



(21) 申请号 202080006334.3

(22) 申请日 2020.02.19

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 113167986 A

(43) 申请公布日 2021.07.23

(30) 优先权数据  
62/809,871 2019.02.25 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2021.05.21

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/IB2020/051405 2020.02.19

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02020/174325 EN 2020.09.03

(73) 专利权人 核心光电有限公司  
地址 以色列特拉维夫市

(72) 发明人 加尔·沙伯泰 以法莲·戈登堡  
埃米尔·布朗斯坦 伊泰·耶德  
罗伊·罗迪克 迈克尔·德罗  
吉尔·巴哈 耶夫塔·科瓦尔

(74) 专利代理机构 上海翼胜专利商标事务所  
(普通合伙) 31218

专利代理人 翟羽

(51) Int.Cl.  
G02B 7/09 (2021.01)  
G02B 7/10 (2021.01)  
G03B 13/36 (2021.01)  
G03B 17/12 (2021.01)  
H04N 23/55 (2023.01)  
H04N 23/67 (2023.01)  
H04N 23/695 (2023.01)

(56) 对比文件  
CN 101056360 A, 2007.10.17  
CN 106576138 A, 2017.04.19  
CN 107357026 A, 2017.11.17  
CN 1881000 A, 2006.12.20  
JP 2003329932 A, 2003.11.19  
US 2006/0187312 A1, 2006.08.24  
JP 特开平11-223771 A, 1999.08.17  
CN 103105660 A, 2013.05.15

审查员 徐梦春

权利要求书2页 说明书38页 附图36页

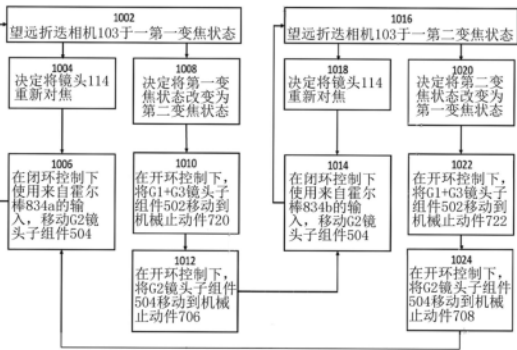
(54) 发明名称

多光圈相机, 具有至少一个两种状态变焦的相机

(57) 摘要

多种多重相机特别是多种双重相机包括: 一广角相机, 包括一广角镜头和一广角影像传感器, 所述广角镜头具有一广角有效焦距 $EFL_w$ ; 以及一折叠式或非折迭式望远相机, 包括具有一第一光轴的一望远镜头、一望远影像传感器和一光路折叠元件OPFE, 其中所述望远镜头从一物侧到一像侧包括一第一镜头元件组G1、一第二镜头元件组G2和一第三镜头元件组G3, 其中至少两个镜头元件组可沿所述第一光轴相对于所述影像传感器移动, 以将所述望远镜头置于一微距状态或两个变焦状态, 其中所述望远镜头的一有效焦距

EFL从所述第一变焦状态下的一 $EFL_{Tmin}$ 值转变为所述第二变焦状态下的一 $EFL_{Tmax}$ 值, 其中 $EFL_{Tmin} > 1.5 \times EFL_w$ ,  $EFL_{Tmax} > 1.5 \times EFL_{Tmin}$ 。在所述微距状态下, 具有 $EFL_{Tmin}$ 值的镜头允许对焦到具有较短的物体-相机的距离的物体, 如5厘米。本发明还公开了用于实现移动的致动器。



1. 一种折叠式相机,其特征在于:所述相机包括:

a) 一镜头,包括沿着一镜头光轴的一镜头元件组G1、一镜头元件组G2和一镜头元件组G3;

b) 一影像传感器;

c) 一光路折叠组件OPFE;以及

d) 一致动器,用于使所述镜头元件组G1和G3在平行于所述镜头光轴的方向上相对于所述影像传感器一起移动,以将所述镜头置于两个变焦状态,其中所述镜头元件组G1和G3彼此固定附接,其中所述镜头元件组G2浮动在两个光阑之间,其中所述镜头元件组G1和G3一起移动使得所述镜头元件组G2在一个变焦状态下附接到所述镜头元件组G1并且在另一变焦状态下附接到所述镜头元件组G3。

2. 如权利要求1所述的相机,其特征在于:所述镜头元件组G1和G3之间的固定附接通过连接所述镜头元件组G1和G3的多个杆件实现,其中所述镜头元件组G2通过所述多个杆件引导且能够相对于所述多个杆件沿着平行于所述镜头轴的方向移动。

3. 如权利要求1所述的相机,其特征在于:所述镜头元件组G2是通过磁力附接到所述镜头元件组G1或G3。

4. 如权利要求1所述的相机,其特征在于:所述镜头元件组G1和G3一起移动于大于2毫米且小于20毫米的一行程上,其中所述镜头元件组G2在所述两个光阑之间的移动的行程小于所述镜头元件组G1和G3的行程的一半。

5. 如权利要求1所述的相机,其特征在于:所述镜头具有一有效焦距EFL,其中所述有效焦距EFL从第一变焦状态下的一 $EFL_{\min}$ 值转变为第二变焦状态下的一 $EFL_{\max}$ 值,其中 $EFL_{\max}/EFL_{\min} > 1.5$ 。

6. 如权利要求1所述的相机,其特征在于:所述致动器包括一形状记忆合金SMA致动器,所述形状记忆合金SMA致动器具有多个SMA弹簧和多个机械弹簧。

7. 如权利要求6所述的相机,其特征在于:所述多个SMA弹簧包括四个弹簧,其中所述多个机械弹簧包括两个弹簧。

8. 如权利要求6所述的相机,其特征在于:所述相机还包括用于聚焦所述镜头的一音圈马达VCM机构。

9. 如权利要求8所述的相机,其特征在于:所述镜头的聚焦是通过一起移动所述镜头元件组G1+G2+G3来进行。

10. 如权利要求9所述的相机,其特征在于:所述镜头被包括在一镜头和传感器模块中,所述镜头和传感器模块还包括具有一第一镜头元件组G2光阑和一第二镜头元件组G2光阑的一镜头元件组G2光阑机构,其中所述第一或第二镜头元件组G2光阑中的一个是可移除的,使得所述镜头元件组G1+G2+G3移动于不小于2毫米的一大行程上,以用于微距摄影。

11. 如权利要求1所述的相机,其特征在于:所述致动器包括至少三个线圈,所述至少三个线圈耦合到多个相应的磁体及/或磁体极化。

12. 如权利要求11所述的相机,其特征在于:所述至少三个线圈相对于所述多个磁体的一位置是通过用于位置感测的至少一个霍尔棒传感器进行测量。

13. 如权利要求12所述的相机,其特征在于:所述至少三个线圈是通过各自的驱动电流所驱动以提供相对于所述多个磁体的移动,其中所述驱动电流取决于所述线圈相对于所述

磁体的位置。

14. 一种折叠式相机, 其特征在于: 所述折叠式相机包括:

a) 一镜头, 包括沿着一镜头光轴的一镜头元件组G1、一镜头元件组G2和一镜头元件组G3;

b) 一影像传感器;

c) 一光路折叠组件OPFE; 以及

d) 一音圈马达VCM机构, 用于通过在平行于所述镜头光轴的方向上一起移动所述镜头元件组G1+G2+G3来聚焦所述镜头, 且用于使所述镜头元件组G1和G3在平行于所述镜头光轴的方向上相对于所述影像传感器一起移动, 以将所述镜头置于两个变焦状态而进行变焦, 其中所述镜头元件组G1和G3彼此固定附接, 其中所述镜头元件组G2浮动在两个光阑之间, 其中所述镜头元件组G1和G3一起移动使得所述镜头元件组G2在一个变焦状态下附接到所述镜头元件组G1并且在另一变焦状态下附接到所述镜头元件组G3。

15. 如权利要求14所述的相机, 其特征在于: 所述相机还包括一第一镜头元件组G2光阑和一第二镜头元件组G2光阑, 其中所述第一或第二镜头元件组G2光阑中的一个是可移除的, 使得所述镜头元件组G1+G2+G3移动于不小于2毫米的一大行程上, 以用于微距摄影。

16. 如权利要求14所述的相机, 其特征在于: 所述VCM机构包括至少三个线圈, 所述至少三个线圈耦合到多个相应的磁体及/或磁体极化。

17. 如权利要求16所述的相机, 其特征在于: 所述至少三个线圈相对于所述多个磁体的位置是通过用于位置感测的至少一个霍尔棒传感器进行测量。

18. 如权利要求17所述的相机, 其特征在于: 所述至少三个线圈是通过各自的驱动电流所驱动以提供相对于所述多个磁体的移动, 其中所述驱动电流取决于所述线圈相对于所述磁体的位置。

## 多光圈相机,具有至少一个两种状态变焦的相机

[0001] 相关申请案

[0002] 本申请案主张2019年2月25日提交申请的美国临时专利申请案第62/809,871号的优先权,其内容明确地通过引用的方式并入本文整体中。

### 技术领域

[0003] 本文公开的实施例总体上涉及数字相机,并且更具体地涉及具有折叠变焦镜头的双光圈变焦数字相机。

### 背景技术

[0004] 小型的多光圈(尤其是双光圈,也称为“双镜头”或“双重相机”)的数字相机是已知的。微型化技术允许将这种相机结合在诸如平板电脑和行动电话的小型便携式电子设备中(后者在下文中统称为“智慧型电话”),它们在其中提供了诸如变焦的高级成像能力,例如参见共同拥有的PCT专利申请PCT/IB2015/056004号,其全部内容通过引用合并在此。这种相机及/或在此公开的相机是具有严格的高度限制的相机,通常小于1公分,越薄越好。

[0005] 已知多种双光圈变焦相机,其中一个相机具有广视场(field of view,FOV)(“广角相机(Wide camera)”),另一个相机具有窄FOV(“望远相机(Tele camera)”)。望远相机需要具有尽可能小的尺寸,以合适于相机所安装的装置的厚度(最好不从装置外壳突出),同时合适于与常用的影像传感器一起使用。当使用具有一长的(“Tele”)有效焦距(long effective focal length,EFL)的望远镜头来获得一相对较高的变焦效果时,此问题甚至更为关键。众所周知,应用于镜头的术语“EFL”是指从后主平面(rear principal plane)到近轴焦平面(paraxial focal plane)的距离。后主平面是通过从无限远处追踪一轴上旁基底光线(on-axis paraxial ray)来计算的,并使用旁基底的影像空间边缘光线角度(para-basal's image space marginal ray angle)来确定。

[0006] 包括直立式广角相机和折叠式望远相机的多种双光圈变焦相机揭露于例如共同拥有的美国专利第9,392,188号。广角相机是“直立式”相机,包括一广角影像传感器和一广角镜头模块,所述模块包括一具有广角镜头对称轴线的一广角定焦镜头组件(或简称为“镜头”)。折叠式望远相机包括一望远影像传感器和一望远镜头模块,所述望远镜头模块包括一具有望远镜头对称轴线的一望远定焦镜头。双光圈变焦相机还包括一反射元件(也称为光路折叠元件(optical path folding element)或“OPFE”),所述反射元件将来自物体或场景沿着第一光路的光线折叠到朝向望远影像传感器的第二光路。第一和第二光路彼此垂直。广角镜头对称轴线沿(平行于)所述第一光路,望远镜头对称轴线沿第二光路。反射元件具有相对于广角镜头对称轴线和望远镜头对称轴均倾斜45度的反射元件对称轴,并且可操作以在物体和望远影像传感器之间提供折叠的光路。

[0007] 广角镜头具有一宽视场( $FOV_w$ ),望远镜头具有比 $FOV_w$ 窄的望远视场( $FOV_T$ )。在一示例中,与广角相机相比,望远相机提供了X5缩放效果。

[0008] 还已知具有多个镜头组件的小型折叠相机,所述镜头组件包括分为两组或更多组

的多个镜头元件,其中一或多(“组”)镜头元件可相对于另一镜头元件或一组镜头元件移动。用于相对运动的多个致动器(多个马达)包括带螺钉的步进马达(step motors)或压电致动器(piezoelectric actuators)。但是这种相机的一普遍问题是它们的结构要求F值( $F\#$ )大于或等于3,并且 $F\#$ 随变焦倍数增加。它们的致动器慢且嘈杂(压电)或笨重(步进马达),存在可靠性问题且价格昂贵。对于在这样的相机中获得两个极限变焦状态,已知的光学设计也需要较大的镜头组件高度以用于一给定的 $F\#$ 。

[0009] “微距摄影”(Macro-photography)模式正在成为智能手机相机的一个流行且与众不同的地方。“微距摄影”是指拍摄离相机非常近的物体,使记录在影像传感器上的图像与实际拍摄对象的大小几乎相同。例如,“微距摄影”可以指的是非常小的主体和生物体(如昆虫)的摄影,其中照片里的主体的尺寸大于生物的尺寸。微距摄影产生“微距图像”。

[0010] 提供微距摄影功能的首批智能手机机型通过包括一台带有微距FOV的专用微距摄像头,现已进入消费市场。然而,如果不需要额外的专用硬件,那么使用许多智能手机中已经存在的摄像机类型来提供微距摄影功能将是有益的。

## 发明内容

[0011] 在一示例性实施例中,提供一种折叠式相机,包括:包括沿着一镜头光轴的一镜头元件组G1、一镜头元件组G2和一镜头元件组G3的一镜头、一影像传感器、一OPFE、一致动器。所述致动器用于使所述镜头元件组G1和G3在平行于所述镜头光轴的方向上相对于所述影像传感器一起移动,以将所述镜头置于两个变焦状态,其中所述镜头元件组G1和G3彼此固定附接,其中所述镜头元件组G2浮动在两个光阑之间,其中所述镜头元件组G1和G3一起移动使得所述镜头元件组G2在一个变焦状态下附接到所述镜头元件组G1并且在另一变焦状态下附接到所述镜头元件组G3。

[0012] 在一些实施例中,所述镜头元件组G1和G3之间的固定附接通过连接所述镜头元件组G1和G3的多个杆件实现,其中所述镜头元件组G2通过所述多个杆件引导且能够相对于所述多个杆件沿着平行于所述镜头轴的方向移动。所述镜头元件组G2是通过磁力附接到所述镜头元件组G1或G3。

[0013] 在一些实施例中,所述镜头元件组G1和G3一起移动于大于2毫米且小于20毫米的一行程(stroke)上,其中所述镜头元件组G2在所述两个光阑之间的移动的行程小于所述镜头元件组G1和G3的行程的一半。

[0014] 在一些实施例中,所述镜头具有一有效焦距EFL,其中所述有效焦距EFL从第一变焦状态下的一 $EFL_{\min}$ 值转变为第二变焦状态下的一 $EFL_{\max}$ 值,其中 $EFL_{\max}/EFL_{\min}>1.5$ 。

[0015] 在一些实施例中,所述致动器包括一形状记忆合金(shape memory alloy, SMA)致动器,所述形状记忆合金致动器具有多个SMA弹簧和多个机械弹簧。

[0016] 在一些实施例中,所述多个SMA弹簧包括四个弹簧,其中所述多个机械弹簧包括两个弹簧。

[0017] 在一些实施例中,所述相机还包括用于聚焦所述镜头的一音圈马达(voice coil motor, VCM)机构。在一些实施例中,所述镜头的聚焦是通过一起移动所述镜头元件组G1+G2+G3来进行。在一些实施例中,所述镜头被包括在一镜头和传感器模块中,所述镜头和传感器模块还包括具有一第一镜头元件组G2光阑和一第二镜头元件组G2光阑的一镜头元件组

G2光阑机构,其中所述第一或第二镜头元件组G2光阑中的一个是可移除的,使得所述镜头元件组G1+G2+G3移动于不小于2毫米的一大行程上,以用于微距摄影。

[0018] 在一些实施例中,所述致动器包括至少三个线圈,所述至少三个线圈耦合到多个相应的磁体及/或磁体极化(magnet polarization)。在一些实施例中,所述至少三个线圈相对于所述多个磁体的一位置是通过用于位置感测的至少一个霍尔棒传感器进行测量。在一些实施例中,所述至少三个线圈是通过各自的驱动电流所驱动以提供相对于所述多个磁体的移动,其中所述驱动电流取决于所述线圈相对于所述磁体的位置。

[0019] 在一示例性实施例中,提供一种折叠式相机,包括:包括沿着一镜头光轴的一镜头元件组G1、一镜头元件组G2和一镜头元件组G3的一镜头、一影像传感器、一OPFE、以及一VCM机构。所述VCM机构用于通过在平行于所述镜头光轴的方向上一起移动所述镜头元件组G1+G2+G3来聚焦所述镜头,且用于使所述镜头元件组G1和G3在平行于所述镜头光轴的方向上相对于所述影像传感器一起移动,以将所述镜头置于两个变焦状态而进行变焦,其中所述镜头元件组G1和G3彼此固定附接,其中所述镜头元件组G2浮动在两个光阑之间,其中所述镜头元件组G1和G3一起移动使得所述镜头元件组G2在一个变焦状态下附接到所述镜头元件组G1并且在另一变焦状态下附接到所述镜头元件组G3。

[0020] 在一些实施例中,一折叠式相机还包括一第一镜头元件组G2光阑和一第二镜头元件组G2光阑,其中所述第一或第二镜头元件组G2光阑中的一个是可移除的,使得所述镜头元件组G1+G2+G3移动于不小于2毫米的一大行程上,以用于微距摄影。

[0021] 在一示例性实施例中,提供一种双重相机,包括:一广角相机,包括一广角镜头和一广角影像传感器,所述广角镜头具有一广角有效焦距 $EFL_w$ ;以及一折叠式望远相机,包括具有一第一光轴的一望远镜头、一望远影像传感器和一OPFE,其中所述望远镜头从一物侧到一像侧包括一第一镜头元件组G1、一第二镜头元件组G2和一第三镜头元件组G3,其中至少两个所述镜头元件组可沿所述第一光轴相对于所述影像传感器移动,以将所述望远镜头置于一第一变焦状态和一第二变焦状态,其中所述望远镜头的一有效焦距从所述第一变焦状态下一 $EFL_{Tmin}$ 转变为所述第二变焦状态下一 $EFL_{Tmax}$ ,其中 $EFL_{Tmin} > 1.5 \times EFL_w$ ,并且其中 $EFL_{Tmax} > 1.5 \times EFL_{Tmin}$ 。

[0022] 所述广角镜头具有一第二光轴,所述第二光轴垂直于所述第一光轴。

[0023] 在一些实施例(未示出)中,上述的折叠式望远相机可由具有相同结构和特性的非折叠式(直立式)望远相机所代替,亦即,包括一望远镜头,其从一物侧到一像侧包括一第一镜头元件组G1、一第二镜头元件组G2和一第三镜头元件组G3,其中至少两个镜头元件组可沿所述第一光轴相对于所述影像传感器移动,以将所述望远镜头置于两个变焦状态,其中所述望远镜头的一有效焦距从所述第一变焦状态下一 $EFL_{Tmin}$ 转变为所述第二变焦状态下一 $EFL_{Tmax}$ ,其中 $EFL_{Tmin} > 1.5 \times EFL_w$ ,  $EFL_{Tmax} > 1.5 \times EFL_{Tmin}$ 。

[0024] 在一示例性实施例中,所述望远相机被配置为通过在所述第一变焦状态下和所述第二变焦状态下使镜头元件组G1、G2和G3相对于彼此移位而进行对焦。

[0025] 在一示例性实施例中,从所述物侧到所述像侧设置镜头元件组G1、G2和G3,其中所述第一镜头元件组G1具有一正屈光力(positive refractive power)、所述第二镜头元件组G2具有一正屈光力,并且所述第三镜头元件组G3具有一负屈光力(negative refractive power)。

[0026] 在一些示例性实施例中,所述至少两个可移动的镜头元件组包括所述镜头元件组G1和所述镜头元件组G3,其中所述镜头元件组G1和所述镜头元件组G3可相对于所述影像传感器和所述镜头元件组G2移动,并且其中所述镜头元件组G2相对于所述影像传感器是静止的。在一些实施例中,所述镜头元件组G3可相对于所述影像传感器、所述镜头元件组G1和所述镜头元件组G2移动,以进行对焦。在一些实施例中,所述多个镜头元件组G1可相对于所述影像传感器、所述镜头元件组G2和所述镜头元件组G3移动,以进行对焦。

[0027] 在一示例性实施例中,在所述望远镜头中,朝向所述物侧的第一镜头元件L1具有一净光圈值(clear aperture value,CA)(或简称为净光圈或通光孔径,clear aperture),大于所有其他镜头元件的多个净光圈值。

[0028] 在一示例性实施例中,所述望远镜头具有一总轨道长度(total track length, $TTL_T$ ),并且其中 $TTL_T$ 的一最大值为( $TTL_{Tmax}$ ),并满足以下条件: $TTL_{Tmax} < EFL_{Tmax}$ 。

[0029] 在一示例性实施例中,所述望远镜头具有一总轨道长度( $TTL_T$ ),并且其中 $TTL_T$ 的一最大值为( $TTL_{Tmax}$ ),并满足以下条件: $TTL_{Tmax} < 0.9 \times EFL_{Tmax}$ 。

[0030] 在一示例性实施例中,所述望远镜头具有一望远镜头f数( $F\#_T$ ),并且其中 $F\#_T$ 的最小值( $F\#_{Tmin}$ )和 $F\#_T$ 的最大值( $F\#_{Tmax}$ )满足以下条件: $F\#_{Tmin} < 1.5 \times F\#_{Tmax} \times EFL_{Tmin}/EFL_{Tmax}$ 。

[0031] 在一示例性实施例中,所述望远镜头具有一望远镜头f数( $F\#_T$ ),并且其中 $F\#_T$ 的最小值( $F\#_{Tmin}$ )和 $F\#_T$ 的最大值( $F\#_{Tmax}$ )满足以下条件: $F\#_{Tmin} < 1.8 \times F\#_{Tmax} \times EFL_{Tmin}/EFL_{Tmax}$ 。

[0032] 在一示例性实施例中,所述望远镜头具有一望远镜头f数( $F\#_T$ ),并且其中 $F\#_T$ 的最小值( $F\#_{Tmin}$ )和 $F\#_T$ 的最大值( $F\#_{Tmax}$ )满足以下条件: $F\#_{Tmin} < 1.2 \times F\#_{Tmax} \times EFL_{Tmin}/EFL_{Tmax}$ 。

[0033] 在一示例性实施例中,对于任何镜头元件组,从所述第一变焦状态到所述第二变焦状态的移动具有小于 $0.75 \times (EFL_{Tmax} - EFL_{Tmin})$ 的一行程(stroke)。

[0034] 在一示例性实施例中,对于任何镜头元件组,从所述第一变焦状态到所述第二变焦状态的移动具有小于 $0.6 \times (EFL_{Tmax} - EFL_{Tmin})$ 的一行程。

[0035] 在一示例性实施例中,所述第一镜头元件L1是一切口镜头元件。

[0036] 在一些示例性实施例中,所述至少两个可移动镜头元件组包括多个镜头元件组G1、G2和G3,其中所述镜头元件组G1和所述镜头元件组G3可作为一单元,相对于所述影像传感器和所述镜头元件组G2在一给定范围 $R_{1,3}$ 内移动,并且其中所述镜头元件组G2可相对于所述影像传感器在小于 $R_{1,3}$ 的 $R_2$ 的一范围内移动。在一例性实施例中,所述多个镜头元件组G1、G2和G3可朝向所述像侧移动。在一些例性实施例中,所述多个镜头元件组G1、G2和G3可作为一单元,相对于所述影像传感器移动,以进行对焦。

[0037] 在一示例性实施例中, $EFL_{Tmin} = 15$ 毫米, $EFL_{Tmax} = 30$ 毫米。

[0038] 在一示例性实施例中, $EFL_{Tmin} = 13$ 毫米, $EFL_{Tmax} = 26$ 毫米。

[0039] 在一些示例性实施例中,在所述两个变焦状态下, $R_{AF}$ 是所述镜头元件组G2聚焦在无限远和1米之间所需的一最大移动范围,并且其中 $R_{AF} < 0.4 \times R_2$ 。在一些示例性实施例中,在所述两个变焦状态下, $R_{AF}$ 是所述镜头元件组G1和所述镜头元件组G3聚焦在无限远和2米之间所需的一最大移动范围,并且其中 $R_{AF} < 0.4 \times R_{1,3}$ 。

[0040] 在一些示例性实施例中,用于所述镜头元件组G2的移动的致动是在闭环控制中执行。

[0041] 在一些示例性实施例中,用于所述镜头元件组G1和所述镜头元件组G3的移动的致

动在开环控制中执行。

[0042] 在一些示例性实施例中,所述多个镜头元件组G1、G2和G3的移动是使用多个音圈马达(VCM)机构产生。

[0043] 在一些示例性实施例中,所述多个镜头元件组G1、G2和G3的移动由产生一线性轨道的一球体引导机构沿着所述第一光轴所引导。在一些示例性实施例中,所述球体引导机构包括:一镜头元件组G2镜架上的至少一沟槽、一镜头元件组G1+G3镜架上的至少一沟槽以及多个球体,所述球体位于所述镜头元件组G2镜架和所述镜头元件组G1+G3镜架上的所述多个沟槽之间。

[0044] 在一示例性实施例中,提供一种双重相机,包括:一广角相机,包括一广角镜头和一广角影像传感器,所述广角镜头具有一广角有效焦距 $EFL_W$ ;以及一折叠式望远相机,包括具有一第一光轴的一望远镜头、一望远影像传感器和一OPFE,其中所述望远镜头从一物侧到一像侧包括一第一镜头元件组G1、一第二镜头元件组G2和一第三镜头元件组G3,其中所述镜头元件组G1和所述镜头元件组G3可作为一单元,相对于所述影像传感器和所述镜头元件组G2在一给定范围 $R_{1,3}$ 内移动,其中所述镜头元件组G2可相对于所述影像传感器沿着所述第一光轴在小于 $R_{1,3}$ 的一 $R_2$ 范围中移动,其中所述多个镜头元件组G1、G2和G3的组合运动使所述望远镜头进入两个变焦状态,其中所述望远镜头的一EFL从一变焦状态下的一 $EFL_{Tmin}$ 值转变为另一变焦状态下的一 $EFL_{Tmax}$ 值,其中 $EFL_{Tmin} > EFL_W$ ,并且其中 $EFL_{Tmax} > 1.5 \times EFL_{Tmin}$ 。

[0045] 在一示例性实施例中,提供一种折叠式相机,包括:具有一第一光轴的一望远镜头、一望远影像传感器和一OPFE,其中所述望远镜头从一物侧到一像侧包括一第一镜头元件组G1、一第二镜头元件组G2和一第三镜头元件组G3,其中所述镜头元件组G1和所述镜头元件组G3可作为一单元,在一给定范围 $R_{1,3}$ 内相对于所述影像传感器和所述镜头元件组G2移动,其中所述镜头元件组G2可相对于所述影像传感器沿着所述第一光轴在小于 $R_{1,3}$ 的一 $R_2$ 范围中移动,其中所述多个镜头元件组G1、G2和G3的组合运动使所述望远镜头进入两个变焦状态,其中所述望远镜头的一EFL从一变焦状态下的一 $EFL_{Tmin}$ 转变为另一变焦状态下的一 $EFL_{Tmax}$ ,并且其中 $EFL_{Tmax} > 1.5 \times EFL_{Tmin}$ 。

[0046] 在一示例性实施例中,提供一种三重相机,包括:一广角相机,包括一广角镜头和一广角影像传感器,所述广角镜头具有一广角有效焦距 $EFL_W$ ;一超广角相机,包括一超广角镜头和一超广角影像传感器,所述超广角镜头具有一超广角有效焦距 $EFL_{UW}$ ;以及一折叠式望远相机,包括具有一第一光轴的一望远镜头、一望远影像传感器和一OPFE,其中所述望远镜头从一物侧到一像侧包括一第一镜头元件组G1、一第二镜头元件组G2和一第三镜头元件组G3,其中至少两个所述镜头元件组可沿所述第一光轴相对于所述影像传感器移动,以将所述望远镜头置于两个变焦状态,所述两个变焦状态为一第一变焦状态和一第二变焦状态,其中所述望远镜头的一EFL从所述第一变焦状态下的一 $EFL_{Tmin}$ 转变为所述第二变焦状态下的一 $EFL_{Tmax}$ ,其中 $EFL_{Tmin} > 2 \times EFL_{UW}$ ,其中 $EFL_{Tmin} > 1.5 \times EFL_W$ 并且其中 $EFL_{Tmax} > 1.5 \times EFL_{Tmin}$ 。

[0047] 在一示例性实施例中,提供一种双重相机,包括:一广角相机模块(或简称“广角相机”);以及一望远相机模块(或简称“望远相机”),包括:一镜头模块、一镜头致动器,用于在一第一变焦状态和一第二变焦状态之间移动所述镜头模块;以及一存储器,用于储存第一

校准数据和第二校准数据;其中所述第一校准数据可以包括在所述第一变焦状态下所述广角相机模块和所述望远相机模块之间的校准数据,并且其中所述第二校准数据可以包括在所述第二变焦状态下的所述广角相机模块和所述望远相机模块之间的校准数据。

[0048] 在各种示例性实施例中,提供一种系统,包括:一应用处理器(AP);一广角相机模块,用于提供第一影像数据;一望远相机模块,用于提供第二影像数据,所述望远相机模块包括一镜头模块和一镜头致动器,用于使所述镜头模块在一第一变焦状态和一第二变焦状态之间移动;以及一存储器,用于储存第一校准数据和第二校准数据,其中所述第一校准数据可以包括在一第一变焦状态下所述广角相机模块和所述望远相机模块之间的校准数据,并且其中所述第二校准数据可以包括在一第二变焦状态下所述广角相机模块和所述望远相机模块之间的校准数据,并且其中通过处理一第一影像数据和一第二影像数据,以及通过在所述望远相机模块处于所述第一变焦状态时使用所述第一校准数据以及在所述望远相机模块处于所述第二变焦状态时使用所述第二校准数据,所述AP被配置用以生成第三影像数据状态。

[0049] 在所述系统的一实施例中,所述第一校准数据被储存在所述第一相机模块中,并且其中所述第二校准数据被储存在所述第二相机模块中。

[0050] 在所述系统的一实施例中,所述第一校准数据和所述第二校准数据仅被储存在所述望远相机模块中。

[0051] 在所述系统的一实施例中,所述第一校准数据和所述第二校准数据仅被储存在所述广角相机模块中。

[0052] 在所述系统的一实施例中,所述第一校准数据和所述第二校准数据被储存在不位于所述广角相机模块或所述望远相机模块上的一存储器中。

[0053] 在所述系统的一实施例中,所述第一校准数据的第一部分和所述第二校准数据的第一部分被储存在位于所述广角相机模块或所述望远相机模块中的一存储器上,并且其中所述第一校准数据的第一部分和所述第二校准数据的第一部分储存在不位于所述广角相机模块或所述望远相机模块中的一存储器中。

## 附图说明

[0054] 下面参考在此段落之后列出的附图来描述本文公开的实施例的非限制性示例。出现在多个附图中的相同结构、元件或零件通常在所有出现的附图中均标有相同的数字。如果显示相同的元件,但仅在一个图中编号,则假定它们在所有出现的图中均具有相同的编号。附图和说明意旨在解释和阐明本文公开的实施例,并且不应以任何方式被认为是限制性的。在图中:

[0055] 图1A示意性地显示双重相机的总体立体图,所述双重相机包括一直立式相机和变焦折叠相机;

[0056] 图1B在一分解图中显示图1A的双重相机;

[0057] 图2A显示图1A和图1B中的变焦折叠相机,具有处于第一变焦状态的第一镜头光学设计并且具有光线轨迹;

[0058] 图2B显示图1A和图1B中的变焦折叠相机,具有处于第二变焦状态的第一镜头光学设计并且具有光线轨迹;

- [0059] 图2C显示处于第一变焦状态的第一光学设计的镜头元件的细节；
- [0060] 图2D显示处于第二变焦状态的第一光学设计的镜头元件的细节；
- [0061] 图3A显示处于第一变焦状态的第二光学设计的镜头元件的细节；
- [0062] 图3B显示处于第二变焦状态的第二光学设计的镜头元件的细节；
- [0063] 图4A显示处于第一变焦状态的第三光学设计的镜头元件的细节；
- [0064] 图4B显示处于第二变焦状态的第三光学设计的镜头元件的细节；
- [0065] 图4C显示处于第一变焦状态的第四光学设计的镜头元件的细节；
- [0066] 图4D显示处于第二变焦状态的第四光学设计的镜头元件的细节；
- [0067] 图4E显示处于第一变焦状态的第五光学设计的镜头元件的细节；
- [0068] 图4F显示处于第二变焦状态的第五光学设计的镜头元件的细节；
- [0069] 图4G显示处于第一变焦状态的第六光学设计的镜头元件的细节；
- [0070] 图4H显示处于第二变焦状态的第六光学设计的镜头元件的细节；
- [0071] 图5A从顶部透视图示意性地显示处于 $EFL_{Tmin}$ 状态的望远镜头和传感器模块的第一实施例；
- [0072] 图5B另一顶部透视图示意性地显示图5A的望远镜头和传感器模块；
- [0073] 图5C从顶部透视图示意性地显示处于 $EFL_{Tmax}$ 状态的望远镜头和传感器模块；
- [0074] 图5D另一顶部透视图示意性地显示图5C的望远镜头和传感器模块；
- [0075] 图5E显示图5A和图5D的望远镜头和传感器模块的分解图；
- [0076] 图6A从一角度显示在图5A和图5B中处于 $EFL_{Tmin}$ 状态的所述望远镜头和传感器模块的顶部和底部致动组件的底视图；
- [0077] 图6B从另一角度显示在图5C和图5D中处于 $EFL_{Tmax}$ 状态的所述望远镜头和传感器模块的顶部和底部致动组件的底视图；
- [0078] 图6C从一底视图显示顶部致动组件；
- [0079] 图7显示图5A-5E的望远镜头和传感器模块中的固定轨道的细节；
- [0080] 图8显示图5A-5E的望远镜头和传感器模块中的电子组件；
- [0081] 图9A显示具有轴向对称性的镜头元件；
- [0082] 图9B显示具有两个切口的切口镜头元件；
- [0083] 图10以流程图显示用于操作本文公开的变焦折叠相机的示例性方法；
- [0084] 图11A是根据本公开主题的一些示例，撞击在镜头元件的凸面上的光线的冲击点的示意图，以及这些冲击点在平面P上的正交投影的示意图；
- [0085] 图11B是根据本公开主题的一些示例，撞击在镜头元件的凹面上的光线的冲击点的示意图，以及这些冲击点在平面P上的正交投影的示意图；
- [0086] 第12图是根据本发明的一些示例，冲击点在平面P上的正交投影以及净高度值 (clear height value, CH) 的示意图；
- [0087] 图13是根据本公开主题的一些示例，冲击点在平面P上的正交投影以及净光圈的示意图；
- [0088] 图14以框图示意性地显示本文公开的系统实施例；
- [0089] 图15示意性地显示包括折叠和非折叠镜头设计的双光圈相机和三光圈相机的设计。

- [0090] 图16A从顶部透视图示意性地显示包括具有第六示例的光学设计的镜头的远程镜头和传感器模块的第二实施例,其处于 $EFL_{Tmin}$ 状态;
- [0091] 图16B从顶部透视图示意性地显示处于 $EFL_{Tmax}$ 状态的图16A的模块;
- [0092] 图16C示意性地显示图16A的模块的部件的细节;
- [0093] 图16D示意性地显示图16B的模块的部件的细节;
- [0094] 图16E在侧视图中示意性地显示图16A的模块的部件的细节;
- [0095] 图16F在侧视图中示意性地显示图16B的模块的部件的细节;
- [0096] 图16G示意性地显示在第一顶部透视图处于 $EFL_{Tmin}$ 状态的图16A的模块的部件的细节;
- [0097] 图16H示意性地显示在第二顶部透视图处于 $EFL_{Tmin}$ 状态的图16A的模块的部件的细节;
- [0098] 图17A从顶部透视图示意性地显示包括具有第六示例的光学设计的镜头的远程镜头和传感器模块的第三实施例,其处于 $EFL_{Tmin}$ 状态;
- [0099] 图17B示意性地显示处于 $EFL_{Tmax}$ 状态的图17A的模块;
- [0100] 图17C示意性地显示图17B的模块的部件的细节;
- [0101] 图17D示意性地显示图17B的模块的部件的其他细节;
- [0102] 图17E显示图17A和图17B的模块中的磁体组件;
- [0103] 图17F示意性地显示通过图17A的模块中的VCM在 $EFL_{Tmin}$ 状态和 $EFL_{Tmax}$ 状态之间致动的方法;
- [0104] 图17G显示在第一侧视图中用于在 $EFL_{Tmin}$ 状态下执行图17F的VCM的变焦状态切换的致动方法;
- [0105] 图17H显示在第二侧视图中用于在 $EFL_{Tmax}$ 下执行图17F的VCM的变焦状态切换的致动方法;
- [0106] 图17I显示在与图7G和图17H的侧视图相对的侧视图中用于在 $EFL_{Tmin}$ 状态下进行聚焦的致动方法;
- [0107] 图17J显示在与图7H和图17H的侧视图相对的侧视图中用于在 $EFL_{Tmax}$ 状态下进行聚焦的致动方法;
- [0108] 图18A显示在透视图用于将镜头组G2粘接到镜头组G1的粘接子系统的实施例;
- [0109] 图18B显示在另一透视图图18A的粘接子系统的实施例;
- [0110] 图18C显示在透视图用于在具有 $EFL_{Tmax}$ 的变焦状态下将镜头组G2粘接到镜头组G3的粘接子系统的另一实施例;
- [0111] 图18D显示在另一透视图图18C的粘接子系统的实施例;
- [0112] 图19A在透视图显示具有处于 $EFL_{Tmax}$ 状态下被激活的G2光阑的G2光阑移除机构;
- [0113] 图19B显示具有处于微距摄影模式下被解除激活的G2光阑的G2光阑移除机构;
- [0114] 图19C显示G2光阑被激活时处于 $EFL_{Tmin}$ 或 $EFL_{Tmax}$ 状态的G2光阑移除机构的部件;
- [0115] 图19D显示G2光阑解除激活时处于 $EFL_{Tmin}$ 或 $EFL_{Tmax}$ 状态的图19C的G2光阑移除机构的部件。

## 具体实施方式

[0116] 图1A示意性地显示标号为100的双重相机的实施例的总体立体图,所述双重相机包括一直立的广角相机102以及一折叠式望远相机103,所述折叠式望远相机103包括一OPFE 104(例如棱镜)以及一变焦折叠式望远相机镜头和传感器模块(或简称为“模块”)106。广角镜相机包括具有一固定有效焦距 $EFL_w$ 的一广角镜头110。例如 $EFL_w$ 可以是2至5毫米。在望远相机103中,OPFE104被保持在棱镜支架108中。模块106包括一遮片107。遮片107可以覆盖模块106或相机103的一些或全部元件。图1B显示移除遮片107并具有更多细节的双重相机100。模块106还包括望远镜头114,其具有望远镜头光轴116、望远影像传感器118以及可选地玻璃窗130(参见例如图2A)。玻璃窗130可用于过滤红外(IR)波长的光,用于传感器118的机械防护及/或用于传感器118的防尘保护。为简单起见,此后可能会省略针对相机、镜头或影像传感器所使用的“望远(Tele)”一词。在一些实施例中,镜头和影像传感器模块是分开的,使得望远影像传感器具有其自己的影像传感器模块,而下面描述的其他功能和部件(特别是图5A至图5E的望远镜头及传感器模块500的致动、图16A至图16H的致动器1610、以及图17A至图17J的致动器1710)仅保留在望远相机镜头模块中。下面的整个描述也涉及这样的实施例。在其他实施例中,本文描述的系统可以包括一或多个附加相机,例如形成一个三重相机系统。除了广角和望远相机外,三相机还可以包括超广角相机,其中超广角相机的EFL为 $EFL_{uw} < 0.7 \times EFL_w$ 。

[0117] 双重相机100还包括或耦合至一控制器(未显示),所述控制器控制各种相机功能,包括以下描述的多个镜头组和元件的运动。

[0118] 所述镜头114包括三组的镜头元件G1、G2和G3,其分别容纳在第一组(G1)镜头壳体(或支架)120、第二组(G2)镜头壳体122和第三组(G3)镜头壳体124中。下面参考第2图至第4图三种不同的镜头设计的细节提供用于镜头元件组G1、G2和G3。在接下来详细描述的各种实施例中,至少一镜头元件组相对于另一镜头元件组沿镜头光轴116移动,以提供至少两个望远镜头有效焦距 $EFL_T$ :最小 $EFL_{Tmin}$ 和最大 $EFL_{Tmax}$ 。例如 $EFL_{Tmin}$ 可以是10至20毫米,而 $EFL_{Tmax}$ 可以是20至40毫米。这样可在两个大型EFL之间提供变焦功能,同时保持较小的望摄镜头f值( $F\#_T$ )。另外, $EFL_{Tmin}$ 比 $EFL_w$ 大2倍或更多倍,使得双重镜头100可以在 $EFL_w$ 和 $EFL_{Tmax}$ 之间提供光学变焦。除EFL外,对于每个变焦状态,望远镜头总轨道长度(Tele lens total track length,  $TTL_T$ )定义为当镜头聚焦在无限远处时,沿着光轴从第一镜头元件朝向物侧的第一表面( $S_1$ 请参见下文)到影像传感器的距离,其包括所有镜头元件和玻璃窗。对于第一变焦状态定义为 $TTL_{Tmin}$ ,对于第二变焦状态定义为 $TTL_{Tmax}$ 。 $TTL_{Tmin}$ 和 $TTL_{Tmax}$ 例如在图2C、图2D、图3A和图3B,但是这些定义适用于本申请中的所有实施例。

[0119] 图2A显示一变焦折叠望远相机103'如同相机103,具有OPFE 104(例如棱镜)、一镜头114'如同镜头114,以及传感器118',具有第一示例性光学设计并且具有光线轨迹,其中望远镜头处于一第一变焦状态,即 $EFL = EFL_{Tmin}$ 。另外,玻璃窗130可以位于所有镜头元件和影像传感器118之间。图2B显示处于一第二变焦状态的折叠式望远相机103',即 $EFL = EFL_{Tmax}$ 。图2C显示处于第一变焦状态的第一光学设计的镜头114'的细节,图2D显示处于第二变焦状态的镜头114'的细节。

[0120] 镜头114'具有第一示例性光学设计,由表1至表4所表示,并且包括标记为L1至L8的八个镜头元件,其从在面棱镜的物侧(“物体侧”)的L1开始,在朝向影像传感器的像侧

的L8结束。表1提供了光学镜头设计中每个表面的光学数据。表1中省略了OPFE的光学数据(棱镜或反射镜),因为在物体和 $S_1$ 之间可以使用许多本领域已知的OPFE设计。这样的OPFE的非限制性示例包括:由玻璃或塑料制成的棱镜,使得所述棱镜的折射率可以改变(例如,在1-3的范围内);限制杂散光的OPFE(例如参见在共同拥有的国际专利申请PCT/IB2018/054928中公开的内容);低剖面棱镜(例如参见共同拥有的美国临时专利申请62/657,003);扫描式OPFE(例如参见共同拥有的国际专利申请PCT/IB2018/050885和PCT/IB2017/);具有OIS机制的OPFE(例如共同拥有的美国专利第9927600号);和一面镜子。

[0121] 表2提供了变焦数据,它是表1中曲面之间距离的附加数据,以及各种变焦位置的更变参数。表3提供了非球面数据,这是表1中非球面的多个表面的其他光学数据。表4提供了以毫米(mm)为单位的镜头元件和镜头元件组的焦距。对于第二示例性光学设计(表5-8),第三示例性光学设计(表9-12),第四示例性光学设计(表13-16)和第五示例性光学设计(表17-20)在下方存在相似的表。

[0122] 在下面的各个示例性实施例中公开的镜头包括镜头元件的几个镜头组(G1、G2、G3等),每个组包括多个标记为Li的镜头元件。每个镜头元件Li具有相应的前表面 $S_{2i-1}$ 和相应的后表面 $S_{2i}$ ,其中“i”是1至N之间的整数。如本文所使用的,各个镜头元件的术语“前表面”是指一镜头元件靠近镜头入口(镜头物侧)的表面,术语“后表面”是指一镜头元件靠近影像传感器(镜头像侧)的表面。前表面及/或后表面在某些情况下可以是非球面的。前表面及/或后表面在某些情况下可以是球面的。但是这些选项不是限制性的。镜头元件L1至LN可以由各种材料制成,例如塑料或玻璃。一些镜头元件可以由与其他镜头元件不同的材料制成。在几个图中作为示例显示符号“Gi”、“Li”、“ $S_i$ ”(对于“Gi”符号参见图2C、图2D;对于“Li”符号参见图2B;对于“ $S_i$ ”符号参见图4A),但是这些符号适用于本申请中的所有实施例。

[0123] 在本说明书中,零件、元件或零件或元件组的“高度(height)”被定义为在第一光轴方向(示例性坐标系中的Y方向)零件/元素/组的最低点和零件/元素/组的最高点之间的距离。术语“上部”或“顶部”是指相对于同一零件/元件或组的其他部分,所述任何零件/元件/组沿Y轴方向更靠近并面向一被成像的(被拍摄的)物体的部分。术语“下部”或“底部”是指相对于同一零件/元件或组的其他部分,所述任何零件/元件/组沿Y轴方向更远且背离一被成像的物体的部分。

[0124] 在表1(以及表5和9)中,R是表面的曲率半径,T是从表面到平行于光轴的下一个表面的距离。由于某些镜头之间的距离随变焦和聚焦而变化,因此表2、表6和表10中给出了各种变焦和聚焦位置的附加厚度数据。请注意,当将表2、表6和表10中的附加数据用于无限远的物体时,TTLT是从 $S_1$ 到影像传感器的所有T值的总和。D是表面的光学直径。 $D/2$ 表示“半直径”或直径的一半。R、T和D的单位是毫米(mm)。Nd和Vd分别是位于表面和下一表面之间的镜头元件材料的折射率和阿贝数(Abbe number)。

[0125] 表1、表5和表9中定义了表面类型,表3、表7和表11中定义了表面系数:

[0126] -多个平面-具有无限的曲率半径;

[0127] -使用等式Eq.1所定义的非球面(Even-Aspherical Surface,EVAS)及其详细信息如表3、7和11所示:

[0128] (Eq.1) 
$$EVAS = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \alpha_2 r^4 + \alpha_3 r^6$$

[0129] 其中 $r$ 是光学表面上某个点与相关光轴(第一轴或第二轴)的距离(且垂直于所述轴), $k$ 是圆锥曲线常数(conic parameter), $c=1/R$ , $a$ 是表3、7和11中给出的多个系数。注意对于任何非球面, $r$ 的最大值(“max  $r$ ”)是相应表面的半直径( $D/2$ )。

[0130] -使用等式Eq.2和下面的子方程式定义QT1曲面:

$$[0131] \quad (\text{Eq. 2}) \quad QT1 = \frac{cr^2}{1+\sqrt{1-(1+k)c^2r^2}} + D_{con}(u)$$

$$[0132] \quad D_{con}(u) = u^4 \sum_{n=0}^5 A_n Q_n^{con}(u^2)$$

$$[0133] \quad u = \frac{r}{NR} \quad x = u^2$$

$$[0134] \quad Q_0^{con}(x) = 1 \quad Q_1^{con} = -(5 - 6x) \quad Q_2^{con} = 15 - 14x(3 - 2x)$$

$$[0135] \quad Q_3^{con} = -\{35 - 12x[14 - x(21 - 10x)]\}$$

$$[0136] \quad Q_4^{con} = 70 - 3x\{168 - 5x[84 - 11x(8 - 3x)]\}$$

$$[0137] \quad Q_5^{con} = -[126 - x(1260 - 11x\{420 - x[720 - 13x(45 - 14x)]\})]$$

[0138] 其中 $\{z, r\}$ 是标准圆柱极坐标(standard cylindrical polar coordinates), $c$ 是表面的近轴曲率(paraxial curvature), $k$ 是圆锥曲线常数(conic parameter), $NR$ 是标准半径(norm radius), $A_n$ 是镜头数据表中所示的多项式系数(polynomial coefficients)。

[0139] 一“光阑表面(stop surface)”(表2、6、10、14、18和22):在本文公开的实施例中,当从第一变焦状态转变为第二变焦状态时,一镜头光圈光阑表面(aperture stop surface,或孔径光阑表面)的位置可以改变。在这种情况下,所述光阑决定整个镜头模块的 $F\#$ 。例如,在一些实施例中,在第一变焦状态下,到达影像平面以形成中心视场的影像的光量是由物侧L1的第一镜头附近的光圈光阑所决定,而在第二变焦状态下到达影像平面以形成中心视场的影像的光量是由另一镜头元件附近的光圈光阑所决定,例如镜头元件L4附近。在其他实施例中,当从第一变焦状态转变为第二变焦状态时,一镜头光圈光阑表面的位置可以不改变。

[0140] 下表显示的影像传感器直径 $D$ 是指影像传感器对角线的可能尺寸。

[0141]

| 组     | 镜头 | 表面              | 类型   | R [毫米]    | T [毫米] | Nd     | Vd     | D [毫米] |
|-------|----|-----------------|------|-----------|--------|--------|--------|--------|
| 物体    |    | S <sub>0</sub>  | 平    | 无限远       | 见表 2   |        |        |        |
| G1    | L1 | S <sub>1</sub>  | EVAS | 5.997     | 1.224  | 1.4847 | 84.150 | 7.50   |
| G1    | L1 | S <sub>2</sub>  | EVAS | 13.606    | 2.104  |        |        | 7.50   |
| G1    | L2 | S <sub>3</sub>  | EVAS | -19.106   | 0.509  | 1.8446 | 23.750 | 6.73   |
| G1    | L2 | S <sub>4</sub>  | EVAS | -25.364   | 见表 2   |        |        | 6.24   |
| G2    | L3 | S <sub>5</sub>  | EVAS | 11.959    | 0.864  | 1.5348 | 55.660 | 4.76   |
| G2    | L3 | S <sub>6</sub>  | EVAS | -9.715    | 0.422  |        |        | 4.76   |
| G2    | L4 | S <sub>7</sub>  | EVAS | -3.692    | 0.656  | 1.6510 | 21.510 | 4.40   |
| G2    | L4 | S <sub>8</sub>  | EVAS | -4.784    | 见表 2   |        |        | 4.27   |
| G3    | L5 | S <sub>9</sub>  | EVAS | -8.017    | 0.719  | 1.6510 | 21.510 | 4.00   |
| G3    | L5 | S <sub>10</sub> | EVAS | -1293.029 | 0.635  |        |        | 3.55   |
| G3    | L6 | S <sub>11</sub> | EVAS | -670.457  | 0.598  | 1.6510 | 21.510 | 3.59   |
| G3    | L6 | S <sub>12</sub> | EVAS | -7.424    | 0.073  |        |        | 3.88   |
| G3    | L7 | S <sub>13</sub> | EVAS | -7.140    | 0.624  | 1.6510 | 21.510 | 3.93   |
| G3    | L7 | S <sub>14</sub> | EVAS | -4.715    | 0.068  |        |        | 4.16   |
| G3    | L8 | S <sub>15</sub> | EVAS | -3.913    | 0.798  | 1.5348 | 55.660 | 4.22   |
| G3    | L8 | S <sub>16</sub> | EVAS | 45.594    | 见表 2   |        |        | 4.35   |
| 玻璃窗   |    | S <sub>17</sub> | 平    | 无限远       | 0.210  | 1.5168 | 64.170 |        |
|       |    | S <sub>18</sub> | 平    | 无限远       | 0.500  |        |        |        |
| 影像传感器 |    | S <sub>19</sub> | 平    | 无限远       | 0      |        |        |        |

[0142] 表1

[0143]

|        |                |                                 |       |                                 |        |
|--------|----------------|---------------------------------|-------|---------------------------------|--------|
|        |                | 第一变焦状态 EFL <sub>T</sub> = 15 毫米 |       | 第二变焦状态 EFL <sub>T</sub> = 30 毫米 |        |
| 物体位置   |                | 无限远                             | 于 1 米 | 无限远                             | 于 1 米  |
| 光阑表面   |                | S8                              |       | S1                              |        |
| T [毫米] | S <sub>0</sub> | 无限远                             | 1000  | 无限远                             | 1000   |
|        | S <sub>4</sub> | 0.131                           | 0.131 | 11.403                          | 11.403 |
|        | S <sub>8</sub> | 5.080                           | 5.364 | 0.060                           | 0.434  |

[0144]

|  |                 |       |       |       |       |
|--|-----------------|-------|-------|-------|-------|
|  | S <sub>16</sub> | 1.094 | 0.810 | 6.114 | 5.740 |
|--|-----------------|-------|-------|-------|-------|

[0145] 表2

[0146]

| 表面              | 圆锥常数<br>(k) | $\alpha_2$ | $\alpha_3$ |
|-----------------|-------------|------------|------------|
| S <sub>1</sub>  | 0.512       | -2.110E-04 | -3.814E-06 |
| S <sub>2</sub>  | 0.273       | 3.572E-04  | 1.917E-05  |
| S <sub>3</sub>  | 20.233      | 5.134E-03  | -4.188E-05 |
| S <sub>4</sub>  | 37.580      | 5.156E-03  | -2.918E-06 |
| S <sub>5</sub>  | -17.980     | 3.967E-04  | -2.603E-04 |
| S <sub>6</sub>  | 4.558       | 9.386E-04  | -2.360E-04 |
| S <sub>7</sub>  | -0.178      | 7.713E-03  | -3.679E-04 |
| S <sub>8</sub>  | 0.700       | 5.789E-03  | -1.981E-04 |
| S <sub>9</sub>  | -37.208     | 2.833E-02  | -2.126E-03 |
| S <sub>10</sub> | -2.729      | 3.813E-02  | 1.651E-03  |
| S <sub>11</sub> | -9.193      | -2.622E-02 | 4.029E-03  |
| S <sub>12</sub> | -5.072      | -1.207E-02 | 3.646E-03  |
| S <sub>13</sub> | 9.708       | 1.232E-02  | -6.426E-04 |
| S <sub>14</sub> | 3.593       | 2.145E-03  | 4.976E-04  |
| S <sub>15</sub> | 1.298       | 1.152E-02  | 2.260E-03  |
| S <sub>16</sub> | -8.975      | -1.222E-03 | -1.182E-04 |

[0147] 表3

[0148]

| 镜头<br># | 镜头或组焦距[毫米] |
|---------|------------|
| L1      | 14.88      |
| L2      | -28.15     |
| L3      | 12.85      |
| L4      | -49.00     |
| L5      | 65.32      |
| L6      | -9.17      |
| L7      | -32.37     |
| L8      | 19.45      |
| G1      | 23.01      |
| G2      | 15.28      |
| G3      | -11.55     |

[0149] 表4

[0150] 在第一示例(“示例1”)中,镜头元件L1-L8被分为三组:包括镜头元件L1和L2的第一组G1,包括镜头元件L3和L4的第二组G2和包括镜头元件L5至L8的第三组。注意,表4中列出的镜头或组焦距具有正或负值,其指示副镜头元件或组的相应正或负屈光力。因此在表4中,L1、L3、L5和L8具有正屈光力(positive refractive power),而L2、L4、L6和L7具有负屈光力(negative refractive power),类似地G1和G2具有正屈光力,而G3具有负屈光力。这也适用于表8和表12。

[0151] 在示例1中,通过使组G1和G3相对于影像传感器118移动,同时组G2相对于影像传

传感器118保持静止而使相机进入两个变焦状态。然后G3还可以移动以在每个变焦状态下进行对焦。表2列出了确切的距离和相对位置。在示例1中,G1和G3相对于G2(和影像传感器)移动,以使相机进入图2A和图2C中所示的第一变焦状态,其中 $EFL_T = EFL_{Tmin} = 15$ 毫米, $F\# = F\#_{Tmin} = 2.8$ 并且 $TTL_T = TTL_{Tmin} = 16.309$ 毫米,并且进入图2B和图2D中所示的第二变焦状态,其中 $EFL_T = EFL_{Tmax} = 30$ 毫米, $F\# = F\#_{Tmax} = 4$ 且 $TTL_T = TTL_{Tmin} = 27.581$ 毫米。移动范围可以是例如5至10毫米。在第一状态下,G1与G2隔开距离d4(对于EFL为15毫米的情况,表2中 $S_4$ 和 $S_5$ 之间的距离,即0.131毫米),G2与G3隔开距离d8(对于EFL为15毫米的情况,表2中 $S_8$ 和 $S_9$ 之间的距离,即5.080至5.364毫米,取决于焦距);G3与窗口130的距离为d16(对于EFL为15毫米的情况,表2中 $S_{16}$ 和 $S_{17}$ 之间的距离,即1.094至0.810毫米,取决于焦距)。在第二状态下,G1与G2隔开距离d4'(对于EFL为30毫米的情况,表2中 $S_4$ 和 $S_5$ 之间的距离,即11.403毫米),G2与G3隔开距离d8'(对于EFL为30毫米的情况,表2中 $S_8$ 和 $S_9$ 之间的距离,即0.060至0.434毫米,取决于聚焦距离);G3与窗口130的距离为d16'(对于EFL为30毫米的情况,表2中 $S_{16}$ 和 $S_{17}$ 之间的距离,即6.114至5.740毫米,取决于焦距)。

[0152] 图3A显示处于第一变焦状态中,如相机103的一折叠式望远相机中的示例性光学设计的第二实施例的镜头元件的细节,图3B显示处于第二变焦状态中第二光学设计的镜头元件的细节。这些图显示镜头114",影像传感器118和可选的窗口130。第二种光学设计由表5至表8表示,包括八个标记为L1至L8的镜头元件,从面向棱镜的物侧上的L1开始并结束于朝影像传感器的影像侧的L8。表5提供了光学数据,表6提供了变焦数据,表7提供了非球面数据,表8提供了以毫米为单位的镜头或组焦距。

[0153] 在第二示例("示例2")中,在镜头114"中,镜头元件L1-L8被分为三组:包括镜头元件L1和L2的第一组G1、包括镜头元件L3至L5的第二组G2和包括镜头元件L6至L8的第三组。

[0154] 在示例2中,通过使组G1和G3相对于影像传感器在一给定范围 $R_{1,3}$ 中一起移动,同时使组G2相对于影像传感器在小于 $R_{1,3}$ 的一范围R2中移动,而使得相机进入两个变焦状态。在示例2中, $R_{1,3} = 7.509$ 毫米,而 $R_2 = 1.574$ 毫米。G2在相对于影像传感器的任何变焦状态下还可以在一范围 $R_{AF}$ 中移动,以将相机106的焦距从无穷远改变到1米。 $R_{AF}$ 可能高达550微米( $\mu m$ ),具体取决于变焦状态。图3A显示处于第一变焦状态的示例2,其中 $EFL_T = EFL_{Tmin} = 15$ 毫米, $F\# = F\#_{Tmin}$ 并且 $TTL_T = TTL_{Tmin} = 17.373$ 毫米,以及图3B显示处于第二变焦状态的示例2,其中 $EFL_T = EFL_{Tmax} = 30$ 毫米, $F\# = F\#_{Tmax} = 4$ ,并且 $TTL_T = TTL_{Tmax} = 24.881$ 毫米。

[0155] 在示例2,满足以下条件:

[0156]  $R_{1,3}$ 和 $R_2$ 小于 $0.6 \times (EFL_{Tmax} - EFL_{Tmin})$ ,当然小于 $0.75 \times (EFL_{Tmax} - EFL_{Tmin})$ 。 $F\#_{Tmin}$ 小于 $1.0 \times F\#_{Tmax} \times EFL_{Tmin} / EFL_{Tmax}$ ,小于 $1.2 \times F\#_{Tmax} \times EFL_{Tmin} / EFL_{Tmax}$ ,小于 $1.5 \times F\#_{Tmax} \times EFL_{Tmin} / EFL_{Tmax}$ ,小于 $1.8 \times F\#_{Tmax} \times EFL_{Tmin} / EFL_{Tmax}$ 。

[0157] 在第一状态下,G1与G2隔开距离d4(对于EFL为15毫米的情况,表6中 $S_4$ 和 $S_5$ 之间的距离,即1.246至1.012毫米,取决于焦距),G2与G3隔开距离d10(对于EFL为15毫米的情况,表6中 $S_{10}$ 和 $S_{11}$ 之间的距离,即6.136至6.370毫米,取决于焦距);G3与窗口130的距离为d16(对于EFL为15毫米的情况,表6中 $S_{16}$ 和 $S_{17}$ 之间的距离,即0.229毫米)。在第二状态下,G1与G2隔开距离d4'(对于EFL为30毫米的情况,表6中 $S_4$ 和 $S_5$ 之间的距离,即7.181至6.658毫米,取决于焦距),G2与G3隔开距离d10'(对于EFL为30毫米的情况,表6中 $S_{10}$ 和 $S_{11}$ 之间的距离,即0.2至0.725毫米,取决于焦距);G3与窗口130的距离为d16'(对于EFL为30毫米的情况,表6

中 $S_{16}$ 和 $S_{17}$ 之间的距离,即7.738毫米)。

[0158]

| 组      | 镜         | 表               | 类型              | R [毫米] | T        | Nd     | Vd     | D      |      |
|--------|-----------|-----------------|-----------------|--------|----------|--------|--------|--------|------|
|        | 头         | 面               |                 |        | [毫米]     |        |        | [毫米]   |      |
|        | 物体        | S <sub>0</sub>  | 平               | 无限远    | 见表 6     |        |        |        |      |
|        | G1        | L1              | S <sub>1</sub>  | QT1    | 6.615    | 1.666  | 1.4847 | 84.150 | 7.50 |
|        | G1        | L1              | S <sub>2</sub>  | QT1    | 71.898   | 3.268  |        |        | 7.30 |
|        | G1        | L2              | S <sub>3</sub>  | QT1    | 21.616   | 0.373  | 1.8446 | 23.750 | 5.87 |
|        | G1        | L2              | S <sub>4</sub>  | QT1    | 10.973   | 见表 6   |        |        | 5.62 |
|        | G2        | L3              | S <sub>5</sub>  | QT1    | -37.902  | 0.700  | 1.5348 | 55.660 | 4.86 |
|        | G2        | L3              | S <sub>6</sub>  | QT1    | -5.871   | 0.132  |        |        | 4.95 |
|        | G2        | L4              | S <sub>7</sub>  | QT1    | -3.976   | 0.744  | 1.6510 | 21.510 | 4.93 |
|        | G2        | L4              | S <sub>8</sub>  | QT1    | -4.874   | 0.067  |        |        | 5.20 |
|        | G2        | L5              | S <sub>9</sub>  | QT1    | -5.651   | 0.869  | 1.5348 | 55.660 | 5.38 |
| [0159] | G2        | L5              | S <sub>10</sub> | QT1    | -5.128   | 见表 6   |        |        | 5.38 |
|        | G3        | L6              | S <sub>11</sub> | QT1    | -4.749   | 0.250  | 1.5348 | 55.660 | 4.77 |
|        | G3        | L6              | S <sub>12</sub> | QT1    | -139.803 | 0.063  |        |        | 4.74 |
|        | G3        | L7              | S <sub>13</sub> | QT1    | -444.631 | 0.318  | 1.5348 | 55.660 | 4.73 |
|        | G3        | L7              | S <sub>14</sub> | QT1    | 18.077   | 0.060  |        |        | 4.75 |
|        | G3        | L8              | S <sub>15</sub> | QT1    | 15.930   | 0.542  | 1.6510 | 21.510 | 4.78 |
|        | G3        | L8              | S <sub>16</sub> | QT1    | -63.413  | 见表 6   |        |        | 4.77 |
|        | 玻璃窗       | S <sub>17</sub> | 平               | 无限远    | 0.210    | 1.5168 | 64.170 |        |      |
|        |           | S <sub>18</sub> | 平               | 无限远    | 0.500    |        |        |        |      |
|        | 影像传<br>感器 | S <sub>19</sub> | 平               | 无限远    | 0        |        |        |        |      |

[0160] 表5

[0161]

|        |          | 第一变焦状态 $EFL_T = 15$ 毫米 |       | 第二变焦状态 $EFL_T = 30$ 毫米 |       |
|--------|----------|------------------------|-------|------------------------|-------|
| 物体位置   |          | 无限远                    | 于 1 米 | 无限远                    | 于 1 米 |
| 光阑表面   |          | S5                     |       | S1                     |       |
| T [毫米] | $S_0$    | 无限远                    | 1000  | 无限远                    | 1000  |
|        | $S_4$    | 1.246                  | 1.012 | 7.181                  | 6.658 |
|        | $S_{10}$ | 6.136                  | 6.370 | 0.200                  | 0.725 |
|        | $S_{16}$ | 0.229                  | 0.229 | 7.738                  | 7.738 |

[0162] 表6

[0163]

| 表面 | 圆锥<br>常数 | NR | $A_0$ | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $A_5$ |
|----|----------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|----|----------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|

[0164]

|                 | (k) |     |            |            |            |            |            |            |
|-----------------|-----|-----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| S <sub>1</sub>  | 0   | 3.7 | -1.071E-02 | -7.810E-04 | 7.874E-05  | -9.666E-05 | 3.754E-06  | 2.463E-06  |
| S <sub>2</sub>  | 0   | 3.7 | 3.115E-02  | -1.285E-03 | 1.465E-04  | -2.067E-04 | 4.660E-05  | -9.353E-07 |
| S <sub>3</sub>  | 0   | 3.7 | 2.719E-01  | -4.051E-02 | 2.860E-03  | 5.289E-04  | 7.861E-04  | -8.761E-04 |
| S <sub>4</sub>  | 0   | 3.7 | 3.639E-01  | -3.214E-02 | 6.330E-03  | 2.656E-03  | 9.124E-04  | -1.171E-03 |
| S <sub>5</sub>  | 0   | 3.7 | -1.507E+00 | -1.910E-01 | -6.434E-02 | -1.200E-02 | 5.825E-04  | -5.555E-04 |
| S <sub>6</sub>  | 0   | 3.7 | -8.373E-01 | -1.648E-01 | -4.615E-04 | -1.051E-02 | 2.529E-03  | 2.881E-03  |
| S <sub>7</sub>  | 0   | 3.7 | 5.590E-01  | 1.990E-02  | 1.374E-01  | 8.401E-03  | 6.293E-03  | 6.466E-03  |
| S <sub>8</sub>  | 0   | 3.7 | 4.388E-01  | -1.366E-01 | 5.125E-02  | -1.241E-02 | -2.885E-03 | 8.741E-04  |
| S <sub>9</sub>  | 0   | 3.7 | 5.075E-01  | -1.496E-02 | 6.068E-02  | 1.246E-02  | -8.803E-04 | -4.615E-03 |
| S <sub>10</sub> | 0   | 3.7 | -8.004E-02 | -5.974E-02 | -2.987E-02 | -2.815E-03 | 7.390E-04  | -1.480E-03 |
| S <sub>11</sub> | 0   | 3.7 | 8.519E-01  | -5.488E-02 | -5.544E-02 | -7.854E-03 | 3.268E-03  | 6.359E-03  |
| S <sub>12</sub> | 0   | 3.7 | -1.077E-01 | 2.667E-01  | -4.035E-02 | -5.846E-03 | -2.225E-02 | 2.213E-03  |
| S <sub>13</sub> | 0   | 3.7 | -9.512E-01 | 3.384E-02  | 4.268E-02  | 5.478E-02  | -3.769E-03 | -2.779E-03 |
| S <sub>14</sub> | 0   | 3.7 | 1.676E-01  | -2.814E-01 | 2.307E-02  | 1.180E-02  | -3.634E-03 | -1.653E-02 |
| S <sub>15</sub> | 0   | 3.7 | 8.046E-01  | 6.039E-02  | 9.548E-02  | 1.891E-02  | 8.015E-03  | -7.180E-03 |
| S <sub>16</sub> | 0   | 3.7 | 3.581E-01  | -4.279E-02 | 1.900E-02  | 9.315E-03  | 1.405E-02  | 4.839E-03  |

[0165] 表7

| 镜头<br># | 镜头或组焦距<br>[毫米] |
|---------|----------------|
| L1      | 14.88          |
| L2      | -28.15         |
| L3      | 12.85          |
| L4      | -49.00         |
| L5      | 65.32          |
| L6      | -9.17          |
| L7      | -32.37         |
| L8      | 19.45          |
| G1      | 23.01          |
| G2      | 15.28          |
| G3      | -11.55         |

[0167] 表8

[0168] 图4A显示处于第一变焦状态中,如相机103的一折叠式望远相机中的示例性光学设计的第三实施例的镜头元件的细节,图4B显示处于第二变焦状态中第三光学设计的镜头元件的细节。这些图显示镜头114”,影像传感器118和可选的窗口130。第二种光学设计由表9至表12表示,包括八个标记为L1至L8的镜头元件,从面向棱镜的物侧上的L1开始并结束于朝影像传感器的影像侧的L8。表9提供了光学数据,表10提供了变焦数据,表11提供了非球面数据,表12提供了以毫米为单位的镜头或组焦距。

[0169] 在镜头114”中,镜头元件L1至L8被分为三组:包括镜头元件L1和L2的第一组G1、包括镜头元件L3和L4的第二组G2和包括镜头元件L5至L8的第三组。

[0170] 在第三示例性用途(“示例3”)中,通过使G1和G3相对于影像传感器在一给定范围中移动,同时保持G2静止,而使相机进入两个变焦状态。移动范围例如可以是5至10毫米。G1

可进一步移动以进行对焦。在示例3中,G1和G3相对于G2(和影像传感器)移动,以使相机进入图4A所示的第一变焦状态,其中 $EFL_T = EFL_{Tmin} = 15$ 毫米, $F\# = F\#_{Tmin} = 2.74$ 并且 $TTL_T = TTL_{Tmin} = 16.78$ 毫米,以及图4B所示的第二变焦状态,其中 $EFL_T = EFL_{Tmax} = 30$ 毫米, $F\# = F\#_{Tmax} = 4$ ,并且 $TTL_T = TTL_{Tmax} = 26.958$ 毫米。在第一状态下,G1与G2隔开距离d4(对于EFL为15毫米的情况,表10中S<sub>4</sub>和S<sub>5</sub>之间的距离,即0.199至0.870毫米,取决于焦距),G2与G3隔开距离d8(对于EFL为15毫米的情况,表10中S<sub>8</sub>和S<sub>9</sub>之间的距离,即6.050毫米);G3与窗口130的距离为d16(对于EFL为15毫米的情况,表10中S<sub>16</sub>和S<sub>17</sub>之间的距离,即0.650毫米)。在第二状态下,G1与G2隔开距离d4(对于EFL为30毫米的情况,表10中S<sub>4</sub>和S<sub>5</sub>之间的距离,即10.377至11.031毫米,取决于焦距),G2与G3隔开距离d8(对于EFL为30毫米的情况,表10中S<sub>8</sub>和S<sub>9</sub>之间的距离,即0.06毫米);G3与窗口130的距离为d16(对于EFL为30毫米的情况,表10中S<sub>16</sub>和S<sub>17</sub>之间的距离,即6.64毫米)。

[0171]

| 组     | 镜头 | 表面              | 类型   | R<br>[毫米] | T<br>[毫米] | Nd     | Vd     | D<br>[毫米] |
|-------|----|-----------------|------|-----------|-----------|--------|--------|-----------|
| 物体    |    | S <sub>0</sub>  | 平    | 无限远       | 见表 10     |        |        |           |
| G1    | L1 | S <sub>1</sub>  | EVAS | 5.965     | 1.246     | 1.4847 | 84.150 | 7.50      |
| G1    | L1 | S <sub>2</sub>  | EVAS | 14.446    | 2.524     |        |        | 7.50      |
| G1    | L2 | S <sub>3</sub>  | EVAS | -18.902   | 0.545     | 1.8446 | 23.750 | 6.52      |
| G1    | L2 | S <sub>4</sub>  | EVAS | -27.153   | 见表 10     |        |        | 6.24      |
| G2    | L3 | S <sub>5</sub>  | EVAS | 15.497    | 0.881     | 1.5348 | 55.660 | 4.76      |
| G2    | L3 | S <sub>6</sub>  | EVAS | -9.815    | 0.351     |        |        | 4.76      |
| G2    | L4 | S <sub>7</sub>  | EVAS | -3.714    | 0.694     | 1.6510 | 21.510 | 4.40      |
| G2    | L4 | S <sub>8</sub>  | EVAS | -4.750    | 见表 10     |        |        | 4.27      |
| G3    | L5 | S <sub>9</sub>  | EVAS | -8.318    | 0.535     | 1.6510 | 21.510 | 4.00      |
| G3    | L5 | S <sub>10</sub> | EVAS | -49.289   | 0.581     |        |        | 3.84      |
| G3    | L6 | S <sub>11</sub> | EVAS | 29.648    | 0.492     | 1.6510 | 21.510 | 4.01      |
| G3    | L6 | S <sub>12</sub> | EVAS | -15.803   | 0.371     |        |        | 4.17      |
| G3    | L7 | S <sub>13</sub> | EVAS | -8.902    | 0.625     | 1.6510 | 21.510 | 4.51      |
| G3    | L7 | S <sub>14</sub> | EVAS | -5.204    | 0.066     |        |        | 4.66      |
| G3    | L8 | S <sub>15</sub> | EVAS | -4.708    | 0.260     | 1.5348 | 55.660 | 4.73      |
| G3    | L8 | S <sub>16</sub> | EVAS | 21.740    | 见表 10     |        |        | 4.65      |
| 玻璃窗   |    | S <sub>17</sub> | 平    | 无限远       | 0.210     | 1.5168 | 64.170 |           |
|       |    | S <sub>18</sub> | 平    | 无限远       | 0.500     |        |        |           |
| 影像传感器 |    | S <sub>19</sub> | 平    | 无限远       | 0         |        |        |           |

[0172] 表9

[0173]

|        |                | 第一变焦状态 $EFL_T = 15$ 毫米 |       | 第二变焦状态 $EFL_T = 30$ 毫米 |       |
|--------|----------------|------------------------|-------|------------------------|-------|
| 物体位置   |                | 无限远                    | 于 1 米 | 无限远                    | 于 1 米 |
| 光阑表面   |                | S8                     |       | S1                     |       |
| T [毫米] | S <sub>0</sub> | 无限远                    | 1000  | 无限远                    | 1000  |

|        |                 |       |       |        |        |
|--------|-----------------|-------|-------|--------|--------|
| [0174] | S <sub>4</sub>  | 0.199 | 0.870 | 10.377 | 11.031 |
|        | S <sub>8</sub>  | 6.050 | 6.050 | 0.060  | 0.060  |
|        | S <sub>16</sub> | 0.650 | 0.650 | 6.640  | 6.640  |

[0175] 表10

|        |                 |             |             |             |
|--------|-----------------|-------------|-------------|-------------|
| [0176] | 表面              | 圆锥常数<br>(k) | $\alpha_2$  | $\alpha_3$  |
|        | S <sub>1</sub>  | 0.522       | -1.7367E-04 | 1.4347E-06  |
|        | S <sub>2</sub>  | 1.931       | 4.4699E-04  | 2.3992E-05  |
|        | S <sub>3</sub>  | 19.446      | 5.1529E-03  | -5.1705E-05 |
|        | S <sub>4</sub>  | 42.199      | 5.0933E-03  | -1.1038E-05 |
|        | S <sub>5</sub>  | -19.929     | -9.0502E-05 | -2.5378E-04 |
|        | S <sub>6</sub>  | 5.537       | 1.3905E-03  | -2.6043E-04 |
|        | S <sub>7</sub>  | -0.207      | 7.6849E-03  | -3.0619E-04 |
|        | S <sub>8</sub>  | 0.535       | 5.5481E-03  | -1.4016E-04 |
|        | S <sub>9</sub>  | -36.500     | 2.6433E-02  | -1.9343E-03 |
|        | S <sub>10</sub> | 10.019      | 3.3334E-02  | 5.6299E-04  |
|        | S <sub>11</sub> | -10.151     | -2.4156E-02 | 4.1713E-03  |
|        | S <sub>12</sub> | 10.679      | -1.3708E-02 | 3.1066E-03  |
|        | S <sub>13</sub> | 10.006      | 1.3443E-02  | -1.0812E-03 |
|        | S <sub>14</sub> | 3.232       | 5.2907E-03  | 7.9836E-05  |
|        | S <sub>15</sub> | 1.099       | 6.4779E-03  | 1.6274E-03  |
|        | S <sub>16</sub> | 3.669       | 8.5666E-04  | 8.2964E-05  |

[0177] 表11

|        |         |                |
|--------|---------|----------------|
| [0178] | 镜头<br># | 镜头或组焦距<br>[毫米] |
|        | L1      | 19.95          |
|        | L2      | -75.22         |
|        | L3      | 11.33          |

|        |    |        |
|--------|----|--------|
| [0179] | L4 | -35.23 |
|        | L5 | -15.29 |
|        | L6 | 15.73  |
|        | L7 | 17.84  |
|        | L8 | -7.18  |
|        | G1 | 25.67  |
|        | G2 | 17.78  |
|        | G3 | -11.14 |

[0180] 表12

[0181] 图4C显示处于第一变焦状态中,如相机103的一折叠式望远相机中的示例性光学设计的第四实施例的镜头元件的细节,图4D显示处于第二变焦状态中第四光学设计的镜头

元件的细节。这些图显示镜头114””，影像传感器118和可选的窗口130。第二种光学设计由表13至表16表示，包括八个标记为L1至L8的镜头元件，从面向棱镜的物侧上的L1开始并结束于朝影像传感器的影像侧的L8。表13提供了光学数据，表14提供了变焦数据，表15提供了非球面数据，表16提供了以毫米为单位的镜头或组焦距。

[0182] 在第一第四示例中(“示例4”)，在镜头114””中，镜头元件L1至L8被分为三组：包括镜头元件L1和L2的第一组G1、包括镜头元件L3和L5的第二组G2和包括镜头元件L6至L8的第三组。

[0183] 在示例4中，通过使G1和G3(作为一单元)相对于影像传感器在一给定范围 $R_{1,3}$ 中移动，同时在所述变焦过程中相对于影像传感器保持G2静止，而使相机进入两个变焦状态。在示例5中， $R_{1,3}=7.065$ 毫米。虽然当改变变焦状态时组G2不移动，然而G2相对于影像传感器以及G1和G3可在任何变焦状态下在一范围 $R_{AF}$ 内移动，以将相机106的焦距从无穷远改变到1米。 $R_{AF}$ 可能高达730微米，具体取决于变焦状态。图4C显示处于第一变焦状态的示例4，其中 $EFL_T = EFL_{Tmin} = 15$ 毫米， $F\# = F\#_{Tmin} = 2.74$ 并且 $TTL_T = TTL_{Tmin} = 17.865$ 毫米，以及图4D显示处于第二变焦状态的示例4，其中 $EFL_T = EFL_{Tmax} = 30$ 毫米， $F\# = F\#_{Tmax} = 4$ ，并且 $TTL_T = TTL_{Tmax} = 24.93$ 毫米。

[0184] 在第一状态下，G1与G2隔开距离d4(对于EFL为15毫米的情况，表14中 $S_4$ 和 $S_5$ 之间的距离)，G2与G3隔开距离d10(对于EFL为15毫米的情况，表14中 $S_{10}$ 和 $S_{11}$ 之间的距离)；G3与窗口130的距离为d16(对于EFL为15毫米的情况，表14中 $S_{16}$ 和 $S_{17}$ 之间的距离)。在第二状态下，G1与G2隔开距离d4’(对于EFL为30毫米的情况，表14中 $S_4$ 和 $S_5$ 之间的距离)，G2与G3隔开距离d10’(对于EFL为30毫米的情况，表14中 $S_{10}$ 和 $S_{11}$ 之间的距离)；G3与窗口130的距离为d16’(对于EFL为30毫米的情况，表14中 $S_{16}$ 和 $S_{17}$ 之间的距离)。

[0185]

| 组  | 镜头 | 表面    | 类型  | R<br>[毫米] | T<br>[毫米] | Nd     | Vd     | D<br>[毫米] |
|----|----|-------|-----|-----------|-----------|--------|--------|-----------|
| 物体 |    | $S_0$ | 平   | 无限远       | 见表 14     |        |        |           |
| G1 | L1 | $S_1$ | QT1 | 6.795     | 1.665     | 1.4847 | 84.150 | 7.50      |
| G1 | L1 | $S_2$ | QT1 | 55.652    | 1.690     |        |        | 7.28      |
| G1 | L2 | $S_3$ | QT1 | 38.079    | 0.330     | 1.7978 | 22.463 | 6.53      |
| G1 | L2 | $S_4$ | QT1 | 18.832    | 见表 14     |        |        | 6.32      |
| G2 | L3 | $S_5$ | QT1 | -14.657   | 0.862     | 1.5348 | 55.660 | 5.43      |
| G2 | L3 | $S_6$ | QT1 | -5.687    | 0.076     |        |        | 5.50      |
| G2 | L4 | $S_7$ | QT1 | -5.011    | 0.735     | 1.6510 | 21.510 | 5.41      |

[0186]

|       |    |                 |     |         |       |        |        |      |
|-------|----|-----------------|-----|---------|-------|--------|--------|------|
| G2    | L4 | S <sub>8</sub>  | QT1 | -6.654  | 0.052 |        |        | 5.50 |
| G2    | L5 | S <sub>9</sub>  | QT1 | -6.344  | 0.813 | 1.5348 | 55.660 | 5.47 |
| G2    | L5 | S <sub>10</sub> | QT1 | -5.302  | 见表 14 |        |        | 5.51 |
| G3    | L6 | S <sub>11</sub> | QT1 | -4.891  | 0.230 | 1.5348 | 55.660 | 4.54 |
| G3    | L6 | S <sub>12</sub> | QT1 | -7.762  | 0.050 |        |        | 4.54 |
| G3    | L7 | S <sub>13</sub> | QT1 | -17.929 | 0.230 | 1.5348 | 55.660 | 4.53 |
| G3    | L7 | S <sub>14</sub> | QT1 | 7.959   | 0.057 |        |        | 4.60 |
| G3    | L8 | S <sub>15</sub> | QT1 | 8.309   | 0.425 | 1.6510 | 21.510 | 4.63 |
| G3    | L8 | S <sub>16</sub> | QT1 | 21.747  | 见表 14 |        |        | 4.65 |
| 玻璃窗   |    | S <sub>17</sub> | 平   | 无限远     | 0.210 | 1.5168 | 64.170 |      |
|       |    | S <sub>18</sub> | 平   | 无限远     | 0.300 |        |        |      |
| 影像传感器 |    | S <sub>19</sub> | 平   | 无限远     | 0     |        |        |      |

[0187] 表13

[0188]

|        |                 | 第一变焦状态 EFL <sub>T</sub> = 15 毫米 |       | 第二变焦状态 EFL <sub>T</sub> = 30 毫米 |       |
|--------|-----------------|---------------------------------|-------|---------------------------------|-------|
| 物体位置   |                 | 无限远                             | 于 1 米 | 无限远                             | 于 1 米 |
| 光阑表面   |                 | S1                              |       | S1                              |       |
| T [毫米] | S <sub>0</sub>  | 无限远                             | 1000  | 无限远                             | 1000  |
|        | S <sub>4</sub>  | 1.996                           | 1.717 | 9.060                           | 8.337 |
|        | S <sub>10</sub> | 7.764                           | 8.043 | 0.700                           | 1.423 |
|        | S <sub>16</sub> | 0.380                           | 0.380 | 7.445                           | 7.445 |

[0189] 表14

[0190]

| 表面             | 圆锥常数 (k) | NR  | A <sub>0</sub> | A <sub>1</sub> | A <sub>2</sub> | A <sub>3</sub> | A <sub>4</sub> | A <sub>5</sub> |
|----------------|----------|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| S <sub>1</sub> | 0        | 3.7 | -1.185E-02     | -4.312E-04     | -7.102E-05     | 0.000E+00      | 0.000E+00      | 0.000E+00      |
| S <sub>2</sub> | 0        | 3.7 | 1.691E-02      | 4.449E-04      | -2.627E-04     | 0.000E+00      | 0.000E+00      | 0.000E+00      |
| S <sub>3</sub> | 0        | 3.7 | 2.920E-01      | -1.206E-02     | -1.439E-03     | 0.000E+00      | 0.000E+00      | 0.000E+00      |
| S <sub>4</sub> | 0        | 3.7 | 3.521E-01      | -7.983E-03     | -1.529E-03     | 0.000E+00      | 0.000E+00      | 0.000E+00      |
| S <sub>5</sub> | 0        | 3.7 | -9.944E-01     | -1.351E-01     | -1.582E-02     | 0.000E+00      | 0.000E+00      | 0.000E+00      |
| S <sub>6</sub> | 0        | 3.7 | -3.506E-01     | -8.796E-03     | 3.480E-02      | 0.000E+00      | 0.000E+00      | 0.000E+00      |
| S <sub>7</sub> | 0        | 3.7 | 2.435E-01      | 7.231E-02      | 3.347E-02      | 0.000E+00      | 0.000E+00      | 0.000E+00      |
| S <sub>8</sub> | 0        | 3.7 | 7.927E-02      | 9.735E-03      | 2.347E-04      | 0.000E+00      | 0.000E+00      | 0.000E+00      |
| S <sub>9</sub> | 0        | 3.7 | 1.102E-01      | -4.921E-02     | 3.957E-03      | 0.000E+00      | 0.000E+00      | 0.000E+00      |

[0191]

|                 |   |     |           |            |           |           |           |           |
|-----------------|---|-----|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| S <sub>10</sub> | 0 | 3.7 | 3.430E-02 | -4.824E-02 | 1.267E-04 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| S <sub>11</sub> | 0 | 3.7 | 9.549E-01 | 3.565E-02  | 1.185E-01 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| S <sub>12</sub> | 0 | 3.7 | 7.134E-01 | -4.530E-02 | 1.012E-01 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| S <sub>13</sub> | 0 | 3.7 | 6.795E-02 | 1.289E-01  | 2.055E-02 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| S <sub>14</sub> | 0 | 3.7 | 4.103E-02 | 2.657E-01  | 9.470E-02 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| S <sub>15</sub> | 0 | 3.7 | 2.845E-01 | 3.100E-01  | 8.796E-02 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| S <sub>16</sub> | 0 | 3.7 | 2.795E-01 | 2.231E-01  | 3.147E-02 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |

[0192] 表15

| [0193] | 镜头<br># | 镜头或组焦距<br>[毫米] |
|--------|---------|----------------|
|        | L1      | 15.76          |
|        | L2      | -46.69         |
|        | L3      | 16.75          |
|        | L4      | -37.57         |
|        | L5      | 47.27          |
|        | L6      | -25.34         |
|        | L7      | -10.23         |
|        | L8      | 20.23          |
|        | G1      | 21.49          |
|        | G2      | 19.76          |
|        | G3      | -11.20         |

[0194] 表16

[0195] 图4E显示处于第一变焦状态中,如相机103的一折叠式望远相机中的示例性光学设计的第五实施例的镜头元件的细节,图4F显示处于第二变焦状态中第五光学设计的镜头元件的细节。这些图显示镜头114””,影像传感器118和可选的窗口130。第二种光学设计由表17至表20表示,包括八个标记为L1至L8的镜头元件,从面向棱镜的物侧上的L1开始并结束于朝影像传感器的影像侧的L8。表17提供了光学数据,表18提供了变焦数据,表19提供了非球面数据,表20提供了以毫米为单位的镜头或组焦距。

[0196] 在第一第五示例中(“示例5”),在镜头114””中,镜头元件L1至L8被分为三组:包括镜头元件L1和L2的第一组G1、包括镜头元件L3和L5的第二组G2和包括镜头元件L6至L8的第三组。

[0197] 在示例5中,通过使镜头组G1和G3(作为一单元,也称为“G1G3组件”)相对于影像传感器在一给定范围 $R_{1,3}$ 中移动,同时相对于影像传感器保持G2静止,而使相机进入两个变焦状态。在示例5中, $R_{1,3}=7.697$ 毫米。G1G3组件还可以相对于影像传感器和G2在一范围 $R_{AF}$ 中一起移动,以将相机106的焦距从无穷远改变到1米。 $R_{AF}$ 可能高达1.8毫米,具体取决于变焦状态。图4E显示处于第一变焦状态的示例5,其中 $EFL_T=EFL_{Tmin}=15$ 毫米, $F\#=F\#_{Tmin}=2$ 并且 $TTL_T=TTL_{Tmin}=18.1$ 毫米,以及图4F显示处于第二变焦状态的示例5,其中 $EFL_T=EFL_{Tmax}=30$ 毫米, $F\#=F\#_{Tmax}=4$ ,并且 $TTL_T=TTL_{Tmax}=25.8$ 毫米。

[0198] 在第一状态下,G1与G2隔开距离 $d_4$ (对于EFL为15毫米的情况,表18中 $S_4$ 和 $S_5$ 之间的距离),G2与G3隔开距离 $d_{10}$ (对于EFL为15毫米的情况,表18中 $S_{10}$ 和 $S_{11}$ 之间的距离);G3与窗口130的距离为 $d_{16}$ (对于EFL为15毫米的情况,表18中 $S_{16}$ 和 $S_{17}$ 之间的距离)。在第二状态下,G1与G2隔开距离 $d_4'$ (对于EFL为30毫米的情况,表18中 $S_4$ 和 $S_5$ 之间的距离),G2与G3隔开距离 $d_{10}'$ (对于EFL为30毫米的情况,表18中 $S_{10}$ 和 $S_{11}$ 之间的距离);G3与窗口130的距离为 $d_{16}'$ (对于EFL为30毫米的情况,表17中 $S_{16}$ 和 $S_{17}$ 之间的距离)。

[0199]

| 组  | 镜头 | 表面             | 类型  | R<br>[毫米] | T<br>[毫米] | Nd     | Vd     | D<br>[毫米] |
|----|----|----------------|-----|-----------|-----------|--------|--------|-----------|
| 物体 |    | S <sub>0</sub> | 平   | 无限远       | 见表 18     |        |        |           |
| G1 | L1 | S <sub>1</sub> | QT1 | 7.595     | 2.293     | 1.4847 | 84.150 | 7.50      |

[0200]

|       |    |                 |     |         |       |        |        |      |
|-------|----|-----------------|-----|---------|-------|--------|--------|------|
| G1    | L1 | S <sub>2</sub>  | QT1 | 166.728 | 1.379 |        |        | 7.20 |
| G1    | L2 | S <sub>3</sub>  | QT1 | 169.765 | 0.381 | 1.7978 | 22.463 | 6.73 |
| G1    | L2 | S <sub>4</sub>  | QT1 | 30.296  | 见表 18 |        |        | 6.55 |
| G2    | L3 | S <sub>5</sub>  | QT1 | -19.262 | 0.991 | 1.5348 | 55.660 | 5.61 |
| G2    | L3 | S <sub>6</sub>  | QT1 | -7.798  | 0.067 |        |        | 5.71 |
| G2    | L4 | S <sub>7</sub>  | QT1 | -7.423  | 0.235 | 1.6510 | 21.510 | 5.62 |
| G2    | L4 | S <sub>8</sub>  | QT1 | -10.037 | 0.178 |        |        | 5.63 |
| G2    | L5 | S <sub>9</sub>  | QT1 | -6.776  | 0.896 | 1.5348 | 55.660 | 5.62 |
| G2    | L5 | S <sub>10</sub> | QT1 | -5.279  | 见表 18 |        |        | 5.69 |
| G3    | L6 | S <sub>11</sub> | QT1 | -11.648 | 0.207 | 1.5348 | 55.660 | 4.95 |
| G3    | L6 | S <sub>12</sub> | QT1 | -16.086 | 0.091 |        |        | 4.95 |
| G3    | L7 | S <sub>13</sub> | QT1 | -14.227 | 0.203 | 1.5348 | 55.660 | 4.98 |
| G3    | L7 | S <sub>14</sub> | QT1 | 8.126   | 0.041 |        |        | 5.01 |
| G3    | L8 | S <sub>15</sub> | QT1 | 5.960   | 0.448 | 1.6510 | 21.510 | 5.03 |
| G3    | L8 | S <sub>16</sub> | QT1 | 8.873   | 见表 18 |        |        | 5.07 |
| 玻璃窗   |    | S <sub>17</sub> | 平   | 无限远     | 0.210 | 1.5168 | 64.170 |      |
|       |    | S <sub>18</sub> | 平   | 无限远     | 0.300 |        |        |      |
| 影像传感器 |    | S <sub>19</sub> | 平   | 无限远     | 0     |        |        |      |

[0201] 表17

|        |                 | 第一变焦状态 EFL <sub>T</sub> = 15 毫米 |       | 第二变焦状态 EFL <sub>T</sub> = 30 毫米 |       |
|--------|-----------------|---------------------------------|-------|---------------------------------|-------|
| 物体位置   |                 | 无限远                             | 于 2 米 | 无限远                             | 于 2 米 |
| 光阑表面   |                 | S1                              |       | S1                              |       |
| T [毫米] | S <sub>0</sub>  | 无限远                             | 2000  | 无限远                             | 2000  |
|        | S <sub>4</sub>  | 1.377                           | 1.853 | 9.074                           | 7.308 |
|        | S <sub>10</sub> | 8.388                           | 7.913 | 0.691                           | 2.458 |
|        | S <sub>16</sub> | 0.415                           | 0.890 | 8.112                           | 6.345 |

[0203] 表18

[0204]

| 表面 | 圆锥常数 (k) | NR | A <sub>0</sub> | A <sub>1</sub> | A <sub>2</sub> | A <sub>3</sub> | A <sub>4</sub> | A <sub>5</sub> |
|----|----------|----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|    |          |    |                |                |                |                |                |                |

[0205]

|                 |   |     |            |            |            |           |           |           |
|-----------------|---|-----|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| S <sub>1</sub>  | 0 | 3.7 | -3.810E-02 | -2.313E-03 | -1.826E-04 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| S <sub>2</sub>  | 0 | 3.7 | -1.050E-02 | 6.271E-04  | -4.206E-05 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| S <sub>3</sub>  | 0 | 3.7 | 2.425E-01  | -4.719E-03 | 1.605E-03  | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| S <sub>4</sub>  | 0 | 3.7 | 2.621E-01  | -4.538E-03 | 1.794E-03  | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| S <sub>5</sub>  | 0 | 3.7 | -7.571E-01 | -2.386E-02 | 1.173E-02  | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| S <sub>6</sub>  | 0 | 3.7 | -3.239E-01 | -4.277E-02 | 1.470E-02  | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| S <sub>7</sub>  | 0 | 3.7 | 8.636E-02  | -6.570E-02 | -2.140E-02 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| S <sub>8</sub>  | 0 | 3.7 | 1.137E-01  | -5.791E-02 | -2.009E-02 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| S <sub>9</sub>  | 0 | 3.7 | 2.911E-01  | -9.503E-02 | 2.344E-04  | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| S <sub>10</sub> | 0 | 3.7 | 1.470E-01  | -4.954E-02 | -3.365E-03 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| S <sub>11</sub> | 0 | 3.7 | 3.957E-01  | 3.980E-01  | 2.043E-01  | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| S <sub>12</sub> | 0 | 3.7 | 1.263E+00  | 5.363E-03  | -8.070E-02 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| S <sub>13</sub> | 0 | 3.7 | 9.897E-01  | -2.343E-01 | -2.471E-01 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| S <sub>14</sub> | 0 | 3.7 | -3.191E-01 | -1.890E-01 | -3.206E-02 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| S <sub>15</sub> | 0 | 3.7 | -1.999E+00 | -7.518E-01 | -2.345E-01 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| S <sub>16</sub> | 0 | 3.7 | -1.561E+00 | -4.492E-01 | -1.770E-01 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |

[0206] 表19

[0207]

| 镜头<br># | 镜头或组焦距<br>[毫米] |
|---------|----------------|
| L1      | 16.31          |
| L2      | -45.91         |
| L3      | 23.68          |
| L4      | -45.03         |
| L5      | 36.78          |
| L6      | -79.93         |
| L7      | -9.60          |
| L8      | 26.08          |
| G1      | 22.79          |
| G2      | 21.82          |
| G3      | -12.37         |

[0208] 表20

[0209] 图4G显示处于第一变焦状态中,如相机103的一折叠式望远相机中的示例性光学设计的第六实施例的镜头元件的细节,图4H显示处于第二变焦状态中第六光学设计的镜头元件的细节。这些图显示镜头114””,影像传感器118和可选的窗口130。第六种光学设计由表21至表24表示,包括八个标记为L1至L8的镜头元件,从面向棱镜的物侧上的L1开始并结束于朝影像传感器的影像侧的L8。表21提供了光学数据,表22提供了变焦数据,表23提供了非球面数据,表24提供了以毫米为单位的镜头或组焦距。

[0210] 在镜头114””中,镜头元件L1至L8被分为三组:包括镜头元件L1、L2和L3的第一组G1、包括镜头元件L4、L5和L6的第二组G2和包括镜头元件L7和L8的第三组。

[0211] 在示例6中,通过使G1和G3(作为一单元)相对于影像传感器在一给定范围 $R_{1,3}$ 中一起移动,同时G2相对于影像传感器在一范围 $R_2$ 中移动,其中 $R_2 < R_{1,3}$ ,而使相机进入两个变焦状态。在示例6中, $R_{1,3}=5.641$ 毫米,以及 $R_2=0.718$ 。G1+G2+G3还可以相对于影像传感器在

一范围 $R_{AF}$ 中一起移动,以将相机106的焦距从无穷远改变到1米或2米。 $R_{AF}$ 可能高达0.4毫米,具体取决于变焦状态。

[0212] 图4G显示处于第一变焦状态的示例6,其中 $EFL_T = EFL_{Tmin} = 13$ 毫米, $F\# = F\#_{Tmin} = 1.8$ 并且 $TTL_T = TTL_{Tmin} = 19.84$ 毫米,以及图4H显示处于第二变焦状态的示例6,其中 $EFL_T = EFL_{Tmax} = 26$ 毫米, $F\# = F\#_{Tmax} = 2.88$ ,并且 $TTL_T = TTL_{Tmax} = 25.85$ 毫米。

[0213] 在第一状态下,G1与G2隔开距离d7(对于EFL为13毫米的情况,表22中 $S_7$ 和 $S_8$ 之间的距离),G2与G3隔开距离d13(对于EFL为13毫米的情况,表22中 $S_{14}$ 和 $S_{22}$ 之间的距离);G3与窗口130的距离为d17(对于EFL为13毫米的情况,表22中 $S_{17}$ 和 $S_{18}$ 之间的距离)。在第二状态下,G1与G2隔开距离d7'(对于EFL为26毫米的情况,表22中 $S_7$ 和 $S_8$ 之间的距离),G2与G3隔开距离d13'(对于EFL为26毫米的情况,表22中 $S_{13}$ 和 $S_{14}$ 之间的距离);G3与窗口130的距离为d17'(对于EFL为26毫米的情况,表21中 $S_{17}$ 和 $S_{18}$ 之间的距离)。

[0214]

| 组  | 镜头 | 表面              | 类型           | R<br>[毫米] | T<br>[毫米] | Nd     | Vd    | D<br>[毫米] |
|----|----|-----------------|--------------|-----------|-----------|--------|-------|-----------|
| 物体 |    | S <sub>0</sub>  | 平            | 无限远       | 见表 2      |        |       |           |
| 光阑 |    | S <sub>1</sub>  | 平            | 无限远       | -0.775    |        |       | 9.000     |
| G1 | L1 | S <sub>2</sub>  | QFORB type 1 | 17.302    | 1.786     | 1.5661 | 37.43 | 8.577     |
| G1 | L1 | S <sub>3</sub>  | QFORB type 1 | 62.771    | 0.725     |        |       | 8.652     |
| G1 | L2 | S <sub>4</sub>  | QFORB type 1 | 10.090    | 1.928     | 1.5449 | 55.91 | 8.557     |
| G1 | L2 | S <sub>5</sub>  | QFORB type 1 | -23.147   | 0.689     |        |       | 8.086     |
| G1 | L3 | S <sub>6</sub>  | QFORB type 1 | 80.507    | 0.232     | 1.6991 | 19.44 | 8.073     |
| G1 | L3 | S <sub>7</sub>  | QFORB type 1 | 10.360    | 见表 2      |        |       | 5.509     |
| G2 | L4 | S <sub>8</sub>  | QFORB type 1 | -4.430    | 0.928     | 1.5449 | 55.91 | 5.543     |
| G2 | L4 | S <sub>9</sub>  | QFORB type 1 | -7.104    | 0.144     |        |       | 5.555     |
| G2 | L5 | S <sub>10</sub> | QFORB type 1 | 440.072   | 1.646     | 1.6991 | 19.44 | 6.397     |
| G2 | L5 | S <sub>11</sub> | QFORB type 1 | 28.935    | 0.033     |        |       | 6.494     |
| G2 | L6 | S <sub>12</sub> | QFORB type 1 | 39.391    | 2.010     | 1.5449 | 55.91 | 6.726     |
| G2 | L6 | S <sub>13</sub> | QFORB type 1 | -5.075    | 见表 2      |        |       | 6.322     |
| G3 | L7 | S <sub>14</sub> | QFORB type 1 | -6.250    | 0.601     | 1.6991 | 19.44 | 6.435     |

[0215]

|  |       |    |          |              |        |       |        |       |       |
|--|-------|----|----------|--------------|--------|-------|--------|-------|-------|
|  | G3    | L7 | $S_{15}$ | QFORB type 1 | -4.314 | 0.033 |        |       | 6.292 |
|  | G3    | L8 | $S_{16}$ | QFORB type 1 | -4.226 | 0.553 | 1.5449 | 55.91 | 6.944 |
|  | G3    | L8 | $S_{17}$ | QFORB type 1 | 45.368 | 见表 2  |        |       | 7.179 |
|  | 玻璃窗   |    | $S_{18}$ | 平            | 无限远    | 0.21  | 1.5168 | 64.17 | 7.235 |
|  |       |    | $S_{19}$ | 平            | 无限远    | 0.3   |        |       | 7.000 |
|  | 影像传感器 |    | $S_{20}$ | 平            | 无限远    | 0     |        |       | 7.000 |

[0216] 表21

[0217]

|        |                 | 第一变焦状态<br>EFL <sub>T</sub> = 13 毫米 |        | 第二变焦状态<br>EFL <sub>T</sub> = 26 毫米 |        |
|--------|-----------------|------------------------------------|--------|------------------------------------|--------|
| 物体位置   |                 | 无限远                                | 于 1 公尺 | 无限远                                | 于 2 公尺 |
| 光阑表面   |                 | S8                                 |        | S1                                 |        |
| T [毫米] | S <sub>0</sub>  | 无限远                                | 1000   | 无限远                                | 2000   |
|        | S <sub>7</sub>  | 1.287                              | 1.287  | 6.928                              | 6.928  |
|        | S <sub>13</sub> | 6.224                              | 6.224  | 0.584                              | 0.584  |
|        | S <sub>17</sub> | 0.510                              | 0.680  | 6.527                              | 6.869  |

[0218] 表22

[0219]

| 表面              | 圆锥<br>常数<br>(k) | NR    | A <sub>2</sub> | A <sub>2</sub> | A <sub>3</sub> | A <sub>4</sub> |
|-----------------|-----------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| S <sub>2</sub>  | 0               | 4.500 | 1.937E-01      | 3.246E-02      | 1.318E-03      | 2.280E-04      |
| S <sub>3</sub>  | 0               | 4.500 | 2.594E-01      | 8.795E-02      | 5.484E-03      | 3.649E-03      |
| S <sub>4</sub>  | 0               | 4.000 | -1.694E-01     | 7.487E-04      | -3.651E-03     | 1.653E-03      |
| S <sub>5</sub>  | 0               | 4.000 | -8.607E-02     | -4.556E-02     | 9.328E-03      | -1.115E-04     |
| S <sub>6</sub>  | 0               | 4.000 | -8.318E-01     | 8.107E-02      | -3.312E-03     | 1.627E-04      |
| S <sub>7</sub>  | 0               | 3.600 | -7.475E-01     | 6.703E-02      | -6.921E-03     | 5.168E-04      |
| S <sub>8</sub>  | 0               | 3.540 | 1.184E+00      | -7.816E-02     | 6.294E-03      | -5.495E-03     |
| S <sub>9</sub>  | 0               | 3.540 | 1.068E+00      | -3.634E-02     | 4.046E-03      | -3.309E-03     |
| S <sub>10</sub> | 0               | 3.540 | -7.538E-01     | -8.548E-02     | -3.579E-02     | -4.211E-03     |
| S <sub>11</sub> | 0               | 3.540 | -3.354E-01     | 5.277E-03      | -9.014E-03     | -8.400E-04     |
| S <sub>12</sub> | 0               | 3.540 | -6.434E-02     | -5.113E-04     | 3.479E-04      | -1.573E-03     |
| S <sub>13</sub> | 0               | 3.540 | 5.865E-03      | 1.176E-03      | 3.052E-03      | 5.638E-04      |
| S <sub>14</sub> | 0               | 3.540 | -3.496E-01     | -4.291E-02     | -1.806E-02     | -1.974E-03     |

[0220]

|                 |   |       |            |           |            |            |
|-----------------|---|-------|------------|-----------|------------|------------|
| S <sub>15</sub> | 0 | 3.540 | -9.519E-03 | 2.425E-02 | -8.039E-03 | -5.814E-03 |
| S <sub>16</sub> | 0 | 3.540 | 2.311E-01  | 7.899E-02 | 9.116E-03  | -5.414E-03 |
| S <sub>17</sub> | 0 | 3.540 | -2.319E-01 | 8.502E-03 | -2.231E-04 | -1.988E-04 |

[0221] 表23

[0222]

| 镜头<br># | 镜头或组焦距<br>[毫米] |
|---------|----------------|
| L1      | 41.40          |
| L2      | 13.12          |
| L3      | -17.63         |
| L4      | -24.54         |
| L5      | -45.94         |
| L6      | 8.36           |
| L7      | 18.33          |
| L8      | -7.04          |
| G1      | 19.31          |
| G2      | 12.82          |
| G3      | -10.82         |

[0223] 表24

[0224] 图5A至图5E示意性地显示编号为500的望远镜头和传感器模块(或简称为“模块”)的第一实施例。附图的描述继续参考图5A至图5E以及许多其他图中所示的坐标系XYZ。在示例中,模块500具有第二示例的光学设计。模块500包括基于致动机构的VCM以在镜头114’、114”、114'''、114''''及114'''''的变焦状态和聚焦状态之间进行改变。图5A示意性地从一顶部透视图显示处于 $EFL_{Tmin}$ 状态的模块500。图5B从另一顶部透视图示意性地显示处于 $EFL_{Tmin}$ 状态的模块500。图5C从一顶部透视图示意性地显示处于 $EFL_{Tmax}$ 状态的模块500。图5D从另一顶部透视图示意性地显示处于 $EFL_{Tmax}$ 状态的模块500。图5E显示模块500的分解图。模块500包括一镜头组件502(“G1G2组件”)、G2镜头组件504(“G2组件”)、传感器组件506、电磁(EM)组件508、底座组件510、第一磁体512、第一线圈514、第二磁体516、第一组(示例性为4个)球体520和第二组(示例性为4个)球体522。镜头组件502和504共享镜头光轴116。

[0225] 第一线圈514紧邻第一磁体512定位,并且刚性地耦合至基座子组件510(相对于底座组件510不移动)。第一线圈514可以被焊接至一PCB,诸如PCB822(图8),或者被布线至电路外部(未显示),其允许向第一线圈514发送输入和输出电流,所述电流携带操作所需的功率和电子讯号。线圈514示例性地为矩形,并且典型地包括几十个线圈绕组(即在50至250个的一非限制性范围内),典型的电阻为10至30欧姆。第一磁体512是分裂磁体,使得中间的分隔线512a将其分成两侧:在分隔线512a的一侧,磁体512具有面向正X方向的北磁极,而在分离线512a的另一侧,磁体512具有面向正X方向的南磁极。在驱动第一线圈514中的电流时,在第一磁体512上产生一第一洛伦兹力(Lorentz force)。在示例中,沿顺时针方向流过第一线圈514的电流将在第一磁体512上沿正Z方向引起一第一洛伦兹力,而沿逆时针方向流过第一线圈512的电流将在第一磁体512上沿负Z方向引起一洛伦兹力。在一示例中,第一洛伦兹力可用于使底部致动组件560在一开环控制中从“第一致动”状态转换到“第二致动”状态,反之亦然,即从止动件720a-b和722a-b之间的底部致动组件560致动(参见下文)。

[0226] 图6A和图6B提供了模块500的致动部件的两个底部透视图,显示处于 $EFL_{Tmin}$ 状态的顶部致动组件550和底部致动组件560。图6C从底部透视图显示顶部致动组件550。顶部致动组件550包括G2组件504、第二磁体516和多个步进磁体626。底部致动组件560包括G1G3组

件502、第一磁体512、步进磁体628和四个轭602a-b(图6B)和604a-b(图6A)。图7显示底座组件510的细节,所述底座组件510包括导轨710a和710b以及止动磁体702a-b和704a-b。注意,在图7中,出于说明的目的,止动磁体702a-b和704a-b与止动件720a-b和722a-b分开。箭头显示止挡磁体702a-b和704a-b在止动件720a-b和722a-b中的粘合位置。轭602a-b被拉到止动磁体702a-b上,而轭604a-b被拉到止动磁体704a-b上。每个导轨710a-b包括相应的沟槽712a-b。底座组件510还包括两个机械止动件706和708,其示例性地连接到导轨710b。机械止动件706和708限制了顶部致动组件550的行程。图8显示在PCB 822上EM组件508的细节。

[0227] 在一示例中,模块500允许镜头组件502和504在沿着镜头光轴116的方向上的相对运动。模块500具有在3至40毫米范围内的示例性长度/宽度/高度尺寸,即模块500可以装在尺寸为3x3x3毫米<sup>3</sup>至40x40x40毫米<sup>3</sup>的盒子中。在示例中,模块500具有高度(沿Y轴),所述高度由镜头元件L1...LN的最大净光圈,加上各个镜头组件502和504的塑料厚度(例如在范围为0.5至1.5毫米),加上遮片107的厚度(例如遮片厚度在0.1至0.3毫米的范围内),再加上相应的镜头组件502和504与遮片107之间的两个气隙(air gaps)的厚度(各个气隙厚度例如在0.05至0.15毫米的范围内)所限定。镜头元件L1...LN的净光圈可以是一圆形或切口镜头的净光圈,如下所述。

[0228] 在模块500中,三个镜头组(G1、G2和G3)被保持在两个镜头子组件中:所述G1G3组件(502)以及G2镜头组件(504)。镜头组件502和504通常由塑料制成。在一些实施例中,镜头组件502和G1+G3可以被制作成单一部分(并且类似地,镜头组件504和G2可以被制作成单一部分)。在一些实施例中,它们可以是分开的部分。镜头组件502和504例如可以通过塑料模制或替代地通过其他方法来制造。第一和第二磁体512和516分别从横跨镜头光轴116的两个相对侧(X方向)固定地附接到(例如胶粘)到镜头组件502和504。

[0229] 镜头组件502包括多个沟槽,这些沟槽定义了一机械的球体引导机构,从而允许在一线性导轨中进行致动以实现变焦需求。在所述示例中,描述了六个沟槽,但是可以使用其他数量的沟槽:两个沟槽542a-b(图5E)沿着Z方向在镜头组件502的顶面上,以及四个沟槽624a-d(图6A)也沿着Z方向在镜头组件502的底表面上。镜头组件504包括若干沟槽,其与镜头组件502的一些沟槽配合。在所示的实施例中,镜头组件504包括四个沟槽642a-d,在图6C中仅显示三个。沟槽642a-d彼此平行,并且沿着Z轴(光轴),并且用于沿着Z方向引导顶部致动组件550。

[0230] 顶部致动组件550定位在底部致动组件560的顶部,使得沟槽642a-b(642c-d)在沟槽542a(542b)的正上方并平行于沟槽542a(542b)。

[0231] 在所示的实施例中,四个球体520被定位在沟槽542a-b的顶部上(两个球体在各个沟槽的顶部上)并且在沟槽642a-d的下方(图6C),使得球体520将镜头组件502和镜头组件504分开并防止两个零件相互接触。在其他实施例中,模块500在镜头组件502和504之间可以具有四个以上的球体,例如每侧最多7个球体,或者总共最多14个球体。球体520可以由氧化铝或另一种陶瓷材料、金属或塑料材料制成。典型的球体直径可以在0.3至1毫米的非限制性范围内。诸如在共同拥有的国际PCT专利申请PCT/IB2017/052383中标题为“旋转式球体引导式音圈马达”的其他球体尺寸和定位考量。

[0232] 由于镜头组件502和504示例性地是塑料模制的,所以零件尺寸上存在一定的公差,对于每个尺寸通常为几十微米或更小。所述公差可能导致相邻(面对)的沟槽542a-b和

642a-d之间的位置未对准。为了更好地对准沟槽,一些沟槽(例如542a-b和642c-d)可以是V形的,即具有V形横截面形状以确保球体定位,而沟槽642a-b可以具有更宽的梯形横截面。沟槽542b和642c-d在组装期间对准,而由于后者沟槽的梯形截面,沟槽542a和642a-b的对准而具有小的间隙。梯形沟槽的横截面仅是示例性的,并且可以使用其他沟槽的横截面形状(例如,矩形、平坦等),使得一对沟槽通过所述沟槽形状很好地对准,而另一对沟槽的对准具有间隙。

[0233] 本文提出的设计可以允许三个镜头元件组的精确对准。G1和G3彼此很好地对齐,因为它们机械固定在同一零件上,并且可以在产品生命周期中保持对齐。在一些实施例中,镜头子组件504被模制为一个部件,并且G1至G3的对准是根据塑料模制公差。在一些实施例中,镜头组件504被模制成几个零件,这些零件在工厂中使用主动或被动对准程序被胶粘。G2使用一单一沟槽对(542b和642c及/或642d)以与G1和G3对准,即镜头组件502和504彼此对准而没有中间部件。

[0234] 四个球体522位于沟槽712a-b的顶部(两个滚珠在每个沟槽的顶部)和沟槽624a-d的下方,以使球体522将镜头组件502与底座组件510分开,并防止这两个部分彼此接触。在其他实施例中,模块500可以具有4个以上的球体,例如每侧最多7个球体或总共14个球体。关于球体522的尺寸、材料和其他考量与球体520类似。关于沟槽712a-b和624a-d的其他考量与如上所述的沟槽542a-b和642a-d类似。

[0235] 模块500还包括多个铁磁轭(ferromagnetic yoke)716(图7),其牢固地附接(例如胶合)到底座组件510,使得各个轭定位在三个步进磁体626和628的下方(沿Y方向)。铁磁轭716可以是遮片107的一固定部分。在其他实施例中,遮片107本身可以由铁磁材料制成,或者遮片107的底部可以由铁磁材料制成,使得铁磁轭是遮片的一部分。每个铁磁轭716在负Y方向上通过磁力拉动一些步进磁体626或628,因此所有铁磁轭均防止顶部致动组件550和底部致动组件560彼此分离以及与底座510和遮片107分离。球体520防止顶部致动组件550接触底部致动组件560,球体522防止底部致动组件560接触底座组件510。因此顶部致动组件550和底部致动组件560沿Y轴被限制并且不沿Y方向移动。沟槽和球体结构进一步限制了顶部致动组件550和底部致动组件560,使其仅沿镜头光轴116(Z轴)移动。

[0236] 图7示模块500中的底座组件510和固定导轨的细节。沿着Z方向,顶部致动组件550被限制为在机械止动件706和708之间移动,在其之间的距离等于G2所需的行程(大约1至3毫米)。而且沿着Z方向,底部致动组件560被限制为在机械止动件720a-b和722a-b及/或止动磁体702a-b和704a-b之间移动。

[0237] 图8显示模块500中EM组件508的细节。EM组件508包括第二线圈818,两个霍尔棒元件(“霍尔传感器”,Hall bar elements,Hall sensors)834a和834b以及PCB 822。第二线圈818和霍尔棒元件834a-b可以被焊接(各个单独地)到PCB 822。第二线圈818示例性地具有矩形形状,并且典型地包括几十个线圈绕组(例如在50至250个的一非限制范围内),典型电阻为10至40欧姆。PCB822允许将输入和输出电流发送到第二线圈818和霍尔棒元件834a-b,所述电流携带操作所需的功率和电子信号。PCB 822可以通过走线(未显示)电性连接到外部相机。在示例(图5E)中,EM组件508位于紧邻第二磁体516。第二磁体516是分裂磁体,使得中间的分隔线516a将其分成两侧:在分隔线516a的一侧,磁体516具有面向正X方向的北磁极,而在分隔线516a的另一侧,磁体516具有面向正X方向的南磁极。在驱动第二线圈818中

的电流时,在第二磁体516上产生一洛伦兹力(Lorentz force)。在示例中,沿顺时针方向流过第二线圈818的电流将在第二磁体516上沿正Z方向引起一洛伦兹力,而沿逆时针方向流过第二线圈818的电流将在第二磁体516上沿负Z方向引起一洛伦兹力。

[0238] 霍尔棒元件834a-b被设计成测量每个霍尔棒元件的中心在X方向上的磁场(强度和符号)。霍尔棒元件834a-b可以感测第二磁体516的磁场强度和方向。在一示例中,霍尔棒元件834a在PCB 822上的定位为:

[0239] 1.在X方向上,两个霍尔棒元件834a和834b与磁体516隔开一定距离(例如0.1至0.5毫米),在磁体516因变焦或聚焦需求而移动时,所述距离是恒定的。

[0240] 2.当系统处于第一变焦状态(EFLT=15毫米)时,霍尔棒元件834a沿Z方向靠近分隔线516a。例如对于在第一状态变焦中的所有焦点位置(宏观连续地从无限远到1米),霍尔棒元件834a沿着Z方向与分隔线516a相距达 $R_{AF}$ 。

[0241] 3.当系统处于第二缩放状态(EFLT=30毫米)时,霍尔棒元件834b沿Z方向靠近分隔线516a。例如对于在第一状态变焦中的所有焦点位置(宏观连续地从无限远到1米),霍尔棒元件834a沿着Z方向与分隔线516a相距达 $R_{AF}$ 。

[0242] 在这样的定位方案中,当系统处于第一变焦状态时,霍尔棒元件834a可以沿Z方向测量第二磁体516的相应位置,因为在第一变焦状态下,在无穷远至1米焦点的焦点位置之间沿RAF的834a轨迹的霍尔棒上,X方向磁场在具有可测量的梯度,并且X方向磁场可能与位置相关。另外,当系统处于第二变焦状态时,霍尔棒元件834b可以沿着Z方向测量第二磁体516的相应位置,因为在第二缩放状态下,X方向磁场在沿着RAF的霍尔棒834b轨迹上具有可测量的梯度。在无穷远至1米焦点的焦点位置之间,X方向的磁场可能与位置相关。可以在集成电路(IC)中实现控制电路(未显示),以在闭环中在多个变焦状态下运作时,以及在开环中在变焦状态之间的行进中(参见图10和以下描述),控制第二磁体516相对于EM组件508(以及相对于EM组件508所刚性连接的底座组件510)的位置。在一些例子中,IC可以与一个或两个霍尔元件834a-b组合。在其他情况下,IC可以是单独的晶片,其可以位于模块500的外部或内部(未显示)。在示例性实施例中,模块500所需的所有电性连接都连接到EM组件508,EM组件508相对于底座子组件510和外部世界是固定的。这样不需要将电流传递到任何移动的部件。

[0243] 模块500的磁电设计允许以下操作方法来操作折叠式望远相机103。图10以一流程图显示这种示例性方法。在步骤1002中,将望远相机103定位以与镜头114处于一(例如第一)变焦状态。在步骤1004中(由使用者或算法)决定将望远镜头114重新对焦,在闭环控制下(由控制器-未显示),使用来自霍尔棒元件834a的输入,移动G2组件504,而将望远相机103置于第一变焦状态下的另一聚焦位置。在步骤1008中(由使用者或演算法)决定将相机103的镜头114的变焦状态改变为另一(例如第二)变焦状态,并且在步骤1010中,在开环控制下,将G1G3组件502移动到机械止动件720,随后在步骤1012中,在开环控制下将G2组件504移动到机械止动件706。然后在步骤1014中,在闭环控制下,使用来自霍尔棒元件834b的输入,移动G2组件504,以在步骤1016中将望远折叠相机103置于第二变焦状态下的一另一聚焦位置。在步骤1018中决定将镜头114重新对焦。在闭环控制下,通过使用来自霍尔棒元件834b的输入,移动G2组件,而在第二变焦状态下执行镜头114的重新对焦。在步骤1020中(由使用者或演算法)决定将相机103的镜头114的第二变焦状态改变为第一变焦状态,并且

在步骤1022中,在开环控制下,将G1G3组件502移动到机械止动件722,随后在步骤1024中,在开环控制下,将G2组件504移到机械止动件708。

[0244] 在一些实施例中,任何镜头元件 $L_i$ 的两个表面 $S_{2i-1}$ , $S_{2i}$ 可以具有包括两个切口(cuts,小平面(facets))的两个光圈(aperture,或孔径)。在这种情况下,镜头元件 $L_i$ 被称为“切口镜头元件”。切口使得镜头组件可以更低及/或更短。在一示例中,图9A显示具有轴向对称和高度 $H_{902}$ 的镜头元件902,并且图9B显示具有两个切口906和908并且具有高度 $H_{904}$ 的切口镜头元件904。镜头元件902和904具有相同的直径 $D$ 。显然 $H_{904} < H_{902}$ 。在第5图1所示的示例中,前两个镜头元件( $L_1$ 和 $L_2$ )是切口镜头元件。

[0245] 如下所解释,可以为每个表面 $S_k$ 定义 $1 \leq k \leq 2N$ 的净高度值 $CH(S_k)$ ,为每个表面 $S_k$ 定义 $1 \leq k \leq 2N$ 的净光圈值 $CA(S_k)$ 。 $CA(S_k)$ 和 $CH(S_k)$ 定义每个镜头元件的每个表面 $S_k$ 的光学特性。

[0246] 如图11A、图11B和图12所示,每条穿过表面 $S_k$  (对于 $1 \leq k \leq 2N$ )的光线都入射在上述表面的冲击点IP (impact point) 上。光线从表面 $S_1$ 进入镜头模块(例如114'、114"、114'''),并连续穿过表面 $S_2$ 至 $S_{2N}$ 。一些光线可以撞击在任何表面 $S_k$ 上,但不能/将不会到达影像传感器118。对于一给定的表面 $S_k$ ,仅认为可以在影像传感器118上形成影像的光线形成了多个冲击点IP。 $CH(S_k)$ 定义为两条最可能的平行线之间的距离(参见第12图中的线1200和1202,它们位于与镜头元件的光轴正交的平面P上(在图11A和图11B中,平面P平行于平面XY并垂直于光轴116),因此所有冲击点IP在平面P上的正交投影 $IP_{orth}$ 位于两条平行线之间。可以为每个表面 $S_k$ 定义 $CH(S_k)$  (前后表面, $1 \leq k \leq 2N$ )。

[0247]  $CH(S_k)$ 的定义不取决于当前成像的对象,因为它是指“可以”在影像传感器上形成影像的光线。因此即使当前成像的对象位于不产生光的黑色背景中,所述定义也不是指所述黑色背景,因为它是指“可以”到达影像传感器以形成影像的任何光线(对于与黑色背景相反的一背景所发出的示例性光线)。

[0248] 例如如图11A显示在与光轴116正交的平面P上的两个冲击点 $IP_1$ 和 $IP_2$ 的正交投影 $IP_{orth,1}$ , $IP_{orth,2}$ 。如图11A所示,表面 $S_k$ 是凸的。

[0249] 图11B显示平面P上的两个冲击点 $IP_3$ 和 $IP_4$ 的正交投影 $IP_{orth,3}$ , $IP_{orth,4}$ 。在图3B中,表面 $S_k$ 是凹的。

[0250] 在图12中,平面P上的表面 $S_k$ 的所有冲击点IP的正交投影 $IP_{orth}$ 位于平行线1200和1202之间。因此 $CH(S_k)$ 是线1200和1202之间的距离。

[0251] 注意图13。根据当前公开的主题,对于各个给定表面 $S_k$  (对于 $1 \leq k \leq 2N$ )定义了一净光圈 $CA(S_k)$ ,作为圆的直径,其中所述圆是位于平面P上,垂直于光轴116并围绕所有冲击点在平面P上所有正交投影 $IP_{orth}$ 。如上所述,对于 $CH(S_k)$ ,注意到 $CA(S_k)$ 的定义也不取决于当前被成像的物体。

[0252] 在图13中所示,所有冲击点IP在平面P上的外接正交投影 $IP_{orth}$ 为圆1300。所述圆1300的直径定义为 $CA(S_k)$ 。

[0253] 综上所述,本文公开的变焦相机旨在克服以下某些光学难题:

[0254]  $-EFL_{Tmax} > 1.8 \times EFL_{Tmin}$  或  $EFL_{Tmax} > 1.5 \times EFL_{Tmin}$  的镜头设计,确保通过在变焦状态之间切换,用户体验到光学变焦的机械差异对用户体验的显著影响。

[0255]  $-$  在一些实施例中(例如示例1),  $TTL_{Tmax} < EFL_{Tmax}$ 。在一些实施例中(例如实施例2和

3),  $TTL_{Tmax} < 0.9 \times EFL_{Tmax}$ 。这样的镜头设计可以减少相机的长度(沿Z轴)。

[0256] - 在一些实施例中(示例1至3),第一镜头元件的净光圈(S1的直径)大于所有其他镜头元件的净光圈。在一些实施例中(模块500),第一镜头具有为一切口镜头元件的第一镜头,参见第9图。有利地,这种镜头设计有助于实现小的相机高度。

[0257] - 变焦状态的变化是由不超过两个实际的镜头组移动量所引起的。即为了改变变焦状态,一些镜头元件组在第一移动范围内一起移动,然后其余一些镜头元件组在第二移动范围内一起移动,同时所有其他镜头元件组不移动。由于仅需要移动和控制两个机械元件,因此简化了制动器的控制和设计。

[0258] - 在某些示例中,  $F\#_{Tmin} < 1.5 \times F\#_{Tmax} \times EFL_{Tmin} / EFL_{Tmax}$ 。在一些示例中,  $F\#_{Tmin} < 1.2 \times F\#_{Tmax} \times EFL_{Tmin} / EFL_{Tmax}$ 。这样的镜头设计可以针对第一状态实现低F#。

[0259] - 在某些示例中,对于任何镜头元件组,从第一变焦状态到第二变焦状态的移动的进程均小于  $0.75 \times (EFL_{Tmax} - EFL_{Tmin})$ 。在一些示例中,对于任何镜头元件组,从第一变焦状态到第二变焦状态的移动的进程均小于0.6倍  $(EFL_{Tmax} - EFL_{Tmin})$ 。这样的镜头设计可以限制镜头元件的移动及/或简化致动。

[0260] - 可以通过一起移动以用于改变变焦状态的镜头元件组的一者的进一步移动来进行对焦,从而简化致动器设计并改善控制。

[0261] 就本文公开的镜头的性能而言:

[0262] - 具有3个镜头组的镜头设计可最大程度地减少镜头复杂度。

[0263] - 具有(从物体侧开始)正、正和负光焦度的镜头组的镜头设计可以有助于较小的镜头组移动以进行变焦状态改变。

[0264] - 在改变变焦状态的过程的一个示例(示例1)中,第一镜头元件组G1移动第一量,并且第三镜头元件组G3移动第二量,而第二镜头元件组G2不移动。G3的进一步移动可用于进行对焦。

[0265] - 在改变变焦状态的过程的另一示例(示例2)中,G1与G3一起移动第一量,并且G2移动第二量。G2的进一步移动可用于进行对焦。

[0266] - 在改变变焦状态的过程的又一示例(示例3)中,G1移动第一量,G3移动第二量,并且G2不移动。第一G1的进一步移动可以用于进行对焦。

[0267] - 在改变变焦状态的过程的又一示例(例子4)中,G1和G3一起移动,而G2不移动。第一G2的进一步移动可以用于进行对焦。

[0268] - 在改变变焦状态的过程的又一示例(示例5)中,G1与G3一起移动,而G2不移动。G1和G3的进一步移动可用于进行对焦。

[0269] - 在改变变焦状态的处理的又一示例(示例6)中,G1与G3一起移动第一量,并且G2移动第二量。所有三个镜头组一起进一步移动,因此G1和G2和G3一起移动可用于进行对焦。

[0270] 表25总结了每个示例中的移动,并举例说明了移动(“行程”)范围:

|                  | 示例 1   | 示例 2  | 示例 3  | 示例 4  | 示例 5  | 示例 6     |
|------------------|--------|-------|-------|-------|-------|----------|
| G1 范围<br>[毫米]    | 11.272 | 7.52  | 10.18 | 7.065 | 7.697 | 5.641    |
| G2 范围<br>[毫米]    | 静止     | 1.575 | 静止    | 静止    | 静止    | 0.718    |
| [0271] G3 范围[毫米] | 5.02   | 7.52  | 6.0   | 7.065 | 7.697 | 5.641    |
| 将组移动以<br>进行对焦    | G3     | G2    | G1    | G2    | G1+G3 | G1+G2+G3 |
| AF 最大范围<br>[毫米]  | 0.375  | 0.525 | 0.68  | 0.723 | 1.742 | 0.342    |

[0272] 表25

[0273] 在表25中提出的示例,其中多个镜头组被指示为移动以进行对焦,可以参考表中定义的镜头组作为一聚焦单元一起移动的设计。在一些实施例中(例如示例5和6),可以通过刚性地连接各个镜头组来将多个镜头组一起移动。

[0274] G1范围,G2范围和G3范围中给出的值是指镜头组相对于影像传感器的总体移动的最大范围。

[0275] “AF最大范围”行中给出的值是指镜头组相对于在“将组移动以进行对焦”行中所定义的影像传感器,在无限远和1米或2米之间进行对焦的最大移动范围,根据表2、6、10、14、18、22的相应相关表格,请参见上文。在大多数实施例中,AF最大范围由较高变焦状态(即具有 $EFL_{Tmax}$ 的状态)的镜头组移动所给出。

[0276] 在一些实施例中,G1和G3可以处于静止状态,即G1和G3不移动,而G2可以被移动以便改变变焦状态。

[0277] 图14示意性地显示编号为1400的电子装置的实施例,所述电子装置包括具有本文公开的至少一多变焦状态相机的多光圈相机。电子装置1400包括第一相机模块1410和第一镜头模块1414,第一相机模块1410包括OPFE 1412,第一镜头模块1414形成由第一影像传感器1416记录的第一影像。第一镜头致动器1418可以移动镜头模块1414以用于进行对焦及/或光学影像稳定(OIS)及/或在两个不同的变焦状态之间切换。在一些实施例中,电子装置1400可以进一步包括应用处理器(AP) 1440。在一些实施例中,第一校准数据可以被存储在例如相机模块的第一存储器1422中。在EEPROM(electrically erasable programmable read only memory,电性可擦除可编程唯读存储器)中。在其他实施例中,第一校准数据可以被存储在第三存储器1450中,诸如电子设备1400的NVM(non-volatile memory,非易失性存储器)。第一校准数据可以包括校准数据的一或多个子集,例如一第一子集,包括在第一变焦状态下的广角相机和望远相机的传感器之间的校准数据,及/或一第二子集,包括在第二变焦状态下的广角相机和望远相机的传感器之间的校准数据,及/或一第三子集,包括处于第一变焦状态的望远相机的传感器和处于第二变焦状态的同一传感器之间的校准数据。电子装置1400还包括第二相机模块1430,其包括第二镜头模块1432,其形成由第二影像传感器1434所记录的影像。第二镜头致动器1436可以移动镜头模块1432以用于进行对焦及/或OIS及/或在两个不同的变焦状态之间。在一些实施例中,第二校准数据可以存储在相机

模块的第二存储器1438中。在其他实施例中,第二校准数据可以被存储在电子装置1400的第三存储器1450中。第二校准数据可以包括校准数据的一或多个子集,例如上所述。

[0278] 在使用中,诸如AP 1440的处理单元可以从相机模块1410和1430接收相应的第一影像数据和第二影像数据,并将相机控制信号提供给相机模块1410和1430。在一些实施例中,AP 1440可以从第三存储器1450接收校准数据。在其他实施例中,AP 1440可以接收分别存储在位于相机模块1410上的第一存储器和位于相机模块1430上的第二存储器中的校准数据。在又一实施例中,AP 1440可以从电子装置1400的第三存储器1450接收分别存储在位于相机模块1410上的第一存储器和位于相机模块1430上的第二存储器中的校准数据。在一些实施例中,类似装置1400的电子装置可以包括一个以上相机模块,所述相机模块是由折叠镜头设计和OPFE实现。在其他实施例中,可以实现两个或更多个相机模块而无需OPFE并且不具有折叠镜头设计结构,而是具有另一镜头设计结构。AP1440可以获得存储在第三存储器1450中的数据。所述数据可以包括第三校准数据。影像生成器1444可以是一处理器,被配置为根据校准数据和影像数据输出影像。影像生成器1444可以处理校准数据和影像数据以便输出输出影像。

[0279] 相机校准数据可能包括:

[0280] • 相机模块1410和1430之间的立体(stereo)校准数据,特别是不同镜头和不同镜头变焦状态的所有可能组合,例如望远相机的两个不同的变焦状态。立体校准数据可以包括6个自由度,例如俯仰角(pitch)、偏航角(yaw)和横滚角(roll)、以及在x,y和z轴上的偏心(decenter)。

[0281] • 相机模块1410和1430之间的立体校准数据,特别是不同变焦状态的所有可能组合,例如相机的两个不同变焦状态。这些数据可以包括6个自由度。

[0282] • 固有的相机参数,例如每个相机模块和每个不同缩放状态的焦距和畸变曲线,例如相机的两个不同的变焦状态。

[0283] • 霍尔传感器位置值可对应于每个不同变焦状态(例如,无限远、1公尺和最接近的焦点)中的不同焦点位置。

[0284] • 对于每个不同的变焦状态,镜头模块的镜头阴影轮廓。

[0285] 图15A在立体图和截面立体图中示意性地显示具有自动对焦(auto-focus)并且编号为1500的双光圈变焦相机的实施例。相机1500包括标记为1502和1504的两个相机模块,每个相机模块具有自己的光学器件。因此,相机模块1502包括具有光圈1508的光学组件1506和光学镜头模块1510以及传感器1512。类似地,相机模块1504包括具有光圈1516的光学组件1514和光学镜头模块1518。每个光学镜头模块可以包括几个镜头元件以及红外线(IR)滤光器1522a和1522b。可选地,属于不同光圈的一些或全部镜头元件可以形成在同一基板上。两个相机模块彼此相邻放置,基线1524位于两个光圈1508和1516的中心之间。各个相机模块可以进一步包括AF机构及/或光学影像稳定(OIS)机构,分别为1526和1528,由控制器(未显示)控制。

[0286] 图15B以与XYZ坐标系有关的立体剖视图示意性地显示具有折叠式望远镜头的变焦和自动对焦双光圈相机1530的实施例。相机1530包括两个相机模块,广角相机模块1532和望远相机模块1534。广角相机模块1532包括具有各自的光圈1538的广角光学组件和具有对称轴(和光轴)1542的镜头模块1540。望远相机模块1534包括具有相应光圈1548的望远光

学组件和具有望远镜头对称轴(和光轴)1552a的光学镜头模块1550,以及一望远影像传感器1554。相机1530进一步包括OPFE 1556。望远光路从物体(未显示)通过望远镜头延伸到望远传感器,并由箭头1552b和1552a标记。如这里所示,可以将各种照相机组件安装在基板1562上,例如印刷电路板(PCB)或在不同的基板(未显示)上。

[0287] 图15C示意性地显示具有一折叠式望远相机模块1534的变焦和自动对焦的三光圈相机1570的一般立体图的实施例。相机1570包括例如相机1530的组件和功能。也就是说,相机1570包括广角相机模块1532以及具有OPFE 1556的望远相机模块1534。相机1570进一步包括第三相机模块1572,所述第三相机模块1572可以是具有超广角镜头1574和影像传感器1578的超广角相机。在实施例中,第三相机模块1572可以具有 $EFL_M$ 和 $FOV_M$ ,所述 $EFL_M$ 和 $FOV_M$ 在广角相机模块和望远相机模块的中间。第三相机模块的对称轴(和光轴)1576与相机模块1532的轴1542基本平行。请注意,虽然第一和第三相机模块以特定排列显示(第三相机模块1572更接近望远相机模块1534),则可以更改此顺序,以使广角相机模块和超广角相机模块可以交换位置。

[0288] 图16A至图16H示意性地显示本文公开且编号为1600的望远镜头和传感器模块的第二实施例。模块1600具有表25中的示例6的光学设计。模块1600包括致动器1610,用于在镜头114'、114"、114'''、114''''、114'''''、以及114'''''的变焦状态之间进行改变(也称为“EFL切换”)。图16A从顶部透视图示意性地显示处于最小EFL( $EFL_{Tmin}$ )状态的模块1600,图16B从顶部透视图示意性地显示处于最大EFL( $EFL_{Tmax}$ )状态的模块1600。图16C从顶部透视图示意性地显示处于 $EFL_{Tmin}$ 状态的模块1600的部件,图16D从顶部透视图示意性地显示处于 $EFL_{Tmax}$ 状态的模块1600的部件。图16E在侧视图中示意性地显示处于 $EFL_{Tmin}$ 状态的模块1600的部件,图16F在侧视图中示意性地显示处于 $EFL_{Tmax}$ 状态的模块1600的部件。16G和图16H从顶部透视图示意性地显示处于 $EFL_{Tmin}$ 状态的模块1600的部件。

[0289] 模块1600包括G1G3组件502、G2组件504、传感器组件506、模块壳体1612、镜头框架1618、以两对1602a和1602b所配置的四个形状记忆合金(shape memory alloy, SMA)弹簧、两个机械(常规)弹簧1604a、b、G2镜头光阑1614a、1614b和1616a、1616b以及AF致动机构1620。G2镜头光阑1614a、b和1616a、b可限制镜头组G2朝向模块1600的物(影像传感器506)侧的位移。致动器1610包括SMA弹簧1602和机械(常规)弹簧1604。SMA弹簧1602的尺寸示例性值包括0.5毫米的弹簧直径(spring diameter)、0.05毫米的线径(wire diameter)和几十个线圈匝数(coil turn)。此类弹簧所能产生的力大约为几克的级数。考虑到顶部透视视图中的模块1600(例如,在图16C和图16D中),一对SMA弹簧(1602a)和一机械弹簧1604a位于镜头组件的右侧,一对SMA弹簧(1602b)和一机械弹簧1604b位于镜头的左侧。弹簧1602a(1604a)和1602b(1604b)相对于光轴116对称地位于模块的两侧。弹簧1602a(1604a)和1602b(1604b)可具有相同的特性。G1G3组件502和G3 504共享镜头光轴116。模块1600可包括顶盖,出于可视性的原因,此处未显示顶盖。

[0290] G1G3组件的两个镜头组通过两个销或杆件1606(图16B)彼此刚性连接,使得它们之间沿光轴116的距离恒定。包括G1、G3和杆件1606的组件在本文中称为“G13组件”。杆件1608平行于光轴116并且沿整个镜头框架1618排列。杆件1608引导镜头组G1+G3和G2的移动,它们通过在杆件1608上滑动而移动。G2可以“浮动”在位于模块1600一侧的G2光阑1614a和1616a以及模块1600另一侧的G2光阑1614b和1616b之间的杆件1608上。G13组件可相对于

模块壳体1612和影像传感器506移动,以提供两个有效焦距 $EFL_{Tmin}$ 和 $EFL_{Tmax}$ 。G13组件沿光轴116朝向和远离影像传感器506的位移通过SMA和机械弹簧来进行。每个弹簧对1602中的两个SMA弹簧可以彼此平行并且与光轴116平行,并且可以连接以使得其中一端固定到G3,另一端固定到镜头框架1618。机械弹簧1604(也平行于光轴116)的一端可以固定到G1,另一端可以固定到镜头框架1618。

[0291] 基于已知的SMA特性和效应,G13组件朝向和远离影像传感器506的位移可以用以下方式导出:当加热时,SMA弹簧1602收缩,并且其内应力显著增加,从而产生高压缩力。相反地,当冷却时,它们的内应力显著降低,从而产生较低的压缩力。因此,在加热SMA弹簧1602时(例如通过驱动流过它们的电流),可以控制它们的压缩力以克服机械弹簧1604的反压缩力,从而导致G13组件远离影像传感器506的位移。相反地,在放松SMA弹簧回到环境温度(例如,60℃)时(通常通过关闭电流供应),机械弹簧1604的压缩力克服SMA弹簧1602的力,导致G13组件朝向影像传感器506的位移。

[0292] 图16G和图16H显示AF致动机构1620的细节。机构1620用于对焦类似相机103的相机,并且包括两个线圈1622a和1622b、刚性耦合至框架1618的磁体组件1624以即可焊接到PCB的霍尔传感器1626(图16G和图16H中未显示)。所述线圈具有基本上位于Y-Z平面中的平底面和顶面,且所述线圈沿Z方向(平行于镜头光轴和G1、G2和G3的移动方向)彼此相对地设置。耦合允许向线圈1622a和1622b发送输入和输出电流,电流携带操作所需的电力和电子信号。霍尔传感器1626可以刚性地耦合到模块壳体1612(后者未在图16G和图16H中显示),并且用于确定镜头框架1618相对于模块壳体1612和影像传感器506的位置。磁体组件1624包括两个分开的磁体1624a和1624b,所述磁体1624a和1624b各自具有两个极化(polarization),其中所述极化彼此正交并且在相对于磁体表面的法线(反法线(anti-normal))方向上。上文针对图5A至图5E中的磁体512描述了磁体组件1624中的分开的磁体(及在VCM中的功能)的细节。极化分别由1624a和1624b的相关区域的阴影表示。聚焦是通过驱动电流通过线圈1622a和1622b来实现的。

[0293] 图17A至图17D示意性地显示本文公开且编号为1700的望远镜头和传感器模块的第三实施例。类似于模块1600,模块1700具有表25中的示例6的光学设计。图17A从顶部透视图示意性地显示处于 $EFL_{Tmin}$ 状态的模块1700,图17B从顶部透视图示意性地显示处于 $EFL_{Tmax}$ 状态的模块1700。图17C从从顶部透视图示意性地显示处于 $EFL_{Tmax}$ 状态的模块1700的部分,图17D示意性地显示模块1700的部件。

[0294] 模块1700包括VCM机构1710,用于在镜头114'、114''、114'''、114'''',114'''''、以及114'''''」的变焦状态和聚焦状态之间进行改变。模块1700还包括G1G3组件502、G2组件504、传感器组件506、模块壳体1612和镜头框架1706。VCM机构1710包括在模块每侧的两个VCM 1710a和1710b以及两个G2镜头光阑1702和1704。镜头光阑1702和1704可以限制G2朝向模块1700的物(影像传感器506)侧的位移。在俯视图中看待模块1700(例如,在图17C和图17D中所示的从两个相对侧),VCM 1710a和1710b可具有相同的结构和特性。镜头组件502和504共享镜头光轴116。模块1700可包括顶盖,出于可视性的原因,此处未显示顶盖。

[0295] VCM机构1710包括两个线圈组件1730a和1730b以及两个磁体组件1720a和1720b,它们分别是VCM 1710a和1710b的部件。线圈组件和磁体组件1720a和1720b相对于光轴116对称地位于模块的两侧。然而,VCM 1710a和1710b在相对于如下所述的霍尔传感器的数量

和位置方面彼此不同。示例性地,在图17A至图17D所示的实施例中,线圈组件1730a和1730b各自包括四个线圈1730c、1730d、1730e和1730f(另请参见图17C),且磁体组件1720a和1720b各自包括两个磁体1720c、d,每个磁体具有两个极化(另请参见图17D)。磁体组件1720a定位于模块的一侧(例如,远离观察者的一侧),而磁体组件1720b定位于模块的另一侧(亦即,朝向观察者的一侧)。

[0296] 在图17A和图17B中,出于清晰和可视性的原因,将在其他方面覆盖VCM机构1710的壳体1612的特定部分(亦即,外墙)并未显示。图17C显示未具有壳体1612的模块1700,以便突出显示VCM机构1710。图17D显示未具有壳体1612和未具有线圈组件1730的模块1700,以便突出显示VCM机构1710的磁体组件1720。线圈组件1730可以固定(例如,焊接)到PCB(未显示在图17C中)上,所述PCB允许向线圈组件1730中的线圈发送输入和输出电流,所述电流携带操作所需的电力和电子信号。PCB可刚性地耦合(例如,粘接)到壳体1612,并且磁体组件1720刚性地耦合到镜头框架1706。

[0297] 图17E显示磁体组件1720。磁体组件1720可包括具有由不同方向的箭头所指示的四个交替极化的单一磁体,所述极化被定向到垂直(或反垂直(anti-normal))于磁体的表面。或者,例如,为了降低制造的复杂性,如箭头所示,可用包括具有两个极化的两个磁体的磁体子组件1720' 替换具有四个极化的单一磁体。

[0298] 图17F示意性地显示通过VCM 1710a和1710b在 $EFL_{Tmin}$  状态和 $EFL_{Tmax}$  状态之间的致动方法。如图17E所示的磁体内的子区域的磁化由阴影表示。VCM1710a和1710b通过驱动电流以已知和预定的顺序流过不同的线圈来进行操作。例如,可执行以下顺序(参见图17F中的线圈编号符号1-4)来沿着z轴(在较大z值的方向)传播磁体:

|        |             |      |
|--------|-------------|------|
| [0299] | 线圈          | 位移   |
|        | 打开线圈1       | 从A到B |
|        | 关闭线圈1,打开线圈3 | 从B到C |
|        | 关闭线圈,打开线圈2  | 从C到D |
|        | 关闭线圈2,打开线圈4 | 从D到E |
|        | 关闭线圈4,      | 行程结束 |

[0300] VCM 1710a和1710b代表大行程VCM。行程(stroke)的大小(见表25)在磁体的尺寸保持不变的情况下由线圈的数量决定。此外,行程的大小没有上限。也就是说,对于给定的磁体,只需简单地在VCM上增加更多的线圈,就可以实现更大的行程,这与当前的VCM配置不同,在当前的配置中,必须增加磁体的大小来增加行程。理论上,可以通过添加无限多个线圈来实现无限行程。

[0301] 在VCM中,磁体通常是动态机构的一部分,而线圈是静态的。通常,磁体构成了机构质量的主要部分。因此,实现快速的稳定时间和保持小的磁体体积是非常重要的。因此,图17A至图17J中所示的VCM配置建议了一种在引入大冲程的同时保持低磁体质量的解决方案。例如,使用此配置,通过使用一个约11毫米长的磁体可以实现约7毫米的行程。比较之下,使用一个磁体和一个线圈(而不是本文描述的四个)实现7毫米的行程,磁体的长度必须为约17毫米。

[0302] 图17G和图17H在侧视图中分别显示在 $EFL_{Tmin}$  和 $EFL_{Tmax}$  状态下执行VCM 1710a和1710b的变焦状态切换的致动方法。刚性耦合于模块壳体1612的霍尔传感器1708(此处部分

移除以暴露致动器1710) 确定模块框架1706相对于模块壳体1612的位置,以便在 $EFL_{Tmin}$ 和 $EFL_{Tmax}$ 状态之间进行受控切换。

[0303] 图17I和图17J在与图17G和图17H的侧视图相对的侧视图中分别显示在 $EFL_{Tmin}$ 和 $EFL_{Tmax}$ 状态下VCM 1710a和1710b的致动器模式。霍尔传感器1712和1714刚性耦合到模块壳体1612,并确定模块框架1706相对于模块壳体1612的位置以用于聚焦相机103。在如图17I所示的 $EFL_{Tmin}$ 状态下,模块框架1706相对于模块壳体1612的位置通过霍尔传感器1714确定。在图17J所示的 $EFL_{Tmax}$ 状态下,模块框架1706相对于模块壳体1612的位置通过霍尔传感器1712确定。

[0304] 为了控制变焦状态切换的行程,可在壳体的一侧使用一个霍尔传感器(参见图17G和图17H)。为了控制对焦的行程,当处于 $EFL_{Tmin}$ 状态时可以使用霍尔传感器1714,当处于 $EFL_{Tmax}$ 状态时可以使用霍尔传感器1712(图17I和图17J)。

[0305] 图18A和图18B在透视图显示用于在 $EFL_{Tmin}$ 的变焦状态下粘接(磁耦合)G2到G1的粘接子系统1810的实施例。粘接子系统1810可包括四个轭(yoke)1814a、1814b、1814c和1814d以及四个磁体1816a、1816b、1816c和1816d。G2到G1的粘接仅通过粘接子系统1810实现,而无需指定的致动器,例如VCM。

[0306] 图18C和图18D在透视图显示在具有 $EFL_{Tmax}$ 的变焦状态下粘接G2到G3的粘接子系统1820的另一实施例。粘接子系统1820可包括四个轭1824a、1824b、1824c和1824d以及四个磁体1826a、1826b、1826c和1826d。G2到G3的粘接仅通过粘接子系统1810实现,而无需指定的致动器,例如VCM。

[0307] 粘接子系统1810和1820基于磁体和轭之间的吸引力,使得专用的VCM和用于确定G2位置的传感器系统(可能是执行自动聚焦所必需的)变成冗余的。

[0308] 图19A至图19D显示G2光阑(stop)移除机构1900。G2移除机构可被包括在模块1600或模块1700中,以便允许如上所述的微距摄影模式(或“微距模式”)。G2光阑移除机构1900包括G2光阑1906、机械弹簧1902b和SMA弹簧1904b、机械弹簧1902a(此处不可见)和SMA弹簧1904a(此处不可见)。弹簧1904a(1902a)和1904b(1902b)相对于光轴116对称地位于模块的两侧。

[0309] 图19A在透视图显示具有处于 $EFL_{Tmax}$ 状态下被激活的G2光阑1906的G2光阑移除机构1900。“被激活”(activated)是指机械元件或构件1908(也称为“舌片”(tongue),见下文)被啮合(通过下文所述的弹簧配置),并防止G2与G1或G3一起移动。G2组件504被磁耦合到G1-G3组件502,其中G2磁耦合到G3。此配置可允许远程摄影(Tele photography)。

[0310] 图19B在透视图显示具有处于微距模式状态下被解除激活的G2光阑1906的G2光阑移除机构1900。“被解除激活”(de-activated)是指机械组件或构件被脱离,并且不会阻止G2移动。这里,G2组件504被磁耦合到G1G2组件502,其中G2磁耦合到G1。此状态可用于微距摄影。为了解除激活G2光阑,电流被驱动而通过SMA弹簧1904a和1904b,使SMA弹簧1904a和1904b加热和压缩。由于压缩力高于机械弹簧1902a和1902b的回缩力,G2光阑1906执行从SMA弹簧1904a和1904b侧的壳体1612离开的移动(被移除)。

[0311] 图19C显示在光阑1906被激活的状态下处于 $EFL_{Tmin}$ 或 $EFL_{Tmax}$ 状态的G2光阑移除机构1900的部件。图19D显示在G2光阑1906被解除激活的状态下G2光阑移除机构1900的部件。舌片1908是组件504的一部分,在G2光阑1906被激活的情况下停止G2组件504的移动,以便

在变焦状态从 $EFL_{Tmin}$ 状态切换到 $EFL_{Tmax}$ 状态的情况下,G2从G1断开并在变焦切换过程结束时连接到G3,例如,通过如图18A至图18D所述的基于磁体的机构。如果G2光阑1906被激活,舌片1908不会停止G2的移动,因此G2保持与G1的连接。如果没有进一步的电流驱动通过SMA弹簧1904a和1904b,G2光阑1906将再次被激活。

[0312] 在另一示例中,模块1600或模块1700或模块1900可具有表25中的示例6的光学设计,且可用于在微距模式下的微距摄影。为了进入微距模式,镜头114'、114''、114'''、114''''、及114'''''必须处于 $EFL_{Tmin}$ 状态。当进入微距模式时,镜头必须处于 $EFL_{Tmin}$ 状态,其中G2光阑1906处于被解除激活的状态,然后镜头切换到 $EFL_{Tmax}$ ,G2光阑1906处于被解除激活的状态。如图19B所示,由于G2透镜光阑的移除,G2保持连接到G1。

[0313] 利用表25中的示例6的光学设计,最大微距模式放大率(maximum Macro mode magnification)M被获得(例如, $M=0.44$ ),其中M表示在影像传感器平面上的物体的影像的尺寸与实际物体尺寸的比率。这根据薄透镜近似(thin lens approximation)得出

$$[0314] \quad \frac{1}{EFL} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$$

[0315] 并且对于 $EFL=13$ 毫米且镜-像距离(lens-image distance) $v=19$ 毫米,导致物-镜距离(object-lens distance) $u=42$ 毫米,因此放大率 $M=19/43=0.44$ 。此最大放大率是通过如图19B所示的镜头配置来获得的,其中G1+G2+G3一起尽可能地朝向物体移动(亦即,远离传感器)。

[0316] 可连续地选择从低到零(对于无限大的物体)的较小的放大率M。对于较小的放大率,镜头组必须处于微距模式配置(通过G2附接到G1所定义),并且G1+G2+G3必须一起朝向影像传感器移动。

[0317] 例如,放大率 $M=0.23$ 可能是期望的。要从 $M_{max}$ 状态切换到 $M=0.23$ ,镜头必须处于微距模式配置,并且G1+G2+G3必须一起朝向影像传感器移动3毫米。根据上述的薄透镜近似, $EFL=13$ 毫米和镜-像距离 $v=16$ 毫米导致物-镜距离 $u=69$ 毫米,因此放大率 $M=16/69=0.23$ 。

[0318] 要从 $M_{max}$ 状态切换到具有零放大率(亦即, $M=0$ )的 $M_{min}$ 状态,必须将处于微距模式配置中的G1+G2+G3一起朝向影像传感器移动6毫米,使得 $EFL=13$ 毫米和镜-像距离 $v=13$ 毫米转换为 $M=0$ 。

[0319] 尽管本公开描述了有限数量的实施例,但是应当理解,可以对这些实施例进行许多变化、修改和其他应用。一般而言,应将本揭示理解为不限于本文描述的特定实施例,而是仅由所附权利要求的范围限制。

[0320] 在本说明书中提及的所有参考文献均通过引用以其整体并入本文,其程度与每个单独的参考文献均被具体地和单独地指示以通过引用并入本文的程度相同。另外,在本申请中对任何参考文献的引用或标识均不应解释为承认所述参考文献可作为本申请的现有技术。

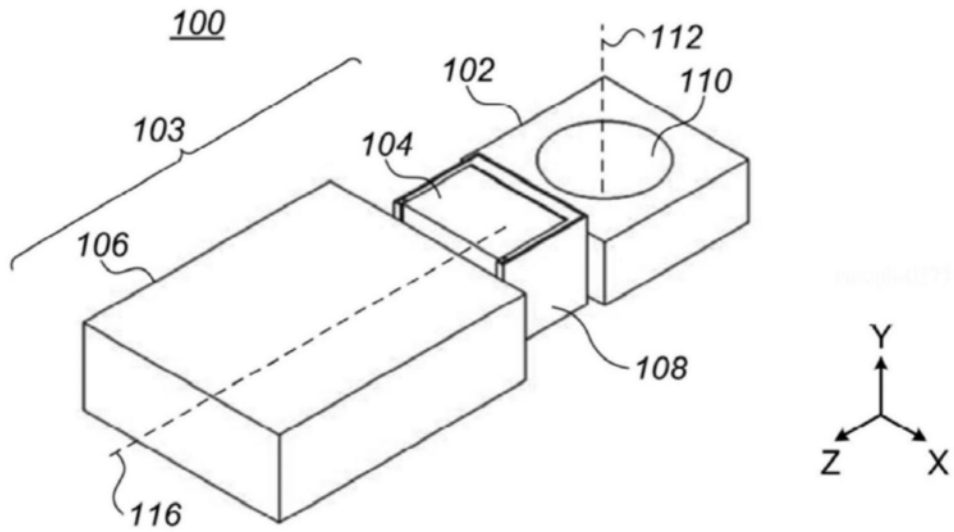


图1A

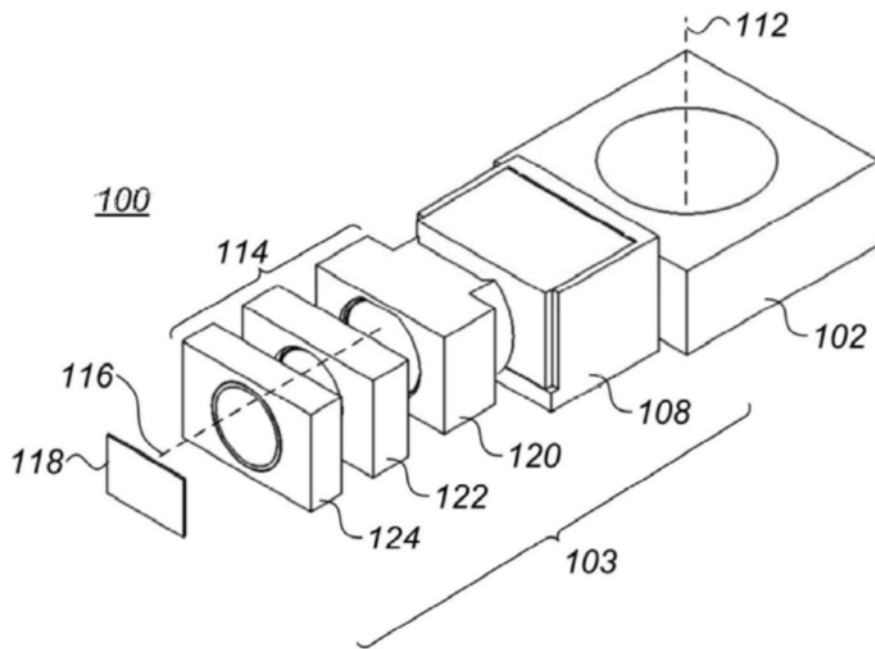


图1B

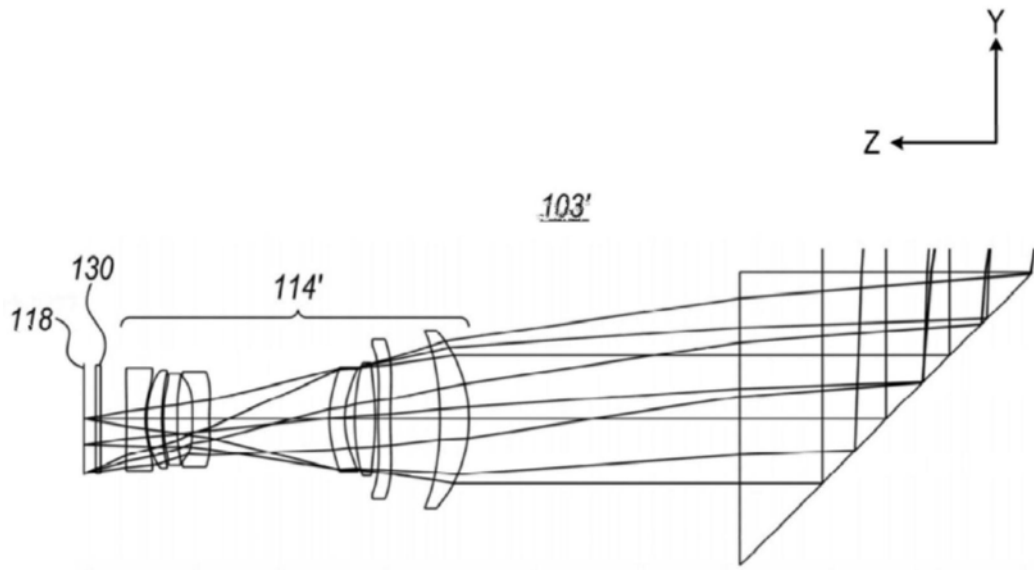


图2A

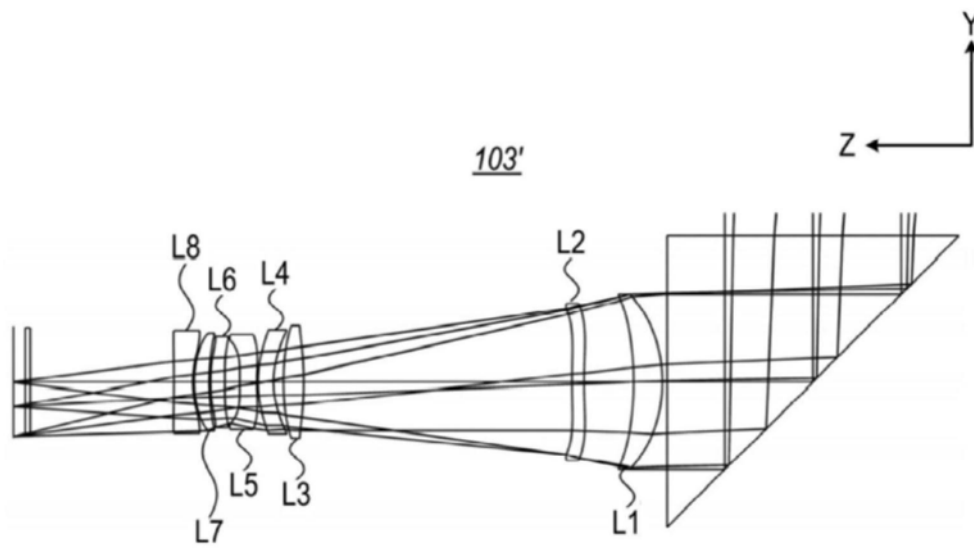


图2B



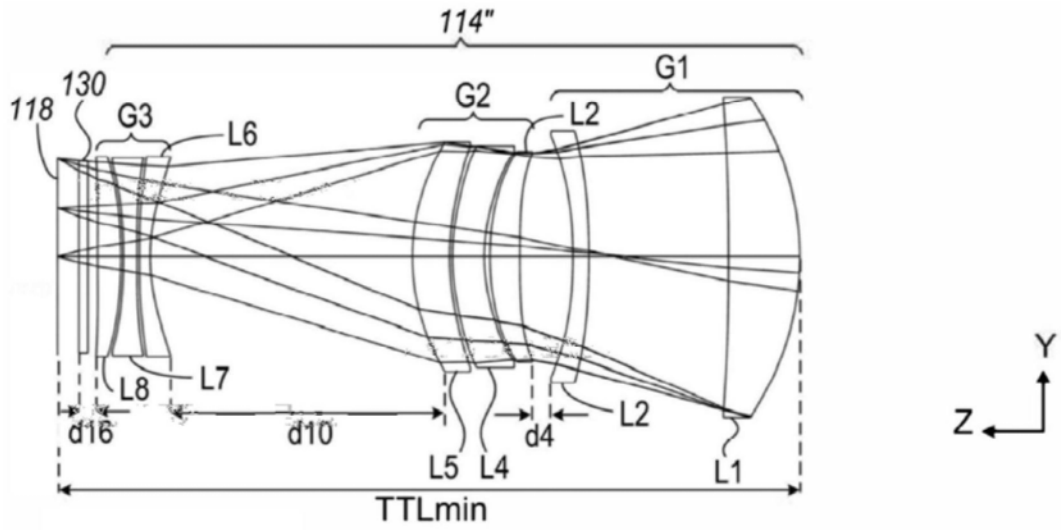


图3A

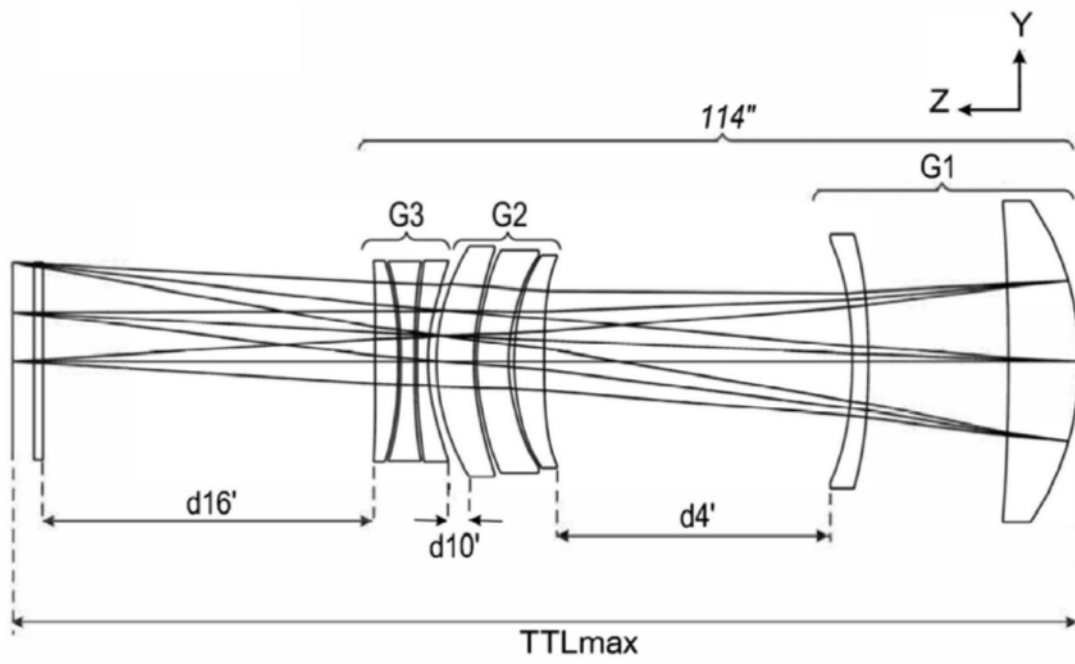


图3B

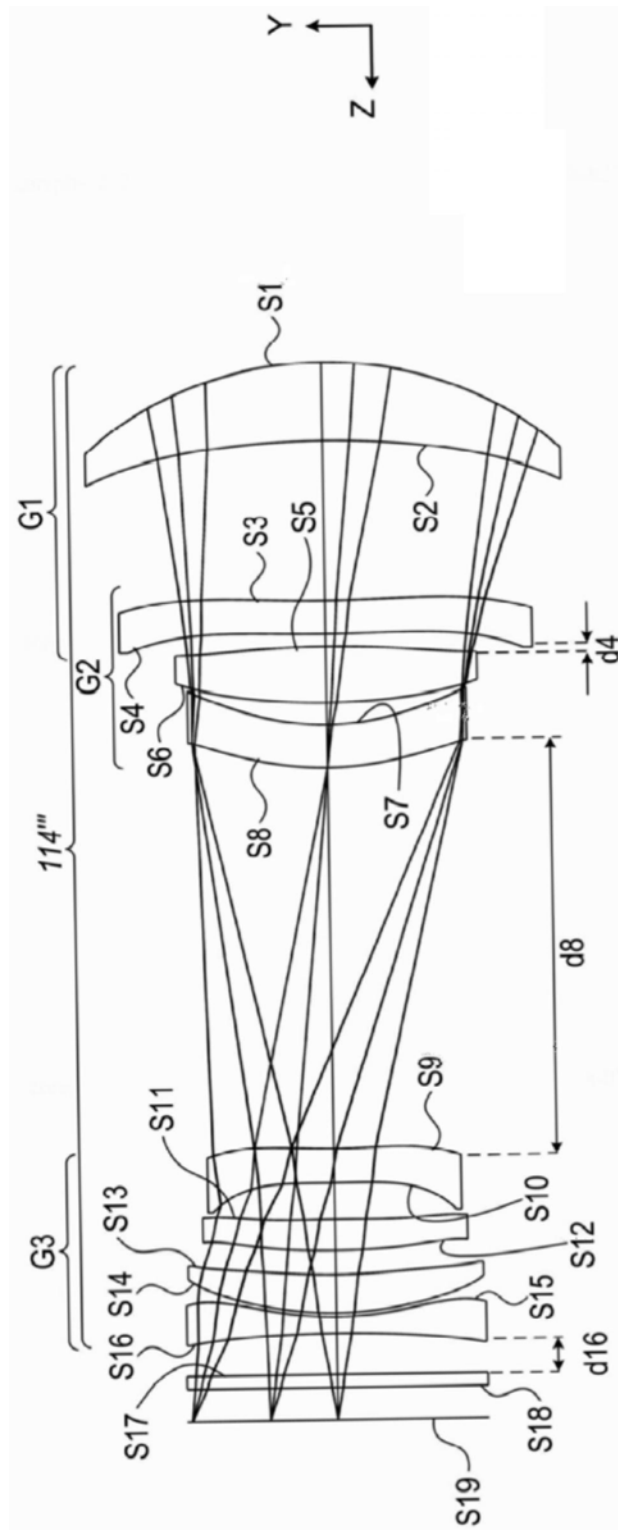


图4A

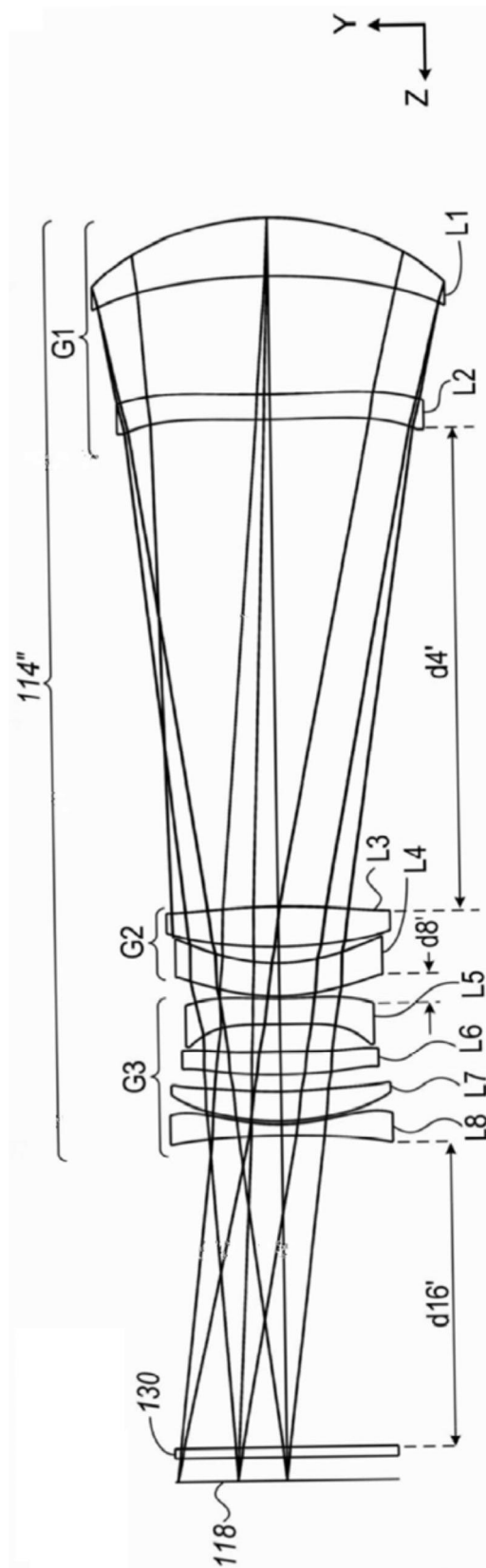


图4B

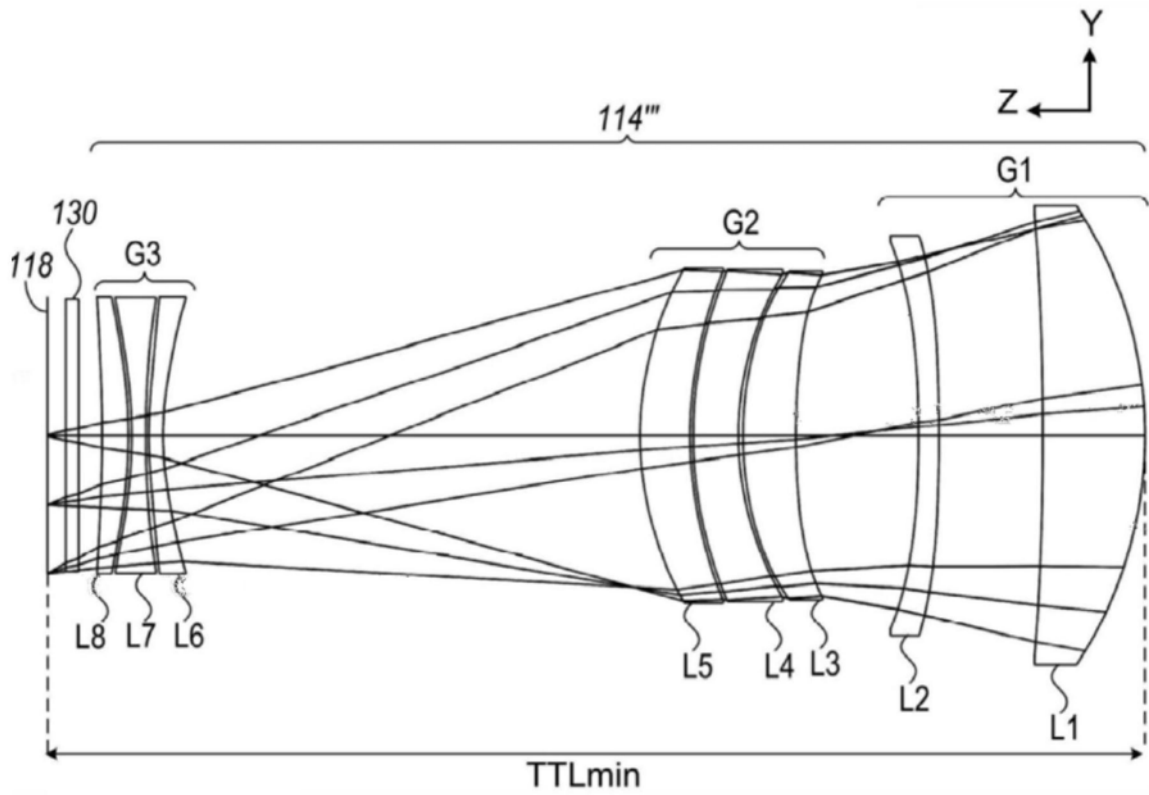


图4C

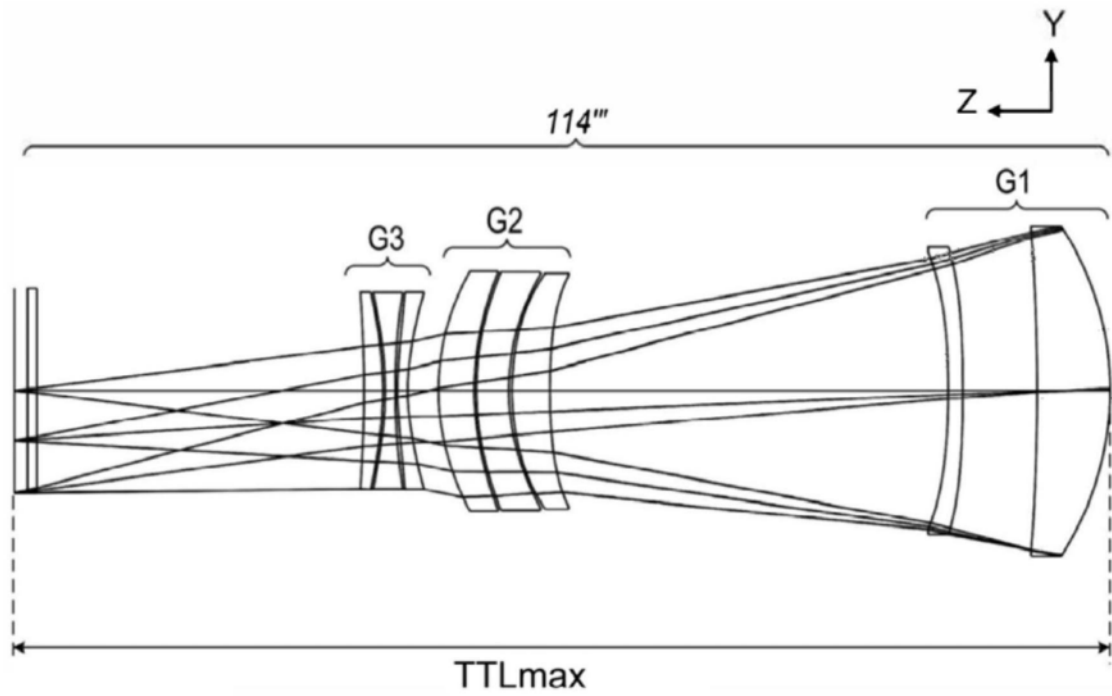


图4D

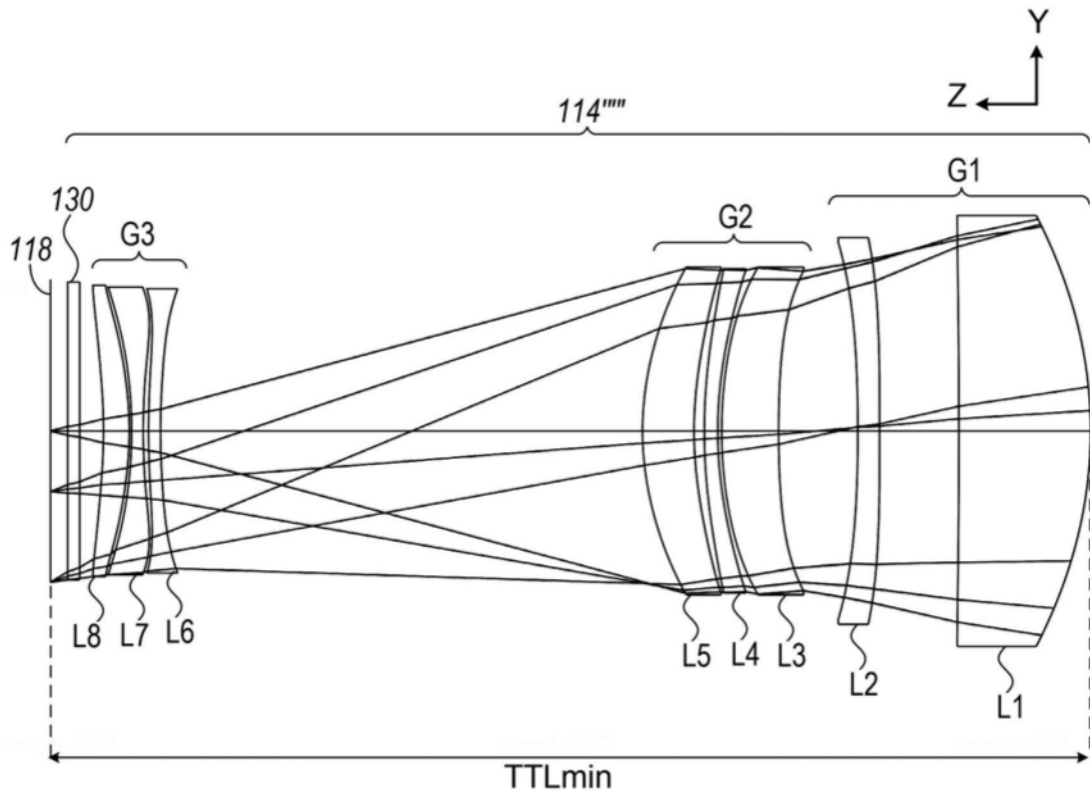


图4E

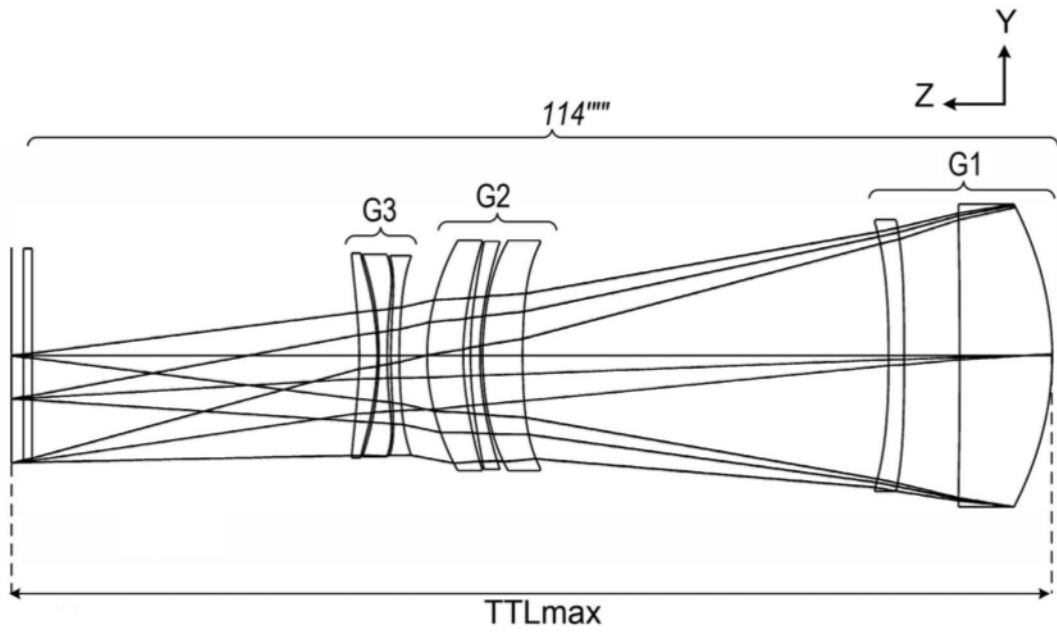


图4F

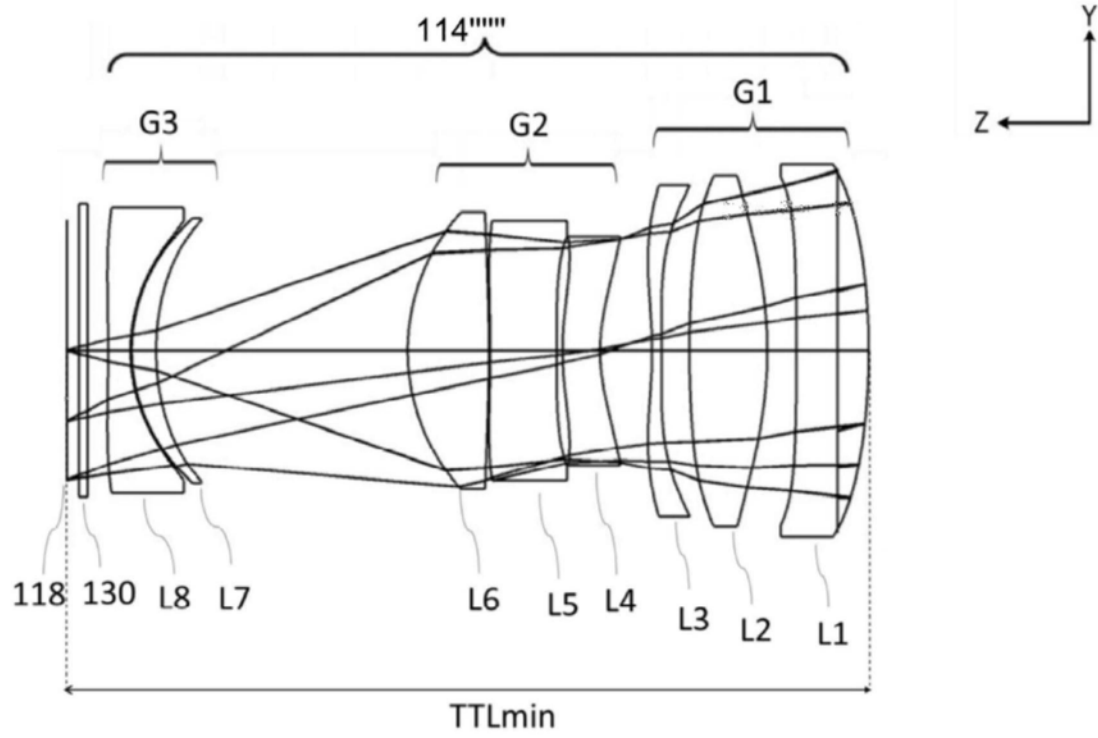


图4G

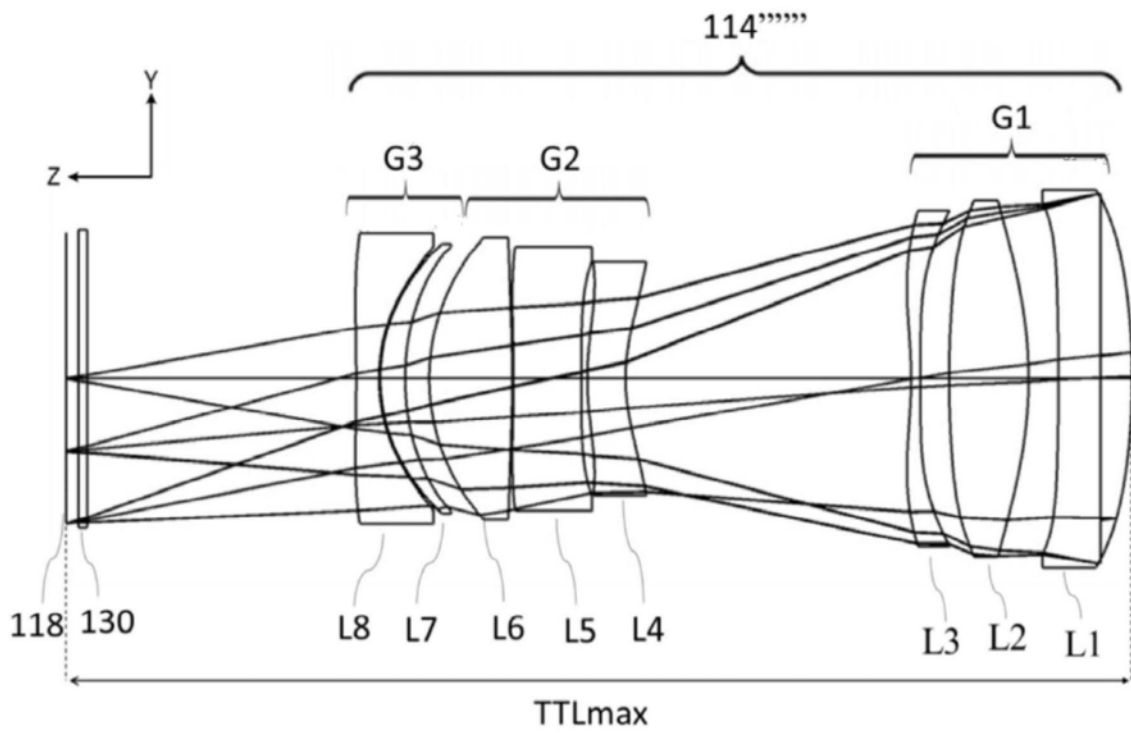


图4H

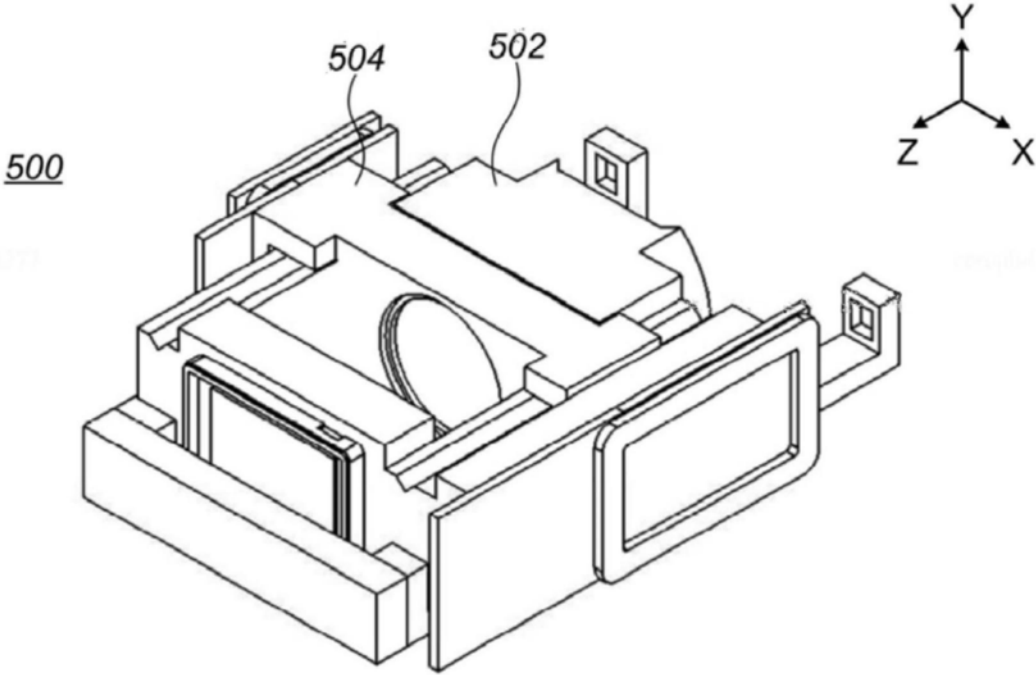


图5A

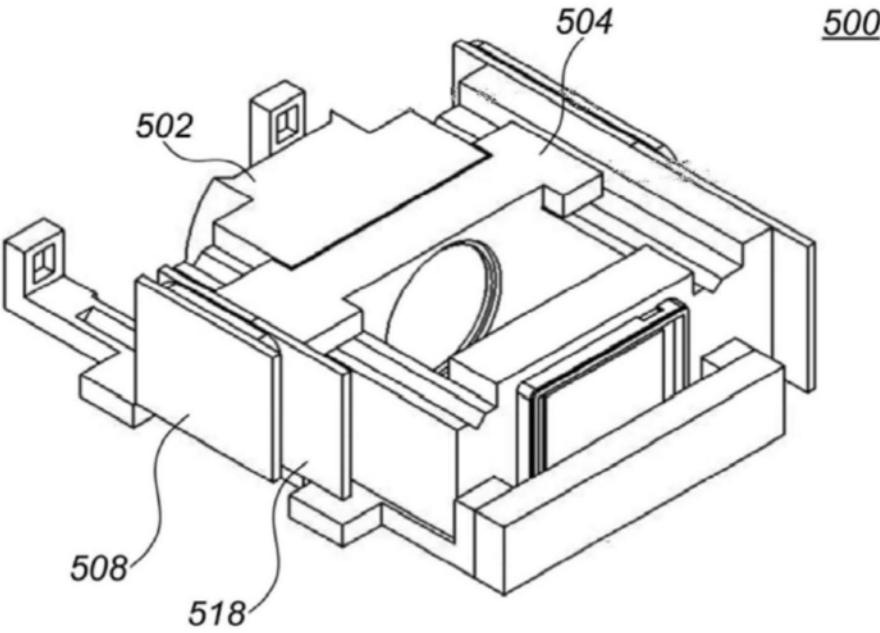


图5B

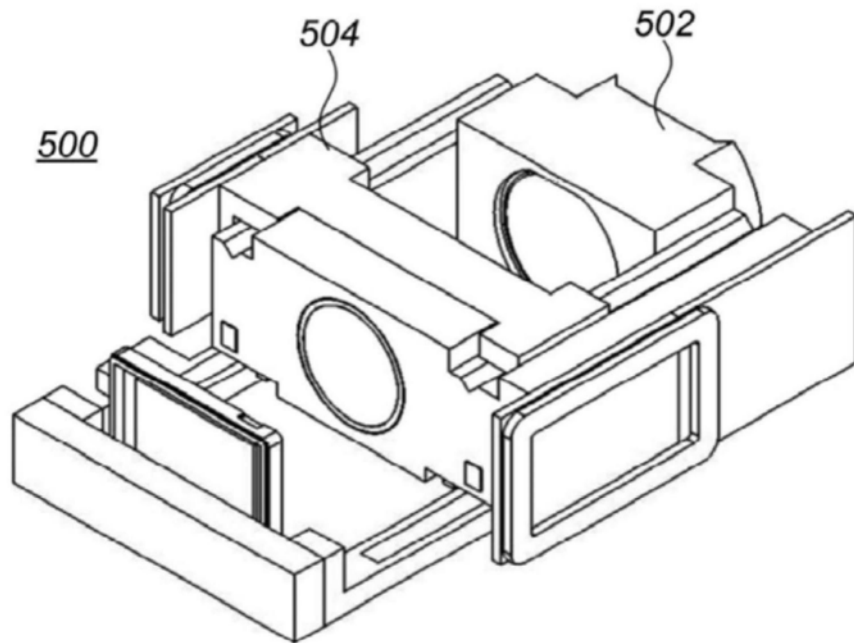


图5C

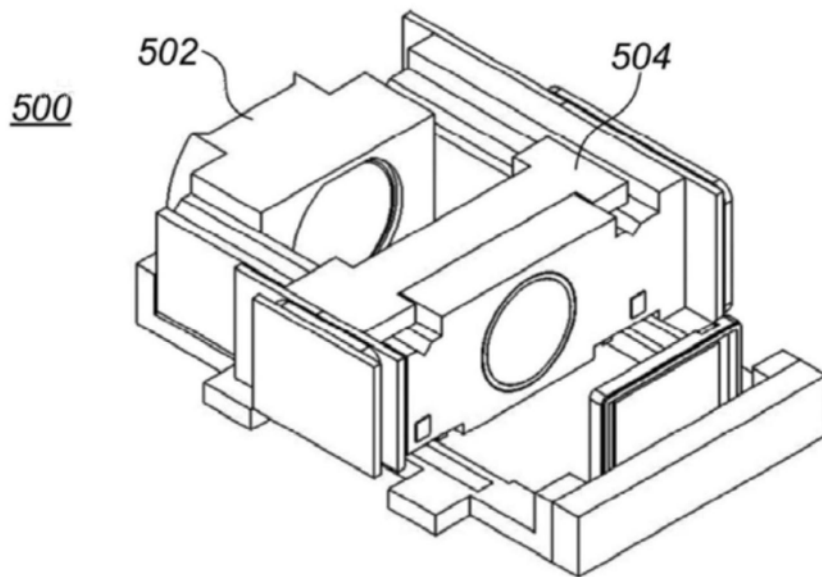


图5D

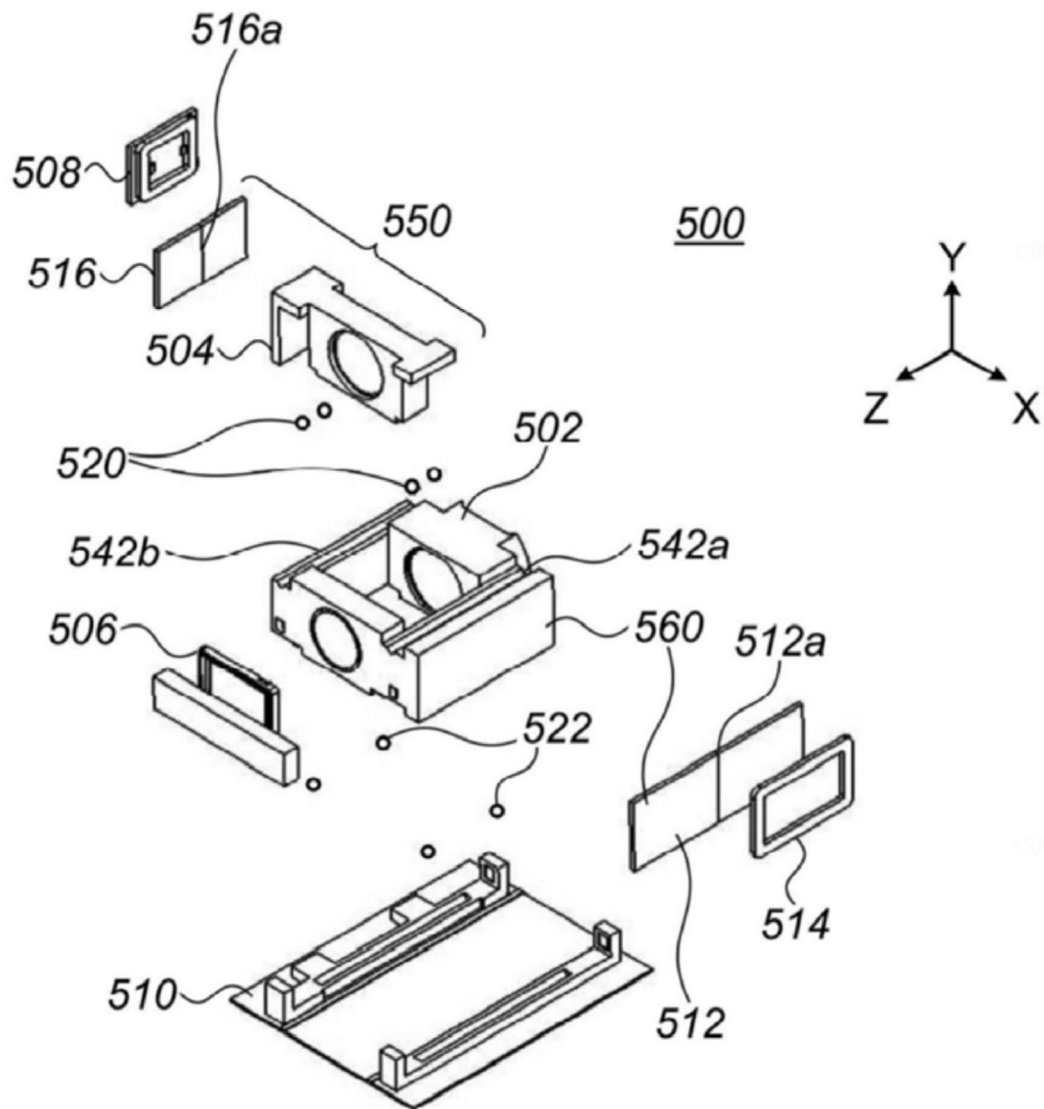


图5E

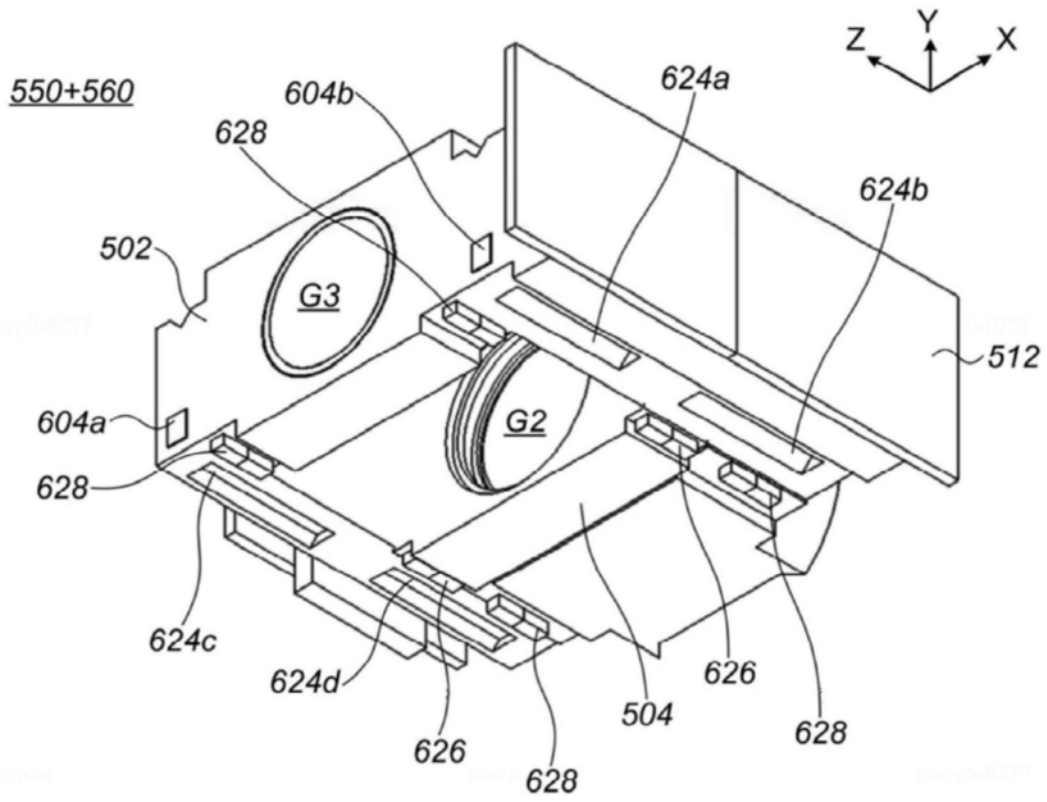


图6A

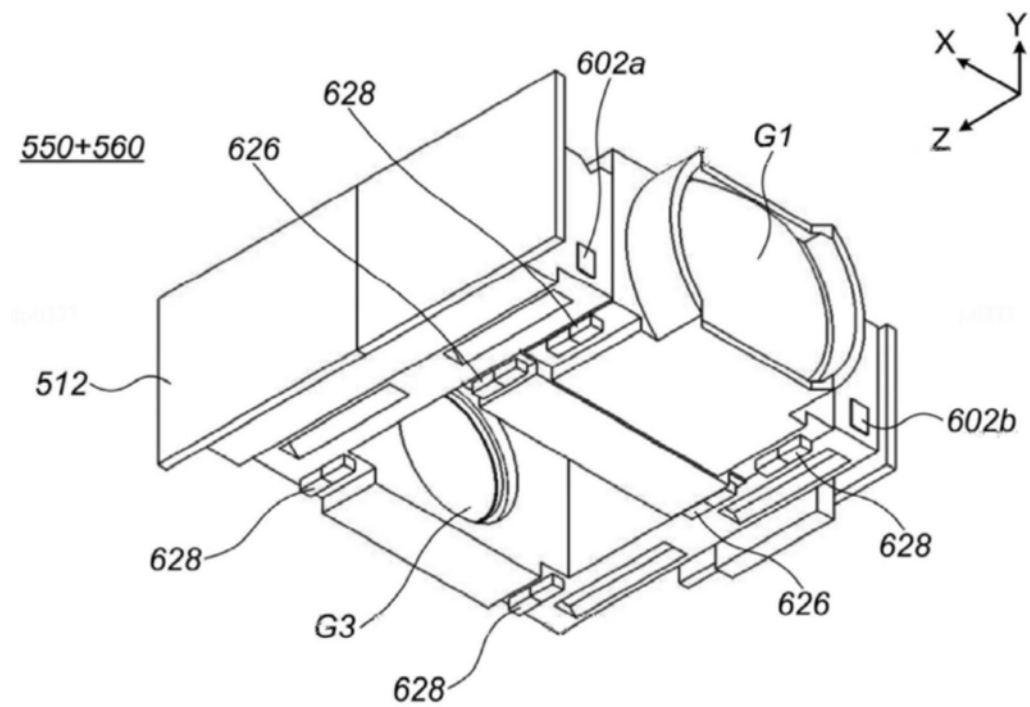


图6B

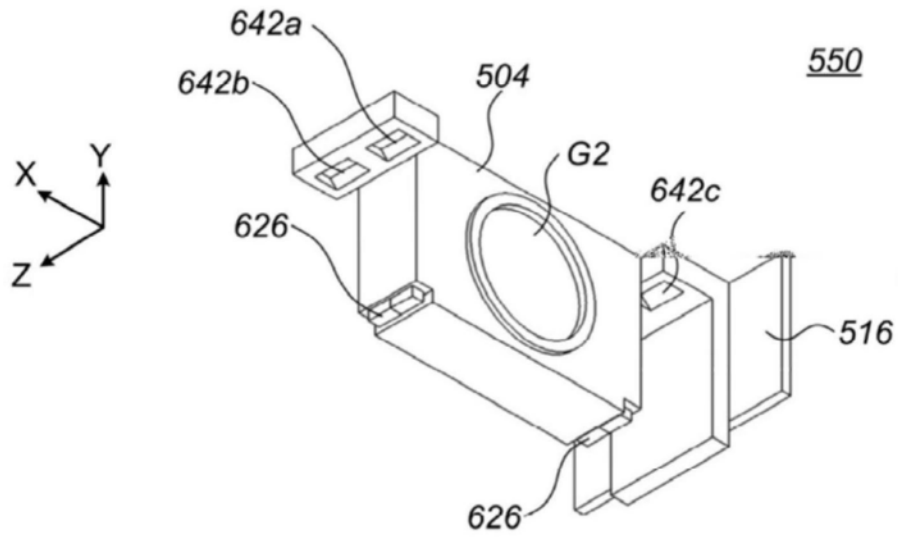


图6C

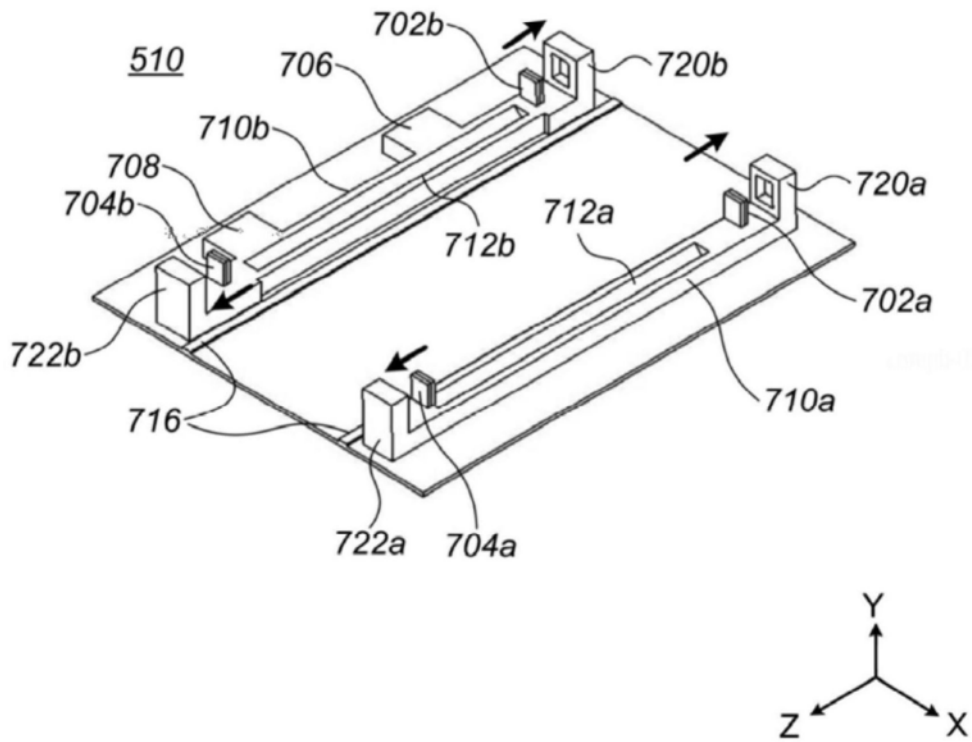


图7

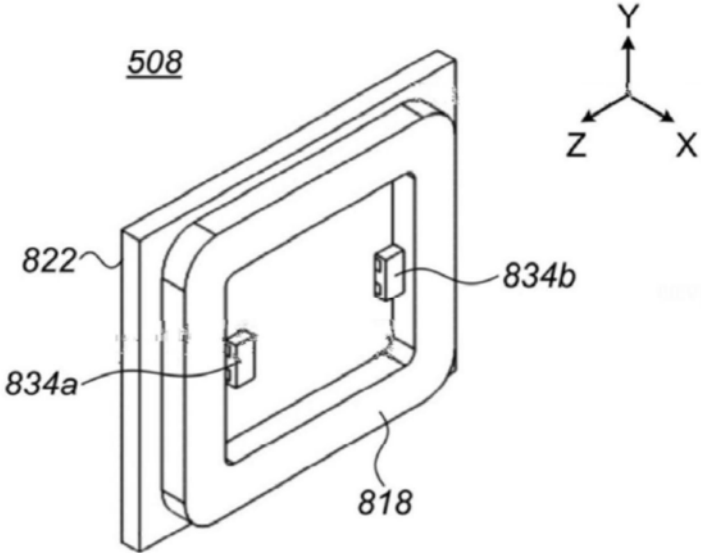


图8

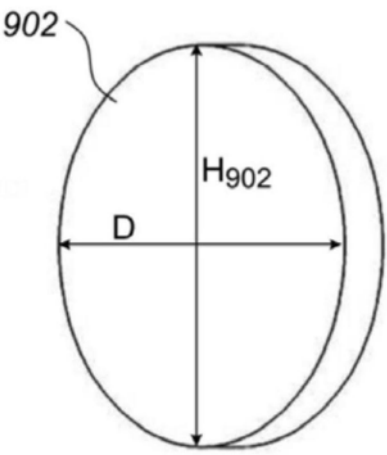


图9A

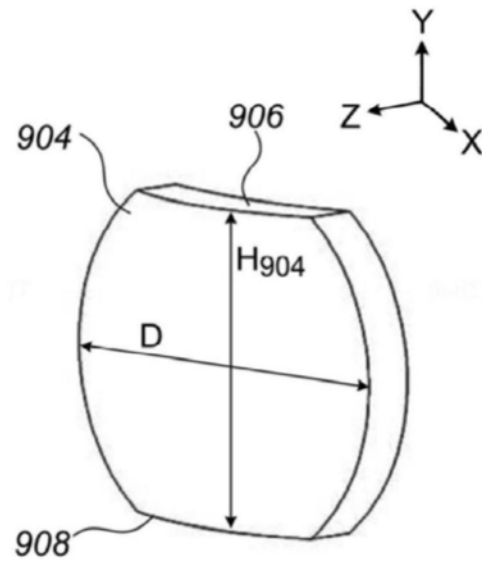


图9B

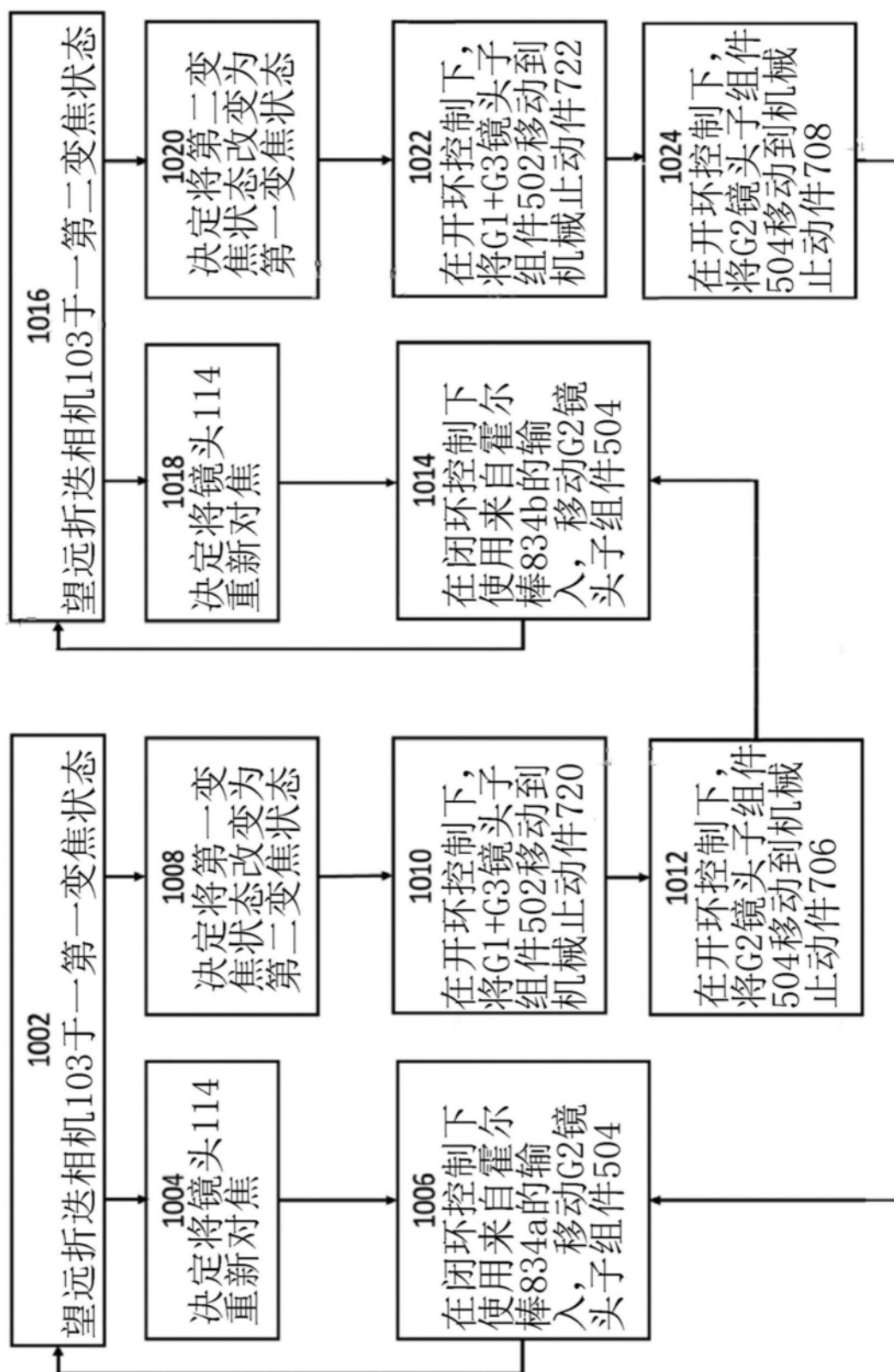


图10

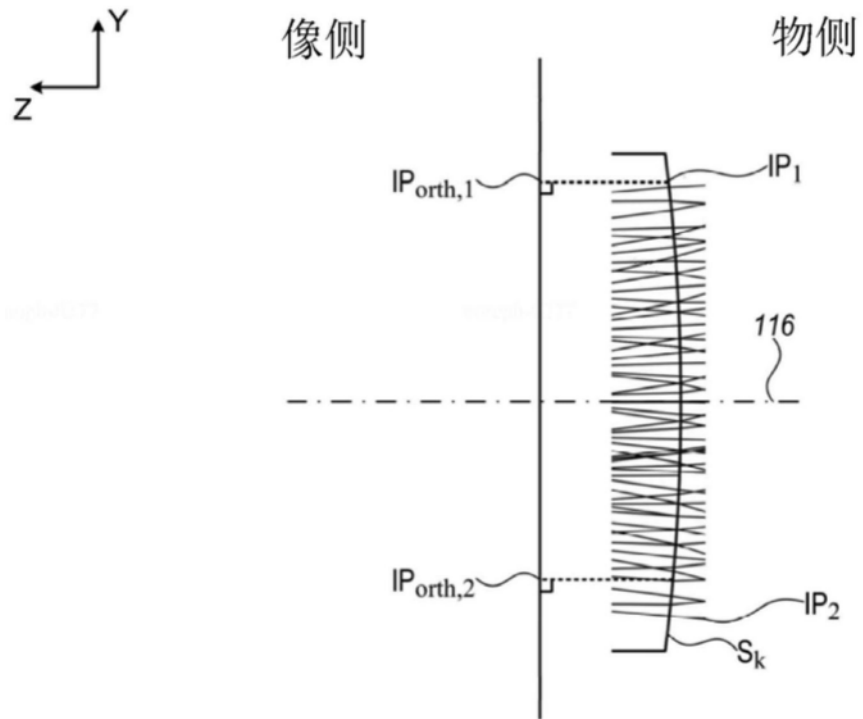


图11A

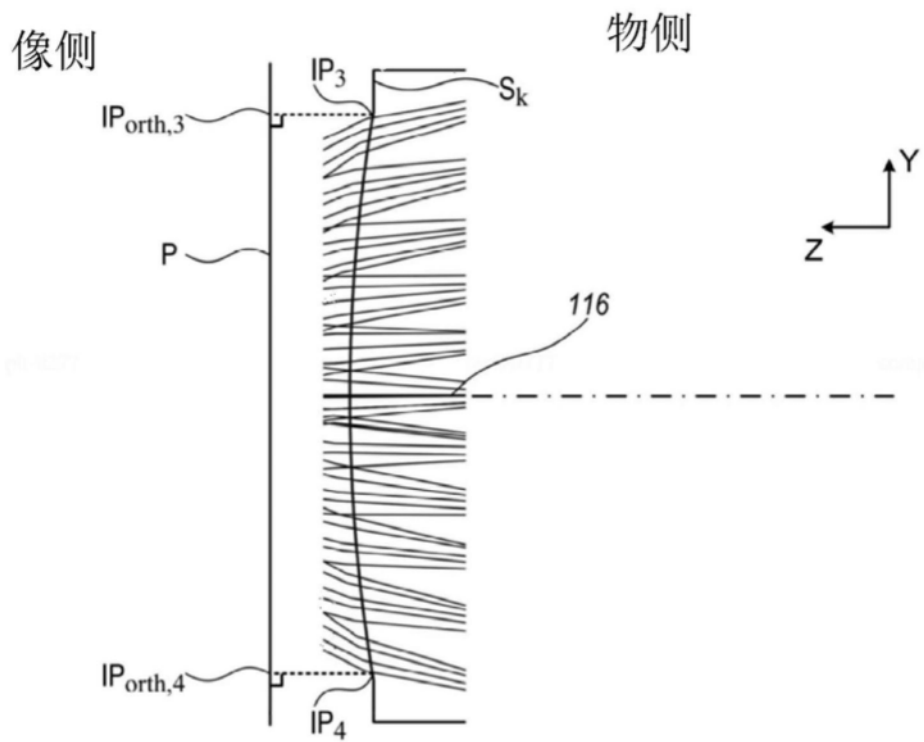


图11B

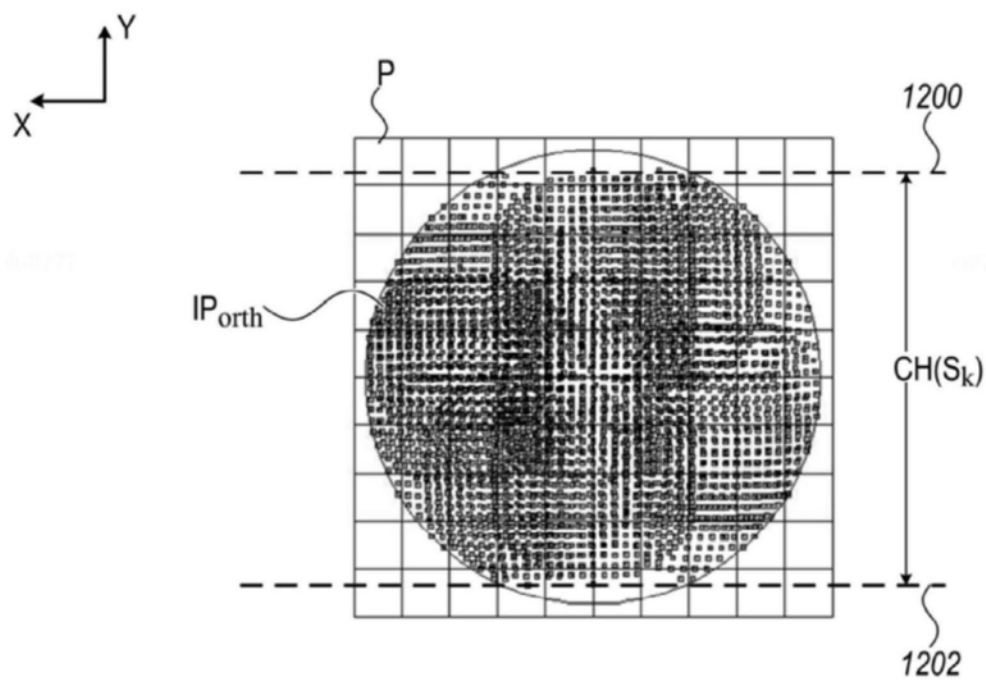


图12

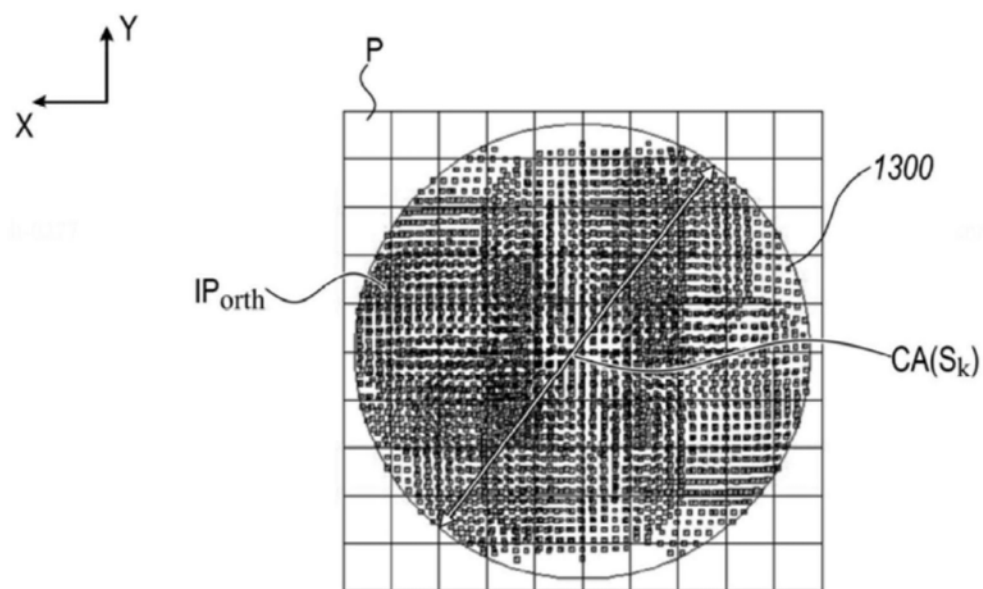


图13

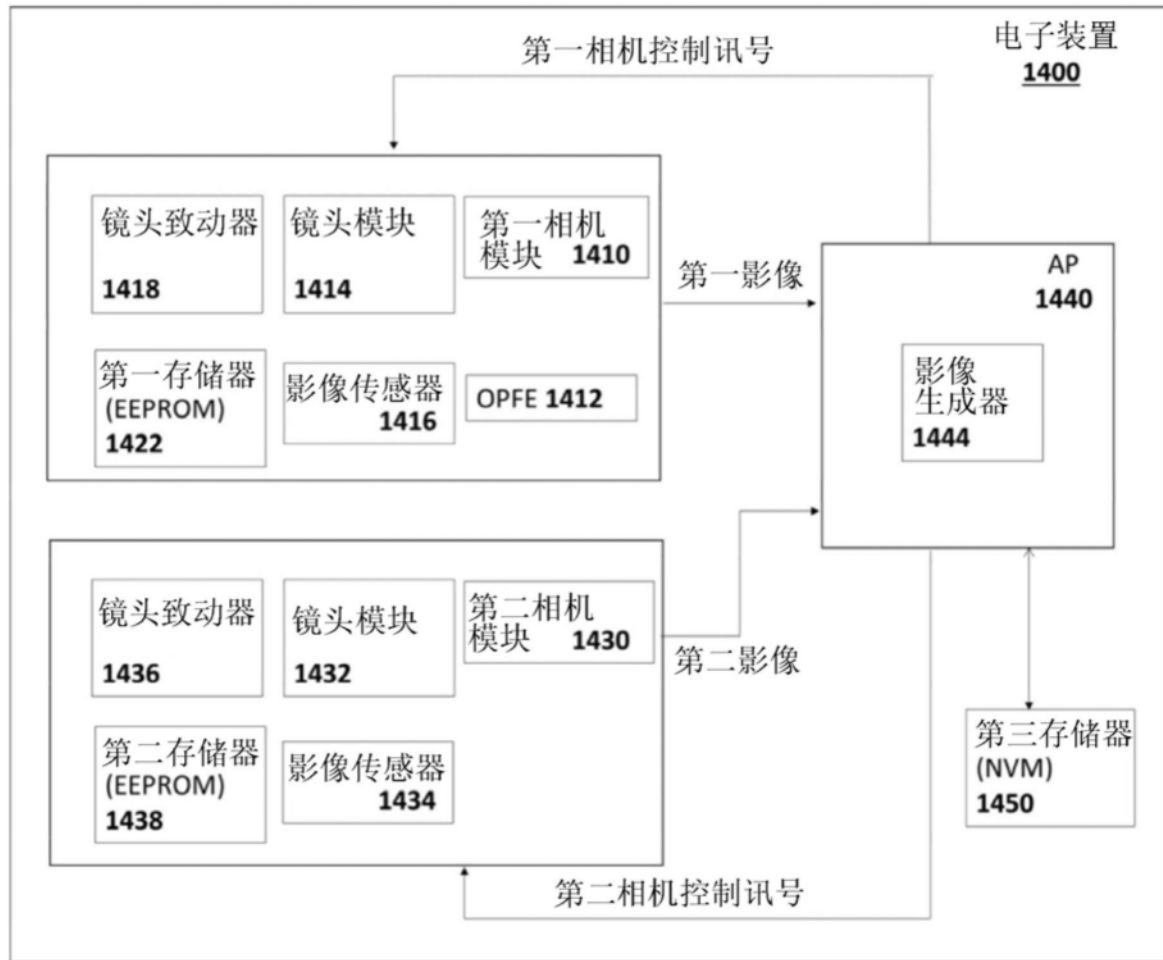


图14

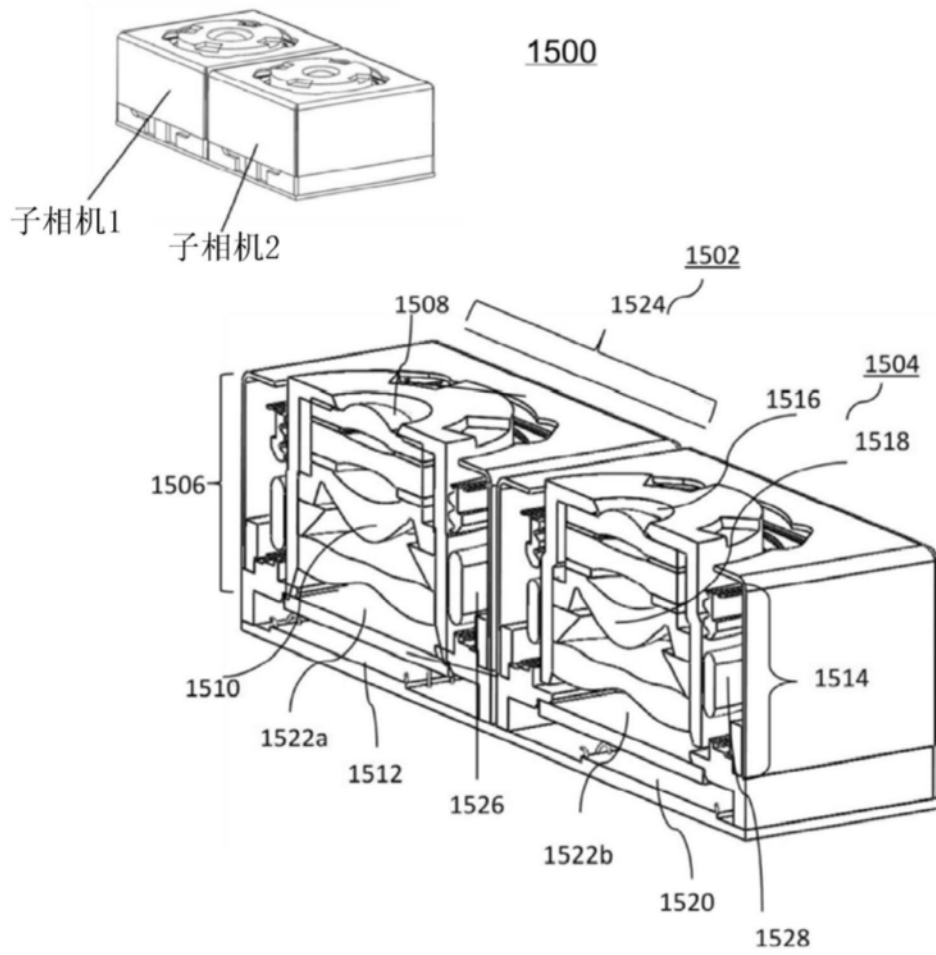


图15A

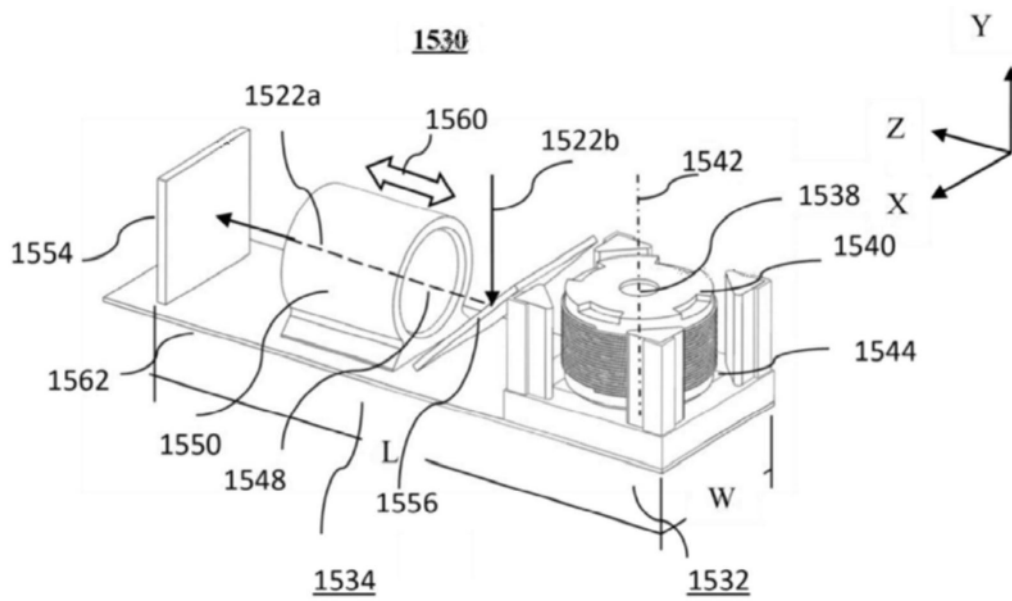


图15B

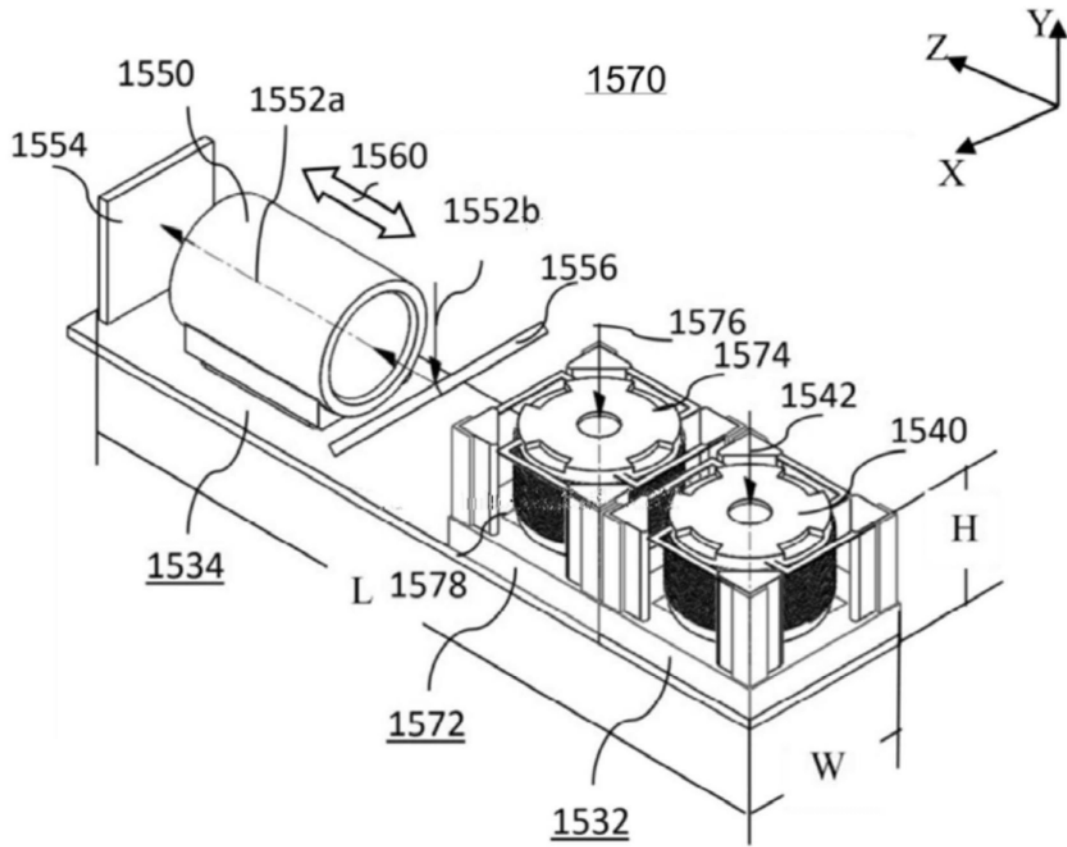


图15C

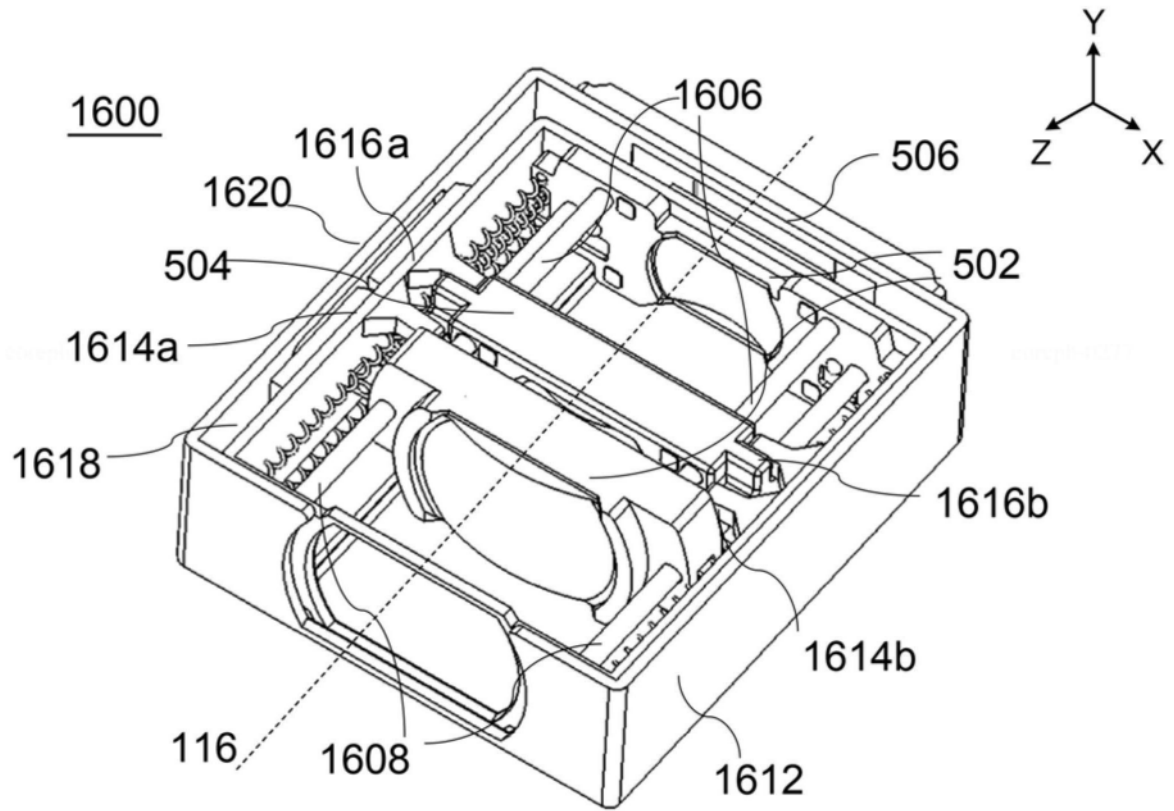


图16A

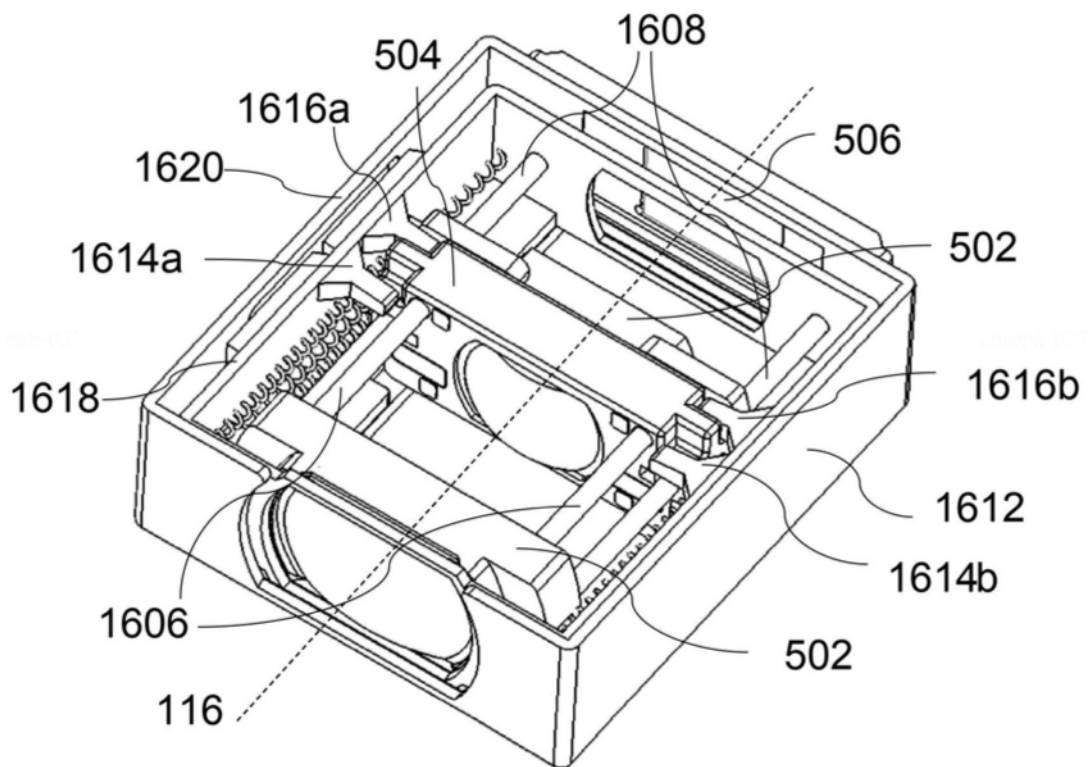


图16B

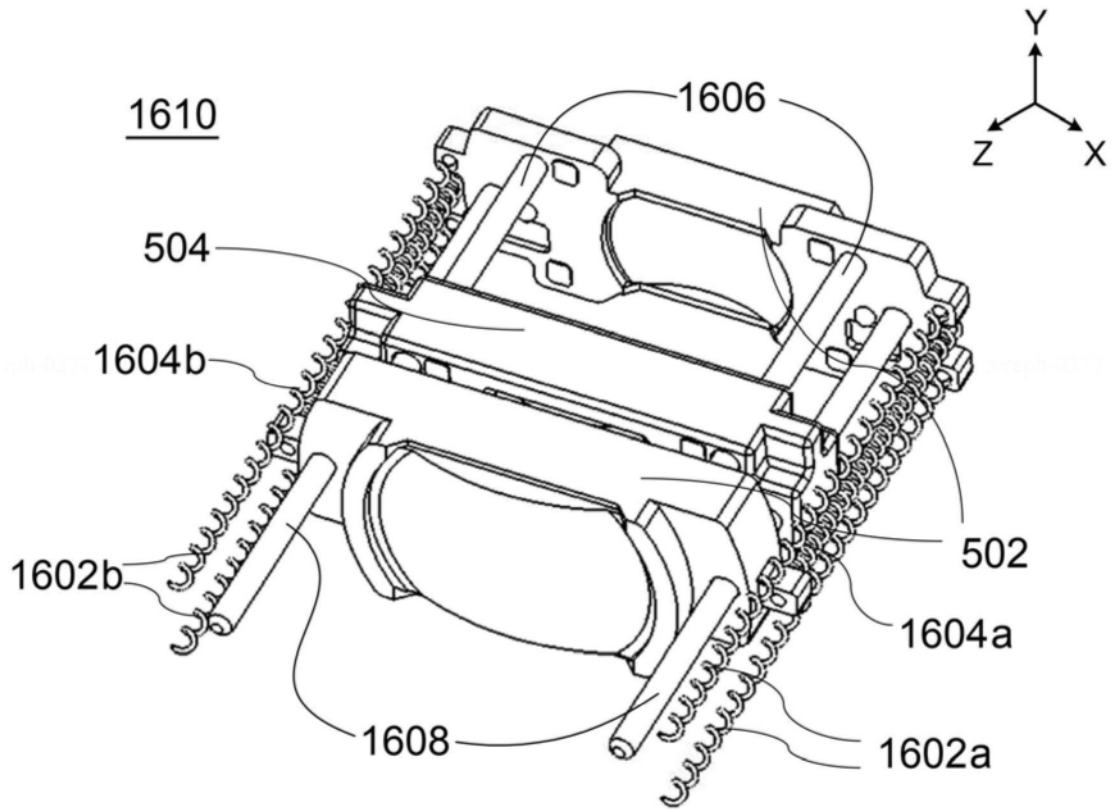


图16C

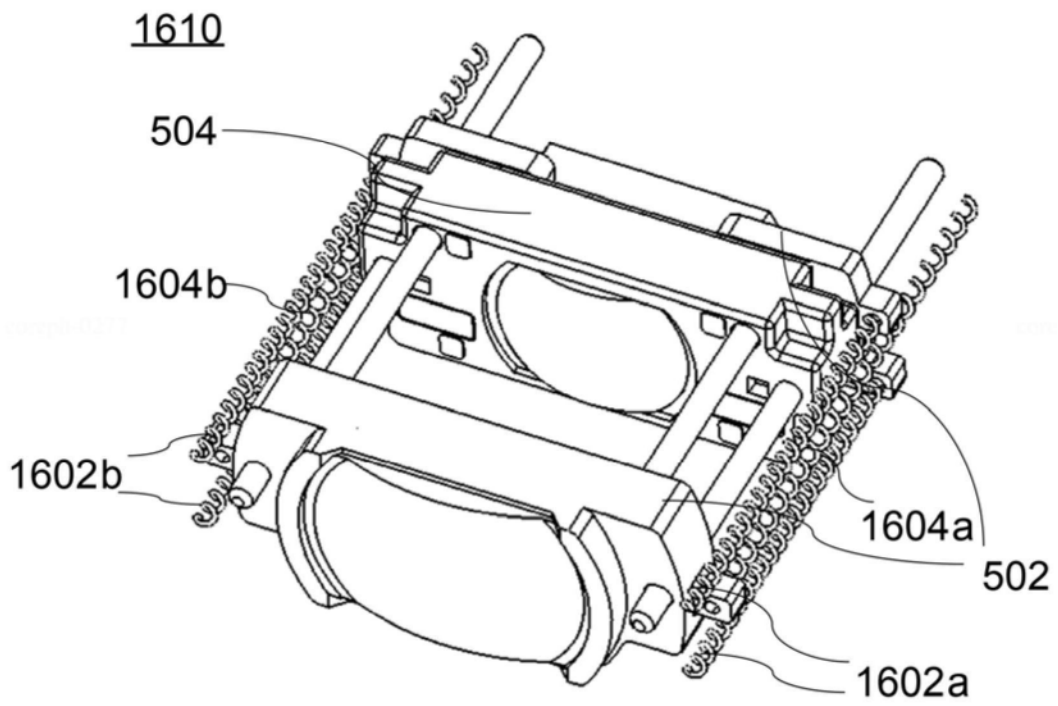


图16D

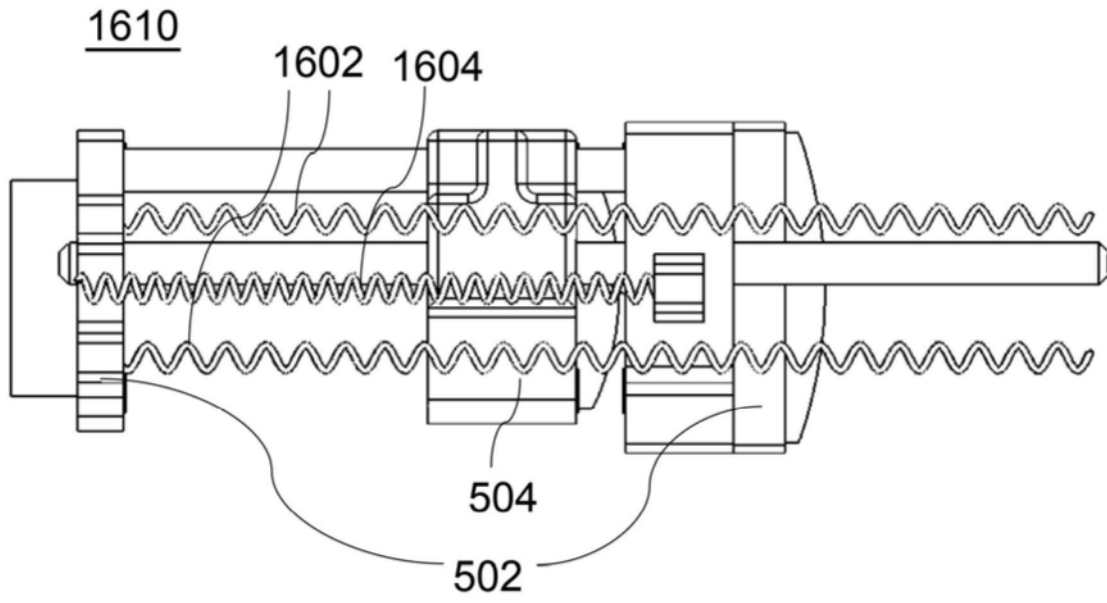


图16E

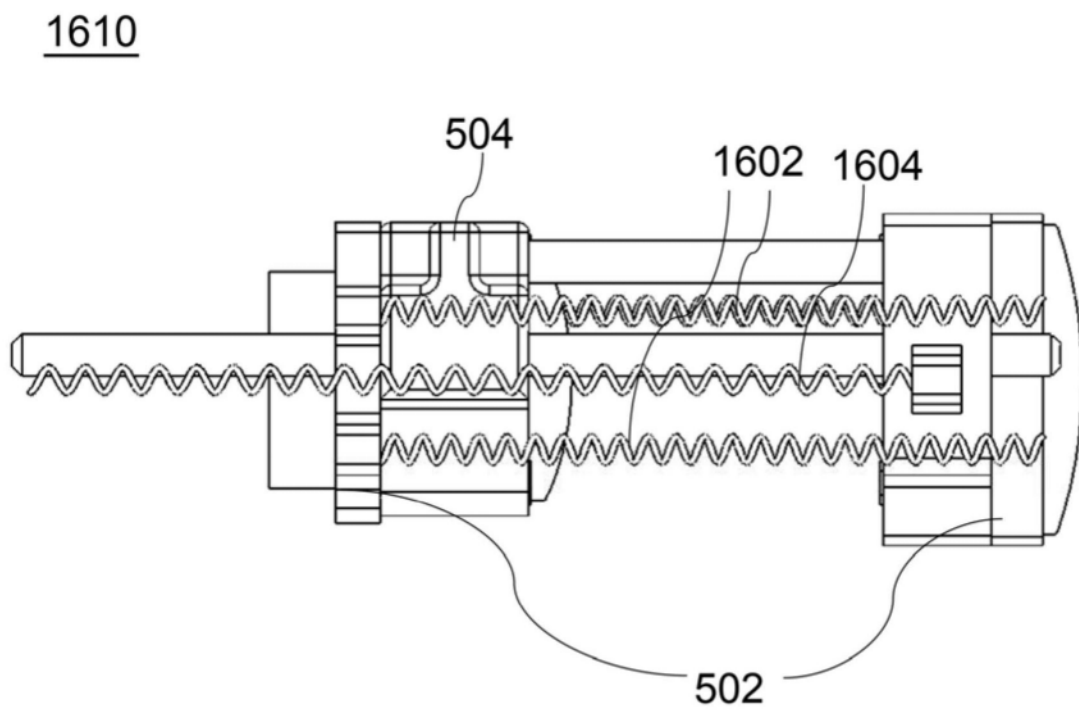


图16F

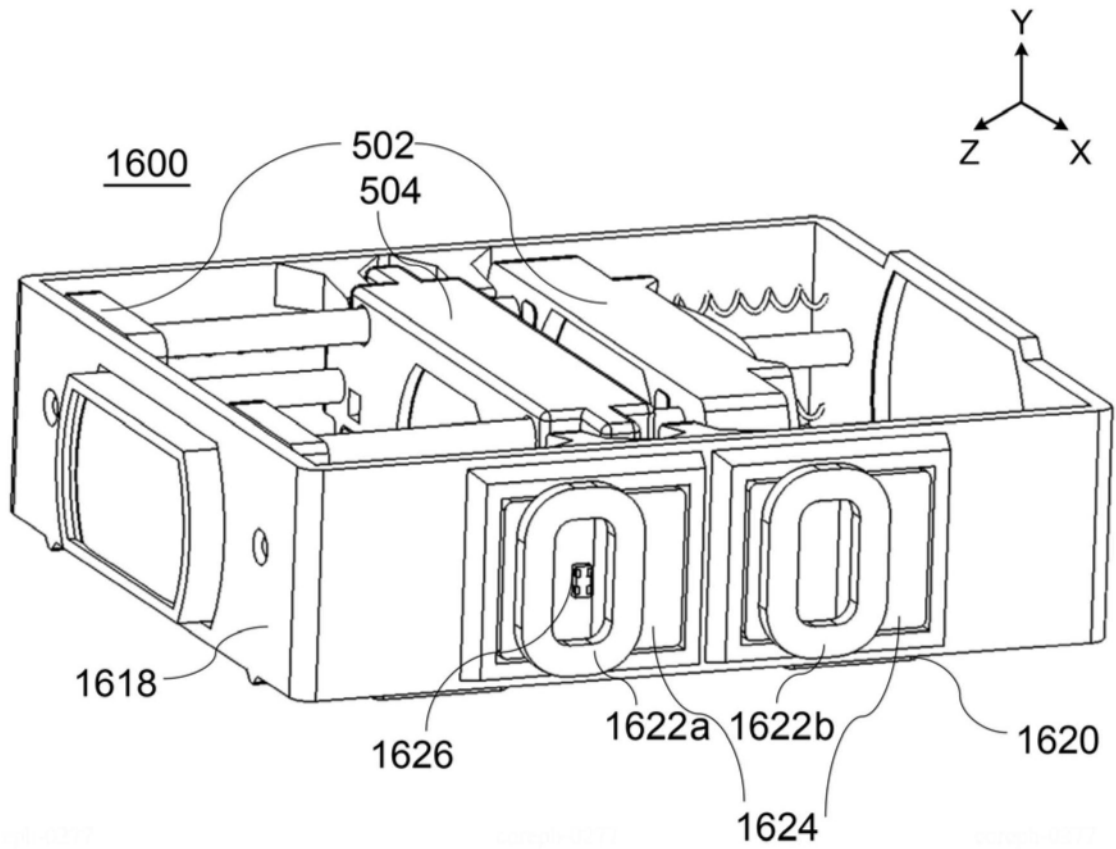


图16G

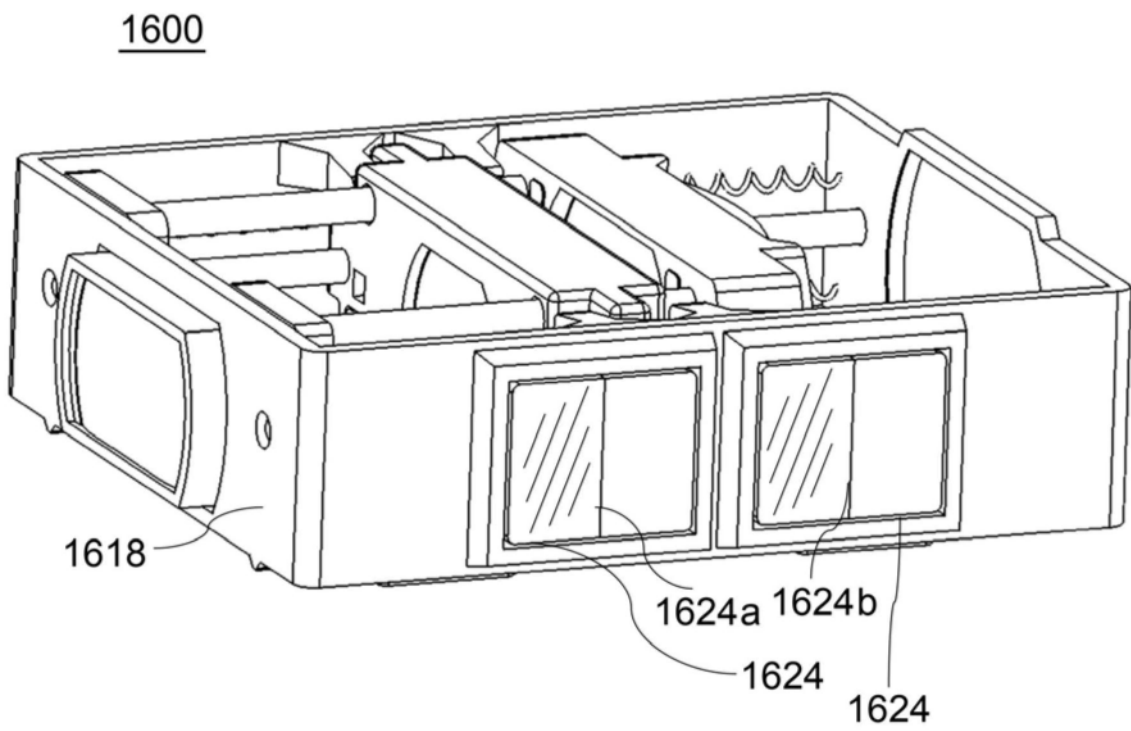


图16H

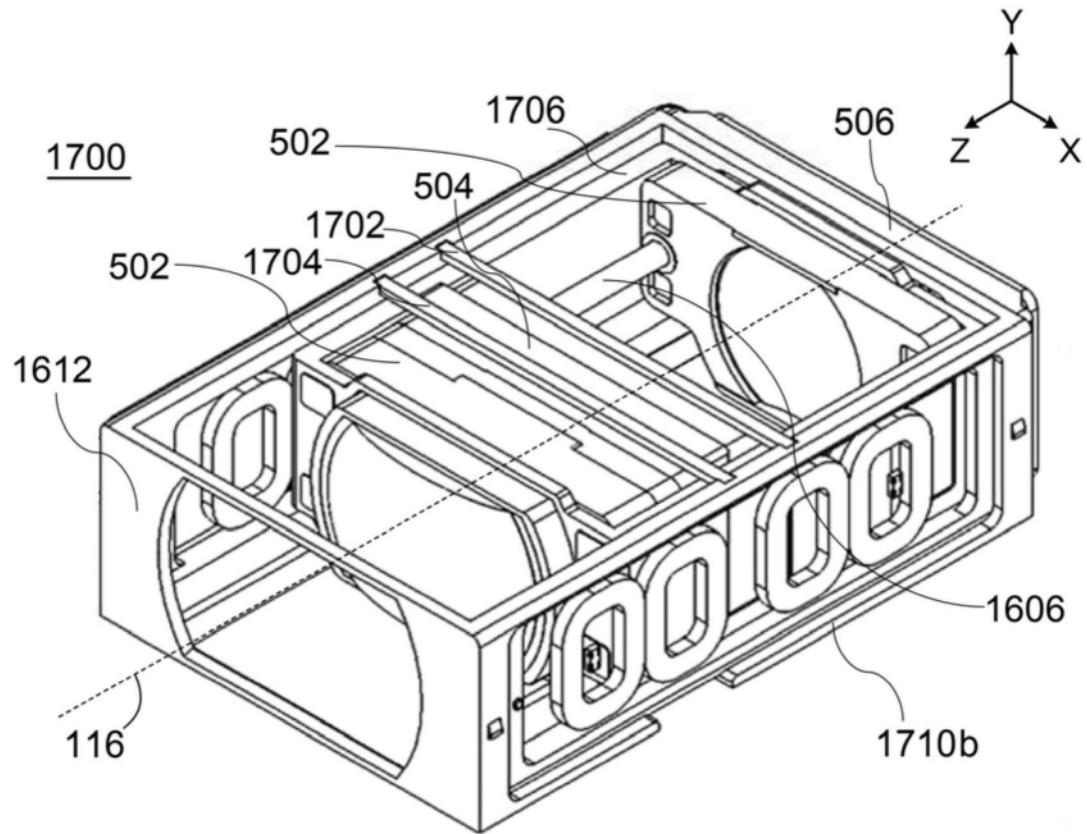


图17A

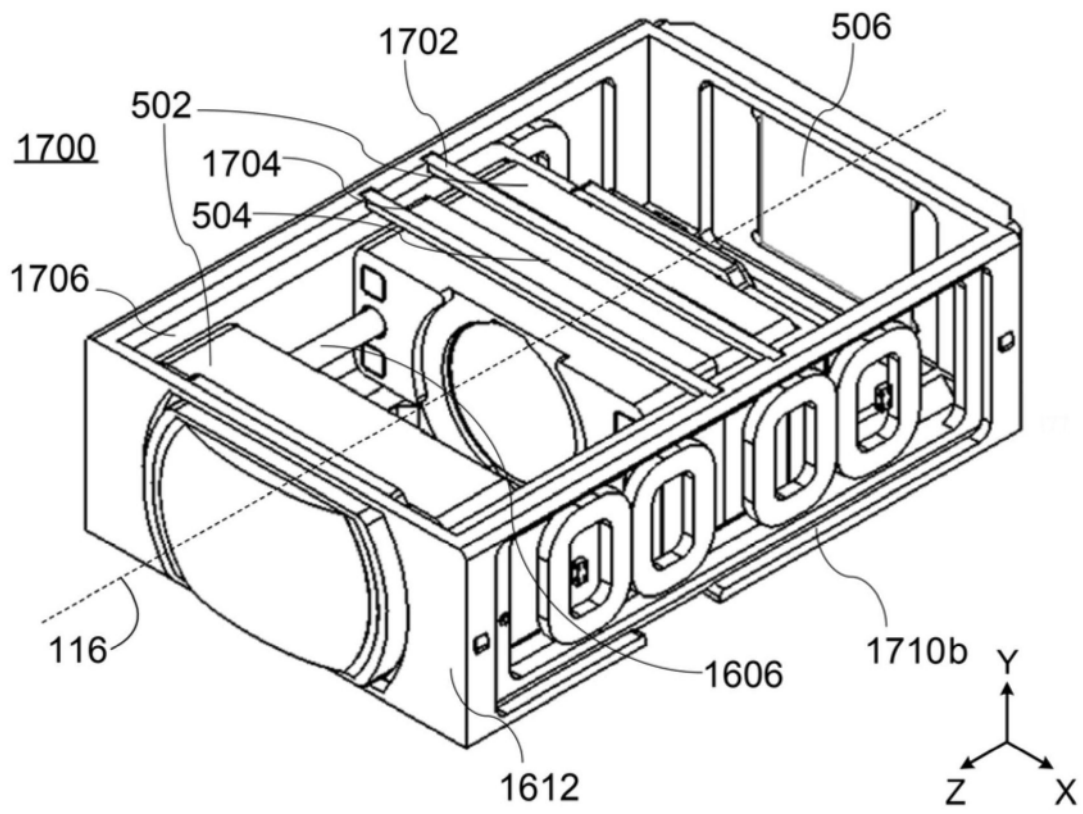


图17B

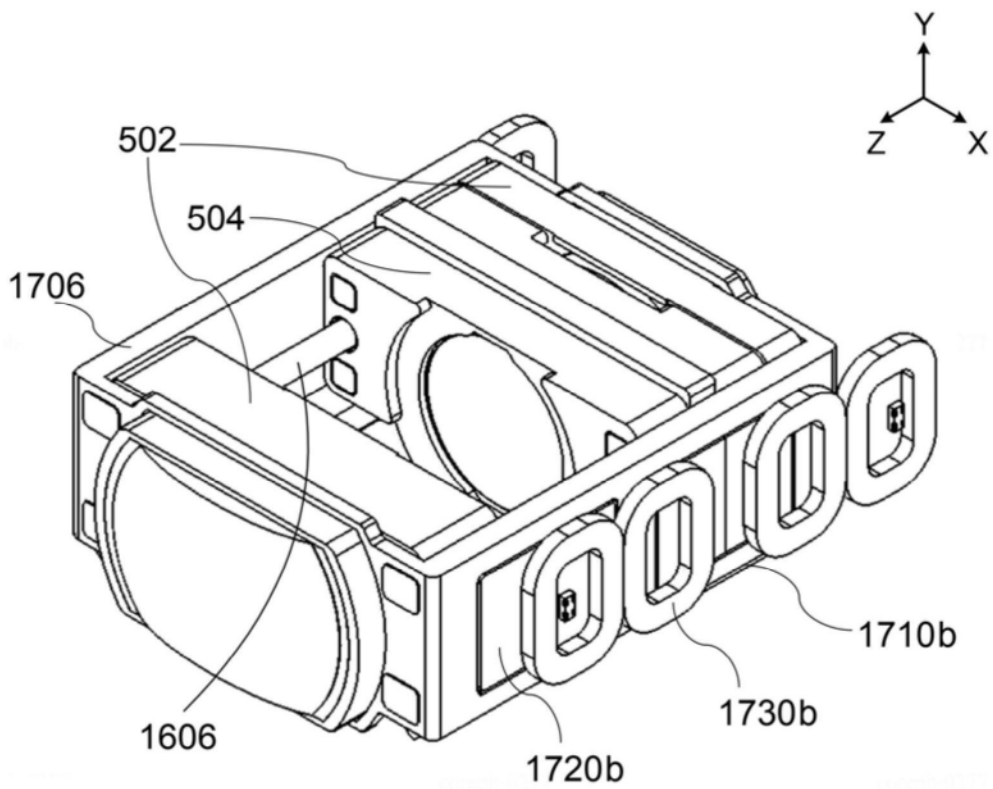


图17C

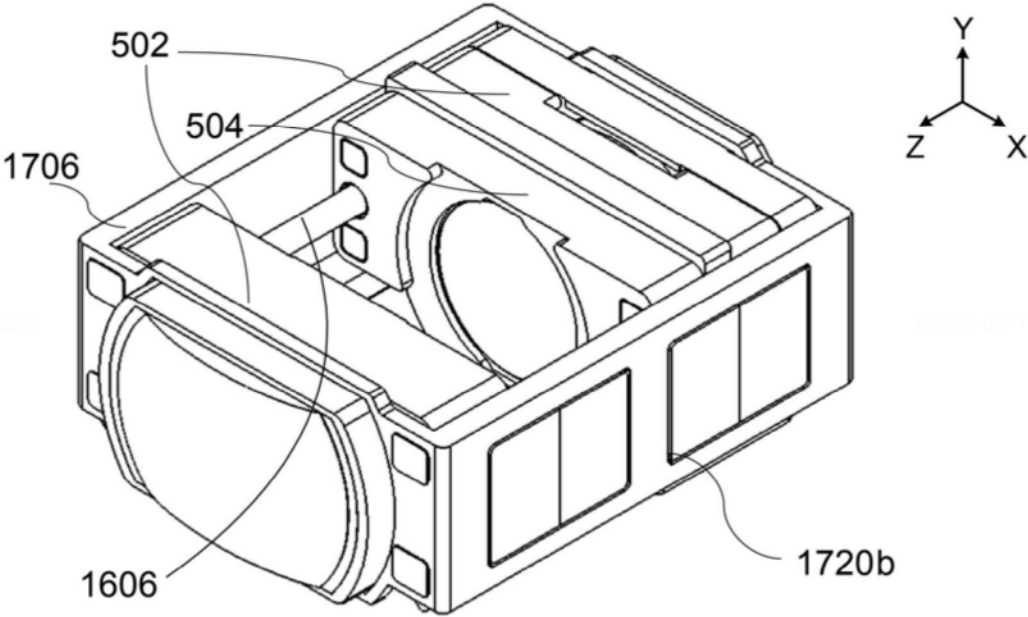


图17D

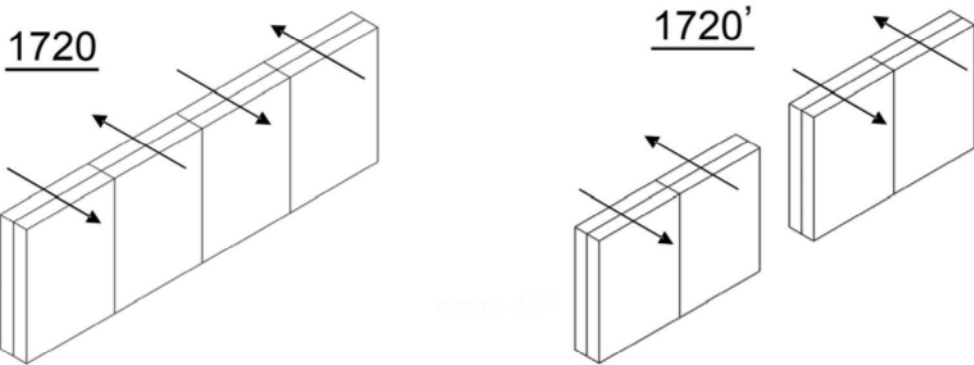


图17E

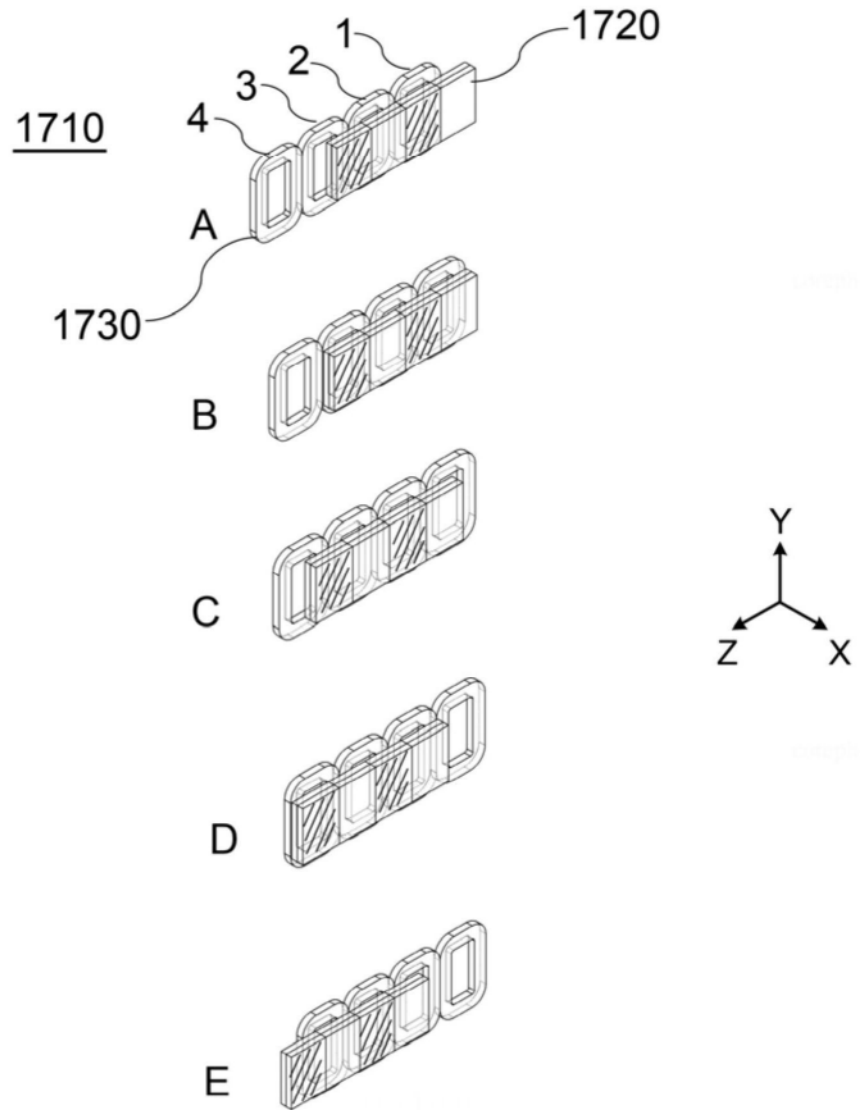


图17F

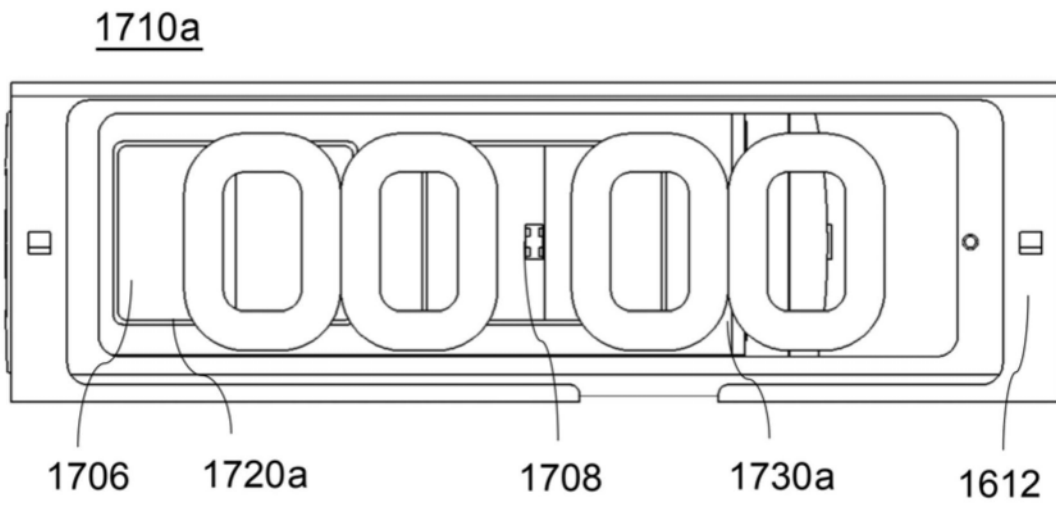


图17G

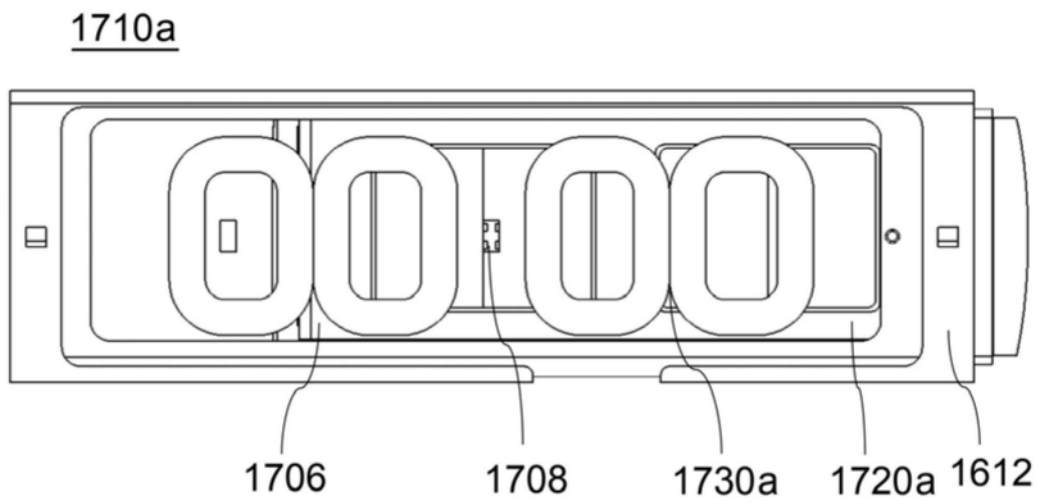


图17H

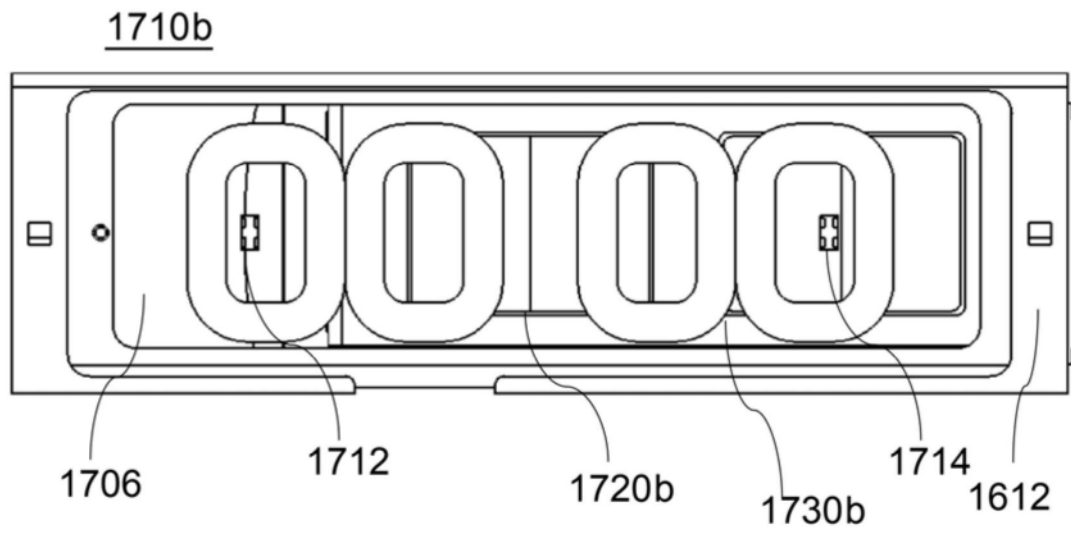


图17I

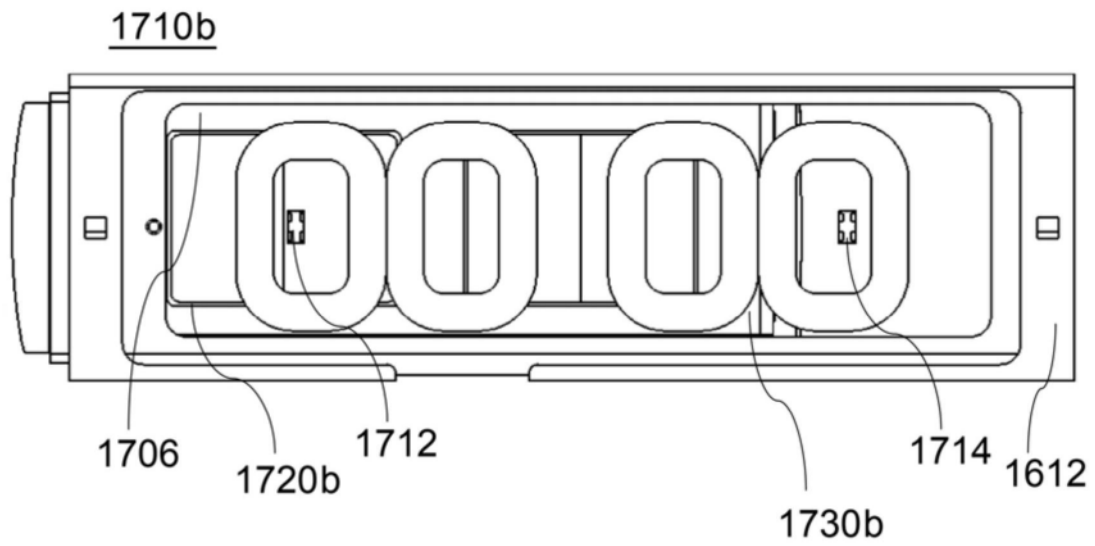


图17J

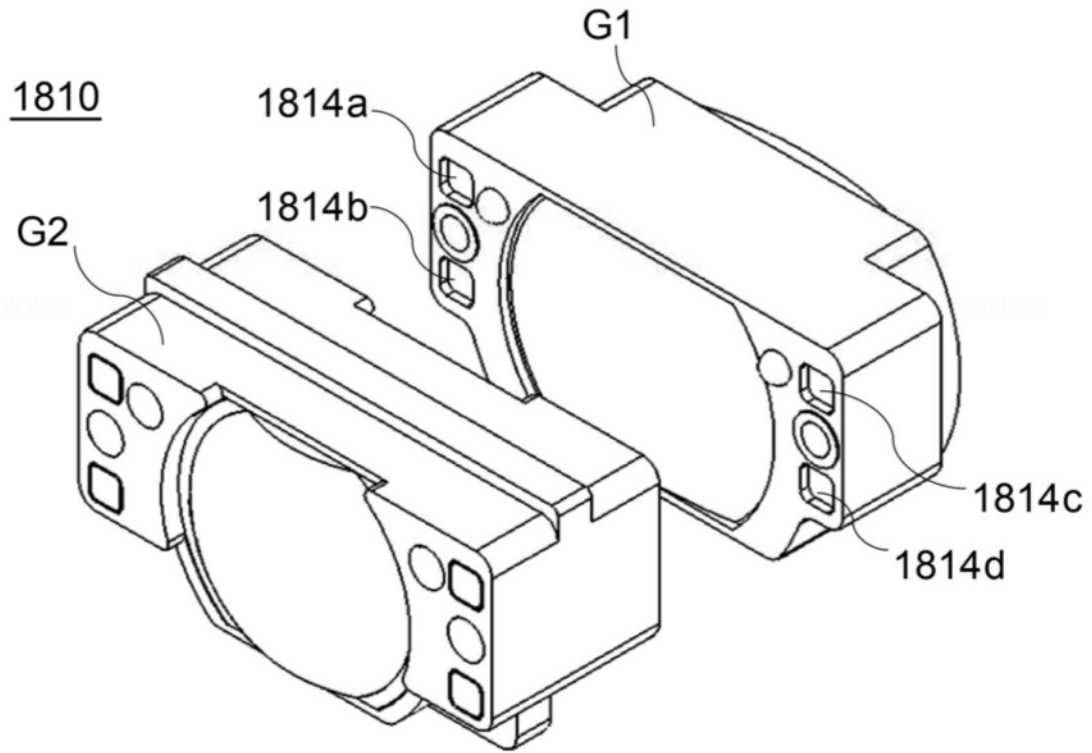


图18A

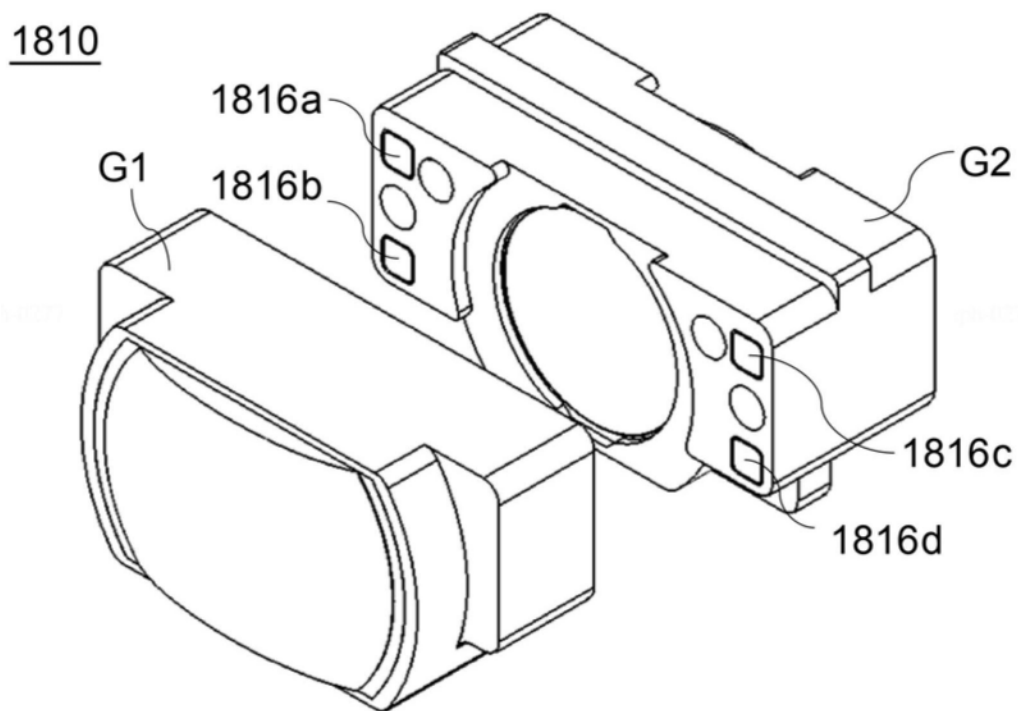


图18B

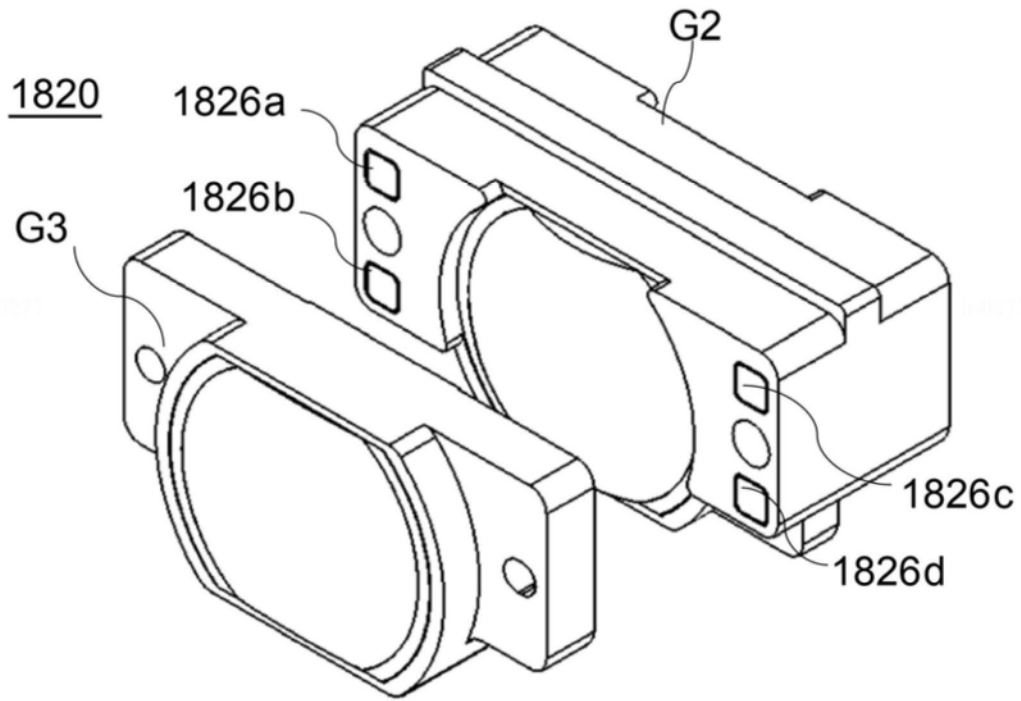


图18C

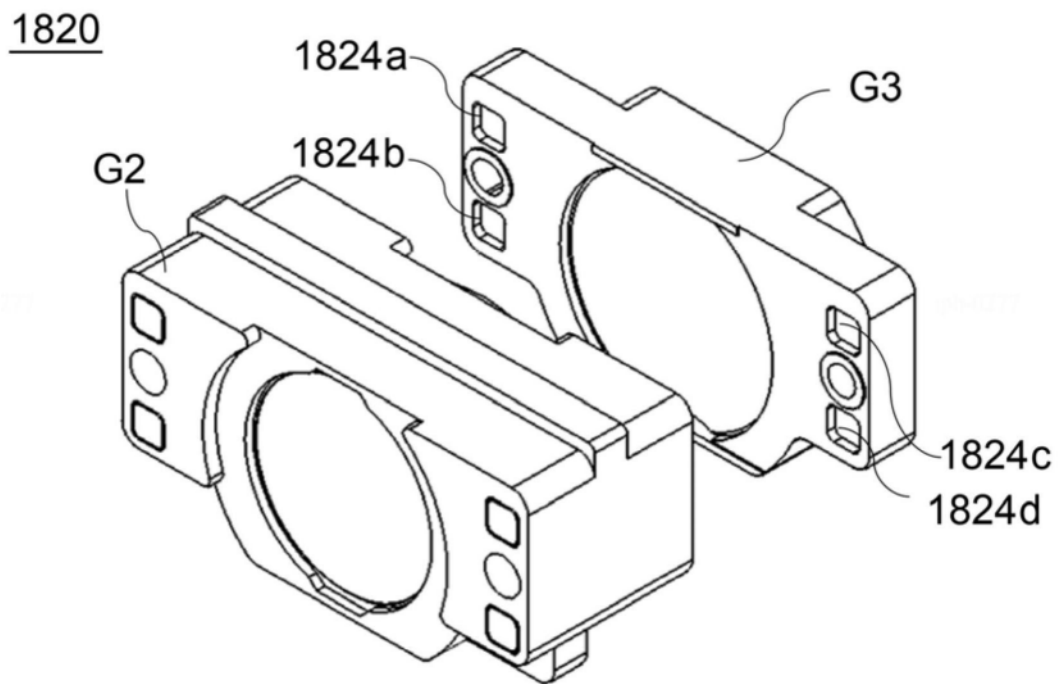


图18D

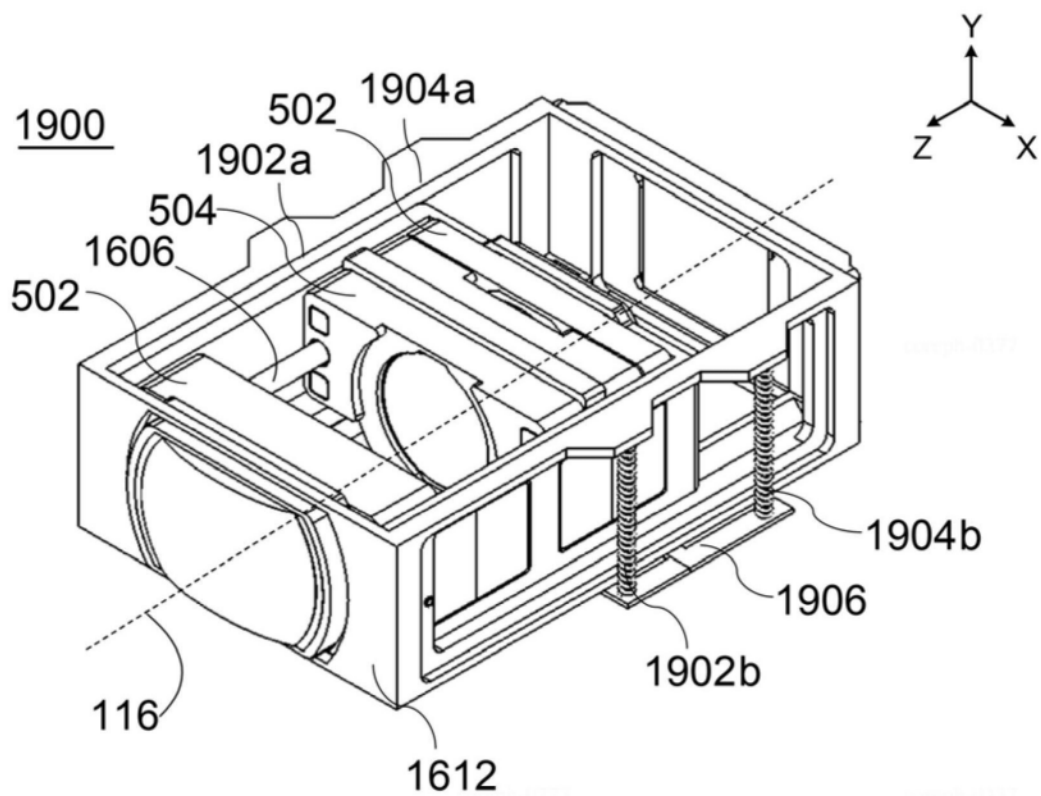


图19A

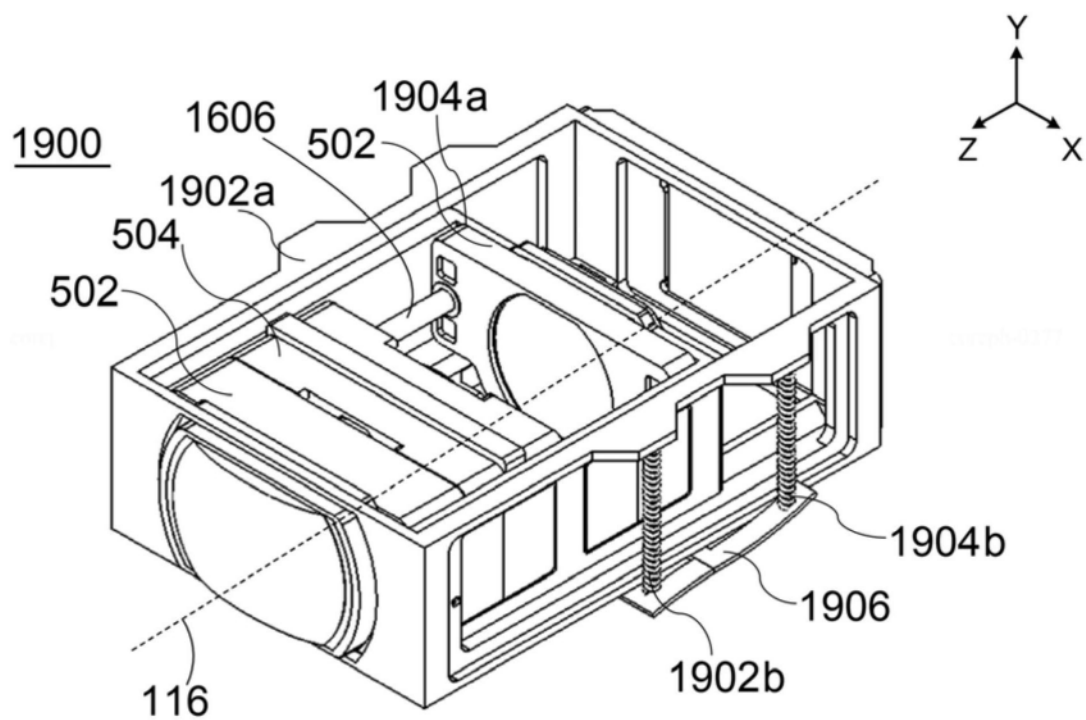


图19B

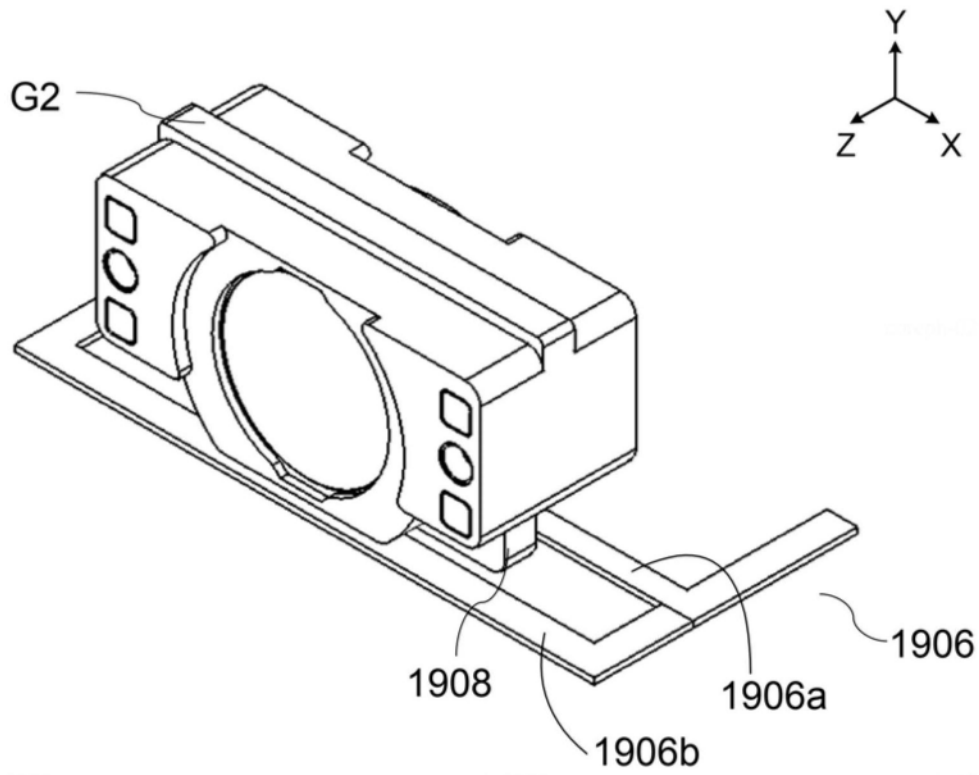


图19C

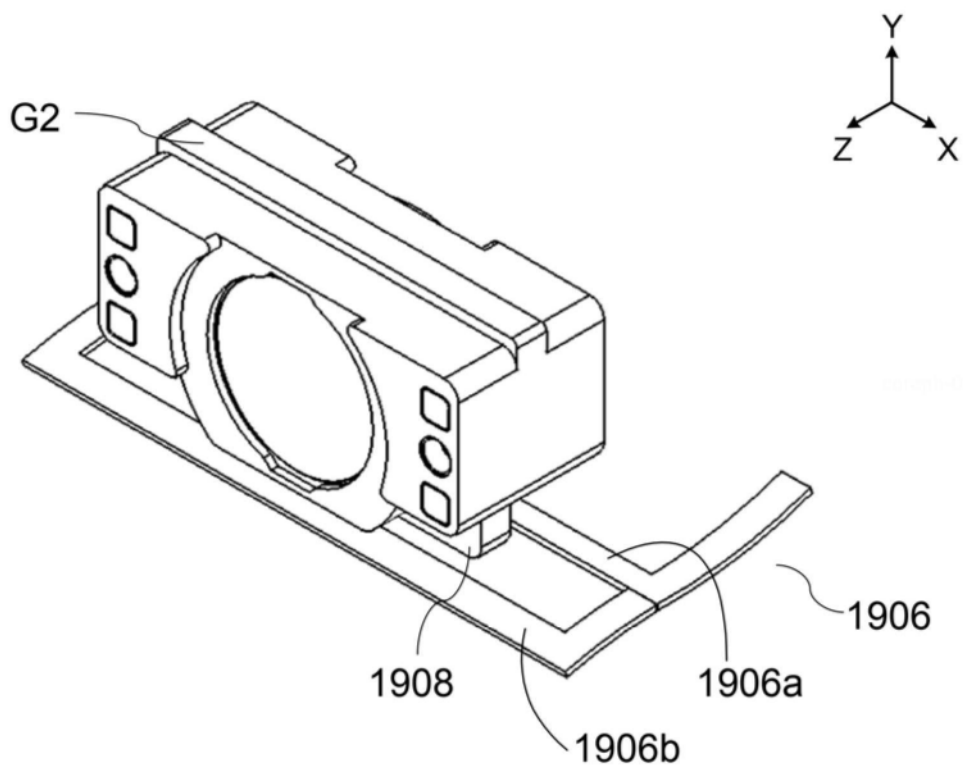


图19D