



## (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106501956 B

(45)授权公告日 2019.06.14

(21)申请号 201510647149.3

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2015.10.08

G02B 27/28(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

G02B 27/01(2006.01)

申请公布号 CN 106501956 A

审查员 梁乐民

(43)申请公布日 2017.03.15

(30)优先权数据

62/214,049 2015.09.03 US

(73)专利权人 3M创新有限公司

地址 美国明尼苏达州

(72)发明人 A·J·奥德基尔克 允智省

T·L·王 E·A·麦克道威尔

G·A·安布尔

(74)专利代理机构 北京市金杜律师事务所

11256

代理人 吴亦华 徐一琨

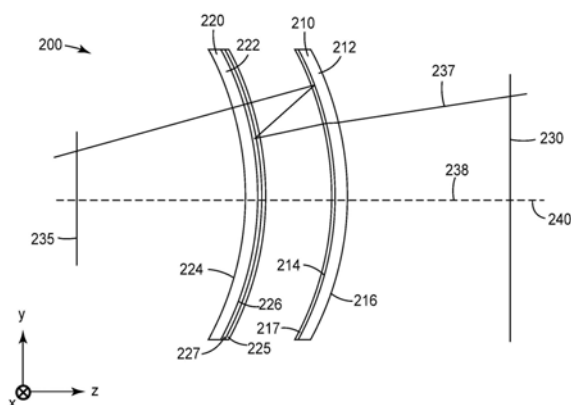
权利要求书3页 说明书77页 附图30页

(54)发明名称

光学系统

(57)摘要

描述了一种光学系统,所述光学系统包括图像表面、光阑表面、布置在所述图像表面和所述光阑表面之间的部分反射器、布置在所述光阑表面和所述部分反射器之间的反射式偏振器以及布置在所述反射式偏振器和所述部分反射器之间的四分之一波延迟器。所述反射式偏振器沿着两个正交轴凸出。反射式偏振器可以是热成形的多层反射式偏振器。



1. 一种光学系统,包括:  
图像表面;  
光阑表面;  
第一光学堆叠,布置在所述图像表面和所述光阑表面之间,并且沿着正交的第一轴和第二轴朝向所述图像表面凸出,所述第一光学堆叠包括:  
第一光学透镜;以及  
部分反射器,在期望的多个波长中具有至少30%的平均光反射率;以及  
第二光学堆叠,布置在所述第一光学堆叠和所述光阑表面之间,并且沿着所述第一轴和所述第二轴朝向所述图像表面凸出,所述第二光学堆叠包括:  
第二光学透镜;  
多层反射式偏振器,基本上透射具有第一偏振态的光并且基本上反射具有正交的第二偏振态的光;以及  
第一四分之一波延迟器,布置在所述多层反射式偏振器和所述第一光学堆叠之间,  
其中所述多层反射式偏振器包括至少一层,所述至少一层在所述至少一层上的离开光轴的至少一个第一位置处是基本上光学双轴的,并且在所述至少一层上的离开所述光轴的至少一个第二位置处是基本上光学单轴的。
2. 根据权利要求1所述的光学系统,其中图像源包括所述图像表面,并且所述光阑表面是出射光瞳。
3. 根据权利要求1所述的光学系统,其中图像记录器包括所述图像表面,并且所述光阑表面是入射光瞳。
4. 根据权利要求1所述的光学系统,其中所述光学系统以折叠光轴为中心,所述折叠光轴由透射通过所述图像表面的中心光线的光学路径限定。
5. 根据权利要求1所述的光学系统,其中所述第一光学堆叠进一步包括布置在所述部分反射器和所述图像表面之间的第二四分之一波延迟器。
6. 根据权利要求1所述的光学系统,其中所述期望的多个波长是从400nm到700nm的波长范围。
7. 根据权利要求1所述的光学系统,其中所述期望的多个波长包括一个或者多个连续波长范围,并且其中所述连续波长范围中的至少一个具有不超过100nm的半高全宽。
8. 根据权利要求1所述的光学系统,其中所述多层反射式偏振器具有至少一个第一位置,所述第一位置距穿过所述多层反射式偏振器的顶点的光轴具有径向距离 $r_1$ ,并且距在所述顶点处垂直于所述光轴的平面具有位移 $s_1$ , $s_1/r_1$ 是至少0.2,并且其中对于由 $s_1$ 和 $r_1$ 限定的所述多层反射式偏振器的区域,所述多层反射式偏振器的透射轴的最大变化小于2度。
9. 根据权利要求2所述的光学系统,其中由所述图像源发射的并且透射通过所述出射光瞳的基本上任何主光线以小于25度的入射角入射在所述多层反射式偏振器和所述部分反射器中的每个上。
10. 根据权利要求1所述的光学系统,其中所述多层反射式偏振器包括线栅偏振器。
11. 一种光学系统,包括:  
图像源;

出射光瞳；

第一光学堆叠，布置在所述图像源和所述出射光瞳之间，并且包括：

第一光学透镜；

部分反射器，在预定的多个波长中具有至少30%的平均光反射率；以及

第二光学堆叠，布置在所述第一光学堆叠和所述出射光瞳之间，并且包括：

第二光学透镜；

反射式偏振器，关于正交的第一轴和第二轴凸出；以及

第一四分之一波延迟器，布置在所述反射式偏振器和所述第一光学堆叠之间，

其中至少具有在所述预定的多个波长内的、相距至少150nm的第一波长和第二波长并且由所述图像源发射并且由所述出射光瞳透射的基本上任何主光线在所述出射光瞳处具有小于所述出射光瞳处视场的百分之1.5的分色距离。

12. 根据权利要求11所述的光学系统，其中在所述出射光瞳处的所述分色距离小于20弧分。

13. 根据权利要求11所述的光学系统，其中所述反射式偏振器具有至少一个第一位置，所述第一位置距穿过所述反射式偏振器的顶点的光轴具有径向距离 $r_1$ ，并且距在所述顶点处垂直于所述光轴的平面具有位移 $s_1$ ， $s_1/r_1$ 是至少0.2，并且其中对于由 $s_1$ 和 $r_1$ 限定的所述反射式偏振器的区域，所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于2度。

14. 根据权利要求11所述的光学系统，其中所述反射式偏振器包括至少一层，所述至少一层在所述至少一层上的离开所述第二光学堆叠的光轴的至少一个第一位置处是基本上光学双轴的，并且在离开所述光轴的至少一个第二位置处是基本上光学单轴的。

15. 根据权利要求14所述的光学系统，其中由所述图像源发射的并且透射通过所述出射光瞳的基本上任何主光线以小于25度的入射角入射在所述反射式偏振器和所述部分反射器中的每个上。

16. 一种光学系统，包括：

图像表面；

光阑表面；

第一光学堆叠，布置在所述图像表面和所述光阑表面之间，并且包括：

第一光学透镜；

部分反射器，在期望的多个波长中具有至少30%的平均光反射率；以及

第二光学堆叠，布置在所述第一光学堆叠和所述光阑表面之间并且包括：

第二光学透镜；

热成形多层反射式偏振器，关于所述第二光学堆叠的光轴旋转对称并且沿着正交于所述光轴的正交的第一轴和第二轴朝向所述图像表面凸出，所述热成形多层反射式偏振器具有至少一个第一位置，所述第一位置距穿过所述热成形多层反射式偏振器的顶点的光轴具有径向距离 $r_1$ ，并且距在所述顶点处垂直于所述光轴的平面具有位移 $s_1$ ， $s_1/r_1$ 是至少0.1；以及

第一四分之一波延迟器，布置在所述热成形多层反射式偏振器和所述第一光学堆叠之间。

17. 根据权利要求16所述的光学系统，其中图像源包括所述图像表面，并且所述光阑表

面是出射光瞳。

18. 根据权利要求16所述的光学系统,其中 $s_1/r_1$ 在0.2到0.8的范围内。

19. 根据权利要求16所述的光学系统,其中对于由 $s_1$ 和 $r_1$ 所限定的所述热成形多层反射式偏振器的区域,所述热成形多层反射式偏振器的透射轴的最大变化小于2度。

20. 根据权利要求16所述的光学系统,其中所述热成形多层反射式偏振器包括至少一层,所述至少一层在所述至少一层上的离开所述第二光学堆叠的光轴的至少一个第一位置处是基本上光学双轴的,并且在离开所述光轴的至少一个第二位置处是基本上光学单轴的。

21. 根据权利要求20所述的光学系统,其中穿过所述图像表面和所述光阑表面的基本上任何主光线以小于25度的入射角入射在所述第一光学堆叠和所述第二光学堆叠中的每个上。

22. 根据权利要求16所述的光学系统,其中所述热成形多层反射式偏振器是热成形APF。

23. 一种光学系统,包括:

图像源,发射无失真图像;

出射光瞳;

部分反射器,布置在所述图像源和所述出射光瞳之间并且具有沿着正交的第一轴和第二轴朝向所述图像源凸出的第一形状,并且在预定的多个波长中具有至少30%的平均光反射率;以及

反射式偏振器,布置在所述部分反射器和所述出射光瞳之间并且具有沿着所述第一轴和所述第二轴朝向所述图像源凸出的不同的第二形状,使得由所述出射光瞳透射的无失真图像的失真小于10%,其中所述反射式偏振器包括至少一层,所述至少一层在所述至少一层上的离开光轴的至少一个第一位置处是基本上光学双轴的,并且在所述至少一层上的离开所述光轴的至少一个第二位置处是基本上光学单轴的。

24. 根据权利要求23所述的光学系统,进一步包括布置在所述图像源和所述出射光瞳之间的第一光学透镜以及布置在所述第一光学透镜和所述出射光瞳之间的第二光学透镜,所述部分反射器布置在所述第一光学透镜的表面上,所述反射式偏振器布置在所述第二光学透镜的表面上。

25. 根据权利要求23所述的光学系统,进一步包括布置在所述部分反射器和所述反射式偏振器之间的四分之一波延迟器。

26. 根据权利要求23所述的光学系统,其中由所述出射光瞳透射的无失真图像的失真小于5%。

27. 根据权利要求23所述的光学系统,其中所述反射式偏振器具有至少一个第一位置,所述第一位置距穿过所述反射式偏振器的顶点的光轴具有径向距离 $r_1$ ,并且距在所述顶点处垂直于所述光轴的平面具有位移 $s_1$ , $s_1/r_1$ 是至少0.2,并且其中对于由 $s_1$ 和 $r_1$ 限定的所述反射式偏振器的区域,所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于2度。

28. 根据权利要求23所述的光学系统,其中由所述图像源发射的并且透射通过所述出射光瞳的基本上任何主光线以小于25度的入射角入射在所述反射式偏振器和所述部分反射器中的每个上。

## 光学系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光学系统。

### 背景技术

[0002] 显示器系统可以包括分束器、四分之一波延迟器和反射式偏振器。

[0003] 美国专利No.7,242,525 (Dike) 描述了将实像投影到空间中并包括沿光学路径定位的一个或多个增强实像的可视性(viewability)的特征的光学系统。该光学系统包括用于会聚一部分光源光以形成实像的会聚元件。

[0004] 美国专利No.6,271,969 (Mertz) 描述了用于使来自显示器的光成像的光学准直组件。该光学组件包括具有彼此正交的偏振方向的第一和第二线偏振滤波器。包括第一分束器、第一1/4波片和第二分束器的折叠成像组件位于偏振滤波器之间。

[0005] 美国专利No.8,780,039 (Gay等) 描述了用于改变其中由显示器件显示的图像被感知的表面的形状的光学系统。该光学系统包括间隔开的第一和第二部分反射器,其中至少一个可在第一非平面形状和第二不同形状(其可以是平面的或非平面的)之间切换。反射器与偏振光学器件一起提供光学路径以使得来自显示器的光至少部分地通过第一反射器部分地透射、通过第二反射器部分地反射、通过第一反射器部分地反射和通过第二反射器部分地透射。

[0006] 反射式偏振器可以是多层光学膜。美国专利No.6,916,440 (Jackson等) 描述了用于按单轴方式拉伸多层光学膜的方法。美国专利No.6,788,463 (Merrill等) 描述了后成形多层光学膜。

### 发明内容

[0007] 在本说明书的一些实施方案中,提供了包括图像表面、光阑表面(stop surface)、布置在图像表面和光阑表面之间的第一光学堆叠(optical stack)及布置在第一光学堆叠和光阑表面之间的第二光学堆叠的光学系统。第一光学堆叠沿着正交的第一轴和第二轴朝向图像表面凸出,并包括第一光学透镜以及在期望的多个波长中具有至少30%的平均光反射率的部分反射器。第二光学堆叠沿着第一轴和第二轴朝向图像表面凸出并且包括第二光学透镜、基本上透射具有第一偏振态的光并且基本上反射具有正交的第二偏振态的光的多层反射式偏振器以及布置在反射式偏振器和第一光学堆叠之间的第一四分之一波延迟器。

[0008] 在本说明书的一些实施方案中,提供了包括图像表面、光阑表面、布置在图像表面和光阑表面之间的第一光学堆叠及布置在第一光学堆叠和光阑表面之间的第二光学堆叠的光学系统。第一光学堆叠包括第一光学透镜以及在期望的多个波长中具有至少30%的平均光反射率的部分反射器。第二光学堆叠包括第二光学透镜、多层反射式偏振器以及布置在反射式偏振器和第一光学堆叠之间的第一四分之一波延迟器,所述多层反射式偏振器包括至少一层,所述至少一层在所述至少一层的离开第二光学堆叠光轴的至少一个第一位置处是基本上光学双轴的,并且在离开所述光轴的至少一个第二位置处是基本上光学单轴

的。基本上任何通过图像表面和光阑表面的主光线以小于约30度的入射角入射到所述第一光学堆叠和所述第二光学堆叠的每个上。

[0009] 在本说明书的一些实施方案中,提供了包括发射无失真图像的图像源、出射光瞳、部分反射器和反射式偏振器的光学系统。部分反射器具有沿正交的第一和第二轴朝向图像源凸出的第一形状且在预定的多个波长中具有至少30%的平均光反射率。反射式偏振器具有沿第一和第二轴朝向图像源凸出的不同的第二形状,以使得通过出射光瞳透射的所发射无失真图像的失真低于约10%。

[0010] 在本说明书的一些实施方案中,提供了包括图像源、出射光瞳、布置在图像源和出射光瞳之间的第一光学堆叠以及布置在第一光学堆叠和出射光瞳之间的第二光学堆叠的光学系统。第一光学堆叠包括第一光学透镜以及在期望的多个波长中具有至少30%的平均光反射率的部分反射器。第二光学堆叠包括第二光学透镜、多层反射式偏振器以及布置在反射式偏振器和第一光学堆叠之间的第一四分之一波延迟器。基本上任何具有在期望的多个波长中相距至少150nm的至少第一和第二波长且由图像源发射和通过出射光瞳透射的主光线在出射光瞳处具有小于出射光瞳处视场的1.5%的分色距离。

[0011] 在本说明书的一些实施方案中,提供了包括图像源、出射光瞳、布置在图像源和出射光瞳之间的第一光学堆叠以及布置在第一光学堆叠和出射光瞳之间的第二光学堆叠的光学系统。第一光学堆叠包括第一光学透镜以及在期望的多个波长中具有至少30%的平均光反射率的部分反射器。第二光学堆叠包括第二光学透镜、多层反射式偏振器以及布置在反射式偏振器和第一光学堆叠之间的第一四分之一波延迟器。至少具有在期望的多个波长中相距至少150nm的第一和第二波长且由图像源发射和通过出射光瞳透射的基本上任何主光线在出射光瞳处具有小于20弧分的分色距离。

[0012] 在本说明书的一些实施方案中,提供了包括具有最大横向尺寸A的图像表面、具有最大横向尺寸B的光阑表面以及布置在图像表面和光阑表面之间的一体光学堆叠的光学系统。A/B是至少3。一体光学堆叠包括第一光学透镜、在预定的多个波长中具有至少30%的平均光反射率的部分反射器、基本上透射具有第一偏振态的光并且基本上反射具有正交的第二偏振态的光的多层反射式偏振器,以及在预定的多个波长中的至少一个波长处的第一四分之一波延迟器。通过光阑表面和图像表面透射的至少一个主光线以至少40度的入射角通过光阑表面。一体光学堆叠可以描述为例如在光学堆叠中具有一起成形或粘附在一起的各种部件和层的光学堆叠。

[0013] 在本说明书的一些实施方案中,提供了包括图像表面、基本上平面的光阑表面以及布置在图像表面和光阑表面之间的第一、第二和第三光学透镜、在预定的多个波长中具有至少30%的平均光反射率的部分反射器、基本上透射具有第一偏振态的光并且基本上反射具有正交的第二偏振态的光的多层反射式偏振器以及在预定的多个波长中的至少一个波长处的第一四分之一波延迟器的光学系统。光学系统包括布置在图像表面和光阑表面之间的多个主表面,各主表面沿正交的第一和第二轴朝向图像表面凸出,且至少六个不同的主表面具有六种不同的凸性(convexity)。

[0014] 在本说明书的一些实施方案中,提供了关于穿过热成形的多层反射式偏振器的顶点的光轴基本上旋转对称并沿正交于该光轴的正交的第一和第二轴凸出的热成形的多层反射式偏振器。热成形的多层反射式偏振器具有在离开顶点的至少一个位置处基本上光学

单轴的至少一个内层,且反射式偏振器上的至少一个第一位置距该光轴具有径向距离 $r_1$ 并且距在顶点处垂直于光轴的平面具有位移 $s_1$ ,其中 $s_1/r_1$ 为至少0.2。

[0015] 在本说明书的一些实施方案中,提供了关于穿过热成形的多层反射式偏振器的顶点的光轴基本上旋转对称并沿正交于该光轴的正交的第一和第二轴凸出的热成形的多层反射式偏振器。热成形的多层反射式偏振器具有反射式偏振器上的至少一个第一位置,其距该光轴具有径向距离 $r_1$ 并且距在顶点处垂直于光轴的平面具有位移 $s_1$ ,其中 $s_1/r_1$ 为至少0.2。对于由 $s_1$ 和 $r_1$ 限定的反射式偏振器的区域,反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约2度。

[0016] 在本说明书的一些实施方案中,提供了制作光学堆叠的方法。该方法包括以下步骤:提供以工具轴为中心并具有关于所述工具轴非旋转对称的外表面的热成形工具;对光学膜进行加热,产生软化的光学膜;使所述软化的光学膜适应所述外表面,同时至少沿着离开所述工具轴的正交的第一方向和第二方向拉伸所述软化的膜,产生适应的光学膜,所述适应的光学膜关于所述适应的膜的光轴非旋转对称,所述光轴与所述工具轴一致;冷却所述适应的光学膜而产生关于光轴旋转对称的对称光学膜;和在对称光学膜上模制光学透镜而产生光学堆叠。

[0017] 在本说明书的一些实施方案中,提供了制作具有期望的形状的期望的光学膜的方法。该方法包括以下步骤:提供具有不同于期望的形狀的第一形状的外表面的热成形工具;加热光学膜而产生软化的光学膜;将软化的光学膜适应具有第一形状的外表面而同时至少沿正交的第一和第二方向拉伸软化的膜,从而产生具有第一形状的适应光学膜;和冷却适应的光学膜而产生具有期望的形状的期望的光学膜。

[0018] 在本说明书的一些实施方案中,提供了包括图像表面、光阑表面、布置在图像表面和光阑表面之间的第一光学堆叠以及布置在第一光学堆叠和出射光瞳之间的第二光学堆叠的光学系统。第一光学堆叠包括第一光学透镜以及在期望的多个波长中具有至少30%的平均光反射率的部分反射器。第二光学堆叠包括第二光学透镜、关于第二光学堆叠的光轴旋转对称并沿着正交于光轴的正交的第一和第二轴朝向图像源凸出的多层反射式偏振器以及布置在反射式偏振器和第一光学堆叠之间的第一四分之一波延迟器。热成形的多层反射式偏振器具有至少一个第一位置,其距穿过热成形多层反射式偏振器的顶点的光轴具有径向距离 $r_1$ 并且距在顶点处垂直于光轴的平面具有位移 $s_1$ ,其中 $s_1/r_1$ 为至少0.1。

[0019] 在本说明书的一些实施方案中,提供了光学堆叠。光学堆叠包括第一透镜、邻近第一透镜的第二透镜、布置在第一和第二透镜之间的四分之一波延迟器、布置在第二透镜上与第一透镜相对(opposite)的反射式偏振器以及布置在第一透镜上与第二透镜相对的部分反射器。反射式偏振器关于两个正交的轴弯曲,且光学堆叠是一体光学堆叠。

[0020] 在本说明书的一些实施方案中,提供了包括部分反射器、多层反射式偏振器以及布置在部分反射器和多层反射式偏振器之间的第一四分之一波延迟器的光学系统。部分反射器在期望的多个波长中具有至少30%的平均光反射率。多层反射式偏振器基本上透射具有第一偏振态的光并且基本上反射具有正交的第二偏振态的光。多层反射式偏振器沿正交的第一和第二轴凸出并具有多层反射式偏振器上的至少一个第一位置,该第一位置距多层反射式偏振器的光轴具有径向距离 $r_1$ 并且距多层反射式偏振器的顶点处垂直于光轴的平面具有位移 $s_1$ ,其中 $s_1/r_1$ 为至少0.1。多层反射式偏振器包含至少一层,所述至少一层在该

至少一层上离开光轴的至少一个第一位置处是基本上光学双轴的和在离开光轴的至少一个第二位置处是基本上光学单轴的。

[0021] 在本说明书的一些实施方案中,第一光学堆叠、邻近第一光学堆叠布置并沿正交的第一和第二轴凸出的第二光学堆叠以及布置在第二光学堆叠和第一光学堆叠之间的第一四分之一波延迟器的光学系统。第一光学堆叠包括第一光学透镜以及在期望的多个波长中具有至少30%的平均光反射率的部分反射器。第二光学堆叠包括第二光学透镜以及基本上透射具有第一偏振态的光并且基本上反射具有正交的第二偏振态的光的多层反射式偏振器。反射式偏振器包括至少一个多层反射式偏振器上的至少一个第一位置,该第一位置距第二光学堆叠的光轴具有径向距离 $r_1$ 并且距多层反射式偏振器的顶点处垂直于光轴的平面具有位移 $s_1$ ,其中 $s_1/r_1$ 为至少0.1。多层反射式偏振器包含至少一层,所述至少一层在该至少一层上离开光轴的至少一个第一位置处是基本上光学双轴的和在离开光轴的至少一个第二位置处是基本上光学单轴的。

[0022] 在本说明书的一些实施方案中,提供了包括第一光学堆叠、邻近第一光学堆叠布置并沿正交的第一和第二轴凸出的第二光学堆叠以及布置在第二光学堆叠和第一光学堆叠之间的第一四分之一波延迟器的光学系统。第一光学堆叠包括第一光学透镜以及在期望的多个波长中具有至少30%的平均光反射率的部分反射器。第二光学堆叠包括第二光学透镜以及基本上透射具有第一偏振态的光并且基本上反射具有正交的第二偏振态的光的多层反射式偏振器。反射式偏振器具有多层反射式偏振器的至少一个第一位置,该第一位置距第二光学堆叠的光轴具有径向距离 $r_1$ 并且距反射式偏振器的顶点处垂直于光轴的平面具有位移 $s_1$ ,其中 $s_1/r_1$ 为至少0.1。光学系统具有在光学系统的视场上至少50的对比度。

[0023] 在本说明书的一些实施方案中,提供了包括第一光学堆叠、邻近第一光学堆叠布置并沿正交的第一和第二轴凸出的第二光学堆叠以及布置在第二光学堆叠和第一光学堆叠之间的第一四分之一波延迟器的光学系统。第一光学堆叠包括第一光学透镜以及在期望的多个波长中具有至少30%的平均光反射率的部分反射器。第二光学堆叠包括第二光学透镜以及基本上透射具有第一偏振态的光并且基本上反射具有正交的第二偏振态的光的反射式偏振器。反射式偏振器上的至少一个第一位置距第二光学堆叠的光轴具有径向距离 $r_1$ 并且距反射式偏振器的顶点处垂直于光轴的平面具有位移 $s_1$ ,其中 $s_1/r_1$ 为至少0.1。光学系统适于提供可调整的屈光校正。

[0024] 在本说明书的一些实施方案中,提供了包括第一和第二光学系统的头戴式显示器。第一光学系统包括第一图像表面、第一出射光瞳、布置在第一出射光瞳和第一图像表面之间的反射式偏振器以及布置在第一反射式偏振器和第一部分反射器之间的第一四分之一波延迟器。第一反射式偏振器关于两个正交的轴凸出。第一部分反射器布置在第一反射式偏振器和第一图像表面之间,并且第一部分反射器在预定的多个波长中具有至少30%的平均光反射率。第二光学系统包括第二图像表面、第二出射光瞳、布置在第二出射光瞳和第二图像表面之间的第二反射式偏振器、布置在第二反射式偏振器和第二图像表面之间的第二部分反射器以及第二反射式偏振器和第二部分反射器之间的第二四分之一波延迟器。第二反射式偏振器关于两个正交的轴凸出。第二部分反射器在预定的多个波长中具有至少30%的平均光反射率。

[0025] 在本说明书的一些实施方案中,提供了包括光圈(aperture)和图像记录装置的相



机。该相机包括布置在光圈和图像记录装置之间的反射式偏振器。反射式偏振器关于两个正交的轴弯曲。在预定的多个波长中具有至少30%的平均光反射率的部分反射器布置在反射式偏振器和图像记录装置之间。四分之一波延迟器布置在反射式偏振器和部分反射器之间。

[0026] 在本说明书的一些实施方案中,提供了扩束器。扩束器包括在预定的多个波长中具有至少30%的平均光反射率的部分反射器、邻近部分反射器布置并与部分反射器间隔开的反射式偏振器以及布置在反射式偏振器和部分反射器之间的四分之一波延迟器。反射式偏振器关于两个正交的轴弯曲。

[0027] 在本说明书的一些实施方案中,提供了包括光源、布置为接收来自光源的光和发射会聚的图案化的光的图像形成装置以及扩束器的投影系统。扩束器包括在预定的多个波长中具有至少30%的平均光反射率的部分反射器、邻近部分反射器布置并与部分反射器间隔开的反射式偏振器以及布置在反射式偏振器和部分反射器之间的四分之一波延迟器。反射式偏振器关于两个正交的轴弯曲。扩束器布置为使得来自图像形成装置的会聚的图案化的光入射到部分反射器上且扩束器透射发散的图案化的光。

[0028] 在本说明书的一些实施方案中,提供了包括扩束器、偏振分束器、光源和反射式部件的照明器。扩束器包括关于两个正交的方向弯曲的反射式偏振器。偏振分束器包括具有输入面、输出面和第一斜边的第一棱镜;具有第一面和第二斜边的第二棱镜,第二斜边邻近第一斜边布置;和布置在第一斜边和第二斜边之间的第二反射式偏振器。光源邻近输入面布置并限定输入面上的输入有效区域。反射式部件邻近第一面布置用于接收从光源发射的光和发射会聚的光。反射式部件具有限定输出面上的输出有效区域的最大有效区域。扩束器布置为接收会聚光和透射发散光。输入有效区域和输出有效区域之一或两者小于反射式部件的最大有效区域的约一半。

[0029] 在本说明书的一些实施方案中,提供了包括光学系统的放大装置。光学系统包括出射光瞳、接近出射光瞳并关于两个正交的轴弯曲的反射式偏振器、与出射光瞳相对靠近反射式偏振器布置并与反射式偏振器间隔开的部分反射器。部分反射器在预定的多个波长中具有至少30%的平均光反射率。四分之一波延迟器布置在反射式偏振器和部分反射器之间。

## 附图说明

- [0030] 图1-图2是光学系统的示意截面图;
- [0031] 图3A-图4C是光学堆叠的部分的示意截面图;
- [0032] 图5-图9是光学系统的示意截面图;
- [0033] 图10是反射式偏振器的截面图;
- [0034] 图11是反射式偏振器的前视图;
- [0035] 图12是反射式偏振器的截面图;
- [0036] 图13A是反射式偏振器的前视图;
- [0037] 图13B是图13A的反射式偏振器的截面图;
- [0038] 图14是光学系统的对比度相对光学系统的偏振精度的曲线图;
- [0039] 图15是图示制作具有期望的形状的期望的光学膜的方法的示意图;

- [0040] 图16是热成形工具的示意截面图；
- [0041] 图17是头戴式显示器的示意顶视图；
- [0042] 图18-图23是光学系统的截面图；
- [0043] 图24A-图24C是包括一个或多个光学系统的装置的示意顶视图；
- [0044] 图25是包括照明器和扩束器的装置的示意侧视图；
- [0045] 图26是光学堆叠的示意截面图；
- [0046] 图27A是头戴式显示器的光学系统的侧视图；
- [0047] 图27B-图27C是图27A的光学系统的顶视图；和
- [0048] 图28A-图28B是不同平面中的复曲面透镜的截面图。

## 具体实施方式

[0049] 在以下说明书中参照形成说明书一部分且其中通过图解显示各种实施方案的附图。图形不是必然按比例。应理解，设想了其它实施方案，且可以在不脱离本公开的范围或精神的情况下进行。因此，以下详细说明不是以限制的意义理解。

[0050] 按照本说明书，已发现包括关于两个正交的轴凸出并布置在光阑表面（例如，出射光瞳或入射光瞳）和图像表面（例如，显示器面板的表面或图像记录器的表面）之间的反射式偏振器的光学系统可以例如在可用于各种装置（包括诸如虚拟现实显示器之类的头戴式显示器以及诸如包括在手机中的相机之类的相机）的紧凑配置中提供具有高视场、高对比度、低色差、低失真和/或高效率的系统。

[0051] 光学系统可以包括布置在反射式偏振器和图像表面之间的部分反射器，且可以包括至少一个四分之一波延迟器。例如，第一四分之一波延迟器可以布置在反射式偏振器和部分反射器之间，且一些情况中，第二四分之一波延迟器可以布置在部分反射器和图像表面之间。光学系统可以适于利用在期望的或预定的多个波长中的波长，且部分反射器可以在期望的或预定的多个波长中具有至少30%的平均光反射率和可以在期望的或预定的多个波长中具有至少30%的平均光透射率。四分之一波延迟器可以是在期望的或预定的多个波长中的至少一个波长的四分之一波延迟器。在一些实施方案中，期望的或预定的多个波长可以是单一的连续波长范围（例如，400nm-700nm的可见光范围）或它可以是多个连续波长范围。部分反射器可以是陷波（notch）反射器且期望的或预定的多个波长可以包括一个或多个波长范围，其中至少一些具有不超过100nm或不超过50nm的半高全宽反射带。反射式偏振器可以是陷波反射式偏振器，且可以具有匹配或基本上匹配部分反射器的反射带的反射带。在一些情况中，光学系统可以适应用于一个或多个激光器且多个期望的或预定的波长可以包括激光器波长周围的窄带（例如，宽度10nm）。

[0052] 反射式偏振器、部分反射器和/或四分之一波延迟器也可以关于两个正交的轴弯曲。在一些实施方案中，反射式偏振器、第一四分之一波延迟器和部分反射器各自关于两个正交的轴弯曲，且在一些实施方案中，这些层或部件各自朝向图像表面凸出。在一些实施方案中，多个表面在光阑表面和图像表面之间提供，且反射式偏振器、第一四分之一波延迟器和部分反射器各自布置在表面之一上。这些层或部件可以各自布置在不同的表面中，或两个或更多个层或部件可以布置在单一表面上。在一些实施方案中，一个、两个、三个或更多个透镜布置在光阑表面和图像表面之间，且多个表面可以包括一个或多个透镜的主表面。

一个或多个透镜可以位于反射式偏振器和部分反射器之间,一个或多个透镜可以位于光阑表面和反射式偏振器之间,和一个或多个透镜可以位于部分反射器和图像表面之间。

[0053] 例如,反射式偏振器可以是热成形的反射式偏振器且可以是热成形的聚合物多层光学膜反射式偏振器或可以是热成形的线栅偏振器。热成形是指在环境温度以上完成的成形工艺。整合反射式偏振器的常规显示器设计使用平面反射式偏振器或使用以圆柱形弯曲形状布置的反射式偏振器(其关于单一轴弯曲)。将反射式偏振器弯曲成圆柱形状不拉伸反射式偏振器且因此基本上不改变其作为反射式偏振器的性能。本说明书的反射式偏振器可以关于两个正交的轴弯曲且可以因此将反射式偏振器成形为弯曲的形状而拉伸。按照本说明书,已发现这类复合弯曲的反射式偏振器可以例如用于显示器或相机应用的光学系统中,同时导致各种改善的光学性质(例如,较低的分色、降低的失真、改善的视场、改善的对比度等),即使反射式偏振器拉伸成复合弯曲形状。如本文中其它地方进一步讨论的,已发现通过热成形聚合物多层光学膜制作的凸出反射式偏振器当用于本说明书的光学系统时是特别有利的,该热成形聚合物多层光学膜在热成形之前是单轴定向的。在一些实施方案中,单轴定向的多层反射式偏振器是APF(Advanced Polarizing Film,自3M Company, St. Paul, MN获得)。在一些实施方案中,光学系统包括热成形的APF且入射在热成形的APF上的光学系统中的任何或基本上任何主光线具有低入射角(例如,低于约30度、低于约25度或低于约20度)。图1是光学系统100的示意截面图,其包括图像表面130、光阑表面135、布置在图像表面130和光阑表面135之间的第一光学堆叠110、布置在第一光学堆叠110和光阑表面135之间的第二光学堆叠120。第一和第二光学堆叠110和120各自沿正交的第一和第二轴朝向图像表面130凸出。图1中提供了x-y-z坐标系。正交的第一和第二轴可以分别是x-和y-轴。图像表面130具有最大横向尺寸A,并且光阑表面135具有最大横向尺寸B。最大横向尺寸可以是圆形图像或光阑表面的直径或可以是矩形图像或光阑表面的对角线距离。在一些实施方案中,A/B可以是至少2、至少3、至少4或至少5。图像表面130和/或光阑表面135可以是基本上平面的或可以是弯曲的。

[0054] 第一光学堆叠110包括分别具有相对的第一和第二主表面114和116的第一光学透镜112。第一和/或第二主表面114和116可以具有布置在其上的一个或多个层或涂层。第一光学堆叠110还包括布置在第一或第二主表面114和116之一上的部分反射器,如本文中其它地方进一步描述的(参见,例如,图2和图3A-图3C)。包括在本说明书的光学系统中的任何部分反射器可以具有在期望的或预定的多个波长中的至少30%的平均光反射率。期望的或预定的多个波长可以是可见光波长范围(例如,400nm-700nm)、红外波长范围、紫外波长范围或可见光、红外和紫外波长的一些组合。在一些实施方案中,期望的或预定的多个波长可以是窄波长范围或多个窄波长范围,且部分反射器可以是具有至少一个不超过100nm或不超过50nm的半高全宽的反射带的陷波反射器。平均光反射率可以通过平均期望的或预定的多个波长上的反射率确定。类似地,平均光透射率可以通过平均期望的或预定的多个波长上的透射率确定。在一些实施方案中,部分反射器具有各自在30%-70%的范围中的或各自在40%-60%的范围中的期望的或预定的多个波长中的平均光反射率和平均光透射率。部分反射器可以是例如半反射镜。可以使用任何合适的部分反射器。例如,部分反射器可以通过在透明基底上涂覆薄金属层(例如,银或铝)构建。例如,部分反射器也可以通过沉积薄膜介电涂层到透镜表面上或通过在透镜表面上沉积金属和介电涂层的组合来形成。在一些

实施方案中,部分反射器可以是第二反射式偏振器,其可以是多层聚合物反射式偏振器(例如,APF或DBEF)或可以是线栅偏振器。

[0055] 第二光学堆叠包括具有第一和第二主表面124和126的第二光学透镜122。第一和/或第二主表面124和126可以具有布置在其上的一个或多个层或涂层。如本文中其它地方进一步描述的(参见,例如,图2和图4A-图4C),第二光学堆叠120可以包括反射式偏振器和第一四分之一波延迟器,反射式偏振器和第一四分之一波延迟器在第一和第二主表面124和126之一上布置在彼此之上(例如,层压于反射式偏振器膜或四分之一波延迟器涂层的四分之一波延迟器膜(例如,定向聚合物膜)(例如,反射式偏振器膜上的液晶聚合物涂层)),或者反射式偏振器布置在第一主表面124上和第一四分之一波延迟器布置在第二主表面126。第一四分之一波延迟器可以是与第二光学透镜122模制的膜或可以是例如在第二光学透镜122已经成形后涂覆于第二主表面126的涂层。用于形成四分之一波延迟器的合适的涂层包括线性光聚合性聚合物(LPP)材料和描述于美国专利申请公开No.US 2002/0180916(Schadt等)、US 2003/028048(Cherkaoui等)和US 2005/0072959(Moia等)中的液晶聚合物(LCP)材料。合适的LPP材料包括ROP-131EXP 306LPP,和合适的LCP材料包括ROF-5185EXP 410LCP,这两者均从Rolic Technologies,Allschwil,Switzerland获得。四分之一波延迟器可以是期望的或预定的多个波长中至少一个波长的四分之一波。

[0056] 在一些实施方案中,第二光学堆叠120包括在第一和第二主表面124和126之一上的反射式偏振器。光学系统100包括布置在第一和第二透镜112和122之间的第一四分之一波延迟器。第一四分之一波延迟器可以布置在第二光学堆叠122的第二表面126上(在该情况中,它可以考虑为第二光学堆叠120的部分或它可以考虑为布置在第一和第二光学堆叠110和120之间),或可以包括为具有第一和第二光学堆叠110和120之间的间隔的单个部件,或可以布置在第一光学堆叠110的第一表面114上(在该情况中,它可以考虑为第一光学堆叠110的部分或它可以考虑为布置在第一和第二光学堆叠110和120之间)。

[0057] 多层反射式偏振器基本上透射基本上透射具有第一偏振态的光和基本上反射具有正交的第二偏振态的光。第一和第二偏振态是线偏振态。第一四分之一波延迟器布置在反射式偏振器和第一光学堆叠110之间。

[0058] 本说明书的光学堆叠可以例如通过使包括在光学堆叠中的任何膜热成形和然后使用插入模制工艺注塑透镜到膜上来制作。如本文中其它地方进一步描述的,反射式偏振器膜可以具有各向异性机械性质,这使得在旋转对称的模具上热成形时膜在冷却后非旋转对称。可能困难的是注塑非旋转对称的膜到旋转对称的透镜上而不导致膜中的皱纹或其它缺陷。已经发现使用非旋转对称的热成形模具可能在膜具有各向异性机械性质时在冷却后导致旋转对称的膜。旋转对称的透镜可以插入模制到所得的旋转对称膜上而没有皱纹或以其它方式损伤热成形的膜。

[0059] 图像表面130可以是其中形成图像的任何表面。在一些实施方案中,图像源包含图像表面130且光阑表面135是出射光瞳。例如,图像表面130可以是诸如显示器面板之类的图像形成装置的输出表面。光阑表面135可以是光学系统100的出射光瞳且可以适于与第二光学系统的入射光瞳重叠,其可以是例如观察者的眼睛或相机。第二光学系统的入射光瞳可以是例如观察者眼睛的入射光瞳。图像源可以发射偏振的或非偏振的光。在一些实施方案中,图像表面130是适于接收从光学系统100外部的物体反射的光的孔隙(aperture)。

[0060] 光学系统100可以包括一个或多个另外的延迟器。例如,第二四分之一波延迟器可以包括在第一光学堆叠110中且可以布置在第一和第二主表面114和116之一上或可以布置在部分反射器上。可能期望的是在图像表面130是产生偏振光的显示器面板的表面时包括例如第二四分之一波延迟器。显示器面板可以发射线偏振、圆偏振或椭圆偏振的光。例如,显示器面板可以是液晶显示器(LCD)面板或液晶覆硅(LCoS)显示器面板且可以发射线偏振光。在一些实施方案中,第二四分之一波延迟器布置在部分反射器和图像表面之间,且在一些实施方案中,线偏振器(例如,线吸收偏振器或第二反射式偏振器)布置在第二四分之一波延迟器和图像表面130之间。在一些实施方案中,显示器面板基本上是平的。在其它实施方案中,使用弯曲的显示器面板。例如,可以使用弯曲的OLED(有机发光二极管)显示器。在一些实施方案中,可以使用透明的或半透明的显示器(例如,透明的OLED、LCD或电泳显示器)。在一些实施方案中,图像源包含图像表面,其中图像源可以包括显示器面板且可以任选地包括快门。在一些实施方案中,快门(例如,液晶快门或PDLC(聚合物分散型液晶)快门或光致变色快门,或者可物理移除的起到快门作用的挡板)可以用于透明或半透明显示器面板以选择性地允许或不允许环境光通过透明或半透明显示器面板。半透明显示器面板在显示器面板的至少一个状态中对于至少一个可见光波长可以具有至少25%或至少50%的透射率。在一些实施方案中,图像源可以包含可以用非可见光照射的荧光材料以产生可见图像。

[0061] 在一些实施方案中,图像记录器包含图像表面130且光阑表面135是入射光瞳。例如,在相机应用中,相机的孔径光阑(aperture stop)可以是光学系统100的入射光瞳且图像表面130可以是相机的图像传感器的表面,其可以例如是电荷耦合装置(CCD)传感器或互补型金属氧化物半导体(CMOS)传感器。

[0062] 光学系统100可以以折叠光轴140为中心,所述折叠光轴140可以由透射通过图像表面130的中心光线光学路径限定。光轴140折叠,因为中心光线的光学路径在第一和第二光学堆叠110和120之间的一段光学路径中沿负z-方向传播和在第一和第二光学堆叠110和120之间的另一段光学路径中正z-方向传播。

[0063] 第一和第二光学堆叠110和120可以具有基本上相同的形状或可以具有不同的形状。类似地,第一和第二光学透镜112和122可以具有基本上相同的形状或可以具有不同的形状。反射式偏振器、第一四分之一波延迟器、部分反射器、第一光学透镜112的第一和第二主表面114和116及第二光学透镜120的第一和第二主表面124和126中任何一个或多个可以具有通过非球面多项式矢高(sag)方程描述的形状。各种表面或层可以具有相同或不同的形状且可以通过相同或不同的非球面多项式矢高方程描述。非球面多项式矢高方程可以采取以下形式:

[0064]

$$Z = \frac{cr^2}{1 + [1 - (1+k)c^2r^2]^{1/2}} + Dr^4 + Er^6 + Fr^8 + Gr^{10} + Hr^{12} + Ir^{14} \dots \quad (\text{方程 1})$$

[0065] 其中c、k、D、E、F、G、H和I是常数,z是距顶点的距离(例如,图10中的距离s1)和r是径向距离(例如,图10中的距离r1)。参数k可以指圆锥常数。本说明书的任何光学系统可以包括反射式偏振器、一个或多个四分之一波延迟器、部分反射器和布置在图像表面和光阑表面之间的多个主表面。反射式偏振器、一个或多个四分之一波延迟器、部分反射器和主表

面中的任何一个或多个可以具有通过非球面多项式矢高方程描述的形状。

[0066] 第一光学堆叠110以距图像表面130的距离 $d_1$ 布置,第二光学堆叠120以距第一光学堆叠110的距离 $d_2$ 和以距光阑表面135的距离 $d_3$ 布置。在一些实施方案中,距离 $d_1$ 、 $d_2$ 和/或 $d_3$ 可调整。在一些实施方案中,图像表面130和光阑表面135之间的距离( $d_1+d_2+d_3$ )是固定的且 $d_1$ 和/或 $d_3$ 是可调整的。例如,距离 $d_1$ 、 $d_2$ 和/或 $d_3$ 可以通过安装第一和第二光学堆叠110和120之一或两者到提供位置的机械调整的轨道上来用户调整。

[0067] 相对于自身或相对于图像和/或光阑表面130和135调整第一和第二光学堆叠110和/或120的位置的能力允许由光学系统100提供的屈光校正是可调整的。例如,在维持其余部件固定的同时移动第二光学堆叠120允许由图像表面130发射和通过光阑表面透射的光线可从在光阑表面135处平行调整为在光阑表面135处会聚或发散。在一些实施方案中,屈光度值可以标示在机械调整装置上,可通过使用挡板、棘爪或类似装置物理选择或电子选择如利用步进电机或者与电子标尺结合使用电动机或线性致动器。在一些实施方案中,包含图像表面130的显示器面板上的图像尺寸可以基于屈光度调整改变。这可以由使用者手动进行或通过调整机构自动地进行。在其它实施方案中,可以提供一个、两个、三个或更多个光学透镜。在其中部分反射器布置在第一透镜的表面上和反射式偏振器布置在不同的第二透镜的表面上任何实施方案中,可以至少部分地通过提供提供第一和/或第二透镜的可调整位置和/或提供第一和第二透镜之间可调整的距离来提供可改变的屈光度。

[0068] 在一些实施方案中,第一和第二光学透镜112和122之一或两者可以成形为提供屈光度值和/或柱面度(cylinder power)(例如,通过模制具有复曲面的透镜,其可以描述为在两个正交的方向上具有不同曲率半径的表面)使得光学系统100可以为使用者提供期望的处方校正。具有反射的球面度和柱面度且可以用于本说明书的光学系统中的复曲面透镜的实例显示在图28A和28B,其分别是y-z平面和x-z平面中穿过透镜顶点的截面的透镜2812的截面图。曲率半径在y-z平面(图28A)中比在x-z平面(图28B)中更小。在一些实施方案中,柱面度可以通过使用可以弯曲的薄塑料透镜产生。类似地,处方校正可以通过对一个或多个透镜提供合适的光焦度(optical power)包括在本文中描述的一个、两个、三个或更多个透镜光学系统的任何一个中。在一些实施方案中,光学系统可以于整合布置在包含图像表面的显示器面板和光学系统的其它透镜之间的处方透镜,其可以不提供屈光校正,或者系统可以适于整合布置在光阑表面和光学系统的其它透镜之间的处方透镜,其可以不提供屈光校正。

[0069] 可移动光学透镜的另一用途是最小化立体镜中的转向-调节(vergence-accommodation)失配。在许多头戴式立体显示器中,层次感通过移动特定物体的左眼和右眼图像使其更紧密地在一起产生。左眼和右眼靠拢以更清楚地看到物体的虚拟图像,且这是产生深度感的提示。但是,当眼睛观察靠近的真实物体时,它们不仅靠拢,而且各眼的透镜聚焦(也称为调节)以使得靠近的物体进入视网膜上的焦点中。因为立体镜中存在的转向提示之间的差异和缺乏眼观看靠近物体的虚像的调节,许多头戴式立体显示器的使用者可能存在视觉不适、眼紧张和/或恶心的问题。通过调整第一和第二透镜的位置,虚像距离可以调整到靠近的点,使得眼睛聚焦以观看物体的虚像。通过组合转向提示和调节提示,光学系统中的一个或多个透镜的位置可以调整以使得转向-调节失配可以减少或基本上除去。

[0070] 在一些实施方案中,头戴式显示器包括任何一种本说明书的光学系统且也可以包括眼睛跟踪系统。眼睛跟踪系统可以配置为检测使用者正在观看的虚像中的位置且光学系统可以适于通过调整光学系统中一个或多个透镜的位置来调整虚像距离以匹配立体呈现的物体的深度。

[0071] 在一些实施方案中,第一和/或第二光学透镜112和122可以成形以具有反射或折射或两者的球面度和/或柱面度。这可以例如通过使用具有期望的形狀的热成形模具和膜插入模具进行。柱面度可以例如通过在注塑模制加工后随着其冷却施加应力到旋转对称透镜上来产生。或者,透镜可以通过后加工、金刚石车削、研磨或抛光来弯曲(球面或柱面或组合)。

[0072] 在一些实施方案中,第一和第二光学透镜112和122之一或两者可以在光学系统中动态或静态地弯曲。静态弯曲的实例是一个或多个固定螺丝或者静态地施加压缩或拉伸力到一个或多个透镜上的类似机构。在一些实施方案中,固定螺丝可以以环形方式提供,以提供沿多个轴的散光校正,其考虑所有三种类型的散光:循规性、逆规性和斜散光。这将提供精确校正,如使用通常制作为以30度或15度或10度的倾斜度的增量解决散光的眼镜透镜。固定螺丝的螺距可以与柱面度相关以提供基于螺丝的转动或部分转动的校正手段。在一些实施方案中,压电的、音圈的或步进电机的致动器或其它类型的致动器可以用于弯曲一个或多个透镜(例如,基于使用者对装置的输入,如输入处方)。

[0073] 在处方透镜术语中,平面透镜是没有折射光焦度的透镜。在一些实施方案中,第一光学透镜112和/或第二光学透镜122可以是具有很小或没有透射光焦度的平面透镜,但可以具有反射光焦度(例如,由于透镜的总体曲率)。第一光学透镜112的第一和第二主表面114和116的曲率可以是相同的或基本上相同的,且第二光学透镜122的第一和第二主表面124和126的曲率可以是相同的或基本上相同的。第一和第二光学透镜112和122可以具有基本上相同的形状。在一些实施方案中,第一光学透镜112和/或第二光学透镜122可以具有透射光焦度和也可以具有反射光焦度。

[0074] 光学系统100包括第二光学堆叠120中的反射式偏振器和四分之一波延迟器和包括第一光学堆叠110中的部分反射器。具有反射式偏振器、四分之一波延迟器和部分反射器可以如何在光学堆叠中排列的各种可能性。图2显示一种可能的排列;其它排列描述于图3A-图4C中。

[0075] 图2是光学系统200的示意截面图,包括图像表面230、光阑表面235、布置在图像表面230和光阑表面235之间的第一光学堆叠210、布置在第一光学堆叠210和光阑表面235之间的第二光学堆叠220。第一和第二光学堆叠210和220各自沿正交的第一和第二轴朝向图像表面230凸出。图2中提供了x-y-z坐标系统。垂直的第一和第二轴可以分别是x-和y-轴。

[0076] 第一光学堆叠210包括分别具有相对的第一和第二主表面214和216的第一光学透镜212。第一光学堆叠210包括布置在第一主表面214上的部分反射器217。部分反射器217具有在期望的或预定的多个波长中的至少30%的平均光反射率且可以具有在期望的或预定的多个波长中的至少30%的平均光透射率,其可以是本文中其它地方描述的任何波长范围。

[0077] 第二光学堆叠包括具有第一和第二主表面224和226的第二光学透镜222。第二光学堆叠220包括布置在第二主表面226上的反射式偏振器227并包括布置在反射式偏振器

227上的四分之一波延迟器225。四分之一波延迟器225可以是层压在反射式偏振器227上的膜或可以是涂覆在反射式偏振器227上的涂层。光学系统200可以包括一个或多个另外的延迟器。例如,第二四分之一波延迟器可以包括在第一光学堆叠210中且可以布置在第二主表面216上。第一四分之一波延迟器225和包括在光学系统200中的任何另外的四分之一波延迟器可以是预定的或期望的多个波长中的至少一个波长的四分之一波延迟器。或者,第二光学堆叠220可以描述为包括第二透镜222且布置在第二透镜222上的反射式偏振器227及第一四分之一波延迟器225可以视为布置在第二光学堆叠220上而不是包括在第二光学堆叠220中的单独层或涂层。在这种情况下,第一四分之一波延迟器225可以描述为布置在第一光学堆叠210和第二光学堆叠220之间。在一些实施方案中,第一四分之一波延迟器225可以不附接到第二光学堆叠220,且在一些实施方案中,第一四分之一波延迟器225布置在第一和第二光学堆叠210和220之间并与其间隔开。在其它的实施方案中,第一四分之一波延迟器225可以布置在部分反射器217上且可以描述为包括在第一光学堆叠210中或可以描述为布置在第一和第二光学堆叠210和220之间。

[0078] 光线237和238各种通过图像表面230和光阑表面235透射。光线237和238可以各自从图像表面230透射到光阑表面235(例如,在头戴式显示器应用中),或光线237和238可以从光阑表面235透射到图像表面230(例如,在相机应用中)。光线238可以是其光学路径限定光学系统200的折叠光轴240的中心光线,其中心位于折叠光轴240上。折叠光轴240可以对应于折叠光轴140。

[0079] 在其中光线237从图像表面230透射到光阑表面235的实施方案中,光线237(且类似地对于光线238)顺序地通过图像表面230透射、通过第二主表面216(及其上的任何涂层或层)透射、通过第一光学透镜212透射、通过部分反射器217透射、通过布置在反射式偏振器227上的四分之一波延迟器225透射、从反射式偏振器227反射、通过四分之一波延迟器225向回透射、从部分反射器217反射、通过四分之一波延迟器225透射、通过反射式偏振器227透射、通过第二透镜222透射和通过光阑表面235透射。光线237可以从图像表面230发射,具有在通过四分之一波延迟器225时旋转到第一偏振态的偏振态。该第一偏振态可以是反射式偏振器227的阻挡态。在光线237通过第一四分之一波延迟器225、从部分反射器217反射和通过四分之一波延迟器225回传后,其偏振态是与第一偏振态基本上正交的第二偏振态。光线237因此可以在其第一次入射在反射式偏振器227上时从反射式偏振器227反射并可以在其第二次入射在反射式偏振器227上时通过反射式偏振器227透射。

[0080] 其它光线(未图示)在以负 $z$ -方向入射到部分反射器217上时从部分反射器217反射或以以正 $z$ -方向入射到部分反射器217上时被部分反射器217透射。这些光线可以退出光学系统200。

[0081] 在一些实施方案中,基本上通过图像表面230和光阑表面235的任何主光线入射在各第一光学堆叠210和第二光学堆叠220上,第一次或各次主光线入射在第一或第二光学堆叠210或220上时入射角小于约30度、小于约25度或小于约20度。在本说明书的任何光学系统中,基本上通过图像和光阑表面的任何主光线入射在各反射式偏振器和部分反射器上,第一次或各次主光线入射在反射式偏振器或部分反射器上时入射角小于约30度、小于约25度或小于约20度。如果通过光阑和图像表面的所有主光线的大部分(例如,约90%或更多,或约95%或更多,或约98或更多)满足一定条件,则可以说基本上任何主光线满足该条件。



[0082] 各种因素可以在图像表面230发射的光第一次入射在反射式偏振器227上时引起光部分透射通过反射式偏振器227。这可能在光阑表面235处导致不期望的重影或图像模糊。这些因素可以包括各种偏振部件在成形过程中的性能下降和光学系统200的不期望的双折射。这些因素的效应可以组合以使光学系统200的对比度和效率退化。这些因素对对比度的作用可以在例如图14中看到,其显示通过光学建模确定的光阑表面235处的对比度,其随在被图像表面230发射时具有通过态的偏振的光的百分比变化,该光在通过第一四分之一波延迟器225和通过布置在第一透镜212的第二主表面216上的第二四分之一波延迟器(未图示)后首次入射在反射式偏振器227上。这类因素可以通过使用相对薄的光学透镜(这可以例如减少透镜中的不期望的双折射)和使用薄的光学膜(这可以例如减少由热成形光学膜产生的光学伪像)最小化。在一些实施方案中,第一和第二光学透镜212和222各自具有小于7mm、小于5mm或小于3mm的厚度且可以具有例如1mm-5mm或1mm-7mm的范围内的厚度。在一些实施方案中,反射式偏振器227可以具有小于75微米、小于50微米或小于30微米的厚度。在一些实施方案中,光阑表面235处的对比度为在光学系统200的视场上至少40,或至少50,或至少60,或至少80,或至少100。已发现如果反射式偏振器227是热成形的(使得它关于两个正交的轴弯曲)多层光学膜(其在热成形前是单轴定向的(例如,APF)),对比度与使用关于两个正交的轴弯曲的其它反射式偏振器相比可以显著更高。也可以使用其它反射式偏振器,如非单轴定向的多层聚合物膜反射式偏振器或线栅偏振器。

[0083] 已发现,适当地选择各个主表面(例如,第二主表面226和第一主表面214)的形状,光学系统可以提供充分低的失真以使得图像不需要预校正。在一些实施方案中,适于发射无失真图像的图像源包含图像表面230。部分反射器217和反射式偏振器227可以具有选择的形状以使得光阑表面235透射的所发射无失真图像的失真低于光阑表面235处视场的约10%,或低于约5%,或低于约3%。光阑表面处的视场可以例如大于80度,大于90度或大于100度。

[0084] 图3A-图3C是光学堆叠310a-310c的部分的截面图,其任何一个可以对应于第二光学堆叠110。尽管未在图3A-图3C中显示,光学堆叠310a-310c可以各自关于两个正交的轴弯曲。光学堆叠310a-310c各自包括具有第一和第二主表面314和316的透镜312,其可以对应于光学透镜112。光学堆叠310a包括布置在第一主表面314上的四分之一波延迟器315(其可以任选地被省略)和布置在第二主表面316上的部分反射器317。光学堆叠310b包括布置在第一主表面314上的部分反射器317和布置在部分反射器317上与光学透镜312相对的四分之一波延迟器315(其可以任选地被省略)。光学堆叠310c包括布置在第二主表面316上的四分之一波延迟器315和包括布置在四分之一波延迟器315上与透镜312相对的部分反射器317。

[0085] 图4A-图4C是光学堆叠420a-420c的部分的截面图,其任何一个可以对应于第二光学堆叠120。光学堆叠420a-420c可以各自关于两个正交的轴弯曲。光学堆叠420a-420c各自包括具有第一和第二主表面424和426的透镜422,其可以对应于光学透镜422。光学堆叠420a包括布置在第一主表面424上的四分之一波延迟器425和布置在第二主表面426上的反射式偏振器427。光学堆叠420b包括布置在第一主表面424上的反射式偏振器427和布置在反射式偏振器427上与透镜422相对的四分之一波延迟器425(如图2中)。光学堆叠420c包括布置在第二主表面426上的四分之一波延迟器425和包括布置在四分之一波延迟器425上与

透镜422相对的反射式偏振器427。

[0086] 图5中显示了替代实施方案,其是光学系统500的示意截面图,包括图像表面530、光阑表面535和一体光学堆叠510(包括具有第一和第二主表面514和516的光学透镜512)。第一和/或第二主表面514和516可以具有布置在其上的一个或多个层或涂层。一体光学堆叠510也包括部分反射器、多层反射式偏振器和第一四分之一波延迟器。这些各个层或部件可以布置在第一和第二主表面514和516中的一个或多个上。例如,在一些实施方案中,部分反射器可以布置在第一主表面514上,第一四分之一波延迟器可以布置在部分反射器上和反射式偏振器可以布置在第一四分之一波延迟器上。在一些实施方案中,第二四分之一波延迟器可以布置在第二主表面516上。在一些实施方案中,反射式偏振器布置在第二主表面516上,四分之一波延迟器布置在反射式偏振器上和部分反射器布置在四分之一波延迟器上。在一些实施方案中,第二四分之一波延迟器布置在部分反射器上。在一些实施方案中,反射式偏振器布置在第一主表面514上和第一四分之一波延迟器布置在第二主表面516上,而部分反射器和任选的第二四分之一波延迟器布置在第一四分之一波延迟器上。在一些实施方案中,第一四分之一波延迟器布置在第一主表面514上,而反射式偏振器布置在第一四分之一波延迟器上,和部分反射器布置在第二主表面516上,而任选的第二四分之一波延迟器布置在部分反射器上。

[0087] 图像表面530具有第一最大横向尺寸和光阑表面535具有第二最大横向尺寸。在一些实施方案中,第一最大横向尺寸除以第二最大横向尺寸可以是至少2、至少3、至少4或至少5。图像表面530和/或光阑表面635可以基本上是平面的或可以关于一个或多个轴弯曲。

[0088] 部分反射器在期望的或预定的多个波长中具有至少30%的平均光反射率且在期望的或预定的多个波长中具有至少30%的平均光透射率,其可以是本文中其它地方描述的任何波长范围。包括在光学系统500中的四分之一波延迟器可以是预定的或期望的多个波长中的至少一个波长处的四分之一波延迟器。多层反射式偏振器基本上透射具有第一偏振态的光(例如,沿第一方向线偏振的)和基本上反射具有正交的第二偏振态的光(例如,沿与第一方向正交的第二方向线偏振的)。如本文中其它地方进一步描述的,多层反射式偏振器例如可以是聚合物多层反射式偏振器(例如,APF)或可以是线栅偏振器。

[0089] 光学系统500可以以折叠光轴540为中心,所述折叠光轴540可由透射通过图像表面530的中心光线的光学路径限定。

[0090] 已发现,使用单一集成光学堆叠(如集成光学堆叠510)可以提供紧凑系统中的高视场。通过图像表面530的外边缘透射的光线537是在折叠光轴540处以 $\theta$ 的视角(其可以是例如至少40度、至少45度或至少50度)与光阑表面535交叉的主光线。光阑表面535处的视场是 $2\theta$ ,其可以例如是至少80度、至少90或至少100度。

[0091] 图6是光学系统600的示意截面图,其可以对应于光学系统500,包括图像表面630、光阑表面635、一体光学堆叠610(包括具有第一和第二主表面614和616的光学透镜612)。第一四分之一波延迟器625布置在光学透镜612的第一主表面614上和反射式偏振器627与光学透镜612相对地布置在第一四分之一波延迟器625上。部分反射器617布置在光学透镜612的第二主表面616上和第二四分之一波延迟器615与光学透镜612相对地布置在部分反射器617上。光学系统600可以以折叠光轴640为中心,所述折叠光轴640可由透射通过图像表面630的中心光线的光学路径限定。

[0092] 一体光学堆叠610可以通过如下方法制作：首先将第一四分之一波延迟器625涂覆或层压到反射式偏振器627而形成反射式偏振器627和然后使所得的膜热成形为期望的形状。如本文中其它地方进一步描述的，热成形工具可以具有与期望的形状不同的形状以使得膜在冷却后获得期望的形状。部分反射器617和第二四分之一波延迟器615可以通过涂覆四分之一波延迟器到部分反射器膜上，通过涂覆部分反射器涂层到四分之一波延迟器膜上，通过层压部分反射器膜和四分之一波延迟器膜在一起或者通过首先在膜插入模制工艺中形成透镜612（其可以形成在包括反射式偏振器627和第一四分之一波延迟器625的膜上）和然后涂覆部分反射器617在第二主表面616上和涂覆四分之一波延迟器615在部分反射器617上来制作。在一些实施方案中，提供包括反射式偏振器627和第一四分之一波延迟器625的第一膜，提供包括部分反射器617和第二四分之一波延迟器615的第二膜，和然后在膜插入模制工艺中通过在第一和第二热成形膜之间注塑透镜612形成一体光学堆叠610。第一和第二膜可以在注塑步骤之前热成形。本说明书的其它光学堆叠可以类似地通过热成形光学膜（其可以是涂覆膜或层压片）和使用膜插入模制工艺制作光学堆叠来制成。第二膜可以包括在膜插入模制工艺中，以使得在模制工艺中形成的透镜布置在膜之间。

[0093] 图像源631包括图像表面630且光阑表面635是光学系统600的出射光瞳。图像源631可以是例如显示器面板。在其它实施方案中，显示器面板不存在，而替代地，图像表面630是适于接收从光学系统600外部的物体反射的光的孔隙。具有入射光瞳634的第二光学系统633接近光学系统600布置，使得光阑表面635与入射光瞳634重叠。第二光学系统633可以是相机，例如，适于记录通过图像表面637透射的图像。在一些实施方案中，第二光学系统是观察者的眼睛，并且入射光瞳634是观察者眼睛的瞳孔。在这样的实施方案中，光学系统600可以适用于头戴式显示器中。

[0094] 部分反射器617在期望的或预定的多个波长中具有至少30%的平均光反射率和在期望的或预定的多个波长中具有至少30%的平均光透射率，其可以是本文中其它地方描述的任何波长范围。第一四分之一波延迟器625和包括在光学系统600中的任何另外的四分之一波延迟器可以是在预定的或期望的多个波长中的至少一个波长处的四分之一波延迟器。多层反射式偏振器627基本上透射具有第一偏振态的光（例如，沿第一方向线偏振的）和基本上反射具有正交的第二偏振态的光（例如，沿与第一方向正交的第二方向线偏振的）。如本文中其它地方进一步描述的，多层反射式偏振器627例如可以是聚合物多层反射式偏振器（例如，APF）或可以是线栅偏振器。

[0095] 光线637从图像源631发射且通过图像表面630和光阑表面635透射。光线637通过第二四分之一波延迟器615和部分反射器617透射到透镜612中并穿过透镜612。其它光线（未图示）在通过第二四分之一波延迟器615后从部分反射器617反射并从光学系统600失去。在其首次穿过透镜612时，光线穿过第一四分之一波延迟器625并从反射式偏振器627反射。图像源631可以适于发射具有沿反射式偏振器627的通过轴的偏振的光以使得在通过第二四分之一波延迟器615和第一四分之一波延迟器625后，它沿反射式偏振器627的阻挡轴偏振并因此在首次入射在反射式偏振器627上时从其反射。在一些实施方案中，线偏振器包括在显示器面板631和第二四分之一波延迟器617之间，以使得入射在第二四分之一波延迟器615上的光具有期望的偏振。在光线637从反射式偏振器627反射后，它通过第一四分之一波延迟器625和透镜612回传并且然后从部分反射器617反射（未图示的其它光线通过部分

反射器617透射),通过透镜612回传和然后再次入射在反射式偏振器627上。在穿过第一四分之一波延迟器625、从部分反射器617反射和通过第一四分之一波延迟器625回传后,光线637具有沿反射式偏振器627的通过轴的偏振。光线637因此通过反射式偏振器627透射和然后通过光阑表面635透射到第二光学系统633中。

[0096] 在替代的实施方案中,集成光学堆叠610用如图1-图2中的第一和第二光学堆叠替换和用如图8中的第一、第二和第三光学堆叠替换。

[0097] 图7是光学系统700的示意截面图,其可以对应于光学系统500,包括图像表面730、光阑表面735和一体光学堆叠710(包括具有第一和第二主表面714和716的光学透镜712)。第一四分之一波延迟器725布置在光学透镜712上,并且反射式偏振器727布置在第一四分之一波延迟器725上。部分反射器717布置在第二主表面716上。光学系统700可以以折叠光轴740为中心,所述折叠光轴740可由透射通过图像表面730的中心光线的光学路径限定。

[0098] 图像记录器732包括图像表面730,且光阑表面735是光学系统700的入射光瞳。光阑表面例如可以是相机的光圈。图像记录器732例如可以是CCD或CMOS装置。光学系统700例如可以是相机或相机的部件且可以布置在手机中。

[0099] 部分反射器717在期望的或预定的多个波长中具有至少30%的平均光反射率和在期望的或预定的多个波长中具有至少30%的平均光透射率,其可以是本文中其它地方描述的任何波长范围。第一四分之一波延迟器725和包括在光学系统700中的任何另外的四分之一波延迟器可以是在预定的或期望的多个波长中的至少一个波长处的四分之一波延迟器。多层反射式偏振器727基本上透射具有第一偏振态的光(例如,沿第一方向线偏振的)和基本上反射具有正交的第二偏振态的光(例如,沿与第一方向正交的第二方向线偏振的)。如本文中其它地方进一步描述的,多层反射式偏振器727例如可以是聚合物多层反射式偏振器(例如,APF)或可以是线栅偏振器。

[0100] 光线737通过光阑表面735透射和通过图像表面730透射到图像记录器732中。光线737顺序地通过反射式偏振器727透射(未图示的其它光线可能通过反射式偏振器727反射),通过四分之一波延迟器725和光学透镜712透射,从部分反射器717反射和通过透镜712和四分之一波延迟器回传,从反射式偏振器727反射及通过四分之一波延迟器725、透镜712和部分反射器717透射。光线737然后通过图像表面730透射到图像记录器732中。

[0101] 任何一体光学堆叠510、610和710可以任选地包括与第一透镜邻近的第二透镜,其中反射式偏振器、四分之一波延迟器和部分反射器中的一个或多个布置在两个透镜之间。两个透镜可以使用光学透明的粘合剂层压在一起。图26是一体光学堆叠2610的示意截面图,其可以分别代替光学系统500、600和700中的任何一体光学堆叠510、610和710使用。一体光学堆叠2610包括第一透镜2612、第二透镜2622和布置在第一和第二透镜2612和2622之间的四分之一波延迟器2625。四分之一波延迟器2625可以例如涂覆到第二透镜2622的主表面上,且光学透明的粘合剂可以用于附接四分之一波延迟器2625到第一透镜2612。或者四分之一波延迟器2625可以涂覆到第一透镜2612的主表面上,且光学透明的粘合剂可以用于附接四分之一波延迟器2625到第二光学透镜2622。在其它实施方案中,四分之一波延迟器2625可以是层压到第一和第二透镜2612和2622的单独膜。光学堆叠包括布置在第二透镜2622的主表面上与第一透镜2612相对的反射式偏振器2627和包括布置在第一透镜2612的主表面上与第二透镜2622相对的部分反射器2617。部分反射器2617、四分之一波延迟器

2625和反射式偏振器2627可以对应于部分反射器、四分之一波延迟器和反射式偏振器中任何一个,其分别在本文中其它地方描述。

[0102] 第一和第二透镜2612和2622可以分别由相同或不同的第一和第二材料形成。例如,透镜2612、2622的材料可以是相同的玻璃,可以是不同的玻璃,可以是相同的聚合物,可以是不同的聚合物或者一个可以是玻璃和另一个可以是聚合物。选择用于透镜的材料通常表现出一定程度的色散(折射率与波长的相关性)。在一些情况中,色散的作用可以通过对于不同透镜选择不同的材料来降低,以使得一个透镜的色散补偿或部分补偿另一透镜的色散。材料的阿贝(Abbe)数可以用于定量材料的色散。阿贝数以 $(n_D - 1) / (n_F - n_C)$ 给出,其中 $n_D$ 是589.3nm处的折射率, $n_F$ 是486.1nm处的折射率和 $n_C$ 是656.3nm处的折射率。在一些实施方案中,第一和第二透镜2612和2622具有不同的阿贝数。在一些实施方案中,第一和第二透镜2612和2622的阿贝数差异在5-50的范围内。在一些实施方案中,第一和第二透镜2612和2622之一具有大于45或大于50的阿贝数,且第一和第二透镜2612和2622中的另一个具有小于45或小于40的阿贝数。这可以例如通过对于一个透镜使用玻璃和对于另一个透镜使用聚合物来实现。

[0103] 本说明书的光学系统可以包括一个、两个、三个或更多个布置在图像表面和光阑表面之间的透镜。在一些实施方案中,多个主表面布置在图像表面和光阑表面之间,使得各主表面沿第一和第二轴朝向图像表面凸出。在一些实施方案中,包括至少六个这样的主表面。在一些实施方案中,至少六个不同的主表面具有至少六种不同的凸性。例如,在光学系统中包括三个或更多个透镜在采用具有高分辨率的小面板时是有用的,因为具有三个或更多个透镜提供了六个或更多个主表面,其形状可以选择为在光学系统的光阑表面处给出期望的光学性质(例如,大的视场)。

[0104] 图8是光学系统800的示意截面图,包括具有第一和第二主表面814和816的第一光学透镜812、具有第一和第二主表面824和826的第二光学透镜822及具有第一和第二主表面864和866的第三光学透镜862,各自布置在图像表面830和光阑表面835之间。图像表面830和/或光阑表面835可以基本上是平面的或可以是弯曲的。第一和第二光学表面中的任一个可以包括其上的一个或多个层或涂层,如本文中其它地方进一步描述的。光学系统800包括布置在图像表面830和光阑表面835之间的部分反射器、多层反射式偏振器和第一四分之一波延迟器。这些部件各自可以布置在主表面864、866、824、826、814和816之一上。在一些实施方案中,部分反射器布置在第二光学透镜822的第一主表面824上。在一些实施方案中,多层反射式偏振器布置在第三光学透镜862的第一主表面864或第二主表面866上。在一些实施方案中,第一四分之一波延迟器布置在多层反射式偏振器上。在一些实施方案中,第一四分之一波延迟器布置在第三光学透镜862的第一主表面864上,并且多层反射式偏振器布置在多层反射式偏振器上。在一些实施方案中,第二四分之一波延迟器包括在光学系统800中。第二四分之一波延迟器可以布置在第二光学透镜822的第二主表面826上或可以布置在第一光学透镜812的第一和第二主表面814和816之一上。

[0105] 图像表面830具有第一最大横向尺寸,并且光阑表面835具有第二最大横向尺寸。在一些实施方案中,第一最大横向尺寸除以第二最大横向尺寸可以是至少2、至少3、至少4或至少5。

[0106] 光学系统800可以以折叠光轴840为中心,所述折叠光轴840可由透射通过图像表

面830的中心光线的光学路径限定。

[0107] 部分反射器在预定的或期望的多个波长中具有至少30%的平均光反射率和在预定的或期望的多个波长中具有至少30%的平均光透射率,其可以是本文中其它地方描述的任何波长范围。第一四分之一波延迟器和包括在光学系统800中的任何另外的四分之一波延迟器可以是在预定的或期望的多个波长中的至少一个波长处的四分之一波延迟器。多层反射式偏振器可以基本上透射具有第一偏振态(其可以是线偏振态)的光和基本上反射具有正交的第二偏振态(其可以是正交的线偏振态)的光。如本文中其它地方进一步描述的,多层反射式偏振器例如可以是聚合物多层反射式偏振器(例如,APF)或可以是线栅偏振器。

[0108] 在一些实施方案中,各主表面864、866、824、826、814和816的凸性不同于各其余主表面的凸性。换句话说,主表面864、866、824、826、814和816可以具有六种不同的凸性。

[0109] 图像源可以包含图像表面830且光阑表面835可以是出射光瞳,其可适于与第二光学系统的入射光瞳重叠。第二光学系统的入射光瞳可以是例如观察者眼睛的入射瞳孔。或者,图像记录器可以包含图像表面830且光阑表面835可以是入射光瞳。

[0110] 图9是光学系统900的示意截面图,包括布置在图像表面930和光阑表面935之间的第一和第二光学透镜912和922。光学系统900可以对应于光学系统100或200。如本文中其它地方进一步描述的,图像表面930可以是诸如显示器面板之类的图像源的表面且光阑表面935可以是出射光瞳。第一透镜912包括第一和第二主表面914和916。第一主表面914包括布置在其上的一个或多个层914。第二主表面916也可以包括布置在其上的一个或多个层。第二透镜922包括第一和第二主表面924和926。第二主表面926包括布置在其上的一个或多个层945。在一些实施方案中,第一主表面924也可以包括布置在其上的一个或多个层。在图示的实施方案中,一个或多个层945包括布置在第二主表面926上的反射式偏振器和包括布置在反射式偏振器上的第一四分之一波延迟器。在图示的实施方案中,一个或多个层943包括部分反射器。在其它实施方案中,如本文中其它地方进一步描述的,反射式偏振器、第一四分之一波延迟器和部分反射器布置在第一和第二透镜912和922的不同表面上。

[0111] 主光线937和包络光线939a和939b通过图像表面930和通过光阑表面935透射。主光线937和包络光线939a和939b从图像表面930和通过光阑表面935透射。在其它实施方案中,光学路径的方向是相反的且图像表面930可以是图像记录器的表面。包络光线939a和939b在光阑表面935的边界处与光阑表面935交叉而主光线937在光轴940处与光阑表面935交叉,光轴940可以由透射通过图像表面930的中心光线的光学路径限定。

[0112] 主光线937以入射角 $\theta$ 在光轴940处入射在光阑表面935上。沿光轴940入射在光阑表面935上的主光线在光阑表面935上的最大入射角的两倍是光学系统900的视场。在一些实施方案中,光学系统900具有低色差。例如,在一些实施方案中,基本上具有可见光波长范围中相差至少150nm的第一和第二波长(例如,分别486nm和656nm的第一和第二波长)且通过图像表面930和光阑表面935透射的任何主光线在光阑表面935处具有小于光阑表面935处视场的1.5%或小于1.2%的分色距离。在一些实施方案中,基本上具有可见光波长范围中相差至少150nm的第一和第二波长且通过图像表面930和光阑表面935透射的任何主光线在光阑表面935处具有小于20弧分或小于10弧分的分色距离。

[0113] 本说明书的另外的光学系统显示在图18-图23中。图18是光学系统1800的截面图,包括光学堆叠1810、图像表面1830和光阑表面1835。图像表面1830是面板1889的表面。光学

堆叠1810包括透镜1812、布置在透镜1812的面对光阑表面1835的主表面上的反射式偏振器1827和布置在透镜1812的面对图像表面1830的主表面上的部分反射器1817。四分之一波延迟器包括在反射式偏振器和透镜1812之间或部分反射器和透镜1812之间的光学堆叠1810。透镜1812关于正交的轴(例如,x-和y-轴)朝向图像表面1830凸出。显示了在图像表面1830上三个位置处的三束光线。各束中的光线在光阑表面1835处基本上平行。光线可以主要从光阑表面1835行进到图像表面1830(例如,在相机应用中),或可以主要从图像表面1830行进到光阑表面1835(例如,在显示器应用中)。面板1889可以是显示器面板或可以是图像记录面板。反射式偏振器的反射孔隙可以基本上是反射式偏振器的整个区域或可以包括除靠近反射式偏振器的边界的部分外的反射式偏振器的整个区域。在图示的实施方案中,反射式偏振器1827具有反射孔隙1814,其基本上与透镜1812面对光阑表面1835的主表面的整个区域一致。

[0114] 图19是光学系统1900的截面图,包括第一光学堆叠1910、第二光学堆叠1920、图像表面1930和光阑表面1935。图像表面1930是面板1989的表面。第一光学堆叠1910包括透镜1912和布置在透镜1912的面对光阑表面1935的主表面上的部分反射器。第二光学堆叠1920包括透镜1922和包括布置在透镜1922的面对图像表面1930的主表面上的反射式偏振器。包括布置在面对部分反射器的反射式偏振器上的或布置在面对反射式偏振器的部分反射器上的四分之一波延迟器。透镜1912和透镜1922关于正交的轴(例如,x-和y-轴)朝向图像表面1930凸出。显示了在图像表面1930上三个位置处的三束光线。各束中的光线在光阑表面1935处基本上平行。光线可以主要从光阑表面1935行进到图像表面1930(例如,在相机应用中),或可以主要从图像表面1930行进到光阑表面1935(例如,在显示器应用中)。面板1989可以是显示器面板或可以是图像记录面板。

[0115] 图20是光学系统2000的截面图,包括具有第一透镜2012、第二透镜2022、图像表面2030和光阑表面2035的光学堆叠2010。图像表面2030是面板2089的表面。光学堆叠2010包括布置在第一透镜2012的面对光阑表面2035的主表面上的反射式偏振器和包括第一透镜2012的面对图像表面2030的主表面上的部分反射器。四分之一波延迟器在反射式偏振器和第一透镜2012之间或部分反射器和第一透镜2012之间包括在光学堆叠2010中。反射式偏振器和部分反射器关于正交的轴(例如,x-和y-轴)朝向图像表面2030凸出。显示了在图像表面2030上三个位置处的三束光线。各束中的光线在光阑表面2035处基本上平行。光线可以主要从光阑表面2035行进到图像表面2030(例如,在相机应用中),或可以主要从图像表面2030行进到光阑表面2035(例如,在显示器应用中)。面板2089可以是显示器面板或可以是图像记录面板。

[0116] 图21是光学系统2100的截面图,包括第一光学堆叠2110、第二光学堆叠2120、图像表面2130和光阑表面2135。图像表面2130是面板2189的表面。第一光学堆叠2110包括透镜2122和布置在透镜2112的面对图像表面2130的主表面上的部分反射器。第二光学堆叠2120包括透镜2122和包括布置在透镜2122的面对图像表面2130的主表面上的反射式偏振器。光学系统2100中包括布置在面对部分反射器的反射式偏振器上的或布置在面对反射式偏振器的部分反射器上的或布置在透镜2112的面对光阑表面2135的主表面上的四分之一波延迟器。反射式偏振器关于正交的轴(例如,x-和y-轴)朝向图像表面2130凸出。显示了在图像表面2130上的三个位置处的三束光线。各束中的光线在光阑表面2135处基本上平行。光线



可以主要从光阑表面2135行进到图像表面2130(例如,在相机应用中),或可以主要从图像表面2130行进到光阑表面2135(例如,在显示器应用中)。面板2189可以是显示器面板或可以是图像记录面板。

[0117] 图22是光学系统2200的截面图,包括第一透镜2212、具有第二透镜2222的光学堆叠2220、图像表面2230和光阑表面2235。光学堆叠2220包括布置在透镜2222的面对图像表面2230的主表面上的部分反射器和包括布置在透镜2222的面对光阑表面2235的主表面上的反射式偏振器。光学系统2200中包括布置在部分反射器的反射式偏振器上的或布置在部分反射器的部分反射器上的四分之一波延迟器。反射式偏振器关于正交的轴(例如,x-和y-轴)朝向光阑表面2235凸出。部分反射器可以基本上是平的或可以凸出或凹入。显示了在图像表面2230上三个位置处的三束光线。各束中的光线在光阑表面2235处基本上平行。光线可以主要从光阑表面2235行进到图像表面2230(例如,在相机应用中),或可以主要从图像表面2230行进到光阑表面2235(例如,在显示器应用中)。

[0118] 图23是光学系统2300的截面图,包括第一透镜2312、光学堆叠2320(包括第二透镜2322)、光学堆叠2360(包括第三透镜2362)、图像表面2330和光阑表面2335。光学堆叠2320包括布置在第二透镜2322的面对光阑表面2335的主表面上的部分反射器和包括布置在第三透镜2362的面对图像表面2330的主表面上的反射式偏振器。光学系统2300中包括布置在部分反射器的反射式偏振器上的或布置在部分反射器的部分反射器上的四分之一波延迟器。反射式偏振器和部分反射器各自关于正交的轴(例如,x-和y-轴)朝向图像表面2330凸出。显示了在图像表面2330上的三个位置处的三束光线。各束中的光线在光阑表面2335处基本上平行。光线可以主要从光阑表面2335行进到图像表面2330(例如,在相机应用中),或可以主要从图像表面2330行进到光阑表面2335(例如,在显示器应用中)。

[0119] 图10是反射式偏振器1027的截面图,反射式偏振器1027具有顶点1057且关于两个正交的轴(例如,x-轴和y-轴)弯曲。反射式偏振器1027具有至少一个第一位置1052,其距穿过顶点1057的光轴1040具有径向距离 $r_1$ 并且距在顶点1057处垂直于光轴1040的平面1057(平行于x-y平面)具有位移 $s_1$ 。比率 $s_1/r_1$ 为至少0.1或至少0.2,且可以小于0.8或小于0.6。例如,在一些实施方案中, $s_1/r_1$ 在0.2-0.8的范围内或在0.3-0.6的范围内。反射式偏振器1027具有至少一个第二位置1054,其距光轴1040具有径向距离 $r_2$ 并且距平面1057具有位移 $s_2$ 。在一些实施方案中, $s_2/r_2$ 是至少0.3,且可以小于0.8。反射式偏振器1027具有直径D和最大矢高 $S_m$ 。

[0120] 在一些实施方案中,反射式偏振器关于光轴1040旋转对称或基本上旋转对称。如果膜或部件的形状的方位角变化不超过约10%,则膜或部件可以说是基本上旋转对称的。在图10和图11的实施方案中,方位角变化是指关于穿过顶点1057或1157的光轴1040或1140的方位角坐标的变化。在一些实施方案中, $s_1/r_1$ 中的方位角变化小于10%,或小于8%,或小于6%,或小于46%,或小于2%,或小于1%,或甚至小于0.5%。一个或多个位置1052可以是具有距光轴1040的共同径向距离 $r_1$ 的位置环,且类似地一个或多个位置1054可以是具有距光轴1040的共同径向距离 $r_2$ 的位置环。如果膜形状的方位角变化充分小以至于膜可以模制成旋转对称的透镜而不使膜起皱,则膜可以说是旋转对称的。如果膜或部件的形状的方位角变化不超过约1%或不超过约0.5%,则膜或部件可以说是基本上旋转对称的。坐标 $s_1$ 和 $r_1$ 限定反射式偏振器1027的区域 $A_1$ ,其距光轴1040具有不超过 $r_1$ 的径向距离,或沿光轴



距顶点1057具有不超过s1的距离。

[0121] 图11是反射式偏振器1127的前视图,其可以对应于反射式偏振器1027。反射式偏振器1127关于两个正交的轴(例如,x-轴和y-轴)弯曲且具有顶点1157和穿过顶点1157的光轴1140(平行于z-轴)。反射式偏振器1127可以是聚合物多层反射式偏振器且具有在顶点1157处基本上单轴定向的至少一层。例如,至少一层的定向可以是在顶点1157处如通过箭头指示的y-方向。这一方向也可以是反射式偏振器1127的阻挡方向且正交方向(x-方向)可以是反射式偏振器的透射轴。反射式偏振器1127也包括在至少一层的离开光轴1140的至少一个第一位置1153处基本上光学双轴的和在离开光轴的至少一个第二位置1152处基本上光学单轴的至少一层。

[0122] 聚合物多层光学膜可以热成形以提供反射式偏振器1127。光学膜最初可以具有沿y-方向的阻挡轴的单轴定向的至少一层。在热成形过程中,光学膜拉伸以适应热成形工具的形状。光学膜被拉伸,因为期望的形状关于两个正交的轴弯曲。与此相反,光学膜不需要拉伸以适应仅关于一个轴弯曲的形状。热成形的处理可以留下在第二位置1152处基本上单轴定向的光学膜(因为膜在热成形过程中在这一位置处沿定向方向拉伸),但在第一位置1153导致由于在热成形时光学膜的拉伸产生的双轴定向。第一和第二位置1153和1152处的阻挡轴通过那些位置处的箭头指示。阻挡轴在第一位置1153处移动 $\alpha$ 度。透射轴可以与阻挡轴正交且可以在第一位置1153处移动 $\alpha$ 度。在一些实施方案中,反射式偏振器1127的透射轴(或阻挡轴)的最大变化在反射式偏振器的整个区域中或在由s1和r1限定的反射式偏振器区域上或在反射式偏振器的反射孔隙上小于约5度,或小于约3度,或小于约2度,或小于约1.5度,或小于约1度,其中s1和s2如对于反射式偏振器1027所述。反射孔隙是指光学系统采用的反射式偏振器的反射的部分。反射孔隙可以是反射式偏振器的基本上整个区域或可以排除反射式偏振器的靠近反射式偏振器的边界的部分。透射轴的最大变化可以确定为透射轴和固定的方向(例如,图11中的x-方向)之间的最大角度差异减去透射轴和固定的方向之间的最小角度差异。

[0123] 用于本文中描述的任何光学系统中的任何反射式偏振器可以是线性反射式偏振器,其可以适于反射具有第一线偏振态的光和透射具有与第一线偏振态正交的第二线偏振态的光。

[0124] 用于本说明书的任何光学系统中的任何反射式偏振器可以是热成形的反射式偏振器,其可以是热成形的聚合物多层光学膜。聚合物多层光学膜可以包括多个交替的第一和第二聚合物层。这显示在图12中,其是包括交替的第一聚合物层1272和第二聚合物层1274的反射式偏振器1227的侧视图。平面外(厚度)z-方向及正交的平面内x-和y-方向标示在图中。合适的聚合物多层反射式偏振器描述在例如美国专利No.5,882,774(Jonza等)和美国专利No.6,609,795(Weber等)中。

[0125] 在一些实施方案中,第一和第二聚合物层1272和1274中的至少一层可以在层中的一些位置处是基本上单轴定向的。在一些实施方案中,多层光学膜在热成形前具有在长度方向(例如,x-方向)和厚度方向(例如,z-方向)的折射率基本上相同的,但与宽度方向(例如,y-方向)的折射率基本上不同的至少一层。在一些实施方案中,多层光学膜在热成形前是基本上单轴拉制的膜并具有至少0.7、或至少0.8、或至少0.85的单轴特征水平U,其中 $U = (1/MDDR - 1) / (TDDR^{1/2} - 1)$ ,MDDR定义为机器方向拉伸比和TDDR定义为横向拉伸比。这种单轴

定向的多层光学膜描述于美国专利No.2010/0254002 (Merrill等) 中,其由此通过引用并入本文达到它与本说明书不冲突的程度。在其它实施方案中,多层光学膜在热成形前基本上不单轴控制。

[0126] 单轴定向的多层反射式偏振器包括APF (Advanced Polarizing Film,从3M Company获得)。APF包括多个交替的第一和第二聚合物层,第一聚合物层的长度方向(例如,x-方向)和厚度方向(例如,z-方向)的折射率基本上相同,但与宽度方向(例如,y-方向)的折射率基本上不同。例如,x-和z-方向的折射率差异的绝对值可以小于0.02或小于0.01,且x-和z-方向的折射率差异的绝对值可以大于0.05或大于0.10。APF是具有沿宽度方向的阻挡轴和沿长度方向的通过轴的线性反射式偏振器。用于本说明书的任何光学系统中的任何反射式偏振器可以是热成形的APF。除非不同地说明,折射率是指波长550nm处的折射率。

[0127] 非单轴定向的反射式偏振器是DBEF (Dual Brightness Enhancement Film,从3M Company, St. Paul, MN获得)。DBEF可以具有宽度、长度和厚度方向的折射率分别为约1.80、1.62和1.50的第一层,而APF可以具有宽度、长度和厚度方向的折射率分别为约1.80、1.56和1.56的第一层。APF和DBEF两者可以具有基本上各向同性的第二层。在一些实施方案中,光学系统可以使用DBEF作为反射式偏振器,且在一些实施方案中,光学系统可以使用APF作为反射式偏振器。在其它的实施方案中,可以使用DBEF或APF以外的多层聚合物反射式偏振器膜。APF出人意料地发现在热成形关于两个正交的轴凸出的形状时提供优于DBEF的改善。这样的改善在用于显示器系统中时包括更高的对比度和降低的离轴颜色。其它改善包括透射轴和阻挡轴方向的减小的变化。

[0128] DBEF和APF两者是包括交替的层的多层反射式偏振器。其它反射式偏振器可以用于本说明书的光学系统中。在一些实施方案中,反射式偏振器是线栅偏振器。这显示在图13A-13B中,其分别是包括布置在透明基底1370上的线栅层1375的线栅偏振器1327的示意顶视图和侧视图。这种线栅偏振器可以热形成关于两个正交的轴(例如,x-和y-轴)弯曲的形状。线栅层1375包括多个在沿反射式偏振器的阻挡方向(y-方向)延伸的平行列中排列(在热成形之前)的金属线或金属迹线。

[0129] 在一些实施方案中,代替使用包括基底层上的线栅层的线栅偏振器,线栅偏振器通过在透镜表面上沉积金属迹线形成在透镜表面上。

[0130] 在一些实施方案中,光学系统包括部分反射器、反射式偏振器和布置在反射式偏振器和部分反射器之间的第一四分之一波延迟器。部分反射器和反射式偏振器可以彼此邻近并彼此间隔开。光学系统可以包括图像表面和光阑表面,其中部分反射器布置在图像表面和光阑表面之间和反射式偏振器布置在光阑表面和部分反射器之间。图像源可以包含图像表面且光阑表面可以是出射光瞳,或者图像记录器可以包含图像表面且光阑表面可以是入射光瞳。图像源可以包括可以透明或半透明的显示器面板且图像源可以进一步包括快门。在一些实施方案中,图像表面可以适于接收从光学系统外部的物体反射的光。部分反射器在期望的或预定的多个波长中具有至少30%的平均光反射率和在期望的或预定的多个波长中也可以具有至少30%的平均光透射率。期望的或预定的多个波长可以包括一个或多个连续波长范围。在一些情况中,期望的或预定的多个波长可以是可见光波长范围(例如,400nm-700nm)。在期望的或预定的多个波长中的平均光反射率和平均光透射率可以例如在30%-70%之间或40%-60%之间。第一四分之一波延迟器和任何任选的另外的四分之一波

延迟器可以是在期望的或预定的多个波长中的至少一个波长处的四分之一波延迟器。四分之一波延迟器可以定向以使得延迟器的快轴相对于反射式偏振器的透射或阻挡轴以45度定向。反射式偏振器关于正交的第一和第二轴弯曲。光学系统可以包括布置在图像表面和光阑表面之间的多个表面(例如,一个、两个、三个或更多个光学透镜的主表面-参见,例如,图1、2、5-9)且反射式偏振器、第一四分之一波延迟器和部分反射器可以布置在多个表面中的一个或多个表面上。多个表面中的任何或所有表面可以具有通过非球面多项式矢高方程描述的形状。光学系统可以满足以下条件的任何一种、以下条件的任何2、3、4、5、6或7种的组合或者所有以下条件:

[0131] (i) 反射式偏振器和部分反射器各自沿正交的第一和第二轴朝向图像表面凸出;

[0132] (ii) 反射式偏振器是多层聚合物反射式偏振器,其包含在离开光轴的至少一层的至少一个第一位置处基本上光学双轴和在离开光轴的至少一个第二位置处基本上光学单轴的至少一层,且通过图像表面和光阑表面的任何或基本上任何主光线以小于约30度或小于约25度或小于约20度的入射角入射在各第一光学堆叠和第二光学堆叠上;

[0133] (iii) 图像源包含图像表面,图像源发射无失真图像,部分反射器具有第一形状和反射式偏振器具有不同的第二形状以使得光阑表面透射的所发射无失真图像的失真小于光阑表面处视场的约10%;

[0134] (iv) 至少具有可见光波长范围中相距至少150nm的第一和第二波长且通过图像表面和光阑表面透射的任何或基本上任何主光线在光阑表面处具有小于光阑表面处视场的1.5%或小于1.2%或者小于20弧分或小于10弧分的分色距离;

[0135] (v) 反射式偏振器是关于光轴旋转对称的热成形的多层反射式偏振器。反射式偏振器例如可以是APF或DBEF,或者可以是线栅偏振器;

[0136] (vi) 光学系统提供可调整的处方(屈光)校正。处方校正可以通过反射式偏振器和部分反射器之间可调整的距离和/或布置在图像和光阑表面之间的透镜的形状提供;

[0137] (vii) 反射式偏振器具有距穿过反射式偏振器的顶点的光轴具有径向距离 $r_1$ 并且距在顶点处垂直于光轴的平面具有位移 $s_1$ 的至少一个第一位置。比率 $s_1/r_1$ 是至少0.1或至少0.2,且可以小于0.8或小于0.6;和

[0138] (viii) 图像源包含图像表面,且光阑表面处的对比度是在光学系统的视场上至少40、或至少50、或至少60、或至少80、或至少100。

[0139] 在本说明书的任何光学系统中作用的任何部分反射器可以在期望的或预定的多个波长中具有至少30%的平均光反射率,和/或可以在期望的或预定的多个波长中具有至少30%的平均光透射率。期望的或预定的多个波长可以是期望的或预定的波长范围或可以是多个期望的或预定的波长范围。本说明书的任何光学系统可以包括一个或多个延迟器,其是在期望的或预定的多个波长中的至少一个波长处的四分之一波延迟器。期望的或预定的多个波长可以例如是光学系统设计为在其中运行的任何波长范围。预定的或期望的多个波长可以是可见光范围,且可以例如是400nm-700nm的波长范围。在一些实施方案中,期望的或预定的多个波长可以是红外范围或可以包括一个或多个红外、可见光和紫外波长。在一些实施方案中,期望的或预定的多个波长可以是窄带或多个窄带,且部分反射器可以是陷波反射器。在一些实施方案中,期望的或预定的多个波长包括半高全宽不超过100nm或不超过50nm的至少一个连续波长范围。

[0140] 在本文描述的任何光学系统中,除非上下文明确有不同的指示,图像源可以包含图像表面且光阑表面可以是出射光瞳,其可以适于与第二光学系统的入射光瞳重叠。第二光学系统的入射光瞳可以例如是观察者的入射瞳孔。在本文描述的任何光学系统中,除非上下文明确有不同的指示,图像记录器可以包含图像表面且光阑表面可以是入射光瞳。

[0141] 本说明书的任何光学系统可以具有基本上平面的图像表面和/或基本上平面的光阑表面,或者这些表面之一或两者可以弯曲。图像表面可以具有最大横向尺寸A,和光阑表面可以具有最大横向尺寸B,其中A/B是至少2、或至少3、或至少4、或至少5。在一些实施方案中,A/B可以例如在2-20或3-10的范围内。

[0142] 本说明书的任何光学系统可以具有至少80度、至少90度或至少100度的视场。本说明书的任何光学系统可以适应以使得通过光阑表面和图像表面透射的至少一个主光线可以以至少40度、或至少45度、或至少50度的入射角通过光阑表面。

[0143] 在本说明书的一些方面中,提供了包括本说明书的任何一个或多个光学系统的装置。该装置可以包括或不包括例如显示器装置或头戴式显示器或投影系统、照明器,其也可以是投影仪、扩束器、相机或放大装置。放大装置可以是例如望远镜、双目镜或显微镜。

[0144] 在一些实施方案中,反射式偏振器是热成形的。光学膜如反射式偏振器可以具有各向异性机械性能,这使得能够获得期望形状的热成形的光学膜,其由于在光学膜从热成形模具移除后光学膜的各向异性收缩而难以获得。各向异性机械性能可以由于在反射式偏振器的至少一些层中聚合物分子的各向异性定向而在多层聚合物反射式偏振器中产生。在聚合物膜的表面上包含金属线的线栅偏振器的各向异性机械性能可以由于可能沿一个方向延伸的金属线的各向异性而产生。按照本说明书,已发现在光学膜具有各向异性机械性能时提供具有期望的形状的光学膜的方法。

[0145] 图15是图示制作具有期望的形状的期望的光学膜的方法1580的示意图,包括以下步骤:(i) (步骤1582) 提供外表面具有不同于期望的形状的第一形状的热成形工具;(ii) (步骤1584) 加热光学膜而产生软化的光学膜;(iii) (步骤1586) 使软化的光学膜适应具有第一形状的外表面而同时沿至少正交的第一和第二方向(例如,图16的x-和y-方向)拉伸软化的光学膜而产生具有第一形状的适应光学膜;和(iv) (步骤1588) 冷却适应光学膜而产生具有期望的形状的期望的光学膜。冷却步骤可以包括从工具释放光学膜。例如,在一些实施方案中,光学膜从工具移除并使其冷却。在一些实施方案中,该方法进一步包括在光学膜上模制(例如,膜插入模制)光学透镜而产生光学堆叠的步骤。

[0146] 在一些实施方案中,期望的光学膜是具有各向异性机械性能的任何光学膜且可以是本文中描述的任何反射式偏振器。在一些实施方案中,期望的光学膜是具有四分之一波涂层的反射式偏振器或层压的反射式偏振器膜和四分之一波延迟器膜。期望的形状可以是关于光学膜的光轴(例如,平行于图16的z-方向)旋转对称的形状。光学膜的光轴可以与包括光学膜的光学堆叠的光轴一致。

[0147] 图16是适合用于热成形光学膜的热成形工具1681的示意截面图。热成形工具1681包括具有外表面1685且布置在基部1687上的穹顶部分1683。外表面1685可以例如具有一部分椭圆体的形状。椭圆体可以具有长径和短径且长径与短径的比率可以例如在1.01-1.1的范围或1.01-1.05的范围中。已发现,例如按照方法1580在这种椭圆体工具上热成形反射式偏振器膜可以在从工具移除膜和使膜冷却时提供旋转对称的反射式偏振器。

[0148] 本说明书的任何反射式偏振器(其可以包括在本说明书的任何光学系统中)可以按照方法1580和/或使用热成形工具1681热成形。反射式偏振器和其它光学膜可以例如通过在膜插入模制工艺中注塑合适的透镜材料(例如,聚碳酸酯)到膜上而集成到包括光学透镜的光学堆叠中。

[0149] 本说明书的任何光学系统可以用于如头戴式显示器(例如,虚拟现实显示器)或相机(例如,安置在手机中的相机)的装置中。图17是包括框架1792、第一和第二显示器部分1794a和1794b、相机1796和眼追踪单元1798的头戴式显示器1790的示意顶视图。第一和第二显示器部分1794a和1794b分别包括外表面1782a和1782b及分别包括内表面1784a和1784b。相机1796包括外表面1786和内表面1788。第一和第二显示器部分1794a和1794b各自可以包括包含本说明书任何光学系统的图像表面的显示器面板,光学系统的光阑表面是适于与使用者的入射瞳孔重叠的出射光瞳。例如,第一显示器部分1794a(且对于第二显示器部分1794b类似地)可以包括图像表面130及光学系统100的第一和第二光学堆叠110和120。图像表面130可以邻近外表面1782a布置且光阑表面135可以朝向观察者位于第一显示器部分1794a外(从内表面1784a沿负z-方向)。在一些实施方案中,可以使用跨越部分1794a和1794b的单一显示器面板代替分离的显示器面板。

[0150] 可以任选地被省略的相机1796可以包括本说明书的任何光学系统,其中光阑表面是光学系统的入射光瞳并且图像记录器包括图像表面。例如,相机1796可以包括光学系统100的第一和第二光学堆叠110和120。图像表面130可以是邻近内表面1788布置的图像记录器的表面,且光阑表面135可以邻近外表面1786布置或可以离开观察者位于相机外(从外表面1786沿正z-方向)。

[0151] 头戴式显示器1790可以包括本说明书的三个光学系统。在其它实施方案中,本说明书的仅一个或两个光学系统包括在头戴式显示器中。例如,在一些实施方案中,头戴式显示器可以包括本说明书的单个光学系统对使用者的一个眼睛提供图像,而另一眼睛具有对使用者环境的无阻挡视图。在其它实施方案中,可以包括本说明书的超过三个光学系统。例如,可以包括各自包括本说明书的光学系统的两个单元以向使用者提供立体视图或提供多个视图(例如,画中画)而两个显示器单元如图17中使用。

[0152] 头戴式显示器1790可以包括包含眼球追踪单元1798的眼球追踪系统,其可以任选地省略。该系统可以利用传感器和处理器监测使用者瞳孔的直径和位置。来自包括在第一部分1798中的显示器面板的光可以从使用者的瞳孔反射和从布置在第一部分1798中的光学系统的反射式偏振器反射到眼球追踪单元1798中。或者眼球追踪单元1798可以包括朝向第一部分1794a中的反射式部件发射光的光源(例如,红外光源),其朝向观察者的眼睛反射。这种光然后从眼睛反射和从第一部分1794a中的反射式部件反射回眼球追踪单元1798。

[0153] 眼监测系统可以检测的眼睛的属性可以包括以下一种或多种:眼睛的观看方向、瞳孔的直径和直径的改变、眼睑的眨动、眼追踪目标和眼跳动。眼追踪参数可以包括眼转动的速率及物体运动的眼运动之间的延迟或相位。眼跳动可以包括运动的持续时间、速率和模式。系统可以考虑环境光条件基于瞳孔反应量化系统使用者的疲劳和认知加工负荷且可以基于历史数据对于使用者个性化。

[0154] 在一些实施方案中,眼球追踪单元包括相机(例如,红-绿-蓝(RGB)相机或红外(IR)相机),其可以包括或不包括本说明书的光学系统且可以捕获眼睛的图像。IR相机可以

用于测定环境光条件,因为眼睛图像的平均IR亮度是环境光水平的指示。

[0155] 在一些实施方案中,头戴式显示器1790包括适于检测瞳孔大小的改变并使用该信息量化使用者的疲劳和认知加工负荷的眼球追踪系统。在一些实施方案中,头戴式显示器1790适于(例如,使用在嵌入处理器上的算法)执行一个或多个或者所有以下步骤:

[0156] 步骤1:捕获眼睛的灰度图像。

[0157] 步骤2:滤除噪音(例如,使用高斯滤波器)。

[0158] 步骤3:计算眼图像中各像素的梯度幅度和方向。

[0159] 步骤4:鉴别具有高梯度幅度的像素(它们很可能是物体的边缘)。

[0160] 步骤5:通过例如将在前一步骤中鉴别的像素按照人视觉感知的Helmholtz原理连接来鉴别边缘。

[0161] 步骤6:比较边缘线片段和通过多项式方程限定的椭圆形或其它形状的方程式。最小椭圆样形状可以为瞳孔。虹膜的区域也可以确定并可以用于提高精度。可以消除可能在图像中的其它椭圆形状如闪光。

[0162] 步骤7:基于之前进行的线拟合及眼睛和相机之间的距离计算瞳孔大小(例如,直径或面积)。

[0163] 步骤8:对计算的瞳孔大小确定和应用调整因子以考虑环境光条件。环境光条件可以使用包括在头戴式系统中的另外的传感器或通过捕获图像的亮度分析测定。

[0164] 步骤9:任选地在数据库中储存调整的瞳孔大小。瞳孔大小可以随时间记录且可以作为时间序列(随时间进行的数据点序列)储存。

[0165] 头戴式显示器1790可以适于基于使用眼球追踪单元1798测定的瞳孔大小和/或瞳孔方向信息改变通过第一和第二部分1794a和1794b中的显示器面板产生的光强度。眼球追踪系统可以配置为检测虚拟图像中使用者观看的位置且光学系统可以适于调整虚拟图像距离以通过本文中其它地方描述的光学系统中一个或多个透镜的部分匹配立体镜呈现的物体的深度。

[0166] 在一些实施方案中,头戴式显示器1790配置为使得处方透镜可以邻近内表面1784a和/或1784b附接。

[0167] 在本说明书的一些实施方案中,提供了包括本说明书的光学系统的装置。这种装置的实例是头戴式显示器如包括本说明书的一个或多个光学系统的头戴式显示器1790。图24A是包括光学系统2400的装置2490的示意顶视图。光学系统2400包括反射式偏振器2427、部分反射器2417和布置在反射式偏振器2427和第一四分之一波延迟器2425之间的第一四分之一波延迟器2425。反射式偏振器2427、部分反射器2417和第一四分之一波延迟器2425可以对应于本文中其它地方描述的反射式偏振器、部分反射器或四分之一波延迟器中任一种。例如,在一些实施方案中,反射式偏振器2427是聚合物多层反射式偏振器(例如,APF)且在一些实施方案中,反射式偏振器2427是线栅偏振器。反射式偏振器2427可以关于正交的第一和第二轴弯曲且可以热成形为期望的形状。部分反射器2417可以关于正交的第一和第二轴弯曲且可以可选地是平的或关于仅一个轴弯曲。类似地,第一四分之一波延迟器2425可以关于正交的第一和第二轴弯曲或可以可选地是平的或关于仅一个轴弯曲。反射式偏振器2427、部分反射器2417和第一四分之一波延迟器2425可以布置在本文中其它地方描述的一个或多个透镜的表面上。

[0168] 装置2490可以是例如显示器装置、扩束器、相机或放大装置如望远镜、显微镜、双目镜等。在双目镜或头戴式显示器的情况中,可以包括超过一个光学系统2400。例如,可以包括两个光学系统2400(每个眼睛各一个),包括两个光学系统的装置的实例显示在图24C中。在显示器应用中,光学系统2400可以定向为以部分反射器2417面对显示器的图像形成装置(例如,显示器面板)。在相机应用中,光学系统2400可以定向为以反射式偏振器2427面对相机的入射光瞳并以部分反射器2417面对待观察的物体或环境。光学系统2400的光阑表面可以适于接收从光学系统2400外的物体反射的光的孔隙,且光学系统2400的图像表面可以是图像记录器的表面。在望远镜、显微镜和双目镜应用中,光学系统2400可以用于物镜(objective)部分装置中或可以用于在任一情况中具有面对观察者的反射式偏振器的装置的目镜(eyepiece)中。光学系统2400的图像表面可以适于接收从光学系统2400外的物体反射的光,且光学系统2400的光阑表面可以是适于与观察者的瞳孔重叠的出射光瞳。

[0169] 图24B是包括图24A的光学系统2400的显示器装置2490b的示意顶视图。显示器装置2490包括透明或半透明显示器面板2431和快门2493。如在本文中其它地方描述的,透明或半透明显示器面板2431可以例如是OLED或LCD面板,且快门2493可以例如是PDLC快门。显示器面板2431显示为朝向反射式偏振器2417凸出。在其它实施方案中,显示器面板2431可以朝向反射式偏振器2417凸出。在其它的实施方案中,显示器面板2431可以是平的或基本上平的(且可以具有基本上平面图像表面)。显示器面板2431(及其图像表面)可以关于两个正交的轴弯曲或可以关于仅一个轴弯曲。快门2493可以具有与显示器面板2431相同的形状或不同的形状。快门2493可以关于两个正交的轴弯曲或关于仅一个轴弯曲或可以基本上是平的(或基本上平面的)。快门2493可以用于允许环境光进入光学系统2400或阻止环境光进入光学系统2400。显示器装置2490b可以包括布置在光学系统2400和显示器面板2431之间的任选的另外的偏振器2468。任选的另外的偏振器2468可以是线偏振器且可以是反射式偏振器或吸收偏振器。在一些实施方案中,不包括任选的另外的偏振器2468且可以包括例如显示器面板2431的部件。任选的另外的偏振器2468可以如所示的基本上平的或可以关于一个轴或关于两个正交的轴弯曲。

[0170] 图24C是包括目镜部分2497-1中的第一光学系统2400-1和包括目镜部分2497-2中的第二光学系统2400-2的装置2490c的示意顶视图。装置2490c可以是例如双目镜或显微镜。第一光学系统2400-1包括反射式偏振器2427-1、部分反射器2417-1和布置在反射式偏振器2427-1和四分之一波延迟器2425-1之间的四分之一波延迟器2425-1。第二光学系统2400-2包括反射式偏振器2427-2、部分反射器2417-2和布置在反射式偏振器2427-2和四分之一波延迟器2425-2之间的四分之一波延迟器2425-2。反射式偏振器2427-1和2427-2、部分反射器2417-1和2417-2及四分之一波延迟器2425-1和2425-2可以对应于如在本文中其它地方描述的任何反射式偏振器、部分反射器或四分之一波延迟器。反射式偏振器2427-1和2427-2可以关于正交的第一和第二轴弯曲且可以热成形为期望的形状。部分反射器2417-1和2417-2也可以任选地关于正交的第一和第二轴弯曲或者可以如所示的是平的或关于仅一个轴弯曲。类似地,四分之一波延迟器2425-1和2425-2可以关于正交的第一和第二轴弯曲或者可以如所示的是平的或关于仅一个轴弯曲。反射式偏振器2427-1和2427-2、部分反射器2417-1和2417-2及四分之一波延迟器2425-1和2425-2可以布置在如在本文中其它地方描述的一个或多个透镜的表面上。

[0171] 装置2490c包括物镜部分2499-1和物镜部分2499-2。物镜部分2499-1和2499-2适于面对观察的物体且目镜部分适于面对观察者的眼睛。光学系统2400-1(及对于光学系统2400-2类似地)的图像表面可以在部分反射器2417-1和物镜部分2499-1之间,可以在物镜部分2499-1内或可以在目镜部分2497-1和物镜部分2499-1之间。光学系统2400-1(及对于光学系统2400-2类似地)的光阑表面可以是适于与使用者的瞳孔重叠的出射光瞳。

[0172] 物镜部分2499-1可以包含一个或多个光学透镜2491-1且物镜部分2499-2可以包含一个或多个光学透镜2491-2。在替代的实施方案中,提供目镜部分2497-1和物镜部分2499-1而没有用作望远镜或显微镜的目镜部分2497-2和物镜部分2499-2。

[0173] 图25是包括装置2590的装置2590a和照明器2502a的示意侧视图,装置2590a可以包括本文中描述的任何光学系统,和照明器2502a包括偏振分束系统2504a。装置2590a可以例如描述为照明器且可以是例如紧凑投影系统。偏振分束系统2504a包括偏振分束器2500a及第一和第二反射式部件2532a和2534a。照明器2502a进一步包括光源2550a。可以对应于偏振分束器100的偏振分束器2500a包括第一和第二棱镜2510a和2520a以及反射式偏振器2530a。第一棱镜2510a包括输入面2512a、输出面2514a和第一斜边2516a。输入面2512a具有输入有效区域2513a和输出面2514a具有输出有效区域2515a。装置2590具有最大接受区域2543a。第二棱镜2520a具有成像器面2524a和第二斜边2526a。反射式偏振器2530a布置在第一和第二斜边2516a和2526a之间。光源2550a产生具有包络光线2552a和中心光线2556a的光束,其限定具有第一、第二、第三和第四节段2557a-1至2557a-4的折叠光轴2557a。第一反射式部件2532a邻近偏振分束器2500a与光源2550a相对布置,并且第二反射式部件2534a邻近偏振分束器2500a与装置2590相对布置。

[0174] 在一些实施方案中,第一棱镜2510a具有第一体积,第二棱镜2520a具有第二体积,且第一体积不大于第二体积的大约一半(或不大于约60%或不大于约40%)。

[0175] 装置2590可以是扩束器且可以对应于装置2490。装置2590可以包括反射式偏振器、部分反射器和布置在反射式偏振器和部分反射器之间的第一四分之一波延迟器。当用作扩束器时,装置2590可以适于接收入射在部分反射器上的输入光和透射扩展的输出光束。例如,输入光束可以会聚或准直,且输出光束可以发散,或者输入光束可以具有第一发散角和输出光束可以具有更大的第二发散角。装置2590可以定向为使得部分反射器面对照明器2502a。另外的偏振器(例如,另外的反射式偏振器或吸收偏振器)可以布置在器件2590和输出面2514a之间,或者可以与反射式偏振器相对接近部分反射器包括在装置2590中。照明器2502a可以提供紧凑照明系统且装置2590可以用作扩束器以提供更宽的视场。可以用于装置2590的其它照明器描述于2015年6月30日提交的标题为“照明器”的美国临时申请No.62/186944中,其在此通过引用并入本文以达到其不与本说明书冲突的程度。装置2590可以是包括彼此邻近且间隔开的部分反射器和反射式偏振器的扩束器,且扩束器可以适于接收入射在部分反射器上的会聚光和通过反射式偏振器透射发散光。

[0176] 第二反射式部件2534a具有最大有效区域2536a。第二反射式部件2534a可以是图像形成装置且最大有效区域2536a可以是图像形成装置的最大图像区域。光从包络2554a中的第二反射式部件2534a发射(例如通过被反射)。第一和第二反射式部件2532a和2534a之一或两者可以具有大于70%或大于80%或大于90%的镜面反射率。第一和/或第二反射式部件2532a和2534a可以是平的或可以在一个或多个轴弯曲。



[0177] 在一些实施方案中,第二反射式部件2534a适于调制入射在其上的光。例如,第二反射式部件2534a可以是反射具有空间调制的偏振态的光的图像形成装置。第二反射式部件2534a可以像素化且可以产生图案化的光。从包络2554a中的第二反射式部件2534a反射的光可以是会聚的图案化的光。可以用作第二反射式部件2534a的合适的图像形成装置包括液晶覆硅(LCoS)装置。LCoS装置可以是平的或可以在一个或多个轴弯曲。

[0178] 图25中各个部件显示为间隔开以达到清楚图示的目的。但是,应理解各个部件可以例如直接接触或通过光学透明的粘合剂附接。在一些实施方案中,反射式偏振器2530a使用光学透明的粘合剂层附接于第一和第二棱镜2510a和2520a之一或两者。在一些实施方案中,装置2590使用光学透明的粘合剂附接于输出面2514a。在一些实施方案中,光源2550a可以与输入面2512a直接邻接或可以通过光学透明的粘合剂层附接于输入面2512a。在一些实施方案中,第一和/或第二反射式部件2532a和2534a可以使用光学透明的粘合剂附接于第二棱镜2520a。反射式偏振器2530a可以是本文中其它地方描述的任何反射式偏振器。在一些实施方案中,反射式偏振器2530a是聚合物多层反射式偏振器、线栅偏振器、MacNeille反射式偏振器或胆甾相反射式偏振器。

[0179] 折叠光轴2557a包括从光源2550a沿第一方向(正x-方向)延伸到第一反射式部件2532a的第一节段2557a-1、沿与第一方向相反的第二方向(负x-方向)延伸的第二节段2557a-2、沿第三方向(负y-方向)延伸的第三节段2557a-3和沿与第三方向相反的第四方向(正y-方向)延伸的第四节段2557a-4。第一和第二节段2557a-1和2557a-2重叠,尽管它们在图25中为方便说明而显示为具有小间隔。类似地,第三和第四节段2557a-3和2557a-4重叠,尽管它们在图25中为方便说明而显示为具有小间隔。第一和第二方向与第三和第四方向基本上正交。第一反射式部件2532a与第一节段2557a-1基本上垂直和第二反射式部件2534a与第三节段2557a-3基本上垂直。

[0180] 光源2550a产生具有包络的光束,且这将输入有效区域2513a限定为用来自照明器2502a采用的光源2550a的光所照射的输入面2512a的区域。光源2550a可以基本上不产生包络2552a外的光或者在这一包络外产生的任何光的角度使得其从照明器逸出而不进入装置2590。

[0181] 至少一部分来自光源2550a的光顺序地通过第一棱镜2510a透射、通过反射式偏振器2530a透射、通过第二棱镜2520a透射、从第一反射式部件2532a反射、通过第二棱镜2520a透射返回、从反射式偏振器2530a反射、通过第二棱镜2520a透射和入射在第二反射式部件2534a中、从第二反射式部件2534a反射、通过第二棱镜2520a和反射式偏振器2530a和第一棱镜2510a透射和最终通过装置2590离开照明器。这对于中心光线2556a显示在图25中。在一些实施方案中,第一反射式部件2532a包括偏振旋转器,其可以是四分之一波延迟器。来自光源2550a的具有沿反射式偏振器2530a的通过轴的偏振的光通过反射式偏振器2530a透射和然后从第一反射式部件2532a反射回反射式偏振器2530a。在其中第一反射式部件2532a包括四分之一波延迟器的实施方案中,这种光在反射回反射式偏振器2530a时两次通过四分之一波延迟器。然后这种光具有与反射式偏振器2530a的通过轴基本上正交的偏振并因此从反射式偏振器2530a反射到第二反射式部件2534a,其可以发射(例如,反射)空间调制的光回到反射式偏振器2530a。空间调制的光可以具有空间调制的偏振。空间调制的光具有沿反射式偏振器2530a的通过轴的偏振的部分作为图像光通过反射式偏振器2530a,通

过输出有效区域2515a离开第一棱镜2510a和通过装置2590离开照明器。

[0182] 照明器2502a允许图像通过引导光束(包络2552a中)通过折叠光学路径照明器2502a到图像形成装置(第二反射式部件2534a)上和从图像形成装置反射会聚的图案化的光而投影。引导光束通过折叠光学路径照明器2502a的步骤包括引导光通过偏振分束器2500a到第一反射式部件2532a,反射至少一些光回到偏振分束器2500a和从偏振分束器2500a反射至少一些光到图像形成装置。至少一部分会聚的图案化的光通过偏振分束器2500a和通过装置2590透射。

[0183] 来自光源2550a的光在从第一反射式部件2532a和反射式偏振器2530a反射后,光照射第二反射式部件2534a的最大区域。或者,最大有效区域2536a可以是反射性的第二反射式部件2534a的最大区域。例如,第二反射式部件2534a可以是具有最大成像区域的图像形成装置。入射在最大图像区域之外的图像形成装置上的任何光可以不向装置2590反射。在这种情况下,最大有效区域2536a是图像形成装置的最大成像区域。最大有效区域2536a限定输出面2514a上的输出有效区域2515a和装置2590的最大接受区域2543a,因为光从最大有效区域2536a反射到包络2554a中的装置2590,其基本上仅在输出有效区域2515a照射输出面2514a和基本上仅在最大接受区域2543a中照射装置2590。照明器2502a配置为使得从第二反射式部件2534a反射并通过装置2590的包络2554a中的光在第二反射式部件2534a和装置2590之间会聚。这导致小于输出有效区域2515a(其小于最大有效区域2536a)的最大有效区域2536a。

[0184] 在一些实施方案中,输入有效区域2513a和/或输出有效区域2515a小于最大有效区域2536a(其可以是最大图像区域)的约60%、或小于约50%(即,小于约一半)、或小于约40%、或小于约35%。在一些实施方案中,输入面2512a的最大表面区域(输入面2512a的总面积)小于最大图像区域的约一半。在一些实施方案中,输出面2514a的最大表面区域(输出面2514a的总面积)小于最大图像区域的约一半。

[0185] 光源2550a或本说明书的任何光源可以包括一个或多个基本上单色的光发射元件。例如,光源2550a可以包括红、绿和蓝色发光二极管(LED)。也可以包括其它颜色,如青色和黄色。或者或另外地,可以使用广谱(例如,白色或基本上白色的)光源。在一些实施方案中,光源2550a包括蓝色发射体和磷光体。在一些实施方案中,光源2550a包括可以用于组合来自离散光源的光的积分器(例如,积分器可以组合来自红、绿和蓝色LED的光)。光源2550a可以包括偏振元件以使得具有基本上单一偏振态的光引导到第一棱镜2510a中朝向反射式偏振器2530a。在一些实施方案中,光源2550a可以是或可以包括一个或多个LED、有机发光二极管(OLED)、激光器、激光二极管、白炽光发光元件和弧光灯。光源2550a除如LED的发光元件外还可以包括透镜,如聚光透镜。在一些实施方案中,第一或第二棱镜可以具有一个或多个弯曲的面以提供期望的光焦度。

[0186] 本说明书的光学系统可以包括具有非均匀边缘轮廓的一个或多个透镜,该轮廓可以设计为在用作头戴式显示器的部件时与面部适应。透镜可以具有适应平均面部、面部形状的类别的边缘轮廓或可以设计用于个体面部。

[0187] 图27A是定位在头部10上的头戴式显示器的光学系统2700的透视图,头部10的垂直轮廓以右眼12为中心。光学系统2700的透镜提供距眼眉的空隙或间隙18和距面颊的空隙或间隙16。光学系统2700包括显示器面板2731且可以对应于本说明书的任何光学系统,其

中显示器面板可以包含光学系统的图像表面。图27B是光学系统2700的顶视图,光学系统2700的透镜提供距太阳穴的间隙26和距鼻梁的间隙28。

[0188] 图27C是光学系统2700的另一顶视图。显示器面板2731具有发光的像素34a、34b和34c,该光通过光学系统的透镜聚焦到头部的眼睛中。来自像素34a的光的主光线38以46度的入射角传递到眼睛。透镜组件36距太阳穴的较大间隙允许来自像素34c的主光线40以60度的较大入射角传递到眼睛。

[0189] 透镜组件的间隙可以在构成透镜组件的透镜的模制过程中产生。或者透镜可以使用面部的适宜测量对于个体定制研磨。用于透镜的间隙可以限制使用者可见的显示器的区域。在一些实施方案中,向控制显示器面板2731的计算机提供间隙数据且计算机可以限制显示器区域到使用者可见的区域以例如降低消耗和/或减少重影像的视觉假象。

[0190] 提供透镜距面部的一致量的间隙的优势在于环境光可以有效地用图像阻断而仍然靠近眼睛提供充分的空气流通。使用光学系统的透镜的扩展表面可以改善视场和使用者的舒适性。

[0191] 实施例

[0192] 实施例1

[0193] 对类似于光学系统200的光学系统建模。第二四分之一波延迟器布置在第二主表面216上。对应于表面224、226、214和216的各表面取为通过方程式1描述的非球面,各多项式系数D、E、F、G、H、I...等于零。圆锥常数k是0.042435且表面半径 $r=1/c$ 是-36.82391mm。表1列出描述这些表面中各表面的参数。

[0194] 表1

[0195]

表面 (Surf.)	类型	半径 (mm)	厚度 (mm)	材料	直径 (mm)	圆锥
OBJ	STANDARD	无限	无限		0	0
STO	STANDARD	无限	23.8204		15	0
2	EVENASPH	-36.82391	2.19729	POLYCARB	46.22652	0.04243522
3	EVENASPH	-36.82391	10.34174		48.50417	0.04243522
4	EVENASPH	-36.82391	-10.34174	MIRROR	58.17894	0.04243522
5	EVENASPH	-36.82391	10.34174	MIRROR	44.64956	0.04243522
6	EVENASPH	-36.82391	2.19729	E48R	60	0.04243522
7	EVENASPH	-36.82391	2		62	0.04243522
IMA	STANDARD	无限			54.72404	0

[0196] 该表中的表面数计数从光阑表面235 (Surf. 1) 开始和终止于图像表面230 (Surf. 8 或 IMA) 的光线入射在表面上的次数。Surf. 2对应于第一表面224, Surf. 3和Surf. 5对应于第二表面226, Surf. 4和Surf. 6对应于第一表面214, 并且Surf. 7对应于表面216。直径是指表面的通光孔径, EVANASPH是指偶次非球面(方程式1的展开中仅出现r的偶数幂), 半径是方

程式1中参数c的倒数,圆锥是方程式1中的参数k和IMA是指图像表面230。

[0197] 第一光学透镜212模拟为折射率1.53的Zenon E48R,和第二光学透镜222模拟为折射率1.585的聚碳酸酯。焦距是32.26271mm,视场是90度,图像高度是27.14mm(图像表面230的直径是54.28mm),F#是2.13,眼间隙(从光阑表面到第一透镜表面的距离)是23.8mm和眼盒(光阑表面235的直径)是15mm。

[0198] 由图像表面发射的和通过光阑表面透射的各主光线在每次主光线入射在第一或第二光学堆叠上时以小于约20度的入射角入射在各第一光学堆叠和第二光学堆叠上。

[0199] 光学系统在光阑表面处具有90度的视场。通过图像表面和光阑表面透射的具有波长486nm和656nm的主光线在光阑表面处具有3.4弧分的最大分色距离,其是光阑表面处视场的约0.12%。

[0200] 实施例2

[0201] 对类似于光学系统200的光学系统建模。第二四分之一波延迟器布置在第二主表面216上。对应于表面224、226、214和216的各表面取为通过方程式1描述的非球面。表2和3列出描述这些表面中各表面的参数。表中的术语类似于实施例1中的那些。表3中非球面多项式系数的单位是mm到1减多项式的幂。

[0202] 表2

[0203]

Surf.	类型	半径(mm)	厚度(mm)	材料	直径(mm)	圆锥
-------	----	--------	--------	----	--------	----

[0204]

OBJ	STANDARD	无限	-250		500	0
STO	STANDARD	无限	15		6.848	0
2	EVENASPH	-23.17192	2.5	POLYCARB	25	0
3	EVENASPH	-18.85196	4.691073		26.56958	0.5582269
4	EVENASPH	-19.44056	-4.691073	MIRROR	30.63103	-9.582783
5	EVENASPH	-18.85196	4.691073	MIRROR	24.31869	0.5582269
6	EVENASPH	-19.44056	2	E48R	31	-9.582783
7	EVENASPH	-19.44056	0.621		31	-9.582783
8	STANDARD	无限	0.281	PMMA	28.60935	0
9	STANDARD	无限	0.01		28.66299	0
10	STANDARD	无限	0.7	N-BK7	28.66585	0
11	STANDARD	无限	0		28.79723	0
IMA	STANDARD	无限			28.79723	0

[0205] 表3

[0206]

多项式次数	系数参数	Surf.3,5	Surf.4,6,7
$r^2$	D	0.000000E+00	0.000000E+00
$r^4$	E	1.245489E-05	-1.462422E-04
$r^6$	F	1.393604E-07	9.569876E-07
$r^8$	G	-1.860081E-09	-6.019644E-09
$r^{10}$	H	2.407929E-11	2.373262E-11
$r^{12}$	I	-1.266371E-13	-5.331213E-14
$r^{14}$	J	2.853295E-16	4.901801E-17

[0207] 这些表中的表面数计数从光阑表面235 (Surf.1) 开始和终止于图像表面230 (Surf.12或IMA) 的光线入射在表面上的次数。Surf.2对应于第一表面224, Surf.3和Surf.5对应于第二表面226, Surf.4和Surf.6对应于第一表面214且Surf.7对应于表面216。Surfs.8-11是指布置在图像表面230上的表面层。

[0208] 第一光学透镜212模拟为折射率1.53的Zenon E48R, 和第二光学透镜222模拟为折射率1.585的聚碳酸酯。焦距是17.560mm, 视场是90度, 图像高度是14.36mm (图像表面230的直径是28.72mm), F#是2.55, 眼间隙是15mm和眼盒 (光阑表面235的直径) 是10.0mm。

[0209] 由图像表面发射的和通过光阑表面透射的各主光线在每次主光线入射在第一或第二光学堆叠上时以小于约20度的入射角入射在各第一光学堆叠和第二光学堆叠上。

[0210] 光学系统在光阑表面处具有90度的视场。通过图像表面和光阑表面透射的具有波长486nm和656nm的主光线在光阑表面处具有10.8弧分的最大分色距离, 其是光阑表面处视场的约0.38%。

[0211] 实施例3

[0212] 对类似于光学系统600的光学系统建模。对应于表面614和616的各表面取为通过方程式1描述的非球面。表4和5列出描述这些表面中各表面的参数。表中的术语类似于实施例1和2中的那些。

[0213] 表4

[0214]

Surf.	类型	半径 (mm)	厚度 (mm)	材料	直径	圆锥
OBJ	STANDARD	无限	无限		0	0
STO	STANDARD	无限	19.43519		15	0
2	EVENASPH	-32.97361	6.734839	POLYCARB	42.67275	-0.6680006
3	EVENASPH	-32.97361	-6.734839	MIRROR	49.63501	-0.6680006
4	EVENASPH	-32.97361	6.734839	MIRROR	42.06153	-0.6680006
5	EVENASPH	-32.97361	21.79455		46.89222	-0.6680006
IMA	STANDARD	无限			66.72897	0

[0215] 表5

[0216]

多项式次数	系数参数	Surf.2,3,4,5
$r^2$	D	0

$r^4$	E	-2.231952E-06
$r^6$	F	-1.907497E-09
$r^8$	G	1.062720E-12
$r^{10}$	H	-5.475949E-15
$r^{12}$	I	6.686581E-18
$r^{14}$	J	-4.780909E-21

[0217] 这些表中的表面数计数从光阑表面635 (Surf.1) 开始和终止于图像表面630 (Surf.6或IMA) 的光线入射在表面上的次数。Surf.2和Surf.4对应于第一表面614, 且Surf.3和Surf.5对应于第二表面616。

[0218] 焦距是35.0mm, 视场是90度, 图像高度是33.3mm (图像表面630的直径是66.6mm), F#是2.3, 眼间隙是19.4mm和眼盒 (光阑表面635的直径) 是15mm。

[0219] 由图像表面发射的和通过光阑表面透射的各主光线在每次主光线入射在第一或第二光学堆叠上时以小于约20度的入射角入射在各第一光学堆叠和第二光学堆叠上。

[0220] 光学系统在光阑表面处具有90度的视场。通过图像表面和光阑表面透射的具有波长486nm和656nm的主光线在光阑表面处具有29.5弧分的最大分色距离, 其是光阑表面处视场的约0.9%。

[0221] 实施例4

[0222] 对类似于光学系统800的光学系统建模。反射式偏振器布置在第三光学透镜862的第二主表面866上且第一四分之一波延迟器布置在反射式偏振器上。部分反射器布置在第二光学透镜822的第一主表面824上且第二四分之一波延迟器布置在第二光学透镜822的第二主表面826上。对应于表面864、866、824、826、814和816的各表面取为通过方程式1描述的非球面。表6和7列出描述这些表面中各表面的参数。表中的术语类似于之前实施例中的那些。

[0223] 表6

[0224]

Surf.	类型	半径(mm)	厚度 (mm)	材料	直径(mm)	圆锥
<b>OBJ</b>	STANDARD	无限	无限		0	0
<b>STO</b>	STANDARD	无限	11.01475		9	0
<b>2</b>	EVENASPH	-16.25782	2	POLYCARB	21.26634	0
<b>3</b>	EVENASPH	-17.44541	2.513635		23.93589	0.7369043
<b>4</b>	EVENASPH	-16.75009	-2.513635	MIRROR	25.75788	-0.1016067
<b>5</b>	EVENASPH	-17.44541	2.513635	MIRROR	23.35747	0.7369043
<b>6</b>	EVENASPH	-16.75009	5	E48R	24.5425	-0.1016067
<b>7</b>	EVENASPH	-12.77019	1		26.71183	-0.491206
<b>8</b>	EVENASPH	-157.2536	6	E48R	30.82226	-11.8657
<b>9</b>	EVENASPH	-18.4783	6.867862		31.77972	-0.4304748
<b>IMA</b>	STANDARD	无限			32.24099	0

[0225] 表7

[0226]

多项式次数	系数参数	Surf. 3, 5	Surf. 9
$r^2$	D	0.000000E+00	0.000000E+00
$r^4$	E	3.286842E-05	1.398664E-04
$r^6$	F	1.861485E-07	-5.794668E-07
$r^8$	G	-1.944055E-09	1.220044E-09
$r^{10}$	H	1.540250E-11	-9.383593E-13
$r^{12}$	I	0.000000E+00	0.000000E+00
$r^{14}$	J	0.000000E+00	0.000000E+00

[0227] 这些表中的表面数计数从光阑表面835 (Surf.1) 开始和终止于图像表面830 (Surf.10或IMA) 的光线入射在表面上的次数。Surf.2对应于第一表面864, Surf.3和Surf.5对应于第二表面866, Surf.4和Surf.6对应于第一表面824, Surf.7对应于表面266, Surf.8对应于表面814, 且Surf.9对应于表面816。

[0228] 焦距是19.180mm, 视场是82度, 图像高度是15.89mm (图像表面830的直径是31.87mm), F#是2.12, 眼间隙是11mm和眼盒 (光阑表面835的直径) 是9mm。

[0229] 由图像表面发射的和通过光阑表面透射的各主光线在每次主光线入射在第一或第二光学堆叠上时以小于约20度的入射角入射在各第一光学堆叠和第二光学堆叠上。

[0230] 光学系统在光阑表面处具有80度的视场。通过图像表面和光阑表面透射的具有波长486nm和656nm的主光线在光阑表面处具有14.9弧分的最大分色距离, 其是光阑表面处视场的约0.52%。

[0231] 实施例5

[0232] 对类似于光学系统200的光学系统建模。第二四分之一波延迟器布置在第二主表面216上。对应于表面224、226、214和216的各表面取为通过方程式1描述的非球面,各多项式系数D、E、F、G、H、I…等于零。表8列出描述这些表面中各表面的参数,其术语类似于之前实施例中的那些。

[0233] 表8

[0234]

Surf.	类型	半径(mm)	厚度(mm)	材料	直径(mm)	圆锥
OBJ	STANDARD	无限	无限		0	0
STO	STANDARD	无限	25		15	0
2	EVENASPH	-40.49115	4.85538	E48R	49.67147	0.7502449
3	EVENASPH	-40.49115	8.498641		54.28738	0.7502449
4	EVENASPH	-40.24456	-8.498641	MIRROR	63	0.2694101

[0235]

5	EVENASPH	-40.49115	8.498641	MIRROR	50.62275	0.7502449
6	EVENASPH	-40.24456	5.013904	POLYCARB	63	0.2694101
7	EVENASPH	-31.18185	14.48671		67	-3.575525
IMA	STANDARD	无限			102.1176	0

[0236] 该表中的表面数计数从光阑表面235 (Surf. 1) 开始和终止于图像表面230 (Surf. 8 或 IMA) 的光线入射在表面上的次数。Surf. 2对应于第一表面224, Surf. 3和Surf. 5对应于第二表面226, Surf. 4和Surf. 6对应于第一表面214, 且Surf. 7对应于表面216。直径是指表面的通光孔径, EVANASPH是指偶次非球面(方程式1的展开中仅出现r的偶数幂), 半径是方程式1中参数c的倒数, 圆锥是方程式1中的参数k和IMA是指图像表面230。

[0237] 第一光学透镜212模拟为折射率1.53的Zenon E48R和第二光学透镜222模拟为折射率1.585的聚碳酸酯。焦距是42.7mm, 视场是100度, 图像高度是50.94mm (图像表面230的直径是101.88mm), F#是3.25, 眼间隙是25mm, 且眼盒(光阑表面235的直径)是15mm。

[0238] 由图像表面发射的和通过光阑表面透射的各主光线在每次主光线入射在第一或第二光学堆叠上时以小于约20度的入射角入射在各第一光学堆叠和第二光学堆叠上。

[0239] 光学系统在光阑表面处具有100度的视场。通过图像表面和光阑表面透射的具有波长486nm和656nm的主光线在光阑表面处具有11.9弧分的最大分色距离, 其是光阑表面处视场的约0.29%。

[0240] 模拟图像表面230产生的无失真图像, 且光阑表面235处图像的失真确定为小于1%。

[0241] 实施例6-8



[0242] DBEF(实施例6)、APF(实施例7)和具有四分之一波延迟器涂层的APF(实施例8)热成形以得到几何形状匹配透镜外表面的几何形状的膜。膜进行修剪以配合到注塑工具透镜空腔中并置于透镜空腔的表面上。修剪的膜具有63mm的直径和87mm的曲率半径。注塑聚碳酸酯树脂用于在膜上形成透镜。膜形成在用于本说明书的光学系统中时面对光阑表面的透镜侧上。在实施例7中,膜形成在透镜上以使得在用于本说明书的光学系统中时,APF面对光阑表面和四分之一波延迟器背向光阑表面。

[0243] 膜的热成形在MAAC板进料热成形系统中使用真空牵拉加热的膜到类似于热成形工具1681的热成形工具的外表面上进行。外表面成形为大致椭圆形状,长轴为短轴的约1.02倍,以使得所得的热成形膜在冷却和松弛后旋转对称。热成形工艺参数为:板炉温度=320°F-380°F(160°C-193°C);成形时间=18秒;和板成形温度=330°F-365°F(156°C-185°C)。

[0244] 热成形DBEF(实施例6)和APF(实施例7)反射式偏振器样品的图像使用非偏振近朗伯体光源发射光通过样品到达包括以不同角度与反射式偏振器的阻挡轴对齐的分析偏振器的相机来获得。在零度下,两种膜都是基本上是透明的,和在高角度下,DBEF显示在APF样品中不存在的光学伪像。例如,在70度的角度下,APF样品基本上是均匀地黑色的而DBEF样品显示着色环。膜插入注塑工艺在Krauss-Maffei(Germany)制造的往复螺杆水平夹钳注塑系统中进行。使用的注塑设备用于6个基础透镜部件且Bayer MAKROLON3107-550115聚碳酸酯树脂(从Bayer MaterialScience LLC,Pittsburgh,PA获得)用于形成透镜。注塑工艺参数是:模具温度=180°F(82°C);熔解温度=560°F(293°C);填充时间=1.56秒;保持时间=5.5秒;保持压力=11,000psi(75.8MPa);冷却时间=15秒。

[0245] 实施例9-11

[0246] 反射式偏振器一般如实施例6-8中所述热形成直径50.8mm和曲率半径38.6mm的旋转对称的凸形状。反射式偏振器是DBEF(实施例9)、APF(实施例10)和线栅偏振器(实施例11)。使用Axometrics AXOSCAN旋光计(从Axometrics,Inc.,Huntsville,AL获得)对于各样品测量偏振方向。对于各样品,确定中心定位在膜顶点和具有20mm直径圆形孔隙的样品区域,并测定孔隙中样品透射轴的最大变化(固定方向的透射轴的最大角偏差减去固定方向的透射轴的最小角偏差)。对于DBEF,最大变化是1.707度,对于APF,最大变化是0.751度,和对于线栅偏振器,最大变化是0.931度。区域的边界在距样品旋转对称轴10mm径向距离处具有1.32mm的矢高。

[0247] 下面是示例性实施方案的列表。

[0248] 实施方案1是一种光学系统,包括:

[0249] 图像表面;

[0250] 光阑表面;

[0251] 第一光学堆叠,布置在所述图像表面和所述光阑表面之间,并且沿着正交的第一轴和第二轴朝向所述图像表面凸出,所述第一光学堆叠包括:

[0252] 第一光学透镜;以及

[0253] 部分反射器,在期望的多个波长中具有至少30%的平均光反射率;以及

[0254] 第二光学堆叠,布置在所述第一光学堆叠和所述光阑表面之间,并且沿着所述第一轴和所述第二轴朝向所述图像表面凸出,所述第二光学堆叠包括:

- [0255] 第二光学透镜；
- [0256] 多层反射式偏振器，基本上透射具有第一偏振态的光并且基本上反射具有正交的第二偏振态的光；以及
- [0257] 第一四分之一波延迟器，布置在所述反射式偏振器和所述第一光学堆叠之间。
- [0258] 实施方案2是实施方案1的光学系统，其中图像源包括所述图像表面，并且所述光阑表面是出射光瞳。
- [0259] 实施方案3是实施方案2的光学系统，其中所述图像源包括显示器面板。
- [0260] 实施方案4是实施方案3的光学系统，其中所述显示器面板是透明的或半透明的。
- [0261] 实施方案5是实施方案2至4中的任一项的光学系统，其中所述图像源包括快门。
- [0262] 实施方案6是实施方案1的光学系统，其中所述图像源包括适于接收从所述光学系统外部的物体反射的光的孔隙。
- [0263] 实施方案7是实施方案1的光学系统，其中图像记录器包括所述图像表面，并且所述光阑表面是入射光瞳。
- [0264] 实施方案8是实施方案1至7中的任一项的光学系统，其中所述光学系统以折叠光轴为中心，所述折叠光轴由透射通过所述图像表面的中心光线的光学路径限定。
- [0265] 实施方案9是实施方案1至8中的任一项的光学系统，其中所述光阑表面适于与第二光学系统的入射光瞳重叠。
- [0266] 实施方案10是实施方案9的光学系统，其中所述第二光学系统适于记录在所述入射光瞳处接收的图像。
- [0267] 实施方案11是实施方案1的光学系统，其中所述光阑表面适于与观察者的眼睛的入射光瞳重叠。
- [0268] 实施方案12是实施方案1的光学系统，其中图像源包括所述图像表面，所述图像源发射非偏振光。
- [0269] 实施方案13是实施方案1至12中的任一项的光学系统，其中所述第一光学堆叠进一步包括布置在所述部分反射器和所述图像表面之间的第二四分之一波延迟器。
- [0270] 实施方案14是实施方案1的光学系统，其中图像源包括所述图像表面，所述图像源发射偏振光。
- [0271] 实施方案15是实施方案14的光学系统，其中所述偏振光是线偏振的。
- [0272] 实施方案16是实施方案14的光学系统，其中所述偏振光是圆偏振的。
- [0273] 实施方案17是实施方案14的光学系统，其中所述偏振光是椭圆偏振的。
- [0274] 实施方案18是实施方案1至17中的任一项的光学系统，其中所述部分反射器是第二反射式偏振器。
- [0275] 实施方案19是实施方案1至18中的任一项的光学系统，其中所述部分反射器在所述期望的多个波长中具有至少30%的平均光学透射率。
- [0276] 实施方案20是实施方案1至19中的任一项的光学系统，其中所述期望的多个波长包括至少一个连续的波长范围。
- [0277] 实施方案21是实施方案1至20中的任一项的光学系统，其中所述期望的多个波长包括可见光范围的波长。
- [0278] 实施方案22是实施方案21的光学系统，其中所述可见光范围从400nm到700nm。

[0279] 实施方案23是实施方案1至20中的任一项的光学系统,其中所述期望的多个波长包括红外范围的波长。

[0280] 实施方案24是实施方案1至20中的任一项的光学系统,其中所述期望的多个波长包括红外、可见光和紫外波长中的一项或多项。

[0281] 实施方案25是实施方案1至21中的任一项的光学系统,其中所述部分反射器是陷波反射器。

[0282] 实施方案26是实施方案25的光学系统,其中所述期望的多个波长包括一个或者多个连续波长范围,并且其中所述连续波长范围中的至少一个具有不超过100nm的半高全宽。

[0283] 实施方案27是实施方案26的光学系统,其中所述半高全宽不超过50nm。

[0284] 实施方案28是实施方案1至27中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器具有至少一个第一位置,所述第一位置距穿过所述多层反射式偏振器的顶点的光轴具有径向距离 $r_1$ ,并且距在所述顶点处垂直于所述光轴的平面具有位移 $s_1$ , $s_1/r_1$ 为至少0.1。

[0285] 实施方案29是实施方案28的光学系统,其中 $s_1/r_1$ 为至少0.2。

[0286] 实施方案30是实施方案28的光学系统,其中 $s_1/r_1$ 在0.2至0.8的范围内。

[0287] 实施方案31是实施方案28的光学系统,其中 $s_1/r_1$ 在0.3至0.6的范围内。

[0288] 实施方案32是实施方案28至31中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器具有第二位置,所述第二位置具有距所述光轴的径向距离 $r_2$ 以及距所述平面的位移 $s_2$ , $s_2/r_2$ 为至少0.3。

[0289] 实施方案33是实施方案1至27中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器具有至少一个第一位置,所述第一位置距穿过所述多层反射式偏振器的顶点的光轴具有径向距离 $r_1$ ,并且距在所述顶点处垂直于所述光轴的平面具有位移 $s_1$ , $s_1/r_1$ 为至少0.2,并且其中对于由 $s_1$ 和 $r_1$ 限定的所述反射式偏振器的区域,所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约2度。

[0290] 实施方案34是实施方案33的光学系统,其中所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约1.5度。

[0291] 实施方案35是实施方案1至34中的任一项的光学系统,其中在所述反射式偏振器的反射孔隙中所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约1.5度。

[0292] 实施方案36是实施方案1至34中的任一项的光学系统,其中在所述反射式偏振器的反射孔隙中所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约1度。

[0293] 实施方案37是实施方案1至36中的任一项的光学系统,其中所述图像表面具有最大横向尺寸A,所述光阑表面具有最大横向尺寸B,并且 $A/B$ 为至少3。

[0294] 实施方案38是实施方案1至37中的任一项的光学系统,其中所述第一光学透镜具有面对所述第二光学透镜的第一主表面以及面对所述图像表面的相对的第二主表面,并且所述第二光学透镜具有面对所述光阑表面的第一主表面以及面对所述第一光学透镜的相对的第二主表面。

[0295] 实施方案39是实施方案38的光学系统,其中所述部分反射器被布置在所述第一透镜的所述第一主表面或者所述第二主表面上。

[0296] 实施方案40是实施方案38的光学系统,其中所述部分反射器被布置在所述第一透镜的所述第一主表面上,并且第二四分之一波延迟器被布置在所述第一透镜的所述第二主

表面上。

[0297] 实施方案41是实施方案38的光学系统,其中所述部分反射器被布置在所述第一透镜的所述第二主表面上,并且第二四分之一波延迟器被布置在所述部分反射器上与所述第一透镜的所述第二主表面相对。

[0298] 实施方案42是实施方案38的光学系统,其中第二四分之一波延迟器被布置在所述第一光学透镜的所述第一主表面上,并且所述部分反射器被布置在所述第二四分之一波延迟器上与所述第一光学透镜的所述第一主表面相对。

[0299] 实施方案43是实施方案38的光学系统,其中所述第一四分之一波延迟器被布置在所述第二光学透镜的所述第二主表面上,并且所述多层反射式偏振器被布置在所述第二光学透镜的所述第一主表面上。

[0300] 实施方案44是实施方案38的光学系统,其中所述多层反射式偏振器被布置在所述第二光学透镜的所述第二主表面上,并且所述第一四分之一波延迟器被布置在所述多层反射式偏振器上与所述第二光学透镜的所述第二主表面相对。

[0301] 实施方案45是实施方案1至44中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器包括至少一层,所述至少一层在所述至少一层上的离开所述第二光学堆叠的光轴的至少一个第一位置处是基本上光学双轴的,并且在离开所述光轴的至少一个第二位置处是基本上光学单轴的。

[0302] 实施方案46是实施方案1至45中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器是关于所述第二光学堆叠的光轴基本上旋转对称的热成形多层反射式偏振器。

[0303] 实施方案47是实施方案1至46中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器是关于所述第二光学堆叠的光轴旋转对称的热成形多层反射式偏振器。

[0304] 实施方案48是实施方案1至47中的任一项的光学系统,其中穿过所述图像表面和所述光阑表面的基本上任何主光线以小于约25度的入射角入射在所述第一光学堆叠和所述第二光学堆叠中的每个上。

[0305] 实施方案49是实施方案1至48中的任一项的光学系统,其中所述第一光学堆叠和所述第二光学堆叠具有基本上相同的形状。

[0306] 实施方案50是实施方案1至48中的任一项的光学系统,其中所述第一光学堆叠和所述第二光学堆叠具有不同的形状。

[0307] 实施方案51是实施方案1至50中的任一项的光学系统,其中所述第一透镜和所述第二透镜中的每个透镜是平面透镜。

[0308] 实施方案52是实施方案1至48中的任一项的光学系统,其中所述第一光学透镜和所述第二光学透镜具有基本上相同的形状。

[0309] 实施方案53是实施方案1至48中的任一项的光学系统,其中所述第一光学透镜和所述第二光学透镜具有不同的形状。

[0310] 实施方案54是实施方案1至53中的任一项的光学系统,其中所述图像表面是基本上平面的。

[0311] 实施方案55是实施方案1至53中的任一项的光学系统,其中所述图像表面是弯曲的。

[0312] 实施方案56是实施方案1的光学系统,其中图像源包括所述图像表面,所述图像源

发射无失真图像,所述部分反射器具有第一形状,并且所述反射式偏振器具有不同的第二形状,使得由所述光阑表面透射的所发射无失真图像的失真小于所述光阑表面处视场的约10%。

[0313] 实施方案57是实施方案56的光学系统,其中由所述光阑表面透射的所发射无失真图像的失真小于所述光阑表面处视场的5%。

[0314] 实施方案58是实施方案56的光学系统,其中由所述光阑表面透射的所发射无失真图像的失真小于所述光阑表面处视场的3%。

[0315] 实施方案59是实施方案1至58中的任一项的光学系统,其中至少具有在可见光波长范围内的、相距至少150nm的第一波长和第二波长并且透射通过所述图像表面和所述光阑表面的基本上任何主光线在所述光阑表面处具有小于所述光阑表面处视场的百分之1.5的分色距离。

[0316] 实施方案60是实施方案59的光学系统,其中在所述光阑表面处的所述分色距离小于所述光阑表面处视场的百分之1.2。

[0317] 实施方案61是实施方案1至60中的任一项的光学系统,其中至少具有在可见光波长范围内的、相距至少150nm的第一波长和第二波长并且透射通过所述图像表面和所述光阑表面的基本上任何主光线在所述光阑表面处具有小于20弧分的分色距离。

[0318] 实施方案62是实施方案61的光学系统,其中在所述光阑表面处的所述分色距离小于10弧分。

[0319] 实施方案63是实施方案1至62中的任一项的光学系统,其中所述部分反射器具有第一形状,所述多层反射式偏振器具有第二形状,并且所述第一形状和所述第二形状中的一个或者两个由非球面多项式矢高方程所描述。

[0320] 实施方案64是实施方案1至63中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器包括交替的聚合物层。

[0321] 实施方案65是实施方案1至64中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器是APF。

[0322] 实施方案66是实施方案1至64中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器是热成形的APF。

[0323] 实施方案67是实施方案1至64中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器包括线栅偏振器。

[0324] 实施方案68是实施方案1至67中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器是旋转对称的。

[0325] 实施方案69是实施方案1至68中的任一项的光学系统,其中所述第一光学堆叠和所述第二光学堆叠中的至少一个光学堆叠具有相对于所述光阑表面和所述图像表面可调整的位置。

[0326] 实施方案70是实施方案1至69中的任一项的光学系统,其中所述第一光学堆叠和所述第二光学堆叠中的至少一个光学堆叠具有可调整的形状。

[0327] 实施方案71是一种光学系统,包括:

[0328] 图像表面;

[0329] 光阑表面;

- [0330] 第一光学堆叠,布置在所述图像表面和所述光阑表面之间并且包括:
- [0331] 第一光学透镜;
- [0332] 部分反射器,在期望的多个波长中具有至少30%的平均光反射率;以及
- [0333] 第二光学堆叠,布置在所述第一光学堆叠和所述光阑表面之间并且包括:
- [0334] 第二光学透镜;
- [0335] 多层反射式偏振器,包括至少一层,所述至少一层在所述至少一层上的离开所述第二光学堆叠的光轴的至少一个第一位置处是基本上光学双轴的,并且在离开所述光轴的至少一个第二位置处是基本上光学单轴的;以及
- [0336] 第一四分之一波延迟器,布置在所述反射式偏振器和所述第一光学堆叠之间,
- [0337] 其中穿过所述图像表面和所述光阑表面的基本上任何主光线以小于约30度的入射角入射在所述第一光学堆叠和所述第二光学堆叠中的每个上。
- [0338] 实施方案72是实施方案71的光学系统,其中图像源包括所述图像表面,并且所述光阑表面是出射光瞳。
- [0339] 实施方案73是实施方案72的光学系统,其中所述图像源包括显示器面板。
- [0340] 实施方案74是实施方案73的光学系统,其中所述显示器面板是透明的或半透明的。
- [0341] 实施方案75是实施方案72至74中的任一项的光学系统,其中所述图像源包括快门。
- [0342] 实施方案76是实施方案71的光学系统,其中所述图像源包括适于接收从所述光学系统外部的物体反射的光的孔隙。
- [0343] 实施方案77是实施方案71的光学系统,其中图像记录器包括所述图像表面,并且所述光阑表面是入射光瞳。
- [0344] 实施方案78是实施方案71至77中的任一项的光学系统,其中所述光学系统以折叠光轴为中心,所述折叠光轴由透射通过所述图像表面的中心光线的光学路径限定。
- [0345] 实施方案79是实施方案71至78中的任一项的光学系统,其中所述光阑表面适于与第二光学系统的入射光瞳重叠。
- [0346] 实施方案80是实施方案79的光学系统,其中所述第二光学系统适于记录在所述入射光瞳处接收的图像。
- [0347] 实施方案81是实施方案71的光学系统,其中所述光阑表面适于与观察者的眼睛的入射光瞳重叠。
- [0348] 实施方案82是实施方案71的光学系统,其中图像源包括所述图像表面,所述图像源发射非偏振光。
- [0349] 实施方案83是实施方案71至82中的任一项的光学系统,其中所述第一光学堆叠进一步包括布置在所述部分反射器和所述图像表面之间的第二四分之一波延迟器。
- [0350] 实施方案84是实施方案71的光学系统,其中图像源包括所述图像表面,所述图像源发射偏振光。
- [0351] 实施方案85是实施方案84的光学系统,其中所述偏振光是线偏振的。
- [0352] 实施方案86是实施方案84的光学系统,其中所述偏振光是圆偏振的。
- [0353] 实施方案87是实施方案84的光学系统,其中所述偏振光是椭圆偏振的。

[0354] 实施方案88是实施方案71至87中的任一项的光学系统,其中所述部分反射器是第二反射式偏振器。

[0355] 实施方案89是实施方案71至88中的任一项的光学系统,其中所述部分反射器在所述期望的多个波长中具有至少30%的平均光学透射率。

[0356] 实施方案90是实施方案71至89中的任一项的光学系统,其中所述期望的多个波长包括至少一个连续的波长范围。

[0357] 实施方案91是实施方案71至90中的任一项的光学系统,其中所述期望的多个波长包括可见光范围的波长。

[0358] 实施方案92是实施方案91的光学系统,其中所述可见光范围从400nm到700nm。

[0359] 实施方案93是实施方案71至92中的任一项的光学系统,其中所述期望的多个波长包括红外范围的波长。

[0360] 实施方案94是实施方案71至93中的任一项的光学系统,其中所述期望的多个波长包括红外、可见光和紫外波长中的一项或多项。

[0361] 实施方案95是实施方案71至91中的任一项的光学系统,其中所述部分反射器是陷波反射器。

[0362] 实施方案96是实施方案95的光学系统,其中所述期望的多个波长包括一个或者多个连续波长范围,并且其中所述连续波长范围中的至少一个具有不超过100nm的半高全宽。

[0363] 实施方案97是实施方案96的光学系统,其中所述半高全宽不超过50nm。

[0364] 实施方案98是实施方案71至97中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器具有至少一个第一位置,所述第一位置距穿过所述多层反射式偏振器的顶点的光轴具有径向距离 $r_1$ ,并且距在所述顶点处垂直于所述光轴的平面具有位移 $s_1$ , $s_1/r_1$ 为至少0.1。

[0365] 实施方案99是实施方案98的光学系统,其中 $s_1/r_1$ 为至少0.2。

[0366] 实施方案100是实施方案98的光学系统,其中 $s_1/r_1$ 在0.2至0.8的范围内。

[0367] 实施方案101是实施方案98的光学系统,其中 $s_1/r_1$ 在0.3至0.6的范围内。

[0368] 实施方案102是实施方案98至101中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器具有第二位置,所述第二位置具有距所述光轴的径向距离 $r_2$ 以及距所述平面的位移 $s_2$ , $s_2/r_2$ 为至少0.3。

[0369] 实施方案103是实施方案71至97中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器具有在膜上的至少一个第一位置,所述第一位置距穿过所述多层反射式偏振器的顶点的光轴具有径向距离 $r_1$ ,并且距在所述顶点处垂直于所述光轴的平面具有位移 $s_1$ , $s_1/r_1$ 为至少0.2,并且其中对于由 $s_1$ 和 $r_1$ 限定的所述反射式偏振器的区域,所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约2度。

[0370] 实施方案104是实施方案103的光学系统,其中所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约1.5度。

[0371] 实施方案105是实施方案71至104中的任一项的光学系统,其中在所述反射式偏振器的反射孔隙中所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约1.5度。

[0372] 实施方案106是实施方案71至104中的任一项的光学系统,其中在所述反射式偏振器的反射孔隙中所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约1度。

[0373] 实施方案107是实施方案71至106中的任一项的光学系统,其中所述第一光学透镜

具有面对所述第二光学透镜的第一主表面以及面对所述图像表面的相对的第二主表面,并且所述第二光学透镜具有面对所述光阑表面的第一主表面以及面对所述第一光学透镜的相对的第二主表面。

[0374] 实施方案108是实施方案107的光学系统,其中所述部分反射器被布置在所述第一透镜的所述第一主表面或者所述第二主表面上。

[0375] 实施方案109是实施方案108的光学系统,其中所述部分反射器被布置在所述第一透镜的所述第一主表面上,并且第二四分之一波延迟器被布置在所述第一透镜的所述第二主表面上。

[0376] 实施方案110是实施方案108的光学系统,其中所述部分反射器被布置在所述第一透镜的所述第二主表面上,并且第二四分之一波延迟器被布置在所述部分反射器上与所述第一透镜的所述第二主表面相对。

[0377] 实施方案111是实施方案107的光学系统,其中第二四分之一波延迟器被布置在所述第一光学透镜的所述第一主表面上,并且所述部分反射器被布置在所述第二四分之一波延迟器上与所述第一光学透镜的所述第一主表面相对。

[0378] 实施方案112是实施方案107的光学系统,其中所述第一四分之一波延迟器被布置在所述第二光学透镜的所述第二主表面上,并且所述多层反射式偏振器被布置在所述第二光学透镜的所述第一主表面上。

[0379] 实施方案113是实施方案107的光学系统,其中所述多层反射式偏振器被布置在所述第二光学透镜的所述第二主表面上,并且所述第一四分之一波延迟器被布置在所述多层反射式偏振器上与所述第二光学透镜的所述第二主表面相对。

[0380] 实施方案114是实施方案71至113中的任一项的光学系统,其中所述图像表面具有最大横向尺寸A,所述光阑表面具有最大横向尺寸B,并且A/B为至少3。

[0381] 实施方案115是实施方案71至114中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器是关于所述第二光学堆叠的光轴基本上旋转对称的热成形多层反射式偏振器。

[0382] 实施方案116是实施方案71至115中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器是关于所述第二光学堆叠的光轴旋转对称的热成形多层反射式偏振器。

[0383] 实施方案117是实施方案71至116中的任一项的光学系统,其中所述第一光学堆叠和所述第二光学堆叠中的一个或者两个沿着正交的第一轴和第二轴朝向所述图像表面凸出。

[0384] 实施方案118是实施方案117的光学系统,其中所述第一光学堆叠和所述第二光学堆叠两者沿着所述第一轴和所述第二轴朝向所述图像表面凸出。

[0385] 实施方案119是实施方案71至118中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器沿着正交的第一轴和第二轴朝向所述图像表面凸出。

[0386] 实施方案120是实施方案71至119中的任一项的光学系统,其中所述第一光学堆叠和所述第二光学堆叠具有基本上相同的形状。

[0387] 实施方案121是实施方案71至119中的任一项的光学系统,其中所述第一光学堆叠和所述第二光学堆叠具有不同的形状。

[0388] 实施方案122是实施方案71至121中的任一项的光学系统,其中所述第一透镜和所述第二透镜中的每个透镜是平面透镜。



[0389] 实施方案123是实施方案71至119中的任一项的光学系统,其中所述第一光学透镜和所述第二光学透镜具有基本上相同的形状。

[0390] 实施方案124是实施方案71至119中的任一项的光学系统,其中所述第一光学透镜和所述第二光学透镜具有不同的形状。

[0391] 实施方案125是实施方案71至124中的任一项的光学系统,其中所述图像表面是基本上平面的。

[0392] 实施方案126是实施方案71至124中的任一项的光学系统,其中所述图像表面是弯曲的。

[0393] 实施方案127是实施方案71至126中的任一项的光学系统,其中穿过所述图像表面和所述光阑表面的基本上任何主光线以小于约25度的入射角入射在所述第一光学堆叠和所述第二光学堆叠中的每个上。

[0394] 实施方案128是实施方案71的光学系统,其中图像源包括所述图像表面,所述图像源发射无失真图像,所述部分反射器具有第一形状,并且所述反射式偏振器具有不同的第二形状,使得由所述光阑表面透射的所发射无失真图像的失真小于所述光阑表面处视场的约10%。

[0395] 实施方案129是实施方案128的光学系统,其中由所述光阑表面透射的所发射无失真图像的失真小于所述光阑表面处视场的5%。

[0396] 实施方案130是实施方案128的光学系统,其中由所述光阑表面透射的所发射无失真图像的失真小于所述光阑表面处视场的3%。

[0397] 实施方案131是实施方案71至130中的任一项的光学系统,其中至少具有在可见光波长范围内的、相距至少150nm的第一波长和第二波长并且透射通过所述图像表面和所述光阑表面的基本上任何主光线在所述光阑表面处具有小于所述光阑表面处视场的百分之1.5的分色距离。

[0398] 实施方案132是实施方案131的光学系统,其中在所述光阑表面处的所述分色距离小于所述光阑表面处视场的百分之1.2。

[0399] 实施方案133是实施方案71至132中的任一项的光学系统,其中至少具有在可见光波长范围内的、相距至少150nm的第一波长和第二波长并且透射通过所述图像表面和所述光阑表面的基本上任何主光线在所述光阑表面处具有小于20弧分的分色距离。

[0400] 实施方案134是实施方案133的光学系统,其中在所述光阑表面处的所述分色距离小于10弧分。

[0401] 实施方案135是实施方案71至134中的任一项的光学系统,其中所述部分反射器具有第一形状,所述多层反射式偏振器具有第二形状,并且所述第一形状和所述第二形状中的一个或者两个由非球面多项式矢高方程所描述。

[0402] 实施方案136是实施方案71至135中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器包括交替的聚合物层。

[0403] 实施方案137是实施方案71至136中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器是热成形的APF。

[0404] 实施方案138是实施方案71至136中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器包括线栅偏振器。

[0405] 实施方案139是实施方案71至138中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器是旋转对称的。

[0406] 实施方案140是实施方案71至139中的任一项的光学系统,其中所述第一光学堆叠和所述第二光学堆叠中的至少一个光学堆叠具有相对于所述光阑表面和所述图像表面用户可调整的位置。

[0407] 实施方案141是实施方案71至140中的任一项的光学系统,其中所述第一光学堆叠和所述第二光学堆叠中的至少一个光学堆叠具有用户可调整的形状。

[0408] 实施方案142是一种光学系统,包括:

[0409] 图像源,发射无失真图像;

[0410] 出射光瞳;

[0411] 部分反射器,具有沿着正交的第一轴和第二轴朝向图像源凸出的第一形状并且在预定的多个波长内具有至少30%的平均光反射率;以及

[0412] 反射式偏振器,具有沿着所述第一轴和所述第二轴朝向所述图像源凸出的不同的第二形状,使得由所述出射光瞳透射的所发射无失真图像的失真小于约10%。

[0413] 实施方案143是实施方案142的光学系统,其中由所述出射光瞳透射的所发射无失真图像的失真小于约5%。

[0414] 实施方案144是实施方案142的光学系统,其中由所述出射光瞳透射的所发射无失真图像的失真小于约3%。

[0415] 实施方案145是实施方案142至144中的任一项的光学系统,其中布置在所述图像源和所述出射光瞳之间的一体光学堆叠包括第一光学透镜、第一四分之一波延迟器、所述部分反射器和所述反射式偏振器。

[0416] 实施方案146是实施方案145的光学系统,其中第一四分之一波延迟器被布置在所述第一光学透镜的面对所述图像源的第一主表面上,并且所述部分反射器被布置在所述四分之一波延迟器上与所述第一光学透镜相对。

[0417] 实施方案147是实施方案145的光学系统,其中所述部分反射器被布置在所述第一光学透镜的面对所述图像源的第一主表面上。

[0418] 实施方案148是实施方案147的光学系统,其中所述第一四分之一波延迟器被布置在所述第一光学透镜的与所述第一主表面相对的第二主表面上。

[0419] 实施方案149是实施方案147的光学系统,其中所述反射式偏振器被布置在所述第一四分之一波延迟器上与所述第一光学透镜相对。

[0420] 实施方案150是实施方案145至149中的任一项的光学系统,其中所述一体光学堆叠还包括第二四分之一波延迟器。

[0421] 实施方案151是实施方案150的光学系统,其中所述第二四分之一波延迟器被布置在所述部分反射器的面对所述图像源的主表面上。

[0422] 实施方案152是实施方案142至151中的任一项的光学系统,其中至少具有在所述预定的多个波长内的、相距至少150nm的第一波长和第二波长并且由所述图像源发射并且由所述出射光瞳透射的基本上任何主光线在所述出射光瞳处具有小于所述出射光瞳处视场的百分之1.5的分色距离。

[0423] 实施方案153是实施方案142至152中的任一项的光学系统,其中至少具有在所述

预定的多个波长内的、相距至少150nm的第一波长和第二波长并且由所述图像源发射并且由所述出射光瞳透射的基本上任何主光线在所述出射光瞳处具有小于20弧分的分色距离。

[0424] 实施方案154是一种光学系统,包括:

[0425] 图像源;

[0426] 出射光瞳;

[0427] 第一光学堆叠,布置在所述图像源和所述出射光瞳之间,并且包括:

[0428] 第一光学透镜;

[0429] 部分反射器,在预定的多个波长内具有至少30%的平均光反射率;以及

[0430] 第二光学堆叠,布置在所述第一光学堆叠和所述出射光瞳之间,并且包括:

[0431] 第二光学透镜;

[0432] 多层反射式偏振器;以及

[0433] 第一四分之一波延迟器,布置在所述反射式偏振器和所述第一光学堆叠之间,

[0434] 其中至少具有在所述预定的多个波长内的、相距至少150nm的第一波长和第二波长并且由所述图像源发射并且由所述出射光瞳透射的基本上任何主光线在所述出射光瞳处具有小于所述出射光瞳处视场的百分之1.5的分色距离,并且其中所述多层反射式偏振器关于两个正交轴凸出。

[0435] 实施方案155是实施方案154的光学系统,其中所述出射光瞳处的分色距离小于所述出射光瞳处视场的百分之1.2。

[0436] 实施方案156是实施方案154或155的光学系统,其中所述出射光瞳处的分色距离小于20弧分。

[0437] 实施方案157是实施方案154至155中的任一项的光学系统,其中所述出射光瞳处的分色距离小于10弧分。

[0438] 实施方案158是一种光学系统,包括:

[0439] 图像源;

[0440] 出射光瞳;

[0441] 第一光学堆叠,布置在所述图像源和所述出射光瞳之间,并且包括:

[0442] 第一光学透镜;

[0443] 部分反射器,在预定的多个波长内具有至少30%的平均光反射率;以及

[0444] 第二光学堆叠,布置在所述第一光学堆叠和所述出射光瞳之间,并且包括:

[0445] 第二光学透镜;

[0446] 多层反射式偏振器;以及

[0447] 第一四分之一波延迟器,布置在所述反射式偏振器和所述第一光学堆叠之间,

[0448] 其中至少具有在所述预定的多个波长内的、相距至少150nm的第一波长和第二波长并且由所述图像源发射并且由所述出射光瞳透射的基本上任何主光线在所述出射光瞳处具有小于20弧分的分色距离,并且其中所述多层反射式偏振器关于两个正交轴凸出。

[0449] 实施方案159是实施方案158的光学系统,其中所述出射光瞳处的分色距离小于10弧分。

[0450] 实施方案160是实施方案158或159的光学系统,其中所述出射光瞳处的分色距离小于所述出射光瞳处视场的百分之1.5。

[0451] 实施方案161是实施方案158至160中的任一项的光学系统,其中所述出射光瞳处的分色距离小于所述出射光瞳处视场的百分之1.2。

[0452] 实施方案162是实施方案154至160中的任一项的光学系统,其中所述第一光学堆叠和所述第二光学堆叠中的至少一个光学堆叠具有相对于所述光阑表面和所述图像表面可调整的位置。

[0453] 实施方案163是实施方案154至162中的任一项的光学系统,其中所述第一光学堆叠和所述第二光学堆叠中的至少一个光学堆叠具有可调整的形状。

[0454] 实施方案164是实施方案154至163中的任一项的光学系统,其中所述第一光学堆叠沿着正交的第一轴和第二轴朝向所述图像源凸出。

[0455] 实施方案165是实施方案154至164中的任一项的光学系统,其中所述第二光学堆叠沿着正交的第一轴和第二轴朝向所述图像源凸出。

[0456] 实施方案166是实施方案142至165中的任一项的光学系统,其中所述图像源具有最大横向尺寸A,所述出射光瞳具有最大横向尺寸B,并且A/B是至少3。

[0457] 实施方案167是实施方案142至166中的任一项的光学系统,其中来自所述图像源的至少一个主光线以至少40度的入射角穿过所述出射光瞳。

[0458] 实施方案168是实施方案142至167中的任一项的光学系统,其中所述光学系统以折叠光轴为中心,所述折叠光轴由所述图像源发射的中心光的光学路径限定。

[0459] 实施方案169是实施方案142至168中的任一项的光学系统,其中所述出射光瞳适于与第二光学系统的入射光瞳重叠。

[0460] 实施方案170是实施方案169的光学系统,其中所述第二光学系统适于记录在所述入射光瞳处接收的图像。

[0461] 实施方案171是实施方案142至169中的任一项的光学系统,其中所述出射光瞳适于与观察者的眼睛的入射光瞳重叠。

[0462] 实施方案172是实施方案142至171中的任一项的光学系统,其中所述图像源发射非偏振光。

[0463] 实施方案173是实施方案142至171中的任一项的光学系统,其中所述图像源发射偏振光。

[0464] 实施方案174是实施方案173的光学系统,其中所述偏振光是线偏振的。

[0465] 实施方案175是实施方案173的光学系统,其中所述偏振光是圆偏振的。

[0466] 实施方案176是实施方案173的光学系统,其中所述偏振光是椭圆偏振的。

[0467] 实施方案177是实施方案142至176中的任一项的光学系统,其中所述部分反射器是第二反射式偏振器。

[0468] 实施方案178是实施方案142至177中的任一项的光学系统,其中所述部分反射器在所述预定的多个波长中具有至少30%的平均光学透射率。

[0469] 实施方案179是实施方案142至178中的任一项的光学系统,其中所述预定的多个波长包括一个或者多个预定的波长范围。

[0470] 实施方案180是实施方案142至179中的任一项的光学系统,其中所述预定的多个波长包括可见光范围。

[0471] 实施方案181是实施方案180的光学系统,其中所述可见光范围从400nm到700nm。

[0472] 实施方案182是实施方案142至179中的任一项的光学系统,其中所述预定的多个波长包括红外范围。

[0473] 实施方案183是实施方案142至179中的任一项的光学系统,其中所述预定的多个波长包括红外、可见光和紫外波长中的一项或多项。

[0474] 实施方案184是实施方案142至180中的任一项的光学系统,其中所述部分反射器是陷波反射器。

[0475] 实施方案185是实施方案184的光学系统,其中所述预定的多个波长包括至少一个具有不超过100nm的半高全宽的波长范围。

[0476] 实施方案186是实施方案184的光学系统,其中所述预定的多个波长包括至少一个具有不超过50nm的半高全宽的波长范围。

[0477] 实施方案187是实施方案142至186中的任一项的光学系统,其中所述反射式偏振器具有至少一个第一位置,所述第一位置距穿过所述多层反射式偏振器的顶点的光轴具有径向距离 $r_1$ ,并且距在所述顶点处垂直于所述光轴的平面具有位移 $s_1$ , $s_1/r_1$ 为至少0.1。

[0478] 实施方案188是实施方案187的光学系统,其中 $s_1/r_1$ 为至少0.2。

[0479] 实施方案189是实施方案187的光学系统,其中 $s_1/r_1$ 在0.2至0.8的范围内。

[0480] 实施方案190是实施方案187的光学系统,其中 $s_1/r_1$ 在0.3至0.6的范围内。

[0481] 实施方案191是实施方案187至190中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器具有第二位置,所述第二位置具有距所述光轴的径向距离 $r_2$ 以及距所述平面的位移 $s_2$ , $s_2/r_2$ 为至少0.3。

[0482] 实施方案192是实施方案142至186中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器具有至少一个第一位置,所述第一位置距穿过所述反射式偏振器的顶点的光轴具有径向距离 $r_1$ ,并且距在所述顶点处垂直于所述光轴的平面具有位移 $s_1$ , $s_1/r_1$ 为至少0.2,并且其中对于由 $s_1$ 和 $r_1$ 限定的所述反射式偏振器的区域,所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约2度。

[0483] 实施方案193是实施方案192的光学系统,其中所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约1.5度。

[0484] 实施方案194是实施方案142至193中的任一项的光学系统,其中在所述反射式偏振器的反射孔隙中所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约1.5度。

[0485] 实施方案195是实施方案142至193中的任一项的光学系统,其中在所述反射式偏振器的反射孔隙中所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约1度。

[0486] 实施方案196是实施方案142至195中的任一项的光学系统,其中所述反射式偏振器包括至少一层,所述至少一层在所述至少一层上的离开所述第二光学堆叠的光轴的至少一个第一位置处是基本上光学双轴的,并且在离开所述光轴的至少一个第二位置处是基本上光学单轴的。

[0487] 实施方案197是实施方案142至196中的任一项的光学系统,其中所述反射式偏振器是关于所述反射式偏振器的光轴基本上旋转对称的热成形多层反射式偏振器。

[0488] 实施方案198是实施方案142至197中的任一项的光学系统,其中所述反射式偏振器是关于所述反射式偏振器的光轴旋转对称的热成形多层反射式偏振器。

[0489] 实施方案199是实施方案142至198中的任一项的光学系统,其中由所述图像源发

射的并且透射通过所述出射光瞳的基本上任何主光线以小于约25度的入射角入射在所述反射式偏振器和所述部分反射器中的每个上。

[0490] 实施方案200是实施方案142至202中的任一项的光学系统,其中所述部分反射器具有第一形状,所述反射式偏振器具有第二形状,并且所述第一形状和所述第二形状中的一个或者两个由非球面多项式矢高方程所描述。

[0491] 实施方案201是实施方案142至200中的任一项的光学系统,其中所述反射式偏振器包括交替的聚合物层。

[0492] 实施方案202是实施方案142至201中的任一项的光学系统,其中所述反射式偏振器是热成形的APF。

[0493] 实施方案203是实施方案142至201中的任一项的光学系统,其中所述反射式偏振器包括线栅偏振器。

[0494] 实施方案204是实施方案142至203中的任一项的光学系统,其中所述反射式偏振器是旋转对称的。

[0495] 实施方案205是实施方案142至204中的任一项的光学系统,其中所述图像源包括显示器面板。

[0496] 实施方案206是实施方案205的光学系统,其中所述显示器面板是透明的或半透明的。

[0497] 实施方案207是实施方案204或205的光学系统,其中所述图像源包括快门。

[0498] 实施方案208是一种光学系统,包括:

[0499] 图像表面,具有最大横向尺寸A;

[0500] 光阑表面,具有最大横向尺寸B,A/B是至少3;

[0501] 一体光学堆叠,布置在所述图像表面和所述光阑表面之间,并且包括:

[0502] 第一光学透镜;

[0503] 部分反射器,在预定的多个波长中具有至少30%的平均光反射率;

[0504] 多层反射式偏振器,基本上透射具有第一偏振态的光并且基本上反射具有正交的第二偏振态的光;以及

[0505] 第一四分之一波延迟器,在所述预定的多个波长中的至少一个波长处,

[0506] 其中透射通过所述光阑表面和所述图像表面的至少一个主光线以至少40度的入射角穿过所述光阑表面。

[0507] 实施方案209是实施方案208的光学系统,其中所述一体光学堆叠沿着正交的第一轴和第二轴朝向所述图像表面凸出。

[0508] 实施方案210是实施方案208至209中的任一项的光学系统,其中至少具有在可见光波长范围内的、相距至少150nm的第一波长和第二波长并且透射通过所述图像表面和所述光阑表面的基本上任何主光线在所述光阑表面处具有小于所述光阑表面处视场的百分之1.5的分色距离。

[0509] 实施方案211是实施方案208至210中的任一项的光学系统,其中在所述光阑表面处的分色距离小于所述光阑表面处视场的百分之1.2。

[0510] 实施方案212是实施方案208至211中的任一项的光学系统,其中至少具有在可见光波长范围内的、相距至少150nm的第一波长和第二波长并且透射通过所述图像表面和所

述光阑表面的基本上任何主光线在所述光阑表面处具有小于20弧分的分色距离。

[0511] 实施方案213是实施方案208至212中的任一项的光学系统,其中在所述光阑表面处的所述分色距离小于10弧分。

[0512] 实施方案214是实施方案208至213中的任一项的光学系统,其中图像源包括所述图像表面,并且所述光阑表面是出射光瞳。

[0513] 实施方案215是实施方案214的光学系统,其中所述图像源包括显示器面板。

[0514] 实施方案216是实施方案215的光学系统,其中所述显示器面板是透明的或半透明的。

[0515] 实施方案217是实施方案214至216中的任一项的光学系统,其中所述图像源包括快门。

[0516] 实施方案218是实施方案208的光学系统,其中所述图像源包括适于接收从所述光学系统外部的物体反射的光的孔隙。

[0517] 实施方案219是实施方案208至213中的任一项的光学系统,其中图像记录器包括所述图像表面,并且所述光阑表面是入射光瞳。

[0518] 实施方案220是实施方案208至219中的任一项的光学系统,其中所述光学系统以折叠光轴为中心,所述折叠光轴由透射通过所述图像表面的中心光线的光学路径限定。

[0519] 实施方案221是实施方案208的光学系统,其中所述光阑表面适于与第二光学系统的入射光瞳重叠。

[0520] 实施方案222是实施方案221的光学系统,其中所述第二光学系统适于记录在所述入射光瞳处接收的图像。

[0521] 实施方案223是实施方案208的光学系统,其中所述光阑表面适于与观察者的眼睛的入射光瞳重叠。

[0522] 实施方案224是实施方案208的光学系统,其中图像源包括所述图像表面,所述图像源发射非偏振光。

[0523] 实施方案225是实施方案208至224中的任一项的光学系统,进一步包括在所述预定的多个波长中的至少一个波长处的第二四分之一波延迟器,所述第二四分之一波延迟器被布置在所述部分反射器和所述图像表面之间,所述第一四分之一波延迟器被布置在所述多层反射式偏振器和所述部分反射器之间。

[0524] 实施方案226是实施方案208的光学系统,其中图像源包括所述图像表面,所述图像源发射偏振光。

[0525] 实施方案227是实施方案226的光学系统,其中所述偏振光是线偏振的。

[0526] 实施方案228是实施方案226的光学系统,其中所述偏振光是圆偏振的。

[0527] 实施方案229是实施方案226的光学系统,其中所述偏振光是椭圆偏振的。

[0528] 实施方案230是实施方案208至229中的任一项的光学系统,其中所述部分反射器是第二反射式偏振器。

[0529] 实施方案231是实施方案208至230中的任一项的光学系统,其中所述部分反射器在所述预定的多个波长中具有至少30%的平均光学透射率。

[0530] 实施方案232是实施方案208至231中的任一项的光学系统,其中所述预定的多个波长包括至少一个连续的波长范围。

[0531] 实施方案233是实施方案208至232中的任一项的光学系统,其中所述预定的多个波长包括可见光范围的波长。

[0532] 实施方案234是实施方案233的光学系统,其中所述可见光范围从400nm到700nm。

[0533] 实施方案235是实施方案208至234中的任一项的光学系统,其中所述预定的多个波长包括红外范围的波长。

[0534] 实施方案236是实施方案208至235中的任一项的光学系统,其中所述预定的多个波长包括红外、可见光和紫外波长中的一项或多项。

[0535] 实施方案237是实施方案208至236中的任一项的光学系统,其中所述部分反射器是陷波反射器。

[0536] 实施方案238是实施方案237的光学系统,其中所述预定的多个波长包括一个或者多个连续波长范围,并且其中所述连续波长范围中的至少一个具有不超过100nm的半高全宽。

[0537] 实施方案239是实施方案238的光学系统,其中所述半高全宽不超过50nm。

[0538] 实施方案240是实施方案208至239中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器具有至少一个第一位置,所述第一位置距穿过所述多层反射式偏振器的顶点的光轴具有径向距离 $r_1$ ,并且距在所述顶点处垂直于所述光轴的平面具有位移 $s_1$ ,  $s_1/r_1$ 为至少0.1。

[0539] 实施方案241是实施方案240的光学系统,其中 $s_1/r_1$ 为至少0.2。

[0540] 实施方案242是实施方案240的光学系统,其中 $s_1/r_1$ 在0.2至0.8的范围内。

[0541] 实施方案243是实施方案240的光学系统,其中 $s_1/r_1$ 在0.3至0.6的范围内。

[0542] 实施方案244是实施方案240的光学系统,其中所述多层反射式偏振器具有第二位置,所述第二位置具有距所述光轴的径向距离 $r_2$ 以及距所述平面的位移 $s_2$ ,  $s_2/r_2$ 为至少0.3。

[0543] 实施方案245是实施方案208至244中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器具有至少一个第一位置,所述第一位置距穿过所述多层反射式偏振器的顶点的光轴具有径向距离 $r_1$ ,并且距在所述顶点处垂直于所述光轴的平面具有位移 $s_1$ ,  $s_1/r_1$ 为至少0.2,并且其中对于由 $s_1$ 和 $r_1$ 限定的所述反射式偏振器的区域,所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约2度。

[0544] 实施方案246是实施方案245的光学系统,其中所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约1.5度。

[0545] 实施方案247是实施方案208至246中的任一项的光学系统,其中在所述反射式偏振器的反射孔隙中所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约1.5度。

[0546] 实施方案248是实施方案209至246中的任一项的光学系统,其中在所述反射式偏振器的反射孔隙中所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约1度。

[0547] 实施方案249是实施方案208至248中的任一项的光学系统,所述多层反射式偏振器包括至少一层,所述至少一层在所述至少一层上的离开所述第二光学堆叠的光轴的至少一个第一位置处是基本上光学双轴的,并且在离开所述光轴的至少一个第二位置处是基本上光学单轴的。

[0548] 实施方案250是实施方案208至249中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式



偏振器是关于所述第二光学堆叠的光轴基本上旋转对称的热成形多层反射式偏振器。

[0549] 实施方案251是实施方案208至250中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器是关于所述第二光学堆叠的光轴旋转对称的热成形多层反射式偏振器。

[0550] 实施方案252是实施方案208至251中的任一项的光学系统,其中穿过所述图像表面和所述光阑表面的基本上任何主光线以小于约25度的入射角入射在所述部分反射器、所述多层反射式偏振器和所述第一四分之一波延迟器中的每个上。

[0551] 实施方案253是实施方案208的光学系统,其中图像源包括所述图像表面,所述图像源发射无失真图像,所述部分反射器具有第一形状,并且所述反射式偏振器具有不同的第二形状,使得由所述光阑表面透射的所发射无失真图像的失真小于所述光阑表面处视场的约10%。

[0552] 实施方案254是实施方案253的光学系统,其中由所述光阑表面透射的所发射无失真图像的失真小于所述光阑表面处视场的约5%。

[0553] 实施方案255是实施方案253的光学系统,其中由所述光阑表面透射的所发射无失真图像的失真小于所述光阑表面处视场的约3%。

[0554] 实施方案256是实施方案208至255中的任一项的光学系统,其中所述部分反射器具有第一形状,所述多层反射式偏振器具有第二形状,并且所述第一形状和所述第二形状中的一个或者两个由非球面多项式矢高方程所描述。

[0555] 实施方案257是实施方案208至256中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器包括交替的聚合物层。

[0556] 实施方案258是实施方案208至257中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器是热成形的APF。

[0557] 实施方案259是实施方案208至257中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器包括线栅偏振器。

[0558] 实施方案260是实施方案208至259中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器是旋转对称的。

[0559] 实施方案261是实施方案208至260中的任一项的光学系统,其中所述一体光学堆叠包括第二光学透镜。

[0560] 实施方案262是实施方案261的光学系统,其中所述第一四分之一波延迟器被布置在所述第一光学透镜和所述第二光学透镜之间。

[0561] 实施方案263是实施方案261或262的光学系统,其中所述多层反射式偏振器被布置在第二光学透镜的面对所述光阑表面的主表面上,并且所述部分反射器被布置在所述第一光学透镜的面对所述图像表面的主表面上。

[0562] 实施方案264是一种光学系统,包括:

[0563] 图像表面;

[0564] 基本上平面的光阑表面;以及

[0565] 布置在所述图像表面和所述光阑表面之间的:

[0566] 第一、第二和第三光学透镜;

[0567] 部分反射器,在预定的多个波长中具有至少30%的平均光反射率;

[0568] 多层反射式偏振器,基本上透射具有第一偏振态的光并且基本上反射具有正交的

第二偏振态的光;以及

[0569] 第一四分之一波延迟器,在所述预定的多个波长中的至少一个波长处,

[0570] 其中所述光学系统包括布置在所述图像表面和所述光阑表面之间的多个主表面,每个主表面沿着正交的第一轴和第二轴朝向所述图像表面凸出,其中至少六个不同的主表面具有六种不同的凸性。

[0571] 实施方案265是实施方案264的光学系统,其中所述多个主表面包括所述第一光学透镜的相对的第一和第二主表面、所述第二光学透镜的相对的第一和第二主表面以及所述第三光学透镜的相对的第一和第二主表面,每个第一主表面面对所述光阑表面,并且每个第二主表面面对所述图像表面。

[0572] 实施方案266是实施方案265的光学系统,其中所述第二光学透镜被布置在所述第一和第三光学透镜之间,并且所述第三光学透镜被布置在所述光阑表面和所述第一光学透镜之间。

[0573] 实施方案267是实施方案266的光学系统,其中所述部分反射器被布置在所述第二光学透镜的第一主表面上。

[0574] 实施方案268是实施方案266或267的光学系统,其中所述多层反射式偏振器被布置在所述第三光学透镜的第二主表面上。

[0575] 实施方案269是实施方案268的光学系统,其中所述第一四分之一波延迟器被布置在所述多层反射式偏振器上。

[0576] 实施方案270是实施方案266至269中的任一项的光学系统,进一步包括在所述预定的多个波长中的至少一个波长处的第二四分之一波延迟器,所述第二四分之一波延迟器被布置在所述第二光学透镜的第二主表面上。

[0577] 实施方案271是实施方案265的光学系统,其中所述反射式偏振器被布置在所述第三光学透镜的第一主表面上,并且所述第一四分之一波延迟器被布置在所述第三光学透镜的第二主表面上。

[0578] 实施方案272是实施方案271的光学系统,其中所述部分反射器被布置在所述第二光学透镜的第一或第二主表面上。

[0579] 实施方案273是实施方案264至272中的任一项的光学系统,其中图像源包括所述图像表面,并且所述光阑表面是出射光瞳。

[0580] 实施方案274是实施方案273的光学系统,其中所述图像源包括显示器面板。

[0581] 实施方案275是实施方案274的光学系统,其中所述显示器面板是基本上透明的。

[0582] 实施方案276是实施方案273至275中的任一项的光学系统,其中所述图像源包括快门。

[0583] 实施方案277是实施方案264至272中的任一项的光学系统,其中图像记录器包括所述图像表面,并且所述光阑表面是入射光瞳。

[0584] 实施方案278是实施方案264至277中的任一项的光学系统,其中所述光学系统以折叠光轴为中心,所述折叠光轴由透射通过所述图像表面的中心光线的光学路径限定。

[0585] 实施方案279是实施方案264至278中的任一项的光学系统,其中所述光阑表面适于与第二光学系统的入射光瞳重叠。

[0586] 实施方案280是实施方案279的光学系统,其中所述第二光学系统适于记录在所述

入射光瞳处接收的图像。

[0587] 实施方案281是实施方案264至272中的任一项的光学系统,其中所述光阑表面适于与观察者的眼睛的入射光瞳重叠。

[0588] 实施方案282是实施方案264至272中的任一项的光学系统,其中图像源包括所述图像表面,所述图像源发射非偏振光。

[0589] 实施方案283是实施方案264至269中的任一项的光学系统,其中所述光学堆叠系统进一步包括在所述预定的多个波长中的至少一个波长处的第二四分之一波延迟器,所述第二四分之一波延迟器被布置在所述部分反射器和所述图像表面之间,所述第一四分之一波延迟器被布置在所述多层反射式偏振器和所述部分反射器之间。

[0590] 实施方案284是实施方案264至272中的任一项的光学系统,其中图像源包括所述图像表面,所述图像源发射偏振光。

[0591] 实施方案285是实施方案284的光学系统,其中所述偏振光是线偏振的。

[0592] 实施方案286是实施方案284的光学系统,其中所述偏振光是圆偏振的。

[0593] 实施方案287是实施方案284的光学系统,其中所述偏振光是椭圆偏振的。

[0594] 实施方案288是实施方案264至287中的任一项的光学系统,其中所述部分反射器是第二反射式偏振器。

[0595] 实施方案289是实施方案264至288中的任一项的光学系统,其中所述部分反射器在所述预定的多个波长中具有至少30%的平均光学透射率。

[0596] 实施方案290是实施方案264至289中的任一项的光学系统,其中所述预定的多个波长包括至少一个连续的波长范围。

[0597] 实施方案291是实施方案264至290中的任一项的光学系统,其中所述预定的多个波长包括可见光范围的波长。

[0598] 实施方案292是实施方案291的光学系统,其中所述可见光范围从400nm到700nm。

[0599] 实施方案293是实施方案264至292中的任一项的光学系统,其中所述预定的多个波长包括红外范围的波长。

[0600] 实施方案294是实施方案264至293中的任一项的光学系统,其中所述预定的多个波长包括红外、可见光和紫外波长中的一项或多项。

[0601] 实施方案295是实施方案264至294中的任一项的光学系统,其中所述部分反射器是陷波反射器。

[0602] 实施方案296是实施方案295的光学系统,其中所述预定的多个波长包括一个或者多个连续波长范围,并且其中所述连续波长范围中的至少一个具有不超过100nm的半高全宽。

[0603] 实施方案297是实施方案296的光学系统,其中所述半高全宽不超过50nm。

[0604] 实施方案298是实施方案264至297中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器具有至少一个第一位置,所述第一位置距穿过所述多层反射式偏振器的顶点的光轴具有径向距离 $r_1$ ,并且距在所述顶点处垂直于所述光轴的平面具有位移 $s_1$ ,  $s_1/r_1$ 为至少0.1。

[0605] 实施方案299是实施方案298的光学系统,其中 $s_1/r_1$ 为至少0.2。

[0606] 实施方案300是实施方案298的光学系统,其中 $s_1/r_1$ 在0.2至0.8的范围内。

[0607] 实施方案301是实施方案298的光学系统,其中 $s1/r1$ 在0.3至0.6的范围内。

[0608] 实施方案302是实施方案298至301中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器具有第二位置,所述第二位置具有距所述光轴的径向距离 $r2$ 以及距所述平面的位移 $s2$ , $s2/r2$ 为至少0.3。

[0609] 实施方案303是实施方案264至297中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器具有至少一个第一位置,所述第一位置距穿过所述多层反射式偏振器的顶点的光轴具有径向距离 $r1$ ,并且距在所述顶点处垂直于所述光轴的平面具有位移 $s1$ , $s1/r1$ 为至少0.2,并且其中对于由 $s1$ 和 $r1$ 限定的所述反射式偏振器的区域,所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约2度。

[0610] 实施方案304是实施方案303的光学系统,其中所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约1.5度。

[0611] 实施方案305是实施方案264至304中的任一项的光学系统,其中在所述反射式偏振器的反射孔隙中所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约1.5度。

[0612] 实施方案306是实施方案264至304中的任一项的光学系统,其中在所述反射式偏振器的反射孔隙中所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约1度。

[0613] 实施方案307是实施方案264至306中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器包括至少一层,所述至少一层在所述至少一层上的离开所述第二光学堆叠的光轴的至少一个第一位置处是基本上光学双轴的,并且在离开所述光轴的至少一个第二位置处是基本上光学单轴的。

[0614] 实施方案308是实施方案264至307中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器是关于所述第二光学堆叠的光轴基本上旋转对称的热成形多层反射式偏振器。

[0615] 实施方案309是实施方案264至308中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器是关于所述第二光学堆叠的光轴旋转对称的热成形多层反射式偏振器。

[0616] 实施方案310是实施方案264至309中的任一项的光学系统,其中穿过所述图像表面和所述光阑表面的基本上任何主光线以小于约25度的入射角入射在所述部分反射器、所述多层反射式偏振器和所述第一四分之一波延迟器中的每个上。

[0617] 实施方案311是实施方案264至272中的任一项的光学系统,其中图像源包括所述图像表面,所述图像源发射无失真图像,所述部分反射器具有第一形状,并且所述反射式偏振器具有不同的第二形状,使得由所述光阑表面透射的所发射无失真图像的失真小于所述光阑表面处视场的约10%。

[0618] 实施方案312是实施方案311的光学系统,其中由所述光阑表面透射的所发射无失真图像的失真小于所述光阑表面处视场的约5%。

[0619] 实施方案313是实施方案311的光学系统,其中由所述光阑表面透射的所发射无失真图像的失真小于所述光阑表面处视场的约3%。

[0620] 实施方案314是实施方案264至313中的任一项的光学系统,其中至少具有在可见光波长范围内的、相距至少150nm的第一波长和第二波长并且由所述图像表面发射的并且由所述光阑表面透射的基本上任何主光线在所述光阑表面处具有小于所述光阑表面处视场的百分之1.5的分色距离。

[0621] 实施方案315是实施方案314的光学系统,其中在所述光阑表面处的所述分色距离

小于所述光阑表面处视场的百分之1.2。

[0622] 实施方案316是实施方案264至315中的任一项的光学系统,其中至少具有在可见光波长范围内的、相距至少150nm的第一波长和第二波长并且透射通过所述图像表面和所述光阑表面的基本上任何主光线在所述光阑表面处具有小于20弧分的分色距离。

[0623] 实施方案317是实施方案316的光学系统,其中在所述光阑表面处的所述分色距离小于10弧分。

[0624] 实施方案318是实施方案264至249中的任一项的光学系统,其中所述部分反射器具有第一形状,所述多层反射式偏振器具有第二形状,并且所述第一形状和所述第二形状中的一个或者两个由非球面多项式矢高方程所描述。

[0625] 实施方案319是实施方案264至318中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器包括交替的聚合物层。

[0626] 实施方案320是实施方案264至319中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器是热成形的APF。

[0627] 实施方案321是实施方案264至319中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器包括线栅偏振器。

[0628] 实施方案322是实施方案264至321中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器是旋转对称的。

[0629] 实施方案323是实施方案264至322中的任一项的光学系统,其中所述第一、第二和第三光学透镜中的至少一个具有相对于所述光阑表面和所述图像表面用户可调整的位置。

[0630] 实施方案324是实施方案264至323中的任一项的光学系统,其中所述第一、第二和第三光学透镜中的至少一个具有用户可调整的形状。

[0631] 实施方案325是实施方案264至324中的任一项的光学系统,其中所述图像表面是基本上平面的。

[0632] 实施方案326是实施方案264至324中的任一项的光学系统,其中所述图像表面是弯曲的。

[0633] 实施方案327是实施方案1至326中的任一项的光学系统,具有在所述光学系统的视场上至少40的在所述光阑表面处的对比度。

[0634] 实施方案328是实施方案1至327中的任一项的光学系统,具有在所述光学系统的视场上至少50的在所述光阑表面处的对比度。

[0635] 实施方案329是实施方案1至328中的任一项的光学系统,具有在所述光学系统的视场上至少60的在所述光阑表面处的对比度。

[0636] 实施方案330是实施方案1至329中的任一项的光学系统,具有在所述光学系统的视场上至少80的在所述光阑表面处的对比度。

[0637] 实施方案331是实施方案1至330中的任一项的光学系统,具有在所述光学系统的视场上至少100的在所述光阑表面处的对比度。

[0638] 实施方案332是实施方案1至333中的任一项的光学系统,其中至少一个透镜具有非均匀边缘轮廓。

[0639] 实施方案333是实施方案332的光学系统,其中所述边缘轮廓包括当所述光学系统在头戴式显示器中使用时,适于适应面部的形状。

[0640] 实施方案334是一种热成形多层反射式偏振器,所述热成形多层反射式偏振器关于穿过所述热成形多层反射式偏振器的顶点的光轴基本上旋转对称并且沿着正交于所述光轴的正交的第一轴和第二轴凸出,所述热成形多层反射式偏振器具有:

[0641] 至少一个内层,在离开所述顶点的至少一个第一位置处是基本上光学单轴的;以及

[0642] 在所述反射式偏振器上的至少一个第一位置,距所述光轴具有径向距离 $r_1$ 并且距在所述顶点处垂直于所述光轴的平面具有位移 $s_1$ , $s_1/r_1$ 是至少0.2。

[0643] 实施方案335是实施方案334的热成形多层反射式偏振器,其中对于由 $s_1$ 和 $r_1$ 限定的所述反射式偏振器的区域,所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约2度。

[0644] 实施方案336是实施方案335的光学系统,其中所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约1.5度。

[0645] 实施方案337是实施方案334至336中的任一项的光学系统,其中在所述反射式偏振器的反射孔隙中所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约1.5度。

[0646] 实施方案338是实施方案334至336中的任一项的光学系统,其中在所述反射式偏振器的反射孔隙中所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约1度。

[0647] 实施方案339是实施方案334至338中的任一项的热成形多层反射式偏振器,其中所述至少一个内层在离开所述顶点的至少一层上的至少一个第二位置处是基本上光学双轴的。

[0648] 实施方案340是一种热成形多层反射式偏振器,所述热成形多层反射式偏振器关于穿过所述热成形多层反射式偏振器的顶点的光轴基本上旋转对称并且沿着正交于所述光轴的正交的第一轴和第二轴凸出,所述热成形多层反射式偏振器具有:

[0649] 在所述反射式偏振器上的至少一个第一位置,距所述光轴具有径向距离 $r_1$ 并且距在所述顶点处垂直于所述光轴的平面具有位移 $s_1$ , $s_1/r_1$ 是至少0.2,

[0650] 其中对于由 $s_1$ 和 $r_1$ 限定的所述反射式偏振器的区域,所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约2度。

[0651] 实施方案341是实施方案340的热成形多层反射式偏振器,其中所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约1.5度。

[0652] 实施方案342是实施方案340或341的热成形多层反射式偏振器,包括至少一层,所述至少一层在所述至少一层上的离开所述反射式偏振器的光轴的至少一个第一位置处是基本上光学双轴的,并且在离开所述光轴的至少一个第二位置处是基本上光学单轴的。

[0653] 实施方案343是实施方案334至342中的任一项的热成形多层反射式偏振器,其中 $s_1/r_1$ 小于约0.8。

[0654] 实施方案344是实施方案334至343中的任一项的热成形多层反射式偏振器,其中所述反射式偏振器具有第二位置,所述第二位置距所述光轴具有径向距离 $r_2$ ,并且距所述平面具有位移 $s_2$ , $s_2/r_2$ 小于0.3。

[0655] 实施方案345是实施方案334至344中的任一项的热成形多层反射式偏振器,其中 $s_1/r_1$ 中的方位角变化小于10%。

[0656] 实施方案346是实施方案334至344中的任一项的热成形多层反射式偏振器,其中 $s_1/r_1$ 中的方位角变化小于8%。

[0657] 实施方案347是实施方案334至344中的任一项的热成形多层反射式偏振器,其中s1/r1中的方位角变化小于6%。

[0658] 实施方案348是实施方案334至344中的任一项的热成形多层反射式偏振器,其中s1/r1中的方位角变化小于4%。

[0659] 实施方案349是实施方案334至344中的任一项的热成形多层反射式偏振器,其中s1/r1中的方位角变化小于2%。

[0660] 实施方案350是实施方案334至344中的任一项的热成形多层反射式偏振器,其中s1/r1中的方位角变化小于1%。

[0661] 实施方案351是实施方案334至350中的任一项的热成形多层反射式偏振器,包括交替的聚合物层。

[0662] 实施方案352是实施方案334至351中的任一项的热成形多层反射式偏振器,所述热成形多层反射式偏振器为热成形APF。

[0663] 实施方案353是实施方案334至351中的任一项的热成形多层反射式偏振器,包括线栅偏振器。

[0664] 实施方案354是一种透镜,所述透镜具有关于两个正交方向弯曲的表面,并且包括布置在所述表面上的根据实施方案334至353中的任一项的热成形多层反射式偏振器。

[0665] 实施方案355是一种光学堆叠,包括:

[0666] 第一透镜;

[0667] 第二透镜,邻近所述第一透镜;

[0668] 四分之一波延迟器,布置在所述第一透镜和所述第二透镜之间;

[0669] 反射式偏振器,布置在所述第二透镜上与所述第一透镜相对;以及

[0670] 部分反射器,布置在所述第一透镜上与所述第二透镜相对,

[0671] 其中所述反射式偏振器关于两个正交轴弯曲,并且其中所述光学堆叠是一体光学堆叠。

[0672] 实施方案356是实施方案355的光学堆叠,其中所述第一透镜包括第一材料,并且所述第二透镜包括第二材料。

[0673] 实施方案357是实施方案356的光学堆叠,其中所述第一材料和所述第二材料相同。

[0674] 实施方案358是实施方案356的光学堆叠,其中所述第一材料和所述第二材料不同。

[0675] 实施方案359是实施方案355的光学堆叠,其中所述第一材料和所述第二材料中的至少一个是聚合物。

[0676] 实施方案360是实施方案359的光学堆叠,其中所述第一材料是第一聚合物并且所述第二材料是第二聚合物。

[0677] 实施方案361是实施方案360的光学堆叠,其中所述第一聚合物和所述第二聚合物不同。

[0678] 实施方案362是实施方案355或356或358至361中的任一项的光学堆叠,其中所述第一透镜和所述第二透镜具有不同的阿贝数。

[0679] 实施方案363是实施方案362的光学堆叠,其中所述第一透镜和所述第二透镜的阿

贝数的差值在5至50的范围内。

[0680] 实施方案364是实施方案355至363中的任一项的光学堆叠,其中所述第一透镜和所述第二透镜中的一个具有大于45的阿贝数,并且所述第一透镜和所述第二透镜中的另一个具有小于45的阿贝数。

[0681] 实施方案365是实施方案355至364中的任一项的光学堆叠,其中所述第一透镜和所述第二透镜中的一个具有大于50的阿贝数,并且所述第一透镜和所述第二透镜中的另一个具有小于40的阿贝数。

[0682] 实施方案366是实施方案355至365中的任一项的光学堆叠,其中所述反射式偏振器是实施方案334至353中的任一项的热成形多层反射式偏振器。

[0683] 实施方案367是实施方案355至366中的任一项的光学堆叠,其中所述部分反射器在期望的多个波长中具有至少30%的平均光反射率。

[0684] 实施方案368是实施方案355至367中的任一项的光学堆叠,其中所述部分反射器在期望的多个波长中具有至少30%的平均光透射率。

[0685] 实施方案369是实施方案355至368中的任一项的光学堆叠,其中所述部分反射器是反射式偏振器。

[0686] 实施方案370是实施方案355至369中的任一项的光学堆叠,其中所述期望的多个波长包括至少一个连续波长范围。

[0687] 实施方案371是实施方案355至370中的任一项的光学堆叠,其中所述期望的多个波长包括可见光范围的波长。

[0688] 实施方案372是实施方案371的光学堆叠,其中所述可见光范围从400nm到700nm。

[0689] 实施方案373是实施方案355至372中的任一项的光学堆叠,其中所述期望的多个波长包括红外范围的波长。

[0690] 实施方案374是实施方案355至373中的任一项的光学堆叠,其中所述期望的多个波长包括红外、可见光和紫外波长中的一项或多项。

[0691] 实施方案375是实施方案355至374中的任一项的光学堆叠,其中所述部分反射器是陷波反射器。

[0692] 实施方案376是实施方案355至375中的任一项的光学堆叠,其中所述期望的多个波长包括一个或者多个连续的波长范围,并且其中所述连续波长范围中的至少一个具有不超过100nm的半高全宽。

[0693] 实施方案377是实施方案355至376中的任一项的光学堆叠,其中所述半高全宽不超过50nm。

[0694] 实施方案378是一种光学系统,包括图像表面、光阑表面和布置在所述图像表面和所述光阑表面之间的实施方案355至376中的任一项的光学堆叠。

[0695] 实施方案379是一种光学系统,包括图像表面、光阑表面和布置在所述图像表面和所述光阑表面之间的实施方案334至353中的任一项的热成形多层反射式偏振器。

[0696] 实施方案380是实施方案379的光学系统,进一步包括:

[0697] 布置在所述图像表面和所述反射式偏振器之间的四分之一波延迟器;以及布置在所述图像表面和所述四分之一波延迟器之间的部分反射器。

[0698] 实施方案381是实施方案1至333中的任一项的光学系统,其中所述反射式偏振器



是根据实施方案334至353中的任一项的热成形多层反射式偏振器。

[0699] 实施方案382是一种制作光学堆叠的方法,包括:

[0700] 提供以工具轴为中心并且具有关于所述工具轴非旋转对称的外表面的热成形工具;

[0701] 对光学膜进行加热,产生软化的光学膜;

[0702] 使所述软化的光学膜适应所述外表面,同时至少沿着离开所述工具轴的正交的第一方向和第二方向拉伸所述软化的膜,产生适应的光学膜,所述适应的光学膜关于所述适应的膜的光轴非旋转对称,所述光轴与所述工具轴一致;

[0703] 冷却所述适应的光学膜,产生关于所述光轴旋转对称的对称光学膜;以及

[0704] 在所述对称光学膜上模制光学透镜,产生所述光学堆叠。

[0705] 实施方案383是实施方案382的方法,其中所述冷却步骤进一步包括将所述光学膜从所述工具释放。

[0706] 实施方案384是实施方案382或383的方法,其中所述模制光学透镜步骤包括在光学透镜上模制第二膜与所述光学膜相对。

[0707] 实施方案385是实施方案384的方法,其中所述第二膜包括部分反射器。

[0708] 实施方案386是实施方案382至385中的任一项的方法,其中所述光学膜包括反射式偏振器。

[0709] 实施方案387是实施方案386的方法,其中所述光学膜进一步包括四分之一波延迟器。

[0710] 实施方案388是实施方案386或387的方法,其中所述反射式偏振器是多层聚合物反射式偏振器。

[0711] 实施方案389是实施方案388的方法,其中所述反射式偏振器是APF。

[0712] 实施方案390是实施方案386或387的方法,其中所述反射式偏振器是线栅偏振器。

[0713] 实施方案391是一种制作具有期望形状的期望光学膜的方法,包括:

[0714] 提供具有不同于期望形状的第一形状的外表面的热成形工具;

[0715] 对光学膜进行加热,产生软化的光学膜;

[0716] 在将所述软化膜沿着至少正交的第一方向和第二方向拉伸时,使所述软化的光学膜适应具有所述第一形状的外表面,产生具有第一形状的适应的光学膜;

[0717] 冷却所述适应的光学膜,产生具有所述期望形状的期望光学膜。

[0718] 实施方案392是实施方案391的方法,其中所述冷却步骤进一步包括将所述适应的光学膜从所述工具释放。

[0719] 实施方案393是实施方案391或392的方法,其中所述期望形状是关于所述期望光学膜的光轴旋转对称的。

[0720] 实施方案394是实施方案391至393中的任一项的方法,其中所述热成形工具以工具轴为中心,并且所述外表面关于所述工具轴非旋转对称。

[0721] 实施方案395是实施方案391至393中的任一项的方法,进一步包括在所述期望光学膜上模制光学透镜,产生光学堆叠。

[0722] 实施方案396是实施方案395的方法,其中所述模制光学透镜步骤包括在光学透镜上模制第二膜与所述期望光学膜相对。

- [0723] 实施方案397是实施方案396的方法,其中所述第二膜包括部分反射器。
- [0724] 实施方案398是实施方案391至397中的任一项的方法,其中所述期望光学膜包括反射式偏振器。
- [0725] 实施方案399是实施方案398的方法,其中所述期望光学膜进一步包括四分之一波延迟器。
- [0726] 实施方案400是实施方案398或399的方法,其中所述反射式偏振器是多层聚合物反射式偏振器。
- [0727] 实施方案401是实施方案400的方法,其中所述反射式偏振器是APF。
- [0728] 实施方案402是实施方案398或399的方法,其中所述反射式偏振器是线栅偏振器。
- [0729] 实施方案403是一种光学系统,包括:
- [0730] 图像表面;
- [0731] 光阑表面;
- [0732] 第一光学堆叠,布置在所述图像表面和所述光阑表面之间,并且包括:
- [0733] 第一光学透镜;
- [0734] 部分反射器,在期望的多个波长中具有至少30%的平均光反射率;以及
- [0735] 第二光学堆叠,布置在所述第一光学堆叠和所述光阑表面之间,并且包括:
- [0736] 第二光学透镜;
- [0737] 热成形多层反射式偏振器,关于所述第二光学堆叠的光轴旋转对称并且沿着正交于所述光轴的正交的第一轴和第二轴朝向所述图像表面凸出,所述热成形多层反射式偏振器具有至少一个第一位置,所述第一位置距穿过所述热成形多层反射式偏振器的顶点的光轴具有径向距离 $r_1$ ,并且距在所述顶点处垂直于所述光轴的平面具有位移 $s_1$ , $s_1/r_1$ 是至少0.1;以及
- [0738] 第一四分之一波延迟器,布置在所述反射式偏振器和所述第一光学堆叠之间。
- [0739] 实施方案404是实施方案403的光学系统,其中图像源包括所述图像表面,并且所述光阑表面是出射光瞳。
- [0740] 实施方案405是实施方案404的光学系统,其中所述图像源包括显示器面板。
- [0741] 实施方案406是实施方案405的光学系统,其中所述显示器面板是透明的或半透明的。
- [0742] 实施方案407是实施方案404至406中的任一项的光学系统,其中所述图像源包括快门。
- [0743] 实施方案408是实施方案403的光学系统,其中所述图像源包括适于接收从所述光学系统外部的物体反射的光的孔隙。
- [0744] 实施方案409是实施方案403的光学系统,其中图像记录器包括所述图像表面,并且所述光阑表面是入射光瞳。
- [0745] 实施方案410是实施方案403至409中的任一项的光学系统,其中所述光学系统以折叠光轴为中心,所述折叠光轴由透射通过所述图像表面的中心光线的光学路径限定。
- [0746] 实施方案411是实施方案403至410中的任一项的光学系统,其中所述光阑表面适于与第二光学系统的入射光瞳重叠。
- [0747] 实施方案412是实施方案411的光学系统,其中所述第二光学系统适于记录在所述

入射光瞳处接收的图像。

[0748] 实施方案413是实施方案403的光学系统,其中所述光阑表面适于与观察者的眼睛的入射光瞳重叠。

[0749] 实施方案414是实施方案403的光学系统,其中图像源包括所述图像表面,所述图像源发射非偏振光。

[0750] 实施方案415是实施方案403至414中的任一项的光学系统,其中所述第一光学堆叠进一步包括布置在所述部分反射器和所述图像表面之间的第二四分之一波延迟器。

[0751] 实施方案416是实施方案403的光学系统,其中图像源包括所述图像表面,所述图像源发射偏振光。

[0752] 实施方案417是实施方案416的光学系统,其中所述偏振光是线偏振的。

[0753] 实施方案418是实施方案416的光学系统,其中所述偏振光是圆偏振的。

[0754] 实施方案419是实施方案416的光学系统,其中所述偏振光是椭圆偏振的。

[0755] 实施方案420是实施方案403至419中的任一项的光学系统,其中所述部分反射器是第二反射式偏振器。

[0756] 实施方案421是实施方案403至420中的任一项的光学系统,其中所述部分反射器在所述期望的多个波长中具有至少30%的平均光学透射率。

[0757] 实施方案422是实施方案403至421中的任一项的光学系统,其中所述期望的多个波长包括至少一个连续的波长范围。

[0758] 实施方案423是实施方案403至422中的任一项的光学系统,其中所述期望的多个波长包括可见光范围的波长。

[0759] 实施方案424是实施方案423的光学系统,其中所述可见光范围从400nm到700nm。

[0760] 实施方案425是实施方案403至424中的任一项的光学系统,其中所述期望的多个波长包括红外范围的波长。

[0761] 实施方案426是实施方案403至425中的任一项的光学系统,其中所述期望的多个波长包括红外、可见光和紫外波长中的一项或多项。

[0762] 实施方案427是实施方案403至426中的任一项的光学系统,其中所述部分反射器是陷波反射器。

[0763] 实施方案428是实施方案427的光学系统,其中所述期望的多个波长包括一个或者多个连续波长范围,并且其中所述连续波长范围中的至少一个具有不超过100nm的半高全宽。

[0764] 实施方案429是实施方案428的光学系统,其中所述半高全宽不超过50nm。

[0765] 实施方案430是实施方案403至429中的任一项的光学系统,其中 $s_1/r_1$ 为至少0.2。

[0766] 实施方案431是实施方案403至430中的任一项的光学系统,其中 $s_1/r_1$ 在0.2至0.8的范围内。

[0767] 实施方案432是实施方案403至431中的任一项的光学系统,其中 $s_1/r_1$ 在0.3至0.6的范围内。

[0768] 实施方案433是实施方案424至432中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器具有第二位置,所述第二位置具有距所述光轴的径向距离 $r_2$ 以及距所述平面的位移 $s_2$ , $s_2/r_2$ 为至少0.3。

[0769] 实施方案434是实施方案403至433中的任一项的光学系统,其中对于由s1和r1限定的所述反射式偏振器的区域,所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约2度。

[0770] 实施方案435是实施方案403至433中的任一项的光学系统,其中对于由s1和r1限定的所述反射式偏振器的区域,所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约1.5度。

[0771] 实施方案436是实施方案403至433中的任一项的光学系统,其中对于由s1和r1限定的所述反射式偏振器的区域,所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约1度。

[0772] 实施方案437是实施方案403至436中的任一项的光学系统,其中所述第一光学透镜具有面对所述第二光学透镜的第一主表面以及面对所述图像表面的相对的第二主表面,并且所述第二光学透镜具有面对所述光阑表面的第一主表面以及面对所述第一光学透镜的相对的第二主表面。

[0773] 实施方案438是实施方案437的光学系统,其中所述部分反射器被布置在所述第一透镜的所述第一主表面或者所述第二主表面上。

[0774] 实施方案439是实施方案437的光学系统,其中所述部分反射器被布置在所述第一透镜的所述第一主表面上,并且第二四分之一波延迟器被布置在所述第一透镜的所述第二主表面上。

[0775] 实施方案440是实施方案437的光学系统,其中所述部分反射器被布置在所述第一透镜的所述第二主表面上,并且第二四分之一波延迟器被布置在所述部分反射器上与所述第一透镜的所述第二主表面相对。

[0776] 实施方案441是实施方案437的光学系统,其中第二四分之一波延迟器被布置在所述第一光学透镜的所述第一主表面上,并且所述部分反射器被布置在所述第二四分之一波延迟器上与所述第一光学透镜的所述第一主表面相对。

[0777] 实施方案442是实施方案437的光学系统,其中所述第一四分之一波延迟器被布置在所述第二光学透镜的所述第二主表面上,并且所述多层反射式偏振器被布置在所述第二光学透镜的所述第一主表面上。

[0778] 实施方案443是实施方案437的光学系统,其中所述多层反射式偏振器被布置在所述第二光学透镜的所述第二主表面上,并且所述第一四分之一波延迟器被布置在所述多层反射式偏振器上与所述第二光学透镜的所述第二主表面相对。

[0779] 实施方案444是实施方案403至443中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器包括至少一层,所述至少一层在所述至少一层上的离开所述第二光学堆叠的光轴的至少一个第一位置处是基本上光学双轴的,并且在离开所述光轴的至少一个第二位置处是基本上光学单轴的。

[0780] 实施方案445是实施方案403至444中的任一项的光学系统,其中穿过所述图像表面和所述光阑表面的基本上任何主光线以小于约25度的入射角入射在所述第一光学堆叠和所述第二光学堆叠中的每个上。

[0781] 实施方案446是实施方案403至445中的任一项的光学系统,其中所述第一光学堆叠和所述第二光学堆叠具有基本上相同的形状。

[0782] 实施方案447是实施方案403至445中的任一项的光学系统,其中所述第一光学堆叠和所述第二光学堆叠具有不同的形状。

[0783] 实施方案448是实施方案403至447中的任一项的光学系统,其中所述第一透镜和

所述第二透镜中的每个透镜是平面透镜。

[0784] 实施方案449是实施方案403至448中的任一项的光学系统,其中所述第一光学透镜和所述第二光学透镜具有基本上相同的形状。

[0785] 实施方案450是实施方案403至448中的任一项的光学系统,其中所述第一光学透镜和所述第二光学透镜具有不同的形状。

[0786] 实施方案451是实施方案403至450中的任一项的光学系统,其中所述图像表面是基本上平面的。

[0787] 实施方案452是实施方案403至450中的任一项的光学系统,其中所述图像表面是基本上弯曲的。

[0788] 实施方案453是实施方案403的光学系统,其中图像源包括所述图像表面,所述图像源发射无失真图像,所述部分反射器具有第一形状,并且所述反射式偏振器具有不同的第二形状,使得由所述光阑表面透射的所发射无失真图像的失真小于所述光阑表面处视场的约10%。

[0789] 实施方案454是实施方案453的光学系统,其中由所述光阑表面透射的所发射无失真图像的失真小于所述光阑表面处视场的约5%。

[0790] 实施方案455是实施方案453的光学系统,其中由所述光阑表面透射的所发射无失真图像的失真小于所述光阑表面处视场的约3%。

[0791] 实施方案456是实施方案403至455中的任一项的光学系统,其中至少具有在可见光波长范围内的、相距至少150nm的第一波长和第二波长并且透射通过所述图像表面和所述光阑表面的基本上任何主光线在所述光阑表面处具有小于所述光阑表面处视场的百分之1.5的分色距离。

[0792] 实施方案457是实施方案456的光学系统,其中在所述光阑表面处的所述分色距离小于所述光阑表面处视场的百分之1.2。

[0793] 实施方案458是实施方案403至457中的任一项的光学系统,其中至少具有在可见光波长范围内的、相距至少150nm的第一波长和第二波长并且透射通过所述图像表面和所述光阑表面的基本上任何主光线在所述光阑表面处具有小于20弧分的分色距离。

[0794] 实施方案459是实施方案458的光学系统,其中在所述光阑表面处的所述分色距离小于10弧分。

[0795] 实施方案460是实施方案403至459中的任一项的光学系统,其中所述部分反射器具有第一形状,所述多层反射式偏振器具有第二形状,并且所述第一形状和所述第二形状中的一个或者两个由非球面多项式矢高方程所描述。

[0796] 实施方案461是实施方案403至460中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器包括交替的聚合物层。

[0797] 实施方案462是实施方案403至461中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器是热成形的APF。

[0798] 实施方案463是实施方案403至461中的任一项的光学系统,其中所述多层反射式偏振器包括线栅偏振器。

[0799] 实施方案464是实施方案403至463中的任一项的光学系统,其中所述第一光学堆叠和所述第二光学堆叠中的至少一个光学堆叠具有相对于所述光阑表面和所述图像表面

可调整的位置。

[0800] 实施方案465是实施方案403至464中的任一项的光学系统,其中所述第一光学堆叠具有可调整的形状。

[0801] 实施方案466是一种光学系统,包括:

[0802] 部分反射器,在期望的多个波长中具有至少30%的平均光反射率;以及

[0803] 多层反射式偏振器,基本上透射具有第一偏振态的光并且基本上反射具有正交的第二偏振态的光,所述多层反射式偏振器沿着正交的第一轴和第二轴凸出,所述多层反射式偏振器上的至少一个第一位置距所述多层反射式偏振器的光轴具有径向距离 $r_1$ 并且距在所述多层反射式偏振器的顶点处垂直于所述光轴的平面具有位移 $s_1$ , $s_1/r_1$ 是至少0.1;以及

[0804] 第一四分之一波延迟器,布置在所述部分反射器和所述多层反射式偏振器之间,其中所述多层反射式偏振器包括至少一层,所述至少一层在所述至少一层上的离开所述光轴的至少一个第一位置处是基本上光学双轴的,并且在离开所述光轴的至少一个第二位置处是基本上光学单轴的。

[0805] 实施方案467是实施方案466的光学系统,其中所述多层反射式偏振器被布置成邻近所述部分反射器并且与所述部分反射器间隔开。

[0806] 实施方案468是实施方案466或者实施方案467的光学系统,其中第一光学堆叠包括第一光学透镜和所述部分反射器。

[0807] 实施方案469是实施方案466至468中的任一项的光学系统,其中第二光学堆叠包括第二光学透镜和所述多层反射式偏振器。

[0808] 实施方案470是一种光学系统,包括:

[0809] 第一光学堆叠,所述第一光学堆叠包括:

[0810] 第一光学透镜;以及

[0811] 部分反射器,在期望的多个波长中具有至少30%的平均光反射率;以及

[0812] 第二光学堆叠,布置成邻近所述第一光学堆叠并且沿着正交的第一轴和第二轴凸出,所述第二光学堆叠包括:

[0813] 第二光学透镜;

[0814] 多层反射式偏振器,基本上透射具有第一偏振态的光并且基本上反射具有正交的第二偏振态的光,所述多层反射式偏振器上的至少一个第一位置距所述第二光学堆叠的光轴具有径向距离 $r_1$ 并且距在所述多层反射式偏振器的顶点处垂直于所述光轴的平面具有位移 $s_1$ , $s_1/r_1$ 是至少0.1;以及

[0815] 第一四分之一波延迟器,布置在所述第二光学堆叠和所述第一光学堆叠之间,

[0816] 其中所述多层反射式偏振器包括至少一层,所述至少一层在所述至少一层上的离开所述光轴的至少一个第一位置处是基本上光学双轴的,并且在离开所述光轴的至少一个第二位置处是基本上光学单轴的。

[0817] 实施方案471是一种光学系统,包括:

[0818] 第一光学堆叠,所述第一光学堆叠包括:

[0819] 第一光学透镜;以及

[0820] 部分反射器,在期望的多个波长中具有至少30%的平均光反射率;以及

[0821] 第二光学堆叠,布置成邻近所述第一光学堆叠并且沿着正交的第一轴和第二轴凸出,所述第二光学堆叠包括:

[0822] 第二光学透镜;

[0823] 反射式偏振器,基本上透射具有第一偏振态的光并且基本上反射具有正交的第二偏振态的光,所述反射式偏振器上的至少一个第一位置距所述第二光学堆叠的光轴具有径向距离 $r_1$ 并且距在所述反射式偏振器的顶点处垂直于所述光轴的平面具有位移 $s_1$ , $s_1/r_1$ 是至少0.1;以及

[0824] 第一四分之一波延迟器,布置在所述第二光学堆叠和所述第一光学堆叠之间,

[0825] 其中所述光学系统具有在所述光学系统的视场上至少50的对比度。

[0826] 实施方案472是实施方案471的光学系统,其中所述对比度是至少60。

[0827] 实施方案473是实施方案471的光学系统,其中所述对比度是至少80。

[0828] 实施方案474是实施方案471的光学系统,其中所述对比度是至少100。

[0829] 实施方案475是实施方案469至474中的任一项的光学系统,其中所述第二光学堆叠与所述第一光学堆叠间隔开。

[0830] 实施方案476是一种光学系统,包括:

[0831] 第一光学堆叠,所述第一光学堆叠包括:

[0832] 第一光学透镜;以及

[0833] 部分反射器,在期望的多个波长中具有至少30%的平均光反射率;以及

[0834] 第二光学堆叠,布置成邻近所述第一光学堆叠并且沿着正交的第一轴和第二轴凸出,所述第二光学堆叠包括:

[0835] 第二光学透镜;

[0836] 反射式偏振器,基本上透射具有第一偏振态的光并且基本上反射具有正交的第二偏振态的光,所述反射式偏振器上的至少一个第一位置距所述第二光学堆叠的光轴具有径向距离 $r_1$ 并且距在所述反射式偏振器的顶点处垂直于所述光轴的平面具有位移

[0837]  $s_1$ , $s_1/r_1$ 是至少0.1;以及

[0838] 第一四分之一波延迟器,布置在所述第二光学堆叠和所述第一光学堆叠之间,

[0839] 其中所述光学系统适于提供可调整的屈光校正。

[0840] 实施方案477是实施方案466至476中的任一项的光学系统,其中所述反射式偏振器包括至少一层,所述至少一层在所述至少一层上的离开所述光轴的至少一个第一位置处是基本上光学双轴的,并且在离开所述光轴的至少一个第二位置处是基本上光学单轴的。

[0841] 实施方案478是实施方案466至476中的任一项的光学系统,其中所述反射式偏振器是线栅偏振器。

[0842] 实施方案479是实施方案476的光学系统,其中所述可调整的屈光校正由所述第一光学堆叠和所述第二光学堆叠之间的可调整距离、所述第一光学堆叠的可调整形状和所述第二光学堆叠的可调整形状中的一个或者多个来提供。

[0843] 实施方案480是实施方案466至479中的任一项的光学系统,进一步包括图像表面和光阑表面、布置在所述图像表面和所述光阑表面之间的所述部分反射器、布置在所述部分反射器和所述光阑表面之间的所述反射式偏振器。

[0844] 实施方案481是实施方案480的光学系统,其中所述反射式偏振器关于正交的第一

轴和第二轴朝向所述图像表面凸出。

[0845] 实施方案482是实施方案480或481的光学系统,其中所述部分反射器关于正交的第一轴和第二轴朝向所述图像表面凸出。

[0846] 实施方案483是实施方案480至482中的任一项的光学系统,其中穿过所述图像表面和所述光阑表面的基本上任何主光线以小于约30度的入射角入射在所述部分反射器和所述反射式偏振器中的每个上。

[0847] 实施方案484是实施方案480至482中的任一项的光学系统,其中穿过所述图像表面和所述光阑表面的基本上任何主光线以小于约25度的入射角入射在所述部分反射器和所述反射式偏振器中的每个上。

[0848] 实施方案485是实施方案466至477或者实施方案479至482中的任一项的光学系统,其中所述反射式偏振器是APF。

[0849] 实施方案486是实施方案466至477或者实施方案479至485中的任一项的光学系统,其中所述反射式偏振器是热成形的APF。

[0850] 实施方案487是实施方案466至486中的任一项的光学系统,其中所述部分反射器是第二反射式偏振器。

[0851] 实施方案488是实施方案466至487中的任一项的光学系统,其中所述部分反射器在所述期望的多个波长中具有至少30%的平均光透射率。

[0852] 实施方案489是实施方案466至488中的任一项的光学系统,其中所述期望的多个波长包括至少一个连续的波长范围。

[0853] 实施方案490是实施方案466至489中的任一项的光学系统,其中所述期望的多个波长包括可见光范围的波长。

[0854] 实施方案491是实施方案490的光学系统,其中所述可见光范围从400nm到700nm。

[0855] 实施方案492是实施方案466至491中的任一项的光学系统,其中所述期望的多个波长包括红外范围的波长。

[0856] 实施方案493是实施方案466至492中的任一项的光学系统,其中所述期望的多个波长包括红外、可见光和紫外波长中的一项或者多项。

[0857] 实施方案494是实施方案466至493中的任一项的光学系统,其中所述部分反射器是陷波反射器。

[0858] 实施方案495是实施方案494的光学系统,其中所述期望的多个波长包括一个或者多个连续的波长范围,并且其中所述连续波长范围中的至少一个具有不超过100nm的半高全宽。

[0859] 实施方案496是实施方案495的光学系统,其中所述半高全宽不超过50nm。

[0860] 实施方案497是实施方案466至496中的任一项的光学系统,其中 $s_1/r_1$ 是至少0.2。

[0861] 实施方案498是实施方案466至497中的任一项的光学系统,其中 $s_1/r_1$ 在0.2至0.8的范围内。

[0862] 实施方案499是实施方案466至498中的任一项的光学系统,其中 $s_1/r_1$ 在0.3至0.6的范围内。

[0863] 实施方案500是实施方案466至499中的任一项的光学系统,其中所述反射式偏振器具有第二位置,所述第二位置距所述光轴具有径向距离 $r_2$ ,并且距所述平面具有位移 $s_2$ ,



$s_2/r_2$ 是至少0.3。

[0864] 实施方案501是实施方案466至500中的任一项的光学系统,其中对于由 $s_1$ 和 $r_1$ 限定的所述反射式偏振器的区域,所述反射式偏振器的透射轴的最大变化小于约2度。

[0865] 实施方案502是实施方案466至501中的任一项的光学系统,所述光学系统是扩束器。

[0866] 实施方案503是一种扩束器,包括实施方案466至501中的任一项的光学系统。

[0867] 实施方案504是一种投影系统,包括实施方案503的扩束器和适于发射图案化的光的图像形成装置,所述投影系统被配置成将所述图案化的光导向所述扩束器。

[0868] 实施方案505是实施方案504的投影系统,其中所述扩束器的光学系统被定向为以所述部分反射器面对所述图像形成装置。

[0869] 实施方案506是实施方案504或505的投影系统,进一步包括布置在所述图像形成装置和所述扩束器之间的偏振分束器。

[0870] 实施方案507是实施方案506的投影系统,进一步包括布置在所述扩束器和所述偏振分束器之间的第二反射式偏振器。

[0871] 实施方案508是实施方案506或507的投影系统,其中所述偏振分束器包括第一棱镜和第二棱镜以及沿着所述第一棱镜和所述第二棱镜的对角面布置在所述第一棱镜和所述第二棱镜之间的平面反射式偏振器。

[0872] 实施方案509是实施方案508的投影系统,其中所述第一棱镜被布置在所述第二棱镜和所述图像形成装置之间。

[0873] 实施方案510是实施方案508或509的投影系统,其中所述第一棱镜具有第一体积,所述第二棱镜具有第二体积,并且所述第一体积不超过所述第二体积的约一半。

[0874] 实施方案511是一种投影系统,包括实施方案503的扩束器和照明器,所述投影系统被配置成将从所述照明器输出的光导向所述扩束器。

[0875] 实施方案512是实施方案511的投影系统,其中所述照明器包括:

[0876] 偏振分束器,包括:

[0877] 第一棱镜,具有输入面、输出面和第一斜边;

[0878] 第二棱镜,具有成像器面和第二斜边,所述第二斜边被布置成邻近所述第一斜边;以及

[0879] 第二反射式偏振器,布置在所述第一斜边和所述第二斜边之间;

[0880] 光源,被布置成邻近所述输入面并且限定所述输入面上的输入有效区域;以及

[0881] 图像形成装置,布置成邻近所述成像器面,用于接收从所述光源发射的光并且发射图案化的光,所述图像形成装置具有最大图像区域,所述最大图像区域限定所述输出面上的输出有效区域;

[0882] 其中所述输入有效区域和所述输出有效区域中的一个或者两个小于所述最大图像区域的约一半。

[0883] 实施方案513是实施方案512的投影系统,其中所述输入有效区域小于所述最大图像区域的约一半。

[0884] 实施方案514是实施方案512的投影系统,其中所述输出有效区域小于所述最大图像区域的约一半。

[0885] 实施方案515是实施方案512的投影系统,其中所述输入有效区域和所述输出有效区域中的每个小于所述最大图像区域的约一半。

[0886] 实施方案516是实施方案512的投影系统,其中输入面的最大表面区域小于所述最大图像区域的约一半。

[0887] 实施方案517是实施方案512的投影系统,其中所述输出面的最大表面区域小于所述最大图像区域的约一半。

[0888] 实施方案518是实施方案512的投影系统,输入面的最大表面区域小于所述最大图像区域的约一半,并且其中所述输出面的最大表面区域小于所述最大图像区域的约一半。

[0889] 实施方案519是实施方案512的投影系统,进一步包括邻近所述偏振分束器与所述光源相对布置的反射式部件。

[0890] 实施方案520是实施方案512的投影系统,其中所述第二反射式偏振器是聚合物多层反射式偏振器、线栅偏振器、MacNeille反射式偏振器或者胆甾相反射式偏振器。

[0891] 实施方案521是实施方案512的投影系统,其中所述第二反射式偏振器是聚合物多层反射式偏振器。

[0892] 实施方案522是实施方案1至333中的任一项,或者实施方案378至381中的任一项,或者实施方案403至475中的任一项的光学系统,其中所述光学系统适于提供屈光校正。

[0893] 实施方案523是实施方案522的光学系统,其中所述屈光校正是可调整的。

[0894] 实施方案524是一种装置,包括实施方案1至333中的任一项,或者实施方案378至381中的任一项,或者实施方案403至523中的任一项的光学系统。

[0895] 实施方案525是实施方案524的装置,所述装置是头戴式显示器。

[0896] 实施方案526是实施方案524的装置,所述装置是扩束器、照明器或者投影仪。

[0897] 实施方案527是实施方案524的装置,所述装置是相机。

[0898] 实施方案528是实施方案524的装置,所述装置是望远镜、显微镜或者双目镜。

[0899] 实施方案529是一种头戴式显示器,包括第一光学系统,所述第一光学系统是实施方案1至333中的任一项,或者实施方案378至381中的任一项,或者实施方案403至523中的任一项的光学系统。

[0900] 实施方案530是实施方案529的头戴式显示器,进一步包括眼睛跟踪系统。

[0901] 实施方案531是实施方案530的头戴式显示器,其中所述光学系统适于:响应于从所述眼睛跟踪系统接收的信号,调整所述反射式偏振器的位置或者所述部分反射器的位置。

[0902] 实施方案532是实施方案529的头戴式显示器,进一步包括第二光学系统,所述第二光学系统是实施方案1至333中的任一项,或者实施方案378至381中的任一项,或者实施方案403至523中的任一项的光学系统。

[0903] 实施方案533是实施方案532的头戴式显示器,进一步包括眼睛跟踪系统。

[0904] 实施方案534是实施方案533的头戴式显示器,其中所述光学系统适于:响应于从所述眼睛跟踪系统接收的信号,调整所述第一光学系统的反射式偏振器的位置或者所述第一光学系统的部分反射器的位置。

[0905] 实施方案535是实施方案533或534的头戴式显示器,其中所述光学系统适于:响应于从所述眼睛跟踪系统接收的信号,调整所述第二光学系统的反射式偏振器的位置或者所

述第二光学系统的部分反射器的位置。

[0906] 实施方案536是一种头戴式显示器,包括:

[0907] 第一光学系统,包括:

[0908] 第一图像表面;

[0909] 第一出射光瞳;

[0910] 第一反射式偏振器,布置在所述第一出射光瞳和所述第一

[0911] 图像表面之间,所述第一反射式偏振器关于两个正交轴凸出;

[0912] 第一部分反射器,布置在所述第一反射式偏振器和所述第一图像表面之间,所述第一部分反射器在预定的多个波长中具有至少30%的平均光反射率;以及

[0913] 第一四分之一波延迟器,布置在所述第一反射式偏振器和所述第一部分反射器之间;以及

[0914] 第二光学系统,布置成接近所述第一光学系统,所述第二光学系统包括:

[0915] 第二图像表面;

[0916] 第二出射光瞳;

[0917] 第二反射式偏振器,布置在所述第二出射光瞳和所述第二

[0918] 图像表面之间,所述第二反射式偏振器关于两个正交轴凸出;

[0919] 第二部分反射器,布置在所述第二反射式偏振器和所述第二图像表面之间,所述第二部分反射器在预定的多个波长中具有至少30%的平均光反射率;以及

[0920] 第二四分之一波延迟器,布置在所述第二反射式偏振器和所述第二部分反射器之间。

[0921] 实施方案537是实施方案536的头戴式显示器,其中图像源包括所述第一图像表面和所述第二图像表面。

[0922] 实施方案538是实施方案537的头戴式显示器,其中所述图像源包括显示器面板。

[0923] 实施方案539是实施方案538的头戴式显示器,其中所述显示器面板是透明的或半透明的。

[0924] 实施方案540是实施方案537至539中的任一项的头戴式显示器,其中所述图像源包括快门。

[0925] 实施方案541是实施方案536的头戴式显示器,其中第一图像源包括所述第一图像表面,并且第二图像源包括所述第二图像表面。

[0926] 实施方案542是实施方案536的头戴式显示器,其中所述第一图像源包括第一显示器面板。

[0927] 实施方案543是实施方案542的头戴式显示器,其中所述第一显示器面板是透明的或者半透明的。

[0928] 实施方案544是实施方案541至543中的任一项的头戴式显示器,其中所述第一图像源包括第一快门。

[0929] 实施方案545是实施方案541至544中的任一项的头戴式显示器,其中所述第二图像源包括第二显示器面板。

[0930] 实施方案546是实施方案545的头戴式显示器,其中所述第二显示器面板是透明的或者半透明的。

[0931] 实施方案547是实施方案541至546中的任一项的头戴式显示器,其中所述第二图像源包括第二快门。

[0932] 实施方案548是实施方案536至547中的任一项的头戴式显示器,其中所述第一图像表面和所述第二图像表面是基本上平面的。

[0933] 实施方案549是实施方案536至547中的任一项的头戴式显示器,其中所述第一图像表面和所述第二图像表面中的一个或者两个是弯曲的。

[0934] 实施方案550是实施方案536至549中的任一项的头戴式显示器,其中所述第一光学系统包括第一光学透镜。

[0935] 实施方案551是实施方案550的头戴式显示器,其中所述第一反射式偏振器被布置在所述第一光学透镜的主表面上。

[0936] 实施方案552是实施方案550或551的头戴式显示器,其中所述第一光学透镜具有非均匀的边缘轮廓。

[0937] 实施方案553是实施方案536至552中的任一项的头戴式显示器,其中所述第二光学系统包括第二光学透镜。

[0938] 实施方案554是实施方案553的头戴式显示器,其中所述第二反射式偏振器被布置在所述第二光学透镜的主表面上。

[0939] 实施方案555是实施方案553或554的头戴式显示器,其中所述第二光学透镜具有非均匀的边缘轮廓。

[0940] 实施方案556是实施方案536至555中的任一项的头戴式显示器,其中所述第一反射式偏振器是实施方案334至353中的任一项的热成形多层反射式偏振器。

[0941] 实施方案557是实施方案536至556中的任一项的头戴式显示器,其中所述第二反射式偏振器是实施方案334至353中的任一项的热成形多层反射式偏振器。

[0942] 实施方案558是实施方案536至557中的任一项的头戴式显示器,进一步包括眼睛跟踪系统。

[0943] 实施方案559是实施方案558的头戴式显示器,其中所述第一光学系统适于:响应于从所述眼睛跟踪系统接收的信号,调整所述第一反射式偏振器和所述第一部分反射器之间的距离。

[0944] 实施方案560是实施方案558或实施方案559的头戴式显示器,其中所述第二光学系统适于:响应于从所述眼睛跟踪系统接收的信号,调整所述第二反射式偏振器和所述第二部分反射器之间的距离。

[0945] 实施方案561是实施方案536至560中的任一项的头戴式显示器,其中所述预定的多个波长包括至少一个连续的波长范围。

[0946] 实施方案562是实施方案536至561中的任一项的头戴式显示器,其中所述预定的多个波长包括可见光范围的波长。

[0947] 实施方案563是实施方案562的头戴式显示器,其中所述可见光范围从400nm到700nm。

[0948] 实施方案564是实施方案536至563中的任一项的头戴式显示器,其中所述预定的多个波长包括红外范围的波长。

[0949] 实施方案565是实施方案536至564中的任一项的头戴式显示器,其中所述预定的

多个波长包括红外、可见光和紫外波长中的一项或者多项。

[0950] 实施方案566是实施方案536至565中的任一项的头戴式显示器,其中所述部分反射器是陷波反射器。

[0951] 实施方案567是实施方案566的头戴式显示器,其中所述预定的多个波长包括一个或者多个连续波长范围,并且其中所述连续波长范围中的至少一个具有不超过100nm的半高全宽。

[0952] 实施方案568是实施方案566的头戴式显示器,其中所述预定的多个波长包括一个或者多个连续波长范围,并且其中所述连续波长范围中的至少一个具有不超过50nm的半高全宽。

[0953] 实施方案569是实施方案536至568中的任一项的头戴式显示器,其中所述第一光学系统是实施方案1至333中的任一项,或者实施方案378至381中的任一项,或者实施方案403至523中的任一项的光学系统。

[0954] 实施方案570是实施方案536至569中的任一项的头戴式显示器,其中所述第二光学系统是实施方案1至333中的任一项,或者实施方案378至381中的任一项,或者实施方案403至523中的任一项的光学系统。

[0955] 实施方案571是实施方案529至570中的任一项的头戴式显示器,所述头戴式显示器是虚拟现实显示器。

[0956] 实施方案572是一种相机,包括:

[0957] 光圈;

[0958] 图像记录装置;

[0959] 反射式偏振器,布置在所述光圈和所述图像记录装置之间,所述反射式偏振器关于两个正交轴是弯曲的;

[0960] 部分反射器,布置在所述反射式偏振器和所述图像记录装置之间,所述部分反射器在预定的多个波长中具有至少30%的平均光反射率;以及

[0961] 四分之一波延迟器,布置在所述反射式偏振器和所述部分反射器之间。

[0962] 实施方案573是实施方案572的相机,进一步包括第一光学堆叠,所述第一光学堆叠包括第一透镜和所述部分反射器。

[0963] 实施方案574是实施方案572或573的相机,进一步包括第二光学堆叠,所述第二光学堆叠包括第二透镜和所述反射式偏振器。

[0964] 实施方案575是实施方案572的相机,进一步包括一体光学堆叠,所述一体光学堆叠包括第一光学透镜、所述反射式偏振器、所述部分反射器和所述四分之一波延迟器。

[0965] 实施方案576是实施方案575的相机,其中所述一体光学堆叠进一步包括邻近所述第一光学透镜的第二光学透镜、布置在所述第一光学透镜和所述第二光学透镜之间的所述四分之一波延迟器、布置在所述第一光学透镜的与所述第二光学透镜相对的主表面上的所述部分反射器以及布置在所述第二光学透镜的与所述第一光学透镜相对的主表面上的所述反射式偏振器。

[0966] 实施方案577是实施方案572至576中的任一项的相机,其中所述反射式偏振器上的至少一个第一位置距所述反射式偏振器的光轴具有径向距离 $r_1$ ,并且距所述反射式偏振器的顶点处垂直于所述光轴的平面具有位移 $s_1$ , $s_1/r_1$ 是至少0.1。

[0967] 实施方案578是实施方案577的相机,其中 $s1/r1$ 是至少0.2。

[0968] 实施方案579是实施方案577至578中的任一项的相机,其中所述反射式偏振器包括至少一层,所述至少一层在所述至少一层上的离开所述光轴的至少一个第一位置处是基本上光学双轴的,并且在离开所述光轴的至少一个第二位置处是基本上光学单轴的。

[0969] 实施方案580是实施方案572至579中的任一项的相机,其中所述反射式偏振器是热成形的APF。

[0970] 实施方案581是实施方案572至578中的任一项的相机,其中所述反射式偏振器是线栅偏振器。

[0971] 实施方案582是实施方案572至581中的任一项的相机,其中所述反射式偏振器朝向所述图像记录装置凸出。

[0972] 实施方案583是实施方案572的相机,其中所述相机包括光学系统,所述光学系统包括所述反射式偏振器、所述四分之一波延迟器和所述部分反射器、图像表面、光阑表面,所述图像表面是所述图像记录装置的表面并且所述光阑表面是由所述光圈限定的表面。

[0973] 实施方案584是实施方案583的相机,其中所述光学系统进一步由实施方案1至333中的任一项,或者实施方案378至381中的任一项,或者实施方案403至523中的任一项表征。

[0974] 实施方案585是一种扩束器,包括:

[0975] 部分反射器,在预定的多个波长中具有至少30%的平均光反射率;

[0976] 反射式偏振器,布置成邻近所述部分反射器并且与所述部分反射器间隔开,所述反射式偏振器关于两个正交轴是弯曲的;以及

[0977] 四分之一波延迟器,布置在所述反射式偏振器和所述部分反射器之间。

[0978] 实施方案586是实施方案585的扩束器,其中所述扩束器适于接收入射在所述部分反射器上的会聚光并且透射穿过所述反射式偏振器的发散光。

[0979] 实施方案587是实施方案585或586的扩束器,进一步包括第一光学堆叠,所述第一光学堆叠包括第一透镜和所述部分反射器。

[0980] 实施方案588是实施方案585至587中的任一项的扩束器,进一步包括第二光学堆叠,所述第二光学堆叠包括第二透镜和所述反射式偏振器。

[0981] 实施方案589是实施方案585或586的扩束器,进一步包括一体光学堆叠,所述一体光学堆叠包括第一光学透镜、所述反射式偏振器、所述部分反射器和所述四分之一波延迟器。

[0982] 实施方案590是实施方案589的扩束器,其中所述一体光学堆叠进一步包括邻近所述第一光学透镜的第二光学透镜、布置在所述第一光学透镜和所述第二光学透镜之间的所述四分之一波延迟器、布置在所述第一光学透镜的与所述第二光学透镜相对的主表面上的所述部分反射器以及布置在所述第二光学透镜的与所述第一光学透镜相对的主表面上的所述反射式偏振器。

[0983] 实施方案591是实施方案585至590中的任一项的扩束器,其中所述反射式偏振器上的至少一个第一位置距所述反射式偏振器的光轴具有径向距离 $r1$ ,并且距在所述反射式偏振器的顶点处垂直于所述光轴的平面具有位移 $s1$ , $s1/r1$ 是至少0.1。

[0984] 实施方案592是实施方案591的扩束器,其中 $s1/r1$ 是至少0.2。

[0985] 实施方案593是实施方案585至592中的任一项的扩束器,其中所述反射式偏振器

包括至少一层,所述至少一层在所述至少一层上的离开所述光轴的至少一个第一位置处是基本上光学双轴的,并且在离开所述光轴的至少一个第二位置处是基本上光学单轴的。

[0986] 实施方案594是实施方案585至593中的任一项的扩束器,其中所述反射式偏振器是热成形的APF。

[0987] 实施方案595是实施方案585至592中的任一项的扩束器,其中所述反射式偏振器是线栅偏振器。

[0988] 实施方案596是一种投影系统,包括光源、布置成从所述光源接收光并且发射图案化的光的图像形成装置以及实施方案585至595中的任一项的扩束器,所述扩束器被布置成使得来自所述图像形成装置的图案化的光入射在所述部分反射器上。

[0989] 实施方案597是实施方案596的投影系统,进一步包括布置在所述图像形成装置和所述扩束器之间的偏振分束器。

[0990] 实施方案598是一种投影系统,包括光源、布置成从所述光源接收光并且发射会聚的图案化的光的图像形成装置以及扩束器,所述扩束器包括:

[0991] 部分反射器,在预定的多个波长中具有至少30%的平均光反射率;

[0992] 反射式偏振器,布置成邻近所述部分反射器并且与所述部分反射器间隔开,所述反射式偏振器关于两个正交轴是弯曲的;以及

[0993] 四分之一波延迟器,布置在所述反射式偏振器和所述部分反射器之间,

[0994] 其中所述扩束器被布置成使得来自所述图像形成装置的会聚的图案化的光入射在所述部分反射器上,所述扩束器透射发散的图案化的光。

[0995] 实施方案599是实施方案598的投影系统,其中所述扩束器进一步由实施方案586至595中的任一项所表征。

[0996] 实施方案600是实施方案598或599的投影系统,进一步包括布置在所述图像形成装置和所述扩束器之间的偏振分束器。

[0997] 实施方案601是一种照明器,包括:

[0998] 扩束器,包括关于两个正交方向弯曲的反射式偏振器;

[0999] 偏振分束器,包括:

[1000] 第一棱镜,具有输入面、输出面和第一斜面;

[1001] 第二棱镜,具有第一面和第二斜面,所述第二斜面被布置成邻近所述第一斜面;以及

[1002] 第二反射式偏振器,布置在所述第一斜面 and 所述第二斜面之间;

[1003] 光源,布置成邻近所述输入面并且限定所述输入面上的输入有效区域;以及

[1004] 反射式部件,布置成邻近所述第一面,用于接收从所述光源发射的光并且发射会聚光,所述反射式部件具有最大有效区域,所述最大有效区域限定所述输出面上的输出有效区域;

[1005] 其中所述扩束器被布置成接收所述会聚光并且透射发散光,并且所述输入有效区域和所述输出有效区域中的一个或者两个小于所述反射式部件的最大有效区域的约一半。

[1006] 实施方案602是实施方案601的照明器,其中所述扩束器进一步包括邻近所述反射式偏振器并且与所述反射式偏振器间隔开的部分反射器,所述部分反射器在预定的多个波长中具有至少30%的平均光反射率,所述部分反射器被布置在所述偏振分束器和所述反射

式偏振器之间。

[1007] 实施方案603是实施方案602的照明器,进一步包括布置在所述反射式偏振器和所述部分反射器之间的四分之一波延迟器。

[1008] 实施方案604是实施方案601至603中的任一项的照明器,其中所述扩束器由实施方案585至595中的任一项进一步表征。

[1009] 实施方案605是实施方案601至604中的任一项的照明器,其中所述反射式部件是图像形成装置。

[1010] 实施方案606是实施方案601至605中的任一项的照明器,所述照明器是图像投影仪。

[1011] 实施方案607是一种包括光学系统的放大装置,所述光学系统包括:

[1012] 接近所述出射光瞳的反射式偏振器,所述反射式偏振器关于两个正交轴弯曲;

[1013] 部分反射器,布置成邻近所述反射式偏振器与所述出射光瞳相对,所述部分反射器与所述反射式偏振器间隔开;所述部分反射器在预定的多个波长中具有至少30%的平均光反射率;以及

[1014] 四分之一波延迟器,布置在所述反射式偏振器和所述部分反射器之间。

[1015] 实施方案608是实施方案607的放大装置,其中所述光学系统进一步由实施方案1至333中的任一项,或者实施方案378至381中的任一项,或者实施方案403至523中的任一项所表征。

[1016] 实施方案609是实施方案607或608的放大装置,进一步包括物镜部分和目镜部分。

[1017] 实施方案610是实施方案609的放大装置,其中所述物镜部分包括所述反射式偏振器、所述部分反射器和所述四分之一波延迟器。

[1018] 实施方案611是实施方案609的放大装置,其中所述目镜部分包括所述光学系统。

[1019] 实施方案612是实施方案607至611中的任一项的放大装置,其中所述光学系统进一步包括第一光学堆叠,所述第一光学堆叠包括第一透镜和所述部分反射器。

[1020] 实施方案613是实施方案607至612中的任一项的放大装置,其中所述光学系统进一步包括第二光学堆叠,所述第二光学堆叠包括第二透镜和所述反射式偏振器。

[1021] 实施方案614是实施方案607至611中的任一项的放大装置,其中所述光学系统进一步包括一体光学堆叠,所述一体光学堆叠包括第一光学透镜、所述反射式偏振器、所述部分反射器和所述四分之一波延迟器。

[1022] 实施方案615是实施方案614的放大装置,其中所述一体光学堆叠进一步包括邻近所述第一光学透镜的第二光学透镜、布置在所述第一光学透镜和所述第二光学透镜之间的所述四分之一波延迟器、布置在所述第一光学透镜的与所述第二光学透镜相对的主表面上的所述部分反射器以及布置在所述第二光学透镜的与所述第一光学透镜相对的主表面上的所述反射式偏振器。

[1023] 实施方案616是实施方案607至615中的任一项的放大装置,所述放大装置是双目镜、望远镜或者显微镜。

[1024] 实施方案617是实施方案607至616中的任一项的放大装置,其中所述反射式偏振器上的至少一个第一位置距所述反射式偏振器的光轴具有径向距离 $r_1$ ,并且距所述反射式偏振器的顶点处的垂直于所述光轴的平面具有位移 $s_1$ , $s_1/r_1$ 是至少0.1。



[1025] 实施方案618是实施方案617的放大装置,其中 $s1/r1$ 是至少0.2。

[1026] 实施方案619是实施方案607至618中的任一项的放大装置,其中所述反射式偏振器包括至少一层,所述至少一层在所述至少一层上的离开所述光轴的至少一个第一位置处是基本上光学双轴的,并且在离开所述光轴的至少一个第二位置处是基本上光学单轴的。

[1027] 实施方案620是实施方案607至619中的任一项的放大装置,其中所述反射式偏振器是热成形的APF。

[1028] 实施方案621是实施方案607至618中的任一项的放大装置,其中所述反射式偏振器是线栅偏振器。

[1029] 除非另外指明,否则所有用于说明书和权利要求中的表示数量、特性量度等的数应当理解为被术语“约”修饰。因此,除非有相反的指示,否则说明书和权利要求中所述的数值参数是近似值,其可根据使用本申请教导内容的本领域技术人员旨在达到的期望特性而变化。丝毫没有将等同原则的应用限制于权利要求书保护范围的意思,每一个数值参数至少应当根据所记录的有效数字位数并采用寻常的四舍五入法进行解释。虽然在本发明的广泛范围内所示的数字范围和参数为近似值,但就在本文所描述的具体示例中所示的数值而言,它们会尽可能准确地报告。然而,任何数值很可能包括与测试或测量限制相关联的误差。

[1030] 用于图中的元件的描述应当理解为同样适用于其他图中的相应元件,除非另外指明或者除非上下文明确相反指明。虽然本文已经图示和描述了特定实施方案,但是本领域技术人员应当理解各种替代和/或等价实施方式可以在不背离本公开的范围的情况下替代示出和描述的特定实施方案。本申请旨在涵盖对本文所讨论的特定实施方案的任何改变或变化。因此,本公开旨在仅由权利要求及其等价方案所限制。

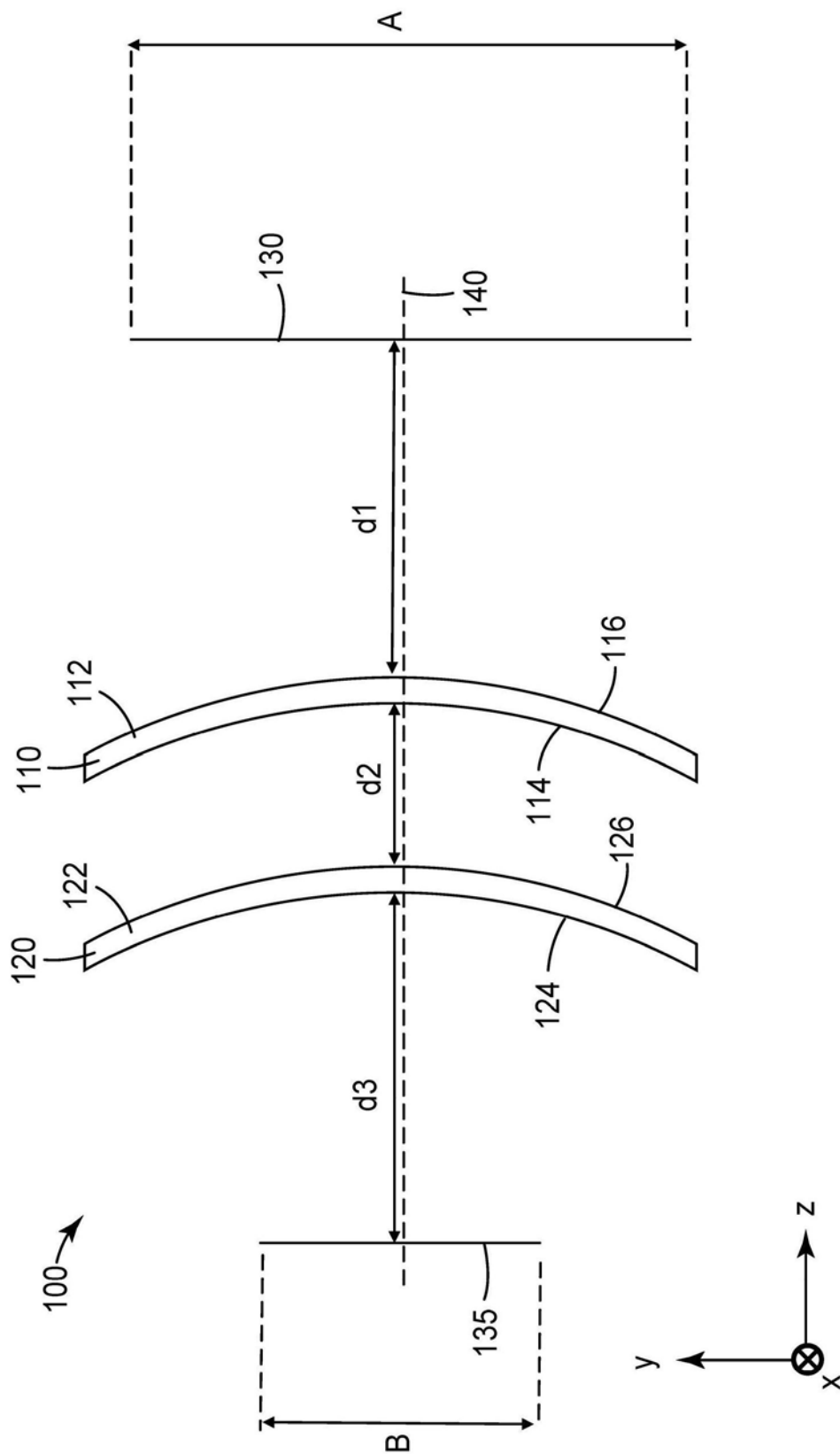


图1

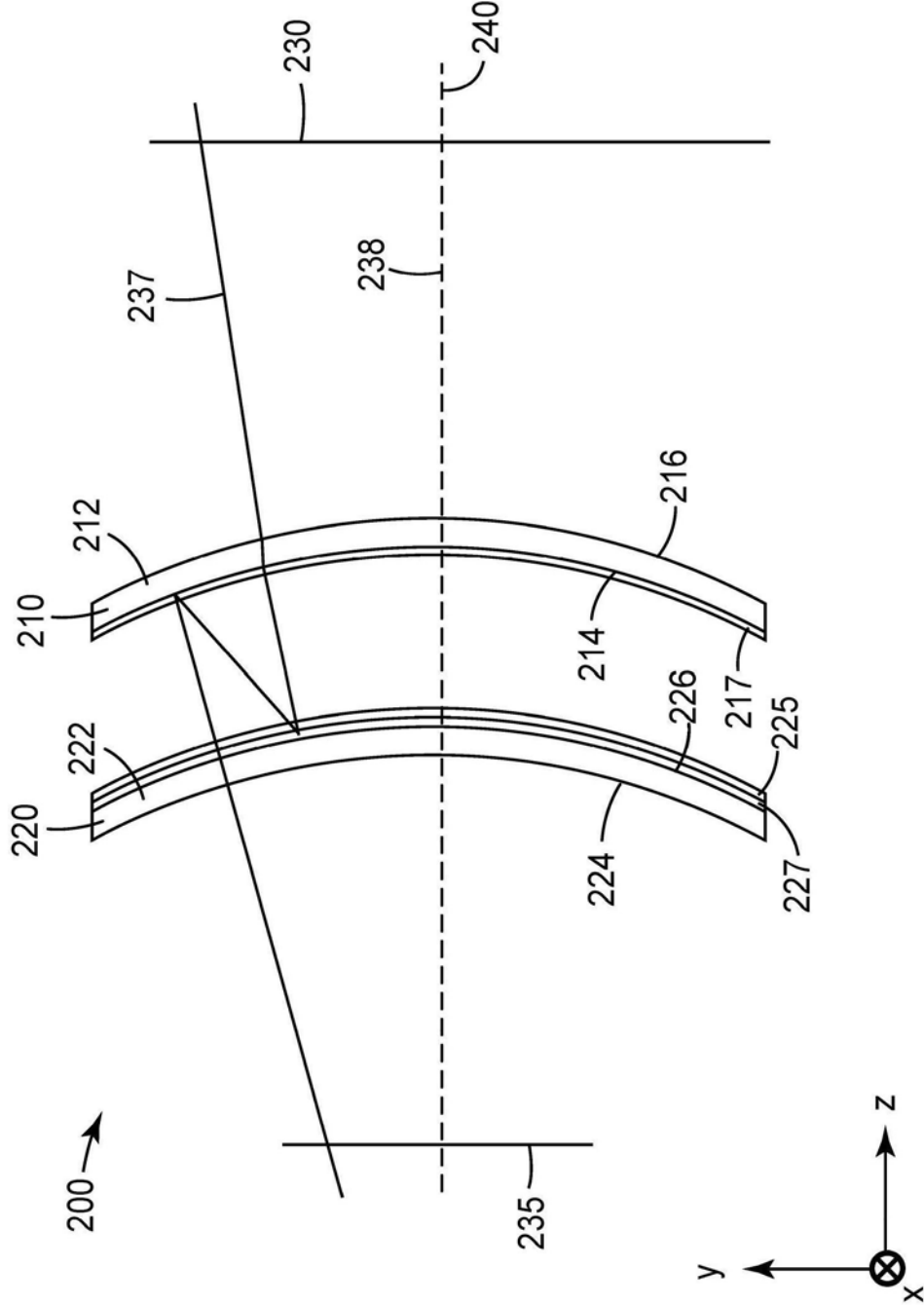


图2

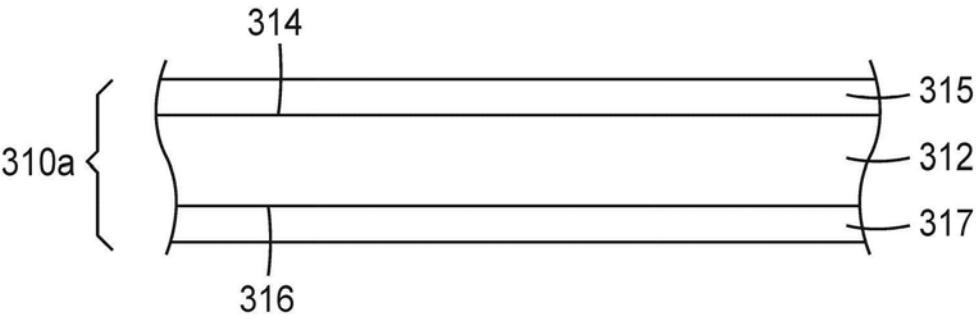


图3A

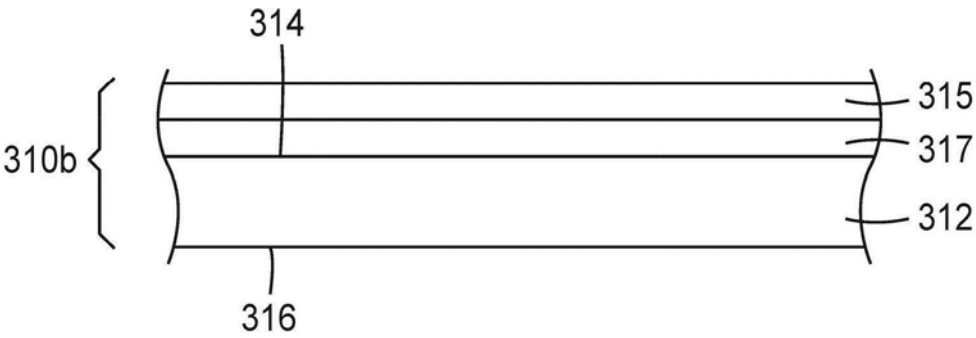


图3B

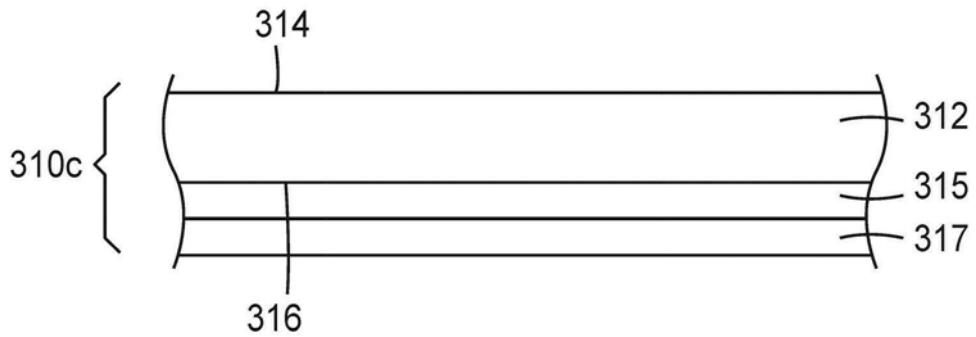


图3C

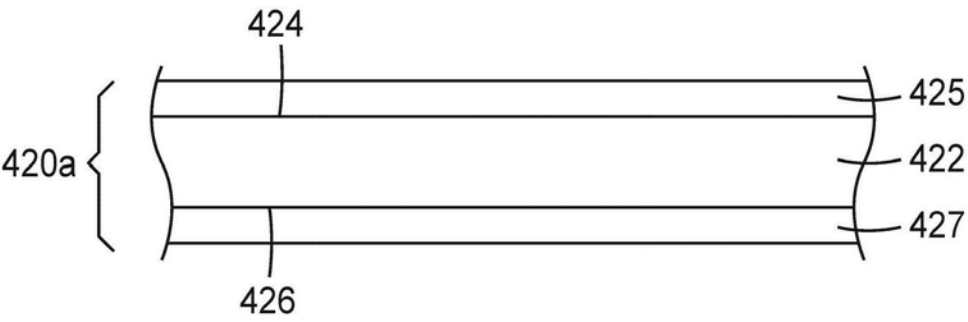


图4A

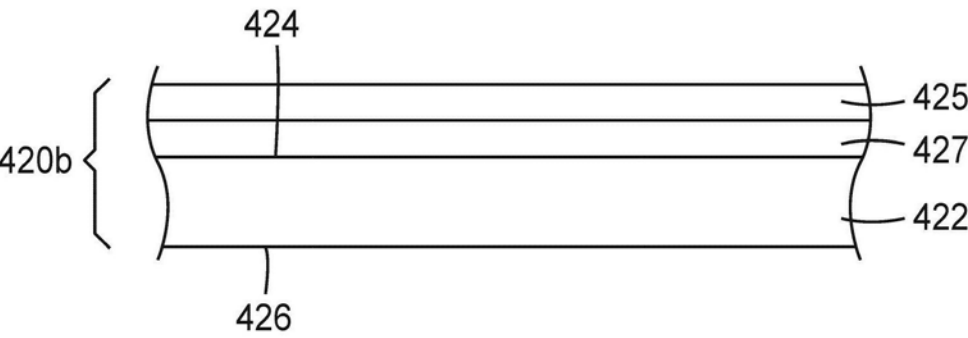


图4B

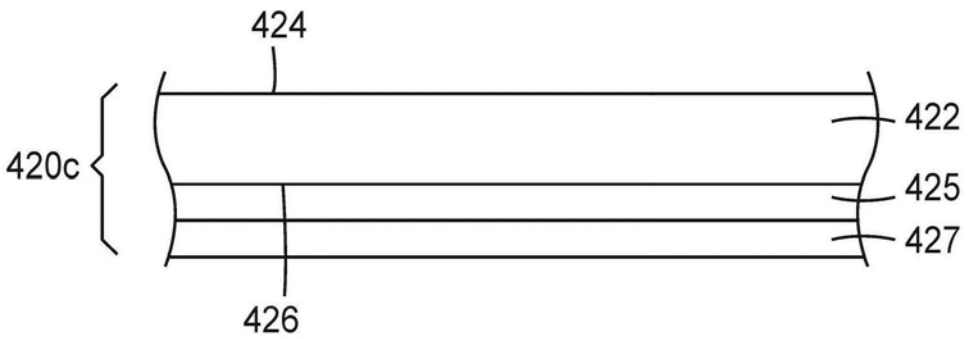


图4C

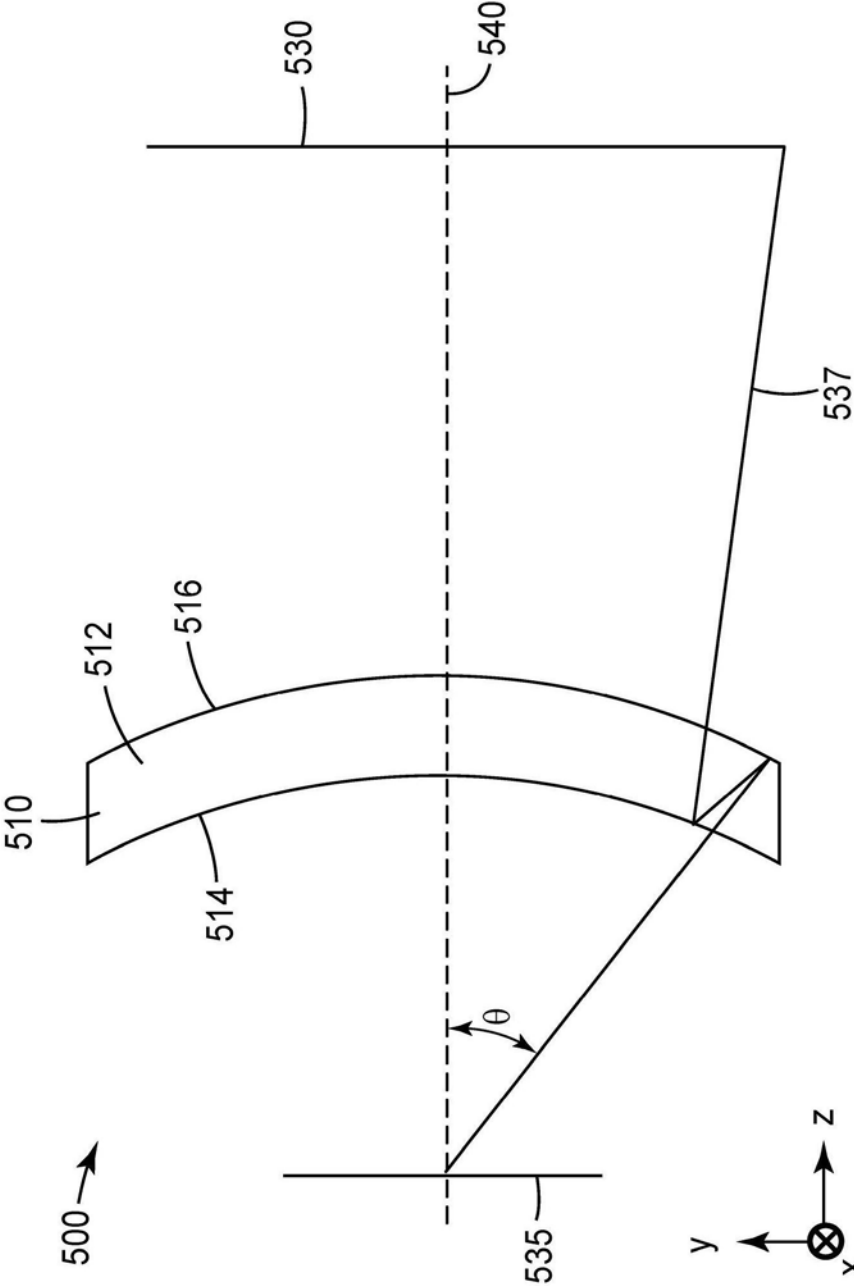


图5

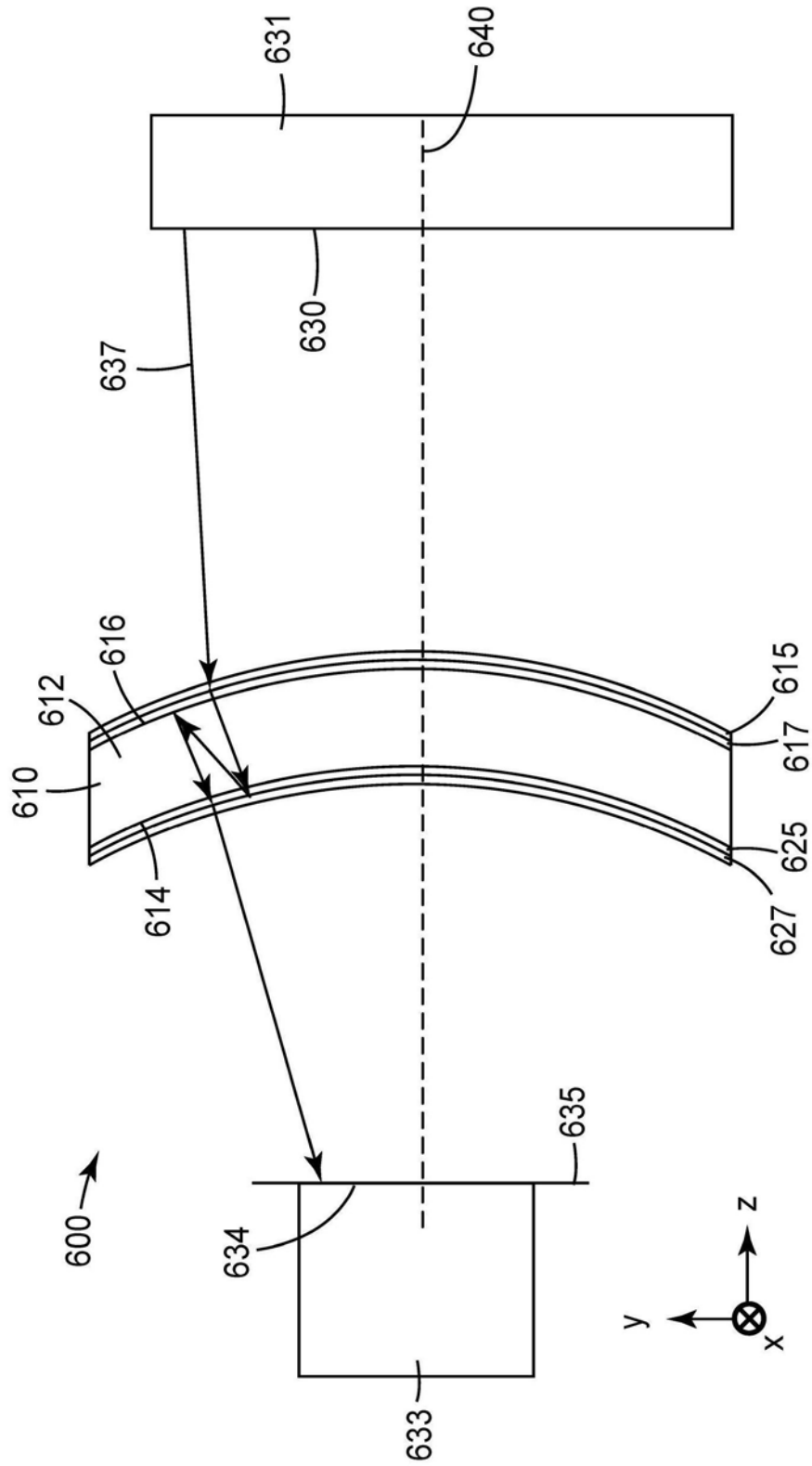


图6

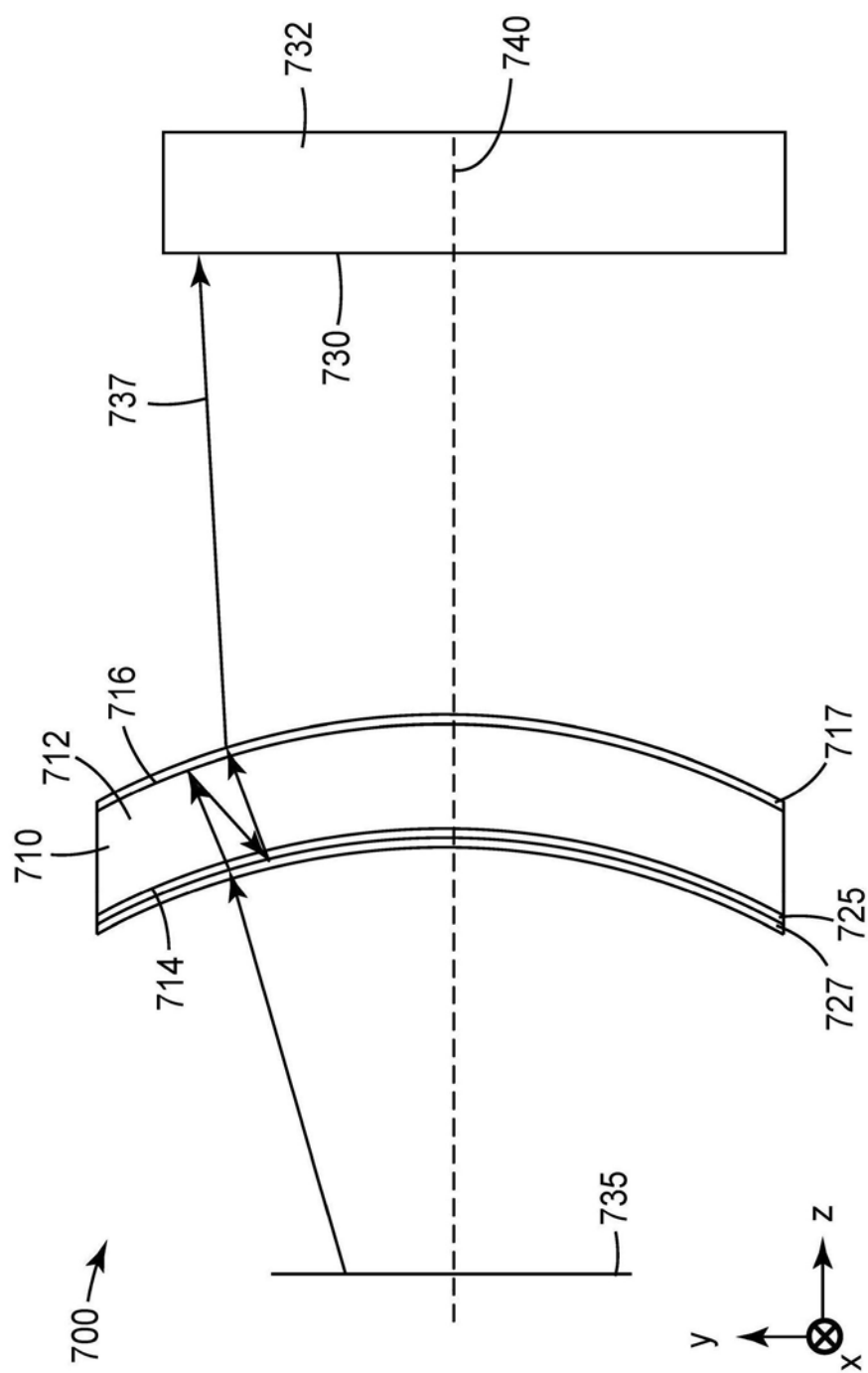


图7



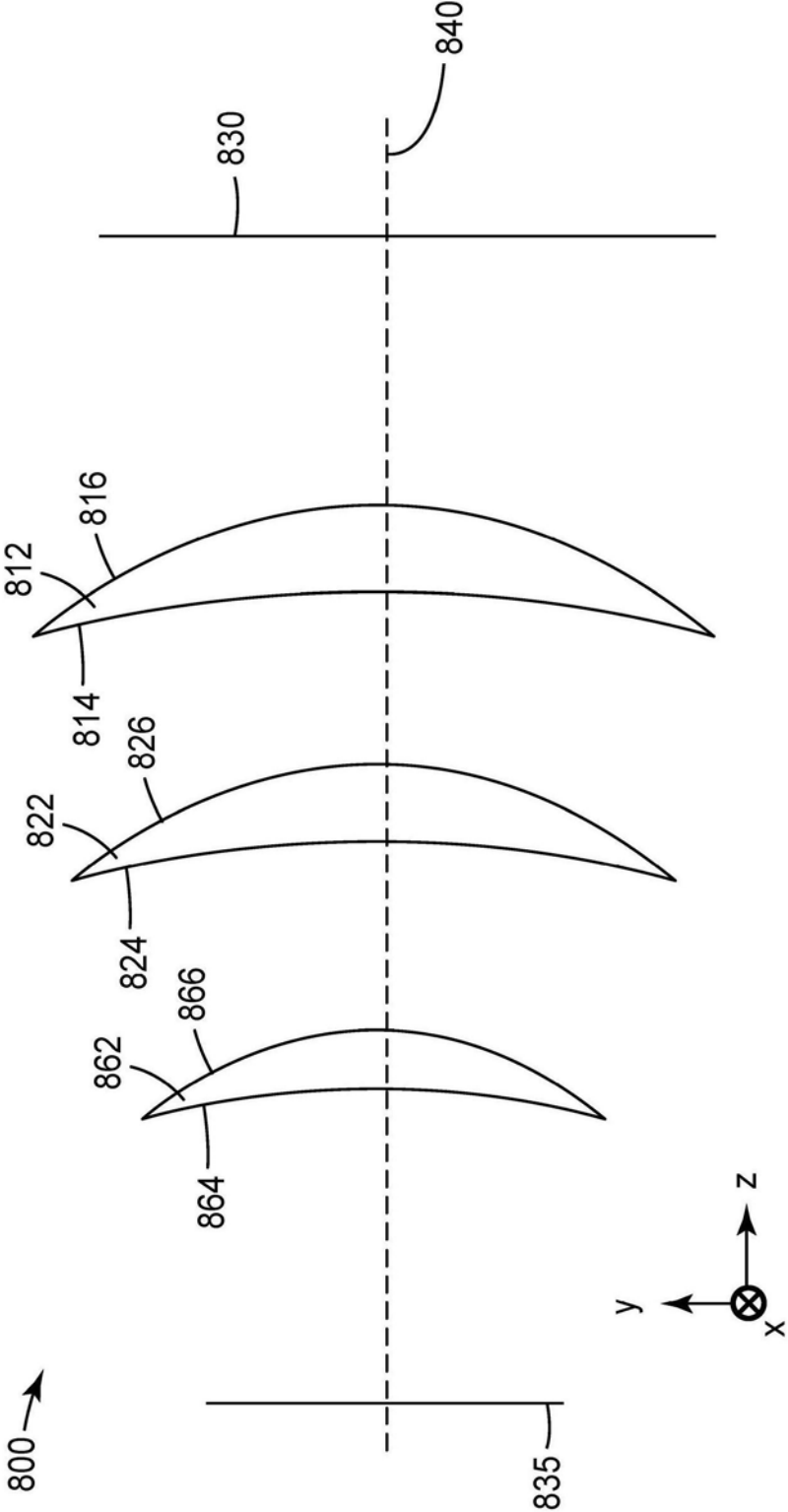


图8

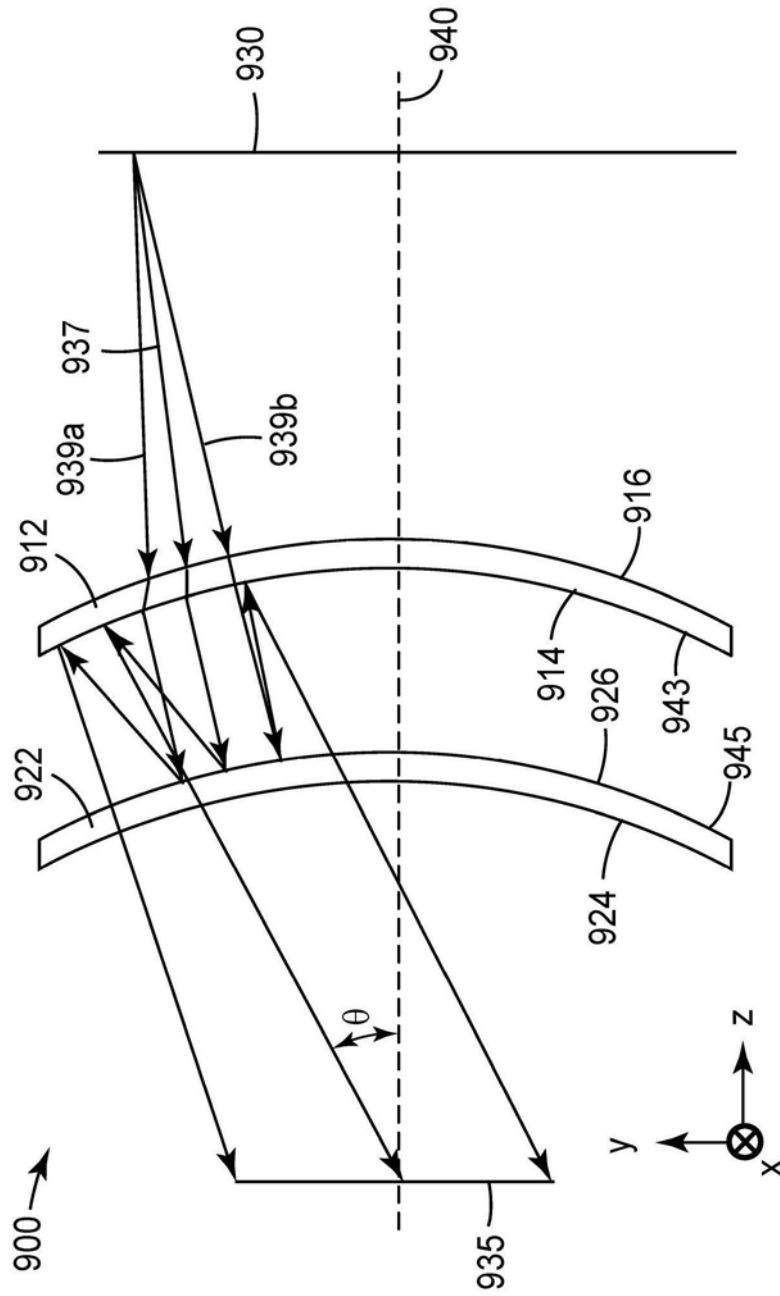


图9

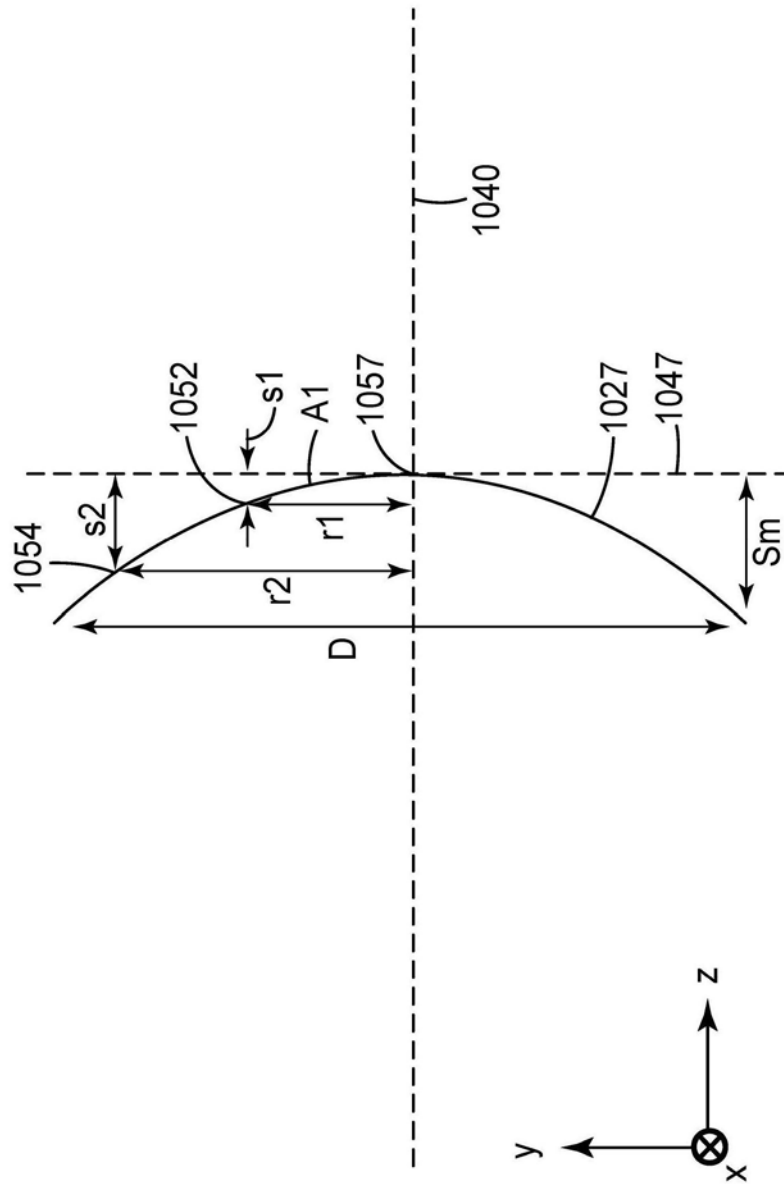


图10

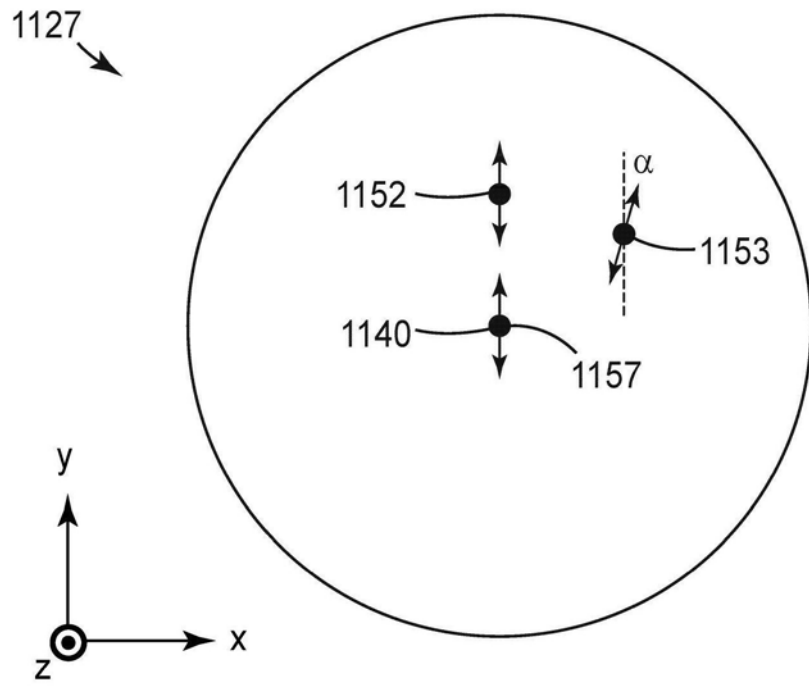


图11

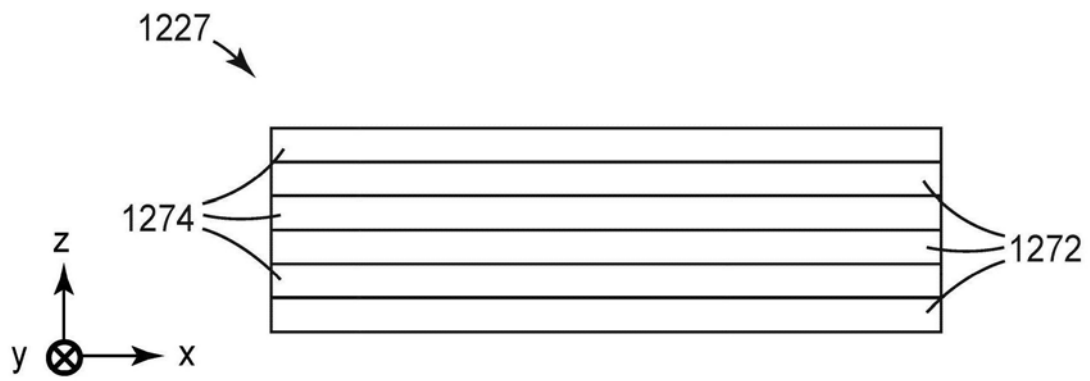


图12

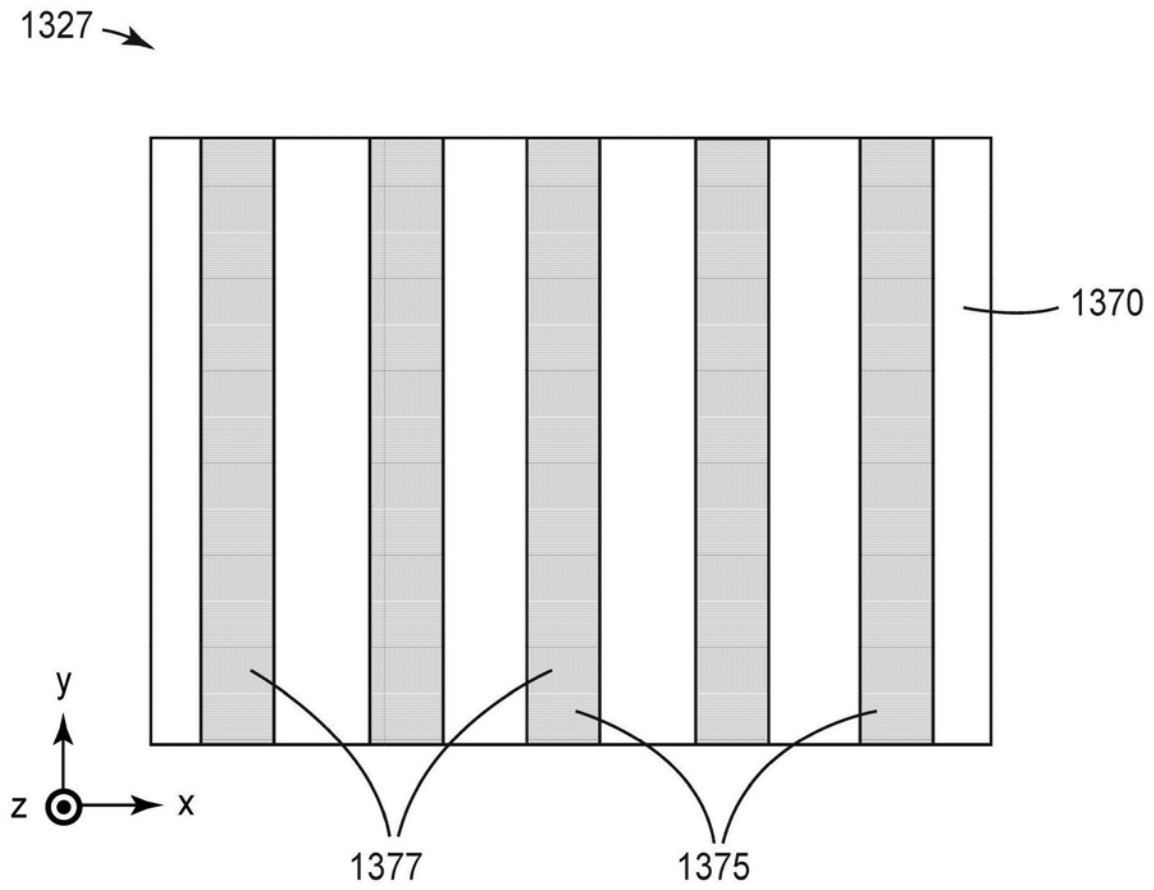


图13A

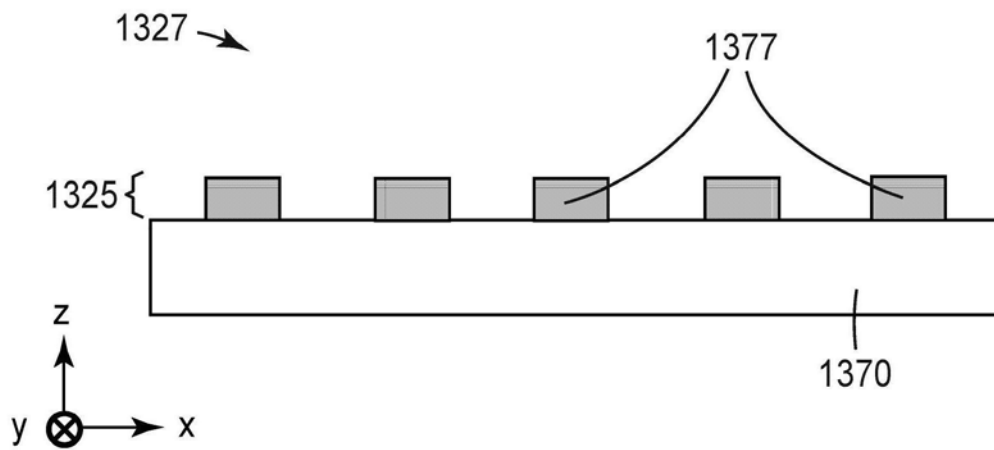


图13B

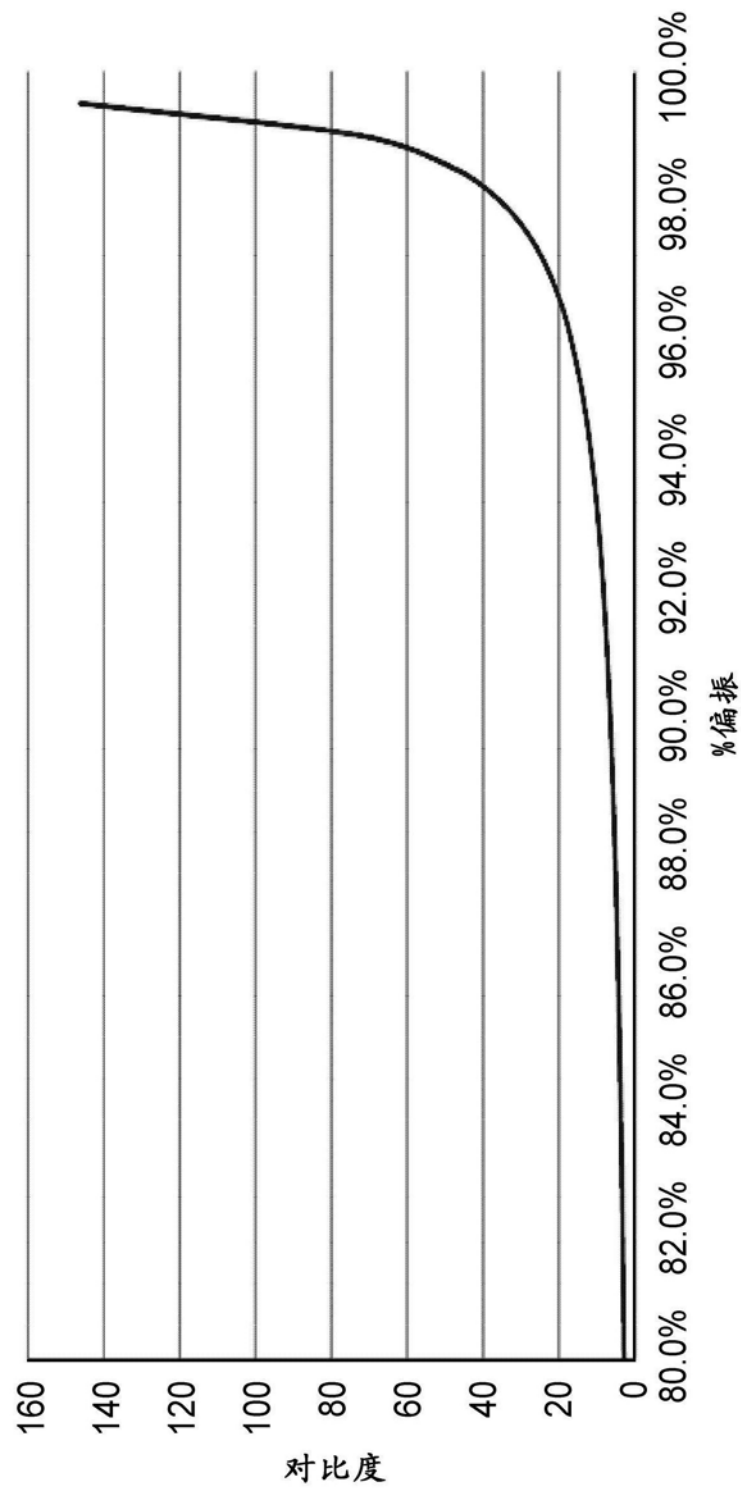


图14

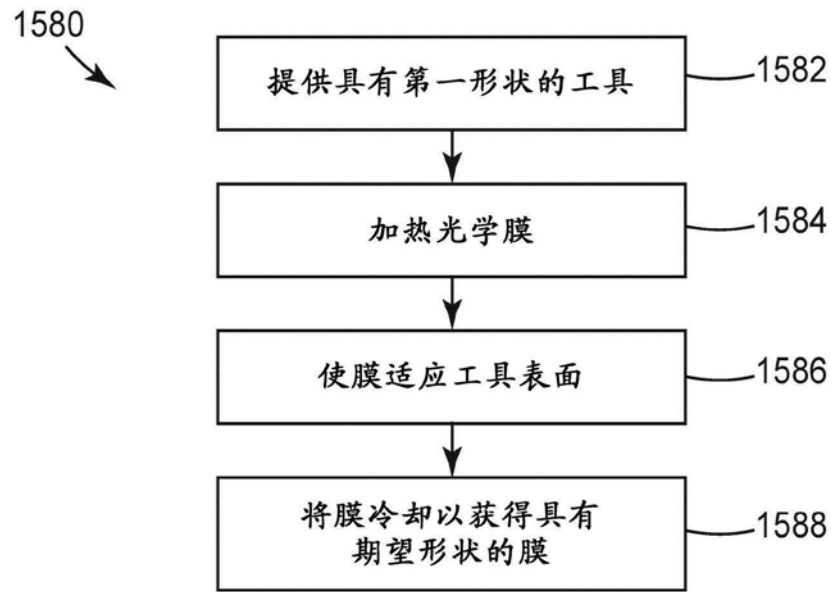


图15

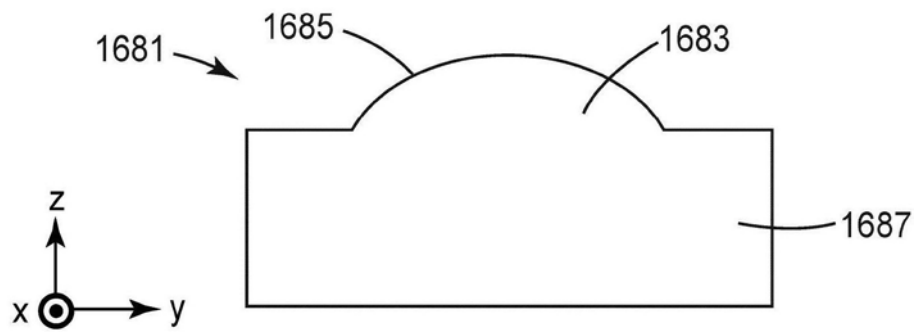


图16

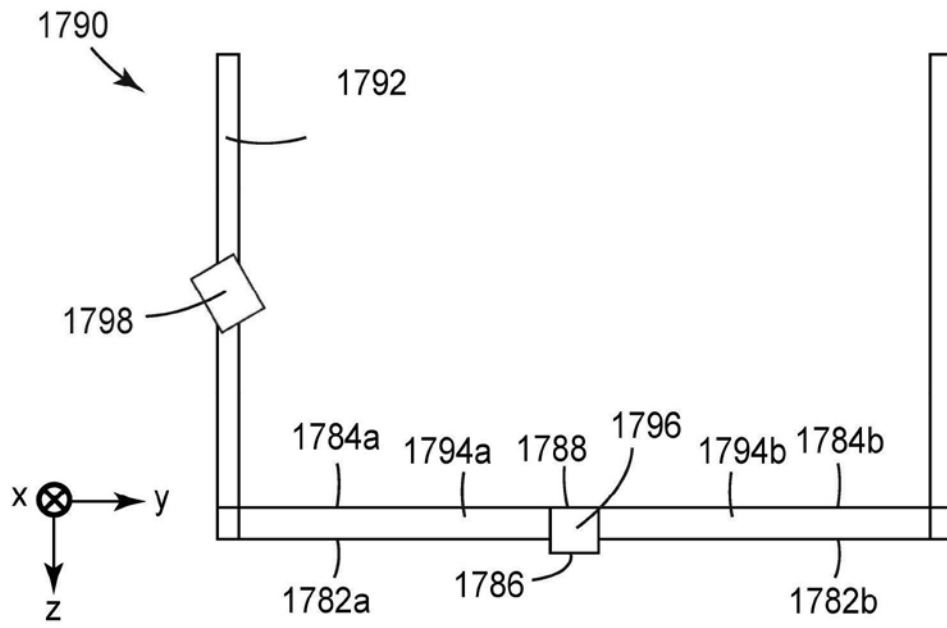


图17



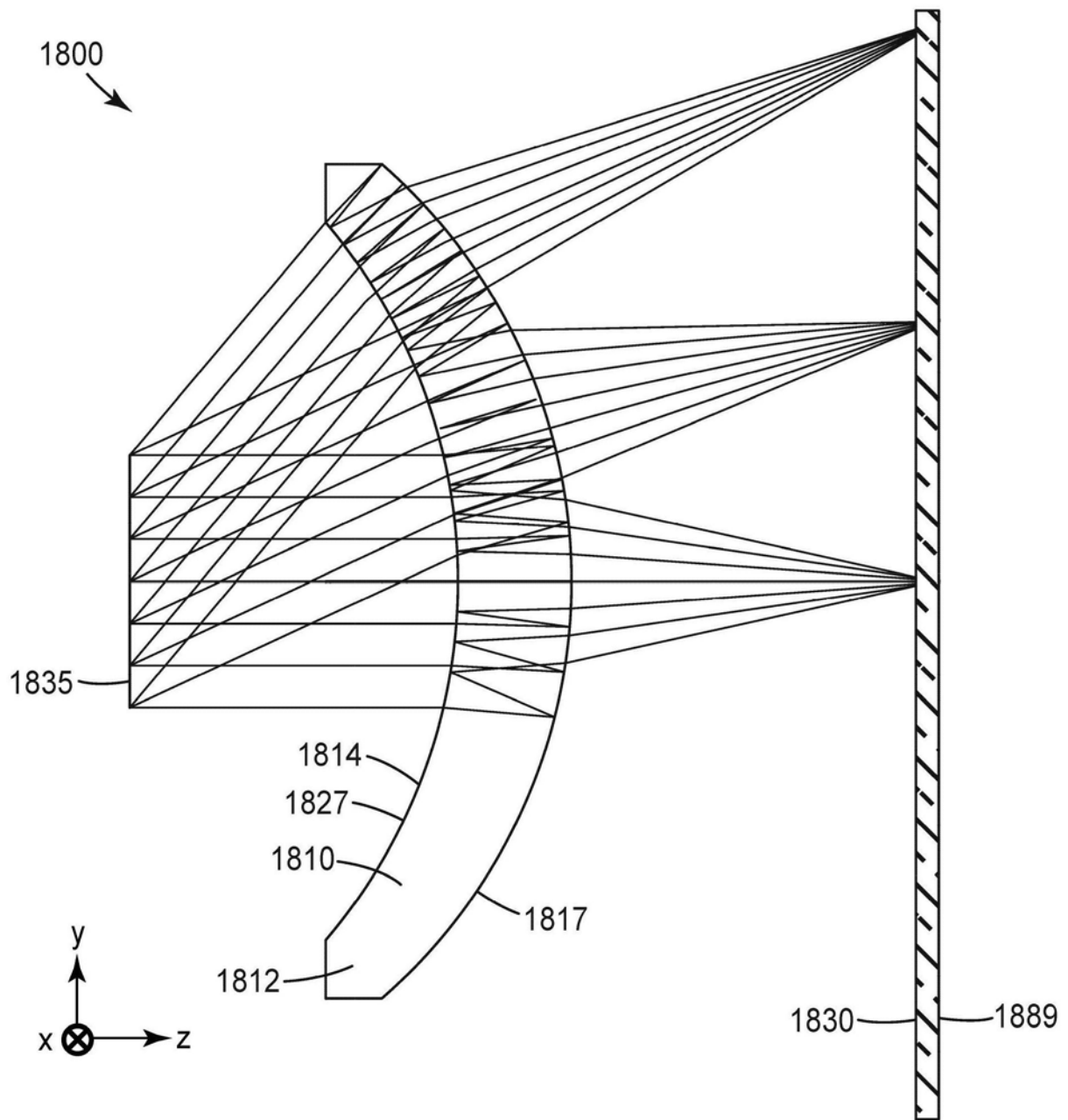


图18

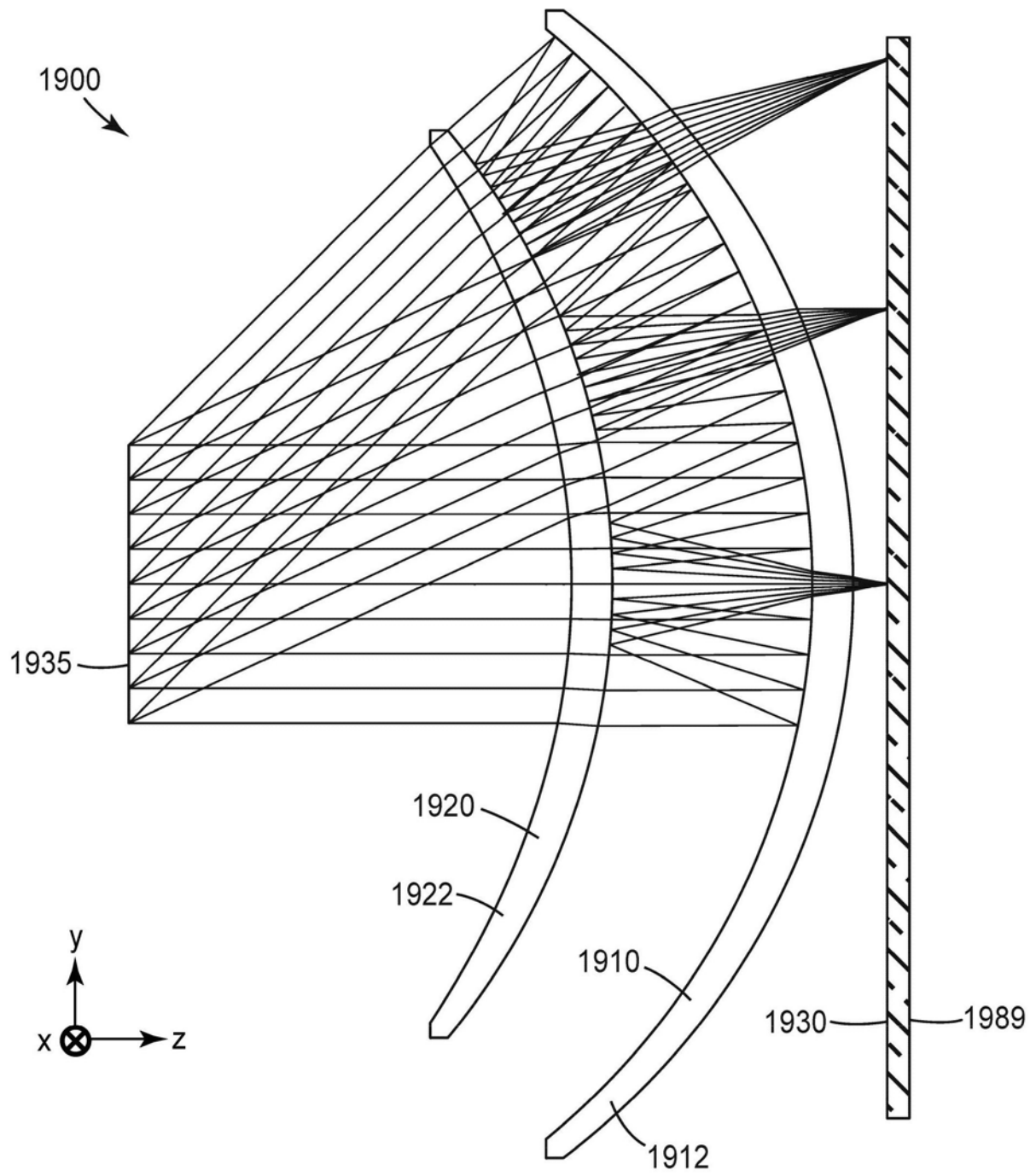


图19

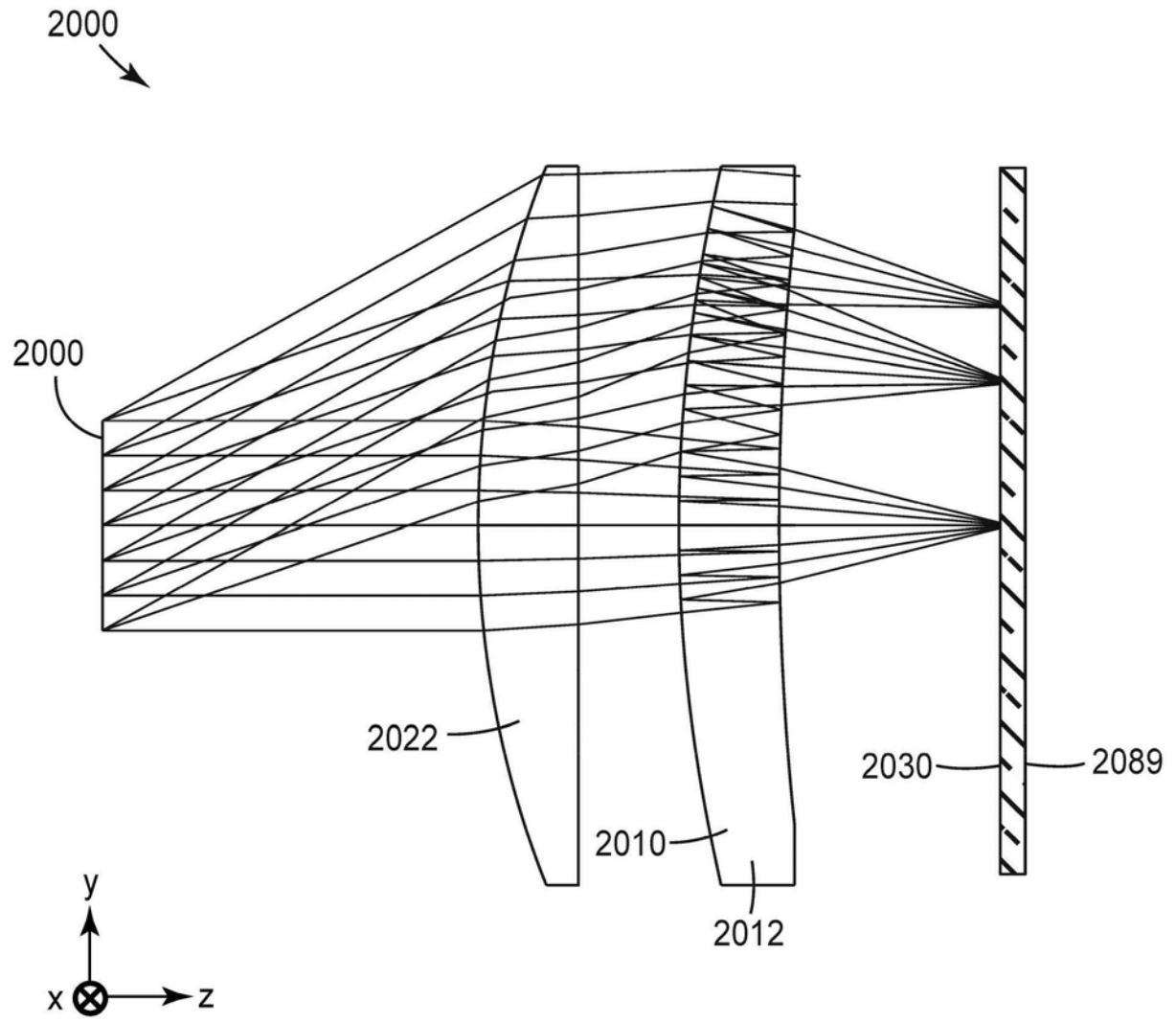


图20

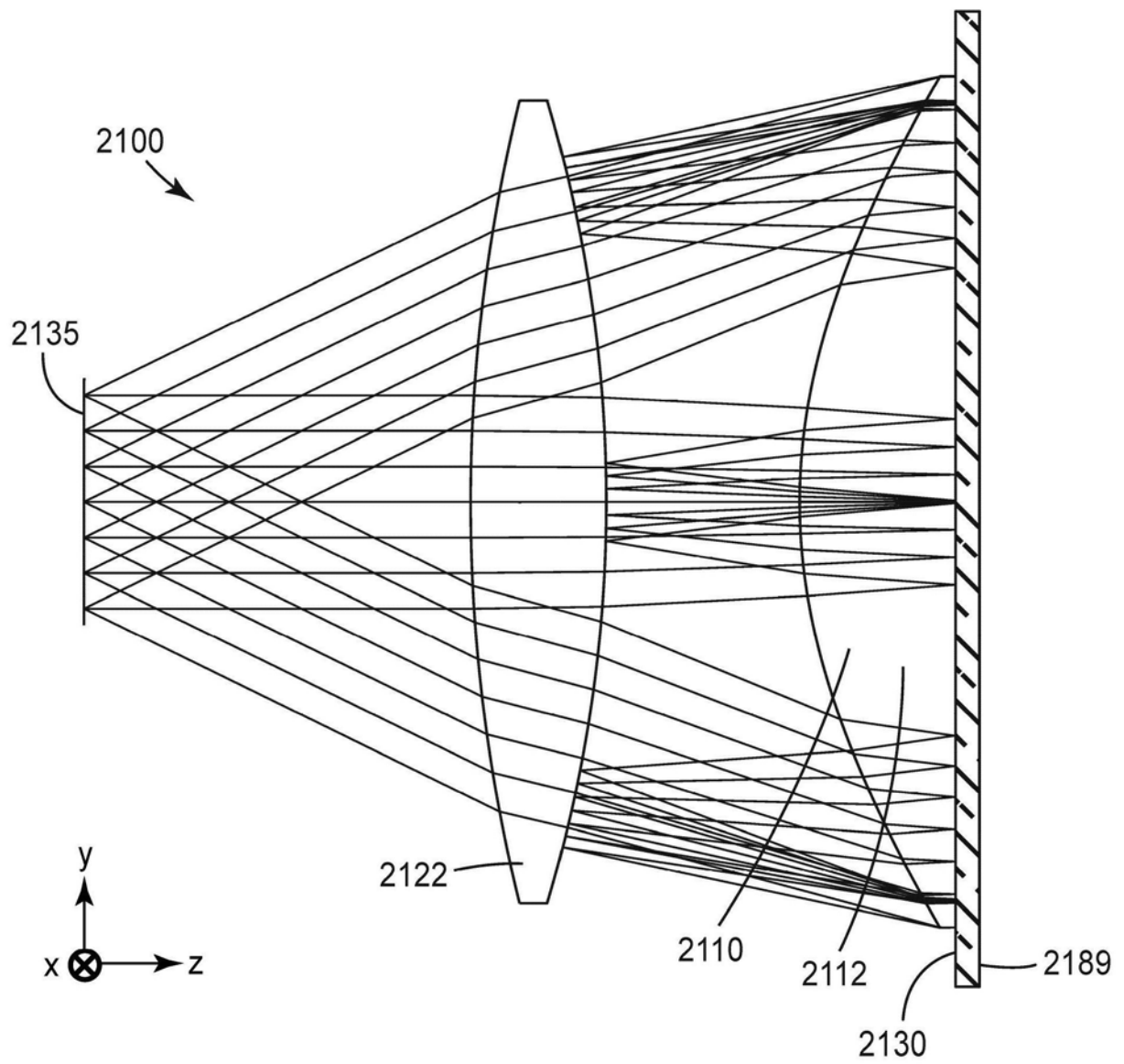


图21

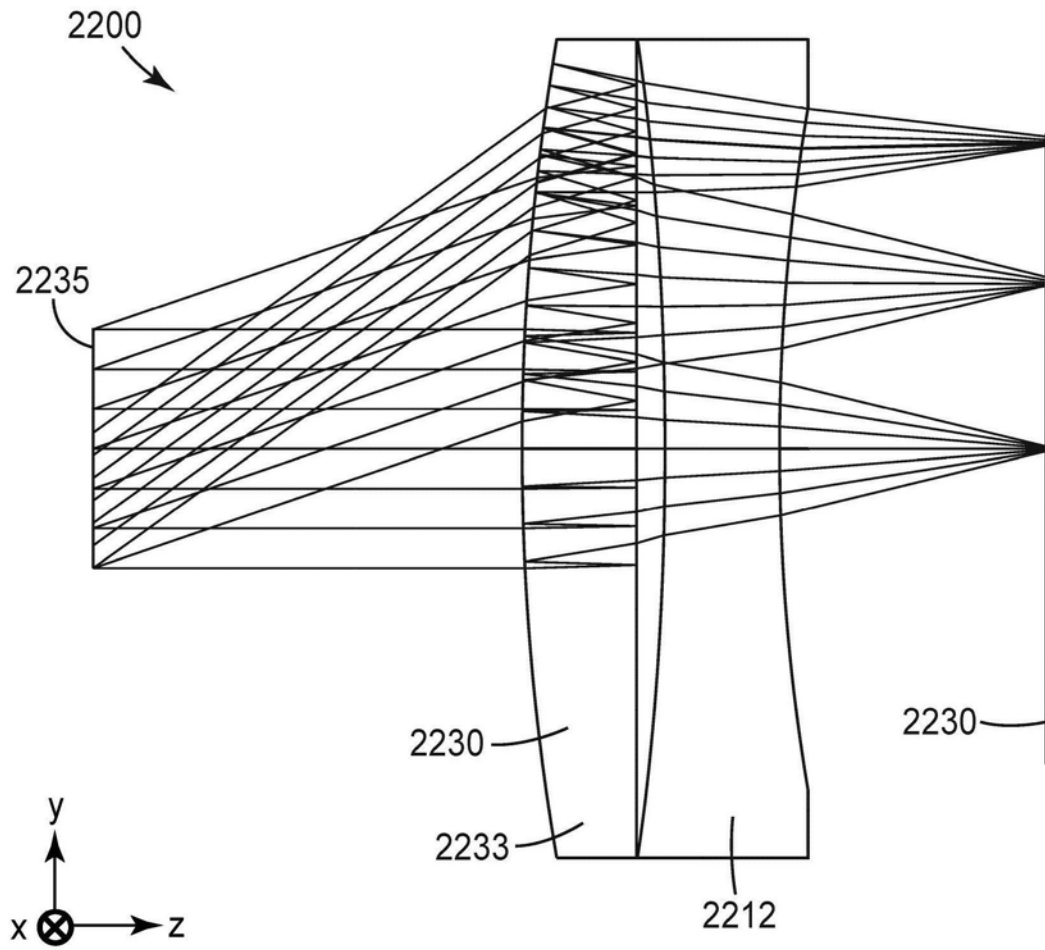


图22

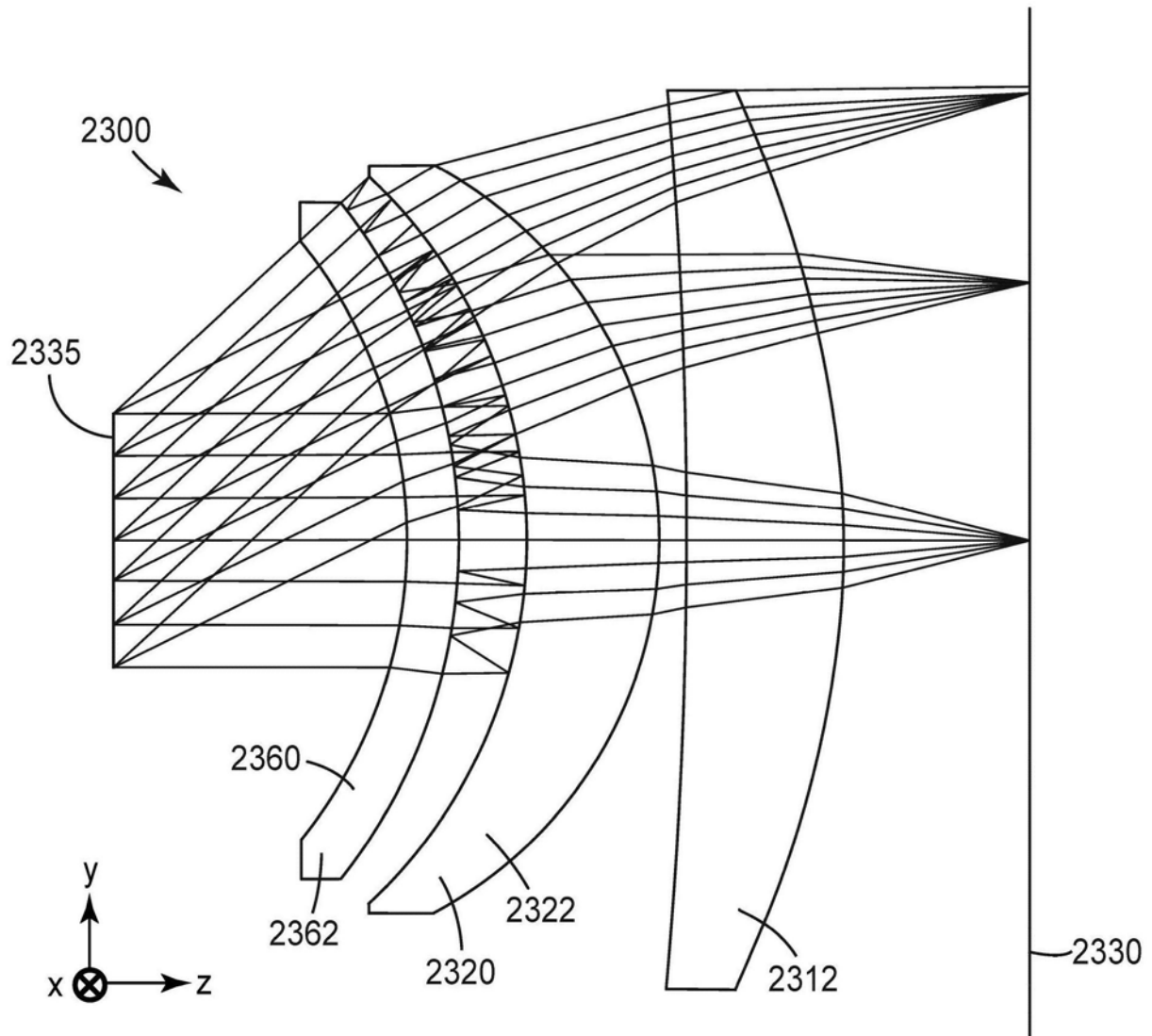


图23

2490

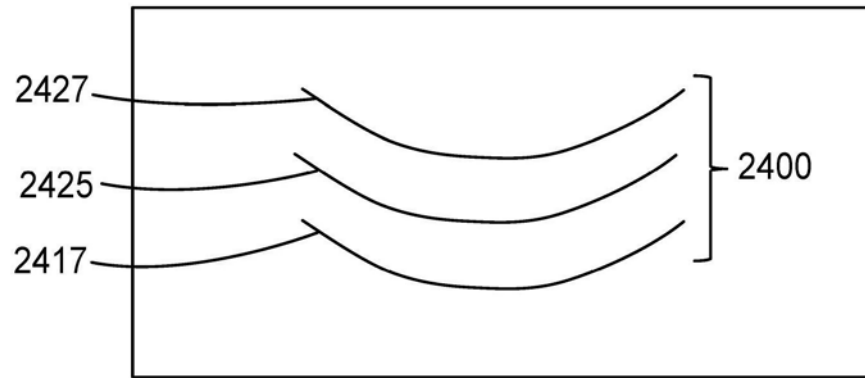


图24A

2490b

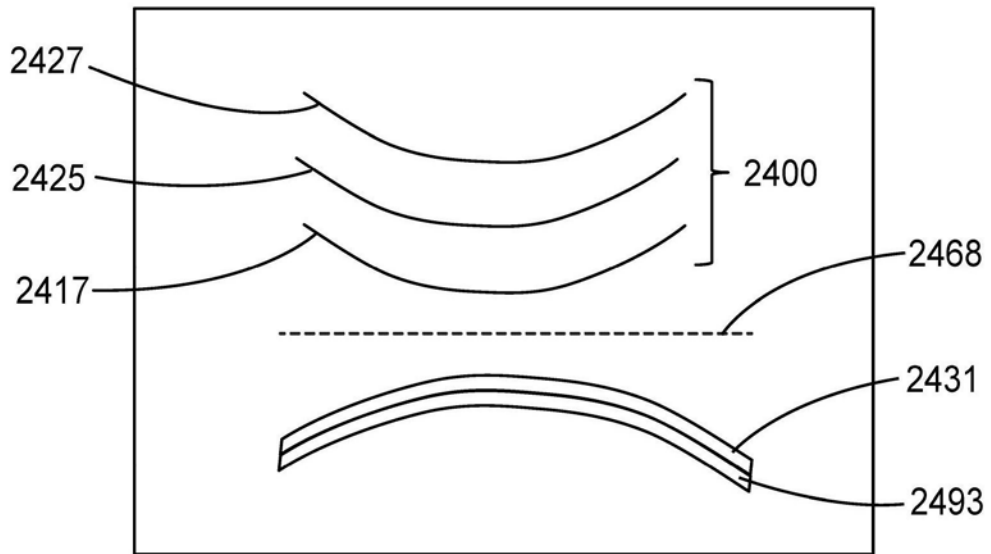


图24B

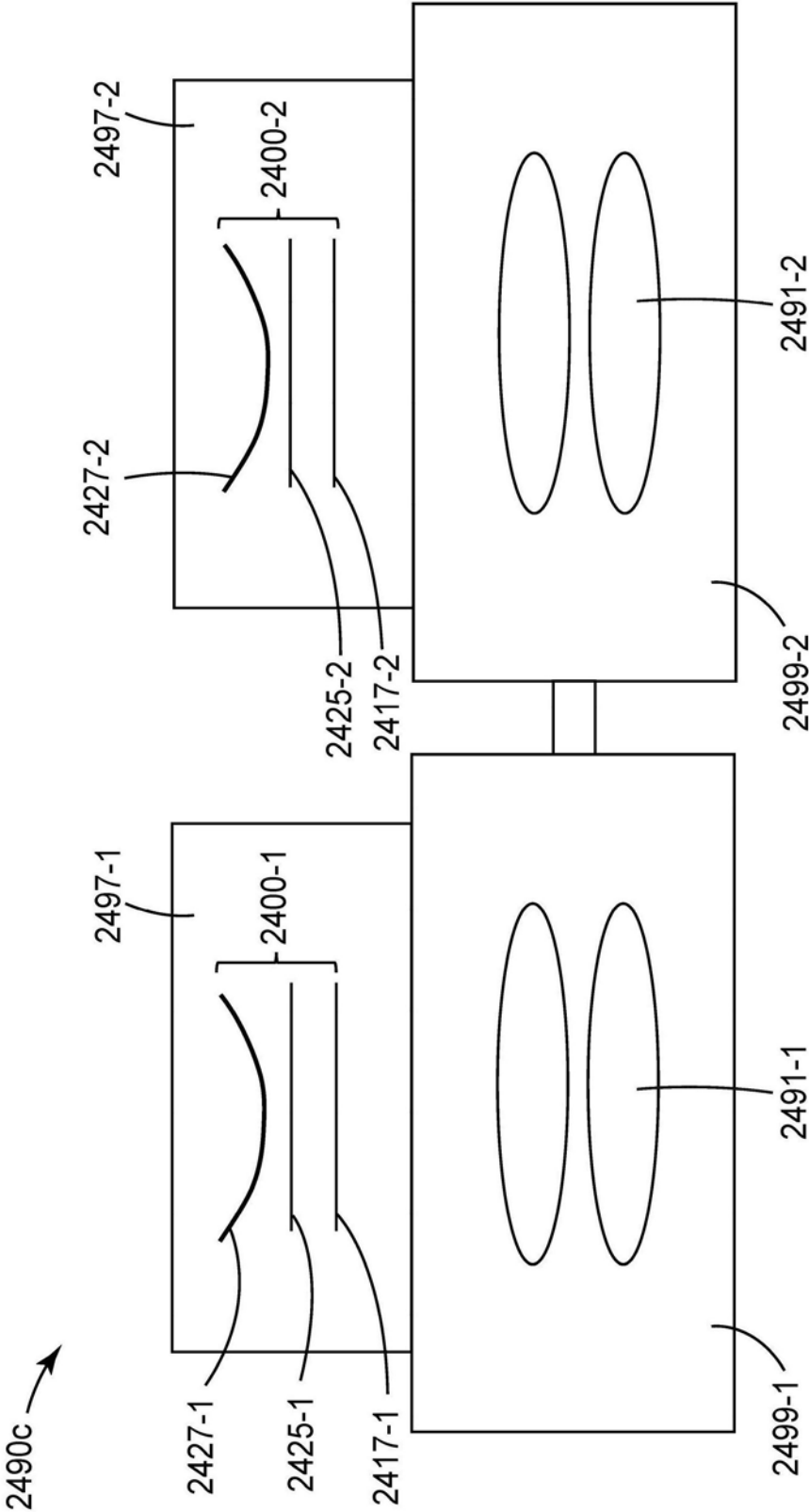


图24C



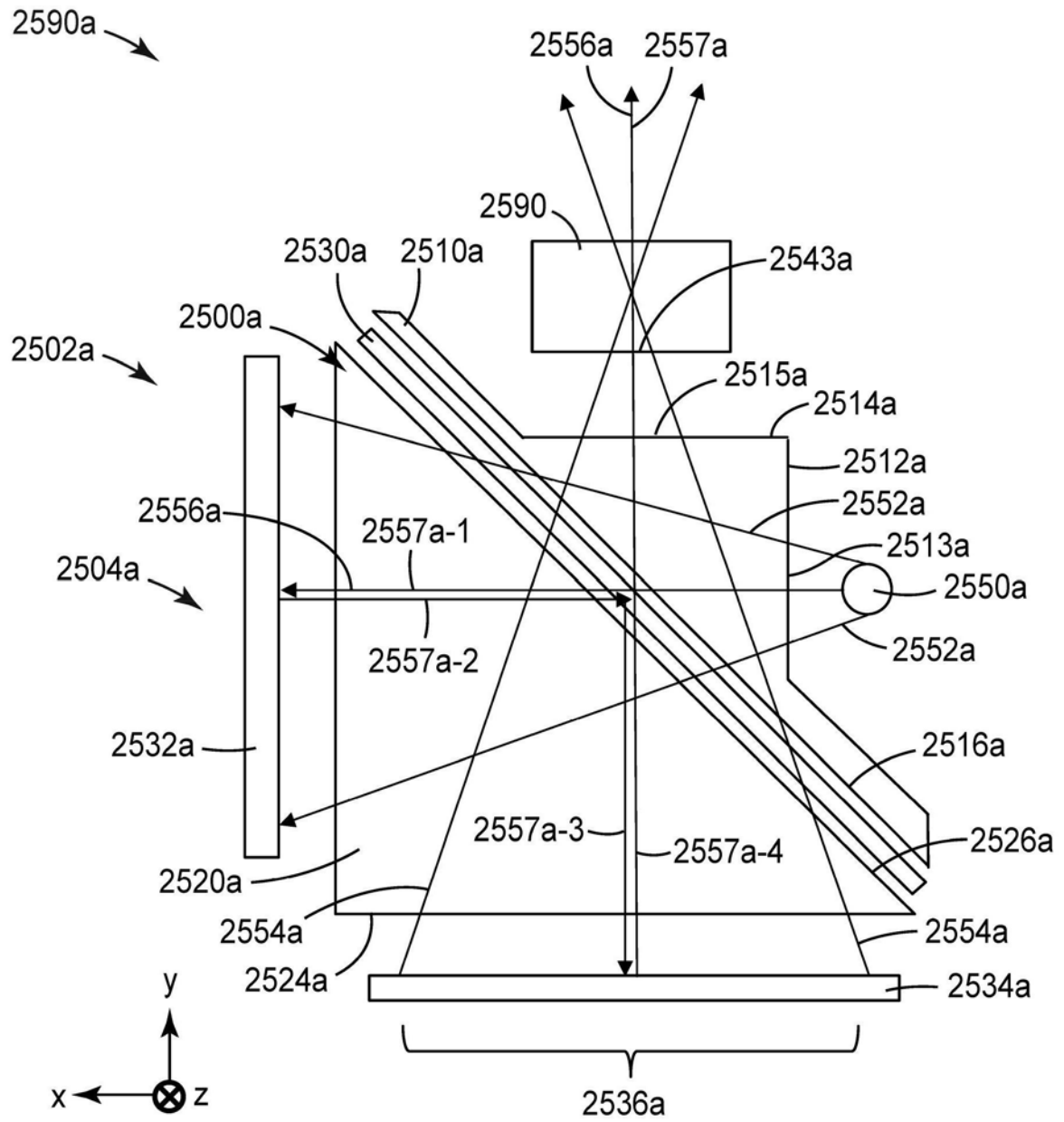


图25

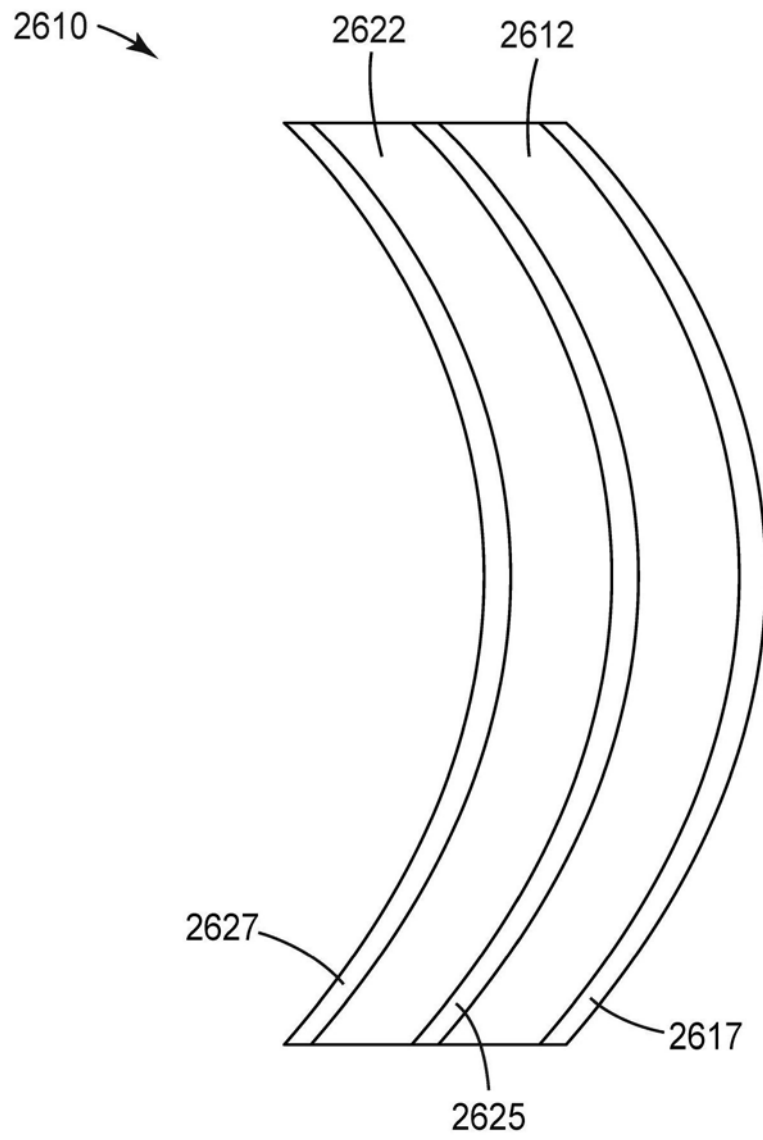


图26

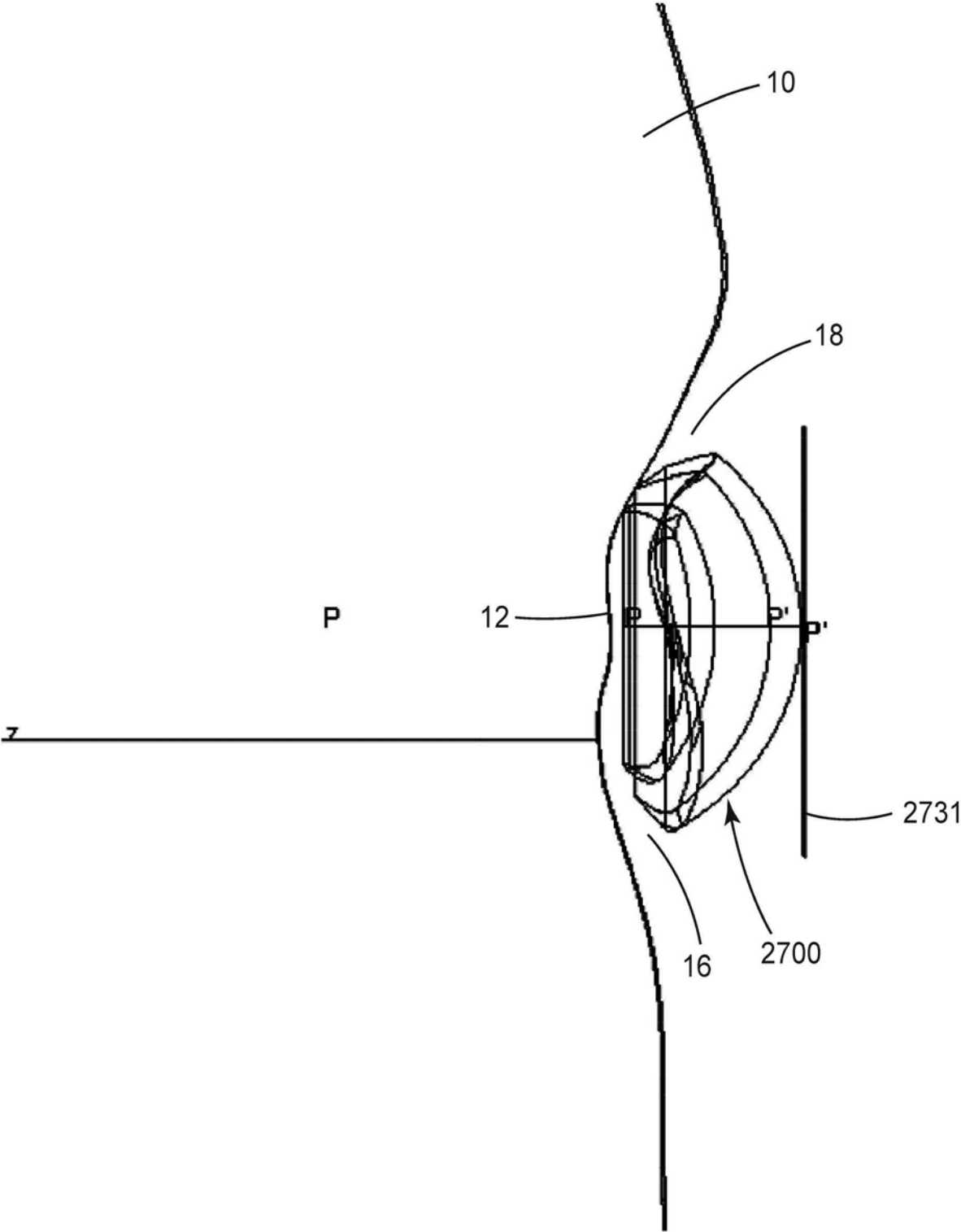


图27A

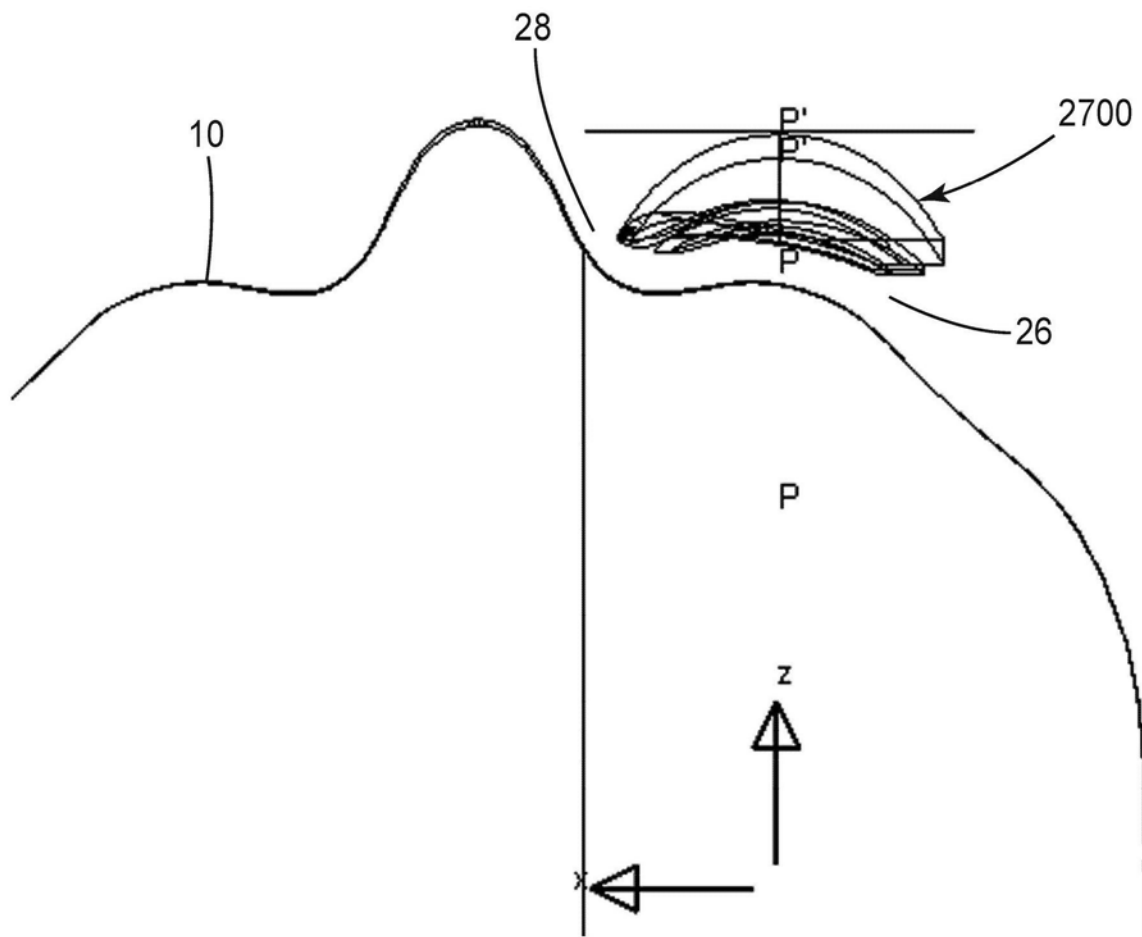


图27B

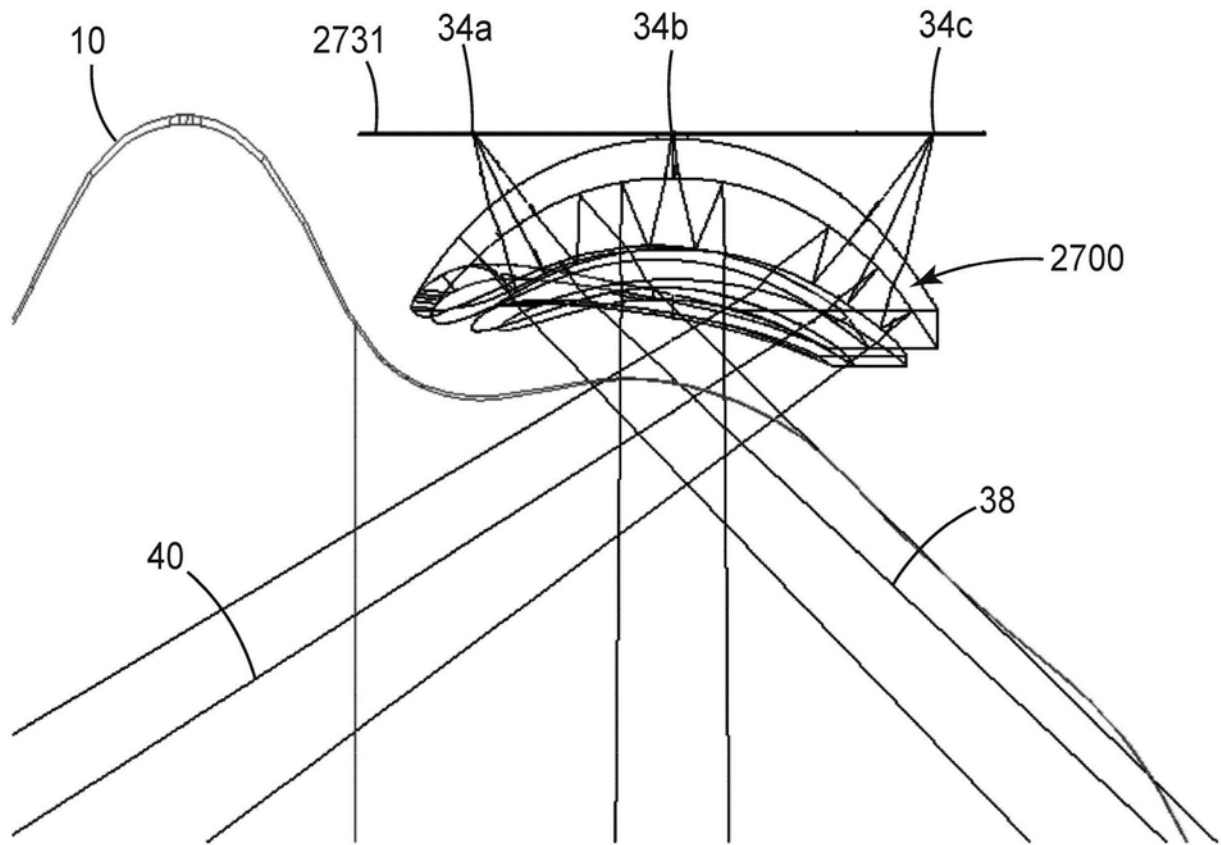


图27C

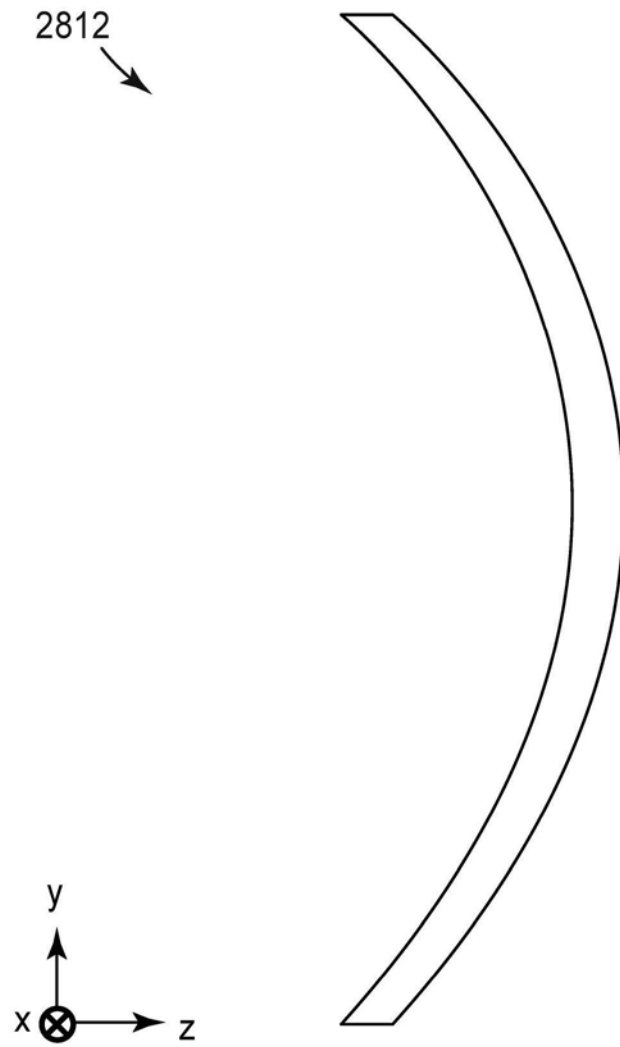


图28A

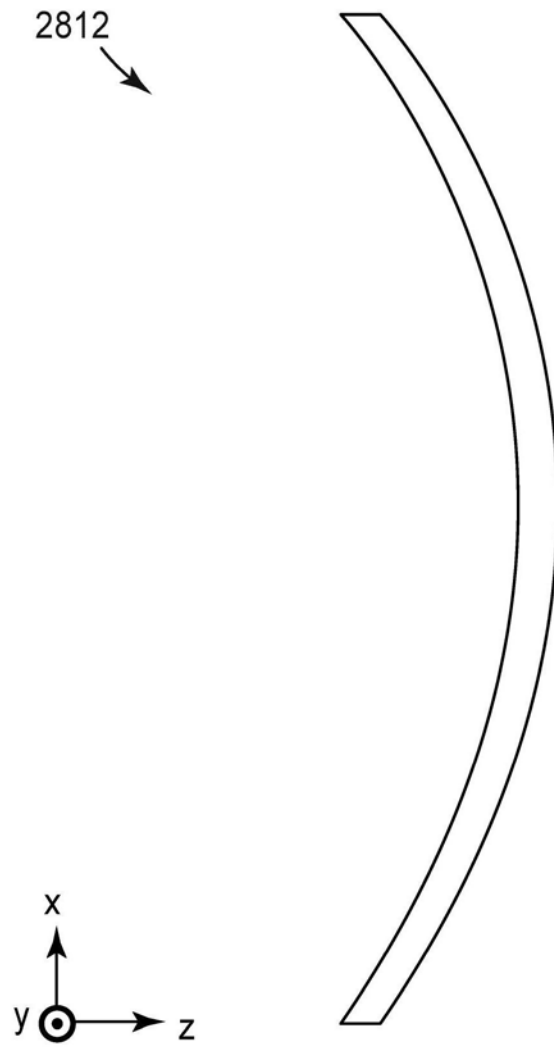


图28B