

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2022 年 6 月 23 日 (23.06.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/127677 A1

(51) 国际专利分类号:
G02B 30/56 (2020.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2021/136697

(22) 国际申请日: 2021 年 12 月 9 日 (09.12.2021)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202011510693.0 2020 年 12 月 18 日 (18.12.2020) CN

(71) 申请人: 上海誉沛光电科技有限公司 (SHANGHAI YUPEI PHOTOELECTRIC TECHNOLOGY LIMITED) [CN/CN]; 中国上海市金山区廊下镇景乐路 228 号, Shanghai 201516 (CN)。

(72) 发明人: 牛磊 (NIU, Lei); 中国上海市金山区廊下镇景乐路 228 号, Shanghai 201516 (CN)。

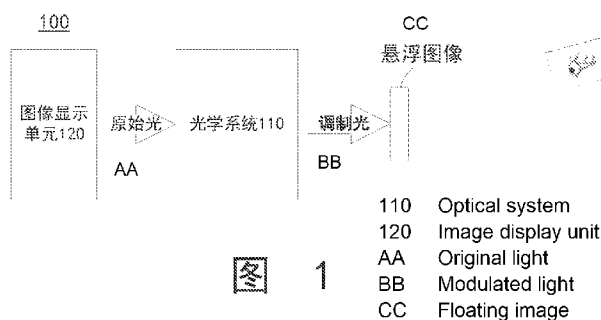
(74) 代理人: 上海专利商标事务所有限公司 (SHANGHAI PATENT & TRADEMARK LAW OFFICE, LLC); 中国上海市桂平路 435 号, Shanghai 200233 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG,

(54) Title: FLOATING DISPLAY APPARATUS AND MULTI-LAYER DISPLAY DEVICE COMPRISING SAME

(54) 发明名称: 悬浮显示装置以及包括其的多层显示设备



(57) Abstract: A floating display apparatus (100) and a multi-layer display device comprising same. The floating display apparatus (100) comprises: an image display unit (120), the image display unit (120) having a display surface of an image and emitting, from the display surface, display light constituting an initial image; and an optical system (110), the optical system (110) defining an object surface (10) and an image plane (20), and the optical system (110) being configured to receive the display light emitted from the display surface at the object surface (10). The optical system (110) comprises a plurality of optical groups (101, 102, 103); the plurality of optical groups (101, 102, 103) are configured to have different capabilities of converging light in a first direction (x direction) and a second direction (y direction); the first direction (x direction) and the second direction (y direction) are respectively orthogonal to the optical axis of the floating display apparatus (100); the optical system (110) has an aperture diaphragm for constraining light from the object plane (10) in the second direction (y direction); the display light forms a floating image at the image plane (20) in the air after being propagated via the optical system (110); an image-side aperture angle of the first direction (x direction) is greater than that of the second direction (y direction).

CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布：

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要：一种悬浮显示装置(100)和包括其的多层显示设备。悬浮显示装置(100)包括：图像显示单元(120)，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；以及光学系统(110)，光学系统(110)限定物面(10)和像平面(20)，光学系统(110)被布置成在物面(10)处接收从显示面发出的显示光，其中光学系统(110)包括多个光组(101,102,103)，多个光组(101,102,103)被配置成在第一方向(x方向)和第二方向(y方向)上具有不同的会聚光线的能力，第一方向(x方向)和第二方向(y方向)分别与悬浮显示装置(100)的光轴正交，其中光学系统(110)具有孔径光阑以用于在第二方向(y方向)上约束来自物面(10)的光线，其中显示光在经由光学系统(110)传播后在空中的像平面(20)处形成悬浮图像，其中第一方向(x方向)的像方孔径角大于第二方向(y方向)的像方孔径角。

悬浮显示装置以及包括其的多层显示设备

5 技术领域

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

10 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。

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15 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20 太高。

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

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，25 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。

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。

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。

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

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：

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；

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；

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；

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；

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；

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；

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；

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；

图 9 示出一维格栅透射阵列结构 802 的示例；

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；

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。

图 12 示出一维回射屏的示例结构；

5 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；

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；

10 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；

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；

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

15 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

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。

20

25

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

30

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。

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。

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。

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。

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。

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。

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。

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 。

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。

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。

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。

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。

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。

5 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。

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。

10 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:

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

15 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。

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 $\pm f$ 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。

20 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 $\beta_x = 1$,而在
y 方向的垂轴倍率 $\beta_y \geq 1$,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 $\beta_y > 1$,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。

25 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。

30 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。

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。

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 $d1 \leq f1$ ， $d1$ 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。

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：

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

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。

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 $\pm f$ 范围内。

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。

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。

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。

第一示例

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。

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。

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。

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。

第二示例

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。

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。

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。

第三示例

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。

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。

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。

第四示例

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。

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。

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。

第五示例

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。

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。

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。

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。

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。

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。

第六示例

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。

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。

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。

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。

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。

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。

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。

第七示例

10 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。

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
15 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
20 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
25 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。

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。

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。

第八示例

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。

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。

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。

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。。

第九示例

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。

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。

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。

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。

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。

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。

5 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。

图 18 示出根据本发明实施例的多层显示设备 1800 的示意图。

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
10 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）。

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。

15 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，
20 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。

25

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
30 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。

权 利 要 求 书

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，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。

2. 如权利要求 1 所述的悬浮显示装置，其特征在于，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。

3. 如权利要求 2 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。

4. 如权利要求 3 所述的悬浮显示装置，其特征在于，所述孔径光阑设置在以所述第一光组的焦平面为中心的 $\pm f$ 范围内。

5. 如权利要求 2 所述的悬浮显示装置，其特征在于，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。

6. 如权利要求 2 所述的悬浮显示装置, 其特征在于, 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 7. 如权利要求 2 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, 所述第三光组设置在所述孔径光阑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。

10 8. 如权利要求 7 所述的悬浮显示装置, 其特征在于, 在所述第二方向上, 所述第一光组的通光尺寸 D_1 大于等于所述第三光组的通光尺寸 D_3 , 所述第一光组的焦距 f_1 大于或等于所述第三光组的焦距 f_3 。

15 9. 如权利要求 7 所述的悬浮显示装置, 其特征在于, 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 $d_1 \leq f_1$, d_1 为所述像平面与所述第一光组之间的距离。

10. 如权利要求 7 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。

20 11. 如权利要求 7 所述的悬浮显示装置, 其特征在于, 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。

25 12. 如权利要求 7 所述的悬浮显示装置, 其特征在于, 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。

30 13. 如权利要求 10 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, 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。

14. 如权利要求 13 所述的悬浮显示装置, 其特征在于, 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:

5 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。

15 15. 如权利要求 14 所述的悬浮显示装置,其特征在于,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。

15

16. 如权利要求 13 所述的悬浮显示装置,其特征在于,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,

20 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。

25

17. 如权利要求 16 所述的悬浮显示装置,其特征在于,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。

30

18. 如权利要求 7 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。

19. 如权利要求 18 所述的悬浮显示装置，其特征在于，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。

20. 如权利要求 18 所述的悬浮显示装置，其特征在于，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。

21. 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。

5 22. 如权利要求 1-21 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。

23. 如权利要求 2-20 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
10 所述像平面上光轴处的像点之间的光程。

24. 一种多层显示设备，包括：

如权利要求 1-23 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
15 件的显示面与所述像平面位于不同的位置处。

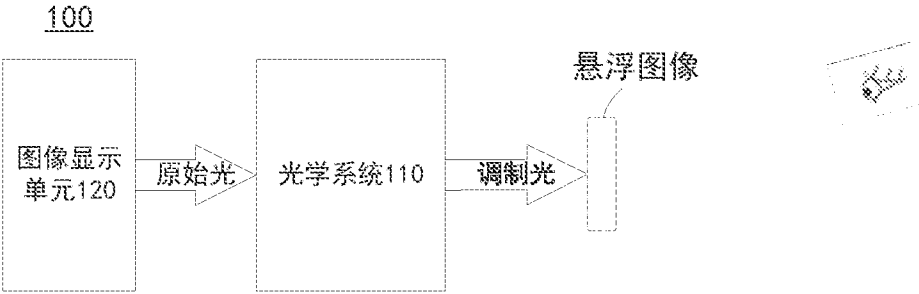


图 1

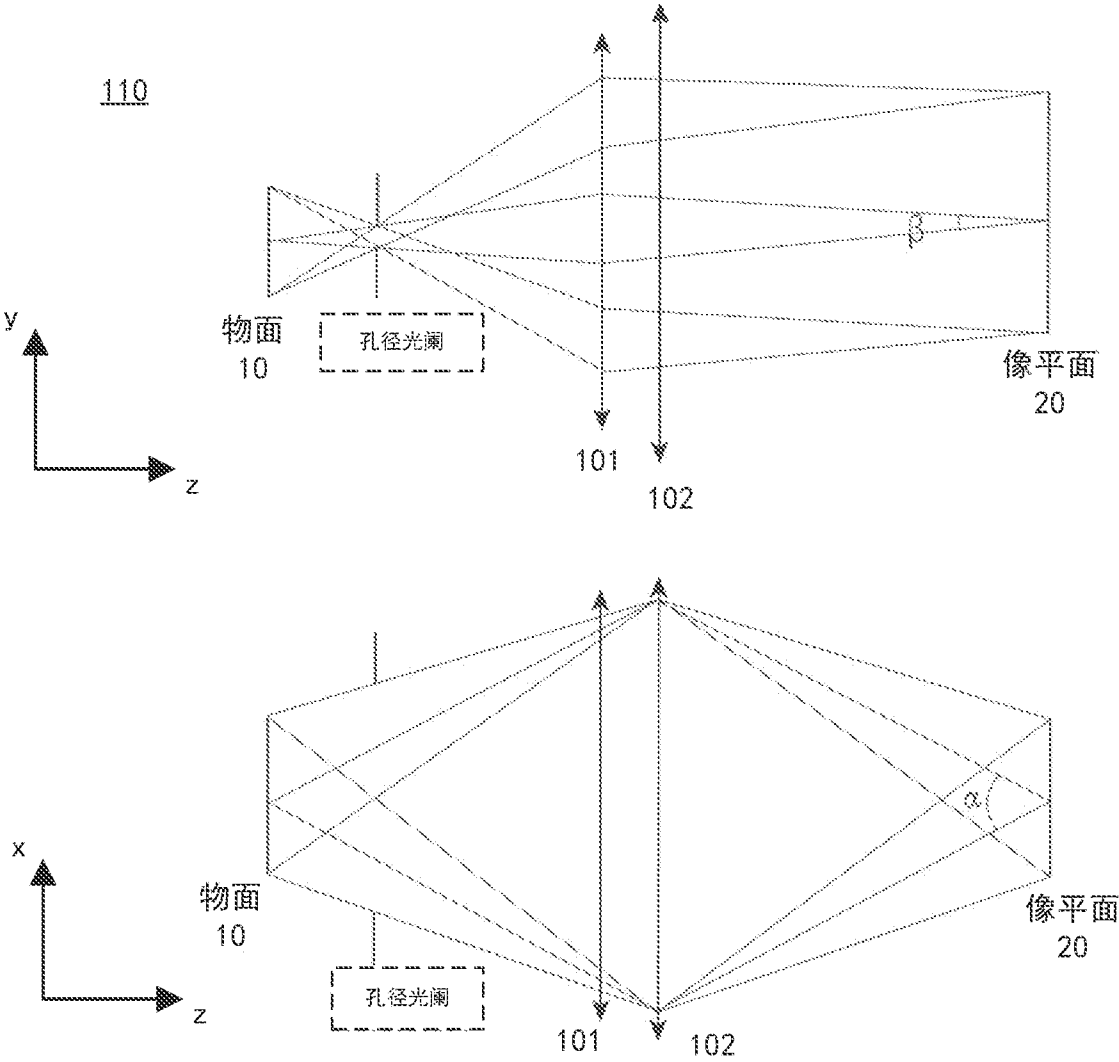


图 2

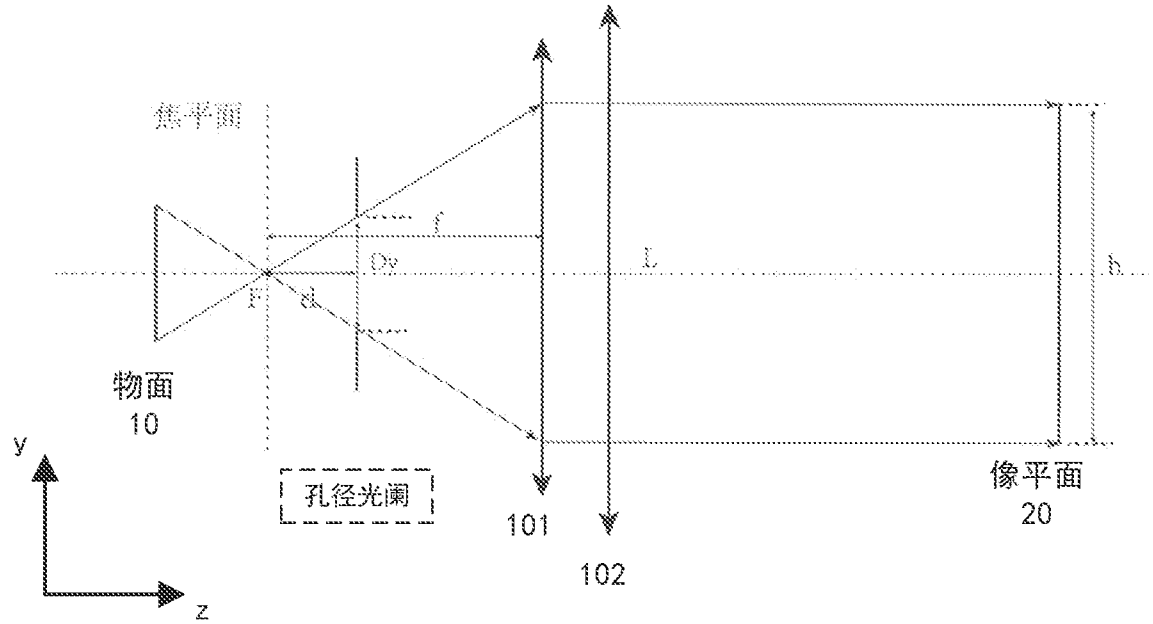
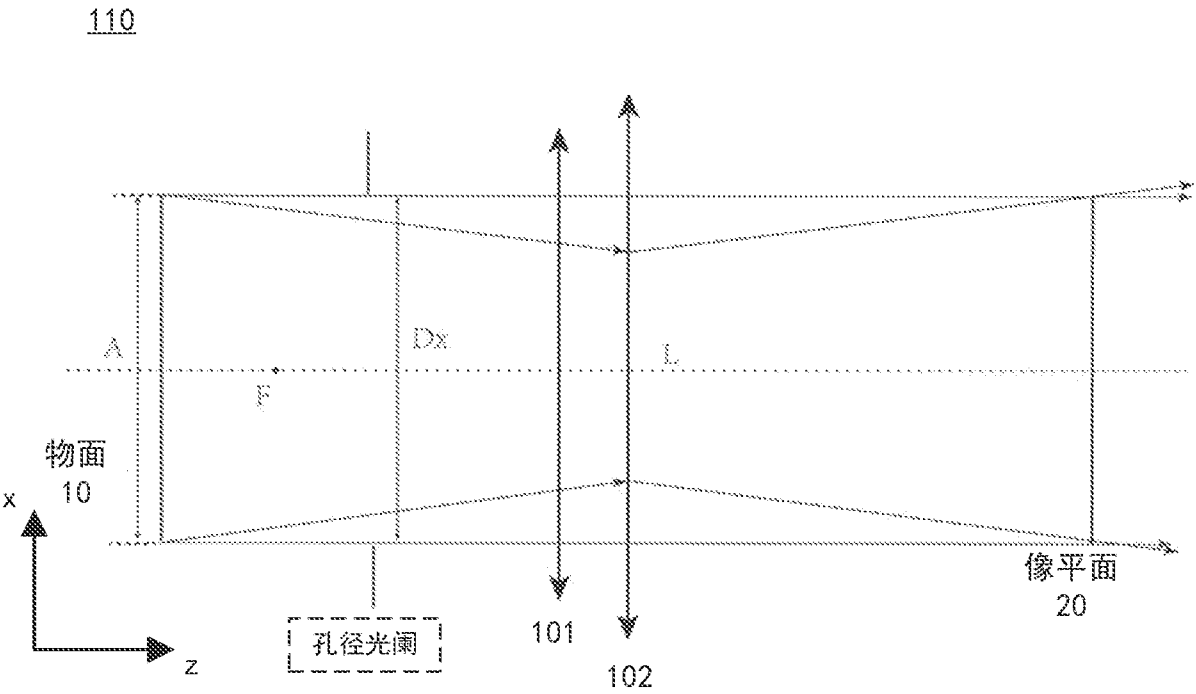


图 3

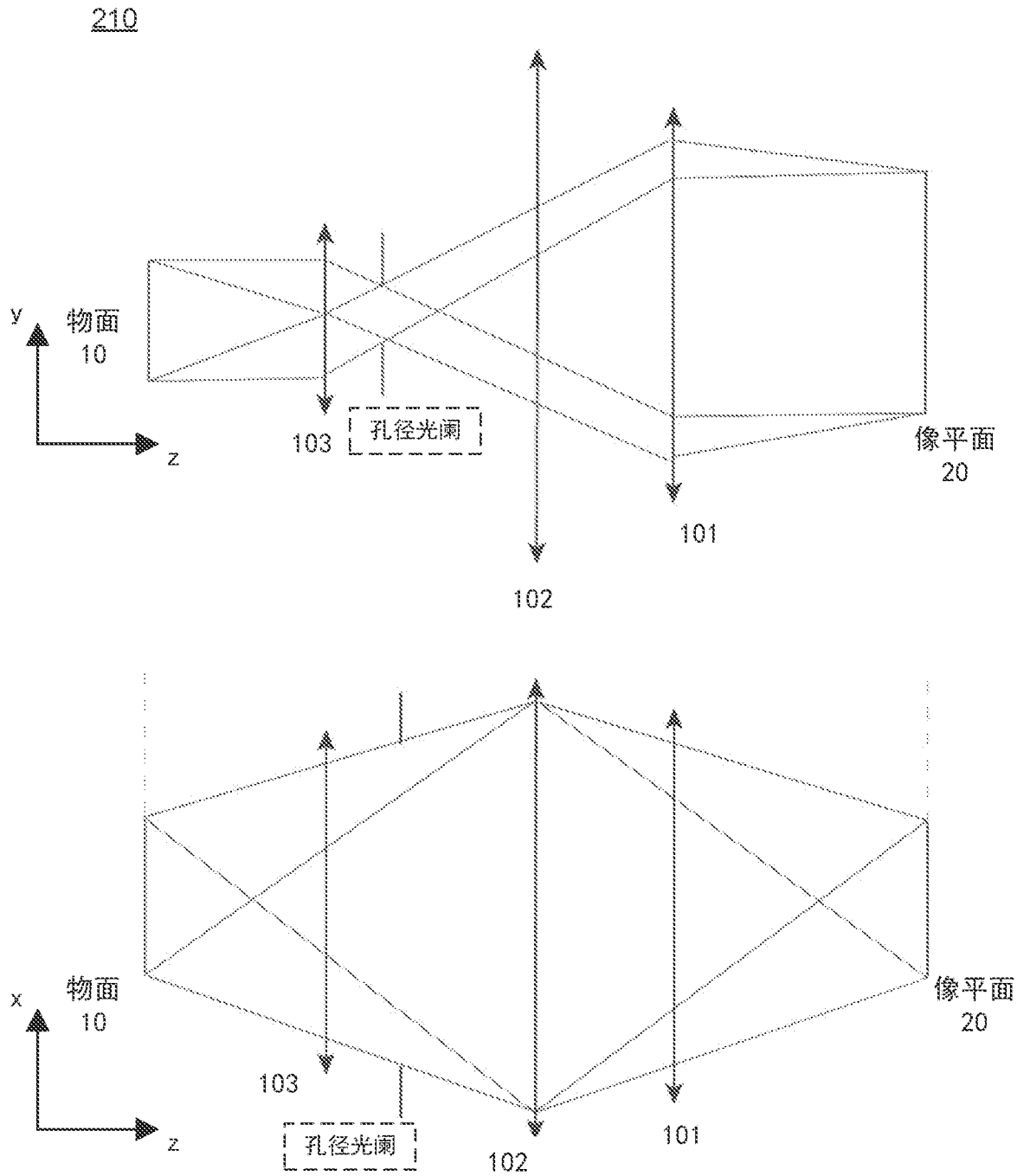


图 4

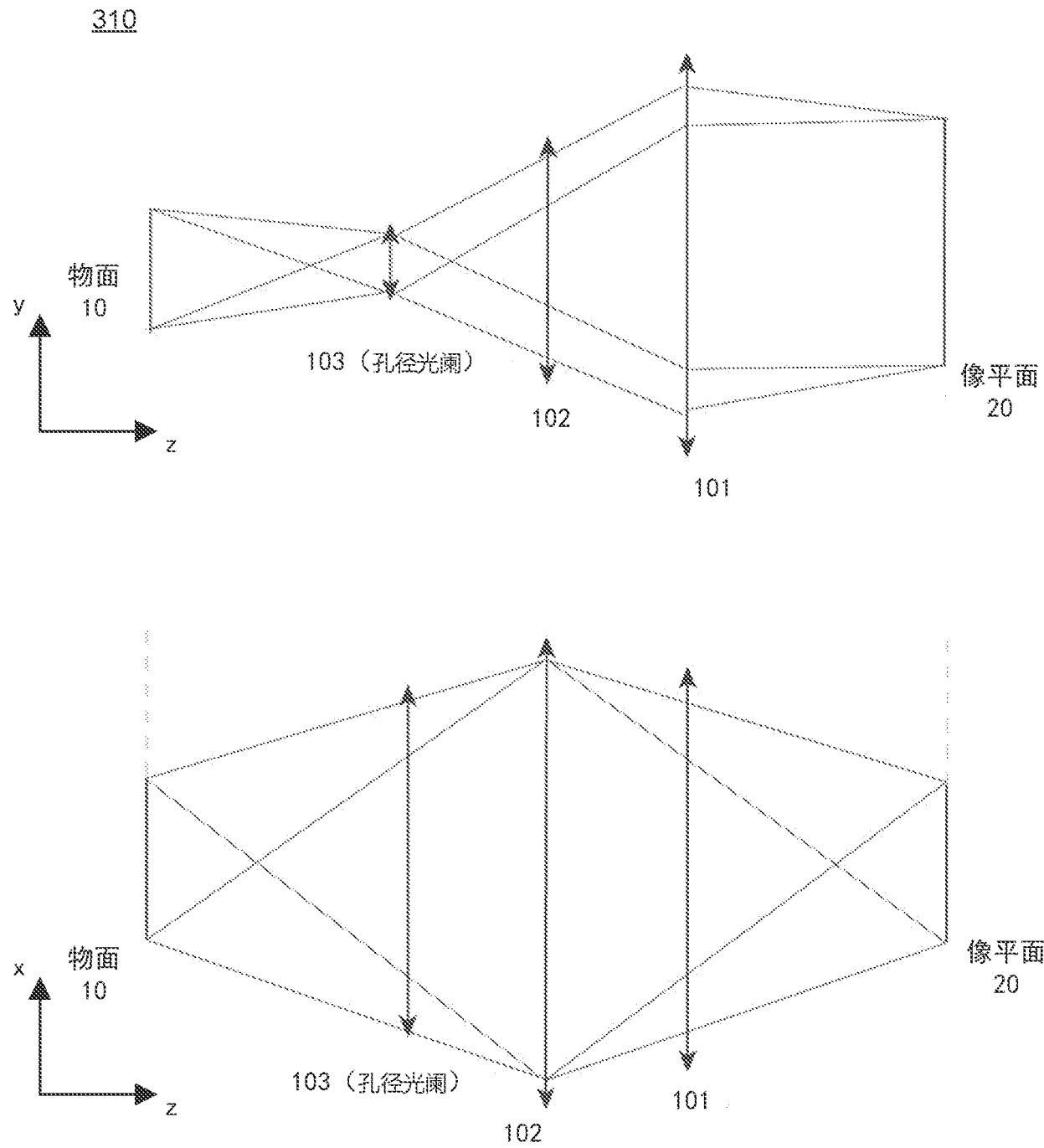


图 5

610

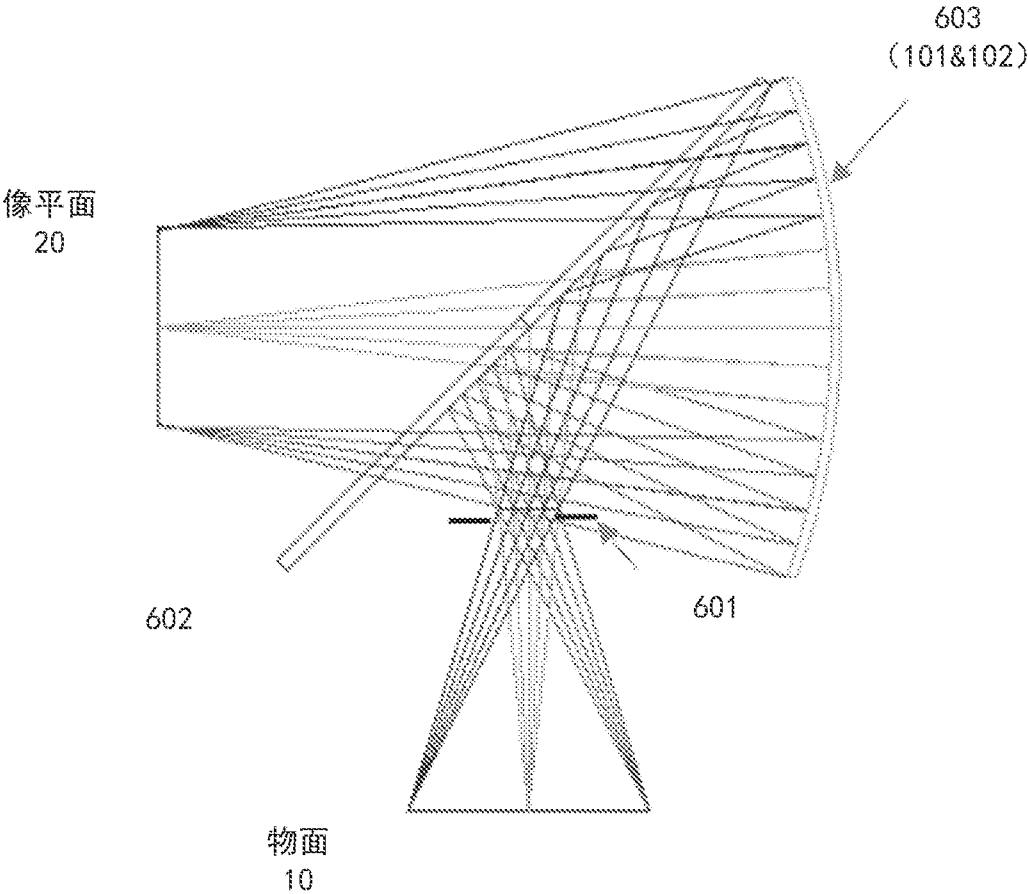


图 6

603

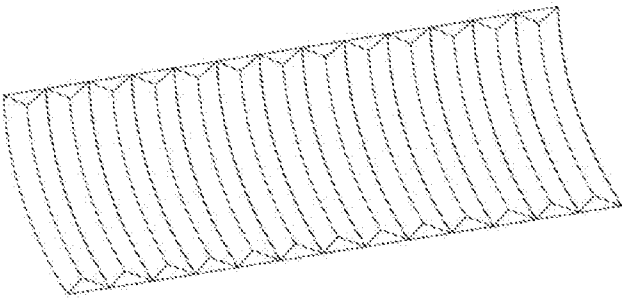


图 7

810

6/14

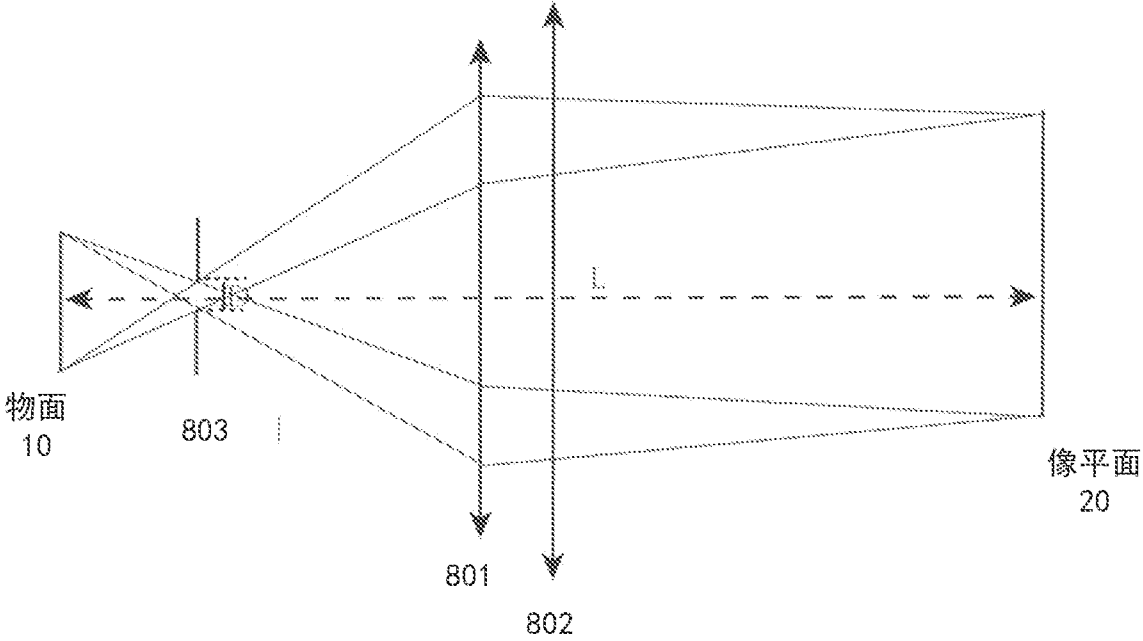


图 8

802

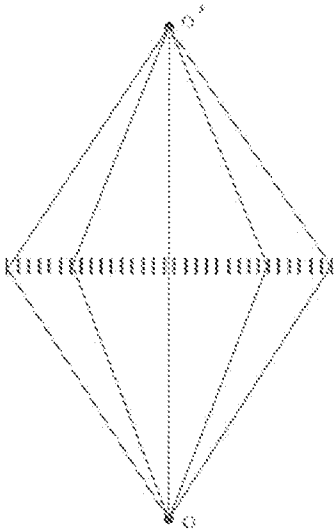


图 9

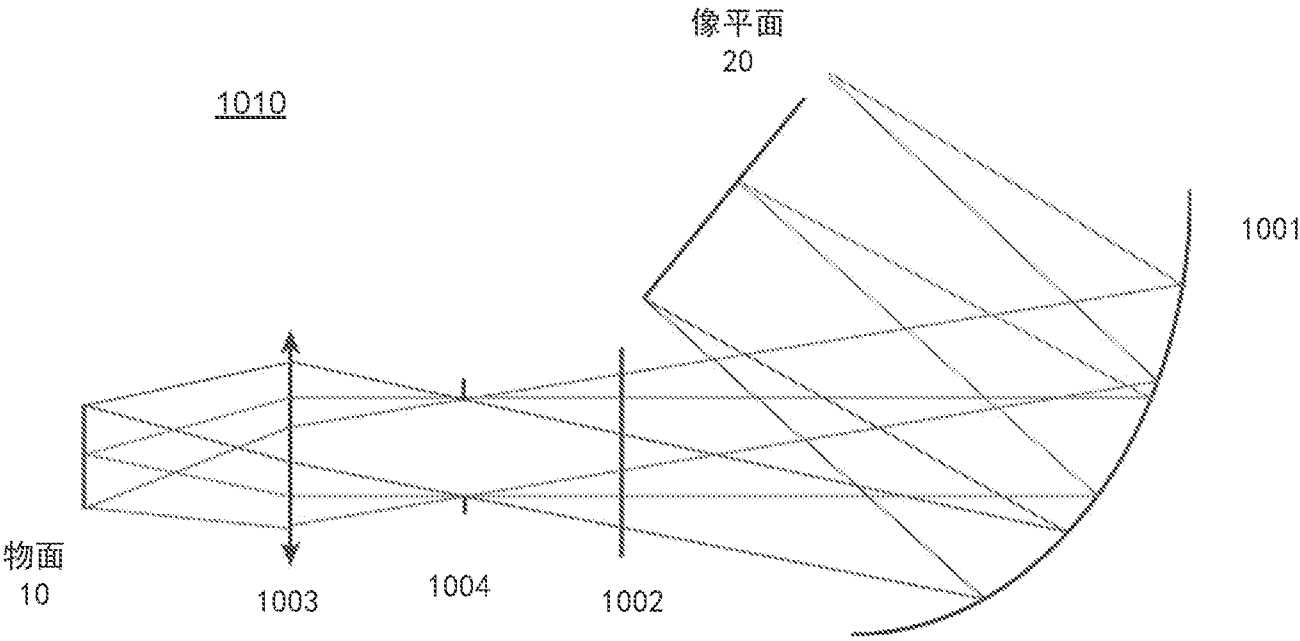


图 10

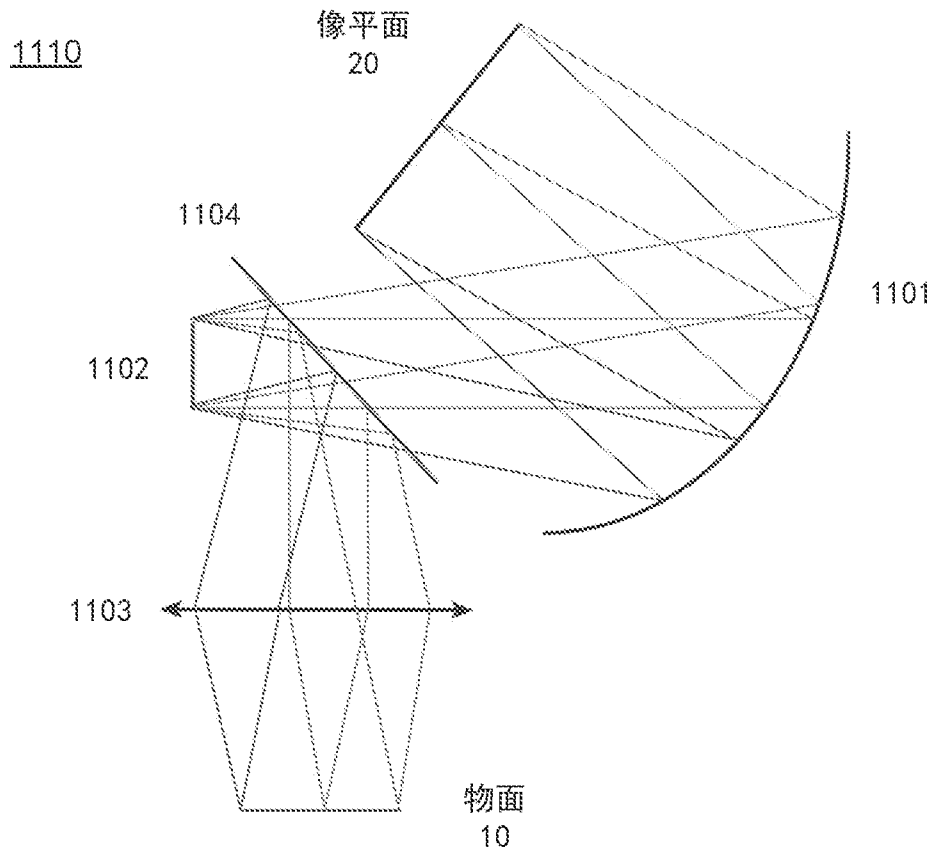


图 11

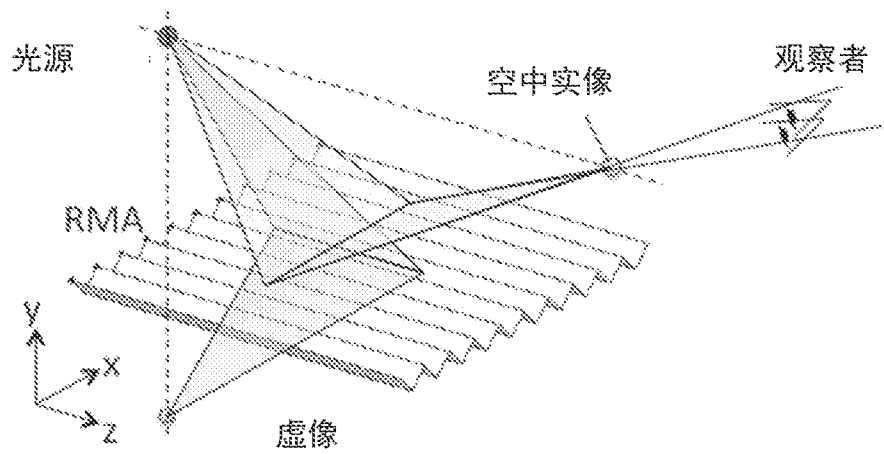


图 12

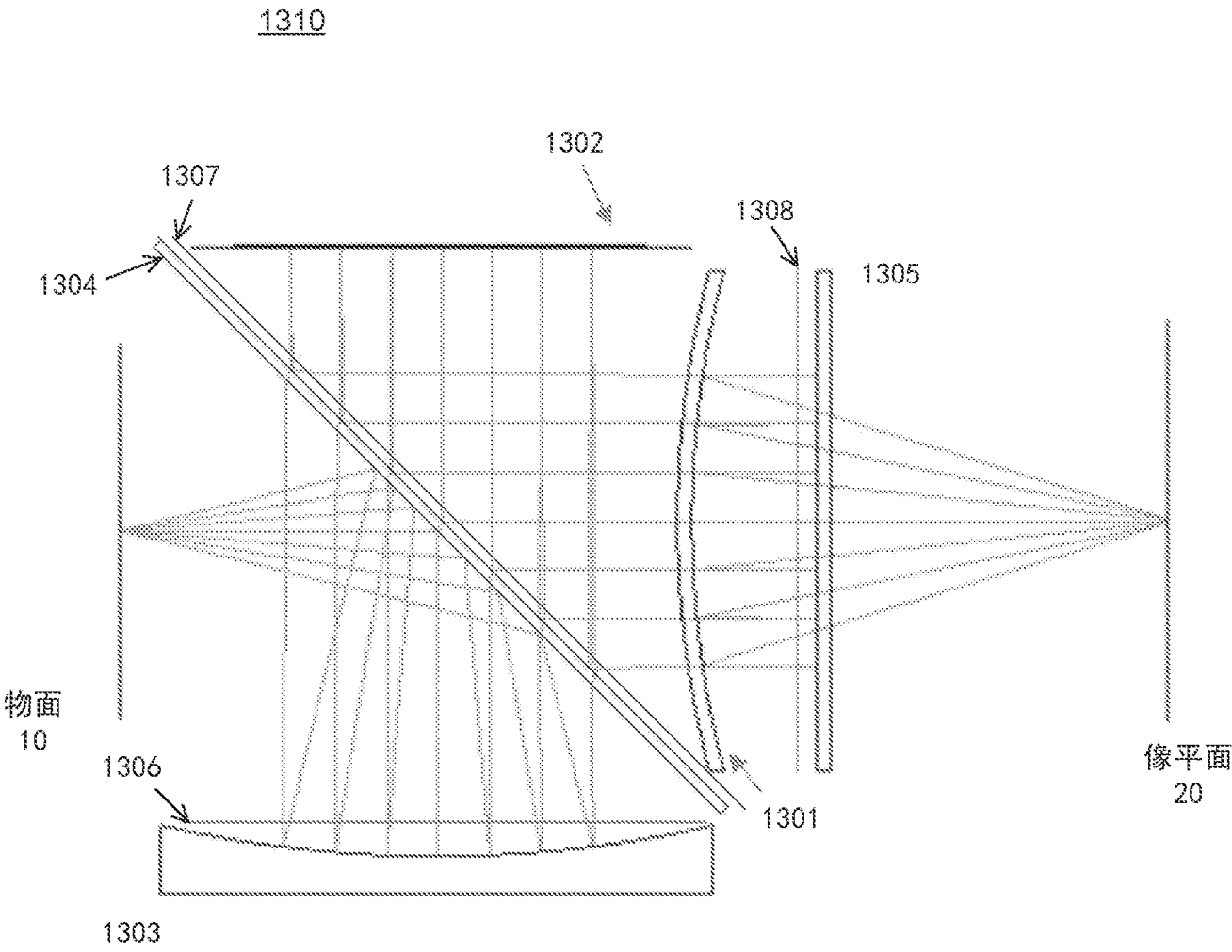


图 13

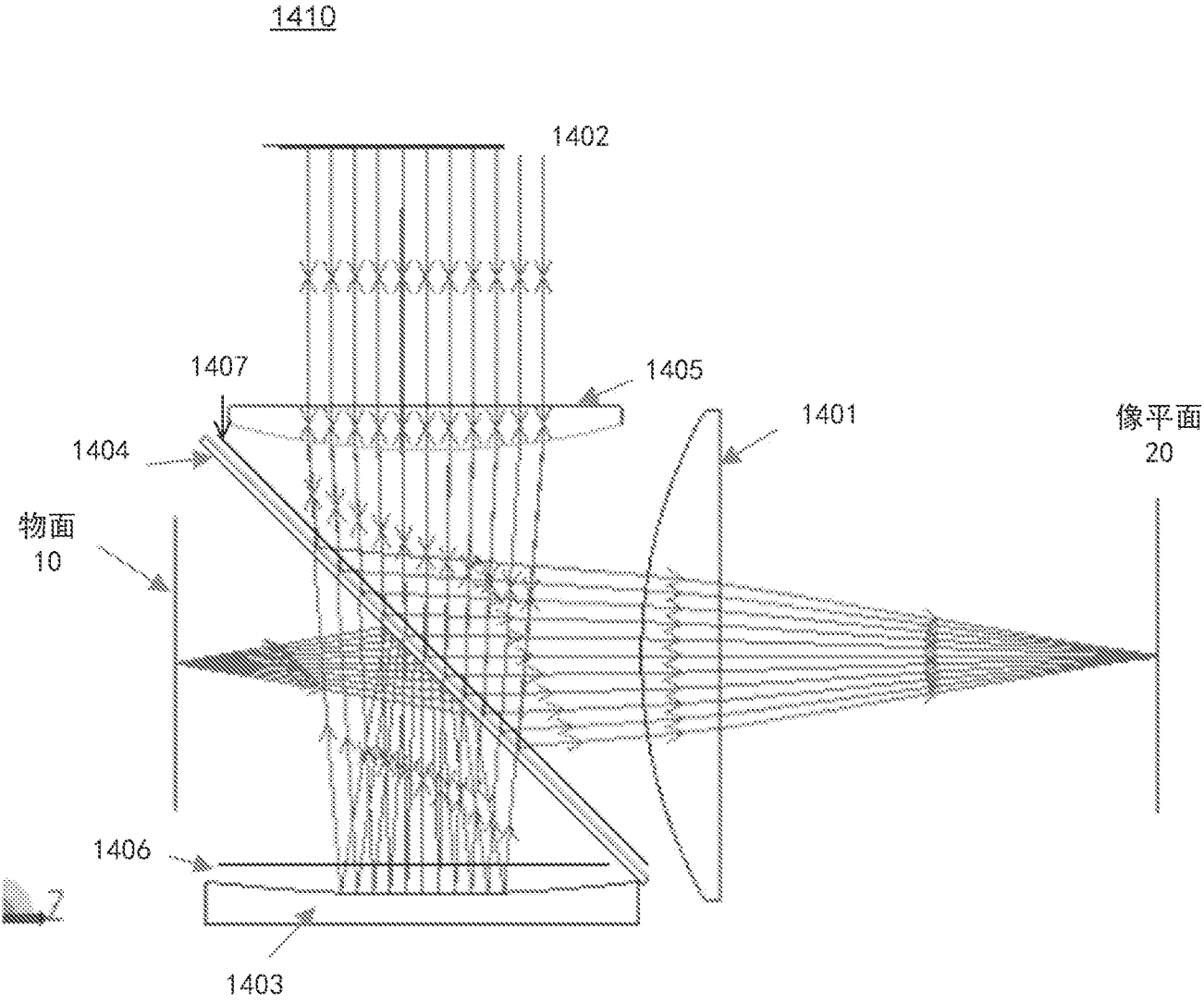


图 14

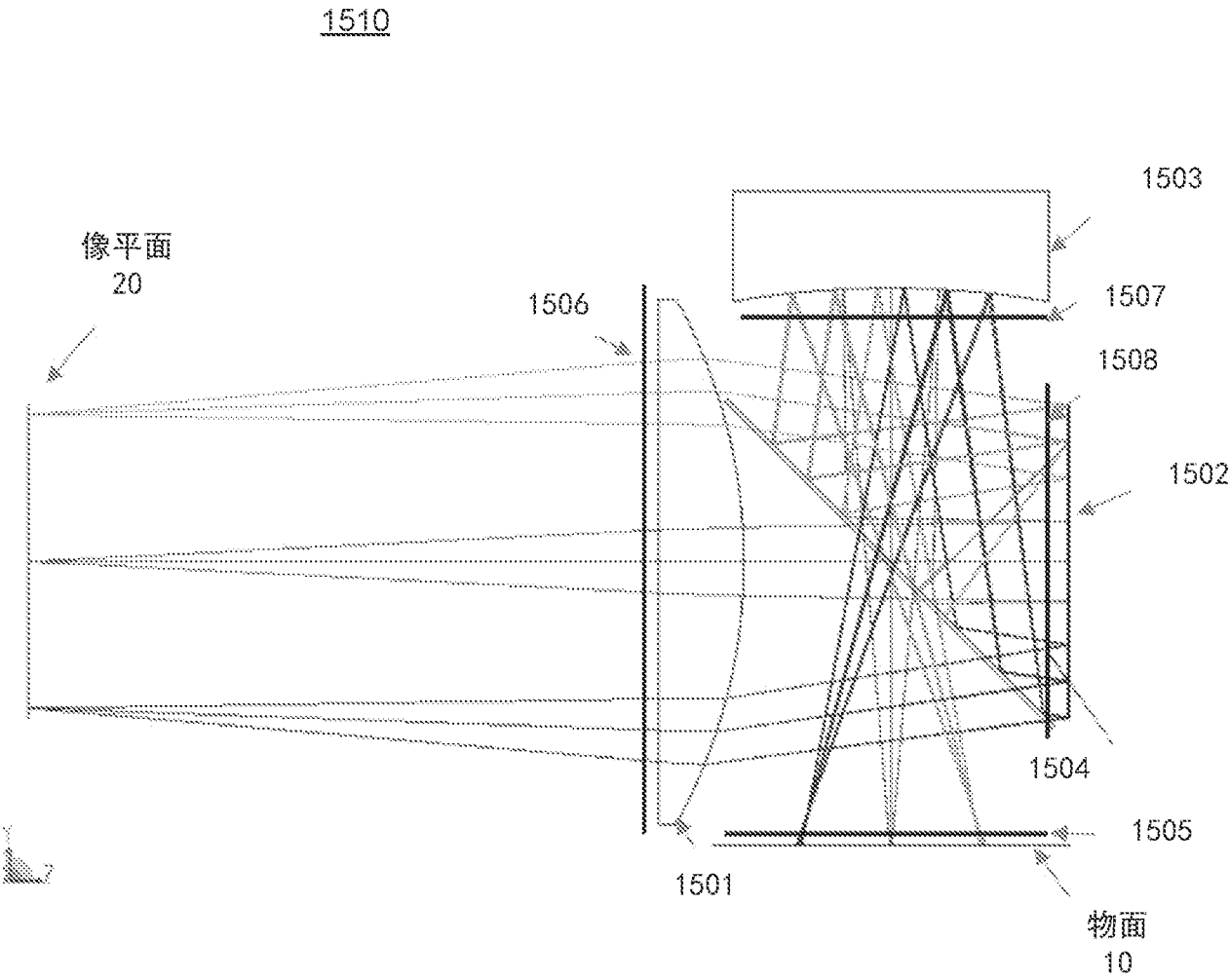


图 15

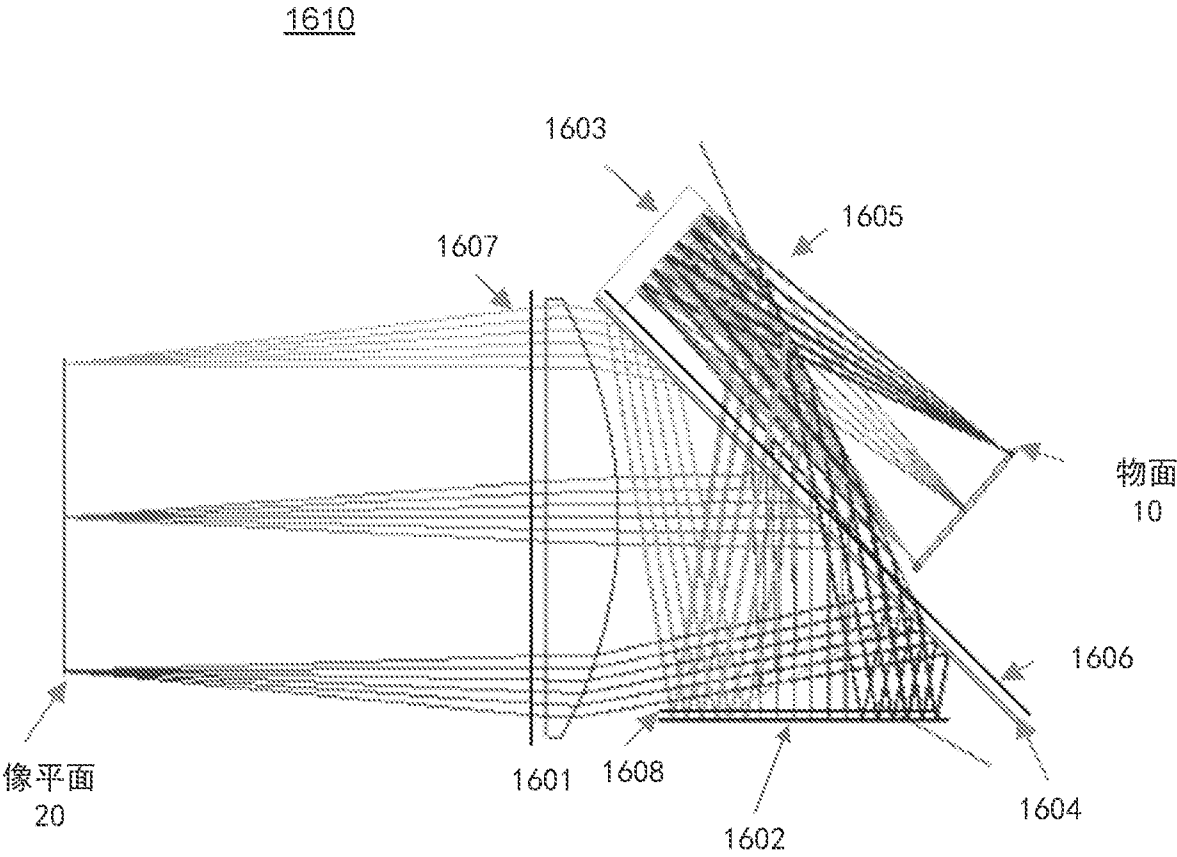


图 16

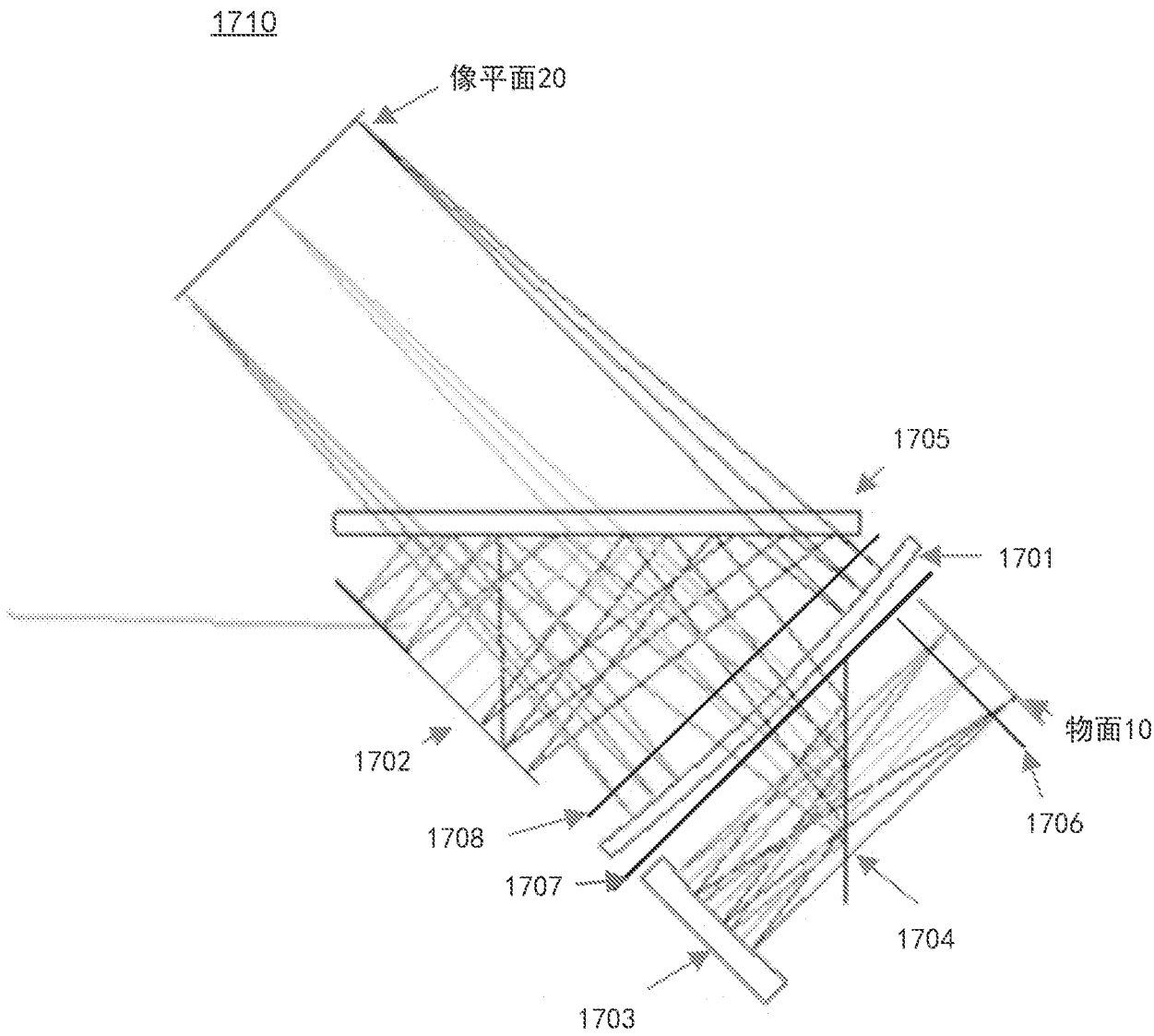


图 17

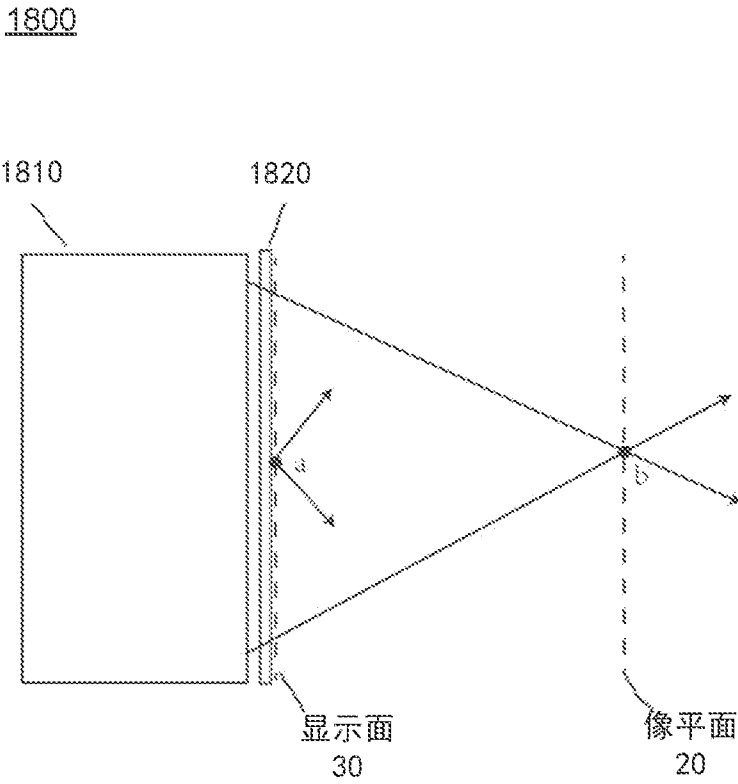


图 18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/136697

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B 30/56(2020.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNKI, CNPAT, WPI, EPODOC: 悬浮, 空中像, 空中成像, 空中显示, 裸眼, 立体, 三维, "3D", 全息, 孔径, 光阑, 一维, 光栅, (air or aerial) w (suspension or display), three w dimension+, diaphragm, float+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 210666315 U (ANHUI UNIVERSITY) 02 June 2020 (2020-06-02) description paragraphs [0028]-[0041], figures 1, 4, 7, 8	1, 21, 22, 24
A	CN 210666315 U (ANHUI UNIVERSITY) 02 June 2020 (2020-06-02) description paragraphs [0028]-[0041], figures 1, 4, 7, 8	2-20, 23
A	US 2009015917 A1 (SONY CORPORATION) 15 January 2009 (2009-01-15) entire document	1-24
A	CN 103676175 A (WUXI XIFEI OPTOELECTRONICS TECHNOLOGY CO., LTD.) 26 March 2014 (2014-03-26) entire document	1-24
A	CN 102520527 A (SUN YAT-SEN UNIVERSITY) 27 June 2012 (2012-06-27) entire document	1-24
A	CN 204807819 U (GAO, Shen) 25 November 2015 (2015-11-25) entire document	1-24



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 February 2022

Date of mailing of the international search report

24 March 2022

Name and mailing address of the ISA/CN

**China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)**
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088, China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2021/136697

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	210666315	U	02 June 2020	CN	110308610	A	08 October 2019
US	2009015917	A1	15 January 2009	JP	2009288759	A	10 December 2009
CN	103676175	A	26 March 2014	None			
CN	102520527	A	27 June 2012	CN	102520527	B	25 May 2016
CN	204807819	U	25 November 2015	None			

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/136697

A. 主题的分类 G02B 30/56 (2020.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类																							
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) G02B 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) CNKI, CNPAT, WPI, EPDOC: 悬浮, 空中像, 空中成像, 空中显示, 裸眼, 立体, 三维, "3D", 全息, 孔径, 光阑, 一维, 光栅, (air or aerial) w (suspension or display), three w dimension+, diaphragm, float+																							
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>CN 210666315 U (安徽大学) 2020年6月2日 (2020 - 06 - 02) 说明书第[0028]-[0041]段, 图1、4、7、8</td> <td>1, 21, 22, 24</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 210666315 U (安徽大学) 2020年6月2日 (2020 - 06 - 02) 说明书第[0028]-[0041]段, 图1、4、7、8</td> <td>2-20, 23</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2009015917 A1 (SONY CORPORATION) 2009年1月15日 (2009 - 01 - 15) 全文</td> <td>1-24</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103676175 A (无锡锡飞光电科技有限公司) 2014年3月26日 (2014 - 03 - 26) 全文</td> <td>1-24</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102520527 A (中山大学) 2012年6月27日 (2012 - 06 - 27) 全文</td> <td>1-24</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 204807819 U (高深) 2015年11月25日 (2015 - 11 - 25) 全文</td> <td>1-24</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	X	CN 210666315 U (安徽大学) 2020年6月2日 (2020 - 06 - 02) 说明书第[0028]-[0041]段, 图1、4、7、8	1, 21, 22, 24	A	CN 210666315 U (安徽大学) 2020年6月2日 (2020 - 06 - 02) 说明书第[0028]-[0041]段, 图1、4、7、8	2-20, 23	A	US 2009015917 A1 (SONY CORPORATION) 2009年1月15日 (2009 - 01 - 15) 全文	1-24	A	CN 103676175 A (无锡锡飞光电科技有限公司) 2014年3月26日 (2014 - 03 - 26) 全文	1-24	A	CN 102520527 A (中山大学) 2012年6月27日 (2012 - 06 - 27) 全文	1-24	A	CN 204807819 U (高深) 2015年11月25日 (2015 - 11 - 25) 全文	1-24
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																					
X	CN 210666315 U (安徽大学) 2020年6月2日 (2020 - 06 - 02) 说明书第[0028]-[0041]段, 图1、4、7、8	1, 21, 22, 24																					
A	CN 210666315 U (安徽大学) 2020年6月2日 (2020 - 06 - 02) 说明书第[0028]-[0041]段, 图1、4、7、8	2-20, 23																					
A	US 2009015917 A1 (SONY CORPORATION) 2009年1月15日 (2009 - 01 - 15) 全文	1-24																					
A	CN 103676175 A (无锡锡飞光电科技有限公司) 2014年3月26日 (2014 - 03 - 26) 全文	1-24																					
A	CN 102520527 A (中山大学) 2012年6月27日 (2012 - 06 - 27) 全文	1-24																					
A	CN 204807819 U (高深) 2015年11月25日 (2015 - 11 - 25) 全文	1-24																					
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																							
* 引用文件的具体类型: "A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 "E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 "L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) "O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 "P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 "T" 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 "X" 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 "Y" 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 "&" 同族专利的文件																							
国际检索实际完成的日期 2022年2月10日		国际检索报告邮寄日期 2022年3月24日																					
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		授权官员 冯津京 电话号码 86-(10)-53962605																					

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/136697

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	210666315	U	2020年6月2日	CN	110308610	A	2019年10月8日
US	2009015917	A1	2009年1月15日	JP	2009288759	A	2009年12月10日
CN	103676175	A	2014年3月26日	无			
CN	102520527	A	2012年6月27日	CN	102520527	B	2016年5月25日
CN	204807819	U	2015年11月25日	无			