



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116107101 A

(43) 申请公布日 2023.05.12

(21) 申请号 202310093172.7

G02F 1/137 (2006.01)

(22) 申请日 2017.12.07

G02F 1/29 (2006.01)

(30) 优先权数据

G02B 27/01 (2006.01)

62/431,745 2016.12.08 US

62/431,752 2016.12.08 US

(62) 分案原申请数据

201780085689.4 2017.12.07

(71) 申请人 奇跃公司

地址 美国佛罗里达州

(72) 发明人 C·奥

(74) 专利代理机构 北京市中咨律师事务所

11247

专利代理人 贺月娇 于静

(51) Int.Cl.

G02F 1/01 (2006.01)

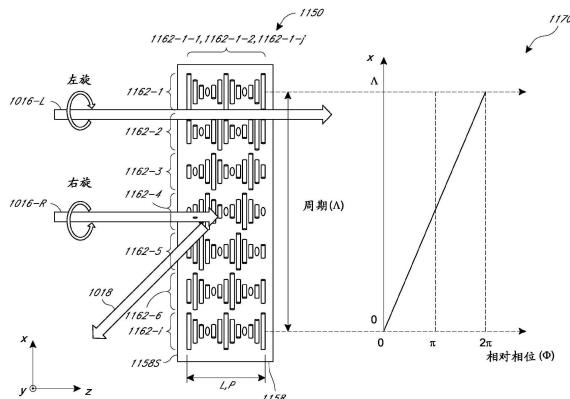
权利要求书1页 说明书39页 附图41页

(54) 发明名称

基于胆甾型液晶的衍射装置

(57) 摘要

本公开涉及基于胆甾型液晶的衍射装置。衍射装置的示例包括胆甾型液晶(CLC)层，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。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，以提供衍射光栅。衍射装置可以被配置为反射具有特定波长范围和圆偏振感的光。衍射装置可以被用于增强或虚拟系统中的波导和成像系统中。



1. 一种波导装置,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与所述层深度方向垂直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;以及

一个或多个波导,其形成在所述一个或多个CLC层上方并且被配置为光学耦合来自所述一个或多个CLC层的布拉格反射光,使得所述布拉格反射光经由全内反射(TIR)在所述横向方向上传播,

其中,所述波导装置被配置为具有视场(FOV),在所述视场内,衍射效率大于25%,所述视场超过20。

2. 根据权利要求1所述的波导装置,其中,所述一个或多个CLC层包括第一CLC层和第二CLC层,所述第一CLC层被配置用于在第一离轴入射角处第一最大布拉格反射,所述第二CLC层被配置用于在与所述第一离轴入射角不同的第二离轴入射角处第二最大布拉格反射。

3. 根据权利要求1所述的波导装置,其中,所述一个或多个CLC层包括具有第一FOV的第一CLC层和具有与所述第一FOV至少部分地重叠的第二FOV的第二CLC层,其中,所述第一FOV和所述第二FOV的组合具有超过20°的FOV。

4. 根据权利要求1所述的波导装置,其中,所述一个或多个CLC层中的不同CLC层具有以不同螺距在所述层深度方向上延伸的液晶分子。

5. 根据权利要求4所述的波导装置,其中,所述一个或多个CLC层中的不同CLC层在所述层深度方向上堆叠。

6. 根据权利要求5所述的波导装置,其中,所述一个或多个CLC层中的不同CLC层的螺距在远离光入射表面的所述层深度方向上减小。

7. 根据权利要求6所述的波导装置,其中,所述螺距在所述层深度方向上基本线性地减小。

8. 根据权利要求5所述的波导装置,其中,所述第一CLC层和所述第二CLC层彼此堆叠,使得在第一FOV内入射在所述一个或多个CLC层上的入射光的第一部分被所述第一CLC层反射,而在第二FOV内入射在所述一个或多个CLC层上的所述入射光的第二部分透射通过所述第一CLC层并被所述第二CLC层反射。

9. 根据权利要求4所述的波导装置,其中,所述一个或多个CLC层中的不同CLC层在所述横向方向上横向相邻地设置。

10. 根据权利要求9所述的波导装置,其中,所述一个或多个CLC层中的不同CLC层具有以不同螺距在所述层深度方向上延伸的液晶分子。

## 基于胆甾型液晶的衍射装置

[0001] 本申请是申请日为2017年12月7日、PCT国际申请号为PCT/US2017/065182、中国国家阶段申请号为201780085689.4、发明名称为“基于胆甾型液晶的衍射装置”的申请的分案申请。

[0002] 相关申请的交叉引用

[0003] 本申请要求2016年12月8日提交的名称为“DIFFRACTIVE DEVICES BASED ON CHOLESTERIC LIQUID CRYSTAL(基于胆甾型液晶的衍射装置)”的美国临时专利申请号62/431,752,以及2016年12月8日提交的名称为“DIFFRACTIVE DEVICES BASED ON CHOLESTERIC LIQUID CRYSTAL(基于胆甾型液晶的衍射装置)”的美国临时专利申请号62/431,745的优先权益,其全部内容通过引用并入本文中。

### 技术领域

[0004] 本公开涉及显示系统,更具体地说,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

[0005] 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。

[0006] 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。

[0007] 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

[0008] 在一方面,一种衍射光栅包括胆甾型液晶(CLC)层,所述胆甾型液晶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。

[0009] 在另一方面，一种头戴式显示设备(HMD)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HMD包括头戴式显示设备，所述头戴式显示设备包括框架，所述框架被配置为支撑在所述用户的头部上。所述HMD包括显示器，所述显示器被设置在所述框架上，其中所述显示器的至少一部分包括一个或多个波导。所述一个或多个波导是透明的并且在所述用户穿戴着所述头戴式显示设备时设置在用户眼睛前方的位置，使得所述透明部分将来自用户前方环境的一部分的光透射到所述用户眼睛，以提供所述用户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至少一个衍射光栅，所述衍射光栅被配置为将来自所述光源的光耦入到所述一个或多个波导内或者将光耦出所述一个或多个波导，其中所述至少一个衍射光栅包括根据本说明书的其它地方描述的方面的衍射光栅。

[0010] 在另一方面，一种波导装置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，使得所述一个或多个CLC层被配置为布拉格反射(Bragg-reflect)入射光。一个或多个波导形成在所述一个或多个CLC层上方并且被配置为光学耦合布拉格反射光，使得所述布拉格反射光经由全内反射(TIR)在与所述层深度方向垂直的横向方向上传播。所述一个或多个CLC层和所述一个或多个波导被配置为处于相同的光路中。

[0011] 在另一方面，一种波长选择性胆甾型液晶反射器(CLDR)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上延伸并在第一旋转方向上连续旋转的多个液晶分子。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，使得所述一个或多个CLC层被配置为基本上布喇格反射具有第一波长的第一入射光，同时基本上透射具有第二波长的第二入射光。

[0012] 在另一方面，被配置为穿戴在用户头部上的头戴式显示器(HMD)包括框架，所述框架包括一对耳柄(ear stem)；一对光学元件，其由所述框架支撑，使得所述一对光学元件中的每一者能够设置在所述用户的眼睛前方；前向成像器，其被安装到所述一对耳柄中的一者；以及胆甾型液晶(CLC)离轴反射镜(mirror)，其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。每个手性结构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，使得所述一个或多个CLC层被配置为布拉格反射入射光。所述胆甾型液晶(CLC)离轴反射镜被设置在所述一对光学元件中的一者之中或之上，并且被配置为朝着所述前向成像器反射红外光，所述前向成像器被配置为接收由所述反射元件反射的红外光。

[0013] 在另一方面，一种波导装置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，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，这些波导形成在所述一个或多个CLC层上方并且被配置为光学耦合来自所述一个或多个CLC层的布拉格反射光，使得所述布拉格反射光经由全内反射

(TIR) 在与所述层深度方向垂直的横向方向上传播。所述波导装置被配置为具有视场 (FOV)，在该视场内，衍射效率大于25%，该视场超过20°。

[0014] 在又一方面，一种显示设备包括波导和形成在该波导上的耦入 (incoupling) 光学元件。耦入光学元件被配置为将入射在其上的光耦入到所述波导的第一侧中，其中耦入光学元件和所述波导被配置为使得被耦入到所述波导中的光经由全内反射 (TIR) 在所述波导中沿着所述波导的平面内方向传播。所述显示设备另外包括耦出 (outcoupling) 光学元件，所述耦出光学元件形成在所述波导上并且被配置为将入射在其上的光从所述波导耦出。所述光耦出元件包括胆甾型液晶 (CLC) 层，该CLC层包括多个手性结构，其中每个手性结构包括在所述CLC层的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，使得所述一个或多个CLC层被配置为将入射在其上的光从所述波导布拉格反射到所述第一侧。

[0015] 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

- [0016] 图1示出了用户通过AR设备观看的增强现实 (AR) 视图。
- [0017] 图2示出了可穿戴显示系统的示例。
- [0018] 图3示出了用于为用户模拟三维图像的传统显示系统。
- [0019] 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。
- [0020] 图5A至5C示出了曲率半径与焦半径之间的关系。
- [0021] 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。
- [0022] 图7示出了由波导输出的出射光束的示例。
- [0023] 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。
- [0024] 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。
- [0025] 图9B示出了图9A的多个堆叠波导的示例的透视图。
- [0026] 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。
- [0027] 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。
- [0028] 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。
- [0029] 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。
- [0030] 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。
- [0031] 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。

[0032] 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。

[0033] 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。

[0034] 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。

[0035] 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。

[0036] 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。

[0037] 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。

[0038] 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。

[0039] 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。

[0040] 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。

[0041] 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。

[0042] 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。

[0043] 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。

[0044] 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。

[0045] 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。

[0046] 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。

[0047] 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。

[0048] 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。

[0049] 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。

[0050] 图25示出了针对宽视场范围而优化的示例光学波导装置,该光学波导装置包括被耦合到CLCG且被配置为经由全内反射(TIR)传播光的波导。

[0051] 图26示出了被配置作为耦出光学元件的示例光学波导装置,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。

[0052] 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

[0053] 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。

[0054] 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。

[0055] 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),这两者都可被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多者。在一些其它实施例中,这些传感器中的一者或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。

[0056] 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。

[0057] 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。

[0058] 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。

[0059] 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,可以通过为每只眼睛4、6提供图像的不同呈现来模拟三维图像,并且还可以通过提供与深度平面中每一个深度平面对应的图像的不同呈现来模拟三维图像。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。

[0060] 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。

[0061] 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个深度平面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。

[0062] 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。

[0063] 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。

[0064] 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）。

[0065] 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。

[0066] 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。

[0067] 控制器1210控制堆叠波导组件1178中的一者或更多的操作，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。

[0068] 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。

[0069] 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。

[0070] 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)。为了在观看/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。

[0071] 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。

[0072] 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）。

[0073] 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。

[0074] 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）。

[0075] 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。

[0076] 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。

[0077] 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。

[0078] 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。

[0079] 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。

[0080] 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。

[0081] 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。

[0082] 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中的一者或者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。

[0083] 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。

[0084] 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。

[0085] 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。

[0086] 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。

[0087] 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。

[0088] 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。

[0089] 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。

[0090] 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。

[0091] 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应的波导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。

[0092] 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。

[0093] 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。

[0094] 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。

[0095] 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。

[0096] 基于液晶的布拉格反射或衍射结构

[0097] 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。

[0098] 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。

[0099] 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。

[0100] 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。

[0101] 在本文和整个公开中,倾角或预倾角 $\Phi$ 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。

[0102] 在本文和整个公开中,使用方位角或旋转角 $\Phi$ 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。

[0103] 在本文和整个公开中,当诸如旋转角 $\Phi$ 或预倾角 $\Phi$ 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。

[0104] 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。

[0105] 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。

[0106] 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方向上的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。

[0107] 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。

[0108] 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( $\varphi$ ),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。

[0109] 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。

[0110] 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)。

[0111] 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。

[0112] 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。

[0113] 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。

[0114] 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。

[0115] 胆甾型液晶衍射光栅(CLCG)

[0116] 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。

[0117] 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。对于这些和其它应用,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。为了解决这些和其它需要,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。

[0118] 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。

[0119] 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( $\phi$ )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( $\Lambda$ )。

[0120] 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

[0121] 图10示出了根据实施例的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(即，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 $\phi_1$ 、 $\phi_2$ 、…… $\phi_j$ 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。

[0122] 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 $\phi_1$ 、 $\phi_2$ 、…… $\phi_j$ 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。

[0123] 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。

[0124] 在下文中,根据实施例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,通过布拉格反射或衍射,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。

[0125] 不受任何理论的束缚,在布拉格反射或衍射条件下,入射光的波长( $\lambda$ )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:

$$[0126] \quad \lambda \cong np \quad [1]$$

[0127] 另外,布拉格反射或衍射波长的带宽( $\Delta \lambda$ )可以与CLC层1004的双折射 $\Delta n$ (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:

$$[0128] \quad \Delta \lambda = \Delta n \cdot p \quad [2]$$

[0129] 在本文所述的各种实施例中,带宽 $\Delta \lambda$ 为约60nm,约80nm或约100nm。

[0130] 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。

[0131] 图11示出了根据实施例的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。

[0132] 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 $\phi_1$ 、 $\phi_2$ 、…… $\phi_i$ 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 $\Lambda$ 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。

[0133] 仍然参考图11,根据一些实施例,在x方向上跨周期 $\Lambda$ 处于相同深度水平的液晶分子的连续旋转角 $\phi_1$ 、 $\phi_2$ 、…… $\phi_i$ 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 $\Lambda$ ,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 $\Lambda$ 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 $\Lambda$ 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。

[0134] 应当理解,为了说明,CLC层1158被示出为仅具有一个周期 $\Lambda$ 。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。

[0135] 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 $\Lambda$ 内在x轴方向上以旋转角 $\phi_1$ 、 $\phi_2$ 、…… $\phi_i$ 连续旋转的手性结构导致的相位变化 $\phi$ 。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, $\Lambda$ 是周期。带宽可以表示为 $\Delta \lambda \approx \Delta n \cdot p$ 。

[0136] 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。

[0137] 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。

[0138] 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 $\Phi$ ,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 $\Phi$ 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。

[0139] 被配置为以离轴入射角高带宽反射的CLCG

[0140] 图12示出了根据实施例的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 $\theta_{inc}$ ,其具有非零值,从而导致反射角 $\theta$ 处的布拉格反射光束1220。在某些情况下,可以通过改变 $\lambda/\Lambda$ 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:

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

[0142] 其中 $\theta_{inc}$ 是相对于层法线方向的入射角, $\theta$ 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 $\lambda/\Lambda$ 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。

[0143] 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。

[0144] 图13A和13B示出了根据实施例的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( $p_1$ )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 $\theta_1$ 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,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 $\theta_{inc,1} \pm 20^\circ$ 。

[0145] 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 $p_1$ 不同的第二螺距( $p_2$ )。

[0146] 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 $\theta_1$ 的第二反射角 $\theta_2$ 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。

[0147] 图13C示出了根据实施例的CLCG 1358的横截面侧视图,该CLCG1358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。根据实施例,CLCG1358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。

[0148] 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 $\theta_{inc1}$ 、 $\theta_{inc2}$ 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 $\theta_1$ 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 $\theta_2$ 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。

[0149] 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。

[0150] 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。

[0151] 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 $\lambda/\Lambda_1$ 和 $\lambda/\Lambda_2$ ,使得CLC层1358A、1358B可以被配置为实现不同入射角 $\theta_{inc1}$ 、 $\theta_{inc2}$ 处的高衍射效率,例如,根据等式[3]。

[0152] 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1358A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。

[0153] 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。

[0154] 图14示出了根据实施例的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上获得高衍射效率。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 $\theta_{incA}$ 、 $\theta_{incB}$ 、 $\theta_{incC}$ 和 $\theta_{incD}$ 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 $\theta_A$ 、 $\theta_B$ 、 $\theta_C$ 和 $\theta_D$ 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。

[0155] 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。

[0156] 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 $\theta_{incA}$ 、 $\theta_{incB}$ 、 $\theta_{incC}$ 和 $\theta_{incD}$ 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。

[0157] 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。

[0158] 图15示出了根据实施例的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 $\Lambda$ 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 $\theta_{\text{incA}}$ 、 $\theta_{\text{incB}}$ 和 $\theta_{\text{incC}}$ 处的最佳衍射效率,这分别导致相应的反射角 $\theta_A$ 、 $\theta_B$ 和 $\theta_C$ 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。

[0159] 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。

[0160] 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。

#### [0161] 波导与CLCG耦合以实现波长选择性光耦合

[0162] 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 $\theta$ 大于波导的临界角 $\theta_c$ 时,可以满足TIR条件。在一些情况下,TIR条件可被表示为:

$$[0163] \sin(\theta_c) = 1/n_t \quad [4]$$

[0164] 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。

[0165] 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 $\lambda_3$ 的光。第一CLCG 1750A具有第一周期 $\Lambda_1$ 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 $\lambda_3$ 。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 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 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]。

[0166] 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 $\lambda_2$ 的光1726。第二CLCG 1750B具有第二周期 $\Lambda_2$ 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 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 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 $\lambda_2$ 。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 $\lambda_1$ 的第一光1716基本上进一步透射通过第二波导装置1700B。

[0167] 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 $\lambda_2$ 的第一光1716。第三CLCG 1750C具有第三周期 $\Lambda_3$ 和第三螺距 $p_3$ 。如上面关于图17B所述,具有第一波长 $\lambda_1$ 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 $\lambda_1$ 。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 $\lambda_1$ 的第一光1716基本上被耦合到第三波导1704C中。

[0168] 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 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 和 $\lambda_3$ 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。

[0169] 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 $\lambda_3$ 、 $\lambda_2$ 和 $\lambda_1$ 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。

[0170] 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 $\Lambda_1$ 、 $\Lambda_2$ 和 $\Lambda_3$ 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 $\lambda/\Lambda$ 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( $\lambda$ )相比,周期( $\Lambda$ )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 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 和 $\lambda_3$ 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 $\Lambda_1$ 、 $\Lambda_2$ 和 $\Lambda_3$ 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 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 和 $\lambda_3$ 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 $\Lambda_1$ 、 $\Lambda_2$ 和 $\Lambda_3$ 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 $\lambda/p$ 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( $\lambda$ )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 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 和 $\lambda_3$ 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 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 和 $\lambda_3$ 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 $\Lambda_1$ 、 $\Lambda_2$ 和 $\Lambda_3$ 可以为约1200nm至约2240nm,例如约1360nm。

#### [0171] 波导与CLCG和反射镜耦合以实现波长选择性光耦合

[0172] 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CLCG1150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。

[0173] 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。

[0174] 图20示出了根据实施例的光学波导装置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CLCG1604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CLCG1604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。

[0175] 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。

[0176] 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CLCG1604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。

[0177] 图22A示出了根据实施例的光学波导装置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。

[0178] 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。

[0179] 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。

[0180] 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。

[0181] 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(即图像)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)。

[0182] 图22C示出了根据实施例的光学波导装置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 2204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。

[0183] 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。

[0184] 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。

#### [0185] 胆甾型液晶离轴反射镜

[0186] 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，根据实施例，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。

[0187] 图23示出了根据各种实施例的采用胆甾型液晶反射器（CLCR）（例如，被配置为对观看者的眼睛302进行成像的波长选择性CLCR 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他应用。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CLCR 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。

[0188] 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 ( $\lambda_1$ ) 的第一入射光，同时基本上透射具有第二波长 ( $\lambda_2$ ) 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 ( $\theta_R$ ) 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°。

[0189] 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。

[0190] 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。

[0191] 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。

[0192] 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1.5μm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1.5μm的范围内的红外光,并且成像器702b可以包括滤除900nm至1.5μm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。

[0193] 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。

[0194] 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。

[0195] 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)。

[0196] 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OAHM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。

[0197] 图24F示意性地示出了具有OAHM的显示系统700的另一示例，该OAHM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。

[0198] 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。

[0199] 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 $3 \times 3$ 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)。

[0200] 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现位置上的由晶状体引起的变形)。

[0201] 波导与针对视野优化的CLCG耦合

[0202] 具有取决于光的偏振和传播方向的折射率的介质被称为双折射介质(或重折射介质)。如整个说明书中所描述并且在相关工业中理解的，其偏振与双折射介质的光轴垂直的光被描述为受寻常折射率( $n_o$ )的影响，其偏振与双折射介质的光轴平行的光被描述为受非常折射率( $n_e$ )的影响，并且在双折射介质材料中观察到的折射率差 $n_e - n_o$ 被描述为具有双折射率 $\Delta n$ 。如本文所述，双折射CLCG的平均折射率 $n_{LC}$ 可被表示为：

$$[0203] n_{LC} = \frac{1}{2}(n_o + n_e) = n_o + \Delta n/2 \quad [5]$$

[0204] 根据本文所述的各种实施例，胆甾型液晶(CLC)层可具有以下平均、局部、均值、中值、最大或最小双折射率( $\Delta n$ )：0.05-0.10、0.15-0.20、0.20-0.25、0.25-0.30、0.30-0.35、0.35-0.40、0.40-0.45、0.45-0.50、0.50-0.55、0.55-0.60、0.60-0.65、0.65-0.70，或由这

些值中的任何值限定的范围内的值。

[0205] 如本文所述,具有双折射率 $\Delta n$ 的材料介质中的光的相位延迟( $\Gamma$ )可被表示为 $\Gamma=2\pi\Delta nd/\lambda$ ,其中 $\lambda$ 是光的波长,d是介质的厚度。另外,诸如具有液晶的层的双折射介质的衍射效率( $\eta$ )可被表示为 $\eta=\sin^2(\pi\Delta nd/\lambda)$ ,其中 $\Delta n$ 为双折射率, $\lambda$ 为波长,d为介质的厚度。因为对于传统的双折射介质,传播通过衍射部件的光的相位延迟随着波长而变化,所以包括衍射光栅的一些衍射部件可以在衍射效率相对高的可见光谱内显示有限的波长范围或带宽。

[0206] 根据各种实施例,本文描述的各种CLC层和CLCG可以被配置为使得它们在特定的入射角范围(有时被称为接受角范围或视场(FOV))内以相对高的效率衍射入射在其上的光。如本文所述,FOV可以包括跨相对于FOV的中心线波长的入射角的负值和正值的角度范围,在此范围之外,相对于FOV的中心线波长处的衍射效率,或相对于与FOV内的峰值效率对应的波长处的衍射效率,衍射效率下降幅度超过10%,超过25%,超过50%,超过75%,或超过由任何这些值限定的范围内的值。另外说明,在FOV内,CLC层和CLCG被配置为使得相对于FOV的中心线波长处的衍射效率,或相对于与FOV内的峰值效率对应的波长处的衍射效率,衍射效率大于25%,大于50%,大于75%,大于90%或大于由任何这些值限定的范围内的值。具有衍射效率相对恒定的FOV是理想的,例如,在FOV内均匀强度的衍射光是理想的。

[0207] 申请人已经认识到,通过选择具有适当双折射的CLC层和CLCG(请参见例如等式[6]),可以针对与上述CLC层和CLCG耦合的波导的各种实施例增加或优化CLC层和CLCG的FOV。图25示出了根据实施例的针对相对高的FOV优化的示例光学波导装置2500。光学波导装置2500包括被耦合到CLCG 1150的波导1604。与本文所述的各种实施例类似,CLCG 1150包括以与上文例如关于图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之上并与其光学耦合。

[0208] 当具有右/左(R/L)旋向性的椭圆/圆偏振入射光2504以相对于波导1604的层法线的角 $\theta_{inc}$ 入射在波导1604上时,入射光2504作为光2508而被耦入到波导1604内,光2508以相对于层法线的角 $\theta_{inc WG}$ 入射在CLCG1150上。当被耦入到波导1604内的光2508具有与CLCG 1150中的手性结构的液晶分子的旋转方向匹配的偏振旋向性(R/L)时,光2508被CLCG1150布拉格反射成光2512,光2512具有相对于层法线的角 $\theta_{LC}$ 。反射光2512随后作为光2516以相对于层法线的角 $\theta_{WG}$ 被耦合回到波导1604中,使得光2516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,当角 $\theta_{WG}$ 大于临界角时,可以满足TIR条件。

[0209] 不受任何理论的束缚,传播角范围可以由传播介质的材料折射率限制为:

$$[0210] \quad 1 - \frac{\lambda}{\Lambda} < \sin \theta_{inc} < n - \frac{\lambda}{\Lambda}$$

[0211] 当入射角是对称的时, $|\sin \theta_{inc}| < (n-1)/2$ ,并且给定FOV的最小折射率满足 $n > 2\sin \theta_{inc} + 1$ 。当光衍射并传播通过CLCG层时,该条件也在CLCG层中有效。由于CLCG层是双折射层,因此传播光经历LC材料的平均折射率 $n_{LC}$ 。假设(不要求) $n_o$ 固定,则最小双折射率 $\Delta n$ 与FOV的入射角相关,如下:

$$[0212] \quad \Delta n > 2(2\sin \theta_{inc} - n_o + 1) \quad [6]$$

[0213] CLCG层的LC材料可以基于等式[6]来选择,以提供所需的FOV。当CLCG 1150内的液晶分子根据等式[6]而被配置时,FOV可具有超过 $20^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $36^\circ$ 、 $40^\circ$ 、 $44^\circ$ 、 $50^\circ$ 的角度范围或

由任何这些值限定的角度范围内的角度范围。例如,以下FOV入射角可以与平均折射率相关联:  
**10°:**  $n_{LC} \gtrsim 1.35$ , **15°:**  $n_{LC} \gtrsim 1.52$ , **18°:**  $n_{LC} \gtrsim 1.62$ , **20°:**  $n_{LC} \gtrsim 1.68$ , **22°:**  $n_{LC} \gtrsim 1.75$ ,  
以及**25°:**  $n_{LC} \gtrsim 1.85$ 。作为另一示例,当 $n_{LC}$ 在约1.35和约1.85之间时,完整FOV可以在  
约20°和约50°之间,或者可以超过50°。

[0214] 在各种实施例中,当波导1604由折射率 $n_t$ 在约1和约2之间,在约1.4和约1.8之间,  
或在约1.5和约1.7之间的合适材料形成时,可获得上面公开的FOV值。例如,波导可包括诸如  
聚碳酸酯的聚合物或玻璃。

[0215] 波导与被配置为耦出光学元件的CLCG耦合

[0216] 如上文关于图9B和9C所述,本文公开的显示设备的各种实施例包括耦出光学元件  
1250、1252、1254,这些耦出光学元件可以被配置为引导观看者眼睛4中的光的出射光瞳扩  
展器(EPE)(图7)。在本文描述的各种实施例中,诸如透镜、反射镜和光栅之类的各种光学部  
件可以被配置为特定于某个光传播方向和/或某种光偏振,例如右旋或左旋圆偏振光。如本  
文所述,在各种实施例中,CLC层和CLCG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旋转方向上连续旋转的多个液晶分子。CLC层或CLCG可以  
有利地被配置为基本上布拉格反射具有与液晶分子的旋转方向匹配的偏振旋向性的椭圆  
或圆偏振光,同时被配置为基本上透射具有与液晶分子的旋转方向相反的偏振旋向性的椭圆  
或圆偏振光。基于CLC层和CLCG的这些特性,本文公开的显示设备的各种实施例具有包括  
一个或多个CLC层或CLCG的光学元件1250、1252、1254。

[0217] 图26示出了根据实施例的被配置为诸如EPE之类的耦出光学元件的示例光学波导  
装置2600。波导装置2600包括被耦合到CLCG 1150并且被配置为经由全内反射(TIR)传播光  
的波导1604。类似于本文所述的各种实施例,CLCG 1150包括以与上文关于例如图11描述的  
手性结构1162-1、1162-2、……1162-i类似的方式布置为多个手性结构的液晶分子。

[0218] 仍然参考图26,被耦合到波导1604的CLCG 1150可以表示被耦合到波导1210、  
1220、1230中的相应一者的耦出光学元件1250、1252、1254(如图9B、9C所示)中的任一者,但  
与在相应波导1210、1220、1230的光出射侧上形成的耦出光学元件1250、1252、1254不同,  
CLCG 1150形成在与波导1604的光出射侧相反的一侧上。因此,根据一些实施例,耦出光学  
元件1250、1252、1254中的每一者和耦入光学元件1212、1222、1232中的相应一者形成在波  
导1210、1220、1230中的相应一者的相反两侧上。在操作中,由例如耦入光学元件1212、  
1222、1232(图9A至9C)耦入的光分别在波导1210、1220、1230(图9A至9C)内经由TIR在层  
面内方向上传播。然后,耦入光可以照射在光分布元件1214、1224、1234(图9A至9C)上(如果存  
在),这些光分布元件可以使光偏转而使得光朝着耦出光学元件1250、1252、1254传播。接近  
耦出光学元件1250、1252、1254的光可以由图26中的光2604表示。当照射在CLCG 1150上时,  
光2604的至少一些可以被CLCG 1150衍射为衍射光2608,该衍射光2608例如可以被引导到  
观看者的眼睛4(图7)内。

[0219] 仍然参考图26,所示的CLCG 1150的液晶分子在旋转方向上连续旋转,并且手性结  
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。由于液晶分子的旋  
转布置,当光2604是具有与手性结构的液晶分子的旋转方向匹配的偏振旋向性(例如,左旋  
或右旋之一)的椭圆/圆偏振光时,光2604被CLCG 1150布拉格反射。也就是说,CLCG 1150中  
的液晶分子的旋转布置使得CLCG 1150选择性地布拉格反射具有一种旋向性的光,同时非

布拉格反射或透射具有相反旋向性的光。另外,因为布拉格反射在衍射条件下发生,所以布拉格反射光2608是单向的(例如,大部分光在耦出时指向一个方向,例如由图26中的箭头2608所示的方向)。耦出光可以保持均匀的偏振态,该偏振态对应于CLC材料的手性。因此,当被配置为光学耦出元件时,CLCG 1150用作偏振器和单向反射器,其允许与本文所述的各种显示系统内的其它光学部件的有效集成。例如,光学元件2600可以用作基于波导的AR显示器中的出射光瞳扩展器,以在单个方向上投射具有受控偏振态的虚拟图像。

[0220] 其它方面

[0221] 在第1方面,一种衍射光栅包括胆甾型液晶(CLC)层,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,该长度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。

[0222] 在第2方面,在根据第1方面所述的衍射光栅中,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。

[0223] 在第3方面,在根据第1至第2方面中任一项所述的衍射光栅中,所述CLC层被配置为当在层法线方向上观察时,基本上布拉格反射具有与所述第一旋转方向匹配的偏振旋向的椭圆或圆偏振光,同时被配置为当在所述层深度方向上观察时,基本上透射具有与所述第一旋转方向相反的偏振旋向的椭圆或圆偏振光。

[0224] 在第4方面,在根据第1至第3方面中任一项所述的衍射光栅中,其中在所述横向方向上周期性地变化的液晶分子的布置使得在所述层深度方向上大约相同深度处的连续横向相邻的手性结构的液晶分子在第二旋转方向上连续旋转 $360^\circ/n$ ,其中n是整数。

[0225] 在第5方面,在根据第1至第4方面中任一项所述的衍射光栅中,在所述横向方向上周期性地变化的液晶分子的布置使得由所述横向相邻的手性结构布拉格反射的椭圆或圆偏振光在所述横向相邻的手性结构之间相移一角度,该角度与所述第二旋转方向上的旋转角成比例。

[0226] 在第6方面,在根据第1至第5方面中任一项所述的衍射光栅中,所述手性结构具有基本相同的螺距。

[0227] 在第7方面,在根据第1至第4方面中任一项所述的衍射光栅中,所述手性结构包括:第一多个手性结构,所述第一多个手性结构中的每个手性结构包括在层深度方向上延伸至少第一螺距并在所述第一旋转方向上连续旋转的多个第一液晶分子;以及第二多个手性结构,所述第二多个手性结构中的每个手性结构包括在所述层深度方向上延伸至少第二螺距并在所述第一旋转方向上连续旋转的多个第二液晶分子。所述第一螺距和所述第二螺距使得所述第一手性结构和所述第二手性结构被配置为布拉格反射具有不同的离轴入射角的光。

[0228] 在第8方面,在根据第7方面所述的衍射光栅中,所述第一多个手性结构形成在第一胆甾型液晶(CLC)层中,并且其中所述第二多个手性结构形成在第二胆甾型液晶(CLC)层中,所述第二CLC层形成在所述第一CLC层之上并且在所述层深度方向上堆叠。

[0229] 在第9方面,在根据第7方面所述的衍射光栅中,所述第一多个手性结构形成在所述胆甾型液晶(CLC)层的第一区域中,并且其中所述第二多个手性结构形成在所述胆甾型

液晶 (CLC) 层的第二区域中, 所述第二区域在所述层深度方向上形成在所述第一区域上方。

[0230] 在第10方面, 在根据第7方面所述的衍射光栅中, 所述第一多个手性结构形成在所述胆甾型液晶 (CLC) 层的第一区域中, 并且所述第二多个手性结构形成在所述胆甾型液晶 (CLC) 层的第二区域中, 其中所述第一和第二区域是所述横向方向上横向相邻的区域。

[0231] 在第11方面, 在根据第7至第10方面中任一项所述的衍射光栅中, 所述第一和第二手性结构中的一者或全部两者在所述层深度方向和所述横向方向中的一者或全部两者上形成螺距梯度。

[0232] 在第12方面, 一种波导装置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上延伸并在第一旋转方向上连续旋转的多个液晶分子。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, 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层上方并且被配置为光学耦合来自所述一个或多个CLC层的布拉格反射光, 使得所述布拉格反射光经由全内反射 (TIR) 在与所述层深度方向垂直的横向方向上传播。所述一个或多个CLC层和所述一个或多个波导被配置为处于相同的光路中。

[0233] 在第13方面, 在根据第12方面所述的波导装置中, 所述多个手性结构中的每一者在层深度方向上延伸至少一个螺距, 其中所述螺距是所述层深度方向上的长度, 该长度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。

[0234] 在第14方面, 根据第12至第13方面中任一项所述的波导装置包括多个CLC层, 其中所述CLC层中的每个CLC层具有不同地布置的手性结构, 所述手性结构被配置为以不同于所述CLC层中的其它CLC层的布拉格反射角选择性地布拉格反射波长不同于所述CLC层中的其它CLC层的波长的入射光。

[0235] 在第15方面, 在根据第12至第14方面中任一项所述的波导装置中, 液晶层的所述周期性地变化的横向布置由周期表征, 其中所述CLC层中的每个CLC层具有与所述CLC层中的其它CLC层不同的周期。

[0236] 在第16方面, 在根据第12至第15方面中任一项所述的波导装置中, 所述CLC层中的每个CLC层被配置为选择性地布拉格反射具有在可见光谱中的波长的入射光。

[0237] 在第17方面, 在根据第12至第15方面中任一项所述的波导装置中, 所述CLC层中的每个CLC层被配置为选择性地布拉格反射具有在红外光谱中的波长的入射光, 同时透射具有在所述可见光谱中的波长的光。

[0238] 在第18方面, 根据第12至第17方面中任一项所述的波导装置包括多个波导, 其中每个波导被光学耦合到在其上形成的所述CLC层之一。

[0239] 在第19方面, 在根据第12至第18方面中任一项所述的波导装置中, 所述多个CLC层形成堆叠, 并且单个波导被光学耦合到所述堆叠中的每个CLC层。

[0240] 在第20方面, 根据第12至第19方面中任一项所述的波导装置进一步包括偏振反射器, 其中所述一个或多个波导被插在所述一个或多个CLC层和所述偏振反射器之间, 并且被配置为使得透射通过所述一个或多个CLC层并且进一步透射通过所述波导的椭圆或圆偏振入射光被所述偏振反射器反射作为反射光, 所述反射光具有相对于所述椭圆或圆偏振入射光的相反偏振旋向。

[0241] 在第21方面,根据第12至第20方面中任一项所述的波导装置包括与波导形成堆叠的第一CLC层和第二CLC层,其中所述第一CLC层和所述第二CLC层的手性结构在相反的旋转方向上连续旋转。

[0242] 在第22方面,在根据第21方面所述的波导装置中,所述第一和第二CLC层堆叠在所述波导上。

[0243] 在第23方面,在根据第21方面所述的波导装置中,所述波导插在所述第一CLC层和所述第二CLC层之间。

[0244] 在第24方面,在根据第12至23方面中任一项所述的波导装置中,所述一个或多个CLC层中的每一者具有超过1.35的平均折射率( $n_{LC}$ ),其中 $n_{LC}$ 具有寻常折射率( $n_o$ )和非常折射率( $n_e$ )的平均值。

[0245] 在第25方面,在根据第24方面所述的波导装置中,所述一个或多个波导被配置为当入射光以相对于所述层深度方向的入射角入射在所述一个或多个CLC层上时光学耦合来自所述一个或多个CLC层的布拉格反射光,其中所述入射角在视场(FOV)内,在所述视场内,衍射效率大于25%,横跨至少20°。

[0246] 在第26方面,在根据第24或25方面中任一项所述的波导装置中,所述一个或多个CLC层中的每一者具有在约0.05和0.70之间的双折射率( $\Delta n$ )。在第24至26方面中的任一项中,所述一个或多个CLC层中的任一者可以具有大于 $2(2\sin\theta_{inc} - n_o + 1)$ 的双折射率 $\Delta n$ ,其中 $\theta_{inc}$ 是所述波导装置的视场(FOV)的入射角, $n_o$ 是所述一个或多个CLC层的寻常折射率。

[0247] 在第27方面,一种头戴式显示设备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。所述头戴式显示设备包括框架,其被配置为支撑在所述用户的头部上。所述头戴式显示设备另外包括显示器,其被设置在所述框架上,其中所述显示器的至少一部分包括一个或多个波导。所述一个或多个波导是透明的并且在所述用户穿戴着所述头戴式显示设备时设置在用户眼睛前方的位置,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至少一个衍射光栅,所述衍射光栅被配置为将来自所述光源的光耦合到所述一个或多个波导中或者将光耦出所述一个或多个波导,其中所述至少一个衍射光栅包括根据第1至第11方面中任一项所述的衍射光栅。

[0248] 在第28方面,在根据第27方面所述的头戴式设备中,所述一个或多个光源包括光纤扫描投影仪。

[0249] 在第29方面,根据第27至第28方面中任一项所述的头戴式设备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。

[0250] 在第30方面,一种波长选择性胆甾型液晶反射器(CLCR)包括一个或多个胆甾型液晶(CLC)层,每个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并在第一旋转方向上连续旋转的多个液晶分子。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,使得所述一个或多个CLC层被配置为基本上布拉格反射具有第一波长的第一入射光,同时基本上透射具有第二波长的第二入射光。

[0251] 在第31方面,在根据第30方面所述的波长选择性CLCR中,所述一个或多个CLC层中的每一者被配置为当在所述层深度方向上观察时,基本上布拉格反射具有与所述第一旋转方向匹配的偏振旋向的椭圆或圆偏振的第一或第二入射光,同时被配置为当在所述层深度

方向上观察时,基本上透射具有与所述第一旋转方向相反的偏振旋向的椭圆或圆偏振的第一或第二入射光。

[0252] 在第32方面,在根据第30至第31方面中任一项所述的波长选择性CLCR中,在所述横向方向上周期性变化的所述液晶分子的布置被布置为在所述横向方向上具有周期,使得所述第一波长和所述周期之间的比率在约1.1和约1.5之间。

[0253] 在第33方面,在根据第30至第32方面中任一项所述的波长选择性CLCR中,所述第一波长在约750nm和约1400nm之间的近红外范围内,所述第二波长在所述可见光范围内。

[0254] 在第34方面,在根据第30至第32方面中任一项所述的波长选择性CLCR中,所述一个或多个CLC层被配置为使得所述第一入射光以相对于所述层深度方向超过60度的角被反射。

[0255] 在第35方面,在根据第30至第32方面中任一项所述的波长选择性CLCR中,所述手性结构的所述多个液晶分子相对于与所述层深度方向垂直的方向预倾斜。

[0256] 在第36方面,一种被配置为穿戴在用户头部上的头戴式显示器(HMD)包括框架,所述框架包括一对耳柄。所述HMD另外包括由所述框架支撑的一对光学元件,使得所述一对光学元件中的每一者能够被设置在所述用户的眼睛前方。所述HMD另外包括前向成像器,其被安装到所述一对耳柄中的一者。所述HMD还包括根据第30至第35方面中任一项所述的胆甾型液晶(CLC)离轴反射镜。所述胆甾型液晶(CLC)离轴反射镜被设置在所述一对光学元件中的一者之中或之上,并且被配置为朝着所述前向成像器反射红外光,所述前向成像器被配置为接收由所述反射元件反射的红外光。

[0257] 在第37方面,在第36方面所述的HMD中,所述CLC离轴反射镜包括多个CLC层,其中每个CLC层具有不同地布置的手性结构,所述手性结构被配置为以不同于所述CLC层中的其它CLC层的布拉格反射角选择性地布拉格反射具有与所述CLC层中的其它CLC层不同的波长的入射光。

[0258] 在第38方面,在根据第36至第37方面中任一项所述的HMD中,液晶层的所述周期性地变化的横向布置由周期表征,其中所述CLC层中的每个CLC层具有与所述CLC层中的其它CLC层不同的周期。

[0259] 在第39方面,在根据第36至第38方面中任一项所述的HMD中,所述CLC层中的每个CLC层被配置为选择性地布拉格反射具有在红外光谱中的波长的入射光,同时透射具有在可见光谱中的波长的入射光。

[0260] 在第40方面,在根据第36至第39方面中任一项所述的HMD中,所述一对光学元件中的每一者对可见光是透明的。

[0261] 在第41方面,在根据第36至第40方面中任一项所述的HMD中,所述一对光学元件中的每一者被配置为向所述用户显示图像。

[0262] 在第42方面,一种波导装置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,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,所述波导形成在所述一个或多个CLC层上方并且被配置为光学耦合来自所述一个或多个CLC层的布拉格反射光,使得所述布拉格反射光经由全内反射

(TIR) 在与所述层深度方向垂直的横向方向上传播。所述波导装置被配置为具有视场(FOV), 在所述FOV内, 衍射效率大于25%, 所述FOV超过20°。

[0263] 在第43方面, 在根据第42方面所述的波导装置中, 所述一个或多个CLC层中的每一者具有超过1.35的平均折射率( $n_{LC}$ ), 其中 $n_{LC}$ 具有作为寻常折射率( $n_o$ )和非常折射率( $n_e$ )的平均值的值。

[0264] 在第44方面, 在根据第42至第43方面中任一项所述的波导装置中, 所述一个或多个CLC层中的每一者具有在约0.05和0.70之间的双折射率( $\Delta n$ )。

[0265] 在第45方面, 一种显示设备包括波导和形成在所述波导上的耦入光学元件, 所述耦入光学元件被配置为将入射在其上的光耦入到所述波导的第一侧中, 其中所述耦入光学元件和所述波导被配置为使得耦入到所述波导中的光经由全内反射(TIR)在所述波导中在所述波导的平面内方向上传播。所述显示设备另外包括耦出光学元件, 所述耦出光学元件形成在所述波导上并且被配置为将入射在其上的光耦出所述波导。所述光耦出元件包括胆甾型液晶(CLC)层, 所述CLC层包括多个手性结构, 其中每个所述手性结构包括在所述CLC层的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, 使得所述一个或多个CLC层被配置为将入射在其上的光从所述波导布拉格反射到所述第一侧。

[0266] 在第46方面, 在根据第45方面所述的显示设备中, 所述耦出光学元件和所述耦入光学元件形成在所述波导的相反侧上。

[0267] 在第47方面, 在根据第45方面所述的显示设备中, 所述光耦出光学元件被配置为选择性地布拉格反射具有右旋圆偏振或左旋圆偏振之一的光。

[0268] 在第48方面, 在根据第45方面所述的显示设备中, 其中所述光耦出光学元件被配置为选择性地布拉格反射具有与所述第一旋转方向相同的偏振方向的光。

[0269] 在第49方面, 在根据第45方面所述的显示设备中, 所述光耦入光学元件包括液晶层。

[0270] 在第50方面, 在根据第49方面所述的显示设备中, 其中所述液晶层包括第二CLC层, 所述第二CLC层包括多个手性结构, 其中每个所述手性结构包括在所述第二CLC层的层深度方向上延伸并在所述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所述横向方向上周期性地变化。

#### [0271] 其它考虑事项

[0272] 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。

[0273] 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。

[0274] 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。

[0275] 此外,除非另有明确规定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。

[0276] 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内。

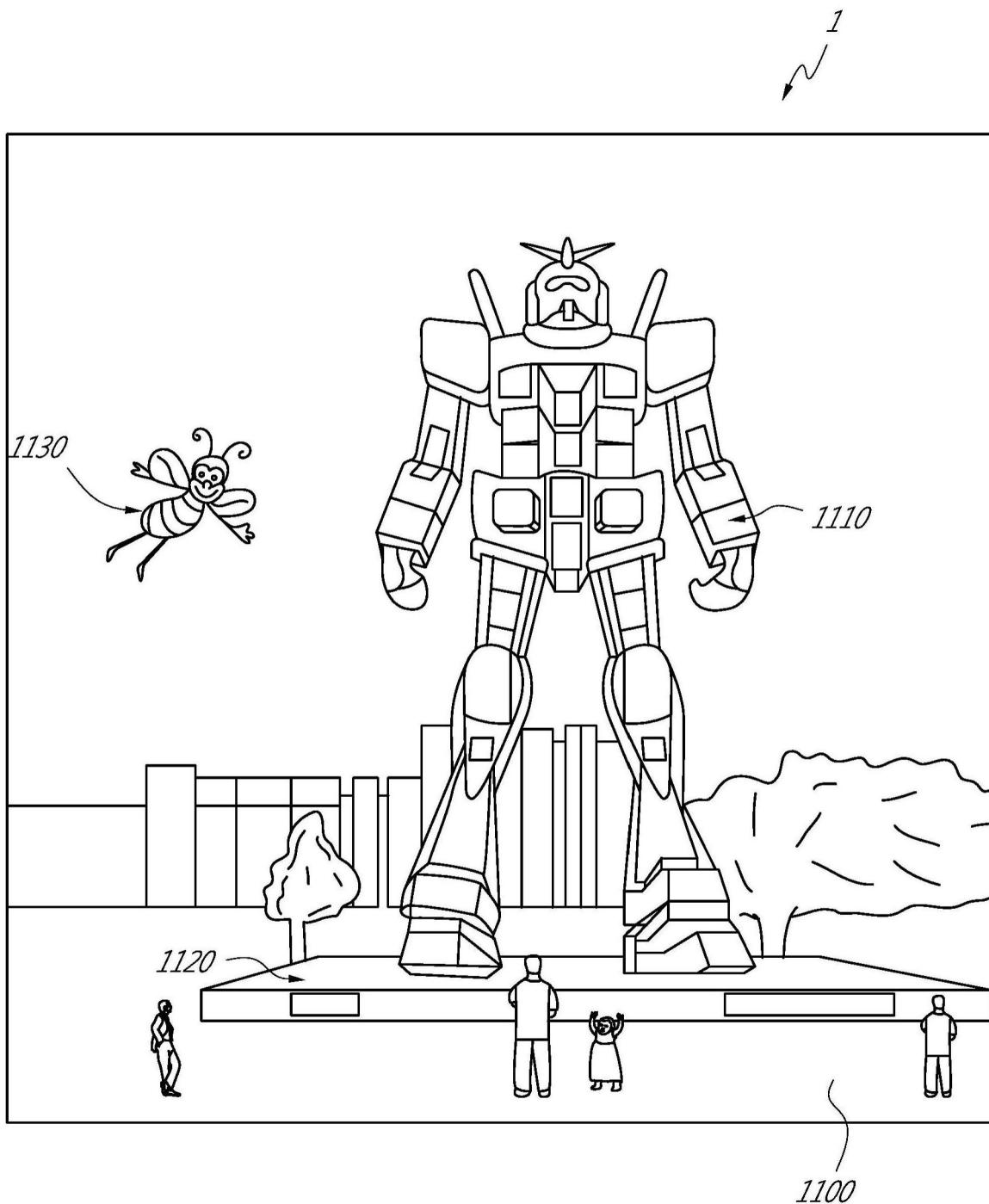


图1

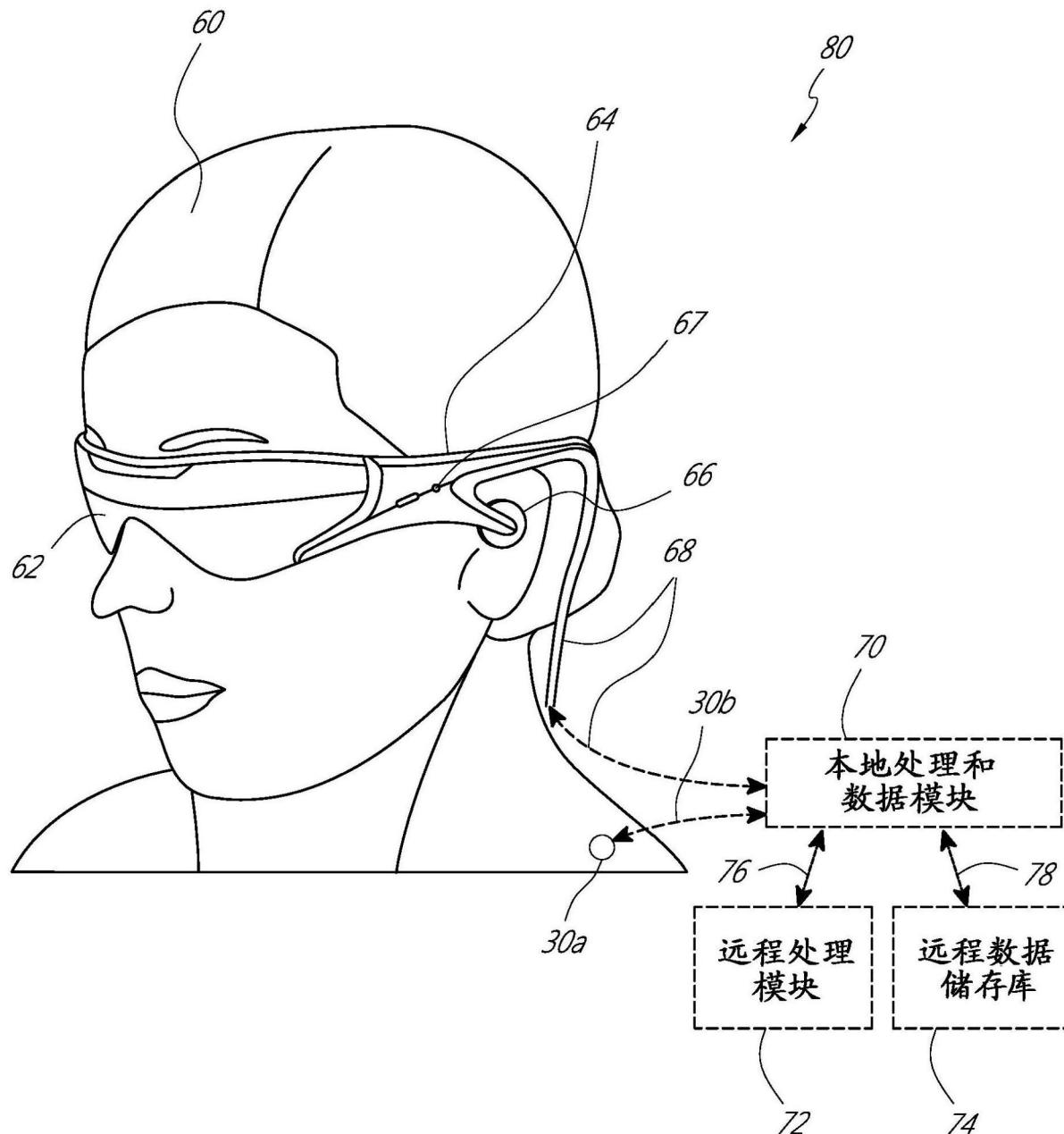


图2

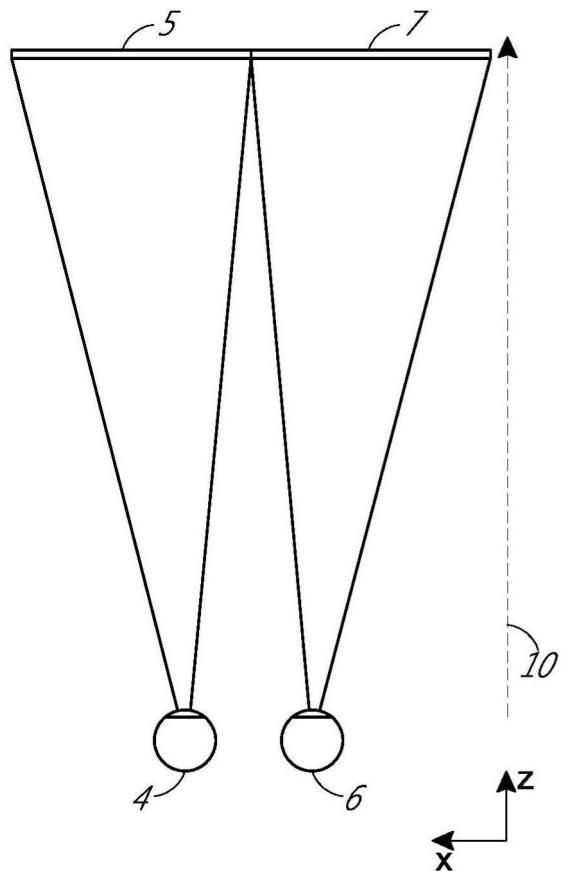


图3

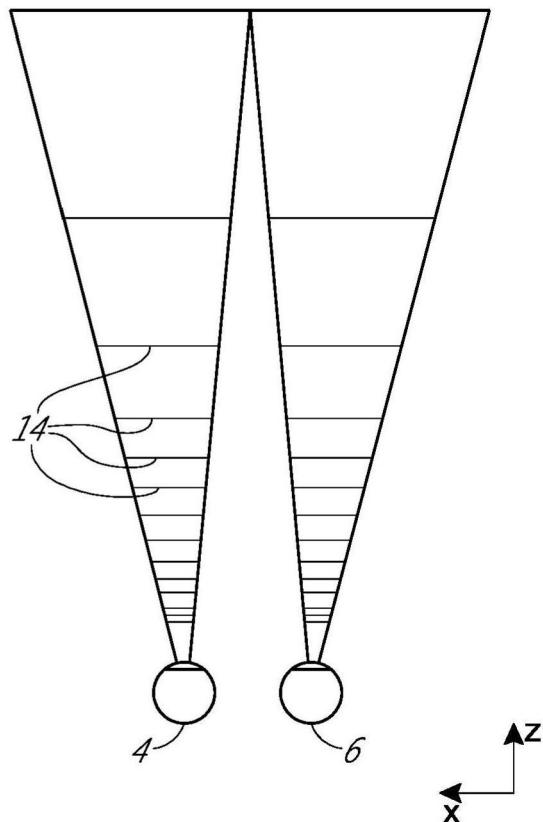


图4

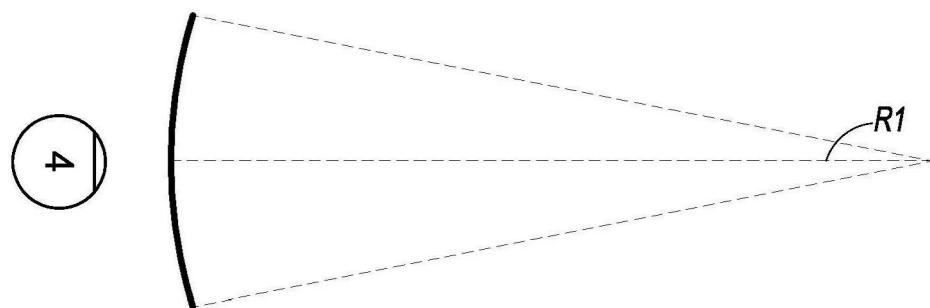


图5A

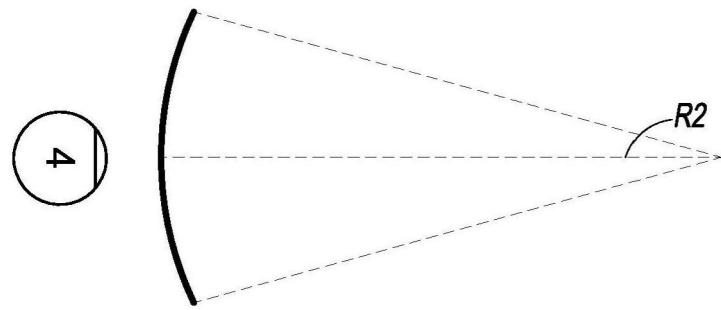


图5B

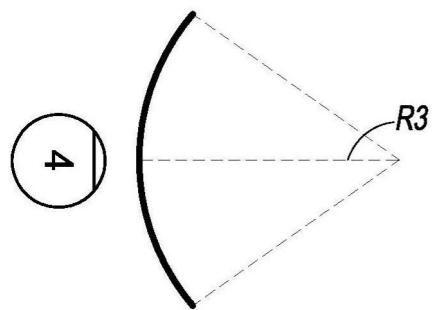


图5C

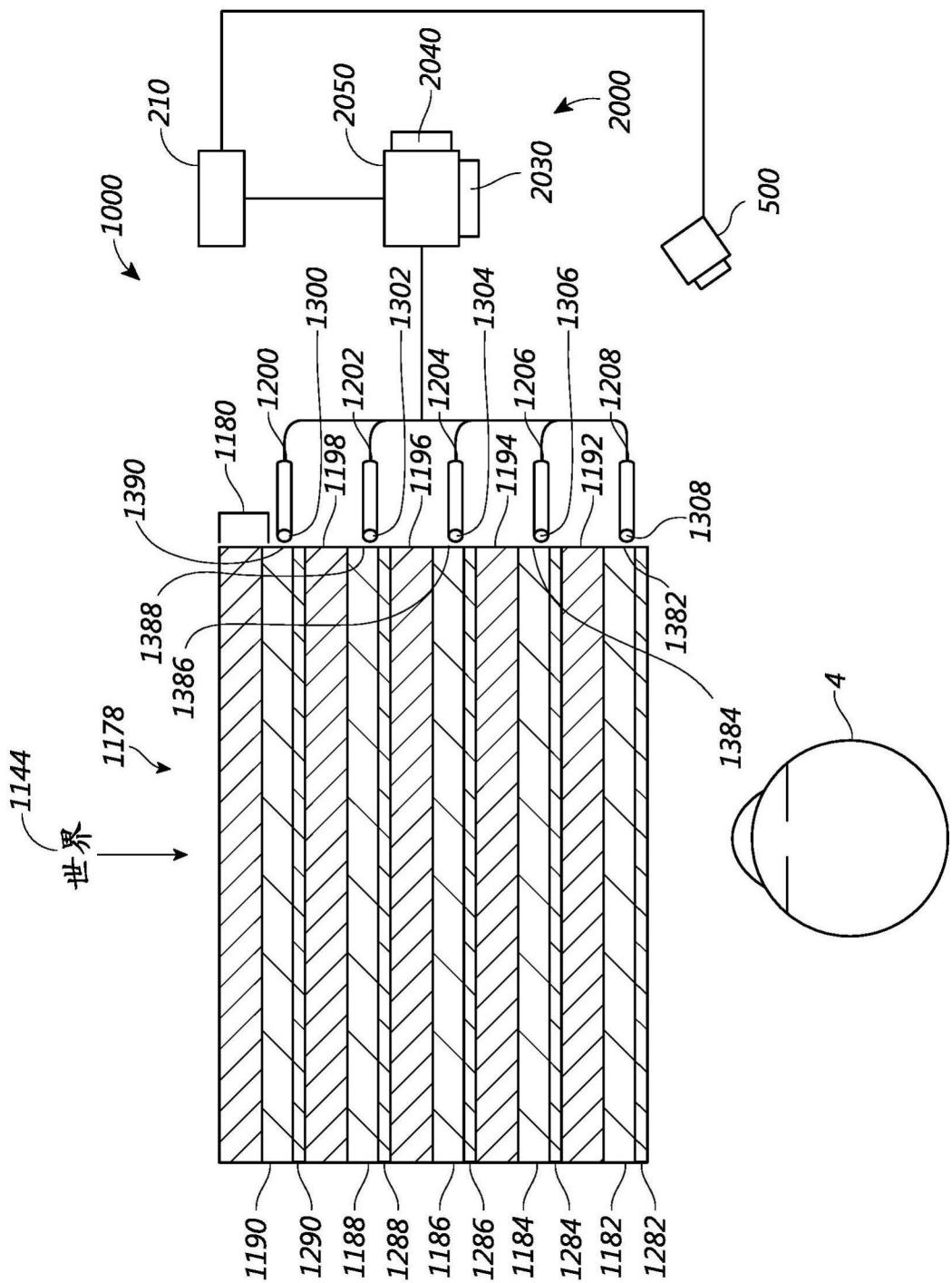


图6

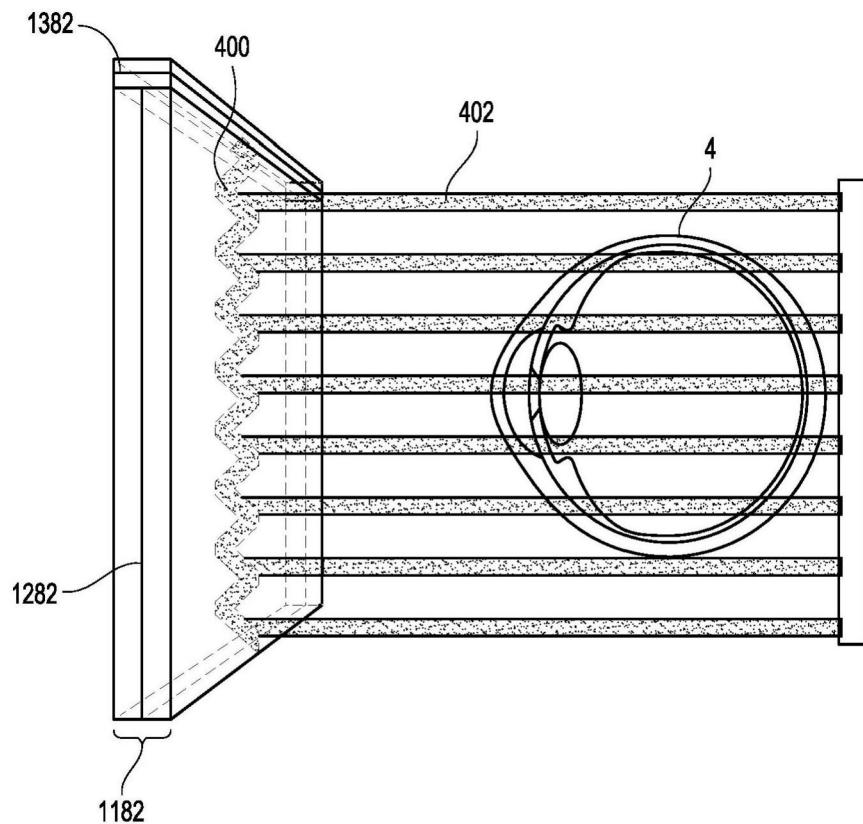
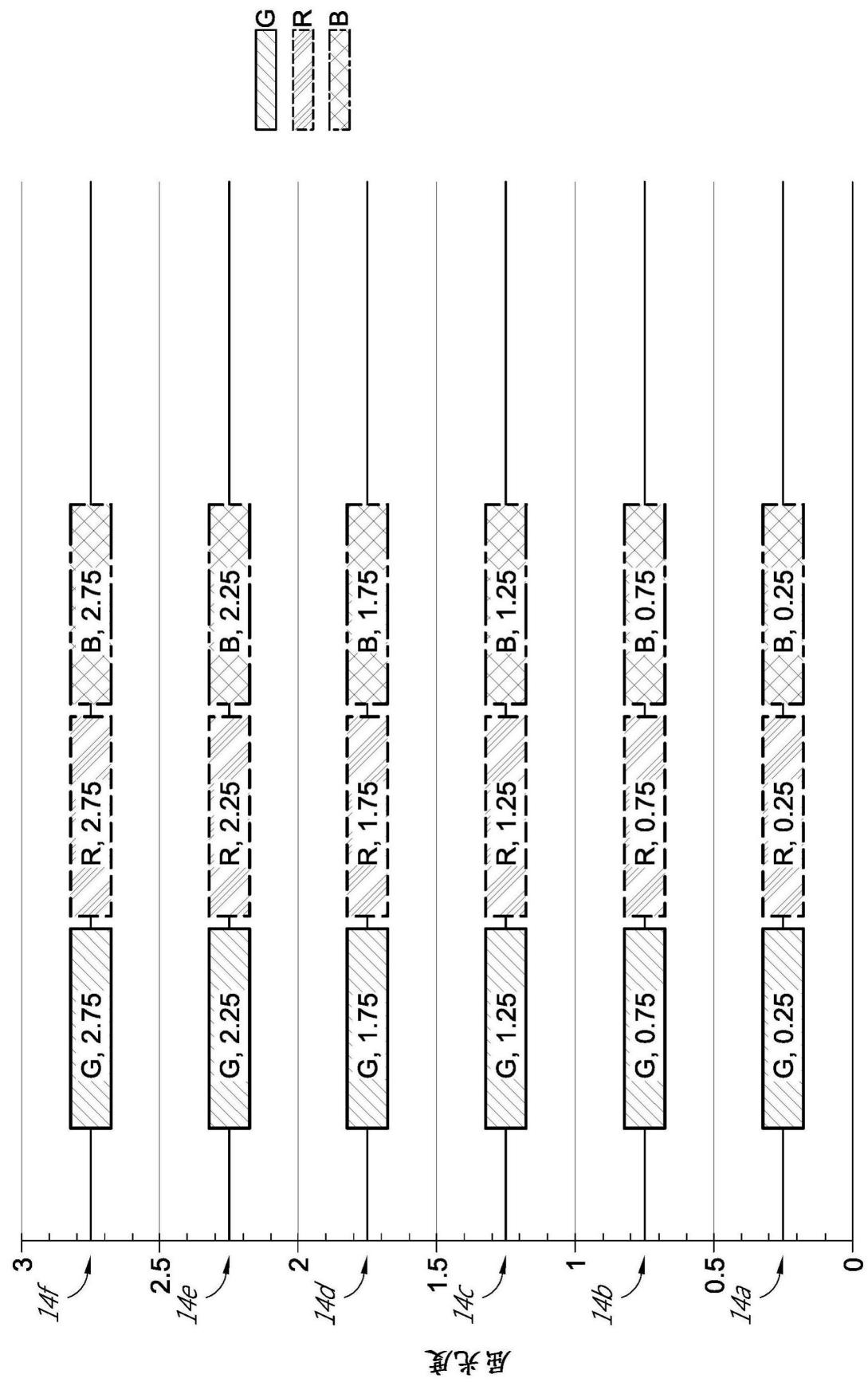


图7



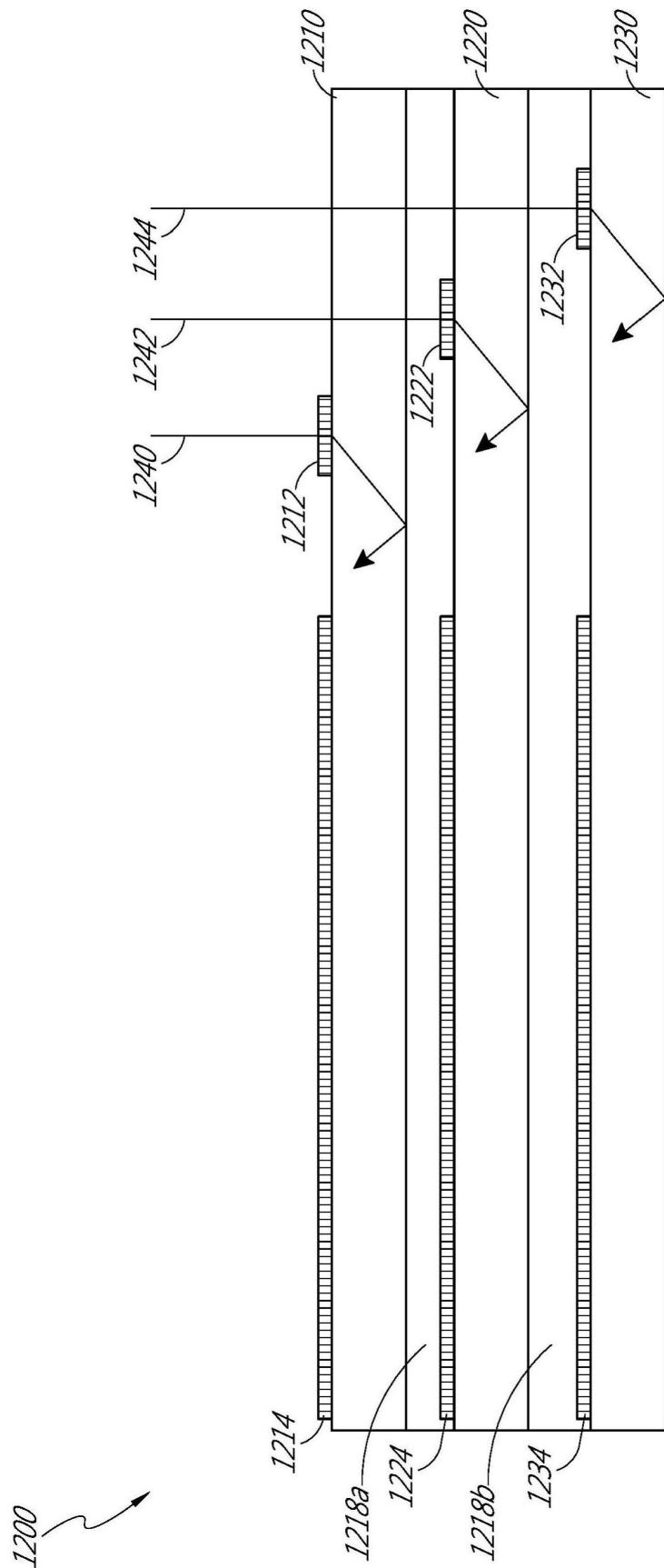


图9A

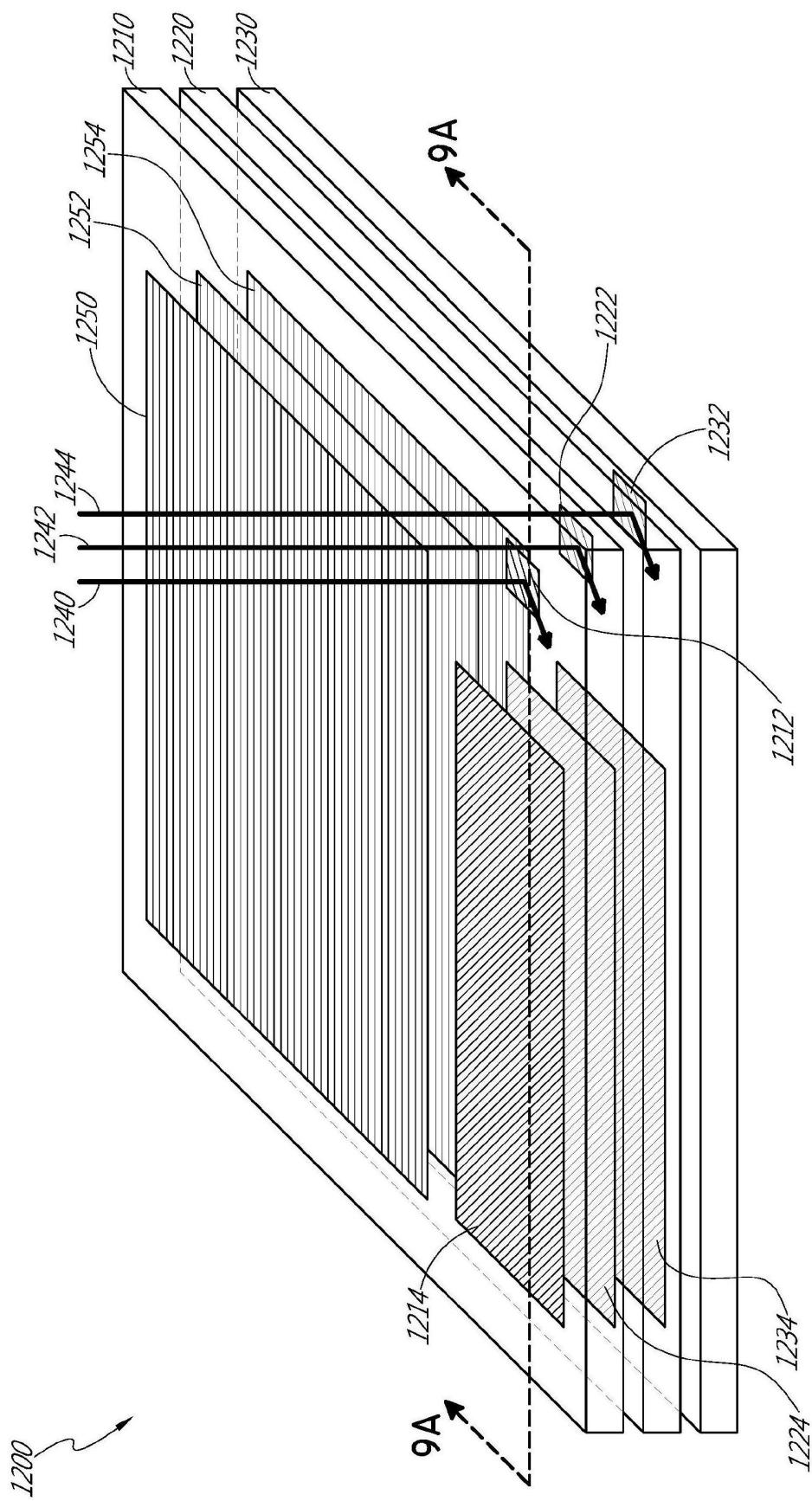


图9B

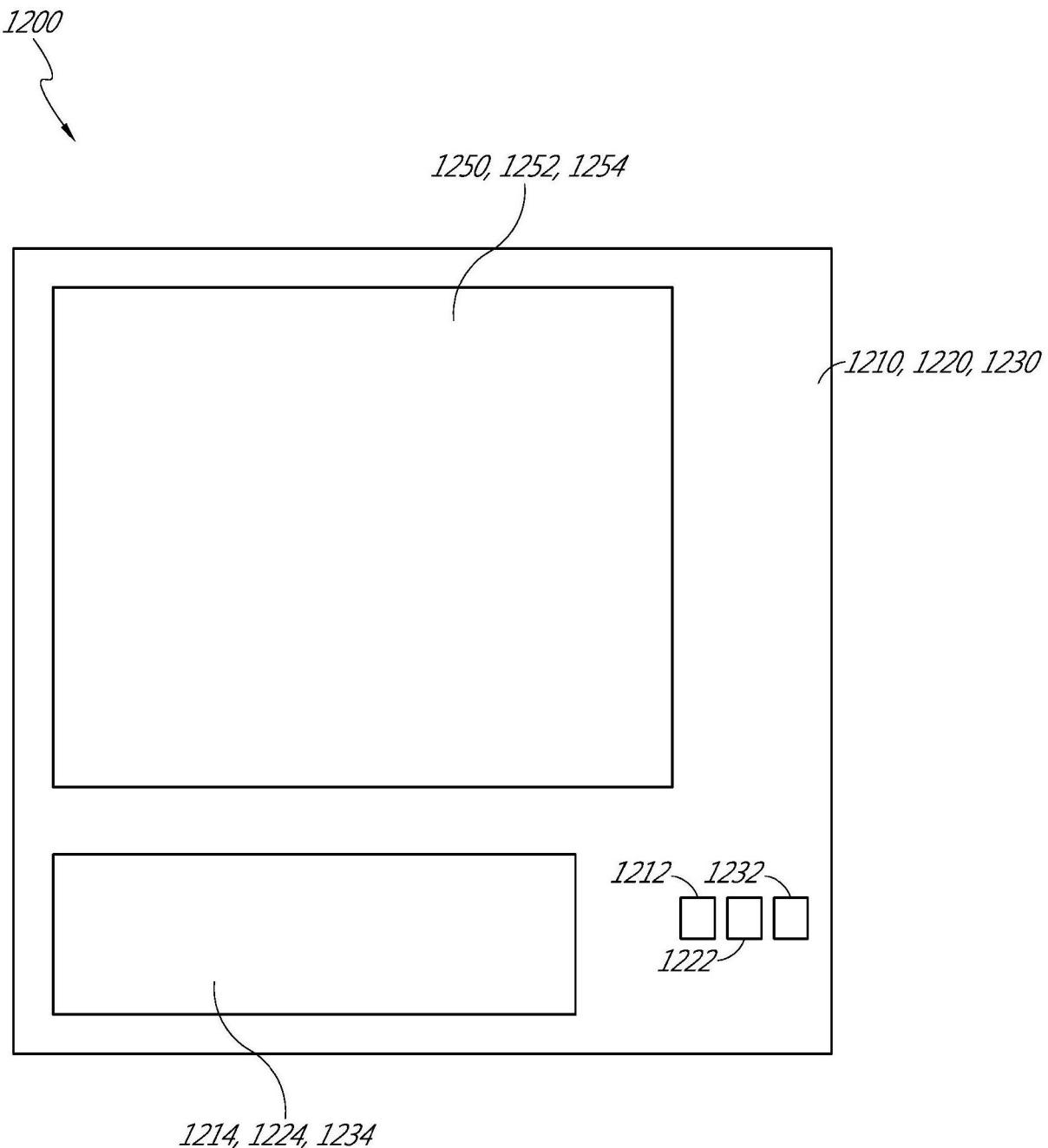


图9C

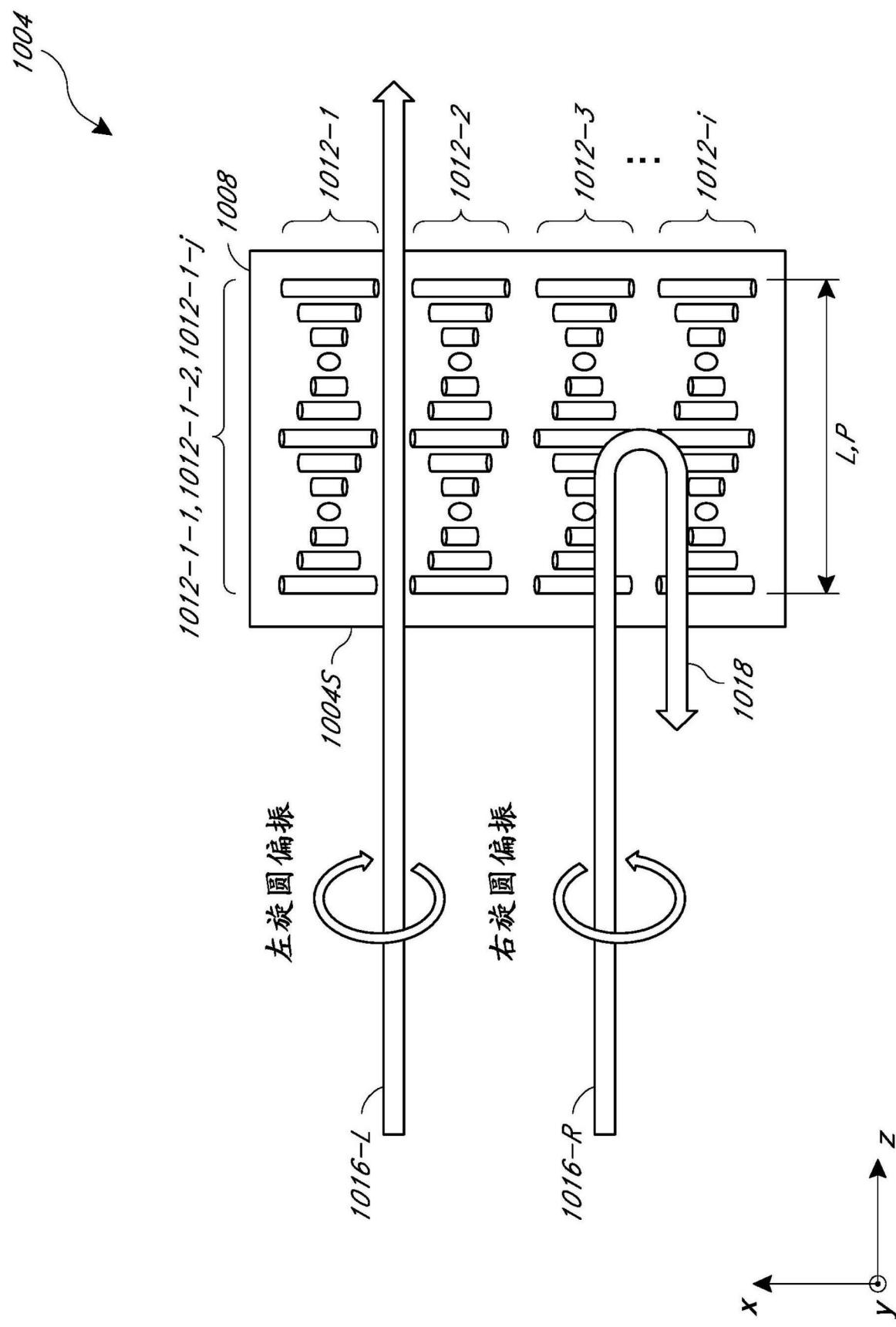


图10

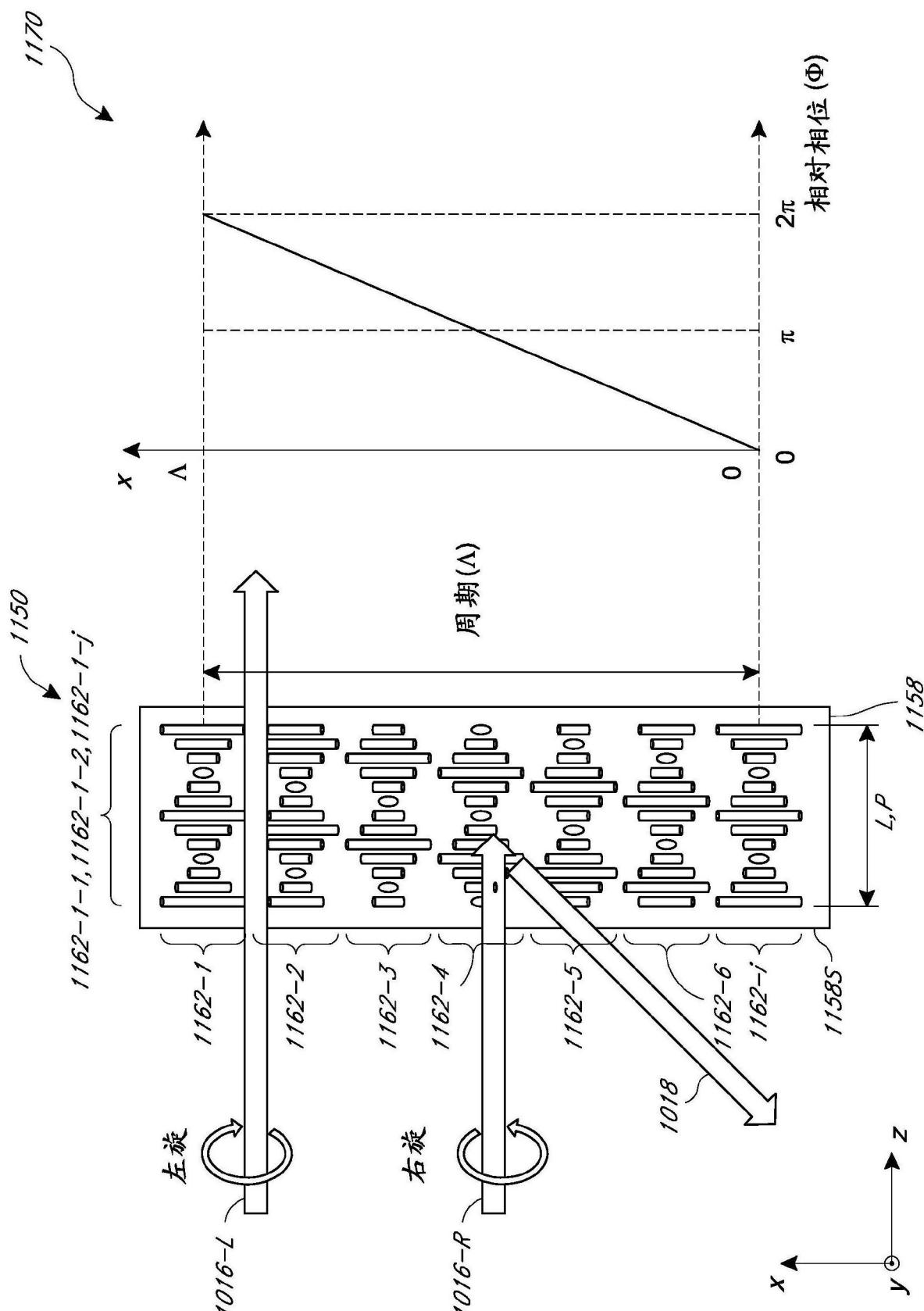


图11

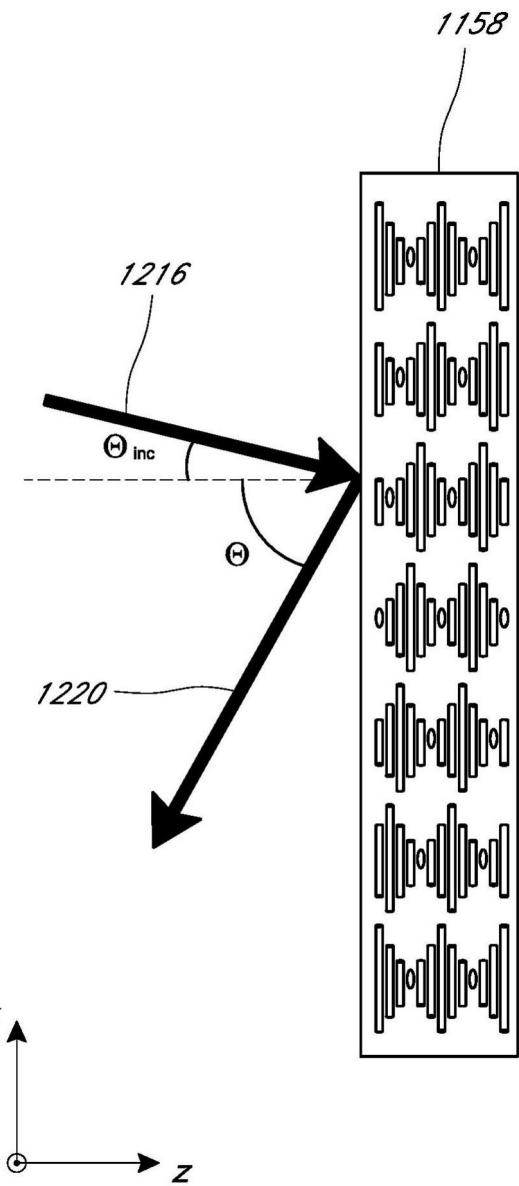


图12

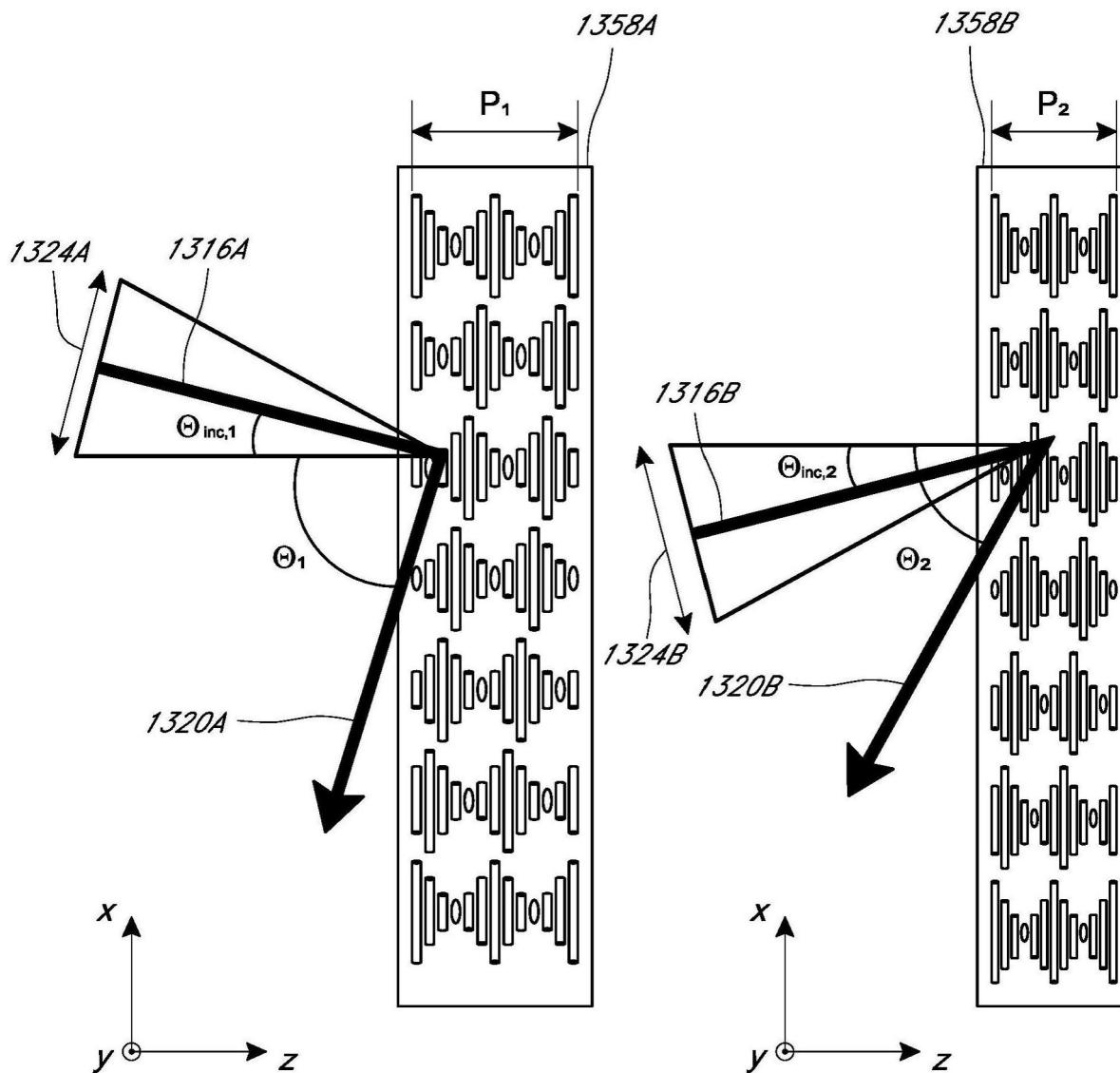


图 13A

图 13B

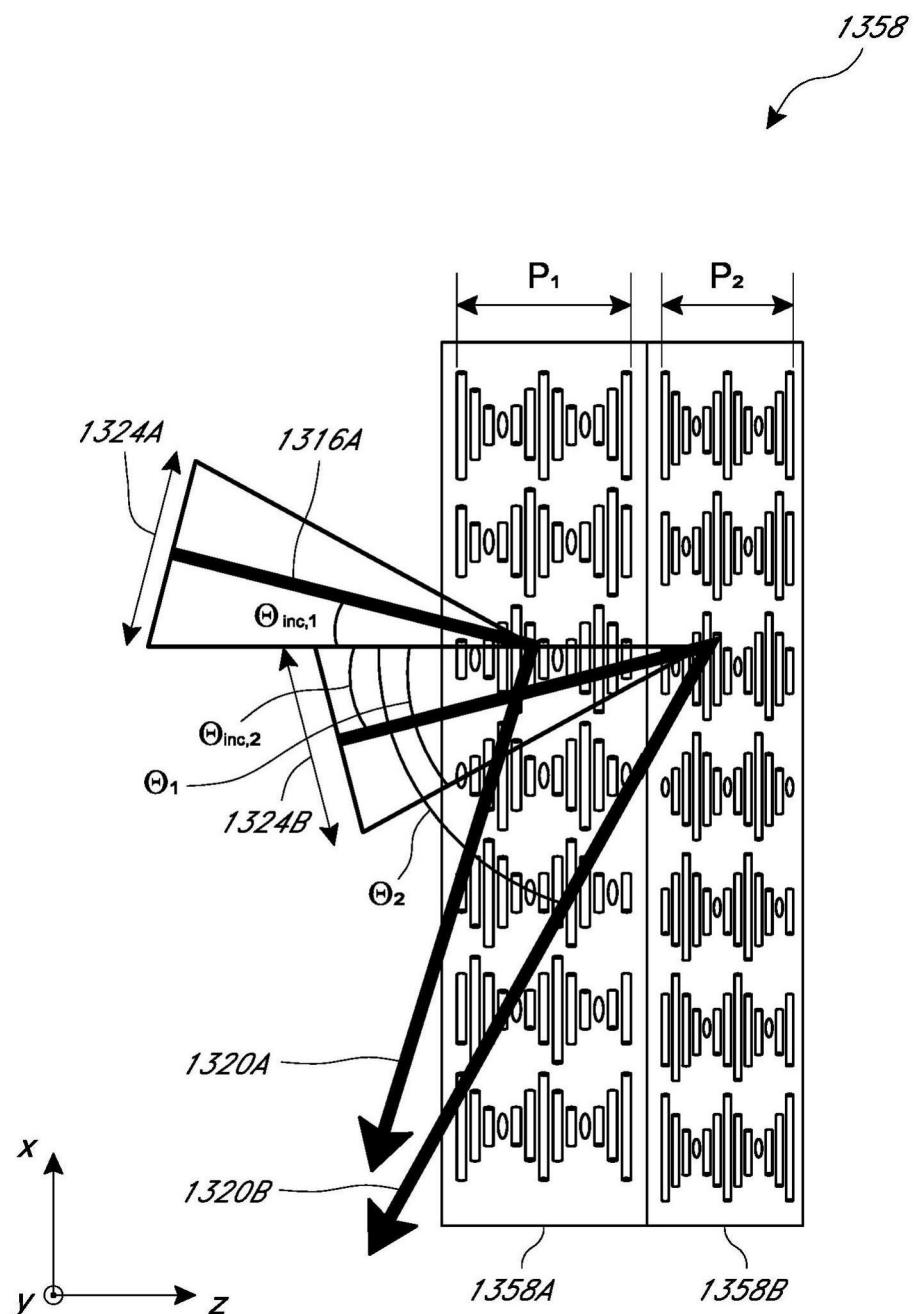


图13C

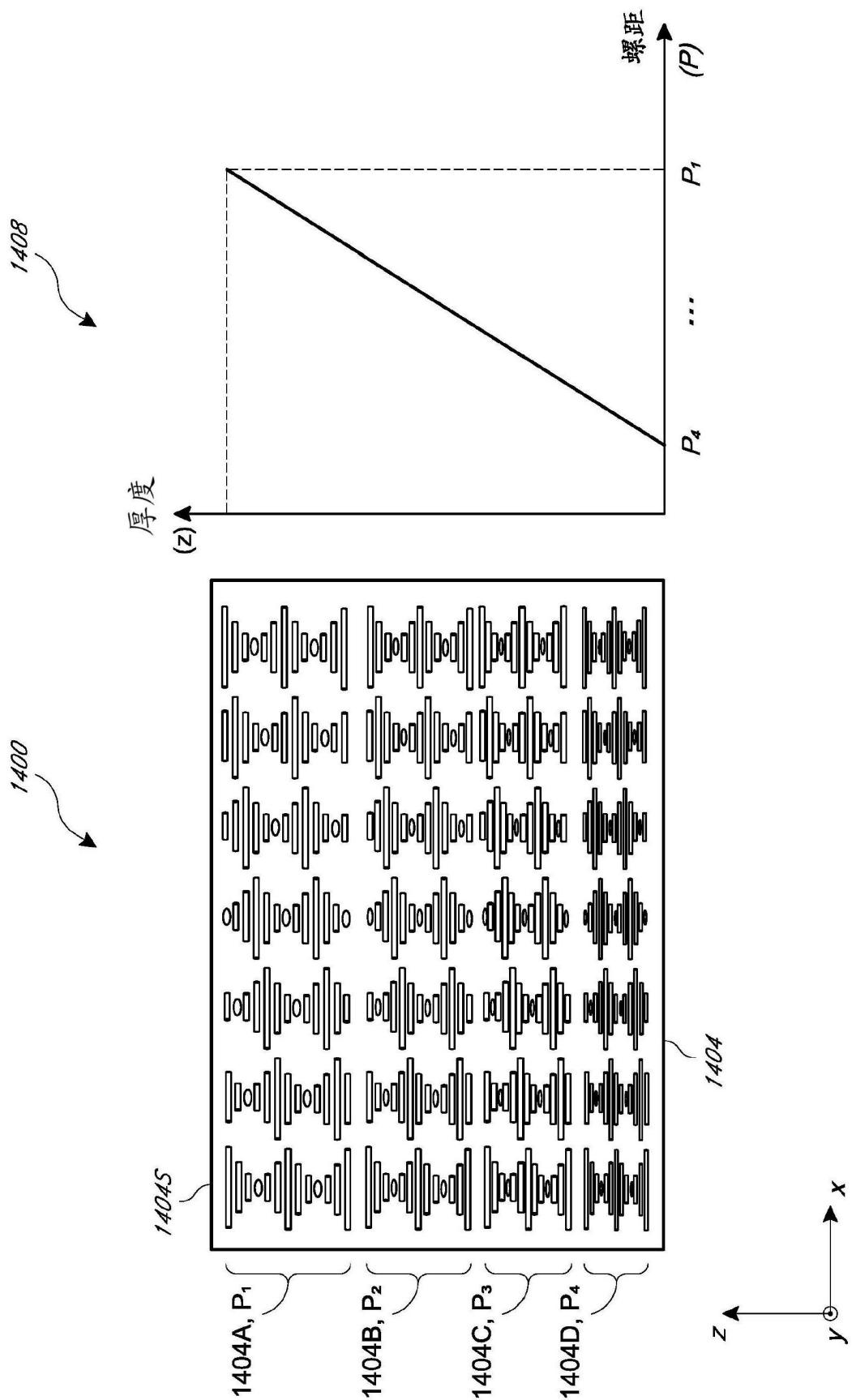


图14

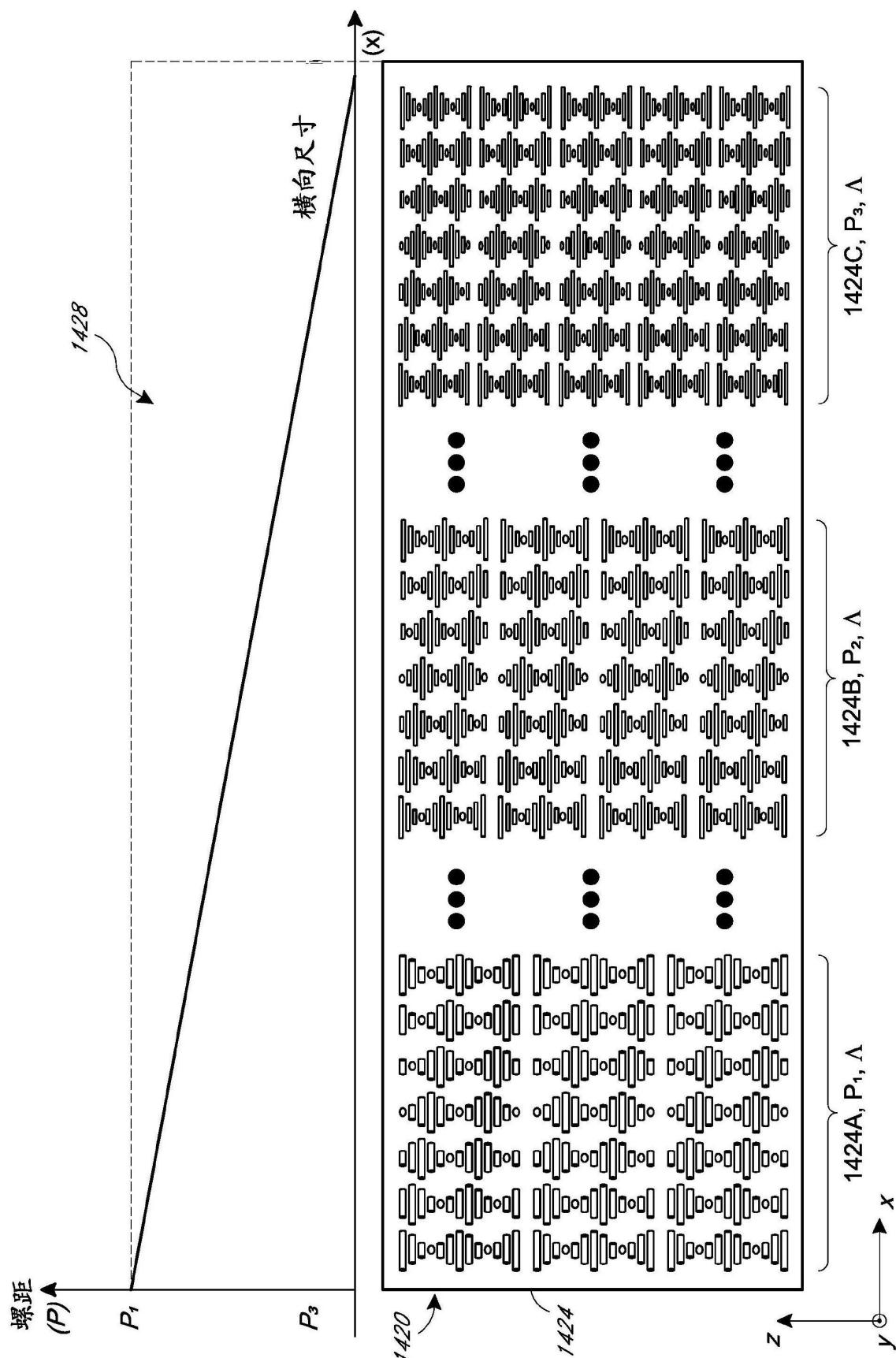


图15

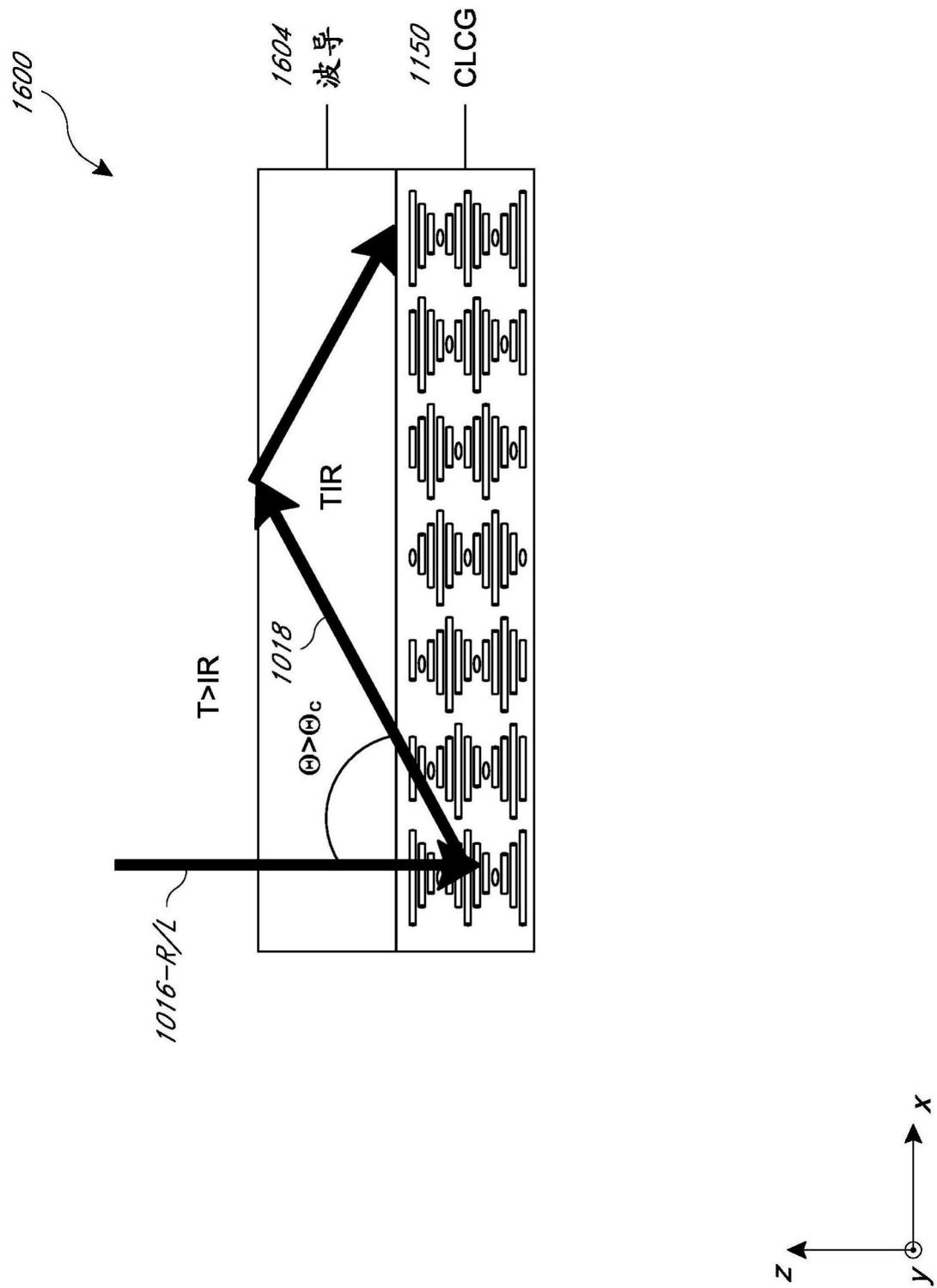


图16

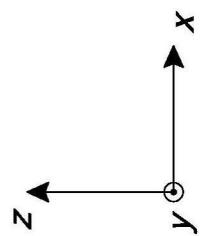
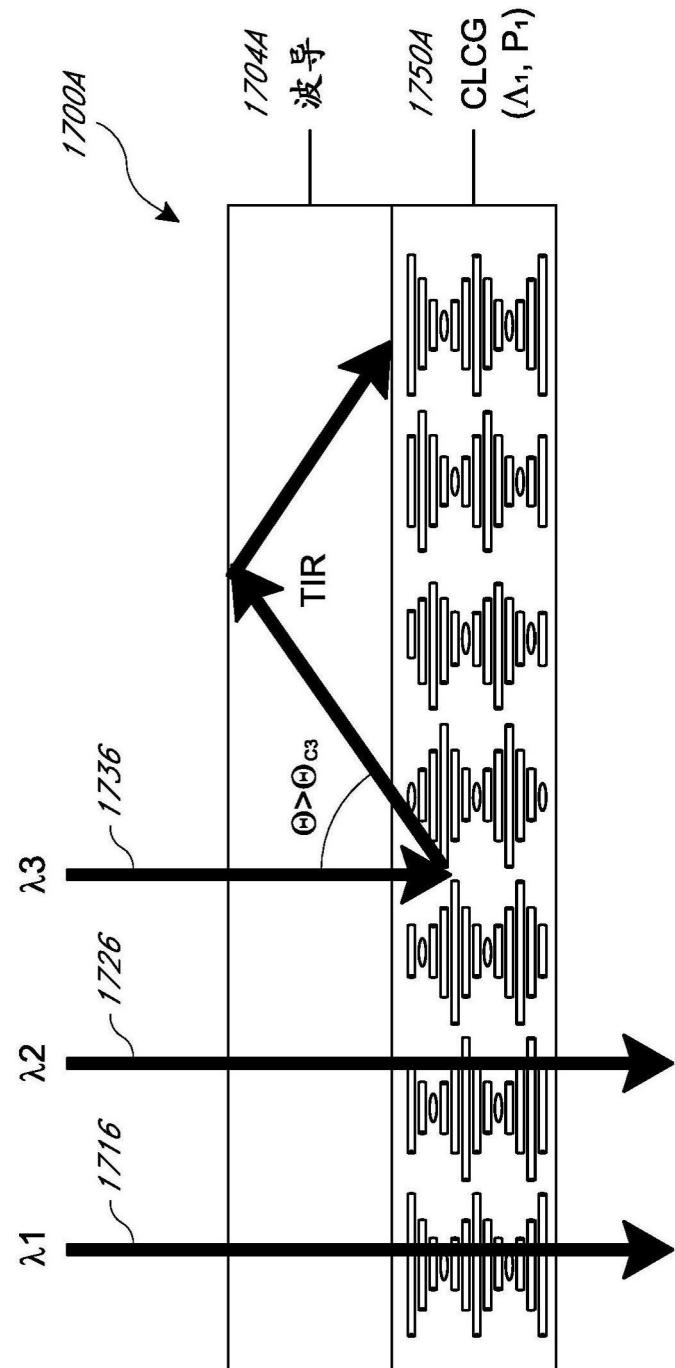


图17A

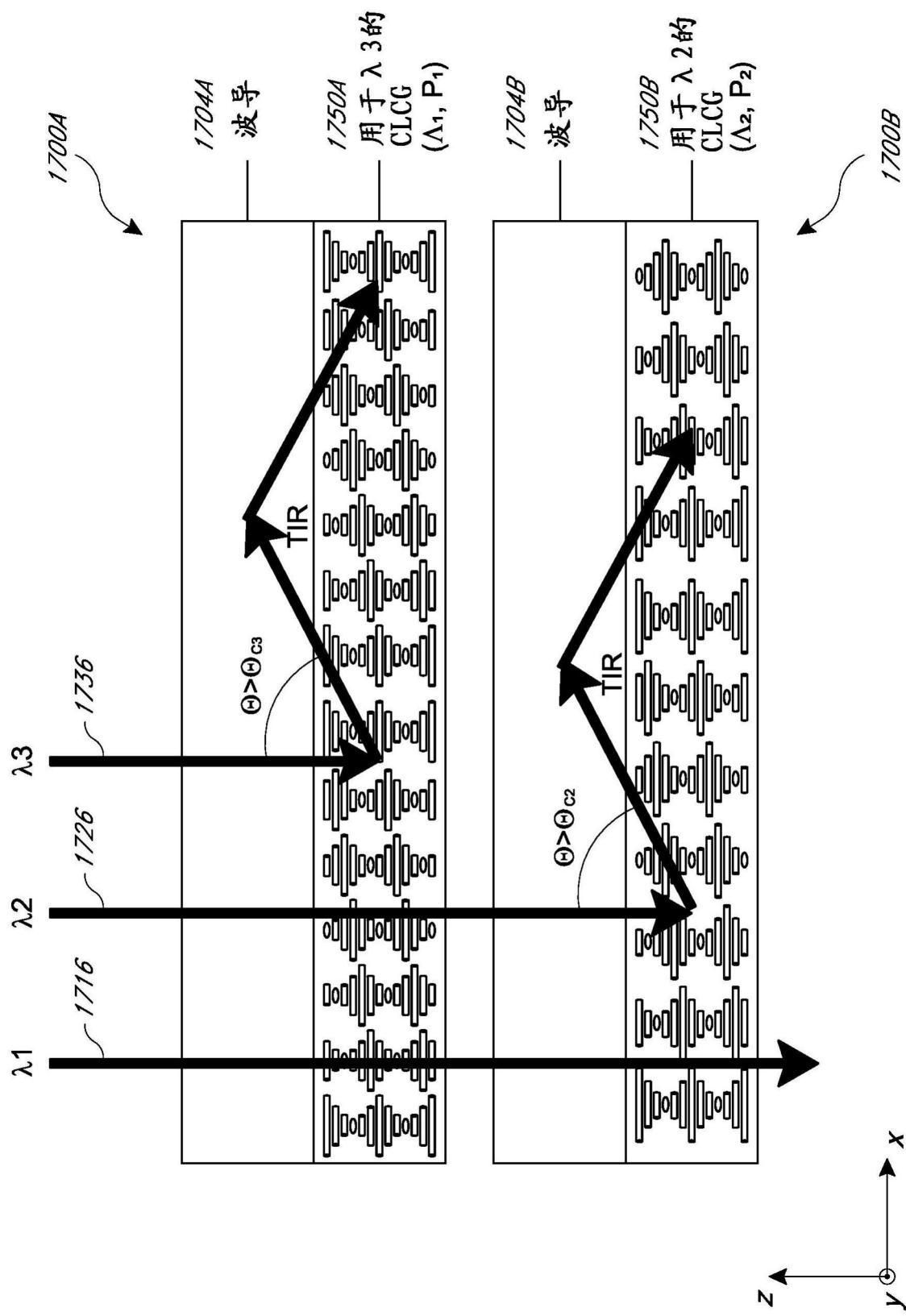


图17B

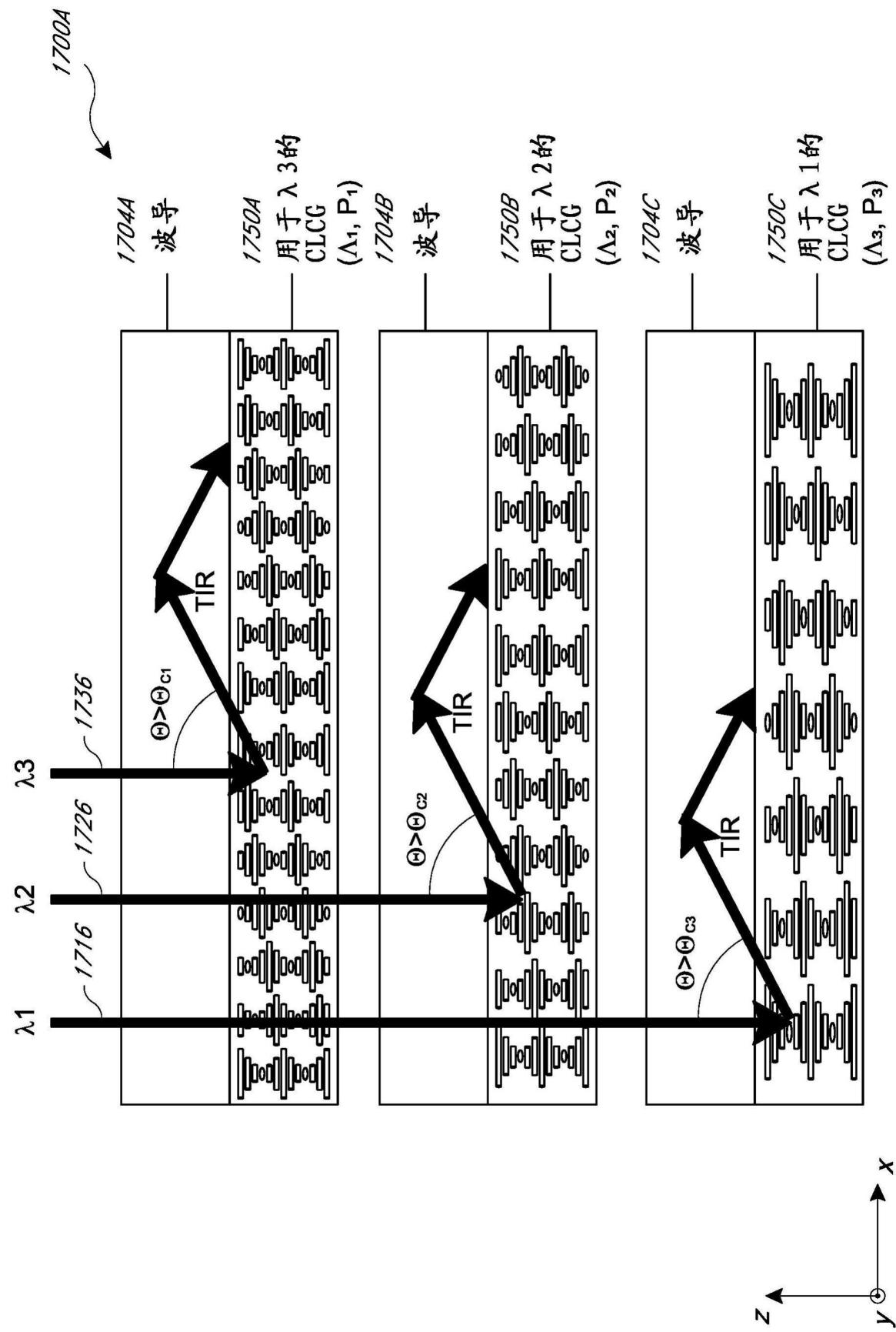


图17C

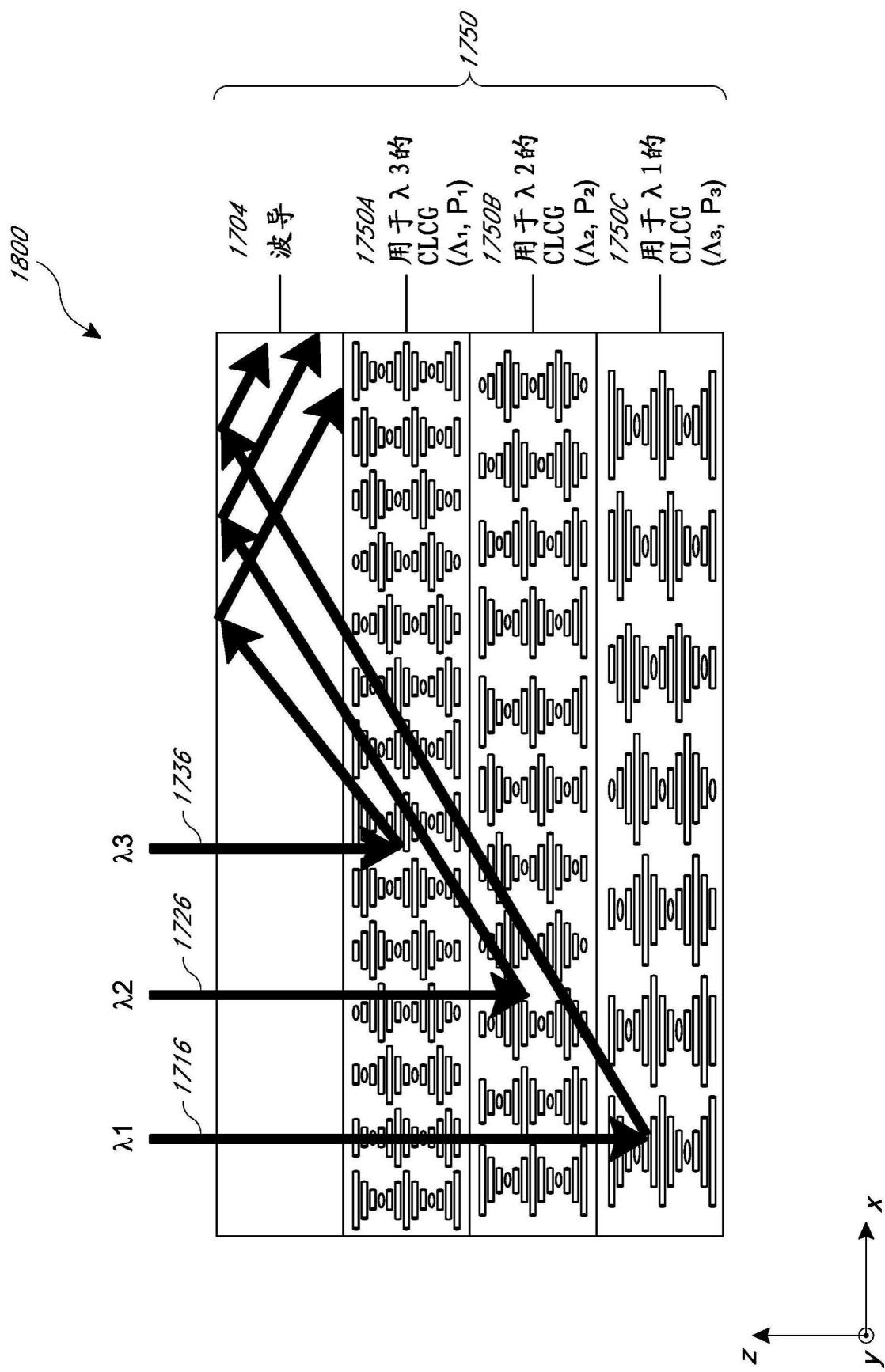


图18

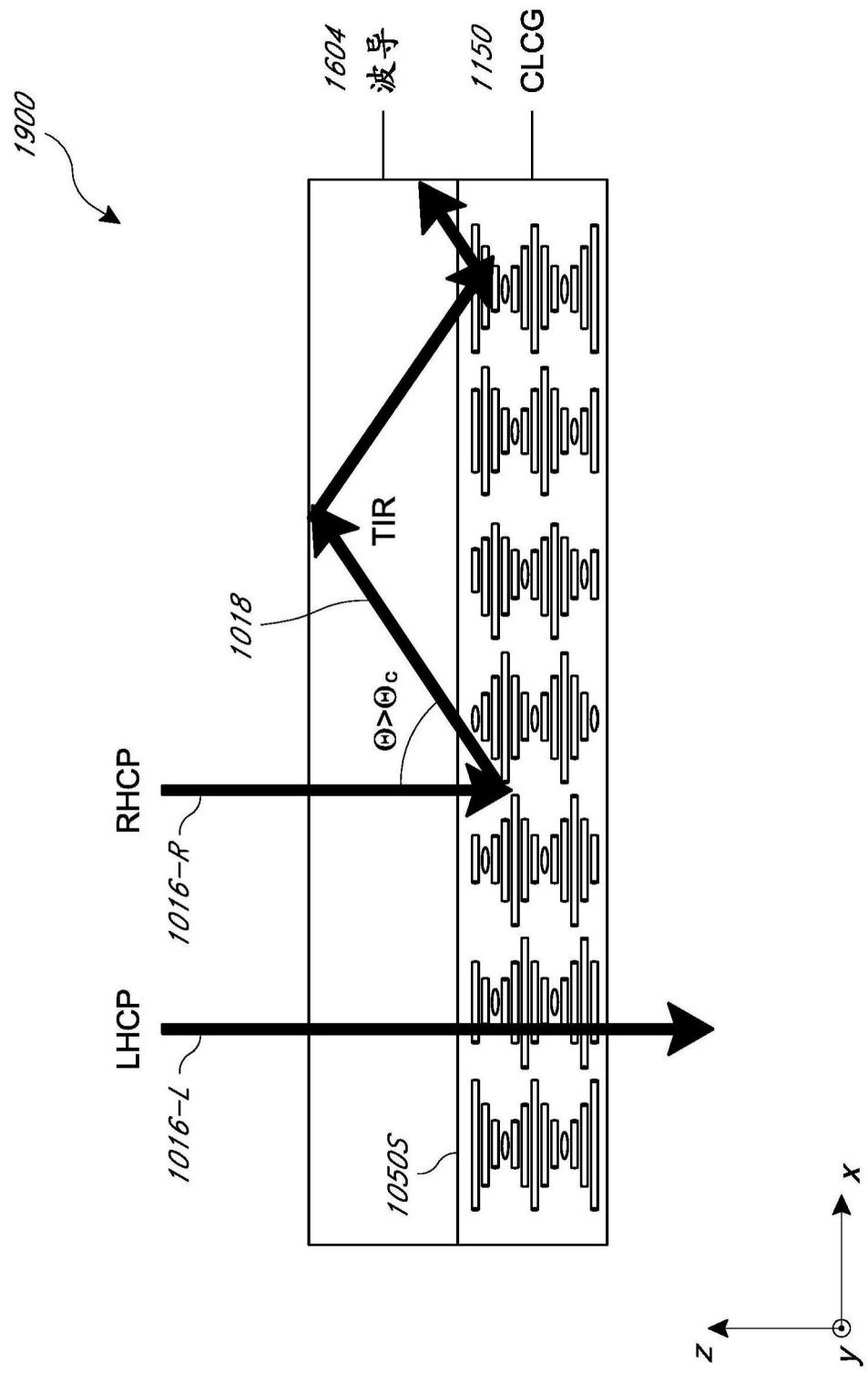


图19

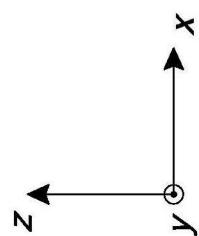
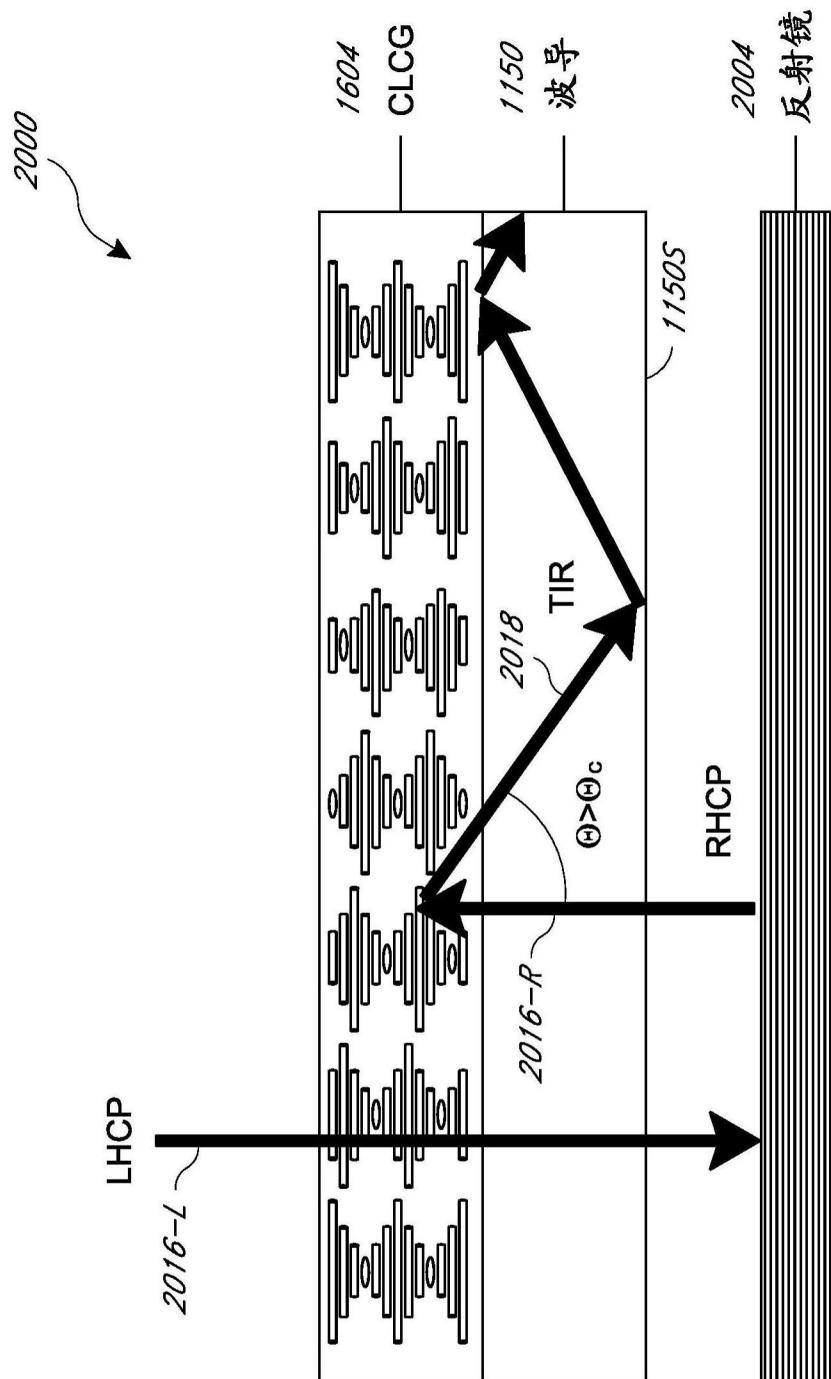


图20

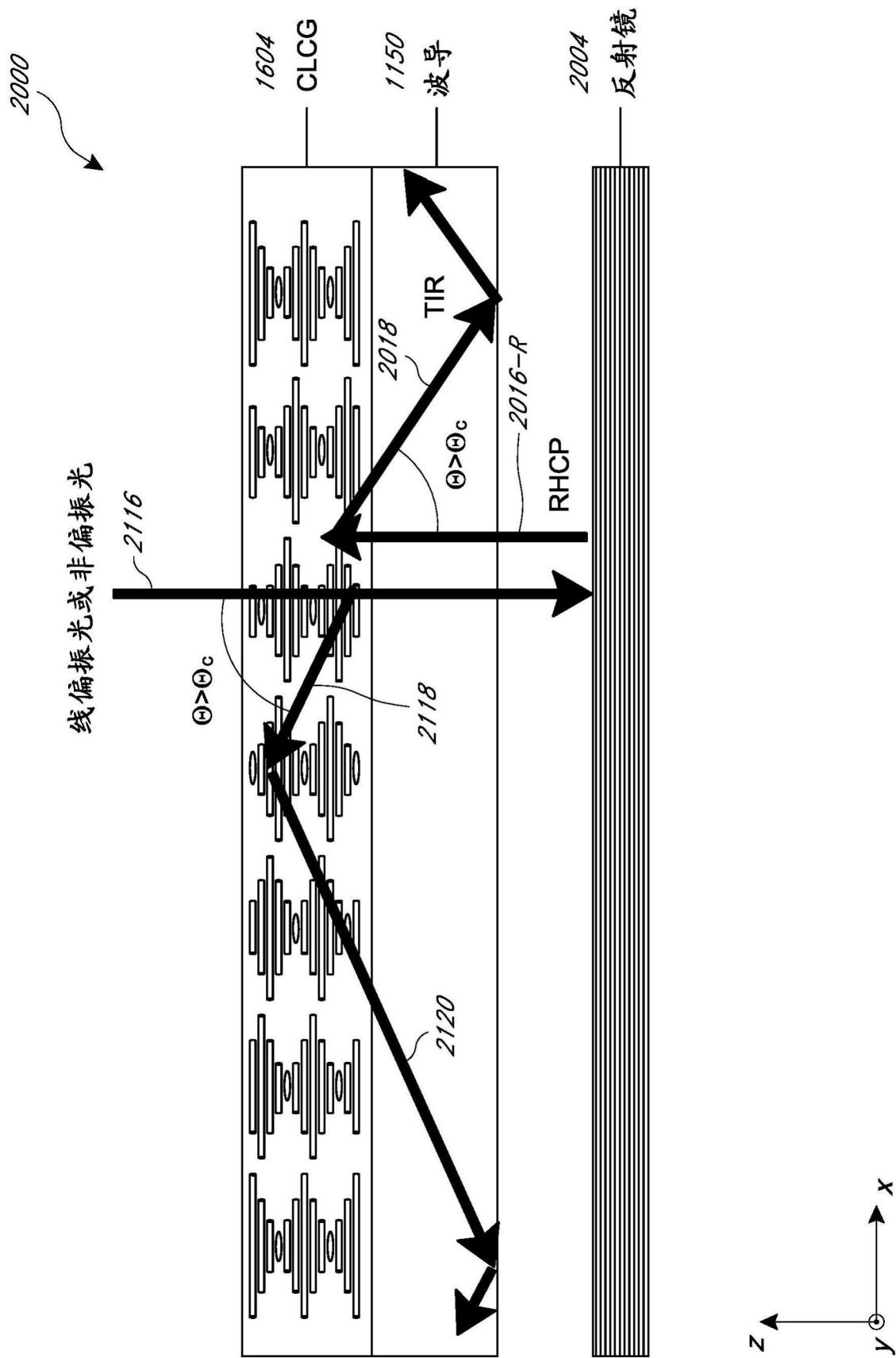


图21A

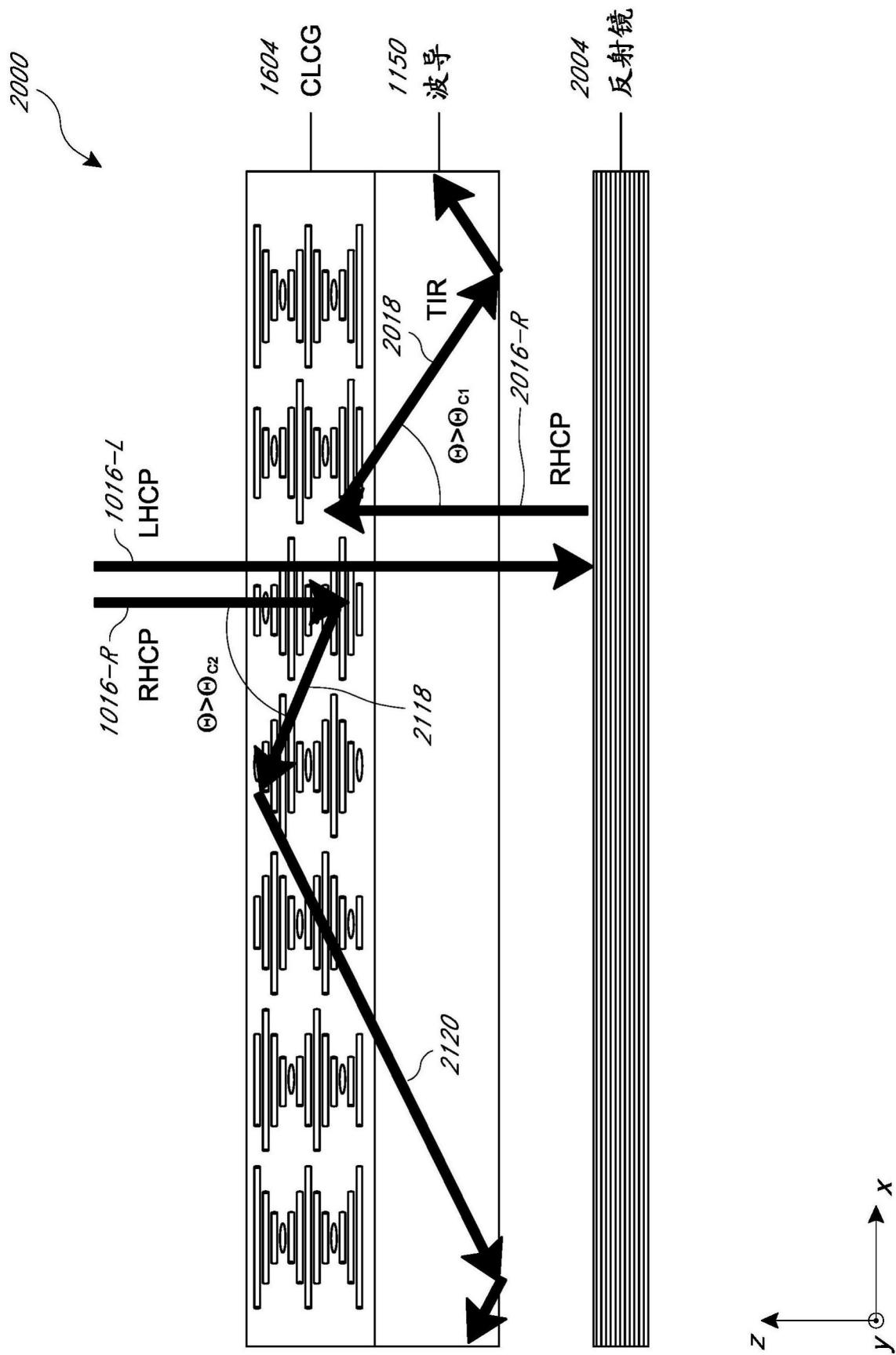


图21B

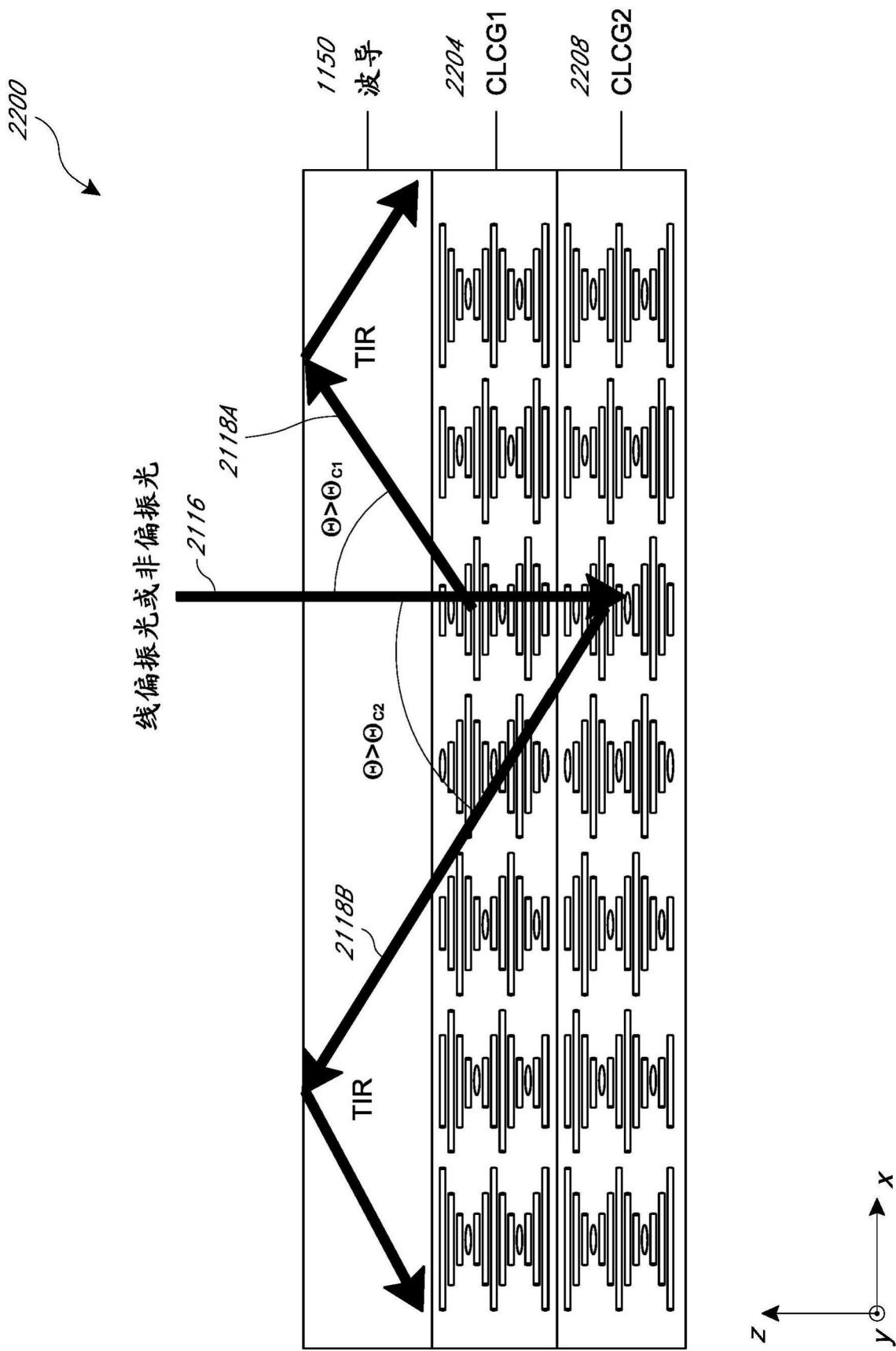


图22A

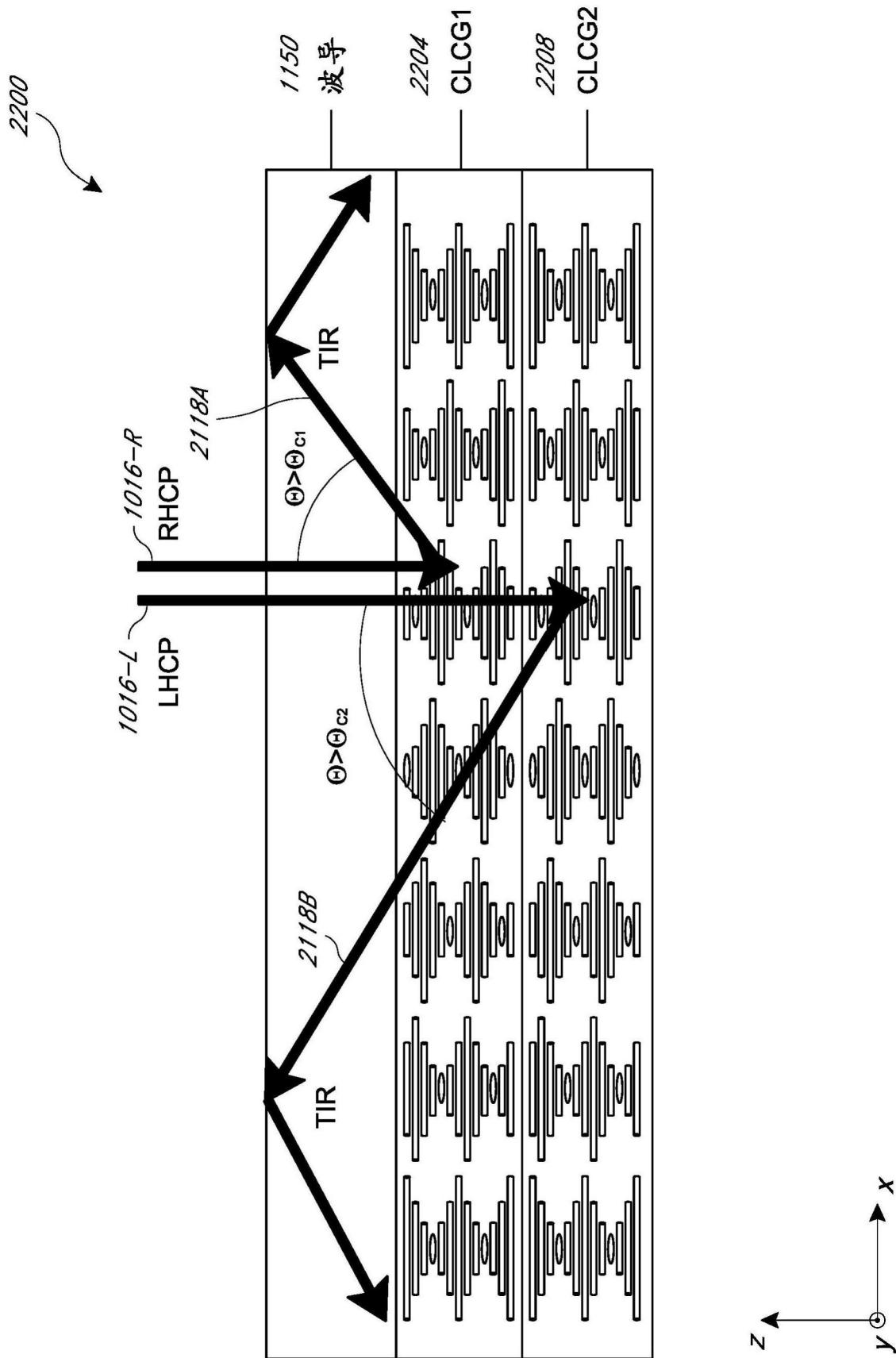


图22B

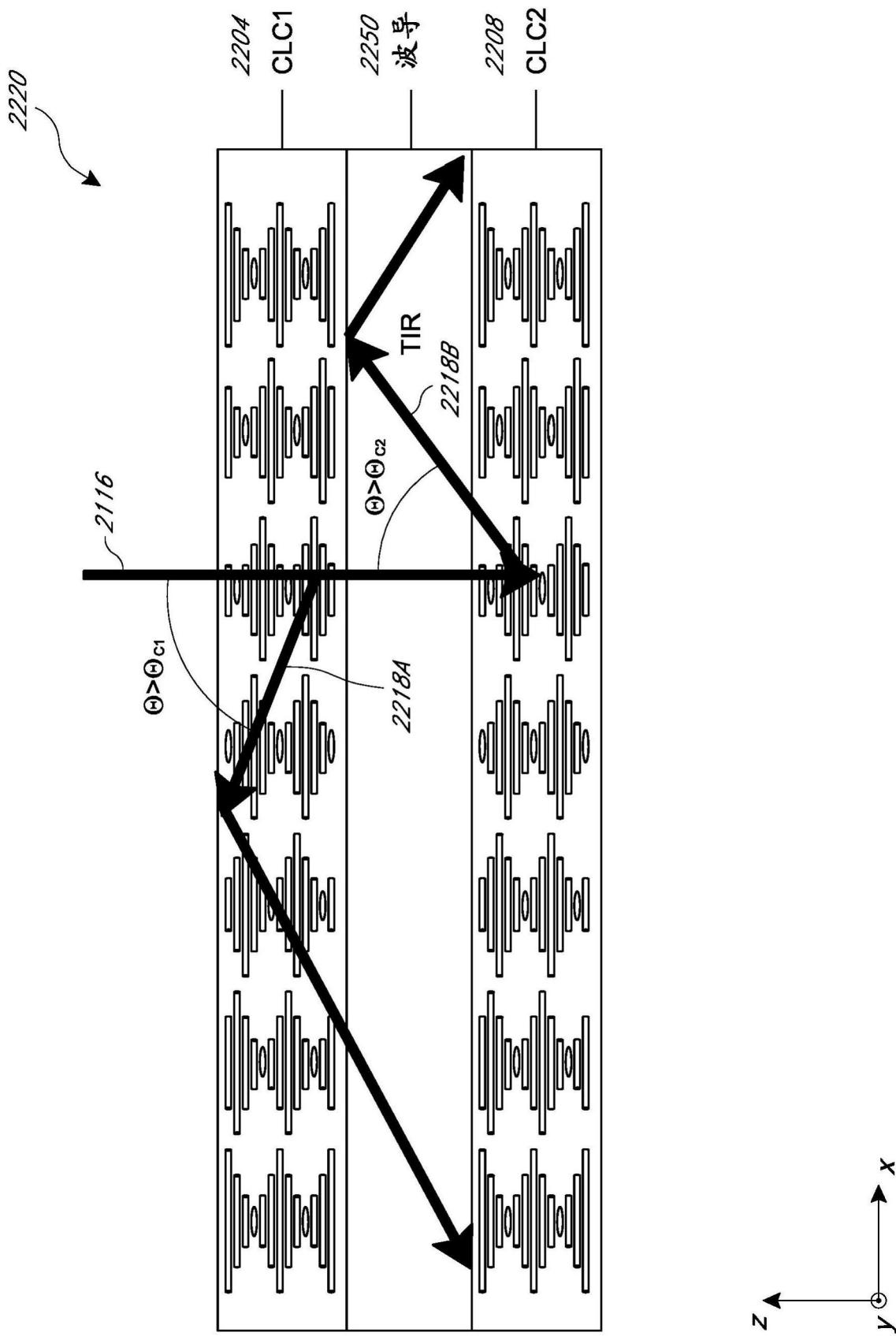


图22C

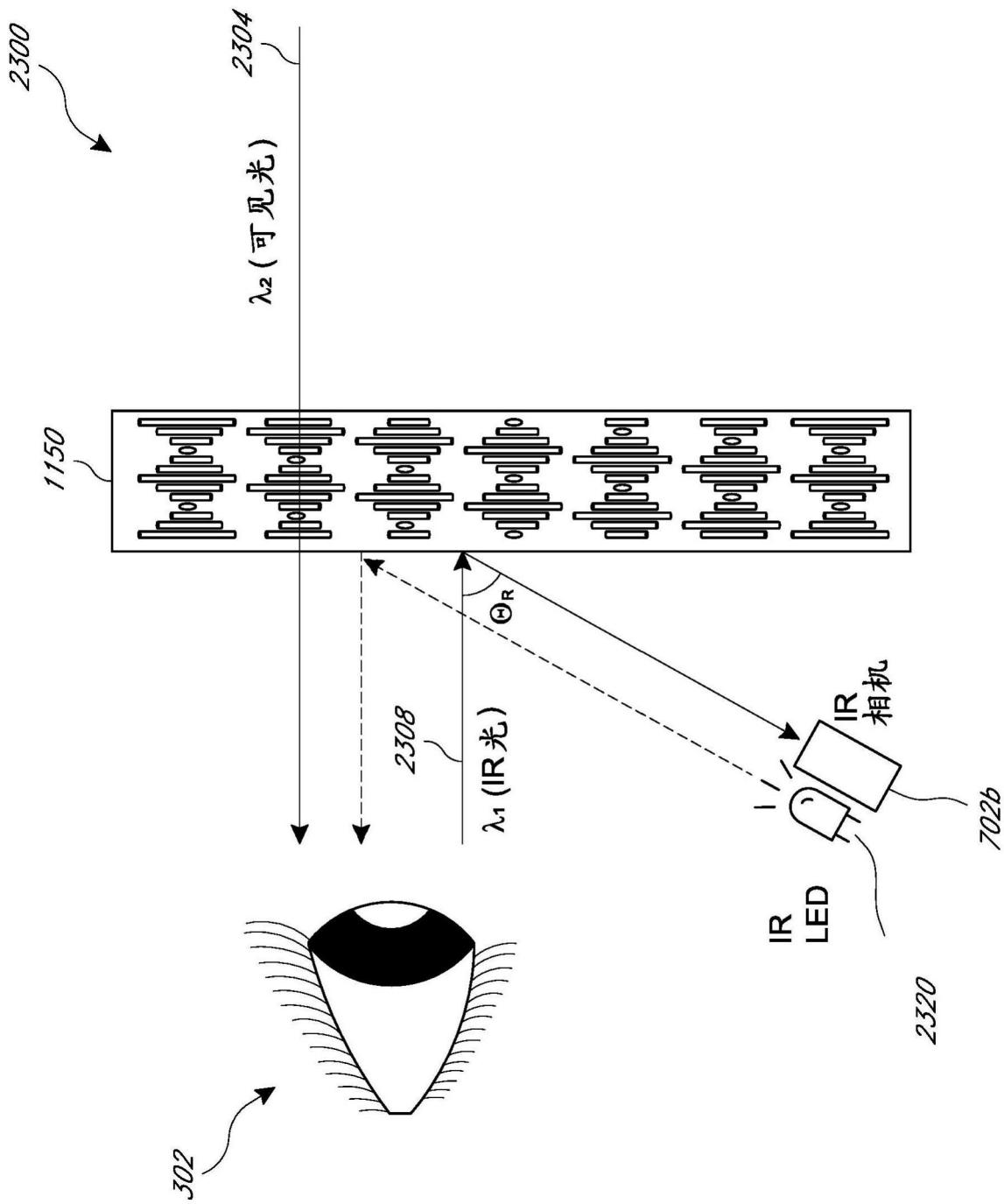


图23

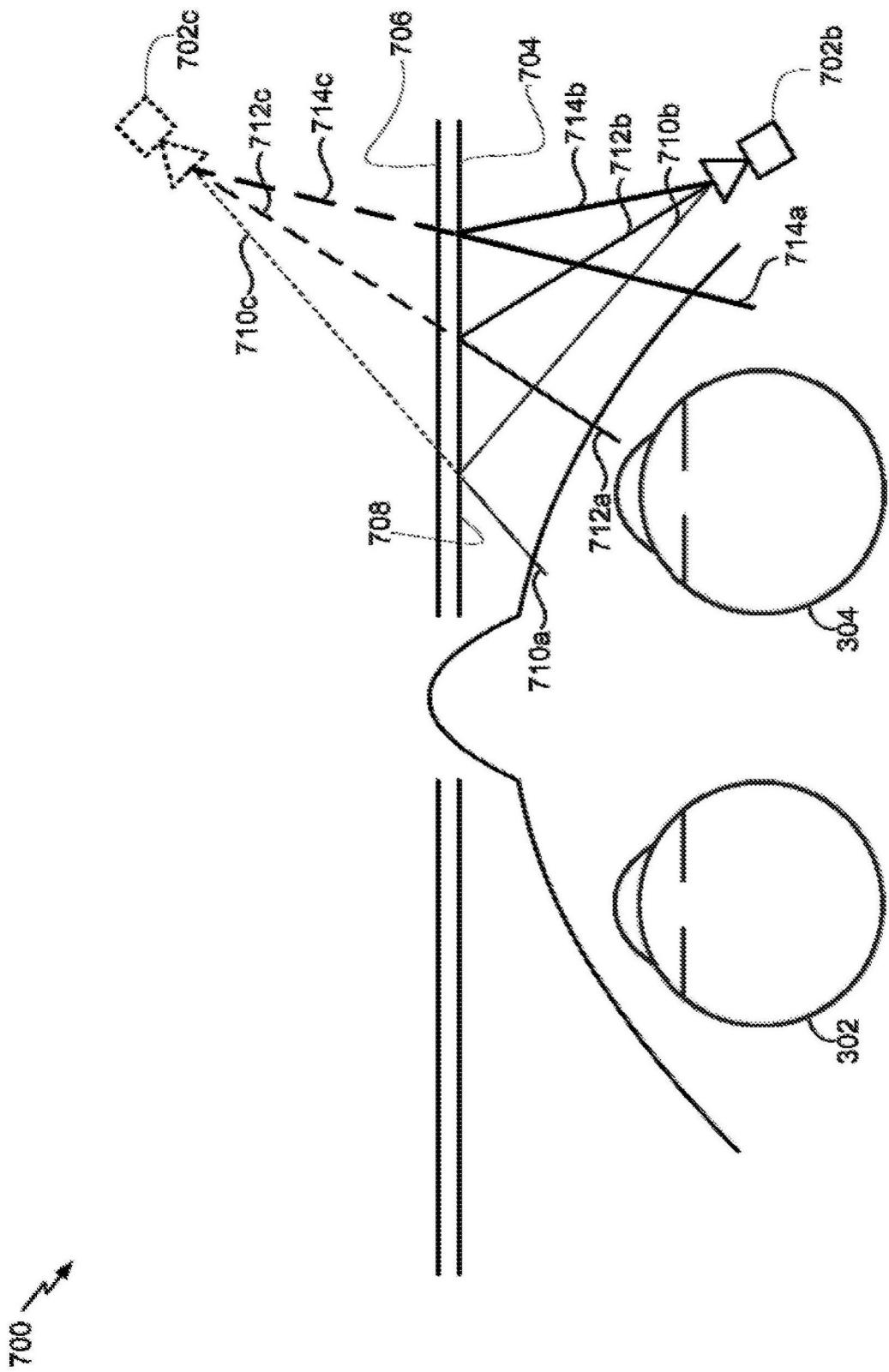


图24A

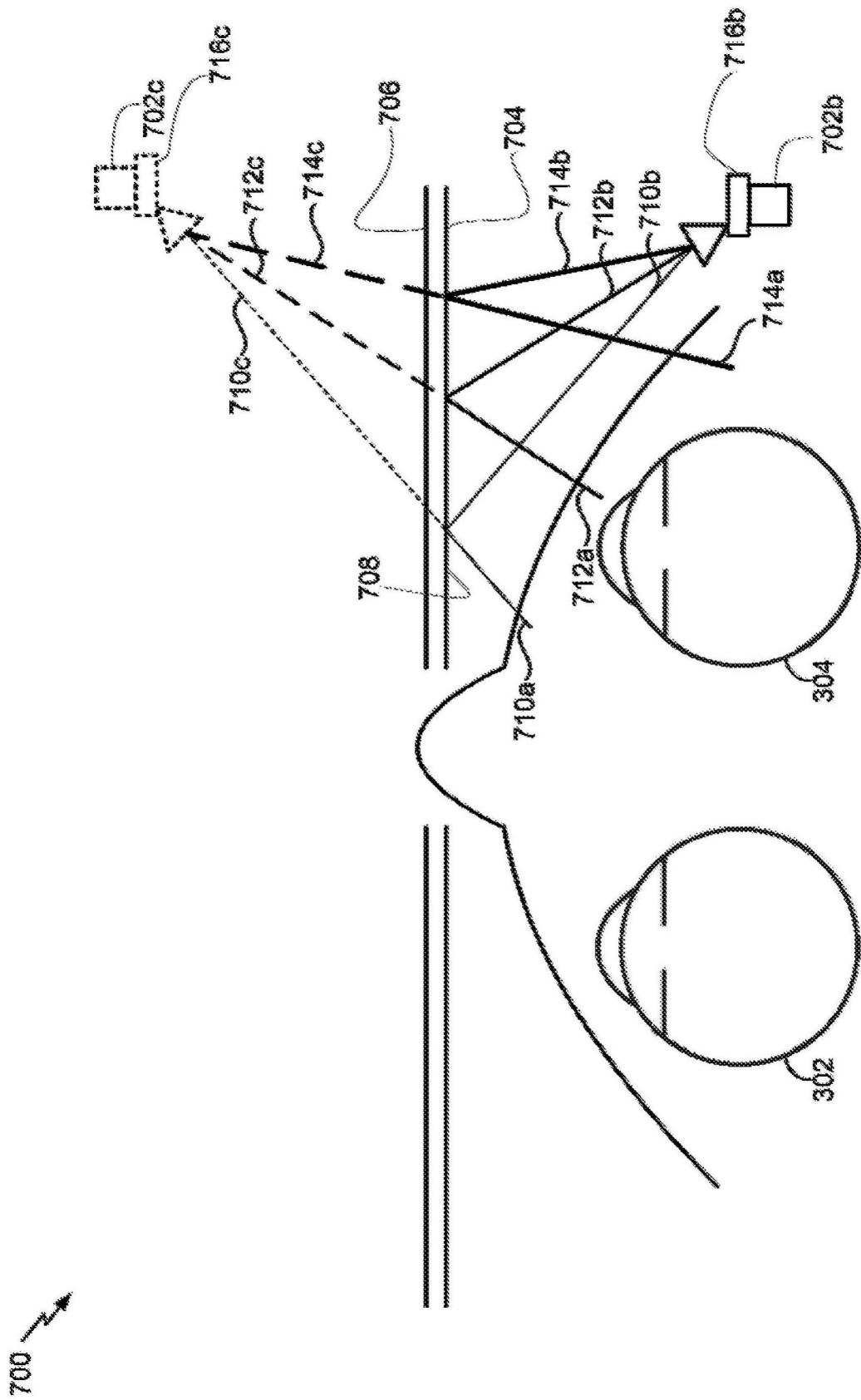


图24B

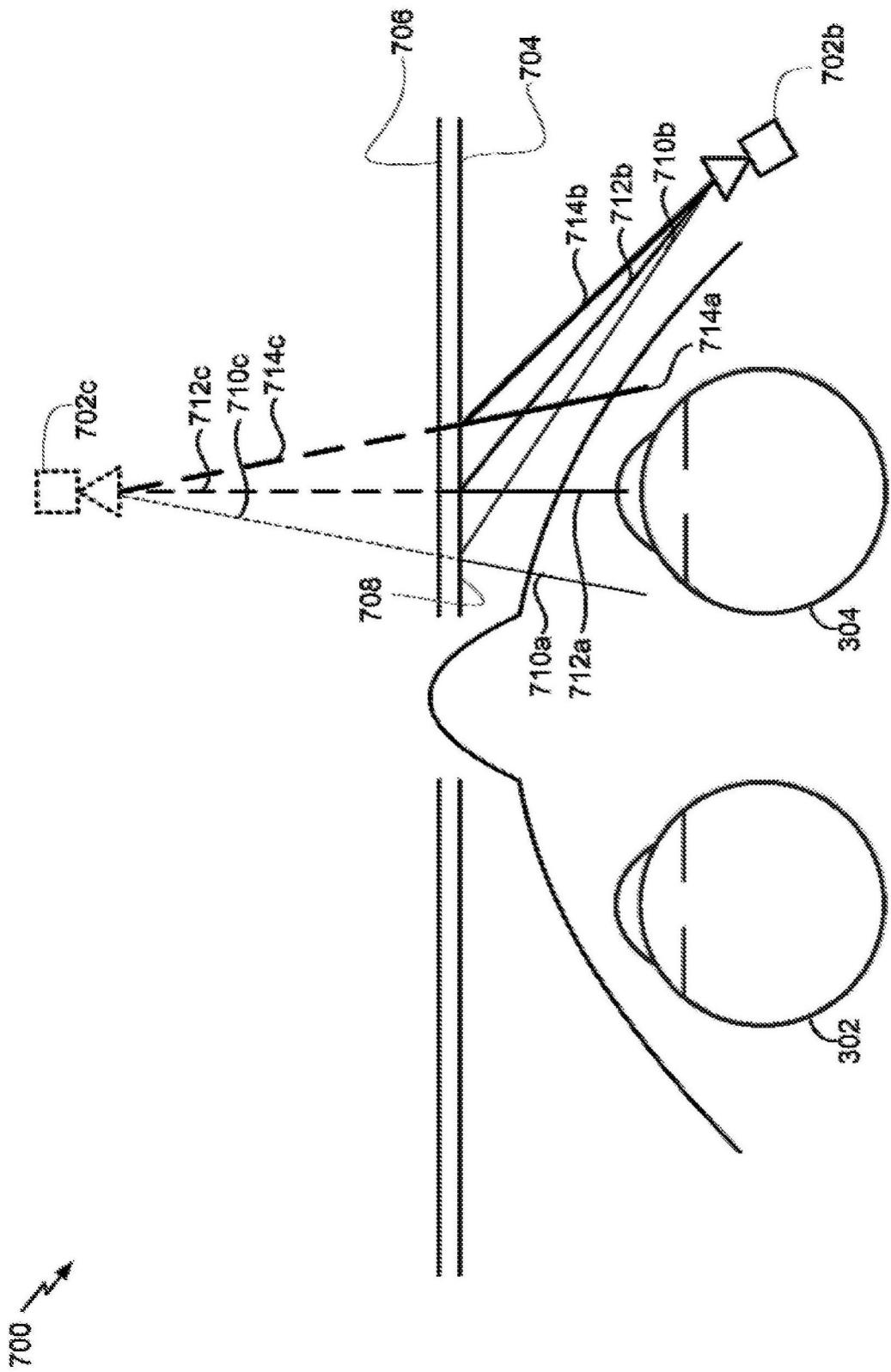


图24C

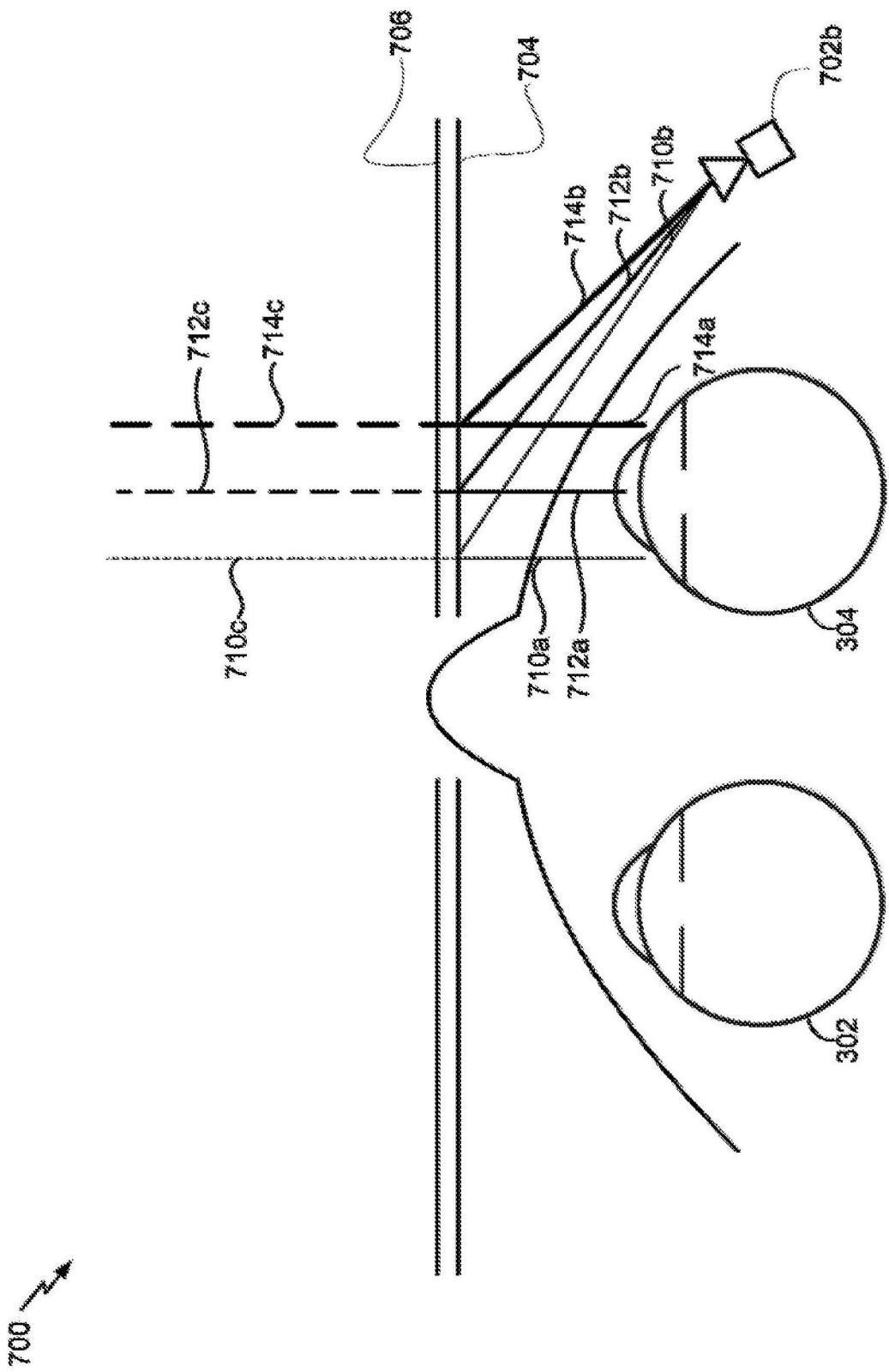


图24D

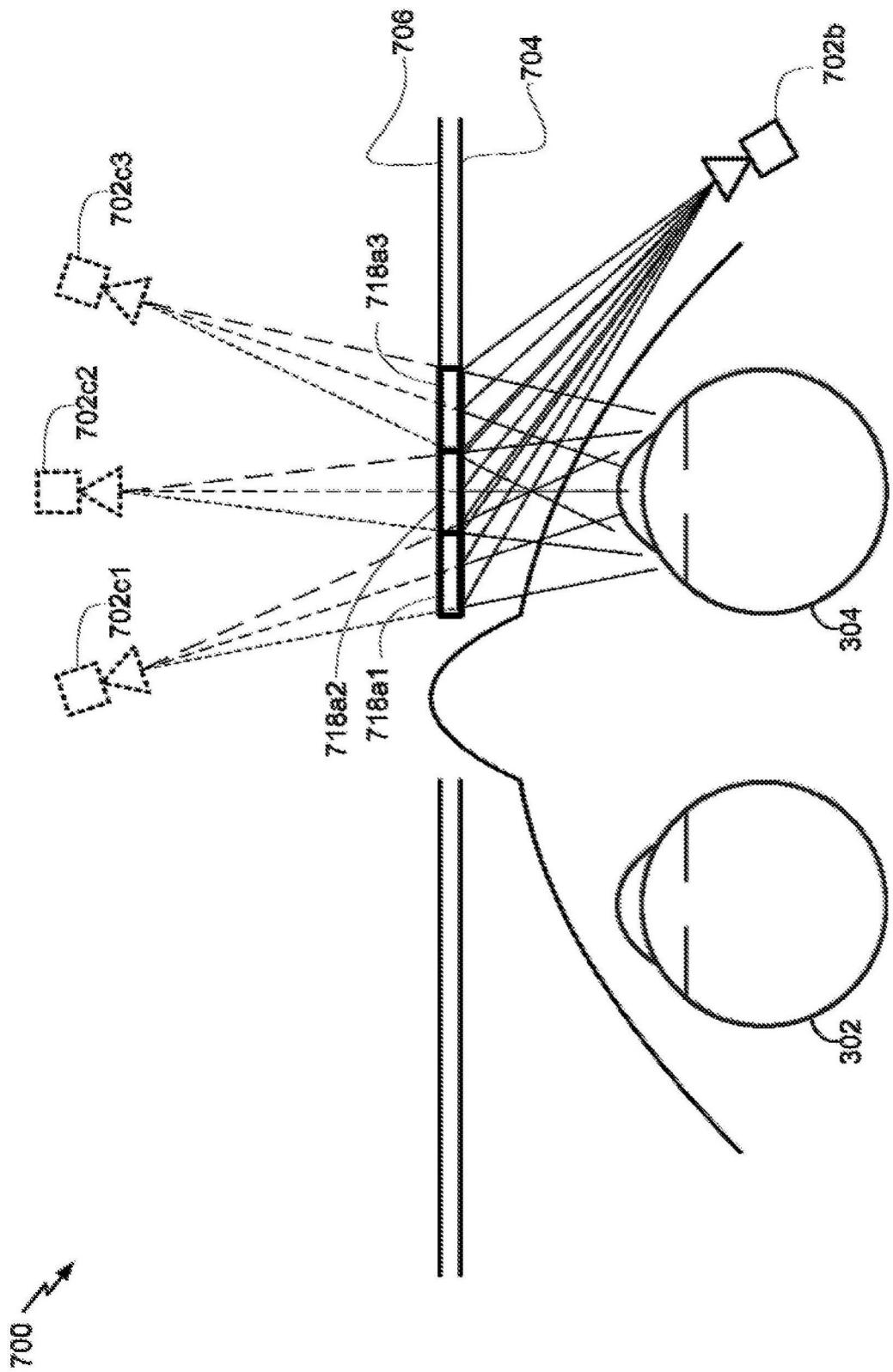


图24E

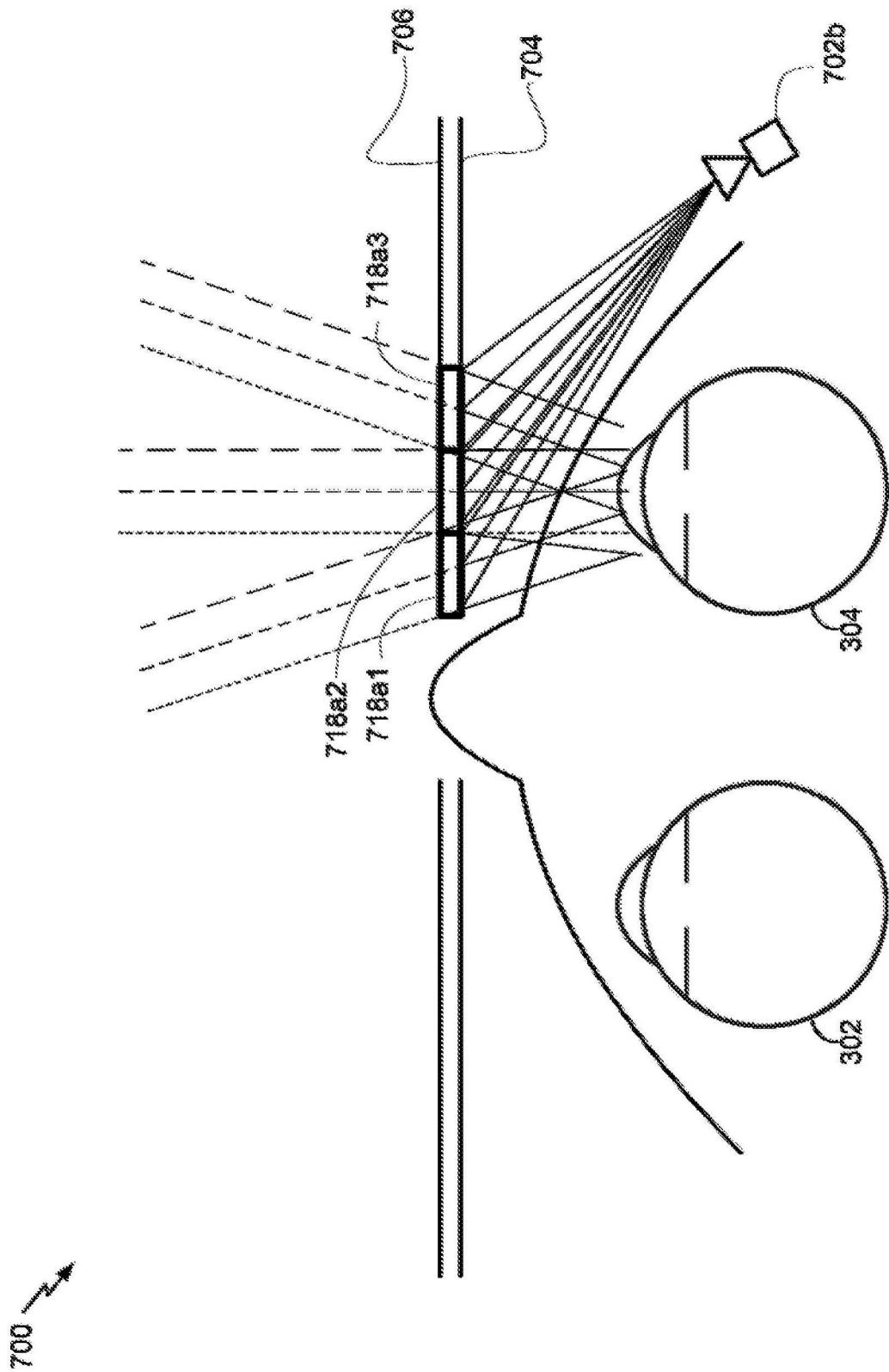


图24F

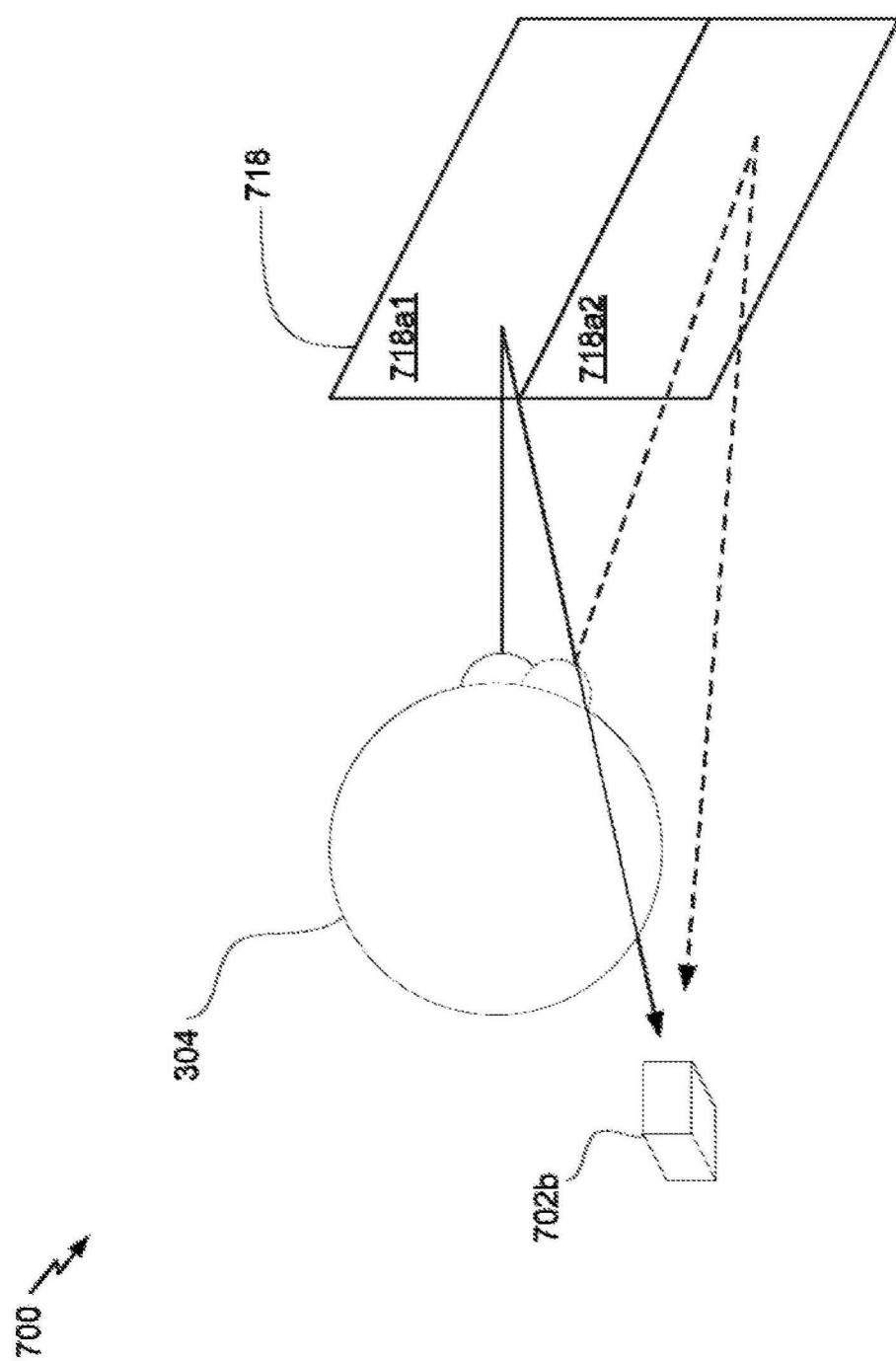


图24G

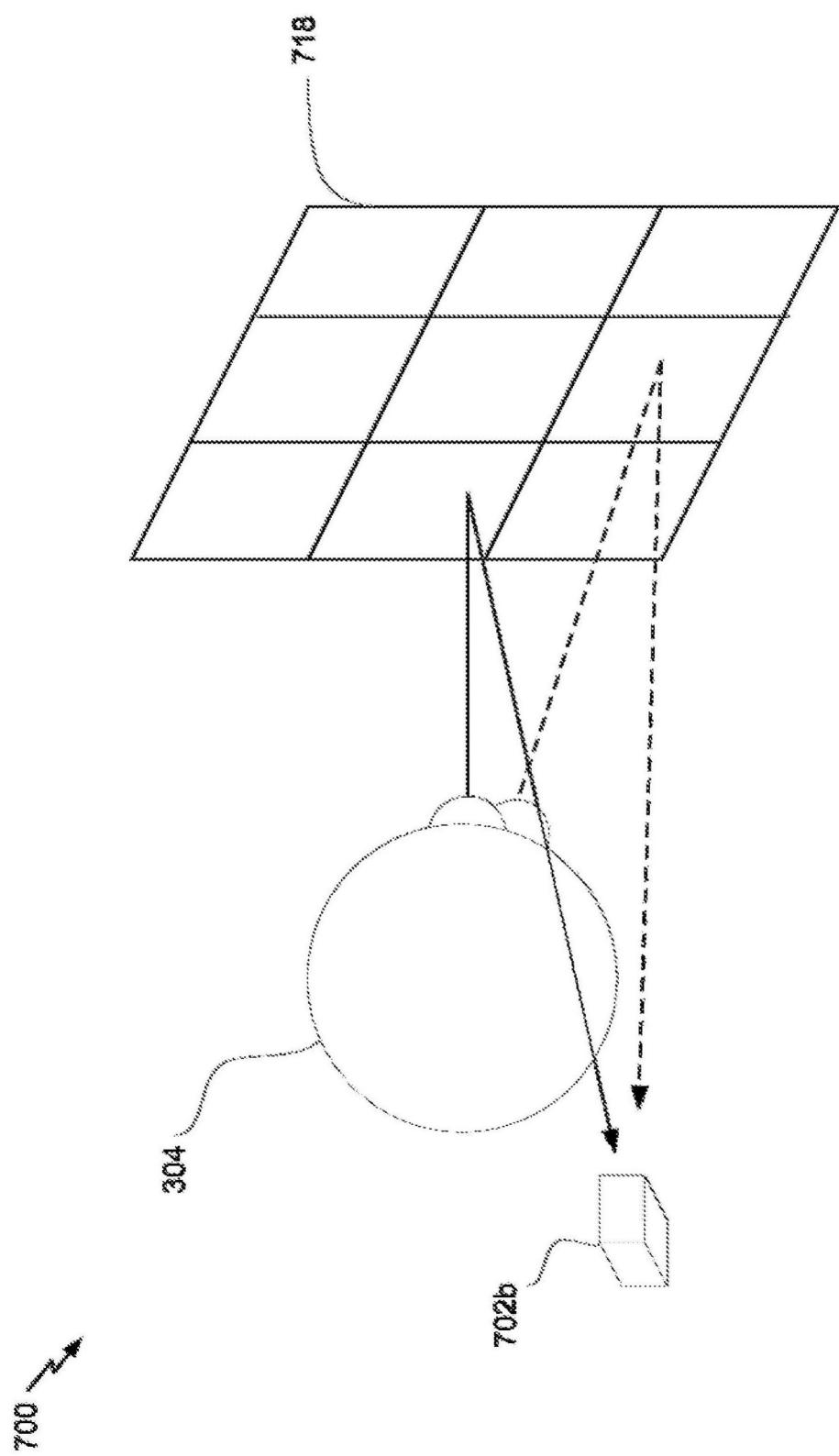


图24H

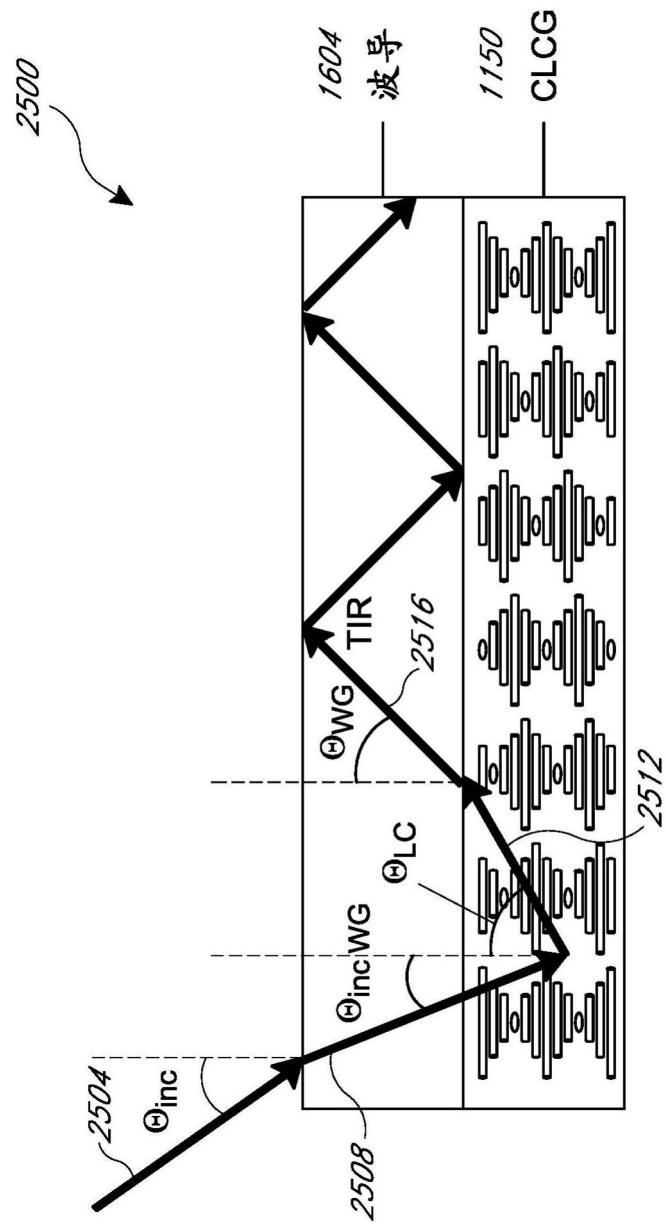


图25

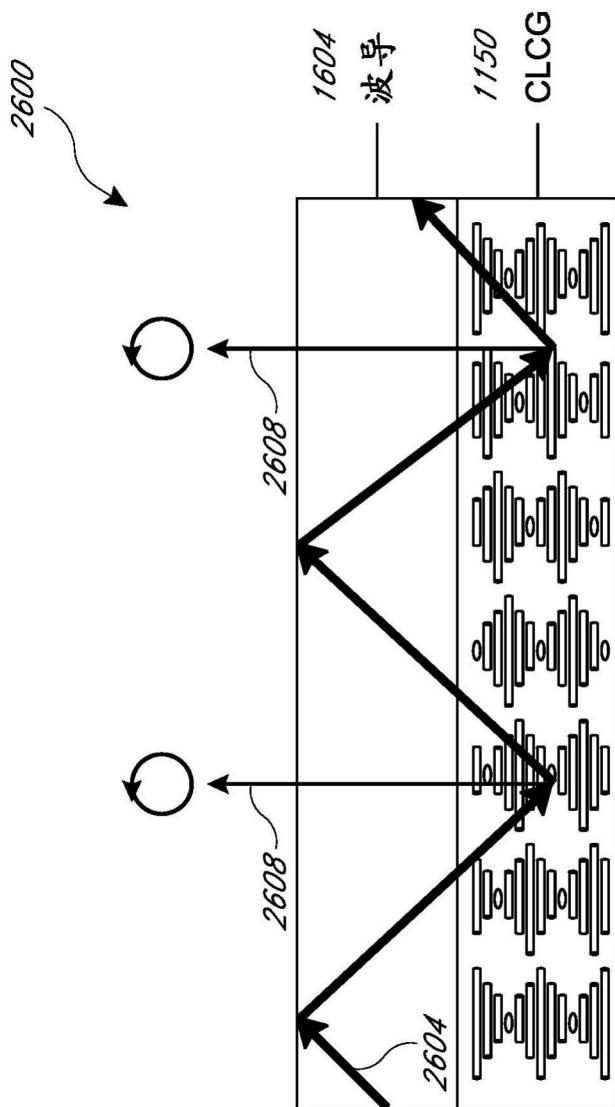


图26