

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3868932号
(P3868932)

(45) 発行日 平成19年1月17日(2007.1.17)

(24) 登録日 平成18年10月20日(2006.10.20)

(51) Int.C1.

F 1

G 02 B 13/00 (2006.01)
G 11 B 7/135 (2006.01)G 02 B 13/00
G 11 B 7/135

A

請求項の数 5 (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願2003-273055 (P2003-273055)
 (22) 出願日 平成15年7月10日 (2003.7.10)
 (65) 公開番号 特開2005-31554 (P2005-31554A)
 (43) 公開日 平成17年2月3日 (2005.2.3)
 審査請求日 平成18年4月21日 (2006.4.21)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 000005810
 日立マクセル株式会社
 大阪府茨木市丑寅1丁目1番88号
 (74) 代理人 100103894
 弁理士 家入 健
 (72) 発明者 杉 靖幸
 大阪府茨木市丑寅1丁目1番88号 日立
 マクセル株式会社内
 審査官 森内 正明

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】レンズ及びそれを用いた光学系、光ヘッド並びに光ディスク装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

透明基板の厚さが異なる複数種類の光記録媒体ごとに、異なる波長 i ($i = 1, 2, \dots$) の単色光が入射され、該光記録媒体の該透明基板に設けられた情報記録面に該単色光を集光させる多波長用の対物レンズであって、

少なくとも一方のレンズ面のうちの全ての単色光での共通使用領域が屈折力の異なる複数の非球面部に分割されており、

分割されている各非球面部のそれぞれ隣接する非球面部同士の隣接部におけるレンズ光軸に平行な方向の段差量を D_{ij} ($j = 1, 2, 3, 4, \dots$: レンズ光軸に近い順とする)、波長 i の光が入射したときの j 番目の隣接部間の NA を NA_{ij} としたときに、前記隣接部における段差のうちの少なくとも半数以上の段差において、各波長 i に対する下記 A_{ij} の値のうち最小のものを $MIN(A_{ij})$ 、最大のものを $MAX(A_{ij})$ としたときに次式を満足することを特徴とする多波長用対物レンズ。

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

ここで、 A_{ij} = 絶対値 $(B_{ij} - m_{ij})$

$$B_{ij} = (絶対値(D_{ij})) * (n_i - 1) / n_i - (NA_{ij})^2 * K / n_i$$

n_i : 波長 i におけるレンズの屈折率

m_{ij} : B_{ij} に最も値が近い整数

$$K = 0.0004 \text{ ミリメートル} \quad (NA_{ij} < 0.55 \text{ のとき})$$

$$K = 0.0005 \text{ ミリメートル} \quad (NA_{ij} \geq 0.55 \text{ のとき})$$

10

20

【請求項 2】

請求項 1 記載の多波長用対物レンズにおいて、前記複数の非球面部には、該単色光の波長 i の違いによって発生する色収差と該光記録媒体の透明基板の厚みの違いによって発生する波面収差とを相殺しあう非球面形状が設定されていることを特徴とする多波長用対物レンズ。

【請求項 3】

請求項 1 記載の多波長用対物レンズにおいて、各単色光を RMS 波面収差が 0.035 以下に集光させることを特徴とする多波長用対物レンズ。

【請求項 4】

請求項 1 記載の多波長用対物レンズにおいて、全ての隣接段差において請求項 1 に定める式を満足することを特徴とする多波長用対物レンズ。

10

【請求項 5】

請求項 1 記載の多波長対物用レンズにおいて、次式を満足することを特徴とする多波長用対物レンズ。 $\text{MAX}(A_{ij}) / \text{MIN}(A_{ij}) < 2$

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、複数種類の単色光を用いる多波長用光学系であって、例えば CD (Compact Disc : CD - R などの CD も含む) や DVD (Digital Versatile Disc) や、ブルーレイ - ザー対応ディスク (AOD) など種類が異なる光記録媒体に対応できる互換型の記録再生装置に用いられる汎用の多波長用レンズ、多波長用光学系、光ヘッド、及び光ディスク装置に関する。 20

20

【背景技術】**【0002】**

従来より、CD や DVD などの種類が異なる光ディスクとともに再生することができるようとした互換型光ディスク装置が提案されている。CD や DVD など (以下、これらをまとめて光ディスクという) は、いずれも透明な基板が用いられ、この透明基板の一方の面に情報記録面が設けられている。そして、光ディスクは、透明基板を 2 枚、それらの情報記録面を向かい合わせにして貼り合わせた構成をなすか、あるいは、かかる透明基板を透明な保護基板と、透明基板の情報記録面が保護基板と向かい合うようにして貼り合わせた構成をなしている。かかる構成の光ディスクに記憶された情報信号を再生する場合には、光ディスク装置により光源からのレーザビームを光ディスクの情報記録面に透明基板を介して集光させる必要がある。レーザビームの波長は、後に述べるように CD において用いられる場合と DVD において用いられる場合とでは異なる。レーザビームを集光させるために、光ディスク装置では、対物レンズが使用されている。ここで、CD において用いられる透明基板の厚さは 1.2mm であるのに対して、DVD において用いられる透明基板の厚さは 0.6mm であり、光ディスクの種類 (レーザビームの波長の違い) に応じて情報記録面が設けられている透明基板の厚さが異なる。種類が異なる光ディスクを再生する光ディスク装置では、光ディスクの種類に応じて透明基板の厚さが異なっても、レーザビームを情報記録面に集光させる必要がある。また、近年提案されている新しい光ディスク装置は、情報の再生のために波長 400nm 程度の青色レーザを用いることが提案されている。従って、光ディスク装置では、下位互換のため CD 及び現行の DVD に加えて、そのような新しい光ディスクも同時に利用できることが期待されている。 30

30

【0003】

このような互換型光ディスク装置としては、ピックアップに光ディスクの種類毎に対物レンズを設け、使用する光ディスクの種類に応じて対物レンズを交換したり、光ディスクの種類毎にピックアップを設け、使用する光ディスクの種類に応じてピックアップを交換したりすることが考えられる。しかしながら、コストの面や装置の小型化を実現するためには、対物レンズとして、光ディスクのいずれの種類にも同じレンズを用いることができるようになることが望ましい。 40

40

50

【0004】

かかる対物レンズの一代表例として、特許文献1に記載のものがある。この文献に記載された対物レンズは、半径方向に3以上の輪帯状レンズ面に区分され、1つおきの輪帯状レンズ面と他の1つおきの輪帯状レンズ面とは屈折力を異にしている。そして、同じ波長のレーザビームに対し、1つおきの輪帯状レンズ面が、例えば、薄い透明基板(0.6mm)の光ディスク(DVD)の情報記録面にレーザビームを集光させ、他の1つおきの輪帯状レンズ面が、例えば、厚い透明基板(1.2mm)の光ディスク(CD)の情報記録面にレーザビームを集光させる。

【0005】

また、他の代表例として、特許文献2に記載のものがある。この文献には、薄い透明基板のDVDに対しては、短波長(635nmまたは650nm)のレーザビームを使用し、厚い透明基板のCDに対しては、長波長(780nm)のレーザビームを使用する光ディスク装置が開示されている。この光ディスク装置は、これらレーザビームに共通に使用される対物レンズを有している。そして、この対物レンズは、正のパワーを有する屈折レンズの一方の面に輪帯状の微細な段差が密に設けられてなる回折レンズ構造が形成されたものである。かかる回折レンズ構造は、薄い透明基板のDVDに対して短波長のレーザビームの回折光を、厚い透明基板のCDに対して長波長のレーザビームの回折光を情報記録面に集光するように設計されている。そして、いずれの回折光も同一次数の回折光を情報記録面に集光するように設計されている。なお、DVDに対して短波長のレーザビームを用いるのは、CDに比べてDVDの記録密度は高く、このために、ビームスポットを小さく絞る必要があるためである。よく知られているように、光スポットの大きさは、波長に比例し、開口数NAに反比例する。

【0006】

レンズ面に輪帯状位相シフタを設けた輪帯位相補正レンズ方式の対物レンズも提案されている(例えば、特許文献3)。この対物レンズでは、まず、DVDに使用する、波長₁が640nmのレーザビームによる波面収差をなくすようにしたレンズ面を基準とする。さらに、この対物レンズでは、半径方向に複数の輪帯状の屈折面に区分し、これら屈折面を夫々この基準レンズ面から所定の段差(レンズ中心からi番目の段差をd_iとする)をもって形成する。かかる段差d_iにより、夫々の屈折面によってDVDのレーザビームが基準レンズ面に対してこの波長₁の整数m_i倍だけ位相シフトすることにより、CD系の波面収差を低減するものである。

【特許文献1】特開平9-145995号公報

【特許文献2】特開2000-81566号公報

【特許文献3】特開2001-51192号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

上記いずれの従来例でも、DVD、CDともに共通の対物レンズを用いることができるから、対物レンズを含めてDVD、CD毎に使用部材を交換するための手段などが不要となり、コストの面や構成の簡略化の点で有利となる。しかしながら、上記特許文献1では、DVD、CD毎に対物レンズでの利用する輪帯状レンズ面が異なるため、入射レーザビームに対して無効となる部分が多く、光利用効率が著しく低いという問題がある。

【0008】

また、上記特許文献2では、回折レンズ構造による回折光を利用しているため、異なる波長の夫々に対する回折効率を同時に100%にすることはできないという問題がある。なお、この回折レンズでは、DVDに用いる短波長(635nmまたは650nm)のレーザビームとCDに用いる長波長(780nm)のレーザビームに対し、それらのほぼ中間の波長で回折効率が100%となるようにして、使用したレーザビームに対して回折効率がバランスするようにしている。また、レンズ面に回折レンズ構造を設けるため、微小な段差が必要になるが、製造上の誤差の影響を受け易く、回折構造が設計からずれた場合、回折効率の

10

20

30

40

50

劣化を招くことになる。このように、回折効率の劣化やそもそも回折効率が100%に達しないということは、入射光の全てを光ディスクの透明基板に設けられた情報記録面に集光することはできないことを意味しており、これが光量損失となる。

【0009】

さらに、上記特許文献3に開示された輪帯位相補正レンズ方式では、DVDのレーザビームに対して波面収差をなくすように設計したレンズ面を基準面とし、これより、CDのレーザビームに対する波面収差を低減するように、この基準面からDVDのレーザビームの波長₁の整数m_i倍の段差d_iだけ窪ませて屈折面としている。また、その際に前記段差の形成により各輪帯域での集光点位置が前記段差形成でシフトするため、集光点位置がシフトしないように各輪帯域の曲面形状を設計するというものである。しかし前記特許文献3の従来例ではDVDの波面収差は充分に低減できているが、CDのレーザビームに対して、波面収差を充分に低減することができていない。波面収差の値としては、RMS波面収差値としてマレシャル評価基準の0.07 RMS以下とすれば良いことが多数の先行文献（オプトロニクス社発行の光学入門の198ページ、平成2年11月26日発行、など）に記載されており、前記特許文献3でも0.07 RMS以下とするような実施形態が記述されている。しかし、0.07 RMS以下というものは光ディスク装置の場合、光ディスク装置全体としての目標値となるべき値であり、対物レンズ単体での目標値としてはまだ不十分な値である。光ディスク装置全体としては、レーザーの非点隔差やコリメータレンズの収差、反射ミラーや透過ミラーの収差や、光ピックアップと光ディスクとのチルトズレなど、RMS波面収差を劣化させる要因は多々あるので、対物レンズ単体としては0.07 RMS以下ということではなく、できるだけ小さいRMS波面収差値とすることが求められている。具体的には対物レンズ単体では0.035 RMS以下のRMS波面収差値とすることが望ましいが、更に望ましくは0.030 RMS以下、更に望ましくは0.025 RMS以下のRMS波面収差値とすることが望ましいが、前記特許文献3では、実施形態1でDVDが0.001 RMS、CDが0.047 RMSであり、実施形態2ではDVDが0.019 RMS、CDが0.037 RMSであって、DVDの波面収差は良好な値であるが、CDにおいて0.037 RMS以上の値にしかなっておらず、DVD、CD共に良好な波面収差値を得るに至ってはいない。

【0010】

本発明の目的は、かかる問題を解消し、複数種の光記録媒体夫々に対し、可及的に波面収差が低減された状態で、しかも、高い光利用効率で光ビームを情報記録面に集光させることができるようにしたレンズとそのレンズを用いた光学系、光ヘッド、光ディスク装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明にかかる多波長用レンズは、透明基板の厚さが異なる複数種類の光記録媒体ごとに、異なる波長_i(i=1, 2, ...)の単色光が入射され、該光記録媒体の該透明基板に設けられた情報記録面に該単色光を集光させる多波長用の対物レンズであって、少なくとも一方のレンズ面のうちの複数の単色光での共通使用領域が複数の非球面部に分割されており、分割されている各非球面部のそれぞれ隣接する非球面部同士の隣接部におけるレンズ光軸に平行な方向の段差量をD_j(j=1, 2, 3, 4, ...:レンズ光軸に近い順とする)、波長_iの光が入射したときのj番目の隣接部間のNAをNA_{ij}としたときに、前記隣接部における段差のうちの少なくとも半数以上の段差において、各波長_iに対する下記A_{ij}の値のうち最小のものをMIN(A_{ij})、最大のものをMAX(A_{ij})としたときに次式を満足することを特徴とするものである。

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

ここで、A_{ij}=絶対値(B_{ij} - m_{ij})

$$B_{ij} = (\text{絶対値}(D_j)) * (n_i - 1) / i - (N A_{ij})^2 * K / i$$

n_i: 波長_iにおけるレンズの屈折率

m_{ij}: B_{ij}に最も値が近い整数

10

20

20

30

40

50

$$K = 0.0004 \text{ミリメートル} \quad (N A_{i,j} < 0.55 \text{のとき})$$

$$K = 0.0005 \text{ミリメートル} \quad (N A_{i,j} \geq 0.55 \text{のとき})$$

【0012】

ここで、前記複数の非球面部のそれぞれ隣接する非球面部同士の屈折力は異なっていることが望ましく。さらに、前記複数の非球面部には、該単色光の波長 i の違いによって発生する色収差と該光記録媒体の透明基板の厚みの違いによって発生する波面収差とを相殺しあう非球面形状が設定されていることが望ましい。

【0013】

また、前記段差量は、レンズ光軸から外側にいくに従って増加傾向にあることが望ましい。各単色光を RMS 波面収差が 0.035 以下に集光させることができることが好ましい。

さらに、前記共通使用領域における段差は、レンズ光軸から外側に向かって 5 以上あることが好ましい。全ての隣接段差において上記式を満足することが望ましい。さらに、次式を満足することが望ましい。

$$MAX(A_{i,j}) / MIN(A_{i,j}) < 2$$

【0014】

本発明にかかる他の多波長用の対物レンズは、透明基板の厚さが異なる複数種類の光記録媒体ごとに、異なる波長 i ($i = 1, 2, \dots$) の単色光が入射され、該光記録媒体の該透明基板に設けられた情報記録面に該単色光を集光させる多波長用の対物レンズであつて、

少なくとも一方のレンズ面のうちの複数の単色光での共通使用領域が複数の非球面部に分割されており、前記分割されている各非球面部は非球面部同士の隣接部において微小な範囲が前記非球面とは異なる形状を有しており、前記分割されている各非球面部を前記隣接部まで延長した場合におけるレンズ光軸に平行な方向の前記隣接部での前記延長した非球面同士の段差量をレンズ光軸に近い順に D_j ($j = 1, 2, 3, 4, \dots$: レンズ光軸に近い順とする)、波長 i の光が入射したときの j 番目の隣接部間の $N A$ を $N A_{i,j}$ としたときに、前記隣接部における段差のうち少なくとも半分以上の段差において、各波長 i に対する下記 $A_{i,j}$ の値のうち最小のものを $MIN(A_{i,j})$ 、最大のものを $MAX(A_{i,j})$ としたときに次式を満足することを特徴とするものである。

$$MAX(A_{i,j}) / MIN(A_{i,j}) < 3$$

$$\text{ここで、} A_{i,j} = \text{絶対値}(B_{i,j} - m_{i,j})$$

$$B_{i,j} = (\text{絶対値}(D_j)) * (n_i - 1) / n_i - (N A_{i,j})^2 * K / n_i$$

n_i : 波長 i におけるレンズの屈折率

$m_{i,j}$: $B_{i,j}$ に最も値が近い整数

$$K = 0.0004 \text{ミリメートル} \quad (N A_{i,j} < 0.55 \text{のとき})$$

$$K = 0.0005 \text{ミリメートル} \quad (N A_{i,j} \geq 0.55 \text{のとき})$$

ここで、前記微小な範囲において前記非球面とは異なる形状は、金型抜き方向の抜き勾配を有していることが好ましい。さらに、前記微小な範囲において前記非球面とは異なる形状は、微小な R 形状であることが望ましい。

【0015】

本発明にかかる光学ヘッドは、異なる波長 i ($i = 1, 2, \dots$) のレーザービームを発生する複数のレーザー源と、透明基板の厚さが異なる複数種類の光記録媒体ごとに、前記レーザー源からの異なる波長 i ($i = 1, 2, \dots$) のレーザービームが入射され、該光記録媒体の該透明基板に設けられた情報記録面に該レーザービームを集光させる多波長用の対物レンズと、前記情報記録面に集光され反射された反射光が入射され、これを電気信号に変換する光検出器を有する光学ヘッドであって、前記多波長用の対物レンズは、少なくとも一方のレンズ面のうちの複数の単色光での共通使用領域が複数の非球面部に分割されており、分割されている各非球面部のそれぞれ隣接する非球面部同士の隣接部におけるレンズ光軸に平行な方向の段差量を D_j ($j = 1, 2, 3, 4, \dots$: レンズ光軸に近い順とする)、波長 i の光が入射したときの j 番目の隣接部間の $N A$ を $N A_{i,j}$ としたときに、前記隣接部における段差のうち少なくとも半数以上の段差において、各波長

10

20

30

40

50

iに対する下記Aijの値のうち最小のものをMIN(Aij)、最大のものをMAX(Aij)としたときに次式を満足することを特徴とするものである。

$$\underline{\underline{\text{MAX(Aij) / MIN(Aij) < 3}}}$$

ここで、Aij=絶対値(Bij - mij)

$$\underline{\underline{Bij = (\text{絶対値(Dj)}) * (ni-1) / i - (NAij^2) * K / i}}$$

n_i : 波長 i におけるレンズの屈折率

m_{ij} : Bijに最も値が近い整数

$$\underline{\underline{K = 0.0004 \text{ミリメートル} \quad (NAij < 0.55 \text{のとき})}}$$

$$\underline{\underline{K = 0.0005 \text{ミリメートル} \quad (NAij \geq 0.55 \text{のとき})}}$$

【発明の効果】

10

【0016】

本発明によれば、透明基板の厚さが異なる2種類以上の光ディスクに対して、回折レンズ構造を用いずに、屈折作用によって記録または再生に必要な開口(NA)で全ての光束を所望とする位置に可及的に少ない収差で集光させることができ、光利用効率をより高めることができる。また、本発明は複数の単色光を用いる多波長用光学系において、分割されたいずれの非球面も各単色光の固有の波長に対応した単一の焦点を有するとともに、前記各単色光の固有の波長に対応した焦点はそれぞれ異なる位置に配置することができ、光通信等における光学系においてもその利用が可能である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

20

いま、厚さt₁の透明基板を用いた第1の光ディスクに対し、これを用いる光ディスク装置での対物レンズが良好に収差補正され、この基板に設けられた情報記録面にレーザビームが良好に集光するものとする。かかる光ディスク装置にこの透明基板とは異なる厚さt₂の透明基板を用いた第2の光ディスクを使用した場合、この透明基板の厚さt₂が厚さt₁と異なるために、この対物レンズと厚さt₂の透明基板とによって球面収差が生じ、この厚さt₂の透明基板に設けられている情報記録面にレーザビームが良好に集光しない。

【0018】

一方、かかる対物レンズと透明基板からなる光学系に異なる波長のレーザビームを用いると、色収差が生ずる。ここで、色収差とは、波長の異なるレーザビームを対物レンズに照射した場合に各々のレーザビームに対応して生ずる球面収差の差をいう。例えば、波長655nmのレーザビームと、波長790nmのレーザビームを対物レンズに照射する場合における色収差は、波長655nmのレーザビームを対物レンズに照射した場合に生じる球面収差と、波長790nmのレーザビームを対物レンズに照射した場合に生じる球面収差の差である。

30

つまり、厚みがt₁の場合の球面収差をS_A(t₁)、厚みがt₂の場合の球面収差をS_A(t₂)とし、また、波長1のレーザビームに対して生じる球面収差をS_A(1)、波長2のレーザビームに対して生じる球面収差をS_A(2)とすると、波長が異なることによる色収差は、前記球面収差の差(S_A(2) - S_A(1))で表される。このとき、次の式が出来るだけ、成り立つようにレンズ面を設計することが好ましい。

40

$$S_A(t_2) - S_A(t_1) = - (S_A(2) - S_A(1))$$

【0019】

このことは、基板の厚さが異なる光ディスクのいずれに対しても、その基板の厚さに対応する波長のレーザビームを用いた場合、このレーザビームの対物レンズと基板を通った全ての光線がこの基板の情報記録面上で良好に集光するような光路長を経るようにするものである。なお、この時本発明の一実施形態のレンズは後の実施形態で具体的に説明するように、そのレンズ面が複数の非球面に分割されてなり、分割されたいずれの非球面も各単色光の固有の波長に対応した単一の焦点を有するとともに、前記各単色光の固有の波長に対応した焦点はそれぞれ異なる位置に配置されるよう設計されている。

【0020】

50

いま、図3において、対物レンズ1を用いて基板2の情報記録面2aにレーザビームを集光させる場合について説明する。ここで、対物レンズ1の面Aは光入射側面、面Bは光出射側面であり、基板2の情報記録面2aは対物レンズ1側とは反対側にある。

【0021】

図3は、対物レンズ1に入射するレーザビームは平行光とし（従って、図3に示す光学系は、いわゆる無限光学系である）、対物レンズ1の光軸OAからこれに垂直な方向の距離（光線高さ）hの位置P1を通る光線が光軸OAを横切る点（集光点）P5に達するまでの光路を模式的に示すものである。ここで、かかる光路での対物レンズ1への入射点をP2、対物レンズ1からの出射点をP3、透明基板2への入射点をP4とし、

点P1～入射点P2：空間距離 = S1h 屈折率 = n1

10

入射点P2～出射点P3：空間距離 = S2h 屈折率 = n2

出射点P3～入射点P4：空間距離 = S3h 屈折率 = n3

入射点P4～集光点P5：空間距離 = S4h 屈折率 = n4

とすると、点P1から集光点P5までの光路長Lhは、

$$L_h = n_1 \times S_{1h} + n_2 \times S_{2h} + n_3 \times S_{3h} + n_4 \times S_{4h}$$

で表わされる。なお、光軸OA上の光路長Lhは、この式において、h = 0の場合である。

この式は任意の光線高さhについて該当するものであり、収差補正されている場合には、夫々の光線高さhに対する集光点P5が夫々の許容範囲内で情報記録面2a上にある。すなわち、例えば厚さが異なる複数の基板夫々毎に異なる波長のレーザビームを用いることにより、色収差と球面収差とが相殺し合って夫々の光線高さhに対する集光点P5が夫々の許容範囲内で情報記録面2a上にあるようにすることが好ましい。

20

【0022】

例えば、CDにおける790nmの単色光（1）とDVDにおける655nmの単色光（2）が用いられる場合で、これらの両波長が共通して使用される領域を複数の非球面部に分割したレンズ面とする手法では、任意の前記非球面部の光路長が他の非球面部の光路長と該各単色光の波長iのほぼ整数倍異ならせ、なおかつ前記各非球面部における前記各単色光の波面収差の最大値と最小値の差をVd（1）とVd（2）（dは1, 2, ..., の整数で各非球面部を意味する）とした時に、いずれの非球面部においても各単色光の前記差の比を0.4以上2.5以下、好ましくは0.5以上2.0以下とすることにより両波長においてレンズ全体として許容範囲のRMS波面収差を確保することができる。なお、ここでいう波面収差は光線高さ（h）をh = 0の場合の光路長をL0とし、各光線高さにおける光路長をLhとすると、波面収差Vhは、次の式で表される。

$$Vh = (Lh - L_0) / i$$

30

【0023】

図10は、CDとDVDの波長におけるレンズの波面収差を対比して模式図的に示したものであり、横軸は光線高さ、縦軸は波面収差で、上側がCDの各非球面部の波面収差を、下側がDVDの各非球面部の上記式で求められる波面収差を表している。例えば非球面部の第1領域におけるその非球面部内の波面収差の最大値と最小値の差は、V1（1）、V1（2）で定義される。本発明の実施の形態では、後の実施形態で明らかにされているように、いずれの非球面部においても各波長の波面収差の最大値と最小値の差の比は0.4以上2.5以下である。すなわち、本発明の実施の形態はいずれの波長においても各非球面部で波面収差に一定の分布を有する点でも、従来の一方の波長を基準にレンズ面を構成し、他方の波長においてのみ位相ずれを利用して波面収差を補正する方式と異なる。なお、前記整数倍としては分割する非球面の数にもよるが0倍～±10倍とすることが好ましく、0倍～±5倍とすることが好ましい。

40

【0024】

また、本発明の実施の形態にかかる多波長用レンズはいずれの非球面部の各領域においても各波長の前記波面収差の最大値と最小値の差が0.14i以下（例えば波長が790nmである場合には±110.6nm以下、波長が655nmである場合には±91.5nm以下）である。

50

7 nm 以下)、好ましくは、0.12 i 以下、さらに好ましくは 0.10 i 以下とすることにより各波長においてさらに良好な光学特性を確保することができる。

さらに、本発明の実施の形態では、二波長用光学系の場合、各波長の波面収差をそれらがほぼ対称形となる多波長用レンズを用いることにより、二波長のバランスが取れ、さらに RMS 波面収差を低減することができる。

【0025】

なお、RMS 波面収差を低減することを考えると、CD の場合には図 10 の光線高さ 1.58 mm までの DVD と CD の共通使用領域のみの波面収差から RMS 波面収差が決まってしまうが、DVD の場合には、前記共通使用領域の外側に DVD 専用領域 (図 10 では光線高さ 1.58 ~ 2.02 mm の範囲) があり、前記共通使用領域と前記専用領域の両方の波面収差から RMS (Root Mean Square) 波面収差値が求まる。よって DVD の場合には、前記共通使用領域の波面収差が多少悪くても、DVD 専用領域の波面収差については、CD を全く無視して DVD のみを良くするようすれば、DVD の RMS 波面収差を許容値内に十分低減することができる。例えば、図 10 の模式図では、DVD と CD の共通使用領域において DVD の波面収差は 0 ~ -0.106 であり、CD の波面収差は 0 ~ +0.088 であって、CD の波面収差の方が DVD の波面収差よりも小さい。また DVD 専用領域の波面収差は -0.052 である。この結果、RMS 波面収差としては、DVD は 0.0212 RMS、CD は 0.0222 RMS と、RMS 波面収差は DVD も CD もほぼ等しい値となっている。このように、RMS 波面収差として、DVD も CD も同一の値としたい場合には、DVD と CD の共通使用領域においては CD の波面収差を DVD の波面収差よりも良くしておき、DVD の RMS 波面収差については共通使用領域で劣化している分を DVD 専用領域で補ってやるようにすることが有効である。DVD と CD の RMS 波面収差の比率を変えたい場合にも同様に、DVD については、共通使用領域の波面収差が多少悪くても専用領域で補えることを考慮すると良い。

【0026】

また、基板の厚さが異なっていない光ディスク、例えば AOD (波長 405 nm、基板厚 0.6 mm) と DVD (波長 655 nm、基板厚 0.6 mm) のような場合にも本発明は有効である。

【0027】

本発明の実施形態により、例えば基板の厚さが異なるいずれの光ディスクに対しても、情報記録面に良好な光スポットを形成することが可能となる。なおこのことは、ディスク基板の厚みが異なっていても、つまり、厚みが同じで波長が異なるような場合でも前記集光点 P5 を夫々の許容範囲内にすることにより適用可能である。また、光記録媒体に限らず、光通信などで異なる波長のレーザビームを同一のレンズもしくは光学系を通過させる場合にも適用可能である。

【0028】

以下、本発明の実施形態を、透明基板の厚さが異なる 2 種類の光ディスク、即ち、DVD と CD とを例に、図面を用いて説明する。なお、本発明の第 1 実施形態は、参考例として説明する。本発明の第 1 実施形態のレンズは製造上の容易さから非晶質ポリオレフィンからなる樹脂を射出成形により作成したものである。第 2 実施形態のレンズはガラスの屈折率のものであるが、レンズ材質をプラスチック樹脂としたい場合にはプラスチック樹脂の屈折率で設計すれば良い。

【0029】

図 1 は本発明による対物レンズの第 1 の実施形態の作用を示す図であって、同図 (a) は DVD に対するもの、同図 (b) は CD に対するものである。図において、1 はこの実施形態の対物レンズ、2 は DVD の透明基板 (以下、DVD 基板という)、3 は CD の透明基板 (以下、CD 基板という)、4, 5 はレーザビームである。

【0030】

まず、図 1 (a) において、対物レンズ 1 が図示しない光ディスク装置の光ヘッドに設けられている。そして、DVD がこの光ディスク装置に装着されて、対物レンズ 1 によっ

10

20

20

30

40

50

て平行光として入射されるレーザビーム4が集光されることにより、記録再生が行なわれる。ここで、DVD基板2の厚さt1は0.6mmであり、このときのレーザビーム4としては、波長λ1=655nmのレーザビームが開口数NA=0.63の光束として用いられる。かかる条件のもとに、かかるレーザビームは、DVD基板2の対物レンズ1側とは反対側の面の情報記録面2aに集光される。

【0031】

図1(b)は上記と同じ光ディスク装置にCDが装着され、同じ対物レンズ1を用いて記録再生が行なわれる場合を示す。ここで、CD基板3の厚さt2は1.2mmであり、このときのレーザビーム5としては、波長λ2=790nmのレーザビームがほぼ開口数NA=0.63の光束として用いられるが、実質的には、開口数NA=0.47の光束がCD基板3の情報記録面3aに集光し、ハッチングして示すほぼNA=0.47~0.63の対物レンズ1の光軸OAから離れた部分を通る光束はこの情報記録面3aで集光しない。このように、この開口数NAがほぼ0.47までの上記のレンズ領域は、DVD, CDの共通使用領域となる。

【0032】

このように、この第1の実施形態は、DVD, CDともに収差が良好に低減されて、情報記録面2a, 3aで良好な光スポットが得られるようにするものであるが、このために、DVD, CDの両方共に、任意の光線高さhに対して上記光路長Lhが収差を低減して許容値内とするような値とするように、対物レンズ1のレンズ面形状を設定するものである。以下、かかるレンズ面形状の一具体例を図2により説明する。

【0033】

図2において、対物レンズ1の光出射側面Bについて、光線高さhの点をc、この点cから光軸OAに平行な方向での光出射側面B上の点をdとすると、この光出射側面Bの面形状は、任意の光線高さhに対する点c, d間の距離ZBにより、

【0034】

【数1】

$$Z_B = \frac{C h^2}{1 + \sqrt{1 - (K+1) C^2 h^2}} + A_4 \cdot h^4 + A_6 \cdot h^6 + A_8 \cdot h^8 + A_{10} \cdot h^{10}$$

【0035】

但し、C=-0.12301、K=3.312138、A4=0.01628151、A6=-0.004311717、A8=0.000682316、A10=-0.00004157469で表わされるようにする。

【0036】

なお、数1において、上記係数C, K, A4, A6, A8, A10の値を代入して任意の光線高さh(0)に対する距離ZBを求めるとき、その値は負の値となるが、これは光出射側面B上の点dが点c、従って、この光出射側面Bの光軸OAが通る面頂点eよりも出射面側(図2での左側)に位置することを示している。距離ZBが正の値である場合には、逆の右側に位置することを示している。

【0037】

次に、対物レンズ1の光入射側面Aについて、光線高さhの点をa、この点aから光軸OAに平行な方向での光入射側面A面上の点をbとすると、光入射側面Aの面形状は、光線高さh(mm)とこの光線高さhに対する点a, b間の距離ZA(mm)とが次の表1に示す関係となるレンズ面形状に設定される。

【0038】

10

20

30

40

【表1】

$h(\text{mm})$	$ZA(\text{mm})$	$h(\text{mm})$	$ZA(\text{mm})$	$h(\text{mm})$	$ZA(\text{mm})$	$h(\text{mm})$	$ZA(\text{mm})$
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	0.568867	2.04	1.113094
0.44	0.045936	0.98	0.235911	1.52	0.585050	2.06	1.137635
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		

【0039】

対物レンズ1の上記数1で表わされる光出射側面Bも、また、上記表1の点列データで表わされる光入射側面Aも、連続した非球面をなすものである。また、対物レンズ1の光軸上の面頂点 f 、 e 間の距離、即ち、中心厚 t_0 は2.2mmであって、波長 $1 = 655\text{nm}$ (DVD)での屈折率 n は1.54014であり、波長 $2 = 790\text{nm}$ (CD)での屈折率 n は1.5365である。

【0040】

(i)ここで、収差を評価するための上記の収差の許容値としては、対物レンズ1への入射レーザビームが入射角 0° である場合(即ち、光軸OAに平行な平行光)について、DVD(波長 $1 = 655\text{nm}$)、CD(波長 $2 = 790\text{nm}$)とともに、RMS波面収差で0.035、好ましくは、0.033、さらに好ましくは、0.030とする。この第1の実施形態では、DVD、CDの波面収差がかかる許容値以下となるように、光出射面Bと光入射面Aを上記の面形状に設定しているものである。

【0041】

この第1の実施形態では、2種類の異なる波長 1 、 2 を用いた場合を示しているが、一般に、 n 種類(但し、 n は2以上の整数)の異なる波長 i (但し、 $i = 1, 2, \dots$)

10

20

30

40

50

., n) を用いる場合も、同様である。

【0042】

(ii) また、このように n 種類の波長 i を用いた場合について、これら波長 i の入射レーザビームが入射角 0° である場合の夫々の RMS 波面収差を $W_i \cdot i$ とすると、これら収差は、

【数 2】

$$\sqrt{\left(\sum W_i^2\right) / i} \leq W_0$$

(但し、i 番目の該光ビームの波長を i ($i = 1, 2, \dots$)、全ての波長にわたる個々の RMS 波面収差の二乗の総和を W_i^2 、波長 i の光ビームの RMS 波面収差を W_i 10 とする) を満足するようにする。このときの許容値 W_0 としては、0.028、好ましくは 0.026、さらに好ましくは 0.025、さらに好ましくは 0.023 とする。上記第 1 の実施形態では、DVD の RMS 波面収差を W_1 、CD の RMS 波面収差を W_2 とし、かつ $i = 1, 2$ であるから、上記数 2 は、

【数 3】

$$\sqrt{\left(W_1^2 + W_2^2\right) / 2} \leq W_0$$

となる。

【0043】

(iii) あるいはまた、異なる n 種類の波長 i のレーザビームを用いる場合、夫々の波長 i のうちで最大の RMS 波面収差を W_{\max} 、最小の RMS 波面収差を W_{\min} とすると、

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

とする。この場合の許容値 W_{th} としては、1.8、好ましくは 1.6、さらに好ましくは 1.4 とする。上記第 1 の実施形態の場合には、DVD の RMS 波面収差 W_1 と CD の RMS 波面収差 W_2 とのいずれか一方が最大の RMS 波面収差 W_{\max} となり、他方が最小の RMS 波面収差 W_{\min} とする。

【0044】

図 4 はこの第 1 の実施形態での RMS 波面収差の計算結果を示すものであって、横軸に像高 (mm) を取り、縦軸に RMS 波面収差を取っている。

【0045】

図 4 (a) は DVD (波長 $1 = 655 \text{ nm}$) に対する RMS 波面収差を示しており、像高 = 0 mm のときには、RMS 波面収差 = 0.02130 1 である。また、図 4 (b) は CD (波長 $2 = 790 \text{ nm}$) に対する RMS 波面収差を示しており、像高 = 0 mm のときには、RMS 波面収差 = 0.02410 2 である。

【0046】

かかる数値を評価するために、上記の各条件式に挿入すると、

(i) まず、DVD, CD について、RMS 波面収差が 0.02130, 0.02410 と上記の許容値 0.035、好ましくは、0.033、さらに好ましくは、0.030 よりも小さい。

【0047】

(ii) DVD, CD について、上記数 3 により、

【数 4】

$$\sqrt{\left(W_1^2 + W_2^2\right) / 2} = \sqrt{\left(0.02130^2 + 0.02410^2\right) / 2} = 0.0227$$

であるから、上記の許容値 0.028、好ましくは 0.026、さらに好ましくは 0.025、さらに好ましくは 0.023 以下となっている。

【0048】

(iii) DVD, CD について、 W_{\max} / W_{\min} をみると、

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

となるから、上記の許容値 1.8、好ましくは 1.6、さらに好ましくは 1.4 以下となっている

20

30

40

50

。

【0049】

図5は上記数1で示す面形状の光出射側面Bと上記表1で示す面形状の入射側面Aとを有する対物レンズ1を用いたことによるDVD, CDの情報記録面上での光スポットの計算結果を示す図であって、横軸は情報記録面での光軸を基準点とした光軸に垂直方向の位置を距離(mm)で表わしたものであり、縦軸はこの基準点(= 0 mm)での光強度を1としたときの各位置の相対的光強度を表わしている。

【0050】

図5(a)はDVDに対する光スポットを示すものであって、相対的光強度が $1/e^2$ (= 13.5%)となる光スポット直径Dは $0.85 \mu m$ である。また、図5(b)はCDに対する光スポットを示すものであって、相対的光強度が $1/e^2$ となる光スポット直径Cは $1.37 \mu m$ である。このように、DVD, CDともに、情報記録面に良好な光スポットが得られる。

【0051】

次に、本発明による対物レンズの第2の実施形態について説明する。

この第2の実施形態は、その基本的構成は上記の第1の実施形態と同様であるが、光入射面Aを光軸から半径方向に複数の区間に区分し、夫々の区間の面形状を、DVD, CDとともに収差が許容値内に良好に低減されるように、設定するものである。

【0052】

この第2の実施形態の光入射面Aの面形状を図2を用いて説明する。いま、この光入射面Aの光線高さh方向(半径方向)の光軸OA側からj番目の区間での点a, b間の距離を次の関数 Z_{Aj} で、即ち、

【数5】

$$Z_{Aj} = B + \frac{Ch^2}{1 + \sqrt{1 - (K+1)C^2 \cdot h^2}} + A_4 \cdot h^4 + A_6 \cdot h^6 + A_8 \cdot h^8 + A_{10} \cdot h^{10} + A_{12} \cdot h^{12} + A_{14} \cdot h^{14} + A_{16} \cdot h^{16}$$

で表わされる。なお、数5での光源高さhは、j番目の区間でのものである。

【0053】

そして、DVD, CDとともに収差を許容値内に良好に低減するための数5での区間毎に、その範囲(hの範囲)とその各定数B, C, K, A4, A6, A8, A10, A12, A14, A16を示すと、次の表2に示すようになる。

【0054】

10

20

30

【表2】

区間j	hの範囲	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

10

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	-3.96660E-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

20

また、この第2の実施形態での光出射面Bの面形状 Z_B は、次の数6で表わされる。

【0055】

【数6】

$$Z_B = \frac{C h^2}{1 + \sqrt{1 - (K+1) C^2 \cdot h^2}} + A_4 \cdot h^4 + A_6 \cdot h^6 + A_8 \cdot h^8 + A_{10} \cdot h^{10}$$

但し、 $C=-0.0747792$ 、 $K=15.7398$ 、 $A4=0.012308$ 、 $A6=-0.0037652$ 、 $A8=0.00068571$ 、 $A10=-0.000048284$ 30

また、対物レンズ1の光軸上の面頂点f, e間の距離、即ち、中心厚さt0は2.2mmであって、波長1=655nm(DVD)での屈折率nは1.604194であり、波長2=790nm(CD)での屈折率nは1.599906である。

また、透明基板の厚さと屈折率は、波長1=655nm(DVD)では、厚み0.6mmで屈折率1.57995であり、波長1=790nm(CD)では厚み1.2mmで屈折率は1.573071である。また、DVD時のNAは0.60で、CD時のNAは0.47である。またDVD時の焦点距離は3.360mmで、CD時の焦点距離は3.383mmである。入射平行光束の絞りについては、DVD用の絞りのみ(図示しない)であってその絞り直径=2×NA×焦点距離であって、その値は4.032である。CD時でも絞り径は4.032のままである。よって、CDでの光入射面での使用領域はDVD/CD共通使用領域である第1~第6区間までであるので3.178732であるにもかかわらず、4.032の光が入射することになる。よって、3.178732~4.032の領域はDVD専用領域であるにもかかわらず、CDの時にも光線が入射されるため、この部分の光がCDの時に有害な光として作用しないようにする必要があり、それが有害に作用していないことは、図7(b)に示す光スポット図より明らかである。

40

【0056】

ここで、収差を評価するための上記収差の許容値としては、上記第1の実施形態と同様である。

50

【0057】

図6はこの第2の実施形態でのRMS波面収差の計算結果を示すものであって、横軸、縦軸は図4と同様である。

図6(a)はDVD(波長 $1=655\text{nm}$)に対するRMS波面収差を示しており、像高 $=0\text{mm}$ のときには、RMS波面収差 $=0.01945\text{ 1}$ である。また、図6(b)はCD(波長 $2=790\text{nm}$)に対するRMS波面収差を示しており、像高 $=0\text{mm}$ のときには、RMS波面収差 $=0.02525\text{ 2}$ である。

図11に上記のレンズの共通使用領域の波面収差を計算した結果を、各非球面部における波面収差の差及びその比を表3に示す。

【表3】

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

10

表3に示すように、 790nm と 655nm の共通使用領域において各波面収差の差の比 $V_d(790)/V_d(655)$ は、 $1.00 \sim 1.04$ の間に入っている。また、比 $V_d(655)/V_d(790)$ は、 $0.96 \sim 1.00$ の間に入っている。そして、その各領域の波面収差自体も両波長において 0.14 以下となっている。また、このレンズでは波面収差が 790nm の波長において+側に、 655nm の波長において-側に現れるようとしていて、両波面収差がほぼ対称形となる。

なお、光軸を中心分割された隣接する各非球面部で光路長の差が生じているが、その差は各波長に対応してほぼ整数倍になるように設計されていて、またこの実施形態では偶数の分割された非球面部からなっている。

【0058】

30

かかる数値を評価するために、第1の実施形態と同様、上記の各条件式に挿入すると、(i)まず、DVD, CDについて、RMS波面収差が $0.01945\text{ 1}, 0.02525\text{ 2}$ と上記の許容値 0.035 、好ましくは 0.033 、さらに好ましくは 0.030 よりも小さい。

【0059】

(ii) DVD, CDについて、上記数6により、

【数7】

$$\sqrt{W_1^2 + W_2^2} / 2 = \sqrt{(0.01945^2 + 0.02525^2)} / 2 = 0.02254$$

であるから、上記の許容値 0.028 、好ましくは 0.026 、さらに好ましくは 0.025 、さらに好ましくは 0.023 以下となっている。

40

(iii) DVD, CDについて、 W_{\max} / W_{\min} をみると、

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

となるから、上記の許容値 1.8 、好ましくは 1.6 、さらに好ましくは 1.4 以下となっている。

【0060】

図7は上記数6で示す面形状の光出射側面Bと上記数5及び表2で示す面形状の入射側面Aとを有する対物レンズ1を用いたことによるDVD, CDの情報記録面上での光スポットの計算結果に示す図であって、横軸、縦軸は図5と同様である。

【0061】

図7(a)はDVDに対する光スポットを示すものであって、相対的光強度が $1/e^2$ (

50

= 13.5%) となる光スポット直径 D は $0.89 \mu m$ である。また、図 7 (b) は C D に対する光スポットを示すものであって、相対的光強度が $1/e^2$ となる光スポット直径 C は $1.30 \mu m$ である。このとき、 C D 及び D V D の双方とも同じ絞りの光が入射され、その絞りは、レンズの D V D / C D 共通使用領域及び D V D 専用領域の双方に対して入射するような範囲に設定される。このように、 D V D , C D ともに、情報記録面に良好な光スポットが得られる。なおこの光スポットについて、波面収差が 0.0000 r m s のほぼ理想レンズに近い、 C D 用レンズで同一 NA の NA 0.47 の場合と比較してみる。前記 C D 用レンズでの光スポット図を図 2 2 に示す。図 2 2 での相対的光強度が $1/e^2$ (= 13.5%) となる光スポット直径は $1.3804 \mu m$ である。つまり本第 2 実施形態での C D の光スポットは理想レンズに近い通常の C D 用レンズに比べて、 NA が同じであるにもかかわらず小さい。すなわち本第 2 実施形態について C D に着目して考えてみると、本来の C D 領域、第 1 ~ 第 6 区間だけでなく、波面収差の位相差を持った第 7 、第 8 区間の D V D 専用領域が加わっていることにより、より小さい C D 光スポットを実現できていると考えられる。前述の波面収差の位相差とは、 D V D 専用領域の第 7 区間と第 8 区間とで D V D 655 nm の波長で 2.1 の波面収差を有しているということである。このことを証明するために、本第 2 実施形態について第 7 、 8 区間を遮蔽して、つまり絞り径を 3.178 に設定して第 1 ~ 6 区間のみの C D 光スポットを計算してみた。その結果を図 2 3 に示す。この図 2 3 での $1/e^2$ の相対光強度の光スポット直径は $1.3924 \mu m$ で、図 2 2 に示す C D 用レンズよりも $0.01 \mu m$ ほど大きく、図 7 (b) に示す第 2 実施形態の C D よりも $0.09 \mu m$ ほど大きい。以上のことはすなわち、波長 2 用レンズの外側に光を通す他の波長 1 用の使用領域を設けて、なお好ましくは前記外側領域内に前記他の波長 1 での波面収差の位相差を持たせることにより、波長 2 の光スポット径を、前記外側領域を設けない場合に比べて小さくしているということになる。
10 20

なお、本実施形態 2 では、前記の表 3 において前記比が 0.96 ~ 1.04 であって、 R M S 波面収差としては D V D が 0.01945 1 で C D が 0.02525 2 であるが、図 1 0 の説明で述べたように、共通使用領域における D V D の波面収差をもう少し劣化させて、 C D の波面収差を良くすれば、 D V D 、 C D 共に R M S 波面収差として 0.022 ~ 0.023 程度の同等の R M S 波面収差とすることも可能である。

【 0 0 6 2 】

なお、一例として、先の特開 2001 - 51192 号公報に記載の D V D と C D との R M S 波面収差をみると、
30

例 1)	D V D : 0.001 1	C D : 0.047 2
例 2)	D V D : 0.019 1	C D : 0.037 2

但し、 1 = 640 nm 2 = 780 nm

の 2 つの例が挙げられているが、いずれにおいても、 C D については、上記の許容値 0.035 を越えるものである。

また、この例 2) のレンズの各波長における波面収差を公報記載のレンズデータを用いて計算による求めると下記表 4 及び図 1 2 に示すように、その比が 0.03 ~ 33.44 と本発明の範囲外であり、そのため両者のバランスがずれている。さらに D V D 側の波面収差は 0.14 以下となるが、 C D 側の波面収差が大きくなり、レンズ全体の R M S 波面収差も大きくなってしまう。
40

【表4】

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

10

【数8】

$$\sqrt{(W_1^2 + W_2^2)/2}$$

は、上記の例1、例2の夫々について0.0332, 0.0294となり、いずれも上記の許容値0.028、0.026、0.025、0.023の全ての値を越えており、さらに、これらのW_{max} / W_{min}も例1、例2の夫々について47, 1.847となり、いずれも上記の許容値1.8、1.6、1.4の全ての値を越えている。

【0063】

20

このように、上記第1, 第2の実施形態とも、収差を上記の許容値内に抑えることができるものであるが、これは、収差がかかる許容値内に収まるように、基板厚の差による球面収差と色収差とがキャンセルし合うレンズ面形状としていることによるものである。これに対し、先の特開2001-51192号公報では、単に入射レーザビームをDVDレーザビームの波長の整数倍分位相シフトすることにより、CDの収差低減を図るようになしたものであるから、いずれか1つの波長に対しては、収差を充分小さく抑えることができるとしても、全ての波長に対して、上記のような小さい値の許容値内に収差を同時に納めることができないのである。

【0064】

30

以上の実施形態では、DVDとCDとで基板厚さが夫々0.6mmと1.2mmと異なることによる球面収差が655nmと790nmとの波長の差による色収差により打ち消して総合的な収差が低減されていることが、図5及び図7に示す光スポット及び図4, 図6に示す波面収差のグラフから明らかである。また、以上の実施形態では、対物レンズ1の光入射側面Aの面形状は上記表1に示す点列データ、数5及び表2で与えられ、光出射側面Bの面形状は上記数1、数6に示す非球面の式により与えられるので、先の従来例のような回折レンズ構造を用いておらず、また、記録または再生に必要な開口(NA)に対してほぼ全ての光束を集光することができるので、高い光利用効率が得られることになる。

【0065】

なお、以上の実施形態では、図1に示すように、ほぼ開口数NA = 0.47から開口数NA = 0.63またはNA = 0.60までの対物レンズ1の外側領域はDVDのみに使用され、CDでは使用しないので、かかる外側領域での光入射側面A, 光出射側面Bのいずれか一方または双方にDVDのときの波長655nmの光を透過し、CDのときの波長790nmの光を透過しない薄膜処理を施したり、あるいは、かかる外側領域での光入射側面A, 光出射側面Bのいずれか一方または双方に波長655nmの光には作用しないが、波長790nmの光に作用するような回折格子を形成して、波長655nmの光利用効率を落とさず二波長790nmの光利用効率を落とすようにしてよい。

40

【0066】

即ち、以上の実施形態のごとく、異なる開口数の系に共用する際に、開口数に応じた絞りを設定できない場合には、開口数の小さな光学系においては、余分の光束をも受容することになるので、開口数の大きな光学系に合致して設計されたレンズの外側領域部分を通

50

過する光が、開口数が小さな光学系に悪影響を及ぼさないような配慮をすることが望ましい。例えば、レンズの外側領域を通過した光がディスク面には集光しないように、横収差量が0.015mm以上となるようにするのが望ましい。

【0067】

また、以上の実施形態では、DVDとCDとの2種類の光ディスクを例としたが、本発明は、これに限らず、これら以外の種類が異なる光ディスクであってもよいし、また、基板の厚みが異なる3種類以上の光ディスクに対しても、適用可能であり、夫々毎に使用するレーザビームの波長を異ならせ、これらに応じて、色収差が波面収差を打ち消すように、レンズ面形状を設定すればよい。またさらに、基板厚みが同じでも使用する波長が異なるために従来の通常のレンズでは大きな収差が発生してしまうような場合にも本発明を適用することにより収差低減をすることができる。

10

【0068】

図8は本発明による対物レンズを用いた光ヘッドの一実施形態を示す構成図であって、11はDVDレーザ、12はCDレーザ、13、14はハーフプリズム、15はコリメータレンズ、16は検出レンズ、17は光検出器、18は回折格子、19はアクチュエータであり、図1に対応する部分には同一符号をついている。

【0069】

同図において、DVDディスク2を記録または再生する場合には、DVDレーザ11を駆動する。DVDレーザ11から発生される波長655nmのレーザビームが、ハーフプリズム13で反射し、ハーフプリズム14を透過してコリメータレンズ15に入射する。コリメータレンズ15を通過して平行光となってレーザビームは、対物レンズ1に入射して集光され、DVDディスク2の情報記録面に光スポットを形成する。そして、DVDディスク2で反射した反射光が対物レンズ1により平行光となり、コリメータレンズ15に入射する。コリメータレンズ15はこの平行光を収束光にし、この収束光はハーフプリズム14、13を透過し、検出レンズ16を通って光検出器17に到達する。光検出器17の検出出力信号は信号処理回路(図示せず)に供給され、情報記録再生信号やフォーカス誤差信号、トラッキング誤差信号が得られる。図示しないシステム制御回路は、得られたフォーカス誤差信号とトラッキング誤差信号をもとに、適正なフォーカス位置とトラッキング位置に対物レンズ1が位置するように、アクチュエータ駆動回路(図示せず)を制御してアクチュエータ19を駆動する。

20

【0070】

CDディスク3を記録または再生する場合には、CDレーザ12を駆動する。CDレーザ12から発生される波長790nmのレーザビームが回折格子18を通り、ハーフプリズム14で反射されてコリメータレンズ15に入射する。コリメータレンズ15を通過して平行光となったレーザビームは、対物レンズ1に入射して集光され、CDディスク3の情報記録面に光スポットを形成する。そして、CDディスク3で反射した反射光が対物レンズ1により平行光となり、コリメータレンズ15に入射する。コリメータレンズ15はこの平行光を収束光にし、この収束光はハーフプリズム14、13を透過し、検出レンズ16を通って光検出器17に到達する。光検出器17の検出出力信号は図示しない信号処理回路に供給され、情報記録再生信号やフォーカス誤差信号、トラッキング誤差信号が得られる。

30

【0071】

なお、CDディスク3の場合のトラッキング誤差信号は、CDレーザ12からのレーザビームを、回折格子18により、0次光と±1次光の3ビームに分岐し、これら±1次光によりトラッキング誤差信号を得るようにしている。

40

【0072】

このようにして得られたトラッキング誤差信号とフォーカス誤差信号とにより、DVDディスク2と同様にして、適正なフォーカス位置とトラッキング位置に対物レンズ1が位置するように、アクチュエータ19を駆動する。

【0073】

50

なお、本発明において、対物レンズ1の代わりに、コリメータレンズ15あるいはハーフプリズム14など両ディスクに共通する光学系において、本発明における対物レンズと同様の機能を持つように光学設計することもできる。また、図示しないが、本発明の対物レンズと同等の機能を有する他の光学要素をハーフプリズム14からディスク2またはディスク3に至る光路に配置することによってもよい。

【0074】

なお、コリメータレンズ15は必ずしも必要ではなく、いわゆる有限系の光学系でも、本発明は適用可能である。

【0075】

図9は本発明による対物レンズを用いた光ディスク装置の一実施形態を示す構成図であって、20はアクチュエータ駆動回路、21は信号処理回路、22はレーザ駆動回路、23はシステム制御回路、24はディスク判別手段であり、図8に対応する部分には同一符号をついている。 10

【0076】

同図において、光ピックアップ装置部分については、図8に示す構成と同様である。

【0077】

まず、装着されたディスクの種類をディスク判別手段24により判別する。そのディスク判別方法としては、ディスクの基板の厚さを光学的もしくは機械的な方法で検出する方法、ディスクまたはディスクのカートリッジに予め記録された識別マークを検出する方法などが考えられる。もしくは、ディスクの厚さ、種類を仮定してディスクの信号を再生し、正常な信号が得られなければ、別の厚さ、種類のディスクであると判断する方法でもよい。ディスク判別結果は、ディスク判別手段24からシステム制御回路23に伝達される。 20

【0078】

DVDディスクであると判別された場合には、システム制御回路23よりレーザ駆動回路22に対してDVDレーザを点灯させるような信号が伝達され、レーザ駆動回路22によりDVDレーザ11が点灯される。これにより、光ヘッドでは、図8に示した実施形態と同様二波長655nmのレーザビームが光検出器17に到達する。この光検出器17からの検出信号が信号処理回路21に送られて情報記録再生信号とフォーカス誤差信号とトラッキング誤差信号とが生成され、システム制御回路23に送られる。システム制御回路23では、これらフォーカス誤差信号とトラッキング誤差信号とに基づいて、アクチュエータ駆動回路20を制御し、この制御に基づいてアクチュエータ駆動回路20がアクチュエータ19を駆動して対物レンズ1をフォーカス方向及びトラッキング方向に移動させる、いわゆるサーボ回路の動作により、フォーカス制御及びトラッキング制御が正規に行なわれて、対物レンズ1がDVDディスク2に対して正しい位置に位置するように、上記の各回路及びアクチュエータ19が動作するものとし、その結果、情報記録再生信号が良好に得られる。 30

【0079】

装着されたディスクがCDディスク3であると判別された場合には、システム制御回路23より、レーザ駆動回路22に対してCDレーザ12を点灯させるような信号が伝達される。これにより、CDレーザ12から波長790nmのレーザビームが発生する。これ以後の動作は図8に光ヘッドの場合と同様であり、このレーザビームが光検出器17に到達し、上記のDVDディスク2の場合と同様に、各回路やアクチュエータ19が作動してサーボ動作が行なわれ、情報記録再生信号が良好に得られる。 40

【0080】

第2の実施の形態について、さらに次のような点を見出すことができた。即ち、前述した波面収差を得るためにレンズ面形状としては、波長 i ($i = 1, 2, 3, 4, \dots$) の複数種類の単色光をそれぞれ屈折作用により集光させる多波長用のレンズにおける少なくとも一方のレンズ面のうちの全ての単色光での共通使用領域が屈折力の異なる複数の非球面部に分割されており、分割されている各非球面部のそれぞれ隣接する非球面部同士の隣接

部におけるレンズ光軸に平行な方向の段差量をレンズ光軸に近い順に D_j ($j = 1, 2, 3, 4, \dots$: レンズ光軸に近い順とする)、波長 i の光が入射したときの j 番目の隣接部間の開口数 N_A を $N_A i j$ としたときに、隣接部における段差のうちの少なくとも半分以上の段差において、各波長 i に対する下記 A_{ij} の値のうち最小のものを $\text{MIN}(A_{ij})$ 、最大のものを $\text{MAX}(A_{ij})$ としたときに次の式(1)を満足するとよい。

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

ここで、

$$A_{ij} = \text{絶対値}(B_{ij} - m_{ij})$$

$$B_{ij} = (\text{絶対値}(D_j))^*(n_i - 1) / (n_i - (N_A i j)^2)^*K / i$$

n_i : 波長 i におけるレンズの屈折率

m_{ij} : B_{ij} に最も値が近い整数

$$K = 0.0004 \text{ミリメートル} \quad (N_A i j < 0.55 \text{のとき})$$

$$K = 0.0005 \text{ミリメートル} \quad (N_A i j \geq 0.55 \text{のとき})$$

または上記式(1)における A_{ij} が 0.15 以下であることが望ましい。また、 $\text{MAX}(A_{ij}) / \text{MIN}(A_{ij}) < 2.5$ であることが望ましく、さらには、 $\text{MAX}(A_{ij}) / \text{MIN}(A_{ij}) < 2$ (以下、式(2)とする)であることが好ましい。

上記式(1)における、絶対値 $(D_j)^*(n_i - 1)$ は、隣接段差量 D_j による光路長のズレ量を示している。 $K * (N_A i j)^2$ は光路長の補正項であり、球面収差を低減するためには、 N_A が 0.55 未満の領域では $0.0004 \times N_A^2$ (mm)、 N_A が 0.55 以上の領域では $0.0005 \times N_A^2$ (mm) だけ光路長を隣接段差部で補正しておく必要がある。そして B_{ij} の値が最も近い整数からどの位ズレているかが A_{ij} で表されている。各 A_{ij} の値が小さい程波面収差値が少なくなる傾向にあり、各波長 i に対してバランス良く A_{ij} の値を小さくするのが良い。

【0081】

前記第2実施形態における具体的な数値を表5に示す。

【表5】

第2実施例

DVD	半径(mm)	隣接段差D(mm)	屈折率n	波長λ1(mm)	Nai(DVD)	絶対値(Dj*(n1-1)/λ1)	K	K × Naij^2/λ1	Bij	mij	Aij=絶対値(Bij-mij)
DVD	D1	0.464667	0.001197502	1.604194	0.000655	0.138269	1.104616182	0.0004	0.01167873	1	0.092937454
	D2	0.687967	0.001209828	1.604194	0.000655	0.204745	1.115986178	0.0004	0.02560042	1	0.090385758
	D3	0.904685	0.001227195	1.604194	0.000655	0.269243	1.132005499	0.0004	0.04426971	1	0.087735791
	D4	1.414529	-0.001292291	1.604194	0.000655	0.420977	1.192053012	0.0004	0.10822699	1	0.083826020
	D5	1.519145	-0.001308012	1.604194	0.000655	0.452112	1.206553933	0.0004	0.12482752	1	0.081726415
焦点距離=DVD専用領域	D6	1.589366	-0.000057205	1.604194	0.000655	0.47301					
3.360109	D7	1.847991	-0.002518796	1.604194	0.000655						

CD	半径(mm)	隣接段差D(mm)	屈折率n	波長λ2(mm)	Naij(CD)	絶対値(Dj*(n2-1)/λ2)	K	K × Naij^2/λ2	Bij	mij	Aij=絶対値(Bij-mij)
CD	D1	0.464667	0.001197502	1.599906	0.00079	0.137362	0.909352798	0.0004	0.00955363	1	0.10200837
	D2	0.687967	0.001209828	1.599906	0.00079	0.203373	0.918712916	0.0004	0.0204210	1	0.102229183
	D3	0.904685	0.001227195	1.599906	0.00079	0.267438	0.931090495	0.0004	0.03621427	1	0.104313777
	D4	1.414529	-0.001292291	1.599906	0.00079	0.418156	0.981333389	0.0004	0.08853372	1	0.107200327
	D5	1.519145	-0.001308012	1.599906	0.00079	0.449082	0.993270977	0.0004	0.10211357	1	0.108842588
焦点距離=CD専用領域	D6	1.589366	-0.000057205	1.599906	0.00079	0.46984					
3.382782	D7	1.847991	-0.002518796	1.599906	0.00079						

$$Bij = (\text{絶対値}(Dj*(n1-1)/λ1)) - ((K/λ1) * (Naij^2))$$

第2実施例	MAX(Aij)	MIN(Aij)	MAX(Aij) / MIN(Aij)
D1	0.100200837	0.092937454	1.078153449
DVD/C	0.102229183	0.090385758	1.131031977
D共通使用領域	D3	0.104313777	0.087735791
D4	0.107200327	0.088326020	1.278843101
D5	0.108842588	0.081726415	1.331792025

前記第2実施形態における各非球面部の隣接部が段差量 $D_1 \sim D_7$ を有する場合の構造を図14に示す。なお、本第2実施形態では表2の区間1～6までがDVD/C共通使用領域であり、区間7～8はDVD専用使用領域である。よって、式(1)、(2)での計算対象としては、DVD/C共通使用領域内の段差についてのみなので、 $D_1 \sim D_5$ までが計算対象であり、 D_6 と D_7 は式(1)、(2)の計算対象外である。また段差量 $D_1 \sim D_7$ については、段差部においてレンズ光軸に近い側の非球面が図の左側にある場合を正符号とし、右側にある場合を負符号とする。つまり本第2実施形態、図14、表5の場合には D_1 、 D_2 、 D_3 がプラス符号の段差量で、 D_4 、 D_5 、 D_6 、 D_7 がマイナス符号の段差量である。第2実施形態の段差部の形状として図14に示したが、レンズを実際に作製する場合、レンズがプラスチック製の場合には射出成形、ガラス製の場合にはガラス成形レンズとすることが考えられる。いずれの場合でも金型を作製してその形状を転写して製品を得ることになるが、その金型作製や成形を考慮した形状を図15、図16

に示す。

【0082】

図15は図14の段差量D1の部分の拡大図で、図14に示す形状から、抜きテーパー度と、左側の角をRをつけた形状としている（実線で示す）。前記のRは金型製作時のバイトRを考慮したもので、抜きテーパー度は射出成形またはガラス成形の際に成形しやすくしたものである。この場合にこの隣接部における、第1区間の非球面と第2区間の非球面との段差量D1をどう定義するかを図の点線で示す。所定の半径まで第1区間の非球面と第2区間の非球面を延長し、前記所定の半径におけるレンズ光軸に平行な方向の第1区間非球面と第2区間非球面との距離が段差量D1である。また所定の半径が不明の場合には図に示すE1からE2の任意の径の部分を所定の半径として良い。

10

【0083】

なお、図15において寸法E3の部分は光学的な結像に寄与しない無効領域となってしまうが、図15に示すものでも0.0005~0.001mm程度でDVDの有効領域4.032mm、CDの有効領域3.179mmに比べると微小な量であって問題になるレベルではない。前記の無効領域を更に小さくするために抜きテーパーの角度を小さくしたり、バイトRを小さくするかゼロにしてしまうことも有効である。また逆に前記無効領域を図15に示すものよりも更に大きくして、抜きテーパーをもっと増やしたり、バイトRをもっと大きくすることも有効である。

【0084】

図16は図14の段差量D4の部分の拡大図で、図14に示す形状から、抜きテーパー度と、左側の角をRつけた形状としている（実線で示す）。以下、段差量D4の定義や抜きテーパーやバイトRについては図15で説明した内容と同じである。

20

なお前記第2実施形態で図11に示す波面収差を得ることが出来ると説明したが、ある部分の波面収差を低減した方が良い場合が考えられる。たとえば、第1区間におけるCDの波面収差を図11に示すものよりも更に低減したい、という場合には、たとえば下記の表6に示す第3実施形態とするのが良い。

【表6】

第3実施例											
区間	hの範囲	B	C	K	A4	A6	A8	A10	A12	A14	A16
1	0~0.464667	0	4.45390E-01	-6.67483	0.0275	1.026895	-14.364412	105.23338	-431.80667	895.812958	-725.25403
2	0.464667~0.687967	0.00108409	4.46995E-01	-8.52884E-01	-1.11390E-03	8.21580E-03	9.75070E-03	-3.03780E-02	-4.03770E-02	1.60086E-01	-1.49931E-01
3	0.687967~0.904665	0.00216818	4.45826E-01	-5.85171E-01	2.36910E-03	-5.00360E-03	4.59410E-03	3.04280E-03	-8.16540E-03	6.55040E-03	-2.40830E-03
4	0.904665~1.414529	0.00325526	4.46759E-01	-6.51167E-01	9.59140E-04	4.83750E-04	2.53240E-04	-1.24670E-04	-1.01670E-04	7.59740E-05	-1.37590E-05
5	1.414529~1.519145	0.00216818	4.28660E-01	-2.78896E-01	6.74850E-03	3.92010E-04	-11.18360E-03	-4.24370E-04	7.93880E-05	1.45720E-04	-3.75090E-05
6	1.519145~1.589366	0.00108409	4.42061E-01	-5.755461E-01	2.50870E-03	1.75070E-04	-2.24990E-04	-1.73810E-05	6.71230E-07	1.64740E-05	-3.96660E-06
7	1.589366~1.847981	0.00103073	4.45491E-01	-6.24870E-01	1.77260E-03	1.24130E-04	-7.34610E-05	2.76610E-05	-9.44330E-06	1.32750E-06	-6.17570E-08
8	1.847981~2.2	-0.00113744	4.45319E-01	-6.13552E-01	1.64620E-03	1.15930E-04	-7.50480E-05	2.80220E-05	-9.53270E-06	1.33720E-06	-6.23130E-08

30

【0085】

本第3実施形態は表2に示す第2実施形態から第1区間のA4の値を変えたものである。本第3実施形態の波面収差図を図17に、式(1)、(2)についての計算結果を表7に示す。

【表7】

第3実施例										
DVD	半径(mm)	隣接段差量D0(屈折率n1)波長λ1(mm)	Naij(DVD)	絶対値(Dij×(n1-1)/λ1)	K	K×Naij/2/λ1	Bij	mi	Aij=絶対値(Bij-mi)	
DVD／CD共通使用領域	D1	0.464667	0.001314843	1.604194	0.000655	0.138289251	1.21285565	0.0004	0.01167873	1.20117692
	D2	0.887987	0.001209828	1.604194	0.000655	0.204745422	1.115986178	0.0004	0.02560042	1.090385758
	D3	0.904665	0.001227195	1.604194	0.000655	0.269242728	1.132005499	0.0004	0.04426971	1.087735791
	D4	1.414529	-0.00129229	1.604194	0.000655	0.420977077	1.192053012	0.0004	0.10822689	1.08382602
	D5	1.519145	-0.00130801	1.604194	0.000655	0.452111778	1.206553933	0.0004	0.12482752	1.081726415
焦点距離=3.360109321	D6	1.589366	-0.000057205	1.604194	0.000655	0.473010205				
	D7	1.847981	-0.0025188	1.604194	0.000655					

40

CD	半径(mm)	隣接段差量D0(屈折率n1)波長λ1(mm)	Naij(CD)	絶対値(Dij×(n1-1)/λ1)	K	K×Naij/2/λ1	Bij	mi	Aij=絶対値(Bij-mi)	
CD／DVD共通使用領域	D1	0.464667	0.001314843	1.599906	0.00079	0.137382401	0.998458737	0.0004	0.00955363	0.988905102
	D2	0.887987	0.001209828	1.599906	0.00079	0.202373165	0.9318712916	0.0004	0.02094210	0.897770817
	D3	0.904665	0.001227195	1.599906	0.00079	0.267438184	0.931900495	0.0004	0.03621427	0.895686223
	D4	1.414529	-0.00129229	1.599906	0.00079	0.418155681	0.931833389	0.0004	0.08853272	0.892799673
	D5	1.519145	-0.00130801	1.599906	0.00079	0.448081609	0.993270977	0.0004	0.10211357	0.891157412
焦点距離=3.382781591	D6	1.589366	-0.000057205	1.599906	0.00079	0.46983937				
	D7	1.847981	-0.0025188	1.599906	0.00079					

第3実施例	MAX(Aij)	MIN(Aij)	MAX(Aij)/MIN(Aij)
D1	0.201176922	0.011094898	18.1324
D2	0.10229183	0.090385758	1.1310
D3	0.104313777	0.0873925791	1.1890
D4	0.107200327	0.083826020	1.2788
D5	0.108842588	0.081726415	1.3318

図17より、第1区間でのCD波面収差が低減されていることがわかる。RMS波面収差では、第2実施形態では、第1区間においてCDの波面収差が図11の第2実施形態では0~0.095までの値を取っていたのに対して、図17に示す第3実施形態では、

50

0 ~ 0 . 0 3 までの値となっていて改善されていることがわかる。しかし、第1区間でのD V Dの波面収差については図11の第2実施形態では0 ~ - 0 . 1 の値であったが、図17の第3実施形態では0 ~ - 0 . 2 と劣化した値となっている。R M S 波面収差値としては、

	D V D					C D										
第2実施形態	0	.	0	1	9	4	5	rms	0	.	0	2	5	2	5	rms
第3実施形態	0	.	0	2	4	9	5	rms	0	.	0	2	5	7	4	rms

となっており、DVDで第3実施形態の方が劣化しているが、まだ0.025 RMS以下の値をキープできている。表7に示す式(1)、(2)の値については、段差量D1に相当する部分でMAX(Aij)/MIN(Aij)の値が第3実施形態では18.1324と3よりも大きく、また2よりも大きい。D2、D3、D4、D5に相当する部分では2未満の値となっており、MAX(Aij)/MIN(Aij)については5つうち4つは2未満を満足し、1つは不満足である。5つうち4つを満足していればDVD、CD共にRMS波面収差で0.025 RMS以下を満足できているが、5つとも満足している場合に比べるとDVDでの波面収差の劣化が認められる例である。なお第3実施形態で第1区間ににおけるCD波面収差を低減する例について記述したが、同様にして第1区間でDVD波面収差を低減させることも可能であり、その場合にはRMS波面収差においてCD側が劣化してくる。

【 0 0 8 6 】

また更に、第2区間におけるCDの波面収差を低減したい場合には表8に示す第4実施形態とするのが良い。

【表8】

第4実験例												
区間	h の範囲	B	C	K	A4	A6	A8	A10	A12	A14	A16	
1	0~0.464667	0	4.45390E-01	-6.67483	0.0275	1.026695	-14.364412	106.233381	-431.806672	895.812958	-725.25403	
2	0.464667~0.867967	0.00108409	4.46998E-01	-8.52884E-01	-1.11390E-03	8.21580E-03	9.75070E-03	-3.03780E-02	-4.03700E-02	1.80080E-01	-2.00000E-01	
3	0.867967~0.904685	0.00216818	4.45826E-01	-5.85171E-01	2.36910E-03	-5.03506E-03	4.59410E-03	0.034280E-03	-8.16540E-03	6.55040E-03	-2.40830E-03	
4	0.904685~1.414529	0.00325228	4.46759E-01	-6.51675E-01	9.58140E-04	4.83750E-04	2.53240E-04	-1.24670E-04	-1.01670E-04	7.59740E-05	-1.37590E-05	
5	1.414529~1.519145	0.00216818	4.28660E-01	-3.27689E-01	6.74850E-03	3.92100E-04	-1.18360E-03	-4.24370E-04	1.79380E-05	1.45720E-04	-3.75800E-05	
6	1.519145~1.589366	0.00108409	4.42061E-01	-5.75481E-01	2.50970E-03	1.7970E-04	-2.29940E-04	-1.73180E-05	6.71213E-07	1.67440E-05	-3.96680E-06	
7	1.589366~1.847991	0.00103073	4.45481E-01	-6.24670E-01	1.77360E-03	1.24130E-04	-7.34610E-05	-9.4430E-06	1.27570E-08	-6.17570E-08		
8	1.847991~2	-0.00113744	4.45139E-01	-6.13552E-01	1.64620E-03	1.19530E-04	-7.50480E-05	2.80220E-05	-9.53270E-06	1.33720E-06	-6.23130E-06	

本第4実施形態は表6に示す第3実施形態から第2区間のA16の値を変えたものである。本第4実施形態の波面収差図を図18に、式(1)、(2)についての計算結果を表9に示す。

【表9】

第4実例		1輪帯-A4 -0.0275	2輪帯-A16 -0.2									
DVD	半径(mm)	隙接段差D(mm)	屈折率n	波長 λ (mm)	Naij(DVD)	絶対値(Di)*(n1-1)/λ1)	K	K×Naij ² /λ1	Bij	mij	Aij=絶対値(Bij-mij)	
DVD	D1	0.464667	0.001314607	1.604194	0.000655	0.138289251	1.21637491	0.0004	0.01167873	1.20095876	1	0.200958763
	D2	0.687967	0.001335909	1.604194	0.000655	0.204745422	1.23228779	0.0004	0.02560042	1.20668737	1	0.206687370
	D3	0.904685	0.001221715	1.604194	0.000655	0.269422728	1.132005499	0.0004	0.04246793	1.08773579	1	0.087735791
	D4	1.414529	-0.00129229	1.604194	0.000655	0.420977077	1.192053012	0.0004	0.10822699	1.08382602	1	0.083826020
	D5	1.519145	-0.00130801	1.604194	0.000655	0.452111778	1.206553933	0.0004	0.12482152	1.08172642	1	0.081726415
	D6	1.589366	-0.000057205	1.604194	0.000655	0.473010205						
焦点距離=3.360109321	DVD専用領域	D7	1.847991	-0.0025188	1.604194	0.000655						
CD	半径(mm)	隙接段差D(mm)	屈折率n2	波長 λ (mm)	Naij(CD)	絶対値(Di)*(n2-1)/λ2)	K	K×Naij ² /λ2	Bij	mij	Aij=絶対値(Bij-mij)	
CD	D1	0.464667	0.001314607	1.599906	0.00079	0.137362401	0.998279142	0.0004	0.00955363	0.998275607	1	0.011274493
	D2	0.687967	0.001335909	1.599906	0.00079	0.203373165	1.014455815	0.0004	0.02094210	0.998313753	1	0.006864247
	D3	0.904685	0.001221715	1.599906	0.00079	0.267438194	0.931900495	0.0004	0.03621427	0.895868223	1	0.041313777
	D4	1.414529	-0.00129229	1.599906	0.00079	0.418155581	0.981333389	0.0004	0.08853372	0.892799673	1	0.010720327
	D5	1.519145	-0.00130801	1.599906	0.00079	0.449081609	0.993270977	0.0004	0.10211357	0.891157412	1	0.0108842588
	D6	1.589366	-0.000057205	1.599906	0.00079	0.46983997						
焦点距離=3.382781591	DVD専用領域	D7	1.847991	-0.0025188	1.599906	0.00079						

第4実施例		MAX(A _{ij})	MIN(A _{ij})	MAX(A _{ij}) / MIN(A _{ij})
DVD/CD共用通信領域	D1	0.200958763	0.011274493	17.8242
	D2	0.206687370	0.006468247	31.8655
	D3	0.104313777	0.087755791	1.1890
	D4	0.107200327	0.083826020	1.2788
	D5	0.10842588	0.001726415	1.3318
	D6	0.10842588	0.001726415	1.3318

DVD 0.029263 λ_{rms}
 200 0.029263 λ

図18より、第3実施形態に比べて更に第2区間でのCD波面収差が低減されていることがわかる。RMS波面収差では、第2、第3実施形態に比べて第4実施形態は、第2区間ににおいてCDの波面収差が図11の第2実施形態、図17の第3実施形態では0~0.098までの値を取っていたのに対して、図18の第4実施形態では0~0.05までの値となっていて改善されていることがわかる。しかし、第2区間でのDVDの波面収差については図11の第2実施形態、図17の第3実施形態では0~-0.1の値であったが、図18の第4実施形態では0~-0.2と劣化した値となっている。RMS波面

収差値としては、

	D V D	C D
第2実施形態	0 . 0 1 9 4 5 rms	0 . 0 2 5 2 5 rms
第3実施形態	0 . 0 2 4 9 5 rms	0 . 0 2 5 7 4 rms
第4実施形態	0 . 0 2 9 2 6 rms	0 . 0 2 4 8 9 rms

となっており、第4実施形態ではD V DのR M Sの波面収差が第3実施形態に比べて更に劣化しているが、まだ0 . 0 3 R M S以下の値をキープできている。表9に示す式(1)、(2)の値について、段差量D1、D2に相当する部分でMAX(A_{ij})/MIN(A_{ij})の値が第4実施形態では17 . 8 2 4 2、31 . 8 6 5 5と3よりも大きく、また2よりも大きい。D3、D4、D5に相当する部分では2未満の値となっており、MAX(A_{ij})/MIN(A_{ij})については5つのうち3つは2未満を満足し、2つは不満足である。5つのうち3つを満足していればD V D、C D共にR M S波面収差で0 . 0 3 0 R M S以下を満足できているが、5つとも満足している場合及び5つのうち4つで満足している場合に比べるとD V Dでの波面収差の劣化が認められる例である。なお第4実施形態で第1、第2区間ににおけるC D波面収差を低減する例について記述したが、同様にして第1、第2区間でD V D波面収差を低減させることも可能であり、その場合にはR M S波面収差においてC D側が劣化してくる。

【0087】

また更に、第3区間ににおけるC Dの波面収差を低減したい場合には表10に示す比較例とするのが良い。

【表10】

比較例	区間	hの範囲	B	C	K	A4	A6	A8	A10	A12	A14	A16
	1	0~0.464667	0	4.45390E-01	6.67483	0.0275	1.026695	-14.364412	106.233381	-431.806672	895.812058	-725.25403
	2	0.464667~0.687967	0.00108409	4.46989E-01	-8.52884E-01	-1.11390E-03	8.21580E-03	9.75070E-03	-3.03780E-02	-4.03770E-02	1.80080E-01	-2.00000E-01
	3	0.687967~0.904665	0.00216818	4.45826E-01	-5.85171E-01	2.36910E-03	-5.00360E-03	4.59410E-03	3.04280E-03	-8.16540E-03	6.55040E-03	-3.35000E-03
	4	0.904665~1.414529	0.00325226	4.46759E-01	-6.51167E-01	9.59140E-04	4.83750E-04	2.53240E-04	-1.24870E-04	-1.01670E-04	7.59740E-05	-1.37590E-05
	5	1.414529~1.519145	0.00216818	4.28680E-01	-3.27869E-01	6.74840E-01	3.92010E-04	-1.18360E-03	-4.24370E-04	7.93880E-05	1.45720E-04	-3.75090E-05
	6	1.519145~1.589366	0.00108409	4.42061E-01	-5.75461E-01	2.50970E-03	1.75070E-04	-2.24990E-04	-1.73810E-05	6.71230E-07	1.64740E-05	-3.96660E-06
	7	1.589366~1.847791	0.001003073	4.45481E-01	-6.24870E-01	1.77360E-03	1.24130E-04	-7.34610E-05	2.76610E-05	-9.44330E-06	1.32750E-06	-6.17570E-08
	8	1.847791~2.2	-0.00113744	4.45319E-01	-6.13552E-01	1.64620E-03	1.15930E-04	-7.50480E-05	2.80220E-05	-9.53270E-08	1.33720E-08	-6.23130E-08

本比較例は表8に示す第4実施形態から第3区間のA16の値を変えたものである。本比較例の波面収差図を図19に、式(1)、(2)についての計算結果を表11に示す。

【表11】

2-4" 比較例		1輪帯-A4 -0.0275	2輪帯-A16 -0.2	3輪帯-A16 -0.0035									
DVD	DVD	半径(mm)	鏡接収差D(屈折率n1屈折率n2)	波長λ(2mm)	Naij(DVD)	絶対値(Dij*(1-λ)/λ)	K	K×NAij ² /λ	Bij	mij	Aij-絶対値(Bij mij)		
	DVD/CD共通使用領域	D1	0.464667	0.001314607	1.804194	0.000855	0.138289251	1.212637491	0.0004	0.01167873	1.20095876	1	0.200958763
		D2	0.687967	0.001333538	1.804194	0.000855	0.203745422	1.230103084	0.0004	0.0256042	1.20449996	1	0.204499964
	D3	0.904665	0.001416809	1.804194	0.000855	0.289242728	1.306911984	0.0004	0.04426971	1.262642276	1	0.262642276	
	D4	1.414529	-0.00129229	1.804194	0.000855	0.420977077	1.192053012	0.0004	0.10822899	1.08382602	1	0.083826020	
	D5	1.519145	-0.00130801	1.804194	0.000855	0.452111778	1.206553933	0.0004	0.12482752	1.09172642	1	0.091726415	
	D6	1.589366	-0.000057205	1.804194	0.000855	0.473010205							
焦点距離=3.360109321	DVD専用領域	D7	1.847791	-0.00251588	1.804194	0.000855							
	CD	半径(mm)	鏡接収差D(屈折率n1屈折率n2)	波長λ(2mm)	Naij(CD)	絶対値(Dij*(2-λ)/λ)	K	K×NAij ² /λ	Bij	mij	Aij-絶対値(Bij mij)		
	CD	D1	0.464667	0.001314607	1.599906	0.00079	0.137362401	0.998279142	0.0004	0.00955363	0.988725507	1	0.011274493
	DVD/CD共通使用領域	D2	0.687967	0.001333538	1.599906	0.00079	0.203373165	1.012655114	0.0004	0.02084210	0.991713015	1	0.006286985
	D3	0.904665	0.001416809	1.599906	0.00079	0.267438194	1.075886701	0.0004	0.03621427	1.039674428	1	0.039674428	
	D4	1.414529	-0.00129229	1.599906	0.00079	0.418155581	0.981333389	0.0004	0.08853372	0.892799673	1	0.107200327	
	D5	1.519145	-0.00130801	1.599906	0.00079	0.449081609	0.993270977	0.0004	0.10211357	0.891157412	1	0.108842588	
焦点距離=3.382781591	DVD専用領域	D6	1.589366	-0.000057205	1.599906	0.00079	0.46983997						
	D7	1.847791	-0.00251588	1.599906	0.00079								
	比較例		MAX(Aij)	MIN(Aij)	MAX(Aij)/MIN(Aij)								
	D1	0.230958763	0.011274493	17.8242									
	D2	0.234499984	0.009286985	24.6772									
DVD/CD共通使用領域	D3	0.282642276	0.036744228	6.6199									
	D4	0.107200327	0.083826202	1.2798									
	D5	0.108842588	0.081726415	1.3318									

図19より、第4実施形態に比べて更に第3区間でのC D波面収差が低減されていることがわかる。R M S波面収差では、第2、第3、第4実施形態に比べて比較例は、第3区間ににおいてC D波面収差が図11の第2実施形態、図17の第3実施形態、図18の第4実施形態では0~0 . 0 9 8までの値を取っていたのに対して、図19の比較例では-0 . 0 1 ~ 0 . 0 4までの値となっていて改善されていることがわかる。しかし、第3区間でのD V Dの波面収差については図11の第2実施形態、図17の第3実施形態では0~-0 . 1の値であったが、図18の第4実施形態では0~-0 . 2と劣化した値となっている。R M S波面収差値としては、

D V D

C D

第2実施形態	0 . 0 1 9 4 5	rms	0 . 0 2 5 2 5	rms
第3実施形態	0 . 0 2 4 9 5	rms	0 . 0 2 5 7 4	rms
第4実施形態	0 . 0 2 9 2 6	rms	0 . 0 2 4 8 9	rms
比較例	0 . 0 3 5 0 3	rms	0 . 0 2 4 7 7	rms

となっており、比較例では D V D の R M S の波面収差が第4実施形態に比べて更に劣化して 0 . 0 3 5 rms 以上となってしまっている。表 1 1 に示す式 (1) 、 (2) の値について、段差量 D 1 、 D 2 、 D 3 に相当する部分で M A X (A i j) / M I N (A i j) の値が比較例では 1 7 . 8 2 4 2 、 2 4 . 6 7 7 2 、 6 . 6 1 9 9 と 3 よりも大きく、また 2 よりも大きい。 D 4 、 D 5 に相当する部分では 2 未満の値となっており、 M A X (A i j) / M I N (A i j) については 5 つのうち 2 つは 2 未満を満足し、 3 つは不満足である。 5 つのうち 2 つしか満足できていないために D V D 、 C D 共に R M S 波面収差で 0 . 0 3 5 R M S 以下を満足できていないというのが本比較例である。 10

【 0 0 8 8 】

また、今まで D V D と C D の場合について述べてきたが、例えば基板厚が同じで波長がことなる場合でも本発明は有効である。例として、いわゆるブルーレーザー、波長 4 0 5 nm で基板厚 0 . 6 mm 、と D V D 、波長 6 5 5 nm で基板厚 0 . 6 mm の場合などである。この場合につき以下第 5 実施形態として記述する。

【 0 0 8 9 】

第 5 実施形態では、基本的なレンズ構成は図 2 に示す第 2 実施形態と同じで、 A 面側より平行光を入射させて B 面側にあるディスク基板（図示しない）の記録面上に良好な光ス 20 ポットを形成するものである。光源側の A 面は数 4 により Z A と h の関係が表される。その具体的な数値を表 1 2 の上側欄の区間 1 ~ 9 に示す。また光源と反対側、ディスク側の B 面は数 6 で Z B と h の関係が表される。その具体的な数値は、表 1 2 の下側欄に示す。

【 表 1 2 】

A 面

区間 j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
h の範囲									
下限	0	0.542467	0.792615	1.014927	1.249884	1.740929	1.850763	1.92125	1.975027
上限	0.542467	0.792615	1.014927	1.249884	1.740929	1.850763	1.92125	1.975027	2.2
B	0	-0.001473477	-0.002946954	-0.004420431	-0.005893908	-0.004420431	-0.002946954	-0.001473477	0
C	0.509478595	0.5104812	0.511012577	0.510092683	0.510089832	0.508291764	0.518471856	0.51922374	0.513715431
K	-1.3369195	-0.8287777	-0.8105968	-0.7537146	-0.7469151	-0.7212068	-0.7734512	-0.7752421	-0.7540451
A4	-4.16570E-05	0.003116516	0.003289505	0.004372048	0.004157114	0.005173403	0.004007756	0.003997983	0.004280322
A6	0.258242912	0.004761572	0.00191368	0.000112894	0.000283638	-8.23490E-05	-0.000307572	-0.000302425	-0.000136405
A8	-2.171510387	-0.000539419	0.00174357	0.000166003	5.499882E-05	-3.1940E-05	5.267689E-06	4.8548173E-06	2.5114717E-05
A10	9.398682567	-0.004428822	-0.001259228	3.098863E-05	-3.950521E-06	4.50425E-06	3.460593E-05	3.3523674E-05	2.7589154E-05
A12	-19.80835322	0.003469841	-0.001086548	-4.170906E-05	-1.207888E-05	-6.74502E-06	-1.429376E-06	-2.8102375E-06	-5.8345645E-06
A14	13.07840955	-0.003183954	0.00149111	-6.216377E-06	5.481453E-06	6.84527E-06	3.389613E-06	3.3068712E-06	2.8646516E-06
A16	6.844157513	0.003264944	5.927209E-06	-6.448557E-07	-1.13608E-06	-7.976428E-07	-6.9376700E-07	-4.5308929E-07	

B 面	R2
C	-0.118642624
K	-95.56799
A4	0.00129653
A6	4.3291237E-05
A8	-1.1572493E-05
A10	-2.0639003E-06

また、対物レンズの光軸上の面頂点 f , e 間の距離、即ち、中心厚さ t 0 は 1 . 9 4 m 40 m であって、波長 1 = 4 0 5 nm (ブルー) での屈折率 n は 1 . 5 4 9 7 2 であり、波長 2 = 6 5 5 nm (D V D) での屈折率 n は 1 . 5 3 である。透明基板の厚さと屈折率は、波長 1 = 4 0 5 nm (ブルー) では、厚み 0 . 6 mm で屈折率 1 . 6 2 3 5 であり、波長 2 = 6 5 5 nm (D V D) では厚み 0 . 6 mm で屈折率は 1 . 5 8 である。また、波長 4 0 5 nm のブルーの時の N A は 0 . 6 5 、焦点距離は 3 . 1 0 1 5 mm で、波長 6 5 5 nm の D V D の時の N A は 0 . 6 2 7 7 で、焦点距離は 3 . 2 1 1 6 mm である。入射平行光束有効直径はブルーでも D V D でも 4 . 0 3 2 である。また本第 5 実施例では、第 1 ~ 第 4 実施例のときの D V D 専用領域に相当するものではなく、 4 . 0 3 2 の A 面側レンズ全面が、ブルー / D V D 共通使用領域である。

【 0 0 9 0 】

図 2 0 に本第 5 実施形態の波面収差図を示す。ブルーの R M S 波面収差が 0 . 0 3 1 5 2 rms であり、 D V D の R M S 波面収差が 0 . 0 3 2 3 7 rms で、ブルーも DVD も 0 . 0 3 5 rms 以下となっている。式 (1) 、 (2) の値について表 1 3 に表す。 50

【表13】

第5実施例

BLUE	半径(mm)	隣接段差D(mm)	屈折率n1	波長λ1(mm)	Nai(DVD)	絶対値(Di*(n1-1)/λ1)	K	K×Nai ² /λ1 Bij	mij	Aij=絶対値(Bij-mij)
BLUE/DV D共通使 用領域	D1	0.542467	-0.001406696	1.54972	0.000405	0.174905	1.90935938	0.0004	0.03021399	1.87914195
	D2	0.792615	-0.00142944	1.54972	0.000405	0.255559	1.940226932	0.0004	0.06450390	1.87572303
	D3	1.014927	-0.001459163	1.54972	0.000405	0.327237	1.98057023	0.0004	0.10576233	1.87480819
	D4	1.249884	-0.00150259	1.54972	0.000405	0.402993	2.039515782	0.0004	0.16039869	1.87911709
	D5	1.740929	0.001650686	1.54972	0.000405	0.561318	2.240531313	0.0005	0.38898560	1.85154571
	D6	1.850763	0.001696813	1.54972	0.000405	0.596732	2.30314065	0.0005	0.43961553	1.86352513
	D7	1.92125	0.001726803	1.54972	0.000405	0.619458	2.34791879	0.0005	0.47373904	1.87417575
	D8	1.975027	0.00176069	1.54972	0.000405	0.636797	2.389843632	0.0005	0.50063071	1.88921293
焦点距離										
3.1015										

DVD	半径(mm)	隣接段差D(mm)	屈折率n2	波長λ2(mm)	Nai(CD)	絶対値(Di*(n2-1)/λ2)	K	K×Nai ² /λ2 Bij	mij	Aij=絶対値(Bij-mij)
BLUE/DV D共通使 用領域	D1	0.542467	-0.001406696	1.53	0.000655	0.168909	1.138242903	0.0004	0.01742298	1.12081992
	D2	0.792615	-0.00142944	1.53	0.000655	0.246798	1.156646328	0.0004	0.03719635	1.11944997
	D3	1.014927	-0.001459163	1.53	0.000655	0.316019	1.180696748	0.0004	0.06086814	1.11970860
	D4	1.249884	-0.00150259	1.53	0.000655	0.389178	1.215836355	0.0004	0.08249435	1.12334200
	D5	1.740929	0.001650686	1.53	0.000655	0.542075	1.356669666	0.0004	0.17944771	1.15622199
	D6	1.850763	0.001696813	1.53	0.000655	0.596274	1.372993618	0.0005	0.25350552	1.11948810
	D7	1.92125	0.001726803	1.53	0.000655	0.598222	1.399687636	0.0005	0.27318294	1.12650470
	D8	1.975027	0.00176069	1.53	0.000655	0.614967	1.4246807	0.0005	0.28869009	1.13599061
焦点距離										
3.2116										

第5実施例	MAX(Aij)	MIN(Aij)	MAX(Aij)/MIN(Aij)
D1	0.120858049	0.120819923	1.0003
D2	0.124276968	0.119449975	1.0404
D3	0.125191807	0.119708603	1.0458
D4	0.123342004	0.120882907	1.0203
D5	0.156221990	0.148454292	1.0523
D6	0.136474866	0.119488096	1.1422
D7	0.126504701	0.125820245	1.0054
D8	0.135989067	0.110787075	1.2275

式(1)、(2)の値についてはD1～D8の全ての隣接段差部において1.23以下となっており、式(1)、(2)を全ての隣接段差部で満足している。

また本第5実施形態の光スポット図を図21に示す。 $1/e^2$ (=0.135)の相対光強度となる光スポット直径は、405nmのブルーのときで0.5149μmで、655nmのDVDで0.8606μmとなっている。

また本第5実施形態での前記Wmax/Wminは、

$W_{max}/W_{min} = 0.03237/0.03152 = 1.026967$ となるから、前記許容値1.8、好ましくは1.6、さらに好ましくは1.4以下となっている。また、本第5実施形態の前記表3に相当する値としては、第1～第4、第6～9領域では

$Vd(-405) = 0.111 \sim 0.12$ 、で $Vd(-655) = 0.111 \sim 0.12$ となっており、各波面収差の差の比 $Vd(-405)/Vd(-655)$ 、及び $Vd(-655)/Vd(-405)$ 、共に0.9～1.1の間に入っている。また第5領域については $Vd(-405) = 0.075$ 、で $Vd(-655) = 0.078$ となっている。なお図20での波面収差図では、相対瞳座標0～1の範囲内で相対瞳0.01刻みの計算結果となっているが、もっと細かく計算すれば、各波面収差は上記の値となる。

【図面の簡単な説明】

【0091】

【図1】本発明による対物レンズの第1の実施形態を示す図である。

【図2】図1に示す第1の実施形態のレンズ面形状の一具体例を示す図である。

【図3】対物レンズと光ディスクの透明基板とからなる光学系での光路長を説明するための図である。

【図4】図1に示す第1の実施形態の第1の実施形態の波面収差の測定結果の一具体例を示すグラフ図である。

【図5】図1に示す第1の実施形態を用いた光ディスク装置での種類が異なる光ディスクに対する光スポットの計算結果を示す図である。

【図6】本発明による対物レンズの第2の実施形態の波面収差の測定結果の一具体例を示すグラフ図である。

【図7】本発明による対物レンズの第2の実施形態を用いた光ディスク装置での種類が異なる光ディスクに対する光スポットの計算結果を示す図である。

【図8】本発明による光ヘッドの一実施形態を示す図である。

【図9】本発明による光ディスク装置の一実施形態を示す図である。

【図10】光線高さに対する各波長の波面収差を示す模式図である。

20

30

40

50

10

【図 1 1】第 2 実施形態における光線高さに対する各波長の波面収差を示す図である。
 【図 1 2】特開 2001-51192 号に記載のレンズを用いた場合の光線高さに対する各波長の波面収差を示す図である。

【図 1 3】第 2 実施形態における数式を説明するための図である。

【図 1 4】第 2 実施形態における各非球面部の隣接部が段差量 D 1 ~ D 7 を有する場合の構造を示す図である。

【図 1 5】金型作成や成形を考慮した形状を有するレンズを示す図である。

【図 1 6】金型作成や成形を考慮した形状を有するレンズを示す図である。

【図 1 7】第 3 実施形態にかかるレンズの波面収差図である。

【図 1 8】第 4 実施形態にかかるレンズの波面収差図である。

【図 1 9】比較例にかかるレンズの波面収差図である。

【図 2 0】第 5 実施形態にかかるレンズの波面収差図である。

【図 2 1】第 5 実施形態にかかるレンズの光スポット図である。

【図 2 2】CD 用レンズの光スポット図である。

【図 2 3】第 2 実施形態にかかるレンズの絞り径を設定した場合の光スポット図である。

【符号の説明】

【0092】

1 実施形態の対物レンズ

2 DVD の透明基板

2 a 情報記録面

3 CD の透明基板

3 a 情報記録面

4, 5 レーザビーム

11 DVD レーザ

12 CD レーザ

13, 14 ハーフプリズム

15 コリメータレンズ

16 検出レンズ

17 光検出器

18 回折格子

19 アクチュエータ

20 アクチュエータ駆動回路

21 信号処理回路

22 レーザ駆動回路

23 システム制御回路

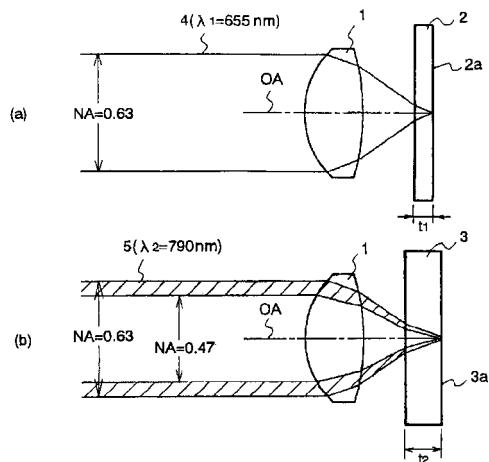
24 ディスク判別手段

10

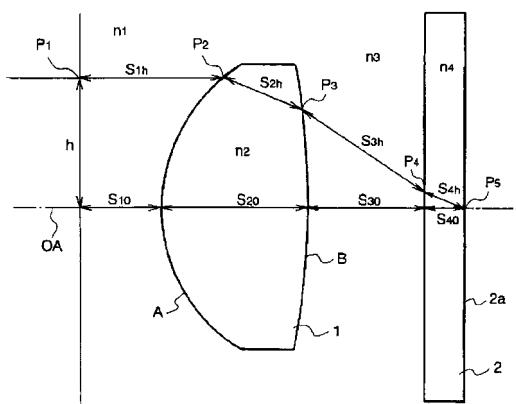
20

30

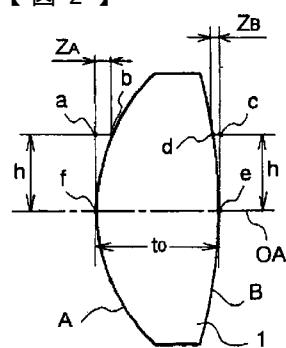
【図1】



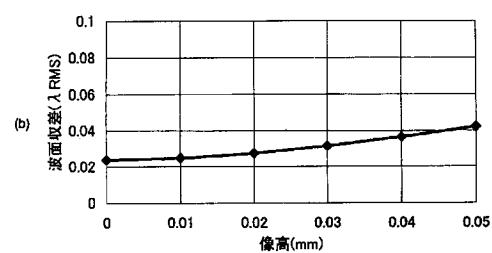
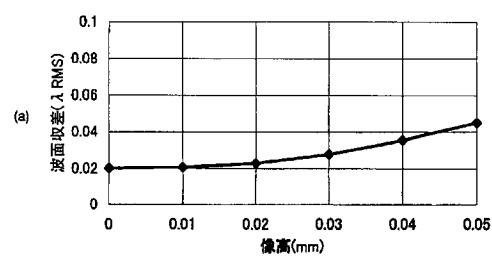
【図3】



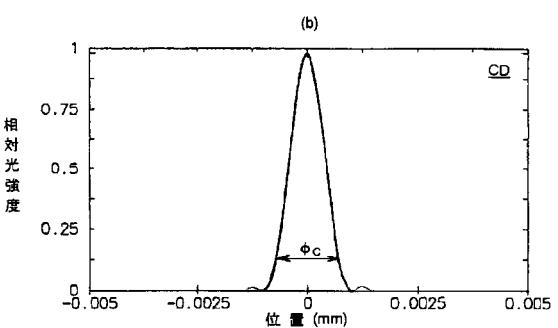
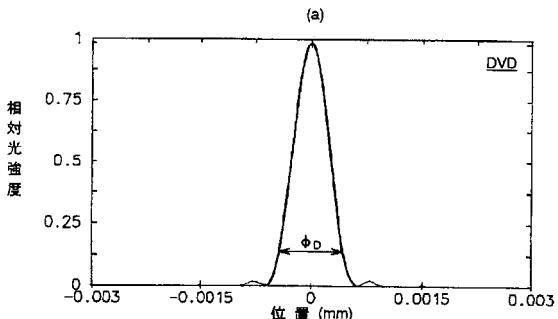
【図2】



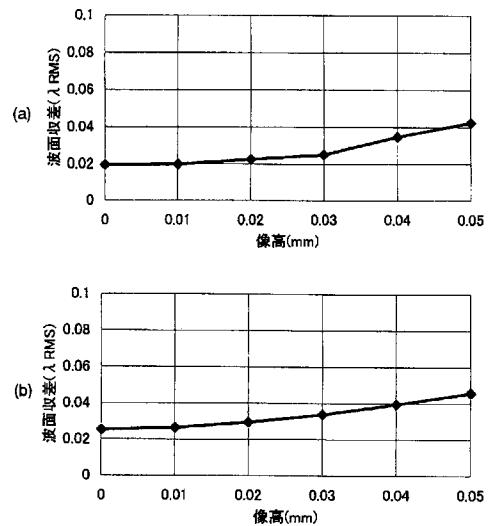
【図4】



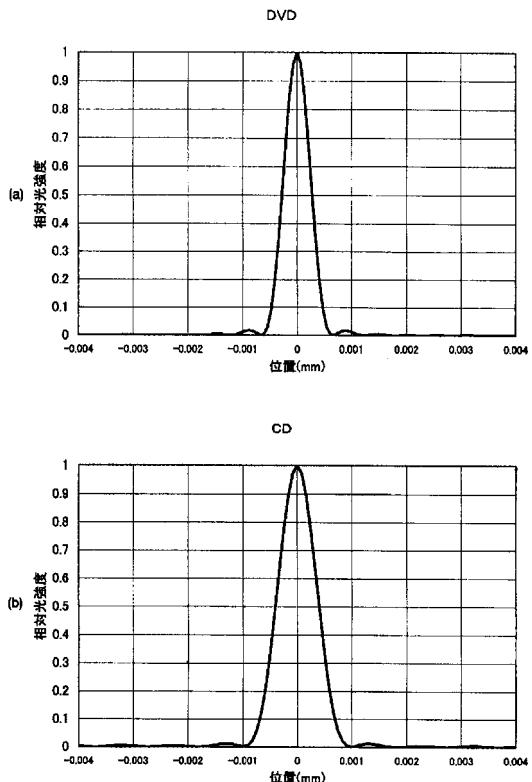
【図5】



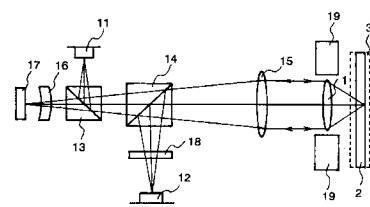
【図6】



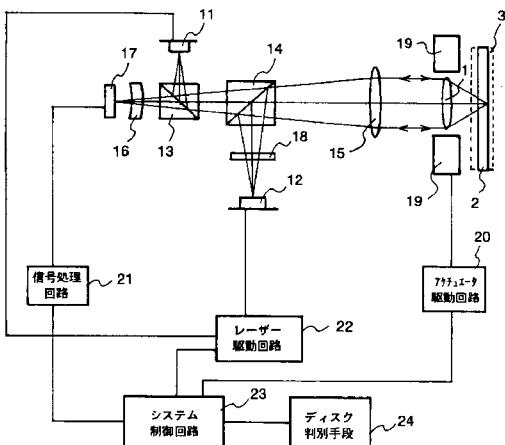
【図7】



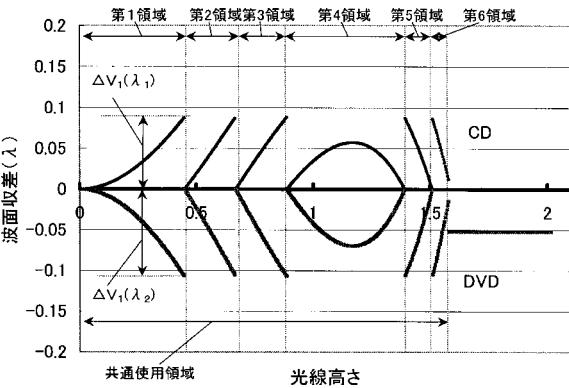
【図8】



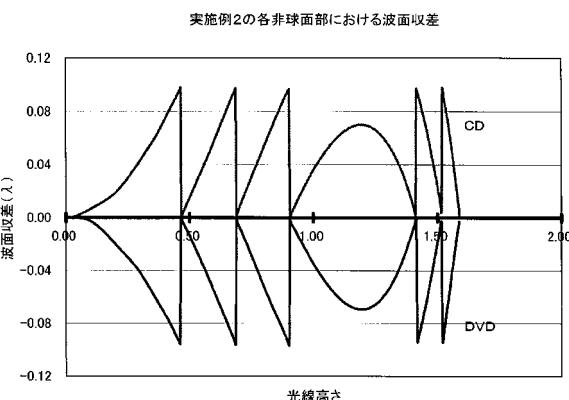
【図9】



【図10】

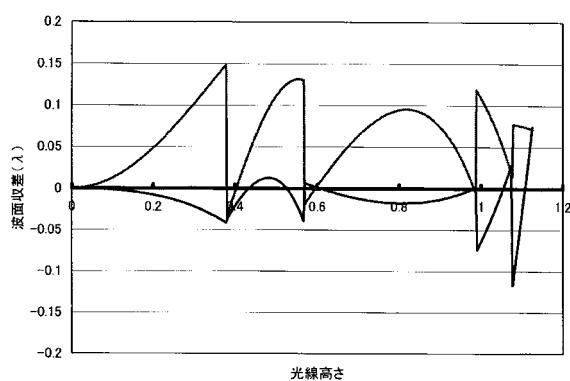


【図11】

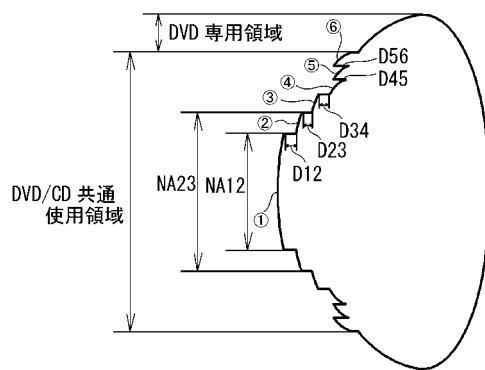


【図12】

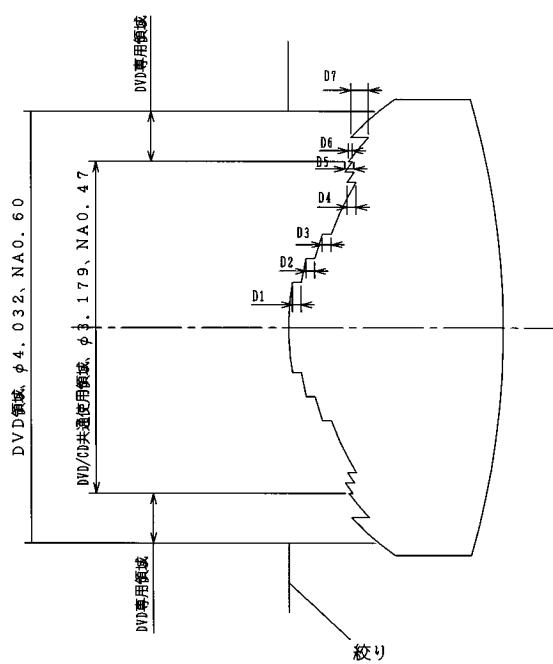
従来技術の各非球面部における波面収差



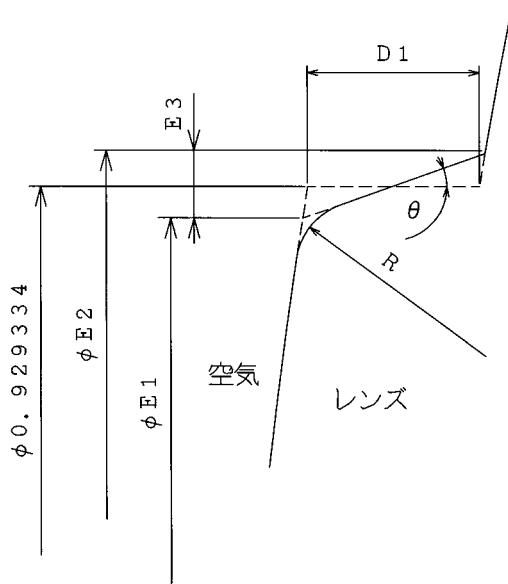
【図13】



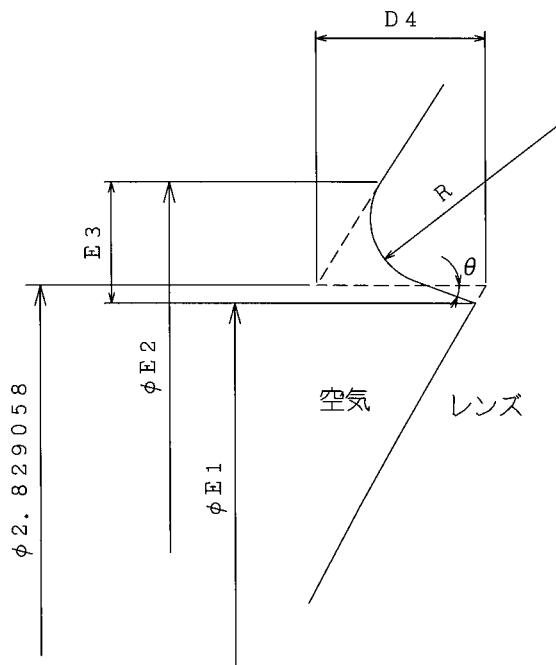
【図14】



【図15】

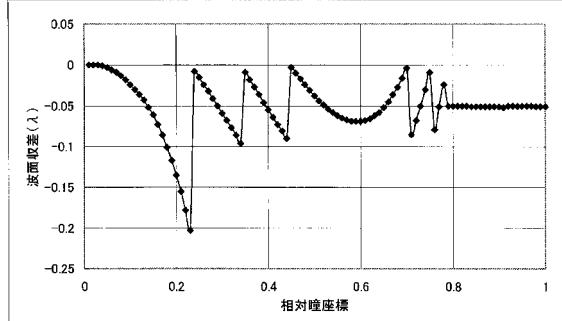
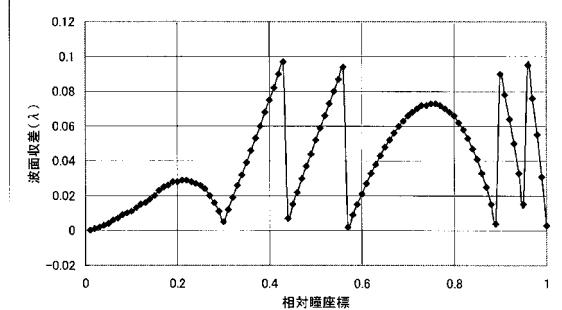


【図16】

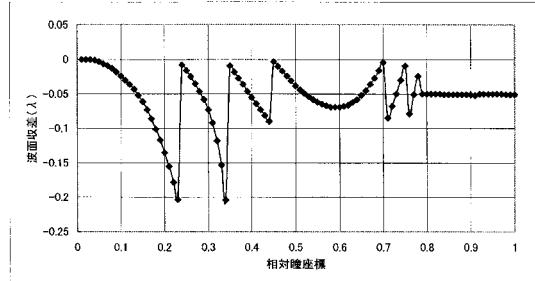
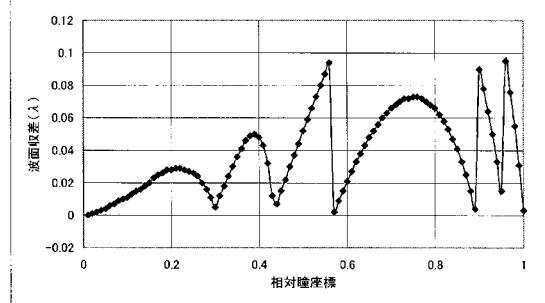


【図17】

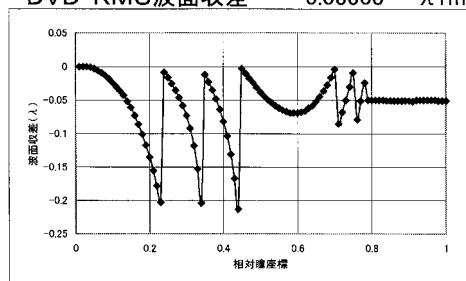
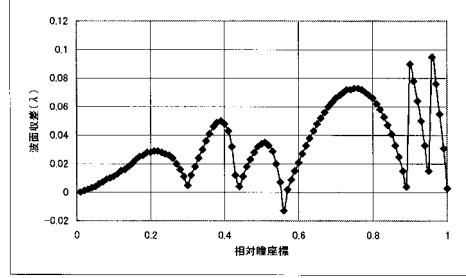
第3実施例

DVD-RMS波面収差 = 0.02495 λ rmsCD-RMS波面収差 = 0.02574 λ rms

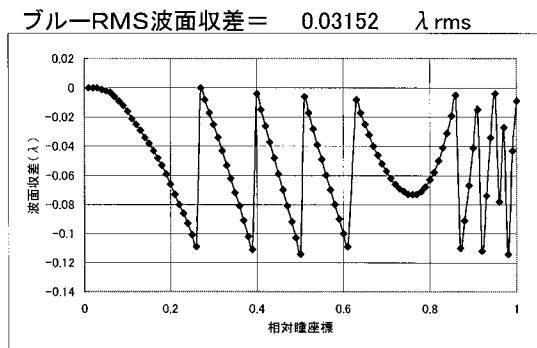
【図18】

DVD-RMS波面収差 = 0.02926 λ rmsCD-RMS波面収差 = 0.02489 λ rms

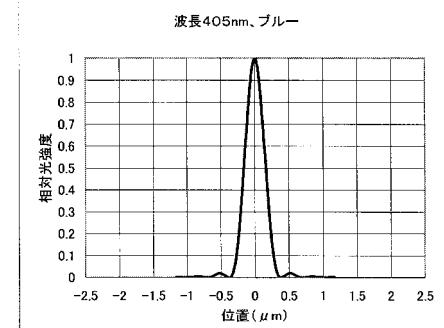
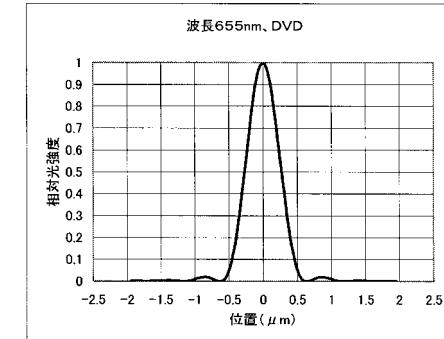
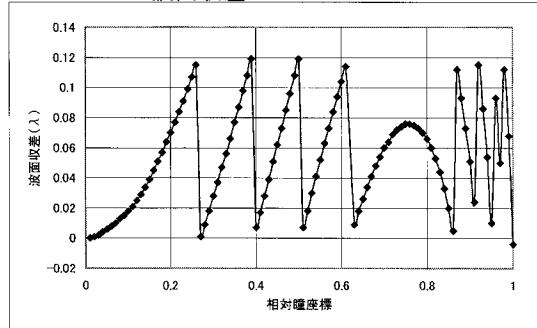
【図19】

DVD-RMS波面収差 = 0.03503 λ rmsCD-RMS波面収差 = 0.02477 λ rms

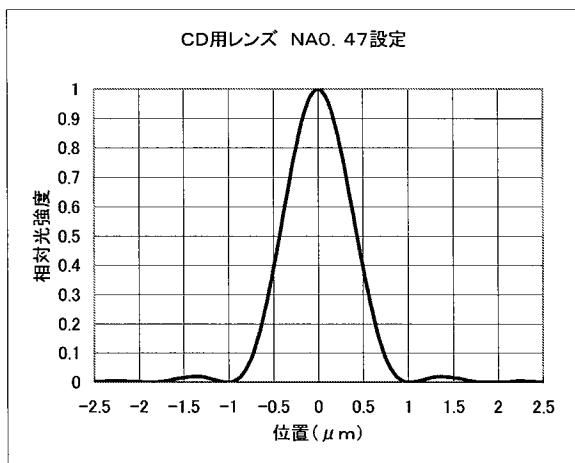
【図20】



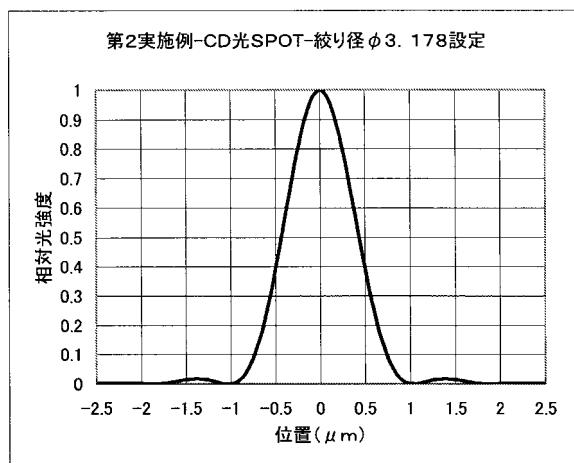
【図21】

DVD-RMS波面収差 = 0.03237 λ_{rms} 

【図22】



【図23】



$1/e^2$ SPOT径 = $\phi 1.3804 \mu m$

$1/e^2$ SPOT径 = $\phi 1.3924 \mu m$

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2003-123303(JP,A)
特開2001-51192(JP,A)
特開2002-189114(JP,A)
特開平7-294707(JP,A)
特開2001-315003(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 02 B	9 / 0 0	-	1 7 / 0 8
G 02 B	2 1 / 0 2	-	2 1 / 0 4
G 02 B	2 5 / 0 0	-	2 5 / 0 4
G 11 B	7 / 1 2	-	7 / 2 2