

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G02B 9/60 (2006.01)

G02B 13/18 (2006.01)

G03F 7/20 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03805575.9

[45] 授权公告日 2009年12月23日

[11] 授权公告号 CN 100573222C

[22] 申请日 2003.2.26 [21] 申请号 03805575.9

[30] 优先权

[32] 2002.3.8 [33] DE [31] 10210899.4

[86] 国际申请 PCT/EP2003/001954 2003.2.26

[87] 国际公布 WO2003/077037 英 2003.9.18

[85] 进入国家阶段日期 2004.9.8

[73] 专利权人 卡尔蔡司 SMT 股份公司

地址 德国上科亨

[72] 发明人 H·-J·罗斯塔尔斯基

W·乌尔里希

[56] 参考文献

US5986824A 1999.11.16

US2002005938A1 2002.1.17

EP1139138A1 2001.10.4

EP1094350A2 2001.4.25

审查员 国红

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

代理人 邱军

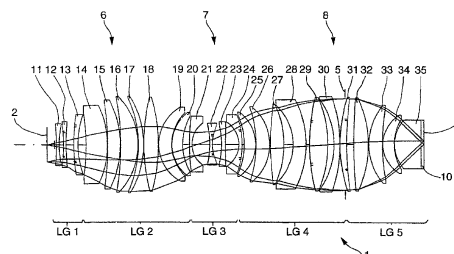
权利要求书 5 页 说明书 24 页 附图 4 页

[54] 发明名称

用于浸液式光刻的折射投影物镜

[57] 摘要

一种适合于浸液式显微光刻法的纯折射投影物镜设计成单腰部系统，所述系统具有五个透镜组，在这样的情况中，提供了具有负折射能力的第一透镜组、具有正折射能力的第二透镜组、具有负折射能力的第三透镜组、具有正折射能力的第四透镜组以及具有正折射能力的第五透镜组。所述系统孔布置在第四透镜组和第五透镜组之间的最大射束直径的区域中。本发明所涉及的投影物镜的实施例获得了  $NA > 1$  的非常高的数值孔径以及具有大像场，并且其特征在于，良好的光学校正状态和适度的总尺寸。当在操作波长低于 200nm 的情况下在投影物镜与衬底之间使用浸液时可分辨基本低于 100nm 的图像宽度。



1. 一种借助于布置在投影物镜的最后光学元件与像面之间的浸液介质将布置在投影物镜的物面中的图案投影在投影物镜的像面中的折射投影物镜，其包括：

位于物面之后的具有负折射能力的第一透镜组 (LG1) ；

位于第一透镜组后面的具有正折射能力的第二透镜组 (LG2) ；

位于第二透镜组后面的具有负折射能力的第三透镜组 (LG3) ；

位于第三透镜组后面的具有正折射能力的第四透镜组 (LG4) ；

位于第四透镜组后面的具有正折射能力的第五透镜组 (LG5) ；以及

布置在第四透镜组和第五透镜组之间的最大射束直径的区域中的系统孔 (5) 。

2. 如权利要求1中所述的投影物镜，其特征在于，所述系统孔 (5) 位于图像附近的最大射束直径的平面与像面 (3) 之间。

3. 如权利要求1或2中所述的投影物镜，其特征在于，其具有 $NA \geq 0.9$ 的像侧数值孔径。

4. 如权利要求3所述的投影物镜，其特征在于，像侧数值孔径至少为 $NA = 1.0$

5. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜，其特征在于，所述投影物镜适合于在操作波长下具有 $n > 1.3$ 的折射率的浸液介质 (10) 。

6. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜，其特征在于，所述投影物镜具有 $10\mu\text{m}$ 到 $200\mu\text{m}$ 之间的像侧工作距离。

7. 如前述权利要求6中所述的投影物镜，其特征在于，所述投影物镜具有 $20\mu\text{m}$ 到 $100\mu\text{m}$ 之间的像侧工作距离。

8. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜，其特征在于，第四透镜组 (LG4) 的焦距与第五透镜组 (LG5) 的焦距之间的比率在0.9和1.1之间。

9. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜，其特征在于，第一透镜组 (LG1) 的焦距与第五透镜组 (LG5) 的焦距的量级的比率在0.7和1.3之间。

10. 如权利要求8中所述的投影物镜，其特征在于，第一透镜组 (LG1) 的焦距与第五透镜组 (LG5) 的焦距的量级的比率在0.9和1.1之间

11. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜, 其特征在于, 投影物镜的总长度与第五透镜组(LG5)的焦距之间的比率大于五。

12. 如权利要求11所述的投影物镜, 其特征在于, 比率大于六。

13. 如权利要求11所述的投影物镜, 其特征在于, 比率大于八。

14. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜, 其特征在于, 第一透镜组(LG1)包括至少一个非球面。

15. 如权利要求14所述的投影物镜, 其特征在于, 在第一透镜组中提供两个非球面。

16. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜, 其特征在于, 在第三透镜组中至少提供一个非球面。

17. 如权利要求15所述的投影物镜, 其特征在于, 在第三透镜组中提供两个非球面。

18. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜, 其特征在于, 在第一透镜组中布置至少一个非球面, 和/或提供不多于九个非球面。

19. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜, 其特征在于, 相对于物面凸起的具有负折射能力的至少一个凹凸透镜(13)布置在物面(2)的相邻区域。

20. 如权利要求19所述的投影物镜, 其特征在于, 至少一个凹凸透镜(13)是布置在第一透镜组(LG1)中。

21. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜, 其特征在于, 第二透镜组具有至少四个具有正折射能力的凹凸透镜(14到20)。

22. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜, 其特征在于, 第二透镜组(LG2)在面向物面(2)的入口侧上具有至少一个相对于物面凹入的具有正折射能力的凹凸透镜(14、15、16、17), 和/或, 第二透镜组在面向像面的出口侧上具有至少一个相对于物面凸起的具有正折射能力的凹凸透镜(19、20)。

23. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜, 其特征在于, 该序列中的第二透镜组(LG2)具有至少一个相对于物面凹入的具有正折射能力的凹凸透镜(14、15、16、17)、双凸正透镜(18)、以及至少一个相对于像面凹入的具有正折射能力的凹凸透镜(19、20)。

24. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜, 其特征在于, 第三透镜组(LG3)只具有带有负折射能力的透镜(21、22、23、24)。

25. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜,其特征在于,相对于位于第三透镜组(LG3)内部的对称平面,第三透镜组是对称结构,或/和,第三透镜组(LG3)包括:具有像侧凹入表面的负凹凸透镜(21)、位于其后的负透镜(22)、位于其后的另一个负透镜(23)、以及位于其后的具有目标侧凹入表面的负凹凸透镜(24)。

26. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜,其特征在于,第二透镜组(LG2)的面对第三透镜组(LG3)的出口区域和在第三透镜组之后的第四透镜组(LG4)的入口区域被构造成相对位于第三透镜组内部的对称平面(9)是对称的。

27. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜,其特征在于,第四透镜组(LG4)具有至少一个双合透镜(27、28、29、30),其带有双凸正透镜(27、29)和透镜表面朝向目标凹入的下游负凹凸透镜(28、30)。

28. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜,其特征在于,在目标侧入口区域中,第四透镜组(LG4)具有至少一个相对于物面(2)凹入的具有正折射能力的凹凸透镜(25、26)。

29. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜,其特征在于,照射在光学表面上的辐射的最大入射角的正弦小于像侧数值孔径的90%。

30. 如前述权利要求29中所述的投影物镜,其特征在于,照射在光学表面上的辐射的最大入射角的正弦小于像侧数值孔径的85%。

31. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜,其特征在于,第五透镜组(LG5)具有带有正折射能力的专用透镜。

32. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜,其特征在于,第五透镜组具有至少四个正透镜(31到35)。

33. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜,其特征在于,第五透镜组(LG5)具有至少一个带有正折射能力并且透镜表面朝向图像凹入的凹凸透镜(33、34)。

34. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜,其特征在于,作为最后的光学元件,第五透镜组(LG5)具有平凸透镜(35),所述平凸透镜(35)具有球状或非球状入口表面和平坦的出口表面。

35. 如权利要求34所述的投影物镜,其特征在于,所述平凸透镜(35)以非半球形的方式被构成。

36. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜,其特征在于,所有的透镜都是由相同的材料制成的。

37. 如权利要求36所述的投影物镜, 其特征在于, 所有的透镜都是使用合成石英玻璃作为193nm操作波长的透镜材料, 或使用氟化钙作为157nm波长的透镜材料。

38. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜, 所述投影物镜是单腰部系统, 在目标附近具有腹部(6), 在远离目标处具有腹部(8), 并且腰部(7)位于它们之间。

39. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜, 其特征在于, 像场直径大于10mm, 或像场直径大于总长度的1.0%。

40. 如权利要求39所述的投影物镜, 其特征在于, 像场直径大于20mm, 或像场直径大于总长度的1.5%。

41. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜, 其特征在于, 光导率大于总长度的1.0%。

42. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜, 其特征在于, 在系统孔(5)的上游布置有比系统孔下游更多的透镜。

43. 如权利要求42所述的投影物镜, 其特征在于, 在系统孔(5)的上游布置有比系统孔下游多四倍的透镜。

44. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜, 其特征在于, 至少五个具有正折射能力的透镜被布置在腰部与系统孔(5)之间。

45. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜, 其特征在于, 腰部与系统孔之间的距离至少为总长度的26%。

46. 如权利要求45所述的投影物镜, 其特征在于, 腰部与系统孔之间的距离大于总长度的30%。

47. 如前述权利要求1或2中所述的投影物镜, 其特征在于, 最大边缘光线高度至少为最窄收缩区域位置处的边缘光线高度的两倍。

48. 一种用于显微光刻法的投影曝光设备, 其特征在于, 该投影曝光设备包括前述权利要求1或2中任一项所述的折射投影物镜(1、1'、1'')。

49. 一种用于制造半导体部件和其他精细构造成的结构部件的方法, 所述方法具有以下步骤:

提供具有指定图案的掩模;

使用具有指定波长的紫外光照射掩模; 以及

借助前述权利要求1或2中任一项所述的投影物镜, 将该图案的像投影到布置于该投影物镜的像面的区域中的感光衬底上; 和

---

布置在投影物镜的最后的光学表面与衬底之间的浸液介质在投影期间被透射。

## 用于浸液式光刻的折射投影物镜

本发明涉及一种用于借助于布置在投影物镜的最后光学元件与像面之间的浸液介质将布置在投影物镜的物面中的图案投影在投影物镜的像面中的折射投影物镜。

照相平版印刷投影物镜已投入使用了数十年，用于生产半导体部件和其他精细构造成的结构部件。它们可用于以缩小比例以非常高的分辨率将光掩膜或中间掩模（下文中也称之为掩膜或中间掩模（reticle））的图案投影到涂覆有感光层的目标上。

三项并行的改进主要致力于约为100nm或以下量级的非常精细的结构制造。第一，需要努力将投影物镜的像侧数值孔径（NA）增加以超过当前惯例值，将其增加到NA = 0.8或以上的范围。第二，永远使用较短波长的紫外光，最好是低于260nm波长的，例如248nm、193nm、157nm或以下。最后，使用其他方法增加分辨率，例如相移掩模和/或倾斜照射。

另外，已经存在通过将高折射率的浸液介质引入到投影物镜的最后光学元件与衬底之间的空间中而提高可达到的分辨率的方法。该技术在这里被称作浸液式光刻。所述浸液介质的引入产生了有效波长

$$\lambda_{eff} = \lambda_0 / n,$$

$\lambda_0$ 为真空工作波长， $n$ 为所述浸液介质的折射率。这产生了分辨率

$$R = k_1 (\lambda_{eff} / NA_0)$$

以及焦距深度（DOF）

$$DOF = \pm k_2 (\lambda_{eff} / NA_0^2),$$

$NA_0 = \sin \Theta_0$ 为“干燥”数值孔径，而 $\Theta_0$ 为物镜孔径角的一半。经验常数 $k_1$ 和 $k_2$ 取决于工艺。

浸液式光刻的理论优点在于，有效操作波长的减少和由此提高的分辨率。这可连同未改变的真空波长来实现，因此在无需更换适当波长的情况下可主要使用用于产生用以选择光学材料的光线、用于涂覆技术等确定的技术。然而，需要为投影物镜提供NA = 1或以上范围内的非常高的数值孔径的方法。而且必须可用适合的浸液介质。

2001年Nov./Dec.的J. Vac. Sci. Technol. Vol. 19(6)中第一页以后的M. Switkes和M. Rothschild的题为“immersion lithography at 157 nm”的文献提出了基于全氟代聚醚(PFPE)的浸液,所述浸液对于157 nm的工作波长来说充分透明并且可与当前用在显微光刻法中的一些光致抗蚀剂相适应。一种已试验的浸液在157 nm下具有 $n = 1.37$ 的折射率。该文献还描述了一种无透镜光学系统,通过氟化钙元件和硅镜操作,用于浸液式干涉光刻,所述技术允许结合 $NA = 0.86$ 的数值孔径的60 nm结构和以下的投影。该光学系统不可用于半导体等的批量生产。

专利文献US 5,610,683(对应于EP 0 605 103)描述了一种供浸液式光刻之用的投影曝光机,具有用于将浸液引入到投影物镜与衬底之间的装置。对于光学投影仪没有特别的设计。

美国专利US5,900,354提出了使用超临界流体(例如氙气)作为浸液式光刻中的浸液介质。没有示出用于适合投影物镜的设计。

本发明的目的是提供这样一种折射投影物镜,所述折射投影物镜适用于浸液式光刻,并且除适中的总体尺寸之外,所述折射投影物镜还具有适合于浸液式光刻的高数值孔径、用于实际用在晶片步进器或薄片扫描器中的足够大的像场,以及良好的校正状态。

通过具有权利要求1中所述特征的投影物镜实现该目的。在所附权利要求中描述了优选实施例。所有权利要求中的用于包含在描述中以备参考。

根据本发明的一个方面,一种用于借助于布置在投影物镜的最后光学元件与像面之间的浸液介质将布置在投影物镜的物面中的图案投影在投影物镜的像面中的折射投影物镜,该折射投影物镜具有

位于物面之后的具有负折射能力的第一透镜组;

位于其后面的具有正折射能力的第二透镜组;

位于其后面的具有负折射能力的第三透镜组;

位于其后面的具有正折射能力的第四透镜组;

位于其后面的具有正折射能力的第五透镜组;以及

布置在第四透镜组和第五透镜组之间的最大射束直径的区域中的系统孔。



该折射能力分布状态产生了具有两个腹部和位于之间的腰部的投影物镜，从而可实现场曲率的良好校正。所述系统孔位于紧接于像面的腹部的最大射束直径的区域中，最好至少90%或95%的最大射束直径存在于所述系统孔位置处的图像附近的腹部中。在某些实施例中，所述系统孔可位于图像附近的最大射束直径的平面与像面之间，从而使其位于物镜的透射直径已朝向像面减小的区域中。这是与传统折射投影物镜之间的实质性差异，在传统折射投影物镜中，所述系统孔位于图像附近的腹部中的最大射束直径的区域前面的较大距离处的目标侧部上。

该设计允许像侧数值孔径 $NA \geq 0.9$ ，在优选实施例的情况中可达到 $NA = 1.1$ 或以上。优选的投影物镜适合于在操作波长下具有 $n > 1.3$ 的折射率的浸液。因此，与非浸液的系统相比较，可实现有效操作波长中的30%或更多的减少。

投影物镜可如此被有利地设计，即，使得由浸液介质填充的空间具有这样的轴向厚度，所述厚度如此小，以致于浸液介质中的透射损失不大于穿透光强度的10到20%。因此，小于 $200\mu\text{m}$ （特别是小于 $100\mu\text{m}$ ）的像侧工作距离是有利的。另一方面，由于要避免最后光学元件与衬底表面之间的接触点，因此不应下射到10到 $20\mu\text{m}$ 之间的工作距离的下限。对于一个或多个毫米的范围内的较大工作距离，也可适于适当的透光浸液介质。

优选的投影物镜的特征在于多个有利的结构和光学特征，所述结构和光学特征可必要地单独或以组合的方式辨别以便于用作浸液物镜的物镜的适用性。

例如，当透镜组的折射能力在系统孔的两侧上具有相同的数量级时可为有利的。特别是，可假定第四透镜组的焦距与第五透镜组的焦距之间的比率在约0.9和约1.1之间。当靠近于目标的透镜组与靠近于图像的透镜组的焦距或折射能力的量级相似时同样也是有利的。特别是，第一透镜组的焦距与第五透镜组的焦距量级的比率可在约0.7和约1.3之间，最好是在约0.9和约1.1之间。此外，当强正折射能力集中在图像附近的区域中时产生高像侧数值孔径是有利的。在优选实施例中，投影物镜的总长度与系统孔后面的第五透镜组的焦距之间的比率大于五，特别是大于六、七或甚至大于八。这里将物面与像面之间的轴向距离称作总长度。

为了获得良好的校正状态，假定在优选实施例中，第一透镜组包括至少一个非球面。最好，甚至可提供多个非球面，例如，这里提供两个非球面。该区域中的非球面对于扭曲和像散的校正特别有效。而且，当位于腰部区域中的第三透镜组具有至少一个非球面（最好是具有多个非球面，例如两个非球面）时彗差和像散的校正是有利的。在优选实施例的情况下，为了有助于投影物镜的校正状态的精密调整，在每个透镜组中提供至少一个非球面。关于透镜的简单生产，应该限制非球面的数量，例如使其小于九个或小于七个，如在优选实施例中的情况那样。

与所使用的透镜的类型和布置相关的某些特征改善了本发明所涉及的投影物镜的有利投影特性，特别是在非常高的数值孔径的情况中的良好校正状态。例如，当相对于物面凸起的具有负折射能力的至少一个凹凸透镜被布置在物面的附近区域（特别是被布置在第一透镜组）中时是有利的。形成物镜的第三透镜的该透镜例如在切线像散的校正方面是有利的。

第二透镜组在其面对物面的侧上最好具有相对于物面凹入的具有正折射能力的至少一个（特别是多个）凹凸透镜。这些透镜最好与第二透镜组的在其面对像面的侧部上相对于物面凸起的具有正折射能力的至少一个（最好是多个）凹凸透镜相组合。最好至少一个双凹面正透镜被设置在相对弯曲的凹凸透镜或凹凸透镜组之间。因此，在第二透镜组中可形成相对于物面凹入的至少一个正凹凸透镜、两面凸的正透镜、以及相对于像面凹入的至少一个正凹凸透镜的序列。在第一腹部的较大射束直径区域中的该透镜序列连同光学表面的低分布应力一起适合于该区域中的主射线的强“变形”。这有利于投影物镜的较低的总像差。只要照射光学表面的射线的入射角尽可能小并且不会超越临界极限值，就会出现本申请意义上的有利分布应力。应该注意的是，这里入射角为射线在光学表面上的照射方向与射线照射点处的光学表面的表面法线之间的角度。入射角越小，随之的分布应力越低，那么适宜的抗反射涂层的显影就越容易，并且对于调节的设计容差就越大。

射线的最窄收缩的区域被称作腰部。所述腰部的区域中的第三透镜组具有在尽可能少的像差的情况下再扩展会聚在第一腹部下游的辐射的任务。当第三透镜组只具有带有负折射能力的透镜时对于该目的是有利的。已经证明，当第三透镜组相对于在第三透镜组内的对称平面基本是

对称结构时，以上情况是特别有利的。特别是，这可通过将相同类型的相互指定的透镜布置在对称平面的目标侧和图像侧上的事实而辨别。透镜类型的对称性最好还延伸到第二和第四透镜组的边界区域内，以使得可相对于第三透镜组内部的对称平面基本对称地构造成第二透镜组的面向第三透镜组的出口区域和位于第三透镜组后面的第四透镜组的入口区域。下面将结合实施例进一步详细地描述负凹凸透镜和正凹凸透镜的对称性布置。该对称性促进了较低分布应力以及低像差。

具有其透镜表面朝向目标凹入的具有两面凸的正透镜和朝向图像的四凸负透镜的至少一个双合透镜最好设在系统孔正上游的区域中，也就是说设在第四透镜组中。具有两个这样的双合透镜（一个可刚好位于另一个的后面）的实施例是特别适合的。相对于像面凸起的正空气透镜分别布置在双合透镜的透镜之间。由聚集双凸透镜和发散凹凸透镜构成的所述双合透镜在校正方面具有正面效果并且可抵制由系统孔下游的具有强、正衍射能力的透镜引起的像差。而且，为了聚集来自于所述腰部的且与低分布应力结合的辐射，在第四透镜组的目标侧入口区域中布置朝向目标凹入的具有正折射能力的至少一个凹凸透镜是有利的。

为了获得非常高的数值孔径，当第五透镜组具有专门的正透镜时是有利的。例如，可在孔径光阑与像面之间布置四个或多个正透镜。在这种情况下，只要在第五透镜组中设置朝向图像凹入的具有正折射能力的至少一个凹凸透镜，就可获得有利的表面载荷。特别是，可提供两个或多个所述透镜。最后的光学元件最好由平凸透镜形成，所述平凸透镜最好具有球形入口表面和基本平坦的出口表面。因此，一方面，可获得对于球面像差和彗差的良好校正，而另一方面，基本平坦的出口表面适合于浸液式光刻。在优选实施例中，平凸透镜为非半球面的，球形表面的中心位于透镜的外部。这种类型的截顶半球面透镜可使得对于在工作距离方面的波动的敏感性降低。

通过使用这些设计原理中的一些和全部，在优选实施例中已获得了成功，所述优选实施例将表面载荷保持得如此低，即，尽管大于 $NA = 0.9$ 或 $1$ 的孔，在光学表面处也不会出现其入射角的正弦大于像侧数值孔径的约 $90\%$ 或甚至大于其约 $85\%$ 的情况，并且这简化了透镜的涂覆和物镜的调节。

在优选实施例中，投影物镜的所有透镜都是由相同的材料制成的。对于193nm的操作波长来说，可使用合成石英玻璃作为其材料，对于157nm的操作波长来说，可使用氟化钙作为其材料。仅使用一种材料有助于制造并且允许所述物镜设计简单适用于其他波长。为了例如支持的校正色差也可组合多种材料。还可使用诸如BaF<sub>2</sub>、NaF、LiF、SrF<sub>2</sub>、MgF<sub>2</sub>等其他紫外光透明材料。

除权利要求之外，所述描述和附图也披露了前述和其他特征，在本发明的实施例以及在其他领域中的情况中可独立地或以再组合的方式实现本发明的各个特征，并且它们可构成本质上受保护的优选设计。在附图中：

图1示出了折射投影物镜第一实施例的透镜截面，所述投影物镜被设计得用于193nm的操作波长；

图2示出了折射投影物镜第二实施例的透镜截面，所述投影物镜被设计得用于193nm的操作波长；

图3示出了折射投影物镜第三实施例的透镜截面，所述投影物镜被设计得用于157nm的操作波长；以及

图4示出了折射投影物镜第四实施例的透镜截面，所述投影物镜被设计得用于193nm的操作波长。

在以下优选实施例的描述中，术语“光轴”是指穿过光学部件曲率中心的直线。当它们沿位于那里的将被曝光的像面或衬底的方向对齐时方向和距离被描述为在像侧上或朝向图像，以及当它们相对于光轴指向目标时对齐时方向和距离被描述为在目标侧上或朝向目标。在示例中，目标是带有集成电路图案的掩模（中间掩模），但其也可以具有其他图案，例如格栅。在示例中，图像被形成在用作衬底并装有光致抗蚀剂层的晶片上，但是也可使用其他衬底，例如用于液晶显示的元件或用于光栅的衬底。给定的焦距是参照空气的焦距。

出于清楚的目的，下面用相同的附图标记表示各个实施例中同样的或相互对应的零件。

图1示出了本发明所涉及的纯粹的折射还原物镜1的实施例的典型设计。它可用于与实质上均匀浸没相结合，以便将布置于中间掩模

(reticle) 等的物面2中的图案投影在像面3中, 其中使用缩小比例尺, 例如到5: 1的比例。这是具有五个透镜组的转动对称的单腰部系统, 所述五个透镜组沿垂直于物面和像面的光轴4布置, 并且形成位于其间的目标侧腹部6、像侧腹部8和腰部7。位于物面2后面的第一透镜组LG1具有负折射能力和-166mm的焦距。位于其后的第二透镜组LG2具有其焦距为121mm的正折射能力。位于其后的第三透镜组LG3具有负折射能力和-33mm的焦距。位于其后的第四透镜组LG4具有其焦距为166mm的正折射能力, 所述焦距在量级上与第一透镜组的焦距相当。位于其后的第五透镜组LG5具有正折射能力和170mm的焦距, 所述焦距在量级上约等于第四透镜组LG4和第一透镜组LG1的焦距。系统孔5位于图像附近且具有最大射束直径的区域中在第四透镜组LG4与第五透镜组LG5之间, 也就是说位于物镜的第二腹部8中。

位于像面2后面的第一透镜组LG1主要负担将光束扩展到第一腹部6中的任务。它包括具有负折射能力的三个透镜11、12、13, 第一透镜11和第二透镜12被构形成为双凸负透镜。在作为特定特征的凹入侧未指向目标2而是指向像面3的情况中, 第三透镜13为发散凹凸透镜。这种布置非常有利于校正切线像散。另外, 第一透镜组包括两个非球面, 具体为第二和第三透镜的入口侧。所述非球面在扭曲和像散的良好校正方面具有正面效果。

第二透镜组LG2包括其凹入侧面对中间掩模(reticle)或物面2的四个聚集凹凸透镜14、15、16、17、双凸正透镜18以及其凹入侧面对晶片或像面3的两个聚集凹凸透镜19、20。其中凹凸透镜表面的弧度以凹入表面相互避开的方式沿相反方向接触双凸正透镜18的目标侧和图像侧, 这种设计确保了对于凹凸透镜和正透镜18的小分布应力, 以及较少的像差。双凸正透镜18和之后的凹凸透镜19之间的双凹空气透镜在其强像散校正不足的情况下在腰部7上游的系统前部中的像散的均衡补偿方面起到良好作用。

第三透镜组LG3专门由发散透镜组成, 具体为具有像侧凹入表面的负凹凸透镜21、位于其后的双凹负透镜22、位于其后的另一个双凹负透镜、以及位于其后的具有目标侧凹入表面的负凹凸透镜24。参照位于透镜22和23之间的对称平面9, 针对透镜类型(凹凸透镜或双凹透镜)和光学表面的弧度方向将这四个透镜设计得具有镜面对称。连同第二透镜组的最

后两个透镜19、20和位于其后的第四透镜组LG4的前两个透镜25、26一起，还具有一组两个聚集凹凸透镜19、20和一个发散凹凸透镜21，所有这三个透镜都具有面对腰部或对称平面9的凹入表面。在相反的反射方向上，也就是说，在对称平面9的像侧上，第四透镜组的发散凹凸透镜24和两个聚集凹凸透镜35、26使得这两个双凹负透镜22、23再次位于腰部后面，也就是说在最小直径的区域内。相对于对称平面9具有镜面对称的这种设计支持光学表面的低张紧或低分布应力，从而支持低像差。

第三透镜组包括，最小透镜22的出口表面和负凹凸透镜24的出口表面形式的两个非球面，所述非球面主要致力于彗差和像差的校正。

第四透镜组LG4包括其入口侧上的两个正凹凸透镜25、26，所述透镜25、26相对于物面凹入并且之后有两个双合透镜27、28和29、30。每个所述双合透镜在目标侧上都分别具有聚集双凸透镜27和29，在其下游侧都分别具有分散凹凸透镜28和30，其凹入表面点朝向物面。这两个球状地强烈地矫正过正的发散凹凸透镜28 ( $f' = -728\text{mm}$ ) 和30 ( $f' = -981\text{mm}$ ) 抵消系统孔5下游之后的第五透镜组LG5的聚集透镜的强校正不足。聚集双凸透镜和双合透镜内部的发散凹凸透镜的组合在第二腹部8区域中的图像误差的校正上具有非常正面的效果。在其对于切线像差的强矫正过正的情况下，这两个凹凸透镜28、30（特别是厚凹凸透镜28）抵消第五透镜组LG5中的校正不足。

位于系统孔5下游的第五透镜组LG5主要用于产生高数值孔径。为此目的专门提供了聚集透镜，具体为布置在系统孔5区域中其表面朝向图像凹入的正凹凸透镜31、位于其后的具有略微弯曲的入口侧和更强弯曲的双凸正透镜32、位于其后的具有朝向图像弯曲的表面的正凹凸透镜23、同样具有朝向图像弯曲的表面的另一个正凹凸透镜24、以及具有球形入口侧和平坦出口侧的终端平凸透镜35。正透镜31、32、33和34被强球状地不足校正并且关于彗差矫正过正。在这种设计的情况下，球面像差和彗差的校正基本上是结合第四透镜组LG4的结构进行的，所述第四透镜组LG4位于系统孔5的上游并产生这些像差的相应偏移。

因此，第四透镜组LG4和第五透镜组LG5用于以组合的方式接收良好的球面像差和彗差的校正状态。第一双合透镜的双凸透镜27入口侧上的非球面充分支持球面像差的校正，而且支持第三阶彗差的校正。在第五透镜组LG5的输入处朝向目标凸起的正凹凸透镜31出口侧上的布置在系

统孔5附近的非球面主要校正高阶像差，从而主要致力于设定良好像差折衷办法。通过平凸透镜35的球状、凸起的入口表面可对于孔径像差和彗差起到同样的正面效果。后者被球状地矫正过正并且相对于彗差不足校正。

该系统在像侧上具有约8.4mm的工作距离，该距离可被浸液10填充。例如脱离子水（折射率 $n = 1.47$ ）或另一种适合的透明液体可在193nm下用作浸液。

光学系统1的校正状态是良好的。所有像差都被校正。波阵面变形值RMS值非常低为 $4 \text{ m}\lambda$ 。在该区域中所有场点的扭曲都低于1 nm。因此形成了这样一种投影物镜，所述物镜在193 nm的操作波长下操作，所述物镜可借助于传统的透镜生产和涂覆技术制造，并且容许基本低于100 nm的结构分辨力。

所述设计通过均匀浸没同样基本适合于近场光刻。为此，终端平凸透镜35将与沉浸层10相组合以形成可由例如合成石英玻璃组成的透镜。为了允许渐逝场的充足的光能将被接入，在这种情况下投影物镜的出口表面与像面之间的工作距离应在100nm或更小的范围内。

在表1中以已知的方式通过表格形式概括了该设计的规格标准。这里，列1给出了折射面的数量或另一种方式的特点、列2给出了表面的半径 $r$ （以mm为单位）、列3给出了表示从后面的表面到该表面的厚度的距离 $d$ （以mm为单位）、列4给出了光学部件的材料，而列5给出了入口表面后面的部件材料的折射率。在列6中示出了透镜的有用的、自由半径或自由直径的一半（以mm为单位）。

在该实施例的情况中，六个表面，具体为表面4、6、15、29、34和44都是非球面的。表2示出了相应的非球面数据，使用以下公式计算非球面：

$$p(h) = \left[ \frac{(1/r)h^2}{1 + \sqrt{1 - (1+K)(1/r)^2h^2}} \right] + C1 \cdot h^4 + C2 \cdot h^6 + \dots$$

这里，半径的倒数 $(1/r)$ 表示表面曲率，而 $h$ 表示从光轴处的表面点的距离。因此， $p(h)$ 给出了所谓的拱高，也就是说沿 $z$ 方向（即，沿光轴的方向）从表面顶点的表面点的距离。常数 $K$ 、 $C1$ 、 $C2 \dots$ 在表2中示出。

可通过这些数据表示的光学系统1被设计得用于约193 nm的操作波长，用于所有透镜的合成石英玻璃具有 $n = 1.56029$ 的折射率。像侧数值孔径为1.1。该系统适合于折射率为 $n = 1.56$ 的浸液介质10，所述浸液介

质10允许光线理想地接入浸入层10中。所述物镜具有1162mm的总长度(像面与物面之间的距离)。24.1mm的光传导(数值孔径和图像尺寸的乘积,也表示étendue(幅度)或几何通量),给出22mm的图像尺寸。

使用图2描述了图1中所示的投影物镜的变体。为了清楚起见,相同类型或相同功能的透镜或透镜组由相同的附图标记表示。系统1'适用于 $n = 1.37$ 的浸液介质的折射率,这对应于文献中已知的基于全氟代聚醚(PFPE)的浸液的折射率的157 nm的数值。

第四和第五透镜组在设计上不同于图1所涉及的设计。在LG4中,图1中第一双合透镜的厚凹凸透镜28被分裂成具有仅略微弯曲的出口侧的目标侧、双凹负透镜28'和随后的具有相应的仅略微弯曲的入口侧的双凸正透镜28''。该分裂进一步减小了该区域中光学表面的分布应力。投影的边缘光线以会聚的方式在朝向目标凹入的凹凸透镜30的入口表面上游的随后的透镜29、30之间的气隙中行进。在第五透镜组LG5中,区别于图1中设计的情况的入口侧透镜31、32和系统孔5的下游相组合以形成单个的、双凸正透镜32'。这位于系统孔5下游的距离处,具体可容易地获得它。另一个特征在于,系统孔5位于最大射束直径的图像附近的平面与像面3之间,也就是说,位于透镜的透射直径朝向像面已减小的位置处。其他透镜与图1中相同附图标记的透镜的类型和次序相对应。同样,在这种设计的情况下,所有透镜都是由合成石英玻璃构成的。在表3和表4中以所述符号示出了该设计的规格标准。

图3中示出了第三实施例,被设计为投影物镜1''的157nm的操作波长,在表5和表6中给出了其规格标准。从透镜的次序和类型中可看出的是,该设计是以参照图1和图2所述的设计原理为基础的,并且相同的附图标记用于具有相应功能的透镜和透镜组。如在图1所涉及的实施例中的情况一样,没有其他的光学元件被布置在物镜的第一双凹负透镜11的上游。如在图2所涉及的实施例中的情况一样,在第四透镜组LG4中在图1中仍保持完整的厚凹凸透镜28被分裂为双凹负透镜28'和直接位于其后的双凸正透镜28''。正如图2中所涉及的实施例的情况中一样,图1所涉及的实施例的入口侧透镜31、32的功能仅由单个双凸正透镜32'取代,所述双凸正透镜32'开始朝向像面的射线组合。以与所涉及的实施例的情况相似的方式,系统孔5被布置在最大射束直径的区域的下游的第二腹部8的内部,也就是说,布置在射束直径已朝向像面再次减小的位置处。



浸液介质的折射率被设定为 $n = 1.37$ ，它对应于从文献中已知的用于在 $157\text{nm}$ 下足够透明的PFPE基浸液的数值。像侧工作距离被设定为约 $50\mu\text{m}$ ，在实际应用中它对应于浸入层的厚度。可以假定适用的浸液在该低厚度下仍具有大于90%的高透射值，因此只有可忽略的低透射损失出现在浸入区域中，这对于实现令人满意的晶片生产量是有利的。通过使用传统方法可执行的良好校正状态下的该纯粹折射投影物镜可分辨小于 $70\text{nm}$ 的图案宽度。

表7和表8示出了投影物镜的一个实施例（未通过附图示出）的规格标准，所述投影物镜源自于图3所涉及的实施例，它与图3所涉及的实施例不同之处主要在于，朝向目标凹入的厚凹凸透镜17被替换为朝向相同方向弯曲的更薄的凹凸透镜。图5和图6的比较示出了作为结果甚至更简洁的设计都是可行的，所述设计具有更小的透镜直径和更小的总长度以及同样良好的光学特性。

在图4中示出了投影物镜1'''的第四实施例，所述投影物镜1'''被设计得用于 $193\text{nm}$ 的波长并且在表9和表10中给出了其规格标准。该实施例具有4:1的投影比例和像侧数值孔径 $NA = 0.9$ 。与其余实施例之间的比较示出了对于相同的基本光学原理来说需要较少的透镜材料。如在其他实施例中的情况那样，代替25个透镜，只需要23个透镜，而且其平均和最大透镜直径都小于前述实施例。特别是，在第二透镜组LG2中只提供了朝向目标凹入的三个凹凸透镜14、15、16，一个透镜对应于其他实施例所缺乏的凹凸透镜17。与其他实施例相反，在第四透镜组LG4中只提供了一个双合透镜27和28，因此在该透镜组中同样节省了一个透镜，第三透镜组LG3的对称性设计和其边界上的透镜对（第二透镜组的19、20和第四透镜组的25、26）的对称性设计与其他实施例的对称性设计相对应。图4所涉及的实施例证明，对于较大的投影比例和较大领域来说，可在本发明保护范围内执行有利设计的解决方案。

所示出的所有实施例的校正状态都是良好的。所有像差都被校正。波阵面变形值的最大RMS值非常低，并且图1和图2所涉及的实施例低于 $4.5\text{ m}\lambda$ 、表7和表8所涉及的实施例低于 $6.5\text{ m}\lambda$ 、图4所涉及的实施例低于 $5.2\text{ m}\lambda$ 。在所有系统中，对于所有场点来说，扭曲在低于 $1\text{ nm}$ 的范围内。

本领域中普通技术人员从示例中可看到是，在本发明的保护范围内设计的多种修正都是可行的。例如，各个透镜可被分裂为两个或多个独立透镜，或者可将独立透镜组合以构成基本具有相同功能的一个透镜。

具有两种或多种透镜材料的实施例也是可行的。例如，在用于193 nm的实施例的情况中，为了有助于色差校正以及为了避免由于使用氟化钙透镜而导致高辐射能密度区域中的压实而引起折射率中的变化，可提供由合成石英玻璃和氟化钙构成的透镜的组合。另外还可使用对于所使用的紫外光来说透明的其他材料，诸如氟化钡、氟化钠、氟化锂、氟化铯、氟化镁等。

用于浸液式光刻的折反射光系统还可被设计得使用这里提及的实施例的基本结构特征，特别是在第二腹部和孔径光阑的图像附近的区域中。

通过各个例证性实施例所描述的本发明的技术理论表明，当目的在于设计适合于浸液式光刻的光学系统（特别是一种所述简洁设计）时，应对设计边界条件的范围加以考虑。以下特征可独立或以组合的方式得益。其像场直径大于总长度的1%，特别是大于总长度的1.5%的浸液物镜是有利的。有利的光导率（像场直径与数值孔径的乘积）在大于总长度的1%的范围内，特别是大于总长度的2%的范围内。孔径光阑与像面之间的四个或多个聚集透镜是有利的，优选的是在该区域中只提供一个聚集透镜。在第二透镜组中最好提供多于四个、五个或六个连续的聚集透镜。在这种情况下，在第二透镜组的入口区域中最好提供具有目标侧凹入表面的两个或多个聚集凹凸透镜，并且在第二透镜组的端部处最好提供具有朝向图像凹入的表面的两个或多个聚集凹凸透镜。在第一腹部的区域中或第二透镜组的区域中强光束扩展是有益的，其最大射束直径最好大于物场直径的1.8倍，特别是大于物场直径的2倍。第二透镜组中的最大透镜直径可近似为收缩区域中的第三透镜组的最小自由透镜直径的两倍。收缩后面的第二腹部中的最大透镜直径最好为相同量级的，并且特别是，可大于第三透镜组的最小自由透镜直径的两倍。在第三透镜组的区域中，也就是说，在相同的腰部区域中，两个凹入表面最好直接相对并且由在同样意义上弯曲的两个表面封闭。最好以这种方式设计和布置分别邻近目标和邻近图像的透镜。

特定透镜分布可为有利的。特别是，当布置在系统孔上游的透镜多于布置在系统孔下游的透镜时是有利的。孔上游透镜的数量最好至少为系统孔下游透镜的数量的四倍，特别是多于其五倍。五个或多个聚集透镜最好被布置在最窄收缩的区域与系统孔或孔径光阑之间；最窄收缩的区域与例外地布置得靠近于图像的孔径光阑之间的轴向距离最好至少为投影物镜总长度的26%，如果适当的话最好大于投影物镜总长度的30%或35%。

其他特征与投影的轨线和投影的主光线与边缘光线之间的关系有关。这里所提及的主光线是从平行于光轴或在光轴的锐角处的物场的边缘点处行进的光线并且所述光线在系统孔的区域中切割光线。在本申请意义上的边缘光线从物场的中间通向孔径光阑的边缘。从光轴到这些光线的垂直距离产生了相应的光线高度。当高达第二透镜组端部的主光线高度的绝对值大于边缘光线高度时可为有利的，最好直到在第三透镜组的区域内这种关系最好不会颠倒。最大边缘光线高度最好大于第三透镜组最窄收缩区域中边缘光线高度的两倍，特别是大于其2.3到2.5倍。当第四和第五透镜组之间的区域中（也就是说，在系统孔的区域中）的边缘光线的直径保持较小时是有利的。这对应于系统孔之后的第五透镜组的最小可行焦距。第五透镜组的焦距最好小于总长度的15%，特别是，小于总长度的10%。优选的系统是二倍焦阑的，因此主光线基本垂直于物面和像面两者，在优选系统中，来自于物场的主光线在至少五个透镜之后应仍具有发散轨线，也就是说，具有远离光轴的仍然升高的主光线高度的轨线。而且，当靠近于目标的物镜区域中最大主光线发散角的正弦大于目标侧数值孔径的50%时是有利的。为了促进有利的校正状态，在靠近于目标的区域中最好提供多个非球面，其中边缘光线高度大于主光线高度。

本发明还涉及一种用于显微光刻法的投影曝光设备，所述投影曝光设备的特征在于它包括本发明所涉及的折射投影物镜。所述投影曝光设备最好还具有用于引入浸液介质（例如适合折射率的液体）和将其保存在投影物镜的最好的光学表面与待曝光的衬底之间的装置。本发明还涉及用于生产半导体部件和其他精细构成的结构部件的一种方法。在布置在投影物镜的物面中的图案的图像被投影在像面的区域中的情况中，布

---

置于投影物镜与待曝光的衬底之间并在操作波长下对于光线来说透明的浸液介质被透射。

表1

| 表面 | 半径               | 厚度            | 透镜        | 折射率<br>193.30nm | 1/2<br>自由直径 |
|----|------------------|---------------|-----------|-----------------|-------------|
| 0  | 0.000000000      | 21.400160000  |           |                 | 55.000      |
| 1  | 0.000000000      | 5.465665462   |           |                 | 59.973      |
| 2  | -697.373111352   | 6.830738019   | SI02      | 1.56028900      | 60.658      |
| 3  | 317.877790816    | 13.366856184  |           |                 | 63.806      |
| 4  | -389.517361474AS | 8.018967568   | SI02      | 1.56028900      | 65.103      |
| 5  | 684.978717634    | 23.693566944  |           |                 | 70.051      |
| 6  | 612.579041806AS  | 13.565639007  | SI02      | 1.56028900      | 66.338      |
| 7  | 315.238108546    | 24.080777166  |           |                 | 92.585      |
| 8  | -636.903175512   | 64.776862854  | SI02      | 1.56028900      | 95.153      |
| 9  | -304.036729565   | 1.000000000   |           |                 | 120.585     |
| 10 | -942.407223581   | 39.155776761  | SI02      | 1.56028900      | 130.798     |
| 11 | -317.623154272   | 1.372033169   |           |                 | 137.817     |
| 12 | -856.579360710   | 53.693176363  | SI02      | 1.56028900      | 145.587     |
| 13 | -222.120764338   | 1.000000000   |           |                 | 148.413     |
| 14 | -365.979641333   | 16.565547178  | SI02      | 1.56028900      | 140.696     |
| 15 | -300.375347712   | 1.000000000   |           |                 | 150.000     |
| 16 | 622.472470310    | 44.791302453  | SI02      | 1.56028900      | 146.389     |
| 17 | -556.306013695   | 1.020913522   |           |                 | 145.384     |
| 18 | 135.290972565    | 40.672419816  | SI02      | 1.56028900      | 113.552     |
| 19 | 140.238400611    | 1.007703555   |           |                 | 99.382      |
| 20 | 328.146489274    | 33.605830328  | SI02      | 1.56028900      | 97.047      |
| 21 | 178.381821741    | 21.367336106  |           |                 | 87.913      |
| 22 | 764.210626300    | 0.040530767   | SI02      | 1.56028900      | 85.346      |
| 23 | 81.619567541     | 55.132180427  |           |                 | 66.098      |
| 24 | -324.577506735   | 0.010204876   | SI02      | 1.56028900      | 63.499      |
| 25 | 133.065440504AS  | 29.116630876  |           |                 | 62.507      |
| 26 | -275.984572757   | 12.121405585  | SI02      | 1.56025900      | 63.961      |
| 27 | 2685.503343155   | 41.843073620  |           |                 | 68.171      |
| 28 | -83.024363434    | 9.316662930   | SI02      | 1.56028900      | 69.398      |
| 29 | -271.500670518AS | 7.122879020   |           |                 | 90.169      |
| 30 | -234.082816820   | 34.813633391  | SI02      | 1.56028900      | 93.111      |
| 31 | -128.679213398   | 1.375380851   |           |                 | 98.648      |
| 32 | -371.070689222   | 40.964766288  | SI02      | 1.56028900      | 112.720     |
| 33 | -158.555144143   | 2.142646311   |           |                 | 116.033     |
| 34 | 844.565103125AS  | 42.656894678  | SI02      | 1.56020900      | 123.022     |
| 35 | -293.770426726   | 28.164927093  |           |                 | 123.344     |
| 36 | -170.081620687   | 40.277028630  | SI02      | 1.56028900      | 122.713     |
| 37 | -316.315520485   | 10.943607028  |           |                 | 137.139     |
| 38 | 623.625571533    | 56.798798505  | SI02      | 1.56028900      | 143.361     |
| 39 | -375.372716473   | 20.136323351  |           |                 | 143.139     |
| 40 | -246.931005408   | 18.567257168  | SI02      | 1.56028900      | 142.262     |
| 41 | -460.148730828   | 16.425394474  |           |                 | 145.978     |
| 42 | 0.000000000      | -15.465394474 |           |                 | 144.329     |
| 43 | 506.946830874    | 18.875460858  | SI02      | 1.56028900      | 144.915     |
| 44 | 1011.926468931AS | 22.938981004  |           |                 | 144.124     |
| 45 | 1760.701259607   | 42.739861927  | SI02      | 1.56028900      | 143.914     |
| 46 | -371.926449461   | 1.761397272   |           |                 | 143.620     |
| 47 | 194.244261542    | 42.532993341  | SI02      | 1.56028900      | 120.019     |
| 48 | 689.962205932    | 1.126753967   |           |                 | 114.927     |
| 49 | 109.590774593    | 34.370356865  | SI02      | 1.56028900      | 88.972      |
| 50 | 156.823775540    | 1.072172528   |           |                 | 79.549      |
| 51 | 118.652607648    | 80.000000000  | SI02      | 1.56028900      | 73.749      |
| 52 | 0.000000000      | 8.436241391   | Immersion | 1.56000000      | 19.439      |
| 53 | 0.000000000      | 0.000000000   |           |                 | 11.000      |

## 表2

## 非球面常数

表面No. 4

|    |                  |
|----|------------------|
| K  | 0.0000           |
| C1 | 2.13047921e-007  |
| C2 | -3.57933301e-011 |
| C3 | 2.93263063e-015  |
| C4 | -4.61461071e-015 |
| C5 | 2.76861570e-023  |
| C6 | 1.62740830e-027  |
| C7 | -3.43732853e-031 |
| C8 | 0.00000000e+000  |
| C9 | 0.00000000e+000  |

表面No. 44

|    |                  |
|----|------------------|
| K  | 0.0000           |
| C1 | -5.18910040e-009 |
| C2 | 3.51025484e-013  |
| C3 | -5.47716488e-018 |
| C4 | 4.43561455e-023  |
| C5 | 3.42844064e-028  |
| C6 | -1.97724021e-032 |
| C7 | 2.22456117e-037  |
| C8 | 0.00000000e+000  |
| C9 | 0.00000000e+000  |

表面No. 6

|    |                  |
|----|------------------|
| K  | 0.0000           |
| C1 | -1.14265623e-007 |
| C2 | 2.02166625e-011  |
| C3 | -1.76403105e-015 |
| C4 | 2.36305340e-019  |
| C5 | -2.55314839e-023 |
| C6 | 1.35459868e-027  |
| C7 | -2.70730236e-032 |
| C8 | 0.00000000e+000  |
| C9 | 0.00000000e+000  |

表面No. 25

|    |                  |
|----|------------------|
| K  | 0.0000           |
| C1 | -9.78914413e-008 |
| C2 | -4.33168283e-012 |
| C3 | -8.01001563e-017 |
| C4 | -1.31611936e-019 |
| C5 | 6.54375176e-023  |
| C6 | -1.37293557e-026 |
| C7 | 1.58764578e-030  |
| C8 | 0.00000000e+000  |
| C9 | 0.00000000e+000  |

表面No. 29

|    |                  |
|----|------------------|
| K  | 0.0000           |
| C1 | 2.99497807e-008  |
| C2 | -3.16131943e-012 |
| C3 | -9.61008384e-017 |
| C4 | 2.05647555e-020  |
| C5 | -2.56167018e-024 |
| C6 | 1.74321022e-028  |
| C7 | -7.59802684e-033 |
| C8 | 0.00000000e+000  |
| C9 | 0.00000000e+000  |

表面No. 34

|    |                  |
|----|------------------|
| K  | 0.0000           |
| C1 | -5.83592306e-009 |
| C2 | -4.08253892e-015 |
| C3 | -3.40920951e-019 |
| C4 | 1.36466433e-022  |
| C5 | -1.03090955e-026 |
| C6 | 4.02018916e-031  |
| C7 | -9.89542799e-036 |
| C8 | 0.00000000e+000  |
| C9 | 0.00000000e+000  |

表3

| 表面 | 半径               | 厚度           | 透镜     | 折射率<br>????.?? nm | 1/2<br>自由直径 |
|----|------------------|--------------|--------|-------------------|-------------|
| 0  | 0.000000000      | 21.900160000 | L710   | 0.99998200        | 55.000      |
| 1  | 0.000000000      | 6.220362492  | L710   | 0.99998200        | 59.974      |
| 2  | -603.070624671   | 9.913963455  | SIO2HL | 1.56028900        | 60.690      |
| 3  | 280.916333781    | 13.306217883 | HE193  | 0.99971200        | 64.385      |
| 4  | -461.660931347AS | 8.000000000  | SIO2HL | 1.56028900        | 65.798      |
| 5  | 681.261406487    | 25.180531824 | HE193  | 0.99971200        | 70.487      |
| 6  | 421.796712825AS  | 13.410028997 | SIO2HL | 1.56028900        | 89.920      |
| 7  | 306.236502978    | 23.641854301 | HE193  | 0.99971200        | 95.293      |
| 8  | -881.743075988   | 64.144962259 | SIO2HL | 1.56028900        | 97.777      |
| 9  | -397.616228767   | 1.031715830  | HE193  | 0.99971200        | 123.195     |
| 10 | -1049.995266570  | 39.473283137 | SIO2HL | 1.56028900        | 130.947     |
| 11 | -286.549348161   | 2.281083976  | HE193  | 0.99971200        | 136.447     |
| 12 | -659.273684770   | 52.089256568 | SIO2HL | 1.56028900        | 143.894     |
| 13 | -209.207390137   | 1.008491553  | HE193  | 0.99971200        | 146.415     |
| 14 | -565.795559961   | 15.829681399 | SIO2HL | 1.56028900        | 145.488     |
| 15 | -410.848668817   | 1.000000613  | HE193  | 0.99971200        | 146.045     |
| 16 | 809.207497255    | 37.599045382 | SIO2HL | 1.56028900        | 142.424     |
| 17 | -599.260287529AS | 1.006000015  | HE193  | 0.99971200        | 141.453     |
| 18 | 136.304287826    | 42.528385200 | SIO2HL | 1.56028900        | 133.454     |
| 19 | 157.516637917    | 1.000000000  | HE193  | 0.99971200        | 101.084     |
| 20 | 126.013978931    | 34.061487776 | SIO2HL | 1.56028900        | 96.007      |
| 21 | 157.519818688    | 23.554259229 | HE193  | 0.99971200        | 84.914      |
| 22 | 795.455608357    | 9.035828932  | SIO2HL | 1.56028900        | 82.369      |
| 23 | 78.918295718     | 38.23934318  | HE193  | 0.99971200        | 63.551      |
| 24 | -647.136797738   | 5.066000184  | SIO2HL | 1.56028900        | 63.056      |
| 25 | 148.158813477AS  | 32.440106724 | HE193  | 0.99971200        | 61.486      |
| 26 | -197.858616028   | 9.950377452  | SIO2HL | 1.56028900        | 62.472      |
| 27 | 1367.444704100   | 41.007582498 | HE193  | 0.99971200        | 66.716      |
| 28 | -87.255013445    | 8.475217865  | SIO2HL | 1.56028900        | 68.713      |
| 29 | -396.760619119AS | 6.471661900  | HE193  | 0.99971200        | 88.282      |
| 30 | -317.095597644   | 34.300021646 | SIO2HL | 1.56028900        | 90.935      |
| 31 | -136.816156215   | 1.956487291  | HE193  | 0.99971200        | 96.054      |
| 32 | -384.621022314   | 30.250891268 | SIO2HL | 1.56028900        | 107.862     |
| 33 | -158.663116797   | 1.008000006  | HE193  | 0.99971200        | 111.057     |
| 34 | 807.690134078AS  | 41.496271568 | SIO2HL | 1.56028900        | 117.589     |
| 35 | -280.885163902   | 25.354810908 | HE193  | 0.99971200        | 117.901     |
| 36 | -166.502630134   | 9.238823967  | SIO2HL | 1.56028900        | 117.263     |
| 37 | 988.468018668    | 6.681211723  | HE193  | 0.99971200        | 131.802     |
| 38 | 1106.583200370   | 44.085572378 | SIO2HL | 1.56028900        | 134.587     |
| 39 | -353.437766566   | 1.000000005  | HE193  | 0.99971200        | 136.483     |
| 40 | 445.824457242    | 52.624318854 | SIO2HL | 1.56028900        | 142.739     |
| 41 | -460.556866224AS | 26.188885880 | HE193  | 0.99971200        | 142.372     |
| 42 | -248.318425801   | 36.706472180 | SIO2HL | 1.56028900        | 141.622     |
| 43 | -340.049722714AS | 16.312593082 | HE193  | 0.99971200        | 146.673     |
| 44 | 0.000000000      | 33.926710616 | HE193  | 0.99971200        | 142.237     |
| 45 | 1026.963905660   | 42.907368082 | SIO2HL | 1.56028900        | 142.523     |
| 46 | -417.465602619   | 1.075432853  | HE193  | 0.99971200        | 142.184     |
| 47 | 189.031074062    | 41.889218814 | SIO2HL | 1.56028900        | 121.251     |
| 48 | 698.095904580AS  | 1.076370948  | HE193  | 0.99971200        | 117.434     |
| 49 | 309.988479121    | 34.053123871 | SIO2HL | 1.56028900        | 91.356      |
| 50 | 167.347263939    | 1.038746212  | HE193  | 0.99971200        | 84.177      |
| 51 | 123.915863411    | 79.999373259 | SIO2HL | 1.56028900        | 77.713      |
| 52 | 0.000000000      | 10.366030727 | IMMERS | 1.370000000       | 25.089      |
| 53 | 0.000000000      | 0.000000000  |        | 1.000000000       | 11.000      |

## 表4

非球面常数

表面No. 4

|    |                  |
|----|------------------|
| K  | 0.0000           |
| C1 | 2.26522214e-007  |
| C2 | -3.59236651e-011 |
| C3 | 2.92133725e-015  |
| C4 | -3.77696824e-019 |
| C5 | 7.96388858e-024  |
| C6 | 3.91986385e-027  |
| C7 | -4.54711324e-031 |
| C8 | 0.00000000e+000  |
| C9 | 0.00000000e+000  |

表面No. 6

|    |                  |
|----|------------------|
| K  | 0.0000           |
| C1 | -1.19063117e-007 |
| C2 | 1.94138266e-011  |
| C3 | -1.81962009e-015 |
| C4 | 2.25193097e-019  |
| C5 | -2.25566558e-023 |
| C6 | 1.19237134e-027  |
| C7 | -2.51584924e-032 |
| C8 | 0.00000000e+000  |
| C9 | 0.00000000e+000  |

表面No. 17

|    |                  |
|----|------------------|
| K  | 0.0000           |
| C1 | 1.74375723e-011  |
| C2 | -2.04139734e-014 |
| C3 | 7.67666306e-019  |
| C4 | -1.93715606e-023 |
| C5 | 1.92834024e-027  |
| C6 | -7.02565837e-032 |
| C7 | 1.14576119e-036  |
| C8 | 0.00000000e+000  |
| C9 | 0.00000000e+000  |

表面No. 25

|    |                  |
|----|------------------|
| K  | 0.0000           |
| C1 | -6.99705361e-008 |
| C2 | -3.25537639e-012 |
| C3 | -2.93013408e-016 |
| C4 | -9.17751598e-020 |
| C5 | 4.34261555e-023  |
| C6 | -1.01901896e-026 |
| C7 | 1.42841266e-030  |
| C8 | 0.00000000e+000  |
| C9 | 0.00000000e+000  |

表面No. 29

|    |                  |
|----|------------------|
| K  | 0.0000           |
| C1 | 3.01668174e-008  |
| C2 | -4.16186211e-012 |
| C3 | -2.10017649e-017 |
| C4 | 1.39690646e-020  |
| C5 | -1.51163159e-024 |
| C6 | 6.56920089e-029  |
| C7 | -3.15416270e-033 |
| C8 | 0.00000000e+000  |
| C9 | 0.00000000e+000  |

表面No. 34

|    |                  |
|----|------------------|
| K  | 0.0000           |
| C1 | -4.23637017e-009 |
| C2 | -3.29710303e-014 |
| C3 | -3.52756803e-018 |
| C4 | -4.13266120e-023 |
| C5 | -2.18653880e-027 |
| C6 | 2.27691141e-031  |
| C7 | -8.70596013e-036 |
| C8 | 0.00000000e+000  |
| C9 | 0.00000000e+000  |

表面No. 41

|    |                  |
|----|------------------|
| K  | 0.0000           |
| C1 | 3.45855942e-009  |
| C2 | 5.47566277e-014  |
| C3 | -3.85610770e-018 |
| C4 | 2.74041138e-023  |
| C5 | 1.86632362e-027  |
| C6 | -3.44742394e-032 |
| C7 | 3.29571792e-038  |
| C8 | 0.00000000e+000  |
| C9 | 0.00000000e+000  |

表面No. 43

|    |                  |
|----|------------------|
| K  | 0.0000           |
| C1 | -3.35873802e-010 |
| C2 | 9.63322458e-014  |
| C3 | -7.64415866e-019 |
| C4 | 2.00153471e-023  |
| C5 | -1.98329358e-027 |
| C6 | 5.52524526e-032  |
| C7 | -4.80876507e-037 |
| C8 | 0.00000000e+000  |
| C9 | 0.00000000e+000  |

表面No. 48

|    |                  |
|----|------------------|
| K  | 0.0000           |
| C1 | -2.25289484e-009 |
| C2 | 2.62711822e-013  |
| C3 | 3.12883195e-018  |
| C4 | -2.96009757e-022 |
| C5 | 1.93969203e-026  |
| C6 | -7.02702044e-031 |
| C7 | 1.40339412e-035  |
| C8 | 0.00000000e+000  |
| C9 | 0.00000000e+000  |



表5

| 表面 | 半径               | 厚度           | 透镜     | 折射率<br>???.??-nm | 1/2<br>自由直径 |
|----|------------------|--------------|--------|------------------|-------------|
| 0  | 0.000000000      | 21.580160000 | L710   | 1.00000000       | 55.000      |
| 1  | 0.000000000      | 5.521199992  | L710   | 1.00000000       | 59.973      |
| 2  | -653.380153342   | 10.769637537 | CAF2HL | 1.55848720       | 60.652      |
| 3  | 234.066815376    | 14.392447066 | HE193  | 1.00000000       | 64.672      |
| 4  | -541.443785623AS | 8.069018137  | CAF2HL | 1.55848720       | 66.216      |
| 5  | 809.687192810    | 22.060952617 | HE193  | 1.00000000       | 70.663      |
| 6  | 437.027712375AS  | 16.925405940 | CAF2HL | 1.55848720       | 88.269      |
| 7  | 315.047933823    | 22.322216303 | HE193  | 1.00000000       | 94.661      |
| 8  | -105E.166104070  | 68.241607282 | CAF2HL | 1.55848720       | 97.341      |
| 9  | -440.417777767   | 1.950157109  | HE193  | 1.00000000       | 124.495     |
| 10 | -833.235756565   | 45.702958015 | CAF2HL | 1.55848720       | 130.520     |
| 11 | -248.097167968   | 6.567867993  | HE193  | 1.00000000       | 136.785     |
| 12 | -667.629333065   | 58.527118374 | CAF2HL | 1.55848720       | 147.021     |
| 13 | -230.265801432   | 1.000000000  | HE193  | 1.00000000       | 152.069     |
| 14 | -635.989091493   | 52.689533957 | CAF2HL | 1.55848720       | 151.782     |
| 15 | -420.897980530   | 1.000000000  | HE193  | 1.00000000       | 155.231     |
| 16 | 682.574050518    | 42.565469096 | CAF2HL | 1.55848720       | 150.819     |
| 17 | -650.602325928AS | 1.000000000  | HE193  | 1.00000000       | 149.697     |
| 18 | 143.909393739    | 39.312156678 | CAF2HL | 1.55848720       | 117.562     |
| 19 | 170.361039751    | 1.000000000  | HE193  | 1.00000000       | 106.663     |
| 20 | 127.366697165    | 33.064705940 | CAF2HL | 1.55848720       | 99.558      |
| 21 | 149.757517850    | 27.658696477 | HE193  | 1.00000000       | 88.267      |
| 22 | 893.404652749    | 8.000000000  | CAF2HL | 1.55848720       | 85.687      |
| 23 | 85.474739309     | 42.082501866 | HE193  | 1.00000000       | 67.021      |
| 24 | -554.412838267   | 8.000000000  | CAF2HL | 1.55848720       | 65.854      |
| 25 | 133.887772525AS  | 36.097576773 | HE193  | 1.00000000       | 63.605      |
| 26 | -202.032636775   | 8.000000000  | CAF2HL | 1.55848720       | 64.919      |
| 27 | 1368.827225050   | 39.670298843 | HE193  | 1.00000000       | 68.993      |
| 28 | -87.722719327    | 8.150939605  | CAF2HL | 1.55848720       | 70.827      |
| 29 | -341.867554503AS | 7.243142706  | HE193  | 1.00000000       | 89.680      |
| 30 | -270.353972311   | 34.812062471 | CAF2HL | 1.55848720       | 92.272      |
| 31 | 131.925970131    | 1.000000000  | HE193  | 1.00000000       | 97.490      |
| 32 | -356.379287378   | 37.238470508 | CAF2HL | 1.55848720       | 109.741     |
| 33 | -160.486735217   | 1.000000000  | HE193  | 1.00000000       | 113.010     |
| 34 | 738.417353927AS  | 44.411516365 | CAF2HL | 1.55848720       | 121.086     |
| 35 | -285.991760803   | 26.777077207 | HE193  | 1.00000000       | 121.404     |
| 36 | -169.413078216   | 8.000000000  | CAF2HL | 1.55848720       | 120.698     |
| 37 | 1233.439177410   | 5.704973599  | HE193  | 1.00000000       | 135.519     |
| 38 | 1968.954811160   | 42.925033480 | CAF2HL | 1.55848720       | 136.862     |
| 39 | -334.436426428   | 1.000000000  | HE193  | 1.00000000       | 138.799     |
| 40 | 448.482885926    | 53.515273929 | CAF2HL | 1.55848720       | 145.983     |
| 41 | -481.778223591AS | 38.864604302 | HE193  | 1.00000000       | 145.641     |
| 42 | -257.207339099   | 39.651511432 | CAF2HL | 1.55848720       | 141.395     |
| 43 | -352.351244424AS | 8.074724759  | HE193  | 1.00000000       | 146.219     |
| 44 | 0.000000000      | 8.135112666  | HE193  | 1.00000000       | 142.806     |
| 45 | 1571.538613070   | 41.393617207 | CAF2HL | 1.55848720       | 143.060     |
| 46 | -395.530190539   | 4.955628551  | HE193  | 1.00000000       | 142.883     |
| 47 | 189.594554041    | 44.893603417 | CAF2HL | 1.55848720       | 122.058     |
| 48 | 737.400220731AS  | 1.254530428  | HE193  | 1.00000000       | 117.739     |
| 49 | 113.971025132    | 34.168140572 | CAF2HL | 1.55848720       | 91.979      |
| 50 | 186.560340242    | 1.000000000  | HE193  | 1.00000000       | 85.029      |
| 51 | 124.935012572    | 92.227372544 | CAF2HL | 1.55848720       | 76.952      |
| 52 | 0.000000000      | 0.050000026  | IMMERS | 1.37000000       | 11.068      |
| 53 | 0.000000000      | 0.000000000  |        | 1.00000000       | 11.000      |

表6

非球面常数

| 表面No. | 4                |
|-------|------------------|
| K     | 7.3965           |
| C1    | 2.19490389e-007  |
| C2    | -3.18478613e-011 |
| C3    | 2.65699241e-015  |
| C4    | -3.54396715e-019 |
| C5    | 1.30925174e-023  |
| C6    | 2.26447806e-027  |
| C7    | -2.54478123e-031 |
| C8    | 0.00000000e+000  |
| C9    | 0.00000000e+000  |

| 表面No. | 6                |
|-------|------------------|
| K     | 0.6253           |
| C1    | -1.14294859e-007 |
| C2    | 1.87842360e-011  |
| C3    | -1.79164088e-015 |
| C4    | 2.34304280e-019  |
| C5    | -2.31194495e-023 |
| C6    | 1.12536497e-027  |
| C7    | -2.03074756e-032 |
| C8    | 0.00000000e+000  |
| C9    | 0.00000000e+000  |

| 表面No. | 17               |
|-------|------------------|
| K     | 0.7878           |
| C1    | -3.05430457e-010 |
| C2    | -4.89773136e-014 |
| C3    | 1.06523190e-018  |
| C4    | -1.47516954e-023 |
| C5    | 1.34357246e-027  |
| C6    | -5.23906249e-032 |
| C7    | 8.17069597e-037  |
| C8    | 0.00000000e+000  |
| C9    | 0.00000000e+000  |

| 表面No. | 25               |
|-------|------------------|
| K     | 0.0013           |
| C1    | -6.90183181e-008 |
| C2    | -2.08803493e-012 |
| C3    | -3.48958288e-016 |
| C4    | -3.58451964e-020 |
| C5    | 2.16254654e-023  |
| C6    | -3.98801026e-027 |
| C7    | 6.60002235e-031  |
| C8    | 0.00000000e+000  |
| C9    | 0.00000000e+000  |

| 表面No. | 29               |
|-------|------------------|
| K     | -0.0334          |
| C1    | 3.02609727e-008  |
| C2    | -3.89225347e-012 |
| C3    | -2.10302538e-017 |
| C4    | 1.38850354e-020  |
| C5    | -1.75136022e-024 |
| C6    | 9.45164389e-029  |
| C7    | -4.34831621e-033 |
| C8    | 0.00000000e+000  |
| C9    | 0.00000000e+000  |

| 表面No. | 34               |
|-------|------------------|
| K     | 1.5440           |
| C1    | -3.43367330e-009 |
| C2    | -1.34450662e-014 |
| C3    | -2.29266384e-018 |
| C4    | 9.75729676e-023  |
| C5    | -1.35202712e-026 |
| C6    | 8.80518329e-031  |
| C7    | -2.65068179e-035 |
| C8    | 0.00000000e+000  |
| C9    | 0.00000000e+000  |

| 表面No. | 41               |
|-------|------------------|
| K     | 0.0872           |
| C1    | 3.26909809e-009  |
| C2    | 7.76009100e-014  |
| C3    | -3.82550397e-018 |
| C4    | 2.28007850e-023  |
| C5    | -2.34153651e-028 |
| C6    | 1.34376006e-032  |
| C7    | -1.01621932e-036 |
| C8    | 0.00000000e+000  |
| C9    | 0.00000000e+000  |

| 表面No. | 43               |
|-------|------------------|
| K     | -0.0312          |
| C1    | -4.99867832e-010 |
| C2    | 1.15316140e-013  |
| C3    | -1.41640795e-018 |
| C4    | 7.05365641e-023  |
| C5    | -2.43649494e-027 |
| C6    | 6.83361566e-032  |
| C7    | -6.25588420e-037 |
| C8    | 0.00000000e+000  |
| C9    | 0.00000000e+000  |

| 表面No. | 48               |
|-------|------------------|
| K     | -1.8716          |
| C1    | -4.01414746e-009 |
| C2    | 1.94301708e-013  |
| C3    | 4.07775004e-018  |
| C4    | -4.70574709e-022 |
| C5    | 2.42642656e-026  |
| C6    | -8.38949812e-031 |
| C7    | 1.38189311e-035  |
| C8    | 0.00000000e+000  |
| C9    | 0.00000000e+000  |

表7

| 表面 | 半径               | 厚度           | 透镜        | 折射率<br>157.6 nm | 1/2<br>自由直径 |
|----|------------------|--------------|-----------|-----------------|-------------|
| 0  | 0.00000000       | 21.980160000 |           |                 | 55.800      |
| 1  | 0.00000000       | 5.694922030  |           |                 | 59.374      |
| 2  | -683.677053960   | 0.000016965  | CAF2HL    | 1.55848720      | 60.653      |
| 3  | 241.804510194    | 13.492175419 |           |                 | 64.060      |
| 4  | -561.327374916AS | 8.000000000  | CAF2HL    | 1.55848720      | 65.556      |
| 5  | 699.454774317    | 23.282413511 |           |                 | 69.067      |
| 6  | 400.792577467AS  | 11.762291230 | CAF2HL    | 1.55848720      | 88.232      |
| 7  | 293.294615517    | 22.305108600 |           |                 | 92.839      |
| 8  | -1055.962319550  | 71.454892862 | CAF2HL    | 1.55848720      | 95.242      |
| 9  | -483.111728442   | 2.387528569  |           |                 | 124.181     |
| 10 | -967.495111648   | 48.847817148 | CAF2HL    | 1.55848720      | 130.362     |
| 11 | -235.898512938   | 5.659224997  |           |                 | 136.444     |
| 12 | -579.940954244   | 54.879651202 | CAF2HL    | 1.55848720      | 145.324     |
| 13 | -221.437672898   | 1.000000000  |           |                 | 149.602     |
| 14 | -775.372223325   | 15.081823940 | CAF2HL    | 1.55848720      | 147.807     |
| 15 | -925.919668017   | 1.000000000  |           |                 | 148.157     |
| 16 | 660.302511324    | 38.720317303 | CAF2HL    | 1.55848720      | 144.440     |
| 17 | -732.46794729AS  | 1.000000000  |           |                 | 143.303     |
| 18 | 147.955956945    | 38.541140120 | CAF2HL    | 1.55848720      | 116.315     |
| 19 | 174.954421407    | 1.000000000  |           |                 | 105.360     |
| 20 | 118.333525649    | 33.404122786 | CAF2HL    | 1.55848720      | 96.491      |
| 21 | 140.216192098    | 28.013496674 |           |                 | 85.972      |
| 22 | 788.027935344    | 8.457239650  | CAF2HL    | 1.55848720      | 83.494      |
| 23 | 83.038312631     | 41.178404325 |           |                 | 65.374      |
| 24 | -597.396381251   | 8.000000000  | CAF2HL    | 1.55848720      | 64.284      |
| 25 | 136.956018017AS  | 31.536496068 |           |                 | 62.327      |
| 26 | -200.199242002   | 8.000000000  | CAF2HL    | 1.55848720      | 63.210      |
| 27 | 1650.730497600   | 43.442178500 |           |                 | 66.958      |
| 28 | -86.362069271    | 8.210360232  | CAF2HL    | 1.55848720      | 69.385      |
| 29 | -350.179451570AS | 2.567422592  |           |                 | 69.255      |
| 30 | -280.601605332   | 34.872981631 | CAF2HL    | 1.55848720      | 92.027      |
| 31 | -132.713543395   | 1.004709559  |           |                 | 97.215      |
| 32 | -361.662148157   | 37.722697596 | CAF2HL    | 1.55848720      | 109.325     |
| 33 | -155.165877630   | 1.000000000  |           |                 | 112.571     |
| 34 | 750.946018427AS  | 43.541363913 | CAF2HL    | 1.55848720      | 120.144     |
| 35 | -265.800551705   | 25.930047100 |           |                 | 120.440     |
| 36 | -169.581349559   | 8.030377840  | CAF2HL    | 1.55848720      | 119.789     |
| 37 | 1077.110485570   | 5.682989489  |           |                 | 134.185     |
| 38 | 1605.653205960   | 43.332820801 | CAF2HL    | 1.55848720      | 135.539     |
| 39 | -333.794963037   | 1.000000000  |           |                 | 137.425     |
| 40 | 448.584289713    | 52.027765048 | CAF2HL    | 1.55848720      | 144.043     |
| 41 | -487.266144069AS | 37.362834300 |           |                 | 143.681     |
| 42 | -256.680121302   | 40.279714930 | CAF2HL    | 1.55848720      | 139.838     |
| 43 | -353.759022671AS | 7.564240001  |           |                 | 144.656     |
| 44 | 0.000000000      | 10.832272687 |           |                 | 141.334     |
| 45 | 1499.148908820   | 42.690870531 | CAF2HL    | 1.55848720      | 141.660     |
| 46 | -394.545474104   | 2.390581943  |           |                 | 141.445     |
| 47 | 188.988735298    | 43.117430646 | CAF2HL    | 1.55848720      | 121.630     |
| 48 | 731.593986095AS  | 1.000000000  |           |                 | 117.999     |
| 49 | 114.585057039    | 38.926813476 | CAF2HL    | 1.55848720      | 92.421      |
| 50 | 184.018635075    | 1.000000000  |           |                 | 85.485      |
| 51 | 123.357013160    | 93.333990149 | CAF2HL    | 1.55848720      | 77.332      |
| 52 | 0.000000000      | 0.050000000  | Innersion | 1.37000000      | 11.068      |
| 53 | 0.000000000      | 0.000000000  |           |                 | 31.000      |

表8

非球面常数

| 表面No. | 4                 | 表面No. | 34               |
|-------|-------------------|-------|------------------|
| K     | 2.4014            | K     | 1.5943           |
| C1    | 2.24623581e-007   | C1    | -3.41875063e-009 |
| C2    | -3.327717029e-011 | C2    | -1.06207572e-014 |
| C3    | 2.75311747e-015   | C3    | -2.75870187e-018 |
| C4    | -3.79240993e-019  | C4    | 1.25443795e-022  |
| C5    | 1.61661324e-023   | C5    | -1.53842992e-026 |
| C6    | 2.15578277e-027   | C6    | 9.81335165e-031  |
| C7    | -2.81011737e-031  | C7    | -2.88557010e-035 |
| C8    | 0.00000000e+000   | C8    | 0.00000000e+000  |
| C9    | 0.00000000e+000   | C9    | 0.00000000e+000  |
| 表面No. | 6                 | 表面No. | 41               |
| K     | 1.5259            | K     | 0.1099           |
| C1    | -1.12174954e-007  | C1    | 3.24105758e-009  |
| C2    | 1.85234618e-011   | C2    | 7.37346572e-014  |
| C3    | -1.793284980e-015 | C3    | -3.58460435e-018 |
| C4    | 2.32576675e-019   | C4    | 2.55537441e-023  |
| C5    | -2.32368876e-023  | C5    | -1.78486202e-027 |
| C6    | 1.17478944e-027   | C6    | 1.62622698e-032  |
| C7    | -2.27644098e-032  | C7    | -1.16103266e-036 |
| C8    | 0.00000000e+000   | C8    | 0.00000000e+000  |
| C9    | 0.00000000e+000   | C9    | 0.00000000e+000  |
| 表面No. | 17                | 表面No. | 43               |
| K     | 1.0236            | K     | 0.0331           |
| C1    | -4.04104504e-010  | C1    | -4.94661761e-010 |
| C2    | -5.52277210e-014  | C2    | 1.09503739e-013  |
| C3    | 1.07782813e-018   | C3    | -1.45124635e-018 |
| C4    | -9.66877933e-024  | C4    | 6.84609756e-023  |
| C5    | 1.93104487e-027   | C5    | -2.60450711e-027 |
| C6    | -7.57233584e-032  | C6    | 7.57276741e-032  |
| C7    | 1.33745628e-036   | C7    | -7.11474674e-037 |
| C8    | 0.00000000e+000   | C8    | 0.00000000e+000  |
| C9    | 0.00000000e+000   | C9    | 0.00000000e+000  |
| 表面No. | 25                | 表面No. | 48               |
| K     | 0.0096            | K     | -1.6262          |
| C1    | -6.73079580e-002  | C1    | -4.00081230e-009 |
| C2    | -2.6611173e-012   | C2    | 1.92491101e-013  |
| C3    | -4.29260635e-016  | C3    | 3.74576393e-018  |
| C4    | -8.53058144e-020  | C4    | -4.50566284e-022 |
| C5    | 3.61027613e-023   | C5    | 2.41249474e-026  |
| C6    | -7.30825628e-027  | C6    | -8.61661412e-031 |
| C7    | 1.01538199e-030   | C7    | 1.44171993e-035  |
| C8    | 0.00000000e+000   | C8    | 0.00000000e+000  |
| C9    | 0.00000000e+000   | C9    | 0.00000000e+000  |
| 表面No. | 29                |       |                  |
| K     | -0.2765           |       |                  |
| C1    | 3.11338863e-008   |       |                  |
| C2    | -4.05777560e-012  |       |                  |
| C3    | -6.25958384e-016  |       |                  |
| C4    | 1.47181035e-020   |       |                  |
| C5    | -1.67736576e-024  |       |                  |
| C6    | 7.45870419e-029   |       |                  |
| C7    | -2.84782511e-033  |       |                  |
| C8    | 0.00000000e+000   |       |                  |
| C9    | 0.00000000e+000   |       |                  |

表9

| 表面 | 半径                | 厚度           | 透镜     | 折射率<br>293.368 nm | 1/2<br>自由直径 |
|----|-------------------|--------------|--------|-------------------|-------------|
| 0  | 0.000000000       | 21.980160000 |        | 1.000000000       | 56.080      |
| 1  | 0.000000000       | 2.246886384  | L710   | 0.999982000       | 61.197      |
| 2  | -7758.072975441   | 8.000000000  | SIO2HL | 1.560289000       | 61.896      |
| 3  | 159.789181967     | 7.529172915  | HE193  | 0.999712000       | 63.992      |
| 4  | 1890.369649282AS  | 8.000000000  | SIO2HL | 1.560289000       | 65.078      |
| 5  | 266.213261606     | 15.157771412 | HE193  | 0.999712000       | 68.460      |
| 6  | 3183.174654849AS  | 8.000000000  | SIO2HL | 1.560289000       | 72.301      |
| 7  | 542.737427921     | 25.228019508 | HE193  | 0.999712000       | 76.281      |
| 8  | -190.186655474    | 54.303344533 | SIO2HL | 1.560289000       | 78.244      |
| 9  | -200.972554669    | 1.000000000  | HE193  | 0.999712000       | 102.934     |
| 10 | -1181.739114120   | 41.618091168 | SIO2HL | 1.560289000       | 116.315     |
| 11 | -200.899751289    | 1.000000000  | HE193  | 0.999712000       | 119.335     |
| 12 | -345.801617038    | 34.756009233 | SIO2HL | 1.560289000       | 122.895     |
| 13 | -183.035545027    | 1.000000000  | HE193  | 0.999712000       | 125.001     |
| 14 | 468.598304219     | 28.888366130 | SIO2HL | 1.560289000       | 119.583     |
| 15 | -1579.330378954AR | 1.000000000  | HE193  | 0.999712000       | 118.410     |
| 16 | 130.622577421     | 25.607493426 | SIO2HL | 1.560289000       | 101.535     |
| 17 | 167.663753666     | 1.000000000  | HE193  | 0.999712000       | 96.903      |
| 18 | 109.515011627     | 33.485629573 | SIO2HL | 1.560289000       | 88.871      |
| 19 | 139.897752059     | 27.284753341 | HE193  | 0.999712000       | 79.284      |
| 20 | 8434.054206242    | 8.000000000  | SIO2HL | 1.560289000       | 76.872      |
| 21 | 75.286573304      | 30.508120723 | HE193  | 0.999712000       | 60.167      |
| 22 | 712.917049547     | 8.000000000  | SIO2HL | 1.560289000       | 59.980      |
| 23 | 137.047955149AS   | 41.376149828 | HE193  | 0.999712000       | 58.756      |
| 24 | -120.168111858    | 8.000000000  | SIO2HL | 1.560289000       | 60.070      |
| 25 | -335.689995101    | 26.955101014 | HE193  | 0.999712000       | 64.725      |
| 26 | -86.294324443     | 6.405631441  | SIO2HL | 1.560289000       | 65.622      |
| 27 | -401.221576575AS  | 6.791819241  | HE193  | 0.999712000       | 82.386      |
| 28 | -295.528316934    | 33.017957091 | SIO2HL | 1.560289000       | 84.761      |
| 29 | -156.211920654    | 1.000000000  | HE193  | 0.999712000       | 53.276      |
| 30 | -268.979137216    | 33.049041389 | SIO2HL | 1.560289000       | 99.716      |
| 31 | -143.116211841    | 1.000000000  | HE193  | 0.999712000       | 103.445     |
| 32 | 472.893981029AS   | 41.687451272 | SIO2HL | 1.560289000       | 115.709     |
| 33 | -346.217411641    | 22.889307349 | HE193  | 0.999712000       | 116.094     |
| 34 | -107.601096847    | 12.645469238 | SIO2HL | 1.560289000       | 115.710     |
| 35 | -359.852656461    | 1.000000000  | HE193  | 0.999712000       | 121.777     |
| 36 | 722.017664882     | 60.459509481 | SIO2HL | 1.560289000       | 125.218     |
| 37 | -1816.432711581AS | 24.260456335 | HE193  | 0.999712000       | 125.322     |
| 38 | 2199.260274610    | 24.178147653 | SIO2HL | 1.560289000       | 124.815     |
| 39 | -1512.556721635   | 8.000000000  | HE193  | 0.999712000       | 124.440     |
| 40 | 0.000000000       | 14.309578556 | HE193  | 0.999712000       | 123.088     |
| 41 | 1738.196398601    | 35.559449287 | SIO2HL | 1.560289000       | 124.310     |
| 42 | -429.627570104AS  | 1.000000000  | HE193  | 0.999712000       | 124.575     |
| 43 | 179.589162742     | 55.687793359 | SIO2HL | 1.560289000       | 115.507     |
| 44 | 509.02798743AS    | 10.530033179 | HE193  | 0.999712000       | 105.186     |
| 45 | 136.621156961     | 53.097791469 | SIO2HL | 1.560289000       | 89.320      |
| 46 | 137.713831670     | 1.000000000  | HE193  | 0.999712000       | 67.001      |
| 47 | 93.326477153      | 90.505495277 | SIO2HL | 1.560289000       | 62.339      |
| 48 | 0.000000000       | 1.000000545  | IMMERS | 1.560000000       | 14.735      |
| 49 | 0.000000000       | 0.000000000  |        | 1.000000000       | 14.020      |

表10

非球面常数

| 表面No. | 4                |
|-------|------------------|
| K     | 0.0000           |
| C1    | 2.83231001e-007  |
| C2    | -3.99703415e-011 |
| C3    | 2.76850090e-015  |
| C4    | -4.54887122e-019 |
| C5    | -5.66904777e-024 |
| C6    | 5.03662466e-027  |
| C7    | -4.52060360e-031 |
| C8    | 0.00000000e+000  |
| C9    | 0.00000000e+000  |

| 表面No. | 6                |
|-------|------------------|
| K     | 0.0000           |
| C1    | -1.16706261e-007 |
| C2    | 2.00348321e-011  |
| C3    | -1.51130378e-015 |
| C4    | 3.05660955e-019  |
| C5    | -1.78658953e-023 |
| C6    | 3.15835636e-027  |
| C7    | -4.23595936e-031 |
| C8    | 0.00000000e+000  |
| C9    | 0.00000000e+000  |

| 表面No. | 15               |
|-------|------------------|
| K     | 0.0000           |
| C1    | -9.37524970e-010 |
| C2    | -2.58161066e-013 |
| C3    | -5.12306559e-018 |
| C4    | 1.80598481e-022  |
| C5    | 3.60539800e-027  |
| C6    | 3.85878819e-031  |
| C7    | -3.50350744e-037 |
| C8    | 0.00000000e+000  |
| C9    | 0.00000000e+000  |

| 表面No. | 23               |
|-------|------------------|
| K     | 0.0000           |
| C1    | -9.05676602e-008 |
| C2    | -7.64727914e-013 |
| C3    | -9.31867049e-016 |
| C4    | 9.20035750e-020  |
| C5    | -9.15433014e-023 |
| C6    | 1.32736106e-026  |
| C7    | -9.23872382e-031 |
| C8    | 0.00000000e+000  |
| C9    | 0.00000000e+000  |

| 表面No. | 27               |
|-------|------------------|
| K     | 0.0000           |
| C1    | 2.51519254e-008  |
| C2    | -4.37829106e-012 |
| C3    | 2.68987306e-017  |
| C4    | 1.45024261e-020  |
| C5    | -1.31152094e-024 |
| C6    | 1.04657156e-030  |
| C7    | -9.71174549e-034 |
| C8    | 0.00000000e+000  |
| C9    | 0.00000000e+000  |

| 表面No. | 32               |
|-------|------------------|
| K     | 0.0000           |
| C1    | -2.59168418e-009 |
| C2    | -8.93760219e-014 |
| C3    | -4.25486946e-018 |
| C4    | 3.13097668e-022  |
| C5    | -1.87333640e-026 |
| C6    | 1.28572875e-030  |
| C7    | -3.94471730e-035 |
| C8    | 0.00000000e+000  |
| C9    | 0.00000000e+000  |

| 表面No. | 37               |
|-------|------------------|
| K     | 0.0000           |
| C1    | 3.92265908e-009  |
| C2    | 5.90432031e-014  |
| C3    | -4.61273256e-018 |
| C4    | 5.09437288e-023  |

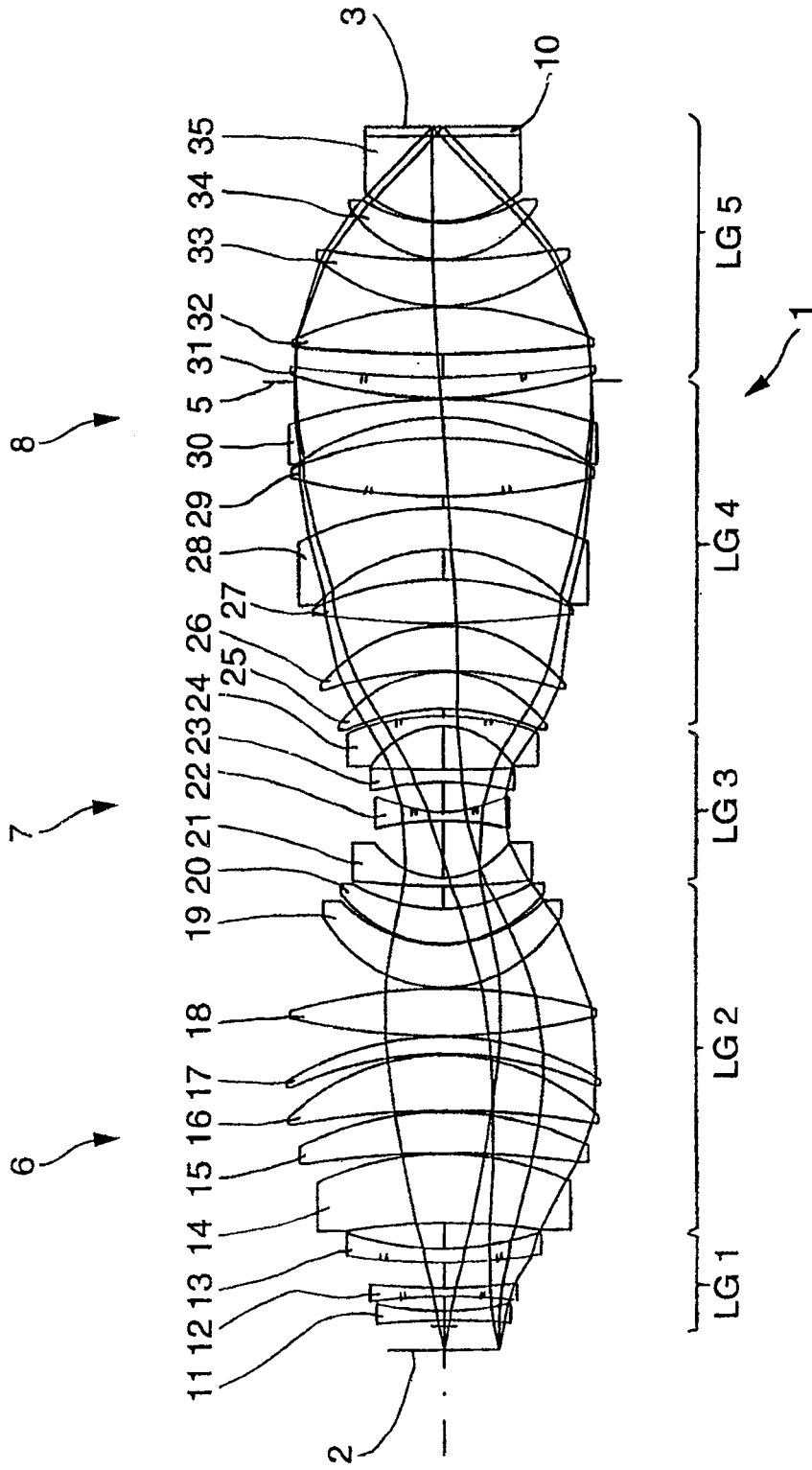


图 1

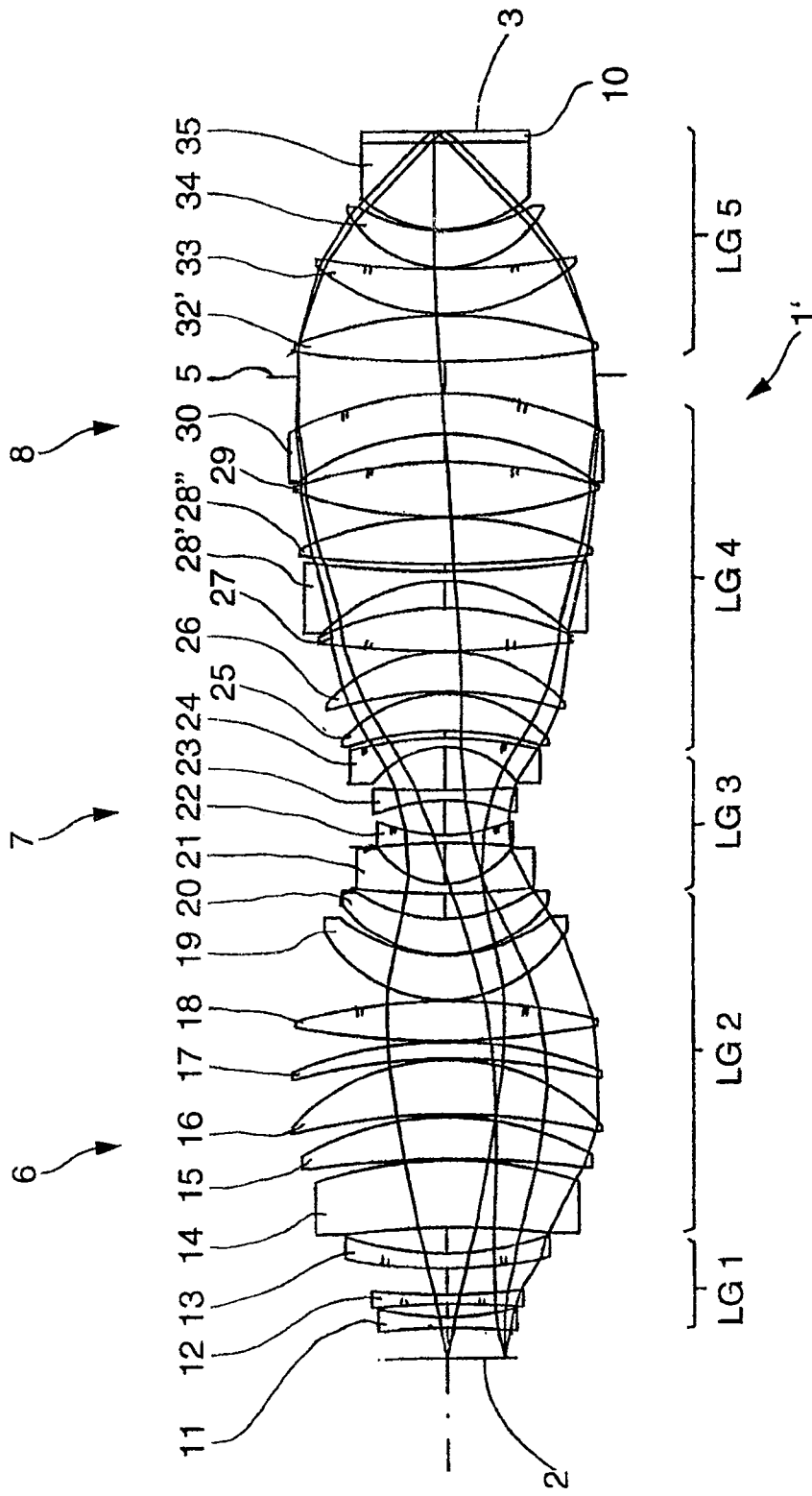


图 2



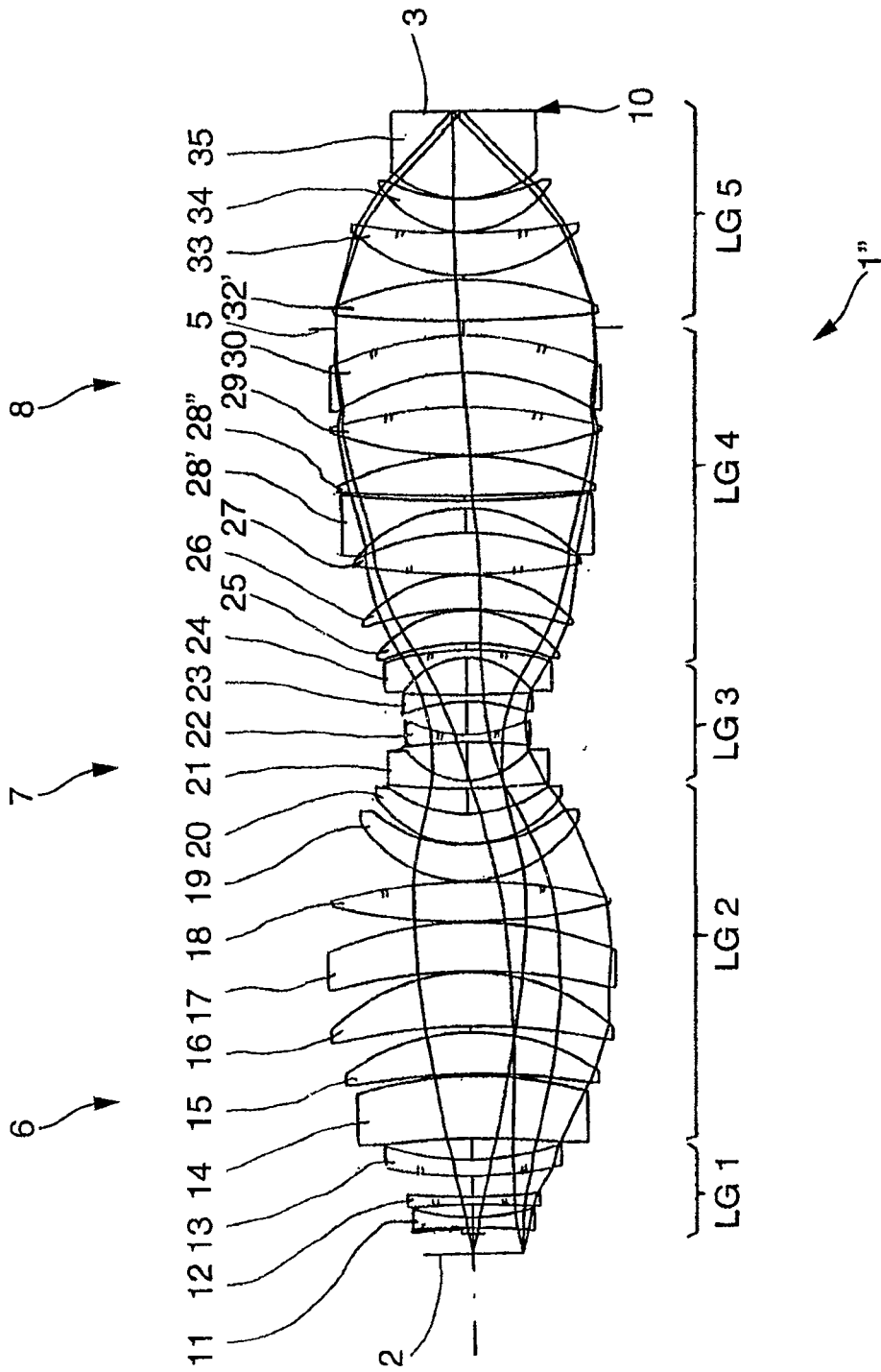


图 3

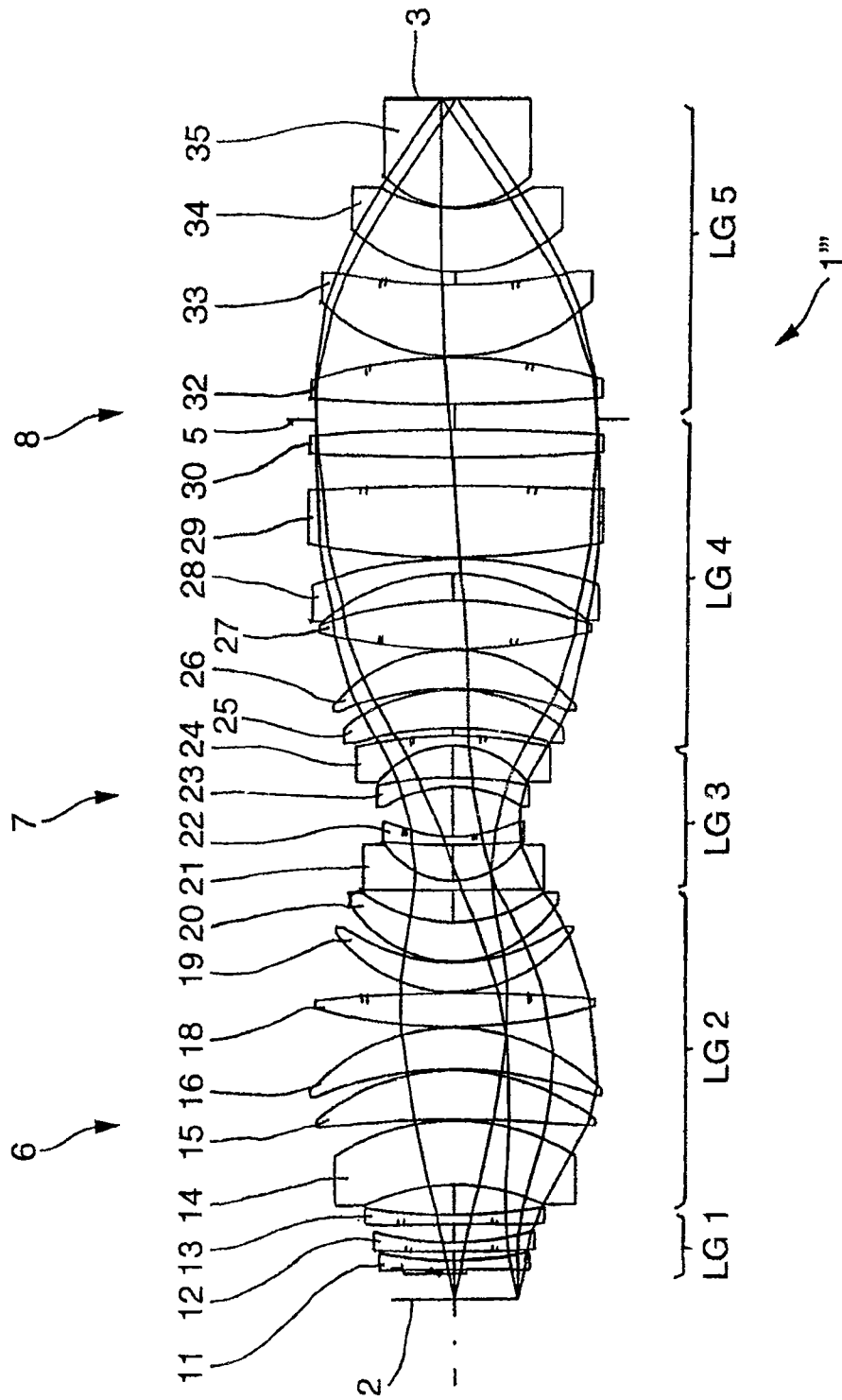


图 4