

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2007-299530

(P2007-299530A)

(43) 公開日 平成19年11月15日(2007. 11. 15)

(51) Int. Cl.

G 1 1 B 7/135 (2006.01)

F I

G 1 1 B 7/135

A

テーマコード (参考)

5 D 7 8 9

審査請求 有 請求項の数 16 O L (全 254 頁)

(21) 出願番号 特願2007-215659 (P2007-215659)
 (22) 出願日 平成19年8月22日 (2007. 8. 22)
 (62) 分割の表示 特願2002-298493 (P2002-298493)
 の分割
 原出願日 平成14年10月11日 (2002. 10. 11)
 (31) 優先権主張番号 特願2001-315105 (P2001-315105)
 (32) 優先日 平成13年10月12日 (2001. 10. 12)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)
 (31) 優先権主張番号 特願2001-400716 (P2001-400716)
 (32) 優先日 平成13年12月28日 (2001. 12. 28)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)
 (31) 優先権主張番号 特願2002-180575 (P2002-180575)
 (32) 優先日 平成14年6月20日 (2002. 6. 20)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 000001270
 コニカミノルタホールディングス株式会社
 東京都千代田区丸の内一丁目6番1号
 (74) 代理人 100107272
 弁理士 田村 敬二郎
 (74) 代理人 100109140
 弁理士 小林 研一
 (72) 発明者 木村 徹
 東京都八王子市石川町2970番地 コニ
 カミノルタオプト株式会社内
 (72) 発明者 坂本 勝也
 東京都八王子市石川町2970番地 コニ
 カミノルタオプト株式会社内

最終頁に続く

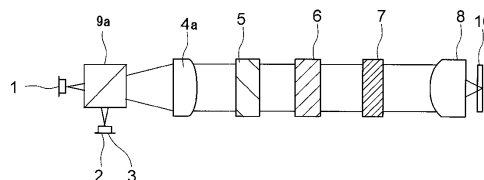
(54) 【発明の名称】 対物レンズ、光ピックアップ装置、及び記録・再生装置

(57) 【要約】

【課題】 規格の異なる3種類の光情報記録媒体について情報の記録または再生を行うことができる光ピックアップ装置を提供する。

【解決手段】 波長 λ_1 の第1光源1からの光束を用いて厚さ t_1 の第1保護基板を有する第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、それぞれ波長 λ_2 及び波長 λ_3 ($\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$) の第2光源2及び第3光源3からの光束を用いて厚さ t_2 及び厚さ t_3 ($t_3 > t_2 > t_1$) の第2及び第3保護基板を有する第2及び第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う光ピックアップ装置であって、前記光ピックアップ装置は、前記第1乃至第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録について1つのレンズ群から構成される共通の対物レンズ8を用い、前記第1保護基板乃至第3保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差を補正するための基板厚差補正手段7を有する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

波長 λ_1 の第1光源からの光束を用いて厚さ t_1 の第1保護基板を有する第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$)の第2光源からの光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 > t_1$)の第2保護基板を有する第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$)の第3光源からの光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 > t_2$)第3保護基板を有する第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う光ピックアップ装置であって、

前記光ピックアップ装置は、前記第1光情報記録媒体乃至前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録について1つのレンズ群から構成される共通の対物レンズを用い、

前記第1保護基板乃至第3保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差を補正するための基板厚差補正手段を有することを特徴とする光ピックアップ装置。

【請求項 2】

前記第1光源乃至第3光源からの各光束がすべて通過する共通の光路に前記基板厚差補正手段を配置することを特徴とする請求項1に記載の光ピックアップ装置。

【請求項 3】

前記第1光情報記録媒体乃至前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数をそれぞれ NA_1 、 NA_2 、 NA_3 としたとき、前記第1光源の波長 λ_1 、前記第2光源の波長 λ_2 、前記第3光源の波長 λ_3 、前記第1保護基板の厚さ t_1 、前記第2保護基板の厚さ t_2 、前記第3保護基板の厚さ t_3 、及び、前記対物レンズの所定の像側開口数 NA_1 、 NA_2 、 NA_3 が次式を満たすことを特徴とする請求項1または2に記載の光ピックアップ装置。

$$350\text{ nm} < \lambda_1 < 550\text{ nm}$$

$$600\text{ nm} < \lambda_2 < 700\text{ nm}$$

$$700\text{ nm} < \lambda_3 < 850\text{ nm}$$

$$0.0\text{ mm} \leq t_1 < 0.3\text{ mm}$$

$$0.5\text{ mm} < t_2 < 0.7\text{ mm}$$

$$1.0\text{ mm} < t_3 < 1.3\text{ mm}$$

$$0.99 > NA_1 \geq 0.80$$

$$0.80 > NA_2 \geq 0.55$$

$$0.55 > NA_3 \geq 0.40$$

【請求項 4】

前記対物レンズの前記波長 λ_1 における焦点距離を f_1 (mm)、中心厚さを d (mm)、前記対物レンズに入射する前記波長 λ_1 の光束の径を Φ_1 (mm)、前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの作動距離を f_{B3} (mm)としたとき、次式を満たすことを特徴とする請求項3に記載の光ピックアップ装置。

$$0.7 < d / f_1 < 1.5$$

$$2.8 < \Phi_1 < 5.8$$

$$f_{B3} > 0.2$$

【請求項 5】

前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの結像倍率を m_3 としたとき、次式を満たすことを特徴とする請求項3または4に記載の光ピックアップ装置。

$$-1 < m_3 < 0$$

【請求項 6】

前記第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの結像倍率を m_2 としたとき、次式を満たすことを特徴とする請求項3乃至5のいずれか1項に記載の光ピックアップ装置。

10

20

30

40

50

$$-1 < m_2 < 0$$

【請求項 7】

前記対物レンズはプラスチック材料から形成されたことを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置。

【請求項 8】

前記対物レンズはガラス材料から形成されたことを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置。

【請求項 9】

前記対物レンズはガラス転移点 T_g が 400°C 以下のガラス材料から形成されたことを特徴とする請求項 8 に記載の光ピックアップ装置。

10

【請求項 10】

前記基板厚差補正手段は、同心円状の複数の輪帯からなる回折構造が形成された少なくとも 1 つの回折面を有することを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置。

【請求項 11】

前記回折構造は、入射する光束の波長が長くなる方向に変化した場合に、球面収差が補正不足方向に変化するような球面収差特性を有することを特徴とする請求項 10 に記載の光ピックアップ装置。

【請求項 12】

前記回折構造は前記対物レンズの少なくとも 1 つの光学面上に形成されたことを特徴とする請求項 10 または 11 に記載の光ピックアップ装置。

20

【請求項 13】

前記基板厚差補正手段は、光軸方向に変移することで、前記対物レンズに入射する光束のマージナル光線の傾角を変化させることができる少なくとも 1 つの可動光学素子と、前記可動光学素子を光軸方向に変移させるための駆動手段と、を備えることを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置。

【請求項 14】

前記基板厚差補正手段は、少なくとも 1 つの屈折率分布可変材料層と、電場または磁場または熱を印加するための印加手段と、を備え、前記屈折率分布可変材料層に前記印加手段により電場または磁場または熱を印加することにより前記屈折率分布可変材料層の屈折率分布を変化させることを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置。

30

【請求項 15】

前記第 1 光情報記録媒体に情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの結像倍率を m_1 、前記第 2 光情報記録媒体に情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの結像倍率を m_2 、前記第 3 光情報記録媒体に情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの結像倍率を m_3 としたとき、前記 m_1 、 m_2 、 m_3 のうち少なくとも 2 つの結像倍率の値を異なるようにすることで、前記第 1 保護基板乃至第 3 保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差を補正することを特徴とする請求項 1 乃至 14 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置。

40

【請求項 16】

前記第 1 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数 NA_1 が 0.8 以上であって、

前記第 1 保護基板乃至第 3 保護基板のうち、前記第 1 保護基板の厚さ誤差に起因して変化する球面収差を補正するための基板厚誤差補正手段を、前記第 1 光源からの光束が通過する光路中に有することを特徴とする請求項 1 乃至 15 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置。

【請求項 17】

前記第 1 光情報記録媒体は、同一光束入射面側に複数の情報記録層を有する構造を有し、前記第 1 光情報記録媒体の各々の情報記録層の情報記録面に、前記第 1 光源からの光束

50

を集光させる際に、前記第 1 光情報記録媒体の光束入射面から各々の情報記録面までの保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差を、前記基板厚誤差補正手段で補正することを特徴とする請求項 16 に記載の光ピックアップ装置。

【請求項 18】

前記基板厚誤差補正手段は、光軸方向に変移することで、前記対物レンズに入射する前記第 1 光源からの光束のマージナル光線の傾角を変化させることができる少なくとも 1 つの可動光学素子と、前記可動光学素子を光軸方向に変移させるための駆動手段と、を備えることを特徴とする請求項 16 または 17 に記載の光ピックアップ装置。

【請求項 19】

前記基板厚誤差補正手段は、前記第 1 光源からの発散光束の発散角を変化させるためのカップリングレンズであって、前記カップリングレンズを構成する光学素子のうち少なくとも 1 つが前記可動光学素子であることを特徴とする請求項 18 に記載の光ピックアップ装置。 10

【請求項 20】

前記基板厚誤差補正手段は、少なくとも 1 つの正レンズ群と、少なくとも 1 つの負レンズ群とから構成され、略平行光束である入射光束を略平行光束として射出することのできるビームエキスパンダ、及び／または、ビームシュリンカであって、前記正レンズ群、及び前記負レンズ群のうち少なくとも 1 つのレンズ群が前記可動光学素子であることを特徴とする請求項 18 に記載の光ピックアップ装置。

【請求項 21】

前記基板厚差補正手段は、少なくとも 1 つの屈折率分布可変材料層と、電場または磁場または熱を印加するための印加手段と、を備え、前記屈折率分布可変材料層に前記印加手段により電場または磁場または熱を印加することにより前記屈折率分布可変材料層の屈折率分布を変化させることを特徴とする請求項 16 または 17 に記載の光ピックアップ装置。 20

【請求項 22】

前記第 1 光源の波長 λ_1 が 550 nm より短く、

前記第 1 光源の微小な波長変化に起因する前記対物レンズの色収差を補正するための色収差補正手段を、前記第 1 光源からの光束が通過する光路中に有することを特徴とする請求項 1 乃至 21 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置。

【請求項 23】

前記第 1 光源乃至第 3 光源からの各光束がすべて通過する共通の光路に、前記色収差補正手段を配置したことを特徴とする請求項 22 に記載の光ピックアップ装置。 30

【請求項 24】

前記色収差補正手段は、同心円状の複数の輪帯からなる回折構造が形成された回折面を有する 2 つの光学素子が、前記回折面を互いに対向するように近接して配置された構造を有し、前記 2 つの光学素子の材料は前記波長 λ_1 近傍の波長領域で所定の屈折率差を有するとともに、前記 2 つの光学素子の材料の前記波長 λ_2 近傍の波長領域、及び λ_3 近傍の波長領域での屈折率差が略零であることを特徴とする請求項 23 に記載の光ピックアップ装置。

【請求項 25】

前記色収差補正手段は、同心円状の複数の輪帯からなる回折構造を有し、前記回折構造に前記第 1 光源からの波長 λ_1 の第 1 光束が入射した場合に発生する前記第 1 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_1 、前記回折構造に前記第 2 光源からの波長 λ_2 の第 2 光束が入射した場合に発生する前記第 2 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_2 、前記回折構造に前記第 3 光源からの波長 λ_3 の第 3 光束が入射した場合に発生する前記第 3 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_3 とするとき、 40

$$|n_1| > |n_2| \geq |n_3|$$

を満たすことを特徴とする請求項 23 に記載の光ピックアップ装置。

【請求項 26】

前記回折構造は前記対物レンズの少なくとも1つの光学面上に形成されたことを特徴とする請求項25に記載の光ピックアップ装置。

【請求項27】

前記第1光源からの光束のみが通過し、かつ、前記第2光源及び前記第3光源からの光束は通過しない光路に、前記色収差補正手段を配置したことを特徴とする請求項22に記載の光ピックアップ装置。

【請求項28】

前記色収差補正手段は、同心円状の複数の輪帯からなる回折構造が形成された少なくとも1つの回折面を有し、第*i*回折面の回折構造により透過波面に付加される光路差を、

$$\Phi_{bi} = n_i \cdot (b_{2i} \cdot h_i^2 + b_{4i} \cdot h_i^4 + b_{6i} \cdot h_i^6 + \dots)$$

10

により定義される光路差関数で表す場合に（ここで、 n_i は、前記第*i*回折面の回折構造に前記波長 λ_1 の光束が入射した場合に発生する、前記波長 λ_1 の光束の回折光のうち最大の回折光量を有する回折光の回折次数、 h_i は光軸からの高さ（mm）、 b_{2i} 、 b_{4i} 、 b_{6i} 、 $\dots$ はそれぞれ2次、4次、6次、 $\dots$ の光路差関数係数（回折面係数ともいう）である）、

$$PD = \Sigma (-2 \cdot n_i \cdot b_{2i})$$

により定義される回折構造のみのパワー（ mm^{-1} ）が次式を満たすことを特徴とする請求項27に記載の光ピックアップ装置。

$$1.50 \times 10^{-2} < PD < 15.0 \times 10^{-2}$$

【請求項29】

20

前記色収差補正手段は、相対的にアッベ数の大きい正レンズ群と相対的にアッベ数の小さい負レンズ群とから構成され、前記正レンズ群のアッベ数 v_{dP} 及び前記負レンズ群のアッベ数 v_{dN} が次式を満たすことを特徴とする請求項27に記載の光ピックアップ装置。

$$v_{dP} > 55$$

$$v_{dN} < 35$$

【請求項30】

前記第1光源の波長が+1nm変化した場合の、前記対物レンズと前記色収差補正手段とを合わせた光学系の近軸焦点位置の変化量 $\Delta f_{B_{0BJ+CA}}$ が次式を満たすことを特徴とする請求項22乃至29のいずれか1項に記載の光ピックアップ装置。

$$|\Delta f_{B_{0BJ+CA}} \cdot NA_1^2| < 0.15 \text{ (}\mu\text{m)}$$

30

【請求項31】

前記第1光情報記録媒体乃至前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数をそれぞれ NA_1 、 NA_2 、 NA_3 としたとき、

$$NA_1 > NA_2 > NA_3$$

を満たし、前記 NA_1 と NA_2 と NA_3 との開口切替手段を備えることを特徴とする請求項1乃至30のいずれか1項に記載の光ピックアップ装置。

【請求項32】

前記開口切替手段は、前記第1光源乃至前記第3光源からの各光束がすべて通過する共通の光路に配置されることを特徴とする請求項31に記載の光ピックアップ装置。

40

【請求項33】

前記開口切替手段は、同心円状の複数の輪帯からなる回折構造が形成された少なくとも1つの回折面を有し、前記第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合に、前記対物レンズの像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する前記開口切替手段の領域を通過する波長 λ_2 の光束をフレア成分とし、及び／または、前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合に、前記対物レンズの像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する前記開口切替手段の領域を通過する波長 λ_3 の光束をフレア成分とすることを特徴とする請求項31または32に記載の光ピックアップ装置。

【請求項34】

前記開口切替手段と前記対物レンズとを合わせた光学系において、前記像側開口数 NA_2

50

と前記第2保護基板の厚さ t_2 と前記第2光源の波長 λ_2 との組合せにおける波面収差が $0.07\lambda_2 \text{ rms}$ より小さいとともに、前記像側開口数 NA_1 と前記第2保護基板の厚さ t_2 と前記第2光源の波長 λ_2 との組合せにおける波面収差が $0.07\lambda_2 \text{ rms}$ より大きく、及び／または、前記像側開口数 NA_3 と前記第3保護基板の厚さ t_3 と前記第3光源の波長 λ_3 との組合せにおける波面収差が $0.07\lambda_3 \text{ rms}$ より小さいとともに、前記像側開口数 NA_1 と前記第3保護基板の厚さ t_3 と前記第3光源の波長 λ_3 との組合せにおける波面収差が $0.07\lambda_3 \text{ rms}$ より大きいことを特徴とする請求項33に記載の光ピックアップ装置。

【請求項35】

前記開口切替手段は、前記第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合に、前記対物レンズの像側開口数 NA_2 内に対応する前記開口切替手段の領域に入射する波長 λ_2 の光束を透過するとともに、前記対物レンズの像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する前記開口切替手段の領域に入射する波長 λ_2 の光束を遮断し、及び／または、前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合に、前記対物レンズの像側開口数 NA_3 内に対応する前記開口切替手段の領域に入射する波長 λ_3 の光束を透過するとともに、前記対物レンズの像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する前記開口切替手段の領域に入射する波長 λ_3 の光束を遮断するような波長選択性を有することを特徴とする請求項31または32に記載の光ピックアップ装置。

【請求項36】

前記開口切替手段は、前記対物レンズの少なくとも1つの光学面上に形成されたことを特徴とする請求項31乃至35のいずれか1項に記載の光ピックアップ装置。

【請求項37】

前記開口切替手段は、前記対物レンズの光束入射面側に配置されるとともに、前記対物レンズと一体となってトラッキングを行うことを特徴とする請求項32に記載の光ピックアップ装置。

【請求項38】

前記対物レンズは、前記像側開口数 NA_1 と前記第1保護基板の厚さ t_1 と前記第1光源の波長 λ_1 との組合せにおいて球面収差が最小となるように収差補正され、前記第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合に、前記第2保護基板と前記第1保護基板との厚さの違いに起因して変化する球面収差を前記基板厚差補正手段で補正するとともに、前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合に、前記第3保護基板と前記第1保護基板との厚さの違いに起因して変化する球面収差を前記基板厚差補正手段で補正することを特徴とする請求項1乃至37のいずれか1項に記載の光ピックアップ装置。

【請求項39】

前記第1光源乃至第3光源のうち少なくとも2つの光源はユニット化されたことを特徴とする請求項1乃至38のいずれか1項に記載の光ピックアップ装置。

【請求項40】

前記基板厚差補正手段と、前記基板厚誤差補正手段と、前記色収差補正手段と、前記開口切替手段のうち、少なくとも2つは一体化されたことを特徴とする請求項1乃至39のいずれか1項に記載の光ピックアップ装置。

【請求項41】

請求項1乃至40のいずれか1項に記載の光ピックアップ装置を搭載したことを特徴とする、音声、及び／または、画像の記録装置、及び／または、音声、及び／または、画像の再生装置。

【請求項42】

波長 λ_1 の第1光源からの光束を用いて厚さ t_1 の第1保護基板を有する第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$) の第2光源からの光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$) の第2保護基板を有する第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$) の第3光源からの光

10

20

30

40

50

束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$) の第 3 保護基板を有する第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う光ピックアップ装置であって、

前記光ピックアップ装置は、前記第 1 光情報記録媒体乃至前記第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録について、共通の対物レンズを用い、

前記光ピックアップ装置は、前記第 1 光源乃至第 3 光源からの各光束がすべて通過する共通の光路中に配置された、前記第 1 保護基板乃至第 3 保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差を補正するための基板厚差補正手段を有し、

前記基板厚差補正手段は、同心円状の複数の輪帯からなる回折構造を有する回折光学素子であって、前記回折構造に前記第 1 光源からの波長 λ_1 の第 1 光束が入射した場合に発生する前記第 1 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_1 、前記回折構造に前記第 2 光源からの波長 λ_2 の第 2 光束が入射した場合に発生する前記第 2 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_2 、前記回折構造に前記第 3 光源からの波長 λ_3 の第 3 光束が入射した場合に発生する前記第 3 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_3 とするとき、

$$|n_1| > |n_2|$$

かつ

$$|n_1| > |n_3|$$

を満たすとともに、

前記波長 λ_1 の光束により、前記第 1 光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数を NA_1 、前記波長 λ_2 の光束により、前記第 2 光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数を NA_2 、前記波長 λ_3 の光束により、前記第 3 光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数を NA_3 、とするとき、

前記対物レンズは、前記第 1 光束の n_1 次回折光を、前記第 1 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／又は記録を行うために、前記開口数 NA_1 内で、良好な波面を形成するように、前記第 1 光情報記録媒体の情報記録面上に集光でき、前記第 2 光束の n_2 次回折光を、前記第 2 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／又は記録を行うために、前記開口数 NA_2 内で、良好な波面を形成するように、前記第 2 光情報記録媒体の情報記録面上に集光でき、前記第 3 光束の n_3 次回折光を、前記第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／又は記録を行うために、前記開口数 NA_3 内で、良好な波面を形成するように、前記第 3 光情報記録媒体の情報記録面上に集光できることを特徴とする光ピックアップ装置。

【請求項 4 3】

前記回折構造が波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化されているとともに、次式を満たすことを特徴とする請求項 4 2 に記載の光ピックアップ装置。

$$300 \text{ nm} < \lambda_B < 500 \text{ nm}$$

【請求項 4 4】

次式を満たすことを特徴とする請求項 4 3 に記載の光ピックアップ装置。

$$|n_1| \leq 10$$

【請求項 4 5】

前記回折構造が波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化されているとともに、次式を満たすことを特徴とする請求項 4 2 乃至 4 4 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置。

$$380 \text{ nm} < \lambda_1 < 420 \text{ nm}$$

$$630 \text{ nm} < \lambda_2 < 670 \text{ nm}$$

$$760 \text{ nm} < \lambda_3 < 800 \text{ nm}$$

$$340 \text{ nm} < \lambda_B < 440 \text{ nm}$$

$$|n_1| = 2$$

$$|n_2| = 1$$

$$|n_3| = 1$$

【請求項 4 6】

10

20

30

40

50

次式を満たすことを特徴とする請求項 4 5 に記載の光ピックアップ装置。

$$350\text{ nm} < \lambda_B < 420\text{ nm}$$

【請求項 4 7】

前記回折構造が波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化されているとともに、次式を満たすことを特徴とする請求項 4 2 乃至 4 4 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置。

$$380\text{ nm} < \lambda_1 < 420\text{ nm}$$

$$630\text{ nm} < \lambda_2 < 670\text{ nm}$$

$$760\text{ nm} < \lambda_3 < 800\text{ nm}$$

$$400\text{ nm} < \lambda_B < 430\text{ nm}$$

$$|n_1| = 6$$

$$|n_2| = 4$$

$$|n_3| = 3$$

【請求項 4 8】

次式を満たすことを特徴とする請求項 4 7 に記載の光ピックアップ装置。

$$405\text{ nm} < \lambda_B < 425\text{ nm}$$

【請求項 4 9】

前記回折構造が波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化されているとともに、次式を満たすことを特徴とする請求項 4 2 乃至 4 4 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置。

$$380\text{ nm} < \lambda_1 < 420\text{ nm}$$

$$630\text{ nm} < \lambda_2 < 670\text{ nm}$$

$$760\text{ nm} < \lambda_3 < 800\text{ nm}$$

$$390\text{ nm} < \lambda_B < 420\text{ nm}$$

$$|n_1| = 8$$

$$|n_2| = 5$$

$$|n_3| = 4$$

【請求項 5 0】

次式を満たすことを特徴とする請求項 4 9 に記載の光ピックアップ装置。

$$395\text{ nm} < \lambda_B < 415\text{ nm}$$

【請求項 5 1】

前記回折構造が波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化されているとともに、次式を満たすことを特徴とする請求項 4 2 乃至 4 4 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置。

$$380\text{ nm} < \lambda_1 < 420\text{ nm}$$

$$630\text{ nm} < \lambda_2 < 670\text{ nm}$$

$$760\text{ nm} < \lambda_3 < 800\text{ nm}$$

$$390\text{ nm} < \lambda_B < 420\text{ nm}$$

$$|n_1| = 10$$

$$|n_2| = 6$$

$$|n_3| = 5$$

【請求項 5 2】

次式を満たすことを特徴とする請求項 5 1 に記載の光ピックアップ装置。

$$395\text{ nm} < \lambda_B < 412\text{ nm}$$

【請求項 5 3】

前記回折構造は正のパワーを有することを特徴とする請求項 4 2 乃至 5 2 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置。

【請求項 5 4】

波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化された前記回折構造の前記複数の輪帯の各位置を、

$$\Phi_b = n_1 \cdot (b_2 \cdot h^2 + b_4 \cdot h^4 + b_6 \cdot h^6 + \dots)$$

により定義される光路差関数で表す場合に（ここで、 h は光軸からの高さ（mm）、 b_2 、 b_4 、 b_6 、 $\dots$ はそれぞれ 2 次、4 次、6 次、 $\dots$ の光路差関数係数（回折面係数ともいう）である）、

10

20

30

40

50

$$PD = \Sigma (-2 \cdot n_1 \cdot b_2)$$

により定義される回折構造のみのパワー (mm^{-1}) が次式を満たすことを特徴とする請求項 53 に記載の光ピックアップ装置。

$$0.5 \times 10^{-2} < PD < 5.0 \times 10^{-2}$$

【請求項 55】

前記対物レンズは屈折型対物レンズであって、前記屈折型対物レンズの光束入射側に前記回折光学素子が配置されることを特徴とする請求項 42 乃至 54 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置。

【請求項 56】

前記回折構造は、平面上に形成されたことを特徴する請求項 55 に記載の光ピックアップ装置。 10

【請求項 57】

前記回折構造は、非球面上に形成されたことを特徴する請求項 55 に記載の光ピックアップ装置。

【請求項 58】

前記回折光学素子は、前記屈折型対物レンズと一体となってトラッキング駆動されることを特徴とする請求項 55 乃至 57 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置。

【請求項 59】

前記回折光学素子は、前記対物レンズと一体に形成され、前記回折構造は前記対物レンズの光源側の光学面を含む、少なくとも 1 つの光学面上に形成されたことを特徴とする請求項 42 乃至 54 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置。 20

【請求項 60】

前記像側開口数 NA_1 乃至 NA_3 は、
 $NA_1 > NA_2 > NA_3$

を満たすとともに、

前記光ピックアップ装置は、前記第 1 光源乃至第 3 光源からの各光束がすべて通過する共通の光路中に配置された、 NA_1 と NA_2 と NA_3 との開口切替手段を有することを特徴とする請求項 42 乃至 59 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置。

【請求項 61】

前記開口切替手段は、前記対物レンズと一体となってトラッキング駆動されることを特徴とする請求項 60 に記載の光ピックアップ装置。 30

【請求項 62】

前記開口切替手段は、前記基板厚差補正手段と同一の回折光学素子であって、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する、前記開口切替手段の領域を通過した前記波長 λ_2 の光束は、前記第 2 光情報記録媒体の情報記録面上まで到達するとともに、前記波長 λ_2 の光束は、前記像側開口数 NA_1 内で、前記第 2 光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.07\lambda_2 \text{ rms}$ より大きい状態であり、かつ前記波長 λ_2 の光束は、前記像側開口数 NA_2 内で、前記第 2 光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.07\lambda_2 \text{ rms}$ より小さい状態であることを特徴とする請求項 60 または 61 に記載の光ピックアップ装置。 40

【請求項 63】

前記波長 λ_2 の光束は、前記像側開口数 NA_1 内で、前記第 2 光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.20\lambda_2 \text{ rms}$ より大きい状態であることを特徴とする請求項 62 に記載の光ピックアップ装置。

【請求項 64】

前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する、前記開口切替手段の領域を通過した前記波長 λ_3 の光束は、前記第 3 光情報記録媒体の情報記録面上まで到達するとともに、前記波長 λ_3 の光束は、前記像側開口数 NA_1 内で、前記第 3 光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.07\lambda_3 \text{ rms}$ より大きい状態であり、かつ前記波長 λ_3 の光束は、前記像側開口数 NA_3 内で、前記第 3 光情報記録媒体の情報記録面 50

上において、波面収差が 0.07λ 3rms より小さい状態であることを特徴とする請求項 62 または 63 に記載の光ピックアップ装置。

【請求項 65】

前記波長 λ_3 の光束は、前記像側開口数 NA_1 内で、前記第 3 光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が 0.20λ 3rms より大きい状態であることを特徴とする請求項 64 に記載の光ピックアップ装置。

【請求項 66】

前記開口切替手段は、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する、前記開口切替手段の領域に入射する前記波長 λ_2 の光束を遮断して、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する、前記開口切替手段の領域に入射する前記波長 λ_2 の光束が前記第 2 光情報記録媒体の情報記録面上まで到達しないようにすることが可能であることを特徴とする請求項 60 または 61 に記載の光ピックアップ装置。

10

【請求項 67】

前記開口切替手段は、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する、前記開口切替手段の領域に入射する波長 λ_1 の光束を透過するとともに、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する、前記開口切替手段の領域に入射する波長 λ_2 の光束を遮断するような波長選択性を有することを特徴とする請求項 66 に記載の光ピックアップ装置。

【請求項 68】

前記開口切替手段は、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する、前記開口切替手段の領域に入射する前記波長 λ_3 の光束を遮断して、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する、前記開口切替手段の領域に入射する前記波長 λ_3 の光束が前記第 3 光情報記録媒体の情報記録面上まで到達しないようにすることが可能であることを特徴とする請求項 60、61、66、67 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置。

20

【請求項 69】

前記開口切替手段は、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する、前記開口切替手段の領域に入射する波長 λ_1 の光束を透過するとともに、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する、前記開口切替手段の領域に入射する波長 λ_3 の光束を遮断するような波長選択性を有することを特徴とする請求項 68 に記載の光ピックアップ装置。

30

【請求項 70】

前記開口切替手段は、前記対物レンズの光学面上に形成された波長選択フィルタであることを特徴とする請求項 66 乃至 69 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置。

【請求項 71】

前記対物レンズは、1 つのレンズ群から構成されたことを特徴とする請求項 42 乃至 70 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置。

【請求項 72】

前記対物レンズの前記波長 λ_1 における焦点距離を f_1 (mm)、中心厚さを d (mm)、前記対物レンズに入射する前記波長 λ_1 の光束の径を Φ_1 (mm)、前記第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの作動距離を f_{B3} (mm) としたとき、次式を満たすことを特徴とする請求項 71 に記載の光ピックアップ装置。

40

$$0.7 < d / f_1 < 1.5$$

$$2.8 < \Phi_1 < 5.8$$

$$f_{B3} > 0.2$$

【請求項 73】

前記第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの結像倍率を m_3 とした場合に、次式を満たすことを特徴とする請求項 72 に記載の光ピックアップ装置。

50

$$m_3 < 0$$

【請求項 7 4】

次式を満たすことを特徴とする請求項 7 3 に記載の光ピックアップ装置。

$$-0.25 < m_3 < -0.05$$

【請求項 7 5】

前記第 2 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの結像倍率を m_2 とした場合に、次式を満たすことを特徴とする請求項 7 3 または 7 4 に記載の光ピックアップ装置。

$$m_2 < 0$$

【請求項 7 6】

次式を満たすことを特徴とする請求項 7 5 に記載の光ピックアップ装置。

$$-0.20 < m_2 < -0.02$$

【請求項 7 7】

前記対物レンズは、プラスチック材料から形成されたことを特徴とする請求項 4 2 乃至 7 6 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置。

【請求項 7 8】

前記対物レンズは、ガラス材料から形成されたことを特徴とする請求項 4 2 乃至 7 6 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置。

【請求項 7 9】

前記対物レンズはガラス転移点 T_g が 400°C 以下であるガラス材料から形成されたことを特徴とする請求項 7 8 に記載の光ピックアップ装置。

【請求項 8 0】

次式を満たすことを特徴とする請求項 4 2 乃至 7 9 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置。

$$380\text{ nm} < \lambda_1 < 420\text{ nm}$$

$$630\text{ nm} < \lambda_2 < 670\text{ nm}$$

$$760\text{ nm} < \lambda_3 < 800\text{ nm}$$

$$0.0\text{ mm} \leq t_1 < 0.3\text{ mm}$$

$$0.5\text{ mm} < t_2 < 0.7\text{ mm}$$

$$1.0\text{ mm} < t_3 < 1.3\text{ mm}$$

$$0.99 > NA_1 \geq 0.70$$

$$0.70 > NA_2 \geq 0.55$$

$$0.55 > NA_3 \geq 0.40$$

【請求項 8 1】

前記第 1 光源乃至第 3 光源のうち少なくとも 2 つの光源はユニット化されたことを特徴とする請求項 4 2 乃至 8 0 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置。

【請求項 8 2】

請求項 4 2 乃至 8 1 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置を搭載したことを特徴とする、音声及び／または画像の記録装置、及び／または、音声及び／または画像の再生装置。

【請求項 8 3】

波長 λ_1 の第 1 光源からの光束を用いて厚さ t_1 の第 1 保護基板を有する第 1 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$) の第 2 光源からの光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$) の第 2 保護基板を有する第 2 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$) の第 3 光源からの光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$) の第 3 保護基板を有する第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う光ピックアップ装置用の対物レンズであって、

前記対物レンズは、少なくとも 1 つの光学面上に、同心円状の複数の輪帯からなる回折構造を有し、

前記回折構造に前記第 1 光源からの波長 λ_1 の第 1 光束が入射した場合に発生する前記

10

20

30

40

50

第 1 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_1 、

前記回折構造に前記第 2 光源からの波長 λ_2 の第 2 光束が入射した場合に発生する前記第 2 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_2 、

前記回折構造に前記第 3 光源からの波長 λ_3 の第 3 光束が入射した場合に発生する前記第 3 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_3 、

前記波長 λ_1 の光束により、前記第 1 光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数を NA_1 、

前記波長 λ_2 の光束により、前記第 2 光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数を NA_2 、

前記波長 λ_3 の光束により、前記第 3 光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数を NA_3 、
とするとき、

$$|n_1| > |n_2|$$

かつ

$$|n_1| > |n_3|$$

を満たすとともに、

前記対物レンズは、前記第 1 光束の n_1 次回折光を、前記第 1 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／又は記録を行うために、前記開口数 NA_1 内で、良好な波面を形成するように、前記第 1 光情報記録媒体の情報記録面上に集光でき、前記第 2 光束の n_2 次回折光を、前記第 2 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／又は記録を行うために、前記開口数 NA_2 内で、良好な波面を形成するように、前記第 2 光情報記録媒体の情報記録面上に集光でき、前記第 3 光束の n_3 次回折光を、前記第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／又は記録を行うために、前記開口数 NA_3 内で、良好な波面を形成するように、前記第 3 情報記録媒体の情報記録面上に集光できることを特徴とする対物レンズ。

【請求項 84】

波長 λ_1 の第 1 光源からの光束を用いて厚さ t_1 の第 1 保護基板を有する第 1 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$) の第 2 光源からの光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$) の第 2 保護基板を有する第 2 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$) の第 3 光源からの光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$) の第 3 保護基板を有する第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う光ピックアップ装置用の対物レンズであって、

前記波長 λ_1 の光束により、前記第 1 光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数を NA_1 、

前記波長 λ_2 の光束により、前記第 2 光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数を NA_2 、

前記波長 λ_3 の光束により、前記第 3 光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数を NA_3 、
とするとき、

前記対物レンズの少なくとも 1 つの光学面は、前記第 1 乃至第 3 光情報記録媒体のすべてに対して再生及び／または記録を行うために用いられる前記開口数 NA_3 内に対応する共通領域と、該共通領域よりも周辺側に位置し、少なくとも前記第 1 光情報記録媒体に対して再生及び／または記録を行うために用いられる周辺領域の、少なくとも 2 つの領域からなり、

前記共通領域には、同心円状の複数の輪帯からなる回折構造が形成され、

前記共通領域に形成された回折構造に光源からの波長 λ_1 の第 1 光束が入射した場合に発生する前記第 1 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_1 、

前記共通領域に形成された回折構造に前記第 2 光源からの波長 λ_2 の第 2 光束が入射した場合に発生する前記第 2 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_2 、

前記共通領域に形成された回折構造に前記第 3 光源からの波長 λ_3 の第 3 光束が入射した場合に発生する前記第 3 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_3 、

とするとき、

$$|n_1| > |n_2|$$

かつ

$$|n_1| > |n_3|$$

を満たすとともに、

前記対物レンズは、前記共通領域で発生する前記第 1 の光束の n_1 次回折光を、前記第 1 光情報記録媒体に対する情報の再生び／又は記録を行うために前記第 1 光情報記録媒体の情報記録面上に集光し、前記共通領域で発生する前記第 2 光束の n_2 次回折光を、前記第 2 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／又は記録を行うために前記第 2 光情報記録媒体の情報記録面上に集光し、前記共通領域で発生する前記第 3 光束の n_3 次回折光を、前記第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／又は記録を行うために前記第 3 光情報記録媒体の情報記録面上に集光することを特徴とする対物レンズ。

10

【請求項 85】

前記回折次数 n_1 乃至 n_3 は次式を満たすことを特徴とする請求項 83 または 84 に記載の対物レンズ。

$$|n_2| = \text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2)$$

$$|n_3| = \text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3)$$

20

$$|n_1| > |n_2| \geq |n_3|$$

ただし、 n_1 は 0、 ± 1 以外の整数であり、 $\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2)$ は $\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2$ を四捨五入して得られる整数であり、 $\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3)$ は $\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3$ を四捨五入して得られる整数である。

【請求項 86】

次式を満たすことを特徴とする請求項 85 に記載の対物レンズ。

$$|\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2) - (\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2)| < 0.4$$

$$|\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3) - (\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3)| < 0.4$$

【請求項 87】

前記回折構造に入射する前記波長 λ_1 の光束の光量を $I_{IN}(\lambda_1)$ 、該 $I_{IN}(\lambda_1)$ の光量を有する前記波長 λ_1 の光束が前記回折構造を通過した後の光量を $I_{OUT}(\lambda_1)$ 、前記回折構造に入射する前記波長 λ_2 の光束の光量を $I_{IN}(\lambda_2)$ 、該 $I_{IN}(\lambda_2)$ の光量を有する前記波長 λ_2 の光束が前記回折構造を通過した後の光量を $I_{OUT}(\lambda_2)$ 、前記回折構造に入射する前記波長 λ_3 の光束の光量を $I_{IN}(\lambda_3)$ 、該 $I_{IN}(\lambda_3)$ の光量を有する前記波長 λ_3 の光束が前記回折構造を通過した後の光量を $I_{OUT}(\lambda_3)$ としたとき、次式を満たすことを特徴とする請求項 83 乃至 86 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

30

$$I_{OUT}(\lambda_1) / I_{IN}(\lambda_1) > 0.7$$

$$I_{OUT}(\lambda_2) / I_{IN}(\lambda_2) > 0.7$$

$$I_{OUT}(\lambda_3) / I_{IN}(\lambda_3) > 0.7$$

40

【請求項 88】

前記回折構造は、波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化されているとともに、次式を満たすことを特徴とする請求項 83 乃至 87 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

$$300 \text{ nm} < \lambda_B < 500 \text{ nm}$$

$$|n_1| \leq 10$$

【請求項 89】

前記回折構造は、波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化されているとともに、次式を満たすことを特徴とする請求項 83 乃至 88 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

$$380 \text{ nm} < \lambda_1 < 420 \text{ nm}$$

$$630 \text{ nm} < \lambda_2 < 670 \text{ nm}$$

50

$$\begin{aligned}
 760\text{ nm} < \lambda_3 < 800\text{ nm} \\
 340\text{ nm} < \lambda_B < 440\text{ nm} \\
 |n_1| &= 2 \\
 |n_2| &= 1 \\
 |n_3| &= 1
 \end{aligned}$$

【請求項 90】

次式を満たすことを特徴とする請求項 89 に記載の対物レンズ。

$$350\text{ nm} < \lambda_B < 420\text{ nm}$$

【請求項 91】

前記対物レンズは、前記波長 λ_1 より 5 nm 長い波長の光が入射した際に、球面収差が補正過剰方向に変化するような球面収差の波長依存性を有することを特徴とする請求項 89 または 90 に記載の対物レンズ。 10

【請求項 92】

前記対物レンズは、前記波長 λ_1 より 5 nm 長い波長の光が入射した際に、バックフォーカスが短くなる方向に変化するような軸上色収差の波長依存性を有し、前記波長 λ_1 より 5 nm 長い波長の光が入射した際のバックフォーカスの変化量を ΔCA 、前記波長 λ_1 より 5 nm 長い波長の光が入射した際の前記開口数 NA_1 に対応するマージナル光線の変化量を ΔSA としたとき、次式を満たすことを特徴とする請求項 91 に記載の対物レンズ。
 $-1 < \Delta CA / \Delta SA < 0$

【請求項 93】

波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化された前記回折構造の前記複数の輪帯の各位置を、
 $\Phi_b = |n_1| \cdot (b_2 \cdot h^2 + b_4 \cdot h^4 + b_6 \cdot h^6 + \dots)$
 により定義される光路差関数で表す場合に（ここで、 h は光軸からの高さ (mm)、 b_2 、 b_4 、 b_6 、 $\dots$ はそれぞれ 2 次、4 次、6 次、 $\dots$ の光路差関数係数（回折面係数ともいう）である）、
 $PD = \Sigma (-2 \cdot |n_1| \cdot b_2)$
 により定義される回折構造のみのパワー (mm^{-1}) が次式を満たすことを特徴とする請求項 89 乃至 92 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

$$0.5 \times 10^{-2} < PD < 5.0 \times 10^{-2}$$

【請求項 94】

前記回折構造は、波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化されているとともに、次式を満たすことを特徴とする請求項 83 乃至 88 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。 30

$$\begin{aligned}
 380\text{ nm} < \lambda_1 < 420\text{ nm} \\
 630\text{ nm} < \lambda_2 < 670\text{ nm} \\
 760\text{ nm} < \lambda_3 < 800\text{ nm} \\
 400\text{ nm} < \lambda_B < 430\text{ nm} \\
 |n_1| &= 6 \\
 |n_2| &= 4 \\
 |n_3| &= 3
 \end{aligned}$$

【請求項 95】

次式を満たすことを特徴とする請求項 94 に記載の対物レンズ。 40

$$405\text{ nm} < \lambda_B < 425\text{ nm}$$

【請求項 96】

前記対物レンズは、前記波長 λ_1 より 5 nm 長い波長の光が入射した際に、球面収差が補正不足方向に変化するような球面収差の波長依存性を有することを特徴とする請求項 94 または 95 に記載の対物レンズ。

【請求項 97】

前記対物レンズは、前記波長 λ_1 より 5 nm 長い波長の光が入射した際に、バックフォーカスが長くなる方向に変化するような軸上色収差の波長依存性を有し、前記波長 λ_1 より 5 nm 長い波長の光が入射した際のバックフォーカスの変化量を ΔCA 、前記波長 λ_1 より 50

り 5 nm 長い波長の光が入射した際の前記開口数 NA_1 に対応するマージナル光線の変化量を ΔSA としたとき、次式を満たすことを特徴とする請求項 96 に記載の対物レンズ。

$$-1 < \Delta CA / \Delta SA < 0$$

【請求項 98】

波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化された前記回折構造の前記複数の輪帯の各位置を、
 $\Phi_b = |n_1| \cdot (b_2 \cdot h^2 + b_4 \cdot h^4 + b_6 \cdot h^6 + \dots)$

により定義される光路差関数で表す場合に（ここで、 h は光軸からの高さ (mm)、 b_2 、 b_4 、 b_6 、 $\dots$ はそれぞれ 2 次、4 次、6 次、 $\dots$ の光路差関数係数（回折面係数ともいう）である）、

$$PD = \Sigma (-2 \cdot |n_1| \cdot b_2)$$

により定義される回折構造のみのパワー (mm^{-1}) が次式を満たすことを特徴とする請求項 94 乃至 97 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

$$-5.0 \times 10^{-2} < PD < 2.0 \times 10^{-2}$$

【請求項 99】

前記回折構造は、波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化されているとともに、次式を満たすことを特徴とする請求項 83 乃至 88 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

$$380 \text{ nm} < \lambda_1 < 420 \text{ nm}$$

$$630 \text{ nm} < \lambda_2 < 670 \text{ nm}$$

$$760 \text{ nm} < \lambda_3 < 800 \text{ nm}$$

$$390 \text{ nm} < \lambda_B < 420 \text{ nm}$$

$$|n_1| = 8$$

$$|n_2| = 5$$

$$|n_3| = 4$$

【請求項 100】

次式を満たすことを特徴とする請求項 99 に記載の対物レンズ。

$$395 \text{ nm} < \lambda_B < 415 \text{ nm}$$

【請求項 101】

前記回折構造は、波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化されているとともに、次式を満たすことを特徴とする請求項 83 乃至 88 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

$$380 \text{ nm} < \lambda_1 < 420 \text{ nm}$$

$$630 \text{ nm} < \lambda_2 < 670 \text{ nm}$$

$$760 \text{ nm} < \lambda_3 < 800 \text{ nm}$$

$$390 \text{ nm} < \lambda_B < 420 \text{ nm}$$

$$|n_1| = 10$$

$$|n_2| = 6$$

$$|n_3| = 5$$

【請求項 102】

次式を満たすことを特徴とする請求項 101 に記載の対物レンズ。

$$395 \text{ nm} < \lambda_B < 412 \text{ nm}$$

【請求項 103】

前記対物レンズは、1 つのレンズ群から構成されたことを特徴とする請求項 83 乃至 102 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

【請求項 104】

前記対物レンズの前記波長 λ_1 における焦点距離を f_1 (mm)、中心厚さを d (mm)、前記対物レンズに入射する前記波長 λ_1 の光束の径を Φ_1 (mm)、前記第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの作動距離を f_{B3} (mm) としたとき、次式を満たすことを特徴とする請求項 103 に記載の対物レンズ。

$$0.7 < d / f_1 < 1.5$$

$$2.8 < \Phi_1 < 5.8$$

10

20

30

40

50

$$f B 3 > 0.2$$

【請求項 105】

前記第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの結像倍率を $m 3$ とした場合に、次式を満たすことを特徴とする請求項 83 乃至 104 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

$$m 3 < 0$$

【請求項 106】

次式を満たすことを特徴とする請求項 105 に記載の対物レンズ。

$$-0.25 < m 3 < -0.05$$

【請求項 107】

前記第 2 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの結像倍率を $m 2$ とした場合に、次式を満たすことを特徴とする請求項 105 または 106 に記載の対物レンズ。

$$m 2 < 0$$

【請求項 108】

次式を満たすことを特徴とする請求項 107 に記載の対物レンズ。

$$-0.20 < m 2 < -0.02$$

【請求項 109】

前記像側開口数 $NA 1$ 及び $NA 2$ は、

$$NA 1 > NA 2$$

を満たすとともに、前記対物レンズの前記像側開口数 $NA 2$ 内に対応する領域を通過した前記波長 $\lambda 2$ の光束は、前記像側開口数 $NA 2$ 内で、前記第 2 光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.07 \lambda 2 \text{ rms}$ より小さい状態であり、かつ、前記対物レンズの前記像側開口数 $NA 2$ から $NA 1$ に対応する領域を通過した前記波長 $\lambda 2$ の光束は、前記第 2 光情報記録媒体の情報記録面上まで到達するとともに、前記波長 $\lambda 2$ の光束は、前記像側開口数 $NA 1$ 内で、前記第 2 光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.07 \lambda 2 \text{ rms}$ より大きい状態であることを特徴とする請求項 83 乃至 108 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

【請求項 110】

前記波長 $\lambda 2$ の光束は、前記像側開口数 $NA 2$ 内で、前記第 2 光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.05 \lambda 2 \text{ rms}$ より小さい状態であり、かつ、前記像側開口数 $NA 1$ 内で、前記第 2 光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.20 \lambda 2 \text{ rms}$ より大きい状態であることを特徴とする請求項 109 に記載の対物レンズ。

【請求項 111】

前記対物レンズの前記像側開口数 $NA 2$ 内に対応する領域を通過した前記波長 $\lambda 2$ の光束の前記第 2 光情報記録媒体の情報記録面上での球面収差と、前記対物レンズの前記像側開口数 $NA 2$ から $NA 1$ に対応する領域を通過した前記波長 $\lambda 2$ の光束の前記第 2 光情報記録媒体の情報記録面上での球面収差は、前記像側開口数 $NA 2$ において不連続であることを特徴とする請求項 109 または 110 に記載の対物レンズ。

【請求項 112】

前記回折構造が形成された前記対物レンズの光学面において、前記像側開口数 $NA 2$ 内に対応する領域に形成された回折構造に、前記第 1 光源からの波長 $\lambda 1$ の第 1 光束が入射した場合に発生する前記第 1 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数と、前記像側開口数 $NA 2$ から $NA 1$ に対応する領域に形成された回折構造に、前記第 1 光源からの波長 $\lambda 1$ の第 1 光束が入射した場合に発生する前記第 1 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数は、互いに異なる次数であって、

前記像側開口数 $NA 2$ 内に対応する領域に形成された回折構造と、前記像側開口数 $NA 2$ から $NA 1$ に対応する領域に形成された回折構造は、互いに異なる次数で最適化されていることを特徴とする請求項 109 乃至 111 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

【請求項 113】

前記回折構造が形成された前記対物レンズの光学面において、前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に形成された回折構造は、波長 λ_1 、所定の回折次数で最適化されていることを特徴とする請求項 109 乃至 112 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

【請求項 114】

前記対物レンズは、

$NA_1 > NA_2$

を満たすとともに、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に入射する前記波長 λ_2 の光束を遮断して、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に入射する前記波長 λ_2 の光束が前記第 2 光情報記録媒体の情報記録面上まで到達しないようにすることが可能な開口切替手段を有することを特徴とする請求項 83 乃至 108 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

10

【請求項 115】

前記開口切替手段は、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に入射する波長 λ_1 の光束を透過するとともに、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に入射する波長 λ_2 の光束を遮断するような波長選択性を有することを特徴とする請求項 114 に記載の対物レンズ。

【請求項 116】

前記開口切替手段は、前記対物レンズの光学面上に形成された波長選択フィルタであることを特徴とする請求項 114 または 115 に記載の対物レンズ。

【請求項 117】

20

前記対物レンズの像側開口数 NA_1 、 NA_2 、 NA_3 は、

$NA_1 > NA_2 > NA_3$

を満たすとともに、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 内に対応する領域を通過した前記波長 λ_3 の光束は、前記像側開口数 NA_3 内で、前記第 3 光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.07\lambda_3 \text{ rms}$ より小さい状態であり、かつ、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域を通過した前記波長 λ_3 の光束は、前記第 3 光情報記録媒体の情報記録面上まで到達するとともに、前記波長 λ_3 の光束は、前記像側開口数 NA_1 内で、前記第 3 光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.07\lambda_3 \text{ rms}$ より大きい状態であることを特徴とする請求項 109 乃至 116 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

30

【請求項 118】

前記波長 λ_3 の光束は、前記像側開口数 NA_3 内で、前記第 3 光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.05\lambda_3 \text{ rms}$ より小さい状態であり、かつ、前記像側開口数 NA_1 内で、前記第 3 光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.20\lambda_3 \text{ rms}$ より大きい状態であることを特徴とする請求項 117 に記載の対物レンズ。

【請求項 119】

前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 内に対応する領域を通過した前記波長 λ_3 の光束の前記第 3 光情報記録媒体の情報記録面上での球面収差と、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域を通過した前記波長 λ_3 の光束の前記第 3 光情報記録媒体の情報記録面上での球面収差は、前記像側開口数 NA_3 において不連続であることを特徴とする請求項 117 または 118 に記載の対物レンズ。

40

【請求項 120】

前記回折構造が形成された前記対物レンズの光学面において、前記像側開口数 NA_3 内に対応する領域に形成された回折構造に、前記第 1 光源からの波長 λ_1 の第 1 光束が入射した場合に発生する前記第 1 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数と、前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域に形成された回折構造に、前記第 1 光源からの波長 λ_1 の第 2 光束が入射した場合に発生する前記第 1 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数は、互いに異なる次数であって、

前記像側開口数 NA_3 内に対応する領域に形成された回折構造と、前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域に形成された回折構造は、互いに異なる次数で最適化されて

50

いることを特徴とする請求項 1 1 7 乃至 1 1 9 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

【請求項 1 2 1】

前記回折構造が形成された前記対物レンズの光学面において、前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に形成された回折構造は、波長 λ_1 、所定の回折次数で最適化されていることを特徴とする請求項 1 1 7 乃至 1 2 0 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

【請求項 1 2 2】

前記対物レンズは、

$$NA_1 > NA_2 > NA_3$$

を満たすとともに、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域に入射する前記波長 λ_3 の光束を遮断して、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域に入射する前記波長 λ_3 の光束が前記第 3 光情報記録媒体の情報記録面上まで到達しないようにすることが可能な開口切替手段を有することを特徴とする請求項 1 0 9 乃至 1 1 6 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。 10

【請求項 1 2 3】

前記開口切替手段は、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域に入射する波長 λ_1 の光束と波長 λ_2 の光束とを透過するとともに、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域に入射する波長 λ_3 の光束を遮断するような波長選択性を有することを特徴とする請求項 1 2 2 に記載の対物レンズ。

【請求項 1 2 4】

前記開口切替手段は、前記対物レンズの光学面上に形成された波長選択フィルタであることを特徴とする請求項 1 2 2 または 1 2 3 に記載の対物レンズ。 20

【請求項 1 2 5】

プラスチック材料から形成されたことを特徴とする請求項 8 3 乃至 1 2 4 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

【請求項 1 2 6】

ガラス材料から形成されたことを特徴とする請求項 8 3 乃至 1 2 4 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

【請求項 1 2 7】

前記ガラス材料は、ガラス転移点 T_g が 400°C 以下であることを特徴とする請求項 1 2 6 に記載の対物レンズ。 30

【請求項 1 2 8】

次式を満たすことを特徴とする請求項 8 3 乃至 1 2 7 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

$$380\text{ nm} < \lambda_1 < 420\text{ nm}$$

$$630\text{ nm} < \lambda_2 < 670\text{ nm}$$

$$760\text{ nm} < \lambda_3 < 800\text{ nm}$$

$$0.0 \leq t_1 < 0.3$$

$$0.5 \leq t_2 < 0.7$$

$$1.0 \leq t_3 < 1.3$$

$$0.99 > NA_1 \geq 0.70$$

$$0.70 > NA_2 \geq 0.55$$

$$0.55 > NA_3 \geq 0.40$$

【請求項 1 2 9】

波長 λ_1 の第 1 光源からの光束を用いて厚さ t_1 の第 1 保護基板を有する第 1 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$) の第 2 光源からの光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$) の第 2 保護基板を有する第 2 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$) の第 3 光源からの光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$) の第 3 保護基板を有する第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う光ピックアップ装置であって、請求項 8 3 乃至 1 2 8 のいずれか 1 項に記載の対物レンズを備えたことを特徴とする光ピックアップ装置。 40 50

【請求項 130】

請求項 129 に記載の光ピックアップ装置を搭載したことを特徴とする、音声、及び／または、画像の記録装置、及び／または、音声、及び／または、画像の再生装置。

【請求項 131】

波長 λ_1 の第 1 光源からの光束を用いて厚さ t_1 の第 1 保護基板を有する第 1 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$) の第 2 光源からの光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$) の第 2 保護基板を有する第 2 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$) の第 3 光源からの光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$) の第 3 保護基板を有する第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う光ピックアップ装置用の対物レンズであって、

10

前記対物レンズは、屈折型レンズと、前記屈折型レンズの光束入射面側に配置され、少なくとも 1 つの光学面上に、同心円状の複数の輪帯からなる回折構造を有する回折光学素子とから構成された複合型対物レンズであって、

前記回折構造に前記第 1 光源からの波長 λ_1 の第 1 光束が入射した場合に発生する前記第 1 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_1 、

前記回折構造に前記第 2 光源からの波長 λ_2 の第 2 光束が入射した場合に発生する前記第 2 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_2 、

前記回折構造に前記第 3 光源からの波長 λ_3 の第 3 光束が入射した場合に発生する前記第 3 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_3 、

前記波長 λ_1 の光束により、前記第 1 光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数を NA_1 、

20

前記波長 λ_2 の光束により、前記第 2 光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数を NA_2 、

前記波長 λ_3 の光束により、前記第 3 光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数を NA_3 、

とするとき、

$$|n_1| > |n_2|$$

かつ

$$|n_1| > |n_3|$$

を満たすとともに、

30

前記対物レンズは、前記第 1 光束の n_1 次回折光を、前記第 1 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／又は記録を行うために、前記開口数 NA_1 内で、良好な波面を形成するように、前記第 1 光情報記録媒体の情報記録面上に集光でき、前記第 2 光束の n_2 次回折光を、前記第 2 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／又は記録を行うために、前記開口数 NA_2 内で、良好な波面を形成するように、前記第 2 光情報記録媒体の情報記録面上に集光でき、前記第 3 光束の n_3 次回折光を、前記第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／又は記録を行うために、前記開口数 NA_3 内で、良好な波面を形成するように、前記第 3 光情報記録媒体の情報記録面上に集光できることを特徴とする対物レンズ。

【請求項 132】

波長 λ_1 の第 1 光源からの光束を用いて厚さ t_1 の第 1 保護基板を有する第 1 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$) の第 2 光源からの光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$) の第 2 保護基板を有する第 2 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$) の第 3 光源からの光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$) の第 3 保護基板を有する第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う光ピックアップ装置用の対物レンズであって、

40

前記対物レンズは、屈折型レンズと、前記屈折型レンズの光束入射面側に配置された回折光学素子とから構成された複合型対物レンズであって、

前記波長 λ_1 の光束により、前記第 1 光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数を NA_1 、

前記波長 λ_2 の光束により、前記第 2 光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うの

50

に必要な前記対物レンズの所定の像側開口数を NA_2 、

前記波長 λ_3 の光束により、前記第 3 光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数を NA_3 、
とするとき、

前記回折光学素子の少なくとも 1 つの光学面は、前記第 1 乃至第 3 光情報記録媒体のすべてに対して再生及び／または記録を行うために用いられる前記開口数 NA_3 内に対応する共通領域と、該共通領域よりも周辺側に位置し、少なくとも前記第 1 光情報記録媒体に対して再生及び／または記録を行うために用いられる周辺領域の、少なくとも 2 つの領域からなり、

前記共通領域には、同心円状の複数の輪帯からなる回折構造が形成され、

前記共通領域に形成された回折構造に光源からの波長 λ_1 の第 1 光束が入射した場合に発生する前記第 1 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_1

、
前記共通領域に形成された回折構造に前記第 2 光源からの波長 λ_2 の第 2 光束が入射した場合に発生する前記第 2 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_2 、

前記共通領域に形成された回折構造に前記第 3 光源からの波長 λ_3 の第 3 光束が入射した場合に発生する前記第 3 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_3 、

とするとき、

$$|n_1| > |n_2|$$

かつ

$$|n_1| > |n_3|$$

を満たすとともに、

前記対物レンズは、前記共通領域で発生する前記第 1 光束の n_1 次回折光を、前記第 1 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／又は記録を行うために前記第 1 光情報記録媒体の情報記録面上に集光し、前記共通領域で発生する前記第 2 光束の n_2 次回折光を、前記第 2 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／又は記録を行うために前記第 2 光情報記録媒体の情報記録面上に集光し、前記共通領域で発生する前記第 3 光束の n_3 次回折光を、前記第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／又は記録を行うために前記第 3 光情報

【請求項 1 3 3】

前記回折次数 n_1 乃至 n_3 は次式を満たすことを特徴とする請求項 1 3 1 または 1 3 2 に記載の対物レンズ。

$$|n_2| = \text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2)$$

$$|n_3| = \text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3)$$

$$|n_1| > |n_2| \geq |n_3|$$

ただし、 n_1 は 0、 ± 1 以外の整数であり、 $\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2)$ は $\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2$ を四捨五入して得られる整数であり、 $\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3)$ は $\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3$ を四捨五入して得られる整数である。

【請求項 1 3 4】

次式を満たすことを特徴とする請求項 1 3 3 に記載の対物レンズ。

$$|\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2) - (\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2)| < 0.4$$

$$|\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3) - (\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3)| < 0.4$$

【請求項 1 3 5】

前記回折構造に入射する前記波長 λ_1 の光束の光量を $I_{IN}(\lambda_1)$ 、該 $I_{IN}(\lambda_1)$ の光量を有する前記波長 λ_1 の光束が前記回折構造を通過した後の光量を $I_{OUT}(\lambda_1)$ 、前記回折構造に入射する前記波長 λ_2 の光束の光量を $I_{IN}(\lambda_2)$ 、該 $I_{IN}(\lambda_2)$ の光量を有する前記波長 λ_2 の光束が前記回折構造を通過した後の光量を $I_{OUT}(\lambda_2)$ 、前記回折構造に入射する前記波長 λ_3 の光束の光量を $I_{IN}(\lambda_3)$ 、該 $I_{IN}(\lambda_3)$ の光量を

有する前記波長 λ_3 の光束が前記回折構造を通過した後の光量を $I_{OUT}(\lambda_3)$ としたとき、次式を満たすことを特徴とする請求項131乃至134のいずれか1項に記載の対物レンズ。

$$I_{OUT}(\lambda_1) / I_{IN}(\lambda_1) > 0.7$$

$$I_{OUT}(\lambda_2) / I_{IN}(\lambda_2) > 0.7$$

$$I_{OUT}(\lambda_3) / I_{IN}(\lambda_3) > 0.7$$

【請求項136】

前記回折構造は、波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化されているとともに、次式を満たすことを特徴とする請求項131乃至135のいずれか1項に記載の対物レンズ。

$$300\text{ nm} < \lambda_B < 500\text{ nm}$$

$$|n_1| \leq 10$$

【請求項137】

前記回折構造は、波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化されているとともに、次式を満たすことを特徴とする請求項131乃至136のいずれか1項に記載の対物レンズ。

$$380\text{ nm} < \lambda_1 < 420\text{ nm}$$

$$630\text{ nm} < \lambda_2 < 670\text{ nm}$$

$$760\text{ nm} < \lambda_3 < 800\text{ nm}$$

$$340\text{ nm} < \lambda_B < 440\text{ nm}$$

$$|n_1| = 2$$

$$|n_2| = 1$$

$$|n_3| = 1$$

【請求項138】

次式を満たすことを特徴とする請求項137に記載の対物レンズ。

$$350\text{ nm} < \lambda_B < 420\text{ nm}$$

【請求項139】

前記対物レンズは、前記波長 λ_1 より5nm長い波長の光が入射した際に、球面収差が補正過剰方向に変化するような球面収差の波長依存性を有することを特徴とする請求項137または138に記載の対物レンズ。

【請求項140】

前記対物レンズは、前記波長 λ_1 より5nm長い波長の光が入射した際に、バックフォーカスが短くなる方向に変化するような軸上色収差の波長依存性を有し、前記波長 λ_1 より5nm長い波長の光が入射した際のバックフォーカスの変化量を ΔCA 、前記波長 λ_1 より5nm長い波長の光が入射した際の前記開口数 NA_1 に対応するマージナル光線の変化量を ΔSA としたとき、次式を満たすことを特徴とする請求項139に記載の対物レンズ。

$$-1 < \Delta CA / \Delta SA < 0$$

【請求項141】

波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化された前記回折構造の前記復数の輪帯の各位置を、 $\Phi_b = |n_1| \cdot (b_2 \cdot h^2 + b_4 \cdot h^4 + b_6 \cdot h^6 + \dots)$

により定義される光路差関数で表す場合に（ここで、 h は光軸からの高さ（mm）、 b_2 、 b_4 、 b_6 、 $\dots$ はそれぞれ2次、4次、6次、 $\dots$ の光路差関数係数（回折面係数ともいう）である）、

$$PD = \Sigma (-2 \cdot |n_1| \cdot b_2)$$

により定義される回折構造のみのパワー（ mm^{-1} ）が次式を満たすことを特徴とする請求項137乃至140のいずれか1項に記載の対物レンズ。

$$0.5 \times 10^{-2} < PD < 5.0 \times 10^{-2}$$

【請求項142】

前記回折構造は、波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化されているとともに、次式を満たすことを特徴とする請求項131乃至136のいずれか1項に記載の対物レンズ。

$$380\text{ nm} < \lambda_1 < 420\text{ nm}$$

10

20

30

40

50

$$\begin{aligned}
 630\text{ nm} < \lambda_2 < 670\text{ nm} \\
 760\text{ nm} < \lambda_3 < 800\text{ nm} \\
 400\text{ nm} < \lambda_B < 430\text{ nm} \\
 |n_1| &= 6 \\
 |n_2| &= 4 \\
 |n_3| &= 3
 \end{aligned}$$

【請求項 143】

次式を満たすことを特徴とする請求項 142 に記載の対物レンズ。

$$405\text{ nm} < \lambda_B < 425\text{ nm}$$

【請求項 144】

前記対物レンズは、前記波長 λ_1 より 5 nm 長い波長の光が入射した際に、球面収差が補正不足方向に変化するような球面収差の波長依存性を有することを特徴とする請求項 142 または 143 に記載の対物レンズ。

【請求項 145】

前記対物レンズは、前記波長 λ_1 より 5 nm 長い波長の光が入射した際に、バックフォーカスが長くなる方向に変化するような軸上色収差の波長依存性を有し、

前記波長 λ_1 より 5 nm 長い波長の光が入射した際のバックフォーカスの変化量を ΔC_A 、

前記波長 λ_1 より 5 nm 長い波長の光が入射した際の前記開口数 NA_1 に対応するマージナル光線の変化量を ΔSA としたとき、次式を満たすことを特徴とする請求項 144 に記載の対物レンズ。

$$-1 < \Delta C_A / \Delta SA < 0$$

【請求項 146】

波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化された前記回折構造の前記複数の輪帯の各位置を、
 $\Phi_b = |n_1| \cdot (b_2 \cdot h^2 + b_4 \cdot h^4 + b_6 \cdot h^6 + \dots)$

により定義される光路差関数で表す場合に（ここで、 h は光軸からの高さ (mm)、 b_2 、 b_4 、 $b_6 \dots$ はそれぞれ 2 次、4 次、6 次、 $\dots$ の光路差関数係数（回折面係数ともいう）である）、

$$PD = \Sigma (-2 \cdot |n_1| \cdot b_2)$$

により定義される回折構造のみのパワー (mm^{-1}) が次式を満たすことを特徴とする請求項 142 乃至 145 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

$$-5.0 \times 10^{-2} < PD < 2.0 \times 10^{-2}$$

【請求項 147】

前記回折構造は、波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化されているとともに、次式を満たすことを特徴とする請求項 131 乃至 136 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

$$\begin{aligned}
 380\text{ nm} < \lambda_1 < 420\text{ nm} \\
 630\text{ nm} < \lambda_2 < 670\text{ nm} \\
 760\text{ nm} < \lambda_3 < 800\text{ nm} \\
 390\text{ nm} < \lambda_B < 420\text{ nm} \\
 |n_1| &= 8 \\
 |n_2| &= 5 \\
 |n_3| &= 4
 \end{aligned}$$

【請求項 148】

次式を満たすことを特徴とする請求項 147 に記載の対物レンズ。

$$395\text{ nm} < \lambda_B < 415\text{ nm}$$

【請求項 149】

前記回折構造は、波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化されているとともに、次式を満たすことを特徴とする請求項 131 乃至 136 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

$$\begin{aligned}
 380\text{ nm} < \lambda_1 < 420\text{ nm} \\
 630\text{ nm} < \lambda_2 < 670\text{ nm}
 \end{aligned}$$

$$760\text{ nm} < \lambda < 800\text{ nm}$$

$$390\text{ nm} < \lambda_B < 420\text{ nm}$$

$$|n_1| = 1.0$$

$$|n_2| = 6$$

$$|n_3| = 5$$

【請求項150】

次式を満たすことを特徴とする請求項149に記載の対物レンズ。

$$395\text{ nm} < \lambda_B < 412\text{ nm}$$

【請求項151】

前記屈折型レンズの近軸パワーを P_1 (mm^{-1})、前記回折光学素子の近軸パワーを P_2 (mm^{-1}) としたとき、次式

$$|P_1 / P_2| \leq 0.2$$

を満たすことを特徴とする請求項131乃至150のいずれか1項に記載の対物レンズ。

【請求項152】

前記回折光学素子を透過して前記屈折型レンズに入射する光束のマージナル光線が収斂光線であることを特徴とする請求項131乃至151のいずれか1項に記載の対物レンズ。

【請求項153】

前記回折構造は、平面上に形成されたことを特徴する請求項131乃至152のいずれか1項に記載の対物レンズ。

【請求項154】

前記回折構造は、非球面上に形成されたことを特徴する請求項131乃至152のいずれか1項に記載の対物レンズ。

【請求項155】

少なくとも2つの光学面上に、前記回折構造が形成されたことを特徴とする請求項131乃至154のいずれか1項に記載の対物レンズ。

【請求項156】

前記回折光学素子はプラスチック材料から形成されたことを特徴する請求項131乃至155のいずれか1項に記載の対物レンズ。

【請求項157】

前記屈折型レンズは、プラスチック材料から形成されたことを特徴とする請求項131乃至156のいずれか1項に記載の対物レンズ。

【請求項158】

前記屈折型レンズは、ガラス材料から形成されたことを特徴とする請求項131乃至156のいずれか1項に記載の対物レンズ。

【請求項159】

前記ガラス材料は、ガラス転移点 T_g が 400°C 以下であることを特徴とする請求項158に記載の対物レンズ。

【請求項160】

光束を規制する絞りが、前記回折光学素子の前記屈折型レンズ側に位置する光学面と、前記屈折型レンズの前記回折光学素子側に位置する光学面との間に配置されたことを特徴とする請求項131乃至159のいずれか1項に記載の対物レンズ。

【請求項161】

前記屈折型レンズは、所定の結像倍率 m 、前記波長 λ_1 、前記第1保護基板の厚さ t_1 、前記像側開口数 NA_1 の組合せに対してその波面収差が $0.07\lambda_1 \text{ rms}$ 以下となるように収差補正されていることを特徴とする請求項131乃至160のいずれか1項に記載の対物レンズ。

【請求項162】

前記回折光学素子は、前記屈折型レンズと一体となってトラッキング駆動されることを特徴とする請求項131乃至161のいずれか1項に記載の対物レンズ。

【請求項163】

前記回折光学素子と前記屈折型レンズとはそれぞれ光学面と一体に成形されたフランジ部を有し、前記それぞれのフランジ部が嵌合されることで、前記回折光学素子と前記屈折型レンズとが一体化されることを特徴とする請求項 1 6 2 に記載の対物レンズ。

【請求項 1 6 4】

前記屈折型レンズは、1つのレンズ群から構成されたことを特徴とする請求項 1 3 1 乃至 1 6 3 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

【請求項 1 6 5】

前記屈折型レンズと前記回折光学素子とを合わせた前記対物レンズ全系の前記波長 λ_1 における焦点距離を f_1 (mm)、前記屈折型レンズの中心厚さを d (mm)、前記対物レンズに入射する前記波長 λ_1 の光束の径を Φ_1 (mm)、前記第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの作動距離を f_{B3} (mm) としたとき、次式を満たすことを特徴とする請求項 1 6 4 に記載の対物レンズ。 10

$$0.7 < d / f_1 < 1.5$$

$$2.8 < \Phi_1 < 5.8$$

$$f_{B3} > 0.2$$

【請求項 1 6 6】

前記第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの結像倍率を m_3 とした場合に、次式を満たすことを特徴とする請求項 1 3 1 乃至 1 6 5 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

$$m_3 < 0$$

20

【請求項 1 6 7】

次式を満たすことを特徴とする請求項 1 6 6 に記載の対物レンズ。

$$-0.25 < m_3 < -0.05$$

【請求項 1 6 8】

前記対物レンズにより前記第 3 光情報記録媒体の情報記録面上に集光された、光軸上に配置された前記第 3 光源からの光束の波面収差を前記像側開口数 NA_3 内で測定した際のコマ収差成分と、前記対物レンズにより前記第 3 光情報記録媒体の情報記録面上に集光された、光軸からその垂直方向に 0.2 mm 離れた位置に配置された前記第 3 光源からの光束の波面収差を前記像側開口数 NA_3 内で測定した際のコマ収差成分との差が、 $0.07\lambda_3 \text{ rms}$ より小さいことを特徴とする請求項 1 6 6 または 1 6 7 に記載の対物レンズ。 30

【請求項 1 6 9】

前記第 2 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの結像倍率を m_2 とした場合に、次式を満たすことを特徴とする請求項 1 6 6 乃至 1 6 8 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

$$m_2 < 0$$

【請求項 1 7 0】

次式を満たすことを特徴とする請求項 1 6 9 に記載の対物レンズ。

$$-0.20 < m_2 < -0.02$$

【請求項 1 7 1】

前記対物レンズにより前記第 2 光情報記録媒体の情報記録面上に集光された、光軸上に配置された前記第 2 光源からの光束の波面収差を前記像側開口数 NA_2 内で測定した際のコマ収差成分と、前記対物レンズにより前記第 2 光情報記録媒体の情報記録面上に集光された、光軸からその垂直方向に 0.2 mm 離れた位置に配置された前記第 2 光源からの光束の波面収差を前記像側開口数 NA_2 内で測定した際のコマ収差成分との差が、 $0.07\lambda_2 \text{ rms}$ より小さいことを特徴とする請求項 1 6 9 または 1 7 0 に記載の対物レンズ。 40

【請求項 1 7 2】

前記像側開口数 NA_1 及び NA_2 は、

$$NA_1 > NA_2$$

を満たすとともに、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 内に対応する領域を通過した前記波長 λ_2 の光束は、前記像側開口数 NA_2 内で、前記第 2 光情報記録媒体の情報記録 50

面上において、波面収差が $0.07\lambda_2 \text{ rms}$ より小さい状態であり、かつ、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域を通過した前記波長 λ_2 の光束は、前記第2光情報記録媒体の情報面上まで到達するとともに、前記波長 λ_2 の光束は、前記像側開口数 NA_1 内で、前記第2光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.07\lambda_2 \text{ rms}$ より大きい状態であることを特徴とする請求項131乃至171のいずれか1項に記載の対物レンズ。

【請求項173】

前記波長 λ_2 の光束は、前記像側開口数 NA_2 内で、前記第2光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.05\lambda_2 \text{ rms}$ より小さい状態であり、かつ、前記像側開口数 NA_1 内で、前記第2光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.20\lambda_2 \text{ rms}$ より大きい状態であることを特徴とする請求項172に記載の対物レンズ。 10

【請求項174】

前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 内に対応する領域を通過した前記波長 λ_2 の光束の前記第2光情報記録媒体の情報記録面上での球面収差と、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域を通過した前記波長 λ_2 の光束の前記第2光情報記録媒体の情報記録面上での球面収差は、前記像側開口数 NA_2 において不連続であることを特徴とする請求項172または173に記載の対物レンズ。

【請求項175】

前記回折構造が形成された前記回折光学素子の光学面において、前記像側開口数 NA_2 内に対応する領域に形成された回折構造に、前記第2光源からの波長 λ_2 の第2光束が入射した場合に発生する前記第2光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数と、前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に形成された回折構造に、前記第2光源からの波長 λ_2 の第2光束が入射した場合に発生する前記第2光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数は、互いに異なる次数であって、 20

前記像側開口数 NA_2 内に対応する領域に形成された回折構造と、前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に形成された回折構造は、互いに異なる次数で最適化されていることを特徴とする請求項172乃至174のいずれか1項に記載の対物レンズ。

【請求項176】

前記回折構造が形成された前記回折光学素子の光学面において、前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に形成された回折構造は、波長 λ_1 、所定の回折次数で最適化されていることを特徴とする請求項172乃至175のいずれか1項に記載の対物レンズ。 30

【請求項177】

前記対物レンズは、
 $NA_1 > NA_2$

を満たすとともに、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に入射する前記波長 λ_2 の光束を遮断して、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に入射する前記波長 λ_2 の光束が前記第2光情報記録媒体の情報記録面上まで到達しないようにすることが可能な開口切替手段を有することを特徴とする請求項131乃至171のいずれか1項に記載の対物レンズ。

【請求項178】

前記開口切替手段は、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に入射する波長 λ_1 の光束を透過するとともに、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に入射する波長 λ_2 の光束を遮断するような波長選択性を有することを特徴とする請求項177に記載の対物レンズ。 40

【請求項179】

前記開口切替手段は、前記対物レンズの光学面上に形成された波長選択フィルタであることを特徴とする請求項177または178に記載の対物レンズ。

【請求項180】

前記対物レンズの像側開口数 NA_1 、 NA_2 、 NA_3 は、
 $NA_1 > NA_2 > NA_3$

を満たすとともに、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 内に対応する領域を通過した前記波長 λ_3 の光束は、前記像側開口数 NA_3 内で、前記第3光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.07\lambda_3\text{rms}$ より小さい状態であり、かつ、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域を通過した前記波長 λ_3 の光束は、前記第3光情報記録媒体の情報記録面上まで到達するとともに、前記波長 λ_3 の光束は、前記像側開口数 NA_1 内で、前記第3光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.07\lambda_3\text{rms}$ より大きい状態であることを特徴とする請求項172乃至179のいずれか1項に記載の対物レンズ。

【請求項181】

前記波長 λ_3 の光束は、前記像側開口数 NA_3 内で、前記第3光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.05\lambda_3\text{rms}$ より小さい状態であり、かつ、前記像側開口数 NA_1 内で、前記第3光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.20\lambda_3\text{rms}$ より大きい状態であることを特徴とする請求項180に記載の対物レンズ。 10

【請求項182】

前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 内に対応する領域を通過した前記波長 λ_3 の光束の前記第3光情報記録媒体の情報記録面上での球面収差と、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域を通過した前記波長 λ_3 の光束の前記第3光情報記録媒体の情報記録面上での球面収差は、前記像側開口数 NA_3 において不連続であることを特徴とする請求項180または181に記載の対物レンズ。

【請求項183】

前記回折構造が形成された前記回折光学素子の光学面において、前記像側開口数 NA_3 内に対応する領域に形成された回折構造に、前記第3光源からの波長 λ_3 の第3光束が入射した場合に発生する前記第3光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数と、前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域に形成された回折構造に、前記第3光源からの波長 λ_3 の第2光束が入射した場合に発生する前記第3光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数は、互いに異なる次数であって、 20

前記像側開口数 NA_3 内に対応する領域に形成された回折構造と、前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域に形成された回折構造は、互いに異なる次数で最適化されていることを特徴とする請求項180乃至182のいずれか1項に記載の対物レンズ。

【請求項184】

前記回折構造が形成された前記回折光学素子の光学面において、前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に形成された回折構造は、波長 λ_1 、所定の回折次数で最適化されていることを特徴とする請求項180乃至183のいずれか1項に記載の対物レンズ。 30

【請求項185】

前記対物レンズは、

$$NA_1 > NA_2 > NA_3$$

を満たすとともに、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域に入射する前記波長 λ_3 の光束を遮断して、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域に入射する前記波長 λ_3 の光束が前記第3光情報記録媒体の情報記録面上まで到達しないようにすることが可能な開口切替手段を有することを特徴とする請求項172乃至179のいずれか1項に記載の対物レンズ。 40

【請求項186】

前記開口切替手段は、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域に入射する波長 λ_1 の光束と波長 λ_2 の光束とを透過するとともに、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域に入射する波長 λ_3 の光束を遮断するような波長選択性を有することを特徴とする請求項185に記載の対物レンズ。

【請求項187】

前記開口切替手段は、前記対物レンズの光学面上に形成された波長選択フィルタであることを特徴とする請求項185または186に記載の対物レンズ。

【請求項188】

次式を満たすことを特徴とする請求項 131 乃至 187 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

$$380\text{ nm} < \lambda_1 < 420\text{ nm}$$

$$630\text{ nm} < \lambda_2 < 670\text{ nm}$$

$$760\text{ nm} < \lambda_3 < 800\text{ nm}$$

$$0.0 \leq t_1 < 0.3$$

$$0.5 \leq t_2 < 0.7$$

$$1.0 \leq t_3 < 1.3$$

$$0.99 > \text{NA}_1 \geq 0.70$$

$$0.70 > \text{NA}_2 \geq 0.55$$

$$1.55 > \text{NA}_3 \geq 0.40$$

【請求項 189】

請求項 131 乃至 188 のいずれか 1 項に記載の対物レンズに適用可能な回折光学素子。

【請求項 190】

波長 λ_1 の第 1 光源からの光束を用いて厚さ t_1 の第 1 保護基板を有する第 1 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$) の第 2 光源からの光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$) の第 2 保護基板を有する第 2 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$) の第 3 光源からの光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$) の第 3 保護基板を有する第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う光ピックアップ装置であって、請求項 131 乃至 188 のいずれか 1 項に記載の対物レンズを備えたことを特徴とする光ピックアップ装置。

【請求項 191】

請求項 190 に記載の光ピックアップ装置を搭載したことを特徴とする、音声、及び／または、画像の記録装置、及び／または、音声、及び／または、画像の再生装置。

【請求項 192】

波長 λ_1 の第 1 光源からの光束を用いて厚さ t_1 の第 1 保護基板を有する第 1 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$) の第 2 光源からの光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$) の第 2 保護基板を有する第 2 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$) の第 3 光源からの光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$) の第 3 保護基板を有する第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う光ピックアップ装置用の対物レンズであって、

前記光ピックアップ装置は、前記第 1 保護基板乃至第 3 保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差を補正するための基板厚差補正手段を有し、

前記波長 λ_1 の光束により、前記第 1 光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数を NA_1 、

前記第 1 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの結像倍率を m_1 とした場合に、

前記対物レンズは、前記波長 λ_1 、前記第 1 保護基板の厚さ t_1 、前記像側開口数 NA_1 、前記結像倍率 m_1 の組み合わせにおいて、球面収差が最小にあるように最適化されたことを特徴とする対物レンズ。

【請求項 193】

前記対物レンズは、屈折型レンズであることを特徴とする請求項 192 に記載の対物レンズ。

【請求項 194】

前記対物レンズは、1 つのレンズ群から構成されたことを特徴とする請求項 192 または 193 に記載の対物レンズ。

【請求項 195】

前記対物レンズの前記波長 λ_1 における焦点距離を f_1 (mm)、中心厚さを d (mm)、前記対物レンズに入射する前記波長 λ_1 の光束の径を Φ_1 (mm)、前記第 1 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの作動距離を f

10

20

30

40

50

B 1 (mm) としたとき、次式を満たすことを特徴とする請求項 194 に記載の対物レンズ。

$$0.7 < d / f_1 < 1.5$$

$$2.8 < \Phi_1 < 5.8$$

$$f_{B1} > 0.5$$

【請求項 196】

プラスチック材料から形成されたことを特徴とする請求項 192 乃至 195 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

【請求項 197】

ガラス材料から形成されたことを特徴とする請求項 192 乃至 195 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。 10

【請求項 198】

前記ガラス材料は、ガラス転移点 T_g が 400°C 以下であることを特徴とする請求項 197 に記載の対物レンズ。

【請求項 199】

次式を満たすことを特徴とする請求項 192 乃至 198 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

$$380\text{ nm} < \lambda_1 < 420\text{ nm}$$

$$0.0\text{ mm} \leq t_1 < 0.3\text{ mm}$$

$$0.99 > NA_1 \geq 0.70$$

20

【請求項 200】

波長 λ_1 の第 1 光源からの光束を用いて厚さ t_1 の第 1 保護基板を有する第 1 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$) の第 2 光源からの光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$) の第 2 保護基板を有する第 2 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$) の第 3 光源からの光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$) の第 3 保護基板を有する第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う光ピックアップ装置であって、請求項 192 乃至 199 のいずれか 1 項に記載の対物レンズを備えたことを特徴とする光ピックアップ装置。

【請求項 201】

請求項 200 に記載の光ピックアップ装置を搭載したことを特徴とする、音声及び／または画像の記録装置、及び／または、音声及び／または画像の再生装置。 30

【請求項 202】

波長 λ_1 の第 1 光源からの第 1 光束を用いて厚さ t_1 の第 1 保護基板を有する第 1 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$) の第 2 光源からの第 2 光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$) の第 2 保護基板を有する第 2 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$) の第 3 光源からの第 3 光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$) の第 3 保護基板を有する第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、かつ、前記第 1 光情報記録媒体乃至前記第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録について、共通の対物レンズを用いる光ピックアップ装置用の光学素子であって、 40

前記光学素子の入射瞳面を、光軸近傍から外側に向かって順に、第 1 光束領域、第 2 光束領域、第 3 光束領域、の輪帯状の 3 つの光束領域に分割した場合に、前記各光束領域に入射した光束が通過する前記光学素子の領域をそれぞれ、光軸近傍から外側に向かって順に、第 1 光学領域、第 2 光学領域、第 3 光学領域、としたとき、

前記第 1 光学領域に入射した前記第 1 乃至第 3 光束は、それぞれ前記第 1 乃至第 3 光情報記録媒体の各情報記録面上に良好な波面を形成するように集光し、

かつ、前記第 2 光学領域に入射した前記第 1 及び第 2 光束は、それぞれ前記第 1 及び第 2 光情報記録媒体の各情報記録面上に良好な波面を形成するように集光するが、前記第 2 光学領域に入射した前記第 3 光束は、前記第 3 光情報記録媒体の情報記録面上に良好な波面を形成せず、

50

かつ、前記第3光学領域に入射した前記第1光束は、前記第1光情報記録媒体の情報記録面上に良好な波面を形成するように集光するが、前記第3光学領域に入射した前記第2及び第3光束は、それぞれ前記第2及び第3光情報記録媒体の各情報記録面上に良好な波面を形成しないことを特徴とする光学素子。

【請求項203】

波長 λ_1 の第1光源からの第1光束を用いて厚さ t_1 の第1保護基板を有する第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$)の第2光源からの第2光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$)の第2保護基板を有する第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$)の第3光源からの第3光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$)の第3保護基板を有する第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、かつ、前記第1光情報記録媒体乃至前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録について、共通の対物レンズを用いる光ピックアップ装置用の光学素子であって、

10

前記光学素子の入射瞳面を、光軸近傍から外側に向かって順に、第1光束領域、第2光束領域、第3光束領域、の輪帯状の3つの光束領域に分割した場合に、前記各光束領域に入射した光束が通過する前記光学素子の領域をそれぞれ、光軸近傍から外側に向かって順に、第1光学領域、第2光学領域、第3光学領域、としたとき、

前記第1光学領域に入射した前記第1乃至第3光束は、それぞれ前記第1乃至第3光情報記録媒体の各情報記録面上に良好な波面を形成するように集光し、

かつ、前記第2光学領域に入射した前記第1及び第2光束は、それぞれ前記第1及び第2光情報記録媒体の各情報記録面上に良好な波面を形成するように集光するが、前記第2光学領域に入射した前記第3光束は、遮断され前記第3光情報記録媒体の情報記録面に到達せず、

20

かつ、前記第3光学領域に入射した前記第1光束は、前記第1光情報記録媒体の情報記録面上に良好な波面を形成するように集光するが、前記第3光学領域に入射した前記第2光束は、前記第2光情報記録媒体の情報記録面上に良好な波面を形成しないとともに、前記第3光学領域に入射した前記第3光束は、遮断され前記第3光情報記録媒体の情報記録面に到達しないことを特徴とする光学素子。

【請求項204】

前記第2及び第3光学領域に入射した前記第3光束が、遮断され前記第3光情報記録媒体の情報記録面に到達しないようにすることができる光束切替手段を有する光ピックアップ装置に用いられることを特徴とする請求項203に記載の光学素子。

30

【請求項205】

前記光束切替手段は、前記光学素子の光学面上に形成された波長選択フィルタであることを特徴とする請求項204に記載の光学素子。

【請求項206】

波長 λ_1 の第1光源からの第1光束を用いて厚さ t_1 の第1保護基板を有する第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$)の第2光源からの第2光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$)の第2保護基板を有する第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$)の第3光源からの第3光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$)の第3保護基板を有する第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、かつ、前記第1光情報記録媒体乃至前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録について、共通の対物レンズを用いる光ピックアップ装置用の光学素子であって、

40

前記光学素子の入射瞳面を、光軸近傍から外側に向かって順に、第1光束領域、第2光束領域、第3光束領域、の輪帯状の3つの光束領域に分割した場合に、前記各光束領域に入射した光束が通過する前記光学素子の領域をそれぞれ、光軸近傍から外側に向かって順に、第1光学領域、第2光学領域、第3光学領域、としたとき、

前記第1光学領域に入射した前記第1乃至第3光束は、それぞれ前記第1乃至第3光情報記録媒体の各情報記録面上に良好な波面を形成するように集光し、

50

かつ、前記第 2 光学領域に入射した前記第 1 及び第 2 光束は、それぞれ前記第 1 及び第 2 光情報記録媒体の各情報記録面上に良好な波面を形成するように集光するが、前記第 2 光学領域に入射した前記第 3 光束は、遮断され前記第 3 光情報記録媒体の情報記録面に到達せず、

かつ、前記第 3 光学領域に入射した前記第 1 光束は、前記第 1 光情報記録媒体の情報記録面上に良好な波面を形成するように集光するが、前記第 3 光学領域に入射した前記第 2 及び第 3 光束は、ともに遮断されそれぞれ前記第 2 及び第 3 光情報記録媒体の情報記録面に到達しないことを特徴とする光学素子。

【請求項 207】

前記第 2 及び第 3 光学領域に入射した前記第 3 光束が、遮断され前記第 3 光情報記録媒体の情報記録面に到達しないようにするとともに、前記第 3 光学領域に入射した前記第 2 光束が、遮断され前記第 2 光情報記録媒体の情報記録面に到達しないようにすることができる光束切替手段を有する光ピックアップ装置に用いられることを特徴とする請求項 206 に記載の光学素子。 10

【請求項 208】

前記光束切替手段は、前記光学素子の光学面上に形成された波長選択フィルタであることを特徴とする請求項 207 に記載の光学素子。

【請求項 209】

前記光学素子は、対物レンズであることを特徴とする請求項 202 乃至 208 のいずれか 1 項に記載の光学素子。 20

【請求項 210】

前記光学素子は、前記対物レンズの光束入射面側に配置されたことを特徴とする請求項 202 乃至 209 のいずれか 1 項に記載の光学素子。

【請求項 211】

前記光学素子は、前記対物レンズと一体になってトラッキング駆動されることを特徴とする請求項 210 に記載の光学素子。

【請求項 212】

前記第 1 光束を用いて、前記第 1 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う際の前記対物レンズの所定の像側開口数を $NA1$ 、

前記第 2 光束を用いて、前記第 2 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う際の前記対物レンズの所定の像側開口数を $NA2$ ($NA2 < NA1$)、 30

前記第 3 光束を用いて、前記第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う際の前記対物レンズの所定の像側開口数を $NA3$ 、とするとき、

次式を満たすことを特徴とする請求項 202 乃至 211 のいずれか 1 項に記載の光学素子。

$$NA2 = N2 \cdot \sin \theta 2$$

$$NA3 = N3 \cdot \sin \theta 3$$

ただし、

$\sin \theta 2$ ：前記第 2 光学領域の最周辺を通過した前記第 2 光束のマージナル光線の、前記対物レンズ最終面からの、光軸を基準として測った出射角 $\theta 2$ (deg) の絶対値の正弦 40

$\sin \theta 3$ ：前記第 1 光学領域の最周辺を通過した前記第 3 光束のマージナル光線の、前記対物レンズ最終面からの、光軸を基準として測った出射角 $\theta 3$ (deg) の絶対値の正弦

$N2$ ：前記対物レンズの像側空間の前記波長 $\lambda 2$ における屈折率

$N3$ ：前記対物レンズの像側空間の前記波長 $\lambda 3$ における屈折率

【請求項 213】

前記第 1 乃至第 3 光学領域のうち、少なくとも 1 つの光学領域には、同心円状の複数の輪帯からなる回折構造が形成されたことを特徴とする請求項 202 乃至 212 のいずれか 1 項に記載の光学素子。

【請求項 2 1 4】

前記第 i 光学領域に形成された前記回折構造に、前記第 1 光束が入射した場合に発生する前記第 1 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_{i1} 、

前記第 i 光学領域に形成された前記回折構造に、前記第 2 光束が入射した場合に発生する前記第 2 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_{i2} 、としたとき、次式を満たすことを特徴とする請求項 2 1 3 に記載の光学素子。

$$|n_{i1}| > |n_{i2}| \quad (\text{ただし、} i \text{ は、} 1 \text{ または } 2 \text{ または } 3)$$

【請求項 2 1 5】

前記第 i 光学領域に形成された前記回折構造に、前記第 1 光束が入射した場合に発生する前記第 1 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_{i1} 、

前記第 i 光学領域に形成された前記回折構造に、前記第 3 光束が入射した場合に発生する前記第 2 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_{i3} 、としたとき、次式を満たすことを特徴とする請求項 2 1 4 に記載の光学素子。

$$|n_{i1}| > |n_{i3}| \quad (\text{ただし、} i \text{ は、} 1 \text{ または } 2 \text{ または } 3)$$

【請求項 2 1 6】

前記第 2 及び第 3 光学領域には、それぞれ同心円状の複数の輪帯からなる回折構造が形成され、

前記第 2 光学領域に形成された前記回折構造に、前記第 1 光束が入射した場合に発生する前記第 1 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_{21} 、

前記第 3 光学領域に形成された前記回折構造に、前記第 1 光束が入射した場合に発生する前記第 1 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_{31} 、としたとき、次式を満たすことを特徴とする請求項 2 1 3 乃至 2 1 5 のいずれか 1 項に記載の光学素子。

$$|n_{31}| \neq |n_{21}|$$

【請求項 2 1 7】

前記第 2 光学領域に形成された前記回折構造は、前記回折次数 n_{21} と波長 λ_{B2} で最適化され、かつ、前記第 3 光学領域に形成された前記回折構造は、前記回折次数 n_{31} と波長 λ_{B3} で最適化され、次式を満たすことを特徴とする請求項 2 1 6 に記載の光学素子。

$$\lambda_{B2} \neq \lambda_{B3}$$

【請求項 2 1 8】

次式を満たすことを特徴とする請求項 2 1 3 乃至 2 1 7 のいずれか 1 項に記載の回折光学素子。

$$380 \text{ nm} < \lambda_1 < 420 \text{ nm}$$

$$630 \text{ nm} < \lambda_2 < 670 \text{ nm}$$

$$760 \text{ nm} < \lambda_3 < 800 \text{ nm}$$

【請求項 2 1 9】

波長 λ_1 の第 1 光源からの第 1 光束を用いて厚さ t_1 の第 1 保護基板を有する第 1 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$) の第 2 光源からの第 2 光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$) の第 2 保護基板を有する第 2 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$) の第 3 光源からの第 3 光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$) の第 3 保護基板を有する第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、かつ、前記第 1 光情報記録媒体乃至前記第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録について、共通の対物レンズを用いる光ピックアップ装置であって、請求項 2 0 2 乃至 2 1 8 のいずれか 1 項に記載の光学素子を備えたことを特徴とする光ピックアップ装置。

【請求項 2 2 0】

請求項 2 1 9 に記載の光ピックアップ装置を搭載したことを特徴とする、音声及び／または画像の記録装置、及び／または、音声及び／または画像の再生装置。

【請求項 2 2 1】

光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行うための光ピックアップ装置に

において、

第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行うための波長 λ_1 の光束を発生する第1光源と、

第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行うための波長 λ_2 ($\lambda_2 > \lambda_1$)の光束を発生する第2光源と、

第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行うための波長 λ_3 ($\lambda_3 > \lambda_2$)の光束を発生する第3光源と、

入射光に対して所定の次数の回折光を発生する回折部と、

前記第1乃至第3情報記録媒体の情報記録面に、前記第1乃至第3光源からの光束をそれぞれ集光させるために、前記第1乃至第3情報記録媒体に対向する位置に配置される対物レンズと、を有する集光光学系と、を具備し、

前記波長 λ_1 の光束が前記回折部を通過することで発生する n_1 次回折光の回折光量が、前記波長 λ_1 の光束の他のいずれの次数の回折光の回折光量よりも大きい場合に、

前記波長 λ_2 の光束が前記回折部を通過することで発生する n_2 次回折光の回折光量が、前記波長 λ_2 の光束の他のいずれの次数の回折光の回折光量よりも大きく、

かつ、

前記波長 λ_3 の光束が前記回折部を通過することで発生する n_3 次回折光の回折光量が、前記波長 λ_3 の光束の他のいずれの次数の回折光の回折光量よりも大きく、

さらに、前記回折次数 n_1 乃至 n_3 は次式を満たすことを特徴とする光ピックアップ装置。

$$|n_2| = \text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2)$$

$$|n_3| = \text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3)$$

$$|n_1| > |n_2| \geq |n_3|$$

ただし、 n_1 は0、 ± 1 以外の整数であり、 $\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2)$ は $\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2$ を四捨五入して得られる整数であり、 $\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3)$ は $\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3$ を四捨五入して得られる整数である。

【請求項222】

次式を満たすことを特徴とする請求項221に記載の光ピックアップ装置。

$$|\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2) - (\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2)| < 0.4$$

$$|\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3) - (\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3)| < 0.4$$

【請求項223】

前記集光光学系は、前記第1の光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行うための光ビームとして、前記 n_1 次回折光を前記第1の光情報記録媒体の情報記録面上に集光し、前記第2の光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行うための光ビームとして、前記 n_2 次回折光を前記第2の光情報記録媒体の情報記録面上に集光し、前記第3の光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行うための光ビームとして、前記 n_3 次回折光を前記第3の光情報記録媒体の情報記録面上に集光することを特徴とする請求項221または222に記載の光ピックアップ装置。

【請求項224】

前記回折部に入射する前記波長 λ_1 の光束の光量を $I_{IN}(\lambda_1)$ 、該 $I_{IN}(\lambda_1)$ の光量を有する前記波長 λ_1 の光束が前記回折部を通過した後の光量を $I_{OUT}(\lambda_1)$ 、前記回折部に入射する前記波長 λ_2 の光束の光量を $I_{IN}(\lambda_2)$ 、該 $I_{IN}(\lambda_2)$ の光量を有する前記波長 λ_2 の光束が前記回折部を通過した後の光量を $I_{OUT}(\lambda_2)$ 、前記回折部に入射する前記波長 λ_3 の光束の光量を $I_{IN}(\lambda_3)$ 、該 $I_{IN}(\lambda_3)$ の光量を有する前記波長 λ_3 の光束が前記回折部を通過した後の光量を $I_{OUT}(\lambda_3)$ としたとき、次式を満たすことを特徴とする請求項221乃至223のいずれか1項に記載の光ピックアップ装置。

$$I_{OUT}(\lambda_1) / I_{IN}(\lambda_1) > 0.7$$

$$I_{OUT}(\lambda_2) / I_{IN}(\lambda_2) > 0.7$$

$$I_{OUT}(\lambda_3) / I_{IN}(\lambda_3) > 0.7$$

10

20

30

40

50

【請求項 2 2 5】

前記第 1 情報記録媒体は、情報記録面の光束入射面側に所定の厚さ t_1 を有する第 1 保護層を有し、

前記第 2 情報記録媒体は、情報記録面の光束入射面側に所定の厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$) を有する第 2 保護層を有し、

前記第 3 情報記録媒体は、情報記録面の光束入射面側に所定の厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$) を有する第 3 保護層を有し、

前記集光光学系は、前記波長 λ_1 の光束が前記回折部を通過することで発生する前記 n_1 次回折光を、前記第 1 保護層を介して前記第 1 情報記録媒体の情報記録面に波面収差が $0.07\lambda_1 \text{ rms}$ 以下の状態で集光し、

前記波長 λ_2 の光束が前記回折部を通過することで発生する前記 n_2 次回折光を、前記第 2 保護層を介して前記第 2 情報記録媒体の情報記録面に波面収差が $0.07\lambda_2 \text{ rms}$ 以下の状態で集光し、

前記波長 λ_3 の光束が前記回折部を通過することで発生する前記 n_3 次回折光を、前記第 3 保護層を介して前記第 3 情報記録媒体の情報記録面に波面収差が $0.07\lambda_3 \text{ rms}$ 以下の状態で集光することを特徴とする請求項 2 2 1 乃至 2 2 4 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置。

10

【請求項 2 2 6】

前記回折部は、前記対物レンズの光束入射面側に配置されたことを特徴とする請求項 2 2 1 乃至 2 2 5 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置。

20

【請求項 2 2 7】

前記回折部は、前記対物レンズの光学面上に形成されたことを特徴とする請求項 2 2 1 乃至 2 2 6 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置。

【請求項 2 2 8】

請求項 2 2 1 乃至 2 2 7 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置を搭載したことを特徴とする、音声、及び／または、画像の記録装置、及び／または、音声、及び／または、画像の再生装置。

【請求項 2 2 9】

第 1 光源からの波長 λ_1 の光束を用いて第 1 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、

30

第 2 光源からの波長 λ_2 ($\lambda_2 > \lambda_1$) の光束を用いて第 2 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、

第 3 光源からの波長 λ_3 ($\lambda_3 > \lambda_2$) の光束を用いて第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う光ピックアップ装置用の光学素子であって、

前記光学素子は、入射光に対して所定の次数の回折光を発生する回折部を有し、

前記波長 λ_1 の光束が前記回折部を通過することで発生する n_1 次回折光の回折光量が、前記波長 λ_1 の光束の他のいずれの次数の回折光の回折光量よりも大きい場合に、

前記波長 λ_2 の光束が前記回折部を通過することで発生する n_2 次回折光の回折光量が、前記波長 λ_2 の光束の他のいずれの次数の回折光の回折光量よりも大きく、

かつ、

40

前記波長 λ_3 の光束が前記回折部を通過することで発生する n_3 次回折光の回折光量が、前記波長 λ_3 の光束の他のいずれの次数の回折光の回折光量よりも大きく、

さらに、前記回折次数 n_1 乃至 n_3 は次式を満たすことを特徴とする光学素子。

$$|n_2| = \text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2)$$

$$|n_3| = \text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3)$$

$$|n_1| > |n_2| \geq |n_3|$$

ただし、 n_1 は 0、 ± 1 以外の整数であり、 $\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2)$ は $\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2$ を四捨五入して得られる整数であり、 $\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3)$ は $\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3$ を四捨五入して得られる整数である。

【請求項 2 3 0】

50

次式を満たすことを特徴とする請求項 229 に記載の光学素子。

$$| \text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2) - (\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2) | < 0.4$$

$$| \text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3) - (\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3) | < 0.4$$

【請求項 231】

前記回折部に入射する前記波長 λ_1 の光束の光量を $I_{IN}(\lambda_1)$ 、該 $I_{IN}(\lambda_1)$ の光量を有する前記波長 λ_1 の光束が前記回折部を通過した後の光量を $I_{OUT}(\lambda_1)$ 、前記回折部に入射する前記波長 λ_2 の光束の光量を $I_{IN}(\lambda_2)$ 、該 $I_{IN}(\lambda_2)$ の光量を有する前記波長 λ_2 の光束が前記回折部を通過した後の光量を $I_{OUT}(\lambda_2)$ 、前記回折部に入射する前記波長 λ_3 の光束の光量を $I_{IN}(\lambda_3)$ 、該 $I_{IN}(\lambda_3)$ の光量を有する前記波長 λ_3 の光束が前記回折部を通過した後の光量を $I_{OUT}(\lambda_3)$ としたとき、次式を満たすことを特徴とする請求項 229 または 230 に記載の光学素子。

10

$$I_{OUT}(\lambda_1) / I_{IN}(\lambda_1) > 0.7$$

$$I_{OUT}(\lambda_2) / I_{IN}(\lambda_2) > 0.7$$

$$I_{OUT}(\lambda_3) / I_{IN}(\lambda_3) > 0.7$$

【請求項 232】

前記光学素子は、前記第 1 乃至第 3 光情報記録媒体の情報記録面に、前記第 1 乃至第 3 光源からの光束をそれぞれ集光させるために、前記第 1 乃至第 3 光情報記録媒体に対向する位置に配置される対物レンズであることを特徴とする請求項 229 乃至 231 のいずれか 1 項に記載の光学素子。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、規格（記録密度）の異なる 3 種類の光情報記録媒体について情報の記録及び再生の少なくとも一方を行うことのできる光ピックアップ装置、この光ピックアップ装置に用いることのできる対物レンズ、回折光学素子、光学素子及びこの光ピックアップ装置を用いた記録・再生装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、光ディスクは、CD（コンパクトディスク）またはDVD（デジタルバーサタイルディスク）で知られているように、音楽情報、映像情報の蓄積またはコンピュータデータの保存といった、デジタルデータの保存に広く使われている。そのような中で、近年、情報化社会の到来とともに、これらの光ディスクの大容量化が強く求められている。

30

【0003】

光ディスクにおいて、単位面積あたりの記録容量（記録密度）を向上するためには、光ピックアップ光学系から得られるスポット径を小さくすることで実現できる。このスポットの最小径は、周知のように、 λ / NA （ただし、 λ は光源の波長、 NA は光学系の開口数）に比例するので、スポット径を小さくするためには、光ピックアップ装置で使用される光源の短波長化、及び光学系において光情報記録媒体に対向して配置される対物レンズの高開口数化が有効である。

【0004】

このうち、光源の短波長化に関しては、波長 400 nm 程度の光を発生する青紫色半導体レーザや SHG 青紫色レーザの研究が進展を見せており実用化が近いといえる。この短波長光源を使用すると、DVD と同じ $NA0.65$ の対物レンズを使用した場合でも、DVD と同じ直径 12 cm の光ディスクに対して、15 GB 程度の情報の記録が可能となる。

40

【0005】

また、対物レンズの高開口数化に関しては、2 つのレンズを組み合わせることで、 $NA0.85$ の高開口数化を実現する対物レンズの研究が進んでいる。上述の短波長光源と $NA0.85$ の高開口数対物レンズを組み合わせて使用することで、直径 12 cm の光ディスクに対して、25 GB 程度の情報の記録が可能となり、より一層の高密度化が達成でき

50

る。

【0006】

このような背景のもと、DVDをより高密度化した光ディスク（以下、本明細書では、「高密度DVD」、と呼ぶ。）を記録／再生するための光ピックアップシステムの研究開発が進んでいるが、この光ピックアップシステムにおいては、高密度DVD及びDVD及びCDといった規格（記録密度）の異なる3種類の光ディスクをコンパチブルに記録／再生することが求められる。

【0007】

コンパチビリティを達成する手段として、それぞれの光ディスクの規格に対応した対物レンズを機械的に切り替えたり、それぞれの光ディスクの規格に対応した光ピックアップ装置を搭載することが考えられるが、この場合、対物レンズの切替機構や複数の光ピックアップ装置が必要となるので、光ピックアップシステムの大型化、部品点数の増大、製造コストの上昇等が招来される。従って、DVD及びCDとのコンパチビリティが求められる高密度DVD用の光ピックアップシステムにおいて、光ピックアップシステムの小型化、部品点数の削減、コストダウンを図る上で、もっとも好ましいのは、規格の異なる3種類の光ディスクに対して、共通の対物レンズを用いて記録／再生を行うようにすることであるといえる。

【0008】

ここで、規格の異なる3種類の光ディスクに対して、共通の対物レンズを用いて記録／再生を行う光ピックアップシステムを実現するにあたっての課題を以下に述べる。

【0009】

（1）CDを記録／再生する場合の、対物レンズとCDとの距離（作動距離）の確保

【0010】

これは、対物レンズの開口数をDVD（NA0.6乃至0.65）よりも更に高めることによって顕在化する課題である。高密度DVDにおいて、対物レンズが高開口数化された場合には、保護基板（透明基板あるいは保護層ともいう）厚さがDVDと同じ0.6mmのままでは、光ディスクのスキュー（傾きや反り）によって発生するコマ収差が大きくなるので、保護基板厚さを0.6mmよりも小さくして、光ディスクのスキューに対するマージンを確保する必要がある。このような高密度DVD用の高開口数対物レンズとして、2枚のレンズから構成された対物レンズが特開平10-123410号公報に記載されている。

【0011】

ところが、2群構成の対物レンズは、従来の1群構成の対物レンズに比べて、作動距離が短くなるので、CDを記録／再生する場合の十分な作動距離を確保することが非常に困難となる。CDはNA0.45乃至0.5と、高密度DVDやDVDに比べて開口数が小さいために、保護基板厚さの製造誤差に対する公差がそれほど厳しくないで保護基板厚さの個体差によるばらつきが大きい。従って、CDと対物レンズとの衝突によるデータの破損を防ぐためには、CDを記録／再生する場合の作動距離を十分確保しておく必要があり、この観点から、規格の異なる3種類の光ディスクに対して、共通の対物レンズを用いて記録／再生を行う光ピックアップシステムにおいては、2群構成の対物レンズは好ましくないといえる。

【0012】

（2）保護基板厚さの違いによって発生する球面収差

【0013】

CD（保護基板厚さ1.2mm）とDVD（保護基板厚さ0.6mm）とでは、保護基板厚さに0.6mmの違いがある。従って、規格の異なる3種類の光ディスクに対して、共通の対物レンズを用いて記録／再生を行う光ピックアップシステムにおいては、少なくともCDとDVDとの保護基板厚さの違いによる球面収差を補正するための手段を設ける必要がある。さらに、対物レンズの高開口数化によって高密度DVDの保護基板厚さが0.6mmよりも薄くなった場合には、保護基板厚さの互いに異なる3種類の光ディスクの

保護基板厚さの違いによる球面収差を補正するための手段を設ける必要がある。

【0014】

(3) 波長の違いによって発生する球面収差

【0015】

上述したように、高密度DVDでは、高密度化を達成するために、波長400nm程度の青紫色光源を使う。ところが、従来の屈折型の対物レンズでは、レンズ材料の分散によって球面収差が変化するために、波長の異なる光源からの光束を、それぞれの光ディスクの情報記録面上にほぼ無収差で集光することは困難である。そのため、高密度DVD（波長400nm）と、DVD（波長650nm）と、CD（波長780nm）とのコンパチビリティを達成するためには、波長の違いによって球面収差を補正するために何らかの工夫が必要となる。 10

【0016】

ところで、光ピックアップ装置においては、光源の短波長化と対物レンズの高開口数化によって、以下に述べる問題が顕在化する。

【0017】

第1の問題は、400nm程度の短波長の光を発生する青紫色半導体レーザを光源として用いる場合に対物レンズで発生する色収差である。

【0018】

光ピックアップ装置において、半導体レーザから出射されるレーザ光は一般に単一波長（シングルモード）であるので、対物レンズの色収差は問題にはならないと思われているが、実際には、温度変化や出力変化等により中心波長が瞬時的に数nm変化するモードホッピングを起こす。モードホッピングは対物レンズのフォーカシング機構が追従できないような瞬時的に起こる波長変化であるので、対物レンズの色収差が補正されていないと、結像位置の移動量に対応したデフォーカス成分が付加され、対物レンズの集光性能が劣化する。 20

【0019】

対物レンズに用いられる一般的なレンズ材料の分散は、赤外半導体レーザや赤色半導体レーザの波長領域である600nm乃至800nmにおいては、それほど大きくないので、CDやDVDでは、モードホッピングによる対物レンズの集光性能の劣化は問題にはならなかった。 30

【0020】

ところが、青紫色半導体レーザの波長領域である400nm近傍では、レンズ材料の分散は非常に大きくなるので、わずか数nmの波長変化でも、対物レンズの結像位置は大きくずれる。そのため、高密度DVDにおいて、青紫色半導体レーザを光源として使用する場合は、光源がモードホッピングを起こした場合、対物レンズの集光性能が大きく劣化し、安定した記録や再生が行えないおそれがある。

【0021】

第2の問題は、対物レンズを高開口数化した場合に様々な誤差要因で発生する球面収差の問題である。

【0022】

光ピックアップ装置において、光ディスクの保護基板厚さの製造誤差によって発生する球面収差は対物レンズの開口数の4乗に比例する。この球面収差を許容内に抑えるためには、光ディスクの保護基板厚さの製造誤差に対する公差を数 μm とする必要があるが、この場合、光ディスクの製造の歩留まりが悪くなり、量産として成立しないおそれがある。従って、高密度DVDにおいて、対物レンズを高開口数化した場合には、光ディスクの保護基板厚さの製造誤差によって発生する球面収差を補正するための手段を設ける必要がある。 40

【0023】

また、光ピックアップ装置において、対物レンズは、大量生産に有利であることから、プラスチックレンズが多く用いられる。しかるに、その屈折率の温度変化において、プラ 50

スチックレンズはガラスレンズに比べて2桁程度大きいことが知られている。

【0024】

プラスチック材料から形成された対物レンズの環境温度が上昇して、その対物レンズの屈折率が変化すると、対物レンズでは球面収差が劣化する。この屈折率変化による球面収差の劣化量は対物レンズの開口数の4乗に比例するので、高開口数対物レンズを使用する高密度DVDにおいて、対物レンズをプラスチックレンズとした場合には、使用可能な温度範囲が非常に狭くなってしまうので、屈折率変化によって発生する球面収差を補正するための手段を設ける必要がある。

【0025】

【特許文献1】特開2001-195769公報

10

【0026】

【特許文献2】特開平10-123410号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0027】

そこで、本発明は、上述の各課題を解決し、高密度DVD、DVD、CDの規格の異なる3種類の光ディスクの相互互換を共通の対物レンズを使用して達成する光ピックアップ装置であって、CDの作動距離が十分に確保された光ピックアップ装置を提案することを目的とする。

【0028】

20

また、高密度DVD、DVD、CDの規格の異なる3種類の光ディスクの相互互換を、回折光学素子と共通の対物レンズとを使用して達成する光ピックアップ装置であって、それぞれの光ディスクの使用波長領域において十分な光量の利用効率を得られる光ピックアップ装置を提供することを目的とする。

【0029】

また、高密度DVD、DVD、CDの規格の異なる3種類の光ディスクの相互互換を共通の対物レンズを使用して達成する光ピックアップ装置であって、高密度DVDを記録及び／または再生する場合に問題となる、光源の単色性の悪さに起因する色収差、温度変化や湿度変化等の環境変化に起因してプラスチックレンズで発生する球面収差、保護基板厚さの製造誤差に起因する球面収差を良好に補正でき、安定した高密度DVDの記録及び／または再生が行える光ピックアップ装置を提供することを目的とする。

30

【0030】

また、上述の光ピックアップ装置に用いることのできる対物レンズ、回折光学素子及び光学素子を提供することを目的とする。更に、上述の光ピックアップ装置を用いて3種類の規格の異なる光情報記録媒体について情報の記録及び／または再生を行うことのできる記録・再生装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0031】

上記目的を達成するために、本発明による光ピックアップ装置は、波長 λ_1 の第1光源からの光束を用いて厚さ t_1 の第1保護基板を有する第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$) の第2光源からの光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 > t_1$) の第2保護基板を有する第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$) の第3光源からの光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 > t_2$) の第3保護基板を有する第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う光ピックアップ装置であって、前記光ピックアップ装置は、前記第1光情報記録媒体乃至前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録について1つのレンズ群から構成される共通の対物レンズを用い、前記第1保護基板乃至第3保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差を補正するための基板厚差補正手段を有することを特徴とする。

40

【0032】

50

この光ピックアップ装置によれば、3種類の規格の異なる光情報記録媒体について情報の記録または再生を行う際に問題となる保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差を補正できるので、3種類の規格の異なる光情報記録媒体について情報の記録及び／又は再生を共通の対物レンズを用いて行うことができる。また、対物レンズは単玉レンズであるので、特に、透明基板厚の大きい、第3の光情報記録媒体について情報の記録及び／または再生を行う際の作動距離を十分に確保できる。

【0033】

本発明による光ピックアップ装置の光学系について図1乃至図8により説明する。なお、図1乃至図8は各光ピックアップ装置を概念的に示す図であり、図1乃至図8では光ピックアップ装置の光学系を構成する各素子の位置を概念的に示すために各素子が分離して示されているが、実際には同一の素子が2つ又は2つ以上の素子の機能を有する場合がある。

10

【0034】

本発明による光ピックアップ装置の光学系では、図1乃至図4のように、第1光源乃至第3光源からの各光束が通過する共通の光路に基板厚差補正手段を配置する。

【0035】

即ち、図1の光ピックアップ装置は、第1光源1乃至第3光源3からの各光束が通過する共通の光路に第1保護基板乃至第3保護基板のうち少なくとも2つの保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差を補正するための基板厚差補正手段7と、第1光情報記録媒体が有する第1保護基板の厚み誤差に起因して変化する球面収差を補正するための基板厚誤差補正手段6と、第1光源1の微少な波長変化に起因する色収差を補正するための色収差補正手段5と、を有し、第1光源1、第2光源2及び第3光源3からの各光束は共通の対物レンズ8により第1光情報記録媒体乃至第3光情報記録媒体のそれぞれの情報記録面上に集光される。なお、各光源からの発散光束は光路合成手段9aにより光路が合成された後、カップリングレンズ4aにより発散角が変換されて、対物レンズ8にむかう。

20

【0036】

また、図2の光ピックアップ装置は、第1光源1乃至第3光源3からの各光束が通過する共通の光路に、基板厚差補正手段7と、基板厚誤差補正手段6と、を配置し、第1光源1からの光束のみが通過する光路に、第1光源1の微少な波長変化に起因する色収差を補正するための色収差補正手段5を配置し、第1光源1、第2光源2及び第3光源3からの各光束は共通の対物レンズ8により第1光情報記録媒体乃至前記第3光情報記録媒体のそれぞれの情報記録面上に集光される。カップリングレンズ4bにより発散角が変換された第1光源1からの光束と、カップリングレンズ4cにより発散角が変換された第2光源2及び第3光源3からの光束は、光路合成手段9aにより光路が合成された後、対物レンズ8にむかうが、以下の図3乃至図7の光ピックアップ装置でも同様である。

30

【0037】

また、図3のピックアップ装置は、第1光源1乃至第3光源3からの各光束が通過する共通の光路に色収差補正手段5と基板厚差補正手段7とを配置し、第1光源1からの光束のみが通過する光路に第1保護基板の厚み誤差に起因して変化する球面収差を補正するための基板厚誤差補正手段6を配置し、第1光源1、第2光源2及び第3光源3からの各光束は共通の対物レンズ8により第1光情報記録媒体乃至第3光情報記録媒体のそれぞれの情報記録面上に集光される。

40

【0038】

また、図4の光ピックアップ装置は、第1光源1乃至第3光源3からの各光束が通過する共通の光路に基板厚差補正手段7を配置し、第1光源1からの光束のみが通過する光路に第1光源1の微少な波長変化に起因する色収差を補正するための色収差補正手段5と、第1保護基板の厚み誤差に起因して変化する球面収差を補正するための基板厚誤差補正手段6とを配置し、第1光源1、第2光源2及び第3光源3からの各光束は共通の対物レンズ8により第1光情報記録媒体乃至第3光情報記録媒体のそれぞれの情報記録面上に集光される。

50

【0039】

また、図5の光ピックアップ装置は、第1光源1乃至第3光源3からの各光束が通過する共通の光路に色収差補正手段5を配置し、第2光源2及び第3光源3からの各光束のみが通過する共通の光路に第1保護基板乃至第3保護基板のうち少なくとも2つの保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差を補正するための基板厚差補正手段7を配置し、第1光源1からの光束のみが通過する光路に第1の保護基板の厚み誤差に起因して変化する球面収差を補正するための基板厚誤差補正手段6を配置し、第1光源1、第2光源2及び第3光源3からの各光束は共通の対物レンズ8により第1光情報記録媒体乃至第3光情報記録媒体のそれぞれの情報記録面上に集光される。

【0040】

10

また、図6の光ピックアップ装置は、第1光源1乃至第3光源3からの各光束が通過する共通の光路に基板厚誤差補正手段6を配置し、第2光源2及び第3光源3からの各光束のみが通過する共通の光路に第1保護基板乃至第3保護基板のうち少なくとも2つの保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差を補正するための基板厚差補正手段7を配置し、第1光源1からの光束のみが通過する光路に第1光源の微少な波長変化に起因する色収差を補正するための色収差補正手段5を配置し、第1光源1、第2光源2及び第3光源3からの各光束は共通の対物レンズ8により第1光情報記録媒体乃至第3光情報記録媒体のそれぞれの情報記録面上に集光される。

【0041】

また、図7の光ピックアップ装置は、第2光源2及び第3光源3からの各光束のみが通過する共通の光路に第1保護基板乃至第3保護基板のうち少なくとも2つの保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差を補正するための基板厚差補正手段7を配置し、第1光源1からの光束のみが通過する光路に第1光源1の微少な波長変化に起因して変化する色収差を補正するための色収差補正手段5と、第1の保護基板厚の厚み誤差に起因して変化する球面収差を補正するための基板厚誤差補正手段6とを配置し、第1光源1、第2光源2及び第3光源3からの各光束は共通の対物レンズ8により第1光情報記録媒体乃至第3光情報記録媒体のそれぞれの情報記録面上に集光される。

20

【0042】

また、本発明による光ピックアップ装置の光学系では、図8のように、第2光源からの光束のみが通過する光路に、第1保護基板及び第2保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差を補正するための基板厚差補正手段7aを配置し、さらに、第3光源からの光束のみが通過する光路に、第1保護基板及び第3保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差を補正するための基板厚差補正手段7bを配置する。

30

【0043】

即ち、図8の光ピックアップ装置は、第1光源1からの光束のみが通過する光路に色収差補正手段5と基板厚誤差補正手段6とを配置し、第2光源2からの光束のみが通過する光路に第1保護基板及び第2保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差を補正するための基板厚差補正手段7aを配置し、第3光源3からの光束のみが通過する光路に、第1保護基板及び第3保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差を補正するための基板厚差補正手段7bを配置する。カップリングレンズ4bで発散角が変換された第1光源1からの光束と、カップリングレンズ4dで発散角が変換された第2光源2からの光束は、光路合成手段9bにより光路が合成されて、カップリングレンズ4eで発散角が変換された第3光源3からの光束は、光路合成手段9cにより第1光源1及び第2光源2からの光束と光路が合成される。第1光源1、第2光源2及び第3光源3からの各光束は共通の対物レンズ8により第1光情報記録媒体乃至第3光情報記録媒体のそれぞれの情報記録面上に集光される。

40

【0044】

なお、図1乃至図8の光ピックアップ装置では、各光源からの発散光束の発散角を、カップリングレンズ4aまたはカップリングレンズ4bまたはカップリングレンズ4cまたはカップリングレンズ4dを用いて変換する構成としたが、かかるカップリングレンズは

50

本発明による光ピックアップ装置の光学系には含まれない場合もある。また、図1乃至図7の光ピックアップ装置では、図面の簡略化のために第2光源と第3光源を同一の記号を用いて表しているが、実際の光ピックアップ装置では、第2光源と第3光源は別体の光源である場合もある。さらに、図1乃至図8の光ピックアップ装置では、第1光情報記録媒体乃至第3光情報記録媒体を同一の記号10を用いて表しているが、実際の光ピックアップ装置では各光情報記録媒体は当然別々である。さらに、図1乃至図8の光ピックアップ装置では、対物レンズ8を駆動するためのアクチュエータや1/4波長板、光情報記録媒体10からの反射光束を検出するための光検出器等は省略されているが、実際の光ピックアップ装置ではこれらを有する。

【0045】

10

上述の光ピックアップ装置において、前記第1光情報記録媒体乃至前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数をそれぞれNA1、NA2、NA3としたとき、前記第1光源の波長 λ_1 、前記第2光源の波長 λ_2 、前記第3光源の波長 λ_3 、前記第1保護基板の厚さt1、前記第2保護基板の厚さt2、前記第3保護基板の厚さt3、及び、前記対物レンズの所定の像側開口数NA1、NA2、NA3が次式を満たすことが好ましい。

$$350\text{ nm} < \lambda_1 < 550\text{ nm}$$

$$600\text{ nm} < \lambda_2 < 700\text{ nm}$$

$$700\text{ nm} < \lambda_3 < 850\text{ nm}$$

$$0.0\text{ mm} \leq t_1 < 0.3\text{ mm}$$

$$0.5\text{ mm} < t_2 < 0.7\text{ mm}$$

$$1.0\text{ mm} < t_3 < 1.3\text{ mm}$$

$$0.99 > \text{NA}_1 \geq 0.80$$

$$0.80 > \text{NA}_2 \geq 0.55$$

$$0.55 > \text{NA}_3 \geq 0.40$$

20

【0046】

また、前記対物レンズの前記波長 λ_1 における焦点距離をf1 (mm)、中心厚さをd (mm)、前記対物レンズに入射する前記波長 λ_1 の光束の径を Φ_1 (mm)、前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの作動距離をfB3 (mm)としたとき、次式を満たすことが好ましい。

30

$$0.7 < d / f_1 < 1.5$$

$$2.8 < \Phi_1 < 5.8$$

$$f_{B3} > 0.2$$

【0047】

また、前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの結像倍率をm3としたとき、次式を満たすことが好ましい。 $-1 < m_3 < 0$

【0048】

また、前記第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの結像倍率をm2としたとき、次式を満たすことが好ましい。 $-1 < m_2 < 0$

40

【0049】

上述のように、保護基板厚の異なる3種類の光情報記録媒体のうち、保護基板厚の大きい第2光情報記録媒体及び／または第3光情報記録媒体に対して情報の再生及び／または記録を行う場合に、対物レンズを、発散光束が入射する有限仕様とすると、作動距離を十分に確保することができる。

【0050】

前記対物レンズはプラスチック材料から形成されるか、または、ガラス材料から形成される。

【0051】

50

前記対物レンズはガラス転移点 T_g が 400°C 以下のガラス材料から形成されたことを特徴とする。

【0052】

前記基板厚差補正手段7は、同心円状の複数の輪帯からなる回折構造が形成された少なくとも1つの回折面を有することが好ましい。

【0053】

前記回折構造は、入射する光束の波長が長くなる方向に変化した場合に、球面収差が補正不足方向に変化するような球面収差特性を有することを特徴とする。

【0054】

また、前記回折構造は前記対物レンズの少なくとも1つの光学面上に形成される。

10

【0055】

また、前記基板厚差補正手段7は、光軸方向に変移することで、前記対物レンズに入射する光束のマージナル光線の傾角を変化させることができる少なくとも1つの可動光学素子と、前記可動光学素子を光軸方向に変移させるための駆動手段と、を備えることが好ましい。

【0056】

また、前記基板厚差補正手段7は、少なくとも1つの屈折率分布可変材料層と、電場または磁場または熱を印加するための印加手段と、を備え、前記屈折率分布可変材料層に前記印加手段により電場または磁場または熱を印加することにより前記屈折率分布可変材料層の屈折率分布を変化させることが好ましい。

20

【0057】

また、前記第1光情報記録媒体に情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの結像倍率を m_1 、前記第2光情報記録媒体に情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの結像倍率を m_2 、前記第3光情報記録媒体に情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの結像倍率を m_3 としたとき、前記 m_1 、 m_2 、 m_3 のうち少なくとも2つの結像倍率の値を異なるようにすることで、前記第1保護基板乃至第3保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差を補正することが好ましい。

【0058】

上述の光ピックアップ装置において、前記第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数 NA_1 が 0.8 以上であって、前記第1保護基板乃至第3保護基板のうち、前記第1保護基板の厚さ誤差に起因して変化する球面収差を補正するための基板厚誤差補正手段6を、前記第1光源からの光束が通過する光路中に有することが好ましい。これにより、特に、高密度記録用の第1光情報記録媒体について安定した記録及び／または再生が可能となる。

30

【0059】

また、前記第1光情報記録媒体は、同一光束入射面側に複数の情報記録層を有する構造を有し、前記第1光情報記録媒体の各々の情報記録層の情報記録面に、前記第1光源からの光束を集光させる際に、前記第1光情報記録媒体の光束入射面から各々の情報記録面までの保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差を、前記基板厚誤差補正手段6で補正することが好ましい。

40

【0060】

また、前記基板厚誤差補正手段6は、光軸方向に変移することで、前記対物レンズに入射する前記第1光源からの光束のマージナル光線の傾角を変化させることができる少なくとも1つの可動光学素子と、前記可動光学素子を光軸方向に変移させるための駆動手段と、を備えることが好ましい。これにより、特に第1光情報記録媒体が有する第1の保護基板厚の厚み誤差に起因する球面収差を補正できるとともに、対物レンズ等の光学系を構成する光学素子の製造誤差、特に第1光源の製造誤差による波長の変化、及び温度変化や湿度変化による対物レンズ等の光学系を構成する光学素子の形状変化や屈折率変化による球面収差の変化を補正できる。このため、特に、高密度記録用の第1光情報記録媒体について安定した記録及び／または再生が可能となる。

50

【0061】

また、前記基板厚誤差補正手段6は、前記第1光源からの発散光束の発散角を変化させるためのカップリングレンズであって、前記カップリングレンズを構成する光学素子のうち少なくとも1つが前記可動光学素子であることが好ましい。または、前記基板厚誤差補正手段6は、少なくとも1つの正レンズ群と、少なくとも1つの負レンズ群とから構成され、略平行光束である入射光束を略平行光束として射出することのできるビームエキスパンダ、及び／または、ビームシュリンカであって、前記正レンズ群、及び前記負レンズ群のうち少なくとも1つのレンズ群が前記可動光学素子であることが好ましい。

【0062】

また、前記基板厚誤差補正手段6は、少なくとも1つの屈折率分布可変材料層と、電場または磁場または熱を印加するための印加手段と、を備え、前記屈折率分布可変材料層に前記印加手段により電場または磁場または熱を印加することにより前記屈折率分布可変材料層の屈折率分布を変化させることが好ましい。これにより、特に第1光情報記録媒体が有する第1の保護基板厚の厚み誤差に起因する球面収差を補正できるとともに、対物レンズ等の光学系を構成する光学素子の製造誤差、特に第1光源の製造誤差による波長の変化、及び温度変化や湿度変化による対物レンズ等の光学系を構成する光学素子の形状変化や屈折率変化による球面収差の変化を補正できる。このため、特に、高密度記録用の第1光情報記録媒体について安定した記録及び／または再生が可能となる。

【0063】

上述の光ピックアップ装置において、前記第1光源の波長 λ_1 が550nmより短く、前記第1光源の微少な波長変化に起因する前記対物レンズの色収差を補正するための色収差補正手段5を、前記第1光源からの光束が通過する光路中に有することが好ましい。これにより、光源の単色性の悪さ等に起因する色収差を補正できる。このため、特に、高密度記録用の第1光情報記録媒体について安定した記録及び／または再生が可能となる。

【0064】

前記第1光源乃至第3光源からの各光束がすべて通過する共通の光路に、前記色収差補正手段5を配置することが好ましい。

【0065】

また、前記色収差補正手段5は、同心円状の複数の輪帯からなる回折構造が形成された回折面を有する2つの光学素子が、前記回折面を互いに対向するように近接して配置された構造を有し、前記2つの光学素子の材料は前記波長 λ_1 近傍の波長領域で所定の屈折率差を有するとともに、前記2つの光学素子の材料の前記波長 λ_2 近傍の波長領域、及び λ_3 近傍の波長領域での屈折率差が略零であることが好ましい。これにより、第1光源の波長近傍の光のみが光学素子間の屈折率差により回折するので第1光源の波長変動に起因する対物レンズ8の色収差を補正することができる。

【0066】

また、前記色収差補正手段5は、同心円状の複数の輪帯からなる回折構造を有し、前記回折構造に前記第1光源からの波長 λ_1 の第1光束が入射した場合に発生する前記第1光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_1 、前記回折構造に前記第2光源からの波長 λ_2 の第2光束が入射した場合に発生する前記第2光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_2 、前記回折構造に前記第3光源からの波長 λ_3 の第3光束が入射した場合に発生する前記第3光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_3 とすると、

$$|n_1| > |n_2| \geq |n_3|$$

を満たすことが好ましい。

【0067】

この場合、前記回折構造は前記対物レンズの少なくとも1つの光学面上に形成されることが好ましい。

【0068】

また、前記第1光源からの光束のみが通過し、かつ、前記第2光源及び前記第3光源か

らの光束は通過しない光路に、前記色収差補正手段を配置することが好ましい。

【0069】

また、前記色収差補正手段5は、同心円状の複数の輪帯からなる回折構造が形成された少なくとも1つの回折面を有し、第*i*回折面の回折構造により透過波面に付加される光路差を、

$$\Phi_{bi} = n_i \cdot (b_{2i} \cdot h_i^2 + b_{4i} \cdot h_i^4 + b_{6i} \cdot h_i^6 + \dots)$$

により定義される光路差関数で表す場合に（ここで、 n_i は、前記第*i*回折面の回折構造に前記波長 λ_1 の光束が入射した場合に発生する、前記波長 λ_1 の光束の回折光のうち最大の回折光量を有する回折光の回折次数、 h_i は光軸からの高さ（mm）、 b_{2i} 、 b_{4i} 、 b_{6i} 、 $\dots$ はそれぞれ2次、4次、6次、 $\dots$ の光路差関数係数（回折面係数ともいう）である）、

$$PD = \sum (-2 \cdot n_i \cdot b_{2i})$$

により定義される回折構造のみのパワー（ mm^{-1} ）が次式を満たすことが好ましい。

$$1.50 \times 10^{-2} < PD < 15.0 \times 10^{-2}$$

【0070】

上記式の下限以上で、光情報記録媒体の情報記録面上に集光された波面の軸上色収差が補正不足になりすぎず、また、上限以下で、光情報記録媒体の情報記録面上に集光された波面の軸上色収差が補正過剰になりすぎない。

【0071】

また、前記色収差補正手段5は、相対的にアッペ数の大きい正レンズ群と相対的にアッペ数の小さい負レンズ群とから構成され、前記正レンズ群のアッペ数 v_dP 及び前記負レンズ群のアッペ数 v_dN が次式を満たすことにより、色収差を適切に補正することができる。

$$v_dP > 5.5$$

$$v_dN < 3.5$$

【0072】

また、前記第1光源の波長が+1nm変化した場合の、前記対物レンズと前記色収差補正手段とを合わせた光学系の近軸焦点位置の変化量 $\Delta f_{B_{OBJ}+CA}$ が次式を満たすことが好ましい。

$$|\Delta f_{B_{OBJ}+CA} \cdot NA_1^2| < 0.15 \text{ (}\mu\text{m)}$$

【0073】

なお、本明細書中において、「基板厚誤差補正手段6、及び／または、基板厚差補正手段7によって球面収差を（良好に）補正する」とは、少なくとも、基板厚誤差補正手段6、及び／または、基板厚差補正手段7と対物レンズとから構成される光学系を通過した光束が、各光情報記録媒体に対して情報の再生、及び／または、記録を行うのに必要な対物レンズの所定の各像側開口数内で、各情報記録媒体の情報記録面上に、 λ を光源の波長としたとき、波面収差が $0.07\lambda_{rms}$ 以下（より好ましくは $0.05\lambda_{rms}$ 以下）の状態、集光されるように球面収差を補正することを指す。

【0074】

上述の光ピックアップ装置において、前記第1光情報記録媒体乃至前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数をそれぞれ NA_1 、 NA_2 、 NA_3 としたとき、

$$NA_1 > NA_2 > NA_3$$

を満たし、前記 NA_1 と NA_2 と NA_3 との開口切替手段を備えることにより、共通の対物レンズで第1光情報記録媒体乃至第3光情報記録媒体に対し情報の記録及び／または再生を行う際にそれぞれの対物レンズの所定の像側開口数に応じて開口の切り替えを行うことができる。

【0075】

これにより、第2光情報記録媒体及び第3光情報記録媒体に対する情報の再生、及び／または、記録を行う場合に、各情報記録媒体上での集光スポットの大きさが必要以上に小

10

20

30

40

50

さくなりすぎないので、ディスクスキューで発生するコマ収差を小さくすることができ、十分なディスクスキューマージンを得ることができる。また、必要開口数以上の領域を通過した、集光に寄与しない不要光を光検出器が検出するのを防ぐことができるので、良好なフォーカシング特性やトラッキング特性を得ることができる。

【0076】

前記開口切替手段は、前記第1光源乃至前記第3光源からの各光束がすべて通過する共通の光路に配置されることを特徴とする。

【0077】

前記開口切替手段は、同心円状の複数の輪帯からなる回折構造が形成された少なくとも1つの回折面を有し、前記第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合に、前記対物レンズの像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する前記開口切替手段の領域を通過する波長 λ_2 の光束をフレア成分とし、及び／または、前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合に、前記対物レンズの像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する前記開口切替手段の領域を通過する波長 λ_3 の光束をフレア成分とすることで、第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または再生を行う場合に、第2光源からの波長 λ_2 の光束を、 NA_1 で決定される絞りに対し、開放で通過させても、 NA_2 から NA_1 に対応する開口切替手段の領域を通過した光束は、第2光情報記録媒体の情報記録面上への集光に寄与しないので、開口切替手段として機能する。第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合も同様に、第3光源からの波長 λ_3 の光束を、 NA_1 で決定される絞りに対し、開放で通過させても、 NA_3 から NA_1 に対応する開口切替手段の領域を通過した光束は、第3光情報記録媒体の情報記録面上への集光に寄与しないので、開口切替手段として機能する。このように、簡易な構造で、自動的に開口切替えを行うことができるので、特別な開口切替手段を設ける必要がなく、コスト上有利である。

【0078】

また、前記開口切替手段と前記対物レンズとを合わせた光学系において、前記像側開口数 NA_2 と前記第2保護基板の厚さ t_2 と前記第2光源の波長 λ_2 との組合せにおける波面収差が $0.07\lambda_2 \text{ rms}$ より小さいとともに、前記像側開口数 NA_1 と前記第2保護基板の厚さ t_2 と前記第2光源の波長 λ_2 との組合せにおける波面収差が $0.07\lambda_2 \text{ rms}$ より大きく、及び／または、前記像側開口数 NA_3 と前記第3保護基板の厚さ t_3 と前記第3光源の波長 λ_3 との組合せにおける波面収差が $0.07\lambda_3 \text{ rms}$ より小さいとともに、前記像側開口数 NA_1 と前記第3保護基板の厚さ t_3 と前記第3光源の波長 λ_3 との組合せにおける波面収差が $0.07\lambda_3 \text{ rms}$ より大きいことが好ましい。

【0079】

また、前記開口切替手段は、前記第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合に、前記対物レンズの像側開口数 NA_2 内に対応する前記開口切替手段の領域に入射する波長 λ_2 の光束を透過するとともに、前記対物レンズの像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する前記開口切替手段の領域に入射する波長 λ_2 の光束を遮断し、及び／または、前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合に、前記対物レンズの像側開口数 NA_3 内に対応する前記開口切替手段の領域に入射する波長 λ_3 の光束を透過するとともに、前記対物レンズの像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する前記開口切替手段の領域に入射する波長 λ_3 の光束を遮断するような波長選択性を有するように構成してもよく、第2光情報記録媒体及び第3光情報記録媒体に対する情報の再生、及び／または、記録を行う場合に、必要開口数以上の領域を通過した光束を自動的に遮断するので、特別な切り替え手段を設ける必要がなく、コスト上有利である。

【0080】

また、前記開口切替手段は前記対物レンズの少なくとも1つの光学面上に形成されることが好ましく、開口切替手段を簡単に構成できる。

【0081】

また、前記開口切替手段は、前記対物レンズの光束入射面側に配置されるとともに、前

記対物レンズと一体となってトラッキングを行うことが好ましい。これにより良好なトラッキング特性を得ることができる。

【0082】

上述の光ピックアップ装置において、前記対物レンズは、前記像側開口数 $NA1$ と前記第1保護基板の厚さ $t1$ と前記第1光源の波長 $\lambda1$ との組合せにおいて球面収差が最小となるように収差補正され、前記第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合に、前記第2保護基板と前記第1保護基板との厚さの違いに起因して変化する球面収差を前記基板厚差補正手段で補正するとともに、前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合に、前記第3保護基板と前記第1保護基板との厚さの違いに起因して変化する球面収差を前記基板厚差補正手段で補正することが好ましい。これにより、上述の対物レンズで第2または第3光情報記録媒体について再生または記録を行うときの第1の保護基板厚 $t1$ に対する各保護基板厚の差に起因する球面収差を適正に補正できる。

10

【0083】

また、前記第1光源乃至第3光源のうち少なくとも2つの光源はユニット化されていることが好ましく、このように一体化することで部品点数を削減でき、光ピックアップ装置をコンパクトに構成できるとともにコスト減に寄与できる。

【0084】

また、前記基板厚差補正手段と、前記基板厚誤差補正手段と、前記色収差補正手段と、前記開口切替手段のうち、少なくとも2つは一体化されていることが好ましい。このように一体化することで部品点数を削減でき、光ピックアップ装置をコンパクトに構成できるとともにコスト減に寄与できる。

20

【0085】

また、本発明による記録・再生装置は、上述のいずれかの光ピックアップ装置を搭載し、音声及び／または画像を記録し、及び／または、音声及び／または画像を再生可能なように構成できる。例えば、上述の本発明による各光ピックアップ装置は、例えば、次世代のより高密度な第1光情報記録媒体と、DVD、DVD-ROM、DVD-RAM、DVD-R、DVD-RW、DVD+RW等の第2光情報記録媒体と、CD、CD-R、CD-RW、CD-Video、CD-ROM等の第3光情報記録媒体と、に対してコンパクトなプレーヤーまたはドライブ等、あるいはそれらを組み込んだAV機器、パソコン、その他の情報端末等の音声および／または画像の記録装置および／または再生装置に搭載することができる。

30

【0086】

また、本発明による別の光ピックアップ装置は、波長 $\lambda1$ の第1光源からの光束を用いて厚さ $t1$ の第1保護基板を有する第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 $\lambda2$ ($\lambda1 < \lambda2$) の第2光源からの光束を用いて厚さ $t2$ ($t2 \geq t1$) の第2保護基板を有する第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 $\lambda3$ ($\lambda2 < \lambda3$) の第3光源からの光束を用いて厚さ $t3$ ($t3 \geq t2$) の第3保護基板を有する第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う光ピックアップ装置であって、前記光ピックアップ装置は、前記第1光情報記録媒体乃至前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録について、共通の対物レンズを用い、前記光ピックアップ装置は、前記第1光源乃至第3光源からの各光束がすべて通過する共通の光路中に配置された、前記第1保護基板厚乃至第3保護基板厚の差に起因して変化する球面収差を補正するための基板厚差補正手段を有し、前記基板厚差補正手段は、同心円状の複数の輪帯からなる回折構造を有する回折光学素子であって、前記回折構造に前記第1光源からの波長 $\lambda1$ の第1光束が入射した場合に発生する前記第1光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を $n1$ 、前記回折構造に前記第2光源からの波長 $\lambda2$ の第2光束が入射した場合に発生する前記第2光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を $n2$ 、前記回折構造に前記第3光源からの波長 $\lambda3$ の第3光束が入射した場合に発生する前記第3光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を $n3$ とするとき、

40

50

$$|n_1| > |n_2|$$

かつ

$$|n_1| > |n_3|$$

を満たすとともに、前記波長 λ_1 の光束により、前記第1光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数をNA1、前記波長 λ_2 の光束により、前記第2光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数をNA2、前記波長 λ_3 の光束により、前記第3光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数をNA3、とするとき、前記対物レンズは、前記第1光束の n_1 次回折光を、前記第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／又は記録を行うために、前記開口数NA1内で、良好な波面を形成するように、前記第1光情報記録媒体の情報記録面上に集光でき、前記第2光束の n_2 次回折光を、前記第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／又は記録を行うために、前記開口数NA2内で、良好な波面を形成するように、前記第2光情報記録媒体の情報記録面上に集光でき、前記第3光束の n_3 次回折光を、前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／又は記録を行うために、前記開口数NA3内で、良好な波面を形成するように、前記第3光情報記録媒体の情報記録面上に集光できることを特徴とする。

【0087】

この光ピックアップ装置によれば、第1光源乃至第3光源からのすべての光束が通過する共通の光路に配置した基板厚差補正手段としての回折光学素子により、第1保護基板から第3保護基板の厚さのうち、少なくとも2つの異なる保護基板の厚さの差によって発生する球面収差を補正するので第1光情報記録媒体から第3光情報記録媒体のすべてに対して、情報の記録または再生を良好に行うことができる。

【0088】

ところで、規格の異なる3種類の光ディスクに対してコンパチブルな光ピックアップシステムでは、波長の異なる3つの光源が搭載される。その理由として以下のことがあげられる。第1に、短波長領域における、2層ディスクの情報記録層間の中間層の反射率が低いために、高密度DVD用の短波長レーザ光源では、DVDの2層ディスクが読めないことである。第2に、CD-RやCD-RWでは、情報記録面の反射特性を利用して情報の再生を行うために、高密度DVD用の短波長レーザ光源では、CDのうち、CD-RやCD-RWを読めないことである。従って、規格の異なる3種類の光ディスクに対してコンパチブルな光ピックアップシステムでは、400nm付近のレーザ光を発生する青紫色レーザと、650nm付近のレーザ光を発生する赤色レーザと、780nm付近のレーザ光を発生する赤外レーザとの波長の異なる3つの光源を搭載する必要がある。

【0089】

そこで、本発明による光ピックアップ装置では、第1光情報記録媒体乃至第3光情報記録媒体の記録及び再生に使用する光束の回折次数が上式を満たすように基板厚差補正手段としての回折光学素子の回折構造を決定するようにした。これにより、第1光情報記録媒体乃至第3光情報記録媒体の記録及び再生に使用する各光束に対して、それぞれ高い回折効率を得ることができる。また、基板厚差補正手段としての回折光学素子の回折作用により、波長の異なるそれぞれの光源からの光束が対物レンズに入射した場合に、レンズ材料の分散によって変化する球面収差を補正するので、第1光情報記録媒体乃至第3光情報記録媒体のすべてに対して、情報の記録または再生を良好に行うことができる。

【0090】

前記回折構造が波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化されているとともに、次式を満たすことが好ましい。

$$300\text{ nm} < \lambda_B < 500\text{ nm}$$

【0091】

また、次式を満たすことが好ましい。

$$|n_1| \leq 10$$

【0092】

また、前記回折構造が波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化されているとともに、次式を満たすことが好ましい。

$$380\text{ nm} < \lambda_1 < 420\text{ nm}$$

$$630\text{ nm} < \lambda_2 < 670\text{ nm}$$

$$760\text{ nm} < \lambda_3 < 800\text{ nm}$$

$$340\text{ nm} < \lambda_B < 440\text{ nm}$$

$$|n_1| = 2$$

$$|n_2| = 1$$

$$|n_3| = 1$$

【0093】

また、次式を満たすことが好ましい。

$$350\text{ nm} < \lambda_B < 420\text{ nm}$$

【0094】

また、前記回折構造が波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化されているとともに、次式を満たすことが好ましい。

$$380\text{ nm} < \lambda_1 < 420\text{ nm}$$

$$630\text{ nm} < \lambda_2 < 670\text{ nm}$$

$$760\text{ nm} < \lambda_3 < 800\text{ nm}$$

$$400\text{ nm} < \lambda_B < 430\text{ nm}$$

$$|n_1| = 6$$

$$|n_2| = 4$$

$$|n_3| = 3$$

【0095】

また、次式を満たすことが好ましい。

$$405\text{ nm} < \lambda_B < 425\text{ nm}$$

【0096】

また、前記回折構造が波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化されているとともに、次式を満たすことが好ましい。

$$380\text{ nm} < \lambda_1 < 420\text{ nm}$$

$$630\text{ nm} < \lambda_2 < 670\text{ nm}$$

$$760\text{ nm} < \lambda_3 < 800\text{ nm}$$

$$390\text{ nm} < \lambda_B < 420\text{ nm}$$

$$|n_1| = 8$$

$$|n_2| = 5$$

$$|n_3| = 4$$

【0097】

次式を満たすことが好ましい。

$$395\text{ nm} < \lambda_B < 415\text{ nm}$$

【0098】

また、前記回折構造が波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化されているとともに、次式を満たすことが好ましい。

$$380\text{ nm} < \lambda_1 < 420\text{ nm}$$

$$630\text{ nm} < \lambda_2 < 670\text{ nm}$$

$$760\text{ nm} < \lambda_3 < 800\text{ nm}$$

$$390\text{ nm} < \lambda_B < 420\text{ nm}$$

$$|n_1| = 10$$

$$|n_2| = 6$$

$$|n_3| = 5$$

【0099】

次式を満たすことが好ましい。

10

20

30

40

50

$$395\text{ nm} < \lambda_B < 412\text{ nm}$$

【0100】

また、前記回折構造は正のパワーを有することが好ましい。

【0101】

また、波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化された前記回折構造の前記複数の輪帯の各位置を、

$$\Phi_b = n_1 \cdot (b_2 \cdot h^2 + b_4 \cdot h^4 + b_6 \cdot h^6 + \dots)$$

により定義される光路差関数で表す場合に（ここで、 h は光軸からの高さ（mm）、 b_2 、 b_4 、 b_6 、 $\dots$ はそれぞれ2次、4次、6次、 $\dots$ の光路差関数係数（回折面係数ともいう）である）、

$$PD = \Sigma (-2 \cdot n_1 \cdot b_2)$$

により定義される回折構造のみのパワー（ mm^{-1} ）が次式を満たすことが好ましい。

$$0.5 \times 10^{-2} < PD < 5.0 \times 10^{-2}$$

【0102】

また、前記対物レンズは屈折型対物レンズであって、前記屈折型対物レンズの光束入射側に前記回折光学素子が配置されることが好ましい。

【0103】

また、前記回折構造は、平面上に形成されることが好ましい。または、前記回折構造は、非球面上に形成されることが好ましい。

【0104】

また、前記回折光学素子は、前記屈折型対物レンズと一体となってトラッキング駆動されることが好ましい。

【0105】

また、前記回折光学素子は、前記対物レンズと一体に形成され、前記回折構造は前記対物レンズの光源側の光学面を含む、少なくとも1つの光学面上に形成されることが好ましい。

【0106】

また、前記像側開口数 NA_1 乃至 NA_3 は、

$$NA_1 > NA_2 > NA_3$$

を満たすとともに、

前記光ピックアップ装置は、前記第1光源乃至第3光源からの各光束がすべて通過する共通の光路中に配置された、 NA_1 と NA_2 と NA_3 との開口切替手段を有することが好ましい。前記開口切替手段は、前記対物レンズと一体となってトラッキング駆動されることが好ましい。

【0107】

また、前記開口切替手段は、前記基板厚差補正手段と同一の回折光学素子であって、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する、前記開口切替手段の領域を通過した前記波長 λ_2 の光束は、前記第2光情報記録媒体の情報記録面上まで到達するとともに、前記波長 λ_2 の光束は、前記像側開口数 NA_1 内で、前記第2光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.07\lambda_2\text{ rms}$ より大きい状態であり、かつ前記波長 λ_2 の光束は、前記像側開口数 NA_2 内で、前記第2光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.07\lambda_2\text{ rms}$ より小さい状態であることが好ましい。

【0108】

また、前記波長 λ_2 の光束は、前記像側開口数 NA_1 内で、前記第2光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.20\lambda_2\text{ rms}$ より大きい状態であることが好ましい。

【0109】

また、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する、前記開口切替手段の領域を通過した前記波長 λ_3 の光束は、前記第3光情報記録媒体の情報記録面上まで到達するとともに、前記波長 λ_3 の光束は、前記像側開口数 NA_1 内で、前記第3光情報

10

20

30

40

50

記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.07\lambda_3$ rms より大きい状態であり、かつ前記波長 λ_3 の光束は、前記像側開口数 NA_3 内で、前記第3光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.07\lambda_3$ rms より小さい状態であることが好ましい。

【0110】

また、前記波長 λ_3 の光束は、前記像側開口数 NA_1 内で、前記第3光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.20\lambda_3$ rms より大きい状態であることが好ましい。

【0111】

また、前記開口切替手段は、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する、前記開口切替手段の領域に入射する前記波長 λ_2 の光束を遮断して、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する、前記開口切替手段の領域に入射する前記波長 λ_2 の光束が前記第2光情報記録媒体の情報記録面上まで到達しないようにすることが可能であることが好ましい。 10

【0112】

また、前記開口切替手段は、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する、前記開口切替手段の領域に入射する波長 λ_1 の光束を透過するとともに、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する、前記開口切替手段の領域に入射する波長 λ_2 の光束を遮断するような波長選択性を有することが好ましい。

【0113】

また、前記開口切替手段は、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する、前記開口切替手段の領域に入射する前記波長 λ_3 の光束を遮断して、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する、前記開口切替手段の領域に入射する前記波長 λ_3 の光束が前記第3光情報記録媒体の情報記録面上まで到達しないようにすることが可能であることが好ましい。 20

【0114】

また、前記開口切替手段は、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する、前記開口切替手段の領域に入射する波長 λ_1 の光束を透過するとともに、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する、前記開口切替手段の領域に入射する波長 λ_3 の光束を遮断するような波長選択性を有することが好ましい。 30

【0115】

また、前記開口切替手段は、前記対物レンズの光学面上に形成された波長選択フィルタに構成できる。

【0116】

上述の各光ピックアップ装置において、前記対物レンズは1つのレンズ群から構成されることが好ましい。これにより、光ピックアップ装置で特に第3の光情報記録媒体に対する作動距離を十分に確保できる。この場合、前記対物レンズの前記波長 λ_1 における焦点距離を f_1 (mm)、中心厚さを d (mm)、前記対物レンズに入射する前記波長 λ_1 の光束の径を Φ_1 (mm)、前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの作動距離を f_{B3} (mm) としたとき、次式を満たすことが作動距離を十分に確保する上で更に好ましい。 40

$$0.7 < d / f_1 < 1.5$$

$$2.8 < \Phi_1 < 5.8$$

$$f_{B3} > 0.2$$

【0117】

また、前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの結像倍率を m_3 とした場合に、次式を満たすことが好ましい。

$$m_3 < 0$$

【0118】

この場合、次式を満たすことが好ましい。

$$-0.25 < m_3 < -0.05$$

【0119】

また、前記第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの結像倍率を m_2 とした場合に、次式を満たすことが好ましい。

$$m_2 < 0$$

【0120】

この場合、次式を満たすことが好ましい。

$$-0.20 < m_2 < -0.02$$

【0121】

また、上述の各光ピックアップ装置において、前記対物レンズは、プラスチック材料から形成されるか、または、ガラス材料から形成されることが好ましい。 10

【0122】

また、上述の各光ピックアップ装置において、前記対物レンズはガラス転移点 T_g が400℃以下であるガラス材料から形成されたことが好ましい。

【0123】

また、次式を満たすことが好ましい。

$$380\text{ nm} < \lambda_1 < 420\text{ nm}$$

$$630\text{ nm} < \lambda_2 < 670\text{ nm}$$

$$760\text{ nm} < \lambda_3 < 800\text{ nm}$$

$$0.0\text{ mm} \leq t_1 < 0.3\text{ mm}$$

$$0.5\text{ mm} < t_2 < 0.7\text{ mm}$$

$$1.0\text{ mm} < t_3 < 1.3\text{ mm}$$

$$0.99 > NA_1 \geq 0.70$$

$$0.70 > NA_2 \geq 0.55$$

$$0.55 > NA_3 \geq 0.40$$

【0124】

また、第1光源乃至第3光源のうち少なくとも2つの光源はユニット化されていることが好ましい。

【0125】

上述の各光ピックアップ装置を搭載し、音声及び／または画像を記録し、及び／または、音声及び／または画像を再生可能なように本発明による記録・再生装置を構成できる。 30

【0126】

また、本発明による対物レンズは、波長 λ_1 の第1光源からの光束を用いて厚さ t_1 の第1保護基板を有する第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$)の第2光源からの光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$)の第2保護基板を有する第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$)の第3光源からの光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$)の第3保護基板を有する第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う光ピックアップ装置用の対物レンズであって、前記対物レンズは、少なくとも1つの光学面上に、同心円状の複数の輪帯からなる回折構造を有し、前記回折構造に前記第1光源からの波長 λ_1 の第1光束が入射した場合に発生する前記第1光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_1 、前記回折構造に前記第2光源からの波長 λ_2 の第2光束が入射した場合に発生する前記第2光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_2 、前記回折構造に前記第3光源からの波長 λ_3 の第3光束が入射した場合に発生する前記第3光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_3 、前記波長 λ_1 の光束により、前記第1光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数を NA_1 、前記波長 λ_2 の光束により、前記第2光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数を NA_2 、前記波長 λ_3 の光束により、前記第3光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数を NA_3 、 40 50

とするとき、

$$|n_1| > |n_2|$$

かつ

$$|n_1| > |n_3|$$

を満たすとともに、

前記対物レンズは、前記第 1 光束の n_1 次回折光を、前記第 1 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／又は記録を行うために、前記開口数 NA_1 内で、良好な波面を形成するように、前記第 1 光情報記録媒体の情報記録面上に集光でき、前記第 2 光束の n_2 次回折光を、前記第 2 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／又は記録を行うために、前記開口数 NA_2 内で、良好な波面を形成するように、前記第 2 光情報記録媒体の情報記録面上に集光でき、前記第 3 光束の n_3 次回折光を、前記第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／又は記録を行うために、前記開口数 NA_3 内で、良好な波面を形成するように、前記第 3 光情報記録媒体の情報記録面上に集光できることを特徴とする。

10

【0127】

本発明による別の対物レンズは、波長 λ_1 の第 1 光源からの光束を用いて厚さ t_1 の第 1 保護基板を有する第 1 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$) の第 2 光源からの光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$) の第 2 保護基板を有する第 2 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$) の第 3 光源からの光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$) の第 3 保護基板を有する第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う光ピックアップ装置用の対物レンズであって、前記波長 λ_1 の光束により、前記第 1 光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数を NA_1 、前記波長 λ_2 の光束により、前記第 2 光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数を NA_2 、前記波長 λ_3 の光束により、前記第 3 光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数を NA_3 、とするとき、前記対物レンズの少なくとも 1 つの光学面は、前記第 1 乃至第 3 光情報記録媒体のすべてに対して再生及び／または記録を行うために用いられる前記開口数 NA_3 内に対応する共通領域と、該共通領域よりも周辺側に位置し、少なくとも前記第 1 光情報記録媒体に対して再生及び／または記録を行うために用いられる周辺領域の、少なくとも 2 つの領域からなり、前記共通領域には、同心円状の複数の輪帯からなる回折構造が形成され、前記共通領域に形成された回折構造に光源からの波長 λ_1 の第 1 光束が入射した場合に発生する前記第 1 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_1 、前記共通領域に形成された回折構造に前記第 2 光源からの波長 λ_2 の第 2 光束が入射した場合に発生する前記第 2 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_2 、前記共通領域に形成された回折構造に前記第 3 光源からの波長 λ_3 の第 3 光束が入射した場合に発生する前記第 3 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_3 、

20

30

とするとき、

$$|n_1| > |n_2|$$

かつ

$$|n_1| > |n_3|$$

を満たすとともに、

前記対物レンズは、前記共通領域で発生する前記第 1 の光束の n_1 次回折光を、前記第 1 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／又は記録を行うために前記第 1 光情報記録媒体の情報記録面上に集光し、前記共通領域で発生する前記第 2 光束の n_2 次回折光を、前記第 2 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／又は記録を行うために前記第 2 光情報記録媒体の情報記録面上に集光し、前記共通領域で発生する前記第 3 光束の n_3 次回折光を、前記第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／又は記録を行うために前記第 3 光情報記録媒体の情報記録面上に集光することを特徴とする。

40

【0128】

50

上述の各対物レンズによれば、第1光情報記録媒体乃至第3光情報記録媒体の記録及び再生に使用する光束の回折次数が上式を満たすように回折構造を決定するので、第1光情報記録媒体乃至第3光情報記録媒体の記録及び再生に使用する各光束に対して、それぞれ高い回折効率を得ることができる。さらに、この回折構造の作用により、第1保護基板厚乃至第3保護基板厚のうち、少なくとも2つの異なる保護基板厚の差によって発生する球面収差を補正するので第1光情報記録媒体乃至第3光情報記録媒体のすべてに対して、情報の記録または再生を良好に行うことができる。また、回折構造の作用により、波長の異なるそれぞれの光源からの光束が対物レンズに入射した場合に、レンズ材料の分散によって変化する球面収差を補正するので、第1光情報記録媒体乃至第3光情報記録媒体のすべてに対して、情報の記録または再生を良好に行うことができる。

10

【0129】

上記各対物レンズにおいて、前記回折次数 n_1 乃至 n_3 は次式を満たすことが好ましい。

$$|n_2| = \text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2)$$

$$|n_3| = \text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3)$$

$$|n_1| > |n_2| \geq |n_3|$$

ただし、 n_1 は0、 ± 1 以外の整数であり、 $\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2)$ は $\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2$ を四捨五入して得られる整数であり、 $\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3)$ は $\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3$ を四捨五入して得られる整数である。

【0130】

この場合、次式を満たすことが好ましい。

$$|\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2) - (\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2)| < 0.4$$

$$|\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3) - (\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3)| < 0.4$$

【0131】

上述のようにして回折次数 n_1 乃至 n_3 を決定することで、各光束に対して、 n_1 次回折光、 n_2 次回折光、 n_3 次回折光の各回折効率を高くすることができる。

【0132】

また、前記回折構造に入射する前記波長 λ_1 の光束の光量を $I_{IN}(\lambda_1)$ 、該 $I_{IN}(\lambda_1)$ の光量を有する前記波長 λ_1 の光束が前記回折構造を通過した後の光量を $I_{OUT}(\lambda_1)$ 、前記回折構造に入射する前記波長 λ_2 の光束の光量を $I_{IN}(\lambda_2)$ 、該 $I_{IN}(\lambda_2)$ の光量を有する前記波長 λ_2 の光束が前記回折構造を通過した後の光量を $I_{OUT}(\lambda_2)$ 、前記回折構造に入射する前記波長 λ_3 の光束の光量を $I_{IN}(\lambda_3)$ 、該 $I_{IN}(\lambda_3)$ の光量を有する前記波長 λ_3 の光束が前記回折構造を通過した後の光量を $I_{OUT}(\lambda_3)$ としたとき、次式を満たすことが好ましい。

30

$$I_{OUT}(\lambda_1) / I_{IN}(\lambda_1) > 0.7$$

$$I_{OUT}(\lambda_2) / I_{IN}(\lambda_2) > 0.7$$

$$I_{OUT}(\lambda_3) / I_{IN}(\lambda_3) > 0.7$$

【0133】

前記回折構造は、波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化されているとともに、次式を満たすことが好ましい。

40

$$300 \text{ nm} < \lambda_B < 500 \text{ nm}$$

$$|n_1| \leq 10$$

【0134】

前記回折構造が波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化されているとともに、次式を満たすことが好ましい。

$$380 \text{ nm} < \lambda_1 < 420 \text{ nm}$$

$$630 \text{ nm} < \lambda_2 < 670 \text{ nm}$$

$$760 \text{ nm} < \lambda_3 < 800 \text{ nm}$$

$$340 \text{ nm} < \lambda_B < 440 \text{ nm}$$

$$|n_1| = 2$$

50

$$|n_2| = 1$$

$$|n_3| = 1$$

【0135】

また、次式を満たすことが好ましい。

$$350\text{ nm} < \lambda_B < 420\text{ nm}$$

【0136】

また、前記対物レンズは、前記波長 λ_1 より5 nm長い波長の光が入射した際に、球面収差が補正過剰方向に変化するような球面収差の波長依存性を有することが好ましい。

【0137】

また、前記対物レンズは、前記波長 λ_1 より5 nm長い波長の光が入射した際に、バックフォーカスが短くなる方向に変化するような軸上色収差の波長依存性を有し、前記波長 λ_1 より5 nm長い波長の光が入射した際のバックフォーカスの変化量を ΔCA 、前記波長 λ_1 より5 nm長い波長の光が入射した際の前記開口数NA1に対応するマージナル光線の変化量を ΔSA としたとき、次式を満たすことが好ましい。

$$-1 < \Delta CA / \Delta SA < 0$$

【0138】

また、波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化された前記回折構造の前記複数の輪帯の各位置を、

$$\Phi_b = |n_1| \cdot (b_2 \cdot h^2 + b_4 \cdot h^4 + b_6 \cdot h^6 + \dots)$$

により定義される光路差関数で表す場合に（ここで、 h は光軸からの高さ（mm）、 b_2 、 b_4 、 b_6 、 $\dots$ はそれぞれ2次、4次、6次、 $\dots$ の光路差関数係数（回折面係数ともいう）である）、

$$PD = \Sigma (-2 \cdot |n_1| \cdot b_2)$$

により定義される回折構造のみのパワー（ mm^{-1} ）が次式を満たすことが好ましい。

$$0.5 \times 10^{-2} < PD < 5.0 \times 10^{-2}$$

【0139】

また、前記回折構造は、波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化されているとともに、次式を満たすことが好ましい。

$$380\text{ nm} < \lambda_1 < 420\text{ nm}$$

$$630\text{ nm} < \lambda_2 < 670\text{ nm}$$

$$760\text{ nm} < \lambda_3 < 800\text{ nm}$$

$$400\text{ nm} < \lambda_B < 430\text{ nm}$$

$$|n_1| = 6$$

$$|n_2| = 4$$

$$|n_3| = 3$$

【0140】

また、次式を満たすことが好ましい。

$$405\text{ nm} < \lambda_B < 425\text{ nm}$$

【0141】

また、前記対物レンズは、前記波長 λ_1 より5 nm長い波長の光が入射した際に、球面収差が補正不足方向に変化するような球面収差の波長依存性を有することが好ましい。

【0142】

また、前記対物レンズは、前記波長 λ_1 より5 nm長い波長の光が入射した際に、バックフォーカスが長くなる方向に変化するような軸上色収差の波長依存性を有し、前記波長 λ_1 より5 nm長い波長の光が入射した際のバックフォーカスの変化量を ΔCA 、前記波長 λ_1 より5 nm長い波長の光が入射した際の前記開口数NA1に対応するマージナル光線の変化量を ΔSA としたとき、次式を満たすことが好ましい。

$$-1 < \Delta CA / \Delta SA < 0$$

【0143】

また、波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化された前記回折構造の前記複数の輪帯の各

位置を、

$$\Phi_b = |n_1| \cdot (b_2 \cdot h^2 + b_4 \cdot h^4 + b_6 \cdot h^6 + \dots)$$

により定義される光路差関数で表す場合に（ここで、 h は光軸からの高さ（mm）、 b_2 、 b_4 、 b_6 、 $\dots$ はそれぞれ 2 次、4 次、6 次、 $\dots$ の光路差関数係数（回折面係数ともいう）である）、

$$PD = \Sigma (-2 \cdot |n_1| \cdot b_2)$$

により定義される回折構造のみのパワー（ mm^{-1} ）が次式を満たすことが好ましい。

$$-5.0 \times 10^{-2} < PD < 2.0 \times 10^{-2}$$

【0144】

また、前記回折構造は、波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化されているとともに、次式を満たすことが好ましい。 10

$$380 \text{ nm} < \lambda_1 < 420 \text{ nm}$$

$$630 \text{ nm} < \lambda_2 < 670 \text{ nm}$$

$$760 \text{ nm} < \lambda_3 < 800 \text{ nm}$$

$$390 \text{ nm} < \lambda_B < 420 \text{ nm}$$

$$|n_1| = 8$$

$$|n_2| = 5$$

$$|n_3| = 4$$

【0145】

また、次式を満たすことが好ましい。 20

$$395 \text{ nm} < \lambda_B < 415 \text{ nm}$$

【0146】

前記回折構造は、波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化されているとともに、次式を満たすことが好ましい。

$$380 \text{ nm} < \lambda_1 < 420 \text{ nm}$$

$$630 \text{ nm} < \lambda_2 < 670 \text{ nm}$$

$$760 \text{ nm} < \lambda_3 < 800 \text{ nm}$$

$$390 \text{ nm} < \lambda_B < 420 \text{ nm}$$

$$|n_1| = 10$$

$$|n_2| = 6$$

$$|n_3| = 5$$

【0147】

また、次式を満たすことが好ましい。

$$395 \text{ nm} < \lambda_B < 412 \text{ nm}$$

【0148】

また、前記対物レンズは、1つのレンズ群から構成されたことが好ましい。

【0149】

また、前記対物レンズの前記波長 λ_1 における焦点距離を f_1 （mm）、中心厚さを d （mm）、前記対物レンズに入射する前記波長 λ_1 の光束の径を Φ_1 （mm）、前記第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの作動距離を f_{B3} （mm）としたとき、次式を満たすことが好ましい。 40

$$0.7 < d / f_1 < 1.5$$

$$2.8 < \Phi_1 < 5.8$$

$$f_{B3} > 0.2$$

【0150】

また、前記第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの結像倍率を m_3 とした場合に、次式を満たすことが好ましい。

$$m_3 < 0$$

【0151】

また、次式を満たすことが好ましい。 50

$$-0.25 < m_3 < -0.05$$

【0152】

また、前記第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの結像倍率を m_2 とした場合に、次式を満たすことが好ましい。

$$m_2 < 0$$

【0153】

また、次式を満たすことが好ましい。

$$-0.20 < m_2 < -0.02$$

【0154】

また、前記像側開口数 NA_1 及び NA_2 は、
 $NA_1 > NA_2$

を満たすとともに、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 内に対応する領域を通過した前記波長 λ_2 の光束は、前記像側開口数 NA_2 内で、前記第2光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.07\lambda_2 \text{ rms}$ より小さい状態であり、かつ、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域を通過した前記波長 λ_2 の光束は、前記第2光情報記録媒体の情報記録面上まで到達するとともに、前記波長 λ_2 の光束は、前記像側開口数 NA_1 内で、前記第2光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.07\lambda_2 \text{ rms}$ より大きい状態であることが好ましい。

【0155】

また、前記波長 λ_2 の光束は、前記像側開口数 NA_2 内で、前記第2光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.05\lambda_2 \text{ rms}$ より小さい状態であり、かつ、前記像側開口数 NA_1 内で、前記第2光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.20\lambda_2 \text{ rms}$ より大きい状態であることが好ましい。

【0156】

また、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 内に対応する領域を通過した前記波長 λ_2 の光束の前記第2光情報記録媒体の情報記録面上での球面収差と、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域を通過した前記波長 λ_2 の光束の前記第2光情報記録媒体の情報記録面上での球面収差は、前記像側開口数 NA_2 において不連続であることが好ましい。

【0157】

また、前記回折構造が形成された前記対物レンズの光学面において、前記像側開口数 NA_2 内に対応する領域に形成された回折構造に、前記第1光源からの波長 λ_1 の第1光束が入射した場合に発生する前記第1光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数と、前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に形成された回折構造に、前記第1光源からの波長 λ_1 の第1光束が入射した場合に発生する前記第1光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数は、互いに異なる次数であって、前記像側開口数 NA_2 内に対応する領域に形成された回折構造と、前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に形成された回折構造は、互いに異なる波長と、互いに異なる次数で最適化されていることが好ましい。

【0158】

また、前記回折構造が形成された前記対物レンズの光学面において、前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に形成された回折構造は、波長 λ_1 、所定の回折次数で最適化されていることが好ましい。

【0159】

また、前記対物レンズは、
 $NA_1 > NA_2$

を満たすとともに、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に入射する前記波長 λ_2 の光束を遮断して、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に入射する前記波長 λ_2 の光束が前記第2光情報記録媒体の情報記録面上まで到達しないようにすることが可能な開口切替手段を有することが好ましい。

10

20

30

40

50

【0160】

また、前記開口切替手段は、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に入射する波長 λ_1 の光束を透過するとともに、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に入射する波長 λ_2 の光束を遮断するような波長選択性を有することが好ましい。

【0161】

また、前記開口切替手段は、前記対物レンズの光学面上に形成された波長選択フィルタであることが好ましい。

【0162】

また、前記対物レンズの像側開口数 NA_1 、 NA_2 、 NA_3 は、
 $NA_1 > NA_2 > NA_3$
を満たすとともに、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 内に対応する領域を通過した前記波長 λ_3 の光束は、前記像側開口数 NA_3 内で、前記第3光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.07\lambda_3 \text{ rms}$ より小さい状態であり、かつ、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域を通過した前記波長 λ_3 の光束は、前記第3光情報記録媒体の情報記録面上まで到達するとともに、前記波長 λ_3 の光束は、前記像側開口数 NA_1 内で、前記第3光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.07\lambda_3 \text{ rms}$ より大きい状態であることが好ましい。

【0163】

また、前記波長 λ_3 の光束は、前記像側開口数 NA_3 内で、前記第3光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.05\lambda_3 \text{ rms}$ より小さい状態であり、かつ、前記像側開口数 NA_1 内で、前記第3光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.20\lambda_3 \text{ rms}$ より大きい状態であることが好ましい。

【0164】

また、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 内に対応する領域を通過した前記波長 λ_3 の光束の前記第3光情報記録媒体の情報記録面上での球面収差と、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域を通過した前記波長 λ_3 の光束の前記第3光情報記録媒体の情報記録面上での球面収差は、前記像側開口数 NA_3 において不連続であることが好ましい。

【0165】

また、前記回折構造が形成された前記対物レンズの光学面において、前記像側開口数 NA_3 内に対応する領域に形成された回折構造に、前記第1光源からの波長 λ_1 の第1光束が入射した場合に発生する前記第1光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数と、前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域に形成された回折構造に、前記第1光源からの波長 λ_1 の第2光束が入射した場合に発生する前記第1光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数は、互いに異なる次数であって、前記像側開口数 NA_3 内に対応する領域に形成された回折構造と、前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域に形成された回折構造は、互いに異なる次数で最適化されていることが好ましい。

【0166】

また、前記回折構造が形成された前記対物レンズの光学面において、前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に形成された回折構造は、波長 λ_1 、所定の回折次数で最適化されていることが好ましい。

【0167】

また、前記対物レンズは、
 $NA_1 > NA_2 > NA_3$
を満たすとともに、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域に入射する前記波長 λ_3 の光束を遮断して、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域に入射する前記波長 λ_3 の光束が前記第3光情報記録媒体の情報記録面上まで到達しないようにすることが可能な開口切替手段を有することが好ましい。

【0168】

また、前記開口切替手段は、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域に入射する波長 λ_1 の光束と波長 λ_2 の光束とを透過するとともに、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域に入射する波長 λ_3 の光束を遮断するような波長選択性を有することが好ましい。

【0169】

また、前記開口切替手段は、前記対物レンズの光学面上に形成された波長選択フィルタであることが好ましい。

【0170】

また、上述の対物レンズはプラスチック材料から形成されることが好ましく、また、ガラス材料から形成されてもよい。この場合、前記ガラス材料は、転移点 T_g が 400°C 以下であることが好ましい。

【0171】

また、次式を満たすことが好ましい。

$$380\text{ nm} < \lambda_1 < 420\text{ nm}$$

$$630\text{ nm} < \lambda_2 < 670\text{ nm}$$

$$760\text{ nm} < \lambda_3 < 800\text{ nm}$$

$$0.0 \leq t_1 < 0.3$$

$$0.5 \leq t_2 < 0.7$$

$$1.0 \leq t_3 < 1.3$$

$$0.99 > NA_1 \geq 0.70$$

$$0.70 > NA_2 \geq 0.55$$

$$0.55 > NA_3 \geq 0.40$$

【0172】

また、本発明による更に別のピックアップ装置は、波長 λ_1 の第1光源からの光束を用いて厚さ t_1 の第1保護基板を有する第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$)の第2光源からの光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$)の第2保護基板を有する第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$)の第3光源からの光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$)の第3保護基板を有する第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う光ピックアップ装置であって、上述の対物レンズを備えたことを特徴とする。また、この光ピックアップ装置を搭載し、音声及び／または画像の記録、及び／または、音声及び／または画像の再生が可能ないように本発明による記録・再生装置を構成できる。

【0173】

また、本発明による更に別の対物レンズは、波長 λ_1 の第1光源からの光束を用いて厚さ t_1 の第1保護基板を有する第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$)の第2光源からの光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$)の第2保護基板を有する第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$)の第3光源からの光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$)の第3保護基板を有する第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う光ピックアップ装置用の対物レンズであって、前記対物レンズは、屈折型レンズと、前記屈折型レンズの光束入射面側に配置され、少なくとも1つの光学面上に、同心円状の複数の輪帯からなる回折構造を有する回折光学素子とから構成された複合型対物レンズであって、前記回折構造に前記第1光源からの波長 λ_1 の第1光束が入射した場合に発生する前記第1光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_1 、前記回折構造に前記第2光源からの波長 λ_2 の第2光束が入射した場合に発生する前記第2光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_2 、前記回折構造に前記第3光源からの波長 λ_3 の第3光束が入射した場合に発生する前記第3光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_3 、前記波長 λ_1 の光束により、前記第1光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数

を $NA1$ 、前記波長 $\lambda 2$ の光束により、前記第 2 光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数を $NA2$ 、前記波長 $\lambda 3$ の光束により、前記第 3 光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数を $NA3$ 、とするとき、

$$|n1| > |n2|$$

かつ

$$|n1| > |n3|$$

を満たすとともに、

前記対物レンズは、前記第 1 光束の $n1$ 次回折光を、前記第 1 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／又は記録を行うために、前記開口数 $NA1$ 内で、良好な波面を形成するように、前記第 1 光情報記録媒体の情報記録面上に集光でき、前記第 2 光束の $n2$ 次回折光を、前記第 2 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／又は記録を行うために、前記開口数 $NA2$ 内で、良好な波面を形成するように、前記第 2 光情報記録媒体の情報記録面上に集光でき、前記第 3 光束の $n3$ 次回折光を、前記第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／又は記録を行うために、前記開口数 $NA3$ 内で、良好な波面を形成するように、前記第 3 光情報記録媒体の情報記録面上に集光できることを特徴とする。

10

【0174】

本発明による更に別の対物レンズは、波長 $\lambda 1$ の第 1 光源からの光束を用いて厚さ $t1$ の第 1 保護基板を有する第 1 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 $\lambda 2$ ($\lambda 1 < \lambda 2$) の第 2 光源からの光束を用いて厚さ $t2$ ($t2 \geq t1$) の第 2 保護基板を有する第 2 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 $\lambda 3$ ($\lambda 2 < \lambda 3$) の第 3 光源からの光束を用いて厚さ $t3$ ($t3 \geq t2$) の第 3 保護基板を有する第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う光ピックアップ装置用の対物レンズであって、前記対物レンズは、屈折型レンズと、前記屈折型レンズの光束入射面側に配置された回折光学素子とから構成された複合型対物レンズであって、前記波長 $\lambda 1$ の光束により、前記第 1 光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数を $NA1$ 、前記波長 $\lambda 2$ の光束により、前記第 2 光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数を $NA2$ 、前記波長 $\lambda 3$ の光束により、前記第 3 光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数を $NA3$ 、とするとき、前記回折光学素子の少なくとも 1 つの光学面は、前記第 1 乃至第 3 光情報記録媒体のすべてに対して再生及び／または記録を行うために用いられる前記開口数 $NA3$ 内に対応する共通領域と、該共通領域よりも周辺側に位置し、少なくとも前記第 1 光情報記録媒体に対して再生及び／または記録を行うために用いられる周辺領域の、少なくとも 2 つの領域からなり、前記共通領域には、同心円状の複数の輪帯からなる回折構造が形成され、前記共通領域に形成された回折構造に光源からの波長 $\lambda 1$ の第 1 光束が入射した場合に発生する前記第 1 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を $n1$ 、前記共通領域に形成された回折構造に前記第 2 光源からの波長 $\lambda 2$ の第 2 光束が入射した場合に発生する前記第 2 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を $n2$ 、前記共通領域に形成された回折構造に前記第 3 光源からの波長 $\lambda 3$ の第 3 光束が入射した場合に発生する前記第 3 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を $n3$ 、とするとき、

20

30

40

$$|n1| > |n2|$$

かつ

$$|n1| > |n3|$$

を満たすとともに、

前記対物レンズは、前記共通領域で発生する前記第 1 光束の $n1$ 次回折光を、前記第 1 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／又は記録を行うために前記第 1 光情報記録媒体の情報記録面上に集光し、前記共通領域で発生する前記第 2 光束の $n2$ 次回折光を、前記第 2 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／又は記録を行うために前記第 2 光情報記録媒

50

体の情報記録面上に集光し、前記共通領域で発生する前記第3光束のn3次回折光を、前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／又は記録を行うために前記第3光情報記録媒体の情報記録面上に集光することを特徴とする。

【0175】

上記各対物レンズによれば、第1光情報記録媒体乃至第3光情報記録媒体の記録及び再生に使用する光束の回折次数が上式を満たすように回折光学素子の回折構造を決定するので、第1光情報記録媒体乃至第3光情報記録媒体の記録及び再生に使用する各光束に対して、それぞれ高い回折効率を得ることができる。さらに、この回折構造の作用により、第1保護基板乃至第3保護基板の厚さのうち、少なくとも2つの異なる保護基板の厚さの差によって発生する球面収差を補正するので、第1光情報記録媒体乃至第3光情報記録媒体のすべてに対して、情報の記録または再生を良好に行うことができる。また、回折構造の作用により、波長の異なるそれぞれの光源からの光束が対物レンズに入射した場合に、レンズ材料の分散によって変化する球面収差を補正するので、第1光情報記録媒体乃至第3光情報記録媒体のすべてに対して、情報の記録または再生を良好に行うことができる。

【0176】

上記各対物レンズにおいて、前記回折次数n1乃至n3は次式を満たすことが好ましい。

$$|n2| = \text{INT}(\lambda1 \cdot |n1| / \lambda2)$$

$$|n3| = \text{INT}(\lambda1 \cdot |n1| / \lambda3)$$

$$|n1| > |n2| \geq |n3|$$

ただし、n1は0、±1以外の整数であり、 $\text{INT}(\lambda1 \cdot |n1| / \lambda2)$ は $\lambda1 \cdot |n1| / \lambda2$ を四捨五入して得られる整数であり、 $\text{INT}(\lambda1 \cdot |n1| / \lambda3)$ は $\lambda1 \cdot |n1| / \lambda3$ を四捨五入して得られる整数である。

【0177】

また、次式を満たすことが好ましい。

$$|\text{INT}(\lambda1 \cdot |n1| / \lambda2) - (\lambda1 \cdot |n1| / \lambda2)| < 0.4$$

$$|\text{INT}(\lambda1 \cdot |n1| / \lambda3) - (\lambda1 \cdot |n1| / \lambda3)| < 0.4$$

【0178】

また、前記回折構造に入射する前記波長λ1の光束の光量を $I_{IN}(\lambda1)$ 、該 $I_{IN}(\lambda1)$ の光量を有する前記波長λ1の光束が前記回折構造を通過した後の光量を $I_{OUT}(\lambda1)$ 、前記回折構造に入射する前記波長λ2の光束の光量を $I_{IN}(\lambda2)$ 、該 $I_{IN}(\lambda2)$ の光量を有する前記波長λ2の光束が前記回折構造を通過した後の光量を $I_{OUT}(\lambda2)$ 、前記回折構造に入射する前記波長λ3の光束の光量を $I_{IN}(\lambda3)$ 、該 $I_{IN}(\lambda3)$ の光量を有する前記波長λ3の光束が前記回折構造を通過した後の光量を $I_{OUT}(\lambda3)$ としたとき、次式を満たすことが好ましい。

$$I_{OUT}(\lambda1) / I_{IN}(\lambda1) > 0.7$$

$$I_{OUT}(\lambda2) / I_{IN}(\lambda2) > 0.7$$

$$I_{OUT}(\lambda3) / I_{IN}(\lambda3) > 0.7$$

【0179】

また、前記回折構造は、波長λB、前記回折次数n1で最適化されているとともに、次式を満たすことが好ましい。

$$300\text{nm} < \lambda B < 500\text{nm}$$

$$|n1| \leq 10$$

【0180】

また、前記回折構造は、波長λB、前記回折次数n1で最適化されているとともに、次式を満たすことが好ましい。

$$380\text{nm} < \lambda1 < 420\text{nm}$$

$$630\text{nm} < \lambda2 < 670\text{nm}$$

$$760\text{nm} < \lambda3 < 800\text{nm}$$

$$340\text{nm} < \lambda B < 440\text{nm}$$

10

20

30

40

50

$$|n_1| = 2$$

$$|n_2| = 1$$

$$|n_3| = 1$$

【0181】

また、次式を満たすことが好ましい。

$$350\text{ nm} < \lambda_B < 420\text{ nm}$$

【0182】

また、前記対物レンズは、前記波長 λ_1 より5 nm長い波長の光が入射した際に、球面収差が補正過剰方向に変化するような球面収差の波長依存性を有することが好ましい。

【0183】

10

また、前記対物レンズは、前記波長 λ_1 より5 nm長い波長の光が入射した際に、バックフォーカスが短くなる方向に変化するような軸上色収差の波長依存性を有し、前記波長 λ_1 より5 nm長い波長の光が入射した際のバックフォーカスの変化量を ΔCA 、前記波長 λ_1 より5 nm長い波長の光が入射した際の前記開口数NA1に対応するマージナル光線の変化量を ΔSA としたとき、次式を満たすことが好ましい。

$$-1 < \Delta CA / \Delta SA < 0$$

【0184】

また、波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化された前記回折構造の前記複数の輪帯の各位置を、

$$\Phi_b = |n_1| \cdot (b_2 \cdot h^2 + b_4 \cdot h^4 + b_6 \cdot h^6 + \dots)$$

20

により定義される光路差関数で表す場合に（ここで、 h は光軸からの高さ（mm）、 b_2 、 b_4 、 b_6 、 $\dots$ はそれぞれ2次、4次、6次、 $\dots$ の光路差関数係数（回折面係数ともいう）である）、

$$PD = \Sigma (-2 \cdot |n_1| \cdot b_2)$$

により定義される回折構造のみのパワー（ mm^{-1} ）が次式を満たすことが好ましい。

$$0.5 \times 10^{-2} < PD < 5.0 \times 10^{-2}$$

【0185】

また、前記回折構造は、波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化されているとともに、次式を満たすことが好ましい。

$$380\text{ nm} < \lambda_1 < 420\text{ nm}$$

30

$$630\text{ nm} < \lambda_2 < 670\text{ nm}$$

$$760\text{ nm} < \lambda_3 < 800\text{ nm}$$

$$400\text{ nm} < \lambda_B < 430\text{ nm}$$

$$|n_1| = 6$$

$$|n_2| = 4$$

$$|n_3| = 3$$

【0186】

また、次式を満たすことが好ましい。

$$405\text{ nm} < \lambda_B < 425\text{ nm}$$

【0187】

40

また、前記対物レンズは、前記波長 λ_1 より5 nm長い波長の光が入射した際に、球面収差が補正不足方向に変化するような球面収差の波長依存性を有することが好ましい。

【0188】

また、前記対物レンズは、前記波長 λ_1 より5 nm長い波長の光が入射した際に、バックフォーカスが長くなる方向に変化するような軸上色収差の波長依存性を有し、前記波長 λ_1 より5 nm長い波長の光が入射した際のバックフォーカスの変化量を ΔCA 、前記波長 λ_1 より5 nm長い波長の光が入射した際の前記開口数NA1に対応するマージナル光線の変化量を ΔSA としたとき、次式を満たすことが好ましい。

$$-1 < \Delta CA / \Delta SA < 0$$

【0189】

50

また、波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化された前記回折構造の前記複数の輪帯の各位置を、

$$\Phi_b = |n_1| \cdot (b_2 \cdot h^2 + b_4 \cdot h^4 + b_6 \cdot h^6 + \dots)$$

により定義される光路差関数で表す場合に（ここで、 h は光軸からの高さ（mm）、 b_2 、 b_4 、 b_6 ・・・はそれぞれ2次、4次、6次、・・・の光路差関数係数（回折面係数ともいう）である）、

$$PD = \Sigma (-2 \cdot |n_1| \cdot b_2)$$

により定義される回折構造のみのパワー（ mm^{-1} ）が次式を満たすことが好ましい。

$$-5.0 \times 10^{-2} < PD < 2.0 \times 10^{-2}$$

【0190】

10

また、前記回折構造は、波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化されているとともに、次式を満たすことが好ましい。

$$380 \text{ nm} < \lambda_1 < 420 \text{ nm}$$

$$630 \text{ nm} < \lambda_2 < 670 \text{ nm}$$

$$760 \text{ nm} < \lambda_3 < 800 \text{ nm}$$

$$390 \text{ nm} < \lambda_B < 420 \text{ nm}$$

$$|n_1| = 8$$

$$|n_2| = 5$$

$$|n_3| = 4$$

【0191】

20

また、次式を満たすことが好ましい。

$$395 \text{ nm} < \lambda_B < 415 \text{ nm}$$

【0192】

また、前記回折構造は、波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化されているとともに、次式を満たすことが好ましい。

$$380 \text{ nm} < \lambda_1 < 420 \text{ nm}$$

$$630 \text{ nm} < \lambda_2 < 670 \text{ nm}$$

$$760 \text{ nm} < \lambda_3 < 800 \text{ nm}$$

$$390 \text{ nm} < \lambda_B < 420 \text{ nm}$$

$$|n_1| = 10$$

$$|n_2| = 6$$

$$|n_3| = 5$$

【0193】

また、次式を満たすことが好ましい。

$$395 \text{ nm} < \lambda_B < 412 \text{ nm}$$

【0194】

また、前記屈折型レンズの近軸パワーを P_1 （ mm^{-1} ）、前記回折光学素子の近軸パワーを P_2 （ mm^{-1} ）としたとき、次式

$$|P_1 / P_2| \leq 0.2$$

を満たすことが好ましい。

【0195】

40

また、前記回折光学素子を透過して前記屈折型レンズに入射する光束のマージナル光線が収斂光線であることが好ましい。

【0196】

また、前記回折構造は、平面上に形成されたことが好ましい。また、前記回折構造は、非球面上に形成されたことが好ましい。また、少なくとも2つの光学面上に、前記回折構造が形成されたことが好ましい。

【0197】

また、前記回折光学素子はプラスチック材料から形成されたことが好ましい。また、前記屈折型レンズは、プラスチック材料から形成されたことが好ましい。

50

【0198】

また、前記屈折型レンズは、ガラス材料から形成されることが好ましい。前記ガラス材料は、転移点 T_g が 400°C 以下であることが好ましい。

【0199】

また、光束を規制する絞りが、前記回折光学素子の前記屈折型レンズ側に位置する光学面と、前記屈折型レンズの前記回折光学素子側に位置する光学面との間に配置されることが好ましい。

【0200】

また、前記屈折型レンズは、所定の結像倍率 m 、前記波長 λ_1 、前記第1保護基板の厚さ t_1 、前記像側開口数 NA_1 の組合せに対してその波面収差が $0.07\lambda_1 \text{ rms}$ 以下となるように収差補正されていることが好ましい。 10

【0201】

また、前記回折光学素子は、前記屈折型レンズと一体となってトラッキング駆動されることが好ましい。

【0202】

また、前記回折光学素子と前記屈折型レンズとはそれぞれ光学面と一体に成形されたフランジ部を有し、前記それぞれのフランジ部が嵌合されることで、前記回折光学素子と前記屈折型レンズとが一体化されることが好ましい。

【0203】

また、前記屈折型レンズは、1つのレンズ群から構成されることが好ましい。 20

【0204】

また、前記屈折型レンズと前記回折光学素子とを合わせた前記対物レンズ全系の前記波長 λ_1 における焦点距離を f_1 (mm)、前記屈折型レンズの中心厚さを d (mm)、前記対物レンズに入射する前記波長 λ_1 の光束の径を Φ_1 (mm)、前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの作動距離を f_{B3} (mm) としたとき、次式を満たすことが好ましい。

$$0.7 < d / f_1 < 1.5$$

$$2.8 < \Phi_1 < 5.8$$

$$f_{B3} > 0.2$$

【0205】

また、前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの結像倍率を m_3 とした場合に、次式を満たすことが好ましい。 30

$$m_3 < 0$$

【0206】

また、次式を満たすことが好ましい。

$$-0.25 < m_3 < -0.05$$

【0207】

また、前記対物レンズにより前記第3光情報記録媒体の情報記録面上に集光された、光軸上に配置された前記第3光源からの光束の波面収差を前記像側開口数 NA_3 内で測定した際のコマ収差成分と、前記対物レンズにより前記第3光情報記録媒体の情報記録面上に集光された、光軸からその垂直方向に 0.2 mm 離れた位置に配置された前記第3光源からの光束の波面収差を前記像側開口数 NA_3 内で測定した際のコマ収差成分との差が、 $0.07\lambda_3 \text{ rms}$ より小さいことが好ましい。 40

【0208】

また、前記第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの結像倍率を m_2 とした場合に、次式を満たすことが好ましい。

$$m_2 < 0$$

【0209】

また、次式を満たすことが好ましい。

$$-0.20 < m_2 < -0.02$$

【0210】

また、前記対物レンズにより前記第2光情報記録媒体の情報記録面上に集光された、光軸上に配置された前記第2光源からの光束の波面収差を前記像側開口数 NA_2 内で測定した際のコマ収差成分と、前記対物レンズにより前記第2光情報記録媒体の情報記録面上に集光された、光軸からその垂直方向に 0.2 mm 離れた位置に配置された前記第2光源からの光束の波面収差を前記像側開口数 NA_2 内で測定した際のコマ収差成分との差が、 $0.07\lambda_2\text{ rms}$ より小さいことが好ましい。

【0211】

また、前記像側開口数 NA_1 及び NA_2 は、
 $NA_1 > NA_2$

10

を満たすとともに、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 内に対応する領域を通過した前記波長 λ_2 の光束は、前記像側開口数 NA_2 内で、前記第2光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.07\lambda_2\text{ rms}$ より小さい状態であり、かつ、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域を通過した前記波長 λ_2 の光束は、前記第2光情報記録媒体の情報面上まで到達するとともに、前記波長 λ_2 の光束は、前記像側開口数 NA_1 内で、前記第2光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.07\lambda_2\text{ rms}$ より大きい状態であることが好ましい。

【0212】

また、前記波長 λ_2 の光束は、前記像側開口数 NA_2 内で、前記第2光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.05\lambda_2\text{ rms}$ より小さい状態であり、かつ、前記像側開口数 NA_1 内で、前記第2光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.20\lambda_2\text{ rms}$ より大きい状態であることが好ましい。

20

【0213】

また、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 内に対応する領域を通過した前記波長 λ_2 の光束の前記第2光情報記録媒体の情報記録面上での球面収差と、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域を通過した前記波長 λ_2 の光束の前記第2光情報記録媒体の情報記録面上での球面収差は、前記像側開口数 NA_2 において不連続であることが好ましい。

【0214】

また、前記回折構造が形成された前記回折光学素子の光学面において、前記像側開口数 NA_2 内に対応する領域に形成された回折構造に、前記第2光源からの波長 λ_2 の第2光束が入射した場合に発生する前記第2光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数と、前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に形成された回折構造に、前記第2光源からの波長 λ_2 の第2光束が入射した場合に発生する前記第2光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数は、互いに異なる次数であって、前記像側開口数 NA_2 内に対応する領域に形成された回折構造と、前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に形成された回折構造は、互いに異なる次数で最適化されていることが好ましい。

30

【0215】

また、前記回折構造が形成された前記回折光学素子の光学面において、前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に形成された回折構造は、波長 λ_1 、所定の回折次数で最適化されていることが好ましい。

40

【0216】

また、前記対物レンズは、
 $NA_1 > NA_2$

を満たすとともに、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に入射する前記波長 λ_2 の光束を遮断して、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に入射する前記波長 λ_2 の光束が前記第2光情報記録媒体の情報記録面上まで到達しないようにすることが可能な開口切替手段を有することが好ましい。

【0217】

50

また、前記開口切替手段は、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に入射する波長 λ_1 の光束を透過するとともに、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に入射する波長 λ_2 の光束を遮断するような波長選択性を有することが好ましい。

【0218】

また、前記開口切替手段は、前記対物レンズの光学面上に形成された波長選択フィルタであることが好ましい。

【0219】

また、前記対物レンズの像側開口数 NA_1 、 NA_2 、 NA_3 は、 $NA_1 > NA_2 > NA_3$

10

を満たすとともに、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 内に対応する領域を通過した前記波長 λ_3 の光束は、前記像側開口数 NA_3 内で、前記第3光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.07\lambda_3 \text{ rms}$ より小さい状態であり、かつ、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域を通過した前記波長 λ_3 の光束は、前記第3光情報記録媒体の情報記録面上まで到達するとともに、前記波長 λ_3 の光束は、前記像側開口数 NA_1 内で、前記第3光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.07\lambda_3 \text{ rms}$ より大きい状態であることが好ましい。

【0220】

また、前記波長 λ_3 の光束は、前記像側開口数 NA_3 内で、前記第3光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.05\lambda_3 \text{ rms}$ より小さい状態であり、かつ、前記像側開口数 NA_1 内で、前記第3光情報記録媒体の情報記録面上において、波面収差が $0.20\lambda_3 \text{ rms}$ より大きい状態であることが好ましい。

20

【0221】

また、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 内に対応する領域を通過した前記波長 λ_3 の光束の前記第3光情報記録媒体の情報記録面上での球面収差と、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域を通過した前記波長 λ_3 の光束の前記第3光情報記録媒体の情報記録面上での球面収差は、前記像側開口数 NA_3 において不連続であることが好ましい。

【0222】

また、前記回折構造が形成された前記回折光学素子の光学面において、前記像側開口数 NA_3 内に対応する領域に形成された回折構造に、前記第3光源からの波長 λ_3 の第3光束が入射した場合に発生する前記第3光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数と、前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域に形成された回折構造に、前記第3光源からの波長 λ_3 の第2光束が入射した場合に発生する前記第3光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数は、互いに異なる次数であって、前記像側開口数 NA_3 内に対応する領域に形成された回折構造と、前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域に形成された回折構造は、互いに異なる波長と、互いに異なる次数で最適化されていることが好ましい。

30

【0223】

また、前記回折構造が形成された前記回折光学素子の光学面において、前記像側開口数 NA_2 から NA_1 に対応する領域に形成された回折構造は、波長 λ_1 、所定の回折次数で最適化されていることが好ましい。

40

【0224】

また、前記対物レンズは、 $NA_1 > NA_2 > NA_3$

を満たすとともに、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域に入射する前記波長 λ_3 の光束を遮断して、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域に入射する前記波長 λ_3 の光束が前記第3光情報記録媒体の情報記録面上まで到達しないようにすることが可能な開口切替手段を有することが好ましい。

【0225】

50

また、前記開口切替手段は、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域に入射する波長 λ_1 の光束と波長 λ_2 の光束とを透過するとともに、前記対物レンズの前記像側開口数 NA_3 から NA_1 に対応する領域に入射する波長 λ_3 の光束を遮断するような波長選択性を有することが好ましい。

【0226】

また、前記開口切替手段は、前記対物レンズの光学面上に形成された波長選択フィルタであることが好ましい。

【0227】

また、次式を満たすことが好ましい。

$$380\text{ nm} < \lambda_1 < 420\text{ nm}$$

$$630\text{ nm} < \lambda_2 < 670\text{ nm}$$

$$760\text{ nm} < \lambda_3 < 800\text{ nm}$$

$$0.0 \leq t_1 < 0.3$$

$$0.5 \leq t_2 < 0.7$$

$$1.0 \leq t_3 < 1.3$$

$$0.99 > NA_1 \geq 0.70$$

$$0.70 > NA_2 \geq 0.55$$

$$1.55 > NA_3 \geq 0.40$$

【0228】

また、本発明による回折光学素子は、上述の各対物レンズに適用可能なものである。

【0229】

また、本発明による更に別の光ピックアップ装置は、波長 λ_1 の第1光源からの光束を用いて厚さ t_1 の第1保護基板を有する第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$) の第2光源からの光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$) の第2保護基板を有する第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$) の第3光源からの光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$) の第3保護基板を有する第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う光ピックアップ装置であって、上述の対物レンズを備えたことを特徴とする。また、この光ピックアップ装置を搭載し、音声及び／または画像の記録、及び／または、音声及び／または画像の再生が可能ないように本発明による記録・再生装置を構成できる。

【0230】

また、本発明による更に別の対物レンズは、波長 λ_1 の第1光源からの光束を用いて厚さ t_1 の第1保護基板を有する第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$) の第2光源からの光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$) の第2保護基板を有する第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$) の第3光源からの光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$) の第3保護基板を有する第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う光ピックアップ装置用の対物レンズであって、前記光ピックアップ装置は、前記第1保護基板乃至第3保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差を補正するための基板厚差補正手段を有し、前記波長 λ_1 の光束により、前記第1光情報記録媒体に再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数を NA_1 、前記第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの結像倍率を m_1 とした場合に、前記対物レンズは、前記波長 λ_1 、前記第1保護基板の厚さ t_1 、前記像側開口数 NA_1 、前記結像倍率 m_1 の組み合わせにおいて、球面収差が最小にあるように最適化されたことを特徴とする。

【0231】

この対物レンズによれば、第1光情報記録媒体に用いられる波長の最も短い光束について球面収差が最小となるとともに3種類の異なる光情報記録媒体について情報の記録または再生を行うときに適用できる対物レンズを提供できる。

【0232】

10

20

30

40

50

前記対物レンズは屈折型レンズであることが好ましく、また、前記対物レンズは1つのレンズ群から構成されることが好ましい。

【0233】

この場合、前記対物レンズの前記波長 λ_1 における焦点距離を f_1 (mm)、中心厚さを d (mm)、前記対物レンズに入射する前記波長 λ_1 の光束の径を Φ_1 (mm)、前記第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の前記対物レンズの作動距離を f_{B1} (mm)としたとき、次式を満たすことが好ましい。

$$0.7 < d / f_1 < 1.5$$

$$2.8 < \Phi_1 < 5.8$$

$$f_{B1} > 0.5$$

10

【0234】

上述の対物レンズは、プラスチック材料から形成されるか、または、ガラス材料から形成されることが好ましい。

【0235】

前記ガラス材料は、ガラス転移点 T_g が 400°C 以下であることが好ましい。

【0236】

また、上述の対物レンズでは次式を満たすことが好ましい。

$$380\text{ nm} < \lambda_1 < 420\text{ nm}$$

$$0.0\text{ mm} \leq t_1 < 0.3\text{ mm}$$

$$0.99 > NA_1 \geq 0.70$$

20

【0237】

また、本発明による更に別の光ピックアップ装置は、波長 λ_1 の第1光源からの光束を用いて厚さ t_1 の第1保護基板を有する第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$)の第2光源からの光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$)の第2保護基板を有する第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$)の第3光源からの光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$)の第3保護基板を有する第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う光ピックアップ装置であって、上述の対物レンズを備えたことを特徴とする。これにより、特に第1光情報記録媒体について安定して情報の記録及び／または再生を行うことができる。また、この光ピックアップ装置を搭載し、音声及び／または画像を記録し、及び／または、音声及び／または画像を再生可能なように本発明による記録・再生装置を構成できる。

30

【0238】

また、本発明による光学素子は、波長 λ_1 の第1光源からの第1光束を用いて厚さ t_1 の第1保護基板を有する第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$)の第2光源からの第2光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$)の第2保護基板を有する第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$)の第3光源からの第3光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$)の第3保護基板を有する第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、かつ、前記第1光情報記録媒体乃至前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録について、共通の対物レンズを用いる光ピックアップ装置用の光学素子であって、前記光学素子の入射端面を、光軸近傍から外側に向かって順に、第1光束領域、第2光束領域、第3光束領域、の輪帯状の3つの光束領域に分割した場合に、前記各光束領域に入射した光束が通過する前記光学素子の領域をそれぞれ、光軸近傍から外側に向かって順に、第1光学領域、第2光学領域、第3光学領域、としたとき、前記第1光学領域に入射した前記第1乃至第3光束は、それぞれ前記第1乃至第3光情報記録媒体の各情報記録面上に良好な波面を形成するように集光し、かつ、前記第2光学領域に入射した前記第1及び第2光束は、それぞれ前記第1及び第2光情報記録媒体の各情報記録面上に良好な波面を形成するように集光するが、前記第2光学領域に入射した前記第3光束は、前記第3光情報記録媒体の情報記録面上に良好な波面を形成せず、かつ、前記第3光学領域に入射した

40

50

前記第1光束は、前記第1光情報記録媒体の情報記録面上に良好な波面を形成するように集光するが、前記第3光学領域に入射した前記第2及び第3光束は、それぞれ前記第2及び第3光情報記録媒体の各情報記録面上に良好な波面を形成しないことを特徴とする。

【0239】

この光学素子によれば、3つの光学領域を有し3種類の異なる光情報記録媒体について情報の記録及び／または再生を行う光ピックアップ装置に適用できる光学素子を提供できる。

【0240】

また、本発明による別の光学素子は、波長 λ_1 の第1光源からの第1光束を用いて厚さ t_1 の第1保護基板を有する第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$) の第2光源からの第2光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$) の第2保護基板を有する第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$) の第3光源からの第3光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$) の第3保護基板を有する第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、かつ、前記第1光情報記録媒体乃至前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録について、共通の対物レンズを用いる光ピックアップ装置用の光学素子であって、前記光学素子の入射瞳面を、光軸近傍から外側に向かって順に、第1光束領域、第2光束領域、第3光束領域、の輪带状の3つの光束領域に分割した場合に、前記各光束領域に入射した光束が通過する前記光学素子の領域をそれぞれ、光軸近傍から外側に向かって順に、第1光学領域、第2光学領域、第3光学領域、としたとき、前記第1光学領域に入射した前記第1乃至第3光束は、それぞれ前記第1乃至第3光情報記録媒体の各情報記録面上に良好な波面を形成するように集光し、かつ、前記第2光学領域に入射した前記第1及び第2光束は、それぞれ前記第1及び第2光情報記録媒体の各情報記録面上に良好な波面を形成するように集光するが、前記第2光学領域に入射した前記第3光束は、遮断され前記第3光情報記録媒体の情報記録面に到達せず、かつ、前記第3光学領域に入射した前記第1光束は、前記第1光情報記録媒体の情報記録面上に良好な波面を形成するように集光するが、前記第3光学領域に入射した前記第2光束は、前記第2光情報記録媒体の情報記録面上に良好な波面を形成しないとともに、前記第3光学領域に入射した前記第3光束は、遮断され前記第3光情報記録媒体の情報記録面に到達しないことを特徴とする。

【0241】

この光学素子によれば、3つの光学領域を有し3種類の異なる光情報記録媒体について情報の記録及び／または再生を行う光ピックアップ装置に適用できる光学素子を提供できる。

【0242】

上述の光学素子は、前記第2及び第3光学領域に入射した前記第3光束が、遮断され前記第3光情報記録媒体の情報記録面に到達しないようにすることができる光束切替手段を有する光ピックアップ装置に用いられることが好ましい。

【0243】

この場合、前記光束切替手段は、前記光学素子の光学面上に形成された波長選択フィルタであることが好ましい。

【0244】

また、本発明による更に別の光学素子は、波長 λ_1 の第1光源からの第1光束を用いて厚さ t_1 の第1保護基板を有する第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$) の第2光源からの第2光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$) の第2保護基板を有する第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$) の第3光源からの第3光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$) の第3保護基板を有する第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、かつ、前記第1光情報記録媒体乃至前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録について、共通の対物レンズを用いる光ピックアップ装置用の光学素子であって、前記光学素子の入射瞳面を、光軸近傍から外側に向かって順に、第1光束領域、

第2光束領域、第3光束領域、の輪帯状の3つの光束領域に分割した場合に、前記各光束領域に入射した光束が通過する前記光学素子の領域をそれぞれ、光軸近傍から外側に向かって順に、第1光学領域、第2光学領域、第3光学領域、としたとき、前記第1光学領域に入射した前記第1乃至第3光束は、それぞれ前記第1乃至第3光情報記録媒体の各情報記録面上に良好な波面を形成するように集光し、かつ、前記第2光学領域に入射した前記第1及び第2光束は、それぞれ前記第1及び第2光情報記録媒体の各情報記録面上に良好な波面を形成するように集光するが、前記第2光学領域に入射した前記第3光束は、遮断され前記第3光情報記録媒体の情報記録面に到達せず、かつ、前記第3光学領域に入射した前記第1光束は、前記第1光情報記録媒体の情報記録面上に良好な波面を形成するように集光するが、前記第3光学領域に入射した前記第2及び第3光束は、ともに遮断されそれぞれ前記第2及び第3光情報記録媒体の情報記録面に到達しないことを特徴とする。 10

【0245】

この光学素子によれば、3つの光学領域を有し3種類の異なる光情報記録媒体について情報の記録及び／または再生を行う光ピックアップ装置に適用できる光学素子を提供できる。

【0246】

上述の光学素子は、前記第2及び第3光学領域に入射した前記第3光束が、遮断され前記第3光情報記録媒体の情報記録面に到達しないようにするとともに、前記第3光学領域に入射した前記第2光束が、遮断され前記第2光情報記録媒体の情報記録面に到達しないようにすることができる光束切替手段を有する光ピックアップ装置に用いられることが好ましい。 20

【0247】

この場合、前記光束切替手段は前記光学素子の光学面上に形成された波長選択フィルタであることが好ましい。

【0248】

また、前記光学素子は、対物レンズであることが好ましい。

【0249】

また、前記光学素子は、前記対物レンズの光束入射面側に配置されることが好ましい。

【0250】

また、前記光学素子は、前記対物レンズと一体になってトラッキング駆動されることが好ましい。 30

【0251】

また、前記第1光束を用いて、前記第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う際の前記対物レンズの所定の像側開口数を $NA1$ 、前記第2光束を用いて、前記第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う際の前記対物レンズの所定の像側開口数を $NA2$ ($NA2 < NA1$)、前記第3光束を用いて、前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う際の前記対物レンズの所定の像側開口数を $NA3$ 、とするとき、次式を満たすことが好ましい。

$$NA2 = N2 \cdot \sin \theta 2$$

$$NA3 = N3 \cdot \sin \theta 3$$

ただし、

$\sin \theta 2$ ：前記第2光学領域の最周辺を通過した前記第2光束のマージナル光線の、前記対物レンズ最終面からの、光軸を基準として測った出射角 $\theta 2$ (deg)の絶対値の正弦

$\sin \theta 3$ ：前記第1光学領域の最周辺を通過した前記第3光束のマージナル光線の、前記対物レンズ最終面からの、光軸を基準として測った出射角 $\theta 3$ (deg)の絶対値の正弦

$N2$ ：前記対物レンズの像側空間の前記波長 $\lambda 2$ における屈折率

$N3$ ：前記対物レンズの像側空間の前記波長 $\lambda 3$ における屈折率

【0252】

40

50

この場合、前記第 1 乃至第 3 光学領域のうち、少なくとも 1 つの光学領域には、同心円状の複数の輪帯からなる回折構造が形成されることが好ましい。

【0253】

また、前記第 i 光学領域に形成された前記回折構造に、前記第 1 光束が入射した場合に発生する前記第 1 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_{i1} 、前記第 i 光学領域に形成された前記回折構造に、前記第 2 光束が入射した場合に発生する前記第 2 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_{i2} 、としたとき、次式を満たすことが好ましい。

$$|n_{i1}| > |n_{i2}| \quad (\text{ただし、} i \text{ は、} 1 \text{ または } 2 \text{ または } 3)$$

【0254】

この場合、前記第 i 光学領域に形成された前記回折構造に、前記第 1 光束が入射した場合に発生する前記第 1 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_{i1} 、前記第 i 光学領域に形成された前記回折構造に、前記第 3 光束が入射した場合に発生する前記第 2 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_{i3} 、としたとき、次式を満たすことが好ましい。

$$|n_{i1}| > |n_{i3}| \quad (\text{ただし、} i \text{ は、} 1 \text{ または } 2 \text{ または } 3)$$

【0255】

また、前記第 2 及び第 3 光学領域には、それぞれ同心円状の複数の輪帯からなる回折構造が形成され、前記第 2 光学領域に形成された前記回折構造に、前記第 1 光束が入射した場合に発生する前記第 1 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_{21} 、前記第 3 光学領域に形成された前記回折構造に、前記第 1 光束が入射した場合に発生する前記第 1 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_{31} 、としたとき、次式を満たすことが好ましい。

$$|n_{31}| \neq |n_{21}|$$

【0256】

この場合、前記第 2 光学領域に形成された前記回折構造は、前記回折次数 n_{21} と波長 λ_{B2} で最適化され、かつ、前記第 3 光学領域に形成された前記回折構造は、前記回折次数 n_{31} と波長 λ_{B3} で最適化され、次式を満たすことが好ましい。

$$\lambda_{B2} \neq \lambda_{B3}$$

【0257】

また、上述の回折光学素子は次式を満たすことが好ましい。

$$380 \text{ nm} < \lambda_1 < 420 \text{ nm}$$

$$630 \text{ nm} < \lambda_2 < 670 \text{ nm}$$

$$760 \text{ nm} < \lambda_3 < 800 \text{ nm}$$

【0258】

また、本発明による更に別の光ピックアップ装置は、波長 λ_1 の第 1 光源からの第 1 光束を用いて厚さ t_1 の第 1 保護基板を有する第 1 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$) の第 2 光源からの第 2 光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$) の第 2 保護基板を有する第 2 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$) の第 3 光源からの第 3 光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$) の第 3 保護基板を有する第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、かつ、前記第 1 光情報記録媒体乃至前記第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録について、共通の対物レンズを用いる光ピックアップ装置であって、上述のいずれかの光学素子を備えたことを特徴とする。また、この光ピックアップ装置を搭載し、音声及び／または画像を記録し、及び／または、音声及び／または画像を再生可能なように本発明による記録・再生装置を構成できる。

【0259】

本発明による更に別の光ピックアップ装置は、光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行うための光ピックアップ装置において、第 1 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行うための波長 λ_1 の光束を発生する第 1 光源と、第 2 光情

10

20

30

40

50

報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行うための波長 λ_2 ($\lambda_2 > \lambda_1$)の光束を発生する第2光源と、第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行うための波長 λ_3 ($\lambda_3 > \lambda_2$)の光束を発生する第3光源と、入射光に対して所定の次数の回折光を発生する回折部と、前記第1乃至第3情報記録媒体の情報記録面に、前記第1乃至第3光源からの光束をそれぞれ集光させるために、前記第1乃至第3情報記録媒体に対向する位置に配置される対物レンズと、を有する集光光学系と、を具備し、前記波長 λ_1 の光束が前記回折部を通過することで発生する n_1 次回折光の回折光量が、前記波長 λ_1 の光束の他のいずれの次数の回折光の回折光量よりも大きい場合に、前記波長 λ_2 の光束が前記回折部を通過することで発生する n_2 次回折光の回折光量が、前記波長 λ_2 の光束の他のいずれの次数の回折光の回折光量よりも大きく、かつ、前記波長 λ_3 の光束が前記回折部を通過することで発生する n_3 次回折光の回折光量が、前記波長 λ_3 の光束の他のいずれの次数の回折光の回折光量よりも大きく、さらに、前記回折次数 n_1 乃至 n_3 は次式を満たすことを特徴とする。

$$|n_2| = \text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2)$$

$$|n_3| = \text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3)$$

$$|n_1| > |n_2| \geq |n_3|$$

ただし、 n_1 は0、 ± 1 以外の整数であり、 $\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2)$ は $\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2$ を四捨五入して得られる整数であり、 $\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3)$ は $\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3$ を四捨五入して得られる整数である。

【0260】

上記光ピックアップ装置は次式を満たすことが好ましい。

$$|\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2) - (\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2)| < 0.4$$

$$|\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3) - (\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3)| < 0.4$$

【0261】

また、前記集光光学系は、前記第1の光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行うための光ビームとして、前記 n_1 次回折光を前記第1の光情報記録媒体の情報記録面上に集光し、前記第2の光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行うための光ビームとして、前記 n_2 次回折光を前記第2の光情報記録媒体の情報記録面上に集光し、前記第3の光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行うための光ビームとして、前記 n_3 次回折光を前記第3の光情報記録媒体の情報記録面上に集光することが好ましい。

【0262】

また、前記回折部に入射する前記波長 λ_1 の光束の光量を $I_{IN}(\lambda_1)$ 、該 $I_{IN}(\lambda_1)$ の光量を有する前記波長 λ_1 の光束が前記回折部を通過した後の光量を $I_{OUT}(\lambda_1)$ 、前記回折部に入射する前記波長 λ_2 の光束の光量を $I_{IN}(\lambda_2)$ 、該 $I_{IN}(\lambda_2)$ の光量を有する前記波長 λ_2 の光束が前記回折部を通過した後の光量を $I_{OUT}(\lambda_2)$ 、前記回折部に入射する前記波長 λ_3 の光束の光量を $I_{IN}(\lambda_3)$ 、該 $I_{IN}(\lambda_3)$ の光量を有する前記波長 λ_3 の光束が前記回折部を通過した後の光量を $I_{OUT}(\lambda_3)$ としたとき、次式を満たすことが好ましい。

$$I_{OUT}(\lambda_1) / I_{IN}(\lambda_1) > 0.7$$

$$I_{OUT}(\lambda_2) / I_{IN}(\lambda_2) > 0.7$$

$$I_{OUT}(\lambda_3) / I_{IN}(\lambda_3) > 0.7$$

【0263】

また、前記第1情報記録媒体は、情報記録面の光束入射面側に所定の厚さ t_1 を有する第1保護層を有し、前記第2情報記録媒体は、情報記録面の光束入射面側に所定の厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$)を有する第2保護層を有し、前記第3情報記録媒体は、情報記録面の光束入射面側に所定の厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$)を有する第3保護層を有し、前記集光光学系は、前記波長 λ_1 の光束が前記回折部を通過することで発生する前記 n_1 次回折光を、前記第1保護層を介して前記第1情報記録媒体の情報記録面に波面収差が $0.07\lambda_1 \text{ rms}$ 以下の状態で集光し、前記波長 λ_2 の光束が前記回折部を通過することで発生する前記

n 2 次回折光を、前記第 2 保護層を介して前記第 2 情報記録媒体の情報記録面に波面収差が $0.07\lambda_2$ rms 以下の状態で集光し、前記波長 λ_3 の光束が前記回折部を通過することで発生する前記 n 3 次回折光を、前記第 3 保護層を介して前記第 3 情報記録媒体の情報記録面に波面収差が $0.07\lambda_3$ rms 以下の状態で集光することが好ましい。

【0264】

また、前記回折部は、前記対物レンズの光束入射面側に配置されたことが好ましい。

【0265】

また、前記回折部は、前記対物レンズの光学面上に形成されたことが好ましい。

【0266】

また、上述の光ピックアップ装置を搭載し、音声及び／または画像の記録、及び／またはは、音声及び／または画像の再生が可能なように本発明による記録・再生装置を構成できる。

【0267】

本発明による光学素子は、第 1 光源からの波長 λ_1 の光束を用いて第 1 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、第 2 光源からの波長 λ_2 ($\lambda_2 > \lambda_1$) の光束を用いて第 2 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、第 3 光源からの波長 λ_3 ($\lambda_3 > \lambda_2$) の光束を用いて第 3 光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う光ピックアップ装置用の光学素子であって、前記光学素子は、入射光に対して所定の次数の回折光を発生する回折部を有し、前記波長 λ_1 の光束が前記回折部を通過することで発生する n 1 次回折光の回折光量が、前記波長 λ_1 の光束の他のいずれの次数の回折光の回折光量よりも大きい場合に、前記波長 λ_2 の光束が前記回折部を通過することで発生する n 2 次回折光の回折光量が、前記波長 λ_2 の光束の他のいずれの次数の回折光の回折光量よりも大きく、かつ、前記波長 λ_3 の光束が前記回折部を通過することで発生する n 3 次回折光の回折光量が、前記波長 λ_3 の光束の他のいずれの次数の回折光の回折光量よりも大きく、さらに、前記回折次数 n 1 乃至 n 3 は次式を満たすことを特徴とする。

$$|n_2| = \text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2)$$

$$|n_3| = \text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3)$$

$$|n_1| > |n_2| \geq |n_3|$$

ただし、 n_1 は 0、 ± 1 以外の整数であり、 $\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2)$ は $\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2$ を四捨五入して得られる整数であり、 $\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3)$ は $\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3$ を四捨五入して得られる整数である。

【0268】

上記光学素子は次式を満たすことが好ましい。

$$|\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2) - (\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2)| < 0.4$$

$$|\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3) - (\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3)| < 0.4$$

【0269】

また、前記回折部に入射する前記波長 λ_1 の光束の光量を $I_{IN}(\lambda_1)$ 、該 $I_{IN}(\lambda_1)$ の光量を有する前記波長 λ_1 の光束が前記回折部を通過した後の光量を $I_{OUT}(\lambda_1)$ 、前記回折部に入射する前記波長 λ_2 の光束の光量を $I_{IN}(\lambda_2)$ 、該 $I_{IN}(\lambda_2)$ の光量を有する前記波長 λ_2 の光束が前記回折部を通過した後の光量を $I_{OUT}(\lambda_2)$ 、前記回折部に入射する前記波長 λ_3 の光束の光量を $I_{IN}(\lambda_3)$ 、該 $I_{IN}(\lambda_3)$ の光量を有する前記波長 λ_3 の光束が前記回折部を通過した後の光量を $I_{OUT}(\lambda_3)$ としたとき、次式を満たすことが好ましい。

$$I_{OUT}(\lambda_1) / I_{IN}(\lambda_1) > 0.7$$

$$I_{OUT}(\lambda_2) / I_{IN}(\lambda_2) > 0.7$$

$$I_{OUT}(\lambda_3) / I_{IN}(\lambda_3) > 0.7$$

【0270】

また、前記光学素子は、前記第 1 乃至第 3 光情報記録媒体の情報記録面に、前記第 1 乃至第 3 光源からの光束をそれぞれ集光させるために、前記第 1 乃至第 3 光情報記録媒体に

対向する位置に配置される対物レンズであることが好ましい。

【発明の効果】

【0271】

本発明の光ピックアップ装置によれば、規格（記録密度）の異なる例えば高密度DVD、DVD、CDのような3種類の光ディスクの相互互換を共通の対物レンズを使用して達成できる光ピックアップ装置を提供できる。また、CDのような保護基板厚の厚い光ディスクに対する作動距離が十分に確保された光ピックアップ装置を提供できる。

【0272】

また、規格（記録密度）の異なる例えば高密度DVD、DVD、CDのような3種類の光ディスクの相互互換を、回折光学素子と共通の対物レンズとを使用して達成し、それぞれの光ディスクの使用波長領域において十分な光量の利用効率を得られる光ピックアップ装置を提供できる。 10

【0273】

また、規格（記録密度）の異なる例えば高密度DVD、DVD、CDのような3種類の光ディスクの相互互換を共通の対物レンズを使用して達成し、高密度DVDのような高記録密度の光ディスクを記録及び／または再生する場合に問題となる、光源の単色性の悪さに起因する色収差、温度変化や湿度変化等の環境変化に起因してプラスチックレンズで発生する球面収差、保護基板厚さの製造誤差に起因する球面収差を良好に補正でき、安定した高密度DVDのような高記録密度の光ディスクの記録及び／または再生が行える光ピックアップ装置を提供できる。 20

【0274】

また、上述の光ピックアップ装置に用いることのできる対物レンズ、回折光学素子及び光学素子を提供できる。

【0275】

更に、上述の光ピックアップ装置を用いて規格（記録密度）の異なる3種類の光情報記録媒体について情報の記録及び／または再生を行うことのできる記録・再生装置を提供できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0276】

以下、本発明による第1～第7の実施の形態について図面を用いて説明する。 30

【0277】

〈第1の実施の形態〉

【0278】

図9は第1の実施の形態による第1の光ピックアップ装置を概略的に示す図である。図9に示すように、第1の光ピックアップ装置は、保護基板厚さが小さい第1の光ディスクの記録／再生用の第1光源である半導体レーザ11と、保護基板厚さが大きい第2の光ディスク記録／再生用の第2光源である半導体レーザ12と、保護基板厚さがさらに大きい第3の光ディスク記録／再生用の第3光源である半導体レーザ13とを有している。

【0279】

第1の光ディスクとしては、例えば、0.1mmの保護基板（透明基板）を有するDVDをより高密度化した光ディスク（高密度DVD）を用いることができ、第2の光ディスクとしては、0.6mmの保護基板を有するDVD、DVD-ROM、DVD-RAM、DVD-R、DVD-RW、DVD+RW等の各種DVDを用いることができ、第3の光ディスクとしては、1.2mmの保護基板を有するCD、CD-R、CD-RW、CD-Video、CD-ROM等の各種CDを用いることができる。 40

【0280】

また、第1光源11としては、400nm程度の波長の光を発生するGaN系青紫色半導体レーザや青紫色SHGレーザ等を用いることができ、第2光源12としては、650nm程度の波長の光を発生する赤色半導体レーザを用いることができ、第3光源13としては、780nm程度の波長の光を発生する赤外半導体レーザを用いることができる。か 50

かる第1乃至第3の光源11～13は、情報の記録／再生を行う光ディスクの種類によって選択的に使用される。

【0281】

第1の光ピックアップ装置は、所定の像側開口数内で回折限界内となるように、第1乃至第3の半導体レーザ11乃至13からの光束を、第1乃至第3の光ディスクのそれぞれの情報記録面91，92，93上に集光させることができる対物レンズ14を有する。

【0282】

対物レンズ14は第1乃至第3の半導体レーザ11～13からの光束を第1乃至第3の光ディスクのそれぞれの情報記録面91，92，93上に集光させるための対物レンズとしての機能に加えて、基板厚差補正手段としての機能も有する。即ち対物レンズ14の光源側の面14a上には、同心円上の複数の輪帯からなる回折構造が形成されており、半導体レーザ11からの光束を、第1の光ディスクを記録／再生する際に必要な像側開口数NA1内で、回折限界内となる状態で保護基板を介して第1の光ディスクの情報記録面91上に集光させることができ、半導体レーザ12からの光束を、第2の光ディスクを記録／再生する際に必要な像側開口数NA2内で、回折限界内となる状態で保護基板を介して第2の光ディスクの情報記録面92上に集光させることができ、半導体レーザ13からの光束を、第3の光ディスクを記録／再生する際に必要な像側開口数NA3内で、回折限界内となる状態で保護基板を介して第3の光ディスクの情報記録面93上に集光させることができる。第1の光ディスクを記録／再生する際に必要な像側開口数NA1として例えば0.85程度、第2の光ディスクを記録／再生する際に必要な像側開口数NA2として、0.60程度、第3の光ディスクを記録／再生する際に必要な像側開口数NA3として、0.45程度とすることができる。

【0283】

また、第1の光ピックアップ装置は、半導体レーザ11のモードホッピング等の単色性の悪さに起因して、主に対物レンズ14で発生する色収差を補正するための色収差補正手段としての色収差補正用素子18を偏光ビームスプリッタ15と対物レンズ14との間に有する。高性能で簡易な構造の色収差補正素子として、複数の輪帯からなる回折構造を有する回折素子が知られているが、従来の回折素子を用いて、半導体レーザ11の波長（たとえば、400nm）近傍の光に対して、対物レンズ14で発生する色収差の補正を行った場合、半導体レーザ12の波長（たとえば、650nm）や半導体レーザ13の波長（たとえば、780nm）の光に対しては、色収差が補正過剰になり過ぎてしまうという問題があり、半導体レーザ11乃至13からの光束の共通の光路中に配置される色収差補正用素子としては好ましくない。

【0284】

そこで、本発明者らは、第1の光ピックアップ装置に用いて好ましい色収差補正用素子18として、図10に示すような多層回折素子を提案する。図10(a)の多層回折素子は、アッペ数の異なる2つの光学材料から形成された光学素子aと光学素子bとを貼り合わせた構造を有し、光学素子aと光学素子bの貼り合わせ面側には、複数の輪帯からなる回折構造が形成されている。光学素子a及び光学素子bの光学材料として、図10(b)に示すように、半導体レーザ12の波長（たとえば、650nm）から半導体レーザ13の波長（たとえば、780nm）にかけての波長領域においてはほとんど屈折率差がなく、半導体レーザ11の波長（たとえば、400nm）近傍の波長領域では、所定の屈折率差 Δn を有するような屈折率－波長特性をもつ光学材料を選ぶとよい。これにより、半導体レーザ11の波長近傍の光のみが、光学素子aと光学素子bとの屈折率差 Δn の影響により、貼り合わせ面の回折構造の作用を受けて回折するようにすることができるので、屈折率差 Δn に対して、回折構造の形状を適切に設計することにより、半導体レーザ11の波長近傍のみの光に対して、対物レンズ14の色収差の補正を行うようにすればよく、半導体レーザ11から出射された光束は、色収差補正用素子18を経ることによってほとんど色収差なく第1の光ディスクの情報記録面91上に集光される。

【0285】

さらに、第1の光ピックアップ装置は、第1の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合に、光ディスクの保護基板厚さの製造誤差、対物レンズ14等の集光光学系を構成する光学素子の製造誤差、半導体レーザ11の製造誤差による波長の変化、及び温度変化や湿度変化による対物レンズ等の集光光学系を構成する光学素子の形状変化や屈折率変化による球面収差の変化を補正する基板厚誤差補正手段としての球面収差補正素子として、1軸アクチュエータ21によって光軸方向に変移されるコリメータ16を偏光ビームスプリッタ15と対物レンズ14との間に有する。

【0286】

第1の光ディスクの情報記録面91上の集光スポットの球面収差の変化が図示しない光検出器によって検出された場合は、1軸アクチュエータ21によりコリメータ16を所定量変移させて、対物レンズ14に入射する光束の発散角を変化させることで、かかる球面収差の変化を補正する。集光スポットの球面収差が補正過剰（オーバー）方向に変化した場合は、コリメータ16を対物レンズ14から離れる方向に変移させ、集光スポットの球面収差が補正不足（アンダー）方向に変化した場合は、コリメータ16を対物レンズ14に近づく方向に変移させる。これにより、第1の光ディスクの情報記録面91上の集光スポットは、常に球面収差が良好に補正された状態を保つことができる。

【0287】

第1の光ディスクを記録／再生する場合、半導体レーザ11からビームを出射し、出射された光束は、半導体レーザ11乃至13からの出射光の合成手段である偏光ビームスプリッタ15、コリメータ16、色収差補正用素子18を透過し、対物レンズ14により第1の光ディスクの保護基板を介して情報記録面91に集光される。このとき、対物レンズ14は、像側開口数NA1内で回折限界内となるように、半導体レーザ11からの光束を集光させるので、高密度な次世代の光ディスクである第1の光ディスクを記録／再生することができる。

【0288】

そして、情報記録面91で情報ビットにより変調されて反射した光束は、再び対物レンズ14、色収差補正用素子18、コリメータ16を透過して図示しない光検出系に向かう。光検出系の光検出器上でのスポットの形状変化、位置変化による光量変化を検出して、合焦検出やトラック検出を行う。この検出に基づいて2軸アクチュエータ22が半導体レーザ11からの光束を第1の光ディスクの情報記録面91上に結像するように対物レンズ14を光軸方向に変移させると共に、半導体レーザ11からの光束を所定のトラックに結像するように対物レンズ14を光軸に垂直な方向に変移させる。

【0289】

また、第2の光ディスクを記録／再生する場合、半導体レーザ12からビームを出射し、出射された光束は、半導体レーザ12及び13からの出射光の合成手段である偏光ビームスプリッタ17及び偏光ビームスプリッタ15で反射され、さらに、上記半導体レーザ11からの光束と同様、コリメータ16、色収差補正用素子18を透過し、対物レンズ14により第2の光ディスクの保護基板を介して情報記録面92に集光される。このとき、対物レンズ14は、像側開口数NA2内で回折限界内となるように、半導体レーザ12からの光束を集光させるので、第2の光ディスクを記録／再生することができる。

【0290】

そして、情報記録面92で情報ビットにより変調されて反射した光束は、再び対物レンズ14、色収差補正用素子18、コリメータ16を透過して図示しない光検出系に向かう。第1の光ディスクの場合と同様、光検出系の光検出器上でのスポットの形状変化、位置変化による光量変化を検出して、合焦検出やトラック検出を行う。この検出に基づいて2軸アクチュエータ22が半導体レーザ12からの光束を第2の光ディスクの情報記録面92上に結像するように対物レンズ14を光軸方向に変移させると共に、半導体レーザ12からの光束を所定のトラックに結像するように対物レンズ14を光軸に垂直な方向に変移させる。

【0291】

10

20

30

40

50

また、第3の光ディスクを記録／再生する場合、半導体レーザ13からビームを出射し、出射された光束は、偏光ビームスプリッタ17を透過し、偏光ビームスプリッタ15で反射され、さらに、上記半導体レーザ11からの光束と同様、コリメータ16、色収差補正用素子18を透過し、対物レンズ14により第3の光ディスクの保護基板を介して情報記録面93に集光される。このとき、対物レンズ14は、像側開口数NA3内で回折限界内となるように、半導体レーザ13からの光束を集光させるので、第3の光ディスクを記録／再生することができる。

【0292】

そして、情報記録面93で情報ビットにより変調されて反射した光束は、再び対物レンズ14、色収差補正用素子18、コリメータ16を透過して図示しない光検出系に向かう。第1の光ディスクの場合と同様、光検出系の光検出器上でのスポットの形状変化、位置変化による光量変化を検出して、合焦検出やトラック検出を行う。この検出に基づいて2軸アクチュエータ22が半導体レーザ13からの光束を第3の光ディスクの情報記録面93上に結像するように対物レンズ14を光軸方向に変移させると共に、半導体レーザ13からの光束を所定のトラックに結像するように対物レンズ14を光軸に垂直な方向に変移させる。

【0293】

なお、本実施の形態の光ピックアップ装置では、光源と対物レンズとの間の光路中に配置される1/4波長板は省略されているが、実際の光ピックアップ装置では、1/4波長板が光源と対物レンズとの間の光路中に配置される場合がある。以降の実施の形態の光ピックアップ装置でも、1/4波長板は省略する。

【0294】

本実施の形態の対物レンズ14において、第2の光ディスクを記録／再生する場合に、像側開口数NA2からNA1の領域を通過した半導体レーザ12からの光束が、第2の光ディスクの情報記録面92上でフレアとなるように回折構造14aと、回折構造14aが形成される光学面の非球面形状とを決定すると、NA1とNA2との開口切替を自動的に行うことができ、特別な開口切替手段を設ける必要がないのでコスト上有利である。

【0295】

さらに、第3の光ディスクを記録／再生する場合に、像側開口数NA3からNA1の領域を通過した半導体レーザ13からの光束が、第3の光ディスクの情報記録面93上でフレアとなるように回折構造14aと、回折構造14aが形成される光学面の非球面形状とを決定すると、NA1とNA2とNA3との開口切替を自動的に行うことができるのでより好ましい。かかる場合には、回折構造14aは基板厚差補正手段としての機能と、開口切替手段としての機能を備えることになる。

【0296】

このように、像側開口数NA2からNA1の領域を通過した半導体レーザ12からの光束と、像側開口数NA3からNA1の領域を通過した半導体レーザ13からの光束とが、それぞれ第2の光ディスクの情報記録面92上、第3の光ディスクの情報記録面93上でフレアとなるようにする場合、像側開口数NA2からNA1に対応する領域を通過した波長 λ_2 の光束は、像側開口数NA1内で、第2の光ディスクの情報記録面上において、波面収差が $0.20\lambda_2$ rmsより大きい状態であり、かつ、像側開口数NA3からNA1に対応する領域を通過した波長 λ_3 の光束は、像側開口数NA1内で、第3の光ディスクの情報記録面上において、波面収差が $0.20\lambda_3$ rmsより大きい状態となるように回折構造14aが決定される。これにより、必要な像側開口数内の領域を通過した光束のスポットと、必要な像側開口数内より外側を通過した光束のフレアとが十分に分離され、光検出器の受光部における良好な信号検出特性が得られる。

【0297】

また、上述のように、対物レンズ14において、第2及び第3の光ディスクを記録／再生する場合に必要な像側開口数以上の光束をフレア成分としない場合には、本実施の形態の光ピックアップ装置は、上述した形態とは別の形態の開口切替手段を有することが好ま

しい。このような開口切替手段として、後述の図 17, 図 18 のような輪帯フィルタを用いることができる。また、NA1 と NA2 と NA3 とに対応した絞りをそれぞれ、第 1 の光ディスク、第 2 の光ディスク、第 3 の光ディスクを記録／再生する際に機械的に切り替えるようにしてもよい。

【0298】

また、このような開口切替手段として、互いに対向する透明電極との間に配置された液晶層と 1/4 波長板とを備え、透明電極のうち少なくとも一方が光軸を中心とする複数の輪帯状の電圧印加部に分割されており、かかる電圧印加部のうち少なくとも 1 つの電圧印加部に電圧を印加することで、液晶層の液晶分子の配向状態を輪帯状に変化させることのできる素子を用いてもよい。かかる素子を用いると、対物レンズ 14 の NA2 から NA1 の領域と NA2 内の領域に対応する光束の偏光面をそれぞれ独立に変化させたり、対物レンズ 14 の NA3 から NA1 の領域と NA3 内の領域に対応する光束の偏光面をそれぞれ独立に変化させることができるので、第 1 乃至第 3 の光ディスクに対する開口切替手段として機能させることができる。

10

【0299】

また、本実施の形態では、対物レンズ 14 の少なくとも 1 つの面 14a 上に形成した、同心円上の複数の輪帯からなる基板厚差補正手段としての回折構造の作用により、所定の像側開口数内で回折限界内となるように、半導体レーザ 11 乃至 13 からの光束を、第 1 乃至第 3 の光ディスクのそれぞれの情報記録面 91 乃至 93 上に集光させることができるようにしたが、上記の回折構造は、対物レンズとは別に配設された光学素子の光学面上に設けてもよい。

20

【0300】

上述のように、対物レンズとは別に配設された光学素子の光学面上に基板厚差補正手段としての回折構造を設ける場合において、第 2 及び第 3 の光ディスクを記録／再生する場合に必要な像側開口数以上の光束をフレア成分として、かかる回折構造に開口切替手段としての機能も持たせる場合には、かかる回折構造が設けられた光学素子と対物レンズとが一体となってトラッキング駆動されることが好ましい。これにより良好なトラッキング特性を得ることができる。

【0301】

また、所定の像側開口数内で回折限界内となるように、波長の異なる複数の光源からの光束を、保護基板の厚さの異なる複数の光ディスクの情報記録面上に集光させることができる対物レンズとして本出願人による特開平 11-96585 公報や特開 2001-229567 公報に記載の対物レンズを用いてもよい。

30

【0302】

また、第 1 の光ピックアップ装置では、対物レンズ 14 の少なくとも 1 つの面 14a 上に形成した回折構造の回折作用によって所定の像側開口数内で回折限界内となるように、半導体レーザ 11 乃至 13 からの光束を、第 1 乃至第 3 の光ディスクのそれぞれの情報記録面 91 乃至 93 上に集光できるようにしたが、以下に、本実施の形態に用いることのできる、別の形態の対物レンズの例を説明する。

【0303】

即ち、対物レンズの少なくとも 1 つの面上に形成した回折構造の回折作用によって、半導体レーザ 11 及び 12 からの光束を、それぞれ、第 1 の光ディスク及び第 2 の光ディスクの情報記録面 92 上に、それぞれ、開口数 NA1 及び NA2 内で回折限界内となるように集光できるようにし、第 3 の光ディスクに対しては、対物レンズに半導体レーザ 13 からの発散光束を入射させることで、保護基板厚さの違いに起因する球面収差の変化を、開口数 NA3 内で回折限界内となるように補正する。この場合、光ピックアップ装置は、第 3 の光ディスクに対して情報の記録／再生を行う際の開口切替手段を有することが好ましく、このような開口切替手段として後述の図 17, 図 19 のような輪帯フィルタを用いることができる。

40

【0304】

50

また、球面収差の変化を補正する基板厚誤差補正手段として、後述される屈折率分布可変材料層を有し、電場または磁場または温度を印加することにより屈折率分布可変材料層の屈折率分布を変化させることのできる素子や、構成レンズの少なくとも1つが光軸方向に変移可能とされたビームエキスパンダを用いてもよい。

【0305】

また、本実施の形態の基板厚誤差補正手段としてのコリメータ16は、1群構成としたが、複数のレンズから構成されるようにしてもよい。このように複数のレンズから構成された基板厚誤差補正手段としてのコリメータとして、本出願人による特願2000-392333号にあるようなコリメータがある。

【0306】

また、本実施の形態では、偏光ビームスプリッタ15から対物レンズ14にいたる半導体レーザ12からの光束の経路は省略している。同様に、偏光ビームスプリッタ15から対物レンズ14にいたる半導体レーザ13からの光束の経路は省略している。以降の実施の形態でも同様である。

【0307】

また、本実施の形態では、対物レンズのフォーカシング誤差及び／またはトラッキング誤差を検出するための光検出手段、及び、情報記録面91上の集光スポットの球面収差の変化を検出するための光検出手段は省略されているが、実際の光ピックアップ装置は、かかる光検出手段を有する。以降の実施の形態例においても同様に光検出手段は省略する。

【0308】

次に、図11により図9の光ピックアップ装置の変形例である第2の光ピックアップ装置を説明する。図11に示すように、第2の光ピックアップ装置は、図9における基板厚誤差補正手段としてのコリメータと色収差補正手段とが一体化された一体化素子20を有し、この一体化素子20は図9と同様に1軸アクチュエータ21により光軸方向に変移されるようになっている。さらに同一の基板上に形成された半導体レーザ12と半導体レーザ13が同一のケース19内に収納されてユニット化されている。図11の構成によれば、一体化素子20及びユニット化された半導体レーザにより光ピックアップ装置の部品点数を低減することができるので、よりコストダウンを図ることができる。

【0309】

なお、図11の第2の光ピックアップ装置では、半導体レーザ12と半導体レーザ13がユニット化されているが、半導体レーザ11と半導体レーザ12をユニット化してもよく、半導体レーザ11と半導体レーザ13をユニット化してもよい。また、半導体レーザ11と半導体レーザ12と半導体レーザ13をユニット化することでよりいっそうのコストダウン及び省スペース化が図れる。

【0310】

〈第2の実施の形態〉

【0311】

図12は第2の実施の形態による第3の光ピックアップ装置を概略的に示す図である。図12に示すように、第3の光ピックアップ装置は、図9の第1の光ピックアップ装置と同様に、3種類の記録密度の異なる光ディスクに対して情報の記録／再生が可能な光ピックアップ装置である。

【0312】

第3の光ピックアップ装置は、所定の像側開口数内で回折限界内となるように、半導体レーザ11乃至13からの各光束を第1乃至第3の光ディスクのそれぞれの情報記録面上に集光させることができる対物レンズ14を有する。対物レンズ14としては、第1の光ピックアップ装置に用いた対物レンズと同様の対物レンズを用いることができるので、詳細な説明は割愛する。

【0313】

また、第3の光ピックアップ装置は、半導体レーザ11と、半導体レーザ11乃至13からの光束の光路合成手段である偏光ビームスプリッタ15との間の光路中に、半導体レ

10

20

30

40

50

ーザ 11 のモードホッピング等の単色性の悪さに起因して、主に対物レンズ 14 で発生する色収差を補正するための色収差補正手段としてのコリメータ 29 を有する。コリメータ 29 の少なくとも 1 つの面上には同心円状の複数の輪帯からなる回折構造が形成されており、半導体レーザ 11 から射出される光の波長が、長くなる方向に変化した場合に、コリメータ 29 のバックフォーカスが短くなる方向に変化するような波長特性を有する。さらに、コリメータ 29 の波長変化に対する焦点距離の二乗で規格化したバックフォーカスの変化量の絶対値は、同じ量の波長変化に対する対物レンズ 14 の焦点距離の二乗で規格化したバックフォーカスの変化量の絶対値と略一致するので、半導体レーザ 11 から出射された光束は、コリメータ 29 と対物レンズ 14 を経ることによってほとんど色収差なく第 1 の光ディスクの情報記録面 91 上に集光される。このような波長特性を有するコリメータとして、本出願人による特願 2001-248819 号にあるようなコリメータを用いることができる。

10

【0314】

また、第 3 の光ピックアップ装置に用いるのに好ましい色収差補正手段としてのコリメータ 29 として、相対的にアッペ数の大きい正レンズと、相対的にアッペ数の小さい負レンズとを貼り合わせたコリメータを用いることができる。このようなダブルレット構造を有するコリメータとして、本出願人による特願 2000-262372 号にあるようなコリメータを用いることができる。

【0315】

また、第 3 の光ピックアップ装置では、コリメータに回折構造を形成して対物レンズ 14 で発生する色収差を補正したが、半導体レーザ 11 と偏光ビームスプリッタ 15 との間に、コリメータとは別に配置された、少なくとも 1 面に回折構造が形成された色収差補正手段としての色収差補正素子を用いてもよい。平行光中に配置することのできる色収差補正素子として、本出願人による特願 2001-210659 号にあるような色収差補正素子を用いることができる。半導体レーザ 11 から射出される楕円状の光束の整形するためのビーム整形プリズムペアを光路中に配置する場合は、かかる平行光中に配置することのできる色収差補正素子を用いるのが好ましい。

20

【0316】

また、第 3 の光ピックアップ装置は、第 1 の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合に、光ディスクの保護基板厚さの製造誤差、対物レンズ等の集光光学系を構成する光学素子の製造誤差、半導体レーザ 11 の製造誤差による波長の変化、及び温度変化や湿度変化による対物レンズ等の集光光学系を構成する光学素子の形状変化や屈折率変化による球面収差の変化を補正する基板厚誤差補正手段として屈折率分布可変素子 23 を偏光ビームスプリッタ 15 と対物レンズ 14 との間に配置している。

30

【0317】

屈折率分布可変素子 23 は、一对のガラス基板 24a、24b に保持された互いに対向する一对の透明電極 25a、25b との間に配置された液晶層 26 を有し、透明電極 25a、25b に駆動電源 27 から電圧を印加することで液晶層 26 の液晶分子の配向状態を電氣的に制御し、液晶層 26 内の屈折率分布を変化させることができるように構成されている。

40

【0318】

透明電極 25a、25b の少なくとも一方は光軸を中心とした複数の輪帯状の電圧印加部に分割されており、これら複数の輪帯状の電圧印加部の少なくとも 1 つに所定の電圧を印加することで、液晶層 26 の屈折率分布を光軸を中心として輪帯状に変化させることができる。第 1 の光ディスクの情報記録面 91 上の集光スポットの球面収差の変化が図示しない光検出器によって検出された場合は、電源 27 により、電圧印加部に所定の電圧を印加することで、液晶層 26 の屈折率分布を光軸を中心とする輪帯状に変化させ、屈折率分布可変素子 23 を透過する波面に対し所定の光路差を付加し、かかる球面収差の変化を補正する。これにより、第 1 の光ディスクの情報記録面 91 上の集光スポットは、常に球面収差が良好に補正された状態を保つことができる。

50

【0319】

上述の説明では、屈折率分布可変素子23として上述したような形態の屈折率分布可変素子を用いたが、本実施の形態の光ピックアップ装置に用いることのできる屈折率分布可変素子は、光軸を中心として回転対称状に屈折率分布を変化させることのできるものであればよく、上述の形態に限るものではない。

【0320】

また、第3の光ピックアップ装置に用いることのできる基板厚誤差補正手段として、構成レンズの少なくとも1つが光軸方向に変移可能とされたビームエキスパンダを用いてもよい。

【0321】

次に、図13により図12の光ピックアップ装置の変形例である第4の光ピックアップ装置を説明する。図13に示すように、第4の光ピックアップ装置においては、半導体レーザー12と半導体レーザー13が図11と同様にユニット化されているので、光ピックアップ装置の部品点数の低減によりコストダウンが図れる。

【0322】

第4の光ピックアップ装置は、開口数NA1内で回折限界内となるように、半導体レーザー11の光束を、第1の光ディスクの情報記録面91上に集光させることができる対物レンズ34を有する。第1の光ディスク専用の対物レンズである対物レンズ34を用いて、半導体レーザー12からの光を用いて第2の光ディスクを記録／再生しようとする、保護基板厚さの違いにより補正過剰（オーバー）方向に球面収差が変化するが、第4の光ピックアップ装置では、補正過剰方向に変化した球面収差を、基板厚差補正手段としての機能も備えた屈折率分布可変素子23により、開口数NA2内で回折限界内となるように補正することで第2の光ディスクに対する記録／再生を可能としている。

【0323】

更に、半導体レーザー13からの光を用いて第3の光ディスクを記録／再生する場合も同様に、保護基板厚さの違いにより補正過剰（オーバー）方向に変化した球面収差を、屈折率分布可変素子23により、開口数NA3内で回折限界内となるように補正する。

【0324】

また、第4の光ピックアップ装置は、NA1とNA2とNA3との開口切替手段として、図13の対物レンズ34の光源側の光学面34aに波長選択性のある後述の図17、図18のような輪帯フィルタを形成している。これにより、自動的に開口をNA1とNA2とNA3とに切り替えることができる。かかる波長選択性のある輪帯フィルタにより、第2の光ディスク及び第3の光ディスクに対する情報の記録／再生を行う場合は、必要開口数以上の光束を遮断することで光ディスクの情報記録面上で所望のスポット径を得ることができる。

【0325】

また、開口切替手段として、NA1とNA2とNA3とに対応した絞りをそれぞれ、第1の光ディスク、第2の光ディスク、第3の光ディスクを再生する際に機械的に切り替える手段を用いてよく、更に、第1の実施の形態で説明したような液晶を用いた開口切替素子を用いてもよい。

【0326】

また、かかる開口切替手段は、対物レンズ34と一体となってトラッキングを行うのが好ましく、これにより良好なトラッキング特性が得られる。図13では、対物レンズ34の光学面34aに設けているので、このトラッキング特性が向上する。

【0327】

また、図13の光ピックアップ装置において、対物レンズ34は、1つのレンズ群から構成された単レンズであって、波長 λ_1 における焦点距離を f_1 (mm)、中心厚さを d (mm)、対物レンズ14に入射する波長 λ_1 の光束の径を Φ_1 (mm)、第1の光ディスクに対する情報の記録／再生を行う場合の作動距離を f_{B1} (mm)としたとき、 $0.7 < d/f_1 < 1.5$ (2)

10

20

30

40

50

$$2.8 < \Phi 1 < 5.8 \quad (3)$$

$$f_{B1} > 0.5 \quad (4)$$

を満足するように構成されている。

【0328】

高密度DVD用の高NA対物レンズとして、特開平10-123410号公報にあるような2つのレンズ群から構成される対物レンズが提案されているが、保護基板厚に1.1mmの違いがある、高密度DVDとCDとの相互互換を共通の対物レンズで行う場合には、対物レンズを、作動距離が確保しやすい単レンズ構成とするのが好ましい。このとき、上記(2)乃至(4)式を満たすことが特に好ましく、これにより、CDの作動距離を十分に確保することができる。この結果、DVDや高密度DVDのように、光ディスクの保護基板厚さの製造公差が比較的厳しく抑えられておらず、保護基板厚さの個体差によるばらつきが大きいCDを記録／再生する場合でもCDと対物レンズとの衝突の可能性を十分小さくすることができる。

10

【0329】

〈第3の実施の形態〉

【0330】

図14は第3の実施の形態による第5の光ピックアップ装置を概略的に示す図である。図14に示すように、第5の光ピックアップ装置は、図9の第1の光ピックアップ装置と同様に、3種類の記録密度の異なる光ディスクに対して情報の記録／再生が可能な光ピックアップ装置である。

20

【0331】

第5の光ピックアップ装置は、所定の像側開口数内で回折限界内となるように、半導体レーザ11乃至13からの光束を、第1乃至第3の光ディスクのそれぞれの情報記録面91乃至93上に集光させることができる対物レンズ14を有する。対物レンズ14としては、第1の光ピックアップ装置に用いた対物レンズと同様の対物レンズを用いることができるので、詳細な説明は割愛する。

【0332】

さらに、第5の光ピックアップ装置は、半導体レーザ11と、半導体レーザ11乃至13からの光束の光路合成手段である偏光ビームスプリッタ15との間の光路中に、第1の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合に、光ディスクの保護基板厚さの製造誤差、対物レンズ等の集光光学系を構成する光学素子の製造誤差、半導体レーザ11の製造誤差による波長の変化、及び温度変化や湿度変化による対物レンズ等の集光光学系を構成する光学素子の形状変化や屈折率変化、による球面収差の変化を補正する基板厚誤差補正手段としてビームエキスパンダ33を配置している。

30

【0333】

このビームエキスパンダ33は、負レンズ32と正レンズ31とから構成され、負レンズ32が1軸アクチュエータ21によって光軸方向に変移されるようになっている。負レンズ32には半導体レーザ11からの光束がコリメータ30で平行にされて入射する。

【0334】

第1の光ディスクの情報記録面91上の集光スポットの球面収差の変化が図示しない光検出器によって検出された場合は、1軸アクチュエータ21により負レンズ32を所定量変移させて、対物レンズ14に入射する光束の発散角を変化させることで、かかる球面収差の変化を補正する。集光スポットの球面収差が補正過剰（オーバー）方向に変化した場合は、負レンズ32を正レンズ31に近づく方向に変移させ、集光スポットの球面収差が補正不足（アンダー）方向に変化した場合は、負レンズ32を正レンズ33から離れる方向に変移させる。これにより、第1の光ディスクの情報記録面91上の集光スポットは、常に球面収差が良好に補正された状態を保つことができる。

40

【0335】

なお、第5の光ピックアップ装置では、負レンズ32を光軸方向に変移させるようにしたが、正レンズ31を光軸方向に変移させるようにしてもよく、また負レンズ32と正レ

50

ンズ 3 1 の両方を光軸方向に変移させるようにしてもよい。

【0 3 3 6】

また、第 5 の光ピックアップ装置では、基板厚誤差補正手段として、負レンズ 3 2 を光軸方向に変移させるようにしたビームエキスパンダ 3 3 を用いたが、第 1 の光ピックアップ装置と同様に、光軸方向に変移させるようにしたコリメータを用いてもよいし、第 3 の光ピックアップ装置と同様に、屈折率分布可変素子を用いてもよい。いずれの場合でも、第 1 の光ディスクの情報記録面 9 1 上の集光スポットは、常に球面収差が良好に補正された状態を保つことができる。

【0 3 3 7】

さらに、第 5 の光ピックアップ装置では、ビームエキスパンダ 3 3 は基板厚誤差補正手段として機能に加えて、色収差補正手段としての機能も備える。すなわち、ビームエキスパンダ 3 3 の正レンズ 3 1 の光ディスク側の面 3 1 a 上に同心円状の複数の輪帯からなる回折構造が形成されており、半導体レーザ 1 1 から射出される光の波長が、長くなる方向に変化した場合に、ビームエキスパンダ 3 3 のパワーが大きくなるような波長特性を有するので、半導体レーザ 1 1 から出射された光束は、ビームエキスパンダ 3 3 と対物レンズ 1 4 を経ることによってほとんど色収差なく第 1 の光ディスクの情報記録面 9 1 上に集光される。

【0 3 3 8】

第 5 の光ピックアップ装置に用いるのが好ましいビームエキスパンダとして本出願人による特願 2 0 0 0 - 3 3 0 0 0 9 号にあるようなビームエキスパンダを用いることができる。

【0 3 3 9】

第 5 の光ピックアップ装置では、ビームエキスパンダ 3 3 の正レンズ 3 1 の少なくとも 1 面上に回折構造を形成することで、対物レンズ 1 4 で発生する色収差を補償したが、負レンズ 3 2 の少なくとも 1 面上に回折構造を形成してもよく、負レンズ 3 2 と正レンズ 3 1 の両方に回折構造を形成してもよい。

【0 3 4 0】

また、第 5 の光ピックアップ装置では、ビームエキスパンダ 3 3 の正レンズ 3 1 の少なくとも 1 面上に回折構造を形成することで、対物レンズ 1 4 で発生する色収差を補償したが、半導体レーザ 1 1 のモードホッピング等の単色性の悪さに起因して、主に対物レンズ 1 4 で発生する色収差を補正するための色収差補正手段として、特願 2 0 0 1 - 2 4 8 8 1 9 号や特願 2 0 0 0 - 2 6 2 3 7 2 号にあるようなコリメータを用いることができる。さらに、本出願人による特願 2 0 0 1 - 2 1 0 6 5 9 号にあるような色収差補正素子を用いることができる。

【0 3 4 1】

次に、図 1 5 により図 1 4 の光ピックアップ装置の変形例である第 6 の光ピックアップ装置を説明する。図 1 5 に示すように、第 6 の光ピックアップ装置では、半導体レーザ 1 1 と、半導体レーザ 1 1 乃至 1 3 からの出射光の合成手段である偏光ビームスプリッタ 1 5 との間の光路中に、第 1 の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合に、光ディスクの保護基板厚さの製造誤差、対物レンズ等の集光光学系を構成する光学素子の製造誤差、半導体レーザ 1 1 の製造誤差による波長の変化、及び温度変化や湿度変化による対物レンズ等の集光光学系を構成する光学素子の形状変化や屈折率変化による球面収差の変化を補正する基板厚誤差補正手段として、1 軸アクチュエータ 2 1 により光軸方向に変移されるようにしたコリメータ 3 9 を備える。これにより、第 1 の光ディスクの情報記録面 9 1 上の集光スポットは、常に球面収差が良好に補正された状態を保つことができる。

【0 3 4 2】

また、第 6 の光ピックアップ装置では、コリメータ 3 9 は基板厚誤差補正手段としての機能に加えて、色収差補正手段としての機能も備える。即ち半導体レーザ 1 1 のモードホッピング等の単色性の悪さに起因して、主に対物レンズ 1 4 で発生する色収差を補正するためにコリメータ 3 9 の光ディスク側の面 3 9 a 上に同心円状の複数の輪帯からなる回折

構造を形成した。これにより、コリメータ 39 は半導体レーザ 11 から射出される光の波長が、長くなる方向に変化した場合に、コリメータ 39 のバックフォーカスが短くなる方向に変化するような波長特性を有するので、半導体レーザ 11 から射出された光束は、コリメータ 39 及び対物レンズ 14 を透過することでほとんど色収差なく第 1 の光ディスクの情報記録面 91 上に集光される。

【0343】

〈第 4 の実施の形態〉

【0344】

図 16 は第 4 の実施の形態による第 7 の光ピックアップ装置を概略的に示す図である。図 16 に示すように、第 5 の光ピックアップ装置は、図 9 の第 1 の光ピックアップ装置と同様に、3 種類の記録密度の異なる光ディスクに対して情報の記録／再生が可能な光ピックアップ装置である。 10

【0345】

本実施の形態の第 7 の光ピックアップ装置は、開口数 NA 1 内で回折限界内となるように、半導体レーザ 11 の光束を、第 1 の光ディスクの情報記録面 91 上に集光させることができる対物レンズ 34 を有する。

【0346】

第 7 の光ピックアップ装置では、半導体レーザ 11 と、半導体レーザ 11 乃至 13 からの光束の光路合成手段である偏光ビームスプリッタ 15 との間の光路中に、第 1 の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合に、光ディスクの保護基板厚さの製造誤差、対物レンズ等の集光光学系を構成する光学素子の製造誤差、半導体レーザ 11 の製造誤差による波長の変化、及び温度変化や湿度変化による対物レンズ等の集光光学系を構成する光学素子の形状変化や屈折率変化による球面収差の変化を補正する基板厚誤差補正手段として、1 軸アクチュエータ 21 により光軸方向に変移されるようにしたコリメータ 39 を備える。これにより、第 1 の光ディスクの情報記録面 91 上の集光スポットは、常に球面収差が良好に補正された状態を保つことができる。 20

【0347】

また、第 7 の光ピックアップ装置では、コリメータ 39 は基板厚誤差補正手段としての機能に加えて、色収差補正手段としての機能も備える。すなわち半導体レーザ 11 のモードホッピング等の単色性の悪さに起因して、主に対物レンズ 34 で発生する色収差を補正するためにコリメータ 39 の光ディスク側の面 39a 上に同心円状の複数の輪帯からなる回折構造を形成した。これにより、コリメータ 39 は半導体レーザ 11 から射出される光の波長が、長くなる方向に変化した場合に、コリメータ 39 のバックフォーカスが短くなる方向に変化するような波長特性を有するので、半導体レーザ 11 から射出された光束は、コリメータ 39 及び対物レンズ 34 を透過することでほとんど色収差なく第 1 の光ディスクの情報記録面 91 上に集光される。 30

【0348】

第 7 の光ピックアップ装置では、半導体レーザ 12 と偏光ビームスプリッタ 15 との間の光路中であって、半導体レーザ 12 からの光束と半導体レーザ 13 からの光束との共通光路中に、光ディスク側の面 35a 上に同心円状の複数の輪帯からなる回折構造が形成された基板厚差補正手段としての回折光学素子 35 を備える。 40

【0349】

第 1 の光ディスク専用の対物レンズである対物レンズ 34 を用いて、半導体レーザ 12 からの光を用いて第 2 の光ディスクを記録／再生しようとする、保護基板厚さの違いにより補正過剰（オーバー）方向に球面収差が変化する。同様に、対物レンズ 34 を用いて、半導体レーザ 13 からの光を用いて第 3 の光ディスクを記録／再生しようとする、保護基板厚さの違いにより補正過剰（オーバー）方向に球面収差が変化する。第 7 の光ピックアップ装置では、補正過剰方向に変化した球面収差を、回折光学素子 35 の回折作用によって、半導体レーザ 12 からの光束を、第 2 の光ディスクを記録／再生する際に必要な像側開口数 NA 2 内で回折限界内となるように補正し、さらに半導体レーザ 13 からの光 50

(mm)、対物レンズ14に入射する波長 λ_1 の光束の径を Φ_1 (mm)、第1の光ディスクに対する情報の記録／再生を行う場合の作動距離を f_{B1} (mm)としたとき、

$$0.7 < d/f_1 < 1.5 \quad (2)$$

$$2.8 < \Phi_1 < 5.8 \quad (3)$$

$$f_{B3} > 0.5 \quad (4)$$

を満足するように構成されている。

【0356】

高密度DVD用の高NA対物レンズとして、特開平10-123410にあるような2つのレンズ群から構成される対物レンズが提案されているが、保護基板厚に1.1mmの違いがある、高密度DVDとCDとの相互互換を共通の対物レンズで行う場合には、対物レンズを、作動距離が確保しやすい単レンズ構成とするのが好ましい。このとき、上記(2)乃至(4)式を満たすことが特に好ましく、これにより、CDの作動距離を十分に確保することができる。この結果、DVDや高密度DVDのように、光ディスクの保護基板厚さの製造公差が比較的厳しく抑えられておらず、保護基板厚さの個体差によるばらつきが大きいCDを記録／再生する場合でもCDと対物レンズとの衝突の可能性を十分小さくすることができる。

【0357】

図9、11、12、14、15の光ピックアップ装置において、対物レンズ14の回折構造14aは、

$$340\text{ nm} < \lambda_B < 440\text{ nm} \quad (A)$$

を満足する波長(以下、 λ_B を最適化波長、または製造波長、またはブレイズ化波長とよぶ)と、回折次数2で最適化されているので、半導体レーザ11からの波長400nmの光が入射した場合には、2次回折光が他のいずれの次数の回折光よりも大きな光量を有するよう発生し、対物レンズ14は、その2次回折光を第1の光ディスクの情報記録面上に集光する。

【0358】

このとき、対物レンズ14の回折構造14aに、半導体レーザ12からの波長650nmの光が入射した場合に、1次回折光が他のいずれの次数の回折光よりも大きな光量を有するよう発生し、対物レンズ14は、その1次回折光を第2の光ディスクの情報記録面上に集光するとともに、対物レンズ14の回折構造14aに、半導体レーザ13からの波長780nmの光が入射した場合に、1次回折光が他のいずれの次数の回折光よりも大きな光量を有するよう発生し、対物レンズ14は、その1次回折光を第3の光ディスクの情報記録面上に集光する。

【0359】

このように、(A)式を満足する波長と回折次数2で、回折構造14aを最適化することで、第1の光ディスクに対する情報の記録／再生に使用する回折光の次数と、第2の光ディスク、及び第3の光ディスクに対する情報の記録／再生に使用する回折光の次数とを異なるようにし、かつ、第1の光ディスクに対する情報の記録／再生に使用する回折光の次数が、第2の光ディスク、及び第3の光ディスクに対する情報の記録／再生に使用する回折光の次数よりも大きくなるようにすると、それぞれの光ディスクの使用波長領域において、それぞれ高い回折効率を得ることができる。

【0360】

対物レンズ14の回折構造14aを決定する場合には、少なくとも、回折構造14aで発生する半導体レーザ11からの光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する次数の回折光の回折効率が70%より大きくなるように、回折構造14aを最適化するのが好ましい。より好ましくは、回折構造14aで発生する半導体レーザ11乃至13からのそれぞれの光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する次数の回折光の回折効率がすべて70%より大きくなるように、回折構造14aが最適化されることである。

【0361】

以下に具体例を示す。ある製造波長 λ_B 、回折次数 n で最適化された理想的なブレイズ

10

20

30

40

50

構造が形成された回折レンズを考えると、この回折レンズのある波長 λ での回折効率 η (λ)は、波長 λ_B におけるレンズ材料の屈折率と、波長 λ におけるレンズ材料の屈折率がほとんど変わらないと仮定すると、次式数1で表される。

【0362】

【数1】

$$\eta(\lambda) = \left[\frac{\sin \pi n \left\{ \left(\frac{\lambda_B}{\lambda} \right) - 1 \right\}}{\pi n \left\{ \left(\frac{\lambda_B}{\lambda} \right) - 1 \right\}} \right]^2 \quad 10$$

【0363】

図60は、ある製造波長 λ_B 、回折次数1で最適化されたブレイズ構造で発生する、波長405nmの光の1次回折光と、波長650nmの光の1次回折光と、波長780nmの光の1次回折光との回折効率の製造波長に対する依存性を表す図である。

【0364】

図60から、特開2001-195769公報に記載の光ピックアップ装置のように、対物レンズ14の回折構造14aで発生する半導体レーザー11乃至13からの光の同一次数の回折光を、それぞれの光ディスクへの記録／再生再生に使用する場合には、それぞれの光ディスクの使用波長領域で高い回折効率を得ることはできないことがわかる。 20

【0365】

図61は、 $340\text{ nm} \leq \lambda_B \leq 450\text{ nm}$ を満足する製造波長と、回折次数2で最適化されたブレイズ構造で発生する波長405nmの光の2次回折光と、波長650nmの光の1次回折光と、波長780nmの光の1次回折光との回折効率の製造波長に対する依存性を表す図である。

【0366】

図61から、第1の光ディスクへの記録／再生に半導体レーザー11からの光の2次回折光を、第2及び第3の光ディスクへの記録／再生に、それぞれ半導体レーザー12及び半導体レーザー13からの光の1次回折光を利用する場合には、350nmから420nmの間の波長を製造波長に設定した場合に、それぞれの光ディスクの使用波長領域で高い回折効率を得ることができることがわかる。特に、360nmから400nmの間の波長を製造波長に設定すると、それぞれの光ディスクの使用波長領域で80%以上という高い回折効率を得ることができるので好ましい。 30

【0367】

次に、対物レンズ14の回折構造14aのブレイズ構造の最適化の方法として好ましい別の例を説明する。

【0368】

図62は、 $390\text{ nm} \leq \lambda_B \leq 440\text{ nm}$ を満足する製造波長と、回折次数6で最適化されたブレイズ構造で発生する波長405nmの光の6次回折光と、波長650nmの光の4次回折光と、波長780nmの光の3次回折光との回折効率の製造波長に対する依存性を表す図である。 40

【0369】

図62から、第1の光ディスクへの記録／再生に半導体レーザー11からの光の6次回折光を、第2の光ディスクへの記録／再生に半導体レーザー12からの光の4次回折光を、第3の光ディスクへの記録／再生に半導体レーザー13からの光の3次回折光を利用する場合には、405nmから425nmの間の波長を製造波長に設定した場合に、それぞれの光ディスクの使用波長領域で高い回折効率を得ることができることがわかる。特に、410nmから420nmの間の波長を製造波長に設定すると、それぞれの光ディスクの使用波 50

長領域で80%以上という高い回折効率を得ることができるので好ましい。

【0370】

なお、上述した、それぞれの光ディスクの使用波長領域で高い回折効率を得るために好ましい製造波長の範囲は、半導体レーザ11乃至13から発振される光の波長がそれぞれ、

$$380\text{ nm} < \lambda_1 < 420\text{ nm}$$

$$630\text{ nm} < \lambda_2 < 670\text{ nm}$$

$$760\text{ nm} < \lambda_3 < 800\text{ nm}$$

を満たす場合に適用可能である。

【0371】

半導体レーザ11乃至13からの光束のすべての光束が通過する共通の光路に、基板厚差補正手段を配置すると、図9、11、12、14、15の光ピックアップ装置のように、対物レンズと、基板厚差補正手段としての回折構造とを一体化できるので、光ピックアップ光学系の光学素子の数を削減でき、コストの観点上好ましい。

【0372】

さらに、上述したように、開口数NA2より外側の領域を通過する半導体レーザ12からの光束と、開口数NA3より外側の領域を通過する半導体レーザ13からの光束と、がフレアとなるように、対物レンズの光学面上に形成した基板厚差補正手段としての回折構造を決定することで、この回折構造に開口切替手段としての機能も持たせることができるので、光ピックアップ光学系の光学素子の数をさらに、削減でき、コストの観点上より好ましい。

【0373】

また、図9、11、12、14、15の光ピックアップ装置において、対物レンズ14は、1つのレンズ群から構成された単レンズであって、波長 λ_1 における焦点距離を f_1 (mm)、中心厚さを d (mm)、対物レンズ14に入射する波長 λ_1 の光束の径を Φ_1 (mm)、第3の光ディスクに対する情報の記録／再生を行う場合の作動距離を f_{B3} (mm)としたとき、

$$0.7 < d / f_1 < 1.5 \quad (2)$$

$$2.8 < \Phi_1 < 5.8 \quad (3)$$

$$f_{B3} > 0.2 \quad (4)$$

を満足するように構成されている。

【0374】

高密度DVD用の高NA対物レンズとして、特開平10-123410にあるような2つのレンズ群から構成される対物レンズが提案されているが、保護基板厚に1.1mmの違いがある、高密度DVDとCDとの相互互換を共通の対物レンズで行う場合には、対物レンズを、作動距離が確保しやすい単レンズ構成とするのが好ましい。このとき、上記(2)、(3)式を満たすことが特に好ましく、これにより、CDの作動距離を(4)式を満たすように十分に確保することができる。CDの作動距離が(4)式を満たしていれば、DVDや高密度DVDのように、光ディスクの保護基板厚さの製造公差が比較的厳しく抑えられておらず、保護基板厚さの個体差によるばらつきが大きいCDを記録／再生する場合でもCDと対物レンズとの衝突の可能性を十分小さくすることができる。

【0375】

また、図9、11、12、14、15の光ピックアップ装置において、対物レンズ14は、さらに、第3の光ディスクに対する情報の再生及び／または記録を行う場合の結像倍率 m_3 が

$$m_3 < 0 \quad (5)$$

を満たすように構成されている。これにより、CDの作動距離の確保が容易になる。

このとき、

$$-0.25 < m_3 < -0.05 \quad (6)$$

を満たすのが特に好ましく、CDの作動距離を十分に確保しつつ、第1乃至第3の光ディ

10

20

30

40

50

スクの保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差補正を良好に行うことができる。

【0376】

図9、11、12、14、15の光ピックアップ装置において、対物レンズ14は、さらに、第2の光ディスクに対する情報の再生及び／または記録を行う場合の結像倍率 m_2 が

$$m_2 < 0 \quad (7)$$

を満たすように構成されている。これにより、DVDの作動距離の確保も容易になる。このとき、

$$-0.20 < m_2 < -0.02 \quad (8)$$

を満たすのが特に好ましく、DVDの作動距離を十分に確保しつつ、第1乃至第3の光ディスクの保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差補正を良好に行うことができる。

【0377】

次に、第3の実施の形態による第8の光ピックアップ装置について説明する。図63は第3の実施の形態による第8の光ピックアップ装置を概略的に示す図であって、図9、11、12、14、15の光ピックアップ装置における対物レンズ14の基板厚差補正手段としての機能と、光ディスクの情報記録面上に光源からの光束を集光させるための集光レンズとしての機能を、それぞれ独立した光学素子に分離している。

【0378】

第8の光ピックアップ装置の対物レンズ100は、半導体レーザ11乃至13からの光束を、それぞれ、第1乃至第3の光ディスクの情報記録面上に集光させるための集光レンズとしての機能を有する屈折型レンズ100aと、屈折型レンズ100aの光束入射面側に配置された、同心円状の複数の輪帯からなる回折構造を有する基板厚差補正手段としての機能を有する回折光学素子100bとを組合わせた複合型対物レンズである。屈折型レンズ100aと回折光学素子100bとは、フランジ部100cによって光軸と同軸に一体化され、2次元アクチュエータ22によって、一体となってトラッキング駆動やフォーカシング駆動される。

【0379】

屈折型レンズ100aは、1つのレンズ群から構成された単レンズであって、波長 λ_1 における複合型対物レンズ100の焦点距離を f_1 (mm)、波長 λ_1 における屈折型レンズ100aの中心厚さを d (mm)、複合型対物レンズ100に入射する波長 λ_1 の光束の径を Φ_1 (mm)、第3の光ディスクに対する情報の記録／再生を行う場合の作動距離を f_{B3} (mm)としたとき、

$$0.7 < d / f_1 < 1.5 \quad (9)$$

$$2.8 < \Phi_1 < 5.8 \quad (10)$$

$$f_{B3} > 0.2 \quad (11)$$

を満足するように構成されている。

【0380】

屈折型レンズ100aとして、少なくとも波長 λ_1 の領域で収差が補正された非球面レンズを用いることができる。

【0381】

また、回折光学素子100bの回折構造100dは、第1の光ディスクに対する情報の記録／再生に使用する回折光の次数と、第2の光ディスク、及び第3の光ディスクに対する情報の記録／再生に使用する回折光の次数とを異なるようにし、かつ、第1の光ディスクに対する情報の記録／再生に使用する回折光の次数が、第2の光ディスク、及び第3の光ディスクに対する情報の記録／再生に使用する回折光の次数よりも大きくなるように決定されている。

【0382】

回折光学素子100bの回折構造100dの最適化の方法は、図9、11、12、14

10

20

30

40

50

、15の光ピックアップ装置における対物レンズ14の回折構造14aのブレード構造の最適化の方法と同様なので、説明は割愛する。

【0383】

さらに、回折光学素子100bの回折構造100dは、波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化された複数の輪帯の各位置を、

$$\Phi_b = n_1 \cdot (b_2 \cdot h^2 + b_4 \cdot h^4 + b_6 \cdot h^6 + \dots)$$

により定義される光路差関数で表す場合に（ここで、 h は光軸からの高さ（mm）、 b_2 、 b_4 、 b_6 、 $\dots$ はそれぞれ2次、4次、6次、 $\dots$ の光路差関数係数（回折面係数ともいう）、 n_1 は回折構造100dに半導体レーザ11からの波長 λ_1 の光束が入射した場合に発生する回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数である）、

10

$$PD = \Sigma (-2 \cdot n_1 \cdot b_2)$$

により定義される回折構造のみのパワー（ mm^{-1} ）が

$$0.5 \times 10^{-2} < PD < 5.0 \times 10^{-2}$$

を満たすような正のパワーを有するのが好ましく、これにより半導体レーザ11のモードホップによる屈折型レンズ100aの結像位置の移動が小さく抑えることができる。すなわち、回折光学素子100bは、基板厚差補正手段としての機能に加えて、色収差補正手段としての機能も備えている。

【0384】

第8の光ピックアップ装置の対物レンズ100のように、対物レンズにおける基板厚差補正手段としての機能と、集光レンズとしての機能を、それぞれ独立した光学素子に分離することで、図9、11、12、14、15の光ピックアップ装置における対物レンズ14のように、屈折レンズの光学面上に、回折構造を一体形成する場合に比べ、回折光学素子100bとを作りやすくすることができる。

20

【0385】

具体的には、回折光学素子100bの回折構造100dは、平面上あるいは、曲率半径の大きい面上に形成されたブレード構造とすると良い。ブレード構造を平面上あるいは、曲率半径の大きい面上に形成することで、電子ビーム描画法により高精度にブレード構造を作製できるので、ブレード構造の形状誤差による回折効率の低下の小さい回折光学素子が得られる。この場合、ブレード構造が形成された面とは反対側の光学面を非球面とすると、さらに高性能な回折光学素子を得ることができる。

30

【0386】

さらに、第8の光ピックアップ装置は、第1の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合に、光ディスクの透明基板厚さの製造誤差、対物レンズ100等の集光光学系を構成する光学素子の製造誤差、半導体レーザ11の製造誤差による波長の変化、温度変化や湿度変化による対物レンズ等の集光光学系を構成する光学素子の形状変化や屈折率変化、による球面収差の変化を補正する基板厚誤差補正手段として、1軸アクチュエータ21によって光軸方向に変移されるコリメータ16を有する。

【0387】

〈第5の実施の形態〉

【0388】

40

図64は第5の実施の形態による第9の光ピックアップ装置を概略的に示す図である。第9の光ピックアップ装置における、対物レンズ34は、半導体レーザ11の波長領域で収差最小となるように設計された、第1の光ディスク専用の非球面对物レンズである。

【0389】

対物レンズ34を使用して、半導体レーザ12により第2の光ディスクを記録／再生しようとする、保護基板厚さの違いにより補正過剰方向に球面収差が変化するが、第9の光ピックアップ装置では、半導体レーザ12からの光だけが通過する光路である、半導体レーザ12と偏光ビームスプリッタ15との間の光路中に、上述の補正過剰方向に変化した球面収差を良好に補正し、対物レンズ34を使用して、半導体レーザ12により第2の光ディスクを記録／再生できるようにするための第1基板厚差補正手段である、カップリ

50

ングレンズ 1 1 0 を備える。

【0 3 9 0】

カップリングレンズ 1 1 0 の光学面上には、同芯円状の複数の輪帯からなる回折構造 1 1 0 a が形成されており、この回折構造は、入射する光の波長が長くなる方向に変化した場合に、球面収差が補正不足方向に変化するような球面収差特性を有する。

【0 3 9 1】

さらに、回折構造 1 1 0 a は、半導体レーザ 1 2 の波長に一致する波長で最適化されているので、良好な回折効率を得ることができる。

【0 3 9 2】

同様に、対物レンズ 3 4 を使用して、半導体レーザ 1 3 により第 3 の光ディスクを記録／再生しようとする、保護基板厚さの違いにより補正過剰方向に球面収差が変化するが、第 9 の光ピックアップ装置では、半導体レーザ 1 3 からの光だけが通過する光路である、半導体レーザ 1 3 と偏光ビームスプリッタ 1 7 との間の光路中に、上述の補正過剰方向に変化した球面収差を良好に補正し、対物レンズ 3 4 を使用して、半導体レーザ 1 3 により第 3 の光ディスクを記録／再生できるようにするための第 2 基板厚差補正手段である、カップリングレンズ 1 1 1 を備える。

【0 3 9 3】

カップリングレンズ 1 1 1 の光学面上には、同芯円状の複数の輪帯からなる回折構造 1 1 1 a が形成されており、この回折構造は、入射する光の波長が長くなる方向に変化した場合に、球面収差が補正不足方向に変化するような球面収差特性を有する。

【0 3 9 4】

さらに、回折構造 1 1 1 a は、半導体レーザ 1 3 の波長に一致する波長で最適化されているので、良好な回折効率を得ることができる。

【0 3 9 5】

また、第 9 の光ピックアップ装置では、対物レンズ 3 4 の光学面上には、NA 1 と NA 2 と NA 3 との開口径替手段として、図 1 7 に示すような輪帯フィルタが形成されており、この輪帯フィルタは、図 1 8 にあるような波長特性を有するので、情報の記録／再生を行う光ディスクの種類に応じて自動的に開口が切替わるので、光ピックアップ装置の構造を簡略化でき、コストを大幅に低減することができる。

【0 3 9 6】

さらに、第 9 の光ピックアップ装置は、第 1 の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合に、光ディスクの透明基板厚さの製造誤差、対物レンズ 3 4 等の集光光学系を構成する光学素子の製造誤差、半導体レーザ 1 1 の製造誤差による波長の変化、温度変化や湿度変化による対物レンズ等の集光光学系を構成する光学素子の形状変化や屈折率変化、による球面収差の変化を補正する基板厚誤差補正手段として、1 軸アクチュエータ 2 1 によって光軸方向に変移されるコリメータ 3 9 を有する。

【0 3 9 7】

また、コリメータ 3 9 は基板厚誤差補正手段としての機能に加えて、色収差補正手段としての機能も備える。すなわち、コリメータ 3 9 の光学面上には、同芯円状の複数の輪帯からなる回折構造 3 9 a が形成されており、回折構造 3 9 a は入射する光の波長が長くなる方向に変化した場合に、コリメータ 3 9 のバックフォーカスが短くなる方向に変化するような波長特性を有するので、コリメータ 3 9 と対物レンズ 3 4 を通過した、半導体レーザ 1 1 からの光束は、第 1 の光ディスクの情報記録面 9 1 上にほとんど色収差なく集光される。

【0 3 9 8】

〈第 6 の実施の形態〉

【0 3 9 9】

図 9 1 は、本実施の形態の対物レンズ OBJ 1 を示す概略図であり、図 9 1 (A) は正面図、(B) は側面図、(C) は側面を一部拡大した図である。この対物レンズ OBJ 1 は、例えば、青紫色半導体レーザのような短波長光源を使用する高密度 DVD 等の高密度

10

20

30

40

50

光ディスクと、赤色半導体レーザを使用するDVD、DVD-ROM、DVD-RAM、DVD-R、DVD-RW、DVD+RW等のDVD規格の光ディスクと、赤外半導体レーザを使用するCD、CD-R、CD-RW、CD-Video、CD-ROM等のCD規格の光ディスクとに対して共通の対物レンズでコンパクトに記録／再生するための光ピックアップ装置に適用され、光源から発したレーザ光を光ディスクの情報記録面上に集光させる機能を有している。

【0400】

対物レンズOBJ1は、非球面である2つの光学面S1、S2を有する単レンズであり、一方の光学面S1上に図91(A)に示したように光軸を中心とした輪帯状の回折構造が形成されている。この回折構造は、図91(C)に示したように、フレネルレンズのよう10
に各輪帯の境界に光軸方向に段差Δを持つ。輪帯に入射したレーザ光は、その輪帯の光軸に垂直な方向の幅（本明細書では、かかる輪帯の光軸に垂直な方向の幅を「輪帯ピッチ」と呼ぶ。）と、その輪帯の光軸方向の段差量とによって決定される方向に回折する。

【0401】

対物レンズOBJ1をプラスチックレンズとすると、軽量にすることができるので対物レンズOBJ1を駆動するアクチュエータへの負担を軽減でき、フォーカスエラーやトッ15
ラッキングエラーに対する対物レンズOBJ1の追従を高速に行うことができる。

【0402】

さらに、プラスチックレンズは、所望の金型を精度良く製作することで、射出成形により高精度に量産することが可能であるので、対物レンズOBJ1の高性能化や低コスト化20
を図ることが可能となる。また、プラスチック材料は粘性が低いので、微細な構造である回折構造を高精度に転写することができ、形状誤差による回折効率の低下の小さい対物レンズを得ることができる。

【0403】

一方、対物レンズOBJ1をガラスレンズとすると、温度変化による屈折率変化の影響を受けにくくなるので、高密度光ディスクに対して記録／再生中にアクチュエータから放熱等によりピックアップ装置の温度が上昇しても、その集光性能が劣化することはない。また、ガラス材料は、一般的に400nm程度の短波長のレーザ光に対して透過率や耐光性が高いので、高密度光ディスク用の対物レンズとして信頼性の高いレンズを得ることが25
できる。対物レンズOBJ1をガラスレンズとする場合には、ガラス転移点Tgが400℃以下であるガラス材料を使用して、金型を用いた成型法で作製するのが好ましい。これにより、通常のガラス材料よりも低い温度での成形が可能となるので、成形時間の短縮や金型の長寿命化等に関して有利となり、結果として対物レンズ1の低コスト化を実現できる。このようなガラス材料として、住田光学ガラス社製のPG375（商品名）やPG325（商品名）等がある。

【0404】

図92は、この対物レンズOBJ1を使用した光ピックアップ装置PU1を示す概略図である。透明基板の厚さの異なる3種類の光ディスクは、透明基板が最も薄く記録密度が最も大きい、高密度DVDである第1光ディスクD1と、透明基板が0.6mmであるDVD規格の第2の光ディスクD2と、透明基板が1.2mmであるCD規格の第3の光ディスクD3である。30

【0405】

光ピックアップ装置PU1は、第1の光ディスクD1の記録／再生用の光を発生する第1の光源である半導体レーザLD1と、第2の光ディスクD2の記録・再生用の光を発生する第2の光源である半導体レーザLD2と、第3の光ディスクD3の記録・再生用の光を発生する第3の光源である半導体レーザLD3、の3種類の半導体レーザを備えており、これらの半導体レーザは、情報を記録／再生する光ディスクに応じて選択的に発光される。35

【0406】

半導体レーザLD1は、波長400nm程度のレーザ光を発生するGaN系青紫色レー40

10

20

30

40

50

ザである。また、波長400nm程度のレーザ光を発生する光源として、上記のGaN系青紫色レーザのほかに、2次高調波を利用したSHG青紫色レーザを使用してもよい。半導体レーザLD2は、波長650nm程度のレーザ光を発生する赤色半導体レーザであり、半導体レーザLD3は、波長780nm程度のレーザ光を射出する赤外半導体レーザである。

【0407】

対物レンズOBJ1は、半導体レーザLD1から射出されコリメートレンズCLを介した平行光束を第1の光ディスクD1の透明基板を介して情報記録面Dr1上に、第1の開口数(NA1)内で回折限界内となるように集光し、半導体レーザLD2から射出された発散光束を第2の光ディスクD2の透明基板を介して情報記録面Dr2上に、第2の開口数(NA2)内で回折限界内となるように集光し、半導体レーザLD3から射出された発散光束を第3の光ディスクD3の透明基板を介して情報記録面Dr3上に、第3の開口数(NA3)内で回折限界内となるように集光するレンズであって、NA1は0.80以上とされ、NA2は0.60乃至0.70とされ、NA3は0.45乃至0.55とされている。

10

【0408】

このように、第2の光ディスクD2及び第3の光ディスクD3に対して情報の記録／再生を行う際に、対物レンズ1に対して、半導体レーザLD2及び半導体レーザLD3から射出された発散光束を入射するようにすると、透明基板の厚い第2の光ディスクD2及び第3の光ディスクD3に対して十分な作動距離を確保できる。

20

【0409】

対物レンズOBJ1の光源側の光学面2上に形成された回折構造は、図91(A)に示すように、光軸から周辺に向かって第1の光ディスクD1乃至第3の光ディスクD3のすべての光ディスクに対して記録／再生を行うのに使用されるNA3内に対応した共通領域と、第1の光ディスクD1及び第2の光ディスクD2に対して記録／再生を行うのに使用されるNA3～NA2に対応した第1の周辺領域と、第1の光ディスクD1に対して記録／再生を行うのに使用されるNA2～NA1に対応した第2の周辺領域とに分割されている。

【0410】

共通領域に形成された回折構造は、
 $350\text{ nm} < \lambda_B < 420\text{ nm}$
 を満たす波長 λ_B の光が入射した場合に、2次回折光が理論上100%の回折効率で発生するように最適化されている。このように決定された回折構造に、半導体レーザLD1から射出された光束が入射した場合、2次回折光が最大の回折光量を有するように発生し、対物レンズ1はこの2次回折光を、第1の光ディスクD1の記録／再生用のビームとしてその情報記録面Dr1上に集光する。また、半導体レーザLD2から射出された光束が入射した場合、1次回折光が最大の回折光量を有するように発生し、対物レンズ1はこの1次回折光を、第2の光ディスクD2の記録／再生用のビームとしてその情報記録面Dr2上に集光する。また、半導体レーザLD3から射出された光束が入射した場合、1次回折光が最大の回折光量を有するように発生し、対物レンズ1はこの1次回折光を、第3の光ディスクD3の記録／再生用のビームとしてその情報記録面Dr3上に集光する。

30

40

【0411】

このように、共通領域に形成された回折構造で発生する最大の回折光量を有する回折光の次数を、

$$|n_2| = \text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2)$$

$$|n_3| = \text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3)$$

$$|n_1| > |n_2| \geq |n_3|$$

$$|\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2) - (\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2)| < 0.4$$

$$|\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3) - (\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3)| < 0.4$$

(ただし、 n_1 は0、±1以外の整数であり、 $\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2)$ は $\lambda_1 \cdot$

50

$|n_1|/\lambda_2$ を四捨五入して得られる整数であり、 $INT(\lambda_1 \cdot |n_1|/\lambda_3)$ は $\lambda_1 \cdot |n_1|/\lambda_3$ を四捨五入して得られる整数である。)

を満たすように決定することで、半導体レーザLD1乃至LD3のレーザ光に対して、それぞれn1次回折光、n2次回折光、n3次回折光の回折効率を高いものとすることができる。

【0412】

例えば、半導体レーザLD1、LD2、LD3の波長がそれぞれ405nm、650nm、780nmである場合、 λ_B として波長375nmを選択すると、それぞれの光ディスクの記録／再生用のビームの回折効率は、

405nmの2次回折光の回折効率：93.0%

650nmの1次回折光の回折効率：92.5%

780nmの1次回折光の回折効率：99.5%

となる。

【0413】

NA3～NA2に対応した第1の周辺領域に形成された回折構造も、共通領域に形成された回折構造と同様に、

$350\text{nm} < \lambda_B < 420\text{nm}$

を満たす波長 λ_B の光が入射した場合に、2次回折光が理論上100%の回折効率で発生するように最適化されている。

【0414】

また、第2の周辺領域に形成された回折構造で発生する回折光は、第1の光ディスクD1に対して記録／再生を行うのに使用され、第2の光ディスクD2及び第3の光ディスクD3に対して記録／再生を行うのには使用されないので、第2の周辺領域においては、半導体レーザLD1から射出される光束の回折効率が重要となる。従って、第2の周辺領域に形成された回折構造に半導体レーザLD2と同じ波長の光が入射すると、2次回折光が理論上100%の回折効率で発生するように最適化した。

【0415】

また、共通領域に形成された回折構造は、

$405\text{nm} < \lambda_B < 425\text{nm}$

を満たす波長 λ_B の光が入射した場合に、6次回折光が理論上100%の回折効率で発生するように最適化しても良い。このように決定された回折構造に、半導体レーザLD1から射出された光束が入射した場合、6次回折光が最大の回折光量を有するように発生し、半導体レーザLD2から射出された光束が入射した場合、4次回折光が最大の回折光量を有するように発生し、半導体レーザLD3から射出された光束が入射した場合、3次回折光が最大の回折光量を有するように発生する。

【0416】

例えば、半導体レーザLD1、LD2、LD3の波長がそれぞれ405nm、650nm、780nmである場合、 λ_B として波長415nmを選択すると、それぞれの光ディスクの記録／再生用のビームの回折効率は、

405nmの6次回折光の回折効率；93.0%

650nmの4次回折光の回折効率：90.9%

780nmの3次回折光の回折効率；88.4%

となる。

【0417】

また、共通領域に形成された回折構造は、

$390\text{nm} < \lambda_B < 420\text{nm}$

を満たす波長 λ_B の光が入射した場合に、8次回折光が理論上100%の回折効率で発生するように最適化しても良い。このように決定された回折構造に、半導体レーザLD1から射出された光束が入射した場合、8次回折光が最大の回折光量を有するように発生し、半導体レーザLD2から射出された光束が入射した場合、5次回折光が最大の回折光量を

10

20

30

40

50

有するように発生し、半導体レーザLD3から射出された光束が入射した場合、4次回折光が最大の回折光量を有するように発生する。

【0418】

例えば、半導体レーザLD1、LD2、LD3の波長がそれぞれ405nm、650nm、780nmである場合、 λ_B として波長405nmを選択すると、それぞれの光ディスクの記録／再生用のビームの回折効率は、

405nmの8次回折光の回折効率：100%

650nmの5次回折光の回折効率：99.9%

780nmの4次回折光の回折効率：92.5%

となる。

10

【0419】

また、第1及び第2の周辺領域に形成された回折構造は、第1及び第2の周辺領域を通過して第3の光ディスクD3の情報記録面Dr3上に到達する半導体レーザLD3から射出された光束に対して大きな球面収差が付加されるように決定されており、第1の周辺領域を通過する半導体レーザLD3から射出された光束は、第3の光ディスクD3の記録／再生に使用されるスポットの形成に寄与しないフレア成分となる。

【0420】

同様に、第2の周辺領域に形成された回折構造は、第2の周辺領域を通過して第2の光ディスクD2の情報記録面上に到達する半導体レーザLD2から射出された光束に対して大きな球面収差が付加されるように決定されており、第2の周辺領域を通過する半導体レーザLD2から射出された光束は、第2の光ディスクD2の記録／再生に使用されるスポットの形成に寄与しないフレア成分となる。

20

【0421】

このように第2の光ディスクD2及び第3の光ディスクD3に対して記録／再生を行うのに使用される開口数より周辺の領域を通過する光束に対して、故意に大きな球面収差を付加してフレア成分とすると、自動的に開口切替が行われるので、NA2及びNA3に対応する絞りを別途設ける必要がなく光ピックアップ装置の構造が簡単になり好ましい。すなわち、対物レンズOBJ1の光学面S1上に形成された回折構造は、基板厚差補正手段としての機能と、開口切替手段としての機能を有している。

【0422】

また、対物レンズOBJ1では、第1の光ディスクD1の記録／再生用のビームとして、共通領域、第1の周辺領域、及び第2の周辺領域のそれぞれの領域で互いに同じ次数の回折光を利用するようにしたが、それぞれの領域で互いに異なる次数の回折光を利用するようにしてもよい。

30

【0423】

例えば、共通領域と第1の周辺領域では、半導体レーザLD1から射出された光束に対して2次回折光が最大の回折光量を有するように、その回折構造を決定し、第2の周辺領域では、半導体レーザLD1から射出された光束に対して4次回折光が最大の回折光量を有するように、その回折構造を決定すると、2次回折光を利用する場合に比して、第2の周辺領域における回折構造の隣り合う輪帯の間隔を広げることができ、輪帯の形状誤差による回折効率の低下を防ぐことができる。このとき、第2の周辺領域に形成された回折構造の隣り合う輪帯どうしの光路差は、半導体レーザLD2から射出された光束に対しては、波長の2.5倍であるので、半導体レーザLD2から射出された光束が第2の周辺領域に形成された回折構造に入射する場合、2次回折光と、2次回折光よりも大きな角度で回折する3次回折光とが同程度の回折光量で発生する。従って、第2の周辺領域を通過する半導体レーザLD2から射出された光束によるフレア成分が、2次回折光によるフレア成分と3次回折光によるフレア成分とに分離されるとともに、それぞれの次数の回折光によるフレア成分強度を小さくすることができるので、光検出器PD2での信号の検出エラーを抑えることが可能となる。

40

【0424】

50

また、共通領域と第1の周辺領域では、半導体レーザLD1から射出された光束に対して2次回折光が最大の回折光量を有するように、その回折構造を決定し、第2の周辺領域では、半導体レーザLD1から射出された光束に対して3次回折光が最大の回折光量を有するように、その回折構造を決定すると、第2の周辺領域に形成された回折構造の隣り合う輪帯どうしの光路差は、半導体レーザLD3から射出された光束に対しては、波長の1.5倍であるので、半導体レーザLD3から射出された光束が第2の周辺領域に形成された回折構造に入射する場合、1次回折光と、1次回折光よりも大きな角度で回折する2次回折光とが同程度の回折光量で発生する。従って、第2の周辺側域を通過する半導体レーザLD2から射出された光束によるフレア成分が、1次回折光によるフレア成分と2次回折

10

光によるフレア成分とに分離されるとともに、それぞれの次数の回折光によるフレア成分強度を小さくすることができるので、光検出器PD2での信号の検出エラーを抑えることが可能となる。

【0425】

第1の光ディスクD1に対して情報／記録の再生を行う場合、半導体レーザLD1から出射された発散光束は、偏光ビームスプリッタBS1を透過した後、コリメートレンズCLによって平行光束とされ、偏光ビームスプリッタBS2、偏光ビームスプリッタBS3、および、図示しない絞りを通過した後、対物レンズOBJ1によって第1の光ディスクD1の透明基板を介して情報記録面Dr1上に集光されるスポットとなる。対物レンズ1は、その周辺に配置されたアクチュエータACによってフォーカス制御及びトラッキング

20

【0426】

そして、情報記録面Dr1で情報ビットにより変調された反射光束は、再び対物レンズOBJ1、絞り、偏光ビームスプリッタBS3、偏光ビームスプリッタBS2、を通過した後、コリメートレンズCLによって収束光束とされ、偏光ビームスプリッタBS1によって反射され、シリンドリカルレンズCY1及び凹レンズN1を経ることによって非点収差が与えられ、光検出器PD1に収束する。そして、光検出器PD1の出力信号を用いて第1の光ディスクD1に対して情報の記録／再生を行うことができる。

【0427】

第2の光ディスクD2に対して情報の記録／再生を行う場合、半導体レーザLD2から出射された発散光束は、偏光ビームスプリッタBS4を透過した後、偏光ビームスプリッタBS2によって反射され、偏光ビームスプリッタBS3、および、図示しない絞りを通過した後、対物レンズOBJ1によって第2の光ディスクD2の透明基板を介して情報記録面Dr2上に集光されるスポットとなる。

30

【0428】

そして、情報記録面Dr2で情報ビットにより変調された反射光束は、再び対物レンズOBJ1、絞り、偏光ビームスプリッタBS3、を通過した後、偏光ビームスプリッタBS2によって反射された後、偏光ビームスプリッタBS4によって反射され、シリンドリカルレンズCY2及び凹レンズN2を経ることによって非点収差が与えられ、光検出器PD2に収束する。そして、光検出器PD2の出力信号を用いて第2の光ディスクD2に対して情報の記録／再生を行うことができる。

40

【0429】

第3の光ディスクD3に対して情報の記録／再生を行う場合、半導体レーザLD3から出射された発散光束は、偏光ビームスプリッタBS5を透過した後、偏光ビームスプリッタBS3によって反射され、図示しない絞りを通過した後、対物レンズOBJ1によって第3の光ディスクD3の透明基板を介して情報記録面Dr3上に集光されるスポットとなる。

【0430】

そして、情報記録面Dr3で情報ビットにより変調された反射光束は、再び対物レンズOBJ1、絞り、を通過した後、偏光ビームスプリッタBS3、および、偏光ビームスプ

50

リッタBS5によって反射された後、シリンドリカルレンズCY3及び凹レンズN3を経ることによって非点収差が与えられ、光検出器PD3に収束する。そして、光検出器PD3の出力信号を用いて第3の光ディスクD3に対して情報の記録／再生を行うことができる。

【0431】

また、光ピックアップ装置PU1は、半導体レーザLD1と対物レンズOBJ1との間、半導体レーザLD2と対物レンズOBJ1との間、及び半導体レーザLD3と対物レンズOBJ1との間の、それぞれの光路中に図示しない1／4波長板を備える。

【0432】

〈第7の実施の形態〉

10

【0433】

図93は、本実施の形態の対物レンズOBJ2を示す概略図であり、図93(A)は正面図、(B)は側面図、(C)は側面を一部拡大した図である。この対物レンズOBJ1は、例えば、青紫色半導体レーザのような短波長光源を使用する高密度DVD等の高密度光ディスクと、赤色半導体レーザを使用するDVD、DVD-ROM、DVD-RAM、DVD-R、DVD-RW、DVD+RW等のDVD規格の光ディスクと、赤外半導体レーザを使用するCD、CD-R、CD-RW、CD-Video、CD-ROM等のCD規格の光ディスクとに対して共通の対物レンズでコンパチブルに記録／再生するための光ピックアップ装置に適用され、光源から発したレーザ光を光ディスクの情報記録面上に集光させる機能を有している。

20

【0434】

対物レンズOBJ2は、非球面である2つの光学面S3、S4を有する光源から発したレーザ光をそれぞれの光ディスクの情報記録面上に集光させるための集光レンズとしての第1の光学素子L1と、2つの光学面S1、S2を有する基板厚差補正手段としての第2の光学素子L2とから構成された複合型対物レンズであり、非球面である第2の光学素子L2の光学面S1上に図93(A)に示したように光軸を中心とした輪帯状の回折構造が形成されている。この回折構造は、図93(C)に示したように、フレネルレンズのように各輪帯の境界に光軸方向に段差Δを持つ。輪帯に入射したレーザ光は、その輪帯ピッチと、その輪帯の光軸方向の段差量とによって決定される方向に回折する。

【0435】

30

第1の光学素子L1と第2の光学素子L2は当接部Mによって嵌合されている。当接部Mは金型を用いた成型法により光学面と一体成形されることで、その形状を高精度に作製することが可能であり、第1の光学素子L1と第2の光学素子L2との間の光軸に垂直な方向の位置決めや光軸方向の位置決めを高精度に行うことができる。

【0436】

対物レンズOBJ2は、赤色半導体レーザから射出された発散光束をDVDの情報記録面上に集光し、赤外半導体レーザから射出された発散光束をCDの情報記録面上に集光する。このように対物レンズに対して発散光束が入射する場合、トラッキングエラーにより発生するコマ収差が問題となる。これは、トラッキングエラーにより半導体レーザの発光点に対して対物レンズが偏芯すると、発光点が対物レンズに対して軸外物点となるからである。従って、発散光束を入射させて使用する対物レンズの設計においては、良好なトラッキング特性を得るために、軸外特性（像高特性）のコマ収差を補正しておく必要がある。しかるに、対物レンズに対して発散光束が入射する場合には、平行光束を入射する場合に比して、軸外特性のコマ収差の発生量は大きくなる傾向がある。そこで、対物レンズOBJ2では、第1の光学素子L1と第2の光学素子L2とから構成される複合型対物レンズとすることで、設計自由度（光学面の数）を増やし、DVDやCDの軸外特性のコマ収差を良好に補正したので、DVDやCDの記録／再生時に良好なトラッキング特性を得ることができる。

40

【0437】

ところで、高密度光ディスクのように対物レンズの開口数が0.85程度に設定された

50

場合、光学面（特に、光源側の光学面）の曲率半径が小さくなる。このような曲率半径の小さい光学面に輪帯構造を設けようとする、輪帯ピッチが非常に小さくなってしまふ（数 μ 程度。）

【0438】

光学素子を成形するために用いられる金型は、SPDT (Single-Point Diamond Turning) と呼ばれる微小径のダイヤモンドバイトで切削する方法で作製されている。しかし、SPDTによる金型加工においては、光学面上にピッチが数 μm 程度の輪帯構造のごとき微細形状を形成する場合、ダイヤモンドバイトの先端形状が金型に転写されることで発生する位相不整合部分によるレーザ光の利用効率低下が問題となる。また、フォトリソグラフィとエッチングとを繰り返し適用するバイナリオプティクス作成技術や電子ビーム描画技術は、高精度に微細形状を形成するのに適した光学素子の作製法であるが、高密度光ディスク用の対物レンズのように、曲率半径が小さい光学面上に微細形状を有する光学素子を作製した例や、光学素子を射出成形するために用いる金型を作製した例は報告されていない。

10

【0439】

さらに、将来、SPDTによる金型加工において、位相不整合部分によるレーザビームの利用効率低下が問題とならない程度に、先端形状の小さいダイヤモンドバイトを使用することで、高精度に微細形状の作成が技術的に可能となったり、バイナリオプティクス作成技術や電子ビーム描画技術により、曲率半径が小さい光学面上に微細形状を有する光学素子の作製や、光学素子を射出成形するために用いる金型の作製が技術的に可能となった場合でも、曲率半径が小さい光学面上にピッチが数 μ 程度の輪帯構造を設けると、輪帯構造の段差部分による影の影響が大きくなるためにレーザ光の利用効率が低下するという課題が残る。

20

【0440】

そこで、対物レンズOBJ2では、第1の光学素子L1の近軸パワー P_1 (mm^{-1}) と、第2の光学素子L2の近軸パワー P_2 (mm^{-1}) とを、
 $|P_1 / P_2| \leq 0.2$

を満足するように設定している。光学面S1上に回折構造が形成された第2の光学素子L2の曲率半径を大きく設定することで、輪帯構造の段差部分での影の影響によるレーザ光の利用効率低下を小さくするとともに、第1の光学素子L1の第2の光学素子L2側の光学面S3の曲率半径を小さく設定することで、対物レンズOBJ2の高開口数化を図った。

30

【0441】

さらに、第2の光学素子L2の近軸パワーに対する第1の光学素子L1の近軸パワーの比を大きく設定することで、光束の集光作用をもっぱら第1の光学素子L1に持たせたので、対物レンズOBJ2の光ディスク側の光学面S4をマージナル光線が通過する高さが大きく、対物レンズOBJ1のように、対物レンズを単レンズ構成とする場合と同程度の作動距離を確保している。

【0442】

さらに、第2の光学素子L2の近軸パワー P_2 は、第2の光学素子L2を透過して第1の光学素子L1に入射する光束のマージナル光線が収斂光線となるように決定されている。これにより、光学面S3の有効径が小さくなるので第1の光学素子L1の外径を小さくすることができ、それに伴い第2の光学素子L2の外径も小さくできるので、対物レンズOBJ2の小型化に有利である。

40

【0443】

光学面S1上に形成された回折構造は、対物レンズOBJ1の光学面S1上に形成された回折構造と同様の考え方により決定されているので、ここでは、その詳細な説明は省略する。

【0444】

図94は、この対物レンズOBJ2を使用した光ピックアップ装置PU2を示す概略図

50

である。光ピックアップ装置 P U 2 は、対物レンズが複合型対物レンズである対物レンズ O B J 2 となっている以外は、光ピックアップ装置 P U 1 と同様であるので、ここでは、光ピックアップ装置 P U 2 に関する詳細な説明は省略する。

【0445】

なお、本発明の実施の形態例に用いることのできる対物レンズとしては、1枚のレンズから構成される対物レンズのほかに、2枚以上の複数のレンズから構成される対物レンズも含まれる。

【実施例】

【0446】

次に、本発明を実施例 1 乃至実施例 14 により更に具体的に説明する。各実施例のレンズにおける非球面は光軸方向を X 軸、光軸に垂直な方向の高さを h、屈折面の曲率半径を r とするとき次式の数 2 で表す。但し、 κ を円すい係数、 A_{2i} を非球面係数とする。 10

【0447】

【数 2】

$$X = \frac{h^2/r}{1 + \sqrt{1 - (1 + \kappa)h^2/r^2}} + \sum_{i=2} A_{2i} h^{2i} \quad 20$$

【0448】

また、各実施例における回折面は光路差関数 Φ_b として次式の数 3 により表すことができる。ここで、h は光軸に垂直な高さであり、 b_{2i} は光路差関数の係数であり、n は回折面で発生する回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の次数である。

【0449】

【数 3】

30

$$\Phi_b = n \cdot \sum_{i=1} b_{2i} h^{2i}$$

【0450】

なお、以下の表または図では、10 のべき乗の表現に E (または e) を用いて、例えば 40、 $E-02 (= 10^{-2})$ のように表す場合がある。

【0451】

〈実施例 1〉

【0452】

実施例 1 は、上述の図 9、図 11、図 12、図 14、図 15 の各光ピックアップ装置に適用することのできる対物レンズであって、記録密度の異なる 3 種類の光ディスクに対して情報の記録／再生が可能である。実施例 1 の対物レンズ特性を得るに当たって、第 1 の光ディスク (高密度 DVD) 用の第 1 の光源の波長 λ_1 を 405nm、第 2 の光ディスク (DVD) 用の第 2 の光源の波長 λ_2 を 650nm、第 3 の光ディスク用 (CD) の第 3 の光源の波長 λ_3 を 780nm とし、第 1 の光ディスクの保護基板厚さ t_1 は 0.1mm、第 2 の光ディスクの保護基 50

板厚さ t_2 は 0.6mm、第 3 の光ディスクの保護基板厚さ t_3 は 1.2mm とした。また、第 1 乃至第 3 の光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な対物レンズの像側開口数 NA1、NA2、NA3 として、それぞれ 0.85、0.65、0.50 を想定している。

【0453】

図 20 乃至図 22 に、実施例 1 の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ 、 $\lambda_2 = 650\text{nm}$ 、 $\lambda_3 = 780\text{nm}$ における光路図を示す。実施例 1 の対物レンズは、光源側の非球面上に同心円状の複数の輪帯からなる回折構造を有しているが、本明細書中の光路図においては、回折構造は省略されている。実施例 1 の対物レンズの回折構造及び非球面形状は、波長 λ_1 乃至 λ_3 の光束の 1 次回折光がそれぞれ第 1 乃至第 3 の光ディスクの情報記録面上に良好な波面を形成するように決定される。また、実施例 1 の対物レンズは、 $\lambda_1 = 405\text{nm}$ では無限仕様とし、 $\lambda_2 = 650\text{nm}$ 、及び $\lambda_3 = 780\text{nm}$ では有限仕様とした。このように、 $\lambda_2 = 650\text{nm}$ 、及び $\lambda_3 = 780\text{nm}$ で有限仕様とし、第 1 の光ディスクに比して保護基板厚さの大きい第 2、第 3 の光ディスクに対して発散光束を入射するようにすると、作動距離（対物レンズ最終面と、光ディスクの光束入射面との間隔）を十分に確保できるとともに、回折構造が補正しなくてはならない、異なる種類の光ディスクの保護基板厚さの違いに起因して発生する球面収差量を軽減することができるので、隣り合う輪帯の間隔を広げることができ、輪帯形状の製造誤差による回折効率の低下を緩和することができる。

10

【0454】

図 23 に実施例 1 の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ に対する開口数 0.85 までの球面収差図を示す。また、図 24 に $\lambda_2 = 650\text{nm}$ に対する開口数 0.65 までの球面収差図を示す。また、図 25 に $\lambda_3 = 780\text{nm}$ に対する開口数 0.50 までの球面収差図を示す。図 23 乃至図 25 の球面収差図より明らかなように、回折構造の作用と結像倍率の違いとを利用することで、3 種類の光ディスクの保護基板厚さの違いにより発生する球面収差を、それぞれの光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な像側開口数内で良好に補正している。なお、実施例 1 の対物レンズの波面収差は、

20

$\lambda_1 = 405\text{nm}$ 、NA1 0.85、 $t_1 = 0.1\text{mm}$ のとき、 $0.007\lambda_1 \text{ rms}$

$\lambda_2 = 650\text{nm}$ 、NA2 0.65、 $t_2 = 0.6\text{mm}$ のとき、 $0.003\lambda_2 \text{ rms}$

$\lambda_3 = 780\text{nm}$ 、NA3 0.50、 $t_3 = 1.2\text{mm}$ のとき、 $0.002\lambda_3 \text{ rms}$

である。

【0455】

また、図 26 に $\lambda_2 = 650\text{nm}$ に対する別の球面収差図を示す。図 26 は、 $\lambda_1 = 405\text{nm}$ と NA1 0.85 との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda_2 = 650\text{nm}$ の光を入射させた場合の、実施例 1 の対物レンズの球面収差図である。図 26 の球面収差図から理解されるように、実施例 1 の対物レンズは、 $\lambda_2 = 650\text{nm}$ 、 $t_2 = 0.6\text{mm}$ の組み合わせに対して、NA2 0.65 までの光束をほぼ無収差で第 2 の光ディスクの情報記録面上に集光させ、NA2 0.65 より外側を通過する光束は、大きな球面収差（以下、「フレア」と呼ぶ）を発生させることで、第 2 の光ディスクの情報記録面 92 上に集光しないようにしている。

30

【0456】

また、図 27 に $\lambda_3 = 780\text{nm}$ に対する別の球面収差図を示す。図 27 は、 $\lambda_1 = 405\text{nm}$ と NA1 0.85 との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda_3 = 780\text{nm}$ の光を入射させた場合の、実施例 1 の対物レンズの球面収差図である。図 27 の球面収差図から理解されるように、実施例 1 の対物レンズは、 $\lambda_3 = 780\text{nm}$ 、 $t_3 = 1.2\text{mm}$ の組み合わせに対して、NA3 0.50 までの光束をほぼ無収差で第 3 の光ディスクの情報記録面 93 上に集光させ、NA3 0.50 より外側を通過する光束は、フレアを発生させることで、第 3 の光ディスクの情報記録面 93 上に集光しないようにしている。

40

【0457】

このように、第 2 及び第 3 の光ディスクに対して情報の記録／再生を行う際に、必要開口数より外側の領域を通過する光束をフレアとすると、光ディスクの情報記録面上のスポットが必要以上に小さくならないので、光ディスクの保護基板が光軸に対して傾いた（以下、「ディスクキュー」と呼ぶ）場合に発生するコマ収差を小さくすることができ、

50

ディスクスキャーに対するマージンを確保できる。さらに、記録密度の異なる光ディスクに対応した開口切替手段を設ける必要がないので、構造が簡単になり好ましい。

【0458】

なお、実施例1の対物レンズでは、第1の光ディスク（高密度DVD）として、保護基板厚さ t_1 を0.1mm、光源の波長を405nm、像側開口数を0.85と仮定して光学設計を進めたが、これ以外の仕様である光ディスクに対しても本発明は適用が可能である。

【0459】

また、第2の光ディスク（DVD）に対する像側開口数を0.65、第3の光ディスク（CD）に対する像側開口数を0.50として光学設計を進めたが、これ以外の仕様である光ディスクに対しても本発明は適用が可能である。

10

【0460】

また、本明細書において、「球面収差を（良好に）補正する」、「波面収差を（良好に）補正する」とは、光源から射出された光束が、光ディスクの情報記録面上に、その光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な対物レンズの所定の像側開口数内で、波面収差が回折限界内（ λ を光源の波長としたとき、 $0.07\lambda_{rms}$ 以下、より好ましくは $0.05\lambda_{rms}$ 以下、）の状態で集光するように収差を補正することを指す。

【0461】

表1に実施例1の対物レンズのレンズデータを示す。表中、 f_1 、 f_2 、 f_3 はそれぞれ、波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 における対物レンズの焦点距離、 m_1 、 m_2 、 m_3 はそれぞれ、波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 における対物レンズの結像倍率、 r （mm）は曲率半径、 d （mm）は面間隔、 $N\lambda_1$ 、 $N\lambda_2$ 、 $N\lambda_3$ はそれぞれ、波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 における屈折率、 v_d はd線におけるアッベ数を表すが、以降の実施例2乃至14のレンズデータにおいても同様である。

20

【0462】

【表 1】

波長 $\lambda 1=405\text{nm}$ のとき

焦点距離 $f1=2.35\text{mm}$ 、像側開口数 $NA1=0.85$ 、結像倍率 $m1=0$

波長 $\lambda 2=650\text{nm}$ のとき

焦点距離 $f2=2.43\text{mm}$ 、像側開口数 $NA2=0.65$ 、結像倍率 $m2=-0.05$

波長 $\lambda 3=780\text{nm}$ のとき

焦点距離 $f3=2.45\text{mm}$ 、像側開口数 $NA3=0.50$ 、結像倍率 $m3=-0.10$

面番号	r (mm)	d (mm)	$N_{\lambda 1}$	$N_{\lambda 2}$	$N_{\lambda 3}$	νd	備考
0		d0(可変)					光源
1	1.799	2.500	1.76904	1.73912	1.73324	49.3	対物レンズ
2	45.872	d2(可変)					
3	∞	d3(可変)	1.61949	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
4	∞						

	$\lambda 1=405\text{nm}$	$\lambda 2=650\text{nm}$	$\lambda 3=780\text{nm}$
d0	∞	48.589	27.964
d2	0.100	0.600	1.200
d3	0.855	0.720	0.450

非球面係数

	第1面	第2面
κ	-6.1317E-01	0.0000E+00
A4	5.2524E-03	7.1812E-02
A6	-5.6632E-04	-3.8260E-02
A8	1.1555E-03	-1.7437E-03
A10	-3.1854E-04	4.7910E-03
A12	-2.2350E-06	-5.7767E-04
A14	2.6449E-05	-1.1890E-04
A16	-4.7779E-06	

回折面係数

	第1面
b2	-2.0000E-03
b4	-5.6811E-04
b6	-1.3194E-04
b8	4.9466E-05
b10	-8.0188E-06

【0463】

また、実施例1の対物レンズの光源側の非球面上に形成された回折構造は、波長 $\lambda 1$ 、回折次数1で最適化されているが、波長 $\lambda 1$ 以外の波長や、1以外の回折次数で、この回折構造を最適化してもよい。いずれの場合でも、若干の設計変更で本発明の光ピックアップ装置に適用可能な対物レンズとすることができる。

【0464】

〈実施例2〉

【0465】

実施例2は、上述の図12の光ピックアップ装置に適用することのできる集光光学系であって、記録密度の異なる3種類の光ディスクに対して、情報の記録／再生が可能である。第1の光ディスク（高密度DVD）として、保護基板厚さ $t1$ を 0.1mm 、光源の波長 $\lambda 1$ を 405nm 、像側開口数 $NA1$ を 0.85 とし、第2の光ディスク（DVD）として、保護基板厚さ $t2$ を 0.6mm 、光源の波長 $\lambda 2$ を 650nm 、像側開口数 $NA2$ を 0.65 とし、第3の光ディスク（CD）として、保護基板厚さ $t3$ を 1.2mm 、光源の波長 $\lambda 3$ を 780nm 、像側開口数 $NA3$ を 0.50 とした。

【0466】

図28に実施例2の集光光学系の $\lambda 1=405\text{nm}$ における光路図を示す。実施例2の集光光学系のコリメータ（図12のコリメータ29に対応する。）は、光ディスク側の非球面上に形成した同心円状の複数の輪帯からなる回折構造の作用により、第1の光源から射出される光の波長が 405nm から長波長側に変化した場合に、コリメータのバックフォーカスが短くなるような波長特性を有する。第1の光源から射出される光の波長が 405nm から長波

10

20

30

40

50

長側に変化した場合の、コリメータのバックフォーカスの変化量の符号を、同じ量の波長変化に対する対物レンズのバックフォーカスの変化量の符号と逆符号とし、さらに、コリメータの焦点距離の二乗で規格化したバックフォーカスの変化量の絶対値を、同じ量の波長変化に対する対物レンズの焦点距離の二乗で規格化したバックフォーカスの変化量の絶対値とほぼ同じとしたので、第1の光源から射出される光の波長が変化した場合の対物レンズの焦点位置の変化を補償することができる。

【0467】

図29に実施例2の集光光学系の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm} \pm 10\text{nm}$ に対する開口数0.85までの球面収差図を示す。また、図30に実施例2の集光光学系のコリメータと対物レンズとの合成系の $\lambda_1 = 405\text{nm} \pm 10\text{nm}$ に対する開口数0.85までの球面収差図を示す。図29の球面収差図に示すように、実施例2の対物レンズは基準波長405nmから+10nm波長が変化すると、近軸焦点位置が0.005mm変化するが、上述したような波長特性を有するコリメータと組み合わせることで、図30の球面収差図にあるように、基準波長405nmから+10nm波長が変化した場合の近軸焦点位置の変化量を0.002mmと小さくすることができる。

10

【0468】

なお、青紫色半導体レーザのモードホッピングによる波長変化量を+1nmと仮定すると、実施例2の対物レンズのみの系でのモードホッピング時の波面収差のデフォーカス成分は、 $0.160\lambda \text{ rms}$ と回折限界を超えてしまうが、実施例2の集光光学系のコリメータと対物レンズとの合成系でのモードホッピング時の波面収差のデフォーカス成分は、 $0.001\lambda \text{ rms}$ 以下であり、波長変化による対物レンズの最良像面位置の変化が良好に補償されていること

20

【0469】

さらに、実施例2の集光光学系は、第1の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合に、光ディスクの保護基板厚さの製造誤差、対物レンズやコリメータ等の集光光学系を構成する光学素子の製造誤差、光源の製造誤差による波長の変化、及び温度変化や湿度変化による対物レンズやコリメータ等の集光光学系を構成する光学素子の形状変化や屈折率変化による球面収差の変化を補正する基板厚誤差補正手段としての屈折率分布可変素子（図12の屈折率分布可変素子23に対応する。）を有する。

【0470】

このような屈折率分布可変素子としては、屈折率分布可変材料層を有し、電場または磁場または温度を印加することにより屈折率分布可変材料層の屈折率分布を変化させることのできる素子があげられる。具体的には、屈折率分布可変材料層は液晶層であって、液晶層は互いに対向する透明電極との間に配置され、かかる透明電極に電圧を印加することで液晶層の液晶分子の配向状態を電氣的に制御することで液晶層内の屈折率分布を変化させることのできる素子や、屈折率分布可変材料層は電気光学材料層であって、電気光学材料層は互いに対向する透明電極との間に配置され、透明電極に電圧を印加することで電気光学材料層の屈折率を電氣的に制御することで電気光学材料層内の屈折率分布を変化させることのできる素子等がある。

30

【0471】

実施例2では、このような屈折率分布可変材料層の光軸に垂直な方向に沿った屈折率分布 $N(\lambda, h)$ を、 h を光軸からの高さ(mm)、 $N_0(\lambda)$ を屈折率分布可変材料層の光軸上の波長 λ における屈折率、 A_{2i} を屈折率分布関数係数として、
$$N(\lambda, h) = N_0(\lambda) + \sum A_{2i} \cdot h^{2i} \quad (B)$$
で表現される屈折率分布関数で表す。

40

【0472】

表2に、光源の製造誤差による基準波長(405nm)に対する $\pm 10\text{nm}$ の波長誤差、基準温度(25℃)に対する $\pm 30^\circ\text{C}$ の温度変化によるプラスチックレンズの屈折率変化、第1の光ディスクの基準保護基板厚さ(0.1mm)に対する $\pm 0.02\text{mm}$ の製造誤差、により集光光学系で発生する球面収差の変化を、屈折率分布可変材料層の屈折率分布を変化させることで補正した結果を示す。プラスチックレンズはガラスレンズに比べて温度変化による屈折率変

50

化が大きいので、温度変化時は、プラスチックレンズの屈折率変化のみを考慮し、その変化量は、 $-10 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ である。

【0473】

【表2】

		補正前の波面収差	補正後の波面収差	$N_0(\lambda)$	A_2
波長誤差	+10nm	0.142 λ rms	0.007 λ rms	1.52897	5.6830E-04
	-10nm	0.147 λ rms	0.010 λ rms	1.53153	-5.7980E-04
温度変化	+30 $^\circ\text{C}$	0.011 λ rms	0.008 λ rms	1.53001	-4.5330E-05
	-30 $^\circ\text{C}$	0.013 λ rms	0.008 λ rms	1.53039	2.9830E-05
透明基板厚さの誤差	+0.02mm	0.195 λ rms	0.010 λ rms	1.53020	7.5570E-04
	-0.02mm	0.191 λ rms	0.012 λ rms	1.53020	-7.7790E-04

10

【0474】

なお、実施例2の集光光学系において、プラスチックレンズはコリメータである。また、温度変化時の光源の波長変化量を $+0.05\text{nm}/^\circ\text{C}$ とした。表2から、いずれの場合も、良好に波面収差が補正されており、0.85という高い開口数を必要とする第1の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合でも常に集光状態の良好なスポットを得ることができる。

【0475】

また、表2において、補正前の波面収差は、波長誤差、あるいは温度変化による波長変化及び屈折率変化、あるいは保護基板厚さの誤差を与えた場合に、屈折率分布可変材料層の屈折率分布を変化させる前、すなわち屈折率分布可変材料層の屈折率が一様に $N_0(\lambda)$ であるときの集光光学系全系の波面収差を意味し、補正後の波面収差は、波長誤差、あるいは温度変化による波長変化及び屈折率変化、あるいは保護基板厚さの誤差を与えた場合に、屈折率分布可変材料層に、2次の屈折率分布関数係数 A_2 と $N_0(\lambda)$ を用いて上記(B)式で表現される屈折率分布を与えたときの集光光学系全系の波面収差を意味する。

20

【0476】

図31及び図32に実施例2の集光光学系の対物レンズの $\lambda_2=650\text{nm}$ 、 $\lambda_3=780\text{nm}$ における光路図を示す。また、図33に $\lambda_2=650\text{nm}$ に対する開口数0.65までの球面収差図を示す。また、図34に $\lambda_3=780\text{nm}$ に対する開口数0.50までの球面収差図を示す。実施例2の集光光学系の対物レンズは、光源側の非球面上に同心円状の輪帯回折構造を有しており、この回折構造の作用と結像倍率の違いとを利用することで、3種類の光ディスクの保護基板厚さの違いにより発生する球面収差を、それぞれの光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な像側開口数内で良好に補正している。実施例2の集光光学系の対物レンズは実施例1の対物レンズと同じ対物レンズであるので、詳細な説明は割愛する。

30

【0477】

また、実施例2の集光光学系では、第1の光ディスクに対して情報の記録／再生を行う場合にのみ、屈折率分布可変材料層の光軸に垂直な方向に沿った屈折率分布を変化させて球面収差の変化を補正したが、第2の光ディスクあるいは第3の光ディスクに対して情報の記録／再生を行う場合においても、屈折率分布可変材料層の屈折率分布を変化させて球面収差の変化を補正してもよい。

40

【0478】

また、実施例2の光路図では、実際の光ピックアップ装置において、光源と対物レンズとの間の光路中に配置される偏光ビームスプリッタは省略している。実施例2の集光光学系において、光源と対物レンズとの間の非平行光束中に偏光ビームスプリッタが配置されると球面収差が発生するが、光源の位置を光軸方向に所定量移動することで、発生した球面収差を補正することができる。以降の実施例においても同様に、光源と対物レンズとの間の光路中に配置される偏光ビームスプリッタは省略する。

【0479】

表3に実施例2の集光光学系の、 $\lambda_1=405\text{nm}$ に対するレンズデータを示す。実施例2の

50

集光光学系のコリメータの光ディスク側の非球面上に形成した回折構造は、波長 λ_1 、回折次数1で最適化されている。

【0480】

【表3】

波長 $\lambda_1=405\text{nm}$ のとき

焦点距離 $f_1=2.35\text{mm}$ 、像側開口数 $NA_1=0.85$ 、結像倍率 $m_1=0$

面番号	$r(\text{mm})$	$d(\text{mm})$	$N_{\lambda 1}$	$N_{\lambda 2}$	$N_{\lambda 3}$	ν_d	備考
0		9.851					光源
1	-30.532	1.500	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	コリメータ
2	-9.309	12.000					
3	∞	1.000	1.53020	1.51452	1.51118	64.1	ガラス基板
4	∞	1.000	1.53020	1.51452	1.51118	64.1	屈折率分布可変材料層
5	∞	1.000	1.53020	1.51452	1.51118	64.1	ガラス基板
6	∞	3.000					
7	1.799	2.500	1.76904	1.73912	1.73324	49.3	対物レンズ
8	45.872	0.855					
9	∞	0.100	1.61949	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
10	∞						

非球面係数

	第2面	第7面	第8面
κ	-4.0087E-01	-6.1317E-01	0.0000E+00
A4	-1.2239E-04	5.2524E-03	7.1812E-02
A6	-1.8594E-06	-5.6632E-04	-3.8260E-02
A8		1.1555E-03	-1.7437E-03
A10		-3.1854E-04	4.7910E-03
A12		-2.2350E-06	-6.7767E-04
A14		2.6449E-05	-1.1890E-04
A16		-4.7779E-06	

回折面係数

	第2面	第7面
b2	-2.4956E-02	-2.0000E-03
b4		-5.6811E-04
b6		-1.3194E-04
b8		4.9466E-05
b10		-8.0188E-06

【0481】

また、かかる回折構造を2次以上の回折次数で最適化すると、金型の加工時間の短縮やコリメータの透過光量の向上という点で有利となる。例えば、回折次数2で最適化すると回折輪帯数が $1/2$ 、隣り合う回折輪帯の間隔が2倍となる。この場合は、表3のレンズデータにおける第2面の回折面係数を $1/2$ 倍した値を用いて、前述の数3で表される光路差関数の値（ただし $n=2$ ）が最適化波長（この場合は λ_1 ）の2倍かわる毎に回折輪帯を形成する。

【0482】

表4に実施例2の集光光学系の、 $\lambda_2=650\text{nm}$ 及び $\lambda_3=780\text{nm}$ に対するレンズデータを示す。

【0483】

【表 4】

波長 $\lambda 2=650\text{nm}$ のとき
 焦点距離 $f2=2.43\text{mm}$ 、像側開口数 $NA2=0.65$ 、結像倍率 $m2=-0.05$

波長 $\lambda 3=780\text{nm}$ のとき
 焦点距離 $f3=2.45\text{mm}$ 、像側開口数 $NA3=0.50$ 、結像倍率 $m3=-0.10$

面番号	r (mm)	d (mm)	$N\lambda 1$	$N\lambda 2$	$N\lambda 3$	νd	備考
0		d0(可変)					光源
1	∞	1.000	1.53020	1.51452	1.51118	64.1	ガラス基板 屈折率分布可変材料層
2	∞	1.000	1.53020	1.51452	1.51118	64.1	
3	∞	1.000	1.53020	1.51452	1.51118	64.1	
4	∞	3.000					ガラス基板
5	1.799	2.500	1.76904	1.73912	1.73324	49.3	対物レンズ
6	45.872	d5(可変)					
7	∞	d6(可変)	1.61949	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
8	∞						

	$\lambda 2=650\text{nm}$	$\lambda 3=780\text{nm}$
d0	43.500	23.000
d5	0.600	1.200
d6	0.720	0.450

非球面係数

	第5面	第6面
κ	-6.1317E-01	0.0000E+00
A4	5.2524E-03	7.1812E-02
A6	-5.6632E-04	-3.8260E-02
A8	1.1555E-03	-1.7437E-03
A10	-3.1854E-04	4.7910E-03
A12	-2.2350E-06	-5.7767E-04
A14	2.6449E-05	-1.1890E-04
A16	-4.7779E-06	

回折面係数

	第5面
b2	-2.0000E-03
b4	-5.6811E-04
b6	-1.3194E-04
b8	4.9466E-05
b10	-8.0188E-06

【0484】

＜実施例3＞

【0485】

実施例3は、図13の光ピックアップ装置に適用することのできる集光光学系であって、記録密度の異なる3種類の光ディスクに対して、情報の記録／再生が可能である。第1の光ディスク（高密度DVD）として、保護基板厚さ $t1$ を 0.1mm 、光源の波長 $\lambda 1$ を 405nm 、像側開口数 $NA1$ を 0.85 とし、第2の光ディスク（DVD）として、保護基板厚さ $t2$ を 0.6mm 、光源の波長 $\lambda 2$ を 650nm 、像側開口数 $NA2$ を 0.65 とし、第3の光ディスク（CD）として、保護基板厚さ $t3$ を 1.2mm 、光源の波長 $\lambda 3$ を 780nm 、像側開口数 $NA3$ を 0.50 とした。

【0486】

図35に実施例3の集光光学系の $\lambda 1=405\text{nm}$ における光路図を示す。また、図36に実施例3の集光光学系の $\lambda 1=405\text{nm}\pm 10\text{nm}$ に対する開口数 0.85 までの球面収差図を示す。実施例3のコリメータは、実施例2の集光光学系のコリメータと同様に、光ディスク側の非球面上に形成した同心円状の複数の輪帯からなる回折構造の作用により、第1の光源から射出される光の波長が 405nm から長波長側に变化した場合に、コリメータのバックフォーカスが短くなるような波長特性を有し、第1の光源から射出される光の波長が变化した場合の対物レンズの焦点位置の変化を補償している。実施例3の対物レンズのみの系でのモードホッピング時の波面収差のデフォーカス成分が、 $0.201\lambda \text{rms}$ であるのに対し、実施例3の集光光学系のコリメータと対物レンズとの合成系でのモードホッピング時の波面収差のデフォーカス成分は、 $0.003\lambda \text{rms}$ であり、波長変化による対物レンズの最良像面位置の

10

20

30

40

50

変化が良好に補償されていることがわかる。

【0487】

さらに、実施例3の集光光学系は、実施例2の集光光学系と同様に、第1の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合に、光ディスクの保護基板厚さの製造誤差、対物レンズやコリメータ等の集光光学系を構成する光学素子の製造誤差、光源の製造誤差による波長の変化、及び温度変化や湿度変化による対物レンズやコリメータ等の集光光学系を構成する光学素子の形状変化や屈折率変化による球面収差の変化を補正する基板厚差補正手段としての屈折率分布可変素子を有する。

【0488】

表5に、光源の製造誤差による基準波長（405nm）に対する±10nmの波長の変化、基準温度（25℃）に対する±30℃の温度変化によるプラスチックレンズの屈折率変化、第1の光ディスクの基準保護基板厚さ（0.1mm）に対する±0.02mmの製造誤差、により集光光学系で発生する球面収差の変化を、屈折率分布可変素子の屈折率分布可変材料層の屈折率分布を変化させることで補正した結果を示す。

【0489】

【表5】

		補正前の波面収差	補正後の波面収差	No(λ)	A2
波長誤差	+10nm	0.289 λ rms	0.011 λ rms	1.52897	9.3500E-04
	-10nm	0.315 λ rms	0.015 λ rms	1.53153	-9.5240E-04
温度変化	+30℃	0.299 λ rms	0.031 λ rms	1.53001	9.3590E-04
	-30℃	0.314 λ rms	0.052 λ rms	1.53039	-9.2810E-04
透明基板厚さの誤差	+0.02mm	0.194 λ rms	0.009 λ rms	1.53020	5.9700E-04
	-0.02mm	0.203 λ rms	0.013 λ rms	1.53020	-6.0360E-04

【0490】

実施例2と同様に、温度変化時は、プラスチックレンズの屈折率変化のみを考慮し、その変化量は、 $-10 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ である。なお、実施例3の集光光学系において、プラスチックレンズはコリメータと対物レンズである。また、温度変化時の光源の波長変化量を+0.05nm/℃とした。なお、屈折率分布可変材料層の光軸に垂直な方向に沿った屈折率分布は、実施例2と同様に（B）式で表される。表5から、いずれの場合も、良好に波面収差が補正されており、0.85という高い開口数を必要とする第1の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合でも常に集光状態の良好なスポットを得ることができる。

【0491】

図37に実施例3の集光光学系の $\lambda_2 = 650\text{nm}$ における光路図を示す。また、図38に実施例3の集光光学系の $\lambda_3 = 780\text{nm}$ における光路図を示す。また、図39に $\lambda_2 = 650\text{nm}$ に対する開口数0.65までの球面収差図を示す。また、図40に $\lambda_3 = 780\text{nm}$ に対する開口数0.50までの球面収差図を示す。実施例3の集光光学系の対物レンズは、第1の光ディスク専用の対物レンズであって、 $\lambda_1 = 405\text{nm}$ 、NA1 0.85、 $t_1 = 0.1\text{mm}$ 、結像倍率 $m_1 = 0$ の組み合わせで無収差となるように収差補正された屈折レンズである。

【0492】

したがって、実施例3の集光光学系の対物レンズで、第1の光ディスクに比して保護基板厚さの大きい第2の光ディスク及び第3の光ディスクに対して情報の記録／再生を行おうとすると、補正過剰方向に球面収差が変化する。そこで、屈折率分布可変素子により補正過剰方向に変化した球面収差を補正することで、第1の光ディスク専用の対物レンズを用いて、第2の光ディスク及び第3の光ディスクに対して情報の記録／再生を行えるようにした。

【0493】

さらに、第2の光ディスク及び第3の光ディスクに対して情報の記録／再生を行う際に、対物レンズに対し発散光束を入射させることで、十分な作動距離を確保した。表6に、

保護基板厚さの違いにより変化した球面収差を補正した結果を示す。屈折率分布可変材料層の光軸に垂直な方向に沿った屈折率分布は、実施例2と同様に（B）式で表される。また、5次以上の高次球面収差を良好に補正するために、2次の屈折率分布係数に加えて4次の屈折率分布係数を使用した。

【0494】

【表6】

	補正前の波面収差	補正後の波面収差	$N_0(\lambda)$	A_2	A_4
第2の光ディスク ($NA_2=0.65$, $\lambda_2=650\text{nm}$, $t_2=0.6\text{mm}$)	$0.357\lambda\text{rms}$	$0.001\lambda\text{rms}$	1.51452	-1.0260E-02	-5.4230E-04
第3の光ディスク ($NA_3=0.50$, $\lambda_3=780\text{nm}$, $t_3=1.2\text{mm}$)	$0.214\lambda\text{rms}$	$0.002\lambda\text{rms}$	1.51118	-6.1780E-03	-1.2010E-03

10

【0495】

表6から、保護基板厚さの違いにより変化した球面収差は良好に補正され、第1の光ディスク専用の対物レンズを用いて、第2の光ディスク及び第3の光ディスクに対する情報の記録／再生が可能であることがわかる。

【0496】

また、対物レンズの光学面上には、開口切替手段として波長選択性のあるフィルタが形成されている。すなわち、図18に示すように、 NA_3 内に対応する共通領域にはフィルタCが形成されており、 NA_3 から NA_2 に対応する第1の周辺領域にはフィルタBが形成されており、 NA_2 から NA_1 に対応する第2の周辺領域にはフィルタAが形成されている。かかる波長選択性のある輪帯フィルタにより、第2の光ディスク及び第3の光ディスクに対する情報の記録／再生を行う場合は、必要開口数以上の光束を遮断することにより、開口切り替えを自動的に行うことができる。

20

【0497】

表7に実施例3の集光光学系の $\lambda_1=405\text{nm}$ に対応するレンズデータを示す。実施例3の集光光学系のコリメータの光ディスク側の非球面上に形成した回折構造は、波長 λ_1 、回折次数1で最適化されている。

【0498】

【表 7】

波長 $\lambda_1=405\text{nm}$ のとき焦点距離 $f_1=2.65\text{mm}$ 、像側開口数 $\text{NA}_1=0.85$ 、結像倍率 $m_1=0$

面番号	$r(\text{mm})$	$d(\text{mm})$	$N_{\lambda 1}$	$N_{\lambda 2}$	$N_{\lambda 3}$	ν_d	備考
0		16.185					光源
1	-23.167	2.000	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	コリメータ
2	-19.157	13.000					
3	∞	1.000	1.53020	1.51452	1.51118	64.1	ガラス基板
4	∞	1.000	1.53020	1.51452	1.51118	64.1	屈折率分布可変材料層
5	∞	1.000	1.53020	1.51452	1.51118	64.1	
6	∞	3.000					ガラス基板
7	1.694	3.100	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	対物レンズ
8	-2.856	0.918					
9	∞	0.100	1.61949	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
10	∞						

10

非球面係数

	第2面	第7面	第8面
K	2.2006E+01	-6.6664E-01	-2.4860E+01
A_4	3.3389E-04	4.3203E-03	6.5486E-02
A_6	2.0267E-05	7.2364E-04	-3.4626E-02
A_8		1.0865E-04	9.6814E-03
A_{10}		1.1601E-05	-1.4277E-03
A_{12}		9.6720E-07	7.9143E-05
A_{14}		3.2018E-07	2.9499E-06
A_{16}		1.7930E-07	-3.1761E-07
A_{18}		-2.1404E-08	
A_{20}		-3.4886E-09	

20

回折面係数

	第2面
b_2	-2.4285E-02

【0 4 9 9】

表 8 に実施例 3 の集光光学系の、 $\lambda_2=650\text{nm}$ 及び $\lambda_3=780\text{nm}$ に対するレンズデータを示す。

【0 5 0 0】

30

【表 8】

波長 $\lambda 2=650\text{nm}$ のとき
 焦点距離 $f2=2.72\text{mm}$ 、像側開口数 $NA2=0.65$ 、結像倍率 $m2=-0.10$

波長 $\lambda 3=780\text{nm}$ のとき
 焦点距離 $f3=2.74\text{mm}$ 、像側開口数 $NA3=0.50$ 、結像倍率 $m3=-0.10$

面番号	r (mm)	d (mm)	$N\lambda 1$	$N\lambda 2$	$N\lambda 3$	νd	備考
0		25.000					光源
1	∞	1.000	1.53020	1.51452	1.51118	64.1	ガラス基板 屈折率分布可変材料層
2	∞	1.000	1.53020	1.51452	1.51118	64.1	
3	∞	1.000	1.53020	1.51452	1.51118	64.1	
4	∞	3.000					
5	1.694	3.100	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	対物レンズ
6	-2.856	d5(可変)					
7	∞	d6(可変)	1.61949	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
8	∞						

	$\lambda 2=650\text{nm}$	$\lambda 3=780\text{nm}$
d5	0.600	1.200
d6	0.795	0.481

非球面係数

	第5面	第6面
κ	-6.6664E-01	-2.4860E+01
A4	4.3203E-03	6.5486E-02
A6	7.2364E-04	-3.4626E-02
A8	1.0865E-04	9.6814E-03
A10	1.1601E-05	-1.4277E-03
A12	9.6720E-07	7.9143E-05
A14	3.2018E-07	2.9499E-06
A16	1.7930E-07	-3.1761E-07
A18	-2.1404E-08	
A20	-3.4886E-09	

【0501】

＜実施例 4＞

【0502】

実施例 4 は、図 14 の光ピックアップ装置に適用することのできる集光光学系であって、記録密度の異なる 3 種類の光ディスクに対して、情報の記録／再生が可能である。第 1 の光ディスク（高密度 DVD）として、保護基板厚さ $t1$ を 0.1mm 、光源の波長 $\lambda 1$ を 405nm 、像側開口数 $NA1$ を 0.85 とし、第 2 の光ディスク（DVD）として、保護基板厚さ $t2$ を 0.6mm 、光源の波長 $\lambda 2$ を 650nm 、像側開口数 $NA2$ を 0.65 とし、第 3 の光ディスク（CD）として、保護基板厚さ $t3$ を 1.2mm 、光源の波長 $\lambda 3$ を 780nm 、像側開口数 $NA3$ を 0.50 とした。

【0503】

図 41 に実施例 4 の集光光学系の $\lambda 1=405\text{nm}$ における光路図を示す。また、図 42 に実施例 4 の集光光学系の $\lambda 1=405\text{nm} \pm 10\text{nm}$ に対する開口数 0.85 までの球面収差図を示す。実施例 4 の集光光学系では、ビームエキスパンダを構成する正レンズの両面上に形成した同心円状の複数の輪帯からなる回折構造の作用により、第 1 の光源から射出される光の波長が 405nm から長波長側に変化した場合に、ビームエキスパンダのパワーが大きくなるような波長特性をビームエキスパンダに持たせることで、第 1 の光源から射出される光の波長が変化した場合の対物レンズの焦点位置の変化を補償している。実施例 4 の対物レンズのみの系でのモードホッピング時の波面収差のデフォーカス成分が、 $0.160\lambda \text{rms}$ であるのに対し、実施例 4 の集光光学系のビームエキスパンダと対物レンズとの合成系でのモードホッピング時の波面収差のデフォーカス成分は、 $0.007\lambda \text{rms}$ であり、波長変化による対物レンズの最良像面位置の変化が良好に補償されていることがわかる。

【0504】

さらに、実施例 4 の集光光学系が具備するビームエキスパンダは、負レンズ（図 14 の負レンズ 32 に対応する。）が光軸方向に変位可能となっており、第 1 の光ディスクに対

10

20

30

40

50

して情報を記録／再生する場合に、光ディスクの保護基板厚さの製造誤差、対物レンズやコリメータ等の集光光学系を構成する光学素子の製造誤差、光源の製造誤差による波長の変化、温度変化や湿度変化による対物レンズやコリメータ等の集光光学系を構成する光学素子の形状変化や屈折率変化、による球面収差の変化を補正するための基板厚誤差補正手段としての機能も備えている。負レンズを変移させるためのアクチュエータとしては、ボイスコイル型のアクチュエータやピエゾアクチュエータを用いることができる。また、実施例 4 では、ビームエキスパンダの負レンズを変移可能としたが、変移可能とするのは、正レンズでもよく、また、負レンズと正レンズの両方でもよい。

【0505】

表 9 に、光源の製造誤差による基準波長（405nm）に対する $\pm 10\text{nm}$ の波長の変化、基準温度（25℃）に対する $\pm 30^\circ\text{C}$ の温度変化によるプラスチックレンズの屈折率変化、第 1 の光ディスクの基準保護基板厚さ（0.1mm）に対する $\pm 0.02\text{mm}$ の製造誤差、により集光光学系で発生する球面収差の変化を、ビームエキスパンダの負レンズを光軸方向に沿って変移させることで補正した結果を示す。

【0506】

【表 9】

		補正前の波面収差	補正後の波面収差	d5	d7
波長誤差	+10nm	0.115 λ rms	0.007 λ rms	3.183	1.817
	-10nm	0.119 λ rms	0.010 λ rms	2.802	2.198
温度変化	+30℃	0.039 λ rms	0.008 λ rms	3.057	1.943
	-30℃	0.036 λ rms	0.009 λ rms	2.937	2.063
透明基板厚さの誤差	+0.02mm	0.193 λ rms	0.010 λ rms	3.306	1.694
	-0.02mm	0.193 λ rms	0.012 λ rms	2.677	2.323

【0507】

温度変化時は、プラスチックレンズ、及びコリメータの光ディスク側の面上に形成された樹脂層の屈折率変化のみを考慮し、その変化量は、 $-10 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ である。なお、実施例 4 の集光光学系において、プラスチックレンズはビームエキスパンダの負レンズと正レンズである。また、温度変化時の光源の波長変化量を $+0.05\text{nm} / ^\circ\text{C}$ とした。表 9 から、いずれの場合も、良好に波面収差が補正されており、0.85という高い開口数を必要とする第 1 の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合でも常に集光状態の良好なスポットを得ることができる。

【0508】

なお、表 9 において、d5、d7は、それぞれ後述する表 10 における可変間隔d5、d7に相当する。d5及びd7の初期値は、それぞれ3.000mm、2.000mmである。

【0509】

図 4 3 及び図 4 4 に実施例 4 の集光光学系の対物レンズの $\lambda_2 = 650\text{nm}$ 、 $\lambda_3 = 780\text{nm}$ における光路図を示す。また、図 4 5 に $\lambda_2 = 650\text{nm}$ に対する開口数0.65までの球面収差図を示す。また、図 4 6 に $\lambda_3 = 780\text{nm}$ に対する開口数0.50までの球面収差図を示す。実施例 4 の集光光学系の対物レンズは、光源側の非球面上に同心円状の輪帯回折構造を有しており、この回折構造の作用と結像倍率の違いとを利用することで、3種類の光ディスクの保護基板厚さの違いにより発生する球面収差を、それぞれの光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な像側開口数内で良好に補正している。実施例 4 の集光光学系の対物レンズは実施例 1 の対物レンズと同じ対物レンズであるので、詳細な説明は割愛する。

【0510】

表 10 に実施例 4 の集光光学系の $\lambda_1 = 405\text{nm}$ に対するレンズデータを示す。実施例 4 の集光光学系のビームエキスパンダの両面上に形成した回折構造は、波長 λ_1 、回折次数 1 で最適化されている。

【0511】

【表 1 0】

波長 λ 1=405nmのとき
焦点距離 f1=2.35mm、像側開口数 NA1=0.85、結像倍率 m1=0

面番号	r (mm)	d (mm)	N λ 1	N λ 2	N λ 3	ν d	備考
0		4.641					光源
1	∞	0.250	1.53020	1.51452	1.51118	64.1	透明基板
2	∞	2.000					
3	27.353	2.000	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	コリメータ
4	-4.800	0.050	1.50686	1.48962	1.48581	57.0	
5	-4.561	d5(可変)					
6	-8.174	0.800	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	
7	23.535	d7(可変)					ビーム エキスパンダ
8	∞	1.000	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	
9	-18.017	14.000					
10	1.799	2.500	1.76904	1.73912	1.73324	49.3	
11	45.872	0.855					対物レンズ
12	∞	0.100	1.61949	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
13	∞						

非球面係数

	第5面	第6面	第7面	第10面	第11面
K	-1.0011E+00	-2.9258E-01	-1.1221E+01	-6.1317E-01	0.0000E+00
A4	-3.3788E-04	6.4793E-05	-2.0771E-05	5.2524E-03	7.1812E-02
A6		8.7198E-06	7.7561E-06	-5.6632E-04	-3.8260E-02
A8				1.1555E-03	-1.7437E-03
A10				-3.1854E-04	4.7910E-03
A12				-2.2350E-06	-5.7767E-04
A14				2.6449E-05	-1.1890E-04
A16				-4.7779E-06	

回折面係数

	第8面	第9面	第10面
b2	-9.73990E-03	-1.09260E-02	-2.0000E-03
b4	-9.04650E-05	9.27150E-05	-5.6811E-04
b6			-1.3194E-04
b8			4.9466E-05
b10			-8.0188E-06

【0 5 1 2】

表 1 1 に実施例 4 の集光光学系の、 λ 2=650nm及び λ 3=780nmに対するレンズデータを 30
示す。

【0 5 1 3】

【表 1 1】

波長 $\lambda 2=650\text{nm}$ のとき焦点距離 $f2=2.43\text{mm}$ 、像側開口数 $NA2=0.65$ 、結像倍率 $m2=-0.05$ 波長 $\lambda 3=780\text{nm}$ のとき焦点距離 $f3=2.45\text{mm}$ 、像側開口数 $NA3=0.50$ 、結像倍率 $m3=-0.10$

面番号	r (mm)	d (mm)	$N\lambda 1$	$N\lambda 2$	$N\lambda 3$	νd	備考
0		d0(可変)					光源
1	1.799	2.500	1.76904	1.73912	1.73324	49.3	対物レンズ
2	45.872	d2(可変)					
3	∞	d3(可変)	1.61949	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
4	∞						

	$\lambda 2=650\text{nm}$	$\lambda 3=780\text{nm}$
d0	48.589	27.964
d2	0.600	1.200
d3	0.720	0.450

非球面係数

	第1面	第2面
K	-6.1317E-01	0.0000E+00
$A4$	5.2524E-03	7.1812E-02
$A6$	-5.6632E-04	-3.8260E-02
$A8$	1.1555E-03	-1.7437E-03
$A10$	-3.1854E-04	4.7910E-03
$A12$	-2.2350E-06	-5.7767E-04
$A14$	2.6449E-05	-1.1890E-04
$A16$	-4.7779E-06	

回折面係数

	第1面
$b2$	-2.0000E-03
$b4$	-5.6811E-04
$b6$	-1.3194E-04
$b8$	4.9466E-05
$b10$	-8.0188E-06

【0 5 1 4】

〈実施例 5〉

【0 5 1 5】

実施例 5 は、図 1 5 の光ピックアップ装置に適用することのできる集光光学系であって、記録密度の異なる 3 種類の光ディスクに対して、情報の記録／再生が可能である。第 1 の光ディスク（高密度 DVD）として、保護基板厚さ $t1$ を 0.1mm 、光源の波長 $\lambda 1$ を 405nm 、像側開口数 $NA1$ を 0.85 とし、第 2 の光ディスク（DVD）として、保護基板厚さ $t2$ を 0.6mm 、光源の波長 $\lambda 2$ を 650nm 、像側開口数 $NA2$ を 0.65 とし、第 3 の光ディスク（CD）として、保護基板厚さ $t3$ を 1.2mm 、光源の波長 $\lambda 3$ を 780nm 、像側開口数 $NA3$ を 0.50 とした。

【0 5 1 6】

図 4 7 乃至図 4 9 に実施例 5 の集光光学系の $\lambda 1=405\text{nm}$ 、 $\lambda 2=650\text{nm}$ 、 $\lambda 3=780\text{nm}$ における光路図をそれぞれ示す。また、図 5 0 に実施例 5 の集光光学系の $\lambda 1=405\text{nm} \pm 10\text{nm}$ に対する開口数 0.85 までの球面収差図を示す。また、図 5 1 に $\lambda 2=650\text{nm}$ に対する開口数 0.65 までの球面収差図を示す。また、図 5 2 に $\lambda 3=780\text{nm}$ に対する開口数 0.50 までの球面収差図を示す。また、図 5 3 に $\lambda 1=405\text{nm}$ と $NA1 0.85$ との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda 2=650\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図を示す。

【0 5 1 7】

実施例 5 の集光光学系の対物レンズは光源側の非球面上に同心円状の複数の輪帯からなる回折構造を有しており、この回折構造の作用と結像倍率の違いとを利用することで、第 1 の光ディスクと第 2 の光ディスクの保護基板厚さの違いにより発生する球面収差を、それぞれの光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な像側開口数内で良好に補正している。また、実施例 5 の対物レンズの回折構造及び非球面形状は波長 $\lambda 1$ 乃至 $\lambda 3$

10

20

30

40

50

の光束の1次回折光がそれぞれ第1乃至第3の光ディスクの情報記録面上に良好な波面を形成するように決定されている。

【0518】

また、図53の球面収差図からわかるように、第2の光ディスクに対して情報の記録／再生を行う際に、必要開口数より外側の領域を通過する光束をフレアとしているので、第2の光ディスクに対して情報の記録／再生を行う際の開口切替手段は不要である。

【0519】

また、実施例5の集光光学系では、 $\lambda_3=780\text{nm}$ の発散光束を対物レンズに入射させ、像側開口数0.50以下における球面収差を補正することで、第3の光ディスクに対して情報の記録／再生を行う。

10

【0520】

さらに、実施例5の集光光学系対物レンズの光学面上には、第3の光ディスクに対して情報の記録／再生を行う際の開口切替手段である波長選択性のあるフィルタが形成されている。第3の光ディスクに対する情報の記録／再生を行う場合は、必要開口数以上の光束を、波長選択性のある輪帯フィルタによって遮断する。これにより、開口切り替えを自動的に行うことができる。具体的には、波長選択性のある輪帯フィルタとして、図19に示すようにNA3内に対応する共通領域にはフィルタEが形成されており、NA3からNA2に対応する第1の周辺領域とNA2からNA1に対応する第2の周辺領域にはフィルタDが形成されている。

【0521】

20

なお、実施例5の集光光学系の対物レンズの波面収差は、
 $\lambda_1=405\text{nm}$ 、NA1 0.85、 $t_1=0.1\text{mm}$ のとき、 $0.007\lambda_1 \text{ rms}$
 $\lambda_2=650\text{nm}$ 、NA2 0.65、 $t_2=0.6\text{mm}$ のとき、 $0.002\lambda_2 \text{ rms}$
 $\lambda_3=780\text{nm}$ 、NA3 0.50、 $t_3=1.2\text{mm}$ のとき、 $0.005\lambda_3 \text{ rms}$
である。

【0522】

実施例5の集光光学系のコリメータは、実施例2の集光光学系のコリメータと同様に光ディスク側の非球面上に形成した同心円状の複数の輪帯からなる回折構造の作用により、第1の光源から射出される光の波長が405nmから長波長側に变化した場合に、コリメータのバックフォーカスが短くなるような波長特性を有し、第1の光源から射出される光の波長が变化した場合の対物レンズの焦点位置の変化を補償している。実施例5の対物レンズのみの系でのモードホッピング時の波面収差のデフォーカス成分が、 $0.163\lambda \text{ rms}$ であるのに対し、実施例5の集光光学系のコリメータと対物レンズとの合成系でのモードホッピング時の波面収差のデフォーカス成分は、 $0.001\lambda \text{ rms}$ であり、波長変化による対物レンズの最良像面位置の変化が良好に補償されていることがわかる。

30

【0523】

さらに、実施例5の集光光学系が具備するコリメータは光軸方向に変位可能となっており、第1の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合に、光ディスクの保護基板厚さの製造誤差、対物レンズやコリメータ等の集光光学系を構成する光学素子の製造誤差、光源の製造誤差による波長の変化、及び温度変化や湿度変化による対物レンズやコリメータ等の集光光学系を構成する光学素子の形状変化や屈折率変化による球面収差の変化を補正するための基板厚誤差補正手段としての機能も備えている。コリメータを変移させるためのアクチュエータとしては、ボイスコイル型のアクチュエータやピエゾアクチュエータを用いることができる。

40

【0524】

表12に、光源の製造誤差による基準波長(405nm)に対する $\pm 10\text{nm}$ の波長の変化、基準温度(25℃)に対する $\pm 30^\circ\text{C}$ の温度変化によるプラスチックレンズの屈折率変化、第1の光ディスクの基準保護基板厚さ(0.1mm)に対する $\pm 0.02\text{mm}$ の製造誤差、により集光光学系で発生する球面収差の変化を、コリメータを光軸方向に沿って変移させることで補正した結果を示す。

50

【0525】

【表12】

		補正前の波面収差	補正後の波面収差	d0	d2
波長誤差	+10nm	0.143 λ rms	0.010 λ rms	9.712	15.135
	-10nm	0.145 λ rms	0.013 λ rms	9.990	14.857
温度変化	+30°C	0.010 λ rms	0.008 λ rms	9.858	14.990
	-30°C	0.013 λ rms	0.008 λ rms	9.840	15.007
透明基板厚さの誤差	+0.02mm	0.204 λ rms	0.013 λ rms	9.656	15.191
	-0.02mm	0.207 λ rms	0.016 λ rms	10.048	14.799

【0526】

10

温度変化時は、プラスチックレンズの屈折率変化のみを考慮し、その変化量は、 $-10 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ である。なお、実施例5の集光光学系において、プラスチックレンズはコリメータである。また、温度変化時の光源の波長変化量を $+0.05\text{nm}/^\circ\text{C}$ とした。表12から、いずれの場合も、良好に波面収差が補正されており、0.85という高い開口数を必要とする第1の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合でも常に集光状態の良好なスポットを得ることができる。

【0527】

なお、表12において、d0、d2は、それぞれ後述する表13における可変間隔d0、d2に相当する。d0及びd2の初期値は、それぞれ9.847mm、15.000mmである。

【0528】

20

表13に実施例5の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ に対するレンズデータを示す。実施例5の集光光学系のコリメータの光ディスク側の非球面上に形成した回折構造は、波長 λ_1 、回折次数1で最適化されている。

【0529】

【表13】

波長 $\lambda_1=405\text{nm}$ のとき焦点距離 $f_1=2.35\text{mm}$ 、像側開口数 $NA_1=0.85$ 、結像倍率 $m_1=0$

面番号	r (mm)	d (mm)	$N_{\lambda 1}$	$N_{\lambda 2}$	$N_{\lambda 3}$	ν_d	備考
0		d0(可変)					光源
1	-29.607	1.500	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	コリメータ
2	-9.413	d2(可変)					
3	1.820	2.850	1.76904	1.73912	1.73324	49.3	対物レンズ
4	-102.819	0.689					
5	∞	0.100	1.61949	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
6	∞						

30

非球面係数

	第2面	第3面	第4面
κ	3.8825E-01	-6.3649E-01	0.0000E+00
A4	-9.4855E-06	4.6682E-03	1.0443E-01
A6		-1.1935E-05	-5.3585E-02
A8		7.5113E-04	-2.3630E-02
A10		-2.6398E-04	1.5026E-02
A12		2.8458E-05	7.8677E-03
A14		1.2402E-05	-4.5941E-03
A16		-2.7120E-06	1.0400E-05

40

回折面係数

	第2面	第3面
b2	-2.5497E-02	0.0000E+00
b4		-6.4108E-04
b6		5.8925E-05
b8		-7.3391E-05
b10		1.3055E-05

【0530】

50

表 1 4 に実施例 5 の集光光学系の、 $\lambda 2 = 650\text{nm}$ 及び $\lambda 3 = 780\text{nm}$ に対するレンズデータを示す。

【0 5 3 1】

【表 1 4】

波長 $\lambda 2=650\text{nm}$ のとき

焦点距離 $f2=2.45\text{mm}$ 、像側開口数 $NA2=0.65$ 、結像倍率 $m2=-0.05$

波長 $\lambda 3=780\text{nm}$ のとき

焦点距離 $f3=2.47\text{mm}$ 、像側開口数 $NA3=0.50$ 、結像倍率 $m3=-0.09$

面番号	r (mm)	d (mm)	$N\lambda 1$	$N\lambda 2$	$N\lambda 3$	νd	備考
0		d0(可変)					光源
1	1.820	2.850	1.76904	1.73912	1.73324	49.3	対物レンズ
2	-102.819	d2(可変)					
3	∞	d3(可変)	1.61949	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
4	∞						

	$\lambda 2=650\text{nm}$	$\lambda 3=780\text{nm}$
d0	54.500	29.900
d2	0.600	1.200
d3	0.552	0.288

非球面係数

	第1面	第2面
K	-6.3649E-01	0.0000E+00
$A4$	4.6682E-03	1.0443E-01
$A6$	-1.1935E-05	-5.3585E-02
$A8$	7.5113E-04	-2.3630E-02
$A10$	-2.6398E-04	1.5026E-02
$A12$	2.8458E-05	7.8677E-03
$A14$	1.2402E-05	-4.5941E-03
$A16$	-2.7120E-06	1.0400E-05

回折面係数

	第1面
$b2$	0.0000E+00
$b4$	-6.4108E-04
$b6$	5.8925E-05
$b8$	-7.3391E-05
$b10$	1.3055E-05

10

20

30

【0 5 3 2】

実施例 5 の対物レンズの光源側の非球面上に形成した回折構造は、波長 $\lambda 1$ 、回折次数 1 で最適化されているが、波長 $\lambda 1$ 以外の波長や 1 以外の回折次数でこの回折構造を最適化してもよい。いずれの場合でも、若干の設計変更で本発明の光ピックアップ装置に適用可能な集光光学系を構成することができる。

【0 5 3 3】

〈実施例 6〉

【0 5 3 4】

実施例 6 は、図 1 6 の光ピックアップ装置に適用することのできる集光光学系であって、記録密度の異なる 3 種類の光ディスクに対して、情報の記録／再生が可能である。第 1 の光ディスク（高密度 DVD）として、保護基板厚さ $t1$ を 0.1mm 、光源の波長 $\lambda 1$ を 405nm 、像側開口数 $NA1$ を 0.85 とし、第 2 の光ディスク（DVD）として、保護基板厚さ $t2$ を 0.6mm 、光源の波長 $\lambda 2$ を 650nm 、像側開口数 $NA2$ を 0.65 とし、第 3 の光ディスク（CD）として、保護基板厚さ $t3$ を 1.2mm 、光源の波長 $\lambda 3$ を 780nm 、像側開口数 $NA3$ を 0.50 とした。

40

【0 5 3 5】

図 5 4 に実施例 6 の集光光学系の $\lambda 1 = 405\text{nm}$ における光路図を示す。また、図 5 5 に実施例 6 の集光光学系の対物レンズの $\lambda 1 = 405\text{nm} \pm 10\text{nm}$ に対する開口数 0.85 までの球面収差図を示す。

【0 5 3 6】

実施例 6 のコリメータは、実施例 2 の集光光学系のコリメータと同様に、光ディスク側

50

の非球面上に形成した同心円状の複数の輪帯からなる回折構造の作用により、第1の光源から射出される光の波長が405nmから長波長側に变化した場合に、コリメータのバックフォーカスが短くなるような波長特性を有し、第1の光源から射出される光の波長が变化した場合の対物レンズの焦点位置の変化を補償している。

【0537】

実施例6の対物レンズのみの系でのモードホッピング時の波面収差のデフォーカス成分が、 $0.201\lambda_{rms}$ であるのに対し、実施例6の集光光学系のコリメータと対物レンズとの合成系でのモードホッピング時の波面収差のデフォーカス成分は、 $0.003\lambda_{rms}$ であり、波長変化による対物レンズの最良像面位置の変化が良好に補償されていることがわかる。

【0538】

さらに、実施例6の集光光学系が具備するコリメータは光軸方向に変位可能となっており、第1の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合に、光ディスクの保護基板厚さの製造誤差、対物レンズやコリメータ等の集光光学系を構成する光学素子の製造誤差、光源の製造誤差による波長の変化、及び温度変化や湿度変化による対物レンズやコリメータ等の集光光学系を構成する光学素子の形状変化や屈折率変化による球面収差の変化を補正するための基板厚誤差補正手段としての機能も備える。コリメータを変移させるためのアクチュエータとしては、ボイスコイル型のアクチュエータやピエゾアクチュエータを用いることができる。

【0539】

表15に、光源の製造誤差による基準波長（405nm）に対する $\pm 10\text{nm}$ の波長の変化、基準温度（ 25°C ）に対する $\pm 30^\circ\text{C}$ の温度変化によるプラスチックレンズの屈折率変化、第1の光ディスクの基準保護基板厚さ（ 0.1mm ）に対する $\pm 0.02\text{mm}$ の製造誤差、により集光光学系で発生する球面収差の変化を、コリメータを光軸方向に沿って変移させることで補正した結果を示す。

【0540】

【表15】

		補正前の波面収差	補正後の波面収差	d0	d2
波長誤差	+10nm	$0.294\lambda_{rms}$	$0.013\lambda_{rms}$	15.591	13.594
	-10nm	$0.300\lambda_{rms}$	$0.017\lambda_{rms}$	16.843	12.342
温度変化	+30°C	$0.300\lambda_{rms}$	$0.043\lambda_{rms}$	15.556	13.629
	-30°C	$0.322\lambda_{rms}$	$0.033\lambda_{rms}$	16.863	12.322
透明基板厚さの誤差	+0.02mm	$0.195\lambda_{rms}$	$0.011\lambda_{rms}$	15.796	13.389
	-0.02mm	$0.197\lambda_{rms}$	$0.013\lambda_{rms}$	16.591	12.594

【0541】

温度変化時は、プラスチックレンズの屈折率変化のみを考慮し、その変化量は、 $-10 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ である。なお、実施例6の集光光学系において、プラスチックレンズはコリメータ及び対物レンズである。また、温度変化時の光源の波長変化量を $+0.05\text{nm}/^\circ\text{C}$ とした。表15から、いずれの場合も、良好に波面収差が補正されていることが分かり、0.85という高い開口数を必要とする第1の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合でも常に集光状態の良好なスポットを得ることができる。

【0542】

なお、表15において、d0、d2は、それぞれ後述する表16における可変間隔d0、d2に相当する。d0及びd2の初期値は、それぞれ16.185mm、13.000mmである。

【0543】

図56に実施例6の集光光学系の $\lambda_2=650\text{nm}$ における光路図を示す。また、図57に実施例6の集光光学系の $\lambda_3=780\text{nm}$ における光路図を示す。また、図58に $\lambda_2=650\text{nm}$ に対する開口数0.65までの球面収差図を示す。また、図59に $\lambda_3=780\text{nm}$ に対する開口数0.50までの球面収差図を示す。

【0544】

実施例6の集光光学系の対物レンズは、第1の光ディスク専用の対物レンズであって、

$\lambda 1 = 405\text{nm}$ 、 $NA1 = 0.85$ 、 $t1 = 0.1\text{mm}$ 、結像倍率 $m = 0$ の組み合わせで無収差となるように収差補正された屈折レンズである。したがって、実施例 6 の集光光学系の対物レンズで、第 1 の光ディスクに比して保護基板厚さの大きい第 2 の光ディスク及び第 3 の光ディスクに対して情報の記録／再生を行おうとすると、補正過剰方向に球面収差が変化する。そこで、カップリングレンズの光ディスク側の非球面上に同心円状の複数の輪帯からなる回折構造を形成し、回折構造の作用によって、補正過剰方向に変化した球面収差を第 2 の光ディスク及び第 3 の光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な像側開口数内で良好に補正することで、第 1 の光ディスク専用の対物レンズを用いて、第 2 の光ディスク及び第 3 の光ディスクに対して情報の記録／再生を行えるようにした。

【0545】

10

また、対物レンズの光学面上には、開口切替手段である波長選択性のあるフィルタが形成されている。第 2、及び第 3 の光ディスクに対する情報の記録／再生を行う場合は、必要開口数以上の光束を、波長選択性のある輪帯フィルタによって遮断する。これにより、開口切り替えを自動的に行うことができる。波長選択性のある輪帯フィルタとしては実施例 3 と同様の輪帯フィルタを用いることができる。

【0546】

表 16 に実施例 6 の集光光学系の $\lambda 1 = 405\text{nm}$ に対するレンズデータを示す。実施例 6 の集光光学系のコリメータの光ディスク側の非球面上に形成された回折構造は、波長 $\lambda 1$ 、回折次数 1 で最適化されている。

【0547】

20

【表 16】

波長 $\lambda 1 = 405\text{nm}$ のとき

焦点距離 $f1 = 2.65\text{mm}$ 、像側開口数 $NA1 = 0.85$ 、結像倍率 $m1 = 0$

面番号	r (mm)	d (mm)	$N_{\lambda 1}$	$N_{\lambda 2}$	$N_{\lambda 3}$	νd	備考
0		d0 (可変)					光源
1	-23.167	2.000	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	コリメータ
2	-19.157	d2 (可変)					
3	1.694	3.100	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	対物レンズ
4	-2.856	0.918					
5	∞	0.100	1.61949	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
6	∞						

30

非球面係数

	第2面	第3面	第4面
κ	2.2006E+01	-6.6664E-01	-2.4860E+01
A4	3.3389E-04	4.3203E-03	6.5486E-02
A6	2.0267E-05	7.2364E-04	-3.4626E-02
A8		1.0865E-04	9.6814E-03
A10		1.1601E-05	-1.4277E-03
A12		9.6720E-07	7.9143E-05
A14		3.2018E-07	2.9499E-06
A16		1.7930E-07	-3.1761E-07
A18		-2.1404E-08	
A20		-3.4886E-09	

回折面係数

	第2面
b2	-2.4285E-02

40

【0548】

表 17 に実施例 6 の集光光学系の、 $\lambda 2 = 650\text{nm}$ 及び $\lambda 3 = 780\text{nm}$ に対するレンズデータを示す。

【0549】

【表 1 7】

波長 $\lambda 2=650\text{nm}$ のとき
 焦点距離 $f2=2.72\text{mm}$ 、像側開口数 $NA2=0.65$ 、結像倍率 $m2=0$

波長 $\lambda 3=780\text{nm}$ のとき
 焦点距離 $f3=2.74\text{mm}$ 、像側開口数 $NA3=0.50$ 、結像倍率 $m3=0$

面番号	r (mm)	d (mm)	$N\lambda 1$	$N\lambda 2$	$N\lambda 3$	νd	備考
0		d0(可変)					光源
1	∞	2.000	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	カップリング レンズ
2	-6.392	13.000					
3	1.694	3.100	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	対物レンズ
4	-2.856	d4(可変)					
5	∞	d5(可変)	1.61949	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
6	∞						

	$\lambda 2=650\text{nm}$	$\lambda 3=780\text{nm}$
d0	9.666	9.427
d4	0.600	1.200
d5	0.744	0.388

非球面係数

	第2面	第3面	第4面
K	-1.9871E+01	-6.6664E-01	-2.4860E+01
A4		4.3203E-03	6.5486E-02
A6		7.2364E-04	-3.4626E-02
A8		1.0865E-04	9.6814E-03
A10		1.1601E-05	-1.4277E-03
A12		9.6720E-07	7.9143E-05
A14		3.2018E-07	2.9499E-06
A16		1.7930E-07	-3.1761E-07
A18		-2.1404E-08	
A20		-3.4886E-09	

回折面係数

	第2面
b2	0.0000E+00
b4	-5.9163E-03
b6	8.9910E-04
b8	-1.3278E-04
b10	9.6884E-06

10

20

30

【0 5 5 0】

また、本実施例の集光光学系において、カップリングレンズの光ディスク側の面（表 1 7 で第 2 面）の非球面上に、表 1 8 で示すような、輪帯状の回折構造が形成されている。表 1 8 において、「始点高さ」は、その輪帯の始点の光軸からの距離、「終点高さ」は、その輪帯の終点の光軸からの距離を表し、有効径内での輪帯数は 36 本である。

【0 5 5 1】

【表 18】

輪帯番号	始点高さ(mm)	終点高さ(mm)
1	0.000	0.601
2	0.601	0.718
3	0.718	0.798
4	0.798	0.861
5	0.861	0.913
6	0.913	0.958
7	0.958	0.998
8	0.998	1.035
9	1.035	1.068
10	1.068	1.099
11	1.099	1.128
12	1.128	1.155
13	1.155	1.180
14	1.180	1.204
15	1.204	1.227
16	1.227	1.249
17	1.249	1.270
18	1.270	1.290
19	1.290	1.310
20	1.310	1.328
21	1.328	1.346
22	1.346	1.364
23	1.364	1.381
24	1.381	1.397
25	1.397	1.413
26	1.413	1.429
27	1.429	1.444
28	1.444	1.459
29	1.459	1.473
30	1.473	1.488
31	1.488	1.501
32	1.501	1.515
33	1.515	1.528
34	1.528	1.541
35	1.541	1.554
36	1.554	1.566

10

20

30

【0552】

表18の回折輪帯構造は、波長730nm、回折次数1で回折効率が理論的に100%となるように最適化されている。この回折構造に、第2の光ディスクの使用波長である波長650nmの光が入射した場合と、第3の光ディスクの使用波長である波長780nmの光が入射した場合に、1次回折光が最大の回折光量を有するように発生する。

40

【0553】

波長730nm、回折次数1で回折構造を最適化することにより、

DVD（波長650nm）：95.1%

CD（波長780nm）：96.7%

と、それぞれの光ディスクの使用波長領域での回折効率を得ることができる。

【0554】

〈実施例7〉

50

【0555】

本実施例の対物レンズは、上述した第6の実施の形態における対物レンズOBJ1として好適なプラスチック単レンズである。本実施例の対物レンズ特性を得るに当たって、第1の光ディスク（高密度DVD）用の第1光源の波長 λ_1 を405nm、第2の光ディスク（DVD）用の第2光源の波長 λ_2 を650nm、第3光ディスク用（CD）の第3光源の波長 λ_3 を780nmとし、第1の光ディスクの透明基板厚さ t_1 は0.1mm、第2の光ディスクの透明基板厚さ t_2 は0.6mm、第3の光ディスクの透明基板厚さ t_3 は1.2mmとした。また、第1乃至第3の光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な対物レンズの像側開口数NA1、NA2、NA3として、それぞれ0.85、0.65、0.50を想定している。

10

【0556】

図65乃至図67に、本実施例の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ 、 $\lambda_2 = 650\text{nm}$ 、 $\lambda_3 = 780\text{nm}$ における光路図を示す。また、図68に本実施例の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ に対する開口数0.85までの球面収差図を示す。また、図69に $\lambda_1 = 405\text{nm}$ とNA1 0.85との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda_2 = 650\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図を示す。さらに、図70に $\lambda_1 = 405\text{nm}$ とNA2 0.85との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda_3 = 780\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図を示す。

【0557】

本実施例の対物レンズでは、光源側の非球面（S1）上に形成した回折構造（図示せず）の作用と結像倍率の違いとを利用することで、3種類の光ディスクの透明基板厚さの違いにより発生する球面収差を、それぞれの光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な像側開口数内で良好に補正している。なお、本実施例の対物レンズの、所定の像側開口数内における波面収差は、
 $\lambda_1 = 405\text{nm}$ 、NA1 0.85、 $t_1 = 0.1\text{mm}$ のとき、 $0.008\lambda_1\text{rms}$
 $\lambda_2 = 650\text{nm}$ 、NA2 0.65、 $t_2 = 0.6\text{mm}$ のとき、 $0.003\lambda_2\text{rms}$
 $\lambda_3 = 780\text{nm}$ 、NA3 0.50、 $t_3 = 1.2\text{mm}$ のとき、 $0.005\lambda_3\text{rms}$
 である。

20

【0558】

また、本実施例の対物レンズでは、NA2 0.65より外側を通過する、波長650nmの光束を第2の光ディスクの情報記録面上に集光しないようにフレアとし、さらに、NA3 0.50より外側を通過する光束を第3の光ディスクの情報記録面上に集光しないようにフレアとしているので、スポットが必要以上に絞られることがなく、第2及び第3の光ディスクのディスクスキューに対する十分なマージンを確保でき、さらに、それぞれの光ディスクに対応して、自動的に開口切り替えが行われるので、別途、開口切替手段を設ける必要がなく、光ピックアップの構造を簡単にすることができる。

30

【0559】

なお、本実施例の対物レンズでは、第1の光ディスク（高密度DVD）として、透明基板厚さ t_1 を0.1mm、光源の波長を405nm、像側開口数を0.85と仮定して光学設計を進めたが、これ以外の仕様である光ディスクに対しても本発明は適用が可能である。

40

【0560】

また、第2の光ディスク（DVD）に対する像側開口数を0.65、第3の光ディスク（CD）に対する像側開口数を0.50として光学設計を進めたが、これ以外の仕様である光ディスクに対しても本発明は適用が可能である。

【0561】

表19に本実施例の対物レンズのレンズデータを示す。

【0562】

【表 1 9】

実施例7

波長 $\lambda 1=405\text{nm}$ のとき焦点距離 $f1=2.35\text{mm}$ 、像側開口数 $NA1=0.85$ 、結像倍率 $m1=0$ 、回折次数 $n1=2$ 波長 $\lambda 2=650\text{nm}$ のとき焦点距離 $f2=2.44\text{mm}$ 、像側開口数 $NA2=0.60$ 、結像倍率 $m2=-0.10$ 、回折次数 $n2=1$ 波長 $\lambda 3=780\text{nm}$ のとき焦点距離 $f3=2.43\text{mm}$ 、像側開口数 $NA3=0.45$ 、結像倍率 $m3=-0.17$ 、回折次数 $n3=1$

面番号	r (mm)	d (mm)	$N_{\lambda 1}$	$N_{\lambda 2}$	$N_{\lambda 3}$	νd	備考
0		d0(可変)					光源
1	1.561	2.750	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	対物レンズ
2	-2.766	d2(可変)					
3	∞	d3(可変)	1.61950	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
4	∞						

	$\lambda 1=405\text{nm}$	$\lambda 2=650\text{nm}$	$\lambda 3=780\text{nm}$
d0	∞	25.754	16.189
d2	0.100	0.600	1.200
d3	0.771	0.780	0.550

非球面係数

	第1面	第2面
K	-4.7792E-01	-3.0529E+01
A4	-1.6095E-03	5.4297E-02
A6	3.8846E-04	-5.3944E-03
A8	2.5985E-04	-2.8858E-03
A10	8.0200E-06	4.1563E-04
A12	-4.6137E-05	-2.6037E-05
A14	9.3827E-06	4.7586E-05
A16	-1.2994E-07	-5.4700E-06

回折面係数

	第1面
b2	-5.0000E-03
b4	-8.3304E-04
b6	4.0431E-04
b8	-3.9806E-05
b10	-1.3503E-05

10

20

30

【0 5 6 3】

本実施例の対物レンズは、光源側の非球面（表 1 9 で第 1 面）上に、表 2 0 で示すような、輪帯状の回折構造が形成されている。表 2 0 において、「始点高さ」は、その輪帯の始点の光軸からの距離、「終点高さ」は、その輪帯の終点の光軸からの距離を表し、有効径内での輪帯数は 8 3 本である。

【0 5 6 4】

【表 20】

輪帯番号	始点高さ(mm)	終点高さ(mm)
1	0.000	0.274
2	0.274	0.385
3	0.385	0.470
4	0.470	0.540
5	0.540	0.602
6	0.602	0.657
7	0.657	0.707
8	0.707	0.754
9	0.754	0.797
10	0.797	0.839
11	0.839	0.878
12	0.878	0.915
13	0.915	0.951
14	0.951	0.986
15	0.986	1.019
16	1.019	1.051
17	1.051	1.083
18	1.083	1.113
19	1.113	1.143
20	1.143	1.172
21	1.172	1.200
22	1.200	1.228
23	1.228	1.255
24	1.255	1.282
25	1.282	1.308
26	1.308	1.333
27	1.333	1.358
28	1.358	1.382
29	1.382	1.405
30	1.405	1.428
31	1.428	1.451
32	1.451	1.472
33	1.472	1.493
34	1.493	1.514
35	1.514	1.534
36	1.534	1.553
37	1.553	1.571
38	1.571	1.589
39	1.589	1.607
40	1.607	1.623

(続き)

輪帯番号	始点高さ(mm)	終点高さ(mm)
41	1.623	1.640
42	1.640	1.655
43	1.655	1.670
44	1.670	1.684
45	1.684	1.698
46	1.698	1.712
47	1.712	1.725
48	1.725	1.737
49	1.737	1.749
50	1.749	1.761
51	1.761	1.772
52	1.772	1.783
53	1.783	1.793
54	1.793	1.803
55	1.803	1.813
56	1.813	1.822
57	1.822	1.832
58	1.832	1.840
59	1.840	1.849
60	1.849	1.857
61	1.857	1.866
62	1.866	1.873
63	1.873	1.881
64	1.881	1.889
65	1.889	1.896
66	1.896	1.903
67	1.903	1.910
68	1.910	1.916
69	1.916	1.923
70	1.923	1.929
71	1.929	1.936
72	1.936	1.942
73	1.942	1.948
74	1.948	1.954
75	1.954	1.959
76	1.959	1.965
77	1.965	1.970
78	1.970	1.976
79	1.976	1.981
80	1.981	1.986
81	1.986	1.991
82	1.991	1.996
83	1.996	2.001

10

20

30

40

50

【0565】

表20の回折輪帯構造は、波長380nm、回折次数2で回折効率が理論的に100%となるように最適化されている。この回折構造に、第1の光ディスク（高密度DVD）の使用波長である波長405nmの光が入射した場合、2次回折光が最大の回折光量を有するように発生し、第2の光ディスク（DVD）の使用波長である波長650nmの光が入射した場合と、第3の光ディスク（CD）の使用波長である波長780nmの光が入射した場合には、1次回折光が最大の回折光量を有するように発生する。

【0566】

波長380nm、回折次数2で回折構造を最適化することにより、
 高密度DVD（波長405nm）： 95.1%
 DVD（波長650nm）： 90.9%
 CD（波長780nm）： 99.8%

と、それぞれの光ディスクの使用波長領域での回折効率を得ることができる。

【0567】

〈実施例8〉

【0568】

本実施例の対物レンズは、上述した第6の実施の形態における対物レンズOBJ1として好適なガラス単レンズである。本実施例の対物レンズ特性を得るに当たって、第1の光ディスク（高密度DVD）用の第1光源の波長 λ_1 を405nm、第2の光ディスク（DVD）用の第2光源の波長 λ_2 を650nm、第3光ディスク用（CD）の第3光源の波長 λ_3 を780nmとし、第1の光ディスクの透明基板厚さ t_1 は0.1mm、第2の光ディスクの透明基板厚さ t_2 は0.6mm、第3の光ディスクの透明基板厚さ t_3 は1.2mmとした。また、第1乃至第3の光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な対物レンズの像側開口数NA1、NA2、NA3として、それぞれ0.85、0.65、0.50を想定している。

【0569】

図71乃至図73に、本実施例の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ 、 $\lambda_2 = 650\text{nm}$ 、 $\lambda_3 = 780\text{nm}$ における光路図を示す。また、図74に本実施例の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ に対する開口数0.85までの球面収差図を示す。また、図75に $\lambda_1 = 405\text{nm}$ とNA1 0.85との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda_2 = 650\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図を示す。さらに、図76に $\lambda_1 = 405\text{nm}$ とNA2 0.85との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda_3 = 780\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図を示す。

【0570】

本実施例の対物レンズでは、光源側の非球面（S1）上に形成した回折構造（図示せず）の作用と結像倍率の違いとを利用することで、3種類の光ディスクの透明基板厚さの違いにより発生する球面収差を、それぞれの光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な像側開口数内で良好に補正している。なお、本実施例の対物レンズの、所定の像側開口数内における波面収差は、
 $\lambda_1 = 405\text{nm}$ 、NA1 0.85、 $t_1 = 0.1\text{mm}$ のとき、 $0.008\lambda_1\text{rms}$
 $\lambda_2 = 650\text{nm}$ 、NA2 0.65、 $t_2 = 0.6\text{mm}$ のとき、 $0.005\lambda_2\text{rms}$
 $\lambda_3 = 780\text{nm}$ 、NA3 0.50、 $t_3 = 1.2\text{mm}$ のとき、 $0.005\lambda_3\text{rms}$ である。

【0571】

また、本実施例の対物レンズでは、NA2 0.65より外側を通過する、波長650nmの光束を第2の光ディスクの情報記録面上に集光しないようにフレアとし、さらに、NA3 0.50より外側を通過する光束を第3の光ディスクの情報記録面上に集光しないようにフレアとしているので、スポットが必要以上に絞られることがなく、第2及び第3の光ディスクのディスクスキューに対する十分なマージンを確保でき、さらに、それぞれの光ディスクに対応して、自動的に開口が切り替えが行われるので、別途、開口切替手段を設ける必要がなく、光ピックアップの構造を簡単にすることができる。

【0572】

なお、本実施例の対物レンズでは、第1の光ディスク（高密度DVD）として、透明基板厚さ t_1 を0.1mm、光源の波長を405nm、像側開口数を0.85と仮定して光学設計を進めたが、これ以外の仕様である光ディスクに対しても本発明は適用が可能である。

【0573】

また、第2の光ディスク（DVD）に対する像側開口数を0.65、第3の光ディスク（CD）に対する像側開口数を0.50として光学設計を進めたが、これ以外の仕様である光ディスクに対しても本発明は適用が可能である。

【0574】

表21に本実施例の対物レンズのレンズデータを示す。

10

20

30

40

50

【0575】

【表21】

実施例8

波長 $\lambda_1=405\text{nm}$ のとき
焦点距離 $f_1=2.35\text{mm}$ 、像側開口数 $NA_1=0.85$ 、結像倍率 $m_1=0$ 、回折次数 $n_1=6$

波長 $\lambda_2=650\text{nm}$ のとき
焦点距離 $f_2=2.43\text{mm}$ 、像側開口数 $NA_2=0.65$ 、結像倍率 $m_2=-0.07$ 、回折次数 $n_2=4$

波長 $\lambda_3=780\text{nm}$ のとき
焦点距離 $f_3=2.47\text{mm}$ 、像側開口数 $NA_3=0.50$ 、結像倍率 $m_3=-0.12$ 、回折次数 $n_3=3$

面番号	r (mm)	d (mm)	$N_{\lambda 1}$	$N_{\lambda 2}$	$N_{\lambda 3}$	ν_d	備考
0		d0 (可変)					光源
1	1.916	2.500	1.76904	1.73912	1.73324	49.3	対物レンズ
2	-2364.844	d2 (可変)					
3	∞	d3 (可変)	1.61949	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
4	∞						

	$\lambda_1=405\text{nm}$	$\lambda_2=650\text{nm}$	$\lambda_3=780\text{nm}$
d0	∞	37.984	22.652
d2	0.100	0.600	1.200
d3	0.876	0.781	0.559

非球面係数

	第1面	第2面
κ	-6.4710E-01	0.0000E+00
A4	8.2429E-03	3.7215E-02
A6	-4.2424E-03	-2.4887E-02
A8	1.9819E-03	-4.6124E-03
A10	-3.1417E-04	6.4199E-03
A12	-7.2817E-05	-1.8182E-03
A14	4.1695E-05	1.7603E-04
A16	-6.7073E-06	

回折面係数

	第1面
b2	-2.0000E-03
b4	3.2212E-04
b6	-4.6124E-04
b8	1.5716E-04
b10	-1.9533E-05

【0576】

本実施例の対物レンズは、光源側の非球面（表21で第1面）上に、表22で示すような、輪帯状の回折構造が形成されている。表22において、「始点高さ」は、その輪帯の始点の光軸からの距離、「終点高さ」は、その輪帯の終点の光軸からの距離を表し、有効径内での輪帯数は30本である。

【0577】

10

20

30

【表 2 2】

輪帯番号	始点高さ(mm)	終点高さ(mm)
1	0.000	0.461
2	0.461	0.655
3	0.655	0.800
4	0.800	0.918
5	0.918	1.016
6	1.016	1.102
7	1.102	1.178
8	1.178	1.246
9	1.246	1.309
10	1.309	1.367
11	1.367	1.421
12	1.421	1.472
13	1.472	1.520
14	1.520	1.565
15	1.565	1.608
16	1.608	1.649
17	1.649	1.687
18	1.687	1.724
19	1.724	1.758
20	1.758	1.790
21	1.790	1.819
22	1.819	1.847
23	1.847	1.873
24	1.873	1.897
25	1.897	1.920
26	1.920	1.941
27	1.941	1.961
28	1.961	1.979
29	1.979	1.996
30	1.996	2.012

10

20

30

【0 5 7 8】

表 2 2 の回折輪帯構造は、波長 4 1 5 n m、回折次数 6 で回折効率が理論的に 1 0 0 % となるように最適化されている。この回折構造に、第 1 の光ディスク（高密度 D V D）の使用波長である波長 4 0 5 n m の光が入射した場合には、6 次回折光が最大の回折光量を有するように発生し、第 2 の光ディスク（D V D）の使用波長である波長 6 5 0 n m の光が入射した場合には、4 次回折光が最大の回折光量を有するように発生し、第 3 の光ディスク（C D）の使用波長である波長 7 8 0 n m の光が入射した場合には、3 次回折光が最大の回折光量を有するように発生する。

40

【0 5 7 9】

波長 4 1 5 n m、回折次数 6 で回折構造を最適化することにより、
 高密度 D V D（波長 4 0 5 n m）： 9 3 . 0 %
 D V D（波長 6 5 0 n m）： 9 0 . 9 %
 C D（波長 7 8 0 n m）： 8 8 . 4 %

と、それぞれの光ディスクの使用波長領域での回折効率を得ることができる。

【0 5 8 0】

〈実施例 9〉

【0 5 8 1】

50

本実施例の対物レンズは、上述した第7の実施の形態における対物レンズOBJ2として好適な対物レンズである。本実施例の対物レンズ特性を得るに当たって、第1の光ディスク（高密度DVD）用の第1光源の波長 λ_1 を405nm、第2の光ディスク（DVD）用の第2光源の波長 λ_2 を650nm、第3光ディスク用（CD）の第3光源の波長 λ_3 を780nmとし、第1の光ディスクの透明基板厚さ t_1 は0.1mm、第2の光ディスクの透明基板厚さ t_2 は0.6mm、第3の光ディスクの透明基板厚さ t_3 は1.2mmとした。また、第1乃至第3の光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な対物レンズの像側開口数NA1、NA2、NA3として、それぞれ0.85、0.60、0.50を想定している。

【0582】

図77乃至図79に、本実施例の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ 、 $\lambda_2 = 650\text{nm}$ 、 $\lambda_3 = 780\text{nm}$ における光路図を示す。また、図80に本実施例の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ に対する開口数0.85までの球面収差図を示す。また、図81に $\lambda_1 = 405\text{nm}$ とNA1 0.85との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda_2 = 650\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図を示す。さらに、図82に $\lambda_1 = 405\text{nm}$ とNA2 0.85との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda_3 = 780\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図を示す。

【0583】

本実施例の対物レンズは、両面が非球面とされた第1の光学素子L1としてのプラスチックレンズと、このプラスチックレンズの光束入射面側に配置された第2の光学素子L2としてのプラスチックレンズとから構成される複合型対物レンズであって、第2の光学素子L2の第1の光学素子L1側の光学面上に形成した回折構造（図示せず）の作用と結像倍率の違いとを利用することで、3種類の光ディスクの透明基板厚さの違いにより発生する球面収差を、それぞれの光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な像側開口数内で良好に補正している。なお、本実施例の対物レンズの、所定の像側開口数内における波面収差は、

$\lambda_1 = 405\text{nm}$ 、NA1 0.85、 $t_1 = 0.1\text{mm}$ のとき、 $0.004\lambda_1\text{ rms}$

$\lambda_2 = 650\text{nm}$ 、NA2 0.60、 $t_2 = 0.6\text{mm}$ のとき、 $0.001\lambda_2\text{ rms}$

$\lambda_3 = 780\text{nm}$ 、NA3 0.50、 $t_3 = 1.2\text{mm}$ のとき、 $0.002\lambda_3\text{ rms}$

である。

【0584】

また、本実施例の対物レンズの第2の光学素子L2は、基板厚差補正手段としての機能に加えて開口切替手段としての機能も有する。すなわち、NA2 0.65より外側を通過する、波長650nmの光束を第2の光ディスクの情報記録面上に集光しないようにフレアとし、さらに、NA3 0.50より外側を通過する光束を第3の光ディスクの情報記録面上に集光しないようにフレアとしているので、スポットが必要以上に絞られることがなく、第2及び第3の光ディスクのディスクスキューに対する十分なマージンを確保でき、さらに、それぞれの光ディスクに対応して、自動的に開口切り替えが行われるので、別途、開口切替手段を設ける必要がなく、光ピックアップの構造を簡単にすることができる。

【0585】

なお、本実施例の対物レンズでは、第1の光ディスク（高密度DVD）として、透明基板厚さ t_1 を0.1mm、光源の波長を405nm、像側開口数を0.85と仮定して光学設計を進めたが、これ以外の仕様である光ディスクに対しても本発明は適用が可能である。

【0586】

また、第2の光ディスク（DVD）に対する像側開口数を0.65、第3の光ディスク（CD）に対する像側開口数を0.50として光学設計を進めたが、これ以外の仕様である光ディスクに対しても本発明は適用が可能である。

【0587】

表23に本実施例の対物レンズのレンズデータを示す。

【0588】

10

20

30

40

50

【表 2 3】

実施例9

波長 $\lambda 1=405\text{nm}$ のとき焦点距離 $f1=2.65\text{mm}$ 、像側開口数 $NA1=0.85$ 、結像倍率 $m1=0$ 、回折次数 $n1=2$ 波長 $\lambda 2=650\text{nm}$ のとき焦点距離 $f2=2.754\text{mm}$ 、像側開口数 $NA2=0.60$ 、結像倍率 $m2=-0.07$ 、回折次数 $n2=1$ 波長 $\lambda 3=780\text{nm}$ のとき焦点距離 $f3=2.74\text{mm}$ 、像側開口数 $NA3=0.50$ 、結像倍率 $m3=-0.12$ 、回折次数 $n3=1$

面番号	r (mm)	d (mm)	$N\lambda 1$	$N\lambda 2$	$N\lambda 3$	νd	備考
0		d0(可変)					光源
1	-19.912	1.000	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	対物レンズ
2	∞	0.100					
3	1.596	3.100	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	
4	-4.098	d4(可変)					
5	∞	d5(可変)	1.61950	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
6	∞						

	$\lambda 1=405\text{nm}$	$\lambda 2=650\text{nm}$	$\lambda 3=780\text{nm}$
d0	∞	40.379	23.614
d2	0.100	0.600	1.200
d3	0.830	0.807	0.546

非球面係数

	第1面	第3面	第4面
K	0	-6.6547E-01	-5.1020E+01
A4	5.34E-03	-2.6444E-03	4.6682E-02
A6	-8.16E-04	1.7131E-03	-2.4977E-02
A8		-4.7417E-05	7.9334E-03
A10		2.1808E-05	-1.4570E-03
A12		1.4276E-07	1.2211E-04
A14		6.8395E-07	-7.8711E-07

回折面係数

	第2面
b2	-6.0000E-03
b4	-7.4571E-04
b6	2.1879E-04
b8	-5.2397E-05
b10	3.2165E-06

【0589】

本実施例の対物レンズは、第2の光学素子L2の光ディスク側の平面（表23で第2面）上に、表24で示すような、輪帯状の回折構造が形成されている。表24において、「始点高さ」は、その輪帯の始点の光軸からの距離、「終点高さ」は、その輪帯の終点の光軸からの距離を表し、有効径内での輪帯数は130本である。

【0590】

10

20

30

【表 2 4】

(続き)			(続き)			(続き)		
輪帯番号	始点高さ(mm)	終点高さ(mm)	輪帯番号	始点高さ(mm)	終点高さ(mm)	輪帯番号	始点高さ(mm)	終点高さ(mm)
1	0.000	0.249	46	1.538	1.553	91	2.039	2.047
2	0.249	0.351	47	1.553	1.568	92	2.047	2.055
3	0.351	0.425	48	1.568	1.582	93	2.055	2.063
4	0.425	0.493	49	1.582	1.596	94	2.063	2.071
5	0.493	0.550	50	1.596	1.610	95	2.071	2.079
6	0.550	0.600	51	1.610	1.624	96	2.079	2.087
7	0.600	0.647	52	1.624	1.638	97	2.087	2.095
8	0.647	0.689	53	1.638	1.651	98	2.095	2.102
9	0.689	0.729	54	1.651	1.664	99	2.102	2.110
10	0.729	0.767	55	1.664	1.677	100	2.110	2.117
11	0.767	0.803	56	1.677	1.690	101	2.117	2.125
12	0.803	0.836	57	1.690	1.703	102	2.125	2.132
13	0.836	0.869	58	1.703	1.715	103	2.132	2.139
14	0.869	0.900	59	1.715	1.728	104	2.139	2.146
15	0.900	0.929	60	1.728	1.740	105	2.146	2.154
16	0.929	0.958	61	1.740	1.752	106	2.154	2.161
17	0.958	0.986	62	1.752	1.763	107	2.161	2.168
18	0.986	1.012	63	1.763	1.775	108	2.168	2.175
19	1.012	1.038	64	1.775	1.786	109	2.175	2.181
20	1.038	1.063	65	1.786	1.798	110	2.181	2.188
21	1.063	1.088	66	1.798	1.809	111	2.188	2.195
22	1.088	1.111	67	1.809	1.820	112	2.195	2.202
23	1.111	1.135	68	1.820	1.831	113	2.202	2.208
24	1.135	1.157	69	1.831	1.842	114	2.208	2.215
25	1.157	1.179	70	1.842	1.852	115	2.215	2.221
26	1.179	1.201	71	1.852	1.863	116	2.221	2.228
27	1.201	1.222	72	1.863	1.873	117	2.228	2.234
28	1.222	1.242	73	1.873	1.883	118	2.234	2.241
29	1.242	1.262	74	1.883	1.893	119	2.241	2.247
30	1.262	1.282	75	1.893	1.903	120	2.247	2.253
31	1.282	1.301	76	1.903	1.913	121	2.253	2.259
32	1.301	1.320	77	1.913	1.923	122	2.259	2.266
33	1.320	1.339	78	1.923	1.932	123	2.266	2.272
34	1.339	1.357	79	1.932	1.942	124	2.272	2.278
35	1.357	1.375	80	1.942	1.951	125	2.278	2.284
36	1.375	1.393	81	1.951	1.960	126	2.284	2.290
37	1.393	1.410	82	1.960	1.969	127	2.290	2.295
38	1.410	1.427	83	1.969	1.978	128	2.295	2.301
39	1.427	1.444	84	1.978	1.987	129	2.301	2.307
40	1.444	1.460	85	1.987	1.996	130	2.307	2.313
41	1.460	1.476	86	1.996	2.005			
42	1.476	1.492	87	2.005	2.013			
43	1.492	1.508	88	2.013	2.022			
44	1.508	1.523	89	2.022	2.030			
45	1.523	1.538	90	2.030	2.039			

10

20

【0591】

表 2 4 の回折輪帯構造は、波長 375 nm、回折次数 2 で回折効率が理論的に 100 % となるように最適化されている。この回折構造に、第 1 の光ディスク（高密度 DVD）の使用波長である波長 405 nm の光が入射した場合、2 次回折光が最大の回折光量を有するように発生し、第 2 の光ディスク（DVD）の使用波長である波長 650 nm の光が入射した場合と、第 3 の光ディスク（CD）の使用波長である波長 780 nm の光が入射した場合には、1 次回折光が最大の回折光量を有するように発生する。

30

【0592】

波長 375 nm、回折次数 2 で回折構造を最適化することにより、
 高密度 DVD（波長 405 nm）： 93.0 %
 DVD（波長 650 nm）： 92.5 %
 CD（波長 780 nm）： 99.5 %

40

と、それぞれの光ディスクの使用波長領域での回折効率を得ることができる。

【0593】

また、回折構造を形成する光学面が平面なので、本実施例の対物レンズの第 2 の光学素子 L2 の回折構造は、電子ビーム描画法による作製が可能であり、隣り合う輪帯間隔の最小値が、6 ミクロンと小さい回折構造であっても高精度に作製でき、回折構造の形状誤差による回折効率の低下の小さい素子を実現できる。電子ビーム描画法による微細な回折構造の作製法に関しては、「OPTICS DESIGN 光設計研究グループ機関誌 No. 20 2000. 2. 25 p26-p31」に記載されている。

【0594】

〈実施例 10〉

【0595】

50

本実施例の対物レンズは、上述した第6の実施の形態における対物レンズOBJ1として好適なプラスチック単レンズである。本実施例の対物レンズ特性を得るに当たって、第1の光ディスク（高密度DVD）用の第1光源の波長 λ_1 を405nm、第2の光ディスク（DVD）用の第2光源の波長を λ_2 を655nm、第3光ディスク用（CD）の第3光源の波長 λ_3 を785nmとし、第1の光ディスクの透明基板厚さ t_1 は0.1mm、第2の光ディスクの透明基板厚さ t_2 は0.6mm、第3の光ディスクの透明基板厚さ t_3 は1.2mmとした。また、第1乃至第3の光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な対物レンズの像側開口数NA1、NA2、NA3として、それぞれ0.85、0.60、0.45を想定している。

【0596】

10

図83乃至図85に、本実施例の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ 、 $\lambda_2 = 655\text{nm}$ 、 $\lambda_3 = 785\text{nm}$ における光路図を示す。また、図86に本実施例の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ に対する開口数0.85までの球面収差図を示す。また、図87に $\lambda_1 = 405\text{nm}$ とNA1 0.85との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda_2 = 655\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図を示す。さらに、図88に $\lambda_3 = 785\text{nm}$ に対する開口数0.45までの球面収差図を示す。

【0597】

本実施例の対物レンズでは、光源側の非球面（S1）上に形成した回折構造（図示せず）の作用により、第1の光ディスクと第2の光ディスクの透明基板厚さの違いにより発生する球面収差を、第1の光ディスクと第2の光ディスクとのそれぞれの光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な像側開口数内で良好に補正している。また、第3の光ディスクに対しては、発散光である波長 λ_3 の光束を対物レンズに入射させることで、第1光ディスクと第3の光ディスクとの透明基板厚さの違いにより発生する球面収差を、第3の光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な像側開口数内で良好に補正している。なお、本実施例の対物レンズの、所定の像側開口数内における波面収差は、 $\lambda_1 = 405\text{nm}$ 、NA1 0.85、 $t_1 = 0.1\text{mm}$ のとき、 $0.004\lambda_1\text{ rms}$ 、 $\lambda_2 = 655\text{nm}$ 、NA2 0.60、 $t_2 = 0.6\text{mm}$ のとき、 $0.007\lambda_2\text{ rms}$ 、 $\lambda_3 = 785\text{nm}$ 、NA3 0.45、 $t_3 = 1.2\text{mm}$ のとき、 $0.005\lambda_3\text{ rms}$ である。

20

【0598】

30

また、本実施例の対物レンズでは、NA2 0.60より外側を通過する、波長655nmの光束を第2の光ディスクの情報記録面上に集光しないようにフレアとしているので、スポットが必要以上に絞られることがなく、第2の光ディスクのディスクスキューに対する十分なマージンを確保でき、さらに、第2の光ディスクに対応して、自動的に開口切り替えが行われるので、別途、開口切替手段を設ける必要がなく、光ピックアップの構造を簡単にすることができる。

【0599】

そして、対物レンズの光学面上には、第3の光ディスクに対し情報の記録／再生を行う際に必要な開口切替手段である波長選択性のあるフィルタが形成されている。第3の光ディスクに対する情報の記録／再生を行う場合は、必要開口数以上の光束を、波長選択性のある輪帯フィルタによって遮断する。これにより、自動的に開口切り替えを行うことができる。波長選択性のある輪帯フィルタとして、図17に示す対物レンズにおいて、反射率が図89に示すような波長依存性を有するフィルタを対物レンズの光学面上に輪带状に形成したものがあげられる。

40

【0600】

なお、本実施例の対物レンズでは、第1の光ディスク（高密度DVD）として、透明基板厚さ t_1 を0.1mm、光源の波長を405nm、像側開口数を0.85と仮定して光学設計を進めたが、これ以外の仕様である光ディスクに対しても本発明は適用が可能である。

【0601】

また、第2の光ディスク（DVD）に対する像側開口数を0.60、第3の光ディスク

50

(C D) に対する像側開口数を 0.45 として光学設計を進めたが、これ以外の仕様である光ディスクに対しても本発明は適用が可能である。

【0602】

表 25 に本実施例の対物レンズのレンズデータを示す。

【0603】

【表 25】

波長 $\lambda_1=405\text{nm}$ のとき

焦点距離 $f_1=2.30\text{mm}$ 、像側開口数 $\text{NA}_1=0.85$ 、結像倍率 $m_1=0$ 、回折次数 $n_1=2$ ($0 \leq h \leq 1.59$)、 $n_1=3$ ($h > 1.59$)

波長 $\lambda_2=655\text{nm}$ のとき

焦点距離 $f_2=2.40\text{mm}$ 、像側開口数 $\text{NA}_2=0.60$ 、結像倍率 $m_2=-0.07$ 、回折次数 $n_2=1$ ($0 \leq h \leq 1.59$)、 $n_2=2$ ($h >$

波長 $\lambda_3=785\text{nm}$ のとき

焦点距離 $f_3=2.39\text{mm}$ 、像側開口数 $\text{NA}_3=0.450$ 、結像倍率 $m_3=-0.15$ 、回折次数 $n_3=1$

面番号	r (mm)	d (mm)	$N_{\lambda 1}$	$N_{\lambda 2}$	$N_{\lambda 3}$	ν_d	備考
0		d0 (可変)					光源
1	1.524	2.300	1.52491	1.50673	1.50345	56.5	対物レンズ
2	-4.001	d2 (可変)					
3	∞	d3 (可変)	1.61949	1.57721	1.57042	30.0	透明基板
4	∞						

	$\lambda_1=405\text{nm}$	$\lambda_2=655\text{nm}$	$\lambda_3=785\text{nm}$
d0	∞	30.150	18.350
d2	0.100	0.600	1.200
d3	0.925	0.904	0.639

非球面係数

	第1面	第2面
K	-1.7824E+00	-4.7933E+00
A_4	4.2566E-02	1.0627E-01
A_6	2.7886E-03	-5.4671E-02
A_8	-7.0274E-04	1.6297E-02
A_{10}	1.0056E-04	-2.7028E-03
A_{12}	2.3868E-05	1.9182E-04

回折面係数

$0 \leq h \leq 1.59$ のとき

	第1面
b2	-8.0000E-03
b4	-1.2049E-03
b6	1.3016E-03
b8	-5.8055E-04
b10	6.6117E-05

$h > 1.59$ のとき

	第1面
b2	-5.6842E-03
b4	-8.5611E-04
b6	9.2482E-04
b8	-4.1250E-04
b10	4.6978E-05

10

20

30

【0604】

本実施例の対物レンズは、光源側の非球面 (S1) 上に、表 26 で示すような、輪帯状の回折構造が形成されている。表 26 において、「始点高さ」は、その輪帯の始点の光軸からの距離、「終点高さ」は、その輪帯の終点の光軸からの距離を表し、有効径内での輪帯数は 101 本である。

【0605】

【表 2 6】

輪帯番号	始点高さ(mm)	終点高さ(mm)
1	0.000	0.217
2	0.217	0.306
3	0.306	0.374
4	0.374	0.431
5	0.431	0.481
6	0.481	0.526
7	0.526	0.567
8	0.567	0.605
9	0.605	0.641
10	0.641	0.675
11	0.675	0.708
12	0.708	0.739
13	0.739	0.768
14	0.768	0.797
15	0.797	0.824
16	0.824	0.851
17	0.851	0.877
18	0.877	0.902
19	0.902	0.927
20	0.927	0.951
21	0.951	0.974
22	0.974	0.997
23	0.997	1.019
24	1.019	1.040
25	1.040	1.062
26	1.062	1.082
27	1.082	1.103
28	1.103	1.122
29	1.122	1.142
30	1.142	1.161
31	1.161	1.179
32	1.179	1.197
33	1.197	1.215
34	1.215	1.232
35	1.232	1.249
36	1.249	1.266
37	1.266	1.282
38	1.282	1.297
39	1.297	1.313
40	1.313	1.328
41	1.328	1.342
42	1.342	1.357
43	1.357	1.371
44	1.371	1.384
45	1.384	1.398
46	1.398	1.411
47	1.411	1.424
48	1.424	1.436
49	1.436	1.448
50	1.448	1.460

(続き)

輪帯番号	始点高さ(mm)	終点高さ(mm)
51	1.460	1.472
52	1.472	1.483
53	1.483	1.494
54	1.494	1.505
55	1.505	1.516
56	1.516	1.526
57	1.526	1.536
58	1.536	1.547
59	1.547	1.556
60	1.556	1.566
61	1.566	1.575
62	1.575	1.585
63	1.585	1.594
64	1.594	1.607
65	1.607	1.620
66	1.620	1.633
67	1.633	1.645
68	1.645	1.657
69	1.657	1.669
70	1.669	1.680
71	1.680	1.692
72	1.692	1.703
73	1.703	1.713
74	1.713	1.724
75	1.724	1.734
76	1.734	1.744
77	1.744	1.754
78	1.754	1.764
79	1.764	1.774
80	1.774	1.783
81	1.783	1.792
82	1.792	1.802
83	1.802	1.811
84	1.811	1.820
85	1.820	1.828
86	1.828	1.837
87	1.837	1.846
88	1.846	1.854
89	1.854	1.862
90	1.862	1.871
91	1.871	1.879
92	1.879	1.887
93	1.887	1.895
94	1.895	1.903
95	1.903	1.911
96	1.911	1.918
97	1.918	1.926
98	1.926	1.934
99	1.934	1.942
100	1.942	1.949
101	1.949	1.957

10

20

30

40

【0 6 0 6】

表 2 6 の回折輪帯構造は、 h を光軸からの高さを表すとしたときに、 $0 \leq h \leq 1.59$ を満たす領域の回折構造（表 2 6 において、輪帯番号 1 ～ 6 3）は、波長 380 nm、回

50

折次数 2 で回折効率が理論的に 100 % となるように最適化されている。この回折構造に、第 1 の光ディスク（高密度 DVD）の使用波長である波長 405 nm の光が入射した場合には、2 次回折光が最大の回折光量を有するように発生し、第 2 の光ディスク（DVD）の使用波長である波長 655 nm の光が入射した場合と、第 3 の光ディスク（CD）の使用波長である波長 785 nm の光が入射した場合には、1 次回折光が最大の回折光量を有するように発生する。

【0607】

一方、 $h > 1.59$ を満たす領域の回折構造（表 26 において、輪帯番号 64 ~ 101）は、波長 405 nm、回折次数 3 で回折効率が理論的に 100 % となるように最適化されている。この回折構造に、第 1 の光ディスク（高密度 DVD）の使用波長である波長 405 nm の光が入射した場合には、3 次回折光が最大の回折光量を有するように発生し、第 2 の光ディスク（DVD）の使用波長である波長 655 nm の光が入射した場合には、2 次回折光が最大の回折光量を有するように発生する。

【0608】

上記のように、回折構造の最適化波長と回折次数を設定することにより、 $0 \leq h \leq 1.59$ の領域では、

高密度 DVD（波長 405 nm）	:	95.1 %
DVD（波長 655 nm）	:	93.3 %
CD（波長 785 nm）	:	99.7 %

$h > 1.59$ の領域では、

高密度 DVD（波長 405 nm）	:	100 %
DVD（波長 655 nm）	:	91.8 %

と、それぞれの光ディスクの使用波長領域での回折効率を得ることができる。

【0609】

また、上記のように、 $h > 1.59$ を満たす領域の回折構造を、波長 405 nm、回折次数 3 で最適化することで、第 2 の光ディスクに対する情報の記録／再生を行う場合に、NA 2 より外側（すなわち、光源側の非球面の $h > 1.59$ を満たす領域）を通過した光束の球面収差の最大値が約 70 μm と、フレアの外径を大きくすることができたので、光検出器の受光部における良好な信号検出特性が得られる。

【0610】

〈実施例 11〉

【0611】

表 27 にレンズデータを示す実施例 11 は、上述した第 6 の実施の形態における対物レンズ OBJ 1 として好適なプラスチック単レンズであり、第 1 面（S1）上に輪帯状の回折構造が形成されている。

【0612】

10

20

30

【表 27】

実施例11

波長 $\lambda_1=405\text{nm}$ のとき焦点距離 $f_1=2.00\text{mm}$ 、像側開口数 $NA_1=0.85$ 、結像倍率 $m_1=0$ 波長 $\lambda_2=650\text{nm}$ のとき焦点距離 $f_2=2.07\text{mm}$ 、像側開口数 $NA_2=0.65$ 、結像倍率 $m_2=-0.03$ 波長 $\lambda_3=780\text{nm}$ のとき焦点距離 $f_3=2.07\text{mm}$ 、像側開口数 $NA_3=0.50$ 、結像倍率 $m_3=-0.14$

面番号	r (mm)	d (mm)	$N\lambda_1$	$N\lambda_2$	$N\lambda_3$	ν_d	備考
0		d0(可変)					光源
1(絞り)	下表参照	下表参照	1.52469	1.50661	1.50500	56.5	対物レンズ
2	-2.7583	d2(可変)					
3	∞	d3(可変)	1.61950	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
4	∞						

	$\lambda_1=405\text{nm}$	$\lambda_2=650\text{nm}$	$\lambda_3=780\text{nm}$
d0	∞	63.0204	16.0073
d2	0.1000	0.6000	1.2000
d3	0.7055	0.5217	0.3583

第1面

回折次数・最適化波長・曲率半径・レンズ厚さ・非球面係数・回折面係数

h	$0 \leq h \leq 1.35$	$h > 1.35$
$n_1/n_2/n_3$	6/4/3	8/5/4
λ_B	415nm	405nm
r	1.1551	1.1660
d1	2.2000	2.2000
κ	-6.4035E-01	-5.8616E-01
A4	-5.9766E-04	-5.4913E-03
A6	-4.7564E-03	-7.0850E-03
A8	-1.2137E-03	4.9961E-05
A10	5.8511E-04	1.0862E-03
A12	-2.7474E-04	-2.9682E-04
A14	3.3895E-05	-1.2566E-05
A16	-4.6696E-05	-6.3629E-05
A18	2.5452E-05	2.4493E-05
A20	-4.8620E-06	-2.6949E-06
b2	2.3318E-03	1.0991E-03
b4	-8.9867E-04	-5.1923E-04
b6	-5.3246E-04	-2.8692E-04
b8	-6.2181E-05	-2.3236E-05
b10	-4.6234E-06	-2.8513E-06

第2面

非球面係数

κ	-4.3908E+01
A4	1.0752E-01
A6	-5.1322E-02
A8	-1.1890E-02
A10	1.9650E-02
A12	-2.2078E-03
A14	-2.4657E-03
A16	6.4120E-04
A18	
A20	

【0613】

本実施例の対物レンズでは、第1の光ディスクD1、第2の光ディスクD2、第3の光ディスクD3に対する仕様をそれぞれ

 $NA_1 = 0.85$ 、 $\lambda_1 = 405\text{nm}$ 、 $t_1 = 0.1\text{mm}$ 、 $m_1 = 0$
 $NA_2 = 0.65$ 、 $\lambda_2 = 650\text{nm}$ 、 $t_2 = 0.6\text{mm}$ 、 $m_2 = -0.03$
 $NA_3 = 0.50$ 、 $\lambda_3 = 780\text{nm}$ 、 $t_3 = 1.2\text{mm}$ 、 $m_3 = -0.14$

と想定している。

【0614】

NA_3 内に対応する共通領域及び $NA_3 \sim NA_2$ 内に対応する第1の周辺領域に形成された回折構造の最適化波長 λ_B と最適化次数 n_B は、それぞれ $\lambda_B = 415\text{nm}$ 、 $n_B = 6$ であり、 $NA_2 \sim NA_1$ 内に対応する第2の周辺領域に形成された回折構造の最適化波長 λ_B と最適化次数 n_B は、それぞれ $\lambda_B = 405\text{nm}$ 、 $n_B = 8$ である。

【0615】

従って、共通領域及び第1の周辺領域では、半導体レーザLD1から射出された405nmのレーザ光に対して6次回折光、半導体レーザLD2から射出された650nmのレーザ光に対して4次回折光、半導体レーザLD3から射出された780nmのレーザ光に対して3次回折光がそれぞれ最大の回折光量を有するように発生し、第2の周辺領域では、半導体レーザLD1から射出された405nmのレーザ光に対して8次回折光、半導体レーザLD2から射出された650nmのレーザ光に対して5次回折光、半導体レーザLD3から射出された780nmのレーザ光に対して4次回折光がそれぞれ最大の回折光量を有するように発生する。

【0616】

このように決定された回折構造に対して、 λ_1 より5nm長い波長410nmのレーザ光が入射すると図95(A)に示す球面収差図(色収差図)からわかるように、本実施例の対物レンズの球面収差は補正不足方向に変化する。そこで本実施例の対物レンズでは、入射する光束の波長が長くなるとバックフォーカスが長くなる方向に変化するような軸上色収差の波長依存性を持たせることで、 λ_1 より5nm長い波長410nmのレーザ光が入射した際のバックフォーカスの変化量 ΔCA と、前記波長 λ_1 より5nm長い波長410nmのレーザ光が入射した際のNA1に対応するマージナル光線の変化量 ΔSA とが

$-1 < \Delta CA / \Delta SA < 0$

なる関係を満たすようにしたので、半導体レーザLD1がモードホップを起こしても最良像点位置の変化を小さく抑えられたレンズとなっている。ここで、バックフォーカスの変化量 ΔCA は、図95(A)の405nm、410nmのグラフの下端の移動幅で示され、マージナル光線の変化量 ΔSA は、405nmのグラフをその下端が410nmのグラフの下端に重なる位置まで平行移動させた際のグラフの上端と、410nmのグラフの上端との幅により示される。

【0617】

ところで、対物レンズOBJ1において、回折構造の近軸パワーPDを大きく設定すると、波長 λ_1 近傍の軸上色収差を良好に補正することができるので、半導体レーザLD1のモードホップに対して集光性能の劣化の少ないレンズとすることができるが、波長 λ_1 近傍の軸上色収差を完全に補正してしまうと、波長 λ_2 から波長 λ_3 の波長領域の軸上色収差が補正過剰となりすぎてしまい、半導体レーザLD2や半導体レーザLD3のモードホップに対して集光性能の劣化が大きくなり、第2の光ディスクや第3の光ディスクに対する情報の記録が正確に行えなくなる恐れがある。

【0618】

そこで、本実施例の対物レンズでは、回折構造の近軸パワーPDを

$$-5.0 \times 10^{-2} < PD < 2.0 \times 10^{-2}$$

を満たすように設定することで、半導体レーザLD2や半導体レーザLD3のモードホップに対して集光性能の劣化が大きくなりすぎないようにした。

【0619】

また、図95(B)、(C)に示す球面収差図からわかるように、第2の周辺領域を通過する半導体レーザLD2から射出された650nmのレーザ光は、第2の光ディスクD2の情報記録面上でフレア成分となり、第1の周辺領域及び第2の周辺領域を通過する半導体レーザLD3から射出された780nmのレーザ光は、第3の光ディスクD3の情報記録面上でフレア成分となるので、NA2及びNA3に対する開口切り替えが自動的に行われる。

【0620】

〈実施例12〉

【0621】

表28にレンズデータを示す実施例12は、上述した第6の実施の形態における対物レンズOBJ1として好適なプラスチック単レンズであり、第1面(S1)上に輪帯状の回折構造が形成されている。

【0622】

【表 28】

実施例12

波長 $\lambda 1=405\text{nm}$ のとき焦点距離 $f1=2.00\text{mm}$ 、像側開口数 $NA1=0.85$ 、結像倍率 $m1=0$ 波長 $\lambda 2=650\text{nm}$ のとき焦点距離 $f2=2.07\text{mm}$ 、像側開口数 $NA2=0.65$ 、結像倍率 $m2=-0.02$ 波長 $\lambda 3=780\text{nm}$ のとき焦点距離 $f3=2.06\text{mm}$ 、像側開口数 $NA3=0.50$ 、結像倍率 $m3=-0.15$

面番号	r (mm)	d (mm)	$N\lambda 1$	$N\lambda 2$	$N\lambda 3$	νd	備考
0		d0(可変)					光源
1(絞リ)	下表参照	下表参照	1.52469	1.50661	1.50500	56.5	対物レンズ
2	-2.3673	d2(可変)					
3	∞	d3(可変)	1.61950	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
4	∞						

	$\lambda 1=405\text{nm}$	$\lambda 2=650\text{nm}$	$\lambda 3=780\text{nm}$
d0	∞	87.3544	15.2800
d2	0.1000	0.6000	1.2000
d3	0.7030	0.5094	0.3655

第1面

回折次数・最適化波長・曲率半径・レンズ厚さ・非球面係数・回折面係数

h	$0 \leq h \leq 1.35$	$h > 1.35$
$n1/n2/n3$	2/1/1	2/1/1
λB	380nm	405nm
r	1.3710	1.3766
d1	2.2671	2.2634
κ	-5.6443E-01	-5.6812E-01
A4	1.0155E-02	1.6385E-02
A6	6.8473E-03	1.8095E-04
A8	-6.8834E-04	2.7706E-03
A10	1.1420E-03	3.3729E-04
A12	5.5347E-04	-3.4111E-04
A14	-1.0087E-03	8.4195E-05
A16	5.2327E-04	-2.0012E-05
A18	-6.9277E-05	2.2938E-05
A20	-6.3930E-06	-6.0839E-06
b2	-7.6135E-03	-6.6173E-03
b4	1.2749E-03	1.8707E-03
b6	1.6024E-03	-4.2577E-04
b8	-2.8326E-04	1.0036E-03
b10	1.2298E-04	-2.0596E-04

第2面

非球面係数

κ	-2.4528E+01
A4	4.3024E-02
A6	-7.2838E-03
A8	-6.8737E-03
A10	2.9824E-03
A12	-1.6397E-05
A14	-1.6456E-04
A16	1.9141E-05
A18	
A20	

【0623】

本実施例の対物レンズでは、第1の光ディスクD1、第2の光ディスクD2、第3の光ディスクD3に対する仕様をそれぞれ

 $NA1 = 0.85$ 、 $\lambda 1 = 405\text{nm}$ 、 $t1 = 0.1\text{mm}$ 、 $m1 = 0$
 $NA2 = 0.65$ 、 $\lambda 2 = 650\text{nm}$ 、 $t2 = 0.6\text{mm}$ 、 $m2 = -0.02$
 $NA3 = 0.50$ 、 $\lambda 3 = 780\text{nm}$ 、 $t3 = 1.2\text{mm}$ 、 $m3 = -0.15$

と想定している。

【0624】

$NA3$ 内に対応する共通領域及び $NA3 \sim NA2$ 内に対応する第1の周辺領域に形成された回折構造の最適化波長 λB と最適化次数 nB は、それぞれ $\lambda B = 380\text{nm}$ 、 $nB = 2$ であり、 $NA2 \sim NA1$ 内に対応する第2の周辺領域に形成された回折構造の最適化波長 λB と最適化次数 nB は、それぞれ $\lambda B = 405\text{nm}$ 、 $nB = 2$ である。

【0625】

10

20

30

40

50

従って、それぞれの領域に形成された回折構造では、半導体レーザLD1から射出された405nmのレーザ光に対して2次回折光、半導体レーザLD2から射出された650nmのレーザ光に対して1次回折光、半導体レーザLD3から射出された780nmのレーザ光に対して1次回折光がそれぞれ最大の回折光量を有するように発生する。

【0626】

上述の回折構造に対して、 λ_1 より5nm長い波長410nm及び5nm短い波長410nmのレーザ光が入射したときの球面収差図（色収差図）を図96（A）に示す。

【0627】

さらに、本実施例の対物レンズでは、回折構造の近軸パワーPDを

$$0.5 \times 10^{-2} < PD < 5.0 \times 10^{-2}$$

を満たすように設定することで、半導体レーザLD2や半導体レーザLD3のモードホップに対して集光性能の劣化が大きくなりすぎないようにした。

【0628】

また、図96（B）、（C）に示す球面収差図からわかるように、第2の周辺領域を通過する半導体レーザLD2から射出された650nmのレーザ光は、第2の光ディスクD2の情報記録面上でフレア成分となり、第1の周辺領域及び第2の周辺領域を通過する半導体レーザLD3から射出された780nmのレーザ光は、第3の光ディスクD3の情報記録面上でフレア成分となるので、NA2及びNA3に対する開口切り替えが自動的に行われる。

【0629】

〈実施例13〉

【0630】

表29にレンズデータを示す実施例13は、上述した第7の実施の形態における対物レンズOBJ2として好適な複合型対物レンズであり、両方の光学面が非球面とされた第1の光学素子L1としてのガラスレンズと、非球面とされた光源側の光学面上に輪帯状の回折構造が形成された第2の光学素子L2としてのプラスチックレンズから構成されている。

【0631】

10

20

【表 29】

実施例13

波長 $\lambda_1=405\text{nm}$ のとき焦点距離 $f_1=2.05\text{mm}$ 、像側開口数 $NA_1=0.85$ 、結像倍率 $m_1=0$ 波長 $\lambda_2=655\text{nm}$ のとき焦点距離 $f_2=2.14\text{mm}$ 、像側開口数 $NA_2=0.65$ 、結像倍率 $m_2=-0.04$ 波長 $\lambda_3=785\text{nm}$ のとき焦点距離 $f_3=2.14\text{mm}$ 、像側開口数 $NA_3=0.50$ 、結像倍率 $m_3=-0.14$

面番号	r (mm)	d (mm)	$N\lambda_1$	$N\lambda_2$	$N\lambda_3$	ν_d	備考
0		d0(可変)					光源
1	下表参照	下表参照	1.52491	1.50673	1.50345	56.5	対物レンズ
2	3601075.34	0.1000					
3(絞り)	1.5401	2.5000	1.71558	1.68966	1.68469	53.2	
4	-9.9695	d4(可変)					透明基板
5	∞	d5(可変)	1.61950	1.57721	1.57042	30.0	
6	∞						

	$\lambda_1=405\text{nm}$	$\lambda_2=650\text{nm}$	$\lambda_3=780\text{nm}$
d0	∞	50.0172	14.9264
d4	0.1000	0.6000	1.2000
d5	0.5999	0.4641	0.2717

第1面

回折次数・最適化波長・曲率半径・レンズ厚さ・非球面係数・回折面係数

h	$0 \leq h \leq 1.153$	$1.153 < h \leq 1.43$	$h > 1.43$
$n_1/n_2/n_3$	2/1/1	2/1/1	2/1/1
λ_B	380nm	380nm	380nm
r	-10.4665	-11.8021	-20.6595
d1	1.0000	1.0000	1.0000
κ	-1.1000E+01	-1.1000E+01	-1.1000E+01
A4	2.8254E-02	1.7590E-02	6.1773E-03
A6	-7.1556E-03	-9.2533E-04	-5.4273E-04
A8	1.2671E-03	1.4113E-03	2.9967E-03
A10	3.5495E-04	-4.8688E-04	-1.5628E-03
A12	-7.3561E-05	2.6450E-05	2.0226E-04
b2	-1.1764E-02	-1.1036E-02	-9.5589E-03
b4	6.5468E-04	-5.6496E-04	8.7375E-04
b6	8.4835E-04	1.0458E-03	-6.6414E-04
b8	-5.6702E-04	-5.9605E-05	1.6233E-04
b10	2.1908E-04	8.6727E-06	4.1737E-06

第2面

非球面係数

κ	1.0000E+01
A4	1.7777E-02
A6	-5.1797E-03
A8	3.3246E-03
A10	-1.1994E-03
A12	-3.6860E-06
A14	3.0819E-05
A16	
A18	
A20	

第3面

非球面係数

κ	-6.0595E-01
A4	-1.2358E-03
A6	2.2753E-03
A8	1.7452E-03
A10	-1.6775E-03
A12	5.1978E-04
A14	-6.4585E-05
A16	6.1456E-07
A18	
A20	

第4面

非球面係数

κ	2.0000E+00
A4	6.5322E-02
A6	-7.5864E-02
A8	5.9002E-02
A10	-1.0020E-02
A12	-1.6829E-02
A14	7.5707E-03
A16	
A18	
A20	

【0632】

本実施例の対物レンズでは、第1の光ディスクD1、第2の光ディスクD2、第3の光ディスクD3に対する仕様をそれぞれ

$NA_1=0.85$ 、 $\lambda_1=405\text{nm}$ 、 $t_1=0.1\text{mm}$ 、 $m_1=0$

$NA_2=0.65$ 、 $\lambda_2=655\text{nm}$ 、 $t_2=0.6\text{mm}$ 、 $m_2=-0.04$

$NA_3=0.50$ 、 $\lambda_3=785\text{nm}$ 、 $t_3=1.2\text{mm}$ 、 $m_3=-0.14$

と想定している。

【0633】

NA_3 内に対応する共通領域、 $NA_3 \sim NA_2$ 内に対応する第1の周辺領域、及び $NA_2 \sim NA_1$ 内に対応する第2の周辺領域に形成された回折構造の最適化波長 λ_B と最適化次数 n_B は、それぞれ $\lambda_B=380\text{nm}$ 、 $n_B=2$ である。

【0634】

従って、それぞれの領域に形成された回折構造では、半導体レーザLD1から射出された405nmのレーザ光に対して2次回折光、半導体レーザLD2から射出された655nmのレーザ光に対して1次回折光、半導体レーザLD3から射出された785nmのレ

10

20

30

40

50

ーザ光に対して1次回折光がそれぞれ最大の回折光量を有するように発生する。

【0635】

このように決定された回折構造に対して、 λ_1 より5nm長い波長410nmのレーザー光が入射すると図97(A)に示す球面収差図(色収差図)からわかるように、本実施例の対物レンズの球面収差は補正過剰方向に変化する。そこで本実施例の対物レンズでは入射する光束の波長が長くなるとバックフォーカスが短くなる方向に変化するような軸上色収差の波長依存性を持たせることで、 λ_1 より5nm長い波長410nmのレーザー光が入射した際のバックフォーカスの変化量 ΔCA と、前記波長 λ_1 より5nm長い波長410nmのレーザー光が入射した際のNA1に対応するマージナル光線の変化量 ΔSA とが

$$-1 < \Delta CA / \Delta SA < 0$$

なる関係を満たすようにしたので、半導体レーザーLD1がモードホップを起こしても最良像点位置の変化を小さく抑えられたレンズとなっている。

【0636】

さらに、本実施例の対物レンズでは、回折構造の近軸パワーPDを

$$0.5 \times 10^{-2} < PD < 5.0 \times 10^{-2}$$

を満たすように設定することで、半導体レーザーLD2や半導体レーザーLD3のモードホップに対して集光性能の劣化が大きくなりすぎないようにした。

【0637】

また、図97(B)、(C)に示す球面収差図からわかるように、第2の周辺領域を通過する半導体レーザーLD2から射出された655nmのレーザー光は、第2の光ディスクD2の情報記録面上でフレア成分となり、第1の周辺領域及び第2の周辺領域を通過する半導体レーザーLD3から射出された785nmのレーザー光は、第3の光ディスクD3の情報記録面上でフレア成分となるので、NA2及びNA3に対する開口切り替えが自動的に行われる。

【0638】

〈実施例14〉

【0639】

表30にレンズデータを示す実施例14は、上述した第7の実施の形態における対物レンズOBJ2として好適な複合型対物レンズであり、両方の光学面が非球面とされた第1の光学素子L1としてのプラスチックレンズと、非球面とされた両方の光学面上に輪帯状の回折構造が形成された第2の光学素子L2としてのプラスチックレンズから構成されている。

【0640】

10

20

30

【表 30】

実施例14

波長 $\lambda 1=405\text{nm}$ のとき焦点距離 $f1=2.20\text{mm}$ 、像側開口数 $NA1=0.85$ 、結像倍率 $m1=0$ 波長 $\lambda 2=650\text{nm}$ のとき焦点距離 $f2=2.26\text{mm}$ 、像側開口数 $NA2=0.65$ 、結像倍率 $m2=-0.11$ 波長 $\lambda 3=780\text{nm}$ のとき焦点距離 $f3=2.27\text{mm}$ 、像側開口数 $NA3=0.50$ 、結像倍率 $m3=-0.20$

面番号	r (mm)	d (mm)	N $\lambda 1$	N $\lambda 2$	N $\lambda 3$	νd	備考
0		d0(可変)					光源
1	下表参照	下表参照	1.52459	1.50661	1.50500	56.5	対物レンズ
2	下表参照	0.0500					
3(絞り)	1.5528	2.9500	1.56013	1.54090	1.53734	56.3	
4	-2.1403	d4(可変)					
5	∞	d5(可変)	1.61956	1.57785	1.57088	30.0	透明基板
6	∞						

	$\lambda 1=405\text{nm}$	$\lambda 2=650\text{nm}$	$\lambda 3=780\text{nm}$
d0	∞	20.8653	11.4565
d4	0.1000	0.6000	1.2000
d5	0.4872	0.4851	0.2979

第1面

回折次数・最適化波長・曲率半径・レンズ厚さ・非球面係数・回折面係数

h	$0 \leq h \leq 1.479$	$h > 1.479$
n1/n2/n3	2/1/1	3/2/2
λB	380nm	405nm
r	-75.9093	-75.9093
d1	2.2671	2.2634
κ	-1.9314E+03	-1.9314E+03
A4	6.7348E-03	6.7348E-03
A6	1.0224E-03	1.0224E-03
A8	3.3638E-06	3.3638E-06
A10	-1.6208E-04	-1.6208E-04
A12	-1.5907E-06	-1.5907E-06
A14	-3.4313E-07	-3.4313E-07
b2	-4.9508E-03	-3.5176E-03
b4	-2.1580E-03	-1.5333E-03
b6	6.4135E-04	4.5569E-04
b8	3.7355E-05	2.6541E-05
b10	-3.0158E-05	-2.1428E-05

第2面

回折次数・最適化波長・曲率半径・レンズ厚さ・非球面係数・回折面係数

h	$0 \leq h \leq 1.483$	$h > 1.483$
n1/n2/n3	2/1/1	3/2/2
λB	380nm	405nm
r	-29.0672	-29.0672
d1	2.2671	2.2634
κ	-1.3788E+03	-1.3788E+03
A4	1.0726E-02	1.0726E-02
A6	1.6748E-04	1.6748E-04
A8	-4.9758E-04	-4.9758E-04
A10	-2.1960E-05	-2.1960E-05
A12	-1.0692E-05	-1.0692E-05
A14	6.4879E-06	6.4879E-06
b2	-4.6811E-04	-3.3261E-04
b4	7.6852E-06	5.4606E-06
b6	2.6310E-04	1.8694E-04
b8	-8.4343E-05	-5.9928E-05
b10	-9.9442E-06	-7.0656E-06

第3面

非球面係数

κ	-7.1373E-01
A4	8.2690E-03
A6	9.7887E-04
A8	-1.1881E-03
A10	7.7852E-04
A12	-1.6114E-04
A14	-4.7416E-05
A16	1.6534E-05
A18	2.7589E-06
A20	-1.1891E-06

第4面

非球面係数

κ	-1.0211E+01
A4	9.3235E-02
A6	-7.9444E-02
A8	1.9703E-02
A10	1.1928E-03
A12	-9.1615E-04
A14	-1.7067E-06
A16	
A18	
A20	

【0641】

本実施例の対物レンズでは、第1の光ディスクD1、第2の光ディスクD2、第3の光ディスクD3に対する仕様をそれぞれ

$NA1 = 0.85$ 、 $\lambda 1 = 405 \text{ nm}$ 、 $t 1 = 0.1 \text{ mm}$ 、 $m 1 = 0$
 $NA2 = 0.65$ 、 $\lambda 2 = 650 \text{ nm}$ 、 $t 2 = 0.6 \text{ mm}$ 、 $m 2 = -0.11$
 $NA3 = 0.50$ 、 $\lambda 3 = 780 \text{ nm}$ 、 $t 3 = 1.2 \text{ mm}$ 、 $m 3 = -0.20$
 と想定している。

【0642】

$NA3$ 内に対応する共通領域及び $NA3 \sim NA2$ 内に対応する第 1 の周辺領域に形成された回折構造の最適化波長 λB と最適化次数 $n B$ は、それぞれ $\lambda B = 380 \text{ nm}$ 、 $n B = 2$ であり、 $NA2 \sim NA1$ 内に対応する第 2 の周辺領域に形成された回折構造の最適化波長 λB と最適化次数 $n B$ は、それぞれ $\lambda B = 405 \text{ nm}$ 、 $n B = 3$ である。

【0643】

従って、共通領域及び第 1 の周辺領域では、半導体レーザ LD1 から射出された 405 nm のレーザ光に対して 2 次回折光、半導体レーザ LD2 から射出された 650 nm のレーザ光に対して 1 次回折光、半導体レーザ LD3 から射出された 780 nm のレーザ光に対して 1 次回折光がそれぞれ最大の回折光量を有するように発生し、第 2 の周辺領域では、半導体レーザ LD1 から射出された 405 nm のレーザ光に対して 3 次回折光、半導体レーザ LD2 から射出された 650 nm のレーザ光に対して 2 次回折光、半導体レーザ LD3 から射出された 780 nm のレーザ光に対して 2 次回折光がそれぞれ最大の回折光量を有するように発生する。

【0644】

上述の回折構造に対して、 $\lambda 1$ 、 $\lambda 1$ より 5 nm 長い波長 410 nm 及び 5 nm 短い波長 400 nm のレーザ光が入射したときの球面収差図（色収差図）を図 98（A）に示す。

【0645】

さらに、本実施例の対物レンズでは、第 2 の光ディスクに対して記録／再生をする際の結像倍率 $m 2$ 、第 3 の光ディスクに対して記録／再生をする際の結像倍率 $m 3$ に対して、回折構造の近軸パワー PD を

$$0.5 \times 10^{-2} < PD < 5.0 \times 10^{-2}$$

を満たすように適切に設定することで、半導体レーザ LD2 や半導体レーザ LD3 のモードホップに対して集光性能の劣化が大きくなりすぎないようにした。

【0646】

また、本実施例の対物レンズの第 2 の光学素子 L2 は、基板厚差補正手段としての機能に加えて、開口切替手段としての機能も有する。すなわち、図 98（B）、（C）に示す球面収差図からわかるように、第 2 の周辺領域を通過する半導体レーザ LD2 から射出された 650 nm のレーザ光は、第 2 の光ディスク D2 の情報記録面上でフレア成分となり、第 1 の周辺領域及び第 2 の周辺領域を通過する半導体レーザ LD3 から射出された 780 nm のレーザ光は、第 3 の光ディスク D3 の情報記録面上でフレア成分となるので、 $NA2$ 及び $NA3$ に対する開口切り替えが自動的に行われる。

【0647】

ところで、光ピックアップ装置において、対物レンズはトラッキングエラーにより半導体レーザの発光点に対し 0.2 mm 程度偏芯する。これは、対物レンズに発散光束を入射させる場合、発光点に対物レンズに対して 0.2 mm の物体高をもつ軸外物点となることに相当する。本実施例の対物レンズの 0.2 mm の物体高に対する波面収差は、第 2 の光ディスクに対しては、 $0.025 \lambda 2 \text{ rms}$ 、第 3 の光ディスクに対しては、 $0.033 \lambda 3 \text{ rms}$ であり、対物レンズ発散光束を入射させて使用する第 2 の光ディスクや第 3 の光ディスクに対して良好なトラッキング特性を得ることができる。

【0648】

〈実施例 15〉

【0649】

表 31 にレンズデータを示す実施例 15 は、上述した第 7 の実施の形態における対物レンズ OBJ2 として好適な複合型対物レンズであり、両方の光学面が非球面とされた第 1

10

20

30

40

50

の光学素子 L 1 としてのプラスチックレンズと、両方の光学面が非球面とされ、光源側の非球面上に輪帯状の回折構造が形成された第 2 の光学素子 L 2 としてのプラスチックレンズから構成されている。

【0650】

【表 3 1】

実施例 15

波長 $\lambda 1=408\text{nm}$ のとき
焦点距離 $f1=2.20\text{mm}$ 、像側開口数 $NA1=0.87$ 、結像倍率 $m1=0$

波長 $\lambda 2=658\text{nm}$ のとき
焦点距離 $f2=2.26\text{mm}$ 、像側開口数 $NA2=0.67$ 、結像倍率 $m2=-0.12$

波長 $\lambda 3=785\text{nm}$ のとき
焦点距離 $f3=2.27\text{mm}$ 、像側開口数 $NA3=0.51$ 、結像倍率 $m3=-0.20$

面番号	r (mm)	d (mm)	N $\lambda 1$	N $\lambda 2$	N $\lambda 3$	νd	備考
0		d0 (可変)				56.5	光源
1	下表参照	1.9500	1.52424	1.50643	1.50497		
2	下表参照	0.0500					
3 (絞り)	1.4984	2.7000	1.55965	1.54062	1.53724	56.3	対物レンズ
4	-2.2641	d4 (可変)					
5	∞	d5 (可変)	1.61830	1.57701	1.57042	30.0	透明基板
6	∞						

	$\lambda 1=408\text{nm}$	$\lambda 2=658\text{nm}$	$\lambda 3=785\text{nm}$
d0	∞	18.5732	11.4953
d4	0.1000	0.6000	1.2000
d5	0.4743	0.4760	0.3000

第1面

回折次数・最適化波長・曲率半径・レンズ厚さ・非球面係数・回折面係数

h	$0 \leq h \leq 1.19$	$1.19 < h \leq 1.54$	$1.54 < h$
n1/n2/n3	8/5/4	8/5/4	6/4/3
λB	408nm	408nm	408nm
r	28.4866	27.3901	26.2080
κ	7.8485E+01	-6.6536E+02	-4.4129E+02
A4	4.2859E-03	1.3518E-02	6.7817E-03
A6	1.2630E-02	-2.9627E-03	2.1701E-04
A8	-1.4130E-02	-1.4078E-03	-3.9874E-04
A10	3.7955E-03	4.5355E-04	-2.8647E-05
A12	1.8142E-04	2.6425E-05	-3.6462E-06
A14	0.0000E+00	0.0000E+00	-4.0715E-06
b2	-2.3267E-03	-2.1102E-03	-2.3177E-03
b4	6.7507E-04	5.9426E-04	-1.5985E-04
b6	4.7375E-04	-1.3167E-04	1.0469E-04
b8	-8.6694E-04	-1.4033E-04	8.2120E-06
b10	2.8693E-04	5.0353E-05	-1.3041E-05

第2面

曲率半径・非球面係数

h	$0 \leq h \leq 1.54$	$1.54 < h$
r	65.9724	643.7815
κ	1.0000E+01	1.0000E+01
A4	3.1093E-03	8.9754E-03
A6	-1.3025E-03	-8.1022E-04
A8	1.2188E-03	-6.8268E-04
A10	-5.8067E-04	7.9746E-05
A12	6.7139E-05	-4.7903E-06
A14	0.0000E+00	0.0000E+00

第3面

非球面係数

κ	-6.4822E-01
A4	2.0499E-02
A6	-7.1252E-03
A8	2.6231E-03
A10	4.9955E-04
A12	-3.8169E-04
A14	9.5612E-05
A16	-1.1952E-05
A18	1.8416E-06
A20	2.1732E-07

第4面

非球面係数

κ	-4.9132E+01
A4	2.7393E-02
A6	5.9012E-02
A8	-3.0228E-02
A10	-6.0674E-03
A12	4.8664E-05
A14	2.7695E-03
A16	0.0000E+00
A18	0.0000E+00
A20	0.0000E+00

【0651】

本実施例の対物レンズでは、第 1 の光ディスク D 1、第 2 の光ディスク D 2、第 3 の光ディスク D 3 に対する仕様をそれぞれ

$NA1=0.87$ 、 $\lambda 1=408\text{nm}$ 、 $t1=0.1\text{mm}$ 、 $m1=0$

10

20

30

40

50

$NA2 = 0.67$ 、 $\lambda2 = 658\text{ nm}$ 、 $t2 = 0.6\text{ mm}$ 、 $m2 = -0.12$

$NA3 = 0.51$ 、 $\lambda3 = 785\text{ nm}$ 、 $t3 = 1.2\text{ mm}$ 、 $m3 = -0.20$

と想定している。

【0652】

$NA3$ 内に対応する共通領域及び $NA3 \sim NA2$ 内に対応する第 1 の周辺領域に形成された回折構造の最適化波長 λ_B と最適化次数 n_B は、それぞれ $\lambda_B = 408\text{ nm}$ 、 $n_B = 8$ であり、 $NA2 \sim NA1$ 内に対応する第 2 の周辺領域に形成された回折構造の最適化波長 λ_B と最適化次数 n_B は、それぞれ $\lambda_B = 408\text{ nm}$ 、 $n_B = 6$ である。

【0653】

従って、共通領域及び第 1 の周辺領域では、半導体レーザ LD1 から射出された 408 nm のレーザ光に対して 8 次回折光、半導体レーザ LD2 から射出された 658 nm のレーザ光に対して 5 次回折光、半導体レーザ LD3 から射出された 785 nm のレーザ光に対して 4 次回折光がそれぞれ最大の回折光量を有するように発生し、第 2 の周辺領域では、半導体レーザ LD1 から射出された 408 nm のレーザ光に対して 6 次回折光、半導体レーザ LD2 から射出された 658 nm のレーザ光に対して 4 次回折光、半導体レーザ LD3 から射出された 785 nm のレーザ光に対して 3 次回折光がそれぞれ最大の回折光量を有するように発生する。

【0654】

図 99 (A) に 403 nm 、 408 nm 及び 413 nm の各レーザ光が入射したときの球面収差図（色収差図）を示す。また、本実施例の対物レンズの第 2 の光学素子 L2 は、基板厚差補正手段としての機能に加えて開口切替手段としての機能も有する。すなわち、図 99 (B)、(C) に示す球面収差図からわかるように、第 2 の周辺領域を通過する半導体レーザ LD2 から射出された 658 nm のレーザ光は、第 2 の光ディスク D2 の情報記録面上でフレア成分となり、第 1 の周辺領域及び第 2 の周辺領域を通過する半導体レーザ LD3 から射出された 788 nm のレーザ光は、第 3 の光ディスク D3 の情報記録面上でフレア成分となるので、 $NA2$ 及び $NA3$ に対する開口切り替えが自動的に行われる。

【0655】

なお、本明細書において、回折構造が形成された面（回折面）とは、光学素子の表面に、レリーフを設けて、入射光束を回折させる作用を持たせる面のことをいい、同一光学面に回折を生じる領域と生じない領域がある場合は、回折を生じる領域をいう。また、回折構造または回折パターンとは、この回折を生じる領域のことをいう。レリーフの形状としては、例えば、光学素子の表面に、光軸を中心として略同心円状の輪帯として形成され、光軸を含む平面でその断面をみれば、各輪帯は鋸歯状（かかる場合に、レリーフを特に「ブレード」とよぶ。）、あるいは階段状のような形状が知られているが、そのような形状を含むものである。

【0656】

一般に、回折面からは、0 次回折光、 ± 1 次回折光、 ± 2 次回折光、 $\dots$ 、と無数の次数の回折光が生じるが、例えば、上記のような子午断面が鋸歯状となるブレード、あるいは階段状の形状を持つ回折面の場合は、特定の次数の回折効率を他の次数の回折効率よりも高くしたり、場合によっては、特定の 1 つの次数（例えば、 $+1$ 次回折光）の回折効率をほぼ 100% とするように、このブレードの形状または階段状の形状を設定することができる。本発明において、「回折構造が波長 λ_B 、回折次数 n で最適化されている」とは、波長 λ_B の光が入射したときに、回折次数 n の回折光の回折効率が理論的に 100% となるように、ブレードの形状あるいは階段状の形状を設定することを指す（このとき、波長 λ_B を製造波長または最適化波長とよび、回折次数 n を最適化次数とよぶ）。別の言い方をすると、次のように説明することができる。「回折構造が波長 λ_B 、回折次数 n で最適化されている」とは、実際に、光学素子上に形成されたブレードあるいは階段状の回折構造において、輪帯の光軸方向の段差量を、 Δd (μm)、回折構造に入射する光の波長のうち最も短い波長（すなわち、本明細書中において、第 1 光源が発生する λ_1 の光の波長）における、回折構造の屈折率を $N_{\lambda_{min}}$ とすると、 Δd 、 $N_{\lambda_{min}}$ と、最適化

波長 λ_B (nm)、回折次数 n との間に次の関係が成り立つことである。

$$\lambda_B \text{ (nm)} = \Delta d \times (N \lambda_{\min} - 1) / (n \times 10^{-3})$$

上式において、 n は、次式により算出される。

$$n = \text{INT}(Y)$$

$$Y = \Delta d \times (N \lambda_{\min} - 1) / (\lambda_{\min} \times 10^{-3})$$

ただし、 $\text{INT}(Y)$ は、 Y を四捨五入して得られる整数である。

ここで、実際のブレードまたは階段状の回折構造が製造誤差による形状誤差を有する場合には、図 90 のように、ブレードまたは階段状の回折構造の理想形状を近似的に求めた場合の光軸方向の段差量を Δd とする。

【0657】

また、本明細書において、「対物レンズ」とは、光情報記録媒体（光ディスク）の情報記録面に情報の記録、及び／または、情報記録面の情報を再生するための光学系に含まれる光学素子うち、光情報記録媒体と対向する位置に配置され、光源からの光束を光情報記録媒体の情報記録面上に集光させるための光学素子を指す。

【0658】

そして、「1つのレンズ群から構成される対物レンズ」とは、光情報記録媒体と対向する位置に配置された光学素子であって、1つの群（1枚の光学素子から構成される場合も、複数の光学素子が接合されている場合も含む）から構成された、光源からの光束を光情報記録媒体の情報記録面上に集光させるための光学素子を指す。

【0659】

また、本明細書において、「光学素子」と「レンズ」は同義である。

【0660】

また、対物レンズが複数の光学素子（あるいは、レンズ群）から構成される場合は、光情報記録媒体と対向する位置に配置された光学素子と、鏡枠やフランジ等で一体とされた複数の光学素子の集合を本明細書での定義による対物レンズと呼ぶ。

【0661】

また、本明細書において、透明基板厚の異なる3種類の光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録について、1つのレンズ群から構成される「共通の対物レンズを用いる」とは、それぞれの光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合に、光情報記録媒体と対向する位置に配置され、光源からの光束を光情報記録媒体の情報記録面上に集光させるための光学素子が、同一の光学素子であることを指し、この同一の光学素子を「共通の対物レンズ」と定義する。

【0662】

そして、ある特定の透明基板厚を有する光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合にのみ、光源と光情報記録媒体との間の光路中に挿入されたり、光学素子としての機能が働く光学素子は、上記の共通の対物レンズには含まれないものとする。

【0663】

また、本明細書において、「保護基板」、及び「透明基板」、及び「保護層」とは、光情報記録媒体の情報記録面を保護するために、情報記録面の光束入射面側に形成された光学的に透明な平行平板を指し、光源から射出された光束は、対物レンズによって、上記の平行平板を介して光情報記録媒体の情報記録面上に集光される。そして、本明細書において、「保護基板厚（さ）」とは、上記の平行平板の厚さを指し、DVD規格の光情報記録媒体では、保護基板厚は0.6mm、CD規格の光情報記録媒体では、保護基板厚は1.2mmであるが、本明細書において、高密度DVD（第1光情報記録媒体、または、第1（の）光ディスク）には、明細書中で一例としてあげた、0.1mmの保護基板厚を有する光情報記録媒体の他に、保護基板厚がゼロ、すなわち、平行平板を有さないものや、DVD規格の光情報記録媒体と同じ0.6mmの保護基板厚を有するものも含まれる。

【0664】

また、本明細書において、光情報記録媒体が同一の光束入射面側に複数の情報記録層を有する、いわゆる、多層ディスクである場合、「保護基板」には、上記の複数の情報記録

10

20

30

40

50

層のうち、最も光束入射面に近い情報記録層の光束入射面側に形成された平行平板の他に、上記の複数の情報記録層間に形成された、中間層も含まれる。

【0665】

また、本明細書において、「基板厚差補正手段」とは、情報を記録及び／または再生する光情報記録媒体を、異なる透明基板厚を有する光情報記録媒体に交換したときに（例えば、CDからDVDへの交換や、高密度DVDからCDへの交換等）、規格の異なる光情報記録媒体の保護基板厚の違いにより、情報記録面上でのスポットの波面収差の球面収差成分が変化して、 $0.07\lambda_{rms}$ （ただし、 λ は波長である）より大きくなってしまったのを、情報を記録及び／または再生できるように、その光情報記録媒体に対して情報の記録及び／または再生を行うのに必要な対物レンズの所定の像側開口数内で $0.07\lambda_{rms}$ 以下、より好ましくは、 $0.05\lambda_{rms}$ 以下となるように、球面収差成分を補正することができる光学素子を指す。 10

【0666】

また、本明細書において、「基板厚誤差補正手段」とは、ある特定の規格の光情報記録媒体において、光情報記録媒体の製造誤差により、保護基板の厚さが均一でなく、場所によって違いがあったり、製造メーカーや製造機器の違いにより、保護基板の厚さに、個体差があったりすることに起因して、球面収差が発生し、情報記録面上でのスポットの波面収差が、 $0.07\lambda_{rms}$ （ただし、 λ は波長である）より大きくなってしまったのを、情報を記録及び／または再生できるように、その光情報記録媒体に対して情報の記録及び／または再生を行うのに必要な対物レンズの所定の像側開口数内で $0.07\lambda_{rms}$ 以下、より好ましくは、 $0.05\lambda_{rms}$ 以下となるように、球面収差成分を補正することができる光学素子を指す。 20

【0667】

また、本明細書において、「色収差補正手段」とは、ある特定の規格の光情報記録媒体に対し情報の記録及び／または再生を行うのに使用する光源において、製造誤差や温度変化や湿度変化等の環境変化や、出力の変化等により、出射される光の波長の単色性が悪い場合に、対物レンズで発生する色収差を補正することのできる光学素子を指し、具体的には、前記光学素子が、光源と対物レンズとの間の光路中に配置されない場合の、 $\pm 1\text{nm}$ の波長変化に対する対物レンズのピント移動量をA、前記光学素子が、光源と対物レンズとの間の光路中に配置された場合の、同じ量の波長変化に対する対物レンズのピント移動量をBとしたとき、 30

$$|A| > |B|$$

を満たすことのできる光学素子を指す。

【0668】

また、本明細書において、光情報記録媒体の情報記録面上に「良好な波面を形成する」とは、波長を λ とした場合に、波面収差が 0.07λ 以下、より好ましくは、 0.05λ 以下の状態で集光することを指す。

【0669】

また、本明細書における「フレア」は以下のように定義される。第*i*光情報記録媒体（*i* = 1 または 2 または 3）に対し情報の記録及び／または再生を行う際の、波長を λ_i 、対物レンズの像側開口数をNA*i*とする。第*j*光情報記録媒体（*j* = 2 または 3）に対する情報の記録及び／または再生を行う際に、次の2つの条件のいずれか（より好ましくは両方）が満たされるときに、NA*j*より外側を通過し、第*j*光情報記録媒体の情報記録面に到達した光束を「フレア」とする。 40

【0670】

第1の条件は、NA1と λ_1 から決定される絞りすべてを通過した波長 λ_j の光束のうちNA*j*より外側を通過する光束の情報記録面上における球面収差の最大値が $10\mu\text{m}$ より大きく、かつ、NA*j*内における球面収差が $5\mu\text{m}$ より小さい場合、である。

【0671】

第2の条件は、NA1と λ_1 から決定される絞りすべてを通過した波長 λ_j の光束の情 50

報記録面上における波面収差が $0.07\lambda_j$ より大きく、かつ、 NA_j 以内で、情報記録面上における波面収差が $0.07\lambda_j$ より小さい場合、である。

【0672】

上記第1の条件及び／または第2の条件において、球面収差は、 NA_j において連続していても良いし、 NA_j において不連続であっても良い。

【0673】

また、本明細書において、情報の記録および再生とは、上記のような光情報記録媒体の情報記録面上に情報を記録すること、情報記録面上に記録された情報を再生することを行う。本発明の対物レンズ及び光ピックアップ装置及び集光光学系は、記録だけあるいは再生だけを行うために用いられるものであってもよいし、記録および再生の両方を行うために用いられるものであってもよい。また、ある光情報記録媒体に対しては記録を行い、別の光情報記録媒体に対しては再生を行うために用いられるものであってもよいし、ある光情報記録媒体に対しては記録または再生を行い、別の光情報記録媒体に対しては記録および再生を行うために用いられるものであってもよい。なお、ここでいう再生とは、単に情報を読み取ることを含むものである。

【0674】

また、本明細書において、第1保護基板厚乃至第3保護基板厚のすべてがすべて同じ値である場合、すなわち、第1光情報記録媒体乃至第3光情報記録媒体のすべてが同じ厚さの保護基板を有している場合は、本発明の課題がなく、本発明の技術的範囲には属さないものとする。

【図面の簡単な説明】

【0675】

【図1】本発明による光ピックアップ装置を概念的に示す図である。

【図2】本発明による別の光ピックアップ装置を概念的に示す図である。

【図3】本発明による更に別の光ピックアップ装置を概念的に示す図である。

【図4】本発明による更に別の光ピックアップ装置を概念的に示す図である。

【図5】本発明による更に別の光ピックアップ装置を概念的に示す図である。

【図6】本発明による更に別の光ピックアップ装置を概念的に示す図である。

【図7】本発明による更に別の光ピックアップ装置を概念的に示す図である。

【図8】本発明による更に別の光ピックアップ装置を概念的に示す図である。

【図9】第1の実施の形態による第1の光ピックアップ装置を概略的に示す図である。

【図10】図9の第1の光ピックアップ装置に用いられる色収差補正用素子である多層回折素子の側断面図(a)及び多層回折素子の作用を説明するために波長と屈折率との関係を示す図(b)である。

【図11】第1の実施の形態による第2の光ピックアップ装置を概略的に示す図である。

【図12】第2の実施の形態による第3の光ピックアップ装置を概略的に示す図である。

【図13】第2の実施の形態による第4の光ピックアップ装置を概略的に示す図である。

【図14】第3の実施の形態による第5の光ピックアップ装置を概略的に示す図である。

【図15】第3の実施の形態による第6の光ピックアップ装置を概略的に示す図である。

【図16】第4の実施の形態による第7の光ピックアップ装置を概略的に示す図である。

【図17】各実施の形態及び各実施例で用いることのできる開口切替手段として対物レンズに設けた輪帯フィルタを説明するための図である。

【図18】図17の輪帯フィルタの作用を説明するための図である。

【図19】図17の別の輪帯フィルタの作用を説明するための図である。

【図20】実施例1の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ における光路図である。

【図21】実施例1の対物レンズの $\lambda_2 = 650\text{nm}$ における光路図である。

【図22】実施例1の対物レンズの $\lambda_3 = 780\text{nm}$ における光路図である。

【図23】実施例1の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ に対する開口数0.85までの球面収差図である。

【図24】実施例1の対物レンズの $\lambda_2 = 650\text{nm}$ に対する開口数0.65までの球面収差図であ

10

20

30

40

50

る。

【図 2 5】実施例 1 の対物レンズの $\lambda 3 = 780\text{nm}$ に対する開口数 0.50 までの球面収差図である。

【図 2 6】実施例 1 の対物レンズの $\lambda 2 = 650\text{nm}$ に対する別の球面収差図である。

【図 2 7】実施例 1 の対物レンズの $\lambda 3 = 780\text{nm}$ に対する別の球面収差図である。

【図 2 8】実施例 2 の集光光学系の $\lambda 1 = 405\text{nm}$ における光路図である。

【図 2 9】実施例 2 の集光光学系の対物レンズの $\lambda 1 = 405\text{nm} \pm 10\text{nm}$ に対する開口数 0.85 までの球面収差図である。

【図 3 0】実施例 2 の集光光学系のコリメータと対物レンズとの合成系の $\lambda 1 = 405\text{nm} \pm 10\text{nm}$ に対する開口数 0.85 までの球面収差図である。

10

【図 3 1】実施例 2 の集光光学系の対物レンズの $\lambda 2 = 650\text{nm}$ における光路図である。

【図 3 2】実施例 2 の集光光学系の対物レンズの $\lambda 3 = 780\text{nm}$ における光路図である。

【図 3 3】実施例 2 の集光光学系の対物レンズの $\lambda 2 = 650\text{nm}$ に対する開口数 0.65 までの球面収差図である。

【図 3 4】実施例 2 の集光光学系の対物レンズの $\lambda 3 = 780\text{nm}$ に対する開口数 0.50 までの球面収差図である。

【図 3 5】実施例 3 の集光光学系の $\lambda 1 = 405\text{nm}$ における光路図である。

【図 3 6】実施例 3 の集光光学系の $\lambda 1 = 405\text{nm} \pm 10\text{nm}$ に対する開口数 0.85 までの球面収差図である。

【図 3 7】実施例 3 の集光光学系の $\lambda 2 = 650\text{nm}$ における光路図である。

20

【図 3 8】実施例 3 の集光光学系の $\lambda 3 = 780\text{nm}$ における光路図である。

【図 3 9】実施例 3 の集光光学系の $\lambda 2 = 650\text{nm}$ に対する開口数 0.65 までの球面収差図である。

【図 4 0】実施例 3 の集光光学系の $\lambda 3 = 780\text{nm}$ に対する開口数 0.50 までの球面収差図である。

【図 4 1】実施例 4 の集光光学系の $\lambda 1 = 405\text{nm}$ における光路図である。

【図 4 2】実施例 4 の集光光学系の $\lambda 1 = 405\text{nm} \pm 10\text{nm}$ に対する開口数 0.85 までの球面収差図である。

【図 4 3】実施例 4 の集光光学系の対物レンズの $\lambda 2 = 650\text{nm}$ における光路図である。

【図 4 4】実施例 4 の集光光学系の対物レンズの $\lambda 3 = 780\text{nm}$ における光路図である。

30

【図 4 5】実施例 4 の集光光学系の $\lambda 2 = 650\text{nm}$ に対する開口数 0.65 までの球面収差図である。

【図 4 6】実施例 4 の集光光学系の $\lambda 3 = 780\text{nm}$ に対する開口数 0.50 までの球面収差図である。

【図 4 7】実施例 5 の集光光学系の $\lambda 1 = 405\text{nm}$ における光路図である。

【図 4 8】実施例 5 の集光光学系の $\lambda 2 = 650\text{nm}$ における光路図である。

【図 4 9】実施例 5 の集光光学系の $\lambda 3 = 780\text{nm}$ における光路図である。

【図 5 0】実施例 5 の集光光学系の $\lambda 1 = 405\text{nm} \pm 10\text{nm}$ に対する開口数 0.85 までの球面収差図である。

【図 5 1】実施例 5 の集光光学系の $\lambda 2 = 650\text{nm}$ に対する開口数 0.65 までの球面収差図である。

40

【図 5 2】実施例 5 の集光光学系の $\lambda 3 = 780\text{nm}$ に対する開口数 0.50 までの球面収差図である。

【図 5 3】実施例 5 の集光光学系において $\lambda 1 = 405\text{nm}$ と NA1 0.85 との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda 2 = 650\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図である。

【図 5 4】実施例 6 の集光光学系の $\lambda 1 = 405\text{nm}$ における光路図である。

【図 5 5】実施例 6 の集光光学系の対物レンズの $\lambda 1 = 405\text{nm} \pm 10\text{nm}$ に対する開口数 0.85 までの球面収差図である。

【図 5 6】実施例 6 の集光光学系の $\lambda 2 = 650\text{nm}$ における光路図である。

【図 5 7】実施例 6 の集光光学系の $\lambda 3 = 780\text{nm}$ における光路図である。

50

【図 5 8】 実施例 6 の集光光学系の $\lambda 2 = 650\text{nm}$ に対する開口数 0.65 までの球面収差図である。

【図 5 9】 実施例 6 の集光光学系の $\lambda 3 = 780\text{nm}$ に対する開口数 0.50 までの球面収差図である。

【図 6 0】 製造波長 λB 、回折次数 1 で最適化されたブレイズ構造で発生する波長 405nm の光の 1 次回折光と、波長 650nm の光の 1 次回折光と、波長 780nm の光の 1 次回折光との回折効率の製造波長に対する依存性を表す図である。

【図 6 1】 $340\text{nm} \leq \lambda B \leq 450\text{nm}$ を満足する製造波長 λB と回折次数 2 で最適化されたブレイズ構造で発生する波長 405nm の光の 2 次回折光と、波長 650nm の光の 1 次回折光と、波長 780nm の光の 1 次回折光との回折効率の製造波長に対する依存性を表す図である。 10

【図 6 2】 $390\text{nm} \leq \lambda B \leq 440\text{nm}$ を満足する製造波長 λB と回折次数 6 で最適化されたブレイズ構造で発生する波長 405nm の光の 6 次回折光と、波長 650nm の光の 4 次回折光と、波長 780nm の光の 3 次回折光との回折効率の製造波長に対する依存性を表す図である。回折効率の製造波長に対する依存性を表す図である。

【図 6 3】 第 3 の実施の形態による第 8 の光ピックアップ装置を概略的に示す図である。

【図 6 4】 第 5 の実施の形態による第 9 の光ピックアップ装置を概略的に示す図である。

【図 6 5】 実施例 7 の対物レンズの $\lambda 1 = 405\text{nm}$ における光路図である。

【図 6 6】 実施例 7 の対物レンズの $\lambda 2 = 650\text{nm}$ における光路図である。

【図 6 7】 実施例 7 の対物レンズの $\lambda 3 = 780\text{nm}$ における光路図である。 20

【図 6 8】 実施例 7 の対物レンズの $\lambda 1 = 405\text{nm}$ に対する開口数 0.85 までの球面収差図である。

【図 6 9】 実施例 7 の対物レンズの $\lambda 1 = 405\text{nm}$ と $\text{NA}1\ 0.85$ との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda 2 = 650\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図である。

【図 7 0】 実施例 7 の対物レンズの $\lambda 1 = 405\text{nm}$ と $\text{NA}2\ 0.85$ との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda 3 = 780\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図である。

【図 7 1】 実施例 8 の対物レンズの $\lambda 1 = 405\text{nm}$ における光路図である。

【図 7 2】 実施例 8 の対物レンズの $\lambda 2 = 650\text{nm}$ における光路図である。

【図 7 3】 実施例 8 の対物レンズの $\lambda 3 = 780\text{nm}$ における光路図である。

【図 7 4】 実施例 8 の対物レンズの $\lambda 1 = 405\text{nm}$ に対する開口数 0.85 までの球面収差図である。 30

【図 7 5】 実施例 8 の対物レンズの $\lambda 1 = 405\text{nm}$ と $\text{NA}1\ 0.85$ との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda 2 = 650\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図である。

【図 7 6】 実施例 8 の対物レンズの $\lambda 1 = 405\text{nm}$ と $\text{NA}2\ 0.85$ との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda 3 = 780\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図である。

【図 7 7】 実施例 9 の対物レンズの $\lambda 1 = 405\text{nm}$ における光路図である。

【図 7 8】 実施例 9 の対物レンズの $\lambda 2 = 650\text{nm}$ における光路図である。

【図 7 9】 実施例 9 の対物レンズの $\lambda 3 = 780\text{nm}$ における光路図である。

【図 8 0】 実施例 9 の対物レンズの $\lambda 1 = 405\text{nm}$ に対する開口数 0.85 までの球面収差図である。 40

【図 8 1】 実施例 9 の対物レンズの $\lambda 1 = 405\text{nm}$ と $\text{NA}1\ 0.85$ との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda 2 = 650\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図である。

【図 8 2】 実施例 9 の対物レンズの $\lambda 1 = 405\text{nm}$ と $\text{NA}2\ 0.85$ との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda 3 = 780\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図である。

【図 8 3】 実施例 10 の対物レンズの $\lambda 1 = 405\text{nm}$ における光路図である。

【図 8 4】 実施例 10 の対物レンズの $\lambda 2 = 655\text{nm}$ における光路図である。

【図 8 5】 実施例 10 の対物レンズの $\lambda 3 = 785\text{nm}$ における光路図である。

【図 8 6】 実施例 10 の対物レンズの $\lambda 1 = 405\text{nm}$ に対する開口数 0.85 までの球面収差図である。

【図 8 7】 実施例 10 の対物レンズの $\lambda 1 = 405\text{nm}$ と $\text{NA}1\ 0.85$ との組み合わせで決定される 50

絞り径と等しい光束径の $\lambda_2=655\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図である。

【図 8 8】実施例 10 の対物レンズの $\lambda_3=785\text{nm}$ に対する開口数0.45までの球面収差図である。

【図 8 9】図 1 7 に示す対物レンズに形成した輪帯状フィルタの反射率と波長依存性を表す図である。

【図 9 0】ブレードの理想形状を近似的に求めた場合の光軸方向の段差量 Δd を説明するための図である。

【図 9 1】第 6 の実施の形態における対物レンズ O B J 1 を示す概略図であり、(A) は正面図、(B) は側面図、(C) は側面を一部拡大した図である。

【図 9 2】図 9 1 の対物レンズ O B J 1 を使用した第 6 の実施の形態による光ピックアップ装置 P U 1 を示す概略図である。 10

【図 9 3】第 7 の実施の形態における対物レンズ O B J 2 を示す概略図であり、(A) は正面図、(B) は側面図、(C) は側面を一部拡大した図である。

【図 9 4】図 9 3 の対物レンズ O B J 2 を使用した第 7 の実施の形態による光ピックアップ装置 P U 2 を示す概略図である。

【図 9 5】実施例 1 1 における波長がそれぞれ 4 0 5 n m (A)、6 5 0 n m (B)、7 8 0 n m (C) の場合の球面収差図 (色収差図) である。

【図 9 6】実施例 1 2 における波長がそれぞれ 4 0 5 n m (A)、6 5 0 n m (B)、7 8 0 n m (C) の場合の球面収差図 (色収差図) である。

【図 9 7】実施例 1 3 における波長がそれぞれ 4 0 5 n m (A)、6 5 0 n m (B)、7 8 0 n m (C) の場合の球面収差図 (色収差図) である。 20

【図 9 8】実施例 1 4 における波長がそれぞれ 4 0 5 n m (A)、6 5 0 n m (B)、7 8 0 n m (C) の場合の球面収差図 (色収差図) である。

【図 9 9】実施例 1 5 における波長がそれぞれ 4 0 8 n m (A)、6 5 8 n m (B)、7 8 5 n m (C) の場合の球面収差図 (色収差図) である。

【符号の説明】

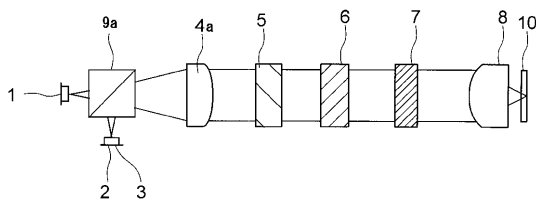
【0 6 7 6】

1	第 1 光源	
2	第 2 光源	
3	第 3 光源	30
5	色収差補正手段	
6	基板厚誤差補正手段	
7	基板厚差補正手段	
8	対物レンズ	
1 1	第 1 の半導体レーザ	
1 2	第 2 の半導体レーザ	
1 3	第 3 の半導体レーザ	
1 4	対物レンズ	
1 5, 1 7	偏光ビームスプリッタ	
1 6	コリメータ	40
1 8	色収差補正用素子、多層回折素子	
1 9	第 1 の半導体レーザ 1 1 と第 2 の半導体レーザ 1 2 の筐体	
2 0	多層回折素子とコリメータとを一体化した素子	
2 1	1 軸アクチュエータ	
2 2	2 軸アクチュエータ	
2 3	屈折率分布可変素子	
2 5 a、2 5 b	一对の透明電極	
2 6	液晶層	
2 7	駆動電源	
2 9、3 5	コリメータ	50

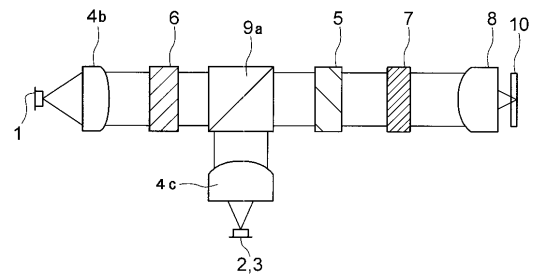
- 3 1 正レンズ
- 3 2 負レンズ
- 3 3 ビームエキスパンダ
- 3 4 対物レンズ
- 4 1 N A 3 内に対応する共通領域
- 4 2 N A 3 から N A 2 に対応する第 1 の周辺領域
- 4 3 N A 2 から N A 1 に対応する第 2 の周辺領域
- 9 1 第 1 の光ディスクの情報記録面
- 9 2 第 2 の光ディスクの情報記録面
- 9 3 第 3 の光ディスクの情報記録面

10

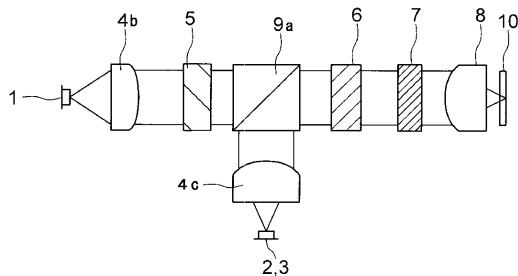
【図 1】



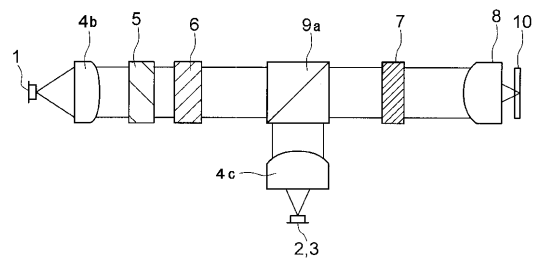
【図 3】



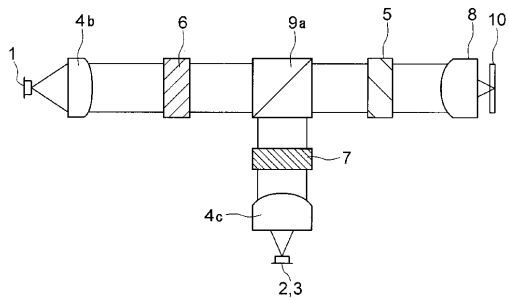
【図 2】



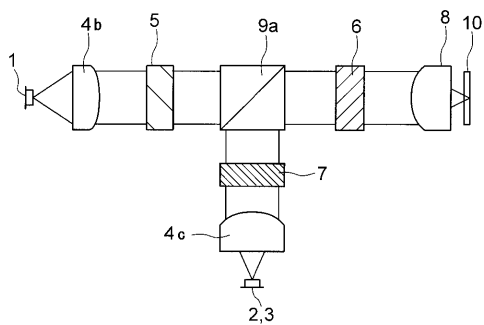
【図 4】



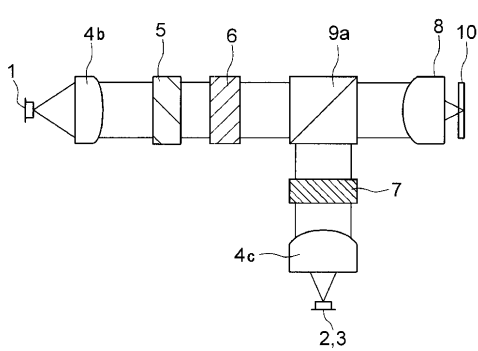
【図 5】



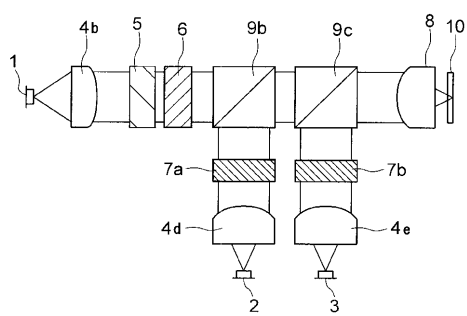
【図 6】



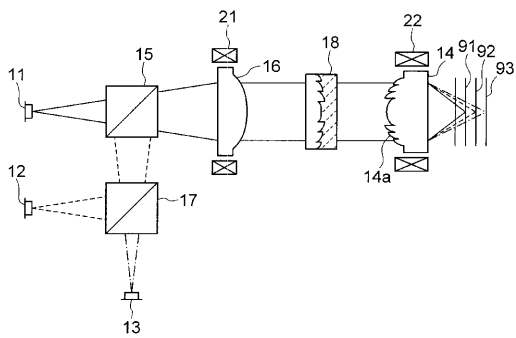
【図 7】



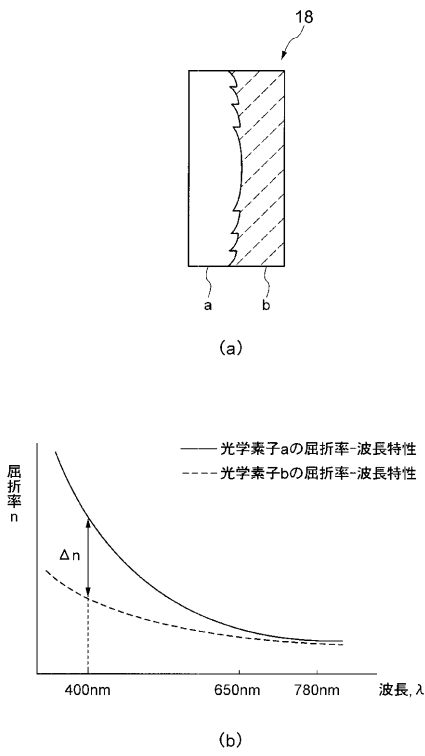
【図 8】



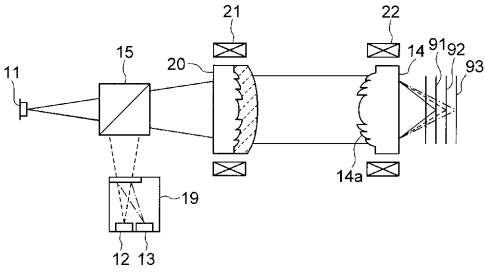
【図 9】



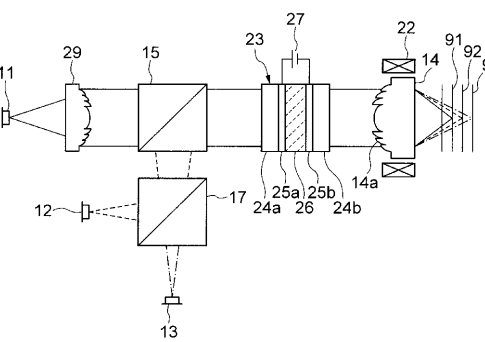
【図 10】



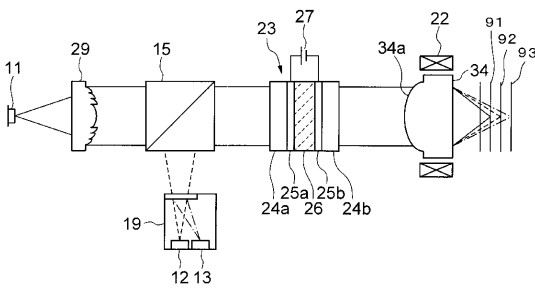
【図 1 1】



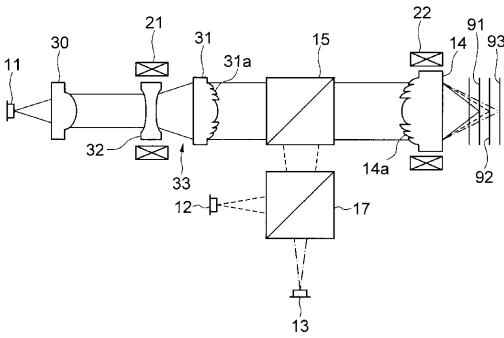
【図 1 2】



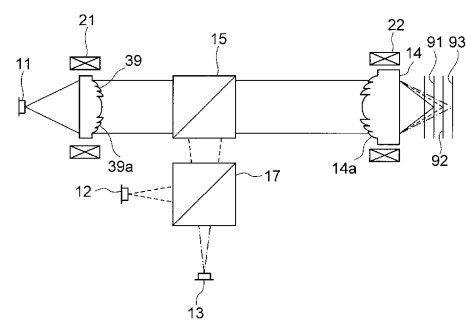
【図 1 3】



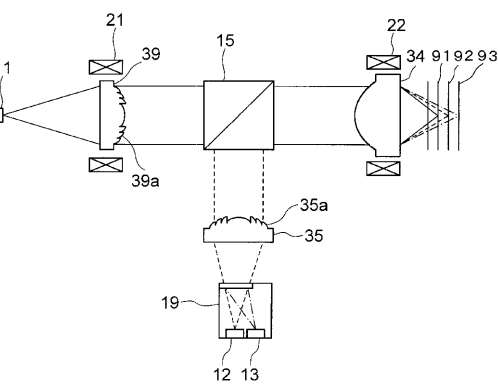
【図 1 4】



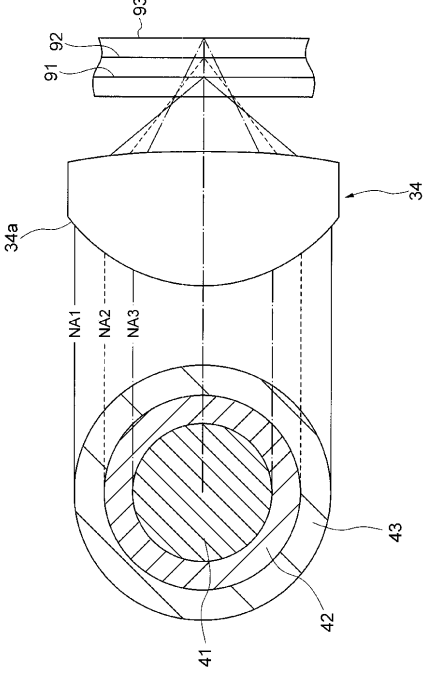
【図 1 5】



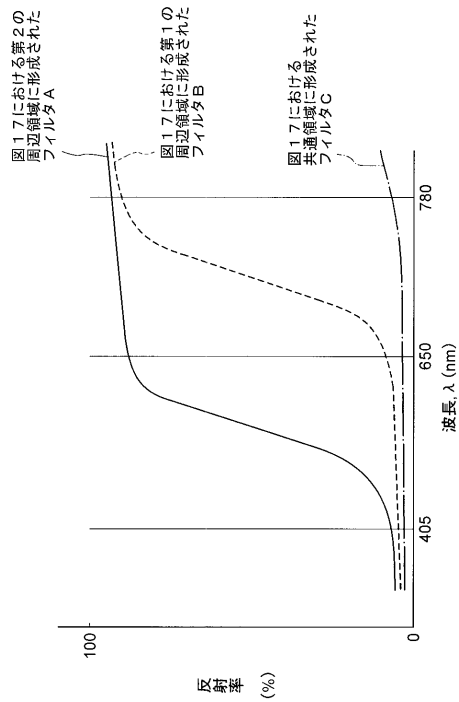
【図 1 6】



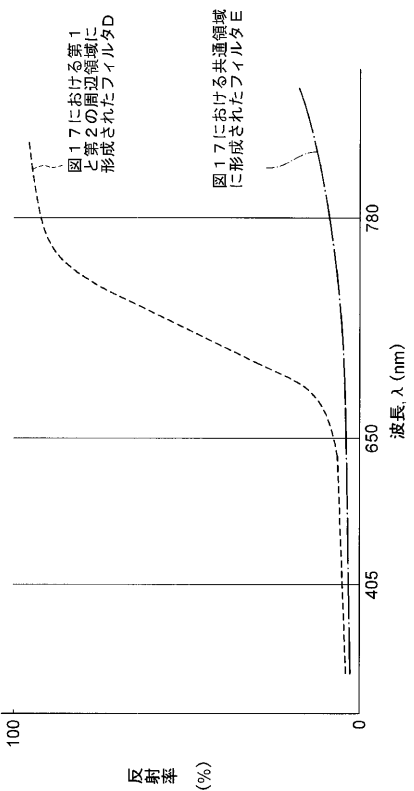
【図 1 7】



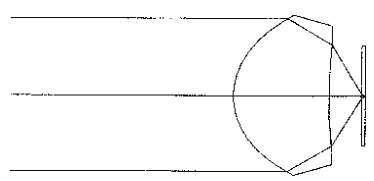
【図 1 8】



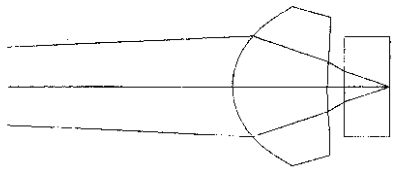
【図 1 9】



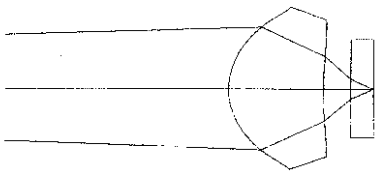
【図 2 0】



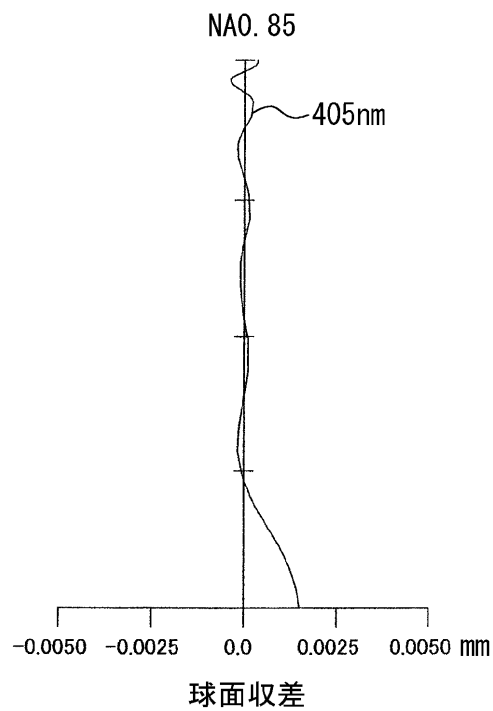
【図 2 2】



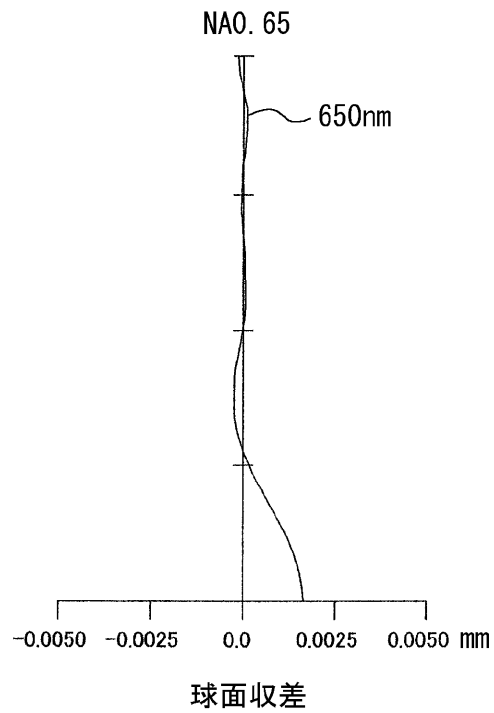
【図 2 1】



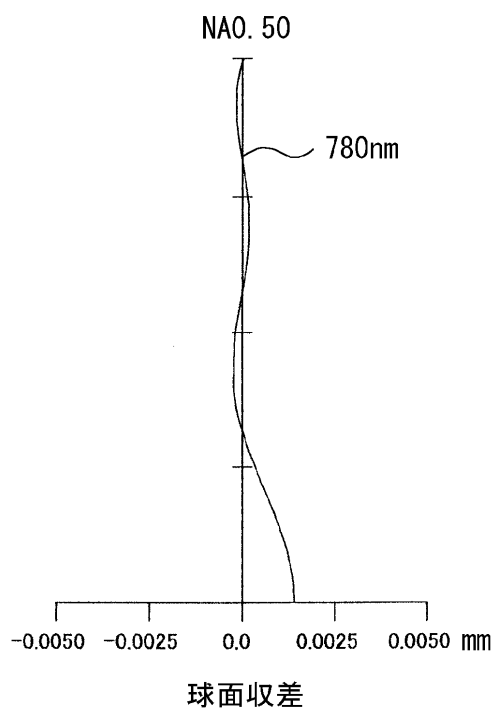
【図 2 3】



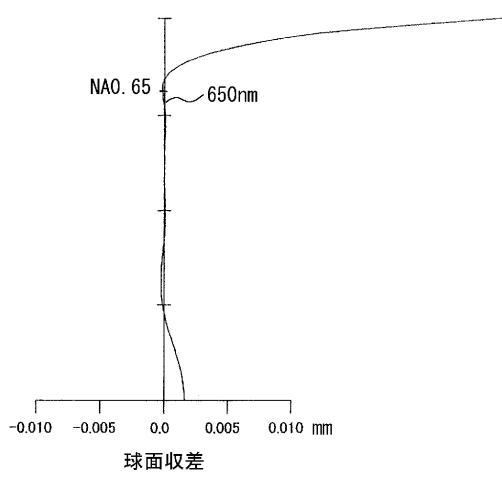
【図 2 4】



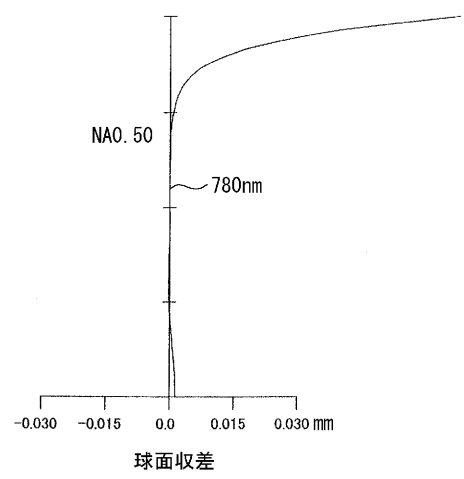
【図 2 5】



【図 2 6】



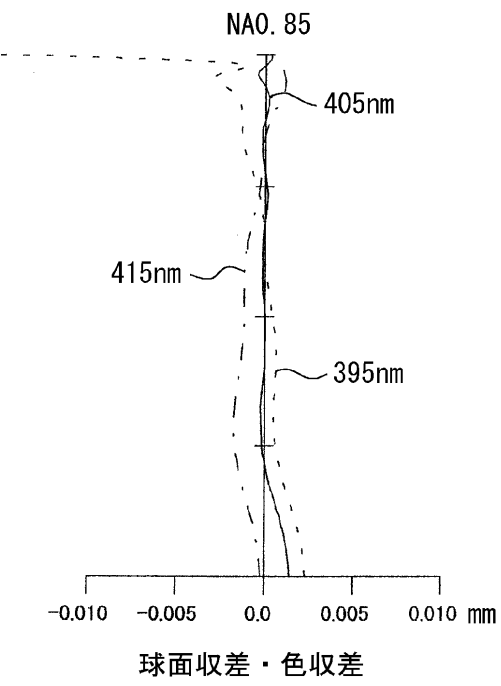
【図 2 7】



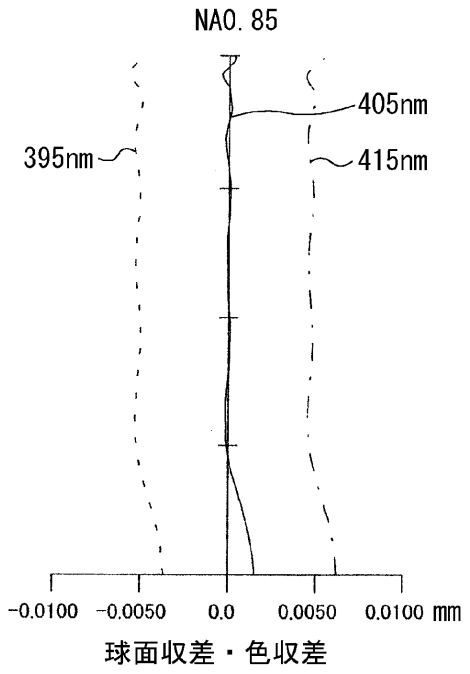
【図 2 8】



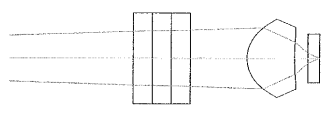
【図 3 0】



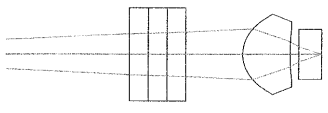
【図 2 9】



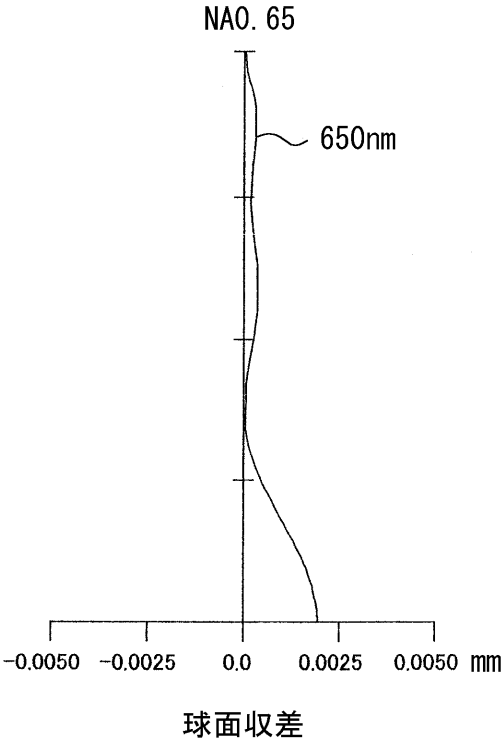
【図 3 1】



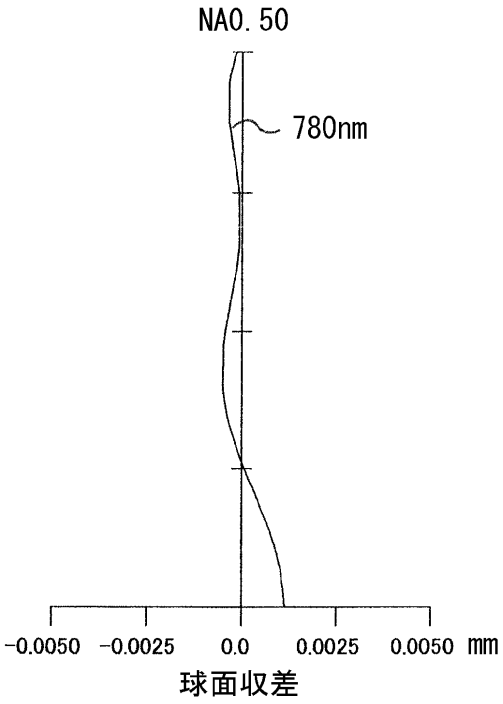
【図 3 2】



【図 3 3】



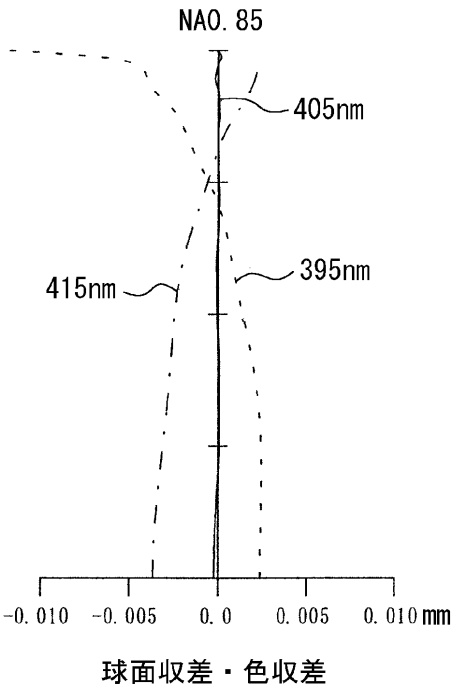
【図 3 4】



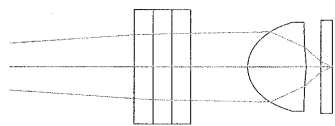
【図 3 5】



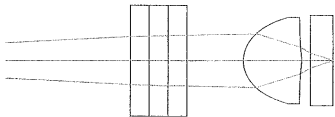
【図 3 6】



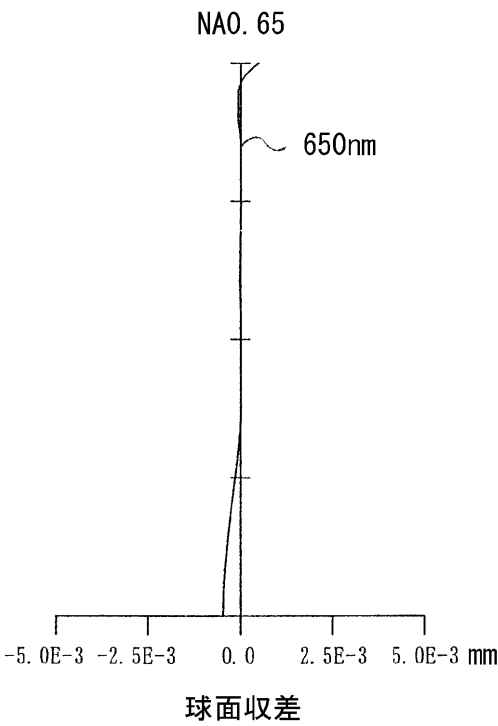
【図 3 7】



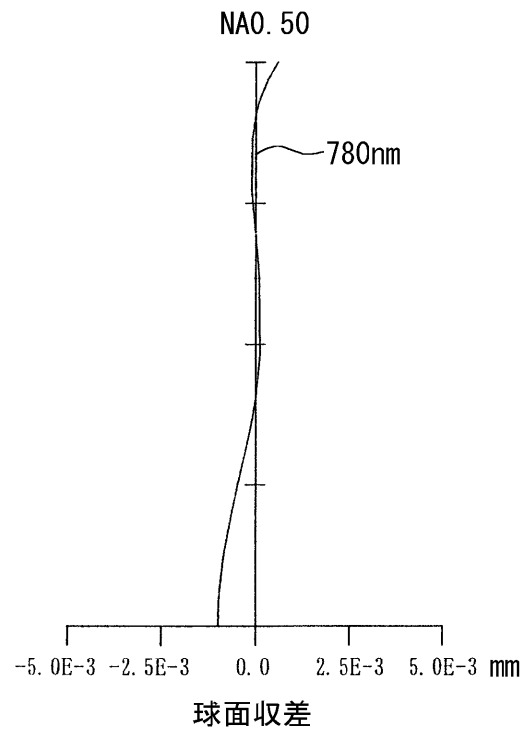
【図 3 8】



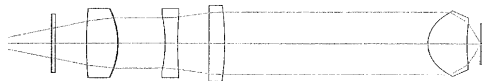
【図 3 9】



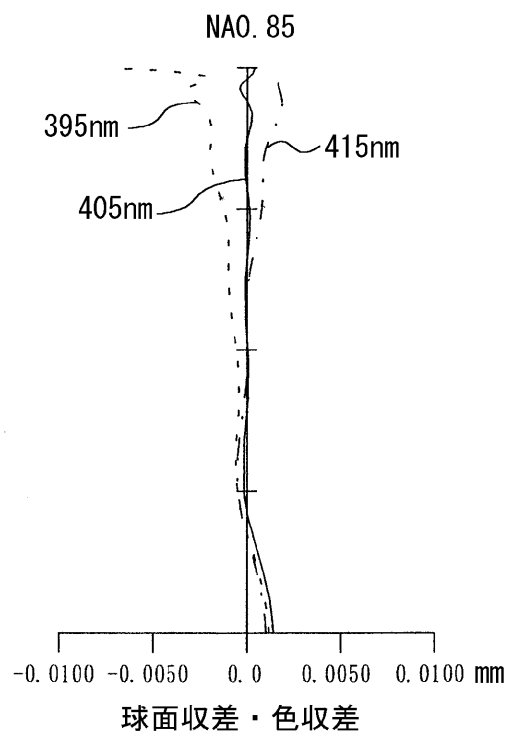
【図 4 0】



【図 4 1】



【図 4 2】



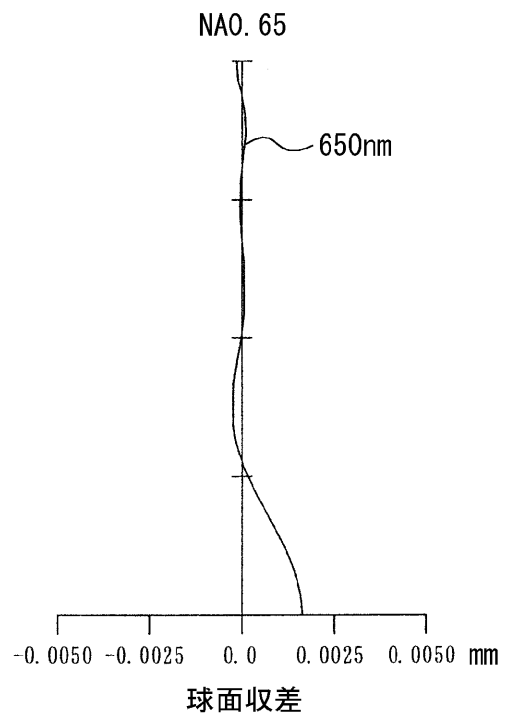
【図 4 3】



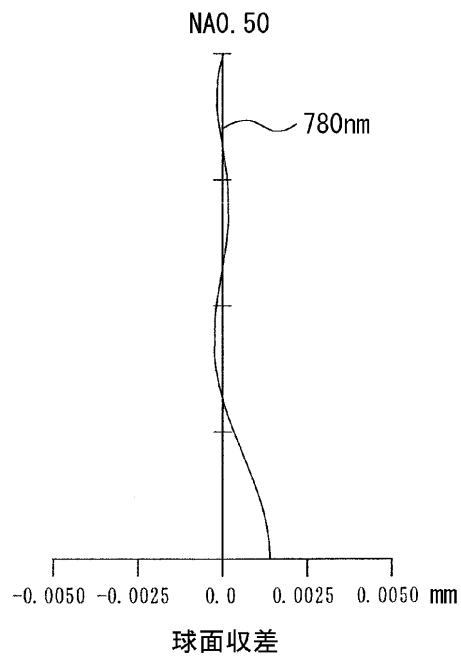
【図 4 4】



【図 4 5】



【図 4 6】



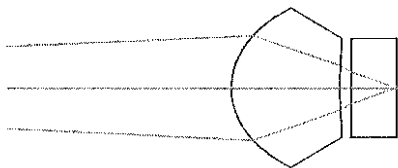
【図 4 7】



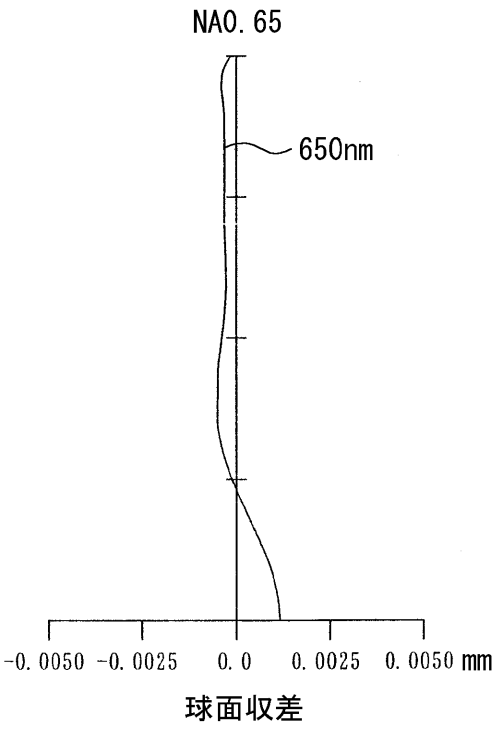
【図 4 8】



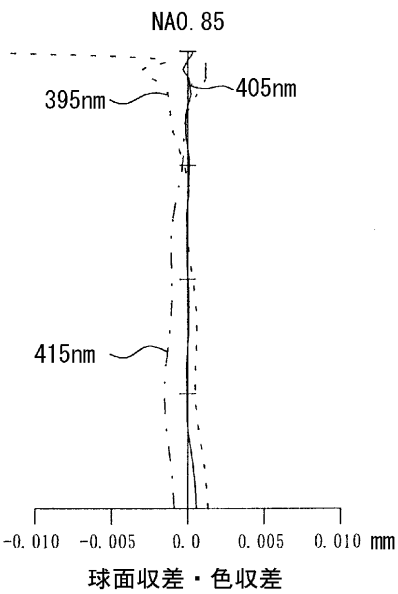
【図 4 9】



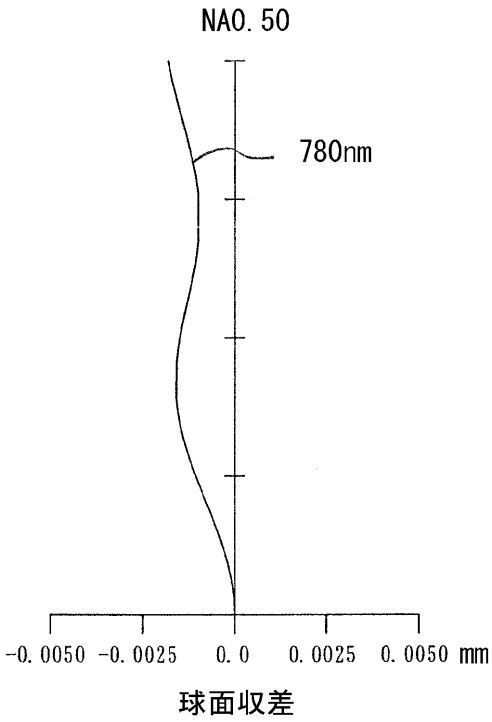
【図 5 1】



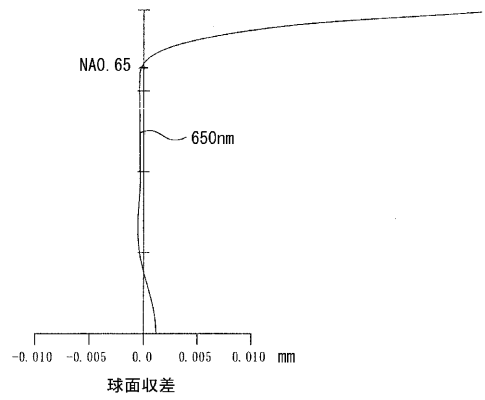
【図 5 0】



【図 5 2】



【図 5 3】



【図 5 4】



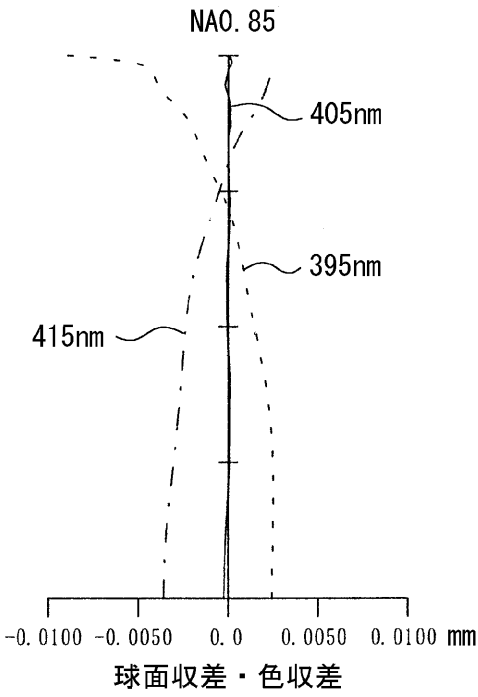
【図 5 6】



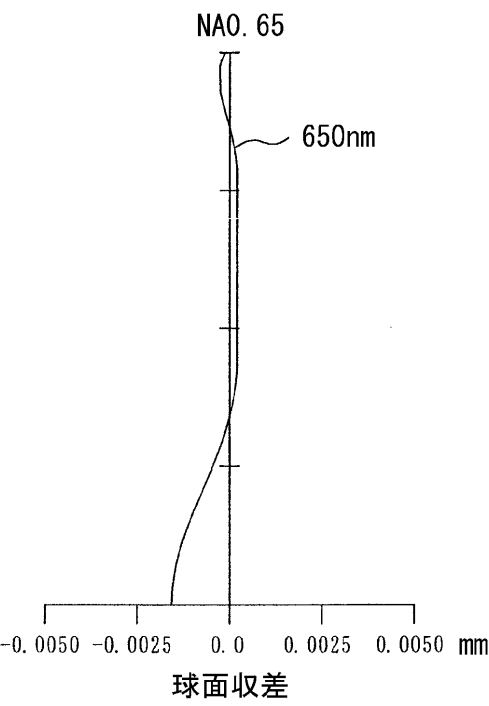
【図 5 7】



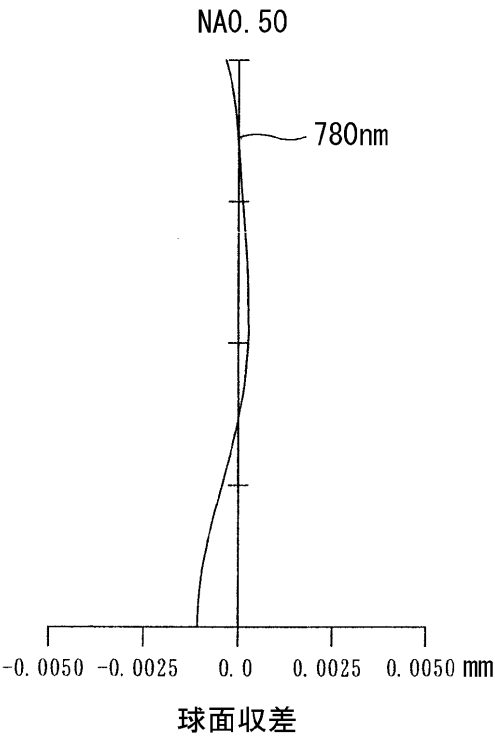
【図 5 5】



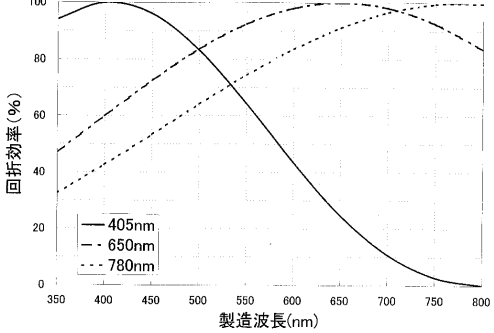
【図 5 8】



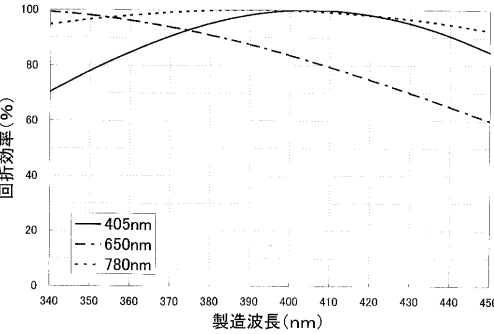
【図 5 9】



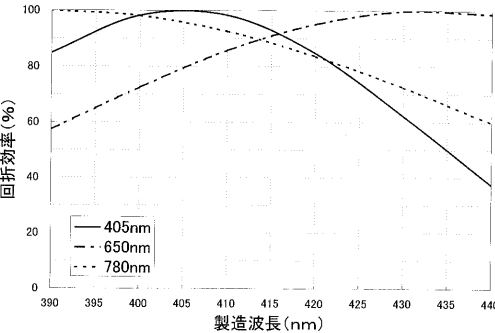
【図 6 0】



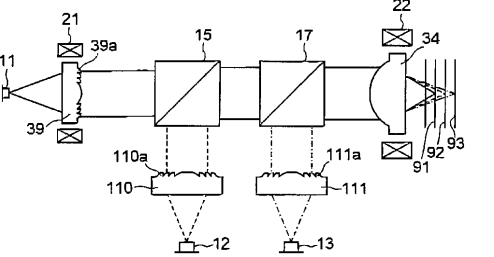
【図 6 1】



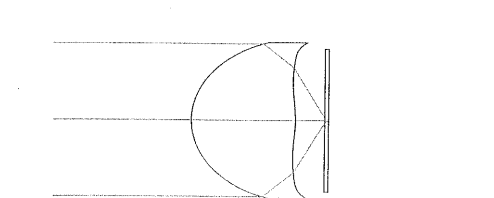
【図 6 2】



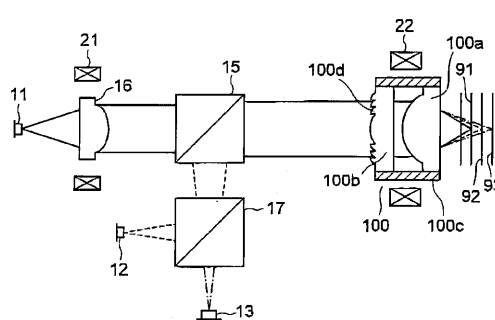
【図 6 4】



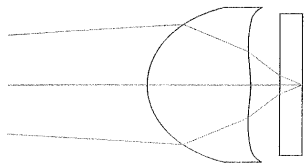
【図 6 5】



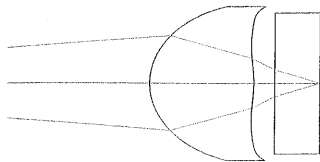
【図 6 3】



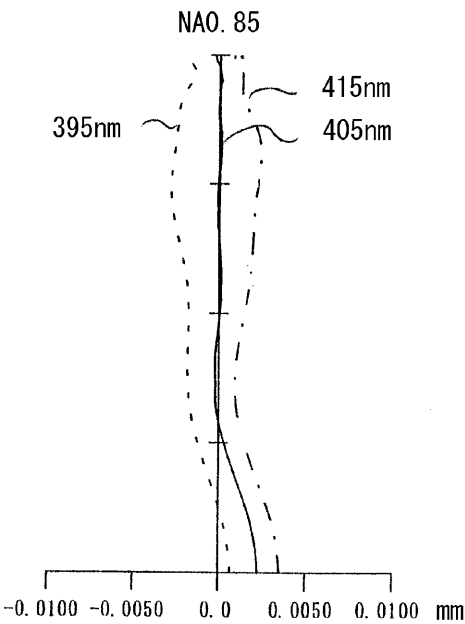
【図 6 6】



【図 6 7】

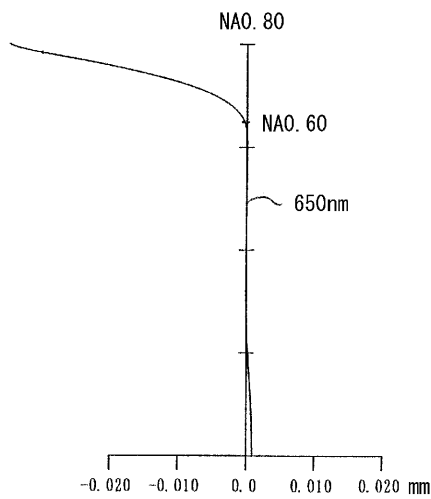


【図 6 8】



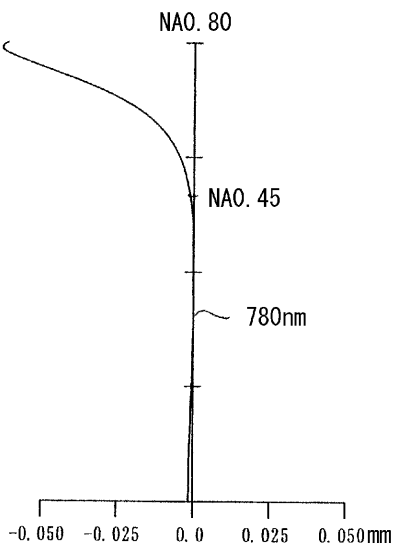
球面収差、色収差

【図 6 9】



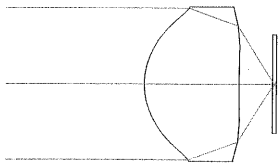
球面収差

【図 7 0】

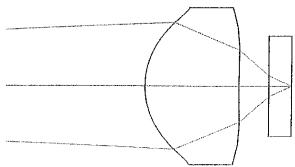


球面収差

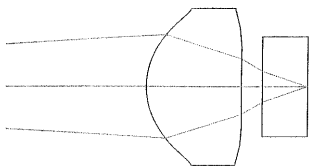
【図 7 1】



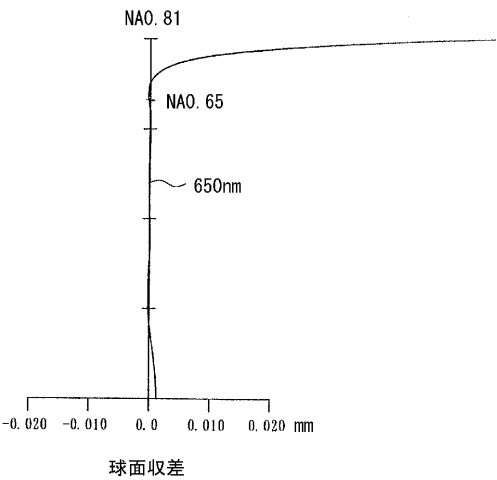
【図 7 2】



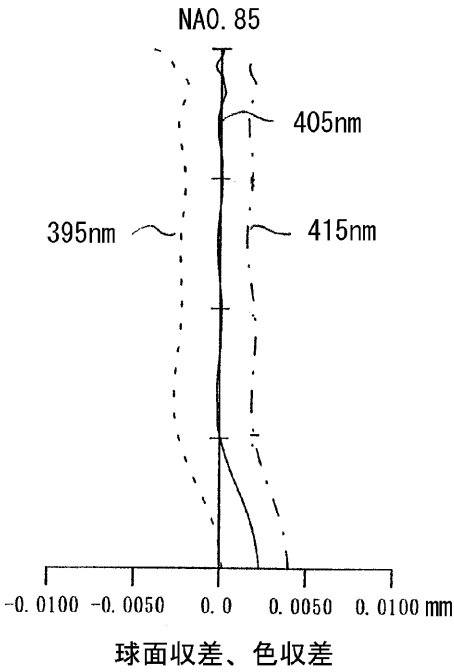
【図 7 3】



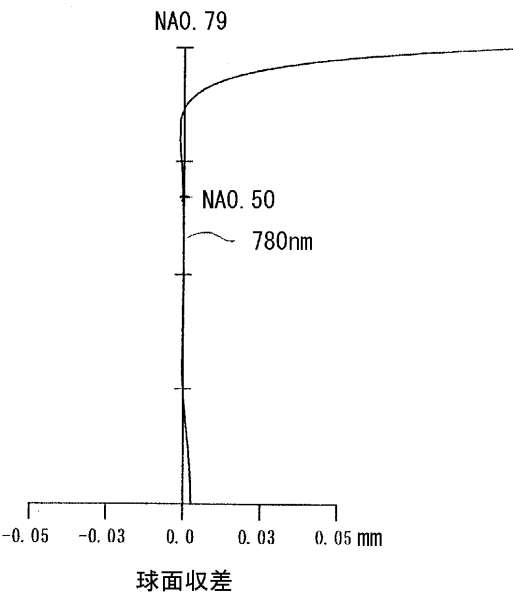
【図 7 5】



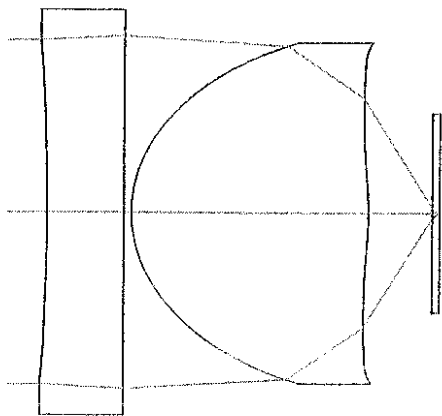
【図 7 4】



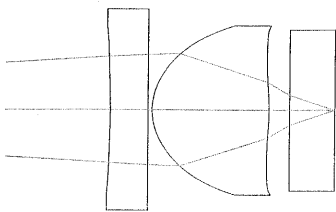
【図 7 6】



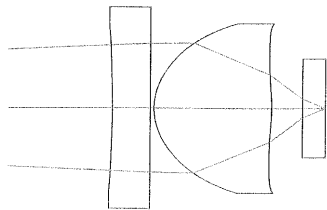
【図 7 7】



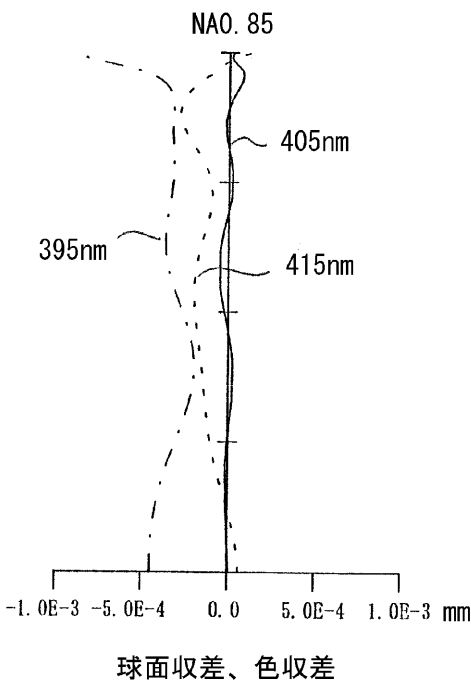
【図 7 9】



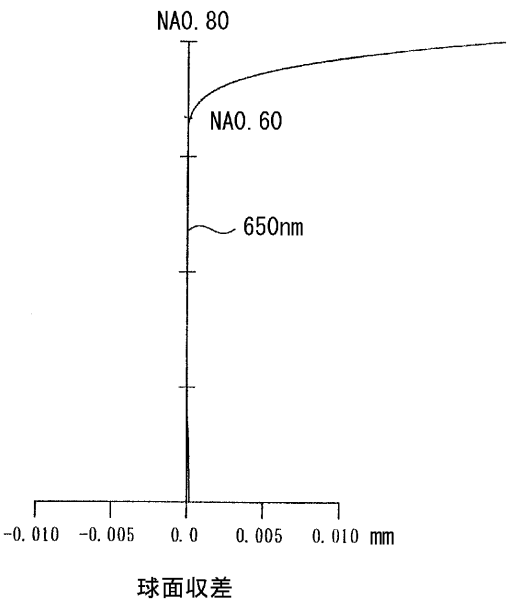
【図 7 8】



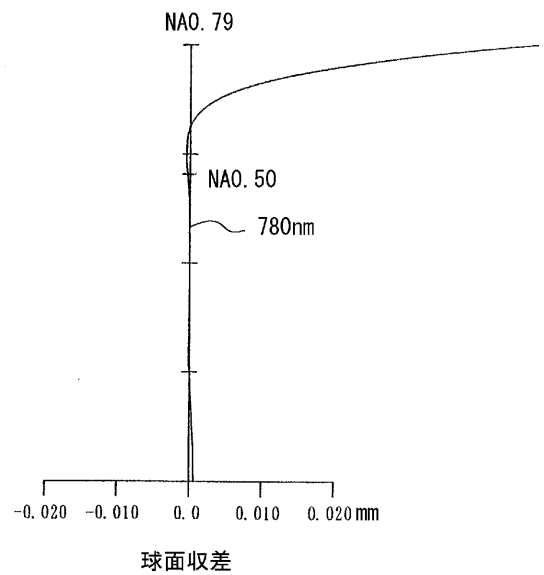
【図 8 0】



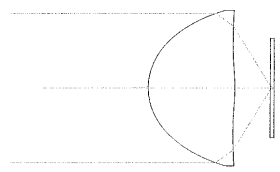
【図 8 1】



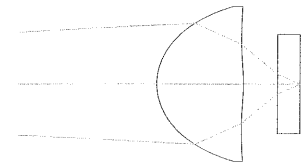
【図 8 2】



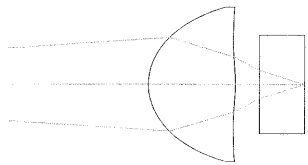
【図 8 3】



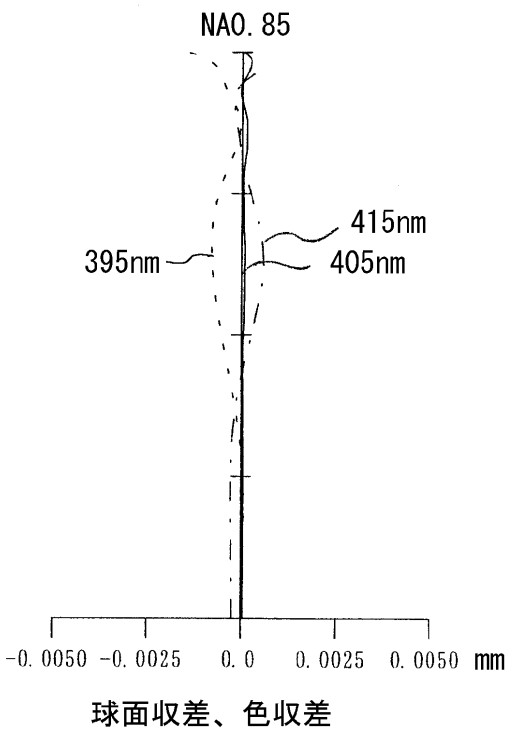
【図 8 4】



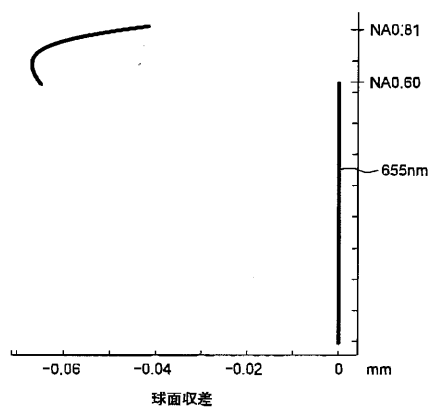
【図 8 5】



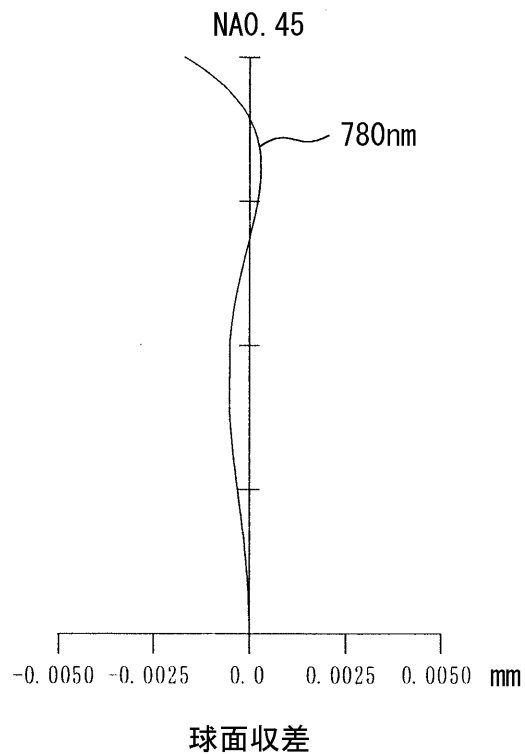
【図 8 6】



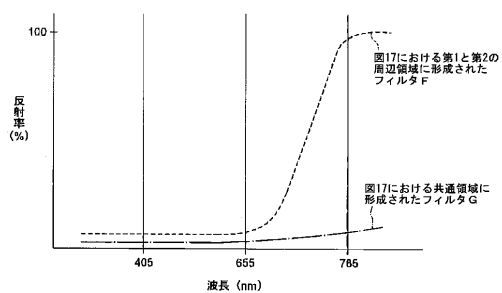
【図 8 7】



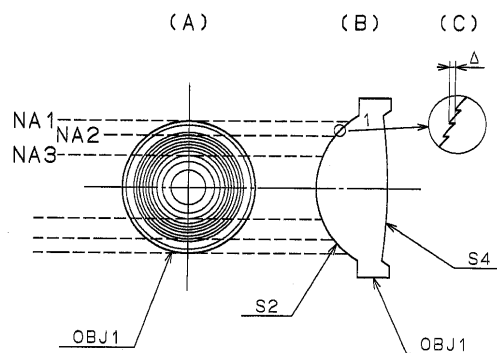
【図 8 8】



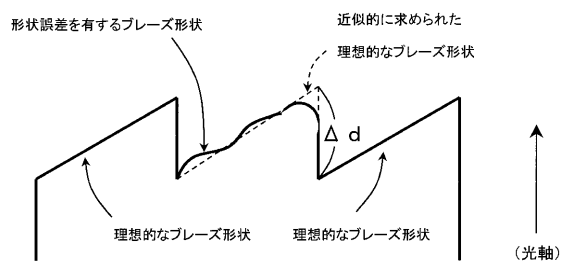
【図 8 9】



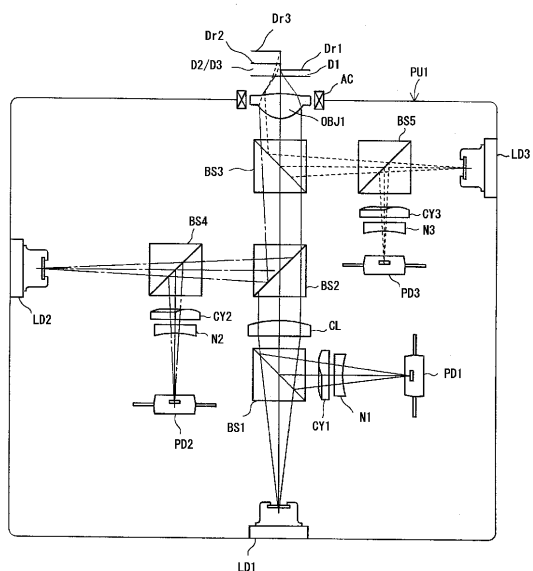
【図 9 1】



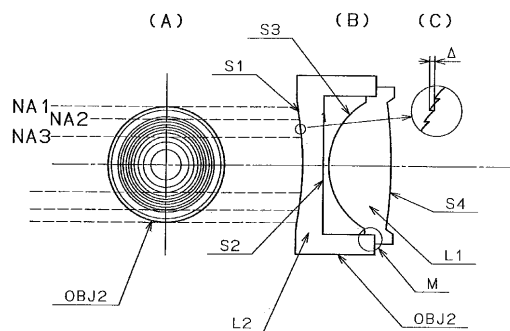
【図 9 0】



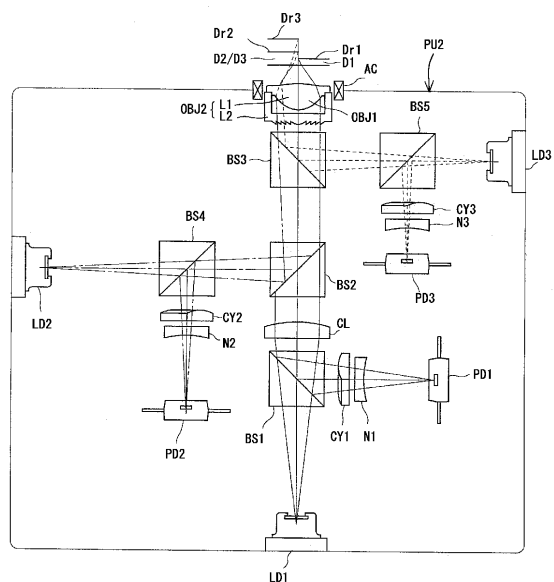
【图 9 2】



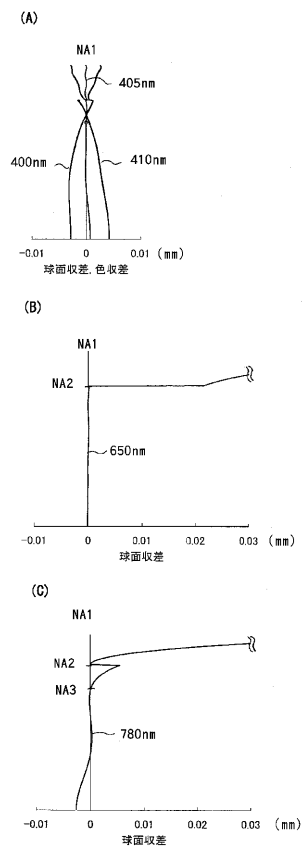
【图 9 3】



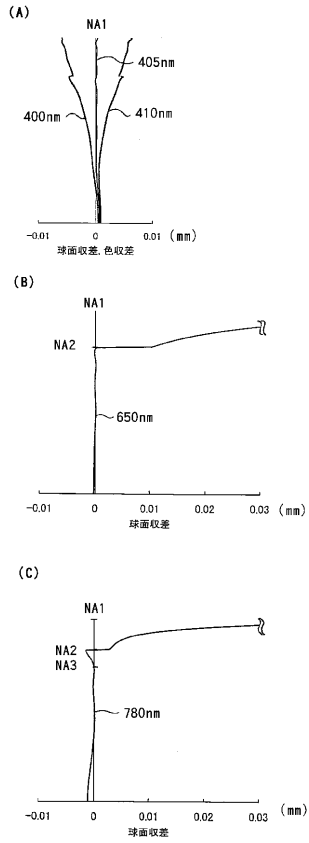
【图 9 4】



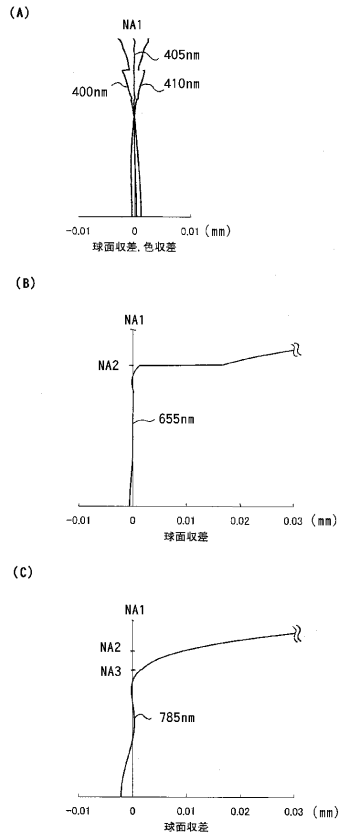
【図 9 5】



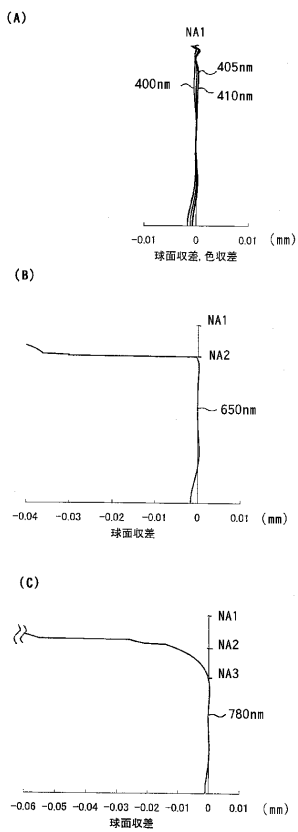
【図 9 6】



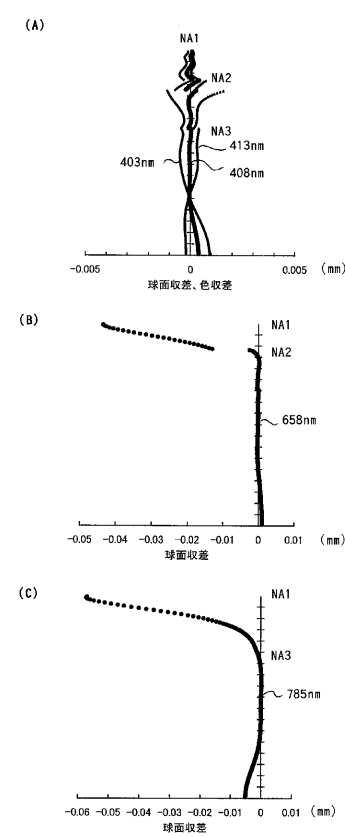
【図 9 7】



【図 9 8】



【図 9 9】



【手続補正書】

【提出日】平成19年8月24日(2007.8.24)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

波長 λ_1 の第1光源からの第1光束を用いて厚さ t_1 の第1保護基板を有する第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$)の第2光源からの第2光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$)の第2保護基板を有する第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$)の第3光源からの第3光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$)の第3保護基板を有する第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、かつ、前記第1光情報記録媒体乃至前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録について、共通の対物レンズを用いる光ピックアップ装置用の対物レンズであって、

前記対物レンズは単レンズであって、

前記対物レンズの入射瞳面を、光軸近傍から外側に向かって順に、第1光束領域、第2光束領域、第3光束領域、の輪帯状の3つの光束領域に分割したとき、

前記第1光束領域に入射した前記第1乃至第3光束は、それぞれ前記第1乃至第3光情報記録媒体の各情報記録面上に良好な波面を形成するように集光し、

かつ、前記第2光束領域に入射した前記第1及び第2光束は、それぞれ前記第1及び第2光情報記録媒体の各情報記録面上に良好な波面を形成するように集光するが、前記第2光束領域に入射した前記第3光束は、前記第3光情報記録媒体の情報記録面上に良好な波面を形成せず、

かつ、前記第3光束領域に入射した前記第1光束は、前記第1光情報記録媒体の情報記録面上に良好な波面を形成するように集光するが、前記第3光束領域に入射した前記第2及び第3光束は、それぞれ前記第2及び第3光情報記録媒体の各情報記録面上に良好な波面を形成せず、

次式を満たすことを特徴とする対物レンズ。

$$0.7 < d / f_1 < 1.5$$

$$2.8 < \Phi_1 < 5.8$$

$$f_{B3} > 0.2$$

但し、 f_1 (mm)は、前記波長 λ_1 における前記対物レンズの焦点距離を表し、 d (mm)は、前記対物レンズの中心厚さを表し、 Φ_1 (mm)は、前記対物レンズに入射する前記波長 λ_1 の前記第1光束の径を表し、 f_{B3} (mm)は、前記第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の作動距離を表す。

【請求項2】

前記第1光束を用いて、前記第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う際の前記対物レンズの所定の像側開口数を NA_1 、

前記第2光束を用いて、前記第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う際の前記対物レンズの所定の像側開口数を NA_2 ($NA_2 < NA_1$)、

前記第3光束を用いて、前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う際の前記対物レンズの所定の像側開口数を NA_3 ($NA_3 < NA_2$)、とするとき、

次式を満たすことを特徴とする請求項1に記載の対物レンズ。

$$NA_2 = N_2 \cdot \sin \theta_2$$

$$NA_3 = N_3 \cdot \sin \theta_3$$

ただし、

$\sin \theta_2$ ：前記第2光束領域の最周辺を通過した前記第2光束のマージナル光線の、前

記対物レンズ最終面からの、光軸を基準として測った出射角 θ_2 (deg) の絶対値の正弦

SIN θ_3 : 前記第 1 光束領域の最周辺を通過した前記第 3 光束のマージナル光線の、前記対物レンズ最終面からの、光軸を基準として測った出射角 θ_3 (deg) の絶対値の正弦

N2 : 前記対物レンズの像側空間の前記波長 λ_2 における屈折率

N3 : 前記対物レンズの像側空間の前記波長 λ_3 における屈折率

【請求項 3】

前記第 1 乃至第 3 光束領域のうち、少なくとも 1 つの光束領域には、同心円状の複数の輪帯からなる回折構造が形成されたことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の対物レンズ。

【請求項 4】

前記第 i 光束領域に形成された前記回折構造に、前記第 1 光束が入射した場合に発生する前記第 1 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_{i1} 、

前記第 i 光束領域に形成された前記回折構造に、前記第 2 光束が入射した場合に発生する前記第 2 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_{i2} 、としたとき、次式を満たすことを特徴とする請求項 3 に記載の対物レンズ。

$$|n_{i1}| > |n_{i2}| \quad (\text{ただし、} i \text{ は、} 1 \text{ または } 2 \text{ または } 3)$$

【請求項 5】

前記第 i 光束領域に形成された前記回折構造に、前記第 1 光束が入射した場合に発生する前記第 1 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_{i1} 、

前記第 i 光束領域に形成された前記回折構造に、前記第 3 光束が入射した場合に発生する前記第 3 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_{i3} 、としたとき、次式を満たすことを特徴とする請求項 4 に記載の対物レンズ。

$$|n_{i1}| > |n_{i3}| \quad (\text{ただし、} i \text{ は、} 1 \text{ または } 2 \text{ または } 3)$$

【請求項 6】

前記第 2 及び第 3 光束領域には、それぞれ同心円状の複数の輪帯からなる回折構造が形成され、

前記第 2 光束領域に形成された前記回折構造に、前記第 1 光束が入射した場合に発生する前記第 1 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_{21} 、

前記第 3 光束領域に形成された前記回折構造に、前記第 1 光束が入射した場合に発生する前記第 1 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を n_{31} 、としたとき、次式を満たすことを特徴とする請求項 3 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

$$|n_{31}| \neq |n_{21}|$$

【請求項 7】

前記第 2 光束領域に形成された前記回折構造は、前記回折次数 n_{21} と波長 λ_{B2} で最適化され、かつ、前記第 3 光束領域に形成された前記回折構造は、前記回折次数 n_{31} と波長 λ_{B3} で最適化され、次式を満たすことを特徴とする請求項 6 に記載の対物レンズ。

$$\lambda_{B2} \neq \lambda_{B3}$$

【請求項 8】

次式を満たすことを特徴とする請求項 3 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

$$340 \text{ nm} < \lambda_B < 440 \text{ nm}$$

但し、 λ_B は、前記対物レンズの前記回折構造のブレイズ化波長を表す。

【請求項 9】

次式を満たすことを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の対物レンズ。

$$380 \text{ nm} < \lambda_1 < 420 \text{ nm}$$

$$630 \text{ nm} < \lambda_2 < 670 \text{ nm}$$

$$760 \text{ nm} < \lambda_3 < 800 \text{ nm}$$

【請求項 10】

波長 λ_1 の第1光源からの第1光束を用いて厚さ t_1 の第1保護基板を有する第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$)の第2光源からの第2光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$)の第2保護基板を有する第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$)の第3光源からの第3光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$)の第3保護基板を有する第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、かつ、前記第1光情報記録媒体乃至前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録について、共通の対物レンズを用いる光ピックアップ装置用の対物レンズであって、

前記対物レンズは単レンズであって、

前記対物レンズの入射瞳面を、光軸近傍から外側に向かって順に、第1光束領域、第2光束領域、第3光束領域、の輪带状の3つの光束領域に分割したとき、

前記第1光束領域に入射した前記第1乃至第3光束は、それぞれ前記第1乃至第3光情報記録媒体の各情報記録面上に良好な波面を形成するように集光し、

かつ、前記第2光束領域に入射した前記第1及び第2光束は、それぞれ前記第1及び第2光情報記録媒体の各情報記録面上に良好な波面を形成するように集光するが、前記第2光束領域に入射した前記第3光束は、前記第3光情報記録媒体の情報記録面上に良好な波面を形成せず、

かつ、前記第3光束領域に入射した前記第1光束は、前記第1光情報記録媒体の情報記録面上に良好な波面を形成するように集光するが、前記第3光束領域に入射した前記第2及び第3光束は、それぞれ前記第2及び第3光情報記録媒体の各情報記録面上に良好な波面を形成せず、

次式を満たすことを特徴とする対物レンズ。

$$0.7 < d/f_1 < 1.5$$

$$2.8 < \Phi_1 < 5.8$$

但し、 f_1 (mm)は、前記波長 λ_1 における前記対物レンズの焦点距離を表し、 d (mm)は、前記対物レンズの中心厚さを表し、 Φ_1 (mm)は、前記対物レンズに入射する前記波長 λ_1 の前記第1光束の径を表す。

【請求項11】

波長 λ_1 の第1光源からの第1光束を用いて厚さ t_1 の第1保護基板を有する第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$)の第2光源からの第2光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$)の第2保護基板を有する第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$)の第3光源からの第3光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$)の第3保護基板を有する第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、かつ、前記第1光情報記録媒体乃至前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録について、共通の対物レンズを用いる光ピックアップ装置であって、請求項1乃至10のいずれか1項に記載の対物レンズを備えたことを特徴とする光ピックアップ装置。

【請求項12】

次式を満たすことを特徴とする請求項11に記載の光ピックアップ装置。

$$m_3 < 0$$

但し、 m_3 は、前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の結像倍率を表す。

【請求項13】

次式を満たすことを特徴とする請求項12に記載の光ピックアップ装置。

$$-0.25 < m_3 < -0.05$$

【請求項14】

次式を満たすことを特徴とする請求項11乃至13のいずれか1項に記載の光ピックアップ装置。

$$m_2 < 0$$

但し、 m_2 は、前記第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場

合の結像倍率を表す。

【請求項 15】

次式を満たすことを特徴とする請求項 14 に記載の光ピックアップ装置。

$$-0.20 < m2 < -0.02$$

【請求項 16】

請求項 11 乃至 15 のいずれか 1 項に記載の光ピックアップ装置を搭載したことを特徴とする、音声及び／または画像の記録装置、及び／または、音声及び／または画像の再生装置。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、規格（記録密度）の異なる 3 種類の光情報記録媒体について情報の記録及び再生の少なくとも一方を行うことのできる光ピックアップ装置、この光ピックアップ装置に用いることのできる対物レンズ、及びこの光ピックアップ装置を用いた記録・再生装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、光ディスクは、CD（コンパクトディスク）またはDVD（デジタルバーサタイルディスク）で知られているように、音楽情報、映像情報の蓄積またはコンピューターデータの保存といった、デジタルデータの保存に広く使われている。そのような中で、近年、情報化社会の到来とともに、これらの光ディスクの大容量化が強く求められている。

【0003】

光ディスクにおいて、単位面積あたりの記録容量（記録密度）を向上するためには、光ピックアップ光学系から得られるスポット径を小さくすることで実現できる。このスポットの最小径は、周知のように、 λ/NA （ただし、 λ は光源の波長、 NA は光学系の開口数）に比例するので、スポット径を小さくするためには、光ピックアップ装置で使用される光源の短波長化、及び光学系において光情報記録媒体に対向して配置される対物レンズの高開口数化が有効である。

【0004】

このうち、光源の短波長化に関しては、波長 400 nm 程度の光を発生する青紫色半導体レーザや SHG 青紫色レーザの研究が進展を見せており実用化が近いといえる。この短波長光源を使用すると、DVD と同じ $NA0.65$ の対物レンズを使用した場合でも、DVD と同じ直径 12 cm の光ディスクに対して、15 GB 程度の情報の記録が可能となる。

【0005】

また、対物レンズの高開口数化に関しては、2 つのレンズを組み合わせることで、 $NA0.85$ の高開口数化を実現する対物レンズの研究が進んでいる。上述の短波長光源と $NA0.85$ の高開口数対物レンズを組み合わせることで、直径 12 cm の光ディスクに対して、25 GB 程度の情報の記録が可能となり、より一層の高密度化が達成できる。

【0006】

このような背景のもと、DVD をより高密度化した光ディスク（以下、本明細書では、「高密度 DVD」、と呼ぶ。）を記録／再生するための光ピックアップシステムの研究開発が進んでいるが、この光ピックアップシステムにおいては、高密度 DVD 及び DVD 及び CD といった規格（記録密度）の異なる 3 種類の光ディスクをコンパチブルに記録／再

生することが求められる。

【0007】

コンパチビリティを達成する手段として、それぞれの光ディスクの規格に対応した対物レンズを機械的に切り替えたり、それぞれの光ディスクの規格に対応した光ピックアップ装置を搭載することが考えられるが、この場合、対物レンズの切替機構や複数の光ピックアップ装置が必要となるので、光ピックアップシステムの大型化、部品点数の増大、製造コストの上昇等が招来される。従って、DVD及びCDとのコンパチビリティが求められる高密度DVD用の光ピックアップシステムにおいて、光ピックアップシステムの小型化、部品点数の削減、コストダウンを図る上で、もっとも好ましいのは、規格の異なる3種類の光ディスクに対して、共通の対物レンズを用いて記録／再生を行うようにすることであるといえる。

【0008】

ここで、規格の異なる3種類の光ディスクに対して、共通の対物レンズを用いて記録／再生を行う光ピックアップシステムを実現するにあたっての課題を以下に述べる。

【0009】

CDを記録／再生する場合の、対物レンズとCDとの距離（作動距離）の確保

【0010】

これは、対物レンズの開口数をDVD（NA0.6乃至0.65）よりも更に高めることによって顕在化する課題である。高密度DVDにおいて、対物レンズが高開口数化された場合には、保護基板（透明基板あるいは保護層ともいう）厚さがDVDと同じ0.6mmのままでは、光ディスクのスキュー（傾きや反り）によって発生するコマ収差が大きくなるので、保護基板厚さを0.6mmよりも小さくして、光ディスクのスキューに対するマージンを確保する必要がある。このような高密度DVD用の高開口数対物レンズとして、2枚のレンズから構成された対物レンズが特開平10-123410号公報に記載されている。

【0011】

ところが、2群構成の対物レンズは、従来の1群構成の対物レンズに比べて、作動距離が短くなるので、CDを記録／再生する場合の十分な作動距離を確保することが非常に困難となる。CDはNA0.45乃至0.5と、高密度DVDやDVDに比べて開口数が小さいために、保護基板厚さの製造誤差に対する公差がそれほど厳しくないで保護基板厚さの個体差によるばらつきが大きい。従って、CDと対物レンズとの衝突によるデータの破損を防ぐためには、CDを記録／再生する場合の作動距離を十分確保しておく必要があり、この観点から、規格の異なる3種類の光ディスクに対して、共通の対物レンズを用いて記録／再生を行う光ピックアップシステムにおいては、2群構成の対物レンズは好ましくないといえる。

【0012】

【特許文献1】特開2001-195769公報

【0013】

【特許文献2】特開平10-123410号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

そこで、本発明は、上述の各課題を解決し、高密度DVD、DVD、CDの規格の異なる3種類の光ディスクの相互互換を共通の対物レンズを使用して達成する光ピックアップ装置であって、CDの作動距離が十分に確保された光ピックアップ装置を提案することを目的とする。

【0015】

また、上述の光ピックアップ装置に用いることのできる対物レンズを提供することを目的とする。更に、上述の光ピックアップ装置を用いて3種類の規格の異なる光情報記録媒体について情報の記録及び／または再生を行うことのできる記録・再生装置を提供するこ

とを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0016】

上記目的を達成するために、本発明による対物レンズは、波長 λ_1 の第1光源からの第1光束を用いて厚さ t_1 の第1保護基板を有する第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$)の第2光源からの第2光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$)の第2保護基板を有する第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$)の第3光源からの第3光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$)の第3保護基板を有する第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、かつ、前記第1光情報記録媒体乃至前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録について、共通の対物レンズを用いる光ピックアップ装置用の対物レンズであって、前記対物レンズは単レンズであって、前記対物レンズの入射瞳面を、光軸近傍から外側に向かって順に、第1光束領域、第2光束領域、第3光束領域、の輪帯状の3つの光束領域に分割したとき、前記第1光束領域に入射した前記第1乃至第3光束は、それぞれ前記第1乃至第3光情報記録媒体の各情報記録面上に良好な波面を形成するように集光し、かつ、前記第2光束領域に入射した前記第1及び第2光束は、それぞれ前記第1及び第2光情報記録媒体の各情報記録面上に良好な波面を形成するように集光するが、前記第2光束領域に入射した前記第3光束は、前記第3光情報記録媒体の情報記録面上に良好な波面を形成せず、かつ、前記第3光束領域に入射した前記第1光束は、前記第1光情報記録媒体の情報記録面上に良好な波面を形成するように集光するが、前記第3光束領域に入射した前記第2及び第3光束は、それぞれ前記第2及び第3光情報記録媒体の各情報記録面上に良好な波面を形成せず、次式を満たすことを特徴とする。

$$0.7 < d/f_1 < 1.5$$

$$2.8 < \Phi_1 < 5.8$$

$$f_{B3} > 0.2$$

但し、 f_1 (mm)は、前記波長 λ_1 における前記対物レンズの焦点距離を表し、 d (mm)は、前記対物レンズの中心厚さを表し、 Φ_1 (mm)は、前記対物レンズに入射する前記波長 λ_1 の前記第1光束の径を表し、 f_{B3} (mm)は、前記第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の作動距離を表す。

【0017】

この対物レンズによれば、3つの光学領域を有し3種類の異なる光情報記録媒体について情報の記録及び／または再生を行う光ピックアップ装置であって、CDの作動距離が十分に確保された光ピックアップ装置に適用できる対物レンズを提供できる。

【0018】

また、これにより、第2光情報記録媒体及び第3光情報記録媒体に対する情報の再生、及び／または、記録を行う場合に、各情報記録媒体上での集光スポットの大きさが必要以上に小さくなりすぎないので、ディスクスキューで発生するコマ収差を小さくすることができ、十分なディスクスキューマージンを得ることができる。また、必要開口数以上の領域を通過した、集光に寄与しない不要光を光検出器が検出するのを防ぐことができるので、良好なフォーカシング特性やトラッキング特性を得ることができる。

【0019】

また、簡易な構造で、自動的に開口切替えを行うことができるので、特別な開口切替手段を設ける必要がなく、コスト上有利である。

【0020】

また、前記第1光束を用いて、前記第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う際の前記対物レンズの所定の像側開口数を NA_1 、前記第2光束を用いて、前記第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う際の前記対物レンズの所定の像側開口数を NA_2 ($NA_2 < NA_1$)、前記第3光束を用いて、前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う際の前記対物レンズの所定の像側開口数を NA_3 ($NA_3 < NA_2$)、とするとき、次式を満たすことが好ましい。

$$N A 2 = N 2 \cdot S I N \theta 2$$

$$N A 3 = N 3 \cdot S I N \theta 3$$

ただし、

$S I N \theta 2$ ：前記第 2 光束領域の最周辺を通過した前記第 2 光束のマージナル光線の、前記対物レンズ最終面からの、光軸を基準として測った出射角 $\theta 2$ (deg) の絶対値の正弦

$S I N \theta 3$ ：前記第 1 光束領域の最周辺を通過した前記第 3 光束のマージナル光線の、前記対物レンズ最終面からの、光軸を基準として測った出射角 $\theta 3$ (deg) の絶対値の正弦

$N 2$ ：前記対物レンズの像側空間の前記波長 $\lambda 2$ における屈折率

$N 3$ ：前記対物レンズの像側空間の前記波長 $\lambda 3$ における屈折率

【0021】

この場合、前記第 1 乃至第 3 光学領域のうち、少なくとも 1 つの光学領域には、同心円状の複数の輪帯からなる回折構造が形成されることが好ましい。

【0022】

また、前記第 i 光学領域に形成された前記回折構造に、前記第 1 光束が入射した場合に発生する前記第 1 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を $n i 1$ 、前記第 i 光学領域に形成された前記回折構造に、前記第 2 光束が入射した場合に発生する前記第 2 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を $n i 2$ 、としたとき、次式を満たすことが好ましい。

$$|n i 1| > |n i 2| \quad (\text{ただし、} i \text{ は、} 1 \text{ または } 2 \text{ または } 3)$$

【0023】

この場合、前記第 i 光学領域に形成された前記回折構造に、前記第 1 光束が入射した場合に発生する前記第 1 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を $n i 1$ 、前記第 i 光学領域に形成された前記回折構造に、前記第 3 光束が入射した場合に発生する前記第 2 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を $n i 3$ 、としたとき、次式を満たすことが好ましい。

$$|n i 1| > |n i 3| \quad (\text{ただし、} i \text{ は、} 1 \text{ または } 2 \text{ または } 3)$$

【0024】

また、前記第 2 及び第 3 光学領域には、それぞれ同心円状の複数の輪帯からなる回折構造が形成され、前記第 2 光学領域に形成された前記回折構造に、前記第 1 光束が入射した場合に発生する前記第 1 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を $n 2 1$ 、前記第 3 光学領域に形成された前記回折構造に、前記第 1 光束が入射した場合に発生する前記第 1 光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数を $n 3 1$ 、としたとき、次式を満たすことが好ましい。

$$|n 3 1| \neq |n 2 1|$$

【0025】

この場合、前記第 2 光学領域に形成された前記回折構造は、前記回折次数 $n 2 1$ と波長 $\lambda B 2$ で最適化され、かつ、前記第 3 光学領域に形成された前記回折構造は、前記回折次数 $n 3 1$ と波長 $\lambda B 3$ で最適化され、次式を満たすことが好ましい。

$$\lambda B 2 \neq \lambda B 3$$

【0026】

また、上述の回折構造が形成された対物レンズにおいて次式を満たすことが好ましい。

$$340 \text{ nm} < \lambda B < 440 \text{ nm}$$

但し、 λB は、前記対物レンズの前記回折構造のブレイズ化波長を表す。

【0027】

また、上述の対物レンズは次式を満たすことが好ましい。

$$380 \text{ nm} < \lambda 1 < 420 \text{ nm}$$

$$630 \text{ nm} < \lambda 2 < 670 \text{ nm}$$

$$760 \text{ nm} < \lambda 3 < 800 \text{ nm}$$

【0028】

前記対物レンズはプラスチック材料から形成されるか、または、ガラス材料から形成される。

【0029】

また、本発明によるもう1つの対物レンズは、波長 λ_1 の第1光源からの第1光束を用いて厚さ t_1 の第1保護基板を有する第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$)の第2光源からの第2光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$)の第2保護基板を有する第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$)の第3光源からの第3光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$)の第3保護基板を有する第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、かつ、前記第1光情報記録媒体乃至前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録について、共通の対物レンズを用いる光ピックアップ装置用の対物レンズであって、前記対物レンズは単レンズであって、前記対物レンズの入射瞳面を、光軸近傍から外側に向かって順に、第1光束領域、第2光束領域、第3光束領域、の輪帯状の3つの光束領域に分割したとき、前記第1光束領域に入射した前記第1乃至第3光束は、それぞれ前記第1乃至第3光情報記録媒体の各情報記録面上に良好な波面を形成するように集光し、かつ、前記第2光束領域に入射した前記第1及び第2光束は、それぞれ前記第1及び第2光情報記録媒体の各情報記録面上に良好な波面を形成するように集光するが、前記第2光束領域に入射した前記第3光束は、前記第3光情報記録媒体の情報記録面上に良好な波面を形成せず、かつ、前記第3光束領域に入射した前記第1光束は、前記第1光情報記録媒体の情報記録面上に良好な波面を形成するように集光するが、前記第3光束領域に入射した前記第2及び第3光束は、それぞれ前記第2及び第3光情報記録媒体の各情報記録面上に良好な波面を形成せず、次式を満たすことを特徴とする。

$$0.7 < d/f_1 < 1.5$$

$$2.8 < \Phi_1 < 5.8$$

但し、 f_1 (mm)は、前記波長 λ_1 における前記対物レンズの焦点距離を表し、 d (mm)は、前記対物レンズの中心厚さを表し、 Φ_1 (mm)は、前記対物レンズに入射する前記波長 λ_1 の前記第1光束の径を表す。

【0030】

また、本発明による光ピックアップ装置は、波長 λ_1 の第1光源からの第1光束を用いて厚さ t_1 の第1保護基板を有する第1光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$)の第2光源からの第2光束を用いて厚さ t_2 ($t_2 \geq t_1$)の第2保護基板を有する第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、波長 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3$)の第3光源からの第3光束を用いて厚さ t_3 ($t_3 \geq t_2$)の第3保護基板を有する第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行い、かつ、前記第1光情報記録媒体乃至前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録について、共通の対物レンズを用いる光ピックアップ装置であって、上述の対物レンズを備えたことを特徴とする。

【0031】

上述の光ピックアップ装置において次式を満たすことが好ましい。

$$m_3 < 0$$

但し、 m_3 は、前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合の結像倍率を表す。

【0032】

この場合、さらに次式を満たすことが好ましい。

$$-0.25 < m_3 < -0.05$$

【0033】

また、次式を満たすことが好ましい。

$$m_2 < 0$$

但し、 m_2 は、前記第2光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合

の結像倍率を表す。

【0034】

この場合、さらに次式を満たすことが好ましい。

$$-0.20 < m2 < -0.02$$

【0035】

上述のように、保護基板厚の異なる3種類の光情報記録媒体のうち、保護基板厚の大きい第2光情報記録媒体及び／または第3光情報記録媒体に対して情報の再生及び／または記録を行う場合に、対物レンズを、発散光束が入射する有限仕様とすると、作動距離を十分に確保することができる。

【0036】

また、本発明による記録・再生装置は、上述のいずれかの光ピックアップ装置を搭載し、音声及び／または画像を記録し、及び／または、音声及び／または画像を再生可能なように構成できる。例えば、上述の本発明による各光ピックアップ装置は、例えば、次世代のより高密度な第1光情報記録媒体と、DVD、DVD-ROM、DVD-RAM、DVD-R、DVD-RW、DVD+RW等の第2光情報記録媒体と、CD、CD-R、CD-RW、CD-Video、CD-ROM等の第3光情報記録媒体と、に対してコンパクトなプレーヤーまたはドライブ等、あるいはそれらを組み込んだAV機器、パソコン、その他の情報端末等の音声および／または画像の記録装置および／または再生装置に搭載することができる。

【0037】

次に、好ましい光ピックアップ装置の光学系について図1乃至図8により説明する。なお、図1乃至図8は各光ピックアップ装置を概念的に示す図であり、図1乃至図8では光ピックアップ装置の光学系を構成する各素子の位置を概念的に示すために各素子が分離して示されているが、実際には同一の素子が2つ又は2つ以上の素子の機能を有する場合がある。

【0038】

好ましい光ピックアップ装置の光学系では、図1乃至図4のように、第1光源乃至第3光源からの各光束が通過する共通の光路に基板厚差補正手段を配置する。

【0039】

即ち、図1の光ピックアップ装置は、第1光源1乃至第3光源3からの各光束が通過する共通の光路に第1保護基板乃至第3保護基板のうち少なくとも2つの保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差を補正するための基板厚差補正手段7と、第1光情報記録媒体が有する第1保護基板の厚み誤差に起因して変化する球面収差を補正するための基板厚誤差補正手段6と、第1光源1の微少な波長変化に起因する色収差を補正するための色収差補正手段5と、を有し、第1光源1、第2光源2及び第3光源3からの各光束は共通の対物レンズ8により第1光情報記録媒体乃至第3光情報記録媒体のそれぞれの情報記録面上に集光される。なお、各光源からの発散光束は光路合成手段9aにより光路が合成された後、カップリングレンズ4aにより発散角が変換されて、対物レンズ8にむかう。

【0040】

また、図2の光ピックアップ装置は、第1光源1乃至第3光源3からの各光束が通過する共通の光路に、基板厚差補正手段7と、基板厚誤差補正手段6と、を配置し、第1光源1からの光束のみが通過する光路に、第1光源1の微少な波長変化に起因する色収差を補正するための色収差補正手段5を配置し、第1光源1、第2光源2及び第3光源3からの各光束は共通の対物レンズ8により第1光情報記録媒体乃至前記第3光情報記録媒体のそれぞれの情報記録面上に集光される。カップリングレンズ4bにより発散角が変換された第1光源1からの光束と、カップリングレンズ4cにより発散角が変換された第2光源2及び第3光源3からの光束は、光路合成手段9aにより光路が合成された後、対物レンズ8にむかうが、以下の図3乃至図7の光ピックアップ装置でも同様である。

【0041】

また、図3のピックアップ装置は、第1光源1乃至第3光源3からの各光束が通過する共通の光路に色収差補正手段5と基板厚差補正手段7とを配置し、第1光源1からの光束

のみが通過する光路に第 1 保護基板の厚み誤差に起因して変化する球面収差を補正するための基板厚誤差補正手段 6 を配置し、第 1 光源 1、第 2 光源 2 及び第 3 光源 3 からの各光束は共通の対物レンズ 8 により第 1 光情報記録媒体乃至第 3 光情報記録媒体のそれぞれの情報記録面上に集光される。

【0042】

また、図 4 の光ピックアップ装置は、第 1 光源 1 乃至第 3 光源 3 からの各光束が通過する共通の光路に基板厚差補正手段 7 を配置し、第 1 光源 1 からの光束のみが通過する光路に第 1 光源 1 の微少な波長変化に起因する色収差を補正するための色収差補正手段 5 と、第 1 保護基板の厚み誤差に起因して変化する球面収差を補正するための基板厚誤差補正手段 6 とを配置し、第 1 光源 1、第 2 光源 2 及び第 3 光源 3 からの各光束は共通の対物レンズ 8 により第 1 光情報記録媒体乃至第 3 光情報記録媒体のそれぞれの情報記録面上に集光される。

【0043】

また、図 5 の光ピックアップ装置は、第 1 光源 1 乃至第 3 光源 3 からの各光束が通過する共通の光路に色収差補正手段 5 を配置し、第 2 光源 2 及び第 3 光源 3 からの各光束のみが通過する共通の光路に第 1 保護基板乃至第 3 保護基板のうち少なくとも 2 つの保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差を補正するための基板厚差補正手段 7 を配置し、第 1 光源 1 からの光束のみが通過する光路に第 1 の保護基板の厚み誤差に起因して変化する球面収差を補正するための基板厚誤差補正手段 6 を配置し、第 1 光源 1、第 2 光源 2 及び第 3 光源 3 からの各光束は共通の対物レンズ 8 により第 1 光情報記録媒体乃至第 3 光情報記録媒体のそれぞれの情報記録面上に集光される。

【0044】

また、図 6 の光ピックアップ装置は、第 1 光源 1 乃至第 3 光源 3 からの各光束が通過する共通の光路に基板厚誤差補正手段 6 を配置し、第 2 光源 2 及び第 3 光源 3 からの各光束のみが通過する共通の光路に第 1 保護基板乃至第 3 保護基板のうち少なくとも 2 つの保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差を補正するための基板厚差補正手段 7 を配置し、第 1 光源 1 からの光束のみが通過する光路に第 1 光源の微少な波長変化に起因する色収差を補正するための色収差補正手段 5 を配置し、第 1 光源 1、第 2 光源 2 及び第 3 光源 3 からの各光束は共通の対物レンズ 8 により第 1 光情報記録媒体乃至第 3 光情報記録媒体のそれぞれの情報記録面上に集光される。

【0045】

また、図 7 の光ピックアップ装置は、第 2 光源 2 及び第 3 光源 3 からの各光束のみが通過する共通の光路に第 1 保護基板乃至第 3 保護基板のうち少なくとも 2 つの保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差を補正するための基板厚差補正手段 7 を配置し、第 1 光源 1 からの光束のみが通過する光路に第 1 光源 1 の微少な波長変化に起因して変化する色収差を補正するための色収差補正手段 5 と、第 1 の保護基板厚の厚み誤差に起因して変化する球面収差を補正するための基板厚誤差補正手段 6 とを配置し、第 1 光源 1、第 2 光源 2 及び第 3 光源 3 からの各光束は共通の対物レンズ 8 により第 1 光情報記録媒体乃至第 3 光情報記録媒体のそれぞれの情報記録面上に集光される。

【0046】

また、好ましい光ピックアップ装置の光学系では、図 8 のように、第 2 光源からの光束のみが通過する光路に、第 1 保護基板及び第 2 保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差を補正するための基板厚差補正手段 7 a を配置し、さらに、第 3 光源からの光束のみが通過する光路に、第 1 保護基板及び第 3 保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差を補正するための基板厚差補正手段 7 b を配置する。

【0047】

即ち、図 8 の光ピックアップ装置は、第 1 光源 1 からの光束のみが通過する光路に色収差補正手段 5 と基板厚誤差補正手段 6 とを配置し、第 2 光源 2 からの光束のみが通過する光路に第 1 保護基板及び第 2 保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差を補正するための基板厚差補正手段 7 a を配置し、第 3 光源 3 からの光束のみが通過する光路に、

第1保護基板及び第3保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差を補正するための基板厚差補正手段7bを配置する。カップリングレンズ4bで発散角が変換された第1光源1からの光束と、カップリングレンズ4dで発散角が変換された第2光源2からの光束は、光路合成手段9bにより光路が合成されて、カップリングレンズ4eで発散角が変換された第3光源3からの光束は、光路合成手段9cにより第1光源1及び第2光源2からの光束と光路が合成される。第1光源1、第2光源2及び第3光源3からの各光束は共通の対物レンズ8により第1光情報記録媒体乃至第3光情報記録媒体のそれぞれの情報記録面上に集光される。

【0048】

なお、図1乃至図8の光ピックアップ装置では、各光源からの発散光束の発散角を、カップリングレンズ4aまたはカップリングレンズ4bまたはカップリングレンズ4cまたはカップリングレンズ4dを用いて変換する構成としたが、かかるカップリングレンズは本発明による光ピックアップ装置の光学系には含まれない場合もある。また、図1乃至図7の光ピックアップ装置では、図面の簡略化のために第2光源と第3光源を同一の記号を用いて表しているが、実際の光ピックアップ装置では、第2光源と第3光源は別体の光源である場合もある。さらに、図1乃至図8の光ピックアップ装置では、第1光情報記録媒体乃至第3光情報記録媒体を同一の記号10を用いて表しているが、実際の光ピックアップ装置では各光情報記録媒体は当然別々である。さらに、図1乃至図8の光ピックアップ装置では、対物レンズ8を駆動するためのアクチュエータや1/4波長板、光情報記録媒体10からの反射光束を検出するための光検出器等は省略されているが、実際の光ピックアップ装置ではこれらを有する。

【0049】

上述の光ピックアップ装置において、前記第1光情報記録媒体乃至前記第3光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行うのに必要な前記対物レンズの所定の像側開口数をそれぞれNA1、NA2、NA3としたとき、前記第1光源の波長 λ_1 、前記第2光源の波長 λ_2 、前記第3光源の波長 λ_3 、前記第1保護基板の厚さt1、前記第2保護基板の厚さt2、前記第3保護基板の厚さt3、及び、前記対物レンズの所定の像側開口数NA1、NA2、NA3が次式を満たすことが好ましい。

$$\begin{aligned} 350\text{ nm} < \lambda_1 < 550\text{ nm} \\ 600\text{ nm} < \lambda_2 < 700\text{ nm} \\ 700\text{ nm} < \lambda_3 < 850\text{ nm} \\ 0.0\text{ mm} \leq t_1 < 0.3\text{ mm} \\ 0.5\text{ mm} < t_2 < 0.7\text{ mm} \\ 1.0\text{ mm} < t_3 < 1.3\text{ mm} \\ 0.99 > \text{NA}_1 \geq 0.80 \\ 0.80 > \text{NA}_2 \geq 0.55 \\ 0.55 > \text{NA}_3 \geq 0.40 \end{aligned}$$

【0050】

なお、本明細書中において、「基板厚誤差補正手段6、及び／または、基板厚差補正手段7によって球面収差を（良好に）補正する」とは、少なくとも、基板厚誤差補正手段6、及び／または、基板厚差補正手段7と対物レンズとから構成される光学系を通過した光束が、各光情報記録媒体に対して情報の再生、及び／または、記録を行うのに必要な対物レンズの所定の各像側開口数内で、各情報記録媒体の情報記録面上に、 λ を光源の波長としたとき、波面収差が $0.07\lambda\text{ rms}$ 以下（より好ましくは $0.05\lambda\text{ rms}$ 以下）の状態で、集光されるように球面収差を補正することを指す。

【発明の効果】

【0051】

本発明の光ピックアップ装置によれば、規格（記録密度）の異なる例えば高密度DVD、DVD、CDのような3種類の光ディスクの相互互換を共通の対物レンズを使用して達成できる光ピックアップ装置を提供できる。また、CDのような保護基板厚の厚い光ディ

スクに対する作動距離が十分に確保された光ピックアップ装置を提供できる。

【0052】

また、上述の光ピックアップ装置に用いることのできる対物レンズを提供できる。

【0053】

更に、上述の光ピックアップ装置を用いて規格（記録密度）の異なる3種類の光情報記録媒体について情報の記録及び／または再生を行うことのできる記録・再生装置を提供できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0054】

以下、本発明による第1～第7の実施の形態について図面を用いて説明する。

【0055】

〈第1の実施の形態〉

【0056】

図9は第1の実施の形態による第1の光ピックアップ装置を概略的に示す図である。図9に示すように、第1の光ピックアップ装置は、保護基板厚さが小さい第1の光ディスクの記録／再生用の第1光源である半導体レーザ11と、保護基板厚さが大きい第2の光ディスク記録／再生用の第2光源である半導体レーザ12と、保護基板厚さがさらに大きい第3の光ディスク記録／再生用の第3光源である半導体レーザ13とを有している。

【0057】

第1の光ディスクとしては、例えば、0.1mmの保護基板（透明基板）を有するDVDをより高密度化した光ディスク（高密度DVD）を用いることができ、第2の光ディスクとしては、0.6mmの保護基板を有するDVD、DVD-ROM、DVD-RAM、DVD-R、DVD-RW、DVD+RW等の各種DVDを用いることができ、第3の光ディスクとしては、1.2mmの保護基板を有するCD、CD-R、CD-RW、CD-Video、CD-ROM等の各種CDを用いることができる。

【0058】

また、第1光源11としては、400nm程度の波長の光を発生するGaN系青紫色半導体レーザや青紫色SHGレーザ等を用いることができ、第2光源12としては、650nm程度の波長の光を発生する赤色半導体レーザを用いることができ、第3光源13としては、780nm程度の波長の光を発生する赤外半導体レーザを用いることができる。かかる第1乃至第3の光源11～13は、情報の記録／再生を行う光ディスクの種類によって選択的に使用される。

【0059】

第1の光ピックアップ装置は、所定の像側開口数内で回折限界内となるように、第1乃至第3の半導体レーザ11乃至13からの光束を、第1乃至第3の光ディスクのそれぞれの情報記録面91，92，93上に集光させることができる対物レンズ14を有する。

【0060】

対物レンズ14は第1乃至第3の半導体レーザ11～13からの光束を第1乃至第3の光ディスクのそれぞれの情報記録面91，92，93上に集光させるための対物レンズとしての機能に加えて、基板厚差補正手段としての機能も有する。即ち対物レンズ14の光源側の面14a上には、同心円上の複数の輪帯からなる回折構造が形成されており、半導体レーザ11からの光束を、第1の光ディスクを記録／再生する際に必要な像側開口数NA1内で、回折限界内となる状態で保護基板を介して第1の光ディスクの情報記録面91上に集光させることができ、半導体レーザ12からの光束を、第2の光ディスクを記録／再生する際に必要な像側開口数NA2内で、回折限界内となる状態で保護基板を介して第2の光ディスクの情報記録面92上に集光させることができ、半導体レーザ13からの光束を、第3の光ディスクを記録／再生する際に必要な像側開口数NA3内で、回折限界内となる状態で保護基板を介して第3の光ディスクの情報記録面93上に集光させることができる。第1の光ディスクを記録／再生する際に必要な像側開口数NA1として例えば0.85程度、第2の光ディスクを記録／再生する際に必要な像側開口数NA2として、0

． 60 程度、第 3 の光ディスクを記録／再生する際に必要な像側開口数 $NA3$ として、0 ． 45 程度とすることができる。

【0061】

また、第 1 の光ピックアップ装置は、半導体レーザ 11 のモードホッピング等の単色性の悪さに起因して、主に対物レンズ 14 で発生する色収差を補正するための色収差補正手段としての色収差補正用素子 18 を偏光ビームスプリッタ 15 と対物レンズ 14 との間に有する。高性能で簡易な構造の色収差補正素子として、複数の輪帯からなる回折構造を有する回折素子が知られているが、従来の回折素子を用いて、半導体レーザ 11 の波長（たとえば、400nm）近傍の光に対して、対物レンズ 14 で発生する色収差の補正を行った場合、半導体レーザ 12 の波長（たとえば、650nm）や半導体レーザ 13 の波長（たとえば、780nm）の光に対しては、色収差が補正過剰になり過ぎてしまうという問題があり、半導体レーザ 11 乃至 13 からの光束の共通の光路中に配置される色収差補正用素子としては好ましくない。

【0062】

そこで、本発明者らは、第 1 の光ピックアップ装置に用いて好ましい色収差補正用素子 18 として、図 10 に示すような多層回折素子を提案する。図 10（a）の多層回折素子は、アッペ数の異なる 2 つの光学材料から形成された光学素子 a と光学素子 b とを貼り合わせた構造を有し、光学素子 a と光学素子 b の貼り合わせ面側には、複数の輪帯からなる回折構造が形成されている。光学素子 a 及び光学素子 b の光学材料として、図 10（b）に示すように、半導体レーザ 12 の波長（たとえば、650nm）から半導体レーザ 13 の波長（たとえば、780nm）にかけての波長領域においてはほとんど屈折率差がなく、半導体レーザ 11 の波長（たとえば、400nm）近傍の波長領域では、所定の屈折率差 Δn を有するような屈折率－波長特性をもつ光学材料を選ぶとよい。これにより、半導体レーザ 11 の波長近傍の光のみが、光学素子 a と光学素子 b との屈折率差 Δn の影響により、貼り合わせ面の回折構造の作用を受けて回折するようにすることができるので、屈折率差 Δn に対して、回折構造の形状を適切に設計することにより、半導体レーザ 11 の波長近傍のみの光に対して、対物レンズ 14 の色収差の補正を行うようにすればよく、半導体レーザ 11 から出射された光束は、色収差補正用素子 18 を経ることによってほとんど色収差なく第 1 の光ディスクの情報記録面 91 上に集光される。

【0063】

さらに、第 1 の光ピックアップ装置は、第 1 の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合に、光ディスクの保護基板厚さの製造誤差、対物レンズ 14 等の集光光学系を構成する光学素子の製造誤差、半導体レーザ 11 の製造誤差による波長の変化、及び温度変化や湿度変化による対物レンズ等の集光光学系を構成する光学素子の形状変化や屈折率変化による球面収差の変化を補正する基板厚誤差補正手段としての球面収差補正素子として、1 軸アクチュエータ 21 によって光軸方向に変移されるコリメータ 16 を偏光ビームスプリッタ 15 と対物レンズ 14 との間に有する。

【0064】

第 1 の光ディスクの情報記録面 91 上の集光スポットの球面収差の変化が図示しない光検出器によって検出された場合は、1 軸アクチュエータ 21 によりコリメータ 16 を所定量変移させて、対物レンズ 14 に入射する光束の発散角を変化させることで、かかる球面収差の変化を補正する。集光スポットの球面収差が補正過剰（オーバー）方向に変化した場合は、コリメータ 16 を対物レンズ 14 から離れる方向に変移させ、集光スポットの球面収差が補正不足（アンダー）方向に変化した場合は、コリメータ 16 を対物レンズ 14 に近づく方向に変移させる。これにより、第 1 の光ディスクの情報記録面 91 上の集光スポットは、常に球面収差が良好に補正された状態を保つことができる。

【0065】

第 1 の光ディスクを記録／再生する場合、半導体レーザ 11 からビームを出射し、出射された光束は、半導体レーザ 11 乃至 13 からの出射光の合成手段である偏光ビームスプリッタ 15、コリメータ 16、色収差補正用素子 18 を透過し、対物レンズ 14 により第

1の光ディスクの保護基板を介して情報記録面91に集光される。このとき、対物レンズ14は、像側開口数NA1内で回折限界内となるように、半導体レーザ11からの光束を集光させるので、高密度な次世代の光ディスクである第1の光ディスクを記録／再生することができる。

【0066】

そして、情報記録面91で情報ビットにより変調されて反射した光束は、再び対物レンズ14、色収差補正用素子18、コリメータ16を透過して図示しない光検出系に向かう。光検出系の光検出器上でのスポットの形状変化、位置変化による光量変化を検出して、合焦検出やトラック検出を行う。この検出に基づいて2軸アクチュエータ22が半導体レーザ11からの光束を第1の光ディスクの情報記録面91上に結像するように対物レンズ14を光軸方向に変移させると共に、半導体レーザ11からの光束を所定のトラックに結像するように対物レンズ14を光軸に垂直な方向に変移させる。

【0067】

また、第2の光ディスクを記録／再生する場合、半導体レーザ12からビームを出射し、出射された光束は、半導体レーザ12及び13からの出射光の合成手段である偏光ビームスプリッタ17及び偏光ビームスプリッタ15で反射され、さらに、上記半導体レーザ11からの光束と同様、コリメータ16、色収差補正用素子18を透過し、対物レンズ14により第2の光ディスクの保護基板を介して情報記録面92に集光される。このとき、対物レンズ14は、像側開口数NA2内で回折限界内となるように、半導体レーザ12からの光束を集光させるので、第2の光ディスクを記録／再生することができる。

【0068】

そして、情報記録面92で情報ビットにより変調されて反射した光束は、再び対物レンズ14、色収差補正用素子18、コリメータ16を透過して図示しない光検出系に向かう。第1の光ディスクの場合と同様、光検出系の光検出器上でのスポットの形状変化、位置変化による光量変化を検出して、合焦検出やトラック検出を行う。この検出に基づいて2軸アクチュエータ22が半導体レーザ12からの光束を第2の光ディスクの情報記録面92上に結像するように対物レンズ14を光軸方向に変移させると共に、半導体レーザ12からの光束を所定のトラックに結像するように対物レンズ14を光軸に垂直な方向に変移させる。

【0069】

また、第3の光ディスクを記録／再生する場合、半導体レーザ13からビームを出射し、出射された光束は、偏光ビームスプリッタ17を透過し、偏光ビームスプリッタ15で反射され、さらに、上記半導体レーザ11からの光束と同様、コリメータ16、色収差補正用素子18を透過し、対物レンズ14により第3の光ディスクの保護基板を介して情報記録面93に集光される。このとき、対物レンズ14は、像側開口数NA3内で回折限界内となるように、半導体レーザ13からの光束を集光させるので、第3の光ディスクを記録／再生することができる。

【0070】

そして、情報記録面93で情報ビットにより変調されて反射した光束は、再び対物レンズ14、色収差補正用素子18、コリメータ16を透過して図示しない光検出系に向かう。第1の光ディスクの場合と同様、光検出系の光検出器上でのスポットの形状変化、位置変化による光量変化を検出して、合焦検出やトラック検出を行う。この検出に基づいて2軸アクチュエータ22が半導体レーザ13からの光束を第3の光ディスクの情報記録面93上に結像するように対物レンズ14を光軸方向に変移させると共に、半導体レーザ13からの光束を所定のトラックに結像するように対物レンズ14を光軸に垂直な方向に変移させる。

【0071】

なお、本実施の形態の光ピックアップ装置では、光源と対物レンズとの間の光路中に配置される1/4波長板は省略されているが、実際の光ピックアップ装置では、1/4波長板が光源と対物レンズとの間の光路中に配置される場合がある。以降の実施の形態の光ピッ

クアップ装置でも、 $1/4$ 波長板は省略する。

【0072】

本実施の形態の対物レンズ14において、第2の光ディスクを記録／再生する場合に、像側開口数NA2からNA1の領域を通過した半導体レーザ12からの光束が、第2の光ディスクの情報記録面92上でフレアとなるように回折構造14aと、回折構造14aが形成される光学面の非球面形状とを決定すると、NA1とNA2との開口切替を自動的に行うことができ、特別な開口切替手段を設ける必要がないのでコスト上有利である。

【0073】

さらに、第3の光ディスクを記録／再生する場合に、像側開口数NA3からNA1の領域を通過した半導体レーザ13からの光束が、第3の光ディスクの情報記録面93上でフレアとなるように回折構造14aと、回折構造14aが形成される光学面の非球面形状とを決定すると、NA1とNA2とNA3との開口切替を自動的に行うことができるのでより好ましい。かかる場合には、回折構造14aは基板厚差補正手段としての機能と、開口切替手段としての機能を備えることになる。

【0074】

このように、像側開口数NA2からNA1の領域を通過した半導体レーザ12からの光束と、像側開口数NA3からNA1の領域を通過した半導体レーザ13からの光束とが、それぞれ第2の光ディスクの情報記録面92上、第3の光ディスクの情報記録面93上でフレアとなるようにする場合、像側開口数NA2からNA1に対応する領域を通過した波長 λ_2 の光束は、像側開口数NA1内で、第2の光ディスクの情報記録面上において、波面収差が $0.20\lambda_2 \text{ rms}$ より大きい状態であり、かつ、像側開口数NA3からNA1に対応する領域を通過した波長 λ_3 の光束は、像側開口数NA1内で、第3の光ディスクの情報記録面上において、波面収差が $0.20\lambda_3 \text{ rms}$ より大きい状態となるように回折構造14aが決定される。これにより、必要な像側開口数内の領域を通過した光束のスポットと、必要な像側開口数内より外側を通過した光束のフレアとが十分に分離され、光検出器の受光部における良好な信号検出特性が得られる。

【0075】

また、上述のように、対物レンズ14において、第2及び第3の光ディスクを記録／再生する場合に必要な像側開口数以上の光束をフレア成分としない場合には、本実施の形態の光ピックアップ装置は、上述した形態とは別の形態の開口切替手段を有することが好ましい。このような開口切替手段として、後述の図17、図18のような輪帯フィルタを用いることができる。また、NA1とNA2とNA3とに対応した絞りをそれぞれ、第1の光ディスク、第2の光ディスク、第3の光ディスクを記録／再生する際に機械的に切り替えるようにしてもよい。

【0076】

また、このような開口切替手段として、互いに対向する透明電極との間に配置された液晶層と $1/4$ 波長板とを備え、透明電極のうち少なくとも一方が光軸を中心とする複数の輪帯状の電圧印加部に分割されており、かかる電圧印加部のうち少なくとも1つの電圧印加部に電圧を印加することで、液晶層の液晶分子の配向状態を輪帯状に変化させることのできる素子を用いてもよい。かかる素子を用いると、対物レンズ14のNA2からNA1の領域とNA2内の領域に対応する光束の偏光面をそれぞれ独立に変化させたり、対物レンズ14のNA3からNA1の領域とNA3内の領域に対応する光束の偏光面をそれぞれ独立に変化させることができるので、第1乃至第3の光ディスクに対する開口切替手段として機能させることができる。

【0077】

また、本実施の形態では、対物レンズ14の少なくとも1つの面14a上に形成した、同心円上の複数の輪帯からなる基板厚差補正手段としての回折構造の作用により、所定の像側開口数内で回折限界内となるように、半導体レーザ11乃至13からの光束を、第1乃至第3の光ディスクのそれぞれの情報記録面91乃至93上に集光させることができるようにしたが、上記の回折構造は、対物レンズとは別に配設された光学素子の光学面上に

設けてもよい。

【0078】

上述のように、対物レンズとは別に配設された光学素子の光学面上に基板厚差補正手段としての回折構造を設ける場合において、第2及び第3の光ディスクを記録／再生する場合に必要な像側開口数以上の光束をフレア成分として、かかる回折構造に開口切替手段としての機能も持たせる場合には、かかる回折構造が設けられた光学素子と対物レンズとが一体となってトラッキング駆動されることが好ましい。これにより良好なトラッキング特性を得ることができる。

【0079】

また、所定の像側開口数内で回折限界内となるように、波長の異なる複数の光源からの光束を、保護基板の厚さの異なる複数の光ディスクの情報記録面上に集光させることができる対物レンズとして本出願人による特開平11-96585公報や特開2001-229567公報に記載の対物レンズを用いてもよい。

【0080】

また、第1の光ピックアップ装置では、対物レンズ14の少なくとも1つの面14a上に形成した回折構造の回折作用によって所定の像側開口数内で回折限界内となるように、半導体レーザ11乃至13からの光束を、第1乃至第3の光ディスクのそれぞれの情報記録面91乃至93上に集光できるようにしたが、以下に、本実施の形態に用いることのできる、別の形態の対物レンズの例を説明する。

【0081】

即ち、対物レンズの少なくとも1つの面上に形成した回折構造の回折作用によって、半導体レーザ11及び12からの光束を、それぞれ、第1の光ディスク及び第2の光ディスクの情報記録面92上に、それぞれ、開口数NA1及びNA2内で回折限界内となるように集光できるようにし、第3の光ディスクに対しては、対物レンズに半導体レーザ13からの発散光束を入射させることで、保護基板厚さの違いに起因する球面収差の変化を、開口数NA3内で回折限界内となるように補正する。この場合、光ピックアップ装置は、第3の光ディスクに対して情報の記録／再生を行う際の開口切替手段を有することが好ましく、このような開口切替手段として後述の図17、図19のような輪帯フィルタを用いることができる。

【0082】

また、球面収差の変化を補正する基板厚誤差補正手段として、後述される屈折率分布可変材料層を有し、電場または磁場または温度を印加することにより屈折率分布可変材料層の屈折率分布を変化させることのできる素子や、構成レンズの少なくとも1つが光軸方向に変移可能とされたビームエキスパンダを用いてもよい。

【0083】

また、本実施の形態の基板厚誤差補正手段としてのコリメータ16は、1群構成としたが、複数のレンズから構成されるようにしてもよい。このように複数のレンズから構成された基板厚誤差補正手段としてのコリメータとして、本出願人による特願2000-392333号にあるようなコリメータがある。

【0084】

また、本実施の形態では、偏光ビームスプリッタ15から対物レンズ14にいたる半導体レーザ12からの光束の経路は省略している。同様に、偏光ビームスプリッタ15から対物レンズ14にいたる半導体レーザ13からの光束の経路は省略している。以降の実施の形態でも同様である。

【0085】

また、本実施の形態では、対物レンズのフォーカシング誤差及び／またはトラッキング誤差を検出するための光検出手段、及び、情報記録面91上の集光スポットの球面収差の変化を検出するための光検出手段は省略されているが、実際の光ピックアップ装置は、かかる光検出手段を有する。以降の実施の形態例においても同様に光検出手段は省略する。

【0086】

次に、図 11 により図 9 の光ピックアップ装置の変形例である第 2 の光ピックアップ装置を説明する。図 11 に示すように、第 2 の光ピックアップ装置は、図 9 における基板厚誤差補正手段としてのコリメータと色収差補正手段とが一体化された一体化素子 20 を有し、この一体化素子 20 は図 9 と同様に 1 軸アクチュエータ 21 により光軸方向に変移されるようになっている。さらに同一の基板上に形成された半導体レーザ 12 と半導体レーザ 13 が同一のケース 19 内に収納されてユニット化されている。図 11 の構成によれば、一体化素子 20 及びユニット化された半導体レーザにより光ピックアップ装置の部品点数を低減することができるので、よりコストダウンを図ることができる。

【0087】

なお、図 11 の第 2 の光ピックアップ装置では、半導体レーザ 12 と半導体レーザ 13 がユニット化されているが、半導体レーザ 11 と半導体レーザ 12 をユニット化してもよく、半導体レーザ 11 と半導体レーザ 13 をユニット化してもよい。また、半導体レーザ 11 と半導体レーザ 12 と半導体レーザ 13 をユニット化することでよりいっそうのコストダウン及び省スペース化が図れる。

【0088】

〈第 2 の実施の形態〉

【0089】

図 12 は第 2 の実施の形態による第 3 の光ピックアップ装置を概略的に示す図である。図 12 に示すように、第 3 の光ピックアップ装置は、図 9 の第 1 の光ピックアップ装置と同様に、3 種類の記録密度の異なる光ディスクに対して情報の記録／再生が可能な光ピックアップ装置である。

【0090】

第 3 の光ピックアップ装置は、所定の像側開口数内で回折限界内となるように、半導体レーザ 11 乃至 13 からの各光束を第 1 乃至第 3 の光ディスクのそれぞれの情報記録面上に集光させることができる対物レンズ 14 を有する。対物レンズ 14 としては、第 1 の光ピックアップ装置に用いた対物レンズと同様の対物レンズを用いることができるので、詳細な説明は割愛する。

【0091】

また、第 3 の光ピックアップ装置は、半導体レーザ 11 と、半導体レーザ 11 乃至 13 からの光束の光路合成手段である偏光ビームスプリッタ 15 との間の光路中に、半導体レーザ 11 のモードホッピング等の単色性の悪さに起因して、主に対物レンズ 14 で発生する色収差を補正するための色収差補正手段としてのコリメータ 29 を有する。コリメータ 29 の少なくとも 1 つの面上には同心円状の複数の輪帯からなる回折構造が形成されており、半導体レーザ 11 から射出される光の波長が、長くなる方向に変化した場合に、コリメータ 29 のバックフォーカスが短くなる方向に変化するような波長特性を有する。さらに、コリメータ 29 の波長変化に対する焦点距離の二乗で規格化したバックフォーカスの変化量の絶対値は、同じ量の波長変化に対する対物レンズ 14 の焦点距離の二乗で規格化したバックフォーカスの変化量の絶対値と略一致するので、半導体レーザ 11 から出射された光束は、コリメータ 29 と対物レンズ 14 を経ることによってほとんど色収差なく第 1 の光ディスクの情報記録面 91 上に集光される。このような波長特性を有するコリメータとして、本出願人による特願 2001-248819 号にあるようなコリメータを用いることができる。

【0092】

また、第 3 の光ピックアップ装置に用いるのに好ましい色収差補正手段としてのコリメータ 29 として、相対的にアッペ数の大きい正レンズと、相対的にアッペ数の小さい負レンズとを貼り合わせたコリメータを用いることができる。このようなダブルット構造を有するコリメータとして、本出願人による特願 2000-262372 号にあるようなコリメータを用いることができる。

【0093】

また、第 3 の光ピックアップ装置では、コリメータに回折構造を形成して対物レンズ 1

4で発生する色収差を補正したが、半導体レーザ11と偏光ビームスプリッタ15との間に、コリメータとは別に配置された、少なくとも1面に回折構造が形成された色収差補正手段としての色収差補正素子を用いてもよい。平行光中に配置することのできる色収差補正素子として、本出願人による特願2001-210659号にあるような色収差補正素子を用いることができる。半導体レーザ11から射出される楕円状の光束の整形するためのビーム整形プリズムペアを光路中に配置する場合は、かかる平行光中に配置することのできる色収差補正素子を用いるのが好ましい。

【0094】

また、第3の光ピックアップ装置は、第1の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合に、光ディスクの保護基板厚さの製造誤差、対物レンズ等の集光光学系を構成する光学素子の製造誤差、半導体レーザ11の製造誤差による波長の変化、及び温度変化や湿度変化による対物レンズ等の集光光学系を構成する光学素子の形状変化や屈折率変化による球面収差の変化を補正する基板厚誤差補正手段として屈折率分布可変素子23を偏光ビームスプリッタ15と対物レンズ14との間に配置している。

【0095】

屈折率分布可変素子23は、一对のガラス基板24a、24bに保持された互いに対向する一对の透明電極25a、25bとの間に配置された液晶層26を有し、透明電極25a、25bに駆動電源27から電圧を印加することで液晶層26の液晶分子の配向状態を電氣的に制御し、液晶層26内の屈折率分布を変化させることができるように構成されている。

【0096】

透明電極25a、25bの少なくとも一方は光軸を中心とした複数の輪帯状の電圧印加部に分割されており、これら複数の輪帯状の電圧印加部の少なくとも1つに所定の電圧を印加することで、液晶層26の屈折率分布を光軸を中心として輪帯状に変化させることができる。第1の光ディスクの情報記録面91上の集光スポットの球面収差の変化が図示しない光検出器によって検出された場合は、電源27により、電圧印加部に所定の電圧を印加することで、液晶層26の屈折率分布を光軸を中心とする輪帯状に変化させ、屈折率分布可変素子23を透過する波面に対し所定の光路差を付加し、かかる球面収差の変化を補正する。これにより、第1の光ディスクの情報記録面91上の集光スポットは、常に球面収差が良好に補正された状態を保つことができる。

【0097】

上述の説明では、屈折率分布可変素子23として上述したような形態の屈折率分布可変素子を用いたが、本実施の形態の光ピックアップ装置に用いることのできる屈折率分布可変素子は、光軸を中心として回転対称状に屈折率分布を変化させることのできるものであればよく、上述の形態に限るものではない。

【0098】

また、第3の光ピックアップ装置に用いることのできる基板厚誤差補正手段として、構成レンズの少なくとも1つが光軸方向に変移可能とされたビームエキスパンダを用いてもよい。

【0099】

次に、図13により図12の光ピックアップ装置の変形例である第4の光ピックアップ装置を説明する。図13に示すように、第4の光ピックアップ装置においては、半導体レーザ12と半導体レーザ13が図11と同様にユニット化されているので、光ピックアップ装置の部品点数の低減によりコストダウンが図れる。

【0100】

第4の光ピックアップ装置は、開口数NA1内で回折限界内となるように、半導体レーザ11の光束を、第1の光ディスクの情報記録面91上に集光させることができる対物レンズ34を有する。第1の光ディスク専用の対物レンズである対物レンズ34を用いて、半導体レーザ12からの光を用いて第2の光ディスクを記録／再生しようとする、保護基板厚さの違いにより補正過剰（オーバー）方向に球面収差が変化するが、第4の光ピッ

クアップ装置では、補正過剰方向に変化した球面収差を、基板厚差補正手段としての機能も備えた屈折率分布可変素子 2 3 により、開口数 NA_2 内で回折限界内となるように補正することで第 2 の光ディスクに対する記録／再生を可能としている。

【0101】

更に、半導体レーザ 1 3 からの光を用いて第 3 の光ディスクを記録／再生する場合も同様に、保護基板厚さの違いにより補正過剰（オーバー）方向に変化した球面収差を、屈折率分布可変素子 2 3 により、開口数 NA_3 内で回折限界内となるように補正する。

【0102】

また、第 4 の光ピックアップ装置は、 NA_1 と NA_2 と NA_3 との開口切替手段として、図 1 3 の対物レンズ 3 4 の光源側の光学面 3 4 a に波長選択性のある後述の図 1 7、図 1 8 のような輪帯フィルタを形成している。これにより、自動的に開口を NA_1 と NA_2 と NA_3 とに切り替えることができる。かかる波長選択性のある輪帯フィルタにより、第 2 の光ディスク及び第 3 の光ディスクに対する情報の記録／再生を行う場合は、必要開口数以上の光束を遮断することで光ディスクの情報記録面上で所望のスポット径を得ることができる。

【0103】

また、開口切替手段として、 NA_1 と NA_2 と NA_3 とに対応した絞りをそれぞれ、第 1 の光ディスク、第 2 の光ディスク、第 3 の光ディスクを再生する際に機械的に切り替える手段を用いてよく、更に、第 1 の実施の形態で説明したような液晶を用いた開口切替素子を用いてもよい。

【0104】

また、かかる開口切替手段は、対物レンズ 3 4 と一体となってトラッキングを行うのが好ましく、これにより良好なトラッキング特性が得られる。図 1 3 では、対物レンズ 3 4 の光学面 3 4 a に設けているので、このトラッキング特性が向上する。

【0105】

また、図 1 3 の光ピックアップ装置において、対物レンズ 3 4 は、1 つのレンズ群から構成された単レンズであって、波長 λ_1 における焦点距離を f_1 (mm)、中心厚さを d (mm)、対物レンズ 1 4 に入射する波長 λ_1 の光束の径を Φ_1 (mm)、第 1 の光ディスクに対する情報の記録／再生を行う場合の作動距離を f_{B1} (mm) としたとき、

$$0.7 < d / f_1 < 1.5 \quad (2)$$

$$2.8 < \Phi_1 < 5.8 \quad (3)$$

$$f_{B1} > 0.5 \quad (4)$$

を満足するように構成されている。

【0106】

高密度 DVD 用の高 NA 対物レンズとして、特開平 10-123410 号公報にあるような 2 つのレンズ群から構成される対物レンズが提案されているが、保護基板厚に 1.1 mm の違いがある、高密度 DVD と CD との相互互換を共通の対物レンズで行う場合には、対物レンズを、作動距離が確保しやすい単レンズ構成とするのが好ましい。このとき、上記 (2) 乃至 (4) 式を満たすことが特に好ましく、これにより、CD の作動距離を十分に確保することができる。この結果、DVD や高密度 DVD のように、光ディスクの保護基板厚さの製造公差が比較的厳しく抑えられておらず、保護基板厚さの個体差によるばらつきが大きい CD を記録／再生する場合でも CD と対物レンズとの衝突の可能性を十分小さくすることができる。

【0107】

〈第 3 の実施の形態〉

【0108】

図 1 4 は第 3 の実施の形態による第 5 の光ピックアップ装置を概略的に示す図である。図 1 4 に示すように、第 5 の光ピックアップ装置は、図 9 の第 1 の光ピックアップ装置と同様に、3 種類の記録密度の異なる光ディスクに対して情報の記録／再生が可能な光ピックアップ装置である。

【0109】

第5の光ピックアップ装置は、所定の像側開口数内で回折限界内となるように、半導体レーザ11乃至13からの光束を、第1乃至第3の光ディスクのそれぞれの情報記録面91乃至93上に集光させることができる対物レンズ14を有する。対物レンズ14としては、第1の光ピックアップ装置に用いた対物レンズと同様の対物レンズを用いることができるので、詳細な説明は割愛する。

【0110】

さらに、第5の光ピックアップ装置は、半導体レーザ11と、半導体レーザ11乃至13からの光束の光路合成手段である偏光ビームスプリッタ15との間の光路中に、第1の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合に、光ディスクの保護基板厚さの製造誤差、対物レンズ等の集光光学系を構成する光学素子の製造誤差、半導体レーザ11の製造誤差による波長の変化、及び温度変化や湿度変化による対物レンズ等の集光光学系を構成する光学素子の形状変化や屈折率変化、による球面収差の変化を補正する基板厚誤差補正手段としてビームエキスパンダ33を配置している。

【0111】

このビームエキスパンダ33は、負レンズ32と正レンズ31とから構成され、負レンズ32が1軸アクチュエータ21によって光軸方向に変移されるようになっている。負レンズ32には半導体レーザ11からの光束がコリメータ30で平行にされて入射する。

【0112】

第1の光ディスクの情報記録面91上の集光スポットの球面収差の変化が図示しない光検出器によって検出された場合は、1軸アクチュエータ21により負レンズ32を所定量変移させて、対物レンズ14に入射する光束の発散角を変化させることで、かかる球面収差の変化を補正する。集光スポットの球面収差が補正過剰（オーバー）方向に変化した場合は、負レンズ32を正レンズ31に近づく方向に変移させ、集光スポットの球面収差が補正不足（アンダー）方向に変化した場合は、負レンズ32を正レンズ33から離れる方向に変移させる。これにより、第1の光ディスクの情報記録面91上の集光スポットは、常に球面収差が良好に補正された状態を保つことができる。

【0113】

なお、第5の光ピックアップ装置では、負レンズ32を光軸方向に変移させるようにしたが、正レンズ31を光軸方向に変移させるようにしてもよく、また負レンズ32と正レンズ31の両方を光軸方向に変移させるようにしてもよい。

【0114】

また、第5の光ピックアップ装置では、基板厚誤差補正手段として、負レンズ32を光軸方向に変移させるようにしたビームエキスパンダ33を用いたが、第1の光ピックアップ装置と同様に、光軸方向に変移させるようにしたコリメータを用いてもよいし、第3の光ピックアップ装置と同様に、屈折率分布可変素子を用いてもよい。いずれの場合でも、第1の光ディスクの情報記録面91上の集光スポットは、常に球面収差が良好に補正された状態を保つことができる。

【0115】

さらに、第5の光ピックアップ装置では、ビームエキスパンダ33は基板厚誤差補正手段として機能に加えて、色収差補正手段としての機能も備える。すなわち、ビームエキスパンダ33の正レンズ31の光ディスク側の面31a上に同心円状の複数の輪帯からなる回折構造が形成されており、半導体レーザ11から射出される光の波長が、長くなる方向に変化した場合に、ビームエキスパンダ33のパワーが大きくなるような波長特性を有するので、半導体レーザ11から出射された光束は、ビームエキスパンダ33と対物レンズ14を経ることによってほとんど色収差なく第1の光ディスクの情報記録面91上に集光される。

【0116】

第5の光ピックアップ装置に用いるのが好ましいビームエキスパンダとして本出願人による特願2000-330009号にあるようなビームエキスパンダを用いることができ

る。

【0117】

第5の光ピックアップ装置では、ビームエキスパンダ33の正レンズ31の少なくとも1面上に回折構造を形成することで、対物レンズ14で発生する色収差を補償したが、負レンズ32の少なくとも1面上に回折構造を形成してもよく、負レンズ32と正レンズ31の両方に回折構造を形成してもよい。

【0118】

また、第5の光ピックアップ装置では、ビームエキスパンダ33の正レンズ31の少なくとも1面上に回折構造を形成することで、対物レンズ14で発生する色収差を補償したが、半導体レーザ11のモードホッピング等の単色性の悪さに起因して、主に対物レンズ14で発生する色収差を補正するための色収差補正手段として、特願2001-248819号や特願2000-262372号にあるようなコリメータを用いることができる。さらに、本出願人による特願2001-210659号にあるような色収差補正素子を用いることができる。

【0119】

次に、図15により図14の光ピックアップ装置の変形例である第6の光ピックアップ装置を説明する。図15に示すように、第6の光ピックアップ装置では、半導体レーザ11と、半導体レーザ11乃至13からの出射光の合成手段である偏光ビームスプリッタ15との間の光路中に、第1の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合に、光ディスクの保護基板厚さの製造誤差、対物レンズ等の集光光学系を構成する光学素子の製造誤差、半導体レーザ11の製造誤差による波長の変化、及び温度変化や湿度変化による対物レンズ等の集光光学系を構成する光学素子の形状変化や屈折率変化による球面収差の変化を補正する基板厚誤差補正手段として、1軸アクチュエータ21により光軸方向に変移されるようにしたコリメータ39を備える。これにより、第1の光ディスクの情報記録面91上の集光スポットは、常に球面収差が良好に補正された状態を保つことができる。

【0120】

また、第6の光ピックアップ装置では、コリメータ39は基板厚誤差補正手段としての機能に加えて、色収差補正手段としての機能も備える。即ち半導体レーザ11のモードホッピング等の単色性の悪さに起因して、主に対物レンズ14で発生する色収差を補正するためにコリメータ39の光ディスク側の面39a上に同心円状の複数の輪帯からなる回折構造を形成した。これにより、コリメータ39は半導体レーザ11から射出される光の波長が、長くなる方向に変化した場合に、コリメータ39のバックフォーカスが短くなる方向に変化するような波長特性を有するので、半導体レーザ11から射出された光束は、コリメータ39及び対物レンズ14を透過することでほとんど色収差なく第1の光ディスクの情報記録面91上に集光される。

【0121】

〈第4の実施の形態〉

【0122】

図16は第4の実施の形態による第7の光ピックアップ装置を概略的に示す図である。図16に示すように、第5の光ピックアップ装置は、図9の第1の光ピックアップ装置と同様に、3種類の記録密度の異なる光ディスクに対して情報の記録／再生が可能な光ピックアップ装置である。

【0123】

本実施の形態の第7の光ピックアップ装置は、開口数NA1内で回折限界内となるように、半導体レーザ11の光束を、第1の光ディスクの情報記録面91上に集光させることができる対物レンズ34を有する。

【0124】

第7の光ピックアップ装置では、半導体レーザ11と、半導体レーザ11乃至13からの光束の光路合成手段である偏光ビームスプリッタ15との間の光路中に、第1の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合に、光ディスクの保護基板厚さの製造誤差、対物

レンズ等の集光光学系を構成する光学素子の製造誤差、半導体レーザ 11 の製造誤差による波長の変化、及び温度変化や湿度変化による対物レンズ等の集光光学系を構成する光学素子の形状変化や屈折率変化による球面収差の変化を補正する基板厚誤差補正手段として、1 軸アクチュエータ 21 により光軸方向に変移されるようにしたコリメータ 39 を備える。これにより、第 1 の光ディスクの情報記録面 91 上の集光スポットは、常に球面収差が良好に補正された状態を保つことができる。

【0125】

また、第 7 の光ピックアップ装置では、コリメータ 39 は基板厚誤差補正手段としての機能に加えて、色収差補正手段としての機能も備える。すなわち半導体レーザ 11 のモードホッピング等の単色性の悪さに起因して、主に対物レンズ 34 で発生する色収差を補正するためにコリメータ 39 の光ディスク側の面 39a 上に同心円状の複数の輪帯からなる回折構造を形成した。これにより、コリメータ 39 は半導体レーザ 11 から射出される光の波長が、長くなる方向に変化した場合に、コリメータ 39 のバックフォーカスが短くなる方向に変化するような波長特性を有するので、半導体レーザ 11 から射出された光束は、コリメータ 39 及び対物レンズ 34 を透過することでほとんど色収差なく第 1 の光ディスクの情報記録面 91 上に集光される。

【0126】

第 7 の光ピックアップ装置では、半導体レーザ 12 と偏光ビームスプリッタ 15 との間の光路中であって、半導体レーザ 12 からの光束と半導体レーザ 13 からの光束との共通光路中に、光ディスク側の面 35a 上に同心円状の複数の輪帯からなる回折構造が形成された基板厚差補正手段としての回折光学素子 35 を備える。

【0127】

第 1 の光ディスク専用の対物レンズである対物レンズ 34 を用いて、半導体レーザ 12 からの光を用いて第 2 の光ディスクを記録／再生しようとする、保護基板厚さの違いにより補正過剰（オーバー）方向に球面収差が変化する。同様に、対物レンズ 34 を用いて、半導体レーザ 13 からの光を用いて第 3 の光ディスクを記録／再生しようとする、保護基板厚さの違いにより補正過剰（オーバー）方向に球面収差が変化する。第 7 の光ピックアップ装置では、補正過剰方向に変化した球面収差を、回折光学素子 35 の回折作用によって、半導体レーザ 12 からの光束を、第 2 の光ディスクを記録／再生する際に必要な像側開口数 NA2 内で回折限界内となるように補正し、さらに半導体レーザ 13 からの光束を、第 3 の光ディスクを記録／再生する際に必要な像側開口数 NA3 内で回折限界内となるように補正するので、第 1 の光ディスク専用の対物レンズ 34 を用いて、保護基板厚さの異なる第 2 の光ディスク及び第 3 の光ディスクに対する情報の記録／再生が可能である。

【0128】

図 16 の光ピックアップ装置において、回折光学素子 35 の回折構造 35a は、半導体レーザ 12 からの波長 λ_2 の光が入射したときに発生する回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の次数 n_2 と、半導体レーザ 13 からの波長 λ_3 の光が入射したときに発生する回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の次数 n_3 とが同一となるように最適化され、その最適化波長は、 λ_2 と λ_3 との中間の波長である。これにより、第 2 の光ディスクと第 3 の光ディスクの使用波長領域において、それぞれ高い回折効率を得ることができる。

【0129】

例えば、回折構造 35a を、
 $680\text{ nm} < \lambda_B < 740\text{ nm}$
を満足する波長 λ_B と回折次数 1 とで最適化すると、半導体レーザ 12 からの波長 650 nm の光と、半導体レーザ 13 からの波長 780 nm の光と、が回折構造 35a に入射したときに発生する、それぞれの光の 1 次回折光の回折効率をともに 95% 以上とすることができる。

【0130】

また、図 16 の光ピックアップ装置のように、基板厚差補正手段としての回折光学素子 35 を、半導体レーザ 12 及び 13 からの光束は通過するが、半導体レーザ 11 からの光束は通過しない光路に配置して、半導体レーザ 12 及び 13 からの光束の同一次数の回折光を、それぞれ、第 2 の光ディスク及び第 3 の光ディスクに対する記録／再生に使用するようにすると、半導体レーザ 12 からの光束の波長 λ_2 と半導体レーザ 13 からの光束の波長 λ_3 との中間の波長と、回折次数 2 で回折構造 35 a を最適化した場合でも、波長 λ_2 の光と、波長 λ_3 の光とで、ともに高い回折効率を確保できる。このように、回折次数 2 で回折構造 35 a を最適化することで、回折次数 1 で最適化する場合に比して、隣合う回折輪帯の間隔を 2 倍に広げることができるので、回折輪帯形状の製造誤差による回折効率の低下が小さい回折光学素子 35 を実現できる。

【0131】

例えば、 $n_2 = n_3 = 1$ 、 $\lambda_B = 710 \text{ nm}$ で回折構造 35 a を最適化した場合、それぞれの光ディスクの使用波長領域での回折効率は、

第 2 の光ディスク (DVD、波長 650 nm) : 97.2%

第 3 の光ディスク (CD、波長 780 nm) : 97.3%

であるのに対し、 $n_2 = n_3 = 2$ 、 $\lambda_B = 710 \text{ nm}$ で回折構造 35 a を最適化した場合でも、

第 2 の光ディスク (DVD、波長 650 nm) : 89.3%

第 3 の光ディスク (CD、波長 780 nm) : 89.8%

と、それぞれの光ディスクの使用波長領域で十分な回折効率を確保できる。

【0132】

また、第 7 の光ピックアップ装置では、NA1 と NA2 と NA3 との開口切替手段として、対物レンズ 34 の光源側の光学面 34 a に後述の図 17、図 18 のような輪帯フィルタが形成されている。また、開口切替手段として、NA1 と NA2 と NA3 とに対応した絞りをそれぞれ、第 1 の光ディスク、第 2 の光ディスク、第 3 の光ディスクを再生する際に機械的に切り替えるようにしてもよい。また、開口切替手段として第 1 の実施の形態で説明したような液晶を用いた開口切替素子を用いることができる。

【0133】

また、図 16 の光ピックアップ装置において、対物レンズ 34 は、1 つのレンズ群から構成された単レンズであって、波長 λ_1 における焦点距離を $f_1 \text{ (mm)}$ 、中心厚さを $d \text{ (mm)}$ 、対物レンズ 14 に入射する波長 λ_1 の光束の径を $\Phi_1 \text{ (mm)}$ 、第 1 の光ディスクに対する情報の記録／再生を行う場合の作動距離を $f_{B1} \text{ (mm)}$ としたとき、

$$0.7 < d/f_1 < 1.5 \quad (2)$$

$$2.8 < \Phi_1 < 5.8 \quad (3)$$

$$f_{B3} > 0.5 \quad (4)$$

を満足するように構成されている。

【0134】

高密度 DVD 用の高 NA 対物レンズとして、特開平 10-123410 にあるような 2 つのレンズ群から構成される対物レンズが提案されているが、保護基板厚に 1.1 mm の違いがある、高密度 DVD と CD との相互互換を共通の対物レンズで行う場合には、対物レンズを、作動距離が確保しやすい単レンズ構成とするのが好ましい。このとき、上記 (2) 乃至 (4) 式を満たすことが特に好ましく、これにより、CD の作動距離を十分に確保することができる。この結果、DVD や高密度 DVD のように、光ディスクの保護基板厚さの製造公差が比較的厳しく抑えられておらず、保護基板厚さの個体差によるばらつきが大きい CD を記録／再生する場合でも CD と対物レンズとの衝突の可能性を十分小さくすることができる。

【0135】

図 9、11、12、14、15 の光ピックアップ装置において、対物レンズ 14 の回折構造 14 a は、

$$340 \text{ nm} < \lambda_B < 440 \text{ nm} \quad (A)$$

を満足する波長（以下、 λ_B を最適化波長、または製造波長、またはブレイズ化波長とよぶ）と、回折次数2で最適化されているので、半導体レーザ11からの波長400nmの光が入射した場合には、2次回折光が他のいずれの次数の回折光よりも大きな光量を有するよう発生し、対物レンズ14は、その2次回折光を第1の光ディスクの情報記録面上に集光する。

【0136】

このとき、対物レンズ14の回折構造14aに、半導体レーザ12からの波長650nmの光が入射した場合に、1次回折光が他のいずれの次数の回折光よりも大きな光量を有するよう発生し、対物レンズ14は、その1次回折光を第2の光ディスクの情報記録面上に集光するとともに、対物レンズ14の回折構造14aに、半導体レーザ13からの波長780nmの光が入射した場合に、1次回折光が他のいずれの次数の回折光よりも大きな光量を有するよう発生し、対物レンズ14は、その1次回折光を第3の光ディスクの情報記録面上に集光する。

【0137】

このように、(A)式を満足する波長と回折次数2で、回折構造14aを最適化することで、第1の光ディスクに対する情報の記録／再生に使用する回折光の次数と、第2の光ディスク、及び第3の光ディスクに対する情報の記録／再生に使用する回折光の次数とを異なるようにし、かつ、第1の光ディスクに対する情報の記録／再生に使用する回折光の次数が、第2の光ディスク、及び第3の光ディスクに対する情報の記録／再生に使用する回折光の次数よりも大きくなるようにすると、それぞれの光ディスクの使用波長領域において、それぞれ高い回折効率を得ることができる。

【0138】

対物レンズ14の回折構造14aを決定する場合には、少なくとも、回折構造14aで発生する半導体レーザ11からの光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する次数の回折光の回折効率が70%より大きくなるように、回折構造14aを最適化するのが好ましい。より好ましくは、回折構造14aで発生する半導体レーザ11乃至13からのそれぞれの光束の回折光のうち、最大の回折光量を有する次数の回折光の回折効率がすべて70%より大きくなるように、回折構造14aが最適化されることである。

【0139】

以下に具体例を示す。ある製造波長 λ_B 、回折次数 n で最適化された理想的なブレイズ構造が形成された回折レンズを考えると、この回折レンズのある波長 λ での回折効率 η (λ)は、波長 λ_B におけるレンズ材料の屈折率と、波長 λ におけるレンズ材料の屈折率がほとんど変わらないと仮定すると、次式数1で表される。

【0140】

【数1】

$$\eta(\lambda) = \left[\frac{\sin \pi n \left\{ \left(\frac{\lambda_B}{\lambda} \right) - 1 \right\}}{\pi n \left\{ \left(\frac{\lambda_B}{\lambda} \right) - 1 \right\}} \right]^2$$

【0141】

図60は、ある製造波長 λ_B 、回折次数1で最適化されたブレイズ構造で発生する、波長405nmの光の1次回折光と、波長650nmの光の1次回折光と、波長780nmの光の1次回折光との回折効率の製造波長に対する依存性を表す図である。

【0142】

図60から、特開2001-195769公報に記載の光ピックアップ装置のように、対物レンズ14の回折構造14aで発生する半導体レーザ11乃至13からの光の同一次

数の回折光を、それぞれの光ディスクへの記録／再生再生に使用する場合には、それぞれの光ディスクの使用波長領域で高い回折効率を得ることはできないことがわかる。

【0143】

図61は、 $340\text{ nm} \leq \lambda_B \leq 450\text{ nm}$ を満足する製造波長と、回折次数2で最適化されたブレイズ構造で発生する波長 405 nm の光の2次回折光と、波長 650 nm の光の1次回折光と、波長 780 nm の光の1次回折光との回折効率の製造波長に対する依存性を表す図である。

【0144】

図61から、第1の光ディスクへの記録／再生に半導体レーザ11からの光の2次回折光を、第2及び第3の光ディスクへの記録／再生に、それぞれ半導体レーザ12及び半導体レーザ13からの光の1次回折光を利用する場合には、 350 nm から 420 nm の間の波長を製造波長に設定した場合に、それぞれの光ディスクの使用波長領域で高い回折効率を得ることができることがわかる。特に、 360 nm から 400 nm の間の波長を製造波長に設定すると、それぞれの光ディスクの使用波長領域で80%以上という高い回折効率を得ることができるので好ましい。

【0145】

次に、対物レンズ14の回折構造14aのブレイズ構造の最適化の方法として好ましい別の例を説明する。

【0146】

図62は、 $390\text{ nm} \leq \lambda_B \leq 440\text{ nm}$ を満足する製造波長と、回折次数6で最適化されたブレイズ構造で発生する波長 405 nm の光の6次回折光と、波長 650 nm の光の4次回折光と、波長 780 nm の光の3次回折光との回折効率の製造波長に対する依存性を表す図である。

【0147】

図62から、第1の光ディスクへの記録／再生に半導体レーザ11からの光の6次回折光を、第2の光ディスクへの記録／再生に半導体レーザ12からの光の4次回折光を、第3の光ディスクへの記録／再生に半導体レーザ13からの光の3次回折光を利用する場合には、 405 nm から 425 nm の間の波長を製造波長に設定した場合に、それぞれの光ディスクの使用波長領域で高い回折効率を得ることができることがわかる。特に、 410 nm から 420 nm の間の波長を製造波長に設定すると、それぞれの光ディスクの使用波長領域で80%以上という高い回折効率を得ることができるので好ましい。

【0148】

なお、上述した、それぞれの光ディスクの使用波長領域で高い回折効率を得るために好ましい製造波長の範囲は、半導体レーザ11乃至13から発振される光の波長がそれぞれ、

$$380\text{ nm} < \lambda_1 < 420\text{ nm}$$

$$630\text{ nm} < \lambda_2 < 670\text{ nm}$$

$$760\text{ nm} < \lambda_3 < 800\text{ nm}$$

を満たす場合に適用可能である。

【0149】

半導体レーザ11乃至13からの光束のすべての光束が通過する共通の光路に、基板厚差補正手段を配置すると、図9、11、12、14、15の光ピックアップ装置のように、対物レンズと、基板厚差補正手段としての回折構造とを一体化できるので、光ピックアップ光学系の光学素子の数を削減でき、コストの観点上好ましい。

【0150】

さらに、上述したように、開口数NA2より外側の領域を通過する半導体レーザ12からの光束と、開口数NA3より外側の領域を通過する半導体レーザ13からの光束と、がフレアとなるように、対物レンズの光学面上に形成した基板厚差補正手段としての回折構造を決定することで、この回折構造に開口切替手段としての機能も持たせることができるので、光ピックアップ光学系の光学素子の数をさらに、削減でき、コストの観点上より好

ましい。

【0151】

また、図9、11、12、14、15の光ピックアップ装置において、対物レンズ14は、1つのレンズ群から構成された単レンズであって、波長 λ_1 における焦点距離を f_1 (mm)、中心厚さを d (mm)、対物レンズ14に入射する波長 λ_1 の光束の径を Φ_1 (mm)、第3の光ディスクに対する情報の記録／再生を行う場合の作動距離を f_{B3} (mm)としたとき、

$$0.7 < d / f_1 < 1.5 \quad (2)$$

$$2.8 < \Phi_1 < 5.8 \quad (3)$$

$$f_{B3} > 0.2 \quad (4)$$

を満足するように構成されている。

【0152】

高密度DVD用の高NA対物レンズとして、特開平10-123410にあるような2つのレンズ群から構成される対物レンズが提案されているが、保護基板厚に1.1mmの違いがある、高密度DVDとCDとの相互互換を共通の対物レンズで行う場合には、対物レンズを、作動距離が確保しやすい単レンズ構成とするのが好ましい。このとき、上記(2)、(3)式を満たすことが特に好ましく、これにより、CDの作動距離を(4)式を満たすように十分に確保することができる。CDの作動距離が(4)式を満たしていれば、DVDや高密度DVDのように、光ディスクの保護基板厚さの製造公差が比較的厳しく抑えられておらず、保護基板厚さの個体差によるばらつきが大きいCDを記録／再生する場合でもCDと対物レンズとの衝突の可能性を十分小さくすることができる。

【0153】

また、図9、11、12、14、15の光ピックアップ装置において、対物レンズ14は、さらに、第3の光ディスクに対する情報の再生及び／または記録を行う場合の結像倍率 m_3 が

$$m_3 < 0 \quad (5)$$

を満たすように構成されている。これにより、CDの作動距離の確保が容易になる。

このとき、

$$-0.25 < m_3 < -0.05 \quad (6)$$

を満たすのが特に好ましく、CDの作動距離を十分に確保しつつ、第1乃至第3の光ディスクの保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差補正を良好に行うことができる。

【0154】

図9、11、12、14、15の光ピックアップ装置において、対物レンズ14は、さらに、第2の光ディスクに対する情報の再生及び／または記録を行う場合の結像倍率 m_2 が

$$m_2 < 0 \quad (7)$$

を満たすように構成されている。これにより、DVDの作動距離の確保も容易になる。

このとき、

$$-0.20 < m_2 < -0.02 \quad (8)$$

を満たすのが特に好ましく、DVDの作動距離を十分に確保しつつ、第1乃至第3の光ディスクの保護基板の厚さの違いに起因して変化する球面収差補正を良好に行うことができる。

【0155】

次に、第3の実施の形態による第8の光ピックアップ装置について説明する。図63は第3の実施の形態による第8の光ピックアップ装置を概略的に示す図であって、図9、11、12、14、15の光ピックアップ装置における対物レンズ14の基板厚差補正手段としての機能と、光ディスクの情報記録面上に光源からの光束を集光させるための集光レンズとしての機能を、それぞれ独立した光学素子に分離している。

【0156】

第8の光ピックアップ装置の対物レンズ100は、半導体レーザ11乃至13からの光束を、それぞれ、第1乃至第3の光ディスクの情報記録面上に集光させるための集光レンズとしての機能を有する屈折型レンズ100aと、屈折型レンズ100aの光束入射面側に配置された、同心円状の複数の輪帯からなる回折構造を有する基板厚差補正手段としての機能を有する回折光学素子100bとを組合わせた複合型対物レンズである。屈折型レンズ100aと回折光学素子100bとは、フランジ部100cによって光軸と同軸に一体化され、2次元アクチュエータ22によって、一体となってトラッキング駆動やフォーカシング駆動される。

【0157】

屈折型レンズ100aは、1つのレンズ群から構成された単レンズであって、波長 λ_1 における複合型対物レンズ100の焦点距離を f_1 (mm)、波長 λ_1 における屈折型レンズ100aの中心厚さを d (mm)、複合型対物レンズ100に入射する波長 λ_1 の光束の径を Φ_1 (mm)、第3の光ディスクに対する情報の記録／再生を行う場合の作動距離を f_{B3} (mm)としたとき、

$$0.7 < d / f_1 < 1.5 \quad (9)$$

$$2.8 < \Phi_1 < 5.8 \quad (10)$$

$$f_{B3} > 0.2 \quad (11)$$

を満足するように構成されている。

【0158】

屈折型レンズ100aとして、少なくとも波長 λ_1 の領域で収差が補正された非球面レンズを用いることができる。

【0159】

また、回折光学素子100bの回折構造100dは、第1の光ディスクに対する情報の記録／再生に使用する回折光の次数と、第2の光ディスク、及び第3の光ディスクに対する情報の記録／再生に使用する回折光の次数とを異なるようにし、かつ、第1の光ディスクに対する情報の記録／再生に使用する回折光の次数が、第2の光ディスク、及び第3の光ディスクに対する情報の記録／再生に使用する回折光の次数よりも大きくなるように決定されている。

【0160】

回折光学素子100bの回折構造100dの最適化の方法は、図9、11、12、14、15の光ピックアップ装置における対物レンズ14の回折構造14aのブレード構造の最適化の方法と同様なので、説明は割愛する。

【0161】

さらに、回折光学素子100bの回折構造100dは、波長 λ_B 、前記回折次数 n_1 で最適化された複数の輪帯の各位置を、

$$\Phi_b = n_1 \cdot (b_2 \cdot h^2 + b_4 \cdot h^4 + b_6 \cdot h^6 + \dots)$$

により定義される光路差関数で表す場合に（ここで、 h は光軸からの高さ (mm)、 b_2 、 b_4 、 b_6 、 $\dots$ はそれぞれ2次、4次、6次、 $\dots$ の光路差関数係数（回折面係数ともいう）、 n_1 は回折構造100dに半導体レーザ11からの波長 λ_1 の光束が入射した場合に発生する回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の回折次数である）、

$$PD = \Sigma (-2 \cdot n_1 \cdot b_2)$$

により定義される回折構造のみのパワー (mm⁻¹) が

$$0.5 \times 10^{-2} < PD < 5.0 \times 10^{-2}$$

を満たすような正のパワーを有するのが好ましく、これにより半導体レーザ11のモードホップによる屈折型レンズ100aの結像位置の移動が小さく抑えることができる。すなわち、回折光学素子100bは、基板厚差補正手段としての機能に加えて、色収差補正手段としての機能も備えている。

【0162】

第8の光ピックアップ装置の対物レンズ100のように、対物レンズにおける基板厚差補正手段としての機能と、集光レンズとしての機能を、それぞれ独立した光学素子に分離

することで、図 9、11、12、14、15 の光ピックアップ装置における対物レンズ 14 のように、屈折レンズの光学面上に、回折構造を一体形成する場合に比べ、回折光学素子 100b とを作りやすくすることができる。

【0163】

具体的には、回折光学素子 100b の回折構造 100d は、平面上あるいは、曲率半径の大きい面上に形成されたブレイズ構造とすると良い。ブレイズ構造を平面上あるいは、曲率半径の大きい面上に形成することで、電子ビーム描画法により高精度にブレイズ構造を作製できるので、ブレイズ構造の形状誤差による回折効率の低下の小さい回折光学素子が得られる。この場合、ブレイズ構造が形成された面とは反対側の光学面を非球面とすると、さらに高性能な回折光学素子を得ることができる。

【0164】

さらに、第 8 の光ピックアップ装置は、第 1 の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合に、光ディスクの透明基板厚さの製造誤差、対物レンズ 100 等の集光光学系を構成する光学素子の製造誤差、半導体レーザ 11 の製造誤差による波長の変化、温度変化や湿度変化による対物レンズ等の集光光学系を構成する光学素子の形状変化や屈折率変化、による球面収差の変化を補正する基板厚誤差補正手段として、1 軸アクチュエータ 21 によって光軸方向に変移されるコリメータ 16 を有する。

【0165】

〈第 5 の実施の形態〉

【0166】

図 64 は第 5 の実施の形態による第 9 の光ピックアップ装置を概略的に示す図である。第 9 の光ピックアップ装置における、対物レンズ 34 は、半導体レーザ 11 の波長領域で収差最小となるように設計された、第 1 の光ディスク専用の非球面对物レンズである。

【0167】

対物レンズ 34 を使用して、半導体レーザ 12 により第 2 の光ディスクを記録／再生しようとする、保護基板厚さの違いにより補正過剰方向に球面収差が変化するが、第 9 の光ピックアップ装置では、半導体レーザ 12 からの光だけが通過する光路である、半導体レーザ 12 と偏光ビームスプリッタ 15 との間の光路中に、上述の補正過剰方向に変化した球面収差を良好に補正し、対物レンズ 34 を使用して、半導体レーザ 12 により第 2 の光ディスクを記録／再生できるようにするための第 1 基板厚差補正手段である、カップリングレンズ 110 を備える。

【0168】

カップリングレンズ 110 の光学面上には、同芯円状の複数の輪帯からなる回折構造 110a が形成されており、この回折構造は、入射する光の波長が長くなる方向に変化した場合に、球面収差が補正不足方向に変化するような球面収差特性を有する。

【0169】

さらに、回折構造 110a は、半導体レーザ 12 の波長に一致する波長で最適化されているので、良好な回折効率を得ることができる。

【0170】

同様に、対物レンズ 34 を使用して、半導体レーザ 13 により第 3 の光ディスクを記録／再生しようとする、保護基板厚さの違いにより補正過剰方向に球面収差が変化するが、第 9 の光ピックアップ装置では、半導体レーザ 13 からの光だけが通過する光路である、半導体レーザ 13 と偏光ビームスプリッタ 17 との間の光路中に、上述の補正過剰方向に変化した球面収差を良好に補正し、対物レンズ 34 を使用して、半導体レーザ 13 により第 3 の光ディスクを記録／再生できるようにするための第 2 基板厚差補正手段である、カップリングレンズ 111 を備える。

【0171】

カップリングレンズ 111 の光学面上には、同芯円状の複数の輪帯からなる回折構造 111a が形成されており、この回折構造は、入射する光の波長が長くなる方向に変化した場合に、球面収差が補正不足方向に変化するような球面収差特性を有する。

【0172】

さらに、回折構造111aは、半導体レーザ13の波長に一致する波長で最適化されているので、良好な回折効率を得ることができる。

【0173】

また、第9の光ピックアップ装置では、対物レンズ34の光学面上には、NA1とNA2とNA3との開口切替手段として、図17に示すような輪帯フィルタが形成されており、この輪帯フィルタは、図18にあるような波長特性を有するので、情報の記録／再生を行う光ディスクの種類に応じて自動的に開口が切替わるので、光ピックアップ装置の構造を簡略化でき、コストを大幅に低減することができる。

【0174】

さらに、第9の光ピックアップ装置は、第1の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合に、光ディスクの透明基板厚さの製造誤差、対物レンズ34等の集光光学系を構成する光学素子の製造誤差、半導体レーザ11の製造誤差による波長の変化、温度変化や湿度変化による対物レンズ等の集光光学系を構成する光学素子の形状変化や屈折率変化、による球面収差の変化を補正する基板厚誤差補正手段として、1軸アクチュエータ21によって光軸方向に変移されるコリメータ39を有する。

【0175】

また、コリメータ39は基板厚誤差補正手段としての機能に加えて、色収差補正手段としての機能も備える。すなわち、コリメータ39の光学面上には、同芯円状の複数の輪帯からなる回折構造39aが形成されており、回折構造39aは入射する光の波長が長くなる方向に変化した場合に、コリメータ39のバックフォーカスが短くなる方向に変化するような波長特性を有するので、コリメータ39と対物レンズ34を通過した、半導体レーザ11からの光束は、第1の光ディスクの情報記録面91上にほとんど色収差なく集光される。

【0176】

〈第6の実施の形態〉

【0177】

図91は、本実施の形態の対物レンズOBJ1を示す概略図であり、図91(A)は正面図、(B)は側面図、(C)は側面を一部拡大した図である。この対物レンズOBJ1は、例えば、青紫色半導体レーザのような短波長光源を使用する高密度DVD等の高密度光ディスクと、赤色半導体レーザを使用するDVD、DVD-ROM、DVD-RAM、DVD-R、DVD-RW、DVD+RW等のDVD規格の光ディスクと、赤外半導体レーザを使用するCD、CD-R、CD-RW、CD-Video、CD-ROM等のCD規格の光ディスクとに対して共通の対物レンズでコンパクトに記録／再生するための光ピックアップ装置に適用され、光源から発したレーザ光を光ディスクの情報記録面上に集光させる機能を有している。

【0178】

対物レンズOBJ1は、非球面である2つの光学面S1、S2を有する単レンズであり、一方の光学面S1上に図91(A)に示したように光軸を中心とした輪帯状の回折構造が形成されている。この回折構造は、図91(C)に示したように、フレネルレンズのように各輪帯の境界に光軸方向に段差 Δ を持つ。輪帯に入射したレーザ光は、その輪帯の光軸に垂直な方向の幅（本明細書では、かかる輪帯の光軸に垂直な方向の幅を「輪帯ピッチ」と呼ぶ。）と、その輪帯の光軸方向の段差量とによって決定される方向に回折する。

【0179】

対物レンズOBJ1をプラスチックレンズとすると、軽量にすることができるので対物レンズOBJ1を駆動するアクチュエータへの負担を軽減でき、フォーカスエラーやトラッキングエラーに対する対物レンズOBJ1の追従を高速に行うことができる。

【0180】

さらに、プラスチックレンズは、所望の金型を精度良く製作することで、射出成形により高精度に量産することが可能であるので、対物レンズOBJ1の高性能化や低コスト化

を図ることが可能となる。また、プラスチック材料は粘性が低いので、微細な構造である回折構造を高精度に転写することができ、形状誤差による回折効率の低下の小さい対物レンズを得ることができる。

【0181】

一方、対物レンズOBJ1をガラスレンズとすると、温度変化による屈折率変化の影響を受けにくくなるので、高密度光ディスクに対して記録／再生中にアクチュエータから放熱等によりピックアップ装置の温度が上昇しても、その集光性能が劣化することはない。また、ガラス材料は、一般的に400nm程度の短波長のレーザ光に対して透過率や耐光性が高いので、高密度光ディスク用の対物レンズとして信頼性の高いレンズを得ることができる。対物レンズOBJ1をガラスレンズとする場合には、ガラス転移点Tgが400℃以下であるガラス材料を使用して、金型を用いた成型法で作製するのが好ましい。これにより、通常のガラス材料よりも低い温度での成形が可能となるので、成形時間の短縮や金型の長寿命化等に関して有利となり、結果として対物レンズ1の低コスト化を実現できる。このようなガラス材料として、住田光学ガラス社製のPG375（商品名）やPG325（商品名）等がある。

【0182】

図92は、この対物レンズOBJ1を使用した光ピックアップ装置PU1を示す概略図である。透明基板の厚さの異なる3種類の光ディスクは、透明基板が最も薄く記録密度が最も大きい、高密度DVDである第1光ディスクD1と、透明基板が0.6mmであるDVD規格の第2の光ディスクD2と、透明基板が1.2mmであるCD規格の第3の光ディスクD3である。

【0183】

光ピックアップ装置PU1は、第1の光ディスクD1の記録／再生用の光を発生する第1の光源である半導体レーザLD1と、第2の光ディスクD2の記録・再生用の光を発生する第2の光源である半導体レーザLD2と、第3の光ディスクD3の記録・再生用の光を発生する第3の光源である半導体レーザLD3、の3種類の半導体レーザを備えており、これらの半導体レーザは、情報を記録／再生する光ディスクに応じて選択的に発光される。

【0184】

半導体レーザLD1は、波長400nm程度のレーザ光を発生するGaN系青紫色レーザである。また、波長400nm程度のレーザ光を発生する光源として、上記のGaN系青紫色レーザのほかに、2次高調波を利用したSHG青紫色レーザを使用してもよい。半導体レーザLD2は、波長650nm程度のレーザ光を発生する赤色半導体レーザであり、半導体レーザLD3は、波長780nm程度のレーザ光を射出する赤外半導体レーザである。

【0185】

対物レンズOBJ1は、半導体レーザLD1から射出されコリメートレンズCLを介した平行光束を第1の光ディスクD1の透明基板を介して情報記録面Dr1上に、第1の開口数(NA1)内で回折限界内となるように集光し、半導体レーザLD2から射出された発散光束を第2の光ディスクD2の透明基板を介して情報記録面Dr2上に、第2の開口数(NA2)内で回折限界内となるように集光し、半導体レーザLD3から射出された発散光束を第3の光ディスクD3の透明基板を介して情報記録面Dr3上に、第3の開口数(NA3)内で回折限界内となるように集光するレンズであって、NA1は0.80以上とされ、NA2は0.60乃至0.70とされ、NA3は0.45乃至0.55とされている。

【0186】

このように、第2の光ディスクD2及び第3の光ディスクD3に対して情報の記録／再生を行う際に、対物レンズ1に対して、半導体レーザLD2及び半導体レーザLD3から射出された発散光束を入射するようにすると、透明基板の厚い第2の光ディスクD2及び第3の光ディスクD3に対して十分な作動距離を確保できる。

【0187】

対物レンズOBJ1の光源側の光学面2上に形成された回折構造は、図91(A)に示すように、光軸から周辺に向かって第1の光ディスクD1乃至第3の光ディスクD3のすべての光ディスクに対して記録／再生を行うのに使用されるNA3内に対応した共通領域と、第1の光ディスクD1及び第2の光ディスクD2に対して記録／再生を行うのに使用されるNA3～NA2に対応した第1の周辺領域と、第1の光ディスクD1に対して記録／再生を行うのに使用されるNA2～NA1に対応した第2の周辺領域とに分割されている。

【0188】

共通領域に形成された回折構造は、

$$350\text{ nm} < \lambda_B < 420\text{ nm}$$

を満たす波長 λ_B の光が入射した場合に、2次回折光が理論上100%の回折効率で発生するように最適化されている。このように決定された回折構造に、半導体レーザLD1から射出された光束が入射した場合、2次回折光が最大の回折光量を有するように発生し、対物レンズ1はこの2次回折光を、第1の光ディスクD1の記録／再生用のビームとしてその情報記録面Dr1上に集光する。また、半導体レーザLD2から射出された光束が入射した場合、1次回折光が最大の回折光量を有するように発生し、対物レンズ1はこの1次回折光を、第2の光ディスクD2の記録／再生用のビームとしてその情報記録面Dr2上に集光する。また、半導体レーザLD3から射出された光束が入射した場合、1次回折光が最大の回折光量を有するように発生し、対物レンズ1はこの1次回折光を、第3の光ディスクD3の記録／再生用のビームとしてその情報記録面Dr3上に集光する。

【0189】

このように、共通領域に形成された回折構造で発生する最大の回折光量を有する回折光の次数を、

$$|n_2| = \text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2)$$

$$|n_3| = \text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3)$$

$$|n_1| > |n_2| \geq |n_3|$$

$$|\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2) - (\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2)| < 0.4$$

$$|\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3) - (\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3)| < 0.4$$

(ただし、 n_1 は0、 ± 1 以外の整数であり、 $\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2)$ は $\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_2$ を四捨五入して得られる整数であり、 $\text{INT}(\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3)$ は $\lambda_1 \cdot |n_1| / \lambda_3$ を四捨五入して得られる整数である。)

を満たすように決定することで、半導体レーザLD1乃至LD3のレーザ光に対して、それぞれ n_1 次回折光、 n_2 次回折光、 n_3 次回折光の回折効率を高いものとすることができる。

【0190】

例えば、半導体レーザLD1、LD2、LD3の波長がそれぞれ405nm、650nm、780nmである場合、 λ_B として波長375nmを選択すると、それぞれの光ディスクの記録／再生用のビームの回折効率は、

405nmの2次回折光の回折効率：93.0%

650nmの1次回折光の回折効率：92.5%

780nmの1次回折光の回折効率：99.5%

となる。

【0191】

NA3～NA2に対応した第1の周辺領域に形成された回折構造も、共通領域に形成された回折構造と同様に、

$$350\text{ nm} < \lambda_B < 420\text{ nm}$$

を満たす波長 λ_B の光が入射した場合に、2次回折光が理論上100%の回折効率で発生するように最適化されている。

【0192】

また、第2の周辺領域に形成された回折構造で発生する回折光は、第1の光ディスクD1に対して記録／再生を行うのに使用され、第2の光ディスクD2及び第3の光ディスクD3に対して記録／再生を行うのには使用されないもので、第2の周辺領域においては、半導体レーザLD1から射出される光束の回折効率が重要となる。従って、第2の周辺領域に形成された回折構造に半導体レーザLD2と同じ波長の光が入射すると、2次回折光が理論上100%の回折効率で発生するように最適化した。

【0193】

また、共通領域に形成された回折構造は、
 $405\text{ nm} < \lambda_B < 425\text{ nm}$
を満たす波長 λ_B の光が入射した場合に、6次回折光が理論上100%の回折効率で発生するように最適化しても良い。このように決定された回折構造に、半導体レーザLD1から射出された光束が入射した場合、6次回折光が最大の回折光量を有するように発生し、半導体レーザLD2から射出された光束が入射した場合、4次回折光が最大の回折光量を有するように発生し、半導体レーザLD3から射出された光束が入射した場合、3次回折光が最大の回折光量を有するように発生する。

【0194】

例えば、半導体レーザLD1、LD2、LD3の波長がそれぞれ405 nm、650 nm、780 nmである場合、 λ_B として波長415 nmを選択すると、それぞれの光ディスクの記録／再生用のビームの回折効率は、
405 nmの6次回折光の回折効率；93.0%
650 nmの4次回折光の回折効率：90.9%
780 nmの3次回折光の回折効率；88.4%
となる。

【0195】

また、共通領域に形成された回折構造は、
 $390\text{ nm} < \lambda_B < 420\text{ nm}$
を満たす波長 λ_B の光が入射した場合に、8次回折光が理論上100%の回折効率で発生するように最適化しても良い。このように決定された回折構造に、半導体レーザLD1から射出された光束が入射した場合、8次回折光が最大の回折光量を有するように発生し、半導体レーザLD2から射出された光束が入射した場合、5次回折光が最大の回折光量を有するように発生し、半導体レーザLD3から射出された光束が入射した場合、4次回折光が最大の回折光量を有するように発生する。

【0196】

例えば、半導体レーザLD1、LD2、LD3の波長がそれぞれ405 nm、650 nm、780 nmである場合、 λ_B として波長405 nmを選択すると、それぞれの光ディスクの記録／再生用のビームの回折効率は、
405 nmの8次回折光の回折効率：100%
650 nmの5次回折光の回折効率：99.9%
780 nmの4次回折光の回折効率：92.5%
となる。

【0197】

また、第1及び第2の周辺領域に形成された回折構造は、第1及び第2の周辺領域を通過して第3の光ディスクD3の情報記録面Dr3上に到達する半導体レーザLD3から射出された光束に対して大きな球面収差が付加されるように決定されており、第1の周辺領域を通過する半導体レーザLD3から射出された光束は、第3の光ディスクD3の記録／再生に使用されるスポットの形成に寄与しないフレア成分となる。

【0198】

同様に、第2の周辺領域に形成された回折構造は、第2の周辺領域を通過して第2の光ディスクD2の情報記録面上に到達する半導体レーザLD2から射出された光束に対して大きな球面収差が付加されるように決定されており、第2の周辺領域を通過する半導体レ

ーザLD2から射出された光束は、第2の光ディスクD2の記録／再生に使用されるスポットの形成に寄与しないフレア成分となる。

【0199】

このように第2の光ディスクD2及び第3の光ディスクD3に対して記録／再生を行うのに使用される開口数より周辺の領域を通過する光束に対して、故意に大きな球面収差を付加してフレア成分とすると、自動的に開口切替が行われるので、NA2及びNA3に対応する絞りを別途設ける必要がなく光ピックアップ装置の構造が簡単になり好ましい。すなわち、対物レンズOBJ1の光学面S1上に形成された回折構造は、基板厚差補正手段としての機能と、開口切替手段としての機能を有している。

【0200】

また、対物レンズOBJ1では、第1の光ディスクD1の記録／再生用のビームとして、共通領域、第1の周辺領域、及び第2の周辺領域のそれぞれの領域で互いに同じ次数の回折光を利用するようにしたが、それぞれの領域で互いに異なる次数の回折光を利用するようにしてもよい。

【0201】

例えば、共通領域と第1の周辺領域では、半導体レーザLD1から射出された光束に対して2次回折光が最大の回折光量を有するように、その回折構造を決定し、第2の周辺領域では、半導体レーザLD1から射出された光束に対して4次回折光が最大の回折光量を有するように、その回折構造を決定すると、2次回折光を利用する場合に比して、第2の周辺領域における回折構造の隣り合う輪帯の間隔を広げることができ、輪帯の形状誤差による回折効率の低下を防ぐことができる。このとき、第2の周辺領域に形成された回折構造の隣り合う輪帯どうしの光路差は、半導体レーザLD2から射出された光束に対しては、波長の2.5倍であるので、半導体レーザLD2から射出された光束が第2の周辺領域に形成された回折構造に入射する場合、2次回折光と、2次回折光よりも大きな角度で回折する3次回折光とが同程度の回折光量で発生する。従って、第2の周辺領域を通過する半導体レーザLD2から射出された光束によるフレア成分が、2次回折光によるフレア成分と3次回折光によるフレア成分とに分離されるとともに、それぞれの次数の回折光によるフレア成分強度を小さくすることができるので、光検出器PD2での信号の検出エラーを抑えることが可能となる。

【0202】

また、共通領域と第1の周辺領域では、半導体レーザLD1から射出された光束に対して2次回折光が最大の回折光量を有するように、その回折構造を決定し、第2の周辺領域では、半導体レーザLD1から射出された光束に対して3次回折光が最大の回折光量を有するように、その回折構造を決定すると、第2の周辺領域に形成された回折構造の隣り合う輪帯どうしの光路差は、半導体レーザLD3から射出された光束に対しては、波長の1.5倍であるので、半導体レーザLD3から射出された光束が第2の周辺領域に形成された回折構造に入射する場合、1次回折光と、1次回折光よりも大きな角度で回折する2次回折光とが同程度の回折光量で発生する。従って、第2の周辺領域を通過する半導体レーザLD2から射出された光束によるフレア成分が、1次回折光によるフレア成分と2次回折

光によるフレア成分とに分離されるとともに、それぞれの次数の回折光によるフレア成分強度を小さくすることができるので、光検出器PD2での信号の検出エラーを抑えることが可能となる。

【0203】

第1の光ディスクD1に対して情報／記録の再生を行う場合、半導体レーザLD1から出射された発散光束は、偏光ビームスプリッタBS1を透過した後、コリメートレンズCLによって平行光束とされ、偏光ビームスプリッタBS2、偏光ビームスプリッタBS3、および、図示しない絞りを通過した後、対物レンズOBJ1によって第1の光ディスクD1の透明基板を介して情報記録面Dr1上に集光されるスポットとなる。対物レンズ1は、その周辺に配置されたアクチュエータACによってフォーカス制御及びトラッキング

制御される。

【0204】

そして、情報記録面Dr1で情報ビットにより変調された反射光束は、再び対物レンズOBJ1、絞り、偏光ビームスプリッタBS3、偏光ビームスプリッタBS2、を通過した後、コリメートレンズCLによって収束光束とされ、偏光ビームスプリッタBS1によって反射され、シリンドリカルレンズCY1及び凹レンズN1を経ることによって非点収差が与えられ、光検出器PD1に収束する。そして、光検出器PD1の出力信号を用いて第1の光ディスクD1に対して情報の記録／再生を行うことができる。

【0205】

第2の光ディスクD2に対して情報の記録／再生を行う場合、半導体レーザLD2から出射された発散光束は、偏光ビームスプリッタBS4を透過した後、偏光ビームスプリッタBS2によって反射され、偏光ビームスプリッタBS3、および、図示しない絞りを通過した後、対物レンズOBJ1によって第2の光ディスクD2の透明基板を介して情報記録面Dr2上に集光されるスポットとなる。

【0206】

そして、情報記録面Dr2で情報ビットにより変調された反射光束は、再び対物レンズOBJ1、絞り、偏光ビームスプリッタBS3、を通過した後、偏光ビームスプリッタBS2によって反射された後、偏光ビームスプリッタBS4によって反射され、シリンドリカルレンズCY2及び凹レンズN2を経ることによって非点収差が与えられ、光検出器PD2に収束する。そして、光検出器PD2の出力信号を用いて第2の光ディスクD2に対して情報の記録／再生を行うことができる。

【0207】

第3の光ディスクD3に対して情報の記録／再生を行う場合、半導体レーザLD3から出射された発散光束は、偏光ビームスプリッタBS5を透過した後、偏光ビームスプリッタBS3によって反射され、図示しない絞りを通過した後、対物レンズOBJ1によって第3の光ディスクD3の透明基板を介して情報記録面Dr3上に集光されるスポットとなる。

【0208】

そして、情報記録面Dr3で情報ビットにより変調された反射光束は、再び対物レンズOBJ1、絞り、を通過した後、偏光ビームスプリッタBS3、および、偏光ビームスプリッタBS5によって反射された後、シリンドリカルレンズCY3及び凹レンズN3を経ることによって非点収差が与えられ、光検出器PD3に収束する。そして、光検出器PD3の出力信号を用いて第3の光ディスクD3に対して情報の記録／再生を行うことができる。

【0209】

また、光ピックアップ装置PU1は、半導体レーザLD1と対物レンズOBJ1との間、半導体レーザLD2と対物レンズOBJ1との間、及び半導体レーザLD3と対物レンズOBJ1との間の、それぞれの光路中に図示しない1／4波長板を備える。

【0210】

〈第7の実施の形態〉

【0211】

図93は、本実施の形態の対物レンズOBJ2を示す概略図であり、図93(A)は正面図、(B)は側面図、(C)は側面を一部拡大した図である。この対物レンズOBJ1は、例えば、青紫色半導体レーザのような短波長光源を使用する高密度DVD等の高密度光ディスクと、赤色半導体レーザを使用するDVD、DVD-ROM、DVD-RAM、DVD-R、DVD-RW、DVD+RW等のDVD規格の光ディスクと、赤外半導体レーザを使用するCD、CD-R、CD-RW、CD-Video、CD-ROM等のCD規格の光ディスクとに対して共通の対物レンズでコンパクトに記録／再生するための光ピックアップ装置に適用され、光源から発したレーザ光を光ディスクの情報記録面上に集光させる機能を有している。

【0212】

対物レンズOBJ2は、非球面である2つの光学面S3、S4を有する光源から発したレーザ光をそれぞれの光ディスクの情報記録面上に集光させるための集光レンズとしての第1の光学素子L1と、2つの光学面S1、S2を有する基板厚差補正手段としての第2の光学素子L2とから構成された複合型対物レンズであり、非球面である第2の光学素子L2の光学面S1上に図93(A)に示したように光軸を中心とした輪帯状の回折構造が形成されている。この回折構造は、図93(C)に示したように、フレネルレンズのように各輪帯の境界に光軸方向に段差 Δ を持つ。輪帯に入射したレーザ光は、その輪帯ピッチと、その輪帯の光軸方向の段差量とによって決定される方向に回折する。

【0213】

第1の光学素子L1と第2の光学素子L2は当接部Mによって嵌合されている。当接部Mは金型を用いた成型法により光学面と一体成形されることで、その形状を高精度に作製することが可能であり、第1の光学素子L1と第2の光学素子L2との間の光軸に垂直な方向の位置決めや光軸方向の位置決めを高精度に行うことができる。

【0214】

対物レンズOBJ2は、赤色半導体レーザから射出された発散光束をDVDの情報記録面上に集光し、赤外半導体レーザから射出された発散光束をCDの情報記録面上に集光する。このように対物レンズに対して発散光束が入射する場合、トラッキングエラーにより発生するコマ収差が問題となる。これは、トラッキングエラーにより半導体レーザの発光点に対して対物レンズが偏芯すると、発光点が対物レンズに対して軸外物点となるからである。従って、発散光束を入射させて使用する対物レンズの設計においては、良好なトラッキング特性を得るために、軸外特性（像高特性）のコマ収差を補正しておく必要がある。しかるに、対物レンズに対して発散光束が入射する場合には、平行光束を入射する場合に比して、軸外特性のコマ収差の発生量は大きくなる傾向がある。そこで、対物レンズOBJ2では、第1の光学素子L1と第2の光学素子L2とから構成される複合型対物レンズとすることで、設計自由度（光学面の数）を増やし、DVDやCDの軸外特性のコマ収差を良好に補正したので、DVDやCDの記録／再生時に良好なトラッキング特性を得ることができる。

【0215】

ところで、高密度光ディスクのように対物レンズの開口数が0.85程度に設定された場合、光学面（特に、光源側の光学面）の曲率半径が小さくなる。このような曲率半径の小さい光学面に輪帯構造を設けようとすると、輪帯ピッチが非常に小さくなってしまう（数 μ 程度。）

【0216】

光学素子を成形するために用いられる金型は、SPDT(Single-Point Diamond Turning)と呼ばれる微小径のダイヤモンドバイトで切削する方法で作製されている。しかし、SPDTによる金型加工においては、光学面上にピッチが数 μ m程度の輪帯構造のごとき微細形状を形成する場合、ダイヤモンドバイトの先端形状が金型に転写されることで発生する位相不整合部分によるレーザ光の利用効率低下が問題となる。また、フォトリソグラフィとエッチングとを繰り返し適用するバイナリオプティクス作成技術や電子ビーム描画技術は、高精度に微細形状を形成するのに適した光学素子の作製法であるが、高密度光ディスク用の対物レンズのように、曲率半径が小さい光学面上に微細形状を有する光学素子を作製した例や、光学素子を射出成形するために用いる金型を作製した例は報告されていない。

【0217】

さらに、将来、SPDTによる金型加工において、位相不整合部分によるレーザビームの利用効率低下が問題とならない程度に、先端形状の小さいダイヤモンドバイトを使用することで、高精度に微細形状の作成が技術的に可能となったり、バイナリオプティクス作成技術や電子ビーム描画技術により、曲率半径が小さい光学面上に微細形状を有する光学素子の作製や、光学素子を射出成形するために用いる金型の作製が技術的に可能となった

場合でも、曲率半径が小さい光学面上にピッチが数 μ 程度の輪帯構造を設けると、輪帯構造の段差部分による影の影響が大きくなるためにレーザ光の利用効率が低下するという課題が残る。

【0218】

そこで、対物レンズOBJ2では、第1の光学素子L1の近軸パワー P_1 (mm^{-1}) と、第2の光学素子L2の近軸パワー P_2 (mm^{-1}) とを、

$$|P_1 / P_2| \leq 0.2$$

を満足するように設定している。光学面S1上に回折構造が形成された第2の光学素子L2の曲率半径を大きく設定することで、輪帯構造の段差部分での影の影響によるレーザ光の利用効率低下を小さくするとともに、第1の光学素子L1の第2の光学素子L2側の光学面S3の曲率半径を小さく設定することで、対物レンズOBJ2の高開口数化を図った。

【0219】

さらに、第2の光学素子L2の近軸パワーに対する第1の光学素子L1の近軸パワーの比を大きく設定することで、光束の集光作用をもっぱら第1の光学素子L1に持たせたので、対物レンズOBJ2の光ディスク側の光学面S4をマージナル光線が通過する高さが大きく、対物レンズOBJ1のように、対物レンズを単レンズ構成とする場合と同程度の作動距離を確保している。

【0220】

さらに、第2の光学素子L2の近軸パワー P_2 は、第2の光学素子L2を透過して第1の光学素子L1に入射する光束のマージナル光線が収斂光線となるように決定されている。これにより、光学面S3の有効径が小さくなるので第1の光学素子L1の外径を小さくすることができ、それに伴い第2の光学素子L2の外径も小さくできるので、対物レンズOBJ2の小型化に有利である。

【0221】

光学面S1上に形成された回折構造は、対物レンズOBJ1の光学面S1上に形成された回折構造と同様の考え方により決定されているので、ここでは、その詳細な説明は省略する。

【0222】

図94は、この対物レンズOBJ2を使用した光ピックアップ装置PU2を示す概略図である。光ピックアップ装置PU2は、対物レンズが複合型対物レンズである対物レンズOBJ2となっている以外は、光ピックアップ装置PU1と同様であるので、ここでは、光ピックアップ装置PU2に関する詳細な説明は省略する。

【0223】

なお、本発明の実施の形態例に用いることのできる対物レンズとしては、1枚のレンズから構成される対物レンズのほかに、2枚以上の複数のレンズから構成される対物レンズも含まれる。

【実施例】

【0224】

次に、本発明を実施例1乃至実施例14により更に具体的に説明する。各実施例のレンズにおける非球面は光軸方向をX軸、光軸に垂直な方向の高さを h 、屈折面の曲率半径を r とするとき次式の数2で表す。但し、 κ を円すい係数、 A_{2i} を非球面係数とする。

【0225】

【数 2】

$$X = \frac{h^2/r}{1 + \sqrt{1 - (1 + \kappa)h^2/r^2}} + \sum_{i=2} A_{2i} h^{2i}$$

【0 2 2 6】

また、各実施例における回折面は光路差関数 Φ_b として次式の数 3 により表すことができる。ここで、 h は光軸に垂直な高さであり、 b_{2i} は光路差関数の係数であり、 n は回折面で発生する回折光のうち、最大の回折光量を有する回折光の次数である。

【0 2 2 7】

【数 3】

$$\Phi_b = n \cdot \sum_{i=1} b_{2i} h^{2i}$$

【0 2 2 8】

なお、以下の表または図では、10 のべき乗の表現に E (または e) を用いて、例えば、 $E-02$ ($=10^{-2}$) のように表す場合がある。

【0 2 2 9】

〈実施例 1〉

【0 2 3 0】

実施例 1 は、上述の図 9、図 11、図 12、図 14、図 15 の各光ピックアップ装置に適用することのできる対物レンズであって、記録密度の異なる 3 種類の光ディスクに対して情報の記録／再生が可能である。実施例 1 の対物レンズ特性を得るに当たって、第 1 の光ディスク（高密度 DVD）用の第 1 の光源の波長 λ_1 を 405nm、第 2 の光ディスク（DVD）用の第 2 の光源の波長 λ_2 を 650nm、第 3 の光ディスク用（CD）の第 3 の光源の波長 λ_3 を 780nm とし、第 1 の光ディスクの保護基板厚さ t_1 は 0.1mm、第 2 の光ディスクの保護基板厚さ t_2 は 0.6mm、第 3 の光ディスクの保護基板厚さ t_3 は 1.2mm とした。また、第 1 乃至第 3 の光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な対物レンズの像側開口数 NA1、NA2、NA3 として、それぞれ 0.85、0.65、0.50 を想定している。

【0 2 3 1】

図 20 乃至図 22 に、実施例 1 の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ 、 $\lambda_2 = 650\text{nm}$ 、 $\lambda_3 = 780\text{nm}$ における光路図を示す。実施例 1 の対物レンズは、光源側の非球面上に同心円状の複数の輪帯からなる回折構造を有しているが、本明細書中の光路図においては、回折構造は省略されている。実施例 1 の対物レンズの回折構造及び非球面形状は、波長 λ_1 乃至 λ_3 の光束の 1 次回折光がそれぞれ第 1 乃至第 3 の光ディスクの情報記録面上に良好な波面を形成するように決定される。また、実施例 1 の対物レンズは、 $\lambda_1 = 405\text{nm}$ では無限仕様とし、 $\lambda_2 = 650\text{nm}$ 、及び $\lambda_3 = 780\text{nm}$ では有限仕様とした。このように、 $\lambda_2 = 650\text{nm}$ 、及び $\lambda_3 = 780\text{nm}$ で有限仕様とし、第 1 の光ディスクに比して保護基板厚さの大きい第 2、第 3 の光ディスクに対して発散光束を入射するようにすると、作動距離（対物レンズ最終面と、光ディ

スクの光束入射面との間隔)を十分に確保できるとともに、回折構造が補正しなくてはならない、異なる種類の光ディスクの保護基板厚さの違いに起因して発生する球面収差量を軽減することができるので、隣り合う輪帯の間隔を広げることができ、輪帯形状の製造誤差による回折効率の低下を緩和することができる。

【0232】

図23に実施例1の対物レンズの $\lambda_1=405\text{nm}$ に対する開口数0.85までの球面収差図を示す。また、図24に $\lambda_2=650\text{nm}$ に対する開口数0.65までの球面収差図を示す。また、図25に $\lambda_3=780\text{nm}$ に対する開口数0.50までの球面収差図を示す。図23乃至図25の球面収差図より明らかなように、回折構造の作用と結像倍率の違いとを利用することで、3種類の光ディスクの保護基板厚さの違いにより発生する球面収差を、それぞれの光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な像側開口数内で良好に補正している。なお、実施例1の対物レンズの波面収差は、

$\lambda_1=405\text{nm}$ 、 $\text{NA}1\ 0.85$ 、 $t_1=0.1\text{mm}$ のとき、 $0.007\lambda_1\ \text{rms}$

$\lambda_2=650\text{nm}$ 、 $\text{NA}2\ 0.65$ 、 $t_2=0.6\text{mm}$ のとき、 $0.003\lambda_2\ \text{rms}$

$\lambda_3=780\text{nm}$ 、 $\text{NA}3\ 0.50$ 、 $t_3=1.2\text{mm}$ のとき、 $0.002\lambda_3\ \text{rms}$

である。

【0233】

また、図26に $\lambda_2=650\text{nm}$ に対する別の球面収差図を示す。図26は、 $\lambda_1=405\text{nm}$ と $\text{NA}1\ 0.85$ との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda_2=650\text{nm}$ の光を入射させた場合の、実施例1の対物レンズの球面収差図である。図26の球面収差図から理解されるように、実施例1の対物レンズは、 $\lambda_2=650\text{nm}$ 、 $t_2=0.6\text{mm}$ の組み合わせに対して、 $\text{NA}2\ 0.65$ までの光束をほぼ無収差で第2の光ディスクの情報記録面上に集光させ、 $\text{NA}2\ 0.65$ より外側を通過する光束は、大きな球面収差(以下、「フレア」と呼ぶ)を発生させることで、第2の光ディスクの情報記録面92上に集光しないようにしている。

【0234】

また、図27に $\lambda_3=780\text{nm}$ に対する別の球面収差図を示す。図27は、 $\lambda_1=405\text{nm}$ と $\text{NA}1\ 0.85$ との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda_3=780\text{nm}$ の光を入射させた場合の、実施例1の対物レンズの球面収差図である。図27の球面収差図から理解されるように、実施例1の対物レンズは、 $\lambda_3=780\text{nm}$ 、 $t_3=1.2\text{mm}$ の組み合わせに対して、 $\text{NA}3\ 0.50$ までの光束をほぼ無収差で第3の光ディスクの情報記録面93上に集光させ、 $\text{NA}3\ 0.50$ より外側を通過する光束は、フレアを発生させることで、第3の光ディスクの情報記録面93上に集光しないようにしている。

【0235】

このように、第2及び第3の光ディスクに対して情報の記録／再生を行う際に、必要開口数より外側の領域を通過する光束をフレアとすると、光ディスクの情報記録面上のスポットが必要以上に小さくならないので、光ディスクの保護基板が光軸に対して傾いた(以下、「ディスクキュー」と呼ぶ)場合に発生するコマ収差を小さくすることができ、ディスクキューに対するマージンを確保できる。さらに、記録密度の異なる光ディスクに対応した開口切替手段を設ける必要がないので、構造が簡単になり好ましい。

【0236】

なお、実施例1の対物レンズでは、第1の光ディスク(高密度DVD)として、保護基板厚さ t_1 を 0.1mm 、光源の波長を 405nm 、像側開口数を 0.85 と仮定して光学設計を進めたが、これ以外の仕様である光ディスクに対しても本発明は適用が可能である。

【0237】

また、第2の光ディスク(DVD)に対する像側開口数を 0.65 、第3の光ディスク(CD)に対する像側開口数を 0.50 として光学設計を進めたが、これ以外の仕様である光ディスクに対しても本発明は適用が可能である。

【0238】

また、本明細書において、「球面収差を(良好に)補正する」、「波面収差を(良好に)補正する」とは、光源から射出された光束が、光ディスクの情報記録面上に、その光デ

ィスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な対物レンズの所定の像側開口数内で、波面収差が回折限界内（ λ を光源の波長としたとき、 0.07λ rms以下、より好ましくは 0.05λ rms以下、）の状態で集光するように収差を補正することを指す。

【0239】

表1に実施例1の対物レンズのレンズデータを示す。表中、 f_1 、 f_2 、 f_3 はそれぞれ、波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 における対物レンズの焦点距離、 m_1 、 m_2 、 m_3 はそれぞれ、波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 における対物レンズの結像倍率、 r (mm)は曲率半径、 d (mm)は面間隔、 N_{λ_1} 、 N_{λ_2} 、 N_{λ_3} はそれぞれ、波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 における屈折率、 ν_d はd線におけるアッペ数を表すが、以降の実施例2乃至14のレンズデータにおいても同様である。

【0240】

【表1】

波長 $\lambda_1=405\text{nm}$ のとき

焦点距離 $f_1=2.35\text{mm}$ 、像側開口数 $NA_1=0.85$ 、結像倍率 $m_1=0$

波長 $\lambda_2=650\text{nm}$ のとき

焦点距離 $f_2=2.43\text{mm}$ 、像側開口数 $NA_2=0.65$ 、結像倍率 $m_2=-0.05$

波長 $\lambda_3=780\text{nm}$ のとき

焦点距離 $f_3=2.45\text{mm}$ 、像側開口数 $NA_3=0.50$ 、結像倍率 $m_3=-0.10$

面番号	r (mm)	d (mm)	N_{λ_1}	N_{λ_2}	N_{λ_3}	ν_d	備考
0		d0(可変)					光源
1	1.799	2.500	1.76904	1.73912	1.73324	49.3	対物レンズ
2	45.872	d2(可変)					
3	∞	d3(可変)	1.61949	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
4	∞						

	$\lambda_1=405\text{nm}$	$\lambda_2=650\text{nm}$	$\lambda_3=780\text{nm}$
d0	∞	48.589	27.964
d2	0.100	0.600	1.200
d3	0.855	0.720	0.450

非球面係数

	第1面	第2面
κ	-6.1317E-01	0.0000E+00
A4	5.2524E-03	7.1812E-02
A6	-5.6632E-04	-3.8260E-02
A8	1.1555E-03	-1.7437E-03
A10	-3.1854E-04	4.7910E-03
A12	-2.2350E-06	-5.7767E-04
A14	2.6449E-05	-1.1890E-04
A16	-4.7779E-06	

回折面係数

	第1面
b2	-2.0000E-03
b4	-5.6811E-04
b6	-1.3194E-04
b8	4.9466E-05
b10	-8.0188E-06

【0241】

また、実施例1の対物レンズの光源側の非球面上に形成された回折構造は、波長 λ_1 、回折次数1で最適化されているが、波長 λ_1 以外の波長や、1以外の回折次数で、この回折構造を最適化してもよい。いずれの場合でも、若干の設計変更で本発明の光ピックアップ装置に適用可能な対物レンズとすることができる。

【0242】

＜実施例2＞

【0243】

実施例2は、上述の図12の光ピックアップ装置に適用することのできる集光光学系であって、記録密度の異なる3種類の光ディスクに対して、情報の記録／再生が可能である

。第1の光ディスク（高密度DVD）として、保護基板厚さ t_1 を0.1mm、光源の波長 λ_1 を405nm、像側開口数NA1を0.85とし、第2の光ディスク（DVD）として、保護基板厚さ t_2 を0.6mm、光源の波長 λ_2 を650nm、像側開口数NA2を0.65とし、第3の光ディスク（CD）として、保護基板厚さ t_3 を1.2mm、光源の波長 λ_3 を780nm、像側開口数NA3を0.50とした。

【0244】

図28に実施例2の集光光学系の $\lambda_1=405\text{nm}$ における光路図を示す。実施例2の集光光学系のコリメータ（図12のコリメータ29に対応する。）は、光ディスク側の非球面上に形成した同心円状の複数の輪帯からなる回折構造の作用により、第1の光源から射出される光の波長が405nmから長波長側に変化した場合に、コリメータのバックフォーカスが短くなるような波長特性を有する。第1の光源から射出される光の波長が405nmから長波長側に変化した場合の、コリメータのバックフォーカスの変化量の符号を、同じ量の波長変化に対する対物レンズのバックフォーカスの変化量の符号と逆符号とし、さらに、コリメータの焦点距離の二乗で規格化したバックフォーカスの変化量の絶対値を、同じ量の波長変化に対する対物レンズの焦点距離の二乗で規格化したバックフォーカスの変化量の絶対値とほぼ同じとしたので、第1の光源から射出される光の波長が変化した場合の対物レンズの焦点位置の変化を補償することができる。

【0245】

図29に実施例2の集光光学系の対物レンズの $\lambda_1=405\text{nm}\pm 10\text{nm}$ に対する開口数0.85までの球面収差図を示す。また、図30に実施例2の集光光学系のコリメータと対物レンズとの合成系の $\lambda_1=405\text{nm}\pm 10\text{nm}$ に対する開口数0.85までの球面収差図を示す。図29の球面収差図に示すように、実施例2の対物レンズは基準波長405nmから+10nm波長が変化すると、近軸焦点位置が0.005mm変化するが、上述したような波長特性を有するコリメータと組み合わせることで、図30の球面収差図にあるように、基準波長405nmから+10nm波長が変化した場合の近軸焦点位置の変化量を0.002mmと小さくすることができる。

【0246】

なお、青紫色半導体レーザのモードホッピングによる波長変化量を+1nmと仮定すると、実施例2の対物レンズのみの系でのモードホッピング時の波面収差のデフォーカス成分は、 $0.160\lambda_{\text{rms}}$ と回折限界を超えてしまうが、実施例2の集光光学系のコリメータと対物レンズとの合成系でのモードホッピング時の波面収差のデフォーカス成分は、 $0.001\lambda_{\text{rms}}$ 以下であり、波長変化による対物レンズの最良像面位置の変化が良好に補償されていることがわかる。

【0247】

さらに、実施例2の集光光学系は、第1の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合に、光ディスクの保護基板厚さの製造誤差、対物レンズやコリメータ等の集光光学系を構成する光学素子の製造誤差、光源の製造誤差による波長の変化、及び温度変化や湿度変化による対物レンズやコリメータ等の集光光学系を構成する光学素子の形状変化や屈折率変化による球面収差の変化を補正する基板厚誤差補正手段としての屈折率分布可変素子（図12の屈折率分布可変素子23に対応する。）を有する。

【0248】

このような屈折率分布可変素子としては、屈折率分布可変材料層を有し、電場または磁場または温度を印加することにより屈折率分布可変材料層の屈折率分布を変化させることのできる素子があげられる。具体的には、屈折率分布可変材料層は液晶層であって、液晶層は互いに対向する透明電極との間に配置され、かかる透明電極に電圧を印加することで液晶層の液晶分子の配向状態を電氣的に制御することで液晶層内の屈折率分布を変化させることのできる素子や、屈折率分布可変材料層は電気光学材料層であって、電気光学材料層は互いに対向する透明電極との間に配置され、透明電極に電圧を印加することで電気光学材料層の屈折率を電氣的に制御することで電気光学材料層内の屈折率分布を変化させることのできる素子等がある。

【0249】

実施例2では、このような屈折率分布可変材料層の光軸に垂直な方向に沿った屈折率分

布 $N(\lambda, h)$ を、 h を光軸からの高さ (mm)、 $N_0(\lambda)$ を屈折率分布可変材料層の光軸上の波長 λ における屈折率、 A_{2i} を屈折率分布関数係数として、

$$N(\lambda, h) = N_0(\lambda) + \sum A_{2i} \cdot h^{2i} \quad (B)$$

で表現される屈折率分布関数で表す。

【0250】

表 2 に、光源の製造誤差による基準波長 (405nm) に対する ± 10 nm の波長誤差、基準温度 (25℃) に対する ± 30 ℃ の温度変化によるプラスチックレンズの屈折率変化、第 1 の光ディスクの基準保護基板厚さ (0.1mm) に対する ± 0.02 mm の製造誤差、により集光光学系で発生する球面収差の変化を、屈折率分布可変材料層の屈折率分布を変化させることで補正した結果を示す。プラスチックレンズはガラスレンズに比べて温度変化による屈折率変化が大きいので、温度変化時は、プラスチックレンズの屈折率変化のみを考慮し、その変化量は、 $-10 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ である。

【0251】

【表 2】

		補正前の波面収差	補正後の波面収差	$N_0(\lambda)$	A_2
波長誤差	+10nm	0.142 λ rms	0.007 λ rms	1.52897	5.6830E-04
	-10nm	0.147 λ rms	0.010 λ rms	1.53153	-5.7980E-04
温度変化	+30℃	0.011 λ rms	0.008 λ rms	1.53001	-4.5330E-05
	-30℃	0.013 λ rms	0.008 λ rms	1.53039	2.9830E-05
透明基板厚さの誤差	+0.02mm	0.195 λ rms	0.010 λ rms	1.53020	7.5570E-04
	-0.02mm	0.191 λ rms	0.012 λ rms	1.53020	-7.7790E-04

【0252】

なお、実施例 2 の集光光学系において、プラスチックレンズはコリメータである。また、温度変化時の光源の波長変化量を $+0.05\text{nm}/^\circ\text{C}$ とした。表 2 から、いずれの場合も、良好に波面収差が補正されており、0.85 という高い開口数を必要とする第 1 の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合でも常に集光状態の良好なスポットを得ることができる。

【0253】

また、表 2 において、補正前の波面収差は、波長誤差、あるいは温度変化による波長変化及び屈折率変化、あるいは保護基板厚さの誤差を与えた場合に、屈折率分布可変材料層の屈折率分布を変化させる前、すなわち屈折率分布可変材料層の屈折率が一様に $N_0(\lambda)$ であるときの集光光学系全系の波面収差を意味し、補正後の波面収差は、波長誤差、あるいは温度変化による波長変化及び屈折率変化、あるいは保護基板厚さの誤差を与えた場合に、屈折率分布可変材料層に、2 次の屈折率分布関数係数 A_2 と $N_0(\lambda)$ を用いて上記 (B) 式で表現される屈折率分布を与えたときの集光光学系全系の波面収差を意味する。

【0254】

図 3 1 及び図 3 2 に実施例 2 の集光光学系の対物レンズの $\lambda_2 = 650\text{nm}$ 、 $\lambda_3 = 780\text{nm}$ における光路図を示す。また、図 3 3 に $\lambda_2 = 650\text{nm}$ に対する開口数 0.65 までの球面収差図を示す。また、図 3 4 に $\lambda_3 = 780\text{nm}$ に対する開口数 0.50 までの球面収差図を示す。実施例 2 の集光光学系の対物レンズは、光源側の非球面上に同心円状の輪帯回折構造を有しており、この回折構造の作用と結像倍率の違いとを利用することで、3 種類の光ディスクの保護基板厚さの違いにより発生する球面収差を、それぞれの光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な像側開口数内で良好に補正している。実施例 2 の集光光学系の対物レンズは実施例 1 の対物レンズと同じ対物レンズであるので、詳細な説明は割愛する。

【0255】

また、実施例 2 の集光光学系では、第 1 の光ディスクに対して情報の記録／再生を行う場合にのみ、屈折率分布可変材料層の光軸に垂直な方向に沿った屈折率分布を変化させて球面収差の変化を補正したが、第 2 の光ディスクあるいは第 3 の光ディスクに対して情報の記録／再生を行う場合においても、屈折率分布可変材料層の屈折率分布を変化させて球

面収差の変化を補正してもよい。

【0256】

また、実施例2の光路図では、実際の光ピックアップ装置において、光源と対物レンズとの間の光路中に配置される偏光ビームスプリッタは省略している。実施例2の集光光学系において、光源と対物レンズとの間の非平行光束中に偏光ビームスプリッタが配置されると球面収差が発生するが、光源の位置を光軸方向に所定量移動することで、発生した球面収差を補正することができる。以降の実施例においても同様に、光源と対物レンズとの間の光路中に配置される偏光ビームスプリッタは省略する。

【0257】

表3に実施例2の集光光学系の、 $\lambda_1=405\text{nm}$ に対するレンズデータを示す。実施例2の集光光学系のコリメータの光ディスク側の非球面上に形成した回折構造は、波長 λ_1 、回折次数1で最適化されている。

【0258】

【表3】

波長 $\lambda_1=405\text{nm}$ のとき
焦点距離 $f_1=2.35\text{mm}$ 、像側開口数 $NA_1=0.85$ 、結像倍率 $m_1=0$

面番号	r (mm)	d (mm)	$N_{\lambda 1}$	$N_{\lambda 2}$	$N_{\lambda 3}$	ν_d	備考
0		9.851					光源
1	-30.532	1.500	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	コリメータ
2	-9.309	12.000					
3	∞	1.000	1.53020	1.51452	1.51118	64.1	ガラス基板
4	∞	1.000	1.53020	1.51452	1.51118	64.1	屈折率分布可変材料層
5	∞	1.000	1.53020	1.51452	1.51118	64.1	ガラス基板
6	∞	3.000					
7	1.799	2.500	1.76904	1.73912	1.73324	49.3	対物レンズ
8	45.872	0.855					
9	∞	0.100	1.61949	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
10	∞						

非球面係数

	第2面	第7面	第8面
κ	-4.0087E-01	-6.1317E-01	0.0000E+00
A4	-1.2239E-04	5.2524E-03	7.1812E-02
A6	-1.8594E-06	-5.6632E-04	-3.8260E-02
A8		1.1555E-03	-1.7437E-03
A10		-3.1854E-04	4.7910E-03
A12		-2.2350E-06	-5.7767E-04
A14		2.6449E-05	-1.1890E-04
A16		-4.7779E-06	

回折面係数

	第2面	第7面
b2	-2.4956E-02	-2.0000E-03
b4		-5.6811E-04
b6		-1.3194E-04
b8		4.9466E-05
b10		-8.0188E-06

【0259】

また、かかる回折構造を2次以上の回折次数で最適化すると、金型の加工時間の短縮やコリメータの透過光量の向上という点で有利となる。例えば、回折次数2で最適化すると回折輪帯数が $1/2$ 、隣り合う回折輪帯の間隔が2倍となる。この場合は、表3のレンズデータにおける第2面の回折面係数を $1/2$ 倍した値を用いて、前述の数3で表される光路差関数の値（ただし $n=2$ ）が最適化波長（この場合は λ_1 ）の2倍かわる毎に回折輪帯を形成する。

【0260】

表4に実施例2の集光光学系の、 $\lambda_2=650\text{nm}$ 及び $\lambda_3=780\text{nm}$ に対するレンズデータを示す。

【0261】

【表 4】

波長 $\lambda 2=650\text{nm}$ のとき焦点距離 $f2=2.43\text{mm}$ 、像側開口数 $NA2=0.65$ 、結像倍率 $m2=-0.05$ 波長 $\lambda 3=780\text{nm}$ のとき焦点距離 $f3=2.45\text{mm}$ 、像側開口数 $NA3=0.50$ 、結像倍率 $m3=-0.10$

面番号	r (mm)	d (mm)	$N\lambda 1$	$N\lambda 2$	$N\lambda 3$	νd	備考
0		d0(可変)					光源
1	∞	1.000	1.53020	1.51452	1.51118	64.1	ガラス基板 屈折率分布可変材料層
2	∞	1.000	1.53020	1.51452	1.51118	64.1	
3	∞	1.000	1.53020	1.51452	1.51118	64.1	
4	∞	3.000					ガラス基板
5	1.799	2.500	1.76904	1.73912	1.73324	49.3	対物レンズ
6	45.872	d5(可変)					
7	∞	d6(可変)	1.61949	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
8	∞						

	$\lambda 2=650\text{nm}$	$\lambda 3=780\text{nm}$
d0	43.500	23.000
d5	0.600	1.200
d6	0.720	0.450

非球面係数

	第5面	第6面
κ	-6.1317E-01	0.0000E+00
A4	5.2524E-03	7.1812E-02
A6	-5.6632E-04	-3.8260E-02
A8	1.1555E-03	-1.7437E-03
A10	-3.1854E-04	4.7910E-03
A12	-2.2350E-06	-5.7767E-04
A14	2.6449E-05	-1.1890E-04
A16	-4.7779E-06	

回折面係数

	第5面
b2	-2.0000E-03
b4	-5.6811E-04
b6	-1.3194E-04
b8	4.9466E-05
b10	-8.0188E-06

【0 2 6 2】

<実施例 3>

【0 2 6 3】

実施例 3 は、図 1 3 の光ピックアップ装置に適用することのできる集光光学系であって、記録密度の異なる 3 種類の光ディスクに対して、情報の記録／再生が可能である。第 1 の光ディスク（高密度 DVD）として、保護基板厚さ $t1$ を 0.1mm 、光源の波長 $\lambda 1$ を 405nm 、像側開口数 $NA1$ を 0.85 とし、第 2 の光ディスク（DVD）として、保護基板厚さ $t2$ を 0.6mm 、光源の波長 $\lambda 2$ を 650nm 、像側開口数 $NA2$ を 0.65 とし、第 3 の光ディスク（CD）として、保護基板厚さ $t3$ を 1.2mm 、光源の波長 $\lambda 3$ を 780nm 、像側開口数 $NA3$ を 0.50 とした。

【0 2 6 4】

図 3 5 に実施例 3 の集光光学系の $\lambda 1=405\text{nm}$ における光路図を示す。また、図 3 6 に実施例 3 の集光光学系の $\lambda 1=405\text{nm} \pm 10\text{nm}$ に対する開口数 0.85 までの球面収差図を示す。実施例 3 のコリメータは、実施例 2 の集光光学系のコリメータと同様に、光ディスク側の非球面上に形成した同心円状の複数の輪帯からなる回折構造の作用により、第 1 の光源から射出される光の波長が 405nm から長波長側に变化した場合に、コリメータのバックフォーカスが短くなるような波長特性を有し、第 1 の光源から射出される光の波長が变化した場合の対物レンズの焦点位置の変化を補償している。実施例 3 の対物レンズのみの系でのモードホッピング時の波面収差のデフォーカス成分が、 $0.201\lambda \text{rms}$ であるのに対し、実施例 3 の集光光学系のコリメータと対物レンズとの合成系でのモードホッピング時の波面収差のデフォーカス成分は、 $0.003\lambda \text{rms}$ であり、波長変化による対物レンズの最良像面位置の

変化が良好に補償されていることがわかる。

【0265】

さらに、実施例3の集光光学系は、実施例2の集光光学系と同様に、第1の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合に、光ディスクの保護基板厚さの製造誤差、対物レンズやコリメータ等の集光光学系を構成する光学素子の製造誤差、光源の製造誤差による波長の変化、及び温度変化や湿度変化による対物レンズやコリメータ等の集光光学系を構成する光学素子の形状変化や屈折率変化による球面収差の変化を補正する基板厚差補正手段としての屈折率分布可変素子を有する。

【0266】

表5に、光源の製造誤差による基準波長（405nm）に対する±10nmの波長の変化、基準温度（25℃）に対する±30℃の温度変化によるプラスチックレンズの屈折率変化、第1の光ディスクの基準保護基板厚さ（0.1mm）に対する±0.02mmの製造誤差、により集光光学系で発生する球面収差の変化を、屈折率分布可変素子の屈折率分布可変材料層の屈折率分布を変化させることで補正した結果を示す。

【0267】

【表5】

		補正前の波面収差	補正後の波面収差	No(λ)	A2
波長誤差	+10nm	0.289 λ rms	0.011 λ rms	1.52897	9.3500E-04
	-10nm	0.315 λ rms	0.015 λ rms	1.53153	-9.5240E-04
温度変化	+30℃	0.299 λ rms	0.031 λ rms	1.53001	9.3590E-04
	-30℃	0.314 λ rms	0.052 λ rms	1.53039	-9.2810E-04
透明基板厚さの誤差	+0.02mm	0.194 λ rms	0.009 λ rms	1.53020	5.9700E-04
	-0.02mm	0.203 λ rms	0.013 λ rms	1.53020	-6.0360E-04

【0268】

実施例2と同様に、温度変化時は、プラスチックレンズの屈折率変化のみを考慮し、その変化量は、 $-10 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ である。なお、実施例3の集光光学系において、プラスチックレンズはコリメータと対物レンズである。また、温度変化時の光源の波長変化量を+0.05nm/℃とした。なお、屈折率分布可変材料層の光軸に垂直な方向に沿った屈折率分布は、実施例2と同様に（B）式で表される。表5から、いずれの場合も、良好に波面収差が補正されており、0.85という高い開口数を必要とする第1の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合でも常に集光状態の良好なスポットを得ることができる。

【0269】

図37に実施例3の集光光学系の $\lambda_2 = 650\text{nm}$ における光路図を示す。また、図38に実施例3の集光光学系の $\lambda_3 = 780\text{nm}$ における光路図を示す。また、図39に $\lambda_2 = 650\text{nm}$ に対する開口数0.65までの球面収差図を示す。また、図40に $\lambda_3 = 780\text{nm}$ に対する開口数0.50までの球面収差図を示す。実施例3の集光光学系の対物レンズは、第1の光ディスク専用の対物レンズであって、 $\lambda_1 = 405\text{nm}$ 、NA1 0.85、 $t_1 = 0.1\text{mm}$ 、結像倍率 $m_1 = 0$ の組み合わせで無収差となるように収差補正された屈折レンズである。

【0270】

したがって、実施例3の集光光学系の対物レンズで、第1の光ディスクに比して保護基板厚さの大きい第2の光ディスク及び第3の光ディスクに対して情報の記録／再生を行おうとすると、補正過剰方向に球面収差が変化する。そこで、屈折率分布可変素子により補正過剰方向に変化した球面収差を補正することで、第1の光ディスク専用の対物レンズを用いて、第2の光ディスク及び第3の光ディスクに対して情報の記録／再生を行えるようにした。

【0271】

さらに、第2の光ディスク及び第3の光ディスクに対して情報の記録／再生を行う際に、対物レンズに対し発散光束を入射させることで、十分な作動距離を確保した。表6に、

保護基板厚さの違いにより変化した球面収差を補正した結果を示す。屈折率分布可変材料層の光軸に垂直な方向に沿った屈折率分布は、実施例2と同様に（B）式で表される。また、5次以上の高次球面収差を良好に補正するために、2次の屈折率分布係数に加えて4次の屈折率分布係数を使用した。

【0272】

【表6】

	補正前の波面収差	補正後の波面収差	$N_0(\lambda)$	A_2	A_4
第2の光ディスク ($NA_2=0.65$, $\lambda_2=650\text{nm}$, $t_2=0.6\text{mm}$)	$0.357\lambda\text{rms}$	$0.001\lambda\text{rms}$	1.51452	-1.0260E-02	-5.4230E-04
第3の光ディスク ($NA_3=0.50$, $\lambda_3=780\text{nm}$, $t_3=1.2\text{mm}$)	$0.214\lambda\text{rms}$	$0.002\lambda\text{rms}$	1.51118	-6.1780E-03	-1.2010E-03

【0273】

表6から、保護基板厚さの違いにより変化した球面収差は良好に補正され、第1の光ディスク専用の対物レンズを用いて、第2の光ディスク及び第3の光ディスクに対する情報の記録／再生が可能であることがわかる。

【0274】

また、対物レンズの光学面上には、開口切替手段として波長選択性のあるフィルタが形成されている。すなわち、図18に示すように、 NA_3 内に対応する共通領域にはフィルタCが形成されており、 NA_3 から NA_2 に対応する第1の周辺領域にはフィルタBが形成されており、 NA_2 から NA_1 に対応する第2の周辺領域にはフィルタAが形成されている。かかる波長選択性のある輪帯フィルタにより、第2の光ディスク及び第3の光ディスクに対する情報の記録／再生を行う場合は、必要開口数以上の光束を遮断することにより、開口切り替えを自動的に行うことができる。

【0275】

表7に実施例3の集光光学系の $\lambda_1=405\text{nm}$ に対応するレンズデータを示す。実施例3の集光光学系のコリメータの光ディスク側の非球面上に形成した回折構造は、波長 λ_1 、回折次数1で最適化されている。

【0276】

【表 7】

波長 $\lambda_1=405\text{nm}$ のとき焦点距離 $f_1=2.65\text{mm}$ 、像側開口数 $\text{NA}_1=0.85$ 、結像倍率 $m_1=0$

面番号	$r(\text{mm})$	$d(\text{mm})$	$N_{\lambda 1}$	$N_{\lambda 2}$	$N_{\lambda 3}$	ν_d	備考
0		16.185					光源
1	-23.167	2.000	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	コリメータ
2	-19.157	13.000					
3	∞	1.000	1.53020	1.51452	1.51118	64.1	ガラス基板
4	∞	1.000	1.53020	1.51452	1.51118	64.1	屈折率分布可変材料層
5	∞	1.000	1.53020	1.51452	1.51118	64.1	
6	∞	3.000					ガラス基板
7	1.694	3.100	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	対物レンズ
8	-2.856	0.918					
9	∞	0.100	1.61949	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
10	∞						

非球面係数

	第2面	第7面	第8面
K	2.2006E+01	-6.6664E-01	-2.4860E+01
A_4	3.3389E-04	4.3203E-03	6.5486E-02
A_6	2.0267E-05	7.2364E-04	-3.4626E-02
A_8		1.0865E-04	9.6814E-03
A_{10}		1.1601E-05	-1.4277E-03
A_{12}		9.6720E-07	7.9143E-05
A_{14}		3.2018E-07	2.9499E-06
A_{16}		1.7930E-07	-3.1761E-07
A_{18}		-2.1404E-08	
A_{20}		-3.4886E-09	

回折面係数

	第2面
b_2	-2.4285E-02

【0 2 7 7】

表 8 に実施例 3 の集光光学系の、 $\lambda_2=650\text{nm}$ 及び $\lambda_3=780\text{nm}$ に対するレンズデータを示す。

【0 2 7 8】

【表 8】

波長 $\lambda 2=650\text{nm}$ のとき
 焦点距離 $f2=2.72\text{mm}$ 、像側開口数 $NA2=0.65$ 、結像倍率 $m2=-0.10$

波長 $\lambda 3=780\text{nm}$ のとき
 焦点距離 $f3=2.74\text{mm}$ 、像側開口数 $NA3=0.50$ 、結像倍率 $m3=-0.10$

面番号	r (mm)	d (mm)	$N\lambda 1$	$N\lambda 2$	$N\lambda 3$	νd	備考
0		25.000					光源
1	∞	1.000	1.53020	1.51452	1.51118	64.1	ガラス基板 屈折率分布可変材料層
2	∞	1.000	1.53020	1.51452	1.51118	64.1	
3	∞	1.000	1.53020	1.51452	1.51118	64.1	
4	∞	3.000					
5	1.694	3.100	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	対物レンズ
6	-2.856	d5(可変)					
7	∞	d6(可変)	1.61949	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
8	∞						

	$\lambda 2=650\text{nm}$	$\lambda 3=780\text{nm}$
d5	0.600	1.200
d6	0.795	0.481

非球面係数

	第5面	第6面
κ	-6.6664E-01	-2.4860E+01
A4	4.3203E-03	6.5486E-02
A6	7.2364E-04	-3.4626E-02
A8	1.0865E-04	9.6814E-03
A10	1.1601E-05	-1.4277E-03
A12	9.6720E-07	7.9143E-05
A14	3.2018E-07	2.9499E-06
A16	1.7930E-07	-3.1761E-07
A18	-2.1404E-08	
A20	-3.4886E-09	

【0279】

〈実施例 4〉

【0280】

実施例 4 は、図 14 の光ピックアップ装置に適用することのできる集光光学系であって、記録密度の異なる 3 種類の光ディスクに対して、情報の記録／再生が可能である。第 1 の光ディスク（高密度 DVD）として、保護基板厚さ $t1$ を 0.1mm 、光源の波長 $\lambda 1$ を 405nm 、像側開口数 $NA1$ を 0.85 とし、第 2 の光ディスク（DVD）として、保護基板厚さ $t2$ を 0.6mm 、光源の波長 $\lambda 2$ を 650nm 、像側開口数 $NA2$ を 0.65 とし、第 3 の光ディスク（CD）として、保護基板厚さ $t3$ を 1.2mm 、光源の波長 $\lambda 3$ を 780nm 、像側開口数 $NA3$ を 0.50 とした。

【0281】

図 41 に実施例 4 の集光光学系の $\lambda 1=405\text{nm}$ における光路図を示す。また、図 42 に実施例 4 の集光光学系の $\lambda 1=405\text{nm} \pm 10\text{nm}$ に対する開口数 0.85 までの球面収差図を示す。実施例 4 の集光光学系では、ビームエキスパンダを構成する正レンズの両面上に形成した同心円状の複数の輪帯からなる回折構造の作用により、第 1 の光源から射出される光の波長が 405nm から長波長側に変化した場合に、ビームエキスパンダのパワーが大きくなるような波長特性をビームエキスパンダに持たせることで、第 1 の光源から射出される光の波長が変化した場合の対物レンズの焦点位置の変化を補償している。実施例 4 の対物レンズのみの系でのモードホッピング時の波面収差のデフォーカス成分が、 $0.160\lambda \text{rms}$ であるのに対し、実施例 4 の集光光学系のビームエキスパンダと対物レンズとの合成系でのモードホッピング時の波面収差のデフォーカス成分は、 $0.007\lambda \text{rms}$ であり、波長変化による対物レンズの最良像面位置の変化が良好に補償されていることがわかる。

【0282】

さらに、実施例 4 の集光光学系が具備するビームエキスパンダは、負レンズ（図 14 の負レンズ 32 に対応する。）が光軸方向に変位可能となっており、第 1 の光ディスクに対

して情報を記録／再生する場合に、光ディスクの保護基板厚さの製造誤差、対物レンズやコリメータ等の集光光学系を構成する光学素子の製造誤差、光源の製造誤差による波長の変化、温度変化や湿度変化による対物レンズやコリメータ等の集光光学系を構成する光学素子の形状変化や屈折率変化、による球面収差の変化を補正するための基板厚誤差補正手段としての機能も備えている。負レンズを変移させるためのアクチュエータとしては、ボイスコイル型のアクチュエータやピエゾアクチュエータを用いることができる。また、実施例 4 では、ビームエキスパンダの負レンズを変移可能としたが、変移可能とするのは、正レンズでもよく、また、負レンズと正レンズの両方でもよい。

【0283】

表 9 に、光源の製造誤差による基準波長（405nm）に対する $\pm 10\text{nm}$ の波長の変化、基準温度（25℃）に対する $\pm 30^\circ\text{C}$ の温度変化によるプラスチックレンズの屈折率変化、第 1 の光ディスクの基準保護基板厚さ（0.1mm）に対する $\pm 0.02\text{mm}$ の製造誤差、により集光光学系で発生する球面収差の変化を、ビームエキスパンダの負レンズを光軸方向に沿って変移させることで補正した結果を示す。

【0284】

【表 9】

		補正前の波面収差	補正後の波面収差	d5	d7
波長誤差	+10nm	0.115 λ rms	0.007 λ rms	3.183	1.817
	-10nm	0.119 λ rms	0.010 λ rms	2.802	2.198
温度変化	+30℃	0.039 λ rms	0.008 λ rms	3.057	1.943
	-30℃	0.036 λ rms	0.009 λ rms	2.937	2.063
透明基板厚さの誤差	+0.02mm	0.193 λ rms	0.010 λ rms	3.306	1.694
	-0.02mm	0.193 λ rms	0.012 λ rms	2.677	2.323

【0285】

温度変化時は、プラスチックレンズ、及びコリメータの光ディスク側の面上に形成された樹脂層の屈折率変化のみを考慮し、その変化量は、 $-10 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ である。なお、実施例 4 の集光光学系において、プラスチックレンズはビームエキスパンダの負レンズと正レンズである。また、温度変化時の光源の波長変化量を $+0.05\text{nm} / ^\circ\text{C}$ とした。表 9 から、いずれの場合も、良好に波面収差が補正されており、0.85という高い開口数を必要とする第 1 の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合でも常に集光状態の良好なスポットを得ることができる。

【0286】

なお、表 9 において、d5、d7は、それぞれ後述する表 10 における可変間隔d5、d7に相当する。d5及びd7の初期値は、それぞれ3.000mm、2.000mmである。

【0287】

図 4 3 及び図 4 4 に実施例 4 の集光光学系の対物レンズの $\lambda_2 = 650\text{nm}$ 、 $\lambda_3 = 780\text{nm}$ における光路図を示す。また、図 4 5 に $\lambda_2 = 650\text{nm}$ に対する開口数0.65までの球面収差図を示す。また、図 4 6 に $\lambda_3 = 780\text{nm}$ に対する開口数0.50までの球面収差図を示す。実施例 4 の集光光学系の対物レンズは、光源側の非球面上に同心円状の輪帯回折構造を有しており、この回折構造の作用と結像倍率の違いとを利用することで、3種類の光ディスクの保護基板厚さの違いにより発生する球面収差を、それぞれの光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な像側開口数内で良好に補正している。実施例 4 の集光光学系の対物レンズは実施例 1 の対物レンズと同じ対物レンズであるので、詳細な説明は割愛する。

【0288】

表 10 に実施例 4 の集光光学系の $\lambda_1 = 405\text{nm}$ に対するレンズデータを示す。実施例 4 の集光光学系のビームエキスパンダの両面上に形成した回折構造は、波長 λ_1 、回折次数 1 で最適化されている。

【0289】

【表 10】

波長 $\lambda_1=405\text{nm}$ のとき
 焦点距離 $f_1=2.35\text{mm}$ 、像側開口数 $NA_1=0.85$ 、結像倍率 $m_1=0$

面番号	r (mm)	d (mm)	$N_{\lambda 1}$	$N_{\lambda 2}$	$N_{\lambda 3}$	νd	備考
0		4.641					光源
1	∞	0.250	1.53020	1.51452	1.51118	64.1	透明基板
2	∞	2.000					
3	27.353	2.000	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	コリメータ
4	-4.800	0.050	1.50686	1.48962	1.48581	57.0	
5	-4.561	d5(可変)					
6	-8.174	0.800	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	
7	23.535	d7(可変)					ビーム エキスパンダ
8	∞	1.000	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	
9	-18.017	14.000					
10	1.799	2.500	1.76904	1.73912	1.73324	49.3	
11	45.872	0.855					対物レンズ
12	∞	0.100	1.61949	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
13	∞						

非球面係数

	第5面	第6面	第7面	第10面	第11面
K	-1.0011E+00	-2.9258E-01	-1.1221E+01	-6.1317E-01	0.0000E+00
A4	-3.3788E-04	6.4793E-05	-2.0771E-05	5.2524E-03	7.1812E-02
A6		8.7198E-06	7.7561E-06	-5.6632E-04	-3.8260E-02
A8				1.1555E-03	-1.7437E-03
A10				-3.1854E-04	4.7910E-03
A12				-2.2350E-06	-5.7767E-04
A14				2.6449E-05	-1.1890E-04
A16				-4.7779E-06	

回折面係数

	第8面	第9面	第10面
b2	-9.73990E-03	-1.09260E-02	-2.0000E-03
b4	-9.04650E-05	9.27150E-05	-5.6811E-04
b6			-1.3194E-04
b8			4.9466E-05
b10			-8.0188E-06

【0290】

表 11 に実施例 4 の集光光学系の、 $\lambda_2=650\text{nm}$ 及び $\lambda_3=780\text{nm}$ に対するレンズデータを示す。

【0291】

【表 1 1】

波長 $\lambda 2=650\text{nm}$ のとき焦点距離 $f2=2.43\text{mm}$ 、像側開口数 $NA2=0.65$ 、結像倍率 $m2=-0.05$ 波長 $\lambda 3=780\text{nm}$ のとき焦点距離 $f3=2.45\text{mm}$ 、像側開口数 $NA3=0.50$ 、結像倍率 $m3=-0.10$

面番号	$r(\text{mm})$	$d(\text{mm})$	$N\lambda 1$	$N\lambda 2$	$N\lambda 3$	νd	備考
0		$d0(\text{可変})$					光源
1	1.799	2.500	1.76904	1.73912	1.73324	49.3	対物レンズ
2	45.872	$d2(\text{可変})$					
3	∞	$d3(\text{可変})$	1.61949	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
4	∞						

	$\lambda 2=650\text{nm}$	$\lambda 3=780\text{nm}$
$d0$	48.589	27.964
$d2$	0.600	1.200
$d3$	0.720	0.450

非球面係数

	第1面	第2面
K	-6.1317E-01	0.0000E+00
$A4$	5.2524E-03	7.1812E-02
$A6$	-5.6632E-04	-3.8260E-02
$A8$	1.1555E-03	-1.7437E-03
$A10$	-3.1854E-04	4.7910E-03
$A12$	-2.2350E-06	-5.7767E-04
$A14$	2.6449E-05	-1.1890E-04
$A16$	-4.7779E-06	

回折面係数

	第1面
$b2$	-2.0000E-03
$b4$	-5.6811E-04
$b6$	-1.3194E-04
$b8$	4.9466E-05
$b10$	-8.0188E-06

【0 2 9 2】

〈実施例 5〉

【0 2 9 3】

実施例 5 は、図 1 5 の光ピックアップ装置に適用することのできる集光光学系であって、記録密度の異なる 3 種類の光ディスクに対して、情報の記録／再生が可能である。第 1 の光ディスク（高密度 DVD）として、保護基板厚さ $t1$ を 0.1mm 、光源の波長 $\lambda 1$ を 405nm 、像側開口数 $NA1$ を 0.85 とし、第 2 の光ディスク（DVD）として、保護基板厚さ $t2$ を 0.6mm 、光源の波長 $\lambda 2$ を 650nm 、像側開口数 $NA2$ を 0.65 とし、第 3 の光ディスク（CD）として、保護基板厚さ $t3$ を 1.2mm 、光源の波長 $\lambda 3$ を 780nm 、像側開口数 $NA3$ を 0.50 とした。

【0 2 9 4】

図 4 7 乃至図 4 9 に実施例 5 の集光光学系の $\lambda 1=405\text{nm}$ 、 $\lambda 2=650\text{nm}$ 、 $\lambda 3=780\text{nm}$ における光路図をそれぞれ示す。また、図 5 0 に実施例 5 の集光光学系の $\lambda 1=405\text{nm} \pm 10\text{nm}$ に対する開口数 0.85 までの球面収差図を示す。また、図 5 1 に $\lambda 2=650\text{nm}$ に対する開口数 0.65 までの球面収差図を示す。また、図 5 2 に $\lambda 3=780\text{nm}$ に対する開口数 0.50 までの球面収差図を示す。また、図 5 3 に $\lambda 1=405\text{nm}$ と $NA1 0.85$ との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda 2=650\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図を示す。

【0 2 9 5】

実施例 5 の集光光学系の対物レンズは光源側の非球面上に同心円状の複数の輪帯からなる回折構造を有しており、この回折構造の作用と結像倍率の違いとを利用することで、第 1 の光ディスクと第 2 の光ディスクの保護基板厚さの違いにより発生する球面収差を、それぞれの光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な像側開口数内で良好に補正している。また、実施例 5 の対物レンズの回折構造及び非球面形状は波長 $\lambda 1$ 乃至 $\lambda 3$

の光束の1次回折光がそれぞれ第1乃至第3の光ディスクの情報記録面上に良好な波面を形成するように決定されている。

【0296】

また、図53の球面収差図からわかるように、第2の光ディスクに対して情報の記録／再生を行う際に、必要開口数より外側の領域を通過する光束をフレアとしているので、第2の光ディスクに対して情報の記録／再生を行う際の開口切替手段は不要である。

【0297】

また、実施例5の集光光学系では、 $\lambda_3=780\text{nm}$ の発散光束を対物レンズに入射させ、像側開口数0.50以下における球面収差を補正することで、第3の光ディスクに対して情報の記録／再生を行う。

【0298】

さらに、実施例5の集光光学系対物レンズの光学面上には、第3の光ディスクに対して情報の記録／再生を行う際の開口切替手段である波長選択性のあるフィルタが形成されている。第3の光ディスクに対する情報の記録／再生を行う場合は、必要開口数以上の光束を、波長選択性のある輪帯フィルタによって遮断する。これにより、開口切り替えを自動的に行うことができる。具体的には、波長選択性のある輪帯フィルタとして、図19に示すようにNA3内に対応する共通領域にはフィルタEが形成されており、NA3からNA2に対応する第1の周辺領域とNA2からNA1に対応する第2の周辺領域にはフィルタDが形成されている。

【0299】

なお、実施例5の集光光学系の対物レンズの波面収差は、
 $\lambda_1=405\text{nm}$ 、NA1 0.85、 $t_1=0.1\text{mm}$ のとき、 $0.007\lambda_1 \text{ rms}$
 $\lambda_2=650\text{nm}$ 、NA2 0.65、 $t_2=0.6\text{mm}$ のとき、 $0.002\lambda_2 \text{ rms}$
 $\lambda_3=780\text{nm}$ 、NA3 0.50、 $t_3=1.2\text{mm}$ のとき、 $0.005\lambda_3 \text{ rms}$
である。

【0300】

実施例5の集光光学系のコリメータは、実施例2の集光光学系のコリメータと同様に光ディスク側の非球面上に形成した同心円状の複数の輪帯からなる回折構造の作用により、第1の光源から射出される光の波長が405nmから長波長側に变化した場合に、コリメータのバックフォーカスが短くなるような波長特性を有し、第1の光源から射出される光の波長が变化した場合の対物レンズの焦点位置の変化を補償している。実施例5の対物レンズのみの系でのモードホッピング時の波面収差のデフォーカス成分が、 $0.163\lambda \text{ rms}$ であるのに対し、実施例5の集光光学系のコリメータと対物レンズとの合成系でのモードホッピング時の波面収差のデフォーカス成分は、 $0.001\lambda \text{ rms}$ であり、波長変化による対物レンズの最良像面位置の変化が良好に補償されていることがわかる。

【0301】

さらに、実施例5の集光光学系が具備するコリメータは光軸方向に変位可能となっており、第1の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合に、光ディスクの保護基板厚さの製造誤差、対物レンズやコリメータ等の集光光学系を構成する光学素子の製造誤差、光源の製造誤差による波長の変化、及び温度変化や湿度変化による対物レンズやコリメータ等の集光光学系を構成する光学素子の形状変化や屈折率変化による球面収差の変化を補正するための基板厚誤差補正手段としての機能も備えている。コリメータを変移させるためのアクチュエータとしては、ボイスコイル型のアクチュエータやピエゾアクチュエータを用いることができる。

【0302】

表12に、光源の製造誤差による基準波長（405nm）に対する $\pm 10\text{nm}$ の波長の変化、基準温度（25℃）に対する $\pm 30^\circ\text{C}$ の温度変化によるプラスチックレンズの屈折率変化、第1の光ディスクの基準保護基板厚さ（0.1mm）に対する $\pm 0.02\text{mm}$ の製造誤差、により集光光学系で発生する球面収差の変化を、コリメータを光軸方向に沿って変移させることで補正した結果を示す。

【0303】

【表12】

		補正前の波面収差	補正後の波面収差	d0	d2
波長誤差	+10nm	0.143 λ rms	0.010 λ rms	9.712	15.135
	-10nm	0.145 λ rms	0.013 λ rms	9.990	14.857
温度変化	+30°C	0.010 λ rms	0.008 λ rms	9.858	14.990
	-30°C	0.013 λ rms	0.008 λ rms	9.840	15.007
透明基板厚さの誤差	+0.02mm	0.204 λ rms	0.013 λ rms	9.656	15.191
	-0.02mm	0.207 λ rms	0.016 λ rms	10.048	14.799

【0304】

温度変化時は、プラスチックレンズの屈折率変化のみを考慮し、その変化量は、 $-10 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ である。なお、実施例5の集光光学系において、プラスチックレンズはコリメータである。また、温度変化時の光源の波長変化量を $+0.05\text{nm}/^\circ\text{C}$ とした。表12から、いずれの場合も、良好に波面収差が補正されており、0.85という高い開口数を必要とする第1の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合でも常に集光状態の良好なスポットを得ることができる。

【0305】

なお、表12において、d0、d2は、それぞれ後述する表13における可変間隔d0、d2に相当する。d0及びd2の初期値は、それぞれ9.847mm、15.000mmである。

【0306】

表13に実施例5の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ に対するレンズデータを示す。実施例5の集光光学系のコリメータの光ディスク側の非球面上に形成した回折構造は、波長 λ_1 、回折次数1で最適化されている。

【0307】

【表13】

波長 $\lambda_1=405\text{nm}$ のとき焦点距離 $f_1=2.35\text{mm}$ 、像側開口数 $NA_1=0.85$ 、結像倍率 $m_1=0$

面番号	r (mm)	d (mm)	$N_{\lambda 1}$	$N_{\lambda 2}$	$N_{\lambda 3}$	ν_d	備考
0		d0(可変)					光源
1	-29.607	1.500	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	コリメータ
2	-9.413	d2(可変)					
3	1.820	2.850	1.76904	1.73912	1.73324	49.3	対物レンズ
4	-102.819	0.689					
5	∞	0.100	1.61949	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
6	∞						

非球面係数

	第2面	第3面	第4面
κ	3.8825E-01	-6.3649E-01	0.0000E+00
A4	-9.4855E-06	4.6682E-03	1.0443E-01
A6		-1.1935E-05	-5.3585E-02
A8		7.5113E-04	-2.3630E-02
A10		-2.6398E-04	1.5026E-02
A12		2.8458E-05	7.8677E-03
A14		1.2402E-05	-4.5941E-03
A16		-2.7120E-06	1.0400E-05

回折面係数

	第2面	第3面
b2	-2.5497E-02	0.0000E+00
b4		-6.4108E-04
b6		5.8925E-05
b8		-7.3391E-05
b10		1.3055E-05

【0308】

表 1 4 に実施例 5 の集光光学系の、 $\lambda 2=650\text{nm}$ 及び $\lambda 3=780\text{nm}$ に対するレンズデータを示す。

【0309】

【表 1 4】

波長 $\lambda 2=650\text{nm}$ のとき

焦点距離 $f2=2.45\text{mm}$ 、像側開口数 $NA2=0.65$ 、結像倍率 $m2=-0.05$

波長 $\lambda 3=780\text{nm}$ のとき

焦点距離 $f3=2.47\text{mm}$ 、像側開口数 $NA3=0.50$ 、結像倍率 $m3=-0.09$

面番号	$r(\text{mm})$	$d(\text{mm})$	$N\lambda 1$	$N\lambda 2$	$N\lambda 3$	νd	備考
0		$d0(\text{可変})$					光源
1	1.820	2.850	1.76904	1.73912	1.73324	49.3	対物レンズ
2	-102.819	$d2(\text{可変})$					
3	∞	$d3(\text{可変})$	1.61949	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
4	∞						

	$\lambda 2=650\text{nm}$	$\lambda 3=780\text{nm}$
$d0$	54.500	29.900
$d2$	0.600	1.200
$d3$	0.552	0.288

非球面係数

	第1面	第2面
K	-6.3649E-01	0.0000E+00
$A4$	4.6682E-03	1.0443E-01
$A6$	-1.1935E-05	-5.3585E-02
$A8$	7.5113E-04	-2.3630E-02
$A10$	-2.6398E-04	1.5026E-02
$A12$	2.8458E-05	7.8677E-03
$A14$	1.2402E-05	-4.5941E-03
$A16$	-2.7120E-06	1.0400E-05

回折面係数

	第1面
$b2$	0.0000E+00
$b4$	-6.4108E-04
$b6$	5.8925E-05
$b8$	-7.3391E-05
$b10$	1.3055E-05

【0310】

実施例 5 の対物レンズの光源側の非球面上に形成した回折構造は、波長 $\lambda 1$ 、回折次数 1 で最適化されているが、波長 $\lambda 1$ 以外の波長や 1 以外の回折次数でこの回折構造を最適化してもよい。いずれの場合でも、若干の設計変更で本発明の光ピックアップ装置に適用可能な集光光学系を構成することができる。

【0311】

〈実施例 6〉

【0312】

実施例 6 は、図 1 6 の光ピックアップ装置に適用することのできる集光光学系であって、記録密度の異なる 3 種類の光ディスクに対して、情報の記録／再生が可能である。第 1 の光ディスク（高密度 DVD）として、保護基板厚さ $t1$ を 0.1mm 、光源の波長 $\lambda 1$ を 405nm 、像側開口数 $NA1$ を 0.85 とし、第 2 の光ディスク（DVD）として、保護基板厚さ $t2$ を 0.6mm 、光源の波長 $\lambda 2$ を 650nm 、像側開口数 $NA2$ を 0.65 とし、第 3 の光ディスク（CD）として、保護基板厚さ $t3$ を 1.2mm 、光源の波長 $\lambda 3$ を 780nm 、像側開口数 $NA3$ を 0.50 とした。

【0313】

図 5 4 に実施例 6 の集光光学系の $\lambda 1=405\text{nm}$ における光路図を示す。また、図 5 5 に実施例 6 の集光光学系の対物レンズの $\lambda 1=405\text{nm} \pm 10\text{nm}$ に対する開口数 0.85 までの球面収差図を示す。

【0314】

実施例 6 のコリメータは、実施例 2 の集光光学系のコリメータと同様に、光ディスク側

の非球面上に形成した同心円状の複数の輪帯からなる回折構造の作用により、第1の光源から射出される光の波長が405nmから長波長側に变化した場合に、コリメータのバックフォーカスが短くなるような波長特性を有し、第1の光源から射出される光の波長が变化した場合の対物レンズの焦点位置の変化を補償している。

【0315】

実施例6の対物レンズのみの系でのモードホッピング時の波面収差のデフォーカス成分が、 $0.201\lambda_{rms}$ であるのに対し、実施例6の集光光学系のコリメータと対物レンズとの合成系でのモードホッピング時の波面収差のデフォーカス成分は、 $0.003\lambda_{rms}$ であり、波長変化による対物レンズの最良像面位置の変化が良好に補償されていることがわかる。

【0316】

さらに、実施例6の集光光学系が具備するコリメータは光軸方向に変位可能となっており、第1の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合に、光ディスクの保護基板厚さの製造誤差、対物レンズやコリメータ等の集光光学系を構成する光学素子の製造誤差、光源の製造誤差による波長の変化、及び温度変化や湿度変化による対物レンズやコリメータ等の集光光学系を構成する光学素子の形状変化や屈折率変化による球面収差の変化を補正するための基板厚誤差補正手段としての機能も備える。コリメータを変移させるためのアクチュエータとしては、ボイスコイル型のアクチュエータやピエゾアクチュエータを用いることができる。

【0317】

表15に、光源の製造誤差による基準波長（405nm）に対する $\pm 10\text{nm}$ の波長の変化、基準温度（ 25°C ）に対する $\pm 30^\circ\text{C}$ の温度変化によるプラスチックレンズの屈折率変化、第1の光ディスクの基準保護基板厚さ（ 0.1mm ）に対する $\pm 0.02\text{mm}$ の製造誤差、により集光光学系で発生する球面収差の変化を、コリメータを光軸方向に沿って変移させることで補正した結果を示す。

【0318】

【表15】

		補正前の波面収差	補正後の波面収差	d0	d2
波長誤差	+10nm	$0.294\lambda_{rms}$	$0.013\lambda_{rms}$	15.591	13.594
	-10nm	$0.300\lambda_{rms}$	$0.017\lambda_{rms}$	16.843	12.342
温度変化	+30°C	$0.300\lambda_{rms}$	$0.043\lambda_{rms}$	15.556	13.629
	-30°C	$0.322\lambda_{rms}$	$0.033\lambda_{rms}$	16.863	12.322
透明基板厚さの誤差	+0.02mm	$0.195\lambda_{rms}$	$0.011\lambda_{rms}$	15.796	13.389
	-0.02mm	$0.197\lambda_{rms}$	$0.013\lambda_{rms}$	16.591	12.594

【0319】

温度変化時は、プラスチックレンズの屈折率変化のみを考慮し、その変化量は、 $-10 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ である。なお、実施例6の集光光学系において、プラスチックレンズはコリメータ及び対物レンズである。また、温度変化時の光源の波長変化量を $+0.05\text{nm} / ^\circ\text{C}$ とした。表15から、いずれの場合も、良好に波面収差が補正されていることが分かり、0.85という高い開口数を必要とする第1の光ディスクに対して情報を記録／再生する場合でも常に集光状態の良好なスポットを得ることができる。

【0320】

なお、表15において、d0、d2は、それぞれ後述する表16における可変間隔d0、d2に相当する。d0及びd2の初期値は、それぞれ16.185mm、13.000mmである。

【0321】

図56に実施例6の集光光学系の $\lambda_2 = 650\text{nm}$ における光路図を示す。また、図57に実施例6の集光光学系の $\lambda_3 = 780\text{nm}$ における光路図を示す。また、図58に $\lambda_2 = 650\text{nm}$ に対する開口数0.65までの球面収差図を示す。また、図59に $\lambda_3 = 780\text{nm}$ に対する開口数0.50までの球面収差図を示す。

【0322】

実施例6の集光光学系の対物レンズは、第1の光ディスク専用の対物レンズであって、

$\lambda 1 = 405\text{nm}$ 、 $NA1 = 0.85$ 、 $t1 = 0.1\text{mm}$ 、結像倍率 $m = 0$ の組み合わせで無収差となるように収差補正された屈折レンズである。したがって、実施例 6 の集光光学系の対物レンズで、第 1 の光ディスクに比して保護基板厚さの大きい第 2 の光ディスク及び第 3 の光ディスクに対して情報の記録／再生を行おうとすると、補正過剰方向に球面収差が変化する。そこで、カップリングレンズの光ディスク側の非球面上に同心円状の複数の輪帯からなる回折構造を形成し、回折構造の作用によって、補正過剰方向に変化した球面収差を第 2 の光ディスク及び第 3 の光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な像側開口数内で良好に補正することで、第 1 の光ディスク専用の対物レンズを用いて、第 2 の光ディスク及び第 3 の光ディスクに対して情報の記録／再生を行えるようにした。

【0323】

また、対物レンズの光学面上には、開口切替手段である波長選択性のあるフィルタが形成されている。第 2、及び第 3 の光ディスクに対する情報の記録／再生を行う場合は、必要開口数以上の光束を、波長選択性のある輪帯フィルタによって遮断する。これにより、開口切り替えを自動的に行うことができる。波長選択性のある輪帯フィルタとしては実施例 3 と同様の輪帯フィルタを用いることができる。

【0324】

表 16 に実施例 6 の集光光学系の $\lambda 1 = 405\text{nm}$ に対するレンズデータを示す。実施例 6 の集光光学系のコリメータの光ディスク側の非球面上に形成された回折構造は、波長 $\lambda 1$ 、回折次数 1 で最適化されている。

【0325】

【表 16】

波長 $\lambda 1 = 405\text{nm}$ のとき

焦点距離 $f1 = 2.65\text{mm}$ 、像側開口数 $NA1 = 0.85$ 、結像倍率 $m1 = 0$

面番号	r (mm)	d (mm)	$N_{\lambda 1}$	$N_{\lambda 2}$	$N_{\lambda 3}$	νd	備考
0		d0 (可変)					光源
1	-23.167	2.000	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	コリメータ
2	-19.157	d2 (可変)					
3	1.694	3.100	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	対物レンズ
4	-2.856	0.918					
5	∞	0.100	1.61949	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
6	∞						

非球面係数

	第2面	第3面	第4面
K	2.2006E+01	-6.6664E-01	-2.4860E+01
$A4$	3.3389E-04	4.3203E-03	6.5486E-02
$A6$	2.0267E-05	7.2364E-04	-3.4626E-02
$A8$		1.0865E-04	9.6814E-03
$A10$		1.1601E-05	-1.4277E-03
$A12$		9.6720E-07	7.9143E-05
$A14$		3.2018E-07	2.9499E-06
$A16$		1.7930E-07	-3.1761E-07
$A18$		-2.1404E-08	
$A20$		-3.4886E-09	

回折面係数

	第2面
$b2$	-2.4285E-02

【0326】

表 17 に実施例 6 の集光光学系の、 $\lambda 2 = 650\text{nm}$ 及び $\lambda 3 = 780\text{nm}$ に対するレンズデータを示す。

【0327】

【表 1 7】

波長 $\lambda_2=650\text{nm}$ のとき
 焦点距離 $f_2=2.72\text{mm}$ 、像側開口数 $NA_2=0.65$ 、結像倍率 $m_2=0$

波長 $\lambda_3=780\text{nm}$ のとき
 焦点距離 $f_3=2.74\text{mm}$ 、像側開口数 $NA_3=0.50$ 、結像倍率 $m_3=0$

面番号	$r(\text{mm})$	$d(\text{mm})$	$N_{\lambda 1}$	$N_{\lambda 2}$	$N_{\lambda 3}$	ν_d	備考
0		$d_0(\text{可変})$					光源
1	∞	2.000	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	カップリング レンズ
2	-6.392	13.000					
3	1.694	3.100	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	対物レンズ
4	-2.856	$d_4(\text{可変})$					
5	∞	$d_5(\text{可変})$	1.61949	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
6	∞						

	$\lambda_2=650\text{nm}$	$\lambda_3=780\text{nm}$
d_0	9.666	9.427
d_4	0.600	1.200
d_5	0.744	0.388

非球面係数

	第2面	第3面	第4面
K	-1.9871E+01	-6.6664E-01	-2.4860E+01
A_4		4.3203E-03	6.5486E-02
A_6		7.2364E-04	-3.4626E-02
A_8		1.0865E-04	9.6814E-03
A_{10}		1.1601E-05	-1.4277E-03
A_{12}		9.6720E-07	7.9143E-05
A_{14}		3.2018E-07	2.9499E-06
A_{16}		1.7930E-07	-3.1761E-07
A_{18}		-2.1404E-08	
A_{20}		-3.4886E-09	

回折面係数

	第2面
b_2	0.0000E+00
b_4	-5.9163E-03
b_6	8.9910E-04
b_8	-1.3278E-04
b_{10}	9.6884E-06

【0 3 2 8】

また、本実施例の集光光学系において、カップリングレンズの光ディスク側の面（表 1 7 で第 2 面）の非球面上に、表 1 8 で示すような、輪帯状の回折構造が形成されている。表 1 8 において、「始点高さ」は、その輪帯の始点の光軸からの距離、「終点高さ」は、その輪帯の終点の光軸からの距離を表し、有効径内での輪帯数は 36 本である。

【0 3 2 9】

【表 18】

輪帯番号	始点高さ(mm)	終点高さ(mm)
1	0.000	0.601
2	0.601	0.718
3	0.718	0.798
4	0.798	0.861
5	0.861	0.913
6	0.913	0.958
7	0.958	0.998
8	0.998	1.035
9	1.035	1.068
10	1.068	1.099
11	1.099	1.128
12	1.128	1.155
13	1.155	1.180
14	1.180	1.204
15	1.204	1.227
16	1.227	1.249
17	1.249	1.270
18	1.270	1.290
19	1.290	1.310
20	1.310	1.328
21	1.328	1.346
22	1.346	1.364
23	1.364	1.381
24	1.381	1.397
25	1.397	1.413
26	1.413	1.429
27	1.429	1.444
28	1.444	1.459
29	1.459	1.473
30	1.473	1.488
31	1.488	1.501
32	1.501	1.515
33	1.515	1.528
34	1.528	1.541
35	1.541	1.554
36	1.554	1.566

【0330】

表18の回折輪帯構造は、波長730nm、回折次数1で回折効率が理論的に100%となるように最適化されている。この回折構造に、第2の光ディスクの使用波長である波長650nmの光が入射した場合と、第3の光ディスクの使用波長である波長780nmの光が入射した場合に、1次回折光が最大の回折光量を有するように発生する。

【0331】

波長730nm、回折次数1で回折構造を最適化することにより、

DVD（波長650nm）： 95.1%

CD（波長780nm）： 96.7%

と、それぞれの光ディスクの使用波長領域での回折効率を得ることができる。

【0332】

〈実施例7〉

【0333】

本実施例の対物レンズは、上述した第6の実施の形態における対物レンズOBJ1として好適なプラスチック単レンズである。本実施例の対物レンズ特性を得るに当たって、第1の光ディスク（高密度DVD）用の第1光源の波長 λ_1 を405nm、第2の光ディスク（DVD）用の第2光源の波長 λ_2 を650nm、第3光ディスク用（CD）の第3光源の波長 λ_3 を780nmとし、第1の光ディスクの透明基板厚さ t_1 は0.1mm、第2の光ディスクの透明基板厚さ t_2 は0.6mm、第3の光ディスクの透明基板厚さ t_3 は1.2mmとした。また、第1乃至第3の光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な対物レンズの像側開口数NA1、NA2、NA3として、それぞれ0.85、0.65、0.50を想定している。

【0334】

図65乃至図67に、本実施例の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ 、 $\lambda_2 = 650\text{nm}$ 、 $\lambda_3 = 780\text{nm}$ における光路図を示す。また、図68に本実施例の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ に対する開口数0.85までの球面収差図を示す。また、図69に $\lambda_1 = 405\text{nm}$ とNA1 0.85との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda_2 = 650\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図を示す。さらに、図70に $\lambda_1 = 405\text{nm}$ とNA2 0.85との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda_3 = 780\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図を示す。

【0335】

本実施例の対物レンズでは、光源側の非球面（S1）上に形成した回折構造（図示せず）の作用と結像倍率の違いとを利用することで、3種類の光ディスクの透明基板厚さの違いにより発生する球面収差を、それぞれの光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な像側開口数内で良好に補正している。なお、本実施例の対物レンズの、所定の像側開口数内における波面収差は、

$\lambda_1 = 405\text{nm}$ 、NA1 0.85、 $t_1 = 0.1\text{mm}$ のとき、 $0.008\lambda_1\text{rms}$
 $\lambda_2 = 650\text{nm}$ 、NA2 0.65、 $t_2 = 0.6\text{mm}$ のとき、 $0.003\lambda_2\text{rms}$
 $\lambda_3 = 780\text{nm}$ 、NA3 0.50、 $t_3 = 1.2\text{mm}$ のとき、 $0.005\lambda_3\text{rms}$
である。

【0336】

また、本実施例の対物レンズでは、NA2 0.65より外側を通過する、波長650nmの光束を第2の光ディスクの情報記録面上に集光しないようにフレアとし、さらに、NA3 0.50より外側を通過する光束を第3の光ディスクの情報記録面上に集光しないようにフレアとしているので、スポットが必要以上に絞られることがなく、第2及び第3の光ディスクのディスクスキューに対する十分なマージンを確保でき、さらに、それぞれの光ディスクに対応して、自動的に開口切り替えが行われるので、別途、開口切替手段を設ける必要がなく、光ピックアップの構造を簡単にすることができる。

【0337】

なお、本実施例の対物レンズでは、第1の光ディスク（高密度DVD）として、透明基板厚さ t_1 を0.1mm、光源の波長を405nm、像側開口数を0.85と仮定して光学設計を進めたが、これ以外の仕様である光ディスクに対しても本発明は適用が可能である。

【0338】

また、第2の光ディスク（DVD）に対する像側開口数を0.65、第3の光ディスク（CD）に対する像側開口数を0.50として光学設計を進めたが、これ以外の仕様である光ディスクに対しても本発明は適用が可能である。

【0339】

表19に本実施例の対物レンズのレンズデータを示す。

【0340】

【表 1 9】

実施例7

波長 $\lambda 1=405\text{nm}$ のとき焦点距離 $f1=2.35\text{mm}$ 、像側開口数 $NA1=0.85$ 、結像倍率 $m1=0$ 、回折次数 $n1=2$ 波長 $\lambda 2=650\text{nm}$ のとき焦点距離 $f2=2.44\text{mm}$ 、像側開口数 $NA2=0.60$ 、結像倍率 $m2=-0.10$ 、回折次数 $n2=1$ 波長 $\lambda 3=780\text{nm}$ のとき焦点距離 $f3=2.43\text{mm}$ 、像側開口数 $NA3=0.45$ 、結像倍率 $m3=-0.17$ 、回折次数 $n3=1$

面番号	r (mm)	d (mm)	$N_{\lambda 1}$	$N_{\lambda 2}$	$N_{\lambda 3}$	νd	備考
0		d0(可変)					光源
1	1.561	2.750	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	対物レンズ
2	-2.766	d2(可変)					
3	∞	d3(可変)	1.61950	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
4	∞						

	$\lambda 1=405\text{nm}$	$\lambda 2=650\text{nm}$	$\lambda 3=780\text{nm}$
d0	∞	25.754	16.189
d2	0.100	0.600	1.200
d3	0.771	0.780	0.550

非球面係数

	第1面	第2面
K	-4.7792E-01	-3.0529E+01
A4	-1.6095E-03	5.4297E-02
A6	3.8846E-04	-5.3944E-03
A8	2.5985E-04	-2.8858E-03
A10	8.0200E-06	4.1563E-04
A12	-4.6137E-05	-2.6037E-05
A14	9.3827E-06	4.7586E-05
A16	-1.2994E-07	-5.4700E-06

回折面係数

	第1面
b2	-5.0000E-03
b4	-8.3304E-04
b6	4.0431E-04
b8	-3.9806E-05
b10	-1.3503E-05

【0 3 4 1】

本実施例の対物レンズは、光源側の非球面（表 1 9 で第 1 面）上に、表 2 0 で示すような、輪带状の回折構造が形成されている。表 2 0 において、「始点高さ」は、その輪帯の始点の光軸からの距離、「終点高さ」は、その輪帯の終点の光軸からの距離を表し、有効径内での輪帯数は 8 3 本である。

【0 3 4 2】

【表 20】

輪帯番号	始点高さ(mm)	終点高さ(mm)
1	0.000	0.274
2	0.274	0.385
3	0.385	0.470
4	0.470	0.540
5	0.540	0.602
6	0.602	0.657
7	0.657	0.707
8	0.707	0.754
9	0.754	0.797
10	0.797	0.839
11	0.839	0.878
12	0.878	0.915
13	0.915	0.951
14	0.951	0.986
15	0.986	1.019
16	1.019	1.051
17	1.051	1.083
18	1.083	1.113
19	1.113	1.143
20	1.143	1.172
21	1.172	1.200
22	1.200	1.228
23	1.228	1.255
24	1.255	1.282
25	1.282	1.308
26	1.308	1.333
27	1.333	1.358
28	1.358	1.382
29	1.382	1.405
30	1.405	1.428
31	1.428	1.451
32	1.451	1.472
33	1.472	1.493
34	1.493	1.514
35	1.514	1.534
36	1.534	1.553
37	1.553	1.571
38	1.571	1.589
39	1.589	1.607
40	1.607	1.623

(続き)

輪帯番号	始点高さ(mm)	終点高さ(mm)
41	1.623	1.640
42	1.640	1.655
43	1.655	1.670
44	1.670	1.684
45	1.684	1.698
46	1.698	1.712
47	1.712	1.725
48	1.725	1.737
49	1.737	1.749
50	1.749	1.761
51	1.761	1.772
52	1.772	1.783
53	1.783	1.793
54	1.793	1.803
55	1.803	1.813
56	1.813	1.822
57	1.822	1.832
58	1.832	1.840
59	1.840	1.849
60	1.849	1.857
61	1.857	1.866
62	1.866	1.873
63	1.873	1.881
64	1.881	1.889
65	1.889	1.896
66	1.896	1.903
67	1.903	1.910
68	1.910	1.916
69	1.916	1.923
70	1.923	1.929
71	1.929	1.936
72	1.936	1.942
73	1.942	1.948
74	1.948	1.954
75	1.954	1.959
76	1.959	1.965
77	1.965	1.970
78	1.970	1.976
79	1.976	1.981
80	1.981	1.986
81	1.986	1.991
82	1.991	1.996
83	1.996	2.001

【0343】

表20の回折輪帯構造は、波長380nm、回折次数2で回折効率が理論的に100%となるように最適化されている。この回折構造に、第1の光ディスク（高密度DVD）の使用波長である波長405nmの光が入射した場合、2次回折光が最大の回折光量を有するように発生し、第2の光ディスク（DVD）の使用波長である波長650nmの光が入射した場合と、第3の光ディスク（CD）の使用波長である波長780nmの光が入射した場合には、1次回折光が最大の回折光量を有するように発生する。

【0344】

波長380nm、回折次数2で回折構造を最適化することにより、
 高密度DVD（波長405nm）： 95.1%
 DVD（波長650nm）： 90.9%
 CD（波長780nm）： 99.8%

と、それぞれの光ディスクの使用波長領域での回折効率を得ることができる。

【0345】

〈実施例8〉

【0346】

本実施例の対物レンズは、上述した第6の実施の形態における対物レンズOBJ1として好適なガラス単レンズである。本実施例の対物レンズ特性を得るに当たって、第1の光ディスク（高密度DVD）用の第1光源の波長 λ_1 を405nm、第2の光ディスク（DVD）用の第2光源の波長 λ_2 を650nm、第3光ディスク用（CD）の第3光源の波長 λ_3 を780nmとし、第1の光ディスクの透明基板厚さ t_1 は0.1mm、第2の光ディスクの透明基板厚さ t_2 は0.6mm、第3の光ディスクの透明基板厚さ t_3 は1.2mmとした。また、第1乃至第3の光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な対物レンズの像側開口数NA1、NA2、NA3として、それぞれ0.85、0.65、0.50を想定している。

【0347】

図71乃至図73に、本実施例の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ 、 $\lambda_2 = 650\text{nm}$ 、 $\lambda_3 = 780\text{nm}$ における光路図を示す。また、図74に本実施例の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ に対する開口数0.85までの球面収差図を示す。また、図75に $\lambda_1 = 405\text{nm}$ とNA1 0.85との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda_2 = 650\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図を示す。さらに、図76に $\lambda_1 = 405\text{nm}$ とNA2 0.85との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda_3 = 780\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図を示す。

【0348】

本実施例の対物レンズでは、光源側の非球面（S1）上に形成した回折構造（図示せず）の作用と結像倍率の違いとを利用することで、3種類の光ディスクの透明基板厚さの違いにより発生する球面収差を、それぞれの光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な像側開口数内で良好に補正している。なお、本実施例の対物レンズの、所定の像側開口数内における波面収差は、

$\lambda_1 = 405\text{nm}$ 、NA1 0.85、 $t_1 = 0.1\text{mm}$ のとき、 $0.008\lambda_1\text{rms}$
 $\lambda_2 = 650\text{nm}$ 、NA2 0.65、 $t_2 = 0.6\text{mm}$ のとき、 $0.005\lambda_2\text{rms}$
 $\lambda_3 = 780\text{nm}$ 、NA3 0.50、 $t_3 = 1.2\text{mm}$ のとき、 $0.005\lambda_3\text{rms}$
である。

【0349】

また、本実施例の対物レンズでは、NA2 0.65より外側を通過する、波長650nmの光束を第2の光ディスクの情報記録面上に集光しないようにフレアとし、さらに、NA3 0.50より外側を通過する光束を第3の光ディスクの情報記録面上に集光しないようにフレアとしているので、スポットが必要以上に絞られることがなく、第2及び第3の光ディスクのディスクスキューに対する十分なマージンを確保でき、さらに、それぞれの光ディスクに対応して、自動的に開口が切り替えが行われるので、別途、開口切替手段を設ける必要がなく、光ピックアップの構造を簡単にすることができる。

【0350】

なお、本実施例の対物レンズでは、第1の光ディスク（高密度DVD）として、透明基板厚さ t_1 を0.1mm、光源の波長を405nm、像側開口数を0.85と仮定して光学設計を進めたが、これ以外の仕様である光ディスクに対しても本発明は適用が可能である。

【0351】

また、第2の光ディスク（DVD）に対する像側開口数を0.65、第3の光ディスク（CD）に対する像側開口数を0.50として光学設計を進めたが、これ以外の仕様である光ディスクに対しても本発明は適用が可能である。

【0352】

表21に本実施例の対物レンズのレンズデータを示す。

【 0 3 5 3 】

【 表 2 1 】

実施例8

波長 $\lambda 1=405\text{nm}$ のとき焦点距離 $f1=2.35\text{mm}$ 、像側開口数 $NA1=0.85$ 、結像倍率 $m1=0$ 、回折次数 $n1=6$ 波長 $\lambda 2=650\text{nm}$ のとき焦点距離 $f2=2.43\text{mm}$ 、像側開口数 $NA2=0.65$ 、結像倍率 $m2=-0.07$ 、回折次数 $n2=4$ 波長 $\lambda 3=780\text{nm}$ のとき焦点距離 $f3=2.47\text{mm}$ 、像側開口数 $NA3=0.50$ 、結像倍率 $m3=-0.12$ 、回折次数 $n3=3$

面番号	r (mm)	d (mm)	$N_{\lambda 1}$	$N_{\lambda 2}$	$N_{\lambda 3}$	ν_d	備考
0		d0 (可変)					光源
1	1.916	2.500	1.76904	1.73912	1.73324	49.3	対物レンズ
2	-2364.844	d2 (可変)					
3	∞	d3 (可変)	1.61949	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
4	∞						

	$\lambda 1=405\text{nm}$	$\lambda 2=650\text{nm}$	$\lambda 3=780\text{nm}$
d0	∞	37.984	22.652
d2	0.100	0.600	1.200
d3	0.876	0.781	0.559

非球面係数

	第1面	第2面
κ	-6.4710E-01	0.0000E+00
A4	8.2429E-03	3.7215E-02
A6	-4.2424E-03	-2.4887E-02
A8	1.9819E-03	-4.6124E-03
A10	-3.1417E-04	6.4199E-03
A12	-7.2817E-05	-1.8182E-03
A14	4.1695E-05	1.7603E-04
A16	-6.7073E-06	

回折面係数

	第1面
b2	-2.0000E-03
b4	3.2212E-04
b6	-4.6124E-04
b8	1.5716E-04
b10	-1.9533E-05

【 0 3 5 4 】

本実施例の対物レンズは、光源側の非球面（表 2 1 で第 1 面）上に、表 2 2 で示すような、輪帯状の回折構造が形成されている。表 2 2 において、「始点高さ」は、その輪帯の始点の光軸からの距離、「終点高さ」は、その輪帯の終点の光軸からの距離を表し、有効径内での輪帯数は 30 本である。

【 0 3 5 5 】

【表 2 2】

輪帯番号	始点高さ(mm)	終点高さ(mm)
1	0.000	0.461
2	0.461	0.655
3	0.655	0.800
4	0.800	0.918
5	0.918	1.016
6	1.016	1.102
7	1.102	1.178
8	1.178	1.246
9	1.246	1.309
10	1.309	1.367
11	1.367	1.421
12	1.421	1.472
13	1.472	1.520
14	1.520	1.565
15	1.565	1.608
16	1.608	1.649
17	1.649	1.687
18	1.687	1.724
19	1.724	1.758
20	1.758	1.790
21	1.790	1.819
22	1.819	1.847
23	1.847	1.873
24	1.873	1.897
25	1.897	1.920
26	1.920	1.941
27	1.941	1.961
28	1.961	1.979
29	1.979	1.996
30	1.996	2.012

【0 3 5 6】

表 2 2 の回折輪帯構造は、波長 4 1 5 n m、回折次数 6 で回折効率が理論的に 1 0 0 % となるように最適化されている。この回折構造に、第 1 の光ディスク（高密度 D V D）の使用波長である波長 4 0 5 n m の光が入射した場合には、6 次回折光が最大の回折光量を有するように発生し、第 2 の光ディスク（D V D）の使用波長である波長 6 5 0 n m の光が入射した場合には、4 次回折光が最大の回折光量を有するように発生し、第 3 の光ディスク（C D）の使用波長である波長 7 8 0 n m の光が入射した場合には、3 次回折光が最大の回折光量を有するように発生する。

【0 3 5 7】

波長 4 1 5 n m、回折次数 6 で回折構造を最適化することにより、
 高密度 D V D（波長 4 0 5 n m）： 9 3 . 0 %
 D V D（波長 6 5 0 n m）： 9 0 . 9 %
 C D（波長 7 8 0 n m）： 8 8 . 4 %

と、それぞれの光ディスクの使用波長領域での回折効率を得ることができる。

【0 3 5 8】

〈実施例 9〉

【0 3 5 9】

本実施例の対物レンズは、上述した第7の実施の形態における対物レンズOBJ2として好適な対物レンズである。本実施例の対物レンズ特性を得るに当たって、第1の光ディスク（高密度DVD）用の第1光源の波長 λ_1 を405nm、第2の光ディスク（DVD）用の第2光源の波長 λ_2 を650nm、第3光ディスク用（CD）の第3光源の波長 λ_3 を780nmとし、第1の光ディスクの透明基板厚さ t_1 は0.1mm、第2の光ディスクの透明基板厚さ t_2 は0.6mm、第3の光ディスクの透明基板厚さ t_3 は1.2mmとした。また、第1乃至第3の光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な対物レンズの像側開口数NA1、NA2、NA3として、それぞれ0.85、0.60、0.50を想定している。

【0360】

図77乃至図79に、本実施例の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ 、 $\lambda_2 = 650\text{nm}$ 、 $\lambda_3 = 780\text{nm}$ における光路図を示す。また、図80に本実施例の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ に対する開口数0.85までの球面収差図を示す。また、図81に $\lambda_1 = 405\text{nm}$ とNA1 0.85との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda_2 = 650\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図を示す。さらに、図82に $\lambda_1 = 405\text{nm}$ とNA2 0.85との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda_3 = 780\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図を示す。

【0361】

本実施例の対物レンズは、両面が非球面とされた第1の光学素子L1としてのプラスチックレンズと、このプラスチックレンズの光束入射面側に配置された第2の光学素子L2としてのプラスチックレンズとから構成される複合型対物レンズであって、第2の光学素子L2の第1の光学素子L1側の光学面上に形成した回折構造（図示せず）の作用と結像倍率の違いとを利用することで、3種類の光ディスクの透明基板厚さの違いにより発生する球面収差を、それぞれの光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な像側開口数内で良好に補正している。なお、本実施例の対物レンズの、所定の像側開口数内における波面収差は、

$\lambda_1 = 405\text{nm}$ 、NA1 0.85、 $t_1 = 0.1\text{mm}$ のとき、 $0.004\lambda_1\text{ rms}$

$\lambda_2 = 650\text{nm}$ 、NA2 0.60、 $t_2 = 0.6\text{mm}$ のとき、 $0.001\lambda_2\text{ rms}$

$\lambda_3 = 780\text{nm}$ 、NA3 0.50、 $t_3 = 1.2\text{mm}$ のとき、 $0.002\lambda_3\text{ rms}$

である。

【0362】

また、本実施例の対物レンズの第2の光学素子L2は、基板厚差補正手段としての機能に加えて開口切替手段としての機能も有する。すなわち、NA2 0.65より外側を通過する、波長650nmの光束を第2の光ディスクの情報記録面上に集光しないようにフレアとし、さらに、NA3 0.50より外側を通過する光束を第3の光ディスクの情報記録面上に集光しないようにフレアとしているので、スポットが必要以上に絞られることがなく、第2及び第3の光ディスクのディスクスキューに対する十分なマージンを確保でき、さらに、それぞれの光ディスクに対応して、自動的に開口切り替えが行われるので、別途、開口切替手段を設ける必要がなく、光ピックアップの構造を簡単にすることができる。

【0363】

なお、本実施例の対物レンズでは、第1の光ディスク（高密度DVD）として、透明基板厚さ t_1 を0.1mm、光源の波長を405nm、像側開口数を0.85と仮定して光学設計を進めたが、これ以外の仕様である光ディスクに対しても本発明は適用が可能である。

【0364】

また、第2の光ディスク（DVD）に対する像側開口数を0.65、第3の光ディスク（CD）に対する像側開口数を0.50として光学設計を進めたが、これ以外の仕様である光ディスクに対しても本発明は適用が可能である。

【0365】

表23に本実施例の対物レンズのレンズデータを示す。

【0366】

【表 2 3】

実施例9

波長 $\lambda 1=405\text{nm}$ のとき焦点距離 $f1=2.65\text{mm}$ 、像側開口数 $NA1=0.85$ 、結像倍率 $m1=0$ 、回折次数 $n1=2$ 波長 $\lambda 2=650\text{nm}$ のとき焦点距離 $f2=2.754\text{mm}$ 、像側開口数 $NA2=0.60$ 、結像倍率 $m2=-0.07$ 、回折次数 $n2=1$ 波長 $\lambda 3=780\text{nm}$ のとき焦点距離 $f3=2.74\text{mm}$ 、像側開口数 $NA3=0.50$ 、結像倍率 $m3=-0.12$ 、回折次数 $n3=1$

面番号	r (mm)	d (mm)	$N\lambda 1$	$N\lambda 2$	$N\lambda 3$	νd	備考
0		d0(可変)					光源
1	-19.912	1.000	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	対物レンズ
2	∞	0.100					
3	1.596	3.100	1.52491	1.50690	1.50355	56.5	
4	-4.098	d4(可変)					
5	∞	d5(可変)	1.61950	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
6	∞						

	$\lambda 1=405\text{nm}$	$\lambda 2=650\text{nm}$	$\lambda 3=780\text{nm}$
d0	∞	40.379	23.614
d2	0.100	0.600	1.200
d3	0.830	0.807	0.546

非球面係数

	第1面	第3面	第4面
K	0	-6.6547E-01	-5.1020E+01
A4	5.34E-03	-2.6444E-03	4.6682E-02
A6	-8.16E-04	1.7131E-03	-2.4977E-02
A8		-4.7417E-05	7.9334E-03
A10		2.1808E-05	-1.4570E-03
A12		1.4276E-07	1.2211E-04
A14		6.8395E-07	-7.8711E-07

回折面係数

	第2面
b2	-6.0000E-03
b4	-7.4571E-04
b6	2.1879E-04
b8	-5.2397E-05
b10	3.2165E-06

【0 3 6 7】

本実施例の対物レンズは、第2の光学素子L2の光ディスク側の平面（表23で第2面）上に、表24で示すような、輪帯状の回折構造が形成されている。表24において、「始点高さ」は、その輪帯の始点の光軸からの距離、「終点高さ」は、その輪帯の終点の光軸からの距離を表し、有効径内での輪帯数は130本である。

【0 3 6 8】

【表 2 4】

(続き)			(続き)			(続き)		
輪帯番号	始点高さ(mm)	終点高さ(mm)	輪帯番号	始点高さ(mm)	終点高さ(mm)	輪帯番号	始点高さ(mm)	終点高さ(mm)
1	0.000	0.249	46	1.538	1.553	91	2.039	2.047
2	0.249	0.351	47	1.553	1.568	92	2.047	2.055
3	0.351	0.425	48	1.568	1.582	93	2.055	2.063
4	0.425	0.493	49	1.582	1.596	94	2.063	2.071
5	0.493	0.550	50	1.596	1.610	95	2.071	2.079
6	0.550	0.600	51	1.610	1.624	96	2.079	2.087
7	0.600	0.647	52	1.624	1.638	97	2.087	2.095
8	0.647	0.689	53	1.638	1.651	98	2.095	2.102
9	0.689	0.729	54	1.651	1.664	99	2.102	2.110
10	0.729	0.767	55	1.664	1.677	100	2.110	2.117
11	0.767	0.803	56	1.677	1.690	101	2.117	2.125
12	0.803	0.836	57	1.690	1.703	102	2.125	2.132
13	0.836	0.869	58	1.703	1.715	103	2.132	2.139
14	0.869	0.900	59	1.715	1.728	104	2.139	2.146
15	0.900	0.929	60	1.728	1.740	105	2.146	2.154
16	0.929	0.958	61	1.740	1.752	106	2.154	2.161
17	0.958	0.986	62	1.752	1.763	107	2.161	2.168
18	0.986	1.012	63	1.763	1.775	108	2.168	2.175
19	1.012	1.038	64	1.775	1.786	109	2.175	2.181
20	1.038	1.063	65	1.786	1.798	110	2.181	2.188
21	1.063	1.088	66	1.798	1.809	111	2.188	2.195
22	1.088	1.111	67	1.809	1.820	112	2.195	2.202
23	1.111	1.135	68	1.820	1.831	113	2.202	2.208
24	1.135	1.157	69	1.831	1.842	114	2.208	2.215
25	1.157	1.179	70	1.842	1.852	115	2.215	2.221
26	1.179	1.201	71	1.852	1.863	116	2.221	2.228
27	1.201	1.222	72	1.863	1.873	117	2.228	2.234
28	1.222	1.242	73	1.873	1.883	118	2.234	2.241
29	1.242	1.262	74	1.883	1.893	119	2.241	2.247
30	1.262	1.282	75	1.893	1.903	120	2.247	2.253
31	1.282	1.301	76	1.903	1.913	121	2.253	2.259
32	1.301	1.320	77	1.913	1.923	122	2.259	2.266
33	1.320	1.339	78	1.923	1.932	123	2.266	2.272
34	1.339	1.357	79	1.932	1.942	124	2.272	2.278
35	1.357	1.375	80	1.942	1.951	125	2.278	2.284
36	1.375	1.393	81	1.951	1.960	126	2.284	2.290
37	1.393	1.410	82	1.960	1.969	127	2.290	2.295
38	1.410	1.427	83	1.969	1.978	128	2.295	2.301
39	1.427	1.444	84	1.978	1.987	129	2.301	2.307
40	1.444	1.460	85	1.987	1.996	130	2.307	2.313
41	1.460	1.476	86	1.996	2.005			
42	1.476	1.492	87	2.005	2.013			
43	1.492	1.508	88	2.013	2.022			
44	1.508	1.523	89	2.022	2.030			
45	1.523	1.538	90	2.030	2.039			

【0369】

表 2 4 の回折輪帯構造は、波長 375 nm、回折次数 2 で回折効率が理論的に 100% となるように最適化されている。この回折構造に、第 1 の光ディスク（高密度 DVD）の使用波長である波長 405 nm の光が入射した場合、2 次回折光が最大の回折光量を有するように発生し、第 2 の光ディスク（DVD）の使用波長である波長 650 nm の光が入射した場合と、第 3 の光ディスク（CD）の使用波長である波長 780 nm の光が入射した場合には、1 次回折光が最大の回折光量を有するように発生する。

【0370】

波長 375 nm、回折次数 2 で回折構造を最適化することにより、
 高密度 DVD（波長 405 nm）： 93.0%
 DVD（波長 650 nm）： 92.5%
 CD（波長 780 nm）： 99.5%

と、それぞれの光ディスクの使用波長領域での回折効率を得ることができる。

【0371】

また、回折構造を形成する光学面が平面なので、本実施例の対物レンズの第 2 の光学素子 L2 の回折構造は、電子ビーム描画法による作製が可能であり、隣り合う輪帯間隔の最小値が、6 ミクロンと小さい回折構造であっても高精度に作製でき、回折構造の形状誤差による回折効率の低下の小さい素子を実現できる。電子ビーム描画法による微細な回折構造の作製法に関しては、「OPTICS DESIGN 光設計研究グループ機関誌 No. 20 2000. 2. 25 p26-p31」に記載されている。

【0372】

〈実施例 10〉

【0373】

本実施例の対物レンズは、上述した第6の実施の形態における対物レンズOBJ1として好適なプラスチック単レンズである。本実施例の対物レンズ特性を得るに当たって、第1の光ディスク（高密度DVD）用の第1光源の波長 λ_1 を405nm、第2の光ディスク（DVD）用の第2光源の波長 λ_2 を655nm、第3光ディスク用（CD）の第3光源の波長 λ_3 を785nmとし、第1の光ディスクの透明基板厚さ t_1 は0.1mm、第2の光ディスクの透明基板厚さ t_2 は0.6mm、第3の光ディスクの透明基板厚さ t_3 は1.2mmとした。また、第1乃至第3の光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な対物レンズの像側開口数NA1、NA2、NA3として、それぞれ0.85、0.60、0.45を想定している。

【0374】

図83乃至図85に、本実施例の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ 、 $\lambda_2 = 655\text{nm}$ 、 $\lambda_3 = 785\text{nm}$ における光路図を示す。また、図86に本実施例の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ に対する開口数0.85までの球面収差図を示す。また、図87に $\lambda_1 = 405\text{nm}$ とNA1 0.85との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda_2 = 655\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図を示す。さらに、図88に $\lambda_3 = 785\text{nm}$ に対する開口数0.45までの球面収差図を示す。

【0375】

本実施例の対物レンズでは、光源側の非球面（S1）上に形成した回折構造（図示せず）の作用により、第1の光ディスクと第2の光ディスクの透明基板厚さの違いにより発生する球面収差を、第1の光ディスクと第2の光ディスクとのそれぞれの光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な像側開口数内で良好に補正している。また、第3の光ディスクに対しては、発散光である波長 λ_3 の光束を対物レンズに入射させることで、第1光ディスクと第3の光ディスクとの透明基板厚さの違いにより発生する球面収差を、第3の光ディスクに対して情報の記録／再生を行うのに必要な像側開口数内で良好に補正している。なお、本実施例の対物レンズの、所定の像側開口数内における波面収差は、 $\lambda_1 = 405\text{nm}$ 、NA1 0.85、 $t_1 = 0.1\text{mm}$ のとき、 $0.004\lambda_1\text{ rms}$ 、 $\lambda_2 = 655\text{nm}$ 、NA2 0.60、 $t_2 = 0.6\text{mm}$ のとき、 $0.007\lambda_2\text{ rms}$ 、 $\lambda_3 = 785\text{nm}$ 、NA3 0.45、 $t_3 = 1.2\text{mm}$ のとき、 $0.005\lambda_3\text{ rms}$ である。

【0376】

また、本実施例の対物レンズでは、NA2 0.60より外側を通過する、波長655nmの光束を第2の光ディスクの情報記録面上に集光しないようにフレアとしているので、スポットが必要以上に絞られることがなく、第2の光ディスクのディスクスキューに対する十分なマージンを確保でき、さらに、第2の光ディスクに対応して、自動的に開口切り替えが行われるので、別途、開口切替手段を設ける必要がなく、光ピックアップの構造を簡単にすることができる。

【0377】

そして、対物レンズの光学面上には、第3の光ディスクに対し情報の記録／再生を行う際に必要な開口切替手段である波長選択性のあるフィルタが形成されている。第3の光ディスクに対する情報の記録／再生を行う場合は、必要開口数以上の光束を、波長選択性のある輪帯フィルタによって遮断する。これにより、自動的に開口切り替えを行うことができる。波長選択性のある輪帯フィルタとして、図17に示す対物レンズにおいて、反射率が図89に示すような波長依存性を有するフィルタを対物レンズの光学面上に輪带状に形成したものがあげられる。

【0378】

なお、本実施例の対物レンズでは、第1の光ディスク（高密度DVD）として、透明基板厚さ t_1 を0.1mm、光源の波長を405nm、像側開口数を0.85と仮定して光学設計を進めたが、これ以外の仕様である光ディスクに対しても本発明は適用が可能である。

【0379】

また、第2の光ディスク（DVD）に対する像側開口数を0.60、第3の光ディスク

(C D) に対する像側開口数を 0.45 として光学設計を進めたが、これ以外の仕様である光ディスクに対しても本発明は適用が可能である。

【0380】

表 25 に本実施例の対物レンズのレンズデータを示す。

【0381】

【表 25】

波長 $\lambda_1=405\text{nm}$ のとき

焦点距離 $f_1=2.30\text{mm}$ 、像側開口数 $\text{NA}_1=0.85$ 、結像倍率 $m_1=0$ 、回折次数 $n_1=2$ ($0 \leq h \leq 1.59$)、 $n_1=3$ ($h > 1.59$)

波長 $\lambda_2=655\text{nm}$ のとき

焦点距離 $f_2=2.40\text{mm}$ 、像側開口数 $\text{NA}_2=0.60$ 、結像倍率 $m_2=-0.07$ 、回折次数 $n_2=1$ ($0 \leq h \leq 1.59$)、 $n_2=2$ ($h > 1.59$)

波長 $\lambda_3=785\text{nm}$ のとき

焦点距離 $f_3=2.39\text{mm}$ 、像側開口数 $\text{NA}_3=0.450$ 、結像倍率 $m_3=-0.15$ 、回折次数 $n_3=1$

面番号	r (mm)	d (mm)	$N_{\lambda 1}$	$N_{\lambda 2}$	$N_{\lambda 3}$	ν_d	備考
0		d0 (可変)					光源
1	1.524	2.300	1.52491	1.50673	1.50345	56.5	対物レンズ
2	-4.001	d2 (可変)					
3	∞	d3 (可変)	1.61949	1.57721	1.57042	30.0	透明基板
4	∞						

	$\lambda_1=405\text{nm}$	$\lambda_2=655\text{nm}$	$\lambda_3=785\text{nm}$
d0	∞	30.150	18.350
d2	0.100	0.600	1.200
d3	0.925	0.904	0.639

非球面係数

	第1面	第2面
K	-1.7824E+00	-4.7933E+00
A_4	4.2566E-02	1.0627E-01
A_6	2.7886E-03	-5.4671E-02
A_8	-7.0274E-04	1.6297E-02
A_{10}	1.0056E-04	-2.7028E-03
A_{12}	2.3868E-05	1.9182E-04

回折面係数

$0 \leq h \leq 1.59$ のとき

	第1面
b2	-8.0000E-03
b4	-1.2049E-03
b6	1.3016E-03
b8	-5.8055E-04
b10	6.6117E-05

$h > 1.59$ のとき

	第1面
b2	-5.6842E-03
b4	-8.5611E-04
b6	9.2482E-04
b8	-4.1250E-04
b10	4.6978E-05

【0382】

本実施例の対物レンズは、光源側の非球面 (S1) 上に、表 26 で示すような、輪帯状の回折構造が形成されている。表 26 において、「始点高さ」は、その輪帯の始点の光軸からの距離、「終点高さ」は、その輪帯の終点の光軸からの距離を表し、有効径内での輪帯数は 101 本である。

【0383】

【表 2 6】

輪帯番号	始点高さ(mm)	終点高さ(mm)
1	0.000	0.217
2	0.217	0.306
3	0.306	0.374
4	0.374	0.431
5	0.431	0.481
6	0.481	0.526
7	0.526	0.567
8	0.567	0.605
9	0.605	0.641
10	0.641	0.675
11	0.675	0.708
12	0.708	0.739
13	0.739	0.768
14	0.768	0.797
15	0.797	0.824
16	0.824	0.851
17	0.851	0.877
18	0.877	0.902
19	0.902	0.927
20	0.927	0.951
21	0.951	0.974
22	0.974	0.997
23	0.997	1.019
24	1.019	1.040
25	1.040	1.062
26	1.062	1.082
27	1.082	1.103
28	1.103	1.122
29	1.122	1.142
30	1.142	1.161
31	1.161	1.179
32	1.179	1.197
33	1.197	1.215
34	1.215	1.232
35	1.232	1.249
36	1.249	1.266
37	1.266	1.282
38	1.282	1.297
39	1.297	1.313
40	1.313	1.328
41	1.328	1.342
42	1.342	1.357
43	1.357	1.371
44	1.371	1.384
45	1.384	1.398
46	1.398	1.411
47	1.411	1.424
48	1.424	1.436
49	1.436	1.448
50	1.448	1.460

(続き)

輪帯番号	始点高さ(mm)	終点高さ(mm)
51	1.460	1.472
52	1.472	1.483
53	1.483	1.494
54	1.494	1.505
55	1.505	1.516
56	1.516	1.526
57	1.526	1.536
58	1.536	1.547
59	1.547	1.556
60	1.556	1.566
61	1.566	1.575
62	1.575	1.585
63	1.585	1.594
64	1.594	1.607
65	1.607	1.620
66	1.620	1.633
67	1.633	1.645
68	1.645	1.657
69	1.657	1.669
70	1.669	1.680
71	1.680	1.692
72	1.692	1.703
73	1.703	1.713
74	1.713	1.724
75	1.724	1.734
76	1.734	1.744
77	1.744	1.754
78	1.754	1.764
79	1.764	1.774
80	1.774	1.783
81	1.783	1.792
82	1.792	1.802
83	1.802	1.811
84	1.811	1.820
85	1.820	1.828
86	1.828	1.837
87	1.837	1.846
88	1.846	1.854
89	1.854	1.862
90	1.862	1.871
91	1.871	1.879
92	1.879	1.887
93	1.887	1.895
94	1.895	1.903
95	1.903	1.911
96	1.911	1.918
97	1.918	1.926
98	1.926	1.934
99	1.934	1.942
100	1.942	1.949
101	1.949	1.957

【0384】

表 2 6 の回折輪帯構造は、 h を光軸からの高さを表すとしたときに、 $0 \leq h \leq 1.59$ を満たす領域の回折構造（表 2 6 において、輪帯番号 1 ～ 63）は、波長 380 nm、回

折次数 2 で回折効率が理論的に 100% となるように最適化されている。この回折構造に、第 1 の光ディスク（高密度 DVD）の使用波長である波長 405 nm の光が入射した場合には、2 次回折光が最大の回折光量を有するように発生し、第 2 の光ディスク（DVD）の使用波長である波長 655 nm の光が入射した場合と、第 3 の光ディスク（CD）の使用波長である波長 785 nm の光が入射した場合には、1 次回折光が最大の回折光量を有するように発生する。

【0385】

一方、 $h > 1.59$ を満たす領域の回折構造（表 26 において、輪帯番号 64 ~ 101）は、波長 405 nm、回折次数 3 で回折効率が理論的に 100% となるように最適化されている。この回折構造に、第 1 の光ディスク（高密度 DVD）の使用波長である波長 405 nm の光が入射した場合には、3 次回折光が最大の回折光量を有するように発生し、第 2 の光ディスク（DVD）の使用波長である波長 655 nm の光が入射した場合には、2 次回折光が最大の回折光量を有するように発生する。

【0386】

上記のように、回折構造の最適化波長と回折次数を設定することにより、 $0 \leq h \leq 1.59$ の領域では、

高密度 DVD（波長 405 nm）	:	95.1%
DVD（波長 655 nm）	:	93.3%
CD（波長 785 nm）	:	99.7%

$h > 1.59$ の領域では、

高密度 DVD（波長 405 nm）	:	100%
DVD（波長 655 nm）	:	91.8%

と、それぞれの光ディスクの使用波長領域での回折効率を得ることができる。

【0387】

また、上記のように、 $h > 1.59$ を満たす領域の回折構造を、波長 405 nm、回折次数 3 で最適化することで、第 2 の光ディスクに対する情報の記録／再生を行う場合に、NA2 より外側（すなわち、光源側の非球面の $h > 1.59$ を満たす領域）を通過した光束の球面収差の最大値が約 70 μm と、フレアの外径を大きくすることができたので、光検出器の受光部における良好な信号検出特性が得られる。

【0388】

〈実施例 11〉

【0389】

表 27 にレンズデータを示す実施例 11 は、上述した第 6 の実施の形態における対物レンズ OBJ1 として好適なプラスチック単レンズであり、第 1 面（S1）上に輪帯状の回折構造が形成されている。

【0390】

【表 27】

実施例11

波長 $\lambda_1=405\text{nm}$ のとき焦点距離 $f_1=2.00\text{mm}$ 、像側開口数 $NA_1=0.85$ 、結像倍率 $m_1=0$ 波長 $\lambda_2=650\text{nm}$ のとき焦点距離 $f_2=2.07\text{mm}$ 、像側開口数 $NA_2=0.65$ 、結像倍率 $m_2=-0.03$ 波長 $\lambda_3=780\text{nm}$ のとき焦点距離 $f_3=2.07\text{mm}$ 、像側開口数 $NA_3=0.50$ 、結像倍率 $m_3=-0.14$

面番号	r (mm)	d (mm)	$N\lambda_1$	$N\lambda_2$	$N\lambda_3$	ν_d	備考
0		d0(可変)					光源
1(絞り)	下表参照	下表参照	1.52469	1.50661	1.50500	56.5	対物レンズ
2	-2.7583	d2(可変)					
3	∞	d3(可変)	1.61950	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
4	∞						

	$\lambda_1=405\text{nm}$	$\lambda_2=650\text{nm}$	$\lambda_3=780\text{nm}$
d0	∞	63.0204	16.0073
d2	0.1000	0.6000	1.2000
d3	0.7055	0.5217	0.3583

第1面

回折次数・最適化波長・曲率半径・レンズ厚さ・非球面係数・回折面係数

h	$0 \leq h \leq 1.35$	$h > 1.35$
$n_1/n_2/n_3$	6/4/3	8/5/4
λ_B	415nm	405nm
r	1.1551	1.1660
d1	2.2000	2.2000
κ	-6.4035E-01	-5.8616E-01
A4	-5.9766E-04	-5.4913E-03
A6	-4.7564E-03	-7.0850E-03
A8	-1.2137E-03	4.9961E-05
A10	5.8511E-04	1.0862E-03
A12	-2.7474E-04	-2.9682E-04
A14	3.3895E-05	-1.2566E-05
A16	-4.6696E-05	-6.3629E-05
A18	2.5452E-05	2.4493E-05
A20	-4.8620E-06	-2.6949E-06
b2	2.3318E-03	1.0991E-03
b4	-8.9867E-04	-5.1923E-04
b6	-5.3246E-04	-2.8692E-04
b8	-6.2181E-05	-2.3236E-05
b10	-4.6234E-06	-2.8513E-06

第2面

非球面係数

κ	-4.3900E+01
A4	1.0752E-01
A6	-5.1322E-02
A8	-1.1890E-02
A10	1.9650E-02
A12	-2.2078E-03
A14	-2.4657E-03
A16	6.4120E-04
A18	
A20	

【0391】

本実施例の対物レンズでは、第1の光ディスクD1、第2の光ディスクD2、第3の光ディスクD3に対する仕様をそれぞれ

$NA_1 = 0.85$ 、 $\lambda_1 = 405\text{nm}$ 、 $t_1 = 0.1\text{mm}$ 、 $m_1 = 0$

$NA_2 = 0.65$ 、 $\lambda_2 = 650\text{nm}$ 、 $t_2 = 0.6\text{mm}$ 、 $m_2 = -0.03$

$NA_3 = 0.50$ 、 $\lambda_3 = 780\text{nm}$ 、 $t_3 = 1.2\text{mm}$ 、 $m_3 = -0.14$

と想定している。

【0392】

NA_3 内に対応する共通領域及び $NA_3 \sim NA_2$ 内に対応する第1の周辺領域に形成された回折構造の最適化波長 λ_B と最適化次数 n_B は、それぞれ $\lambda_B = 415\text{nm}$ 、 $n_B = 6$ であり、 $NA_2 \sim NA_1$ 内に対応する第2の周辺領域に形成された回折構造の最適化波長 λ_B と最適化次数 n_B は、それぞれ $\lambda_B = 405\text{nm}$ 、 $n_B = 8$ である。

【0393】

従って、共通領域及び第1の周辺領域では、半導体レーザLD1から射出された405nmのレーザ光に対して6次回折光、半導体レーザLD2から射出された650nmのレーザ光に対して4次回折光、半導体レーザLD3から射出された780nmのレーザ光に対して3次回折光がそれぞれ最大の回折光量を有するように発生し、第2の周辺領域では、半導体レーザLD1から射出された405nmのレーザ光に対して8次回折光、半導体レーザLD2から射出された650nmのレーザ光に対して5次回折光、半導体レーザLD3から射出された780nmのレーザ光に対して4次回折光がそれぞれ最大の回折光量を有するように発生する。

【0394】

このように決定された回折構造に対して、 λ_1 より5nm長い波長410nmのレーザ光が入射すると図95(A)に示す球面収差図(色収差図)からわかるように、本実施例の対物レンズの球面収差は補正不足方向に変化する。そこで本実施例の対物レンズでは、入射する光束の波長が長くなるとバックフォーカスが長くなる方向に変化するような軸上色収差の波長依存性を持たせることで、 λ_1 より5nm長い波長410nmのレーザ光が入射した際のバックフォーカスの変化量 ΔCA と、前記波長 λ_1 より5nm長い波長410nmのレーザ光が入射した際のNA1に対応するマージナル光線の変化量 ΔSA とが $-1 < \Delta CA / \Delta SA < 0$

なる関係を満たすようにしたので、半導体レーザLD1がモードホップを起こしても最良像点位置の変化を小さく抑えられたレンズとなっている。ここで、バックフォーカスの変化量 ΔCA は、図95(A)の405nm、410nmのグラフの下端の移動幅で示され、マージナル光線の変化量 ΔSA は、405nmのグラフをその下端が410nmのグラフの下端に重なる位置まで平行移動させた際のグラフの上端と、410nmのグラフの上端との幅により示される。

【0395】

ところで、対物レンズOBJ1において、回折構造の近軸パワーPDを大きく設定すると、波長 λ_1 近傍の軸上色収差を良好に補正することができるので、半導体レーザLD1のモードホップに対して集光性能の劣化の少ないレンズとすることができるが、波長 λ_1 近傍の軸上色収差を完全に補正してしまうと、波長 λ_2 から波長 λ_3 の波長領域の軸上色収差が補正過剰となりすぎてしまい、半導体レーザLD2や半導体レーザLD3のモードホップに対して集光性能の劣化が大きくなり、第2の光ディスクや第3の光ディスクに対する情報の記録が正確に行えなくなる恐れがある。

【0396】

そこで、本実施例の対物レンズでは、回折構造の近軸パワーPDを $-5.0 \times 10^{-2} < PD < 2.0 \times 10^{-2}$

を満たすように設定することで、半導体レーザLD2や半導体レーザLD3のモードホップに対して集光性能の劣化が大きくなりすぎないようにした。

【0397】

また、図95(B)、(C)に示す球面収差図からわかるように、第2の周辺領域を通過する半導体レーザLD2から射出された650nmのレーザ光は、第2の光ディスクD2の情報記録面上でフレア成分となり、第1の周辺領域及び第2の周辺領域を通過する半導体レーザLD3から射出された780nmのレーザ光は、第3の光ディスクD3の情報記録面上でフレア成分となるので、NA2及びNA3に対する開口切り替えが自動的に行われる。

【0398】

〈実施例12〉

【0399】

表28にレンズデータを示す実施例12は、上述した第6の実施の形態における対物レンズOBJ1として好適なプラスチック単レンズであり、第1面(S1)上に輪帯状の回折構造が形成されている。

【0400】

【表 28】

実施例12

波長 $\lambda_1=405\text{nm}$ のとき焦点距離 $f_1=2.00\text{mm}$ 、像側開口数 $NA_1=0.85$ 、結像倍率 $m_1=0$ 波長 $\lambda_2=650\text{nm}$ のとき焦点距離 $f_2=2.07\text{mm}$ 、像側開口数 $NA_2=0.65$ 、結像倍率 $m_2=-0.02$ 波長 $\lambda_3=780\text{nm}$ のとき焦点距離 $f_3=2.06\text{mm}$ 、像側開口数 $NA_3=0.50$ 、結像倍率 $m_3=-0.15$

面番号	r (mm)	d (mm)	$N\lambda_1$	$N\lambda_2$	$N\lambda_3$	ν_d	備考
0		d0(可変)					光源
1(絞リ)	下表参照	下表参照	1.52469	1.50661	1.50500	56.5	対物レンズ
2	-2.3673	d2(可変)					
3	∞	d3(可変)	1.61950	1.57756	1.57062	30.0	透明基板
4	∞						

	$\lambda_1=405\text{nm}$	$\lambda_2=650\text{nm}$	$\lambda_3=780\text{nm}$
d0	∞	87.3544	15.2800
d2	0.1000	0.6000	1.2000
d3	0.7030	0.5094	0.3655

第1面

回折次数・最適化波長・曲率半径・レンズ厚さ・非球面係数・回折面係数

h	$0 \leq h \leq 1.35$	$h > 1.35$
$n_1/n_2/n_3$	2/1/1	2/1/1
λ_B	380nm	405nm
r	1.3710	1.3766
d1	2.2671	2.2634
κ	-5.6443E-01	-5.6812E-01
A4	1.0155E-02	1.6385E-02
A6	6.8473E-03	1.8095E-04
A8	-6.8834E-04	2.7706E-03
A10	1.1420E-03	3.3729E-04
A12	5.5347E-04	-3.4111E-04
A14	-1.0087E-03	8.4195E-05
A16	5.2327E-04	-2.0012E-05
A18	-6.9277E-05	2.2938E-05
A20	-6.3930E-06	-6.0839E-06
b2	-7.6135E-03	-6.6173E-03
b4	1.2749E-03	1.8707E-03
b6	1.6024E-03	-4.2577E-04
b8	-2.8326E-04	1.0036E-03
b10	1.2298E-04	-2.0596E-04

第2面

非球面係数

κ	-2.4528E+01
A4	4.3024E-02
A6	-7.2838E-03
A8	-6.8737E-03
A10	2.9824E-03
A12	-1.6397E-05
A14	-1.6456E-04
A16	1.9141E-05
A18	
A20	

【0401】

本実施例の対物レンズでは、第1の光ディスクD1、第2の光ディスクD2、第3の光ディスクD3に対する仕様をそれぞれ

$NA_1 = 0.85$ 、 $\lambda_1 = 405\text{nm}$ 、 $t_1 = 0.1\text{mm}$ 、 $m_1 = 0$

$NA_2 = 0.65$ 、 $\lambda_2 = 650\text{nm}$ 、 $t_2 = 0.6\text{mm}$ 、 $m_2 = -0.02$

$NA_3 = 0.50$ 、 $\lambda_3 = 780\text{nm}$ 、 $t_3 = 1.2\text{mm}$ 、 $m_3 = -0.15$

と想定している。

【0402】

NA_3 内に対応する共通領域及び $NA_3 \sim NA_2$ 内に対応する第1の周辺領域に形成された回折構造の最適化波長 λ_B と最適化次数 n_B は、それぞれ $\lambda_B = 380\text{nm}$ 、 $n_B = 2$ であり、 $NA_2 \sim NA_1$ 内に対応する第2の周辺領域に形成された回折構造の最適化波長 λ_B と最適化次数 n_B は、それぞれ $\lambda_B = 405\text{nm}$ 、 $n_B = 2$ である。

【0403】

従って、それぞれの領域に形成された回折構造では、半導体レーザLD1から射出された405nmのレーザ光に対して2次回折光、半導体レーザLD2から射出された650nmのレーザ光に対して1次回折光、半導体レーザLD3から射出された780nmのレーザ光に対して1次回折光がそれぞれ最大の回折光量を有するように発生する。

【0404】

上述の回折構造に対して、 λ_1 より5nm長い波長410nm及び5nm短い波長410nmのレーザ光が入射したときの球面収差図（色収差図）を図96（A）に示す。

【0405】

さらに、本実施例の対物レンズでは、回折構造の近軸パワーPDを

$$0.5 \times 10^{-2} < PD < 5.0 \times 10^{-2}$$

を満たすように設定することで、半導体レーザLD2や半導体レーザLD3のモードホップに対して集光性能の劣化が大きくなりすぎないようにした。

【0406】

また、図96（B）、（C）に示す球面収差図からわかるように、第2の周辺領域を通過する半導体レーザLD2から射出された650nmのレーザ光は、第2の光ディスクD2の情報記録面上でフレア成分となり、第1の周辺領域及び第2の周辺領域を通過する半導体レーザLD3から射出された780nmのレーザ光は、第3の光ディスクD3の情報記録面上でフレア成分となるので、NA2及びNA3に対する開口切り替えが自動的に行われる。

【0407】

〈実施例13〉

【0408】

表29にレンズデータを示す実施例13は、上述した第7の実施の形態における対物レンズOBJ2として好適な複合型対物レンズであり、両方の光学面が非球面とされた第1の光学素子L1としてのガラスレンズと、非球面とされた光源側の光学面上に輪帯状の回折構造が形成された第2の光学素子L2としてのプラスチックレンズから構成されている。

【0409】

【表 29】

実施例13

波長 $\lambda 1=405\text{nm}$ のとき焦点距離 $f1=2.05\text{mm}$ 、像側開口数 $NA1=0.85$ 、結像倍率 $m1=0$ 波長 $\lambda 2=655\text{nm}$ のとき焦点距離 $f2=2.14\text{mm}$ 、像側開口数 $NA2=0.65$ 、結像倍率 $m2=-0.04$ 波長 $\lambda 3=785\text{nm}$ のとき焦点距離 $f3=2.14\text{mm}$ 、像側開口数 $NA3=0.50$ 、結像倍率 $m3=-0.14$

面番号	r (mm)	d (mm)	$N\lambda 1$	$N\lambda 2$	$N\lambda 3$	νd	備考
0		d0(可変)					光源
1	下表参照	下表参照	1.52491	1.50673	1.50345	56.5	対物レンズ
2	3601075.34	0.1000					
3(絞り)	1.5401	2.5000	1.71558	1.68966	1.68469	53.2	
4	-9.9695	d4(可変)					
5	∞	d5(可変)	1.61950	1.57721	1.57042	30.0	透明基板
6	∞						

	$\lambda 1=405\text{nm}$	$\lambda 2=650\text{nm}$	$\lambda 3=780\text{nm}$
d0	∞	50.0172	14.9264
d4	0.1000	0.6000	1.2000
d5	0.5999	0.4641	0.2717

第1面

回折次数・最適化波長・曲率半径・レンズ厚さ・非球面係数・回折面係数

h	$0 \leq h \leq 1.153$	$1.153 < h \leq 1.43$	$h > 1.43$
$n1/n2/n3$	2/1/1	2/1/1	2/1/1
λB	380nm	380nm	380nm
r	-10.4665	-11.8021	-20.6595
d1	1.0000	1.0000	1.0000
κ	-1.1000E+01	-1.1000E+01	-1.1000E+01
A4	2.8254E-02	1.7590E-02	6.1773E-03
A6	-7.1556E-03	-9.2533E-04	-5.4273E-04
A8	1.2671E-03	1.4113E-03	2.9967E-03
A10	3.5495E-04	-4.8688E-04	-1.5628E-03
A12	-7.3561E-05	2.6450E-05	2.0226E-04
b2	-1.1764E-02	-1.1036E-02	-9.5589E-03
b4	6.5468E-04	-5.6496E-04	8.7375E-04
b6	8.4835E-04	1.0458E-03	-6.6414E-04
b8	-5.6702E-04	-5.9605E-05	1.6233E-04
b10	2.1908E-04	8.6727E-06	4.1737E-06

第2面

非球面係数

κ	1.0000E+01
A4	1.7777E-02
A6	-5.1797E-03
A8	3.3246E-03
A10	-1.1994E-03
A12	-3.6860E-06
A14	3.0819E-05
A16	
A18	
A20	

第3面

非球面係数

κ	-6.0595E-01
A4	-1.2358E-03
A6	2.2753E-03
A8	1.7452E-03
A10	-1.6775E-03
A12	5.1978E-04
A14	-6.4585E-05
A16	6.1456E-07
A18	
A20	

第4面

非球面係数

κ	2.0000E+00
A4	6.5322E-02
A6	-7.5864E-02
A8	5.9002E-02
A10	-1.0020E-02
A12	-1.6829E-02
A14	7.5707E-03
A16	
A18	
A20	

【0410】

本実施例の対物レンズでは、第1の光ディスクD1、第2の光ディスクD2、第3の光ディスクD3に対する仕様をそれぞれ

$NA1=0.85$ 、 $\lambda 1=405\text{nm}$ 、 $t1=0.1\text{mm}$ 、 $m1=0$

$NA2=0.65$ 、 $\lambda 2=655\text{nm}$ 、 $t2=0.6\text{mm}$ 、 $m2=-0.04$

$NA3=0.50$ 、 $\lambda 3=785\text{nm}$ 、 $t3=1.2\text{mm}$ 、 $m3=-0.14$

と想定している。

【0411】

$NA3$ 内に対応する共通領域、 $NA3 \sim NA2$ 内に対応する第1の周辺領域、及び $NA2 \sim NA1$ 内に対応する第2の周辺領域に形成された回折構造の最適化波長 λB と最適化次数 nB は、それぞれ $\lambda B=380\text{nm}$ 、 $nB=2$ である。

【0412】

従って、それぞれの領域に形成された回折構造では、半導体レーザLD1から射出された 405nm のレーザ光に対して2次回折光、半導体レーザLD2から射出された 655nm のレーザ光に対して1次回折光、半導体レーザLD3から射出された 785nm のレ

ーザ光に対して1次回折光がそれぞれ最大の回折光量を有するように発生する。

【0413】

このように決定された回折構造に対して、 λ_1 より5nm長い波長410nmのレーザー光が入射すると図97(A)に示す球面収差図(色収差図)からわかるように、本実施例の対物レンズの球面収差は補正過剰方向に変化する。そこで本実施例の対物レンズでは入射する光束の波長が長くなるとバックフォーカスが短くなる方向に変化するような軸上色収差の波長依存性を持たせることで、 λ_1 より5nm長い波長410nmのレーザー光が入射した際のバックフォーカスの変化量 ΔCA と、前記波長 λ_1 より5nm長い波長410nmのレーザー光が入射した際のNA1に対応するマージナル光線の変化量 ΔSA とが

$$-1 < \Delta CA / \Delta SA < 0$$

なる関係を満たすようにしたので、半導体レーザーLD1がモードホップを起こしても最良像点位置の変化を小さく抑えられたレンズとなっている。

【0414】

さらに、本実施例の対物レンズでは、回折構造の近軸パワーPDを

$$0.5 \times 10^{-2} < PD < 5.0 \times 10^{-2}$$

を満たすように設定することで、半導体レーザーLD2や半導体レーザーLD3のモードホップに対して集光性能の劣化が大きくなりすぎないようにした。

【0415】

また、図97(B)、(C)に示す球面収差図からわかるように、第2の周辺領域を通過する半導体レーザーLD2から射出された655nmのレーザー光は、第2の光ディスクD2の情報記録面上でフレア成分となり、第1の周辺領域及び第2の周辺領域を通過する半導体レーザーLD3から射出された785nmのレーザー光は、第3の光ディスクD3の情報記録面上でフレア成分となるので、NA2及びNA3に対する開口切り替えが自動的に行われる。

【0416】

〈実施例14〉

【0417】

表30にレンズデータを示す実施例14は、上述した第7の実施の形態における対物レンズOBJ2として好適な複合型対物レンズであり、両方の光学面が非球面とされた第1の光学素子L1としてのプラスチックレンズと、非球面とされた両方の光学面上に輪帯状の回折構造が形成された第2の光学素子L2としてのプラスチックレンズから構成されている。

【0418】

【表 30】

実施例14

波長 $\lambda 1=405\text{nm}$ のとき焦点距離 $f1=2.20\text{mm}$ 、像側開口数 $NA1=0.85$ 、結像倍率 $m1=0$ 波長 $\lambda 2=650\text{nm}$ のとき焦点距離 $f2=2.26\text{mm}$ 、像側開口数 $NA2=0.65$ 、結像倍率 $m2=-0.11$ 波長 $\lambda 3=780\text{nm}$ のとき焦点距離 $f3=2.27\text{mm}$ 、像側開口数 $NA3=0.50$ 、結像倍率 $m3=-0.20$

面番号	r (mm)	d (mm)	N $\lambda 1$	N $\lambda 2$	N $\lambda 3$	νd	備考
0		d0(可変)					光源
1	下表参照	下表参照	1.52459	1.50661	1.50500	56.5	対物レンズ
2	下表参照	0.0500					
3(絞り)	1.5528	2.9500	1.56013	1.54090	1.53734	56.3	
4	-2.1403	d4(可変)					
5	∞	d5(可変)	1.61956	1.57785	1.57088	30.0	透明基板
6	∞						

	$\lambda 1=405\text{nm}$	$\lambda 2=650\text{nm}$	$\lambda 3=780\text{nm}$
d0	∞	20.8653	11.4565
d4	0.1000	0.6000	1.2000
d5	0.4872	0.4851	0.2979

第1面

回折次数・最適化波長・曲率半径・レンズ厚さ・非球面係数・回折面係数

h	$0 \leq h \leq 1.479$	$h > 1.479$
n1/n2/n3	2/1/1	3/2/2
λB	380nm	405nm
r	-75.9093	-75.9093
d1	2.2671	2.2634
κ	-1.9314E+03	-1.9314E+03
A4	6.7348E-03	6.7348E-03
A6	1.0224E-03	1.0224E-03
A8	3.3638E-06	3.3638E-06
A10	-1.6208E-04	-1.6208E-04
A12	-1.5907E-06	-1.5907E-06
A14	-3.4313E-07	-3.4313E-07
b2	-4.9508E-03	-3.5176E-03
b4	-2.1580E-03	-1.5333E-03
b6	6.4135E-04	4.5569E-04
b8	3.7355E-05	2.6541E-05
b10	-3.0158E-05	-2.1428E-05

第2面

回折次数・最適化波長・曲率半径・レンズ厚さ・非球面係数・回折面係数

h	$0 \leq h \leq 1.483$	$h > 1.483$
n1/n2/n3	2/1/1	3/2/2
λB	380nm	405nm
r	-29.0672	-29.0672
d1	2.2671	2.2634
κ	-1.3788E+03	-1.3788E+03
A4	1.0726E-02	1.0726E-02
A6	1.6748E-04	1.6748E-04
A8	-4.9758E-04	-4.9758E-04
A10	-2.1960E-05	-2.1960E-05
A12	-1.0692E-05	-1.0692E-05
A14	6.4879E-06	6.4879E-06
b2	-4.6811E-04	-3.3261E-04
b4	7.6852E-06	5.4606E-06
b6	2.6310E-04	1.8694E-04
b8	-8.4343E-05	-5.9928E-05
b10	-9.9442E-06	-7.0656E-06

第3面

非球面係数

κ	-7.1373E-01
A4	8.2690E-03
A6	9.7887E-04
A8	-1.1881E-03
A10	7.7852E-04
A12	-1.6114E-04
A14	-4.7416E-05
A16	1.6534E-05
A18	2.7589E-06
A20	-1.1891E-06

第4面

非球面係数

κ	-1.0211E+01
A4	9.3235E-02
A6	-7.9444E-02
A8	1.9703E-02
A10	1.1928E-03
A12	-9.1615E-04
A14	-1.7067E-06
A16	
A18	
A20	

【0419】

本実施例の対物レンズでは、第1の光ディスクD1、第2の光ディスクD2、第3の光ディスクD3に対する仕様をそれぞれ

$NA1 = 0.85$ 、 $\lambda1 = 405\text{ nm}$ 、 $t1 = 0.1\text{ mm}$ 、 $m1 = 0$
 $NA2 = 0.65$ 、 $\lambda2 = 650\text{ nm}$ 、 $t2 = 0.6\text{ mm}$ 、 $m2 = -0.11$
 $NA3 = 0.50$ 、 $\lambda3 = 780\text{ nm}$ 、 $t3 = 1.2\text{ mm}$ 、 $m3 = -0.20$
 と想定している。

【0420】

$NA3$ 内に対応する共通領域及び $NA3 \sim NA2$ 内に対応する第 1 の周辺領域に形成された回折構造の最適化波長 λ_B と最適化次数 n_B は、それぞれ $\lambda_B = 380\text{ nm}$ 、 $n_B = 2$ であり、 $NA2 \sim NA1$ 内に対応する第 2 の周辺領域に形成された回折構造の最適化波長 λ_B と最適化次数 n_B は、それぞれ $\lambda_B = 405\text{ nm}$ 、 $n_B = 3$ である。

【0421】

従って、共通領域及び第 1 の周辺領域では、半導体レーザ LD1 から射出された 405 nm のレーザ光に対して 2 次回折光、半導体レーザ LD2 から射出された 650 nm のレーザ光に対して 1 次回折光、半導体レーザ LD3 から射出された 780 nm のレーザ光に対して 1 次回折光がそれぞれ最大の回折光量を有するように発生し、第 2 の周辺領域では、半導体レーザ LD1 から射出された 405 nm のレーザ光に対して 3 次回折光、半導体レーザ LD2 から射出された 650 nm のレーザ光に対して 2 次回折光、半導体レーザ LD3 から射出された 780 nm のレーザ光に対して 2 次回折光がそれぞれ最大の回折光量を有するように発生する。

【0422】

上述の回折構造に対して、 $\lambda1$ 、 $\lambda1$ より 5 nm 長い波長 410 nm 及び 5 nm 短い波長 400 nm のレーザ光が入射したときの球面収差図（色収差図）を図 98（A）に示す。

【0423】

さらに、本実施例の対物レンズでは、第 2 の光ディスクに対して記録／再生をする際の結像倍率 $m2$ 、第 3 の光ディスクに対して記録／再生をする際の結像倍率 $m3$ に対して、回折構造の近軸パワー PD を

$$0.5 \times 10^{-2} < PD < 5.0 \times 10^{-2}$$

を満たすように適切に設定することで、半導体レーザ LD2 や半導体レーザ LD3 のモードホップに対して集光性能の劣化が大きくなりすぎないようにした。

【0424】

また、本実施例の対物レンズの第 2 の光学素子 L2 は、基板厚差補正手段としての機能に加えて、開口切替手段としての機能も有する。すなわち、図 98（B）、（C）に示す球面収差図からわかるように、第 2 の周辺領域を通過する半導体レーザ LD2 から射出された 650 nm のレーザ光は、第 2 の光ディスク D2 の情報記録面上でフレア成分となり、第 1 の周辺領域及び第 2 の周辺領域を通過する半導体レーザ LD3 から射出された 780 nm のレーザ光は、第 3 の光ディスク D3 の情報記録面上でフレア成分となるので、 $NA2$ 及び $NA3$ に対する開口切り替えが自動的に行われる。

【0425】

ところで、光ピックアップ装置において、対物レンズはトラッキングエラーにより半導体レーザの発光点に対し 0.2 mm 程度偏芯する。これは、対物レンズに発散光束を入射させる場合、発光点に対物レンズに対して 0.2 mm の物体高をもつ軸外物点となることに相当する。本実施例の対物レンズの 0.2 mm の物体高に対する波面収差は、第 2 の光ディスクに対しては、 $0.025\lambda2\text{ rms}$ 、第 3 の光ディスクに対しては、 $0.033\lambda3\text{ rms}$ であり、対物レンズ発散光束を入射させて使用する第 2 の光ディスクや第 3 の光ディスクに対して良好なトラッキング特性を得ることができる。

【0426】

〈実施例 15〉

【0427】

表 31 にレンズデータを示す実施例 15 は、上述した第 7 の実施の形態における対物レンズ OBJ2 として好適な複合型対物レンズであり、両方の光学面が非球面とされた第 1

の光学素子 L 1 としてのプラスチックレンズと、両方の光学面が非球面とされ、光源側の非球面上に輪帯状の回折構造が形成された第 2 の光学素子 L 2 としてのプラスチックレンズから構成されている。

【 0 4 2 8 】

【表 3 1】

実施例 15

波長 $\lambda 1=408\text{nm}$ のとき
焦点距離 $f1=2.20\text{mm}$ 、像側開口数 $NA1=0.87$ 、結像倍率 $m1=0$

波長 $\lambda 2=658\text{nm}$ のとき
焦点距離 $f2=2.26\text{mm}$ 、像側開口数 $NA2=0.67$ 、結像倍率 $m2=-0.12$

波長 $\lambda 3=785\text{nm}$ のとき
焦点距離 $f3=2.27\text{mm}$ 、像側開口数 $NA3=0.51$ 、結像倍率 $m3=-0.20$

面番号	r (mm)	d (mm)	N $\lambda 1$	N $\lambda 2$	N $\lambda 3$	νd	備考
0		d0 (可変)				56.5	光源
1	下表参照	1.9500	1.52424	1.50643	1.50497		
2	下表参照	0.0500					
3 (絞り)	1.4984	2.7000	1.55965	1.54062	1.53724	56.3	対物レンズ
4	-2.2641	d4 (可変)					
5	∞	d5 (可変)	1.61830	1.57701	1.57042	30.0	透明基板
6	∞						

	$\lambda 1=408\text{nm}$	$\lambda 2=658\text{nm}$	$\lambda 3=785\text{nm}$
d0	∞	18.5732	11.4953
d4	0.1000	0.6000	1.2000
d5	0.4743	0.4760	0.3000

第1面

回折次数・最適化波長・曲率半径・レンズ厚さ・非球面係数・回折面係数

h	$0 \leq h \leq 1.19$	$1.19 < h \leq 1.54$	$1.54 < h$
n1/n2/n3	8/5/4	8/5/4	6/4/3
λB	408nm	408nm	408nm
r	28.4866	27.3901	26.2080
κ	7.8485E+01	-6.6536E+02	-4.4129E+02
A4	4.2859E-03	1.3518E-02	6.7817E-03
A6	1.2630E-02	-2.9627E-03	2.1701E-04
A8	-1.4130E-02	-1.4078E-03	-3.9874E-04
A10	3.7955E-03	4.5355E-04	-2.8647E-05
A12	1.8142E-04	2.6425E-05	-3.6462E-06
A14	0.0000E+00	0.0000E+00	-4.0715E-06
b2	-2.3267E-03	-2.1102E-03	-2.3177E-03
b4	6.7507E-04	5.9426E-04	-1.5985E-04
b6	4.7375E-04	-1.3167E-04	1.0469E-04
b8	-8.6694E-04	-1.4033E-04	8.2120E-06
b10	2.8693E-04	5.0353E-05	-1.3041E-05

第2面

曲率半径・非球面係数

h	$0 \leq h \leq 1.54$	$1.54 < h$
r	65.9724	643.7815
κ	1.0000E+01	1.0000E+01
A4	3.1093E-03	8.9754E-03
A6	-1.3025E-03	-8.1022E-04
A8	1.2188E-03	-6.8268E-04
A10	-5.8067E-04	7.9746E-05
A12	6.7139E-05	-4.7903E-06
A14	0.0000E+00	0.0000E+00

第3面

非球面係数

κ	-6.4822E-01
A4	2.0499E-02
A6	-7.1252E-03
A8	2.6231E-03
A10	4.9955E-04
A12	-3.8169E-04
A14	9.5612E-05
A16	-1.1952E-05
A18	1.8416E-06
A20	2.1732E-07

第4面

非球面係数

κ	-4.9132E+01
A4	2.7393E-02
A6	5.9012E-02
A8	-3.0228E-02
A10	-6.0674E-03
A12	4.8664E-05
A14	2.7695E-03
A16	0.0000E+00
A18	0.0000E+00
A20	0.0000E+00

【 0 4 2 9 】

本実施例の対物レンズでは、第 1 の光ディスク D 1、第 2 の光ディスク D 2、第 3 の光ディスク D 3 に対する仕様をそれぞれ

$NA1=0.87$ 、 $\lambda 1=408\text{nm}$ 、 $t1=0.1\text{mm}$ 、 $m1=0$

$NA2 = 0.67$ 、 $\lambda2 = 658\text{ nm}$ 、 $t2 = 0.6\text{ mm}$ 、 $m2 = -0.12$

$NA3 = 0.51$ 、 $\lambda3 = 785\text{ nm}$ 、 $t3 = 1.2\text{ mm}$ 、 $m3 = -0.20$

と想定している。

【0430】

$NA3$ 内に対応する共通領域及び $NA3 \sim NA2$ 内に対応する第1の周辺領域に形成された回折構造の最適化波長 λ_B と最適化次数 n_B は、それぞれ $\lambda_B = 408\text{ nm}$ 、 $n_B = 8$ であり、 $NA2 \sim NA1$ 内に対応する第2の周辺領域に形成された回折構造の最適化波長 λ_B と最適化次数 n_B は、それぞれ $\lambda_B = 408\text{ nm}$ 、 $n_B = 6$ である。

【0431】

従って、共通領域及び第1の周辺領域では、半導体レーザLD1から射出された 408 nm のレーザ光に対して8次回折光、半導体レーザLD2から射出された 658 nm のレーザ光に対して5次回折光、半導体レーザLD3から射出された 785 nm のレーザ光に対して4次回折光がそれぞれ最大の回折光量を有するように発生し、第2の周辺領域では、半導体レーザLD1から射出された 408 nm のレーザ光に対して6次回折光、半導体レーザLD2から射出された 658 nm のレーザ光に対して4次回折光、半導体レーザLD3から射出された 785 nm のレーザ光に対して3次回折光がそれぞれ最大の回折光量を有するように発生する。

【0432】

図99(A)に 403 nm 、 408 nm 及び 413 nm の各レーザ光が入射したときの球面収差図(色収差図)を示す。また、本実施例の対物レンズの第2の光学素子L2は、基板厚差補正手段としての機能に加えて開口切替手段としての機能も有する。すなわち、図99(B)、(C)に示す球面収差図からわかるように、第2の周辺領域を通過する半導体レーザLD2から射出された 658 nm のレーザ光は、第2の光ディスクD2の情報記録面上でフレア成分となり、第1の周辺領域及び第2の周辺領域を通過する半導体レーザLD3から射出された 788 nm のレーザ光は、第3の光ディスクD3の情報記録面上でフレア成分となるので、 $NA2$ 及び $NA3$ に対する開口切り替えが自動的に行われる。

【0433】

なお、本明細書において、回折構造が形成された面(回折面)とは、光学素子の表面に、レリーフを設けて、入射光束を回折させる作用を持たせる面のことをいい、同一光学面に回折を生じる領域と生じない領域がある場合は、回折を生じる領域をいう。また、回折構造または回折パターンとは、この回折を生じる領域のことをいう。レリーフの形状としては、例えば、光学素子の表面に、光軸を中心として略同心円状の輪帯として形成され、光軸を含む平面でその断面をみれば、各輪帯は鋸歯状(かかる場合に、レリーフを特に「ブレード」とよぶ。)、あるいは階段状のような形状が知られているが、そのような形状を含むものである。

【0434】

一般に、回折面からは、0次回折光、 ± 1 次回折光、 ± 2 次回折光、 $\dots$ 、と無数の次数の回折光が生じるが、例えば、上記のような子午断面が鋸歯状となるブレード、あるいは階段状の形状を持つ回折面の場合は、特定の次数の回折効率を他の次数の回折効率よりも高くしたり、場合によっては、特定の1つの次数(例えば、 $+1$ 次回折光)の回折効率をほぼ100%とするように、このブレードの形状または階段状の形状を設定することができる。本発明において、「回折構造が波長 λ_B 、回折次数 n で最適化されている」とは、波長 λ_B の光が入射したときに、回折次数 n の回折光の回折効率が理論的に100%となるように、ブレードの形状あるいは階段状の形状を設定することを指す(このとき、波長 λ_B を製造波長または最適化波長とよび、回折次数 n を最適化次数とよぶ)。別の言い方をすると、次のように説明することができる。「回折構造が波長 λ_B 、回折次数 n で最適化されている」とは、実際に、光学素子上に形成されたブレードあるいは階段状の回折構造において、輪帯の光軸方向の段差量を、 Δd (μm)、回折構造に入射する光の波長のうち最も短い波長(すなわち、本明細書中において、第1光源が発生する λ_1 の光の波長)における、回折構造の屈折率を $N_{\lambda_{\min}}$ とすると、 Δd 、 $N_{\lambda_{\min}}$ と、最適化

波長 λ_B (nm)、回折次数 n との間に次の関係が成り立つことである。

$$\lambda_B \text{ (nm)} = \Delta d \times (N \lambda_{\min} - 1) / (n \times 10^{-3})$$

上式において、 n は、次式により算出される。

$$n = \text{INT} (Y)$$

$$Y = \Delta d \times (N \lambda_{\min} - 1) / (\lambda_{\min} \times 10^{-3})$$

ただし、 $\text{INT} (Y)$ は、 Y を四捨五入して得られる整数である。

ここで、実際のブレードまたは階段状の回折構造が製造誤差による形状誤差を有する場合には、図 90 のように、ブレードまたは階段状の回折構造の理想形状を近似的に求めた場合の光軸方向の段差量を Δd とする。

【0435】

また、本明細書において、「対物レンズ」とは、光情報記録媒体（光ディスク）の情報記録面に情報の記録、及び／または、情報記録面の情報を再生するための光学系に含まれる光学素子うち、光情報記録媒体と対向する位置に配置され、光源からの光束を光情報記録媒体の情報記録面上に集光させるための光学素子を指す。

【0436】

そして、「1つのレンズ群から構成される対物レンズ」とは、光情報記録媒体と対向する位置に配置された光学素子であって、1つの群（1枚の光学素子から構成される場合も、複数の光学素子が接合されている場合も含む）から構成された、光源からの光束を光情報記録媒体の情報記録面上に集光させるための光学素子を指す。

【0437】

また、本明細書において、「光学素子」と「レンズ」は同義である。

【0438】

また、対物レンズが複数の光学素子（あるいは、レンズ群）から構成される場合は、光情報記録媒体と対向する位置に配置された光学素子と、鏡枠やフランジ等で一体とされた複数の光学素子の集合を本明細書での定義による対物レンズと呼ぶ。

【0439】

また、本明細書において、透明基板厚の異なる3種類の光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録について、1つのレンズ群から構成される「共通の対物レンズを用いる」とは、それぞれの光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合に、光情報記録媒体と対向する位置に配置され、光源からの光束を光情報記録媒体の情報記録面上に集光させるための光学素子が、同一の光学素子であることを指し、この同一の光学素子を「共通の対物レンズ」と定義する。

【0440】

そして、ある特定の透明基板厚を有する光情報記録媒体に対する情報の再生及び／または記録を行う場合にのみ、光源と光情報記録媒体との間の光路中に挿入されたり、光学素子としての機能が働く光学素子は、上記の共通の対物レンズには含まれないものとする。

【0441】

また、本明細書において、「保護基板」、及び「透明基板」、及び「保護層」とは、光情報記録媒体の情報記録面を保護するために、情報記録面の光束入射面側に形成された光学的に透明な平行平板を指し、光源から射出された光束は、対物レンズによって、上記の平行平板を介して光情報記録媒体の情報記録面上に集光される。そして、本明細書において、「保護基板厚（さ）」とは、上記の平行平板の厚さを指し、DVD規格の光情報記録媒体では、保護基板厚は0.6mm、CD規格の光情報記録媒体では、保護基板厚は1.2mmであるが、本明細書において、高密度DVD（第1光情報記録媒体、または、第1（の）光ディスク）には、明細書中で一例としてあげた、0.1mmの保護基板厚を有する光情報記録媒体の他に、保護基板厚がゼロ、すなわち、平行平板を有さないものや、DVD規格の光情報記録媒体と同じ0.6mmの保護基板厚を有するものも含まれる。

【0442】

また、本明細書において、光情報記録媒体が同一の光束入射面側に複数の情報記録層を有する、いわゆる、多層ディスクである場合、「保護基板」には、上記の複数の情報記録

層のうち、最も光束入射面に近い情報記録層の光束入射面側に形成された平行平板の他に、上記の複数の情報記録層間に形成された、中間層も含まれる。

【0443】

また、本明細書において、「基板厚差補正手段」とは、情報を記録及び／または再生する光情報記録媒体を、異なる透明基板厚を有する光情報記録媒体に交換したときに（例えば、CDからDVDへの交換や、高密度DVDからCDへの交換等）、規格の異なる光情報記録媒体の保護基板厚の違いにより、情報記録面上でのスポットの波面収差の球面収差成分が変化して、 $0.07\lambda_{rms}$ （ただし、 λ は波長である）より大きくなってしまったのを、情報を記録及び／または再生できるように、その光情報記録媒体に対して情報の記録及び／または再生を行うのに必要な対物レンズの所定の像側開口数内で $0.07\lambda_{rms}$ 以下、より好ましくは、 $0.05\lambda_{rms}$ 以下となるように、球面収差成分を補正することができる光学素子を指す。

【0444】

また、本明細書において、「基板厚誤差補正手段」とは、ある特定の規格の光情報記録媒体において、光情報記録媒体の製造誤差により、保護基板の厚さが均一でなく、場所によって違いがあったり、製造メーカーや製造機器の違いにより、保護基板の厚さに、個体差があったりすることに起因して、球面収差が発生し、情報記録面上でのスポットの波面収差が、 $0.07\lambda_{rms}$ （ただし、 λ は波長である）より大きくなってしまったのを、情報を記録及び／または再生できるように、その光情報記録媒体に対して情報の記録及び／または再生を行うのに必要な対物レンズの所定の像側開口数内で $0.07\lambda_{rms}$ 以下、より好ましくは、 $0.05\lambda_{rms}$ 以下となるように、球面収差成分を補正することができる光学素子を指す。

【0445】

また、本明細書において、「色収差補正手段」とは、ある特定の規格の光情報記録媒体に対し情報の記録及び／または再生を行うのに使用する光源において、製造誤差や温度変化や湿度変化等の環境変化や、出力の変化等により、出射される光の波長の単色性が悪い場合に、対物レンズで発生する色収差を補正することのできる光学素子を指し、具体的には、前記光学素子が、光源と対物レンズとの間の光路中に配置されない場合の、 $\pm 1\text{nm}$ の波長変化に対する対物レンズのピント移動量をA、前記光学素子が、光源と対物レンズとの間の光路中に配置された場合の、同じ量の波長変化に対する対物レンズのピント移動量をBとしたとき、

$$|A| > |B|$$

を満たすことのできる光学素子を指す。

【0446】

また、本明細書において、光情報記録媒体の情報記録面上に「良好な波面を形成する」とは、波長を λ とした場合に、波面収差が 0.07λ 以下、より好ましくは、 0.05λ 以下の状態で集光することを指す。

【0447】

また、本明細書における「フレア」は以下のように定義される。第*i*光情報記録媒体（*i* = 1または2または3）に対し情報の記録及び／または再生を行う際の、波長を λ_i 、対物レンズの像側開口数を NA_i とする。第*j*光情報記録媒体（*j* = 2または3）に対する情報の記録及び／または再生を行う際に、次の2つの条件のいずれか（より好ましくは両方）が満たされるときに、 NA_j より外側を通過し、第*j*光情報記録媒体の情報記録面に到達した光束を「フレア」とする。

【0448】

第1の条件は、 NA_1 と λ_1 から決定される絞りすべてを通過した波長 λ_j の光束のうち NA_j より外側を通過する光束の情報記録面上における球面収差の最大値が $10\mu\text{m}$ より大きく、かつ、 NA_j 内における球面収差が $5\mu\text{m}$ より小さい場合、である。

【0449】

第2の条件は、 NA_1 と λ_1 から決定される絞りすべてを通過した波長 λ_j の光束の情

報記録面上における波面収差が $0.07\lambda_j$ より大きく、かつ、 NA_j 以内で、情報記録面上における波面収差が $0.07\lambda_j$ より小さい場合、である。

【0450】

上記第1の条件及び／または第2の条件において、球面収差は、 NA_j において連続していても良いし、 NA_j において不連続であっても良い。

【0451】

また、本明細書において、情報の記録および再生とは、上記のような光情報記録媒体の情報記録面上に情報を記録すること、情報記録面上に記録された情報を再生することを行う。本発明の対物レンズ及び光ピックアップ装置及び集光光学系は、記録だけあるいは再生だけを行うために用いられるものであってもよいし、記録および再生の両方を行うために用いられるものであってもよい。また、ある光情報記録媒体に対しては記録を行い、別の光情報記録媒体に対しては再生を行うために用いられるものであってもよいし、ある光情報記録媒体に対しては記録または再生を行い、別の光情報記録媒体に対しては記録および再生を行うために用いられるものであってもよい。なお、ここでいう再生とは、単に情報を読み取ることを含むものである。

【0452】

また、本明細書において、第1保護基板厚乃至第3保護基板厚のすべてがすべて同じ値である場合、すなわち、第1光情報記録媒体乃至第3光情報記録媒体のすべてが同じ厚さの保護基板を有している場合は、本発明の課題がなく、本発明の技術的範囲には属さないものとする。

【図面の簡単な説明】

【0453】

【図1】本発明による光ピックアップ装置を概念的に示す図である。

【図2】本発明による別の光ピックアップ装置を概念的に示す図である。

【図3】本発明による更に別の光ピックアップ装置を概念的に示す図である。

【図4】本発明による更に別の光ピックアップ装置を概念的に示す図である。

【図5】本発明による更に別の光ピックアップ装置を概念的に示す図である。

【図6】本発明による更に別の光ピックアップ装置を概念的に示す図である。

【図7】本発明による更に別の光ピックアップ装置を概念的に示す図である。

【図8】本発明による更に別の光ピックアップ装置を概念的に示す図である。

【図9】第1の実施の形態による第1の光ピックアップ装置を概略的に示す図である。

【図10】図9の第1の光ピックアップ装置に用いられる色収差補正用素子である多層回折素子の側断面図（a）及び多層回折素子の作用を説明するために波長と屈折率との関係を示す図（b）である。

【図11】第1の実施の形態による第2の光ピックアップ装置を概略的に示す図である。

【図12】第2の実施の形態による第3の光ピックアップ装置を概略的に示す図である。

【図13】第2の実施の形態による第4の光ピックアップ装置を概略的に示す図である。

【図14】第3の実施の形態による第5の光ピックアップ装置を概略的に示す図である。

【図15】第3の実施の形態による第6の光ピックアップ装置を概略的に示す図である。

【図16】第4の実施の形態による第7の光ピックアップ装置を概略的に示す図である。

【図17】各実施の形態及び各実施例で用いることのできる開口切替手段として対物レンズに設けた輪帯フィルタを説明するための図である。

【図18】図17の輪帯フィルタの作用を説明するための図である。

【図19】図17の別の輪帯フィルタの作用を説明するための図である。

【図20】実施例1の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ における光路図である。

【図21】実施例1の対物レンズの $\lambda_2 = 650\text{nm}$ における光路図である。

【図22】実施例1の対物レンズの $\lambda_3 = 780\text{nm}$ における光路図である。

【図23】実施例1の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ に対する開口数0.85までの球面収差図である。

【図24】実施例1の対物レンズの $\lambda_2 = 650\text{nm}$ に対する開口数0.65までの球面収差図であ

る。

【図 2 5】実施例 1 の対物レンズの $\lambda_3 = 780\text{nm}$ に対する開口数 0.50 までの球面収差図である。

【図 2 6】実施例 1 の対物レンズの $\lambda_2 = 650\text{nm}$ に対する別の球面収差図である。

【図 2 7】実施例 1 の対物レンズの $\lambda_3 = 780\text{nm}$ に対する別の球面収差図である。

【図 2 8】実施例 2 の集光光学系の $\lambda_1 = 405\text{nm}$ における光路図である。

【図 2 9】実施例 2 の集光光学系の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm} \pm 10\text{nm}$ に対する開口数 0.85 までの球面収差図である。

【図 3 0】実施例 2 の集光光学系のコリメータと対物レンズとの合成系の $\lambda_1 = 405\text{nm} \pm 10\text{nm}$ に対する開口数 0.85 までの球面収差図である。

【図 3 1】実施例 2 の集光光学系の対物レンズの $\lambda_2 = 650\text{nm}$ における光路図である。

【図 3 2】実施例 2 の集光光学系の対物レンズの $\lambda_3 = 780\text{nm}$ における光路図である。

【図 3 3】実施例 2 の集光光学系の対物レンズの $\lambda_2 = 650\text{nm}$ に対する開口数 0.65 までの球面収差図である。

【図 3 4】実施例 2 の集光光学系の対物レンズの $\lambda_3 = 780\text{nm}$ に対する開口数 0.50 までの球面収差図である。

【図 3 5】実施例 3 の集光光学系の $\lambda_1 = 405\text{nm}$ における光路図である。

【図 3 6】実施例 3 の集光光学系の $\lambda_1 = 405\text{nm} \pm 10\text{nm}$ に対する開口数 0.85 までの球面収差図である。

【図 3 7】実施例 3 の集光光学系の $\lambda_2 = 650\text{nm}$ における光路図である。

【図 3 8】実施例 3 の集光光学系の $\lambda_3 = 780\text{nm}$ における光路図である。

【図 3 9】実施例 3 の集光光学系の $\lambda_2 = 650\text{nm}$ に対する開口数 0.65 までの球面収差図である。

【図 4 0】実施例 3 の集光光学系の $\lambda_3 = 780\text{nm}$ に対する開口数 0.50 までの球面収差図である。

【図 4 1】実施例 4 の集光光学系の $\lambda_1 = 405\text{nm}$ における光路図である。

【図 4 2】実施例 4 の集光光学系の $\lambda_1 = 405\text{nm} \pm 10\text{nm}$ に対する開口数 0.85 までの球面収差図である。

【図 4 3】実施例 4 の集光光学系の対物レンズの $\lambda_2 = 650\text{nm}$ における光路図である。

【図 4 4】実施例 4 の集光光学系の対物レンズの $\lambda_3 = 780\text{nm}$ における光路図である。

【図 4 5】実施例 4 の集光光学系の $\lambda_2 = 650\text{nm}$ に対する開口数 0.65 までの球面収差図である。

【図 4 6】実施例 4 の集光光学系の $\lambda_3 = 780\text{nm}$ に対する開口数 0.50 までの球面収差図である。

【図 4 7】実施例 5 の集光光学系の $\lambda_1 = 405\text{nm}$ における光路図である。

【図 4 8】実施例 5 の集光光学系の $\lambda_2 = 650\text{nm}$ における光路図である。

【図 4 9】実施例 5 の集光光学系の $\lambda_3 = 780\text{nm}$ における光路図である。

【図 5 0】実施例 5 の集光光学系の $\lambda_1 = 405\text{nm} \pm 10\text{nm}$ に対する開口数 0.85 までの球面収差図である。

【図 5 1】実施例 5 の集光光学系の $\lambda_2 = 650\text{nm}$ に対する開口数 0.65 までの球面収差図である。

【図 5 2】実施例 5 の集光光学系の $\lambda_3 = 780\text{nm}$ に対する開口数 0.50 までの球面収差図である。

【図 5 3】実施例 5 の集光光学系において $\lambda_1 = 405\text{nm}$ と NA1 0.85 との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda_2 = 650\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図である。

【図 5 4】実施例 6 の集光光学系の $\lambda_1 = 405\text{nm}$ における光路図である。

【図 5 5】実施例 6 の集光光学系の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm} \pm 10\text{nm}$ に対する開口数 0.85 までの球面収差図である。

【図 5 6】実施例 6 の集光光学系の $\lambda_2 = 650\text{nm}$ における光路図である。

【図 5 7】実施例 6 の集光光学系の $\lambda_3 = 780\text{nm}$ における光路図である。

【図 5 8】 実施例 6 の集光光学系の $\lambda_2 = 650\text{nm}$ に対する開口数 0.65 までの球面収差図である。

【図 5 9】 実施例 6 の集光光学系の $\lambda_3 = 780\text{nm}$ に対する開口数 0.50 までの球面収差図である。

【図 6 0】 製造波長 λ_B 、回折次数 1 で最適化されたブレイズ構造で発生する波長 405 nm の光の 1 次回折光と、波長 650 nm の光の 1 次回折光と、波長 780 nm の光の 1 次回折光との回折効率の製造波長に対する依存性を表す図である。

【図 6 1】 $340\text{nm} \leq \lambda_B \leq 450\text{nm}$ を満足する製造波長 λ_B と回折次数 2 で最適化されたブレイズ構造で発生する波長 405 nm の光の 2 次回折光と、波長 650 nm の光の 1 次回折光と、波長 780 nm の光の 1 次回折光との回折効率の製造波長に対する依存性を表す図である。

【図 6 2】 $390\text{nm} \leq \lambda_B \leq 440\text{nm}$ を満足する製造波長 λ_B と回折次数 6 で最適化されたブレイズ構造で発生する波長 405 nm の光の 6 次回折光と、波長 650 nm の光の 4 次回折光と、波長 780 nm の光の 3 次回折光との回折効率の製造波長に対する依存性を表す図である。回折効率の製造波長に対する依存性を表す図である。

【図 6 3】 第 3 の実施の形態による第 8 の光ピックアップ装置を概略的に示す図である。

【図 6 4】 第 5 の実施の形態による第 9 の光ピックアップ装置を概略的に示す図である。

【図 6 5】 実施例 7 の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ における光路図である。

【図 6 6】 実施例 7 の対物レンズの $\lambda_2 = 650\text{nm}$ における光路図である。

【図 6 7】 実施例 7 の対物レンズの $\lambda_3 = 780\text{nm}$ における光路図である。

【図 6 8】 実施例 7 の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ に対する開口数 0.85 までの球面収差図である。

【図 6 9】 実施例 7 の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ と NA1 0.85 との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda_2 = 650\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図である。

【図 7 0】 実施例 7 の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ と NA2 0.85 との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda_3 = 780\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図である。

【図 7 1】 実施例 8 の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ における光路図である。

【図 7 2】 実施例 8 の対物レンズの $\lambda_2 = 650\text{nm}$ における光路図である。

【図 7 3】 実施例 8 の対物レンズの $\lambda_3 = 780\text{nm}$ における光路図である。

【図 7 4】 実施例 8 の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ に対する開口数 0.85 までの球面収差図である。

【図 7 5】 実施例 8 の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ と NA1 0.85 との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda_2 = 650\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図である。

【図 7 6】 実施例 8 の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ と NA2 0.85 との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda_3 = 780\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図である。

【図 7 7】 実施例 9 の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ における光路図である。

【図 7 8】 実施例 9 の対物レンズの $\lambda_2 = 650\text{nm}$ における光路図である。

【図 7 9】 実施例 9 の対物レンズの $\lambda_3 = 780\text{nm}$ における光路図である。

【図 8 0】 実施例 9 の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ に対する開口数 0.85 までの球面収差図である。

【図 8 1】 実施例 9 の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ と NA1 0.85 との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda_2 = 650\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図である。

【図 8 2】 実施例 9 の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ と NA2 0.85 との組み合わせで決定される絞り径と等しい光束径の $\lambda_3 = 780\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図である。

【図 8 3】 実施例 10 の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ における光路図である。

【図 8 4】 実施例 10 の対物レンズの $\lambda_2 = 655\text{nm}$ における光路図である。

【図 8 5】 実施例 10 の対物レンズの $\lambda_3 = 785\text{nm}$ における光路図である。

【図 8 6】 実施例 10 の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ に対する開口数 0.85 までの球面収差図である。

【図 8 7】 実施例 10 の対物レンズの $\lambda_1 = 405\text{nm}$ と NA1 0.85 との組み合わせで決定される

絞り径と等しい光束径の $\lambda_2=655\text{nm}$ の光を入射させた場合の球面収差図である。

【図 8 8】実施例 10 の対物レンズの $\lambda_3=785\text{nm}$ に対する開口数 0.45 までの球面収差図である。

【図 8 9】図 17 に示す対物レンズに形成した輪帯状フィルタの反射率と波長依存性を表す図である。

【図 9 0】ブレイズの理想形状を近似的に求めた場合の光軸方向の段差量 Δd を説明するための図である。

【図 9 1】第 6 の実施の形態における対物レンズ O B J 1 を示す概略図であり、(A) は正面図、(B) は側面図、(C) は側面を一部拡大した図である。

【図 9 2】図 9 1 の対物レンズ O B J 1 を使用した第 6 の実施の形態による光ピックアップ装置 P U 1 を示す概略図である。

【図 9 3】第 7 の実施の形態における対物レンズ O B J 2 を示す概略図であり、(A) は正面図、(B) は側面図、(C) は側面を一部拡大した図である。

【図 9 4】図 9 3 の対物レンズ O B J 2 を使用した第 7 の実施の形態による光ピックアップ装置 P U 2 を示す概略図である。

【図 9 5】実施例 11 における波長がそれぞれ 405 nm (A)、650 nm (B)、780 nm (C) の場合の球面収差図 (色収差図) である。

【図 9 6】実施例 12 における波長がそれぞれ 405 nm (A)、650 nm (B)、780 nm (C) の場合の球面収差図 (色収差図) である。

【図 9 7】実施例 13 における波長がそれぞれ 405 nm (A)、650 nm (B)、780 nm (C) の場合の球面収差図 (色収差図) である。

【図 9 8】実施例 14 における波長がそれぞれ 405 nm (A)、650 nm (B)、780 nm (C) の場合の球面収差図 (色収差図) である。

【図 9 9】実施例 15 における波長がそれぞれ 408 nm (A)、658 nm (B)、785 nm (C) の場合の球面収差図 (色収差図) である。

【符号の説明】

【0454】

1	第 1 光源
2	第 2 光源
3	第 3 光源
5	色収差補正手段
6	基板厚誤差補正手段
7	基板厚差補正手段
8	対物レンズ
11	第 1 の半導体レーザ
12	第 2 の半導体レーザ
13	第 3 の半導体レーザ
14	対物レンズ
15, 17	偏光ビームスプリッタ
16	コリメータ
18	色収差補正用素子、多層回折素子
19	第 1 の半導体レーザ 11 と第 2 の半導体レーザ 12 の筐体
20	多層回折素子とコリメータとを一体化した素子
21	1 軸アクチュエータ
22	2 軸アクチュエータ
23	屈折率分布可変素子
25a、25b	一对の透明電極
26	液晶層
27	駆動電源
29、35	コリメータ

- 3 1 正レンズ
- 3 2 負レンズ
- 3 3 ビームエキスパンダ
- 3 4 対物レンズ
- 4 1 N A 3 内に対応する共通領域
- 4 2 N A 3 から N A 2 に対応する第 1 の周辺領域
- 4 3 N A 2 から N A 1 に対応する第 2 の周辺領域
- 9 1 第 1 の光ディスクの情報記録面
- 9 2 第 2 の光ディスクの情報記録面
- 9 3 第 3 の光ディスクの情報記録面

フロントページの続き

(72)発明者 新 勇一

東京都八王子市石川町２９７０番地 コニカミノルタオプト株式会社内

Fターム(参考) 5D789 AA41 BA01 EC45 EC47 JA44 JA64 JB01 JB02 JB03