

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G02B 13/00 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200410069730.3

[45] 授权公告日 2008 年 9 月 17 日

[11] 授权公告号 CN 100419490C

[22] 申请日 2004.7.9

[21] 申请号 200410069730.3

[30] 优先权

[32] 2003.7.10 [33] JP [31] 2003-273055

[73] 专利权人 日立麦克赛尔株式会社

地址 日本大阪府

[72] 发明人 杉靖幸

[56] 参考文献

JP2001-51192A 2001.2.23

CN1424719A 2003.6.18

US2002/0060857A1 2002.5.23

JP2001-315003A 2001.11.13

审查员 张 靳

[74] 专利代理机构 北京银龙知识产权代理有限公司

代理人 张敬强

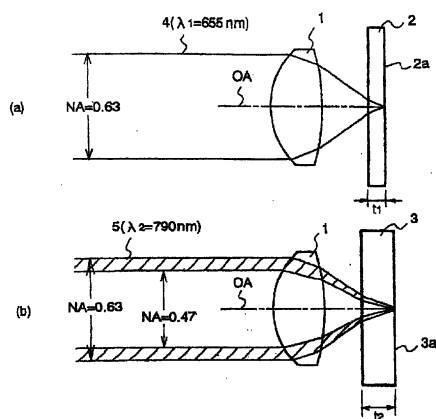
权利要求书 2 页 说明书 38 页 附图 20 页

[54] 发明名称

透镜和采用该透镜的光学系统、光学头以及光盘装置

[57] 摘要

本发明涉及一种透镜和采用该透镜的光学系统、光学头以及光盘装置。可以以较高的光利用率将光束聚集到信息记录面上。该透镜是将在对波长为 λ_i 的多种单色光聚光的多波长用透镜的一侧的透镜面中的所有单色光的共用区域分割成折射能力不同的多个非球面部。与各非球面部的各邻接的非球面部彼此的邻接部的透镜光轴平行方向上的级差量按照接近透镜光轴的顺序为 D_j 时，在邻接部的级差中一半以上的级差中，对应于各波长 λ_i 的下述 A_{ij} 值中的最小值为 $\text{MIN}(A_{ij})$ 、最大值为 $\text{MAX}(A_{ij})$ 时，满足下述公式： $\text{MAX}(A_{ij})/\text{MIN}(A_{ij}) < 3$ ，其中， $A_{ij} = \text{绝对值}(B_{ij} - m_{ij})$ ， $B_{ij} = (\text{绝对值}(D_j)) * (n_i - 1)/\lambda_i - C$ ， n_i 是波长 λ_i 的透镜的折射率， m_{ij} 是最接近 B_{ij} 的整数， C 是校正项。



1.一种对物透镜，在透明基板厚度不同的两种光记录媒体的每一个上，入射不同波长 λ_i 的两种单色光，并使该单色光在该光记录媒体的该透明基板上设置的信息记录面上聚光，其特征在于，

将至少一侧的透镜面中的两种单色光的共用区域分割成折射能力不同的多个非球面部，

当所分割的各非球面部的各自邻接的非球面部彼此的邻接部的在与透镜光轴平行的方向上的级差量为 D_j 、波长 λ_i 的光入射时的第 j 个邻接部间的 NA 为 NA_{ij} 时，且在上述邻接部的级差中至少一半以上的级差中，在对应于各波长 λ_i 的下述 A_{ij} 值中的最小值为 $\text{MIN}(A_{ij})$ 、最大值为 $\text{MAX}(A_{ij})$ 时，满足下述公式：

$$\text{MAX}(A_{ij})/\text{MIN}(A_{ij}) < 3$$

其中，

$$A_{ij} = \text{绝对值}(B_{ij} - m_{ij})$$

$$B_{ij} = (\text{绝对值}(D_j)) * (n_i - 1) / \lambda_i - (NA_{ij}^2) * K / \lambda_i$$

n_i : 波长 λ_i 下的透镜的折射率

m_{ij} : 最接近 B_{ij} 的整数

$i=1$ 或 2

$j=1, 2, 3, 4, \dots$: 为接近透镜光轴的顺序

当 $NA_{ij} < 0.55$ 时， $K=0.0004\text{mm}$

当 $NA_{ij} \geq 0.55$ 时， $K=0.0005\text{mm}$ 。

2. 如权利要求 1 所述的对物透镜，其特征在于，在上述多个非球面部上，设定因该单色光的波长 λ_i 的不同而产生的色像差与因该光记录媒体的透明基板的厚度的不同而产生的球面像差相互抵消的非球面形状。

3. 如权利要求 1 所述的对物透镜，其特征在于，使各单色光聚光成 RMS 波面像差为 $0.035\lambda_i$ 以下。

4. 如权利要求 1 所述的对物透镜，其特征在于，在所有的邻接级差中， $\text{MIN}(A_{ij})$ 、 $\text{MAX}(A_{ij})$ 都满足权利要求 1 中规定的公式。

5. 如权利要求 1 所述的对物透镜，其特征在于， $\text{MIN}(A_{ij})$ 、 $\text{MAX}(A_{ij})$

满足下式：

$$\text{MAX} (A_{ij}) / \text{MIN} (A_{ij}) < 2。$$

透镜和采用该透镜的光学系统、光学头以及光盘装置

技术领域

本发明是利用多种单色光的多波长用光学系统，涉及互换型记录再生装置上用的通用多波长用透镜、多波长用光学系统、光学头以及光盘装置，互换型记录重现装置可对应于例如 CD（光盘：还包括 CD-R 等的 CD）、DVD（Digital Versatile Disc）、和蓝色激光（blue laser）对应的光盘（AOD）等种类不同的光记录媒体。

背景技术

至今，提出了可以对 CD 和 DVD 等种类不同的光盘都进行再生的互换型光盘装置。CD 和 DVD 等（以下将这些总称为光盘）都采用透明的基板，在该透明基板的一面上设有信息记录面。这样，光盘由两个透明基板以信息记录面相对而合并的方式贴合构成，或者由这样的透明基板以透明的保护基板、透明基板的信息记录面与保护基板相对而合并的方式贴合构成。再生如此构成的光盘上存储的信息信号时，必需通过光盘装置使来自光源的激光束经透明基板聚光到光盘的信息记录面上。如下所述，激光束的波长在用于 CD 的场合和用于 DVD 的场合下是不同的。为了使激光束聚光，在光盘装置中使用物镜。这里，用于 CD 的透明基板的厚度为 1.2mm，与此相对，用于 DVD 的透明基板的厚度为 0.6mm，相应于光盘的种类（激光束波长的差异）所设的信息记录面的透明基板的厚度不同。在对种类不同的光盘进行再生的光盘装置中，即使对应于光盘的种类，透明基板的厚度不同，也必需使激光束聚光在信息记录面上。另外，有近年来提出的新光盘装置采用波长 400nm 左右的蓝色激光来再生信息的方案。因此，在光盘装置中，希望在用于下位互换 CD 以及现有的 DVD 之外，还可以同时使用这样的新光盘。

作为这样的互换型光盘装置，考虑或者在读取装置上为每一种光盘

设置物镜，根据使用的光盘种类更换物镜，或者为每一种光盘设置读取装置，根据使用的光盘种类更换读取装置。但是，为了使成本降低和装置小型化，作为物镜，希望可以对光盘的任一种类都用同样的透镜。

作为这样物镜的一个典型实例在专利文献 1 中有记载。该文献中所记载的物镜在半径方向上分成三个以上的环带状透镜面，每一个环带状透镜面和另一个环带状透镜面折射能力不同。这样，对于同样波长的激光束，每一个环带状透镜面使激光束聚光在例如薄透明基板（0.6mm）的光盘（DVD）信息记录面上，每另一个环带状透镜面使激光束聚光在例如厚透明基板（1.2mm）的光盘（CD）信息记录面上。

另外，作为其它的典型实例在专利文献 2 中有记载。该文献中公开了一种光盘装置，该光盘装置对于薄透明基板的 DVD 使用短波长（635nm 或者 650nm）激光束，对于厚透明基板的 CD 使用长波长（780nm）激光束。该光盘装置具有这些激光束共用的物镜。这样，该物镜形成衍射透镜构造，该衍射透镜构造在具有正的放大率的折射透镜一面上密密地设置环带状细小级差。这样的衍射透镜构造设计成这样，即，对于薄透明基板的 DVD，使短波长激光束的衍射光聚光在信息记录面上，而对于厚透明基板的 CD，使长波长激光束的衍射光聚光在信息记录面上。这样，设计成将任何衍射光和同一级的衍射光都聚集在信息记录面上。但是，对于 DVD 采用短波长激光束的情况，由于与 CD 相比，DVD 的记录密度高，因此，射束点必需缩小。众所周知，光斑的大小与波长成正比，与数值孔径 NA 成反比。

已经提出一种在透镜面上设置环带状相位移相器的环带状相位校正透镜方式的物镜（例如专利文献 3）。在该物镜中，首先以一透镜面为基准，该透镜面做成用于 DVD 的、没有由波长 λ_1 为 640nm 的激光束形成的波面像差。另外，在该物镜中，在半径方向上分成多个环带状折射面，这些折射面分别具有从该基准透镜面的所定级差（距透镜中心的第 i 个的级差为 d_i ）而形成。通过这样的级差 d_i ，由各个折射面使 DVD 的激光束对于基准透镜面只移动该波长 λ_1 的整数 m_i 倍，由此缩小了 CD 系列的波面像差。

专利文献 1: 特开平 9—145995 号公报

专利文献 2: 特开 2000—81566 号公报

专利文献 3: 特开 2001—51192 号公报

在上述任一已有实例中, 由于可以对 DVD 和 CD 使用共同的物镜, 所以包括物镜、不需要为每一 DVD、CD 更换使用部件的装置等, 具有成本低且结构简单方面的优点。但是, 在上述专利文献 1 中, 由于在每一 DVD、CD 的物镜上采用的环带状透镜面不同, 所以对于入射激光束成为无效的部分很多, 存在光利用效率显著降低的问题。

另外, 在上述专利文献 2 中, 由于利用了通过衍射透镜构造的衍射光, 所以存在无法使各不同波长的衍射效率同时达到 100% 的问题。此外, 在该衍射透镜中, 对于用于 DVD 的短波长 (635nm 或者 650nm) 激光束和用于 CD 的长波长 (780nm) 激光束, 在这些的几乎中间的波长下使衍射效率为 100%, 从而对应于所使用的激光束, 使衍射效率平衡。另外, 为了在透镜面上设置衍射透镜构造, 必需有微小的级差, 但是容易受到制造上误差的影响, 在衍射构造由于设计偏移的情况下导致衍射效率劣化。这样, 衍射效率的劣化和最初衍射效率无法全部达到 100%, 就意味着全部入射光无法集光到设在光盘透明基板上的信息记录面上, 这就损失了光通量。

再有, 在上述专利文献 3 中所公开的环带状相位校正透镜方式中, 以设计成对于 DVD 的激光束没有波面像差的透镜面作为基准面, 由此, 使对于 CD 的激光束的波面像差缩小, 而从该基准面只凹陷 DVD 激光束的波长 λ_1 的整数 m_1 倍的级差 d_1 , 形成折射面。并且, 这时, 由于通过上述级差的形成而使各环带区域上的聚光点位置因上述级差形成而移动, 所以要使得聚光点位置没有移动地设计各环带区域曲面形状。但是, 在上述专利文献 3 的已有实例中, DVD 的波面像差虽可以充分缩小, 但是对于 CD 的激光束来说, 无法充分缩小波面像差。作为波面像差的值, 如果作为 RMS 波面像差值为 Marechal (マレシャル) 评价基准的 0.07λ RMS 以下就较好, 这记载在许多已有的文献 (オプトロニクス社発行の光学入門第 198 页, 平成 2 年 11 月 26 日発行, 等等) 中, 上述专利

文献3中也描述了值为 0.07λ RMS 以下这样的实施方式。但是,所谓 0.07λ RMS 以下在光盘装置の場合应该是光盘装置总的目标值,作为单个物镜的目标值仍是不够的。作为光盘装置总体,由于激光的象散和准直透镜的像差、反射镜和透射镜的像差、光读取装置和光盘的倾斜错位等等使 RMS 波面像差变劣化的因素很多,所以,作为单个物镜来说, 0.07λ RMS 以下并不够,而是要求尽可能小的 RMS 波面像差值。具体地说,对于单个物镜,希望有 0.035λ RMS 以下的 RMS 波面像差值,尤其希望有 0.030λ RMS 以下的值,进一步希望有 0.025λ RMS 以下的 RMS 波面像差值,在上述专利文献3中,实施方式1中 DVD 的为 0.001λ RMS、CD 的为 0.047λ RMS,实施方式2中 DVD 的为 0.019λ RMS、CD 的为 0.037λ RMS, DVD 的波面像差有较好的值,而 CD 中却只有在 0.037λ RMS 以上的值,从而不能实现得到使 DVD、CD 都获得良好的波面像差值。

发明内容

本发明的目的在于提供一种透镜和使用该透镜的光学系统、光学头、光盘装置,以解决上述问题,对于各个多种光记录媒体都可达到尽可能缩小波面像差的状态,而且可以以较高的光利用效率使光束聚光在信息记录面上。

在本发明中,这种对物透镜是在通过各折射作用对波长为 λ_i ($i=1$ 或 2) 的两种单色光聚光的对物透镜中,将在该透镜的至少一侧的透镜面内的两种单色光的共用区域分割成折射能力不同的多个非球面部,所分割的各非球面部各自邻接的非球面部彼此的邻接部在与透镜光轴平行方向上的级差量按照接近透镜光轴的顺序为 D_j ($j=1,2,3,4,\dots$) 时,在上述邻接部的级差中至少一半以上的级差中,当对应于各波长 λ_i 的下述 A_{ij} 值中的最小值为 $\text{MIN}(A_{ij})$ 、最大值为 $\text{MAX}(A_{ij})$ 时,满足下述公式:

$$\text{MAX}(A_{ij})/\text{MIN}(A_{ij}) < 3$$

其中,

$$A_{ij} = \text{绝对值}(B_{ij} - m_{ij})$$

$$B_{ij} = (\text{绝对值}(D_j)) * (n_i - 1) / \lambda_i - (NA_{ij}^2) * K / \lambda_i$$

n_i : 波长 λ_i 下的透镜的折射率

m_{ij} : 最接近 B_{ij} 值的整数

当 $NA_{ij} < 0.55$ 时, $K = 0.0004\text{mm}$

当 $NA_{ij} \geq 0.55$ 时, $K = 0.0005\text{mm}$ 。

更优选的是, 本发明的多波长用透镜在通过各折射作用对波长为 λ_i ($i=1,2,3,4,\dots$) 的多种单色光聚光的多波长用透镜中, 将在该透镜的至少一侧的透镜面内的所有单色光的共用区域分割成折射能力不同的多个非球面部, 所分割的各非球面部各自邻接的非球面部彼此的邻接部在与透镜光轴平行方向上的级差量为 D_j ($j=1,2,3,4,\dots$: 按接近透镜光轴的顺序)、波长 λ_i 的光入射时的第 j 个邻接部之间的 NA 为 NA_{ij} 时, 在上述邻接部的级差中至少一半以上的级差中, 对应于各波长 λ_i 的下述 A_{ij} 的值中最小值为 $\text{MIN}(A_{ij})$ 、最大值为 $\text{MAX}(A_{ij})$ 时, 满足下式。更进一步, 最好所有的邻接级差都满足该式。

$$\text{MAX}(A_{ij}) / \text{MIN}(A_{ij}) < 3$$

其中, $A_{ij} = \text{绝对值}(B_{ij} - m_{ij})$

$$B_{ij} = (\text{绝对值}(D_j)) * (n_i - 1) / \lambda_i - (NA_{ij}^2) * K / \lambda_i$$

n_i : 波长 λ_i 下的透镜的折射率

m_{ij} : 最接近 B_{ij} 的整数

$K = 0.0004$ 毫米 ($NA_{ij} < 0.55$ 时)

$K = 0.0005$ 毫米 ($NA_{ij} \geq 0.55$ 时)。

更好的是满足下式。更进一步, 最好所有的邻接级差都满足该式。

$$\text{MAX}(A_{ij}) / \text{MIN}(A_{ij}) < 2。$$

本发明的另外一种多波长用透镜是通过各折射作用对波长为 λ_i ($i=1,2,3,4,\dots$) 的多种单色光聚光的多波长用透镜, 将在该透镜的至少一侧的透镜面内的所有单色光的共用区域分割成折射能力不同的多个非球面部, 上述分割的各非球面部具有在非球面部彼此的邻接部中微小范围与上述非球面不同的形状, 当上述分割的各非球面部延长到上述邻接部时在与透镜光轴平行方向上的上述邻接部中的上述延长的非球面部彼此的

级差量按照接近光轴的顺序为 D_j ($j=1,2,3,4,\dots$: 为接近透镜光轴的顺序)、波长 λ_i 的光入射时的第 j 个邻接部之间的NA为 NA_{ij} 时,在上述邻接部的级差中至少一半以上的级差中,对应于各波长 λ_i 的下述 A_{ij} 的值中最小值为 $\text{MIN}(A_{ij})$ 、最大值为 $\text{MAX}(A_{ij})$ 时,满足下式:

$$\text{MAX}(A_{ij}) / \text{MIN}(A_{ij}) < 3$$

其中, $A_{ij} = \text{绝对值}(B_{ij} - m_{ij})$

$$B_{ij} = (\text{绝对值}(D_j)) * (n_i - 1) / \lambda_i - (NA_{ij}^2) * K / \lambda_i$$

n_i : 波长 λ_i 下的透镜的折射率

m_{ij} : 最接近 B_{ij} 的整数

$K = 0.0004$ 毫米 ($NA_{ij} < 0.55$ 时)

$K = 0.0005$ 毫米 ($NA_{ij} \geq 0.55$ 时)。

上述任一种多波长用透镜中, 希望在微小范围与上述非球面不同的形状具有金属铸模拨模方向的拨模斜度。另外, 上述任一种多波长用透镜中, 更希望在微小范围与上述非球面不同的形状为微小的R形状。

上述的透镜用于光学系统、光学头、光盘装置中。

另外, 本发明的其他方案是具有正的放大率、在对来自光源的光聚光的聚焦面上形成光斑的透镜, 其特征在于, 在上述透镜的一侧或者两侧的透镜面上设置使用区域和位于其外侧的非使用区域, 在来自上述光源的光也入射到该非使用区域时, 使来自上述光源的光入射到上述使用区域以及非使用区域二者上时所得的光斑直径比使来自上述光源的光只入射到上述使用区域本身上时得到的光斑直径小。

在这种透镜中, 较好的是上述透镜是对多种波长的单色光聚光的多波长用透镜, 对于第一波长的非使用区域成为与上述第一波长不同的第二波长的使用区域。更进一步, 在这种多波长用透镜中, 希望是在对于上述第一波长的非使用区域、成为对于上述第二波长的使用区域的区域中, 分割透镜面的一侧或者两侧的面, 基于通过有上述第二波长的光透过各个上述分割的面而生成的波面像差的相位差几乎是整数倍。

根据本发明, 对于透明基板厚度不同的两种以上光盘, 不采用衍射透镜构造, 而是用通过折射作用以记录或者再生的必要孔径(NA)可使

所有光束以尽可能小的像差聚光在希望的位置上,可以使光利用效率更高。另外,本发明在采用多个单色光的多波长用光学系统中,被分割的任一非球面也具有对应于各单色光固有波长单一焦点,同时,对应于上述各单色光固有波长的焦点可位于各个不同的位置,在光通信等中的光学系统中该利用也成为可能。

附图说明

图 1 是表示本发明物镜的第一实施方式的图。

图 2 是表示图 1 所示第一实施方式的透镜面形状的一个具体实例图。

图 3 是用来说明物镜和光盘的透明基板构成的光学系统中的光程长的图。

图 4 是表示图 1 所示第一实施方式的第一实施方式波面像差测量结果的一个具体实例的曲线图。

图 5 是表示对于使用图 1 所示第一实施方式的光盘装置中种类不同的光盘光斑的计算结果的图。

图 6 是表示根据本发明物镜的第二实施方式波面像差测量结果的一个具体实例的曲线图。

图 7 是表示对于使用根据本发明物镜的第二实施方式的光盘装置中种类不同的光盘光斑的计算结果的图。

图 8 是表示根据本发明光学头的一个实施方式的图。

图 9 是表示根据本发明光盘装置的一个实施方式的图。

图 10 是表示对于光线高度各波长的波面像差的示意图。

图 11 是表示对于第二实施方式中光线高度各波长的波面像差的图。

图 12 是对于使用特开 2001-51192 号中记载的透镜场合下光线高度各波长的波面像差的图。

图 13 是用来说明第二实施方式中数学表达式的图。

图 14 是表示第二实施方式中各非球面部分的邻接部分具有级差量 D1-D7 情况下的构造的图。

图 15 是表示具有考虑了金属铸模制造和成形的形状的透镜图。

图 16 是表示具有考虑了金属铸模制造和成形的形状的透镜图。

图 17 是第三实施方式中的透镜的波面像差图。

图 18 是第四实施方式中的透镜的波面像差图。

图 19 是比较例中的透镜的波面像差图。

图 20 是第五实施方式中的透镜的波面像差图。

图 21 是第五实施方式中的透镜的光斑图。

图 22 是 CD 用透镜的光斑图。

图 23 是第二实施方式中设定了透镜光阑直径的场合下的光斑图。

具体实施方式

现在，对于采用厚度为 t_1 的透明基板的第一光盘来说，使用它的光盘装置上的物镜得到较好的像差校正，激光束良好地聚光在该基板上所设的信息记录面上。在这种光盘装置中，在使用采用与该透明基板厚度不同的厚度为 t_2 的透明基板的第二光盘的情况下，由于该透镜基板的厚度 t_2 与厚度 t_1 不同，所以由该物镜和厚度为 t_2 的透明基板产生球面像差，在该厚度为 t_2 的透明基板上所设的信息记录面上不能较好地聚光激光束。

另一方面，由这种物镜和透明基板构成的光学系统中如果采用不同波长的激光束，就会产生色像差。这里，所谓色像差，是指在波长不同的激光束照射到物镜上时，对应于各个激光束所产生的球面像差之差。例如，在波长 655nm 的激光束和波长 790nm 的激光束照射到物镜上时，色像差是波长 655nm 的激光束照射到物镜上时产生的球面像差与波长 790nm 的激光束照射到物镜上时产生的球面像差之差。

换句话说，假定厚度为 t_1 的场合的球面像差为 $SA(t_1)$ ，厚度为 t_2 的情况下的球面像差为 $SA(t_2)$ ，另外，假定对于波长为 λ_1 的激光束所产生的球面像差为 $SA(\lambda_1)$ ，对于波长为 λ_2 的激光束所产生的球面像差为 $SA(\lambda_2)$ ，那么因波长不同而产生的色像差用上述球面像差之差 ($SA(\lambda_2) - SA(\lambda_1)$) 表示。此时，最好尽可能设计透镜面使得下面的公式成立。

$$SA(t_2) - SA(t_1) = - (SA(\lambda_2) - SA(\lambda_1))$$

也就是说，即使对于基板厚度不同的任一光盘，在使用对应于该基

板厚度的波长的激光束的情况下，也能实现使通过该激光束的物镜与基板的所有光线经过可较好地聚光在该基板信息记录面上的光程长。但是，此时本发明一个实施方式的透镜如在后面的实施方式中具体说明的那样，该透镜面被分割成多个非球面，所分割的任一非球面也具有对应于各单色光固有的波长的单一焦点的同时，还设计成对应于上述各单色光固有的波长的焦点配置在各自不同的位置上。

现在，对图3中使用物镜1将激光束聚光在基板2的信息记录面2a上的情况进行说明。这里，物镜1的面A是光入射面，面B是光出射面，基板2的信息记录面2a在与物镜1侧相反的一侧。

图3示意地表示出入射到物镜1上的激光束为平行光（因此，图3所示的光学系统是所谓的无限光学系统）、通过距物镜1的光轴OA与其垂直方向的距离（光线高度）h的位置P1的光线到达与光轴OA交叉的点（聚光点）P5的光程。这里，假定该光程中向物镜1的入射点为P2、从物镜1出来的出射点为P3、向透明基板2的入射点为P4，

点P1～入射点P2：空间距离= $S1h$ ， 折射率= $n1$

入射点P2～出射点P3：空间距离= $S2h$ ， 折射率= $n2$

出射点P3～入射点P4：空间距离= $S3h$ ， 折射率= $n3$

入射点P4～聚光点P5：空间距离= $S4h$ ， 折射率= $n4$

这时，从点P1到聚光点P5的光程长 Lh 表示为：

$$Lh = n1 \times S1h + n2 \times S2h + n3 \times S3h + n4 \times S4h。$$

另外，在该公式中，光轴OA上的光程长 Lh 为 $h=0$ 时的光程长。

该公式适于任意光线高度h，在像差校正的情况下，对应于各光线高度h的聚光点P5在各自允许的范围内位于信息记录面2a上。换句话说，希望通过例如对各个厚度不同的多个基板中的每一个采用不同波长的激光束，使得色像差与球面像差相互抵消而使对应于各光线高度h的聚光点P5在各自允许的范围内位于信息记录面2a上。

例如，在对CD采用790nm单色光（ $\lambda 1$ ）而对DVD采用655nm单色光（ $\lambda 2$ ）的场合，在将这两个波长共用的区域分割成多个非球面部的透镜制作手法中，使任意的上述非球面部的的光程长与另外的非球面部的

光程长相差几乎各单色光波长 λ_i 的整数倍,而且假定上述各非球面部中上述各单色光的波面像差最大值与最小值之差为 $\Delta V_d(\lambda_1)$ 与 $\Delta V_d(\lambda_2)$ (d 用1,2,.....整数代表各非球面部)时,在任意非球面部中,各单色光的上述差之比都为0.4以上2.5以下,最好为0.5以上2.0以下,由此可以确保在两波长下作为透镜整体允许范围的RMS波面像差。还有,假定这里所说的波面像差在光线高度(h)为 $h=0$ 的情况下的光程长为 L_0 ,各光线高度的光程为 L_h ,那么波面像差 V_h 用下式表示。

$$V_h = (L_h - L_0) / \lambda_i$$

图10表示对比CD和DVD波长下的透镜的波面像差的示意图,横轴是光线高度,纵轴是波面像差,上侧表示CD各非球面部的波面像差,下侧表示用上述公式求出的DVD各非球面部的波面像差。例如,在非球面部的第一区域中的该非球面部内波面像差的最大值与最小值之差用 $\Delta V_1(\lambda_1)$ 、 $\Delta V_1(\lambda_2)$ 定义。在本发明的实施方式中,如在后面的实施方式中表明的那样,在任何一个非球面部中,各波长的波面像差最大值与最小值之差之比都在0.4以上2.5以下。换句话说,本发明的实施方式无论在任何一个波长下的各非球面部中波面像差有一定的分布这一点上,与以前的以一波长为基准构成透镜面而在另一波长中只利用相位偏移校正波面像差的方式不同。另外,作为上述整数倍,虽与分割的非球面数有关,优选为0倍 $\sim \pm 10$ 倍,更好为0倍 $\sim \pm 5$ 倍。

另外,本发明的实施方式中,这种多波长用透镜在任意一个非球面的各个区域中,各波长的上述波面像差最大值与最小值之差为 $0.14\lambda_i$ 以下(例如,在波长为790nm时为 $\pm 110.6\text{nm}$ 以下,在波长为655nm时为 $\pm 91.7\text{nm}$ 以下),最好为 $0.12\lambda_i$ 以下,更好为 $0.10\lambda_i$ 以下,由此可以在各波长下确保更良好的光学特性。

再有,在本发明的实施方式中,对于双波长用光学系统的情况,采用各波长的波面像差都几乎为对称形式的多波长用透镜,由此可以获得双波长的平衡,还进一步缩小了RMS波面像差。

另外,当考虑到缩小RMS波面像差时,在CD的场合,只是由图10的光线高度达到1.58mm时的DVD与CD共用区域中的波面像差决定

RMS 波面像差, 在 DVD 的场合, 上述共用区域之外还有 DVD 专用区域 (图 10 中光线高度为 1.58~2.02mm 的范围), 由上述共用区域与上述专用区域两方的波面像差求出 RMS (均方根 (Root Mean Square)) 波面像差值。因此在 DVD 的场合, 即使上述共用区域的波面像差在一定程度上较差, 而对于 DVD 专用区域的波面像差来说, 与 CD 完全无关, 只使得 DVD 的良好的话, 那么也可以将 DVD 的 RMS 波面像差充分缩小到允许值内。例如, 图 10 的示意图中, 在 DVD 和 CD 共用区域中, DVD 的波面像差为 $0 \sim -0.106 \lambda$, CD 的波面像差为 $0 \sim +0.088 \lambda$, CD 的波面像差小于 DVD 的波面像差。另外, DVD 专用区域的波面像差为 -0.052λ 。结果是, 作为 RMS 波面像差, DVD 的为 0.0212λ RMS、CD 的为 0.0222λ RMS 时, DVD 和 CD 的 RMS 波面像差几乎相等。这样, 作为 RMS 波面像差, 在 DVD 和 DC 的值都为同一个值的情况下, DVD 和 CD 共用区域中使 CD 的波面像差比 DVD 的波面像差好, 对于 DVD 的 RMS 波面像差, 在 DVD 专用区域中校正在共用区域中变差的部分的方式是有效的。同样, 在要改变 DVD 和 CD 的 RMS 波面像差之比的情况下, 对于 DVD 来说考虑即使共用区域的波面像差有一定程度变差在专用区域中进行校正的方式较好。

另外, 对于基板厚度没有不同的光盘, 例如 AOD (波长 405nm、基板厚 0.6mm) 和 DVD (波长 655nm、基板厚 0.6mm) 这样的情况来说, 本发明也是有效的。

根据本发明的实施方式, 例如对于基板厚度不同的任何光盘来说, 可以在信息记录面上形成良好的光斑。另外, 即使光盘基板厚度没有不同, 即厚度相同而波长不同的情况下, 通过使上述聚光点 P5 在各自的允许范围内而可以适用。再有, 本发明并不限于光记录媒体, 还可适用于光通信等领域中不同波长激光束透过同一透镜或者光学系统的场合。

以下, 以透明基板厚度不同的两种光盘即 DVD 和 CD 为例, 用附图对本发明的实施方式进行说明。还有, 从本发明的第一实施方式的透镜制造容易程度的角度, 通过对由非晶体聚烯烃形成的树脂注模成型而制成该透镜。第二实施方式的透镜有玻璃的折射率, 但在透镜材质为塑胶

树脂的情况下，最好以塑胶树脂的折射率进行设计。

图 1 是表示根据本发明物镜的第一实施方式的作用的图，图 1 中 (a) 是关于 DVD 的，(b) 是关于 CD 的。图中，1 是本实施方式的物镜，2 是 DVD 的透明基板（以下，称为 DVD 基板），3 是 CD 的透明基板（以下，称为 CD 基板），4、5 是激光束。

首先，在图 1 (a) 中，物镜 1 设置在图中未示出的光盘装置的光学头上。并且，DVD 装在该光盘装置上，作为平行光的入射激光束 4 通过物镜 1 聚光，由此进行记录再生。这里，DVD 基板 2 的厚度 t_1 为 0.6mm，此时的激光束 4 采用波长 $\lambda_1 = 655\text{nm}$ 的激光束作为数值孔径为 $NA = 0.63$ 的光束。在这种条件下，该激光束在与 DVD 基板 2 的物镜 1 侧相反的一侧的面的信息记录面 2a 上聚光。

图 1 (b) 表示 CD 装在与上述相同的光盘装置中、用同一物镜 1 进行记录再生的情况。这里，CD 基板 3 的厚度 t_2 为 1.2mm，作为此时的激光束 5，采用波长 $\lambda_2 = 790\text{nm}$ 的激光束作为数值孔径几乎为 $NA = 0.63$ 的光束，实际上，数值孔径 $NA = 0.47$ 的光束聚光在 CD 基板 3 的信息记录面 3a 上，用阴影线表示的几乎 $NA = 0.47 \sim 0.63$ 的、通过从物镜 1 的光轴 OA 离开部分的光束没有聚光在信息记录面 3a 上。这样，该数值孔径 NA 几乎到 0.47 的上述透镜区域成为 DVD、CD 的共用区域。

这样，该第一实施方式良好地缩小了 DVD、CD 两者的像差，在信息记录面 2a、3a 上获得了良好的光斑，由此，在 DVD、CD 两方对应于任意光线高度 h 设定物镜 1 的透镜面形状，使上述光程长 Lh 缩小像差成为允许值内的值。以下，用图 2 说明该透镜面形状的一个具体实例。

在图 2 中，就物镜 1 的光出射侧面 B 来说，假定光线高度 h 的点为 c，从该点沿着与光轴 OA 平行的方向上的光出射侧面 B 上的点为 d，那么该光出射侧面 B 的面形状由对应于任意光线高度 h 的点 c、d 之间距离 Z_B 表示。

$$Z_B = \frac{Ch^2}{1 + \sqrt{1 - (K+1)C^2 \cdot h^2}} + A4 \cdot h^4 + A6 \cdot h^6 + A8 \cdot h^8 + A10 \cdot h^{10} \quad (\text{公式 1})$$

但是， $C = -0.12301$ ， $K = 3.312138$ ， $A4 = 0.01628151$ ， $A6 = -0.004311717$ ， $A8 = 0.000682316$ ， $A10 = -0.00004157469$ 。

另外，在公式 1 中，将上述系数 C 、 K 、 $A4$ 、 $A6$ 、 $A8$ 、 $A10$ 的值代入，求出对应于任意光线高度 h ($\neq 0$) 的距离 Z_B ，虽然该值为负值，但这表示光出射侧面 B 上的点 d 位于比点 c、也就是比该光出射面 B 的光轴 OA 通过的面顶点 e 更靠近出射面一侧（图 2 中的左侧）。在距离 Z_B 为正值的的情况下，表示位于相反的右侧。

然后，就物镜 1 的光入射面 A 来说，假定光线高度 h 的点为 a，从该点 a 沿着与光轴 OA 平行的方向上的光入射侧面 A 上的点为 b，那么该光入射侧面 A 的面形状设定为光线高度 $h(\text{mm})$ 和对于该光线高度 h 的点 a、b 之间距离 Z_A 关系为下面的表 1 所示的关系的透镜面形状。

表 1

h(mm)	ZA(mm)	h(mm)	ZA(mm)	h(mm)	ZA(mm)	h(mm)	ZA(mm)
0.00	0.000000	0.54	0.070725	1.08	0.287733	1.62	0.670934
0.02	0.000095	0.56	0.076008	1.10	0.298787	1.64	0.688969
0.04	0.000378	0.58	0.081490	1.12	0.310076	1.66	0.707293
0.06	0.000851	0.60	0.087172	1.14	0.321601	1.68	0.725908
0.08	0.001513	0.62	0.093056	1.16	0.333364	1.70	0.744816
0.10	0.002365	0.64	0.099141	1.18	0.345367	1.72	0.764020
0.12	0.003405	0.66	0.105429	1.20	0.357611	1.74	0.783521
0.14	0.004635	0.68	0.111921	1.22	0.370098	1.76	0.803322
0.16	0.006055	0.70	0.118619	1.24	0.382830	1.78	0.823424
0.18	0.007664	0.72	0.125522	1.26	0.395809	1.80	0.843830
0.20	0.009462	0.74	0.132634	1.28	0.409037	1.82	0.864540
0.22	0.011451	0.76	0.139954	1.30	0.422515	1.84	0.885559
0.24	0.013629	0.78	0.148855	1.32	0.436245	1.86	0.906886
0.26	0.015998	0.80	0.156597	1.34	0.450229	1.88	0.928525
0.28	0.018557	0.82	0.164550	1.36	0.463024	1.90	0.950477
0.30	0.021308	0.84	0.172714	1.38	0.477531	1.92	0.972744
0.32	0.024249	0.86	0.181092	1.40	0.492299	1.94	0.995329
0.34	0.027382	0.88	0.189684	1.42	0.507330	1.96	1.018233
0.36	0.030707	0.90	0.198492	1.44	0.522625	1.98	1.041459
0.38	0.034224	0.92	0.207517	1.46	0.538186	2.00	1.065009
0.40	0.037934	0.94	0.216760	1.48	0.552559	2.02	1.088887
0.42	0.041838	0.96	0.226225	1.50	0.568667	2.04	1.113094
0.44	0.045936	0.98	0.235911	1.52	0.585050	2.06	1.137835
0.46	0.050229	1.00	0.245821	1.54	0.600234	2.08	1.162512
0.48	0.054718	1.02	0.255956	1.56	0.617173	2.10	1.187732
0.50	0.059403	1.04	0.266319	1.58	0.634395	2.12	1.213298
0.52	0.065640	1.06	0.276910	1.60	0.653186		

另外，物镜 1 的上述公式 1 中表示的光出射侧面 B 和上述表 1 的点列数据表示的光入射侧面 A 都形成连续的非球面。还有，物镜 1 光轴上的面顶点 f、e 之间的距离，即中心厚度 t_0 为 2.2mm，波长 $\lambda_1=655\text{nm}$ (DVD) 时的折射率 n 为 1.54014，波长 $\lambda_2=790\text{nm}$ (CD) 时的折射率 n 为 1.5365。

(i) 这里，在入射到物镜 1 的入射激光束的入射角为 0° (即，与光轴 OA 平行的平行光) 的情况下，作为用于评价像差的上述像差允许值，

对于 DVD（波长 $\lambda_1=655\text{nm}$ ）、CD（波长 $\lambda_2=790\text{nm}$ ），RMS 波面像差都为 0.035λ ，最好为 0.033λ ，更好为 0.030λ 。该第一实施方式中，为了使 DVD、CD 的波面像差为该允许值以下，将光出射面 B 与光入射面 A 设定成为上述的面形状。

在该第一实施方式中，虽表示出采用了两种不同波长 λ_1 、 λ_2 的情况，但一般地，采用 n 种（但是， n 是 2 以上的整数）不同波长 λ_i （但是， $i=1, 2, \dots, n$ ）的情况也一样。

(ii) 另外，对于这样采用 n 种波长 λ_i 的情况下，假定这些波长 λ_i 的入射激光束入射角为 0° 情况下的各 RMS 波面像差为 $W_i \cdot \lambda_i$ ，那么这些像差满足以下公式：

$$\sqrt{(\sum W_i^2)/i} \leq W_0 \quad (\text{公式 2})$$

（但是，假定第 i 个该光束的波长为 λ_i （ $i=1, 2, \dots$ ），全部波长下所包括的各个 RMS 波面像差的平方之和为 $\sum W_i^2$ ，波长 λ_i 的光束的 RMS 波面像差为 $W_i \cdot \lambda_i$ ）。这时的允许值 W_0 为 0.028，最好为 0.026，更好为 0.025，更最好为 0.023。上述第一实施方式中，由于 DVD 的 RMS 波面像差为 W_1 ，CD 的 RMS 波面像差为 W_2 ，同时 $i=1,2$ ，所以上述公式 2 为：

$$\sqrt{(W_1^2 + W_2^2)/2} \leq W_0 \quad (\text{公式 3})$$

(iii) 或者是，采用不同的 n 种波长 λ_i 的激光束的情况下，假定各波长 λ_i 之内最大的 RMS 波面像差为 $W_{\max}$ ，最小的 RMS 波面像差为 $W_{\min}$ 时，

$$1 < W_{\max}/W_{\min} < W_{\text{th}}。$$

作为这种情况下的允许值 W_{th} 为 1.8 最好为 1.6，更好为 1.4。在上述第一实施方式的情况下，DVD 的 RMS 波面像差 W_1 和 CD 的 RMS 波面像差 W_2 中任何一个如果为最大的 RMS 波面像差 $W_{\max}$ ，那么另一个就是最小的 RMS 波面像差 $W_{\min}$ 。

图 4 表示该第一实施方式中的 RMS 波面像差的计算结果，横轴上取像高（mm），纵轴取 RMS 波面像差。

图 4（a）表示对应于 DVD（波长 $\lambda_1=655\text{nm}$ ）的 RMS 波面像差，

图 4 (a) 表示对应于 DVD (波长 $\lambda_1 = 655\text{nm}$) 的 RMS 波面像差, 在像高 = 0mm 时, RMS 波面像差 = $0.02130 \lambda_1$ 。另外, 图 4 (b) 表示对应于 CD (波长 $\lambda_2 = 790\text{nm}$) 的 RMS 波面像差, 在像高 = 0mm 时, RMS 波面像差 = $0.02410 \lambda_2$ 。

为了评价该数值, 在插入上述各条件式中时,

(i) 首先, 关于 DVD、CD, RMS 波面像差为 0.02130λ 、 0.02410λ 时上述的允许值为 0.035λ , 最好为 0.033λ , 更好为比 0.030λ 还要小。

(ii) 关于 DVD、CD, 根据上述公式 3, 有

$$\sqrt{(W_1^2 + W_2^2)/2} = \sqrt{(0.02130^2 + 0.02410^2)/2} = 0.0227 \quad (\text{公式 4})$$

由此, 上述允许值为 0.028, 最好为 0.026, 更好为 0.025, 更最好为 0.023 以下的值。

(iii) 关于 DVD、CD, $W_{\max}/W_{\min}$ 为

$$W_{\max}/W_{\min} = 0.02410/0.02130 = 1.1315$$

由此, 上述允许值为 1.8, 最好为 1.6, 更好为 1.4 以下。

图 5 表示通过采用物镜 1 的 DVD、CD 信息记录面上光斑的计算结果, 物镜 1 具有用上述公式 1 表示的面形状的光出射侧面 B 和用上述表 1 表示的面形状的入射侧面 A, 横轴用距离 (mm) 表示与将信息记录面的光轴作为基准点的光轴垂直方向上的位置, 纵轴表示将该基准点 (= 0mm) 的光强度作为 1 时各位置的相对光强度。

图 5 (a) 表示对应于 DVD 的光斑, 相对光强度为 $1/e^2 (=13.5\%)$ 的光斑直径 ϕD 为 $0.85\mu\text{m}$ 。另外, 图 5 (b) 表示对应于 CD 的光斑, 相对光强度为 $1/e^2$ 的光斑直径 ϕC 为 $1.37\mu\text{m}$ 。这样, DVD 和 CD 都能在信息记录面上获得良好的光斑。

下面, 对根据本发明的物镜第二实施方式进行说明。

该第二实施方式的基本构成与上述第一实施方式相同, 但光入射面 A 从光轴沿着半径方向分成多个区间, 使 DVD、CD 像差较好地缩小到允许值内而设定各区间的面形状。

用图 2 说明该第二实施方式的光入射面 A 的面形状。现在, 距该光入射面 A 的光线高度 h 方向 (半径方向) 上的光轴 OA 一侧第 j 个区间

中的点 a、b 之间的距离用下面的函数 Z_{Aj} 表示, 即,

$$Z_{Aj} = B + \frac{Ch^2}{1 + \sqrt{1 - (K+1)C^2 \cdot h^2}} + A4 \cdot h^4 + A6 \cdot h^6 + A8 \cdot h^8 + A10 \cdot h^{10} + A12 \cdot h^{12} + A14 \cdot h^{14} + A16 \cdot h^{16} \quad (\text{公式 } 5)$$

再有, 公式 5 中的光源高度 h 在第 j 个区间里。

于是, 在用于使对于 DVD、CD 像差者较好地缩小到允许值内的公式 5 的每一个区间内, 当表示出该范围 (h 范围) 和各个常数 B 、 C 、 K 、 $A4$ 、 $A6$ 、 $A8$ 、 $A10$ 、 $A12$ 、 $A14$ 、 $A16$ 时, 如下面的表 2 所示。

表 2

区间j	h 的范围	B	C	K	A4
1	0~0.464667	0	4.45390E-01	-6.67483	0.030017
2	0.464667~0.687967	0.00108409	4.46999E-01	-8.52884E-01	-1.11390E-03
3	0.687967~0.904685	0.00216818	4.45826E-01	-5.85171E-01	2.36910E-03
4	0.904685~1.414529	0.00325226	4.46759E-01	-6.51167E-01	9.59140E-04
5	1.414529~1.519145	0.00216818	4.28660E-01	-3.27869E-01	6.74850E-03
6	1.519145~1.589366	0.00108409	4.42061E-01	-5.75461E-01	2.50970E-03
7	1.589366~1.847991	0.00103073	4.45481E-01	-6.24870E-01	1.77360E-03
8	1.847991~2.2	-0.00113744	4.45319E-01	-6.13552E-01	1.64620E-03

A6	A8	A10	A12	A14	A16
1.026695	-14.364412	106.233381	-431.806672	895.812958	-725.25403
8.21580E-03	9.75070E-03	-3.03780E-02	-4.03770E-02	1.80080E-01	-1.49931E-01
-5.00360E-03	4.59410E-03	3.04280E-03	-8.16540E-03	6.55040E-03	-2.40830E-03
4.83750E-04	2.53240E-04	-1.24670E-04	-1.01670E-04	7.59740E-05	-1.37590E-05
3.92010E-04	-1.18360E-03	-4.24370E-04	7.93880E-05	1.45720E-04	-3.75090E-05
1.75070E-04	-2.24990E-04	-1.73810E-05	6.71230E-07	1.64740E-05	-3.98660E-06
1.24130E-04	-7.34610E-05	2.76610E-05	-9.44330E-06	1.32750E-06	-6.17570E-08
1.15930E-04	-7.50480E-05	2.80220E-05	-9.53270E-06	1.33720E-06	-6.23130E-08

另外, 用下面的公式 6 表示该第二实施方式中光出射面 B 的面形状 Z_B 。

$$Z_B = \frac{Ch^2}{1 + \sqrt{1 - (K+1)C^2 \cdot h^2}} + A4 \cdot h^4 + A6 \cdot h^6 + A8 \cdot h^8 + A10 \cdot h^{10} \quad (\text{公式 } 6)$$

但是, $C=-0.0747792$ 、 $K=15.7398$ 、 $A4=0.012308$ 、 $A6=-0.0037652$ 、 $A8=0.00068571$ 、 $A10=-0.000048284$ 。

另外, 物镜 1 的光轴上的面顶点 f、e 之间的距离, 即, 中心厚度 t_0 为 2.2mm, 波长 $\lambda_1=655\text{nm}$ (DVD) 的折射率 n 为 1.604194, 波长 $\lambda_2=790\text{nm}$ (CD) 的折射率 n 为 1.599906。

此外, 透明基板的厚度和折射率是: 在波长 $\lambda_1=655\text{nm}$ (DVD) 下, 厚度为 0.6mm, 折射率为 1.57995; 在波长 $\lambda_1=790\text{nm}$ (CD) 下, 厚度为 1.2mm, 折射率为 1.573071。还有, DVD 时 NA 为 0.60, 而 CD 时 NA 为 0.47。再有, DVD 时焦距为 3.360mm, 而 CD 时焦距为 3.383mm。关于入射平行光束的光阑, 只是 DVD 用的光阑 (图中未示), 该光阑直径 $=2 \times \text{NA} \times \text{焦距}$, 该值为 $\phi 4.032$ 。CD 时光阑直径仍为 $\phi 4.032$ 。因此, 虽然因为 CD 光入射面中的使用区域是 DVD/CD 共用区域的第一~第 6 区间而采用 $\phi 3.178732$, 但是 $\phi 4.032$ 的光也入射。所以, 尽管 $\phi 3.178732 \sim \phi 4.032$ 的区域是 DVD 专用区域, 但是由于在 CD 时也有光线入射, 所以有必要使这部分光在 CD 时作为有害光不起作用, 这种不起有害作用的情况由图 7 (b) 所示的光斑图表明。

在此, 作为用来评价像差的上述像差的允许值, 与上述第一实施方式相同。

图 6 表示该第二实施方式中的 RMS 波面像差的计算结果, 横轴、纵轴与图 4 一样。

图 6 (a) 表示对应于 DVD (波长 $\lambda_1=655\text{nm}$) 的 RMS 波面像差, 在像高 $=0\text{mm}$ 时, RMS 波面像差 $=0.01945 \lambda_1$ 。另外, 图 6 (b) 表示对应于 CD (波长 $\lambda_2=790\text{nm}$) 的 RMS 波面像差, 在像高 $=0\text{mm}$ 时, RMS 波面像差 $=0.02525 \lambda_2$ 。

在表 3 中以各非球面部的波面像差之差及其之比表示计算图 11 中上述透镜的共用区域波面像差的结果。

表 3

	区域 1	区域 2	区域 3	区域 4	区域 5	区域 6
$\Delta Vd(\lambda 655)(\lambda)$	0.0955	0.0960	0.0963	0.0692	0.0939	0.0937
$\Delta Vd(\lambda 790)(\lambda)$	0.0977	0.0973	0.0967	0.0701	0.0974	0.0976
$\Delta Vd(\lambda 790)/\Delta Vd(\lambda 655)$	1.02	1.01	1.00	1.01	1.04	1.04
$\Delta Vd(\lambda 655)/\Delta Vd(\lambda 790)$	0.98	0.99	1.00	0.99	0.96	0.96

如表 3 所示, 790nm 与 655nm 的共用区域中各波面像差之差的比 $\Delta Vd(\lambda 790)/\Delta Vd(\lambda 655)$ 在 1.00~1.04 之间。另外, 比值 $\Delta Vd(\lambda 655)/\Delta Vd(\lambda 790)$ 在 0.96~1.00 之间。由此, 该各区域的波面像差本身在两波长下也为 0.14λ 以下。另外, 在该透镜中波面像差在 790nm 的波长下出现+侧、在 655nm 的波长出现在一侧, 这样, 两波面像差几乎对称。

再有, 如果在以光轴为中心分割的各个邻接非球面部中产生光程差, 那么将该光程差设计成为对应于各波长基本是整数倍, 而且在该实施方式中, 具有偶数分割的非球面部。

为了评价这样的数值, 与第一实施方式相同, 在插入上述各条件式中时,

(i)首先, 关于 DVD、CD, RMS 波面像差为 0.01945λ 、 0.02525λ 2 时上述的允许值为 0.035λ , 最好为 0.033λ , 更好为比 0.030λ 还要小。

(ii) 关于 DVD、CD, 根据上述公式 6, 有

$$\sqrt{(W1^2 + W2^2)/2} = \sqrt{(0.01945^2 + 0.02525^2)/2} = 0.02254 \quad (\text{公式 7})$$

由此, 上述允许值为 0.028, 最好为 0.026, 更好为 0.025, 更最好为 0.023 以下的值。

(iii)关于 DVD、CD, $W_{\max}/W_{\min}$ 为

$$W_{\max}/W_{\min} = 0.02525/0.01945 = 1.298$$

由此, 上述允许值为 1.8, 最好为 1.6, 更好为 1.4 以下。

图 7 表示通过采用物镜 1 的 DVD、CD 信息记录面上的光斑的计算结果, 物镜 1 具有用上述公式 6 表示的面形状的光出射侧面 B 和用上述

公式 5 和表 2 表示的面形状的入射侧面 A，横轴、纵轴与图 5 相同。

图 7 (a) 表示对应于 DVD 的光斑，相对光强度为 $1/e^2(=13.5\%)$ 的光斑直径 ϕD 为 $0.89\mu\text{m}$ 。另外，图 7 (b) 表示对应于 CD 的光斑，相对光强度为 $1/e^2$ 的光斑直径 ϕC 为 $1.30\mu\text{m}$ 。这时，DVD 和 CD 两者都入射相同光阑的光，该光阑设定在对于透镜的 DVD/CD 共用区域以及 DVD 专用区域两者入射的范围内。这样，DVD、CD 都能在信息记录面上获得良好的光斑。另外，就该光斑来说，波面像差试着与接近于 $0.0000\lambda\text{ rms}$ 的几乎理想的透镜的 CD 用透镜中同一 NA 的 NA0.47 的情况作比较。上述 CD 用透镜中的光斑图如图 22 所示。图 22 中相对光强度为 $1/e^2(=13.5\%)$ 的光斑直径为 $1.3804\mu\text{m}$ 。即，第二实施方式中 CD 的光斑与接近于理想透镜的通常的 CD 用透镜相比，虽然 NA 相同但是光斑小。换句话说，关于本第二实施方式着眼于 CD 考虑时，原来的 CD 区域不只是第 1~第 6 区间，通过增加具有波面像差的相位差的第 7 区间和第 8 区间的 DVD 专用区域，认为可以实现更小的 CD 光斑。上述所谓波面像差的相位差是在 DVD 专用区域的第 7 区间和第 8 区间 DVD655nm 的波长下有 $2\lambda 1$ 的波面像差。为了证明这种现象，在本第二实施方式中，遮住第 7、第 8 区间，即，将光阑直径设定在 $\phi 3.178$ ，试着计算只在第 1~第 6 区间内的 CD 光斑。其结果示于图 23 中。该图 23 中的 $1/e^2$ 的相对光强度的光斑直径为 $1.3924\mu\text{m}$ ，比图 22 中所示 CD 用透镜还大 $0.01\mu\text{m}$ 左右，比图 7 (b) 中所示第二实施方式的 CD 的还大 $0.09\mu\text{m}$ 左右。以上的情况即为，在波长 $\lambda 2$ 用透镜的外侧上设有光通过的另外波长 $\lambda 1$ 用的使用区域，最好是在上述外侧区域内保持上述另外波长 $\lambda 1$ 的波面像差的相位差，由此波长 $\lambda 2$ 的光斑直径比没有设上述外侧区域时更小。

另外，在本实施方式 2 中，上述表 3 中上述比为 $0.96\sim 1.04$ ，作为 RMS 波面像差，DVD 的为 $0.01945\lambda 1$ ，CD 的为 $0.02525\lambda 2$ ，如图 10 的说明所述，共用区域中的 DVD 的波面像差稍微劣化，如果 CD 的波面像差好的话，那么作为 RMS 波面像差，可以使 DVD、CD 都为 $0.022\sim 0.023\lambda$ 范围的等值的 RMS 波面像差。

此外，作为一个实例，见前面的特开 2001—51192 号公报中记载的

DVD 和 CD 的 RMS 波面像差，虽例举了两个例子，

例 1) DVD: $0.001 \lambda_1$ CD: $0.047 \lambda_2$

例 2) DVD: $0.019 \lambda_1$ CD: $0.037 \lambda_2$

但是， $\lambda_1 = 640\text{nm}$, $\lambda_2 = 780\text{nm}$

但在这两个例子中，对于 CD，都超出了上述允许值 0.035λ 。

另外，根据用公报记载的透镜数据计算求出该例 2) 的透镜各波长的波面像差时，如下表 4 以及图 12 中所示，该比为 $0.03 \sim 33.44$ 时在本发明的范围外，因此二者的平衡偏差。再有，DVD 的波面像差虽在 0.14 以下，但 CD 的波面像差变大，透镜全部的 RMS 波面像差也变大。

表 4

	区域 1	区域 2	区域 3	区域 4	区域 5
$\Delta Vd(\lambda 655)(\lambda)$	0.0415	0.0518	0.0242	0.1012	0.1906
$\Delta Vd(\lambda 790)(\lambda)$	0.1489	0.1635	0.1142	0.1039	0.0057
$\Delta Vd(\lambda 655) / \Delta Vd(\lambda 790)(\lambda)$	0.28	0.32	0.21	0.97	33.44
$\Delta Vd(\lambda 790) / \Delta Vd(\lambda 655)(\lambda)$	3.59	3.16	4.72	1.03	0.03

$$\sqrt{(W1^2 + W2^2)}/2 \quad (\text{公式 8})$$

公式 8 在上述例 1、例 2 中分别为 0.0332、0.0294，它们都超出了所有上述的允许值 0.028、0.026、0.025、0.023，另外，这些的 $W_{\max}/W_{\min}$ 在例 1、例 2 中分别为 47、1.847，它们也都超出了所有上述的允许值 1.8、1.6、1.4。

象这样，上述第一实施方式和第二实施方式都可以将像差限制在上述允许值内，这便是使得像差落在该允许值内，做成由于基板厚度之差产生的球面像差和色像差相互抵消的透镜面形状。与此相对，在前面的特开 2001-51192 号公报中，只对入射激光束进行 DVD 激光束的波长整数倍的相位偏移，由此，由于要实现 CD 的像差缩小，所以对于任意一个波长来说，即使可以将像差限制得足够小，而对于所有的波长来说，

不能同时地将像差收于上述那么小的值的允许值内。

在以上的实施方式中，DVD 和 CD 的基板厚度分别为 0.6mm 和 1.2mm 而产生的球面像差，由 655nm 和 790nm 的波长差所产生的色像差抵消，从而总像差缩小，这一点由图 5 和图 7 中所示光斑以及图 4、图 6 中所示波面像差的曲线表明。另外，在以上的实施方式中，物镜 1 的光入射侧面 A 的面形状是由上述表 1 中表示的点列数据、公式 5 和表 2 给出，光出射侧面 B 的面形状通过上述公式 1、公式 6 中表示的非球面的公式给出，因此，不采用前面的例子那样的衍射透镜构造，另外，由于对应于记录或者再生所必要的孔隙（NA）将几乎所有的光束聚光，所以会获得较高的光利用效率。

另外，在以上的实施方式中，如图 1 所示，从几乎数值孔径 $NA=0.47$ 至数值孔径 $NA=0.63$ 或 $NA=0.60$ 的物镜 1 的外侧区域只在 DVD 中使用，而不在 CD 中使用，因此，在该外侧区域中的光入射侧面 A、光出射侧面 B 中任意一方或者两者上都进行在 DVD 时透过波长 655nm 的光、而在 CD 时不透过波长 790nm 的光的薄膜处理，或者是该外侧区域中的光入射面 A、光出射面 B 中任意一方或者两者都对双波长 655nm 不起作用，但形成对波长 790nm 起作用的衍射光栅，从而波长 655nm 的光利用效率没有降低，而使双波长 790nm 的光利用效率降低也可以。

也就是说，象以上的实施方式那样，在不同数值孔径的系统中共用时，在不能设定对应的光阑的数值孔径情况下，在数值孔径小的光学系统中，由于还接收过剩的光束，所以，最好要考虑使得通过符合数值孔径大的光学系统而设计的透镜外侧区域部分的光对数值孔径小的光学系统没有不好的影响。例如，最好是使得通过透镜外侧区域的光不聚光在光盘面上，使横向像差量为 0.015mm 以上。

另外，在以上的实施方式中，虽是以 DVD 和 CD 这两种光盘为例，但是本发明并不限于此，也可以是这些以外的种类不同的光盘，另外，即使对于基板厚度为不同的三种以上的光盘也可适用，可使各每种光盘使用的激光束波长不同，与此对应，为了使得色像差抵消球面像差，最好设定透镜面形状。再有，由于即使基板厚度相同，使用的波长也不同，

因此，对于已有的通常的透镜中产生较大像差的场合，通过采用本发明可以实现像差缩小。

图 8 是表示使用根据本发明的物镜的光学头的一个实施方式的结构图，11 是 DVD 激光器，12 是 CD 激光器，13、14 是半棱镜，15 是准直透镜，16 是检波透镜，17 是光检波器，18 是衍射光栅，19 是执行元件，与图 1 对应的部分使用同一符号。

在该图中，在对 DVD 盘 2 记录或者再生时，驱动 DVD 激光器 11。由 DVD 激光器 11 产生的波长 655nm 的激光束被半棱镜 13 反射，透过半棱镜（ハーフプリズム）14，入射到准直透镜 15 上。透过准直透镜 15 而变成平行光的激光束入射到物镜 1 上而被聚光，在 DVD 盘 2 的信息记录面上形成光斑。这样，DVD 盘 2 所反射的反射光通过物镜 1 变成平行光，入射到准直透镜 15 上。准直透镜 15 将该平行光变成会聚光，该会聚光透过半棱镜 14、13，通过检波透镜 16，到达光检波器 17。光检波器 17 的检波输出信号被供给信号处理电路（图中未示），得到信息记录再生信号和聚焦误差信号、跟随误差信号。图中未示的系统控制电路基于得到的聚焦误差信号和跟随误差信号，控制执行元件驱动电路（图中未示）以驱动执行元件，使得物镜 1 位于适当的聚焦位置和跟随位置上。

在对 CD 盘 3 记录或者再生时，驱动 CD 激光器 12。由 CD 激光器 12 产生的波长 790nm 的激光束通过衍射光栅 18，被半棱镜 14 反射，入射到准直透镜 15 上。透过准直透镜 15 而变成平行光的激光束入射到物镜 1 上而被聚光，在 CD 盘 3 的信息记录面上形成光斑。于是，DVD 盘 3 所反射的反射光通过物镜 1 变成平行光，入射到准直透镜 15 上。准直透镜 15 将该平行光变成会聚光，该会聚光透过半棱镜 14、13，通过检波透镜 16，到达光检波器 17。光检波器 17 的检波输出信号被供给图中未示的信号处理电路，得到信息记录再生信号和聚焦误差信号、跟随误差信号。

另外，CD 盘 3 的跟随误差信号是通过衍射栅格 18 将来自 CD 激光器 12 的激光束分成 0 次光和 ± 1 次光三束，根据该 ± 1 次光得到的跟随误差信号。

根据如此得到的跟随误差信号和聚焦信号，与 DVD 盘 2 同样，驱动执行元件 19，使得物镜 1 位于适当的聚焦位置和跟随位置。

再有，在本发明中，代替物镜 1，在准直透镜 15 或者半棱镜 14 等两种光盘共用的光学系统中，也可以实现具有与本发明物镜有同样功能的光学设计。另外，虽然图中未示，但也可以将与本发明物镜具有同样功能的其他光学元件配置在从半棱镜 14 到光盘 2 或者光盘 3 的光程中。

另外，准直透镜 15 也不是必需的，所谓有限系统的光学系统中本发明也可适用。

图 9 是表示采用根据本发明的物镜的光盘装置一个实施方式的结构图，20 是执行元件驱动电路，21 是信号处理电路，22 是激光器驱动电路，23 是系统控制电路，24 是盘判断装置，与图 8 对应的部分使用同一符号。

在该图中，关于光读取装置部分与图 8 所示的结构相同。

首先，用盘判定装置 24 对所装的盘的种类进行判断。作为该盘判断方法是用光学或者机械的方法检测盘的基板的厚度的方法，也可以是考虑检测预先记录在光盘或者光盘匣（カートリッジ）上的识别标记的方法等。或者也可以是这样的方法，即，假定光盘的厚度、种类而再生光盘的信号，如果没有得到正常的信号，就可判断是其他厚度、种类的光盘。光盘判断的结果由光盘判断装置 24 传送给系统控制电路 23。

在判断为是 DVD 盘の場合，由系统控制电路 23 对于激光器驱动电路 22 传送启动 DVD 激光器的信号，通过激光器驱动电路 22 启动 DVD 激光器 11。由此，在光学头中，与图 8 所示实施方式同样双波长 655nm 的激光束到达光检波器 17。来自该光检波器 17 的检波信号被传送给信号处理电路 21，产生信息记录再生信号、聚焦误差信号和跟随误差信号，并将它们送到系统控制电路 23。系统控制电路 23 基于这些聚焦误差信号和跟随误差信号，控制执行元件驱动电路 20，基于该控制执行元件驱动电路 20 驱动执行元件 19，使物镜 1 向聚焦方向及跟随方向移动，通过所谓伺服电路的动作，正常地进行聚焦控制及跟随控制，使物镜 1 位于对于 DVD 盘 2 的正确的位置上，上述各电路和执行元件动作，结果较好地得到信息记录再生信号。

在判断为是 CD 盘的场合, 由系统控制电路 23 对于激光器驱动电路 22 传送启动 CD 激光器 12 的信号。由此, 由 CD 激光器 12 产生 790nm 的激光束。此后的动作与图 8 中光学头的情况相同, 该激光束到达光检波器 17, 与上述 DVD 盘 2 的情况相同, 各电路和执行元件 19 动作以执行伺服动作, 较好地得到信息记录再生信号。

在第二实施方式中, 另外可以发现以下点。即, 作为用于得到上述波面像差的透镜面形状, 将在通过各折射作用对波长 λ_i ($i=1, 2, 3, 4, \dots$)的多种单色光聚光的多波长用透镜中至少一侧的透镜面中的全部单色光的共用区域分割成折射能力不同的多个非球面部, 与所分割的各个非球面部各相邻的非球面部彼此的邻接部的透镜光轴平行方向上的级差量按照接近光轴的顺序为 D_j ($j=1, 2, 3, 4, \dots$: 为接近透镜光轴的顺序), 波长 λ_i 的光入射时第 j 个邻接部之间的数值孔径 NA 为 NA_{ij} 时, 在邻接部的级差中至少一半以上的级差中, 对于各波长 λ_i 的下述 A_{ij} 的值中最小值为 $\text{MIN}(A_{ij})$ 、最大值为 $\text{MAX}(A_{ij})$ 时, 应满足下式 (1)。

$$\text{MAX}(A_{ij}) / \text{MIN}(A_{ij}) < 3 \quad \dots\dots (1)$$

其中, $A_{ij} = \text{绝对值}(B_{ij} - m_{ij})$

$$B_{ij} = (\text{绝对值}(D_j)) * (n_i - 1) / \lambda_i - (NA_{ij}^2) * K / \lambda_i$$

n_i : 波长 λ_i 下的透镜的折射率

m_{ij} : 最接近 B_{ij} 的整数

$K = 0.0004$ 毫米 ($NA_{ij} < 0.55$ 时)

$K = 0.0005$ 毫米 ($NA_{ij} \geq 0.55$ 时)

或者希望上式 (1) 中 A_{ij} 在 0.15 以下。另外, 希望 $\text{MAX}(A_{ij}) / \text{MIN}(A_{ij}) < 2.5$, 进一步地, $\text{MAX}(A_{ij}) / \text{MIN}(A_{ij}) < 2$ (以下, 为式(2))为好。

在上式 (1) 中, $\text{绝对值}(D_j) * (n_i - 1)$ 表示邻接级差量 D_j 产生的光程长的偏移量。 $K * (NA_{ij}^2)$ 是光程长的校正项, 为了缩小球面像差, 必需在邻接级差部校正光程长, 在 NA 不到 0.55 的区域中只为 $0.0004 \times NA^2$ (mm) 光程长, 在 NA 0.55 以上的区域中只为 $0.0005 \times NA^2$ (mm) 光程长。于是, B_{ij} 从最接近的整数偏移多少用 A_{ij} 表示。各 A_{ij} 的值越小波面像差值就有变小的倾向, 对应于各波长 λ_i 使平衡良好, A_{ij} 值变小为好。

上述第二实施方式中具体的数值表示在表 5 中。

表 5

第2实施方式

DVD	半径(mm)	邻接级差Dj(mm)	折射率n1	波长λ1(mm)	Naj(DVD)	绝对值(Dj*(n1-1)/λ1)	K	K×NAj ² /λ1	Bj	mj	Aj=绝对值(Bj-mj)
DVD D共用区域	D1	0.464667	0.001197502	1.604194	0.000655	0.138289	0.0004	0.01167873	1.09293745	1	0.092937454
	D2	0.687867	0.001209828	1.604194	0.000655	0.204745	0.0004	0.02560042	1.08038578	1	0.090385758
	D3	0.904685	0.001227195	1.604194	0.000655	0.268243	0.0004	0.04426871	1.06773579	1	0.067735781
	D4	1.14528	-0.001292291	1.604194	0.000655	0.420977	0.0004	0.10822899	1.08382802	1	0.083828020
	D5	1.519145	-0.001308012	1.604194	0.000655	0.452112	0.0004	0.12482732	1.08172842	1	0.081728415
焦距 = DVD 专用区域	D6	1.589366	-0.000057205	1.604194	0.000655	0.47301					
3.360109	D7	1.847891	-0.002518796	1.604194	0.000655						

CD	半径(mm)	邻接级差Dj(mm)	折射率n2	波长λ2(mm)	Naj(CD)	绝对值(Dj*(n2-1)/λ2)	K	K×NAj ² /λ2	Bj	mj	Aj=绝对值(Bj-mj)
CD D共用区域	D1	0.464667	0.001197502	1.599906	0.00079	0.137382	0.0004	0.009552798	0.89789183	1	0.100200837
	D2	0.687967	0.001209828	1.599906	0.00079	0.203373	0.0004	0.02004210	0.897770817	1	0.102229183
	D3	0.904685	0.001227195	1.599906	0.00079	0.267438	0.0004	0.03821427	0.895680223	1	0.104313777
	D4	1.14529	-0.001292291	1.599906	0.00079	0.418168	0.0004	0.0853372	0.892789873	1	0.107200327
	D5	1.519145	-0.001308012	1.599906	0.00079	0.448082	0.0004	0.10211357	0.891157412	1	0.108842588
焦距 = DVD 专用区域	D6	1.589366	-0.000057205	1.599906	0.00079	0.46884					
3.382782	D7	1.847991	-0.002518796	1.599906	0.00079						

$$Bj = (\text{绝对值}(Dj * (n_i - 1) / \lambda_i)) - ((K / \lambda_i) * (NAj^2))$$

第2实施方式

	MAX(Aj)	MIN(Aj)	MAX(Aj)/MIN(Aj)
D1	0.100200837	0.092937454	1.078153449
D2	0.102229183	0.090385758	1.131031977
D3	0.104313777	0.087735791	1.188953514
D4	0.107200327	0.083828020	1.278843101
D5	0.108842588	0.081728415	1.331782025

上述第二实施方式中各非球面部的邻接部有级差量 $D1 \sim D7$ 的结构表示在图 14 中。另外,在该第二实施方式中,表 2 的区间 1~6 为 DVD/CD 共用区域,区间 7~8 为 DVD 专用区域。因此,作为式 (1)、(2) 的计算对象,由于只是关于 DVD/CD 共用区域的级差,所以 $D1 \sim D5$ 是计算对象, $D6$ 和 $D7$ 为式 (1)、(2) 的计算对象之外。另外关于级差量 $D1 \sim D7$,假定级差部中与透镜光轴接近一侧的非球面在图左侧的情况为正符号,在右侧的情况为负符号。也就是说,该第二实施方式在图 14、表 5 的场合, $D1$ 、 $D2$ 、 $D3$ 为正号的级差量, $D4$ 、 $D5$ 、 $D6$ 、 $D7$ 为负号的级差量。作为第二实施方式的级差部形状示于图 14 中,而实际制作透镜的时要考虑在透镜是塑料制作的场合为注模成型透镜、在透镜是玻璃制作的情况下为玻璃成型透镜。即使在任何场合都要制作金属铸模来复制该形状,从而得到产品,考虑了这种金属铸模制作和成型的形状示于图 15、图 16 中。

图 15 是图 14 中级差量 $D1$ 部分的放大图,其中根据图 14 中所示形状,做成拨模斜度 θ 度和为 R 的左侧的角的形状(用实线表示)。上述的 R 是在金属铸模制作时考虑了滚距(バイト) R ,拨模斜度 θ 度使在注模成型或者玻璃成型时成形成容易。这种情况下,在该邻接部中、如何定义第 1 区间的非球面与第二区间的非球面的级差量 $D1$ 用图中的虚线表示。第 1 区间的非球面和第二区间的非球面延伸到所定的半径,与上述所定的半径的透镜光轴平行方向上的第 1 区间非球面与第二区间非球面的距离为级差量 $D1$ 。另外,在所定的半径不明确时,从图中所示的 $\Phi E1$ 到 $\Phi E2$ 的任意直径部分作为所定的半径也是可以的。

另外,在图 15 中,尺寸 $E3$ 的部分是在光学成像方面不起作用的无效区域,即使是图 15 中所示的为 $0.0005 \sim 0.001\text{mm}$ 左右,与 DVD 有效区域 $\Phi 4.032\text{mm}$ 、CD 的有效区域 $\Phi 3.179\text{mm}$ 比较是微小量,不是成为问题的水平。为使上述无效区域更小,使拨模斜度的角度变小,或者使滚距 R 变小或减至零也是有效的。另外,相反地,使上述无效区域比图 15 所示的区域更大,则要再增大拨模斜度,或者再增大滚距 R 也是有效的。

图 16 是图 14 中级差量 D4 部分的放大图,其中根据图 14 所示形状,做成拨模斜度 θ 度和为 R 的左侧的角的形状(用实线表示)。以下,关于级差量 D4 的定义和拨模斜度以及滚距 R 与图 15 中说明的内容相同。

另外,上述第二实施方式中,虽然说明了可以得到图 11 所示的波面像差,但是要考虑缩小某部分波面像差较好的情况。例如,在第 1 区间的 CD 的波面像差比图 11 所示的像差要进一步缩小的场合,例如是下述表 6 中所示的第三实施方式较好。

表 6

第3实施方式

区画 i	h の範囲	B	C	K	A4	A6	A8	A10	A12	A14	A16
1	0~0.484887	0	4.45390E-01	-8.67483	0.0275	1.024895	-14.384412	108.233381	-431.808672	895.812958	-725.25403
2	0.484887~0.887387	0.00108409	4.48939E-01	-8.52854E-01	-1.11390E-03	8.21580E-03	9.75070E-03	-3.03780E-02	-4.63770E-02	1.80030E-01	-1.49801E-01
3	0.887387~0.904885	0.00216818	4.48829E-01	-3.85171E-01	2.39810E-03	-5.00390E-03	4.98410E-03	3.04280E-03	-8.18340E-03	6.55040E-03	-2.40430E-03
4	0.904885~1.14329	0.00323228	4.48789E-01	-8.51187E-01	8.59140E-04	4.13780E-04	2.57240E-04	-1.24570E-04	-1.01870E-04	7.59740E-05	-1.37580E-05
5	1.14329~1.518145	0.00216818	4.48800E-01	-3.27689E-01	6.74850E-03	3.92010E-04	-1.18290E-03	-4.24370E-04	7.82890E-05	1.45720E-04	-3.76300E-05
6	1.518145~1.589388	0.00108409	4.42081E-01	-8.75481E-01	2.60970E-03	1.75070E-04	-2.24580E-04	-1.73310E-05	6.71230E-07	1.64140E-05	-3.5680E-06
7	1.589388~1.847991	0.00103073	4.43481E-01	-8.24070E-01	1.77380E-03	1.84130E-04	-7.34810E-05	2.78810E-05	-9.44320E-08	1.32750E-08	-6.17570E-08
8	1.847991~2.2	-0.00113744	4.45319E-01	-8.13552E-01	1.64820E-03	1.59930E-04	-7.50480E-05	2.80240E-05	-9.53770E-06	1.33720E-06	-8.23130E-08

本第三实施方式是由表 2 所示第二实施方式改变第 1 区间的 A4 值而得到的。本第三实施方式的波面像差图示于图 17 中，关于式 (1)、(2) 的计算结果示于表 7 中。

表 7

第 3 实施方式									
DVD	半径(mm)	邻接级差D(n)折射率n1	波长λ1(mm)	N(n1)(DVD)	绝对值(D(n)λ1)	K	K×N(n1)2/λ11(B)	mi	ΔP=绝对值(B)-mi
DVD 共用区域	D1	0.484887	0.001314843	1.604194	0.000655	0.32828251	1.2128568	0.0004	0.0117692
	D2	0.887387	0.00129828	1.604194	0.000655	0.204745422	1.11896178	0.0004	0.02580042
	D3	0.904885	0.001227195	1.604194	0.000655	0.268247728	1.132006498	0.0004	0.04426871
	D4	1.14329	-0.00128229	1.604194	0.000655	0.430977077	1.192053071	0.0004	0.108728993
	D5	1.518145	-0.00130801	1.604194	0.000655	0.452111778	1.208553933	0.0004	0.12482752
	D6	1.589388	-0.00057205	1.604194	0.000655	0.473019205			
	D7	1.847991	-0.0023198	1.604194	0.000655				
DVD 专用区域									
CD 共用区域	半径(mm)	邻接级差D(n)折射率n2	波长λ2(mm)	N(n2)(CD)	绝对值(D(n)λ2)	K	K×N(n2)2/λ22(B)	mi	ΔP=绝对值(B)-mi
	D1	0.484887	0.001314843	1.599908	0.00079	0.13732401	0.998458737	0.0004	0.00855363
	D2	0.887387	0.00129828	1.599908	0.00079	0.203323165	0.918712916	0.0004	0.00894310
	D3	0.904885	0.001227195	1.599908	0.00079	0.267438194	0.931900495	0.0004	0.03821427
	D4	1.14329	-0.00128229	1.599908	0.00079	0.411155581	0.981333388	0.0004	0.08853372
	D5	1.518145	-0.00130801	1.599908	0.00079	0.45081809	0.993270977	0.0004	0.10211657
	D6	1.589388	-0.00057205	1.599908	0.00079	0.4689397			
	D7	1.847991	-0.0023198	1.599908	0.00079				
DVD 专用区域									
第 3 实施方式									
		MAX(A)	MIN(A)	MAX(A)/MIN(A)					
DVD/CD 共用区域	D1	0.291178821	0.01094888	18.1374					
	D2	0.102228183	0.000385758	1.310					
	D3	0.104313777	0.00735781	1.890					
	D4	0.107200327	0.003938070	1.2788					
	D5	0.108842588	0.081728415						

由图 17 来表明缩小第 1 区间中的 CD 波面像差。表明的是，就 RMS 波面像差而言，对于第二实施方式在第 1 区间中的 CD 波面像差在图 11 的第二实施方式为 $0\sim0.095\lambda$ 的值，在图 17 所示的第三实施方式为 $0\sim0.03\lambda$ 的值从而得到改善。但是，虽然第 1 区间中的 DVD 的波面像差在图 11 的第二实施方式中为 $0\sim-0.1\lambda$ 的值，但在图 17 的第三实施方式中为 $0\sim-0.2\lambda$ 的劣化的值。作为 RMS 波面像差为，

	DVD	CD
第二实施方式	$0.01945\lambda\text{ rms}$	$0.02525\lambda\text{ rms}$
第三实施方式	$0.02495\lambda\text{ rms}$	$0.02574\lambda\text{ rms}$

DVD 在第三实施方式中劣化，不过仍可保持为 $0.025\lambda\text{ RMS}$ 以下的值。关于表 7 所示的式 (1)、(2) 的值，与级差量 D1 相当的部分中， $\text{MAX}(A_{ij})/\text{MIN}(A_{ij})$ 的值在第三实施方式中为 18.1324 比 3 大，也比 2 大。与 D2、D3、D4、D5 相当的部分中是不到 2 的值，关于 $\text{MAX}(A_{ij})/\text{MIN}(A_{ij})$ ，5 个中有 4 个满足不到 2，1 个不满足。如果 5 个中有 4 个满足，虽然 DVD、CD 两者 RMS 波面像差可以满足在 $0.025\lambda\text{ RMS}$ 以下，不过与 5 个都满足的情况比较，是认为 DVD 的波面像差的劣化的例子。另外，虽然描述了第三实施方式中第一区间的 CD 波面像差缩小的例子，不过同样地也可以使第一区间的 DVD 波面像差缩小，这种情况下对于 RMS 波面像差，CD 会劣化。

还有，在要缩小第二区间的 CD 的波面像差的情况下，表 8 所示的第四实施方式较好。

表 8

第4实施方式

区域	h ₀ (mm)	B	C	K	A4	A6	A8	A10	A12	A14	A16
1	0~0.464667	0	4.4590E-01	-8.67483	0.0275	1.028886	-14.384412	106.233381	-43.1806672	895.812959	-723.25403
2	0.464667~0.687967	0.00108409	4.4899E-01	-8.57884E-01	-1.11390E-03	8.21580E-03	9.75070E-03	-3.03780E-02	-1.03770E-02	1.80080E-01	-2.00000E-01
3	0.687967~0.904885	0.00210818	4.4582E-01	-5.85171E-01	2.36810E-03	-8.00380E-03	4.89410E-03	3.04280E-03	-8.18340E-03	6.85040E-03	-2.40830E-03
4	0.904885~1.141529	0.00323228	4.46759E-01	-8.51147E-01	8.89140E-04	4.63780E-04	2.53240E-04	-1.24870E-04	-1.01670E-04	7.59740E-05	-1.37590E-05
5	1.141529~1.519145	0.00216819	4.2860E-01	-3.27884E-01	6.74880E-03	3.52010E-04	-1.18390E-03	-4.24370E-04	7.8360E-05	1.45720E-04	-3.78080E-06
6	1.519145~1.889386	0.00108409	4.42081E-01	-5.78481E-01	2.50970E-03	1.75070E-04	-2.24990E-04	-1.73810E-05	8.71230E-07	1.64740E-05	-3.9680E-06
7	1.889386~1.847991	0.00103073	4.45481E-01	-8.24870E-01	1.77380E-03	1.24130E-04	-7.34810E-05	2.76810E-05	-8.44330E-06	1.32750E-06	-8.17570E-08
8	1.847991~2.2	-0.00113744	4.45319E-01	-8.13552E-01	1.64820E-03	1.15930E-04	-7.50480E-05	2.80280E-05	-9.53270E-06	1.33720E-06	-8.23130E-08

该第四实施方式是由表 6 所示第三实施方式改变第二区间的 A16 值而得到的。该第四实施方式的波面像差图示于图 18 中，关于式 (1)、(2) 的计算结果示于表 9 中。

表 9

第 4 实施方式

DOVO	半徑 (mm)	1 环带-A4 +0.0278		2 环带-A16 -0.2		绝对值 (D _{max} - D _{min}) / λ (μm)	K × NAU ² / λ (μm)	绝对值 (D _{max} - D _{min}) / λ (μm)	K × NAU ² / λ (μm)	绝对值 (D _{max} - D _{min}) / λ (μm)	绝对值 (D _{max} - D _{min}) / λ (μm)
		半径 (mm)	邻接级差 D _{max} / 折射率 n ₁	半径 (mm)	邻接级差 D _{min} / 折射率 n ₁						
DVD	D1	0.454667	0.001314607	1.604184	0.000655	0.138289331	0.0004	1.212837491	0.0004	0.01187873	1.200358763
		0.687967	0.001335909	1.604184	0.000655	0.204745442	0.0004	1.23228779	0.0004	0.02580042	1.20888237
		0.904885	0.001227185	1.604184	0.000655	0.289242728	0.0004	1.132095498	0.0004	0.04428971	1.087735791
		1.141529	-0.00129229	1.604184	0.000655	0.420877077	0.0004	1.192053012	0.0004	0.10822699	1.08382602
		1.519145	-0.00130801	1.604184	0.000655	0.452111728	0.0004	1.208553933	0.0004	0.12482352	1.08172842
CD	D1	0.454667	0.001314607	1.604184	0.000655	0.138289331	0.0004	1.212837491	0.0004	0.01187873	1.200358763
		0.687967	0.001335909	1.604184	0.000655	0.204745442	0.0004	1.23228779	0.0004	0.02580042	1.20888237
		0.904885	0.001227185	1.604184	0.000655	0.289242728	0.0004	1.132095498	0.0004	0.04428971	1.087735791
		1.141529	-0.00129229	1.604184	0.000655	0.420877077	0.0004	1.192053012	0.0004	0.10822699	1.08382602
		1.519145	-0.00130801	1.604184	0.000655	0.452111728	0.0004	1.208553933	0.0004	0.12482352	1.08172842

第 4 实施方式

区域	MAX(A ₁₆)	MIN(A ₁₆)	MAX(A ₁₆) / MIN(A ₁₆)
D1	0.200958763	0.011274483	17.8242
D2	0.208882370	0.008486247	21.8855
D3	0.104513777	0.087735791	1.1890
D4	0.107200327	0.083826020	1.2788
D5	0.108842588	0.081728415	1.3318

DVD 0.029263 λ_{rms}
CD 0.024889 λ_{rms}

由图 18 表明比第三实施方式进一步缩小第二区间的 CD 波面像差。表明的是，就 RMS 波面像差而言，第四实施方式与第二、第三实施方式相比，对于在第二区间中 CD 的波面像差在图 11 的第二实施方式、在图 17 的第三实施方式为 $0 \sim 0.098 \lambda$ 的值，图 18 的第四实施方式为 $0 \sim 0.05 \lambda$ 的值从而得到改善。但是，虽然关于第二区间中的 DVD 的波面像差在图 11 的第二实施方式、图 17 的第三实施方式中为 $0 \sim -0.1 \lambda$ 的值，但是在图 18 的第四实施方式中为 $0 \sim -0.2 \lambda$ 的劣化的值。作为 RMS 波面像差为，

	DVD	CD
第二实施方式	$0.01945 \lambda \text{ rms}$	$0.02525 \lambda \text{ rms}$
第三实施方式	$0.02495 \lambda \text{ rms}$	$0.02574 \lambda \text{ rms}$
第四实施方式	$0.02926 \lambda \text{ rms}$	$0.02489 \lambda \text{ rms}$

第四实施方式中 DVD 的 RMS 波面像差比在第三实施方式中更加劣化，不过仍可保持为 $0.03 \lambda \text{ RMS}$ 以下的值。关于表 9 所示的式 (1)、(2) 的值，与级差量 D1、D2 相当的部分中， $\text{MAX}(A_{ij})/\text{MIN}(A_{ij})$ 的值在第四实施方式中为 17.8242、31.8655 比 3 大，也比 2 大。与 D3、D4、D5 相当的部分中，是不到 2 的值，关于 $\text{MAX}(A_{ij})/\text{MIN}(A_{ij})$ ，5 个中有 3 个满足不到 2，2 个不满足。如果 5 个中有 3 个满足，虽然 DVD、CD 两者 RMS 波面像差可以满足在 $0.030 \lambda \text{ RMS}$ 以下，不过与 5 个都满足以及 5 个中有 4 个满足的情况比较，是被认为 DVD 的波面像差的劣化的例子。另外，虽然描述了第四实施方式中第一、第二区间的 CD 波面像差缩小的例子，不过同样地也可以使第一、第二区间的 DVD 波面像差缩小，这种情况下关于 RMS 波面像差，CD 会劣化。

另外还有，在要缩小第三区间的 CD 波面像差的情况下，表 10 所示的比较例较好。

表 10

比较例	区间j	h的范围	B	C	K	A4	A8	A10	A12	A14	A16
	1	0~0.484687	0	4.45390E-01	-8.97483	0.0275	1.028895	-14.364412	198.233381	-431.806612	895.817958
	2	0.484687~0.687967	0.00108409	4.48899E-01	-8.87884E-01	-1.11390E-03	8.75070E-03	-3.03780E-02	-4.03770E-02	1.80080E-01	-2.00000E-01
	3	0.687967~0.904685	0.00218818	4.58285E-01	-8.85171E-01	2.38910E-03	-5.00380E-03	4.58410E-03	3.04280E-03	8.95040E-03	-3.35000E-03
	4	0.904685~1.414579	0.00375228	4.67395E-01	-8.51187E-01	8.58140E-04	4.83790E-04	2.53240E-04	-1.44670E-04	7.58740E-04	-1.37890E-05
	5	1.414579~1.519145	0.00218818	4.28880E-01	-3.27888E-01	6.74880E-03	3.37010E-04	-1.15380E-03	-4.34370E-04	1.43720E-04	-3.7590E-05
	6	1.519145~1.589388	0.00108409	4.42081E-01	-5.75481E-01	2.58970E-03	1.75070E-04	-2.24980E-04	8.71230E-07	1.84140E-05	-3.88860E-08
	7	1.589388~1.847991	0.00103073	4.45481E-01	-8.24870E-01	1.77340E-03	1.24130E-04	-7.34810E-05	-9.44330E-05	3.2750E-06	-0.17570E-08
	8	1.847991~2.2	-0.00113744	4.45319E-01	-8.13552E-01	1.84680E-03	1.15930E-04	-7.50480E-05	2.80220E-05	1.33720E-06	-8.23130E-08

该比较例是由表 8 所示第四实施方式改变第三区间的 A16 值而得到的。该比较例的波面像差图示于图 19 中，

关于式 (1)、(2) 的计算结果示于表 11 中。

表 11

2-4 比较例		1 环带-A4 +0.0275 2 环带-A18 -0.2 3 环带-A16 -0.00335									
DVD	半径(mm)	邻接级差D(μm)折射率n1	波长λ(μm)	N(μm)	N(μm)	绝对值(Dλ×n1-1)/λ(μm)	K	K×NA1/2/λ(μm)	绝对值(Dλ×n1-1)/λ(μm)	绝对值(Dλ×n1-1)/λ(μm)	绝对值(Dλ×n1-1)/λ(μm)
DVD 共用区域	D1	0.484687	0.001314807	1.804184	0.000855	0.138288251	0.0004	0.01187873	1.20058578	1	0.200858783
	D2	0.687967	0.001333538	1.804184	0.000855	0.204748422	0.0004	0.01580042	1.20449988	1	0.204499884
	D3	0.904685	0.001416808	1.804184	0.000855	0.289242728	0.0004	0.04438871	1.85864228	1	0.282842276
	D4	1.414579	-0.00129229	1.804184	0.000855	0.420977077	0.0004	0.10823899	1.06182602	1	0.083828920
	D5	1.519145	-0.00130801	1.804184	0.000855	0.452111778	0.0004	0.12487732	1.06172642	1	0.081726415
DVD 专用区域	D6	1.589388	-0.00057203	1.804184	0.000855	0.473010203					
	D7	1.847991	-0.0025188	1.804184	0.000855						
3.380108321											
CD		半径(mm)	邻接级差D(μm)折射率n2	波长λ(μm)	N(μm)	绝对值(Dλ×n2-1)/λ(μm)	K	K×NA1/2/λ(μm)	绝对值(Dλ×n2-1)/λ(μm)	绝对值(Dλ×n2-1)/λ(μm)	绝对值(Dλ×n2-1)/λ(μm)
CD 共用区域	D1	0.484687	0.001314807	1.899908	0.00078	0.137362401	0.0004	0.00355363	0.888725507	1	0.011274483
	D2	0.687967	0.001333538	1.899908	0.00078	0.20373185	0.0004	0.00698210	0.981713018	1	0.008288083
	D3	0.904685	0.001416808	1.899908	0.00078	0.287631194	0.0004	0.03671427	1.035874428	1	0.038674428
	D4	1.414579	-0.00129229	1.899908	0.00078	0.41815581	0.0004	0.08883272	0.992789473	1	0.107200327
	D5	1.519145	-0.00130801	1.899908	0.00078	0.44981808	0.0004	0.10211357	0.891157412	1	0.108842588
CD 专用区域	D6	1.589388	-0.00057203	1.899908	0.00078	0.48383887					
	D7	1.847991	-0.0025188	1.899908	0.00078						
3.382781591											

比较例

比较例	MAX(A8)	MIN(A8)	MAX(A8)/MIN(A8)
DVD/CD 共用区域	D1	0.200858783	0.011274483
	D2	0.204499884	0.008288083
	D3	0.282842276	0.038674428
	D4	0.107200327	0.083828920
	D5	0.108842588	0.081726415

用图 19 来表明比第四实施方式进一步缩小第三区间的 CD 波面像差的情况。表明的是，就 RMS 波面像差而言，比较例与第二、第三、第四实施方式相比，对于第三区间 CD 的波面像差在图 11 的第二实施方式、图 17 的第三实施方式、图 18 的第四实施方式为 $0 \sim 0.098 \lambda$ 的值，图 19 的比较例中为 $-0.01 \sim 0.04 \lambda$ 的值从而得到改善。但是，虽然关于第三区间中的 DVD 波面像差在图 11 的第二实施方式、图 17 的第三实施方式为 $0 \sim -0.1 \lambda$ 的值，但是在图 18 的第四实施方式中为 $0 \sim -0.2 \lambda$ 的劣化的值。作为 RMS 波面像差为，

	DVD	CD
第二实施方式	$0.01945 \lambda \text{ rms}$	$0.02525 \lambda \text{ rms}$
第三实施方式	$0.02495 \lambda \text{ rms}$	$0.02574 \lambda \text{ rms}$
第四实施方式	$0.02926 \lambda \text{ rms}$	$0.02489 \lambda \text{ rms}$
比较例	$0.03503 \lambda \text{ rms}$	$0.02477 \lambda \text{ rms}$

比较例中 DVD 的 RMS 波面像差比在第四实施方式中更加劣化，为 $0.035 \lambda \text{ RMS}$ 以上。关于表 11 所示的式 (1)、(2) 的值中，与级差量 D1、D2、D3 相当的部分中， $\text{MAX}(A_{ij})/\text{MIN}(A_{ij})$ 的值在比较例中为 17.8242、24.6772、6.6199 比 3 大，也比 2 大。与 D4、D5 相当的部分中，是不到 2 的值，关于 $\text{MAX}(A_{ij})/\text{MIN}(A_{ij})$ ，5 个中有 2 个满足不到 2，3 个不满足。由于 5 个内只有两个满足，所以说本比较例是 DVD、CD 两者 RMS 波面像差不能满足 $0.035 \lambda \text{ RMS}$ 以下。

另外，至此虽然描述了 DVD 和 CD 的情况，不过即使对于例如基板厚度相同、波长不同的情况本发明也有效。例如，所谓的蓝色激光、波长 405nm 基板厚度为 0.6mm，和 DVD、波长 655nm、基板厚度为 0.6mm 的场合等。关于这些场合，以下作为第五实施方式进行描述。

在第五实施方式中，基本的透镜构成与图 2 所示的第二实施方式相同，从 A 面一侧使平行光入射，在 B 面侧的光盘基板（图中未示）的记录面上形成良好的光斑。光源一侧的 A 面用公式 4 表示 Z_A 与 h 的关系。这些具体的数值示于表 12 上侧栏的区间 1~9 中。另外，与光源相反的一侧，光盘侧的 B 面用公式 6 表示 Z_B 与 h 的关系。这些具体的数值示于表 12 的下侧栏中。

表 12

A面

区间	1	2	3	4	5	6	7	8	9
下限	0	0.542487	0.792915	1.014927	1.248884	1.740929	1.850763	1.92125	1.875027
上限	0.542487	0.792915	1.014927	1.248884	1.740929	1.850763	1.92125	1.975027	2.2
B	0	-0.001473477	-0.00294854	-0.004420431	-0.005891306	-0.004420431	-0.00294854	-0.001473477	0
C	0.508478359	0.5104812	0.511017577	0.510002883	0.510089632	0.508291764	0.518471858	0.5182374	0.513715431
K	-1.3369185	-0.8287777	-0.8109988	-0.7537146	-0.7488181	-0.7212068	-0.7734912	-0.7782421	-0.7540451
A4	-4.16578E-05	0.003118518	0.0033389503	0.004375048	0.004157114	0.005172403	0.004007758	0.003997963	0.004280322
A6	0.238242812	0.004781572	0.00191308	0.000112894	0.000283538	-8.23490E-05	-0.000307572	-0.000302425	-0.000138405
A8	-2.171510837	-0.000539413	0.001174357	0.000180003	5.488882E-05	-3.19440E-05	5.297088E-06	4.8548173E-06	2.3114717E-05
A10	9.398882587	-0.004428822	-0.001259228	3.098813E-06	-3.850521E-06	4.50426E-06	3.480583E-05	3.3523874E-05	2.7589154E-06
A12	-19.80835322	0.00348841	-0.001086548	-4.170906E-05	-1.207888E-05	-6.74502E-06	-1.428378E-06	-2.8102373E-06	-5.8345845E-06
A14	13.07840955	-0.008183854	0.00149111	-8.214377E-06	5.481453E-06	6.84527E-06	3.388613E-06	3.3088712E-06	2.6846518E-06
A16	8.844157513	0.002248444	-0.000424583	5.927209E-06	-8.448657E-07	-1.13808E-06	-7.978428E-07	-8.9376700E-07	-4.5308028E-07

B面	R2
C	-0.118842824
K	-85.58789
A4	0.00128653
A6	4.3281237E-06
A8	-1.1572493E-05
A10	-2.0838003E-06

另外,物镜光轴上的面顶点 f 、 e 之间的距离,即中心厚度 t_0 为 1.94mm,波长 $\lambda_1=405\text{nm}$ (蓝光)的折射率 n 为 1.54972,波长 $\lambda_2=655\text{nm}$ (DVD)下的折射率 n 为 1.53。透明基板的厚度和折射率在波长 $\lambda_1=405\text{nm}$ (蓝光)、厚度为 0.6mm 下折射率为 1.6235,在波长 $\lambda_2=655\text{nm}$ (DVD)、厚度为 0.6mm 下折射率为 1.58。另外,波长为 405nm 的蓝光时的 NA 为 0.65,焦距为 3.1015mm,而波长为 655nm 的 DVD 时的 NA 为 0.6277,焦距为 3.2116mm。入射平行光束有效直径在蓝光与 DVD 时都为 $\phi 4.032$ 。再有,该第五实施例中,没有相当于第一~第四实施例时的 DVD 专用区域的部分, $\phi 4.032$ 的 A 面一侧的整个透镜都是蓝光/DVD 共用区域。

图 20 示出该第五实施方式的波面像差图。蓝光的 RMS 波面像差为 $0.03152 \lambda \text{ rms}$,DVD 的 RMS 波面像差为 $0.03237 \lambda \text{ rms}$,蓝光和 DVD 都在 $0.035 \lambda \text{ rms}$ 以下。关于式(1)、(2)的值,示于表 13 中。

表 13

第 5 实施方式

蓝光	半径(mm)	邻接级差D(mm)	折射率n1	波长λ1(mm)	Nm(OD)	绝对值(Dm(OD)-1)/λ1	K	K×NAJ1 ² /λ1 ² BH	mm	AJ=绝对值(BH-mm)		
蓝光 D 共用 区域	D1	0.542467	-0.001408496	1.54972	0.000405	0.174905	1.909355938	0.0004	0.03021369	1.87914193	2	0.120858049
	D2	0.792815	-0.00142844	1.54972	0.000405	0.233559	1.940228932	0.0004	0.06480390	1.87572303	2	0.124276968
	D3	1.014927	-0.001458163	1.54972	0.000405	0.327237	1.980570823	0.0004	0.10676233	1.87480818	2	0.126191807
	D4	1.249864	-0.001502359	1.54972	0.000405	0.402993	2.039515782	0.0004	0.16038869	1.87811708	2	0.120862907
	D5	1.740929	0.001650666	1.54972	0.000405	0.561318	2.240531313	0.0005	0.38898580	1.85194571	2	0.148454292
	D6	1.850763	0.001886813	1.54972	0.000405	0.596732	2.303740885	0.0005	0.43961553	1.86352513	2	0.138474888
	D7	1.82125	0.001728803	1.54972	0.000405	0.619458	2.347818178	0.0005	0.47373904	1.87417875	2	0.125820245
	D8	1.976027	0.00176066	1.54972	0.000405	0.636797	2.389843832	0.0005	0.50063071	1.88921283	2	0.110787075
焦距 =												
3.1015												

QVD		半径(mm)	邻接级差D(mm)	折射率n2	波长λ2(mm)	Nm(OD)	绝对值(Dm(OD)-1)/λ2	K	K×NAJ1 ² /λ2 ² BH	mm	AJ=绝对值(BH-mm)
DVD 蓝光/DV D 共用 区域	D1	0.542467	-0.001406698	1.53	0.000665	0.164908	1.138242803	0.0004	0.01742238	1.12081992	1
	D2	0.792816	-0.00142844	1.53	0.000665	0.246798	1.158848328	0.0004	0.03719835	1.11944997	1
	D3	1.014927	-0.001459183	1.53	0.000665	0.316019	1.180696748	0.0004	0.06068814	1.11870860	1
	D4	1.249864	-0.00150259	1.53	0.000665	0.389178	1.213838355	0.0004	0.09249435	1.12334200	1
	D5	1.740929	0.001650666	1.53	0.000665	0.542075	1.335888898	0.0004	0.17544771	1.15822198	1
	D6	1.850763	0.00188813	1.53	0.000665	0.576274	1.372993618	0.0005	0.25350552	1.11948810	1
	D7	1.92125	0.001728803	1.53	0.000665	0.598222	1.399887638	0.0005	0.27318294	1.12650470	1
	D8	1.975027	0.00176069	1.53	0.000665	0.614967	1.4248607	0.0005	0.28868008	1.13599051	1
焦距 =											
									</		

第 5 实施方式

	MAX(AJ)	MIN(AJ)	MAX(AJ)/MIN(AJ)
D1	0.120858049	0.120819923	1.0003
D2	0.124274968	0.119449975	1.0404
D3	0.125191807	0.119708603	1.0458
D4	0.123342004	0.120862907	1.0203
D5	0.148454292	0.148454292	1.0523
D6	0.138474888	0.119488086	1.1422
D7	0.125620245	0.125620245	1.0084
D8	0.135990507	0.110787075	1.2275

关于式(1)、(2)的值,在D1~D8的所有的邻接级差部中为1.23以下,在所有级差部都满足式(1)、(2)。

另外,该第五实施方式的光斑图示于图21中。为 $1/e^2(=0.135)$ 的相对光强度的光斑直径在405nm的蓝光时为 $0.5149\mu\text{m}$,而在655nm的DVD时为 $0.8606\mu\text{m}$ 。

还有,由于本第五实施方式中的上述 $W_{\text{max}}/W_{\text{min}}$ 为 $W_{\text{max}}/W_{\text{min}}=0.03237/0.03152=1.026967$,所以,上述允许值为1.8,最好为1.6,更好为1.4以下。再有,作为本第五实施方式与上述表3相当的值,在第一~第四、第六~第九区域中为 $\Delta V_d(\lambda 405)=0.11\sim 0.12\lambda$ 、 $\Delta V_d(\lambda 655)=0.11\sim 0.12\lambda$,各波面像差的差之比 $\Delta V_d(\lambda 405)/\Delta V_d(\lambda 655)$ 以及 $\Delta V_d(\lambda 655)/\Delta V_d(\lambda 405)$ 都在0.9~1.1之间。另外,关于第五区域为 $\Delta V_d(\lambda 405)=0.075\lambda$ 、 $\Delta V_d(\lambda 655)=0.078\lambda$ 。还有,在图20中的波面像差图中,虽然为在相对瞳坐标0~1的范围内相对瞳每0.01的计算结果,不过如果更细地计算的话,各波面像差为上述值。

图1

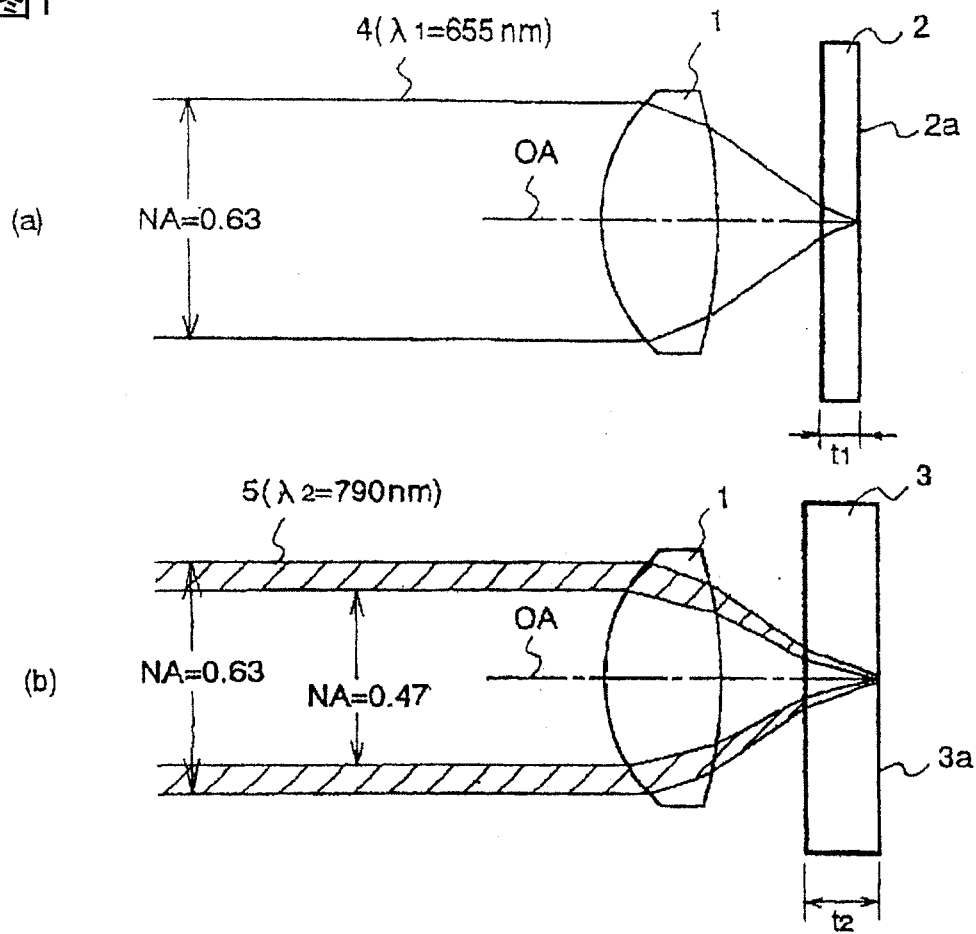
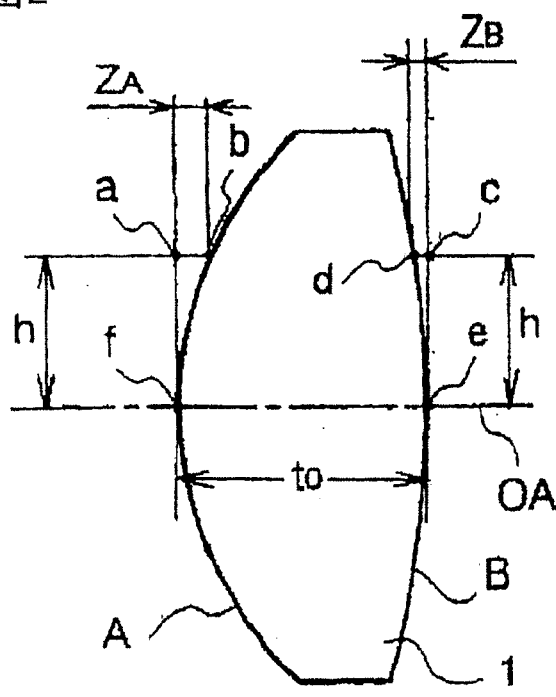


图2



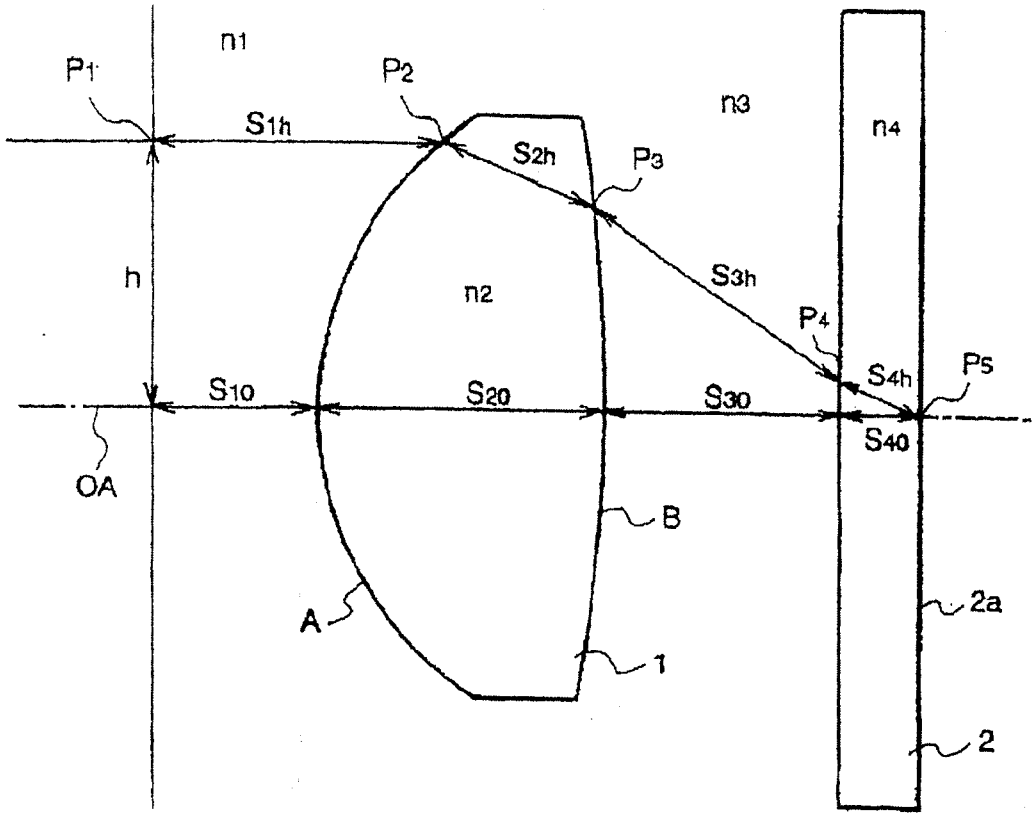


图3

图4

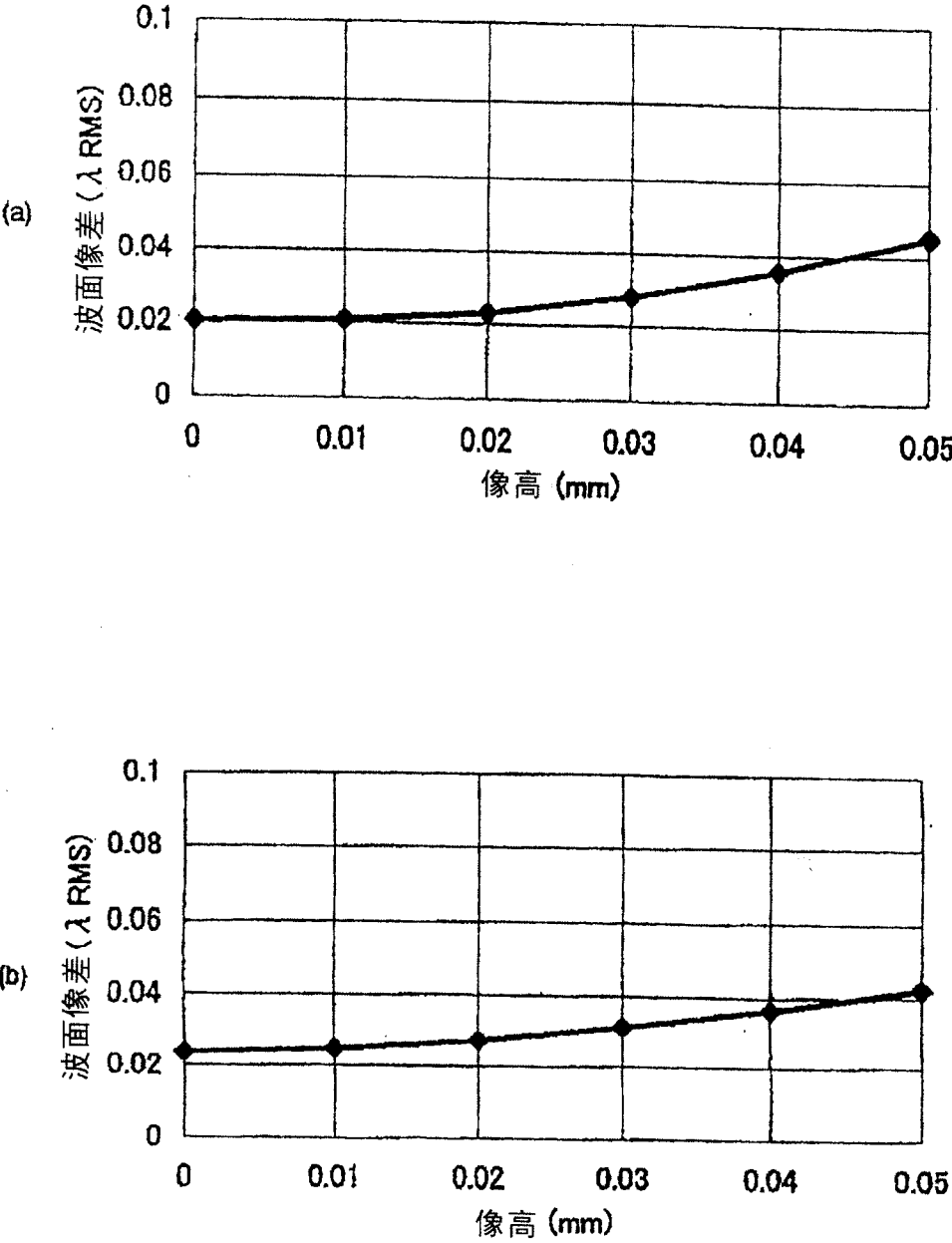


图5

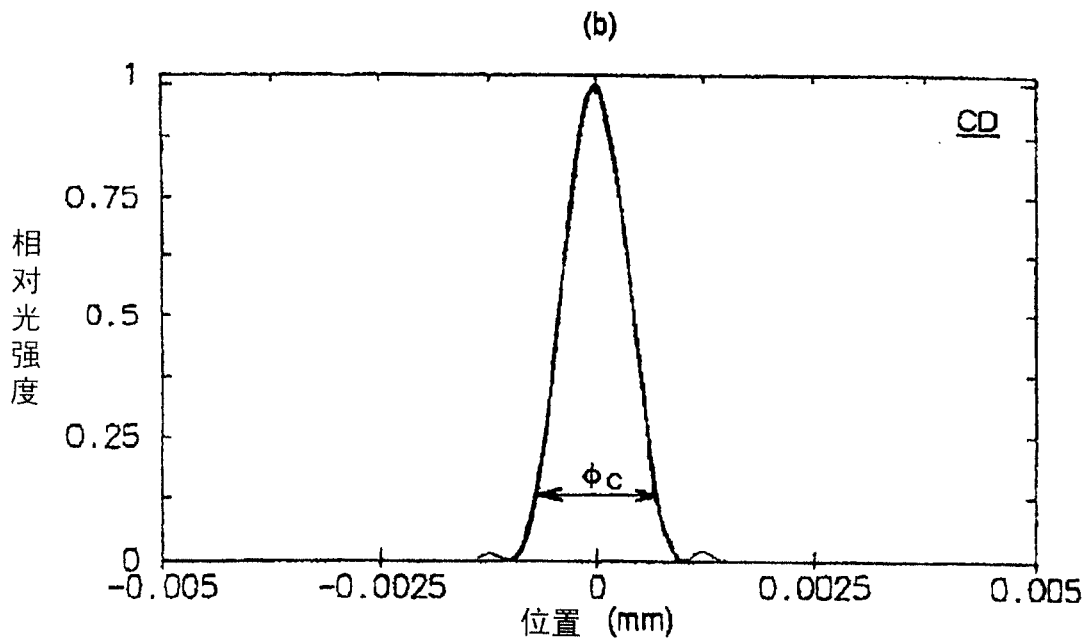
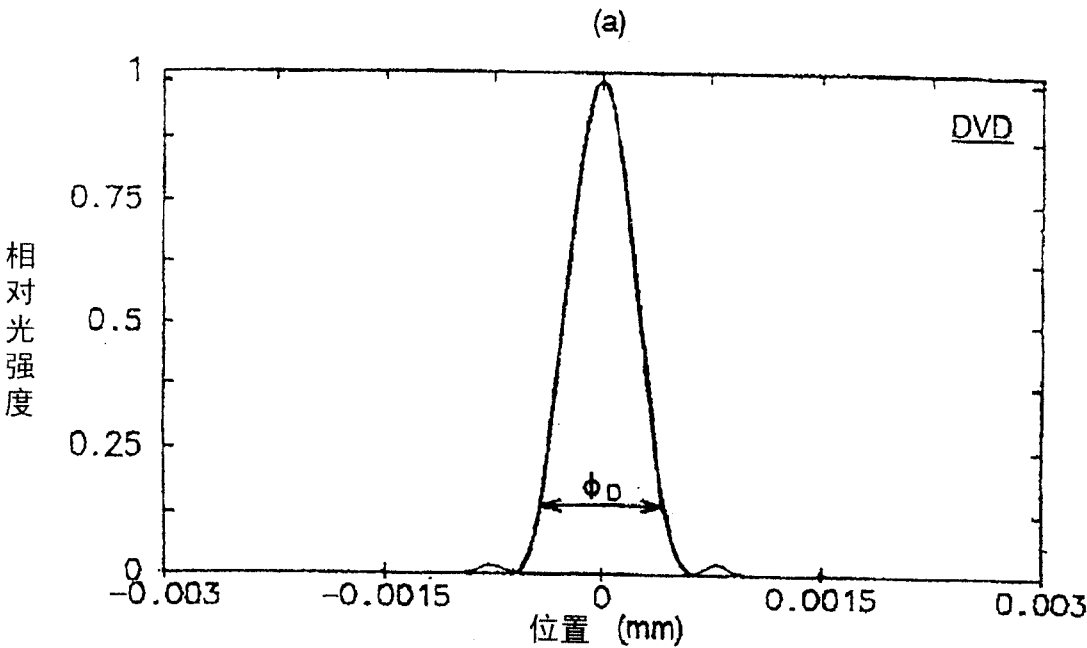


图6

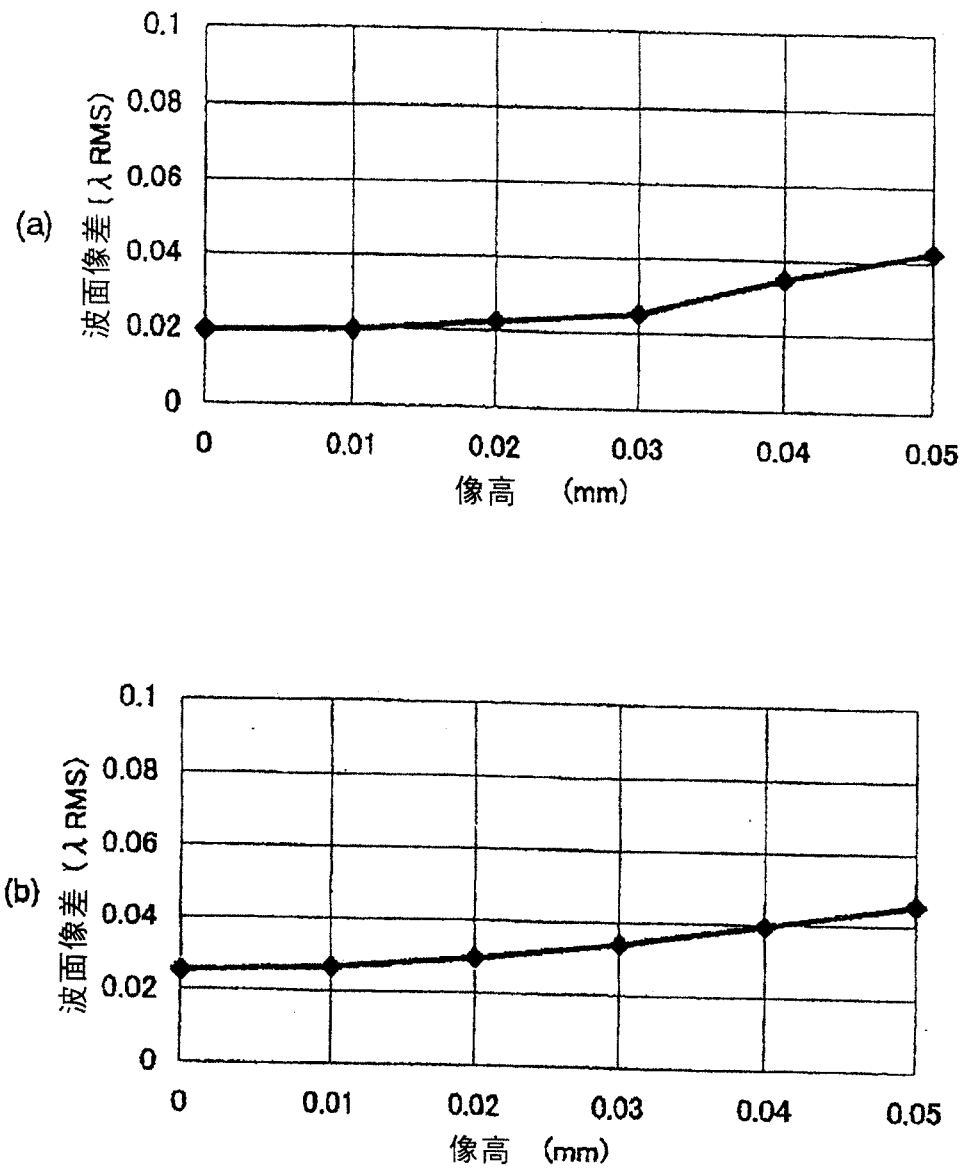
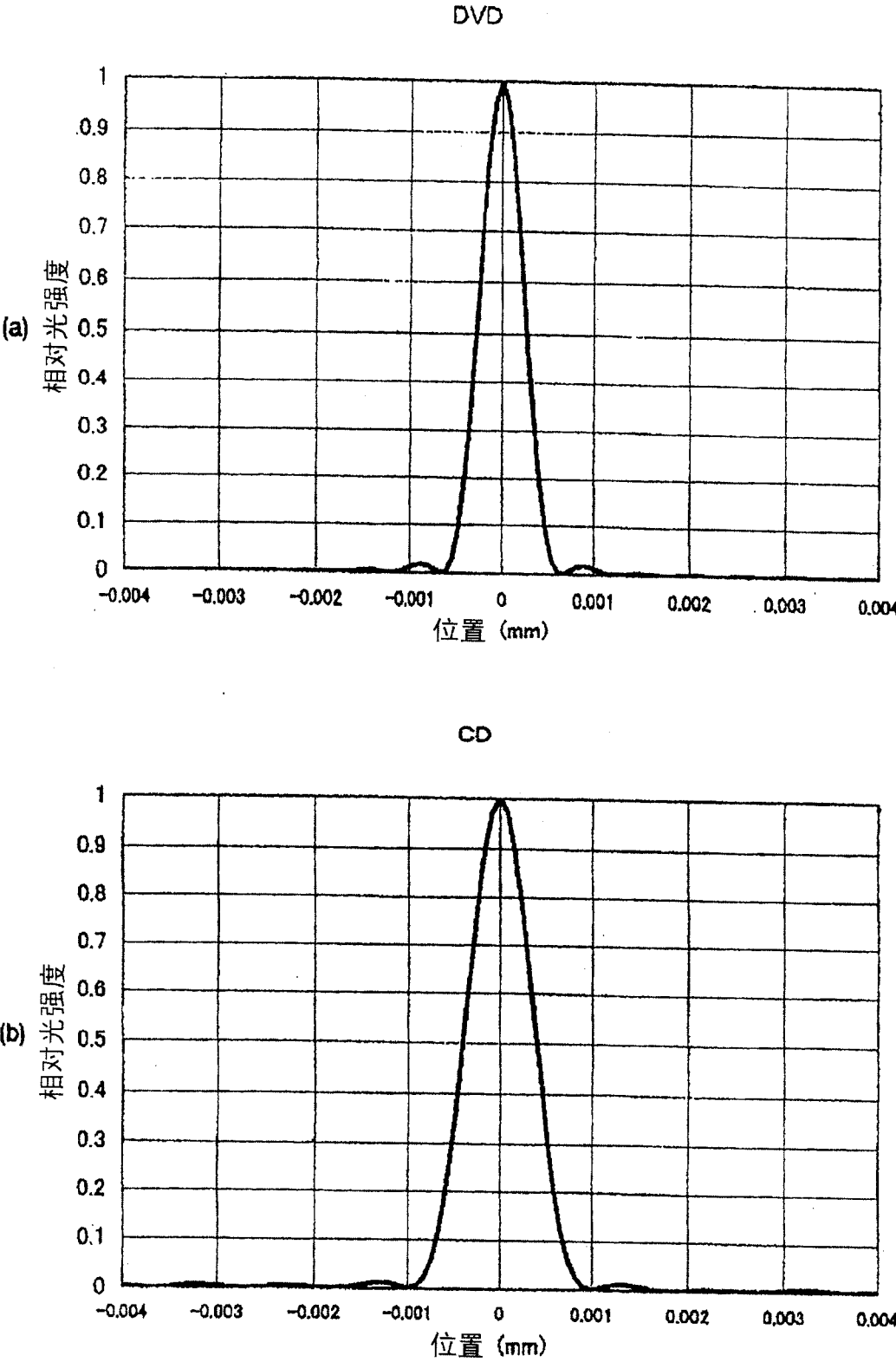


图7



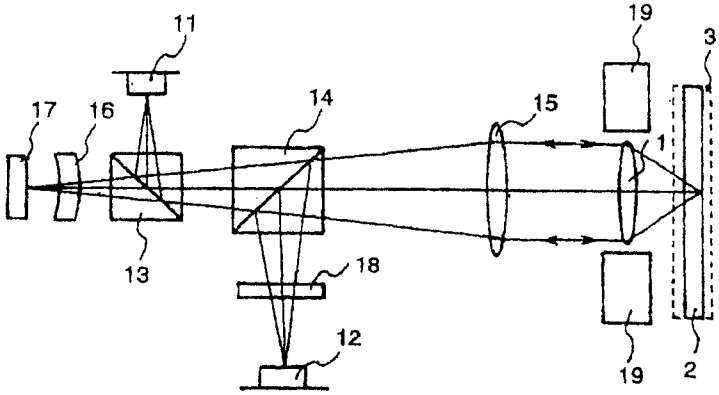


图8

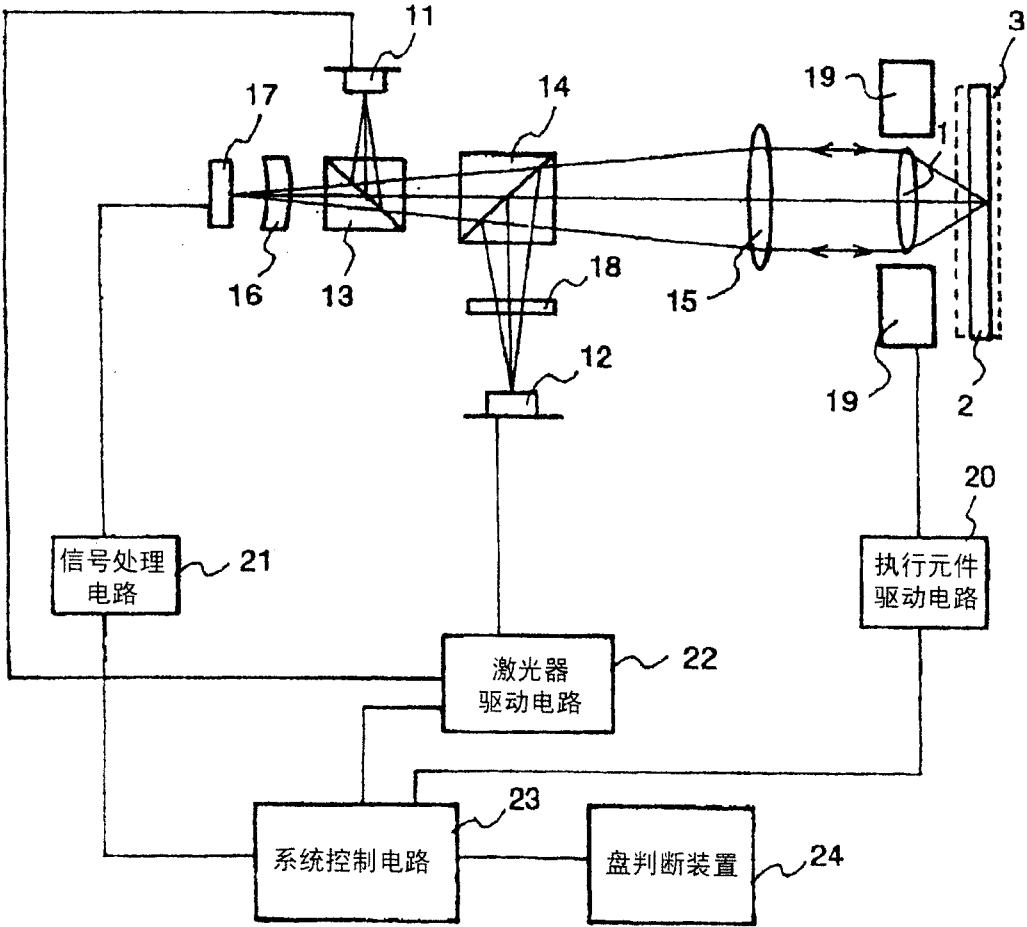


图9

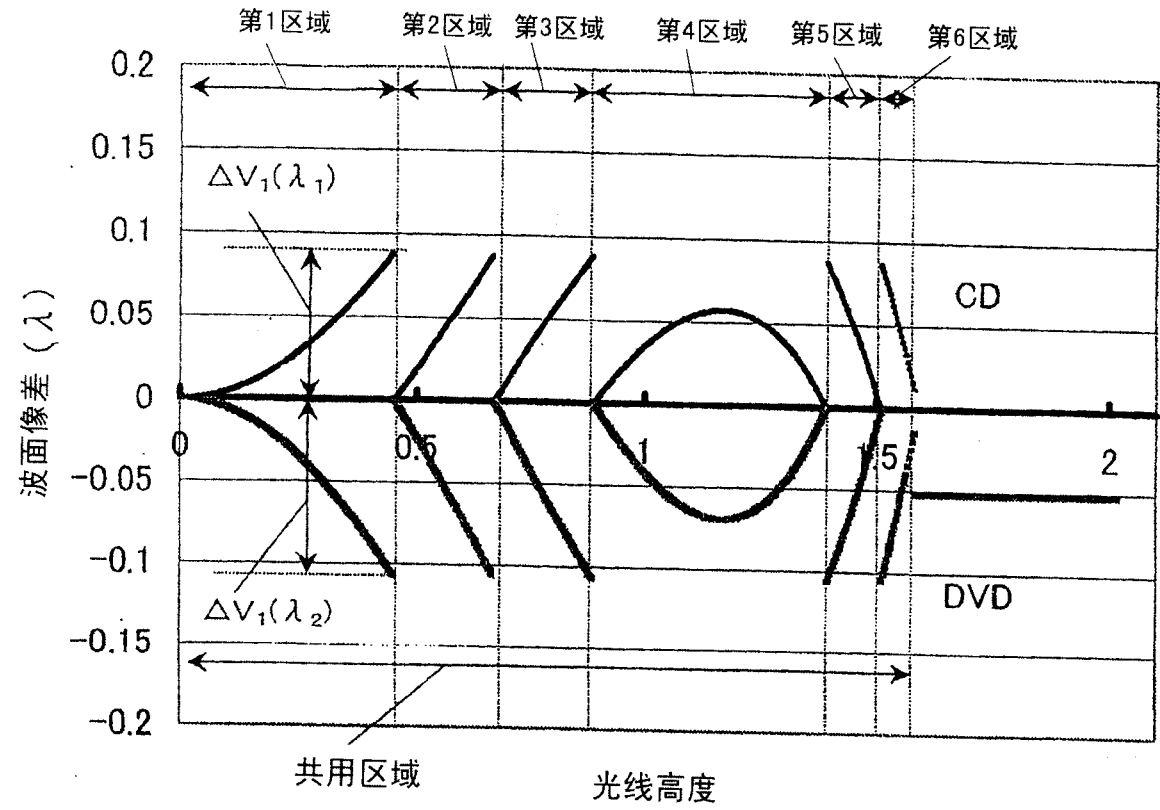


图10

实施例2的各非球面部的波面像差

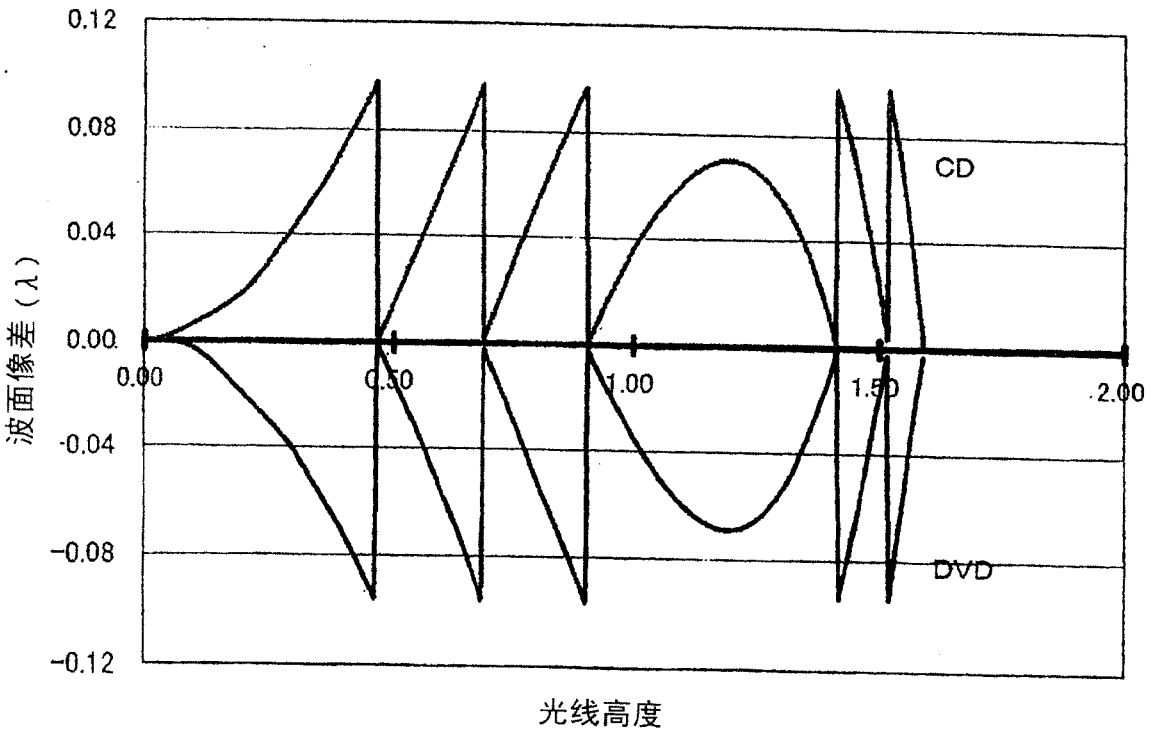


图11

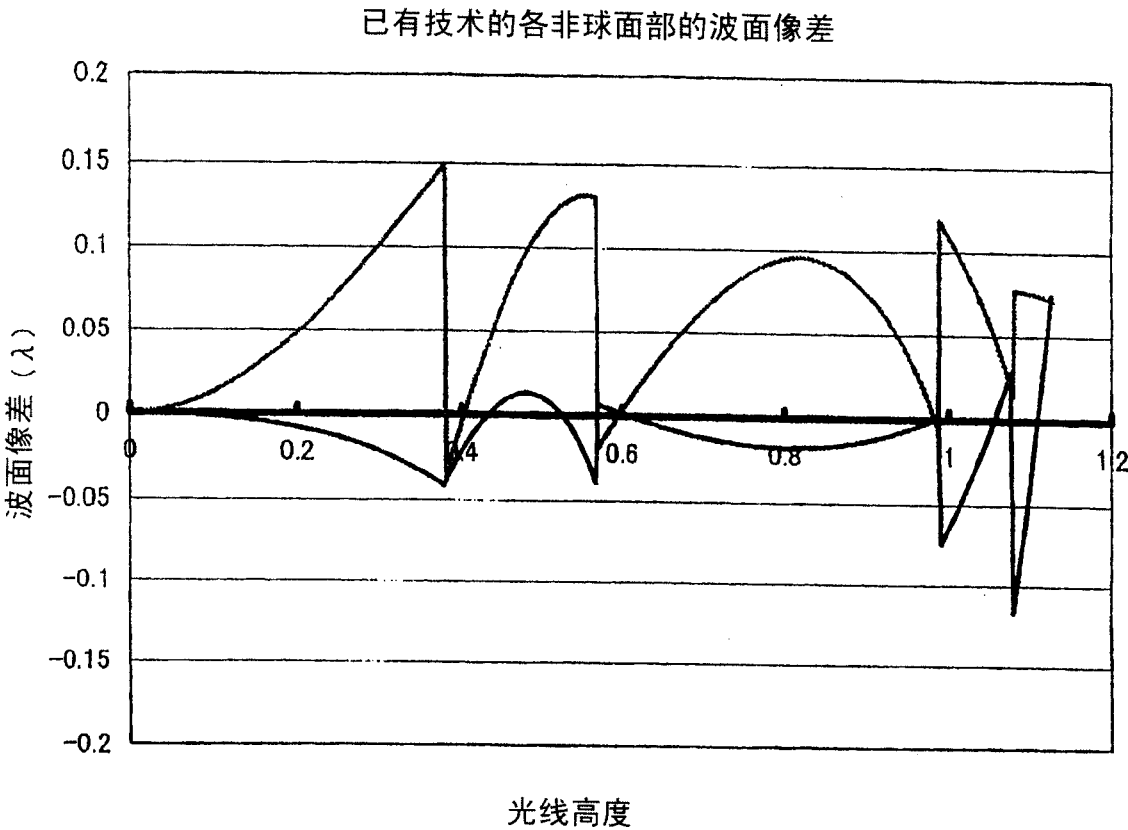


图12

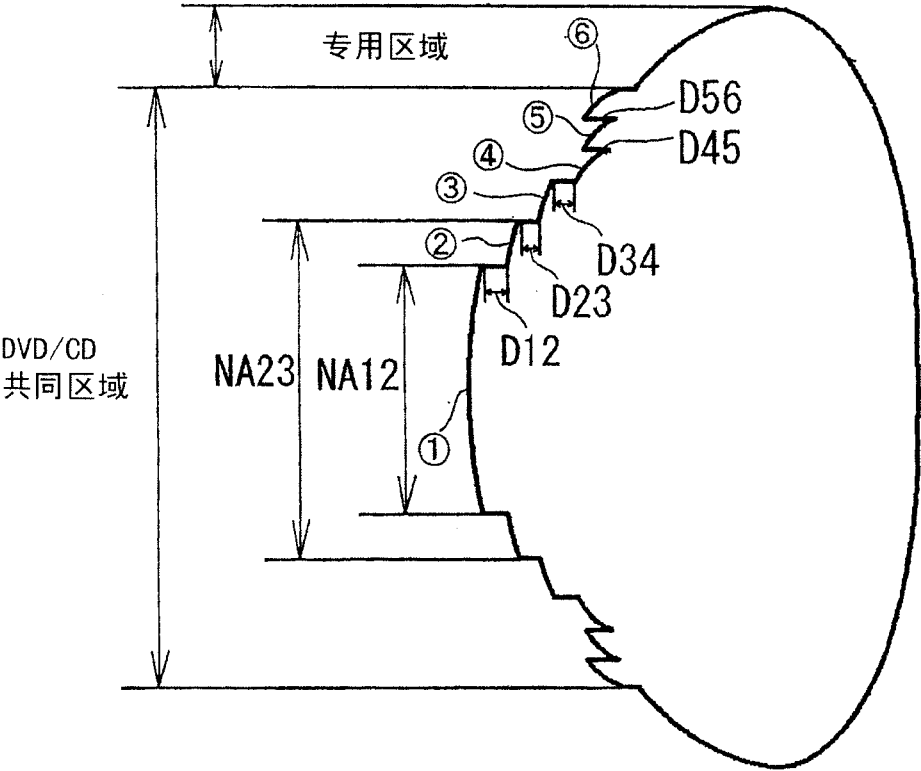
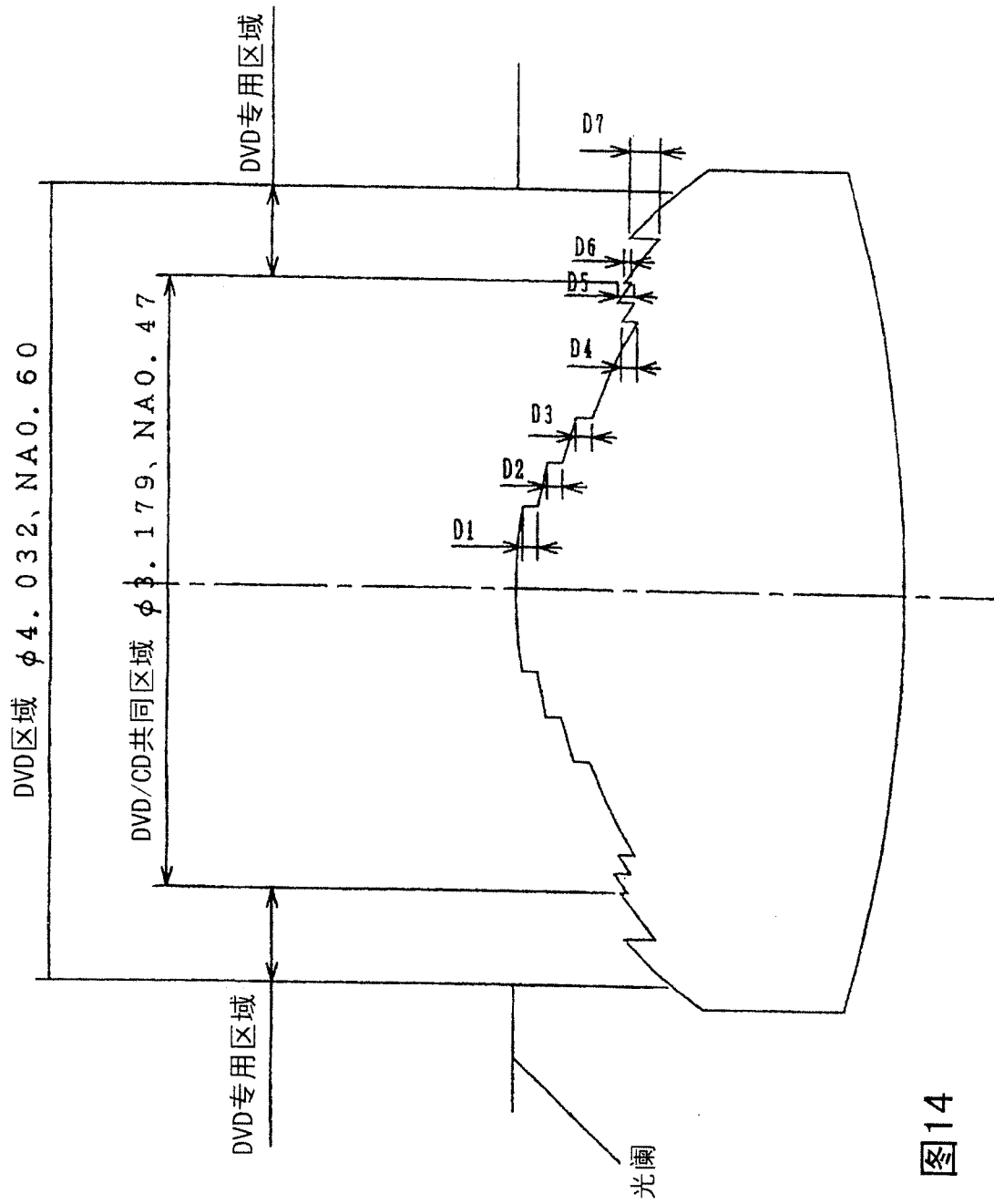


图13



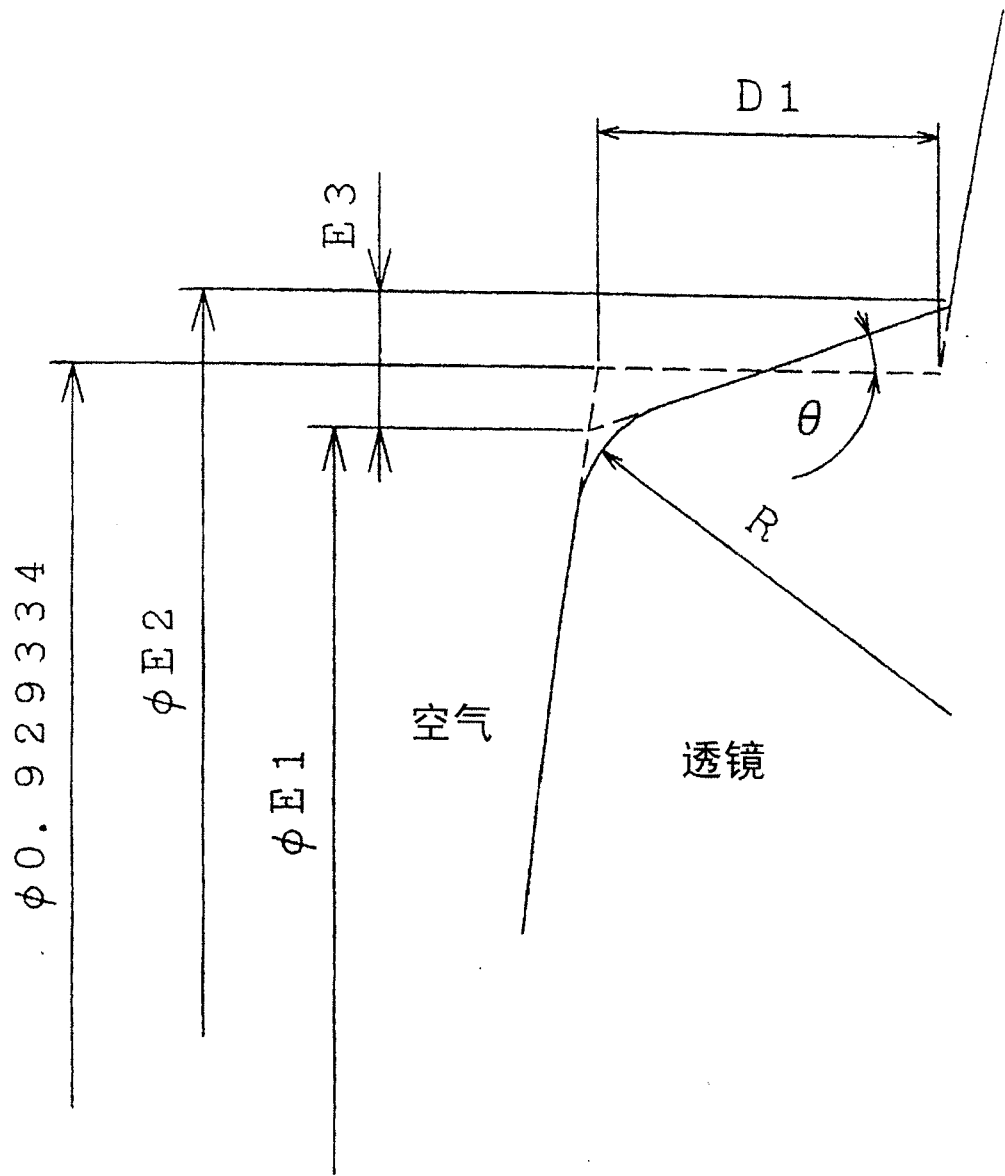


图15

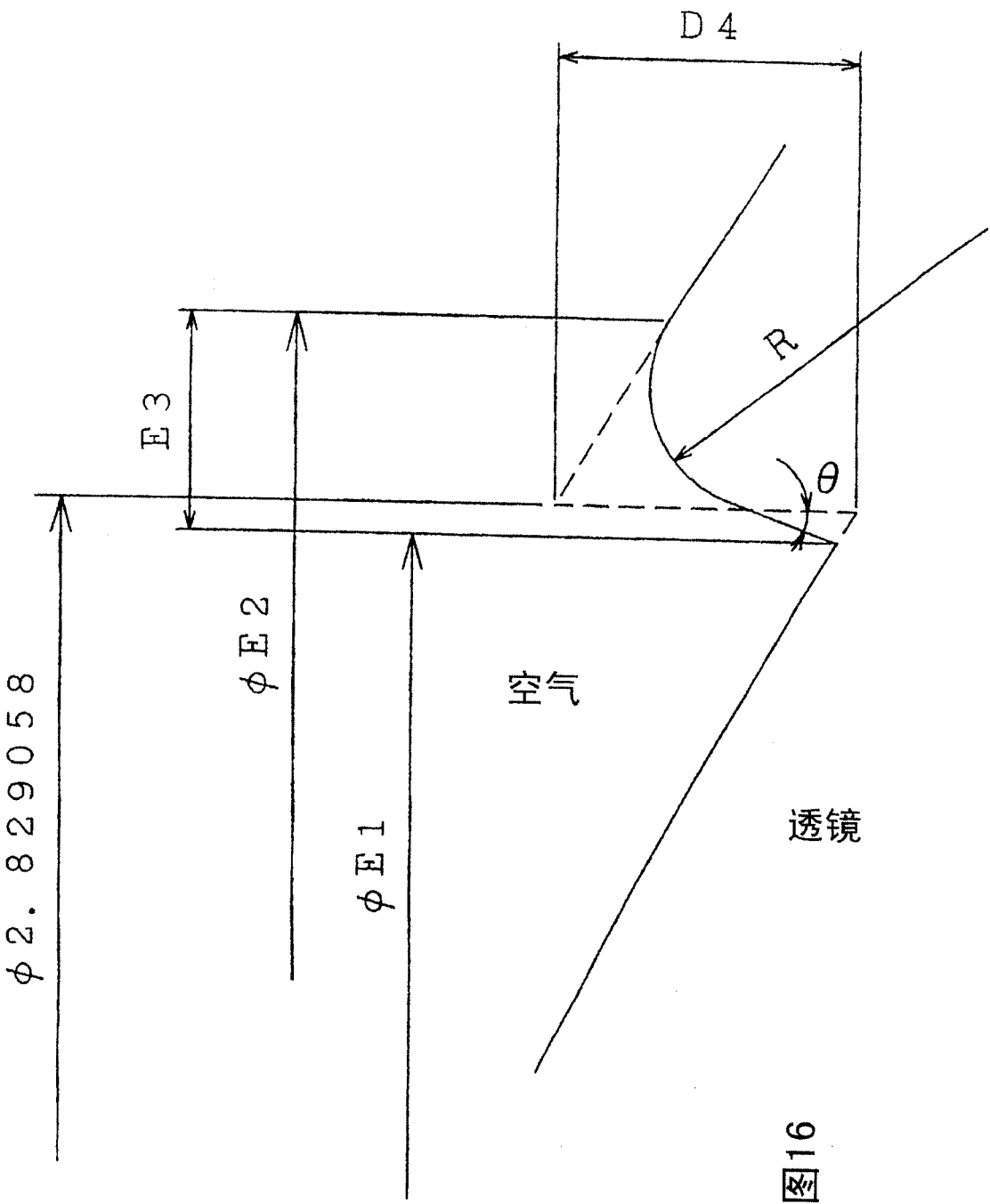


图16

图17

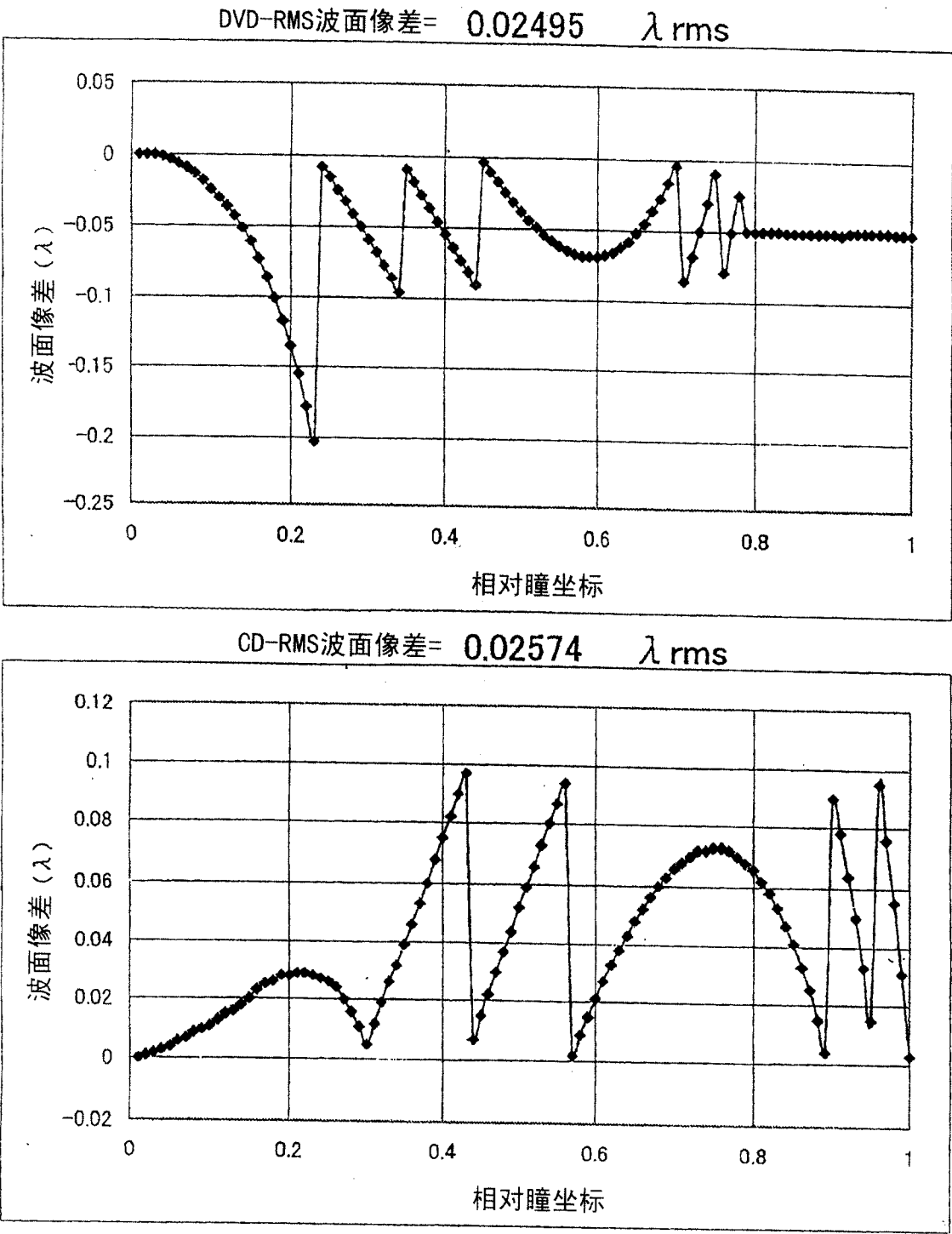


图18

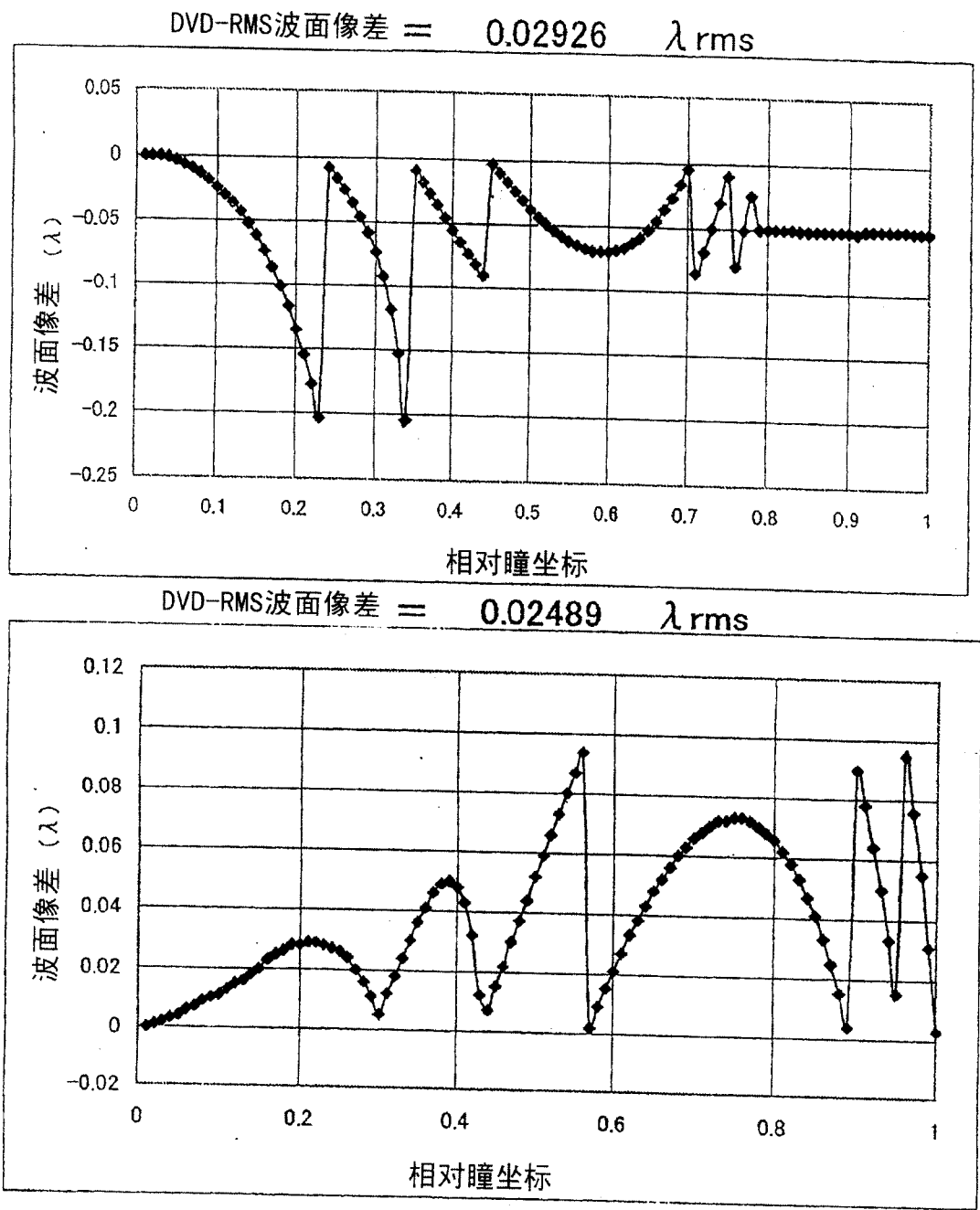


图19

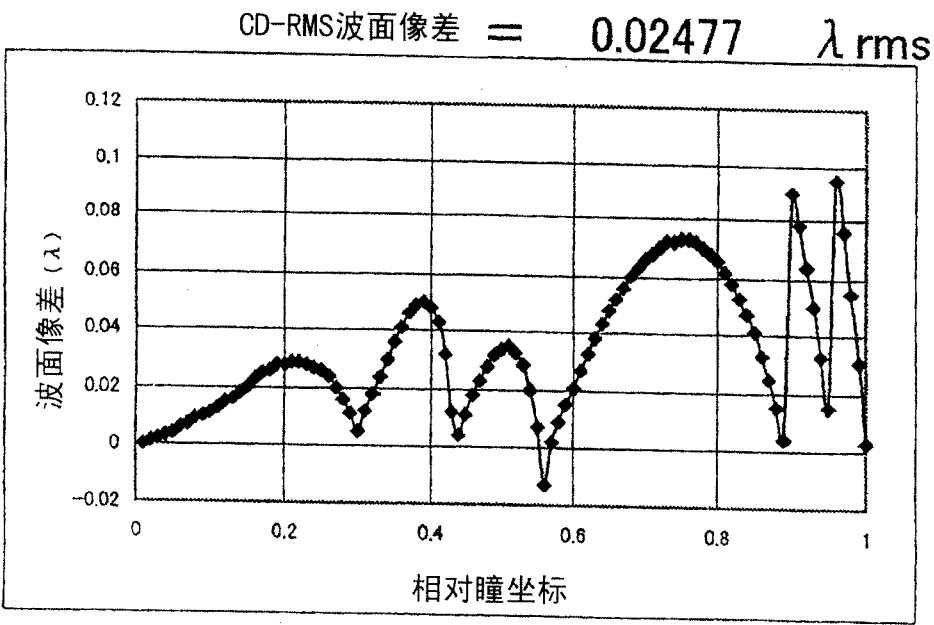
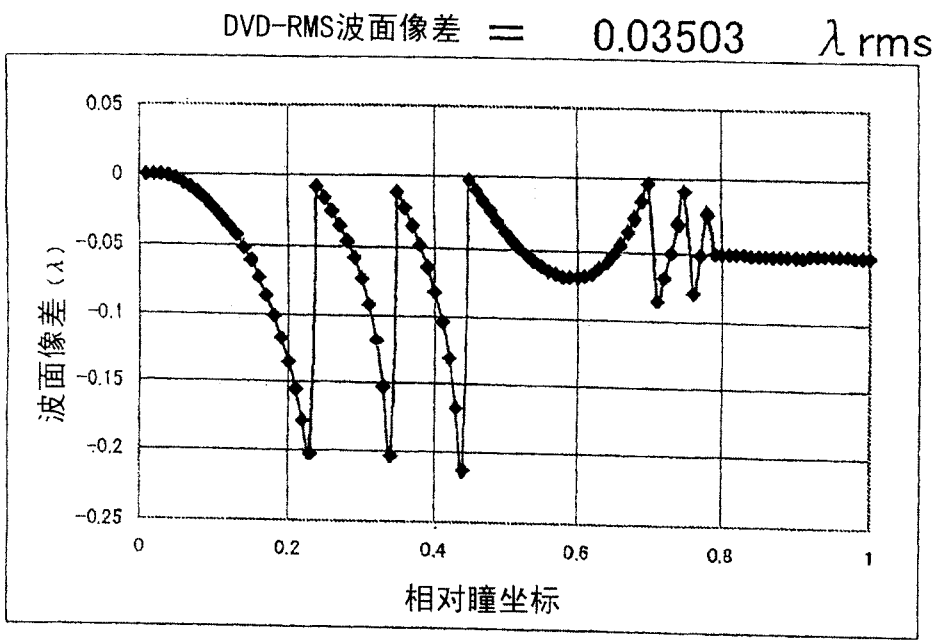


图20

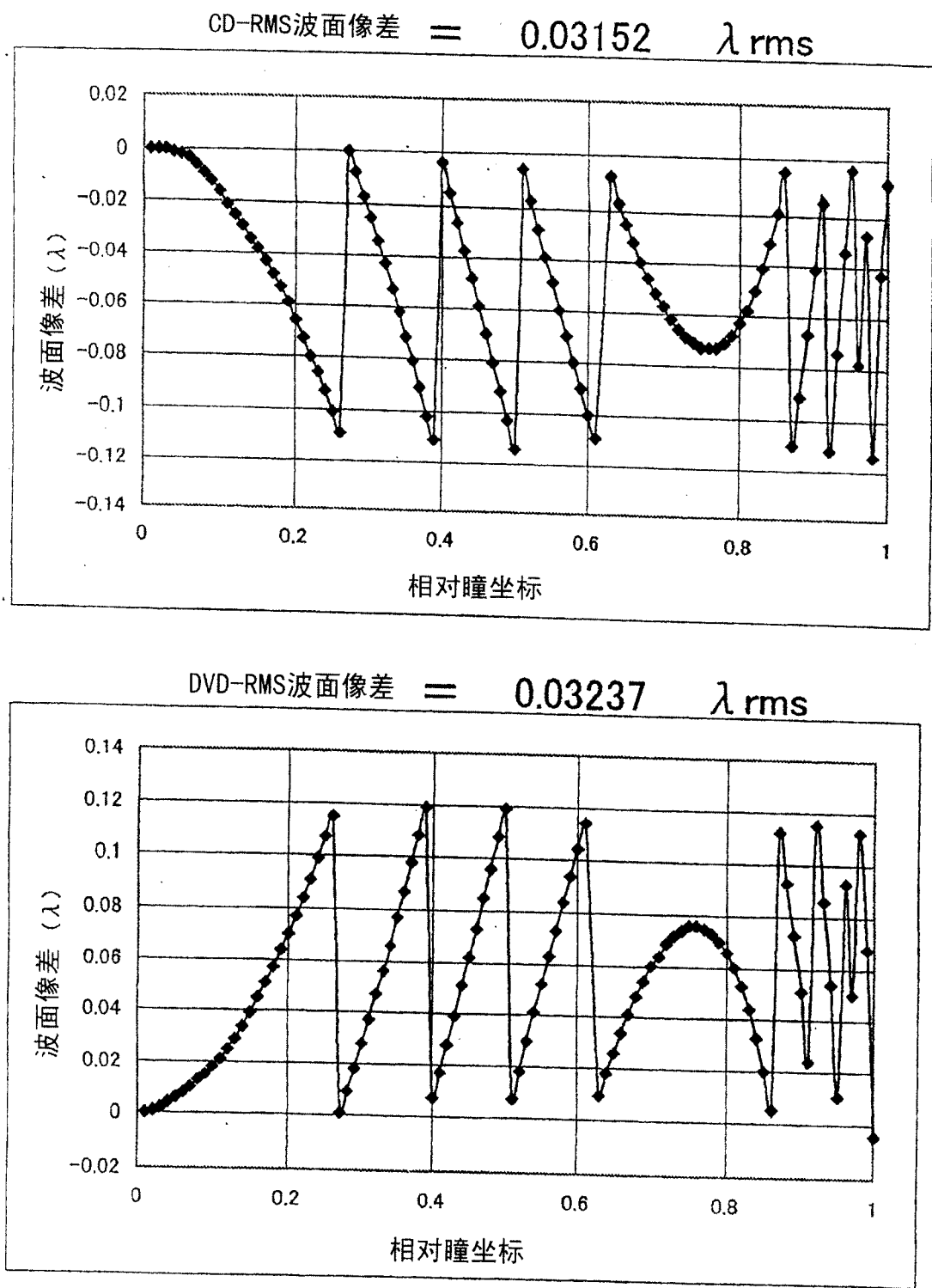
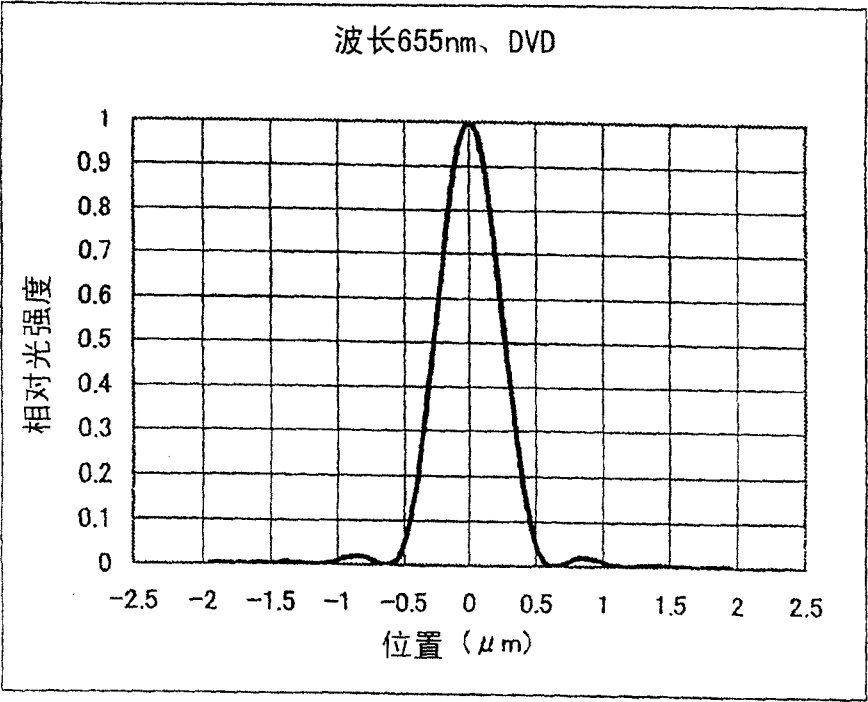
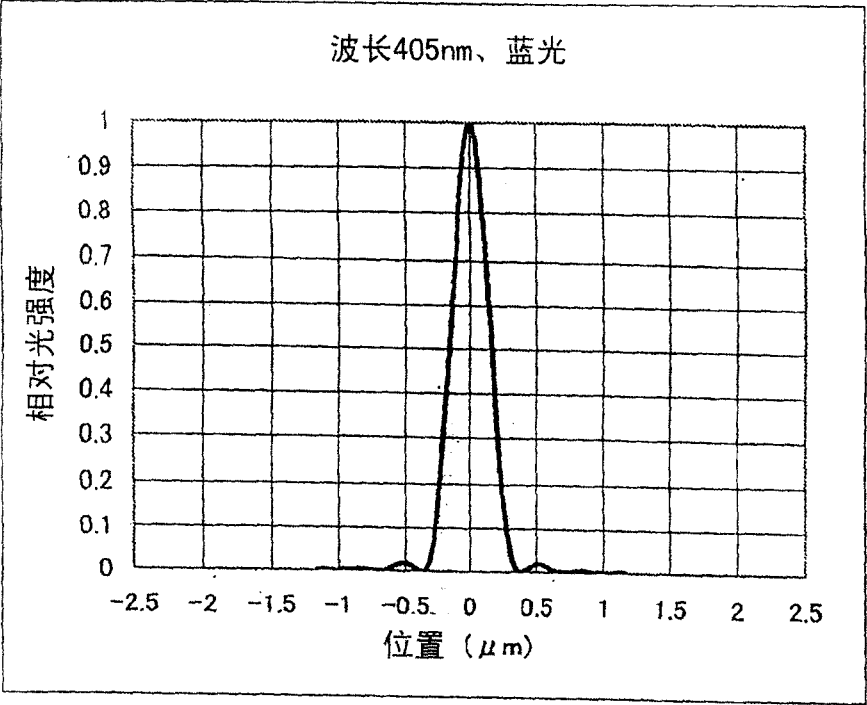
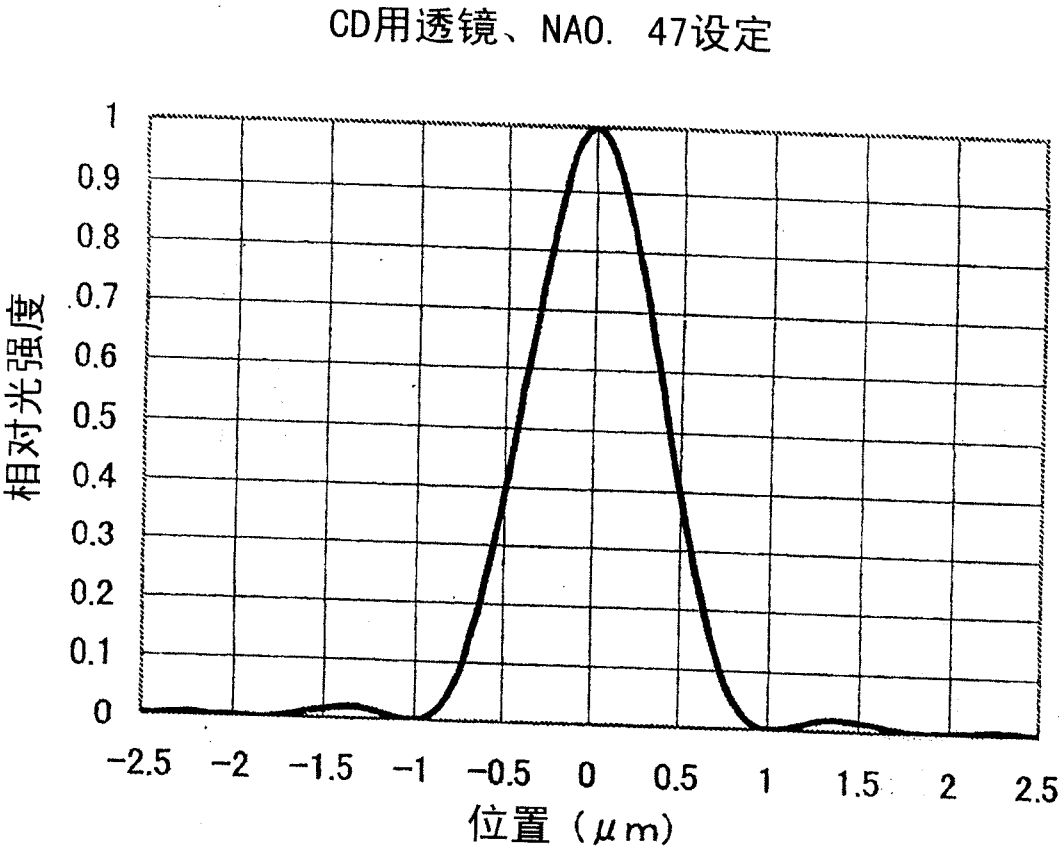


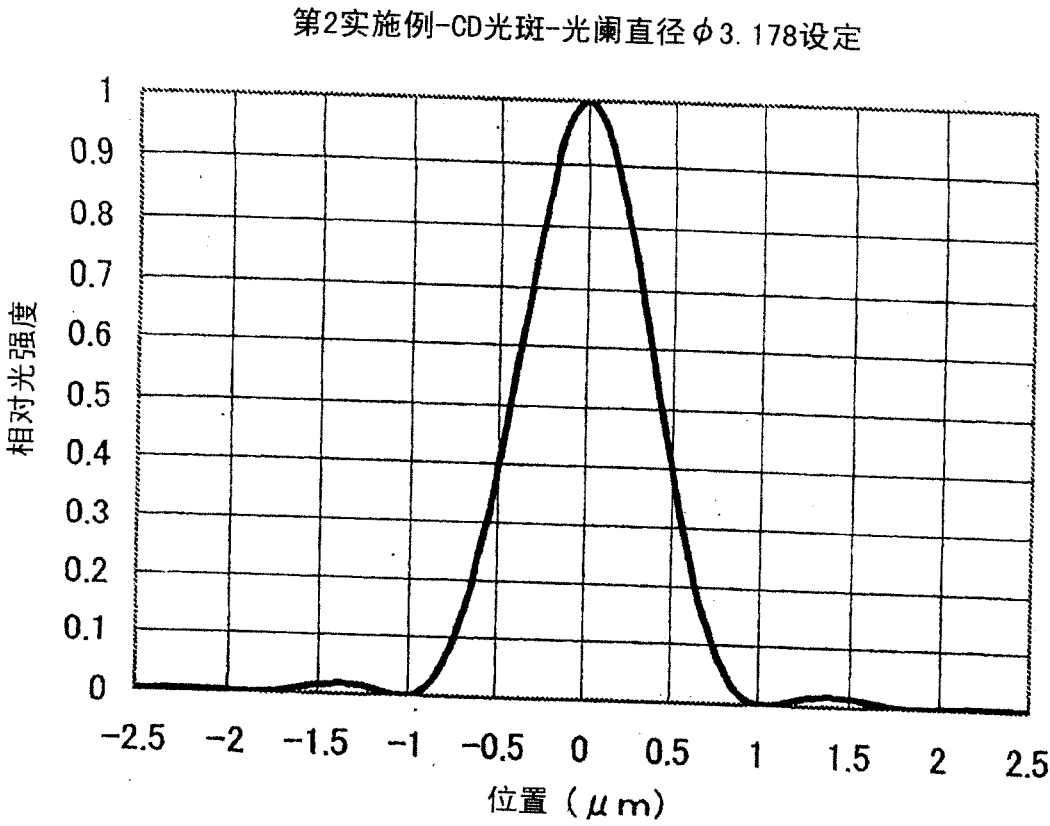
图21





$1/e^2$ 光斑直径= $\phi 1.3804\mu\text{m}$

图22



$1/e^2$ 光斑直径 = $\phi 1.3924 \mu\text{m}$

图23