



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102171614 B

(45) 授权公告日 2012. 08. 08

(21) 申请号 200980137510. 0

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所
11105

(22) 申请日 2009. 08. 22

代理人 邱军

(30) 优先权数据

102008042438. 2 2008. 09. 29 DE
61/100, 836 2008. 09. 29 US

(51) Int. Cl.

G03F 7/20 (2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

2011. 03. 24

(56) 对比文件

EP 1884831 A2, 2008. 02. 06,
US 2001002301 A1, 2001. 05. 31,

(86) PCT申请的申请数据

PCT/EP2009/006113 2009. 08. 22

审查员 赵强

(87) PCT申请的公布数据

W02010/034382 EN 2010. 04. 01

(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 汉斯-于尔根·曼 温弗里德·凯泽

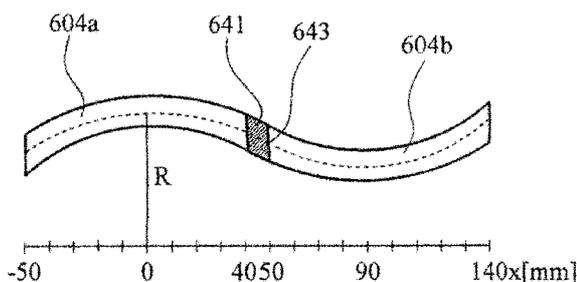
权利要求书 2 页 说明书 12 页 附图 11 页

(54) 发明名称

具有至少两个操作状态的微光刻投射曝光设备

(57) 摘要

本发明涉及一种用于制造微电子元件的、具有至少两个操作状态的微光刻投射曝光设备。该微光刻投射曝光设备包括物平面上的反射掩模。在第一操作状态中,所述掩模的第一部分区域由第一辐射照明,所述第一辐射在所述第一部分区域的每个点处具有所分配的具有第一质心方向矢量的第一质心方向。在第二操作状态中,所述掩模的第二部分区域由第二辐射照明,所述第二辐射在所述第二部分区域的每个点处具有所分配的具有第二质心方向矢量的第二质心方向。所述第一和所述第二部分区域具有公共交叠区域。所述微光刻投射曝光设备被构造为使得在所述交叠区域的至少一个部分区域的每个点处,归一化的第一质心方向矢量、归一化的第二质心方向矢量以及与所述掩模垂直的归一化矢量的标量三重积小于 0.05。



1. 用于制造微电子元件的、具有至少两个操作状态的微光刻投射曝光设备,包括物平面(5、805)上的反射掩模,其中

在第一操作状态中,所述掩模的第一部分区域(604a、704a)由第一辐射照明,所述第一辐射在所述第一部分区域(604a、704a)的每个点处具有所分配的具有第一质心方向矢量的第一质心方向,

以及在第二操作状态中,所述掩模的第二部分区域(604b、704b)由第二辐射照明,所述第二辐射在所述第二部分区域(604b、704b)的每个点处具有所分配的具有第二质心方向矢量的第二质心方向,并且其中所述第一和所述第二部分区域(604a、704a、604b、704b)具有公共交叠区域(641、741),

其特征在于

在所述交叠区域(641、741)的至少一个部分区域的每个点处,归一化的第一质心方向矢量、归一化的第二质心方向矢量以及与所述掩模垂直的归一化矢量的标量三重积小于0.05。

2. 如权利要求1所述的微光刻投射曝光设备,其特征在于

在所述交叠区域(641、741)的至少一个部分区域的每个点处,所述归一化的第一质心方向矢量、所述归一化的第二质心方向矢量以及与所述掩模垂直的归一化矢量的标量三重积小于0.03。

3. 如权利要求1所述的微光刻投射曝光设备,其特征在于

在所述交叠区域(641、741)的至少一个部分区域的每个点处,所述归一化的第一质心方向矢量、所述归一化的第二质心方向矢量以及与所述掩模垂直的归一化矢量的标量三重积小于0.01。

4. 如权利要求1-3中的任一项所述的微光刻投射曝光设备,其特征在于

在所述交叠区域(641、741)的至少一个部分区域的每个点处,所述第一质心方向与垂直于所述掩模的归一化矢量之间的角度是 3° 或更大。

5. 如权利要求1-3中的任一项所述的微光刻投射曝光设备,其特征在于

所述交叠区域(641、741)小于所述第一部分区域(604a、704a)并且小于所述第二部分区域(604b、704b)。

6. 如权利要求1-3中的任一项所述的微光刻投射曝光设备,其特征在于

所述反射掩模在所述第一操作状态中的取向与所述掩模在所述第二操作状态中的取向相差关于与所述物平面(5)垂直的轴的 180° 的旋转。

7. 如权利要求1-3中的任一项所述的微光刻投射曝光设备,包括用于将物场成像到像场上的投射光学单元,其特征在于

所述像场具有13mm的最大尺度。

8. 如权利要求1-3中的任一项所述的微光刻投射曝光设备,其特征在于

可以利用具有5nm和15nm之间的波长的辐射操作所述微光刻投射曝光设备。

9. 用于通过光刻制造微电子元件的方法,其中物平面中的反射结构承载掩模被成像到像平面中的基底上,

其中通过第一辐射在第一曝光的背景中曝光第一部分区域(604a、704a),所述第一辐射在所述第一部分区域的每个点处具有第一质心方向,所述第一质心方向具有第一质心方

向矢量,以及

通过第二辐射曝光在第二曝光的背景中曝光所述掩模的第二部分区域 (604b、704b), 所述第二辐射在所述第二部分区域的每个点处具有第二质心方向, 所述第二质心方向具有第二质心矢量,

其中所述第一和所述第二部分区域具有公共交叠区域 (641、741),

其特征在于

在所述交叠区域 (641、741) 的每个点处, 归一化的第一质心方向矢量、归一化的第二质心方向矢量以及与所述掩模垂直的归一化矢量的标量三重积小于 0.05。

10. 如权利要求 9 所述的方法, 其特征在于

在所述交叠区域 (641、741) 的每个点处, 所述归一化的第一质心方向矢量、所述归一化的第二质心方向矢量以及与所述掩模垂直的归一化矢量的标量三重积小于 0.03。

11. 如权利要求 9 所述的方法, 其特征在于

在所述交叠区域 (641、741) 的每个点处, 所述归一化的第一质心方向矢量、所述归一化的第二质心方向矢量以及与所述掩模垂直的归一化矢量的标量三重积小于 0.01。

12. 如权利要求 9-11 中的任一项所述的方法, 其特征在于

在所述交叠区域 (641、741) 的至少一个部分区域的每个点处, 所述第一质心方向与垂直于所述掩模的归一化矢量之间的角度是 3° 或更大。

13. 如权利要求 9-12 中的任一项所述的方法, 其特征在于

所述辐射具有 5nm 和 15nm 之间的波长。

14. 如权利要求 9-12 中的任一项所述的方法, 其特征在于

第一和第二曝光通过扫描处理进行, 在所述扫描处理中, 所述掩模在所述第一曝光期间被沿着第一扫描方向移动通过照明场, 在所述第二曝光期间被沿着第二扫描方向移动通过照明场。

15. 如权利要求 14 所述的方法, 其特征在于

第一和第二扫描方向平行或反平行。

16. 如权利要求 9-12 中的任一项所述的方法, 其特征在于

两个任意第一质心方向矢量 (235、335) 之间或两个任意第二质心方向矢量 (235、335) 之间的最大角度小于 1° 。

17. 如权利要求 9-12 中的任一项所述的方法, 其特征在于

在所述交叠区域的每个点处, 第一和第二质心方向矢量之间的角度小于 1° 。

18. 如权利要求 9-12 中的任一项所述的方法, 其特征在于

在所述交叠区域 (641、741) 的每个点处, 由所述第一和所述第二质心方向矢量形成的平面与垂直于所述掩模的归一化矢量之间的角度小于 1° 。

19. 如权利要求 9-12 中的任一项所述的方法, 其特征在于

在所述第一和所述第二曝光之间, 所述物平面 (5) 上的结构承载掩模被旋转 180° 。

20. 如权利要求 18 所述的方法, 其特征在于

在所述第一和所述第二曝光之间, 所述物平面 (5) 上的结构承载掩模被旋转 180° 。

21. 根据如权利要求 9-20 之一所述的方法制造的微电子元件。

具有至少两个操作状态的微光刻投射曝光设备

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于制造微电子元件的、具有至少两个操作状态的微光刻投射曝光设备,以及涉及一种用于通过光刻制造微电子元件的方法。

背景技术

[0002] 引言中所提及的类型的微光刻投射曝光设备和方法被公开在例如 US6, 295, 119B1 和 US 6, 526, 118B2 中。

[0003] 用于制造微电子元件的微光刻投射曝光设备包括对结构承载掩模进行照明(所谓的掩模母版)的光源和照明系统以及将掩模成像到基底(晶片)上的投射光学单元,等等。所述基底包含光敏层,其在曝光时被化学地改变。这也被称为光刻步骤。在此情况下,掩模母版被布置在物平面中,且晶片被布置在微光刻投射曝光设备的投射光学单元的像平面中。光敏层的曝光以及进一步的化学处理产生微电子元件。

[0004] 微光刻投射曝光设备通常被作为所谓的扫描曝光机操作。这意味着掩模母版被沿着扫描方向移动通过狭缝照明场,同时晶片被相应地在投射光学单元的像平面中移动。掩模母版和晶片的速度比对应于投射光学单元的放大率,其通常小于 1。

[0005] 在此情况下,投射光学单元和照明系统的光学元件可以是折射或反射或衍射元件。折射、反射和衍射元件的组合也是可以的。同样可以以反射方式或透射方式实施掩模母版。特别地,当这种设备以具有小于约 100nm(尤其是 5nm 和 15nm 之间)的波长的辐射操作时,其完全由反射元件构成。

[0006] 这种微光刻投射曝光设备具有受限的照明场以及可以被成像的受限的场。然而,即使掩模大到既不能被完全地成像也不能被完全地照明,也可能仍期望将结构承载掩模成像到像平面中,在像平面中布置了具有光敏层的基底。

[0007] 如果掩模仅在一个方向可以大于被照明或成像的区域,则光刻投射曝光设备可以被作为扫描曝光机操作,从而掩模在所述方向上被移动通过狭缝照明场,同时晶片被相应地在投射光学单元的像平面中移动。这意味着至少原则上可以在所述方向上照明和成像任意尺寸的掩模。

[0008] 然而,如果掩模在两个方向上大于可以被成像和照明的区域,则其不能通过扫描纠正。在这种情况下,结构承载掩模被分为至少两个被单独成像或照明的部分区域。这可以有条件地与扫描处理组合。在此情况下,该至少两个部分区域的中点在与扫描方向垂直的距离处,从而该至少两个部分区域的组合大于每个单独部分区域。因此,通过与扫描方向上的移动组合,可以照明和成像相对大的结构承载掩模。

[0009] 然而,为了在光敏层中整体地给出掩模结构的完全像,有利的是部分区域至少部分交叠。这使得可以确保掩模中没有无意地不被成像或不被照明的区域。然而,这些交叠区域导致结构承载掩模的构造上的问题。尤其在掩模不被垂直照明的情况中,在掩模的制造中,必须考虑辐射的哪个质心方向出现在投射曝光设备中的掩模的一点上。辐射的质心方向偏离垂直照明越多,所述效应变得越糟。如果,在交叠区域的至少一个部分区域的每个

点处,第一质心方向和垂直于掩模的垂直矢量之间的角度是 3° 或者更大,特别是 6° 或者更大,则必须考虑这些问题。

[0010] 入射辐射的质心方向被理解为入射辐射的平均方向。如果从光束锥的所有方向均匀地照明一点,则光束锥的对称轴与质心方向一致。在非均匀照明的情况下,通常形成能量加权平均,其中,每个方向用来自此方向的辐射的强度加权。则质心方向是平均能量加权方向。

[0011] 在掩模的制造中必须考虑质心方向,这是因为在倾斜照明期间可能发生使掩模的像畸变的阴影投影 (casting) 和投射效应。可能发生阴影效应,这是因为这种结构承载掩模不完全是平面的。在反射掩模的情况下,非反射区域被提高,因为在这些位置,一个或多个覆盖层已经被施加到一个或多个反射基层。因此,掩模的这种三维结构可能导致阴影效应。

[0012] 然而,可以在掩模的制造中考虑阴影和投射效应,从而在微光刻投射曝光设备的像平面中出现所期望的像。

[0013] 如果交叠区域被照明和成像两次,则这导致对第一和第二曝光的辐射的质心方向的特殊要求,以便仍然能够考虑阴影投影和投射效应。

发明内容

[0014] 本发明旨在提供一种用于制造微电子元件的微光刻投射曝光设备和方法,其中满足所述特殊要求。

[0015] 根据本发明,通过用于制造微电子元件的微光刻投射曝光设备实现此目的,该微光刻投射曝光设备具有至少两个操作状态,包括物平面上的反射掩模。在此情况下,所述微光刻投射曝光设备被构造为使得:在第一操作状态中,所述掩模的第一部分区域由第一辐射照明,所述第一辐射在所述第一部分区域的每个点处具有所分配的具有第一质心方向矢量的第一质心方向,以及在第二操作状态中,所述掩模的第二部分区域由第二辐射照明,所述第二辐射在所述第二部分区域的每个点处具有所分配的具有第二质心方向矢量的第二质心方向,其中所述第一和所述第二部分区域具有公共交叠区域。在所述交叠区域的至少一个部分区域的每个点处,归一化的第一质心方向矢量、归一化的第二质心方向矢量以及与所述掩模垂直的归一化矢量的标量三重积小于 0.05,优选地小于 0.05,特别优选地小于 0.01。这确保由所述第一和第二质心方向矢量平均的质心方向矢量垂直于所述掩模,从而不需要考虑交叠区域中的投射和阴影效应,或者确保所述第一和第二质心方向矢量在它们的方向上没有显著区别,从而可以毫无问题地考虑投射和阴影效应,这是因为它们在两个操作状态中相同。在第一种情况中,第一和第二质心方向矢量的差积基本垂直于掩模上的归一化矢量,从而所述标量三重积小于 0.05,优选小于 0.03,特别优选小于 0.01。在第二种情况中,第一和第二质心方向矢量具有基本相同的方向,从而差积的幅度已经是小的,由此所述差积与垂直于所述掩模之间的归一化矢量之间的标量积也小于 0.05,优选小于 0.03,特别优选由于 0.01。

[0016] 所述投射曝光设备被如此构造,使得所述交叠区域小于所述第一部分区域并且小于所述第二部分区域,其具有以下效应:第一和第二部分区域的组合分别大于第一和第二部分区域。这意味着可以照明和成像更大的结构承载掩模。

[0017] 如果所述投射曝光设备被附加地构造为使得所述反射掩模在所述第一操作状态中的取向与所述掩模在所述第二操作状态中的取向相差关于与所述物平面垂直的轴的 180° 的旋转,则这种投射曝光设备可以以特别简单的方式实现。因此可以使用其入瞳距物平面不过远的投射光学单元。这种投射光学单元可以利用旋转对称的反射元件实施,其比没有这种旋转对称性的投射光学单元更容易制造和测量。

[0018] 本发明还涉及一种用于制造微电子元件的、具有至少两个操作状态的微光刻投射曝光设备。在此情况下,所述微光刻投射曝光设备包括物平面上的反射掩模,其中,所述反射掩模在所述第一操作状态中的取向与所述掩模在所述第二操作状态中的取向相差关于与所述物平面垂直的轴的 180° 的旋转。这具有如下优点:在所述掩模上的照明方向在两个操作状态中相差相同的旋转。由此获得的是:可以补偿在反射掩模的情况中考虑倾斜照明时所发生的效应。

[0019] 在根据本发明的微光刻投射曝光设备中,具体地可以使用具有 5nm 和 15nm 之间的波长的辐射。其具有如下优点:可以借助于这种设备成像特别小的结构。

[0020] 此外,本发明涉及一种用于通过光刻制造微电子元件的方法,其中物平面中的反射结构承载掩模被成像到像平面中的基底上。此方法包括以下步骤:由第一辐射对所述掩模的第一部分区域进行的第一曝光,所述第一辐射在所述第一部分区域的每个点处具有第一质心方向,第一质心方向具有第一质心方向矢量;以及由第二辐射对所述掩模的第二部分区域进行的第二曝光,所述第二辐射在所述第二部分区域的每个点处具有第二质心方向,第二质心方向具有第二质心矢量,其中所述第一和所述第二部分区域具有公共交叠区域。在所述交叠区域中,在每个点处,归一化的第一质心方向矢量、归一化的第二质心方向矢量以及与所述掩模垂直的归一化矢量的标量三重积小于 0.05 ,优选小于 0.03 ,特别优选小于 0.01 。此方法具有可以使用容易制造的结构承载掩模等优点。这是因为以下事实:由于部分区域的第一和第二曝光的质心方向矢量的特定关系,可以以简单的方式考虑投射和阴影效应。

[0021] 在根据本发明的方法中,可以具体地使用具有 5nm 和 15nm 之间的波长的辐射。这具有可以借助于这种辐射成像特别小的结构的优点。

[0022] 此外,根据本发明的方法还可以被构造为使得第一和第二曝光通过扫描处理进行,在所述扫描处理中,所述掩模在所述第一曝光期间被沿着第一扫描方向移动通过照明场,在所述第二曝光期间被沿着第二扫描方向移动通过照明场。通过此附加的扫描处理,可以照明和成像甚至更大的结构承载掩模。

[0023] 如果根据本发明的投射曝光设备被操作为扫描曝光机,则在相邻部分区域的曝光期间的扫描方向可以平行或反平行。平行扫描方向具有如下优点:因为所述掩模在曝光期间总是被从起始位置移动到终止位置,所以所有曝光步骤是相同的,并且在回起始位置的返回路径上不发生曝光。这意味着回起始位置的返回路径不一定要满足相同的精度,所以对投射曝光设备的机械复杂性的要求较不严格。另一方面,反平行的扫描方向具有如下优点:曝光也在返回路径上发生,从而可以进行更快的曝光操作。

[0024] 如果所述方法或投射曝光设备具有如下特征:两个任意第一质心方向矢量之间或两个任意第二质心方向矢量之间的最大角度小于 1° ,则在交叠区域内仅存在质心方向矢量的较小变化。这具有如下优点:交叠区域中的阴影和投射效应的强度也仅小程度地改变。

[0025] 如果所述方法被附加地或替代地构造为使得在所述交叠区域的每个点处,第一和第二质心方向矢量之间的角度小于 1° ,则投射和阴影效应在第一和第二曝光期间基本相同,从而在结构承载掩模的制造期间可以以相对简单的方式补偿所述效应。

[0026] 在所述方法被附加构造为使得在所述交叠区域的每个点处由所述第一和所述第二质心方向矢量形成的平面与垂直于所述掩模的归一化矢量之间的角度小于 1° 的情况中,这提供了如下优点:在该两个曝光上平均的曝光辐射的方向基本垂直于所述掩模。这确保仅很少的阴影和投射效应出现在交叠区域。

[0027] 具体地,所述方法还可以包括所述物平面上的结构承载掩模在所述第一和所述第二曝光之间被旋转 180° 。这具有如下优点:由于该旋转,所述掩模上的照明方向在第一和第二曝光期间不同。由此获得的是可以补偿在反射掩模的情况下由于倾斜照明而发生的效应。

附图说明

[0028] 参照附图更详细地说明本发明。

[0029] 图 1:反射构造中的投射光学单元

[0030] 图 2:从结构承载掩模摘取的部分的正视图

[0031] 图 3:在掩模母版处的光束,具有角度 α 和 β 的定义

[0032] 图 4a:要被成像的弓形场的平面图

[0033] 图 4b:诸如由现有技术已知的投射曝光设备的情况中的质心方向矢量的角度分布

[0034] 图 5a:诸如由现有技术中已知的并列的部分区域

[0035] 图 5b:根据图 4a 的实施例的情况中的质心方向矢量的角度分布,诸如由现有技术已知的

[0036] 图 6a:根据本发明的一个实施例的并列的部分区域

[0037] 图 6b:根据图 6a 的本发明的实施例的情况中的质心方向矢量的角度分布

[0038] 图 7a:根据本发明的另一实施例的并列的部分区域

[0039] 图 7b:根据图 7a 的本发明的实施例的情况中的质心方向矢量的角度分布

[0040] 图 8:从物侧远心的投射光学单元

具体实施方式

[0041] 如此选择附图标记使得图 1 中所示的对象已被提供了单个数字的或两个数字的标号。其它附图中所示的对象具有包含三个或更多数字的附图标记,其中最后两位数字指定该对象,位于它们之前的数字指定其中示出该对象的附图的号码。因此,多个附图中示出的相同对象的附图标记在最后两位数字上相同。例如,附图标记 3 和 403 标识图 1 和图 4 中的对象 3,在此情况下是物场。因此,一个附图标记的对象的说明可以在涉及在前附图中对应附图标记下的对象的描述中找到。

[0042] 图 1 示出了诸如由现有技术中已知的微光刻投射曝光设备的反射投射光学单元 1 的图示。投射光学单元 1 将布置在物平面 5 中的物场 3 成像到像平面 7 中。还在物平面 5 中的物场 3 的位置处布置结构承载掩模(该图中未示出),即所谓的掩模母版。还示出了笛

卡尔坐标系,该系统的 x 轴指入该图面。在此情况下,x-y 坐标平面与物平面 1 一致,z 轴垂直于物平面 1 并指向下。投射光学单元具有光轴 9,其不穿过物场。投射光学单元 1 的反射镜 11 具有关于光轴旋转对称的光学表面。在此示例实施例中,孔径光阑 13 被布置在光路上的第二反射镜上。借助三个光线(物场中心处的主光线 15 以及两个孔径边缘光线 17 和 19)示出了投射光学单元 1 的效果。物场中心处的主光线 15 关于物平面的法线具有 6° 的角度,其与孔径光阑 13 的平面中的光轴相交。如从物平面 5 所看出的,主光线 15 表现为与入瞳平面 21 中的光轴相交。孔径光阑 13 的虚像(入瞳)因此位于入瞳平面 21 中。物场 3 的中心在与光轴 9 相距距离 R 处,从而在投射光学单元的反射构造的情况下,不发生从物场行进的辐射的不期望渐晕。

[0043] 图 2 示意性地示出了结构承载掩模的一部分的正视图。该掩模包括基底 225 上的反射基层 223 以及仅施加在第一部分区域 229 中的吸收性覆盖层 227。覆盖层 227 具有厚度 S,通常在约 100nm 的范围中。第一部分区域 229 具有尺度 D。第一部分区域的中心由 231 标识。如果辐射接着以相对于掩模的垂直方向具有角度 γ 的质心方向矢量 235 入射在掩模上,则覆盖层 227 将阴影投影在反射基层上,结果第二部分区域 232 未被整体照明。然而,第二部分区域大于部分区域 231。此外,第二部分区域的中点相对于第一部分区域的中点 231 被偏移。因此由于投射和阴影效应发生了非反射区域的变宽和偏移。

[0044] 图 3 示例性地示出了笛卡尔坐标系中,在掩模母版上反射之前的辐射的质心方向矢量 335。为了更好地说明空间取向,该图示出了质心方向矢量 335 在 x-z 平面中的投影 337 以及质心方向矢量 335 在 y-z 平面上的投影 339。质心光线角度 α 表示投影 337 与 z 轴之间的角度,质心光线角度 β 表示投影 339 与 z 轴之间的角度。可以借助于这两个角度唯一地描述归一化的质心方向矢量。如果反射之前的质心方向矢量 \vec{s} 在所示的坐标系中由下式描述

$$[0045] \quad \vec{s} = \begin{pmatrix} s_x \\ s_y \\ s_z \end{pmatrix}$$

[0046] 则所述角度由下式定义

$$[0047] \quad \alpha = \arctan\left(\frac{s_x}{s_z}\right) \text{ 以及 } \beta = \arctan\left(\frac{s_y}{s_z}\right)。$$

[0048] 在所示的情况中,分量 s_x 、 s_y 和 s_z 都是负的(矢量 335 指向左上)。角度 α 和 β 因此是正的。由于辐射在掩模母版上被反射并且掩模母版布置在 x-y 平面中的事实,对于反射后的辐射的质心方向矢量 \vec{s}' 下式成立:

$$[0049] \quad \vec{s}' = \begin{pmatrix} s_x \\ s_y \\ -s_z \end{pmatrix}$$

[0050] 并且对于对应的反射后的角度下式成立

$$[0051] \quad \alpha' = -\alpha \text{ 以及 } \beta' = -\beta。$$

[0052] 为了引导质心方向矢量 \vec{s}' 使其在物场的每个点处指向入瞳的中心,照明辐射的质心方向矢量 \vec{s} 必须具有由入瞳的位置引起的特定分布。

[0053] 图 4a 示出了诸如在图 1 中所示的投射光学单元 1 的情况中发生的弓形物场 403

的平面图以及笛卡尔坐标系,该坐标系的轴与图 1 中的一致。物场 403 是其中心穿过光轴 409 与物平面的相交点的环的一部分。在所示的情况中,平均半径 R 是 135mm。这里,在 y 方向的场宽度 d 是 8mm。作为替代,弯曲的物场还可以由具有相同半径并在 y 方向上彼此偏离的两个圆弧限定。对于诸如图 1 和 2 中所示的投射光学单元的操作,物场 403 被如此照明使得在物场 403 的一点的辐射的质心方向在反射掩模母版的反射之后基本在物场的所述点与入瞳的中心之间的连接线的方向上。如果投射曝光设备被作为扫描曝光机操作,则扫描方向在物场的短边方向,即在 y 方向的方向上。

[0054] 图 4b 示出了特定示例实施例的质心光线角度的分布。这里,光轴在距物场的中心 $R = 135\text{mm}$ 的距离处,并且入瞳位于距物平面 1284.4mm 的距离处。这些值使得质心方向 α' 和物平面的垂直方向之间的反射角为 6° 。因为仅图 2 中所示的上半弧是相关的,所以对于每个 x 值准确地存在一个正值 y ,从而点 (x, y) 位于具有半径 $R = 135\text{mm}$ 的半圆弧上。因此通过将点 (x, y) 连接到入瞳的中心,可以将 α' 和 β' 计算为坐标 x 的函数。借助于上述关系,通过符号改变,从其产生反射之前的角度 α 和 β 。即使当前情况下场在 y 方向上的尺度是 8mm,虽然对于每个固定值 x_0 存在多个点 y_0 ,使得点 (x_0, y_0) 位于物场内,但质心光线角度在这些点上不极大地变化。此外,根据本发明的投射曝光设备通常以扫描模式操作,其中结构承载掩模在 y 方向上被移动通过物场。结果,具有坐标 x_0 的掩模的每个点利用具有在所有点 y_0 上平均的质心光线角度的辐射照明。因为这些原因,对于下面的考虑,考虑具有 $R = 135\text{mm}$ 的半圆弧上的质心光线角度就足够。

[0055] 参照图 4b 变得很清楚,对于 -50mm 和 50mm 之间的 x 的角度 α 应该在 -2.23° 和 2.23° 之间变化,而角度 β 在 5.57° 和 6° 之间的变化是必须的。然而,质心光线角度的这种变化在结构承载掩模的设计中需要适配。如果质心方向矢量不垂直于结构承载掩模,则由于阴影投影和投射效应这导致结构的像的偏移。只要质心方向矢量在掩模的所有位置处都相同,则结果基本是全局偏移。然而,如果质心方向矢量在结构承载掩模上改变,则位置与位置之间引起不同的偏移,其总体地导致掩模的像的偏移和畸变。质心光线角度的变化越大,所产生的畸变越大。在当前情况下,因为角度 β 仅改变约 0.4° ,所以 y 方向的畸变可以被大大地忽略。相比较的, α 的变化大 10 倍,因此在 x 方向上导致畸变。在掩模的设计中考虑畸变和偏移两者,从而期望的像出现在投射曝光设备的像平面中。

[0056] 图 5a 示出了掩模的两个部分区域 504a 和 504b。部分区域 504a 和 504b 分别对应于图 4a 中所示的物场 403。因为物场是可以以期望的质量照明和成像的物平面的区域,所以所述部分区域在尺寸上必须小于物场或者至多等于物场。为了具有照明和成像掩模的最大可能的区域的效果,所述部分区域被选择为等于投射光学单元的物场。然而,还可以仅照明和呈现物场的一部分。下文中,部分区域总是对应于各自的物场。

[0057] 投射曝光设备以第一操作状态执行左手侧部分区域 504a 的第一曝光,并接着以投射曝光设备的第二操作状态执行第二曝光,在所述第二曝光期间对右手侧部分区域 504b 曝光。在此情况下,所示的部分区域的并列在这里对应于由现有技术已知的实施例。只要结构承载掩模的尺度大于可以照明和成像的区域,物场的这种并列就是必须的。因此,结构承载掩模的第一部分区域 504a 被以第一操作状态照明,并且所述掩模的第二部分区域 504b 被以第二操作状态照明。这两个部分区域具有公共交叠区域 541。为了图示,交叠区域在 x 方向上具有 10mm 的尺度。然而,使交叠区域尽量小以便对最大可能的区域成像是有利的。

期望 x 方向上的 1-2mm 或更小的尺度。为了提高投射光学单元的最大分辨率,必须转换到更大的孔径。然而,为了确保相似或更好的成像质量,通常必须减小物场的尺寸,这是因为否则会发生更严重的相差。这接着导致将物场并列的必要性。两个物场的交叠区域是必要的,以便防止部分的结构不被照明或成像。因为不能百分之百保证物场的精确对准,所以与由于不正确的设置的情况下冒部分结构不被成像或照明的风险相比,更简单的是具有一定的交叠区域,使得完整的期望区域在任何情况下都被照明和成像。然而,因为交叠区域中的每个点现在被照明或成像两次,所以可能出现由于第一和第二照明的质心光线角度不同而导致的问题。

[0058] 图 5b 示出了用于具有半径 $R = 135\text{mm}$ 的半圆弧上的点的两个质心光线角度的分布,诸如在用于各自物场的两个操作状态中所存在的。虽然在交叠区域 541 中,角度 β 在两个操作状态中的差不大,但角度 α 在两个操作状态中的差超过 4° 。因此,在交叠区域中,在两个操作状态,从不同的方向照明结构承载掩模。因此,在掩模的制造中考虑投射和阴影效应相对困难。在根据本发明的改良中克服这些缺点。

[0059] 图 6a 示出了根据本发明的投射曝光设备的改良中的两个并列的部分区域 604a 和 604b。在此情况下,左手侧部分区域 604a 的第一曝光被以投射曝光设备的第一操作状态执行,接着第二部分区域 604b 的第二曝光被以投射曝光设备的第二操作状态执行。在这两个曝光步骤之间,结构承载掩模被关于垂直于物平面的轴旋转 180° 。这具有如下效果:两个弓形物场在它们的相对取向上相差 180° 的旋转。作为替代,还可以将投射光学单元和照明光学单元关于与物平面垂直的轴旋转 180° 。还将使得在两个操作状态中两个物场相差 180° 的旋转。

[0060] 所示的物场取向的改变具有质心光线角度也改变的效果。图 6b 示出了用于此示例实施例的质心光线角度的分布。虽然角度 α 的分布未改变,但掩模或照明和投射光学单元的旋转导致角度 β 的符号的改变。因此,在交叠区域 641 的点处,在两个操作状态中角度 α 和 β 本质上仅相差符号的改变。这具有如下优点:在两个操作状态上平均后,掩模在交叠区域中被垂直地照明,因此,例如不会发生诸如联系图 2 所解释的结构偏移。

[0061] 位于交叠区域中的点 643 可以被认为是示例。此点具有 x 坐标 $x_p = 50\text{mm}$, y 坐标 $y_p = 125.4\text{mm}$, 并因此位于具有半径 135mm 的圆弧上以及位于交叠区域中。在第一操作状态中照明和成像左手部分区域 604a。在此情况中,入瞳位于坐标 $x_{EP} = 0, y_{EP} = 0, z_{EP} = 1284.4\text{mm}$ 处。为了使辐射的质心方向在反射之后在入瞳的方向上,对于第一质心方向矢量 \vec{s}_1 下式必须成立:

$$[0062] \quad \vec{s}_1 = \frac{1}{\sqrt{(x_{EP} - x_p)^2 + (y_{EP} - y_p)^2 + (z_{EP} - z_p)^2}} \begin{pmatrix} x_{EP} - x_p \\ y_{EP} - y_p \\ -(z_{EP} - z_p) \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} -0.0387 \\ -0.0971 \\ -0.9945 \end{pmatrix}$$

[0063] 在第二操作状态中照明和成像右手侧部分区域 604b。在此情况下,入瞳位于 $x_{EP} = 90, y_{EP} = 254.56\text{mm}, z_{EP} = 1284.4\text{mm}$ 处。此位置由以下事实产生:部分区域 604a 如此放置,使得在 $x = 45\text{mm}$ 处,即在交叠区域的中心,部分区域 604a 的具有半径 135mm 的圆弧与部分区域 604b 的对应圆弧相交。

[0064] 因此,质心方向矢量 \vec{s}_2 具有值:

$$[0065] \quad \vec{s}_2 = \frac{1}{\sqrt{(x_{EP} - x_P)^2 + (y_{EP} - y_P)^2 + (z_{EP} - z_P)^2}} \begin{pmatrix} x_{EP} - x_P \\ y_{EP} - y_P \\ -(z_{EP} - z_P) \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} 0.0310 \\ 0.1000 \\ 0.9945 \end{pmatrix}$$

[0066] 垂直于掩模的归一化矢量在此坐标系中具有以下标记法：

$$[0067] \quad \vec{n} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix},$$

[0068] 结果, 标量三重积具有值 S :

$$[0069] \quad S = \vec{n} \bullet (\vec{s}_1 \times \vec{s}_2) \approx 0.00086$$

[0070] 图 7a 示出了根据本发明的投射曝光设备的另一改良中的两个并列的部分区域。在此情况下, 在投射曝光设备的第一操作状态中执行左手部分区域 704a 的第一曝光, 接着在投射曝光设备的第二操作状态中执行右手部分区域 704b 的第二曝光。

[0071] 投射光学单元的物场在此情况中是矩形, 从而部分区域 704a 和 704b 也是矩形。此外, 投射曝光设备被如此开发, 使得角度 α 和 β 基本没有分布。通过使用其入瞳距物平面有较大距离的投射光学单元实现这一点; 这被称为在物侧上是远心的投射光学单元。这样的距离可以例如大于 3m, 尤其大于 50m, 特别是大于 1000m。在当前情况中, 该距离是 5m。可以在关于图 8 的描述中找到关于具有位于距离物平面 1000m 的距离处的入瞳的投射光学单元的详细说明。

[0072] 图 7b 示出了这种系统的角度 α 和 β 的分布。角度 β 在整个场上基本恒定为 6° , 而角度 α 几乎是 0° 。因为所述角度在场上的变化非常小, 所以在交叠区域 741 中的点处的辐射的质心方向矢量在第一和第二操作状态之间的差最小, 从而仅发生投射和阴影效应的最小变化。因此, 在物场的并列中没有困难, 这是因为第一操作状态中交叠区域中的辐射的质心方向与第二操作状态中交叠区域中的辐射的质心方向没有显著区别。

[0073] 这里, 也可以通过示例计算位置 743 处的标量三重积的值。此点具有 x 坐标 $x_p = 50\text{mm}$, y 坐标 $y_p = 0$, 并因此位于交叠区域中。在第一操作状态中照明和成像左手部分区域 704a。入瞳位于坐标 $x_{EP} = 0$, $y_{EP} = -525.52\text{mm}$, $z_{EP} = 5000\text{mm}$ 处。在投射光学单元的设计中如此选择距离 y_p , 使得物场处的平均入射角为 6° 。

[0074] 为了使辐射的质心方向在反射之后在入瞳的方向上, 对于第一质心方向矢量 \vec{s}_1 下式必须成立:

$$[0075] \quad \vec{s}_1 = \frac{1}{\sqrt{(x_{EP} - x_P)^2 + (y_{EP} - y_P)^2 + (z_{EP} - z_P)^2}} \begin{pmatrix} x_{EP} - x_P \\ y_{EP} - y_P \\ -(z_{EP} - z_P) \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} -0.0099 \\ -0.1045 \\ -0.9944 \end{pmatrix}$$

[0076] 在第二操作状态中照明和成像右手部分区域 704b。在此情况下, 入瞳位于 $x_{EP} = 90$, $y_{EP} = 525.52\text{mm}$, $z_{EP} = 5000\text{mm}$ 处。此位置由以下事实产生: 物场 803 在 x 方向上相对于该物平面偏移 90mm。因此, 质心方向矢量 \vec{s}_2 具有值:

$$[0077] \quad \vec{s}_2 = \frac{1}{\sqrt{(x_{EP} - x_P)^2 + (y_{EP} - y_P)^2 + (z_{EP} - z_P)^2}} \begin{pmatrix} x_{EP} - x_P \\ y_{EP} - y_P \\ -(z_{EP} - z_P) \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} 0.0080 \\ -0.1045 \\ 0.9944 \end{pmatrix}$$

[0078] 垂直于掩模的归一化矢量在此坐标系中具有以下标记法：

$$[0079] \quad \vec{n} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix},$$

[0080] 结果, 标量三重积具有值 S :

$$[0081] \quad S = \vec{n} \cdot (\vec{s}_1 \times \vec{s}_2) \approx 0.00187$$

[0082] 图 8 示出了一个可能的投射光学单元 1 的光学设计。该图示分别示出了从在图 8 中在 y 方向上叠置且互相隔开的 5 个物场点行进的两个单独光束 845 的光束路径, 其中, 与前述 5 个物场点之一关联的两个单独光束 45 被分别分配给用于该 5 个物场点的两个不同照明方向。由该 5 个物场点中的每个的上彗差 (coma) 光束和下彗差光束标识所述两个照明方向。

[0083] 从物平面 805 行进的单独光线 845 首先被第一反射镜 M1 反射, 然后被其它反射镜反射, 下文将所述其它反射镜以光束路径的顺序标识为 M2、M3、M4、M5 和 M6。因此, 根据图 8 的投射光学单元 801 具有 6 个反射镜。这些反射镜具有对辐射 833 的波长高度反射的涂层, 如果这在考虑波长的情况下是必须的, 例如在 EUV 的情况下。也可以在投射光学单元 801 中引导互相具有很大不同的波长的辐射, 因为这些光学单元具有基本无色差的特性。因此, 例如可以在这些光学单元中引导对准激光或者操作自动对焦系统, 其中, 同时使用与其操作波长很大不同的波长用于照明光。因此, 对准激光可以工作在 632.8nm、248nm 或 193nm, 而同时使用 5 至 15nm 范围中辐射。

[0084] 反射镜 M3 具有凸面基本形状, 即可以由凸面最佳匹配表面描述反射镜 M3。在以下描述中, 此类型的反射镜被简单地称为凸面镜, 并且可以有凹面最佳匹配表面描述的反射镜被简单地称为凹面镜。凸面反射镜 M3 在投射光学单元 801 中提供良好的 Petzval 校准。

[0085] 根据图 8 的投射光学单元 801 的入瞳平面在辐射 833 的光束路径中位于物平面 805 前方的 1000mm 处。根据图 8 的投射光学单元 801 具有 2000mm 的结构长度, 即物平面 805 与像平面 807 之间的距离。

[0086] 因此从隔开的物场点行进且被分配给相同照明方向的这些单独光束 845 在物场 803 和第一反射镜 M1 之间以基本平行的方式行进入投射光学单元 801 中。因此单独光束 845 的主光线在物平面 805 和反射镜 M1 之间的辐射 833 的光束路径中相对于彼此形成基本 0° 的角度。

[0087] 与 5 个物场点的具体照明方向关联的单独光束 845 在投射光学单元 801 的光瞳平面 847 中被组合, 与光瞳平面 847 相邻布置了反射镜 M3。所述反射镜 M3 因此也被称为光瞳反射镜。限制照明光束的孔径光阑可以被布置在光瞳平面 847 中。可以通过机械和可替换的光阑, 或者以直接在反射镜 M3 上的相应涂层的形式提供所述孔径光阑。

[0088] 反射镜 M1 至 M4 将物平面 805 成像到中间像平面 849 中。投射光学单元 801 的中间像侧的数值孔径约为 0.2。反射镜 M1 至 M4 形成投射光学单元 801 的具有约 3.2x 的缩小成像比例的第一部分成像光学单元。下游反射镜 M5 和 M6 形成投射光学单元 801 的具有约 2.5x 的缩小成像比例的另一部分成像光学单元。在中间像平面 849 上游并与其相邻的、反射镜 M4 和 M5 之间的辐射 833 的光束路径中, 在反射镜 M6 中形成通孔 851, 照明或成像辐射 833 在从第四反射镜 M4 反射到第五反射镜 M5 时穿过该通孔 851。第五反射镜 M5 继而具有

中心通孔 853, 辐射光束 855 在第六反射镜 M6 和像平面 807 之间穿过该中心通孔 853。

[0089] 与第六反射镜 M6 一起将照明或成像辐射 833 从中间像平面 849 成像到像平面 807 中的第五反射镜 M5 被布置在投射光学单元 801 的另一光瞳平面 857 的附近, 该另一光瞳平面与第一光瞳平面 847 共轭。该另一光瞳平面 857 在成像光的光束路径中与第五反射镜 M5 空间相邻, 并且在第五反射镜 M5 与第六反射镜 M6 之间的光束路径中, 从而物理可接近的光阑平面出现在该另一光瞳平面 857 的位置处。在所述光阑平面中, 同样可以替代地或附加地布置孔径光阑, 如上面联系光瞳平面 847 的区域中的孔径光阑所描述的。投射光学单元 801 具有在光瞳平面 847、857 之一的中心布置的遮挡光阑。投射光束路径中分配至反射镜 M6、M5 中的中心通孔 851、853 的部分光束因此被遮挡。因此, 投射光学单元 801 的设计也被称为具有中心光瞳遮挡的设计。

[0090] 将中心物场点连接到投射光学单元 801 的入瞳中的中心照明点的独特单独光束 845 也被称为中心场点的主光线。从第六反射镜 M6 处的反射开始的中心场点的主光线大致与像平面 807 形成直角, 即基本与投射光学单元 801 的 z 轴平行。所述角度大于 85° 。

[0091] 像场 859 是矩形。像场 859 平行于 x 方向具有 13mm 的尺度。像场 859 平行于 y 方向具有 1mm 的尺度。诸如从现有技术已知的投射光学单元通常具有在平行于 x 方向上具有 26mm 或更大的尺度的像场。微光刻投射曝光设备的典型应用因此适用于这种尺度。根据本发明的微光刻投射曝光设备还使得可以对于相同典型应用, 使用在平行于 x 方向的方向上具有更小尺度的投射光学单元。像场 859 位于第五反射镜 M5 后方中心。为了没有渐晕的成像, 通孔 853 的半径 R 必须满足以下关系:

$$[0092] \quad R \geq \frac{1}{2} \cdot D + d_w \cdot NA。$$

[0093] 在此情况下, D 是像场 859 的对角线。d_w 是反射镜 M5 距离像平面的自由工作距离。所述自由工作距离被定义为像平面 807 与投射光学单元 801 的最近反射镜 (即根据图 8 的实施例中的反射镜 M5) 的使用反射面的与其最近的部分之间距离。NA 是像侧的数值孔径。

[0094] 投射光学单元 801 的所有 6 个反射镜 M1 至 M6 被实施为不能被旋转对称函数描述的自由形状表面。投射光学单元 801 的其它实施例也是可能的, 在所述其它实施例中, 反射镜 M1 至 M6 中的至少一个具有此类型的自由反射表面。

[0095] 可以根据旋转对称的基准表面产生此类型的自由表面。用于微光刻的投射曝光设备的投影光学单元的反射镜的反射面的此类型的自由表面由 US2007-0058269A1 已知。

[0096] 可以通过以下等式数学地描述自由表面:

$$[0097] \quad Z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_{j=2}^{66} C_j X^m Y^n$$

[0098] 其中下式成立:

$$[0099] \quad j = \frac{(m+n)^2 + m + 3n}{2} + 1$$

[0100] Z 是自由表面在点 x, y ($x^2 + y^2 = r$) 处的矢 (sagitta)。c 是对应于对应非球面的顶点的常量。k 对应于对应非球面的圆锥常量。C_j 是单项式 X^mYⁿ 的系数。典型地基于投射光学单元 801 内的反射镜的期望光学特性确定 c、k 和 C_j 的值。单项式的阶 (m+n) 可以如期望地改变。更高阶的单项式可以产生具有更好相差校正的投射光学单元的设计, 但计算

更复杂。 $m+n$ 可以采用 3 和大于 20 之间的值。

[0101] 还可以通过例如在光学设计程序 CODE V[®]的手册中说明的 Zernike 多项式数学地描述自由表面。替代地,可以借助于二维样条表面描述自由表面。其示例是 Bezier 曲线或非均匀有理基本样条 (NURBS)。例如可以通过 xy 平面中的点的网络和关联的 z 值,或者通过这些点和与它们关联的梯度描述二维样条表面。取决于样条表面的各自类型,通过使用例如关于它们的连续性和可微分性具有特定特性的多项式或者函数在网络点之间的插值获得完整的表面。它们的示例是解析函数。

[0102] 反射镜 M1 至 M6 具有多个反射层,以便优化它们对于入射的 EUV 照明辐射 833 的反射。反射越好,单独光束 845 在反射镜表面上的入射角越接近于垂直入射。投射光学单元 801 对于所有单独光束 845 整体上具有小反射角。

[0103] 投射光学单元 801 的反射镜 M1 至 M6 的反射表面的光学设计数据可以从下表中获取。这些表中的第一个表,关于光学元件的光学表面以及关于孔径光阑,分别指定了对应于从物平面行进的光束路径中的相邻元件之间的 z 距离的顶点曲率的倒数(半径)和距离值(厚度)。第二个表指定了上面为反射镜 M1 至 M6 指定的自由表面等式中的单项式 $X^m Y^n$ 的系数 C_j 。Nradius 表示归一化因子。在第二个表之后,还指定了相对于反射镜基准设计,各个反射镜被偏心(Y 偏心)和旋转(X 旋转)的幅度(mm 为单位)。这对应于上述自由表面设计和方法中的平行偏移和倾斜。

[0104] 在此情况中,在 y 方向上进行偏移,并关于 x 轴进行倾斜。在此情况下,旋转角度以度数表示。

[0105]

表面	半径	距离值	操作模式
物平面	无穷大	263.973	
M 1	294.632	-163.973	REFL
M 2	677.341	1121.158	REFL
M 3	318.925	-848.002	REFL
M 4	396.851	1586.844	REFL
M 5	1610.696	-697.387	REFL
M 6	951.407	737.387	REFL
像平面	无穷大	0.000	

[0106]

系数	M1	M2	M3	M4	M5	M6
K	-1.107380E+00	-6.922178E-01	4.604190E-01	-9.070490E-01	1.921763E+01	3.351539E-01
Y	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X2	-1.128522E-03	-1.453589E-04	-6.996584E-04	-7.777355E-04	-1.436342E-04	3.354789E-05
Y2	-1.159973E-03	-1.432548E-04	-6.658993E-04	-7.779247E-04	-1.460604E-04	3.345270E-05
X2Y	-8.685192E-08	9.438147E-09	2.709788E-07	4.768829E-10	1.219803E-09	7.494169E-10
Y3	-5.480818E-08	1.821581E-08	3.081899E-07	4.735357E-10	2.179734E-09	7.185939E-10
X4	0.000000E+00	0.000000E+00	-3.510369E-09	-6.986158E-11	4.809903E-10	9.888892E-13
X2Y2	0.000000E+00	0.000000E+00	-7.066022E-09	-1.393082E-10	9.641836E-10	1.778472E-12
Y4	0.000000E+00	0.000000E+00	-3.551286E-09	-6.941280E-11	4.830886E-10	7.836027E-13
Nradius	1.000000E+00	1.000000E+00	1.000000E+00	1.000000E+00	1.000000E+00	1.000000E+00

[0107]

系数	M1	M2	M3	M4	M5	M6	像平面
Y-偏心	131.752	232.510	15.389	-92.550	-104.036	-104.318	0.000
X-旋转	-12.787	-21.267	-1.854	3.418	-0.205	0.032	0.000

[0108] 在投射光学单元 3 的情况中物像偏离（即物场 803 的中点在像平面 807 上的投射与像场 859 的中点之间的距离）是 208mm。

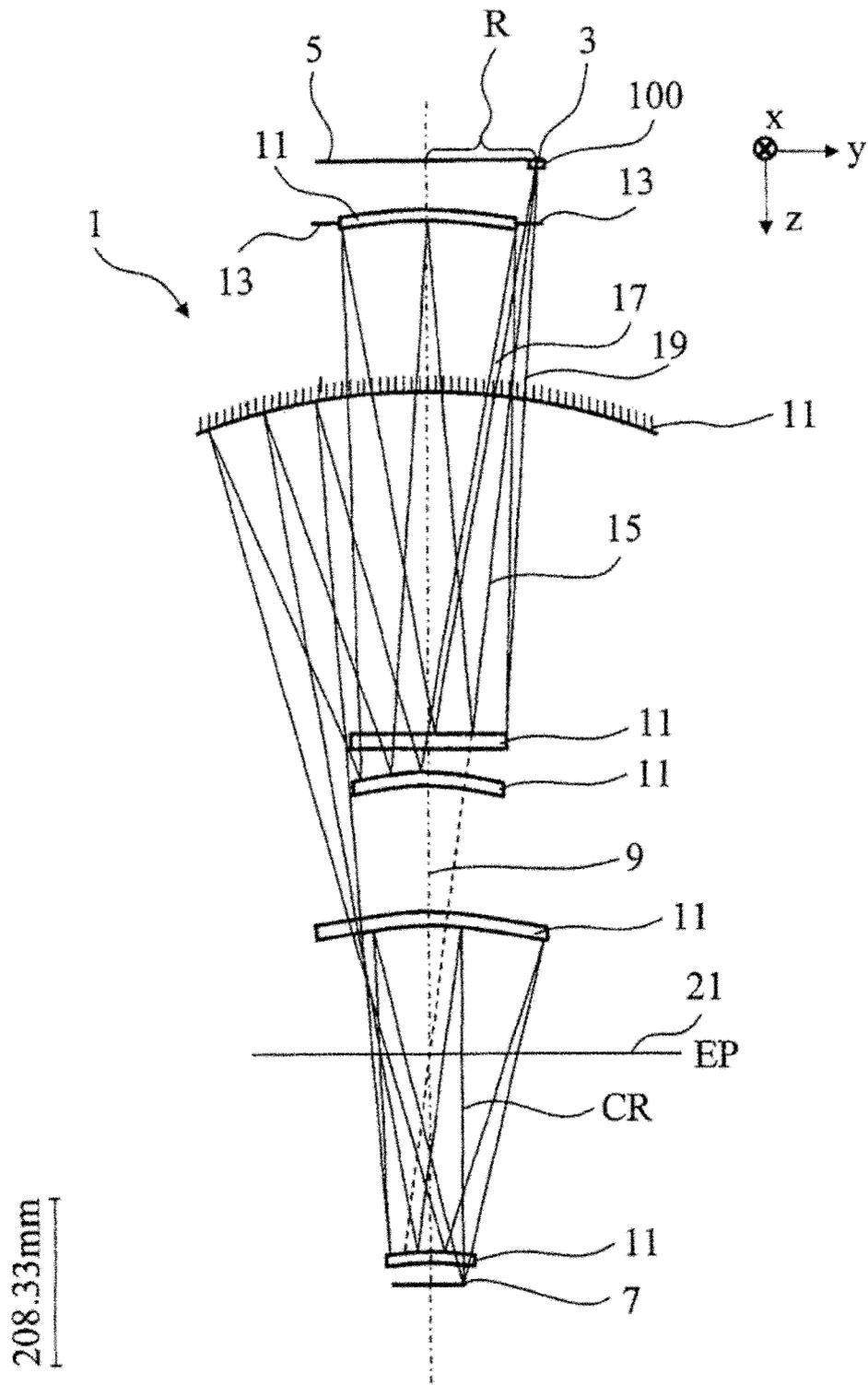


图 1

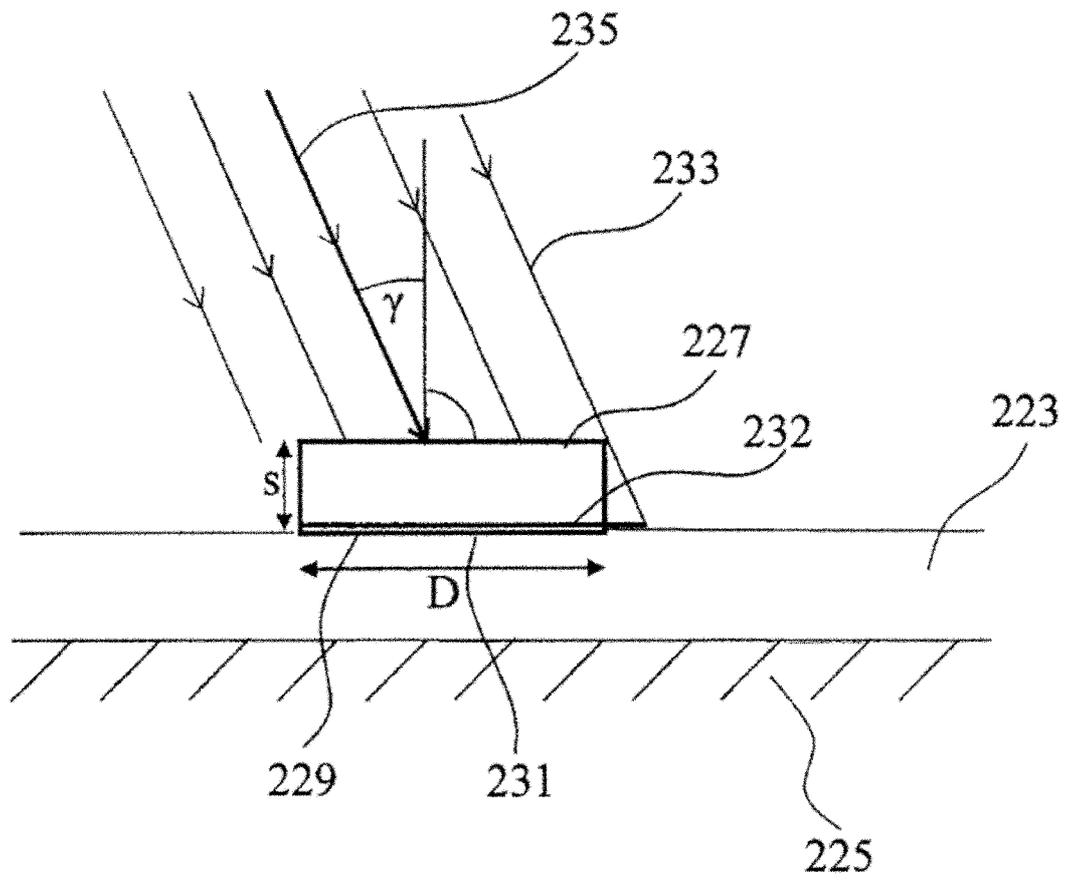


图 2

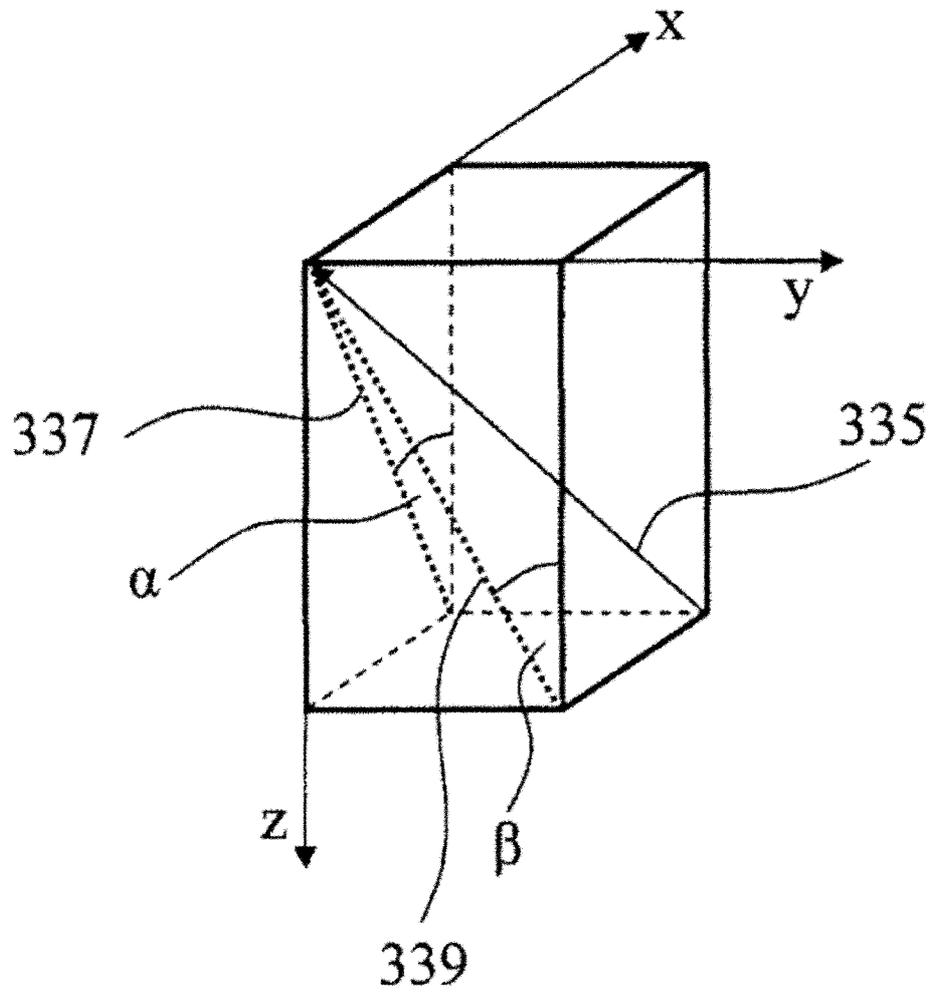


图 3

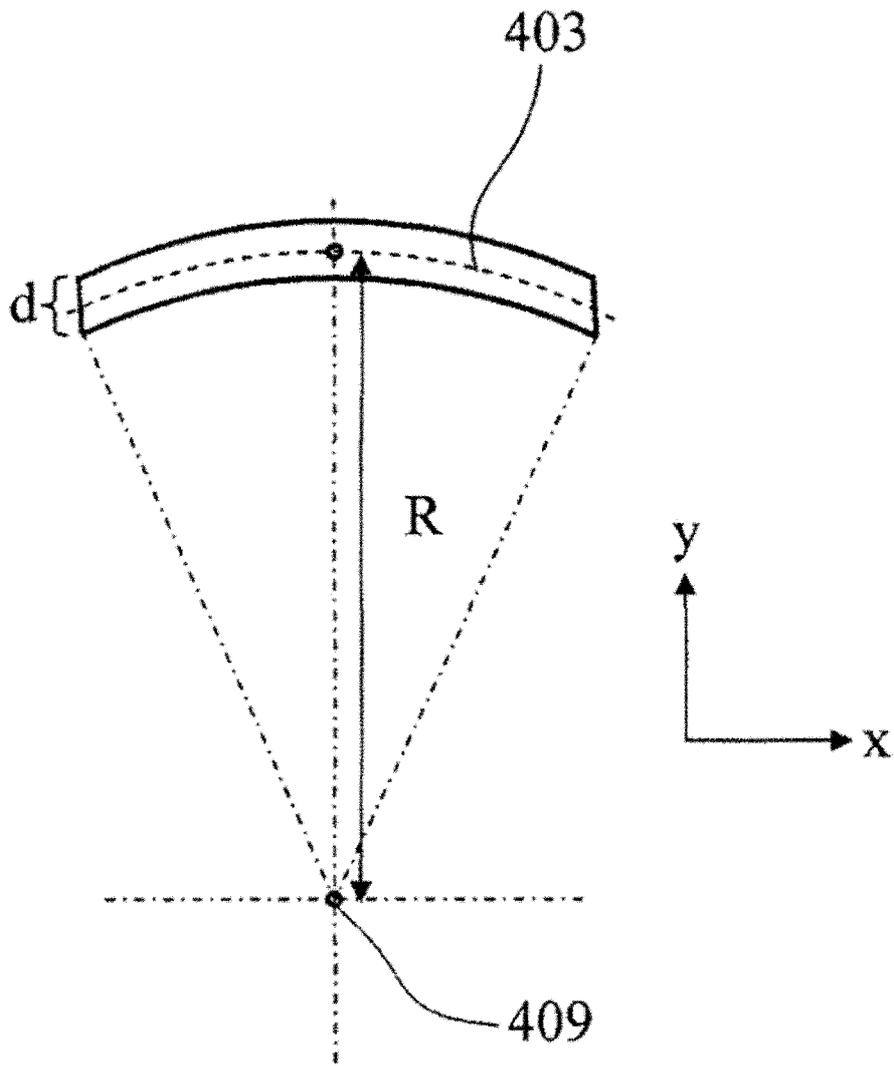


图 4a

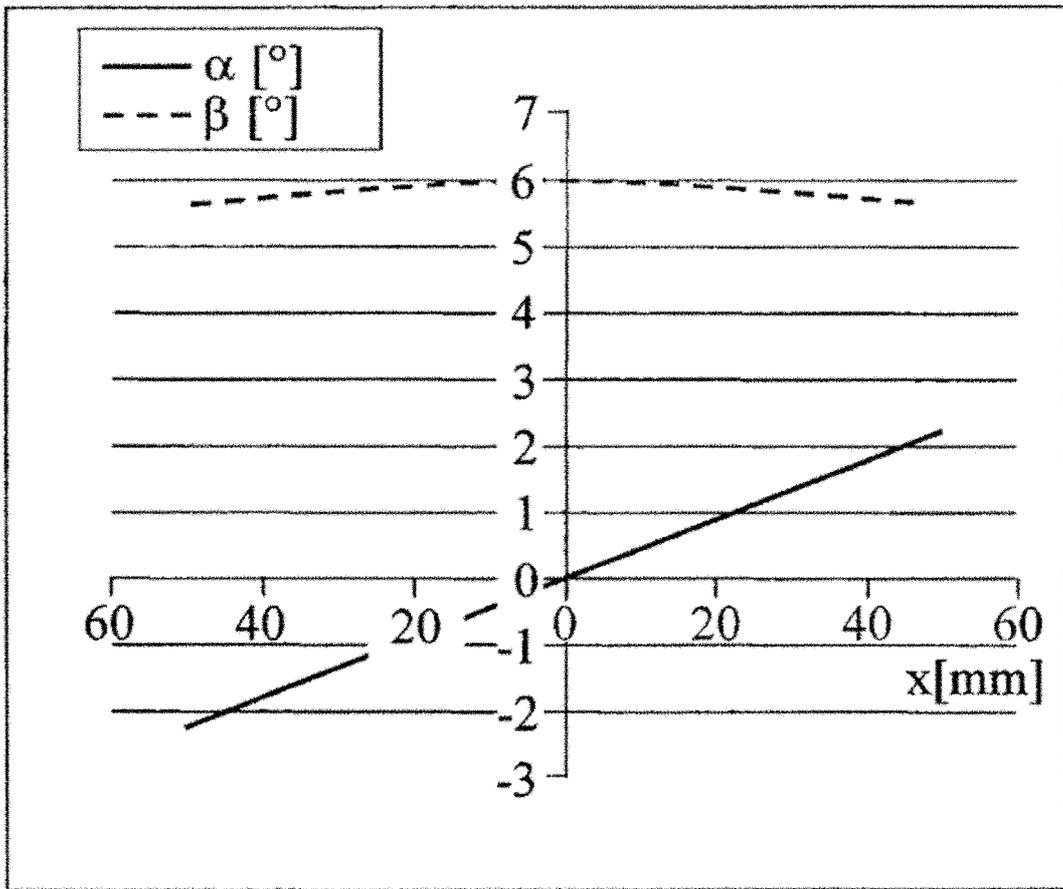


图 4b

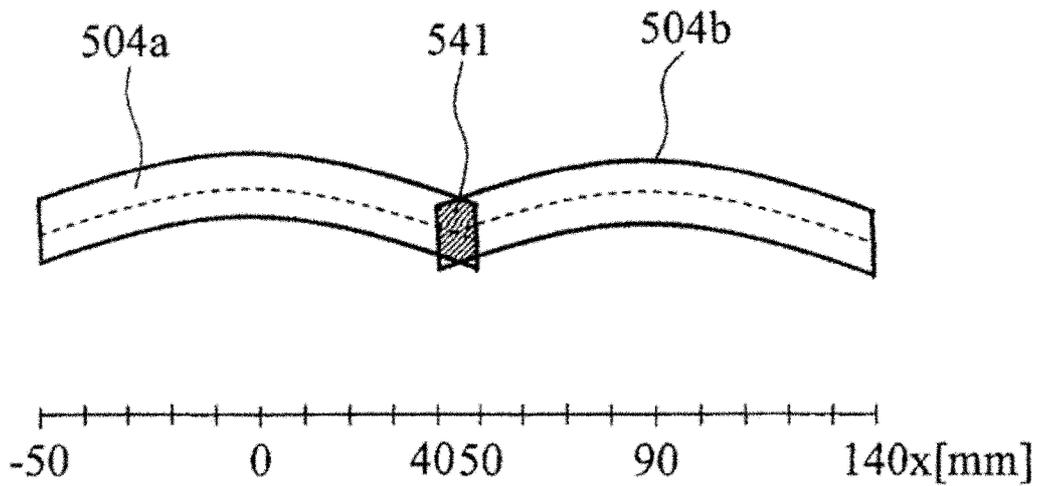


图 5a

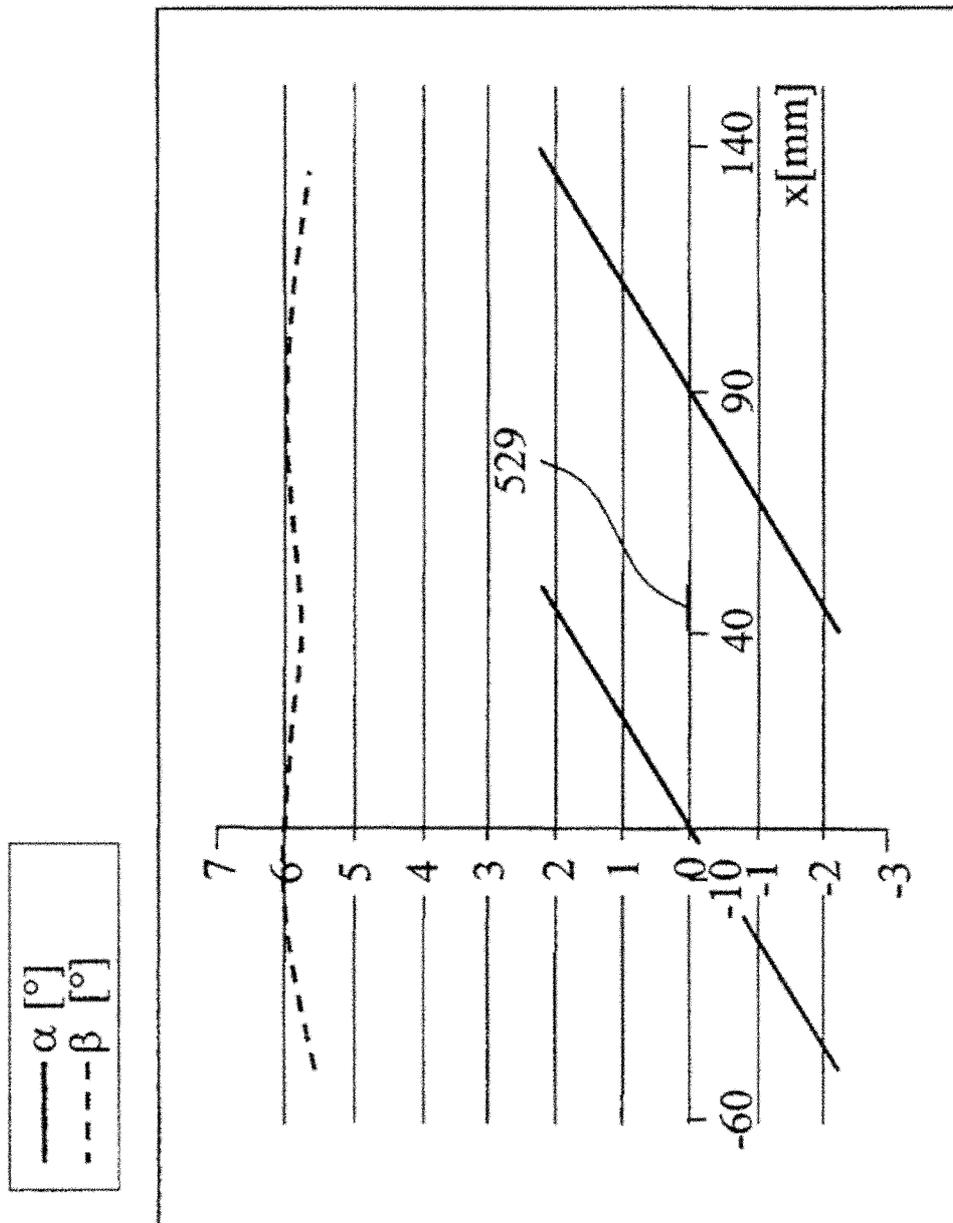


图 5b

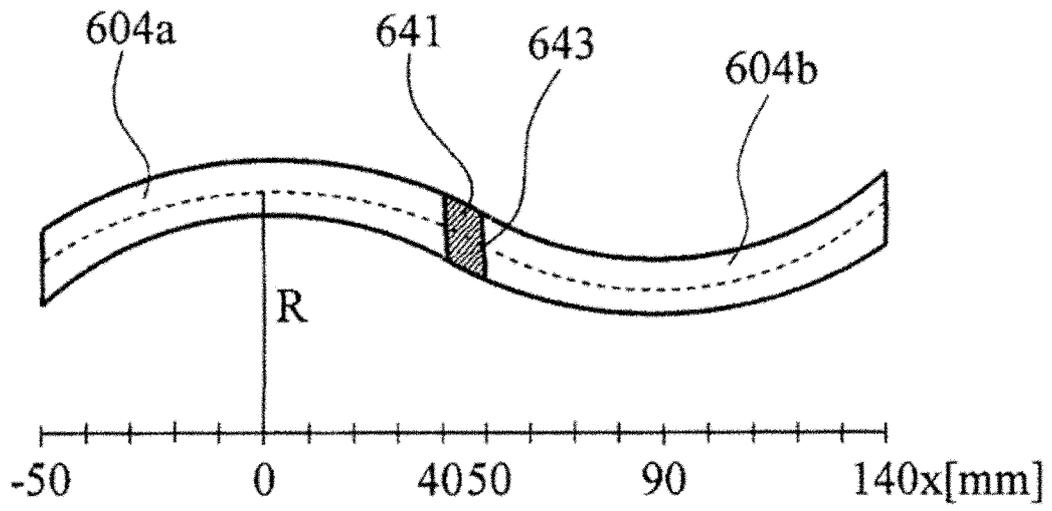


图 6a

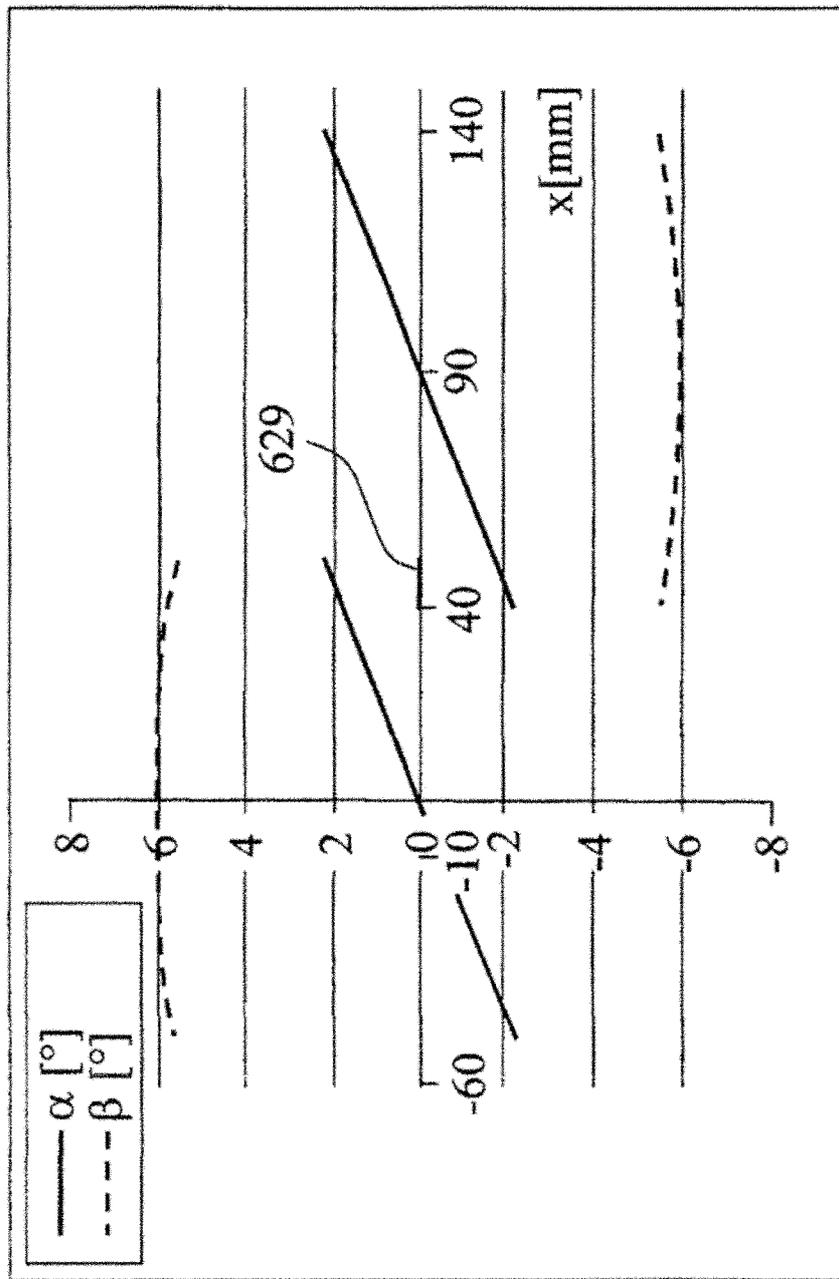


图 6b

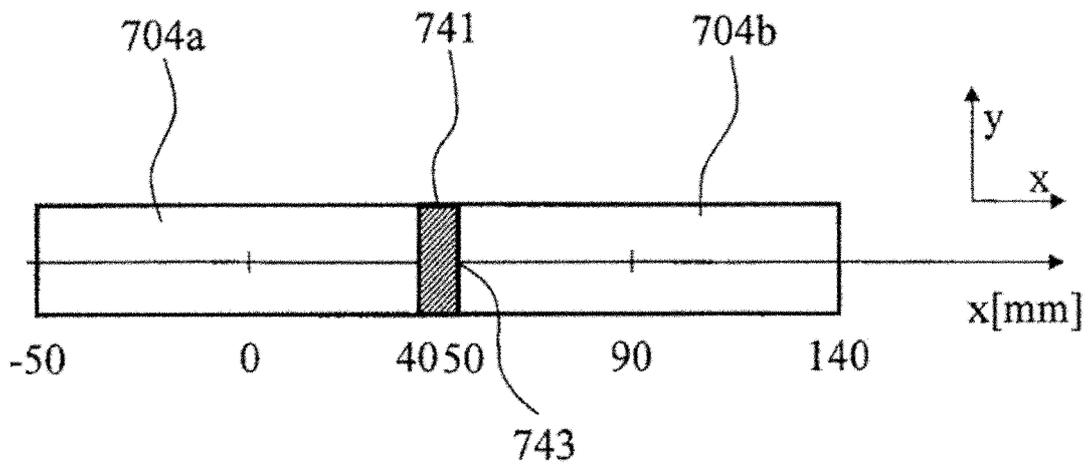


图 7a

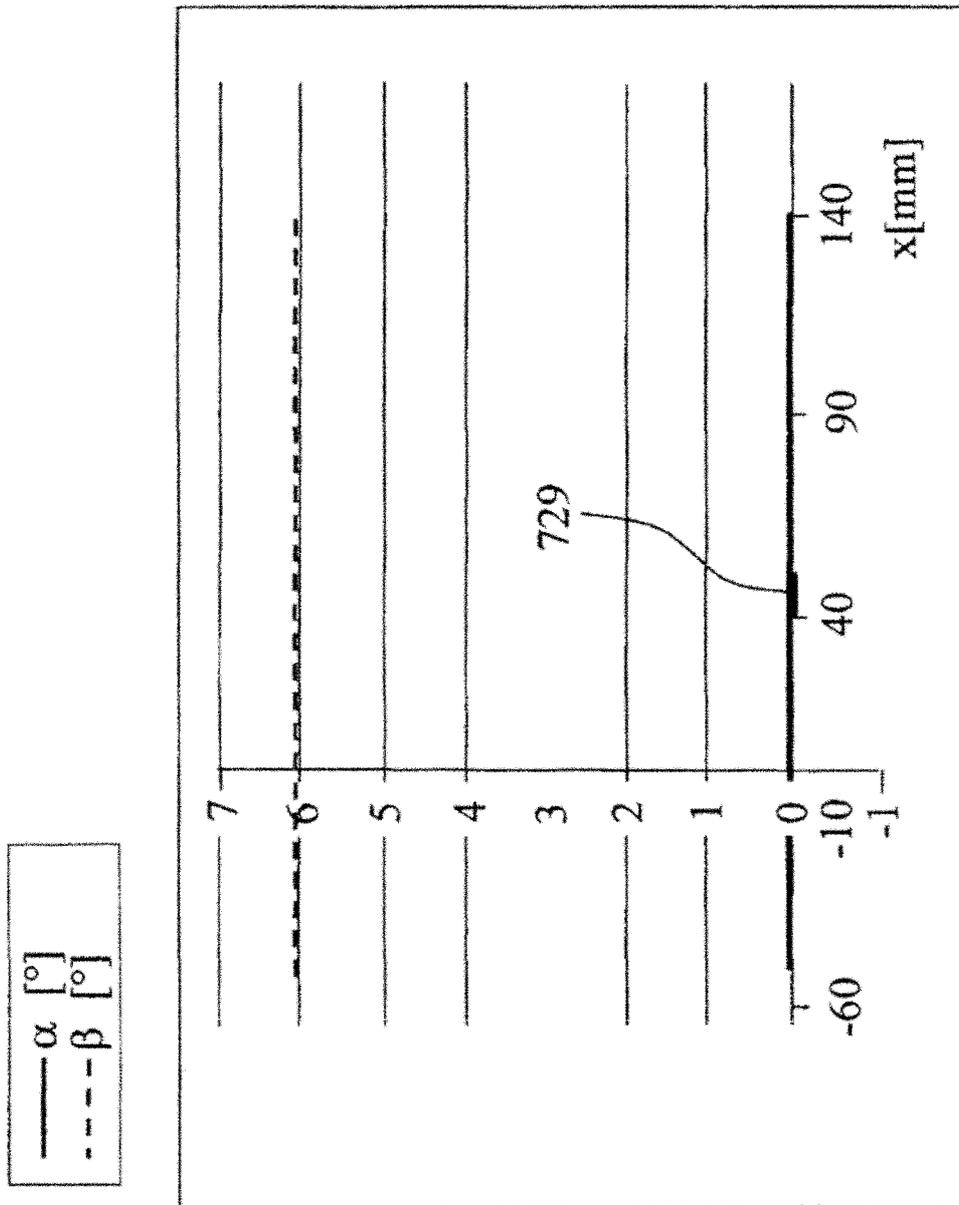


图 7b

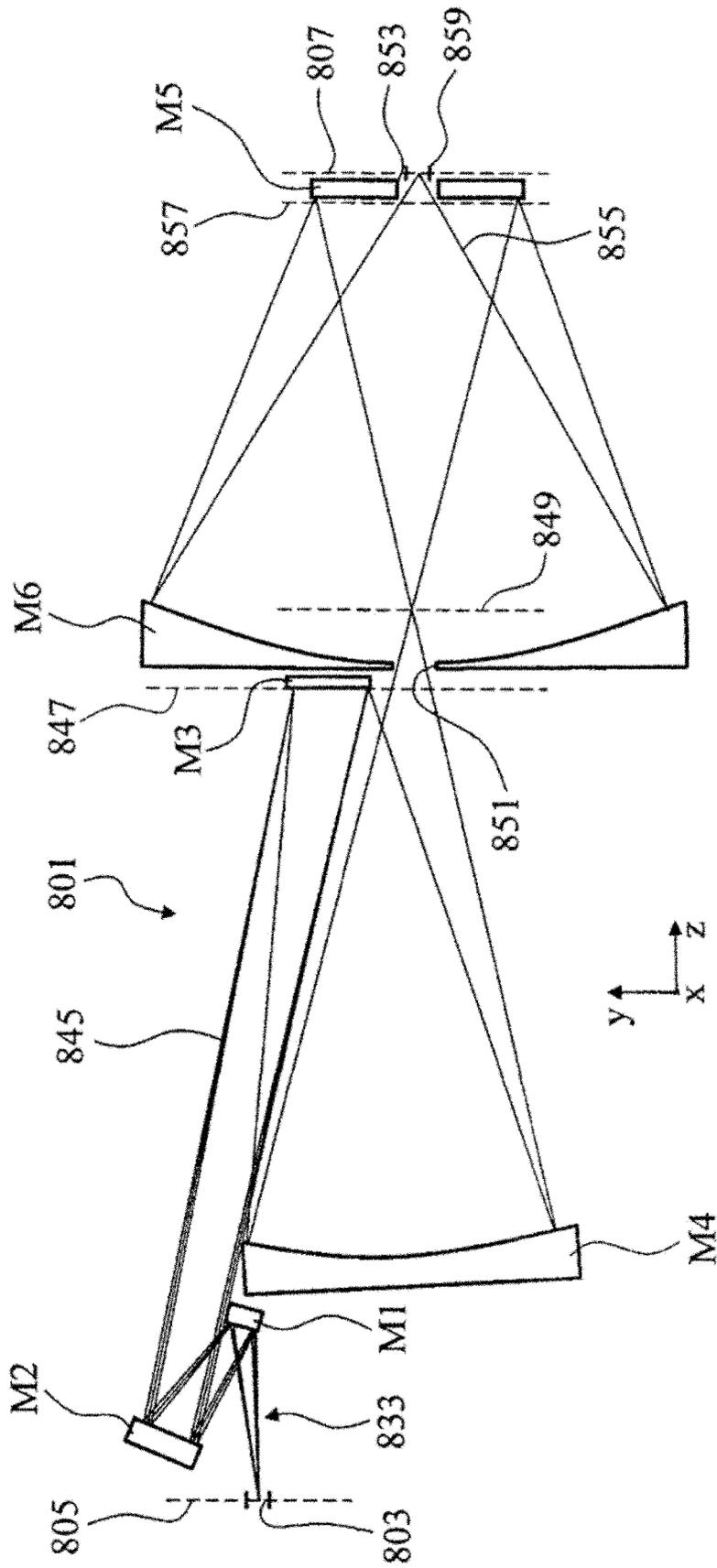


图 8