



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110462487 B
(45) 授权公告日 2022. 07. 01

(21) 申请号 201880020303.6	(73) 专利权人 奇跃公司
(22) 申请日 2018.03.20	地址 美国佛罗里达州
(65) 同一申请的已公布的文献号 申请公布号 CN 110462487 A	(72) 发明人 吴哲宇 V·帕尔蒂巴恩
(43) 申请公布日 2019.11.15	(74) 专利代理机构 北京市中咨律师事务所 11247
(30) 优先权数据 62/474,529 2017.03.21 US	专利代理师 贺月娇 杨晓光
(85) PCT国际申请进入国家阶段日 2019.09.23	(51) Int.Cl. G02B 27/01 (2006.01) G03H 1/00 (2006.01) G06F 3/01 (2006.01)
(86) PCT国际申请的申请数据 PCT/US2018/023425 2018.03.20	(56) 对比文件 US 2013322810 A1,2013.12.05 US 2014140653 A1,2014.05.22
(87) PCT国际申请的公布数据 W02018/175488 EN 2018.09.27	审查员 周亚婷

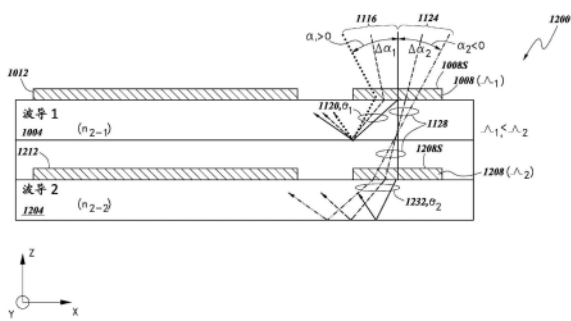
权利要求书3页 说明书33页 附图25页

(54) 发明名称

用于组合视场的具有不同衍射光栅的堆叠波导

(57) 摘要

在一方面，一种光学装置包括多个波导，所述多个波导形成于彼此之上并且其上形成有相应衍射光栅，其中相应衍射光栅被配置为将入射到其上的可见光衍射到相应波导中，使得衍射到相应波导中的可见光在其内部传播。相应衍射光栅被配置为将相对于相应波导的层法线方向的相应视场(FOV)内的可见光衍射到相应波导中。相应FOV使得多个波导被配置为衍射组合的FOV内的可见光，该组合的FOV是连续的并且大于相应FOV中的每一者。



1. 一种光学装置,包括:

多个波导,其在竖直方向上形成于彼此之上并且具有相应顶表面,所述相应顶表面上形成有相应衍射光栅,其中所述相应衍射光栅被配置为将入射到其上的可见光衍射到相应波导中,使得衍射到所述相应波导中的所述可见光在其内部传播,

其中当在所述竖直方向上观看时,所述相应衍射光栅彼此重叠,并且

其中所述相应衍射光栅被配置为相对于所述相应波导的层法线方向将相应视场FOV内入射到所述相应波导上的具有蓝色、绿色和红色之一的相同颜色的所述可见光衍射到所述相应波导中,其中所述相应FOV对应于入射到所述相应波导上的所述可见光的入射角范围,在所述入射角范围内,所述相应衍射光栅被配置为衍射所述可见光,并且其中所述相应FOV使得所述多个波导被配置为衍射组合的FOV内的所述可见光,所述组合的FOV是连续的并且大于所述相应FOV中的每一者,

其中所述多个波导包括:

第一波导,其上形成有第一衍射光栅,所述第一衍射光栅被配置为衍射在第一FOV内入射到其上的所述可见光,同时使在所述第一FOV外的第二FOV内的所述可见光透射通过,以及

第二波导,其上形成有第二衍射光栅,所述第二衍射光栅被配置为对透射通过所述第一衍射光栅并在所述第二FOV内入射到其上的所述可见光进行衍射。

2. 根据权利要求1所述的光学装置,其中所述多个波导由其折射率小于所述相应衍射光栅的有效折射率的材料形成,使得衍射到所述相应波导中的所述可见光通过全内反射在其内部传播。

3. 根据权利要求1所述的光学装置,其中所述多个波导采取堆叠布置并且被配置为通过全内反射在基本上平行的方向上传播所述可见光。

4. 根据权利要求1所述的光学装置,其中所述相应FOV中的不同FOV重叠不超过基于所述相应FOV中的不同FOV的总和的20%。

5. 根据权利要求1所述的光学装置,其中所述第一衍射光栅和所述第二衍射光栅具有不同的周期,并且被配置为衍射具有不同波长但是具有相同颜色的可见光。

6. 根据权利要求1所述的光学装置,其中所述第一衍射光栅和所述第二衍射光栅具有基本相同的周期,并且被配置为衍射具有基本相同的波长的可见光。

7. 根据权利要求1所述的光学装置,其中所述第一衍射光栅具有第一周期且被配置为衍射具有第一波长的可见光,其中所述第二衍射光栅具有第二周期且被配置为衍射具有第二波长的可见光,并且其中与所述第二波长相比,所述第一波长较短。

8. 根据权利要求7所述的光学装置,进一步包括第三波导,所述第三波导上形成有第三衍射光栅,所述第三衍射光栅具有第三周期且被配置为衍射具有第三波长的可见光,其中与所述第三波长相比,所述第二波长较短。

9. 根据权利要求8所述的光学装置,其中所述第二衍射光栅被配置为透射具有所述第二波长的所述可见光,并且其中所述第三衍射光栅被配置为衍射在所述第二FOV内的从所述第二衍射光栅透射的具有所述第二波长的可见光。

10. 根据权利要求9所述的光学装置,其中所述第一衍射光栅和所述第二衍射光栅被配置为透射具有所述第三波长的所述可见光,并且其中所述第三衍射光栅被配置为衍射在所

述第一FOV内的透射通过所述第一衍射光栅和所述第二衍射光栅的具有所述第三波长的所述可见光。

11. 一种光学系统, 包括:

具有第一顶表面的第一波导, 所述第一顶表面上形成有第一衍射光栅, 所述第一衍射光栅具有第一周期且被配置为衍射在第一视场FOV内入射到所述第一波导上的具有第一颜色的可见光, 同时使所述第一FOV外的第二FOV内的所述可见光透射通过; 以及

具有第二顶表面的第二波导, 所述第二顶表面上形成有第二衍射光栅, 所述第二衍射光栅具有第二周期且被配置为, 对透射通过所述第一衍射光栅且在所述第二FOV内入射到所述第二波导上的具有所述第一颜色的所述可见光进行衍射,

其中所述第一波导和所述第二波导在竖直方向上形成于彼此之上,

其中当在所述竖直方向上观看时, 所述第一衍射光栅和所述第二衍射光栅彼此重叠, 并且所述第一衍射光栅和所述第二衍射光栅被配置为相对于相应波导的层法线方向将相应FOV内具有所述第一颜色的所述可见光衍射到所述相应波导中, 其中所述相应FOV对应于入射到所述相应波导上的所述可见光的入射角范围, 在所述入射角范围内, 所述第一衍射光栅和所述第二衍射光栅中的相应衍射光栅被配置为衍射所述可见光, 并且其中所述相应FOV使得所述第一衍射光栅和所述第二衍射光栅被配置为衍射在组合的FOV内具有蓝色、绿色和红色之一的所述第一颜色的所述可见光, 所述组合的FOV是连续的并且大于所述第一FOV和所述第二FOV中的每一者。

12. 根据权利要求11所述的光学系统, 其中所述第一波导和所述第二波导采取堆叠配置, 其中所述第一波导被配置为在所述第二波导之前接收具有所述第一颜色的所述可见光, 并且其中所述第一周期比所述第二周期短。

13. 根据权利要求12所述的光学系统, 其中所述第二衍射光栅被配置为在基本上不衍射的情况下基本上透射通过所述第一衍射光栅之后, 衍射在所述第二FOV内具有所述第一颜色的所述可见光。

14. 根据权利要求13所述的光学系统, 其中所述第一衍射光栅被配置为在基本上不衍射具有第二颜色的所述可见光的情况下使该可见光基本上透射通过所述第一衍射光栅, 其中与具有所述第一颜色的所述可见光相比, 具有所述第二颜色的所述可见光具有较长的波长。

15. 根据权利要求14所述的光学系统, 其中所述第二衍射光栅被配置为衍射在所述第二FOV内具有所述第二颜色的所述可见光, 以在所述第二波导中引导该可见光。

16. 根据权利要求11所述的光学系统, 其中所述第一衍射光栅和所述第二衍射光栅中的每一者包括胆甾型液晶CLC层。

17. 根据权利要求16所述的光学系统, 其中所述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,

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, 并且

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地变化。

18. 根据权利要求17所述的光学系统, 其中每个手性结构包括至少三个沿不同的伸长方向伸长的棒状液晶分子。

用于组合视场的具有不同衍射光栅的堆叠波导

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请主张2017年3月21日提交的名称为“STACKED WAVEGUIDES HAVING DIFFERENT DIFFRACTION GRATINGS FOR COMBINED FIELD OF VIEW (用于组合视场的具有不同衍射光栅的堆叠波导)”的美国临时专利申请No.62/474,529的优先权益,该申请的全部内容通过引用并入本文中。

技术领域

[0003] 本公开涉及显示系统,更具体地涉及包括基于胆甾型液晶的衍射装置的增强现实显示系统。

背景技术

[0004] 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,数字再现的图像或其部分以它们看起来是真实的或感觉为真实的方式被呈现给用户。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它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,MR场景可以包括看起来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的AR图像内容。

[0005] 参考图1,描绘了增强现实场景1。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30为特征的真实世界的公园状设置20。用户还感知他“看到”站在真实世界平台1120上的机器人雕像40,以及看起来是大黄蜂的化身的正在飞行的卡通式的化身角色50。这些元素50、40是“虚拟的”,因为它们在真实世界中不存在。因为人类的视觉感知系统是复杂的,所以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。

[0006] 本文公开的系统和解决方法解决了关于AR和VR技术的各种挑战。

发明内容

[0007] 在第一方面,一种光学装置包括:多个波导,其形成于彼此之上并且其上形成有相应衍射光栅,其中所述相应衍射光栅被配置为将入射到其上的可见光衍射到相应波导中,使得衍射到所述相应波导中的可见光在其内部传播。所述相应衍射光栅被配置为相对于所述相应波导的层法线方向将相应视场(FOV)内入射到所述相应波导上的可见光衍射到所述相应波导中。所述相应FOV使得所述多个波导被配置为衍射组合的FOV内的可见光,所述组合的FOV是连续的并且大于所述相应FOV中的每一者。

[0008] 在第二方面,一种光学系统包括:第一波导,其上形成有第一衍射光栅。所述第一衍射光栅具有第一周期并且被配置为衍射第一FOV内具有第一颜色且入射到所述第一波导上的光。所述光学系统另外包括:第二波导,其上形成有第二衍射光栅。所述第二衍射光栅

具有第二周期并且被配置为衍射第二FOV内具有所述第一颜色且入射到所述第二波导上的光,所述第一衍射光栅和所述第二衍射光栅被配置为相对于所述相应波导的层法线方向将相应视场(FOV)内具有所述第一颜色的光衍射到所述相应波导中。所述相应FOV使得所述第一波导和所述第二波导被配置为衍射组合的FOV内具有所述第一颜色的可见光,所述组合的FOV是连续的并且大于所述第一FOV和所述第二FOV中的每一者。

[0009] 在第三方面,一种显示装置包括:第一波导,其上形成有包括液晶的第一衍射光栅,其中所述第一衍射光栅被配置为将入射到其上的具有第一颜色的光的一部分衍射到所述第一波导中。所述第一衍射光栅另外被配置为使入射到其上的具有所述第一颜色的光的一部分通过。所述第一衍射光栅进一步被配置为使具有第二颜色的光通过。所述显示装置另外包括:第二波导,其上形成有包括液晶的第二衍射光栅,其中所述第二衍射光栅被配置为将具有所述第二颜色的光衍射到所述第二波导中。所述第二衍射光栅进一步被配置为将已经通过所述第一衍射光栅的具有所述第一颜色的光的一部分衍射到所述第二波导中。

[0010] 在第四方面,一种头戴式显示装置被配置为将光投射到用户的眼睛以显示增强现实图像内容。所述头戴式显示装置包括框架,其被配置为支撑在所述用户的头部上。所述头戴式显示装置另外包括设置在所述框架上的显示器。所述显示器的至少一部分包括多个波导。所述波导是透明的,并且在所述用户穿戴着所述头戴式显示装置时被设置在所述用户的眼睛前方的位置处,使得所述透明部分将来自所述用户的前方环境的一部分的光透射到所述用户的眼睛,以提供所述用户的前方环境的所述一部分的视图。所述显示器进一步包括一个或多个光源和所述显示器中的多个衍射光栅,所述多个衍射光栅被配置为将来自所述光源的光耦合到所述显示器中的所述波导中。所述显示器中的所述波导和所述衍射光栅包括根据第一至第三方面中任一方面所述的波导和衍射光栅。

附图说明

[0011] 图1示出了用户通过增强现实(AR)装置的AR视图。

[0012] 图2示出了可穿戴显示系统的示例。

[0013] 图3示出了用于为用户模拟三维图像的常规显示系统。

[0014] 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。

[0015] 图5A至图5C示出了曲率半径与焦半径之间的关系。

[0016] 图6示出了用于向用户输出图像信息的波导堆叠的示例。

[0017] 图7示出了由波导输出的出射光束的示例。

[0018] 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组分颜色形成的图像。

[0019] 图9A示出了堆叠波导组的示例的横截面侧视图,每个波导包括耦合(in-coupling)光学元件。

[0020] 图9B示出了图9A的多个堆叠波导的示例的透视图。

[0021] 图9C示出了图9A和图9B的多个堆叠波导的示例的俯视平面图。

[0022] 图10示出了其上设置有衍射光栅的波导的横截面图,该图示出了波导的接受角 $\Delta\alpha$ 。该接受角在本文中可被称为视场(FOV)。

[0023] 图11示出了根据一些实施例的包括其上设置有相应衍射光栅的堆叠波导的显示

装置的横截面图,其中所述堆叠具有聚合 (aggregate) 接受角或视场 (FOV) $\Delta \alpha_{\text{tot}}$,该 $\Delta \alpha_{\text{tot}}$ 大于相应组成波导 (component waveguide) 的接受角或视场 (FOV) $\Delta \alpha_1$ 和 $\Delta \alpha_2$ 。

[0024] 图12A和12B示出了根据一些实施例的包括其上形成有具有不同周期的相应衍射光栅的堆叠波导的显示装置的横截面图,其中所述堆叠具有大于组成波导的视场 (FOV) 的聚合接受角或组合的有效视场 (FOV)。另外,对两个波长 (例如,两种颜色) 操作的第二波导通过潜在地减少在某些情况下所需的波导数量来提供更紧凑的设计。

[0025] 图13A示出了图12A和12B所示的显示装置的组成波导中的具有第一周期的一个组成波导的示意图以及所得到的对应于第一视场的图像。

[0026] 图13B示出了图12A和12B所示的显示装置的组成波导中的具有第二周期的一个组成波导的示意图以及所得到的对应于第二视场的图像。

[0027] 图13C示出了图12A和12B中所示的显示装置的堆叠波导的示意图以及所得到的图像,该图像对应于大于第一视场和第二视场个体的组合或聚合视场。

[0028] 图14A和14B示出了根据一些实施例包括堆叠波导的显示装置的横截面图,所述堆叠波导在其上形成有具有不同周期的相应衍射光栅,其中成对的衍射光栅提供大于组成波导的视场 (FOV) 的组合或聚合视场 (FOV)。另外,一些波导对多种颜色操作,通过潜在地减少波导的数量来提供增加的紧凑性。

[0029] 图15示出了被配置为以离轴入射角进行布拉格反射的衍射光栅的胆甾型液晶 (CLC) 层的横截面图。

[0030] 图16A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衍射光栅的CLC层的横截面图。

[0031] 图16B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衍射光栅的CLC层的横截面图。

[0032] 图17示出了其上形成有CLC衍射光栅并且被配置为通过全内反射 (TIR) 传播光的波导。

[0033] 图18A示出了其上形成有CLC衍射光栅并且被配置为通过全内反射 (TIR) 选择性地传播具有一波长的光的波导。

[0034] 图18B示出了同一光路中的两个波导,其中每个波导具有形成于其上的CLC衍射光栅并且被配置为通过全内反射 (TIR) 选择性地传播具有一波长的光。

[0035] 图18C示出了同一光路中的三个波导,其中每个波导包括被耦合到CLCG的波导并且被配置为通过全内反射 (TIR) 选择性地传播具有一波长的光。

[0036] 在所有附图中,可以重复使用参考标号来指示所涉及元件之间的对应关系。附图是为了说明本文描述的示例实施例而提供的,并非旨在限制本公开的范围。

具体实施方式

[0037] AR系统可以在仍允许用户观看其周围世界的同时向用户或观看者显示虚拟内容。优选地,此内容显示在头戴式显示器 (例如,作为眼镜的一部分) 上,该显示器将图像信息投射到用户的眼睛。此外,显示器还可以将来自周围环境的光透射到用户的眼睛,从而允许观看周围环境。如本文所使用的,将理解,“头戴式”显示器是可以安装在观看者头部上的显示器。

[0038] 图2示出了可穿戴显示系统60的示例。显示系统60包括显示器70,以及支持该显示器70的功能的各种机械和电子模块和系统。显示器70可以被耦接到框架80,该框架80是可由显示系统用户或观看者90佩戴的,并且该框架80被配置为将显示器70定位在用户90的眼睛的前方。在一些实施例中,显示器70可以被视为是眼镜。在一些实施例中,扬声器100被耦接到框架80并且被配置为邻近用户90的耳道设置(在一些实施例中,另一个扬声器(未示出)可以可选地邻近用户的另一个耳道设置,以提供立体/可塑形声音控制)。显示系统还可以包括一个或多个麦克风110或其它装置以检测声音。在一些实施例中,麦克风被配置为允许用户向系统60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/或可以允许与其他人(例如,与类似的显示系统的其他用户)的音频通信。麦克风可以进一步被配置为外围传感器以收集音频数据(例如,来自用户和/或环境的声音)。在一些实施例中,显示系统还可以包括外围传感器120a,该传感器120a可以与框架80分离,并且被附接到用户90的身体(例如,在用户90的头部、躯干、四肢等上)。在一些实施例中,外围传感器120a可以被配置为获取表征用户90的生理状态的数据。例如,传感器120a可以是电极。

[0039] 继续参考图2,显示器70通过通信链路130(诸如,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140,本地数据处理模块140可以以各种配置来安装,诸如固定地附接到框架80,固定地附接到由用户佩戴的头盔或帽子,嵌入耳机中,或以其他方式(例如,以背包式配置、以腰带耦接式配置)可移除地附接到用户90。类似地,传感器120a可以通过通信链路120b(例如,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140。本地处理和数据模块140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,闪存或硬盘驱动器),两者都可被用于辅助数据的处理、缓存和存储。数据包括a)从传感器(其可以例如可操作地耦接到框架80或以其他方式附接到用户90)捕获的数据,传感器诸如为图像捕获装置(诸如相机)、麦克风、惯性测量单元、加速计、指南针、GPS单元,无线电装置、陀螺仪和/或本文公开的其他传感器;和/或b)使用远程处理模块150和/或远程数据储存库160(包括与虚拟内容有关的数据)获取和/或处理的数据,可能用于在这样的处理或检索之后向显示器70传送。本地处理和数据模块140可以通过通信链路170、180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150和远程数据储存库160,使得这些远程模块150、160可操作地彼此耦接,并且可用作本地处理和数据模块140的资源。在一些实施例中,本地处理和数据模块140可以包括图像捕获装置、麦克风、惯性测量单元、加速计、指南针、GPS单元、无线电装置和/或陀螺仪中的一者或多者。在一些其他实施例中,这些传感器中的一者或多者可以被附接到框架80,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140通信的独立结构。

[0040] 继续参考图2,在一些实施例中,远程处理模块150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160可以包括数字数据存储设施,其可以通过因特网或“云”资源配置中的其他网络配置获得。在一些实施例中,远程数据储存库160可以包括一个或多个远程服务器,所述远程服务器向本地处理和数据模块140和/或远程处理模块150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,在本地处理和数据模块中存储所有数据,并且执行所有计算,允许从远程模块完全自主地使用。

[0041] 现在参考图3,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“3-D”。图3示出了为用户模拟三维图像的常规显示系统。将两个不同图像190、200——每只眼睛210、220一个图像——输出给用户。图像190、200与眼睛210、220沿着与观看者的视线平行的光轴或z轴间隔一距离230。图像190、200是平坦的,并且眼睛210、220可以通过假设单个调节状态 (accommodated state) 而聚焦在图像上。这种3-D显示系统依赖于人类视觉系统来组合图像190、200,以提供组合图像的深度感和/或比例感。

[0042] 然而,应当理解,人类视觉系统更复杂,并且提供对逼真的深度感更具挑战性。例如,常规的“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觉到深度感。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(即,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,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变化。同样,在正常条件下,聚散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。

[0043] 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,由眼睛210、220适应在z轴上距眼睛210、220各种距离处的对象,使得那些对象处于聚焦状态。眼睛210、220呈现特定的调节状态,以使对象沿z轴在不同距离处聚焦。因此,可以说,特定的调节状态与深度平面240中的特定的一个深度平面相关联,该深度平面具有关联的焦距,使得当眼睛处于用于一特定深度平面的调节状态时,该深度平面中的对象或对象的部分对焦。在一些实施例中,可以通过为每只眼睛210、220提供图像的不同呈现,并且还通过提供与每个深度平面对应的图像的不同呈现,来模拟三维图像。虽然为了清楚说明而示出是分开的,但是应当理解,眼睛210、220的视野可以重叠,例如,随着沿z轴的距离增加而重叠。另外,虽然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,使得深度平面中的全部特征在眼睛处于特定的调节状态时对焦。

[0044] 对象与眼睛210或220之间的距离也可以改变来自该眼睛所观看到的该对象的光的发散量。图5A至图5C示出了距离和光线发散之间的关系。对象与眼睛210之间的距离以逐渐减小的距离R1、R2和R3的顺序表示。如图5A至图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(对象或对象的部分)产生的光场具有球面波前曲率,球面的波前曲率是该点离用户眼睛多远的函数。曲率随着对象与眼睛210之间的距离的减小而增加。因此,在不同的深度平面处,光线的发散程度也不同,发散程度随着深度平面与观看者眼睛210之间的距离的减小而增加。虽然为了清楚说明而在图5A至图5C和本文的其他图中仅示出了单只眼睛210,但是应当理解,关于眼睛210的讨论可以适用于观看者的双眼210和220。

[0045] 不受理论的限制,据信人眼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个相对应的图像的不同呈现,

可以实现高度可信的感知深度模拟。不同的呈现可以由观看者的眼睛分别聚焦,从而有助于基于将位于不同深度平面上的场景的不同图像特征聚焦所需的眼睛的调节和/或基于观察离焦的不同深度平面上的不同图像特征来为用户提供深度线索。

[0046] 图6示出了用于向用户输出图像信息的波导堆叠的示例。显示系统250包括波导堆叠或堆叠的波导组件260,波导组件260可被用于使用多个波导270、280、290、300、310向眼睛/大脑提供三维感知。在一些实施例中,显示系统250是图2的系统60,图6更详细地示意性地示出了该系统60的一些部分。例如,波导组件260可以是图2的显示器70的部分。应当理解,在一些实施例中,显示系统250可以被视为是光场显示器。

[0047] 继续参考图6,波导组件260还可包括波导之间的多个特征320、330、340、350。在一些实施例中,特征320、330、340、350可以是一个或多个透镜。波导270、280、290、300、310和/或多个透镜320、330、340、350可被配置为以各种级别的波前曲率或光线发散度向眼睛发送图像信息。每个波导级别可以与特定深度平面相关联,并且可被配置为输出与该深度平面相对应的图像信息。图像注入装置360、370、380、390、400可以用作波导的光源,并且可以被用于将图像信息注入到波导270、280、290、300、310中,如本文所述,每个波导可以被配置为使入射光分布跨过每个相应的波导,以朝向眼睛210输出。光从图像注入装置360、370、380、390、400的输出表面410、420、430、440、450出射,并且被注入到波导270、280、290、300、310的对应的输入表面460、470、480、490、500中。在一些实施例中,输入表面460、470、480、490、500中的每一者可以是对应波导的边缘,或者可以是对应波导的主表面的部分(即,直接面向世界510或观看者眼睛210的波导表面中的一者)。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输出克隆的准直光束的整个场,所述克隆的准直光束以特定角度(和发散量)被导向眼睛210,所述特定角度(和发散量)对应于与特定波导相关联的深度平面。在一些实施例中,图像注入装置360、370、380、390、400中的单个可与波导270、280、290、300、310中的多个(例如,三个)相关联并将光注入其中。

[0048] 在一些实施例中,图像注入装置360、370、380、390、400是离散显示器,每个离散显示器分别产生用于注入对应的波导270、280、290、300、310的图像信息。在一些其他实施例中,图像注入装置360、370、380、390、400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360、370、380、390、400中的每一者。应当理解,由图像注入装置360、370、380、390、400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组分颜色)。

[0049] 在一些实施例中,注入到波导270、280、290、300、310中的光由光投射器系统520提供,光投射器系统520包括光模块530,光模块530可包括光发射器,例如发光二极管(LED)。来自光模块530的光可以经由分束器550被光调制器540(例如,空间光调制器)引导和修改。光调制器540可以被配置为改变注入到波导270、280、290、300、310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),LCD包括硅上液晶(LCOS)显示器。

[0050] 在一些实施例中,显示系统250可以是扫描光纤显示器,扫描光纤显示器包括一个或多个扫描光纤,一个或多个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(Lissajous)图案等)将光投射到一个或多个波导270、280、290、300、310中,并且最终投射到观看者的眼睛210。在一些实施例中,所示的图像注入装置360、370、380、390、400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一个或多个波导270、280、290、300、310中。在一些其他实施例中,所示的图像注入装置360、370、380、390、400可以示意性地表示多个扫描光纤或多个扫描光纤束,多个扫描光纤或多个扫描光纤束中的每一者被配置为将光注入波导270、280、290、300、310中的关联波导中。应当理解,一个或多个光纤可以被配置为将光从光模块530传输到一个或多个波导270、280、290、300、310。应当理解,可以在一个或多个扫描光纤与一个或多个波导270、280、290、300、310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270、280、290、300、310中。

[0051] 控制器560控制堆叠波导组件260中的一个或多个的操作,包括图像注入装置360、370、380、390、400、光源530和光调制器540的操作。在一些实施例中,控制器560是本地数据处理模块140的部分。控制器560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270、280、290、300、310提供图像信息。在一些实施例中,控制器可以是单个整体装置,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560可以是处理模块140或150(图2)的部分。

[0052] 继续参考图6,波导270、280、290、300、310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270、280、290、300、310可以各自是平面的或具有另一种形状(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270、280、290、300、310可各自包括耦出(out-coupling)光学元件570、580、590、600、610,耦出光学元件570、580、590、600、610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210。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。所提取的光束可以在波导中传播的光照射到光提取光学元件的位置处由波导输出。如本文进一步讨论的,耦出光学元件570、580、590、600、610可以例如是光栅,光栅包括衍射光学特征。虽然被示出为设置在波导270、280、290、300、310的底部主表面处,但是为了便于描述和绘制清楚,在一些实施例中,如本文进一步讨论的,耦出光学元件570、580、590、600、610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270、280、290、300、310的体积内。在一些实施例中,耦出光学元件570、580、590、600、610可以被形成在附接到透明基板的材料层中,以形成波导270、280、290、300、310。在一些其他实施例中,波导270、280、290、300、310可以是单片材料,并且耦出光学元件570、580、590、600、610可以被形成在该片材料的表面上和/或内部中。

[0053] 继续参考图6,如本文所讨论的,每个波导270、280、290、300、310被配置为输出光以形成与特定深度平面对应的图像。例如,最靠近眼睛的波导270可以被配置为将准直光(其被注入到这样的波导270中)传递到眼睛210。该准直光可以代表光学无限远焦平面。下一上行波导280可以被配置为发出准直光,该准直光在可以到达眼睛210之前传输通过第一透镜350(例如,负透镜);这样的第一透镜350可以被配置为产生轻微凸起的波前曲率,使得眼睛/大脑将来自该下一上行波导280的光解释为来自从光学无限远向内更靠近眼睛210的第一焦平面。类似地,第三上行波导290使其输出光在到达眼睛210之前传输通过第一透镜350和第二透镜340两者;第一透镜350和第二透镜340的组合光焦度可以被配置为产生波前曲率的另一增量,使得眼睛/大脑将来自第三波导290的光解释为来自从光学无限远向内进

一步更靠近人的第二焦平面,而不是来自向下一上行波导280的光。

[0054] 其他波导层300、310和透镜330、320被类似地配置,其中堆叠中的最高波导310将其输出发送通过其与眼睛之间的全部透镜,以获得代表距人最近焦平面的总光焦度。为了在观看/解释来自堆叠波导组件260的另一侧的世界510的光时补偿透镜320、330、340、350的堆叠,可以在堆叠的顶部设置补偿透镜层620,以补偿下面的透镜堆叠320、330、340、350的总光焦度。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,使用电活性特征,波导的耦出光学元件和透镜的聚焦方面中的一者或两者可以是动态的。

[0055] 在一些实施例中,波导270、280、290、300、310中的两个或更多个可具有相同的关联深度平面。例如,多个波导270、280、290、300、310可以被配置为将图像集输出到相同深度平面,或者波导270、280、290、300、310中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,每个深度平面一个集。这可以为形成平铺图像提供优势,以在那些深度平面处提供扩展的视野。

[0056] 继续参考图6,耦出光学元件570、580、590、600、610可以被配置为既将光重定向到它们相应的波导之外,也为与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,具有不同的关联深度平面的波导可以具有不同配置的耦出光学元件570、580、590、600、610,不同配置的耦出光学元件570、580、590、600、610根据关联的深度平面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570、580、590、600、610可以是体积特征或表面特征,其可以被配置为以特定角度输出光。例如,光提取光学元件570、580、590、600、610可以是体积全息、表面全息和/或衍射光栅。在一些实施例中,特征320、330、340、350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)。

[0057] 在一些实施例中,耦出光学元件570、580、590、600、610是形成衍射图案的衍射特征,或“衍射光学元件”(在本文中也称为“DOE”)。优选地,DOE具有足够低的衍射效率,使得只有一部分光束借助DOE的每个交叉点向眼睛210偏转,而其余部分通过TIR继续前进通过波导。因此,携带图像信息的光被分成多个相关的出射光束,这些出射光束在多个位置处从波导出射,并且对于在波导内弹跳的此特定准直光束,结果是向眼睛210出射的相当均匀的图案。

[0058] 在一些实施例中,一个或多个DOE可以在它们活跃地衍射的“开启”状态和它们不显著衍射的“关闭”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,微滴包括处于主体介质中的衍射图案,并且微滴的折射率可以被切换为基本匹配主体材料的折射率(在这种情况下,图案不会显著地衍射入射光)或者微滴可以被切换为与主体介质的折射率失配的折射率(在这种情况下,图案活跃地衍射入射光)。

[0059] 在一些实施例中,可提供相机组件630(例如,数码相机,包括可见光相机和红外光相机)以捕获眼睛210和/或眼睛210周围的组织的图像,以例如检测用户输入和/或监视用户的生理状态。如此处所使用的,相机可以是任何图像捕获装置。在一些实施例中,相机组件630可以包括图像捕获装置和光源,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装置检测。在一些实施例中,相机组件630可以被附接到框架80(图2)

并且可以与处理模块140和/或处理模块150电连通,处理模块140和/或处理模块150可以处理来自相机组件630的图像信息。在一些实施例中,每个眼睛可以使用一个摄像机组件630,以分别监视每只眼睛。

[0060] 现在参考图7,示出了由波导输出的出射光束的示例。示出了一个波导,但应当理解,波导组件260(图6)中的其他波导可以类似地起作用,其中,波导组件260包括多个波导。光640在波导270的输入表面460处被注入波导270,并通过TIR在波导270内传播。在光640照射在DOE 570上的点处,一部分光作为出射光束650从波导出射。出射光束650被示为基本平行,但是如本文所讨论的,它们也可以被重定向以一角度(例如,形成发散的出射光束)传播到眼睛210,该角度取决于与波导270相关联的深度平面。应当理解,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,耦出光学元件耦出光以形成看起来设置在距离眼睛210的远距离处(例如,光学无穷远)的深度平面上的图像。其他波导或耦出光学元件的其他集合可以输出更加发散的出射光束图案,这将要求眼睛210适应更近的距离以使更加发散的出射光束图案聚焦在视网膜上并且将被大脑解释为来自比光学无限远更靠近眼睛210的距离处的光。

[0061] 在一些实施例中,可以通过在组分颜色(例如,三种或更多种组分颜色)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组分颜色形成的图像。所示的实施例示出了深度平面240a-240f,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或更多个组分颜色图像,包括: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倒数,并且图中的每个框表示单独的组分颜色图像。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,不同组分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组分颜色图像可以被放置在与距用户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。

[0062] 在一些实施例中,每种组分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个体(individual)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组分颜色图像。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,在物理装置中,波导可以全部布置为每层一个波导的堆叠形式。在一些其他实施例中,多个组分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。

[0063] 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。

[0064] 应当理解,贯穿本公开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。

[0065] 在一些实施例中,光源530(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250的波导的耦入、耦出和其他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210,例如,用于成像和/或用户刺激应用。

[0066] 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660的示例的横截面侧视图,每个堆叠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660可以对应于堆叠260(图6),并且除了来自一个或多个图像注入装置360、370、380、390、400的光从需要光被重定向以耦入的位置被注入波导中之外,堆叠660的所示波导可以与多个波导270、280、290、300、310中的部分对应。

[0067] 图示的堆叠波导组660包括波导670、680和690。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700被设置在波导670的主表面(例如,顶部主表面)上,耦入光学元件710被设置在波导680的主表面(例如,顶部主表面)上,耦入光学元件720被设置在波导690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700、710、720中的一个或多个可以被设置在相应波导670、680、690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700、710、720可以被设置在它们相应的波导670、680、690(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的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700、710、720可以被设置在相应的波导670、680、690的体中。在一些实施例中,如本文所讨论的,耦入光学元件700、710、720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670、680、690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700、710、720可以被设置在它们相应的波导670、680、690的其他区域中。

[0068] 如图所示,耦入光学元件700、710、720可以被彼此横向偏移。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700、710、720可以被配置为从不同的图像注入装置360、370、380、390和400接收光,并且可以从其他耦入光学元件700、710、720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700、710、720中的其他耦入光学元件的光。

[0069] 每个波导还包括关联的光分布元件,其中,例如,光分布元件730被设置在波导670的主表面(例如,顶部主表面)上,光分布元件740被设置在波导680的主表面(例如,顶部主表面)上,光分布元件750被设置在波导690的主表面(例如,顶部主表面)上。在一些其他实施例中,光分布元件730、740、750可以被分别设置在关联的波导670、680、690的底部主表面上。在一些其他实施例中,光分布元件730、740、750可以被分别设置在关联的波导670、680、690的顶部主表面上和底部主表面上;或者光分布元件730、740、750可以被分别设置在不同的关联的波导670、680、690中的顶部主表面和底部主表面中的不同主表面上。

[0070] 波导670、680、690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760a可以使波导670和波导680分隔开;并且层760b可以使波导680和波导690

分隔开。在一些实施例中，层760a和760b由低折射率材料（即，具有比形成紧邻的波导670、680、690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760a、760b的材料的折射率与形成波导670、680、690的材料的折射率相差0.05或更大，或0.10或更小。有利地，较低折射率层760a、760b可以作为包层，包层促进通过波导670、680、690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760a、760b由空气形成。尽管未示出，但应当理解，所示波导组660的顶部和底部可包括紧邻的包层。

[0071] 优选地，为了便于制造和其他考虑，形成波导670、680、690的材料相似或相同，并且形成层760a、760b的材料相似或相同。在一些实施例中，形成波导670、680、690的材料在一个或多个波导之间可以是不同的，和/或形成层760a、760b的材料可以是不同的，同时仍然保持上述各种折射率关系。

[0072] 继续参考图9A，光线770、780、790入射在波导组660上。应当理解，光线770、780、790可以通过一个或多个图像注入装置360、370、380、390、400（图6）注入到波导670、680、690中。

[0073] 在一些实施例中，光线770、780、790具有不同的特性，例如，对应于不同的颜色的不同的波长或不同的波长范围。耦入光学元件700、710、720各自使入射光偏转，使得光通过TIR传播通过波导670、680、690中的相应的一个。在一些实施例中，耦入光学元件700、710、720各自选择性地使一个或多个特定波长的光偏转，同时将其其他波长透射到下面的波导和关联的耦入光学元件。

[0074] 例如，耦入光学元件700可以被配置为使具有第一波长或第一波长范围的光线770偏转，同时分别透射具有不同的第二波长或第二波长范围的光线1242和具有第三波长或第三波长范围的光线1244。透射光线780照射在耦入光学元件710上并被耦入光学元件710偏转，该耦入光学元件710被配置为使第二波长或第二波长范围的光偏转。光线790被耦入光学元件720偏转，该耦入光学元件720被配置为选择性地使第三波长或第三波长范围的光偏转。

[0075] 继续参考图9A，偏转的光线770、780、790被偏转为使得光线770、780、790传播通过对应的波导670、680、690；也就是说，每个波导的耦入光学元件700、710、720将光偏转到该对应的波导670、680、690中，以将光耦入到该对应的波导中。光线770、780、790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670、680、690。光线770、780、790通过TIR传播通过相应的波导670、680、690，直到照射到波导的对应的光分布元件730、740、750上。

[0076] 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770、780、790分别被耦入光学元件700、710、720偏转，然后分别在波导670、680、690内通过TIR传播。然后，光线770、780、790分别照射在光分布元件730、740、750上。光分布元件730、740、750使光线770、780、790偏转，使得光线770、780、790分别朝向耦出光学元件800、810、820传播。

[0077] 在一些实施例中，光分布元件730、740、750是正交光瞳扩展器（OPE）。在一些实施例中，OPE将光偏转或分布到耦出光学元件800、810、820，并且在一些实施例中，还可以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，可以省略光分配元

件730、740、750,并且耦入光学元件700、710、720可以被配置为将光直接偏转到耦出光学元件800、810、820。例如,参考图9A,光分布元件730、740、750可分别被耦出光学元件800、810、820代替。在一些实施例中,耦出光学元件800、810、820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210(图7)。应当理解,OPE可以被配置为在至少一个轴上增大眼框(eye box)的尺寸,并且EPE可以在与OPE的轴相交(例如正交)的轴上增大眼框。例如,每个OPE可以被配置为将到达OPE的光的一部分重定向到同一波导的EPE,同时允许光的剩余部分继续沿波导传播。在再次照射到OPE上时,剩余光的另一部分被重定向到EPE,并且该部分的剩余部分继续沿波导进一步传播,依此类推。类似地,在到达EPE时,照射光的一部分被朝向用户导出波导,并且该光的剩余部分继续传播通过波导,直到它再次到达EPE,此时照射光的另一部分被导出波导,依此类推。因此,每当单束耦入光的一部分被OPE或EPE重定向时,该光可以“被复制”,从而形成克隆光束的场,如图6所示。在一些实施例中,OPE和/或EPE可以被配置为修改光束的尺寸。

[0078] 因此,参考图9A和图9B,在一些实施例中,波导组660包括:波导670、680、690;耦入光学元件700、710、720;光分布元件(例如,OPE)730、740、750;以及耦出光学元件(例如,EP)800、810、820,用于每种组分颜色。波导670、680、690可以被堆叠有每个波导之间的气隙/包层。耦入光学元件700、710、720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670、680、690内的TIR。在所示的示例中,光线770(例如,蓝光)被第一耦入光学元件700偏转,然后继续沿波导反弹,以先前描述的方式与光分布元件(例如,OPE)730和耦出光学元件(例如,EP)800相互作用。光线780和光线790(例如,分别为绿光和红光)将传输通过波导670,其中光线780照射在耦入光学元件710上并被其偏转。然后,光线780通过TIR沿波导680反弹,前进到其光分配元件(例如,OPE)740,然后前进到耦出光学元件(例如,EP)810。最后,光线790(例如,红光)传输通过波导690而照射在波导690的光耦入光学元件720上。光耦入光学元件720使光线790偏转为使得该光线通过TIR传播到光分布元件(例如,OPE)750,然后通过TIR传播到耦出光学元件(例如,EP)820。然后,耦出光学元件820最终将光线790耦出到观看者,观看者还从其他波导670、680接收耦出光。

[0079] 图9C示出了图9A和图9B的多个堆叠波导的示例的俯视平面图。如图所示,波导670、680、690以及每个波导的关联的光分配元件730、740、750和关联的耦出光学元件800、810、820可以垂直对准。然而,如本文所讨论的,耦入光学元件700、710、720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。

[0080] 具有组合的视场的堆叠波导

[0081] 为基于波导的显示系统(例如,针对上述虚拟/增强/混合显示应用而配置的各种半透明或透明显示系统)的用户提供沉浸式体验特别地取决于耦合到显示系统的波导中的光的各种光学特性。例如,具有增加的视场的虚拟/增强/混合显示器可潜在地增强观看体验。显示器的视场取决于由包括在目镜(观看者通过该目镜观看投射到他或她的眼睛中的

图像)中的波导堆叠中的多个波导输出的光的角度。从多个波导输出的光的角度又至少部分地取决于耦合到波导中的光的接受角。如上所述,可以采用诸如耦入光栅之类的耦入光学元件来将光耦合到光栅中。然而,在某些情况下,使用给定光栅只能将角度范围有限的光耦合到给定波导中。波导接收光时的这种有限角度范围也可能限制由波导输出到穿戴者眼睛中的角度范围,从而潜在地减小穿戴者的视场。下面讨论该特定限制以及用于增加显示器的接受角并因此增加视场的设计。

[0082] 如上所述,例如,参考图6和7,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270的输入表面460处注入波导270中的光640通过全内反射(TIR)在波导270内传播。在光640照射在耦出光学元件570上的点处,光的一部分作为小束(beamlet)650离开波导。在一些实施方式中,光学元件570、580、590、600、610中的任一者可被配置为衍射光栅。

[0083] 为了实现将光耦入波导270、280、290、300、310(或从波导270、280、290、300、310耦出光)的期望特性,被配置为衍射光栅的光学元件570、580、590、600、610可以由其结构被配置为控制各种光学特性(包括衍射特性)的材料形成。除其它特性之外,理想的衍射特性包括光谱选择性、角度选择性、偏振选择性、高光谱带宽和高衍射效率和宽视场(FOV)。

[0084] 为了实现这些和其它优点中的一个或多个,本文描述的各种示例包括形成于彼此之上并且其上形成有相应衍射光栅的多个波导。衍射光栅被配置为将入射到其上的可见光衍射到相应波导中,使得衍射到波导中的可见光例如通过全内反射在每个波导内传播。衍射光栅被配置为当可见光在相应角度范围或视场(FOV)内(例如,相对于相应波导的层法线方向)入射到其上时将可见光衍射到相应波导中。由个体衍射光栅和波导提供的相应FOV使得波导在堆叠在一起时具有连续的聚合接受角或FOV,该聚合接受角或FOV大于由衍射光栅和波导分别提供的个体FOV。

[0085] 如本文所述,可见光可以包括具有各种颜色范围(包括红色、绿色或蓝色范围)的一个或多个波长的光。如本文所述,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,蓝光可以包括在约435-493nm范围内的一个或多个波长的光。因此,可见光可以包括约435nm至780nm范围内的一个或多个波长的光。

[0086] 如本文所述,被配置为衍射光的结构(例如衍射光栅)可以以透射模式和/或反射模式衍射光。如本文所述,被配置为以透射模式衍射光的结构是指这样的结构:其中,相比于结构中光入射侧相同的一侧上的衍射光强度,结构与光入射侧相反的一侧上的衍射光强度较大,例如至少大10%、20%或30%。相反地,被配置为以反射模式衍射光的结构是指这样的结构:其中,相比于结构中光入射侧相反的一侧上的入射光强度,结构与光入射侧相同的一侧上的衍射光强度较大,例如至少大10%、20%或30%。

[0087] 图10示出了根据一些实施例的包括其上形成有衍射光栅1008的波导1004的显示装置1000的一部分的横截面图。耦合的衍射光栅1008被配置为衍射具有可见光谱中的波长的光,使得该光在波导1004内被引导。波导1004可以对应于例如上面参考图9A至9C描述的波导670、680、690中的一者。衍射光栅1008可以对应于例如耦入光学元件(700、710、720,图9A至9C)。显示装置1000另外包括光学元件1012,其可以对应于例如光分布元件(730、740、

750,图9A至9C),或可以对应于例如耦出光学元件(800、810、820,图9A至9C)中的一者。

[0088] 在操作中,当入射光束1016(例如,可见光)以相对于平面法线1012(平面法线1012与在y-z平面中延伸的表面1008S垂直或正交)测量的入射角 α 入射到衍射光栅1008上时,衍射光栅1008以相对于表面法线1012测量的衍射角 θ 至少部分地衍射入射光束1016作为衍射光束1024,并且至少部分地透射入射光作为透射光束1020。如本文所述,如在所示实施例中那样以相对于平面法线1012的顺时针方向(即,在平面法线1012的右侧)的角度入射的光束被称为具有负 α ($\alpha < 0$),而以相对于平面法线1012的逆时针方向(即,在平面法线1012的左侧)的角度入射的光束被称为具有正 α ($\alpha > 0$)。当衍射光束1024以超过在波导1004中发生全内反射时的临界角 θ_{TIR} 的衍射角 θ 被衍射时,衍射光束1024通过全内反射(TIR)沿x轴传播,直到衍射光束1024到达光学元件1012,光学元件1012可以对应于例如光分布元件(730、740、750,图9A至9C)中的一者,或者可以对应于例如耦出光学元件(800、810、82,图9A至9C)中的一者。

[0089] 如在说明书中的其它地方进一步描述的,可以选择衍射光栅1016的材料和结构的合适组合,以便获得入射角 α 的特定范围($\Delta\alpha$)(在此被称为接受角范围或视场(FOV))。根据各种实施例,衍射光栅1008和波导1004被布置成使得 $\Delta\alpha$ 超过20度(例如,+/-10度)、30度(例如,+/-15度)、40度(例如,+/-20度)或50度(例如,+/-25度),或者在由这些值中的任何值定义的角度范围内,其中包括关于平面法线1012(例如,在0度处)的对称和不对称范围。如本文所述,期望的范围 $\Delta\alpha$ 可以由跨 α 的负值和/或正值的角度范围来描述,在此范围之外衍射效率相对于 $\alpha=0$ 时的衍射效率下降超过10%、25%,超过50%,或超过75%。让 $\Delta\alpha$ 位于衍射效率相对较高且恒定的范围内是所希望的,例如,其中希望强度均匀的衍射光在 $\Delta\alpha$ 内。因此, $\Delta\alpha$ 与衍射光栅1016的角带宽相关联,使得 $\Delta\alpha$ 内的入射光束1016有效地被衍射光栅1016以超过 θ_{TIR} 的相对于表面法线1012(例如,y-z平面)的衍射角 θ 衍射,并且使得衍射光通过全内反射(TIR)在波导1004内传播。

[0090] 在各种实施例中,衍射光栅1008(和光学元件1012)由折射率(n_1)或有效折射率高于波导1004的折射率 n_2 的材料形成;即, $n_1 > n_2$ 。在一些实施例中,波导1004可以对应于例如波导310、300、290、280、270(图6)和/或例如波导670、680和690(图9A至9C)。在一些实施方式中,根据实施例的波导1004的材料的折射率大于空气的折射率但小于 n_1 ,例如1.5、1.6、1.7、1.8、1.9,或在由这些值中的任何值定义的范围,这样可以提供增加通过从波导1004输出光来形成图像的显示器的 $\Delta\alpha$ 的益处。用于形成波导1004的材料的示例包括石英玻璃(例如,掺杂石英玻璃)、氮化硅、过渡金属氧化物(例如,氧化铅、氧化钽、氧化锆、氧化铌、铌酸锂、氧化铝(例如,蓝宝石))、塑料、聚合物或可光学透射可见光的其它材料,其具有例如本文描述的合适的折射率。

[0091] 根据某些实施例,衍射光栅1008可以具有周期性结构,该周期性结构具有周期 Λ_a 。周期 Λ_a 在横向方向(例如,x、y方向)上以规则的间隔跨波导1004重复或基本上重复至少两次。换句话说,周期 Λ_a 可以是直接相邻的重复结构的相同点之间的距离。根据各种实施例,周期 Λ_a 可以对应于由液晶的布置形成的周期,如本申请中的其它地方所述。在各种实施例中, Λ_a 可以小于光栅1008被配置为衍射的波长,并且可以小于约435nm至780nm范围内的一个波长或任何波长。在被配置为衍射至少红光的一些实施例中, Λ_a 可以小于约620至780nm范围内的波长(或任何波长)。在被配置为衍射至少绿光的一些其它实施例中, Λ_a

可以小于约492至577nm范围内的波长(或任何波长)。在被配置为衍射至少蓝光的一些其它实施例中, Λ_a 可以小于约435至493nm范围内的波长(或任何波长)。或者, 根据各种实施例, Λ_a 可以在10nm至1 μ m范围内, 其中包括10nm至500nm或300nm至500nm。应当理解, 本文公开的衍射光栅可用于衍射光, 并且可以是显示系统250(图6)的一部分, 显示系统250可以被配置为将光引导到具有窄波长带的光栅。在一些实施例中, 给定衍射光栅的 Λ_a 小于显示系统的光源被配置引导到衍射光栅的波长带的最小波长。

[0092] 不受任何理论的束缚, 在一些实施例中, Λ_a 可具有小于比率 $m\lambda/(\sin\alpha+n_2\sin\theta)$ 的值, 其中 m 是整数(例如, 1、2、3、.....), 并且 α 、 n_2 和 θ 中的每一者具有整个说明书中描述的值。例如, α 可以在超过40度的 $\Delta\alpha$ 的范围内, n_2 可以在1至2的范围内, 并且 θ 可以在40-80度的范围内。

[0093] 在一些实施例中, Λ_a 可以跨光栅1008的表面1008S基本恒定。然而, 实施例不限于此, 并且在一些其它实施例中, Λ_a 可以跨表面1008S变化。

[0094] 如上所述, 视场(FOV)或 $\Delta\alpha$ 对应于可以被耦合到波导中并引起TIR的入射光的角度范围。如上所述, 该角度范围还可以影响并对应于由波导和目镜输出的光的角度范围, 从而影响观看者通过显示器观看图像时体验到的视场。为了将入射光耦合到波导中并通过TIR在波导中传播该入射光, 入射到波导1004上的光可以在接受角范围或FOV($\Delta\alpha$)内被引导, 除了其它因素之外, $\Delta\alpha$ 还取决于波导1004的材料的折射率 n_2 以及衍射光栅1008的材料的折射率 n_1 。例如, 包括折射率为1.5的玻璃基板的波导1004的FOV($\Delta\alpha$)可以是约30度。当光栅被设计为产生对称FOV时, 玻璃基板的FOV或接受角范围在一个维度上可以在 ± 15 度内。在下文中, 描述了各种实施例, 其中, 波导堆叠的组合接受角范围或有效FOV相对于个体组成波导扩展, 个体组成波导相对于波导堆叠的有效FOV可以具有不同的和/或较小的FOV。

[0095] 如本文所述, 对于给定颜色, 多个波导(例如, 波导堆叠)的组合、聚合或有效FOV是指由个体波导的FOV的组合产生的连续FOV的范围。当FOV重叠时, 连续FOV的范围包括个体波导的FOV的非重叠部分, 例如可以是个体波导的FOV的非重叠部分的总和。例如, 如果其上形成有第一衍射光栅的第一波导对于给定颜色的光具有-5至20度的 α_1 (即, $\Delta\alpha_1=25$ 度), 并且其上形成有第二衍射光栅的第二波导对于给定颜色具有-20至5度的 α_2 (即, $\Delta\alpha_2=25$ 度), 则来自堆叠的用于给定颜色的互补FOV是40度。

[0096] 根据各种实施例的显示装置包括形成于彼此之上并且其上形成有相应衍射光栅的多个波导, 其中衍射光栅被配置为将入射到其上的可见光衍射到相应波导中, 使得衍射到相应波导中的可见光在每个相应波导内传播, 从而通过全内反射在该波导中被引导。衍射光栅被配置为相对于波导的层法线方向在不同FOV内将可见光衍射到相应波导中, 其中相应FOV使得波导具有组合的FOV, 该组合的FOV是连续的并且大于每个个体相应FOV。

[0097] 图11示出了根据实施例的包括堆叠波导的显示装置1100的一部分的横截面图, 所述堆叠波导被配置为针对具有可见波长范围中的颜色的光增加组合的有效视场(FOV)。显示装置100包括堆叠的波导1004、1104, 波导1004、1104上形成有相应衍射光栅1008、1108, 其中该堆叠具有组合的有效视场(FOV), 该有效视场大于组成波导1004、1104的相应FOV $\Delta\alpha_1$ 、 $\Delta\alpha_2$ 。显示装置1100包括形成于彼此之上的第一波导1004和第二波导1104。第一波导1004具有形成于其上的第一衍射光栅1008, 第二波导1104具有形成于其上的第二衍射光栅1108。第一和第二衍射光栅1008、1108被配置为分别将入射到其上的可见光1116、1124衍射

到相应波导1004、1104中,使得被衍射到相应波导1004、1104中的可见光在每个相应波导内传播。第一和第二衍射光栅1008、1108被配置为相对于层法线1012(例如,y-z平面或z方向)将入射到其上的在不同相应视场 $\Delta\alpha_1$ 、 $\Delta\alpha_2$ 内的可见光衍射到相应波导1004、1104中。显示装置1100还包括分别形成在波导1004和1104上的光学元件1012和1112。

[0098] 在所示实施例中,第一和第二波导1004、1104呈堆叠布置并且插入有隔板(separator)1106,并且具有基本平行的通过全内反射传播的方向(例如,x方向)。

[0099] 第一和第二波导1004、1104以及对应的第一和第二衍射光栅1008、1012彼此相似,但是第一和第二衍射光栅1004、1108分别具有不同的周期 Λ_1 、 Λ_2 并且被配置为衍射具有不同波长但具有相同的大致颜色(即,红色、绿色或蓝色)的光。然而,实施例不限于此,第一和第二衍射光栅1004、1108可以具有基本相同的周期并且被配置为衍射具有相同波长的光。

[0100] 另外,耦合到第一衍射光栅1008的第一波导1004被配置为衍射具有第一 α (例如正 α ,其相对于平面法线1012具有逆时针角度)的光,而耦合到第二衍射光栅1108的第二波导1104被配置为衍射具有不同的 α (例如负 α ,其相对于平面法线1012具有顺时针角度)的光。然而,实施例不限于此。例如,第一和第二波导1004和1104可以都被配置为衍射正的或负的但是不同的入射角。其它变型例是可能的。例如,第一和第二波导1004和1104中的任一者可以被配置为衍射正角度和/或负角度,并且角度范围 $\Delta\alpha_1$ 和 $\Delta\alpha_2$ 的大小可以相同,也可以不同。

[0101] 第一衍射光栅1008被配置为分别部分地衍射以及部分地透射入射到其上的可见光1116、1124。在所示实施例中,第一衍射光栅1008被配置为部分地衍射入射到其上的第一FOV($\Delta\alpha_1$)内的可见光1116,并且部分地透射入射到其上的第二FOV($\Delta\alpha_2$)内的可见光1124。第二衍射光栅1108被配置为接收部分地透射通过第一衍射光栅1008的光1128作为入射光,并且至少部分地将光1128衍射成部分衍射光1132。

[0102] 在所示实施例中,第一和第二衍射光栅1008和1108被配置为衍射具有相同颜色的光。也就是说,第一和第二衍射光栅1008和1108中的每一者被配置为衍射具有约435nm至780nm波长范围内的相同颜色范围(红色、绿色或蓝色范围)中的一个或多个波长的光。在各种实施例中,第一和第二衍射光栅1008和1108可以被配置为衍射具有约620至780nm范围(用于红色)内的相同或不同波长的光,衍射具有约492至577nm范围(用于绿色)内的相同或不同波长的光,或者衍射具有约435至493nm范围(用于蓝色)内的相同或不同波长的光。

[0103] 在一些实施例中,第一和第二衍射光栅1008和1108可以被配置为通过配置相应的周期 Λ_1 、 Λ_2 来衍射特定波长。不受任何理论的束缚,在特定情况下,周期 Λ 根据以下等式通常与 α 、 n_2 、 θ 和 λ 相关:

$$[0104] \quad \Lambda_a(\sin\alpha + n_2\sin\theta) = m\lambda [1]$$

[0105] 其中 m 是整数(例如,1、2、3、.....),并且 α 、 n_2 、 θ 和 λ 分别是入射角、波导的折射率、衍射光的角度和光的波长,并且可以具有在说明书中其它地方描述的值。可以使用其它类型的衍射光学元件和可能的全息光学元件。

[0106] 仍然参考图11,在所示实施例中,为了将第一和第二衍射光栅1008和1108中的每一者配置为衍射具有相同颜色范围(红色、绿色或蓝色范围)中的一个或多个波长的光,可以将 Λ_1 和 Λ_2 中的每一者选择为小于光栅1008和1108被配置用于衍射的波长。因此,在第一和第二衍射光栅1008和1108中的每一者被配置为衍射至少红光的情况下, Λ_1 和 Λ_2 中的每

一者可以被选择为小于约620至780nm范围内的波长(或任何波长);在第一和第二衍射光栅1008和1108中的每一个被配置为衍射至少绿光的情况下, Λ_1 和 Λ_2 中的每一者可以被选择为小于约492至577nm范围内的波长(或任何波长);在第一和第二衍射光栅1008和1108中的每一个被配置为衍射至少蓝光的情况下, Λ_1 和 Λ_2 中的每一者可以被选择为小于约435至493nm范围内的波长(或任何波长)。在各种实施例中, Λ_1 和 Λ_2 可以在相应衍射光栅被配置用于衍射的任何波长的约40%至约99%之间,约50%至约90%之间,或者约60%至约80%之间(例如,约71%)。例如,在波导被配置用于衍射波长为530nm(绿色)的光的情况下,衍射光栅可以具有380nm的周期,在波导被配置为衍射波长为650nm(红色)的光的情况下,衍射光栅可以具有465nm的周期。

[0107] 仍然参考图11所示的实施例,第一光栅1008和第一波导1004的组合被配置为衍射第一FOV($\Delta\alpha_1$)内的光,第一FOV($\Delta\alpha_1$)不同于第二FOV($\Delta\alpha_2$),第二光栅1108和第二波导1104的组合被配置为衍射第二FOV($\Delta\alpha_2$)内的光。在一些实施例中,可以通过将第一和第二波导1004和1104的相应折射率 n_2 配置为具有不同的值(该值可以是1.5、1.6、1.7、1.8、1.9,或由这些值中的任何值定义的范围内的值,或更高值)但小于 n_1 ,来获得不同的FOV $\Delta\alpha_1$ 和 $\Delta\alpha_2$ 。

[0108] 仍然参考图11,在操作中,当入射光1116(例如可见光)以入射角 α_1 入射到具有第一周期 Λ_1 的第一衍射光栅1008上时,第一衍射光栅1008至少部分地以第一衍射角 θ_1 衍射入射光1116作为衍射光1120。第一波导1004具有第一波导折射率 n_{2-1} ,使得当入射到表面1008S上的入射光1116在 $\Delta\alpha_1$ 内入射时,第一波导1004以超过在波导1004中发生全内反射时的临界角 θ_{TIR-1} 的第一衍射角 θ_1 衍射入射光1116。所得到的衍射光1120通过全内反射(TIR)沿x轴传播,直到光到达光学元件1012并从其中射出。

[0109] 第一衍射光栅1008至少部分地透射入射光1124作为透射光1128,透射光1128又以入射角 α_2 变为具有第二周期 Λ_2 的第二衍射光栅1108上的入射光。第二衍射光栅1108又至少部分地以第二衍射角 θ_2 衍射光1128作为衍射光1132。第二波导1104具有第二波导折射率 n_{2-2} ,使得当光1128在 $\Delta\alpha_2$ 内入射到表面1008S上时,第二波导1104以超过在波导1104中发生全内反射时的临界角 θ_{TIR-2} 的衍射角衍射光1128。所得到的衍射光1132通过全内反射(TIR)沿x轴传播,直到光到达光学元件1112。

[0110] 因此,尽管其上形成有第一衍射光栅1008的第一波导1004和其上形成有第一衍射光栅1108的第二波导1104分别具有 $\Delta\alpha_1$ 和 $\Delta\alpha_2$,但是当如图所示在显示装置1100的一部分中堆叠时,所得到的堆叠波导1004、1104具有组合的FOV,该组合的FOV是连续的并且大于组成波导1004、1104的相应FOV $\Delta\alpha_1$ 、 $\Delta\alpha_2$ 。

[0111] 在所示实施例中,衍射光栅1008和1108在x方向上具有合适的长度并且在x方向上部分或完全地彼此重叠,使得重叠部分足以使 $\Delta\alpha_2$ 内的入射光1124穿过第一和第二衍射光栅1008和1108二者。

[0112] 在所示实施例中,为了使组合的FOV具有高衍射效率,应当理解,第一衍射光栅1008被配置为以高衍射效率衍射 $\Delta\alpha_1$ 内的入射光1116,同时被配置为至少部分地透射入射光1124,并且第二衍射光栅1108被配置为以高衍射效率衍射其在 $\Delta\alpha_2$ 内的入射光1128。根据实施例,第一和第二衍射光栅1008和1108被配置为以超过约20%、40%、60%或80%,或以由这些值中的任何值定义的任何范围内的百分比的衍射效率,衍射 $\Delta\alpha_1$ 和 $\Delta\alpha_2$ 内的入射

光1116和1124。根据实施例,第一衍射光栅1008被配置为以超过约20%、40%、60%或80%,或根据实施例以由这些值中的任何值定义的任何范围内的百分比的透射效率,透射 $\Delta\alpha_2$ 内的入射光1124。

[0113] 在一些实施例中, $\Delta\alpha_1$ 和 $\Delta\alpha_2$ 可以部分地重叠。根据实施例, $\Delta\alpha_1$ 和 $\Delta\alpha_2$ 基于 $\Delta\alpha_1$ 或 $\Delta\alpha_2$ 而重叠小于20%、40%、60%或80%或重叠由这些值中的任何值定义的任何范围内的百分比,或根据实施例重叠小于5°、10°、15°或20°或重叠由这些值中的任何值定义的任何范围内的值。

[0114] 在一个示例中,第一波导1004被配置为将具有0至30度的 α_1 (即, $\Delta\alpha_1=30$ 度)和绿色波长(例如,530nm)的光耦合到第一波导1004中,而第二波导1104被配置为耦合具有相同的绿色波长和-30至0度的 α_2 (即, $\Delta\alpha_2=30$ 度)的光。所得到的组合的FOV可高达60度。

[0115] 仍然参考图11,尽管在所示实施例中仅堆叠两个波导,但实施例不限于此。在其它实施例中,可以进一步堆叠额外的波导以提供更大的组合的FOV。例如,第三波导和第三衍射光栅的组合可以形成在第二波导1104下方,并且被配置为使得具有与在第三FOV $\Delta\alpha_3$ 内入射到第一衍射光栅1008上的入射光1116、1124相同的颜色和相同或不同的波长的可见光可以部分地透射通过第一和第二衍射光栅1008、1108,以便在第三衍射光栅处衍射。

[0116] 图12A和12B示出了根据实施例的包括堆叠波导的显示装置1200的部分的横截面图,所述堆叠波导被配置用于增加具有可见波长范围内的多种颜色的光的组合有效视场(FOV)。图12A和12B示出了根据一些实施例的包括堆叠波导1004、1204的显示装置1200的一部分的横截面图,所述堆叠波导1004、1204具有形成于其上的相应衍射光栅1008、1208,其中所述堆叠具有大于组成波导1004、1204的相应视场(FOV)的组合视场(FOV)。类似于上面参考图11所示的显示装置1100,显示装置1200包括形成于彼此之上的第一波导1004和第二波导1204。第一波导1004具有形成于其上的第一衍射光栅1008,第二波导1204具有形成于其上的第二衍射光栅1208。显示装置1200还包括分别形成在波导1004和1204上的光学元件1012和1212。在此省略了与上面关于图11所示的显示装置1100相同或相似的显示装置1200的其它布置。

[0117] 然而,与上面关于图11所示的显示装置1100的不同,第一和第二衍射光栅1008、1208分别具有不同的周期 Λ_1 、 Λ_2 ,并且被配置为衍射具有不同颜色(即,红色、绿色或蓝色)的光。

[0118] 参考图12A,第一和第二衍射光栅1008、1208被配置为分别将入射到其上的各自具有第一颜色和第一波长 λ_1 的可见光1116、1124衍射到相应波导1004、1204中,使得具有第一颜色和 λ_1 的可见光被衍射到相应波导1004、1204中并在相应波导内传播。第一和第二衍射光栅1008、1208被配置为将相对于平面法线1012(例如,z方向)分别在不同视场 $\Delta\alpha_1$ 、 $\Delta\alpha_2$ 内入射到其上的具有第一颜色的可见光衍射到相应波导1004、1204中。

[0119] 参考图12B,第一衍射光栅1008被配置为基本上透射具有第二颜色和第二波长 λ_2 的可见光1216、1214。现在入射到第二衍射光栅1208上的具有第二颜色和波长 λ_2 的透射可见光1226至少部分地被衍射到第二波导1204中,并在x方向上传播。第二衍射光栅1208被配置为将在视场 $\Delta\alpha_1$ 和/或 $\Delta\alpha_2$ 内具有第二颜色且入射到第一衍射光栅1008上的可见光1216、1214衍射到第二波导1204中。在所示实施例中,可见光1216被衍射为衍射到第二波导1204中。

[0120] 总之,参考图12A,第一波导1004和第一衍射光栅1008被配置为衍射具有第一颜色和 λ_1 并且具有正 α_1 (在 $\Delta\alpha_1$ 内)的可见光,而第二波导1204和第二衍射光栅1208被配置为衍射具有第一颜色和 λ_1 并且具有负 α_2 (在 $\Delta\alpha_2$ 内)的可见光。

[0121] 总之,参考图12B,第一波导1004和第一衍射光栅1008被配置为分别基本上透射具有第二颜色和 λ_2 并且具有正 α_1 (在 $\Delta\alpha_1$ 内)和负 α_2 (在 $\Delta\alpha_2$ 内)的可见光1216、1214,而第二波导1204和第二衍射光栅1208被配置为至少部分地衍射具有第二颜色和 λ_2 并且具有正 α_1 (在 $\Delta\alpha_1$ 内)和负 α_2 (在 $\Delta\alpha_2$ 内)中的至少一者的可见光。在一些实施例中,可以通过将第一和第二波导1004和1204的相应折射率 n_{2-1} 和 n_{2-1} 配置为具有不同值来获得不同的FOV $\Delta\alpha_1$ 和 $\Delta\alpha_2$,所述不同值可以是1.5、1.6、1.7、1.8、1.9或更高的值,或者由这些值中的任何值定义的范围内的值,但小于衍射光栅1004、1208的 n_1 。

[0122] 与参考图11所示的实施例不同,在图12A和12B所示的实施例中,第一和第二衍射光栅1008和1208被配置为衍射具有对应于约435nm至780nm范围内的波长内的不同颜色(红色、绿色或蓝色范围)的一个或多个波长的光。例如,第一和第二衍射光栅1008和1208被配置为衍射具有约620至780nm(用于红色)、约492至577nm(用于绿色)或约435至493nm(用于蓝色)的不同范围内的不同波长的光。特别地,在所实施例中,第一衍射光栅1008被配置为衍射绿光,第二衍射光栅1208被配置为衍射绿光和红光。

[0123] 在所实施例中,为了将第一和第二衍射光栅1008和1208中的每一者配置为衍射具有对应于不同颜色(红色、绿色或蓝色)的一个或多个波长的光,可以将相应的 Λ_1 和 Λ_2 选择为不同于或小于光栅1008和1208被配置为衍射的波长。因此,在第一和第二衍射光栅1008和1208被配置为分别衍射绿光和红光的情况下, Λ_1 和 Λ_2 可以被选择为分别小于用于绿色的约492至577nm和用于红色的约620至780nm的不同范围内的波长(或任何波长)。另外,在第一和第二衍射光栅1008和1208被配置为分别衍射蓝光和绿光的情况下, Λ_1 和 Λ_2 可以被选择为分别小于用于蓝色的约435至493nm和用于绿色的约492至577nm的不同范围内的波长(或任何波长)。

[0124] 参考图12A,在操作中,当入射光1116(例如具有第一颜色和 λ_1 的可见光)以入射角 α_1 入射到具有第一周期 Λ_1 的第一衍射光栅1008上时,第一衍射光栅1008以第一衍射角 θ_1 至少部分地衍射入射光1116作为衍射光束1120。第一波导1004具有第一波导折射率 n_{2-1} ,使得当入射光1116在 $\Delta\alpha_1$ 内入射到表面1008S上时,第一衍射光栅1008以超过在波导1004中发生全内反射(TIR)时的临界角 θ_{TIR-1} 的衍射角衍射入射光1116。所得到的衍射光1120通过TIR沿x轴传播,直到光到达光学元件1012并从其中射出。

[0125] 第一衍射光栅1016至少部分地透射以入射角 α_2 入射到其上并且具有第一颜色和 λ_1 的入射光1124作为透射光1128,透射光1128转而变为入射到具有第二周期 Λ_2 的第二衍射光栅1208上的光1128。第二衍射光栅1208至少部分地以第二衍射角 θ_2 衍射 $\Delta\alpha_2$ 内入射的光1128作为衍射光1232。第二波导1204具有第二波导折射率 n_{2-2} ,使得当光1128在 $\Delta\alpha_2$ 内入射时,第二波导1204以超过在波导1204中发生全内反射时的临界角 θ_{TIR-2} 的衍射角衍射光1128。所得到的衍射光1232通过全内反射(TIR)沿x轴传播,直到光到达光学元件1212并从其中射出。

[0126] 参考图12B,当入射光1216和1214(例如具有第二颜色和 λ_2 的可见光)分别以 $\Delta\alpha_1$ 内的 α_1 和 $\Delta\alpha_2$ 内的 α_2 入射到第一衍射光栅1008上时,第一衍射光栅1008分别将入射光1216和

1214基本上透射成相应的基本上透射光1226和1224。透射光1226和1224转而分别变为以 $\Delta\alpha_1$ 内的 α_1 和 $\Delta\alpha_2$ 内的 α_2 入射在第二衍射光栅1208上。第二波导1204具有第二波导折射率 n_{2-2} ,使得当光1216在 $\Delta\alpha_1$ 内入射到表面1208S上时,衍射光栅1208以超过在第二波导1204中发生全内反射时的临界角 θ_{TIR-2} 的衍射角衍射光1226,从而使得衍射光1236通过全内反射(TIR)沿x轴传播,直到光到达光学元件1212并从其中射出。

[0127] 因此,通过堆叠其上形成有具有第一周期 Λ_1 的第一衍射光栅1008的第一波导1004和其上形成有具有第二周期 Λ_2 的第二衍射光栅1208的第二波导1204,第一衍射光栅1008被配置为衍射在 $\Delta\alpha_1$ 内具有第一颜色和 λ_1 的光,第二衍射光栅1208被配置为衍射在 $\Delta\alpha_2$ 内具有第一颜色和 λ_1 的光,并且第二衍射光栅1208被进一步配置为衍射在至少 $\Delta\alpha_1$ 内具有第二颜色和 λ_2 的光。所得到的堆叠具有组合的FOV,该组合的FOV大于组成波导1004、1204的相应视场(FOV) $\Delta\alpha_1$ 、 $\Delta\alpha_2$ 。此外,第二波导传播多于一种颜色,从而潜在地减少堆叠中的波导数量。

[0128] 在所示实施例中,参考图12A,为了使组合的FOV具有高衍射效率,将理解,第一衍射光栅1008被配置为以高衍射效率衍射在 $\Delta\alpha_1$ 内具有第一颜色的入射光1116,同时被配置为至少部分地透射 $\Delta\alpha_2$ 内具有第一颜色的入射光1124。此外,参考图12B,第一衍射光栅1008被配置为分别基本上透射在 $\Delta\alpha_1$ 和 $\Delta\alpha_2$ 内具有第二颜色的入射光1216、1214。另外,第二衍射光栅1208被配置为以高衍射效率衍射其在 $\Delta\alpha_2$ 内的具有第一颜色的入射光1128,以及至少在 $\Delta\alpha_2$ 内具有第二颜色的光1226。根据实施例,当被配置为以高效率衍射光时,第一和/或第二衍射光栅1008和/或1208被配置为以超过约20%、40%、60%或80%或根据实施例具有由这些值中的任何值定义的任何范围内的百分比的衍射效率,衍射在 $\Delta\alpha_1$ 或 $\Delta\alpha_2$ 内的入射光。根据实施例,当被配置为基本上透射光时,第一衍射光栅1008被配置为以超过约20%、40%、60%或80%或根据实施例具有由这些值中的任何值定义的任何范围内的百分比的透射效率,透射在 $\Delta\alpha_1$ 或 $\Delta\alpha_2$ 内的入射光。

[0129] 仍然参考图12A和12B,在一些实施例中,第二颜色对应于与第一颜色相比具有较长波长的颜色。例如,当第二颜色是红色时,第一颜色可以是绿色(或蓝色),而当第二颜色是绿色时,第一颜色可以是蓝色。这种布置允许上面讨论的第一衍射光栅1008的透射性。然而,实施例不限于此,并且在一些其它实施例中,第二颜色可以对应于与第一颜色相比具有较短波长的颜色。

[0130] 在一些实施例中, $\Delta\alpha_1$ 和 $\Delta\alpha_2$ 可以部分地重叠。根据实施例, $\Delta\alpha_1$ 和 $\Delta\alpha_2$ 基于 $\Delta\alpha_1$ 或 $\Delta\alpha_2$ 而重叠小于20%、40%、60%或80%或重叠由这些值中的任何值定义的任何范围内的百分比,或根据实施例重叠小于5°、10°、15°或20°或重叠由这些值中的任何值定义的范围内的值。

[0131] 在一个示例中,第一波导1004可以被配置为具有 $\Lambda_1=380\text{nm}$ 的第一衍射光栅1008以将具有从-5至20度的 α_1 (即, $\Delta\alpha_1=25$ 度)的绿光(例如,530nm)耦合到第一波导1004中。第二波导1204可以被配置为具有 $\Lambda_2=465\text{nm}$ 的第二衍射光栅1208以将具有从-20至5度的 α_2 (即, $\Delta\alpha_2=25$ 度)的绿光(例如,530nm)耦合到第二波导1204中。所得到的组合的FOV为40度,这是对 $\Delta\alpha_1=25$ 度或 $\Delta\alpha_2=25$ 度的显著改进。另外,被配置为具有 $\Lambda_2=465\text{nm}$ 的第二衍射光栅1208的第二波导1204可以将具有从-5至20度的 α_1 (即, $\Delta\alpha_1=25$ 度)的红光(例如,650nm)耦合到第二波导1204中。因此,该堆叠可用于投射具有40度的组合的FOV的绿色图像

(例如,在530nm处),以及具有25度的FOV的红色图像(例如,在650nm处)。

[0132] 图13A至13C示意性地示出了根据实施例的在操作中以类似于上面参考图12A和12B所示的配置组合或堆叠波导而给用户的视觉效果。根据实施例,图13A示出了显示装置1200A的示意性透视图,显示装置1200A包括类似于第一波导(图12A、12B中的1012)配置的波导,图13B示出了显示装置1200B的示意性透视图,显示装置1200B包括类似于第二波导(图12A中的1112和图12B中的1212)配置的波导,图13C示出了显示装置1200的示意性透视图,显示装置1200包括被配置为增加的组合的有效视场(FOV)的堆叠波导(图11中的1100、图12中的1200)。在操作中,如上所述,第一组成波导(1012,图13A)和第二组成波导(1212,图13B)被配置为接收包含在入射光1116(图13A)、1124(图13B)中的给定颜色的输入图像信息,所述入射光在相应FOV $\Delta\alpha_1$ 和 $\Delta\alpha_2$ 内入射到显示装置上。参考图13C,当第一和第二波导1012、1212被堆叠时,具有第一颜色(例如,绿色)和 λ_1 的入射光1116、1124通过被相应衍射光栅1008、1208衍射而被耦入到波导1004、1204中,从而通过TIR在相应波导1004、1204内传播。衍射光1120、1232随后照射在相应光分布元件1010、1210上。光分布元件1010、1210使光发生偏转,使得它们朝向耦出光学元件1012、1212传播,以分别作为耦出光1140、1148被耦出。下面描述堆叠波导给用户的视觉效果。

[0133] 图13A示出了显示装置1200A和所得到的图像1144的示意图,仅出于说明的目的,显示装置1200A只包括图12A和12B所示的显示装置1200的第一波导1004,其中波导1004具有形成于其上的具有第一周期 Λ_1 的第一衍射光栅1008。因为波导1004被配置为耦入 $\Delta\alpha_1$ 内的入射光1116,而在 $\Delta\alpha_2$ 内的入射光1124中另外包含输入图像信息,因此,所得到的图像1144仅包含第一颜色(例如,绿色)的输入信息的一部分。

[0134] 图13B示出了显示装置1200B和所得到的图像1152的示意图,仅出于说明的目的,显示装置1200B只包括图12A和12B所示的显示装置1200的第二波导1204,其中波导1204具有形成于其上的具有第二周期 Λ_2 的第二衍射光栅1208。因为波导1204被配置为耦入 $\Delta\alpha_2$ 内的入射光1124,而在 $\Delta\alpha_1$ 内的入射光1116中另外包含输入图像信息,因此,所得到的图像1144仅包含第一颜色(例如,绿色)的输入信息的一部分。

[0135] 图13C示出了显示装置1200的示意图,显示装置1200包括与图12A和12B所示的类似的堆叠的第一和第二波导1004和1204,其中波导1004具有形成于其上的具有第一周期 Λ_1 的第一衍射光栅1008,并且其中波导1204具有形成于其上的具有第二周期 Λ_2 的第二衍射光栅1208。因为第一和第二波导1004、1204的组合被配置为耦入 $\Delta\alpha_1$ 内的具有第一颜色的入射光1116以及 $\Delta\alpha_2$ 内的具有第一颜色的入射光1124,所以,所得到的图像1160包含来自第一和第二波导1004和1204的第一颜色(例如,绿色)的信息的总和。

[0136] 图14A和14B分别示出了根据实施例的显示装置1400A和1400B的横截面图,显示装置1400A和1400B中的每一者包括其上形成有相应衍射光栅1008、1208、1308、1408的多个堆叠波导1004、1204、1304、1404,其中堆叠波导被配置为用于增加具有可见波长范围内的多种颜色的光的组合的有效视场(FOV)。根据一些实施例,堆叠波导被配置为具有组合或聚合视场(FOV),该组合或聚合视场(FOV)大于组成波导1004、1204、1304、1404的相应视场(FOV)。显示装置1400A和1400B彼此类似,只是显示装置1400A具有面向入射光的衍射光栅1008、1208、1308、1408,而显示装置1400B具有背对入射光的衍射光栅1008、1208、1308、1408。显示装置的工作原理在1400A和1400B之间类似,并且将在此一起描述。

[0137] 类似于上面参考图12A和12B所示的显示装置1200,显示装置1400A和1400B包括其上设置有第一衍射光栅1008的第一波导1004、其上设置有第二衍射光栅1208的第二波导1204,其上设置有第三衍射光栅1308的第三波导1304,以及其上设置有第四衍射光栅1408的第四波导1404。第一至第四衍射光栅1008、1208、1308、1408具有第一至第四周期 Λ_1 、 Λ_2 、 Λ_3 、 Λ_4 。为清楚起见,在此省略了与先前实施例(例如,1012,图12A、12B)类似的另外的光学元件。在此省略了与上面参考图12A和12B所示的显示装置1200相同或相似的显示装置1400A和1400B的其它类似布置。

[0138] 在操作中,关于具有 λ_1 的光的耦合,当入射光1116(例如,各自具有第一颜色和 λ_1 的可见光)以入射角 α_1 入射到第一衍射光栅1008上时,第一衍射光栅1008至少部分地衍射入射光1116。具体地说,第一波导1004具有第一波导折射率 n_{2-1} ,使得当入射光1116在 $\Delta\alpha_1$ 内入射到其表面上时,第一波导1004以超过在波导1004中发生全内反射时的临界角 $\theta_{\text{TIR-1}}$ 的衍射角衍射入射光1116,从而使得衍射光1120通过全内反射(TIR)沿x轴传播。

[0139] 第一衍射光栅1008至少部分地透射具有第一颜色和 λ_1 的入射光1124,入射光1124转而变为以入射角 α_2 入射到具有第二周期 Λ_2 的第二衍射光栅1208上。第二衍射光栅1208至少部分地衍射 $\Delta\alpha_2$ 内具有第一颜色和波长的光1224作为衍射光1232。具体地说,第二波导1204具有第二波导折射率 n_{2-2} ,使得当具有第一颜色和波长的光1128在 $\Delta\alpha_2$ 内入射到表面1208S上时,第二波导1204以超过在第二波导1204中发生全内反射时的临界角 $\theta_{\text{TIR-2}}$ 的衍射角衍射光1124,从而使得衍射光1232通过全内反射(TIR)沿x轴传播。

[0140] 关于具有 λ_2 的光的耦合,当入射光1226和1224(例如,具有第二颜色和 λ_2 的可见光)入射到第一衍射光栅1008上时,第一衍射光栅1008基本上透射入射光1226和1224,入射光1226和1224转而变为分别以 $\Delta\alpha_1$ 内的 α_1 和 $\Delta\alpha_2$ 内的 α_2 入射到第二衍射光栅1208上。第二波导1204具有第二波导折射率 n_{2-2} ,使得当具有第二颜色和波长的光1226在 $\Delta\alpha_1$ 内入射到其表面上时,第二波导1204以超过在第二波导1204中发生全内反射时的临界角 $\theta_{\text{TIR-2}}$ 的衍射角衍射具有第二颜色和波长的光1226,从而使得具有第二颜色和波长的衍射光1236通过全内反射(TIR)沿x轴传播。另一方面,第二衍射光栅1208基本上透射具有第二颜色和波长的光1224,光1224转而变为以 $\Delta\alpha_2$ 内的 α_2 入射到第三衍射光栅1308上。第三波导1304具有第三波导折射率 n_{2-3} ,使得当具有第二颜色和波长的光1224在 $\Delta\alpha_2$ 内入射到其表面上时,第三波导1304以超过在第三波导1304中发生全内反射时的临界角 $\theta_{\text{TIR-3}}$ 的衍射角衍射具有第二颜色和波长的光1224,从而使得具有第二颜色和波长的衍射光1324通过全内反射(TIR)沿x轴传播。

[0141] 关于具有 λ_3 的光的耦合,当入射光1316和1324(例如,具有第三颜色和 λ_3 的可见光)入射到第一和第二衍射光栅1008、1208上时,第一和

[0142] 第二衍射光栅1008、1208基本上透射入射光1316和1324,入射光1316和1324转而分别以 $\Delta\alpha_1$ 内的 α_1 和 $\Delta\alpha_2$ 内的 α_2 入射到第三衍射光栅1308上。第三波导1304具有第三波导折射率 n_{2-3} ,使得当光1316在 $\Delta\alpha_1$ 内入射到其表面上时,第三波导1304以超过在第三波导1304中发生全内反射时的临界角 $\theta_{\text{TIR-3}}$ 的衍射角衍射光1316,从而使得衍射光1328通过全内反射(TIR)沿x轴传播。另一方面,第三衍射光栅1308基本上透射光1324,光1324转而以 $\Delta\alpha_2$ 内的 α_2 入射到第四衍射光栅1408上。第四波导1404具有第四波导折射率 n_{2-4} ,使得当光1324在 $\Delta\alpha_2$ 内入射到其表面上时,第四波导1404以超过在第四波导1404中发生全内反射时的临

界面角 $\theta_{\text{TIR-4}}$ 的衍射角衍射光1324,从而使得衍射光1332通过全内反射(TIR)沿x轴传播。

[0143] 仍然参考图14A和14B,在一些实施例中, λ_3 对应于与 λ_2 相比具有更长波长的颜色, λ_2 对应于与 λ_1 相比具有更长波长的颜色。例如, λ_3 对应于红色, λ_2 对应于绿色, λ_1 对应于蓝色。在某些情况下,第一至第四周期 Λ_1 、 Λ_2 、 Λ_3 、 Λ_4 可具有在光传播方向上减小的值。例如, Λ_1 可以具有与上述被配置为衍射蓝光的衍射光栅对应的适当值, Λ_2 可以具有与上述被配置为衍射例如绿色(和蓝色)光的衍射光栅对应的适当值,并且 Λ_3 和 Λ_4 可以分别具有与上述被配置为衍射红色(和绿色)光的衍射光栅对应的适当值。然而,实施例不限于此,并且在一些其它实施例中, Λ_1 、 Λ_2 、 Λ_3 、 Λ_4 可以具有在光传播方向上增加的值或具有随机顺序的值。

[0144] 因此,通过堆叠其上形成有具有相应周期 Λ_1 、 Λ_2 、 Λ_3 、 Λ_4 的相应衍射光栅1008、1208、1308、1408的第一至第四波导1004、1204、1304、1404,第一波导1004被配置为衍射 $\Delta\alpha_1$ 内具有第一颜色和 λ_1 的光,并且第二波导1204被配置为衍射 $\Delta\alpha_2$ 内具有第一颜色和 λ_1 的光,使得针对具有 λ_1 处的第一颜色(例如,蓝色)的光,实现大于第一和第二组成波导1004、1204的相应视场FOV $\Delta\alpha_1$ 、 $\Delta\alpha_2$ 的组合的FOV。类似地,第二波导1204被配置为衍射 $\Delta\alpha_1$ 内具有第二颜色和 λ_2 的光,并且第三波导1304被配置为衍射 $\Delta\alpha_2$ 内具有第二颜色和 λ_2 的光,使得针对具有 λ_2 处的第二颜色(例如,绿色)的光,实现大于第二和第三组成波导1204、1304的相应视场FOV $\Delta\alpha_1$ 、 $\Delta\alpha_2$ 的组合的FOV。类似地,第三波导1304被配置为衍射 $\Delta\alpha_1$ 内具有第三颜色和 λ_2 的光,并且第四波导1404被配置为衍射 $\Delta\alpha_2$ 内具有第三颜色 λ_3 的光,使得针对具有 λ_3 处的第三颜色(例如,红色)的光,实现大于第三和第四组成波导1304、1404的相应视场FOV $\Delta\alpha_1$ 、 $\Delta\alpha_2$ 的组合的FOV。

[0145] 值得注意的是,一些波导对多种颜色和相应的波长执行操作。在某些情况下,因此可以使用较少的波导。因此,堆叠可以更简单、可能更小、更轻且更便宜,或者至少复杂性较低。

[0146] 基于液晶基衍射光栅的具有组合视场的堆叠波导

[0147] 如上所述,各种实施例包括形成于彼此之上(即采取堆叠配置)的多个波导,这些波导具有形成于其上的相应衍射光栅,其中相应衍射光栅被配置为将入射到其上的可见光衍射到相应波导中,使得被衍射到相应波导中的可见光在每个相应波导内传播。相应衍射光栅被配置为将相对于相应波导的层法线方向的相应视场(FOV)内的可见光衍射到相应波导中,其中相应FOV使得波导具有组合的FOV,该组合的FOV是连续的并且大于相应FOV中的每一者。在下文中,描述了基于液晶的衍射光栅和具有液晶衍射光栅的波导的实施例。波导和衍射光栅被配置为实现上述特定布置,其中包括衍射和透射的波长选择性,以及它们的FOV,用于形成具有组合的FOV的堆叠波导。

[0148] 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某种程度的结构顺序。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实施为各种物理状态(例如相),其中包括向列态/相、近晶态/相、手性向列态/相,或手性近晶态/相。

[0149] 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。

[0150] 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。

[0151] 在本文和整个公开中,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 $\underline{n}$ 来描述液晶分子的优先取向的方向。

[0152] 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(alignment direction)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。

[0153] 在本文和整个公开中,使用方位角或旋转角 Ψ 描述围绕层法线方向或者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,伸长方向或指向矢的方向)和平行于该主表面的方向(例如,y方向)之间测量。

[0154] 在本文和整个公开中,当诸如旋转角 Ψ 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。

[0155] 在本文和整个说明书中,占空比例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的第一横向尺寸与包含该第一区域的区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。

[0156] 如本文所述,处于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的扭转(twisting),其中分子轴平行于指向矢。相邻分子之间的有限扭转角源于其不对称堆积,这导致较长程手性顺序。

[0157] 如本文所述,可以将处于手性近晶态或相的液晶配置为使得液晶分子在层叠结构中位置有序,其中分子相对于层法线倾斜有限角度。另外,手性可以引起在层法线方向上从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。

[0158] 如本文和整个公开所述,手性结构是指处于胆甾相的多个液晶分子,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(例如,顺时针或逆时针旋转)上连续旋转或扭转。在一个方面,处于手性结构的液晶分子的指向矢可以被表征为具有螺距的螺旋。

[0159] 如本文所述,显示手性的处于胆甾相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历完全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加入液晶主体时改变(如果被手性材料掺杂,则非手

性液体主体材料可以形成手性相),从而允许相应地调整给定材料的螺距(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),其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,并且可以被描述为具有净扭转角或净旋转角,其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)在最上面的液晶分子和最下面的液晶分子之间的相对方位角旋转。

[0160] 根据本文描述的各种实施例,具有上述各种态或相的液晶可以被配置为提供各种期望的材料特性,其中包括例如双折射、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,可以制成呈现出空间变化的衍射特性(例如,梯度衍射效率)的光栅结构。

[0161] 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)。

[0162] 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。

[0163] 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结构,例如衍射光栅,其材料特性(包括双折射,手性和多次涂覆容易性)可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。

[0164] 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。

[0165] 在下文中,描述了针对各种光学特性优化的胆甾型液晶衍射光栅(CLCG)的各种实施例。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行进的若干光束。这些光束的方向尤其取决于周期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),对于诸如耦入光学元件(图12A和12B中的1008、1208)或耦出光学元件(图12A和12B中的1012、1212)之类的某些应用,可以如下所述优化CLC的各种材料特性。

[0166] 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)。

[0167] 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。

[0168] 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:

$$[0169] \quad \lambda \cong np \quad [2]$$

[0170] 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:

$$[0171] \quad \Delta \lambda = \Delta n \cdot p \quad [3]$$

[0172] 在本文所述的各种实施例中,带宽 $\Delta \lambda$ 为约60nm,约80nm或约100nm。

[0173] 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。

[0174] 图15示出了根据实施例的被配置为以离轴入射角,例如,入射到类似于上面参考图12A和12B所示的显示装置上的光的 $\Delta \alpha_1$ 内的离轴角 α_1 或 $\Delta \alpha_2$ 内的离轴角 α_2 , 进行高带宽反射的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:

$$[0175] \quad n \cdot \sin(\theta) = \lambda/\Lambda + \sin(\theta_{inc}) \quad [4]$$

[0176] 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。

[0177] 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 。

[0178] 图16A和16B示出了根据实施例的被配置为以离轴入射角,例如,入射到类似于上面参考图12A和12B所示的显示装置上的光的 $\Delta \alpha_1$ 内的离轴角 α_1 或 $\Delta \alpha_2$ 内的离轴角 α_2 , 进行反射的CLC层的横截面侧视图。参考图16A,第一胆甾型液晶 (CLC) 层1358A包括具有第一螺距 (p_1) 的第一多个手性结构。第一CLC层1358A具有第一螺距 p_1 , 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 θ_1 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,该第一范围1324A可以对应于入射到上面参考图12A和12B所示的显示装置1200上的光的 $\Delta \alpha_1$ 或 $\Delta \alpha_2$, 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 $\theta_{inc,1} \pm 20^\circ$ 。

[0179] 参考图16B,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16A的第一CLC层1358A的第一螺距 p_1 不同的第二螺距(p_2)。

[0180] 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16A描述的第一范围1324A。

[0181] 如上所述,对于包括光的耦合和耦合出的各种应用,波导装置可以被配置为通过全内反射 (TIR) 传播光。图17示出了光学波导装置1600的示例,其包括耦合到CLCG 1150的波导1604。波导装置1600可以对应于例如上面参考图10描述的显示装置1000,其中波导1604可以对应于波导1004,CLCG 1150对应于衍射光栅1008。CLCG 1150包括如上所述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CLCG1150进行布拉格反射,并以一角度被耦合到波导1604中,使得耦合光通过全内反射 (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:

$$[0182] \quad \sin(\theta_c) = 1/n_t [5]$$

[0183] 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。

[0184] 图18A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 $\theta > \theta_{c3}$ 时通过全内反射 (TIR) 传播具有第三波长 λ_3 的光。波导装置1700A可以对应于例如上面参考图12A和12B描述的显示装置1200,其中波导1704A可以对应于波导1004或1204中的一者,并且其中CLCG 1750A可以对应于衍射光栅1008或1208中的一者。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可以被配置为通过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可以被配置为通过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。如上所述,布拉格反射发生在由上文的等式[2]表示的波长处,以及由上文的等式[3]表示的波长 $\Delta\lambda$ 的带宽内。例如,第一CLCG 1750A可以被设计为通过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[5]而未被耦合到第一波导1704中的颜色,不满足等式[2]。

[0185] 图18B示出了与上面关于图18A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 $\theta > \theta_{c2}$ 时通过全内反

射 (TIR) 传播具有第二波长 λ_2 的光1726。波导装置1700B可以对应于例如上面参考图12A和12B描述的显示装置1200,其中波导1704A和1704B可以分别对应于波导1004或1204,并且其中CLCG 1750A和CLCG 1750B可以分别对应于衍射光栅1008或1208。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 $\theta > \theta_{c2}$ 时通过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。

[0186] 图18C示出了与上面关于图18B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 $\theta > \theta_{c1}$ 时通过全内反射 (TIR) 传播具有第一波长 λ_2 的第一光1716。波导装置1700C可以对应于例如上面参考图14B描述的显示装置1400B,其中波导1704A、1704B和1704C可以分别对应于波导1004、1204或1304,并且其中CLCG 1750A、CLCG 1750B和CLCG 1750C可以分别对应于衍射光栅1008、1208和1308。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 $\theta > \theta_{c1}$ 时通过TIR耦合第一入射光1716,第一入射光1716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[5],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。

[0187] 因此,如上面参考图18A至18C所述,通过将第一、第二和第三光学波导装置1700A,1700B和1700C中的一者或多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中的一者或多者可以被耦合而分别在第一、第二和第三波导1704A、1704B和1704C之一中通过TIR传播。虽然在图18A至18C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CLCG1750A、1750B和1750C,但实施例不限于此。例如,单个波导可以通过TIR耦合来自多个CLCG的堆叠的布拉格反射光。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。

[0188] 如上面参考图18A至18C所述,第一至第三CLCG 1750A、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450nm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390nm,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。

[0189] 其它方面

[0190] 在第1示例中,一种光学装置包括多个波导,所述多个波导形成于彼此之上并且其上形成有相应衍射光栅,其中所述相应衍射光栅被配置为将入射到其上的可见光衍射到相应波导中,使得衍射到所述相应波导中的可见光在其内部传播。所述相应衍射光栅被配置为相对于所述相应波导的层法线方向将相应视场(FOV)内所述可见光衍射到所述相应波导中。所述相应FOV使得所述多个波导被配置为衍射组合的FOV内的可见光,所述组合的FOV是连续的并且大于所述相应FOV中的每一者。

[0191] 在第2示例中,在根据第1示例所述的光学装置中,所述多个波导由其折射率小于所述相应衍射光栅的有效折射率的材料形成,使得衍射到所述相应波导中的所述可见光通过全内反射在其内部传播。

[0192] 在第3示例中,在根据第1或第2示例所述的光学装置中,所述多个波导采取堆叠布置并且被配置为通过全内反射在基本上平行的方向上传播所述可见光。

[0193] 在第4示例中,在根据第1至第3示例所述的光学装置中,所述相应衍射光栅中的不同衍射光栅被设置为在垂直于所述层法线方向的横向方向上彼此重叠。

[0194] 在第5示例中,在根据第1至第4示例中任一项所述的光学装置中,所述相应FOV中的不同FOV重叠不超过基于所述相应FOV中的不同FOV的总和的20%。

[0195] 在第6示例中,在根据第1至第5示例中任一项所述的光学装置中,所述多个波导包括第一波导,所述第一波导上形成有第一衍射光栅,所述第一衍射光栅被配置为部分地衍射以及部分地透射入射到其上的所述可见光,并且所述多个波导包括第二波导,所述第二波导上形成有第二衍射光栅,所述第二衍射光栅被配置为至少部分地衍射入射到其上的从所述第一衍射光栅透射的可见光。

[0196] 在第7示例中,在根据第6示例所述的光学装置中,所述第一衍射光栅和所述第二衍射光栅具有不同的周期,并且被配置为衍射具有不同波长但是具有相同颜色的可见光。

[0197] 在第8示例中,在根据第6示例所述的光学装置中,所述第一衍射光栅和所述第二衍射光栅具有基本相同的周期,并且被配置为衍射具有基本相同的波长的可见光。

[0198] 在第9示例中,在根据第6示例所述的光学装置中,所述第一衍射光栅和所述第二衍射光栅具有不同的周期,并且被配置为衍射具有不同波长和不同颜色的可见光。

[0199] 在第10示例中,在根据第9示例所述的光学装置中,所述第一衍射光栅具有第一周期且被配置为衍射具有第一颜色的可见光,并且所述第二光栅具有第二周期且被配置为衍射具有所述第一颜色的可见光和具有第二颜色的可见光。

[0200] 在第11示例中,在根据第10示例所述的光学装置中,与所述第二颜色相比,所述第一颜色对应于较短的波长。

[0201] 在第12示例中,在根据第10或第11示例所述的光学装置中,所述第一衍射光栅被配置为部分地衍射在第一FOV内入射到其上的具有第一颜色的可见光,并且部分地透射在第二FOV内入射到其上的具有所述第一颜色的可见光,并且所述第二衍射光栅被配置为至少部分地衍射至少部分地透射通过所述第一衍射光栅的具有所述第一颜色的可见光。

[0202] 在第13示例中,在根据第12示例所述的光学装置中,所述第一衍射光栅被配置为基本上透射具有所述第二颜色的可见光,并且所述第二衍射光栅被配置为至少部分地衍射在所述第一FOV内入射的具有所述第二颜色的可见光。

[0203] 在第14示例中,在根据第13示例所述的光学装置中,所述光学装置进一步包括第三波导,所述第三波导上形成有第三衍射光栅,所述第三衍射光栅具有第三周期且被配置为衍射具有第三颜色的可见光,其中与所述第三颜色相比,所述第二颜色对应于较短的波长。

[0204] 在第15示例中,在根据第14示例所述的光学装置中,所述第二衍射光栅被配置为至少部分地透射具有所述第二颜色的可见光,并且所述第三衍射光栅被配置为接收且至少部分地衍射在所述第二FOV内从所述第二衍射光栅至少部分地透射的具有所述第二颜色的可见光。

[0205] 在第16示例中,在根据第15示例所述的光学装置中,所述第一衍射光栅和所述第二衍射光栅被配置为基本上透射具有所述第三颜色的可见光,并且所述第三衍射光栅被配置为至少部分地衍射在所述第一FOV内透射通过所述第一衍射光栅和所述第二衍射光栅的具有所述第三颜色的可见光。

[0206] 在第17示例中,一种光学系统包括第一波导,所述第一波导上形成有第一衍射光栅。所述第一衍射光栅具有第一周期,并且被配置为衍射在第一FOV内具有第一颜色并且入射到所述第一波导上的光。所述光学系统另外包括第二波导,所述第二波导上形成有第二衍射光栅。所述第二衍射光栅具有第二周期,并且被配置为衍射在第二FOV内具有所述第一颜色并且入射到所述第二波导上的光。所述第一衍射光栅和所述第二衍射光栅被配置为相对于相应波导的层法线方向将相应视场(FOV)内具有所述第一颜色的光衍射到所述相应波导中。所述相应FOV使得所述第一波导和所述第二波导被配置为衍射组合的FOV内具有所述第一颜色的可见光,所述组合的FOV是连续的并且大于所述第一FOV和所述第二FOV中的每一者。

[0207] 在第18示例中,在根据第17示例所述的光学系统中,所述第一波导和所述第二波导采取堆叠配置,所述第一波导被配置为在所述第二波导之前接收具有所述第一颜色的光,并且所述第一周期比所述第二周期短。

[0208] 在第19示例中,在根据第18示例所述的光学系统中,所述第二衍射光栅被配置为在基本上不衍射的情况下基本上透射通过所述第一衍射光栅之后,衍射在所述第二FOV内具有所述第一颜色的光。

[0209] 在第20示例中,在根据第19示例所述的光学系统中,所述第一衍射光栅被配置为在基本上不衍射具有所述第二颜色的光的情况下使该光基本上透射通过所述第一衍射光栅,其中与具有所述第一颜色的光相比,具有所述第二颜色的光具有较长的波长。

[0210] 在第21示例中,在根据第20示例所述的光学系统中,所述第二衍射光栅被配置为衍射在所述第二FOV内具有所述第二颜色的光,以在所述波导中引导该光。

[0211] 在第22示例中,在根据第17示例所述的光学系统中,所述第一衍射光栅和所述第二衍射光栅中的每一者包括胆甾型液晶 (CLC) 层。

[0212] 在第23示例中,在根据第20示例所述的光学系统中,所述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。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地变化。

[0213] 在第24示例中,在根据第20示例所述的光学系统中,每个手性结构包括至少三个沿不同的伸长方向伸长的棒状液晶分子。

[0214] 在第25示例中,一种显示装置包括第一波导,所述第一波导上形成有包括液晶的第一衍射光栅,其中所述第一衍射光栅被配置为将入射到其上的具有第一颜色的光的一部分衍射到所述第一波导中。所述第一衍射光栅另外被配置为使入射到其上的具有所述第一颜色的光的一部分通过。所述第一衍射光栅进一步被配置为使具有第二颜色的光通过。所述显示装置另外包括第二波导,所述第二波导上形成有包括液晶的第二衍射光栅,其中所述第二衍射光栅被配置为将具有所述第二颜色的光衍射到所述第二波导中。所述第二衍射光栅进一步被配置为衍射已经通过所述第一衍射光栅的具有所述第一颜色的光的所述一部分。

[0215] 在第26示例中,在根据第25示例所述的显示装置中,所述第一衍射光栅被配置为衍射在相对于层法线的第一入射角范围内具有所述第一颜色的光,并且所述第一衍射光栅被配置为使在相对于所述层法线的第二入射角范围内具有所述第一颜色的光通过。

[0216] 在第27示例中,在根据第26示例所述的显示装置中,所述第二衍射光栅被配置为衍射所述第一角度范围内入射到其上的具有所述第二颜色的光,并且所述第二衍射光栅被配置为衍射所述第二入射角范围内入射到其上的具有所述第一颜色的光。

[0217] 在第28示例中,在根据第27示例所述的显示装置中,所述第一角度范围和所述第二角度范围重叠不超过基于所述第一角度范围和所述第二角度范围的总和的20%。

[0218] 在第29示例中,在根据第25至第28示例中任一项所述的显示装置中,与所述第二颜色相比,所述第一颜色对应于较短的波长。

[0219] 在第30示例中,在根据第25至第29示例中任一项所述的显示装置中,所述第一衍射光栅包括被布置为在横向方向上具有第一周期的周期性地变化的液晶,并且所述第二衍射光栅包括被布置为在所述横向方向上具有大于所述第一周期的第二周期的周期性地变化的液晶。

[0220] 在第31示例中,在根据第30示例所述的显示装置中,所述第一衍射光栅和所述第二衍射光栅中的一者或两者被配置为衍射具有一波长的光并且在横向方向上具有周期,使得波长/周期比率(λ/Λ)介于约0.3和2.3之间。

[0221] 在第32示例中,在根据第30示例所述的显示装置中,所述第一衍射光栅和所述第二衍射光栅中的一者或两者被配置为衍射具有一波长的光并且具有周期,使得所述周期比所述波长小1nm至250nm。

[0222] 在第33示例中,在根据第25至第32示例中任一项所述的显示装置中,所述液晶包括胆甾型液晶。

[0223] 在第34示例中,在根据第33示例所述的显示装置中,所述第一衍射光栅的液晶的螺距小于所述第二衍射光栅的液晶的螺距。

[0224] 在第35示例中,在根据第25至第34示例中任一项所述的显示装置中,所述第一衍射光栅和所述第二衍射光栅中的一者或两者被配置为透射性地将光衍射到所述相应波导中。

[0225] 在第36示例中,在根据第25至第34示例中任一项所述的显示装置中,所述第一衍射光栅和所述第二衍射光栅中的一者或两者被配置为反射性地将光衍射到所述相应波导中。

[0226] 在第37示例中,在根据第25至第36示例中任一项所述的显示装置中,所述第一颜色是绿色,所述第二颜色是红色。

[0227] 在第38示例中,在根据第25至第36示例中任一项所述的显示装置中,所述第一颜色是蓝色,所述第二颜色是绿色。

[0228] 在第39示例中,一种头戴式显示装置被配置为将光投射到用户的眼睛以显示增强现实图像内容。所述头戴式显示装置包括框架,其被配置为支撑在所述用户的头部上。所述头戴式显示装置另外包括显示器,其设置在所述框架上。所述显示器的至少一部分包括多个波导。所述波导是透明的,并且在所述用户穿戴着所述头戴式显示装置时被设置在所述用户的眼睛前方的位置处,使得所述透明部分将来自所述用户的前方环境的一部分的光透射到所述用户的眼睛,以提供所述用户的前方环境的所述一部分的视图。所述显示器进一步包括一个或多个光源和所述显示器中的多个衍射光栅,所述多个衍射光栅被配置为将来自所述光源的光耦合到所述显示器中的波导中。所述显示器中的所述波导和所述衍射光栅包括根据第1至第38示例中任一项所述的波导和衍射光栅。

[0229] 在第40示例中,在根据第39示例所述的装置中,所述一个或多个光源包括光纤扫描投影仪。

[0230] 在第41示例中,在根据第39或第40示例所述的装置中,所述显示器被配置为将光投射到所述用户的眼睛中,以便在多个深度平面上向所述用户呈现图像内容。

[0231] 其它考虑事项

[0232] 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。

[0233] 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”、“包含”、“含有”、“内含”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。

[0234] 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。

[0235] 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。

[0236] 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。

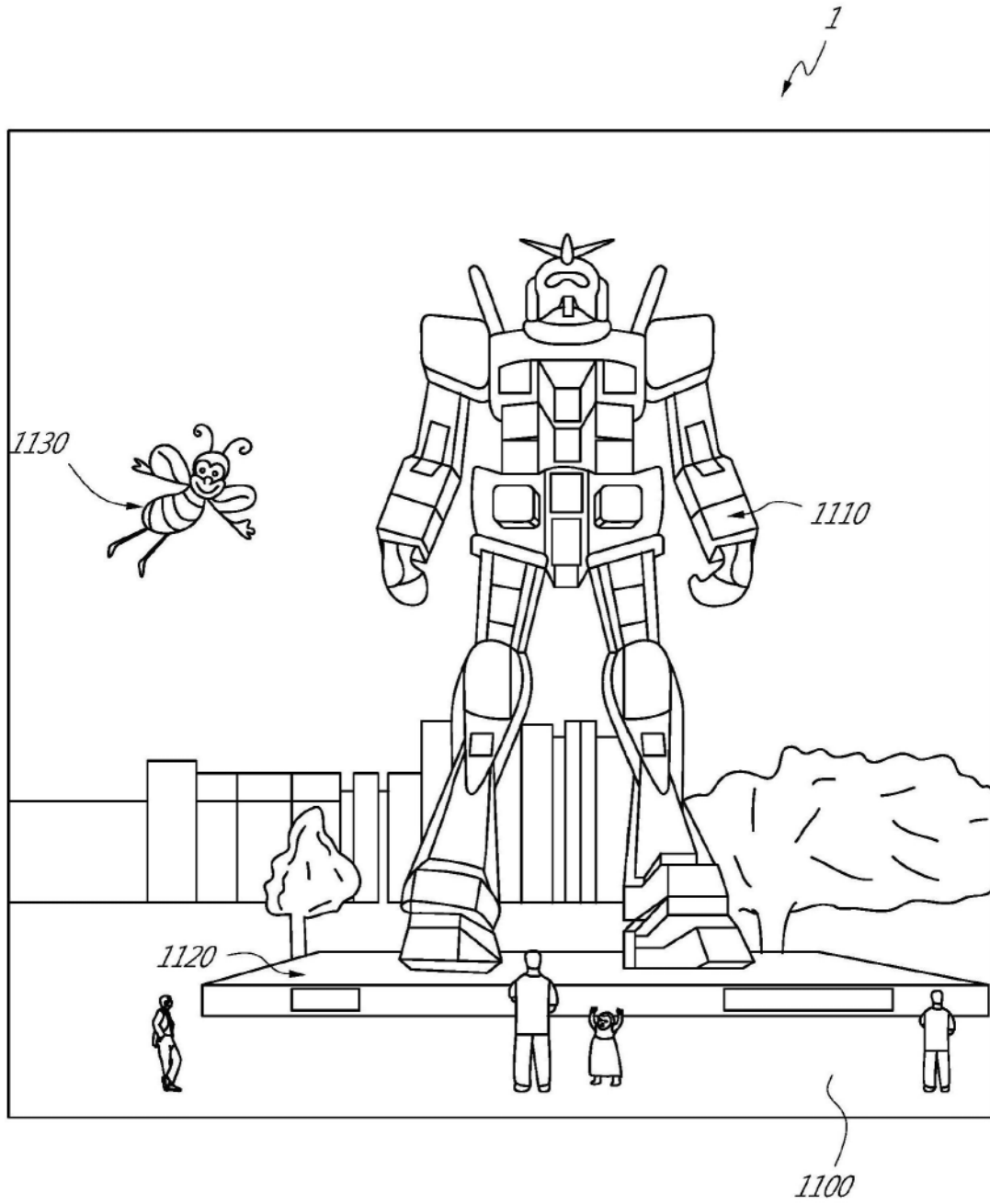


图1

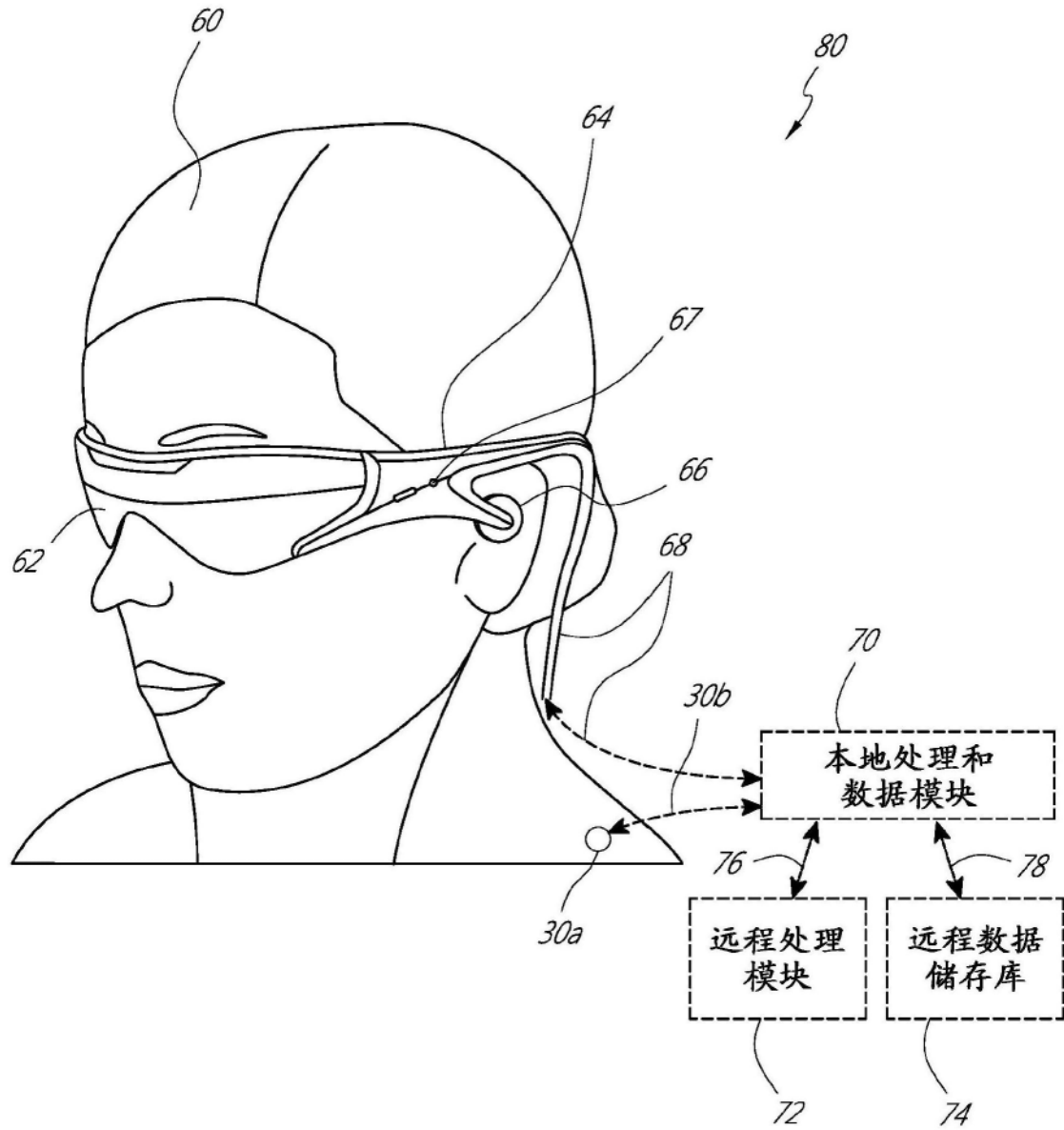


图2

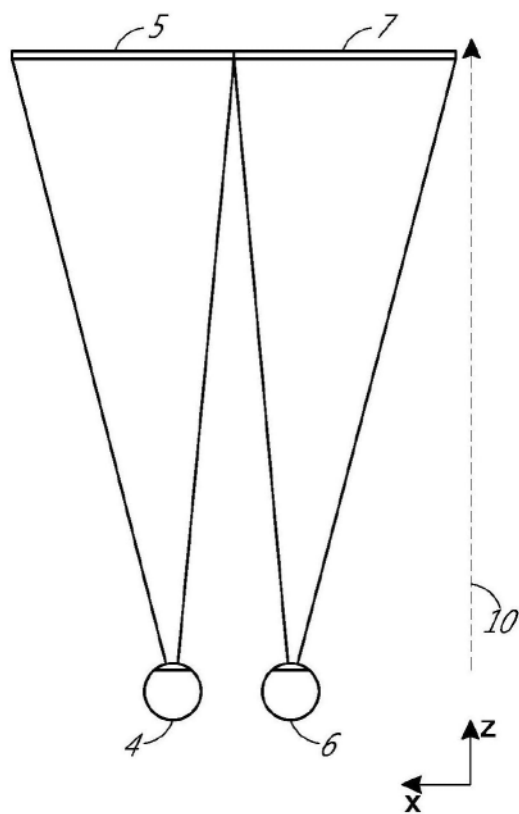


图3

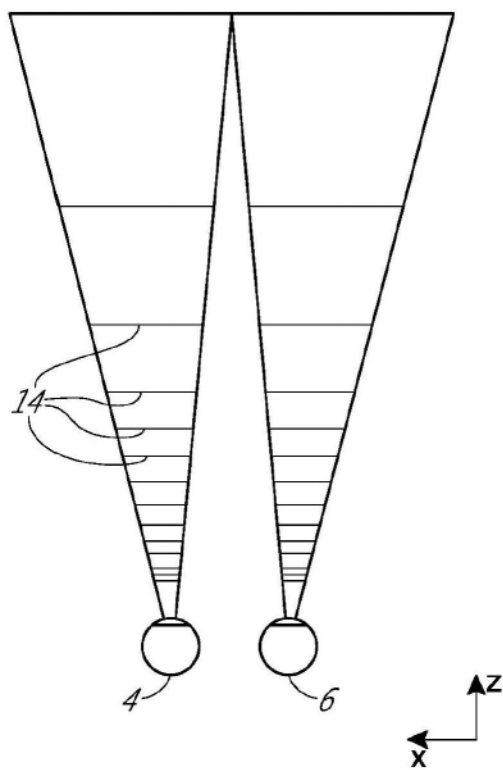


图4

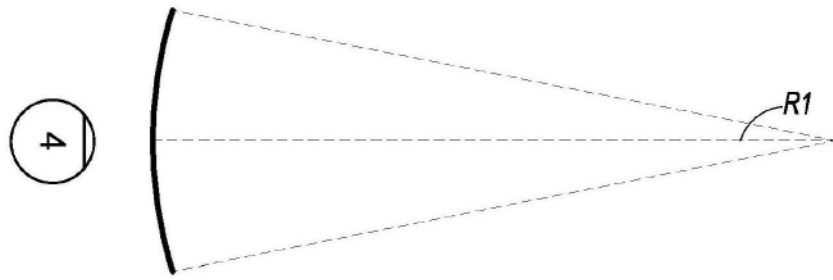


图5A

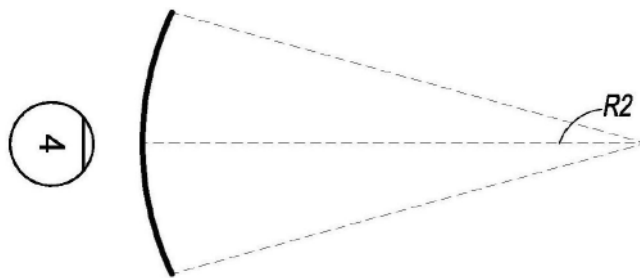


图5B

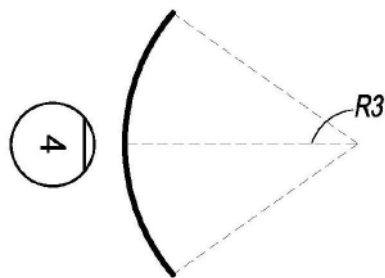


图5C

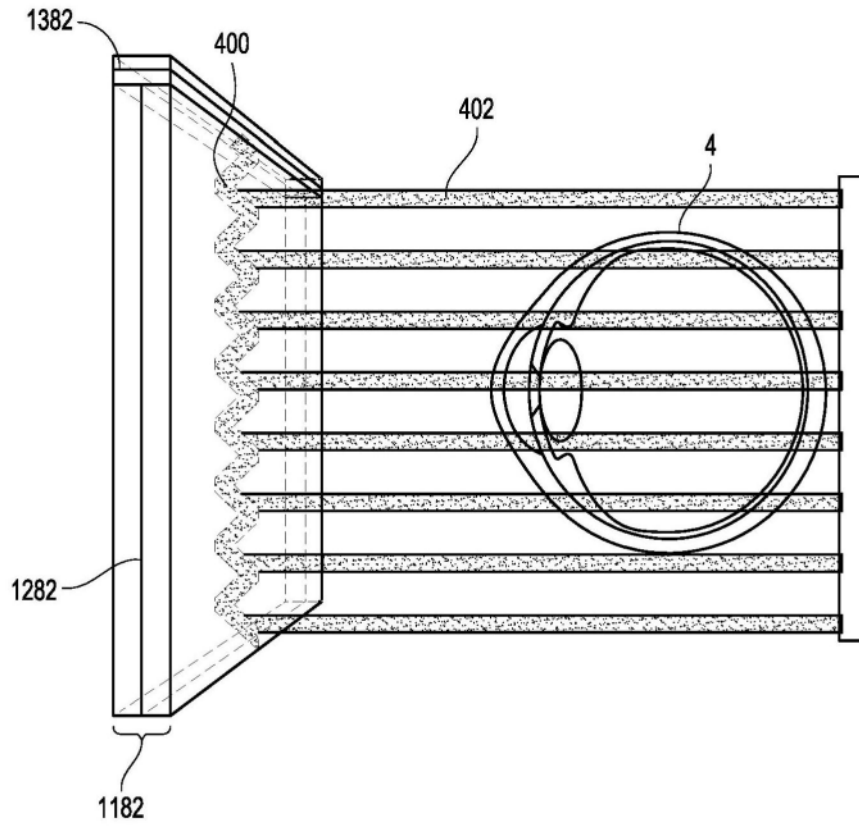


图7

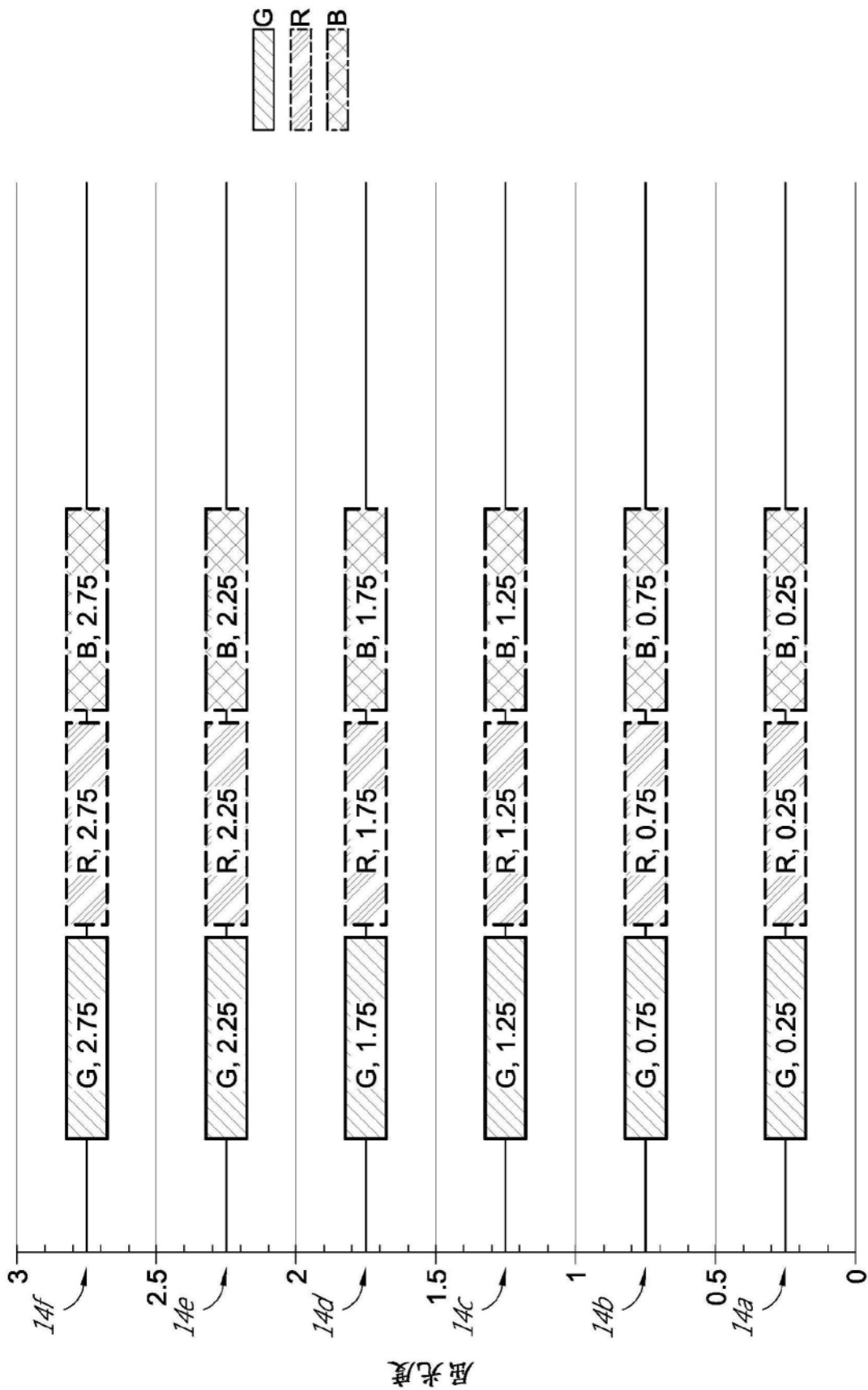


图8

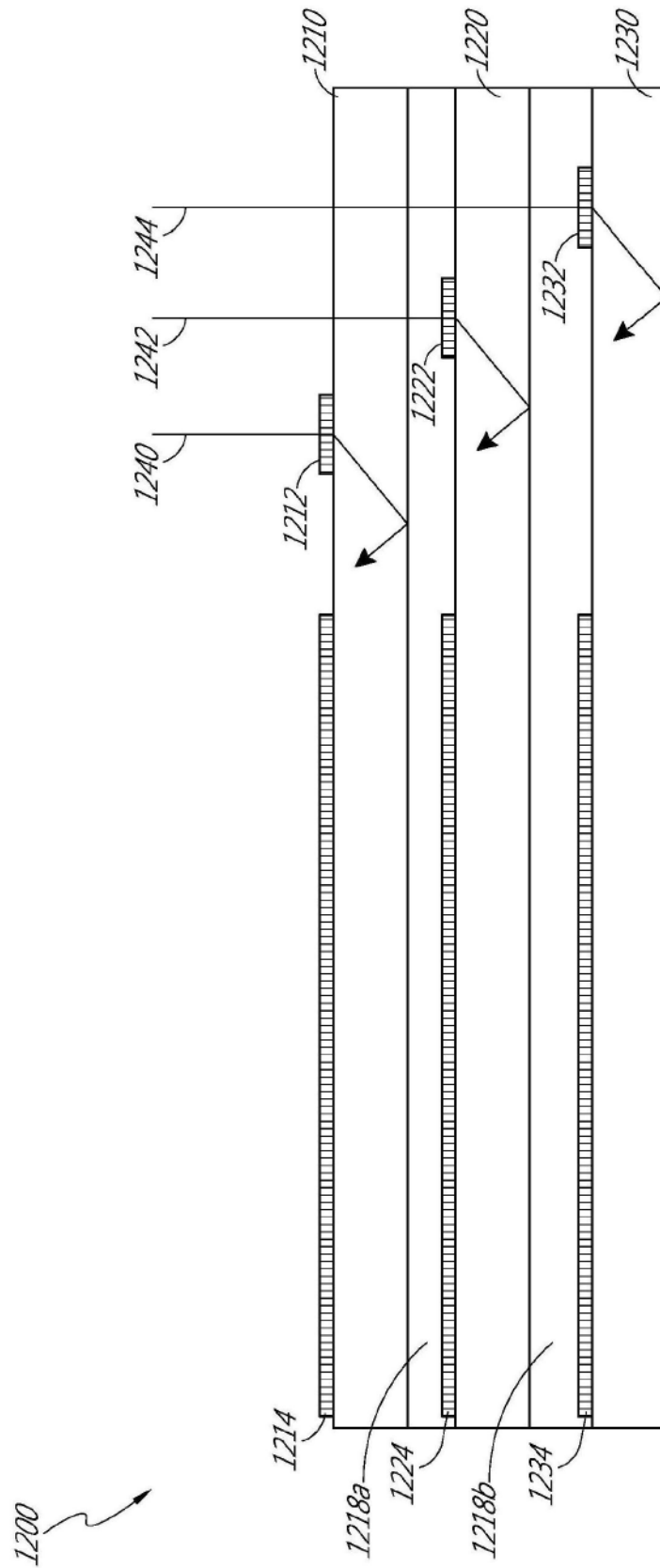


图9A

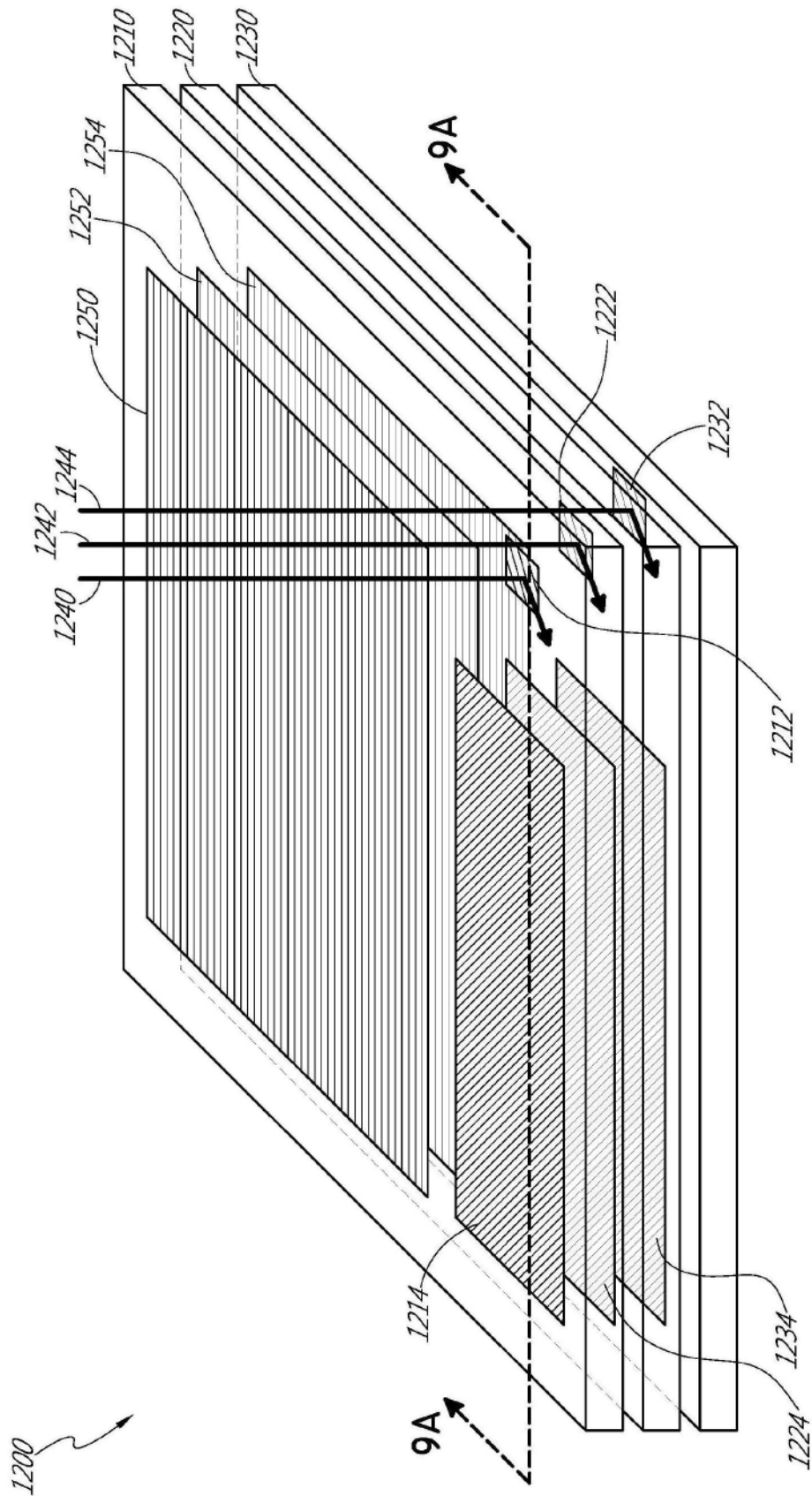


图9B

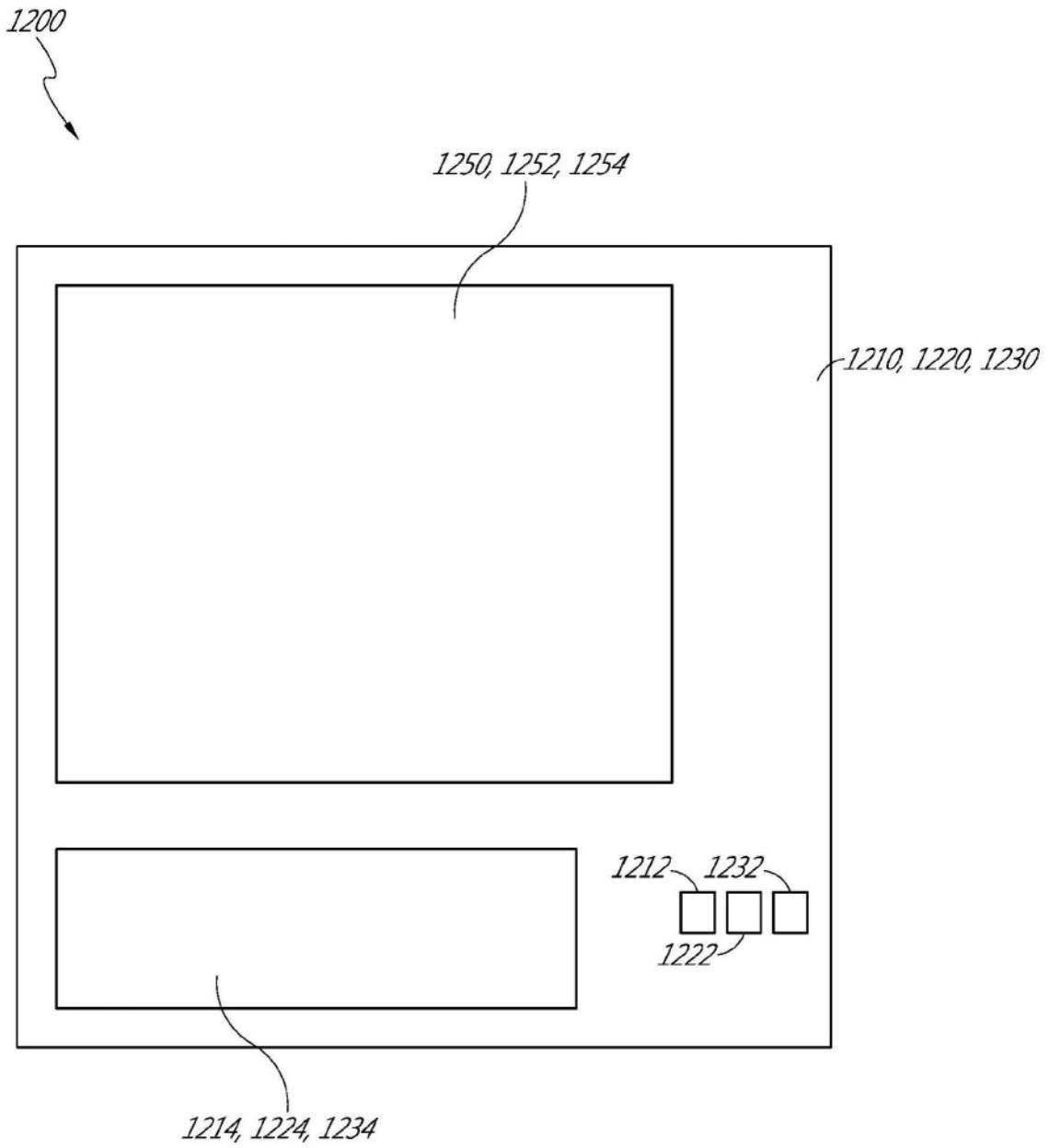


图9C

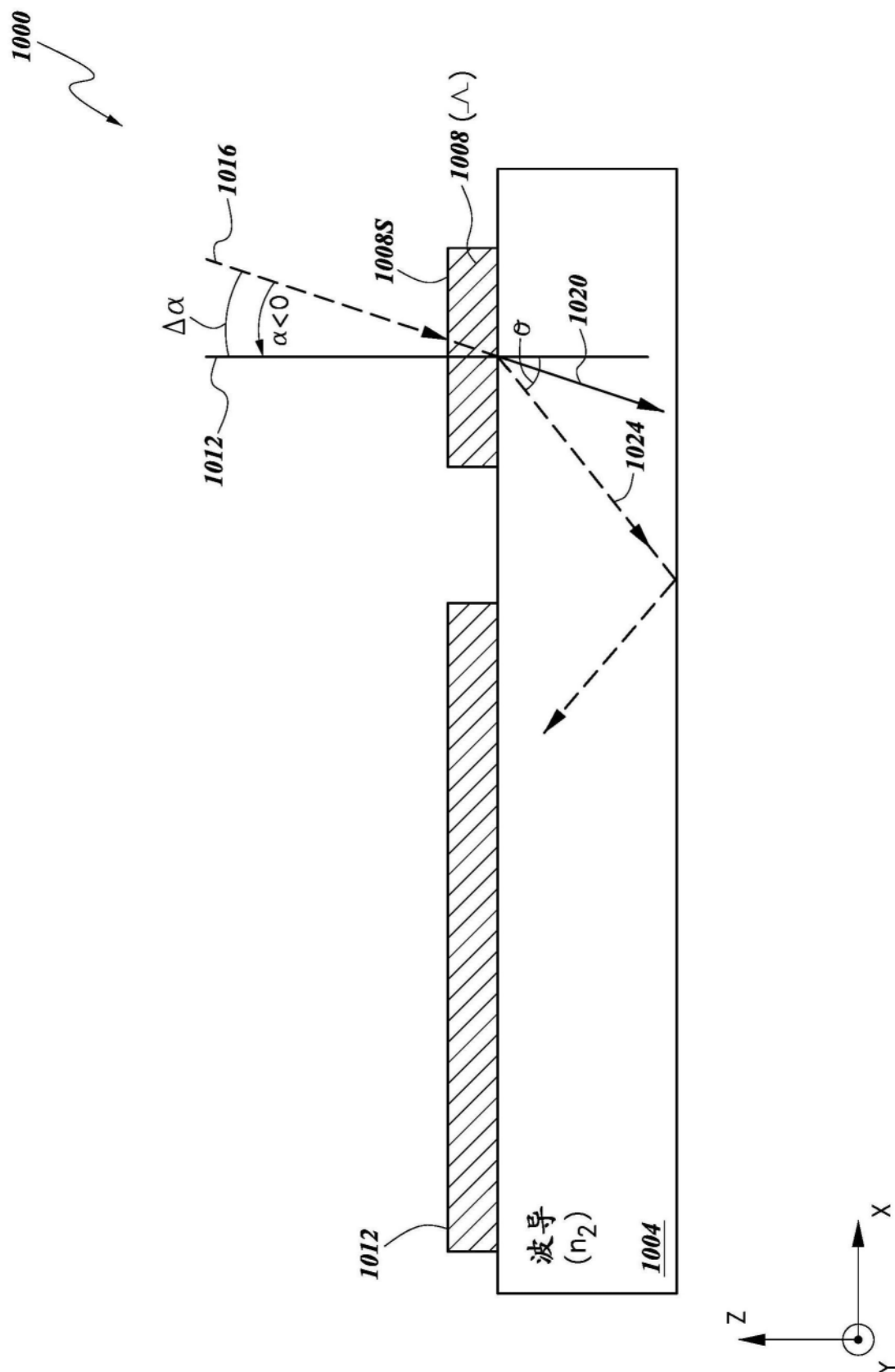


图10

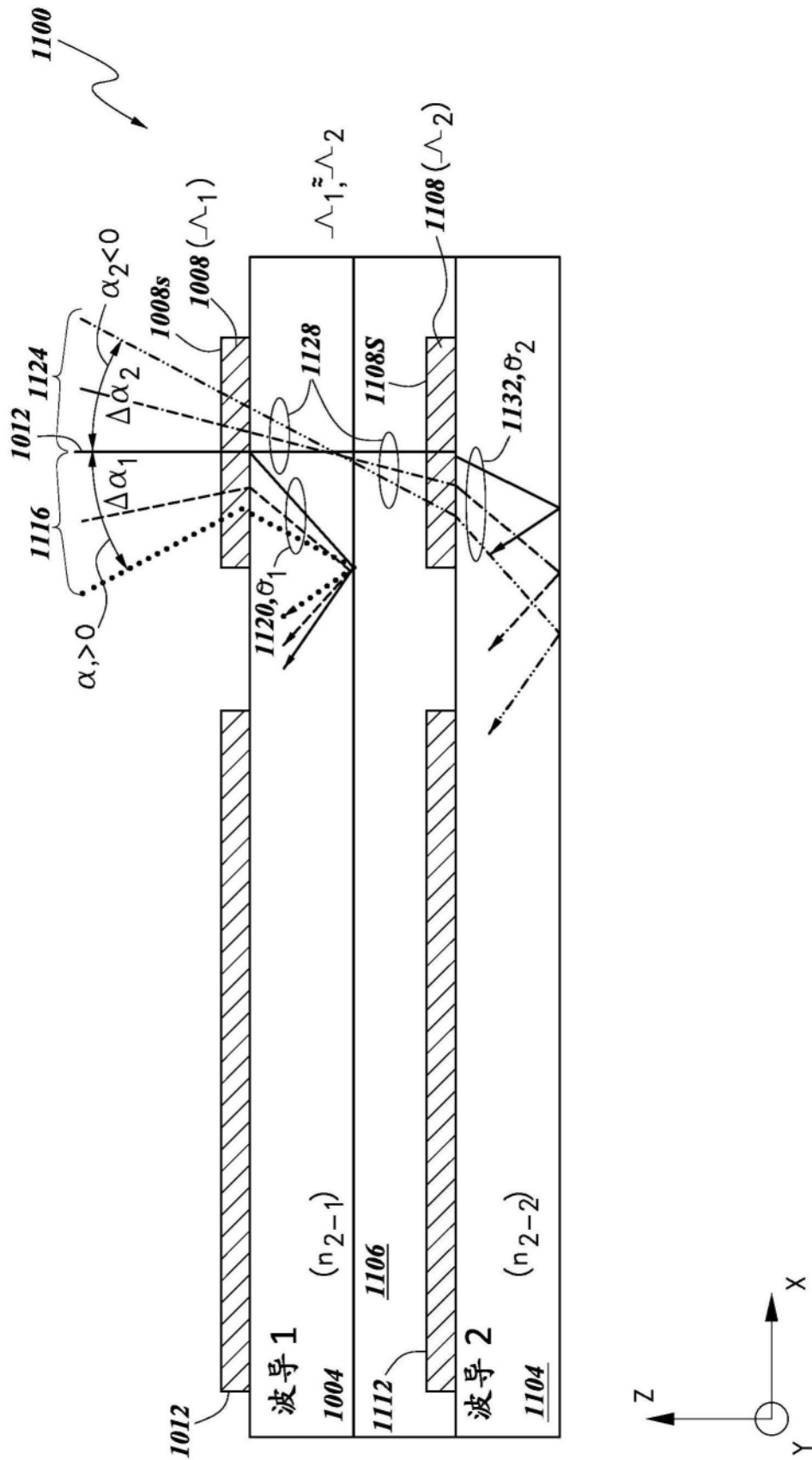


图11

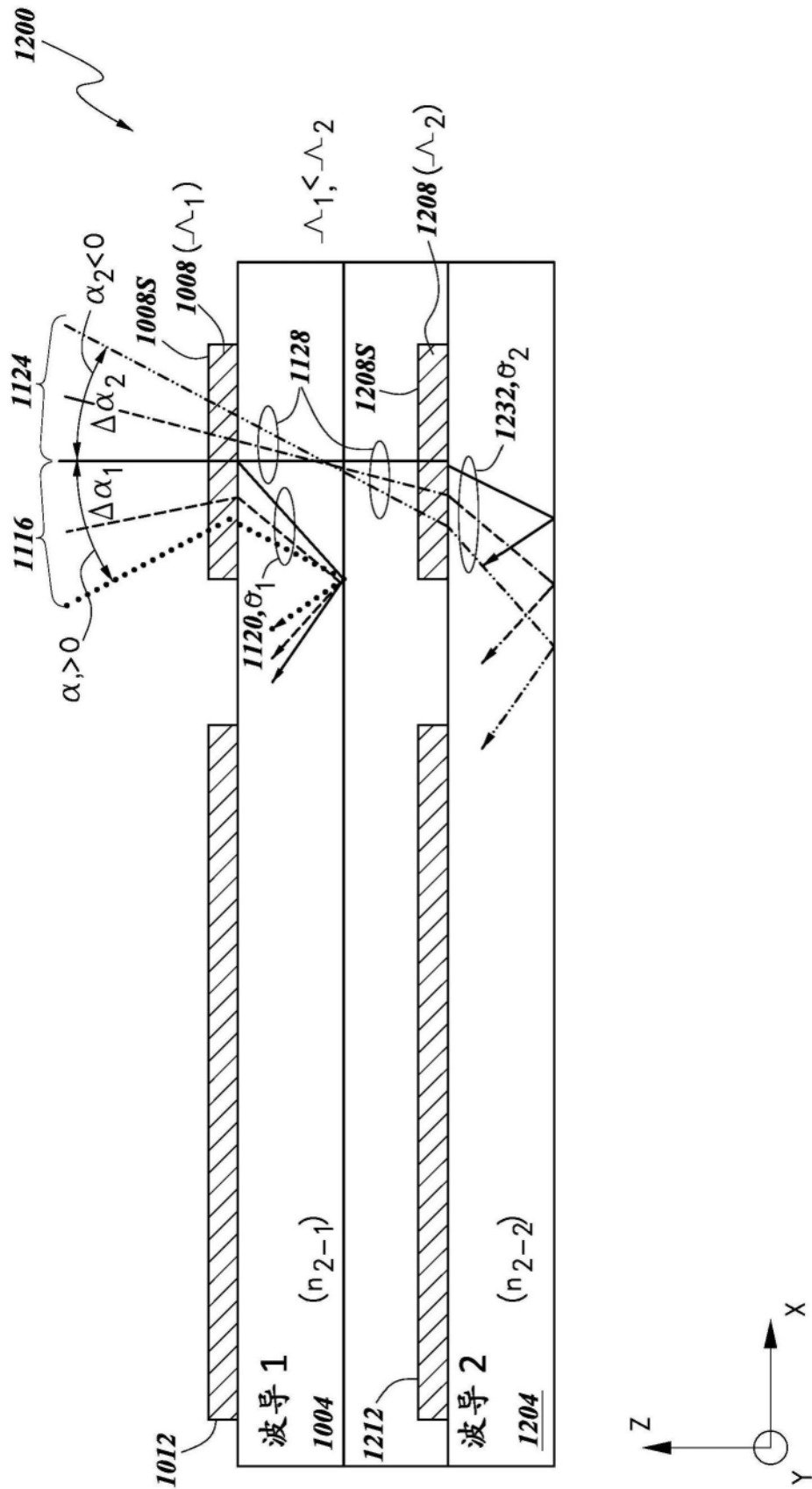


图12A

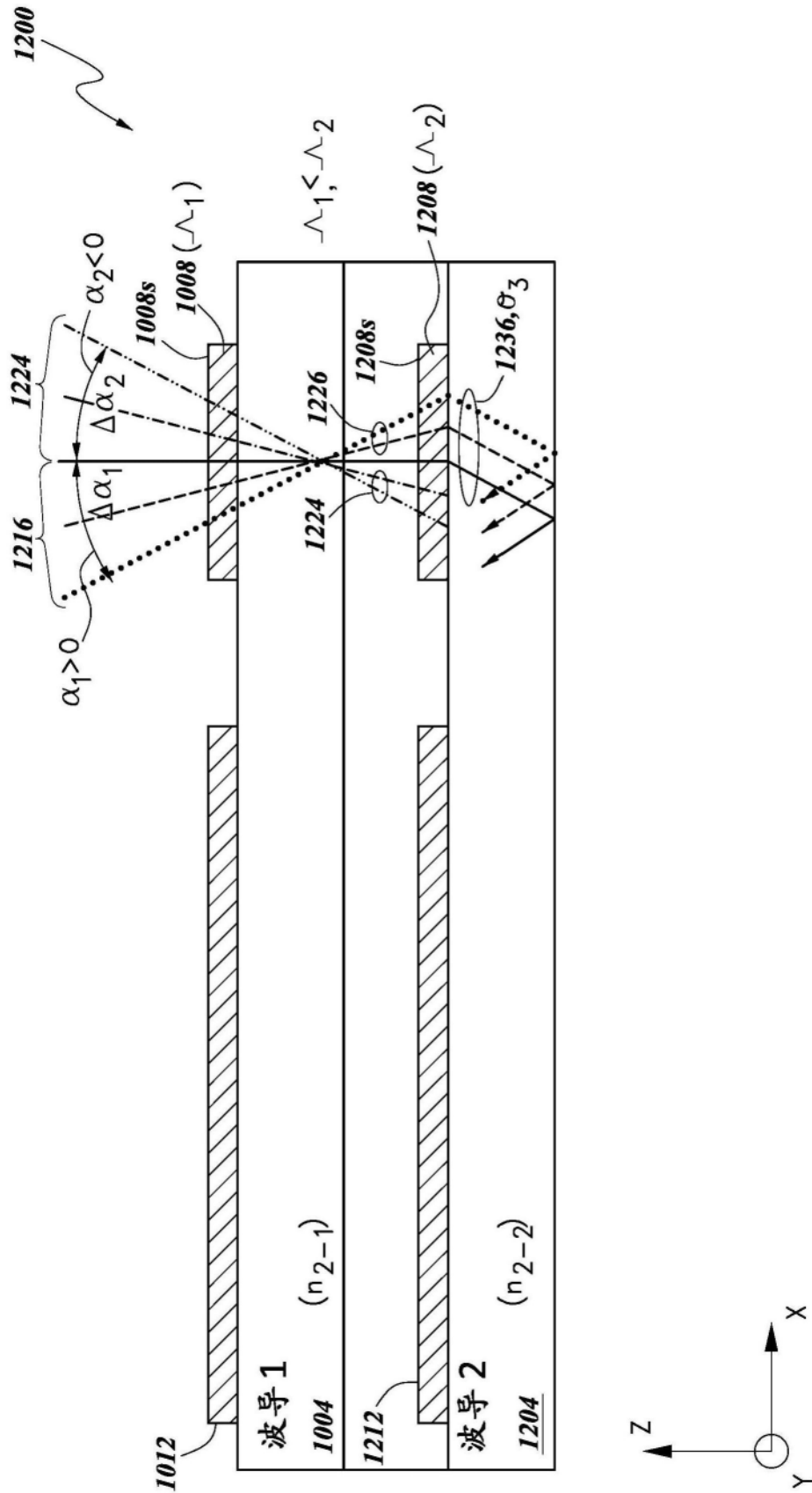


图12B

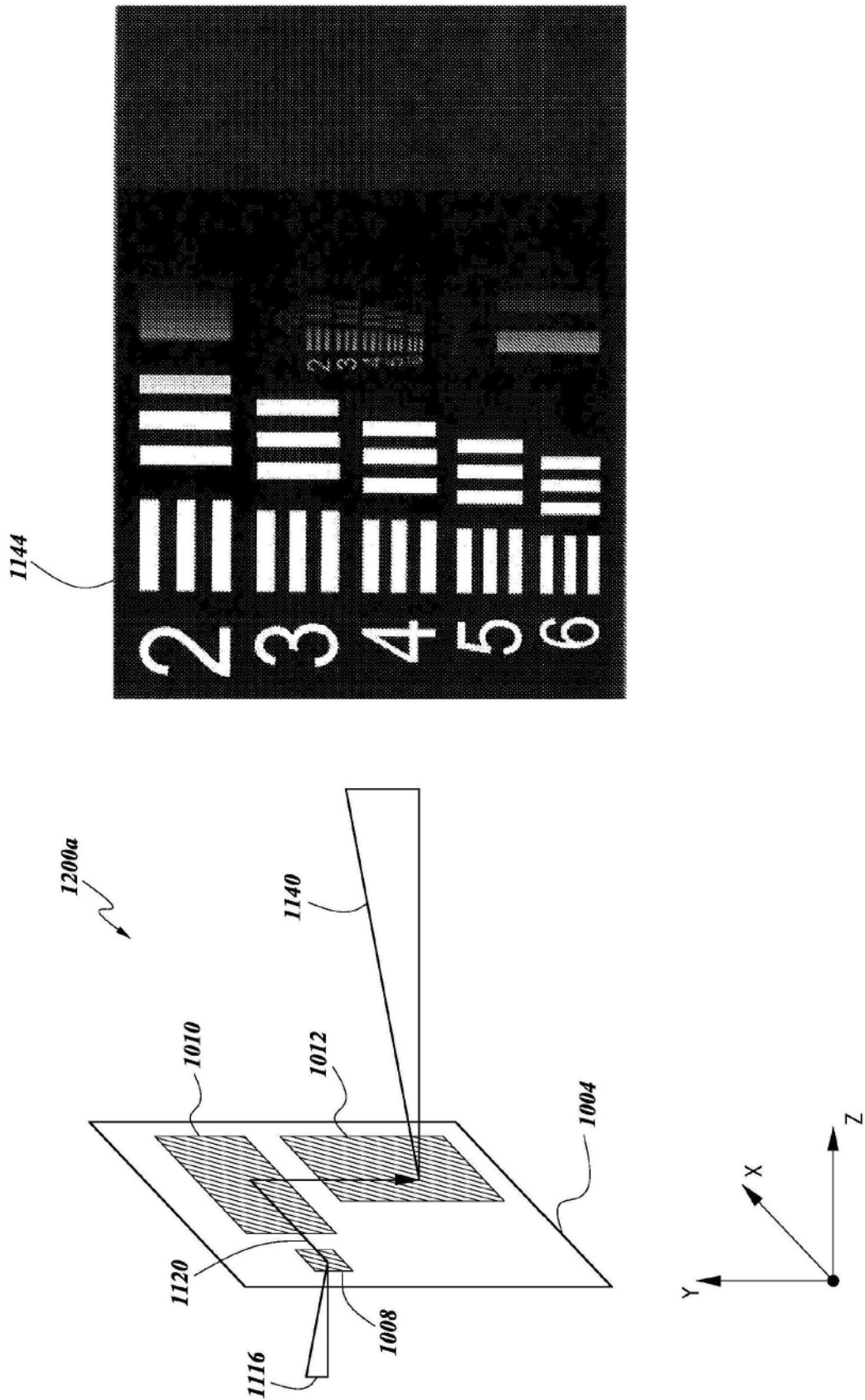


图13A

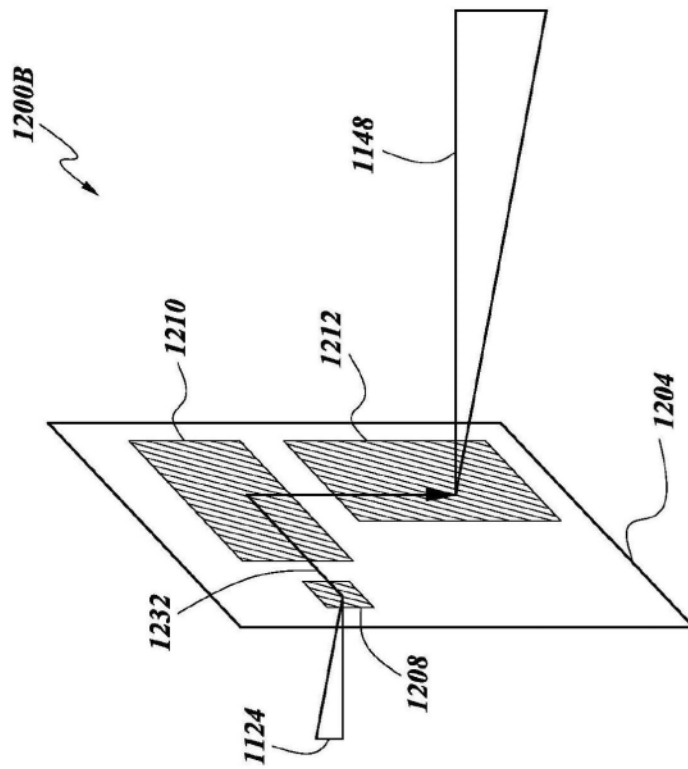
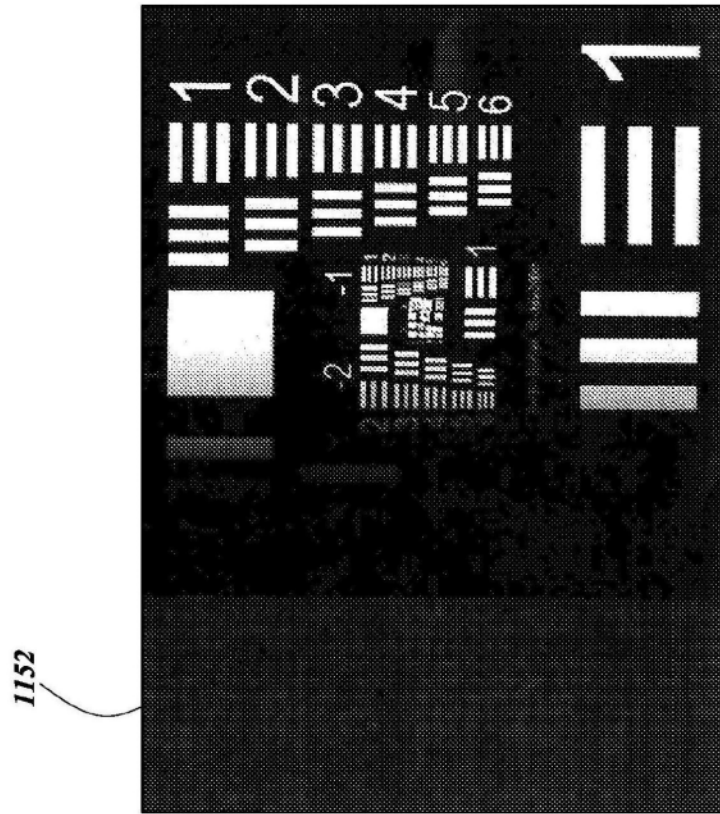


图13B

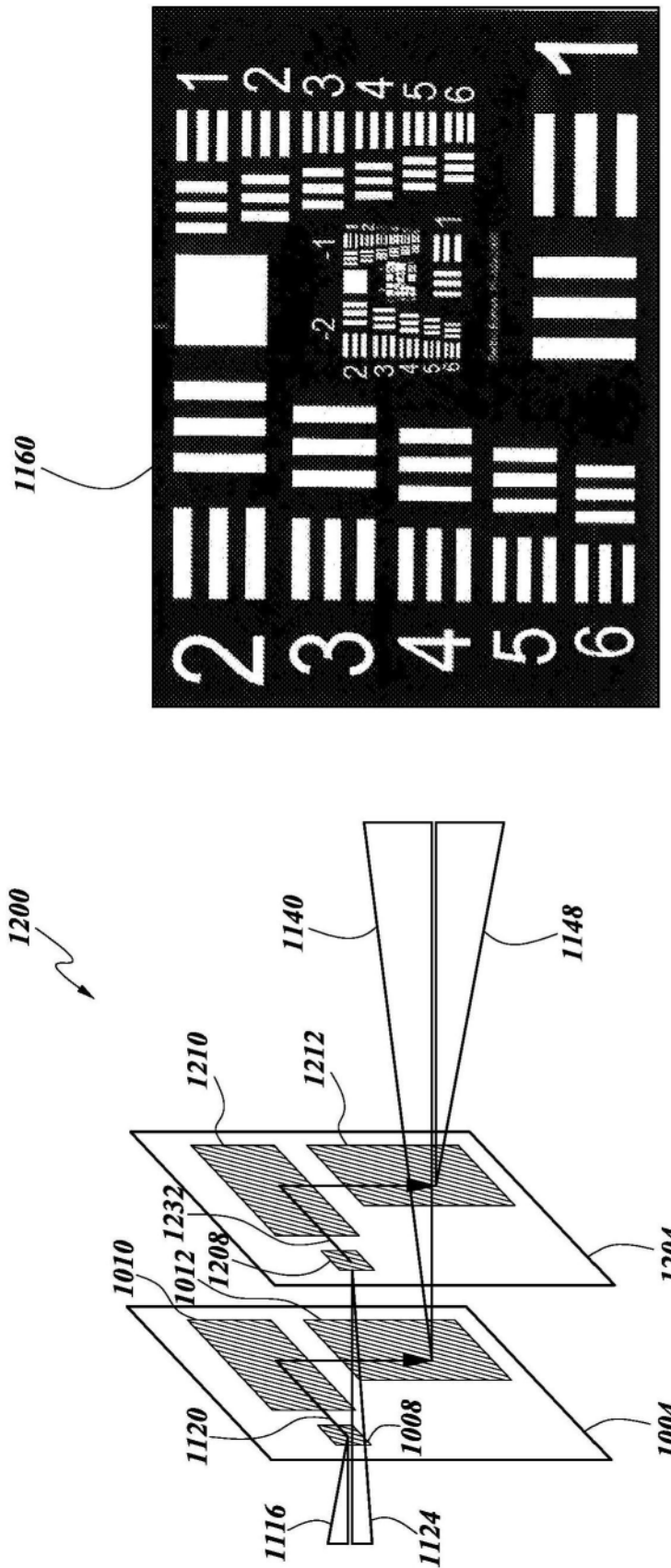


图13C

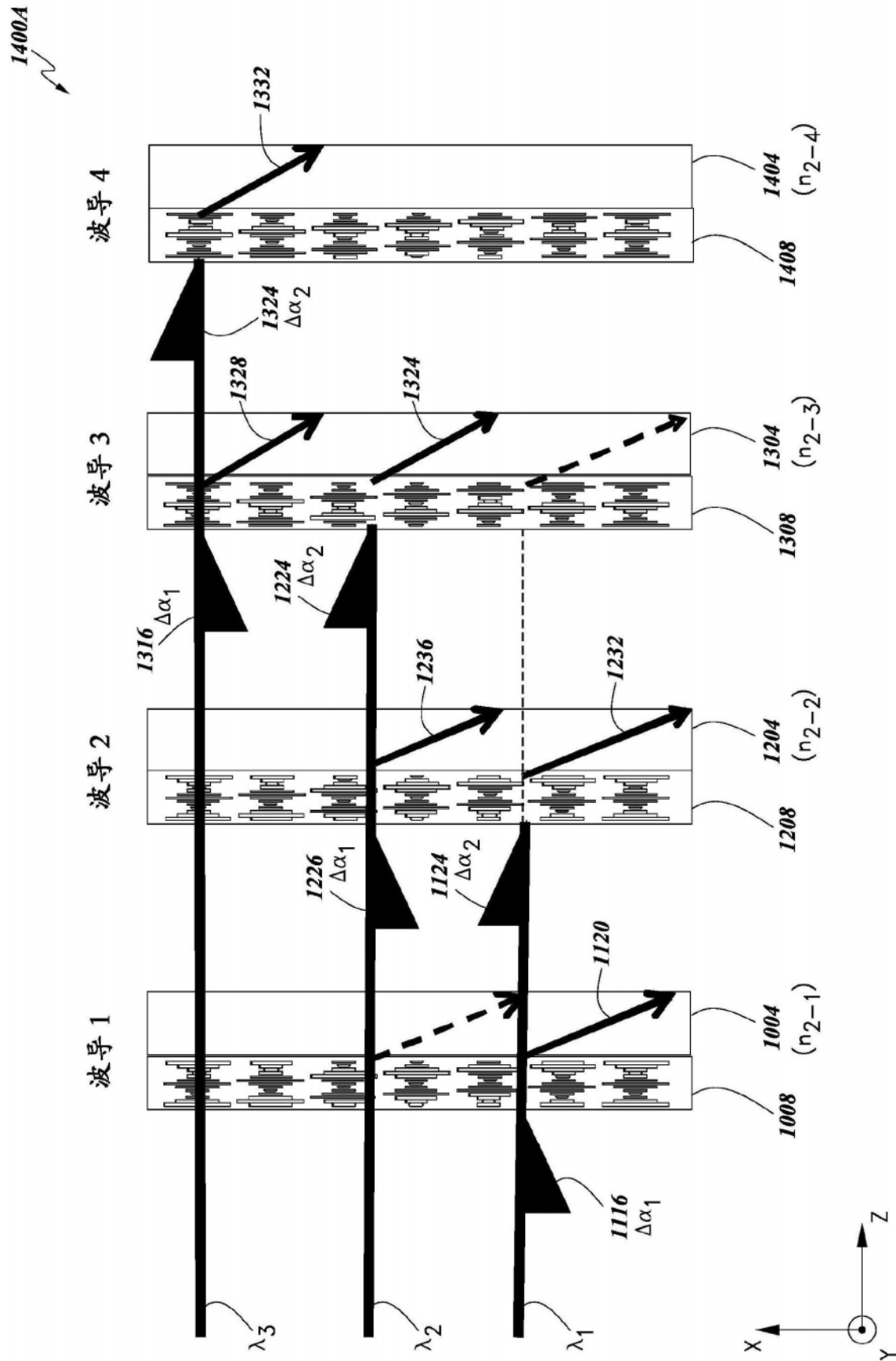


图14A

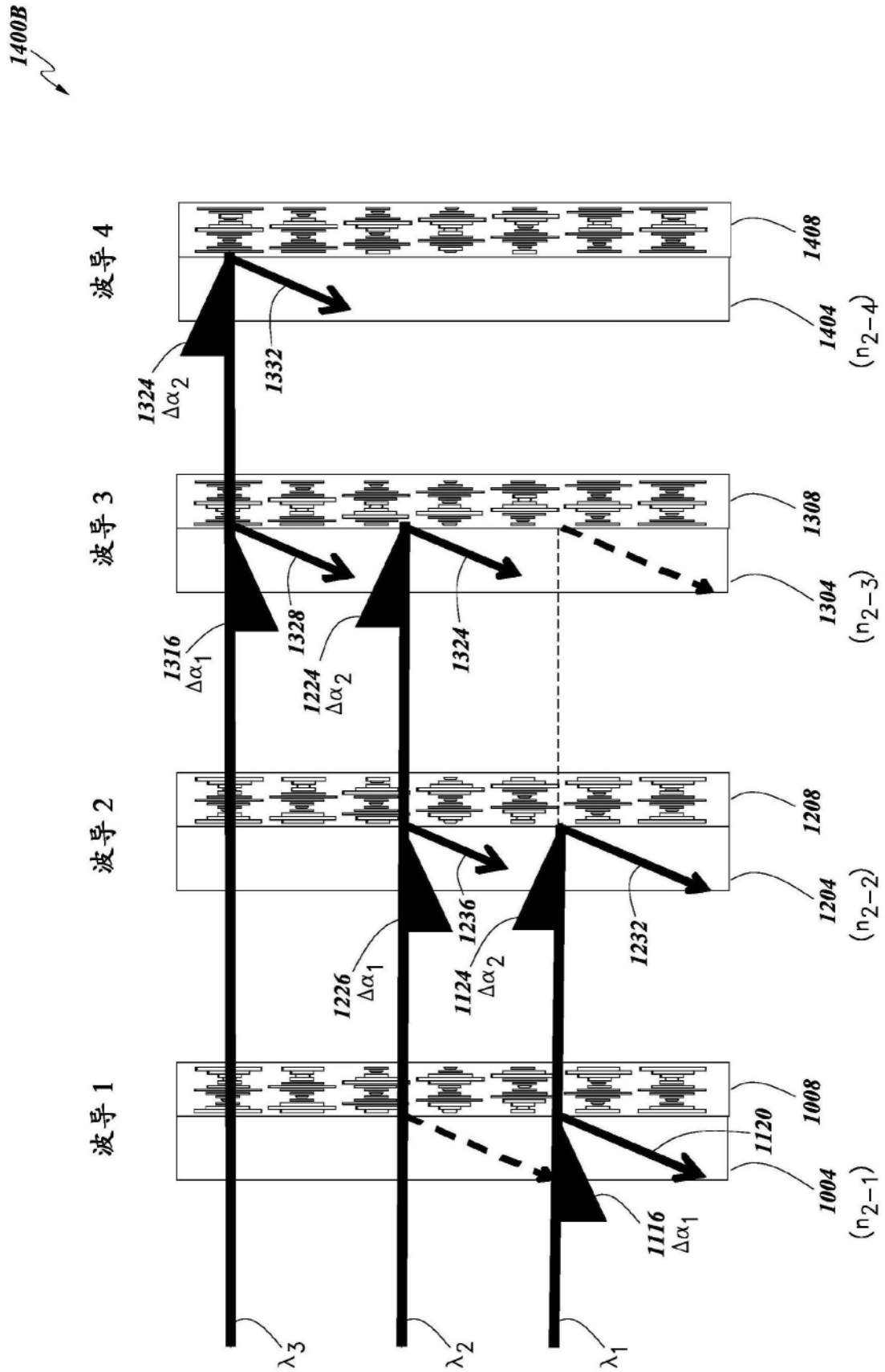


图14B

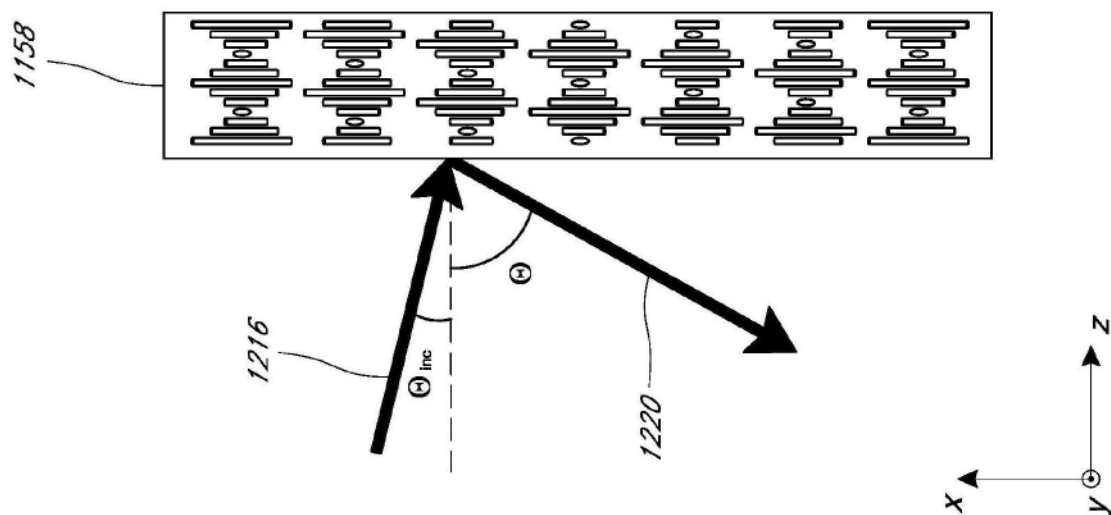


图15

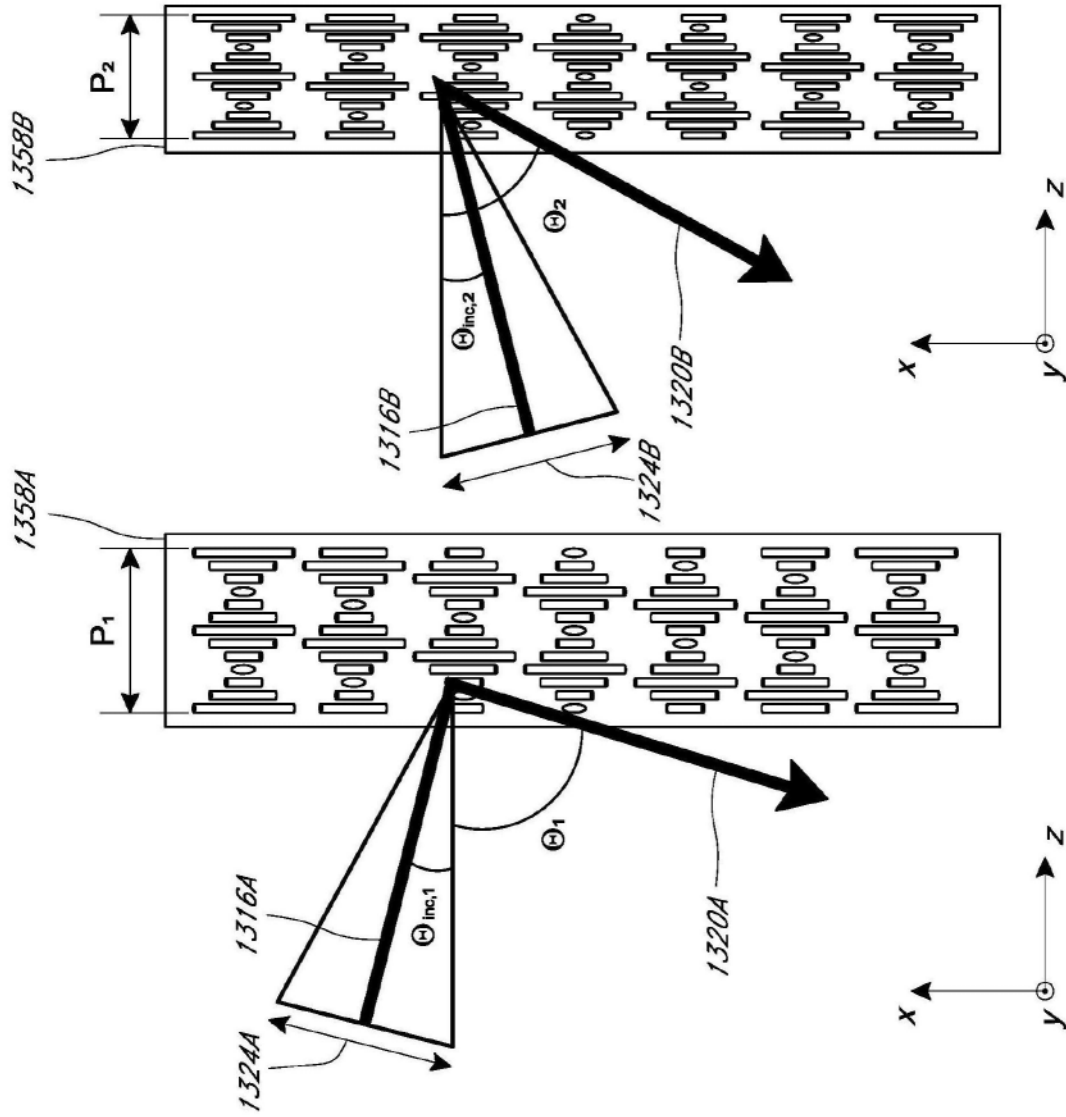


图 16 B

图 16 A

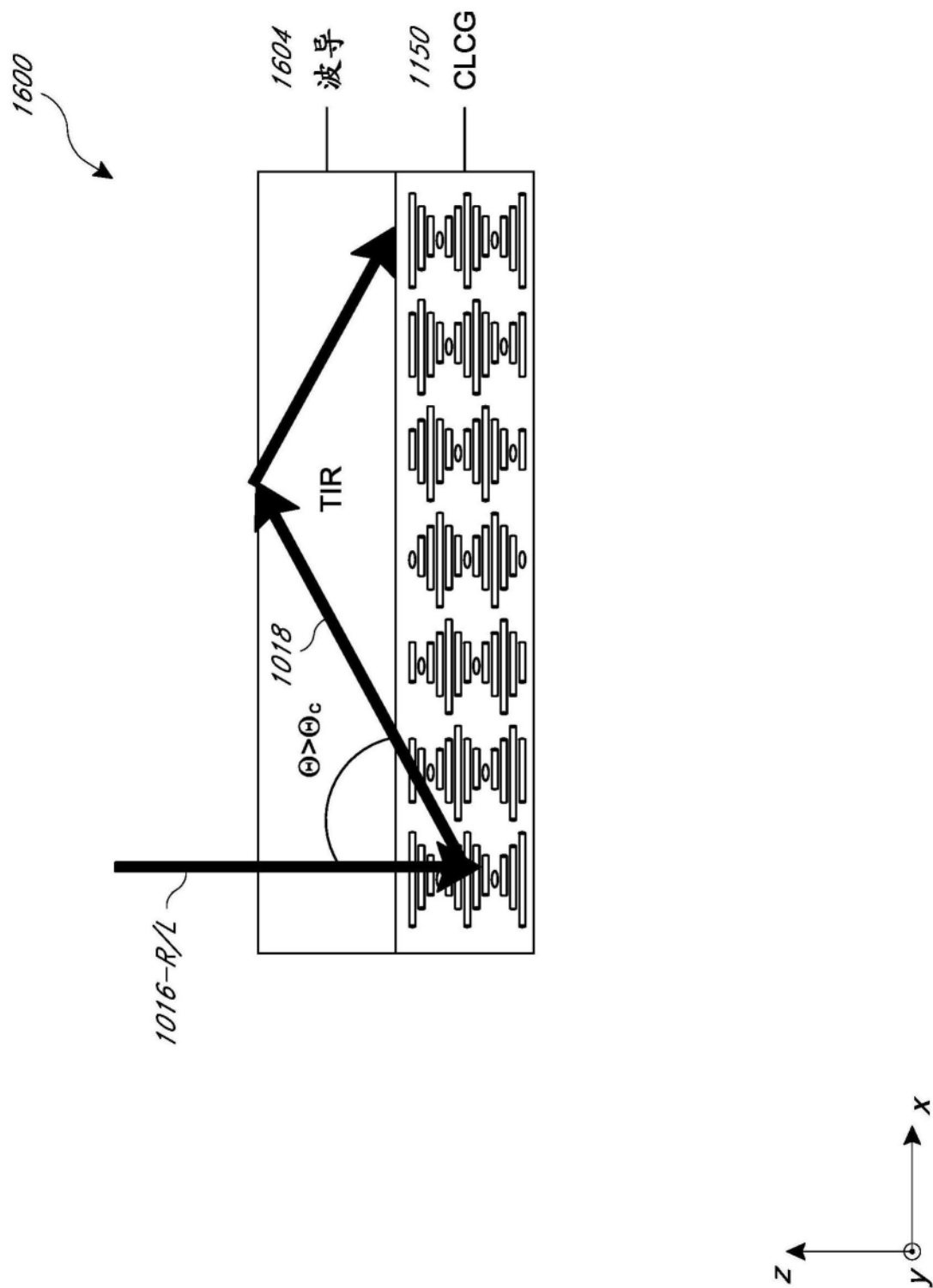


图17

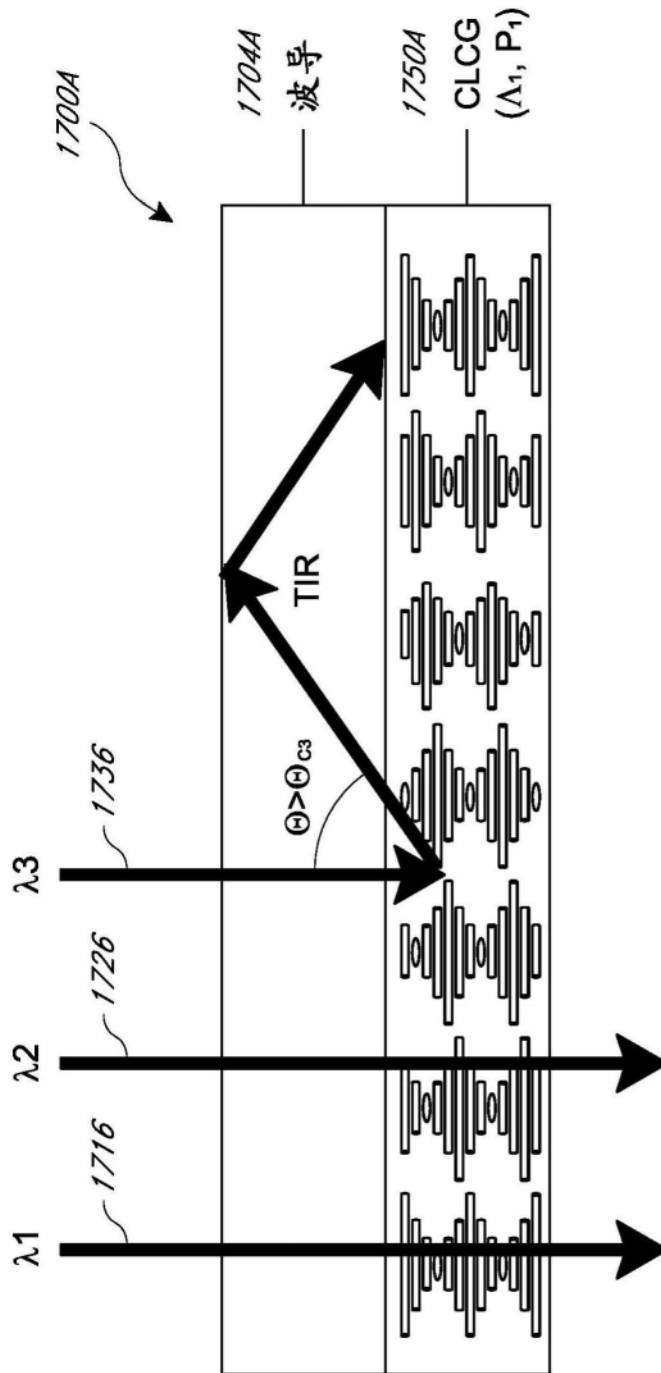


图18A

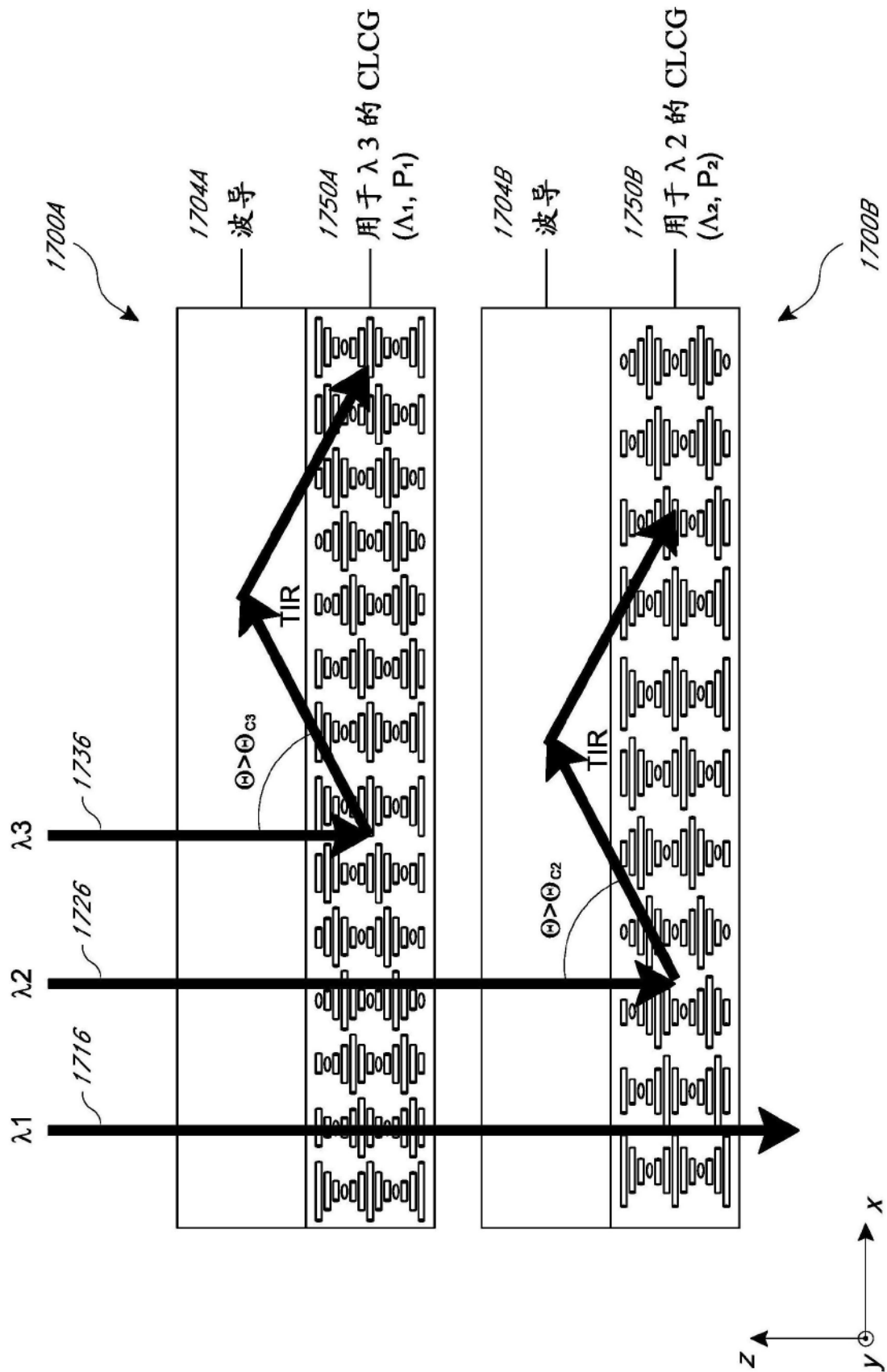


图18B

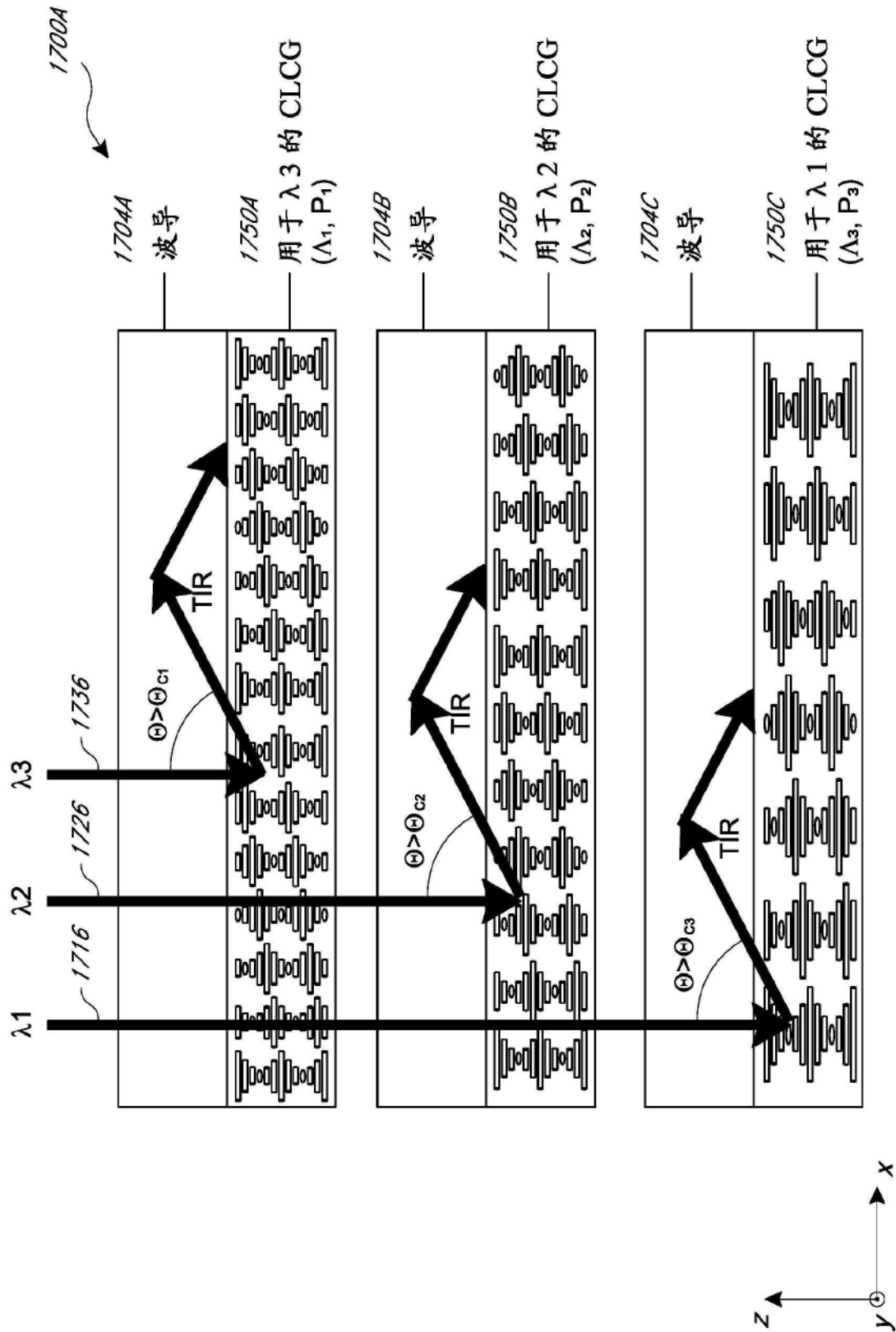


图18C