



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104094161 B

(45)授权公告日 2016.08.10

(21)申请号 201280067266.7

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2012.10.12

G02B 27/09(2006.01)

(30)优先权数据

G02B 13/00(2006.01)

2012-006489 2012.01.16 JP

G02B 13/18(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

G02B 19/00(2006.01)

2014.07.16

(56)对比文件

(86)PCT国际申请的申请数据

US 3476463 A, 1969.11.04,

PCT/JP2012/076501 2012.10.12

JP 2003344762 A, 2003.12.03,

(87)PCT国际申请的公布数据

JP H10153750 A, 1998.06.09,

W02013/108450 JA 2013.07.25

CN 101943845 A, 2011.01.12,

(73)专利权人 浜松光子学株式会社

CN 1247992 A, 2000.03.22,

地址 日本,静冈县

CN 102135665 A, 2011.07.27,

审查员 徐红梅

(72)发明人 伊藤晴康 安田敬史

权利要求书3页 说明书20页 附图27页

(74)专利代理机构 北京尚诚知识产权代理有限公司 11322

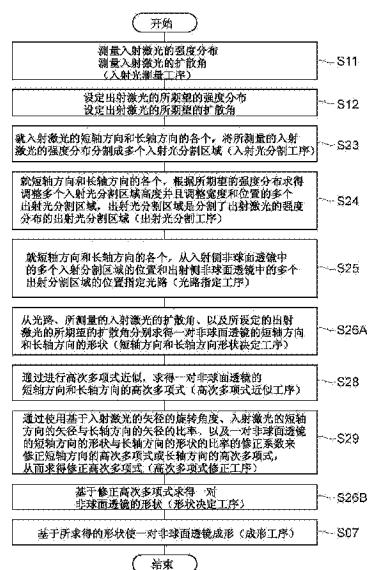
代理人 杨琦

(54)发明名称

激光整形用光学部件的设计方法、激光整形用光学部件的制造方法及激光整形用光学系统

(57)摘要

本发明的一个实施方式所涉及的激光整形用光学部件的设计方法、激光整形用光学部件的制造方法测量入射激光的强度分布，就入射激光的短轴方向和长轴方向的各个，从测量的入射激光的强度分布和所期望的强度分布，分别求得一对非球面透镜的短轴方向和长轴方向的形状，分别进行一对非球面透镜的短轴方向和长轴方向的形状的高次多项式近似，使用修正系数修正短轴方向的高次多项式或长轴方向的高次多项式，并基于修正高次多项式求得一对非球面透镜的形状。



1. 一种激光整形用光学部件的设计方法，其特征在于：

是具备一对非球面透镜并生成将具有不同的扩散角的入射激光的强度分布整形成所期望的强度分布的出射激光的激光整形用光学部件的设计方法，

其包含：

入射光测量工序，其测量所述入射激光的强度分布；

入射光分割工序，其在所述一对非球面透镜中的入射侧非球面透镜中，就所述入射激光的短轴方向和长轴方向的各个，在分布方向上分割所测量的所述入射激光的强度分布来求得多个入射光分割区域；

出射光分割工序，其在所述一对非球面透镜中的出射侧非球面透镜中，就所述短轴方向和长轴方向的各个，通过根据所述所期望的强度分布调整所述多个入射光分割区域各自的高度，并且调整分布方向的宽度和位置来求得该多个出射光分割区域，所述多个出射光分割区域是在分布方向上分割了所述出射激光的强度分布的多个出射光分割区域；

光路指定工序，其就所述短轴方向和长轴方向的各个，从所述入射侧非球面透镜中的所述多个入射光分割区域的分布方向的位置和所述出射侧非球面透镜中的对应的所述多个出射光分割区域的分布方向的位置指定光路；

短轴方向和长轴方向形状决定工序，其从所述光路分别求得所述一对非球面透镜的所述短轴方向和所述长轴方向的形状；

高次多项式近似工序，其通过分别进行所述一对非球面透镜的所述短轴方向和所述长轴方向的形状的高次多项式近似，从而分别求得所述短轴方向和所述长轴方向的高次多项式；

高次多项式修正工序，其通过使用基于所述入射激光的矢径的旋转角度、所述入射激光的短轴方向的矢径的最大值与长轴方向的矢径的最大值的比率、以及所述一对非球面透镜各自的所述短轴方向的非球面的高度的最大值与所述长轴方向的非球面的高度的最大值的比率的修正系数，来修正所述短轴方向的高次多项式或所述长轴方向的高次多项式，从而求得修正高次多项式；以及

形状决定工序，其基于所述修正高次多项式求得所述一对非球面透镜的形状。

2. 如权利要求1所述的激光整形用光学部件的设计方法，其特征在于：

在所述出射光分割工序中，以所述多个入射光分割区域的能量与对应的所述多个出射光分割区域的能量分别相等的方式，调整所述多个入射光分割区域的分布方向的宽度和位置来求得所述多个出射光分割区域。

3. 如权利要求1所述的激光整形用光学部件的设计方法，其特征在于：

在所述入射光测量工序中，进一步测量所述入射激光的扩散角，

在所述短轴方向和长轴方向形状决定工序中，从所述光路和所测量的所述入射激光的扩散角求得所述入射侧非球面透镜的形状。

4. 如权利要求1所述的激光整形用光学部件的设计方法，其中，在所述短轴方向和长轴方向形状决定工序中，从所述光路和所述出射激光的所期望的扩散角求得所述出射侧非球面透镜的形状。

5. 如权利要求3所述的激光整形用光学部件的设计方法，其特征在于：

在所述短轴方向和长轴方向形状决定工序中，在所述多个入射光分割区域各个中，

从所述光路相对于与所述入射侧非球面透镜的入射侧的平面垂直的主轴所成的角度、以及所测量的所述入射激光的扩散角,求得折射入射激光相对于所述入射侧非球面透镜的出射侧的非球面的入射角,所述折射入射激光是入射激光在所述入射侧非球面透镜的平面折射的折射入射激光,

从所述折射入射激光相对于所述入射侧非球面透镜的非球面的入射角,求得所述入射侧非球面透镜的非球面的高低差。

6. 如权利要求4所述的激光整形用光学部件的设计方法,其特征在于:

在所述短轴方向和长轴方向形状决定工序中,在所述多个出射光分割区域各个中,

从所述光路相对于与所述出射侧非球面透镜的出射侧的平面垂直的主轴所成的角度和所述出射激光的所期望的扩散角,求得所述光路相对于所述出射侧非球面透镜的入射侧的非球面的折射角,

从所述光路相对于所述出射侧非球面透镜的非球面的折射角,求得所述出射侧非球面透镜的非球面的高低差。

7. 如权利要求1所述的激光整形用光学部件的设计方法,其特征在于:

在所述短轴方向和长轴方向形状决定工序中,从所述光路求得所述出射侧非球面透镜的形状,并且以使所述出射激光的相位一致且所述出射激光成为平行光的方式求得所述出射侧非球面透镜的形状。

8. 如权利要求7所述的激光整形用光学部件的设计方法,其特征在于:

在所述短轴方向和长轴方向形状决定工序中,在所述多个出射光分割区域各个中,

从所述光路相对于与所述出射侧非球面透镜的出射侧的平面垂直的主轴所成的角度,求得所述出射激光相对于所述出射侧非球面透镜的入射侧的非球面的出射角,

从所述出射激光相对于所述出射侧非球面透镜的非球面的出射角,求得所述出射侧非球面透镜的非球面的高低差。

9. 一种激光整形用光学部件的制造方法,其特征在于:

是具备一对非球面透镜并生成将具有不同的扩散角的入射激光的强度分布整形成所期望的强度分布的出射激光的激光整形用光学部件的制造方法,

其包含:

入射光测量工序,其测量所述入射激光的强度分布;

入射光分割工序,其在所述一对非球面透镜中的入射侧非球面透镜中,就所述入射激光的短轴方向和长轴方向的各个,在分布方向上分割所测量的所述入射激光的强度分布来求得多个入射光分割区域;

出射光分割工序,其在所述一对非球面透镜中的出射侧非球面透镜中,就所述短轴方向和所述长轴方向的各个,通过根据所期望的强度分布调整所述多个入射光分割区域各自的高度,并且调整分布方向的宽度和位置,从而求得多个出射光分割区域,所述多个出射光分割区域是在分布方向上分割了所述出射激光的强度分布的多个出射光分割区域;

光路指定工序,其就所述短轴方向和所述长轴方向,从所述入射侧非球面透镜中的所述多个入射光分割区域的分布方向的位置和所述出射侧非球面透镜中的对应的所述多个出射光分割区域的分布方向的位置指定光路;

短轴方向和长轴方向形状决定工序,其从所述光路分别求得所述一对非球面透镜的所

述短轴方向和所述长轴方向的形状；

高次多项式近似工序，其通过分别进行所述一对非球面透镜的所述短轴方向和所述长轴方向的形状的高次多项式近似，从而分别求得所述短轴方向和所述长轴方向的高次多项式；

高次多项式修正工序，其通过使用基于所述入射激光的矢径的旋转角度、所述入射激光的短轴方向的矢径的最大值与长轴方向的矢径的最大值的比率、以及所述一对非球面透镜各自的短轴方向的非球面的高度的最大值和长轴方向的非球面的高度的最大值的比率的修正系数，来修正所述短轴方向的高次多项式或所述长轴方向的高次多项式，从而求得修正高次多项式；

形状决定工序，其基于所述修正高次多项式求得所述一对非球面透镜的形状；以及

成形工序，其基于所求得的所述形状使所述一对非球面透镜成形。

10. 一种激光整形用光学系统，其特征在于：

具备：

光源，其生成具有不同的扩散角的激光；

激光整形用光学部件，其由权利要求1所述的激光整形用光学部件的设计方法设计，所述激光整形用光学部件是将来自所述光源的激光的强度分布整形成所期望的强度分布的激光整形用光学部件；以及

聚光透镜，其对来自所述激光整形用光学部件的激光进行聚光。

11. 一种激光整形用光学系统，其特征在于：

具备：

多个光源，其二维排列且分别生成具有不同的扩散角的激光；

多个激光整形用光学部件，其由权利要求1所述的激光整形用光学部件的设计方法设计，所述多个激光整形用光学部件是二维排列且将来自所述多个光源各自的激光的强度分布整形成所期望的强度分布的多个激光整形用光学部件；以及

聚光透镜，其对来自所述多个激光整形用光学部件的激光进行聚光。

激光整形用光学部件的设计方法、激光整形用光学部件的制造方法及激光整形用光学系统

技术领域

[0001] 本发明涉及作为将激光的强度分布整形成任意的强度分布的激光整形用光学部件且至少具备一对非球面透镜的非球面透镜型激光整形用光学部件的设计方法及制造方法。

背景技术

[0002] 一般而言,激光大多具有如高斯分布般中央附近最强且朝向周边逐渐变弱的强度分布。但是,在激光加工等中,期望具有空间上均匀的强度分布的激光。关于这点,在非专利文献1中公开了万花筒型的均化器作为将激光的强度分布整形成空间上均匀的强度分布的激光整形用光学部件,在专利文献1~3中公开了非球面透镜型的均化器作为将激光的强度分布整形成空间上均匀的强度分布的激光整形用光学部件。

[0003] 专利文献1所公开的非球面透镜型的均化器具备通过几何光学的方法导出形状的一对非球面透镜且将具有高斯分布的强度轮廓(profile)的入射激光的强度分布变换成平顶(top-hat)的强度分布。另一方面,专利文献2所公开的非球面透镜型的均化器具备通过波动光学的方法导出形状的一对非球面透镜且将具有高斯分布的强度轮廓的入射激光的强度分布变换成平顶的强度分布。另外,专利文献3所公开的非球面透镜型的均化器具备一对非球面透镜且将具有高斯分布的强度曲线的入射激光的强度分布变换成形成超高斯的强度分布。

[0004] 现有技术文献

[0005] 专利文献

[0006] 专利文献1:美国专利第3476463号说明书

[0007] 专利文献2:日本特开平10-153750号公报

[0008] 专利文献3:日本特开2003-344762号公报

[0009] 非专利文献

[0010] 非专利文献1:伊藤弘等“表面处理用光束均化器的开发及其应用”,激光研究,社团法人激光学会,平成6年11月,第22卷,第11号,p.935—942。

发明内容

[0011] 发明所要解决的技术问题

[0012] 在这些专利文献1~3中,当设计一对非球面透镜的形状时,采用使用高斯函数算出的高斯分布即理论值作为入射激光的强度分布。但是,实际上入射到均化器的激光的强度分布偏离理论值。因此,在专利文献1~3所公开的均化器的设计方法中,激光整形精度低且在整形后的激光的所期望的强度分布中产生畸变。

[0013] 因此,本发明的目的在于,提供作为具备一对非球面透镜的激光整形用光学部件且能够更高精度地将激光的强度分布整形成任意的强度分布的激光整形用光学部件的设

计方法及制造方法。

[0014] 解决技术问题的手段

[0015] 本发明的激光整形用光学部件的设计方法，是具备一对非球面透镜，并生成将具有不同的扩散角的入射激光的强度分布整形成所期望的强度分布的出射激光的激光整形用光学部件的设计方法，其包含：入射光测量工序，其测量入射激光的强度分布；入射光分割工序，其在一对非球面透镜中的入射侧非球面透镜中，就入射激光的短轴方向和长轴方向的各个，在分布方向上分割所测量的入射激光的强度分布来求得多个入射光分割区域；出射光分割工序，其在一对非球面透镜中的出射侧非球面透镜中，就短轴方向和长轴方向的各个，通过根据所期望的强度分布调整多个入射光分割区域各自的高度，并且调整分布方向的宽度和位置来求得该多个出射光分割区域，多个出射光分割区域是在分布方向上分割了出射激光的强度分布的多个出射光分割区域；光路指定工序，其就短轴方向和长轴方向的各个，从入射侧非球面透镜中的多个入射光分割区域的分布方向的位置和出射侧非球面透镜中的对应的多个出射光分割区域的分布方向的位置指定光路；短轴方向和长轴方向形状决定工序，其从光路分别求得一对非球面透镜的短轴方向和长轴方向的形状；高次多项式近似工序，其通过分别进行一对非球面透镜的短轴方向和长轴方向的形状的高次多项式近似，从而分别求得短轴方向和长轴方向的高次多项式；高次多项式修正工序，其通过使用基于入射激光的矢径的旋转角度、入射激光的短轴方向的矢径与长轴方向的矢径的比率、以及一对非球面透镜各自的短轴方向的形状与长轴方向的形状的比率，来修正短轴方向的高次多项式或长轴方向的高次多项式，从而求得修正高次多项式；以及形状决定工序，其基于修正高次多项式求得一对非球面透镜的形状。

[0016] 另外，本发明的激光整形用光学部件的制造方法，是具备一对非球面透镜并生成将具有不同的扩散角的入射激光的强度分布整形成所期望的强度分布的出射激光的激光整形用光学部件的设计方法，其包含：入射光测量工序，其测量入射激光的强度分布；入射光分割工序，其在一对非球面透镜中的入射侧非球面透镜中，就入射激光的短轴方向和长轴方向的各个，在分布方向上分割所测量的入射激光的强度分布来求得多个入射光分割区域；出射光分割工序，其在一对非球面透镜中的出射侧非球面透镜中，就短轴方向和长轴方向的各个，通过根据所期望的强度分布调整多个入射光分割区域各自的高度，并且调整分布方向的宽度和位置，从而求得多个出射光分割区域，多个出射光分割区域是在分布方向上分割了出射激光的强度分布的多个出射光分割区域；光路指定工序，其就短轴方向和长轴方向，从入射侧非球面透镜中的多个入射光分割区域的分布方向的位置和出射侧非球面透镜中的对应的多个出射光分割区域的分布方向的位置指定光路；短轴方向和长轴方向形状决定工序，其从光路分别求得一对非球面透镜的短轴方向和长轴方向的形状；高次多项式近似工序，其通过分别进行一对非球面透镜的短轴方向和长轴方向的形状的高次多项式近似，从而分别求得短轴方向和长轴方向的高次多项式；高次多项式修正工序，其通过使用基于入射激光的矢径的旋转角度、入射激光的短轴方向的矢径与长轴方向的矢径的比率、以及一对非球面透镜各自的短轴方向的形状和长轴方向的形状的比率的修正系数来修正短轴方向的高次多项式或长轴方向的高次多项式，从而求得修正高次多项式；形状决定工序，其基于修正高次多项式求得一对非球面透镜的形状；以及成形工序，其基于所求得的形状使一对非球面透镜成形。

[0017] 根据这些激光整形用光学部件的设计方法及制造方法,实际测量入射激光的强度分布,并基于所实际测量的强度分布设计一对非球面透镜的形状。另外,求得分割了所实际测量的入射激光的强度分布的多个入射光分割区域,并且根据出射激光的所期望的强度分布,求得调整多个入射光分割区域各自的高度并调整宽度和位置的多个出射光分割区域,从入射侧非球面透镜中的多个入射光分割区域的位置和出射侧非球面透镜中的对应的多个出射光分割区域的位置指定光路,并基于这些光路设计一对非球面透镜的形状。因此,能够得到可以更高精度地将激光的强度分布整形成任意的强度分布的激光整形用光学部件。

[0018] 再者,即使在入射激光为同心圆状且扩散角在所有的半径方向上均相同的情况下,只要以峰值为起点相对于半径方向中的一个方向求得非球面形状便足够。但是,若使用生成水平方向的扩散角和垂直方向的扩散角不同的激光的半导体激光器等(非点像差等),有时入射激光不是同心圆状,而是扩散角根据矢径的旋转角度(半径方向)不同。

[0019] 因此,根据这些激光整形用光学部件的设计方法及制造方法,就入射激光的短轴方向和长轴方向各个,如所述那样,分别求得一对非球面透镜的短轴方向和长轴方向的二维形状,分别进行一对非球面透镜的所述短轴方向和长轴方向的形状的高次多项式近似,使用基于入射激光的矢径的旋转角度、入射激光的短轴方向的矢径与长轴方向的矢径的比率、以及一对非球面透镜各自的短轴方向的形状与长轴方向的形状的比率的修正系数来修正短轴方向的高次多项式或长轴方向的高次多项式,并基于所修正的高次多项式设计一对非球面透镜的三维形状。因此,能够得到即使是具有不同的扩散角的入射激光也可以更高精度地将激光的强度分布整形成任意的强度分布的激光整形用光学部件。

[0020] 在所述出射光分割工序中,优选地,以多个入射光分割区域的能量和对应的所述多个出射光分割区域的能量分别相等的方式,调整多个入射光分割区域的分布方向的宽度和位置来求得多个出射光分割区域。

[0021] 在所述入射光测量工序中,优选地,进一步测量入射激光的扩散角,在所述短轴方向和长轴方向形状决定工序中,从光路和所测量的入射激光的扩散角求得入射侧非球面透镜的形状。

[0022] 另外,在所述短轴方向和长轴方向形状决定工序中,优选地,从光路和出射激光的所期望的扩散角求得出射侧非球面透镜的形状。

[0023] 据此,即使在要得到具有任意扩散角的非平行光的出射激光的情况下,也能够得到使被入射侧非球面透镜整形的激光的相位一致且可以更高精度地变更成具有所期望的扩散角的非平行光的出射侧非球面透镜。

[0024] 另外,在所述短轴方向和长轴方向形状决定工序中,优选地,在多个入射光分割区域各个中,从光路相对于与入射侧非球面透镜的入射侧的平面垂直的主轴所成的角度和所测量的入射激光的扩散角,求得入射激光在入射侧非球面透镜的平面折射的折射入射激光相对于入射侧非球面透镜的出射侧的非球面的入射角,并从折射入射激光相对于入射侧非球面透镜的非球面的入射角求得入射侧非球面透镜的非球面的高低差。

[0025] 另外,在所述短轴方向和长轴方向形状决定工序中,优选地,在多个出射光分割区域各个中,分别从光路相对于与出射侧非球面透镜的出射侧的平面垂直的主轴所成的角度和出射激光的所期望的扩散角,求得光路相对于出射侧非球面透镜的入射侧的非球面的折射角,并从光路相对于出射侧非球面透镜的非球面的折射角求得出射侧非球面透镜的非球

面的高低差。

[0026] 另外,在所述短轴方向和长轴方向形状决定工序中,优选地,从光路求得出射侧非球面透镜的形状,并且以使出射激光的相位一致且出射激光成为平行光的方式求得。

[0027] 据此,即使在要得到平行光的出射激光的情况下,也能够得到使被入射侧非球面透镜整形的激光的相位一致且可以更高精度地变更成平行光的出射侧非球面透镜。

[0028] 另外,在所述短轴方向和长轴方向形状决定工序中,优选地,在多个出射光分割区域各个中,从光路相对于与出射侧非球面透镜的出射侧的平面垂直的主轴所成的角度,求得出射激光相对于出射侧非球面透镜的入射侧的非球面的出射角,并从出射激光相对于出射侧非球面透镜的非球面的出射角求得出射侧非球面透镜的非球面的高低差。

[0029] 本发明的激光整形用光学系统,其具备:光源,其生成具有不同的扩散角的激光;激光整形用光学部件,其由所述激光整形用光学部件的设计方法设计,所述激光整形用光学部件是将来自光源的激光的强度分布整形成所期望的强度分布的激光整形用光学部件;以及聚光透镜,其对来自激光整形用光学部件的激光进行聚光。

[0030] 另外,本发明的激光整形用光学系统,其具备:多个光源,其二维排列且分别生成具有不同的扩散角的激光;多个激光整形用光学部件,其由所述激光整形用光学部件的设计方法分别设计,多个激光整形用光学部件是二维排列且将来自多个光源的激光的强度分布分别整形成所期望的强度分布的多个激光整形用光学部件;以及聚光透镜,其对来自多个激光整形用光学部件的激光进行聚光。

[0031] 发明效果

[0032] 根据本发明,可以得到作为具备一对非球面透镜的激光整形用光学部件且可以更高精度地将激光的强度分布整形成任意的强度分布的激光整形用光学部件。另外,根据本发明,能够得到即使是具有不同的扩散角的入射激光,也可以更高精度地将激光的强度分布整形成任意的强度分布的激光整形用光学部件。

附图说明

[0033] 图1是表示具备均化器的激光整形用光学系统的比较例的结构图。

[0034] 图2是表示第1比较例所涉及的均化器的设计方法及制造方法的流程图。

[0035] 图3是表示入射激光的强度分布的一个例子的图。

[0036] 图4是表示出射激光的所期望的强度分布的一个例子的图。

[0037] 图5是入射光分割工序中的入射激光的强度分布分割的概略图。

[0038] 图6是出射光分割工序中的出射激光的所期望的强度分布分割的概略图。

[0039] 图7是出射光分割工序中的从入射光分割区域到出射光分割区域的宽度和位置的调整的概略图。

[0040] 图8是光路指定工序中的光路指定的概略图。

[0041] 图9是形状决定工序中的形状决定的概略图。

[0042] 图10是图9中的入射侧非球面透镜的放大图。

[0043] 图11是表示在形状决定工序中所求得的入射侧非球面透镜的形状的一个例子的图。

[0044] 图12是图9中的出射侧非球面透镜的放大图。

[0045] 图13是表示在形状决定工序中所求得的出射侧非球面透镜的形状的一个例子的图。

[0046] 图14是表示入射激光的强度分布的一个例子、以及在形状决定工序中所求得的入射侧非球面透镜的形状的一个例子的图。

[0047] 图15是表示出射激光的所期望的强度分布的一个例子、以及在形状决定工序中所求得的出射侧非球面透镜的形状的一个例子的图。

[0048] 图16是表示图14和图15所示的向均化器的入射激光的强度分布的测量结果的图。

[0049] 图17是表示图14和图15所示的均化器的出射激光的强度分布的测量结果的图。

[0050] 图18是表示第2比较例所涉及的均化器的设计方法及制造方法的流程图。

[0051] 图19是第2比较例的形状决定工序中的形状决定的概略图。

[0052] 图20是表示光束直径相对于具有扩散角的入射激光的传播距离的测量结果的图。

[0053] 图21是表示入射激光的强度分布的一个例子、以及在形状决定工序中所求得的入射侧非球面透镜的形状的一个例子的图。

[0054] 图22是表示出射激光的所期望的强度分布的一个例子、以及在形状决定工序中所求得的出射侧非球面透镜的形状的一个例子的图。

[0055] 图23是表示生成具有不同的扩散角的激光的半导体激光器的一个例子的图。

[0056] 图24是表示具备本发明实施方式所涉及的均化器的激光整形用光学系统的一个实施方式的结构图。

[0057] 图25是表示本发明实施方式所涉及的均化器的设计方法及制造方法的流程图。

[0058] 图26是表示短轴方向和长轴方向的光束直径相对于具有不同的扩散角的入射激光的传播距离的测量结果的图。

[0059] 图27是表示在短轴方向和长轴方向形状决定工序中所求得的入射侧非球面透镜的短轴方向和长轴方向的形状的一个例子的图。

[0060] 图28是表示在短轴方向和长轴方向形状决定工序中所求得的出射侧非球面透镜的短轴方向和长轴方向的形状的一个例子的图。

[0061] 图29是将图27中的入射侧非球面透镜的短轴方向的形状放大规定倍数的图。

[0062] 图30是将图28中的出射侧非球面透镜的短轴方向的形状放大规定倍数的图。

[0063] 图31是表示由短轴J和长轴I构成的正交坐标系上的椭圆的图。

[0064] 图32是表示由本实施方式的均化器的设计方法及制造方法求得的入射侧非球面透镜的形状的一个例子的图。

[0065] 图33是表示由本实施方式的均化器的设计方法及制造方法求得的出射侧非球面透镜的形状的一个例子的图。

[0066] 图34是表示具备本发明变形例所涉及的均化器的激光整形用光学系统的一个变形例的结构图。

[0067] 图35是表示具备本发明变形例所涉及的均化器的激光整形用光学系统的一个变形例的结构图。

[0068] 图36是表示在图34所示的激光整形用光学系统中使用具有空间上的单模的光源阵列时的均化器阵列的出射激光的集合的图。

[0069] 图37是表示在图34所示的激光整形用光学系统中使用具有空间上的多模的扩散

光源阵列时的均化器阵列的出射激光的集合的图。

[0070] 符号说明：

- [0071] 1、1A、1X 激光整形用光学系统
- [0072] 2 激光光源
- [0073] 2A 激光光源阵列
- [0074] 3 空间滤波器
- [0075] 4 准直透镜
- [0076] 5、5A 聚光透镜
- [0077] 6A 成像光学系统
- [0078] 10 均化器(激光整形用光学部件)
- [0079] 10A 均化器阵列
- [0080] 11 一对非球面透镜中的入射侧非球面透镜
- [0081] 11a 非球面
- [0082] 11b 平面
- [0083] 12 一对非球面透镜中的出射侧非球面透镜
- [0084] 12a 非球面
- [0085] 12b 平面
- [0086] A1~A7 入射光分割区域
- [0087] B1~B7 出射光分割区域
- [0088] 0i 入射激光
- [0089] 0o 出射激光
- [0090] P1~P8 光路
- [0091] X 光轴。

具体实施方式

[0092] 以下,参照附图就本发明的激光整形用光学部件的设计方法和制造方法、以及激光整形用光学系统的优选实施方式进行详细地说明。再有,在各附图中,对相同或相当的部分标注相同的符号。

[0093] [比较例]

[0094] 首先,就作为激光加工装置等所使用的激光整形用光学系统且具备均化器(激光整形用光学部件)的激光整形用光学系统的比较例进行说明。图1是表示比较例的激光整形用光学系统的结构图。该激光整形用光学系统1X具备激光光源2、空间滤波器3、准直透镜4、均化器10、以及聚光透镜5。

[0095] 激光光源2例如是Nd:YAG激光器。空间滤波器3例如具备倍率为10倍的物镜、以及直径 $\Phi = 50\mu\text{m}$ 的小孔。准直透镜4例如是平凸透镜。这样,从激光光源2出射的激光通过空间滤波器3和准直透镜4,从而将强度分布整形成同心圆状的高斯分布。

[0096] 均化器10用于将激光的强度分布整形成任意的形状。均化器10具备一对非球面透镜11、12。在均化器10中,入射侧非球面透镜11作为将激光的强度分布整形成任意的形状的强度变换透镜而发挥功能,出射侧非球面透镜12作为使整形后的激光的相位一致并变更成

平行光或具有任意扩散角的光的相位修正透镜而发挥功能。在该均化器10中，通过一对非球面透镜11、12的非球面的形状设计，可以生成将入射激光O_i的强度分布整形形成所期望的强度分布的出射激光O_o。来自均化器10的出射激光O_o被聚光透镜5聚光。

[0097] [第1比较例]

[0098] 以下，参照图2，就作为第1比较例所涉及的均化器的设计方法及制造方法且将平行光的入射激光O_i变更成平行光的出射激光O_o的均化器的设计方法及制造方法进行说明。图2是表示第1比较例所涉及的均化器的设计方法及制造方法的流程图。

[0099] 首先，测量入射激光O_i的强度分布(入射光测量工序)(S01)。强度分布的测量例如可以使用光束轮廓仪(beam profiler)来进行。

[0100] 接着，设定出射激光O_o的所期望的强度分布(S02)。在本比较例中，将所期望的强度分布设定成激光加工装置中优选的空间上均匀的强度分布即超高斯分布。这里，所期望的强度分布需要以出射激光O_o的能量(所期望的强度分布的面积)与入射激光O_i的能量(强度分布的面积)相等的方式设定。例如，本比较例的超高斯分布的设定只要按以下所述进行即可。

[0101] 以下，为了容易理解出射激光O_o的所期望的强度分布的设定原理，如图3所示，假定入射激光O_i的强度分布为同心圆状的高斯分布(光束腰=5.6mm at $1/e^2$, $\omega = 2.0\text{mm}$)。高斯分布由下述(1)式表示，因此，入射激光O_i的半径6mm的范围内的能量成为下述(2)式。

[0102] [数1]

$$[0103] I_i(r) = \exp\left\{-\left(\frac{r}{\omega}\right)^2\right\} \quad \cdots (1)$$

[0104] [数2]

$$[0105] \int_{-\infty}^{\infty} I_i(r) dr = 1.76689 \quad \cdots (2)$$

[0106] 在该情况下，高斯分布以半径0mm为中心成旋转对称，因而通过一维解析设计非球面形状。再有，实际上，作为入射激光O_i的能量，只要使用步骤S01中的实际测量值即可。

[0107] 另一方面，出射激光O_o的所期望的强度分布如图4所示设定成超高斯分布(次数N=8, $\omega = 2.65\text{mm}$)。超高斯分布由下述(3)式表示，因此，为了如下述(4)式那样使出射激光O_o的半径6mm的范围内的能量等于入射激光O_i的能量，出射激光O_o的强度均匀部的值设定成E₀=0.687。

[0108] [数3]

$$[0109] I_o(r) = E_0 \times \exp\left\{-\left(\frac{r}{\omega}\right)^{2N}\right\} \quad \cdots (3)$$

[0110] [数4]

$$[0111] \int_{-\infty}^{\infty} I_o(r) dr = \int_{-\infty}^{\infty} I_i(r) dr \quad \cdots (4)$$

[0112] 再有，若基于本方法，则整形后的出射激光的所期望的强度分布不仅可以成为规定函数，而且也可以成为任意的强度分布。

[0113] 回到图2的流程图,接着,在入射侧非球面透镜11中,在分布方向上以任意间隔(宽度)分割测量后的入射激光 O_i 的强度分布并求得多个入射光分割区域(入射光分割工序)(S03)。例如,如图5所示,将测量后的入射激光 O_i 的强度分布以间隔 Δr_1 大致等间隔地分割成7个入射光分割区域A1~A7。

[0114] 接着,在出射侧非球面透镜12中,通过根据所期望的强度分布调整多个入射光分割区域A1~A7各自强度(高度)并且调整分布方向的宽度和位置来求得该多个出射光分割区域B1~B7的(出射光分割工序)(S04),出射光分割区域B1~B7是在分布方向上以任意间隔(宽度)分割了出射激光 O_o 的强度分布的出射光分割区域。具体而言,多个出射光分割区域B1~B7只要如以下所述求得即可。

[0115] 例如,首先,如图6所示,将出射激光 O_o 的所期望的强度分布分割成7个出射光分割区域B1~B7。在本实施方式中,预先假定从高斯分布向超高斯分布的调整,并以位于中心的出射光分割区域B4的间隔最大且越位于外侧出射光分割区域的间隔越小的方式分割所期望的强度分布。

[0116] 接着,例如,如图7所示,根据强度(高度)的增减调整出射光分割区域B1~B7各自的宽度和位置,以使入射光分割区域A1~A7与出射光分割区域B1~B7分别一对一地对应,并且入射光分割区域A1~A7的能量与对应的出射光分割区域B1~B7的能量分别相等。

[0117] 回到图2的流程图,接着,从入射侧非球面透镜11中的入射光分割区域A1~A7的分布方向的位置和出射侧非球面透镜12中的对应的出射光分割区域B1~B7的分布方向的位置指定光路(光路指定工序)(S05)。例如,如图8所示,通过将入射侧非球面透镜11中的入射光分割区域A1~A7的半径 r_1 方向的坐标与出射侧非球面透镜12中的对应的出射光分割区域B1~B7的半径 r_2 方向的坐标连线,求得从入射侧非球面透镜11的非球面11a到出射侧非球面透镜12的非球面12a的光路P1~P8。

[0118] 接着,从所求得的光路P1~P8求得一对非球面透镜11、12的非球面形状(形状决定工序)(S06)。具体而言,一对非球面透镜11、12的非球面形状只要如以下所述求得即可。

[0119] 图9中,为了容易理解,令入射激光 O_i 相对于入射侧非球面透镜11的平面11b垂直地入射,出射激光 O_o 相对于出射侧非球面透镜12的平面12b垂直地出射。另外,令入射侧非球面透镜11的非球面11a上的第m个坐标为 r_{1m} ,与 r_{1m} 相对应的出射侧非球面透镜12的非球面12a上的第m个坐标为 r_{2m} ,将这些坐标 r_{1m} 与坐标 r_{2m} 连结的光路为 P_m 。另外,令入射激光 O_i 相对于入射侧非球面透镜11的坐标 r_{1m} 的非球面11a的入射角为 θ_1 ,其折射角即光路 P_m 相对于非球面11a的出射角为 θ_1' 。同样地,令光路 P_m 相对于出射侧非球面透镜12的坐标 r_{2m} 的非球面12a的入射角为 θ_2' ,其折射角即出射激光 O_o 相对于非球面12a的出射角为 θ_2 。另外,令光路 P_m 相对于主轴X₁、X₂所成的角度为 θ (主轴X₁是相对于入射侧非球面透镜11的入射侧平面11b垂直的直线,主轴X₂是相对于出射侧非球面透镜12的出射侧平面12b垂直的直线。另外,主轴X₁与主轴X₂平行。)。另外,令入射侧非球面透镜11和出射侧非球面透镜12的折射率为n,非球面11a跟光轴X交叉的点11c与非球面12a跟光轴X交叉的点12c的间隔即非球面11a的中心位置(坐标 $r_1=0$ 的位置)与非球面12a的中心位置(坐标 $r_2=0$ 的位置)的间隔为L。

[0120] 例如,首先,光路 P_m 相对于主轴X₁、X₂所成的角度 θ 表示成下述(5)式。

[0121] [数5]

[0122] $\theta = \tan^{-1} \left(\frac{f_{1m} - f'_{1m}}{L} \right) \cdots (5)$

[0123] 另外,根据斯涅耳定律,下述(6)式成立,由此,入射激光相对于入射侧非球面透镜11的非球面11a的入射角 θ_1 如下述(7)式求得。

[0124] [数6]

[0125] $n \times \sin \theta_1 = \sin(\theta_1 + \theta) \cdots (6)$

[0126] [数7]

[0127] $\theta_1 = \pm \cos^{-1} \left\{ \pm \sqrt{\frac{n^2 - 2n \times \cos \theta + \cos^2 \theta}{n^2 - 2n \times \cos \theta + \cos^2 \theta + \sin^2 \theta}} \right\} \cdots (7)$

[0128] 这里,将图9中的入射侧非球面透镜11的坐标 r_{1m} 附近放大并在图10中表示。图10中,令在入射侧非球面透镜11的非球面11a上与第m个坐标 r_{1m} 相邻的第m-1个坐标为 r_{1m-1} 。于是,如图10所示,在入射侧非球面透镜11中坐标 r_{1m} 与跟坐标 r_{1m} 相邻的坐标 r_{1m-1} 的非球面11a的高低差 ΔZ_1 表示成下述(8)式。

[0129] [数8]

[0130] $\Delta Z_1 = (r_{1m} - r_{1m-1}) \times \tan \theta_1 = \Delta r_1 \times \tan \theta_1 \cdots (8)$

[0131] 由此,在入射侧非球面透镜11中坐标 r_{1m} 与中心位置(坐标 $r_1=0$)的非球面11a的高低差 Z_{1m} 如下述(9)式求得。

[0132] [数9]

[0133] $Z_{1m} = \sum_i \Delta Z_i \cdots (9)$

[0134] 通过对所有坐标即所有入射光分割区域A1~A7和光路P1~P8进行这些操作,从而用于将入射激光的强度分布整形成所期望的强度分布的入射侧非球面透镜11的非球面11a的形状如图11所述求得。

[0135] 回到图9,同样地根据斯涅耳定律,出射激光相对于出射侧非球面透镜12的非球面12a的出射角 θ_2 如下述(10)式求得。

[0136] [数10]

[0137] $\theta_2 = \pm \cos^{-1} \left\{ \pm \sqrt{\frac{n^2 - 2n \times \cos \theta + \cos^2 \theta}{n^2 - 2n \times \cos \theta + \cos^2 \theta + \sin^2 \theta}} \right\} \cdots (10)$

[0138] 这里,将图9中的出射侧非球面透镜12的坐标 r_{2m} 附近放大并在图12中表示。图12中,令在出射侧非球面透镜12的非球面12a上与第m个坐标 r_{2m} 相邻的第m-1个坐标为 r_{2m-1} 。于是,如图12所示,在出射侧非球面透镜12中坐标 r_{2m} 与跟坐标 r_{2m} 相邻的坐标 r_{2m-1} 的非球面12a的高低差 ΔZ_2 表示成下述(11)式。

[0139] [数11]

[0140] $\Delta Z_2 = (r_{2m} - r_{2m-1}) \times \tan \theta_2 \cdots (11)$

[0141] 由此,出射侧非球面透镜12中坐标 r_{2m} 与中心位置(坐标 $r_2=0$)的非球面12a的高低差 Z_{2m} 如下述(12)式求得。

[0142] [数12]

$$[0143] Z_{\text{sum}} = \sum_{i=1}^n Z_i \quad \cdots(12)$$

[0144] 通过对所有坐标即所有出射光分割区域B1～B7及光路P1～P8进行这些操作,从而通过入射侧非球面透镜11使整形成所期望的强度分布的激光相位一致,并如图13所示求得用于生成变更成平行光的出射激光的出射侧非球面透镜12的非球面12a的形状。

[0145] 回到图2的流程图,接着,基于图11所示的形状,使入射侧非球面透镜11的非球面11a成形,并基于图13所示的形状,使出射侧非球面透镜12的非球面12a成形(成形工序)(S07)。例如,这些非球面11a、12a的形状可以由非球面方程式表示,因此,只要进行图11、13的形状的高次多项式(非球面方程式)近似,并基于该高次多项式使非球面11a、12a成形即可。

[0146] 这样,根据第1比较例的激光整形用光学部件的设计方法及制造方法,实际测量入射激光0i的强度分布,并基于实际测量的强度分布设计一对非球面透镜11、12的形状。另外,求得分割了实际测量的入射激光0i的强度分布的多个入射光分割区域A1～A7,并且根据出射激光0o的所期望的强度分布,求得调整了多个入射光分割区域A1～A7各自的强度(高度)并且调整了分布方向的宽度和位置的多个出射光分割区域B1～B7,从入射侧非球面透镜11中的多个入射光分割区域A1～A7的位置和出射侧非球面透镜12中的对应的多个出射光分割区域B1～B7的位置指定光路P1～P8,基于这些光路P1～P8设计一对非球面透镜11、12的形状。因此,能够得到可以更高精度地将激光的强度分布整形成任意的强度分布的激光整形用光学部件。

[0147] 以下,验证第1比较例的激光整形用光学部件的设计方法及制造方法。例如,使如图14所示具有同心圆状的高斯分布(波长1064nm,光束直径=4.0975mm at 1/e²)的强度分布的入射激光0i(平行光)成为如图15所示具有空间上均匀的强度分布的出射激光0o。在该情况下,当遵照上述的非球面形状的设计方法时,如图14所示求得入射侧非球面透镜11的非球面形状,如图15所示求得出射侧非球面透镜12的非球面形状。

[0148] 再有,图14和图15是使用MgF₂(n=1.377)作为非球面透镜11、12的材料并将非球面11a的中心位置(坐标r₁=0的位置)与非球面12a的中心位置(坐标r₂=0的位置)的间隔设计为L=50mm时的一个例子。另外,在图14和图15中,为了明确非球面的高低差的差异,纵轴的基准(高度0μm的位置)与非球面透镜11、12的中心(坐标r₁=r₂=0的位置)不同。

[0149] 当进行图14所示的入射侧非球面透镜11的非球面11a的形状、以及图15所示的出射侧非球面透镜12的非球面12a的形状的高次多项式近似时,非球面11a的形状(非球面的高度)的高次多项式Z₁(r)及非球面12a的形状(非球面的高度)的高次多项式Z₂(r)分别表示成下述(13)式、(14)式(半径r的单位为mm)。

[0150] [数13]

$$[0151] Z_1(r) = Z_0 + \frac{a_1 r^2 + a_2 r^4 + a_3 r^6 + a_4 r^8 + a_5 r^{10} + a_6 r^{12} + a_7 r^{14} + a_8 r^{16} + a_9 r^{18} + a_{10} r^{20}}{1 + \sqrt{1 - (1 + K)r^2}} \quad \cdots(13)$$

[0152] Z₀=0.0813686145668832, c=0.00777733881349394, K=0, a₁=-0.00241229368324484, a₂=0.000234942586627072, a₃=-0.0000275885138454212, a₄=0.0000063299148495522, a₅=-1.36808383766256E-06, a₆=1.86570409257993E-07, a₇=-

1.50639871979035E-08, $\alpha_8=6.65228450030865E-10$, $\alpha_9=-1.24283263164959E-11$ 。

[0153] [数14]

$$[0154] Z_1(r) = Z_s + \frac{C r^2}{1 + \sqrt{1 - ((1 + K)r)^2}} + \alpha_1 r^4 + \alpha_2 r^6 + \alpha_3 r^8 + \alpha_4 r^{10} + \alpha_5 r^{12} + \alpha_6 r^{14} + \alpha_7 r^{16} + \alpha_8 r^{18} + \alpha_9 r^{20}$$

$$\cdots \quad \text{(14)}$$

[0155] $Z_0 = 0.00170530995281016$, $c = -0.00675475280492833$, $K = 0$, $\alpha_1 = 0.00119250802891454$, $\alpha_2 = 0.000234942586627072$, $\alpha_3 = -0.0000275885138454212$, $\alpha_4 = 0.0000063299148495522$, $\alpha_5 = -1.36808383766256E-06$, $\alpha_6 = 1.86570409257993E-07$, $\alpha_7 = -1.50639871979035E-08$, $\alpha_8 = 6.65228450030865E-10$, $\alpha_9 = -1.24283263164959E-11$ 。

[0156] 基于这些高次多项式 $Z_1(r)$ 、 $Z_2(r)$ 制作一对非球面透镜11、12，并进行其特性评价。图16是入射激光向入射侧非球面透镜11的空间模式(强度分布)的测量结果，图17是来自出射侧非球面透镜12的出射激光的空间模式(强度分布)的测量结果。由此，确认根据本比较例的一对非球面透镜11、12，能够将激光的强度分布良好地整形成空间上均匀的强度分布。

[0157] (第2比较例)

[0158] 第1比较例中例示了将平行光变更成平行光的均化器的设计方法及制造方法，但第1比较例的设计方法及制造方法也可以适用于将非平行光(具有扩散角的入射激光)变更成非平行光(具有扩散角的出射激光)的均化器的设计方法及制造方法。这样，在对具有扩散角的入射激光设计均化器的情况下，只要除了入射激光的强度分布外再测量入射激光的扩散角，并基于实际测量的强度分布和扩散角求得非球面透镜的形状即可。另外，在对具有扩散角的出射激光设计均化器的情况下，只要除了出射激光的所期望的强度分布外再设定出射激光的所期望的扩散角，并基于设定的所期望的强度分布和所期望的扩散角求得非球面透镜的形状即可。以下，就作为第2比较例的均化器的设计方法及制造方法且将非平行光的入射激光 O_i 变更成非平行光的出射激光 O_o 的均化器的设计方法及制造方法进行说明。

[0159] 图18是表示第2比较例的均化器的设计方法及制造方法的流程图。在第2比较例的均化器的设计方法及制造方法中，在以下方面与第1比较例不同，即在图2所示的第1实施方式的均化器的设计方法及制造方法中，替代步骤S01(入射光测量工序)、步骤S02、以及步骤S06(形状决定工序)的处理，而进行步骤S11(入射光测量工序)、步骤S12、步骤S16(形状决定工序)的处理。

[0160] 在步骤S11中，与上述的步骤S01同样地测量入射激光的强度分布。另外，在步骤S11中，测量入射激光的扩散角。在步骤S12中，与上述的步骤S02同样地设定出射激光的所期望的强度分布。另外，在步骤S12中，设定出射激光的所期望的扩散角。在步骤S16中，除了所得的光路外再基于实际测量的入射激光的扩散角和设定的出射激光的所期望的扩散角，求得一对非球面透镜11、12的非球面形状。具体而言，只要一对非球面透镜11、12的非球面形状如以下所述求得即可。

[0161] 图19中，在以下方面不同，即在图9中，具有扩散角的入射激光相对于入射侧非球面透镜11的平面11b非垂直地入射，并且具有扩散角的出射激光相对于出射侧非球面透镜12的平面12b非垂直地出射。这里，令作为与第m个光路 P_m 相对应的入射激光且该入射激光相对于入射侧非球面透镜11的平面11b的入射角为 θ_0 ，其折射角为 θ_0' 。同样地，令作为在与第m个光路 P_m 相对应的出射侧非球面透镜12的非球面12a中折射的激光且该激光相对于出

射侧非球面透镜12的平面12b的入射角为 θ_3' ,其折射角即出射激光相对于平面12b的出射角为 θ_3 。图19中的其它参数与上述的图9中的参数相同。此外,在图19中,将出射侧非球面透镜12的坐标 r_{2m} 附近放大表示。

[0162] 例如,首先,光路 P_m 相对于主轴 X_1 、 X_2 所成的角度 θ 表示成上述(5)式。另外,根据斯涅耳定律,下述(15)式和(16)式成立,由此,作为入射激光在入射侧非球面透镜11的平面11b折射的折射入射激光且该折射入射激光相对于入射侧非球面透镜11的非球面11a的入射角 θ_1 如下述(17)式求得。

[0163] [数15]

$$\sin\theta_0 = n \times \sin\theta_0' \dots (15)$$

[0165] [数16]

$$n \times \sin(\theta_1 + \theta_0') = \sin(\theta_1 + \theta) \dots (16)$$

[0167] [数17]

$$[0168] \theta_1 = \pm \cos^{-1} \left\{ \pm \sqrt{\frac{N_1}{D_1}} \right\} \dots (17)$$

$$N_1 = n^4 - 2n^2 \cos^2 \theta + \cos^4 \theta + n^2 \sin^2 \theta + \cos^2 \theta \sin^2 \theta - 2n^2 \sin \theta \sin \theta_0 - 2 \cos^2 \theta \sin \theta \sin \theta_0 \\ - n^2 \sin^2 \theta_0 + 3 \cos^2 \theta \sin^2 \theta_0 - \sin^2 \theta \sin^2 \theta_0 + 2 \sin \theta \sin^2 \theta_0 - 2n \cos \theta \sin^2 \theta \sqrt{\frac{n^2 - \sin^2 \theta_0}{n^2}} \\ + 4n \cos \theta \sin \theta \sin \theta_0 \sqrt{\frac{n^2 - \sin^2 \theta_0}{n^2}} - 2n \cos \theta \sin^2 \theta_0 \sqrt{\frac{n^2 - \sin^2 \theta_0}{n^2}}$$

$$[0170] D_1 = n^4 - 2n^2 \cos^2 \theta + \cos^4 \theta + 2n^2 \sin^2 \theta + 2 \cos^2 \theta \sin^2 \theta + \sin^4 \theta - 4n^2 \sin \theta \sin \theta_0 - 4 \cos^2 \theta \sin \theta \\ \sin \theta_0 - 4 \sin^3 \theta \sin \theta_0 + 4 \cos^2 \theta \sin^2 \theta_0 + 4 \sin^2 \theta \sin^2 \theta_0$$

[0171] 这里,入射激光相对于入射侧非球面透镜11的平面11b的入射角 θ_0 相当于所测量的入射激光的扩散角。因此,根据上述(17)式,折射入射激光相对于入射侧非球面透镜11的非球面11a的入射角 θ_1 从光路 P_m 相对于主轴 X_1 所成的角度 θ 和所测量的入射激光的扩散角 θ_0 求得。

[0172] 然后,在步骤S16中,只要上述步骤S06中使用该(17)式替代上述(7)式即可。由此,与上述的本实施方式同样地,能够基于上述(8)式和(9)式,求得用于将具有扩散角的入射激光的强度分布整形成所期望的强度分布的入射侧非球面透镜11的非球面11a的形状。

[0173] 同样地,根据斯涅耳定律,光路 P_m 相对于出射侧非球面透镜12的非球面12a的折射角 θ_2 如下述(18)式求得。

[0174] [数18]

$$[0175] \theta_2 = \pm \cos^{-1} \left\{ \pm \sqrt{\frac{N_2}{D_2}} \right\} \dots (18)$$

$$N_2 = n^4 - 2n^2 \cos^2 \theta + \cos^4 \theta + n^2 \sin^2 \theta + \cos^2 \theta \sin^2 \theta - 2n^2 \sin \theta \sin \theta_2 - 2 \cos^2 \theta \sin \theta \sin \theta_2 \\ - n^2 \sin^2 \theta_2 + 3 \cos^2 \theta \sin^2 \theta_2 - \sin^2 \theta \sin^2 \theta_2 + 2 \sin \theta \sin^2 \theta_2 - 2n \cos \theta \sin^2 \theta \sqrt{\frac{n^2 - \sin^2 \theta_2}{n^2}} \\ + 4n \cos \theta \sin \theta \sin \theta_2 \sqrt{\frac{n^2 - \sin^2 \theta_2}{n^2}} - 2n \cos \theta \sin^2 \theta_2 \sqrt{\frac{n^2 - \sin^2 \theta_2}{n^2}}$$

[0177] $D_2 = n^4 - 2n^2 \cos^2\theta + \cos^4\theta + 2n^2 \sin^2\theta + 2\cos^2\theta \sin^2\theta + \sin^4\theta - 4n^2 \sin\theta \sin\theta_3 - 4\cos^2\theta \sin\theta \sin\theta_3 - 4\sin^3\theta \sin\theta_3 + 4\cos^2\theta \sin^2\theta_3 + 4\sin^2\theta \sin^2\theta_3$

[0178] 这里,出射激光相对于出射侧非球面透镜12的平面12b的出射角 θ_3 相当于出射激光的所期望的扩散角。因此,根据上述(18)式,光路P_m相对于出射侧非球面透镜12的非球面12a的折射角 θ_2 从光路P_m相对于主轴X₂所成的角度 θ 和出射激光的所期望的扩散角 θ_3 求得。

[0179] 然后,在步骤S16中,只要在上述步骤S06中使用该(18)式替代上述(10)式即可。由此,与上述的本实施方式同样地,能够基于上述(11)式和(12)式,通过入射侧非球面透镜11使整形成所期望的强度分布的激光相位一致,并求得用于生成具有所期望的扩散角的出射激光的出射侧非球面透镜12的非球面12a的形状。

[0180] 再者,当将入射激光为平行光时,即当在上述(15)式中 $\theta_0 = \theta_0' = 0$ 时,为上述(7)式;当将出射激光为平行光时,即当在上述(16)式中 $\theta_3 = \theta_3' = 0$ 时,为上述(10)式。

[0181] 这样,根据第2比较例的激光整形用光学部件的设计方法及制造方法,能够得到即使入射激光是具有扩散角的非平行光,而且即使在要得到具有任意扩散角的非平行光的出射激光的情况下也可以更高精度地将激光的强度分布整形成任意的强度分布的激光整形用光学部件。

[0182] 以下,验证第2比较例的激光整形用光学部件的设计方法及制造方法。例如,将如图21所示作为同心圆状的高斯分布的强度分布并且使如图20所示扩散的入射激光O_i(非平行光,波长658nm)成为图22所示具有空间上均匀的强度分布的出射激光O_o。

[0183] 在图20中,光束直径($1/e^2$)相对于自发光点的传播距离的实际测量值用点表示。该实际测量值的拟合函数由下述(19)式表示,在图20中用线表示。

[0184] [数19]

[0185] $y = 4.671138151834110E-01x \dots \text{(19)}$

[0186] 由此,推断传播距离10mm的位置的光束直径推测为4.67mm($1/e^2$)。

[0187] 在该位置配置入射侧非球面透镜11的情况下,若遵照上述的非球面形状的设计方法,则如图21所示求得入射侧非球面透镜11的非球面形状,并且如图22所示求得出射侧非球面透镜12的形状。

[0188] 再有,图21和图22是使用MgF₂(n=1.377)作为非球面透镜11、12的材料并将非球面11a的中心位置(坐标r₁=0的位置)与非球面12a的中心位置(坐标r₂=0的位置)的间隔设计为L=50mm时的一个例子。另外,在图21和图22中,为了明确非球面的高低差的不同,纵轴的基准(高度0μm的位置)与非球面透镜11、12的中心(坐标r₁=r₂=0的位置)不同。

[0189] 当进行图21所示的入射侧非球面透镜11的非球面11a的形状、以及图22所示的出射侧非球面透镜12的非球面12a的形状的高次多项式近似时,非球面11a的形状(非球面的高度)的高次多项式Z₁(r)、以及非球面12a的形状(非球面的高度)的高次多项式Z₂(r)分别表示成下述(20)式、(21)式(半径r的单位为mm)。

[0190] [数20]

[0191]
$$Z_1(r) = Z_p + \frac{c}{1 + \sqrt{1 - (1 + K)r^2}} + \alpha_1 r^2 + \alpha_2 r^4 + \alpha_3 r^6 + \alpha_4 r^8 + \alpha_5 r^{10} + \alpha_6 r^{12} + \alpha_7 r^{14} + \alpha_8 r^{16} + \alpha_9 r^{18} + \alpha_{10} r^{20}$$

$$\dots (20)$$

[0192] $Z_p = 0.350060271791103, c = -0.0335120447820325, K = 0, \alpha_1 = -$

0.0231547991056179, $\alpha_2=0.00445665882657025$, $\alpha_3=-0.000284230904782999$, $\alpha_4=-2.59168381632891E-06$, $\alpha_5=0.0000132262398562683$, $\alpha_6=7.50723677147593E-06$, $\alpha_7=-1.50639871979035E-08$, $\alpha_8=3.21477233487456E-07$, $\alpha_9=-1.47307055813572E-08$ 。

[0193] [数21]

$$[0194] Z_0(r) = Z_0 + \frac{c^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + K)^2 r^2}} + \alpha_1 r^2 + \alpha_2 r^4 + \alpha_3 r^6 + \alpha_4 r^8 + \alpha_5 r^{10} + \alpha_6 r^{12} + \alpha_7 r^{14} + \alpha_8 r^{16} + \alpha_9 r^{18}$$

20

[0195] $Z_0 = 0.12102784735932$, $c = -0.0612836459255392$, $K = 0$, $\alpha_1 = -0.0018762895940451$, $\alpha_2 = 0.00565750401091439$, $\alpha_3 = -0.00619122793771896$, $\alpha_4 = 0.00393535214632535$, $\alpha_5 = -0.0015200258472543$, $\alpha_6 = 0.000363537112881753$, $\alpha_7 = -0.0000525402521473375$, $\alpha_8 = 4.20752573217144E-06$, $\alpha_9 = -1.43337039188705E-07$ 。

[0196] 基于这些高次多项式 $Z_1(r)$ 、 $Z_2(r)$ 制作一对非球面透镜11、12，并进行其特性评价之后，确认根据本比较例的一对非球面透镜11、12，能够将激光的强度分布良好地整形成空间上均匀的强度分布。

[0197] [本实施方式]

[0198] 在第2比较例中，例示了入射激光为同心圆状且扩散角在任意半径方向上均相同的情况的均化器的设计方法及制造方法。因此，只要以峰值为起点对半径方向中的一个方向求得非球面形状即可。但是，有时入射激光不是同心圆状且扩散角根据矢径的旋转角度（半径方向）而不同。例如，如图23所示，在半导体激光器中，发光部的大小在垂直方向和水平方向上差异较大，因而是伴随着衍射的扩散角，且水平方向的扩散角和垂直方向的扩散角不同（非点像差）。因此，在本实施方式中，考虑进行扩散角不同的非平行光（扩散光）的强度分布的均匀化的均化器的设计方法。

[0199] 图24是表示本发明实施方式所涉及的激光整形用光学系统的结构图。该激光整形用光学系统1具备激光光源2、均化器10、以及聚光透镜5。再有，也可以在均化器10和聚光透镜5之间配置成像光学系统。若均化器10的出射激光 O_0 的传播距离变长，则整形后的强度分布变得不均匀。但是，若使用成像光学系统，则能够将紧接着整形之后的具有强度分布的出射激光 O_0 成像于聚光透镜5的瞳面，并维持良好的聚光状态。另外，通过将构成成像光学系统的透镜的焦点距离设计成所期望的值，从而可以放大或缩小光束直径。

[0200] 图25是表示本发明实施方式所涉及的均化器的设计方法及制造方法的流程图。在本实施方式的均化器的设计方法及制造方法中，在如下方面与第2比较例不同，即，在图18所示的第2比较例的均化器的设计方法及制造方法中，替代步骤S03（入射光分割工序）、步骤S04（出射光分割工序）、步骤S05（光路指定工序）、以及步骤S16（形状决定工序）的处理，而进行步骤S23（入射光分割工序）、步骤S24（出射光分割工序）、步骤S25（光路指定工序）、步骤S26A（短轴方向和长轴形状决定工序）、步骤S28（高次多项式近似工序）、步骤S29（高次多项式修正工序）、以及步骤S26B（形状决定工序）的处理。

[0201] 在步骤S11中，如上述那样测量入射激光的强度分布，并且测量入射激光的扩散角。另外，在步骤S12中，如上述那样设定出射激光的所期望的强度分布，并且设定出射激光的所期望的扩散角。

[0202] 例如，使如图23所示具有高斯分布的强度分布并且如图26所示扩散的入射激光 O_1

(非平行光,波长658nm)成为具有空间上均匀的强度分布的出射激光 O_o 。

[0203] 在图26中,光束直径($1/e^2$)相对于自发光点的传播距离的实际测量值用点表示,该实际测量值的拟合函数用线表示。根据图26(a)、(b),推断传播距离10mm的位置中的入射激光 O_i 的短轴方向(水平方向)的光束直径和长轴方向(垂直方向)的光束直径分别为2.733mm($1/e^2$)、4.670mm($1/e^2$)。由此,在传播距离10mm的位置的入射激光 O_i 中,长轴方向的光束直径相对于短轴方向的光束直径的比率即长轴方向的矢径的最大值相对于短轴方向的矢径的最大值的比率为 $R_r=1.71$ 。

[0204] 接着,在步骤S23(入射光分割工序)中,在入射侧非球面透镜11上,就入射激光 O_i 的短轴方向和长轴方向的各个,与上述的步骤S03同样地在分布方向上以任意间隔(宽度)分割所测量的入射激光 O_i 的强度分布来求得多个入射光分割区域A1~A7。

[0205] 接着,在步骤S24(出射光分割工序)中,在出射侧非球面透镜12上,就出射激光 O_o 的短轴方向和长轴方向的各个,与上述的步骤S04同样地通过根据所期望的强度分布调整多个入射光分割区域A1~A7各自的强度(高度),并且调整分布方向的宽度和位置,从而求得出射光分割区域B1~B7,该出射光分割区域B1~B7是在分布方向上以任意间隔(宽度)分割了出射激光 O_o 的强度分布的出射光分割区域。

[0206] 接着,在步骤S25(光路指定工序)中,对于短轴方向和长轴方向的各个,与上述的步骤S05同样地从入射侧非球面透镜11中的入射光分割区域A1~A7的分布方向的位置和出射侧非球面透镜12中的对应的出射光分割区域B1~B7的分布方向的位置指定光路P1~P8。

[0207] 接着,在步骤S26A(短轴方向和长轴形状决定工序)中,与上述的步骤S16同样地,除了所求得的光路P1~P8外再基于实际测量的入射激光 O_i 的扩散角、以及所设定的出射激光的所期望的扩散角,分别求得一对非球面透镜11、12的短轴方向和长轴方向的非球面形状。

[0208] 例如,在自发光点传播距离为10mm的位置配置入射侧非球面透镜11的非球面11a的情况下,如图27(a)所示求得入射侧非球面透镜11的非球面11a的短轴方向的形状,如图27(b)所示求得入射侧非球面透镜11的非球面11a的长轴方向的形状。另外,如图28(a)所示求得出射侧非球面透镜12的非球面12a的短轴方向的形状,如图28(b)所示求得出射侧非球面透镜12的非球面12a的长轴方向的形状。

[0209] 再有,图27和图28是使用MgF₂(n=1.377)作为非球面透镜11、12的材料并将非球面11a的中心位置(坐标 $r_1=0$ 的位置)与非球面12a的中心位置(坐标 $r_2=0$ 的位置)的间隔设计为L=25mm时的一个例子。另外,在图27和图28中,为了明确非球面的高低差的差异,纵轴的基准(高度0μm的位置)与非球面透镜11、12的中心(坐标 $r_1=r_2=0$ 的位置)不同。

[0210] 接着,在步骤S28(高次多项式近似工序)中,与上述的步骤S16同样地,通过进行图27(a)所示的入射侧非球面透镜11的非球面11a的短轴方向的形状、以及图28(a)所示的出射侧非球面透镜12的非球面12a的短轴方向的形状的高次多项式近似,从而分别如下述(22)式、(23)式求得非球面11a的短轴方向的形状(非球面的高度)的高次多项式 $Z_{1a}(r)$ 、以及非球面12a的短轴方向的形状(非球面的高度)的高次多项式 $Z_{2a}(r)$ (矢径r的单位为mm)。

[0211] [数22]

[0212] $Z_{1b}(r) = Z_0 + \frac{c^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + K)r^2}} + \alpha_1 r^2 + \alpha_2 r^4 + \alpha_3 r^6 + \alpha_4 r^{10} + \alpha_5 r^{12} + \alpha_6 r^{14} + \alpha_7 r^{16} + \alpha_8 r^{18} + \alpha_9 r^{20}$
*** (22)

[0213] $Z_0 = 0.350060271791103$, $c = -0.0335120447820325$, $K = 0$, $\alpha_1 = 0.0231547991056179$, $\alpha_2 = 0.00445665882657025$, $\alpha_3 = -0.000284230904782999$, $\alpha_4 = -2.59168381632891E-06$, $\alpha_5 = 0.0000132262398562683$, $\alpha_6 = 7.50723677147593E-06$, $\alpha_7 = 1.50639871979035E-08$, $\alpha_8 = 3.21477233487456E-07$, $\alpha_9 = -1.47307055813572E-08$ 。

[0214] [数23]

[0215] $Z_{2b}(r) = Z_0 + \frac{c^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + K)r^2}} + \alpha_1 r^2 + \alpha_2 r^4 + \alpha_3 r^6 + \alpha_4 r^{10} + \alpha_5 r^{12} + \alpha_6 r^{14} + \alpha_7 r^{16} + \alpha_8 r^{18} + \alpha_9 r^{20}$
*** (23)

[0216] $Z_0 = 0.12102784735932$, $c = -0.0612836459255392$, $K = 0$, $\alpha_1 = -0.0018762895940451$, $\alpha_2 = 0.00565750401091439$, $\alpha_3 = -0.00619122793771896$, $\alpha_4 = 0.00393535214632535$, $\alpha_5 = -0.0015200258472543$, $\alpha_6 = 0.000363537112881753$, $\alpha_7 = -0.0000525402521473375$, $\alpha_8 = 4.20752573217144E-06$, $\alpha_9 = 1.43337039188705E-07$ 。

[0217] 同样地,通过进行图27(b)所示的入射侧非球面透镜11的非球面11a的长轴方向的形状、以及图28(b)所示的出射侧非球面透镜12的非球面12a的长轴方向的形状的高次多项式近似,分别如下述(24)式、(25)式求得非球面11a的长轴方向的形状(非球面的高度)的高次多项式 $Z_{1b}(r)$ 、以及非球面12a的长轴方向的形状(非球面的高度)的高次多项式 $Z_{2b}(r)$ (矢径r的单位为mm)。

[0218] [数24]

[0219] $Z_{1b}(r) = Z_0 + \frac{c^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + K)r^2}} + \alpha_1 r^2 + \alpha_2 r^4 + \alpha_3 r^6 + \alpha_4 r^{10} + \alpha_5 r^{12} + \alpha_6 r^{14} + \alpha_7 r^{16} + \alpha_8 r^{18} + \alpha_9 r^{20}$
*** (24)

[0220] $Z_0 = 0.999744765422979$, $c = -0.025501288167687$, $K = 0$, $\alpha_1 = -0.00779439758374836$, $\alpha_2 = 0.000514205035516824$, $\alpha_3 = -0.0000178494594498606$, $\alpha_4 = 1.51670534278056E-07$, $\alpha_5 = -1.3710575306782E-07$, $\alpha_6 = 2.7221471663064E-08$, $\alpha_7 = -2.1347767748253E-09$, $\alpha_8 = 7.93767668581535E-11$, $\alpha_9 = -1.16817554775238E-12$ 。

[0221] [数25]

[0222] $Z_{2b}(r) = Z_0 + \frac{c^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + K)r^2}} + \alpha_1 r^2 + \alpha_2 r^4 + \alpha_3 r^6 + \alpha_4 r^{10} + \alpha_5 r^{12} + \alpha_6 r^{14} + \alpha_7 r^{16} + \alpha_8 r^{18} + \alpha_9 r^{20}$
*** (25)

[0223] $Z_0 = 0.358429163892539$, $c = -0.061266244924921$, $K = 0$, $\alpha_1 = -0.000592140229237842$, $\alpha_2 = 0.000630170183409268$, $\alpha_3 = -0.000230974778737322$, $\alpha_4 = 0.0000491620526766769$, $\alpha_5 = -6.35843489783214E-06$, $\alpha_6 = 5.09206932756945E-07$, $\alpha_7 = -2.46417525352681E-08$, $\alpha_8 = 6.60755442416571E-10$, $\alpha_9 = -7.53702687864744E-12$ 。

[0224] 根据上述(22)式和(24)式,入射侧非球面透镜11的非球面11a的长轴方向的形状(非球面的高度)的最大值相对于短轴方向的形状(非球面的高度)的最大值的比率为 $R_{z1}=2.835$ 。另外,根据上述(23)式和(25)式,出射侧非球面透镜12的非球面12a的长轴方向的形

状(非球面的高度)的最大值相对于短轴方向的形状(非球面的高度)的最大值的比率为 $R_{z2}=2.9615$ 倍。

[0225] 这里,在图27中可知,使入射侧非球面透镜11的短轴方向的形状(a)在矢径方向上为 $Rr=1.71$ 倍,在高度方向上为 $R_{z1}=2.835$ 倍时成为图29的形状(c),与图27中的长轴方向的形状(b)大体一致。另外,在图28中可知,使出射侧非球面透镜12的短轴方向的形状(a)在矢径方向上为 $Rr=1.71$ 倍,在高度方向上为 $R_{z2}=2.9615$ 倍时成为图30的形状(c),与图28中的长轴方向的形状(b)大体一致。

[0226] 由此可知,在上述(22)式所示的入射侧非球面透镜11的短轴方向的形状的高次多项式 $Z_{1a}(r)$ 中,若将矢径 r 放大 $1/Rr$ 倍,将 $Z_{1a}(r)$ 的所有项放大 R_{z1} 倍,则与上述(24)式所示的长轴方向的形状的高次多项式 $Z_{1b}(r)$ 大体一致,另外,在上述(23)式所示的出射侧非球面透镜12的短轴方向的形状的高次多项式 $Z_{2a}(r)$ 中,若将矢径 r 放大 $1/Rr$ 倍,将 $Z_{2a}(r)$ 的所有项放大 R_{z2} 倍,则与上述(25)式所示的长轴方向的形状的高次多项式 $Z_{2b}(r)$ 大体一致。

[0227] 接着,修补短轴和长轴之间。具体而言,在步骤S29(高次多项式修正工序)中,通过修正短轴方向的高次多项式来求得修正高次多项式。修正系数可以由椭圆函数求得。

[0228] 首先,求得用于自中心的矢径 r 的修正系数A。如图31所示,在由短轴J和长轴I构成的正交坐标系上的椭圆中,当令长轴方向的矢径的最大值相对于短轴方向的矢径的最大值的比率为 $Rr=1.71$ 时,在任意位置(i,j),下述(26)式成立。

[0229] [数26]

$$[0230] \frac{i^2}{Rr^2} + j^2 = 1 \quad \cdots (26)$$

[0231] 另外,当令相对于连结任意位置(i,j)与旋转中心(0,0)的矢径的J轴的旋转角度为 θ 时,下述(27)式成立。

[0232] [数27]

$$[0233] \tan \theta = \frac{j}{i} \quad \cdots (27)$$

[0234] 根据上述(26)式和(27)式,求得下述(28)式。

[0235] [数28]

$$[0236] i = \tan \theta / \sqrt{1 + \frac{\tan^2 \theta}{Rr^2}} \quad \cdots (28)$$

[0237] 修正系数A相当于矢径的长度L,因此,用于矢径 r 的修正系数A如下述(29)式求得。

[0238] [数29]

$$[0239] A = \sqrt{i^2 + j^2} = \sqrt{1 + \frac{\tan^2 \theta}{Rr^2}} \quad \cdots (29)$$

[0240] 接着,求得用于入射侧非球面透镜11的非球面形状(非球面高度)的修正系数B。同样地,如图31所示,在由短轴J和长轴I构成的正交坐标系上的椭圆中,当令长轴方向的矢径的最大值相对于短轴方向的矢径的最大值的比率为 $R_{z1}=2.835$,且相对于连结任意位置(i,j)与旋转中心(0,0)的矢径的J轴的旋转角度为 θ 时,用于非球面形状(非球面高度)的修正

系数B如下述(30)式求得。

[0241] [数30]

$$[0242] B = \frac{1 + \tan^2 \theta}{1 + \frac{\tan^2 \theta}{R_{z1}^2}} \quad \cdots (30)$$

[0243] 由此,在上述(22)所示的入射侧非球面透镜11的短轴方向的形状的高次多项式 $Z_{1a}(r)$ 中,若将矢径 r 放大 $1/A$ 倍,将 $Z_{1a}(r)$ 的所有项放大B倍,则入射侧非球面透镜11的任意位置(i,j)中的非球面形状(非球面高度) $Z_1(r)$ 如下述(31)式求得。即,使用基于入射激光的矢径的旋转角度 θ 、入射激光的短轴方向的矢径与长轴方向的矢径的比率 Rr 、以及入射侧非球面透镜的短轴方向的形状与长轴方向的形状的比率 R_{z1} 的修正系数A,B,求得修正表示入射侧非球面透镜11的短轴方向的形状的高次多项式 $Z_{1a}(r)$ 的修正高次多项式 $Z_1(r)$ 。

[0244] [数31]

$$[0245] Z_1(r) = B \cdot \left[Z_{1a} + \frac{r^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + K)r^2}} \left(\frac{r^2}{A} + \alpha_1 \frac{r^4}{A} + \alpha_2 \frac{r^6}{A} + \alpha_3 \frac{r^8}{A} + \alpha_4 \frac{r^{10}}{A} + \alpha_5 \frac{r^{12}}{A} + \alpha_6 \frac{r^{14}}{A} + \alpha_7 \frac{r^{16}}{A} + \alpha_8 \frac{r^{18}}{A} + \alpha_9 \frac{r^{20}}{A} \right) \right] + \alpha_{10} \frac{r^{22}}{A} \quad \cdots (31)$$

[0246] 同样地,用于出射侧非球面透镜12的矢径 r 的修正系数A、以及用于非球面形状(非球面高度)的修正系数B由于 $Rr=1.71$ 、 $R_{z2}=2.9615$,如下述(32)式、(33)式求得。

[0247] [数32]

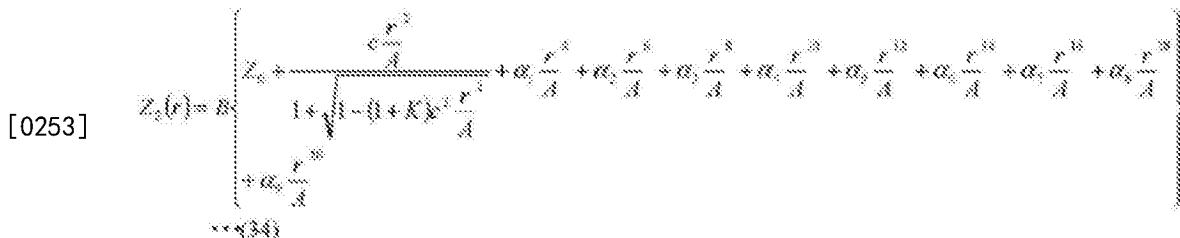
$$[0248] A = \frac{1 + \tan^2 \theta}{1 + \frac{\tan^2 \theta}{Rr^2}} \quad \cdots (32)$$

[0249] [数33]

$$[0250] B = \frac{1 + \tan^2 \theta}{1 + \frac{\tan^2 \theta}{R_{z2}^2}} \quad \cdots (33)$$

[0251] 由此,在上述(23)式所示的出射侧非球面透镜12的短轴方向的形状的高次多项式 $Z_{2a}(r)$ 中,若将矢径 r 放大 $1/A$ 倍,且将 $Z_{2a}(r)$ 的所有项放大B倍,则出射侧非球面透镜12的任意位置(i,j)中的非球面形状(非球面高度) $Z_2(r)$ 如下述(34)式求得。即,使用基于入射激光的矢径的旋转角度 θ 、入射激光的短轴方向的矢径与长轴方向的矢径的比率 Rr 、以及出射侧非球面透镜的短轴方向的形状和长轴方向的形状的比率 R_{z2} 的修正系数A,B求得修正表示出射侧非球面透镜12的短轴方向的形状的高次多项式 $Z_{2a}(r)$ 的修正高次多项式 $Z_2(r)$ 。

[0252] [数34]



[0254] 接着,在步骤S26B(形状决定工序)中,基于由上述(31)式表示的入射侧非球面透镜11的非球面形状的修正高次多项式 $Z_1(r)$,求得入射侧非球面透镜11的非球面形状,并且基于由上述(34)式表示的出射侧非球面透镜12的非球面形状的修正高次多项式 $Z_2(r)$,求得出射侧非球面透镜12的非球面形状。于是,如图32求得入射侧非球面透镜11的非球面形状,并如图33求得出射侧非球面透镜12的非球面形状。

[0255] 这样,根据本实施方式的激光整形用光学部件的设计方法及制造方法,与上述的第1和第2比较例同样地,实际测量入射激光 O_i 的强度分布,并基于所实际测量的强度分布设计一对非球面透镜11、12的形状。另外,求得分割了实际测量的入射激光 O_i 的强度分布的多个入射光分割区域A1~A7,并且根据出射激光 O_o 的所期望的强度分布,求得调整多个入射光分割区域A1~A7各自的强度(高度)并且调整分布方向的宽度和位置的多个出射光分割区域B1~B7,从入射侧非球面透镜11中的多个入射光分割区域A1~A7的位置、以及出射侧非球面透镜12中的对应的多个出射光分割区域B1~B7的位置指定光路P1~P8,并基于这些光路P1~P8设计一对非球面透镜11、12的形状。因此,能够得到可以更高精度地将激光的强度分布整形成任意的强度分布的激光整形用光学部件。

[0256] 另外,根据本实施方式的激光整形用光学部件的设计方法及制造方法,就入射激光 O_i 的短轴方向和长轴方向的各个,如上述那样分别求得一对非球面透镜11、12的短轴方向和长轴方向的二维形状,分别进行一对非球面透镜11、12的短轴方向和长轴方向的形状的高次多项式近似,使用基于入射激光的矢径的旋转角度、入射激光的短轴方向的矢径与长轴方向的矢径的比率、以及一对非球面透镜各自的短轴方向的形状和长轴方向的形状的比率的修正系数A、B来修正短轴方向的高次多项式或长轴方向的高次多项式,并基于所修正高次多项式设计一对非球面透镜11、12的三维形状。因此,能够得到即使是具有不同的扩散角的入射激光也可以更高精度地将激光的强度分布整形成任意的强度分布的激光整形用光学部件。

[0257] 此外,本发明不限定于上述的本实施方式,可以进行各种变形。在本实施方式中,例示了求得用于短轴方向的高次多项式的修正系数并修正短轴方向的高次多项式的高次多项式修正工序,但在高次多项式修正工序中,也可以求得用于长轴方向的高次多项式的修正系数并修正长轴方向的高次多项式。

[0258] 另外,在本实施方式中,例示了具备单一光源2和一对均化器10的激光整形用光学系统1中的激光整形用光学部件的设计方法及制造方法,但本发明也可以适用于半导体激光器阵列那样的具备多个光源及和多对均化器的激光整形用光学系统的激光整形用光学部件的设计方法及制造方法。例如,如图34所示,在具备二维排列的 10×10 的光源阵列2A、二维排列的 10×10 的均化器阵列10A、以及聚光透镜5A的激光整形用光学系统1A的情况下,只要就各个光源和各个均化器应用上述的非球面形状的设计方法即可。此外,也可以如图

35所示在均化器阵列10A与聚光透镜5之间配置成像光学系统6A。

[0259] 另外,在本实施方式中,例示了相对于具有空间上的单模的光源的激光整形用光学部件的设计方法,但通过本实施方式的设计方法所设计的激光整形用光学部件在应用于具有空间上的多模的扩散光的情况下也是有效的。例如,在图34所示的激光整形用光学系统1A中,当使用具有空间上的单模的光源阵列2A时,可以得到图36所示具有均匀的强度分布的椭圆形的出射激光0o的集合。当通过聚光透镜5A对这样的出射激光0o的集合进行聚光时,在焦点面形成有各光源的聚光点二维分布的形状。

[0260] 另一方面,具有空间上的多模的扩散光的发光部的大小在垂直方向和水平方向上差异大,因此,在垂直方向(扩散角大的方向)上可以看作点光源,但在水平方向(扩散角小的方向)上需要作为面光源来处理。因此,在图34所示的激光整形用光学系统1A中,即,当对由本实施方式的设计方法所设计的均化器应用具有空间上的多模的扩散光源阵列2A时,对垂直方向的成分实现所期望的强度分布和准直,但关于水平方向,不能实现充分的均匀化和准直,得到如图37所示具有不均匀的强度分布的椭圆形的出射激光0o的集合。另外,出射激光0o一边在水平方向上扩展一边传播。因此,当通过聚光透镜5A对出射激光0o的集合进行聚光时,在焦点面上形成有接近于矩形状的均匀强度分布的状态。

[0261] 产业上的可利用性

[0262] 能够适用于作为具备一对非球面透镜的激光整形用光学部件且可以更高精度地将激光的强度分布整形成任意的强度分布的激光整形用光学部件的设计的用途。

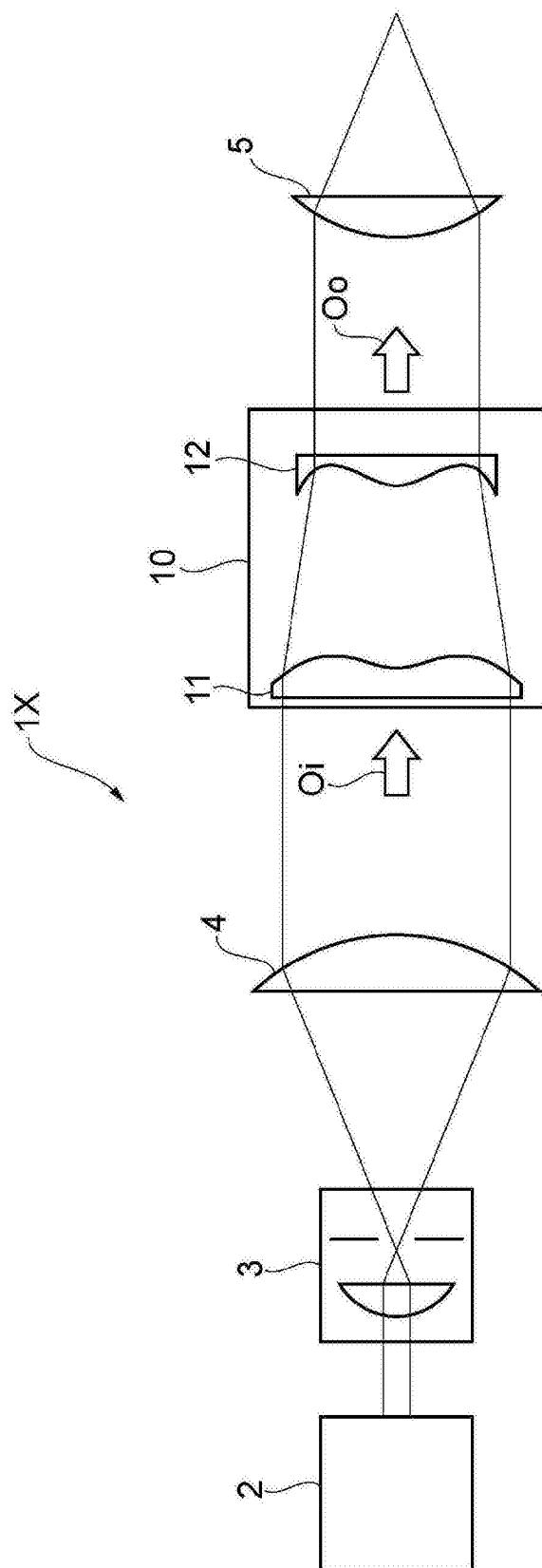


图1

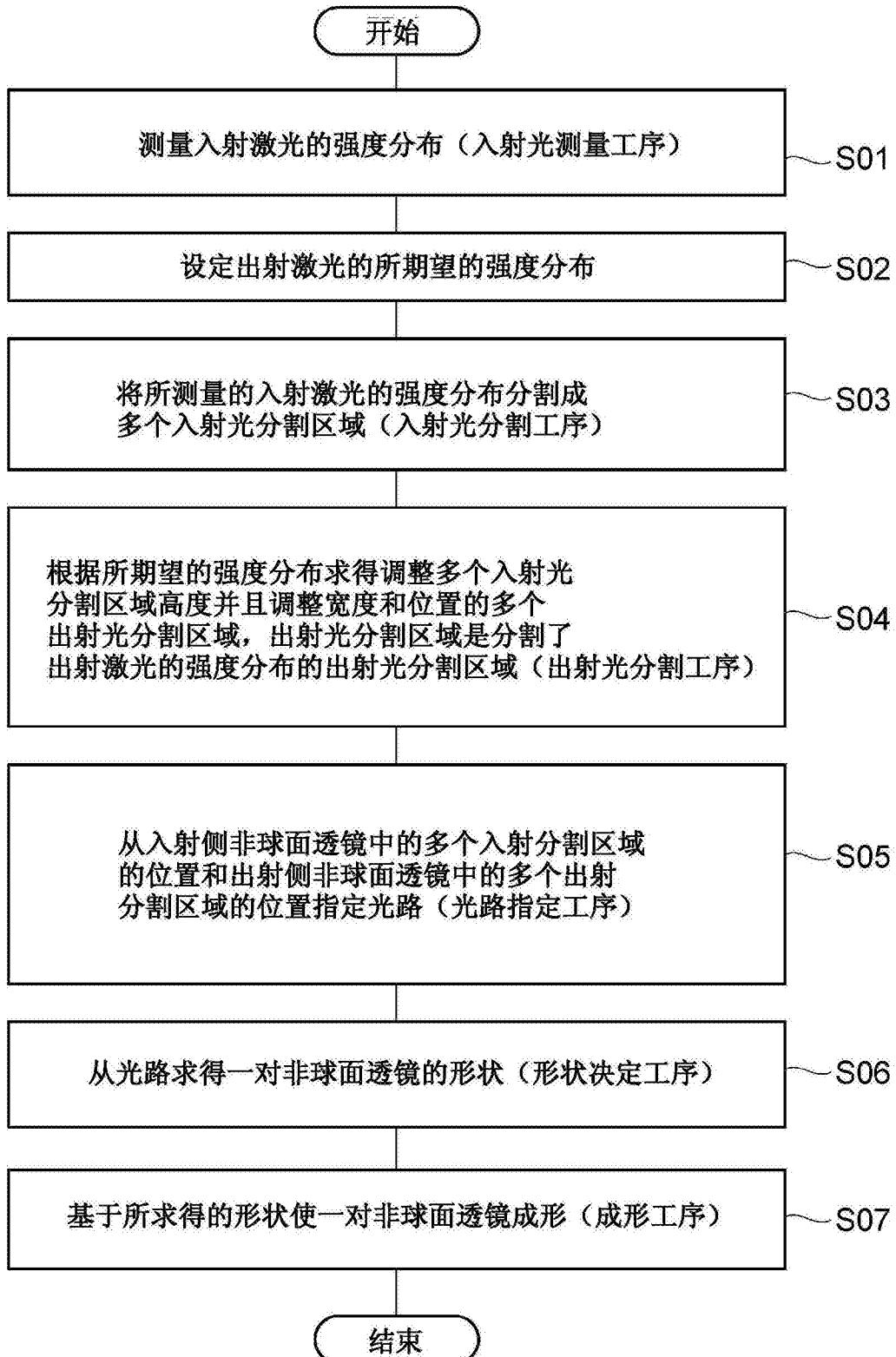


图2

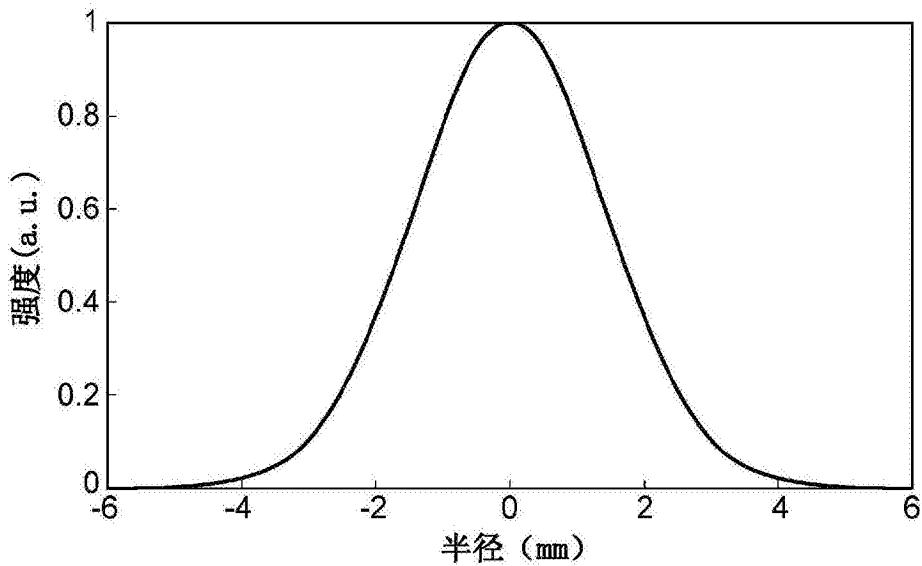


图3

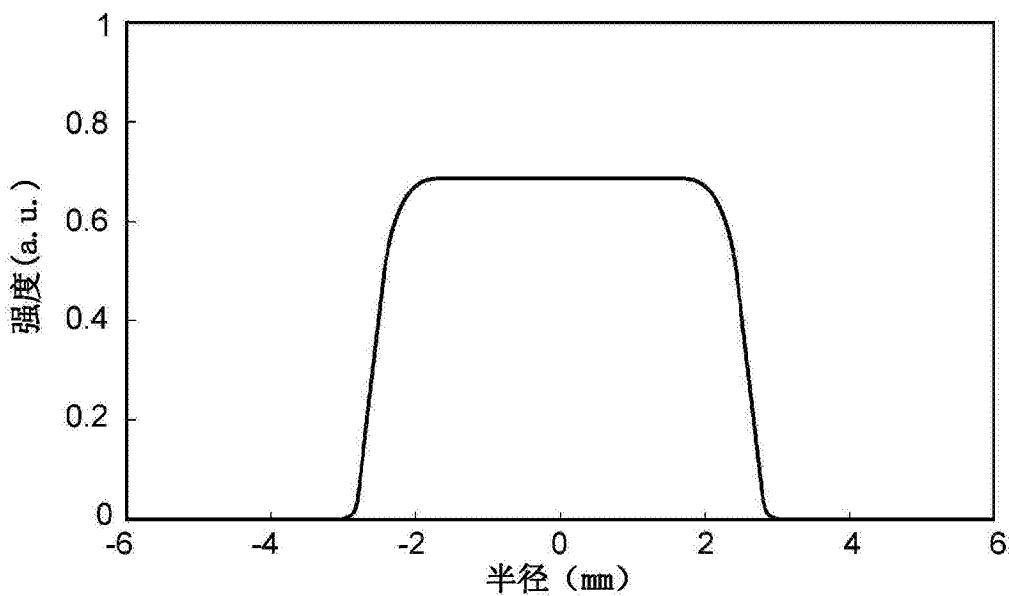


图4

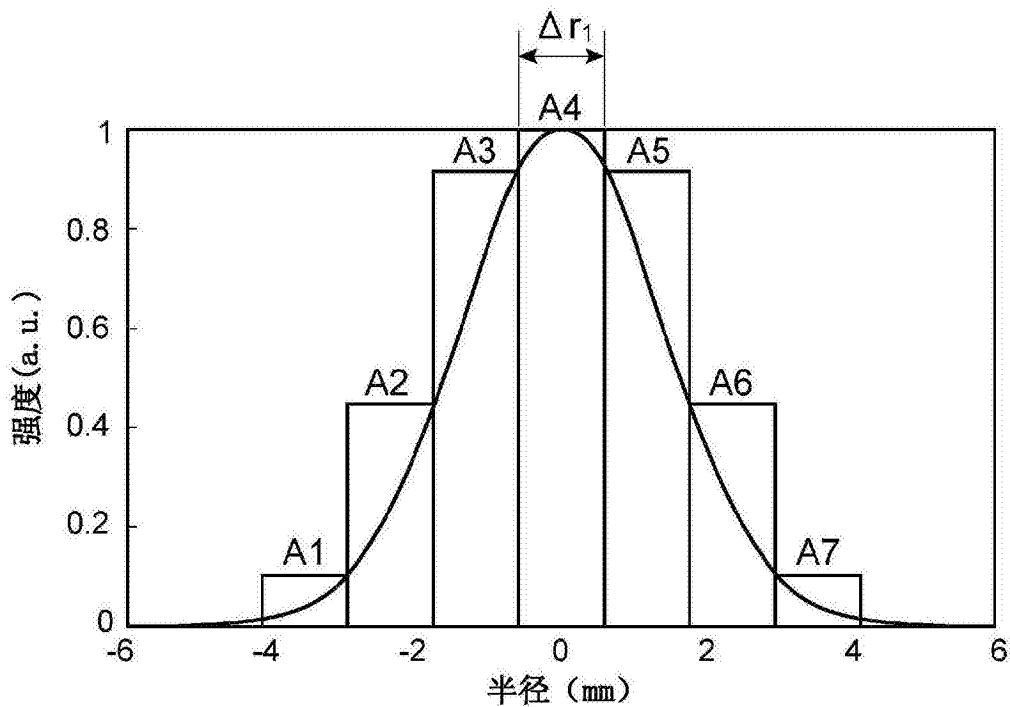


图5

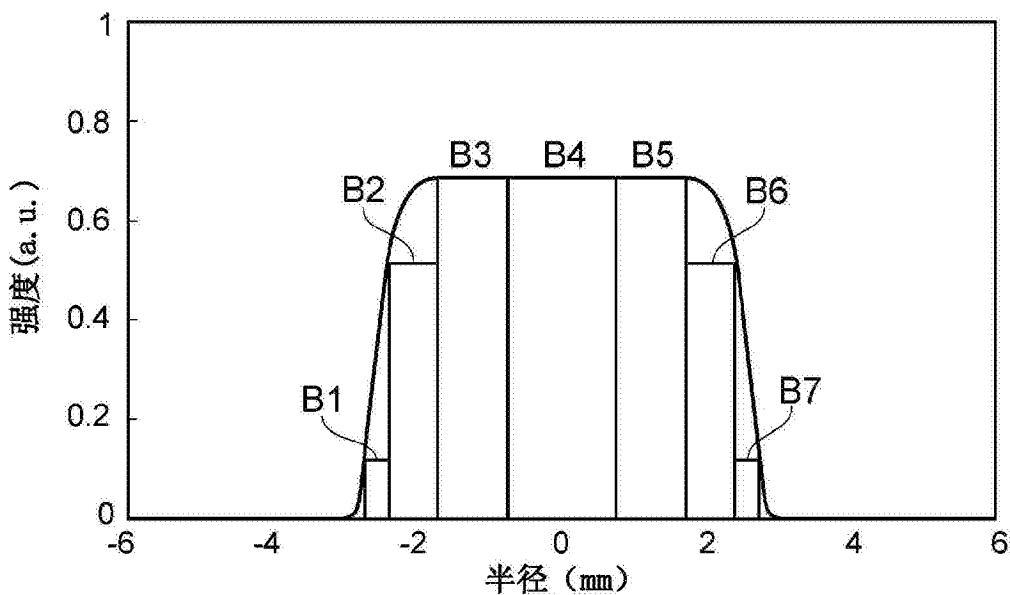


图6

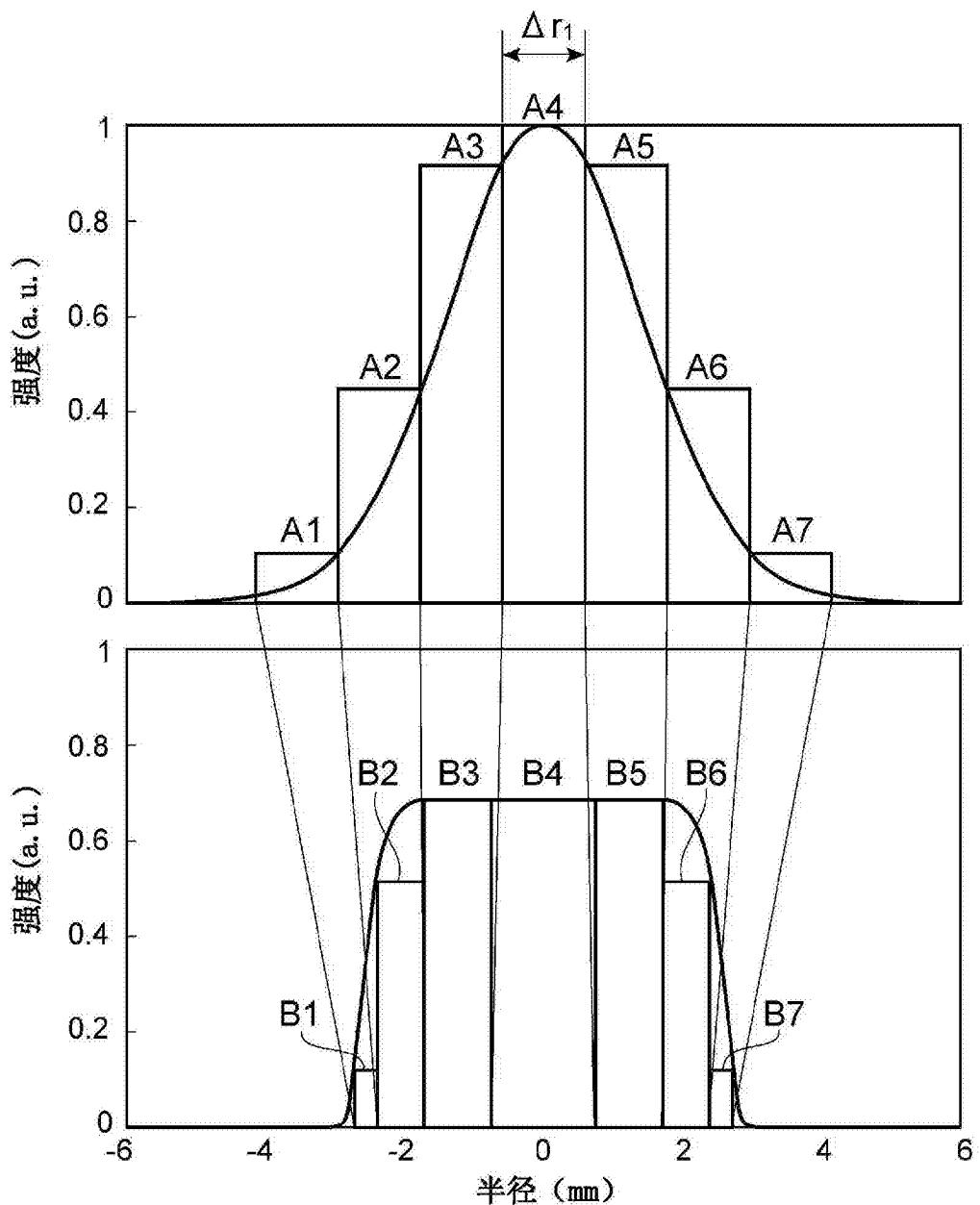


图7

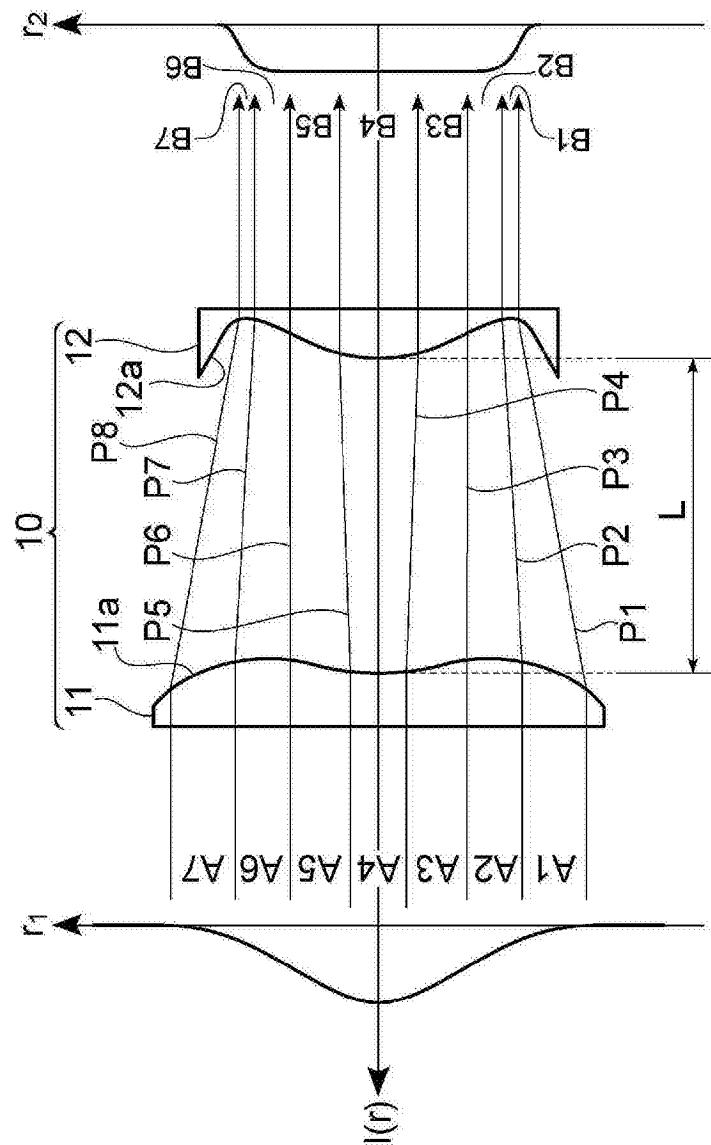


图8

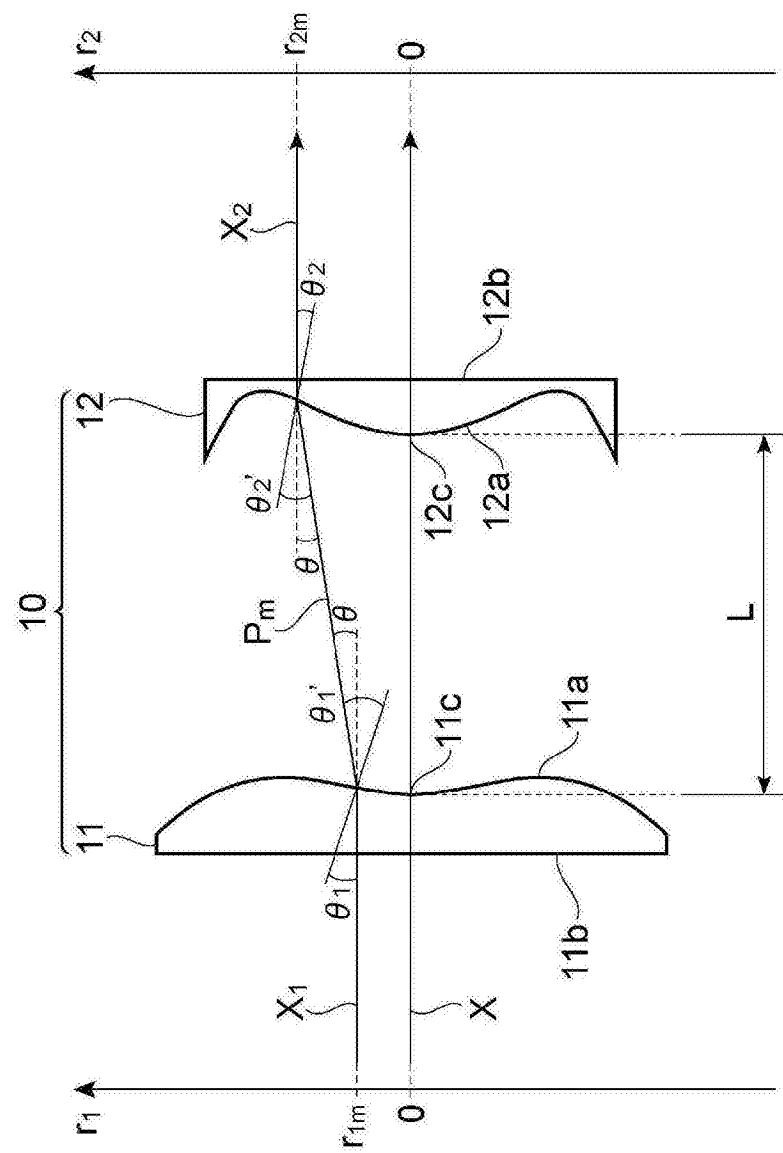


图9

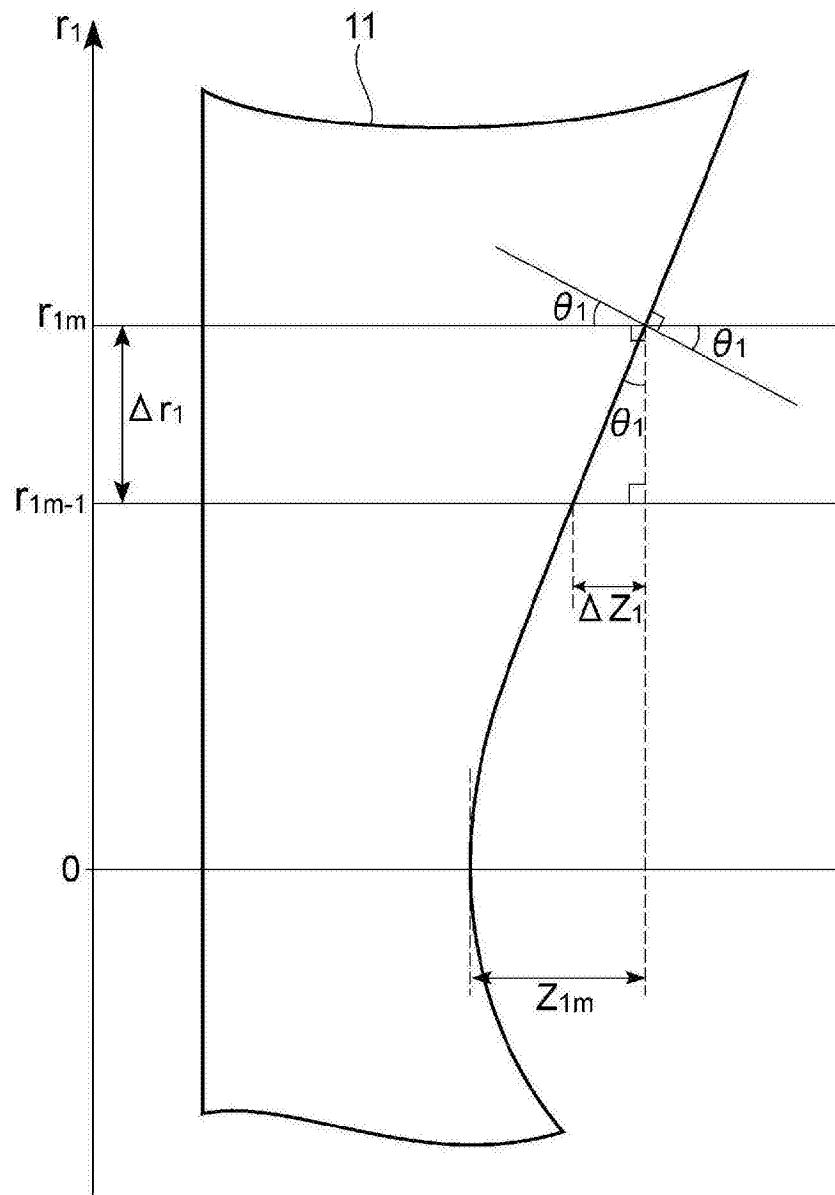


图10

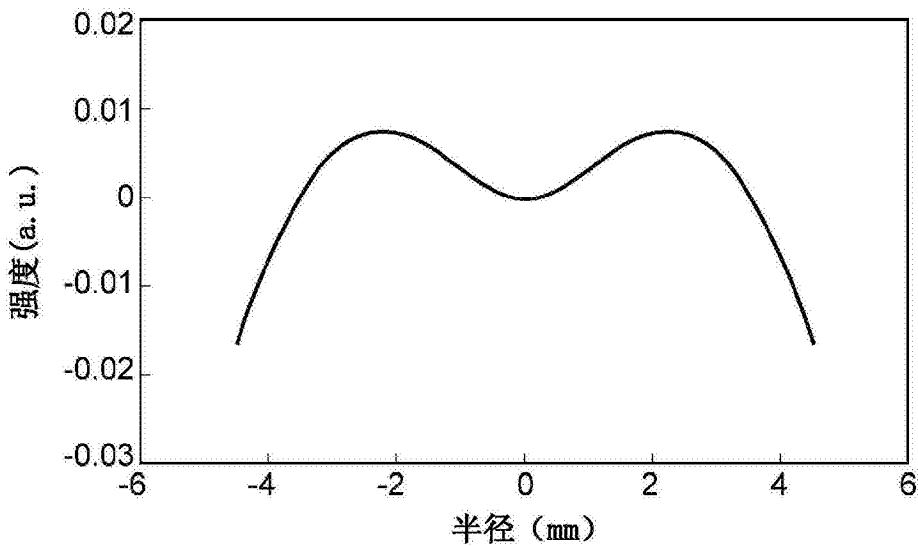


图11

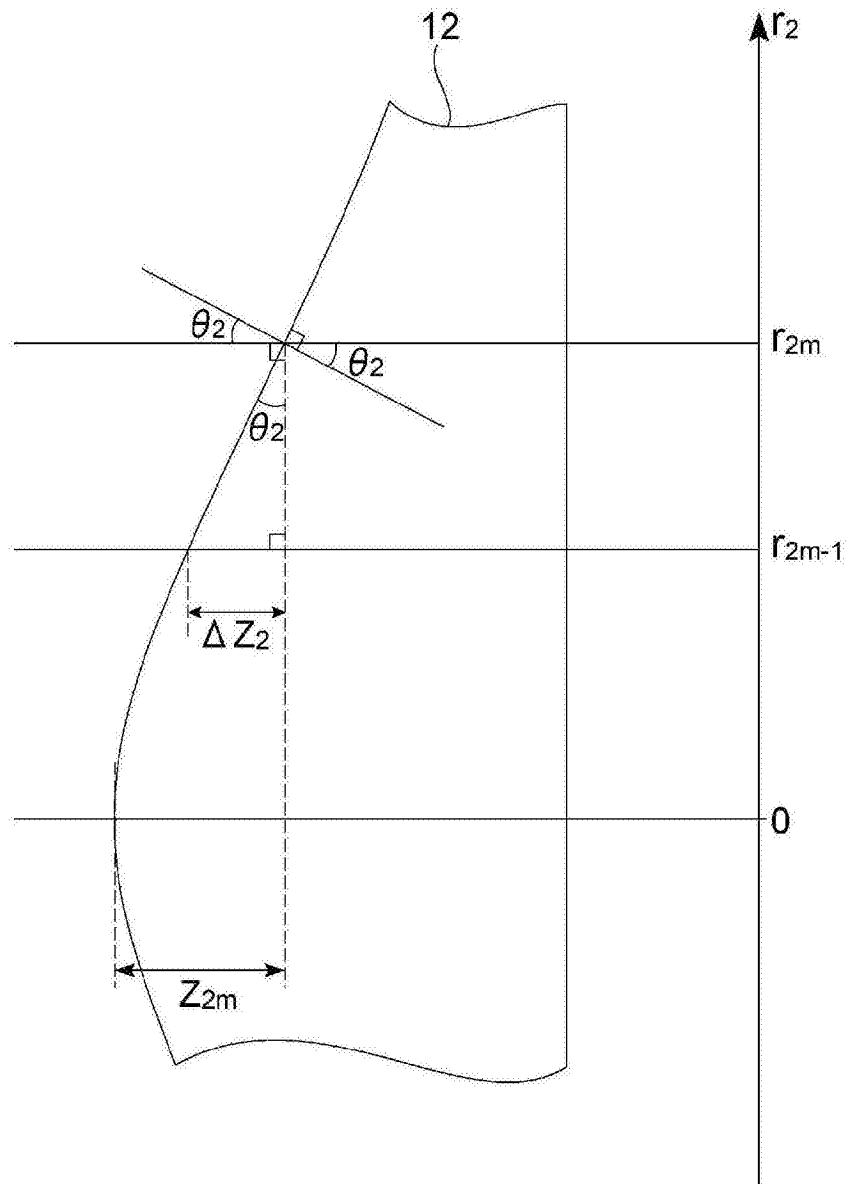


图12

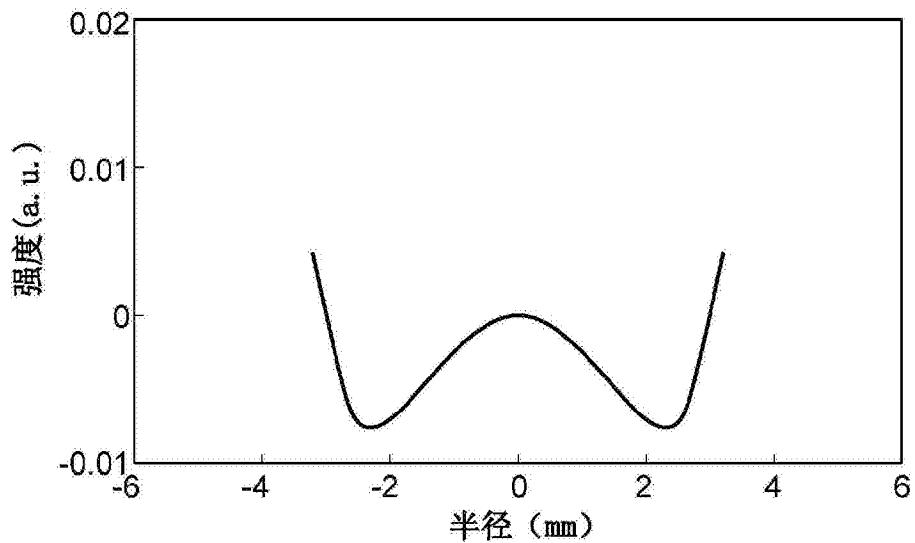


图13

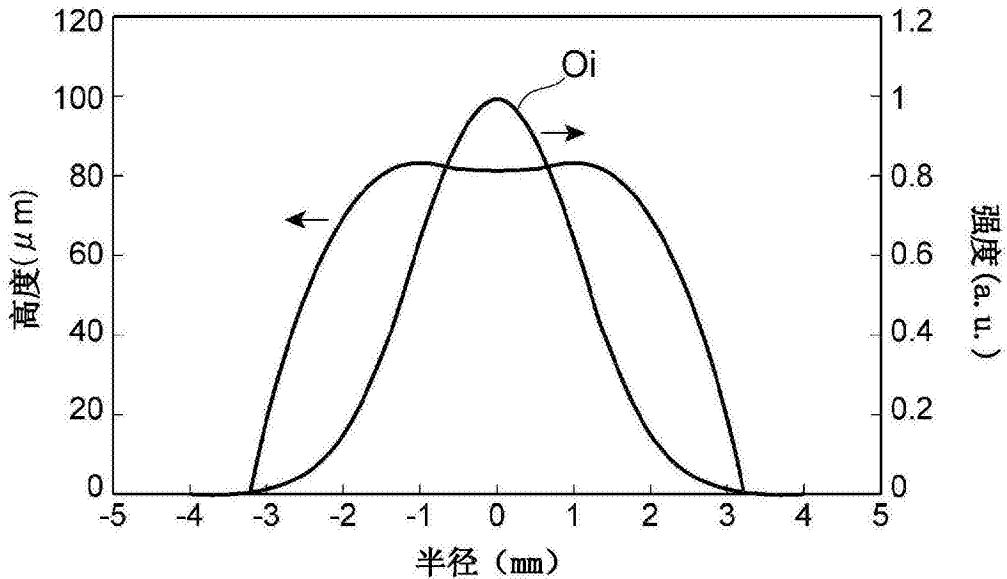


图14

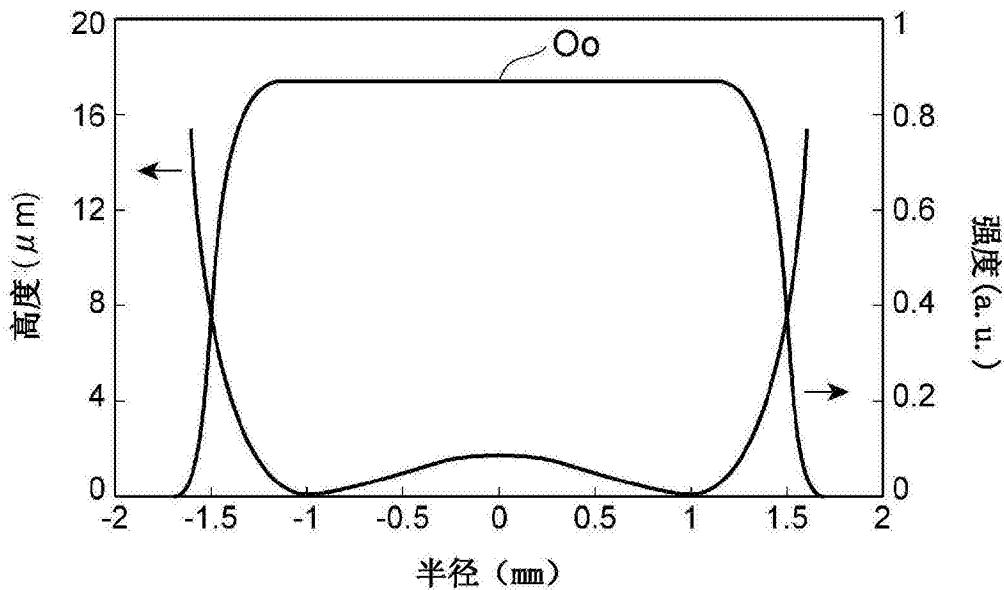


图15

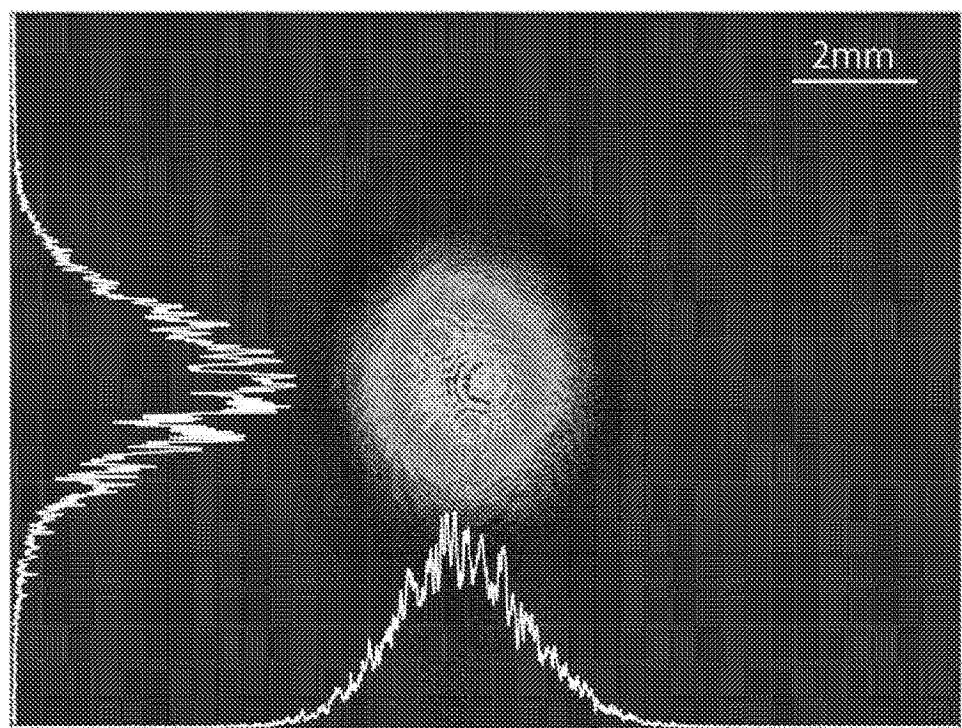


图16

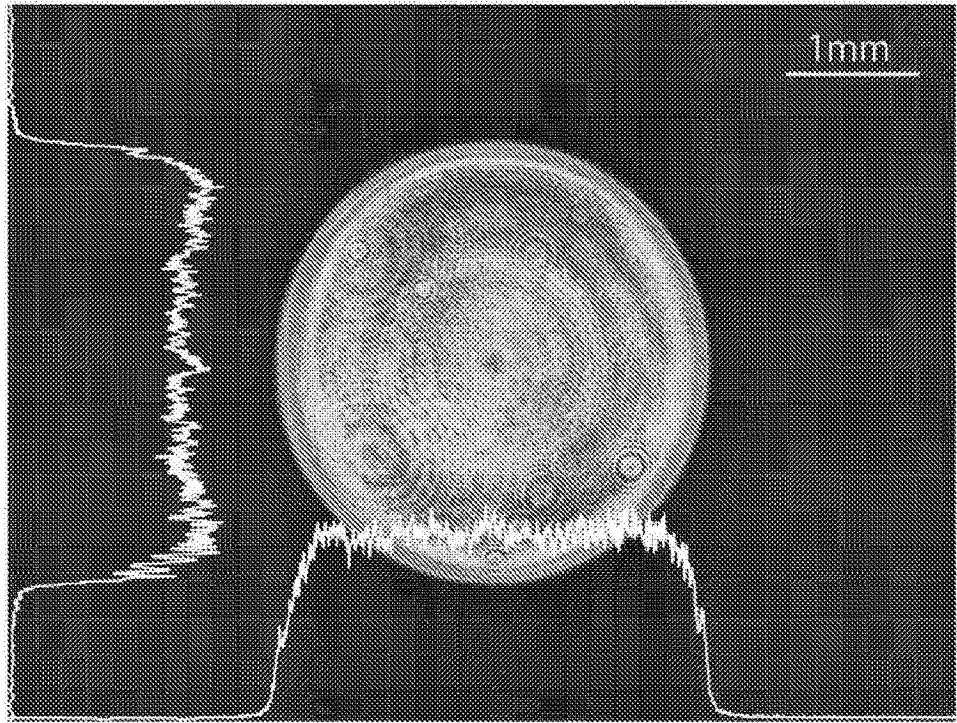


图17

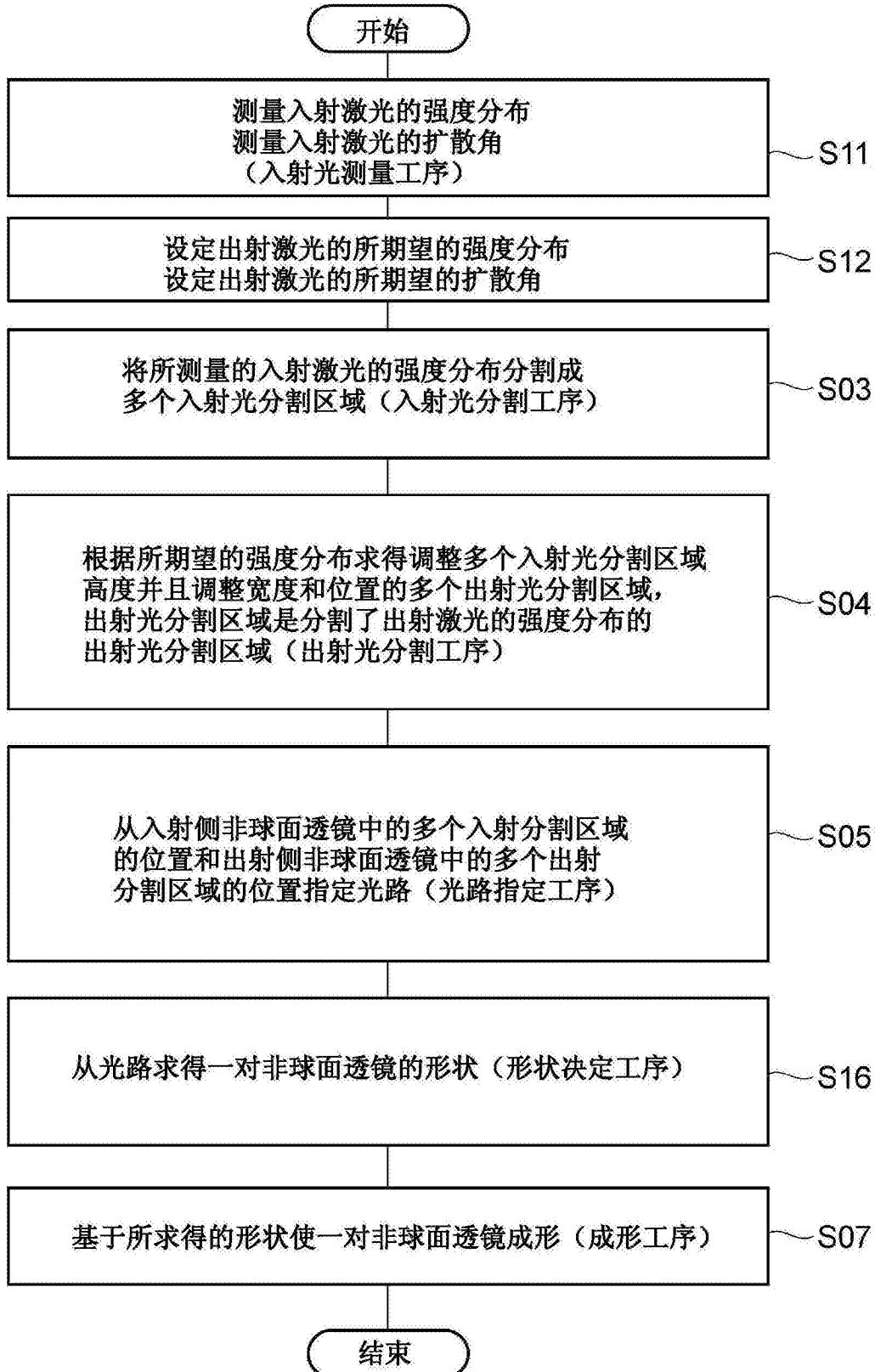


图18

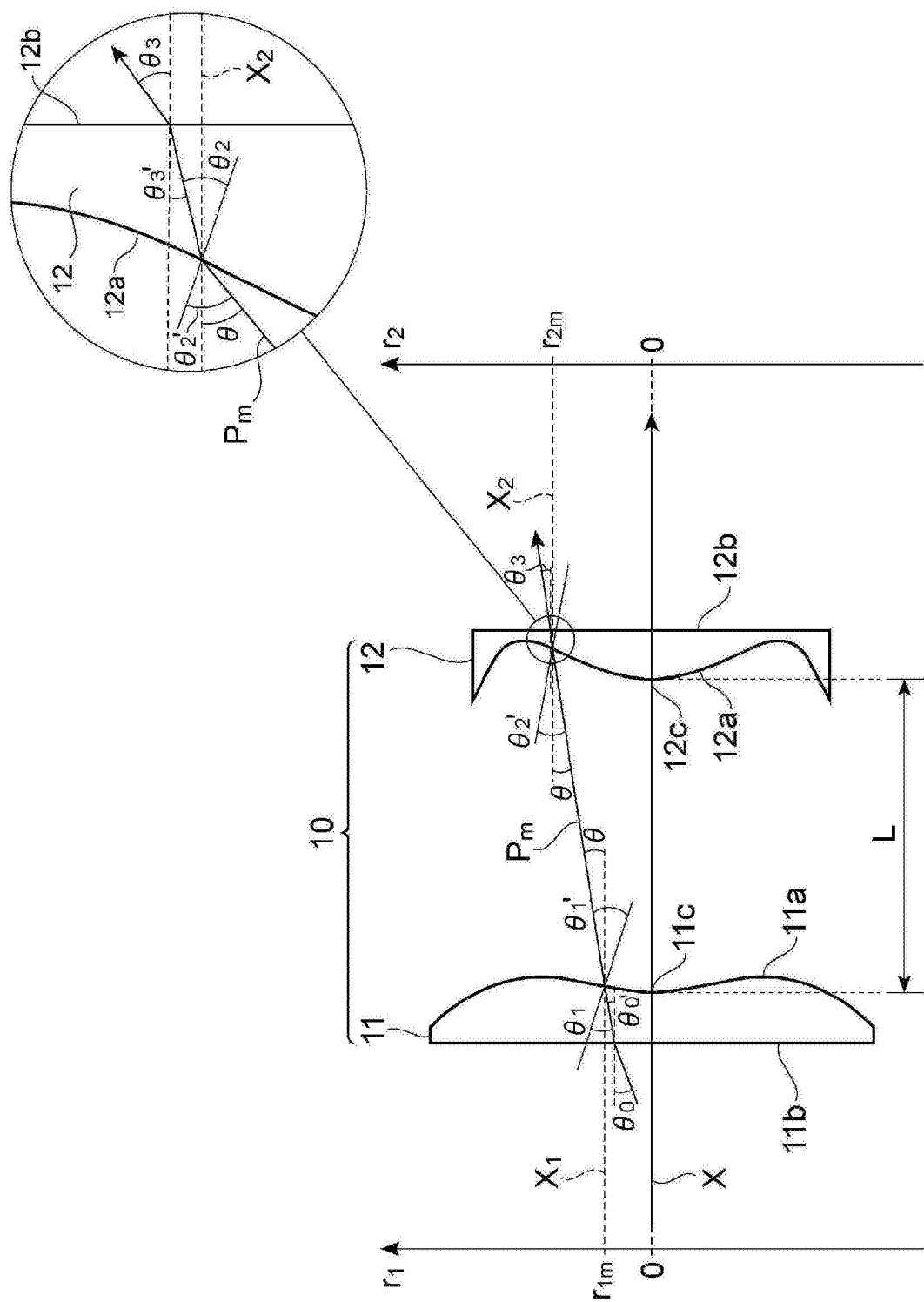


图19

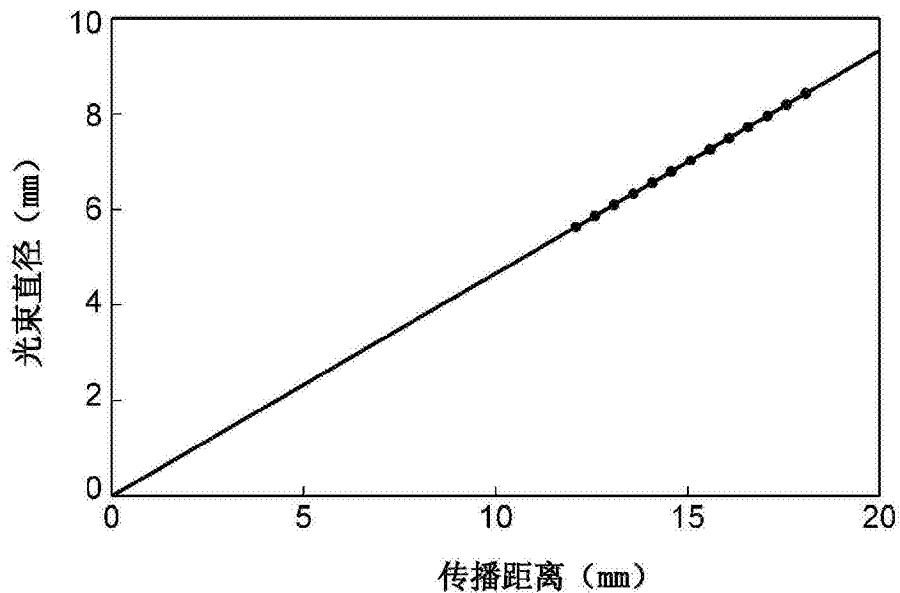


图20

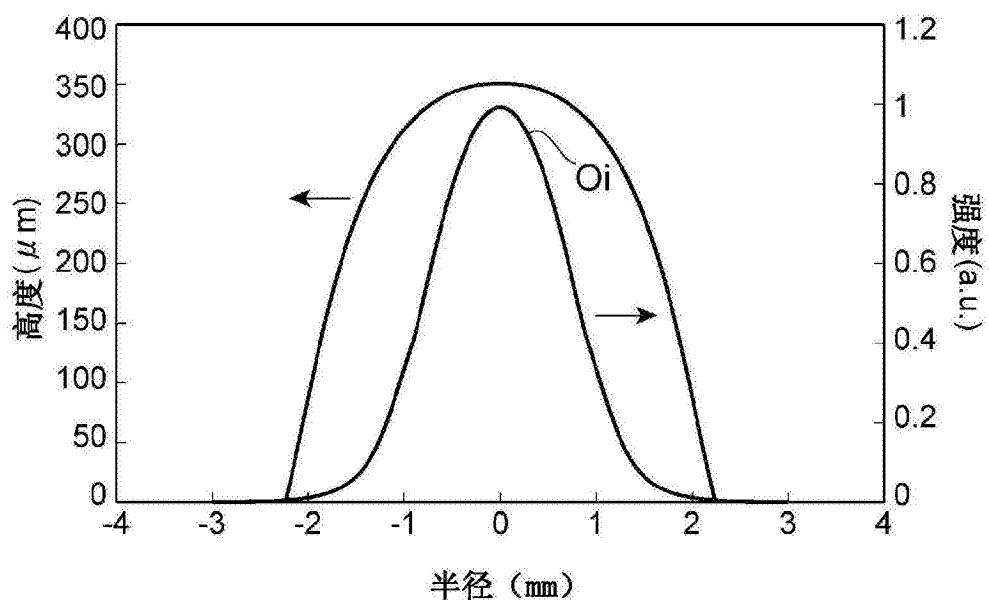


图21

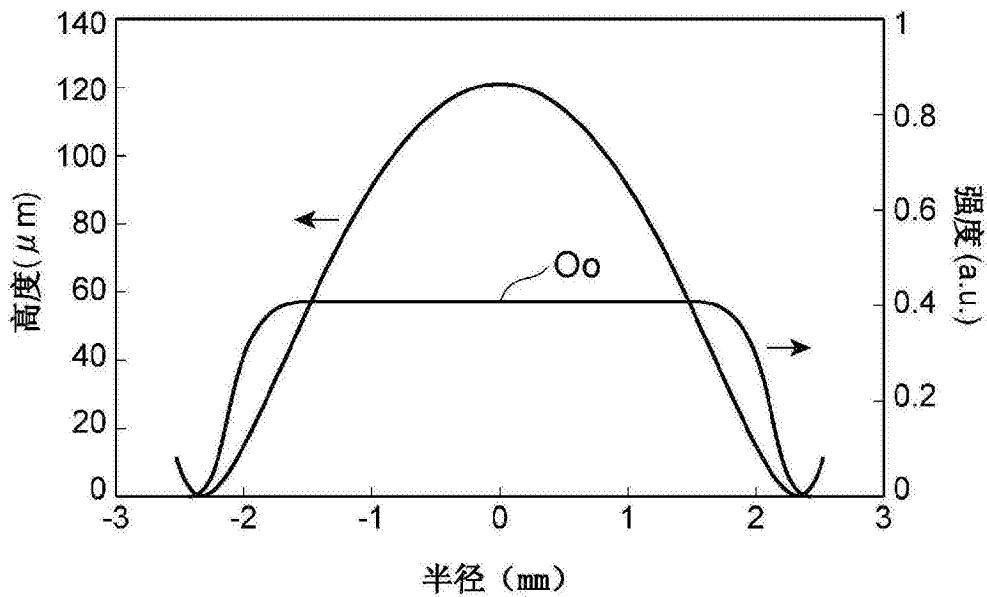


图22

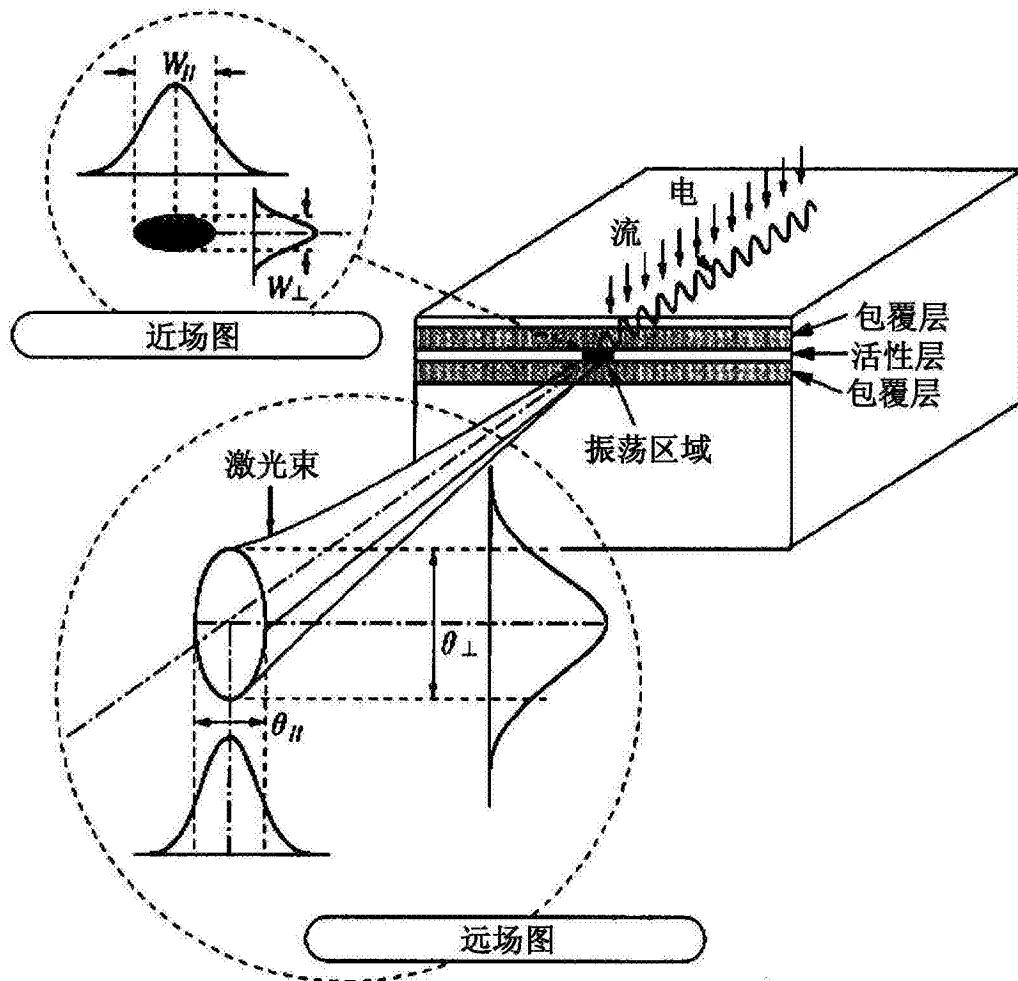


图23

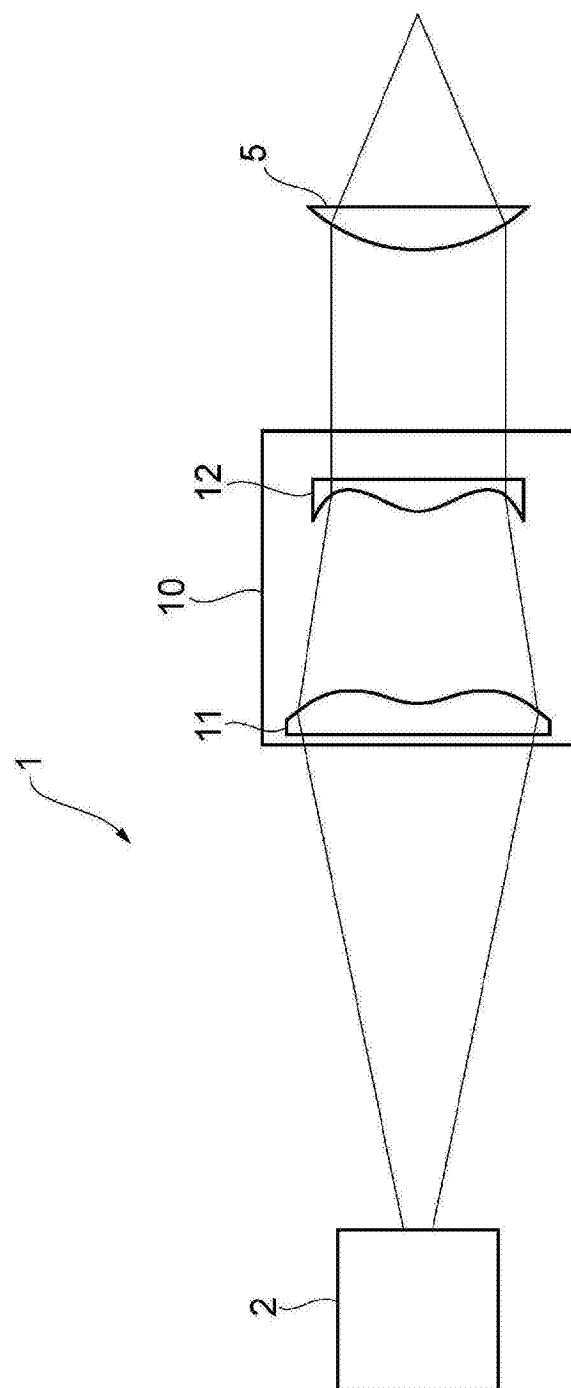


图24

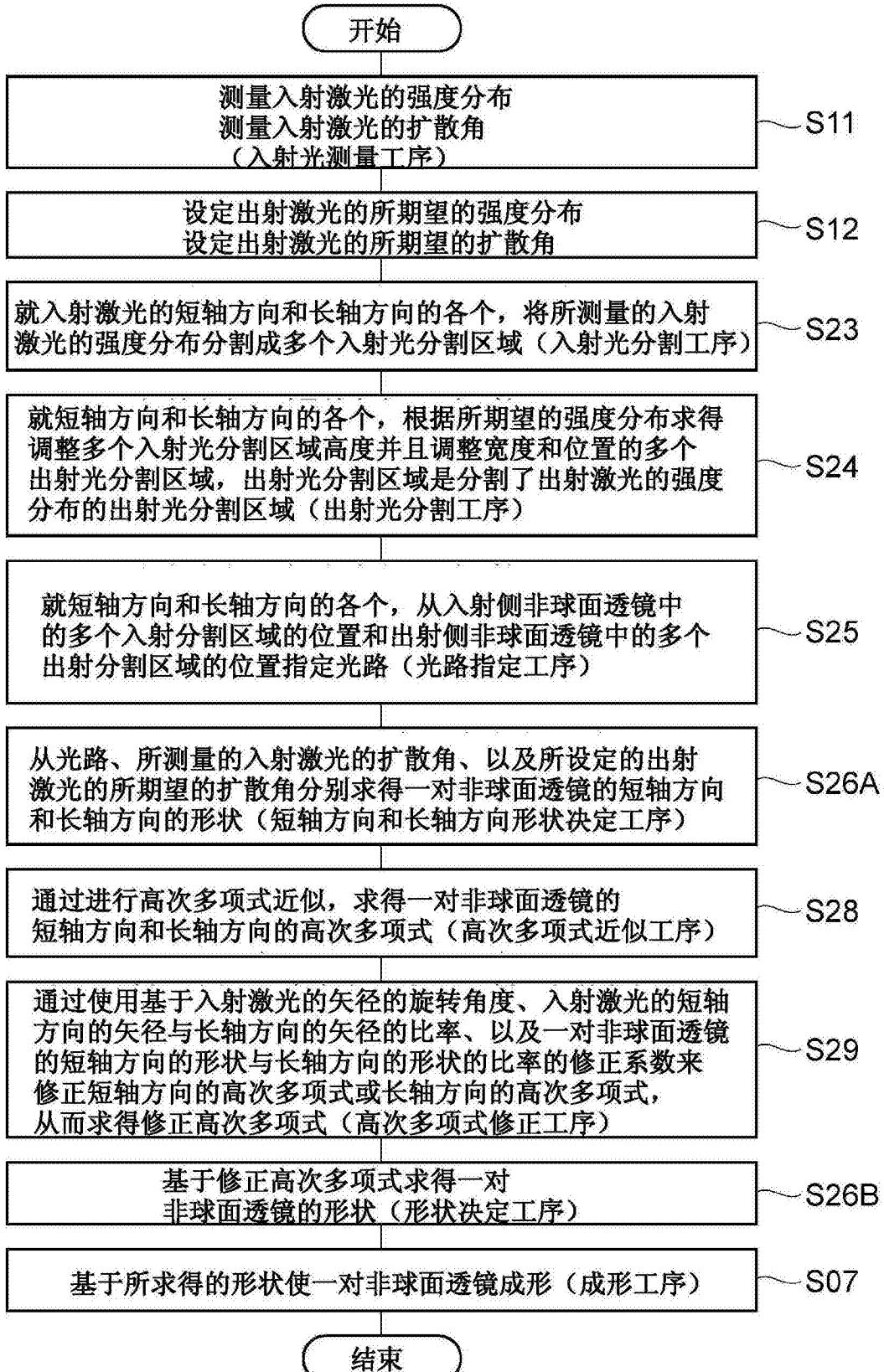


图25

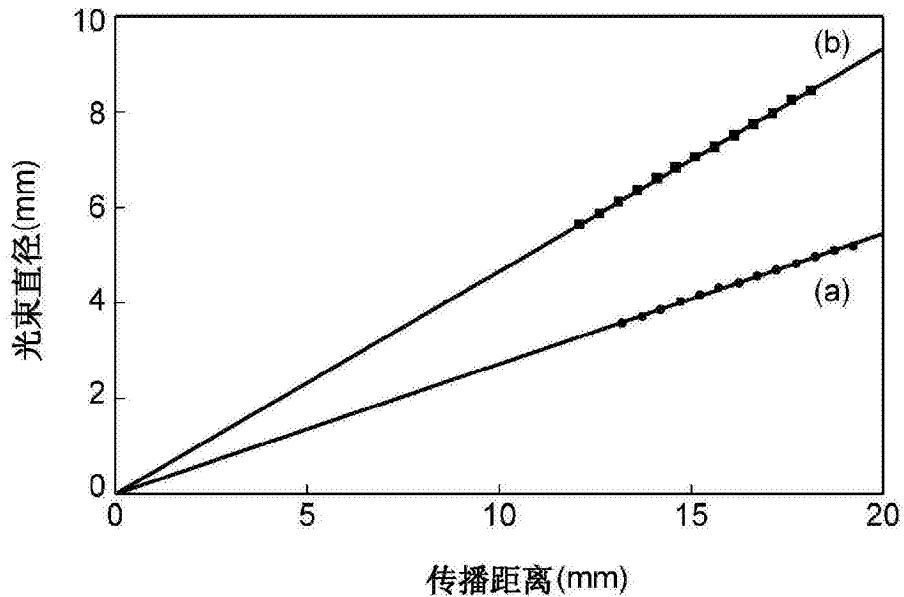


图26

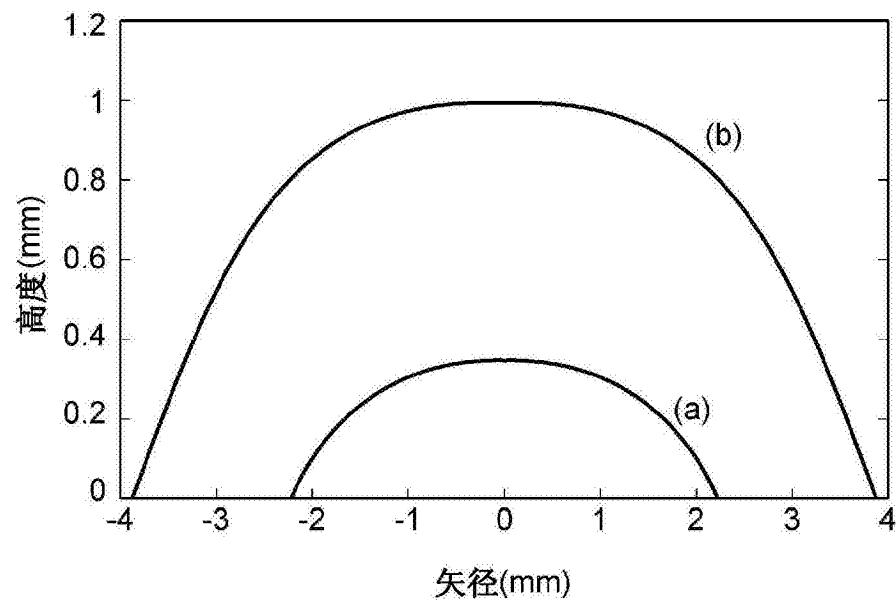


图27

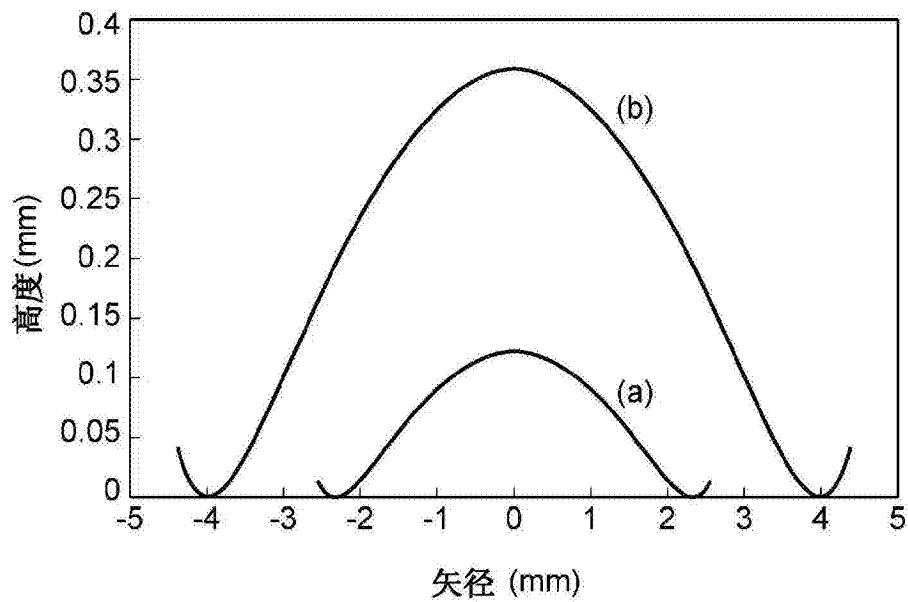


图28

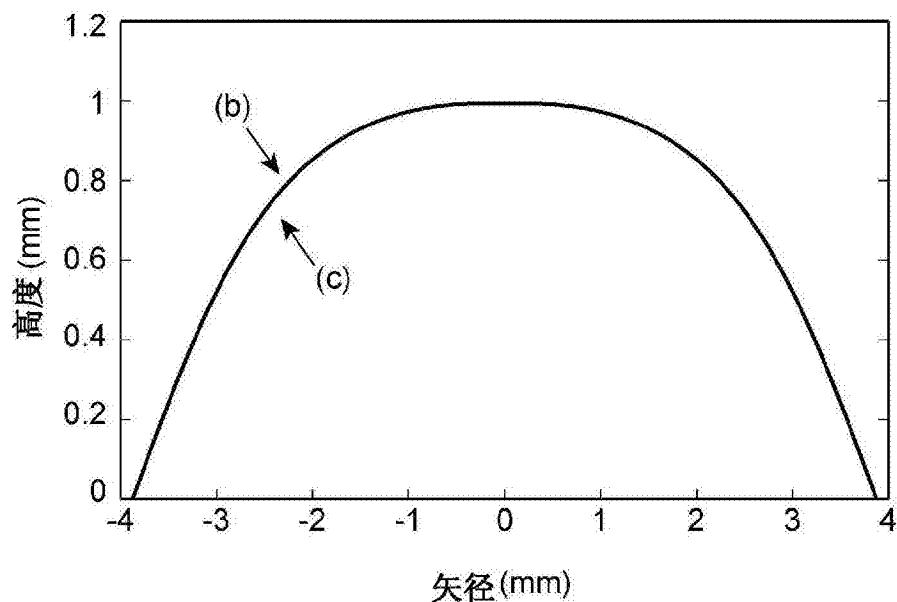


图29

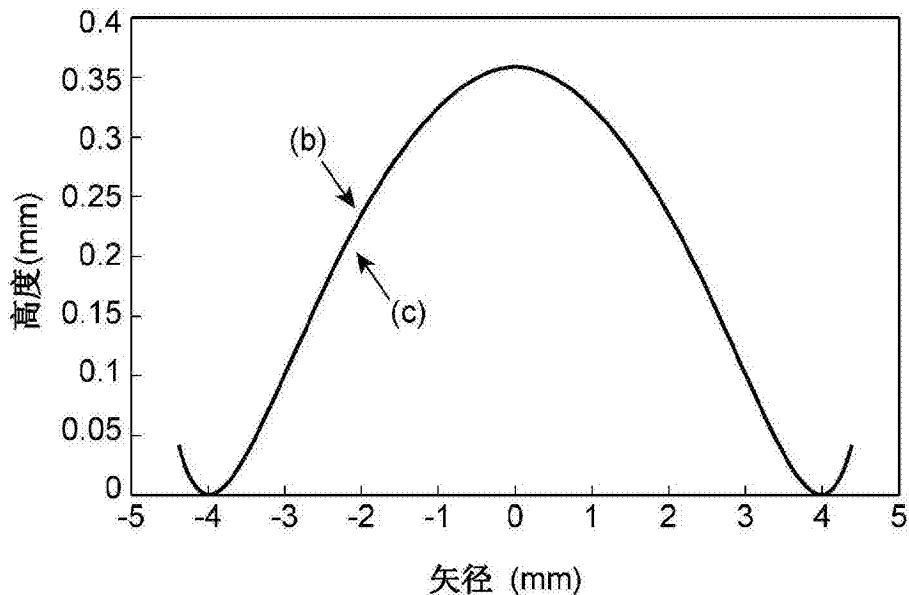


图30

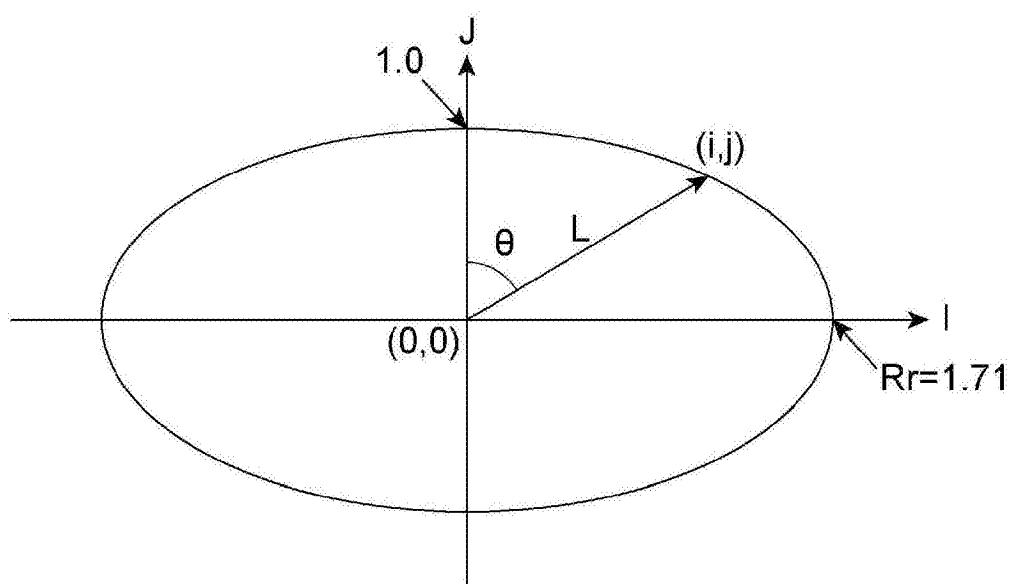


图31

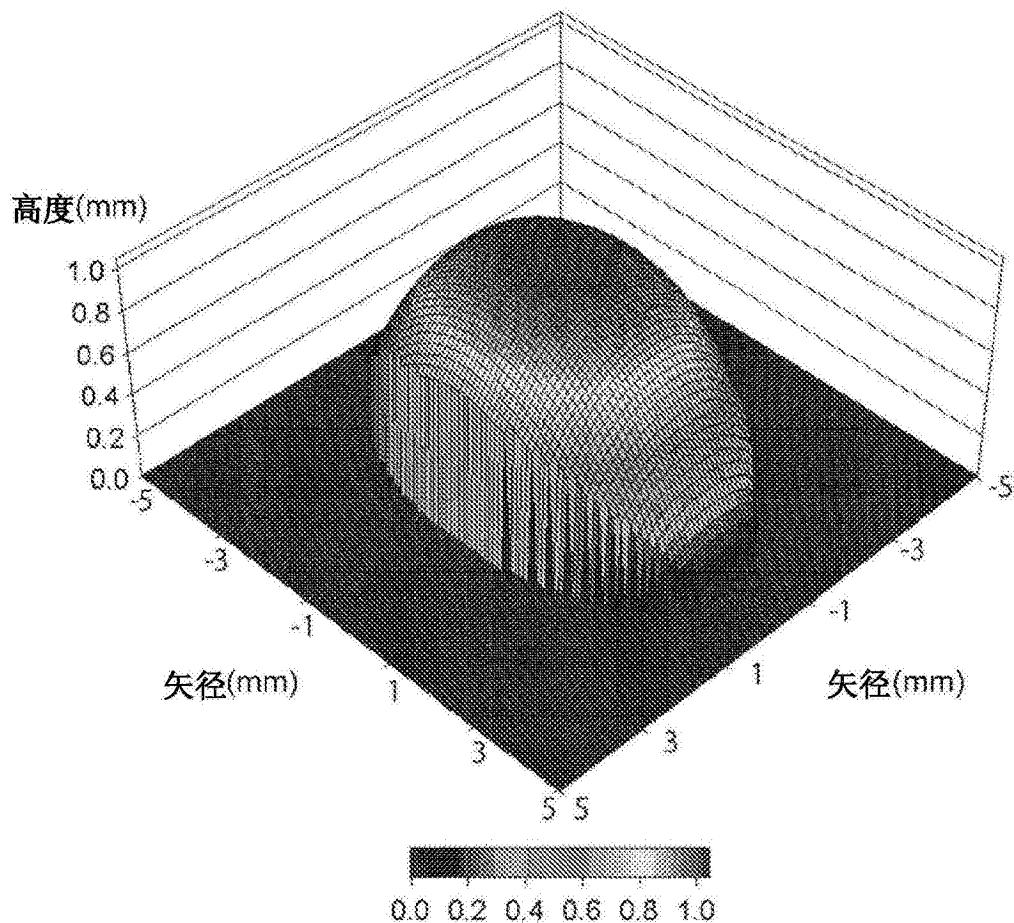


图32

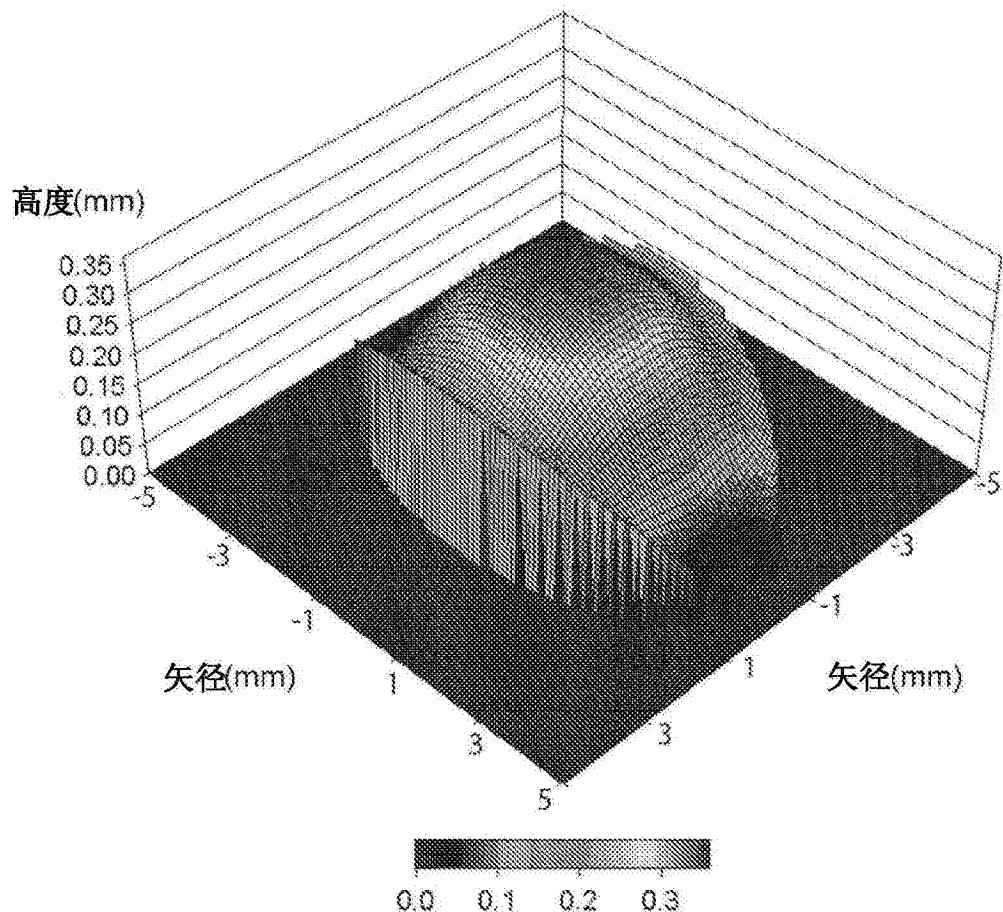


图33

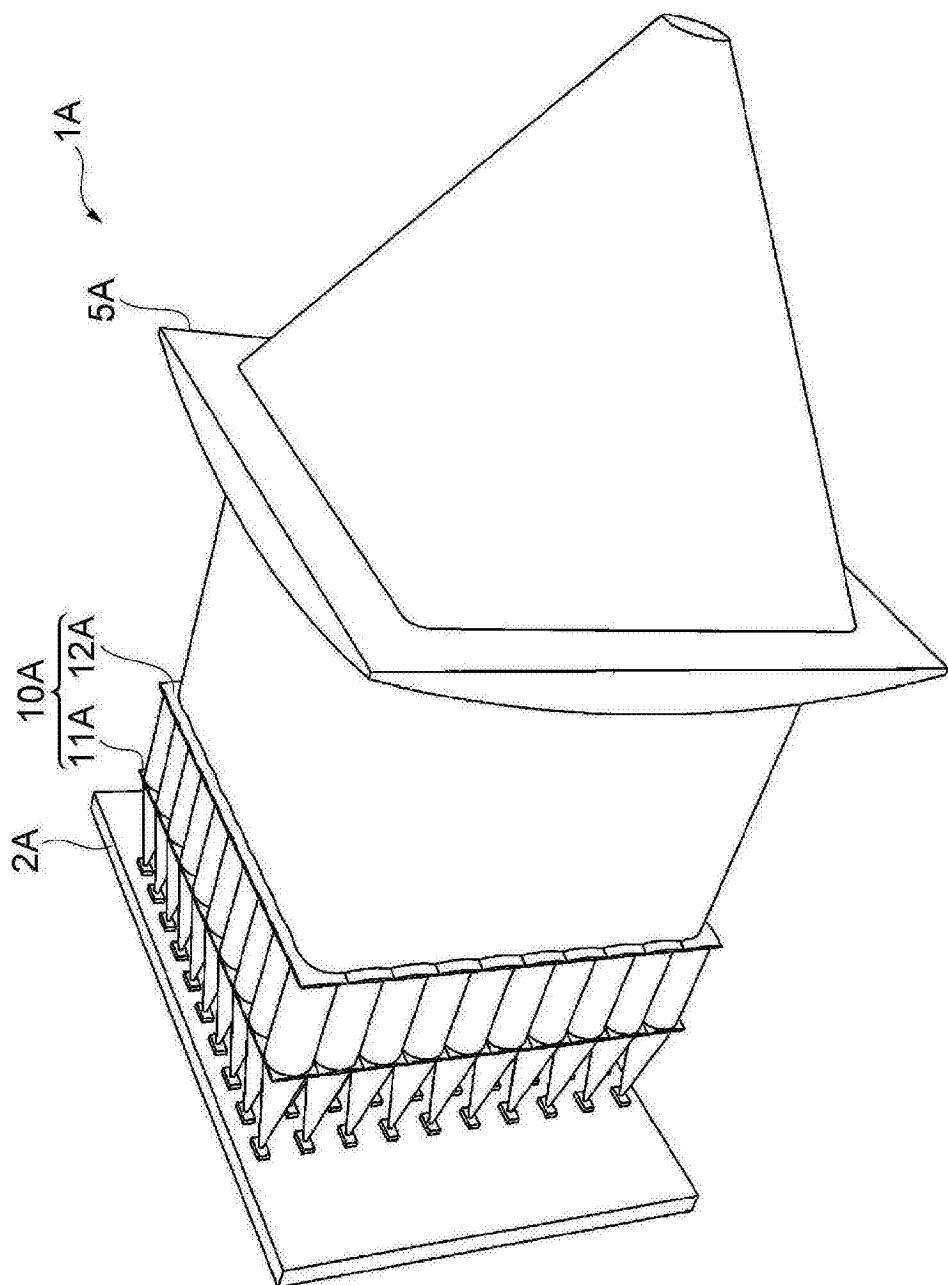


图34

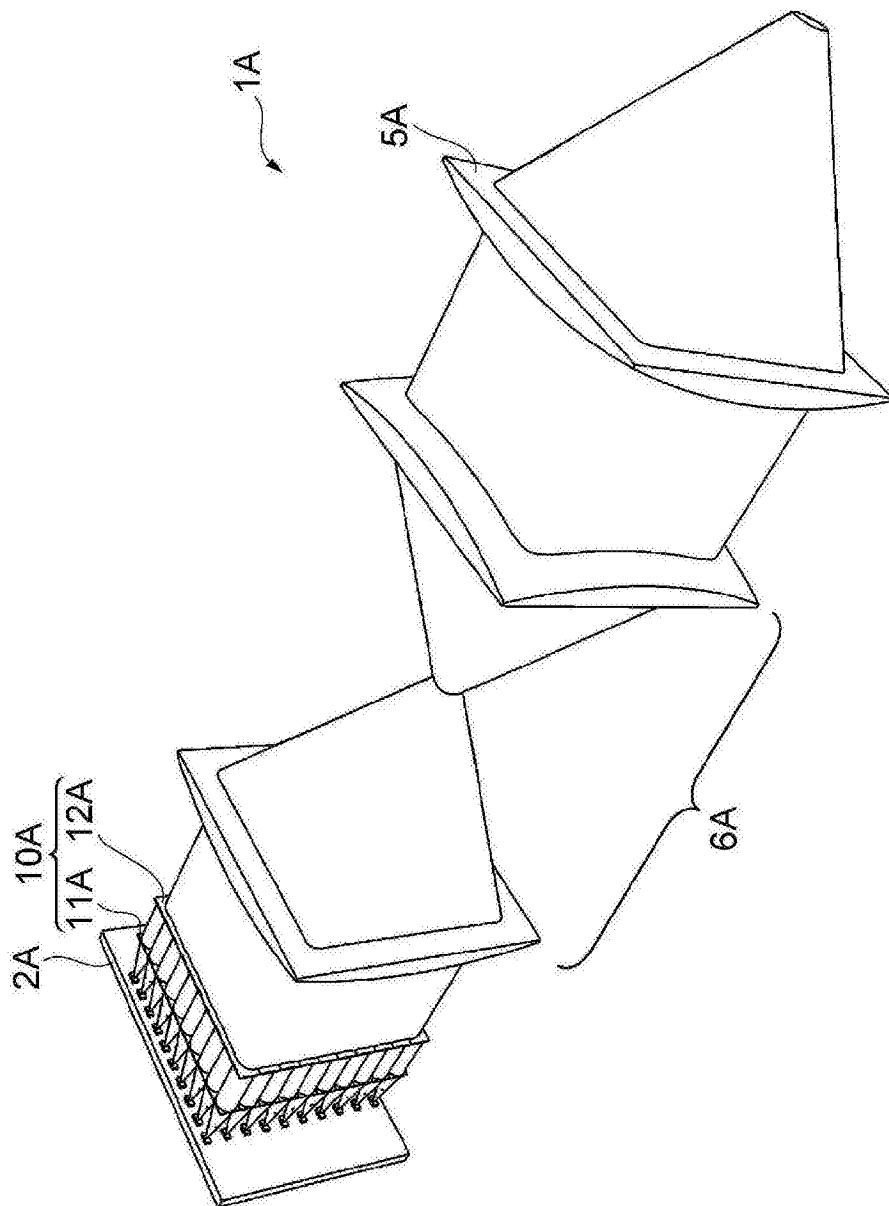


图35

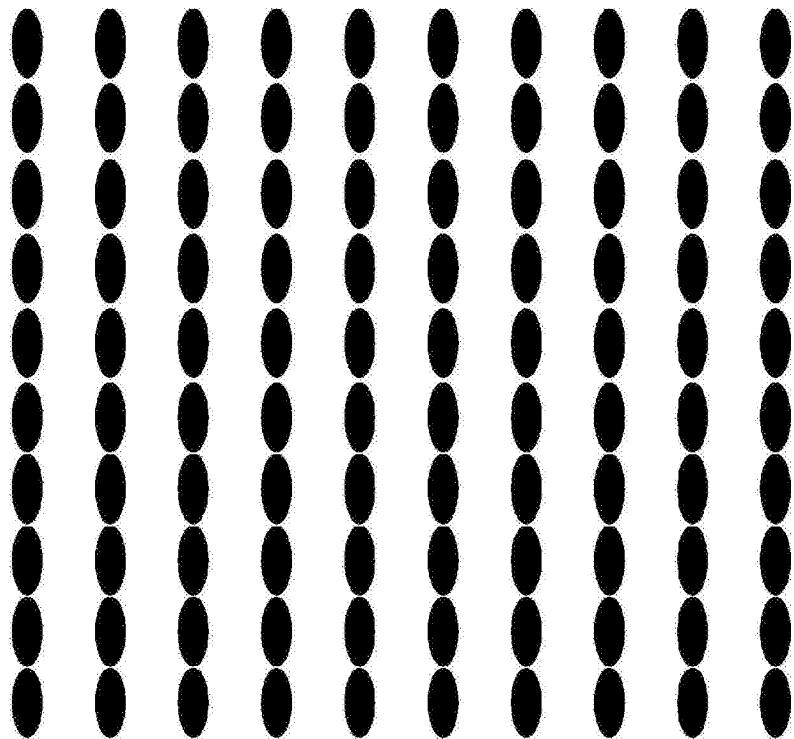


图36

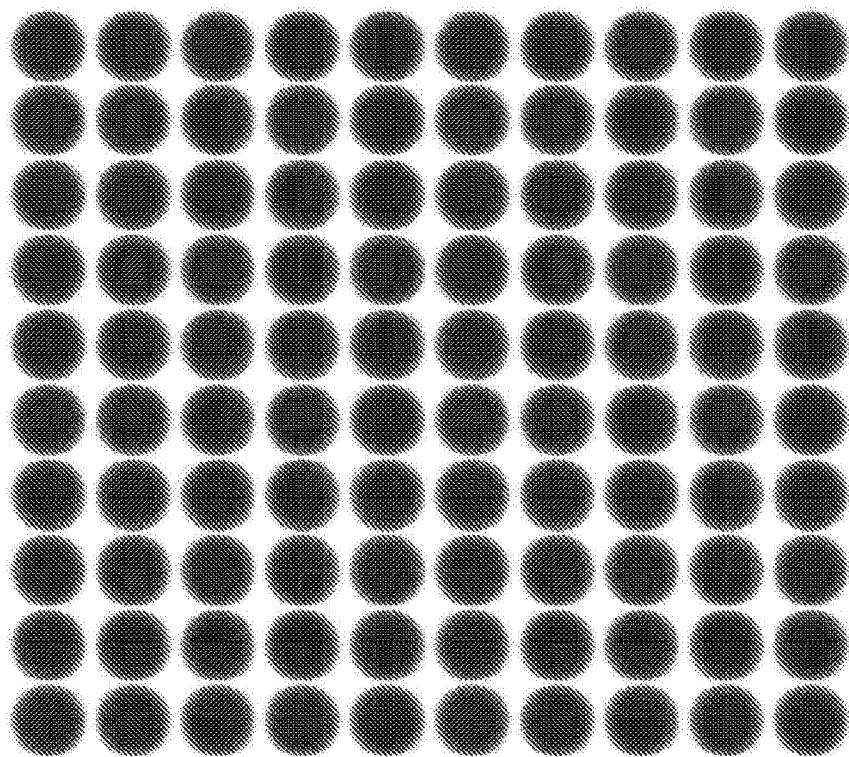


图37