

[接上页]

(56) 对比文件

CN 1650197 A, 2005.08.03

CN 1748169 A, 2006.03.15

1.一种显示设备,包括:

波导,其被配置为在平行于所述波导的主表面的方向上在全内反射下传播可见光;

耦出元件,其形成在所述波导上并被配置为在垂直于所述波导的所述主表面的方向上耦出所述可见光的一部分;

偏振选择性陷波反射器,其设置在所述波导的第一侧以使得由所述波导耦出的所述可见光入射在所述偏振选择性陷波反射器上,并被配置为将具有第一偏振的可见光朝向偏振无关陷波反射器反射,同时透射具有第二偏振的可见光;以及

所述偏振无关陷波反射器,其设置在所述波导的第二侧并被配置为反射具有所述第一偏振的可见光和具有所述第二偏振的可见光,其中,所述偏振无关陷波反射器被配置为在反射具有所述第一偏振的可见光时将从其反射的可见光的所述第一偏振转换为第二偏振。

2.根据权利要求1所述的显示设备,其中,所述偏振选择性陷波反射器和所述偏振无关陷波反射器中的每一者被配置为反射具有在对应于红、绿和蓝光中的一者的波长范围内的波长的可见光,同时透射具有所述波长范围之外的波长的光。

3.根据权利要求1所述的显示设备,其中,所述偏振选择性陷波反射器包括一个或多个胆甾型液晶(CLC)层。

4.根据权利要求3所述的显示设备,其中,所述一个或多个胆甾型液晶(CLC)层中的每一者包括多个手性结构,

其中,所述手性结构中的每一者包括在层深度方向上延伸至少一螺距并且在第一旋转方向上连续旋转的多个液晶分子,

其中,所述螺距是所述层深度方向上的长度,其对应于所述手性结构的所述液晶分子在所述第一旋转方向上的一个完整旋转的净旋转角,以及

其中,所述手性结构的所述液晶分子的布置在与所述层深度方向垂直的横向方向上周期性变化。

5.根据权利要求3所述的显示设备,其中,所述第一偏振是第一圆偏振,并且所述第二偏振是第二圆偏振。

6.根据权利要求1所述的显示设备,还包括第一四分之一波片和第二四分之一波片,其中,所述偏振无关陷波反射器被插入在所述第一四分之一波片与所述波导之间,并且其中,所述偏振选择性陷波反射器被插入在所述波导与所述第二四分之一波片之间。

7.根据权利要求6所述的显示设备,还包括第一线性偏振透镜和第二线性偏振透镜,其中,所述第一四分之一波片被插入在所述第一线性偏振透镜与所述偏振无关陷波反射器之间,并且其中,所述第二四分之一波片被插入在所述偏振选择性陷波反射器与所述第二线性偏振透镜之间。

8.根据权利要求1所述的显示设备,还包括分别设置在所述偏振无关陷波反射器和所述偏振选择性陷波反射器的背离所述波导的一侧的第一Pancharatnam-Berry(PB)透镜和第二Pancharatnam-Berry(PB)透镜。

9.根据权利要求1所述的显示设备,还包括被插入在所述偏振无关陷波反射器与所述波导之间的第一四分之一波片。

10.根据权利要求9所述的显示设备,还包括第二四分之一波片,其中,所述偏振无关陷波反射器被插入在所述第一四分之一波片与所述第二四分之一波片之间。

11. 根据权利要求10所述的显示设备,还包括第一线性偏振透镜和第二线性偏振透镜,其中,所述第一四分之一波片被插入在所述第一线性偏振透镜与所述偏振无关陷波反射器之间,并且其中,所述偏振选择性陷波反射器被插入在所述波导与所述第二线性偏振透镜之间。

12. 根据权利要求9所述的显示设备,还包括分别设置在所述偏振无关陷波反射器和所述偏振选择性陷波反射器的背离所述波导的一侧的第一Pancharatnam-Berry (PB) 透镜、第二Pancharatnam-Berry (PB) 透镜,以及被插入在所述第二Pancharatnam-Berry (PB) 透镜与所述偏振选择性陷波反射器之间的第二四分之一波片。

13. 一种被配置为向用户的眼睛显示图像的显示设备,所述显示设备包括:

光学显示器,其包括前侧和后侧,所述后侧比所述前侧更接近于所述用户的所述眼睛,所述光学显示器被配置为朝向所述后侧输出具波长范围的光;

第一陷波反射器,其设置在所述光学显示器的所述后侧,所述第一陷波反射器被配置为反射从所述光学显示器输出的具有所述波长范围的光;以及

第二陷波反射器,其设置在所述光学显示器的所述前侧,所述第二陷波反射器被配置为反射具有所述波长范围的光,

其中,所述第一陷波反射器被配置为基本上透射具有第一偏振的光并且基本上反射具有与所述第一偏振不同的第二偏振的光,

其中,所述第二陷波反射器被配置为将入射在面向所述后侧的表面上并具有所述第二偏振的光转换为所述第一偏振并将所述光朝向所述后侧重定向。

14. 根据权利要求13所述的显示设备,其中,所述第一陷波反射器包括胆甾型液晶光栅(CLCG)。

15. 根据权利要求13所述的显示设备,其中,所述第一陷波反射器包括多层,并且所述第二陷波反射器包括非偏振陷波反射器和四分之一波片。

16. 根据权利要求13所述的显示设备,还包括:设置在所述第一陷波反射器的所述后侧的第一可变焦透镜;以及设置在所述第二陷波反射器的所述前侧的第二可变焦透镜,其中,所述第二可变焦透镜的第二光学特性补偿所述第一可变焦透镜的第一光学特性。

17. 根据权利要求16所述的显示设备,其中,所述第一可变焦透镜和所述第二可变焦透镜中的每一者包括线性偏振透镜。

18. 根据权利要求16所述的显示设备,其中,所述第一可变焦透镜和所述第二可变焦透镜中的每一者包括Pancharatnam-Berry (PB) 相位透镜。

19. 根据权利要求18所述的显示设备,还包括空间偏移补偿器,其被配置为补偿由所述Pancharatnam-Berry (PB) 相位透镜引入的空间偏移。

基于偏振转换的可变焦虚拟图像设备

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2017年2月23日提交的题为“VARIABLE-FOCUS VIRTUAL IMAGE DEVICES(可变焦虚拟图像设备)”的美国临时专利申请号62/462,850的优先权权益，其以整体内容通过引用并入本文。该临时专利申请包括通过引用并入并且形成本专利申请的一部分的以下部分：

[0003] 1. 部分I：针对题为“DISPLAY SYSTEM WITH VARIABLE POWER REFLECTOR(具有可变屈光力反射器的显示系统)”的申请的一部分的说明书和附图。

[0004] 2. 部分II：针对题为“VARIABLE-FOCUS VIRTUAL IMAGE DEVICES BASED ON POLARIZATION CONVERSION(基于偏振转换的可变焦虚拟图像设备)”的申请的一部分的说明书和附图。

[0005] 部分I和II讨论了可变焦或者可变屈光力设备以及与这些设备的部件相关联的特征并且这两个部分同样地形成本申请的公开内容的一部分。因此，部分I中所描述的各种特征、元素、结构、方法等可以以任何组合与部分II中所描述的特征、元素、结构、方法等一起使用、组合、并入、或以其他方式兼容。同样，部分II中所描述的各种特征、元素、结构、方法等可以以任何组合与部分I中所描述的特征、元素、结构、方法等一起使用、组合、并入、或以其他方式兼容。

[0006] 本申请还通过引用并入以下各专利申请的整体内容：于2014年11月 27日提交的美国申请号14/555,585；于2015年4月18日提交的美国申请号14/690,401；于2014年3月14日提交的美国申请号14/212,961；于2014 年7月14日提交的美国申请号14/331,218。

技术领域

[0007] 本公开涉及显示系统，并且更具体地，涉及包括至少部分地基于偏振转换的衍射装置的增强现实显示系统。

背景技术

[0008] 现代计算和显示技术促进了用于所谓的“虚拟现实”或“增强现实”体验的系统的开发，其中数字再现图像或其一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。虚拟现实或“VR”场景通常涉及数字或虚拟图像信息的呈现而对其他实际的真实世界视觉输入不透明；增强现实或“AR”场景通常涉及将数字或虚拟图像信息呈现为对用户周围的实际世界的可视化的增强。混合现实或“MR”场景是“AR”类型的场景，并且通常涉及被整合到自然世界中且响应于自然世界的虚拟对象。例如，在 MR场景中，AR图像内容可以被真实世界中的对象阻挡或者被感知为与真实世界中的对象交互。

[0009] 参考图1，示出了增强现实场景1，其中AR技术的用户看到以人、树木、背景中的建筑物和混凝土平台1120为特征的真实世界的公园状设置 1100。除了这些物品之外，AR技术的用户还感知到他/她“看到”“虚拟内容”，例如站在真实世界平台1120上的机器人雕像1110，以及看起来是大黄蜂的化身的飞过的卡通式化身角色1130，即使这些元素1130、1110

在真实世界中不存在。由于人类的视觉感知系统是复杂的,因此产生促进除其他虚拟或真实世界图像元素之外的虚拟图像元素的舒适的、感觉自然的、丰富的呈现的AR技术是具有挑战性的。

[0010] 本文公开的系统和方法解决了与AR和VR技术相关的各种挑战。

发明内容

[0011] 本申请包括可以用于提供可变屈光力的系统和方法的讨论。可变焦或者可变屈光力设备可以发现在投射图像的某些头戴式显示设备中的应用,好像所述图像源于不同深度。通过改变所述头戴式显示设备中的光学元件的屈光力,呈现给所述头戴式显示设备的穿戴者的图像看起来好像位于距所述穿戴者不同距离处。因此,所述可变焦或者可变屈光力光学设备可以调制以使得不同图像内容显示,好像所述图像内容位于相对于所述用户的不同位置处。一些可变屈光力元件包括反射器,所述反射器包括可移动膜。其他可变屈光力元件包括液晶可切换设备,所述液晶可切换设备可以使用可切换液晶元件在屈光力水平之间切换。本文所描述的一些可变焦设备利用光的偏振性质以利于从一个焦点切换到另一个。

[0012] 在一方面,一种显示设备,包括:波导,其被配置为在平行于所述波导的主表面的方向上在全内反射下传播可见光;耦出元件,其形成在所述波导上并且被配置为在垂直于所述波导的主表面的方向上耦出所述可见光的一部分。所述显示设备另外包括:偏振选择性陷波反射镜,其设置在所述波导的第一侧并且被配置为反射具有第一偏振的可见光同时透射具有第二偏振的可见光的一部分。所述显示设备还包括:偏振无关陷波反射器,其设置在所述波导的第二侧并且被配置为反射具有所述第一偏振和所述第二偏振的可见光,其中,所述偏振无关陷波反射器被配置为转换从其反射的可见光的偏振。

[0013] 在另一方面,一种显示设备包括:波导装置,其被插入在第一可切换透镜与第二可切换透镜之间,其中,所述波导装置包括各自包括多个手性结构的一个或多个胆甾型液晶(CLC)层,其中,每个手性结构包括在层深度方向上延伸并且在第一旋转方向上连续旋转的多个液晶分子,其中,所述手性结构的所述液晶分子的布置在垂直于所述层深度方向的横向方向上周期性地变化,使得所述一个或多个CLC层被配置为布拉格反射入射光。所述波导装置另外包括一个或多个波导,其形成在所述一个或多个 CLC层上并且被配置为在平行于所述波导的主表面的方向上在全内反射(TIR)下传播可见光并且被配置为向或者从所述一个或多个CLC层光学耦合可见光。

[0014] 在另一方面,被配置为将图像显示给用户的眼睛的显示设备包括光学显示器。所述光学显示器具有前侧和后侧,其中,所述后侧比所述前侧更接近于所述用户的眼睛。所述光学显示器被配置为朝向所述后侧输出具有波长范围的光。第一陷波反射器被设置在所述光学显示器的后面,所述第一陷波反射器被配置为反射从所述光学显示器输出的具有所述波长范围的光。第二陷波反射器被设置在所述光学显示器的前面,所述第二陷波反射器被配置为反射具有所述波长范围的光。所述第一陷波反射器被配置为基本上透射具有第一偏振的光并且基本上反射具有与所述第一偏振不同的第二偏振的光。所述第一陷波反射器被配置为将具有所述第二偏振的入射在后面的光转换为所述第一偏振并且将所述光向后重定向。

[0015] 在另一方面，一种动态聚焦显示系统包括显示器，所述显示器被配置为输出处于第一圆偏振状态的圆偏振光。所述显示器沿着光轴设置并且具有前侧和后侧，所述后侧比所述前侧更接近于所述用户的眼睛，所述光学显示器被配置为朝向所述后侧输出具有波长范围的光。第一可切换光学元件沿着所述光轴设置，所述第一可切换光学元件被配置为将透射通过所述第一可切换光学元件的光的圆偏振状态从所述第一圆偏振状态改变为第二不同圆偏振状态。第一胆甾型液晶 (CLC) 透镜沿着所述光轴被设置在所述第一可切换光学元件的前面。第二可切换光学元件沿着所述光轴被设置在所述第一CLC透镜的前面，所述第二可切换光学元件被配置为将透射通过所述第二可切换光学元件的光的圆偏振状态从所述第一圆偏振状态改变为第二不同圆偏振状态。第二CLC透镜沿着所述光轴设置在所述第二可切换光学元件的前面。控制器被配置为电子地切换所述第一可切换光学元件和所述第二可切换光学元件的状态以动态地选择所述第一CLC透镜或者所述第二CLC透镜。

[0016] 在另一方面，一种可穿戴增强现实头戴式显示系统被配置为将来自穿戴所述头戴式系统的穿戴者前面的世界的光传递到所述穿戴者的眼睛中。所述可穿戴增强现实头戴式显示系统包括：光学显示器，其被配置为输出光以形成图像；一个或多个波导，其被设置为从所述显示器接收所述光；框架，其被配置为将所述波导设置在所述眼睛的前面，使得所述一个或多个波导具有前侧和后侧，所述后侧比所述前侧更接近于所述眼睛；胆甾型液晶 (CLC) 反射器，其被设置在所述一个或多个波导的所述前侧，所述 CLC反射器被配置为具有在施加电信号时可调节的屈光力或者焦深；以及一个或多个耦出元件，其相对于所述一个或多个波导设置以从所述一个或多个波导提取光并且将在所述波导内传播的所述光的至少一部分引导到所述CLC反射器，所述光导从所述CLC反射器引导回来通过所述波并且引导到所述眼睛中以将来自所述显示器的图像呈现到所述穿戴者的眼睛中。

[0017] 在另一方面，一种显示设备包括波导，其被配置为在平行于所述波导的主表面的方向上在全内反射下传播可见光并在垂直于所述主表面的方向上耦出所述可见光。陷波反射器被配置为反射具有第一偏振的可见光，其中，所述陷波反射器包括一个或多个胆甾型液晶 (CLC) 层，其中，所述 CLC层中的每一者包括多个手性结构，其中，所述手性结构中的每一者包括在层深度方向上延伸并且在第一旋转方向上连续旋转的多个液晶分子，其中，所述手性结构的液晶分子的布置在垂直于所述层深度方向的横向方向上周期性地变化，使得所述一个或多个CLC层被配置为布拉格反射入射光。

[0018] 本说明书中描述的主题的一个或多个实施方式的细节在附图和下面的描述中阐述。通过描述、附图和权利要求，其它特征、方面和优点将变得显而易见。本发明内容或下面的具体实施方式都并非旨在限定或限制本发明主题的范围。

附图说明

- [0019] 图1示出了用户通过AR设备观看的增强现实 (AR) 视图。
- [0020] 图2示出了可穿戴显示系统的示例。
- [0021] 图3示出了用于为用户模拟三维图像的传统显示系统。
- [0022] 图4示出了使用多个深度平面模拟三维图像的方法的各方面。
- [0023] 图5A至5C示出了曲率半径与焦半径之间的关系。
- [0024] 图6示出了用于将图像信息输出给用户的波导堆叠的示例。

- [0025] 图7示出了由波导输出的出射光束的示例。
- [0026] 图8示出了堆叠波导组件的示例,其中每个深度平面包括使用多种不同分量颜色形成的图像。
- [0027] 图9A示出了一组堆叠波导的示例的横截面侧视图,每个堆叠波导包括耦入光学元件。
- [0028] 图9B示出了图9A的多个堆叠波导的示例的透视图。
- [0029] 图9C示出了图9A和9B的多个堆叠波导的示例的俯视平面图。
- [0030] 图10示出了具有多个均匀(uniform)手性结构的胆甾型液晶衍射光栅(CLCG)的示例的横截面侧视图。
- [0031] 图11示出了在横向方向上具有不同地布置的手性结构的CLCG的示例的横截面侧视图。
- [0032] 图12示出了被配置为以离轴入射角进行布拉格反射的CLC层的示例的横截面侧视图。
- [0033] 图13A示出了具有第一螺距并且被配置为以第一离轴入射角进行布拉格反射的CLC层的示例的横截面侧视图。
- [0034] 图13B示出了具有第二螺距并且被配置为以第二离轴入射角进行布拉格反射的CLC层的示例的横截面侧视图。
- [0035] 图13C示出了包括图13A和13B的CLC层的CLCG的示例的横截面侧视图,这些CLC层在堆叠配置中具有用于以多个离轴入射角以及高衍射带宽进行布拉格反射的不同螺距。
- [0036] 图14示出了包括具有垂直区域的CLC层的CLCG的示例的横截面侧视图,这些垂直区域具有用于以多个离轴入射角以及高衍射带宽进行布拉格反射的沿深度方向的不同螺距。
- [0037] 图15示出了包括具有横向区域的CLC层的CLCG的示例的横截面侧视图,这些横向区域具有用于进行在空间上变化的布拉格反射的沿横向方向的螺距。
- [0038] 图16示出了光学波导装置的示例,该光学波导装置包括被耦合到 CLCG并且被配置为经由全内反射(TIR)传播光的波导。
- [0039] 图17A示出了光学波导装置的示例,该光学波导装置包括被耦合到 CLCG并且被配置为经由全内反射(TIR)选择性地传播具有一波长的光的波导。
- [0040] 图17B示出了在同一光路中的多个光学波导装置的示例,每个光学波导装置包括被耦合到CLCG并且被配置为经由全内反射(TIR)选择性地传播具有一波长的光的波导。
- [0041] 图17C示出了在同一光路中的多个光学波导装置的示例,每个光学波导装置包括被耦合到CLCG并且被配置为经由全内反射(TIR)选择性地传播具有一波长的光的波导。
- [0042] 图18示出了光学波导装置的示例,该光学波导装置包括被耦合到多个 CLCG并且被配置为经由全内反射(TIR)选择性地传播具有多个波长的光的公共波导。
- [0043] 图19示出了光学波导装置的示例,该光学波导装置包括被耦合到 CLCG并且被配置为经由全内反射(TIR)传播光的波导。
- [0044] 图20示出了光学波导装置的示例,该光学波导装置包括被耦合到 CLCG的波导和偏振转换反射器,其中CLCG被配置为接收入射光,波导被配置为经由全内反射(TIR)传播从CLCG布拉格反射的光。

[0045] 图21A示出了图20的光学波导装置,其中CLCG被配置为接收线性偏振或非偏振的入射光,并且其中波导被配置为经由全内反射(TIR)传播从CLCG布拉格反射的光和由反射器反射的光。

[0046] 图21B示出了图20的光学波导装置,其中CLCG被配置为接收被偏振成正交的椭圆或圆偏振光束的入射光,并且其中波导被配置为经由全内反射(TIR)传播从CLCG布拉格反射的光和由反射器反射的光。

[0047] 图22A示出了入射光束线性偏振或非偏振的状况下的光学波导装置的示例,该光学波导装置包括多个被耦合到公共波导的CLC层,这些CLC 层包括第一CLC层和第二CLC层,第一CLC层包括具有第一旋转方向的手性结构,第二CLC层包括具有与第一旋转方向相反的第二旋转方向的手性结构。

[0048] 图22B示出了入射光被偏振成正交的椭圆或圆偏振光束的状况下的图 22A的光学波导装置。

[0049] 图22C示出了入射光束线性偏振或非偏振的状况下的光学波导装置的示例,该光学波导装置包括多个被耦合到插在两个CLC层之间的公共波导的CLC层,这些CLC层包括第一CLC层和第二CLC层,第一CLC 层包括具有第一旋转方向的手性结构,第二CLC层包括具有与第一旋转方向相反的第二旋转方向的手性结构。

[0050] 图23示出了包括前向相机的成像系统的示例,该前向相机被配置为使用胆甾型液晶(CLC)离轴反射镜对穿戴者的眼睛进行成像。

[0051] 图24A至24F示出了包括前向相机的成像系统的示例,该前向相机被配置为使用CLC离轴反射镜对穿戴者的眼睛进行成像。

[0052] 图24G和24H示出了包括前向相机的成像系统的示例,该前向相机被配置为使用衍射光学元件对穿戴者的眼睛进行成像,该衍射光学元件包括多个包含一个或多个CLC离轴反射镜的区段(segment),其中每个区段可具有不同的光学特性。

[0053] 图25A示出了包括偏振转换器并且被配置为向用户输出图像的示例显示设备。

[0054] 图25B示出了包括偏振转换器并且被配置为向用户输出图像的示例显示设备。

[0055] 图26A示出了包括偏振转换器和可切换透镜并且被配置为向用户输出虚拟图像的示例显示设备。

[0056] 图26B示出了包括偏振转换器和可切换透镜并且被配置为向用户输出真实图像的示例显示设备。

[0057] 图26C示出了包括偏振转换器和可切换透镜并且被配置为向用户输出虚拟图像的示例显示设备。

[0058] 图26D示出了包括偏振转换器和可切换透镜并且被配置为向用户输出真实图像的示例显示设备。

[0059] 图27A示出了包括偏振转换器和Pancharatnam-Barry (PB) 透镜并且被配置为向用户输出虚拟图像的示例显示设备。

[0060] 图27B示出了包括偏振转换器和PB透镜并且被配置为向用户输出真实图像的示例显示设备。

[0061] 图27C示出了包括偏振转换器和PB透镜并且被配置为向用户输出虚拟图像的示例显示设备。

[0062] 图27D示出了包括偏振转换器和PB透镜并且被配置为向用户输出真实图像的示例显示设备。

[0063] 图28A示出了通过由包括偏振转换器和PB透镜的示例显示设备形成的两个正交偏振图像产生的空间偏移。

[0064] 图28B示出了包括用于补偿图28A中所示的空间偏移的透镜对的示例偏移补偿器。

[0065] 图28C示出了使用图28B中所示的偏移补偿器的实施例的图28A中所示的空间偏移的负效应。

[0066] 图29示出了包括被配置为非对称地投射光的波导组件和PB透镜并且被配置为向用户输出图像的示例显示设备。

[0067] 图30示出了包括具有CLCG的波导组件和可变形反射镜并且被配置为向用户输出图像的示例显示设备。

[0068] 图31A-31C示出了可以实现为显示设备的一部分的示例的反射型衍射透镜,其中,反射衍射透镜由用作反射偏振反射镜的图案化CLC材料形成。

[0069] 图32A示出了在衍射透镜中观察的色差的示例。

[0070] 图32B示出了在堆叠配置中包括多个反射衍射透镜的示例反射衍射透镜。

[0071] 图33A-33D示出了示例反射衍射透镜组件和其用于在不同焦距之间的动态切换的操作。

[0072] 图34示出了包括被配置为向世界引导光的目镜和被配置为向眼睛重定向光的波导组件的示例组合。

[0073] 在整个附图中,可以重复使用参考标号来指示所提及的元件之间的对应关系。提供附图是为了说明本文描述的示例实施例,并且不旨在限制本公开的范围。

具体实施方式

[0074] AR系统可以向用户或观看者显示虚拟内容,同时仍然允许用户看到其周围的世界。优选地,该内容在头戴式显示器(例如作为眼镜的一部分)上显示,头戴式显示器将图像信息投射到用户的眼睛。另外,显示器还可以将来自周围环境的光透射到用户的眼睛,以允许观看该周围环境。如本文所使用的,应当理解,“头戴式”显示器是可以安装在观看者头部上的显示器。

[0075] 图2示出了可穿戴显示系统80的示例。显示系统80包括显示器62,以及支持该显示器62的功能的各种机械和电子模块和系统。显示器62可以被耦接到框架64,该框架可由显示系统用户或观看者60穿戴,并且被配置为将显示器62定位在用户60的眼睛前方。在一些实施例中,显示器62可以被视为眼镜。在一些实施例中,扬声器66被耦接到框架64并且被定位在用户60的耳道附近(在一些实施例中,另一扬声器(未示出)被定位在用户的另一耳道附近以提供立体/可塑形的声音控制)。在一些实施例中,显示系统还可以包括一个或多个麦克风67或其它检测声音的设备。在一些实施例中,麦克风被配置为允许用户向系统80提供输入或命令(例如,语音菜单命令的选择、自然语言问题等)和/或可以允许与其它人(例如,与类似显示系统的其他用户)进行音频通信。麦克风还可以被配置为外围传感器以连续收集音频数据(例如,以被动地从用户和/或环境收集)。这种音频数据可以包括用户声音(诸如重呼吸)或环境声音(诸如指示附近事件的巨响)。显示系统还可以包括外围传感器

30a,其可以与框架64分离并且被附接到用户60的身体(例如,在用户60的头部、躯干、四肢等上)。如本文进一步描述的,在一些实施例中,外围传感器30a可以被配置为获取表征用户60的生理状态的数据。例如,传感器30a可以是电极。

[0076] 继续参考图2,显示器62通过通信链路68(例如通过有线引线或无线连接)可操作地耦接到本地数据处理模块70,本地数据处理模块70可以以各种配置被安装,例如固定地附接到框架64,固定地附接到用户所戴的头盔或帽子,嵌入耳机中,或以其它方式可移除地附接到用户60(例如,采取背包式配置,采取腰带耦接式配置)。类似地,传感器30a可通过通信链路30b(例如通过有线引线或无线连接)可操作地耦接到本地处理和数据模块70。本地处理和数据模块70可以包括硬件处理器,以及数字存储器,诸如非易失性存储器(例如,闪速存储器或硬盘驱动器),这两者都可用于辅助数据的处理、缓存和存储。这些数据包括:a)从传感器(其例如可以可操作地耦接到框架64或以其它方式附接到用户60)捕获的数据,这些传感器例如为图像捕获设备(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、陀螺仪和/或此处公开的其它传感器;和/或b)使用远程处理模块72和/或远程数据储存库74获取和/或处理的数据(包括与虚拟内容相关的数据),这些数据可能在被这样的处理或检索之后被传送到显示器62。本地处理和数据模块70可以通过通信链路76、78(诸如经由有线或无线通信链路)可操作地耦接到远程处理模块72和远程数据储存库74,使得这些远程模块72、74可操作地彼此耦接,并且作为资源可用于本地处理和数据模块70。在一些实施例中,本地处理和数据模块70可以包括图像捕获设备、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/或陀螺仪中的一者或者多者。在一些其它实施例中,这些传感器中的一者或者多者可以附接到框架64,或者可以是通过有线或无线通信路径与本地处理和数据模块70通信的独立结构。

[0077] 继续参考图2,在一些实施例中,远程处理模块72可以包括被配置为分析和处理数据和/或图像信息的一个或多个处理器。在一些实施例中,远程数据储存库74可以包括数字数据存储设施,该设施可以通过因特网或“云”资源配置中的其它网络配置获得。在一些实施例中,远程数据储存库74可以包括一个或多个远程服务器,这些服务器向本地处理和数据模块70和/或远程处理模块72提供信息,例如用于生成增强现实内容的信息。在一些实施例中,所有数据都被存储,所有计算都在本地处理和数据模块中被执行,允许从远程模块完全自主地使用。

[0078] 可以通过向观看者的每只眼睛提供略微不同的图像呈现来实现将图像感知为“三维的”或“3D”。图3示出了用于模拟用户的三维图像的传统显示系统。向用户输出两个不同图像5、7,其中每个图像针对一只眼睛4、6。图像5、7沿着平行于观看者视线的光轴或z轴而与眼睛4、6相隔一距离10。图像5、7是平坦的,眼睛4、6可以通过假设单个调节状态而聚焦在这些图像上。这样的系统依赖于人类视觉系统来组合图像5、7以为组合图像提供深度感和/或缩放。

[0079] 然而,应当理解,人类视觉系统更复杂,并且提供逼真的深度感更具挑战性。例如,传统的“3-D”显示系统的许多观看者发现这样的系统不舒服或者根本不能感知到深度感。不受理论的限制,据信对象的观看者可由于聚散和调节的组合而将对象感知为“三维的”。两只眼睛相对于彼此的聚散运动(例如,眼睛的转动使得瞳孔朝向彼此或远离彼此运动以使眼睛的视线会聚以注视在对象上)与眼睛的晶状体和瞳孔的聚焦(或者调节)密切相关。

在正常情况下,改变眼睛的晶状体的焦点或调节眼睛,以将焦点从一个对象改变到不同距离处的另一对象将根据被称为“调节-聚散反射”的关系以及瞳孔扩张或收缩而自动导致与同一距离匹配的聚散度变化。同样,在正常条件下,聚散度的变化将触发晶状体形状和瞳孔大小的匹配的调节变化。如本文所指出的,许多立体或“3-D”显示系统使用略微不同的呈现(以及,因此略微不同的图像)向每只眼睛显示场景,使得人类视觉系统感知到三维透视。然而,这样的系统对于许多观看者来说是不舒服的,因为它们除了其余内容之外简单地提供场景的不同呈现,而眼睛在单个调节状态下观看所有图像信息,并且违反“调节-聚散反射”起作用。在调节和聚散之间提供更好匹配的显示系统可以形成更逼真和舒适的三维图像模拟,从而有助于增加穿戴持续时间,进而遵从诊断和治疗协议。

[0080] 图4示出了使用多个深度平面模拟三维图像的方法的各方面。参考图 4,z轴上距眼睛4、6不同距离处的对象由眼睛4、6调节,以使这些对象焦点对准(in focus)。眼睛(4和6)呈现特定的调节状态,以使沿着z 轴的不同距离处的对象进入焦点。因此,可以说特定的调节状态与深度平面14中的特定一个深度平面相关联,该特定深度平面具有相关联的焦距,以使得当眼睛处于针对该深度平面的调节状态时,特定深度平面中的对象或对象的部分焦点对准。在一些实施例中,三维影像可以通过为眼睛4、6 中的每一个提供图像的不同呈现并且还通过提供对应于深度平面中的每一个的图像的不同呈现来模拟。尽管为了清楚说明而示出为分离的,但应理解,例如,随着沿着z轴的距离增加,眼睛4、6的视野可以重叠。另外,尽管为了便于说明而示出为平坦的,但是应当理解,深度平面的轮廓可以在物理空间中弯曲,使得深度平面中的所有特征在眼睛处于特定调节状态时焦点对准。

[0081] 对象与眼睛4或6之间的距离也可以改变来自该眼睛所看到的对象的光的发散量。图5A至5C示出了距离和光线发散之间的关系。对象与眼睛 4之间的距离按照递减的次序由距离R1、R2和R3表示。如图5A至5C 所示,随着到对象的距离减小,光线变得更加发散。随着距离的增加,光线变得更加准直。换句话说,可以说,由点(对象或对象的一部分)产生的光场具有球面波前曲率,其是该点距用户眼睛的距离的函数。随着对象与眼睛4之间的距离减小,曲率增大。因此,在不同的深度平面处,光线的发散度也不同,发散度随着深度平面与观看者眼睛4之间的距离的减小而增大。尽管为了在图5A至5C和本文中的其它图中清楚地说明而仅示出单只眼睛4,但是应当理解,关于眼睛4的讨论可以应用于观看者的双眼4 和6。

[0082] 不受理论的限制,据信人类眼睛通常可以解释有限数量的深度平面以提供深度感知。因此,通过向眼睛提供与这些有限数量的深度平面中的每一者对应的图像的不同呈现,可以实现感知深度的高度可信的模拟。不同的呈现可以由观看者的眼睛单独聚焦,从而有助于基于使位于不同深度平面上的场景的不同图像特征进入焦点所需的眼睛调节和/或基于观察到在不同深度平面上的不同图像特征的焦点没对准,为用户提供深度线索。

[0083] 图6示出了用于将图像信息输出给用户的波导堆叠的示例。显示系统 1000包括波导堆叠或堆叠波导组件178,其可用于使用多个波导1182、1184、1186、1188、1190向眼睛/大脑提供三维感知。在一些实施例中,显示系统1000是图2的系统80,图6更详细地示意性地示出了该系统80的一些部分。例如,波导组件1178可以是图2的显示器62的一部分。将理解,在一些实施例中,显示系统1000可以被视为光场显示器。

[0084] 继续参考图6,波导组件1178还可以包括位于波导之间的多个特征 1198、1196、1194、1192。在一些实施例中,特征1198、1196、1194、1192 可以是一个或多个透镜。波导

1182、1184、1186、1188、1190和/或多个透镜1198、1196、1194、1192可以被配置为以各种水平的波前曲率或光线发散度向眼睛发送图像信息。每个波导级可以与特定深度平面相关联，并且可以被配置为输出对应于该深度平面的图像信息。图像注入装置1200、1202、1204、1206、1208可以用作波导的光源，并且可用于将图像信息注入到波导1182、1184、1186、1188、1190中，如本文所述，每个波导可以被配置为将入射光分配穿过每个相应的波导以朝着眼睛4输出。光从图像注入装置1200、1202、1204、1206、1208的输出表面1300、1302、1304、1306、1308出射，并且注入到波导1182、1184、1186、1188、1190的相应输入表面1382、1384、1386、1388、1390中。在一些实施例中，输入表面1382、1384、1386、1388、1390中的每一者可以是相应波导的边，或者可以是相应波导的主表面(即，直接面向世界1144或观看者眼睛4的波导表面中的一者)的一部分。在一些实施例中，可以将单个光束(例如准直光束)注入到每个波导中，以便以与特定波导相关联的深度平面对应的特定角度(和发散量)输出朝向眼睛4定向的克隆准直光束的整个视野。在一些实施例中，图像注入装置1200、1202、1204、1206、1208的一者可以与多个波导1182、1184、1186、1188、1190(例如，其中的三个)相关联并将光注入到这些波导中。

[0085] 在一些实施例中，图像注入装置1200、1202、1204、1206、1208是离散显示器，每个离散显示器分别产生用于注入到对应的波导1182、1184、1186、1188、1190中的图像信息。在一些其它实施例中，图像注入装置1200、1202、1204、1206、1208是单个多路复用显示器的输出端，例如，多路复用显示器可以经由一个或多个光学导管(例如，光纤光缆)将图像信息通过管道传输到图像注入装置1200、1202、1204、1206、1208中的每一者。将理解，由图像注入装置1200、1202、1204、1206、1208提供的图像信息可以包括不同波长或颜色的光(例如，如本文所讨论的不同的分量颜色)。

[0086] 在一些实施例中，注入到波导1182、1184、1186、1188、1190中的光由光投射器系统2000提供，光投射器系统2000包括光模块2040，光模块2040可以包括光发射器，例如发光二极管(LED)。来自光模块2040的光可以经由分束器2050而被引导到光调制器2030(例如，空间光调制器)以及被光调制器2030修改。光调制器2030可以被配置为改变注入到波导1182、1184、1186、1188、1190中的光的感知强度。空间光调制器的示例包括液晶显示器(LCD)，其包括硅上液晶(LCOS)显示器。

[0087] 在一些实施例中，显示系统1000可以是包括一个或多个扫描光纤的扫描光纤显示器，扫描光纤被配置为以各种图案(例如，光栅扫描、螺旋扫描、利萨如图案等)将光投射到一个或多个波导1182、1184、1186、1188、1190中并最终投射到观看者的眼睛4。在一些实施例中，所示的图像注入装置1200、1202、1204、1206、1208可示意性地表示单个扫描光纤或扫描光纤束，单个扫描光纤或扫描光纤束被配置为将光注入到一个或多个波导1182、1184、1186、1188、1190中。在一些其它实施例中，所示的图像注入装置1200、1202、1204、1206、1208可以示意性地表示多个扫描光纤或多个扫描光纤束，这些扫描光纤或扫描光纤束中的每一者被配置为将光注入到波导1182、1184、1186、1188、1190中关联的一者中。应当理解，一个或多个光纤可以被配置为将光从光模块2040传输到一个或多个波导1182、1184、1186、1188、1190。应当理解，可以在一个或多个扫描光纤与一个或多个波导1182、1184、1186、1188、1190之间提供一个或多个居间光学结构，以例如将从扫描光纤出射的光重定向到一个或多个波导1182、1184、1186、1188、1190中。

[0088] 控制器1210控制堆叠波导组件1178中的一者或者者的操作,包括图像注入装置1200、1202、1204、1206、1208、光源2040和光调制器2030 的操作。在一些实施例中,控制器1210是本地数据处理模块70的一部分。控制器1210包括编程(例如,非暂时性介质中的指令),该编程根据例如本文公开的各种方案中的任何方案,调节定时和向波导1182、1184、1186、1188、1190的图像信息提供。在一些实施例中,控制器可以是单个集成设备,或者是通过有线或无线通信信道连接的分布式系统。在一些实施例中,控制器1210可以是处理模块70或72(图1)的一部分。

[0089] 继续参考图6,波导1182、1184、1186、1188、1190可以被配置为通过全内反射(TIR)在每个相应的波导内传播光。波导1182、1184、1186、1188、1190可以各自是平面的或具有另一形状(例如,弯曲的),具有顶部主表面和底部主表面以及在这些顶部主表面和底部主表面之间延伸的边缘。在所示的配置中,波导1182、1184、1186、1188、1190可各自包括耦出(outcoupling)光学元件1282、1284、1286、1288、1290,这些元件被配置为通过重定向光来从波导中提取光,在各自对应的波导内部传播,从波导出射以将图像信息输出到眼睛4。所提取的光也可以被称为耦出光,而耦出光学元件光也可以被称为光提取光学元件。在波导中传播的光照射到光提取光学元件的位置处,所提取的光束由波导输出。如本文进一步讨论的,耦出光学元件1282、1284、1286、1288、1290可以例如是光栅,光栅包括衍射光学特征。虽然为了便于描述和描绘清楚而被示出为设置在波导1182、1184、1186、1188、1190的底部主表面处,但是在一些实施例中,如本文进一步所讨论的,耦出光学元件1282、1284、1286、1288、1290 可以被设置在顶部和/或底部主表面处,和/或可以被直接设置在波导1182、1184、1186、1188、1190的体中。在一些实施例中,耦出光学元件1282、1284、1286、1288、1290可以被形成在附接到透明基板的材料层中,以形成波导1182、1184、1186、1188、1190。在一些其它实施例中,波导1182、1184、1186、1188、1190可以是单片材料,且耦出光学元件1282、1284、1286、1288、1290可以被形成在该片材料的表面上和/或内部中。

[0090] 继续参考图6,如本文所讨论的,每个波导1182、1184、1186、1188、1190被配置为输出光以形成对应于特定深度平面的图像。例如,最靠近眼睛的波导1182可以被配置为将注入到这种波导1182中的准直光传送到眼睛4。准直光可以代表光学无限远焦平面。下一个上行波导1184可以被配置为将穿过第一透镜1192(例如,负透镜)的准直光在其可以到达眼睛4之前发送出;这样的第一透镜1192可以被配置为产生微凸的波前曲率,使得眼睛/大脑将来自下一个上行波导1184的光解释为来自第一焦平面,该第一焦平面从光学无限远处更靠近向内朝向眼睛4。类似地,第三上行波导1186使其输出光在到达眼睛4之前通过第一透镜1192和第二透镜1194;第一透镜1192和第二透镜1194的组合光焦度(optical power)可被配置为产生另一增量的波前曲率,以使得眼睛/大脑将来自第三波导1186的光解释为来自第二焦平面,该第二焦平面从光学无穷远比来自下一个上行波导1184的光更靠近向内朝向人。

[0091] 其它波导层1188、1190和透镜1196、1198被类似地配置,其中堆叠中的最高波导1190通过其与眼睛之间的所有透镜发送其输出,以获得代表与人最接近的焦平面的聚合焦度(aggregate focal power)。为了观看/解释来自堆叠波导组件1178的另一侧上的世界1144的光时补偿透镜堆叠1198、1196、1194、1192,可以在堆叠的顶部设置补偿透镜层1180以补偿下面的透镜堆叠1198、1196、1194、1192的聚合焦度。这种配置提供与可用的波

导/透镜配对一样多的感知焦平面。波导的耦出光学元件和透镜的聚焦方面都可以是静态的(即,不是动态的或电活性的)。在一些替代实施例中,它们中的一者或全部两者可以是使用电活性特征而动态的。

[0092] 在一些实施例中,波导1182、1184、1186、1188、1190中的两者或更多者可具有相同的相关深度平面。例如,多个波导1182、1184、1186、1188、1190可以被配置为将图像集输出到相同的深度平面,或者波导1182、1184、1186、1188、1190的多个子集可以被配置为将图像集输出到相同的多个深度平面,每个深度平面一个图像集。这可以提供形成平铺图像以在那些深度平面处提供扩展的视野的优势。

[0093] 继续参考图6,耦出光学元件1282、1284、1286、1288、1290可以被配置为将光重定向到它们相应的波导之外并且针对与该波导相关联的特定深度平面输出具有适当的发散量或准直量的该光。结果,具有不同相关联深度平面的波导可具有不同的耦出光学元件1282、1284、1286、1288、1290 的配置,这些耦出光学元件依赖于相关联的深度平面而输出具有不同发散量的光。在一些实施例中,光提取光学元件1282、1284、1286、1288、1290 可以是体或表面特征,其可以被配置为以特定角度输出光。例如,光提取光学元件1282、1284、1286、1288、1290可以是体全息图、表面全息图和 /或衍射光栅。在一些实施例中,特征1198、1196、1194、1192可以不是透镜;相反,它们可以简单地是间隔物(例如,包层和/或用于形成气隙的结构)。

[0094] 在一些实施例中,耦出光学元件1282、1284、1286、1288、1290是形成衍射图案的衍射特征,或“衍射光学元件”(在本文中也被称为“DOE”)。优选地,DOE具有足够低的衍射效率(衍射光束强度与入射光束强度的比率),以使得光束的仅一部分光通过DOE的每一个交点而偏转向眼睛4,而其余部分经由全内反射而继续移动通过波导。携带图像信息的光因此被分成多个相关的出射光束,这些出射光束在多个位置处离开波导,并且结果对于在波导内反弹的该特定准直光束是朝向眼睛4的相当均匀图案的出射发射。

[0095] 在一些实施例中,一个或多个DOE可以在它们活跃地衍射的“开”状态与它们不显著衍射的“关”状态之间可切换。例如,可切换的DOE 可以包括聚合物分散液晶层,其中微滴在主体介质中包含衍射图案,并且微滴的折射率可以被切换为基本上匹配主体材料的折射率(在这种情况下,图案不会明显地衍射入射光),或者微滴可以被切换为与主体介质的折射率不匹配的折射率(在这种情况下,该图案活跃地衍射入射光)。

[0096] 在一些实施例中,可提供相机组件500(例如,数字相机,包括可见光和红外光相机)以捕获眼睛4和/或眼睛4周围的组织的图像,从而例如检测用户输入和/或监测用户的生理状态。如本文所使用的,相机可以是任何图像捕获设备。在一些实施例中,相机组件500可以包括图像捕获设备和光源,以将光(例如,红外光)投射到眼睛,然后光可以被眼睛反射并被图像捕获设备检测到。在一些实施例中,相机组件500可以被附接到框架64(图2)并且可以与处理模块70和/或72电通信,处理模块70和/或 72可以处理来自相机组件500的图像信息,以做出关于例如用户的生理状态的各种确定,如本文所述的。应当理解,关于用户的生理状态的信息可被用于确定用户的行为或情绪状态。此类信息的示例包括用户的动作和/ 或用户的面部表情。然后可以利用所收集的环境和/或虚拟内容数据对用户的行为或情绪状态进行三角测量,以便确定行为或情绪状态、生理状态和环境或虚拟内容数据之间的关系。在一些实施例中,可以针对每只眼睛使用一个相机组件500以分别监测每只眼睛。

[0097] 现在参考图7,其中示出了由波导输出的出射光束的示例。示出了一个波导,但是应当理解,波导组件1178(图6)中的其它波导可以类似地起作用,其中波导组件1178包括多个波导。光400在波导1182的输入表面1382处被注入到波导1182中,并通过TIR在波导1182内传播。在光400照射在DOE 282上的点处,一部分光作为出射光束402离开波导。出射光束402被示例为基本上平行,但是如本文所讨论的,依赖于与波导1182相关联的深度平面,出射光束402也可以以一角度(例如,形成发散的出射光束)被重定向以传播到眼睛4。应该理解,基本上平行的出射光束可以指示具有耦出光学元件的波导,所述耦出光学元件将光耦出以形成看起来被设置在距眼睛4较大距离(例如,光学无穷远)处的深度平面上的图像。其它波导或者其它耦出光学元件组可以输出更加发散的出射光束图案,这将需要眼睛4调节到更近距离以将其聚焦在视网膜上并且将被大脑解释为来自比光学无穷远更接近眼睛4的距离的光。

[0098] 在一些实施例中,可以通过在分量颜色(例如,三种或更多种分量颜色)中的每一者中叠加图像来在每个深度平面处形成全色图像。图8示出了堆叠波导组件的示例,其中,每个深度平面包括使用多种不同分量颜色形成的图像。所示的实施例示出了深度平面14a-14f,但也可以预期更多或更少的深度。每个深度平面可以具有与其相关联的三个分量颜色图像:第一颜色G的第一图像;第二颜色R的第二图像;以及第三颜色B的第三图像。对于字母G,R和B之后的屈光度(dpt),在图中通过不同的数字表示不同的深度平面。仅作为示例,这些字母中的每一者后面的数字表示屈光度(1/m),或该深度平面距观看者的距离的倒数,并且图中的每个框表示单独的分量颜色图像。在一些实施例中,为了考虑眼睛对不同波长的光的聚焦的差异,不同分量颜色的深度平面的精确放置可以变化。例如,给定深度平面的不同分量颜色图像可以被放置在与距用户的不同距离相对应的深度平面上。这样的布置可以增加视敏度和用户舒适度,和/或可以减少色差。

[0099] 在一些实施例中,每种分量颜色的光可以由单个专用波导输出,因此,每个深度平面可以具有与其相关联的多个波导。在这样的实施例中,图中包括字母G、R或B的每个框可以被理解为表示单独的波导,并且每个深度平面可以提供三个波导,其中,每个深度平面提供三个分量颜色图像。尽管为了便于描述,在此图中与每个深度平面相关联的波导被示出为邻近彼此,但应当理解,在物理设备中,波导可以全部被布置为每层级一个波导的堆叠形式。在一些其他实施例中,多个分量颜色可以由相同的波导输出,使得例如每个深度平面可以仅提供单个波导。

[0100] 继续参考图8,在一些实施例中,G是绿色,R是红色,B是蓝色。在一些其他实施例中,除了红色、绿色或蓝色之外,可以使用与其他波长的光(包括品红色和青色)相关联的其他颜色,或者这些其他颜色可以替代红色,绿色或蓝色中的一种或多种。在一些实施例中,特征198、196、194和192可以是有源或无源光学滤波器,其被配置为阻挡来自周围环境的光或选择性地允许来自周围环境的光到达观看者的眼睛。

[0101] 应当理解,本公开通篇对给定颜色的光的提及将被理解为包括在被观看者感知为具有该给定颜色的光的波长范围内的一个或多个波长的光。例如,红光可以包括在约620-780nm范围内的一个或多个波长的光,绿光可以包括在约492-577nm范围内的一个或多个波长的光,并且蓝光可以包括在约435-493nm范围内的一个或多个波长的光。

[0102] 在一些实施例中,光源2040(图6)可以被配置为发射观看者的视觉感知范围之外

的一个或多个波长的光,例如红外和/或紫外波长的光。此外,显示器1000的波导的耦入、耦出和其它光重定向结构可以被配置为引导此光并使此光从显示器出射朝向用户的眼睛4,例如用于成像和/或用户激励应用。

[0103] 现在参考图9A,在一些实施例中,可能需要将照射在波导上的光重定向以将该光耦入到波导中。可以使用耦入光学元件将光重定向并且耦入到其对应的波导中。图9A示出了多个堆叠波导或堆叠波导组1200的示例的横截面侧视图,每个波导包括耦入光学元件。波导可以被各自配置为输出一个或多个不同波长的光,或一个或多个不同波长范围的光。应当理解,堆叠1200可以对应于堆叠1178(图6),并且除了来自图像注入装置1200、1202、1204、1206、1208中的一者或多者的光从需要光被重定向以耦入的位置被注入到波导中之外,堆叠1200的所示波导可以对应于多个波导1182、1184、1186、1188、1190的一部分。

[0104] 所示的堆叠波导组1200包括波导1210、1220和1230。每个波导包括关联的耦入光学元件(其也可以被称为波导上的光输入区域),其中例如耦入光学元件1212被设置在波导1210的主表面(例如,顶部主表面)上,耦入光学元件1224被设置在波导1220的主表面(例如,顶部主表面)上,耦入光学元件1232被设置在波导1230的主表面(例如,顶部主表面)上。在一些实施例中,耦入光学元件1212、1222、1232中的一者或者可以被设置在相应波导1210、1220、1230的底部主表面上(特别是在一个或多个耦入光学元件是反射性的偏转光学元件的情况下)。如图所示,耦入光学元件1212、1222、1232可以被设置在它们相应的波导1210、1220、1230(或下一下行波导的顶部)的顶部主表面上,特别是在那些耦入光学元件是透射性的偏转光学元件的情况下。在一些实施例中,耦入光学元件1212、1222、1232可以被设置在相应的波导1210、1220、1230的体中。在一些实施例中,如本文所讨论的,耦入光学元件1212、1222、1232是波长选择性的,使得它们选择性地重定向一个或多个波长的光,同时透射其他波长的光。尽管在它们相应的波导1210、1220、1230的一侧或角上示出,但是应当理解,在一些实施例中,耦入光学元件1212、1222、1232可以被设置在它们相应的波导1210、1220、1230的其它区域中。

[0105] 如图所示,耦入光学元件1212、1222、1232可以彼此横向偏移。在一些实施例中,每个耦入光学元件可以被偏移,使得耦入光学元件接收光,而该光无需传输通过另一耦入光学元件。例如,如图6所示,每个耦入光学元件1212、1222、1232可以被配置为从不同的图像注入装置1200、1202、1204、1206和1208接收光,并且可以与其它耦入光学元件1212、1222、1232分开(例如,横向间隔开),使得该耦入光学元件基本上不接收来自耦入光学元件1212、1222、1232中的其它耦入光学元件的光。

[0106] 每个波导还包括关联的光分布元件,其中,例如,光分布元件1214被设置在波导1210的主表面(例如,顶部主表面)上,光分布元件1224被设置在波导1220的主表面(例如,顶部主表面)上,光分布元件1234被设置在波导1230的主表面(例如,顶部主表面)上。在一些其它实施例中,光分布元件1214、1224、1234可以被分别设置在关联的波导1210、1220、1230的底部主表面上。在一些其它实施例中,光分布元件1214、1224、1234可以被分别设置在关联的波导1210、1220、1230的顶部主表面和底部主表面上;或者,光分布元件1214、1224、1234可以被分别设置在不同的关联的波导1210、1220、1230中的顶部主表面和底部主表面中的不同主表面上。

[0107] 波导1210、1220、1230可以被例如气体、液体和/或固体材料层间隔开并分隔开。例

如,如图所示,层1218a可以使波导1210和1220分隔开;层1218b可以使波导1220和1230分隔开。在一些实施例中,层1218a和1218b由低折射率材料(即,具有比形成紧邻的波导1210、1220、1230中的一个波导的材料的折射率低的材料)形成。优选地,形成层1218a、1218b的材料的折射率比形成波导1210、1220、1230的材料的折射率小了0.05或更大,或小了0.10或更大。有利地,较低折射率层1218a、1218b可以作为包层,其促进通过波导1210、1220、1230的光的全内反射(TIR)(例如,在每个波导的顶部主表面与底部主表面之间的TIR)。在一些实施例中,层1218a、1218b由空气形成。尽管未示出,但应当理解,所示波导组1200的顶部和底部可包括紧邻的包层。

[0108] 优选地,为了便于制造和出于其它考虑,形成波导1210、1220、1230的材料相似或相同,并且形成层1218a、1218b的材料相似或相同。在一些实施例中,形成波导1210、1220、1230的材料在一个或多个波导之间可以是不同的,和/或形成层1218a、1218b的材料可以是不同的,同时仍然保持上述各种折射率关系。

[0109] 继续参考图9A,光线1240、1242、1244入射在波导组1200上。应当理解,光线1240、1242、1244可通过一个或多个图像注入装置1200、1202、1204、1206、1208(图6)而被注入到波导1210、1220、1230中。

[0110] 在一些实施例中,光线1240、1242、1244具有不同的特性,例如,不同的波长或不同的波长范围,这些波长或波长范围可以对应于不同的颜色。耦入光学元件1212、122、1232各自使入射光偏转,使得光通过TIR传播通过波导1210、1220、1230中的相应一者。

[0111] 例如,耦入光学元件1212可以被配置为使具有第一波长或第一波长范围的光线1240偏转。类似地,透射光线1242照射在耦入光学元件1222上并被耦入光学元件1222偏转,该耦入光学元件1222被配置为使第二波长或第二波长范围的光偏转。同样,光线1244被耦入光学元件1232偏转,该耦入光学元件1232被配置为选择性地使第三波长或第三波长范围的光偏转。

[0112] 继续参考图9A,偏转的光线1240、1242、1244被偏转为使得它们传播通过对称的波导1210、1220、1230;也就是说,每个波导的耦入光学元件1212、1222、1232将光偏转到该对应的波导1210、1220、1230中,以将光耦入到该对应的波导中。光线1240、1242、1244以一定角度被偏转,所述角度使光通过TIR传播通过相应的波导1210、1220、1230。光线1240、1242、1244通过TIR传播通过相应的波导1210、1220、1230,直到照射到波导的对应的光分布元件1214、1224、1234上。

[0113] 现在参考图9B,示出了图9A的多个堆叠波导的示例的透视图。如上所述,耦入的光线1240、1242、1244分别被耦入光学元件1212、1222、1232偏转,然后分别在波导1210、1220、1230内通过TIR传播。然后,光线1240、1242、1244分别照射在光分布元件1214、1224、1234上。光分布元件1214、1224、1234使光线1240、1242、1244偏转,使得光线1240、1242、1244分别朝向耦出光学元件1250、1252、1254传播。

[0114] 在一些实施例中,光分布元件1214、1224、1234是正交光瞳扩展器(OPE)。在一些实施例中,OPE既将光偏转或分布到耦出光学元件1250、1252、1254,也在光向耦出光学元件传播时增加此光的光束或光斑尺寸。在一些实施例中,例如,在光束尺寸已经是理想尺寸的实施例中,可以省略光分布元件1214、1224、1234,并且可以将耦入光学元件1212、1222、1232配置为将光直接偏转到耦出光学元件1250、1252、1254。例如,参考图9A,光分布元件

1214、1224、1234可分别被耦出光学元件1250、1252、1254代替。在一些实施例中，耦出光学元件1250、1252、1254是出射光瞳(EP)或出射光瞳扩展器(EPE)，其将光导入观看者的眼睛4(图7)中。

[0115] 因此，参考图9A和9B，在一些实施例中，波导组1200包括：波导1210、1220、1230；耦入光学元件1212、1222、1232；光分布元件(例如，OPE)1214、1224、1234；以及耦出光学元件(例如，EP)1250、1252、1254，用于每种分量颜色。波导1210、1220、1230可以被堆叠有每个波导之间的气隙/包层。耦入光学元件1212、1222、1232将入射光(其中不同耦入光学元件接收不同波长的光)重定向或偏转到其波导中。然后光以一角度传播，该角度将导致相应波导1210、1220、1230内的TIR。在所示的示例中，以先前描述的方式，光线1240(例如，蓝光)被第一耦入光学元件1212偏转，然后继续沿波导反弹，与光分布元件(例如，OPE)1214和耦出光学元件(例如，EP)1250相互作用。光线1242和1244(例如，分别为绿光和红光)将传输通过波导1210，其中光线1242照射在耦入光学元件1222上并被耦入光学元件1222偏转。光线1242然后经由TIR沿波导1220反弹，前进到其光分布元件(例如，OPE)1224，然后前进到耦出光学元件(例如，EP)1252。最后，光线1244(例如，红光)传输通过波导1230而照射在波导1230的光耦入光学元件1232上。光耦入光学元件1232使光线1244偏转，使得该光线通过TIR传播到光分布元件(例如，OPE)1234，然后通过TIR传播到耦出光学元件(例如，EP)1254。然后，耦出光学元件1254最终将光线1244耦出到观看者，观看者还接收来自其它波导1210、1220的耦出光。

[0116] 图9C示出了图9A和9B的多个堆叠波导的示例的俯视平面图。如图所示，波导1210、1220、1230以及每个波导的关联的光分布元件1214、1224、1234和关联的耦出光学元件1250、1252、1254可以垂直对准。然而，如本文所讨论的，耦入光学元件1212、1222、1232不是垂直对准的；相反，耦入光学元件优选地是不重叠的(例如，当在俯视图中观看时横向间隔开)。如本文进一步讨论的，此不重叠的空间布置有助于将来自不同资源的光一对一地注入到不同波导中，从而允许特定光源被唯一地耦合到特定波导。在一些实施例中，包括不重叠的空间分离的耦入光学元件的布置可以被称为移位的光瞳系统，并且这些布置内的耦入光学元件可以与子光瞳对应。

[0117] 基于液晶的布拉格反射结构

[0118] 通常，液晶具有介于常规流体和固体之间的物理特性。虽然液晶在某些方面是流体状的，但与大多数流体不同，液晶内的分子的排列呈现出一些结构顺序。不同类型的液晶包括热致液晶、溶致液晶和聚合物液晶。本文公开的热致液晶可以以各种物理状态实施，例如相，包括向列态/相、近晶态/相、手性向列态/相，或手性近晶态/相。

[0119] 如本文所述，处于向列态或相的液晶可具有棒状(calamitic)(棍状)或盘状(圆盘状)有机分子，这些分子具有相对较小的位置顺序，同时具有长程方向顺序，其长轴大致平行。因此，有机分子可以自由流动，其质心位置在液体中随机分布，同时仍保持其长程方向顺序。在一些实施方式中，处于向列相的液晶可以是单轴的；即，液晶具有一个较长的优先轴，而另两个轴大致相等。在其它实施方式中，液晶可以是双轴的；即，除了定向其长轴之外，液晶还可以沿次轴定向。

[0120] 如本文所述，处于近晶态或相的液晶可具有形成相对明确限定的层的有机分子，这些层可以一个在另一个之上滑动。在一些实施方式中，处于近晶相的液晶可沿一个方向

在位置上有序。在一些实施方式中，分子的长轴可沿与液晶层的平面基本垂直的方向取向，而在其它实施方式中，分子的长轴可相对于与该层的平面垂直的方向倾斜。

[0121] 在本文和整个公开内容中，向列型液晶由棒状分子组成，其中相邻分子的长轴彼此大致对准。为了描述这种各向异性结构，可以使用被称为指向矢 (director) 的无量纲单位矢量n来描述液晶分子的优先取向的方向。

[0122] 在本文和整个公开中，倾角或预倾角Φ可以指在与液晶层或基板的主表面(在x-y平面中)垂直的平面(例如，x-z平面)中测量的以及在定向方向与该主表面或平行于该主表面的方向(例如x方向)之间测量的角。

[0123] 在本文和整个公开中，使用方位角或旋转角φ描述围绕层法线方向或与液晶层的主表面垂直的轴的旋转角，该角在与液晶层或基板的主表面平行的平面(例如，x-y平面)中测量以及在定向方向(例如，伸长方向 (elongation direction) 或指向矢的方向)和平行于主表面的方向(例如，y方向)之间测量。

[0124] 在本文和整个公开中，当诸如旋转角φ或预倾角Φ之类的角被提及为在不同区域之间基本相同时，应该理解，平均定向角例如可以在彼此的约1%、约5%或约10%之内，尽管在一些情况下，平均定向可能更大。

[0125] 在本文和整个说明书中，占空比例如可以指具有使液晶分子在第一定向方向上定向的第一区域(region)的第一横向尺寸与包含该第一区域的区(zone)的光栅周期之间的比率。在适用的情况下，第一区域对应于其中液晶的定向在不同区之间不变的区域。

[0126] 如本文所述，向列态或近晶态的液晶也可以呈现出手性。这种液晶被称为处于手性相或胆甾相。在手性相或胆甾相中，液晶可以呈现出垂直于指向矢的分子扭转，其中分子轴平行于指向矢。相邻分子之间的有限扭转角是由于它们的不对称堆积，这导致更长范围的手性顺序。

[0127] 如本文所述，手性近晶态或相中的液晶可以被配置为使得液晶分子在层状结构中具有位置有序，其中分子相对于层法线倾斜有限角度。另外，手性可以引起从层法线上一个液晶分子到下一个液晶分子的相对于与层法线垂直的方向的液晶分子的连续方位角扭转，从而产生沿层法线的分子轴的螺旋扭转。

[0128] 如本文和整个公开内容所述，手性结构是指胆甾相中的多个液晶分子，这些分子在例如垂直于指向矢的方向(例如层深度方向)上延伸，并且在旋转方向上(例如，顺时针或逆时针)连续旋转或扭转。在一个方面，手性结构中的液晶分子的指向矢可以被表征为具有螺距的螺旋。

[0129] 如本文所述，显示手性的胆甾相中的液晶可被描述为具有手性间距或螺距(p)，其对应于层深度方向上的长度，该长度对应于手性结构的液晶分子在第一旋转方向上的一个完整旋转的净旋转角。换句话说，螺距是指液晶分子经过完全360°扭转的距离。螺距(p)例如可以在温度改变时或在其它分子被添加到液晶主体时(如果被掺杂有手性材料，则非手性液晶主体材料可以形成手性相)改变，从而允许相应地调整的给定材料的螺距(p)。在一些液晶系统中，螺距与可见光的波长具有相同的量级。如本文所述，显示手性的液晶也可以被描述为具有扭转角或旋转角(Φ)，该扭转角或旋转角例如可以指层法线方向上的连续液晶分子之间的相对方位角旋转，并且被描述为具有净扭转角或净旋转角，该净扭转角或净旋转角例如可以指跨指定长度(例如，手性结构的长度或液晶层的厚度)的最上面液晶分子

和最下面液晶分子之间的相对方位角旋转。

[0130] 根据本文所述的各种实施例，上述具有各种态或相的液晶可以被配置为提供各种所需的材料特性，例如包括双折射、光学各向异性和使用薄膜工艺的可制造性。例如，通过改变液晶层的表面条件和/或混合不同的液晶材料，可以制成呈现出在空间上变化的衍射特性（例如，梯度衍射效率）的光栅结构。

[0131] 如本文所述，“可聚合液晶”可以指可以被聚合（例如原位光聚合）的液晶材料，在本文中也可被描述为反应性液晶原（RM）。

[0132] 应当理解，在一些实施例中，液晶分子可以是可聚合的，并且，一旦被聚合，可以与其它液晶分子形成大的网络。例如，液晶分子可以通过化学键或链接性化学物质而与其它液晶分子链接。一旦被接合在一起，液晶分子可以形成液晶畴，这些液晶畴具有与链接在一起之前基本相同的取向和位置。为了便于描述，术语“液晶分子”在本文中用于既指聚合前的液晶分子，也指由这些分子在聚合后形成的液晶畴。

[0133] 根据本文所述的特定实施例，可光聚合的液晶材料可被配置为形成布拉格反射或衍射结构，例如衍射光栅，其材料特性（包括双折射，手性和易于多次涂覆性）可被用于产生具有不同材料特性（例如，双折射、手性和厚度）的衍射光栅，这可导致不同的光学特性，例如衍射效率、波长选择性和离轴衍射角选择性，这仅是几个例子。

[0134] 应当理解，如本文所述，“透射性”或“透明”结构（例如，透明基板）可以允许入射光的至少一部分（例如，至少20%、30%或50%）通过它。因此，在一些实施例中，透明基板可以是玻璃、蓝宝石或聚合物基板。相反，“反射性”结构（例如反射性基板）可以反射入射光的至少一部分（例如，至少20%、30%、50%、70%、90%或更多）以从其反射。

[0135] 光栅的光学特性由光栅的物理结构（例如，周期性、深度和占空比）以及光栅的材料特性（例如，折射率、吸收和双折射）确定。当使用液晶时，可以通过控制例如液晶材料的分子取向或分布来控制光栅的光学特性。例如，通过使液晶材料跨光栅区域的分子取向或分布变化，光栅可以呈现出渐变的衍射效率。下面参考附图描述这样的方法。

[0136] 胆甾型液晶衍射光栅（CLCG）

[0137] 如上文参考图6和7所述，根据本文描述的各种实施例的显示系统可以包括光学元件，例如耦入光学元件、耦出光学元件和光分布元件，其可以包括衍射光栅。例如，如上面参考图7所述，在波导1182的输入表面1382处注入到波导1182中的光400经由全内反射（TIR）在波导1182内传播。在光400照射在耦出光学元件1282上的点处，一部分光作为出射光束402离开波导。在一些实施方式中，光学元件1182、1282或1382中的任何元件可被配置为衍射光栅。

[0138] 在设计基于波导的透明（see-through）显示器（例如，用于虚拟/增强/混合显示器应用）时，耦入到波导1182（或从波导1182耦出）的有效光可能是一个挑战。对于这些和其他应用，希望衍射光栅由其结构可配置为优化各种光学特性（包括衍射特性）的材料形成。除了其它特性之外，理想的衍射特性包括偏振选择性、光谱选择性、角度选择性、高光谱带宽和高衍射效率等。为了解决这些和其他需要，在本文公开的各种实施例中，光学元件1282被配置为胆甾型液晶衍射光栅（CLCG）。如下文所述，根据各种实施例的CLCG可以被配置为优化偏振选择性、带宽、相轮廓（phase profile）、衍射特性的空间变化、光谱选择性和高衍射效率等。

[0139] 在下文中,描述了被配置为反射性液晶衍射光栅的CLCG的各种实施例,所述反射性液晶衍射光栅包括针对各种光学特性而优化的胆甾型液晶 (CLC)。通常,衍射光栅具有周期性结构,其将光分裂并衍射成沿不同方向传播的若干光束。这些光束的方向尤其取决于周期性结构的周期和光的波长。为了优化某些光学特性(例如衍射效率),对于诸如耦出光学元件1282(图6、7)之类的某些应用,可以如下所述优化CLC的各种材料特性。

[0140] 如上所述,手性(向列)相或胆甾相中的胆甾型液晶 (CLC) 层的液晶分子的特征在于多个液晶分子被布置为具有指向矢的连续方位角扭转,该扭转取决于膜在液晶层的法线方向或深度方向上的位置。如本文所述,被布置为具有连续方位角扭转的液晶分子在本文中统称为手性结构。如本文所述,方位角扭转或旋转的角度(ϕ)被描述为上述液晶分子的指向矢之间的角度,该角度是相对于与层法线平行的方向的。手性结构的液晶分子的在空间上变化的指向矢可以被描述为形成螺旋图案,其中螺距(p)被定义为如上所述指向矢旋转360°的距离(例如,在液晶层的层法线方向上)。如本文所述,被配置为衍射光栅的CLC层具有横向尺寸,通过该横向尺寸,液晶的分子结构在垂直于深度方向的横向方向上周期性地重复。横向方向上的这种周期被称为光栅周期(Λ)。

[0141] 根据本文描述的各种实施例,衍射光栅包括胆甾型液晶 (CLC) 层,该层包括多个手性结构,其中每个手性结构包括在层深度方向上延伸至少一个螺距并在第一旋转方向上连续旋转的多个液晶分子。螺距是层深度方向上的长度,其对应于手性结构的液晶分子在第一旋转方向上的一个完整旋转的净旋转角。手性结构的液晶分子的布置在与层深度方向垂直的横向方向上周期性地变化。

[0142] 图10示出了包括多个均匀手性结构的胆甾型液晶 (CLC) 层1004的横截面侧视图。CLC 1004包括CLC层1008,CLC层1008包括被布置为多个手性结构1012-1、1012-2、.....1012-i的液晶分子,其中每个手性结构包括多个液晶分子,其中i是大于2的任何合适的整数。例如,手性结构 1012-1包括多个液晶分子1012-1-1、1012-1-2、.....1012-1-j,这些分子被布置为在层法线方向上延伸,例如,在所示的实施例中,在z方向上延伸,其中j是大于2的任何合适的整数。每个手性结构的液晶分子在第一旋转方向上连续旋转。在所示的实施例中,当在z轴的正向(例如,轴箭头的方向)或入射光束1016-L、1016-R的传播方向观察时,液晶分子沿顺时针方向连续旋转。例如,在所示的实施例中,手性结构1012-1的液晶分子 1012-1-1、1012-1-2、.....1012-1-j例如相对于正x方向以旋转角1、2、.....j连续旋转。在所示的实施例中,为了说明的目的,在z方向上的相反两端之间的手性结构1012-1、1012-2、.....1012-i中的每一者的多个液晶分子进行一个完整旋转或旋转一整圈,使得液晶分子的净旋转角为约360°。因此,手性结构1012-1、1012-2、.....1012-i在z方向上具有与螺距p相同的长度L。然而,实施例不限于此,并且手性结构1012-1、1012-2、.....1012-i 可具有大于或小于1的任何数量的完整旋转,具有低于或高于360°的任何合适的净旋转角和/或短于或长于螺距p的在z方向上的任何合适的长度 L。例如,在本文所述的各种实施例中,手性结构的完整旋转数可以在1 和3之间,在2和4之间,在3和5之间,在4和6之间,在5和7之间,在6和8之间,在7和9之间,或在8和10之间,以及其它旋转数。

[0143] 仍然参考图10,根据一些实施例,z方向上的相邻液晶分子之间的连续旋转角1、2、.....j可以是相同的,或者根据一些其它实施例,它们可以是不同的。作为说明,在所示的实施例中,手性结构1012-1、1012-2、.....1012-i的长度为约p,净旋转角为360°,使得

z 方向上的相邻液晶分子旋转约 $360^\circ / (m-1)$ ，其中 m 是手性结构中的液晶分子数。例如，为了说明，手性结构1012-1、1012-2、……1012-i中的每一者具有13个液晶分子，使得 z 方向上的相邻液晶分子相对于彼此旋转约 30° 。当然，各种实施例中的手性结构可具有任何合适数量的液晶分子。

[0144] 因此，仍然参考图10，在横向方向(例如 x 方向)上相邻的手性结构具有类似地布置的液晶分子。在所示的实施例中，手性结构1012-1、1012-2、……1012-i被类似地配置，使得处于大约相同深度处的不同手性结构的液晶分子(例如最接近光入射表面1004S的液晶分子)具有相同的旋转角，以及处于大约相同深度处的连续液晶分子的连续旋转角，以及每个手性结构的液晶分子的净旋转角。

[0145] 在下文中，在操作中进一步描述图10中所示的CLC层1004。如所述的，CLC层1004包括手性结构1012-1、1012-2、……1012-i，其在横向方向(例如 x 方向)上具有均匀布置。在操作中，当具有左旋圆偏振的光束和具有右旋圆偏振的光束的组合的入射光入射在CLC层1008的表面1004S上时，通过布拉格反射，具有圆偏振旋向性之一的光由CLC层1004反射，而具有相反偏振旋向性的光在基本没有干扰的情况下透射通过CLC层1008。如本文和整个公开所述，旋向性被定义为在传播方向上观察。根据实施例，当光束1016-L、1016-R的偏振方向或偏振的旋向性匹配而使得它具有与手性结构1012-1、1012-2、……1012-i的液晶分子具有相同的旋转方向时，入射光被反射。如图所示，入射在表面1004S上的是具有左旋圆偏振的光束1016-L和具有右旋圆偏振的光束1016-R。在所示的实施例中，手性结构1012-1、1012-2、……1012-i的液晶分子在入射光束1016-L、1016-R传播的方向(即正 x 方向，该方向是与具有右旋圆偏振的光束1016-R相同的旋转方向)上连续地沿顺时针方向旋转。因此，具有右旋圆偏振的光束1016-R基本上被反射，而具有左旋圆偏振的光束1016-L基本透射通过CLC层1004。

[0146] 不受任何理论的束缚，在布拉格反射条件下，入射光的波长(λ)可以与CLC层的均或平均折射率(n)以及螺距(p)成比例，在某些情况下可表示为满足以下条件：

$$[0147] \lambda \cong np \quad [1]$$

[0148] 另外，布拉格反射波长的带宽($\Delta \lambda$)可以与CLC层1004的双折射 Δn (例如，不同光偏振之间的折射率差)和螺距(p)成比例，在某些情况下可表示为满足以下条件：

$$[0149] \Delta \lambda = \Delta n \cdot p \quad [2]$$

[0150] 在本文所述的各种实施例中，带宽 $\Delta \lambda$ 为约60nm，约80nm或约100 nm。

[0151] 根据各种实施例，在例如约390nm和约700nm之间的可见波长范围内，或者在例如约700nm和约2500nm之间的近红外波长范围内的峰值反射强度可以超过约60%，约70%，约80%或约90%。另外，根据各种实施例，半峰全宽(FWHM)可以小于约100nm，小于约70nm，小于约50nm或小于约20nm。

[0152] 图11示出了CLC光栅(CLCG)1150的横截面侧视图，该CLC光栅在横向方向上具有不同地布置的手性结构，例如在横向方向上具有变化的扭转角的手性结构。类似于图10的CLC层1004，衍射光栅1150包括胆甾型液晶(CLC)层1158，CLC层1158包括被布置为多个手性结构1162-1、1162-2、……1162-i的液晶分子，其中每个手性结构包括多个液晶分子。例如，手性结构1162-1包括多个液晶分子1162-1-1、1162-1-2、……1162-1-j，这些液晶分

子被布置为在层法线方向(在所示实施例中表示为z方向)上延伸。每个手性结构的液晶分子以与参考图10所述类似的方式在第一旋转方向上连续旋转。此外,手性结构的各种其它参数——包括长度L、由液晶分子做出的完整旋转次数以及每个手性结构的液晶分子数量——类似于上面关于图10描述的手性结构。

[0153] 然而,与图10所示的实施例形成对比,在图11所示的实施例中,在横向方向(例如x方向)上相邻的手性结构具有不同地布置的液晶分子。手性结构1162-1、1162-2、.....1162-i在x方向上被不同地配置,使得处于大约相同深度处的不同手性结构的液晶分子具有不同的旋转角。例如,在所示的实施例中,手性结构1162-1、1162-2、.....1162-i的最接近入射表面1158S的液晶分子1162-1-1、1162-2-1、.....1162-i-1分别在相对于例如正x方向的正x轴方向上以旋转角 ϕ_1 、 ϕ_2 、..... ϕ_i 连续旋转。在所示的实施例中,跨与衍射光栅1150的周期对应的横向长度 Λ 最接近入射表面1158S的液晶分子1162-1-1、1162-2-1、.....1162-i-1的净旋转角是约180°的旋转角。另外,设置在大约相同深度水平处的不同手性结构的液晶分子相对于各个最表面的液晶分子旋转大约相同的旋转角。

[0154] 仍然参考图11,根据一些实施例,在x方向上跨周期 Λ 处于相同深度水平的液晶分子的连续旋转角 ϕ_1 、 ϕ_2 、..... ϕ_i 可以是相同的,或者根据一些其它实施例,它们可以是不同的。在所示的实施例中,对于周期 Λ ,当净旋转角如所示实施例中那样为360°时,x方向上的相邻液晶分子旋转约 $360^\circ / (m-1)$,其中m是周期 Λ 在x方向上所跨越的液晶分子的数量。例如,为了说明,跨周期 Λ 有7个液晶分子,使得在x方向上处于相同垂直水平(vetical level)处的相邻液晶分子相对于彼此旋转大约30°。当然,各种实施例中的手性结构可具有任何合适数量的液晶分子。

[0155] 应当理解,为了说明,CLC层1158被示出为仅具有一个周期 Λ 。当然,实施例不限于此,并且CLC层1158可以具有由x方向上的CLCG的横向尺寸确定的任何合适数量的周期。

[0156] 如由CLCG 1150所示,当横向方向(例如,x方向)上的手性结构被不同地布置(例如,连续旋转)时,连续旋转的手性结构引起反射光的相对相位沿x方向的变化。针对曲线图1170对此进行说明,曲线图1170绘制了由一个周期 Λ 内在x轴方向上以旋转角 ϕ_1 、 ϕ_2 、..... ϕ_i 连续旋转的手性结构导致的相位变化 ϕ 。不受任何理论的束缚,反射光1018的相对相位差($\Delta\phi$)可表示为 $\Delta\phi(x) = (2\pi x / \Lambda)$,其中x是沿横向方向的位置, Λ 是周期。带宽可以表示为 $\Delta\lambda \approx \Delta n \cdot p$ 。

[0157] 返回参考图10至11和等式[1]和[2],根据各种实施例,可以通过改变手性结构的螺距p来改变布拉格反射波长。在各种实施例中,不受任何理论的束缚,螺距p可以通过增大或减小螺旋扭转力(HTP)来改变,该扭转力是指手性化合物引发上述旋转角或扭转角的能力。可以通过相对于非手性化合物的量改变手性化合物的量来改变HTP。在各种实施例中,通过化学和/或机械地将手性化合物与非手性化合物(例如向列化合物)混合,布拉格反射波长以及颜色可以基于手性化合物的相对比例和螺距之间的关系而变化。在本文公开的各种实施例中,手性化合物的量与非手性化合物的量的重量比可为约20:1、10:1、5:1、4:1、3:1、2:1、1:1、1:2、1:3、1:4、1:5、1:10或约1:20。

[0158] 在上文关于图10和11的描述中,入射光束1016-L、1016-R被示出为在平行于层法线的方向上传播,例如在z方向上传播。然而,对于各种应用,例如,如上面关于图6和7所述,在波导1182内传播的光(例如经由全内反射(TIR)传播)以一离轴角照射在耦出光学元件

1282、1284、1286、1288、1290(例如,衍射光栅)上。如下所述,本文描述的衍射光栅可以被配置为使这种配置的带宽和衍射效率最大化。

[0159] 在上文关于图10和11的描述中,液晶分子被示出为未发生预倾斜。然而,实施例不限于此,并且液晶分子可以具有相对于与CLCG的主表面平行的方向(例如,相对于x-y平面)的预倾角 Φ ,根据一些实施例,该预倾角在约+/-60度和约+/-90度之间,或者在约+/-65度和约+/-85度之间,例如约+/-75度;在约+/-35度和约+/-65度之间或在约+/-40度和约+/-60度之间,例如约+/-50度;在约+/-10度和约+/-40度之间或在约+/-15度和约+/-35度之间,例如约+/-25度。根据一些其它实施例,预倾角 Φ 可以在约±15度之间或在约±10度之间或在约±5之间,例如0度。

[0160] 被配置为以离轴入射角高带宽反射的CLCG

[0161] 图12示出了被配置为以一离轴入射角高带宽反射的CLC层1158的横截面侧视图。如本文所述,离轴入射角是指入射光束1216相对于层法线方向(例如,图12中的z方向)的入射角 θ_{inc} ,其具有非零值,从而导致反射角 θ 处的布拉格反射光束1220。在某些情况下,可以通过改变 λ/Λ 在一定程度上改变反射角。不受任何理论的限制,在某些情况下,可以基于以下关系描述离轴反射:

$$n \cdot \sin(\theta) = \lambda/\Lambda + \sin(\theta_{inc}) \quad [3]$$

[0163] 其中 θ_{inc} 是相对于层法线方向的入射角, θ 是相对于层法线方向的反射角,n是反射光束在其中传播的介质的反射率。当用入射光束1216以一离轴角照射CLC层1158时,反射光谱可以朝向更短的波长移动。根据本文公开的各种实施例,比率 λ/Λ 可以具有0.5和0.8之间,0.6和0.9之间,0.7和1.0之间,0.8和1.1之间,0.9和1.2之间,1.0和1.6之间,1.1和1.5之间,或1.2和1.4之间的值。

[0164] 不受任何理论的束缚,CLC层1158被配置为以高效率进行布拉格反射时的离轴角也可依赖于手性结构的螺距p。

[0165] 图13A和13B示出了被配置为以一离轴入射角进行反射的CLC层的横截面侧视图。参考图13A,第一胆甾型液晶(CLC)层1358A包括具有第一螺距(p₁)的第一多个手性结构。第一CLC层1358A具有第一螺距p₁,使得当第一入射光束1316A以第一离轴角 $\theta_{inc,1}$ 被引导到CLC层1358A的入射表面时,布拉格反射最大,这导致第一反射角θ₁处的第一反射光束1320A。如图所示,CLC层1358A还被配置为具有离轴入射角的第一范围1324A,在该第一范围1324A中可以获得相对高的衍射效率。第一范围1324A可以对应于一离轴入射角范围,在该范围之外,第一反射光束1320A的强度下降超过例如1/e。例如,第一范围1324A可以具有以下值: $\theta_{inc,1} \pm 3^\circ$ 、 $\theta_{inc,1} \pm 5^\circ$ 、 $\theta_{inc,1} \pm 7^\circ$ 、 $\theta_{inc,1} \pm 10^\circ$ 或 $\theta_{inc,1} \pm 20^\circ$ 。

[0166] 参考图13B,与第一CLC层1358A不同的第二胆甾型液晶(CLC)层1358B包括第二多个手性结构,所述第二多个手性结构具有与图13A的第一CLC层1358A的第一螺距p₁不同的第二螺距(p₂)。

[0167] 如图所示,第二CLC层1358B被配置为使得当第二入射光束1316B以不同于第一离轴角 $\theta_{inc,1}$ 的第二离轴角 $\theta_{inc,2}$ 被引导到CLC层1358B的入射表面时,产生具有不同于第一反射角 θ_1 的第二反射角 θ_2 的第二反射光束1320B。如图所示,CLC层1358B还被配置为具有离轴角的第二范围1324B,其类似于上面关于图13A描述的第一范围1324A。

[0168] 图13C示出了CLCG 1358的横截面侧视图,该CLCG 1358包括多个 CLC层,这些CLC

层在堆叠配置中具有用于以多个离轴入射角以及高衍射带宽进行布拉格反射的不同螺距。CLCG 1358包括分别在上面关于图 13A和13B描述的CLC层1358A、1358B,这些CLC层1358A、1358B 在彼此之上形成,例如以堆叠的配置和/或彼此接触的方式形成。可以改善或优化包括不同螺距的多个CLC层1358A、1358B的各种参数,以使得 CLCG 1358被配置为在比仅使用一个CLC获得的离轴角范围更宽的范围以多个离轴入射角和高衍射效率进行高效反射。例如,在所示的实施例中,可以选择 p_1 和 p_2 ,以使得所得到的第一和第二范围1324A和1324B至少部分地重叠,以在包括第一和第二范围1324A和1324B的连续波长范围内提供高衍射效率。然而,在其它实施例中,可以将 p_1 和 p_2 选择为使得第一和第二范围1324A和1324B不重叠。

[0169] 在操作中,第一和第二CLC层1358A、1358B在彼此之上形成,使得当第一和第二入射光束1316A、1316B以第一和第二离轴角 θ_{inc1} 、 θ_{inc2} 被引导到第一CLC层1358A的入射表面时,第一入射光束1316A基本上由第一CLC层1358A以第一反射角 θ_1 反射,而第二入射光束1358B朝向第二CLC层1358B的入射表面而基本上透射通过第一CLC层1358A,并且基本上由第二CLC层1358B以第二反射角 θ_2 反射。应当理解,虽然为了清楚起见未示出,但是上述概念可以扩展到任何合适数量的CLC层。

[0170] 如本文和整个说明书中所述,“基本上透射”通过某层的光束可以指当光离开该层时入射光强度的至少20%、30%、50%、70%或90%保留下来的光。类似地,由某层“基本上反射”的光束可以指入射光强度的至少 20%、30%、50%、70%或90%在反射光中保留下来的光。

[0171] 仍然参考图13C,在各种实施例中,第一和第二CLC层1358A、1358B 的液晶分子可以包括不同量的相同手性化合物,使得CLC层1358A、1358B 具有不同的螺旋扭转力(HTP),如上所述。例如,第二CLC层1358B 可以具有与第一CLC层1358A相比更高的相同手性化合物的量。在一些实施例中,螺距p可以与手性化合物相对于包含手性和非手性化合物的整体液晶化合物的分率(fraction)成反比。然而,实施例不限于此,并且第一和第二CLC层1358A、1358B可具有不同的手性化合物。

[0172] 另外,在各种实施例中,第一和第二CLC层1358A、1358B的液晶分子可以包括相同或不同的手性化合物,使得CLC层1358A、1358B分别具有不同的比率 λ/Λ_1 和 λ/Λ_2 ,使得CLC层1358A、1358B可以被配置为实现不同入射角 θ_{inc1} 、 θ_{inc2} 处的高衍射效率,例如,根据等式[3]。

[0173] 仍然参考图13C,根据一些实施例,第一和第二CLC层1358A、1358B 可以直接在彼此的顶上制造。例如,第一CLC层1358A可以沉积在为第一CLC层1358A提供定向条件的定向层(alignment layer)上,并且随后,第二CLC层1358B可以沉积在第一CLC层1358B上。在这些制造条件下,第一CLC层1358A的表面可以为第二CLC层1358B提供定向条件。在一些其它实施例中,CLC层1358A、1358B中的每一者可以用单独的定向层制造。例如,第一CLC层1358A可以形成在第一定向层上,第二定向层可以形成在第一CLC层1358A上,第二CLC层1358B可以形成在第二定向层上。根据一些实施例,在形成第二定向层和/或第二CLC层 1358B之前,可以在第一CLC层1358A上形成隔离层,例如薄氧化物层。在其它实施例中,两个CLC层1358A、1358B可以在不同的基板上被单独制造并随后被堆叠。在各种实施例中,可以在两个CLC层1358A、1358B 之间形成中间层,例如以增强粘附性。

[0174] 以上关于具有被优化为实现不同离轴角处的最佳衍射效率的多个 CLC层的CLCG

描述的概念可以扩展到其它替代实施例。特别地,在一些实施例中,代替形成多个层,可以将单个CLC层配置为具有通过优化来实现不同离轴角处的最佳衍射效率的不同区域。

[0175] 图14示出了包括具有垂直区域的单个CLC层1404的CLCG 1400的横截面侧视图,这些垂直区域具有以不同垂直区域处的离轴入射角以及高衍射带宽进行布拉格反射的沿深度方向的不同螺距。CLC层1404具有多个垂直区域,这些垂直区域具有不同的参数,例如,不同的螺距,这些参数被优化以使得可以在比使用仅一个CLC层(该层在深度方向上具有均匀间距)获得的离轴角范围更宽的范围内获得高衍射效率。在所示的实施例中,单个CLC层1404包括多个垂直区域1404A、1404B、1404C和1404D,它们可以分别具有不同的螺距 p_1 、 p_2 、 p_3 和 p_4 。类似于上面关于图13C所描述的,可以选择螺距 p_1 、 p_2 、 p_3 和 p_4 ,以使得多个垂直区域1404A、1404B、1404C和1404D分别被配置为实现入射角 θ_{incA} 、 θ_{incB} 、 θ_{incC} 和 θ_{incD} 处的最佳衍射效率,这分别导致在不同垂直深度上相应反射角 θ_A 、 θ_B 、 θ_C 和 θ_D 处的反射光束。此外,如上面关于图13C所述,CLC层1404还被配置为具有相应的离轴角范围,在所述离轴角范围内可以获得相对高的衍射效率。当然,虽然为了清楚起见示出了四个垂直区域,但是CLC层1404中可以包括任何合适数量的区域。此外,上面关于图13C的具有多个CLC 层的CLCG 1358描述的不同变化可以应用于CLCG 1400。

[0176] 在图14所示的实施例中,螺距 p_1 、 p_2 、 p_3 和 p_4 的值随着距入射表面 1404S的深度的增加而减小,使得在深度方向(负z方向)上产生逐渐减小的螺距梯度。当随着z方向上的层深度而变化的螺距的减小率跨CLC 层1404的整个厚度均匀时,可以获得表示深度与螺距之间的线性关系的曲线图1408。然而,实施例不限于此。例如,根据一些其它实施例,螺距 p_1 、 p_2 、 p_3 和 p_4 可以在任何深度处增大或减小,并且可以根据层深度而以不同的速率改变。

[0177] 可以通过改变(例如,增大或减小)CLC层的不同深度处的液晶分子的螺旋扭转力(HTP)来制造具有螺距梯度的CLC层1404。通过改变手性化合物的相对量,HTP又可以在空间上变化。在各种实施例中,通过化学和/或机械地将手性化合物与非手性化合物(例如向列化合物)在不同的垂直深度处混合,垂直区域1404A、1404B、1404C和1404D的螺距可以被配置为基于手性化合物的相对分率和螺距之间的反比关系,分别实现不同的入射角 θ_{incA} 、 θ_{incB} 、 θ_{incC} 和 θ_{incD} 处的最佳衍射效率。例如,可以使用在UV辐射下以不同反应速率进行聚合过程的不同化学组分(例如,手性双丙烯酸酯单体和向列/非手性单丙烯酸酯单体)的混合物。附加地或替代地,通过改变CLC层的不同深度处的UV辐射的照射条件(包括曝光强度和/或曝光时间),可以使HTP在空间上变化。还可以通过改变UV 聚合过程的前/后处理(包括UV 辐射之前、之后和/或期间的热处理)而使 HTP在空间上变化。例如,当将UV吸收染料添加到混合物中时,可以产生CLC层的不同深度处的UV光的强度梯度。例如,由于UV强度梯度,与CLC层的底部区域相比,表面附近的聚合可以以更快的速率进行。例如,当胆甾组分是双丙烯酸酯时,被并入到所得聚合物中的可能性可以高得多,例如,是向列单丙烯酸酯被并入到聚合物中的可能性的两倍高。在某些情况下,如果控制总聚合速率,使得CLC层的表面区域附近的手性双丙烯酸酯的消耗在CLC层的深度方向上产生双丙烯酸酯浓度梯度。这反过来使双丙烯酸酯开始向CLC层的表面区域扩散。完全光聚合后的结果可以是CLC层的表面区域包含更多手性材料,因此与CLC层的底部区域(其包含相对大量的非手性化合物)相比具有更短螺距。在某些其它情况下,UV辐射之前/之后或期间的热处理可以被添加到聚合过程中以控制螺距梯度。因此,通过在有或没有热处理的情况下控制两种不同液晶单体之间的比

率和/或不同深度处的UV辐射的剂量,可以沿CLC层的深度方向实现螺距梯度。

[0178] 对于某些应用,可能希望使衍射光栅具有某些光学特性(例如偏角衍射效率、折射率、波长选择性、偏振选择性和相位选择性以及其它参数)沿着与层法线方向正交的横向方向变化。例如,当光栅与波导堆叠时(例如,如上面关于图6和7所示),希望有横向变化,使得光在横向方向上传播。然而,在这种配置下,光的强度可能随着其在波导(例如,图7中的1182)内传播而衰减。例如,还可能希望这样的配置,以有意地使光强度跨光栅(例如,图7中的1282)偏斜(skew),从而适应与人眼相关联的感测效率的空间和/或角度变化,以最大化用户体验。因此,需要具有在空间上变化的光学特性的光学元件,例如衍射光栅。

[0179] 图15示出了包括具有横向区域的CLC层的CLCG的横截面侧视图,这些横向区域具有用于在空间上变化的布拉格反射的沿横向方向的不同螺距。CLC层1424具有多个横向区域,这些横向区域具有不同的液晶材料参数(例如螺距),使得可以获得横向变化的特性,例如用于布拉格反射的横向变化的离轴入射角。在所示的实施例中,CLC层1424包括多个横向区域1424A、1424B和1424C,每个横向区域具有周期 Λ 并且具有相应的螺距 p_1 、 p_2 和 p_3 。可以选择螺距 p_1 、 p_2 和 p_3 ,使得多个垂直区域1424A、1424B和1404C被配置用于不同离轴入射角 θ_{incA} 、 θ_{incB} 和 θ_{incC} 处的最佳衍射效率,这分别导致相应的反射角 θ_A 、 θ_B 和 θ_C 处的反射光。此外,如上面关于图13C所述,CLC层1424的不同横向区域还被配置为具有相似的相应离轴角范围,在这些离轴角范围内可以获得相对高的衍射效率。当然,虽然为了清楚起见示出了三个垂直区域,但是在CLC层1424中可以包括任何合适数量的区域。

[0180] 在图15所示的实施例中,螺距 p_1 、 p_2 和 p_3 的大小可以在横向方向上单调变化,从而产生螺距的梯度。当x方向上的螺距变化率在CLC层1424的宽度或长度上均匀时,可以获得长度或宽度和螺距之间的线性关系,如表示a的图形1428所示。然而,实施例不限于此。例如,根据各种其它实施例,螺距 p_1 、 p_2 和 p_3 可以在任何横向位置处增大或减小,并且可以沿着长度或宽度在x方向上以不同的速率改变。

[0181] 根据各种实施例,可以通过例如液晶分子的在空间上变化的定向特性或其它材料特性来将CLC层制造为具有在横向变化的衍射特性。例如,以上文关于图14描述的类似方式,例如通过控制两种不同液晶单体之间的比率和/或不同横向区域中的UV辐射剂量,可以实现沿横向尺寸的横向螺距梯度。

[0182] 波导与CLCG耦合以实现波长选择性光耦合

[0183] 如上文所述,对于包括光的耦入和耦出的各种应用,波导装置可以被配置为经由全内反射(TIR)传播光。图16示出了光学波导装置1600的示例,其包括被耦合到CLCG 1150的波导1604。CLCG 1150包括以与上文关于图11描述的手性结构1162-1、1162-2、……1162-i类似的方式被布置为多个手性结构的液晶分子。波导1604被设置在CLCG 1150上方并被光学耦合到CLCG 1150。当椭圆/圆偏振入射光1016-R/L具有与手性结构的液晶分子的旋转方向相匹配的偏振旋向性时,入射光1016-R/L由CLCG 1150进行布拉格反射,并以一角度被耦合到波导1604中,使得耦合光经由全内反射(TIR)在横向方向(例如,x方向)上传播。不受任何理论的束缚,当衍射角 θ 大于波导的临界角 θ_c 时,可以满足TIR条件。在一些情况下,TIR条件可被表示为:

$$[0184] \sin(\theta_c) = 1/n_t \quad [4]$$

[0185] 其中 n_t 是波导1604的折射率。根据各种实施例, n_t 可以在约1和约2之间,在约1.4和

约1.8之间,或者在约1.5和约1.7之间。例如,波导可以包括聚合物,例如聚碳酸酯或玻璃。

[0186] 图17A示出了第一光学波导装置1700A,该光学波导装置包括第一波导1704A,第一波导1704A被耦合到第一CLCG 1750A并且被配置为当 $\theta > \theta_{c3}$ 时经由全内反射(TIR)传播具有第三波长 λ_3 的光。第一CLCG 1750A具有第一周期 Λ_1 和第一螺距 p_1 。根据一些实施例,第一波导装置 1700A可以被配置为经由TIR传播可见光谱(例如,波长在约400nm和 700nm之间)内的光。根据一些其它实施例,第一波导装置1700A可以被配置为经由TIR传播红外光谱(例如,波长在约700nm和1400nm之间的光谱的近红外部分)内的光。如上面关于图10和11所述,布拉格反射发生在由上文的等式[1]表示的波长处,以及由上文的等式[2]表示的波长 $\Delta\lambda$ 的带宽内。例如,第一CLCG 1750A可以被设计为经由TIR耦合第三入射光1736,第三入射光1736具有蓝色(例如约450nm)、绿色(例如约550nm)、红色(例如约650nm)之一或红外中的第三波长 λ_3 。如图所示,当 $\Delta\lambda$ 为约60nm、约80nm或约100nm时,如上文所述,具有第一和第二波长 λ_1 、 λ_2 的第一光和第二光1716和1726基本上被透射,这是因为对于这些由于不满足等式[4]而未被耦入到第一波导1704中的颜色,不满足等式[1]。

[0187] 图17B示出了与上面关于图17A所示的第一光学波导装置1700A组合的第二光学波导装置1700B。光学波导装置1700B在光路中被设置在光学波导装置1700A之后,并且包括第二波导1704B,第二波导1704B被耦合到第二CLCG 1750B并且被配置为当 $\theta > \theta_{c2}$ 时经由全内反射(TIR)传播具有第二波长 λ_2 的光1726。第二CLCG 1750B具有第二周期 Λ_2 和第二螺距 p_2 。如上面关于图17A所述,具有第一和第二波长 λ_1 、 λ_2 的第一和第二光1716和1726基本上透射通过第一光学波导装置1700A。在所透射的第一和第二光1716和1726中,第二CLCG 1750B可以被设计为当 $\theta > \theta_{c2}$ 时经由TIR耦合第二入射光1726,第二入射光1726具有在蓝色(例如,约450nm)、绿色(例如,约550nm)、红色(例如,约650nm) 或红外之一中透射的第二波长 λ_2 。因此,如图所示,当 $\Delta\lambda$ 为约60nm、约80nm或约100nm时,如上文所述,具有第一波长 λ_1 的第一光1716 基本上进一步透射通过第二波导装置1700B。

[0188] 图17C示出了与上面关于图17B所示的第一和第二光学波导装置 1700A和1700B组合的第三光学波导装置1700C。第三光学波导装置1700C 在光路中被设置在第一和第二光学波导装置1700A和1700B之后,并且包括第三波导1704C,第三波导1704C被耦合到第三CLCG 1750C并且被配置为当 $\theta > \theta_{c1}$ 时经由全内反射(TIR)传播具有第一波长 λ_2 的第一光1716。第三CLCG 1750C具有第三周期 Λ_3 和第三螺距 p_3 。如上面关于图 17B所述,具有第一波长 λ_1 的第一光1716基本上透射通过第一和第二波导装置1700A和1700B。第三CLCG 1750C可以被设计为当 $\theta > \theta_{c1}$ 时经由TIR耦合第一入射光1716,第一入射光1716具有在蓝色(例如,约450 nm)、绿色(例如,约550nm)、红色(例如,约650nm) 或红外之一中透射的第一波长 λ_1 。因此,如图所示,当 $\Delta\lambda$ 为约60nm、约80nm或约100nm时,如上文所述,因为满足等式[4],具有第一波长 λ_1 的第一光1716基本上被耦合到第三波导1704C中。

[0189] 因此,如上面关于图17A至17C所述,通过将第一、第二和第三光学波导装置1700A, 1700B和1700C中的一者或者放置在相同的光路中,具有不同波长 λ_1 、 λ_2 和 λ_3 的第一、第二和第三光1716、1726和1736中的一者或者可以被耦合而分别在第一、第二和第三波导1704A、1704B 和1704C之一中经由TIR传播。虽然在图17A至17C中的每一者中,第一至第三光学波导装置1704A、1704B和1704C中的每一者分别具有专用的第一至第三波导1704A、1704B和1704C以及专用的第一至第三CLCG 1750A、1750B和1750C,但实施例不限于此。例

如,单个波导可以经由 TIR耦合来自多个CLCG的堆叠的布拉格反射光,如下文关于图18所示。此外,也可以组合大于三个(或小于三个)的任何合适数量的光学波导装置来通过布拉格反射进行进一步的选择性耦合。

[0190] 图18示出了光学波导装置1800,该光学波导装置包括被耦合到多个 CLCG 1750的公共波导1704。多个CLCG 1750被配置为堆叠,该堆叠包括第一至第三CLCG 1750A至1750C并且被配置为经由全内反射(TIR) 分别传播具有第三,第二和第一波长 λ_3 、 λ_2 和 λ_1 的第三、第二和第一光 1736、1726和1716。当第三、第二和第一光1736、1726和1716中的一者或者分别满足条件 $\theta > \theta_{c3}$ 、 $\theta > \theta_{c2}$ 和 $\theta > \theta_{c1}$ 时,以与上述关于图17A 至17C描述的类似方式发生TIR。同样以类似的方式,第一、第二和第三 CLCG 1750A、1750B和1750C被配置为当 $\theta > \theta_{c3}$ 、 $\theta > \theta_{c2}$ 和 $\theta > \theta_{c1}$ 时分别选择性地布拉格反射第三、第二和第一光1736、1726和1716。当然,可以堆叠小于或大于三个(或小于三个)的任何合适数量的CLCG来通过布拉格反射进行进一步的选择性耦合。因此,与上面关于图17B和17C描述的实施例相比,通过采用公共波导1704可以获得更紧凑的波导装置 1800。而且,代替三个不同的CLCG层(如图18所示),CLCG层的堆叠可以被布置为具有螺距梯度(包括从 p_1 到 p_3 的范围)的单个(或多个) 层。

[0191] 如上面关于图17A至18所述,第一至第三CLCG 1750、1750B、1750C 分别具有第一至第三周期 Λ_1 、 Λ_2 和 Λ_3 以及第一至第三螺距 p_1 、 p_2 和 p_3 。在各种实施例中,每个CLCG可以被配置为使得波长/周期比 λ/Λ 在约0.3 和2.3之间,在约0.8和1.8之间,或在约1.1和约1.5之间,例如约1.3。或者,与CLCG被配置用于布拉格反射的相应波长(λ)相比,周期(Λ) 可以被配置为较小,减小的幅度在约1nm和250nm之间,在约50nm和 200nm之间,或在约80nm和170nm之间。例如,当 λ_1 、 λ_2 和 λ_3 在可见光范围内(例如,分别为约620nm至约780nm,例如约650nm(红色);约492nm至约577nm,例如550nm(绿色),以及约435nm至约493nm,例如约450nm(蓝色))时,相应的周期 Λ_1 、 Λ_2 和 Λ_3 可以分别为约450 nm至约550nm,例如约500nm;约373nm至约473nm,例如约423nm;以及约296nm至约396nm,例如约346nm。或者,当 λ_1 、 λ_2 和 λ_3 在红外范围内(例如,在约750nm至约1400nm之间的近红外范围内,例如约850nm)时,相应的周期 Λ_1 、 Λ_2 和 Λ_3 可以为约975nm至约1820nm,例如约1105nm。另外,在各种实施例中,每个CLCG可以被配置为使得波长/螺距比 λ/p 在约0.6和2.6之间,在约1.1和2.1之间,或在约1.4和约1.8之间,例如约1.6。或者,与CLCG被配置用于布拉格反射的相应波长(λ)相比,螺距(p)可以被配置为较小,减小的幅度在约50nm 至350nm之间,在约100nm至300nm之间,或在约140nm至280nm 之间。例如,当 λ_1 、 λ_2 和 λ_3 分别为约620nm至约780nm,例如约650 nm(红色);约492nm至约577nm,例如550nm(绿色),以及约435 nm至约493nm,例如约450nm(蓝色))时,相应的螺距 p_1 、 p_2 和 p_3 可以分别为约350nm至约450nm,例如约400nm;约290nm至约390 nm,例如约340nm;以及约230nm至约330nm,例如约280nm。或者,当 λ_1 、 λ_2 和 λ_3 在红外范围内(例如,在约750nm至约1400nm之间的近红外范围内,例如约850nm)时,相应的周期 Λ_1 、 Λ_2 和 Λ_3 可以为约 1200nm至约2240nm,例如约1360nm。

[0192] 波导与CLCG和反射镜耦合以实现波长选择性光耦合

[0193] 图19示出了光学波导装置1900,该光学波导装置包括被耦合到CLCG 1150的波导1604,其类似于上文关于图16描述的光学波导装置。如上文关于图10和11所述,在操作中,当椭圆/圆偏振入射光的偏振旋向性具有与CLCG 1150的手性结构的液晶分子相同的旋转方向时,CLCG 1150基本上反射入射光。如图所示,入射在表面1050S上的是具有左旋圆偏振

的光束1016-L和具有右旋圆偏振的光束1016-R。在所示的实施例中,当观察入射光束1016-L、1016-R传播的方向(即负z方向)时,手性结构的液晶分子沿顺时针方向连续旋转,使得液晶分子的旋转方向与具有右旋圆偏振的光束1016-R的旋向性相匹配。因此,具有右旋圆偏振的光束1016-R基本上被CLCG 1150反射,而具有左旋圆偏振的光束1016-L基本上透射通过CLCG 1150。

[0194] 对于某些应用,可能希望在类似于上面关于图19所述的耦入波导装置之前使椭圆或圆偏振光的偏振旋向性翻转。这种出现这种情况:例如,入射的椭圆或圆偏振光的偏振旋向性与CLCG中的手性结构的旋转方向不匹配,使得CLCG不被配置为按照上文所述使光布拉格反射以耦入到波导内。对于一些其它应用,由于入射的椭圆或圆偏振光的偏振旋向性与CLCG中的手性结构的旋转方向之间缺乏匹配,可能希望回收透射通过 CLCG的光。为了解决这些和其它需求,在下文中,公开了采用偏振转换反射器来满足这些需求的波导装置的各种实施例。

[0195] 图20示出了光学波导装置2000,该光学波导装置包括被耦合到CLCG 1604的波导1150和偏振转换反射器2004,其中CLCG 1604被配置为接收入射光,波导1150被配置为经由全内反射(TIR)传播从CLCG布拉格反射的光。偏振转换反射器2004被配置为使得:在入射的椭圆或圆偏振光从该偏振转换反射器2004反射时,该入射的椭圆或圆偏振光的偏振旋向性被翻转为相反的偏振旋向性(例如,左旋到右旋,或者右旋到左旋)。波导装置2000类似于上面关于图19描述的波导装置1900,但不被配置为首先接收通过波导1150的入射光束,波导装置2000而是被配置为首先接收通过CLCG 1604的具有例如左旋圆偏振的入射光束2016-L。当在入射光束2016-L的传播方向(负z方向)上观察时,入射光束2016-L具有与 CLCG 1604中的手性结构的旋转方向不匹配的偏振旋向性,使得它不被 CLCG 1604布拉格反射。因此,入射光束2016-L基本上透射通过CLCG 1604,随后被偏振转换反射器2004反射。具有例如右旋圆偏振的反射光束 2016-R由此成为波导1150的表面1150S上的入射光束。由于翻转的偏振旋向性,当在反射光束2016-R的传播方向(正z方向)上观察时,现在入射在波导1150的表面1150S上的反射光束2016-R具有与CLCG 1604中的手性结构的旋转方向匹配的偏振旋向性,使得它被CLCG 1604布拉格反射。作为以相对于层法线方向(z轴)的角 $\theta > \theta_c$ 反射的另一反射光束 2018而被反射的反射光束2016-R在横向方向(例如,x方向)上耦合到并传播通过波导1150。

[0196] 图21A示出了在入射光束2116线性偏振或非偏振的情况下关于图20描述的光学波导装置2000,其中每种情况下的入射光束2116可被视为既包括左旋圆偏振分量也包括右旋圆偏振分量。在这样的情况下,入射光束2116可以经由TIR在相反的横向方向上被耦入到波导内。例如,类似于上面关于图20所描述的,入射光束2116的具有与CLCG 1604中的手性结构的旋转方向不匹配的偏振旋向性(例如,左旋)的分量基本上透射通过CLCG 1604 并随后被偏振转换反射器2004反射,以发生偏振旋向性翻转,例如翻转到右旋,并且在第一横向方向(例如,正x方向)上被耦入到波导1150内并且传播通过波导1150。另一方面,类似于上面关于图19所描述的,入射光束2116的具有与CLCG 1604中的手性结构的旋转方向匹配的偏振旋向性(例如,右旋)的分量基本上直接被CLCG 1604 反射,并且随后在与第一横向方向相反的第二横向方向(例如,负x方向) 上被耦入到波导1150内并且传播通过波导1150。

[0197] 图21B示出了在入射光被偏振成两个正交的椭圆或圆偏振光束(例如,具有左旋圆偏振的光束1016-L和具有右旋圆偏振的光束1016-R)的情况下关于图21A描述的光学波导装置2000。在这样的情况下,入射光束1016-L、1016-R可以经由TIR被耦入到一波导内以在相反的横向方向上传播,其方式与上文关于图21A所述的方式类似。例如,具有与CLCG 1604中的手性结构的旋转方向不匹配的偏振旋向性(例如,左旋)的光束 1016-L基本上透射通过CLCG 1604并且随后被偏振转换反射器2004反射,以发生偏振旋向性翻转,例如翻转到右旋,并且在第一横向方向(例如,正x方向)上被耦入到波导1150内并且传播通过波导1150。另一方面,具有与CLCG 1604中的手性结构的旋转方向匹配的偏振旋向性(例如,右旋)的入射光束1016-R基本上直接被CLCG 1604反射,并且随后在与第一横向方向相反的第二横向方向(例如,负x方向)上被耦入到波导1150内并且传播通过波导1150。

[0198] 图22A示出了光学波导装置2200,该光学波导装置2200包括被耦合到多个CLCG的公共波导2204,所述多个CLCG例如被布置为堆叠,该堆叠包括第一CLCG 2204和第二CLCG 2208,第一CLCG 2204的手性结构具有第一旋转方向,第二CLCG 2208的手性结构具有与第一旋转方向相反的第二旋转方向。如上文关于各种实施例所述,在操作中,当入射光束的偏振方向的方向与CLCG的手性结构的液晶分子的旋转方向匹配时,入射光被反射。所示的光学波导装置2200处于入射光束2116线性偏振或非偏振的状态。在这样的情况下,入射光束2116可以在两个相反的横向方向(正x方向和负x方向)上都经由TIR被耦入到波导内。在所示的实施例中,当在入射光2116传播的方向(即,负z方向)上观察时,第一 CLCG 2204的手性结构的液晶分子沿顺时针方向连续旋转,而第二CLCG 2204的手性结构的液晶分子在相反的逆时针方向上连续旋转。

[0199] 仍然参考图22A,椭圆或圆形入射光束2116的具有与第一CLCG 2204 的手性结构的旋转方向(例如,顺时针方向)匹配的第一偏振旋向性的分量(例如,右旋偏振分量)基本上被第一CLCG 2204反射,从而以相对于层法线方向(z轴)的角 $\theta > \theta_{c1}$ 产生第一反射光束2118A,并且在第一横向方向(例如,正x方向)上耦合到公共波导2204并传播通过公共波导2204。

[0200] 仍然参考图22A,另一方面,椭圆或圆形入射光束2116的具有与第一 CLCG 2204的手性结构的旋转方向不匹配的第二偏振旋向性的分量(例如,左旋偏振分量)基本上透射通过第一CLCG 2204。在透射通过第一 CLCG 2204之后,具有与第二CLCG 2208的手性结构的旋转方向(例如,逆时针方向)不匹配的第二偏振旋向性2116的椭圆或圆形入射光束2116基本上被第二CLCG 2208反射,从而以相对于层法线方向(z轴)的角 $\theta > \theta_{c2}$ 产生第二反射光束2118B,并且在第二横向方向(例如,负x方向) 上耦合到公共波导2204内并传播通过公共波导2204。

[0201] 图22B示出了在入射光被偏振成两个正交的椭圆或圆偏振光束(例如,具有例如左旋椭圆/圆偏振的光束1016-L和具有例如右旋椭圆/圆偏振的光束1016-R)的另一情况下的上面关于图22A描述的光学波导装置2000。在这样的情况下,入射光束1016-L、1016-R可以在相反的横向方向上经由TIR被耦入到公共波导2204内,其方式与上文关于图22A所述的用于耦合具有第一和第二偏振旋向性(例如,左旋和右旋)的入射光束1016-L、1016-R的方式类似。

[0202] 以上关于图21B和22B描述的实施例在某些应用(例如,其中不同的光信号(例如,

图像)以正交的圆偏振被编码)中可以是特别有利的。在这种情况下,取决于偏振旋向性,光可以被耦入到相反的方向(例如,正x方向和负x方向)。

[0203] 图22C示出了光学波导装置2220,该光学波导装置2220包括被耦合到多个CLCG的公共波导2250,例如,所述多个CLCG被布置为堆叠,该堆叠包括第一CLCG 2204和第二CLCG 2208,第一CLCG 2204的手性结构具有第一旋转方向,第二CLCG 2208的手性结构具有与第一旋转方向相反的第二旋转方向。与关于图22A和22B描述的实施例不同,在波导装置2220中,公共波导2250被插在第一和第二CLCG层2204、2208之间。为了说明,所示的光学波导装置2220处于入射光束2116线性偏振或非偏振的状态。在这样的情况下,入射光束2116可以在相反的横向方向上经由TIR被耦入波导内。在所示的实施例中,当观察入射光2116传播的方向(即负z方向)时,第一CLCG 2204的手性结构的液晶分子沿顺时针方向连续旋转,而第二CLCG 2208的手性结构的液晶分子沿相反的逆时针方向连续旋转。当然,相反的布置也是可能的。

[0204] 仍然参考图22C,椭圆或圆形入射光束2116的具有与第一CLCG 2204的手性结构的旋转方向(例如,顺时针方向)匹配的第一偏振旋向性的分量(例如,右旋偏振分量)基本上被第一CLCG 2204反射,从而以相对于层法线方向(z轴)的角 $\theta > \theta_{c1}$ 产生第一反射光束2118A,该第一反射光束2118A接着反射离开第一CLCG 2204的外表面,然后再在第一横向方向(例如,负x方向)上经由TIR耦合到公共波导2250内并传播通过公共波导2250。

[0205] 仍然参考图22C,另一方面,椭圆或圆形入射光束2116的具有与第一 CLCG 2204的手性结构的旋转方向(例如,顺时针方向)不匹配的第二偏振旋向性的分量(例如,左旋偏振分量)基本上透射通过第一CLCG 2204,并进一步通过公共波导2204,然后基本上被第二CLCG 2208反射,从而以相对于层法线方向(z轴)的角 $\theta > \theta_{c2}$ 产生第二反射光束2218B,并且在第二横向方向(例如,正x方向)上经由TIR耦合到公共波导2250并传播通过公共波导2250。

[0206] 胆甾型液晶离轴反射镜

[0207] 如上文关于各种实施例所述,通过使入射的椭圆或圆偏振光的偏振旋向性与CLC层的手性结构的液晶分子的旋转方向相匹配,可以将CLC层配置为布拉格反射器。此外,具有不同螺距的一个或多个CLC层可以被配置为具有高带宽的波长选择性布拉格反射器。基于本文关于各种实施例描述的概念,CLC层可被配置为离轴反射镜,该离轴反射镜被配置为选择性地反射第一波长范围,例如,红外波长(例如,近红外波长),同时透射另一波长范围,例如可见波长。在下文中,公开了在眼睛跟踪系统中实现的CLC离轴反射镜的各种实施例的应用。

[0208] 图23示出了根据各种实施例的采用胆甾型液晶反射器(CLDR)(例如,被配置为对观看者的眼睛302进行成像的波长选择性CLDR 1150)的眼睛跟踪系统2300的示例。眼睛跟踪可以是交互式视觉或控制系统中的关键特征,该交互式视觉或控制系统包括可穿戴显示器,例如图2中的可穿戴显示系统200或图24A至24H中描述的系统700,用于虚拟/增强/混合现实显示应用以及其它应用。为了实现良好的眼睛跟踪,可能需要以低透视角度获得眼睛302的图像,为此可能需要将眼睛跟踪相机702b设置在观看者眼睛的中心位置附近。然而,相机702b的这种定位可能干扰用户的视线。或者,可以将眼睛跟踪相机702b设置在较低位置或一侧。然而,由于以较陡的角度捕获眼睛图像,因此相机的这种定位可能增加获得稳健和精确的眼睛跟踪的难度。通过将CLDR 1150配置为选择性地从眼睛302反射红外(IR)光

2308(例如,具有850nm的波长),同时透射来自世界(如图4所示)的可见光2304,可以在以法线视角或低视角捕获眼睛图像的同时将相机702b放置在远离用户视线的位置。由于可见光未被反射,因此这种配置不会干扰用户的视线。如图所示,相同的CLCR 1150也可以被配置为IR照射源2320。IR照射器的低视角可以导致较少的遮挡(occlusion),例如来自眼睫毛的遮挡,这种配置允许更稳健地检测镜面反射,这可以是现代眼睛跟踪系统中的关键特征。

[0209] 仍然参考图23,根据各种实施例,如上文所述,CLCR 1150包括一个或多个胆甾型液晶(CLC)层,每个CLC层包括多个手性结构,其中每个手性结构包括在层深度方向(例如,z方向)上延伸并在第一旋转方向上连续旋转的多个液晶分子。手性结构的液晶分子的布置在与层深度方向垂直的横向方向上周期性地变化,使得一个或多个CLC层被配置为基本上布拉格反射具有第一波长(λ_1)的第一入射光,同时基本上透射具有第二波长(λ_2)的第二入射光。如本说明书中其它地方所述,一个或多个 CLC层中的每一者被配置为当在层深度方向上观察时,基本上布拉格反射具有与第一旋转方向匹配的偏振旋向性的椭圆或圆偏振的第一和第二入射光,同时被配置为当在层深度方向上观察时,基本上透射具有与第一旋转方向相反的偏振旋向性的椭圆或圆偏振的第一和第二入射光。根据实施例,在横向方向上周期性变化的液晶分子的布置被布置为在横向方向上具有周期,使得第一波长和周期之间的比率在约0.5和约2.0之间。根据实施例,第一波长在约600nm和约1.4μm之间的近红外范围内,例如约850nm,并且第二波长在具有本说明书中的其它地方描述的一种或多种颜色的可见光范围内。根据实施例,手性结构的液晶分子相对于与层深度方向垂直的方向预倾斜。如所配置的,一个或多个CLC层被配置为使得第一入射光以相对于层深度方向(z方向)的角度(θ_R)反射,基于例如上文描述的等式[3],该角相对于层深度方向超过约50°、约60°、约70°或约80°。

[0210] 返回参考图2,头戴式显示器(HMD)(例如,图2中的可穿戴显示系统200)的穿戴者的眼睛可以使用反射性离轴衍射光学元件(DOE)而被成像,该反射性离轴衍射光学元件例如可以是全息光学元件(HOE)。所得到的图像可被用于跟踪一只或两只眼睛,对视网膜进行成像,在三维中重建眼睛形状,从眼睛提取生物信息(例如,虹膜识别)等。

[0211] 头戴式显示器(HMD)使用关于穿戴者眼睛状态的信息的原因有多种。例如,该信息可被用于估计穿戴者的注视方向或用于生物识别。然而,这个问题具有挑战性,因为HMD和穿戴者的眼睛之间的距离很短。由于注视跟踪需要更大的视野,同时生物识别需要在虹膜上的目标上具有相对大量的像素,导致该问题进一步复杂化。对于试图实现这两个目标的成像系统,这两个任务的要求在很大程度上是不一致的。最后,眼睑和睫毛的遮挡使这两个问题进一步复杂化。本文描述的成像系统的实施例解决了这些问题中的一些或全部。本文关于图24A至24F描述的成像系统700的各种实施例可与包括本文描述的显示设备的HMD(例如,图2所示的可穿戴显示系统200和/或图6所示的显示系统1000)一起使用。

[0212] 图24A示意性地示出了成像系统700的示例,该成像系统700包括成像器702b,成像器702b被用于观察眼睛304并且被安装在穿戴者的太阳穴附近(例如,位于图2中的可穿戴显示系统200的框架64上,例如位于耳柄上)。在其它实施例中,第二成像器被用于穿戴者的另一只眼睛302,使得每只眼睛被单独成像。成像器702b可以包括对红外辐射敏感的红外数字相机。成像器702b被安装为面向前方(在穿戴者的视线方向上),而不是面向后方并指向眼睛304(如与图6所示的相机500一起使用)。通过将成像器702b设置为更靠近穿戴者的耳

朵,成像器702b的重量也更靠近耳朵,并且与其中成像器朝后并且被设置为更靠近HMD的前方(例如,接近图2中的显示器62)的HMD相比,该HMD更容易穿戴。另外,通过将前向成像器702b放置在穿戴者的太阳穴附近,从穿戴者的眼睛304 到成像器的距离大约是设置在HMD前面附近的后向成像器的两倍(例如,与图4所示的相机500相比)。由于图像的景深与该距离大致成比例,因此前向成像器702b的景深大约是后向成像器的两倍。成像器702b的较大景深有利于对具有大的或突出的鼻子、眉骨等的穿戴者的眼睛区域进行成像。

[0213] 成像器702b被定位为观察其它透明光学元件706的内表面704。光学元件706可以是HMD的显示器708的一部分(或一副眼镜中的镜片)。光学元件706可以透射入射在光学元件上的可见光的至少10%、20%、30%、40%、50%或更多。在其它实施例中,光学元件706不需要是透明的(例如,在虚拟现实显示器中)。光学元件706可以包括CLC离轴反射镜708。CLC离轴反射镜708可以是反射第一波长范围,同时基本上透射第二波长范围(不同于第一波长范围)的表面。第一波长范围可以在红外光范围内,第二波长范围可以在可见光范围内。例如,CLC离轴反射镜 708可以包括热镜,其在透射可见光的同时反射红外光。在这样的实施例中,来自穿戴者的红外光710a、712a、714a传播到光学元件706并从光学元件706反射,从而产生可由成像器702b成像的反射的红外光710b、712b、714b。在一些实施例中,成像器702b可以对由CLC离轴反射镜708反射的第一波长范围的至少一个子集(诸如非空子集和/或少于全部的子集)敏感或能够捕获该子集。例如,CLC离轴反射镜708可以反射700nm至1.5 μm 范围内的红外光,并且成像器702b可以对波长为700nm至900nm 的近红外光敏感或能够捕获该近红外光。作为另一示例,CLC离轴反射镜 708可以反射700nm至1.5 μm 的范围内的红外光,并且成像器702b可以包括滤除900nm至1.5 μm 的范围内的红外光以使得成像器702b可以捕获波长为700nm至900nm的近红外光的滤光器。

[0214] 来自外部世界(图6的1144)的可见光透射通过光学元件706并且可以被穿戴者感知。实际上,图24A中所示的成像系统700就像存在一虚拟成像器702c,该虚拟成像器702c向后指向穿戴者的眼睛304。虚拟成像器 702c可以对通过光学元件706从穿戴者的眼睛704传播的虚拟红外光 710c、712c、714c(如虚线所示)进行成像。虽然热镜(或本文所述的其它DOE)可以被设置在光学元件706的内表面704上,但是不限于此。在其它实施例中,热镜或DOE可以被设置在光学元件706的外表面上或光学元件706(例如,体积HOE)内。

[0215] 图24B示意性地示出了成像系统700的另一示例。在该实施例中,可以通过与成像器702b一起使用透视控制透镜组件716b(例如,移位透镜组件、倾斜透镜组件或倾斜-移位透镜组件)来减小或消除透视畸变。在一些实施例中,透视控制透镜组件716b可以是成像器702b的透镜的一部分。透视控制透镜716b可以被配置为使得成像器702b的法线基本上平行于包括DOE(或HOE)或热镜的表面704的区域的法线。实际上,图24B所示的成像系统700就像存在具有虚拟透视控制透镜组件716c的虚拟成像器 702c,其向后指向穿戴者的眼睛304。

[0216] 附加地或替代地,如图24C中示意性地所示,光学元件706的CLC 离轴反射镜708可在其表面704上具有用于反射光710a、712a、714a的离轴全息反射镜(OAHM),以便于通过捕获反射光710a、712a、714a的相机成像器702b来观察眼睛304。OAHM 708也可具有光焦度(optical power),在这种情况下,它可以是离轴体积衍射光学元件(OAVDOE),如图24D中示意性地所示。在图24D所示的示例中,虚拟相机702c的有效位置处于无限远处(并且未在图24D中示出)。

[0217] 在一些实施例中,HOE(例如,OAHM或OAVDOE)可以被分成多个区段(segment)。这些区段中的每一者可以具有不同的光学特性或特征,例如包括区段反射入射的(红外)光时的反射角或光焦度。这些区段可以被配置为使得光从每个区段朝向成像器702b反射。因此,由成像器702b获取的图像也将被分成相应数量的片段,每个片段有效地从不同角度观察眼睛。图24E示意性地示出了具有OAHM的显示系统700的示例,该 OA HM具有三个区段718a1、718a2、718a3,每个区段用作在不同角度位置对眼睛304进行成像的相应的虚拟相机702c1、702c2、702c3。

[0218] 图24F示意性地示出了具有OAHM的显示系统700的另一示例,该 OA HM具有三个区段718a1、718a2、718a3,每个区段具有光焦度(例如,分段的OAVDOE),每个区段在无限远处生成虚拟相机,虚拟相机在不同的角度位置处对眼睛304进行成像。尽管图24E和24F中示意性地示出了三个区段,但这仅用于说明而非限制。在其它实施例中,可以使用两个、四个、五个、六个、七个、八个、九个或更多个区段。HOE的这些区段中没有一个、这些区段中的部分或全部可以具有光焦度。

[0219] 在图24E和24F中,三个区段718a1、718a2、718a3被示出为跨光学元件706水平间隔开。在其它实施例中,区段可以在光学元件706上垂直间隔开。例如,图24G示意性地示出了具有两个垂直间隔开的区段718a1 和718a2的DOE 718,区段718a1包括被配置为将光朝向成像器702b反射回来的CLC离轴反射镜(其可以与区段718a1处于相同的大致水平的平面中),并且区段718a2被配置为向上朝向成像器702b反射光。类似于双焦点镜片,图24G所示的布置可以有利于允许成像系统700在穿戴者通过HMD的上部向前看(经由实箭头线示意性地示出)时使用由成像器 702b从上面的区段718a1获取的反射图像,以及在穿戴者通过HMD的下部向下看(经由虚箭头线示意性地示出)时使用来自下部区段718a2的反射图像。

[0220] 在其它实施例中可以使用水平间隔开和垂直间隔开的区段的混合。例如,图24H示出了HOE 718的另一示例,其具有 3×3 的区段阵列,每个区段包括CLC离轴反射镜。成像器702b可以从这九个区段中的每个区段获取反射数据,这九个区段表示来自眼睛区域的不同区域和角度方向的光线。从眼睛区域传播到HOE 718并反射回到成像器702b的两个示例光线被示为实线和虚线。成像系统700(或处理模块224或228)可以分析来自多个区段的反射数据,以多视觉地(multiscopically)计算眼睛的三维形状或眼睛的注视方向(例如,眼睛姿势)。

[0221] 利用区段的光学系统700的实施例可具有多个益处。例如,通过选择最适合特定任务的特定区段,可以个别地(individually)使用区段,或者可以集体地使用这些区段以多视觉地估计眼睛的三维形状或姿势。在前一种情况下,该选择性可被用于例如选择被眼睑或睫毛遮挡得最少的穿戴者的虹膜的图像。在后一种情况下,可以使用眼睛的三维重建来估计取向(通过估计例如角膜凸起的位置)或调节状态(通过估计例如瞳孔的表观位置上的由晶状体引起的变形)。

[0222] 基于陷波反射器的偏振转换器

[0223] 为了实现光场显示器,虚拟图像的焦点应当调节以解决辐辏调节冲突。可以在显示器与用户的眼睛之间放置可变焦透镜以改变虚拟图像的焦点。然而,大多数可变焦/可切换焦点透镜是偏振敏感的,而投射的虚拟图像可能未很好地偏振。这样的显示器可能要求偏振不敏感透镜(通常一对透镜组)或者偏振器(由于非透射偏振的光的损耗而在亮度方面

减小>50%)。希望虚拟图像偏振的高效转换来制造紧凑/光高效可变焦光场显示器。

[0224] 为了生成增强现实显示器中的虚拟图像，常常使用多个窄带源(例如，红、绿、蓝(RBG)LED或者激光器)。基于波导的显示系统可以利用衍射光学元件构造以将图像投射到用户的眼睛中。投射图像常常不保留偏振纯度，甚至在图像的良好定义的偏振被注入到波导中时。

[0225] 如本文所描述的，陷波反射器通常指基本上未改变地透射光的大多数波长但是以相对高的效率反射波长的特定范围内的光的光反射器。其中光被反射的波长的特定范围被称为“陷波”。陷波反射器有时也被称为窄带反射器。陷波中的波长范围可以是例如<10nm、<50nm、<100nm、<250 nm、或者包括由这些值中的任意两个定义的范围的不同范围。陷波反射器可以由多个介质层(多层)、液晶、超材料、超结构等形成。陷波反射器可以包括衍射光学元件、表面或者体积全息图等。陷波反射器可以层压到基板材料(例如，聚合物或者玻璃)上。在本文所描述的许多实施方式中，为了反射RGB光，反射器包括多个陷波反射器，其中，每个陷波反射器中的陷波调谐到特定RGB颜色之一(例如，反射器包括R陷波反射器、G陷波反射器和B陷波反射器)。因此，每个陷波的波长范围可以匹配注入到显示器中的光的波长范围(例如，R陷波匹配到由红LED或激光器注入的红光的波长范围，并且对于G和B陷波类似)。

[0226] 本文所描述的各种实施例包括陷波反射器，所述陷波反射器包括已经在其上形成一个或多个有源层的透射基板，例如，抛光玻璃或者聚合物基板。如本文所描述的，有源层包括被配置为提供本文所描述的一个或多个陷波反射性质的层或涂层。一个或多个有源层被配置为陷波反射具有约50 nm、约70nm、约100nm、约150nm的波长范围 $\Delta\lambda$ 、或者小于这些值中的任一个的范围内或者由这些值中的任何两个定义的范围内的光，其中，范围集中在包括约620-780nm的范围内的一个或多个波长的光的红光、包括约492-577nm的范围内的一个或多个波长的光的绿光、或者包括约 435-493nm的范围内的一个或多个波长的光的蓝光。在一些实施例中，波长范围 $\Delta\lambda$ 可以基本上覆盖约620-780nm的红光范围、约492-577nm的绿光范围、或者约435-493nm的蓝光范围。

[0227] 本文中所描述的各种实施例包括被配置为偏振陷波反射器的陷波反射器。在陷波反射范围内，偏振陷波反射器允许具有一个极性的光基本上穿过，同时基本上反射具有相反极性的光。例如，当陷波反射范围内的具有左旋圆偏振(LHCP)和右旋圆偏振(RHCP)的光入射在偏振陷波反射器上时，陷波反射器可以基本上反射具有RHCP和LHCP之一的光，同时基本上通过具有RHCP和LHCP中的相反一个的光。类似地，当具有线性垂直偏振(LVP)和线性水平偏振(LHP)的光入射在偏振陷波反射器上时，陷波反射器可以基本上反射具有LVP和LHP之一的光，同时基本上通过具有LVP和LHP中的相反一个的光。

[0228] 本文中所描述的各种实施例包括被配置为非偏振陷波反射器的陷波反射器。在陷波反射范围内，非偏振陷波反射器基本上反射入射在其上的光而不管其偏振。例如，当陷波反射范围内的具有LHCP和RHCP的光入射在非偏振陷波反射器上时，陷波反射器可以基本上反射具有RHCP和 LHCP的光，类似地，当具有LVP和LHP的光入射在偏振陷波滤波器上时，陷波滤波器可以基本上反射具有LVP和LHP的光。

[0229] 在本文所描述的各种实施例中，被配置为偏振或非偏振陷波反射器的陷波反射器也可以独立地被配置为偏振转换陷波反射器。在陷波反射范围内，在反射具有偏振的光时，

偏振转换陷波反射器将反射光的偏振转换为相反极性。例如,当陷波反射范围内的具有 LHCP 和 RHCP 之一的光入射在偏振转换陷波反射器上时,陷波反射器将 RHCP 和 LHCP 之一转换为 RHCP 和 LHCP 中的相反一个。类似地,当具有 LVP 和 LHP 之一的光入射在偏振转换陷波反射器上时,陷波反射器将 LVP 和 LHP 之一转换为 LVP 和 LHP 中的相反一个。

[0230] 如本文所描述的,在陷波反射范围 $\Delta \lambda$ 内,被配置为反射具有一个或多个偏振的光的陷波反射器可以被配置为反射基本上所有入射在其上的具有一个或多个偏振的光。例如,当陷波反射器被配置为反射具有 RHCP 和 LHCP 之一或两者的光时,陷波反射器可以反射例如入射在其上的具有 RHCP 和 LHCP 之一或两者的光的大于 80%、大于 90%、大于 95%、大于 99%、大于 99.99%、大于 99.999%、或大于 99.9999%。另一方面,当陷波反射器被配置为反射具有 RHCP 和 LHCP 中的一个而非另一个的光时,陷波反射器可以反射例如入射在其上的 RHCP 和 LHCP 中的一个而非另一个的光的大于 80%、大于 90%、大于 95%、大于 99%、大于 99.99%、大于 99.999%、或大于 99.9999%。相反,陷波反射器被配置为使得未反射的光(例如,具有陷波反射范围 ($\Delta \lambda$) 外部的波长或者陷波反射器被配置为不反射的偏振的光)基本上完全透射,例如,入射在其上的光的大于 80%、大于 90%、大于 95%、大于 99%、大于 99.99%、大于 99.999%、或大于 99.9999% 可以透射。

[0231] 在本文所描述的一些显示设备中,可能希望再循环利用从波导耦出的一些光。例如,虽然波导可以耦出具有超过一个偏振的光,但是被配置为在被用户观察到之前向耦出光施加光学功能(例如,屈光力)的光学元件(诸如透镜,例如,透射或者反射透镜)可以是偏振选择性的。在一些情况下,具有光学元件未被配置为施加光学功能的偏振的光可以透射,而不被用户观察到。例如,由于入射椭圆或圆偏振光的偏振旋向性与 CLCG 中的手性结构的旋转方向之间的匹配的缺乏,耦合到波导的透镜可能被配置为向具有一个偏振(例如, RHCP 或 LHCP 中的一个)的光施加屈光力,而透射通过具有另一偏振(例如, RHCP 或 LHCP 中的另一个)的光。在这些情况下,可能希望再循环利用具有 RHCP 或 LHCP 中的另一个的光以在较高亮度的情况下将观看体验递送给用户。为了解决这些和其它需求,在下文中,公开了采用一个或多个偏振转换反射器来满足这些需求的波导装置的各种实施例。

[0232] 示例的圆偏振转换显示设备

[0233] 图 25A 示出了被配置为向用户输出图像信息的显示设备 2500A。显示设备 2500A 包括波导组件 2504(也被称为目镜),其被插入在非偏振陷波反射器 2508 与偏振陷波反射器 2512 之间。在各种实施例中,波导组件 2504 可以与上文相对于图 6 所描述的波导组件 1178 类似的方式配置。类似于上文相对于图 6 所描述的配置,在操作中,显示设备 2500A 将被设置在世界 1114 与眼睛 4 之间,使得眼睛 4 从显示设备 2500A 以及从世界 1114 接收光。

[0234] 具体地,在本文所描述的各种实施例中,显示设备 2500A 的波导组件 2504 包括一个或多个波导(例如,图 6 中的 1182、1184、1186、1188、1190),每个波导被配置为在 x 方向上通过全内反射(TIR)在每个相应波导内传播光。通常在 x 方向上传播的光可以输出,例如,使用耦出光学元件或者光提取光学元件(例如,图 6 中的 1282、1284、1286、1288、1290),其被配置为通过从波导中重定向在每个相应波导内传播的光来从波导中提取光,以在 z 方向上向眼睛 4 输出图像信息。在各种实施例中,虽然为了清晰起见未示出,但是如上文所描述的,波导组件 2504 可以包括由被配置为耦出光学元件的一个或多个 CLC 层形成的 CLCG 中的任一个。在本文中省略了上文所描述的波导组件 2504 的各种其他细节。

[0235] 仍然参考图25A,根据本文所描述的各种实施例的非偏振陷波反射器 2508被配置为使得在陷波反射范围内非偏振陷波反射器2508基本上反射入射在其上的光而不管其偏振。此外,在所示的实施例中,非偏振反射器被配置为偏振转换陷波反射器,使得在陷波反射范围内,在反射具有偏振的光时,偏振转换陷波反射器将反射光的偏振转换为相反极性。非偏振陷波反射器2508包括已经在其上形成一个或多个有源层的透射基板,例如,抛光玻璃或者聚合物基板。在本文所描述的陷波反射器的一些实施例中,在基板上形成的一个或多个有源层可以包括一个或多个介质涂层,其组合产生上文所描述的各种陷波反射特性。

[0236] 仍然参考图25A,根据本文所描述的各种实施例的偏振陷波反射器 2512被配置为使得在陷波反射范围内偏振陷波反射器2512基本上以偏振选择性方式反射入射在其上的光。此外,在所示的实施例中,偏振反射器 2512被配置为使得不同于非偏振陷波反射器 2508,偏振陷波反射器2512 未被配置为偏振转换陷波反射器,使得在反射具有偏振的光时偏振陷波反射器2512未将反射光的偏振转换为相反极性。偏振陷波反射器2512包括已经在其上形成一个或多个有源层的透射基板,例如,抛光玻璃或者聚合物基板。在本文所描述的陷波反射器的一些实施例中,在基板上形成的一个或多个有源层可以包括一个或多个胆甾型液晶 (CLC) 层。在基板上形成的一个或多个有源层可以包括根据上文所描述的各种实施例所描述的一个或多个胆甾型液晶 (CLC) 层。

[0237] 仍然参考图25A,在以下中,在操作中进一步描述了显示设备2500A。如上文所描述的,在波导组件2504内的一个或多个波导内在x方向上传播的光中的一些可以在z方向上重定向或者耦出。在所示的实施例中,从波导组件2504耦出的光包括具有LHCP的圆偏振光束 2516-L和具有RHCP 的圆偏振光束2516-R。具有LHCP的光束2516-L和具有RHCP的光束 2516-R例如,在正z方向上行进,直到束入射在偏振陷波反射器2512的表面上。

[0238] 偏振陷波反射器2512包括具有类似于上文所描述的手性结构(例如,上文相对于图10所描述的手性结构1012-1、1012-2、...1012-i)的手性结构的CLC层1004。在操作中,当具有左旋圆偏振的光束和具有右旋圆偏振的光束的组合的入射光入射在偏振陷波反射器 2512的表面上时,通过布拉格反射,具有圆偏振旋向性之一的光由CLC层1004反射,而具有相反偏振旋向性的光在基本没有干扰的情况下透射通过CLC层1008。如本文和整个公开所述,旋向性被限定为在传播方向上观察。根据实施例,当光束2516-L、2516-R的偏振方向或偏振的旋向性匹配而使得它具有与手性结构1012-1、1012-2、.....1012-i的液晶分子具有相同的旋转方向时,入射光被反射。如图所示,入射在CLC层1004的表面上的是具有左旋圆偏振的光束2516-L和具有右旋圆偏振的光束2516-R。在所示的实施例中,手性结构1012-1、1012-2、.....1012-i的液晶分子在入射光束2516-L、2516-R 行进的方向(例如,正x方向),上连续地沿顺时针方向旋转,该顺时针方向是与具有左旋圆偏振的光束1016-L相同的旋转方向。因此,具有左旋圆偏振的光束2516-L基本上反射离开偏振陷波反射器2512,而具有右旋圆偏振的光束2516-R基本上透射通过偏振陷波反射器2512。

[0239] 从CLC层1004耦出并具有LHCP的光束2516-L由偏振陷波反射器 2512反射为光束 2520-L,其保持与光束2516-L相同偏振。所得到的光束 2520-L朝向非偏振陷波反射器2508传播,直到具有LHCP的光束2520-L 由于非偏振陷波反射器2508的偏振转换特性基本上由非偏振陷波反射器 2508反射成具有相反偏振旋向性(例如,RHCP)的光束2520-R。具有RHCP的所得到的光束2520-R基本上透射通过CLC层1004并且进一步通过偏振陷波反射器

2512以进入眼睛4。总之仍然参考图25A,通过将偏振陷波反射器2512(例如,胆甾型液晶(CLC)陷波反射器)设置在波导组件2504与用户的眼睛4之间,具有一个偏振(例如,右旋圆偏振(RHCP))的光束2516-R透射通过偏振陷波反射器2512,同时具有正交偏振(例如,左旋圆偏振(LHCP))的光2516-L朝向世界1114反射为光束2520-L。另一陷波反射器,非偏振陷波反射器2508(例如,多层陷波反射器)被设置在世界1114与波导组件2504之间并且被配置为向用户的眼睛将光束2520-L反射回来作为光束2520-R。由于偏振陷波反射器2512(例如,CLC陷波反射器)未转换从其反射的光的偏振,而非偏振陷波反射器(例如,多层反射器)转换从其反射的光的偏振,因而如所示的,光束2516-R也可以透射通过偏振陷波反射器2512。将理解到,陷波反射器2512、2508(例如,CLC和多层)可以被设计为仅反射用于虚拟图像的光源以最小化对世界1114的影响。

[0240] 示例的线性偏振转换显示设备

[0241] 图25B示出了被配置为向用户输出图像信息的显示设备2500B。类似于上文相对于图25A所示的显示设备2500A,显示设备2500B包括插入在非偏振陷波反射器2508与偏振陷波反射器2514(例如,线性偏振陷波反射器)之间的波导组件2504。波导组件2504和非偏振陷波反射器2508以如上文相对于图25A所描述的类似方式配置,并且因此在本文中未更详细描述。

[0242] 仍然参考图25B,类似于上文相对于图25A所描述的偏振陷波反射器2512,所示的实施例中的偏振陷波反射器2514被配置为使得在陷波反射范围内陷波反射器2514以偏振选择性方式基本上反射入射在其上的光。此外,在所示的实施例中,偏振反射器2514被配置为使得不同于非偏振陷波反射器2508偏振反射器2514未将反射光的偏振转换为相反极性。

[0243] 然而,不同于上文相对于图25A所描述的偏振陷波反射器2512,所示的实施例中的偏振陷波反射器2514被配置为使得偏振陷波反射器2514不包括CLC层。相反,偏振陷波反射器2514包括已经在其上形成一个或多个有源层的透射基板,例如,抛光玻璃或者聚合物基板。在本文所描述的陷波反射器的一些实施例中,在基板上形成的一个或多个有源层可以包括一个或多个介质涂层,其组合产生上文所描述的各种陷波反射特性。

[0244] 仍然参考图25B,显示设备2500B还包括插入在非偏振陷波反射器2508与波导组件2504之间的四分之一波片2510。

[0245] 仍然参考图25B,在以下中,在操作中进一步描述了显示设备2500B。如上文所描述的,在波导组件2504内的一个或多个波导内在x方向上传播的光中的一些可以在z方向上重定向或者耦出。在所示的实施例中,从波导组件2504耦出的光包括具有LVP的线性偏振光束2516-V和具有LHP的线偏振光束2516-H。具有LVP的光束2516-V和具有LHP的光束2516-H例如在正z方向上行进,直到束入射在偏振陷波反射器2514的表面上。因此,具有LVP的光束2516-V基本上反射离开偏振陷波反射器2514,而具有LHP的光束2516-H基本上透射通过偏振陷波反射器2514。

[0246] 从波导组件2504耦出并具有LVP的光束2516-V由偏振陷波反射器2514反射为光束2520-V,其保持与光束2516-V相同的偏振。具有LVP的所得到的光束2520-V朝向四分之一波片2510传播并且透射通过四分之一波片2510,以由于非偏振陷波反射器2508的偏振转换特性作为具有相反偏振旋向性(例如,LHP)的光束2520-H反射离开非偏振陷波反射器2508并进一步透射通过四分之一波片2510。具有LHP的所得到的光束2520-H基本上透射通

过偏振陷波反射器2514。

[0247] 总之仍然参考图25B,通过设置反射特定波长的一个线性偏振(例如,线垂直偏振(LVP))偏振陷波反射器2514而不是含CLC的偏振陷波反射器512(图25A),并通过进一步设置插入在非偏振陷波反射器2508与波导组件2504之间的四分之一波片2510,反射离开非偏振陷波反射器2508 的光的偏振变为正交的(例如,线性水平偏振(LHP)),如所示的。类似于上文相对于图25A所描述的含CLC的陷波反射器,投射虚拟图像的偏振以高效的方式(例如,接近于100%效率)被转换为一个线性偏振。

[0248] 基于偏振转换器的可变焦虚拟成像系统

[0249] 示例的线性偏振可变焦透镜

[0250] 图26A和26B示出了被配置为向用户输出图像信息的显示设备 2600A、2600B。显示设备2600A和2600B结构上相同。显示设备2600A 在本文中用于描述向用户输出虚拟图像,而显示设备2600B在本文中用于描述向用户输出现实世界图像。

[0251] 显示设备2600A/2600B包括上文相对于图25A所描述的显示设备 2500A的各种部件,并且还包括用于聚焦并转换从其输出的光的附加光学部件。类似于上文相对于图25A所示的显示设备2500A,显示设备 2600A/2600B包括插入在非偏振陷波反射器2508与偏振陷波反射器2512 之间的波导组件2504。波导组件2504、非偏振陷波反射器2508和偏振陷波反射器2512以如上文相对于图25A所描述的类似方式配置,并且因此在本文中未进一步详细描述。

[0252] 显示设备2600A/2600B附加地包括在非偏振陷波反射器2508(例如,多层陷波反射器)和偏振陷波反射器2512(例如,CLC陷波反射器)的外侧形成的第一四分之一波片(QWP 1)2604和第二四分之一波片(QWP 2)2608,并且还包括在QWP 1 2504和QWP 2 2608的外侧形成的第一线性偏振透镜(L1)2612和第二线性偏振透镜(L2)2616。在各种实施例中,L1和L2之一或两者可以是可切换透镜,其可以通过电场、电压或者电流的施加切换。进一步地,L1和L2之一或两者可以具有可变焦强度或者焦深,其焦强度和焦深可以例如通过施加电场、电压或者电流来控制。

[0253] 参考图26A,显示设备2600A在本文中用于描述向用户输出虚拟图像。如上文相对于图25A所描述的,在波导组件2504内的一个或多个波导内在x方向上传播的光中的一些可以在z方向上重定向或者耦出。在所示的实施例中,从波导组件2504耦出的光包括具有LHCP的圆偏振光束2516-L 和具有RHCP的圆偏振光束2516-R。具有LHCP的光束2516-L和具有RHCP的光束2516-R例如,在正z方向上行进,直到束入射在偏振陷波反射器2512的表面上。由于包括在偏振陷波反射器2512中的CLC层1004,具有右旋圆偏振的光束2516-L基本上反射离开偏振陷波反射器2512,而具有右旋圆偏振的光束2516-R基本上透射通过偏振陷波反射器2512。

[0254] 从CLC层1004耦出并具有LHCP的光束2516-L由偏振陷波反射器 2512反射为光束2520-L,其保持与光束2516-L相同偏振。所得到的光束 2520-L朝向非偏振陷波反射器2508传播,直到具有LHCP的光束2520-L 由于非偏振陷波反射器2508的偏振转换特性基本上由非偏振陷波反射器 2508反射成具有相反偏振旋向性(例如,RHCP)的光束2520-R。具有RHCP的所得到的光束2520-R基本上透射通过具有CLC层1004的偏振陷波反射器2512。

[0255] 在从偏振陷波反射器2512出射时,具有RHCP的光束2516-R和 2520-R进一步透射

通过QWP2 2608,其分别将圆偏振光束2516-R和 2520-R转换为线性偏振光束2520-H和2516-H。此后,在从QWP2 2608 出射时,光束2520-H和2516-H进一步透射通过L2 2616。当激活时,L2 2616在被眼睛4观察到之前将光束2520-H和2516-H聚焦或者散焦成聚焦的输出光束2620。

[0256] 总之,图26A所示的实施例示出了具有可变焦/可切换透镜的基于波导的投射显示器的一个示例,所述可变焦/可切换透镜被配置为对具有线性偏振(例如,所示的实施例中的LHP)的光操作。因此,虚拟图像的光的偏振随着光穿过偏振陷波反射器2512(例如,CLC陷波反射器)而被转换为具有圆偏振之一(例如,图26A中的RHCP),并且由QWP2 2608 进一步转换为线性偏振(例如,图26A中的LHP)之一。虚拟图像的焦点由L2 2616控制,如在图26A中所示。

[0257] 参考图26B,显示设备2600B在本文中用于描述向用户输出世界1114 的图像。如图所示,具有LHP和LVP的入射光束2632-H和2624-V分别进入并透射通过L1 2612。在从L1 2612出射时,光束2632-H和2624-V 穿过QWP1 2604,其分别将相应光束转换为具有RHCP和LHCP的光束 2632-R和2624-L。光束2632-R和2624-L随后透射通过非偏振陷波反射器2508、波导组件2504、偏振陷波反射器2512和QWP2 2608,从而分别将相应光束重新转换为具有LHP和LVP的光束2636-H和2628-V。此后,光束2636-H和2628-V透射通过L2 2616,从而分别输出相应光束2636和 2628。

[0258] 为了输出现实世界图像,透镜L1 2612和L2 2616被配置为对具有线性偏振中的一个而非另一个的光操作。因此,在所示的实施例中,入射光束2632-H和2624-V中的一个(例如,具有LHP的光束2632-H)不受透镜L1 2612和L2 2616影响。

[0259] L1 2612和L2 2616可以被配置为具有对穿过其的光的相反的透镜效应或者屈光力。例如,如果L1 2612被配置为具有聚焦透镜效应,则L2 2616 可以被配置为具有散焦效应,使得相反透镜效应彼此抵消。因此,入射光束2632-H和2624-V中的另一个(例如,具有LVP的光束2632-V)经历透镜效应,例如,在穿过其时由L1 2612聚焦或者散焦。然而,在被转换为具有LHCP的光束2624-L并且返回转换为具有LVP的光束2628-V之后,L1 2612的透镜效应由具有相反透镜效应的L2 2616抵消。因此,由于存在其光延迟效应彼此抵消的两个四分之一波片QWP1 2604、QWP2 2608,并且由于存在其透镜效应彼此抵消的两个透镜L1 2612和L2 2616,因而如由眼睛4观察的世界1114的图像可以基本上未受影响,而如上文相对于图26B所描述的虚拟图像受L2 2616影响。

[0260] 如上文所描述的,类似于使用具有包括CLC层1004的偏振陷波反射器2512的显示设备2500A(图25A)执行的偏振转换,偏振转换也可以使用具有不包括CLC层的偏振陷波反射器2514的显示设备2500B(图25B) 执行。因此,图26C和26D示出了被配置为向用户输出图像信息的显示设备2600C、2600D,其中,显示设备2600C、2600D具有不包括CLC层的偏振陷波反射器2514。显示设备2600C和2600D结构上相同。显示设备 2600C在本文中用于描述向用户输出虚拟图像,而显示设备2600D在本文中用于描述向用户输出现实世界图像。

[0261] 类似于上文相对于图25B所示的显示设备2500B,显示设备 2600C/2600D包括插入在非偏振陷波反射器2508与偏振陷波反射器2514 之间的波导组件2504。波导组件2504和非偏振陷波反射器2508以如上文相对于图25A所描述的类似方式配置,并且因此在本文中未进一步详细描述。

[0262] 仍然参考图26C,以如上文相对于图25B所描述的类似方式,所示的实施例中的偏振陷波反射器2514被配置为使得在陷波反射范围内,陷波反射器2514以偏振选择的方式基本上反射入射在其上的光。此外,在所示的实施例中,偏振反射器2514被配置为使得不同于非偏振陷波反射器2508 偏振反射器2514未将反射光的偏振转换为相反极性。

[0263] 仍然类似于上文相对于图25B所描述的,所示的实施例中的显示设备 2600C/2600D的偏振陷波反射器2514被配置为使得偏振陷波反射器2514 不包括CLC层。另外,显示设备2600C/2600D还包括插入在非偏振陷波反射器2508与波导组件2504之间的第二四分之一波片QWP1 2510。

[0264] 显示设备2600C/2600D附加地包括形成在非偏振陷波反射器2508(例如,多层次陷波反射器)的左侧(世界1114的一侧)的第一四分之一波片 (QWP 1) 2604,并且还包括分别形成在QWP1 2504和偏振陷波反射器 2514的外侧的第一线性偏振透镜(L1) 2612和第二线性偏振透镜(L2) 2616。在各种实施例中,L1和L2之一或两者可以是可切换透镜,其可以通过电场、电压或者电流的施加切换。进一步地,L1和L2之一或两者可以具有可变焦强度或者焦深,其焦强度和焦深可以例如通过施加电场、电压或者电流来控制。

[0265] 参考图26C,显示设备2600C在本文中用于描述向用户输出虚拟图像。如上文相对于图25B所描述的,在波导组件2504内的一个或多个波导内在x方向上传播的光中的一些可以在z方向上重定向或者耦出。在所示的实施例中,从波导组件2504耦出的光包括具有LVP的线性偏振光束 2516-V和具有LHP的线偏振光束2516-H。具有LVP的光束2516-V和具有LHP的光束2516-H例如在正z方向上行进,直到束入射在偏振陷波反射器2514的表面上。随即,具有LVP的光束2516-V基本上反射离开偏振陷波反射器2514,而具有LHP的光束2516-H基本上透射通过偏振陷波反射器2514。

[0266] 从波导组件2504耦出并具有LVP的光束2516-V由偏振陷波反射器 2514反射为光束2520-V,其保持与光束2516-V相同的偏振。具有LVP 的所得到的光束2520-V朝向QWP2 2510传播并且透射通过QWP2 2510,以由于非偏振陷波反射器2508的偏振转换特性作为具有相反偏振旋向性 (例如,LHP) 的光束2520H反射离开非偏振陷波反射器2508并进一步透射通过四分之一波片2510。具有LHP的所得到的光束2520-H基本上透射通过偏振陷波反射器2514。

[0267] 在从偏振陷波反射器2514出射时,具有LHP的光束2516-V和2516-H 进一步透射通过L2 2616。当激活时,L2在由眼睛4观察到之前将光束 2520-H和2516-H聚焦或者散焦成聚焦的输出光束2620。

[0268] 参考图26D,显示设备2600D在本文中用于描述向用户输出世界1114 的图像。如图所示,具有LHP和LVP的入射光束2632-H和2624-V分别进入并且透射通过L1 2612。在从L1 2612出射时,光束2632-H和2624-V 穿过WQP1 2604,其分别将相应光束转换为具有RHCP和 LHCP的光束。光束2632-R和2624-L随后透射通过非偏振陷波反射器2508,之后通过 QWP2 2510,其分别将具有RHCP和LHCP的光束转换回具有LHP和 LVP的光束2636-H和2628-V。此后,光束2636-H和2628-V透射通过波导组件2504,之后通过偏振陷波反射器2514,之后通过L2 2616,从而分别输出相应光束2636和2628。

[0269] 类似于上文相对于图26A/26B所描述的显示设备,透镜L1 2612和L2 2616被配置为对具有线性偏振中的一个而非另一个的光操作。因此,在所示的实施例中,入射光束

2632-H和2624-V中的一个(例如,具有LHP 的光束2632-H)不受透镜L1 2612和L2 2616影响。

[0270] 还类似于上文相对于图26A/26B所描述的显示设备,由于存在其光延迟效应彼此抵消的两个四分之一波片QWP1 2604、QWP2 2608,并且由于存在其透镜效应彼此抵消的两个透镜L1 2612和L2 2616,因而如由眼睛4 观察的世界1114的图像基本上未受影响,而如上文相对于图26C所描述的虚拟图像受L2 2616影响。

[0271] 总之,图26C和26D中所示的实施例,类似于使用具有其中包括CLC 层的偏振陷波反射器的显示设备2600A/2600B实现的偏振转换,偏振转换可以使用偏振陷波反射器2514 (例如,线性偏振陷波反射器)代替其中具有CLC层的偏振陷波反射器2514 (图26A/26B) 实现,如在图26C和26D 中所示。为了转换虚拟图像的偏振,QWP2 2510被设置在非偏振陷波反射器2508与波导组件2504之间。由于偏振陷波反射器2514 (例如,线性偏振陷波反射器) 将虚拟图像偏振转换为线性偏振(例如,LHP),因而另一四分之一波片QWP1 2604被设置在L1 2612与非偏振陷波反射器2508 之间以补偿。

[0272] 示例的圆偏振可变焦透镜

[0273] 在不限于任何理论的情况下,当在光的偏振状态的空间中沿着闭合环取得光束时,其可以从累积路径长度以及从几何相位获得动态相位。从几何相位获得的动态相位归因于偏振的局部改变。相反,基于几何相位形成期望相前的一些光学元件可以被称为Pancharatnam-Berry相位光学元件 (PBOE)。可以根据波片元件构建PBOE,对于波片元件,快轴的取向取决于波片元件的空间位置。除了各种其他应用,PBOE的应用包括衍射光栅,例如,闪耀光栅、聚焦透镜和轴棱镜。

[0274] 在以下中,相对于图27A-27D,描述了采用可切换透镜元件或可切换透镜组件的显示设备,包括例如Pancharatnam-Barry相位 (PB) 透镜元件,其可以通过PB透镜的直接调制或通过耦合到静态PB透镜的LC波片的调制动态切换。当具有不同焦距的多个PB透镜元件堆叠时,透镜堆叠的总体焦点可以通过调制PB透镜或放置在其之间的LC波片在其中间切换。有利地,PB透镜可以被配置为聚焦或者散焦具有圆偏振的光。因此,可以省略作为显示设备(例如,显示设备2600A、2600B)的一部分所包括的一个或多个四分之一波片,因为虚拟图像偏振通过CLC反射器被转换为圆偏振(例如,RHCP)。

[0275] 图27A和27B示出了被配置为向用户输出图像信息的显示设备 2700A、2700B。显示设备2700A和2700B结构上相同。显示设备2700A 在本文中用于描述向用户输出虚拟图像,而显示设备2700B在本文中用于描述向用户输出现实世界图像。

[0276] 显示设备2700A/2700B包括上文相对于图26A和26B所描述的显示设备2600A/2600B的各种部件,并且还包括用于聚焦并转换从其输出的光的附加光学部件。类似于上文相对于图26A和26B所示的显示设备 2600A/2600B,显示设备2700A/2700B包括插入在非偏振陷波反射器2508 与偏振陷波反射器2512之间的波导组件2504。波导组件2504、非偏振陷波反射器2508和偏振陷波反射器2512以与如上文相对于图26A和26B所描述的类似方式配置,并且因此在本文中未进一步详细描述。

[0277] 然而,不同于显示设备2600A/2600B,在显示设备2700A/2700B中,省略了形成在非偏振陷波反射器2508 (例如,多层陷波反射器) 和偏振陷波反射器2512 (例如,CLC陷波反射器) 的外侧的四分之一波片。进一步地,不同于显示设备2600A/2600B,取代线性偏振透镜,

显示设备 2700A/2700B包括分别形成在非偏振陷波反射器2508和偏振陷波反射器 2512的外侧的第一PB透镜(PB L1) 2712和第二PB透镜(PB L2) 2716。在各种实施例中,PB L1 2712 和PB L2 2716之一或两者可以是可切换透镜,其可以通过电场、电压或者电流的施加切换。进一步地,PB L1 2712和 PB L2 2716之一或两者可以具有可变焦强度、屈光力或焦深,其可以例如通过施加电场、电压或者电流来控制。

[0278] 参考图27A,显示设备2700A在本文中用于描述向用户输出虚拟图像。在操作中,如上文相对于图25A所描述的,在波导组件2504内的一个或多个波导内在x方向上传播的光中的一些可以在z方向上重定向或者耦出。从波导组件2504耦出的光束(其包括具有LHCP的圆偏振光束2516-L和具有RHCP的圆偏振光束2516-R)的路径与上文相对于图26A所描述的光束的路径相同,直到具有RHCP的光束2516-R和2520-R透射通过具有 CLC层1004的偏振陷波反射器2512。在从偏振陷波反射器2512出射时,具有RHCP的光束2516-R和2520-R进一步透射通过PB L2 2716。当激活时,PB L2在由眼睛4观察之前将光束2520-H和2516-H聚焦或者散焦成聚焦的输出光束2620。

[0279] 参考图27B,显示设备2700B在本文中用于描述向用户输出世界1114 的图像。如图所示,分别具有RHCP和LHCP的入射光束2632-R和2624-L 透射通过PB L1 2712作为光束2636-R和2628-L,其随后透射通过非偏振陷波反射器2508、波导组件2504、偏振陷波反射器2512和PB L2 2716。不同于上文相对于图26B所示的显示设备2600B,由于在显示设备2700 中不存在四分之一波片,因而光束贯穿相位转换和聚焦保持为圆偏振光束。此后,光束2636-R和2628-L透射通过PB L2 2716,从而分别输出相应光束2632和2628。

[0280] 为了输出现实世界图像,透镜PB L1 2712和PB L2 2716被配置为对具有圆偏振中的一个而非另一个的光操作。因此,在所示的实施例中,入射光束2632-R和2624-L中的一个(例如,具有LHCP的光束2624-L) 不受透镜PB L1 2712和PB L2 2716影响。

[0281] PB L1 2712和PB L2 2716可以被配置为具有对穿过其的光的相反透镜效应。例如,如果PB L1 2712被配置为具有聚焦透镜效应,则PB L2 2716 可以被配置为具有散焦效应,使得相反透镜效应彼此抵消。因此,如由眼睛4观察的世界1114的图像基本上不受影响,而如上文相对于图27A所描述的虚拟图像受PB L2 2716影响。

[0282] 如上文所描述的,类似于使用具有包括CLC层1004的偏振陷波反射器2512的显示设备2500A(图25A) 执行的偏振转换,偏振转换也可以使用具有不包括CLC层的偏振陷波反射器2514的显示设备2500B(图25B) 执行。因此,图27C和27D示出了被配置为向用户输出图像信息的显示设备2700C、2700D,其中,显示设备2700C、2700D具有不包括CLC层的偏振陷波反射器2514。显示设备2600C和2600D结构上相同。显示设备 2700C在本文中用于描述向用户输出虚拟图像,而显示设备2700D在本文中用于描述向用户输出现实世界图像。

[0283] 类似于上文相对于图25B所示的显示设备2500B,显示设备 2700C/2700D包括插入在非偏振陷波反射器2508与偏振陷波反射器2514 之间的波导组件2504。波导组件2504和非偏振陷波反射器2508以与如上文相对于图25A所描述的类似方式配置,并且因此在本文中未进一步详细描述。

[0284] 显示设备2700C/2700D附加地包括形成在非偏振陷波反射器2508(例如,多层陷波反射器) 与波导组件2504之间的第一四分之一波片(QWP1) 2604,以及形成在偏振陷波反射器2514与第二PB透镜(PB L2) 2616之间的第二四分之一波片(QWP2) 2510。显示设备2700C/

2700D还包括在非偏振陷波反射器2508的外侧的第一PB透镜(PB L1)2612。因此,除了QWP1 2604和QWP2 510的相位位置和透镜的类型之外,显示设备 2700C/2700D类似于相对于图26C和27D所描述的显示设备 2600C/2600D。

[0285] 在各种实施例中,PB L1 2612和PB L2 2616之一或两者可以是可切换透镜,其可以通过电场、电压或者电流的施加切换。进一步地,PB L1 2612 和PB L2 2616之一或两者可以具有可变焦强度或者焦深,其焦强度和焦深可以例如通过施加电场、电压或者电流来控制。

[0286] 参考图27C,显示设备2700C在本文中用于描述向用户输出虚拟图像。如上文相对于图25B所描述的,在波导组件2504内的一个或多个波导内在x方向上传播的光中的一些可以在z方向上重定向或者耦出。从波导组件2504耦出的光束(其包括具有LVP的线性偏振光束2516-V和具有LHP 的线偏振光束2516-H)的路径与上文相对于图26C所描述的光束的路径相同,直到具有LVP的光束2516-V和2520-V透射通过偏振陷波反射器 2514,例如,线性偏振陷波反射器。在从偏振陷波反射器2514出射时,光束2516-V和2520-V透射通过QWP2 2510,从而被转换为具有RHCP的光束2516-R和2520-R。此后,具有RHCP的光束2516-R和2520-R进一步透射通过PB L2 2716。当激活时,PB L2在由眼睛4观察之前将光束 2520-R和2516-R聚焦或者散焦成聚焦的输出光束2620。

[0287] 参考图27D,显示设备2700D在本文中用于描述向用户输出世界1114 的图像。如图所示,分别具有RHCP和LHCP的入射光束2632-R和2624-L 透射通过PB L1 2712、通过非偏振陷波反射器2508、并通过QWP1 2604,于是,光束被转换为线性偏振光束。圆偏振光束进一步透射通过波导组件 2504、偏振陷波反射器2514(例如,线性偏振陷波反射器)并通过QWP2 2510,于是,光束被转换回分别具有RHCP和LHCP的圆偏振光束2636-R 和2628-L。此后,光束 2636-R和2628-L透射通过PB L2 2716,从而分别输出相应光束2632和2628。

[0288] 为了输出现实世界图像,透镜PB L1 2712和PB L2 2716被配置为对具有圆偏振中的一个而非另一个的光操作。因此,在所示的实施例中,入射光束2632-R和2624-L中的一个(例如,具有LHCP的光束2624-L) 不受透镜PB L1 2712和PB L2 2716影响。

[0289] PB L1 2712和PB L2 2716可以被配置为具有对穿过其的光的相反的透镜效应。例如,如果PB L1 2712被配置为具有聚焦透镜效应,则PB L2 2716可以被配置为具有散焦效应,使得相反透镜效应彼此抵消。因此,如由眼睛4观察的世界1114的图像基本上不受影响,而如上文相对于图27C 所描述的虚拟图像受PB L2 2716影响。

[0290] 用于偏振敏感可变焦透镜的示例空间偏移补偿器

[0291] 当使用偏振敏感透镜(诸如PB透镜)时,两个正交偏振图像经历不同的光学通过透镜。例如,PB透镜可以将世界图像分割为具有不同放大率的两个偏振图像,该不同放大率可能导致在其之间具有空间偏移的双重图像。该效应被示出在图28A中,该图28A示出了与图27A和27B的显示设备2700A/2700B类似地配置的显示设备2800A。如上文所描述的,尽管两个PB透镜可以被配置为抵消彼此的透镜效应,但是由具有LHCP的光束2632和由具有RHCP的光束2628形成的两个偏振图像的尺寸的偏移 2804可以保持,如图28A所示。例如,在图28A 中,PB L1对具有LHCP 的光束2624-L施加负屈光力,同时对具有RHCP的光束2632-R施加正屈光力。在以下中,公开了被配置为补偿偏移2804的各种布置。

[0292] 图28B示出了包括一对透镜2804、2808(例如,一对PB透镜)的偏移补偿器2800B。该

对透镜PB L3 2804和PB L4 2808被配置为使得当具有RHCP和LHCP的入射光束入射在PB L3时,PB L3对具有LHCP的光束施加正屈光力,同时对具有RHCP的光束施加负屈光力。因此,PB L3 2804和PB L4 2808的屈光力分别与PB L1 2612和PB L2 2716的屈光力相反,使得从显示设备2800A(图28A)输出的输出光束2632与2628之间存在空间偏移2812,其与从偏移补偿器2800B输出的输出光束2632与2628相比,在方向上相反并且在幅度上基本上相同。因此,图28A中所示的空间偏移2804可以通过放置产生在相反方向上具有相同幅度的偏移2812的一对透镜来补偿,如图28B中所示。

[0293] 图28C示出了显示设备2800A(图28A)与偏移补偿器2800B(图28B)堆叠的组合。如在图28A的光学器件中使用的相同类型的可变焦透镜可以用于构建偏移补偿器。当部分补偿可接受时,可以使用静态透镜。如图所示,偏移可以通过将偏振器放置在陷波滤波器(例如,用于线性LC透镜的线性偏振器或用于PB透镜的圆偏振器)的前面同时牺牲世界图像的亮度来避免。仍然,虚拟图像不受影响。偏移补偿器2800B可以设置在目镜的朝向世界侧(例如,如图28C中所示)或者可以设置在目镜的朝向眼睛侧(例如,朝向右侧,其中,用户的眼睛位于此处)。可以使用多个偏移补偿器。

[0294] 如上文相对于各种显示设备所描述的,通常在波导组件2504中的一个或多个波导(例如,图6中的1182、1184、1186、1188、1190)内在传播方向(例如,x方向)上传播的光可以例如使用耦出光学元件或者光提取光学元件(例如,图6中的1282、1284、1286、1288、1290)从波导输出,以在正交方向(例如,z方向)上输出图像信息。如上文所描述的,耦出光学元件的各种实施例可以包括胆甾型液晶光栅(CLCG)。随着光在一个或多个波导(例如,图6中的1182、1184、1186、1188、1190)内传播,CLCG(例如,图6中的1282、1284、1286、1288、1290)将光耦出一个或多个波导。在CLCG的CLC层的一些配置下,耦出光可以在基本上单个方向(例如,z方向)上具有均匀偏振状态。例如,具有手性结构(例如,图10中的1012-1、1012-2、...1012-i)的CLCG的(一个或多个)CLC层可以耦出具有基本上均匀偏振(例如,LHCP或RHCP)的光,在手性结构中,液晶分子在相同方向(例如,顺时针或者逆时针方向)上旋转。在这些实施例中,由于波导组件2504耦出具有基本上均匀偏振的光,因而并入包括CLCG的波导组件2504的显示设备可以省略上文所描述的用于转换输出光的偏振的光学元件中的一些。

[0295] 具有可变焦透镜的示例偏振目镜

[0296] 在以下中,与其他方向(例如,图29中的向左、朝向世界)相比,目镜1004可以优选地在特定方向(例如,图29中的向右、朝向眼睛)上投射光。参考图29,显示设备2900包括波导组件2904,其中,波导组件2904分别插入在第一PB透镜2612与第二PB透镜2616之间。有利地,在该示例中,由于从波导组件2904输出的图像的光束2636-R已经偏振(例如,右旋圆偏振或者RHCP),因而可以省略附加的偏振器或者偏振转换,因为从目镜1004投射的光已经优选地处于通过透镜2616起作用的偏振状态(在该示例中为RHCP)。因此,在波导组件2904中在TIR下传播的光中的一些可以通过形成在其中的DOE耦出作为例如圆偏振光束2636-R(或者其他实施方式中的线性偏振光束)。具有RHCP的光束2636-R例如在正z方向上行进,直到束在由眼睛4观察之前入射在PB L2 2616上而不穿过偏振陷波反射器。目镜1004可以包括被设计为非对称地投射期望的方向上的并且(可选地)具有期望的偏振状态(例如,在图29中,在RHCP的情况下向右)的光的DOE、超材料、全息图。

[0297] 示例的可变形反射镜可变焦显示器

[0298] 在一些实施例中,可变形反射镜可以用于当其从反射镜反射时对虚拟图像产生可变焦效应。图30示出了被配置为使用波导组件2904和可变形反射镜3004将图像信息输出给用户的显示设备3000。显示设备3000包括波导组件2904,其中,波导组件2904插入在弯曲或者可变形反射镜3004(使得其具有屈光力)与可选清理偏振器3008之间。如参考图29所描述的,目镜2904可以被配置为非对称地投射光,在该示例中,向左(向世界)而不是向右(向眼睛)。目镜2904可以包括可以优选地以期望的非对称方向和/或期望的偏振状态(例如,线性或圆的)投射光的DOE、超材料、全息图等。例如,如在图34中所示,目镜2904可以包括CLC层或者CLCG。

[0299] 在操作中,如上文相对于图29所描述的,在波导组件2904内的一个或多个波导内在x方向上传播的光中的一些可以在z方向上重定向或者耦出,作为具有均匀圆偏振(例如,RHCP)的光束3012。波导组件2904朝向弯曲或者可变形反射镜3004(与用户的眼睛4的一侧相反)投射虚拟图像的光束3012。在一些实施例中,可变形反射镜3004涂有偏振反射层(例如,多层线性偏振反射器或者宽带胆甾相液晶圆偏振反射器),以反射具有指定偏振的光(例如,具有与CLCG的耦出偏振相同偏振的光),并允许朝向眼睛4透射的来自现实世界1114的光。在一些其他实施例中,取代偏振反射层,可变形反射镜3004涂有陷波反射层或CLC反射层,该陷波反射层或CLC反射层被设计为反射窄带宽 $\Delta\lambda$ 内的光,该窄带宽 $\Delta\lambda$ 匹配来自波导组件2904的耦出光的虚拟图像带宽。在一些实施例中,清理偏振器3008可以可选地如在图30中所示放置以消除任何重影图像,而不穿过可变形反射镜。

[0300] 胆甾型液晶透镜

[0301] 如在本文中其他地方所描述的(参见,例如,图30和34),一些显示设备包括被配置为向世界(例如,朝向世界1114远离用户的眼睛4)非对称地投射光的目镜,以及然后将光的方向朝向用户的眼睛4反转(例如,通过反射或者衍射)回来的光学结构(例如,图30的可变形反射镜3004或图34的CLC透镜)。

[0302] 图31A和31B示出了可以实现为显示设备的一部分的反射衍射透镜3100A,其中,反射衍射透镜3100A以与透射PB LC透镜类似的方式由用作反射偏振反射镜的图案化CLC材料形成。图31A示出了二进制菲涅尔透镜图案顶部的液晶引导器(箭头)的局部取向。因此,CLC透镜3100A可以被配置为具有屈光力(其可以是可调节的,诸如通过施加电场)。CLC透镜3100A的实施例可以用作图30的显示器中的可变形反射镜3004的替换物或者可以用于提供图30的显示器中的附加的反射率或者屈光力(例如,通过组合CLC透镜3100A和反射镜3004,例如,经由将CLC透镜涂覆或者层压到反射镜3004的表面上)。

[0303] 参考图31B,当透镜3100A利用具有对应于CLC手性的旋向性(例如,RHCP)(例如,具有与CLC手性的旋向性相同的旋向性)的圆偏振的圆偏振入射光3012照射时,反射光3016展现出类似于透射PB透镜的透镜效应。另一方面,具有正交偏振(例如,LHCP)的光在没有干扰的情况下透射。透镜3100A可以被配置为具有小于约10nm、小于约25nm、小于约50nm、小于约100nm、或者某个其他范围的范围内的带宽。

[0304] 图31C示出了包括多个反射衍射透镜3100-R、3100-G和3100-B的反射衍射透镜3100C。在所示的实施例中,反射衍射透镜3100-R、3100-G和3100-B处于堆叠配置中并被配置为分别反射红色、绿色和蓝色光谱内的波长 $\Delta\lambda$ 的范围内的光。当透镜3100C利用具有对

应于CLC手性的旋向性(例如,RHCP)的圆偏振的和红色、绿色和蓝色光谱内的波长 $\Delta\lambda$ 的范围内的波长的圆偏振入射光3012照射时,反射光3016展现类似于透射 PB透镜的透镜效应。另一方面,具有正交偏振(例如,LHCP)的光在没有干扰的情况下透射。

[0305] 由于焦距3204取决于光的波长而变化,因而衍射透镜(例如,菲涅尔透镜)常常遭受严重色差。这在相对于衍射透镜3200A的图32A中示出,其示出了在距透镜3200A不同距离处聚焦的入射红光、绿光和蓝光。

[0306] 利用CLC材料的中等带宽的益处,透镜的堆叠可以实现为针对不同颜色具有基本上相同的焦距。图32B示出了类似于相对于图31C所示的反射衍射透镜3100C在堆叠配置中包括多个反射衍射透镜3200-R、3200-G 和3200-B的反射衍射透镜3200B。如在图32B中所示,三个单独透镜 3200-R、3200-G和3200-B分别被设计为针对红、绿和蓝波长具有基本上相同的焦距或者屈光力。由于在许多实施方式中CLC材料的带宽是约50 nm至100nm,因而三个波长之间的串扰可以减少或最小化。尽管示出了 3个CLC层,但是可以使用对应于入射在透镜3200B上的光的颜色的更少或更多数目的层。

[0307] CLC透镜中的示例的动态切换

[0308] 图33A示出了被配置为在不同焦距之间的动态切换的反射衍射透镜组件3300。动态切换通过堆叠包括第一、第二和第三多层衍射透镜CLC L1、CLC L2和CLC L3的多个反射衍射透镜子组件3300-1、3300-2和3300-3 实现,其中,多层衍射透镜CLC L1、CLC L2和CLC L3中的每一者包括多个透镜3100-R、3100-G和3100-B。如所配置的,反射衍射透镜子组件3300-1、3300-2和3300-3被配置为具有不同焦距。多个反射衍射透镜子组件3300-1、3300-2 和3300-3包括第一、第二和第三可切换半波片HWP1、HWP2和HWP3(例如,可切换LC半波片)。在所示的实施例中,反射衍射透镜子组件3300-1、3300-2和3300-3处于堆叠配置中,使得子组件 3300-1、3300-2和3300-3的多层衍射透镜CLC L1、CLC L2和CLC L3 与子组件3300-1、3300-2和3300-3的可切换半波片(HWP)交替。

[0309] 图33B和33C示出了通过调制设置在每一个中的HWP在两个不同反射衍射透镜子组件3300-1和3300-2之间的示例的切换操作。当第一HWP (HWP1) 处于OFF状态(例如,无延迟)时,光由第一CLC透镜(CLC L1)反射并且图像焦点由第一CLC L1确定。当HWP1和HWP2都处于ON状态(例如,半波延迟)时,光未从CLC L1反射,因为其偏振变为正交(例如,LHCP)于操作偏振(例如,RHCP)。偏振状态由HWP2 恢复并且光从CLC L2) 反射。图像焦点现在由CLC L2确定。

[0310] 类似地,三个不同焦距可以通过添加如图33D中所示的附加的一对 CLC透镜和HWP实现。光偏振通过HWP1被转换为操作偏振(例如, RHCP)的正交偏振(例如,LCHP)。由于HWP2处于OFF状态,因而偏振不受影响并且光在没有干扰的情况下穿过CLC L2。在HWP3之后,偏振再次翻转并且变为操作偏振(例如,RHCP),并且光由CLC L3反射。图像焦点现在由如图33D中所示的CLC L3确定。

[0311] 在实施例中,虚拟图像的可变焦点可以通过组合波导组件(以及如图 34中所示的CLC透镜3408)实现。CLC透镜3408可以包括本文所描述的CLC透镜3100A、3100C、3200A、3200B、3300的实施例中的任一个。由于从波导组件3404投射的图像优选地朝向具有均匀圆偏振的CLC透镜(例如,在远离用户的眼睛的方向上向世界)传播,因而图像焦点可以由如上文所描述的CLC透镜控制。CLC透镜3408可以包括多个深度平面(例如,图33A中所示的

DoF1-DoF3) 并且可动态切换,如参考图33B-33D 所描述的。当颜色顺序显示器用于生成虚拟图像时,CLC透镜中的波片需要与由目镜3404投射的操作颜色同步调制。如上文所描述的,CLC透镜 3408可以单独或与可变形反射镜(例如,反射镜3004)组合使用以为虚拟图像提供可变焦显示设备。

[0312] 附加方面

[0313] 在第1方面,一种显示设备包括波导,所述波导被配置为在平行于所述波导的主表面上的方向上在全内反射下传播可见光。耦出元件形成在所述波导上并被配置为在垂直于所述波导的所述主表面的方向上耦出所述可见光的一部分。偏振选择性陷波反射器设置在所述波导的第一侧并被配置为反射具有第一偏振的可见光,同时透射具有第二偏振的可见光。偏振无关陷波反射器设置在所述波导的第二侧并被配置为反射具有所述第一偏振的可见光和具有所述第二偏振的可见光,其中,所述偏振无关陷波反射器被配置为转换从其反射的可见光的偏振。

[0314] 在第2方面,在根据第1方面所述的显示设备中,所述偏振选择性陷波反射器和所述偏振无关陷波反射器中的每一者被配置为反射具有在对应于红、绿和蓝光中的一者的波长范围内的波长的可见光,同时透射具有所述波长范围之外的波长的光。

[0315] 在第3方面,在根据第1至第2方面中任一方面所述的显示设备中,所述偏振选择性陷波反射器包括一个或多个胆甾型液晶(CLC)层。

[0316] 在第4方面,在根据第1至第3方面中任一方面所述的显示设备中,所述一个或多个CLC层中的每一者包括多个手性结构,其中,所述手性结构中的每一者包括在层深度方向上延伸至少一螺距并且在第一旋转方向上连续旋转的多个液晶分子。所述螺距是层深度方向上的长度,其对应于手性结构的所述液晶分子在所述第一旋转方向上的一个完整旋转的净旋转角。所述手性结构的所述液晶分子的布置在与所述层深度方向垂直的横向方向上周期性变化。

[0317] 在第5方面,在根据第1至第4方面中任一方面所述的显示设备中,所述第一偏振是第一圆偏振,并且所述第二偏振是第二圆偏振。

[0318] 在第6方面,在第1至第5方面中任一方面所述的显示设备中,所述显示设备还包括第一四分之一波片和第二四分之一波片,其中,所述偏振无关陷波反射器被插入在所述第一四分之一波片与所述波导之间,并且其中,所述偏振选择性陷波反射器被插入在所述波导与所述第二四分之一波片之间。

[0319] 在第7方面,在根据第6方面所述的显示设备中,所述显示设备还包括第一线性偏振透镜和第二线性偏振透镜,其中,所述第一四分之一波片被插入在所述第一线性偏振透镜与所述偏振无关陷波反射器之间,并且其中,所述第二四分之一波片被插入在所述偏振选择性陷波反射器与所述第二线性偏振透镜之间。

[0320] 在第8方面,在根据第1至第4方面中任一方面所述的显示设备中,所述显示设备还包括设置在所述偏振无关陷波反射器和所述偏振选择性陷波反射器的外侧的第一 Pancharatnam-Berry (PB) 透镜和第二 Pancharatnam-Berry (PB) 透镜。

[0321] 在第9方面,在根据第1或第2方面中任一方面所述的显示设备中,所述显示设备还包括被插入在所述偏振无关陷波反射器与所述波导之间的第一四分之一波片。

[0322] 在第10方面,在根据第9方面所述的显示设备中,所述显示设备还包括第二四分之

一波片，其中，所述偏振无关陷波反射器被插入在所述第一四分之一波片与所述第二四分之一波片之间。

[0323] 在第11方面，在根据第10方面所述的显示设备中，所述显示设备还包括第一线性偏振透镜和第二线性偏振透镜，其中，所述第一四分之一波片被插入在所述第一线性偏振透镜与所述偏振无关陷波反射器之间，并且其中，所述偏振选择性陷波反射器被插入在所述波导与所述第二线性偏振透镜之间。

[0324] 在第12方面，在根据第9方面所述的显示设备中，所述显示设备还包括设置在所述偏振无关陷波反射器和所述偏振选择性陷波反射器的外侧的第一Pancharatnam-Berry (PB) 透镜、第二Pancharatnam-Berry (PB) 透镜，以及被插入在所述第二PB透镜与所述偏振选择性陷波反射器之间的第二四分之一波片。

[0325] 在第13方面，一种显示设备包括被插入在第一可切换透镜与第二可切换透镜之间的波导装置。所述波导装置包括各自包括多个手性结构的一个或多个胆甾型液晶 (CLC) 层，其中，每个手性结构包括在层深度方向上延伸并且在第一旋转方向上连续旋转的多个液晶分子，其中，所述手性结构的所述液晶分子的布置在垂直于所述层深度方向的横向方向上周期性变化，使得所述一个或多个CLC层被配置为布拉格反射入射光。一个或多个波导形成在所述一个或多个CLC层上并且被配置为在平行于所述波导的主表面的方向上在全内反射 (TIR) 下传播可见光并且被配置为向或者从所述一个或多个CLC层光学耦合可见光。

[0326] 在第14方面，在根据第13方面所述的显示设备中，所述一个或多个波导被插入在偏振选择性陷波反射器与偏振无关陷波反射器之间，其中，所述偏振选择性陷波反射器被配置为反射具有第一偏振的可见光，同时透射具有第二偏振的可见光，并且其中，所述偏振无关陷波反射器被配置为反射具有所述第一偏振的可见光和具有所述第二偏振的可见光。

[0327] 在第15方面，在根据第13方面所述的显示设备中，所述一个或多个 CLC层用作所述偏振选择性陷波反射器。

[0328] 在第16方面，在根据第13方面所述的显示设备中，所述偏振选择性陷波反射器包括一个或多个胆甾型液晶 (CLC) 层。

[0329] 在第17方面，在根据第16方面所述的显示设备中，所述一个或多个 CLC层中的每一者包括多个手性结构，其中，所述手性结构中的每一者包括在层深度方向上延伸至少一螺距并且在第一旋转方向上连续旋转的多个液晶分子。所述螺距是层深度方向上的长度，其对应于手性结构的所述液晶分子在所述第一旋转方向上的一个完整旋转的净旋转角。所述手性结构的所述液晶分子的布置在与所述层深度方向垂直的横向方向上周期性变化。

[0330] 在第18方面中，在根据第13至第17方面中任一方面所述的显示设备中，所述偏振选择性陷波反射器被配置为保留从其反射的可见光的偏振，并且其中，所述偏振无关陷波反射器被配置为转换从其反射的可见光的偏振。

[0331] 在第19方面中，在根据第13至第18方面中任一方面所述的显示设备中，所述第一可切换透镜和所述第二可切换透镜具有当激活时具有相反符号的屈光力。

[0332] 在第20方面中，在根据第13至第19方面中任一方面所述的显示设备中，所述第一可切换透镜包括Pancharatnam-Berry (PB) 透镜，并且所述第二可切换透镜包括第二Pancharatnam-Berry (PB) 透镜。

[0333] 在第21方面，在根据第13至第20方面中任一方面所述的显示设备中，所述显示设

备还包括被插入在所述偏振无关陷波反射器与所述波导之间的第一四分之一波片。

[0334] 在第22方面,在根据第13至第21方面中任一方面所述的显示设备中,所述显示设备还包括被插入在所述第二可切换透镜与所述偏振选择性陷波反射器之间的第二四分之一波片。

[0335] 在第23方面,一种被配置为向用户的眼睛显示图像的显示设备包括光学显示器,所述光学显示器包括前侧和后侧,所述后侧比所述前侧更接近于所述用户的所述眼睛,所述光学显示器被配置为朝向所述后侧输出具有波长范围的光。第一陷波反射器被设置在所述光学显示器的后面,所述第一陷波反射器被配置为反射从所述光学显示器输出的具有所述波长范围的光。第二陷波反射器被设置在所述光学显示器的前面,所述第二陷波反射器被配置为反射具有所述波长范围的光。所述第一陷波反射器被配置为基本上透射具有第一偏振的光并且基本上反射具有与所述第一偏振不同的第二偏振的光。所述第二陷波反射器被配置为将入射在后面上的具有所述第二偏振的光转换为所述第一偏振并将所述光向后重定向。

[0336] 在第24方面,在根据第23方面所述的显示设备中,所述第一陷波反射器包括胆甾型液晶(CLC)光栅(CLCG)。

[0337] 在第25方面,在根据第23方面所述的显示设备中,所述第一陷波反射器包括多层,并且所述第二陷波反射器包括非偏振陷波反射器和四分之一波片。

[0338] 在第26方面,在根据第23至第25方面中任一方面所述的显示设备中,所述显示设备还包括:设置在所述第一陷波反射器的后面的第一可变焦透镜;以及设置在所述第二陷波反射器的前面的第二可变焦透镜,其中,所述第二可变焦透镜的第二光学特性补偿所述第一可变焦透镜的第一光学特性。

[0339] 在第27方面,在根据第26方面所述的显示设备中,所述第一可变焦透镜和所述第二可变焦透镜中的每一者包括线性偏振透镜。

[0340] 在第28方面,在根据第26方面所述的显示设备中,所述第一可变焦透镜和所述第二可变焦透镜中的每一者包括Pancharatnam-Berry(PB)相位透镜。

[0341] 在第29方面,在根据第28方面所述的显示设备中,所述显示设备还包括空间偏移补偿器,其被配置为补偿由所述PB相位透镜引入的空间偏移。

[0342] 在第30方面,一种动态聚焦显示系统包括显示器,所述显示器被配置为输出处于第一圆偏振状态的圆偏振光。所述显示器沿着光轴设置并且具有前侧和后侧,所述后侧比所述前侧更接近于所述用户的眼睛,所述光学显示器被配置为朝向所述后侧输出具有波长范围的光。第一可切换光学元件沿着所述光轴设置在所述第一CLC透镜的前面,所述第一可切换光学元件被配置为将透射通过所述第一可切换光学元件的光的圆偏振状态从所述第一圆偏振状态改变为第二不同圆偏振状态。第一胆甾型液晶(CLC)透镜沿着所述光轴被设置在所述第一可切换光学元件的前面。第二可切换光学元件沿着所述光轴设置在所述第一CLC透镜的前面,所述第二可切换光学元件被配置为将透射通过所述第二可切换光学元件的光的圆偏振状态从所述第一圆偏振状态改变为第二不同圆偏振状态。第二CLC透镜沿着所述光轴设置在所述第二可切换光学元件的前面。控制器被配置为电子地切换所述第一可切换光学元件和所述第二可切换光学元件的状态以动态地选择所述第一CLC透镜或者所述第二CLC透镜。

[0343] 在第31方面,在根据第30方面所述的动态聚焦显示系统中,响应于所述第一CLC透镜的选择,所述第一可切换光学元件被切换为允许具有所述第一偏振状态的光的透射。响应于所述第二CLC透镜的选择,所述第一可切换光学元件被切换为将光的偏振从所述第一圆偏振状态改变为所述第二圆偏振状态,并且所述第二可切换光学元件被切换为将光的偏振从所述第二圆偏振状态改变为所述第一圆偏振状态。

[0344] 在第32方面,在根据第30或第31方面所述的动态聚焦显示系统中,所述第一可切换光学元件和所述第二可切换光学元件包括半波片。

[0345] 在第33方面,一种可穿戴增强现实显示系统包括根据第30至第33 方面中任一方面所述的动态聚焦显示系统。

[0346] 在第34方面,一种可穿戴增强现实头戴式显示系统被配置为将来自穿戴所述头戴式系统的穿戴者前面的世界的光传递到所述穿戴者的眼睛中。所述可穿戴增强现实头戴式显示系统包括:光学显示器,其被配置为输出光以形成图像;一个或多个波导,其被设置为从所述显示器接收所述光;框架,其被配置为将所述波导设置在所述眼睛的前面,使得所述一个或多个波导具有前侧和后侧,所述后侧比所述前侧更接近于所述眼睛;胆甾型液晶(CLC)反射器,其被设置在所述一个或多个波导的所述前侧,所述 CLC反射器被配置为具有在施加电信号时可调节的屈光力或者焦深;以及一个或多个耦出元件,其相对于所述一个或多个波导设置以从所述一个或多个波导提取光并且将在所述波导内传播的所述光的至少一部分引导到所述CLC反射器,所述光从所述CLC反射器引导回来通过所述波导并且引导到所述眼睛中以将来自所述显示器的图像呈现到所述穿戴者的眼睛中。

[0347] 在第35方面,一种显示设备包括波导,其被配置为在平行于所述波导的主表面上的方向上在全内反射下传播可见光并在垂直于所述主表面的方向上耦出所述可见光。陷波反射器被配置为反射具有第一偏振的可见光,其中,所述陷波反射器包括一个或多个胆甾型液晶(CLC)层,其中,所述 CLC层中的每一者包括多个手性结构,其中,所述手性结构中的每一者包括在层深度方向上延伸并且在第一旋转方向上连续旋转的多个液晶分子,其中,所述手性结构的所述液晶分子的布置在垂直于所述层深度方向的横向方向上周期性变化,使得所述一个或多个CLC层被配置为布拉格反射入射光。

[0348] 在第36方面,在根据第35方面所述的显示设备中,所述波导被配置为朝向所述陷波反射器选择性地耦出所述可见光。

[0349] 在第37方面,在根据第35或第36方面所述的显示设备中,所述陷波反射器包括具有形成(或者设置)在其上的一个或多个CLC层的可变形反射镜。

[0350] 在第38方面,在根据第35至第37方面中任一方面所述的显示设备中,所述一个或多个CLC层中的不同CLC层被配置为反射具有在对应于红、绿或蓝光中的不同颜色光的波长范围内的波长的可见光,同时被配置为透射具有所述波长范围之外的波长的光。

[0351] 在第39方面,在根据第35至第38方面中任一方面所述的显示设备中,所述CLC层的所述手性结构中的每一者包括在层深度方向上延伸至少一螺距的多个液晶分子,其中,所述一个或多个CLC层中的不同CLC层具有不同螺距。

[0352] 在第40方面,在根据第38或第39方面所述的显示设备中,所述一个或多个CLC层中的不同CLC层具有基本上相同的屈光力。

[0353] 在第41方面,在根据第35至第40方面中任一方面所述的显示设备中,所述显示设

备包括多个陷波反射器，其中，所述陷波反射器中的每一者被配置为反射具有第一偏振的可见光，其中，所述陷波反射器中的每一者包括一个或多个胆甾型液晶 (CLC) 层，其中，所述 CLC 层中的每一者包括多个手性结构，其中，所述手性结构中的每一者包括在层深度方向上延伸并在第一旋转方向上连续旋转的多个液晶分子，其中，所述手性结构的所述液晶分子的布置在垂直于所述层深度方向的横向方向上周期性变化，使得所述一个或多个 CLC 层被配置为布拉格反射入射光。

[0354] 在第42方面，在根据第35至第41方面中任一方面所述的显示设备中，所述陷波反射器中的不同陷波反射器具有不同屈光力。

[0355] 在第43方面，在根据第41或第42方面所述的显示设备中，所述显示设备还包括对应于所述陷波反射器中的每一者的半波片。

[0356] 其它考虑事项

[0357] 在上述实施例中，结合特定实施例描述了增强现实显示系统，更具体地，在空间上变化的衍射光栅。然而，应该理解，实施例的原理和优点可以被用于需要在空间上变化的衍射光栅的任何其它系统、装置或方法。在前文中，应当理解，任一实施例的任何特征可以与任何其它实施例的任何其它特征组合和/或被任何其它实施例的任何其它特征替代。

[0358] 除非上下文另外明确要求，否则在整个说明书和权利要求书中，词语“包括 (comprise)”、“包括 (comprising)”、“包含 (include)”、“包含 (including)”等应以包含性的含义，而不是排他性或独占的含义来解释，也就是说，以“包括但不限于”的含义解释。如本文通常使用的，词语“耦接”是指可以直接连接或通过一个或多个中间元件连接的两个或更多个元件。同样地，如本文通常使用的，词语“连接”是指可以直接连接或通过一个或多个中间元件连接的两个或更多个元件。另外，当在本申请中使用时，词语“本文”、“上面”、“下面”、“下文”、“上文”和类似含义的词语应当指该申请整体而不是本申请的任何特定部分。在上下文允许的情况下，上述具体实施方式中使用单数或复数的词语也可以分别包括复数或单数。关于两个或更多个项的列表的词语“或”表示该单词涵盖了该单词的以下所有解释：列表中的任一项、列表中的所有项，以及列表中的一个或多个项的任意组合。此外，在本申请和所附权利要求中使用的冠词“一”、“一个”和“所述”应被解释为表示“一个或多个”或“至少一个”，除非另外明确指出。

[0359] 如本文所使用的，指代项列表中的“至少一个”的短语是指这些项的任意组合，包括单个成员。例如，“A、B或C中的至少一者”旨在涵盖：A、B、C、A和B、A和C、B和C，以及A、B和C。除非另外特别说明，否则诸如短语“X、Y和Z中的至少一者”之类的连接语言另外通过通常使用的上下文进行理解，以表达项、术语等可以是X、Y或Z中的至少一者。因此，这种连接语言通常不旨在暗示某些实施例需要X中的至少一个、Y中的至少一个和Z中的至少一个各自存在。

[0360] 此外，除非另有明确说明或者在所使用的上下文内另有理解，否则本文使用的条件语，例如，“可”、“可以”、“可能”、“也许”、“例如”、“比如”、“诸如”等通常旨在表达某些实施例包括，而其它实施例不包括某些特征、元件和/或状态。因此，这种条件语通常不旨在暗示一个或多个实施例以任何方式需要这些特征、元件和/或状态，或者暗示这些特征、元件和/或状态被包括在任何特定实施例中或者在任何特定实施例中执行。

[0361] 虽然已经描述了某些实施例，但是这些实施例仅作为示例给出，并且不旨在限制

本公开的范围。实际上，这里描述的新颖装置、方法和系统可以以各种其它形式体现；此外，在不脱离本公开的精神的情况下，可以对这里描述的方法和系统的各种形式进行各种省略、替换和改变。例如，虽然以给定布置呈现了各个框，但是备选实施例可以通过不同的部件和/或电路拓扑执行类似功能，并且可以删除、移动、添加、细分、组合和/或修改某些框。这些框中的每一者可以以各种不同的方式实现。可以组合上述各种实施例的元件和动作的任何合适组合以提供进一步的实施例。上述各种特征和过程可以彼此独立地实现，或者可以以各种方式组合。没有任何元件或元件组合是对于所有实施例而言必需或不可或缺的。本公开的特征的所有合适的组合和子组合旨在落入本公开的范围内。

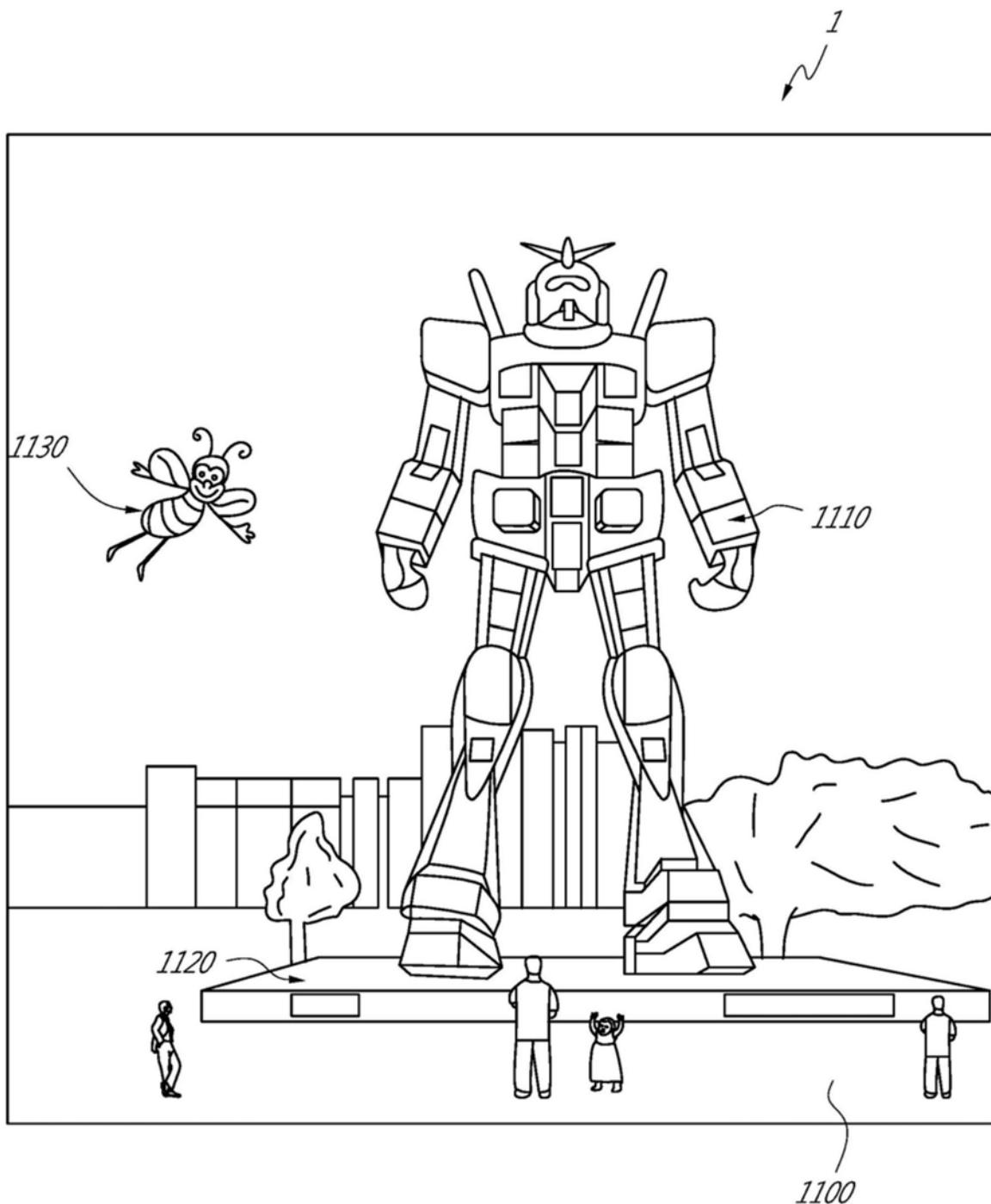


图1

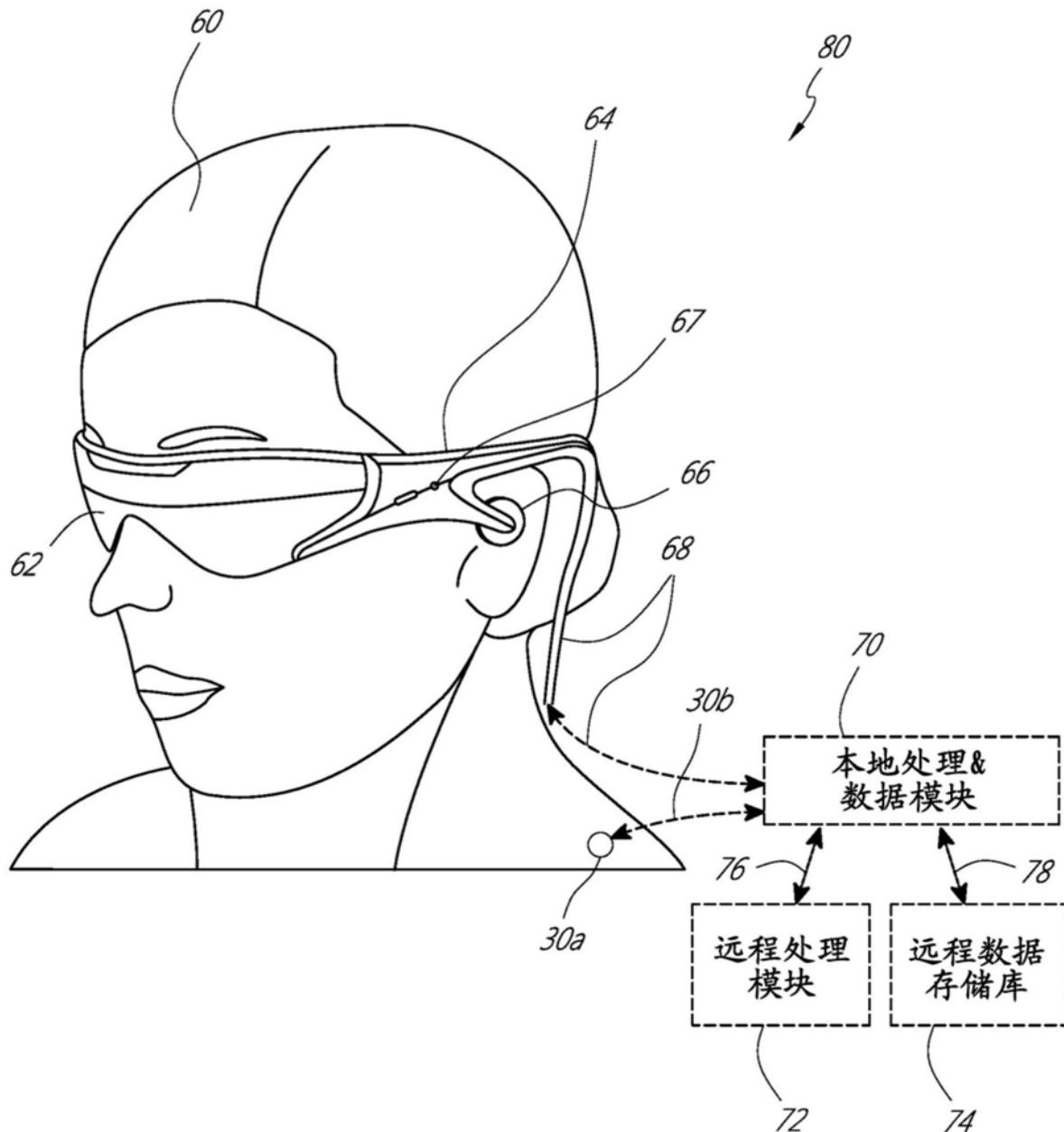


图2

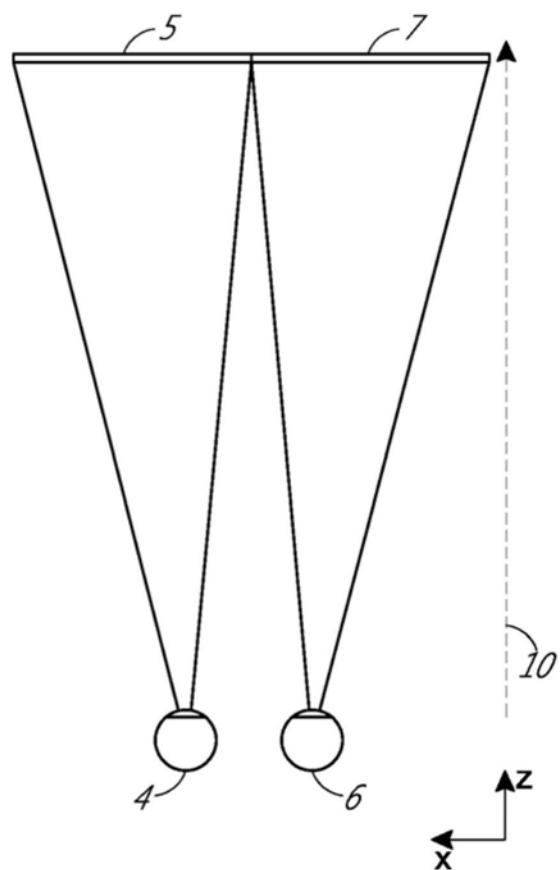


图3

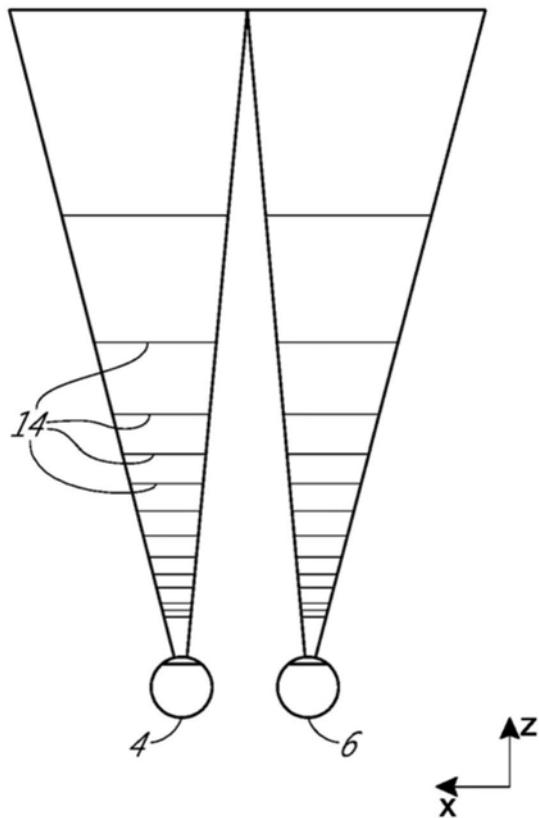


图4



图5A

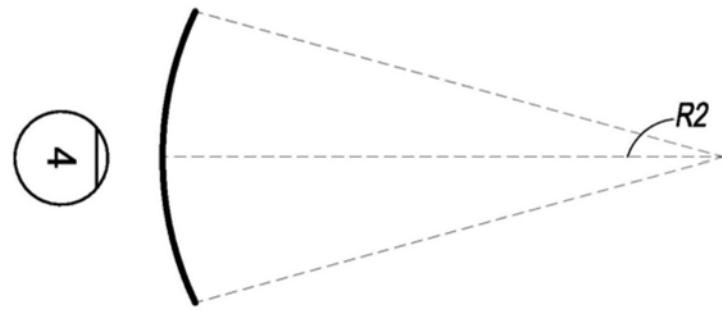


图5B

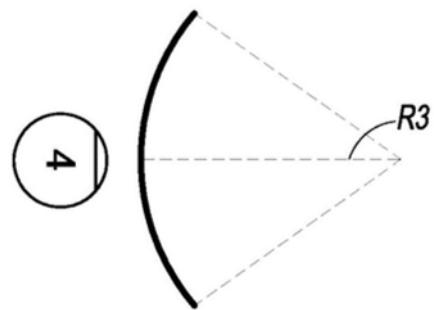


图5C

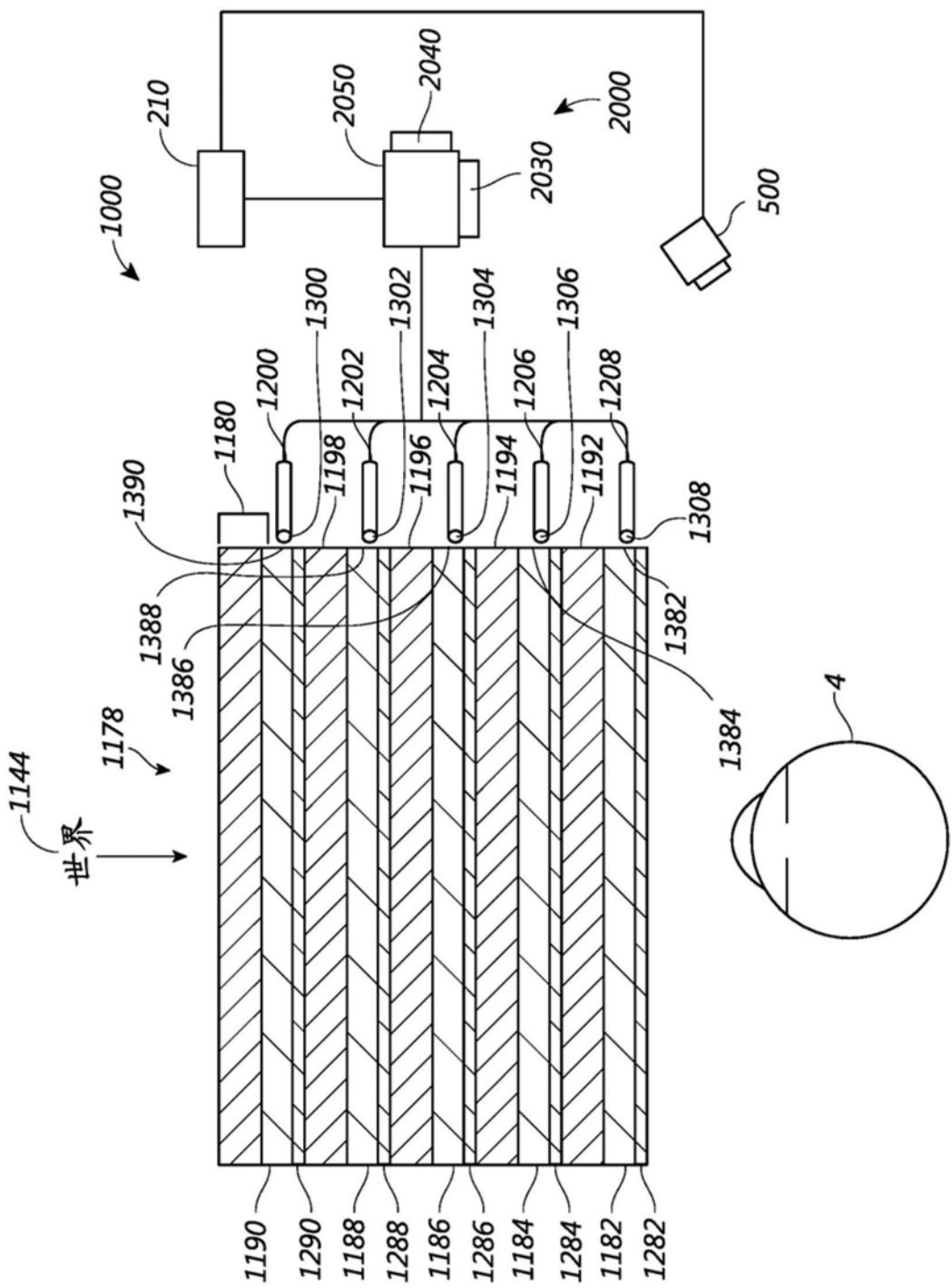


图6

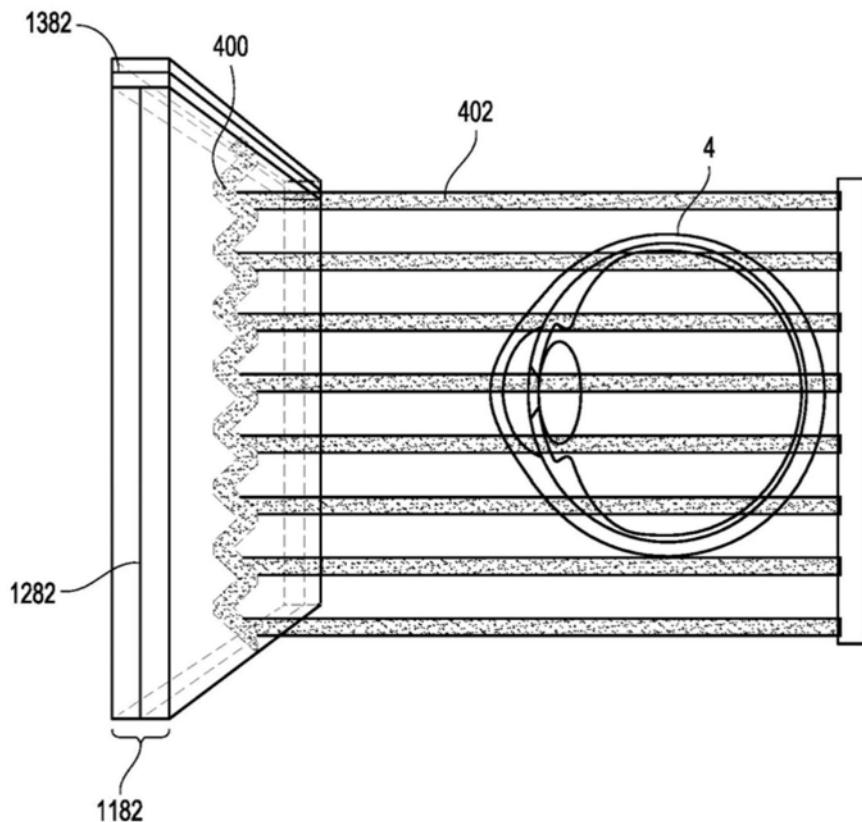


图7

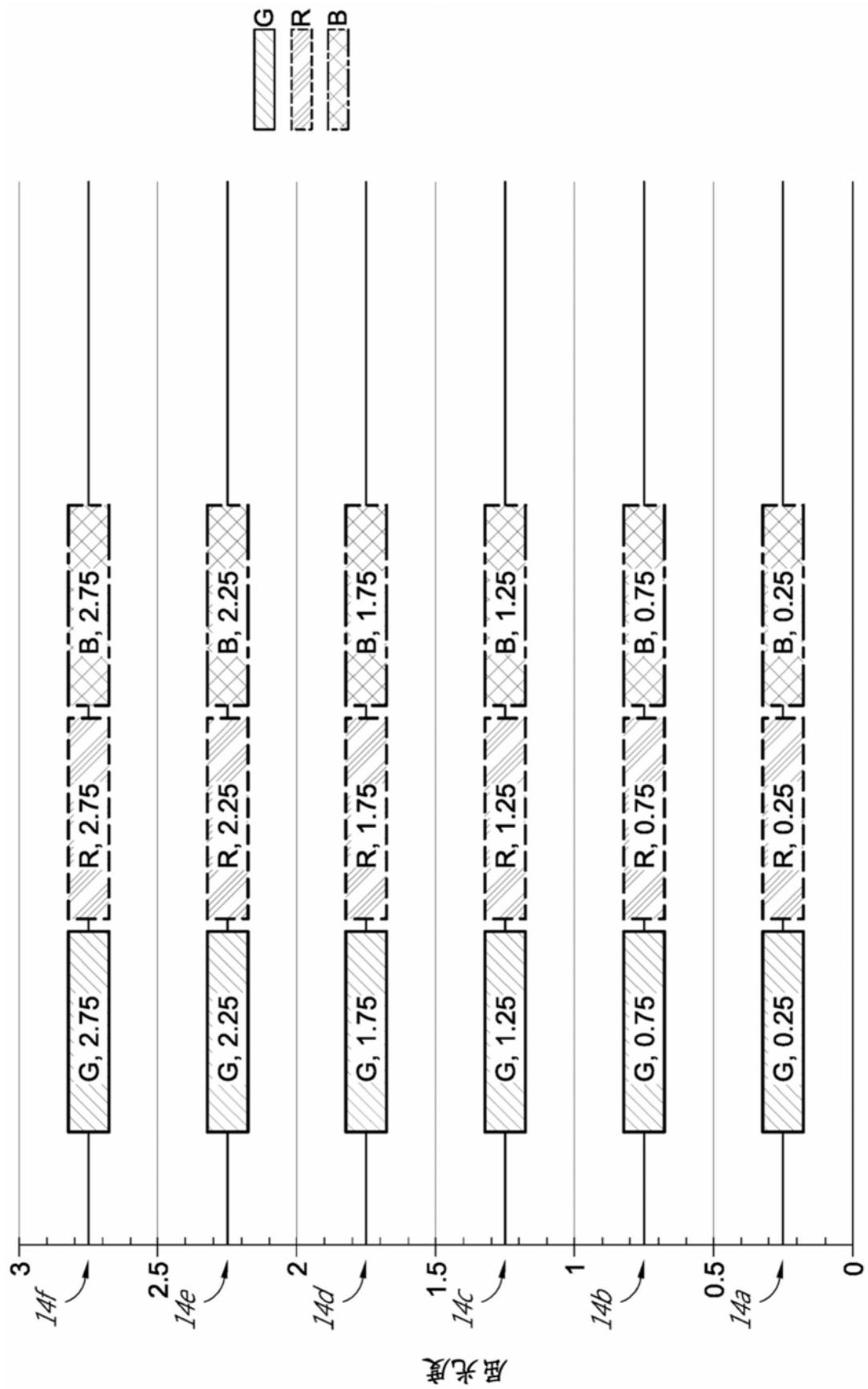


图8

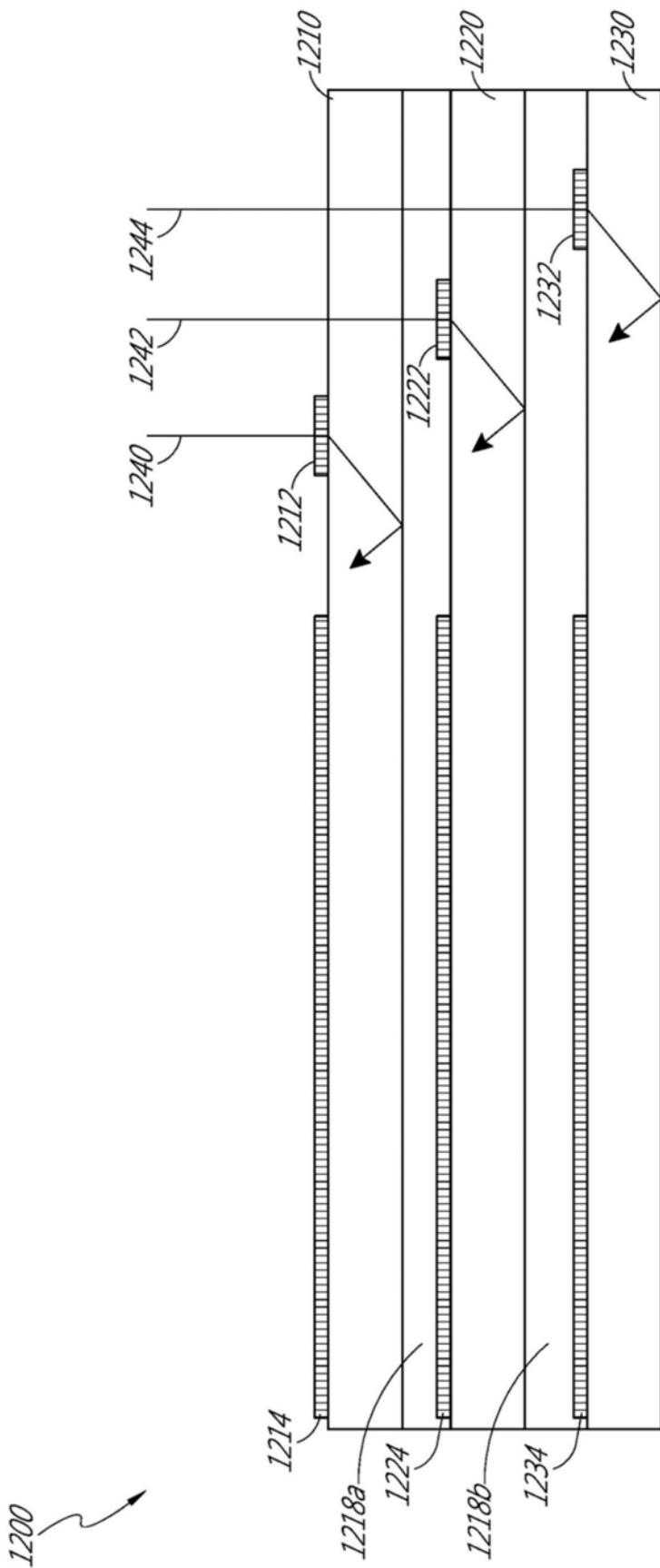


图9A

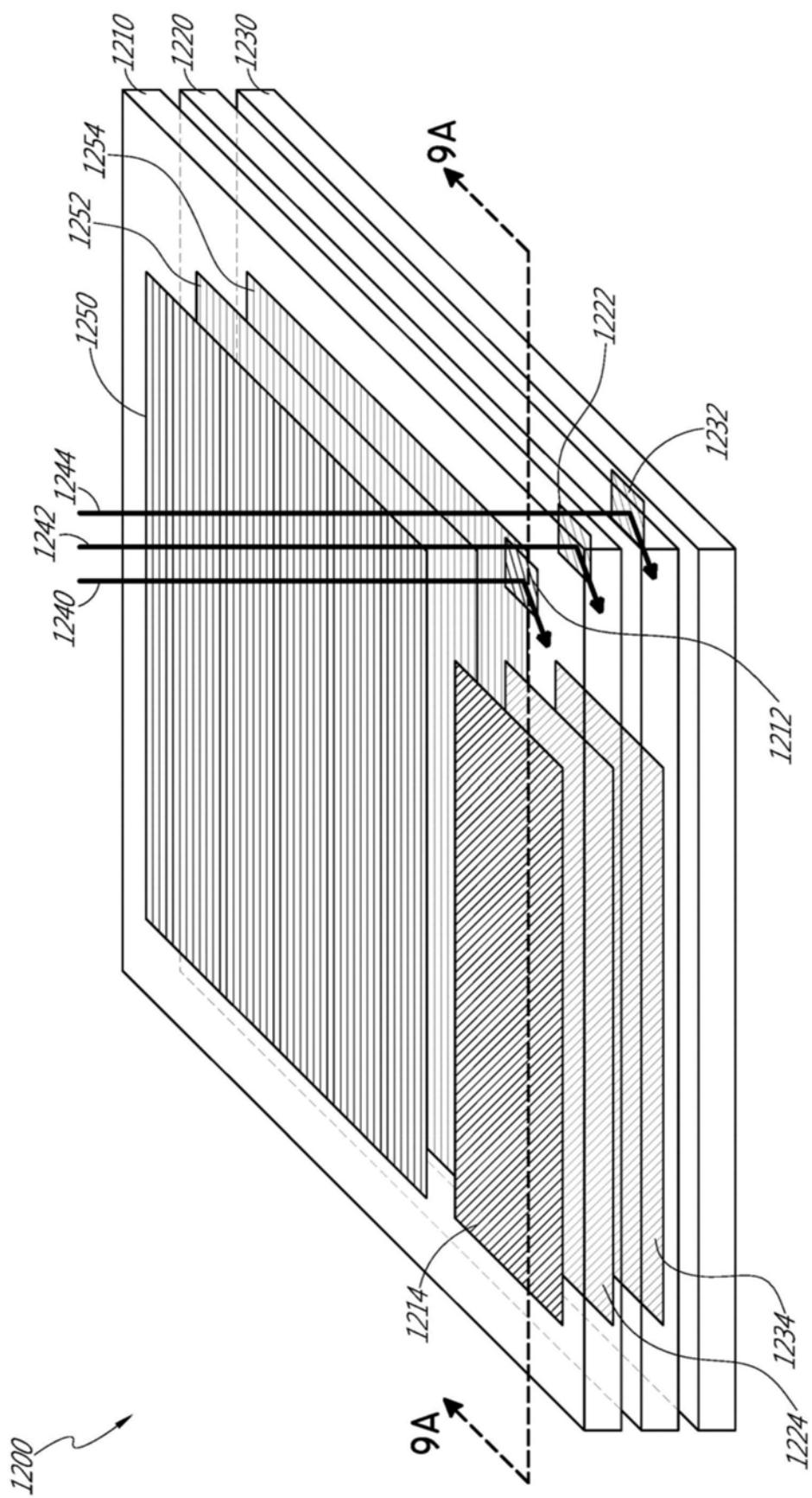


图9B

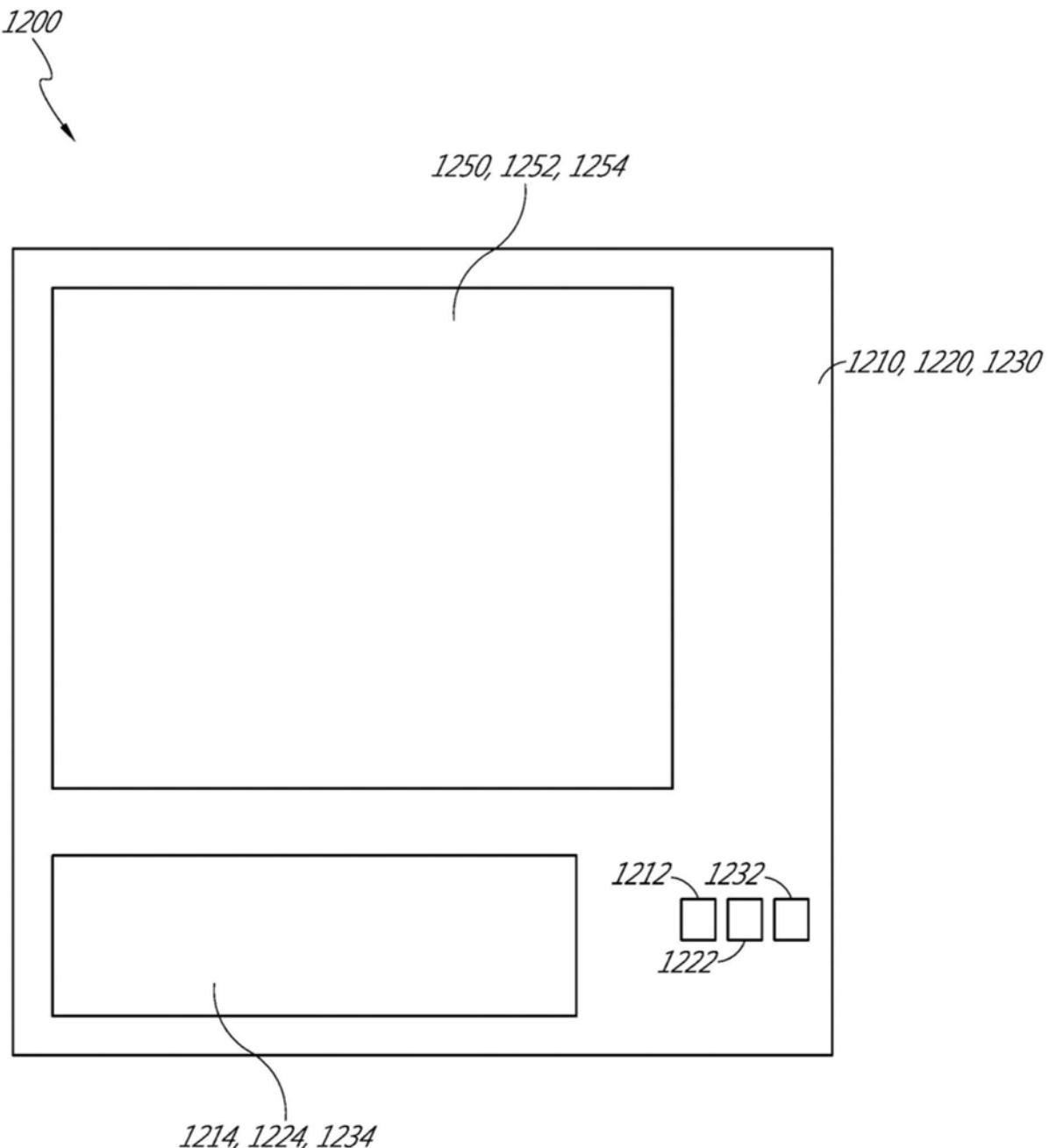


图9C

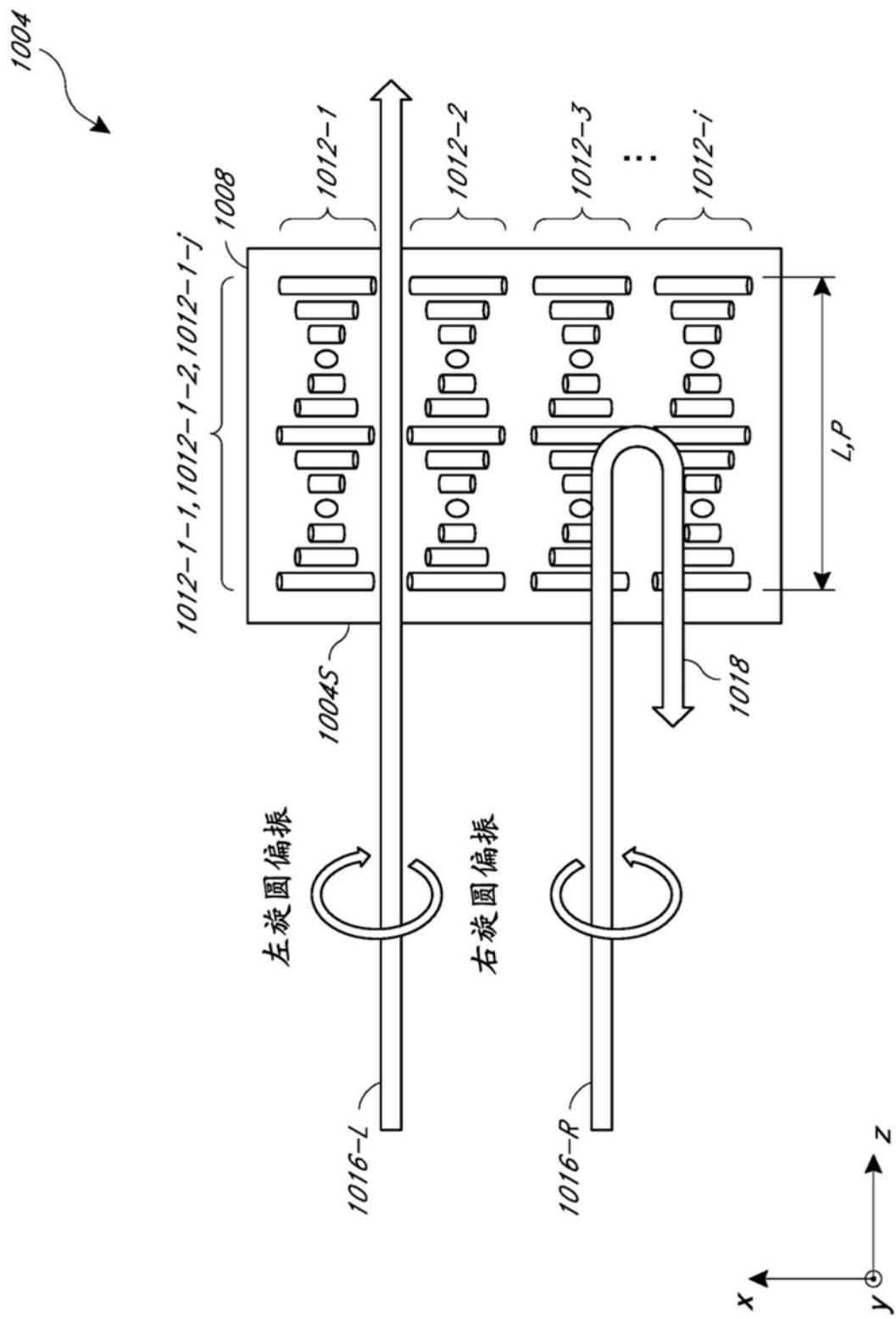


图10

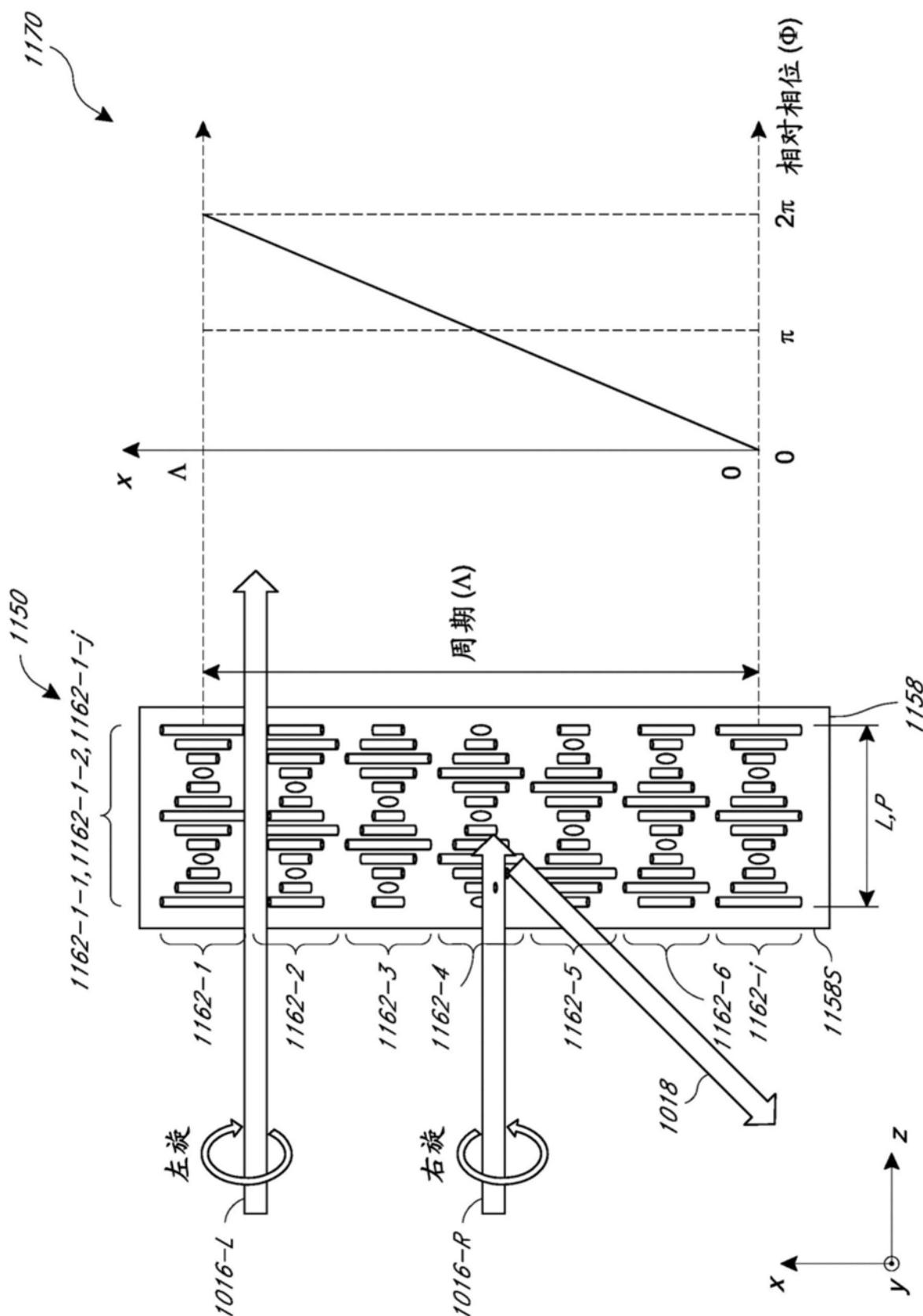


图11

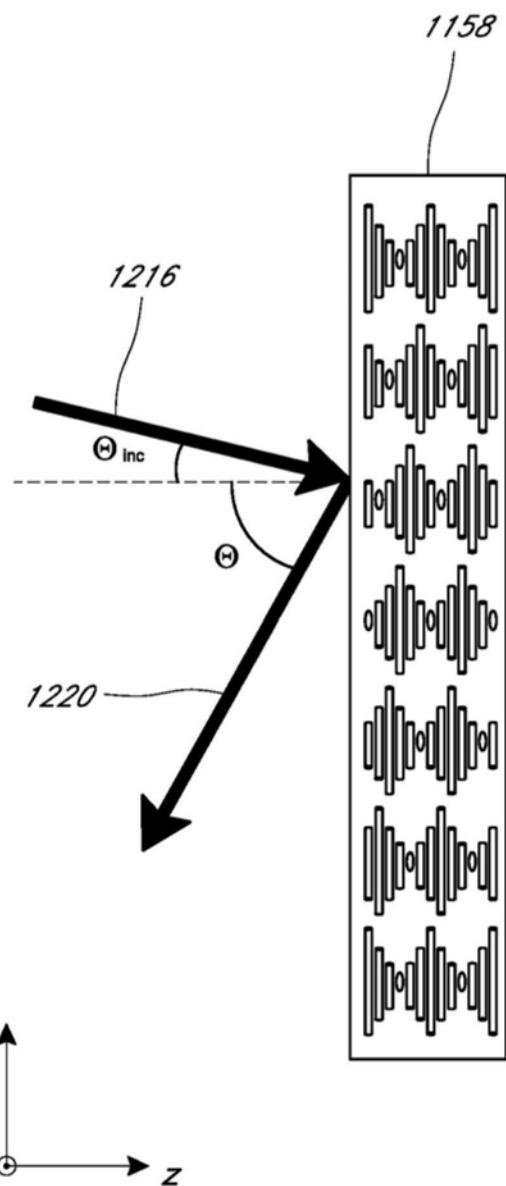


图12

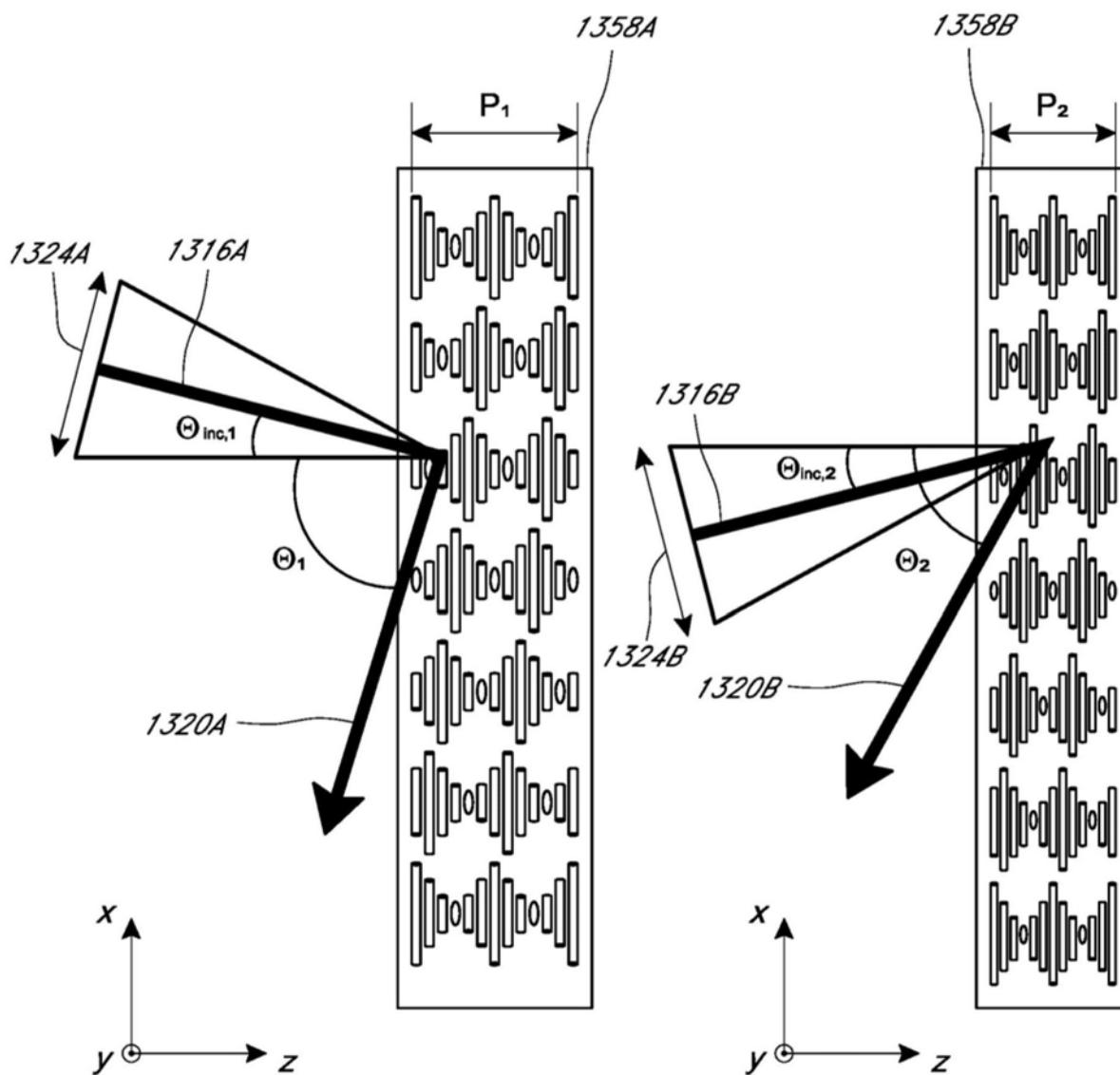


图13A

图13B

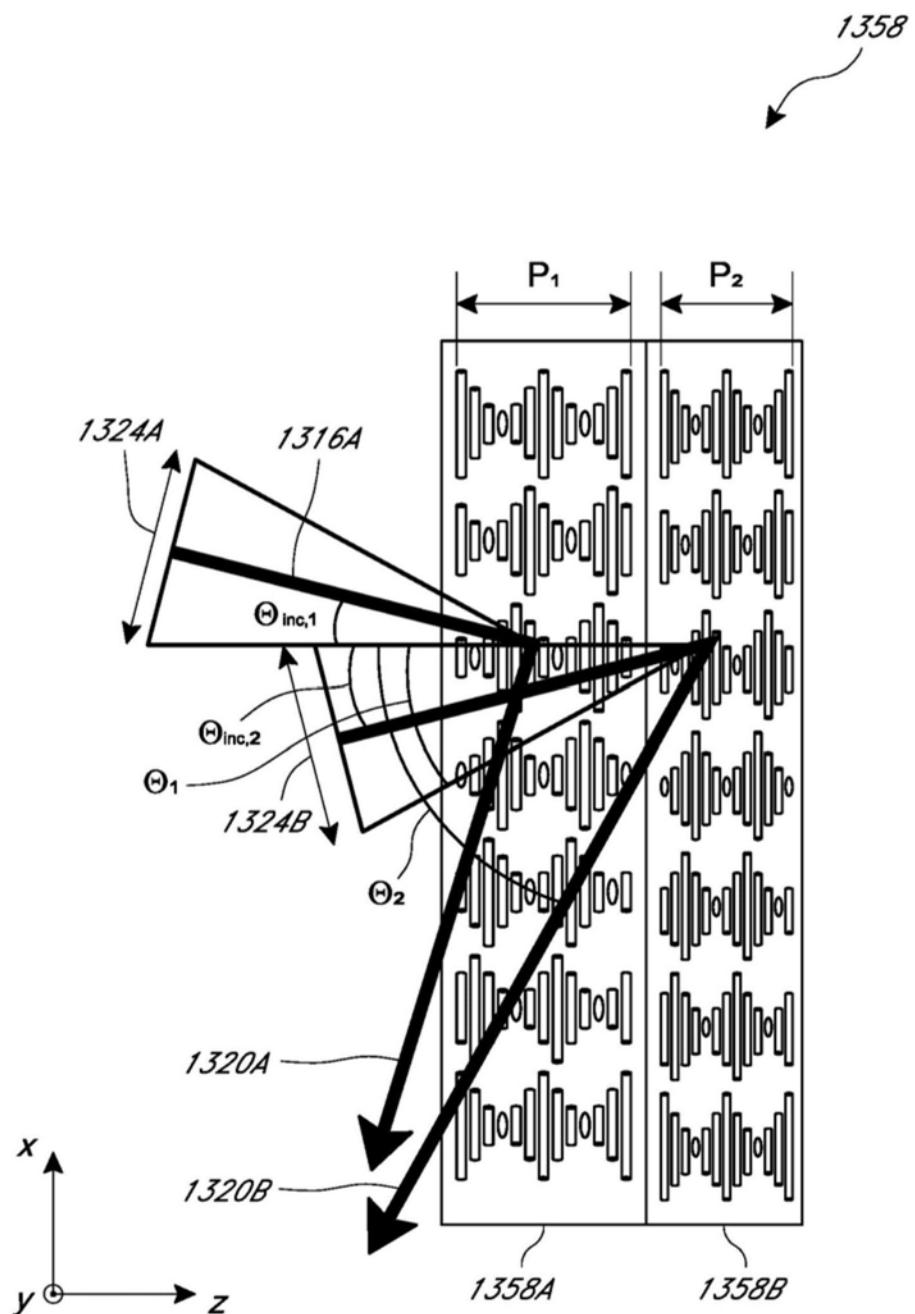


图13C

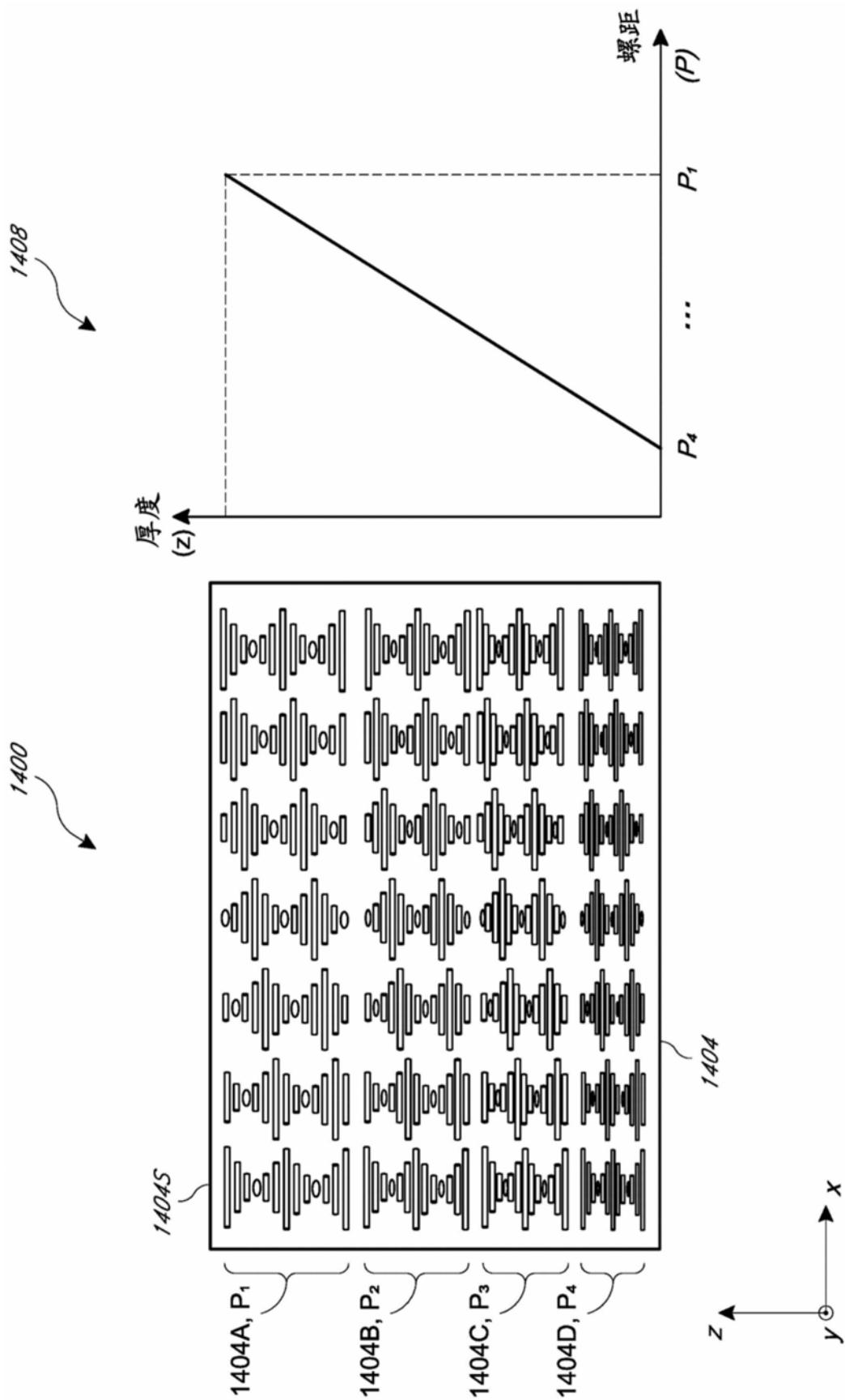


图14

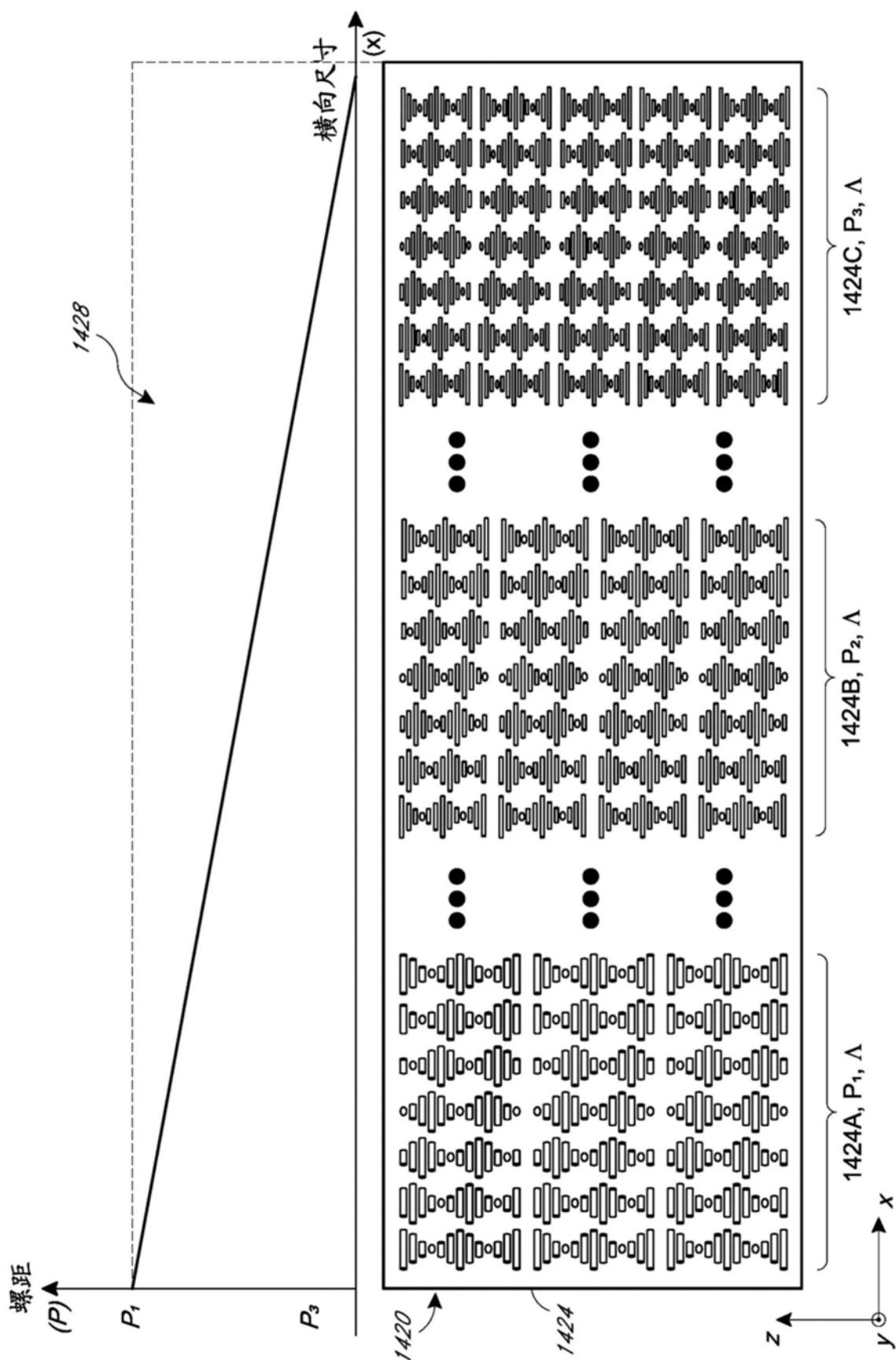


图15

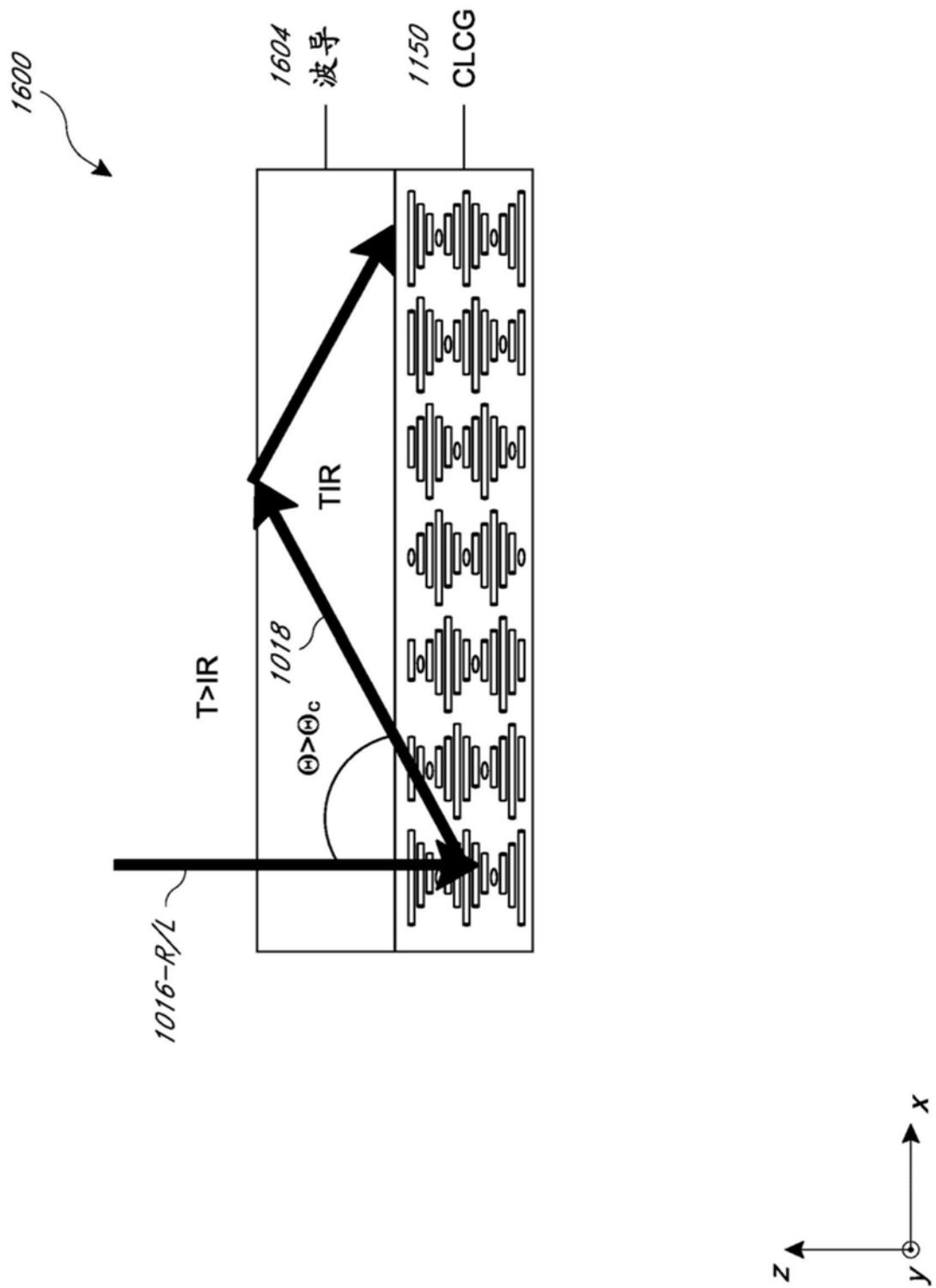


图16

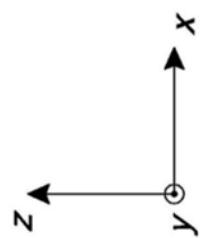
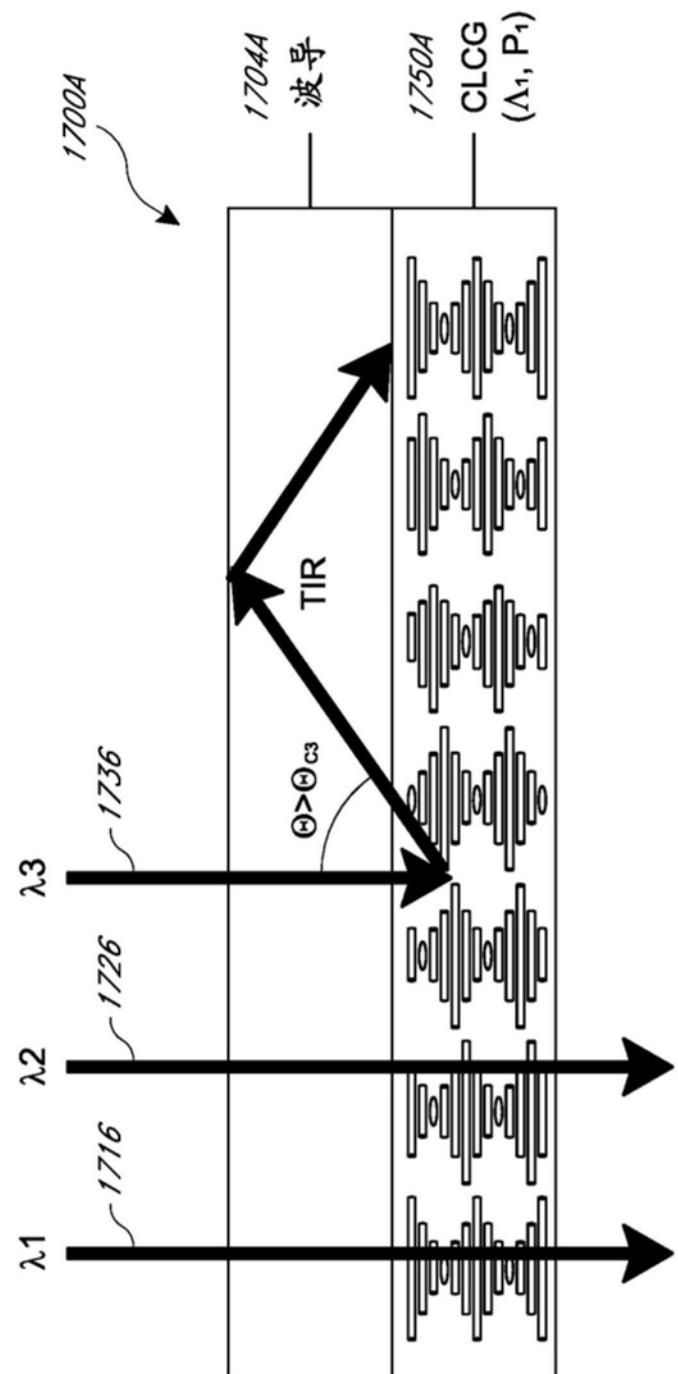


图17A

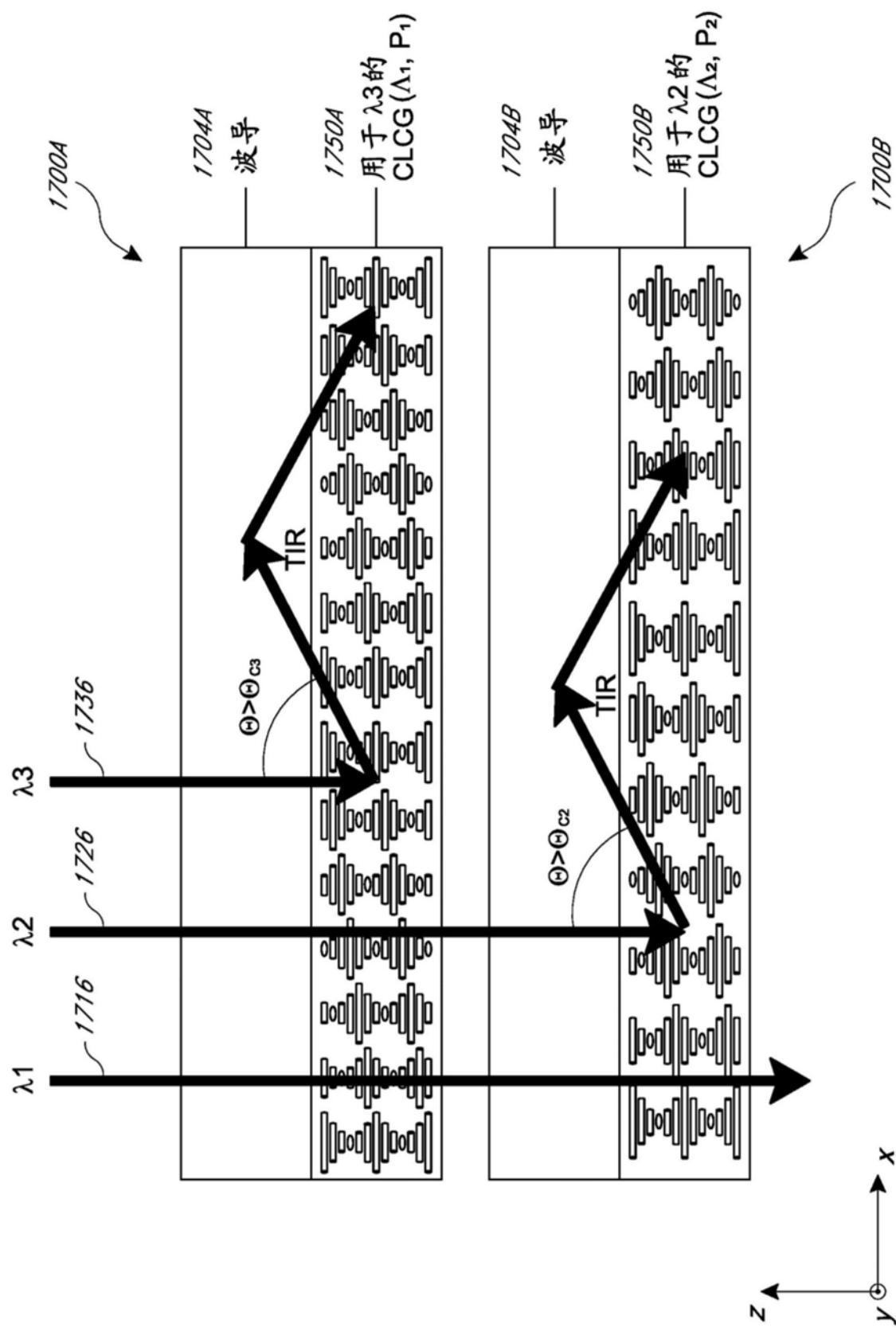


图17B

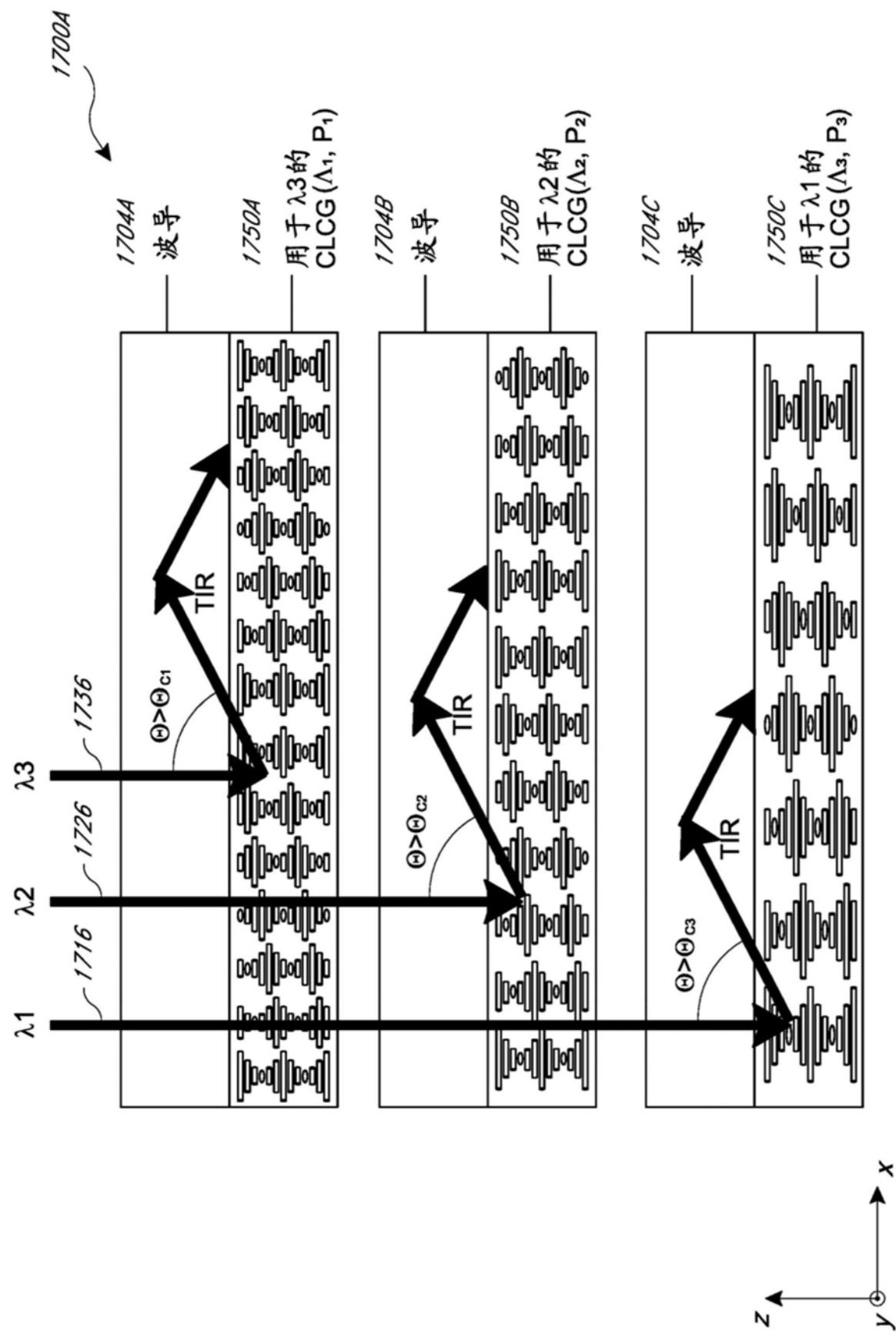


图17C

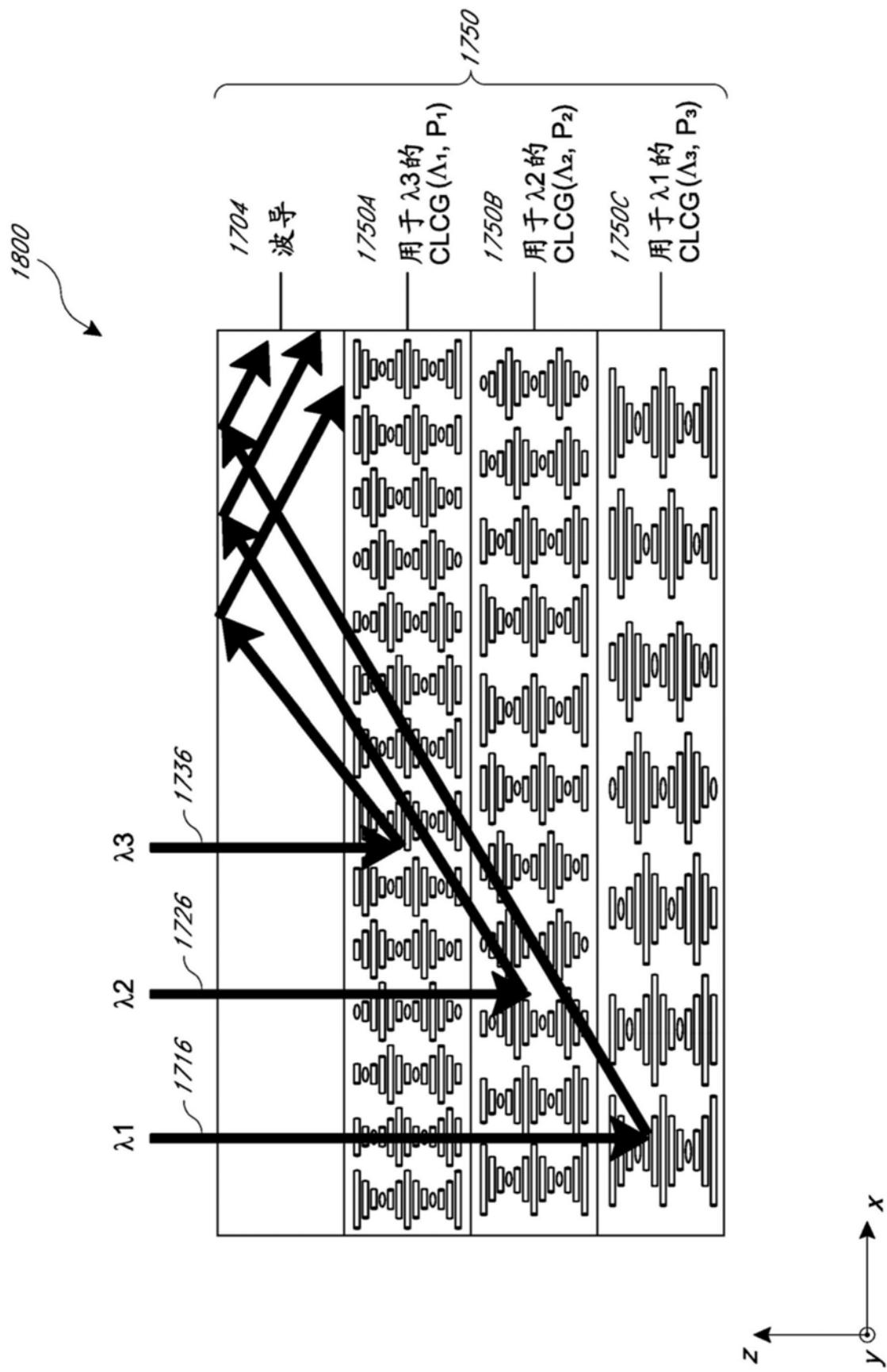


图18

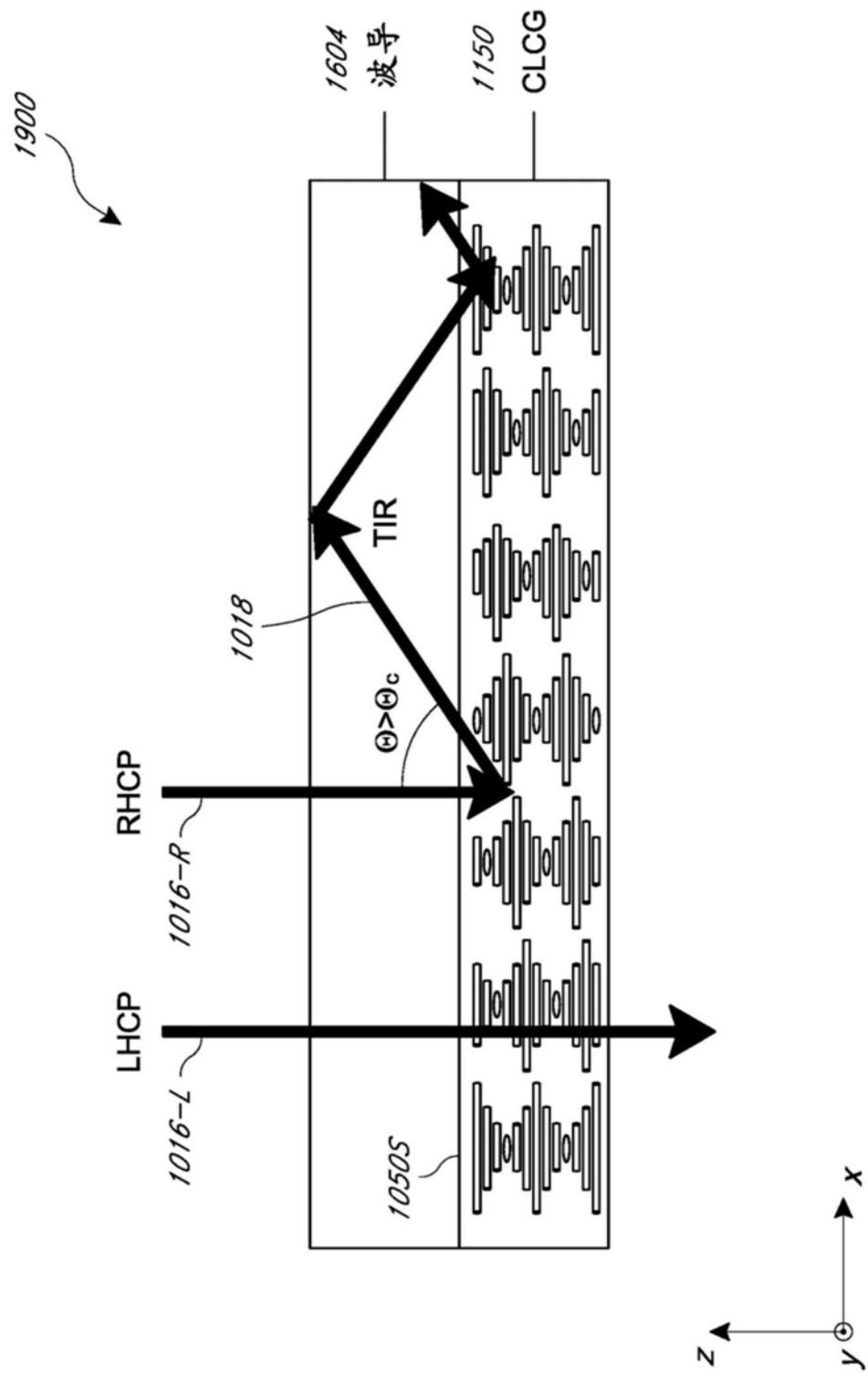


图19

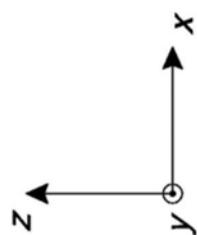
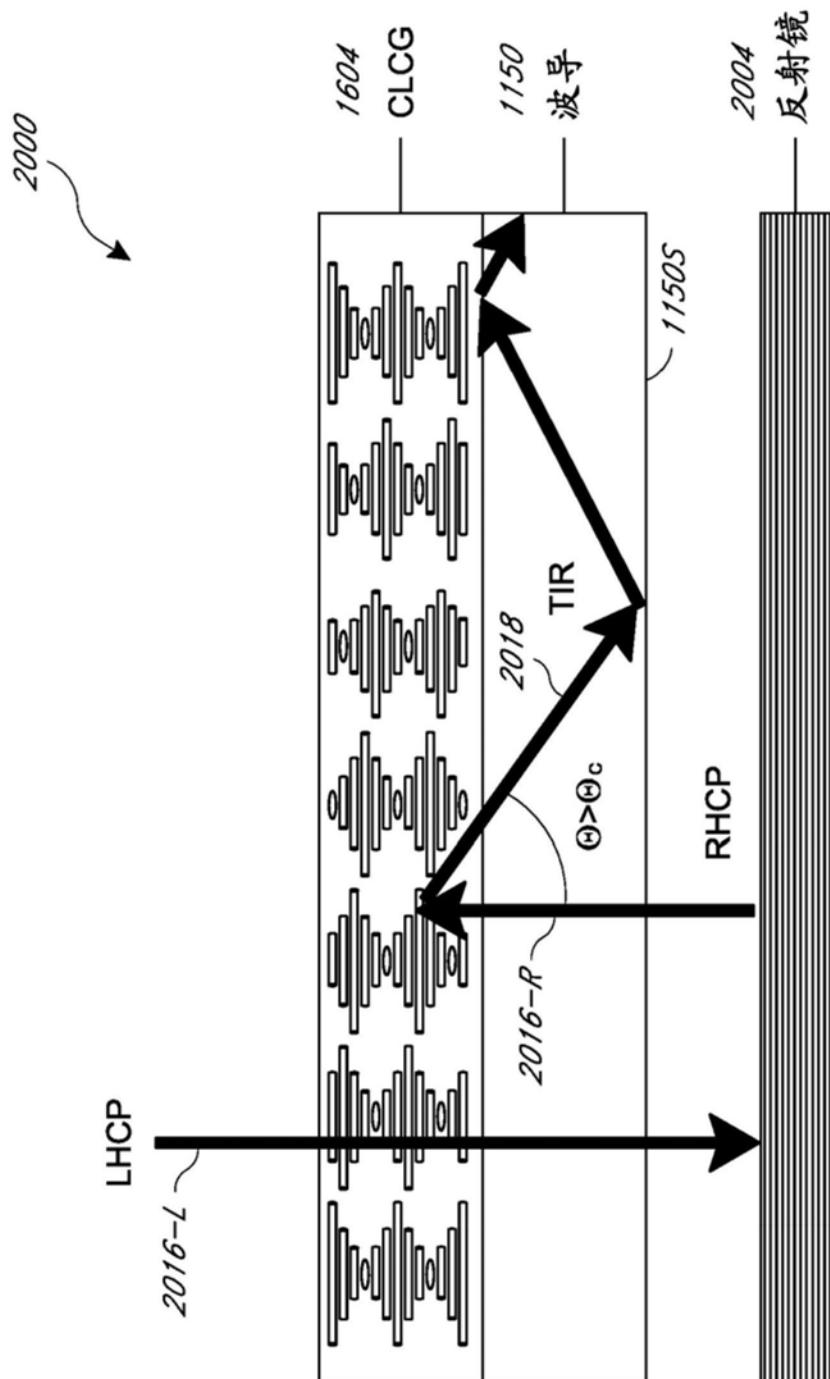


图20

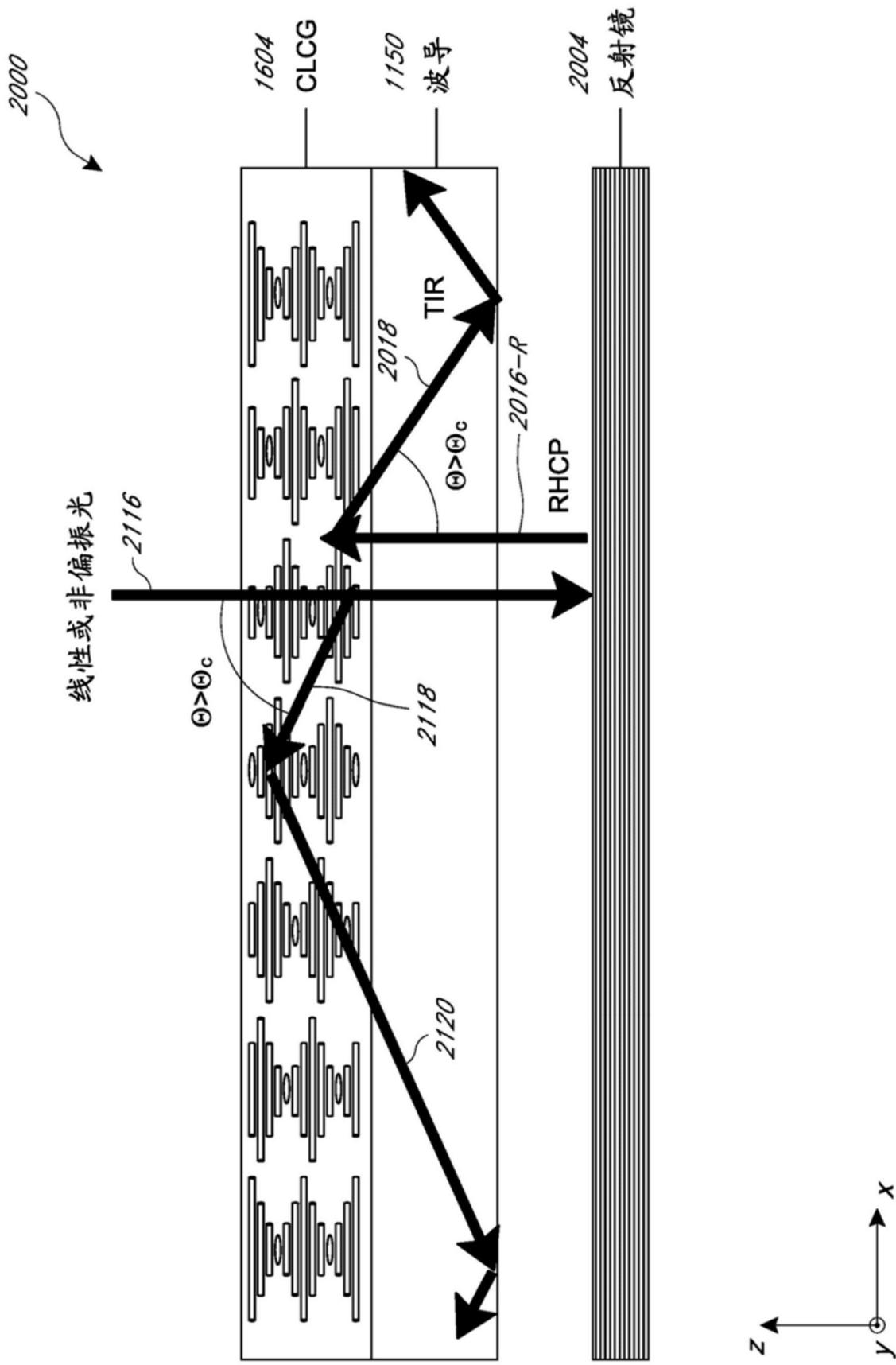


图21A

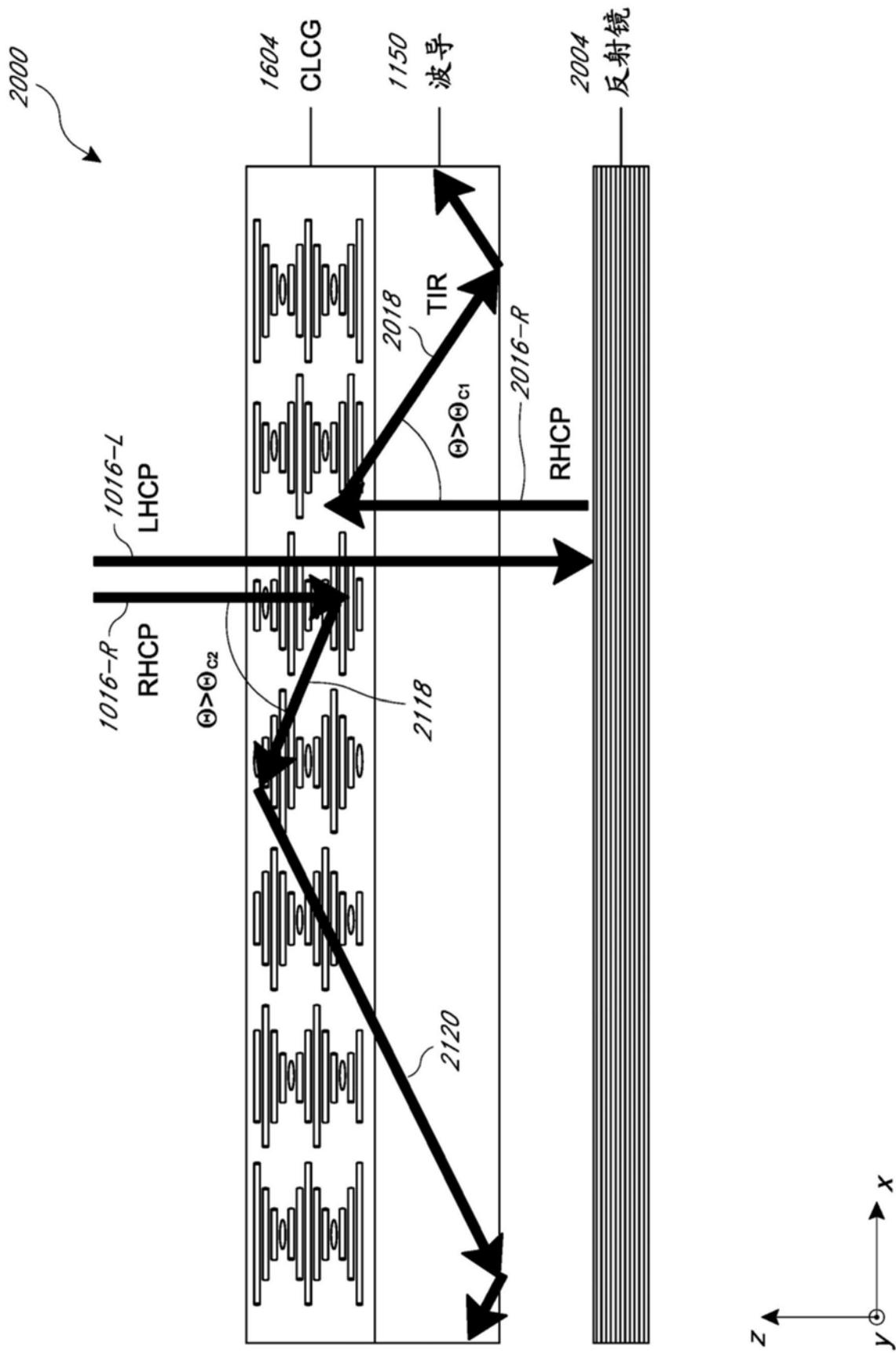


图21B

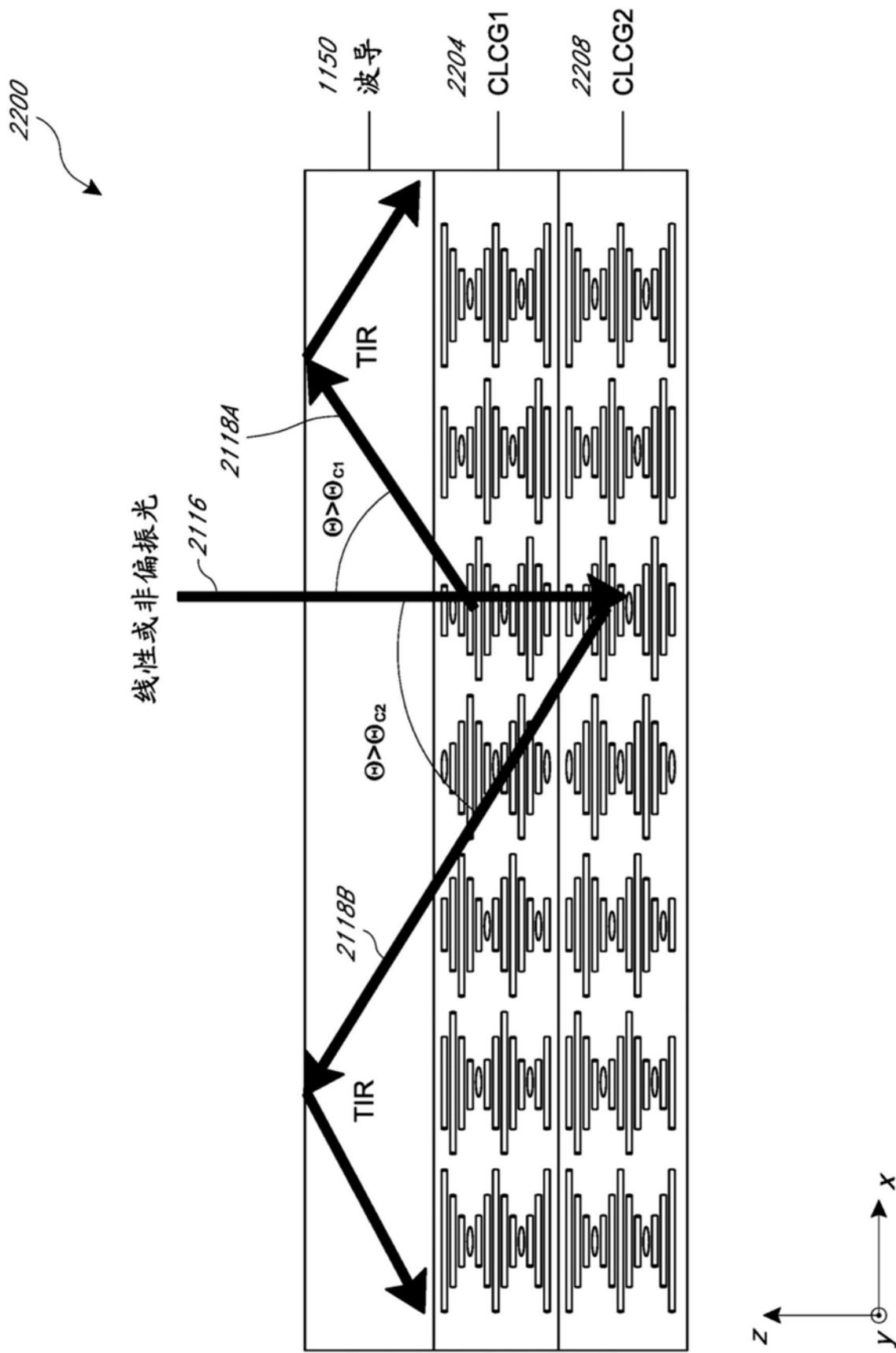


图22A

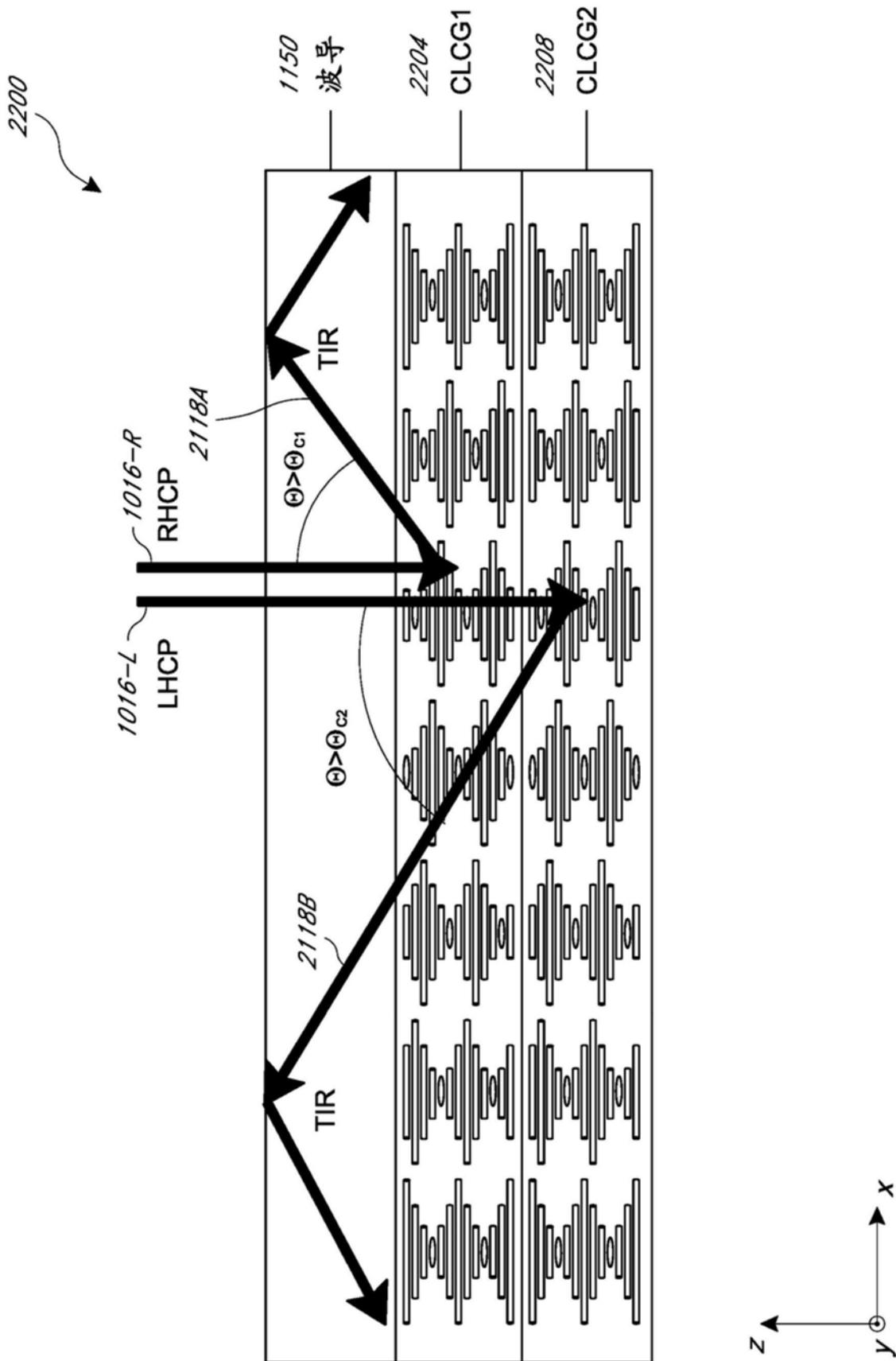


图22B

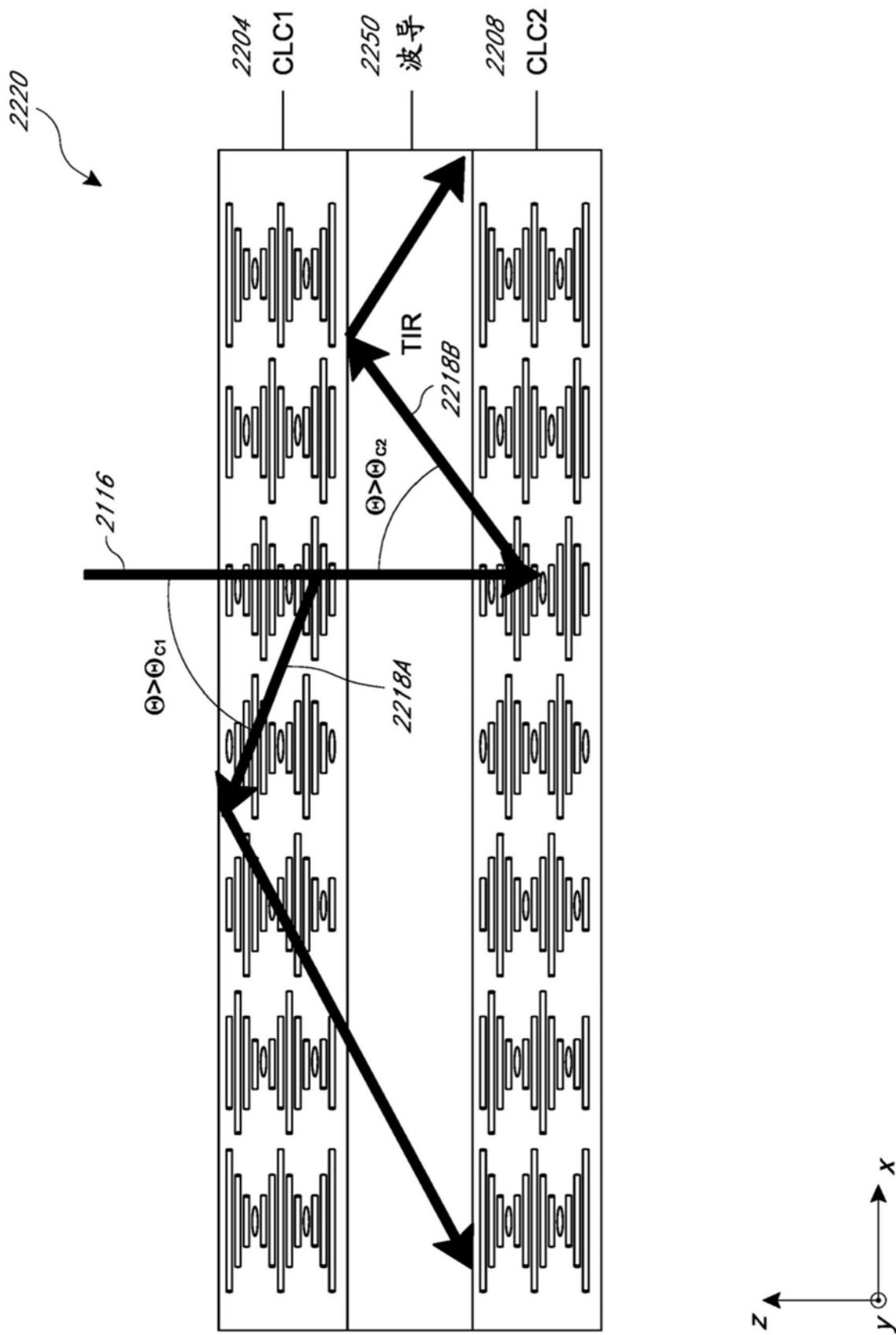
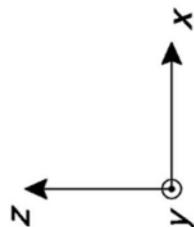


图22C



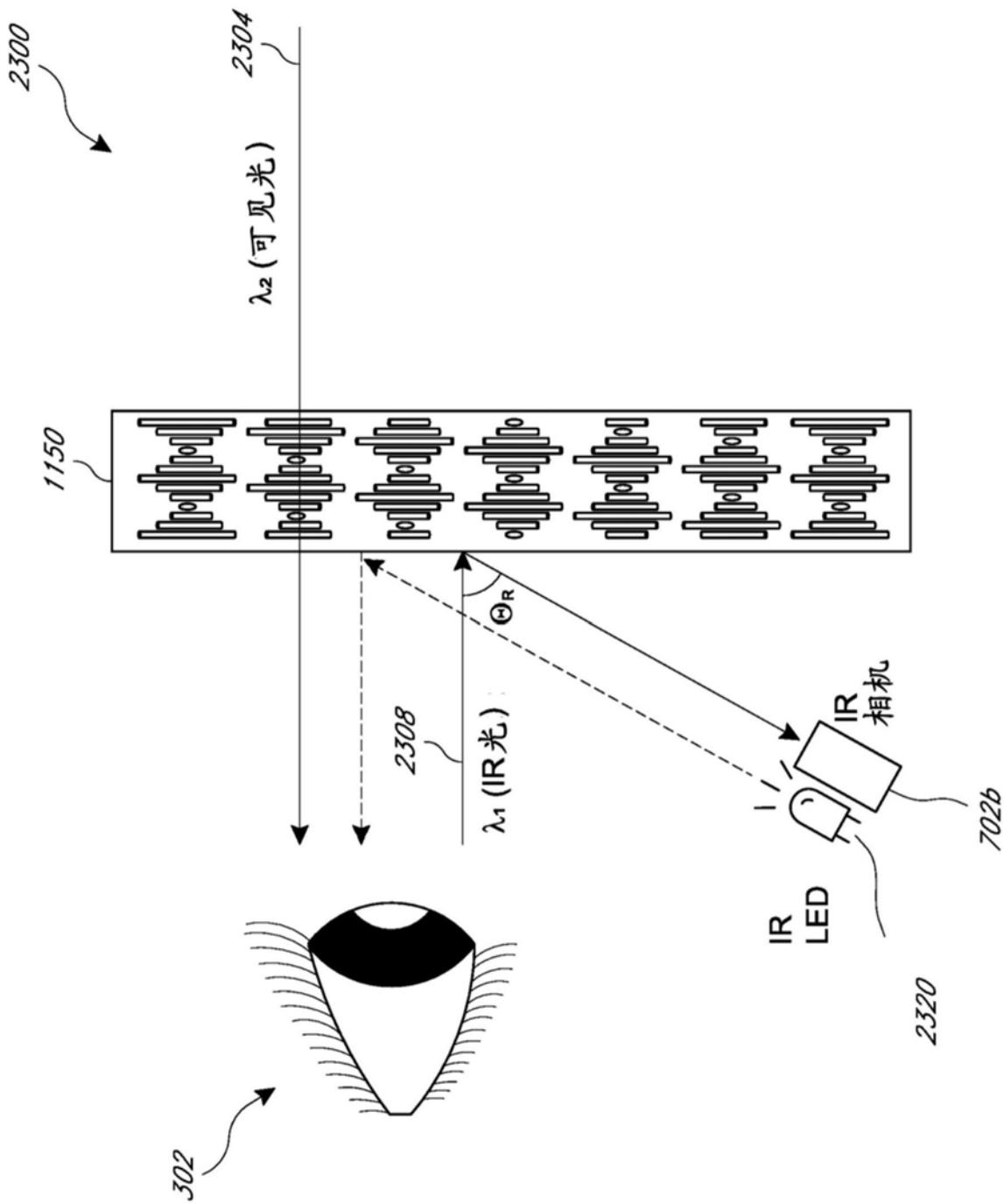


图23

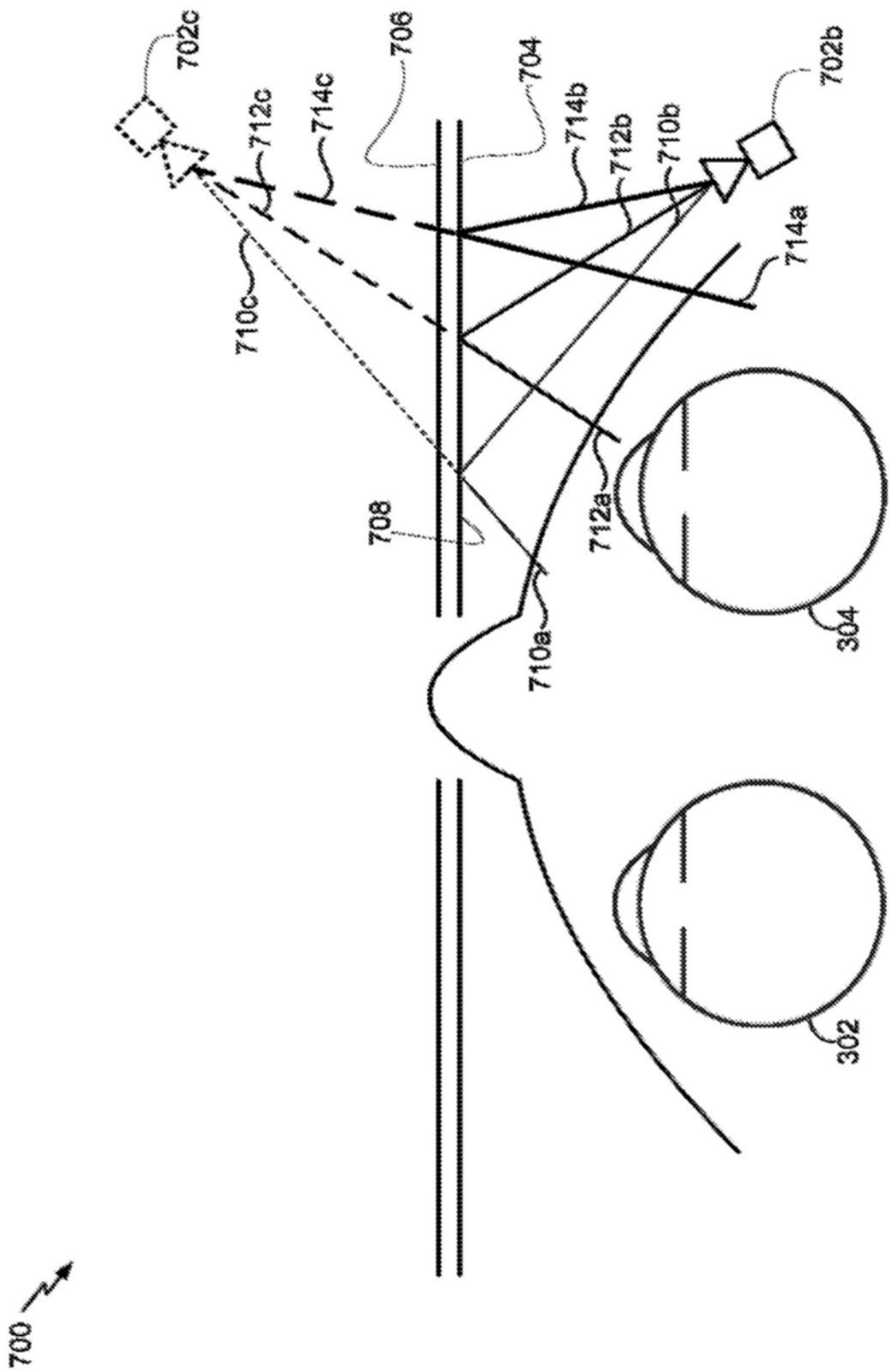


图24A

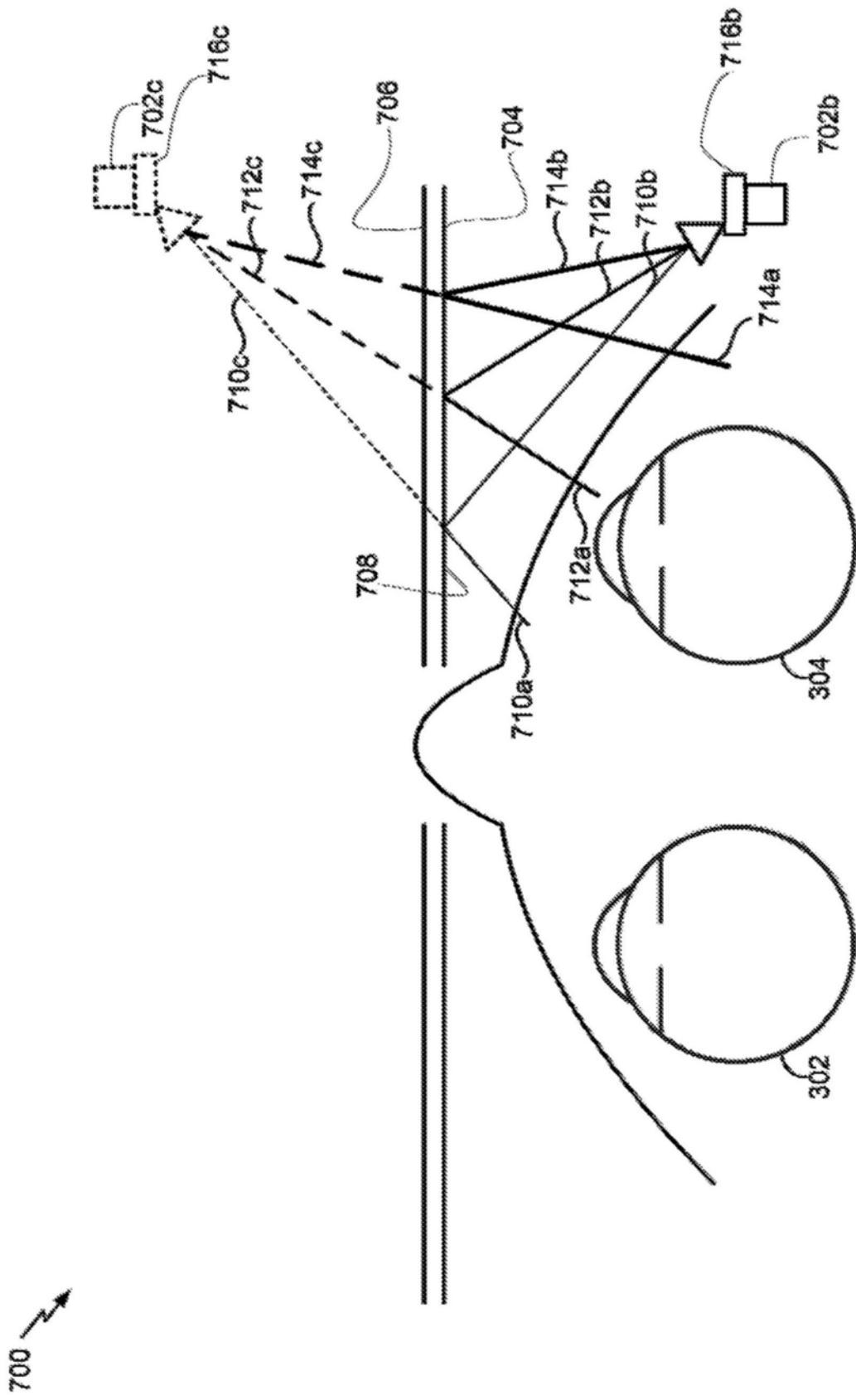


图24B

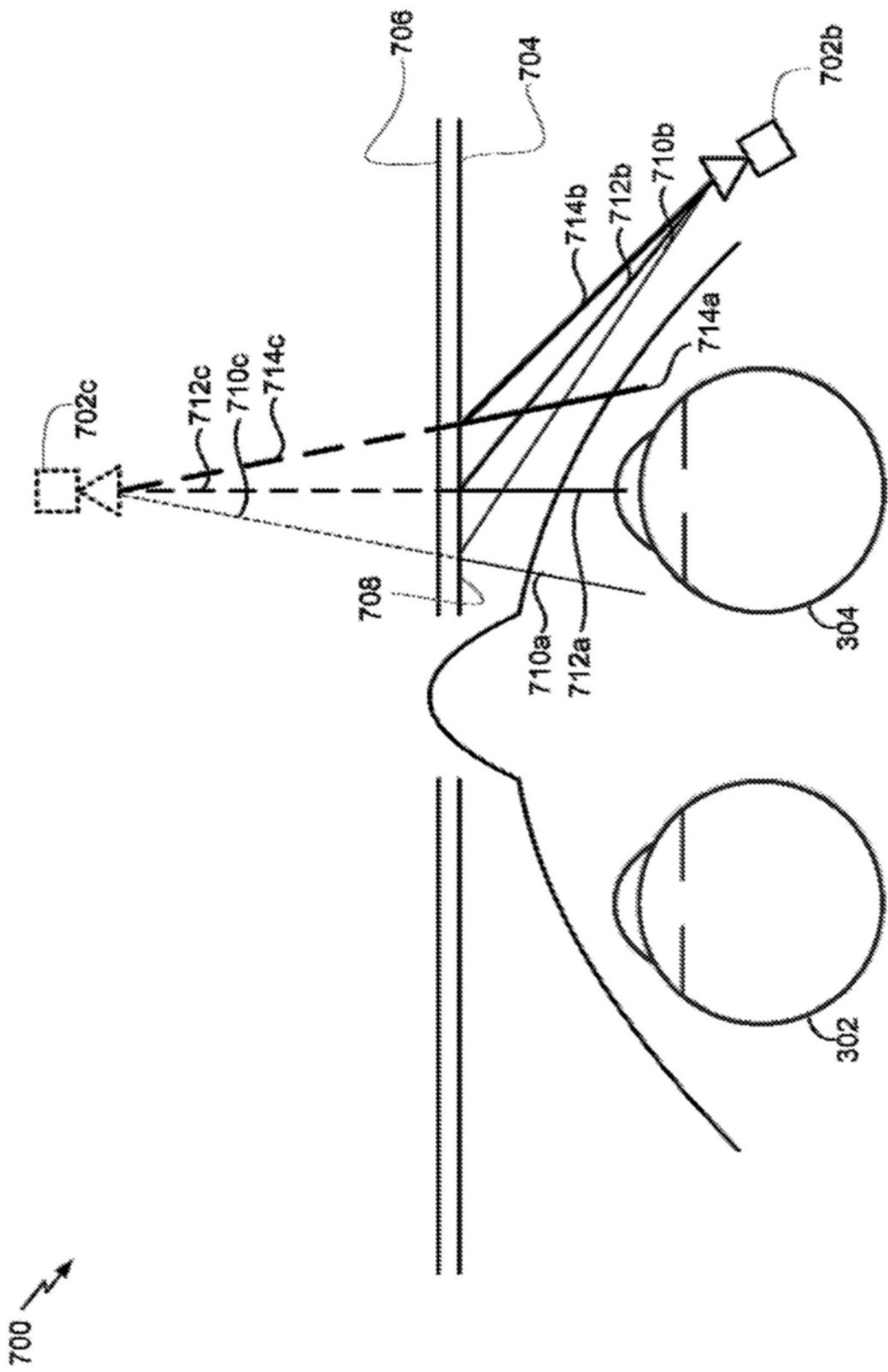


图24C

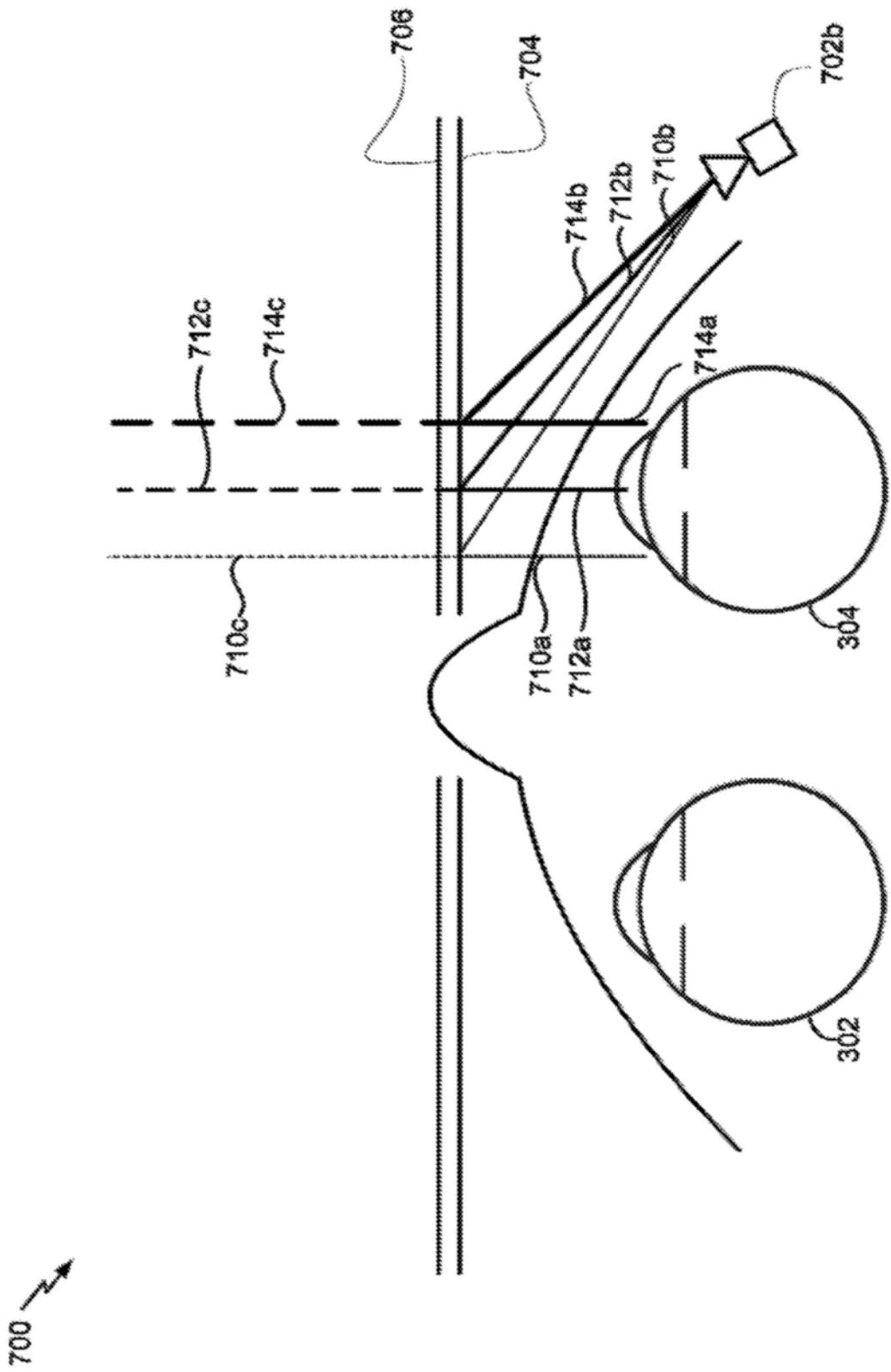


图24D

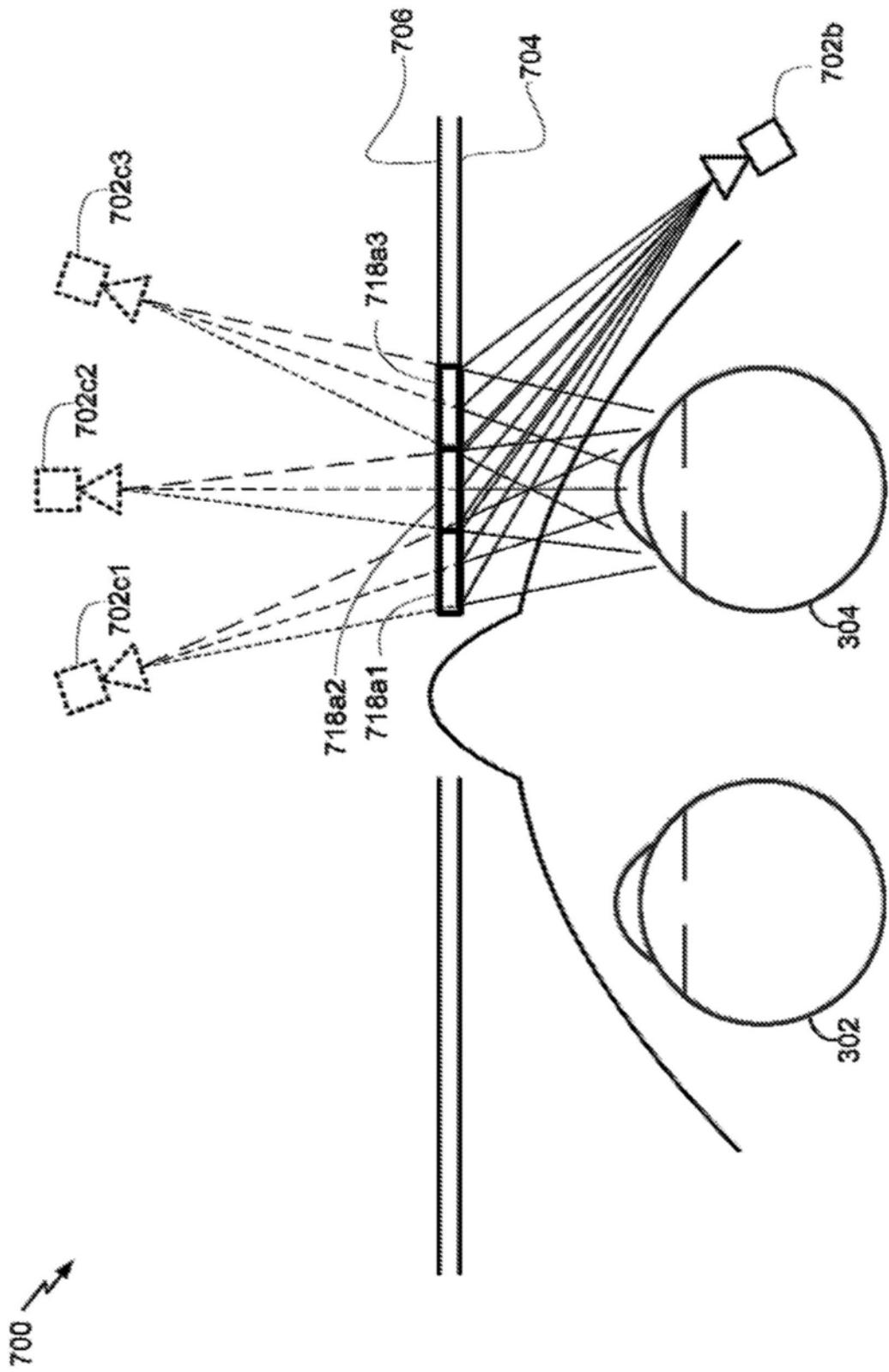


图24E

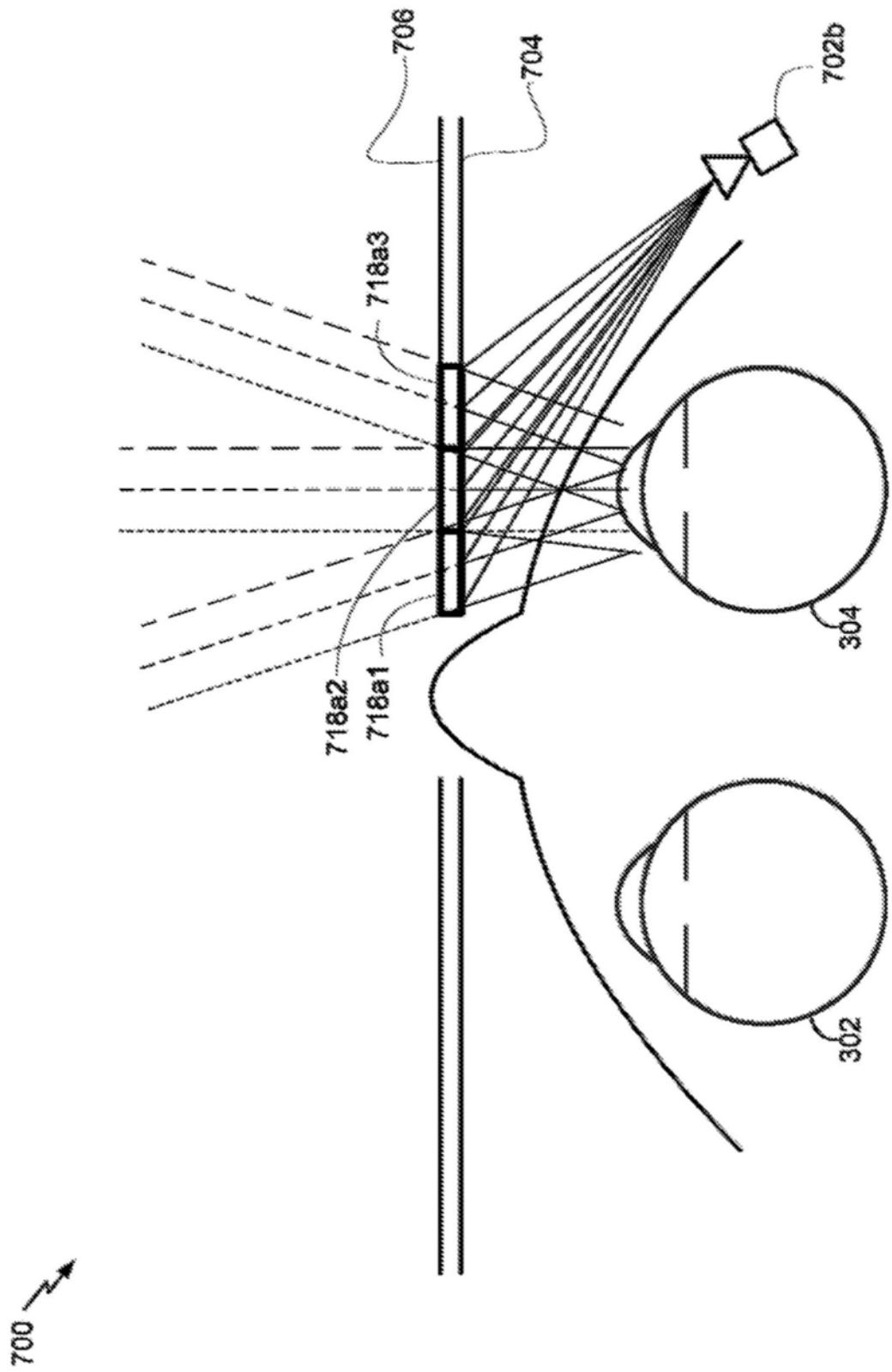


图24F

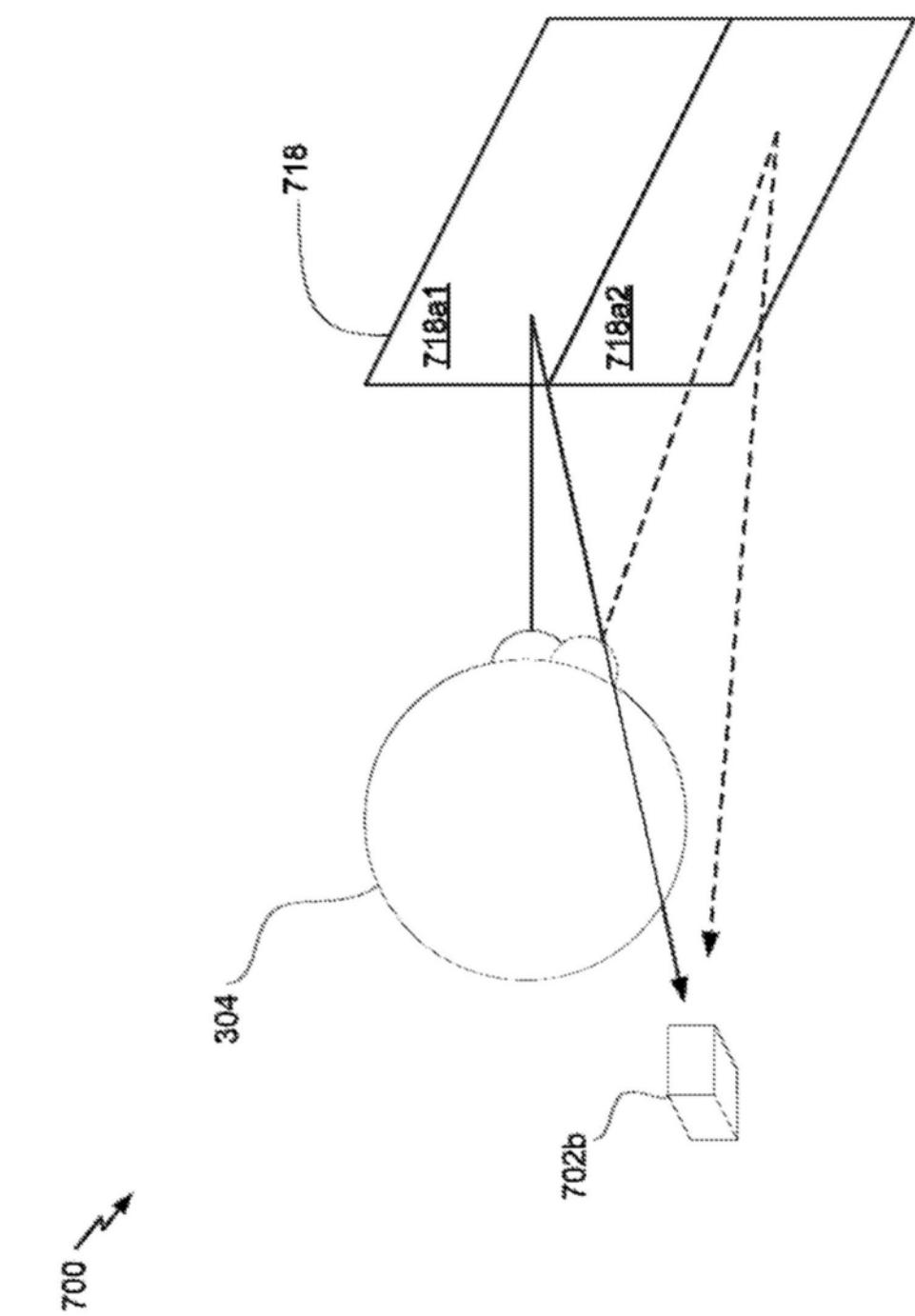


图24G

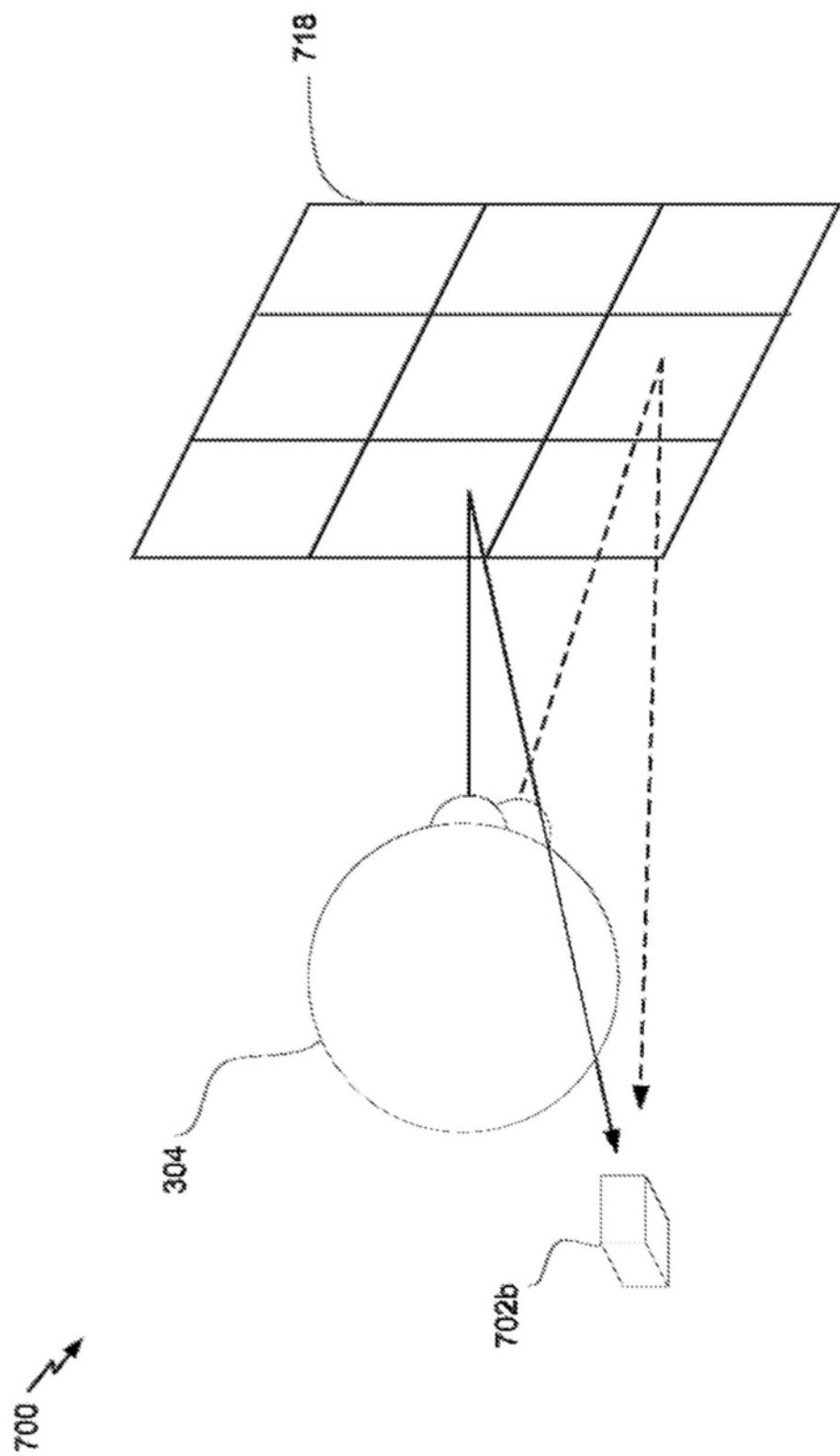


图24H

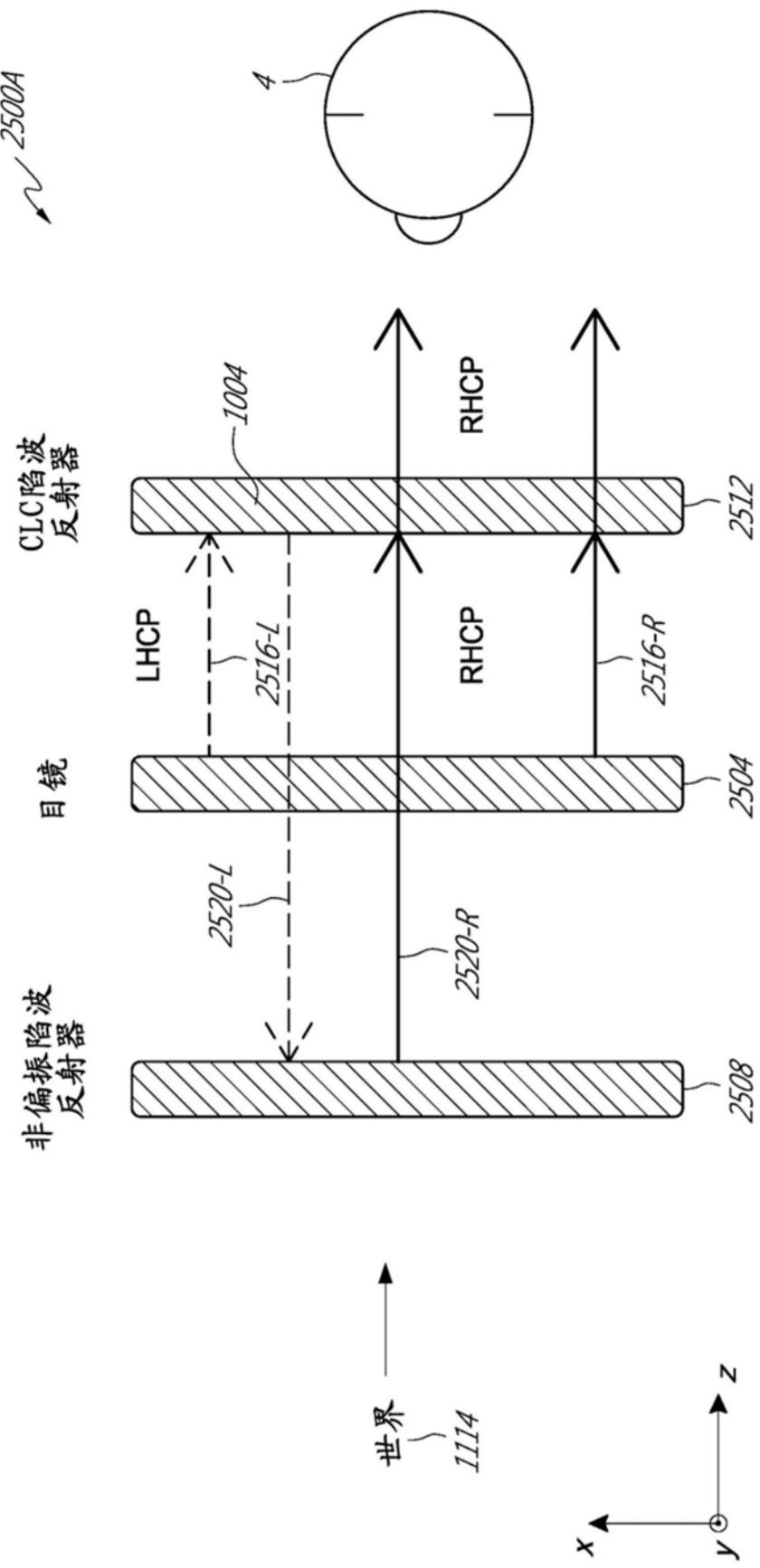


图25A

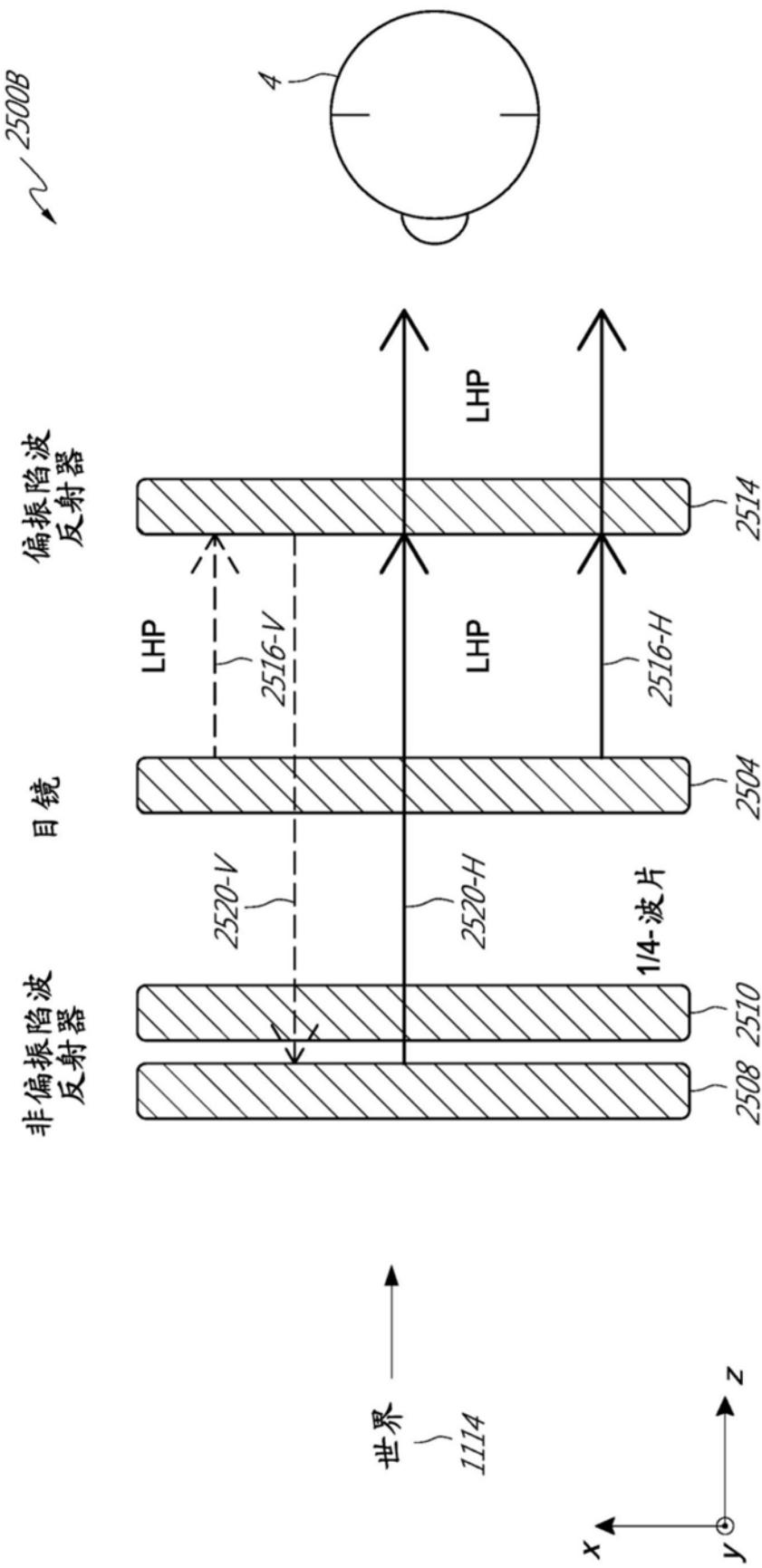


图25B

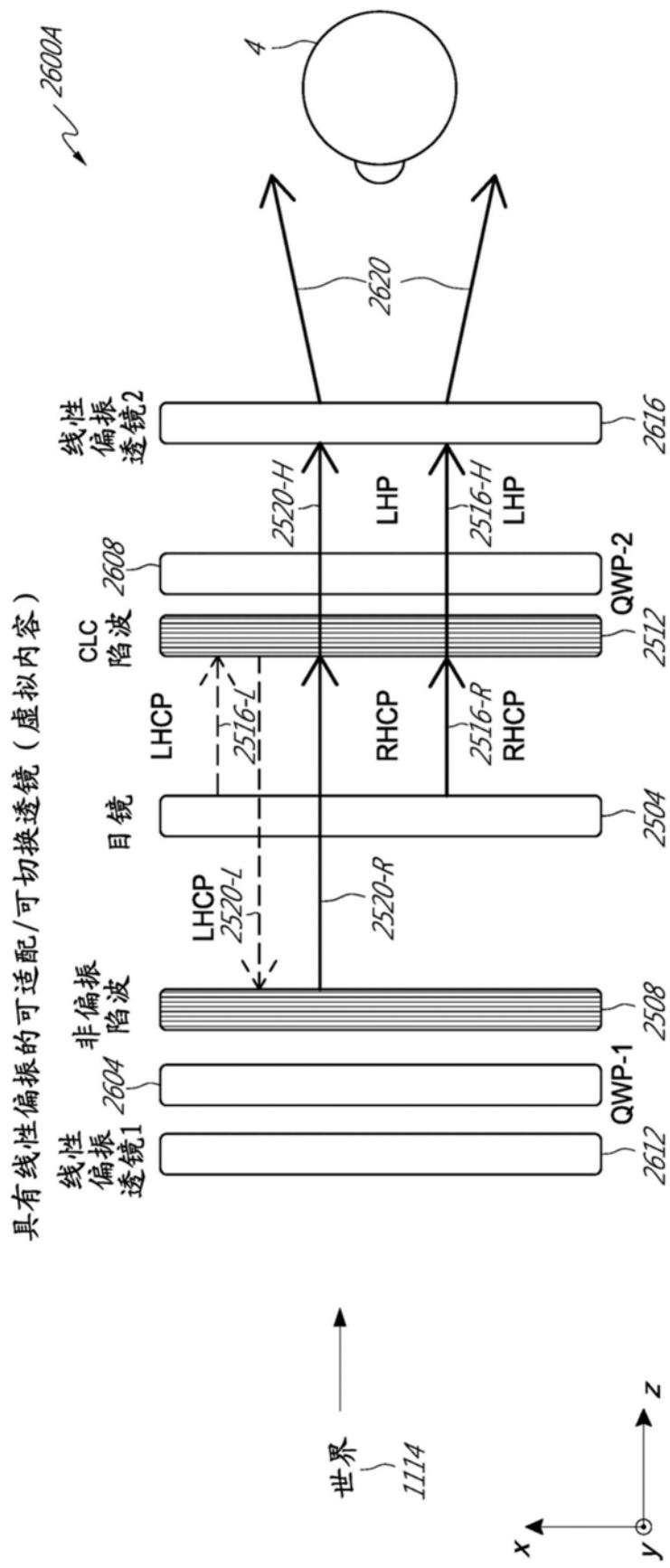


图26A

↗ / 2600B

具有线性偏振的可适配/可切换透镜(世界内容)

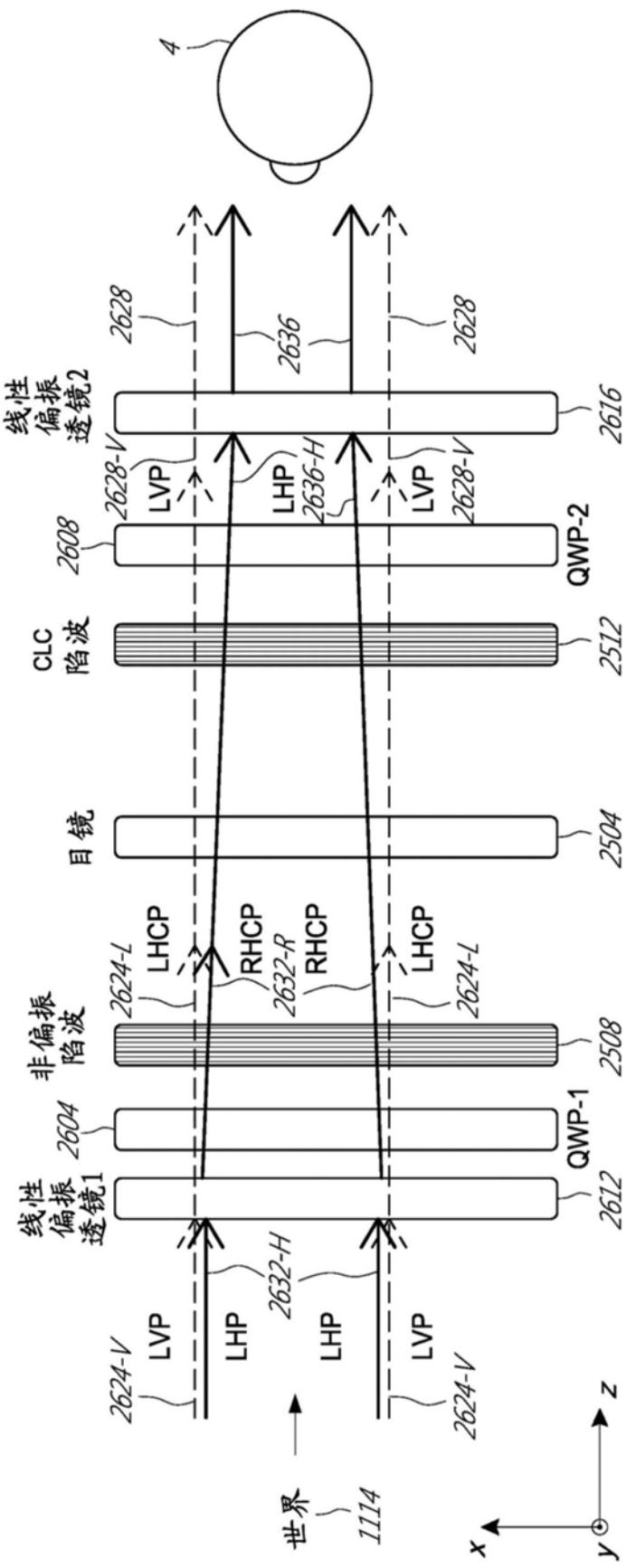


图26B

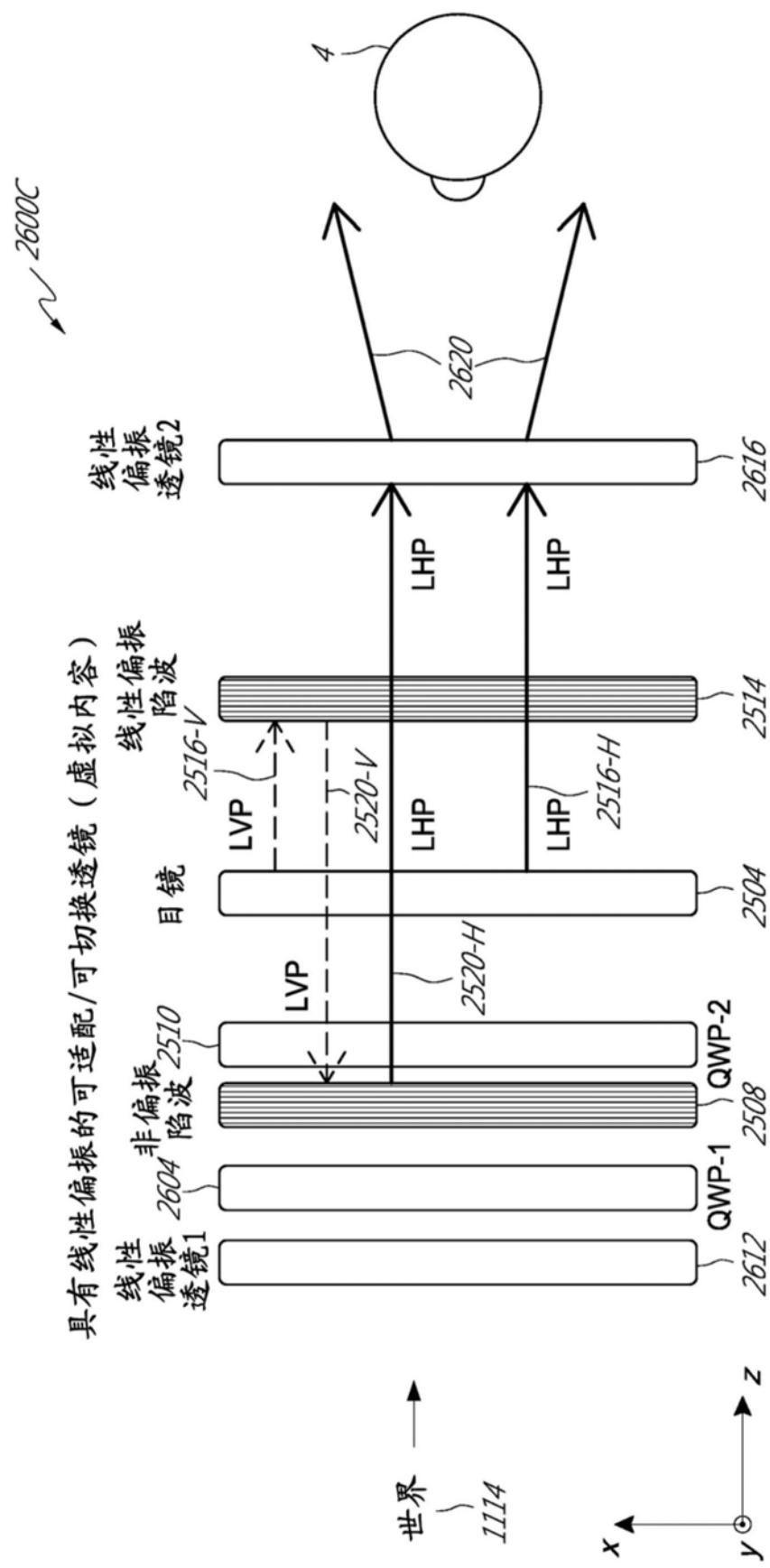


图26C

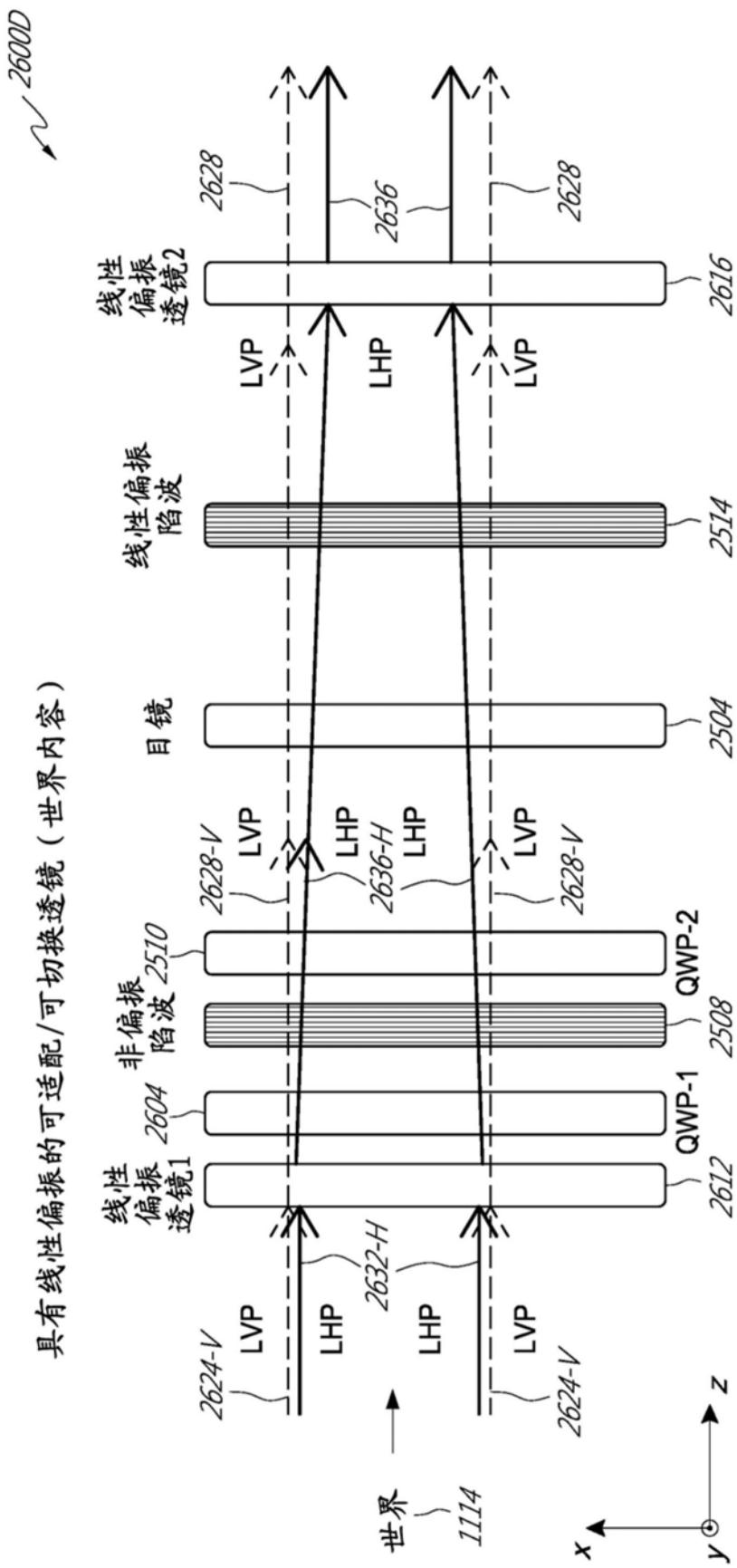


图26D

具有圆偏振的Pancharatnam-Berry相位透镜（虚拟内容）

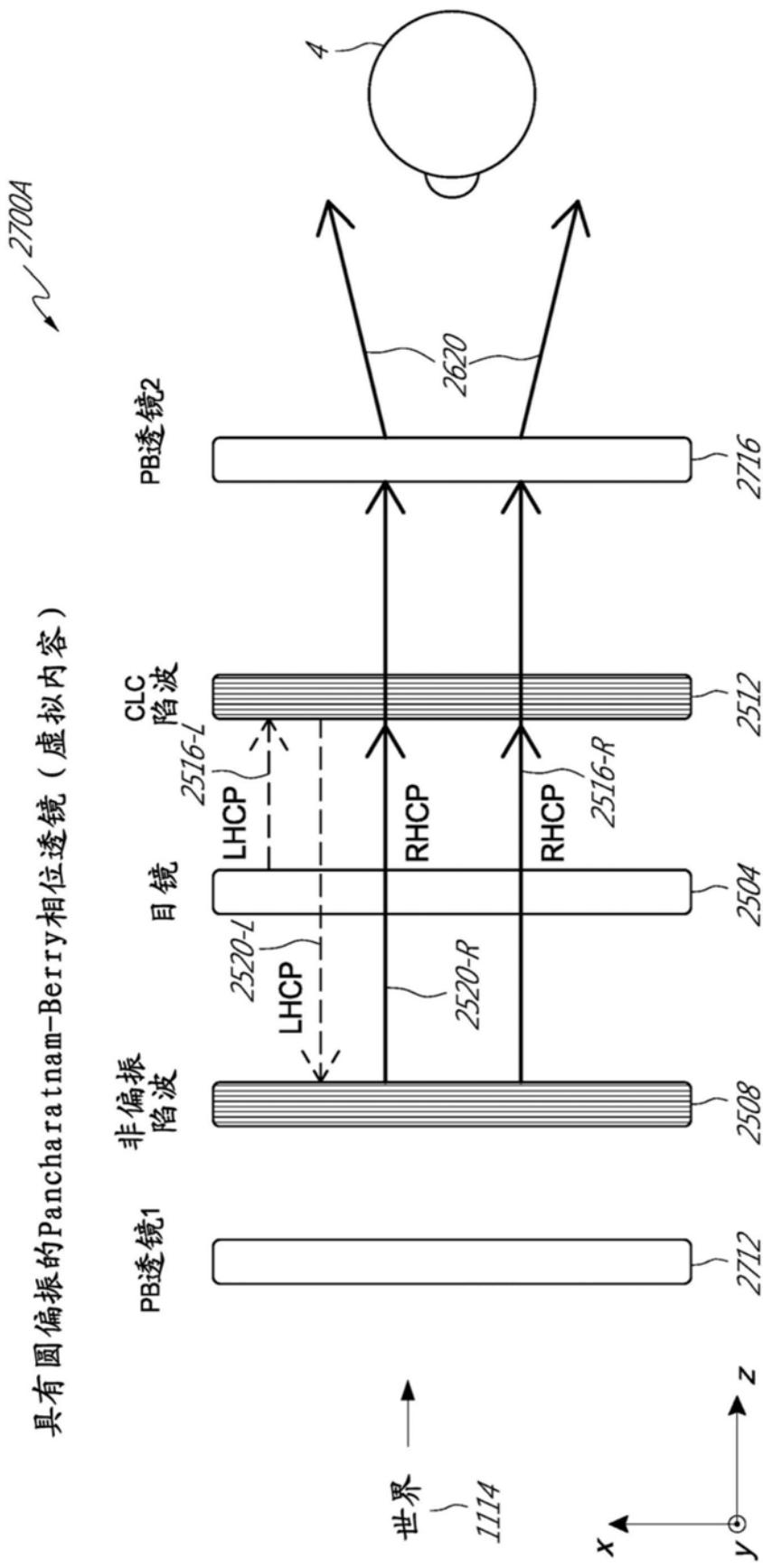


图27A

具有圆偏振的Pancharatnam-Berry相位透镜（世界内容）

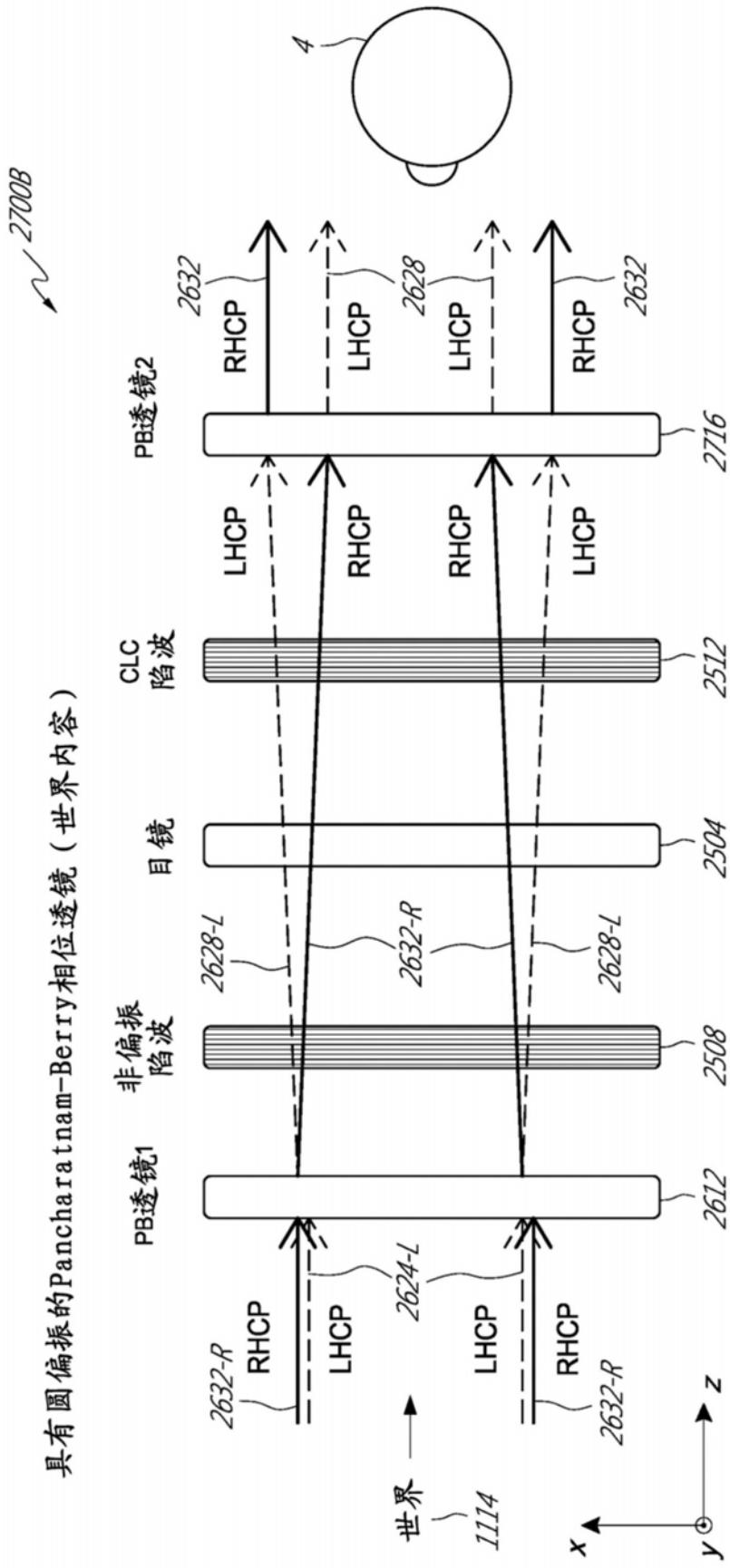


图27B

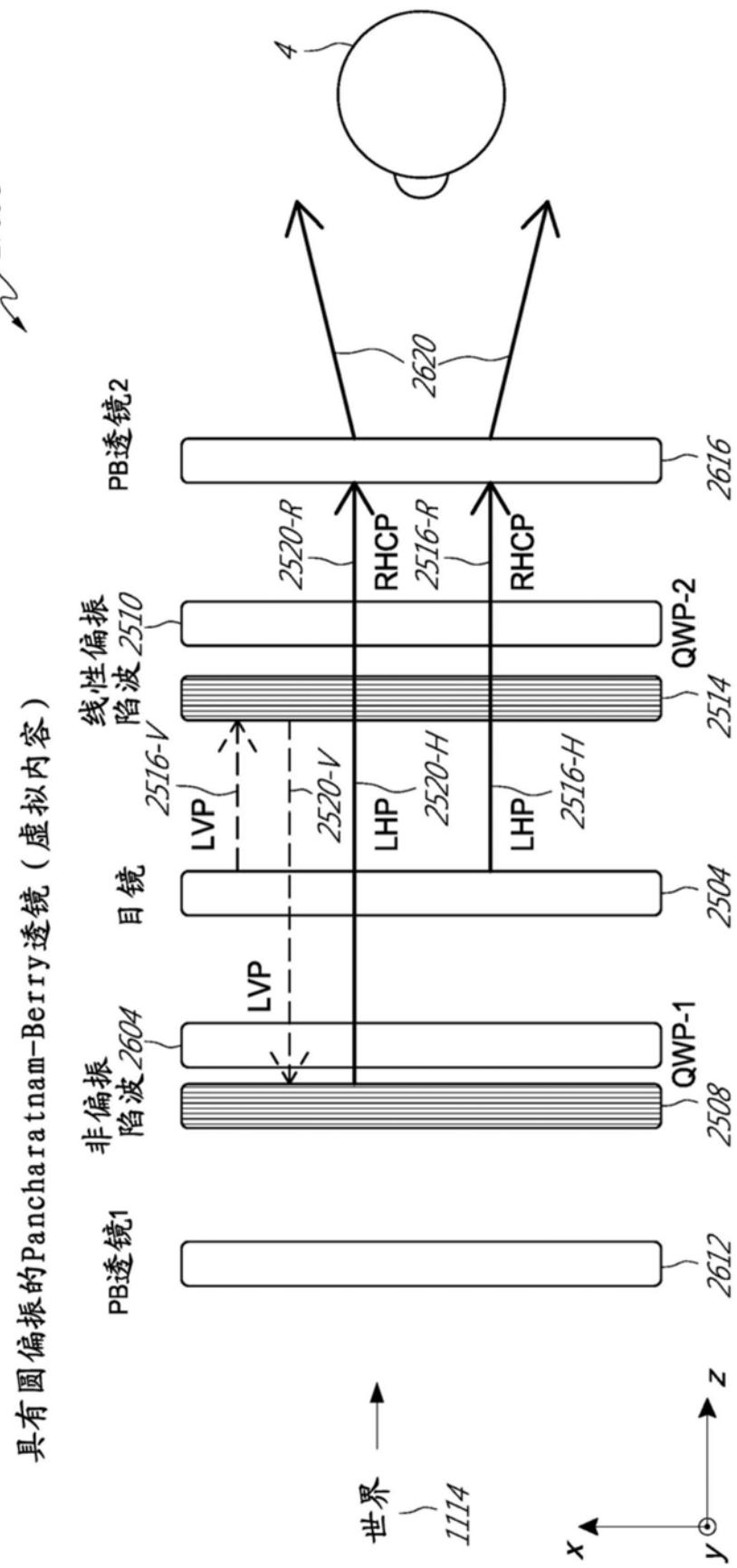


图27C

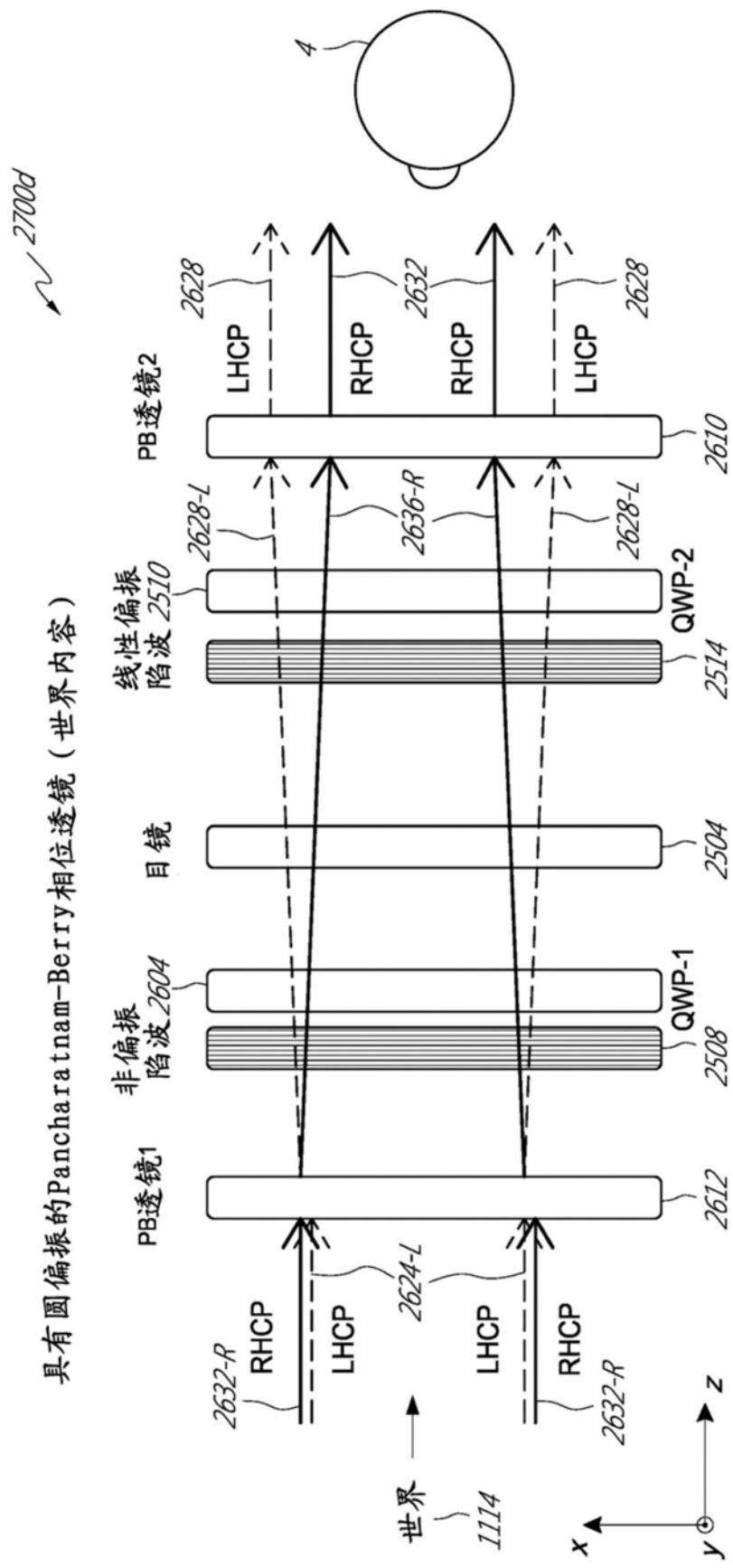


图27D

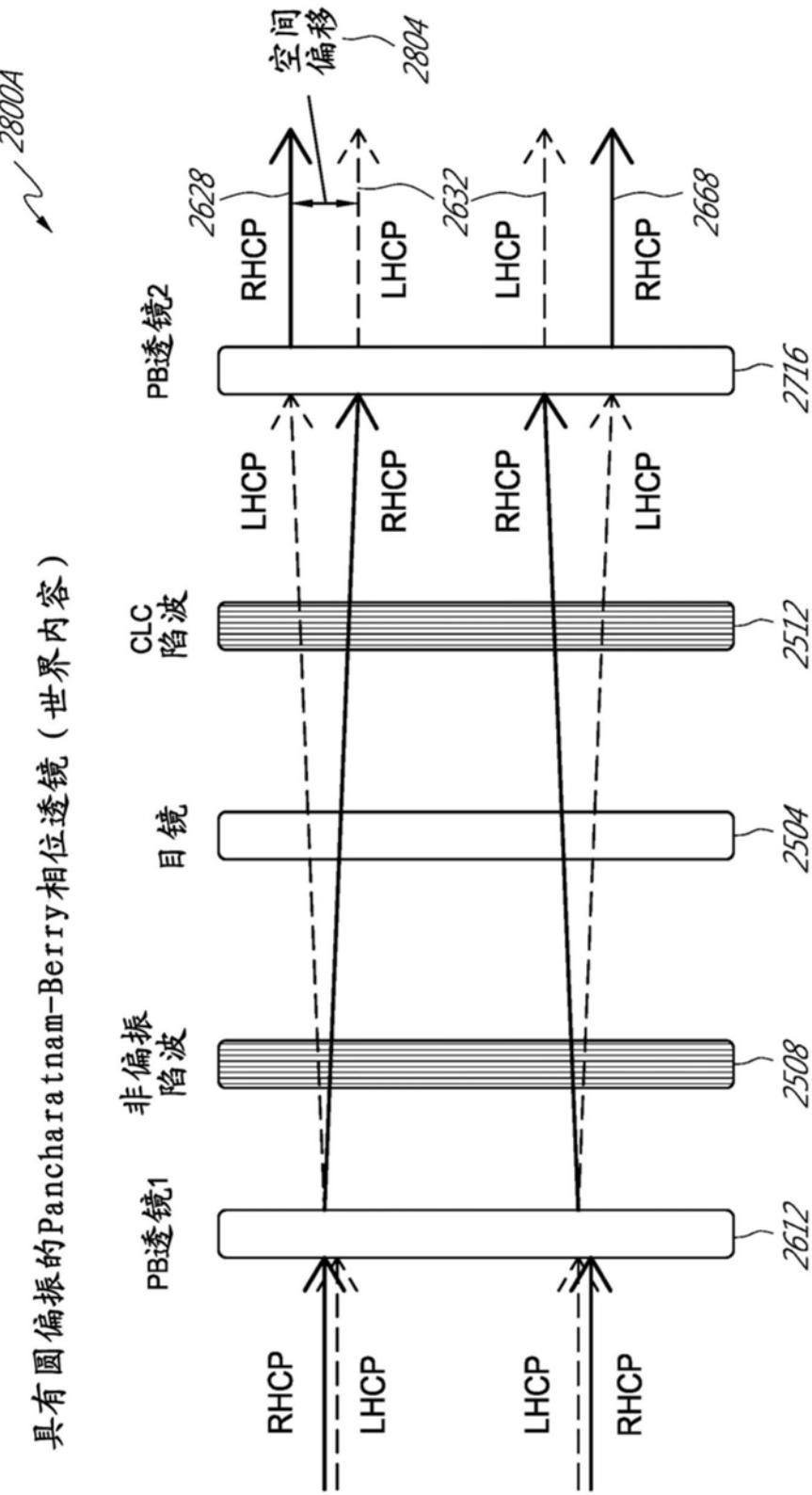


图28A

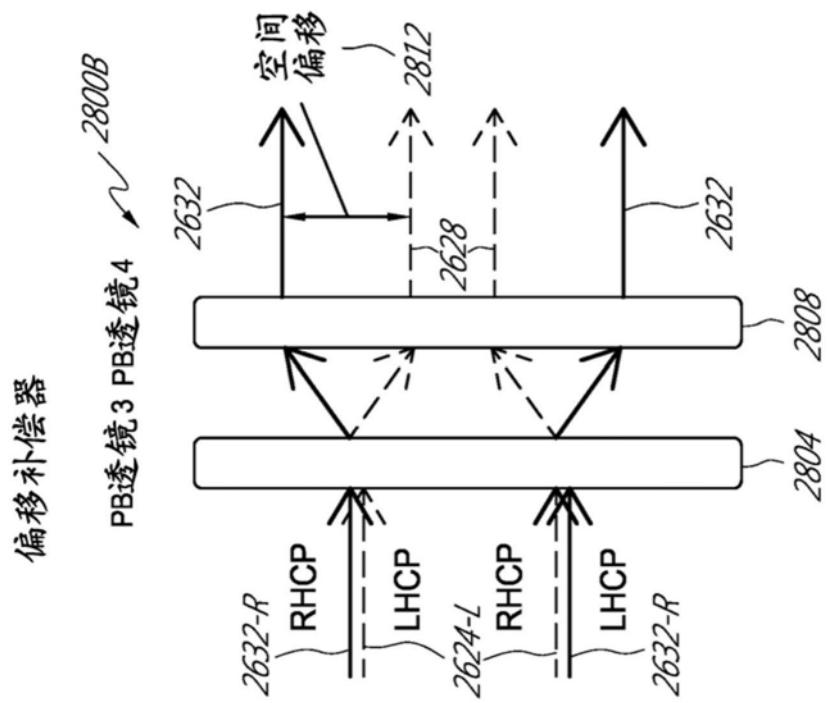


图 28B

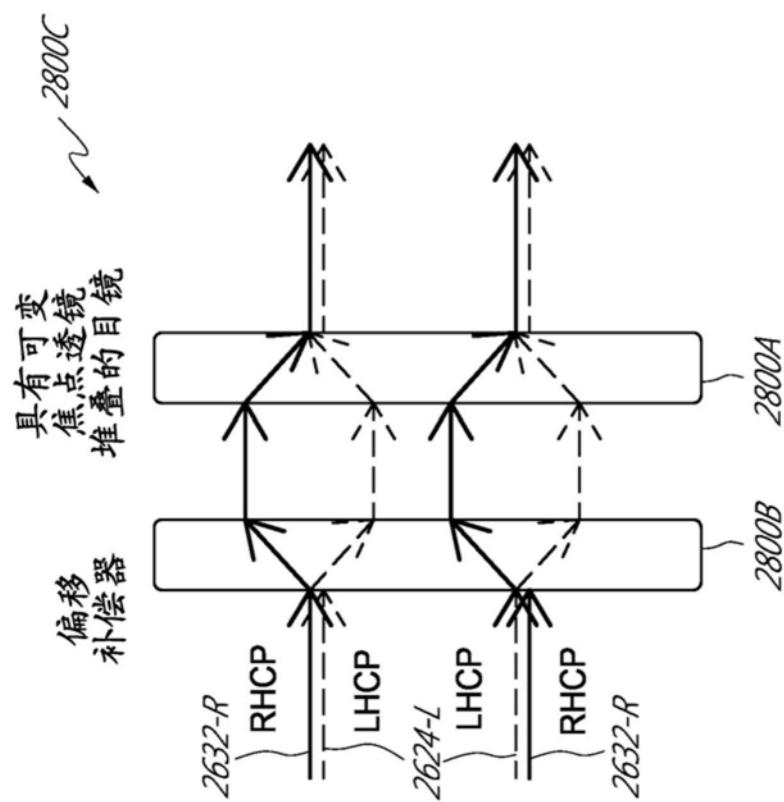


图 28C

具有圆偏振的Pancharatnam-Berry相位透镜（虚拟内容）

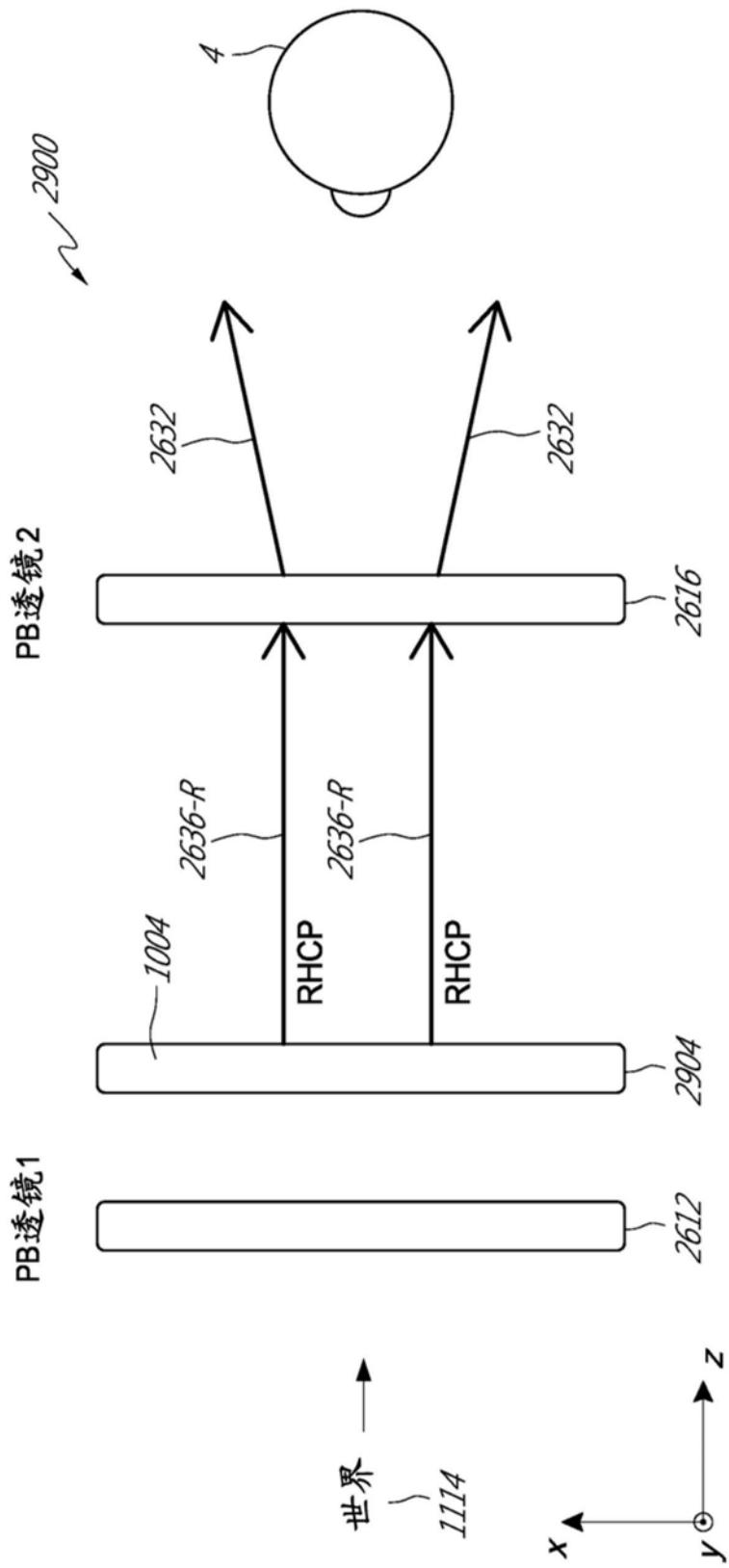


图29

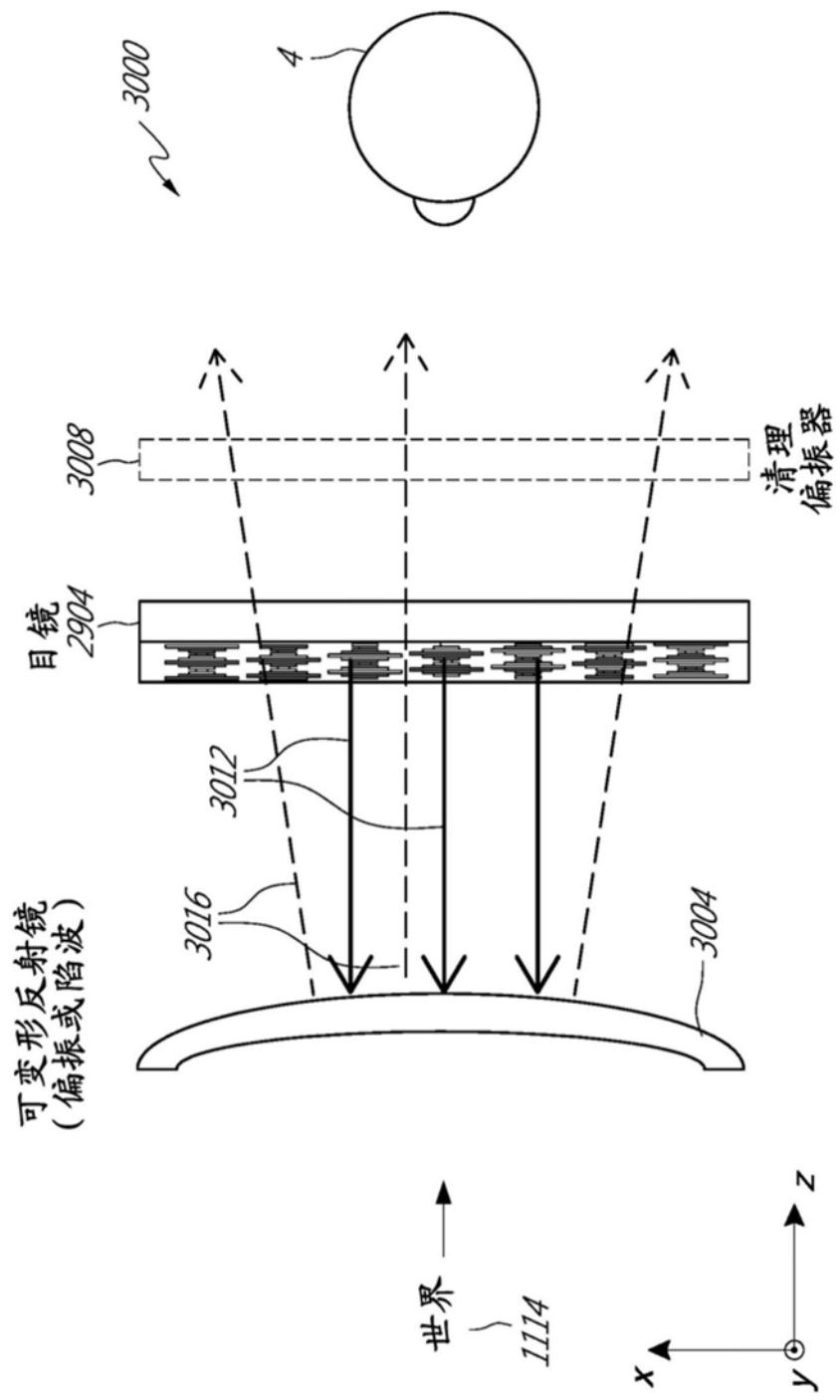


图30

3100A

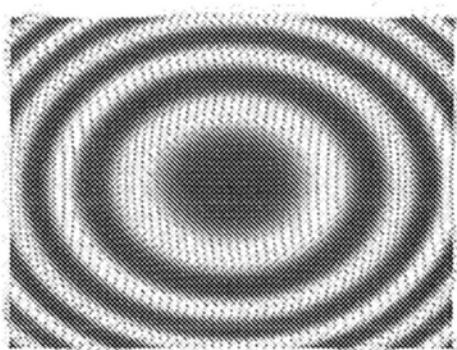


图31A

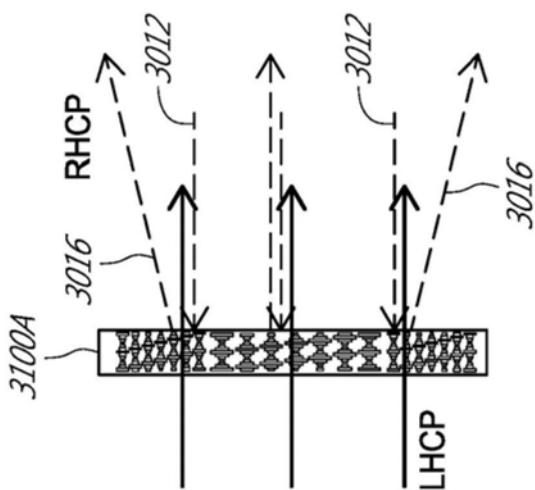


图31B

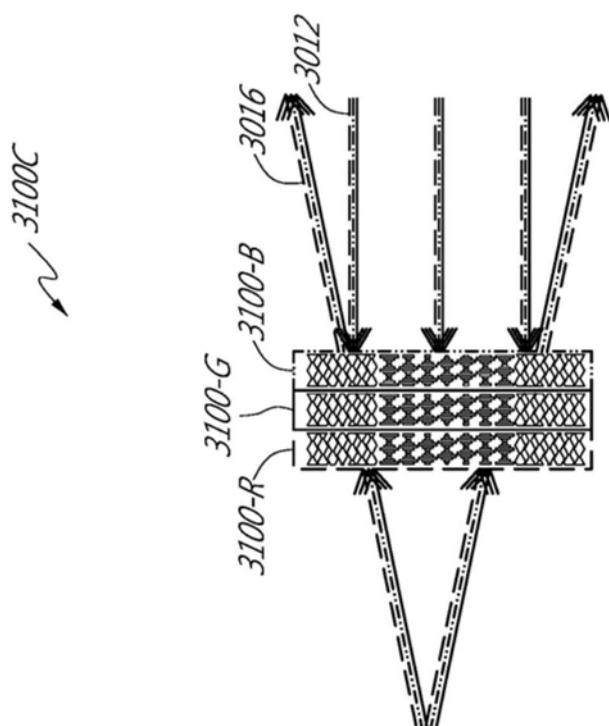


图31C

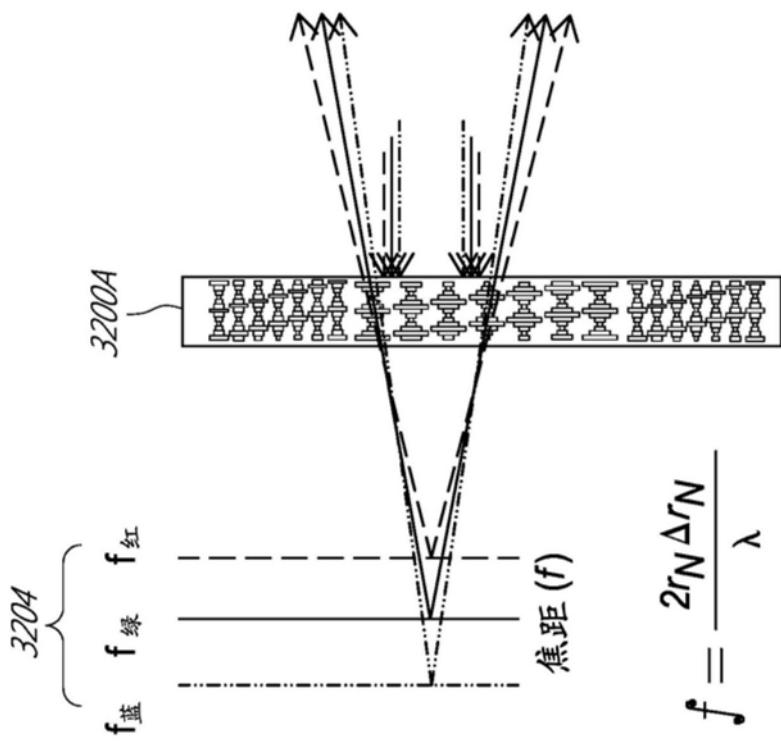


图32A

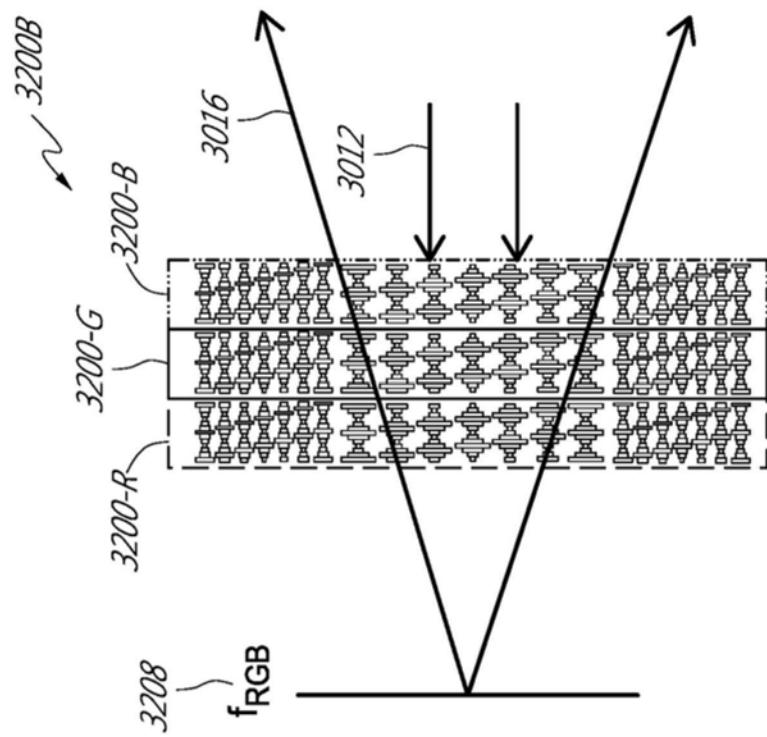


图32B

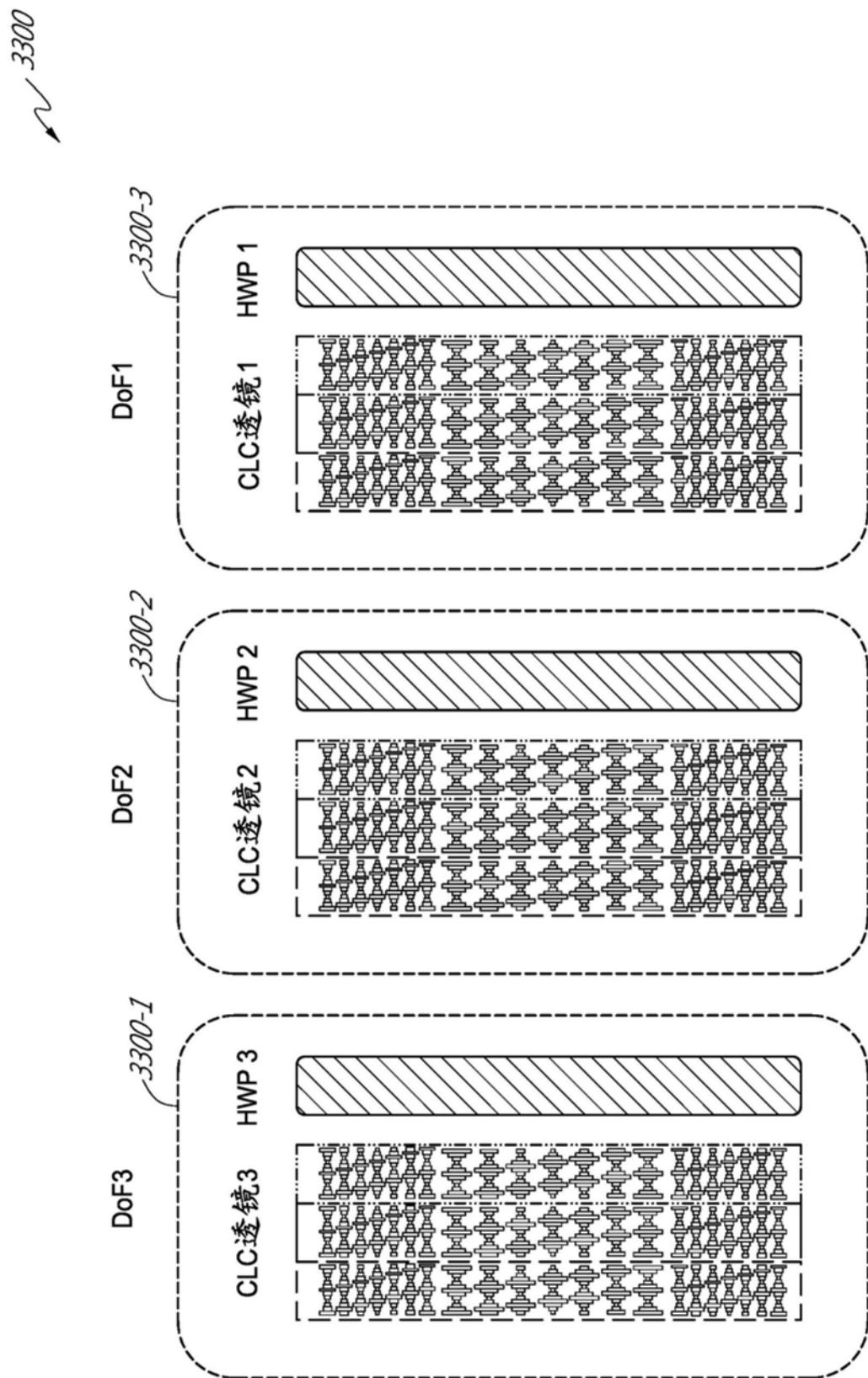


图33A

DoF1

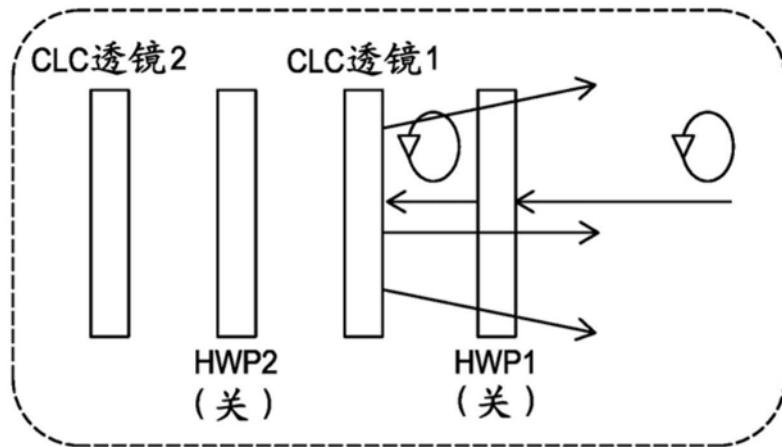


图33B

DoF2

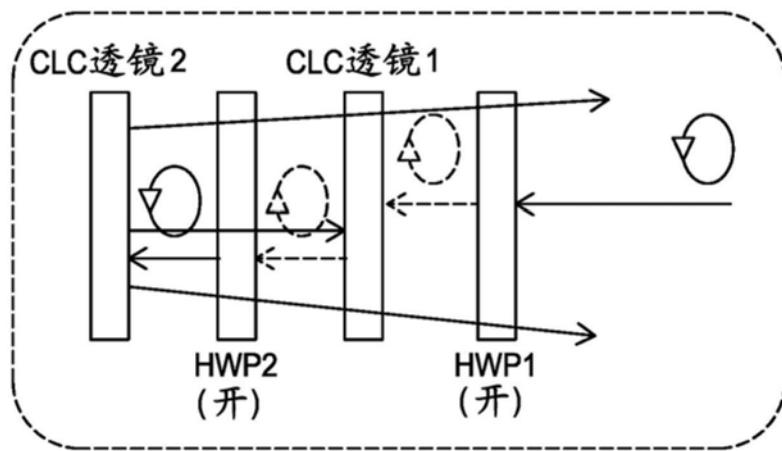


图33C

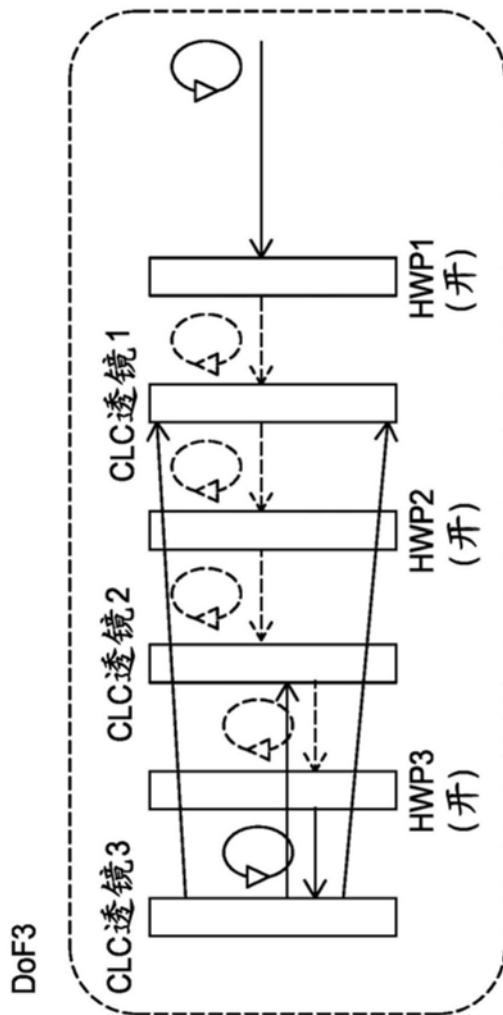


图33D

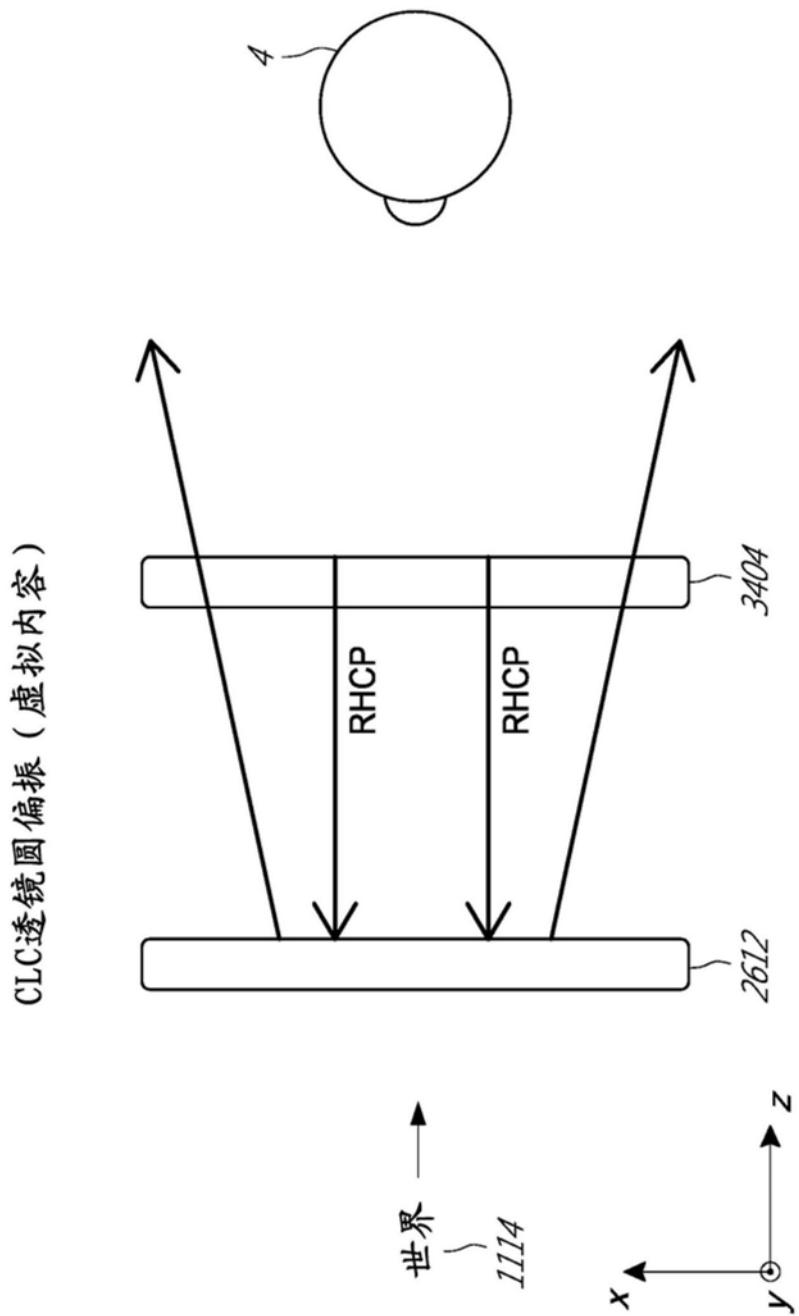


图34