



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111279248 B

(45) 授权公告日 2022.07.19

(21) 申请号 201880070190.0

(22) 申请日 2018.10.23

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 111279248 A

(43) 申请公布日 2020.06.12

(30) 优先权数据  
62/578,057 2017.10.27 US(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2020.04.27(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/IB2018/058260 2018.10.23(87) PCT国际申请的公布数据  
W02019/082080 EN 2019.05.02(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 蒂莫西·L·翁

(74) 专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理  
有限公司 11112  
专利代理师 顾红霞 李赛

(51) Int.Cl.

G02B 27/00 (2006.01)

G02B 5/30 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 106501881 A, 2017.03.15

CN 1664695 A, 2005.09.07

CN 1732404 A, 2006.02.08

CN 103890639 A, 2014.06.25

CN 102346363 A, 2012.02.08

CN 106501933 A, 2017.03.15

US 2006017891 A1, 2006.01.26

US 2011032487 A1, 2011.02.10

WO 2007097595 A1, 2007.08.30

CN 102317819 A, 2012.01.11

US 8210678 B1, 2012.07.03

US 2013093992 A1, 2013.04.18

CN 106501955 A, 2017.03.15

JP 2006343413 A, 2006.12.21

CN 106054361 A, 2016.10.26

US 5515185 A, 1996.05.07 (续)

审查员 张仕杰

权利要求书3页 说明书16页 附图12页

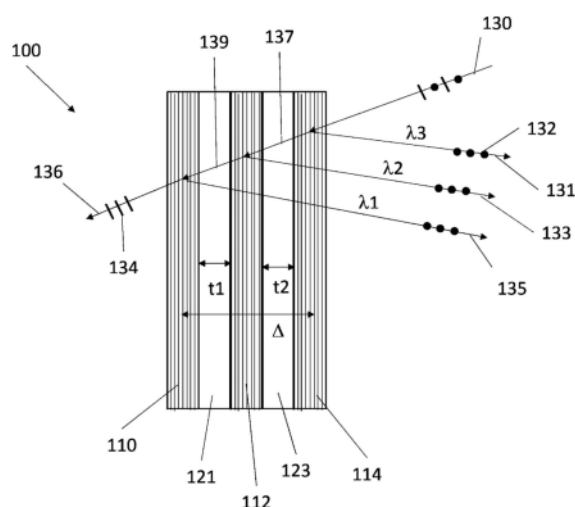
(54) 发明名称

光学系统

(57) 摘要

本发明描述了包括反射偏振器的光学系统。反射偏振器包括第一反射区和第二反射区,使得对于基本上法向入射在反射偏振器上的光,第一区基本上反射在第一波长范围内的光并且基本上透射在不同的非重叠的第二波长范围内的光、并且第二区基本上反射在第二波长范围内的光并且基本上透射在第一波长范围内的光。第一反射区和第二反射区具有第一厚度和第二厚度,该第一厚度和第二厚度具有相应第一中点和第二中点,该第一中点和第二中点隔开距离d。在一些实施方案中,在减小d使得第一反射区和第二反射区紧邻时引起的光学成像系统的第一波长

范围与第二波长范围的纵向色差为距离h,其中  $0.3h < d < 0.7h$ 。



[转续页]

[接上页]

**(56) 对比文件**

EP 1804094 A1, 2007.07.04

US 2014016051 A1, 2014.01.16

EP 1544666 A1, 2005.06.22

谭默言. Mg/SiC反射式宽带多层膜偏振片设计  
及分析.《上海应用技术学院学报》.2016,第16

卷(第3期),第294-298页.

Marques-hueso J 等. Properties of  
silicon integrated photonic lenses:  
bandwidth, chromatic aberration and  
polarization dependence.《Optical  
Engineering》.2013,第52卷(第9期),第9651-  
9658页.

1. 一种用于向观察者显示图像的光学系统,所述光学系统包括:

第一光学透镜,所述第一光学透镜包括弯曲的第一主表面;

部分反射器,所述部分反射器设置在所述第一光学透镜的所述弯曲的第一主表面上并与所述弯曲的第一主表面适形,并且对于第一颜色光、第二颜色光和第三颜色光中的每一者具有至少30%的平均光学反射率;

第二光学透镜,所述第二光学透镜包括弯曲的第一主表面;

一体式反射偏振器,所述一体式反射偏振器设置在所述第二光学透镜的所述弯曲的第一主表面上并与所述弯曲的第一主表面适形,所述光学系统具有在所述一体式反射偏振器以指定方式改变时以指定方式改变的色差,所述一体式反射偏振器包括:

顺序布置的多个第一干涉层,所述多个第一干涉层被构造成反射具有第一偏振态的所述第一颜色光、透射具有正交的第二偏振态的所述第一颜色光、并且透射对应于所述第一偏振态和所述第二偏振态中的每一者的所述第二颜色光和所述第三颜色光;

顺序布置的多个第二干涉层,所述多个第二干涉层通过具有第一总厚度的一个或多个第一非干涉层与所述多个第一干涉层分隔开,所述多个第二干涉层被构造成反射具有所述第一偏振态的所述第二颜色光、透射具有所述第二偏振态的所述第二颜色光、并且透射对应于所述第一偏振态和所述第二偏振态中的每一者的所述第一颜色光和所述第三颜色光;以及

顺序布置的多个第三干涉层,所述多个第三干涉层通过具有第二总厚度的一个或多个第二非干涉层与所述多个第二干涉层分隔开,所述多个第三干涉层被构造成反射具有所述第一偏振态的所述第三颜色光、透射具有所述第二偏振态的所述第三颜色光、并且透射对应于所述第一偏振态和所述第二偏振态中的每一者的所述第一颜色光和所述第二颜色光,所述多个第一干涉层、所述多个第二干涉层和所述多个第三干涉层中的每个干涉层主要通过光学干涉来反射或透射光,第一非干涉层和第二非干涉层中的每一者不是主要通过光学干涉来反射或透射光,所述多个第二干涉层设置在所述多个第一干涉层和所述多个第三干涉层之间,以便将所述第一总厚度和所述第二总厚度中的每一者改变10%会使所述光学系统的所述色差的量值增加至少20%。

2. 根据权利要求1所述的光学系统,其中所述第一颜色光为红色的,所述第二颜色光为绿色的,并且所述第三颜色光为蓝色的。

3. 根据权利要求1所述的光学系统,其中所述多个第一干涉层、所述多个第二干涉层和所述多个第三干涉层中的每个干涉层具有小于200nm的厚度,并且第一非干涉层和第二非干涉层中的每一者具有大于1微米的厚度。

4. 根据权利要求1所述的光学系统,其中将所述第一总厚度和所述第二总厚度中的每一者改变10%包括将所述第一总厚度和所述第二总厚度中的每一者增大10%。

5. 根据权利要求1所述的光学系统,其中将所述第一总厚度和所述第二总厚度中的每一者改变10%包括将所述第一总厚度和所述第二总厚度中的每一者减小10%。

6. 根据权利要求1所述的光学系统,其中所述色差为纵向色差。

7. 根据权利要求1至6中任一项所述的光学系统,其中所述反射偏振器包括相反的第一主表面和第二主表面,所述第二主表面面向所述观察者,所述光学系统具有所述第一颜色光与所述第二颜色光的第一纵向色差 $d_1$ ,以便翻转所述反射偏振器使得所述第一主表面面

向所述观察者会导致所述光学系统具有所述第一颜色光与所述第三颜色光的第二纵向色差 $d_2$ ,  $d_2 > d_1$ 。

8. 一种用于向观察者显示图像的光学成像系统, 所述光学成像系统包括反射偏振器, 使得所述光学成像系统具有在所述反射偏振器以指定方式改变时以指定方式改变的色差, 所述反射偏振器包括第一反射区和第二反射区, 使得对于基本上法向入射在所述反射偏振器上的光, 所述第一反射区基本上反射在第一波长范围内的光并且基本上透射在不同的非重叠的第二波长范围内的光、并且所述第二反射区基本上反射在所述第二波长范围内的光并且基本上透射在所述第一波长范围内的光, 所述第一反射区和所述第二反射区具有第一厚度和第二厚度, 所述第一厚度和所述第二厚度具有相应的第一中点和第二中点, 所述第一中点和所述第二中点隔开距离 $d$ , 以便在减小 $d$ 使得所述第一反射区和所述第二反射区紧邻时引起的所述光学成像系统的所述第一波长范围与所述第二波长范围的纵向色差为距离 $h$ ,  $0.3h \leq d \leq 0.7h$ 。

9. 根据权利要求8所述的光学成像系统, 其中所述反射偏振器还包括第三反射区, 所述第三反射区设置在所述第一反射区和所述第二反射区之间, 使得对于基本上法向入射在所述反射偏振器上的光, 所述第三反射区基本上反射在所述第一波长范围和所述第二波长范围之间并且与所述第一波长范围和所述第二波长范围不重叠的第三波长范围内的光。

10. 根据权利要求8或9所述的光学成像系统, 其中所述反射偏振器包括相反的第一主表面和第二主表面, 所述第二主表面面向所述观察者, 所述光学成像系统具有在所述第一波长范围内的光与在所述第二波长范围内的光的第一纵向色差 $d_1$ , 以便翻转所述反射偏振器使得所述第一主表面面向所述观察者会导致所述光学成像系统具有在所述第一波长范围内的光与在所述第二波长范围内的光的第二纵向色差 $d_2$ ,  $d_2 > d_1$ 。

11. 一种用于向观察者显示对象的图像的光学成像系统, 所述光学成像系统包括反射偏振器, 使得所述光学成像系统具有在所述反射偏振器以指定方式改变时以指定方式改变的色差, 所述反射偏振器包括相反的第一主表面和第二主表面, 所述第一主表面面向所述对象, 所述光学成像系统具有第一颜色波长与第二颜色波长的第一纵向色差 $d_1$ , 以便翻转所述反射偏振器使得所述第二主表面面向所述对象会导致所述光学成像系统具有所述第一颜色波长与所述第二颜色波长的第二纵向色差 $d_2$ ,  $d_2 > d_1$ 。

12. 根据权利要求11所述的光学成像系统, 其中所述反射偏振器包括:

多个第一干涉层, 所述多个第一干涉层被构造成反射对应于第一偏振态的具有所述第一颜色波长的光、透射对应于正交的第二偏振态的具有所述第一颜色波长的光、并且透射对应于所述第一偏振态和所述第二偏振态中的每一者的具有所述第二颜色波长的光; 以及

多个第二干涉层, 所述多个第二干涉层被构造成反射对应于所述第一偏振态的具有所述第二颜色波长的光、透射对应于所述第二偏振态的具有所述第二颜色波长的光、并透射对应于所述第一偏振态和所述第二偏振态中的每一者的具有所述第一颜色波长的光,

其中所述多个第一干涉层和所述多个第二干涉层具有相应的第一中点和第二中点, 以便将所述第一中点和所述第二中点之间的距离改变10%会使所述第一纵向色差增加至少20%。

13. 一种用于向观察者显示对象的图像的光学成像系统, 所述光学成像系统包括反射偏振器, 使得所述光学成像系统具有在所述反射偏振器以指定方式改变时以指定方式改变

的色差,所述反射偏振器包括多个聚合物干涉层和面向所述对象的第一主表面,所述多个聚合物干涉层的数量为至少50,并且所述多个聚合物干涉层主要通过光学干涉来反射和透射在至少从400nm延伸至600nm的预定波长范围内的光,以便翻转所述反射偏振器使得所述第一主表面背离所述对象会使所述光学成像系统在所述预定波长范围内的纵向色差增加至少20%。

14. 根据权利要求13所述的光学成像系统,其中所述反射偏振器包括第一反射区和第二反射区,使得对于基本上法向入射在所述反射偏振器上的光,所述第一反射区基本上反射在所述预定波长范围内的第一波长范围内的光并且基本上透射在所述预定波长范围内的不同的非重叠的第二波长范围内的光,并且所述第二反射区基本上反射在所述第二波长范围内的光并且基本上透射在所述第一波长范围内的光,所述第一反射区和所述第二反射区具有第一厚度和第二厚度,所述第一厚度和所述第二厚度具有相应的第一中点和第二中点,所述第一中点和所述第二中点隔开距离 $d$ ,以便在减小 $d$ 使得所述第一反射区和所述第二反射区紧邻时引起的所述光学成像系统的所述第一波长范围与所述第二波长范围的所述纵向色差为距离 $h$ , $0.3h \leq d \leq 0.7h$ 。

15. 根据权利要求13或14所述的光学成像系统,其中所述反射偏振器为一体成形的并且包括:

顺序布置的多个第一干涉层,所述多个第一干涉层被构造成反射具有第一偏振态的第一颜色光、透射具有正交的第二偏振态的所述第一颜色光、并且透射对应于所述第一偏振态和所述第二偏振态中的每一者的第二颜色光和第三颜色光;

顺序布置的多个第二干涉层,所述多个第二干涉层通过具有第一总厚度的一个或多个第一非干涉层与所述多个第一干涉层分隔开,所述多个第二干涉层被构造成反射具有所述第一偏振态的所述第二颜色光、透射具有所述第二偏振态的所述第二颜色光、并且透射对应于所述第一偏振态和所述第二偏振态中的每一者的所述第一颜色光和所述第三颜色光;以及

顺序布置的多个第三干涉层,所述多个第三干涉层通过具有第二总厚度的一个或多个第二非干涉层与所述多个第二干涉层分隔开,所述多个第三干涉层被构造成反射具有所述第一偏振态的所述第三颜色光、透射具有所述第二偏振态的所述第三颜色光、并且透射对应于所述第一偏振态和所述第二偏振态中的每一者的所述第一颜色光和所述第二颜色光,所述多个第一干涉层、所述多个第二干涉层和所述多个第三干涉层中的每个干涉层主要通过光学干涉来反射或透射光,第一非干涉层和第二非干涉层中的每一者不是主要通过光学干涉来反射或透射光,所述多个第二干涉层设置在所述多个第一干涉层和所述多个第三干涉层之间,以便将所述第一总厚度和所述第二总厚度中的每一者改变10%会使所述光学成像系统在所述预定波长范围内的所述纵向色差增加至少20%。

## 光学系统

### 背景技术

[0001] 光学系统可表现出光学像差。色差为光的侧向或纵向焦点随波长变化的光学像差。在纵向颜色(有时称为轴向颜色或焦移)中,不同波长的焦平面位置存在差异。

### 发明内容

[0002] 在本说明书的一些方面,提供一种用于向观察者显示图像的光学系统。光学系统包括第一光学透镜,该第一光学透镜包括弯曲的第一主表面;部分反射器,该部分反射器设置在第一光学透镜的弯曲的第一主表面上并与该弯曲的第一主表面适形,并且对于第一颜色光、第二颜色光和第三颜色光中的每一者具有至少30%的平均光学反射率;第二光学透镜,该第二光学透镜包括弯曲的第一主表面;一体式反射偏振器,该一体式反射偏振器设置在第二光学透镜的弯曲的第一主表面上并与该弯曲的第一主表面适形。一体式反射偏振器包括顺序布置的多个第一干涉层,该多个第一干涉层被构造成反射具有第一偏振态的第一颜色光、透射具有正交的第二偏振态的第一颜色光、且透射对应于第一偏振态和第二偏振态中的每一者的第二颜色光和第三颜色光;顺序布置的多个第二干涉层,该顺序布置的多个第二干涉层通过具有第一总厚度的一个或多个第一非干涉层与多个第一干涉层分隔开,其中多个第二干涉层被构造成反射具有第一偏振态的第二颜色光、透射具有第二偏振态的第二颜色光、并且透射对应于第一偏振态和第二偏振态中的每一者的第一颜色光和第三颜色光;以及顺序布置的多个第三干涉层,该顺序布置的多个第三干涉层通过具有第二总厚度的一个或多个第二非干涉层与多个第二干涉层分隔开,其中多个第三干涉层被构造成反射具有第一偏振态的第三颜色光、透射具有第二偏振态的第三颜色光、并且透射对应于第一偏振态和第二偏振态中的每一者的第一颜色光和第二颜色光。多个第一干涉层、多个第二干涉层和多个第三干涉层中的每个干涉层主要通过光学干涉来反射或透射光。第一非干涉层和第二非干涉层中的每一者不是主要通过光学干涉来反射或透射光。多个第二干涉层设置在多个第一干涉层和多个第三干涉层之间。将第一厚度和第二厚度中的每一者改变10%会使光学系统的色差的量值增加至少20%。

[0003] 在本说明书的一些方面,提供一种用于向观察者显示图像的光学成像系统。光学成像系统包括反射偏振器,该反射偏振器包括第一反射区和第二反射区,使得对于基本上法向入射在反射偏振器上的光,第一区基本上反射在第一波长范围内的光并且基本上透射在不同的非重叠的第二波长范围内的光,并且第二区基本上反射在第二波长范围内的光并且基本上透射在第一波长范围内的光。第一反射区和第二反射区具有第一厚度和第二厚度,该第一厚度和第二厚度具有相应的第一中点和第二中点,该第一中点和第二中点隔开距离 $d$ ,以便在减小 $d$ 使得第一反射区和第二反射区紧邻时引起的光学成像系统的第一波长范围与第二波长范围的纵向色差为距离 $h$ ,  $0.3h \leq d \leq 0.7h$ 。

[0004] 在本说明书的一些方面,提供一种用于向观察者显示对象的图像的光学成像系统。光学成像系统包括反射偏振器,该反射偏振器具有相反的第一主表面和第二主表面,其中第一主表面面向对象。光学成像系统具有第一颜色波长与第二颜色波长的第一纵向色差

d1,以便翻转反射偏振器使得第二主表面面向对象导致光学成像系统具有第一颜色波长与第二颜色波长的第二纵向色差d2,其中d2大于d1。

[0005] 在本说明书的一些方面,提供一种用于向观察者显示对象的图像的光学成像系统。光学成像系统包括反射偏振器,该反射偏振器具有多个聚合物干涉层和面向对象的第一主表面,该多个聚合物干涉层的数量为至少50,并且该多个聚合物干涉层主要通过光学干涉来反射和透射在至少从400nm延伸至600nm的预定波长范围内的光。翻转反射偏振器使得第一主表面背离对象会使光学成像系统在预定波长范围内的纵向色差增加至少20%。

## 附图说明

- [0006] 图1为反射偏振器的示意性剖视图;  
[0007] 图2为多个干涉层的示意性剖视图;  
[0008] 图3至图4为非干涉层的示意性剖视图;  
[0009] 图5A至图5B为光学系统的示意性剖视图;  
[0010] 图6A至图7B为反射偏振器的示意性剖视图;并且  
[0011] 图8至图10为光学系统的示意性剖视图。

## 具体实施方式

[0012] 在以下说明中参考附图,该附图形成本发明的一部分并且其中以举例说明的方式示出各种实施方案。附图未必按比例绘制。应当理解,在不脱离本说明书的范围或实质的情况下,可设想并进行其它实施方案。因此,以下具体实施方式不应被视为具有限制意义。

[0013] 根据本说明书的一些实施方案,已经发现,在包括反射偏振器的光学系统中,系统中的残余纵向颜色可通过由于选择合适的多层反射偏振器导致的多色光路长度差值来平衡。选择合适的反射偏振器可包括例如在反射偏振器的反射红色波长的一组干涉层和反射偏振器的反射蓝色波长的一组干涉层之间选择适当的间距。这些组干涉层之间的适当间距可通过改变反射偏振器的层厚度分布以实现期望的间距和/或在这些组干涉层之间包括非干涉层以将它们间隔开和/或来实现。本说明书的光学系统通常提供折叠光路。折叠光学系统例如在美国专利9,557,568 (Ouderkirk等人)中有所描述。

[0014] 图1为反射偏振器100的示意图,该反射偏振器包括顺序布置的多个第一干涉层110、顺序布置的多个第二干涉层112和顺序布置的多个第三干涉层114。多个第二干涉层112通过具有第一总厚度t1的一个或多个第一非干涉层121与多个第一干涉层110分开。多个第三干涉层114通过具有第二总厚度t2的一个或多个第二非干涉层123与多个第二干涉层112分开。示出了多个第一干涉层110和多个第三干涉层114的中点之间的距离 $\Delta$ 。多个第一干涉层110被构造成反射具有第一偏振态132的第一颜色(例如,红色)光、透射具有正交的第二偏振态134的第一颜色光、并且透射对应于第一偏振态132和第二偏振态134中的每一者的第二颜色(例如,绿色)光和第三颜色(例如,蓝色)光。多个第二干涉层112被构造成反射具有第一偏振态132的第二颜色光、透射具有第二偏振态134的第二颜色光、并且透射对应于第一偏振态132和第二偏振态134中的每一者的第一颜色光和第三颜色光。多个第三干涉层114被构造成反射具有第一偏振态132的第三颜色光、透射具有第二偏振态134的第三颜色光、并且透射对应于第一偏振态132和第二偏振态134中的每一者的第一颜色光和第

二颜色光。在一些实施方案中,多个第一干涉层110、多个第二干涉层112和多个第三干涉层114中的每个干涉层具有小于200nm的厚度。在一些实施方案中, $t_1$ 和 $t_2$ 中的每一者大于1微米。

[0015] 在一些实施方案中,第一颜色光具有在红色范围(例如,大于600nm且不大于700nm、或625nm至675nm)内的波长 $\lambda_1$ 。在一些实施方案中,第二颜色光具有在绿色范围(例如,600nm至700nm、或625nm至675nm)内的波长 $\lambda_2$ 。在一些实施方案中,第三颜色光具有在蓝色范围(例如,至少400nm且小于500nm、或425nm至475nm)内的波长 $\lambda_3$ 。在一些实施方案中,包括反射偏振器100的光学系统包括像素化显示器,该像素化显示器具有带有至少三种不同颜色的子像素。第一颜色光、第二颜色光和第三颜色光可为来自三个不同颜色的子像素的光。

[0016] 光130包括第一颜色光、第二颜色光和第三颜色光,并且包括第一偏振态132和第二偏振态134。光130的一部分被多个第三干涉层114反射作为光131,并且光130的一部分透射穿过多个第三干涉层114作为光137。光131具有第三颜色波长 $\lambda_3$ 和第一偏振态132。光137包括具有第二偏振态134的第三颜色光、并且包括对应于第一偏振态132和第二偏振态134中的每一者的第一颜色光和第二颜色光。光137的一部分被多个第二干涉层112反射作为光133,并且光137的一部分透射穿过多个第二干涉层112作为光139。光133透射穿过多个第三干涉层114,并且具有第二颜色波长 $\lambda_2$ 和第一偏振态132。光139包括具有第一偏振态132的第一颜色光、并且包括对应于第二偏振态134的第一颜色光、第二颜色光和第三颜色光。光139的一部分被多个第一干涉层110反射作为光135,并且光139的一部分透射穿过多个第一干涉层110作为光136。光135透射穿过多个第二干涉层112和多个第三干涉层114,并且具有第三颜色波长 $\lambda_3$ 和第一偏振态132。光136包括具有第二偏振态134的第一颜色光、第二颜色光和第三颜色光。

[0017] 图2为可对应于多个第一干涉层110、多个第二干涉层112和多个第三干涉层114中的任一者的多个干涉层210的示意性剖视图。多个干涉层210包括主要通过光学干涉来反射和透射光的交替的第一聚合物层241和第二聚合物层242。在一些实施方案中,第一聚合物层241和第二聚合物层242中的每一者具有小于约200nm的厚度。在一些实施方案中,聚合物层241和242的厚度在多个干涉层210的厚度上(例如,单调地)变化,以便在期望的波长范围内产生反射。在一些实施方案中,一体成形的光学叠堆包括多个干涉层210,并且任选地包括在多个干涉层210的一侧或两侧上的非干涉层。一个或多个非干涉层可为例如一个或多个表层或者一个或多个保护边界层。

[0018] 如本文所用,与第二元件“一体成形”的第一元件意指第一元件和第二元件一起制造而不是单独制造并且然后再接合。一体成形包括制造第一元件,之后在第一元件上制造第二元件。如果多个层一起制造(例如,组合为熔融流,并且然后浇铸到冷却辊上以形成具有这些层中的每一个的流延膜,并且然后使流延膜取向)而不是单独制造并且然后再接合,则包括这些层的反射偏振器为一体成形的。一体成形的反射偏振器也可称为一体式反射偏振器。

[0019] 本说明书的反射偏振器100和其它反射偏振器可使用常规多层膜加工技术来制得,该多层膜加工技术诸如美国专利5,882,774 (Jonza等人) 和美国专利6,609,795 (Weber等人) 中所述的那些。制造方法可包括:(a) 提供至少第一树脂流和第二树脂流,该至少第一



树脂流和第二树脂流与待用于成品膜中的第一聚合物和第二聚合物相对应；(b) 使用合适的送料区块将第一流和第二流分成多个层，诸如这样的进料区块，该进料区块包括(i) 梯度板，该梯度板具有第一流动通道和第二流动通道，其中第一通道的横截区沿该流动通道从第一位置变化到第二位置，(ii) 进料管板，该进料管板具有与第一流动通道流体连通的多个第一导管和与第二流动通道流体连通的多个第二导管，每个导管向其自身的相应狭槽模具进料，每个导管具有第一端部第二端部，导管的第一端部与流动通道流体连通，并且导管的第二端部与狭槽模具流体连通，以及(iii) 任选的被定位成接近所述导管的轴向棒形加热器；(c) 使复合材料流穿过挤出模具以形成多层辐材，其中每个层通常平行于相邻层的主表面；以及(d) 将多层辐材浇注到冷却辊(有时称为浇注轮或浇注鼓)上，以形成浇注的多层膜。该浇注膜可具有与成品膜相同数量的层，但是浇注膜的层通常比成品膜的那些厚很多。

[0020] 在冷却之后，可将多层辐材预加热并拉延或拉伸以产生几近完成的多层光学膜。拉延或拉伸实现两个目标：其使层薄化到其期望的最终厚度分布；以及其使层取向，使得层中的至少一些变成双折射的层。取向或拉伸可沿横维方向(例如经由拉幅机)、沿顺维方向(例如经由长度取向机)或它们的任何组合(无论同时还是依次进行)而实现。如果仅沿一个方向拉伸，则该拉伸可为“无约束的”(其中允许膜在垂直于拉伸方向的面内方向在尺寸上松弛)或“受约束的”(其中膜受到约束并因而不允许在垂直于拉伸方向的面内方向在尺寸上松弛)。可利用无约束的拉伸来提供基本上单轴取向的多层光学膜，如美国专利2010/0254002(Merrill等人)中所述。另选地，膜可以通过批量方法进行拉伸。在任何情况下，也都可将后续或同时发生的拉延减小、应力或应变平衡、热定形和其它处理操作应用至膜。

[0021] 如果在预定波长范围内具有第一偏振态的法向入射光的至少60%被从偏振器反射，则可认为反射偏振器基本上反射在预定波长范围内具有第一偏振态的光。在一些实施方案中，具有第一偏振态和预定波长的法向入射光的至少70%或至少80%被从反射偏振器反射。如果在预定波长范围内具有第二偏振态的法向入射光的至少60%透射穿过偏振器，则可认为反射偏振器基本上透射在预定波长范围内具有第二偏振态的光。在一些实施方案中，在预定波长范围内具有第二偏振态的法向入射光的至少70%或至少80%透射穿过反射偏振器。

[0022] 非干涉层不是主要通过光学干涉来反射和透射光，并且通常为光学上厚的(即，具有基本上大于预定波长范围诸如400nm至700nm内的波长的厚度)。光学叠堆的非干涉层可为光学膜的外层，或者可为例如一个或多个第一非干涉层121或123内的层。在一些实施方案中，非干涉层、或多于一个非干涉层的叠堆具有以下这种厚度(例如， $t_1$ 或 $t_2$ )：大于约1微米，或大于约2微米，或为预定波长范围内的最大波长的约2倍，或为预定波长范围内的最大波长的约3倍。

[0023] 图3为可对应于例如一个或多个非干涉层121或123的一个或多个非干涉层321的示意性剖视图。在所示的实施方案中，一个或多个非干涉层321包括第一非干涉层345和第二非干涉层347。在其它实施方案中，仅包括一个非干涉层或者包括三个或更多个非干涉层。第一非干涉层345和第二非干涉层347可为例如相邻光学叠堆的表层。

[0024] 图4为可对应于例如一个或多个非干涉层121或123的一个或多个非干涉层421的示意性剖视图。一个或多个非干涉层421包括第一外部非干涉层445和第二外部非干涉层

447以及内部间隔非干涉层449。第一外部非干涉层445和第二外部非干涉层447可为例如相邻光学叠堆的表层,并且可包括内部间隔非干涉层449以增加一个或多个非干涉层421的总厚度(例如,对应于 $t_1$ 或 $t_2$ )。

[0025] 另选地或除此之外,多个第一干涉层110和多个第三干涉层114之间的中心至中心距离 $\Delta$ 可通过提供的这些干涉层的一系列层厚度以及紧邻干涉层之间的折射率差值来调整。多对紧邻干涉层反射波长为该对的总光学厚度(折射率乘以物理厚度)的两倍的光,其中反射率取决于相邻层之间的折射率差值。利用相对大的折射率差值允许利用相对较少的干涉层在期望波长范围内实现期望反射率,并且这可导致多个第一干涉层110和多个第三干涉层114之间的中心至中心间距较小。类似地,当使用相对较多的干涉层时,可利用相对小的折射率差值在期望波长范围内实现期望反射率,并且这可导致多个第一干涉层110和多个第三干涉层114之间的中心至中心间距较大。

[0026] 在一些实施方案中,光学系统包括反射偏振器,并且具有在反射偏振器以某种指定方式改变时以某种指定方式改变的色差(例如,纵向色差)。

[0027] 图5A为接收具有在预定波长范围内的波长的准直输入光552的光学系统550的示意图。该光学系统将输入光552的每个波长聚焦到光学系统550的光轴555上位于第一点554和第二点556之间的点。例如,具有第一波长的第一光线553被聚焦到第一点554,并且具有第二波长的第二光线557被聚焦到第二点556。在一些实施方案中,第一波长和第二波长中的一者为预定波长范围内的最短波长,并且第一波长和第二波长中的另一者为预定波长范围内的最长波长。第一点554和第二点556之间的距离 $d_1$ 为光学系统550的纵向色差,也称为轴向色差。光学系统550包括反射偏振器(未在图5中示出),如本文其它地方进一步所述。

[0028] 图5B为光学系统550b的示意图,该光学系统在其它方面等同于光学系统550,但其中光学系统550的反射偏振器已如本文其它地方进一步所述的那样被修改(例如,改变干涉层之间的距离或翻转反射偏振器)。光学系统550b具有为 $d_2$ 的纵向色差。该距离 $d_2$ 可称为光学系统的纵向色差,该纵向色差在修改反射偏振器时引起并且也可表示为 $h$ 。

[0029] 在一些实施方案中,针对特定波长指定纵向色差 $d_1$ 和 $d_2$ 。例如,在一些实施方案中, $d_1$ 和 $d_2$ 可被描述为第一颜色波长与第二颜色波长的纵向色差。在一些实施方案中,针对特定波长范围指定纵向色差 $d_1$ 和 $d_2$ 。例如,在一些实施方案中, $d_1$ 和 $d_2$ 可被描述为第一波长范围与第二波长范围的纵向色差。在这种情况下,纵向色差 $d_1$ 和 $d_2$ 是指指定范围内波长的最大纵向色差。例如,在图5A中,光线553和光线557可分别具有在第一波长范围和第二波长范围内的波长,这导致最大的 $d_1$ 。类似地,在图5B中,对应光线可具有在相应的第一波长范围和第二波长范围内的波长,这导致最大的 $d_2$ 。通常的情况是,纵向色差为波长的单调函数,使得指定波长范围的纵向色差为指定波长范围内最长波长处的纵向色差和最短波长处的纵向色差之间的差值的绝对值。

[0030] 在一些实施方案中, $d_2$ 大于 $d_1$ ,或者 $d_2$ 为 $d_1$ 的至少1.2倍(即, $d_2$ 可从 $d_1$ 增加至少20%)、或 $d_1$ 的至少1.5倍、或 $d_1$ 的至少1.75倍、或 $d_1$ 的至少2倍、或 $d_1$ 的至少2.5倍、或 $d_1$ 的至少3倍、或 $d_1$ 的至少3.5倍、或 $d_1$ 的至少4倍。

[0031] 在一些实施方案中,图5A的反射偏振器为反射偏振器100,并且上文提到的对反射偏振器的修改为将第一间距距离 $t_1$ 和第二间距距离 $t_2$ 改变10%。在一些实施方案中,第一间距距离和第二间距距离均增大10%。在一些实施方案中,第一间距距离和第二间距距离

均减小10%。在一些实施方案中,这使光学系统的色差(例如,纵向色差)的量值增加至少20%、或至少30%、或至少40%、或至少50%。在一些实施方案中,反射偏振器包括具有相应的第一中点和第二中点的多个第一干涉层和多个第二干涉层,并且上文提到的对反射偏振器的修改为将第一中点和第二中点之间的距离改变10%(在一些实施方案中为增大10%,并且在一些实施方案中为减小10%)。例如,这里提到的多个第一干涉层和多个第二干涉层可对应于图1所描绘的多个第一干涉层110和多个第三干涉层114,并且第一中点和第二中点之间的距离可对应于图1所描绘的距离 $\Delta$ 。又如,此处提到的多个第一干涉层和多个第二干涉层可对应于图6A所描绘的第一反射区643和第二反射区644,并且第一中点和第二中点之间的距离可对应于图6A所描绘的距离 $d$ 。在一些实施方案中,这使光学系统的纵向色差的量值增加至少20%、或至少30%、或至少40%、或至少50%。

[0032] 在一些实施方案中,上文提到的对反射偏振器的修改为改变第一反射区和第二反射区之间的距离(例如,改变10%,或者通过减小距离直到第一反射区和第二反射区紧邻为止)。图6A为具有此类第一反射区643和第二反射区644的反射偏振器600的示意图。在一些实施方案中,第一反射区643和第二反射区644使得对于基本上法向入射在反射偏振器上的光,第一反射区643基本上反射在第一波长范围内的光并且基本上透射在不同的非重叠的第二波长范围内的光,并且第二反射区644基本上反射在第二波长范围内的光并且基本上透射在第一波长范围内的光。例如,第一反射区643可对应于多个第一干涉层110,并且第一波长范围可对应于第一颜色光(波长 $\lambda_1$ )的波长范围。类似地,第二反射区644可对应于多个第三干涉层114,并且第二波长范围可对应于例如第三颜色光(波长 $\lambda_3$ )的波长范围。第一反射区643和第二反射区644之间的区域可包括附加的反射区(例如,对应于多个第二干涉层112的第三反射区),并且/或者可包括一个或多个非干涉层(例如,一个或多个非干涉层121和/或123)。在一些实施方案中,第一反射区和第二反射区以及任何附加的反射区反射在对应波长范围内具有第一偏振态的光,并且透射在波长范围中的每一个内的光,该光对应于具有正交的第二偏振态的光。

[0033] 第一反射区643和第二反射区644具有第一厚度 $w_1$ 和第二厚度 $w_2$ ,该第一厚度和第二厚度具有相应的第一中点663和第二中点664(在沿厚度方向的中间位置的点),该第一中点和第二中点隔开距离 $d$ 。

[0034] 图6B为由于将反射偏振器600的距离 $d$ 减小成使得第一反射区643和第二反射区644紧邻而产生的反射偏振器600b的示意图。

[0035] 在一些实施方案中,包括反射偏振器600的光学成像系统具有在减小 $d$ 使得第一反射区和第二反射区紧邻时引起的第一波长范围与第二波长范围的纵向色差,该纵向色差为距离 $h$ ,其中 $0.3h \leq d \leq 0.7h$ 、或 $0.35h \leq d \leq 0.65h$ 、或 $0.4h \leq d \leq 0.6h$ 。例如,在于实施例建模的光学系统中,当第一反射区和第二反射区之间的间距减小到零时,从约486nm至约656nm的纵向色差为约82微米。在这种情况下,反射偏振器可从由具有约243nm总光学厚度的第一对紧邻干涉层组成的第一反射区反射486nm的波长,并且反射偏振器可从由具有约328nm总光学厚度的第二对紧邻干涉层组成的第二反射区反射656nm的波长。将第一对和第二对的中点之间的间距 $d$ 从40微米改变到这些对紧邻为止可通过将 $d$ 从40微米减小到零来近似,因为与40微米相比,第一对和第二对的厚度较小。纵向色差在 $d$ 为40微米时为约24微米,并且在将 $d$ 减小到0时为约82微米。在这种情况下, $d=40$ 微米并且 $h \approx 82$ 微米,并且因此 $d$

$\approx 0.49h$ 。

[0036] 在一些实施方案中,上文提到的对反射偏振器的修改为翻转反射偏振器。翻转反射偏振器可被描述为在保持反射偏振器的形状不变的同时反转层次序(例如,从1至N到从N至1)和层取向(使得相邻层之间的界面保持同一界面并且使得一个最外主表面与另一个最外主表面交换)。这在图7A-图7B中示出。图7A为具有第一主表面708和第二主表面709的反射偏振器700的示意图,其中第一主表面708面向对象777。例如当在用于向观察者显示对象的图像的光学成像系统中使用反射偏振器700时,对象777可由成像器显示。为了便于说明,反射偏振器700被示意性地示出为具有四个层701、702、703和704,但通常将包括至少50个层(例如,50至1200个干涉层、或100至1000个干涉层)。图7B为由于翻转反射偏振器700使得第二主表面709面向对象777而产生的反射偏振器700b的示意图。

[0037] 在一些实施方案中,光学系统为用于向观察者显示对象的图像的光学成像系统,并且反射偏振器具有相反的第一主表面和第二主表面,其中第一主表面面向对象。在一些实施方案中,光学成像系统具有第一颜色波长与第二颜色波长的第一纵向色差 $d_1$ ,以便翻转反射偏振器使得第二主表面面向对象导致光学成像系统具有第一颜色波长与第二颜色波长的第二纵向色差 $d_2$ ,其中 $d_2 > d_1$ 。在一些实施方案中, $d_2$ 为 $d_1$ 的至少1.2倍、或 $d_1$ 的至少1.5倍、或 $d_1$ 的至少1.75倍、或 $d_1$ 的至少2倍、或 $d_1$ 的至少2.5倍、或 $d_1$ 的至少3倍、或 $d_1$ 的至少3.5倍、或 $d_1$ 的至少4倍、或 $d_1$ 的至少4.5倍、或 $d_1$ 的至少5倍。在一些实施方案中,用于向观察者显示对象的图像的光学成像系统包括反射偏振器,该反射偏振器具有多个聚合物干涉层和面向对象的第一主表面,该多个聚合物干涉层的数量为至少50,该多个聚合物干涉层并且主要通过光学干涉来反射和透射在至少从400nm延伸至600nm的预定波长范围内的光,以便翻转反射偏振器使得第一主表面背离对象会使光学成像系统在预定波长范围内的纵向色差增加至少20%、或至少50%、或至少75%、或至少100%、或至少150%、或至少200%、或至少250%、或至少300%、或至少350%、或至少400%。例如,实施例的光学系统具有约24微米的 $d_1$ 和约141微米的 $d_2$ ,使得 $d_2$ 为 $d_1$ 的约5.9倍,或者换句话说讲, $d_2$ 从 $d_1$ 增加了约490% ( $(141\mu\text{m} - 24\mu\text{m}) / 24\mu\text{m} * 100\%$ )。

[0038] 图8为光学系统850的示意图,该光学系统包括:第一光学透镜10,该第一光学透镜具有相反的第一主表面11和第二主表面12;部分反射器30,该部分反射器设置在第一光学透镜10的第一主表面11上并与该第一主表面适形;第二光学透镜20,该第二光学透镜具有相反的第一主表面21和第二主表面22;以及反射偏振器40,该反射偏振器设置在第二光学透镜20的第一主表面21上并与该第一主表面适形。在一些实施方案中,第一光学透镜10的第一主表面11为弯曲的。在一些实施方案中,第二光学透镜20的第一主表面21为弯曲的。例如,第一主表面11和/或第一主表面21可具有在两个正交方向中的每一个上具有在6mm至1000mm范围内的曲率半径的至少一个位置。在所示的实施方案中,延迟器50设置在第一光学透镜10的第二主表面12上。在其它实施方案中,延迟器50作为单独的延迟器板包括在第一透镜和第二透镜之间,或者以其它方式包括在部分反射器30和反射偏振器40之间的某个位置处。

[0039] 部分反射器30在预定波长范围内可具有至少30%的平均光学反射率。在一些实施方案中,预定波长范围可包括约550nm的波长,例如,可包括587.6nm的波长。在一些实施方案中,预定波长范围可从约400nm延伸至约600nm或约700nm。例如,预定波长范围可包括蓝

色原色波长、绿色原色波长和红色原色波长。预定波长范围可为光学系统设计用于操作的任何波长范围。在一些实施方案中,预定波长范围包括其它波长范围。例如,可在预定波长范围内包括红外(例如,近红外(约700nm至约2500nm))和/或紫外(例如,近紫外(约300nm至约400nm))波长以及可见(400nm至700nm)波长。在一些实施方案中,部分反射器30对于第一颜色(例如,红色)光、第二颜色(例如,绿色)光和第三颜色(例如,蓝色)光具有至少30%的平均光学反射率。

[0040] 在本说明书的光学系统中的任一者中使用的部分反射器可为任何合适的部分反射器。例如,部分反射器可通过将金属(例如,银或铝)的薄层涂覆在透明基板(例如,可随后粘附到透镜的膜,或基板可为透镜)上来构造。部分反射器也可通过例如将薄膜电介质涂层沉积到透镜基板的表面上,或者通过将金属和电介质涂层的组合沉积在表面上来形成。在一些实施方案中,部分反射器具有在预定波长下或在预定波长范围内的平均光学反射率和平均光学透射率,该平均光学反射率和平均光学透射率各自在20%至80%的范围内、或各自在30%至70%的范围内、或各自在40%至60%的范围内、或各自在45%至55%的范围内。部分反射器可以是例如半镜。除非另外指明,否则在预定波长范围内的平均光学反射率和平均光学透射率分别是指法向入射下确定的在预定波长范围内以及在光学反射率和光学透射率的偏振上的未加权平均值。除非另外指明,否则在预定波长下的平均光学反射率和平均光学透射率分别是指法向入射下确定的光学反射率和光学透射率在偏振上的未加权平均值。在一些实施方案中,部分反射器可为反射偏振器或可具有偏振相依反射率。然而,通常优选的是,法向入射光学反射率和光学透射率独立于或基本上独立于入射光的偏振态。这种偏振独立性可使用例如基本上各向同性金属层和/或电介质层来获得。

[0041] 延迟器50可为在预定波长范围内的至少一个波长下的四分之一波长延迟器。另选地,延迟器50在预定波长范围内可具有例如波长的 $5/4$ 或 $9/4$ 的延迟。用于本说明书的光学系统中的一个或多个延迟器(例如,延迟器50)可为膜或涂层或膜和涂层的组合。合适的膜包括双折射聚合物膜延迟器,诸如例如购自科罗拉多州弗雷德里克的Meadowlark Optics公司(Meadowlark Optics, Frederick, CO)的那些。用于形成延迟器层的合适的涂层包括在美国专利申请公布2002/0180916 (Schadt等人)、2003/028048 (Cherkaoui等人)、2005/0072959 (Moia等人)和2006/0197068 (Schadt等人)以及美国专利6,300,991 (Schadt等人)中描述的线性可光致聚合聚合物(LPP)材料和液晶聚合物(LCP)材料。合适的LPP材料包括ROP-131 EXP 306 LPP,并且合适的LCP材料包括ROF-5185 EXP 410 LCP,这两者均购自瑞士奥什维尔的落利刻新材料有限公司(ROLIC Technologies, Allschwil, Switzerland)。

[0042] 光学系统850可被描述为折叠光学系统,因为部分反射器30和反射偏振器40提供折叠光路。如美国专利9,557,568 (Ouderkirk等人)中所述,折叠光学系统可用作相机,其中图像记录器定位在图8中的第一光学透镜10的右侧,或者可用作显示系统,其中显示面板定位在第一光学透镜10的右侧。

[0043] 图9为光学系统850的示意图,其中具有第二偏振态的准直光52入射在光学系统850的第二光学透镜20的第二主表面22上。准直光52可用于确定光学系统850的色差。准直光52可例如使用准直光学透镜和线性偏振器来制备。在一些实施方案中,光学系统850还包括其中具有开口的光瞳。在一些实施方案中,光学系统850用于显示器应用中,并且光瞳为出射光瞳。在一些实施方案中,光学系统850用于例如相机应用中,并且光瞳为入射光瞳。无

论光学系统850是否用于显示器或相机系统中,光学系统850的纵向色差都可如图9中示意性示出的那样确定。当光学系统850将用于显示器应用中时,入射在图9中的光学系统850上的准直光52的直径可被限制为与显示器应用中所使用的光学系统850的出射光瞳的直径匹配。

[0044] 准直光52入射在光学系统850上从而具有第二偏振态,并且透射穿过反射偏振器40和延迟器50,然后被从部分反射器30反射并透射穿过延迟器50,接着被从反射偏振器40反射并透射穿过延迟器50和部分反射器30到达聚集点54。光学系统850的色差可使用具有如图7A-图7B示意性示出的不同波长的准直光52来确定。

[0045] 图10为光学系统1050的示意图,该光学系统包括光学系统850并且还包括邻近并面向第一光学透镜10设置的成像器55。成像器55发射入射在第一光学透镜10上的图像15。光学系统1050(其可称为光学成像系统)将图像15显示给观察者16。出射光瞳60邻近并面向第二光学透镜20设置,并在其中限定开口61。入射在第一光学透镜10上的图像15通过出射光瞳60中的开口61离开光学系统1050。光学系统1050还包括第一线性吸收型偏振器80、第二延迟器90和第二线性吸收型偏振器88。第一光学透镜10设置在第二光学透镜20和第二延迟器90之间。第二延迟器90(例如,第二四分之一波长延迟器)设置在第一光学透镜10和第一线性吸收型偏振器80之间。第二光学透镜20设置在第二线性吸收型偏振器88和反射偏振器40之间。

[0046] 在一些实施方案中,第二延迟器90和/或第一线性吸收型偏振器80可省略或者可结合到成像器55中。在一些实施方案中,第二线性吸收型偏振器88被省略或者设置在例如第二光学透镜20的第二主表面上。

[0047] 光学系统1050被构造使得沿光轴155传播的光线穿过第一光学透镜10和第二光学透镜20、部分反射器30、反射偏振器40和延迟器50而基本上不被折射。在一些配置中,第一光学透镜10、第二光学透镜20、部分反射器30、反射偏振器40和延迟器50中的至少一者为旋转对称的。在一些配置中,第一光学透镜10、第二光学透镜20、部分反射器30、反射偏振器40和延迟器50中的至少一者为非旋转对称的。在一些配置中,第一光学透镜10、第二光学透镜20、部分反射器30、反射偏振器40和延迟器50中的至少一者具有至少一个对称平面。

[0048] 光学系统或显示系统或者光学系统中的光学透镜或光学元件的光轴可被理解为在系统或透镜或光学元件的中心附近的轴线,其中沿光轴传播的光线以最小程度的折射穿过透镜和/或一个或多个光学元件,使得沿轴线传播的光经历更大程度的折射。在一些实施方案中,透镜中的每一个通过透镜中的每一个的顶点对中在光轴上。沿光轴的光线可穿过透镜和/或一个或多个光学元件而不被折射或基本上不被折射。基本上不被折射意味着入射在表面上的光线与透射穿过该表面的光线之间的角度不超过15度。在一些实施方案中,入射线与透射线之间的角度小于10度、或小于5度、或小于3度、或小于2度。在一些实施方案中,光学系统的光轴为这样的轴线,使得沿轴线传播的光线穿过光学透镜、部分反射器、反射偏振器和一个或多个延迟层而基本上不被折射。在一些实施方案中,沿光轴传播的光线穿过光学透镜、部分反射器和一个或多个延迟层,而在光学系统的任何主表面处被折射不超过10度、或不超过5度、或不超过3度、或不超过2度。

[0049] 光学系统850的第一光学透镜10和第二光学透镜20可由任何合适的材料诸如玻璃或塑料制成。第一光学透镜10可包括以下中的一者或多者:硼硅酸盐BK7玻璃、镧冠LAK34、

镧燧石LAF7玻璃、燧石F2玻璃、致密燧石SF2、镧致密燧石LASF45、以及氟磷酸盐FPL51和氟磷酸盐FPL55玻璃。第二光学透镜20可由塑料制成,并且可包括聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)、聚苯乙烯、聚乙烯醇和聚碳酸酯中的一者或多者。在一些实施方案中,第一光学透镜10为单片玻璃元件。在一些实施方案中,第二光学透镜20为单片塑料元件。

[0050] 在一些实施方案中,成像器55为液晶显示面板或有机发光二极管(OLED)显示面板。

[0051] 本领域普通技术人员将在本说明书中使用和描述的上下文中理解术语诸如“约”和“基本上”。如果本领域普通技术人员在本说明书中使用和描述的上下文中对“约”应用于表达特征尺寸、数量和物理性质的量的使用不清楚,则“约”将被理解为指定值的5%以内的平均值。给定为约指定值的量可精确地为指定值。例如,如果本领域普通技术人员在本说明书中使用和描述的上下文中对“约”的使用不清楚,则具有约1的值的量意指该量具有介于0.95和1.05之间的值,并且该值可为1。如果本领域普通技术人员在本说明书中使用和描述的上下文中对“基本上垂直”的使用不清楚,则“基本上垂直”将意指在垂直的30度内。在一些实施方案中,描述为基本上垂直的方向可在20度内、或在垂直的10度内、或者可以是垂直的或名义上垂直的。

[0052] 以下为本说明书的示例性实施方案的列表。

[0053] 实施方案1为一种用于向观察者显示图像的光学系统,所述光学系统包括:

[0054] 第一光学透镜,所述第一光学透镜包括弯曲的第一主表面;

[0055] 部分反射器,所述部分反射器设置在所述第一光学透镜的所述弯曲的第一主表面上并与所述弯曲的第一主表面适形,并且对于第一颜色光、第二颜色光和第三颜色光中的每一者具有至少30%的平均光学反射率;

[0056] 第二光学透镜,所述第二光学透镜包括弯曲的第一主表面;

[0057] 一体式反射偏振器,所述一体式反射偏振器设置在所述第二光学透镜的所述弯曲的第一主表面上并与所述弯曲的第一主表面适形,所述一体式反射偏振器包括:

[0058] 顺序布置的多个第一干涉层,所述顺序布置的多个第一干涉层被构造成反射具有第一偏振态的所述第一颜色光、透射具有正交的第二偏振态的所述第一颜色光、并且透射对应于所述第一偏振态和所述第二偏振态中的每一者的所述第二颜色光和所述第三颜色光;

[0059] 顺序布置的多个第二干涉层,所述顺序布置的多个第二干涉层通过具有第一总厚度的一个或多个第一非干涉层与所述多个第一干涉层分隔开,所述多个第二干涉层被构造成反射具有所述第一偏振态的所述第二颜色光、透射具有所述第二偏振态的所述第二颜色光、并且透射对应于所述第一偏振态和所述第二偏振态中的每一者的所述第一颜色光和所述第三颜色光;以及

[0060] 顺序布置的多个第三干涉层,所述顺序布置的多个第三干涉层通过具有第二总厚度的一个或多个第二非干涉层与所述多个第二干涉层分隔开,所述多个第三干涉层被构造成反射具有所述第一偏振态的所述第三颜色光、透射具有所述第二偏振态的所述第三颜色光、并且透射对应于所述第一偏振态和所述第二偏振态中的每一者的所述第一颜色光和所述第二颜色光,所述多个第一干涉层、所述多个第二干涉层和所述多个第三干涉层中的每个干涉层主要通过光学干涉来反射或透射光,第一非干涉层和第二非干涉层中的每一者不

是主要通过光学干涉来反射或透射光,所述多个第二干涉层设置在所述多个第一干涉层和所述多个第三干涉层之间,以便将所述第一厚度和所述第二厚度中的每一者改变10%会使所述光学系统的色差的量值增加至少20%。

[0061] 实施方案2为根据实施方案1所述的光学系统,其中所述第一颜色光为红色的,所述第二颜色光为绿色的,并且所述第三颜色光为蓝色的。

[0062] 实施方案3为根据实施方案1或2所述的光学系统,其中所述多个第一干涉层、所述多个第二干涉层和所述多个第三干涉层中的每个干涉层具有小于200nm的厚度。

[0063] 实施方案4为根据实施方案1至3中任一项所述的光学系统,其中第一非干涉层和第二非干涉层中的每一者具有大于1微米的厚度。

[0064] 实施方案5为根据实施方案1至4中任一项所述的光学系统,其中将所述第一厚度和所述第二厚度中的每一者改变10%包括将所述第一厚度和所述第二厚度中的每一者增大10%。

[0065] 实施方案6为根据实施方案1至4中任一项所述的光学系统,其中将所述第一厚度和所述第二厚度中的每一者改变10%包括将所述第一厚度和所述第二厚度中的每一者减小10%。

[0066] 实施方案7为根据实施方案1至6中任一项所述的光学系统,其中将所述第一厚度和所述第二厚度中的每一者改变10%会使所述光学系统的所述色差的所述量值增加至少30%。

[0067] 实施方案8为根据实施方案1至6中任一项所述的光学系统,其中将所述第一厚度和所述第二厚度中的每一者改变10%会使所述光学系统的所述色差的所述量值增加至少40%。

[0068] 实施方案9为根据实施方案1至6中任一项所述的光学系统,其中将所述第一厚度和所述第二厚度中的每一者改变10%会使所述光学系统的所述色差的所述量值增加至少50%。

[0069] 实施方案10为根据实施方案1至9中任一项所述的光学系统,其中所述色差为纵向色差。

[0070] 实施方案11为根据实施方案1至10中任一项所述的光学系统,其中反射偏振器包括相反的第一主表面和第二主表面,所述第二主表面面向所述观察者,所述光学系统具有所述第一颜色光与所述第二颜色光的第一纵向色差 $d_1$ ,以便翻转所述反射偏振器使得所述第一主表面面向所述观察者会导致所述光学系统具有所述第一颜色光与所述第三颜色光的第二纵向色差 $d_2$ ,  $d_2 > d_1$ 。

[0071] 实施方案12为根据实施方案1至11中任一项所述的光学系统,所述光学系统还包括延迟器,所述延迟器设置在所述部分反射器和所述反射偏振器之间。

[0072] 实施方案13为一种用于向观察者显示图像的光学成像系统,所述光学成像系统包括反射偏振器,所述反射偏振器包括第一反射区和第二反射区,使得对于基本上法向入射在所述反射偏振器上的光,所述第一区基本上反射在第一波长范围内的光并且基本上透射在不同的非重叠的第二波长范围内的光,并且所述第二区基本上反射在所述第二波长范围内的光并且基本上透射在所述第一波长范围内的光,所述第一反射区和所述第二反射区具有第一厚度和第二厚度,所述第一厚度和所述第二厚度具有相应的第一中点和第二中点,



所述第一中点和所述第二中点隔开距离 $d$ ,以便在减小 $d$ 使得所述第一反射区和所述第二反射区紧邻时引起的所述光学成像系统的所述第一波长范围与所述第二波长范围的纵向色差为距离 $h$ , $0.3h \leq d \leq 0.7h$ 。

[0073] 实施方案14为根据实施方案13所述的所述光学成像系统,其中反射偏振器还包括第三反射区,所述第三反射区设置在所述第一反射区和所述第二反射区之间,使得对于基本上法向入射在所述反射偏振器上的光,所述第三区基本上反射在所述第一波长范围和所述第二波长范围之间并且与所述第一波长范围和所述第二波长范围不重叠的第三波长范围内的光。

[0074] 实施方案15为根据实施方案13或14所述的所述光学成像系统,所述光学成像系统还包括第一光学透镜,所述第一光学透镜包括弯曲的第一主表面;

[0075] 部分反射器,所述部分反射器设置在所述第一光学透镜的所述弯曲的第一主表面上并与所述弯曲的第一主表面适形,并且对于所述第一波长范围和所述第二波长范围中的每一者具有至少30%的平均光学反射率;以及

[0076] 第二光学透镜,所述第二光学透镜包括弯曲的第一主表面,

[0077] 其中所述反射偏振器设置在所述第二光学透镜的所述弯曲的第一主表面上并与所述弯曲的第一主表面适形。

[0078] 实施方案16为根据实施方案15所述的所述光学成像系统,所述光学成像系统还包括延迟器,所述延迟器设置在所述部分反射器和所述反射偏振器之间。

[0079] 实施方案17为根据实施方案13至16中任一项所述的所述光学成像系统,其中将 $d$ 改变10%会使纵向色差的量值增加至少20%。

[0080] 实施方案18为根据实施方案13至17中任一项所述的所述光学成像系统,其中反射偏振器包括相反的第一主表面和第二主表面,所述第二主表面面向所述观察者,所述光学系统具有在所述第一波长范围内的光与在所述第二波长范围内的光的第一纵向色差 $d_1$ ,以便翻转所述反射偏振器使得所述第一主表面面向所述观察者会导致所述光学系统具有在所述第一波长范围内的光与在所述第二波长范围内的光的第二纵向色差 $d_2$ , $d_2 > d_1$ 。

[0081] 实施方案19为根据实施方案13至18中任一项所述的所述光学成像系统,其中 $0.35h \leq d \leq 0.65h$ 。

[0082] 实施方案20为根据实施方案13至18中任一项所述的所述光学成像系统,其中 $0.4h \leq d \leq 0.6h$ 。

[0083] 实施方案21为一种用于向观察者显示对象的图像的光学成像系统,所述光学成像系统包括反射偏振器,所述反射偏振器包括相反的第一主表面和第二主表面,所述第一主表面面向所述对象,所述光学成像系统具有第一颜色波长与第二颜色波长的第一纵向色差 $d_1$ ,以便翻转所述反射偏振器使得所述第二主表面面向所述对象导致所述光学成像系统具有所述第一颜色波长与所述第二颜色波长的第二纵向色差 $d_2$ , $d_2 > d_1$ 。

[0084] 实施方案22为根据实施方案21所述的所述光学成像系统,其中 $d_2$ 为 $d_1$ 的至少1.2倍、或 $d_1$ 的至少1.5倍、或 $d_1$ 的至少2倍、或 $d_1$ 的至少2.5倍、或 $d_1$ 的至少3倍、或 $d_1$ 的至少3.5倍、或 $d_1$ 的至少4倍。

[0085] 实施方案23为根据实施方案21或22所述的所述光学成像系统,其中所述反射偏振器包括:

[0086] 多个第一干涉层,所述多个第一干涉层被构造成反射对应于第一偏振态的具有所述第一颜色波长的光、透射对应于正交的第二偏振态的具有所述第一颜色波长的光,并且透射对应于所述第一偏振态和所述第二偏振态中的每一者的具有所述第二颜色波长的光;以及

[0087] 多个第二干涉层,所述多个第二干涉层被构造成反射对应于所述第一偏振态的具有所述第二颜色波长的光、透射对应于所述第二偏振态的具有所述第二颜色波长的光、透射对应于所述第一偏振态和所述第二偏振态中的每一者的具有所述第一颜色波长的光,

[0088] 其中所述多个第一干涉层和所述多个第二干涉层具有相应的第一中点和第二中点,以便将所述第一中点和所述第二中点之间的距离改变10%会使所述第一纵向色差增加至少20%。

[0089] 实施方案24为根据实施方案21至23中任一项所述的光学成像系统,所述光学成像系统还包括第一光学透镜,所述第一光学透镜包括弯曲的第一主表面;

[0090] 部分反射器,所述部分反射器设置在所述第一光学透镜的所述弯曲的第一主表面上并与所述弯曲的第一主表面适形,并且对于所述第一颜色波长和所述第二颜色波长中的每一者具有至少30%的平均光学反射率;以及

[0091] 第二光学透镜,所述第二光学透镜包括弯曲的第一主表面,

[0092] 其中所述反射偏振器设置在所述第二光学透镜的所述弯曲的第一主表面上并与所述弯曲的第一主表面适形。

[0093] 实施方案25为根据实施方案21至23中任一项所述的光学成像系统,所述光学成像系统还包括延迟器,所述延迟器设置在所述部分反射器和所述反射偏振器之间。

[0094] 实施方案26为根据实施方案21至25中任一项所述的光学成像系统,其中所述反射偏振器包括第一反射区和第二反射区,使得对于基本上法向入射在所述反射偏振器上的光,所述第一区基本上反射在包括所述第一颜色波长的第一波长范围内的光并且基本上透射在包括所述第二颜色波长的不同的非重叠的第二波长范围内的光,并且所述第二区基本上反射在所述第二波长范围内的光并且基本上透射在所述第一波长范围内的光,所述第一反射区和所述第二反射区具有第一厚度和第二厚度,所述第一厚度和所述第二厚度具有相应第一中点和第二中点,所述第一中点和所述第二中点隔开距离 $d$ ,以便在减小 $d$ 使得所述第一反射区和所述第二反射区紧邻时引起的所述光学成像系统的所述第一波长范围与所述第二波长范围的纵向色差为距离 $h$ ,  $0.3h \leq d \leq 0.7h$ 。

[0095] 实施方案27为一种用于向观察者显示对象的图像的光学成像系统,所述光学成像系统包括反射偏振器,所述反射偏振器包括多个聚合物干涉层和面向所述对象的第一主表面,所述多个聚合物干涉层的数量为至少50,并且该多个聚合物干涉层主要通过光学干涉来反射和透射在至少从400nm延伸至600nm的预定波长范围内的光,以便翻转所述反射偏振器使得所述第一主表面背离所述对象会使所述光学成像系统在所述预定波长范围内的纵向色差增加至少20%。

[0096] 实施方案28为根据实施方案27所述的光学成像系统,其中翻转所述反射偏振器使得所述第一主表面背离所述对象使所述光学成像系统在所述预定波长范围内的所述纵向色差增加至少50%。

[0097] 实施方案29为根据实施方案27或28所述的光学成像系统,其中翻转所述反射偏振

器使得所述第一主表面背离所述对象使所述光学成像系统在所述预定波长范围内的所述纵向色差增加至少100%。

[0098] 实施方案30为根据实施方案27至29中任一项所述的光学成像系统,其中翻转所述反射偏振器使得所述第一主表面背离所述对象使所述光学成像系统在所述预定波长范围内的所述纵向色差增加至少150%。

[0099] 实施方案31为根据实施方案27至30中任一项所述的光学成像系统,其中翻转所述反射偏振器使得所述第一主表面背离所述对象使所述光学成像系统在所述预定波长范围内的所述纵向色差增加至少200%、或至少250%、或至少300%。

[0100] 实施方案32为根据实施方案27至31中任一项所述的光学成像系统,其中所述预定波长范围至少从400nm延伸至700nm。

[0101] 实施方案33为根据实施方案27至32中任一项所述的光学成像系统,其中所述反射偏振器包括第一反射区和第二反射区,使得对于基本上法向入射在所述反射偏振器上的光,所述第一区基本上反射在所述预定波长范围内的第一波长范围内的光并且基本上透射在所述预定波长范围内的不同的非重叠的第二波长范围内的光,并且所述第二区基本上反射在所述第二波长范围内的光并且基本上透射在所述第一波长范围内的光,所述第一反射区和所述第二反射区具有第一厚度和第二厚度,所述第一厚度和所述第二厚度具有相应的第一中点和第二中点,所述第一中点和所述第二中点隔开距离 $d$ ,以便在减小 $d$ 使得所述第一反射区和所述第二反射区紧邻时引起的所述光学成像系统的所述第一波长范围与所述第二波长范围的纵向色差为距离 $h$ ,  $0.3h \leq d \leq 0.7h$ 。

[0102] 实施方案34为根据实施方案27至33中任一项所述的光学成像系统,其中所述反射偏振器为一体成形的并且包括:

[0103] 顺序布置的多个第一干涉层,所述顺序布置的多个第一干涉层被构造成反射具有第一偏振态的第一颜色光、透射具有正交的第二偏振态的所述第一颜色光、并且透射对应于所述第一偏振态和所述第二偏振态中的每一者的第二颜色光和第三颜色光;

[0104] 顺序布置的多个第二干涉层,所述顺序布置的多个第二干涉层通过具有第一总厚度的一个或多个第一非干涉层与所述多个第一干涉层分隔开,所述多个第二干涉层被构造成反射具有所述第一偏振态的所述第二颜色光、透射具有所述第二偏振态的所述第二颜色光、并且透射对应于所述第一偏振态和所述第二偏振态中的每一者的所述第一颜色光和所述第三颜色光;以及

[0105] 顺序布置的多个第三干涉层,所述顺序布置的多个第三干涉层通过具有第二总厚度的一个或多个第二非干涉层与所述多个第二干涉层分隔开,所述多个第三干涉层被配构造造成反射具有所述第一偏振态的所述第三颜色光、透射具有所述第二偏振态的所述第三颜色光、并且透射对应于所述第一偏振态和所述第二偏振态中的每一者的所述第一颜色光和所述第二颜色光,所述多个第一干涉层、所述多个第二干涉层和所述多个第三干涉层中的每个干涉层主要通过光学干涉来反射或透射光,第一非干涉层和第二非干涉层中的每一者不是主要通过光学干涉来反射或透射光,所述多个第二干涉层设置在所述多个第一干涉层和所述多个第三干涉层之间,以便将所述第一厚度和所述第二厚度中的每一者改变10%会使所述光学成像系统在所述预定波长范围内的所述纵向色差增加至少20%。

[0106] 实施方案35为根据实施方案27至34中任一项所述的光学成像系统,所述光学成像

系统还包括第一光学透镜,所述第一光学透镜包括弯曲的第一主表面;

[0107] 部分反射器,所述部分反射器设置在所述第一光学透镜的所述弯曲的第一主表面上并与所述弯曲的第一主表面适形,并且在所述预定波长范围内具有至少30%的平均光学反射率;以及

[0108] 第二光学透镜,所述第二光学透镜包括弯曲的第一主表面,

[0109] 其中所述反射偏振器设置在所述第二光学透镜的所述弯曲的第一主表面上并与所述弯曲的第一主表面适形。

[0110] 实施方案36为根据实施方案35所述的光学成像系统,所述光学成像系统还包括延迟器,所述延迟器设置在所述部分反射器和所述反射偏振器之间。

[0111] 实施例

[0112] 使用Zemax**OpticStudio**<sup>®</sup>建模软件对类似于光学系统850的光学系统进行建模。

将反射偏振器建模为在第二光学透镜20的第一主表面21上的40微米厚的元件。将处于阻挡偏振态的光的反射建模为在与第二光学透镜20相对的最外主表面处或者在紧邻第二光学透镜20的主表面处发生。将第一光学透镜10建模为N-BK7玻璃,并且将第二光学透镜20建模为丙烯酸类。第一光学透镜10的第一主表面11为球面的,曲率半径为51.7mm,并且第一光学透镜10的第二主表面12为平面的。第一光学透镜10在第一光学透镜10的中心处具有7mm的厚度。第二光学透镜20的第一主表面21和第二主表面22为平坦的非球面,由式1描述:

$$[0113] \quad z = \frac{cr^2}{1 + \left[1 - (1+k)c^2r^2\right]^{1/2}} + Er^4 + Fr^6 + Gr^8 \quad (\text{式 } 1)$$

[0114] 对于第一主表面21,使用mm用于长度, $c = -1/(120.4)$ ,  $k = 0$ ,  $E = 2.5E-06$ , 并且F和G为零。对于第二主表面22,使用mm用于长度, $c = 1/(231.3)$ ,  $k = 4.91$ ,  $E = -1.43E-05$ ,  $F = 2.11E-08$ , 并且  $G = -9.33E-11$ 。第二光学透镜20在第二光学透镜20的中心处具有3.2mm的厚度。

[0115] 焦平面相对于部分反射器的位置(在图9中,这是沿光轴155从点54到部分反射器30的距离)根据波长来确定,并且在表中针对三个波长进行报告。

[0116]	波长 (nm)	对于在最外表面处的反射的 焦平面 (mm)	对于在最外表面以下 40 微米处的反射的 焦平面 (mm)
	486.133	0.079771	0.021588
	587.562	0.13706	0.078558
	656.273	0.162253	0.103613

[0117] 对于在最外表面处发生反射的情况,在从约486nm至约656nm的预定波长范围内的纵向色差为 $0.162253\text{mm} - 0.079771\text{mm} = 0.082482\text{mm}$ 或约82.5微米。对于在最外表面以下40微米处发生反射的情况,在预定波长范围内的纵向色差为 $0.103613\text{mm} - 0.021588\text{mm} = 0.082025\text{mm}$ 或约82.0微米。

[0118] 还使用Zemax软件确定上表中三个波长的斑点图。斑点图从点对象确定图像大小。在不存在像差的情况下,点对象将会聚到图像点。像差增加斑点的大小。色差可导致一些波长产生更大的斑点并且因此可增加总体斑点大小。对于在最外表面处发生反射的情况,均方根(RMS)斑点半径为13.2微米,并且几何斑点半径为21.9微米。对于在最外表面以下40微米处发生反射的情况,RMS斑点半径为11.6微米,并且几何斑点半径为29.7微米。

[0119] 具有适于在最外主表面处反射波长为约486nm的光以及适于在此最外表面以下40微米的表面处反射波长为约656nm的光的层的反射偏振器具有 $0.103613\text{mm} - 0.07977\text{mm} = 0.023842\text{mm}$ 或约23.8微米的纵向色差。在这种情况下,RMS斑点半径确定为8.0微米,并且几何斑点半径确定为12.5微米。

[0120] 翻转反射偏振器使得在最外主表面处反射约656nm的波长并且在此最外表面以下40微米的表面处反射约486nm的波长导致纵向色差为 $0.162253\text{mm} - 0.021588\text{mm} = 0.140665\text{mm}$ 或约141微米。在这种情况下,RMS斑点半径确定为16.7微米,并且几何斑点半径确定为28.7微米。

[0121] 以上获得专利证书的申請中所有引用的参考文献、专利和专利申请以一致的方式全文以引用方式并入本文中。在并入的参考文献部分与本申請之间存在不一致或矛盾的情况下,应以前述说明中的信息为准。

[0122] 除非另外指明,否则针对附图中元件的描述应被理解为同样应用于其它附图中的对应元件。虽然本文已经例示并描述了具体实施方案,但本领域的普通技术人员将会知道,在不脱离本公开范围的情况下,可用多种另选的和/或等同形式的具体实施来代替所示出和所描述的具体实施方案。本申請旨在涵盖本文所讨论的具体实施方案的任何改型或变型。因此,本公开旨在仅受权利要求及其等同形式的限制。

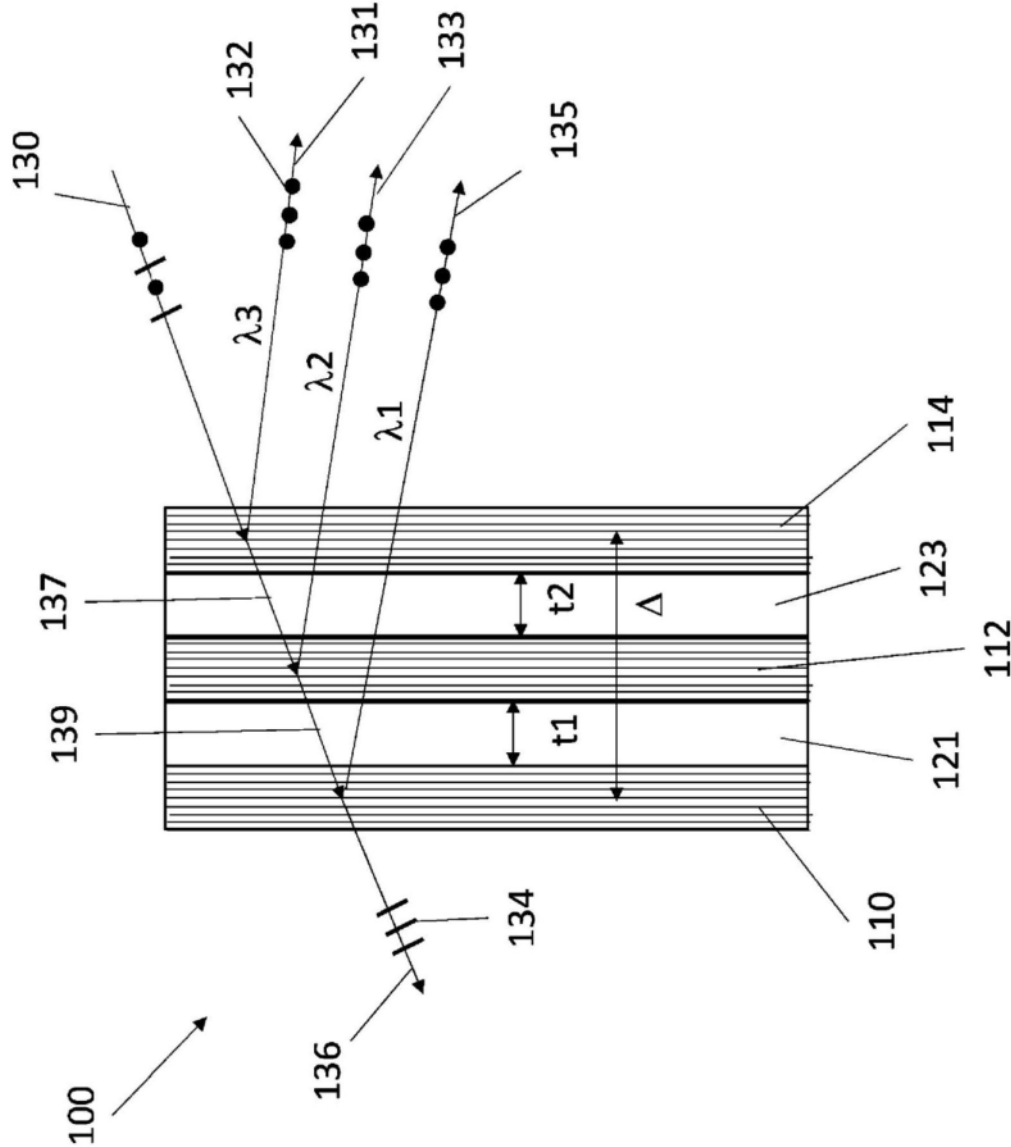


图1

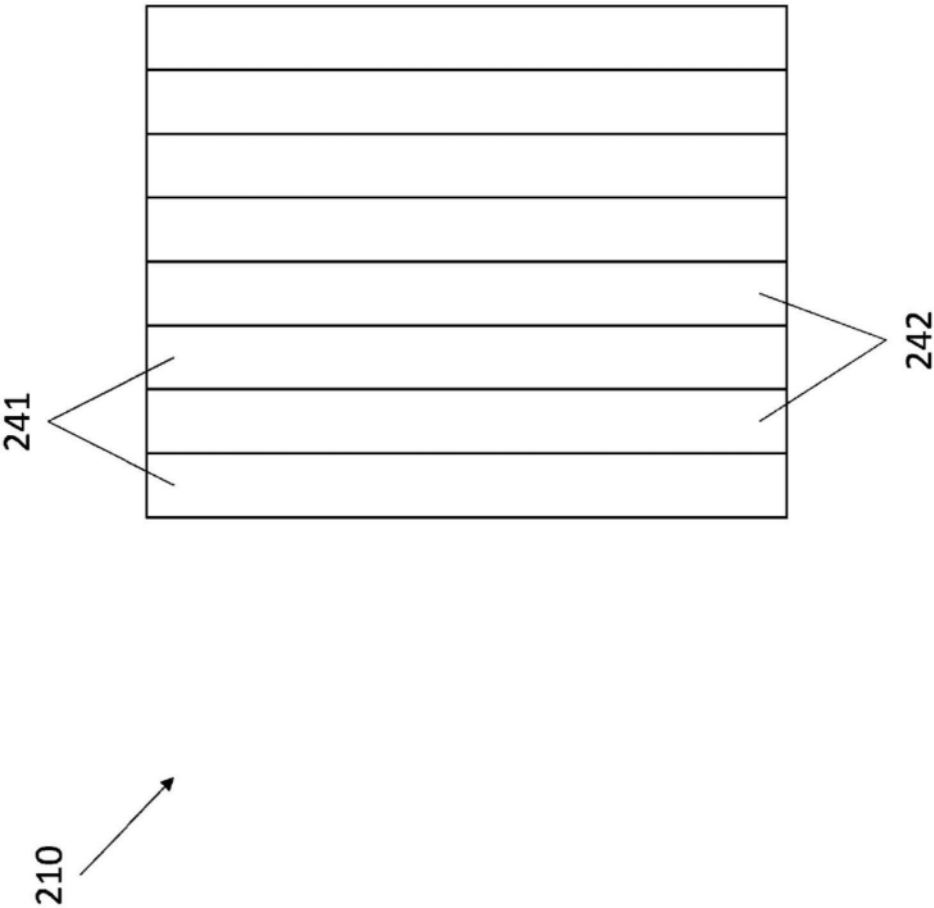


图2

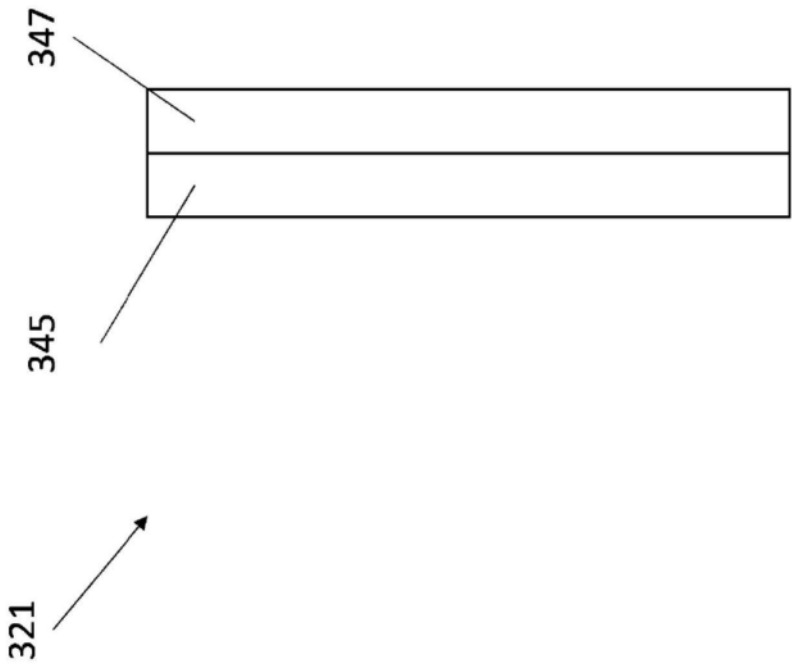


图3

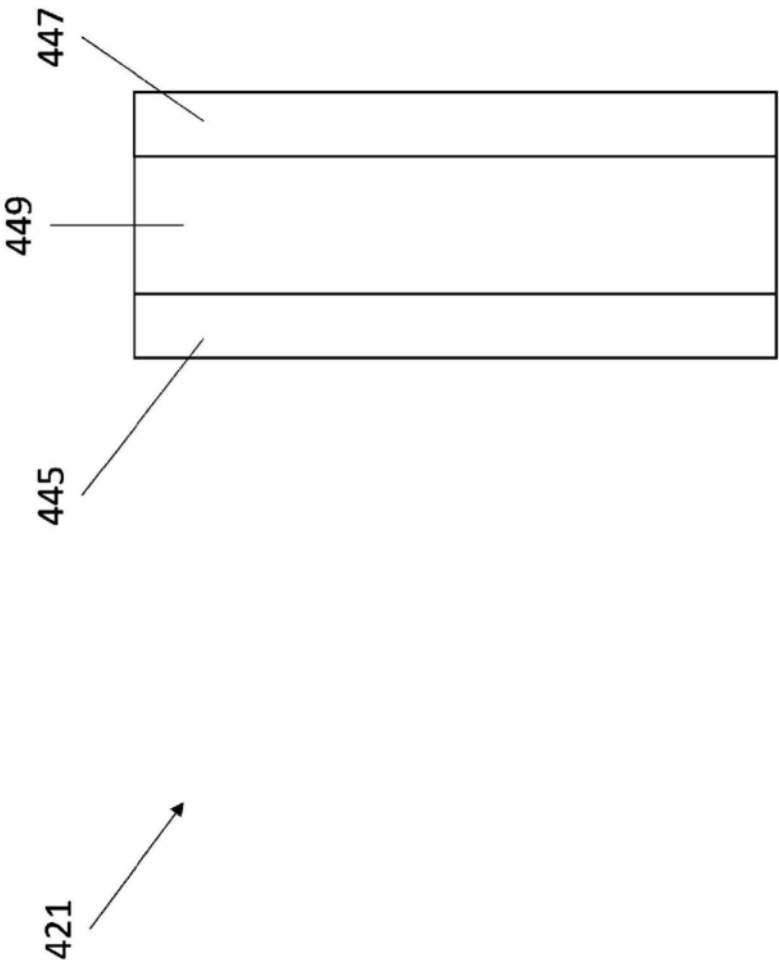


图4



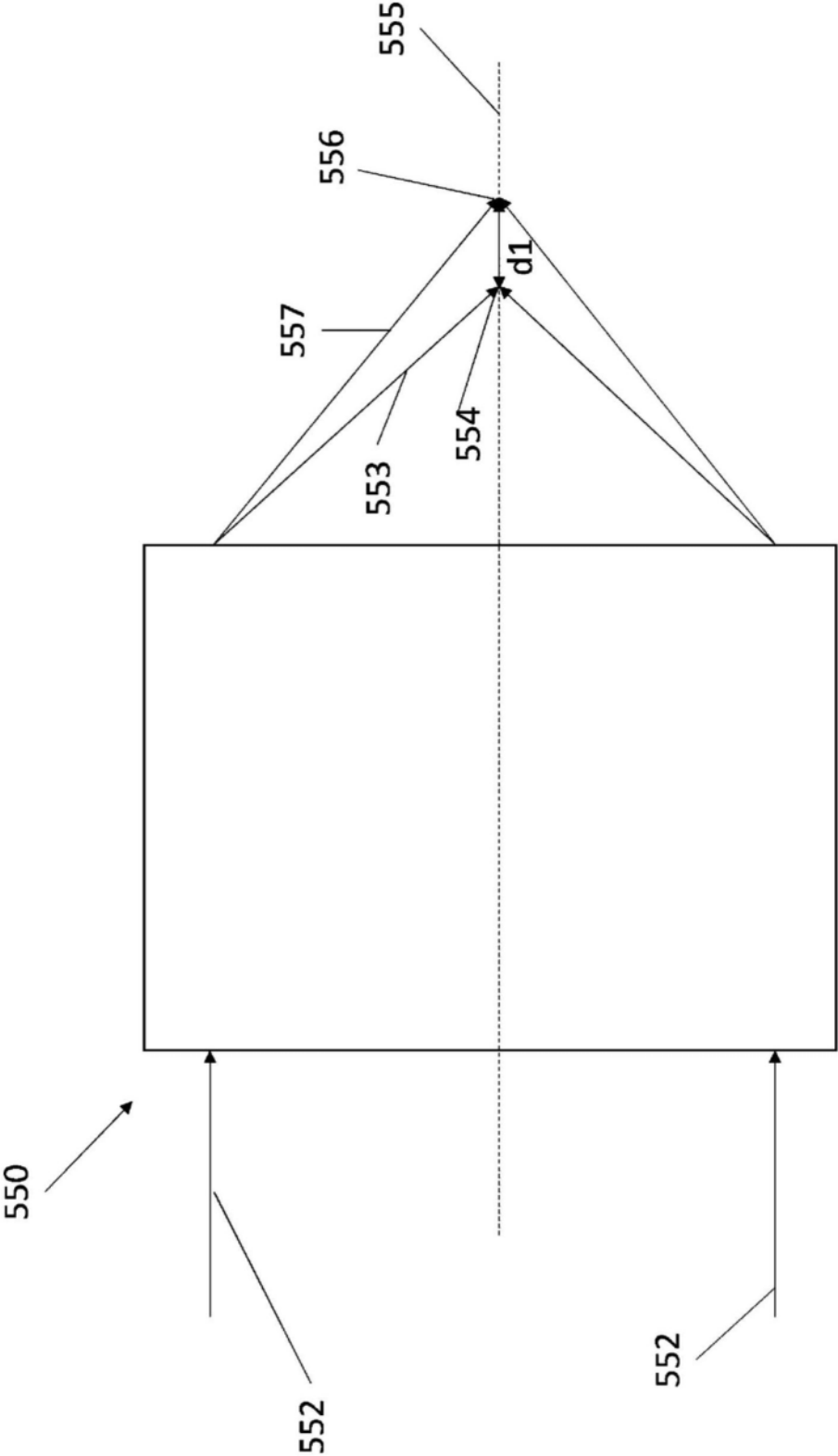


图5A

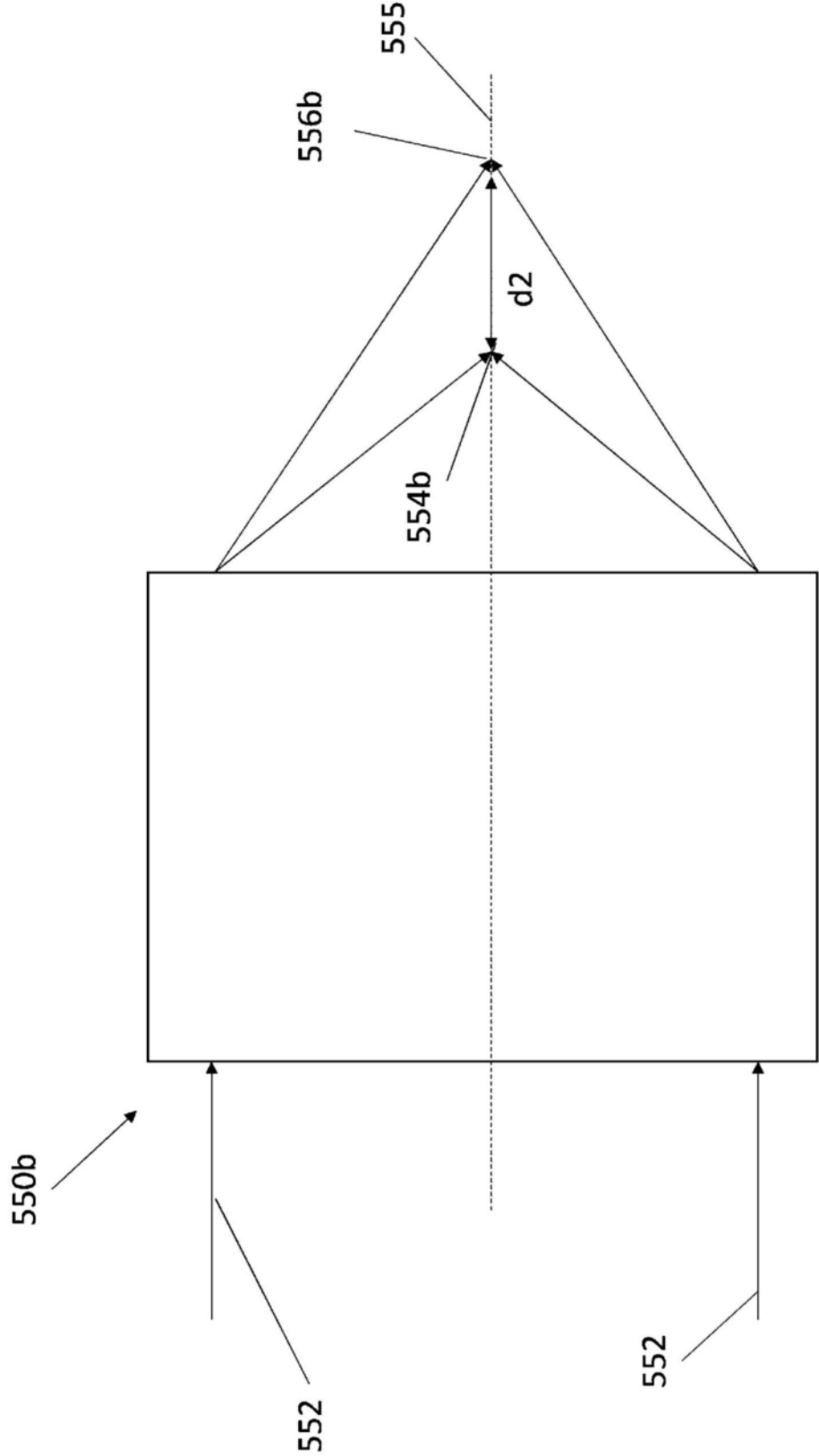


图5B

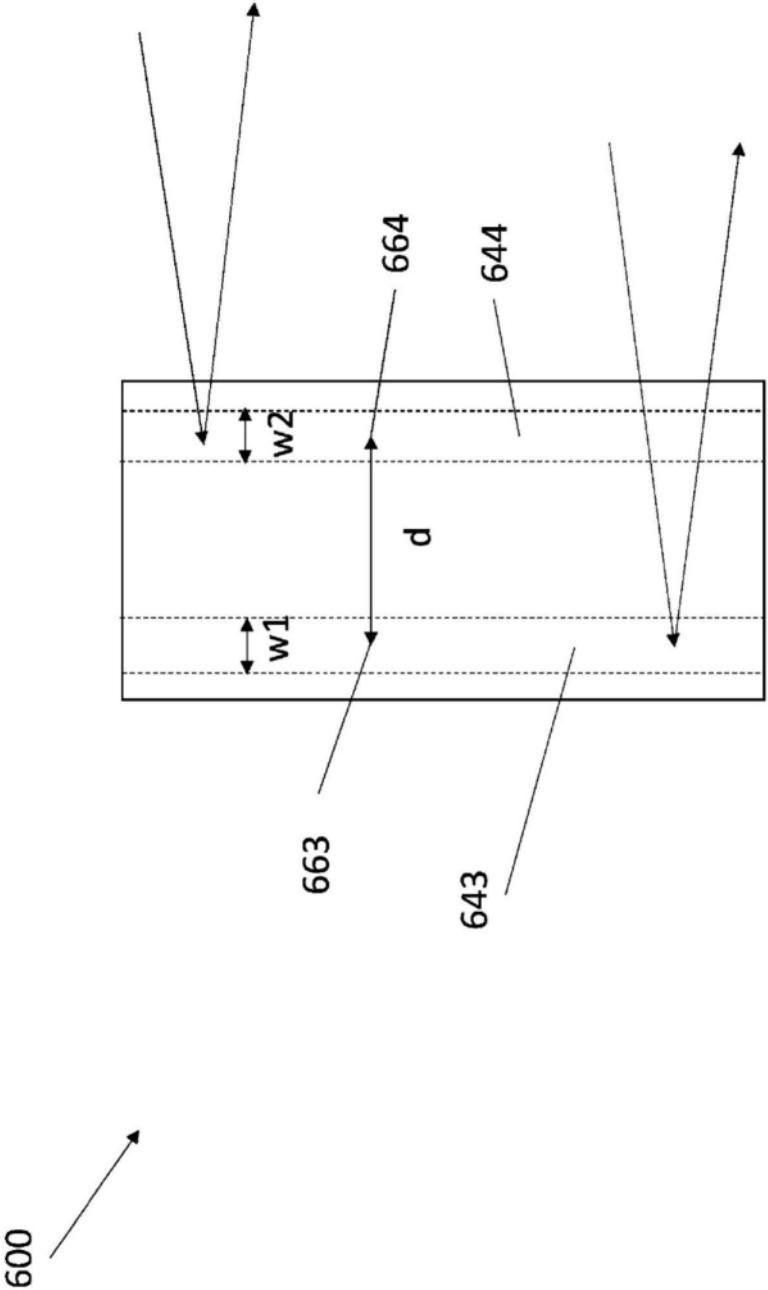


图6A

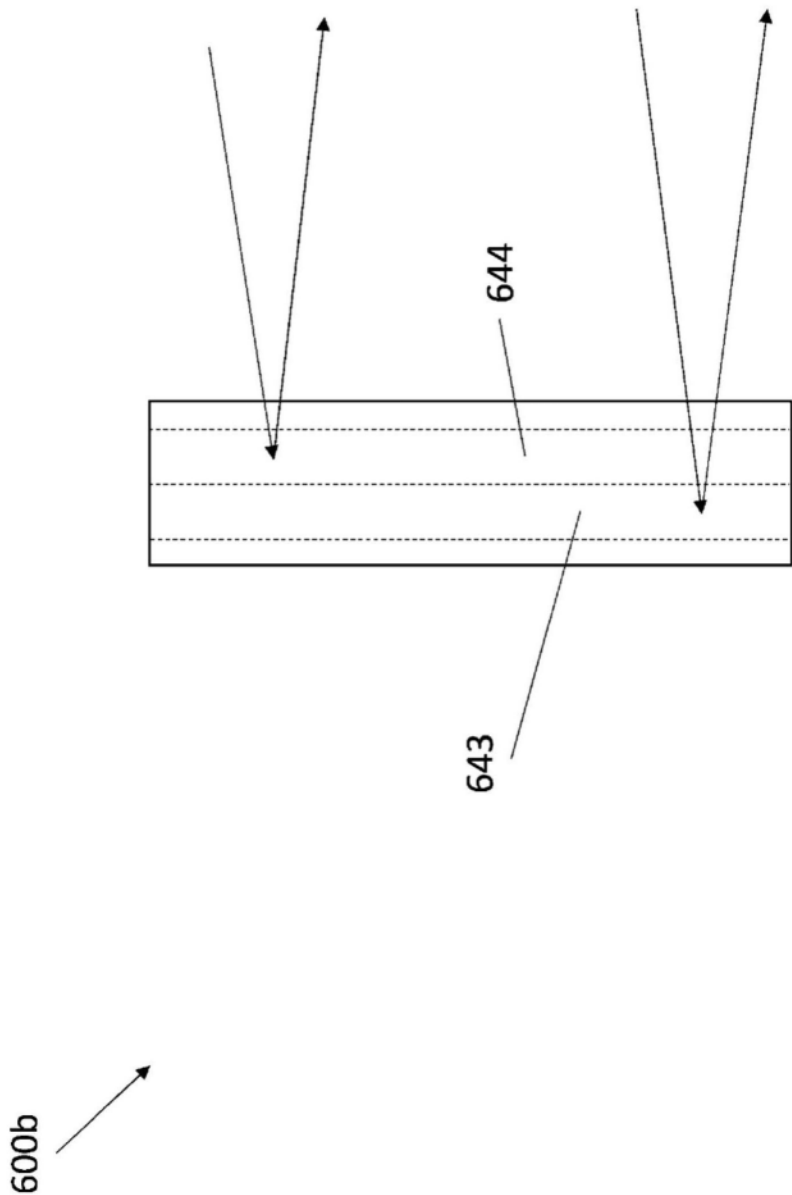


图6B

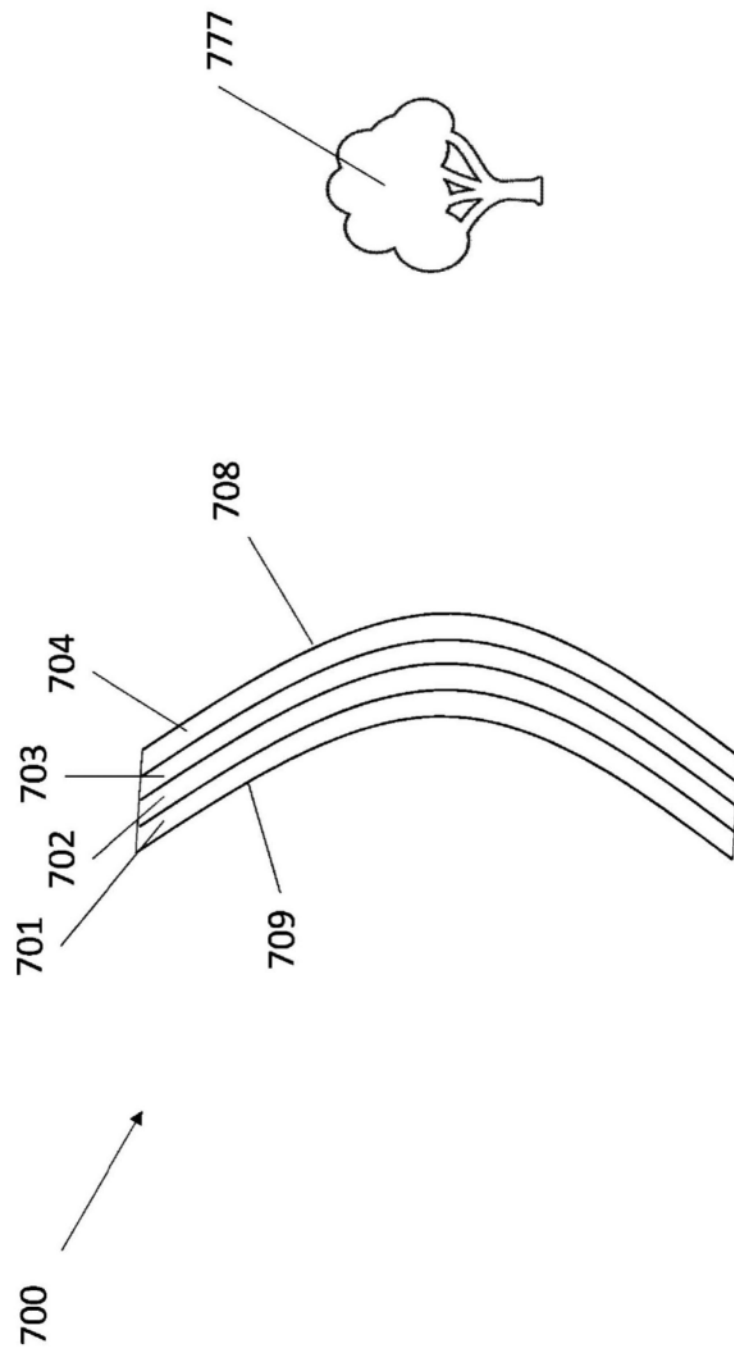


图7A

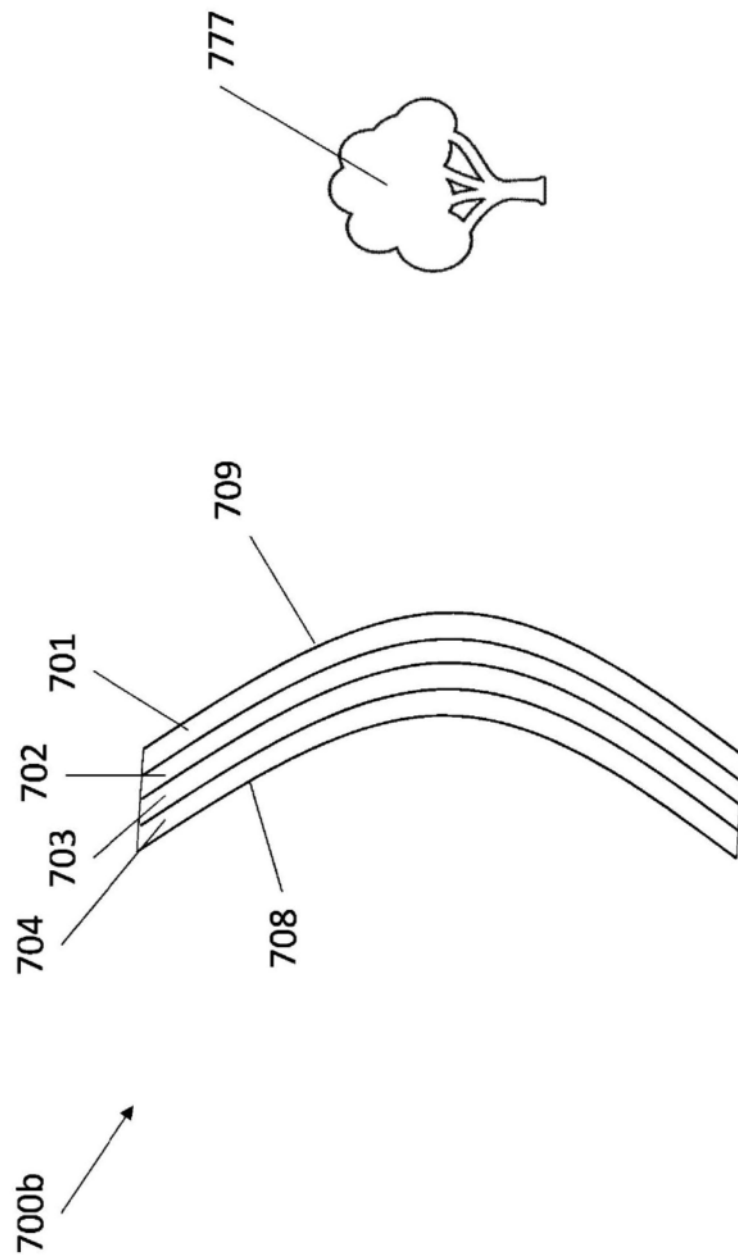


图7B

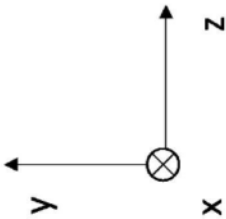
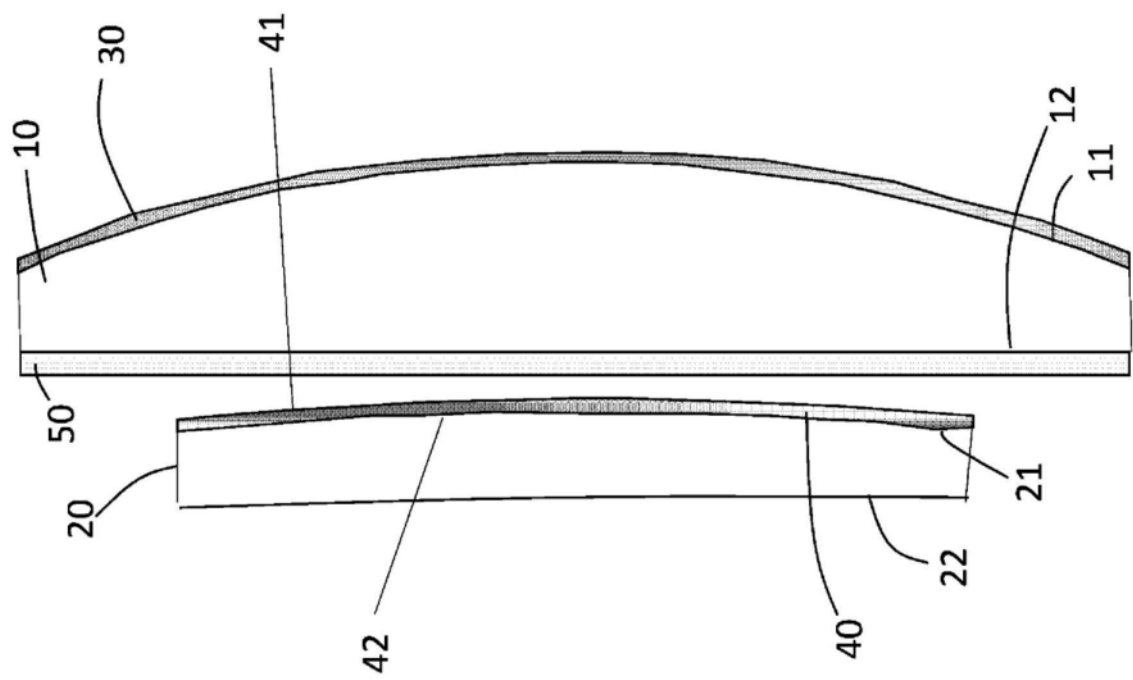


图8

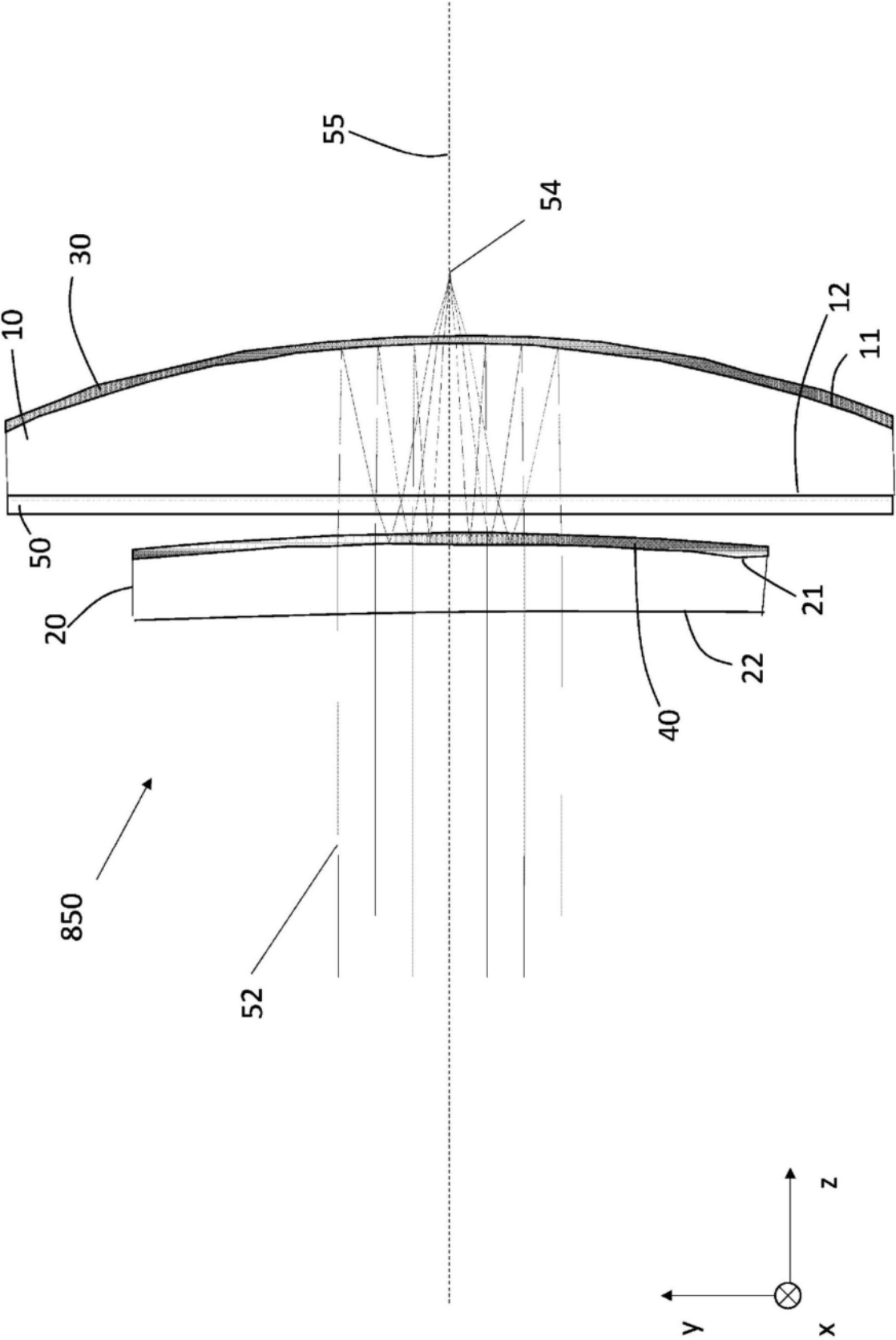


图9



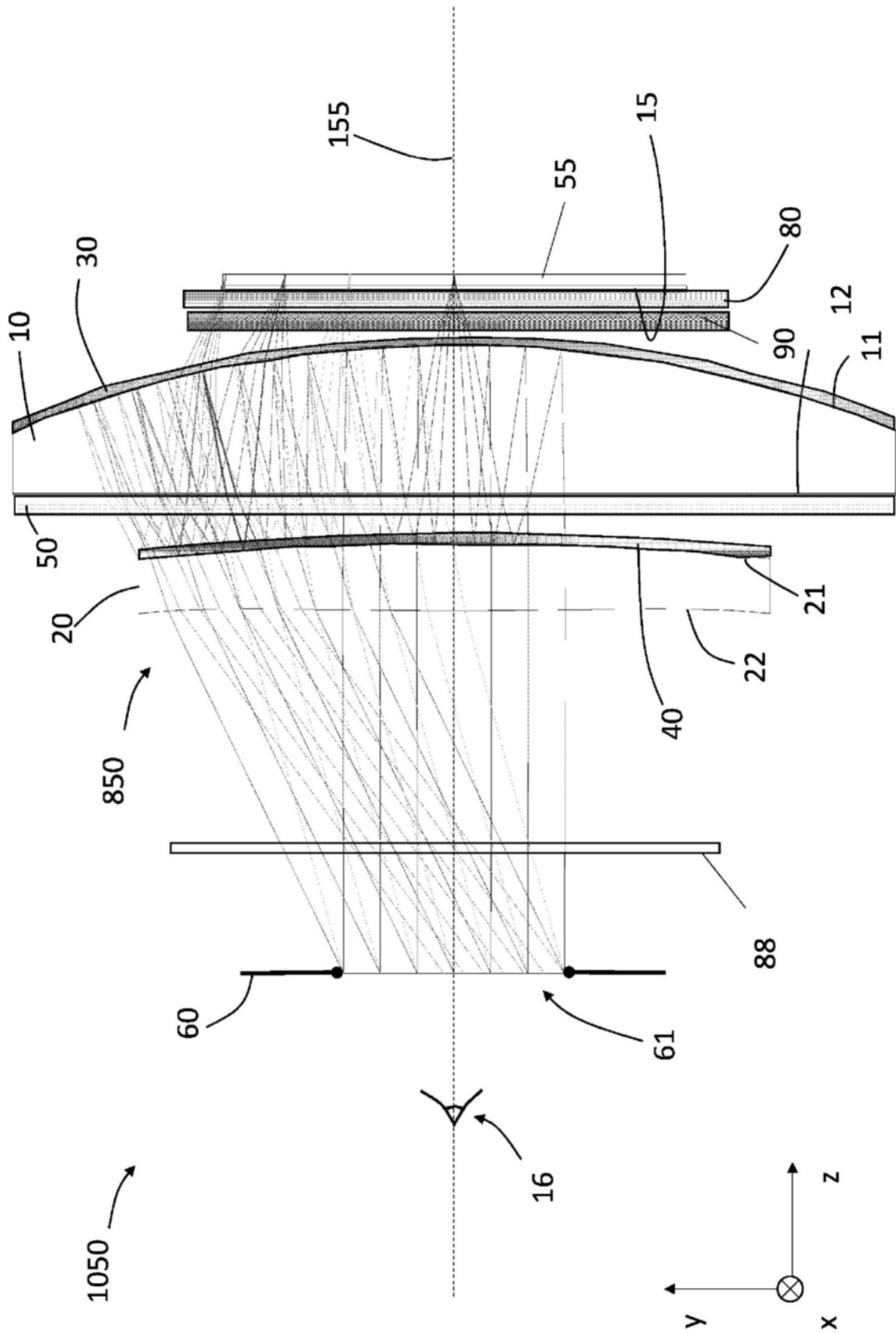


图10