

光学系统及显示装置

5 本申请要求于 2023 年 12 月 29 日递交的中国专利申请第 202311865201.3 号的优先权，在此全文引用上述中国专利申请公开的内容以作为本申请的一部分。

技术领域

本公开至少一个实施例涉及一种光学系统及显示装置。

10 背景技术

随着虚拟现实（Virtual Reality，VR）技术的快速发展，在众多显示设备中，头戴式显示器（Head Mounted Display，HMD）因其拥有高沉浸感、便携且无需手持的特点而受到人们的青睐。作为虚拟现实设备的重要组件之一，头戴式显示器的性能是影响虚拟现实设备成像质量和成本的关键因素。

15

发明内容

本公开至少一个实施例提供一种光学系统和显示装置。

20 本公开至少一个实施例提供一种光学系统，包括：镜片组件，包括至少两个镜片，所述至少两个镜片包括沿所述镜片组件的光轴方向依次排列的第一表面、第二表面、第三表面以及第四表面；透反膜，设置在所述第四表面远离所述第三表面的一侧；偏振反射层，设置在所述第三表面远离所述第四表面的一侧；相位延迟膜，位于所述第四表面远离所述透反膜的一侧；以及胶层，包括胶层透镜；其中，所述第一表面和所述第二表面中的至少一者为菲涅尔面，所述胶层胶合于所述第二表面与所述第三表面之间。

25 例如，根据本公开的至少一实施例，所述第一表面和所述第二表面与所述光轴相交的两个交点之间的距离为第一距离；所述胶层透镜的中心厚度与所述第一距离的比值为 1/6~2。

例如，根据本公开的至少一实施例，所述胶层透镜的中心厚度为 0.5 毫米~3 毫米。

30 例如，根据本公开的至少一实施例，所述至少两个镜片包括沿所述光轴方向排列的第一镜片和第二镜片，所述第一镜片包括所述第一表面和所述第二表面，所述第二镜片包括所述第三表面和所述第四表面；所述第一镜片的光焦度与所述胶层透镜的光焦度的其中一者为正值，且其中之另一为负值。

例如，根据本公开的至少一实施例，所述第一镜片的光焦度与所述第一镜片的色散系数的比值为第一比值，所述胶层透镜的光焦度与所述胶层透镜的色散系数的比值为第二比值；所述第一比值与所述第二比值之和小于 0。

例如, 根据本公开的至少一实施例, 所述第一镜片的折射率小于所述胶层透镜的折射率, 所述第二镜片的折射率小于所述胶层透镜的折射率, 且所述第一镜片的折射率小于或等于所述第二镜片的折射率。

例如, 根据本公开的至少一实施例, 所述第一镜片的色散系数大于所述胶层透镜的色散系数, 所述第二镜片的色散系数大于所述胶层透镜的色散系数, 且所述第一镜片的色散系数大于或等于所述第二镜片的色散系数。

例如, 根据本公开的至少一实施例, 所述第一镜片的折射率大于所述胶层透镜的折射率, 所述第一镜片的折射率大于所述第二镜片的折射率。

例如, 根据本公开的至少一实施例, 所述第一镜片的色散系数小于所述胶层透镜的色散系数, 且所述第一镜片的色散系数小于所述第二镜片的色散系数。

例如, 根据本公开的至少一实施例, 所述第一镜片的中心厚度与边缘厚度的比值为第三比值, 所述第二镜片的中心厚度与边缘厚度的比值为第四比值; 所述第三比值和所述第四比值的至少之一大于 1 且小于 3。

例如, 根据本公开的至少一实施例, 所述第二表面为平面菲涅尔面或曲面菲涅尔面。

例如, 根据本公开的至少一实施例, 所述第二表面为凸面, 所述胶层透镜的中心厚度小于边缘厚度。

例如, 根据本公开的至少一实施例, 所述第二表面为凸面, 所述第二表面的曲率半径的绝对值小于所述第三表面的曲率半径的绝对值。

例如, 根据本公开的至少一实施例, 所述第二表面为凸面, 所述第二表面的曲率半径与所述光学系统的有效焦距的比值为-0.5~-2。

例如, 根据本公开的至少一实施例, 所述第二表面为凹面, 所述胶层透镜的中心厚度大于边缘厚度。

例如, 根据本公开的至少一实施例, 所述第一表面和所述第二表面与所述光轴相交的两个交点之间的距离为第一距离; 所述第三表面和所述第四表面与所述光轴相交的两个交点之间的距离为第二距离; 所述第二距离与所述第一距离的比值为 2~4。

例如, 根据本公开的至少一实施例, 所述第一距离与所述光学系统的有效焦距的比值为 0.1~0.3, 所述第二距离与所述光学系统的有效焦距的比值为 0.5~0.7。

例如, 根据本公开的至少一实施例, 所述第一表面为平面; 或者所述第一表面为凸面, 所述第一表面的曲率半径与所述光学系统的有效焦距的比值为-40~-50, 所述第一表面的圆锥系数为-10~0。

例如, 根据本公开的至少一实施例, 所述第三表面为平面; 或者所述第三表面为凹面, 所述第三表面的曲率半径与所述光学系统的有效焦距的比值为-3~-4, 所述第三表面的圆锥系数为-10~-1。

例如，根据本公开的至少一实施例，所述第四表面为凸面，所述第四表面的曲率半径与所述光学系统的有效焦距的比值为-2~-3，所述第四表面的圆锥系数为-10~-1。

例如，根据本公开的至少一实施例，所述至少两个镜片包括沿所述光轴方向依次排列的第一镜片、第二镜片和第三镜片；所述第一镜片包括所述第一表面和所述第二表面，所述第二镜片包括所述第三表面，所述第三镜片包括所述第四表面；所述第二镜片还包括与所述第三表面相对的第五表面，所述第三镜片还包括位于所述第五表面和所述第四表面之间的第六表面；所述第五表面与所述第六表面的面型一致；其中，所述第一镜片的光焦度与所述胶层透镜的光焦度的其中一者为正值，且其中之另一为负值；和/或，所述第一镜片、所述第二镜片中的至少一者的色散系数与所述胶层透镜的色散系数不同。

本公开至少一个实施例提供一种显示装置，包括上述任一实施例所述的光学系统。

附图说明

为了更清楚地说明本公开实施例的技术方案，下面将对实施例的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅涉及本公开的一些实施例，而非对本公开的限制。

图 1 为本公开至少一个实施例中一示例所提供的光学系统。

图 2A 为图 1 所示光学系统的点列图。

图 2B 为图 1 所示光学系统的弥散斑尺寸随视场角变化的曲线图。

图 2C 为图 1 所示光学系统的垂轴色差图。

图 2D 为图 1 所示光学系统的畸变图。

图 3 为本公开至少一个实施例中一示例所提供的光学系统。

图 4A 为一种单片透镜的光线偏折示意图。

图 4B 为本公开至少一个实施例中一示例的光线偏折示意图。

图 5 至图 9 为本公开至少一个实施例中不同示例所提供的光学系统。

图 10 为本公开至少一个实施例中一示例所提供的显示装置。

具体实施方式

为使本公开实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本公开实施例的附图，对本公开实施例的技术方案进行清楚、完整地描述。显然，所描述的实施例是本公开的一部分实施例，而不是全部的实施例。基于所描述的本公开的实施例，本领域普通技术人员在无需创造性劳动的前提下所获得的所有其它实施例，都属于本公开保护的范围。

除非另外定义，本公开使用的技术术语或者科学术语应当为本公开所属领域内具有一般技能的人士所理解的通常意义。本公开中使用的“第一”、“第二”以及类似的词语并不表示任何顺序、数量或者重要性，而只是用来区分不同的组成部分。“包括”或者“包含”等类似的词

语意指出现该词前面的元件或者物件涵盖出现在该词后面列举的元件或者物件及其等同，而不排除其他元件或者物件。

本公开中使用的“垂直”、“平行”以及“相同”等特征均包括严格意义的“垂直”、“平行”、“相同”等特征，以及“大致垂直”、“大致平行”、“大致相同”等包含一定误差的情况，考虑到
5 测量和与特定量的测量相关的误差（也就是，测量系统的限制），表示在本领域的普通技术人员所确定的对于特定值的可接受的偏差范围内。本公开实施例中的“中心”可以包括严格的位于几何中心的位置以及位于几何中心周围一小区域内的大致中心的位置。例如，“大致”能够表示在一个或多个标准偏差内，或者在所述值的 10% 或者 5% 内。

在近眼显示光学系统中，尤其是在一些采用英寸级别或更小尺寸的 4K 高清显示屏结合
10 大视场角的头戴显示光学系统中，低色散是保证成像清晰度、提高沉浸感体验的前提之一。在一些光学系统中，可以在后期采用数字校正色差的方式，降低光学系统的固有色差对光学性能产生的影响。在研究中，本申请的发明人发现，与采用数字校正色差的方式相比，通过在光学系统的早期研发阶段，采用光学设计的方法消除色差，能够更为根本地解决色差问题。

本公开至少一个实施例提供一种光学系统，包括：镜片组件，包括至少两个镜片，至少
15 两个镜片包括沿镜片组件的光轴方向依次排列的第一表面、第二表面、第三表面以及第四表面；透反膜，设置在第四表面远离第三表面的一侧；偏振反射层，设置在第三表面远离第四表面的一侧；相位延迟膜，位于第四表面远离透反膜的一侧；以及胶层，包括胶层透镜；其中，第一表面和第二表面中的至少一者为菲涅尔面，胶层胶合于第二表面与第三表面之间。

本公开至少一个实施例提供一种显示装置，包括上述的光学系统。

20 本公开至少一个实施例提供的光学系统和显示装置，通过设置包括至少两个镜片的镜片组件，为透反膜、偏振反射层和相位延迟膜提供了贴附位置，使得光线能够在透反膜和偏振反射层之间发生折返。胶合在第二表面和第三表面之间的胶层包括胶层透镜，能够与菲涅尔面共同对光线进行折射而校正色差。此外，光线从偏振反射层出射后进入菲涅尔面，光线在折返过程中不会通过菲涅尔面，减少了杂散光。

25 下面结合附图并通过一些实施例对光学系统和显示装置进行说明。

图 1 为本公开至少一个实施例中一示例所提供的光学系统。

参考图 1，本公开至少一个实施例提供一种光学系统，光学系统包括镜片组件 100，镜片组件 100 包括透反膜 200、偏振反射层 300、相位延迟膜 400 以及胶层。镜片组件 100 包括至少两个镜片。例如，如图 1 所示，镜片组件 100 可以由镜片 110 和镜片 120 这两片镜片
30 组合而成。例如，胶层为透光胶层。

如图 1 所示，至少两个镜片包括沿镜片组件 100 的光轴 OA 方向依次排列的第一表面 101、第二表面 102、第三表面 103 以及第四表面 104。例如，第一表面 101 远离第四表面 104 的一侧为光学系统的出光侧。例如，在光学系统应用于显示装置时，显示屏可以位于光学系

统的第四表面 104 远离第一表面 101 的一侧,显示屏出射的光线从第四表面 104 进入并从第一表面 101 射出。

如图 1 所示,透反膜 200 设置在第四表面 104 远离第三表面 103 的一侧。偏振反射层 300 设置在第三表面 103 远离第四表面 104 的一侧。相位延迟膜 400 位于第四表面 104 远离透反膜 200 的一侧。例如,经透反膜 200 的透射后入射到镜片组件 100 的光线被配置为在透反膜 200 与偏振反射层 300 之间折返,并从偏振反射层 300 出射,从而通过偏振反射层 300、透反膜 200 和相位延迟膜 400 形成了折叠光路。

如图 1 所示,胶层包括胶层透镜 130,胶层胶合于第二表面 102 与第三表面 103 之间。例如,胶层具有粘性,从而能够胶合在第二表面 102 和第三表面 103 之间。此外,胶层还包括位于第二表面 102 和第三表面 103 之间的胶层透镜 130,该胶层透镜为采用胶层形成的透镜,从而利用胶层透镜 130 与镜片之间的材料差异,而使光线在入射胶层透镜 130 时或是从胶层透镜 130 出射时能够发生折射,以校正色差。

如图 1 所示,第一表面 101 和第二表面 102 中的至少一者为菲涅尔面。菲涅尔面是指菲涅尔透镜相对的两个表面中非光滑的一侧表面。例如,第一表面 101 与第二表面 102 可以作为一个镜片的相对两个表面,则该镜片可以为菲涅尔透镜。菲涅尔透镜(Fresnel lens)又名螺旋纹透镜,菲涅尔透镜的一侧表面为光面,另一面划分有多个同心圆纹路(也即菲涅尔带),通过这些纹路能够改变光线折射的曲折程度,使得菲涅尔透镜在短焦距的情况下,有效地减小透镜的厚度。

例如,参考图 1,可以将第二表面 102 设置为菲涅尔面。例如,胶层可以选择硬度较低的材料,通过设置菲涅尔面与胶层相接合,一方面能够提高胶层与胶层两侧的镜片之间的粘合强度,另一方面还能够通过胶层对外部应力进行缓冲,防止菲涅尔面的齿形结构受到损伤。此外,将第二表面 102 设置为菲涅尔面,能够通过菲涅尔面的齿形结构,减少第二表面 102 与第三表面 103 之间的胶层材料用量,从而降低成本。而且,在第一表面 101 为光滑表面(未设置菲涅尔面)时,能够便于进行膜层的贴附。例如,可以在第一表面 101 贴附抗反射膜。

例如,在其他示例中,可以将第一表面设置为菲涅尔面(图中未示出)。例如,在其他示例中,可以将第一表面和第二表面均设置为菲涅尔面(图中未示出)。本公开对此均不做限制。

本公开提供的光学系统,通过设置至少两个镜片的镜片组件,为透反膜、偏振反射层和相位延迟膜提供了贴附位置,使得光线能够在透反膜和偏振反射层之间发生折返。胶合在第二表面和第三表面之间的胶层包括胶层透镜,能够与菲涅尔面共同对光线进行折射而校正色差。同时,菲涅尔面有利于提高设计自由度,而且光线从偏振反射层出射后进入菲涅尔面,光线在折返过程中不会通过菲涅尔面,减少了杂散光。

在一些光学系统中，还可以在光线的折返光路中引入菲涅尔面，并在菲涅尔面的两侧采用不同的光学材料。例如，可以在透反膜与偏振反射层之间引入菲涅尔面，从而利用不同的光学材料的不同折射率和不同色散系数，结合菲涅尔面的折射作用，共同对色差进行校正。

例如，胶层的材料可以包括光学胶。例如，镜片组件的材料可以包括光学级透明无机聚
5 合物或玻璃。由此，胶层透镜与其两侧镜片的材料不同，能够通过不同材料的折射率差异、色散系数差异，从而对色差进行校正。例如，胶层的材料还可以包括硅胶材料，硅胶材料较好的流动性会更利于工艺。

例如，参考图 1，光学系统还包括线偏振膜 500，线偏振膜 500 设置在偏振反射层 300 远离透反膜 200 的一侧。例如，胶层可以胶合在线偏振膜 500 与第二表面 102 之间。例如，
10 线偏振膜 500 可以为线偏振片或起偏器。例如，线偏振膜 500 的光轴 OA 与偏振反射层 300 的光轴 OA 重合，如线偏振膜 500 可以用于进一步过滤其他杂光，只允许通过线偏振膜 500 的偏振光（如 s 线偏振光）进入人眼。例如，线偏振膜可以采用三层叠层结构，三层叠层结构中的中间层可以为添加了二向色性分子的聚乙烯醇（PVA），三层叠层结构中位于中间层两侧的至少一层可以为三醋酸纤维酯（TAC）。例如，线偏振膜朝向空气的表面做抗反射处
15 理。例如，线偏振膜朝向空气的表面可以贴合蛾眼膜。

例如，参考图 1，透反膜 200 被配置为透射部分光线，反射另一部分光线。例如，透反膜的透射率可以为 50%，反射率可以为 50%。例如，透反膜的透射率可以为 60%，反射率可以为 40%。例如，透反膜的透射率可以为 65%，反射率可以为 35%。本公开提供的光学系统
20 不限于此，透反膜的透射率和反射率可以根据产品需求进行设置。例如，透反膜可以镀在第四表面上。

例如，参考图 1，偏振反射层 300 的功能如下：膜层平面内存在一个光轴 OA 方向，入射光平行于该光轴 OA 方向的偏振分量（如 s 线偏振光）的透过率大于垂直于该光轴 OA 方向的偏振分量（如 p 线偏振光）的透过率，且平行于该光轴 OA 方向的偏振分量（如 s 线偏振光）的反射率小于垂直于该光轴 OA 方向的偏振分量（如 p 线偏振光）的反射率。例如，
25 平行于偏振反射层的光轴方向的偏振光的透过率不小于 85%，如不小于 90%，如不小于 95%，如不小于 98%；垂直于偏振反射层的光轴方向的偏振光的反射率不小于 85%，如不小于 90%，如不小于 95%，如不小于 98%。

例如，参考图 1，偏振反射层 300 配置为反射一种特性的线偏振光，透射另一种特性的线偏振光；偏振反射层 300 可以设置在第三表面 103 远离第四表面 104 的一侧，相位延迟膜
30 400 可以设置在偏振反射层 300 与透反膜 200 之间。例如，偏振反射层也可以称为偏振分束膜。例如，偏振反射层还可以包括多层膜反射式偏光片（Advanced Polarizer Film，APF）。例如，偏振反射层还可以包括 IQPS（Image Quality Polarizer Standard）膜或 IQPE（Image Quality Polarizer Enhanced）膜。

例如，偏振反射层为胆甾型液晶层（图中未示出），相位延迟膜设置在胆甾型液晶层远离透反膜的一侧。例如，胆甾型液晶能够反射圆偏振光、透射圆偏振光。参考前述折叠光路原理，胆甾型液晶层设置在相位延迟膜与透反膜之间。位于第二镜片远离第一镜片一侧的显示屏的显示面侧可以设置波片，从显示屏出射的图像光经过波片后转换为右旋圆偏振光，右旋圆偏振光入射到透反膜，右旋圆偏振光经过透反膜的透射后偏振状态不变。该右旋圆偏振光经过胆甾型液晶层后被反射回透反膜，此处发生第一次反射；该右旋圆偏振光在透反膜处被反射，此处发生了第二次反射。由于半波损失，反射的光由右旋圆偏振光变为左旋圆偏振光，该左旋圆偏振光经过胆甾型液晶层的透射后到达相位延迟膜，并被相位延迟膜转变为 s 线偏振光，然后该 s 线偏振光经过线偏振膜透射后射向人眼。

10 例如，参考图 1，相位延迟膜 400 被配置为使得透过的光实现圆偏振状态和线偏振状态之间的转换。例如，相位延迟膜可以为 1/4 波片。例如，相位延迟膜 400 可以具有以下特征：膜层平面内存在折射率最低的一个方向和折射率最高的一个方向，分别为快轴和慢轴，平行于慢轴的偏振光在经过相位延迟膜后的相位比平行于快轴的偏振光在经过相位延迟膜后延迟了 1/4 波长。例如，相位延迟膜的慢轴与偏振反射层的光轴之间的夹角为 45 度。

15 例如，参考图 1，相位延迟膜 400 的材料可以包括液晶聚合物。液晶聚合物材料的相位延迟膜膜厚相对更薄，可达 $1\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ 。更薄的相位延迟膜对于曲面的适应程度也就更高，能够更为容易地根据曲面的面型塑形，降低了与曲面贴合时产生褶皱而影响相位延迟精度和光学性能的可能性。而且，采用液晶聚合物材料的相位延迟膜贴附在曲面后发生的光学偏移更小。液晶聚合物为交联体系，分子间由化学键连结，模量较高，在将该材料的相位延迟膜
20 贴合后受到拉伸的情况下，仅发生弹性形变，而不会发生分子的伸展、重排等强烈光学各向异性的效应。因此，采用液晶聚合物材料的相位延迟膜适合于小曲率半径的面型的贴合。如此的曲率半径自由度也更易于满足清晰度、畸变、色散等的指标要求，有利于光学系统得到更佳的像质。

例如，光学系统可以包括第一光学元件和第二光学元件，第一光学元件可以包括第一表面和第二表面，第二光学元件可以包括第三表面和第四表面。第二光学元件还可以包括透反膜、偏振反射层和相位延迟膜，透反膜、偏振反射层和相位延迟膜的设置方式可以参考前述示例，在此不再赘述。由此，可以通过第二光学元件实现光线的折返。

例如，胶层透镜可以胶合于第一光学元件和第二光学元件之间。可以理解的是，根据偏振反射层、相位延迟膜或其他膜层的不同设置位置，胶层可以胶合于第二表面和不同的膜层之间。例如，在第二光学元件中未设置线偏振膜，且相位延迟膜设置在偏振反射层和第三表面之间时，胶层可以胶合于偏振反射层与第二表面之间。例如，在第二光学元件中未设置线偏振膜，且相位延迟膜设置在偏振反射层（例如，偏振反射层为胆甾型液晶层）远离透反膜的一侧时，胶层可以胶合于相位延迟膜与第二表面之间。例如，在第二光学元件中设置有线

偏振膜时，胶层可以胶合于第二表面与线偏振膜之间。

例如，参考图 1，在光学系统应用于显示装置时，折叠光路原理如下：位于第四表面 104 远离第一表面 101 的一侧的显示屏的显示面的出光侧可以设置波片，从显示面出射的图像光经过波片后转换为右旋圆偏振光，右旋圆偏振光经过透反膜 200 的透射后偏振状态不变。该
5 光线进入中，且经透射后到达相位延迟膜 400，入射到相位延迟膜 400 的右旋圆偏振光转换为 p 线偏振光，p 线偏振光被偏振反射层 300 反射回相位延迟膜 400，此处发生了第一次反射。而后，p 线偏振光经过相位延迟膜 400 后转换为右旋圆偏振光，该右旋圆偏振光经过透射后到达透反膜 200，并在透反膜 200 处被反射，此处发生了第二次反射。由于半波损失，反射的光由右旋圆偏振光变为左旋圆偏振光。左旋圆偏振光经透射后到达相位延迟膜 400，
10 在透过相位延迟膜 400 后变成 s 线偏振光，然后该 s 线偏振光经过偏振反射层 300 透射后射向出射光瞳，如人眼。

上述折叠光路可以改变在偏振反射层 300 和透反膜 200 之间传播的光线的偏振态，实现光线的折叠，使得原本该光学系统的焦距因为设置上述偏振反射层 300、相位延迟膜 400 以及透反膜 200 而增加的例如两次反射而被折叠，从而大大压缩了人眼与光学系统之间所需的
15 空间，从而使光学系统体积更小更轻薄。

图 2A 为图 1 所示光学系统的点列图。图 2B 为图 1 所示光学系统的弥散斑尺寸随视场角变化的曲线图。

参考图 2A，点列图是指由一点发射出的许多光线经光学系统之后，因像差使其与像面的交点不再集中于同一点，而形成了一个散布在一定范围的弥散图形，可用于评价光学系统的
20 成像质量。图 2A 中，以左侧纵向上的第一组数值为例，0.00 表示的是 X 方向归一化视场，1.00 表示的是 Y 方向归一化视场，0.000 表示的是 X 方向视场角度，45.00 表示的是 Y 方向视场角度。图 2A 中，以右侧纵向上的第一组数值为例，RMS 表示的是弥散斑的弥散点到弥散斑质心（或者为弥散斑中心）的半径的均方根，100% 表示的是弥散斑的直径。图 2A 通常用于评价该光学系统的全视场清晰度，即当人眼瞳孔处于光轴 OA 上入瞳位置处且注视透镜
25 中心（即零视场）时，余光所能覆盖到的全视场范围的成像清晰度，也称为瞬态模式。除了要考虑在瞬态模式下的全视场清晰度，对于例如佩戴头戴显示器的佩戴者而言，注视点清晰度是更为重要的光学指标之一。注视点清晰度是指眼睛上下左右转动时，所能直接看到（而非余光看到）的某一角度范围内的画面清晰度。

在注视点模式下，眼球转动一定角度，瞳孔偏离光轴 OA 中心，其在光轴 OA 在 Z 方向
30 和 Y 方向有一定偏离，且通过瞳孔中心的主光线与 Z 轴有一定夹角。例如，该夹角的范围为 $\pm 35^\circ$ ，该夹角的范围设定考虑到人眼的观测习惯，为看清超出人眼中心 35° 范围以上的前方物体，人会主动转头而非费力转动眼球。参考图 2B，图 2B 示出了注视点清晰度和注视角度之间的关系，中心视场的弥散斑远小于一个像素，人眼转动到 20° 时的弥散斑直径

小于 5 微米。由图 2B 可知，本公开的光学系统的弥散斑较小，光学系统的分辨率较高。综上所述可知，本公开至少一个实施例提供的光学系统能够清晰成像。

图 2C 为图 1 所示光学系统的垂轴色差图。参考图 2C，垂轴色差图表示各波长相对于中心波长在成像面上不同像高处的高度差值，横轴表示各波长相对中心波长的垂轴色差值，纵轴表示归一化视场角。如图 2C 所示，R 光为红光，G 光为绿光，B 光为蓝光，R 光和 B 光位于人眼敏感区两端，G 光则位于其中接近人眼最敏感的谱线。从图 2C 中可以看出，B 光与 R 光的垂轴色差的绝对值控制在 0.05 毫米以内，且 B 光与 G 光的垂轴色差的绝对值控制在 0.025 毫米以内。由此可知，例如图 1 所示的光学系统能够极好地矫正边缘视场的色差以及整个像面的二级光谱。

图 2D 为图 1 所示光学系统的畸变图。参考图 2D，畸变图反应的是不同视场成清晰像的像面位置差异，参见图 2D 所示，最大畸变绝对值在 35% 以内。由此可知，本公开至少一实施例提供的光学系统能够较好地校正畸变，满足高质量成像要求。另外，畸变校正可以在软件中预先处理。

图 3 为本公开至少一个实施例中一示例所提供的光学系统。

图 3 所示光学系统与图 1 所示光学系统的不同之处在于，图 3 所示光学系统中的第二表面 102 和胶层透镜 130 与图 1 所示光学系统中的第二表面 102 和胶层透镜 130 不同。当然，图 3 所示光学系统与图 1 所示光学系统还可以存在有其他不同之处，如镜片的数量等，本公开对此均不做限制。例如，图 3 所示光学系统中的镜片数量可以与图 1 所示光学系统中的镜片数量不同，也可以相同。图 3 所示光学系统中的透反膜 200、偏振反射层 300、相位延迟膜 400、线偏振膜 500 可以与图 1 所示光学系统中的透反膜 200、偏振反射层 300、相位延迟膜 400、线偏振膜 500 具有相同的特征，在此不再赘述。

例如，图 1 所示的胶层透镜 130 为凹透镜，在图 1 所示的光学系统中，可以采用光学胶制作胶层透镜 130。例如，图 3 所示的胶层透镜 130 为凸透镜。在胶层透镜 130 为凸透镜时，胶层透镜 130 的中心厚度比边缘厚度更大，需要更多的材料。在图 3 所示的光学系统中，可以采用光学级硅胶材料制作胶层透镜 130，从而降低成本并利于加工。例如，胶层透镜 130 的中心厚度可以为胶层透镜 130 的相对两个表面与光轴 OA 相交的两个交点之间的距离。例如，图 1 所示的第二表面 102 为凸面。例如，图 3 所示的第二表面 102 为凹面。

参考图 1 和图 3，在一些示例中，第一表面 101 和第二表面 102 与光轴 OA 相交的两个交点之间的距离为第一距离 D1，胶层透镜 130 的中心厚度 d 与第一距离 D1 的比值可以为 $1/6 \sim 2$ 。通过设置胶层透镜 130 的中心厚度 d 与第一距离 D1 的比值，能够使得胶层充满于第二表面 102 和第三表面 103 之间。例如，在第二表面 102 为菲涅尔面时，能够使得胶层充满菲涅尔面的齿形结构，由此胶层透镜与第二表面 102 相胶合的一侧表面具有与第二表面 102 互补的面型。

例如，参考图 1，胶层透镜 130 的中心厚度 d 与第一距离 $D1$ 的比值可以为 $1/6 \sim 1/4$ 。例如，参考图 1，胶层透镜 130 的中心厚度 d 与第一距离 $D1$ 的比值可以为 $1/4 \sim 1/2$ 。例如，参考图 3，胶层透镜 130 的中心厚度 d 与第一距离 $D1$ 的比值可以为 $1/2 \sim 2$ 。

5 在一些光学系统中，用于胶合两个镜片的胶层通常为较薄的胶层，胶层的厚度通常为十几微米至几十微米。参考图 1 和图 3，在一些示例中，胶层透镜 130 的中心厚度 d 可以为 0.5 毫米~3 毫米。通过设置更厚的胶层，能够使胶层充满于第二表面 102 和第三表面 103 之间。例如，在第二表面 102 为菲涅尔面时，能够使得胶层充满菲涅尔面的齿形结构。例如，参考图 1，胶层透镜 130 的中心厚度 d 可以为 0.5 毫米~0.8 毫米。例如，参考图 1，胶层透镜 130 的中心厚度 d 可以为 0.8 毫米~1 毫米。例如，参考图 3，胶层透镜 130 的中心厚度 d 可以为 1 毫米~1.5 毫米。例如，参考图 3，胶层透镜 130 的中心厚度 d 可以为 1.5 毫米~2 毫米。例如，参考图 3，胶层透镜 130 的中心厚度 d 可以为 2 毫米~2.5 毫米。例如，参考图 3，胶层透镜 130 的中心厚度 d 可以为 2.5 毫米~3 毫米。

参考图 1 和图 3，在一些示例中，至少两个镜片包括沿光轴 OA 方向排列的第一镜片 110 和第二镜片 120，第一镜片 110 包括第一表面 101 和第二表面 102，第二镜片 120 包括第三表面 103 和第四表面 104。例如，镜片组件 100 可以由第一镜片 110 和第二镜片 120 组成。

参考图 1 和图 3，例如，可以在注塑加工形成第一镜片 110 和第二镜片 120 后，将其中一个镜片（例如，第一镜片 110）放入模具的限位圈内后灌胶，限位圈内可设置有台阶部，以在限位镜片的同时限制灌注的胶量，防止胶量过多或过少。以第一镜片 110 的第二表面 102 为菲涅尔面为例，在灌胶时，需要确保胶体充满菲涅尔面上齿形结构的齿间间隙。之后，可以将另一个镜片（例如，第二镜片 120）置于限位圈的台阶部上，并施加压力，使得多余的胶体能够从限位圈上开设的排胶孔排出。同时，排胶孔还可同时用于排出胶体内部的气体。在排出多余的胶体后，可以通过加温或是紫外照射的方式，实现胶合固定。

参考图 1 和图 3，在一些示例中，第一表面 101 和第二表面 102 与光轴 OA 相交的两个交点之间的距离为第一距离 $D1$ ，第三表面 103 和第四表面 104 与光轴 OA 相交的两个交点之间的距离为第二距离 $D2$ 。例如，第一距离 $D1$ 为第一镜片 110 的中心厚度，第二距离 $D2$ 为第二镜片 120 的中心厚度。第二距离 $D2$ 与第一距离 $D1$ 的比值可以为 $2 \sim 4$ 。例如，第二距离 $D2$ 与第一距离 $D1$ 的比值可以为 $2.5 \sim 3.5$ 。例如，第二距离 $D2$ 与第一距离 $D1$ 的比值可以为 3。

参考图 1 和图 3，在一些示例中，第一距离 $D1$ 与光学系统的有效焦距的比值可以为 0.1~0.3。例如，第一距离 $D1$ 与光学系统的有效焦距的比值可以为 $0.15 \sim 0.25$ 。例如，第一距离 $D1$ 与光学系统的有效焦距的比值可以为 1.2。在一些示例中，第二距离 $D2$ 与光学系统的有效焦距的比值可以为 $0.5 \sim 0.7$ 。例如，第二距离 $D2$ 与光学系统的有效焦距的比值可以为 $0.55 \sim 0.65$ 。例如，第二距离 $D2$ 与光学系统的有效焦距的比值可以为 0.6。

参考图 1 和图 3, 在一些示例中, 第一镜片 110 的光焦度与胶层透镜 130 的光焦度的其中一者为正值, 且其中之另一为负值。由此, 通过设置第一镜片 110 的光焦度与胶层透镜 130 的光焦度互为正负值, 能够对色差进行校正。

图 4A 为一种单片透镜的光线偏折示意图。图 4B 为本公开至少一个实施例中一示例的光线偏折示意图。下面, 以入射光学系统的光线发生一次折射为示例, 对色差校正进行说明。

图 4A 示意出了光线在单透镜中发生偏折的情况。如图 4A 所示, 单透镜 L 为凸透镜, 以远离目标面 S0 的一侧为入光侧, 也即光线从图 4A 的左侧进入单透镜 L, 并在经过折射后从单透镜 L 出射至目标面 S0 上。在白光 (如图 4A 所示的实线) 入射单透镜 L 后, 白光发生色散, 分解为波长不同的单色光。图 4A 以短划线示意波长较长的红光 R, 以点线示意波长较短的蓝光 B。如图 4A 可知, 蓝光 B 的波长较短, 红光 R 的波长较长, 在通过单透镜 L 后会导致在目标面 S0 上难以会聚。

图 4B 示意出了在镜片组件中镜片 L1 的光焦度和镜片 L2 的光焦度互为正负时, 光线在光学系统中发生偏折的情况。如图 4B 所示, 以远离目标面 S0 的一侧为入光侧, 也即光线从图 4B 的左侧进入镜片组件, 并在经过折射后从镜片组件出射至目标面 S0 上。在白光 (如图 4B 所示的实线) 入射镜片组件后, 白光发生色散, 分解为波长不同的单色光。图 4B 以短划线示意波长较长的红光 R, 以点线示意波长较短的蓝光 B。通过将镜片 L1 的光焦度与镜片 L2 的光焦度设置为一正一负, 使得红光 R 和蓝光 B 的偏折角度发生变化, 最终使得红光 R 和蓝光 B 能够在目标面 S0 上会聚。

例如, 参考图 4B, 镜片 L1 为凸透镜, 光焦度为正, 镜片 L2 为凹透镜, 光焦度为负。在入射光线进入镜片 L1 发生色散后, 波长相对更短的蓝光 B 相比红光 R 更偏向光轴 OA。由于镜片 L2 的光焦度为负, 在光线从镜片 L2 出射后, 能够使得红光 R 与蓝光 B 在目标面 S0 上会聚, 从而达到校正色差的目的。

例如, 参考图 1, 第一镜片 110 可以为凸透镜, 胶层透镜 130 可以为凹透镜, 以使第一镜片 110 的光焦度为正且胶层透镜 130 的光焦度为负, 从而校正色差。而且, 凹透镜的胶层透镜 130, 胶层材料的用量更少。例如, 第一镜片 110 的第二表面 102 为菲涅尔面, 胶层将菲涅尔面和第二镜片 120 胶合在一起, 从而通过菲涅尔面的齿型结构减少胶层的用量, 从而降低成本。此外, 将第一镜片 110 设置为凸透镜, 同时将胶层透镜 130 设置为凹透镜, 还能够使得光学系统更为轻薄。

例如, 参考图 3, 第一镜片 110 可以为凹透镜, 胶层透镜 130 可以为凸透镜, 以使第一镜片 110 的光焦度为负且胶层透镜 130 的光焦度为正, 从而校正色差。而且, 凸透镜的胶层透镜 130 的中心厚度更厚, 能够保证第一镜片 110 的中心与第二镜片 120 的中心之间设置有胶层。

在一些示例中, 参考图 1, 第一镜片 110 的光焦度与第一镜片 110 的色散系数的比值为

第一比值，胶层透镜 130 的光焦度与胶层透镜 130 的色散系数的比值为第二比值。第一比值与第二比值之和小于 0。由此，能够利用第一镜片 110 与胶层透镜的正负光焦度组合校正色差，同时，还能够通过第一镜片 110 与胶层透镜的光焦度余量，对第二镜片 120 的至少部分光焦度进行抵消，使得色差的校正效果更好。

- 5 在一些示例中，参考图 1，第一镜片 110 的折射率小于胶层透镜 130 的折射率，第二镜片 120 的折射率小于胶层透镜 130 的折射率，且第一镜片 110 的折射率小于或等于第二镜片 120 的折射率。通过将第一镜片 110、第二镜片 120 和胶层透镜 130 设置为不同的折射率，能够在白光色散后不同波长的光线（例如红光、蓝光）的偏折角度发生变化，使得不同波长的光线能够在从镜片组件 100 中出射后会聚，从而对色差进行校正。而且，第一镜片 110 的折射率可以与第二镜片 120 的折射率较为相近，光线发生的偏折是在折射率差异较小的第一镜片 110 和第二镜片 120 中进行，光线的反射损失小于镜片与空气界面的反射损失的 2%，提高了光学效率。

- 15 由于同一透明介质对不同波长的光存在折射率的差异，而白光又是由不同波长的各色光组成的，因此透明介质在折射白光时会发生色散现象。色散系数（又称阿贝数）是用以表示透明介质色散能力的指数，用以衡量透明介质的光线色散程度。一般来说，介质的折射率越大，色散越严重，阿贝数越小；反之，介质的折射率越小，色散越轻微，阿贝数越大。

- 20 在一些示例中，参考图 1，第一镜片 110 的色散系数大于胶层透镜 130 的色散系数，第二镜片 120 的色散系数大于胶层透镜 130 的色散系数，且第一镜片 110 的色散系数大于或等于第二镜片 120 的色散系数。通过将第一镜片 110、第二镜片 120 和胶层透镜 130 设置为不同的色散系数，能够在白光色散后不同波长的光线（例如红光、蓝光）的偏折角度发生变化，使得不同波长的光线能够在从镜片组件 100 中出射后会聚，从而对色差进行校正。

例如，参考图 1，可以将第一镜片 110 的色散系数设置为远大于胶层透镜 130 的色散系数，将第二镜片 120 的色散系数设置为远大于胶层透镜 130 的色散系数，且设置第一镜片 110 的色散系数大于或等于第二镜片 120 的色散系数。

- 25 在一些示例中，参考图 3，第一镜片 110 的折射率大于胶层透镜 130 的折射率，第一镜片 110 的折射率大于第二镜片 120 的折射率。通过将第一镜片 110、第二镜片 120 和胶层透镜 130 设置为不同的折射率，能够在白光色散后不同波长的光线（例如红光、蓝光）的偏折角度发生变化，使得不同波长的光线能够在从镜片组件 100 中出射后会聚，从而对色差进行校正。

- 30 例如，参考图 3，可以将第一镜片 110 的折射率设置为大于胶层透镜 130 的折射率，同时，第二镜片 120 的折射率设置为与胶层透镜 130 的折射率较为相近，以利于校正色差。

在一些示例中，参考图 3，第一镜片 110 的色散系数小于胶层透镜 130 的色散系数，且第一镜片 110 的色散系数小于第二镜片 120 的色散系数。通过将第一镜片 110、第二镜片 120

和胶层透镜 130 设置为不同的色散系数，能够在白光色散后不同波长的光线（例如红光、蓝光）的偏折角度发生变化，使得不同波长的光线能够在从镜片组件 100 中出射后会聚，从而对色差进行校正。

例如，参考图 3，可以第一镜片 110 的色散系数设置为远小于胶层透镜 130 的色散系数，
5 同时，第二镜片 120 的色散系数设置为与胶层透镜 130 的色散系数较为相近，以利于校正色差。

例如，参考图 1 或图 3，第一镜片 110 的色散系数可以为 50~60。例如，第一镜片的色散系数可以为 54~56。例如，胶层透镜 130 的色散系数可以为 30~40。例如，胶层透镜的色散系数可以为 34~36。例如，第二镜片的色散系数可以为 50~60。例如，第二镜片的色散系数可以为 55~57。例如，第二镜片的色散系数可以为 56.5。
10

例如，参考图 1 或图 3，第一镜片 110 的折射率可以为 1.4~1.5。例如，第一镜片的折射率可以为 1.41~1.49。例如，第一镜片的折射率可以为 1.42~1.48。例如，第一镜片的折射率可以为 1.45。例如，第二镜片 120 的折射率可以为 1.5~1.6。例如，第二镜片的折射率可以为 1.54~1.56。例如，第一镜片的折射率可以为 1.49，第二镜片的折射率可以为 1.54。例如，胶层透镜的折射率可以为 1.5~1.6。例如，胶层透镜的折射率可以为 1.53~1.57。
15

例如，参考图 1 或图 3，在光线从第二镜片 120 出射后，外界空气的折射率可以为 1.52，色散系数可以为 64。

在一些示例中，参考图 1 或图 3，第一镜片 110 的中心厚度与边缘厚度的比值为第三比值，第二镜片 120 的中心厚度与边缘厚度的比值为第四比值；第三比值和第四比值的至少之一大于 1 且小于 3。例如，第一镜片的中心厚度与边缘厚度的比值可以为 1~3。例如，第一镜片的中心厚度与边缘厚度的比值可以为 2~2.5。例如，第二镜片 120 的中心厚度与边缘厚度的比值可以为 1~3。例如，第二镜片的中心厚度与边缘厚度的比值可以为 2~2.5。通过对上述各镜片的中心厚度与边缘厚度的比例关系进行设置，有利于保证各镜片的注塑成型。
20

在一些示例中，第一表面可以为平面。例如，参考图 1，可以将第二表面 102 设置为凸面，使得第一镜片 110 为凸透镜，同时使得胶层透镜 130 为凹透镜，从而校正色差。例如，参考图 3，可以将第二表面 102 设置为凹面，使得第一镜片 110 为凹透镜，同时使得胶层透镜 130 为凸透镜，从而校正色差。
25

图 5 为本公开至少一个实施例一中示例所提供的光学系统。

图 5 所示光学系统与图 1 所示光学系统的不同之处在于，图 5 所示光学系统中的第一表面 101 与图 1 所示光学系统中的第一表面 101 不同。当然，图 5 所示光学系统与图 1 所示光学系统还可以存在有其他不同之处，如镜片的数量等，本公开对此均不做限制。例如，图 5 所示光学系统中的镜片数量可以与图 1 所示光学系统中的镜片数量不同，也可以相同。图 5 所示光学系统中的透反膜 200、偏振反射层 300、相位延迟膜 400、线偏振膜 500 可以与图 1
30

所示光学系统中的透反膜 200、偏振反射层 300、相位延迟膜 400、线偏振膜 500 具有相同的特征，在此不再赘述。

在一些示例中，参考图 5，第一表面 101 可以为凸面。例如，可以将第二表面 102 设置为凸面，使得第一镜片 110 为凸透镜，同时使得胶层透镜 130 为凹透镜，从而校正色差。

5 例如，第一表面 101 可以为非球面，如可以用下列数值公式表示：

$$z = \frac{CY^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k)C^2Y^2}} + \sum_{i=2}^N \alpha_i Y^{2i}$$

10 例如，上述公式中非球面沿垂直于光轴 OA 的方向的高度是 Y，从非球面顶点到非球面上高度为 Y 处在光轴 OA 上的投影之间的距离是 z，即，z 是沿光轴 OA 方向的坐标；C 是曲率（曲率半径 R 的倒数），k 是圆锥系数（Conic Constant）， α_i 是各高次项的系数，2i 是非球面的高次方（the order of Aspherical Coefficient）。

在实际优化镜片组件各参数的合理配置时，将镜片组件中各镜片的曲率半径、圆锥系数、高度以及非球面系数等值放入上述数值公式中，通过光学模拟计算以得到能够校正镜片组件中各镜片的像差的各个优化参数。通过优化过程得到镜片组件中各镜片的曲率半径、沿光轴 OA 的厚度、有效口径以及圆锥系数的优选值。

15 参考图 5，第一表面 101 的曲率半径与光学系统的有效焦距的比值可以为-40~-50，第一表面 101 的圆锥系数可以为-10~0。例如，第一表面的曲率半径与光学系统的有效焦距的比值可以为-42~-48。例如，第一表面的曲率半径与光学系统的有效焦距的比值可以为-44~-46。例如，第一表面的曲率半径与光学系统的有效焦距的比值可以为-45。例如，第一表面的圆锥系数可以为-9~-0.5。例如，第一表面的圆锥系数可以为-8~-2。例如，第一表面的圆锥系数可以
20 以为-6~-4。例如，第一表面的圆锥系数可以为-5。

当然，在其他一些示例中，还可以将第一表面设置为凹面，通过改变第二表面的面型参数，使得第一镜片为凸透镜或凹透镜，相应地，使得胶层透镜为凹透镜或凸透镜。只要能够通过对各表面的面型参数的设置，使得第一镜片的光焦度与胶层透镜的光焦度互为正负，本公开对此均不做限制。

25 在一些示例中，参考图 1、图 3 和图 5，第二表面 102 为曲面菲涅尔面。例如，第二表面 102 可以是凸面菲涅尔面（参考图 1、图 5），也可以是凹面菲涅尔面（参考图 3），本公开对此均不做限制。

30 在一些示例中，参考图 1 或图 5，第二表面 102 为凸面，胶层透镜 130 的中心厚度小于边缘厚度。在第二表面 102 设置为凸面时，通过将胶层透镜 130 的中心厚度设置小于边缘厚度，能够使得胶层透镜 130 形成凹透镜，从而与凸透镜的第一镜片 110 配合校正色差。

在一些示例中，参考图 1 或图 5，第二表面 102 为凸面，第二表面 102 的曲率半径的绝

对值小于第三表面 103 的曲率半径的绝对值。由此，第三表面 103 的曲率更小，而第二表面 102 的曲率更大，从而使得充满于第二表面 102 和第三表面 103 之间的胶层透镜 130 中间更薄而边缘更厚，以形成凹透镜。

5 曲面菲涅尔面的面型可以近似为非球面的面型，如可参考前述非球面的面型公式。在一些示例中，参考图 1 或图 5，第二表面 102 为凸面，第二表面 102 的曲率半径与光学系统的有效焦距的比值可以为-0.5~-2。例如，第二表面 102 的曲率半径是指包括有齿形结构的菲涅尔面的曲率半径。例如，可将菲涅尔面的第二表面 102 近似为一光滑无齿的球面或非球面，该球面或该非球面的曲率即为菲涅尔面的曲率。例如，可以将第二表面 102 的齿宽或齿高假设为无限小。例如，第二表面 102 的曲率半径与光学系统的有效焦距的比值可以为-1~-1.4。
10 例如，第二表面 102 的曲率半径与光学系统的有效焦距的比值可以为-1.25。

在一些示例中，参考图 3，第二表面 102 为凹面，胶层透镜 130 的中心厚度大于边缘厚度。在第二表面 102 设置为凹面时，通过将胶层透镜 130 的中心厚度设置大于边缘厚度，能够使得胶层透镜 130 形成为凸透镜，从而与具有凹透镜特性的第一镜片 110 配合校正色差。

图 6 为本公开至少一个实施例中一示例所提供的光学系统。

15 图 6 所示光学系统与图 1 所示光学系统的不同之处在于，图 6 所示光学系统中的第二表面 102、胶层透镜 130 和第三表面 103 与图 1 所示光学系统中的第二表面 102、胶层透镜 130 和第三表面 103 不同。当然，图 6 所示光学系统与图 1 所示光学系统还可以存在有其他不同之处，如镜片的数量等，本公开对此均不做限制。例如，图 6 所示光学系统中的镜片数量可以与图 1 所示光学系统中的镜片数量不同，也可以相同。图 6 所示光学系统中的透反膜 200、
20 偏振反射层 300、相位延迟膜 400、线偏振膜 500 可以与图 1 所示光学系统中的透反膜 200、偏振反射层 300、相位延迟膜 400、线偏振膜 500 具有相同的特征，在此不再赘述。

在一些示例中，参考图 6，第二表面 102 为平面菲涅尔面。例如，可以设置第二表面 102 为平面菲涅尔面，同时，通过设置第三表面 103 为凸面，能够使得第二表面 102 与第三表面 103 之间的胶层透镜 130 为凹透镜，从而校正色差。例如，可以在第三表面 103 远离第四表面 104 的一侧贴附相位延迟膜 400，通过将第三表面 103 设置为凸面，还能够利于相位延迟膜 400 的贴附，减少出现贴附褶皱的概率。例如，还可以将第二表面设置为凸面菲涅尔面，
25 同时将第三表面设置为凸面，以使胶层透镜为凹透镜，本公开对此均不做限制。

例如，可以将一个连续曲面进行离散化处理后，再叠加一个离散化处理的球面曲率或非球面曲率，从而得到基面为曲面的曲面菲涅尔面（例如，参考图 1、图 3 和图 5）。例如，
30 可以将一个连续曲面进行离散化处理，得到基面为平面的平面菲涅尔面（例如，参考图 6）。由此，在光学系统中的菲涅尔面的曲率半径具有较大的调整空间，从而能够更好地对色散的光线进行偏折会聚。而且，通过菲涅尔面的斜率可调，增强了第二表面对于光线的偏折能力，既能够实现超短焦，还能够提升对色差的校正效果，提高清晰度。

例如，可以综合考虑光学系统中的光线偏折情况及镜片组件中各表面的面型参数，得到菲涅尔面的拔模角、齿宽、齿高等参数。由此，能够通过对菲涅尔面的面型设计，减少菲涅尔面的背光面可能产生的杂散光，提升视觉效果。

参考图 1、图 3、图 5，在一些示例中，第三表面 103 可以为凹面，第三表面 103 的曲率半径与光学系统的有效焦距的比值可以为-3~-4，第三表面 103 的圆锥系数可以为-10~-1。例如，第三表面 103 的曲率半径与光学系统的有效焦距的比值可以为-3.2~-3.9。例如，第三表面 103 的曲率半径与光学系统的有效焦距的比值可以为-3.4~-3.6。例如，第三表面 103 的曲率半径与光学系统的有效焦距的比值可以为-3.5。例如，第三表面 103 的圆锥系数可以为-8~-2。例如，第三表面 103 的圆锥系数可以为-6~-4。例如，第三表面 103 的圆锥系数可以为-5。

图 7 为本公开至少一个实施例中一示例所提供的光学系统。

图 7 所示光学系统与图 1 所示光学系统的不同之处在于，图 7 所示光学系统中的胶层透镜 130 和第三表面 103 与图 1 所示光学系统中的胶层透镜 130 和第三表面 103 不同。当然，图 7 所示光学系统与图 1 所示光学系统还可以存在有其他不同之处，如镜片的数量等，本公开对此均不做限制。例如，图 7 所示光学系统中的镜片数量可以与图 1 所示光学系统中的镜片数量不同，也可以相同。图 7 所示光学系统中的透反膜 200、偏振反射层 300、相位延迟膜 400、线偏振膜 500 可以与图 1 所示光学系统中的透反膜 200、偏振反射层 300、相位延迟膜 400、线偏振膜 500 具有相同的特征，在此不再赘述。

在一些示例中，参考图 7，第三表面 103 可以为平面。在第三表面 103 为平面时，可以将第二表面 102 设置为凸面，从而使得第二表面 102 与第三表面 103 之间的胶层透镜 130 为凹透镜。由此，凹透镜的胶层透镜 130 能够与凸透镜的第一镜片 110 配合校正色差。

参考图 1、图 3、图 5 至图 7，在一些示例中，第四表面 104 为凸面，第四表面 104 的曲率半径与光学系统的有效焦距的比值可以为-2~-3，第四表面 104 的圆锥系数可以为-10~-1。例如，第四表面 104 的曲率半径与光学系统的有效焦距的比值可以为-2.2~-2.8。例如，第四表面 104 的曲率半径与光学系统的有效焦距的比值可以为-2.4~-2.6。例如，第四表面 104 的曲率半径与光学系统的有效焦距的比值可以为-2.5。例如，第四表面 104 的圆锥系数可以为-8~-2。例如，第四表面 104 的圆锥系数可以为-6~-3。例如，第四表面 104 的圆锥系数可以为-5。

结合前述示例，例如，第一表面 101 的高次项系数满足： $\alpha_4=6.0E-06$ ， $\alpha_6=6.1E-08$ ， $\alpha_8=5.2E-10$ ， $\alpha_{10}=1.3E-12$ ， $\alpha_{12}=8.2E-16$ ， $\alpha_{14}=-7.6E-18$ 。例如，第二表面 102 的高次项系数满足： $\alpha_4=-1.9E-05$ ， $\alpha_6=8.0E-08$ ， $\alpha_8=1.7E-10$ ， $\alpha_{10}=-4.6E-13$ ， $\alpha_{12}=-3.93E-15$ 。例如，第三表面 103 的高次项系数满足： $\alpha_4=7.5E-06$ ， $\alpha_6=4.8E-08$ ， $\alpha_8=-2.9E-10$ ， $\alpha_{10}=-1.6E-12$ ， $\alpha_{12}=2.2E-14$ ， $\alpha_{14}=-9.8E-17$ 。例如，第四表面 104 的高次项系数满足： $\alpha_4=-5.5E-06$ ， $\alpha_6=1.8E-09$ ， $\alpha_8=7.7E-11$ ， $\alpha_{10}=-5.9E-13$ ， $\alpha_{12}=2.4E-15$ ， $\alpha_{14}=-6.4E-18$ 。

图 8 为本公开至少一个实施例中一示例所提供的光学系统。

图 8 所示光学系统与图 1 所示光学系统的不同之处在于，图 8 所示光学系统中的镜片数量与图 1 所示光学系统中的镜片数量不同。当然，图 8 所示光学系统与图 1 所示光学系统还可以存在有其他不同之处，如各表面的面型、胶层透镜 130 的光焦度等，本公开对此均不做限制。例如，图 8 所示光学系统中的各面型的面型参数可以与图 1 所示光学系统中的各面型的面型参数不同，也可以相同。图 8 所示光学系统中的透反膜 200、偏振反射层 300、相位延迟膜 400、线偏振膜 500 可以与图 1 所示光学系统中的透反膜 200、偏振反射层 300、相位延迟膜 400、线偏振膜 500 具有相同的特征，在此不再赘述。

在一些示例中，参考图 8，至少两个镜片包括沿光轴 OA 方向依次排列的第一镜片 110、第二镜片 120 和第三镜片 140。例如，胶层透镜 130 位于第一镜片 110 和第二镜片 120 之间。例如，镜片组件 100 可以由第一镜片 110、第二镜片 120 和第三镜片 140 组成。第一镜片 110 包括第一表面 101 和第二表面 102，第二镜片 120 包括第三表面 103，第三镜片 140 包括第四表面 104，第二镜片 120 还包括与第三表面 103 相对的第五表面 105，第三镜片 140 还包括位于第五表面 105 和第四表面 104 之间的第六表面 106。例如，第三表面 103 和第五表面 105 为第二镜片 120 在光轴 OA 上相对的两个表面。例如，第四表面 104 和第六表面 106 为第三镜片 140 在光轴 OA 上相对的两个表面。第五表面 105 与第六表面 106 的面型一致，以使第二镜片 120 与第三镜片 140 相贴合。

通过设置第二镜片 120 和第三镜片 140，能够提供更多的膜层贴附位置。例如，可以将相位延迟膜 400 设置在第五表面 105 和第六表面 106 之间。

如图 8 所示，第一镜片 110 的光焦度与胶层透镜 130 的光焦度的其中一者为正值，且其中之一为负值。例如，可以为第一镜片 110 的光焦度为正值，也即第一镜片 110 为凸透镜，可以为胶层透镜 130 的光焦度为负值，也即胶层透镜 130 为凹透镜。由此，能够通过第一镜片 110 和胶层透镜 130 共同校正色差。

如图 8 所示，第一镜片 110、第二镜片 120 中的至少一者的色散系数与胶层透镜 130 的色散系数不同。例如，可以为第一镜片 110 与胶层透镜 130 的色散系数不同。例如，可以为第二镜片 120 与胶层透镜 130 的色散系数不同。由此，可以通过色散系数的不同而校正色差。例如，还可以为第一镜片 110、第二镜片 120 中的至少一者的折射率与胶层透镜 130 的折射率不同，从而通过折射率的不同而校正色差。

图 9 为本公开至少一个实施例中一示例所提供的光学系统。

图 9 所示光学系统与图 8 所示光学系统的不同之处在于，图 9 所示光学系统中的第五表面 105 和第六表面 106 与图 8 所示光学系统中的第五表面 105 和第六表面 106 不同。当然，图 9 所示光学系统与图 8 所示光学系统还可以存在有其他不同之处，如各表面的面型、胶层透镜 130 的光焦度等，本公开对此均不做限制。例如，图 9 所示光学系统中的各面型的面型

参数可以与图 8 所示光学系统中的各面型的面型参数不同,也可以相同。图 9 所示光学系统中的透反膜 200、偏振反射层 300、相位延迟膜 400、线偏振膜 500 可以与图 8 所示光学系统中的透反膜 200、偏振反射层 300、相位延迟膜 400、线偏振膜 500 具有相同的特征,在此不再赘述。

5 例如,参考图 8,第五表面 105 和第六表面 106 可以均为平面。例如,参考图 9,第五表面 105 和第六表面 106 均为曲面。例如,第五表面 105 和第六表面 106 均为凸面。例如,第五表面 105 和第六表面 106 均向远离第三表面 103 的一侧弯曲,使得第二镜片 120 的中心厚度和边缘厚度差距较小,并使得第三镜片 140 的中心厚度和边缘厚度差距较小,从而降低加工难度。

10 图 10 为本公开至少一个实施例中一示例所提供的显示装置。

如图 10 所示,本公开至少一个实施例提供一种显示装置,包括上述任一实施例的光学系统。例如,显示装置还包括显示屏 10,显示屏 10 位于第四表面 104 远离第一表面 101 的一侧。由于根据本公开实施例的显示装置包括至少一个上述光学系统,因此,也具有相应的有益技术效果,这里不再赘述。可以理解的是,图 10 所示的显示屏 10,配合如图 1、图 3、
15 图 5 至图 9 中的光学系统可以形成不同的显示装置。例如,显示屏 10 的显示面位于光学系统的入光侧的焦平面。

例如,参考图 1 至图 10,光学系统的光学总长(TTL)与有效焦距的比值可以为 0.85~1。例如,光学系统的光学总长与有效焦距的比值可以为 0.9~0.95。光学总长是指光学系统中镜片组件 100 的第一表面 101 上的最高点沿光轴 OA 到显示屏 10 的中心之间的距离。第一表面 101 上的最高点包括镜片组件 100 在第一表面 101 所在侧的边缘矢高。
20

例如,参考图 1 至图 10,光学系统的视场角可以大于 90°。例如,视场角为全视场角。例如,光学系统的视场角可以但不限于为 90°、92°、94°、96°、98°、100°。例如,以能够达到视场角为 100°的有效口径进行计算,得到双目镜片的重量小于 20g。

例如,参考图 1 至图 10,光学系统的出瞳距离(EPD)可以为 12 毫米~20 毫米。例如,
25 出瞳距离为自光学系统最后一面顶点到出瞳平面与光轴交点的距离。例如,出瞳距离可以为 14 毫米~18 毫米。例如,出瞳距离可以为 15 毫米。本公开提供的光学系统具有较大的出瞳距离,可满足近视用户佩戴眼镜使用。

例如,参考图 1 至图 10,镜片组件 100 的有效口径与有效焦距的比值可以为 2.3~2.7。上述镜片组件的有效口径指有效通光口径,如光线能够经过镜片组件的最大口径,该口径是
30 以镜片组件的最大光通量确定的。例如,有效口径与有效焦距的比值可以为 2.4~2.6。例如,有效口径与有效焦距的比值可以为 2.5。

例如,参考图 1 至图 10,光学系统中的光阑(如人眼)与第一表面 101 在光轴 OA 上的距离与有效焦距的比值为 0.7~1.5。例如,光阑与第一表面在光轴 OA 上的距离与有效焦距的

比值为 0.8~1.4。例如，光阑与第一表面在光轴 OA 上的距离与有效焦距的比值为 0.9~1.3。
例如，光阑与第一表面在光轴 OA 上的距离与有效焦距的比值为 1~1.2。例如，光阑与第一表面在光轴 OA 上的距离与有效焦距的比值为 1.1。

例如，参考图 1 至图 10，光阑的有效口径为 4 毫米。例如，光学系统中物面与光阑在光轴 OA 上的距离与有效焦距的比值在-80 以下。

例如，参考图 1 至图 10，显示屏 10 的显示面与像面在光轴 OA 上的距离与有效焦距的比值为 0.03~0.12。例如，显示屏 10 的显示面与像面在光轴 OA 上的距离与有效焦距的比值为 0.06~0.09。例如，显示屏 10 的显示面与像面在光轴 OA 上的距离与有效焦距的比值为 0.08。

例如，参考图 1 至图 10，第四表面 104 与显示屏 10 的显示面在光轴 OA 上的距离与有效焦距的比值为 0.05~0.3。例如，第四表面 104 与显示屏 10 的显示面在光轴 OA 上的距离与有效焦距的比值为 0.06~0.2。第四表面 104 与显示屏 10 的显示面在光轴 OA 上的距离与有效焦距的比值为 0.1。

例如，显示屏可以为任何类型的显示屏，例如液晶显示屏、有机发光二极管显示屏、无机发光二极管显示屏、量子点显示屏、投影仪（例如 LCOS 微型投影机）等。

例如，显示屏为液晶显示屏，像素尺寸大约为二十几微米。例如，显示屏为有机发光二极管显示屏，像素尺寸大约为几微米。

例如，显示装置可以为虚拟现实显示装置。例如，虚拟现实显示装置可以为采用超短焦折叠光路的显示装置。

例如，该显示装置可以为近眼显示装置，该近眼显示装置可以为可穿戴 VR 头盔、VR 眼镜等，本公开实施例不限于此。

有以下几点需要说明：

（1）本公开的实施例附图中，只涉及到与本公开实施例涉及到的结构，其他结构可参考通常设计。

（2）在不冲突的情况下，本公开同一实施例及不同实施例中的特征可以相互组合。

以上所述仅是本公开的示范性实施方式，而非用于限制本公开的保护范围，本公开的保护范围由所附的权利要求确定。

权利要求书

- 1、一种光学系统，包括：
镜片组件，包括至少两个镜片，所述至少两个镜片包括沿所述镜片组件的光轴方向依次排列的第一表面、第二表面、第三表面以及第四表面；
透反膜，设置在所述第四表面远离所述第三表面的一侧；
偏振反射层，设置在所述第三表面远离所述第四表面的一侧；
相位延迟膜，位于所述第四表面远离所述透反膜的一侧；以及
胶层，包括胶层透镜；
其中，所述第一表面和所述第二表面中的至少一者为菲涅尔面，所述胶层胶合于所述第二表面与所述第三表面之间。
- 2、如权利要求 1 所述的光学系统，其中，所述第一表面和所述第二表面与所述光轴相交的两个交点之间的距离为第一距离；
所述胶层透镜的中心厚度与所述第一距离的比值为 $1/6 \sim 2$ 。
- 3、如权利要求 1 或 2 所述的光学系统，其中，所述胶层透镜的中心厚度为 0.5 毫米~3 毫米。
- 4、如权利要求 1-3 任一项所述的光学系统，其中，所述至少两个镜片包括沿所述光轴方向排列的第一镜片和第二镜片，所述第一镜片包括所述第一表面和所述第二表面，所述第二镜片包括所述第三表面和所述第四表面；
所述第一镜片的光焦度与所述胶层透镜的光焦度的其中一者为正值，且其中之另一为负值。
- 5、如权利要求 4 所述的光学系统，其中，所述第一镜片的光焦度与所述第一镜片的色散系数的比值为第一比值，所述胶层透镜的光焦度与所述胶层透镜的色散系数的比值为第二比值；
所述第一比值与所述第二比值之和小于 0。
- 6、如权利要求 4 或 5 所述的光学系统，其中，所述第一镜片的折射率小于所述胶层透镜的折射率，所述第二镜片的折射率小于所述胶层透镜的折射率，且所述第一镜片的折射率小于或等于所述第二镜片的折射率。
- 7、如权利要求 4-6 任一项所述的光学系统，其中，所述第一镜片的色散系数大于所述胶层透镜的色散系数，所述第二镜片的色散系数大于所述胶层透镜的色散系数，且所述第一镜片的色散系数大于或等于所述第二镜片的色散系数。
- 8、如权利要求 4 所述的光学系统，其中，所述第一镜片的折射率大于所述胶层透镜的折射率，所述第一镜片的折射率大于所述第二镜片的折射率。

9、如权利要求 4 所述的光学系统，其中，所述第一镜片的色散系数小于所述胶层透镜的色散系数，且所述第一镜片的色散系数小于所述第二镜片的色散系数。

10、如权利要求 4-9 任一项所述的光学系统，其中，所述第一镜片的中心厚度与边缘厚度的比值为第三比值，所述第二镜片的中心厚度与边缘厚度的比值为第四比值；

5 所述第三比值和所述第四比值的至少之一大于 1 且小于 3。

11、如权利要求 1-10 任一项所述的光学系统，其中，所述第二表面为平面菲涅尔面或曲面菲涅尔面。

12、如权利要求 11 所述的光学系统，其中，所述第二表面为凸面，所述胶层透镜的中心厚度小于边缘厚度。

10 13、如权利要求 11 所述的光学系统，其中，所述第二表面为凸面，所述第二表面的曲率半径的绝对值小于所述第三表面的曲率半径的绝对值。

14、如权利要求 11 所述的光学系统，其中，所述第二表面为凸面，所述第二表面的曲率半径与所述光学系统的有效焦距的比值为-0.5~-2。

15 15、如权利要求 11 所述的光学系统，其中，所述第二表面为凹面，所述胶层透镜的中心厚度大于边缘厚度。

16、如权利要求 1-15 任一项所述的光学系统，其中，所述第一表面和所述第二表面与所述光轴相交的两个交点之间的距离为第一距离；

所述第三表面和所述第四表面与所述光轴相交的两个交点之间的距离为第二距离；

所述第二距离与所述第一距离的比值为 2~4。

20 17、如权利要求 16 所述的光学系统，其中，所述第一距离与所述光学系统的有效焦距的比值为 0.1~0.3，所述第二距离与所述光学系统的有效焦距的比值为 0.5~0.7。

18、如权利要求 1-17 任一项所述的光学系统，其中，所述第一表面为平面；或者

所述第一表面为凸面，所述第一表面的曲率半径与所述光学系统的有效焦距的比值为-40~-50，所述第一表面的圆锥系数为-10~0。

25 19、如权利要求 1-18 任一项所述的光学系统，其中，所述第三表面为平面；或者

所述第三表面为凹面，所述第三表面的曲率半径与所述光学系统的有效焦距的比值为-3~-4，所述第三表面的圆锥系数为-10~-1。

20、如权利要求 1-19 任一项所述的光学系统，其中，所述第四表面为凸面，所述第四表面的曲率半径与所述光学系统的有效焦距的比值为-2~-3，所述第四表面的圆锥系数为-10~-

30 1。

21、如权利要求 1-3 任一项所述的光学系统，其中，所述至少两个镜片包括沿所述光轴方向依次排列的第一镜片、第二镜片和第三镜片；

所述第一镜片包括所述第一表面和所述第二表面，所述第二镜片包括所述第三表面，所

述第三镜片包括所述第四表面；

所述第二镜片还包括与所述第三表面相对的第五表面，所述第三镜片还包括位于所述第五表面和所述第四表面之间的第六表面；所述第五表面与所述第六表面的面型一致；

其中，所述第一镜片的光焦度与所述胶层透镜的光焦度的其中一者为正值，且其中之另一者为负值。

22、如权利要求 1-3 任一项所述的光学系统，其中，所述至少两个镜片包括沿所述光轴方向依次排列的第一镜片、第二镜片和第三镜片；

所述第一镜片包括所述第一表面和所述第二表面，所述第二镜片包括所述第三表面，所述第三镜片包括所述第四表面；

所述第二镜片还包括与所述第三表面相对的第五表面，所述第三镜片还包括位于所述第五表面和所述第四表面之间的第六表面；所述第五表面与所述第六表面的面型一致；

其中，所述第一镜片、所述第二镜片中的至少一者的色散系数与所述胶层透镜的色散系数不同。

23、一种显示装置，包括权利要求 1-22 任一项所述的光学系统。