(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 114647095 B
(45)授权公告日 2025.05.16

(21)申请号 202011510693.0
(22)申请日 2020.12.18
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114647095 A
(43)申请公布日 2022.06.21
(73)专利权人 上海誉沛光电科技有限公司
地址 201516 上海市金山区廊下镇景乐路228号
(72)发明人 牛磊
(74)专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100
专利代理师 汪骏飞 侯颖婀
(51)Int.Cl.
G02B 30/56(2020.01)

(56)对比文件
CN 102200685 A,2011.09.28
JP 2019105744 A,2019.06.27

审查员 赵菲菲

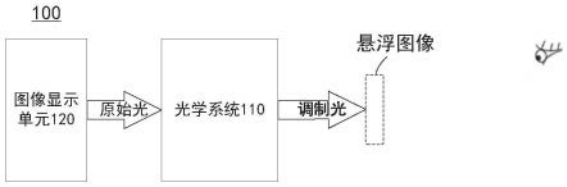
权利要求书2页 说明书14页 附图13页

(54)发明名称

悬浮显示装置以及包括其的多层显示设备

(57)摘要

本发明涉及一种悬浮显示装置和包括其的多层显示设备。该悬浮显示装置包括:图像显示单元,图像显示单元具有图像的显示面且从显示面发出构成初始图像的显示光;以及光学系统,光学系统限定物面和像平面,光学系统被布置成在物面处接收从显示面发出的显示光,其中光学系统包括多个光组,多个光组被配置成在第一方向和第二方向上具有不同的会聚光线的能力,第一方向和第二方向分别与悬浮显示装置的光轴正交,其中光学系统具有孔径光阑以用于在第二方向上约束来自物面的光线,其中显示光在经由光学系统传播后在空中的像平面处形成悬浮图像,其中第一方向的像方孔径角大于第二方向的像方孔径角。



CN 114647095 B

1.一种悬浮显示装置,所述悬浮显示装置包括:

图像显示单元,所述图像显示单元具有图像的显示面且从所述显示面发出构成初始图像的显示光;以及

光学系统,所述光学系统限定物面和像平面,所述光学系统被布置成在所述物面处接收从所述显示面发出的所述显示光,其中所述光学系统包括多个光组,所述多个光组被配置成在第一方向和第二方向上具有不同的会聚光线的能力,所述第一方向和所述第二方向分别与所述悬浮显示装置的光轴正交,其中所述光学系统具有孔径光阑以用于在所述第二方向上约束来自所述物面的光线,

其中所述显示光在经由所述光学系统传播后在空中的所述像平面处形成悬浮图像,所述第一方向的像方孔径角大于所述第二方向的像方孔径角,

所述多个光组包括:

第一光组,所述第一光组包含光学元件以用于在所述第二方向上调制光线;和

第二光组,所述第二光组包含具有一维光栅结构的共轭成像元件,以用于在所述第一方向上会聚光线。

2.如权利要求1所述的悬浮显示装置,其特征在于,所述孔径光阑与所述第一光组的焦平面之间的距离为d,并且在所述第二方向上的通光尺寸为Dy,该通光尺寸Dy满足以下条件:

$$Dy \geq \frac{h}{f} * d$$

其中,h为所述悬浮图像在所述第二方向上的长度,f为所述第一光组的焦距。

3.如权利要求1所述的悬浮显示装置,其特征在于,所述光学元件是一维光学元件,所述一维光学元件和共轭成像元件被一体成形为柱面锯齿光栅。

4.如权利要求1所述的悬浮显示装置,其特征在于,所述光学元件是一维光学元件,所述一维光学元件为柱面透镜,所述共轭成像元件为一维光栅透射阵列结构。

5.如权利要求1所述的悬浮显示装置,其特征在于,所述光学系统还包括第三光组,所述第三光组包含一维光学元件以用于在所述第二方向上调制来自所述物面的光线。

6.如权利要求5所述的悬浮显示装置,其特征在于,所述第三光组中的一维光学元件与所述孔径光阑被整合为单个部件。

7.如权利要求1所述的悬浮显示装置,其特征在于,所述具有一维光栅结构的共轭成像元件与所述孔径光阑被整合为单个部件。

8.如权利要求5所述的悬浮显示装置,其特征在于,所述第一光组和所述第三光组相对于所述共轭成像元件沿光轴为基本对称设置。

9.如权利要求1所述的悬浮显示装置,其特征在于,所述光学系统还包括:

分光镜,沿光路设置在所述共轭成像元件与所述图像显示单元之间。

10.如权利要求9所述的悬浮显示装置,其特征在于,所述光学系统还包括:

相位延迟膜,沿光路设置在所述共轭成像元件与所述分光镜之间;和/或

所述分光镜具有偏振分光能力。

11.如权利要求1所述的悬浮显示装置,其特征在于,所述悬浮图像在所述第二方向上

的长度大于或等于所述初始图像在所述第二方向上的长度。

12.如权利要求2-10中任一项所述的悬浮显示装置,其特征在于,所述共轭成像元件与所述物面上光轴处的物点之间的光程基本上等于所述共轭成像元件与所述像平面上光轴处的像点之间的光程。

13.如权利要求1-11中任一项所述的悬浮显示装置,其特征在于,所述物面在所述第二方向上被配置为曲面。

14.一种多层显示设备,包括:

如权利要求1-13中任一项所述的悬浮显示装置;以及

透明显示部件,被设置在所述悬浮显示装置的光学下游,其中所述透明显示部件的显示面与所述像平面位于不同的位置处。

悬浮显示装置以及包括其的多层显示设备

技术领域

[0001] 本文所述的实施例总体上涉及光场三维显示技术,更具体地涉及一种悬浮显示装置以及包括该悬浮显示装置的多层显示设备。

背景技术

[0002] 在众多的显示技术中,空中悬浮显示技术由于能够将图像呈现在空气之中,为观看者带来强烈的视觉冲击和亦真亦假的感官体验从而受到了许多研究者的关注。

[0003] 常规的悬浮显示技术包括使用回射屏、双层平面镜阵列,凹面镜或集成成像的方式实现悬浮显示。然而,对于回射屏或双层平面镜阵列的方式来说,优点是可以实现大视场,无像差的悬浮显示图像,缺点是回射屏或双层平面镜阵列的加工工艺复杂,成本很高,另外由于需要多次反射,在某些观察角度存在鬼象问题。凹面镜实现悬浮图像的主要问题是在满足大视场的条件下,难以消除场曲、畸变等像差,成像质量差。对于集成成像的方式来说,需要有很多微显示单元在空间中投射形成悬浮图像,很难实现较高的分辨率,同时屏幕成本太高。

[0004] 因此,本领域需要一种新的用于悬浮显示的技术方案。

发明内容

[0005] 本发明的示例性实施例的目的正是在于提供这样一种用于悬浮显示装置,其能够在空中形成悬浮图像,同时能够具有较低的制造成本以及更加灵活的光学布局。

[0006] 具体地,本发明的示例性实施例提供了一种悬浮显示装置,其包括:图像显示单元,所述图像显示单元具有图像的显示面且从所述显示面发出构成初始图像的显示光;以及光学系统,所述光学系统限定物面和像平面,所述光学系统被布置成在所述物面处接收从所述显示面发出的所述显示光,其中所述光学系统包括多个光组,所述多个光组被配置成在第一方向和第二方向上具有不同的会聚光线的能力,所述第一方向和所述第二方向分别与所述悬浮显示装置的光轴正交,其中所述光学系统具有孔径光阑以用于在所述第二方向上约束来自所述物面的光线,其中所述显示光在经由所述光学系统传播后在空中的所述像平面处形成悬浮图像,其中所述第一方向的像方孔径角大于所述第二方向的像方孔径角。

[0007] 在上述的示例性实施例的悬浮显示装置中,物面上的点沿第一方向通过多个光组成像的像方孔径角相对较大,以满足双目视差条件,由此可以在像平面处形成悬浮图像。物面上的点沿第二方向通过多个光组成像的像方孔径角相对较小。

[0008] 较佳地,在上述示例性实施例的悬浮显示装置中,所述多个光组包括:第一光组,所述第一光组设置在所述孔径光阑的光学下游并且包含具有正光焦度的一维光学元件以用于在所述第二方向上会聚光线;和第二光组,所述第二光组包含具有一维光栅结构的共轭成像元件,以用于在所述第一方向上会聚光线。

[0009] 较佳地,在上述示例性实施例的悬浮显示装置中,所述孔径光阑与所述第一光组

的焦平面之间的距离为d,并且在所述第二方向上的通光尺寸为Dy,该通光尺寸Dy满足以下条件:

[0010] $$Dy \geq \frac{h}{f} * d$$

[0011] 其中,h为所述悬浮图像在所述第二方向上的长度,f为所述第一光组的焦距。

[0012] 较佳地,在上述示例性实施例的悬浮显示装置中,所述孔径光阑设置在以所述第一光组的焦平面为中心的±f范围内。

[0013] 较佳地,在上述示例性实施例的悬浮显示装置中,所述一维光学元件和共轭成像元件被一体成形为柱面锯齿光栅;并且所述光学系统还包括分光镜,所述分光镜被布置成将来自所述物面的、穿过所述孔径光阑的光反射到所述柱面锯齿光栅的所述一维锯齿结构上,并且将从所述一维锯齿结构反射回的光透射到所述像平面。

[0014] 较佳地,在上述示例性实施例的悬浮显示装置中,所述一维光学元件为柱面透镜,所述共轭成像元件为一维格栅透射阵列结构,其中所述柱面透镜与所述物面之间的距离被设置在所述柱面透镜的f到2f的范围内。

[0015] 较佳地,在上述示例性实施例的悬浮显示装置中,所述光学系统还包括第三光组,所述第三光组设置在所述第二光组的光学上游并且包含具有正光焦度的一维光学元件以用于在所述第二方向上调制来自所述物面的光线。

[0016] 较佳地,在上述示例性实施例的悬浮显示装置中,在所述第二方向上,所述第一光组的通光尺寸D1大于等于所述第三光组的通光尺寸D3,所述第一光组的焦距f1大于或等于所述第三光组的焦距f3。

[0017] 较佳地,在上述示例性实施例的悬浮显示装置中,所述像平面与所述第一光组之间的距离在所述第一光组的一倍焦距之内,即d1≤f1,d1为所述像平面与所述第一光组之间的距离。

[0018] 较佳地,在上述示例性实施例的悬浮显示装置中,所述具有一维光栅结构的共轭成像元件与所述孔径光阑被整合为单个部件。

[0019] 较佳地,在上述示例性实施例的悬浮显示装置中,所述第一光组中的一维光学元件为自由曲面镜,所述自由曲面镜布置在所述共轭成像元件的光学下游并且布置成将从所述共轭成像元件出射的光反射到所述像平面处。

[0020] 较佳地,在上述示例性实施例的悬浮显示装置中,所述第一光组和所述第三光组相对于所述共轭成像元件沿光轴为基本对称设置,并且所述第一光组的焦距基本上等于所述第三光组的焦距。

[0021] 较佳地,在上述示例性实施例的悬浮显示装置中,所述孔径光阑位于所述第三光组的像方焦平面处,同时位于所述第一光组的物方焦平面处。

[0022] 较佳地,在上述示例性实施例的悬浮显示装置中,所述共轭成像元件为一维回射屏,所述第一光组中的一维光学元件为布置在所述物面与所述像平面之间的第一凹面镜,所述第一凹透镜的凹面面向所述像平面,所述第三光组中的一维光学元件为凹面面向所述一维回射屏的第二凹面镜,其中所述光学成像系统还包括:第一分光平板,倾斜地设置在所述物面与所述第一凹面镜之间以及所述一维回射屏与所述第二凹面镜之间;第二分光平板,设置在所述第一凹面镜与所述像平面之间。优选地,所述第一分光平板为用于反射s偏

振光而透射p偏振光的偏振分光膜,所述第二分光平板为用于反射s偏振光而透射p偏振光的偏振分光平板,并且所述光学成像系统还包括:第一1/4波片,设置在所述第二凹面镜与所述偏振分光膜之间;第二1/4波片,设置在所述一维回射屏与所述偏振分光膜之间;以及第三1/4波片,设置在所述第一凹面镜与所述偏振分光平板之间。

[0023] 较佳地,在上述示例性实施例的悬浮显示装置中,所述共轭成像元件为一维回射屏,所述第一光组中的一维光学元件为布置在所述物面与所述像平面之间的凸透镜,所述凸透镜的凸面面向所述物面,所述第三光组中的一维光学元件为凹面面向所述一维回射屏的凹面镜,其中所述光学成像系统还包括:分光镜,倾斜地设置在所述物面与所述凸透镜之间以及所述一维回射屏与所述凹面镜之间;校正透镜,设置在所述分光镜与所述一维回射屏之间,用于校正所述光学系统的像差。优选地,所述分光镜为用于反射s偏振光而透射p偏振光的偏振分光膜,并且所述光学成像系统还包括:第一1/4波片,设置在所述凹面镜与所述偏振分光膜之间;以及第二1/4波片,设置在所述偏振分光膜与所述校正透镜之间。

[0024] 较佳地,在上述示例性实施例的悬浮显示装置中,所述第三光组中的一维光学元件与所述孔径光阑被整合为单个部件。

[0025] 较佳地,在上述示例性实施例的悬浮显示装置中,所述单个部件为柱面凹面镜并且所述柱面凹面镜的凹面面向所述物面,所述具有一维光栅结构的共轭成像元件是一维回射屏,并且所述第一光组中的一维光学元件为平凸柱面镜,所述平凸柱面镜的平面侧面向所述像平面,其中,所述悬浮显示装置还包括:分光镜,倾斜地设置在所述物面与所述柱面凹面镜之间,用于将来自所述物面的光透射到所述柱面凹面镜并且将从所述柱面凹面镜反射回的光反射到所述一维回射屏上;偏振分光膜,倾斜地设置在所述分光镜与所述一维回射屏之间,用于通过p偏振光而反射s偏振光,其中偏振分光膜将从一维回射屏反射回的s偏振光反射到所述平凸柱面镜;以及1/4波片,设置在所述偏振分光膜与所述一维回射屏之间以用于将从所述一维回射屏反射回的光转换为s偏振光。

[0026] 较佳地,在上述示例性实施例的悬浮显示装置中,所述单个部件为柱面凹面镜并且所述柱面凹面镜的凹面面向所述物面,所述共轭成像元件是一维回射屏,并且所述第一光组中的一维光学元件为分光凹面镜,所述分光凹面镜的凹面面向所述像平面,其中,所述悬浮显示装置还包括:分光平板,倾斜地设置在所述物面与所述柱面凹面镜之间,用于将来自所述物面的光透射到所述柱面凹面镜并且将从所述柱面凹面镜反射回的光反射到所述分光凹面镜上;偏振分光平板,倾斜地设置在所述分光凹面镜与所述像平面之间,用于通过p偏振光而反射s偏振光,其中偏振分光平板将从一维回射屏反射回的s偏振光反射到所述分光凹面镜;第一偏光片,设置在所述分光平板与所述物面之间以用于将来自物面的光转换为p偏振光;第一1/4波片,设置在所述分光平板与所述分光凹面镜之间;以及第二1/4波片,设置在所述偏振分光平板与所述分光凹面镜之间。

[0027] 较佳地,在上述示例性实施例的悬浮显示装置中,所述悬浮图像在所述第二方向上的长度大于或等于所述初始图像在所述第二方向上的长度。

[0028] 较佳地,在上述示例性实施例的悬浮显示装置中,所述物面在所述第二方向上被配置为曲面。

[0029] 较佳地,在上述示例性实施例的悬浮显示装置中,所述共轭成像元件与所述物面上光轴处的物点之间的光程基本上等于所述共轭成像元件与所述像平面上光轴处的像点

之间的光程。

[0030] 根据本发明的另一示例性实施例,还提供了一种多层显示设备,其包括:上述示例性实施例的悬浮显示装置;以及透明显示部件,被设置在所述悬浮显示装置的光学下游,其中所述透明显示部件的显示面与所述像平面位于不同的位置处。

[0031] 通过下面的详细描述、附图以及权利要求,其他特征和方面会变得清楚。

附图说明

[0032] 通过结合附图对于本发明的示例性实施例进行描述,可以更好地理解本发明,在附图中:

[0033] 图1示出根据本发明实施例的悬浮显示装置100的示意性框图;

[0034] 图2示出根据本发明实施例的悬浮显示装置100中的光学系统110分别在水平方向和竖直方向上的光线传播的原理示意图;

[0035] 图3分别在水平方向和竖直方向上示出根据本发明实施例的悬浮显示装置100中的光学系统110的部件布置和光线传播的示意图;

[0036] 图4分别在第一方向和第二方向上示出根据该可选实施例的光学系统210的部件布置和光线传播的示意图;

[0037] 图5分别在第一方向和第二方向上示出根据进一步的实施例的光学系统310的部件布置和光线传播的示意图;

[0038] 图6示出根据本发明的第一示例的光学系统610以及光线在y-z平面传播的示意图;

[0039] 图7示出一维光学元件与一维回射屏形成为一体的示例结构;

[0040] 图8示出根据本发明的第二示例的光学系统810以及光线在y-z平面传播的示意图;

[0041] 图9示出一维格栅透射阵列结构802的示例;

[0042] 图10示出根据本发明的第三示例的光学系统1010以及光线在y-z平面传播的示意图;

[0043] 图11示出根据本发明的第四示例的光学系统1110以及光线在y-z平面传播的示意图。

[0044] 图12示出一维回射屏的示例结构;

[0045] 图13示出根据本发明的第五示例的光学系统1310以及光线在y-z平面传播的示意图;

[0046] 图14示出根据本发明的第六示例的光学系统1410以及光线在y-z平面传播的示意图;

[0047] 图15示出根据本发明的第七示例的光学系统1510以及光线在y-z平面传播的示意图;

[0048] 图16示出根据本发明的第八示例的光学系统1610以及光线在y-z平面传播的示意图;

[0049] 图17示出根据本发明的第九示例的光学系统1710以及光线在y-z平面传播的示意图;以及

[0050] 图18示出根据本发明实施例的多层显示设备1800的示意图。

具体实施方式

[0051] 以下将描述本发明的具体实施方式,需要指出的是,在这些实施方式的具体描述过程中,为了进行简明扼要的描述,本说明书不可能对实际的实施方式的所有特征均作详尽的描述。应当可以理解的是,在任意一种实施方式的实际实施过程中,正如在任意一个工程项目或者设计项目的过程中,为了实现开发者的具体目标,为了满足系统相关的或者商业相关的限制,常常会做出各种各样的具体决策,而这也会从一种实施方式到另一种实施方式之间发生改变。此外,还可以理解的是,虽然这种开发过程中所作出的努力可能是复杂并且冗长的,然而对于与本发明公开的内容相关的本领域的普通技术人员而言,在本公开揭露的技术内容的基础上进行的一些设计,制造或者生产等变更只是常规的技术手段,不应当理解为本公开的内容不充分。

[0052] 除非另作定义,权利要求书和说明书中使用的技术术语或者科学术语应当为本发明所属技术领域内具有一般技能的人士所理解的通常意义。本发明专利申请说明书以及权利要求书中使用的“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。“一个”或者“一”等类似词语并不表示数量限制,而是表示存在至少一个。“包括”或者“包含”等类似的词语意指出现在“包括”或者“包含”前面的元件或者物件涵盖出现在“包括”或者“包含”后面列举的元件或者物件及其等同元件,并不排除其他元件或者物件。“连接”或者“相连”等类似的词语并非限定于物理的或者机械的连接,也不限于是直接的还是间接的连接。短语“A基本上等于B”意在考虑到工艺制造中的公差,即A与B的数值可以在彼此的±10%以内。

[0053] 图1示出根据本发明实施例的悬浮显示装置100的示意性框图。

[0054] 参见图1,根据本发明实施例的悬浮显示装置100可以包括图像显示单元120和光学系统110。图像显示单元120具有图像的显示面且从显示面发出构成初始图像的显示光。图像显示单元120可以采用直接发光显示方式,或者也可以采用间接投影方式,以在显示面上显示或投影图像。光学系统110布置在图像显示单元120的光学下游以接收显示光,并且具有物面和像面。物面可以被布置在图像显示单元120的显示面处,以在该物面处接收构成初始图像的原始光,然后原始光经由光学系统110调制以在空中的像面处形成悬浮图像(也可以称之为空中像)。或者,构想到,图像显示单元120与光学系统110之间还可以存在一个或多个中继光学系统,该中继光学系统可以将图像显示单元120的显示面成像在光学系统110的物面处;在此情况下,光学系统110的物面可以位于图像显示单元120的显示面由一个或多个中继光学系统所成像的像面处。

[0055] 图2示出根据本发明实施例的悬浮显示装置100中的光学系统110分别在水平方向和竖直方向上的光线传播的原理示意图。

[0056] 为了便于描述,可以认为光沿着光路在光束中从光学“上游”位置向光学“下游”位置传播。因此,光学元件在光路中的相对位置也可以用这两个术语来描述。例如,在图2中,物面10位于孔径光阑的光学上游,同时又是位于光组101或102的光学上游,而孔径光阑位于第一光组101的光学上游。

[0057] 参见图2,光学系统110可以包括多个光组。多个光组被配置成在第一方向和第二

方向上具有不同的会聚光线的能力。第一方向和第二方向可以分别与光学系统110的光轴正交。第一方向和第二方向可以彼此正交。作为示例,第一方向可以是水平方向(x方向),第二方向可以是竖直方向(y方向),光轴沿z方向,如图所示。

[0058] 特别地,光学系统110具有孔径光阑,用于在竖直方向(y方向)上约束来自物面10的光线。在本发明的一些实施例中,孔径光阑可以指光学系统110中在y方向上的通光尺寸最小的地方。在水平方向(x方向)上,该孔径光阑可以基本上不起作用,或者以较小的程度约束来自物面10的光线。换而言之,该孔径光阑在y方向上具有相对较小的通光尺寸,而在x方向上具有相对较大的通光尺寸。本领域技术人员可以理解到,孔径光阑的作用可以由多个光组中的一个光学元件来实现,只要该光学元件能够在y方向上约束光线即可;在此情况下,光学系统110中可以不存在单独的孔径光阑。因此,在图2中单独示出孔径光阑是为了能够更加清楚地解释本发明的原理,而非限制性,所以用虚线框表示。

[0059] 来自图像显示单元120的显示光在经由孔径光阑和多个光组传播后在空中的像平面20处形成悬浮图像,其中x方向的像方孔径角α大于y方向的像方孔径角β。

[0060] 多个光组可以至少包括第一光组101和第二光组102。第一光组101可以被设置在前述孔径光阑的光学下游包含具有正光焦度的一维光学元件以用于在y方向上会聚光线。第二光组102可以包含具有一维光栅结构的共轭成像元件以用于在x方向上会聚光线。作为示例,具有一维光栅结构的共轭成像元件可以是一维回射屏、一维格栅透射阵列、一维全息光栅等。采用这样的共轭成像元件的益处在于,位置关系(物与像)共轭,图像不放大,无像差。

[0061] 第二光组102可以设置在第一光组101与物面10之间,也可以设置在第一光组101与像平面20之间。本发明不旨在限定第一光组101与第二光组102的位置关系,而在图2中仅示出了第二光组被设置在第一光组101与像平面20之间的示例情况。

[0062] 以上描述了根据本发明示例性实施例的悬浮显示装置100中的光学系统110。在该光学系统110中,物面10上的点沿x方向通过多个光组成像的像方孔径角相对较大(优选30度以上),以满足双目视差条件,由此可以在像平面20处形成悬浮图像。物面10上的点沿y方向通过多个光组成像的像方孔径角相对较小,优选30度以内。

[0063] 图3分别在水平方向和竖直方向上示出根据本发明实施例的悬浮显示装置100中的光学系统110的部件布置和光线传播的示意图。

[0064] 孔径光阑在x方向上可以具有较大的通光孔径Dx以使得在x方向上不限制光线,从而获得足够大的x方向孔径角,满足双目视差条件以实现悬浮显示。

[0065] 孔径光阑在y方向上可以具有较小的通光孔径Dy以在y方向限制光线,从而选择不同部分的光束参与成像,改善轴外点的成像质量。

[0066] 在本发明的一些实施例中,孔径光阑的通光孔径Dx可以大于物面(即,显示面)在x方向上的高度A,即Dx＞A。如此,可以保证像平面平行于主光轴的光线能通过孔径光阑,否则无法观察完整的悬浮图像,因为x方向的边缘图像光线将无法进入人眼。

[0067] 孔径光阑与第一光组101的焦平面之间的距离为d,并且在y方向上的通光尺寸为Dy,该通光尺寸Dy小于光学系统110中的任何其他光学元件在y方向上的通光尺寸并且满足以下条件:

[0068] $$Dy \geq \frac{h}{f} * d$$

[0069] 其中,h为悬浮图像在y方向上的长度,f为第一光组101的焦距。如此,可以保证像面平行于主光轴的光线能通过孔径光阑,否则无法观察完整的悬浮图像,因为y方向的边缘图像光线将无法进入人眼。

[0070] 在本发明的一些实施例中,孔径光阑可以被放置于第一光组101和物面10之间。可选地,孔径光阑可以被设置在以第一光组101的焦平面为中心的±f范围内,因为孔径光阑的y方向尺寸不会高于悬浮图像y方向像高。

[0071] 在本发明的一些实施例中,光学系统110在x方向的垂轴倍率βx=1,而在y方向的垂轴倍率βy≥1,但这非限制性的。这种配置的好处在于,如果y方向的垂轴倍率βy>1,即光学系统110在y方向上对物面有放大作用,所以物面可以设置得比较小,从而缩小整个装置的体积。

[0072] 可选地,在一些实施例中,光学系统110还可以包括第三光组。第三光组可以被设置在第一光组101的光学上游(即,第一光组101与物面10之间)并且包含具有正光焦度的一维光学元件以用于在第二方向(y方向)上调制来自显示面(即,光学系统110的物面10)的光线。

[0073] 图4分别在第一方向和第二方向上示出根据该可选实施例的光学系统210的部件布置和光线传播的示意图。光学系统210的若干细节与上文关于图1-3描述的光学系统110是相同的,在此不再赘述。以下主要描述光学系统210的不同之处。

[0074] 如图4所示,第三光组103可以被设置在第二光组102和物面10之间,其包括至少一个一维光学元件来在y方向上调制光线。第三光组103的设计目的在于平衡光学系统的光焦度分配,使光学系统的布局更加灵活,同时进一步减小像差,提升成像质量。

[0075] 在y方向上,第一光组101的通光尺寸D1可以大于等于第三光组103的通光尺寸D3。第一光组101的焦距f1可以大于或等于第三光组103的焦距f3。可选地,像平面20与第一光组101之间的距离可以在第一光组101的一倍焦距之内,即d1≤f1,d1为像平面20与第一光组101之间的距离。可选地,孔径光阑的作用可以由第二光组102中的具有一维光栅结构的共轭成像元件来达成。

[0076] 可选地,在一些进一步的实施例中,第三光组103中的一维光学元件可以起到前述孔径光阑的作用,因此第三光组103(特别是一维光学元件)可以与孔径光阑集成为一体,作为单个光学部件。参见图5,其中分别在第一方向和第二方向上示出根据进一步的实施例的光学系统310的部件布置和光线传播的示意图。如图5所示,第三光组103的一维光学元件即为孔径光阑。第三光组103的一维光学元件的通光孔径Dx可以大于物面(即,显示面)在x方向上的高度A,即Dx>A。如此,可以保证像平面平行于主光轴的光线能通过孔径光阑,否则无法观察完整的悬浮图像,因为x方向的边缘图像光线将无法进入人眼。第三光组103的一维光学元件与第一光组101的焦平面之间的距离为d,并且在y方向上的通光尺寸为Dy,该通光尺寸Dy满足以下等式:

[0077] $$Dy \geq \frac{h}{f} * d$$

[0078] 其中,h为悬浮图像在y方向上的长度,f为第一光组101的焦距。如此,可以保证像

面平行于主光轴的光线能通过孔径光阑,否则无法观察完整的悬浮图像,因为y方向的边缘图像光线将无法进入人眼。

[0079] 可选地,第三光组103的一维光学元件可以被设置在以第一光组101的焦平面为中心的±f范围内。

[0080] 在本发明的一些实施例中,第一光组101和第三光组103可以相对于共轭成像元件沿光轴为基本对称设置,并且第一光组101的焦距可以基本上等于第三光组103的焦距。优选地,共轭成像元件与物面10上光轴处的物点之间的光程基本上等于共轭成像元件与像平面20上光轴处的像点之间的光程。

[0081] 可选地,孔径光阑可以位于第三光组103的像方焦平面处,同时位于第一光组101的物方焦平面处。

[0082] 在下文中,将描述根据本发明实施例的悬浮显示装置中的光学系统的若干示例。

[0083] 第一示例

[0084] 图6示出根据本发明的第一示例的光学系统610以及光线在y-z平面传播的示意图。根据第一示例的悬浮显示装置中的光学系统610的若干细节与上文关于图2-3描述的光学系统110是相同的,在此不再赘述。以下主要描述第一示例的光学系统610的不同之处。

[0085] 在此示例中,光学系统610可以包括孔径光阑601、分光镜602和成像单元603。特别地,第一光组中的一维光学元件(例如,透镜)和第二光组中的具有一维光栅结构的共轭成像元件(例如,一维回射屏)被一体成形为柱面锯齿光栅,即成像单元603。成像单元603的一个方向为曲面,另一方向为一维锯齿结构,锯齿结构为顶角为90度的等腰三角形结构,如图7所示。

[0086] 如图6所示,从物面10上发出的光束经过孔径光阑过滤而入射到分光镜602上,用于成像的部分光经由分光镜602反射到成像单元603的一维锯齿结构上,并且从一维锯齿结构反射回的光经由分光镜602透射到像平面20处以形成悬浮图像。可选地,物面10和像平面20都在成像单元603的2f(两倍焦距)处,其中f为成像单元603在第二方向(y方向)的焦距。

[0087] 以此方式,图像显示单元120的显示面上的点沿x方向通过光学系统610成像的像方孔径角相对较大,满足双目视差条件,由此可以在像平面20处形成悬浮图像。图像显示单元120的显示面上的点沿y方向通过光学系统610成像的像方孔径角相对较小,以获得高成像质量。

[0088] 第二示例

[0089] 图8示出根据本发明的第二示例的光学系统810以及光线在y-z平面传播的示意图。根据第二示例的悬浮显示装置中的光学系统810的若干细节与上文关于图2-3描述的光学系统110是相同的,在此不再赘述。以下主要描述第二示例的光学系统810的不同之处。

[0090] 在此示例中,光学系统810可以包括柱面透镜801(第一光组)、一维格栅透射阵列结构802(第二光组)和孔径光阑803。柱面透镜与物面之间的距离可以被设置在柱面透镜的f(一倍焦距)到2f(两倍焦距)的范围内,以使得光学系统810可以在y方向形成放大的悬浮图像。一维格栅透射阵列结构802的示例如图9所示,一维格栅透射阵列结构可以由若干平行玻璃平板贴合构成,其中贴合面镀有金属反射膜,其中物点o与像点o'光学共轭,该结构的物面与像面等大,并且无像差。

[0091] 以此方式,图像显示单元120的显示面上的点沿x方向通过光学系统810成像的像

方孔径角相对较大,满足双目视差条件,由此可以在像平面20处形成悬浮图像。图像显示单元120的显示面上的点沿y方向通过光学系统810成像的像方孔径角相对较小,以获得高成像质量。

[0092] 第三示例

[0093] 图10示出根据本发明的第三示例的光学系统1010以及光线在y-z平面传播的示意图。根据第三示例的悬浮显示装置中的光学系统1010的若干细节与上文关于图4描述的光学系统210是相同的,在此不再赘述。以下主要描述第三示例的光学系统1010的不同之处。

[0094] 在此示例中,光学系统1010可以包括自由曲面镜1001(第一光组)、一维格栅透射阵列结构1002(第二光组)、一维光学元件1003(第三光组)和孔径光阑1004。如图所示,自由曲面镜1001可以被布置在透射式一维相位共轭元件1002的光学下游并且布置成将从一维格栅透射阵列结构1002透射的光反射到像平面20处。

[0095] 以此方式,图像显示单元120的显示面上的点沿x方向通过光学系统1010成像的像方孔径角相对较大,满足双目视差条件,由此可以在像平面20处形成悬浮图像,该悬浮图像具有x方向视差,同时产生了悬浮图像与光学系统1010形成一定角度的技术效果。

[0096] 第四示例

[0097] 图11示出根据本发明的第四示例的光学系统1110以及光线在y-z平面传播的示意图。根据第四示例的悬浮显示装置中的光学系统1110的若干细节与上文关于图2-4描述的光学系统110或210是相同的,在此不再赘述。以下主要描述第四示例的光学系统1110的不同之处。

[0098] 在此示例中,第二光组102中的共轭成像元件可以起到前述孔径光阑的作用,因此第二光组(特别是共轭成像元件)102可以与孔径光阑集成为一体,作为单个光学部件。参见图11,光学系统1110可以包括自由曲面镜1101(第一光组)、一维回射屏1102(第二光组和孔径光阑)、一维光学元件1103(第三光组)和半反半透镜1004。半反半透镜1004可以被设置在一维光学元件1103的光学下游,并且被布置成将来自一维光学元件1103的光反射到共轭成像元件(一维回射屏1102)并且将从一维回射屏1102反射回的光透射到自由曲面镜1101。自由曲面镜1101可以被布置在半反半透镜1104的光学下游并且配置成将从半反半透镜1104透射的光反射到像平面20处。一维回射屏1102的示例如图12所示,任意照射在一维回射屏表面的光线,一部分光线按照原角度反射。

[0099] 以此方式,图像显示单元120的显示面上的点沿x方向通过光学系统1110成像的像方孔径角相对较大,满足双目视差条件,由此可以在像平面20处形成悬浮图像。图像显示单元120的显示面上的点沿y方向通过光学系统1110成像的像方孔径角相对较小,以获得高成像质量。

[0100] 第五示例

[0101] 图13示出根据本发明的第五示例的光学系统1310以及光线在y-z平面传播的示意图。根据第五示例的悬浮显示装置中的光学系统1310的若干细节与上文关于图2-4描述的光学系统110或210是相同的,在此不再赘述。以下主要描述第五示例的光学系统1310的不同之处。

[0102] 在此示例中,光学系统1310可以包括第一凹面镜1301(第一光组)、一维回射屏1302(第二光组和孔径光阑)、第二凹面镜1303(第三光组)、第一分光平板1304和第二分光

平板1305。第一凹面镜1301布置在物面10与像平面20之间,并且其凹面面向像平面20。第一凹面镜可以为等厚结构,上面涂布有50/50分光膜。第二凹面镜1303的凹面面向一维回射屏1302。第一分光平板1304被倾斜地设置在物面10与第一凹面镜1301之间以及一维回射屏1302与第二凹面镜1303之间。分光平板被设置在第一凹面镜1301与像平面20之间。

[0103] 可选地,第一分光平板1304可以是偏振分光膜,而第二分光平板1305可以是偏振分光平板;在此情况下,光学系统1310还可以包括第一1/4波片1306、第二1/4波片1307和第三1/4波片1308。特别地,第二光组(其中的共轭成像元件)与孔径光阑被整合为单个部件,即一维回射屏1302。也就是说,一维回射屏1302同时也承担着上文描述的孔径光阑的作用。第一1/4波片1306可以被设置在第二凹面镜1303与偏振分光膜之间,第二1/4波片1307可以被设置在一维回射屏1302与偏振分光膜之间,而第三1/4波片1308可以被设置在第一凹面镜1301与偏振分光平板之间。第二1/4波片1307可以按照与第一分光平板1304相同的倾斜方式设置。第二1/4波片1307和第三1/4波片1308的光轴为正交设置。

[0104] 当图像显示单元120的显示面被设置在或被中继到光学系统1310的物面处时,显示面发出的s偏振光被偏振分光膜反射,照射到第二凹面镜1303上,进而被第二凹面镜1303反射的光线经过第一1/4波片1306转换为p偏振光,通过偏振分光膜和第二1/4波片1307透射到一维回射屏1302上;光线被一维回射屏1302反射再次经过第二1/4波片1307而转换为s偏振光,被偏振分光膜反射;被偏振分光膜反射的光线再次通过第二1/4波片1307照射到第一凹面镜1301上,一部分光线通过第一凹面镜1301照射到第三1/4波片1308上,光线通过第三1/4波片1308后仍为s偏振光,被偏振分光平板反射;被偏振分光平板反射的光线照射到第一凹面镜1301上被再次反射,经过第三1/4波片1308后变成p偏振光,并且透过偏振分光平板出射,在空中的像平面20处形成悬浮图像。

[0105] 注意,偏振分光膜、偏振分光平板、第一1/4波片1306、第二1/4波片1307和第三1/4波片1308的使用是为了提高光学系统的光学效率,同时消除不想要的光线(例如,外界光线)影响,而非必要,因为本领域技术人员能够理解到,不使用这些光学元件的光学系统也足以实现形成悬浮图像的目的。

[0106] 以此方式,图像显示单元120的显示面上的点沿x方向通过光学系统1310成像的像方孔径角相对较大,满足双目视差条件,由此可以在像平面20处形成悬浮图像。图像显示单元120的显示面上的点沿y方向通过光学系统1310成像的像方孔径角相对较小,以获得高成像质量。光学系统1310为纯反射结构,无色差,容易实现大尺寸生产。

[0107] 第六示例

[0108] 图14示出根据本发明的第六示例的光学系统1410以及光线在y-z平面传播的示意图。根据第六示例的悬浮显示装置中的光学系统1410的若干细节与上文关于图2-4描述的光学系统110或210以及关于图13描述的光学系统1310是相同的,在此不再赘述。以下主要描述第六示例的光学系统1410的不同之处。

[0109] 在此示例中,光学系统1410可以包括凸透镜1401、一维回射屏1402(第二光组和孔径光阑)、凹面镜1403、分光镜1404和校正透镜1405。凸透镜1401布置在物面10与像平面20之间,并且其凸面面向物面10。凹面镜1403的凹面面向一维回射屏1402。分光镜1404被倾斜地设置在物面10与凸透镜1401之间以及一维回射屏1402与凹面镜1403之间。校正透镜1405设置在分光镜1404与一维回射屏1402之间,用于校正光学系统1410的像差。校正透镜1405

可以是正透镜,也可以是负透镜。在此示例中,凸透镜1401和校正透镜1405构成第一光组,同时凹面镜1403与校正透镜1405构成第三光组。换而言之,在此示例中,校正透镜1405可以同时用作第一光组中的光学元件以及第三光组中的光学元件。

[0110] 可选地,分光镜1404可以是偏振分光膜;在此情况下,光学系统1410还可以包括第一1/4波片1406和第二1/4波片1407。特别地,第二光组(其中的共轭成像元件)与孔径光阑被整合为单个部件,即一维回射屏1402。也就是说,一维回射屏1402同时也承担着上文描述的孔径光阑的作用。

[0111] 当图像显示单元120的显示面被设置在或被中继到光学系统1310的物面处时,显示面发出的s偏振光被偏振分光膜反射照射到凹面镜1403上;被凹面镜1403反射的光线第二次经过第一1/4波片1406而转换为p偏振光,通过偏振分光膜和第二1/4波片1407透射到到校正透镜1405上;经过校正透镜1405的光线被一维回射屏1402反射再次经过校正透镜1405,经过第二1/4波片1407转换为s偏振光,被偏振分光膜反射;被偏振分光膜反射的光线通过凸透镜1401在空中的像平面20处汇聚,形成悬浮图像。

[0112] 注意,偏振分光膜、第一1/4波片1406和第二1/4波片1407的使用是为了提高光学系统的光学效率,同时消除不想要的光线(例如,外界光线)影响,而非必要,因为本领域技术人员能够理解到,不使用这些光学元件的光学系统也足以实现形成悬浮图像的目的。

[0113] 以此方式,图像显示单元120的显示面上的点沿x方向通过光学系统1410成像的像方孔径角相对较大,满足双目视差条件,由此可以在像平面20处形成悬浮图像。图像显示单元120的显示面上的点沿y方向通过光学系统1410成像的像方孔径角相对较小,以获得高成像质量。

[0114] 在上述第五示例和第六示例中,光学系统1310或1410可以为对称结构,第二光组中的一维回射屏1302或1402为光学系统1310或1410的中间位置,即共轭成像元件与物面之间的光程基本上等于共轭成像元件与像平面之间的光程。另外,第一光组的焦距基本上等于第三光组的焦距,物面10和像平面20基本上等大。

[0115] 第七示例

[0116] 图15示出根据本发明的第七示例的光学系统1510以及光线在y-z平面传播的示意图。根据第七示例的悬浮显示装置中的光学系统1510的若干细节与上文关于图5描述的光学系统310是相同的,在此不再赘述。以下主要描述第七示例的光学系统1510的不同之处。

[0117] 在此示例中,光学系统1510可以包括平凸柱面镜1501(第一光组)、锯齿光栅1502(第二光组)、柱面凹面镜1503(第三光组和孔径光阑)、偏振分光平板1504、第一偏光片1505、第二偏光片1506、第一1/4波片1507和第二1/4波片1508。特别地,第三光组(即,其中的一维光学元件)与孔径光阑被整合为单个部件,即柱面凹面镜1503,并且其凹面面向物面10。也就是说,柱面凹面镜1503同时也承担着y方向的孔径光阑的作用。共轭成像元件是布置成面向像平面20的锯齿光栅1502,并且第一光组中的一维光学元件为布置在像平面20与锯齿光栅1502之间的平凸柱面镜1501,平凸柱面镜1501的平面侧面向像平面20,平凸柱面镜1501的凸面侧面向锯齿光栅1502。偏振分光平板1504倾斜地设置在物面10与柱面凹面镜1503之间以及锯齿光栅1502与平凸柱面镜1506之间。第一偏光片1505设置在物面10与偏振分光平板1504之间以用于将来自物面10的光转换为p偏振光。第二偏光片1506设置在平凸柱面镜1501的光学下游以用于阻挡s偏振光透过。第一1/4波片1507设置在柱面凹面镜1503

与偏振分光平板1504之间以用于将从柱面凹面镜1503反射回的光转换为s偏振光。第二1/4波片1508设置在偏振分光平板1504与锯齿光栅1502之间以用于将从锯齿光栅1502反射回的光转换为p偏振光。

[0118] 当图像显示单元的显示面设置在或中继到该光学系统1510的物面处时,显示面发出的光经过第一偏光片1505,转换为p偏振光,经过偏振分光平板1504,偏振分光平板1504透过p偏振光,反射s偏振光,因此显示面发出的光线穿透偏振分光平板1504,经过第一1/4波片1507,照射到柱面凹面镜1503上。从柱面凹面镜1503上返回的光线再次经过第一1/4波片1507,转换为s偏振光,被偏振分光平板1504反射,经过第二1/4波片照射到锯齿光栅1502上。从锯齿光栅1502上反射的光线再次经过第二1/4波片1508,转换为p偏振光透过偏振分光平板1504,照射到平凸柱面镜1506上。最后,光线穿过平凸柱面镜1501在空中像平面20处形成悬浮图像。第二偏光片1506的作用是只让p偏振光透过,滤出s偏振光杂光,同时外界光入射到锯齿光栅1502时,和第二1/4波片1508配合,可以消除外界光线影响。

[0119] 以此方式,图像显示单元120的显示面上的点沿x方向通过光学系统1510成像的像方孔径角相对较大,满足双目视差条件,由此可以在像平面20处形成悬浮图像。图像显示单元120的显示面上的点沿y方向通过光学系统1510成像的像方孔径角相对较小,以获得高成像质量。

[0120] 第八示例

[0121] 图16示出根据本发明的第八示例的光学系统1610以及光线在y-z平面传播的示意图。根据第八示例的悬浮显示装置中的光学系统1610的若干细节与上文关于图5描述的光学系统310是相同的,在此不再赘述。以下主要描述第八示例的光学系统1610的不同之处。

[0122] 在此示例中,光学系统1610可以包括平凸柱面镜1601(第一光组)、一维回射屏1602(第二光组)、柱面凹面镜1603(第三光组和孔径光阑)、偏振分光膜1604、分光镜1605、第一偏光片1606、第二偏光片1607和1/4波片1608。特别地,第三光组(即,其中的一维光学元件)与孔径光阑被整合为单个部件,即柱面凹面镜1603,并且其凹面面向物面10。也就是说,柱面凹面镜1603同时也承担着y方向的孔径光阑的作用。具有一维光栅结构的共轭成像元件是一维回射屏1602,并且第一光组中的一维光学元件为布置在像平面20与偏振分光膜1604之间的平凸柱面镜1601,平凸柱面镜1601的平面侧面向像平面20,平凸柱面镜1601的凸面侧面向偏振分光膜1604。分光镜1605倾斜地设置在物面10与柱面凹面镜1603之间,用于将来自物面10的光透射到柱面凹面镜1603并且将从柱面凹面镜1603反射回的光反射到一维回射屏1602上。偏振分光膜1604倾斜地设置在分光镜1605与一维回射屏1602之间,用于通过p偏振光而反射s偏振光。偏振分光膜1604将从一维回射屏1602反射回的s偏振光反射到平凸柱面镜1601。第一偏光片1606设置在分光镜1605与偏振分光膜1604之间以用于将来自物面10的光转换为p偏振光。1/4波片1608设置在偏振分光膜1604与一维回射屏1602之间以用于将从一维回射屏1602反射回的光转换为s偏振光。第二偏光片1607设置在平凸柱面镜1601的光学下游以用于通过s偏振光。

[0123] 当图像显示单元的显示面设置在该光学系统1610的物面10处时,显示面发出的光经过分光镜1605照射到柱面凹面镜1603上并且被凹面镜1603反射,再次照射到分光镜1605上,被反射至1606上,1606为偏光片用以通过p偏振态的光线;p态偏振光进一步通过偏振分光膜(通P光反s光),照射到1/4波片1608上,光线被一维回射屏1602反射后再次经过1/4波

片1608,变成s偏振光;s偏振光被偏振分光膜1604反射,照射到透镜1601上,通过第二偏光片1607出射,在空间中形成悬浮图像。第二偏光片1607可以通过s偏振光。第二偏光片1607和第一偏光片1606的吸收轴方向正交,可以防止从显示面出射的大角度光线直接穿过第二偏光片1607和第一偏光片1606射入人眼,形成鬼像。

[0124] 以此方式,图像显示单元120的显示面上的点沿x方向通过光学系统1610成像的像方孔径角相对较大,满足双目视差条件,由此可以在像平面20处形成悬浮图像,图像显示单元120的显示面上的点沿y方向通过光学系统1610成像的像方孔径角相对较小,以获得高的成像质量。。

[0125] 第九示例

[0126] 图17示出根据本发明的第九示例的光学系统1710以及光线在y-z平面传播的示意图。根据第九示例的悬浮显示装置中的光学系统1710的若干细节与上文关于图5描述的光学系统310是相同的,在此不再赘述。以下主要描述第九示例的光学系统1710的不同之处。

[0127] 在此示例中,光学系统1710可以包括分光凹面镜1701(第一光组)、一维回射屏1702(第二光组)、柱面凹面镜1703(第三光组和孔径光阑)、分光平板1704、偏振分光平板1705、第一偏光片1706、第一1/4波片1707和第二1/4波片1708。特别地,第三光组(即,其中的一维光学元件)与孔径光阑被整合为单个部件,即柱面凹面镜1703,并且其凹面面向物面10。也就是说,柱面凹面镜1703同时也承担着y方向的孔径光阑的作用。相位共轭光学元件是一维回射屏1702,并且第一光组中的一维光学元件为布置在分光平板1704与偏振分光平板1705之间的分光凹面镜1701,分光凹面镜1701的凹面面向像平面20。

[0128] 分光平板1704倾斜地设置在物面10与柱面凹面镜1703之间,用于将来自物面10的光透射到柱面凹面镜1703并且将从柱面凹面镜1703反射回的光反射到分光凹面镜1701上。偏振分光平板1705倾斜地设置在分光凹面镜1701与像平面20之间,用于通过p偏振光而反射s偏振光,并且偏振分光平板1705将从一维回射屏1702反射回的s偏振光反射到分光凹面镜1701。第一偏光片1706设置在分光平板1704与物面10之间以用于将来自物面10的光转换为p偏振光。第一1/4波片1707设置在分光平板1704与分光凹面镜1701之间。第二1/4波片1708设置在偏振分光平板1705与分光凹面镜1701之间。

[0129] 当图像显示单元的显示面设置在该光学系统1410的物面10处时,显示面发出的光经过1706(1/4波片+偏光片),出射光线为p偏振光,通过分光平板1704,照射到柱面凹面反射镜1703上。光线被柱面凹面反射镜1703反射,之后被分光平板1704反射,照射到第一1/4波片1707上,将p偏振光转换为圆偏振光,然后照射到分光凹面镜1701上。分光凹面镜1701为具有一定曲率的等厚平板结构,表面镀有半反半透膜。光线通过分光凹面镜1701后照射到第二1/4波片1708上,将圆偏振光转换为s偏振光,被偏振分光平板1705反射,照射到一维回射屏1702上被反射,第二次被偏振分光平板反射后通过第二1/4波片1708,转换为圆偏振光,一部分光线被分光凹面镜1701反射,再次通过第二1/4波片1708转换为p偏振光,通过偏振分光平板1705出射,在空中形成悬浮图像。

[0130] 以此方式,图像显示单元120的显示面上的点沿x方向通过光学系统1710成像的像方孔径角相对较大,满足双目视差条件,由此可以在像平面20处形成悬浮图像。

[0131] 可选地,在上述示意性实施例和示例中,在光学系统110的物面为平面的情况下,由于光学系统在y方向上可能存在场曲,所以悬浮图像可能会被形成为弯曲的。因此,为了

校正y方向的场曲,可以将光学系统110的物面在y方向上设置为曲面。例如,如果图像显示单元120的显示面与光学系统110的物面重合,那么可以将显示面设置成曲面。或者,显示面可以通过中继成像单元在光学系统110的物面处形成曲面像。

[0132] 根据本发明的另一示例性实施例,还提供了一种多层显示设备。

[0133] 图18示出根据本发明实施例的多层显示设备1800的示意图。

[0134] 多层显示设备1800可以包括前文所述的任一悬浮显示装置1810以及透明显示器1820。透明显示部件1820可以被设置在悬浮显示装置1810的光学下游。透明显示部件1820的显示面30与像平面20位于不同的位置处。透明显示部件1820可以具有高透过率,例如透明OLED/LED/LCD显示器或菲林片(幻灯片)。

[0135] 以上描述了根据本发明示例性实施例的多层显示设备1800。利用多层显示设备1800,悬浮显示装置1810可以在像平面20处形成悬浮图像,透明显示器1820可以在显示面30处显示不同信息。如此,可以将次要信息显示在显示面30上,而将重要信息呈现在像平面20处,由此提升人们获取信息的效率和体验度。

[0136] 以上详细描述了根据本发明的示例性实施例的悬浮显示装置、其中使用的光学系统以及多层显示设备。该悬浮显示装置中的光学系统易于加工,可以有效降低成本,同时消除了现有技术中存在的鬼像问题,并且具有更加灵活的光学布局。采用该悬浮显示装置,实现显示面在空中的光场重构,是一种光场三维显示技术。显示面上的光束沿第一方向通过光学系统成像的像方孔径角相对较大,满足双目视差条件,由此可以实现图像的浮空显示。特别地,对于本发明的悬浮显示装置中的光学系统而言,本文中提到的孔径光阑只承担在第二方向限制光线的作用,而第一方向限制光线的作用可以由第一光组或者具有一维光栅结构的共轭成像元件承担。与传统光学系统相比,第一和第二方向起孔径光阑作用的光学元件可以不为同一个光学元件。

[0137] 应当理解,上述说明是示意性的而非限制性的。例如,上述实施例(和/或其各方面)可以彼此结合起来使用。此外,在不脱离本发明的范围的情况下,可以进行许多修改,以使特定的状况或材料适应于本发明各个实施例的教导。虽然本文所述的材料的尺寸和类型用来限定本发明各个实施例的参数,但是各个实施例并不意味着是限制性的,而是示例性的实施例。在阅读上述说明的情况下,许多其它实施例对于本领域技术人员而言是明显的。因此,本发明的各个实施例的范围应当参考所附权利要求,以及这些权利要求所要求保护的等同形式的全部范围来确定。

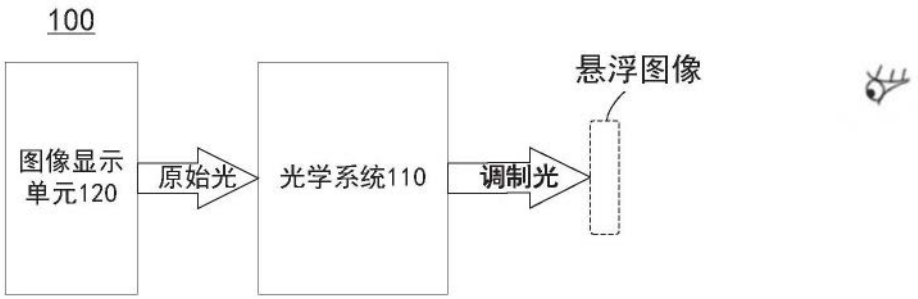

100
图像显示
单元120
原始光
光学系统110
调制光
悬浮图像

图1

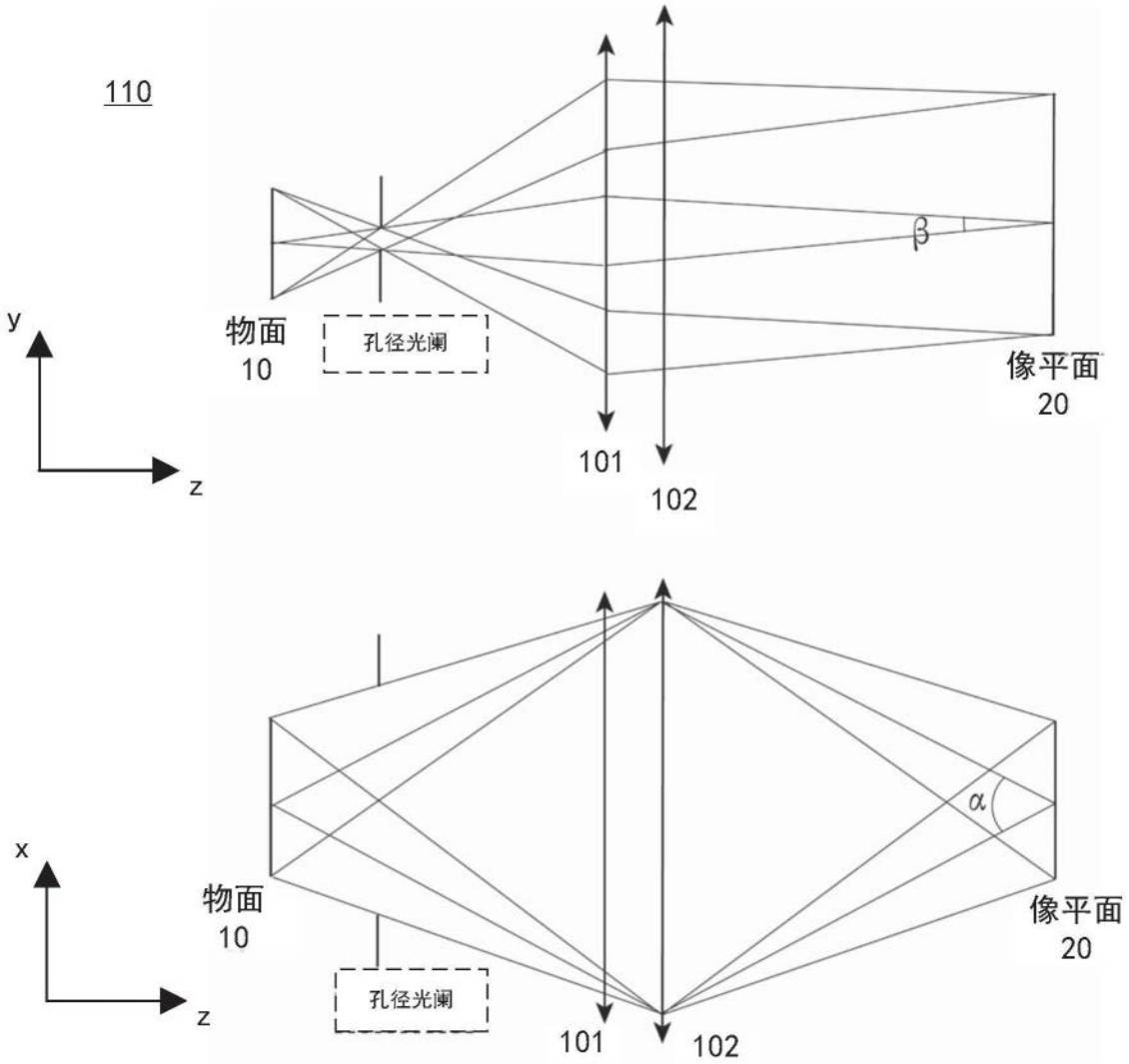

110
y
z
物面
10
孔径光阑
β
像平面
20
101
102
x
z
物面
10
孔径光阑
α
像平面
20
101
102

图2

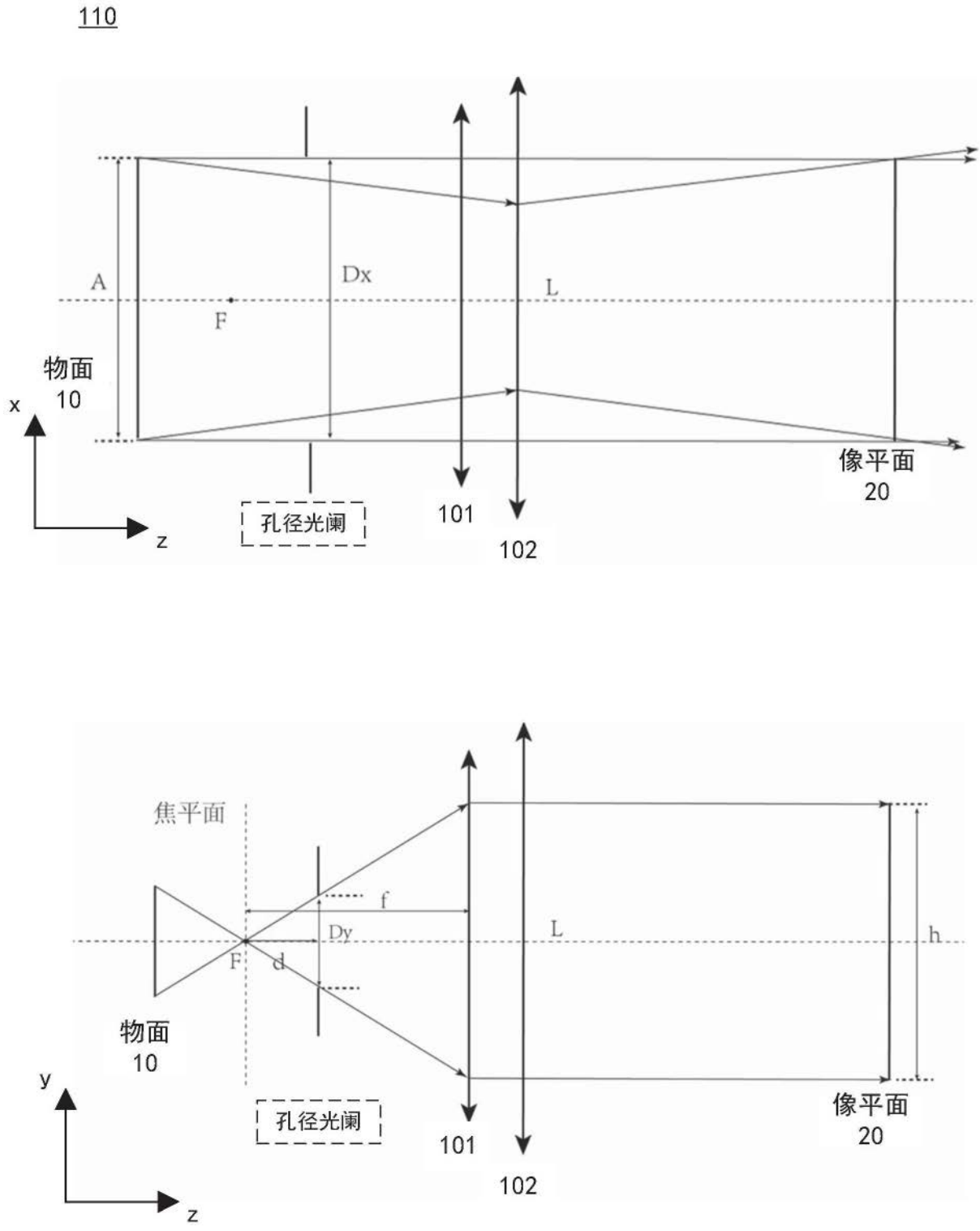

110
A
Dx
L
F
物面
10
x
z
孔径光阑
101
102
像平面
20
焦平面
f
Dy
L
h
F
d
物面
10
y
z
孔径光阑
101
102
像平面
20

图3

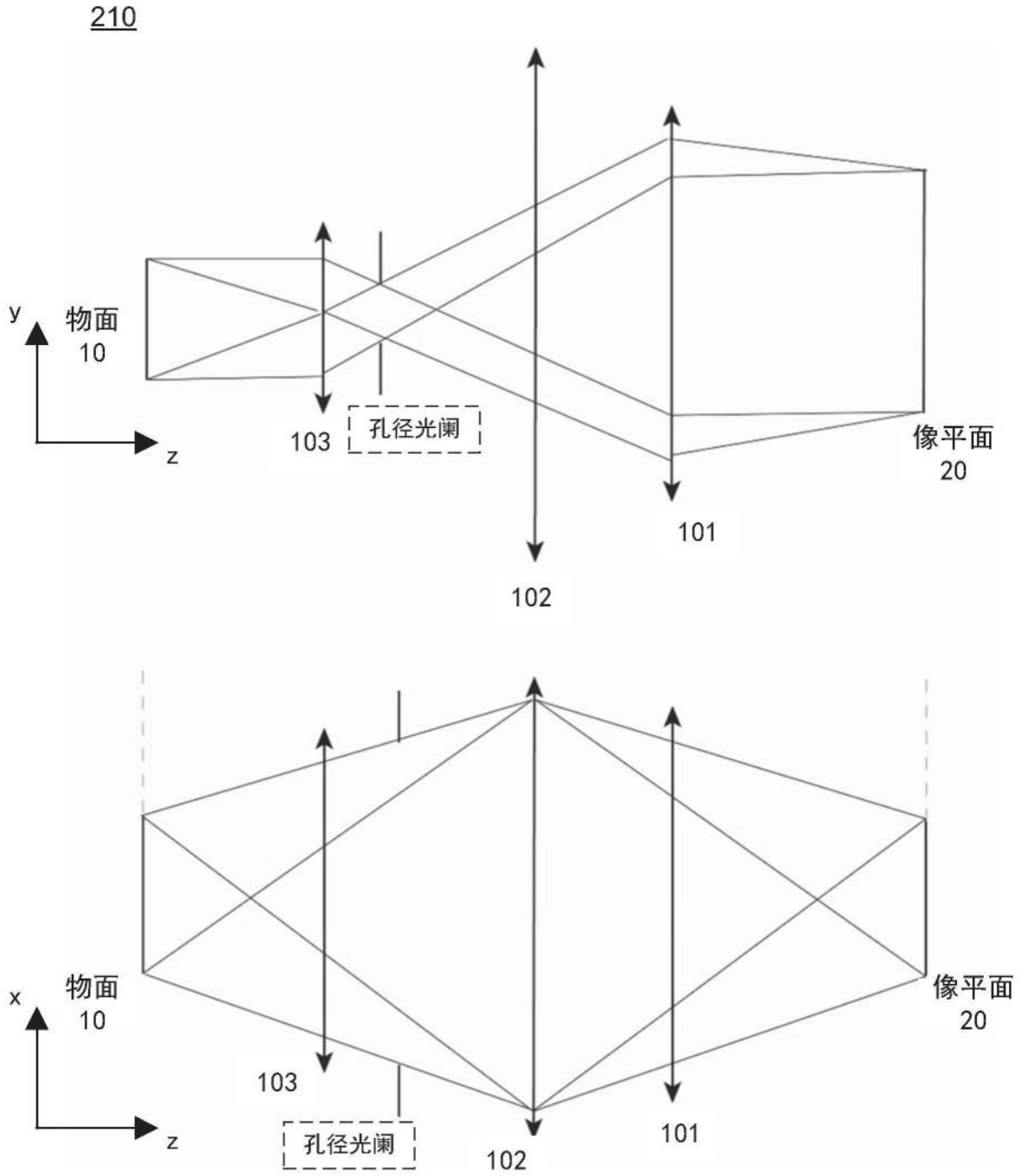

210
y
物面
10
z
103
孔径光阑
像平面
20
101
102
x
物面
10
z
103
孔径光阑
102
101
像平面
20

图4

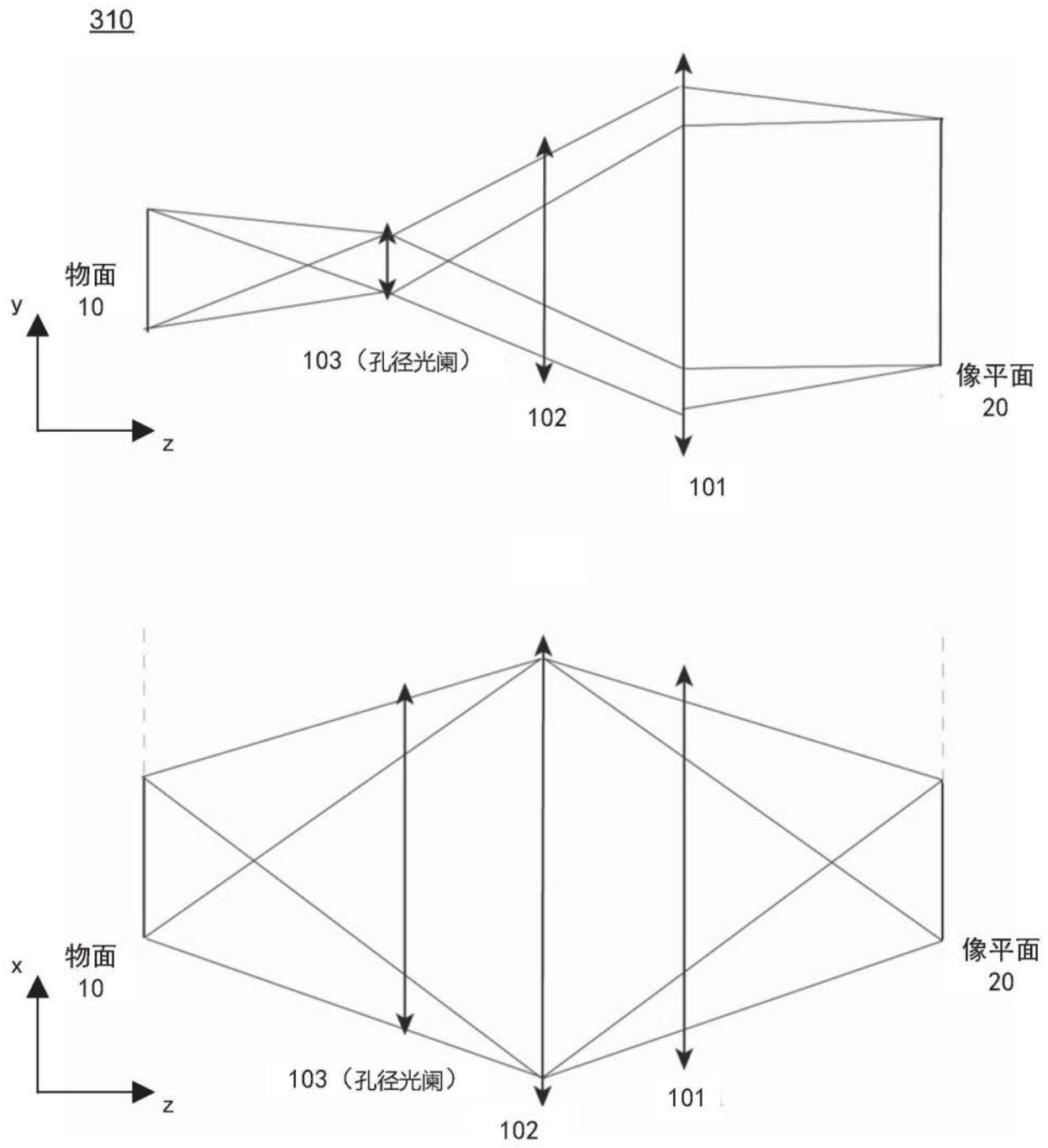

310
物面
10
y
z
103（孔径光阑）
102
101
像平面
20
物面
10
x
z
103（孔径光阑）
102
101
像平面
20

图5

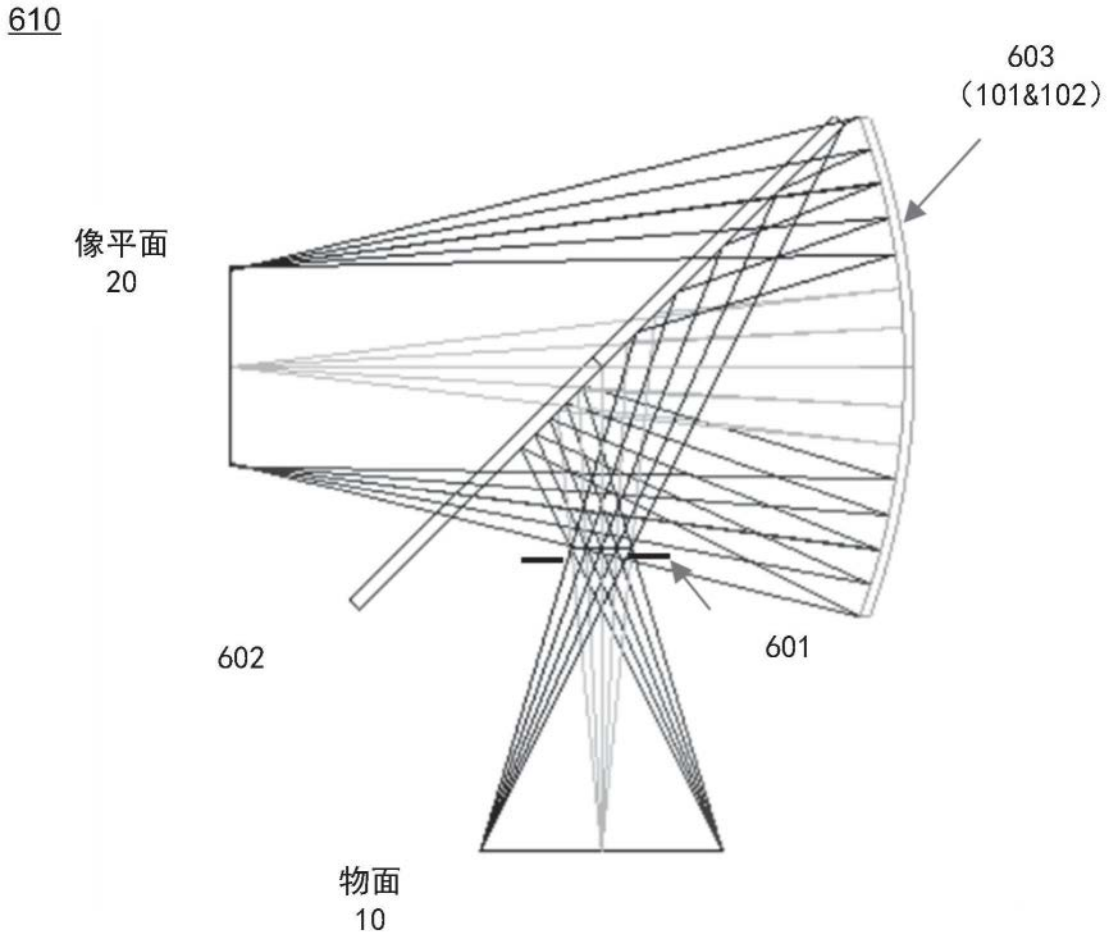


图6

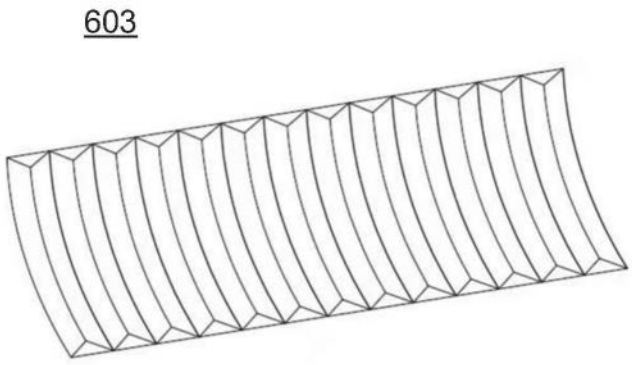


图7

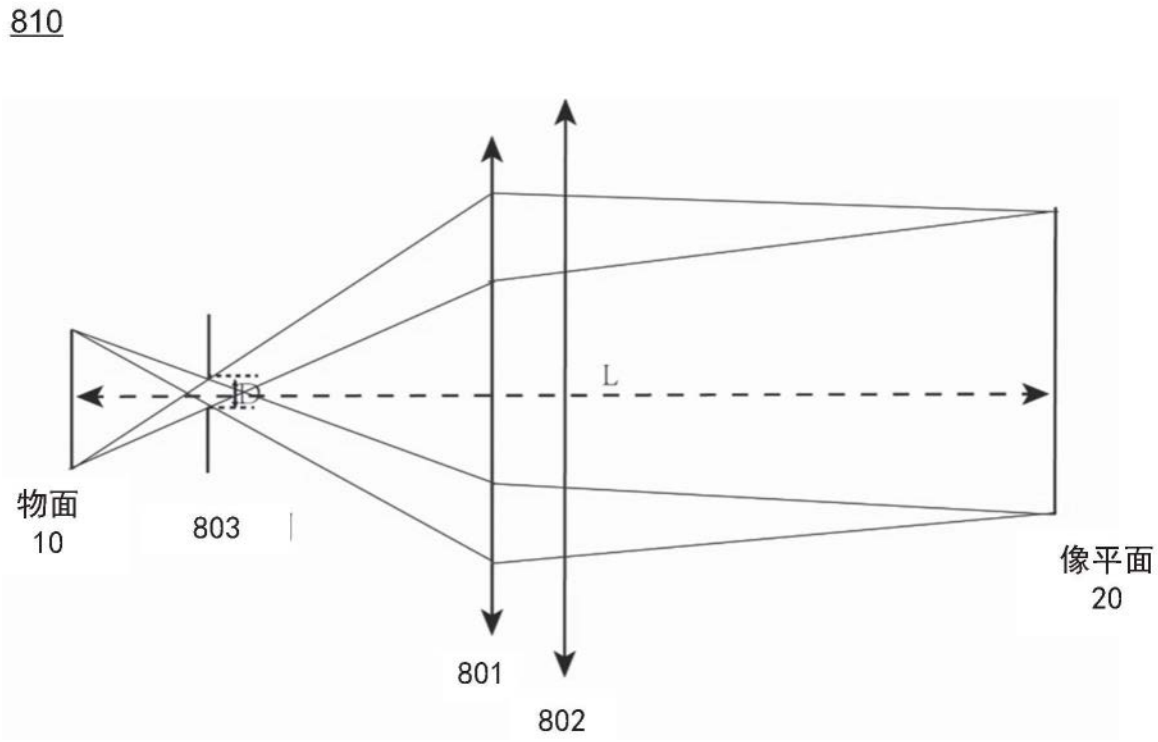


图8

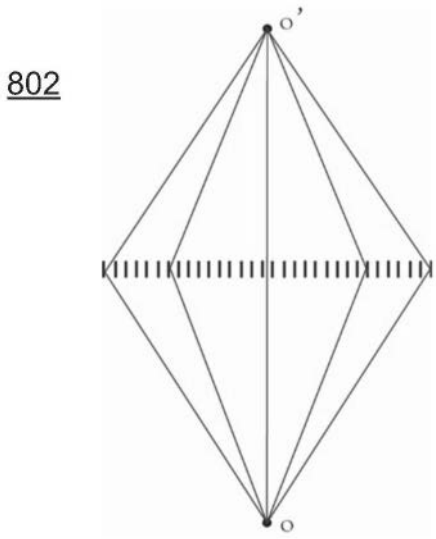


图9

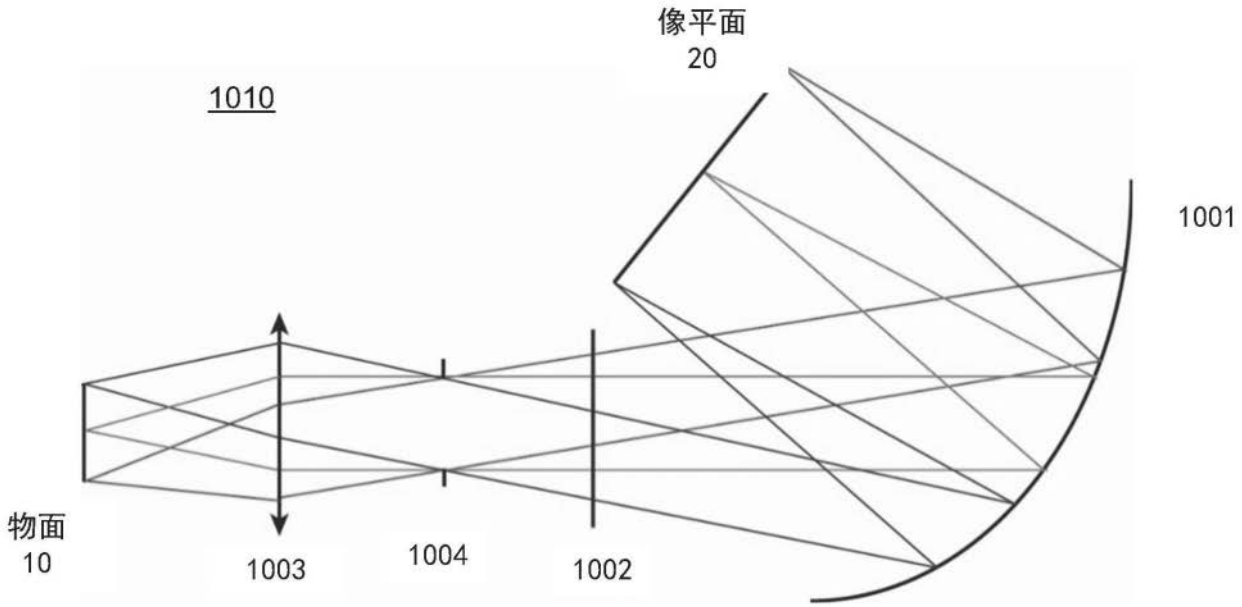

像平面
20
1010
1001
物面
10
1003
1004
1002

图10

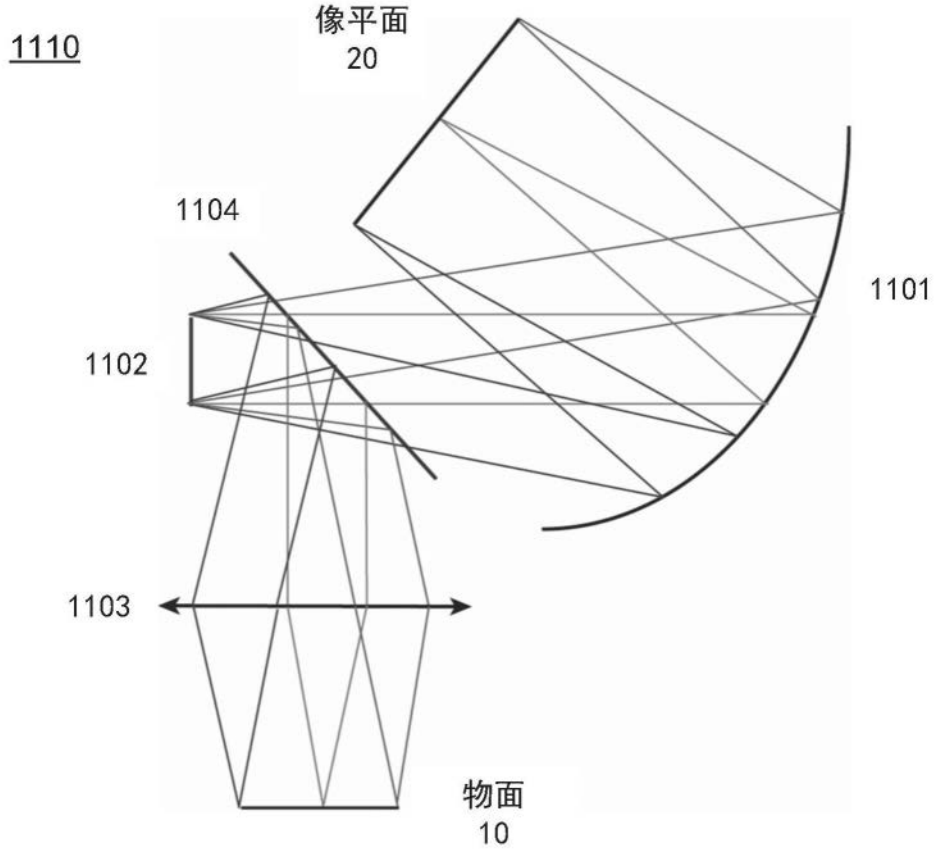

1110
像平面
20
1104
1101
1102
1103
物面
10

图11

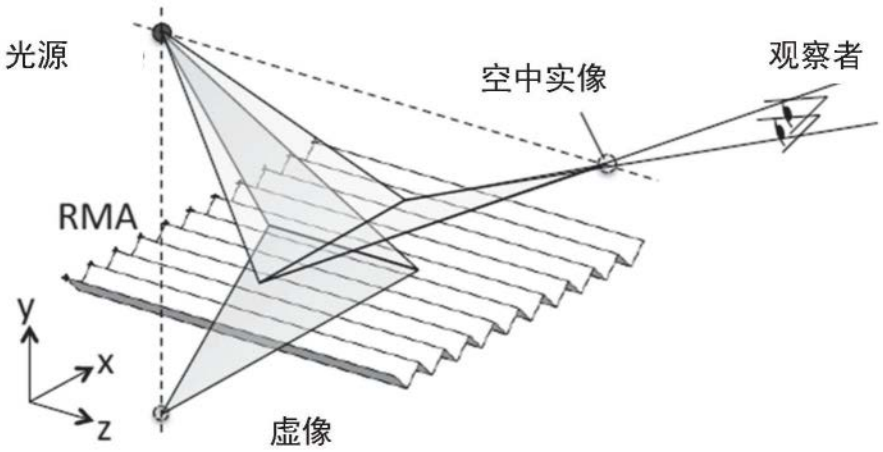

光源
空中实像
观察者
RMA
y
x
z
虚像

图12

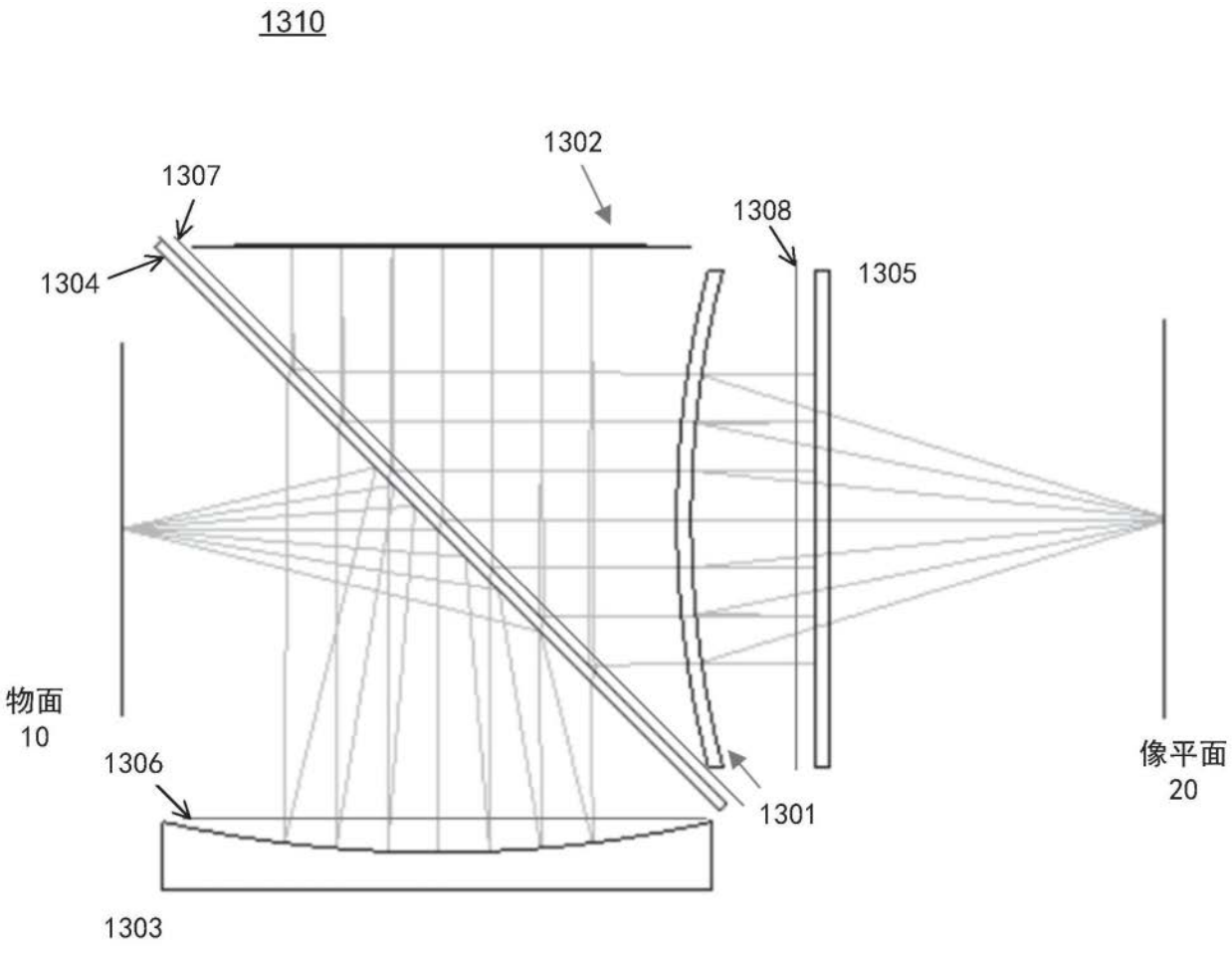

1310
1302
1307
1308
1304
1305
物面
10
1306
1301
像平面
20
1303

图13

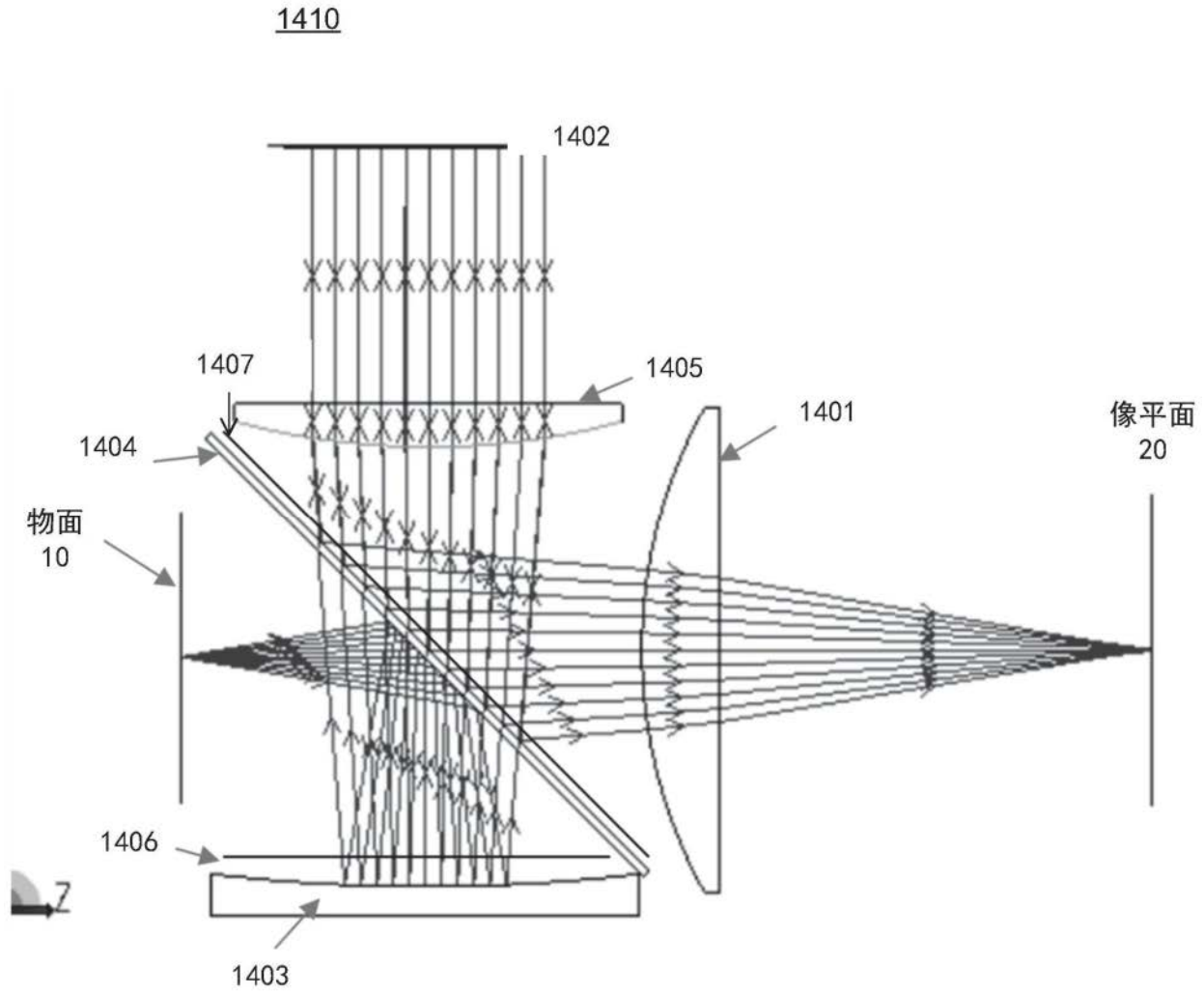


图14

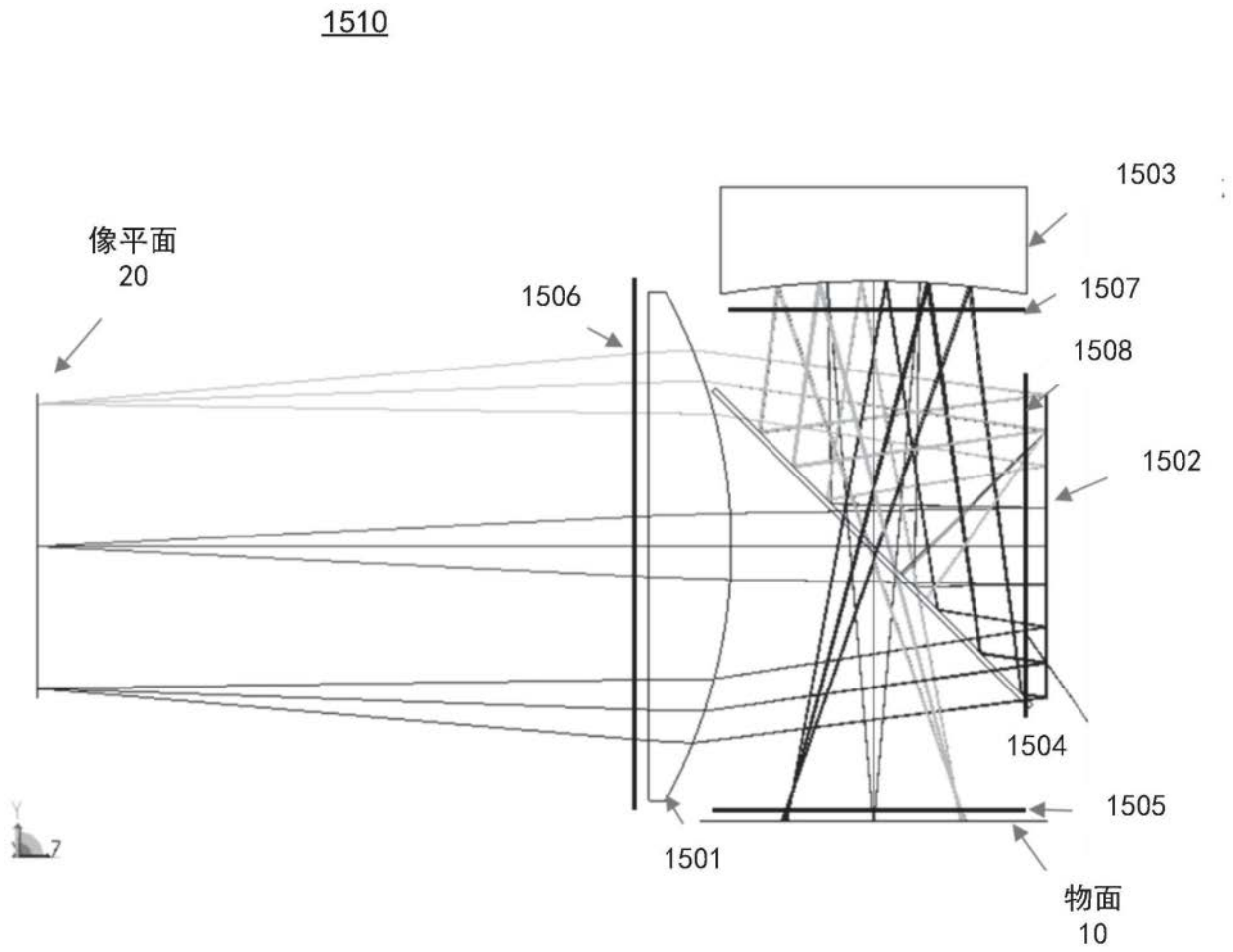


图15

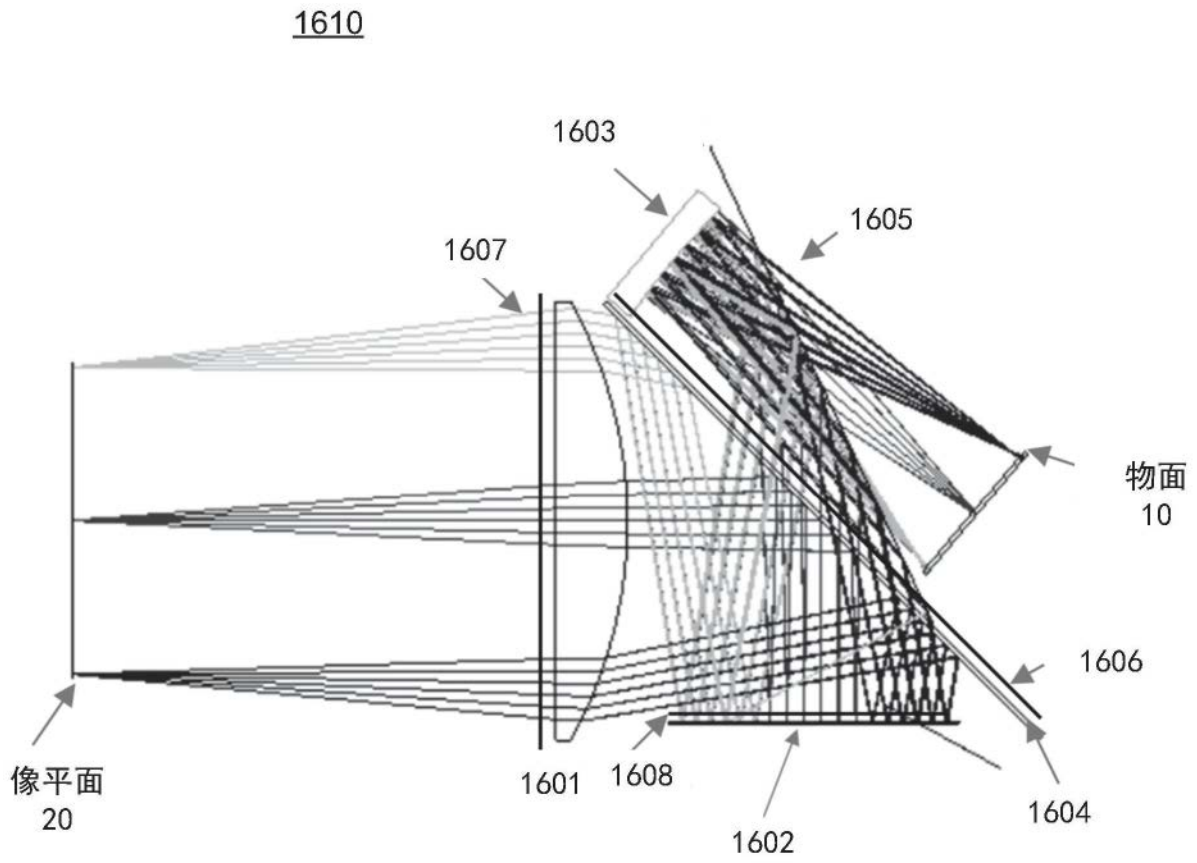


图16

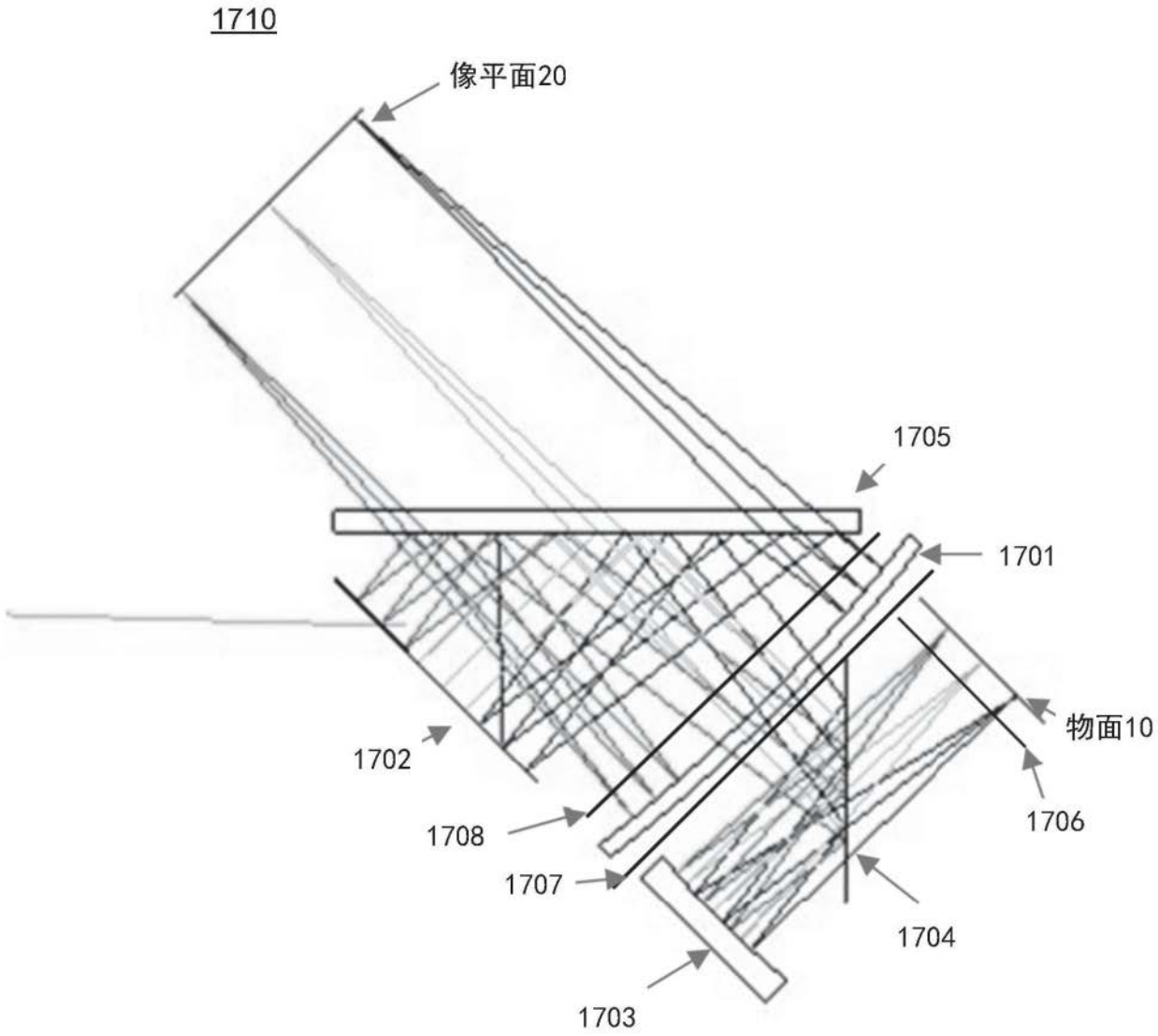


图17

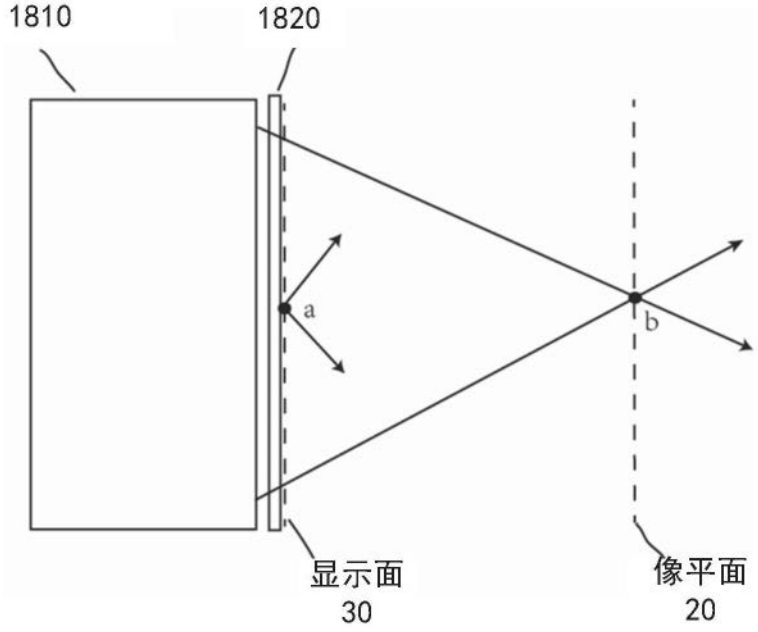


图18