



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102870030 B

(45) 授权公告日 2015. 04. 08

(21) 申请号 201180020318. 0

G03F 7/20(2006. 01)

(22) 申请日 2011. 04. 02

(56) 对比文件

(30) 优先权数据

61/326, 700 2010. 04. 22 US

JP 特开 2001-185480 A, 2001. 07. 06, 全文.

WO 2009/089999 A1, 2009. 07. 23, 全文.

WO 2010/006678 A1, 2010. 01. 21, 全文.

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012. 10. 22

Alexander V. Goncharov 等. 《Future

Giant Telescopes: Integration of MCAO into Telescope Design》. 《Proc. of SPIE》. 2008, 第

7100 卷全文.

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2011/001671 2011. 04. 02

(87) PCT国际申请的公布数据

W02011/131289 EN 2011. 10. 27

审查员 李飞

(73) 专利权人 卡尔蔡司 SMT 有限责任公司

地址 德国上科亨

(72) 发明人 H-J. 曼 D. 谢弗

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 邱军

(51) Int. Cl.

G02B 17/06(2006. 01)

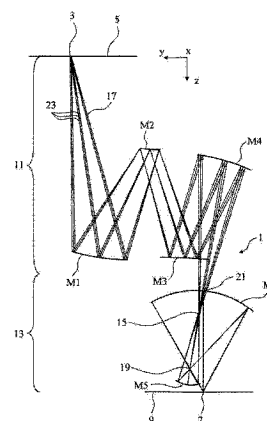
权利要求书2页 说明书15页 附图9页

(54) 发明名称

成像光学系统和具有这种成像光学系统的用于微光刻的投射曝光设备

(57) 摘要

一种成像光学系统(1), 其具有多个反射镜(M1-M6), 该多个反射镜(M1-M6) 将物平面(5) 中的物场(3) 成像至像平面(9) 中的像场(7), 该成像光学系统包括第一部分物镜(11) 和第二部分物镜(13), 第一部分物镜(11) 将物场成像至中间像(15) 上, 第二部分物镜(13) 将中间像成像至像场上, 并包括物场和像场之间的成像光线(17) 的光路中的倒数第二个反射镜(M5)、以及该光路中的最后一个反射镜(M6)。这里, 倒数第二个反射镜(M5) 将中间像成像至另一中间像(19) 上, 且最后一个反射镜将该另一中间像成像至像场上。



1. 一种成像光学系统 (1,501,601,701,801), 其具有多个反射镜 (M1-M6, M501-506, M601-606, M701-706, M801-806), 所述多个反射镜将物平面 (5,505,605,705,805) 中的物场 (3,503,603,703,803) 成像至像平面 (9,509,609,709,809) 中的像场 (7,507,607,707,807), 所述成像光学系统包括:

第一部分物镜 (11,511,611,711,811), 其将所述物场成像至中间像 (15,515,615,715,815) 上, 以及

第二部分物镜 (13,513,613,713,813), 其将所述中间像成像至所述像场上, 并包含所述物场和所述像场之间的成像光 (17,517,617,717,817) 的光路中的倒数第二个反射镜 (M5, M505, M605, M705, M807)、以及所述光路中的最后一个反射镜 (M6, M506, M606, M706, M808),

其特征在于:

所述成像光学系统被设计为用于微光刻的投射物镜 (907),

所述倒数第二个反射镜 (M5, M505, M605, M705, M807) 将所述中间像成像至另一中间像 (19,519,619,719,819) 上, 且

所述最后一个反射镜将所述另一中间像成像至所述像场上。

2. 如权利要求 1 所述的成像光学系统, 其中所述最后一个反射镜 (M6, M506, M606, M706, M808) 具有用于所述成像光通过的通孔 (21,521,621,721,821)。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的成像光学系统 (1,501), 其中所述光路中的所述倒数第二个反射镜 (M5, M505) 的反射表面在所述倒数第二个反射镜的光学使用区域内不具有用于所述成像光 (17,517) 通过的通孔。

4. 如权利要求 3 所述的成像光学系统, 其中所述倒数第二个反射镜 (M5, M505) 布置在所述最后一个反射镜 (M6, M506) 和所述像场 (7,507) 之间的成像光束之外。

5. 如权利要求 3 所述的成像光学系统, 其中所述倒数第二个反射镜具有外直径和离开所述像平面 (9,509) 的工作距离 (27), 并且其中所述外直径与所述工作距离的比率小于 5。

6. 如权利要求 3 所述的成像光学系统, 其中所述倒数第二个反射镜 (M5, M505) 具有外直径, 且所述最后一个反射镜 (M6, M506) 具有外直径, 并且

其中所述倒数第二个反射镜的外直径小于所述最后一个反射镜的外直径。

7. 如权利要求 1 或 2 所述的成像光学系统 (601,701,801), 其中所述光路中的所述倒数第二个反射镜 (M605, M705, M807) 的反射表面在所述倒数第二个反射镜的光学使用区域内具有用于所述成像光 (617,717,817) 通过的通孔 (635,735,835)。

8. 如权利要求 1 或 2 所述的成像光学系统 (1,501), 其中至少一个反射镜 (M1-M6, M501-506) 的反射表面被设计为自由形状表面, 该自由形状表面能够由非旋转对称函数描述。

9. 如权利要求 1 或 2 所述的成像光学系统, 其中所述第一部分物镜 (11,511,611,711) 包含四个反射镜 (M1-M4, M501-M504, M601-604, M711-704)。

10. 如权利要求 1 或 2 所述的成像光学系统, 其中所述成像光学系统为反射式物镜。

11. 如权利要求 1 或 2 所述的成像光学系统, 其中在所述像平面中的数值孔径至少为 0.3。

12. 一种用于微光刻的投射曝光设备 (901),

- 具有如权利要求 1-11 中的任一项所述的投射物镜 (907),
- 具有用于产生照明光 (903) 的光源 (902), 以及
- 具有用于引导所述照明光直到所述投射物镜的物场 (904) 的照明光学系统 (906)。

13. 如权利要求 12 所述的投射曝光设备, 其中所述光源被设计用于产生具有在 5 和 30nm 之间的波长的照明光。

14. 一种用于制造结构化元件的方法, 其具有以下方法步骤:

- 设置掩模母版和晶片,
- 借助于如权利要求 12 或 13 中所述的投射曝光设备, 将所述掩模母版上的结构投射至所述晶片的光敏层上, 以及
- 在所述晶片上制造微结构。

成像光学系统和具有这种成像光学系统的用于微光刻的投射曝光设备

技术领域

[0001] 本发明涉及具有多个反射镜的成像光学系统,所述多个反射镜将物平面中的物场成像至像平面中的像场中。此外,本发明涉及具有这种光学系统的投射曝光设备,并涉及借助于这种投射曝光设备制造微结构元件的方法。

背景技术

[0002] 由 US 2006/0232867A1 和 US 2008/0170310A1 可获知开始提及类型的成像光学系统。该类型成像光学系统包含第一部分物镜和第二部分物镜,第一部分物镜将物场成像至中间像上,第二部分物镜将中间像成像至像场上。该情况中的第二部分物镜包含物场和像场之间的成像光的光路中的倒数第二个反射镜,以及该光路中的最后一个反射镜。

发明内容

[0003] 本发明的目的是减少最后一个反射镜的直径。

[0004] 该目的通过具有多个反射镜的成像光学系统实现,该多个反射镜将物平面中的物场成像至像平面中的像场中。成像光学系统包含将物场成像至中间像上的第一部分物镜和将中间像成像至像场上的第二部分物镜。第二部分物镜包含物场和像场之间的成像光的光路中的倒数第二个反射镜、以及光路中的最后一个反射镜。在该情况中,倒数第二个反射镜和最后一个反射镜被设计为使得倒数第二个反射镜将中间像成像至另一中间像上,且最后一个反射镜将另一中间像成像至像场上。

[0005] 由于成像光学系统被设计为使得另一中间像位于在倒数第二个反射镜和最后一个反射镜之间的光路中的事实,最后一个反射镜的直径可被减小。由于另一中间像,与在倒数第二个和最后一个反射镜之间没有中间像的成像光学系统相比,为了使用最后一个反射镜将中间像成像至像场上,必须增加最后一个反射镜的光学折射能力并因而增加曲率。最后一个反射镜更强的曲率导致弧矢(sagitta)的增大,特别是在反射镜的边缘处。因此,降低最后一个反射镜的直径。

[0006] 在该成像光学系统的情况中,物平面和像平面位于离成像光学系统有限距离的位置处。当物平面和最接近物平面的光学元件之间的距离,或像平面和位于接近像平面的光学元件之间的距离小于 5m 时,该距离被认为是有限的。

[0007] 该申请含义中的中间像被理解为物场的实像,其不是像场,而是被另一次成像(imaging)首先成像至像场中。

[0008] 该申请含义中的部分物镜被理解为一个或多个光学元件的布置,该布置将成像光学系统的物场成像至中间实像,或将中间实像成像至另一中间实像,或将中间实像成像至成像光学系统的像场上。从而,在部分物镜的情况中,成像光学系统的中间像为部分物镜的物场,或部分物镜的像场,或部分物镜的物场和像场二者。在此情况中,部分物镜继而可包含两个或更多的部分物镜。因为第二部分物镜包括在第二部分物镜的两个反射镜之间的中

间像,所以第二部分物镜继而包含两个部分物镜。一个部分物镜包含倒数第二个反射镜,而另一个部分物镜包含最后一个反射镜。

[0009] 这里,最后一个反射镜为布置在像平面直接上游的光路中的反射镜,而倒数第二个反射镜为布置在最后一个反射镜直接上游的光路中的反射镜。

[0010] 倒数第二个反射镜具有正光学折射能力,以便将中间像成像至另一中间像。在一个实施例中,倒数第二个反射镜被设计为凹反射镜。

[0011] 最后一个反射镜同样具有正光学折射能力,以便将另一中间像成像至像场上。在一个实施例中,最后一个反射镜被设计为凹反射镜。

[0012] 在一个实施例中,最后一个反射镜具有用于成像光通过的通孔。从而,与具有无通孔的最后一个反射镜的成像光学系统相比,像场中的数值孔径可增加。特别是,如果最后一个反射镜没有用于成像光的通孔,则必须将光路引导越过(past)最后一个反射镜。数值孔径的增加将导致倒数第二个反射镜和最后一个反射镜上的光线的入射角增大。在最后一个反射镜的光学使用区域内的通孔具有最后一个反射镜不反射全部成像光束的效果。依照通孔的尺寸,出现光瞳照明的遮挡,即所谓的光瞳遮挡。该情况中,光学使用区域为反射镜被成像光照射的区域。

[0013] 在一个实施例中,倒数第二个反射镜在其光学使用区域内不具有用于成像光通过的通孔。这不排除倒数第二个反射镜在光学使用区域外具有用于成像光通过的通孔。特别是,出于机械的理由,增大倒数第二个反射镜在光学使用区域之外的物理范围是有利的。这可导致在倒数第二个反射镜的光学使用区域之外需要用于成像光通过的通孔。

[0014] 在一个实施例中,倒数第二个反射镜布置在最后一个反射镜和像场之间的成像光束之外。成像光束包含从整个物场发出并完全充满成像光学系统的孔径光阑的所有光线。

[0015] 如果倒数第二个反射镜在其光学使用区域内不具有用于成像光的通过的通孔,且倒数第二个反射镜被布置在最后一个反射镜和像场之间的成像光束之外,则倒数第二个反射镜对光瞳遮挡不施加影响。

[0016] 此外,因此在倒数第二个反射镜和像平面之间可获得充分大的工作距离。在一个实施例中,倒数第二个反射镜的外直径与在倒数第二个反射镜和像平面之间的工作距离的比率小于 5。反射镜的外直径被定义为圆的直径,该圆一方面包围反射镜上的光学使用区域,并且另一方面具有最小的直径。光学使用区域包含成像光束的所有光线在反射镜上的入射点。反射镜的工作距离被定义为从像平面到反射镜表面上的点的最小距离,垂直于像平面测量该距离。如果倒数第二个反射镜的外直径与在倒数第二个反射镜和像平面之间的工作距离的比率具有大于 5 的值,则由于反射镜过分小的厚度而存在倒数第二个反射镜将变得不稳定的风险。

[0017] 在一个实施例中,倒数第二个反射镜的外直径与在倒数第二个反射镜和像平面之间的工作距离的比率小于 2。

[0018] 在一个实施例中,倒数第二个反射镜的外直径小于最后一个反射镜的外直径。在该情况中,第二部分物镜导致中间像和像场之间的数值孔径的增加。这使在第一部分物镜中的数值孔径和在第二部分物镜中的数值孔径能够在两步中增加。

[0019] 在另一实施例中,倒数第二个反射镜具有在倒数第二个反射镜的光学使用区域内的用于成像光通过的通孔。例如,当倒数第二个反射镜和最后一个反射镜具有共同的对称

轴(两个反射镜表面的数学描述关于该轴旋转对称)时,出现该构造。在最后一个反射镜处反射的成像光在至像平面的光路上通过在倒数第二个反射镜中的通孔。

[0020] 至少一个反射镜或成像光学系统可具有被设计为自由形状表面,该自由形状表面不能由旋转对称函数描述。

[0021] 从 US 2007/0058269 A1 已知用于微光刻的投射曝光设备的投射物镜的反射镜的反射表面的这种自由形状表面。他们例如可由旋转对称的基准面产生。

[0022] 可通过以下等式数学地描述自由形状表面:

$$Z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_{j=2}^N \frac{C_j}{R_{norm}^{n+m}} X^m Y^n \quad (1)$$

[0024] 其中适用的是:

$$j = \frac{(m+n)^2 + m + 3n}{2} + 1 \quad (2)$$

[0026] Z 是自由形状表面在点 X, Y ($X^2 + Y^2 = r^2$) 处的弧高(sagitta)。

[0027] r 是局部表面坐标系的径向距离。

[0028] c 是与顶点曲率对应的常数。

[0029] K 对应于圆锥常数。

[0030] C_j 是单项式 $X^m Y^n$ 的系数。

[0031] R_{norm} 是用于系数的归一化因子。

[0032] 典型地基于成像光学系统内的反射镜的期望光学特性,确定 c、k 和 C_j 的值。单项式的次数 m+n 可随意变化。更高次单项式可导致具有较好像差校正的成像光学系统的设计,但是计算更复杂,可假定 m+n 的值在 3 和大于 20 之间。

[0033] 自由形状表面也可由泽尼克(Zernike)多项式来数学地描述,泽尼克多项式例如在光学设计软件 CODE V[®]的手册中被解释。替代地,自由表面可借助于二维样条表面描述,其示例为贝塞尔曲线(Bezier curves)或非均匀有理 B 样条(NURBS)。二维样条表面例如可由在 xy 平面中的点的网络和关联的 z 值来描述,或由这些点和与其关联的梯度描述。依赖于样条面的相应类型,例如利用连续性和可微分性具有特殊性质的多项式或函数在网络点之间插值来获得完整表面。

[0034] 自由形状表面优选地离旋转对称的表面具有至少成像光的波长的绝对值的最大偏差,该旋转对称的表面不需要与最适合于自由形状表面的设计基准面一致。在使用 EUV 波长(即 5nm 至 30nm 的波长)的照明的情况中,该偏差至少为几个 10nm,例如 50nm。例如 100nm、500nm、1 μm 的较大偏差或者甚至在毫米范围中的更大偏差也是可能的。当使用具有较大波长的成像光的系统时,甚至更高的偏差仍是可能的。

[0035] 在该情况中,可以设计成像光学系统的单个反射镜为自由形状表面,或设计成像光学系统的多个或者全部反射镜为自由形状表面。

[0036] 自由形状表面、而不是具有旋转对称轴的反射表面的使用产生新的设计自由度,且这产生具有使用旋转对称反射表面不能实现的特性的组合的成像光学系统。自由形状表面的使用提供了实现具有小像差以及特别是高光通过量的紧凑成像光学系统的可能,这正好用于在最后一个反射镜中具有通孔的成像光学系统。由于自由形状表面的使用,可实现在光学使用区域内没有用于成像光通过的通孔的倒数第二个反射镜,这是因为倒数第二个

反射镜以偏心方式布置。

[0037] 在一个实施例中,中间像布置在最后一个反射镜的通孔的附近,其意味着通孔具有小的范围。最后,这在成像光束照射到最后一个反射镜时,导致成像光束的小遮挡。对于最后一个反射镜是唯一具有通孔的反射镜的情况,通孔的范围与最后一个反射镜的范围的比率大致确定光瞳遮挡的尺寸。

[0038] 在一个实施例中,第一部分物镜包含四个反射镜。

[0039] 在一个实施例中,在从物场至中间像的光路中的第一个反射镜具有正的光学折射能力,光路中的第三个反射镜具有负的光学折射能力,且光路中的第四个反射镜具有正的光学折射能力。

[0040] 在一个实施例中,成像光学系统精确地具有六个反射镜。

[0041] 反射镜的数量影响成像光学系统的光传输率。反射镜的数量越小,成像光学系统的光传输率越大。对于 EUV 波长的情况中的成像光学系统,这在特定的程度上是正确的,因为当光垂直入射或大致垂直入射时,EUV 反射镜的反射率大约为至多 70%。

[0042] 在一个实施例中,成像光学系统为反射式物镜。从而,专门(exclusively)使用用作成像光学元件的反射镜。反射式物镜特别适合于没有透明光学材料可用的波长的成像光。

[0043] 在一个实施例中,在所有反射镜上的所有光线关于光线入射点的位置处的表面法线具有小于 45° 的入射角。

[0044] 至少 0.3 的像平面中的数值孔径确保了成像光学系统的高分辨率。

[0045] 在一个实施例中,数值孔径至少为 0.4。

[0046] 在一个实施例中,数值孔径至少为 0.5。

[0047] 可通过增加反射镜的数量或使用非球面或自由形状表面而增加设计自由度来实现高达 0.8 的数值孔径。

[0048] 在一个实施例中,物场是矩形的。这特别是在使用成像光学系统作为投射曝光设备中的投射物镜时,使工艺管理便利了。特别地,这种矩形场可通过使用非旋转对称的自由形状表面作为成像光学系统的反射镜的反射表面来实现。像场在短侧可具有在 2mm 和 6mm 之间的宽度,并且在长侧具有在 12mm 和 26mm 之间的长度。

[0049] 在另一实施例中,物场也可具有环形场段(segment)的形状。只要当所有光学元件的光学表面可由关于穿过的光轴旋转对称的数学函数描述时,这都是有利的。

[0050] 当成像光学系统被用于微光刻的投射物镜时,成像光学系统的优点表现得特别好。

[0051] 具有本发明的成像光学系统作为投射物镜的本发明的投射曝光设备的优点对应于上面参考成像光学系统所提及的优点。

[0052] 投射曝光设备的光源可被设计为产生具有在 5nm 和 30nm 之间的波长的 EUV 照明光。

[0053] 相应的优点适用于本发明的制造方法和由此制造的微结构元件。

附图说明

[0054] 借助于附图,下面更详细地说明本发明,其中:

[0055] 图 1 以子午截面示出了具有倒数第二个反射镜的成像光学系统的实施例,该倒数第二个反射镜没有通孔;

[0056] 图 2 以弧矢截面示出了图 1 的实施例;

[0057] 图 3 示出了来自图 1 的子午截面的细节图;

[0058] 图 4 示出了在图 1 的实施例的倒数第二个反射镜上的照明区域、和用于确定倒数第二个反射镜的外直径的辅助圆;

[0059] 图 5 以子午截面示出了具有倒数第二个反射镜的成像光学系统的另一实施例,该倒数第二个反射镜没有通孔;

[0060] 图 6 以子午截面示出了具有倒数第二个反射镜的成像光学系统的实施例,该倒数第二个反射镜具有通孔;

[0061] 图 7 以子午截面示出了具有倒数第二个反射镜的成像光学系统的另一实施例,该倒数第二个反射镜具有通孔;

[0062] 图 8 以子午截面示出了具有倒数第二个反射镜的成像光学系统的另一实施例,该倒数第二个反射镜具有通孔;以及

[0063] 图 9 示出了用于 EUV 微光刻的投射曝光设备的示意图。

具体实施方式

[0064] 图 1 以子午截面示出了成像光学系统 1 的实施例。在本申请的意义上,子午截面被理解为穿过成像光学系统的、在成像光学系统的对称平面中的截面。在这点上,图 2 以弧矢截面示出了相同的实施例。在本申请的意义上,弧矢截面被理解为垂直于成像光学系统的对称平面的平面中的截面。这里,反射镜被描述为在该平面中的截面线,且光线被描述为至该平面中的投影。成像光学系统 1 将物平面 5 中的物场 3 成像至像平面 9 中的像场 7。成像光学系统 1 具有六个反射镜,该六个反射镜在从物场 3 开始的光路中顺序地被列举为 M1 至 M6。成像光学系统 1 为反射式物镜。

[0065] 物场 3 为矩形的,并在 y 方向中具有 8mm 的范围,以及在 x 方向中具有 104mm 的范围。成像光学系统 1 的成像比例为 0.25,使得像场 7 在 y 方向中具有 2mm 的范围,并在 x 方向中具有 26mm 的范围。

[0066] 像方数值孔径 NA 为 0.5。

[0067] 成像光学系统 1 包含第一部分物镜 11 和第二部分物镜 13,第一部分物镜 11 将物场 3 成像至中间像 15,第二部分物镜 13 将中间像 15 成像至像场 7 上。第一部分物镜包含四个反射镜 M1 至 M4。第二部分物镜 13 包含在物场 3 和像场 7 之间的成像光 17 的光路中的倒数第二个反射镜 M5、以及光路中的最后一个反射镜 M6。倒数第二个反射镜 M5 被设计为凹反射镜,并将中间像 15 成像至另一中间像 19。最后一个反射镜 M6 同样地被设计为凹反射镜,并将另一中间像 19 成像至像场 7 上。

[0068] 用于成像光学系统 1 的光学数据被组织在表 1a、1b 和 1c 中。表 1a 从物平面开始,针对反射镜 M1 至 M6 的光学表面,分别具体说明了顶点曲率 c 的倒数(半径)和与光路中的相邻元件的 z 距离对应的距离值。该情况中, z 距离与全局参考坐标系相关,该全局参考坐标系的原点及其 x 轴和 y 轴位于物平面中。表 1b 针对反射镜 M1 至 M6,具体说明了在上面列出的自由形状表面等式(1)中的单项式 $X^m Y^n$ 的系数 C_j 。该情况中, R_{norm} 代表归一化因子。

此外,表 1c 具有以毫米和度为单位的绝对值,适当时,从全局参考坐标系开始,各个反射镜被偏心(Y 偏心)和旋转(X 旋转)所述绝对值,。这与自由形状表面设计方法的情况中的平行位移和倾斜对应。这里,存在 y 方向中的位移和关于 x 轴的旋转。

[0069] 依照上述指定的公式(1)和(2),将所有六个反射镜 M1 至 M6 的反射表面设计为可由非旋转对称函数描述的自由形状表面。将反射镜 M1、M4、M5 和 M6 设计为凹反射镜。将反射镜 M2 设计为凸反射镜。反射镜 M3 具有鞍状(saddle)表面作为反射表面。

[0070] 反射镜 M1 和 M6 以及反射镜 M3 和 M6 关于它们反射表面的取向为背对背地布置。

[0071] 图 1 的子午截面中示出的是自三个物场点发出的三条单独光线的各自光路,该三个物场点在图 1 的 y 方向中彼此分开。属于这三个物场点之一的三条单独光线代表主光线 23 和两条孔径光线。在图 2 的弧矢截面中同样示出的是自三个物场点发出的三条单独光线的各自光路,该三个物场点在图 2 的 x 方向中彼此分开。属于这三个物场点之一的三条单独光线代表主光线 23 和两条孔径光线。主光线 23 垂直于像场 9 中的像平面 7 行进。孔径光线与各个主光线成角度,该角度对应于像方数值孔径。在图 1 中,仅是出于示意性目的而描述了主光线 23,因为由于成像光学系统 1 的光瞳遮挡,主光线 23 不是成像光学系统 1 的这里涉及的实际光线,而是虚拟光线。这些主光线 23,从物平面 5 发出,最初相对于彼此发散地行进。这在下面也被表示为成像光学系统 1 的入瞳的负后焦点。根据图 1 的成像光学系统 1 的入瞳不位于成像光学系统 1 内,而是在物平面 5 上游光路中。作为示例,因此可以在成像光学系统 1 的上游光路中将照明光学系统的光瞳元件布置在成像光学系统 1 的入瞳中,而不需要在该光瞳元件和物平面 5 之间存在其它成像光学元件。

[0072] 成像光学系统 1 被设计为使得成像光 17 行进直至中间像 15,而没有成像光束在单独反射镜之间交叉(cross over)。

[0073] 在光学使用区域内,反射镜 M1 至 M4 的光学使用区域不具有用于成像光 17 通过的通孔。反射镜 M5,即在物场 3 和像场 7 之间的成像光 17 的光路中的倒数第二个反射镜,在光学使用区域内也不具有用于成像光 17 通过的通孔。

[0074] 将反射镜 M5 布置在最后一个反射镜 M6 和像场 17 之间的成像光束之外。

[0075] 反射镜 M6,即在物场 3 和像场 7 之间的成像光 17 的光路中的最后一个反射镜,具有用于成像光 17 通过的通孔。成像光 17 穿过在反射镜 M4 和 M5 之间的光路中的反射镜 M6 中的通孔 21。在通孔 21 的周围使用反射镜 M6。

[0076] 图 3 用于说明如何确定在倒数第二个反射镜 M5 和像平面 9 之间的工作距离。示出了来自根据图 1 的成像光学系统的细节图,具体地,具有反射镜 M5 和 M6 的第二部分物镜 13 包括成像光 17 的光路。为了确定倒数第二个反射镜 M5 关于像平面 9 的工作距离 27,确定反射镜 M5 的反射镜表面上的点离像平面 9 的最小距离,垂直于像平面 9 测量该距离。在倒数第二个反射镜 M5 和像平面 9 之间的工作距离 27 为 38mm。

[0077] 图 4 用于说明在本申请的意义上如何确定反射镜的外直径。倒数第二个反射镜 M5 上的光学使用区域的边缘 29 被示出,在出瞳完全照明的情况下,该边缘 29 导致矩形的物场 3。图 4 也示出了用于确定反射镜 M5 的外直径的辅助圆 31。确定辅助圆 31,使其包围被照明区域 29 并且同时具有最小的半径。外直径为 166mm。

[0078] 从而,外直径与工作距离的比率为 4.4 并小于 5。

[0079] 最后一个反射镜 M6 具有 605mm 的外直径。从而,倒数第二个反射镜 M5 的外直径

小于最后一个反射镜 M6 的外直径。

[0080] 图 5 以子午截面示出了成像光学系统 501 的另一实施例。与图 1 的元件相应的图 5 中的元件具有与图 1 中的参考标记加上 500 之后相同的参考标记。对于这些元件的描述，参考图 1 的描述。

[0081] 成像光学系统 501 将物平面 505 中的物场 503 成像至像平面 509 中的像场 507 中。成像光学系统 501 具有六个反射镜，该六个反射镜在从物场 503 开始的光路中顺序地被列举为从 M501 至 M506。成像光学系统 501 为反射式物镜。

[0082] 成像光学系统 501 的成像比例为 0.25。

[0083] 像方数值孔径 NA 为 0.5。

[0084] 成像光学系统 501 包含第一部分物镜 511 和第二部分物镜 513，第一部分物镜 511 将物场 503 成像至中间像 515，第二部分物镜 513 将中间像 515 成像至像场 507 上。第一部分物镜包含四个反射镜 M501 至 M504。第二部分物镜包含在物场 503 和像场 507 之间的成像光 517 的光路中的倒数第二个反射镜 M505、以及光路中的最后一个反射镜 M506。倒数第二个反射镜 M505 将中间像 515 成像至另一中间像 519。最后一个反射镜 M506 将另一中间像 519 成像至像场 507 上。

[0085] 将用于成像光学系统 501 的光学数据汇编在表 5a、5b 和 5c 中。

[0086] 将所有六个反射镜 M501 至 M506 的反射表面设计为可由非旋转对称函数描述的自由形状表面。

[0087] 将反射镜 M501、M504、M505 和 M506 设计为凹反射镜。反射镜 M502 和 M503 具有鞍状表面作为反射表面。

[0088] 将反射镜 M501 和 M506 以及 M503 和 M506 关于其反射表面的方向布置为背对背。

[0089] 图 5 的子午截面中示出的是从物场 503 的中心的物场点发出的三条单独光线的光路。三条单独光线代表主光线 523 和两条孔径光线。主光线 523 垂直于像场 509 中的像平面 507 行进。孔径光线与主光线 523 成一角度，该角度对应于像方数值孔径。再一次地，图 5 中主光线 523 的描绘仅是出于示意性目的，因为由于成像光学系统 501 的光瞳遮挡，主光线 523 不是这里涉及的成像光学系统 501 的实际光线，而是虚拟光线。

[0090] 成像光学系统 501 具有成像光学系统 501 的入瞳的负后焦点。

[0091] 图 5 的子午截面解释了在反射镜 M502 和反射镜 M503 之间的成像光束、以及在反射镜 M504 和反射镜 M505 之间的成像光束是交叉的。这将图 5 的实施例与图 1 的实施例区别开，等等。

[0092] 在光学使用区域内，反射镜 M501 至 M504 的光学使用区域不具有用于成像光 517 通过的通孔。反射镜 M505，即在物场 503 和像场 507 之间的成像光 517 的光路中的倒数第二个反射镜，也不具有用于成像光 517 通过的通孔。

[0093] 将反射镜 M505 布置在最后一个反射镜 M506 和像场 507 之间的成像光束之外。

[0094] 反射镜 M506，即在物场 503 和像场 507 之间的成像光 517 的光路中的最后一个反射镜，具有用于成像光 517 通过的通孔。成像光 517 穿过在反射镜 M504 和 M505 之间的光路中的反射镜 M506 中的通孔 521。

[0095] 中间像 515 邻近反射镜 M506 中的通孔 521。因此与反射镜 M506 的使用的反射表面相比，该通孔 521 可以具有小的构造。光瞳遮挡，即成像光学系统 501 的出瞳内经由通孔

521 遮掩的表面相对于所述出瞳的总面积的比率,在成像光学系统 501 的情况中为 5.2%。光瞳遮挡的直径与出瞳直径的比率为 23%。

[0096] 倒数第二个反射镜 M505 和像平面 509 之间的工作距离为 93mm。

[0097] 反射镜 M505 的外直径为 135mm。

[0098] 从而,外直径与工作距离的比率为 1.45,并小于 5,特别是小于 2。

[0099] 最后一个反射镜 M506 具有 906mm 的外直径。从而,倒数第二个反射镜 M505 的外直径小于最后一个反射镜 M506 的外直径。

[0100] 图 6 以子午截面示出了成像光学系统 601 的另一实施例。与图 1 的元件对应的图 6 中的元件具有与图 1 中的参考标记加上 600 后相同的参考标记。针对这些元件的描述,参考图 1 的描述。

[0101] 成像光学系统 601 将物平面 605 中的物场 603 成像至像平面 609 中的像场 607。成像光学系统 601 具有六个反射镜,该六个反射镜在从物场 603 开始的光路中顺序地被列举为从 M601 至 M606。成像光学系统 601 为反射式物镜。

[0102] 成像光学系统 601 具有光轴 633,该光轴 633 垂直于物平面 605 和像平面 609,并作为连续的直线从物平面 605 行进至像平面 609。光轴 633 同时为对称轴,六个反射镜 M601 至 M606 的反射表面的数学表面描述关于该对称轴旋转对称。

[0103] 物场 603 构成围绕光轴 633 为中心的环形场段。

[0104] 像方数值孔径 NA 为 0.3。

[0105] 成像光学系统 601 包含第一部分物镜 611 和第二部分物镜 613,第一部分物镜 611 将物场 603 成像至中间像 615,第二部分物镜 613 将中间像 615 成像至像场 607。第一部分物镜包含四个反射镜 M601 至 M604。第二部分物镜 613 包含在物场 603 和像场 607 之间的成像光 617 的光路中的倒数第二个反射镜 M605 和光路中的最后一个反射镜 M606。倒数第二个反射镜 M605 被设计为凹反射镜并将中间像 615 成像至另一中间像 619。最后一个反射镜 M606 同样被设计为凹反射镜并将另一中间像 619 成像至像场 607。

[0106] 将反射镜 M602、M604、M605 和 M606 设计为凹反射镜。将反射镜 M601 设计为凸反射镜。反射镜 M603 具有基本平的反射表面。

[0107] 图 6 示出了多条孔径光线的光路,该多条孔径光线从在物场 603 内的物场点发出。孔径光线由反射镜 M603 限制界限,反射镜 M603 的反射镜边缘作为孔径光阑并被布置在光瞳平面 625 中。在图 6 中,一些孔径光线仅作为解释而绘出,因为由于成像光学系统 601 的光瞳遮挡,其不是这里涉及的成像光学系统 601 的实际光线,而是虚拟光线。

[0108] 将成像光学系统 601 设计为使得成像光线 617 向上行进至中间像 615,而没有成像光束在单独反射镜之间交叉。

[0109] 反射镜 M601 至 M604 的光学使用区域在光学使用区域内不具有用于成像光 617 通过的通孔。

[0110] 相比较而言,在光学使用区域内,倒数第二个反射镜 M605 和最后一个反射镜 M606 具有用于成像光 617 通过的通孔。在反射镜 M604 至 M605 之间的光路中,成像光 617 通过反射镜 M606 中的通孔 621。成像光 617 通过在反射镜 M606 和像场 607 之间的光路中的反射镜 M605 中的通孔 635。

[0111] 围绕通孔 635 使用倒数第二个反射镜 M605,并围绕通孔 621 使用最后一个反射镜

M606。

[0112] 给定倒数第二个反射镜 M605 具有通孔 635, 则一方面反射镜 M605 和反射镜 M606 可具有反射表面, 该反射表面各自的数学表面描述关于光轴 633 旋转对称, 而另一方面可增大像方数值孔径, 因为成像光 617 不再需要被引导越过倒数第二个反射镜 M605。

[0113] 用于遮蔽成像光学系统 601 的光瞳的遮挡光阑可布置在反射镜 M603 上, 该反射镜 M603 布置在光瞳平面 625 中。在该情况中, 遮挡光阑至少遮蔽成像光 617 在光瞳平面 625 中的区域, 由于两个通孔 621 和 635, 该区域对物场 603 的成像没有贡献。

[0114] 图 7 以子午截面示出了成像光学系统 701 的另一实施例。与图 6 的元件对应的图 7 中的元件具有与图 6 中的参考标记加上 100 相同的参考标记。对于这些元件的描述, 参考图 6 的描述。

[0115] 成像光学系统 701 将物平面 705 中的物场 703 成像至像平面 709 中的像场 707。成像光学系统 701 具有六个反射镜, 该六个反射镜在从物场 703 开始的光路中顺序地被列举为从 M701 至 M706。成像光学系统 701 为反射式物镜。

[0116] 成像光学系统 701 具有光轴 733, 该光轴 733 垂直于物平面 705 和像平面 709, 并作为连续的直线从物平面 705 行进至像平面 709。光轴 733 同时为对称轴, 六个反射镜 M701 至 M706 的反射表面的数学表面描述关于该对称轴旋转对称。

[0117] 物场 703 构成围绕光轴 733 为中心的环形场的段。

[0118] 像方数值孔径 NA 为 0.45。

[0119] 成像光学系统 701 包含第一部分物镜 711 和第二部分物镜 713, 第一部分物镜 711 将物场 703 成像至中间像 715, 第二部分物镜 713 将中间像 715 成像至像场 707。第一部分物镜包含四个反射镜 M701 至 M704。第二部分物镜 713 包含在物场 703 和像场 707 之间的成像光 717 的光路中的倒数第二个反射镜 M705 以及光路中的最后一个反射镜 M706。倒数第二个反射镜 M705 被设计为凹反射镜并将中间像 715 成像至另一中间像 719。最后一个反射镜 M706 同样被设计为凹反射镜并将另一中间像 719 成像至像场 707。

[0120] 成像光学系统 701 总共具有四个中间像和五个部分物镜。反射镜 M701 作为部分物镜产生第一中间像 739。中间像 739 由作为另一部分物镜的反射镜 M702 成像至另一中间像 741。中间像 741 由作为另一部分物镜的反射镜 M703 和 M704 成像至另一中间像 715。中间像 715 由作为另一部分物镜的反射镜 M705 成像至另一中间像 719。中间像 719 由作为另一部分物镜的反射镜 M706 成像至像场 707。从而, 部分物镜 711 包含三个部分物镜, 而部分物镜 713 包含两个部分物镜。

[0121] 将反射镜 M701、M702、M704、M705 和 M706 设计为凹反射镜。仅将反射镜 M703 设计为凸反射镜。

[0122] 图 7 示出了多条孔径光线的光路, 该多条孔径光线从物场 703 内的物场点发出。孔径光线由反射镜 M703 限制界限, 反射镜 M703 的反射镜边缘作为孔径光阑并被布置在光瞳平面 725 中。在图 7 中, 一些孔径光线仅仅是出于示意性的目的而被绘出, 因为由于成像光学系统 701 的光瞳遮挡, 其不是这里涉及的成像光学系统 701 的实际光线, 而是虚拟光线。

[0123] 反射镜 M701 至 M703 的光学使用区域在光学使用区域内不具有用于成像光 717 通过的通孔。

[0124] 将反射镜 M703 完全布置在反射镜 M704 和中间像 715 之间的成像光束内, 并且因

此导致光瞳照明的遮挡,即使反射镜 M703 不具有用于成像光 717 通过的通孔。

[0125] 在光学使用区域内,反射镜 M704 具有用于成像光 717 通过的通孔。成像光 717 通过在反射镜 M702 和 M703 之间的光路中的反射镜 M704 中的通孔 737。

[0126] 围绕通孔 737 使用反射镜 M704。

[0127] 给定反射镜 M704 具有通孔 737,一方面反射镜 M703 和 M704 可具有反射表面,该反射表面各自的数学表面描述关于光轴 733 旋转对称,另一方面中间像 715 的数值孔径可被增大,因为成像光 717 不再需要被引导越过反射镜 M704。

[0128] 如在图 7 的实施例中所示,倒数第二个反射镜 M705 和最后一个反射镜 M706 在光学使用区域内具有用于成像光 717 通过的通孔。成像光 717 穿过在反射镜 M704 和 M705 之间的光路中的反射镜 M706 中的通孔 721。成像光 717 穿过在反射镜 M706 和像场 707 之间的光路中的反射镜 M705 中的通孔 735。

[0129] 围绕通孔 735 使用倒数第二个反射镜 M705,并且围绕通孔 721 使用最后一个反射镜 M706。

[0130] 用于遮蔽成像光学系统 701 的光瞳的遮挡光阑可布置在反射镜 M703 上,该反射镜 M703 布置在光瞳平面 725 中。在该情况中,遮挡光阑至少遮蔽成像光 717 在光瞳平面 725 中的区域,由于三个通孔 721、735 和 737 以及布置在成像光束内的反射镜 M703,该区域对物场 703 的成像没有贡献。

[0131] 图 8 以子午截面示出了成像光学系统 801 的另一实施例。与图 7 的元件对应的图 8 中的元件具有与图 7 中的参考标记增加 100 后相同的参考标记。对于这些元件的描述,参考图 7 的描述。

[0132] 成像光学系统 801 将物平面 805 中的物场 803 成像至像平面 809 中的像场 807。成像光学系统 801 具有八个反射镜,该八个反射镜在从物场 803 开始的光路中顺序地被列举为从 M801 至 M808。成像光学系统 801 为反射式物镜。

[0133] 成像光学系统 801 具有光轴 833,该光轴 833 垂直于物平面 805 和像平面 809,并作为连续的直线从物平面 805 行进至像平面 809。光轴 833 同时为对称轴,八个反射镜 M801 至 M808 的反射表面的数学表面描述关于该对称轴旋转对称。

[0134] 物场 803 构成围绕光轴 833 为中心的环形场段。

[0135] 成像光学系统 801 的成像比例为 0.25。

[0136] 像方数值孔径 NA 为 0.5。

[0137] 成像光学系统 801 包含第一部分物镜 811 和第二部分物镜 813,第一部分物镜 811 将物场 803 成像至中间像 815,第二部分物镜 813 将中间像 815 成像至像场 807。第一部分物镜包含六个反射镜 M801 至 M806。第二部分物镜 813 包含在物场 803 和像场 807 之间的成像光 817 的光路中的倒数第二个反射镜 M807、以及光路中的最后一个反射镜 M808。倒数第二个反射镜 M807 被设计为凹反射镜并将中间像 815 成像至另一中间像 819。最后一个反射镜 M808 同样被设计为凹反射镜并将另一中间像 819 成像至像场 807。

[0138] 成像光学系统 801 总共具有三个中间像和四个部分物镜。反射镜 M801 至 M804 作为部分物镜产生第一中间像 843。中间像 843 由作为另一部分物镜的反射镜 M805 和 M806 成像至另一中间像 815。中间像 815 由作为另一部分物镜的反射镜 M807 成像至另一中间像 819。中间像 819 由作为另一部分物镜的反射镜 M808 成像至像场 807。从而,部分物镜 811

和部分物镜 813 各自包含两个部分物镜。

[0139] 将反射镜 M801、M804、M806、M807 和 M808 设计为凹反射镜。将反射镜 M802、M803 和 M805 设计为凸反射镜。

[0140] 图 8 示出了多条孔径光线的光路,该多条孔径光线从物场 803 内的物场点发出。孔径光线由反射镜 M805 限制界限,反射镜 M805 的反射镜边缘作为孔径光阑并被布置在光瞳平面 825 中。在图 8 中,一些孔径光线仅仅是出于示意性的目的而被绘出,因为由于成像光学系统 801 的光瞳遮挡,其不是成像光学系统 801 这里涉及的实际光线,而是虚拟光线。

[0141] 反射镜 M801 至 M804 的光学使用区域在光学使用区域内不具有用于成像光 817 通过的通孔。

[0142] 反射镜 M805 和反射镜 M806 在光学使用区域内具有用于成像光 817 通过的通孔。成像光 817 穿过在反射镜 M804 和 M805 之间的光路中的反射镜 M806 中的通孔 845。成像光 817 穿过在反射镜 M806 和中间像 815 之间的光路中的反射镜 M805 中的通孔 847。

[0143] 围绕通孔 847 使用反射镜 M805,并围绕通孔 845 使用反射镜 M806。

[0144] 如在图 8 的实施例中所示,倒数第二个反射镜 M807 和最后一个反射镜 M808 在光学使用区域内具有用于成像光 817 通过的通孔。成像光 817 穿过在反射镜 M806 和 M807 之间的光路中的反射镜 M808 中的通孔 821。成像光 817 穿过在反射镜 M808 和像场 807 之间的光路中的反射镜 M807 中的通孔 835。

[0145] 围绕通孔 835 使用倒数第二个反射镜 M807,并且围绕通孔 821 使用最后一个反射镜 M808。

[0146] 图 9 示出了用于微光刻的投射曝光设备 901,其中可以利用先前描述的用于成像光学系统的实施例之一作为投射物镜 907。投射曝光设备 901 具有用于产生照明光 903 的光源 902。光源 902 为产生例如在 5nm 和 30nm 之间、特别是 5nm 和 15nm 之间的波长区域内的光的 EUV 光源。特别地,光源 902 可为具有 13.5nm 的波长的光源,或具有 6.9nm 波长的光源。也可使用其他的 EUV 波长。通常,甚至任意波长,例如可见光波长或者其他的可用于微光刻中并对于适当的激光光源和 / 或 LED 光源(例如 365nm、248nm、193nm、157nm、129nm、109nm)可得的波长,用于照明光 903 也是可以的。照明光 903 的光路在图 9 中被示意性地示出。

[0147] 照明光学系统 906 用作从光源 902 至物平面 905 中的物场 904 引导照明光 903 的目的。借助于投射物镜 907,物场 904 被以规定的缩小比例成像至像平面 909 中的像场 908 中。用于在图 1 至 8 中所示的成像光学系统的实施例的一个可用作投射物镜 907。像场 908 在 x 方向中具有在 13mm 和 26mm 之间的范围,以及在 y 方向中具有在 2mm 和 6mm 之间的范围,例如 26mm 的 x 范围和 2mm 的 y 范围。当使用根据图 1 或图 5 的实施例的成像光学系统的投射物镜 907 时,物场 904 和像场 908 为矩形的。当使用根据图 6、图 7 或图 8 的实施例的成像光学系统的投射物镜 907 时,物场 904 和像场 908 具有环形段的形状。像平面 909 被布置为平行于物平面 905。因此,与物场 904 重合的反射掩模(也被称为掩模母版)910 的一部分被成像。

[0148] 投射物镜 907 成像至基底 911 的表面上,基底 911 为晶片的形式,由基底保持件 912 支撑。在图 9 中示意性地示出的是在掩模母板 910 和投射物镜 907 之间行进至投射物镜 907 中的成像光的光束 917、以及在投射物镜 907 和基底 911 之间行进出投射物镜 907 的

成像光的光束 914。

[0149] 为了方便投射曝光设备 901 的描述和投射物镜 907 的各种设计的描述,附图指定了限定附图中示出的元件相应空间关系的笛卡尔 xyz 坐标系。图 9 中的 x 方向从附图的平面垂直地出现。y 方向向左行进,而 z 方向向下行进。

[0150] 投射曝光设备 901 为扫描和步进类型。在投射曝光设备 901 的运行期间,在 y 方向中扫描掩模母板 910 和晶片 911。在微电子元件的曝光之后,在 x 方向或 y 方向中以步进方式位移晶片 911。也可以仅采用投射曝光设备 901 的步进器 (stepper) 操作,该情况中,在晶片 911 的单独曝光之间仅发生晶片 911 在 x 方向或 y 方向中的步进位移。

[0151] 为了制造微结构元件,采用以下方式使用投射曝光设备 901:首先,准备反射掩模 901 或掩模母版、以及基底或晶片 911;接着,借助于投射曝光设备 901 将掩模母版 910 上的结构投射至晶片 911 的光敏层上。然后,显影光敏层,以便在晶片 911 上制造微结构,并因而制造微结构元件。

[0152] 表 1a

[0153]

面	半径 (1/c)	距离
物平面		1200.000
反射镜 M1	-1097.988	-644.270
反射镜 M2	-192.541	646.391
反射镜 M3	2386.515	-579.822
反射镜 M4	1687.781	1337.701
反射镜 M5	-162.033	-560.000
反射镜 M6	534.451	600.000
像平面		0.000

[0154] 表 1c

[0155]

	反射镜 M1	反射镜 M2	反射镜 M3
Y 偏心	-58.640	-358.072	-566.299
X 旋转	8.474	3.576	2.316

[0156]

	反射镜 M4	反射镜 M5	反射镜 M6	像平面
Y 偏心	-805.664	-584.238	-677.862	0.000
X 旋转	15.992	8.361	5.067	0.000

[0157] 表 1b

[0158]

系数	反射镜 M1	反射镜 M2	反射镜 M3
k	0.000000E+00	7.614254E-01	-2.231578E-01
Y	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X2	-3.175191 E+00	-9.404183E-01	-5.968017E+01
Y2	2.673919E+00	2.540929E+00	-3.595254E+00
X2Y	7.598934E-01	1.234404 E+00	5.261066E+00
Y3	3.134722E-01	2.611248E-03	-2.280984E+00
X4	-1.070578E-01	5.048291E-01	-9.204780E-01
X2Y2	-2.475366E-02	-8.528200E-02	1.175973E+00
Y4	-2.477462E-02	4.161299E-02	-3.919965E+00
X4Y	2.363415E-02	4.444404E-02	1.769818E-01
X2Y3	7.931374E-02	3.633260E-02	-2.168259E+00
Y5	-1.933710E-02	7.150122E-07	-9.275292E-01
X6	-5.222130E-03	4.653851E-02	-5.845299E-02
X4Y2	-8.934134E-03	-3.376644E-02	-2.064144E-02
X2Y4	9.428045E-03	-2.390727E-03	2.086298E-01
Y6	-3.387531 E-02	7.506335E-04	6.829817E+00
X6Y	2.649098E-04	-5.605633E-02	5.318246E-02
X4Y3	4.789172E-03	1.493552E-02	-6.423818E-02
X2Y5	1.965443E-02	3.202505E-04	4.040540E+00
Y7	1.148430E-02	-2.666828E-07	7.304437E+00
X8	-1.022932E-03	-3.838620E-03	-2.994799E-04
X6Y2	-2.756422E-03	2.405787E-02	-1.894891 E-02
X4Y4	1.131450E-03	-2.341878E-03	7.851206E-01
X2Y6	1.037513E-02	1.269213E-04	5.922730E+00
Y8	6.343536E-03	5.753904E-05	2.303145E+00
X8Y	4.840563E-04	1.901755E-02	1.261376E-02
X6Y3	2.644192E-03	1.203143E-03	-9.499187E-02
X4Y5	2.390901 E-03	2.978998E-03	1.289057E+00
X2Y7	-1.755797E-02	4.505993E-04	-3.986287E-01
Y9	-3.766585E-03	2.764252E-05	0.000000E+00
X10	4.484576E-04	-5.911396E-03	0.000000E+00
X8Y2	9.703681 E-04	-1.009886E-02	0.000000E+00
X6Y4	-2.002132E-03	-2.651927E-03	0.000000E+00
X4Y6	4.228360E-03	-1.150028E-03	0.000000E+00
X2Y8	-1.921653E-02	-5.517322E-05	0.000000E+00
Y10	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
R _{norm}	2.591205E+02	3.660114E+01	3.069451E+02

[0159]

系数	反射镜 M4	反射镜 M5	反射镜 M6
k	6.700154E-02	2.907228E-01	-3.523884E-03
Y	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X2	-8.001595E-00	1.484272E+00	3.008786E+00
Y2	8.080696E+00	-2.772959E-01	7.419503E-01
X2Y	5.868863E-01	-1.960667E-01	-4.973970E-01
Y3	-3.805429E-01	1.261692E-01	4.986965E-01
X4	-5.572204E-01	6.437261 E-01	2.867809E-01
X2Y2	3.914341E-01	6.734978E-01	6.502053E-01
Y4	1.189709E-01	2.083425E-01	2.268834E-02
X4Y	1.900167E-02	-1.135971 E-01	-1.178155E-01
X2Y3	-1.025108E-01	-5.091745E-03	-9.216217E-02
Y5	-1.385758E-02	3.018875E-02	9.479779E-02
X6	-2.913527E-02	1.11 1013E-01	3.661939E-02
X4Y2	6.674575E-02	1.717109E-01	1.786899E-01
X2Y4	1.679054E-02	1.491981 E-01	1.310040E-01
Y6	2.664985E-02	4.301397E-02	3.464432E-03
X6Y	-1.284008E-03	2.049202E-03	-1.258340E-02
X4Y3	-2.185333E-02	-2.521656E-02	-5.609640E-02
X2Y5	1.787572E-02	-1.365778E-02	1.088687E-02
Y7	7.514803E-03	5.978323E-03	2.357020E-02
X8	-7.196757E-04	1.731865E-02	5.146803E-03
X6Y2	7.958001E-03	5.363823E-02	3.058861E-02
X4Y4	3.003023E-03	7.741436E-02	6.416687E-02
X2Y6	4.614952E-03	3.730962E-02	3.068322E-02
Y8	7.292743E-03	-9.625925E-04	4.624213E-04
X8Y	5.994506E-03	-9.656234E-03	-1.186922E-02
X6Y3	-7.648108E-03	-2.587871E-02	-4.417958E-02
X4Y5	-3.052750E-03	-1.662925E-02	-3.565447E-02
X2Y7	-1.347302E-04	1.552501E-02	-2.564864E-03
Y9	-3.471531E-03	1.695728E-02	1.600667E-03
X10	1.694932E-04	4.194484E-03	2.996137E-03
X8Y2	6.719652E-03	1.490523E-02	1.919360E-02
X6Y4	-8.507406E-03	1.972569E-02	4.182334E-02
X4Y6	6.459312E-03	5.900710E-03	3.698433E-02
X2Y8	0.000000E+00	3.583604E-04	4.326934E-03
Y10	0.000000E+00	3.933862E-04	-2.961759E-03
R _{norm}	2.392278E+02	7.193605E+01	3.043808E+02

[0160] 表 5a

[0161]

面	半径 (1/c)	间距
物平面		1318.367
反射镜 M501	-1387.203	-1069.759
反射镜 M502	-1919.296	1240.627
反射镜 M503	4203.149	-895.105
反射镜 M504	1537.304	1766.831
反射镜 M505	-364.244	-671.725
反射镜 M506	672.196	768.007
像平面		0.000

[0162] 表 5c

[0163]

	反射镜 M501	反射镜 M502	反射镜 M503
Y 偏心	-75.284	-130.437	-427.373
X 旋转	-2.524	-5.254	-4.596

[0164]

	反射镜 M504	反射镜 M505	反射镜 M506	像平面
Y 偏心	-494.163	-150.801	-281.343	0.000
X 旋转	7.632	10.998	5.971	0.000

[0165] 表 5b

[0166]

系数	反射镜 M501	反射镜 M502	反射镜 M503
k	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
Y	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X2	-6.050302E-06	-1.113495E-03	-3.715924E-04
Y2	1.575104E-04	3.848758E-04	7.254278E-04
X2Y	-2.128461E-09	1.903891E-06	8.789676E-08
Y3	-3.547877E-08	-4.176122E-08	-8.509231E-07
X4	4.627802E-11	2.808258E-08	-3.516451E-11
X2Y2	9.315623E-11	-1.055891E-09	-9.998132E-10
Y4	8.478484E-11	-1.973709E-12	4.410751E-09
X4Y	2.584634E-14	1.961535E-11	7.604426E-14
X2Y3	1.941951E-13	4.495629E-12	-7.928494E-13
Y5	3.103848E-13	3.527934E-13	-1.953973E-11
X6	0.000000E+00	0.000000E+00	1.319265E-17
X4Y2	0.000000E+00	0.000000E+00	3.531512E-16
X2Y4	0.000000E+00	0.000000E+00	-1.955889E-14
Y6	0.000000E+00	0.000000E+00	1.573791E-13
Nradius	1.000000E+00	1.000000E+00	1.000000E+00

[0167]

系数	反射镜 M504	反射镜 M505	反射镜 M506
k	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
Y	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X2	-2.679056E-04	-1.785454E-03	5.520469E-06
Y2	5.709471 E-05	-1.593041 E-03	3.273816E-06
X2Y	1.446058E-08	2.245481 E-07	4.108873E-09
Y3	-4.986077E-08	3.122043E-06	-4.634079E-10
X4	-1.174864E-10	-5.543813E-09	4.138197E-12
X2Y2	-1.279432E-10	-2.864377E-08	4.807037E-12
Y4	1.85544E-10	-1.594018E-08	1.954928E-12
X4Y	1.772174E-13	0.000000E+00	0.000000E+00
X2Y3	-3.867885E-13	0.000000E+00	0.000000E+00
Y5	1.316996E-13	0.000000E+00	0.000000E+00
X6	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X4Y2	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X2Y4	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
Y6	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
Nradius	1.000000E+00	1.000000E+00	1.000000E+00

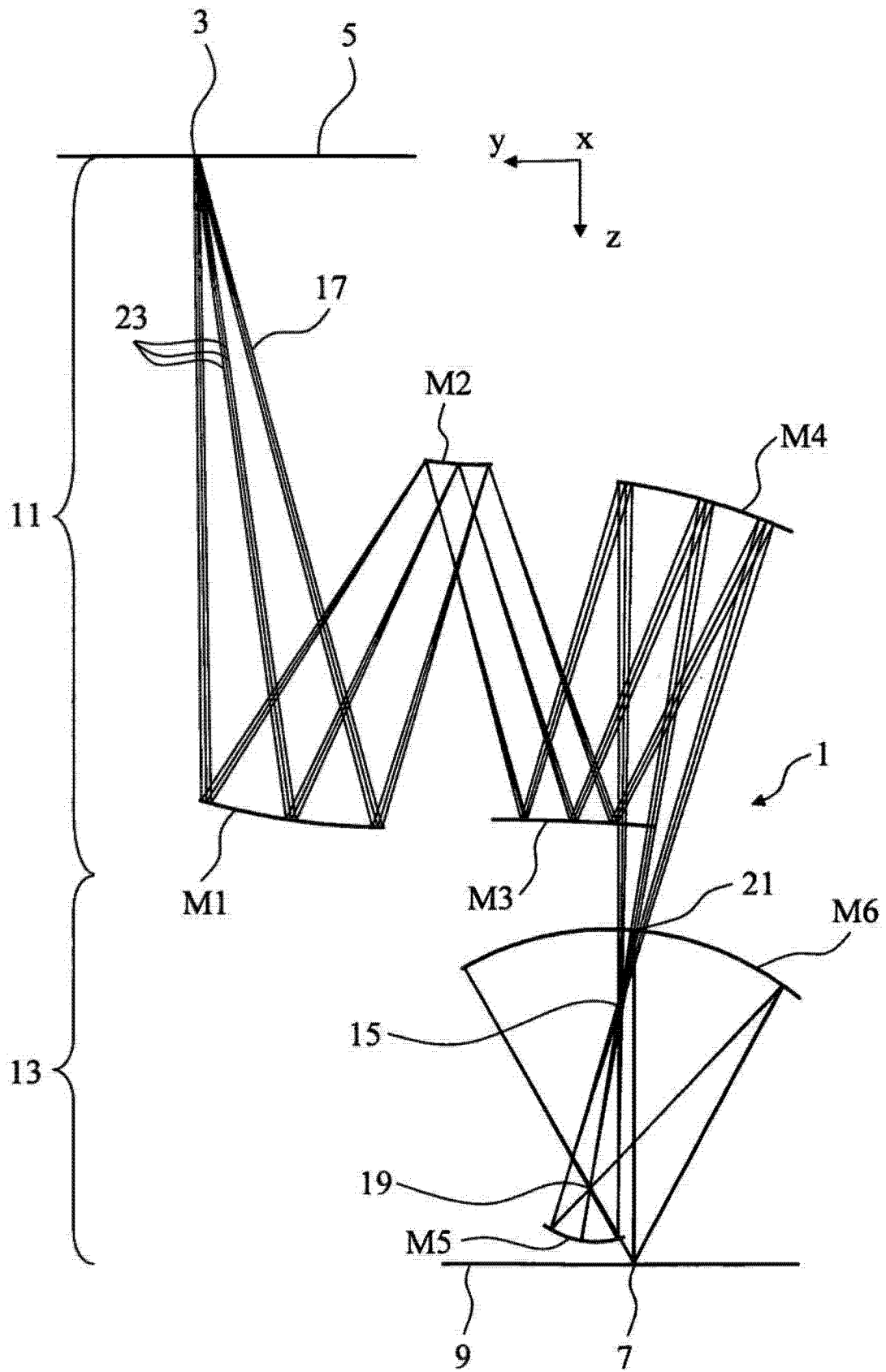


图 1

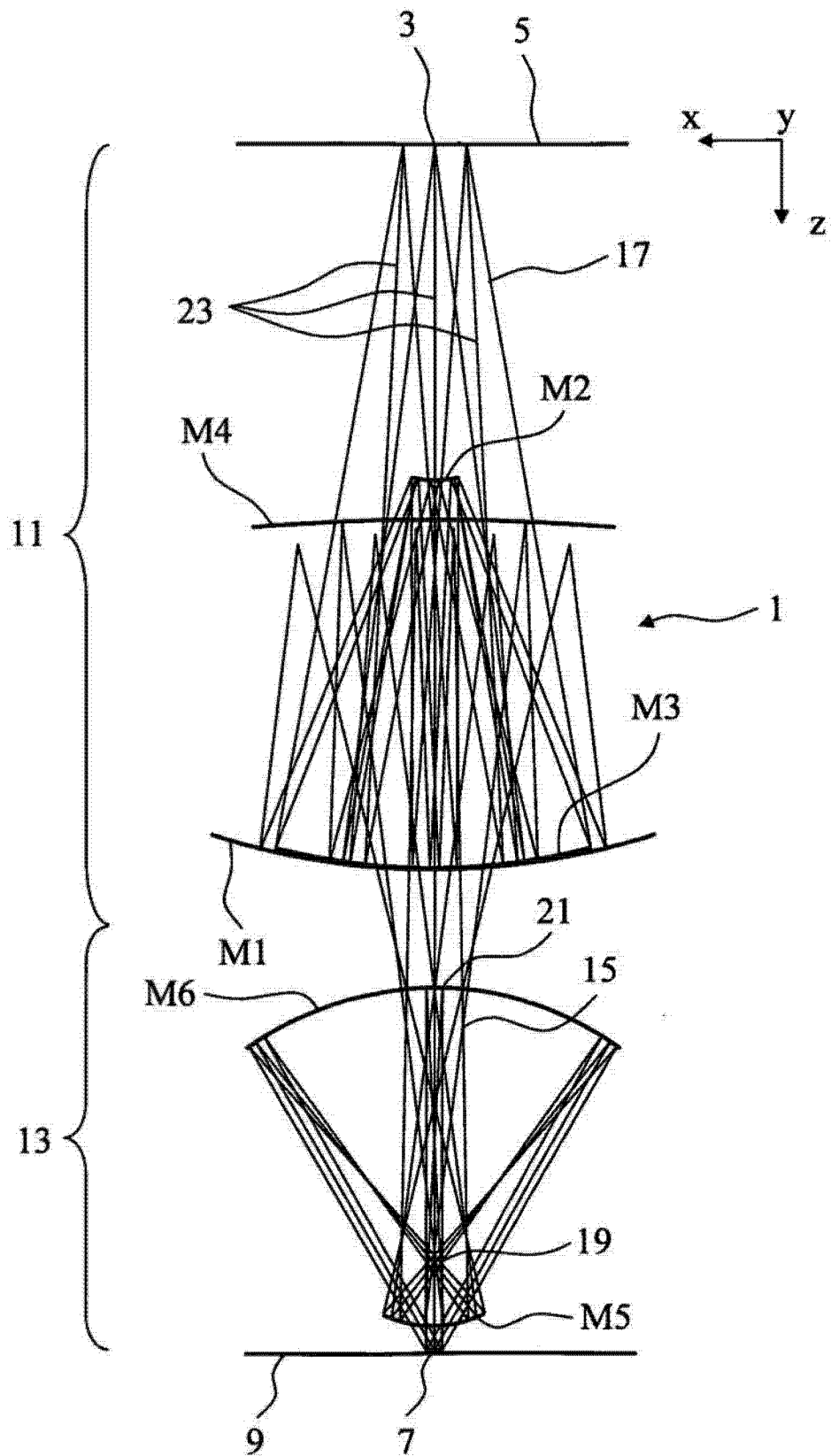


图 2

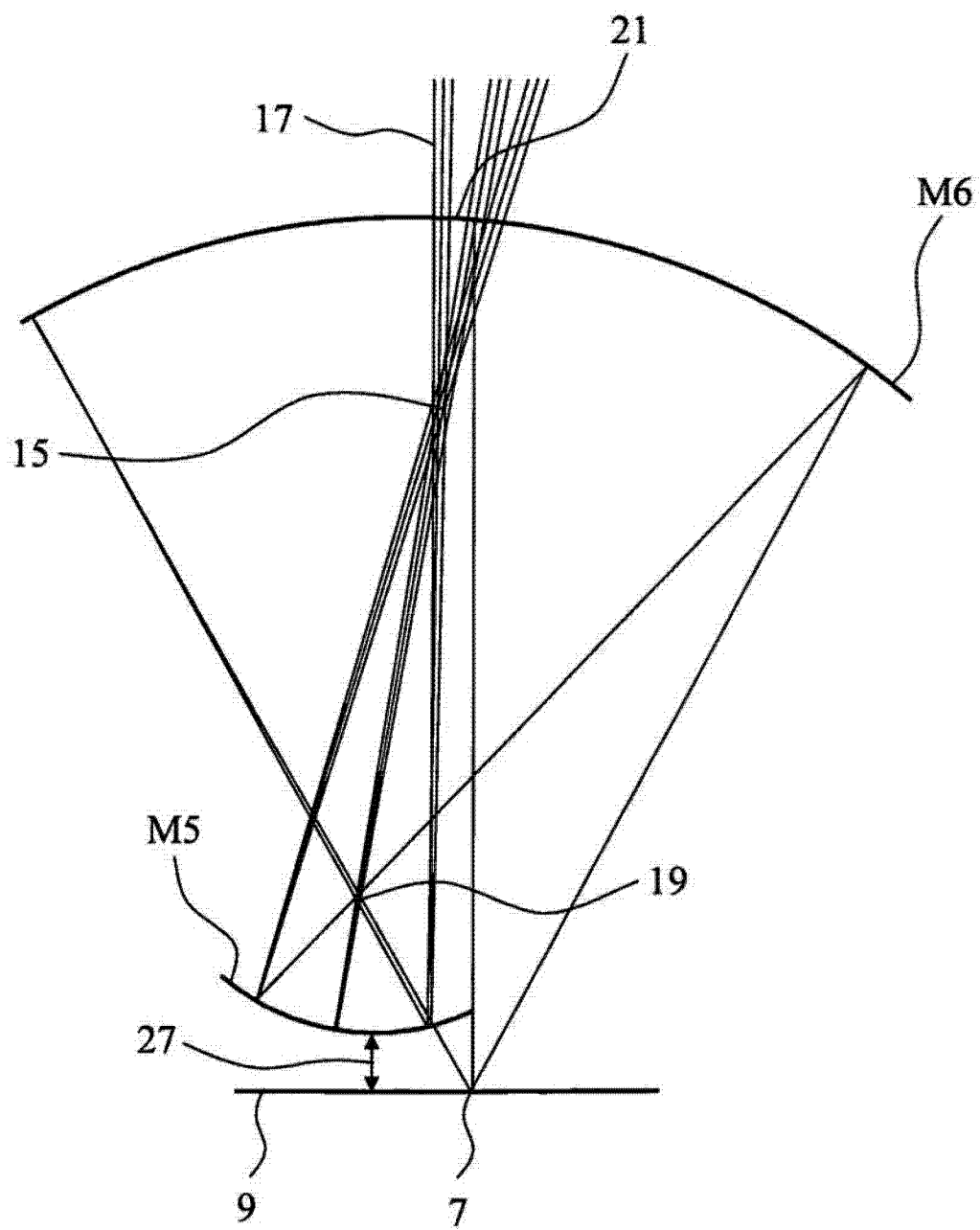


图 3

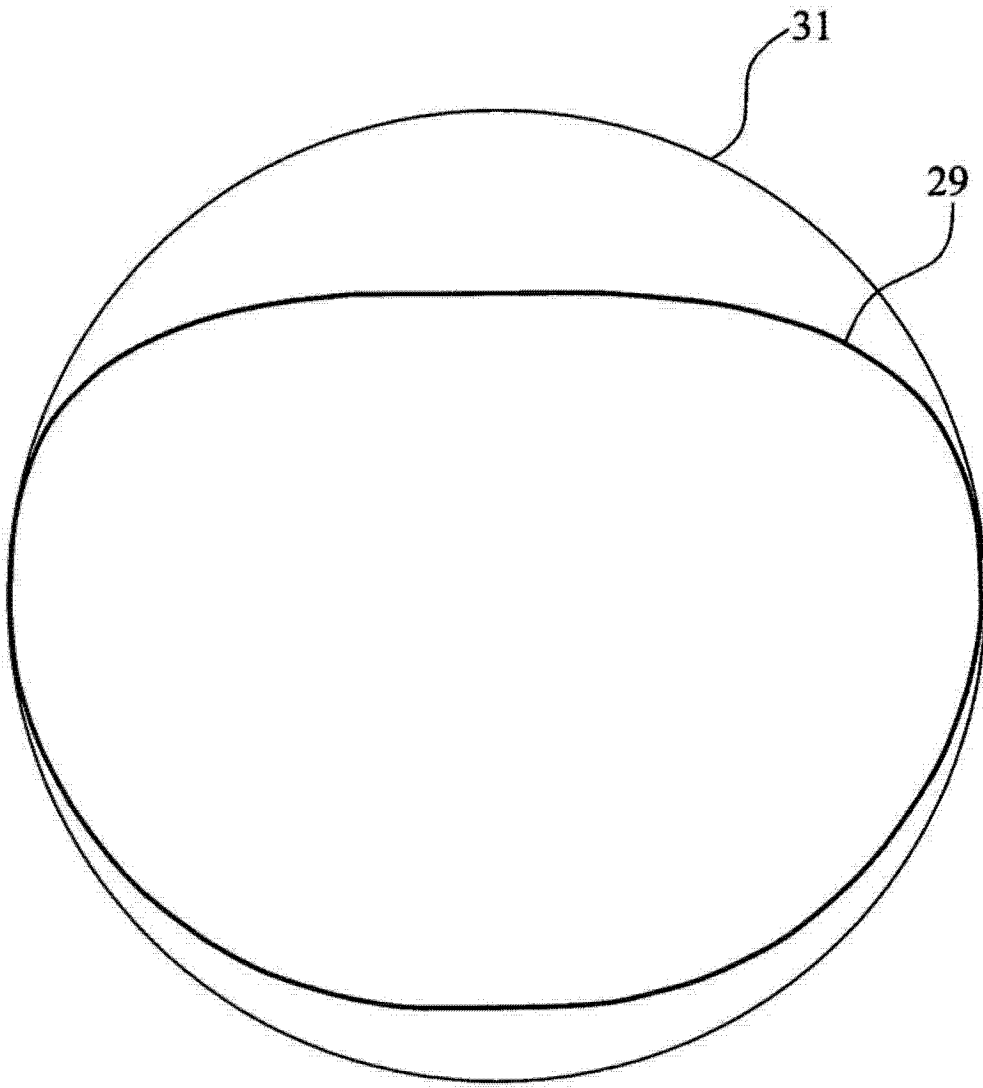


图 4

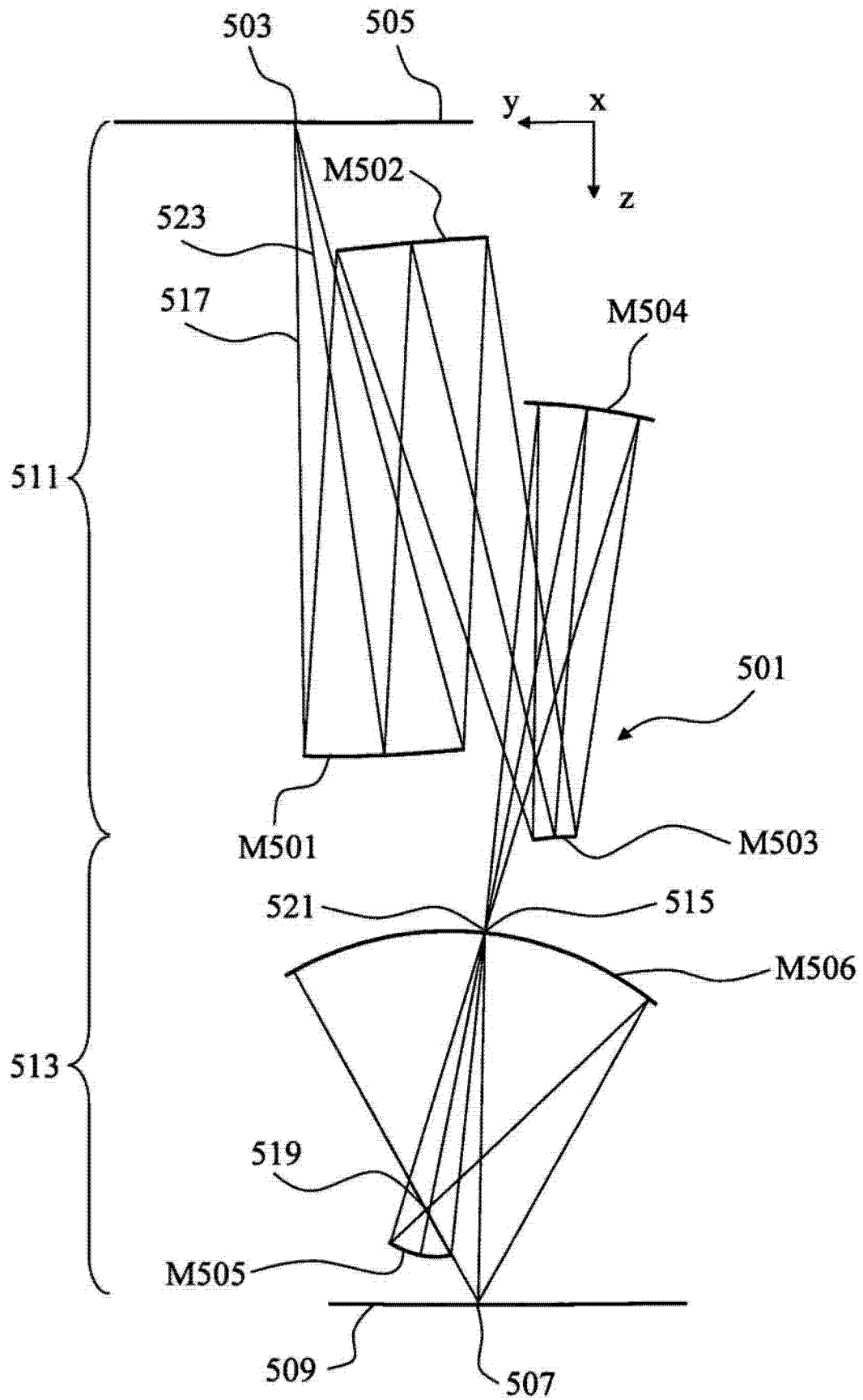


图 5

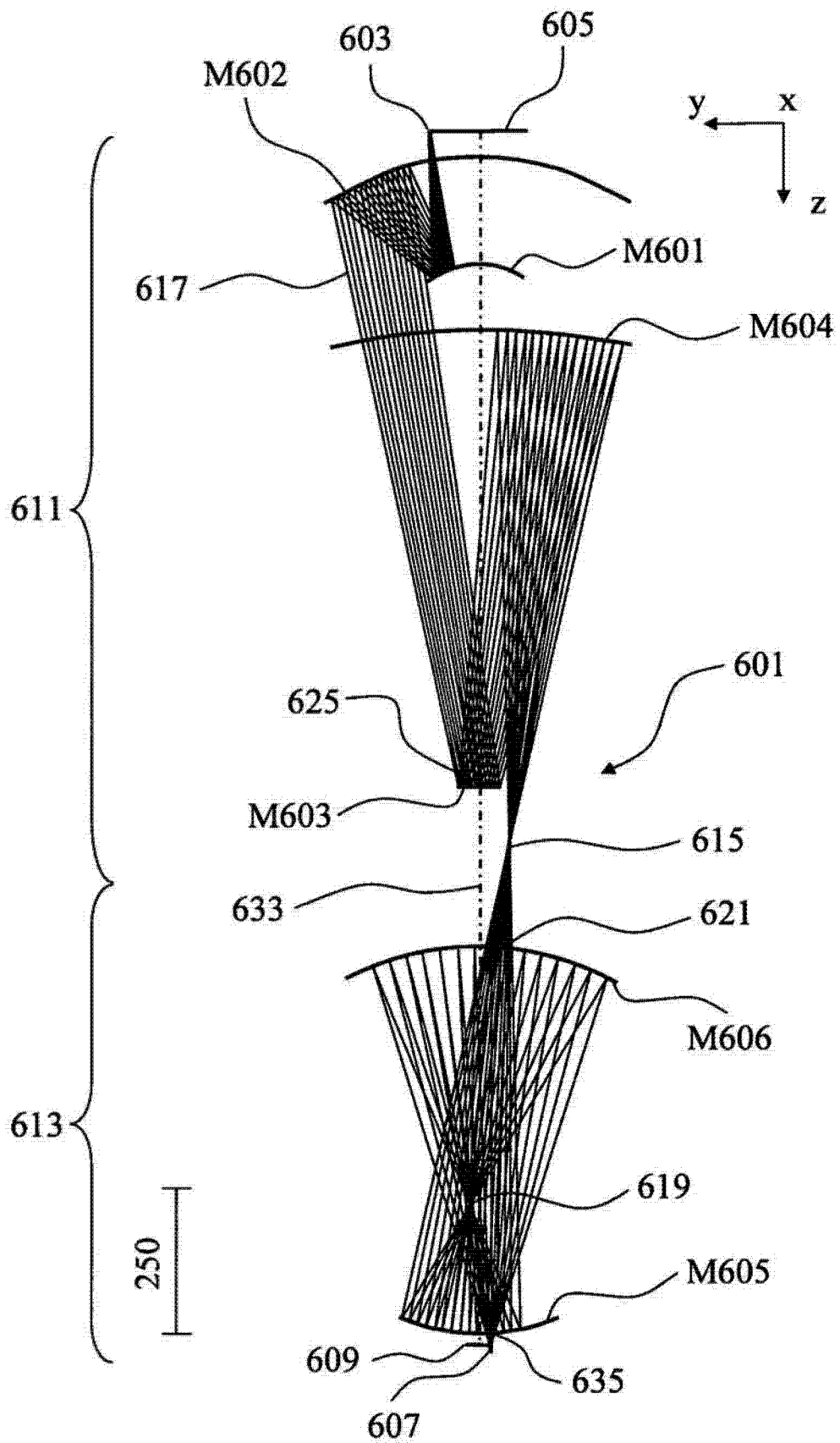


图 6

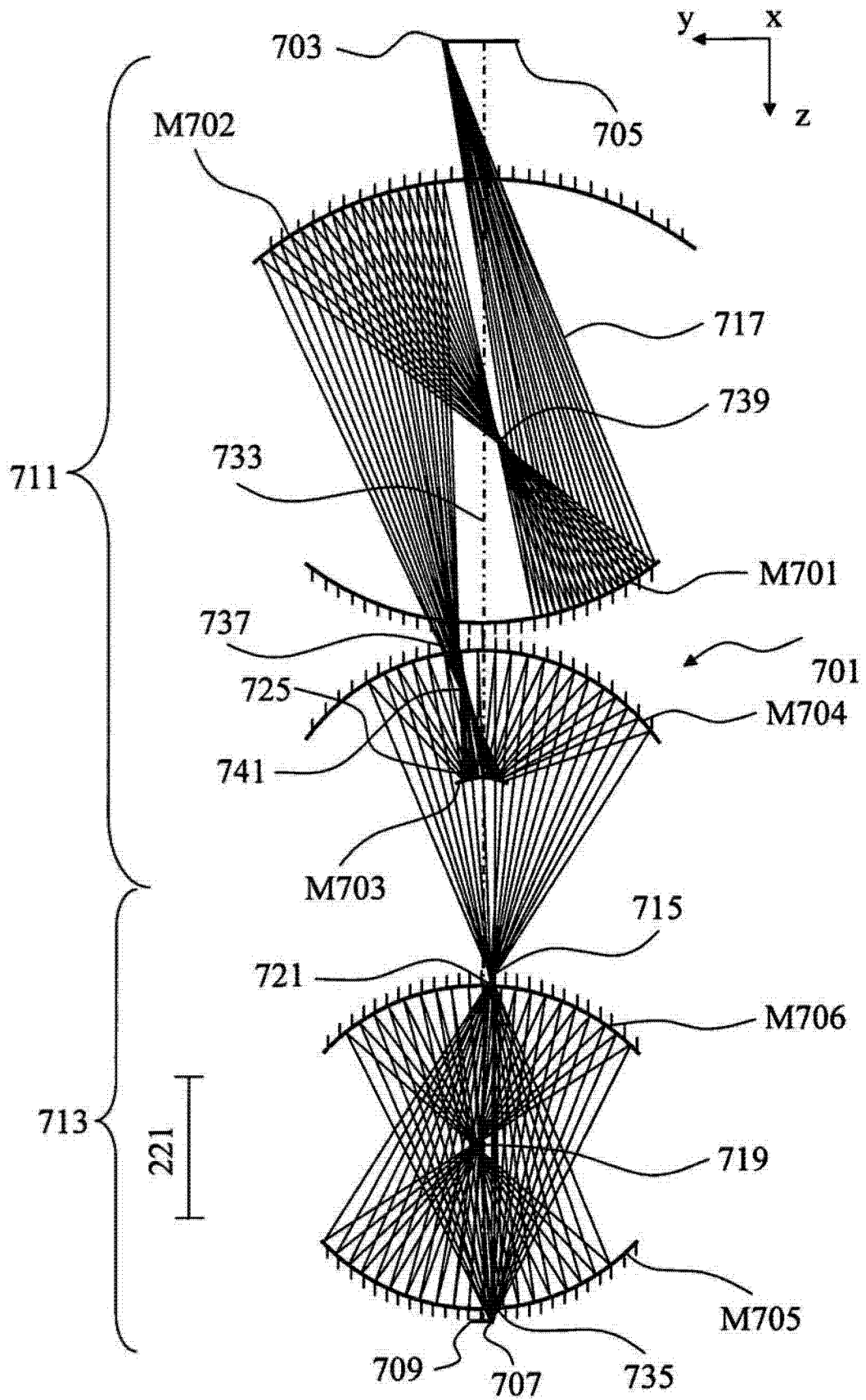


图 7

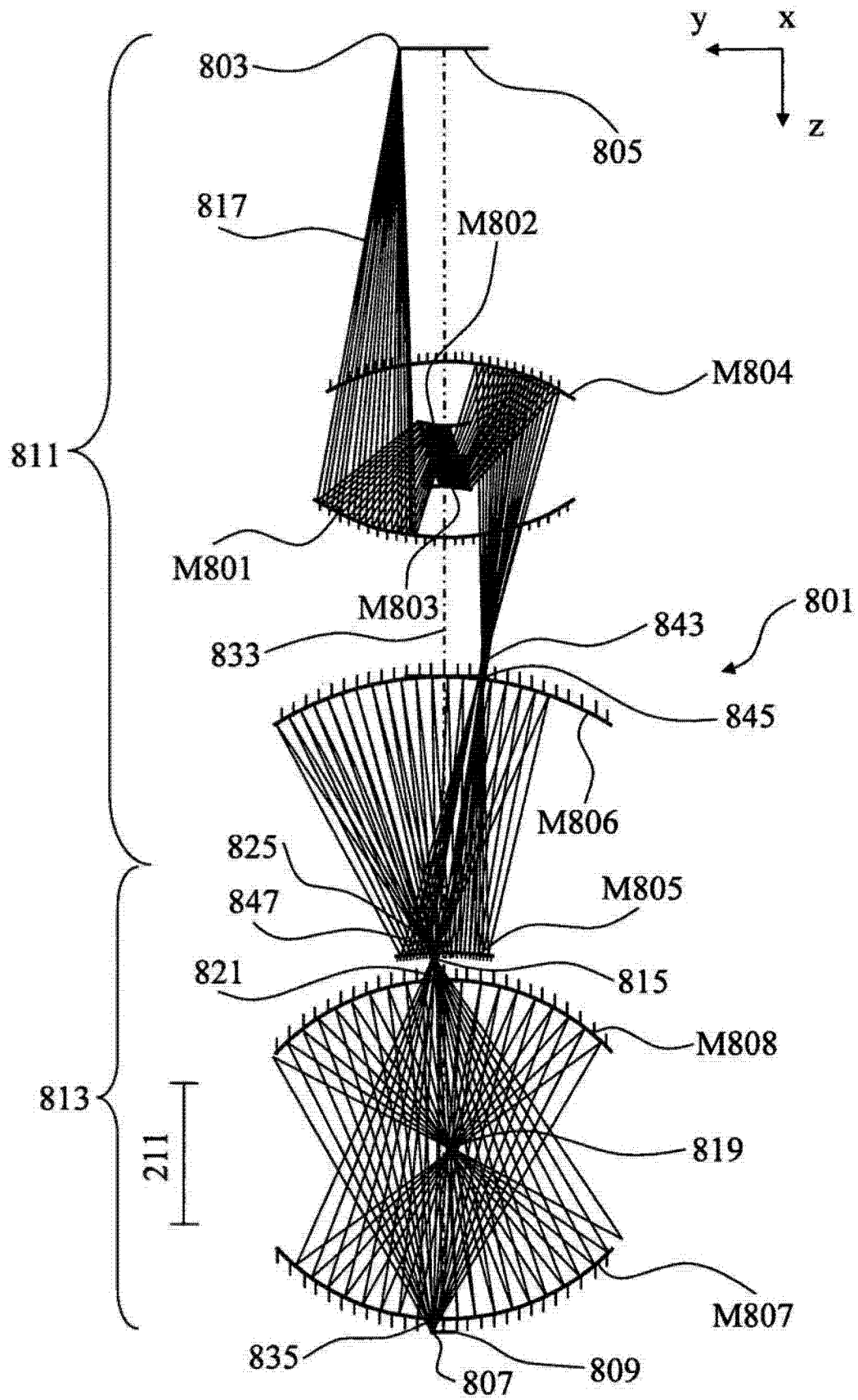


图 8

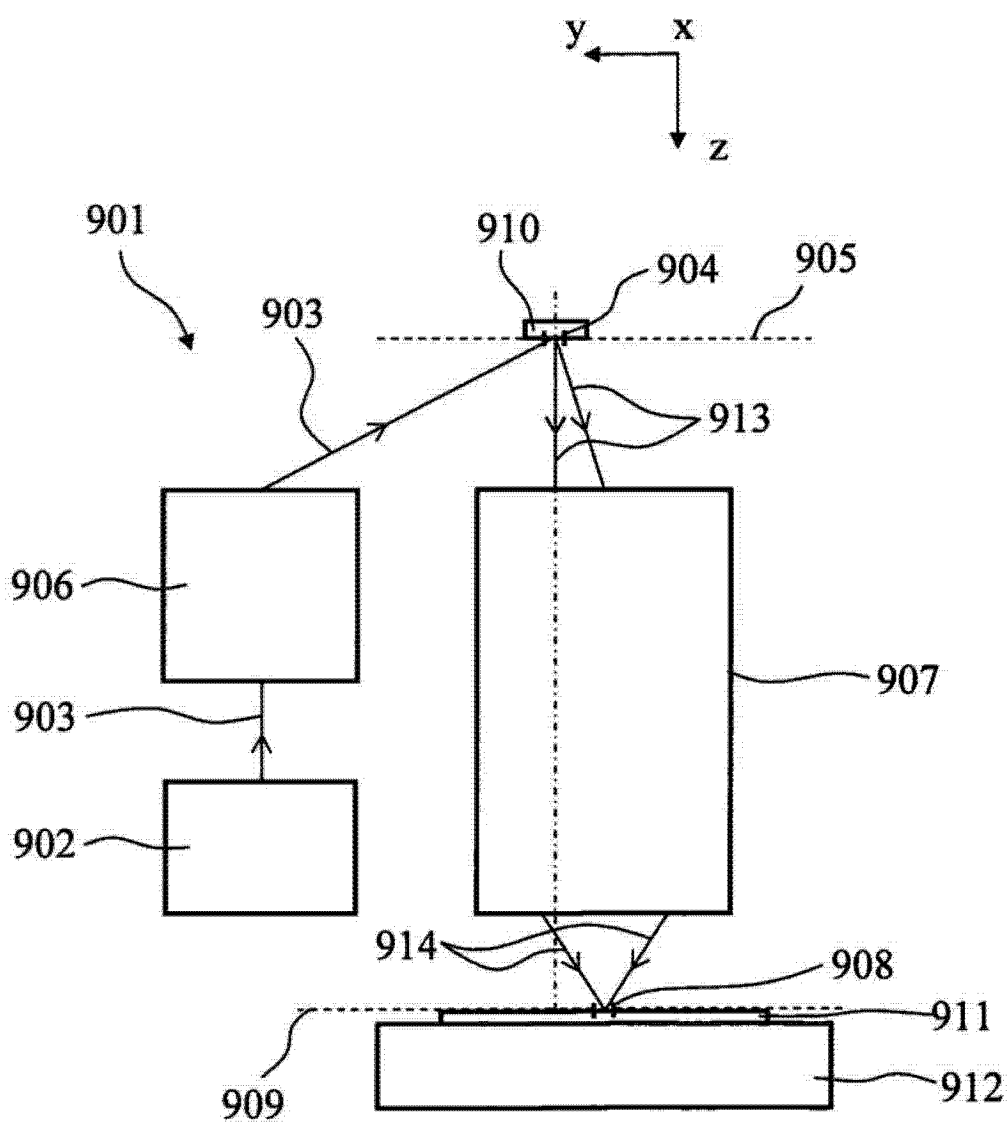


图 9