



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114296173 B

(45) 授权公告日 2024. 10. 08

(21) 申请号 202210036544.8

苏珊·L·肯特

(22) 申请日 2018.10.19

(74) 专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理有限公司 11112

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114296173 A

专利代理师 李赛 龙涛峰

(43) 申请公布日 2022.04.08

(51) Int.Cl.

(30) 优先权数据

G02B 5/30 (2006.01)

62/576,772 2017.10.25 US

G02B 27/01 (2006.01)

(62) 分案原申请数据

201880069900.8 2018.10.19

(56) 对比文件

CN 1996120 A, 2007.07.11

(73) 专利权人 3M创新有限公司

CN 101144940 A, 2008.03.19

地址 美国明尼苏达州

审查员 王颖

(72) 发明人 负智省 迈克尔·L·斯坦纳

乔·A·埃特 蒂莫西·L·翁

吉勒·J·伯努瓦 约翰·D·李

埃林·A·麦克道尔

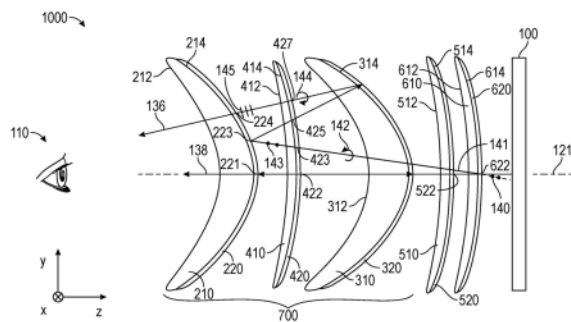
权利要求书2页 说明书16页 附图8页

(54) 发明名称

光学系统

(57) 摘要

本发明公开了一种光学系统,该光学系统包括:一个或多个光学透镜;反射偏振器;部分反射器,所述部分反射器和所述反射偏振器限定在两者之间的折叠光学腔;第一延迟器层,所述第一延迟器层设置在所述折叠光学腔内部;第二延迟器层,所述第二延迟器层设置在所述折叠光学腔外部;和第三延迟器层,所述第三延迟器层设置在所述折叠光学腔外部并且在预定波长处具有基本上不均匀的延迟,使得当在所述光学系统的输入端处接收到图像并在所述光学系统的输出端处检测到所述图像时,所述光学系统的所述输出端处的所述图像具有最大对比度变化比在不具有所述第三延迟器层的对比光学系统的输出端处检测到的图像小至少5%。



1. 一种光学系统,包括:

一个或多个光学透镜,所述一个或多个光学透镜具有至少一个主表面;

反射偏振器,所述反射偏振器设置在所述一个或多个光学透镜的第一主表面上并且适形于所述第一主表面,所述反射偏振器在400nm至1000nm范围内的预定波长处基本上反射具有第一偏振态的光并且基本上透射具有正交的第二偏振态的光;

部分反射器,所述部分反射器设置在所述一个或多个光学透镜的第二主表面上并且适形于所述第二主表面,所述部分反射器在所述预定波长处具有至少30%的平均光学反射率,所述部分反射器和所述反射偏振器限定在两者之间的折叠光学腔;

第一延迟器层,所述第一延迟器层设置在所述折叠光学腔内部并且在所述预定波长处具有基本上均匀的延迟,所述基本上均匀的延迟是指所述第一延迟器层中的延迟的最大差不大于20%;

第二延迟器层,所述第二延迟器层设置在所述折叠光学腔外部并且在所述预定波长处具有基本上均匀的延迟,所述基本上均匀的延迟是指所述第二延迟器层中的延迟的最大差不大于20%;和

第三延迟器层,所述第三延迟器层设置在所述折叠光学腔外部并且在所述预定波长处具有基本上不均匀的延迟,所述基本上不均匀的延迟是指所述第三延迟器层中的延迟的最大差大于20%;

使得当在所述光学系统的输入端处接收到图像并在所述光学系统的输出端处检测到所述图像时,所述光学系统的所述输出端处的所述图像具有的最大对比度变化比在不具有所述第三延迟器层的对比光学系统的输出端处检测到的图像小至少5%。

2. 根据权利要求1所述的光学系统,其中所述一个或多个光学透镜的所述至少一个主表面为弯曲表面。

3. 一种用于向观察者显示对象的光学系统,包括:

一个或多个光学透镜,所述一个或多个光学透镜具有至少一个弯曲的主表面;

反射偏振器,所述反射偏振器设置在所述一个或多个光学透镜的第一主表面上并且适形于所述第一主表面,所述反射偏振器在400nm至1000nm范围内的预定波长处基本上反射具有第一偏振态的光并且基本上透射具有正交偏振态的光;

部分反射器,所述部分反射器设置在所述一个或多个光学透镜的不同的第二主表面上并且适形于所述第二主表面,所述部分反射器在所述预定波长处具有至少30%的平均光学反射率,所述部分反射器和所述反射偏振器限定在两者之间的折叠光学腔;

第一延迟器层,所述第一延迟器层设置在所述折叠光学腔内部并且在所述预定波长处具有基本上均匀的延迟,所述基本上均匀的延迟是指所述第一延迟器层中的延迟的最大差不大于20%;

第二延迟器层,所述第二延迟器层设置在所述折叠光学腔外部并且在所述预定波长处具有基本上均匀的延迟,所述基本上均匀的延迟是指所述第二延迟器层中的延迟的最大差不大于20%;和

第三延迟器层,所述第三延迟器层设置在所述折叠光学腔外部并且在所述预定波长处具有基本上不均匀的延迟,所述基本上不均匀的延迟是指所述第三延迟器层中的延迟的最大差大于20%;

使得当以所述预定波长从显示器发射的图像光线首次入射在所述反射偏振器上时,所述图像光线以第一反射率(ρ)基本上被反射,并且当所述图像光线再次入射在所述反射偏振器上时,所述图像光线以第一透射率(τ)基本上被透射,所述第三延迟器层增大所述第一反射率。

4.一种光学系统,包括:

一个或多个光学透镜,所述一个或多个光学透镜具有至少一个主表面;

反射偏振器,所述反射偏振器设置在所述一个或多个光学透镜的第一主表面上并且适形于所述第一主表面,所述反射偏振器在400nm至1000nm范围内的预定波长处基本上反射具有第一偏振态的光并且基本上透射具有正交的第二偏振态的光;

部分反射器,所述部分反射器设置在所述一个或多个光学透镜的第二主表面上并且适形于所述第二主表面,所述部分反射器在所述预定波长处具有至少30%的平均光学反射率,所述部分反射器和所述反射偏振器限定在两者之间的折叠光学腔;

第一延迟器层,所述第一延迟器层设置在所述折叠光学腔内部并且在所述预定波长处具有基本上均匀的延迟,所述基本上均匀的延迟是指所述第一延迟器层中的延迟的最大差不大于20%;

第二延迟器层,所述第二延迟器层设置在所述折叠光学腔外部并且在所述预定波长处具有基本上均匀的延迟,所述基本上均匀的延迟是指所述第二延迟器层中的延迟的最大差不大于20%;和

第三延迟器层,所述第三延迟器层设置在所述折叠光学腔外部并且在所述预定波长处具有基本上不均匀的延迟,所述基本上不均匀的延迟是指所述第三延迟器层中的延迟的最大差大于20%;

使得当具有所述第一偏振态的均匀偏振的明场图像入射在所述光学系统上并且在所述反射偏振器和所述部分反射器中的每一者处经历至少一次反射之后从所述光学系统出射时,出射的所述图像填充出射孔径,填充所述孔径的所述图像具有处于所述第一偏振态的第一图像分量,其中所述第一图像分量的最大强度比不具有所述第三延迟器层的对比光学系统小至少10%。

光学系统

[0001] 本申请是基于申请人3M创新有限公司的申请日为2018年10月19日、申请号为CN 2018800699008 (国际申请号为PCT/IB2018/058168)、且发明名称为“光学延迟器片段”的专利申请的分案申请。

技术领域

[0002] 本公开涉及光学系统。具体地,本公开涉及包括具有多个片段的光学延迟器的光学系统。

背景技术

[0003] 光学系统可利用反射偏振器、部分反射器和相位延迟器。此类光学系统可用于头戴式显示器。

发明内容

[0004] 在本说明书的一些方面,一种光学系统包括一个或多个光学透镜、反射偏振器、部分反射器、第一延迟器层、第二延迟器层和第三延迟器层。该一个或多个光学透镜具有至少一个主表面。该反射偏振器设置在该一个或多个光学透镜的第一主表面上并适形于该第一主表面。该部分反射器和该反射偏振器限定在两者之间的折叠光学腔。在约400nm至约1000nm范围内的预定波长处,该反射偏振器基本上反射具有第一偏振态的光并且基本上透射具有正交的第二偏振态的光。该部分反射器设置在该一个或多个光学透镜的第二主表面上并适形于该第二主表面。该部分反射器在该预定波长处具有至少30%的平均光学反射率。第一延迟器层设置在该折叠光学腔中,而第二延迟器层和第三延迟器层设置在该折叠光学腔的外部。第一延迟器层和第二延迟器层在该预定波长处具有基本上均匀的延迟,而第三延迟器层在该预定波长处具有基本上不均匀的延迟。

[0005] 在本说明书的一些方面,上述光学系统被构造为使得当在该光学系统的输入端处接收到图像并在该光学系统的输出端处检测到图像时,该光学系统的输出端处的图像具有的最大对比度变化比在不具有第三延迟器层的对比光学系统的输出端处检测到的图像小至少5%。

[0006] 在本说明书的一些方面,上述光学系统被构造为使得当以预定波长从显示器发射的图像光线首次入射在反射偏振器上时,该图像光线以第一反射率(ρ)基本上被反射,并且当该图像光线再次入射在反射偏振器上时,该图像光线以第一透射率(τ)基本上被透射,第三延迟器层增大第一反射率。

[0007] 在本说明书的一些方面,上述光学系统被构造为使得当具有第一偏振态的均匀偏振的明场图像入射在该光学系统上并且在反射偏振器和部分反射器中的每一者处经历至少一次反射之后从该光学系统出射时,出射的图像填充出射孔径,填充该孔径的图像具有处于第一偏振态的第一图像分量,其中第一图像分量的最大强度比不具有第三延迟器层的对比光学系统小至少10%。

[0008] 本发明的一个或多个实施方案的细节在以下附图和说明书中示出。从说明书和附图以及从权利要求中将显而易见本发明的其他特征、目的和优点。

附图说明

[0009] 在这些附图中,类似的符号表示类似的元件。点线表示可选或功能部件,而虚线表示视图外的部件。

[0010] 图1是用于透射光的光学系统的示意性剖视图。

[0011] 图2是包括分立延迟器片段的光学元件的示意性前视平面图。

[0012] 图3A至图3D是具有各种形状的分立延迟器片段的示意性前视平面图。

[0013] 图4A是包括分立延迟器区段的光学系统中的明场与暗场的亮度比率与分立延迟器区段的延迟的关系的曲线图。

[0014] 图4B是包括分立延迟器区段的光学系统中的漏光与分立延迟器区段的延迟的关系的曲线图。

[0015] 图4C是包括分立延迟器区段的光学系统中的光焦度变化与分立延迟器区段的延迟的关系的曲线图。

[0016] 图5A是来自不包括分立延迟器区段的光学系统的暗场图像的亮度的等高线图。

[0017] 图5B是来自包括分立延迟器区段的光学系统的暗场图像的亮度的等高线图。

[0018] 图5C是来自不包括分立延迟器区段的光学系统的明场图像的亮度的等高线图。

[0019] 图5D是来自包括分立延迟器区段的光学系统的明场图像的亮度的等高线图。

[0020] 图6是用于透射光的模拟光学系统的示意性剖视图。

[0021] 图7A是用于透射光的模拟光学系统的示意性剖视图。

[0022] 图7B是模拟光学元件的示意性前视平面图,该模拟光学元件在四分之一波延迟器上包括分立延迟器片段。

具体实施方式

[0023] 根据本公开的原理,一种光学系统可包括用于改善光学显示器的对比度的光学元件。该光学元件包括光学表面,该光学表面被构造为接收预定波长的光。该光学元件包括具有均匀延迟的光学表面部分和具有不同延迟的光学表面部分。该光学元件包括第一纵向区段和第二纵向区段,第一纵向区段和第二纵向区段延伸跨过该光学表面的相反边缘并且对于基本上法向入射的光具有相同的基本上均匀的延迟。该光学元件包括四个分立延迟器区段,这些分立延迟器区段各自设置在该光学表面上并且具有的与纵向区段的基本上均匀的延迟的延迟差大于零。

[0024] 上述光学元件可用于光学系统以改善该光学系统的对比度。一种光学系统可包括反射偏振器层、部分反射器层、第一延迟器层、第二延迟器层和第三延迟器层,每一层设置在一个或多个光学透镜的至少一个主表面或另一层上。该部分反射器和该反射偏振器限定在两者之间的折叠光学腔。在预定波长处,该反射偏振器基本上反射具有第一偏振态的光并且基本上透射具有正交的第二偏振态的光。该部分反射器在该预定波长处具有至少30%的平均光学反射率。第一延迟器层设置在该折叠光学腔中,而第二延迟器层和第三延迟器层设置在该折叠光学腔的外部。第三延迟器层包括上述光学元件。

[0025] 根据本发明,可使用具有不均匀的延迟的光学元件来校正存在于一些光学系统中的各种光学缺陷,从而提供改善的光学性能。光学系统中的偏振部件(诸如波片和反射偏振器)可导致光学系统中的误差和错位,诸如通过偏振部件的制造差异或者偏振部件对以斜角入射在该偏振部件上的光的性能差异所导致的。例如,在使用标准四分之一波延迟器的光学系统中,反射偏振器的局部消光态与首次入射在反射偏振器上的光线的偏振态之间以及/或者反射偏振器的局部透光态与再次入射在反射偏振器上的光线的偏振态之间可能存在不对准。例如,由于当反射偏振器形成弯曲形状时其局部透光轴和消光轴的偏移,会发生此类不对准。又如,在其中光源(诸如显示器)产生基本上不准直的光的光学系统中,高入射角的光线可部分地被吸收或从一个或多个四分之一波延迟器的表面透射,使得可减小对比度。

[0026] 根据本发明,具有不均匀的延迟的光学元件可延迟进入光学系统的光,使得穿过该光学系统传播并且入射在与该光学系统的出射相关联的偏振部件的表面上的光线可更紧密地匹配用于偏振的所需偏振态。例如,虽然沿光轴行进的光线在法向入射在反射偏振器的表面上时可基本上被阻挡或透射,但斜入射在该反射偏振器的表面上的光线可部分地透射穿过该反射偏振器以用于消光态,并且可部分地从该反射偏振器层反射以用于透光态,这可减小该光学系统的对比度。通过包括被构造为使用在空间上变化的不均匀延迟来补偿漏光的光学元件,可以增大该光学系统的对比度。该光学元件可使用简单的制造技术来制造。例如,分立延迟器区段可粘附到光学表面诸如四分之一波延迟器,以在光学表面的与需要补偿的光线相关联的空间位置处产生不均匀的延迟。又如,该光学元件可为可被添加到现有光学系统的单独部件,使得该光学系统可利用不同光学元件(诸如具有特定视场的特定光源)进行重构。

[0027] 图1是用于透射光的光学系统1000的示意性剖视图。光学系统1000包括光学透镜210、410、310、510和610,反射偏振器层220(也称为“反射偏振器”),部分反射器层320(也称为“部分反射器”),第一延迟器层420,第二延迟器层520和第三延迟器层620(也分别称为“第一延迟器”、“第二延迟器”和“第三延迟器”)。

[0028] 在图1的示例中,对象100发射具有偏振态140的光线136。在穿过第三延迟器层620之后,光线136具有偏振态141;然后,在穿过第二延迟器层520和部分反射器层320之后,光线136具有偏振态142;然后,在穿过第一延迟器层420之后,光线136当首次入射在反射偏振器层220上时具有偏振态143;然后,在穿过第一延迟器层420返回并且从部分反射器层320反射之后,光线136具有偏振态144;并且然后,光线136再次穿过第一延迟器层420成为偏振态145,并且再次入射在反射偏振器层220上。图1还示意性地示出了光线138。光线138沿着光轴121传播并在原点522处穿过延迟器层520,在原点422处穿过延迟器层420并在原点221处穿过反射偏振器220。参考图1中所示的x-y-z坐标系,偏振态140和143在图1中示意性地示出为具有在x方向上偏振的电场。然而,这些偏振态中的任一者或两者可以是除了沿x方向线性偏振之外的某种状态。例如,如果偏振态141为线性偏振,则偏振态143可根据延迟器层420、520、620的延迟为椭圆偏振。

[0029] 光学系统1000的部件可设置在光学透镜210、310、410、510和610的一个或多个主表面上。在其他实施方案中,反射偏振器层220,部分反射器层320和延迟器层420、520和620中的一者或多者设置在不同于图1所示的实施方案中所示的主表面上。例如,反射偏振器层

220,部分反射器层320和延迟器层420、520和620中的任何一者或多者可设置在相应透镜的相对主表面上。又如,这些层中的一者或多者可设置在这些层中的另一者上。光学透镜210具有相对的第一主表面212和第二主表面214,光学透镜310具有相对的第一主表面312和第二主表面314,光学透镜410具有相对的第一主表面412和第二主表面414,光学透镜510具有相对的第一主表面512和第二主表面514,并且光学透镜610具有相对的第一主表面612和第二主表面614。

[0030] 光学透镜210、310、410、510、610可由任何合适的透镜材料制成,诸如丙烯酸或玻璃。在一些实施方案中,光学透镜在嵌入模制工艺中形成。例如,可将反射偏振器层220成形为所需的形状,然后可将光学透镜嵌入模制到反射偏振器层220上。可使用任何类型的合适透镜。在一些实施方案中,光学系统的一个或多个透镜是平凸透镜、平凹透镜、双凸透镜、双凹透镜、正弯月面透镜、负弯月面透镜、可变折射率透镜(例如,梯度折射率透镜)和菲涅耳透镜中的一者。应当理解,可以包括附加的光学透镜,并且针对光学透镜的一种布置描述的许多属性适用于该光学透镜的其他布置。

[0031] 光学系统1000具有光轴121。光学系统、显示系统或光学系统中的光学透镜或光学元件的光轴可被理解为靠近系统、透镜或光学元件的中心的轴,其中沿该光轴传播的光线以最小折射程度穿过该透镜和/或光学元件,使得沿接近但不同于光轴的轴传播的光经历较大程度的折射。在一些实施方案中,一个或多个光学透镜210、310、410、510、610中的每一者在穿过该一个或多个光学透镜210、310、410、510、610中的每一者的顶点的光轴121上居中。沿光轴121的光线可在不被折射或基本上不被折射的情况下穿过光学透镜和/或光学元件,使得在光学系统的任何主表面处,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。

[0032] 在一些实施方案中,光学系统1000向观察者110显示对象100。例如,对象100可以是显示器或显示器上的图像。例如,合适的显示器包括液晶显示器(LCD)和有机发光二极管(OLED)显示器。另选地,对象100可以是除显示器之外的某个对象,诸如观察者110的环境中的对象。在对象100是显示器的实施方案中,光学系统1000连同显示器可被称为显示系统,或者另选地光学系统1000可被描述为包括显示器。在一些实施方案中,对象100是产生偏振光输出的显示面板。在一些实施方案中,提供了偏振来自对象100的光的预偏振器,使得光在入射在延迟器层620上时具有偏振态140。在一些实施方案中,对象100是观察者110的环境中的对象,其通过朝向光学系统1000反射环境光而发射光136。

[0033] 光学系统1000包括反射偏振器层220。在图1的示例中,反射偏振器层220设置在光学透镜210的主表面214上并适形于该主表面;然而,在其他实施方案中,反射偏振器层220可设置在光学系统1000中的另一主表面上。

[0034] 反射偏振器层220可被构造为在预定波长处或在预定波长范围内基本上反射具有第一偏振态的光并且基本上透射具有正交的第二偏振态的光。例如,如果在预定波长处或在预定波长范围内具有第一偏振态的光的至少60%从该偏振器反射,则可以认为反射偏振器层220在预定波长处或在预定波长范围内基本上反射具有第一偏振态的光。如果在预定波长处或在预定波长范围内具有第二偏振态的光的至少60%透射穿过该反射偏振器,则可以认为反射偏振器层220在预定波长处或在预定波长范围内基本上透射具有第二偏振态的光。

[0035] 预定波长范围可以是光学系统或显示系统被设计用于在其中工作的波长范围。预定波长可在约400nm至约1000nm的范围内。例如,预定波长范围可以是可见光范围(400nm至700nm)。又如,预定波长范围可包括一个或多个可见光波长范围。例如,预定波长范围可为多于一个窄波长范围的并集(例如,对应于显示面板的发光颜色的不相交的红色、绿色和蓝色波长范围的并集)。此类波长范围在美国专利申请公布2017/0068100(Ouder Kirk等人)中进一步描述,该申请以引用方式并入本文。在一些实施方案中,预定波长范围包括其他波长范围(例如,红外(例如,近红外(约700nm至约2500nm))或紫外(例如,近紫外(约300nm至约400nm))以及可见光波长范围。在一些示例中,预定波长可以是光学系统的对比度得到改善的波长。例如,延迟器层420、520和620的延迟可与波长有关,使得对延迟器层420、520和/或620中的任一者的延迟的选择可改善对比度。

[0036] 在本文所述的任何光学系统中使用的任何反射偏振器可为线性反射偏振器,其可适于反射具有第一线性偏振态的光并透射具有与第一线性偏振态正交的第二线性偏振态的光。例如,合适的反射偏振器包括聚合物多层光学膜和线栅偏振器。在本说明书的任何光学系统中使用的任何反射偏振器可以是成形(例如,热成形)的反射偏振器,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包括多个交替的第一聚合物层和第二聚合物层。合适的聚合物多层反射偏振器在例如美国专利5,882,774(Jonza等人)和美国专利6,609,795(Weber等人)中有所描述。将反射偏振器形成为复合曲线的方法在上文中以引用方式并入本文的美国专利申请公布2017/0068100(Ouder Kirk等人)、以及提交于2016年9月2日且其内容以不与本说明书矛盾的程度以引用方式并入本文的PCT申请US2016/050024(Ouder Kirk等人)中有所描述。

[0037] 反射偏振器层220可为聚合物多层反射偏振器,并且可具有在顶点处基本上单轴取向的至少一层。在一些实施方案中,反射偏振器220还包括至少一层,该至少一层在该至少一层上的远离光轴的至少一个第一位置处为基本上光学双轴的,并且在远离光轴的至少一个第二位置处为基本上光学单轴的。聚合物多层光学膜可被形成(例如,热成形)以提供反射偏振器层220。光学膜初始可具有单轴取向的至少一层,其具有沿y方向的消光轴。在形成期间,光学膜被拉伸以适形于工具的形状。光学膜被拉伸是因为期望的形状为围绕两个正交的轴线弯曲。与此形成对比的是,光学膜将不需要被拉伸以便适形于仅围绕一个轴弯曲的形状。形成过程可使光学膜在第一位置处基本上单轴取向(因为膜在形成期间在该位置处被沿取向方向拉伸),但由于光学膜在形成时被拉伸而导致在第二位置处双轴取向。

[0038] 光学系统1000可包括部分反射器层320。在图1的示例中,部分反射器层320设置在光学透镜310的主表面314上并适形于该主表面;然而,在其他示例中,部分反射器层320可设置在光学系统1000中的另一主表面上。

[0039] 部分反射器层320可具有用于光学系统1000的任何合适的反射率。在一些实施方案中,部分反射器层320在预定波长处或在预定波长范围内具有各自在30%至70%的范围内的平均光学反射率和平均光学透射率。例如,部分反射器层320可为半反射镜。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在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,否则在预定波长处的平均光学反射率和平均光学透射率分别是指在法向入射下确定的光学反射率和光学透射率的偏振的未加权平均值。

[0040] 部分反射器层320可为任何合适的部分反射器。例如,部分反射器层320可通过将金属(例如,银或铝)的薄层涂覆在透明基板(例如,可随后粘附到透镜上的膜,或基板可为透镜)上来构造。部分反射器层320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,部分反射器层320可为反射偏振器或可具有偏振相关反射率。在一些示例中,部分反射器层320为电介质部分反射器层。

[0041] 反射偏振器层220和部分反射器层320可限定折叠光学腔700。折叠光学腔700可被构造为在反射偏振器层220或部分反射器层320中的任一者处接收处于第一偏振态的光,在反射偏振器层220和部分反射器层320中的每一者的表面处反射光,并且透射来自接收光的反射偏振器层220或部分反射器层320中的另一者的处于第一偏振态的光。通过将光反射离开反射偏振器层220和部分反射器层320两者,光路可在第一方向上被压缩(即,“折叠”)或在相反的第二方向上不被压缩,并且折叠光学腔700的尺寸可减小。在一些示例中,折叠光学腔可反转,使得反射偏振器层220和部分反射器层320相对于观察者和对象100的相对位置可与图1的示例性光学系统1000相反。

[0042] 在一些示例中,光学系统1000的表面可包括附加的抗反射层。例如,抗反射层可设置在第一延迟器层420、第二延迟器层520以及光学透镜210的第二主表面212中的一者上。又如,如果第一延迟器层420或第二延迟器层520中的任一个是独立光学元件,诸如图1所示,则相应延迟器层的表面和相应光学透镜410或510的第二主表面可涂覆有抗反射涂层。

[0043] 光学系统1000可包括第一延迟器层420、第二延迟器层520和第三延迟器层620(统称为“延迟器层420、520、620”)。在图1的示例中,第一延迟器层420设置在折叠光学腔700中的光学透镜410的主表面414上并适形于该主表面;第二延迟器层520设置在折叠光学腔700外部的光学透镜510的主表面514上并适形于该主表面;并且第三延迟器层620设置在折叠光学腔700外部的光学透镜610的主表面614上并适形于该主表面。然而,在其他示例中,延迟器层420、520和620中的任一者可设置在光学系统1000中的另一主表面上。例如,第一延迟器层420可设置在反射偏振器层220上,与主表面214相对,并且/或者第二延迟器层520和第三延迟器层620可设置在部分反射器层320上,与主表面314相对。

[0044] 在一些实施方案中,延迟器层420、520和620中的任一者可设置在弯曲的主表面上。在一些实施方案中,弯曲的主表面围绕一个轴弯曲或者围绕两个正交轴弯曲。在一些实施方案中,延迟器层420、520和620中的任一者可为基本上平坦的。基本上平坦的层可以被理解为意味着该层为标称平坦的,但是可由于例如普通的制造变化而具有曲率,或者可具有从图像表面(例如,显示面板处)到光学系统的光阑表面的距离的至少10倍的曲率半径。在一些实施方案中,第三延迟器层620设置在显示面板上,或者设置在不具有光焦度的平坦基板上。

[0045] 在一些情况下,延迟器层420、520、620中的任一者可包括多个堆叠延迟器层,其中该多个层具有例如不同的快轴和慢轴。在这种情况下,延迟器层的有效延迟以及有效快轴和慢轴可相对于入射在延迟器上的偏振光和透射穿过延迟器的偏振光被定义为将入射光的偏振态转换为透射光的偏振态的常规单层延迟器的延迟以及快轴和慢轴取向。此类延迟器层的延迟是指该有效延迟。对于具有单层的延迟器,有效快光轴和慢光轴为该单层的快光轴和慢光轴,并且有效延迟为该单层的延迟。对于具有多个层的延迟器层,其中每个层具

有平行于延迟器的有效快轴和慢轴或者相对于延迟器的有效快轴和慢轴旋转90度的快轴和慢轴,对法向入射的光的有效延迟为具有平行于延迟器的有效快轴和慢轴的相应快轴和慢轴的层的延迟之和减去具有相对于延迟器的有效快轴和慢轴旋转90度的相应快轴和慢轴的层的延迟之和。

[0046] 光学系统1000中使用的延迟器层可以是膜或涂层或者膜和涂层的组合。例如,合适的膜包括双折射聚合物膜延迟器,诸如可从美国科罗拉多州弗雷德里克市的Meadowlark Optics公司(Meadowlark Optics, Frederick, CO)获得的那些延迟器。用于形成延迟器层的合适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)中描述的线性可光聚合的聚合物(LPP)材料和液晶聚合物(LCP)材料。合适的LPP材料包括ROP-131EXP 306LPP,并且合适的LCP材料包括ROF-5185EXP 410LCP,这两者均购自瑞士阿尔施维尔的落利刻科技有限公司(Rolic Technologies, Allschwil, Switzerland)。

[0047] 第一延迟器层420和第二延迟器层520可各自在预定波长(诸如在反射偏振器层220的上下文中讨论的预定波长)处具有基本上均匀的延迟。如果延迟器层中的延迟变化基本上小于整个延迟器上的延迟的最大差,则该延迟器层或延迟器层片段可被描述为具有基本上均匀的延迟。例如,具有基本上均匀的延迟的延迟器可被理解为延迟的最大差不超过20%。

[0048] 在一些示例中,第一延迟器层420和第二延迟器层520中的每一者可为基本上四分之一波延迟器。被描述为指定波长处的基本上四分之一波延迟器的延迟器层可被理解为对于延迟器层的表面积的至少80%的法向入射非偏振光,该延迟器层的延迟在指定波长的 $1/4$ 的5%内。延迟器层可为第一波长处的基本上四分之一波延迟器,并且具有基本上不同于不同的第二波长处的四分之一波的延迟。基本上不同于第二波长处的四分之一波的延迟可被理解为该延迟不在第二波长的 $1/4$ 的5%内。四分之一波延迟器可具有空间上均匀的取向。

[0049] 在一些示例中,延迟器层420和520具有基本上均匀的光学厚度。例如,延迟器层420和520可由相同的材料构造以提供基本上相同的延迟。在一些示例中,延迟器层520具有不同于延迟器层420的物理厚度。当不同的材料用于不同的延迟器层时,可能期望利用不同的物理厚度,以便使每个延迟器层具有近似四分之一波的延迟。

[0050] 第三延迟器层620可具有不均匀的延迟。如果延迟器层的延迟变化大于代表均匀延迟(诸如上文所述的均匀延迟)的延迟最大差,则该延迟器层可被描述为具有基本上不均匀的延迟。例如,具有基本上不均匀的延迟的延迟器层可被理解为该延迟器层的延迟的最大差大于20%。

[0051] 在一些示例中,第三延迟器层620可包括分立延迟器区段以在第三延迟器层620中产生不均匀的延迟。虽然第三延迟器层620作为一个整体可具有不均匀的延迟,但每个分立延迟器区段可在整个分立延迟器区段中具有均匀的延迟。图2是包括分立延迟器区段的光学元件600(诸如图1的第三延迟器层620)的示意性前视图。

[0052] 光学元件600包括光学表面630,该光学表面被构造为接收预定波长的光,诸如在反射偏振器层220的上下文中描述的预定波长。光学表面630可包括光学元件诸如光学透

镜、波片等的多种表面。在一些示例中,光学表面630可延伸到光学元件的整个表面,而在其他示例中,光学表面630可局限于光学元件的一部分,诸如光学元件的主表面的接收与图像相关联的光的部分。在一些示例中,预定波长可在约400nm至约1000nm的范围内。光学表面630可由垂直轴线632和水平轴线634限定。垂直轴线632和水平轴线634可限定四个笛卡尔象限(I、II、III、IV)。在图2的示例中,这些笛卡尔象限在逆时针方向上按顺序编号。

[0053] 光学表面630可包括第一纵向区段636,该第一纵向区段636基本上对处于垂直轴线632上和第二纵向区段638,该第二纵向区段638基本上对处于水平轴线634上。第一纵向区段636和第二纵向区段638可各自延伸跨过该光学表面的相反边缘。第一纵向区段636和第二纵向区段638可表示光学元件600的被构造为接收可能不需要补偿的光线的一部分。例如,入射在第一纵向区段636、第二纵向区段638或这两者上的光线可以穿过光学系统1000传播,使得该光线基本上不受光学系统1000内的不对准的影响。

[0054] 对于基本上法向入射的光,第一纵向区段636和第二纵向区段638可具有相同的基本上均匀的延迟(δ)。基本上均匀的延迟可被理解为第一纵向区段636和第二纵向区段638中的每一者中的延迟的最大变化(该区域中的最大延迟减去最小延迟)可不超过相应纵向区段中的延迟的最大变化的10%。在光学表面630为光学透镜的表面的示例中,该基本上均匀的延迟可为零。在其中光学表面630为四分之一波延迟器(诸如第二延迟器层520)的表面的示例中,基本上均匀的延迟可为第二延迟器层520的四分之一波延迟。在一些示例中,第一纵向区段636和第二纵向区段638覆盖光学表面630的表面积的至少10%。

[0055] 第三延迟器层620可包括多个分立延迟器区段。分立延迟器区段可以是覆盖光学表面630的一个分立区段的延迟器区段。在一些示例中,该多个分立延迟器区段可为物理上分立的,使得不存在物理接触的两个延迟器区段。在一些示例中,该多个分立延迟器区段中的两者或更多者可为物理接触或物理接合的,但可覆盖光学表面630的分立部分。

[0056] 在图2的示例中,第三延迟器层620包括四个分立延迟器区段,其中包括第一延迟器区段620A、第二延迟器区段620B、第三延迟器区段620C和第四延迟器区段620D。每个分立延迟器区段620A、620B、620C、620D可设置在光学表面630的相应笛卡尔象限I、II、III、IV上。

[0057] 每个分立延迟器区段可具有与第一纵向区段626和第二纵向区段628的基本上均匀的延迟 δ 的延迟差 θ ,该延迟差 θ 大于零。在一些示例中,每个分立延迟器区段620A、620B、620C、620D具有与第一纵向区段626和第二纵向区段628的基本上均匀的延迟的基本上均匀的延迟差。例如,每个分立延迟器区段620A、620B、620C、620D可具有与第一纵向区段626和第二纵向区段628的延迟的至少约 0.2λ 的延迟差。

[0058] 在一些示例中,分立延迟器区段的延迟差可根据多个因素进行选择,包括但不限于重影图像、对比度、漏光、光焦度等。例如,如图4A至图4C所示,虽然对比度和暗场漏光可随着分立延迟器区段的延迟差的增大而增大,但对于明场,光焦度可减小。对于特定应用,漏光的减少和对比度的增大可与例如明场亮度的减小平衡。在一些示例中,延迟差小于约 0.2λ 。例如, 0.2λ 可有利地与改善的对比度相关联,同时保持足够的光焦度和/或亮度。在一些示例中,延迟差可小于约 0.1λ 。例如,对于具有小视场的折叠光学系统, 0.1λ 可有利地与改善的对比度相关联。

[0059] 延迟差 θ 可为正延迟差 $\theta+$ 或负延迟差 $\theta-$ 。分立延迟器区段是包括正延迟差还是负

延迟差可取决于穿过光学系统1000的光的所需偏振态。例如,如果需要顺时针椭圆偏振,则第三延迟器层620的特定分立延迟器区段可具有正延迟差,并且如果需要逆时针椭圆偏振,则该特定分立延迟器区段可具有负延迟差。在一些示例中,第三延迟器层620的两个分立延迟器区段可具有与第一纵向区段636和第二纵向区段638的延迟 δ 的正延迟差 $\theta+$,并且第三延迟器层620的另外两个分立延迟器区段可具有与第一纵向区段636和第二纵向区段638的延迟 δ 的负延迟差 $\theta-$ 。例如,第一分立延迟器区段620A和第三分立延迟器区段620C可具有与第一纵向区段636和第二纵向区段638的延迟的 $+0.2\lambda$ 的延迟差,并且第二分立延迟器区段620B和第四分立延迟器区段620D可具有与第一纵向区段636和第二纵向区段638的延迟的 -0.2λ 的延迟差,或者反之亦然。

[0060] 应当理解,延迟可意味着特定分立延迟器区段620A、620B、620C、620D或纵向区段636、638的平均延迟。例如,对于特定波长,第一纵向区段636和第二纵向区段638可具有基本上等于 δ 的平均延迟,而每个分立延迟器区段620A、620B、620C、620D可具有基本上等于 $\theta+$ 的平均延迟(诸如对于第二分立延迟器区段620B和第四分立延迟器区段620D),或基本上等于 $\theta-$ 的平均延迟(诸如对于第一分立延迟器区段620A和第三分立延迟器区段620C)。

[0061] 第三延迟器层620的延迟可与光学厚度相关。延迟器层对于指定的有效快光轴或慢光轴的光学厚度是指,将延迟器的每一层沿指定的有效快光轴或慢光轴的折射率乘以该层的厚度,然后对乘积求和。在一些示例中,第一纵向区段636和第二纵向区段638各自具有相同的基本上均匀的光学厚度 Λ 。在一些示例中,分立延迟器区段中的每一者具有与第一纵向区段636和第二纵向区段638的基本上均匀的光学厚度 Λ 的光学厚度差 ϵ ,该光学厚度差大于零。在一些示例中,第三延迟器层620的两个分立延迟器区段可具有与第一纵向区段636和第二纵向区段638的光学厚度 Λ 的正光学厚度差 $\epsilon+$,并且第三延迟器层620的另外两个分立延迟器区段可具有与第一纵向区段636和第二纵向区段638的光学厚度 Λ 的负光学厚度差 $\epsilon-$ 。

[0062] 分立延迟器区段620A、620B、620C、620D的相对尺寸可根据光学表面630的从与光轴正交的平面的平面图中确定的表面积来描述。在一些实施方案中,在平面图中,光学表面630具有面积A,使得分立延迟器区段620A、620B、620C、620D具有在约A/10至约2A/3的范围内的组合面积,并且分立延迟器区段620A、620B、620C、620D中的每一者具有在约A/40至约A/6的范围内的面积。在一些示例中,每个分立延迟器区段620A、620B、620C、620D覆盖光学表面630的每个相应笛卡尔象限I、II、III、IV的表面积的至少20%。在一些示例中,分立延迟器区段620A、620B、620C、620D的表面覆盖可与显示器880的视场有关,使得当视场增大时,分立延迟器区段620A、620B、620C、620D中的每一者的表面覆盖增加。

[0063] 第三延迟器层620的分立延迟器区段可具有多种形状。图3A至图3D是具有各种形状的分立延迟器片段的示意性前视平面图。图3A示出了具有直角三角形形状的分立延迟器区段622,该直角三角形形状包括直角和相等的直角边。例如,分立延迟器区段622可用于接收正方形图像的光学表面。图3B示出了具有直角三角形形状的分立延迟器区段624,该直角三角形形状包括直角和不相等的直角边。例如,分立延迟器区段624可用于接收广角图像的光学表面。图3C示出了具有四分之一圆形形状的分立延迟器区段626,该四分之一圆形形状包括直角、相等的直角边和圆形斜边。例如,分立延迟器区段626可用于弯曲的光学表面。图3D示出了具有倒转的四分之一圆形形状的分立延迟器区段628,该倒转的四分之一圆形

状包括直角、相等的直角边和凹形斜边。可使用的其他形状包括但不限于圆形、正方形、三角形等。例如,可使用完整形状,而不是四分之一圆,如图7B所示。可用于选择分立延迟器区段620A、620B、620C和620D的形状的因素可包括但不限于视场、显示器100的形状、光的入射角等。

[0064] 在一些实施方案中,分立延迟器区段620A、620B、620C、620D可被成形为基本上覆盖光学表面630的周边。如果分立延迟器区段620A、620B、620C、620D覆盖光学表面630的周边的至少50%,则可以认为分立延迟器区段620A、620B、620C、620D基本上覆盖围绕光学表面630的周边。例如,在图2的示例中,分立延迟器区段620A、620B、620C、620D覆盖光学表面630的周边的至少80%,而在图7B的示例中,分立延迟器区段810A、810B、810C、810D覆盖第二延迟器层820的周边的约70%。

[0065] 应当理解,针对一个光学系统描述的光学元件600的性质(例如,在分立延迟器区段上的不均匀延迟)也适用于对应于该光学系统但具有不同数量的光学透镜或具有设置在一个或多个光学透镜的不同主表面上的各种层的其他光学系统。尽管已经将第三延迟器层620描述为设置在光学透镜610的光学表面上作为光学元件600,但是第三延迟器层620可设置在各种光学表面上。例如,第三延迟器层620可设置在诸如第二延迟器层520的延迟器的光学表面上。在一些示例中,第三延迟器层620可设置在四分之一波延迟器上,使得第三延迟器层620和该四分之一波偏振器可与例如折叠光学腔(诸如折叠光学腔700)一起使用。

[0066] 可使用多种方法将分立延迟器区段620A、620B、620C、620D设置在光学表面上,这些方法包括但不限于原子层沉积、粘附以及可在光学表面上形成分立延迟器区段的任何其他技术。在一些示例中,分立延迟器区段可与光学表面分开形成并粘附到该光学表面上。在一些示例中,用于制造光学元件600的方法包括将四个分立延迟器区段620A、620B、620C、620D联接到光学表面630,使得该光学表面包括第一纵向区段636和第二纵向区段638,第一纵向区段636和第二纵向区段638各自延伸跨过光学表面630的相反边缘并且对于基本上法向入射的光具有相同的基本上均匀的延迟 δ 。例如,分立延迟器区段可形成为具有等于延迟差 θ 的均匀延迟的延迟器层并被加工成形。分立延迟器区段可以所需配置定位在光学表面630上。例如,两个分立延迟器区段可定位在光学表面630的两个相对的拐角处,使得这两个分立延迟器区段具有正延迟差 $\theta+$,而两个其他分立延迟器区段可定位在光学表面630的两个其他相对的拐角处,使得这两个其他分立延迟器区段具有负延迟差 $\theta-$ 。分立延迟器区段可例如通过使用光学粘合剂粘附到光学表面630。

[0067] 光学元件600可用于光学系统诸如图1的光学系统1000,以改善对比度。例如,对象100可限定光学系统1000的输入端,并且用户110可限定光学系统1000的输出端。在光学系统1000的输入端处接收的图像可在光学系统1000的输出端处被检测到。在光学系统1000的输出端处检测到的图像可具有对比度变化。例如,在图5B和图5D中,图像784B和784D分别具有共同限定对比度的亮度变化,其中对比度被定义为明场亮度/暗场亮度。虽然图像784D的明场亮度可相当均匀,但图像784B的暗场亮度非常不均匀,使得对比度变化很大。

[0068] 在一些示例中,第三延迟器层620可被构造为使得当在光学系统1000的输入端处接收到该图像并在光学系统1000的输出端处检测到该图像时,光学系统1000的输出端处的图像具有最大对比度变化比在不具有第三延迟器层的对比光学系统的输出端处检测到的图像小至少5%。例如,在图5A和图5C中,图像784A和784C分别具有有限定对比度的亮度变

化。如图5A至图5D的示例中所示,虽然补偿延迟器层诸如第三延迟器层620可降低图像的处于明态的部分的亮度,但该补偿延迟器层可显著降低图像的处于暗态的部分的亮度,使得对比度变化小于不具有补偿延迟器层810的对比光学系统。

[0069] 光学元件600可用于光学系统诸如图1的光学系统1000,以改善入射在该光学系统的反射偏振器上的光线的反射率。例如,从对象100发射的光线136可首先入射在反射偏振器层220上,并且以第一反射率(ρ)基本上反射回去。当光线136再次入射在反射偏振器层220上时,光线136可以第一透射率(τ)基本上透射。

[0070] 在一些示例中,第三延迟器层620可被构造为使得当以预定波长从显示器发射的图像光线首次入射在该反射偏振器上时,图像光线以第一反射率(ρ)基本上被反射,并且当图像光线再次入射在该反射偏振器上时,图像光线以第一透射率(τ)基本上被透射,该第三延迟器层增大第一反射率。如上所述,第三延迟器层620可补偿可能导致光学系统中的偏振态的相移的不对准。第三延迟器层620可使光线发生相移,使得首次入射在反射偏振器层220上的光线可更精确地与反射偏振器层220的消光态对准,使得光线可被反射并且该反射偏振器可具有比不具有第三延迟器层620的对比光学系统更高的反射率。在一些示例中,将第三延迟器层620添加到光学系统不会显著改变第一透射率。例如,虽然反射率可增大,但基本上相同数量的光可被透射。

[0071] 光学元件600可用于光学系统诸如图1的光学系统1000,以减少该光学系统中的不期望的输出偏振态的漏光。漏光的减少可通过该光学系统所处理的图像的偏振分量的最大强度的减小来指示。在一些示例中,第三延迟器层620可被构造为使得当均匀偏振的明场图像入射在光学系统1000上并且在反射偏振器层220和部分反射器层320中的每一者处经历至少一次反射之后从光学系统1000出射时,出射的图像光填充出射孔径,填充该孔径的图像具有处于第一偏振态的第一图像分量,其中第一图像分量的最大强度比不具有第三延迟器层的对比光学系统小至少10%。例如,图4C示出了光焦度随着图7A的补偿延迟器层810的延迟的增大而减小。

[0072] 实施例

[0073] 实施例1:折叠光学系统模拟

[0074] 图6是用于透射光的模拟光学系统的示意性剖视图。表面720可表示发光对象的表面。穿过该光学系统传播的光可穿过表面730、740和750,从表面760反射离开,穿过表面750,从表面740反射离开,穿过表面750和760,并且在表面770上发射。图6的光学系统可具有如下性质,如下表1所示:

[0075] 表1

表面	类型	半径 (mm)	厚度 (T, mm)	玻璃	直径 (D, mm)	二次曲面常数 (mm)
710	标准	无穷大	无穷大	N/A	0	0
720	标准	无穷大	23.82	N/A	10	0
[0076] 730	曲面	-36.79856	2.2	聚碳酸酯	42	0.0433
740	曲面	-36.79856	10.5	N/A	44	0.0433
750	曲面	-36.79856	2.2	E48R	54	0.0433
760	曲面	-36.79856	1.3	N/A	56	0.0433
770	标准	无穷大	N/A	N/A	53.43	0

[0077] 实施例2:使用具有分立延迟器片段的折叠光学系统的漏光补偿模拟

[0078] 图7A是用于透射光的模拟光学系统800的示意性剖视图。光学系统800包括第二四分之一波延迟器层820、部分反射器层830、第一四分之一波延迟器层840和反射偏振器层850、显示器880和预偏振器890。光学系统800可任选地包括补偿延迟器层810和/或吸收偏振器860,具体取决于测试配置,如将在下文所述。显示器880可将光发射至具有孔径872的模拟眼睛870以形成图像874。第一四分之一波延迟器层840、第二四分之一波延迟器层820和补偿延迟器层810中的每一者被建模为在相应延迟器层上具有基本上均匀的延迟。图7A的部件可对应于图1的类似部件。例如,补偿延迟器层810可对应于第三延迟器层620,第二四分之一波延迟器层820可对应于第二延迟器层520,第一四分之一波延迟器层840可对应于第一延迟器层420,部分反射器层830可对应于部分反射器层320,反射偏振器层850可对应于反射偏振器层220,并且显示器880和预偏振器890可对应于显示器100。

[0079] 吸收偏振器860可被构造为产生用于图像874的明场图像或用于图像874的暗场图像。例如,在明场图像配置中,吸收偏振器860可与从反射偏振器层850发射的光的偏振态对准,使得图像874为明场图像。另选地,可从光学系统800移除吸收偏振器。在暗场图像配置中,吸收偏振器860可与从反射偏振器层850发射的光的偏振态交叉或错开大约 90° ,使得图像874为暗场图像。

[0080] 补偿延迟器层810可被包括在光学系统800中或该从光学系统移除以分别实现补偿光学系统或未补偿光学系统,以便分别产生经补偿的图像或未经补偿的图像。图7B是与第二四分之一波延迟器层820重叠的补偿延迟器层810的示意性前视平面图。补偿延迟器层810可包括四个圆形的分立延迟器区段810A、810B、810C和810D。

[0081] 在吸收偏振器860和补偿延迟器层810的不同配置下测试了光学系统800,总共存在四种配置:吸收偏振器860和无补偿延迟器层810,用于未经补偿的暗场图像874A;吸收偏振器860和补偿延迟器层810,用于经补偿的暗场图像874B;无吸收偏振器860和无补偿延迟器层810,用于未经补偿的明场图像874C;以及无吸收偏振器860和补偿延迟器层810,用于经补偿的明场图像874D。对于包括补偿延迟器层810的每个配置,补偿延迟器层810的延迟从零变化到约 0.275λ 。

[0082] 实施例2A:吸收偏振器;无补偿延迟器层

[0083] 图5A是来自不包括补偿延迟器层810并且包括吸收偏振器860的光学系统800的未经补偿的暗场图像874A的亮度的等高线图。未经补偿的暗场图像874A包括亮度相对较高的区域。例如,未经补偿的暗场图像874A的与较高入射角的光相关联的拐角具有高达 $1.5 \times 10^{-6} \text{W/mm}^2$ 的亮度,而未经补偿的暗场图像874A的中心区域具有约 0W/mm^2 的亮度。

[0084] 实施例2B:吸收偏振器;补偿延迟器层

[0085] 图5B是来自包括补偿延迟器层810和吸收偏振器860的光学系统800的经补偿的暗场图像874B的亮度的等高线图。经补偿的暗场图像874B包括亮度比图5A的未经补偿暗场图像874A相对更低的区域。例如,经补偿的暗场图像874B的拐角具有高达 $5.5 \times 10^{-7} \text{W/mm}^2$ 的亮度,而经补偿的暗场图像874B的中心区域具有约 0W/mm^2 的亮度。

[0086] 实施例2C:无吸收偏振器;无补偿延迟器层

[0087] 图5C是来自不包括补偿延迟器层810或吸收偏振器860的光学系统800的未经补偿的明场图像874C的亮度的等高线图。未经补偿的明场图像874C包括相对均匀的高亮度区

域。例如,未经补偿的明场图像874的与较高入射角的光相关联的拐角具有高达约 $7 \times 10^{-5} \text{W}/\text{mm}^2$ 的亮度,而未经补偿的明场图像874C的中心区域具有约 $1 \times 10^{-4} \text{W}/\text{mm}^2$ 的亮度。

[0088] 实施例2D:无吸收偏振器;补偿延迟器层

[0089] 图5D是来自包括补偿延迟器层810并且不包括吸收偏振器860的光学系统800的明场图像的亮度的等高线图。经补偿的明场图像874D包括亮度比图5C的未经补偿的明场图像874C相对更低的区域,但在用于补偿延迟器层810的延迟差处没有显著降低。例如,经补偿的明场图像874D的与较高入射角的光相关联的拐角具有高达约 $5 \times 10^{-5} \text{W}/\text{mm}^2$ 的亮度,而经补偿的明场图像874D的中心区域具有约 $1 \times 10^{-4} \text{W}/\text{mm}^2$ 的亮度。

[0090] 为了确定光学系统800的图像的补偿对比度,可将明场图像874D的亮度与暗场图像874B的亮度进行比较。图4A是包括补偿延迟器层810的光学系统800中的明场图像874B与暗场图像874D的亮度比率(表示对比度)与补偿延迟器层810的分立延迟器区段810A、810B、810C、810D的延迟的关系的曲线图。如图4A所示,图像874的对比度随着补偿延迟器层810的延迟的增大而增大。

[0091] 为了确定光学系统800在暗态下的漏光,可评估暗场图像874B在补偿延迟器层810的各种延迟下的亮度。图4B是包括补偿延迟器层810的光学系统800中的经补偿的暗场图像874B的漏光与补偿延迟器层810的分立延迟器区段810A、810B、810C、810D的延迟的关系的曲线图。如图4B所示,漏光随着补偿延迟器层810的延迟的增大而减小。

[0092] 为了确定光学系统800在明态下的亮度,可评估明场图像874D在补偿延迟器层810的各种延迟下的亮度。图4C是包括补偿延迟器层810的光学系统800中的经补偿的明场图像874D的光焦度与补偿延迟器层810的分立延迟器区段810A、810B、810C、810D的延迟的关系的曲线图。如图4C所示,光焦度随着补偿延迟器层810的延迟的增大而逐渐减小,这表明补偿延迟器层810的延迟可被控制以平衡例如较高的对比度与降低的明场图像亮度。

[0093] 以下是本公开的实施例的列表:

[0094] 实施方案1为一种光学元件,该光学元件包括:光学表面,该光学表面被构造为在约400nm至约1000nm范围内的预定波长 λ 处接收的光,该光学表面由垂直轴线和水平轴线限定,该垂直轴线和该水平轴线限定在逆时针方向上按顺序编号的四个笛卡尔象限;第一纵向区段,该第一纵向区段基本上对出于该垂直轴线上;第二纵向区段,该第二纵向区段基本上对出于该水平轴线上,该第一纵向区段和第二纵向区段各自延伸跨过该光学表面的相反边缘并且对于基本上法向入射的光具有相同的基本上均匀的延迟 δ ;以及四个分立延迟器区段,每个延迟器区段设置在该光学表面的相应笛卡尔象限上,其中每个分立延迟器区段具有的与 δ 的延迟差 θ 大于零。

[0095] 实施方案2为根据实施方案1所述的光学元件,其中 θ 小于约 0.2λ 。

[0096] 实施方案3为根据实施方案1或2所述的光学元件,其中 θ 小于约 0.1λ 。

[0097] 实施方案4为根据实施方案1至3中任一项所述的光学元件,其中每个分立延迟器区段具有与 δ 的基本上均匀的延迟差 θ 。

[0098] 实施方案5为根据实施方案1至4中任一项所述的光学元件,其中每个分立延迟器区段覆盖光学表面的每个相应笛卡尔象限的表面积的至少20%。

[0099] 实施方案6为根据实施方案1至5中任一项所述的光学元件,其中第一分立延迟器区段和第三分立延迟器区段具有大于 δ 的延迟差 $\theta+$,并且第二分立延迟器区段和第四分立

延迟器区段具有小于 δ 的延迟差 θ^- 。

[0100] 实施方案7为根据实施方案1至6中任一项所述的光学元件,其中第一纵向区段和第二纵向区段覆盖光学表面的表面积的至少10%。

[0101] 实施方案8为根据实施方案1至7中任一项所述的光学元件,其中第一纵向区段和第二纵向区段各自具有相同的均匀光学厚度 Λ ,并且每个分立延迟器区段具有的与 Λ 的光学厚度差 ε 大于零。

[0102] 实施方案9为根据实施方案8所述的光学元件,其中第一分立延迟器区段和第三分立延迟器区段具有大于 Λ 的光学厚度差 $\varepsilon+$,并且第二分立延迟器区段和第四分立延迟器区段具有小于 Λ 的延迟差 $\varepsilon-$ 。

[0103] 实施方案10为根据实施方案1至9中任一项所述的光学元件,其中每个分立延迟器区段为直角三角形。

[0104] 实施方案11为根据实施方案1至10中任一项所述的光学元件,其中每个分立延迟器区段为四分之一圆形。

[0105] 实施方案12为根据实施方案1至11中任一项所述的光学元件,其中每个分立延迟器区段为倒转的四分之一圆形。

[0106] 实施方案13为根据实施方案1至12中任一项所述的光学元件,还包括设置在光学透镜上的延迟器,其中光学表面为该延迟器的主表面的一部分。

[0107] 实施方案14为根据实施方案13所述的光学元件,其中延迟器为四分之一波延迟器。

[0108] 实施方案15为根据实施方案1至14中任一项所述的光学元件,其中光学表面为弯曲表面。

[0109] 实施方案16为一种用于透射光的光学系统,该光学系统包括:一个或多个光学透镜,该一个或多个光学透镜具有至少一个主表面;反射偏振器,该反射偏振器设置在该一个或多个光学透镜的第一主表面上并且适形于该第一主表面,该反射偏振器在约400nm至约1000nm范围内的预定波长处基本上反射具有第一偏振态的光并且基本上透射具有正交的第二偏振态的光;部分反射器,该部分反射器设置在该一个或多个光学透镜的第二主表面上并且适形于该第二主表面,该部分反射器在该预定波长处具有至少30%的平均光学反射率,该部分反射器和该反射偏振器限定在两者之间的折叠光学腔;第一延迟器层,该第一延迟器层设置在该折叠光学腔内部;第二延迟器层,该第二延迟器层设置在该折叠光学腔外部;和第三延迟器层,该第三延迟器层包括根据实施方案1至13中任一项所述的光学元件。

[0110] 实施方案17为根据实施方案16所述的光学系统,其中第一延迟器层和第二延迟器层在预定波长处具有基本上均匀的延迟。

[0111] 实施方案18为根据实施方案16或17所述的光学系统,其中第一延迟器层和第二延迟器层具有基本上均匀的光学厚度。

[0112] 实施方案19为根据实施方案16至18中任一项所述的光学系统,其中第一延迟器层、第二延迟器层和第三延迟器层中仅一者包括抗反射涂层。

[0113] 实施方案20为根据实施方案16至19中任一项所述的光学系统,其中该一个或多个光学透镜的至少一个主表面为弯曲表面。

[0114] 实施方案21为一种光学系统,该光学系统包括:一个或多个光学透镜,该一个或多

个光学透镜具有至少一个主表面;反射偏振器,该反射偏振器设置在该一个或多个光学透镜的第一主表面上并且适形于该第一主表面,该反射偏振器在约400nm至约1000nm范围内的预定波长处基本上反射具有第一偏振态的光并且基本上透射具有正交的第二偏振态的光;部分反射器,该部分反射器设置在该一个或多个光学透镜的第二主表面上并且适形于该第二主表面,该部分反射器在该预定波长处具有至少30%的平均光学反射率,该部分反射器和该反射偏振器限定在两者之间的折叠光学腔;第一延迟器层,该第一延迟器层设置在该折叠光学腔内部并且在该预定波长处具有基本上均匀的延迟;第二延迟器层,该第二延迟器层设置在该折叠光学腔外部并且在预定波长处具有基本上均匀的延迟;以及第三延迟器层,该第三延迟器层设置在该折叠光学腔外部并且在该预定波长处具有基本上不均匀的延迟,使得当在该光学系统的输入端处接收到图像并在该光学系统的输出端处检测到该图像时,该光学系统的输出端处的该图像具有的最大对比度变化比在不具有第三延迟器层的对比光学系统的输出端处检测到的图像小至少5%。

[0115] 实施方案22为根据实施方案21所述的光学系统,其中第三延迟器层包括根据实施方案1至15中任一项所述的光学元件。

[0116] 实施方案23为根据实施方案21或22所述的光学系统,其中第一延迟器层、第二延迟器层和第三延迟器层中仅一者包括抗反射涂层。

[0117] 实施方案24为根据实施方案21至23中任一项所述的光学系统,其中该一个或多个光学透镜的至少一个主表面为弯曲表面。

[0118] 实施方案25为一种用于向观察者显示对象的光学系统,该光学系统包括:一个或多个光学透镜,该一个或多个光学透镜具有至少一个弯曲的主表面;反射偏振器,该反射偏振器设置在该一个或多个光学透镜的第一主表面上并且适形于该第一主表面,该反射偏振器在约400nm至约1000nm范围内的预定波长处基本上反射具有第一偏振态的光并且基本上透射具有正交的偏振态的光;部分反射器,该部分反射器设置在该一个或多个光学透镜的不同的第二主表面上并且适形于该第二主表面,该部分反射器在预定波长处具有至少30%的平均光学反射率,该部分反射器和该反射偏振器限定在两者之间的折叠光学腔;第一延迟器层,该第一延迟器层设置在该折叠光学腔内部并且在该预定波长处具有基本上均匀的延迟;第二延迟器层,该第二延迟器层设置在该折叠光学腔外部并且在预定波长处具有基本上均匀的延迟;以及第三延迟器层,该第三延迟器层设置在该折叠光学腔外部并且在预定波长处具有基本上不均匀的延迟,使得当以预定波长从显示器发射的图像光线首次入射在该反射偏振器上时,该图像光线以第一反射率(ρ)基本上被反射,并且当该图像光线再次入射在该反射偏振器上时,该图像光线以第一透射率(τ)基本上被透射,该第三延迟器层增大第一反射率。

[0119] 实施方案26为根据实施方案25所述的光学系统,其中第三延迟器层不改变第一透射率。

[0120] 实施方案27为根据实施方案25或26所述的光学系统,其中第三延迟器层包括根据实施方案1至15中任一项所述的光学元件。

[0121] 实施方案28为根据实施方案25至27中任一项所述的光学系统,其中第一延迟器层、第二延迟器层和第三延迟器层中仅一者包括抗反射涂层。

[0122] 实施方案29为根据实施方案25至28中任一项所述的光学系统,其中该一个或多个

光学透镜的至少一个主表面为弯曲表面。

[0123] 实施方案30为一种光学系统,该光学系统包括:一个或多个光学透镜,该一个或多个光学透镜具有至少一个主表面;反射偏振器,该反射偏振器设置在该一个或多个光学透镜的第一主表面上并且适形于该第一主表面,该反射偏振器在约400nm至约1000nm范围内的预定波长处基本上反射具有第一偏振态的光并且基本上透射具有正交的第二偏振态的光;部分反射器,该部分反射器设置在该一个或多个光学透镜的第二主表面上并且适形于该第二主表面,该部分反射器在该预定波长处具有至少30%的平均光学反射率,该部分反射器和该反射偏振器限定在两者之间的折叠光学腔;第一延迟器层,该第一延迟器层设置在该折叠光学腔内部并且在该预定波长处具有均匀的延迟;第二延迟器层,该第二延迟器层设置在该折叠光学腔外部并且在该预定波长处具有均匀的延迟;以及第三延迟器层,该第三延迟器层设置在该折叠光学腔外部并且在该预定波长处具有不均匀的延迟,使得当具有第一偏振态的均匀偏振的明场图像入射在该光学系统上并且在反射偏振器和部分反射器中的每一者处经历至少一次反射之后从该光学系统出射时,出射的图像填充出射孔径,填充该孔径的图像具有处于第一偏振态的第一图像分量,其中第一图像分量的最大强度比不具有该第三延迟器层的对比光学系统小至少10%。

[0124] 实施方案31为根据实施方案30所述的光学系统,其中第三延迟器层包括根据实施方案1至15中任一项所述的光学元件。

[0125] 实施方案32为根据实施方案30或31所述的光学系统,其中第一延迟器层、第二延迟器层和第三延迟器层中仅一者包括抗反射涂层。

[0126] 实施方案33为根据实施方案30至32中任一项所述的光学系统,其中该一个或多个光学透镜的至少一个主表面为弯曲表面。

[0127] 已经描述了本发明的各种实施方案中的实施方案。这些实施方案以及其他实施方案均在以下权利要求书的范围内。

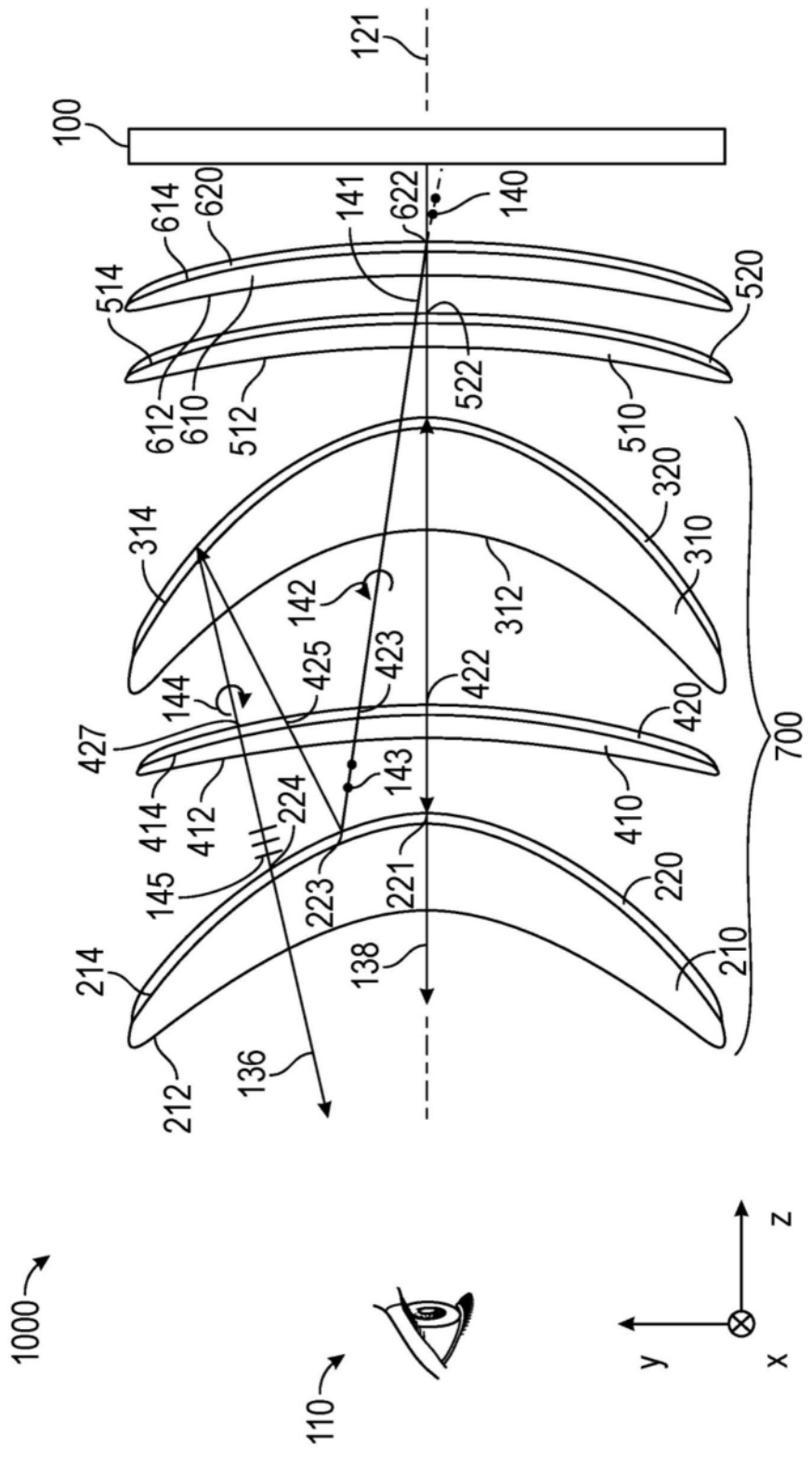


图1

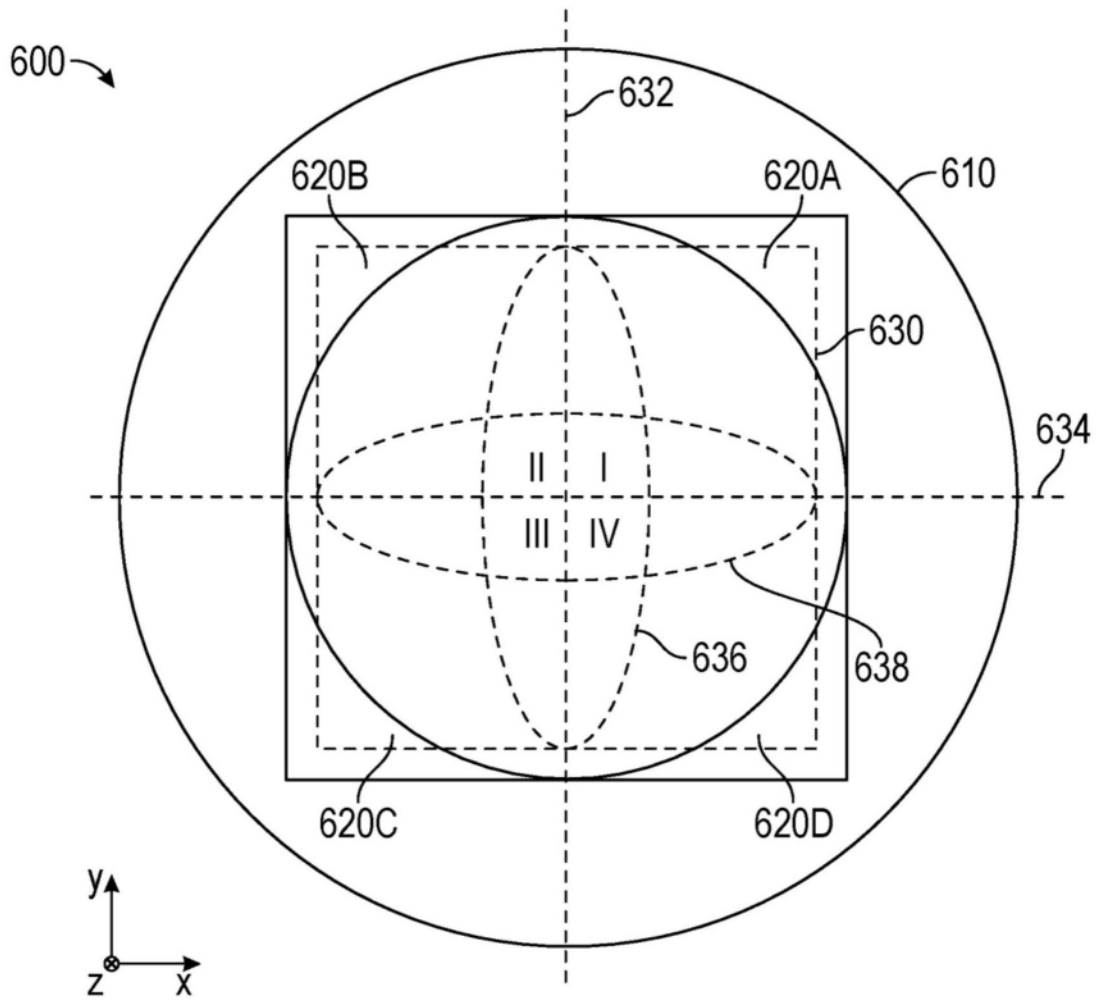


图2

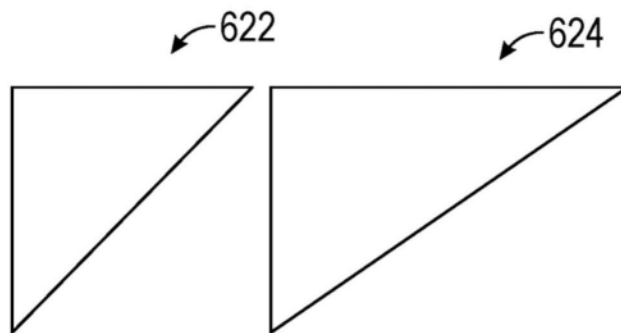


图 3A

图 3B

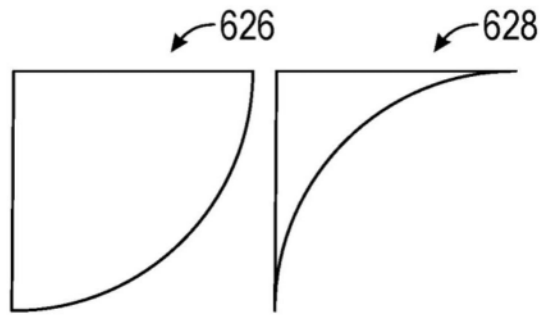


图3C

图3D

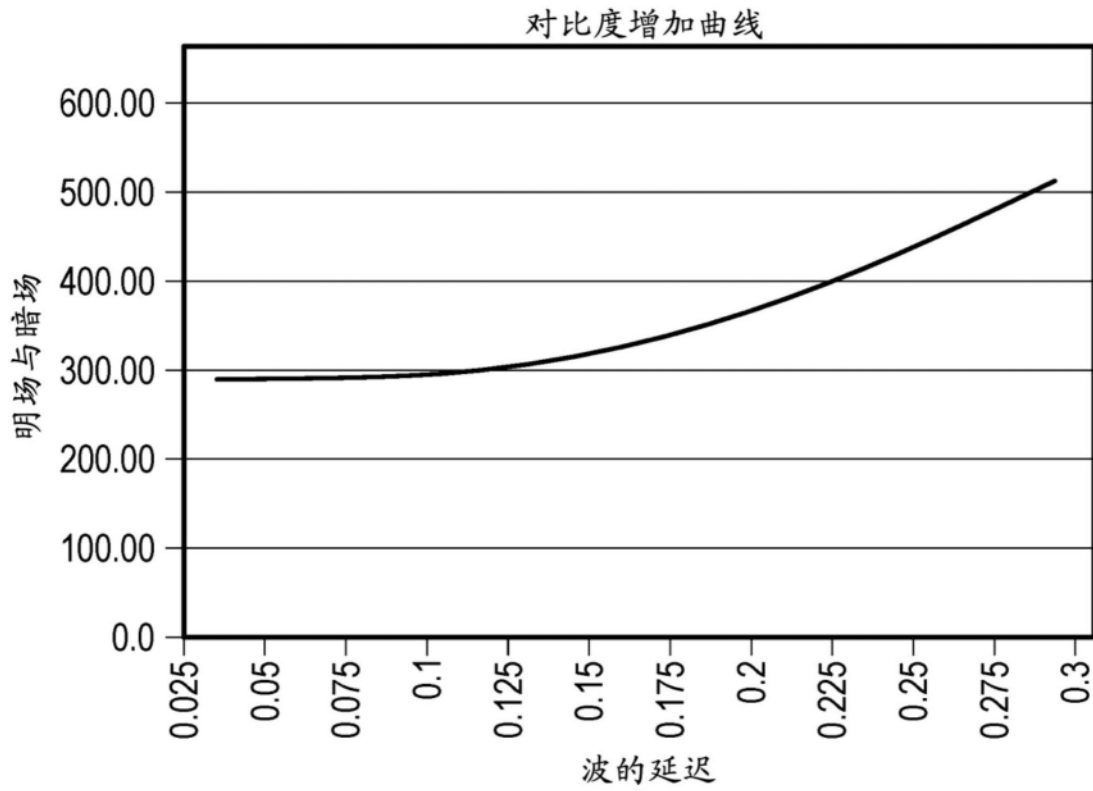


图4A

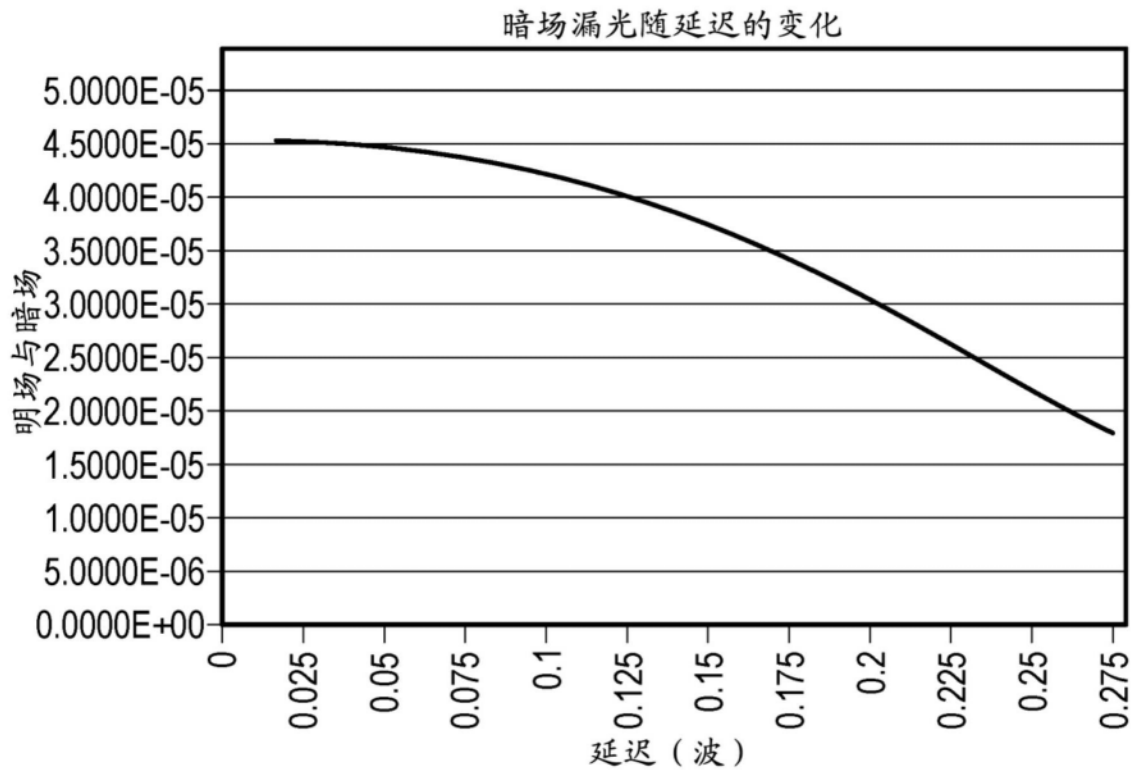


图4B

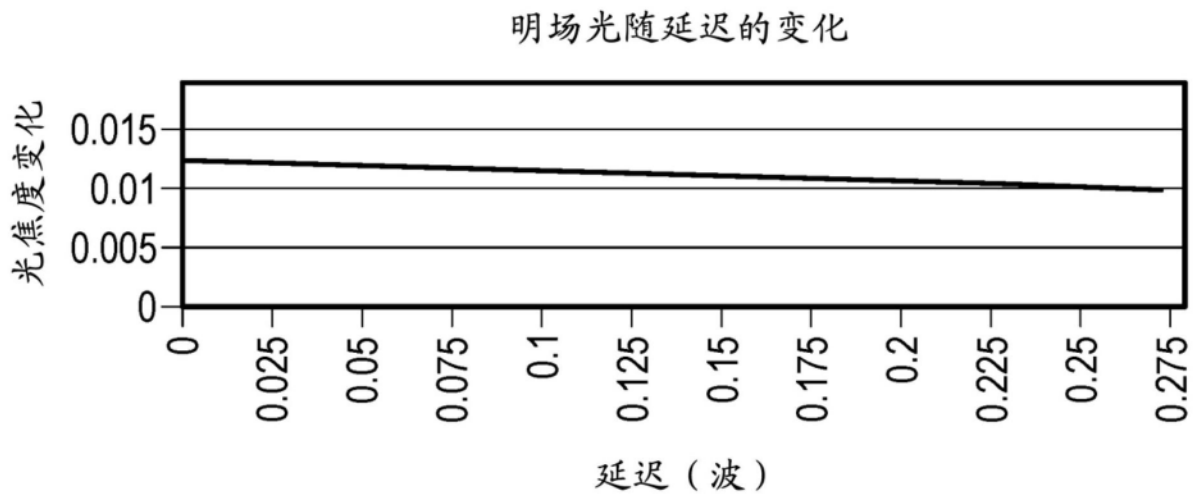


图4C

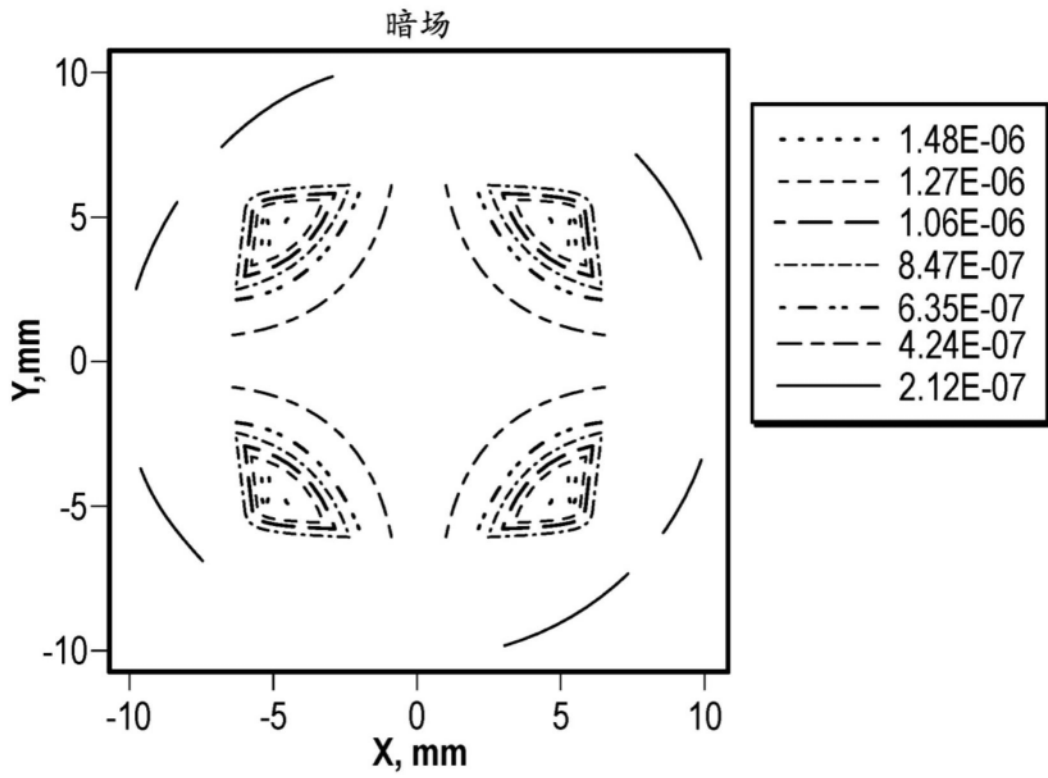


图5A

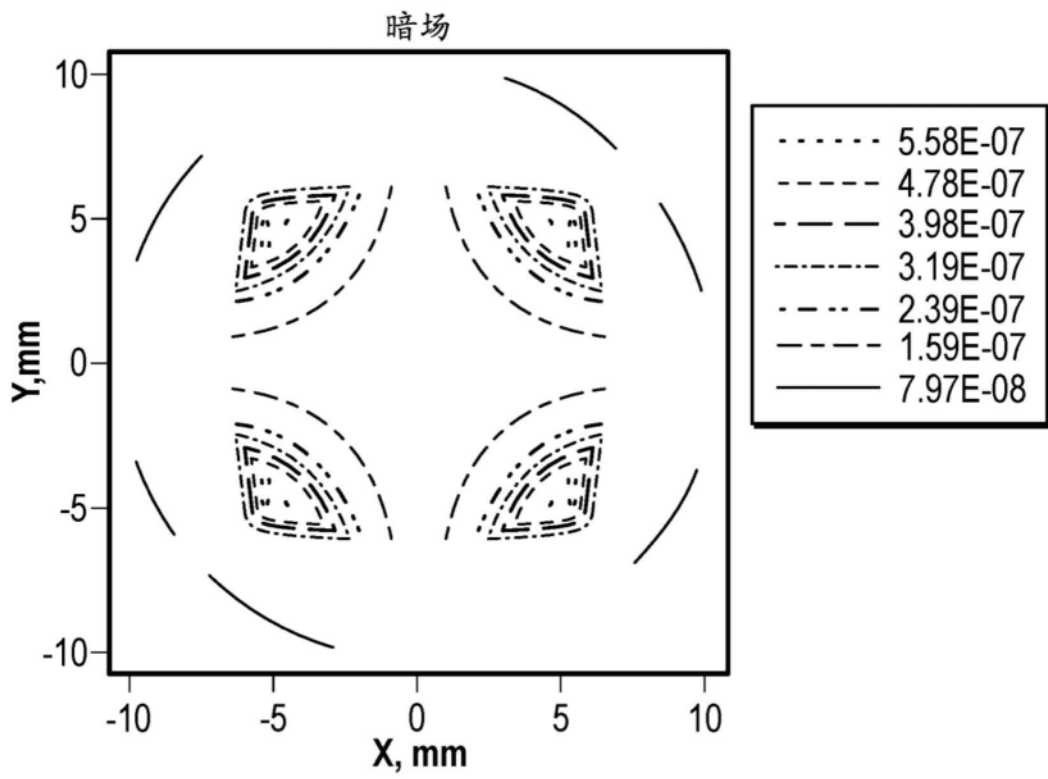


图5B

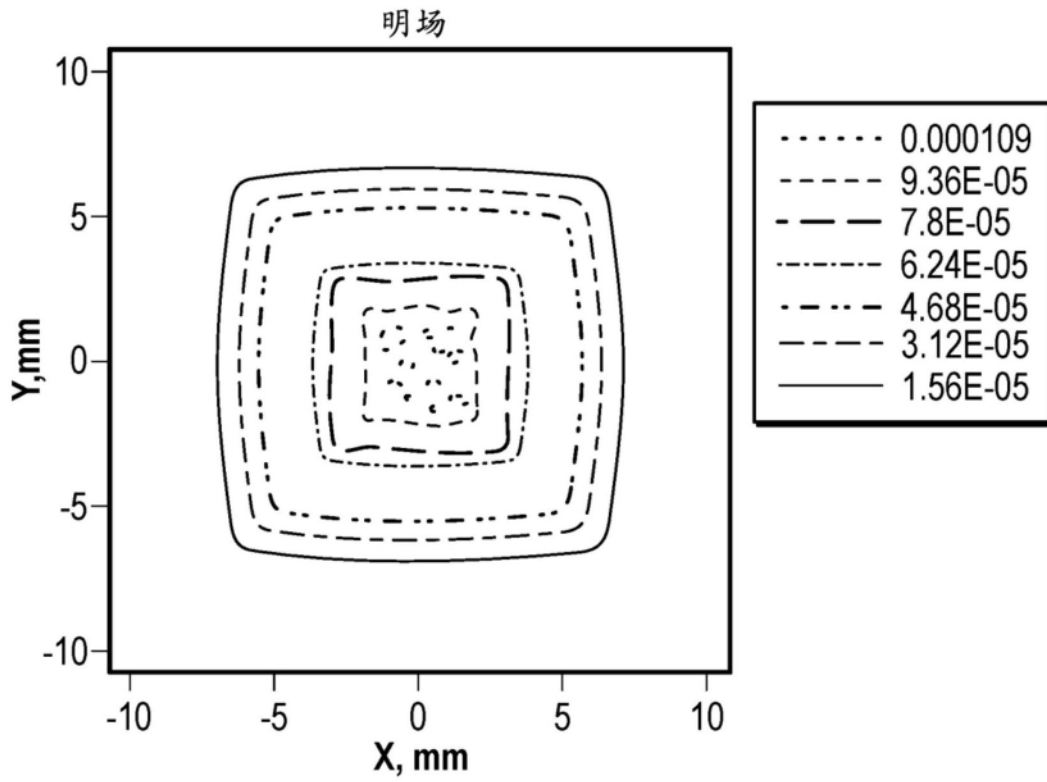


图5C

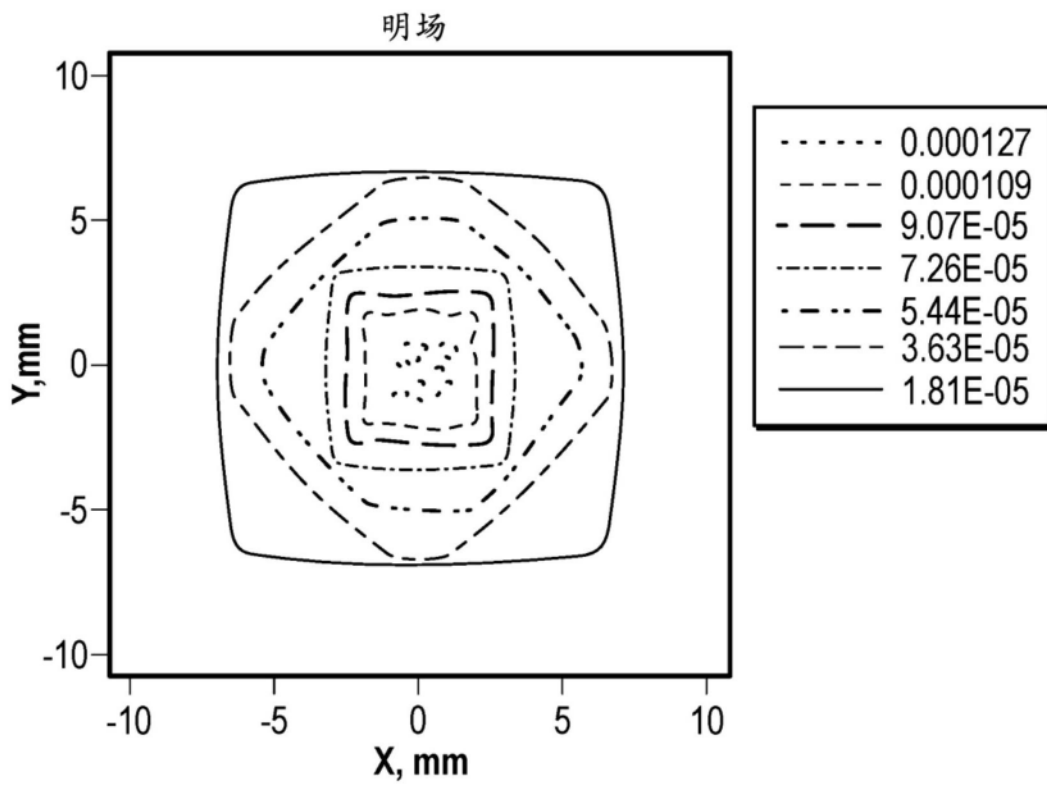


图5D

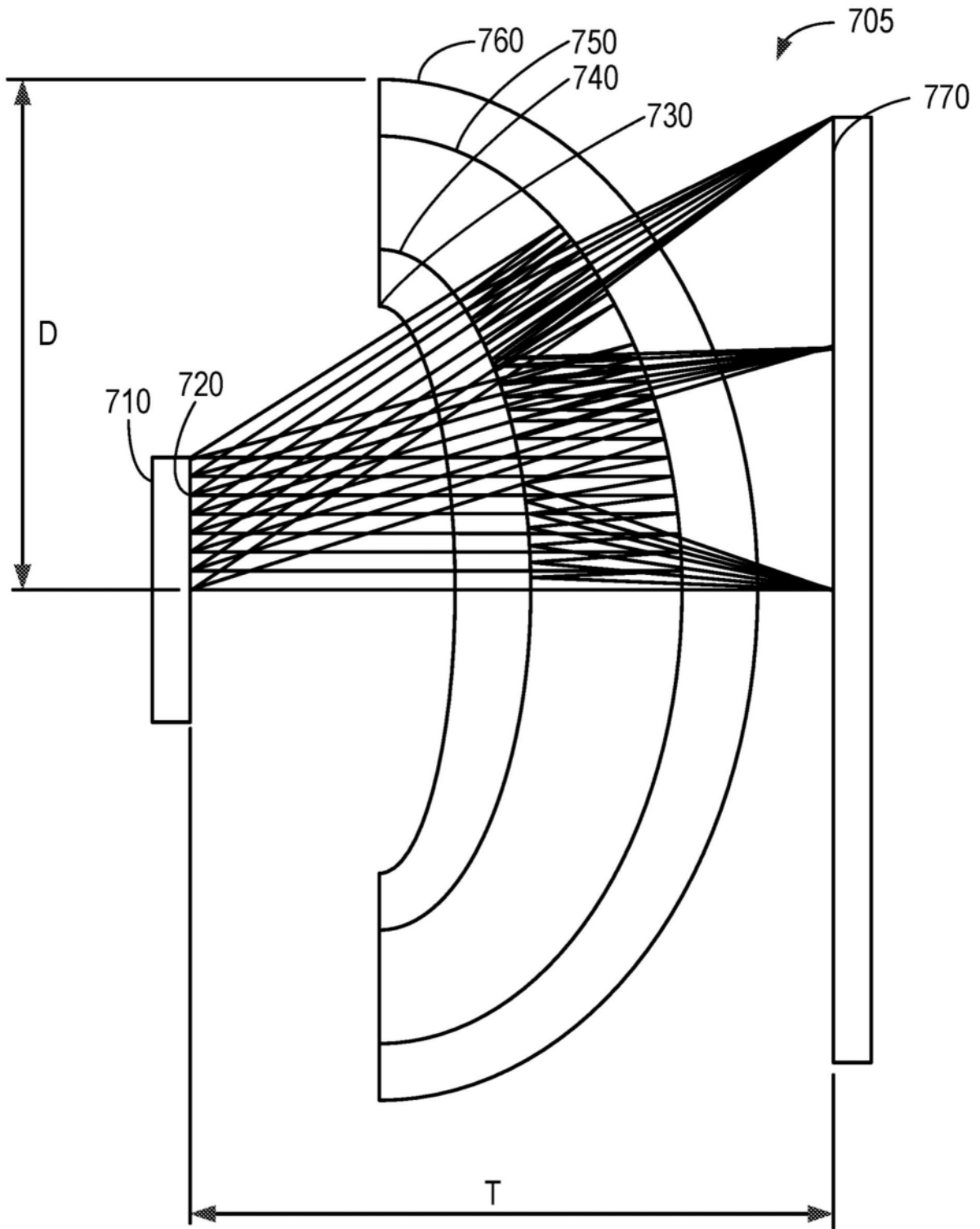


图6

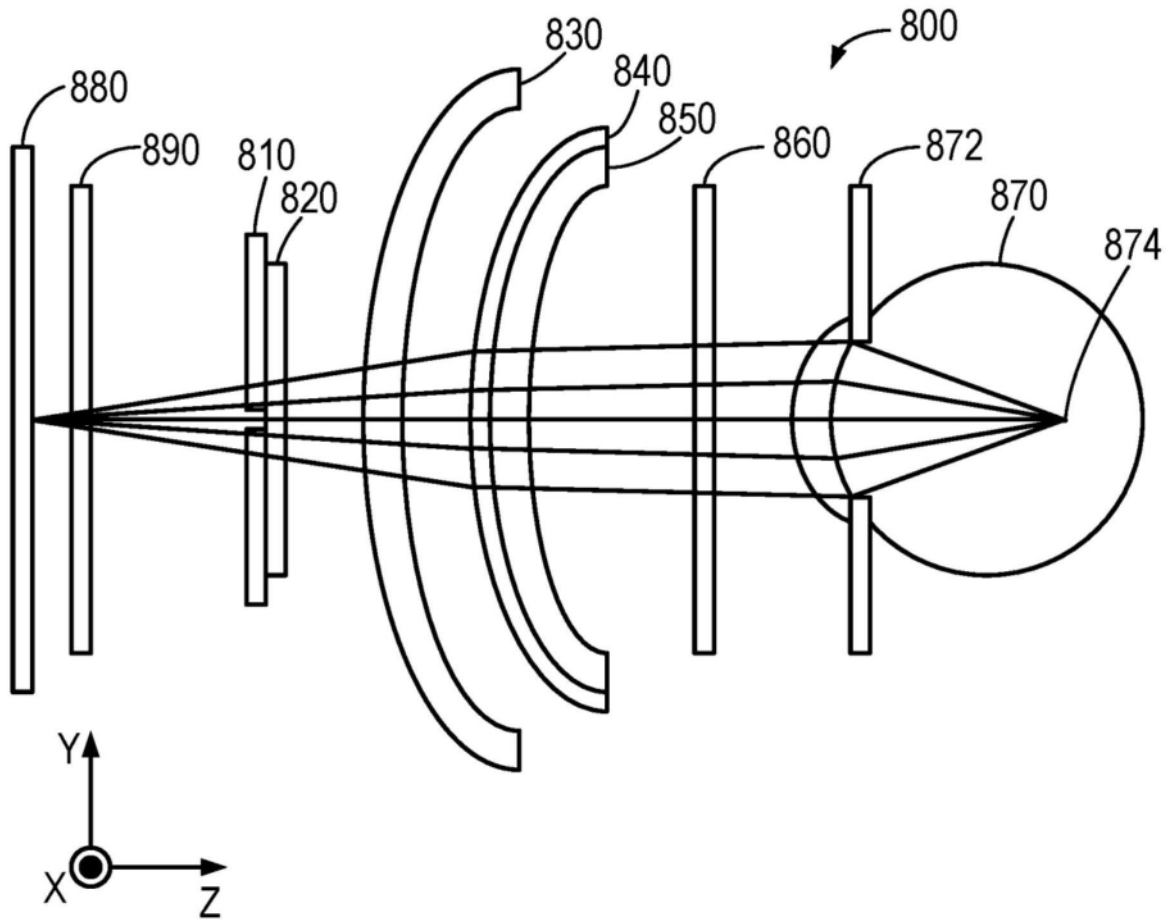


图7A

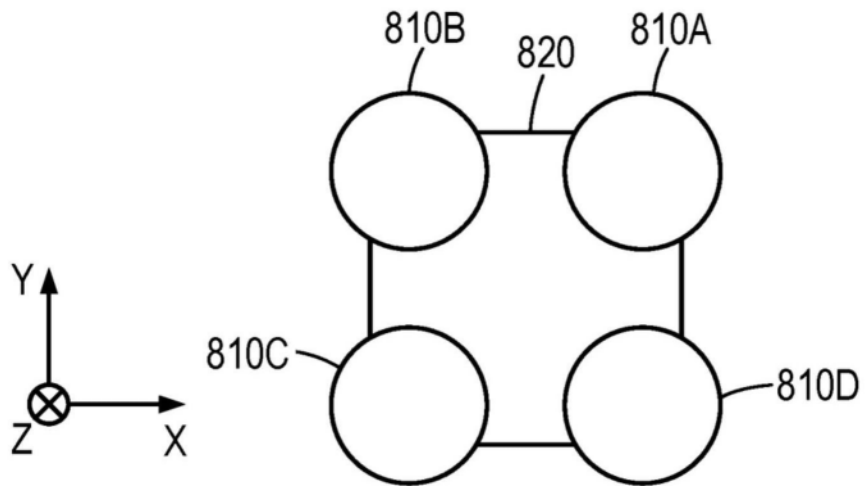


图7B