



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103329026 B

(45)授权公告日 2017.05.10

(21)申请号 201280006078.3

(22)申请日 2012.01.27

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 103329026 A

(43)申请公布日 2013.09.25

(30)优先权数据  
102011003302.5 2011.01.28 DE  
61/437,286 2011.01.28 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2013.07.22

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/EP2012/051379 2012.01.27

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02012/101269 EN 2012.08.02

(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

(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)  
G03F 7/20(2006.01)

(56)对比文件  
US 2009009897 A1,2009.01.08,  
US 6331710 B1,2001.12.18,  
US 5291340 A,1994.03.01,

审查员 莫凡

权利要求书2页 说明书32页 附图30页

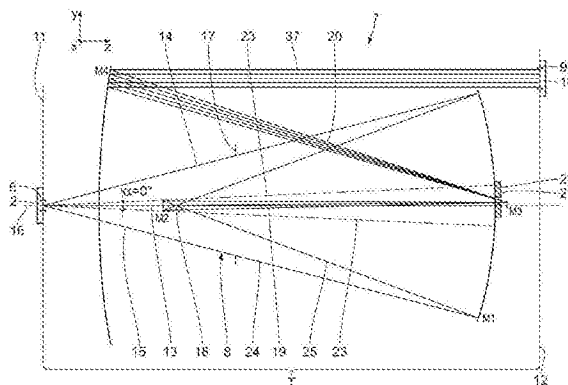
## (54)发明名称

放大成像光学单元和包含该成像光学单元的测量系统

## (57)摘要

一种放大成像光学单元(7)具有至多四个反射镜(M1至M4),其经由成像光束路径(8)将物平面(11)中的物场(6)成像至像平面(12)中的像场(9)中,所述成像光束路径(8)在所述成像光束路径(8)中相邻的反射镜(M1至M4)之间具有成像部分光线(25、19、20)。光学单元(7)被设计为使得成像光束路径(8)中的第二个反射镜(M2)和成像光束路径(8)中的第三个反射镜(M3)之间的第一成像部分光线(19)、与成像光束路径(8)中的第三个反射镜(M3)和成像光束路径(8)中的第四个反射镜(M4)之间的第二成像部分光线(20)分别通过成像光束路径(8)中的第一个反射镜(M1)的镜体(22)中的至少一个通口(21)。根据另一方面,光学单元具有至多为1300mm的结构长度T,以及结构长度T和成像比例 $\beta$ 的小于1.5mm的比率 $T/\beta$ 。尤其是针对给定的成像比例,这产生考虑了对成像光学单元的紧凑性和传输率的增加的

需求的成像光学单元。



1. 一种放大成像光学单元 (7;27;32;34;39;41;43;45;47;49;50;51;53;60;61) ,
  - 包含至多四个反射镜 (M1至M4) ,其经由成像光束路径 (8) 将物平面 (11) 中的物场 (6) 成像至像平面 (12) 中的像场 (9) 中,所述成像光束路径 (8) 在所述成像光束路径 (8) 中相邻的反射镜 (M1至M4) 之间具有成像部分光线 (25、19、20) ,
  - 其中,所述光学单元 (7;27;32;34;39;41;43;45;47;49;50;51;53;60;61) 被设计为使得
    - 所述成像光束路径 (8) 中的第二个反射镜 (M2) 和所述成像光束路径 (8) 中的第三个反射镜 (M3) 之间的第一成像部分光线 (19) ,以及
    - 所述成像光束路径 (8) 中的所述第三个反射镜 (M3) 之后的第二成像部分光线 (20)
    - 分别通过所述成像光束路径 (8) 中的第一个反射镜 (M1) 的镜体 (22) 中的至少一个通口 (21;21a、21b) 。
2. 根据权利要求1所述的放大成像光学单元,其特征在于,所述第一成像部分光线 (19) 和所述第二成像部分光线 (20) 分别通过所述第一个反射镜 (M1) 的镜体 (22) 中的同一通口 (21) 。
3. 根据权利要求1或2所述的放大成像光学单元,其特征在于,所述光学单元 (7;27;32;34;39) 被设计为使得在所述成像光束路径 (8) 中的第四个反射镜 (M4) 和所述像场 (9) 之间的第三成像部分光线 (37) 通过所述成像光束路径 (8) 中的所述第一个反射镜 (M1) 的所述镜体 (22) 。
4. 根据权利要求1或2所述的放大成像光学单元,其特征在于,所述通口 (21) 在所述成像光束路径 (8) 中至少按部分地被所述第二个反射镜 (M2) 遮蔽。
5. 一种放大成像光学单元 (7;27;32;34;39;41;43;45;47;53;55;57;61) ,
  - 包含至多四个反射镜 (M1至M4) ,其经由成像光束路径 (8) 将物平面 (11) 中的物场 (6) 成像至像平面 (12) 中的像场 (9) 中,
  - 具有至多为1300mm的结构长度T,结构长度T为所述物平面 (11) 和所述像平面 (12) 之间的距离,
  - 比率 $T/\beta$ 小于1.5mm,其中T为所述结构长度, $\beta$ 为成像比例,
  - 在所述物平面 (11) 的法线 (16) 和中心物场点的主光线 (13) 之间的物方主光线角度 $\alpha$ 为至少 $6^\circ$ 。
6. 根据权利要求1、2或5所述的放大成像光学单元,其特征在于至少0.2的物方数值孔径。
7. 根据权利要求1、2或5所述的放大成像光学单元,其特征在于,所述物场 (6) 具有至少 $40\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ 的尺寸。
8. 根据权利要求1、2或5所述的放大成像光学单元,其特征在于,RMS波前像差至多为 $500\text{m}\lambda$ 。
9. 根据权利要求1、2或5所述的放大成像光学单元,其特征在于,畸变至多为 $63\mu\text{m}$ 。
10. 根据权利要求1或2所述的放大成像光学单元,其特征在于,
  - 在所述物平面 (11) 的法线 (16) 和中心物场点的主光线 (13) 之间的物方主光线角度 $\alpha$ 小于 $1^\circ$ ,或者
  - 在所述物平面 (11) 的法线 (16) 和中心物场点的主光线 (13) 之间的物方主光线角度 $\alpha$

至少为 $6^\circ$ 。

11. 根据权利要求10所述的放大成像光学单元,其特征在于,所述中心物场点的主光线(13)在所述成像光束路径(8)中的所述第一个反射镜(M1)上的照射点(28)、以及所述中心物场点的主光线(13)在所述成像光束路径(8)中的所述第四个反射镜(M4)上的照射点(29)位于一平面(30)的不同侧上,该平面(30)垂直于所述成像光学单元(27;34;41;47)的子午面,并且所述物平面(11)的法线(16)位于所述平面(30)中。

12. 根据权利要求10所述的放大成像光学单元,其特征在于,所述中心物场点的主光线(13)在所述成像光束路径(8)中的所述第一个反射镜(M1)上的照射点(28)、以及所述中心物场点的主光线(13)在所述成像光束路径(8)中的所述第四个反射镜(M4)上的照射点(29)位于一平面(30)的相同侧上,该平面(30)垂直于所述成像光学单元(32;39;43;45)的子午面,并且所述物平面(11)的法线(16)位于所述平面(30)中。

13. 根据权利要求1、2或5所述的放大成像光学单元,其特征在于孔径光阑(17),其中至少两个成像部分光线(24、19)通过所述孔径光阑(17)。

14. 根据权利要求1、2或5所述的放大成像光学单元,其特征在于在所述物场(6)和所述像场(9)之间的所述成像光束路径(8)中有至少两个中间像(18;35)。

15. 一种用于检查物体的测量系统,

-包含根据权利要求1至14中任一项所述的放大成像光学单元(7;27;32;34;39;41;43;45;47),

-包含用于照明所述物场(6)的光源(3),

-包含检测所述像场(9)的空间分辨检测装置(10)。

## 放大成像光学单元和包含该成像光学单元的测量系统

通过引用将德国专利申请DE102011003302.5的内容并入于此。

### 技术领域

[0001] 本发明涉及放大成像光学单元,并且涉及包含该成像光学单元的测量系统。

### 背景技术

[0002] 从DE10220815A1中已知,引言中提及类型的放大成像光学单元用于微光刻的掩模的特性的效应的模拟和分析。从US6,894,834B2、W02006/0069725A1、US5,071,240、US7,623,620、US2008/0175349A1和W02010/148293A2已知其它成像光学单元。

### 发明内容

[0003] 本发明的目的是开发引言中提及类型的成像光学单元,使得尤其是针对给定的成像比例,考虑对成像光学单元的紧凑性和传输率的增加的需求。

[0004] 根据本发明的第一方面,利用如下的成像光学单元来实现该目的,该成像光学单元为一放大成像光学单元,包含至多四个反射镜,其经由成像光束路径将物平面中的物场成像至像平面中的像场中,所述成像光束路径在所述成像光束路径中相邻的反射镜之间具有成像部分光线,其中,所述光学单元被设计为使得所述成像光束路径中的第二个反射镜和所述成像光束路径中的第三个反射镜之间的第一成像部分光线,以及所述成像光束路径中的所述第三个反射镜之后的第二成像部分光线分别通过所述成像光束路径中的第一个反射镜的镜体中的至少一个通口。根据本发明的第二方面,利用如下的成像光学单元来实现该目的,该成像光学单元为一放大成像光学单元,包含至多四个反射镜,其经由成像光束路径将物平面中的物场成像至像平面中的像场中;具有至多为1300mm的结构长度T;具有所述结构长度T和成像比例 $\beta$ 的、小于1.5mm的比率 $T/\beta$ ;具有在所述物平面的法线和中心物场点的主光线之间的、至少 $6^\circ$ 的物方主光线角度 $\alpha$ 。

[0005] 根据本发明,已经认识到在成像光束路径中的第二个和第三个反射镜之间以及第三个和第四个反射镜之间的两个成像部分光线通过第一个反射镜的反射镜体时,能够实现成像光学单元的紧凑设计,然而,其中在成像光束路径中的最后一个反射镜仍可占据离像场较大距离的位置。

[0006] 在替代实施例中,仅在成像光束路径中的第二个反射镜和成像光束路径中的第三个反射镜之间的成像部分光线可通过成像光束路径中的第一个反射镜的镜体中的至少一个通口 (passage opening)。通口可为通孔或可为在第一个反射镜M1中的边缘侧面凹槽 (edge side recess)。

[0007] 因此,可实现具有大像方顶点焦距或大像方后焦距以及相应的大成像比例的系统。尤其是在成像光学单元用于在5nm和30nm之间的波长范围的EUV辐射时,包含至多四个反射镜的设计确保低的反射损失。亦可将成像光学单元的反射镜上的入射角保持得较小,这对具有优化的反射率的反射镜的设计是有利的。

[0008] 第二成像部分光线可在成像光束路径中的第三个反射镜和第四个反射镜之间传播。

[0009] 成像光学单元可正好具有三个反射镜。在该情况下,第二成像部分光线可在成像光束路径中的第三个反射镜和像场之间传播。成像光学单元可为反射光学装置。

[0010] 只要第一和第二成像部分光线通过在第一个反射镜的镜体中的同一通口,则可使用相对少的费用来制造第一个反射镜。第一个反射镜中分离的通口用于成像部分光线通过也是可以的,这可使得第一个反射镜上的反射区域由于通口导致损失较低,以及因此使得第一个反射镜的反射损失较低。

[0011] 优选地,所述光学单元被设计为使得在所述成像光束路径中的第四个反射镜和所述像场之间的第三成像部分光线通过所述成像光束路径中的所述第一个反射镜的所述镜体。设计这样的光学单元允许甚至更紧凑的设计。

[0012] 优选地,所述通口在所述成像光束路径中至少按部分地被所述反射镜之一遮蔽。如此遮蔽(shade)第一个反射镜的镜体中的通口降低或避免该至少一个通口导致的附加遮拦(obscuration)。对于在第一个反射镜中提供多个通口的情形,可将成像光学单元设计为使得通口的至少一个在成像光束路径中至少按部分地(in sections)被反射镜之一遮蔽。

[0013] 根据另一方面,成像光学单元的结构长度 $T$ 和成像比例 $\beta$ 之间的比率 $T/\beta$ 同样确保成像光学单元的紧凑实施例。结构长度可为1439mm,可为1300mm,可为1227mm,可为1093mm,可为1010mm,可至多为1000mm,可为900mm,可为878mm,可至多为800mm,可为741mm,以及可为700mm。结构长度和成像比例的比率 $T/\beta$ 可小于1.6mm,可为1.502mm,可为1.44mm,可小于1.2mm,可为1.17mm,可小于1.1mm,可小于1.0mm,可为0.98mm,可为0.94mm,可小于0.9mm,以及可为0.87mm。取决于相应实施例,可实现其他的比率 $T/\beta$ 。成像比例可大于500,大于700,可为711,可为750,可大于800,以及可为850。至少 $6^\circ$ 的物方主光线角度 $\alpha$ 使得能够在成像光学单元的组件和照明光学单元的组件不彼此干扰的情况下成像反射物体(reflective object)。替代地,物平面的法线和中心物场点的主光线之间的物方主光线角度 $\alpha$ 可小于 $1^\circ$ 。可针对暗场(dark field)照明和/或明场照明来优化用于本发明的另一方面的这些替代的主光线角度。依赖于主光线角度,反射掩模母版(reticle)的检查,或者透射掩模母版的检查,例如相移掩模的检查是可能的。

[0014] 至少0.2的物方数值孔径允许大的成像比例。此外,依赖于照明光学单元的设计,为了照明物体,允许不同的照明几何形状,例如暗场或明场照明。

[0015] 尤其是在检查投射曝光(特别是EUV投射曝光)中的光刻掩模时,具有至少 $40\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ 的尺寸的物场适合于将被检查的表面。物场可为矩形。物场可具有 $100\mu\text{m} \times 300\mu\text{m}$ 、 $100\mu\text{m} \times 400\mu\text{m}$ 、或 $100\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ 的尺寸。

[0016] 至多为 $500\text{m}\lambda$ 的RMS(均方根)波前像差和/或至多为 $63\mu\text{m}$ 的畸变导致足够用于尤其是使用CCD阵列的物体检查的像差校正。波前像差(RMS)可为 $465\text{m}\lambda$ ,可至多为 $250\text{m}\lambda$ ,可为 $216\text{m}\lambda$ ,可至多为 $31\text{m}\lambda$ ,可至多为 $30\text{m}\lambda$ ,至多 $25\text{m}\lambda$ ,可为 $22\text{m}\lambda$ ,可至多为 $20\text{m}\lambda$ ,可至多为 $10\text{m}\lambda$ ,可为 $6\text{m}\lambda$ ,以及甚至可仅为 $2\text{m}\lambda$ 。最大畸变可为 $63.8\mu\text{m}$ ,可至多为 $50\mu\text{m}$ ,可至多为 $25\mu\text{m}$ ,可至多为 $15\mu\text{m}$ ,可为 $12.3\mu\text{m}$ ,可至多为 $1500\text{nm}$ ,可为 $1000\text{nm}$ ,可为 $500\text{nm}$ ,可为 $400\text{nm}$ ,可为 $300\text{nm}$ ,可为 $150\text{nm}$ ,以及甚至可仅为 $40\text{nm}$ 。

[0017] 依赖于相应实施例,可实现其他的物方数值孔径,其他的物场尺寸以及其他的RMS

波前像差。

[0018] 对于第一方面,优选地,在所述物平面的法线和中心物场点的主光线之间的物方主光线角度 $\alpha$ 小于 $1^\circ$ ,或者在所述物平面的法线和中心物场点的主光线之间的物方主光线角度 $\alpha$ 至少为 $6^\circ$ ,可针对暗场照明和/或明场照明优化其中的主光线角度。依赖于主光线角度,反射掩模母版的检查,或者透射掩模母版的检查,例如相移掩模的检查是可能的。

[0019] 依赖于用于照明物场的照明光学单元的构造,可以在结构空间方面优化的方式来规定如下两种替代实施例的成像光学单元的构造。第一,所述中心物场点的主光线在所述成像光束路径中的所述第一个反射镜上的照射点、以及所述中心物场点的主光线在所述成像光束路径中的所述第四个反射镜上的照射点位于一平面的不同侧上,该平面垂直于所述成像光学单元的子午面,并且所述物平面的法线位于其中。第二,所述中心物场点的主光线在所述成像光束路径中的所述第一个反射镜上的照射点、以及所述中心物场点的主光线在所述成像光束路径中的所述第四个反射镜上的照射点位于一平面的相同侧上,该平面垂直于所述成像光学单元的子午面,并且所述物平面的法线位于其中。成像光学单元的这些构造产生相应的自由空间,其中可容纳照明光学单元的组件。

[0020] 至少两个成像部分光线通过的孔径光阑限定成像光束路径。可以能够偏心的方式来构造孔径光阑,用于主光线角度的变化。此外,孔径光阑可构造为具有可改变的直径,用于物方数值孔径的变化。三条成像部分光线、四条成像部分光线或者甚至五条成像部分光线或部分光束可通过孔径。

[0021] 在进行光学设计时,在所述物场和所述像场之间的所述成像光束路径中的至少两个中间像平面增加了自由度。特别地,这可用于使得在最后一个反射镜和像场之间的、在第一个反射镜水平(level)处的成像光部分光线也能够被紧凑地构造,从而也可为该成像光部分光线提供第一个反射镜中的通口。正好具有一个中间像或完全没有中间像的成像光学单元的构造也是可能的。

[0022] 本公开还提供了一种用于检查物体的测量系统,包含上述成像光学单元,包含用于照明所述物场的光源,以及包含检测所述像场的空间分辨检测装置。该测量系统的优点对应于在上文中参考成像光学单元已经说明的那些。可以提供CCD传感器,尤其是TDI CCD传感器作为检测装置。

[0023] 上面说明的成像光学单元的特征也可以彼此组合的方式出现,并且可单独地构成上文未详细涉及的本发明的相应方面。

## 附图说明

[0024] 下文参考附图更详细地说明本发明的示例实施例,其中:

[0025] 图1示意地示出了用于检查物体的测量系统,其中用于EUV投射光刻的反射掩模母版用作待检查的物体;

[0026] 图2以类似于图1的示图示出了测量系统的另一实施例,其中用于EUV投射光刻的透射掩模母版(例如相移掩模)用作待检查的物体;

[0027] 图3示出了穿过用于根据图1或2的测量系统中的放大成像光学单元的实施例的子午截面,其中成像光学单元用于光刻掩模(即掩模母版)对EUV投射光刻的投射曝光设备的投射光学单元中的光学成像的效应和特性的模拟以及分析,或者用于掩模缺陷的大面积检

测；

[0028] 图4以曲线图示出了主光线畸变CRD对根据图3的成像光学单元的物场的场高 $y$ 的依赖性,其中场高 $y$ 在子午平面中延伸,并且与成像光学单元的光轴垂直,该子午平面与图3的图平面重合,其中用于移动待检查的掩模的扫描方向沿着 $y$ 方向延伸;

[0029] 图5以类似于图3的示图示出了成像光学单元的另一实施例;

[0030] 图6以类似于图4的示图,针对根据图5的成像光学单元示出了主光线畸变CRD对场高 $y$ 的依赖性;

[0031] 图7以类似于图3的示图示出了成像光学单元的另一实施例;

[0032] 图8以类似于图4的示图,针对根据图7的成像光学单元示出了主光线畸变CRD对场高 $y$ 的依赖性;

[0033] 图9以类似于图3的示图示出了成像光学单元的另一实施例;

[0034] 图10以类似于图4的示图,针对根据图9的成像光学单元示出了主光线畸变CRD对场高 $y$ 的依赖性;

[0035] 图11以类似于图3的示图示出了成像光学单元的另一实施例;

[0036] 图12以类似于图4的示图,针对根据图11的成像光学单元示出了主光线畸变CRD对场高 $y$ 的依赖性;

[0037] 图13以类似于图3的示图示出了成像光学单元的另一实施例;

[0038] 图14以类似于图4的示图,针对根据图13的成像光学单元示出了主光线畸变CRD对场高 $y$ 的依赖性;

[0039] 图15以类似于图3的示图示出了成像光学单元的另一实施例;

[0040] 图16以类似于图4的示图,针对根据图15的成像光学单元示出了主光线畸变CRD对场高 $y$ 的依赖性;

[0041] 图17以类似于图3的示图示出了成像光学单元的另一实施例;

[0042] 图18以类似于图4的示图,针对根据图17的成像光学单元示出了主光线畸变CRD对场高 $y$ 的依赖性;

[0043] 图19以类似于图3的示图示出了成像光学单元的另一实施例;

[0044] 图20以类似于图4的示图,针对根据图19的成像光学单元示出了主光线畸变CRD对场高 $y$ 的依赖性;以及

[0045] 图21至31以类似于图3的示图示出了成像光学单元的另一实施例。

### 具体实施方式

[0046] 图1高示意性地示出了用于检查用于EUV投射光刻的掩模母版或光刻掩模形式的物体2的测量系统1。测量系统1,亦称为APMI(光化学图案掩模检查(Actinic Patterned Mask Inspection)),尤其可用于检查掩模母版2上的缺陷和其对EUV投射光刻中的成像的效应。特别地,针对图案误差,可检查掩模母版2。借助于分析所谓的空间像(空间像测量系统,AIMS),随后可检查图案误差。从DE10220815A1可知AIMS系统。测量系统1用于检查反射掩模母版2。

[0047] 为了便于表示位置关系,下文使用了笛卡尔xyz坐标系。图1中,x轴垂直于图平面并从平面向外延伸。y轴在图1中朝着右边延伸。z轴在图1中向上延伸。

[0048] 测量系统1具有EUV光源3,用于产生照明和成像光4。EUV光源可为等离子体源,即LPP源(激光产生的等离子体),或GDP源(气体放电产生的等离子体)。EUV光源3也可EUV激光器。EUV激光器例如可通过较长波长的激光辐射的倍频来实现。EUV光源3发出具有13.5nm的波长的可用照明和成像光4。考虑EUV光源3的相应设计,在5nm和100nm之间的范围内,尤其是在5nm和30nm之间的范围内的其他波长也可用于照明和成像光4。

[0049] 照明光学单元5用于从EUV光源3朝着物场6传输照明和成像光4,物场6中布置有反射掩模母版2的部分。

[0050] 具有例如500的高放大因子的成像光学单元7经由成像光束路径8将物场6成像至像场9中。CCD传感器10形式的空间分辨检测装置检测照明和成像光4在像场9上的强度分布。CCD传感器10的CCD芯片可实施为时间延迟和积分CCD芯片(时间延迟和积分电荷耦合器件,TDI CCD)。TDI CCD芯片尤其可用于检查移动通过物场6的掩模母版2。掩模母版2的移动方向可沿着y方向延伸。

[0051] 从物场6发出的照明和成像光4的照明和检测可以多种方式进行。在根据图1的测量系统的情况中,例如以0.25的数值孔径NA来实现照明。依赖于实施例,成像光学单元7可完全或部分地捕获(capture)该数值孔径。假设是完美反射的掩模母版2,那么因此,从掩模母版2反射的照明和成像光4的全部或所述光的部分可由成像光学单元7所捕获。这种照明也称为明场照明。暗场照明也是可能的,其中由掩模母版2散射或衍射的照明和成像光4的部分由CCD传感器10检测。

[0052] 图2示出了用于检查掩模母版2的测量系统1的变型,掩模母版2对于照明和成像光4至少是部分透射的,例如相移掩模。与上文中参考图1而已经描述的组件对应的组件具有相同的参考符号,并将不再被详细描述。

[0053] 与根据图1的实施例相反,在根据图2的测量系统1的情况下,成像光学单元7不布置在照明和成像光4的反射光束路径的方向上,而是在透射通过掩模母版2的光束路径的方向上。在该情况下,依赖于照明光学单元5和/或成像光学单元7的实施例,明场或暗场照明也是可能的。

[0054] 图3示出了可用于图1或2中的测量系统1的成像光学单元7的实施例。与测量系统1的描述有关的上文中已经描述的组件具有相同的参考符号,并将不再被详细描述。关于根据图3的成像光学单元7的描述,以及关于成像光学单元的其它实施例的描述,也使用笛卡尔xyz坐标系统。图3中,x轴垂直于图平面并延伸向平面内。y轴在图3中向上延伸。z轴在图3中向右延伸。

[0055] 根据图3的成像光学单元7以750的放大因子将位于物平面11中的物场6成像至位于像平面12中的像场9中。

[0056] 为了显示成像光学单元7的成像光束路径8,图3示出了从在y方向上一个位于另一个上的五个物场点发出的主光线13和慧差(coma)光线14、15的路线。在物场6中,在y方向上的所述物场点之间的距离非常小,以至于所述距离在图中不能被分辨。这五个物场点成像为五个像场点,在图3中,该五个像场点在像场9中一个位于另一个上,由于高放大因子,在附图中该五个像场点被分离地分辨出。一方面,主光线13,以及另一方面,慧差光线14、15在下文中还被表示为成像光线。

[0057] 一方面,物场6,以及另一方面,像场9位于彼此分隔开的xy平面中。物场6在y方向



上具有 $40\mu\text{m}$ 的范围,并且在x方向上具有 $200\mu\text{m}$ 的范围,即具有 $40\times 200\mu\text{m}^2$ 的场尺寸。物场6和像场9分别都是矩形的。

[0058] 主光线13在物场6和像场9之间的成像光束路径8中以主光线角度 $\alpha$ 从物场6发出,该主光线角度 $\alpha$ 相对于物平面11的中心物场点的法线16(在z方向上延伸)几乎为 $0^\circ$ 。由于该实际上为零的主光线角度 $\alpha$ ,即由于主光线13在掩模母版2上的几乎垂直的路线,在根据图2的测量系统1中,根据图3的成像光学单元7可用于暗场照明。主光线角度 $\alpha$ 小于 $1^\circ$ 。其他的主光线角度 $\alpha$ ,尤其是较大的主光线角度 $\alpha$ 是可能的。

[0059] 成像光学单元7的物场侧的数值孔径为 $\text{NA}0=0.25$ 。

[0060] 在像平面12中,成像光线13至15分别在像场9的五个像场点之一处几乎垂直地与像平面12接触。与各个像场点关联的主光线13平行于彼此延伸。因此,根据图3的成像光学单元7在像方是远心的。

[0061] 在物场6和像场9之间的成像光束路径中,成像光学单元7正好具有四个反射镜,其在下文中按照其布置在成像光束路径中的顺序由M1、M2、M3和M4来表示。四个反射镜M1至M4构成彼此分离的四个光学组件。

[0062] 孔径光阑17布置在物场6和反射镜M1之间的光束路径中。孔径光阑17布置在根据图3的成像光学单元7的第一光瞳平面中,第一光瞳平面在物场6和反射镜M1之间。根据图3的成像光学单元7的第二光瞳平面位于成像光束路径8中反射镜M2和反射镜M3之间。

[0063] 将在物场6和像场9之间的光束路径中的第一个反射镜M1非球面地实现为凹的主反射镜,并且将其它反射镜M2至M4球面地实现。以凹形式来构造反射镜M2,以凸形式构造反射镜M3,并且以凹形式构造反射镜M4。

[0064] 图3示出了用于反射镜M1至M4的反射表面的数学建模的母表面(parent surface)的横断曲线。在示出的截平面中实际上物理地存在反射镜M1至M4的反射表面的如下这些区域:即应用了慧差光线14、15以及在慧差光线14、15之间实际应用了成像辐射的区域。

[0065] 中间像18位于在反射镜M1和M2之间的成像光束路径中。

[0066] 针对 $13.5\text{nm}$ 的工作波长,设计成像光学单元7。

[0067] 反射镜M1至M4具有涂层,该涂层对照明成像光4是高反射的,该涂层可被实施为多层涂层。

[0068] 第一成像部分光线19位于成像光束路径8中第二个反射镜M2和第三个反射镜M3之间。第二成像部分光线20位于成像光束路径8中第三个反射镜M3和第四个反射镜M4之间。两个成像部分光线19和20都通过成像光束路径8中的第一个反射镜M1的镜体22中的通口21。在图3中,仅示意地示出了在通口21附近的镜体22。两个成像部分光线19、20通过同一个通口21。

[0069] 通口21在成像光束路径8中完全被反射镜M2所遮蔽。这在图3中由两个虚线阴影线23示出,虚线阴影线23分别从物场6延伸至反射镜M1,并且其路线(course)由反射镜M2的遮蔽边缘限定。

[0070] 在物场6和第一个反射镜M1之间的成像部分光线24通过孔径光阑17,其中孔径光阑17限定成像部分光线24的边缘范围。此外,在反射镜M1和反射镜M2之间的成像光束路径8的另一成像部分光线25,以及第一成像部分光线19都通过孔径光阑17。

[0071] 借助于两个表,在下文中再现了根据图3的成像光学单元7的光学数据。在“半径”

列中,第一个表示出了反射镜M1至M4各自的曲率半径。第三列(厚度)描述了各个情况中在z方向上离下游表面的距离。

[0072] 第二个表描述了反射镜M1的反射表面的准确的非球面表面形状,其中,应将常数K和A至E插入用于矢高(sagitta)的下式中:

$$[0073] \quad z(h) = \frac{ch^2}{1 + \text{SQRT}\{1 - (1+K)c^2h^2\}} + Ah^4 + Bh^6 + Ch^8 + Dh^{10} + Eh^{12} (+ Fh^{14} + Gh^{16})$$

[0074] 在该情况下,h表示离成像光学单元7的光轴(即法线16)的距离。因此, $h^2=x^2+y^2$ 适用。“半径”的倒数被插入等式,为c。

	表面	半径	厚度	工作模式
[0075]	物	无限大	341.321	反射
	光阑	无限大	458.679	
	M1	-661.396	-587.218	
[0076]	M2	45.279	606.973	反射
	M3	37.363	-719.756	反射
	M4	1492.495	778.296	反射
	像	无限大	0.000	

	表面	K	A	B
[0077]	M1	0.000000E+00	1.646127E-11	3.681016E-17
	表面	C	D	E
	M1	7.950565E-23	9.621018E-29	1.101070E-33

[0078] 依赖于成像光学单元的实施例,结构长度T,即物平面11和像平面12之间的距离或成像光学单元7的在z方向上彼此离得最远的组件之间的距离,为878mm。关于结构长度T的该定义,物场6和像场9也是成像光学单元的组件。结构长度T和成像比例β的比率为878mm/750=1.17mm。

[0079] 最后一个反射镜M4和像场9之间的距离大于结构长度T的88%。

[0080] 图4以曲线图示出了单位为nm的主光线畸变CRD对根据图3的成像光学单元7的物场6的场高y的依赖性。畸变分布(profile)26近似为抛物线,其在场高 $y \approx 23\mu\text{m}$ 处具有CRD  $\approx -280\text{nm}$ 的最小值。最大畸变值CRD  $\approx 360\text{nm}$ 在场高 $y=0$ 处实现。在另一场边缘,即在场高 $y=40\mu\text{m}$ 处,畸变CRD  $\approx 125\text{nm}$ 。因此,在物场6的整个y场高上,畸变CRD的绝对值小于400nm。因此,假定CCD传感器10的像素尺寸为 $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ ,则成像光学单元7被良好地校正。由于成像光学单元7关于光轴的旋转对称性,产生畸变CRD对x尺寸的相应依赖性。

[0081] 在成像光学单元7的情况下,可以衍射受限和无畸变的方式来校正测量系统1所需的集光度(etendue) (孔径×场尺寸)。

[0082] 参考图5和6,下文给出了成像光学单元的另一实施例27的描述,成像光学单元27可用于代替根据图3的成像光学单元7。与先前的图中已经说明过的组件和功能对应的组件和功能具有相同的参考符号,并将不再被详细讨论。相对于先前的示例实施例的差别在下文中得到说明。

[0083] 成像光学单元27具有在物平面11的法线16和中心物场点的主光线13之间的 $10^\circ$ 的物方主光线角度 $\alpha$ 。成像光学单元27可用于根据图1的测量系统1的反射掩模母版2的明场照明。假定在图5中示意地示出的照明光学单元5中选择适当小的照明孔径,则在掩模母版2处反射的照明成像光4的零级衍射未特别地被反射镜M2所遮蔽。

[0084] 成像光学单元27具有在物平面11和像平面12之间的800mm的结构长度T。在反射镜M4和物平面11之间的距离A大于结构长度T的38%。因此,在成像光学单元27的情况中,在物平面11附近存在足够的空间,用于照明光学单元5。

[0085] 在成像光学单元27的情况中,通口21也位于反射镜M2的遮蔽中。

[0086] 不同场点的主光线13发散地在成像光束路径8中、最后一个反射镜M4和像场9之间延伸。

[0087] 结构长度T和成像比例 $\beta$  ( $\beta=850$ ) 的比率 $T/\beta$ 在成像光学单元27的情况中为 $T/\beta=0.94\text{mm}$ 。

[0088] 成像光学单元27具有0.24的物方数值孔径。成像光学单元27的物场6具有在y方向上的 $100\mu\text{m}$ 的尺寸和在x方向上的 $300\mu\text{m}$ 的尺寸。

[0089] 中心物场点的主光线13在成像光束路径8中的第一个反射镜M1上的照射点28、以及中心物场点的主光线13在成像光束路径8中的第四个反射镜M4上的照射点29位于平面30的不同侧上,该平面30垂直于成像光学单元27的子午平面(图5中的图平面),并且法线16位于平面30中。因此,平面30被定义为垂直于子午平面并包含法线16的平面。平面30位于照射点28和29之间。

[0090] 在成像光学单元27的情况下,图6示出了相对于物场6的场高y的CRD分布31。在场高 $y=0$ 的情况下,畸变值 $\text{CRD}\approx-40\text{nm}$ 。在场高 $y\approx 20\mu\text{m}$ 的情况下,畸变值达到局部最大值 $\text{CRD}\approx 110\text{nm}$ 。在场高 $y\approx 75\mu\text{m}$ 的情况下,畸变值达到最小值 $\text{CRD}\approx -225\text{nm}$ 。在场高 $y=100\mu\text{m}$ 处,畸变值达到全局最大值 $\text{CRD}\approx 175\text{nm}$ 。因此,畸变的绝对值在整个y场高上小于250nm。

[0091] 借助于两个表,在下文中再现了根据图5的成像光学单元27的光学数据,该两个表在结构上对应于根据图3的成像光学单元7的表。

	表面	半径	厚度	工作模式
[0092]	物	无限大	314.392	
	光阑	无限大	364.472	

[0093]	M1	-536.900	-469.274	反射
	M2	48.401	570.410	反射
	M3	45.000	-470.410	反射
	M4	-1844.563	490.410	反射
	像	无限大	0.000	

表面	K	A	B
M1	0.000000E+00	4.357111E-11	1.480406E-16
M2	0.000000E+00	-1.386259E-07	4.004273E-12
M4	0.000000E+00	2.326524E-09	-1.752362E-14
表面	C	D	E
M1	4.934056E-22	9.065147E-28	1.077925E-32
M2	-7.308931E-14	1.933971E-16	0.000000E+00
M4	9.974181E-20	0.000000E+00	0.000000E+00

[0095] 因此,在成像光学单元27的情况下,反射镜M1、M2和M4被实施为非球面反射镜。反射镜M3被实施为球面反射镜。

[0096] 参考图7和8,下文给出了成像光学单元的另一实施例32的描述,该成像光学单元32可用于代替根据图3的成像光学单元7。与之前的图中已经说明过的组件和功能对应的组件和功能具有相同的参考符号,并将不再被详细讨论。相对于先前的示例实施例的差别在下文中得到说明。

[0097] 成像光学单元32可用于根据图1的测量系统1,即用于检查反射掩模母版2。

[0098] 成像光学单元32的成像光束路径8类似于成像光学单元27的成像光束路径。与成像光学单元27相比,在物场6和反射镜M3之间,成像光学单元32的成像光束路径8可认为是关于平面30的镜像。

[0099] 中心物场点的主光线13在成像光束路径8中的第一个反射镜M1上的照射点28、以及中心物场点的主光线在成像光束路径8中的第四个反射镜M4上的照射点29位于平面30的相同侧上,因此,在成像光学单元32的情况下,对于照明光学单元5,第四个反射镜M4不是结构空间受限的,其在图7中示意地示出。

[0100] 在成像光学单元32的情况中,在反射镜M1的镜体22中实施了两个通口21a、21b,代替镜体22中的单个通口21。通过通口21a,在反射镜M2和M3之间的第一成像部分光线19通过镜体22。通过另一通口21b,在反射镜M3和M4之间的第二成像部分光线通过镜体22。

[0101] 通口21a由反射镜M2遮蔽。

[0102] 成像光部分光线24、25、19,以及附加的第二成像光部分光线20通过孔径光阑17。

[0103] 成像光学单元32具有741mm的结构长度T。反射镜M4和物平面11之间的距离A与结构长度T之间的比率为 $A/T \approx 0.28$ 。在成像光学单元32的情况中,结构长度T和成像比例 $\beta$  ( $\beta=850$ )的比率 $T/\beta$ 为 $T/\beta=0.87\text{mm}$ 。

[0104] 借助于两个表,在下文中再现了根据图7的成像光学单元32的光学数据,该两个表在结构上对应于根据图3的成像光学单元7的表。

表面	半径	厚度	工作模式
物	无限大	299.082	
光阑	无限大	321.628	
M1	-467.134	-400.711	反射
M2	49.955	500.811	反射
M3	45.000	-501.728	反射
M4	-1007.185	521.728	反射
像	无限大	0.000	

表面	K	A	B
M1	0.000000E+00	8.920370E-11	3.897637E-16
M2	0.000000E+00	-2.340808E-07	-8.443464E-11
M4	0.000000E+00	3.951304E-09	-3.068802E-14
表面	C	D	E
M1	1.859259E-21	2.937370E-27	6.606394E-32
M2	1.060639E-13	-1.686228E-16	0.000000E+00
M4	1.570060E-19	0.000000E+00	0.000000E+00

[0107] 图8示出了相对于场高 $y$ 的主光线畸变CRD的分布33。原则上,根据图7的成像光学单元32的CRD分布33类似于根据图5的成像光学单元27的CRD分布31。在场高 $y=0$ 的情况下,出现 $0\mu\text{m}$ 的主光线畸变CRD。在场高 $y\approx 15\mu\text{m}$ 的情况下,出现 $\text{CRD}\approx 700\text{nm}$ 的主光线畸变的局部最大值。在场高 $y\approx 70\mu\text{m}$ 的情况下,出现 $\text{CRD}\approx -1400\text{nm}$ 的主光线畸变的最小值。在场高 $y\approx 100\mu\text{m}$ 的情况下,出现 $\text{CRD}\approx 1400\text{nm}$ 的主光线畸变的全局最大值。主光线畸变绝对值在整个场高上都不大于 $1500\text{nm}$ 。

[0108] 参考图9和10,下文给出了成像光学单元的另一实施例34的描述,该成像光学单元34可用于代替根据图3的成像光学单元7。与之前的图中已经说明过的组件和功能对应的组件和功能具有相同的参考符号,并将不再被详细讨论。相对于先前的示例实施例的差别在下文中得到说明。

[0109] 成像光学单元34具有两个中间像,即除中间像18之外还有在反射镜M3和M4之间的成像光束路径中的另一中间像35。

[0110] 另一光瞳平面36位于第二中间像35和像场9之间,所述另一光瞳平面表示其中布置孔径光阑17的平面的像。与布置在成像光束路径8中、反射镜M4和像场9之间的光瞳平面36邻近,在反射镜M4和像场9之间的成像部分光线37具有比像场9的横向尺寸小的直径。成

像部分光线37为第三成像部分光线,其通过成像光学单元34的反射镜M1的镜体22,并且因此亦称为第三成像部分光线37。

[0111] 与成像光学单元32的实施例相似,反射镜M1的镜体22具有两个通口21a、21b。第一成像部分光线19和第二成像部分光线20通过通口21a。第三成像部分光线37通过通口21b。通口21a完全由反射镜M2所遮蔽。由于通口21b的小直径,通口21b对成像光束路径8的附加遮拦小。

[0112] 成像光学单元34具有1227mm的结构长度T和850的放大率 $\beta$ 。在成像光学单元34的情况下,比率 $T/\beta$ 为1.44mm。成像光学单元34的物场在y方向上具有100 $\mu\text{m}$ 的范围,并且在x方向上具有400 $\mu\text{m}$ 的范围。

[0113] 反射镜M4和物平面11之间的距离A与结构长度T之间的比率为 $A/T=0.24$ 。

[0114] 在成像光学单元34的情况下,主光线13在光瞳平面36和像场9之间发散地传播。

[0115] 由于成像光束路径在反射镜M4处被折返回反射镜M1的方向上,所以这导致在y方向上整体非常紧凑的成像光学单元34。因此,反射镜M1至M4、物场6、以及像场9的在y方向上彼此离得最远且被施加了成像辐射的点之间的距离B较小。在成像光学单元34的情况下,比率 $B/T$ 为0.41。

[0116] 借助于两个表,在下文中再现了根据图9的成像光学单元34的光学数据,该两个表在结构上对应于根据图3的成像光学单元7的表。

[0117]

物	无限大	376.829	
光阑	无限大	423.171	
M1	-680.112	-620.000	反射
M2	54.939	719.999	反射
M3	45.614	-619.999	反射
M4	468.493	947.141	反射
像	无限大	0.000	

[0118]

表面	K	A	B
M1	0.000000E+00	1.271439E-11	2.758381E-17
M2	0.000000E+00	5.407597E-08	7.532271E-11
M4	0.000000E+00	-5.313806E-10	-1.465797E-15
表面	C	D	E
M1	5.668265E-23	7.895876E-29	4.584057E-34
M2	-1.079043E-14	9.519225E-17	0.000000E+00
M4	-8.252054E-21	0.000000E+00	0.000000E+00

[0119] 图10示出了相对于成像光学单元34的物场6的场高y的主光线畸变分布或CRD分布

38。原则上,该CRD分布类似于根据图6和8的分布,其中,与那些分布相比,CRD分布38在图10中的右手场边缘处再次降低至更小的绝对值。在场高 $y \approx 0$ 的情况下,主光线畸变 $CRD \approx -15\text{nm}$ 。在场高 $y \approx 20\mu\text{m}$ 的情况下,主光线畸变 $CRD \approx 30\text{nm}$ ,并且在此有局部最大值。在场高 $y \approx 55\mu\text{m}$ 的情况下,CRD分布38具有全局最小值 $CRD \approx -18\text{nm}$ 。在场高 $y \approx 90\mu\text{m}$ 的情况下,CRD分布38具有全局最大值 $CRD \approx 40\text{nm}$ 。在绝对值方面,主光线畸变在整个 $y$ 场高中总是小于 $40\text{nm}$ 。

[0120] 在成像光学单元34的情况下,照射点28、29再次位于平面30的不同侧上。

[0121] 参考图11和12,下文给出了成像光学单元的另一实施例39的描述,该成像光学单元39可用于代替根据图3的成像光学单元7。与之前的图中已经说明过的组件和功能对应的组件和功能具有相同的参考符号,并将不再被详细讨论。相对于先前的示例实施例的差别在下文中得到说明。

[0122] 与成像光学单元34相比,成像光学单元39的成像光束路径8的部分被关于平面30镜像,该相比方式与上文在根据图5和7的成像光学单元27和32的相比中说明的方式相似。在成像光学单元39的情况中,成像部分光线19和20通过反射镜M1的镜体22的通口21。成像部分光线37传播越过反射镜M1,即未通过反射镜M1的镜体22。

[0123] 成像光束路径8的所有成像部分光线24、25、19、20和37通过孔径光阑17。

[0124] 照射点28和29都位于平面30的相同侧上。

[0125] 成像光学单元39具有 $800\text{mm}$ 的结构长度 $T$ 和 $850$ 的放大率 $\beta$ 。在根据图5的成像光学单元27的情况中,比率 $T/\beta$ 为 $0.94\text{mm}$ 。

[0126] 借助于两个表,下文再现了根据图11的成像光学单元39的光学数据,该两个表在结构上对应于根据图3的成像光学单元7的表。

表面	半径	厚度	工作模式
物	无限大	301.306	
光阑	无限大	379.389	
M1	-559.837	-500.696	反射
M2	48.560	600.000	反射
M3	40.000	-680.000	反射
M4	409.424	700.000	反射
像	无限大	0.000	

表面	K	A	B
M1	0.000000E+00	2.965442E-11	9.292083E-17
M2	0.000000E+00	-2.649999E-08	3.216689E-11

	M4	0.000000E+00	-1.131277E-09	-3.568456E-15
	表面	C	D	E
[0129]	M1	2.937853E-22	5.132600E-28	5.061928E-33
	M2	8.859961E-14	0.000000E+00	0.000000E+00
	M4	-2.085254E-20	0.000000E+00	0.000000E+00

[0130] 图12示出了成像光学单元39的相对于物场6的场高 $y$ 的CRD分布40。

[0131] 在场高 $y \approx 0$ 的情况下,畸变CRD $\approx 5\text{nm}$ 。在场高 $y \approx 30\mu\text{m}$ 的情况下,畸变CRD $\approx -40\text{nm}$ ,并在此具有局部最小值。在场高 $y \approx 80\mu\text{m}$ 的情况下,畸变CRD $\approx 150\text{nm}$ ,并在此具有全局最大值。在场高 $y \approx 100\mu\text{m}$ 的情况下,畸变CRD $\approx -60\text{nm}$ 。在成像光学单元39的物场6的整个 $y$ 场高上,主光线畸变CRD在绝对值方面小于150nm。

[0132] 参考图13和14,下文给出了成像光学单元的另一实施例41的描述,该成像光学单元41可用于代替根据图3的成像光学单元7。与之前的图中已经说明过的组件和功能对应的组件和功能具有相同的参考符号,并将不再被详细讨论。相对于先前的示例实施例的差别在下文中得到说明。

[0133] 成像光学单元41与根据图5的成像光学单元27的不同之处主要在于,反射镜M2以凸方式来实施,而第三个反射镜M3以凹方式来实施。在成像光学单元41的情况中,中间像18布置在反射镜M3和M4之间。

[0134] 反射镜M1和M2以非球面的方式来构造,而反射镜M3和M4以球面的方式来构造。

[0135] 成像光学单元41具有的物场6的尺寸在 $y$ 方向上为 $100\mu\text{m}$ ,而在 $x$ 方向上为 $400\mu\text{m}$ 。成像光学单元41具有850的放大因子(比例)。成像光学单元41具有800mm的结构长度 $T$ 。比例 $T/\beta$ 为0.93mm。物方主光线角度 $\alpha$ 为 $10^\circ$ 。

[0136] 借助于两个表,下文再现了根据图13的成像光学单元41的光学数据,该两个表在结构上对应于根据图3的成像光学单元7的表。

	表面	半径	厚度	工作模式
[0137]	物	无限大	258.727	
	光阑	无限大	378.264	
	M1	-543.947	-456.991	反射
	M2	-36.455	557.137	反射
[0138]	M3	-40.703	-637.137	反射
	M4	1563.169	691.213	反射
	像	无限大	0.000	



表面	K	A	B
M1	0.000000E+00	1.033316E-11	3.279920E-17
M2	1.308094E-01	0.000000E+00	-5.196086E-10
表面	C	D	E
M1	1.148946E-22	1.623072E-28	2.445232E-33
M2	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00

[0140] 图14示出了成像光学单元41的相对于物场6的场高y的CRD分布42。

[0141] 在场高 $y \approx 0$ 的情况下,畸变CRD $\approx 170\text{nm}$ 。在场高 $y \approx 65\mu\text{m}$ 的情况下,畸变CRD $\approx -250\text{nm}$ ,并在此具有全局最小值。在场高 $y \approx 110\mu\text{m}$ 的情况下,畸变CRD $\approx 170\mu\text{m}$ 。在成像光学单元41的物场6的整个y场高上,主光线畸变CRD在绝对值方面小于260nm。

[0142] 参考图15和16,下文给出了成像光学单元的另一实施例43的描述,该成像光学单元43可用于代替根据图3的成像光学单元7。与之前的图中已经说明过的组件和功能对应的组件和功能具有相同的参考符号,并将不再被详细讨论。相对于先前的示例实施例的差别在下文中得到说明。

[0143] 与成像光学单元41相比,成像光学单元43的成像光束路径8的部分被关于平面30镜像,该相比方式与上文在根据图5和7的成像光学单元27和32的相比中说明的方式相似。

[0144] 成像光学单元43具有786mm的结构长度T和850的放大率 $\beta$ 。比率 $T/\beta$ 为0.92mm。

[0145] 借助于两个表,下文再现了根据图15的成像光学单元43的光学数据,该两个表在结构上对应于根据图3的成像光学单元7的表。

表面	半径	厚度	工作模式
物	无限大	258.747	
光阑	无限大	377.289	
M1	-542.906	-456.036	反射
M2	-36.246	556.120	反射
M3	-40.479	-636.120	反射
M4	1547.952	685.587	反射
像	无限大	0.000	

[0148]	表面	K	A	B
	M1	0.000000E+00	1.049517E-11	3.354943E-17
	M2	1.285065E-01	0.000000E+00	-6.437537E-10
	表面	C	D	E
	M1	1.086720E-22	2.589792E-28	2.021330E-33
	M2	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00

[0149] 图16示出了成像光学单元43的相对于物场6的场高 $y$ 的CRD分布44。该场高分布类似于根据图14的CRD分布42。

[0150] 在场高 $y \approx 0$ 的情况下,畸变CRD $\approx 200\text{nm}$ 。在场高 $y \approx 70\mu\text{m}$ 的情况下,畸变CRD $\approx -300\text{nm}$ ,并在此具有全局最小值。在场高 $y \approx 100\mu\text{m}$ 的情况下,畸变CRD $\approx 250\text{nm}$ 。在成像光学单元43的物场6的整个 $y$ 场高上,主光线畸变CRD在绝对值方面小于 $330\text{nm}$ 。

[0151] 参考图17和18,下文给出了成像光学单元的另一实施例45的描述,该成像光学单元45可用于代替根据图3的成像光学单元7。与之前的图中已经说明过的组件和功能对应的组件和功能具有相同的参考符号,并将不再被详细讨论。相对于先前的示例实施例的差别在下文中得到说明。

[0152] 在成像光学单元45的情况中,在成像光束路径8中,在物场6和像场9之间不存在中间像。反射镜M2和M3以凸的方式来构造。

[0153] 成像光学单元45具有 $1050\text{mm}$ 的结构长度 $T$ 和绝对值为850的放大率比例 $\beta$ 。比率 $T/\beta$ 为 $1.24\text{mm}$ 。

[0154] 借助于两个表,下文再现了根据图17的成像光学单元45的光学数据,该两个表在结构上对应于根据图3的成像光学单元7。

[0155]	表面	半径	厚度	工作模式
	物	无限大	256.742	
	光阑	无限大	373.890	
	M1	-545.447	-450.631	反射
	M2	-61.991	820.000	反射
	M3	59.543	-900.000	反射
	M4	2477.069	950.000	反射
	像	无限大	0.000	

[0156]

表面	K	A	B
M1	0.000000E+00	4.197072E-12	6.316517E-19
M2	1.125022E-01	0.000000E+00	-1.570881E-10
表面	C	D	E
M1	7.807468E-23	-6.468616E-28	3.776136E-33
M2	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00

[0157] 图18示出了成像光学单元45的相对物场6的场高y的CRD分布46。

[0158] 在场高 $y \approx 0$ 的情况下,畸变 $CRD \approx 30 \mu m$ 。直到场高 $y \approx 10 \mu m$ ,畸变几乎保持不变。在进一步的分布中,畸变降低至值 $CRD \approx -62 \mu m$ 。在成像光学单元45的物场6的整个y场高上,主光线畸变CRD在绝对值方面小于 $63 \mu m$ 。

[0159] 参考图19和20,下文给出了成像光学单元的另一实施例47的描述,该成像光学单元47可用于代替根据图3的成像光学单元7。与之前的图中已经说明过的组件和功能对应的组件和功能具有相同的参考符号,并将不再被详细讨论。相对于先前的示例实施例的差别在下文中得到说明。

[0160] 与根据图17的成像光学单元45相比,根据图19的成像光学单元47的成像光束路径8的部分被关于平面30镜像,该相比方式与上文在根据图5和7的成像光学单元27和32的相比中说明的方式相似。

[0161] 在成像光学单元47的情况下,反射镜M2、M3和M4构造为凸反射镜。

[0162] 成像光学单元47具有800mm的结构长度T和绝对值为850的放大率 比例 $\beta$ 。与成像光学单元27和39的情况中一样,比率 $T/\beta$ 为0.94mm。

[0163] 借助于两个表,下文再现了根据图19的成像光学单元47的光学数据,这两个表在结构上对应于根据图3的成像光学单元7。

[0164]

表面	半径	厚度	工作模式
物	无限大	248.571	
光阑	无限大	374.783	
M1	-555.686	-443.354	反射
M2	-126.546	617.636	反射
M3	144.878	-697.636	反射
M4	-214.474	700.000	反射
像	无限大	0.000	

[0165]	表面	K	A	B
	M1	0.000000E+00	-1.227299E-11	-4.503697E-17
	M2	4.927422E-01	0.000000E+00	-1.277664E-12
	M3	0.000000E+00	6.607818E-08	-2.188416E-12
表面	C	D	E	
M1	-1.152684E-22	-2.486658E-28	-2.171236E-33	
M2	9.892206E-16	0.000000E+00	0.000000E+00	
M3	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	

[0166] 图20示出了成像光学单元47的相对于物场6的场高y的CRD分布48。

[0167] 在场高 $y \approx 0$ 的情况下,畸变CRD $\approx -10\mu\text{m}$ 。在场高 $y \approx 65\mu\text{m}$ 的情况下,畸变CRD $\approx 12.5\mu\text{m}$ ,并在此具有全局最大值。在场高 $y \approx 100\mu\text{m}$ 的情况下,畸变CRD $\approx -10\mu\text{m}$ 。在成像光学单元47的物场6的整个y场高上,主光线畸变CRD小于 $12.5\mu\text{m}$ 。

[0168] 参考图21,下文给出了另一成像实施例光学单元49的描述,该成像光学单元49可用于代替根据图3的成像光学单元7。与之前的图中已经说明过的组件和功能对应的组件和功能具有相同的参考符号,并将不再被详细讨论。相对于先前的示例实施例的差别在下文中得到说明。

[0169] 与根据图3的成像光学单元7相比,根据图21的成像光学单元49具有成像光束路径8的成像光线在反射镜M3上的较小入射角度。

[0170] 成像光学单元49具有在物平面11和像平面12之间的1088mm的结构长度T。在反射镜M4和物平面之间的距离A大于结构长度T的17%。

[0171] 通口21位于反射镜M2的遮蔽中。

[0172] 不同场点的主光线13在成像光束路径8中、最后一个反射镜M4和像场9之间发散地传播。

[0173] 结构长度T和成像比例 $\beta$  ( $\beta=850$ ) 的比率 $T/\beta$ 在成像光学单元49的情况中为 $T/\beta=1.28\text{mm}$ 。

[0174] 成像光学单元49具有0.25的物方数值孔径。成像光学单元49的物场6在y方向上具有 $106\mu\text{m}$ 的尺寸,且在x方向上具有 $680\mu\text{m}$ 的尺寸。

[0175] 借助于两个表,下文再现了根据图21的成像光学单元49的光学数据,该两个表在结构上对应于根据图3的成像光学单元7的表。

表面	半径	厚度	模式
物	无限大	328,979	
光阑	无限大	446,838	
[0176] 反射镜 1	-646,249	-608,573	反射
反射镜 2	103,429	870,260	反射
反射镜 3	96,288	-837,504	反射
反射镜 4	-950,126	887,504	反射
像	无限大	0,000	

表面	K	A	B
[0177] 反射镜 1	0,000000E+00	2,130673E-11	5,114172E-17
反射镜 2	0,000000E+00	-1,484184E-09	1,588111E-12
反射镜 3	0,000000E+00	1,168086E-07	3,806841E-11
反射镜 4	0,000000E+00	2,159545E-09	-9,203407E-15
表面	C	D	E
反射镜 1	1,117023E-22	2,162742E-28	8,660117E-34
反射镜 2	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00
[0178] 反射镜 3	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00
反射镜 4	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00

[0179] 因此,在成像光学单元49的情况下,反射镜M1至M4都被实施为非球面反射镜。

[0180] 参考图22,下文给出了成像光学单元的另一实施例50的描述,该成像光学单元50可用于代替根据图3的成像光学单元7。与之前的图中已经说明过的组件和功能对应的组件和功能具有相同的参考符号,并将不再被详细讨论。相对于先前的示例实施例的差别在下文中得到说明。

[0181] 成像光学单元50为成像光学单元49的变型。

[0182] 成像光学单元50具有在光学平面11和像平面12之间的1000mm的结构长度T。

[0183] 在成像光学单元50的情况下,反射镜M2沿着x方向移动,使得反射镜M2不遮拦在物场6和反射镜M1之间的成像部分光线19。

[0184] 结构长度T和成像比例 $\beta$  ( $\beta=850$ ) 的比率 $T/\beta$ 在成像光学单元50的情况中为 $T/\beta=1.18\text{mm}$ 。

[0185] 成像光学单元50具有0.24的物方数值孔径。成像光学单元50的物场6在y方向上具有 $106\mu\text{m}$ 的尺寸,且在x方向上具有 $680\mu\text{m}$ 的尺寸。

[0186] 借助于两个表,下文再现了根据图22的成像光学单元50的光学数据,该两个表在

结构上对应于根据图3的成像光学单元7的表。

表面	半径	厚度	模式
物	无限大	232,242	
光阑	无限大	349,832	
[0187] 反射镜 1	-545,209	-562,074	反射
反射镜 2	93,327	822,074	反射
反射镜 3	79,639	-742,074	反射
反射镜 4	-2702,878	900,000	反射
像	-1669,981	0,000	

[0188]

表面	K	A	B	C
----	---	---	---	---

[0189]

反射镜 1	0,000000E+00	1,882766E-11	6,580594E-17	2,471942E-22
反射镜 2	0,000000E+00	6,123538E-08	1,458619E-11	3,110235E-15
反射镜 3	0,000000E+00	2,192720E-07	1,493226E-10	-2,207925E-13

[0190] 因此,在成像光学单元50的情况下,反射镜M1至M3被实施为非球面反射镜。反射镜M4被实施为球面反射镜。

[0191] 参考图23,下文给出了成像光学单元的另一实施例51的描述,该成像光学单元51可用于替代根据图3的成像光学单元7。与之前的图中已经说明过的组件和功能对应的组件和功能具有相同的参考符号,并将不再被详细讨论。相对于先前的示例实施例的差别在下文中得到说明。

[0192] 成像光学单元51在物场6和像场9之间的成像光束路径8中精确地具有三个反射镜M1、M2和M3。像场9不是平面场,而是凹面弯曲的。

[0193] 成像光学单元51具有在物平面11和布置平面52之间的1010mm的结构长度T,该布置平面52平行于物平面11,并表示反射镜M3的位置。

[0194] 不同场点的主光线13成像光束路径8中、最后一个反射镜M3和像场9之间发散地传播。

[0195] 结构长度T和成像比例 $\beta$  ( $\beta=850$ ) 的比率 $T/\beta$ 在成像光学单元51的情况中为 $T/\beta=1.19\text{mm}$ 。

[0196] 成像光学单元51具有0.24的物方数值孔径。成像光学单元51的物场6在y方向上具有 $212\mu\text{m}$ 的尺寸,且在x方向上具有 $340\mu\text{m}$ 的尺寸。

[0197] 借助于两个表,下文再现了根据图23的成像光学单元51的光学数据,该两个表在结构上对应于根据图3的成像光学单元7的表。

表面	半径	厚度	模式
物	无限大	173,326	
光阑	无限大	576,674	
[0198] 反射镜 1	-667,237	-576,674	反射
反射镜 2	-50,000	836,674	反射
反射镜 3	-55,428	-910,000	反射
像	1118,363	0,000	

[0199]

表面	K	A	B	C	D
反射镜 1	0,000000E+00	1,239362E-12	2,224440E-18	2,381888E-24	2,961774E-29
反射镜 2	0,000000E+00	-3,373423E-07	-2,670617E-10	-3,891394E-13	1,482808E-15
反射镜 3	0,000000E+00	-9,836320E-08	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00
像	0,000000E+00	-3,940290E-11	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00

[0200] 在成像光学单元51的情况下,所有的反射镜M1至M3都被实施为非球面反射镜。此外,像场9是非球面弯曲的。

[0201] 参考图24,下文给出了成像光学单元的另一实施例53的描述,该成像光学单元53可用于代替根据图3的成像光学单元7。与之前的图中已经说明过的组件和功能对应的组件和功能具有相同的参考符号,并将不再被详细讨论。相对于先前的示例实施例的差别在下文中得到说明。

[0202] 成像光学单元53精确地具有三个反射镜M1至M3。

[0203] 反射镜M2为凸的。

[0204] 像场9为凹面弯曲的。

[0205] 成像光学单元53具有在物平面11的法线16和中心物场点的主光线13之间的 $10^\circ$ 的物方主光线角度 $\alpha$ 。成像光学单元53可用于根据图1的测量系统1的反射掩模母版2的明场照明,如参考根据图5和6的成像光学单元27而在上文中说明的。

[0206] 成像光学单元53具有在物平面11和反射镜M3的布置平面52之间的1093mm的结构长度T。

[0207] 不同场点的主光线13在成像光束路径8中、最后一个反射镜M3和像场9之间发散地传播。

[0208] 结构长度T和成像比例 $\beta$  ( $\beta=850$ ) 的比率 $T/\beta$ 在成像光学单元53的情况中为 $T/\beta=1.29\text{mm}$ 。

[0209] 成像光学单元53具有0.24的物方数值孔径。成像光学单元53的物场6在y方向上具有 $212\mu\text{m}$ 的尺寸,且在x方向上具有 $340\mu\text{m}$ 的尺寸。

[0210] 中心物场点的主光线13在成像光束路径8中的第一个反射镜M1上的照射点28、以及中心像场点54位于平面30的相同侧。

[0211] 借助于两个表,下文再现了根据图24的成像光学单元53的光学数据,该两个表在结构上对应于根据图3的成像光学单元7的表。

表面	半径	厚度	模式
物	无限大	250,000	
光阑	无限大	583,122	
[0212] 反射镜 1	-702,563	-583,122	反射
反射镜 2	-50,000	843,212	反射
反射镜 3	-50,219	-893,212	反射
像	1814,063	0,000	

[0213]

表面	K	A	B	C	D
反射镜 1	-1,601482E-02	0,000000E+00	-4,392992E-19	-7,984806E-25	-4,607245E-30
反射镜 2	8,455222E-02	0,000000E+00	-8,959759E-11	-6,520758E-14	-3,194743E-17
反射镜 3	-5,068107E-01	0,000000E+00	-5,695781E-09	3,720288E-11	-9,829453E-14
像	0,000000E+00	4,003240E-09	-5,632790E-14	3,962980E-19	-1,093640E-24

[0214] 在成像光学单元53的情况下,所有的反射镜M1至M3都被实施为非球面反射镜。此外,像场9为非球面弯曲的。

[0215] 参考图25,下文给出了成像光学单元的另一实施例55的描述,该成像光学单元55可用于代替根据图3的成像光学单元7。与之前的图中已经说明过的组件和功能对应的组件和功能具有相同的参考符号,并将不再被详细讨论。相对于先前的示例实施例的差别在下文中得到说明。

[0216] 成像光学单元55精确地具有三个反射镜M1至M3。像场9为凹面弯曲的。在成像光束路径中的第二个反射镜M2和第三个反射镜M3之间的成像部分光线19通过第一个反射镜M1的镜体22中的通口21。

[0217] 成像光学单元55具有在物平面11的法线16和中心物场点的主光线13之间的 $10^\circ$ 的物方主光线角度 $\alpha$ 。成像光学单元55可用于明场照明。

[0218] 成像光学单元55具有在物平面11和反射镜M3的布置平面52之间的1439mm的结构长度T。

[0219] 不同场点的主光线13在成像光束路径8中、最后一个反射镜M3和像场9之间发散地传播。

[0220] 结构长度T和成像比例 $\beta$  ( $\beta=711$ )的比率T/ $\beta$ 在成像光学单元55的情况 中为T/ $\beta=2.02\text{mm}$ 。

[0221] 成像光学单元55具有0.2的物方数值孔径。成像光学单元55的物场6在y方向上具有 $306\mu\text{m}$ 的尺寸,且在x方向上具有 $408\mu\text{m}$ 的尺寸。

[0222] 中心物场点的主光线13在成像光束路径8中的第一个反射镜M1上的照射点28、以



及中心像场点54位于平面30的不同侧。

[0223] 借助于两个表,下文再现根据图25的成像光学单元55的光学数据,该两个表在结构上对应于根据图3的成像光学单元7的表。

表面	半径	厚度	模式
物	无限大	589,163	
光阑	无限大	60,837	
[0224] 反射镜 1	-526,058	-475,342	反射
反射镜 2	65,360	1263,987	反射
反射镜 3	56,456	-738,645	反射
像	980,894	0,000	

表面	K	A	B
反射镜 1	0,000000E+00	4,300373E-11	1,548645E-16
反射镜 2	0,000000E+00	-4,824465E-08	1,001720E-11
反射镜 3	0,000000E+00	1,064409E-07	-8,351938E-11
像	0,000000E+00	-9,399710E-11	1,166900E-15
表面	C	D	E
反射镜 1	4,891213E-22	1,852110E-27	7,401320E-33
反射镜 2	-3,075640E-14	9,015706E-17	-8,848435E-20
反射镜 3	1,092495E-12	-2,579340E-15	1,506823E-34
像	-8,581340E-21	3,578410E-26	-9,483660E-32

[0226] 在成像光学单元55的情况下,反射镜M1至M3被实施为非球面反射镜。此外,像场9为非球面弯曲的。

[0227] 参考图26,下文给出了成像光学单元的另一实施例56的描述,该成像光学单元56可用于代替根据图3的成像光学单元7。与之前的图中已经说明过的组件和功能对应的组件和功能具有相同的参考符号,并将不再被详细讨论。相对于先前的示例实施例的差别在下文中得到说明。

[0228] 成像光学单元56精确地具有未被遮拦的三个反射镜M1至M3。因此,反射镜M1至M3都不具有用于成像光通过的通孔。反射镜M1可具有用于成像部分光线19通过的边缘侧凹槽。

[0229] 像场9为凹面弯曲的。

[0230] 成像光学单元56具有在物平面11的法线16和中心物场点的主光线13之间的 $6^\circ$ 的物方主光线角度 $\alpha$ 。成像光学单元56可用于明场照明。

[0231] 成像光学单元56具有在物平面11和反射镜M3的布置平面52之间的1300mm的结构

长度T。

[0232] 不同场点的主光线13在成像光束路径8中、最后一个反射镜M3和像场9之间发散地传播。

[0233] 结构长度T和成像比例 $\beta$  ( $\beta=444$ ) 的比率 $T/\beta$ 为 $T/\beta=2.93\text{mm}$ 。

[0234] 成像光学单元56具有0.125的物方数值孔径。成像光学单元56的物场6在y方向上具有 $490\mu\text{m}$ 的尺寸,且在x方向上具有 $652\mu\text{m}$ 的尺寸。

[0235] 中心物场点的主光线13在成像光束路径8中的第一个反射镜M1上的照射点28、以及中心像场点54位于平面30的相同侧。

[0236] 借助于两个表,下文再现了根据图26的成像光学单元56的光学数据,该两个表在结构上对应于根据图3的成像光学单元7的表。

表面	半径	厚度	模式
物	无限大	540,146	
光阑	无限大	39,837	
[0237] 反射镜 1	-441,759	-404,983	反射
反射镜 2	92,640	1125,017	反射
反射镜 3	75,846	-1100,017	反射
像	1418,455	0,000	

表面	K	A	B
[0238] 反射镜 1	0,000000E+00	1,133303E-10	5,556978E-16
反射镜 2	0,000000E+00	-4,050928E-08	-4,091379E-12

反射镜 3	0,000000E+00	7,487605E-08	-3,577094E-10
像	-1,000000E+01	2,773900E-10	-2,364600E-16

表面	C	D	E
[0239] 反射镜 1	3,170923E-21	-5,865964E-27	2,974805E-31
反射镜 2	4,020399E-15	-6,638198E-18	4,171862E-21
反射镜 3	1,316485E-12	-2,503142E-15	1,942998E-18
像	9,716070E-22	-3,737610E-27	4,766980E-33

[0240] 在成像光学单元56的情况下,反射镜M1至M3被实施为非球面反射镜。此外,像场9为非球面弯曲的。

[0241] 参考图27,下文给出了成像光学单元的另一实施例57的描述,该成像光学单元57可用于代替根据图3的成像光学单元7。与之前的图中已经说明过的组件和功能对应的组件和功能具有相同的参考符号,并将不再被详细讨论。相对于先前的示例实施例的差别在下

文中得到说明。

[0242] 成像光学单元57对应于根据图25的成像光学单元55。区别在于成像光学单元57的反射镜M2是凹的。

[0243] 成像光学单元57具有在物平面11和反射镜M3的布置平面52之间的1068mm的结构长度T。

[0244] 结构长度T和成像比例 $\beta$  ( $\beta=711$ ) 的比率 $T/\beta$ 在成像光学单元57的情况中为 $T/\beta=1.50\text{mm}$ 。

[0245] 借助于两个表,下文再现了根据图27的成像光学单元57的光学数据,该两个表在结构上对应于根据图3的成像光学单元7的表。

表面	半径	厚度	模式
物	无限大	530,284	
光阑	无限大	49,716	
[0246] 反射镜 1	-456,922	-405,000	反射
反射镜 2	54,461	893,251	反射
反射镜 3	47,406	-770,706	反射
像	1027,326	0,000	

表面	K	A	B
反射镜 1	0,000000E+00	7,603561E-11	3,602510E-16
反射镜 2	0,000000E+00	-1,304980E-07	6,663337E-12
反射镜 3	0,000000E+00	1,199487E-07	-1,899920E-09
像	-3,180656E+00	0,000000E+00	6,175220E-15
表面	C	D	E
反射镜 1	1,503883E-21	7,273048E-27	4,216415E-32
反射镜 2	-1,221818E-13	4,340964E-16	-5,660438E-19
反射镜 3	2,997983E-11	-2,140167E-13	5,922798E-16
像	-5,465910E-20	2,002020E-25	-1,822510E-31

[0248] 在成像光学单元57的情况中,反射镜M1至M3被实施为非球面反射镜。此外,像场9为非球面弯曲的。

[0249] 参考图28,下文给出了成像光学单元的另一实施例58的描述,该成像光学单元58可用于代替根据图3的成像光学单元7。与之前的图中已经说明过的组件和功能对应的组件和功能具有相同的参考符号,并将不再被详细讨论。相对于先前的示例实施例的差别在下文中得到说明。

[0250] 成像光学单元58精确地具有四个反射镜M1至M4。

[0251] 在成像光束路径8中的第二个反射镜M2和第三个反射镜M3之间的成像部分光线19通过成像光学单元58的第一个反射镜M1的镜体22中的通口21。

[0252] 成像光学单元58具有在物平面11的法线16和中心物场点的主光线13之间的 $10^\circ$ 的物方主光线角度 $\alpha$ 。成像光学单元58可用于明场照明。

[0253] 成像光学单元58具有在物平面11和像平面12之间的1300mm的结构长度T。

[0254] 在反射镜M4和物平面11之间的距离A大于结构长度T的38%。在成像光学单元58的情况下,在物平面11附近存在用于成像光学单元5的充足结构空间。

[0255] 不同场点的主光线13在成像光束路径8中、最后一个反射镜M3和像场9之间发散地传播。

[0256] 结构长度T和成像比例 $\beta$  ( $\beta=711$ )的比率 $T/\beta$ 在成像光学单元58的情况 中为 $T/\beta=1.82\text{mm}$ 。

[0257] 成像光学单元58具有0.2的物方数值孔径。成像光学单元58的物场6在y方向上具有 $306\mu\text{m}$ 的尺寸,且在x方向上具有 $408\mu\text{m}$ 的尺寸。

[0258] 中心物场点的主光线13在成像光束路径8中的第一个反射镜M1上的照射点28、以及中心物场点的主光线13在成像光束路径8中的第四个反射镜M4上的照射点29位于平面30的不同侧。

[0259] 借助于两个表,下文再现了根据图28的成像光学单元58的光学数据,该两个表在结构上对应于根据图3的成像光学单元7的表。

[0260]

表面	半径	厚度	模式
物	无限大	296,323	
光阑	无限大	341,744	
反射镜 1	-516,195	-463,010	反射
反射镜 2	57,307	872,873	反射
反射镜 3	50,000	-547,930	反射
反射镜 4	1797,024	800,000	反射
像	无限大	0,000	

[0261]

表面	K	A	B	C
反射镜 1	-6,598742E-02	-1,552137E-11	-5,121132E-17	-2,187397E-22
反射镜 2	0,000000E+00	-6,282086E-08	2,256927E-11	-1,094029E-13
反射镜 3	0,000000E+00	2,308663E-07	-4,401882E-09	9,024446E-11
反射镜 4	0,000000E+00	3,558040E-11	-7,077130E-16	2,458008E-20
表面	D	E	F	G
反射镜 1	4,055956E-28	-1,134847E-32	2,873614E-38	0,000000E+00
反射镜 2	5,557270E-16	-1,324566E-18	1,289002E-21	0,000000E+00
反射镜 3	-1,006407E-12	5,908172E-15	-1,421500E-17	0,000000E+00
反射镜 4	-5,030491E-25	5,389670E-30	-2,349207E-35	0,000000E+00

[0262] 在成像光学单元58的情况中,所有的反射镜M1至M4都被实施为非球面反射镜。此外,像场9为平面的。

[0263] 参考图29,下文给出了成像光学单元的另一实施例59的描述,该成像光学单元59可用于代替根据图3的成像光学单元7。与之前的图中已经说明过的组件和功能对应的组件和功能具有相同的参考符号,并将不再被详细讨论。相对于先前的示例实施例的差别在下文中得到说明。

[0264] 成像光学单元59对应于图28的成像光学单元58。

[0265] 区别在于成像光学单元59的反射镜M4为球面的。

[0266] 借助于两个表,下文再现了根据图29的成像光学单元59的光学数据,该两个表在结构上对应于根据图3的成像光学单元7。

表面	半径	厚度	模式
物	无限大	292,634	
光阑	无限大	337,366	
反射镜 1	-508,391	-455,012	反射
反射镜 2	56,050	925,011	反射
反射镜 3	48,906	-600,000	反射
反射镜 4	1554,806	800,000	反射
像	无限大	0,000	

[0267]

[0268]

表面	K	A	B	C
反射镜 1	0,000000E+00	4,715547E-11	1,809879E-16	6,262806E-22
反射镜 2	0,000000E+00	-7,323815E-08	1,341416E-11	-2,837041E-14
反射镜 3	0,000000E+00	9,968913E-08	-3,661928E-10	6,824245E-12
表面	D	E	F	G
反射镜 1	2,511566E-27	5,772735E-33	4,915167E-38	0,000000E+00
反射镜 2	1,263719E-16	-1,541552E-19	1,900983E-23	0,000000E+00
反射镜 3	-4,729789E-14	1,253633E-16	6,159083E-24	0,000000E+00

[0269] 在成像光学单元59的情况中,反射镜M1至M3被实施为非球面反射镜。此外,像场9为平面的。

[0270] 参考图30,下文给出了成像光学单元的另一实施例60的描述,该成像光学单元60可用于代替根据图3的成像光学单元7。与之前的图中已经说明过的组件和功能对应的组件和功能具有相同的参考符号,并将不再被详细讨论。相对于先前的示例实施例的差别在下文中得到说明。

[0271] 成像光学单元60具有在物平面11的法线16和中心物场点的主光线13之间的 $10^\circ$ 的物方主光线角度 $\alpha$ 。成像光学单元60可用于明场照明。

[0272] 成像光学单元60具有在物平面11和像场9之间的1300mm的结构长度T。像平面12不平行于物平面11延伸。

[0273] 在成像光学单元60的成像光束路径8中,在反射镜M2和反射镜M3之间的成像部分光线19、在反射镜M3和反射镜M4之间的成像部分光线20、以及最后一个反射镜M4之间的成像部分光线37都以小的距离经过反射镜M1。依赖于反射镜M1的实际设计,在第一实施例中的该反射镜M1具有通口21,用于在成像光束路径中的第二个反射镜M2和第三个反射镜M3之间的成像部分光线19的通过,以及用于在成像光束路径中的第三个反射镜M3和第四个反射镜M4之间的成像部分光线20通过。这种通过在反射镜M1中可实现为通孔或边缘侧凹槽。

[0274] 不同场点的主光线13在成像光束路径8中、最后一个反射镜M4和像场9之间发散地传播。

[0275] 结构长度T和成像比例 $\beta$  ( $\beta=711$ )的比率 $T/\beta$ 在成像光学单元60的情况中为 $T/\beta=1.82\text{mm}$ 。

[0276] 成像光学单元60具有0.2的物方数值孔径。成像光学单元60的物场6在y方向上具有 $306\mu\text{m}$ 的尺寸,且在x方向上具有 $408\mu\text{m}$ 的尺寸。

[0277] 中心物场点的主光线13在成像光束路径8中的第一个反射镜M1上的照射点28、以及中心物场点的主光线13在成像光束路径8中的第四个反射镜M4上的照射点29位于平面30的相同侧。

[0278] 反射镜M3为具有非常低的非球面成分的平面。

[0279] 与其他的反射镜M1至M3相比,反射镜M4具有小的直径。与反射镜M2至M4相比,反射

镜M1具有大的直径。

[0280] 借助于三个表,下文再现了根据图30的成像光学单元60的光学数据。前面的两个表在结构上对应于根据图3的成像光学单元7的表。

[0281] 第三个表示出了偏心参数。参数YDE为关于各个光学组件或场的表面的局部坐标系统的y偏心。参数ADE给出了关于各个光学组件或场的表面的局部坐标系统的x轴的倾斜角度。

[0282] 偏心类型BEN(偏心和弯曲)对应于以下事实:用于以下表面的描述的参考轴也在表面处被反射。偏心类型DAR(偏心和返回)对应于以下事实:只有该偏心的类型涉及的表面被偏心。用于以下表面的描述的参考轴保持不变。

表面	半径	厚度	模式
物	无限大	195,298	
光阑	无限大	429,199	
反射镜 1	-493,270	-449,497	反射
反射镜 2	80,948	549,497	反射
反射镜 3	1184860,795	-624,497	反射
反射镜 4	-66,100	1216,483	反射
像	无限大	0,000	

表面	K	A	B	C
反射镜 1	-5,816921E-02	0,000000E+00	6,914712E-18	-2,714395E-23
反射镜 2	-3,078104E-01	0,000000E+00	4,693560E-12	-3,807573E-15
反射镜 3	0,000000E+00	1,789193E-08	-1,531460E-12	1,582776E-14
反射镜 4	-3,415509E+00	0,000000E+00	-8,702688E-11	3,212090E-12
表面	D	E	F	G
反射镜 1	1,391299E-27	-1,360055E-32	6,343599E-38	0,000000E+00
反射镜 2	9,844683E-18	-1,065946E-20	4,610258E-24	0,000000E+00
反射镜 3	-6,110633E-17	1,318972E-19	-1,165050E-22	0,000000E+00
反射镜 4	-5,775782E-14	4,505083E-16	-1,268868E-18	0,000000E+00

	YDE	ADE	偏心类型
反射镜 3	0,026622	2,337361	BEN
反射镜 4	-0,029607	0,001951	BEN
像	177,886707	0,010589	DAR

[0286] 在成像光学单元60的情况中,反射镜M1至M4被实施为非球面反射镜。像场19为平面的。反射镜M3、M4以及还有像场为偏心及倾斜的。

[0287] 参考图31,下文给出了成像光学单元的另一实施例61的描述,该成像光学单元61可用于代替根据图3的成像光学单元7。与之前的图中已经说明过的组件和功能对应的组件和功能具有相同的参考符号,并将不再被详细讨论。相对于先前的示例实施例的差别在下文中得到说明。

[0288] 成像光学单元61对应于图30的成像光学单元60。

[0289] 成像光学单元61具有在物平面11和像场9之间的700mm的结构长度T。

[0290] 结构长度T和成像比例 $\beta$  ( $\beta=711$ ) 的比率 $T/\beta$ 在成像光学单元61的情况中为 $T/\beta=0.98\text{mm}$ 。

[0291] 成像光学单元61具有0.2的物方数值孔径。成像光学单元61的物场6在y方向上具有 $306\mu\text{m}$ 的尺寸,且在x方向上具有 $408\mu\text{m}$ 的尺寸。

[0292] 借助于三个表,下文再现了根据图31的成像光学单元61的光学数据。前面的两个表在结构上对应于根据图3的成像光学单元7的表。第三个表在结构上对应于根据图30的成像光学单元60的第三个表。

表面	半径	厚度	模式
物	无限大	194,932	
光阑	无限大	355,769	
[0293] 反射镜 1	-426,179	-375,701	反射
反射镜 2	54,782	492,420	反射
反射镜 3	79033,237	-557,420	反射
反射镜 4	-42,790	607,420	反射
像	无限大	0,000	

表面	K	A	B
[0294] 反射镜 1	-6,271971E-02	0,000000E+00	9,222134E-18
反射镜 2	-3,208834E-01	0,000000E+00	2,697892E-11
反射镜 3	0,000000E+00	3,311824E-08	-7,463884E-13
反射镜 4	-3,327639E+00	0,000000E+00	-2,733498E-10
表面	C	D	E



[0295]	反射镜 1	2,805504E-23	9,373245E-28	-1,916234E-33
	反射镜 2	-7,789744E-15	5,690974E-17	-6,321964E-20
	反射镜 3	1,269030E-14	-8,891973E-18	-3,128143E-20
	反射镜 4	-2,183069E-12	1,620091E-14	-3,049564E-17

	YDE	ADE	偏心类型
[0296] 反射镜 3	0,064273	3,176114	BEN
反射镜 4	-0,008075	-0,001267	BEN
像	154,764702	0,011999	DAR

[0297] 在成像光学单元61的情况中,反射镜M1至M4被实施为非球面反射镜。反射镜M2再次几乎为平面的,具有非常低的非球面成分。像场9为平面的。反射镜M3、M4以及还有像场是偏心及倾斜的。

[0298] 在以下表中总结了成像光学单元的一些特征变量,即物方数值孔径NA0,场尺寸(即物场6的尺寸),放大比例 $\beta$ ,结构长度T,波前像差(rms)(单位为使用的波长 $\lambda$ ),以及最大畸变(以 $\mu\text{m}$ 表示),以及还有中心场点的物方主光线角度 $\alpha$ 。

	成像光 学单元 7	成像光 学单元 27	成像光 学单元 32	成像光学 单元 34	成像光 学单元 39
[0299] NAO	0.25	0.24	0.24	0.24	0.24
场尺寸 y x x [ $\mu\text{m}$ x $\mu\text{m}$ ]	40 x 200	100 x 300	100 x 400	100 x 300	100 x 200
比例 $\beta$	750	850	850	850	850
结构长度 T [mm]	878	800	741	1227	800
波前 (rms) [ $\lambda$ ]	0.031	0.013	0.022	0.002	0.006
畸变 (最大) [ $\mu\text{m}$ ]	0.4	0.3	1.5	0.04	0.15
物方主光线角度 $\alpha$	0°	10°	10°	10°	10°
[0300] T/ $\beta$ [mm]	1.17	0.94	0.87	1.44	0.94

[0301]

	成像光学单元 41	成像光学单元 43	成像光学单元 45	成像光学单元 47
NAO	0.24	0.24	0.24	0.24
场尺寸 $y \times x$ [ $\mu\text{m} \times \mu\text{m}$ ]	100 x 400	100 x 400	100 x 400	100 x 400
比例 $\beta$	850	850	-850	-850
结构长度 T [mm]	791	786	1050	800
波前 (rms) [ $\lambda$ ]	0.011	0.007	0.465	0.216
畸变 (最大) [ $\mu\text{m}$ ]	0.25	0.32	62.8	12.3
物方主光线角度 $\alpha$	10°	10°	10°	10°
T/ $\beta$ [mm]	0.93	0.92	1.24	0.94

[0302]

	成像光学单元 49	成像光学单元 50	成像光学单元 51	成像光学单元 53	成像光学单元 55
NAO	0.25	0.24	0.24	0.24	0.2
场尺寸 $y \times x$ [ $\mu\text{m} \times \mu\text{m}$ ]	106 x 680	106 x 680	212 x 340	212 x 340	306x 408
比例 $\beta$	850	850	850	850	711
结构长度 T [mm]	1088	1000	1010	1093	1439
波前 (rms) [ $\lambda$ ]	0.014	0.008	0.004	0.065	0.0091
畸变 (最大) [ $\mu\text{m}$ ]	7.2	0.3	0.1	9.7	0.7
物方主光线角度 $\alpha$	0°	0°	0°	0°	10°
T/ $\beta$ [mm]	1.28	1.18	1.19	1.29	2.02

[0303]

	成像光学单元 56	成像光学单元 57	成像光学单元 58	成像光学单元 59	成像光学单元 60
NAO	0.125	0.2	0.2	0.2	0.2
场尺寸 y x x [ $\mu\text{m}$ x $\mu\text{m}$ ]	490 x 652	306 x 408	306 x 408	306 x 408	306 x 408
比例 $\beta$	444	711	711	711	711
结构长度 T [mm]	1300	1068	1300	1300	700
波前(rms) [ $\lambda$ ]	0.0108	0.011	0.011	0.2012	0.022
畸变 (最大) [ $\mu\text{m}$ ]	0.4	0.7	0.8	1.1	4.2
物方主光线角度 $\alpha$	6°	10°	10°	10°	10°
T/ $\beta$ [mm]	2.93	1.50	1.82	1.82	1.82

[0304]

	成像光学单元 61
NAO	0.2
场尺寸 y x x [ $\mu\text{m}$ x $\mu\text{m}$ ]	306 x 408
比例 $\beta$	711
结构长度 T [mm]	700
波前 (rms) [ $\lambda$ ]	0.022
畸变 (最大) [ $\mu\text{m}$ ]	4.2
物方主光线角度 $\alpha$	10°
T/ $\beta$ [mm]	0.98

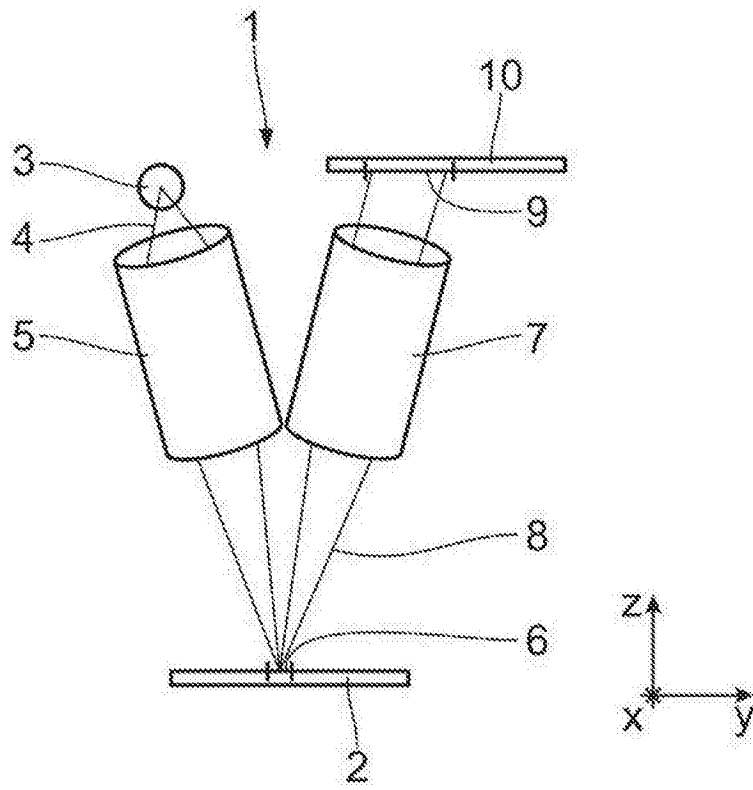


图1

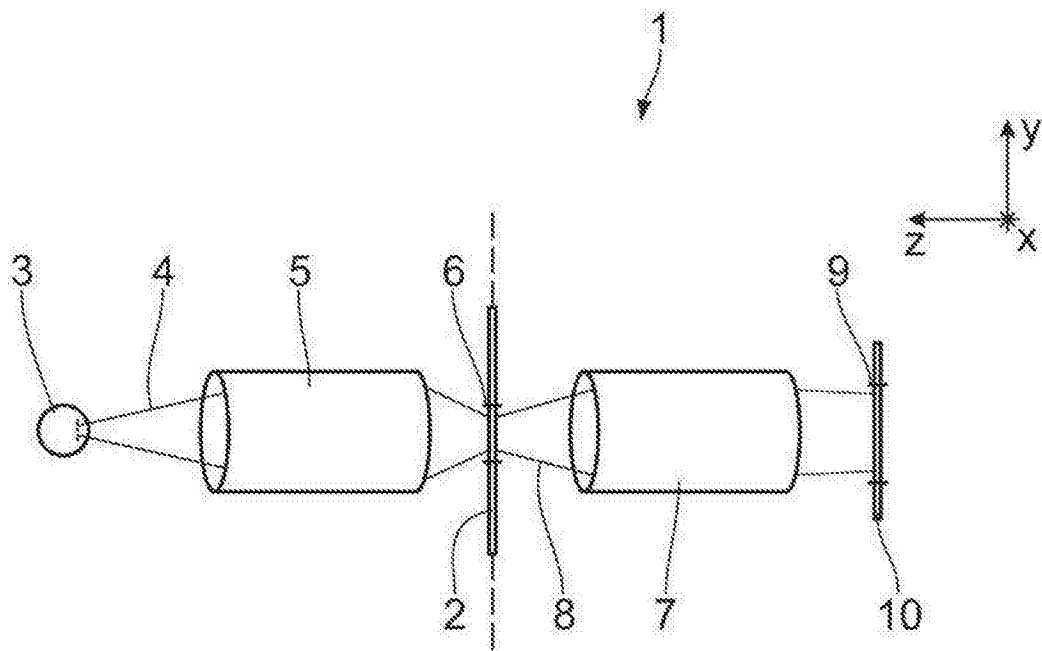


图2



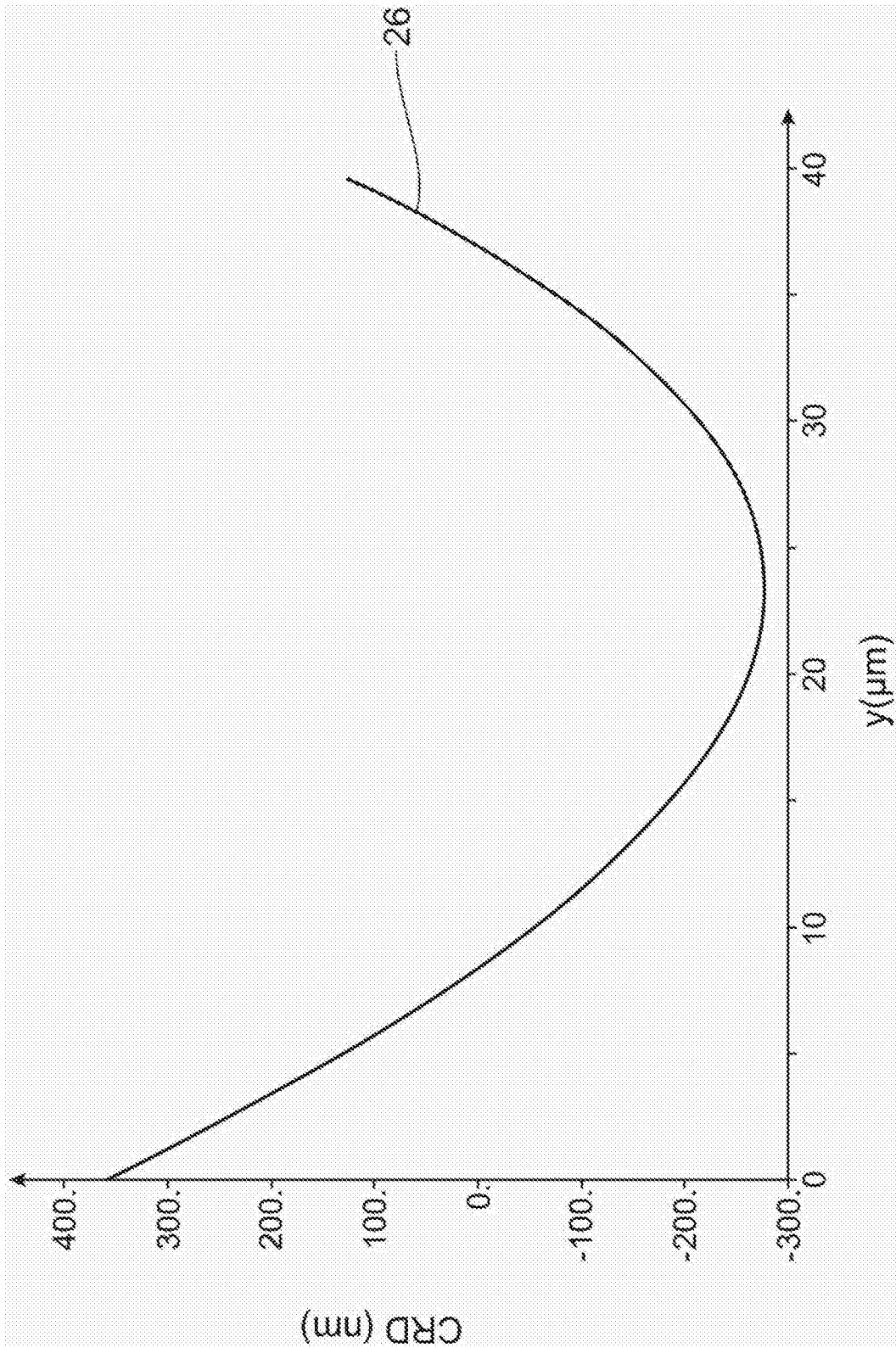


图4

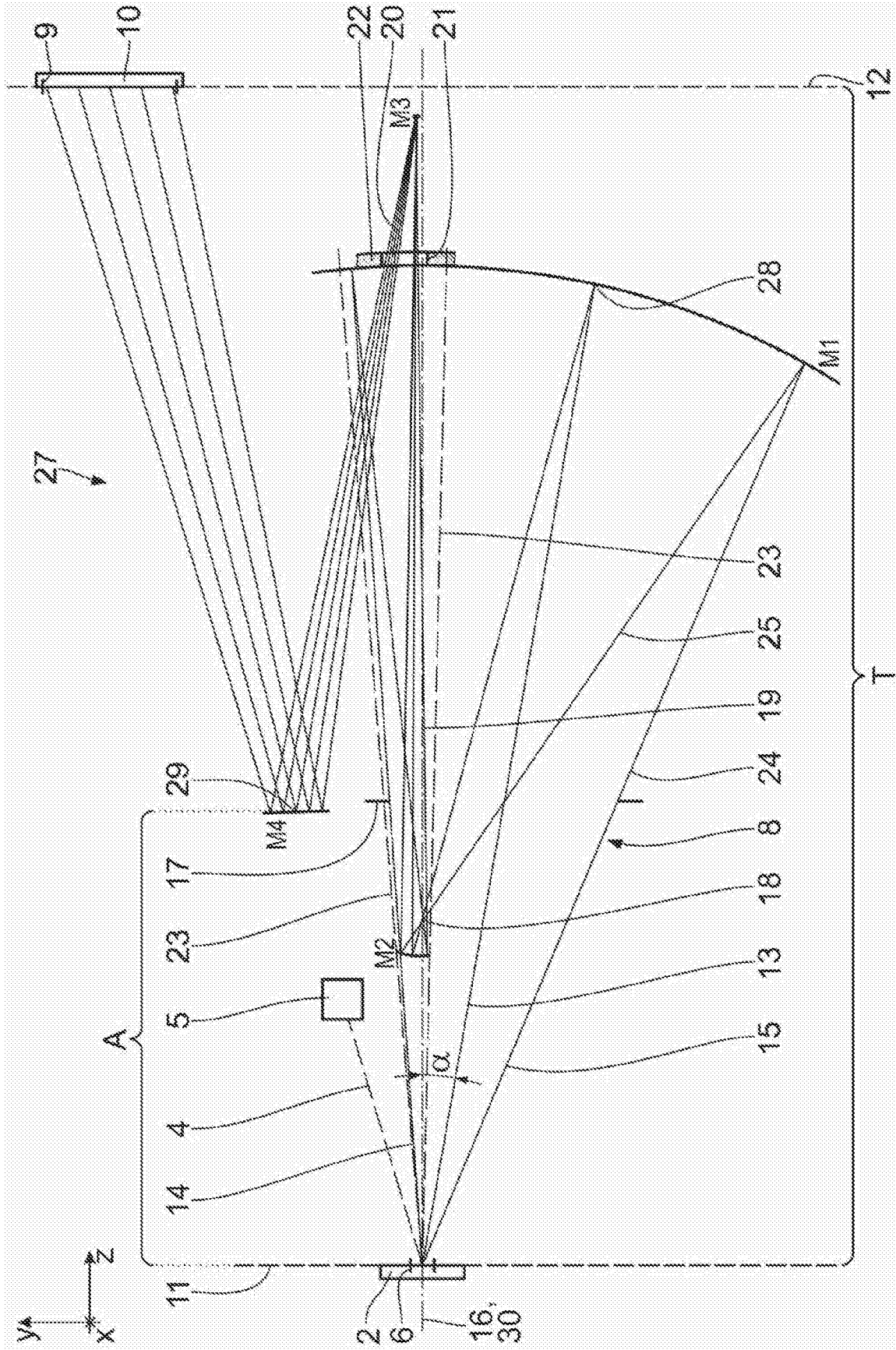


图5

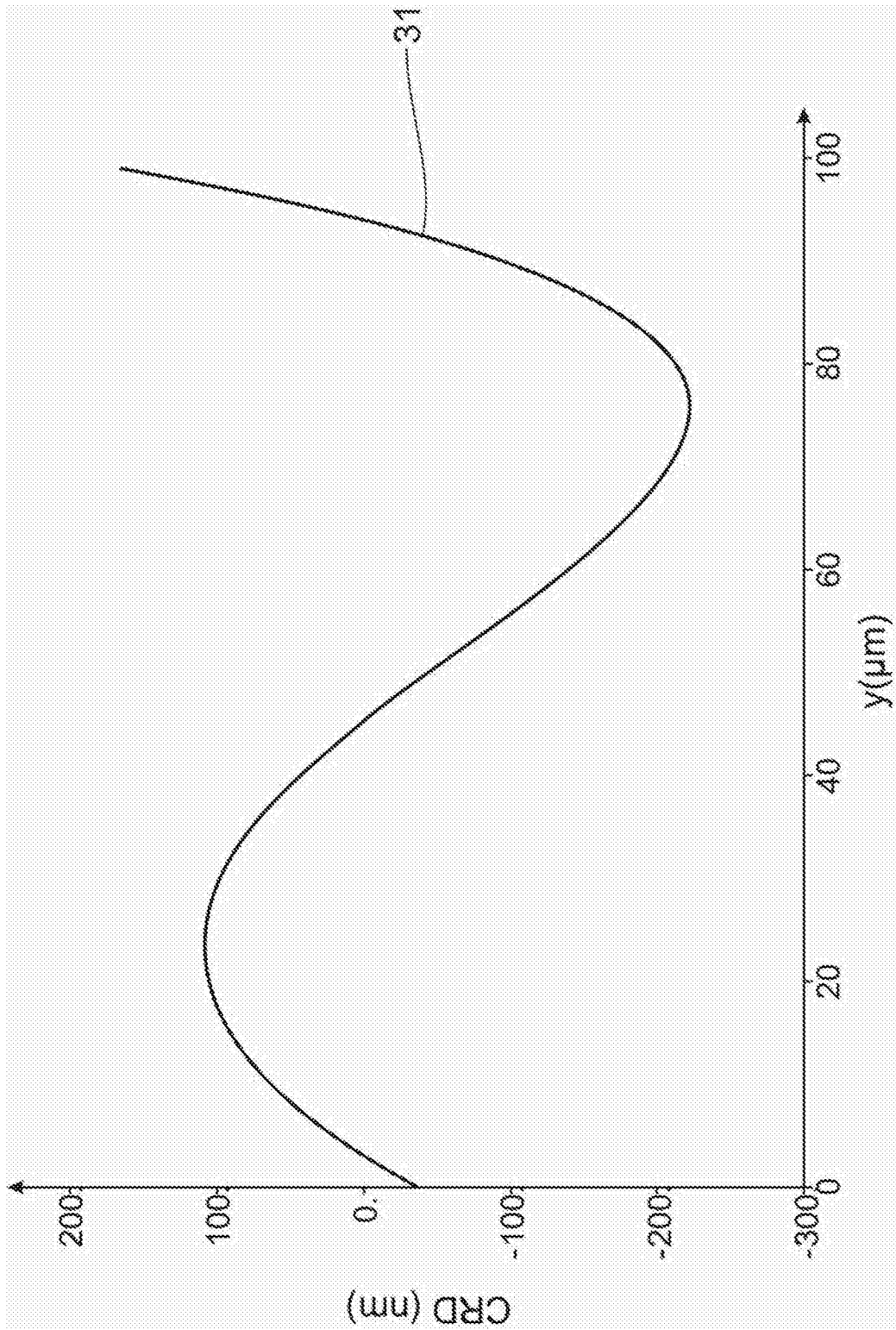


图6



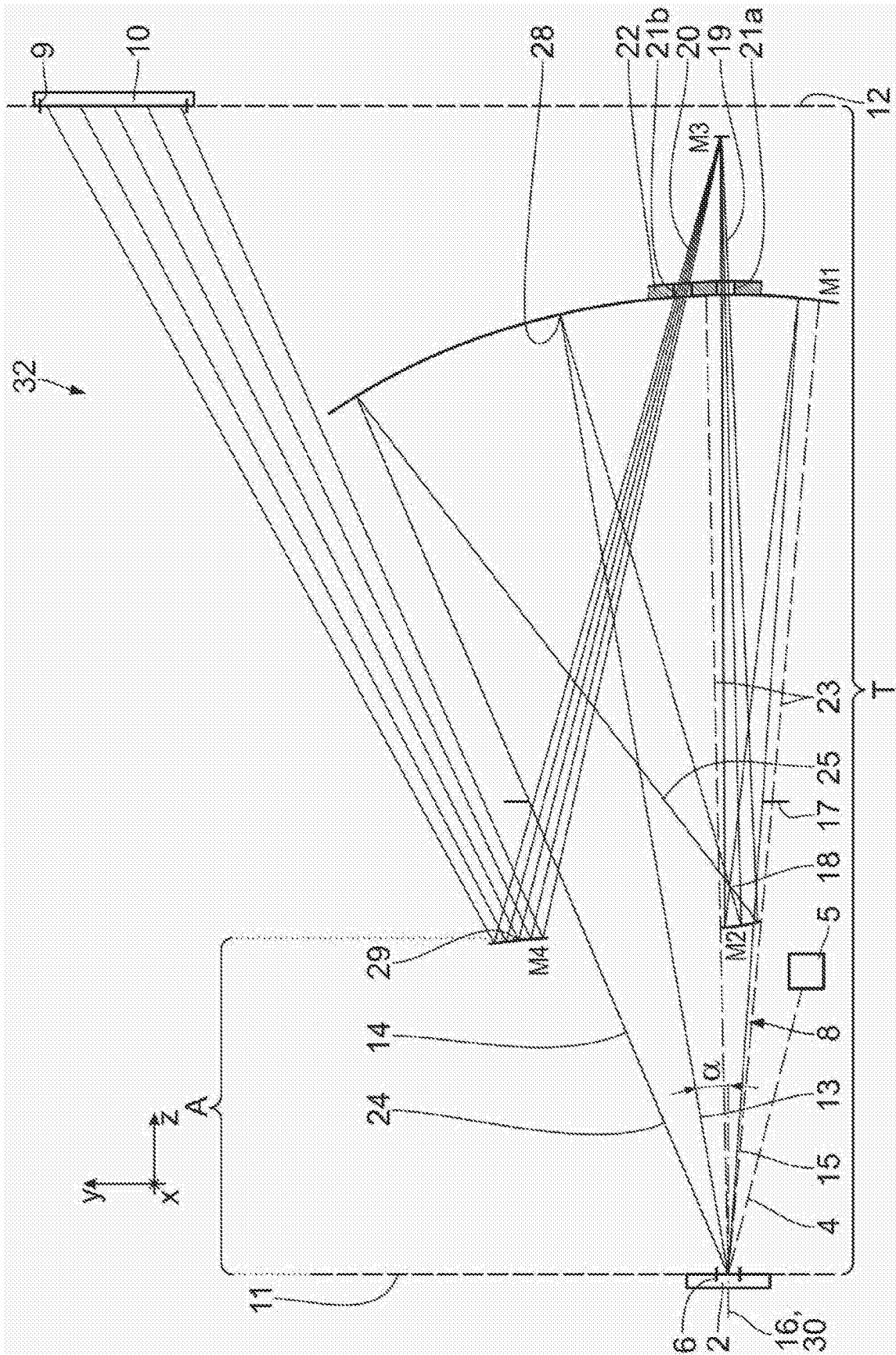


图7

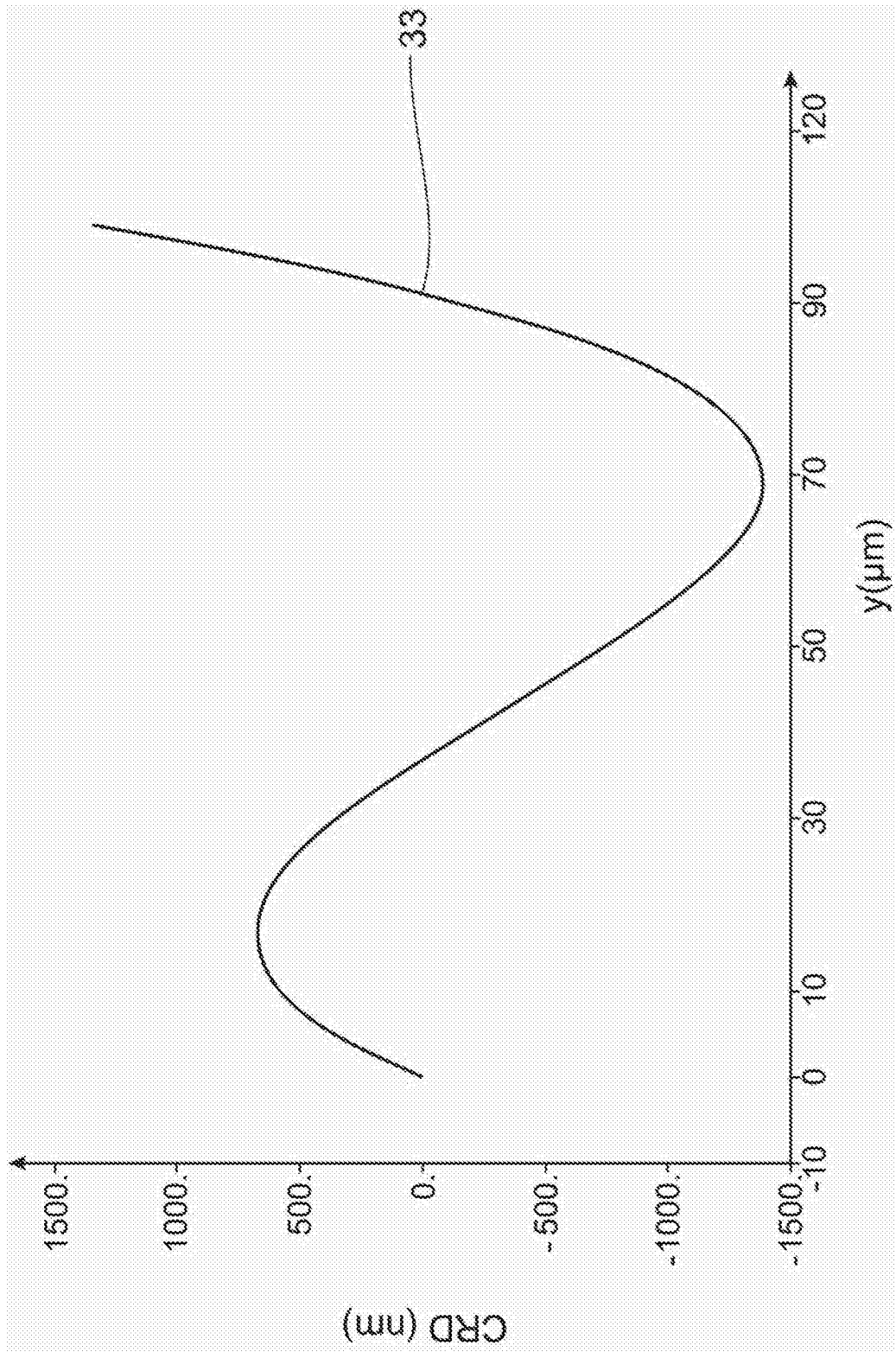


图8

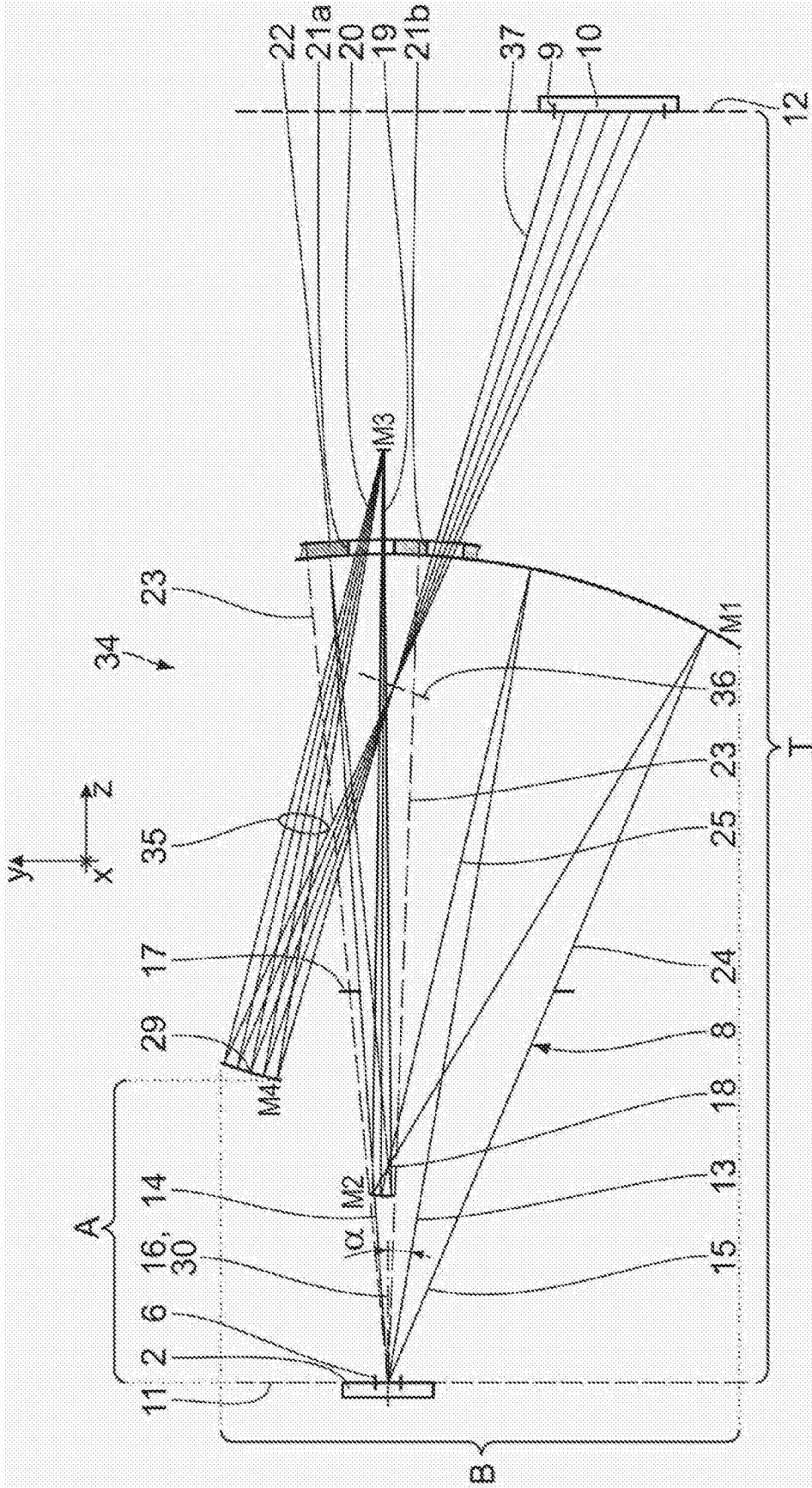


图9

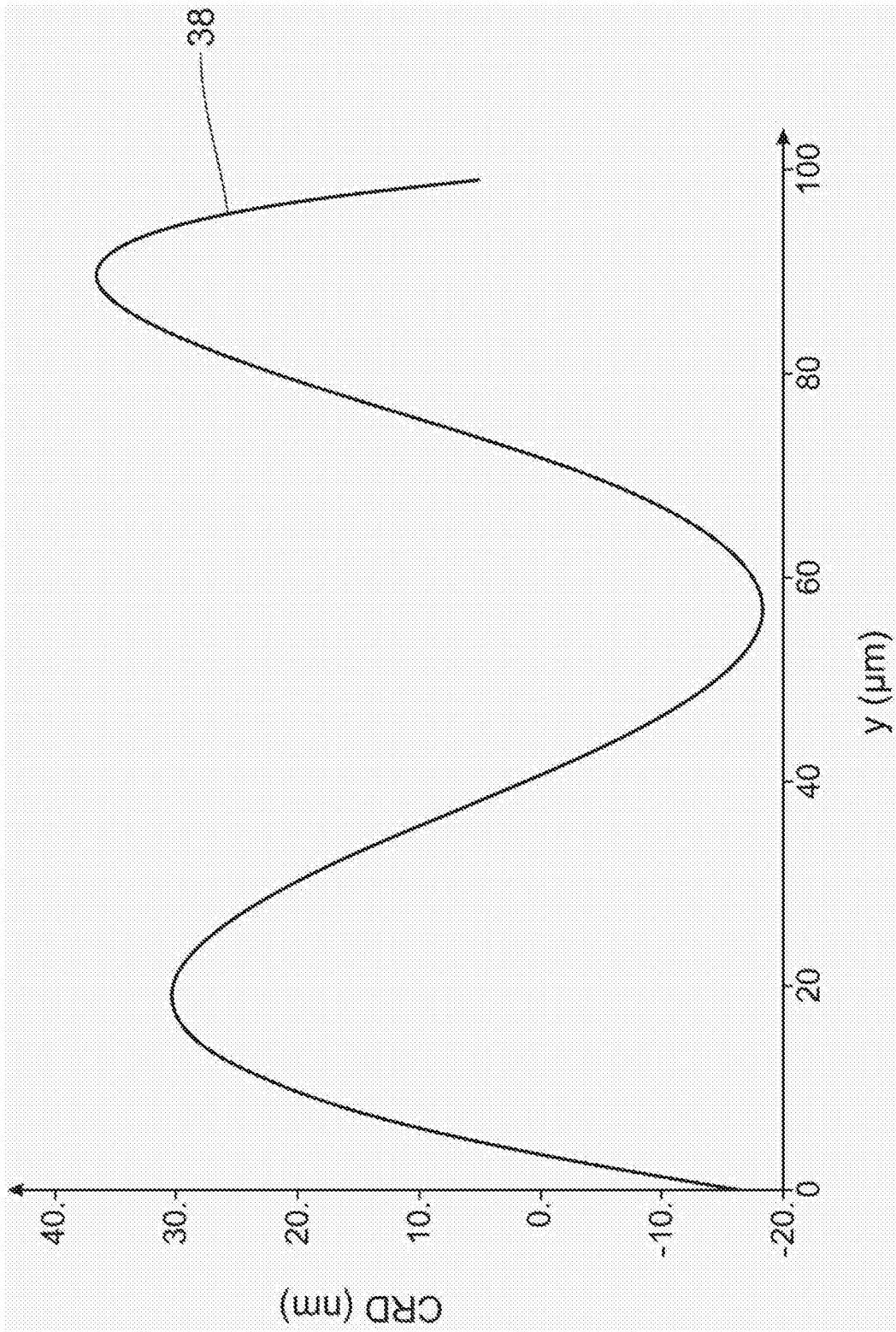


图10

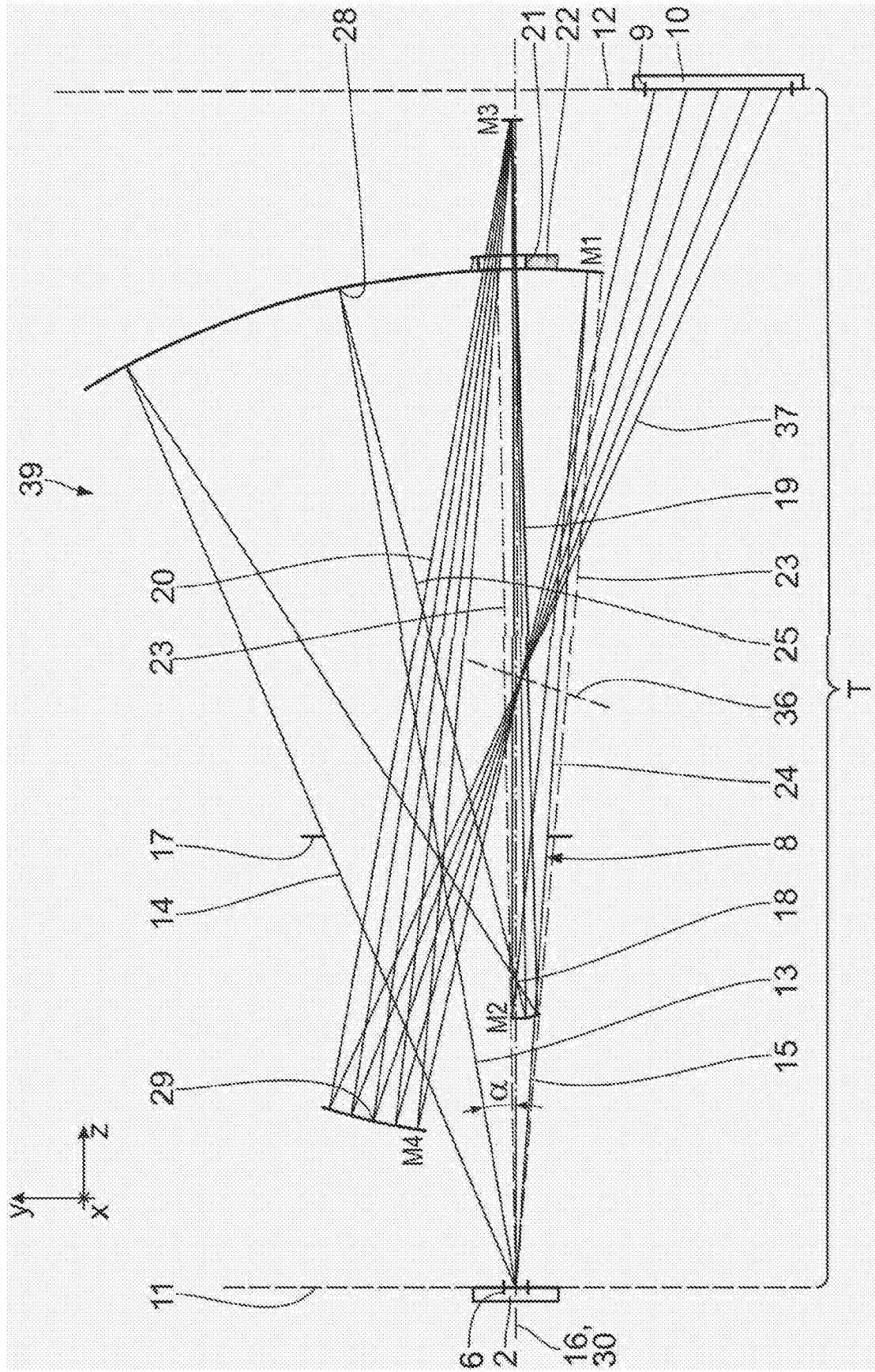


图11

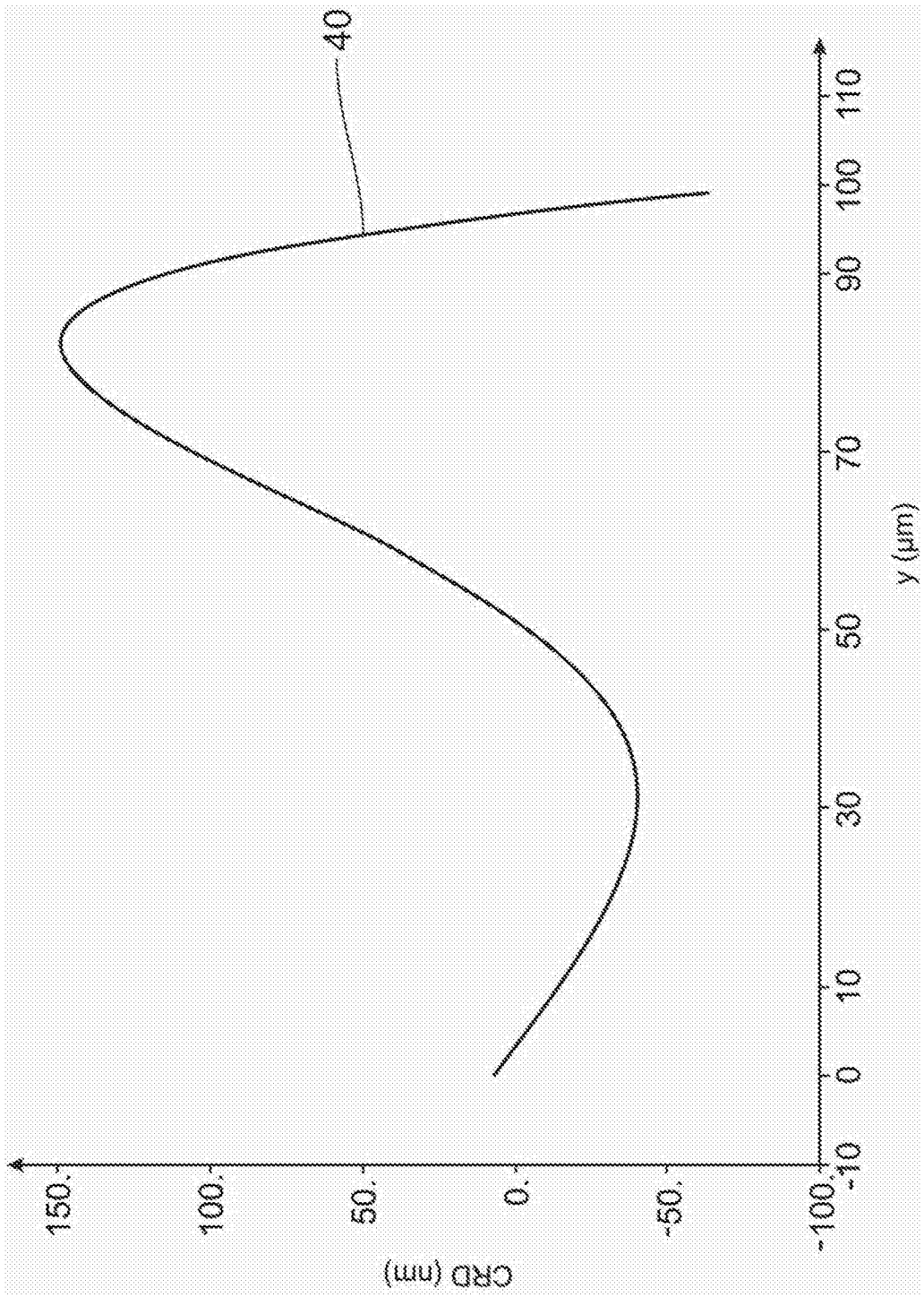


图12

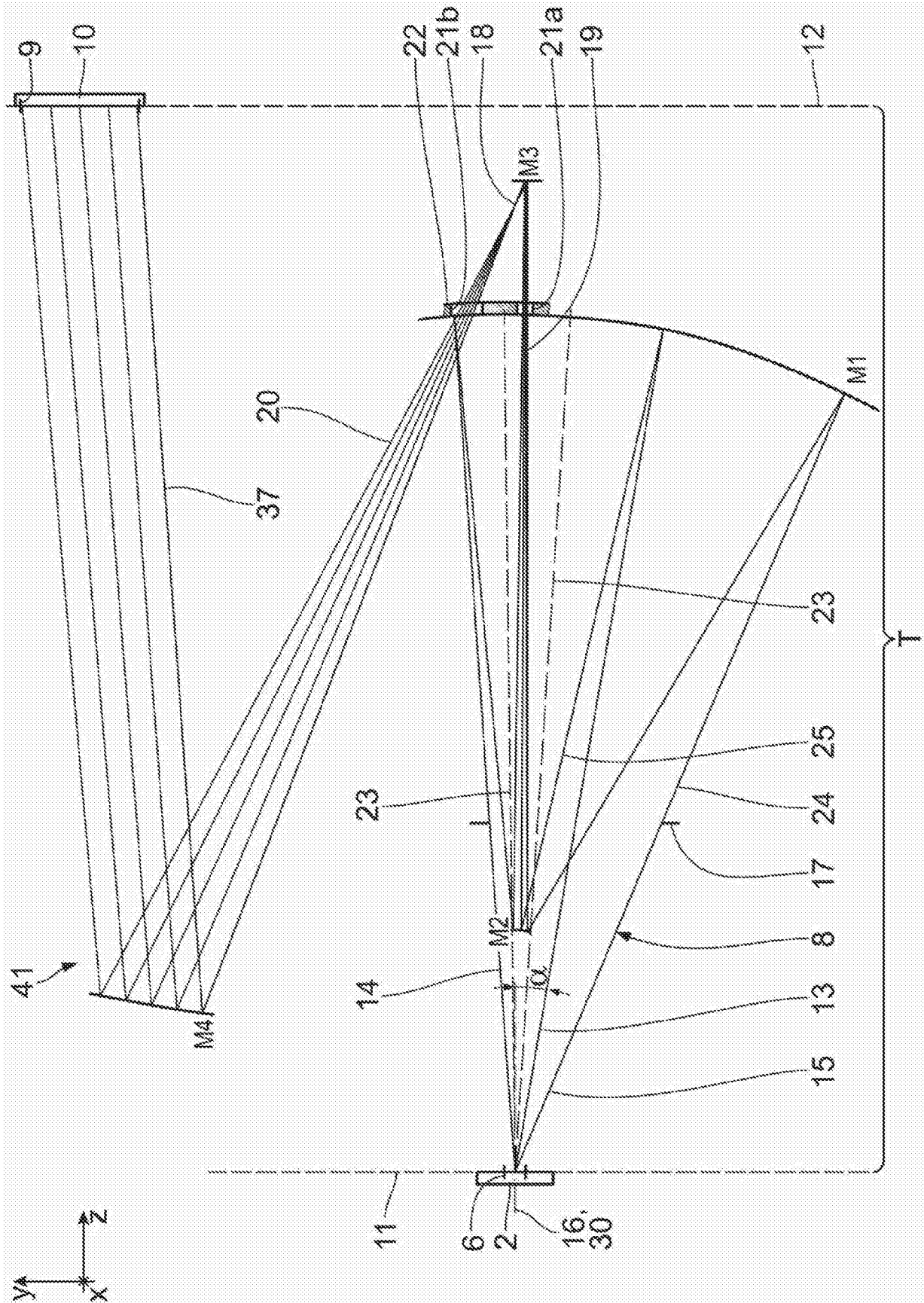


图13

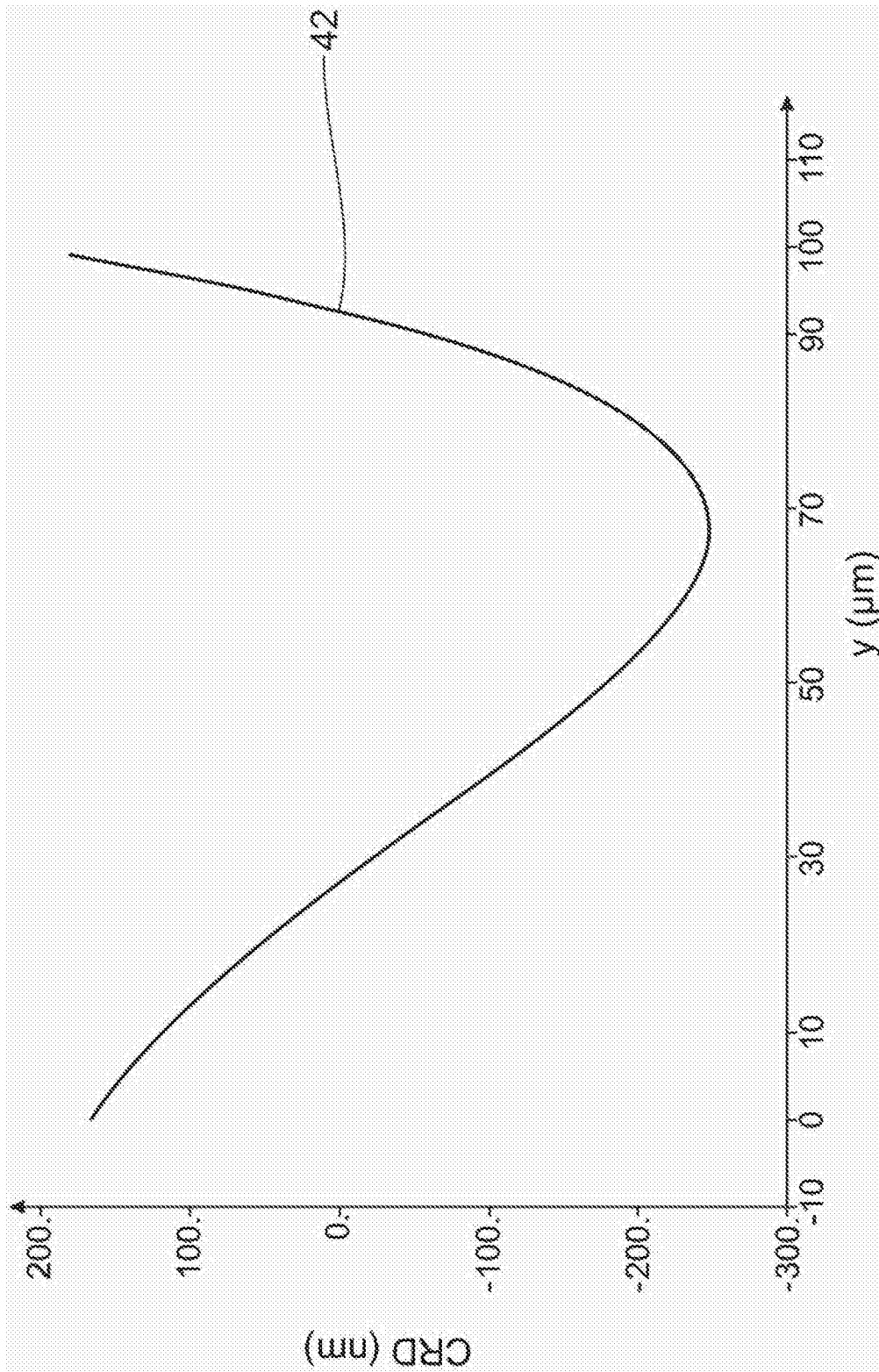


图14



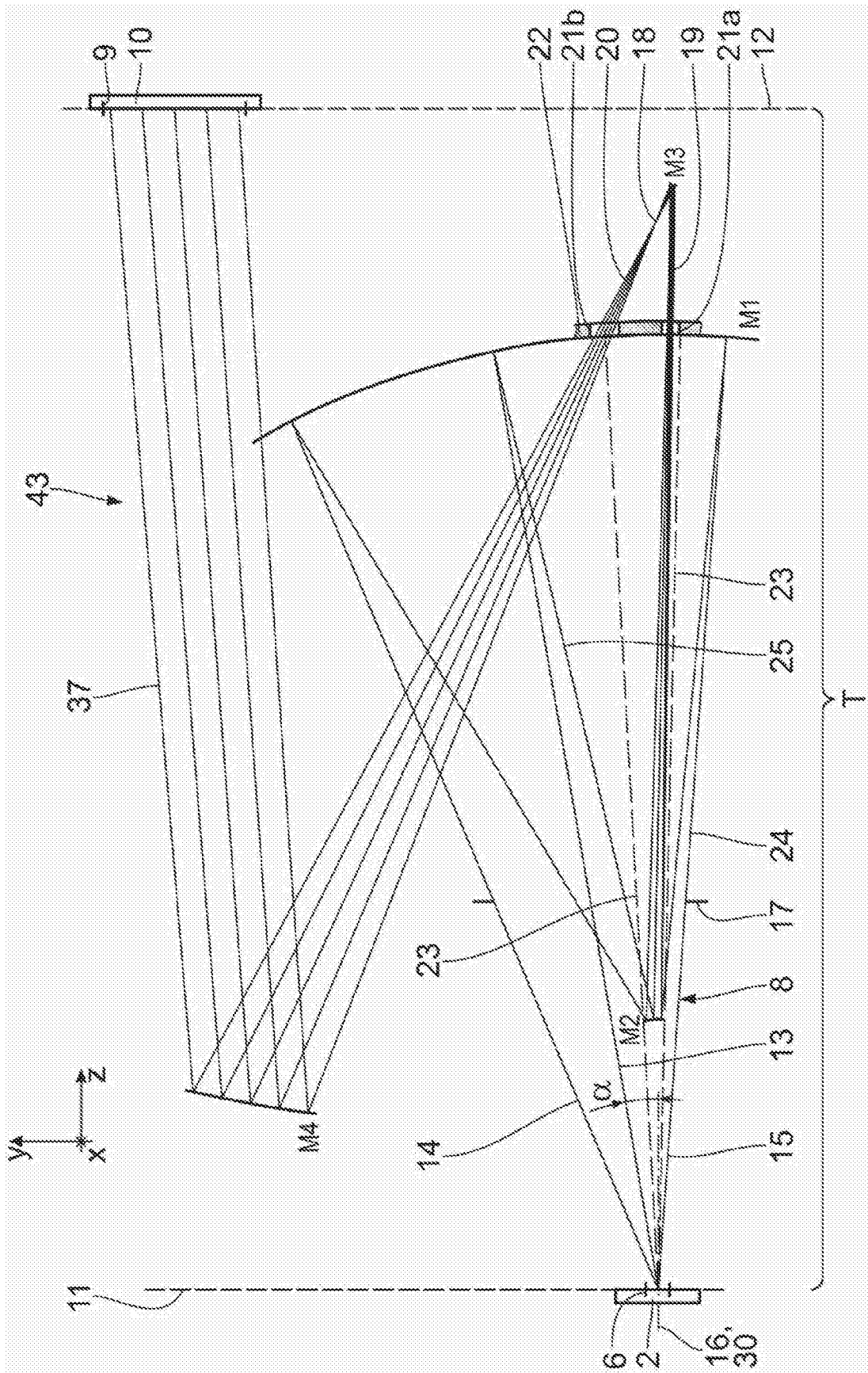


图15

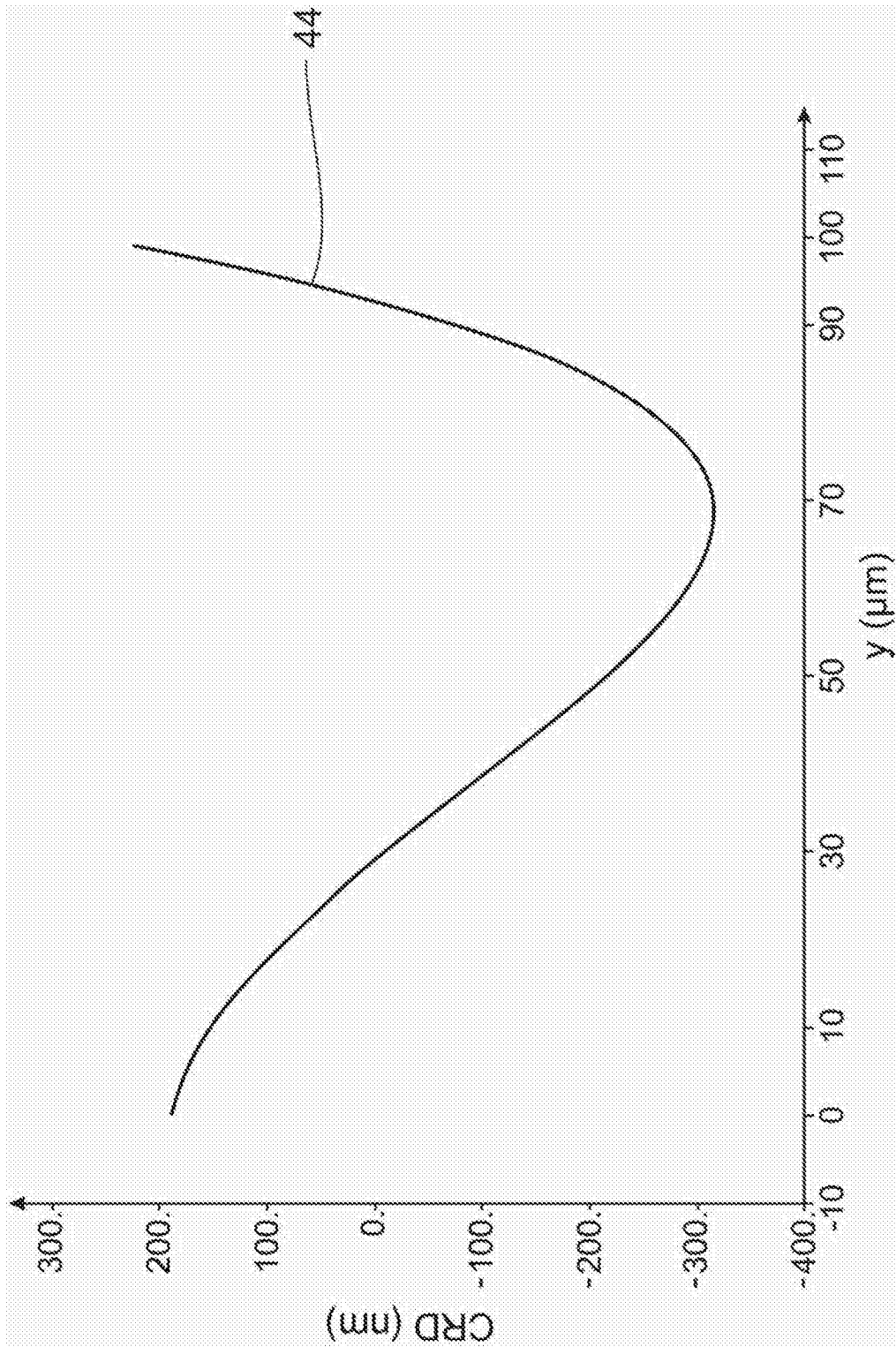


图16

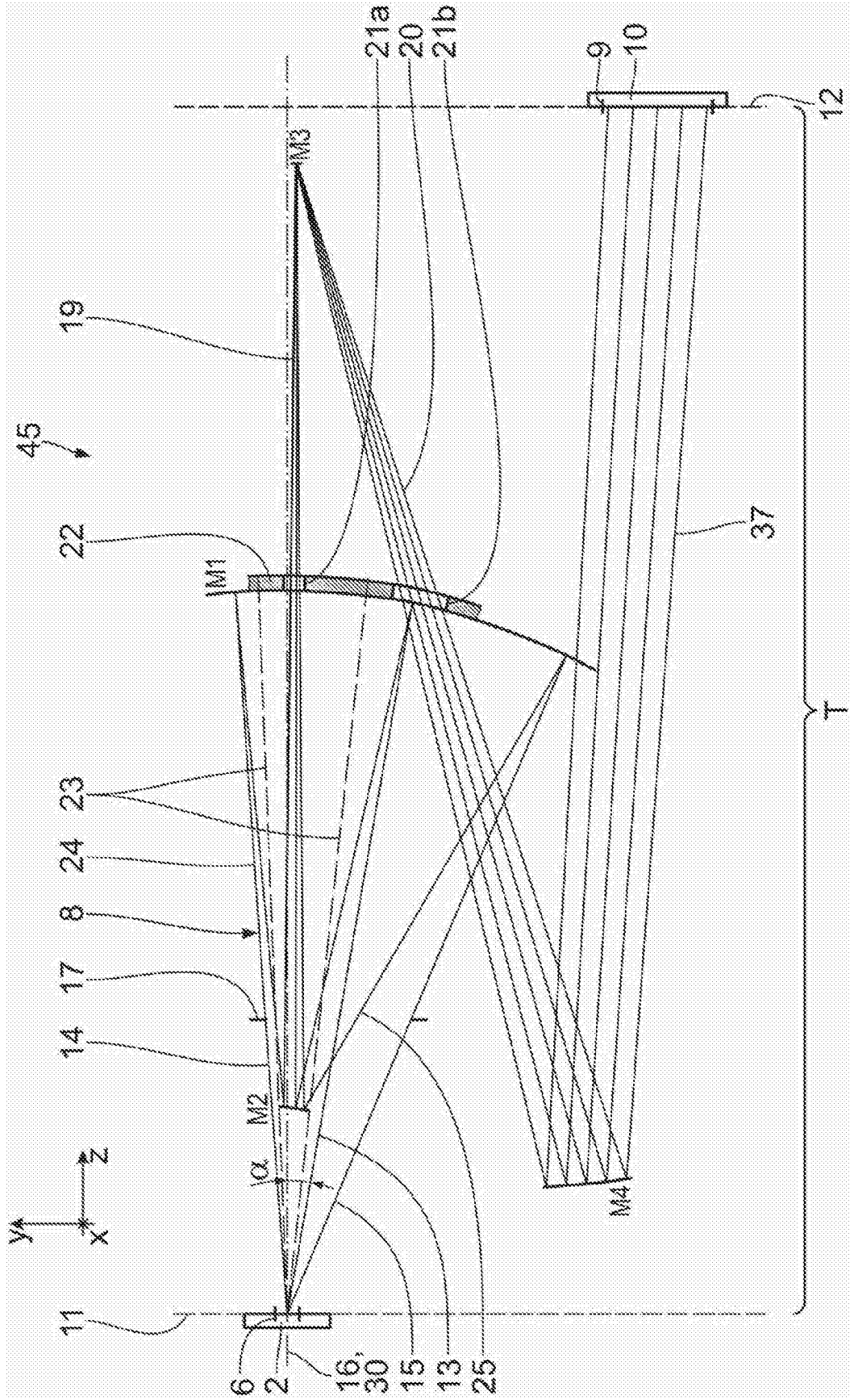


图17

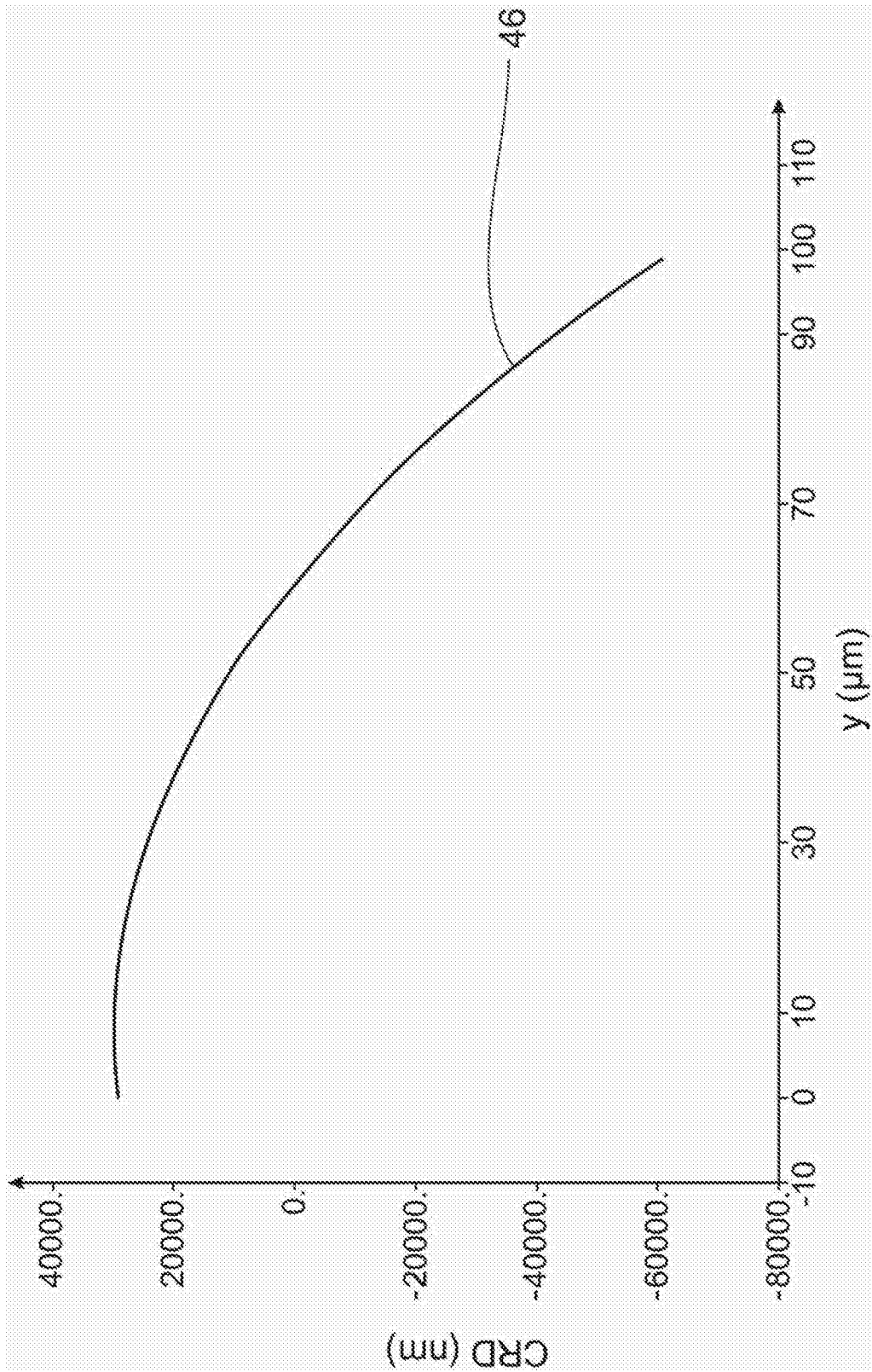


图18



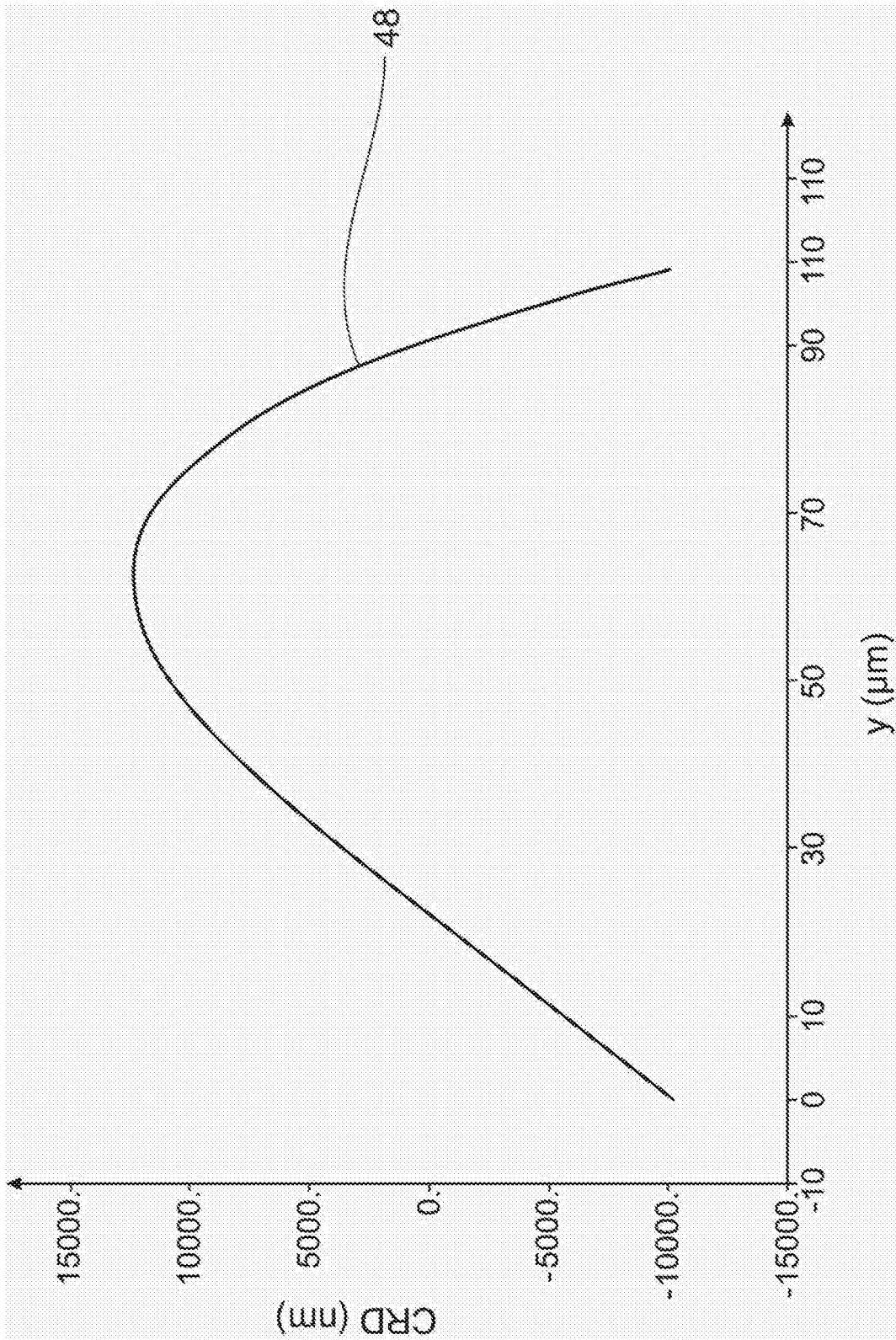


图20

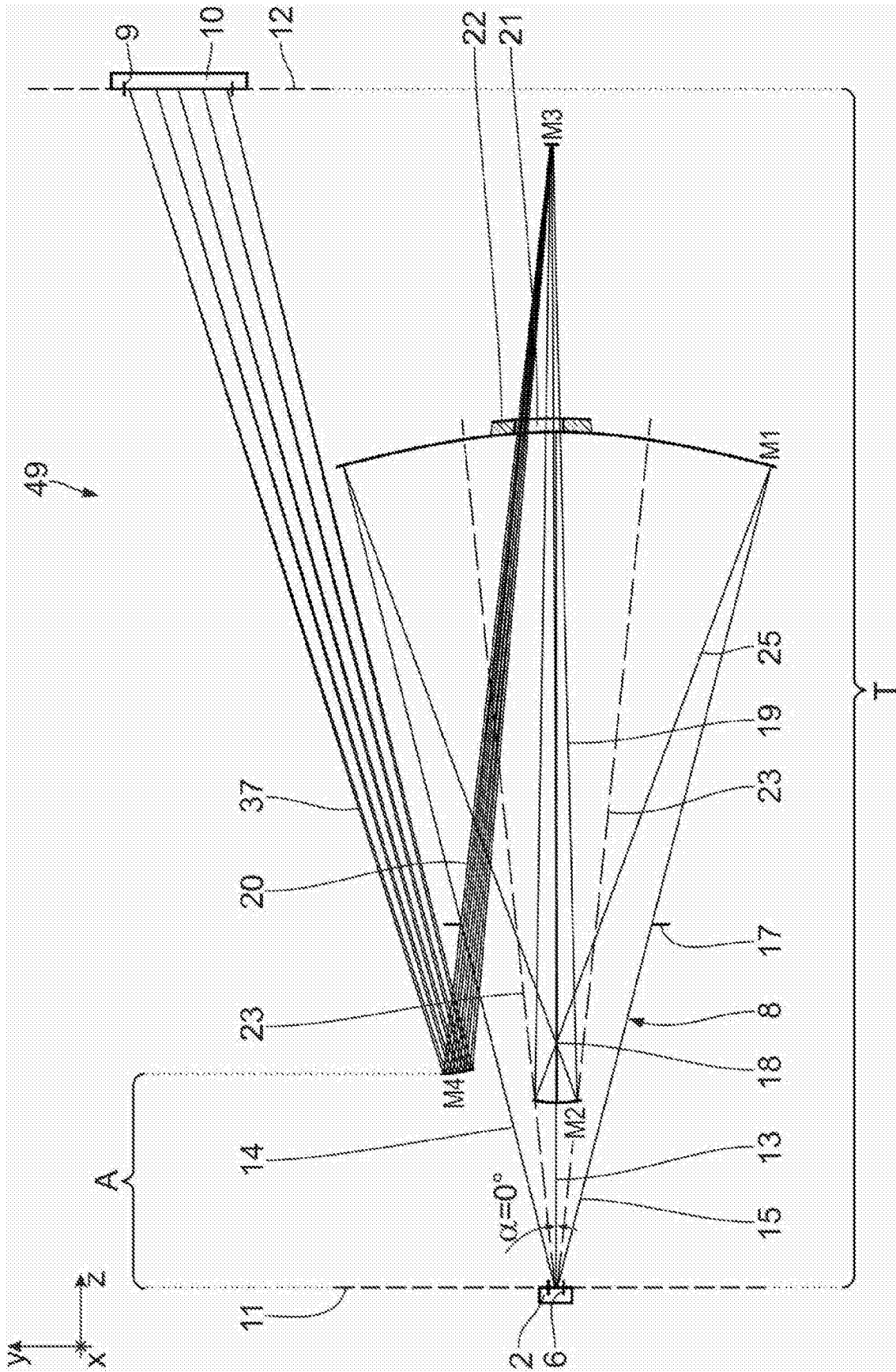


图21

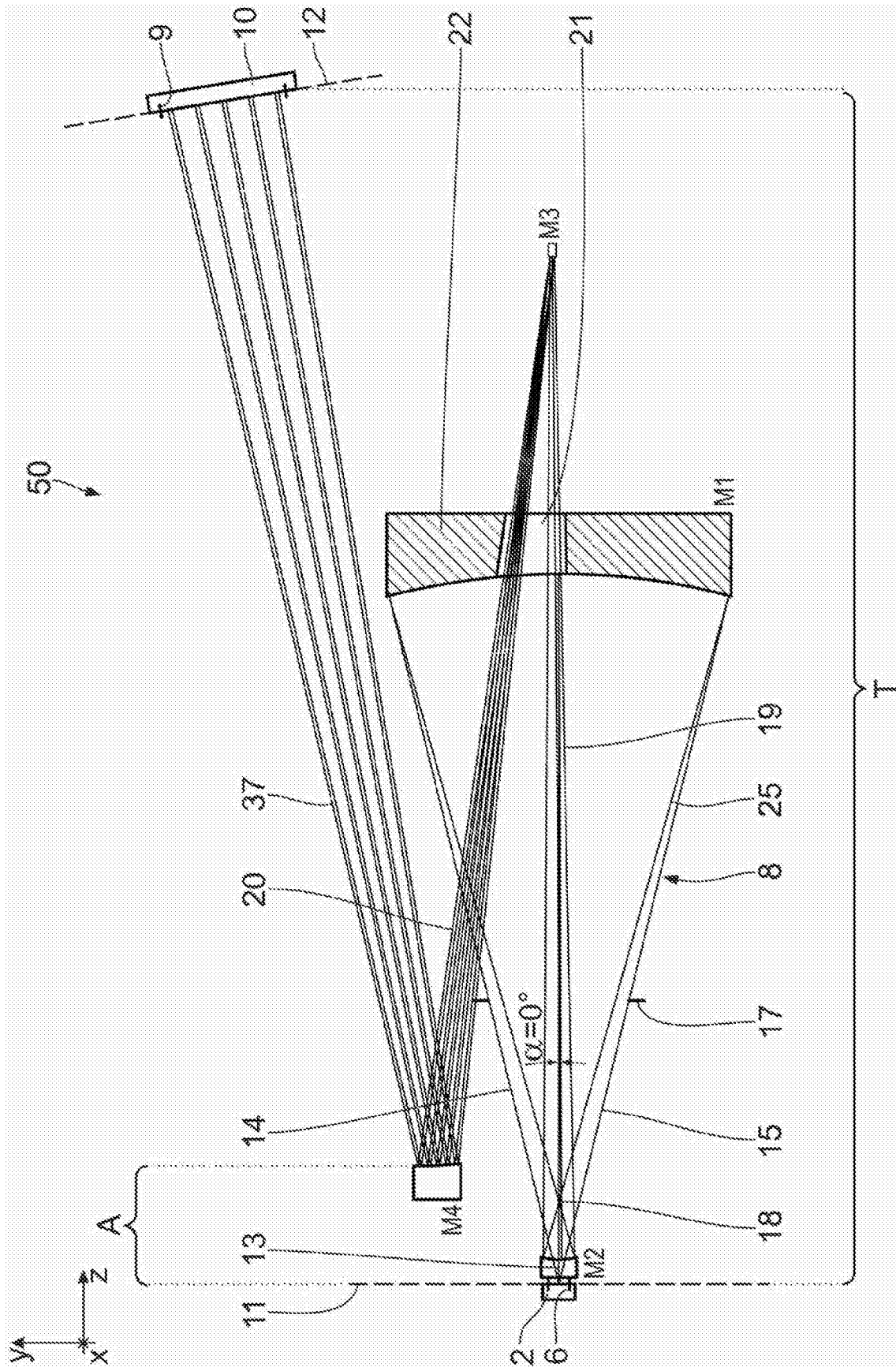


图22



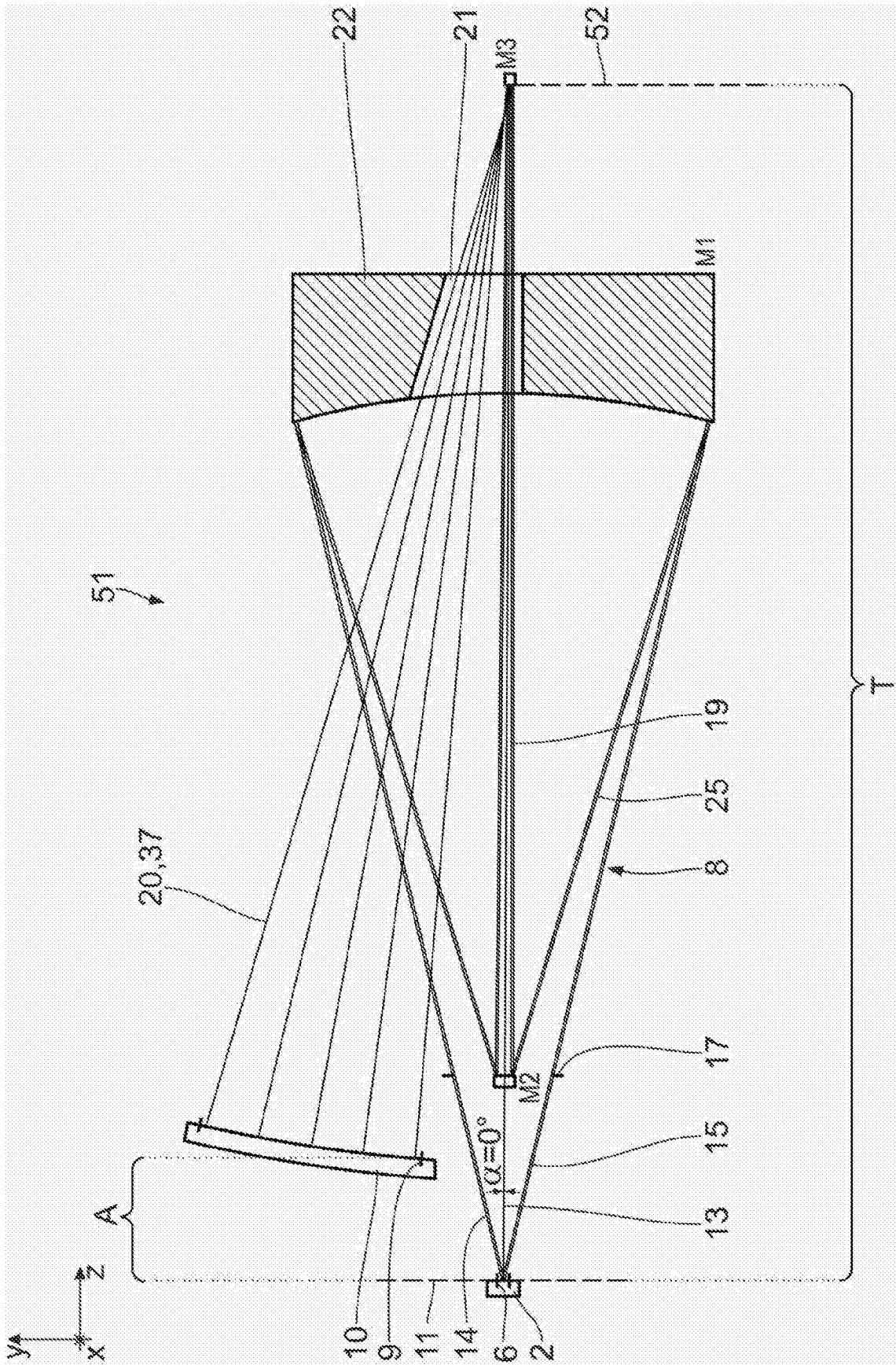


图23

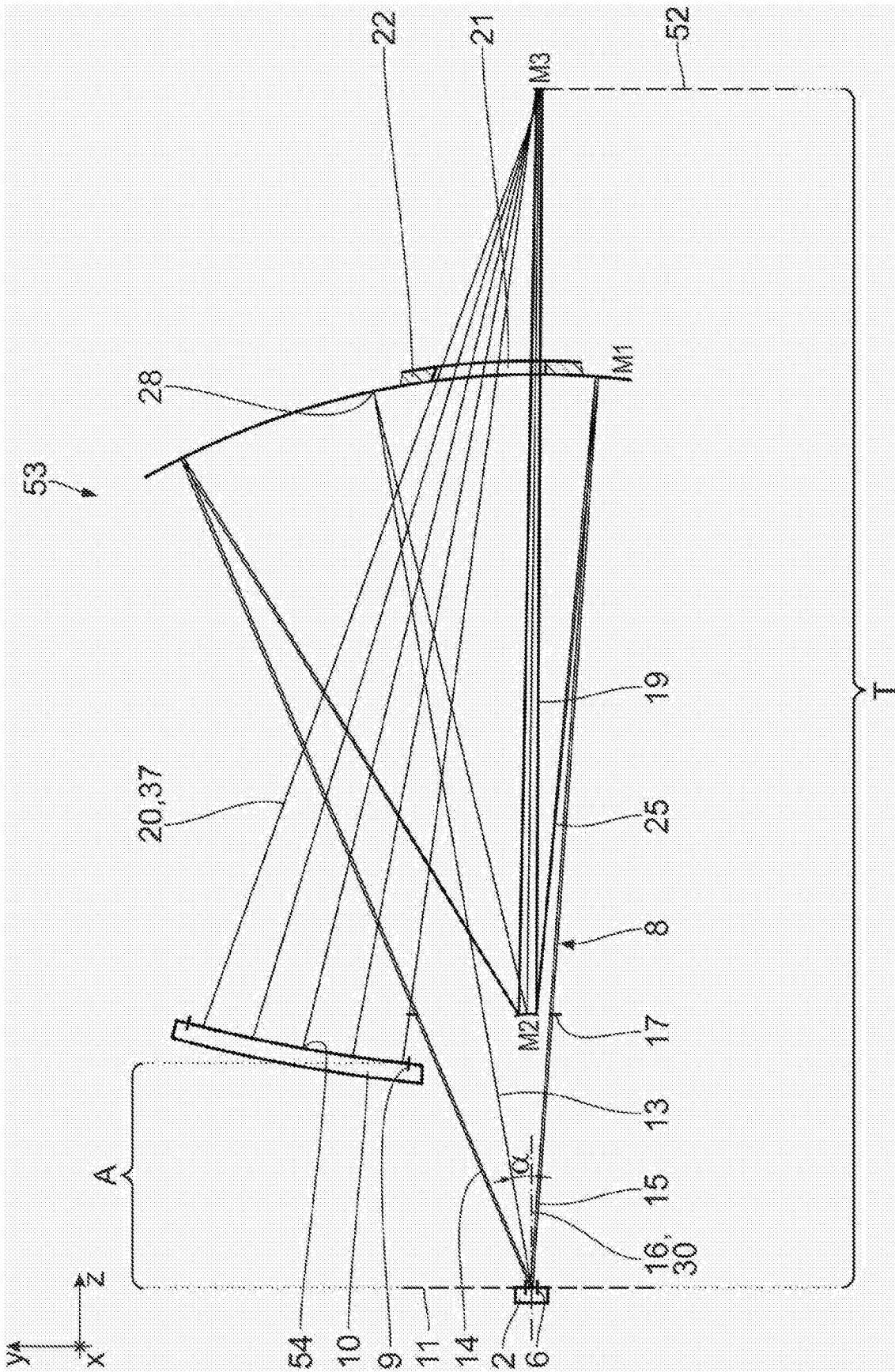


图24

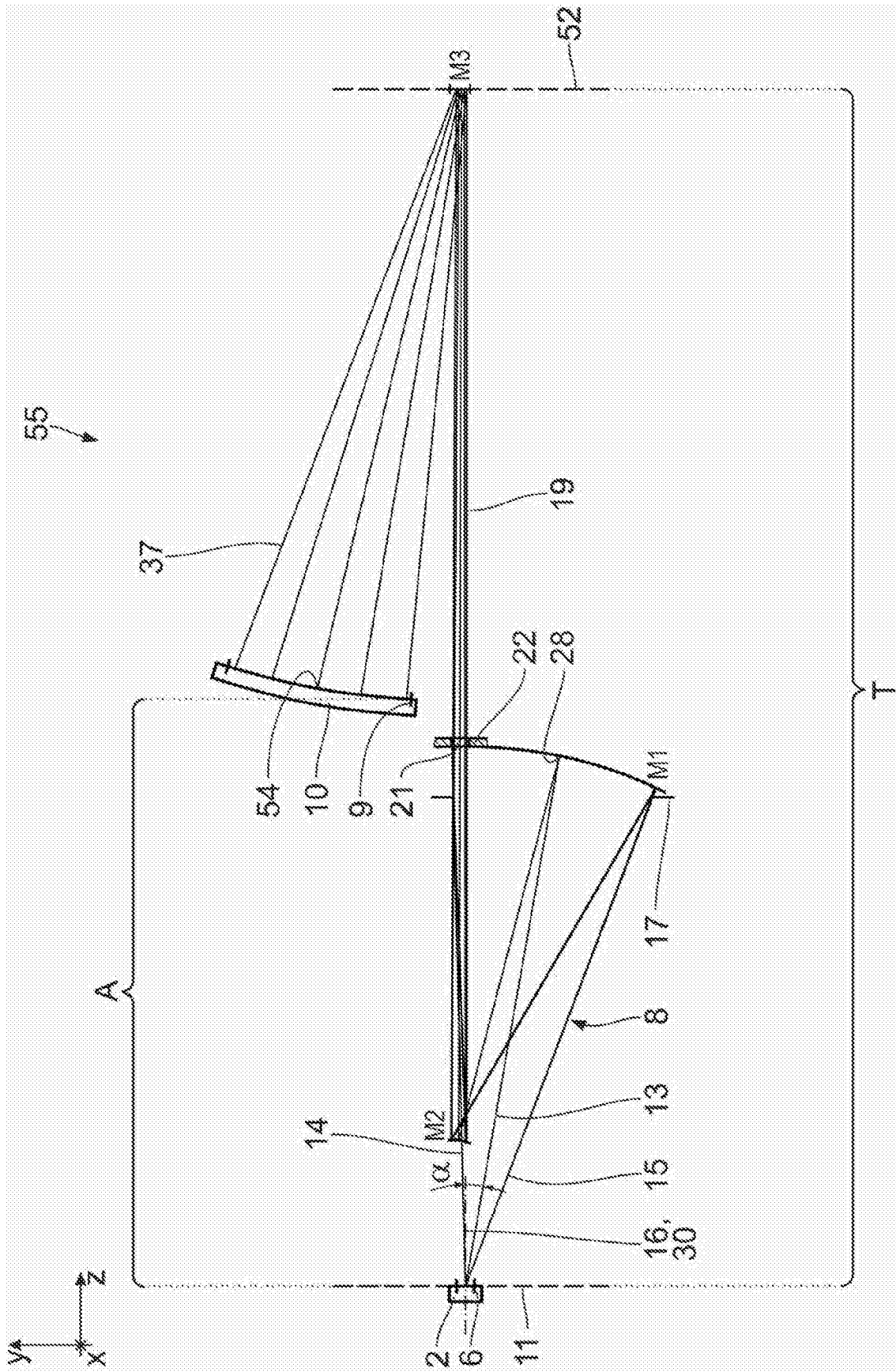


图25

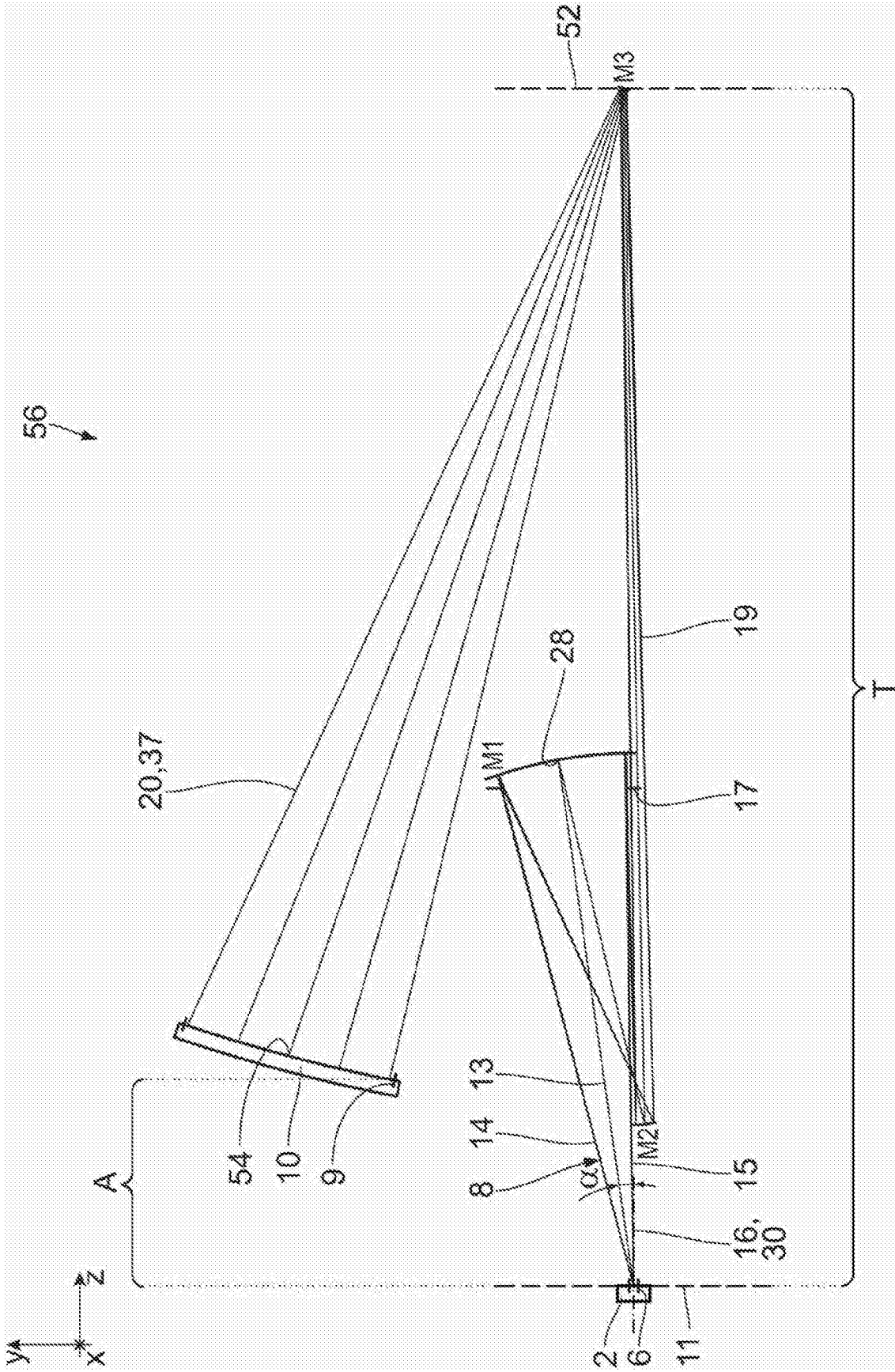


图26



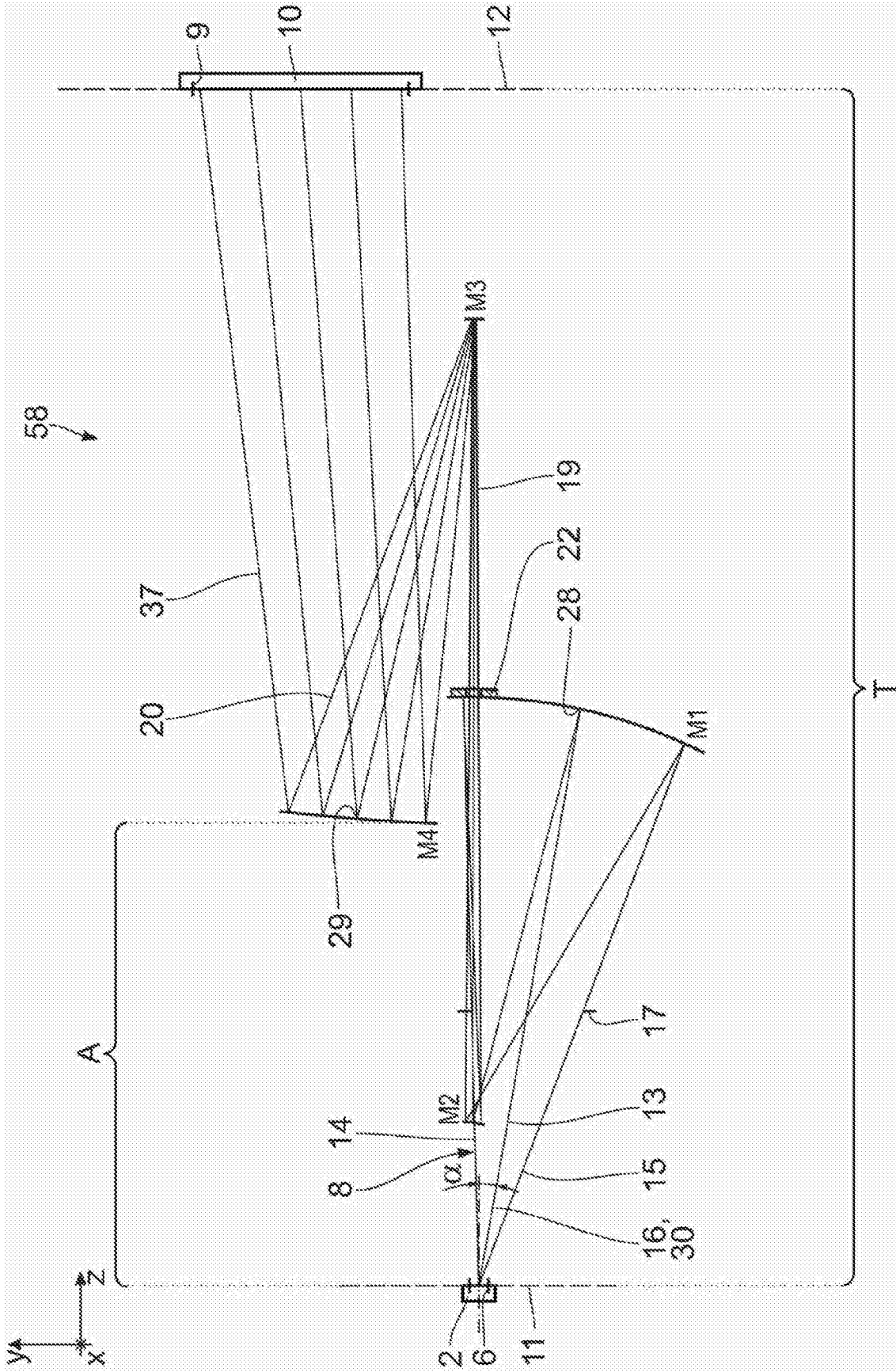


图28

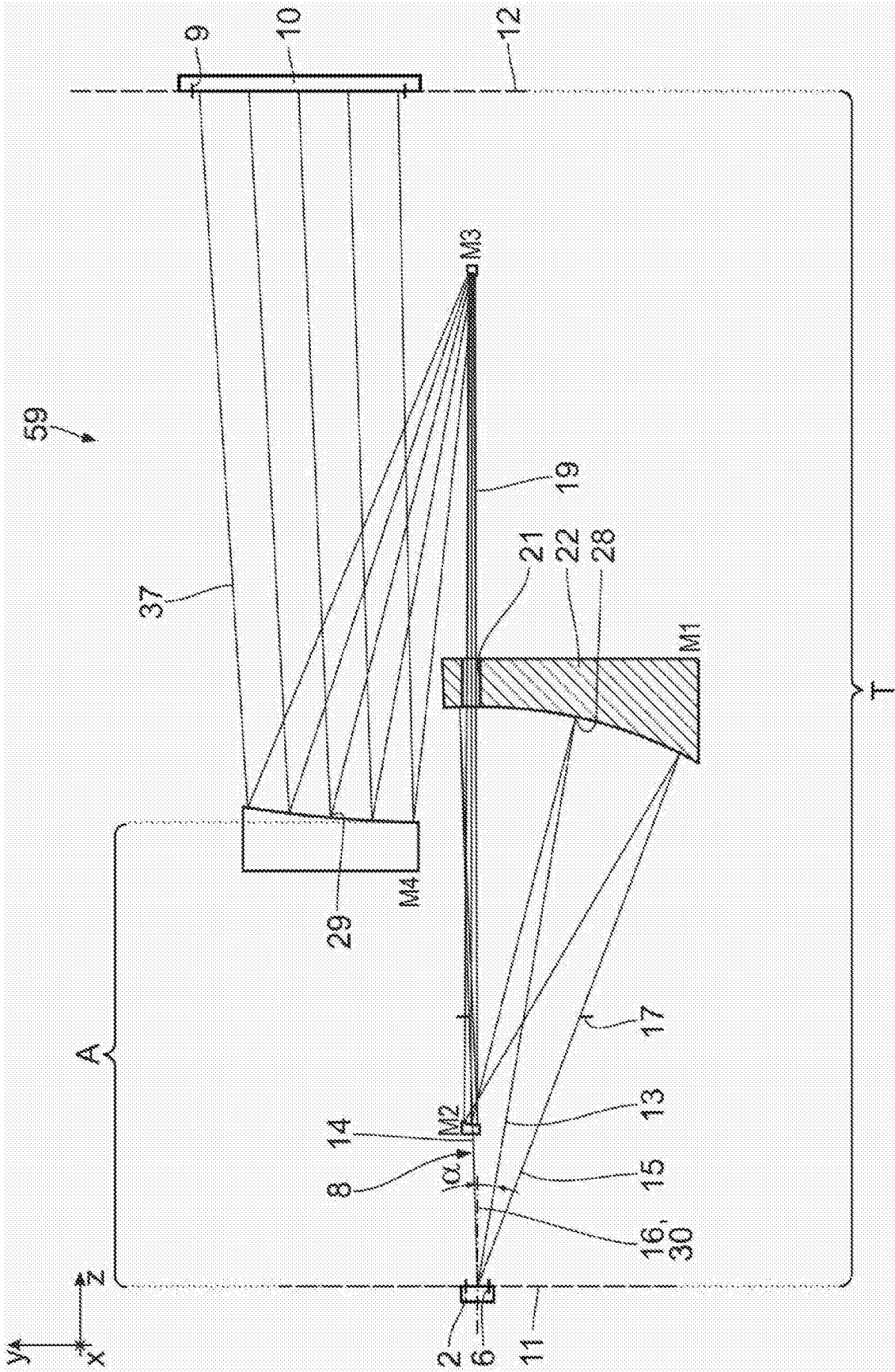


图29

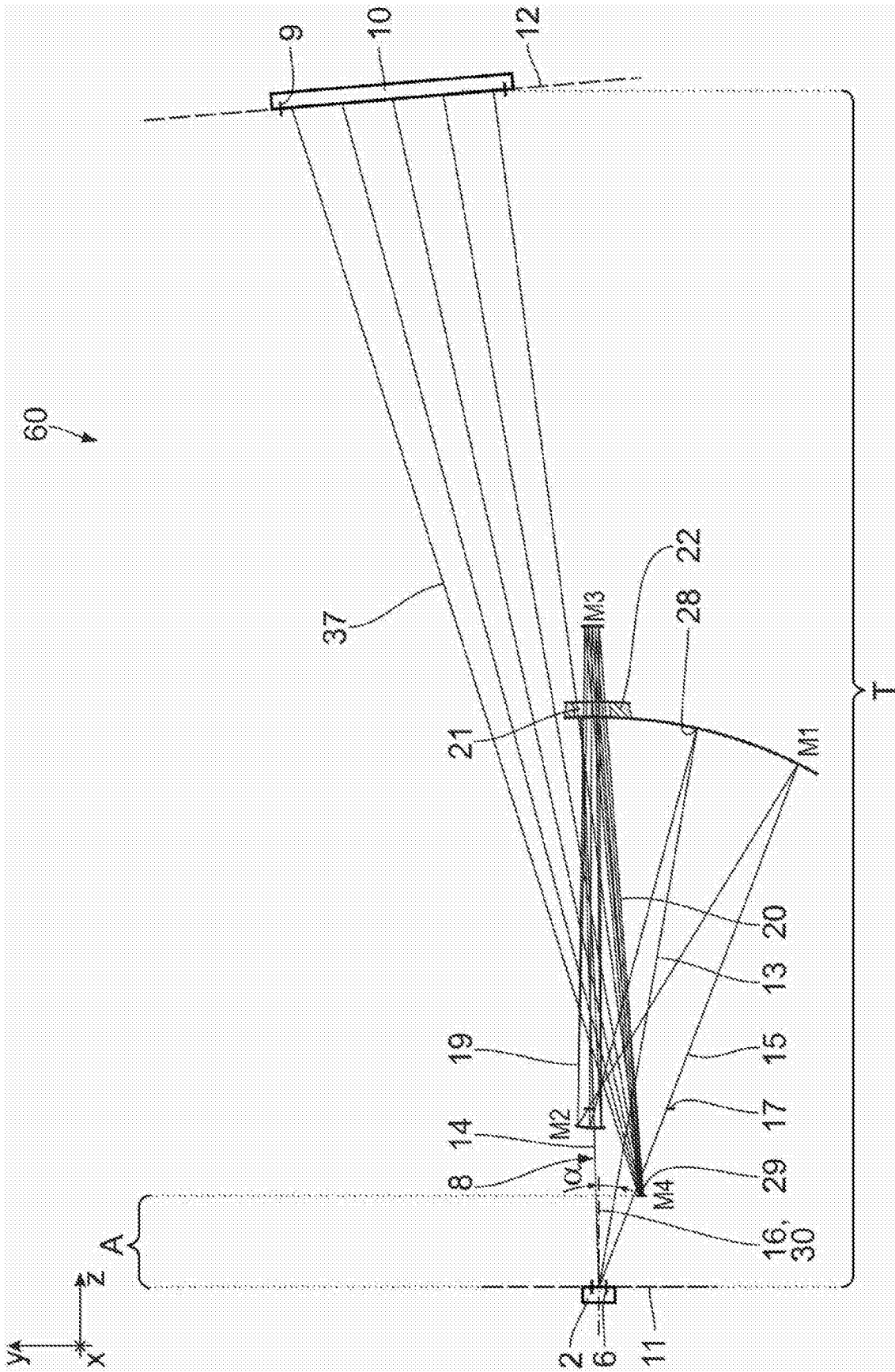


图30



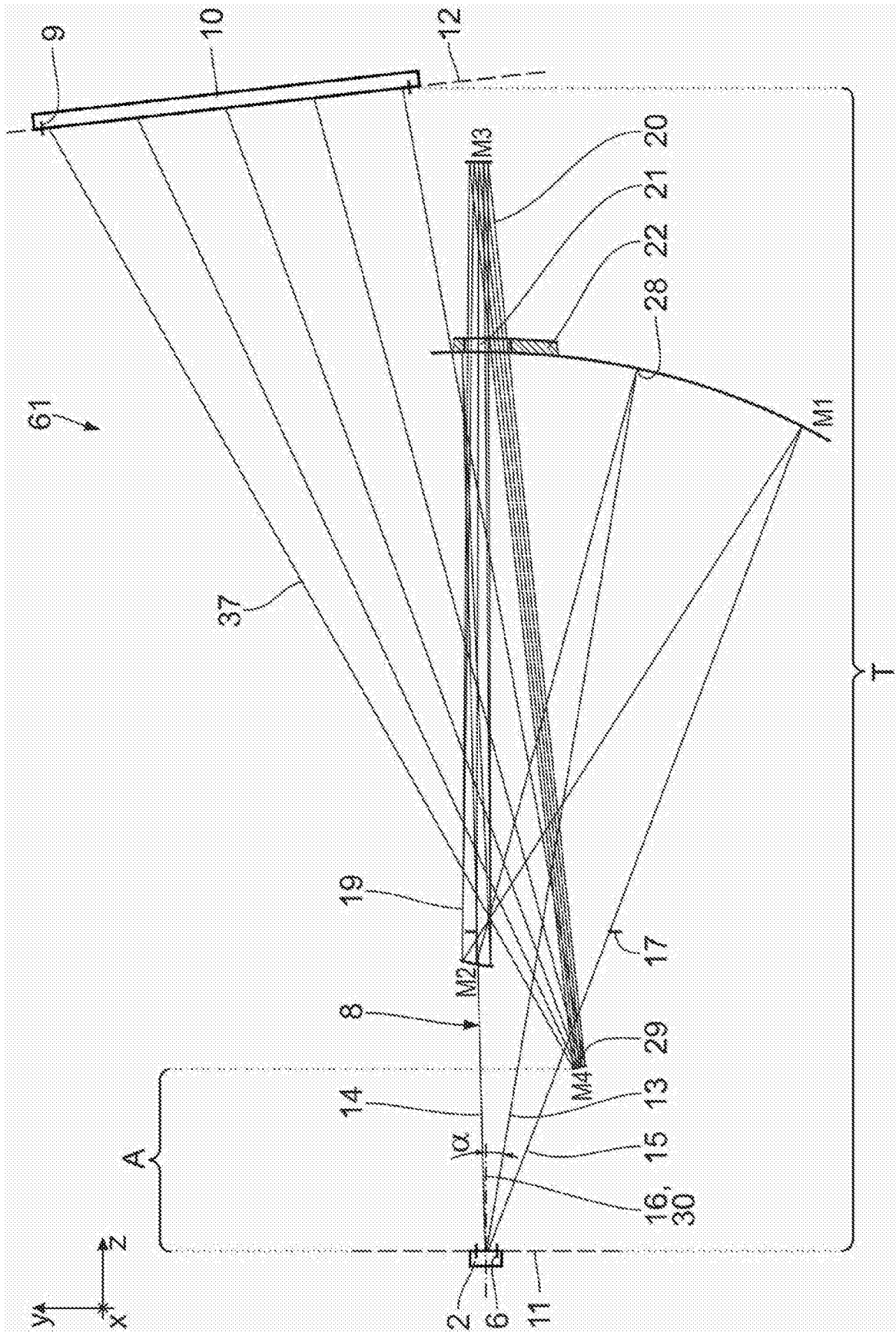


图31