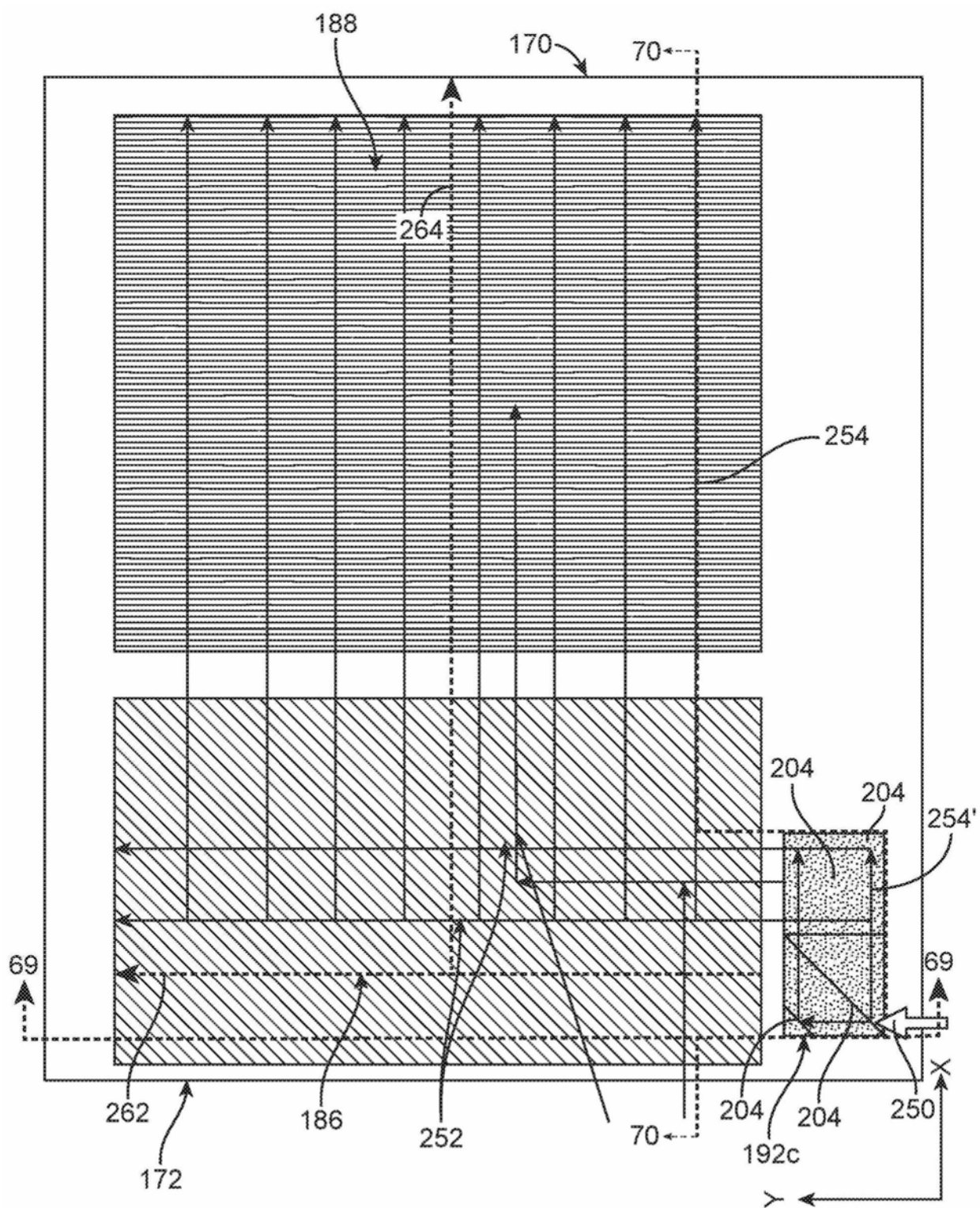


图68

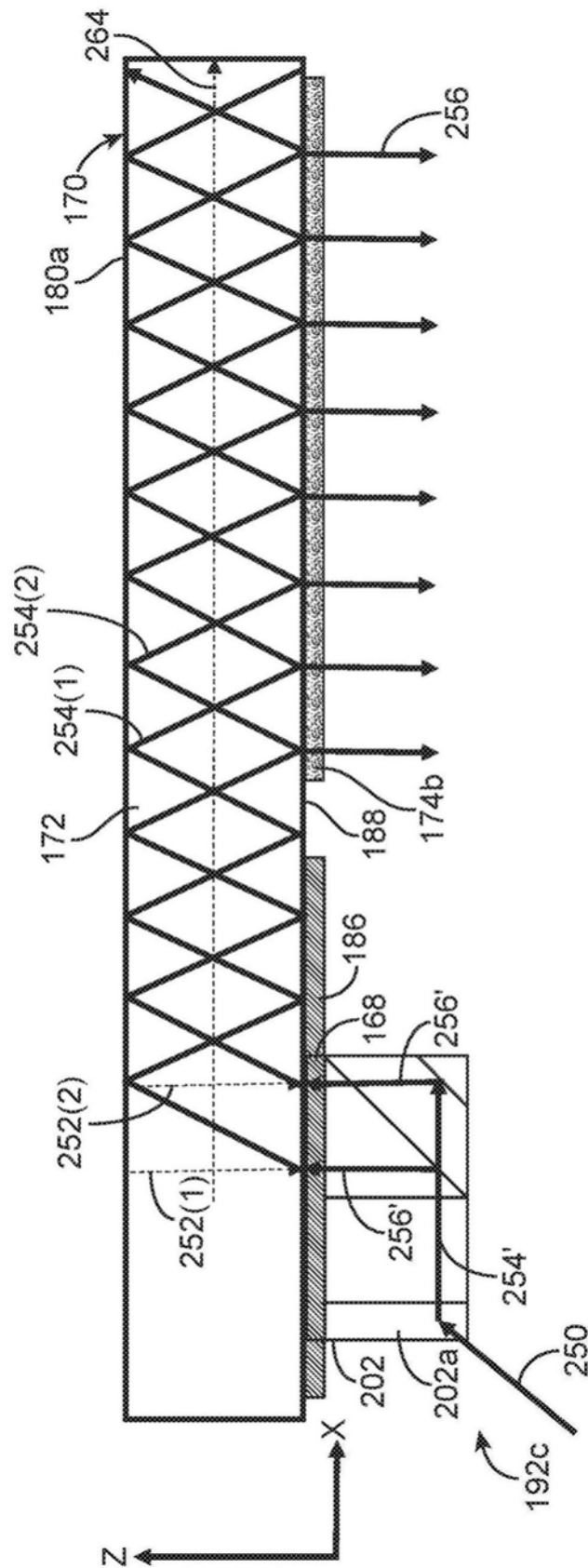


图70

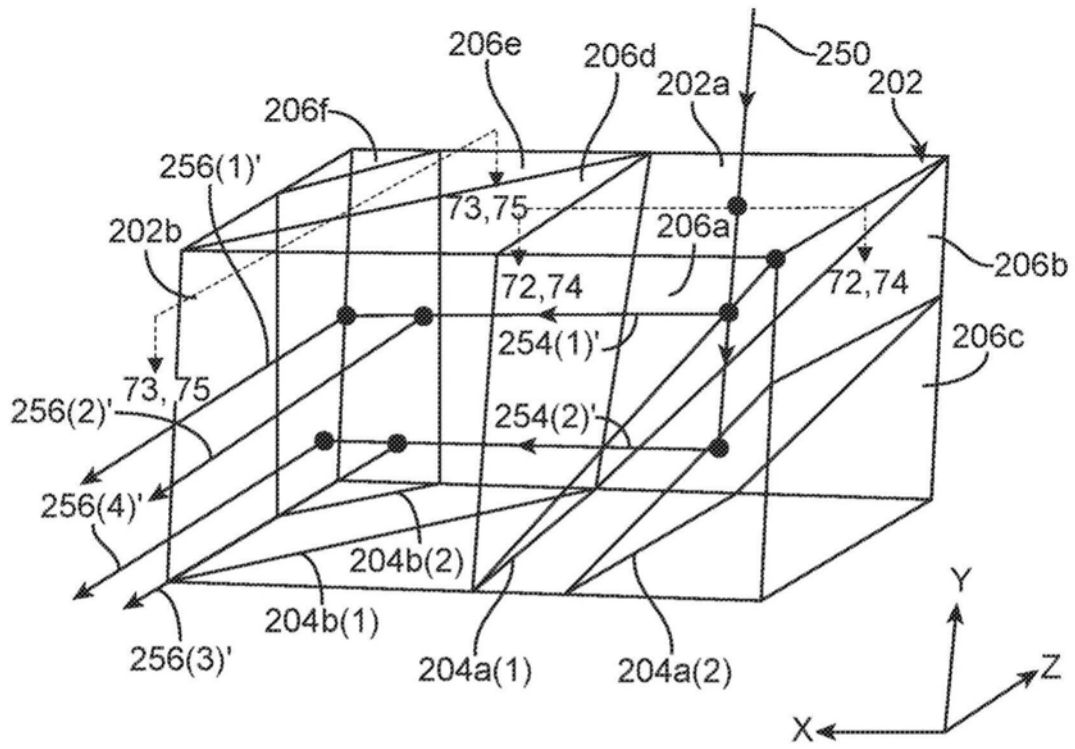


图71

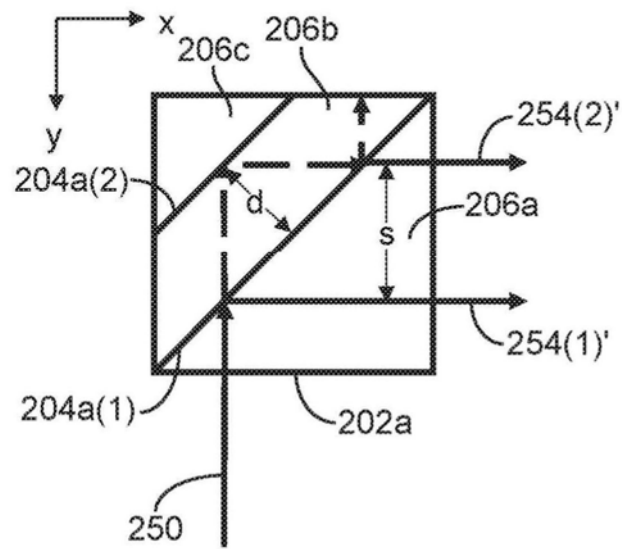


图72

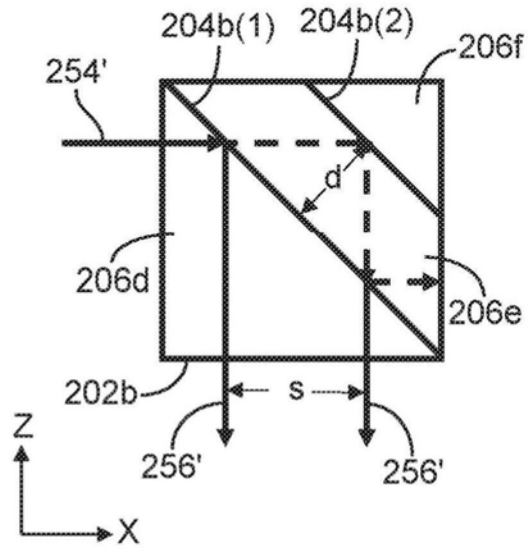


图73

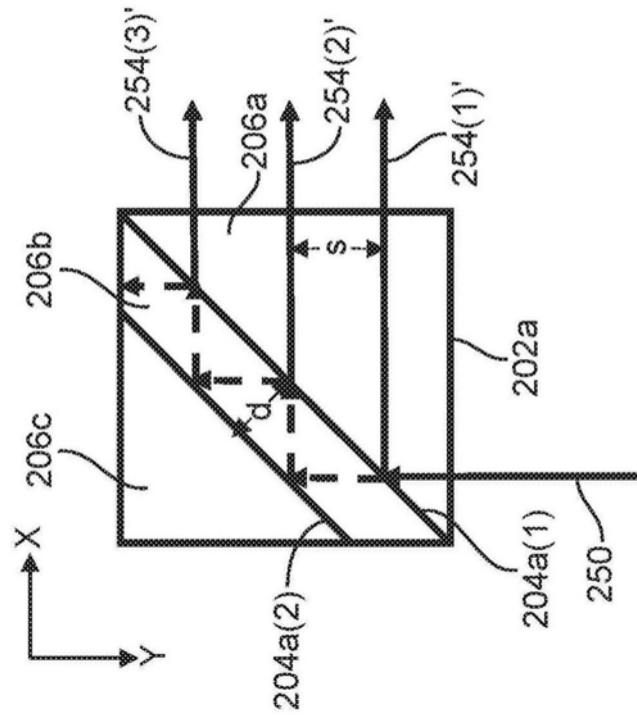


图74

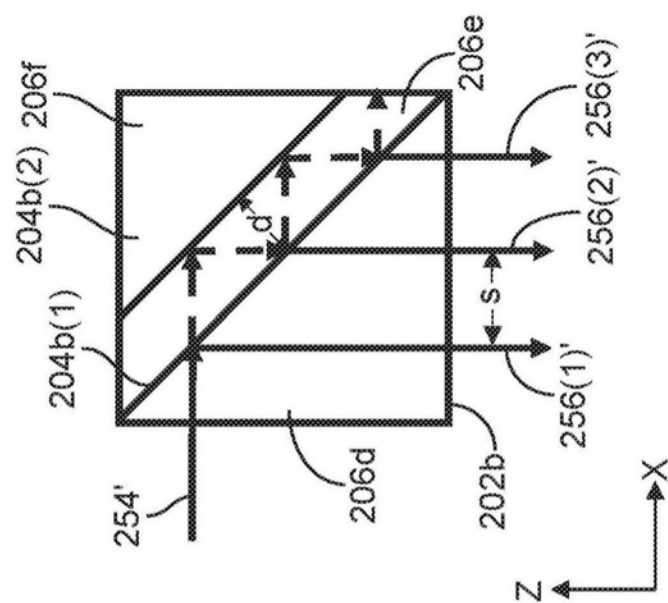


图75

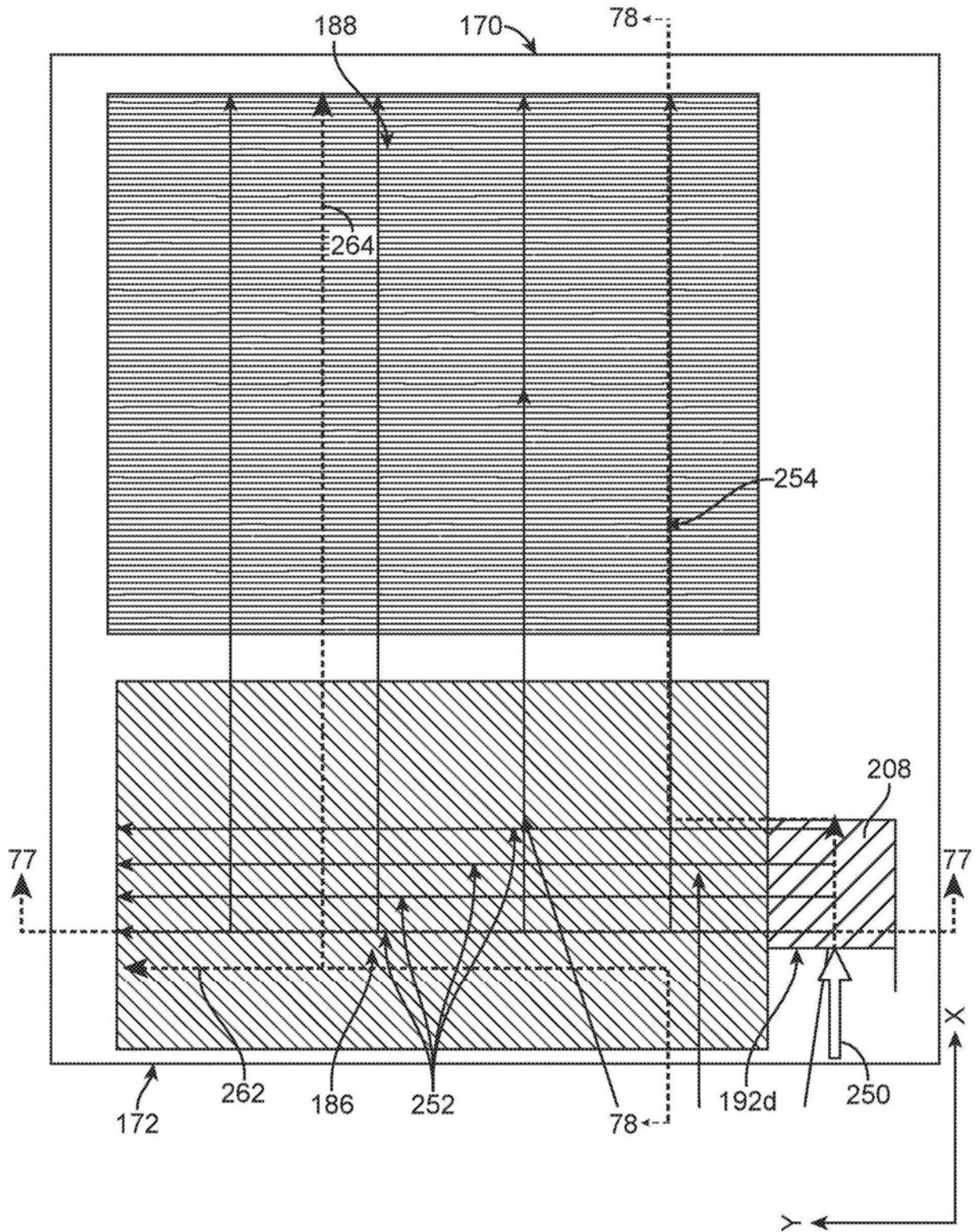


图76

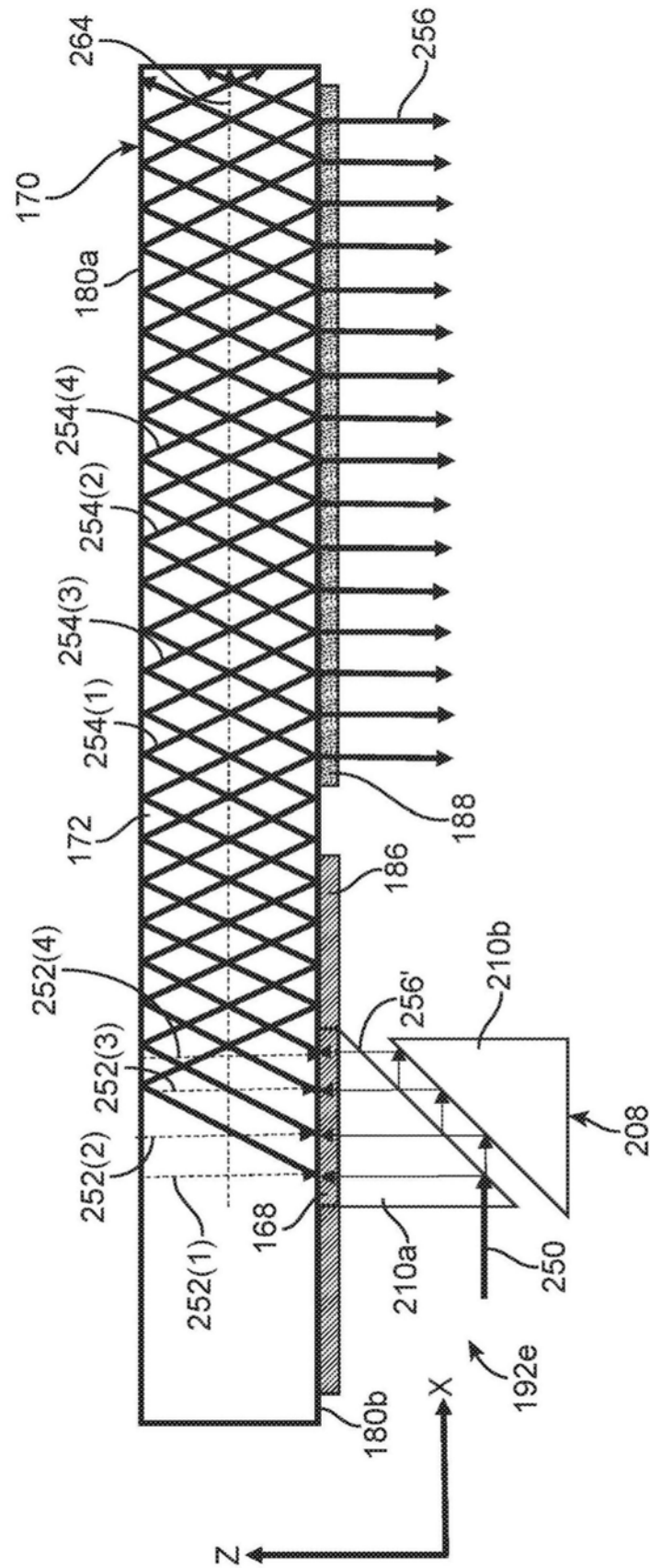


图78

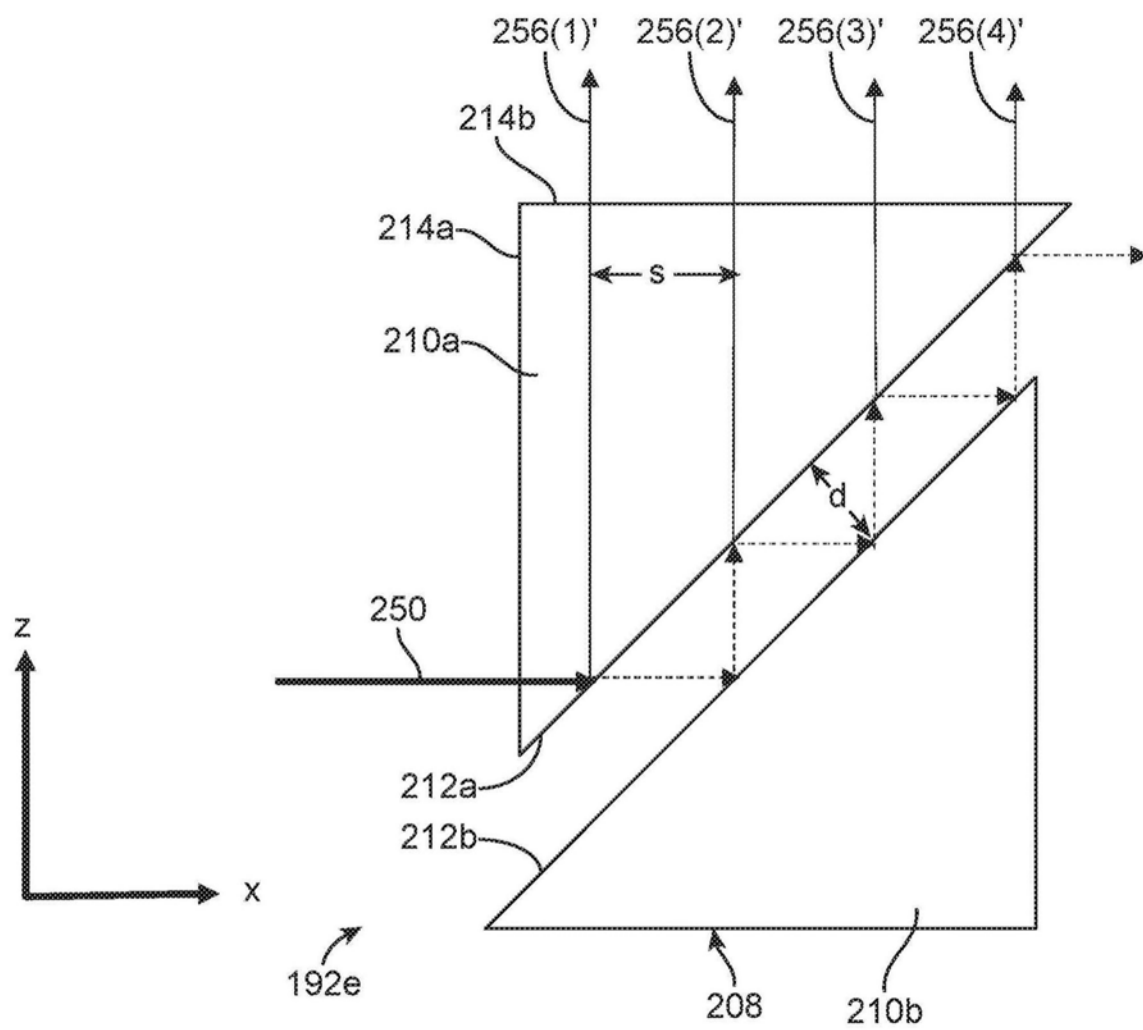


图79

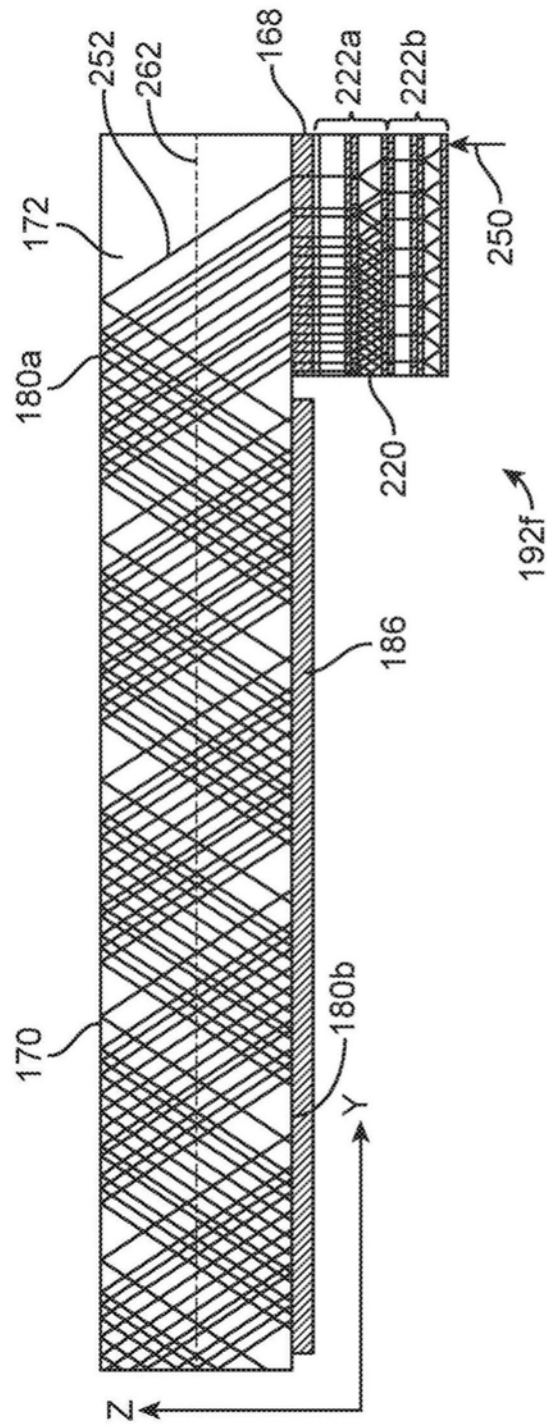


图81

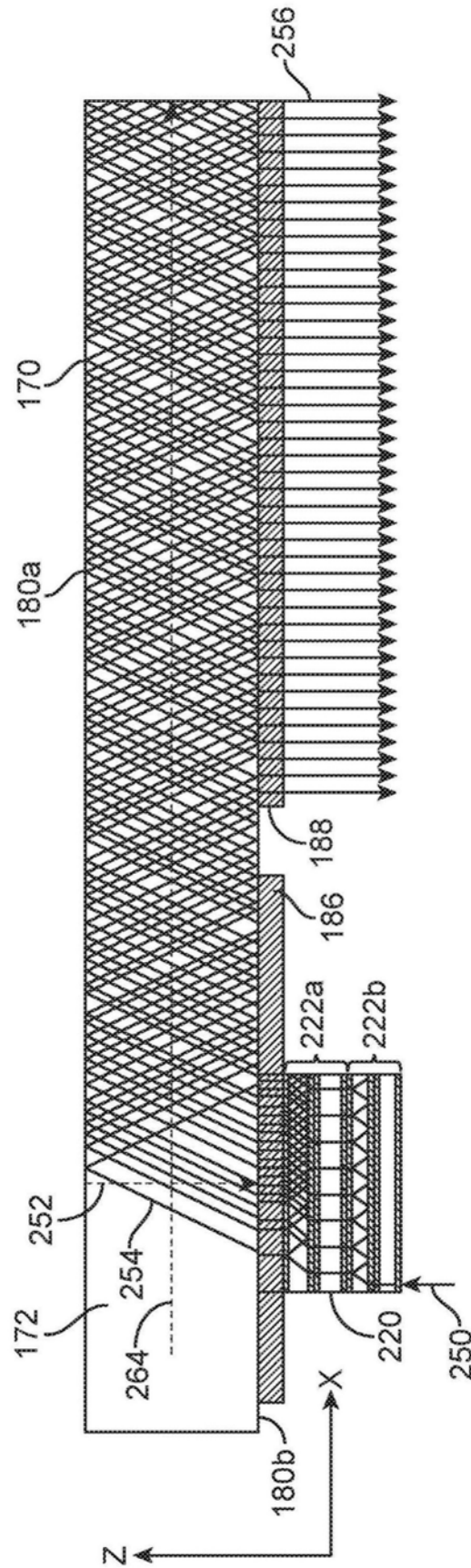


图82

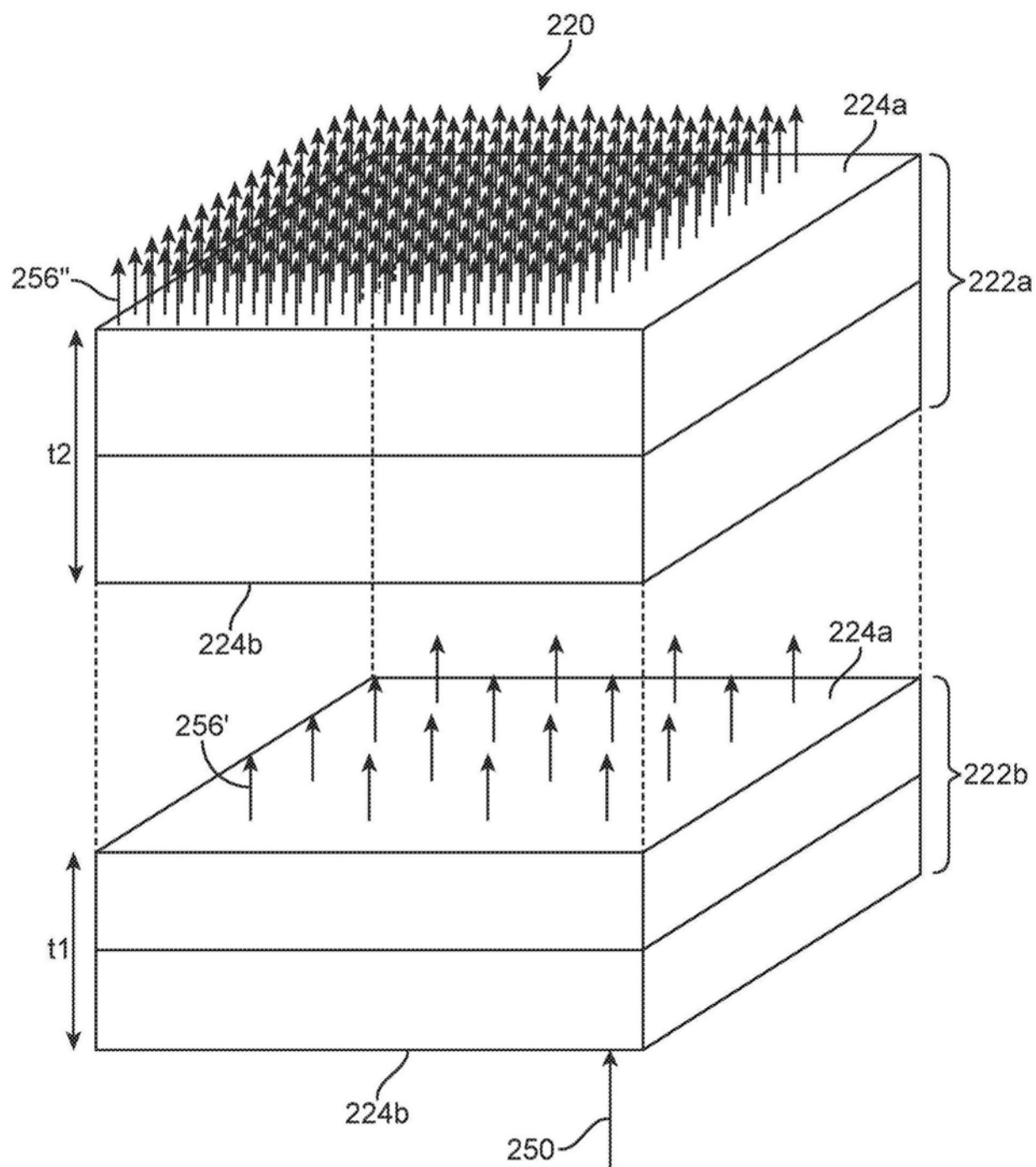


图83

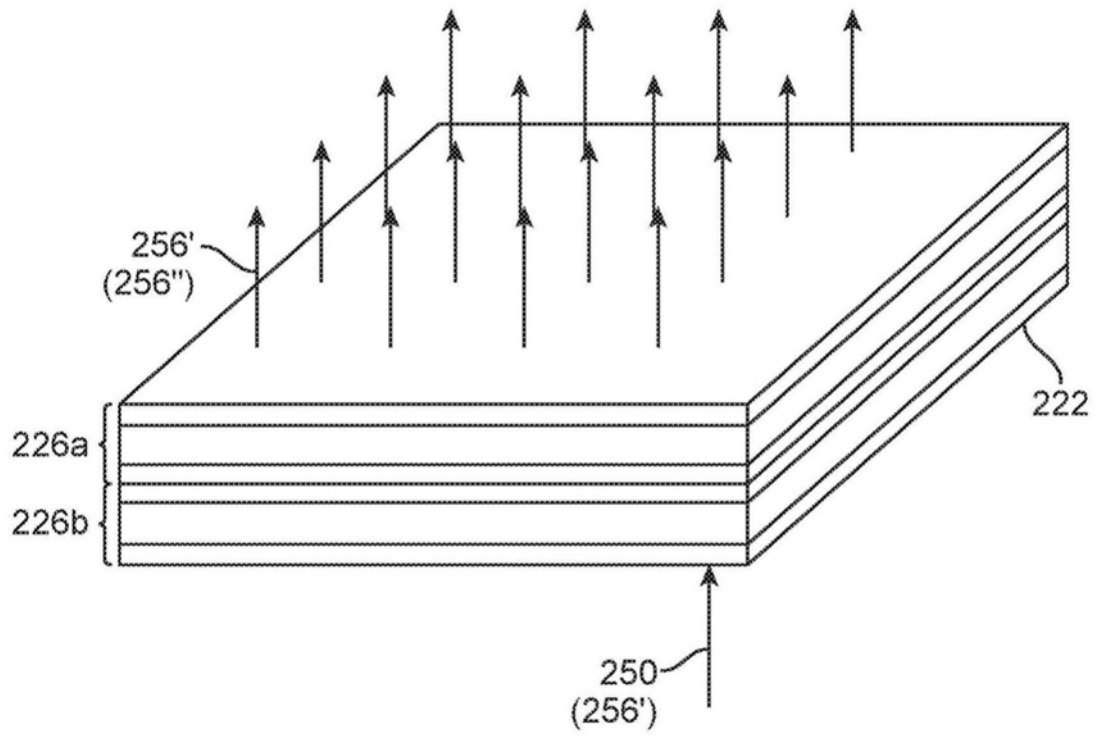


图84

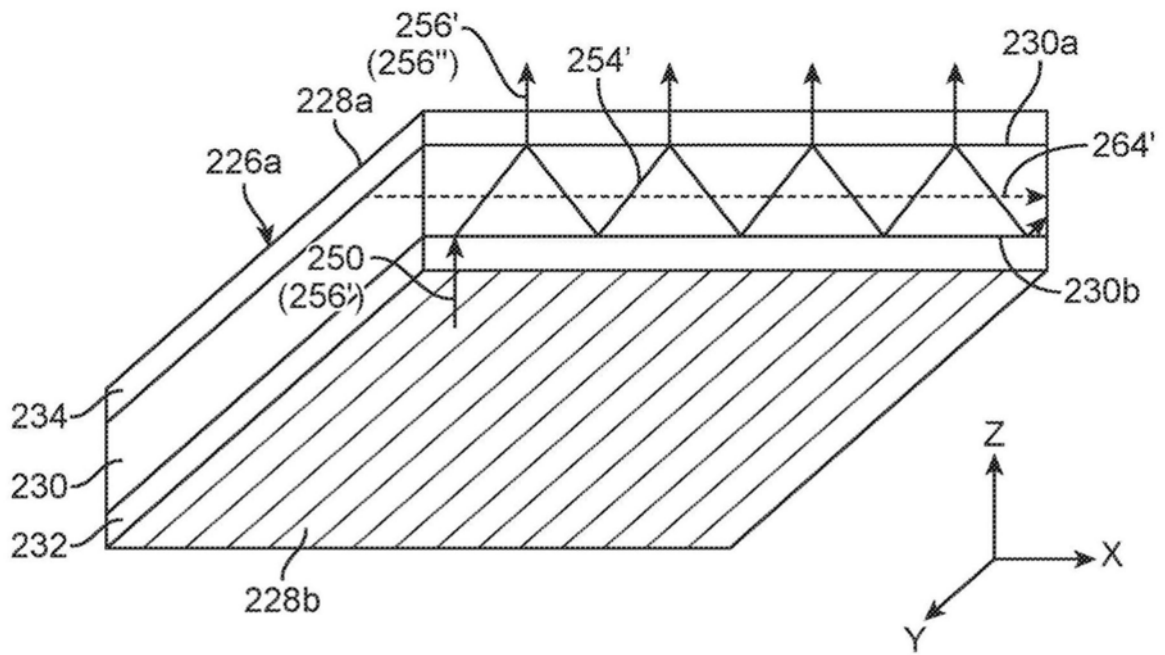


图85A

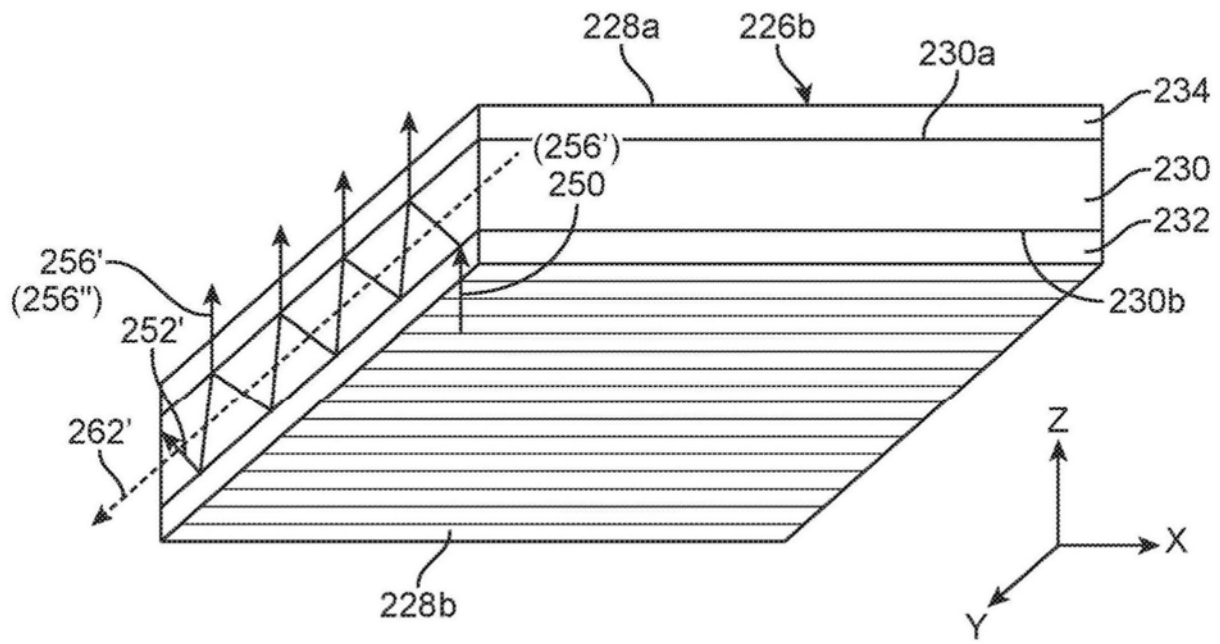


图85B

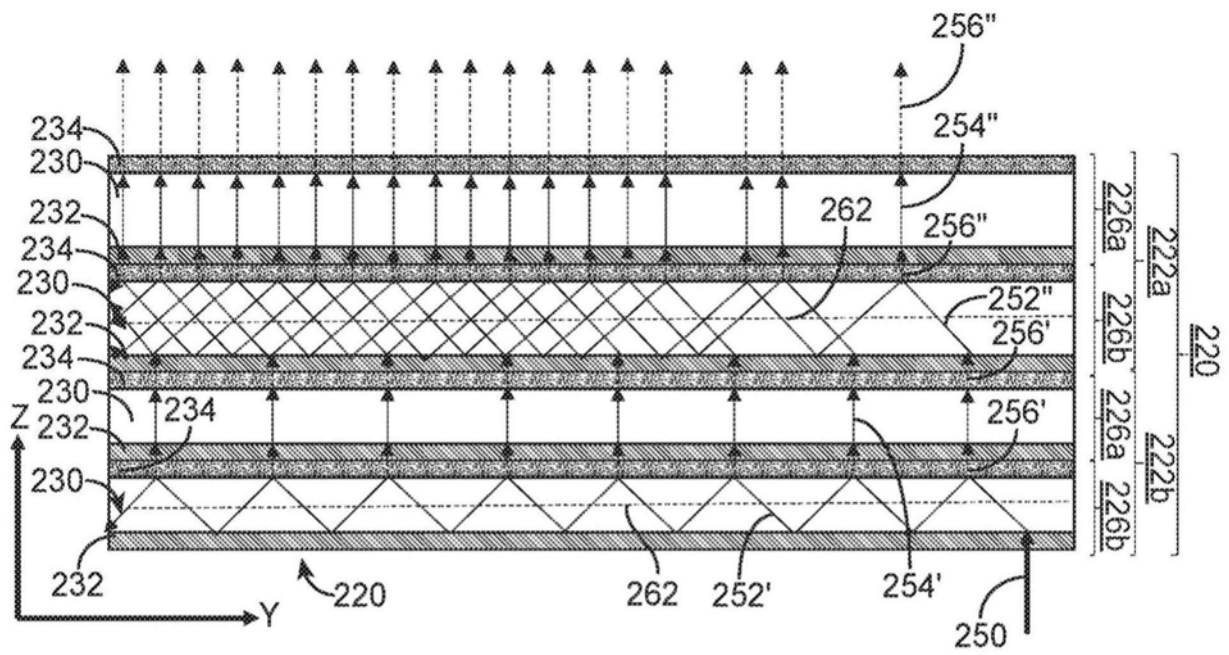


图86A

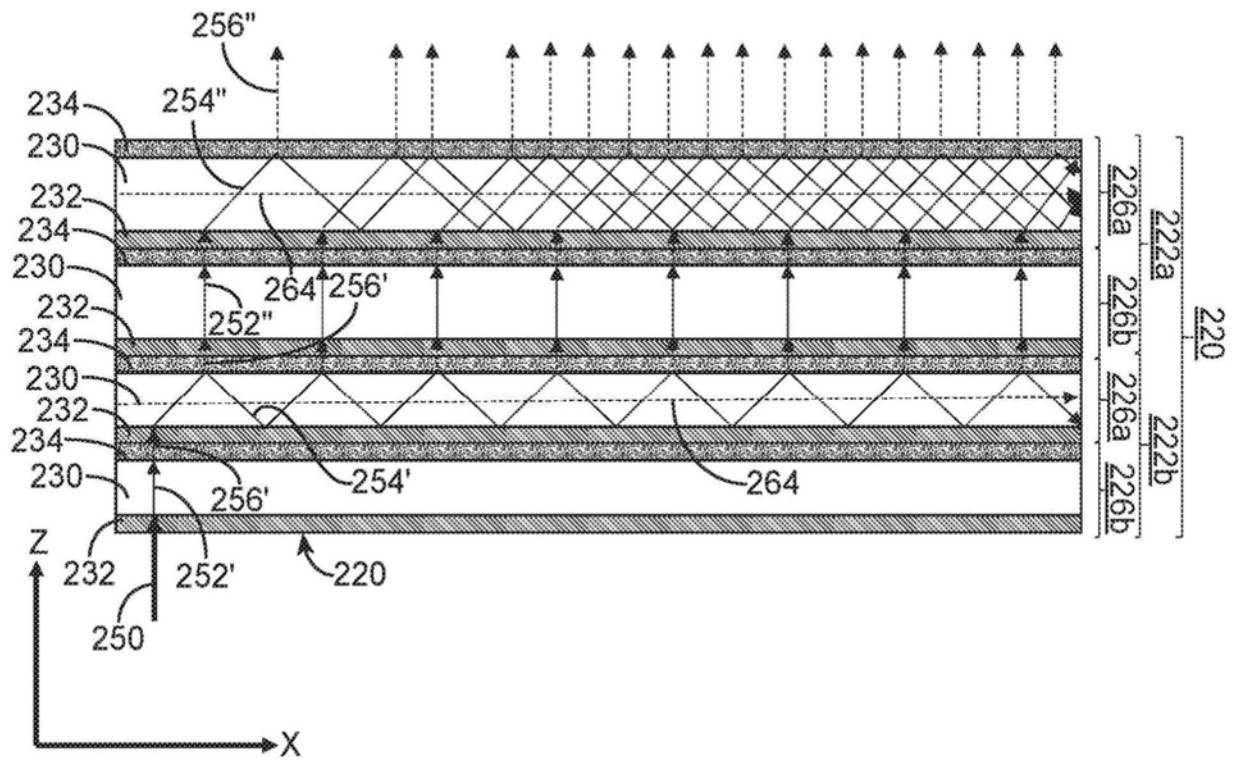


图86B

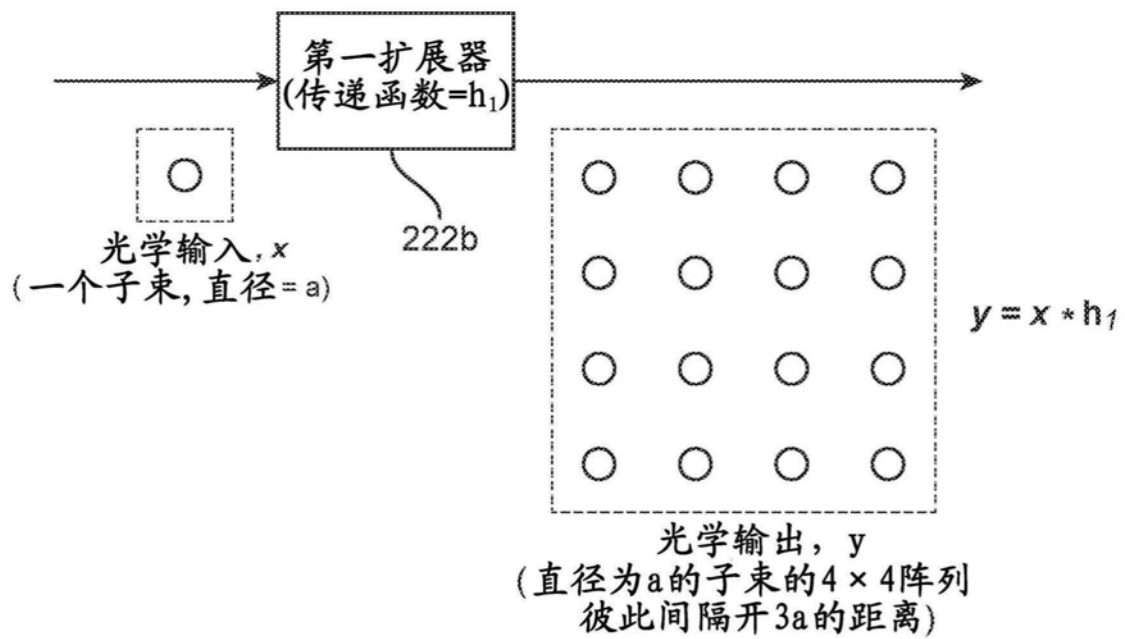


图87A

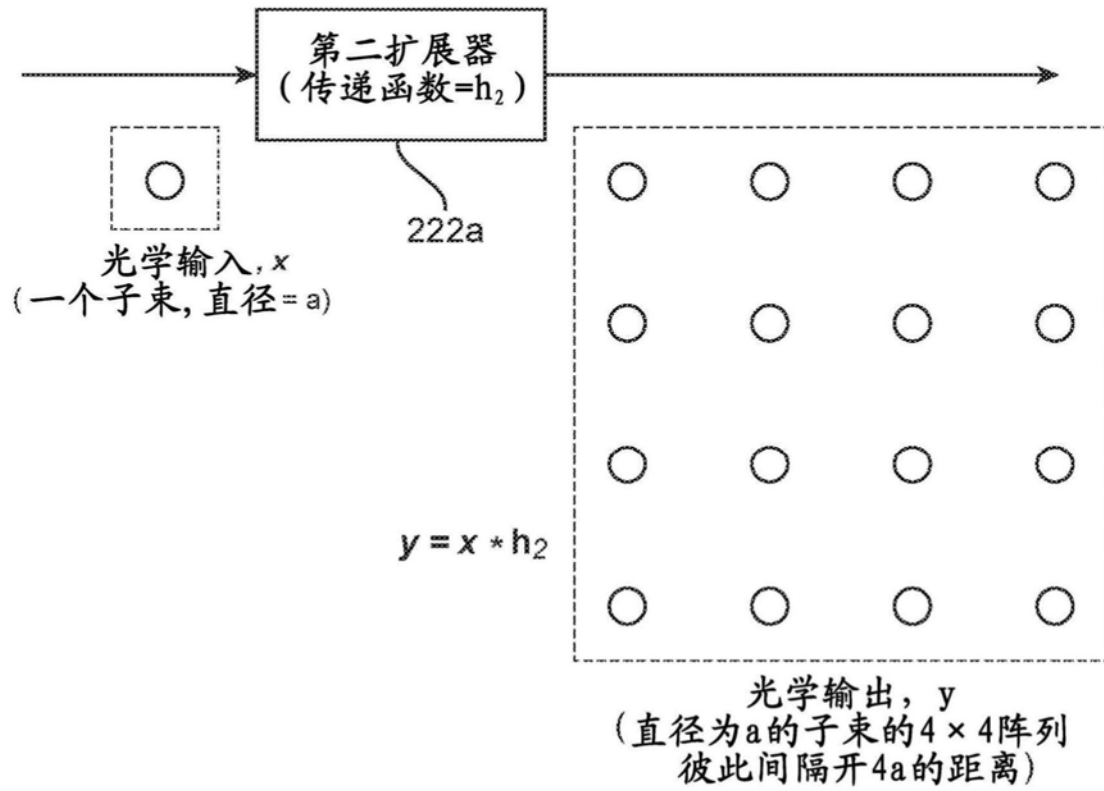


图87B

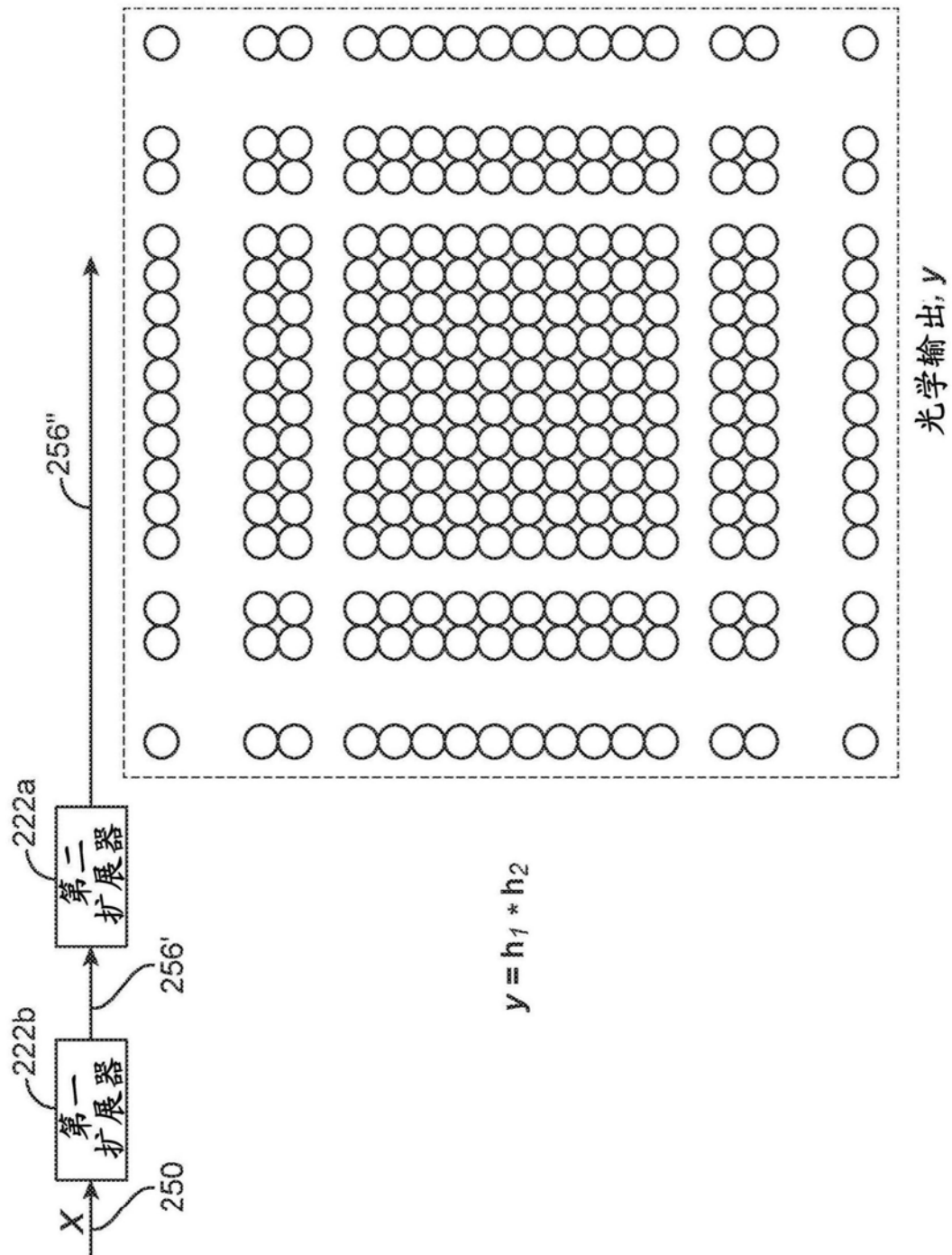


图87C

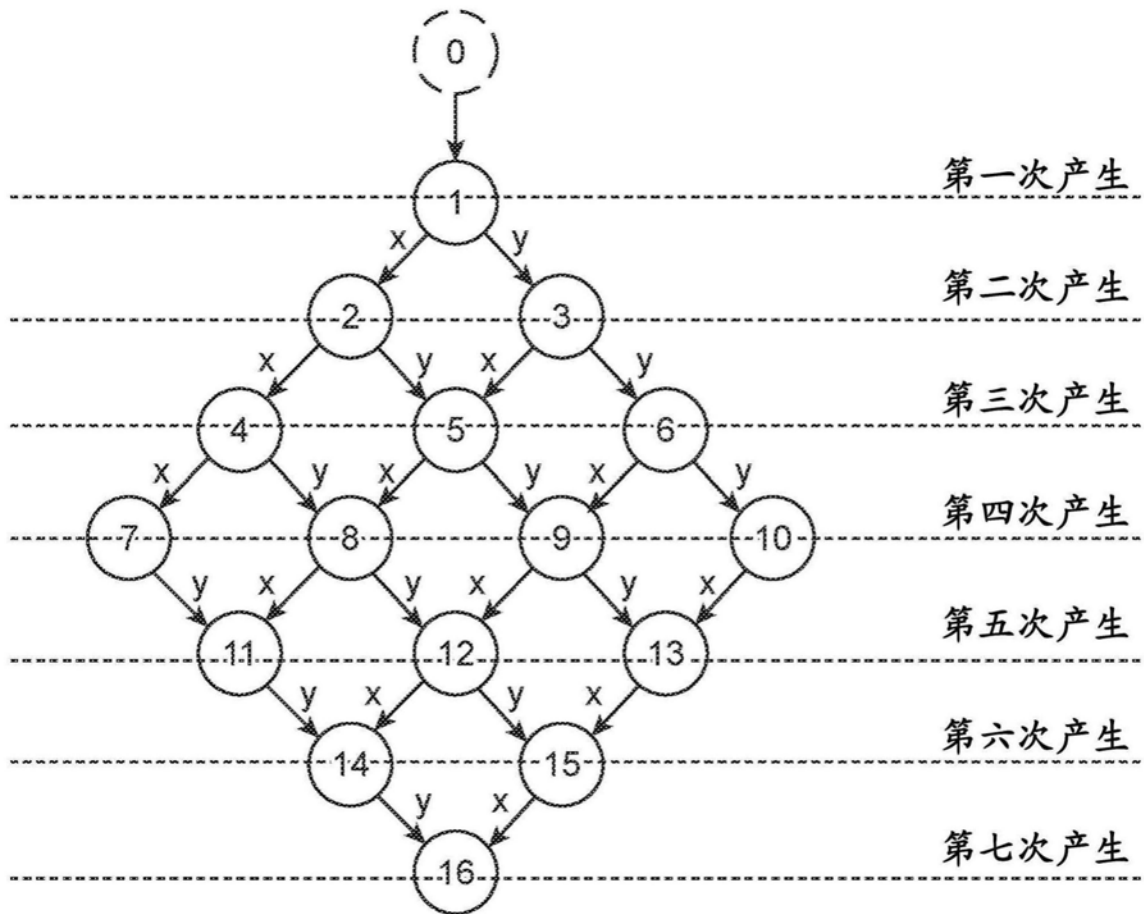


图88

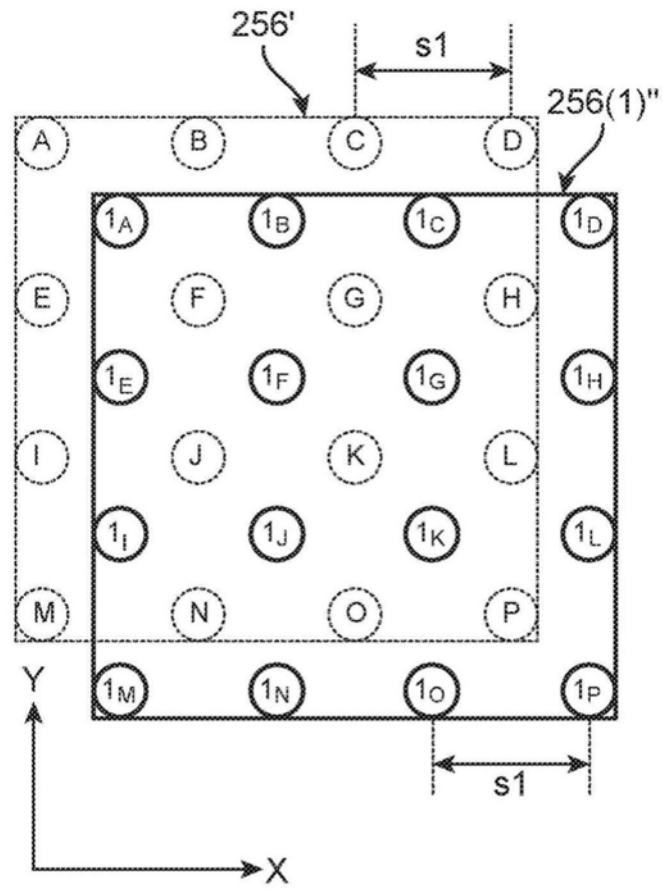


图89A

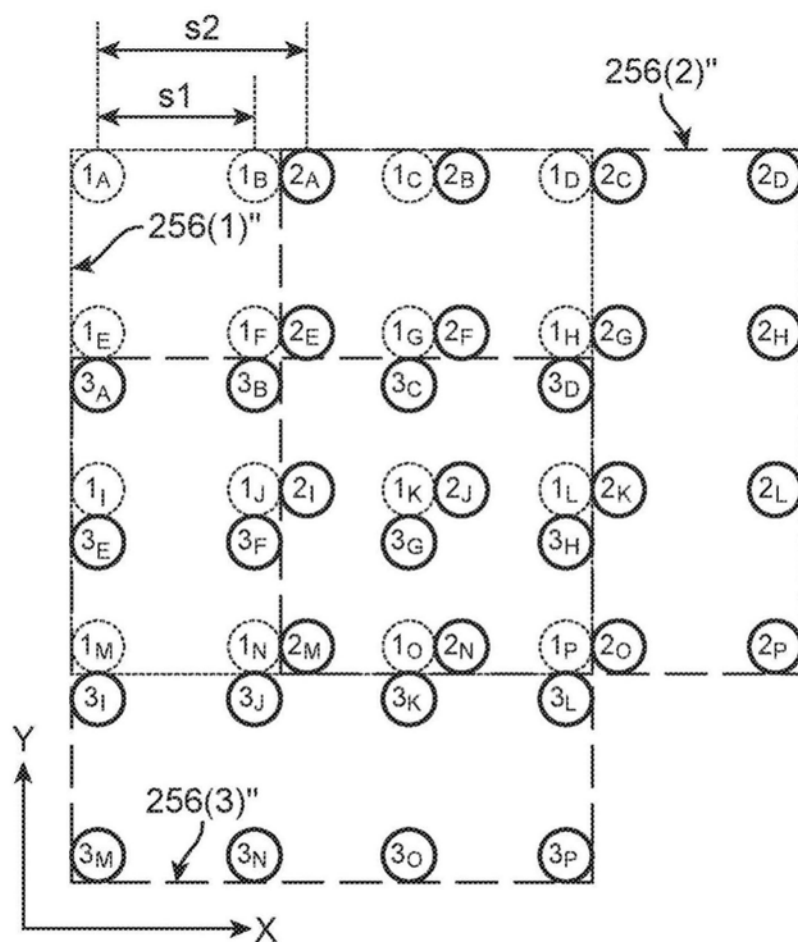


图89B

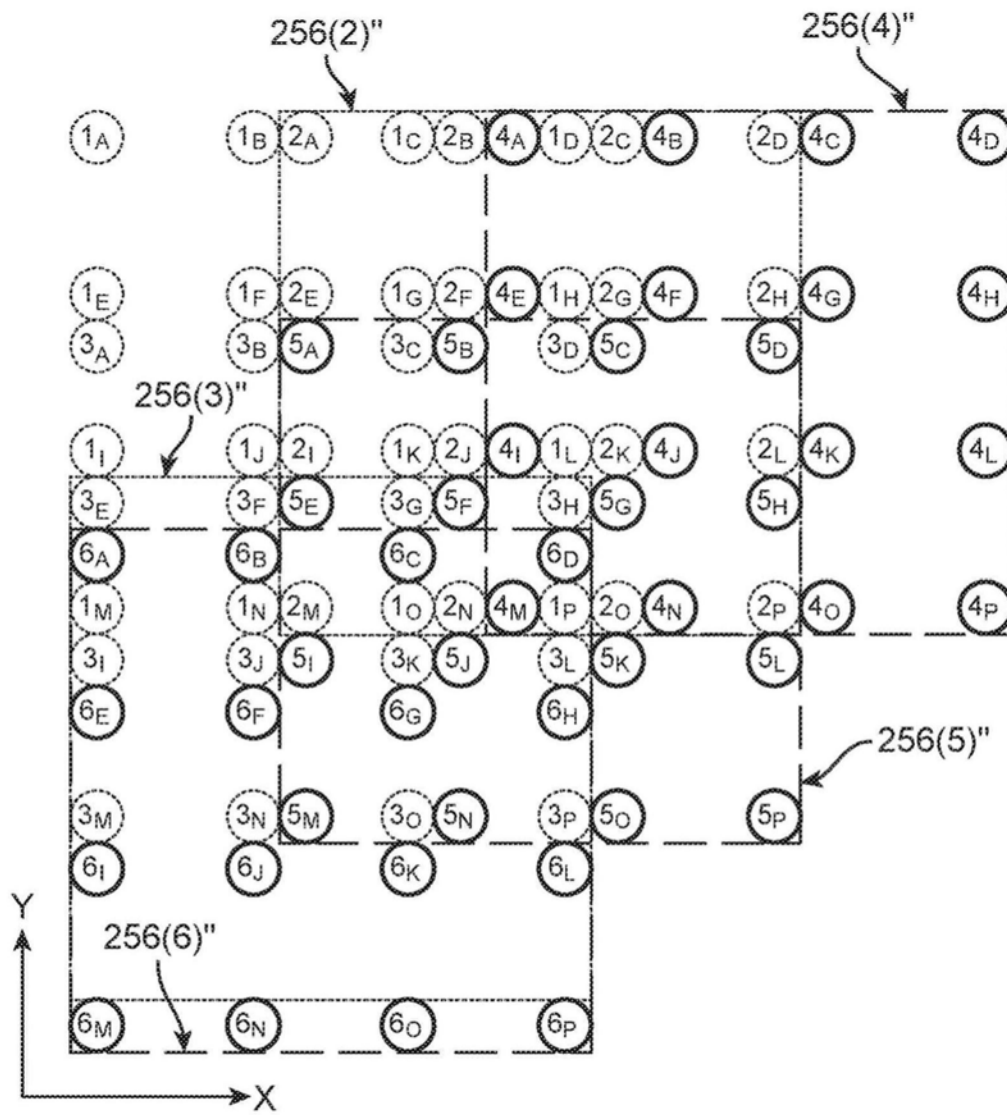


图89C

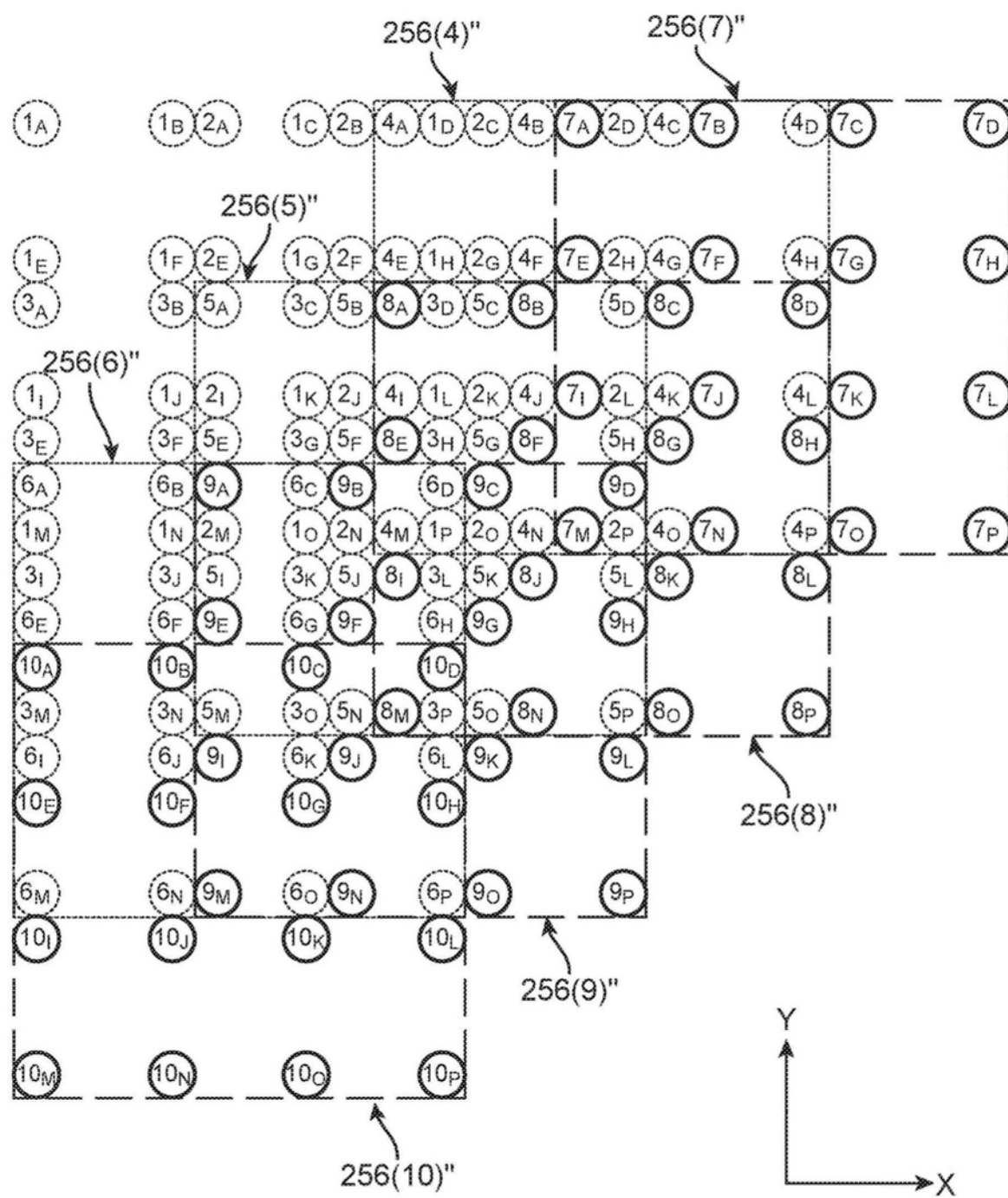


图89D

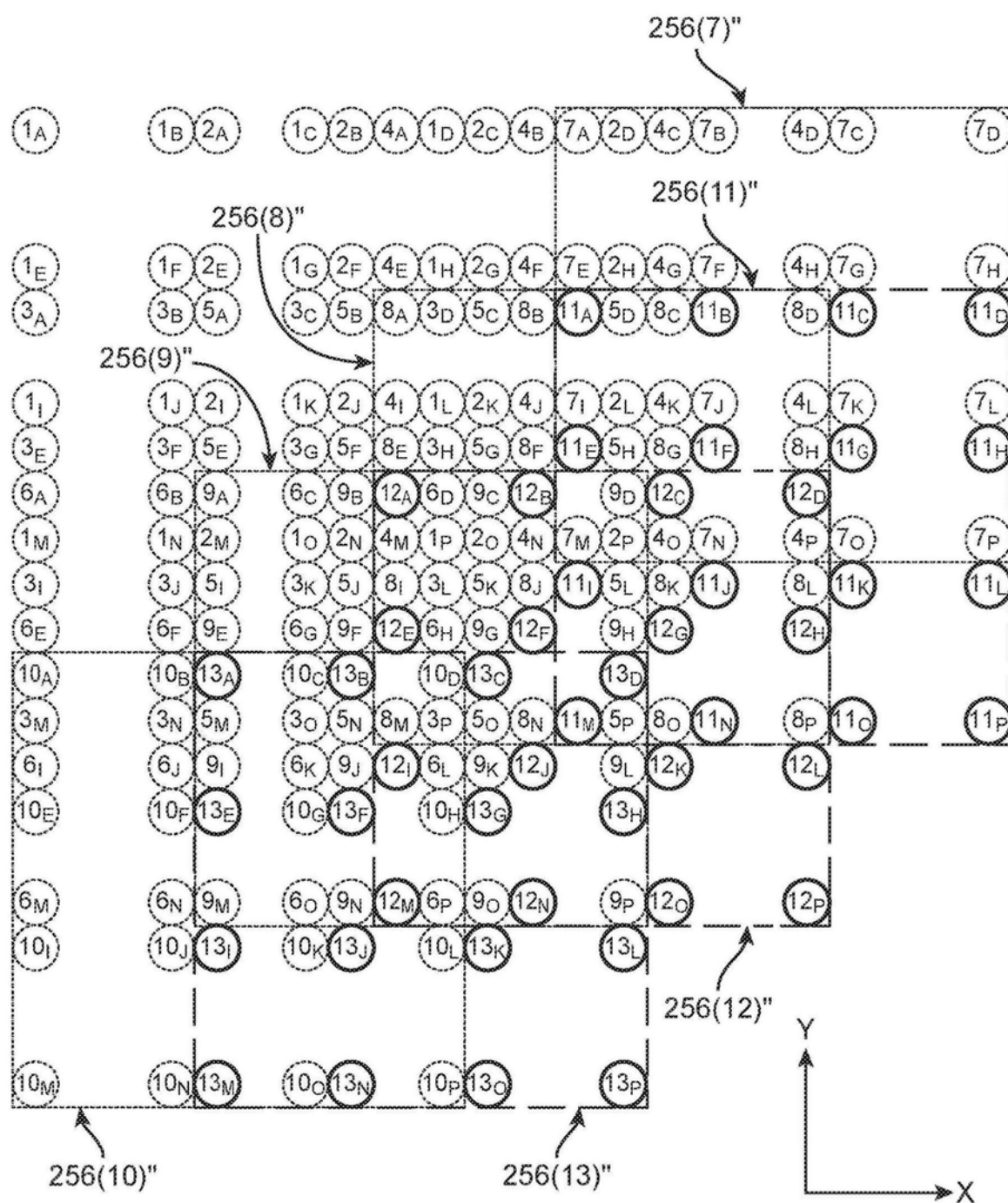


图89E

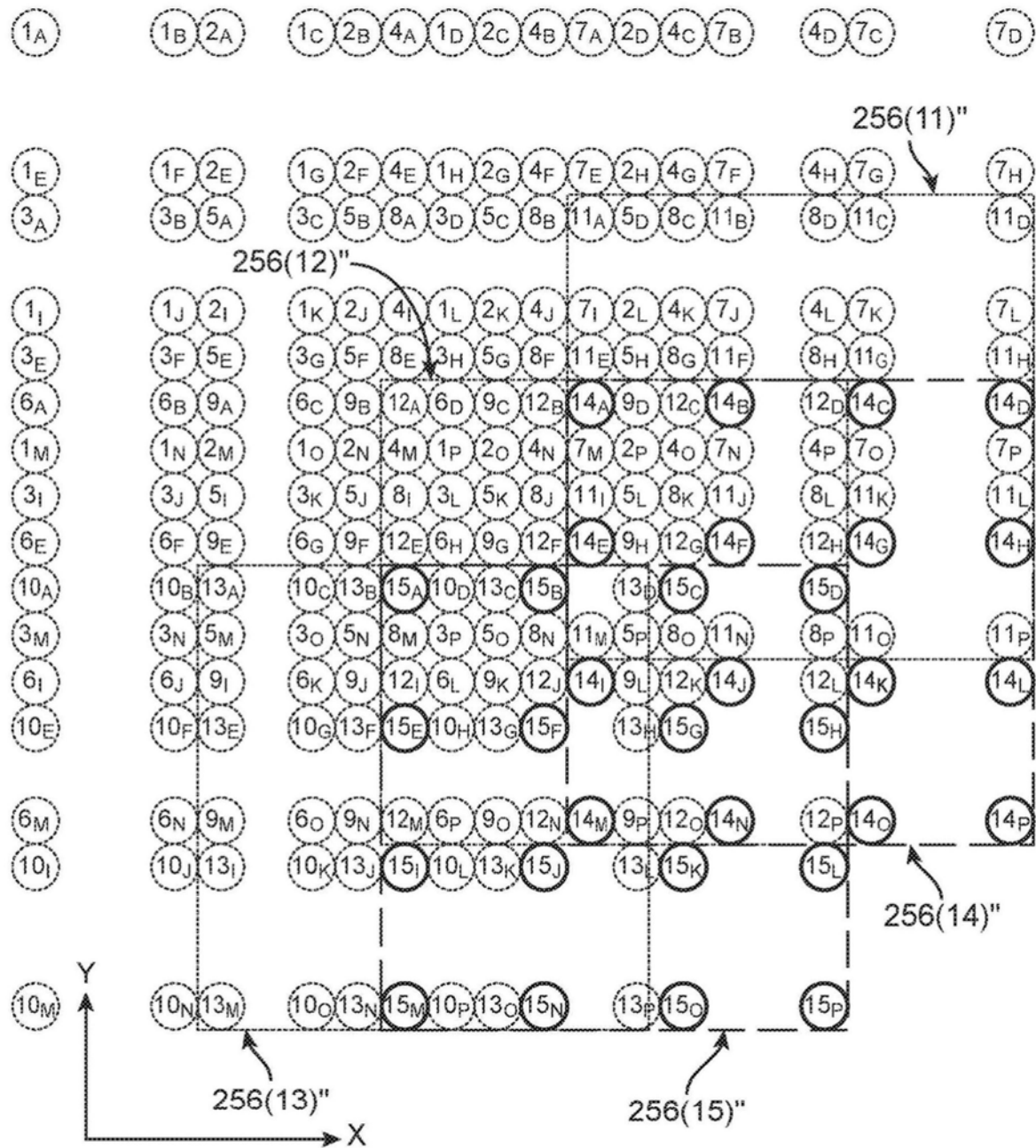


图89F

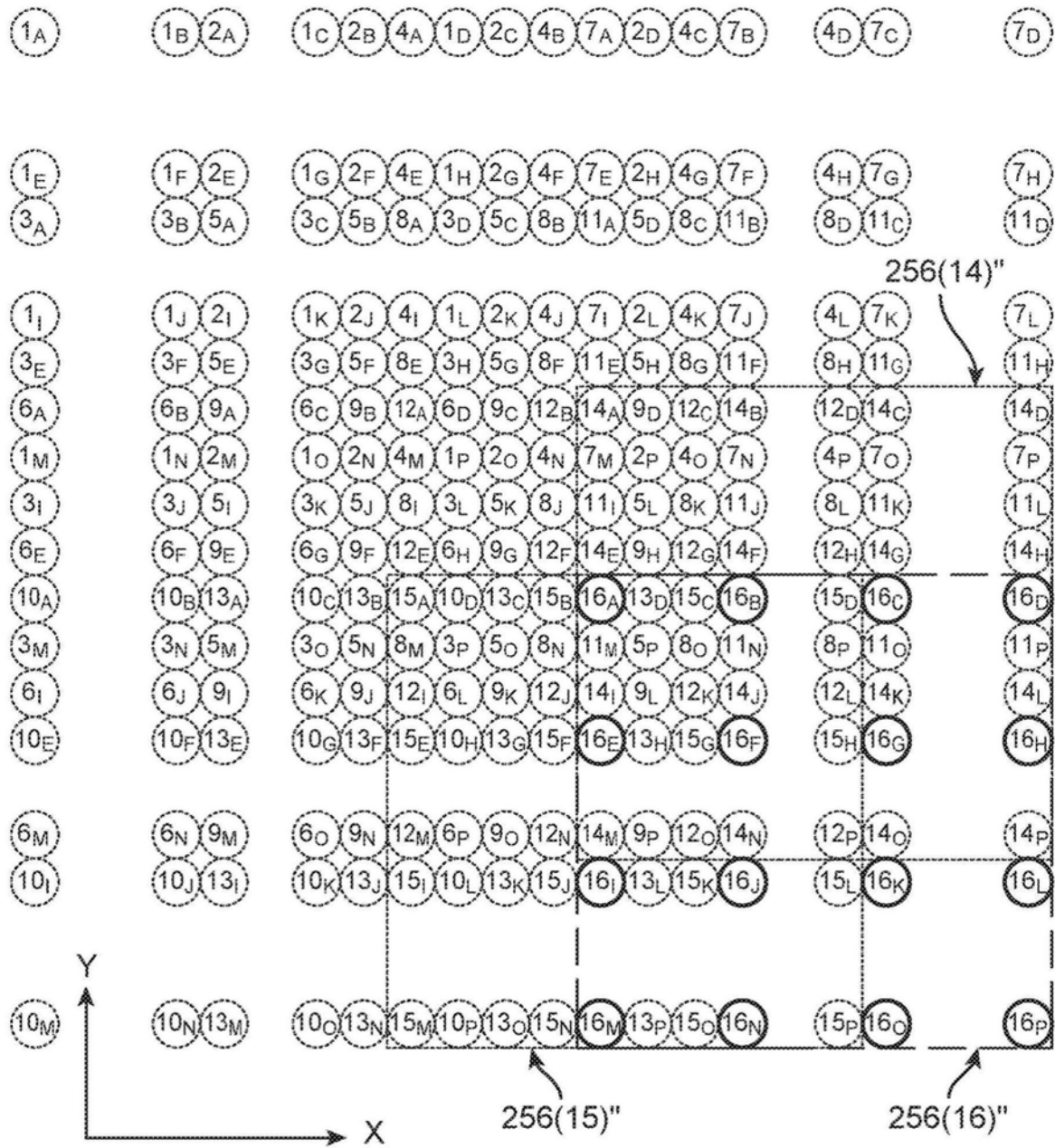


图89G

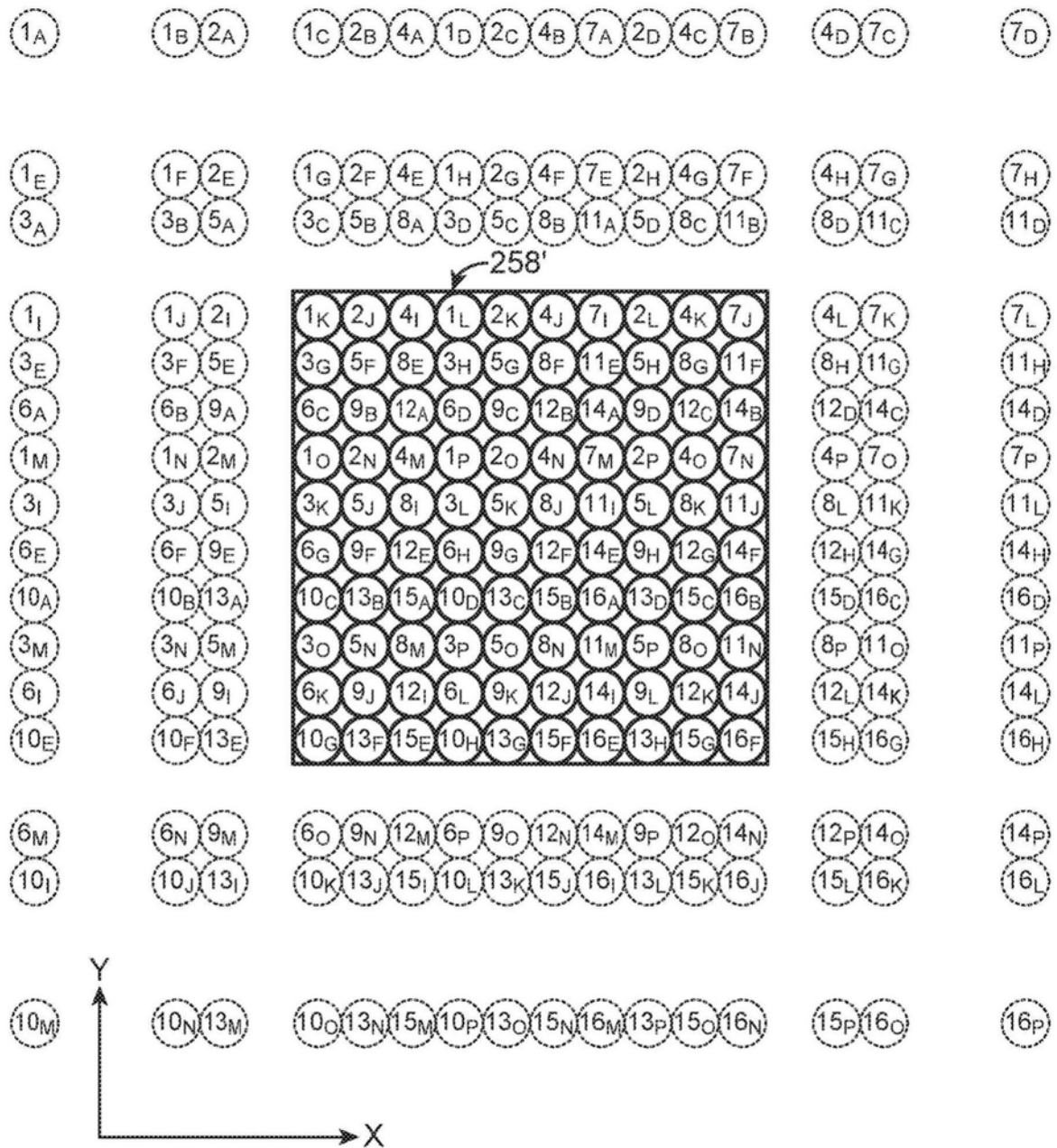


图89H

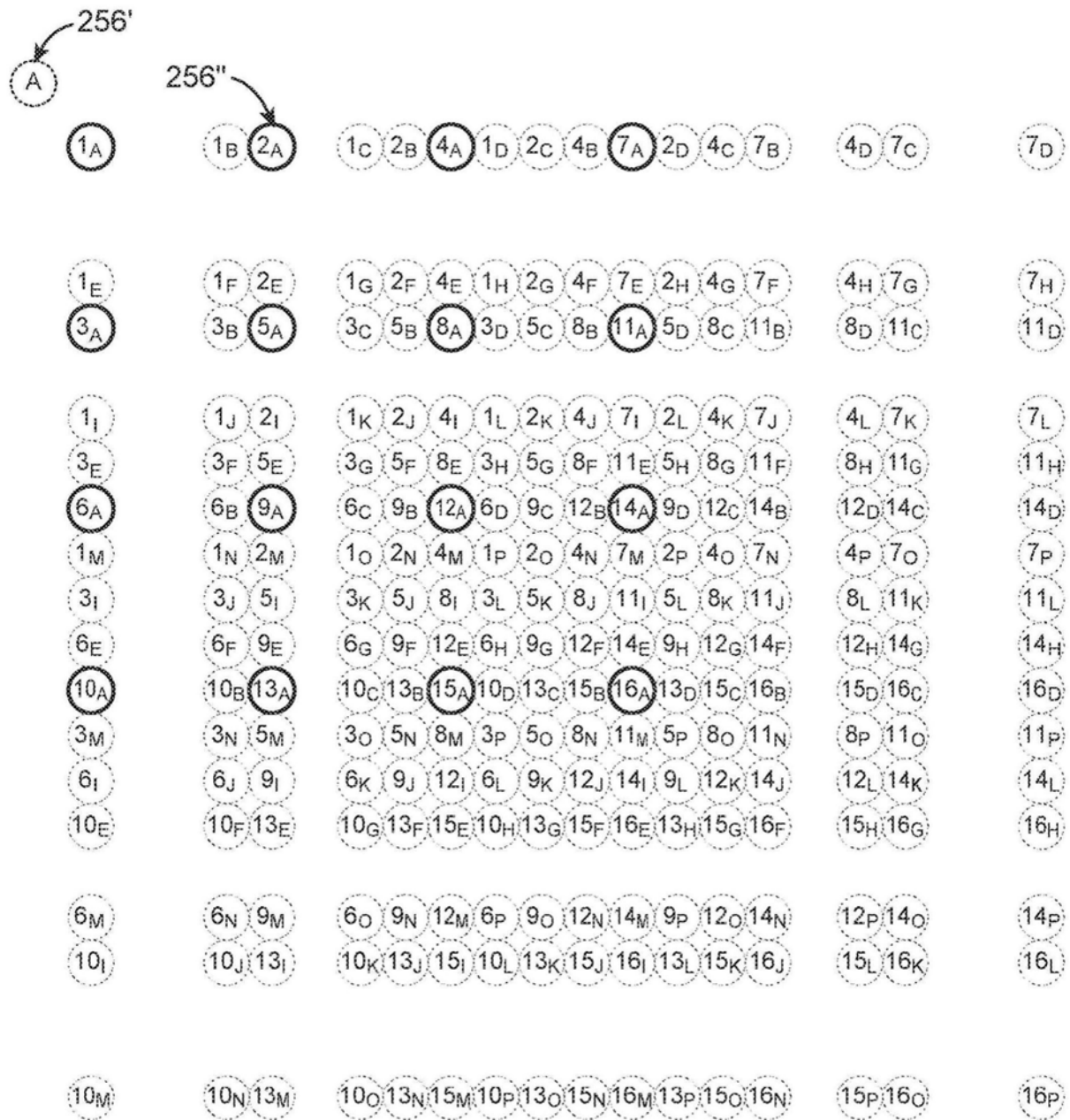


图90A

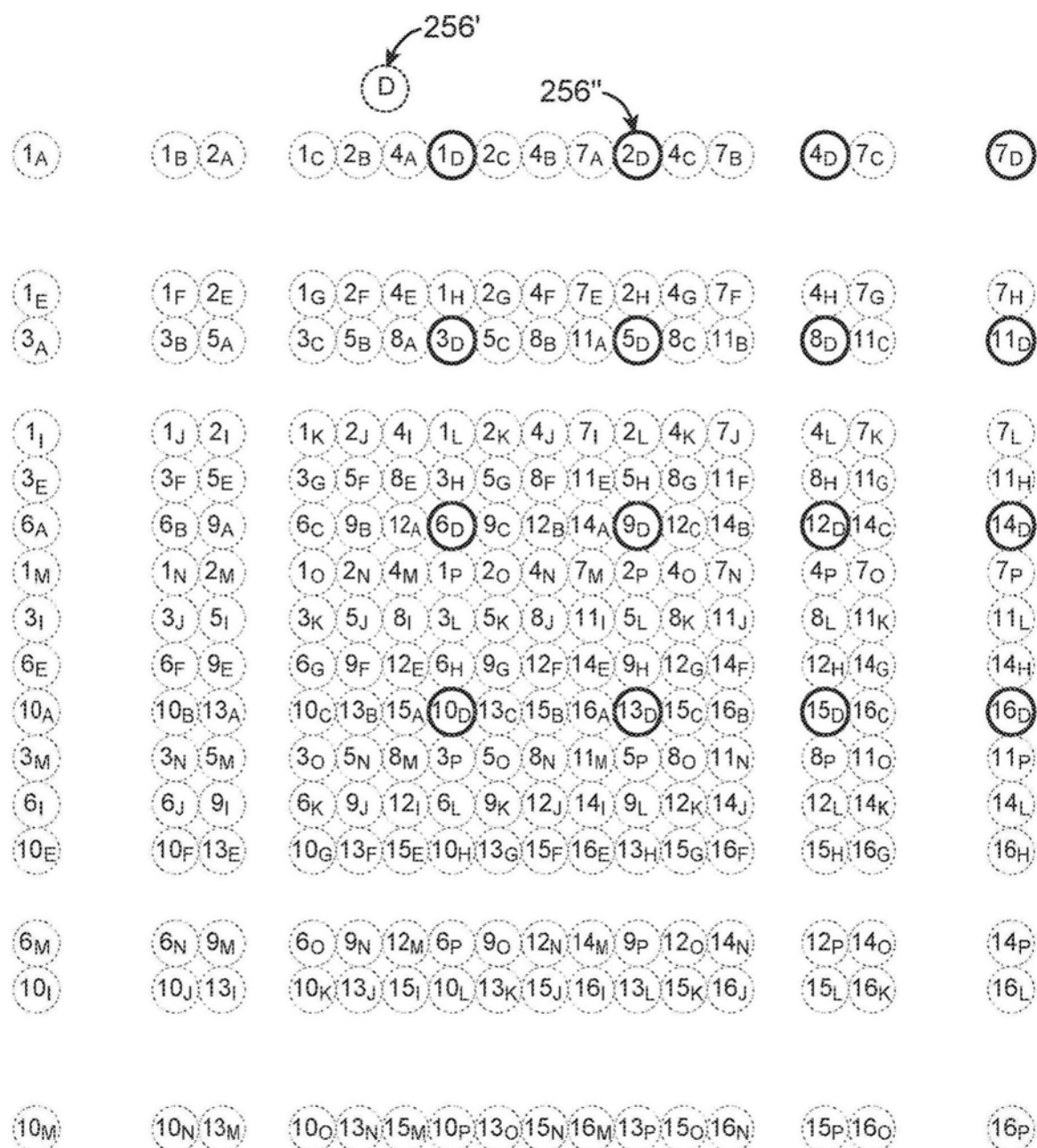


图90B

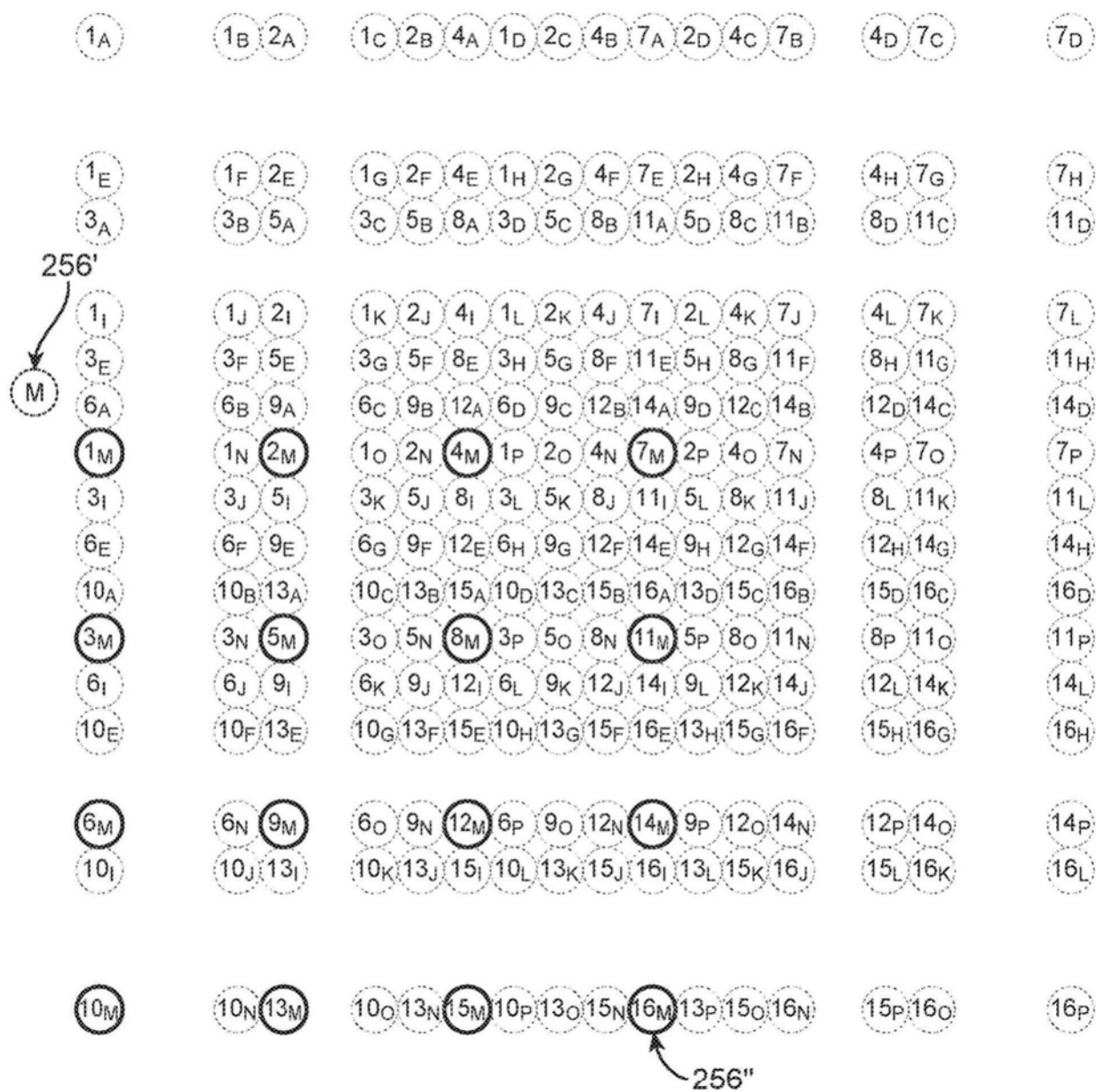


图90C

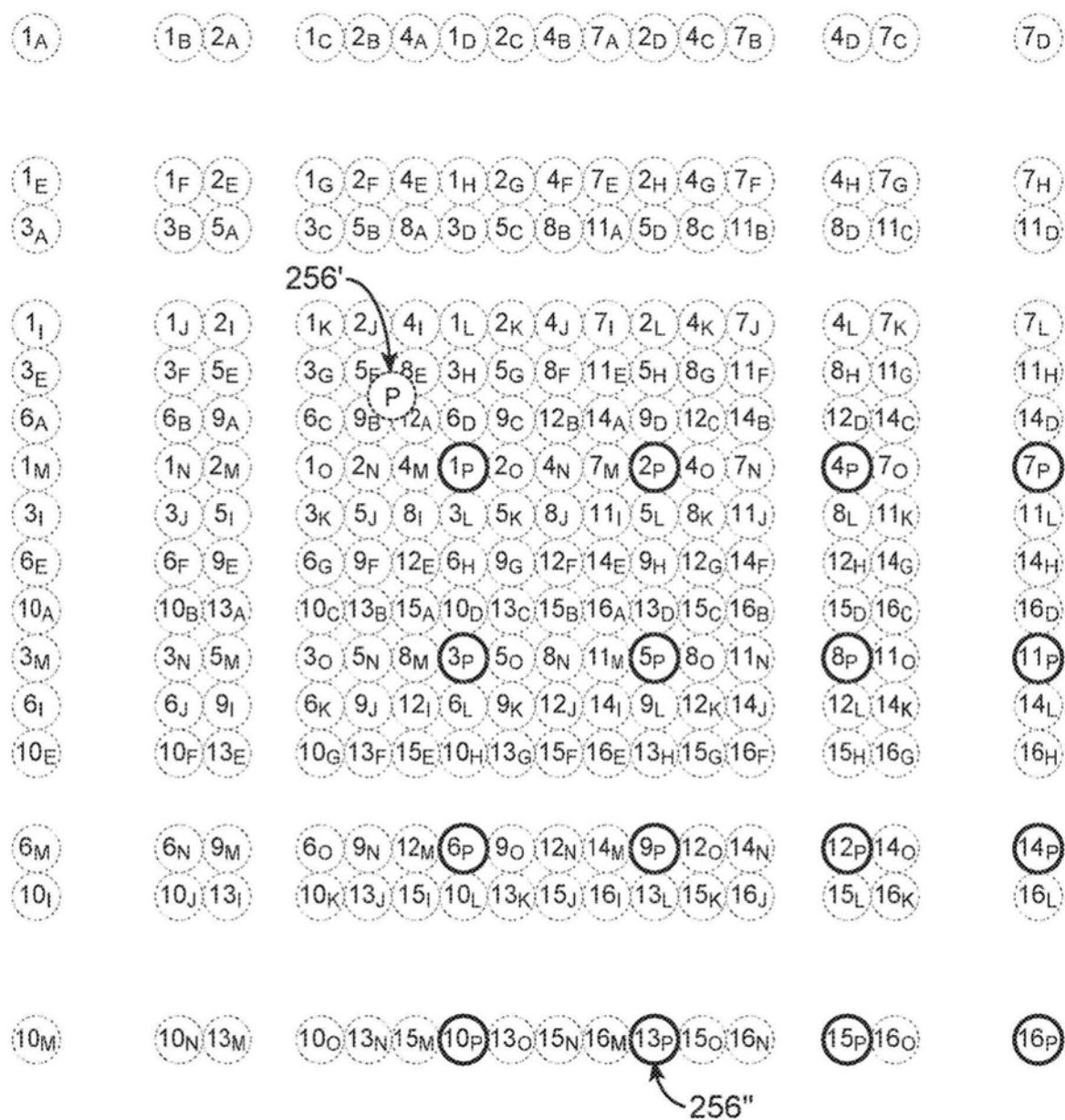


图90D