

1. 一种用于向观察者显示图像的光学系统,其特征在于,所述光学系统包括:

第一光学透镜,所述第一光学透镜包括小于约15nm/cm的光学双折射率、具有在约20mm至约200mm范围内的最佳拟合球面第一曲率半径的弯曲的第一主表面、以及具有大于约500mm的最佳拟合球面第二曲率半径的相背对的第二主表面,所述弯曲的第一主表面朝向所述第二主表面凹入;

第二光学透镜,所述第二光学透镜包括大于约15nm/cm的光学双折射率、面向所述第一光学透镜的所述第二主表面且朝向所述第二主平面凸出并且具有在约14mm至约250mm范围内的最佳拟合球面第一曲率半径的弯曲的第一主表面、以及具有大于约125mm的最佳拟合球面第二曲率半径的相背对的第二主表面;

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第一光学透镜的所述弯曲的第一主表面适形,并且在预定波长范围内具有至少30%的平均光学反射率;

反射偏振器,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第二光学透镜的所述弯曲的第一主表面适形,所述反射偏振器在所述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;以及

第一延迟层,所述第一延迟层设置在所述第一光学透镜的所述第二主表面上并与所述第一光学透镜的所述第二主表面适形。

2. 根据权利要求1所述的光学系统,其中所述第一光学透镜的所述弯曲的第一主表面为由下式描述的非球面表面:

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

其中r为从所述光学系统的光轴到所述非球面表面的距离,c为曲率系数,k为二次曲线常数,并且D、E、F、G、H、I和J为所述非球面表面的校正系数,其中k为约4.6,c为约1/44.9mm⁻¹,D为约零,E为约-1.3E-06,F为约6E-09并且G为约-1.6E-12。

3. 根据权利要求1所述的光学系统,其中所述第二光学透镜的所述弯曲的第一主表面为由下式描述的非球面表面:

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

其中r为从所述光学系统的光轴到所述非球面表面的距离,c为曲率系数,k为二次曲线常数,并且D、E、F、G、H、I和J为所述非球面表面的校正系数,其中k为约4.9,c为约1/120mm⁻¹,D为约零,E为约2.5E-06,F为约零并且G为约零。

4. 根据权利要求1所述的光学系统,其中所述第二光学透镜的所述第二主表面为由下式描述的非球面表面:

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

其中r为从所述光学系统的光轴到所述非球面表面的距离,c为曲率系数,k为二次曲线常数,并且D、E、F、G、H、I和J为所述非球面表面的校正系数,其中k为约4.9,c为约1/231mm⁻¹,D为约零,E为约-1.4E-05,F为约2.1E-08,并且G为约-9.3E-11。

5. 根据权利要求1至4中任一项所述的光学系统，所述光学系统具有光轴；沿着所述光轴传播的光线穿过所述第一光学透镜、所述第二光学透镜、所述部分反射器、所述反射偏振器以及所述第一延迟层而基本上不被折射，使得对于从对象入射在所述光学系统上、包括每毫米约40个线对的空间频率且填充出射光瞳的光锥而言，所述光学系统的调制传递函数(MTF)大于约0.2，所述光锥的主光线穿过所述出射光瞳的开口的中心并且与所述光轴形成约22.5度的角度。

6. 一种用于向观察者显示图像的光学系统，其特征在于，所述光学系统包括：

间隔开的第一光学透镜和第二光学透镜，没有光学透镜设置在所述第一光学透镜和所述第二光学透镜之间，所述第一光学透镜包括玻璃并且所述第二光学透镜包括塑料，所述第一光学透镜和所述第二光学透镜中的每一者包括相背对的第一主表面和第二主表面，最佳拟合球体与所述第一光学透镜的所述第一主表面和所述第二主表面的曲率半径的比率大于约5，最佳拟合球体与所述第二光学透镜的所述第一主表面和所述第二主表面的曲率半径的比率在约1.5至10的范围内；

部分反射器，所述部分反射器设置在所述第一光学透镜的主表面上并与所述第一光学透镜的主表面适形，并且在预定波长范围内具有至少30%的平均光学反射率；

反射偏振器，所述反射偏振器设置在所述第二光学透镜的主表面上并与所述第二光学透镜的主表面适形，所述反射偏振器在所述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；

第一延迟层，所述第一延迟层设置在所述反射偏振器和所述部分反射器之间；以及
出射光瞳，所述出射光瞳在其中限定开口，

所述光学系统具有光轴；沿着所述光轴传播的光线穿过所述第一光学透镜、所述第二光学透镜、所述部分反射器、所述反射偏振器以及所述第一延迟层而基本上不被折射，使得对于从对象入射在所述光学系统上、包括每毫米约40个线对的空间频率且填充所述出射光瞳的光锥而言，所述光学系统的调制传递函数(MTF)大于约0.2，所述光锥的主光线穿过所述出射光瞳的所述开口的中心并且与所述光轴形成约22.5度的角度。

7. 一种用于向观察者显示图像的光学系统，其特征在于，所述光学系统包括：

间隔开的第一光学透镜和第二光学透镜，没有光学透镜设置在所述第一光学透镜和所述第二光学透镜之间，所述第一光学透镜包括玻璃，所述第二光学透镜包括塑料和相背对的非球面主表面，最佳拟合球体与所述相背对的非球面主表面的曲率半径的比率大于约1.1；

部分反射器，所述部分反射器设置在所述第一光学透镜的弯曲主表面上并与所述第一光学透镜的弯曲主表面适形，并且在预定波长范围内具有至少30%的平均光学反射率；

反射偏振器，所述反射偏振器设置在所述第二光学透镜的所述非球面主表面中的一个上并与所述第二光学透镜的所述非球面主表面中的所述一个适形，所述反射偏振器在所述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；

第一延迟层，所述第一延迟层设置在所述反射偏振器和所述部分反射器之间；以及
出射光瞳，所述出射光瞳在其中限定开口，

所述光学系统具有光轴；沿着所述光轴传播的光线穿过所述第一光学透镜、所述第二

光学透镜、所述部分反射器、所述反射偏振器以及所述第一延迟层而基本上不被折射，光锥从对象入射在所述光学系统上、包括每毫米约40个线对的空间频率且填充所述出射光瞳，所述光锥的主光线穿过所述出射光瞳的所述开口的中心并且与所述光轴形成角度 θ ，使得对于各自大于约5度的至少一个第一角度 θ 和小于所述至少一个第一角度 θ 的至少一个第二角度 θ ，所述光学系统对于所述至少一个第一角度 θ 具有第一调制传递函数(MTF)并且对于所述至少一个第二角度 θ 具有第二MTF，所述第二MTF大于所述第一MTF。

8.一种用于向观察者显示图像的光学系统，其特征在于，所述光学系统包括：

第一光学透镜，所述第一光学透镜具有小于约15nm/cm的光学双折射率并且具有弯曲的第一主表面和相背对的基本上平坦的第二主表面；

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第一光学透镜的所述弯曲的第一主表面适形，并且在预定波长范围内具有至少30%的平均光学反射率；

第一延迟层，所述第一延迟层设置在所述第一光学透镜的所述基本上平坦的第二主表面上并与所述第一光学透镜的所述基本上平坦的第二主表面适形；

第二光学透镜，所述第二光学透镜邻近所述第一光学透镜并且具有大于约15nm/cm的光学双折射率，所述第二光学透镜包括面向所述第一延迟层的弯曲的第一主表面以及相背对的弯曲的第二主表面；以及

反射偏振器，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第二光学透镜的所述弯曲的第一主表面适形，对于具有在所述预定波长范围内的波长的垂直入射光，所述反射偏振器上的每个位置对于第一偏振态具有大于约70%的最大反射率，对于正交的第二偏振态具有大于约70%的最大透射率，并且对于所述第一偏振态具有最小透射率，使得至少一个第一位置、至少一个第二位置和至少一个第三位置的所述最大透射率在彼此的约1%内，所述至少一个第一位置靠近所述反射偏振器的中心并且所述至少一个第二位置和所述至少一个第三位置靠近所述反射偏振器的边缘，在所述至少一个第一位置处，所述至少一个第二位置和所述至少一个第三位置所成夹角在约30度至约110度范围内。

9.一种用于向观察者显示图像的光学系统，其特征在于，所述光学系统包括：

第一光学透镜，所述第一光学透镜具有小于约15nm/cm的光学双折射率并且具有弯曲的第一主表面和相背对的基本上平坦的第二主表面；

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第一光学透镜的所述弯曲的第一主表面适形，并且在预定波长范围内具有至少30%的平均光学反射率；

第一延迟层，所述第一延迟层设置在所述第一光学透镜的所述基本上平坦的第二主表面上并与所述第一光学透镜的所述基本上平坦的第二主表面适形；

第二光学透镜，所述第二光学透镜邻近所述第一光学透镜并且具有大于约15nm/cm的光学双折射率，所述第二光学透镜包括面向所述第一延迟层的弯曲的第一主表面以及相背对的弯曲的第二主表面；以及

反射偏振器，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第二光学透镜的所述弯曲的第一主表面适形，对于垂直入射光，所述反射偏振器上

的每个位置具有带有谱带边缘波长的对应反射谱带，使得至少一个第一位置、至少一个第二位置和至少一个第三位置的所述谱带边缘波长在彼此的2%内，所述至少一个第一位置靠近所述反射偏振器的中心并且所述至少一个第二位置和所述至少一个第三位置靠近所述反射偏振器的边缘，在所述至少一个第一位置处，所述至少一个第二位置和所述至少一个第三位置所成夹角在约30度至约110度范围内。

10. 一种一体式多层光学膜，其特征在于，所述一体式多层光学膜包括：

多个聚合物干涉层，每个干涉层主要通过光学干涉反射或透射光；和

最外非干涉层，所述最外非干涉层不是主要通过光学干涉来反射或透射光并且包括形成有规则图案的最外表面，其中所述多层光学膜为一体式构造体。

11. 一种光学组件，其特征在于，所述光学组件包括光学透镜和根据权利要求10所述的一体式多层光学膜，所述一体式多层光学膜设置在所述光学透镜的主表面上并与所述光学透镜的主表面适形。

12. 一种光学系统，其特征在于，所述光学系统包括根据权利要求11所述的光学组件、邻近所述光学组件设置并与所述光学组件间隔开的部分反射器、以及设置在所述一体式多层光学膜和所述部分反射器之间的延迟层。

13. 一种光学组件，其特征在于，所述光学组件包括：

光学透镜，所述光学透镜具有第一主表面和至少约15nm/cm的光学双折射率；

反射偏振器，所述反射偏振器设置在所述第一主表面上并与所述第一主表面适形，所述光学组件具有圆形双衰减，使得在俯视平面图中，所述圆形双衰减沿着第一轴线在两个相反方向中的每一者上从所述反射偏振器的中心到所述反射偏振器的边缘增加并且沿着不同的第二轴线在两个相反方向中的每一者上从所述反射偏振器的所述中心到所述反射偏振器的所述边缘降低。

光学系统、一体式多层光学膜以及光学组件

背景技术

[0001] 包括虚拟现实 (VR) 显示器的许多显示器尝试呈现复制真实或假想环境的真实图像。在一些应用中, VR 显示器尝试提供三维环境的沉浸式模拟。

实用新型内容

[0002] 在本说明书的一些方面中, 提供了用于向观察者显示图像的光学系统。该光学系统包括第一光学透镜和第二光学透镜、部分反射器、反射偏振器以及第一延迟层。第一光学透镜具有小于约15nm/cm的光学双折射率、具有在约20mm至约200mm范围内的最佳拟合球面第一曲率半径的弯曲的第一主表面、以及具有大于约500mm的最佳拟合球面第二曲率半径的相背对的第二主表面。弯曲的第一主表面朝向该第二主表面凹入。第二光学透镜具有大于约15nm/cm的光学双折射率、面向第一光学透镜的第二主表面且朝向第二主平面凸出并且具有在约14mm至约250mm范围内的最佳拟合球面第一曲率半径的弯曲的第一主表面、以及具有大于约125mm的最佳拟合球面第二曲率半径的相背对的第二主表面。部分反射器设置在该第一光学透镜的弯曲的第一主表面上并与第一光学透镜的弯曲的第一主表面适形, 并且在预定波长范围内具有小于30%的平均光学反射率。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第二光学透镜的弯曲的第一主表面适形。反射偏振器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第二偏振态的光。第一延迟层设置在第一光学透镜的第二主表面上并与第一光学透镜的第二主表面适形。

[0003] 在本说明书的一些方面中, 提供了用于向观察者显示图像的光学系统。光学系统包括间隔开的第一光学透镜和第二光学透镜, 部分反射器、反射偏振器和设置在反射偏振器和部分反射器之间的第一延迟层, 其中没有光学透镜设置在第一光学透镜和第二光学透镜之间。第一光学透镜包括玻璃, 并且第二光学透镜包括塑料。第一光学透镜和第二光学透镜中的每一者具有相背对的第一主表面和第二主表面。最佳拟合球体与第一光学透镜的第一主表面和第二主表面的曲率半径的比率大于约5。最佳拟合球体与第二光学透镜的第一主表面和第二主表面的曲率半径的比率在约1.5至 10的范围内。部分反射器设置在该第一光学透镜的主表面上并与第一光学透镜的主表面适形, 并且在预定波长范围内具有至少30%的平均光学反射率。反射偏振器设置在第二光学透镜的主表面上并与第二光学透镜的主表面适形。反射偏振器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第二偏振态的光。光学系统具有在其中限定开口的出射光瞳以及光轴, 使得沿光轴传播的光线穿过第一光学透镜、第二光学透镜、部分反射器、反射偏振器以及第一延迟层而基本上不被折射。光学系统被构造成使得对于从对象入射在该光学系统上、包括每毫米约40个线对的空间频率且填充出射光瞳的光锥而言, 光学系统的调制传递函数 (MTF) 大于约0.2, 光锥的主光线穿过出射光瞳的开口的中心并且与光轴形成约22.5度的角度。

[0004] 在本说明书的一些方面中, 提供了用于向观察者显示图像的光学系统。光学系统包括间隔开的第一光学透镜和第二光学透镜、部分反射器、反射偏振器和设置在反射偏振器和部分反射器之间的第一延迟层, 其中没有光学透镜设置在第一光学透镜和第二光学透

镜之间。第一光学透镜包括玻璃，并且该第二光学透镜包括塑料并且具有相背对的非球面主表面。最佳拟合球体与相背对的非球面主表面的曲率半径的比率大于约1.1。部分反射器设置在第一光学透镜的弯曲主表面上并与第一光学透镜的弯曲主表面适形，并且在预定波长范围内具有至少30%的平均光学反射率。反射偏振器设置在第二光学透镜的非球面主表面中的一个上并与第二光学透镜的非球面主表面中的一个适形。反射偏振器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第二偏振态的光。光学系统还具有在其中限定开口的出射光瞳以及光轴，使得沿光轴传播的光线穿过第一光学透镜、第二光学透镜、部分反射器、反射偏振器以及第一延迟层而基本上不被折射。光锥从对象入射在光学系统上、包括每毫米约40个线对的空间频率且填充出射光瞳，光锥的主光线穿过出射光瞳的开口的中心并且与光轴形成角度 θ ，使得对于各自大于5度的至少一个较大的 θ 和至少一个较小的 θ ，光学系统对于较大的 θ 具有较小的调制传递函数(MTF)并且对于较小的 θ 具有较大的MTF。

[0005] 在本说明书的一些方面中，提供了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、第二光学透镜、部分反射器、第一延迟层和反射偏振器。第一光学透镜具有小于约15nm/cm的光学双折射率并且具有弯曲的第一主表面和相背对的基本上平坦的第二主表面。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第一光学透镜的弯曲的第一主表面适形，并且在预定波长范围内具有至少30%的平均光学反射率。第一延迟层设置在第一光学透镜的基本上平坦的第二主表面上并与第一光学透镜的基本上平坦的第二主表面适形。第二光学透镜邻近第一光学透镜设置，并且具有大于约15nm/cm的光学双折射率。第二光学透镜具有面向第一延迟层的弯曲的第一主表面以及相背对的弯曲的第二主表面。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第二光学透镜的弯曲的第一主表面适形。对于具有在预定波长范围内的波长的垂直入射光，反射偏振器上的每个位置对于第一偏振态具有大于约70%的最大反射率，对于正交的第二偏振态具有大于约70%的最大透射率并且对于该第一偏振态具有最小透射率。至少一个第一位置、至少一个第二位置和至少一个第三位置的最大透射率在彼此的1%内，其中至少一个第一位置靠近反射偏振器的中心并且至少一个第二位置和至少一个第三位置靠近反射偏振器的边缘。在至少一个第一位置处，至少一个第二位置和至少一个第三位置所成夹角在约30度至约110度范围内。

[0006] 在本说明书的一些方面中，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、第二光学透镜、部分反射器、第一延迟层和反射偏振器。第一光学透镜具有小于约15nm/cm的光学双折射率并且具有弯曲的第一主表面和相背对的基本上平坦的第二主表面。部分反射器设置在第一透镜的弯曲的第一主表面上并与第一透镜的弯曲的第一主表面适形，并且在预定波长范围内具有至少30%的平均光学反射率。第一延迟层设置在第一光学透镜的基本上平坦的第二主表面上并与第一光学透镜的基本上平坦的第二主表面适形。第二光学透镜邻近第一光学透镜设置，并且具有大于约15nm/cm的光学双折射率。第二光学透镜具有面向第一延迟层的弯曲的第一主表面以及相背对的弯曲的第二主表面。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第二光学透镜的弯曲的第一主表面适形。对于垂直入射光，反射偏振器上的每个位置具有带有谱带边缘波长的对应反射谱带，使得至少一个第一位置、至少一个第二位置和至少一个第三位置的谱带边缘波

长在彼此的2%内,其中至少一个第一位置靠近反射偏振器的中心并且至少一个第二位置和至少一个第三位置靠近反射偏振器的边缘,并且在至少一个第一位置处,至少一个第二位置和至少一个第三位置所成夹角在约30度至约110度范围内。

[0007] 在本说明书的一些方面,提供一种制造光学组件的方法。该方法包括提供第一模具,该第一模具包括第一弯曲模具表面,该第一弯曲模具表面具有在约30mm至约1000mm范围内的最佳拟合球面第一曲率半径;提供基本上平坦的反射偏振器,反射偏振器上的每个位置对于阻光偏振态具有大于约70%的最大反射率并且对于正交透光偏振态具有大于约70%的最大透射率,透光偏振态的取向跨反射偏振器的最大变化为约θ1度;将基本上平坦的反射偏振器放置在第一弯曲模具表面上,并且施加压力和热量中的至少一者以使基本上平坦的反射偏振器至少部分地适形于第一弯曲模具表面;提供包括与第一模具表面间隔开并对准的第二模具表面的第二模具,第一模具表面和第二模具表面在两者间限定模具腔体;用可流动材料基本上填充模具腔体,可流动材料具有大于反射偏振器的玻璃化转变温度的温度;以及使可流动材料固化以形成结合到反射偏振器的固体光学元件。透光偏振态的取向跨结合的反射偏振器的最大变化为约θ2度。θ1和θ2在彼此的约3度内。

[0008] 在本说明书的一些方面,提供一种制造光学组件的方法。该方法包括提供第一模具,该第一模具包括第一弯曲模具表面,该第一弯曲模具表面具有在约30mm至约1000mm范围内的最佳拟合球面第一曲率半径;提供基本上平坦的反射偏振器,该基本上平坦的反射偏振器对于预定波长范围内的第一偏振态具有大于约70%的平均反射率并且对于该预定波长范围内的正交的第二偏振态具有大于约70%的平均透射率,该基本上平坦的反射偏振器跨该反射偏振器具有第一最大厚度变化;将基本上平坦的反射偏振器放置在第一弯曲模具表面上,并且施加压力和热量中的至少一者以使基本上平坦的反射偏振器至少部分地适形于第一弯曲模具表面;提供包括与第一模具表面间隔开并对准的第二模具表面的第二模具,第一模具表面和第二模具表面在两者间限定模具腔体;用可流动材料基本上填充模具腔体,可流动材料具有高于该反射偏振器的玻璃化转变温度的温度;以及使可流动材料固化以形成结合到反射偏振器的固体光学元件。结合的反射偏振器跨反射偏振器具有第二最大厚度变化。第一最大厚度变化和第二最大厚度变化在彼此的5%内。

[0009] 在本说明书的一些方面,提供一种一体式多层光学膜。一体式多层光学膜包括多个干涉层,每个干涉层主要通过光学干涉反射或透射光;以及最外非干涉层,该最外非干涉层不是主要通过光学干涉来反射或透射光,并且一体多层光学膜具有形成有规则图案的最外表面。多层光学膜为一体式构造体。

[0010] 在本实用新型的一些方面,提供一种光学组件,该光学组件包括具有第一主表面和至少约15nm/cm的光学双折射率的光学透镜,以及设置在第一主表面上并与第一主表面适形的反射偏振器。光学组件具有圆形双衰减(circular diattenuation),使得在俯视平面图中,该圆形双衰减沿着第一轴线在两个相反方向中的每一者上从该反射偏振器的中心到该反射偏振器的边缘增加并且沿着不同的第二轴线在两个相反方向中的每一者上从该反射偏振器的该中心到该反射偏振器的该边缘降低。

附图说明

[0011] 图1A-图1D为示出光学系统的示意图;

- [0012] 图2A-图2D为光学透镜的示意性剖视图；
- [0013] 图3A示出成像器件；
- [0014] 图3B示出光学系统的出射光瞳的开口；
- [0015] 图4A-图4C示出针对根据一些实施方案的光学系统的表示作为以每毫米的周期为单位(也称为每毫米的线对)的空间频率的函数绘制的调制传递函数(光学传递函数(OTF)模量)的曲线族；
- [0016] 图5示出其中来自对象的光锥的主光线穿过出射光瞳的开口的中心并且与光轴形成θ的角度的光学系统；
- [0017] 图6A-图6D示意性地示出用于制造光学组件的方法；
- [0018] 图7为反射偏振器的示意性正视图；
- [0019] 图8为反射谱带的示意图；
- [0020] 图9A-图9B为反射偏振器的示意性正视图；
- [0021] 图9C为弯曲表面的示意性正视图；
- [0022] 图10A为在将反射偏振器成形为弯曲形状之前反射偏振器的示意性剖视图；
- [0023] 图10B为在将反射偏振器成形为弯曲形状之后图10A的反射偏振器的示意性剖视图；
- [0024] 图11为元件的示出平均表面粗糙度SR的一部分的示意性剖视图；
- [0025] 图12为一体多层光学膜的一部分的示意性剖视图；
- [0026] 图13为光学组件的示意性俯视图；并且
- [0027] 图14为光学组件的圆形双衰减的示意性等值线图。

具体实施方式

[0028] 在以下说明中参考附图，该附图形成本实用新型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。

[0029] 图1A为示出根据本说明书的一些实施方案的光学系统500的示意图。光学系统500可被描述为折叠光学系统，其中光束在其横穿系统时弯曲，使得光的光学路径长于系统的长度。本文所公开的光学系统采用折叠光学器件，并且可用于头戴式显示器诸如虚拟现实显示器，以及相机诸如包括在例如手机中的相机。本实用新型所公开的光学系统包括反射偏振器、多个透镜和/或设置在光阑表面(例如，出射光瞳或入射光瞳)和图像表面(例如，显示面板的表面或图像记录仪的表面)之间的延迟器。这些系统可以紧凑配置提供具有高视场、高对比度、低色差、低失真和/或高效率的可用于各种应用中的光学系统。折叠光学系统例如在美国专利 2009/9,557,568 (Onderkirk等人) 中有所描述，该专利以不与本说明书矛盾的程度据此以引用方式并入本文。

[0030] 可期望用于虚拟现实应用的紧凑光学系统具有高分辨率(小光斑尺寸)和宽视场(FOV)。宽视场为观察者提供沉浸式体验。小光斑尺寸使图像锐利且清晰。当从图像到出射光瞳横穿光学系统时，光斑尺寸由于包括球面像差、彗形像差、像散等各种像差而增加。除理想点的分布之外，透镜的像差和光的波状性质可导致来自图像15(参见例如图1A)的一个

点的光分布在出射光瞳开口61上。期望减小此类像差，以提供具有大视场的小斑点尺寸的期望方面。

[0031] 调制光学传递函数(MTF)是表征光学系统将对比度从图像15转移到出射光瞳开口61的能力的图像质量的量度。MTF通过从空间域(光斑尺寸)到频域(MTF)的傅立叶变换而与光斑尺寸相关。光学系统的MTF(和光斑尺寸)可表示为空间频率的函数。空间频率量化出射光瞳开口处图像中存在的细部水平，并且通常以每毫米的线对为单位指定。高空间频率图像具有比较低空间频率的图像大的细部量。可以针对不同波长的光和相对于光轴的不同光角确定MTF的切向和矢状取向。

[0032] 本文所公开的一些实施方案涉及在预定空间频率下具有指定的例如高MTF的折叠光学系统。本文所公开的系统包括具有光学性质的光学透镜，当与反射偏振器和至少一个延迟层结合使用时，该多个透镜提供增强观察者体验沉浸式三维虚拟环境的MTF。

[0033] 图1A是根据一些实施方案的光学系统500的侧视图。光学系统500被配置为通过开口61向观察者510显示图像15。光学系统500包括第一光学透镜10和第二光学透镜20。第一透镜10被配置为从成像器件55接收图像15。在一些配置中，入射在第一透镜10上的图像为椭圆偏振的。在一些配置中，入射在第一透镜10上的图像为圆形偏振的。

[0034] 第一透镜10具有弯曲的第一主表面11和相背对的第二主表面12。第二透镜20具有弯曲的第一主表面21和相背对的第二主表面22。在一些实施方案中，第一透镜10的弯曲的第一主表面11具有至少约20mm、或至少约25mm、或至少约30mm的最佳拟合球面第一曲率半径。在一些实施方案中，最佳拟合第一曲率半径不超过约200mm、或不超过约150mm、或不超过约100mm、或不超过约60mm。例如，在一些实施方案中，第一透镜10的弯曲的第一主表面11具有在约20mm至约200mm的范围内或在约25mm至约100mm范围内的最佳拟合球面第一曲率半径。在一些实施方案中，第一光学透镜10的弯曲的第一主表面11为非球面表面。在一些实施方案中，第一透镜10的第二主表面12具有大于约500mm、或大于约750mm、或大于约1000mm的最佳拟合球面第二曲率半径。在一些实施方案中，第一光学透镜10的第二主表面12为非球面表面。在一些实施方案中，第一光学透镜10的第二主表面12为平坦的或基本上平坦的。如果表面的任何曲率对光学系统的光学器件具有忽略不计的影响，则光学系统中的透镜的表面可被描述为基本上平坦的。在一些实施方案中，基本上平坦的透镜表面可具有大于约2m或大于约5m的最佳拟合球面第二曲率半径。

[0035] 诸如“约”的术语将在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理解。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10%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其不清楚，则具有约1的值的量是指该量具有介于0.9和1.1之间的值，并且该值可为1。

[0036] 在一些实施方案中，第二光学透镜20的弯曲的第一主表面21具有至少约14mm、或至少约25mm、或至少约30mm、或至少约50mm、或至少约75mm、或至少约100mm、或至少约110mm的最佳拟合球面第一曲率半径。在一些实施方案中，最佳拟合球面第一曲率半径不超过约1000mm、或不超过约250mm、或不超过约200mm、或不超过约150mm、或不超过约140mm。例如，在一些实施方案中，第二光学透镜20的弯曲的第一主表面21具有在约14mm至约250mm范围

内或在约50mm至约200mm范围内的最佳拟合球面第一曲率半径。在一些实施方案中，第二光学透镜20的弯曲的第一主表面21为非球面表面。在一些实施方案中，第二光学透镜20的第二主表面22具有大于约125mm、或至少约200mm、或至少约500mm的最佳拟合球面第二曲率半径。在一些实施方案中，最佳拟合球面第二曲率半径不超过约1000mm、或不超过约800mm。例如，在一些实施方案中，第二光学透镜20的第二主表面22具有在约200mm至约800mm范围内的最佳拟合球面第二曲率半径。在一些实施方案中，第二主表面22为非球面表面。在一些实施方案中，第二主表面22具有大于约1000m的最佳拟合球面第二曲率半径。在一些实施方案中，第二主表面22为平坦的或基本上平坦的。

[0037] 图2A为光学透镜20a的示意性剖视图，该光学透镜20a具有朝向在所示实施方案中平坦的第二主表面22a凹入的第一主表面21a。第一主表面 21a具有最佳拟合球面曲率半径R1。表面的最佳拟合球面曲率半径为球体的半径，该半径使沿着球体的法线从球体到表面的平方距离最小化。最佳拟合球面曲率半径可使用常规最小平方拟合技术来确定。第一主表面21在顶点421a处具有可与R1相同（例如，对于球面透镜）、大于R1或小于 R1的曲率半径。图2B为具有相背对的第一主表面21b和第二主表面22b 的光学透镜20b的示意性剖视图。第二主表面22b朝向第一主表面21b凸出，并且具有最佳拟合球面曲率半径R2。第二主表面22b在顶点422b处具有可与R2相同（例如，对于球面透镜）、大于R2或小于R2的曲率半径。图2C为具有相背对的第一主表面21c和第二主表面22c的光学透镜 20c的示意性剖视图。第二主表面22c朝向第一主表面21c凹入，并且具有最佳拟合球面曲率半径R2。第二主表面22c在顶点422c处具有可与R2相同（例如，对于球面透镜）、大于R2或小于R2的曲率半径。图2D为具有相背对的第一主表面21d和第二主表面22d的光学透镜20d的示意性剖视图。第二主表面22d具有朝向第一主表面21d凸出的第一部分27a和朝向第一主表面21d凹入的第二部分27d。

[0038] 如图1A所示，在一些实施方案中，弯曲的第一主表面11朝向第二主表面12凹入。在一些实施方案中，第二透镜20的第一主表面21面向第一光学透镜10的第二主表面12并且朝向该第二主表面12凸出。在一些实施方案中，第二光学透镜20的第二主表面22朝向第二光学透镜20的弯曲的第一主表面21凸出。在一些实施方案中，第二光学透镜20的第二主表面22朝向第二光学透镜20的弯曲的第一主表面21凹入。在一些实施方案中，第二光学透镜20的第二主表面22的第一部分朝向第二光学透镜20的弯曲的第一主表面21凸出，并且第二光学透镜20的第二主表面22的另一部分朝向第二光学透镜的弯曲的第一主表面凹入。在一些实施方案中，第二光学透镜20的第二主表面22朝向第二光学透镜20的弯曲的第一主表面21凸出并且具有大于约500mm的最佳拟合球面第二曲率半径。在一些实施方案中，第二光学透镜20的第二主表面22朝向第二光学透镜20 的弯曲的第一主表面21凹入并且具有大于约500mm的最佳拟合球面第二曲率半径。

[0039] 在一些实施方案中，第一光学透镜和第二光学透镜中的一者或两者具有至少一个非球面表面。在一些实施方案中，光学透镜的非球面表面由式1 描述：

$$[0040] z = \frac{cr^2}{1 + [1 - (1+k)c^2r^2]^{1/2}} + Dr^2 + Er^4 + Fr^6 + Gr^8 + Hr^{10} + Ir^{12} + Jr^{14} + \dots \quad (\text{式 1})$$

[0041] 其中r为从光学系统的光轴到非球面表面的距离，z为沿着光轴从非球面表面的顶点到非球面表面上的点的距离，c为曲率系数，k为二次曲线常数，并且D、E、F、G、H、I、J为非

球面表面的校正系数。在一些实施方案中,高阶项(例如,Kr¹⁶项和/或Lr¹⁸项和/或Mr²⁰项)包括在内,并且在一些实施方案中,所有高阶项可忽略不计,使得非球面表面形状可由式1来描述,没有项具有比r¹⁴高的阶。量c+2D为非球面表面的顶点处的曲率。在一些实施方案中,D为零或约零,使得其对非球面表面的形状的贡献可忽略不计。在这种情况下,c为非球面表面的顶点处的曲率,并且顶点处的曲率半径为1/c。可指定校正系数而不明确地列举单位,前提是z和r以 mm为单位表示。如果校正系数足够小使得具有所包括的校正系数并且省略了校正系数的表面形状的差异足够小以致其对光学系统的光学性能的影响可忽略不计,则校正系数可被描述为约零。

[0042] 在一些实施方案中,第一光学透镜10的弯曲的第一主表面11为非球面表面。在一些实施方案中,该非球面表面由式1描述。在一些实施方案中,二次曲线常数k在约3至7的范围内(例如,约4.6)。在一些实施方案中,非球面表面的顶点的曲率半径在约40mm至50mm的范围内。在一些实施方案中,k为约4.6,c为约1/44.9mm⁻¹,D为约零,E为约-1.3E-06(其也可写为-1.3×10⁻⁶),F为约6E-09,并且G为约-1.6E-12。在一些实施方案中,H,I和J以及更高阶项为零或为约零。

[0043] 在一些实施方案中,第二光学透镜20的弯曲的第一主表面21为非球面表面。在一些实施方案中,该非球面表面由式1描述。在一些实施方案中,二次曲线常数k在约3至7的范围内(例如,约4.9)。在一些实施方案中,非球面表面的顶点的曲率半径在约100mm至140mm的范围内。在一些实施方案中,k为约4.9,c为约1/120mm⁻¹,D为约零,E为约2.5E- 06,F为约零,并且G为约零。在一些实施方案中,H,I和J以及更高阶项为零或为约零。

[0044] 在一些实施方案中,第二光学透镜20的第二主表面22为非球面表面。在一些实施方案中,该非球面表面由式1描述。在一些实施方案中,二次曲线常数k在约3至7的范围内(例如,约4.9)。在一些实施方案中,非球面表面的顶点的曲率半径在约210mm至250mm的范围内。在一些实施方案中,k为约4.9,c为约1/231mm⁻¹,D为约零,E为约-1.4E-05,F为约2.1E-08,并且G为约-9.3E-12。在一些实施方案中,H,I和J以及更高阶项为零或为约零。

[0045] 部分反射器30设置在第一光学透镜10的弯曲的第一主表面上并与第一光学透镜10的弯曲的第一主表面适形。在一些实施方案中,部分反射器 30在预定波长范围内具有至少30%的平均光学反射率。

[0046] 在本说明书的光学透镜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,可随后粘附到透镜上的膜,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该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,否则在预定波长下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比。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。

[0047] 光学系统500包括设置在第二光学透镜20的主表面上的反射偏振器 40。在例示的实施方案中，反射偏振器40设置在第二透镜20的第一主表面21上并与第二透镜20的第一主表面21适形。在其它实施方案中，反射偏振器40可设置在第二光学透镜20的第二主表面22上。在预定波长范围内，反射偏振器40基本上反射具有正交的第一偏振态和第二偏振态中的一者(例如，电场沿着x轴的第一偏振态)的光，并且基本上透射具有第一偏振态和第二偏振态中的另一者(例如，电场沿着y轴的第二偏振态)的光。如果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一偏振态的光的至少 70%、或至少80%透射穿过偏振器。如果在预定波长范围内具有第二偏振态的光的至少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二偏振态的光。在一些实施方案中，具有第二偏振态和预定波长的光的至少70%、或至少80%被从偏振器反射。

[0048] 在本说明书的光学系统中使用的反射偏振器可为任何合适类型的反射偏振器。反射偏振器可为可基本上单轴取向的聚合物多层光学膜，如本文其它地方进一步描述的。基本上单轴取向的反射偏振器可以商品名 Advanced Polarizing Film或APF购自3M公司(3M Company)。也可使用其它类型的多层光学膜反射偏振器(例如，购自3M公司的反射式偏光增亮膜或DBEF)。在一些实施方案中，使用其它类型的反射偏振器(例如，线栅偏振器)。

[0049] 如图1A所示，光学系统500包括设置在反射偏振器40和部分反射器 30之间的第一延迟层50。在例示的实施方案中，第一延迟层50设置在第一光学透镜10的第二主表面12上并与第一光学透镜10的第二主表面12适形。在一些实施方案中，第一延迟层50可为在预定波长范围内的至少一个波长下的基本上四分之一波长延迟器。光学系统500的一些配置包括第二延迟层90，其中第一透镜10设置在第二透镜20和第二延迟层90之间。任选地，光学系统500包括第一线性吸收型偏振器80。例如，第二延迟层90 可设置在第一透镜10和第一线性吸收型偏振器80之间。任选地，光学系统500包括第二线性吸收型偏振器100，其中第二透镜20设置在第二线性吸收型偏振器100和反射偏振器40之间。

[0050] 在一些实施方案中，光学系统500包括第二延迟层90、第一线性吸收型偏振器80和第二线性吸收型偏振器100中的每一者。第一透镜10设置在第二透镜20和第二延迟层90之间。第二延迟层90设置在第一透镜10和第一线性吸收型偏振器80之间。第二透镜20设置在第二线性吸收型偏振器100和反射偏振器40之间。

[0051] 在一些配置中，预定波长范围可以包括约550nm的波长，例如，可以包括587.6nm的波长。在一些实施方案中，预定波长范围可以从约400nm 延伸到约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。

[0052] 光学系统500具有光轴520。光学系统被配置成使得沿着光轴520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和第一延迟层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和第一延迟层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和第一延迟层50中的至少一者为非旋转对称的。例如，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和第一延迟层50中的至少一者具有至少一个对称平面。

[0053] 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，其中沿着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，使得沿着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。沿着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，使得沿着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，沿着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。

[0054] 光学系统500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。

[0055] 在一些实施方案中，第一光学透镜10由具有低双折射率的玻璃制成，并且第二光学透镜20由双折射率大于第一光学透镜10的双折射率的塑料制成。根据一些实施方案，第一光学透镜10的光学双折射率小于约 20nm/cm、或小于约15nm/cm、或小于约10nm/cm、或小于约7nm/cm。在一些实施方案中，第二光学透镜20的双折射率大于约10nm/cm、或大于约15nm/cm、或大于约20nm/cm。在一些实施方案中，第一光学透镜10的双折射率小于第二光学透镜20的双折射率。

[0056] 在一些实施方案中，在约550nm例如587.6nm的波长下，第一光学透镜10的材料的折射率可为约1.44、或约1.50、或约1.52。在一些实施方案中，第二光学透镜20在约550nm例如587.6nm下具有约1.49、或约1.62 的折射率。

[0057] 如图1A所示，成像器件55可邻近并面向第一透镜10设置。成像器件 55发射入射在第一透镜10上的图像15。出射光瞳60邻近并面向第二透镜 20设置，并在其中限定开口61。入射在第一透镜10上的图像15通过出射光瞳60中的开口61离开光学系统500。入射在第一透镜10上的图像15可为椭圆偏振的。开口61处的出射图像可为基本上线性偏振的。

[0058] 图1B示出光学系统501，其在许多方面类似于图1A的光学系统 500。光学系统501的不同之处至少在于系统501不包括第二线性吸收型偏振器(图1A中的100)。

[0059] 图1C示出与图1A具有一些类似方面的另一光学系统502。光学系统502包括设置在第二透镜20的第一主表面21上并与第二透镜20的第一主表面21适形的部分反射器31。系统

502还包括设置在第一透镜10的第一主表面11上并与第一透镜10的第一主表面适形的反射偏振器41。在系统 502中,第二延迟层90邻近出射光瞳60设置。第一线性吸收型偏振器80设置在第二延迟层90和第二透镜20之间。

[0060] 图1D示出根据一些实施方案的另一光学系统503。图1D在许多方面类似于图1C的系统502。系统503还包括设置在成像器件55和第一透镜 10之间的第二线性吸收型偏振器100。

[0061] 如图3A所示,成像器件55可为基本上多边形。图3B示出出射光瞳 60的可为基本上圆形的开口61。如图3A和图3B所示,成像器件的有效区域的最大侧向尺寸为D(参见图3A),并且出射光瞳的开口的最大侧向尺寸为d(参见图3B)。在一些实施方案中,比率D/d介于约1和约20之间,例如 $1 \leq D/d \leq 20$ 。在一些实施方案中,D/d的比率介于约2和约15之间,例如 $2 \leq D/d \leq 15$ 。在一些实施方案中,D/d的比率介于约5和约10之间,例如 $5 \leq D/d \leq 10$ 。

[0062] 在一些实施方案中,出射光瞳60为限定开口61的物理孔径。在其它实施方案中,出射光瞳60为虚拟孔径。例如,出射光瞳60可为光学系统 500的孔径光阑的图像。在出射光瞳60为虚拟孔径的实施方案中,出射光瞳61中的开口60是指虚拟孔径的内部区域。出射光瞳60和/或开口61可为矩形、正方形、椭圆形、圆形,或可具有某个其它形状。在一些实施方案中,光学系统500为头戴式显示器的部件,其被构造成使得当由观察者 510佩戴时,出射光瞳开口61与观察者的眼睛510的瞳孔重叠。

[0063] 出射光瞳61的开口60的最大侧向尺寸可在例如约2mm至约10mm的范围内或在约2mm至约80mm的范围内。出射光瞳60和第二透镜20之间的间距可在例如约5mm至约30mm的范围内或在约10mm至约20mm的范围内。

[0064] 根据一些实施方案,光学系统提供指定的调制传递函数。图4A-图4C 示出表示作为沿着x轴的以每毫米的周期为单位(也称为每毫米的线对) 的空间频率的函数而沿着y轴绘制的调制传递函数(光学传递函数(OTF) 模量)的曲线族。对于通过光学建模确定的光学系统500的三个实施方案,曲线族为相对于光学系统500的光轴520的在出射光瞳开口61处的光的各种角度提供光学系统500的MTF对空间频率。在图4A的实施方案中,焦距为18.2mm,视场为70度,图像高度为12.7mm,f数为1.8,良视距为 17mm,眼箱(eye box)为10mm。在图4B的实施方案中,焦距为 18.2mm,视场为90度,图像高度为18.1mm,f数为1.8,良视距为17mm,眼箱为10mm。在图4C的实施方案中,焦距为15.85mm,视场为 100度,图像高度为18.9mm,f数为2.3,良视距为14mm,眼箱为7mm。在图4A-图4C的实施方案的每一者中,将第二透镜20被建模为丙烯酸透镜。在图4A和图4B的实施方案中,第一透镜10被建模为硼硅酸盐BK7 玻璃,并且在图4C的实施方案中,第一透镜10被建模为低双折射率丙烯酸酯。在图4A中,对于切向(T) 取向和矢状(S) 取向两者,在出射光瞳开口61处针对0度、15度、25度和35度角的光绘制MTF对空间频率曲线。在图4B中,对于切向(T) 取向和矢状(S) 取向两者,在出射光瞳开口61处针对0度、25度、40度和45度角的光绘制MTF对空间频率曲线。在图4C中,对于切向(T) 取向和矢状(S) 取向两者,在出射光瞳开口 61处针对0度、25度、45度和50度角的光绘制MTF对空间频率曲线。

[0065] 图5为可对应于光学系统500的光学系统600的示意性剖视图。光学系统600被配置为向观察者显示图像并且包括间隔开的第一光学透镜110 和第二光学透镜120,没有光学透镜设置在第一光学透镜110和第二光学透镜120之间。在一些实施方案中,第一透镜110包

括玻璃而第二透镜120 包括塑料。在一些实施方案中,第一光学透镜110和第二光学透镜120中的每一者包括相背对的第一主表面和第二主表面,并且最佳拟合球体与第一光学透镜110的第一主表面111和第二主表面112的曲率半径的比率大于约5,并且最佳拟合球体与第二光学透镜120的第一主表面121和第二主表面122的曲率半径的比率可在约1.1或约1.5至约10的范围内。在一些实施方案中,第二透镜120的第一主表面121和第二主表面122为相背对的非球面主表面,并且最佳拟合球体与相背对的非球面主表面的曲率半径的比率大于约1.1或大于约1.5。在一些实施方案中,部分反射器设置在第一光学透镜110的主表面(例示的实施方案中的第一主表面111)上并与第一光学透镜110的主表面适形。在一些实施方案中,反射偏振器设置在第二光学透镜120的主表面(例示的实施方案中的第一主表面121)上并与第二光学透镜120的主表面适形。第一延迟层设置在反射偏振器和部分反射器之间(例如,在第一光学透镜110的第二主表面112上)。光学系统600 包括出射光瞳160,该出射光瞳160在其中限定开口161。光学系统600具有光轴620,使得沿着光轴620传播的光线穿过第一光学透镜110和第二光学透镜120、部分反射器、反射偏振器和第一延迟层而基本上不被折射。

[0066] 如图5所示,光锥70从对象71入射在光学系统上600并且填充出射光瞳开口161。光锥70的主光线72穿过出射光瞳160的开口161的中心 162,并且与光轴620形成角度 θ 。光锥70的边缘光线300穿过开口161的边缘处的出射光瞳160。光锥70可包括每毫米约40个线对的空间频率,并且当角度 θ 为约22.5度时,光学系统600的调制传递函数(MTF) 可大于约0.2或大于约0.25,或甚至大于约0.3。在一些实施方案中,光锥70可包括每毫米约30个线对、或每毫米约40个线对或每毫米约50个线对、或每毫米约60个线对、或每毫米约70个线对的空间频率,并且当角度 θ 为约 22.5度时,光学系统600的调制传递函数(MTF) 大于约0.1、或大于约 0.15、或大于约0.2、或大于约0.25、或甚至大于约0.3。例如,在图4A-图 4B的实施方案中,在每毫米约40个线对的曲线图中所示的角度 θ 中的每一者的切向MTF和矢状MTF为约0.3或更大,并且在图4C的实施方案中,除 $\theta=50$ 度之外,切向MTF中的每一个和矢状MTF中的每一个为约0.3或更大。

[0067] 在一些实施方案中,对于各自大于约5度的至少一个较大的 θ 和至少一个较小的 θ ,在每毫米约40个线对的空间频率下,光学系统600对于较大的 θ 具有较小的调制传递函数(MTF),对于较小的 θ 具有较大的 MTF。要在较大和较小的 θ 下进行比较的是对应MTF(例如,切向或矢状、或两者的平均值)。例如,在图4A的实施方案中,在每毫米约40个线对的空间频率下, θ 为25度的矢状MTF小于 θ 为15度的矢状MTF。在图4B的实施方案中,在每毫米约40个线对的空间频率下, θ 为45度的切向MTF小于 θ 为40度的切向MTF。在图4C的实施方案中,在每毫米约40个线对的空间频率下, θ 为50度的矢状MTF小于 θ 为45度或25度的矢状MTF。

[0068] 成像器55发射的各种光锥示于例如图1A中。在例示的实施方案中,光锥的每个主光线穿过出射光瞳开口61的中心并与光轴520形成对于沿着光轴520发射的主光线为0度的角度,并且随着在y方向上距光轴520的距离而增大。在一些实施方案中,对于从成像器件的边缘发出的主光线,与光轴520的角度为至少约35度或至少约45度。

[0069] 在本说明书的一些方面,提供制造光学组件的方法。在一些实施方案中,与使用常规技术制成的其它光学组件相比,所得光学组件具有改善的性能,如本文其它地方进一步描述。在一些实施方案中,光学组件通过将镜片插入模制到光学膜上而无需在模制过程之

前将光学膜预先成形来形成。已发现这可减少或消除缺陷,诸如光学膜的屈曲或撕裂。光学组件可包括光学透镜(例如,第二光学透镜20或120)和设置在光学透镜的主表面上并与光学透镜的主表面适形的反射偏振器。

[0070] 图6A-图6D示意性地示出制造光学组件的方法。该方法包括:提供具有第一弯曲模具表面462的第一模具460(图6A);将基本上平坦的光学膜440放置在第一弯曲模具表面462上并施加压力和热量中的至少一者以至少部分地使光学膜440适形于第一弯曲模具表面462(图6B-图6C);提供包括与第一模具表面462间隔开并对准的第二模具表面472的第二模具470,第一模具表面462和第二模具表面472在两者间限定模具腔480(图6B);用可流动材料483基本上填充模具腔480(图6C);以及使可流动材料固化以形成结合到光学膜440的固体光学元件485(图6D)。

[0071] 结合到光学膜的固体光学元件可被称为光学组件,并且可对应于例如结合到反射偏振器40的透镜20。可移除第一模具460和第二模具470,并且移除任何多余材料(例如,来自浇口481的流道材料)以提供图6D所示的光学组件490。基本上填充模具腔可被理解为意指将模具腔体填充到大于50体积%。在一些实施方案中,将模具腔填充到至少80体积%、或至少90体积%、或至少95体积%。在一些实施方案中,除了由光学膜440占据的体积之外,模具腔480完全填充有可流动材料483。

[0072] 在一些实施方案中,光学膜440通过使用可流动材料483将光学膜440推到第一弯曲模具表面462上而适形于第一弯曲模具表面462。在一些实施方案中,当可流动材料483流入腔体480中时,可流动材料483具有高于光学膜440的玻璃化转变温度的温度。在一些实施方案中,将第一模具460和第二模具470保持在低于可流动材料483的熔点的温度下,以便使可流动材料483固化。在一些实施方案中,当可流动材料483流入腔体480中时,第一模具460和第二模具470的温度也低于光学膜440的玻璃化转变温度。例如,当可流动材料483被引入腔体480中时可具有在250至300°C范围内的温度,第一模具和第二模具可具有在75至100°C范围内的温度,并且光学膜440可具有在105至130°C范围内的玻璃化转变温度。在一些实施方案中,光学膜440具有多个层,并且当可流动材料483流入腔体480中时,可流动材料483具有高于光学膜440的玻璃化转变温度的温度。在一些实施方案中,光学膜440具有多个层,并且当可流动材料483流入腔体440中时,可流动材料483具有高于光学膜440的至少一个层的玻璃化转变温度的温度。在一些实施方案中,光学膜440具有多个层,并且当可流动材料483流入腔体480中并接触光学膜440时,可流动材料483具有高于光学膜440的紧邻可流动材料483的层的玻璃化转变温度的温度。

[0073] 图6A-图6D中所描绘的步骤可按其它顺序执行。例如,在例如使用空气压力引入可流动材料483之前光学膜440可适形于第一弯曲模具表面462。然后可接着提供第二模具470,然后将可流动材料483引入模具腔体480中。

[0074] 在一些实施方案中,第一模具460为被构造为放置在模具基座中的第一模具插入件。类似地,在一些实施方案中,第二模具470为被构造为放置在模具基座中的第二模具插入件。

[0075] 在一些实施方案中,固体光学元件485永久地结合到光学膜440。在其它实施方案中,固体光学元件485可剥离地结合到光学膜440。例如,在将光学膜440放置在第一模具表面462上之前,可将剥离涂层施加到光学膜。可这样做以允许光学膜440从固体光学元件485

移除并放置在例如具有类似形状的另一光学元件的表面上。

[0076] 第一弯曲模具表面462具有最佳拟合球面第一曲率半径R, 在一些实施方案中, 该曲率半径在约30mm至约1000mm的范围内。第一弯曲模具表面462具有垂度S; 在一些实施方案中, 垂度S与最佳拟合球面第一曲率半径R的比在约0.02至约0.2的范围内、或在约0.02至约0.15的范围内、或在约0.02至约0.12的范围内、或在约0.03至约0.12的范围内、或在0.04至约0.12的范围内。在一些实施方案中, 光学膜440在成形为弯曲形状之后具有在这些范围中的任一者中的垂度与半径比。在一些实施方案中, 基本上平坦的光学膜440至少为单轴向拉伸取向的。在一些实施方案中, 基本上平坦的光学膜440具有在约20微米至约100微米范围内的平均厚度。

[0077] 在一些实施方案中, 光学膜440为反射偏振器。在一些实施方案中, 反射偏振器对于第一偏振态具有大于约70%的平均光学透射率并且对于正交第二偏振态具有大于约70%的平均光学反射率。在一些实施方案中, 反射偏振器在图6A-图6D中所描绘的过程中成形之前为基本上单轴向取向的, 因为它具有至少0.7或至少0.8或至少0.85的单轴性程度U, 其中 $U = (1/MDDR - 1) / (TDDR^{1/2} - 1)$, 其中MDDR定义为机向拉伸比, 并且TDDR定义为横向拉伸比。此类基本上单轴取向的多层光学膜在美国专利2010/0254002 (Merrill等人) 中有所描述, 并且可包括多个交替的第一聚合物层和第二聚合物层, 其中第一聚合物层具有沿长度方向(例如, x方向) 和厚度方向(例如, z方向) 基本上相同但与沿宽度方向(例如, y方向) 的折射率基本上不同的折射率。例如, 沿x方向和z方向的折射率之差的绝对值可以小于0.02或小于0.01, 并且沿x方向和y方向的折射率之差的绝对值可以大于0.05或大于0.10。除非另外指明, 否则折射率是指在550nm的波长下的折射率。

[0078] 在一些实施方案中, 光学膜440沿着第一轴线(例如, 沿着图6B的x方向或y方向的轴线) 被拉伸。在一些实施方案中, 可流动材料483通过连接到模具腔体480的浇口481(图6B) 流入模具腔体480中。在一些实施方案中, 可流动材料483沿着第一轴线(例如, 沿着x方向的轴线) 或基本上沿着第一轴线流入模具腔体480中。在一些实施方案中, 可流动材料483沿着第二方向(图6C所示实施方案中的x方向) 流入模具腔体480中, 该第二方向基本上垂直于第一轴线(例如, 沿着y方向的轴线)。基本上沿着指定方向可被理解为意指沿着在指定方向40度内的方向, 并且基本上垂直可被理解为意指在垂线40度内。在一些实施方案中, 被描述为基本上沿着第一轴线的方向为在30度内, 或在第一轴线20度内。在一些实施方案中, 被描述为基本上垂直于第一轴线的方向在30度内, 或在第一轴线的垂线20度内。

[0079] 在一些实施方案中, 反射偏振器使用本文所述的过程成形在光学透镜上, 以形成用于本说明书的光学系统中的光学组件。在一些实施方案中, 与使用将膜成形为弯曲形状的常规方法制成的光学组件相比, 该光学组件提供反射偏振器的最大透射率、谱带边缘波长、透光轴取向和厚度中的一者或多者的减小的空间变化。

[0080] 图7为可例如对应于的反射偏振器40的反射偏振器140的示意性正视图。透射率变化和/或谱带边缘波长变化可通过参考反射偏振器140的至少一个第一位置、至少一个第二位置和至少一个第三位置来描述, 其中该至少一个第一位置靠近该反射偏振器的中心145, 该至少一个第二位置和至少一个第三位置靠近该反射偏振器的边缘146, 并且在该至少一个第一位置处, 该至少一个第二位置和该至少一个第三位置所成夹角在约30度至约110度范围内。如果位置分别在反射偏振器140的距中心或边缘的最大侧向尺寸的约30%以内, 则

该位置可被描述为靠近中心或边缘。被描述为靠近中心或边缘的位置可分别在反射偏振器140距中心或边缘的最大侧向尺寸的约25%或约20%范围内。

[0081] 第一位置141、第二位置142和第三位置143示于图7中。在第一位置 141处,第二位置142和第三位置143所成夹角为角度 θ 。在一些实施方案中,角度 θ 在约30度至约110度的范围内或在约40度至约100度的范围内。在例示的实施方案中,第二位置142更靠近可为例如反射偏振器的阻光轴的轴线410,并且第三位置143更靠近可为例如反射偏振器的透光轴的正交轴线400。

[0082] 在一些实施方案中,对于具有在预定波长范围内的波长的垂直入射光,反射偏振器140上的每个位置对于第一偏振态具有大于70%的最大反射率,对于正交第二偏振态具有大于70%的最大透射率并且对于第一偏振态具有最小透射率,使得至少一个第一位置(例如,第一位置141)、至少一个第二位置(例如,第二位置142)和至少一个第三位置(例如,第三位置143)的最大透射率在彼此的约1%内、或约0.5%内,该至少一个第一位置靠近反射偏振器140的中心145并且该至少一个第二位置和至少一个第三位置靠近反射偏振器140的边缘146,在该至少一个第一位置处,该至少一个第二位置和该至少一个第三位置所成夹角(例如,角度 θ)在约30度至约110度范围内。

[0083] 发现使用本文其它地方所述的过程成形到k为约4.9、c为约 $1/120\text{mm}^{-1}$ 、D为约零、E为约 $2.5\text{E-}06\text{mm}^{-3}$ 并且F和更高阶项为约零的情况下由式1 所述的透镜20的表面21上的多层聚合物反射偏振器膜具有带有小于约 0.5% 的标准偏差的线性双衰减。线性双衰减由 $(T_{\text{Max}} - T_{\text{Min}}) / (T_{\text{Max}} + T_{\text{Min}})$ 给出,其中 T_{Max} 为沿着使透射率最大化的方向线性偏振的光的透射率,并且 T_{Min} 为沿着使透射率最小化的方向线性偏振的光的透射率。例如,可用于表征包括设置在光学透镜上的反射偏振器的光学组件的另一参数为可由 $(T_R - T_L) / (T_R + T_L)$ 给出的圆形双衰减,其中 T_R 为右圆形偏振光的透射率,并且 T_L 为左圆形偏振光的透射率。反射偏振器或包括透镜和反射偏振器的光学组件的线性双衰减和圆形双衰减可使用偏振计在透射模式下测量。合适的偏振器为购自Axometrics公司(Huntsville,AL) 的AxoScan™穆勒矩阵偏振计。偏振计可包括偏振器和分析仪。偏振计可为双旋转延迟器偏振计。

[0084] 在一些实施方案中,对于垂直入射光,反射偏振器上的每个位置具有带有谱带边缘波长的对应反射带,使得至少一个第一位置(例如,第一位置141)、至少一个第二位置(例如,第二位置142)和至少一个第三位置(例如,第三位置143)谱带边缘波长在彼此的3%、2%或1%内,该至少一个第一位置靠近反射偏振器140的中心145并且该至少一个第二位置和至少一个第三位置靠近反射偏振器140的边缘146,在该至少一个第一位置处,该至少一个第二位置和该至少一个第三位置所成夹角(例如, θ)在约 30度至约110度范围内。

[0085] 预期谱带边缘波长随膜的厚度变化而变化。发现使用本文其它地方所述的过程成形到k为约4.9、c为约 $1/120\text{mm}^{-1}$ 、D为约零、E为约 $2.5\text{E-}06\text{mm}^{-3}$ 并且F和更高阶项为约零的情况下由式1所述的透镜20的表面21 上的多层聚合物反射偏振器在第一位置、第二位置和第三位置处具有在彼此的约1%内的厚度。在一个示例中,反射偏振器在透镜的顶点处具有65.7 微米的厚度,在靠近透镜边缘的位置处具有约66.1微米的厚度,并且在靠近透镜边缘的另一位置处具有约65.8微米的厚度。最小厚度为64.8微米而最大厚度为66.1微米。

[0086] 图8示意性地示出具有谱带边缘波长 λ_1 和 λ_2 的反射谱带。如US 2015/0146166 (Weber等人) 中所述,每个谱带边缘波长可被标识为其中反射比下降至反射谱带中的最大

反射率 (P) 和反射谱带外的基线反射率 (B) 之间的中间值的波长。在例示的实施方案中, 波长 λ_1 处的反射率和波长 λ_2 处的反射率为 $(B+P)/2$ 。当比较不同位置处的谱带边缘波长时, 其具有应在不同位置进行比较的相同谱带边缘(上波长谱带边缘 λ_1 或下波长谱带边缘 λ_2)。

[0087] 图9A为具有沿着光轴940的原点或顶点857的反射偏振器927的示意性正视图。反射偏振器927关于两个正交轴(例如,x轴和y轴)弯曲。图9B为反射偏振器927的示意性正视图, 其示意性地示出透光轴和阻光轴的取向的可能空间变化。反射偏振器927在顶点857处具有正交的透光轴857p和阻光轴857b。反射偏振器927在第一位置852处具有正交的透光轴852p和阻光轴852b, 并且在第二位置853处具有正交的透光轴853p和阻光轴853b。在例示的实施方案中, 透光轴852p和阻光轴852b与透光轴857p和阻光轴857b基本上对准, 而透光轴853p和阻光轴853b相对于与透光轴857p和阻光轴857b对准的轴线旋转角度 α 。如果轴和弯曲表面上两个位置之间的最短平滑曲线的切线之间的对应角度相同, 则可认为与弯曲表面上不同位置处的弯曲表面相切的轴是彼此对准的。这在图9C中示意性地示出, 图9C为弯曲表面1727的前平面图, 其示出第一位置1757处的第一轴线1757-1和第二轴线1757-2以及第二位置1753处的第一轴线1753-1和第二轴线1753-2。第一轴线1757-1和第二轴线1757-2在第一位置1757处于表面1727相切, 并且第一轴线1753-1和第二轴线1753-2在第二位置1753处与表面1727相切。由于表面1727是弯曲的, 因此第一轴线1753-1和第二轴线1753-2通常处于与第一轴线1757-1和第二轴线1757-2不同的平面中。最短曲线1777示出于第一位置1757和第二位置1753之间。最短曲线1777在平面图中被示出为线性的, 但在其它情况下, 曲线1777可在平面图中是非线性的。角度 Φ 在第一位置1757处被示出为在第一轴线1757-1和曲线1777之间。第一轴线1753-1和曲线1777之间的对应角度也为 Φ , 使得第一轴线1757-1和轴线1753-1对准。类似地, 在第一位置1757处第二轴线1757-2与曲线1777之间的角度等于第二位置1753处第二轴线1753-2和曲线1777之间的对应角度(90度减 Φ), 因此第二轴线1757-2和第二轴线1753-2对准。第一位置1757位于弯曲表面的原点1740处, 该原点1740可为表面的形心和/或顶点和/或由包括弯曲表面1727的光学系统的光轴相交的位置。与第一轴线1757-1和第二轴线1757-2对准的轴线可通过使轴线取向成使得它们相对于表面1727上的每个点和第一位置之间的最短曲线形成与第一轴线1757-1和第二轴线1757-2相同的对应角度来限定在该点处。反射偏振器上的每个点处的局部透光轴和阻光轴可相对于在光轴(例如, 轴线857b和/或857p)处限定的轴线对准的与反射偏振器相切的轴线来指定。例如, 位置853处的轴线853a与阻光轴857对准, 因为轴线853a和857b两者与反射偏振器927相切并且相对于位置857和853之间的最短曲线具有相同角度。

[0088] 在一些实施方案中, 在将反射偏振器成形为弯曲形状之前, 反射偏振器具有约 θ_1 的透光偏振态的取向的最大变化, 并且在成形之后具有约 θ_2 的透光偏振态的取向的最大变化。例如, 在图9A所示的实施方案中, 透光偏振态相对于与透光轴857p和857b对准的轴线旋转角度 α 。在这种情况下, 反射偏振器上的角度 α 的最大值减最小值在成形之前为 θ_1 , 并且在成形之后为 θ_2 。在一些实施方案中, θ_1 和 θ_2 在彼此的约5度内, 或约4度内, 或约3度内, 或约2度内, 或约1度内。在一些实施方案中, θ_1 不超过约0.5度、或不超过约0.3度, 并且 θ_2 不超过约1度、或不超过约0.8度、或不超过约0.6度。在一些实施方案中, θ_1 为约0.5度, 并且 θ_2 为约1度。在一些实施方案中, θ_1 为约0.3度, 并且 θ_2 为约0.5度。在一些实施方案中, θ_1 在约0.2度和约0.3度之间, 并且 θ_2 在约0.4度和约1度之间。例如, 发现当使用本文其它地方所述

的过程成形到k为约4.9、c为约 $1/120\text{mm}^{-1}$ 、D为约零、E为约 $2.5\text{E}-06\text{mm}^{-3}$ 并且F和更高阶项为约零的情况下由式1所述的透镜20的表面21上的多层聚合物反射偏振器膜在成形之前具有在约0.2度和约0.3度之间的θ1时具有在约0.4度和约1度之间的θ2。

[0089] 图10A为在成形之前的光学膜341的示意性剖视图，并且图10B为在成形为弯曲形状之后的光学膜341的示意性剖视图。在成形之前，光学膜341具有可为基本上恒定的或可在膜上变化的厚度t1。在成形之后，光学膜341具有可为基本上恒定的或可在膜上变化的厚度t2。在成形之前，光学膜341具有第一最大厚度变化(最大值t1减去最小值t1)，并且在成形之后，光学膜341具有第二最大厚度变化(最大值t2减去最小值t2)。在一些实施方案中，第一最大厚度变化和第二最大厚度变化在彼此的5%、或4%内、或3%内、或在2%内、或在1%以内。在一些实施方案中，第一最大厚度变化小于光学膜341在成形之前的平均厚度的4%、或小于3%、或小于2%、或小于1%。在一些实施方案中，第二最大厚度变化小于光学膜341在成形之后的平均厚度的5%、或小于4%、或小于3%、或小于2%。例如，发现使用本文其它地方所述的过程成形到k为约4.9、c为约 $1/120\text{mm}^{-1}$ 、D为约零、E为约 $2.5\text{E}-06\text{mm}^{-3}$ 并且F和更高阶项为约零的情况下由式1所述的透镜20的表面21上的多层聚合物反射偏振器具有在跨反射偏振器的平均厚度的约2%内的厚度。

[0090] 在一些实施方案中，跨反射偏振器的最大透射率变化、跨反射偏振器的透光偏振态的变化取向、跨反射偏振器的厚度变化、反射偏振器的谱带边缘波长的变化中的一者或多者取决于所成形反射偏振器的垂度与直径比。在一些实施方案中，较大的垂度与直径比导致较大的变化，并且较大的垂度与直径比导致较小的变化。在一些实施方案中，垂度与直径比大于约0.01、或大于约0.02。在一些实施方案中，垂度与直径比小于约0.1、或小于约0.08。

[0091] 图11为具有具有平均表面粗糙度SR的表面228的元件226的一部分的示意性剖视图。元件226可为例如模具或光学膜(例如，反射偏振器)。应理解，即使曲率在附图的比例上可能不是可见的，元件226也可为弯曲的。平均表面粗糙度可定义为表面高度与平均高度的偏差的绝对值的平均值，并且可表示为Ra。高度和平均高度可相对于在厚度方向上穿过反射偏振器的中心的平滑参考表面来确定。参考表面可为弯曲的(例如，当反射偏振器设置在主表面上并与该主表面适形时，参考表面可平行于透镜的主表面)。在一些实施方案中，用于使光学膜成形为弯曲形状的过程可导致所成形光学膜具有与对应模具表面的表面粗糙度不同的表面粗糙度。根据一些实施方案，已发现所得光学膜具有比对应模具表面更大的表面粗糙度。

[0092] 再次参考图6A-图6D，光学膜440具有面向第一模具460的第一模具表面462的主表面和面向第二模具470的第二模具表面472的相背对的主表面。在一些实施方案中，第一模具表面462具有第一平均表面粗糙度，并且所得光学组件490中的光学膜440的第一主表面具有第二平均表面粗糙度。在一些实施方案中，第二平均表面粗糙度大于第一平均表面粗糙度。在一些实施方案中，第一平均表面粗糙度为约0.05微米，并且第二平均表面粗糙度为约0.1微米。在一些实施方案中，光学膜440在成形之前对于第一偏振态具有大于约70%的平均光学透射率并且对于正交第二偏振态具有大于约70%的平均光学反射率的基本上平坦的反射偏振器。在一些实施方案中，在成形之后，反射偏振器结合到固体光学元件，并且反射偏振器的第一主表面具有大于第一平均表面粗糙度的第二平均表面。

[0093] 在一些实施方案中,第一模具表面462具有不规则表面,如图11关于元件226所示。在一些实施方案中,第一模具表面462具有规则图案,该规则图案导致光学膜的最外表面在其中具有规则图案。这在图12中示意性地示出。

[0094] 图12为包括多个干涉层378和最外非干涉层379的多层光学膜326的示意性剖视图。应理解,即使曲率在附图的比例上可能不是可见的,多层光学膜326也可为弯曲的。多个干涉层378包括交替的第一层368和第二层369。如本领域已知的,多个干涉层可用于镜膜或反射偏振器中,例如,以基于在层之间的界面处反射的光的构造性或破坏性干涉来选择性地反射或透射光。干涉层通常被布置成使得一对直接相邻的层具有预定波长的1/2的总光学厚度。非干涉层通常具有大于预定波长的厚度。例如,预定波长可为可见波长,并且非干涉层可具有大于约1微米的平均厚度。

[0095] 在一些实施方案中,多层光学膜326为一体式构造体。如果多层膜是一体成形使得元件不是单独成形然后粘附在一起,则该多层膜是一体式构造体。例如,多层光学膜326可通过共挤出多层光学膜326中的每一层来制得。然后可例如单轴地或双轴地拉伸膜,以定向多个干涉层378中的层。然后可使用本文其它地方描述的过程模制膜。最外非干涉层379具有最外表面328。

[0096] 在一些实施方案中,最外表面328具有形成于其中的规则图案。例如,规则图案为周期性图案。

[0097] 在例示的实施方案中,示出用于多个干涉层378的四个层。在一些实施方案中,多个干涉层378包括更多的层。例如,多层光学膜可具有包括 40至800个层的多个干涉层。在例示的实施方案中,仅示出一个最外非干涉层379。在一些实施方案中,多层光学膜326包括与最外非干涉层379相对的最外非干涉层。最外非干涉层379和相对的第二最外非干涉层可在共挤出过程中与多层光学膜326一体成形。最外非干涉层可具有未图案化外表面。在一些实施方案中,使用本文其它地方描述的过程将多层光学膜326 成形为弯曲形状,并且最外表面328中的图案由于存在于第一模具460的第一弯曲模具表面462中的图案而形成。第一弯曲模具表面462可由于模具的成形而被图案化(例如,经由金刚石车削)。

[0098] 已发现,在一些实施方案中,使用本文其它地方描述的方法形成的光学组件在靠近光学组件的中心的第一位置处具有较小量值的圆形双衰减,并且在靠近光学组件的边缘的第二位置处为较大量值的正衰减,并且在靠近光学组件的边缘的第三位置处为较大量值的负衰减。在一些实施方案中,光学组件包括具有15第一主表面和至少约15nm/cm、或至少/20nm/cm 的光学双折射率的光学透镜;以及设置在该第一主表面上并与该第一主表面上适形的反射偏振器。图13为具有面向上(在正z方向上)的反射偏振器791的光学组件490的示意性俯视平面图。在一些实施方案中,光学组件490具有圆形双衰减,使得在俯视平面图中,圆形双衰减沿着第一轴线 633在两个相反方向633a和633b中的每一者上从反射偏振器791的中心 745到反射偏振器746的边缘增大,并且沿着不同的第二轴线637在两个相反方向637a和637b中的每一者上从反射偏振器791的中心745到反射偏振器791的边缘746减小。在一些实施方案中,第一轴线633和第二轴线637 基本上彼此垂直。在一些实施方案中,第一轴线633和第二轴线637之间的角度在70度和110度之间。在一些实施方案中,圆形双衰减在靠近反射偏振器791的中心745的第一位置641处在约-0.01和约0.01之间,并且在沿着第一轴线633靠近反射偏振器791的边缘746的第二位置642处大于约 0.02,并且在沿着第二轴

线637靠近反射偏振器791的边缘的第三位置643 处小于约-0.02。在一些实施方案中,圆形双衰减在靠近反射偏振器791的中心745的第一位置641处在约-0.1和约0.1之间,并且在沿着第一轴线 633靠近反射偏振器791的边缘746的第二位置642处大于约0.2,并且在沿着第二轴线637靠近反射偏振器791的边缘的第三位置643处小于约- 0.2。在一些实施方案中,第二位置742处的圆形双衰减的量值在第三位置 743处的圆形双衰减的量值的10%内。

[0099] 在一些实施方案中,圆形双衰减使用面向反射偏振器的光源来确定,并且在一些实施方案中,圆形双衰减使用面向光学透镜的光源来确定。光源可由被配置为在透射模式下测量圆形双衰减的偏振计来提供。根据一些实施方案,当用面向透镜的光源来确定时,圆形双衰减具有较大的量值,并且当用面向反射偏振器的光源来确定时,圆形双衰减具有较小的量值。在一些实施方案中,圆形双衰减使用平行于光学组件的光轴入射在光学组件上的光来确定。在例示的实施方案中,光学组件790具有穿过中心745 的平行于z轴的光轴。

[0100] 图14为包括设置在光学透镜的弯曲表面上的反射偏振器的光学组件 890的圆形双衰减的示意性等值线图。圆形双衰减可在入射光平行于z轴的情况下在透射模式下使用偏振计来测量。反射偏振器具有中心845和边缘 846。在一些实施方案中,中心845处的圆形双衰减具有小于约0.1或小于约0.01的量值。在一些实施方案中,等值线842和843上的圆形双衰减大于约0.02或大于约0.2。在一些实施方案中,等值线847和848上的圆形双衰减小于约负0.02或小于约负0.2。

[0101] 以下为本说明书的示例性实施方案的列表。

[0102] 实施方案1为一种用于向观察者显示图像的光学系统,该光学系统包括:

[0103] 第一光学透镜,该第一光学透镜包括小于约15nm/cm的光学双折射率、具有在约20mm至约200mm范围内的最佳拟合球面第一曲率半径的弯曲的第一主表面、以及具有大于约500mm的最佳拟合球面第二曲率半径的相背对的第二主表面,该弯曲的第一主表面朝向该第二主表面凹入;

[0104] 第二光学透镜,该第二光学透镜包括大于约15nm/cm的光学双折射率、面向第一光学透镜的第二主表面且朝向第二主平面凸出并且具有在约 14mm至约250mm范围内的最佳拟合球面第一曲率半径的弯曲的第一主表面、以及具有大于约125mm的最佳拟合球面第二曲率半径的相背对的第二主表面;

[0105] 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第一光学透镜的弯曲的第一主表面适形,并且在预定波长范围内具有至少30%的平均光学反射率;

[0106] 反射偏振器,该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第二光学透镜的弯曲的第一主表面适形,该反射偏振器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;以及

[0107] 第一延迟层,该第一延迟层设置在第一光学透镜的第二主表面上并与第一光学透镜的第二主表面适形。

[0108] 实施方案2为根据实施方案1所述的光学系统,其中第一光学透镜的弯曲的第一主表面具有在约20mm至约150mm范围内的最佳拟合球面第一曲率半径。

[0109] 实施方案3为根据实施方案1所述的光学系统,其中第一光学透镜的弯曲的第一主表面具有在约25mm至约100mm范围内的最佳拟合球面第一曲率半径。

[0110] 实施方案4为根据实施方案1所述的光学系统,其中第一光学透镜的弯曲的第一主表面具有在约30mm至约60mm范围内的最佳拟合球面第一曲率半径。

[0111] 实施方案5为根据实施方案1所述的光学系统,其中第一光学透镜的弯曲的第一主表面为非球面表面。

[0112] 实施方案6为根据实施方案5所述的光学系统,其中第一光学透镜的非球面第一主表面由下式描述:

$$[0113] z = \frac{cr^2}{1 + [1 - (1+k)c^2 r^2]^{1/2}} + Dr^2 + Er^4 + Fr^6 + Gr^8 + Hr^{10} + Ir^{12} + Jr^{14}$$

[0114] 其中r为从光学系统的光轴到该非球面表面的距离,c为曲率系数,k为二次曲线常数,并且D、E、F、G、H、I和J为非球面表面的校正系数。

[0115] 实施方案7为根据实施方案6所述的光学系统,其中k在约3至7的范围内。

[0116] 实施方案8为根据实施方案6所述的光学系统,其中非球面表面的顶点的曲率半径在约40mm至50mm的范围内。

[0117] 实施方案9为根据实施方案6所述的光学系统,其中k为约4.6,c为约1/44.9mm⁻¹,D为约零,E为约-1.3E-06,F为约6E-09,并且G为约-1.6E-12。

[0118] 实施方案10为根据实施方案1所述的光学系统,其中第一光学透镜的弯曲的第一主表面为球面表面。

[0119] 实施方案11为根据实施方案1所述的光学系统,其中第一光学透镜的第二主表面具有大于约750mm的最佳拟合球面第二曲率半径。

[0120] 实施方案12为根据实施方案1所述的光学系统,其中第一光学透镜的第二主表面具有大于约1000mm的最佳拟合球面第二曲率半径。

[0121] 实施方案13为根据实施方案1所述的光学系统,其中第一光学透镜的第二主表面是基本上平坦的。

[0122] 实施方案14为根据实施方案1所述的光学系统,其中第二光学透镜的弯曲的第一主表面具有在约50mm至约200mm范围内的最佳拟合球面第一曲率半径。

[0123] 实施方案15为根据实施方案1所述的光学系统,其中第二光学透镜的弯曲的第一主表面具有在约75mm至约200mm范围内的最佳拟合球面第一曲率半径。

[0124] 实施方案16为根据实施方案1所述的光学系统,其中第二光学透镜的弯曲的第一主表面具有在约100mm至约150mm范围内的最佳拟合球面第一曲率半径。

[0125] 实施方案17为根据实施方案1所述的光学系统,其中第二光学透镜的弯曲的第一主表面具有在约110mm至约140mm范围内的最佳拟合球面第一曲率半径。

[0126] 实施方案18为根据实施方案1所述的光学系统,其中第二光学透镜的弯曲的第一主表面为非球面表面。

[0127] 实施方案19为根据实施方案18所述的光学系统,其中第二光学透镜的非球面第一主表面由下式描述:

$$[0128] z = \frac{cr^2}{1 + [1 - (1+k)c^2 r^2]^{1/2}} + Dr^2 + Er^4 + Fr^6 + Gr^8 + Hr^{10} + Ir^{12} + Jr^{14}$$

[0129] 其中r为从该光学系统的光轴到该非球面表面的距离,c为曲率系数,k为二次曲线

常数，并且D、E、F、G、H、I和J为非球面表面的校正系数。

[0130] 实施方案20为根据实施方案19所述的光学系统，其中k在约3至7 的范围内。

[0131] 实施方案21为根据实施方案19所述的光学系统，其中非球面表面的顶点的曲率半径在约100mm至140mm的范围内。

[0132] 实施方案22为根据实施方案19所述的光学系统，其中k为约4.9,c 为约 $1/120\text{mm}^{-1}$, D为约零,E为约 $2.5\text{E}-06$,F为约零,并且G为约零。

[0133] 实施方案23为根据实施方案1所述的光学系统，其中第二光学透镜的第二主表面具有大于约500mm的最佳拟合球面第二曲率半径。

[0134] 实施方案24为根据实施方案1所述的光学系统，其中第二光学透镜的第二主表面具有小于约1000mm的最佳拟合球面第二曲率半径。

[0135] 实施方案25为根据实施方案1所述的光学系统，其中第二光学透镜的第二主表面具有在约200mm至约800mm范围内的最佳拟合球面第二曲率半径。

[0136] 实施方案26为根据实施方案1所述的光学系统，其中第二光学透镜的第二主表面是基本上平坦的。

[0137] 实施方案27为根据实施方案1所述的光学系统，其中第二光学透镜的第二主表面朝向第二光学透镜的弯曲的第一主表面凸出。

[0138] 实施方案28为根据实施方案1所述的光学系统，其中第二光学透镜的第二主表面朝向第二光学透镜的弯曲的第一主表面凹入。

[0139] 实施方案29为根据实施方案1所述的光学系统，其中第二光学透镜的第二主表面为非球面表面。

[0140] 实施方案30为根据实施方案29所述的光学系统，其中第二光学透镜的非球面第二主表面由下式描述：

$$[0141] z = \frac{cr^2}{1 + [1 - (1+k)c^2r^2]^{1/2}} + Dr^2 + Er^4 + Fr^6 + Gr^8 + Hr^{10} + Ir^{12} + Jr^{14}$$

[0142] 其中r为从光学系统的光轴到非球面表面的距离,c为曲率系数,k为二次曲线常数，并且D、E、F、G、H、I和J为非球面表面的校正系数。

[0143] 实施方案31为根据实施方案30所述的光学系统，其中k在约3至7 的范围内。

[0144] 实施方案32为根据实施方案30所述的光学系统，其中该非球面表面的顶点的曲率半径在约210mm至250mm的范围内。

[0145] 实施方案33为根据实施方案30所述的光学系统，其中k为约4.9,c 为约 $1/231\text{mm}^{-1}$, D为约零,E为约 $-1.4\text{E}-05$,F为约 $2.1\text{E}-08$,并且G为约 $-9.3\text{E}-11$ 。

[0146] 实施方案34为根据实施方案1所述的光学系统，其中第二光学透镜的第二主表面的第一部分朝向第二光学透镜的弯曲的第一主表面凸出，并且第二光学透镜的第二主表面的另一第二部分朝向第二光学透镜的弯曲的第一主表面凹入。

[0147] 实施方案35为根据实施方案1所述的光学系统，其中第二光学透镜的第二主表面朝向第二光学透镜的弯曲的第一主表面凸出并且具有大于约 500mm的最佳拟合球面第二曲率半径。

[0148] 实施方案36为根据实施方案1所述的光学系统，其中第二光学透镜的第二主表面朝向第二光学透镜的弯曲的第一主表面凹入并且具有大于约 500mm的最佳拟合球面第二

曲率半径。

[0149] 实施方案37为根据实施方案1至36中任一项所述的光学系统,该光学系统具有光轴;沿着光轴传播的光线穿过第一光学透镜、第二光学透镜、部分反射器、反射偏振器以及该第一延迟层而基本上不被折射,使得对于从对象入射在光学系统上、包括每毫米约40个线对的空间频率且填充出射光瞳的光锥而言,该光学系统的调制传递函数(MTF)大于约0.2,光锥的主光线穿过出射光瞳的开口的中心并与光轴形成约22.5度的角度。

[0150] 实施方案38为根据实施方案1至36中任一项所述的光学系统,该光学系统具有光轴;沿着光轴传播的光线穿过第一光学透镜、第二光学透镜、部分反射器、反射偏振器以及第一延迟层而基本上不被折射,光锥从对象入射在光学系统上、包括每毫米40个线对的空间频率且填充出射光瞳,该光锥的主光线穿过出射光瞳的开口的中心并且与光轴形成角度 θ ,使得对于各自大于约5度的至少一个较大的 θ 和至少一个较小的 θ ,该光学系统对于较大的 θ 具有较小的调制传递函数(MTF)并且对于较小的 θ 具有较大的MTF。

[0151] 实施方案39为根据实施方案1至36中任一项所述的光学系统,其中对于具有在预定波长范围内的波长的垂直入射光,至少一个第一位置、至少一个第二位置和至少一个第三位置的最大透射率在彼此的1%内,该至少一个第一位置靠近反射偏振器的中心并且至少一个第二位置和至少一个第三位置靠近反射偏振器的边缘,在至少一个第一位置处,至少一个第二位置和至少一个第三位置所成夹角在约30度至约110度范围内。

[0152] 实施方案40为根据实施方案1至36中任一项所述的光学系统,其中该至少一个第一位置、至少一个第二位置和至少一个第三位置的谱带边缘波长在彼此的2%内,该至少一个第一位置靠近反射偏振器的中心并且至少一个第二位置和至少一个第三位置靠近反射偏振器的边缘,在至少一个第一位置处,至少一个第二位置和至少一个第三位置所成夹角在约30度至约110度范围内。

[0153] 实施方案41为一种用于向观察者显示图像的光学系统,该光学系统包括:

[0154] 间隔开的第一光学透镜和第二光学透镜,没有光学透镜设置在第一光学透镜和第二光学透镜之间,第一光学透镜包括玻璃并且第二光学透镜包括塑料,第一光学透镜和第二光学透镜中的每一者包括相背对的第一主表面和第二主表面,最佳拟合球体与第一光学透镜的第一主表面和第二主表面的曲率半径的比率大于约5,最佳拟合球体与第二光学透镜的第一主表面和第二主表面的曲率半径的比率在约1.5至10的范围内;

[0155] 部分反射器,该部分反射器设置在第一光学透镜的主表面上并与第一光学透镜的主表面适形,并且在预定波长范围内具有至少30%的平均光学反射率;

[0156] 反射偏振器,该反射偏振器设置在第二光学透镜的主表面上并与第二光学透镜的主表面适形,该反射偏振器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;

[0157] 第一延迟层,该第一延迟层设置在该反射偏振器和该部分反射器之间;以及

[0158] 出射光瞳,该出射光瞳在其中限定开口,

[0159] 该光学系统具有光轴;沿着该光轴传播的光线穿过第一光学透镜、第二光学透镜、部分反射器、反射偏振器以及第一延迟层而基本上不被折射,使得对于从对象入射在光学系统上、包括每毫米约40个线对的空间频率且填充出射光瞳的光锥而言,该光学系统的调制传递函数(MTF)大于约0.2,光锥的主光线穿过出射光瞳的开口的中心并且与光轴形成约

22.5度的角度。

[0160] 实施方案42为根据实施方案41所述的光学系统,其中对于从对象入射在光学系统上、包括每毫米40个线对的空间频率且填充出射光瞳的光锥而言,光锥的主光线穿过出射光瞳的开口的中心并且与光轴形成角度 θ ,对于各自大于5度的至少一个较大的 θ 和至少一个较小的 θ ,该光学系统对于较大的 θ 具有较小的调制传递函数(MTF)并且对于较小的 θ 具有较大的MTF。

[0161] 实施方案43为根据实施方案41所述的光学系统,其中对于具有在预定波长范围内的波长的垂直入射光,至少一个第一位置、至少一个第二位置和至少一个第三位置的最大透射率在彼此的1%内,至少一个第一位置靠近反射偏振器的中心并且至少一个第二位置和至少一个第三位置靠近反射偏振器的边缘,在至少一个第一位置处,至少一个第二位置和至少一个第三位置所成夹角在约30度至约110度范围内。

[0162] 实施方案44为根据实施方案41所述的光学系统,其中至少一个第一位置、至少一个第二位置和至少一个第三位置的谱带边缘波长在彼此的2%内,至少一个第一位置靠近反射偏振器的中心并且至少一个第二位置和至少一个第三位置靠近反射偏振器的边缘,在至少一个第一位置处,至少一个第二位置和至少一个第三位置所成夹角在约30度至约110度范围内。

[0163] 实施方案45为一种用于向观察者显示图像的光学系统,该光学系统包括:

[0164] 间隔开的第一光学透镜和第二光学透镜,没有光学透镜设置在第一光学透镜和第二光学透镜之间,第一光学透镜包括玻璃,该第二光学透镜包括塑料和相背对的非球面主表面,最佳拟合球体与相背对的非球面主表面的曲率半径的比率大于约1.1;

[0165] 部分反射器,该部分反射器设置在第一光学透镜的弯曲主表面上并与第一光学透镜的弯曲主表面适形,并且在预定波长范围内具有至少30%的平均光学反射率;

[0166] 反射偏振器,该反射偏振器设置在第二光学透镜的这些非球面主表面中的一个上并与第二光学透镜的这些非球面主表面中的一个适形,该反射偏振器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;

[0167] 第一延迟层,该第一延迟层设置在该反射偏振器和该部分反射器之间;以及

[0168] 出射光瞳,该出射光瞳在其中限定开口,

[0169] 该光学系统具有光轴;沿着光轴传播的光线穿过第一光学透镜、第二光学透镜、部分反射器、反射偏振器以及第一延迟层而基本上不被折射,光锥从对象入射在光学系统上、包括每毫米40个线对的空间频率且填充出射光瞳,光锥的主光线穿过出射光瞳的开口的中心并且与光轴形成角度 θ ,使得对于各自大于5度的至少一个较大的 θ 和至少一个较小的 θ ,该光学系统对于较大的 θ 具有较小的调制传递函数(MTF)并且对于较小的 θ 具有较大的MTF。

[0170] 实施方案46为根据实施方案45所述的光学系统,其中这些最佳拟合球体与这些相背对非球面主表面的曲率半径的比率大于约1.5。

[0171] 实施方案47为根据实施方案45所述的光学系统,其中对于具有在预定波长范围内的波长的垂直入射光,至少一个第一位置、至少一个第二位置和至少一个第三位置的最大透射率在彼此的1%内,至少一个第一位置靠近反射偏振器的中心并且至少一个第二位置和至少一个第三位置靠近反射偏振器的边缘,在至少一个第一位置处,至少一个第二位置和至少一个第三位置所成夹角在约30度至约110度范围内。

[0172] 实施方案48为根据实施方案45所述的光学系统,其中至少一个第一位置、至少一个第二位置和至少一个第三位置的谱带边缘波长在彼此的2%内,至少一个第一位置靠近反射偏振器的中心并且至少一个第二位置和至少一个第三位置靠近反射偏振器的边缘,在至少一个第一位置处,至少一个第二位置和至少一个第三位置所成夹角在约30度至约110度范围内。

[0173] 实施方案49为一种用于向观察者显示图像的光学系统,该光学系统包括:

[0174] 第一光学透镜,该第一光学透镜具有小于约15nm/cm的光学双折射率并且具有弯曲的第一主表面和相背对的基本上平坦的第二主表面;

[0175] 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第一光学透镜的弯曲的第一主表面适形,并且在预定波长范围内具有至少30%的平均光学反射率;

[0176] 第一延迟层,该第一延迟层设置在第一光学透镜的基本上平坦的第二主表面上并与第一光学透镜的基本上平坦的第二主表面适形;

[0177] 第二光学透镜,该第二光学透镜邻近第一光学透镜并且具有大于约 15nm/cm的光学双折射率,该第二光学透镜包括面向第一延迟层的弯曲的第一主表面以及相背对的弯曲的第二主表面;以及

[0178] 反射偏振器,该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第二光学透镜的弯曲的第一主表面适形,对于具有在预定波长范围内的波长的垂直入射光,该反射偏振器上的每个位置对于第一偏振态具有大于约70%的最大反射率,对于正交第二偏振态具有大于约70%的最大透射率并且对于第一偏振态具有最小透射率,使得至少一个第一位置、至少一个第二位置和至少一个第三位置的最大透射率在彼此的约1%内,至少一个第一位置靠近反射偏振器的中心并且至少一个第二位置和至少一个第三位置靠近反射偏振器的边缘,在至少一个第一位置处,至少一个第二位置和至少一个第三位置所成夹角在约30度至约110度范围内。

[0179] 实施方案50为根据实施方案49所述的光学系统,该光学系统具有光轴;沿着该光轴传播的光线穿过第一光学透镜、第二光学透镜、部分反射器、反射偏振器以及第一延迟层而基本上不被折射,使得对于从对象入射在光学系统上、包括每毫米约40个线对的空间频率且填充出射光瞳的光锥而言,该光学系统的调制传递函数(MTF) 大于约0.2,光锥的主光线穿过出射光瞳的开口的中心并且与光轴形成约22.5度的角度。

[0180] 实施方案51为根据实施方案49所述的光学系统,该光学系统具有光轴;沿着该光轴传播的光线穿过第一光学透镜、第二光学透镜、部分反射器、反射偏振器以及第一延迟层而基本上不被折射,光锥从对象入射在光学系统上、包括每毫米40个线对的空间频率且填充出射光瞳,光锥的主光线穿过出射光瞳的开口的中心并且与光轴形成角度 θ ,使得对于各自大于5 度的至少一个较大的 θ 和至少一个较小的 θ ,光学系统对于较大的 θ 具有较小的调制传递函数(MTF) 并且对于较小的 θ 具有较大的MTF。

[0181] 实施方案52为根据实施方案49所述的光学系统,其中至少一个第一位置、至少一个第二位置和至少一个第三位置的谱带边缘波长在彼此的2%内,至少一个第一位置靠近反射偏振器的中心并且至少一个第二位置和至少一个第三位置靠近反射偏振器的边缘,在至少一个第一位置处,至少一个第二位置和至少一个第三位置所成夹角在约30度至约110

度范围内。

[0182] 实施方案53为根据实施方案49所述的光学系统,其中第一光学透镜的弯曲的第一主表面具有在约20mm至约200mm范围内的最佳拟合球面第一曲率半径。

[0183] 实施方案54为根据实施方案49所述的光学系统,其中第二光学透镜的弯曲的第一主表面具有在约14mm至约250mm范围内的最佳拟合球面第一曲率半径。

[0184] 实施方案55为一种用于向观察者显示图像的光学系统,该光学系统包括:

[0185] 第一光学透镜,该第一光学透镜具有小于约15nm/cm的光学双折射率并且具有弯曲的第一主表面和相背对的基本上平坦的第二主表面;

[0186] 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第一光学透镜的弯曲的第一主表面适形,并且在预定波长范围内具有至少30%的平均光学反射率;

[0187] 第一延迟层,该第一延迟层设置在第一光学透镜的基本上平坦的第二主表面上并与第一光学透镜的基本上平坦的第二主表面适形;

[0188] 第二光学透镜,该第二光学透镜邻近第一光学透镜并且具有大于约 15nm/cm的光学双折射率,第二光学透镜包括面向该第一延迟层的弯曲的第一主表面以及相背对的弯曲的第二主表面;以及

[0189] 反射偏振器,该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第二光学透镜的弯曲的第一主表面适形,对于垂直入射光反射偏振器上的每个位置具有带有谱带边缘波长的对应反射谱带,使得该至少一个第一位置、至少一个第二位置和至少一个第三位置的谱带边缘波长在彼此的2%内,至少一个第一位置靠近反射偏振器的中心并且至少一个第二位置和至少一个第三位置靠近反射偏振器的边缘,在至少一个第一位置处,至少一个第二位置和至少一个第三位置所成夹角在约30度至约110度范围内。

[0190] 实施方案56为根据实施方案55所述的光学系统,该光学系统具有光轴;沿着光轴传播的光线穿过第一光学透镜、第二光学透镜、部分反射器、反射偏振器以及第一延迟层而基本上不被折射,使得对于从对象入射在光学系统上、包括每毫米约40个线对的空间频率且填充出射光瞳的光锥而言,光学系统的调制传递函数(MTF)大于约0.2,光锥的主光线穿过出射光瞳的开口的中心并且与光轴形成约22.5度的角度。

[0191] 实施方案57为根据实施方案55所述的光学系统,该光学系统具有光轴;沿着光轴传播的光线穿过第一光学透镜、第二光学透镜、部分反射器、反射偏振器以及第一延迟层而基本上不被折射,光锥从对象入射在光学系统上、包括每毫米40个线对的空间频率且填充出射光瞳,光锥的主光线穿过出射光瞳开口的中心填充并且与该光轴形成角度 θ ,使得对于各自大于5度的至少一个较大的 θ 和至少一个较小的 θ ,光学系统对于较大的 θ 具有较小的调制传递函数(MTF)并且对于较小的 θ 具有较大的MTF。

[0192] 实施方案58为根据实施方案55所述的光学系统,其中对于具有在预定波长范围内的波长的垂直入射光,至少一个第一位置、至少一个第二位置和至少一个第三位置的最大透射率在彼此的1%内,至少一个第一位置靠近反射偏振器的中心并且至少一个第二位置和至少一个第三位置靠近反射偏振器的边缘,在至少一个第一位置处,至少一个第二位置和至少一个第三位置所成夹角在约30度至约110度范围内。

[0193] 实施方案59为根据实施方案55所述的光学系统,其中第一光学透镜的弯曲的第一

主表面具有在约20mm至约200mm范围内的最佳拟合球面第一曲率半径。

[0194] 实施方案60为根据实施方案55所述的光学系统,其中第二光学透镜的弯曲的第一主表面具有在约14mm至约250mm范围内的最佳拟合球面第一曲率半径。

[0195] 实施方案61为一种制造光学组件的方法,该方法包括:

[0196] 提供第一模具,该第一模具包括第一弯曲模具表面,该第一弯曲模具表面具有在约30mm至约1000mm范围内的最佳拟合球面第一曲率半径;

[0197] 提供基本上平坦的反射偏振器,该反射偏振器上的每个位置对于阻光偏振态具有大于约70%的最大反射率并且对于正交透光偏振态具有大于约 70%的最大透射率,透光偏振态的取向跨反射偏振器的最大变化为约 θ_1 度;

[0198] 将基本上平坦的反射偏振器放置在第一弯曲模具表面上,并且施加压力和热量中的至少一者以使基本上平坦的反射偏振器至少部分地适形于第一弯曲模具表面;

[0199] 提供包括与第一模具表面间隔开并对准的第二模具表面的第二模具,该第一模具表面和该第二模具表面在两者间限定模具腔体;

[0200] 用可流动材料基本上填充模具腔体,该可流动材料具有高于反射偏振器的玻璃化转变温度的温度;以及

[0201] 使可流动材料固化以形成结合到反射偏振器的固体光学元件,透光偏振态的取向跨结合的反射偏振器的最大变化为约 θ_2 度, θ_1 和 θ_2 在彼此的约3度内。

[0202] 实施方案62为根据实施方案61所述的方法,其中第一模具为第一模具插入件。

[0203] 实施方案63为根据实施方案61所述的方法,其中第二模具为第二模具插入件。

[0204] 实施方案64为根据实施方案61所述的方法,其中该模具腔体通过连接到该模具腔体的浇口基本上填充有可流动材料。

[0205] 实施方案65为根据实施方案61所述的方法,其中固体光学元件永久性地结合到反射偏振器。

[0206] 实施方案66为根据实施方案61所述的方法,其中固体光学元件可剥离地结合到反射偏振器。

[0207] 实施方案67为根据实施方案61所述的方法,其中第一弯曲模具表面的垂度与最佳拟合球体第一曲率半径的比率在约0.02至约0.2的范围内。

[0208] 实施方案68为根据实施方案61所述的方法,其中基本上平坦的反射偏振器沿着第一轴线拉伸,并且可流动材料沿着基本上垂直于第一轴线的第二方向流入模具腔体中。

[0209] 实施方案69为根据实施方案61所述的方法,其中基本上平坦的反射偏振器沿着第一轴线拉伸,并且可流动材料沿着第一轴线流入模具腔体中。

[0210] 实施方案70为根据实施方案61所述的方法,其中基本上平坦的反射偏振器包括多个干涉层,每个干涉层主要通过光学干涉反射或透射光。

[0211] 实施方案71为根据实施方案61所述的方法,其中 θ_1 和 θ_2 在彼此的约2度内。

[0212] 实施方案72为根据实施方案61所述的方法,其中 θ_1 和 θ_2 在彼此的约1度内。

[0213] 实施方案73为根据实施方案61所述的方法,其中 θ_1 为0.5度,并且 θ_2 为1度。

[0214] 实施方案74为根据实施方案61所述的方法,其中 θ_1 为0.3度,并且 θ_2 为0.5度。

[0215] 实施方案75为根据实施方案61所述的方法,其中该第一弯曲模具表面具有第一平均表面粗糙度,其中放置步骤包括将该基本上平坦的反射偏振器放置在第一弯曲模具表面

上,其中反射偏振器的第一主表面面向第一弯曲模具表面,并且其中在固化步骤之后,结合的反射偏振器的第一主表面具有大于第一平均表面粗糙度的第二平均表面粗糙度。

[0216] 实施方案76为根据实施方案61所述的方法,其中基本上平坦的反射偏振器跨反射偏振器具有第一最大厚度变化,并且结合的反射偏振器跨反射偏振器具有第二最大厚度变化,第一最大厚度变化和第二最大厚度变化在彼此的5%内。

[0217] 实施方案77为一种制造光学组件的方法,该方法包括:

[0218] 提供第一模具,该第一模具包括第一弯曲模具表面,该第一弯曲模具表面具有在约30mm至约1000mm范围内的最佳拟合球面第一曲率半径;

[0219] 提供基本上平坦的反射偏振器,该反射偏振器对于第一偏振态具有大于约70%的平均光学透射率并且对于正交第二偏振态具有大于约70%的平均光学反射率;

[0220] 将该基本上平坦的反射偏振器放置在第一弯曲模具表面上,反射偏振器的第一主表面面向第一弯曲模具表面并且具有第一平均表面粗糙度;

[0221] 施加压力和热量中的至少一者以使基本上平坦的反射偏振器至少部分地适形于第一弯曲模具表面;

[0222] 提供包括与第一模具表面间隔开并对准的第二模具表面的第二模具,第一模具表面和第二模具表面在两者间限定模具腔体;

[0223] 用可流动材料基本上填充该模具腔体,该可流动材料具有高于反射偏振器的玻璃化转变温度的温度;以及

[0224] 使该可流动材料固化以形成结合到反射偏振器的固体光学元件,结合的反射偏振器的第一主表面具有大于第一平均表面粗糙度的第二平均表面粗糙度。

[0225] 实施方案78为根据实施方案77所述的方法,其中第一平均表面粗糙度为约0.05微米,并且第二平均表面粗糙度为约0.1微米。

[0226] 实施方案79为根据实施方案77所述的方法,其中基本上平坦的反射偏振器跨反射偏振器具有第一最大厚度变化,并且结合的反射偏振器跨反射偏振器具有第二最大厚度变化,第一最大厚度变化和第二最大厚度变化在彼此的5%内。

[0227] 实施方案80为根据实施方案77所述的方法,其中基本上平坦的反射偏振器的透光偏振态的取向跨反射偏振器的最大变化为约θ1度,并且其中透光偏振态的取向跨结合的反射偏振器的最大变化为约θ2度,θ1和θ2在彼此的约3度内。

[0228] 实施方案81为一种制造光学组件的方法,该方法包括:

[0229] 提供第一模具,该第一模具包括第一弯曲模具表面,该第一弯曲模具表面具有在约30mm至约1000mm范围内的最佳拟合球面第一曲率半径;

[0230] 提供基本上平坦的反射偏振器,该基本上平坦的反射偏振器对于预定波长范围内的第一偏振态具有大于约70%的平均反射率并且对于预定波长范围内的正交的第二偏振态具有大于约70%的平均透射率,该基本上平坦的反射偏振器跨反射偏振器具有第一最大厚度变化;

[0231] 将基本上平坦的反射偏振器放置在第一弯曲模具表面上,并且施加压力和热量中的至少一者以使基本上平坦的反射偏振器至少部分地适形于第一弯曲模具表面;

[0232] 提供包括与第一模具表面间隔开并对准的第二模具表面的第二模具,第一模具表面和第二模具表面在两者间限定模具腔体;

[0233] 用可流动材料基本上填充模具腔体,该可流动材料具有高于反射偏振器的玻璃化转变温度的温度;以及

[0234] 使可流动材料固化以形成结合到反射偏振器的固体光学元件,结合的反射偏振器跨反射偏振器具有第二最大厚度变化,第一最大厚度变化和第二最大厚度变化在彼此的5%内。

[0235] 实施方案82为根据实施方案81所述的方法,其中第一最大厚度变化和第二最大厚度变化在彼此的4%内。

[0236] 实施方案83为根据实施方案81所述的方法,其中第一最大厚度变化和第二最大厚度变化在彼此的3%内。

[0237] 实施方案84为根据实施方案81所述的方法,其中第一最大厚度变化和第二最大厚度变化在彼此的2%内。

[0238] 实施方案85为根据实施方案81所述的方法,其中第一最大厚度变化和第二最大厚度变化在彼此的1%内。

[0239] 实施方案86为根据实施方案81所述的方法,其中基本上平坦的反射偏振器的透光偏振态的取向跨反射偏振器的最大变化为约θ1度,并且其中透光偏振态的取向跨结合的反射偏振器的最大变化为约θ2度,θ1和θ2在彼此的约3度内。

[0240] 实施方案87为根据实施方案81所述的方法,其中第一弯曲模具表面具有第一平均表面粗糙度,其中放置步骤包括将基本上平坦的反射偏振器放置在第一弯曲模具表面上,其中反射偏振器的第一主表面面向第一弯曲模具表面,并且其中在固化步骤之后,结合的反射偏振器的第一主表面具有大于第一平均表面粗糙度的第二平均表面粗糙度。

[0241] 实施方案88为一种一体式多层光学膜,该一体式多层光学膜包括:

[0242] 多个干涉层,每个干涉层主要通过光学干涉反射或透射光;以及

[0243] 最外非干涉层,该最外非干涉不是主要通过光学干涉来反射或透射光并且包括形成有规则图案的最外表面,其中多层光学膜为一体式构造体。

[0244] 实施方案89为根据实施方案88所述的一体式多层光学膜,其中规则图案包括周期性图案。

[0245] 实施方案90为根据实施方案88所述的一体式多层光学膜,该一体式多层光学膜为反射偏振器,其基本上反射在预定波长范围内具有第一偏振态的光,并且基本上透射在预定波长范围内具有正交的第二偏振态的光。

[0246] 实施方案91为一种光学组件,该光学组件包括光学透镜以及根据实施方案88所述的一体式多层光学膜,该一体式光学膜设置在光学透镜的主表面上并与至适形。

[0247] 实施方案92为一种光学系统,该光学系统包括根据实施方案91所述的光学组件、邻近该光学组件设置并与该光学组件间隔开的部分反射器、以及设置在该一体式多层光学膜和该部分反射器之间的延迟层。

[0248] 实施方案93为一种光学系统,该光学系统包括:

[0249] 根据实施方案88所述的一体式多层光学膜;

[0250] 第一光学透镜,该第一光学透镜包括小于约15nm/cm的光学双折射率、具有在约20mm至约200mm范围内的最佳拟合球面第一曲率半径的弯曲的第一主表面、以及具有大于约500mm的最佳拟合球面第二曲率半径的相背对的第二主表面,该弯曲的第一主表面朝向

该第二主表面凹入；

[0251] 第二光学透镜，该第二光学透镜包括大于约 15nm/cm 的光学双折射率、面向该第一光学透镜的该第二主表面且朝向该第二主平面凸出并且具有在约14mm至约250mm范围内的最佳拟合球面第一曲率半径的弯曲的第一主表面、以及具有大于约125mm的最佳拟合球面第二曲率半径的相背对的第二主表面，

[0252] 其中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第一光学透镜的第一主表面适形，并且在预定波长范围内具有至少30%的平均光学反射率；

[0253] 其中该一体式多层光学膜为反射偏振器并且设置在第二光学透镜的弯曲的第一主表面上并与第二光学透镜的弯曲的第一主表面适形，反射偏振器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；并且

[0254] 其中该延迟层设置在第一光学透镜的第二主表面上并与第一光学透镜的第二主表面适形。

[0255] 实施方案94为一种光学系统，该光学系统包括：

[0256] 根据实施方案88所述的一体式多层光学膜；

[0257] 间隔开的第一光学透镜和第二光学透镜，没有光学透镜设置在第一光学透镜和第二光学透镜之间，第一光学透镜包括玻璃并且第二光学透镜包括塑料，第一光学透镜和第二光学透镜中的每一者包括相背对的第一主表面和第二主表面，最佳拟合球体与第一光学透镜的第一主表面和第二主表面的曲率半径的比率大于约5，最佳拟合球体与第二光学透镜的该第一主表面和第二主表面的曲率半径的比率在约1.5至10的范围内，

[0258] 其中部分反射器设置在第一光学透镜的主表面上并与第一光学透镜的主表面适形，并且在预定波长范围内具有至少30%的平均光学反射率；

[0259] 其中该一体式多层光学膜为反射偏振器并且设置在第二光学透镜的主表面上并与第二光学透镜的主表面适形，反射偏振器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；

[0260] 其中该延迟层设置在反射偏振器和部分反射器之间；并且

[0261] 其中光学系统具有在其中限定开口的出射光瞳；以及光轴；沿着该光轴传播的光线穿过该第一光学透镜、第二光学透镜、部分反射器、反射偏振器以及第一延迟层而基本上不被折射，使得对于从对象入射在光学系统上、包括每毫米约40个线对的空间频率且填充出射光瞳的光锥而言，光学系统的调制传递函数(MTF)大于约0.2，光锥的主光线穿过出射光瞳的该开口的中心并且与光轴形成约22.5度的角度。

[0262] 实施方案95为一种光学系统，该光学系统包括：

[0263] 根据实施方案88所述的一体式多层光学膜；

[0264] 间隔开的第一光学透镜和第二光学透镜，没有光学透镜设置在第一光学透镜和第二光学透镜之间，第一光学透镜包括玻璃并且第二光学透镜包括塑料，第一光学透镜和第二光学透镜中的每一者包括相背对的第一主表面和第二主表面，最佳拟合球体与该第一光学透镜的第一主表面和第二主表面的曲率半径的比率大于约5，最佳拟合球体与第二光学透镜的第一主表面和第二主表面的曲率半径的比率在约1.5至10的范围内，

[0265] 其中部分反射器设置在第一光学透镜的主表面上并与第一光学透镜的主表面适形，并且在预定波长范围内具有至少30%的平均光学反射率；

[0266] 其中一体式多层光学膜为反射偏振器并且设置在第二光学透镜的主表面上并与第二光学透镜的主表面适形,反射偏振器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;

[0267] 其中该延迟层设置在反射偏振器和部分反射器之间;并且

[0268] 其中光学系统具有出射光瞳,该出射光瞳在其中限定开口;以及光轴;沿着该光轴传播的光线穿过第一光学透镜、第二光学透镜、部分反射器、反射偏振器以及第一延迟层而基本上不被折射,光锥从对象入射在光学系统上、包括每毫米约40个线对的空间频率且填充出射光瞳,光锥的主光线穿过出射光瞳的开口的中心并且与光轴形成角度 θ ,使得对于各自大于5度的至少一个较大的 θ 和至少一个较小的 θ ,光学系统对于较大的 θ 具有较小的调制传递函数(MTF)并且对于较小的 θ 具有较大的MTF。

[0269] 实施方案96为根据实施方案1至60或93至95中任一项所述的光学系统,其中反射偏振器和第二光学透镜为具有圆形双衰减的光学组件,使得在俯视平面图中,圆形双衰减沿着第一轴线在两个相反方向中的每一者上从反射偏振器的中心到反射偏振器的边缘增加并且沿着不同的第二轴线在两个相反方向中的每一者上从反射偏振器的该中心到反射偏振器的该边缘降低。

[0270] 实施方案97为一种光学组件,该光学组件包括:

[0271] 光学透镜,该光学透镜具有第一主表面和至少约15nm/cm的光学双折射率;

[0272] 反射偏振器,该反射偏振器设置在第一主表面上并与第一主表面适形,光学组件具有圆形双衰减,使得在俯视平面图中,圆形双衰减沿着第一轴线在两个相反方向中的每一者上从反射偏振器的中心到反射偏振器的边缘增加并且沿着不同的第二轴线在两个相反方向中的每一者上从反射偏振器的该中心到反射偏振器的该边缘降低。

[0273] 实施方案98为根据实施方案97所述的光学组件,其中第一轴线和第二轴线基本上彼此垂直。

[0274] 实施方案99为根据实施方案97所述的光学组件,其中圆形双衰减在靠近反射偏振器的中心的第一位置处在约-0.01和约0.01之间,并且在沿着第一轴线靠近反射偏振器的该边缘的第二位置处大于约0.02,并且在沿着第二轴线靠近反射偏振器的该边缘的第三位置处小于约-0.02。

[0275] 实施方案100为根据实施方案99所述的光学组件,其中第二位置处的圆形双衰减的量值在第三位置处的圆形双衰减的量值的10%内。

[0276] 实施方案101为根据实施方案97所述的光学组件,其中圆形双衰减在靠近反射偏振器的中心的第一位置处在约-0.1和约0.1之间,并且在靠近反射偏振器的边缘的第二位置处大于约0.2,并且在靠近反射偏振器的边缘的第三位置处小于约-0.2。

[0277] 实施方案102为根据实施方案101所述的光学组件,其中第二位置处的圆形双衰减的量值在第三位置处的圆形双衰减的量值的10%内。

[0278] 实施方案103为根据实施方案97所述的光学组件,其中圆形双衰减使用面向反射偏振器的光源来确定。

[0279] 实施方案104为根据实施方案97所述的光学组件,其中圆形双衰减使用面向光学透镜的光源来确定。

[0280] 实施方案105为根据实施方案97所述的光学组件,该光学组件包括光轴,圆形双衰

减使用平行于光轴入射在光学组件上的光来确定。

[0281] 实施方案106为根据实施方案97所述的光学组件,其中光学透镜的光学双折射率为至少约20nm/cm。

[0282] 实施方案107为根据实施方案97所述的光学组件,其中第一主表面具有在约14mm至约250mm范围内的最佳拟合球面第一曲率半径。

[0283] 实施方案108为根据实施方案107所述的光学组件,该光学组件具有与第一主表面相背对的第二主表面,该第二主表面具有大于约125mm的最佳拟合球面第二曲率半径。

[0284] 实施方案109为一种光学系统,该光学系统包括根据实施方案97所述的光学组件、邻近光学组件设置并与光学组件间隔开的部分反射器、以及设置在部分反射器和光学组件之间的延迟层。

[0285] 实施方案110为根据实施方案109所述的光学系统,该光学系统还包括第一光学透镜,该部分反射器设置在第一透镜的主表面上。

[0286] 实施方案111为根据实施方案110所述的光学系统,其中部分反射器在预定波长范围内具有在30%至70%范围内的平均光学反射率。

[0287] 实施方案112为根据实施方案1至60或93至95或111中任一项所述的光学系统,其中预定波长范围包括近红外波长范围、可见波长范围和近紫外波长范围中的至少一者。

[0288] 实施方案113为根据实施方案1至60或93至95或111中任一项所述的光学系统,其中预定波长范围为约400nm至约700nm。

[0289] 实施方案114为根据实施方案1至60或93至95或110至111中任一项所述的光学系统,该光学系统还包括第二延迟层,第一透镜设置该反射偏振器和第二延迟层之间。

[0290] 实施方案115为根据实施方案114所述的光学系统,该光学系统还包括线性吸收型偏振器,该第二延迟层设置在第一光学透镜和线性吸收型偏振器之间。

[0291] 实施方案116为根据实施方案1至60或93至95或109至111中任一项所述的光学系统,该光学系统还包括线性吸收型偏振器该反射偏振器设置在线性吸收型偏振器和部分反射器之间。

[0292] 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。本申请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。

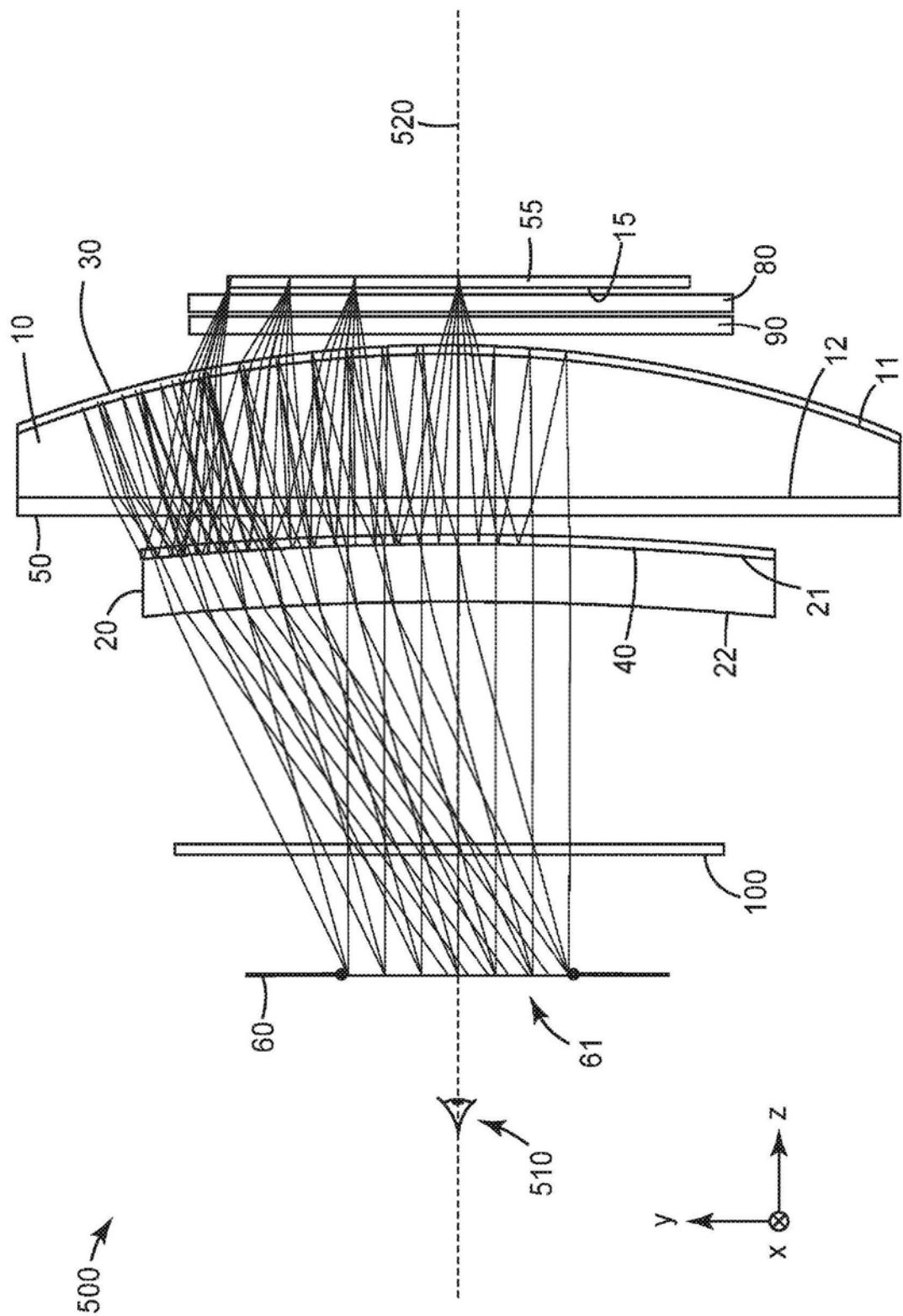


图1A

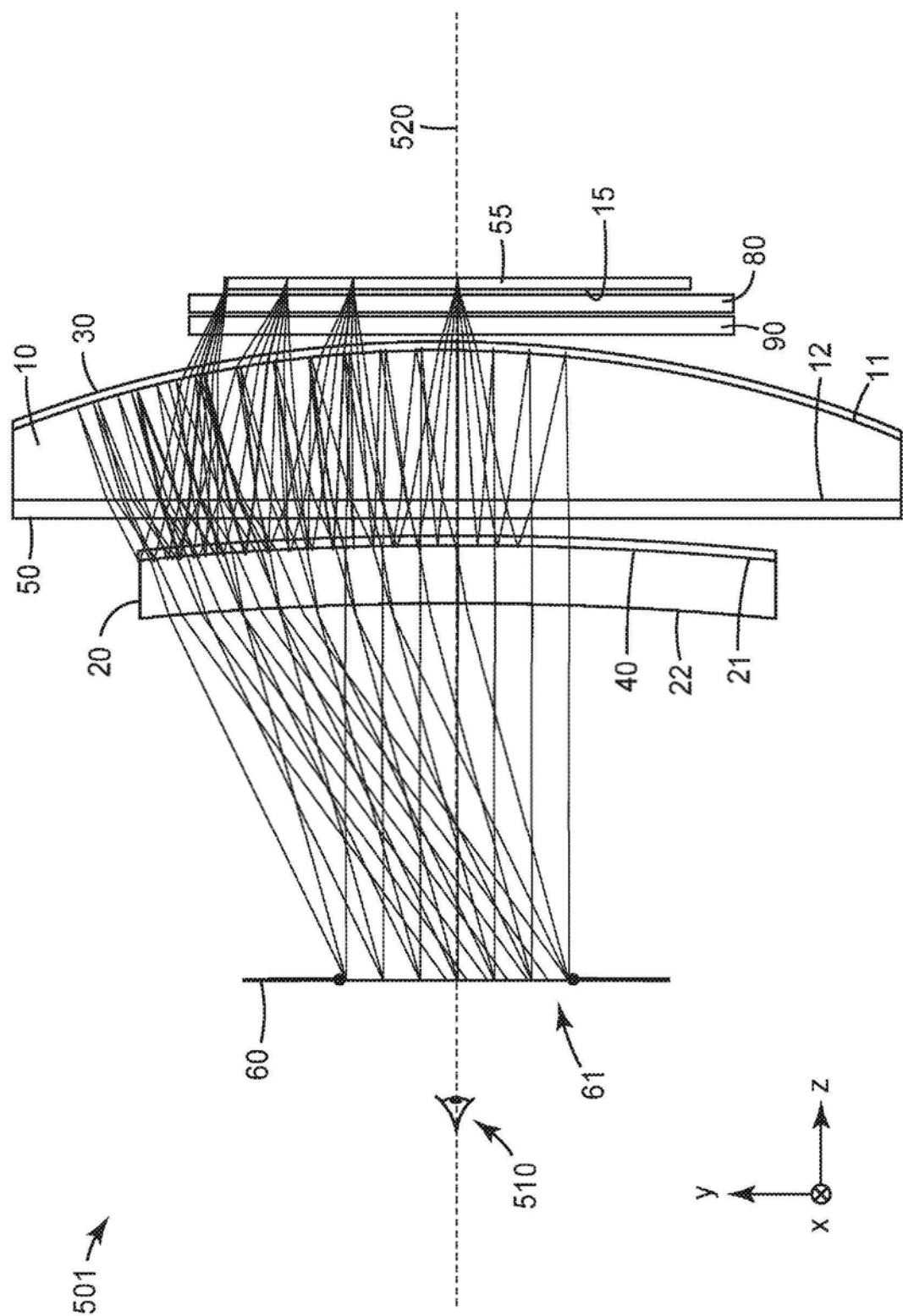


图1B

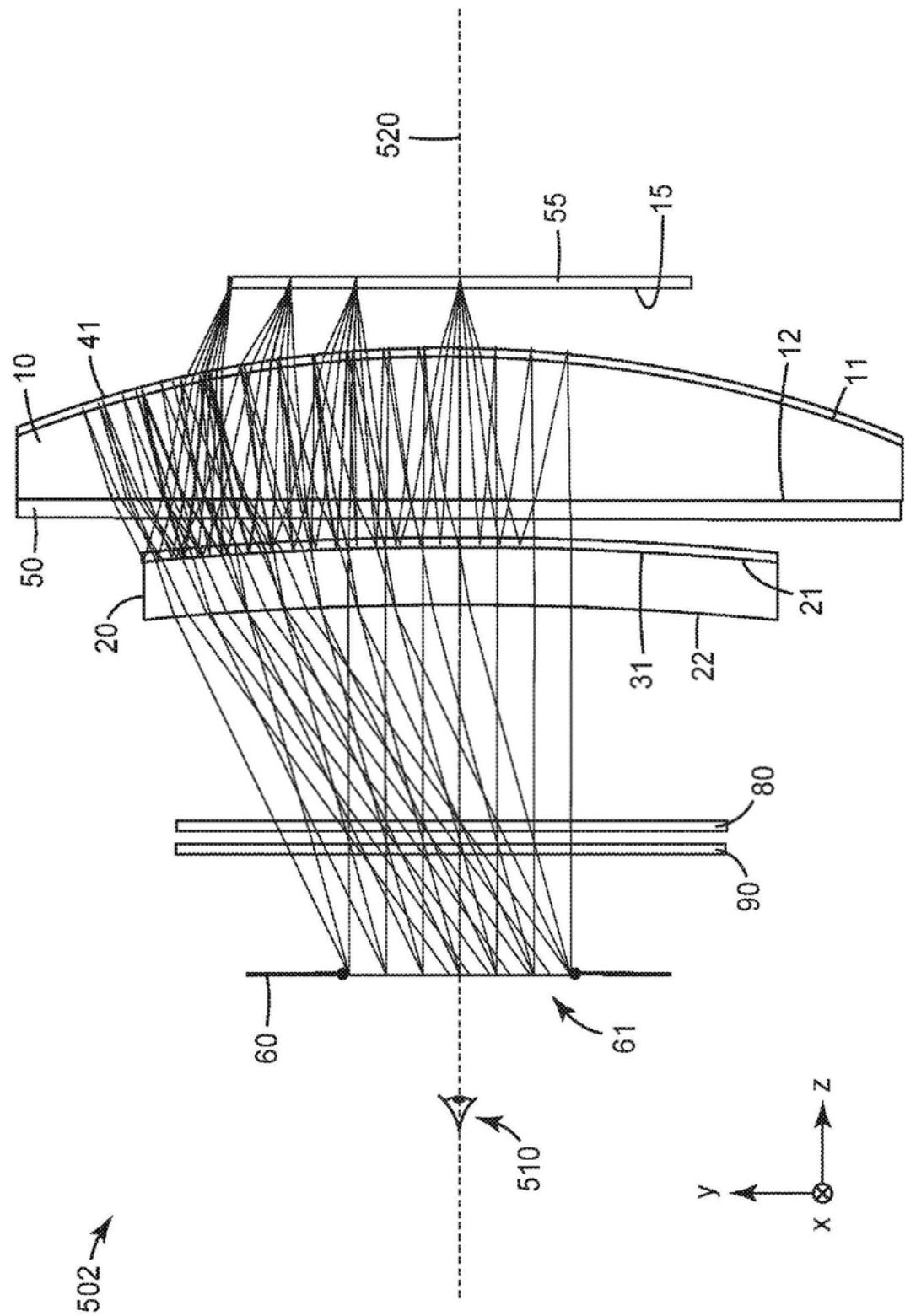


图1C

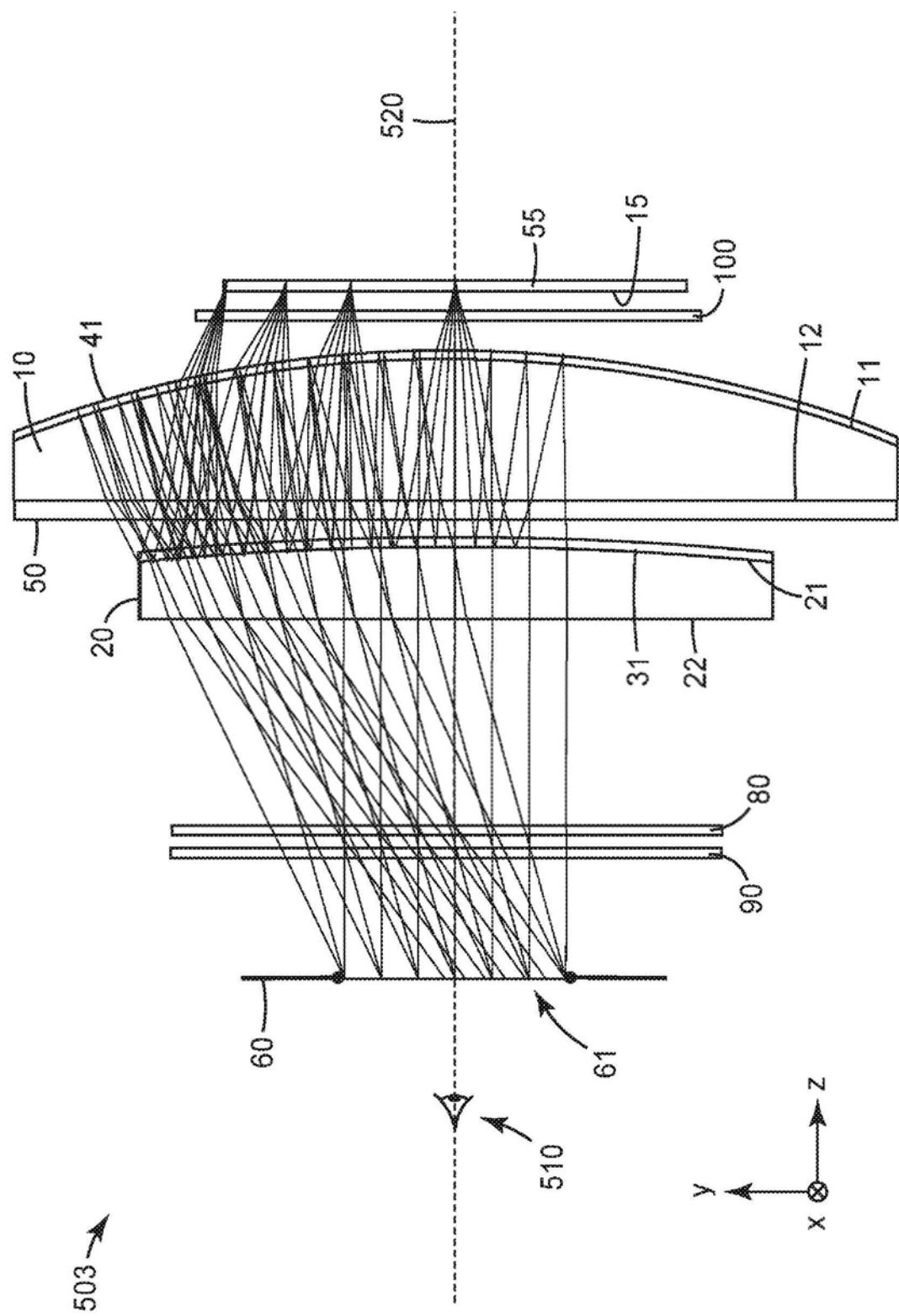


图1D

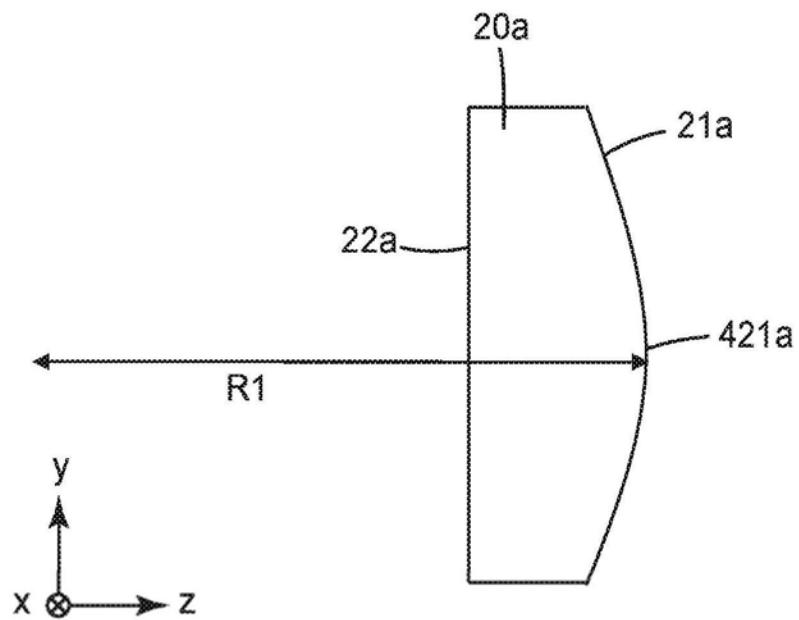


图2A

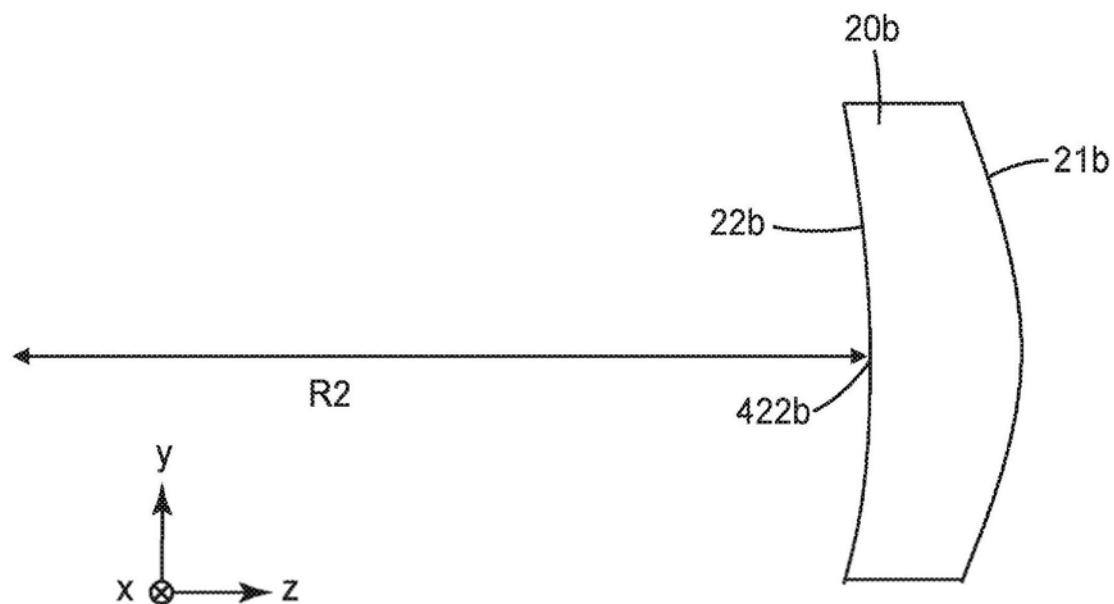


图2B

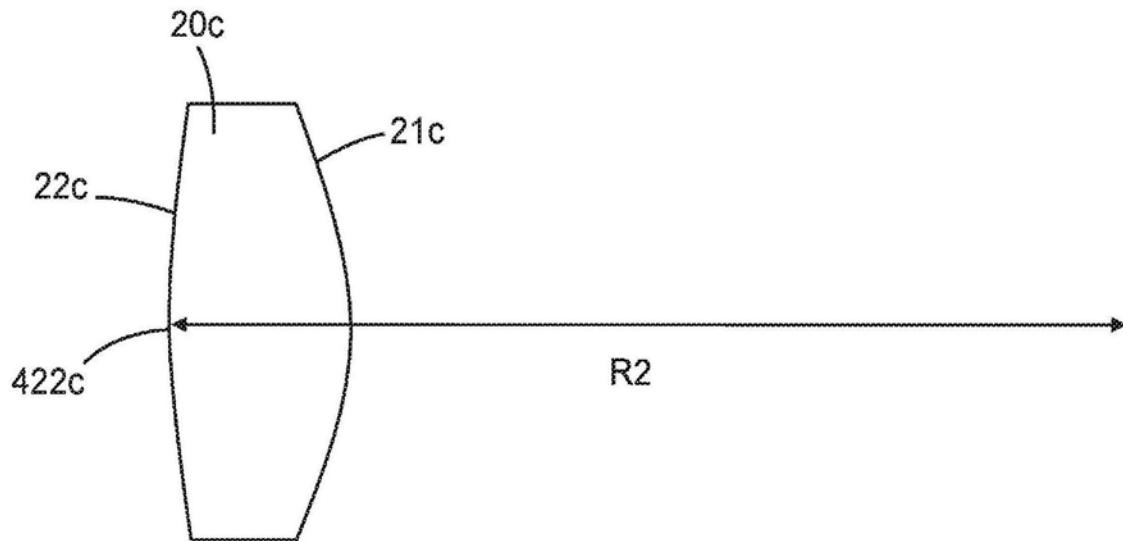


图2C

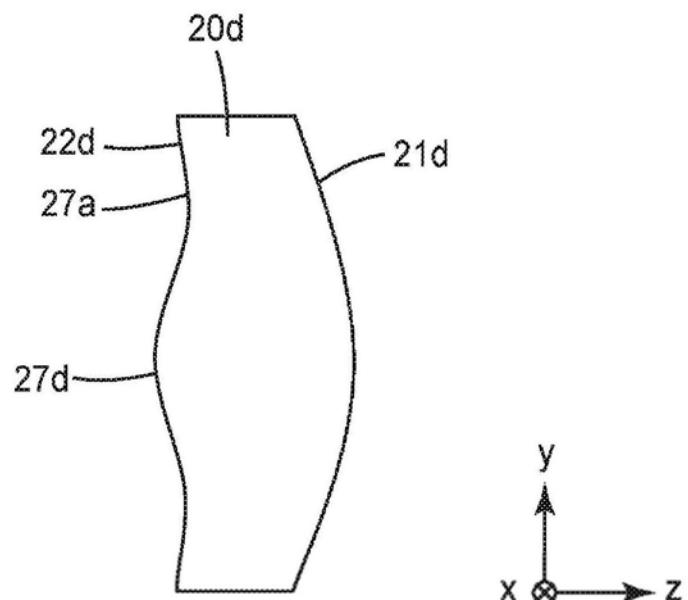


图2D

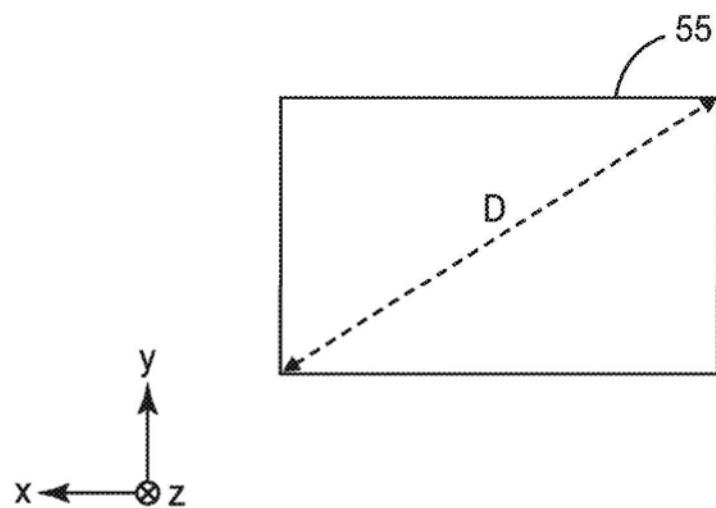


图3A

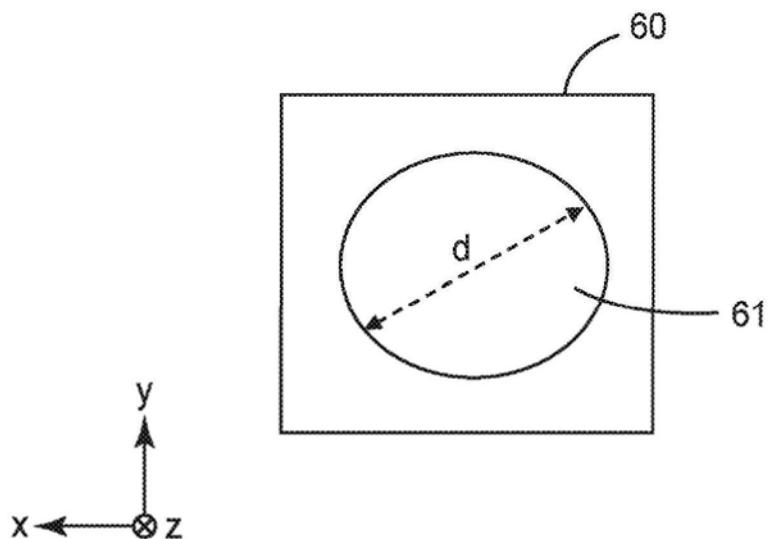


图3B

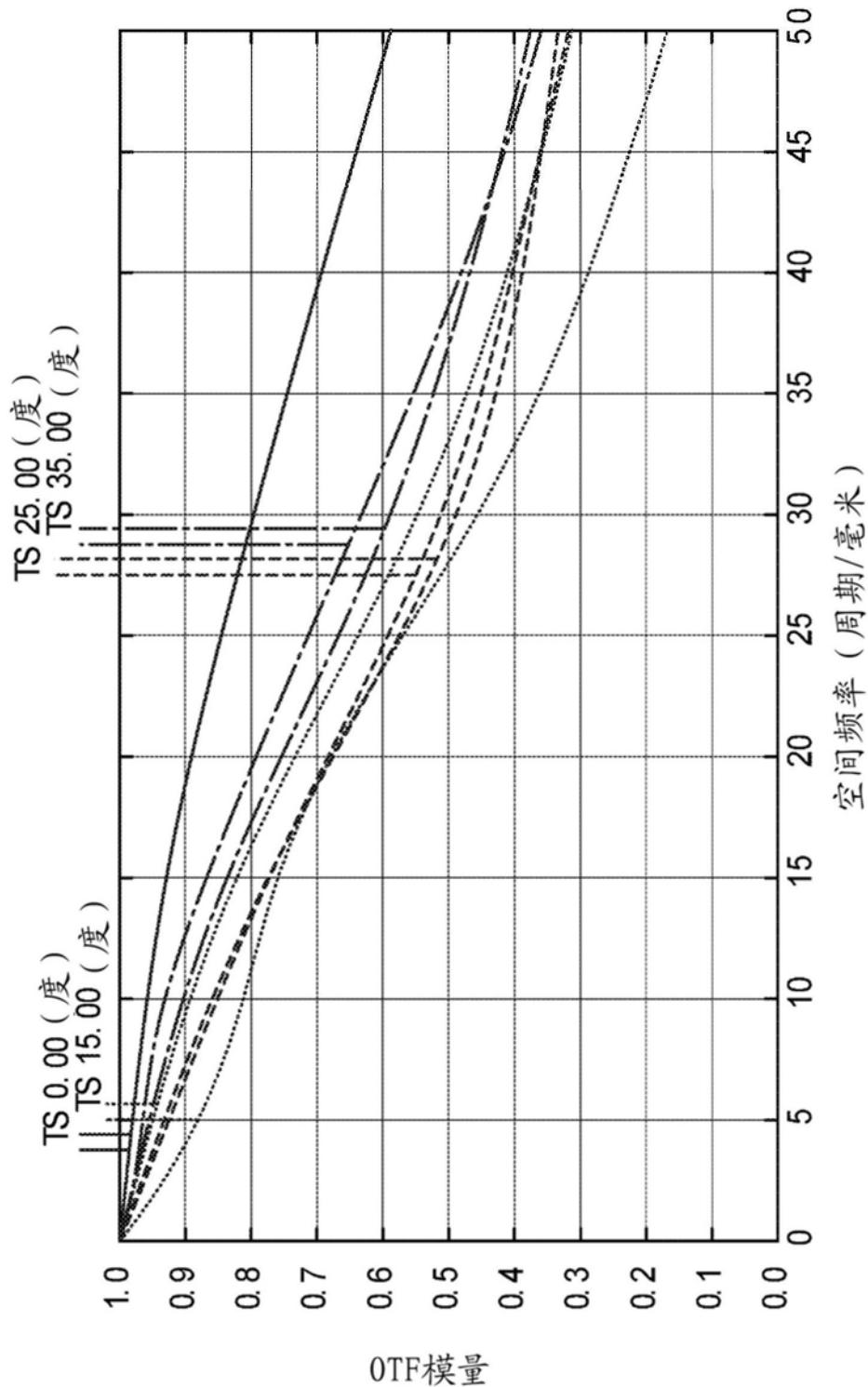


图4A

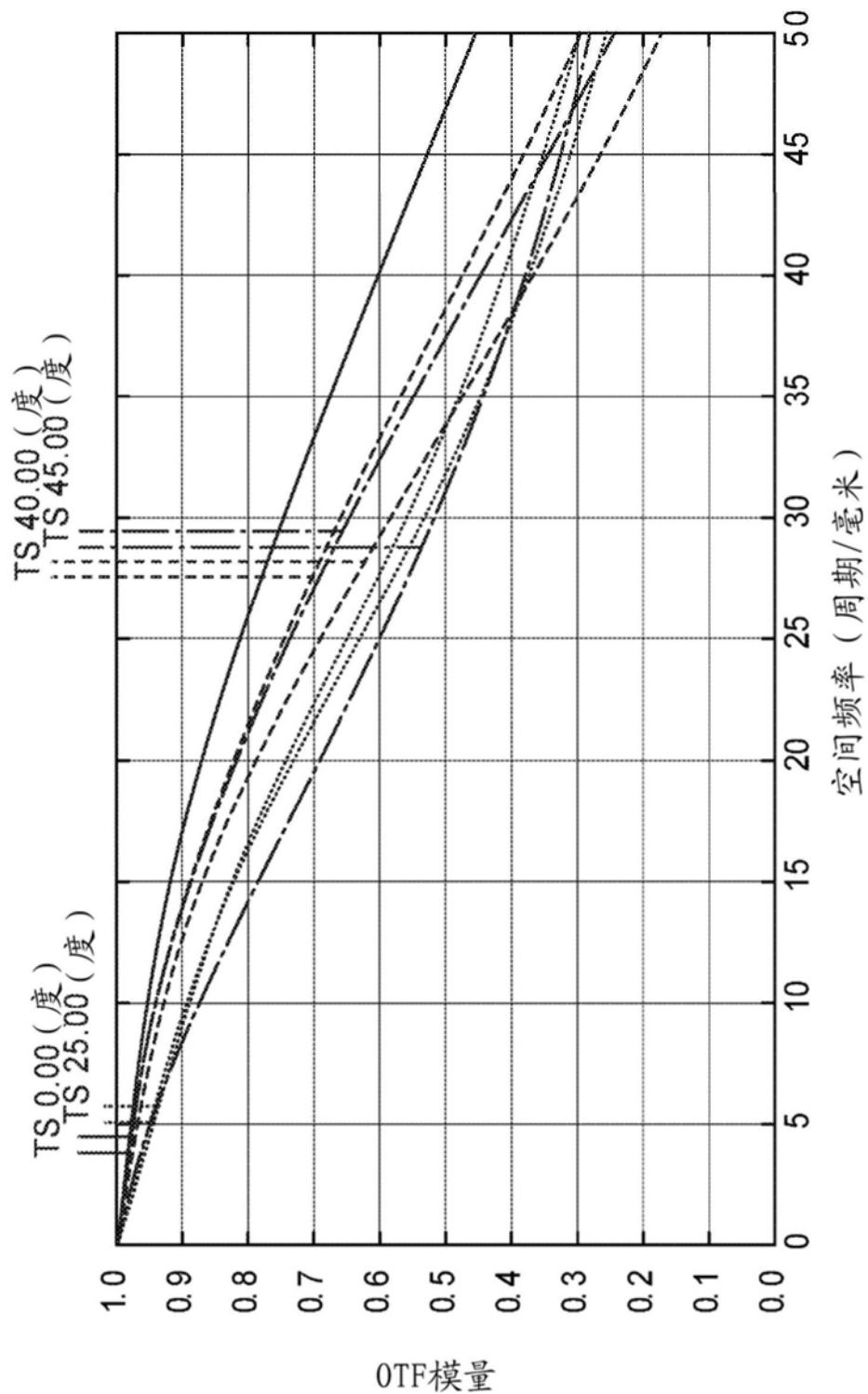


图4B

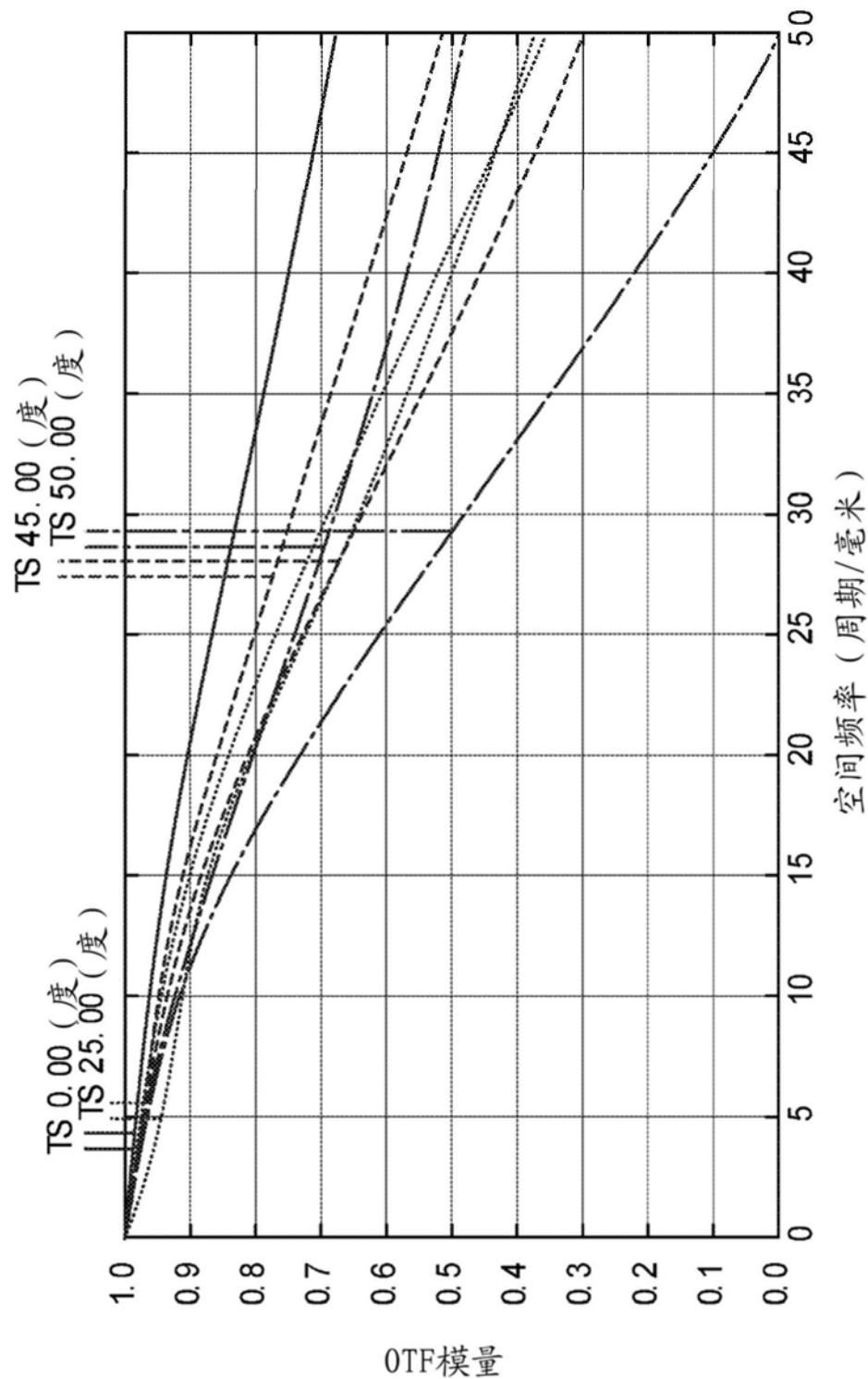


图4C

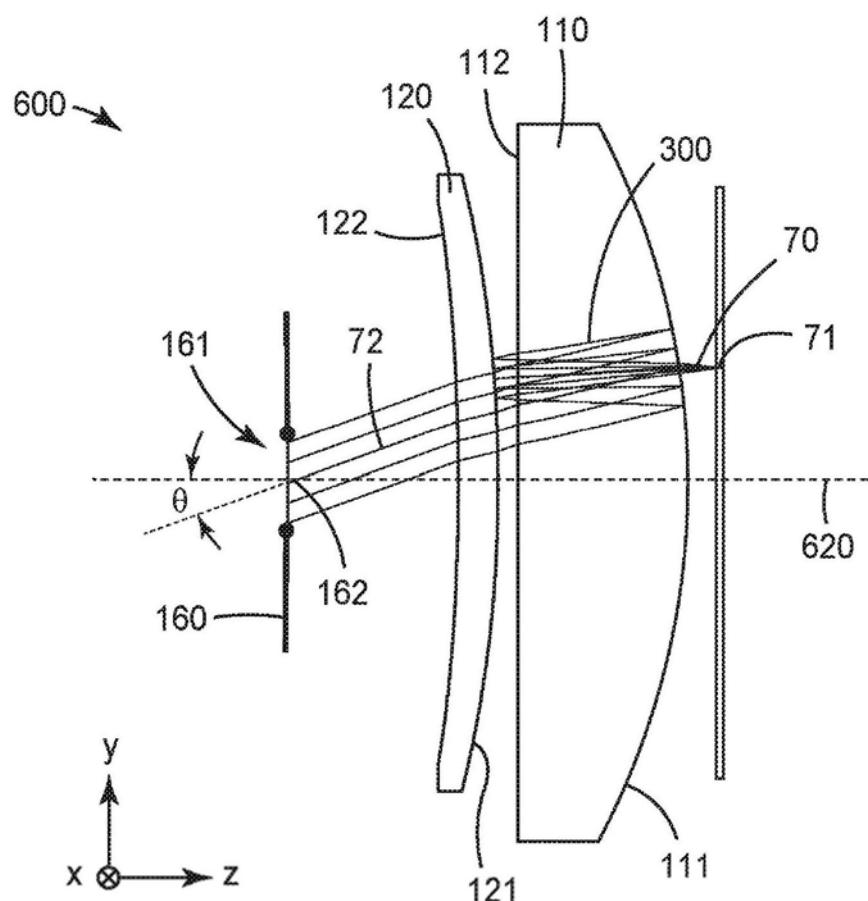


图5

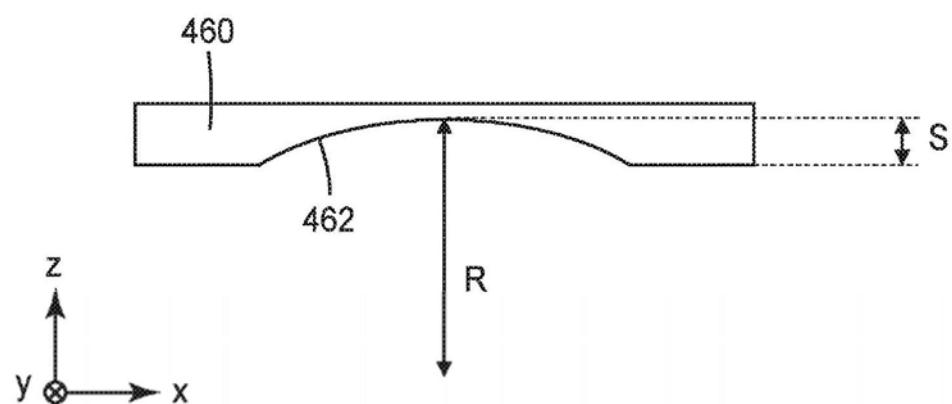


图6A

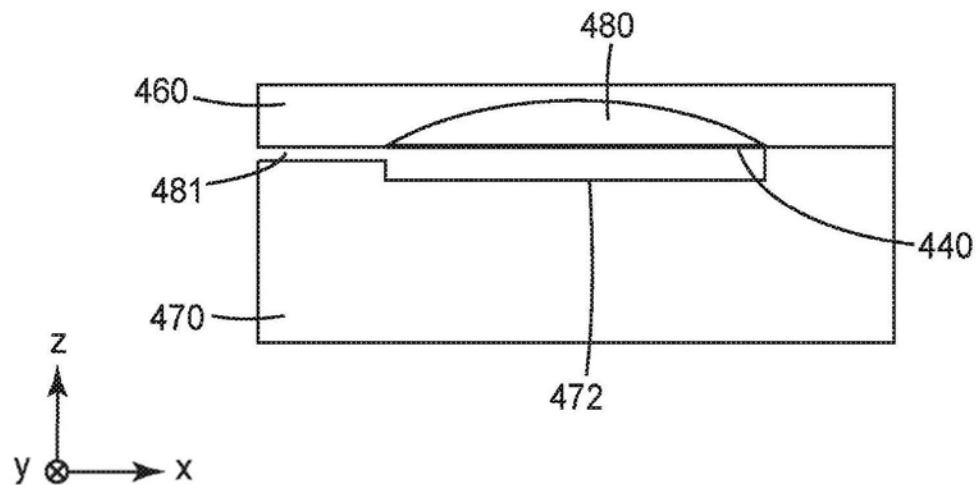


图6B

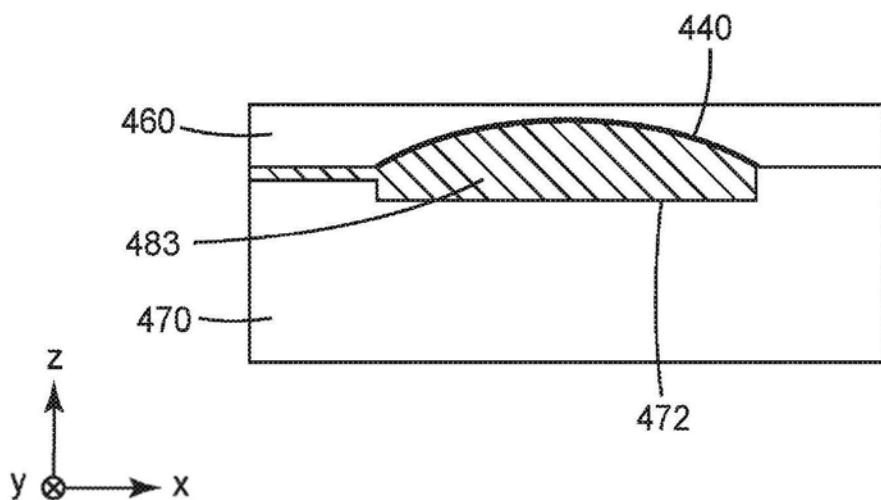


图6C

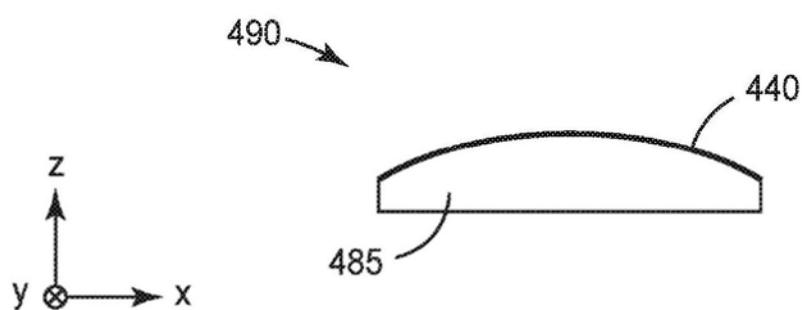


图6D

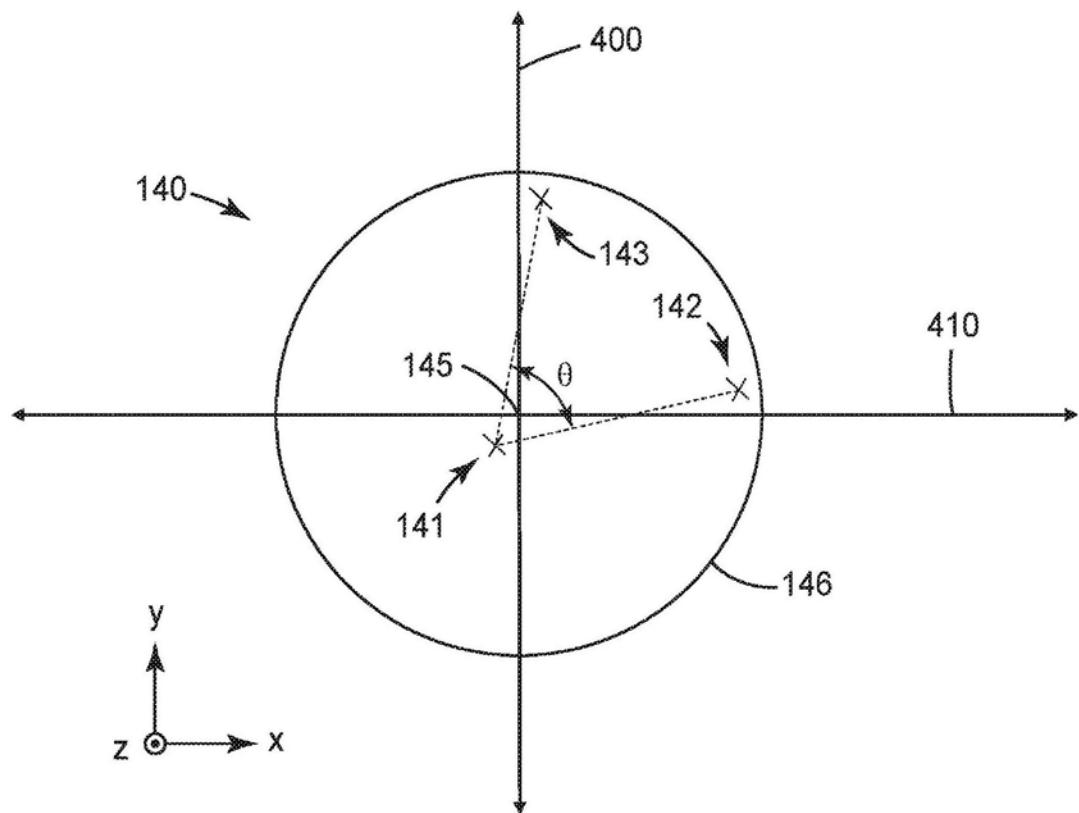


图7

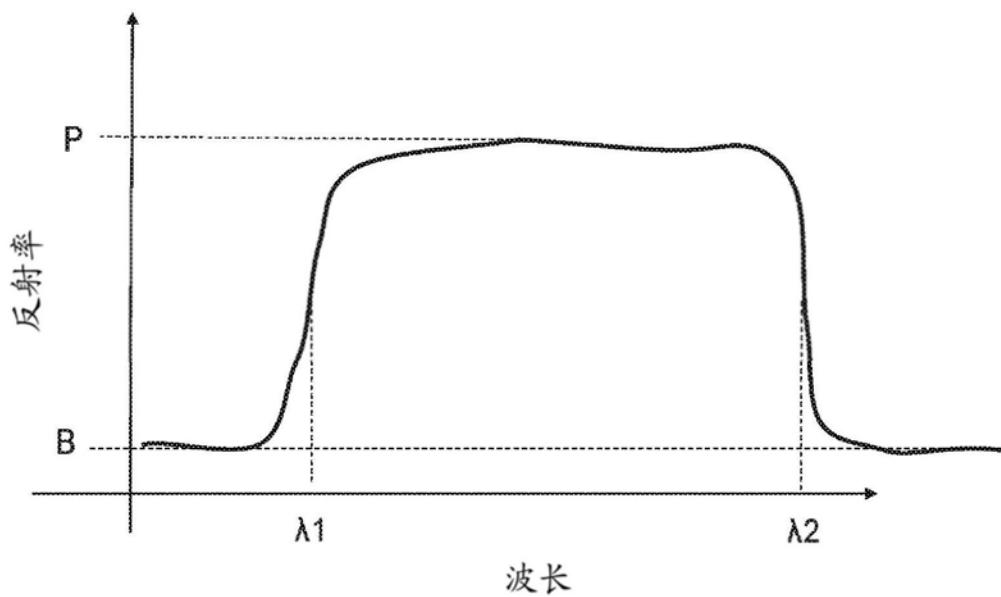


图8

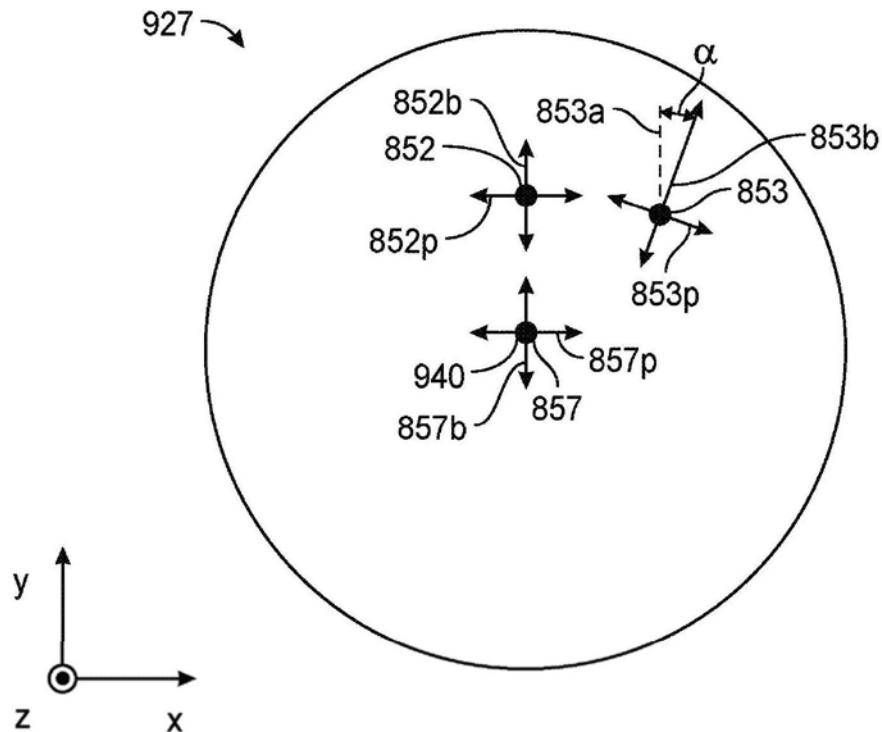


图9A

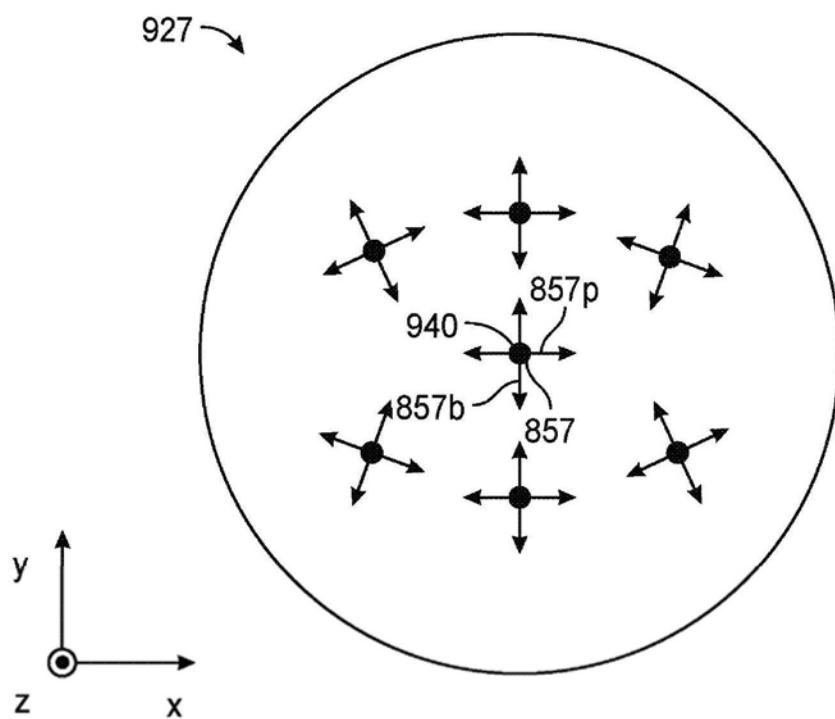


图9B

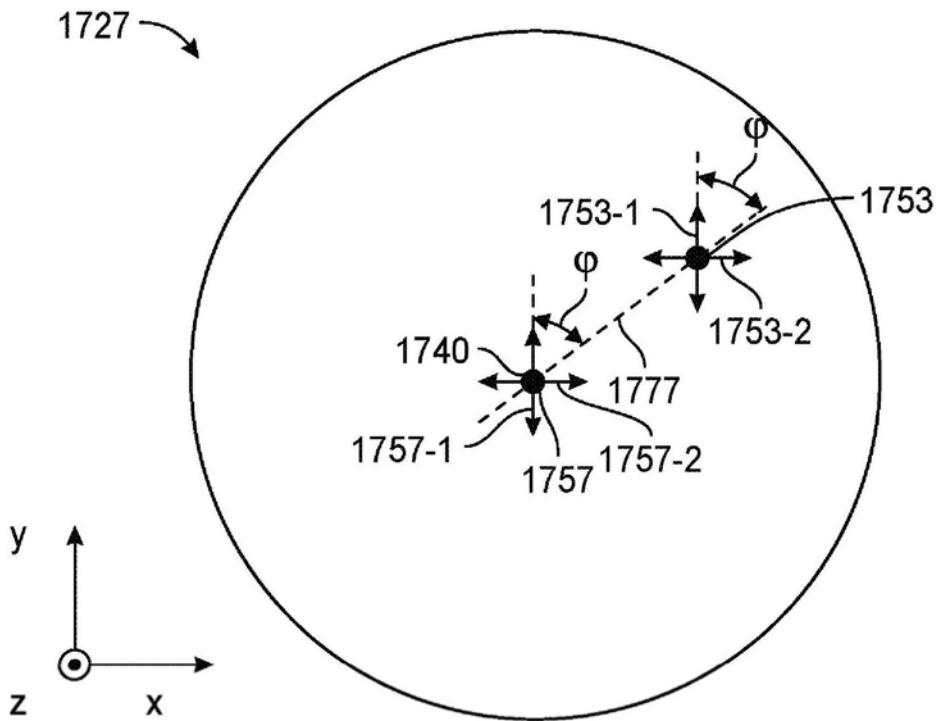


图9C



图10A



图10B

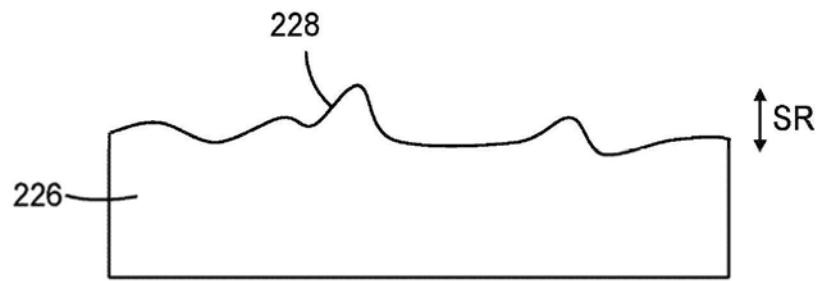


图11

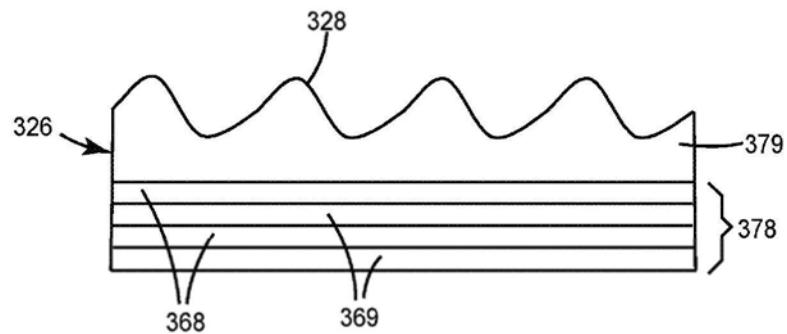


图12

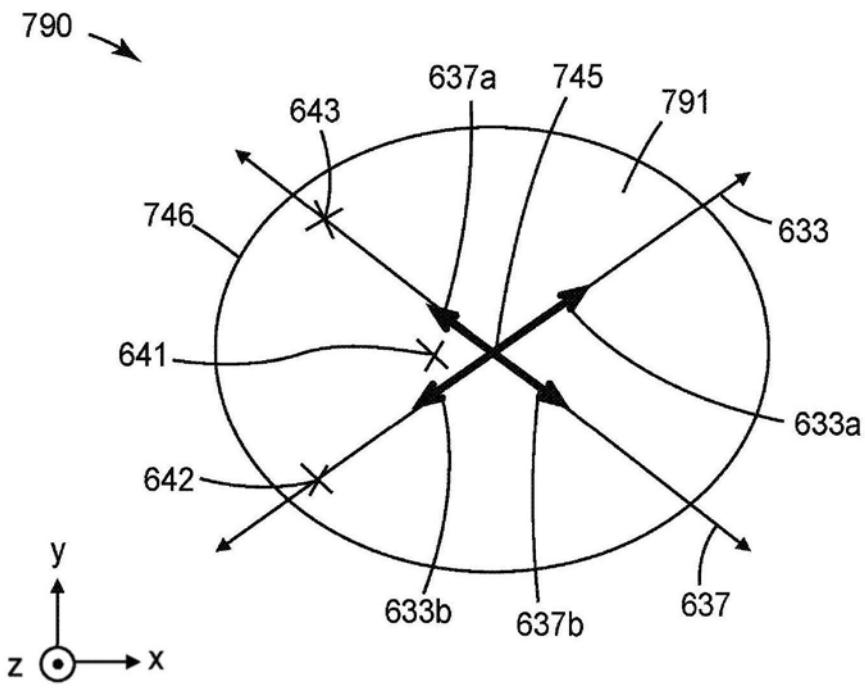


图13

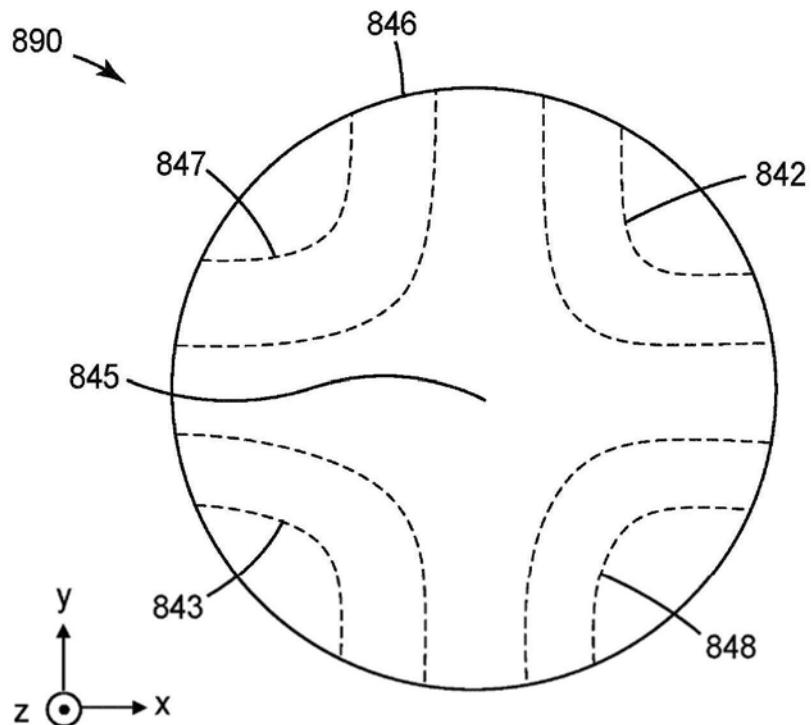


图14