

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2011 年 10 月 27 日(27.10.2011)

PCT

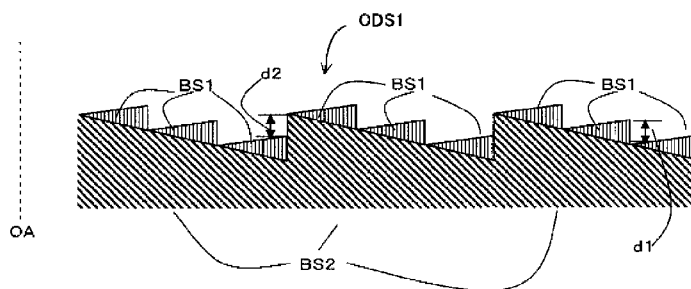
(10) 国際公開番号
WO 2011/132691 A1

- (51) 国際特許分類:
G11B 7/135 (2006.01) G02B 13/18 (2006.01)
G02B 13/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/059680
- (22) 国際出願日: 2011 年 4 月 20 日(20.04.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2010-099694 2010 年 4 月 23 日(23.04.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): コニカミノルタオプト株式会社 (Konica Minolta Opto, Inc.) [JP/JP]; 〒1928505 東京都八王子市石川町 2 9 7 0 番地 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 中村健太郎 (NAKAMURA Kentarou) [JP/JP]; 〒1928505 東京都八王子市石川町 2 9 7 0 番地 コニカミノルタオプト株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 田村敬二郎, 外 (TAMURA Keijiro et al.); 〒1600023 東京都新宿区西新宿七丁目 4 番 3 号 升本ビル 8 階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: OBJECTIVE LENS FOR OPTICAL PICKUP DEVICE, OPTICAL PICKUP DEVICE, AND OPTICAL INFORMATION RECORDING/REPRODUCTION DEVICE

(54) 発明の名称: 光ピックアップ装置用の対物レンズ、光ピックアップ装置及び光情報記録再生装置

[図6]



(57) Abstract: Disclosed are an optical pickup device, an optical information recording/reproduction device, and an objective lens favorable thereto that are compact and secure a working distance even for CDs having thick substrates, while enabling compatibility of three types of optical disc, i.e. BDs, DVDs, and CDs, using a common objective lens. The objective lens is provided with a first optical path difference imparting structure wherein the fundamental structures are superimposed in a manner such that the direction of the step of the fundamental structure of which the order of diffraction of a blue-violet laser beam is an odd order is directed in the opposite direction from the optical axis, and the direction of the step of the fundamental structure of which the order of diffraction of the blue-violet laser beam is an even order is directed in the direction of the optical axis. Also, the effective diameter of the objective lens is at least 2.0 mm and no more than 3.0 mm.

(57) 要約: BD/DVD/CDの3種類の光ディスクの互換を共通の対物レンズで行うことを可能としつつ、基板厚が厚いCDにおいてもワーキングディスタンスを確保し、さらに、コンパクトな光ピックアップ装置並びに光情報記録再生装置及びそれに好適な対物レンズを開示する。青紫色レーザの光束における回折次数が奇数次数となる基礎構造の段差の向きを光軸と逆方向に向け、更に、青紫色レーザの光束における回折次数が偶数次数となる基礎構造の段差の向きを光軸の方向に向けて重ね合わせた第1光路差付与構造を、対物レンズに設ける。また、対物レンズの有効径を2.0 mm以上、3.0 mm以下とする。

明 細 書

発明の名称：

光ピックアップ装置用の対物レンズ、光ピックアップ装置及び光情報記録再生装置

技術分野

[0001] 本発明は、異なる種類の光ディスクに対して互換可能に情報の記録及び／又は再生（記録／再生）を行える光ピックアップ装置、対物レンズ及び光情報記録再生装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、光ピックアップ装置において、光ディスクに記録された情報の再生や、光ディスクへの情報の記録のための光源として使用されるレーザ光源の短波長化が進み、例えば、青紫色半導体レーザ等、波長 $390\sim420\text{nm}$ のレーザ光源が実用化されている。これら青紫色レーザ光源を使用すると、DVD（デジタルバーサタイルディスク）と同じ開口数（NA）の対物レンズを使用する場合で、直径 12cm の光ディスクに対して、 $15\sim20\text{GB}$ の情報の記録が可能となり、対物光学素子のNAを 0.85 にまで高めた場合には、直径 12cm の光ディスクに対して、 $23\sim25\text{GB}$ の情報の記録が可能となる。

[0003] 上述のようなNA 0.85 の対物レンズを使用する光ディスクの例として、BD（ブルーレイディスク）が挙げられる。光ディスクの傾き（スキュー）に起因して発生するコマ収差が増大するため、BDでは、DVDにおける場合よりも保護基板を薄く設計し（DVDの 0.6mm に対して、 0.1mm ）、スキューによるコマ収差量を低減している。

[0004] ところで、BDに対して適切に情報の記録／再生ができるというだけでは、光ディスクプレーヤ／レコーダ（光情報記録再生装置）の製品としての価値は十分なものとはいえない。現在において、多種多様な情報を記録したDVDやCD（コンパクトディスク）が販売されている現実をふまえると、B

Dに対して情報の記録／再生ができるだけではならず、例えばユーザが所有しているDVDやCDに対しても同様に適切に情報の記録／再生ができるようにすることが、BD用の光ディスクプレーヤ／レコーダとしての商品価値を高めることに通じるのである。このような背景から、BD用の光ディスクプレーヤ／レコーダに搭載される光ピックアップ装置は、BDとDVD、更にはCDの何れに対しても互換性を維持しながら適切に情報を記録／再生できる性能を有することが望まれる。

[0005] BDとDVD、更にはCDの何れに対しても互換性を維持しながら適切に情報を記録／再生できるようにする方法として、BD用の光学系とDVDやCD用の光学系とを情報を記録／再生する光ディスクの記録密度に応じて選択的に切り替える方法が考えられるが、複数の光学系が必要となるので、小型化に不利であり、またコストが増大する。

[0006] 従って、光ピックアップ装置の構成を簡素化し、低コスト化を図るためには、互換性を有する光ピックアップ装置においても、BD用の光学系とDVDやCD用の光学系とを共通化して、光ピックアップ装置を構成する光学部品点数を極力減らすのが好ましい。そして、光ディスクに対向して配置される対物レンズを共通化することが光ピックアップ装置の構成の簡素化、低コスト化に最も有利となる。尚、記録／再生波長が互いに異なる複数種類の光ディスクに対して共通な対物レンズを得るためには、球面収差の波長依存性を有する回折構造を対物レンズに形成する必要がある。

[0007] 特許文献1には、それぞれ回折構造である2つの基礎構造を重畳してなる構造を有し、3種類の光ディスクに対して共通に使用可能な対物レンズ、及びこの対物レンズを搭載した光ピックアップ装置が記載されている。

[0008] 特許文献1に記載された3種類の光ディスクのうち2種類は、DVD／CDである。しかし、残りの1種類は、BDにも触れられてはいるが、特許文献1の実施例は全てHD-DVDの例であり、どちらかというとならHD／DVD／CDの3種類の光ディスクの互換について重きを置いた出願といえる。本発明者が、この出願の実施例をBD／DVD／CDの3種類の光ディスク

の互換に適用することを検討したところ、CDにおけるワーキングディスタンスが非常に小さくなってしまい、対物レンズと光ディスクが記録／再生中に接触する可能性があるという課題を見出した。尚、ワーキングディスタンスとは、光ディスクの表面から対物レンズの光ディスク側光学面の面頂点までの光軸方向の距離をいう。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：特開2008-293630号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] 一方、BD、DVD、CDに対して情報の記録／再生を行える光ピックアップ装置において、従来では据え置き型レコーダ等に搭載される、いわゆるハーフハイトと呼ばれる比較的厚めのタイプが主流であったが、最近では、ノート型PCや薄形テレビの背面等に搭載される、いわゆるスリムタイプと呼ばれる比較的薄めの光ピックアップ装置が徐々に広まってきている。このようなスリムタイプの光ピックアップ装置では、上述のワーキングディスタンスの問題をクリアしつつ、更にコンパクト化を図るべく、対物レンズの焦点距離を短くしたいという要請がある。

[0011] 本発明は、上述の課題を解決することを目的としたものであり、BD/DVD/CDの3種類の光ディスクの互換を共通の対物レンズで行うことを可能としつつ、基板厚が厚いCDにおいてもワーキングディスタンスを確保し、さらに、コンパクトな光ピックアップ装置並びに光情報記録再生装置及びそれに好適な対物レンズ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

[0012] 請求項1に記載の対物レンズは、第1波長 λ_1 の第1光束を射出する第1光源と、第2波長 λ_2 ($\lambda_2 > \lambda_1$)の第2光束を射出する第2光源と、第3波長 λ_3 ($\lambda_3 > \lambda_2$)の第3光束を射出する第3光源とを有し、前記第

1 光束を用いて厚さが t_1 の保護基板を有する第 1 光ディスクの情報の記録及び／又は再生を行い、前記第 2 光束を用いて厚さが t_2 ($t_1 < t_2$) の保護基板を有する第 2 光ディスクの情報の記録及び／又は再生を行い、前記第 3 光束を用いて厚さが t_3 ($t_2 < t_3$) の保護基板を有する第 3 光ディスクの情報の記録及び／又は再生を行う光ピックアップ装置において用いられる対物レンズであって、

前記対物レンズの光学面は、中央領域と、前記中央領域の周りの中間領域と、前記中間領域の周りの周辺領域とを少なくとも有し、

前記中央領域は第 1 光路差付与構造を有し、

前記中間領域は第 2 光路差付与構造を有し、

前記対物レンズは、前記中央領域を通過する前記第 1 光束を、前記第 1 光ディスクの情報記録面上に情報の記録及び／又は再生ができるように集光し、前記中央領域を通過する前記第 2 光束を、前記第 2 光ディスクの情報記録面上に情報の記録及び／又は再生ができるように集光し、前記中央領域を通過する前記第 3 光束を、前記第 3 光ディスクの情報記録面上に情報の記録及び／又は再生ができるように集光し、

前記対物レンズは、前記中間領域を通過する前記第 1 光束を、前記第 1 光ディスクの情報記録面上に情報の記録及び／又は再生ができるように集光し、前記中間領域を通過する前記第 2 光束を、前記第 2 光ディスクの情報記録面上に情報の記録及び／又は再生ができるように集光し、前記中間領域を通過する前記第 3 光束を、前記第 3 光ディスクの情報記録面上に情報の記録及び／又は再生ができるように集光せず、

前記対物レンズは、前記周辺領域を通過する前記第 1 光束を、前記第 1 光ディスクの情報記録面上に情報の記録及び／又は再生ができるように集光し、前記周辺領域を通過する前記第 2 光束を、前記第 2 光ディスクの情報記録面上に情報の記録及び／又は再生ができるように集光せず、前記周辺領域を通過する前記第 3 光束を、前記第 3 光ディスクの情報記録面上に情報の記録及び／又は再生ができるように集光せず、

前記第 1 光路差付与構造は、少なくとも第 1 基礎構造と第 2 基礎構造とを重ね合わせた構造であり、

前記第 1 基礎構造は、前記第 1 基礎構造を通過した第 1 光束の X 次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくし、前記第 1 基礎構造を通過した第 2 光束の Y 次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくし、前記第 1 基礎構造を通過した第 3 光束の Z 次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくし、

前記 X は、奇数の整数であり、

前記第 1 基礎構造はブレード型構造であり、

少なくとも前記中央領域の光軸付近に設けられる前記第 1 基礎構造は、その段差が光軸とは逆の方向を向いており、

前記第 2 基礎構造は、前記第 2 基礎構造を通過した第 1 光束の L 次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくし、前記第 2 基礎構造を通過した第 2 光束の M 次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくし、前記第 2 基礎構造を通過した第 3 光束の N 次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくし、

前記 L は、偶数の整数であり、

前記第 2 基礎構造はブレード型構造であり、

少なくとも前記中央領域の光軸付近に設けられる前記第 2 基礎構造は、その段差が光軸の方向を向いており、

前記対物レンズの前記第 1 光束に対する有効径を ϕ (mm) としたときに、以下の式を満たすことを特徴とする対物レンズ。

$$1. \quad 9 \leq \phi \leq 3.0 \quad (1)$$

[0013] 本発明者は、鋭意研究の結果、特許文献 1 に記載されている態様は全て青色レーザーの光束における回折次数が 3 次となる基礎構造の段差の向きを光軸方向に向けていることに起因して、BD/DVD/CD の 3 種類の光ディスクの互換使用で用いるような軸上厚が厚い厚肉の対物レンズにおいて、CD 使用時にワーキングディスタンスが短くなってしまうという課題が生じて

いることを見出した。当該着眼に基づき、本発明者は、青紫色レーザの光束における回折次数が奇数次数となる基礎構造の段差の向きを光軸と逆方向に向けることにより、BD/DVD/CDの3種類の光ディスクの互換で用いるような軸上厚が厚い厚肉の対物レンズにおいても、CD使用時にワーキングディスタンスを十分確保することが可能となることを見出したものである。

[0014] さらに、BD/DVD/CDの3種類の光ディスクの互換を達成するためにはさらにもう一つの基礎構造を重畳する(重ね合わせる)ことが好ましく、本発明者は、その際に、青紫色レーザの光束における回折次数が奇数次数となる基礎構造の段差の向きを光軸と逆方向に向け、更に、青紫色レーザの光束における回折次数が偶数次数となる基礎構造の段差の向きを光軸の方向に向けて重ね合わせることにより、BD/DVD/CDの3種類の光ディスクの互換使用を可能としつつ、重ね合わせた後の段差の高さが高くなることを抑制でき、それに伴い、製造誤差などに因る光量ロスを抑えることが可能となると共に、波長変動時の回折効率の変動を抑えることが可能となることを見出した。これらの効果によって、BD/DVD/CDの3種類の光ディスクの記録/再生も、共通の対物レンズで良好に行うことが可能となるものである。

[0015] また、BD/DVD/CDの3種類の何れの光ディスクに対しても高い光利用効率を維持できる、光利用効率のバランスが取れた対物レンズを提供することも可能となる。また、第1光路差付与構造が、第1基礎構造と第2基礎構造という2種類の構造を重畳してなるため、階段型等の単一の構造で光路差付与構造を形成する場合に比して、設計の自由度を大きく確保できるため、特に、本発明のような有効径が小さい対物レンズにおいて有利である。

[0016] 加えて、波長が長波長側に変動した際に収差をアンダー(補正不足)の方向に変化させることが可能となる。これにより、光ピックアップ装置の温度が上昇した際に発生する収差を抑えることが可能となり、対物レンズがプラスチック製である場合に、温度変化時においても安定した性能を維持できる

対物レンズを提供することが可能となる。

[0017] 更に、(1) 式を満たすような有効径を対物レンズに持たせることで、スリムタイプの光ピックアップ装置に好適な焦点距離を得ることができる。

[0018] 請求項 2 に記載の対物レンズは、請求項 1 に記載の発明において、前記中央領域の前記第 1 光路差付与構造の最小ピッチ p と第 1 波長における前記対物レンズの焦点距離 f_1 の比 p/f_1 が下記の式を満たすことを特徴とする。

$$0.002 \leq p/f_1 \leq 0.004 \quad (2)$$

[0019] 第 3 光ディスクの記録／再生の際に、第 1 光路差付与構造を通過した第 3 光束は、主に記録／再生に用いられる必要な回折光となるが、一部、記録／再生に用いられない不要な回折光が発生する。第 1 光路差付与構造のピッチを細かくすることにより、特に好ましくは、第 1 基礎構造のピッチを細かくすることにより、当該不要な回折光の集光位置を、必要な回折光の集光位置と離すことが可能となり、受光素子に不要な回折光が集光してしまい誤検出を生じることを防止でき、好ましい。より具体的には、(2) 式を満たすのが好ましい。

[0020] 請求項 3 に記載の対物レンズは、請求項 1 又は 2 に記載の発明であって、前記 L は、絶対値が 4 以下の偶数であり、前記 X は、絶対値が 5 以下の奇数であることを特徴とする。

[0021] 請求項 4 に記載の対物レンズは、請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の発明であって、 $(X, Y, Z) = (-1, -1, -1)$ 且つ $(L, M, N) = (2, 1, 1)$ であることを特徴とする。

[0022] 請求項 5 に記載の対物レンズは、請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の発明であって、前記中央領域に設けられる前記第 1 基礎構造は、全ての段差が光軸とは逆の方向を向いていることを特徴とする。

[0023] 請求項 6 に記載の対物レンズは、請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の発明であって、前記中央領域の前記中間領域付近に設けられる前記第 1 基礎構造は、段差が光軸の方向を向いていることを特徴とする。

[0024] 請求項 7 に記載の対物レンズは、請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の発明であって、前記中央領域に設けられる前記第 2 基礎構造は、全ての段差が光軸の方向を向いていることを特徴とする。

[0025] 請求項 8 に記載の対物レンズは、請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の発明であって、前記中央領域の前記中間領域付近に設けられる前記第 2 基礎構造は、段差が光軸とは逆の方向を向いていることを特徴とする。

[0026] 請求項 9 に記載の対物レンズは、請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載の発明であって、波長が長くなった際に発生する 3 次球面収差及び 5 次球面収差が何れもアンダー（補正不足）であることを特徴とする。

[0027] 上記構成にすることにより、光ピックアップ装置の温度が上昇した際に発生する収差を抑えることが可能となり、対物レンズがプラスチック製である場合に、温度変化時においても安定した性能を維持できる対物レンズを提供することが可能となる。

[0028] 請求項 10 に記載の対物レンズは、請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載の発明において、少なくとも前記中央領域の光軸付近に設けられている前記第 1 光路差付与構造は、光軸とは逆の方向を向いている段差と、光軸の方向を向いている段差とを共に有し、

前記光軸とは逆の方向を向いている段差の段差量 d_{11} と、前記光軸の方向を向いている段差の段差量 d_{12} とが、以下の条件式（11）、（12）を満たすことを特徴とする。

$$0.6 \cdot (\lambda_1 / (n-1)) < d_{11} < 1.5 \cdot (\lambda_1 / (n-1)) \quad (11)$$

$$0.6 \cdot (\lambda_1 / (n-1)) < d_{12} < 1.5 \cdot (2\lambda_1 / (n-1)) \quad (12)$$

但し、 n は、 λ_1 における対物レンズの屈折率を表す。

[0029] 請求項 11 に記載の対物レンズは、請求項 10 に記載の発明において、前記中央領域の全ての領域において前記条件式（11）、（12）を満たすことを特徴とする。

[0030] 請求項 12 に記載の対物レンズは、請求項 10 又は 11 に記載の発明において、以下の条件式を満たすことを特徴とする。

$$0.9 \cdot (\lambda_1 / (n-1)) < d_{11} < 1.5 \cdot (\lambda_1 / (n-1)) \quad (11)''$$

$$0.9 \cdot (\lambda_1 / (n-1)) < d_{12} < 1.5 \cdot (\lambda_1 / (n-1)) \quad (12)''$$

[0031] 請求項 13 に記載の対物レンズは、請求項 12 に記載の発明において、前記中央領域の全ての領域において前記条件式 (11)'、(12)' を満たすことを特徴とする。

[0032] 請求項 14 に記載の対物レンズは、請求項 10 乃至 13 のいずれかに記載の発明において、前記中央領域において、前記光軸とは逆の方向を向いている段差の数が、前記光軸の方向を向いている段差の数に比べて多いことを特徴とする。

[0033] 請求項 15 に記載の対物レンズは、請求項 1 乃至 14 のいずれかに記載の発明であって、以下の条件式を満たすことを特徴とする。

$$1. \quad 0 \leq d/f \leq 1.5 \quad (3)$$

但し、 d は、前記対物レンズの光軸上の厚さ (mm) を表し、 f は、前記第 1 光束における前記対物レンズの焦点距離を表す。

[0034] BD のような短波長、高 NA の光ディスクに対応させる場合、対物レンズにおいて、非点収差が発生しやすくなり、偏心コマ収差も発生しやすくなるという課題が生じるが、上記構成により非点収差や偏心コマ収差の発生を抑制することが可能となる。

[0035] また、条件式 (3) を満たすことにより、対物レンズの軸上厚が厚めの厚肉対物レンズになるため、CD の記録／再生時におけるワーキングディスタンスが短くなりがちになるにも拘わらず、請求項 1 の発明によればワーキングディスタンスを十分に確保できるため、本発明の効果がより顕著なものとなる。

[0036] 請求項 16 に記載の対物レンズは、請求項 1 乃至 15 のいずれかに記載の

発明であって、以下の条件式（４）、（５）、（６）を満たすことを特徴とする。

$$-0.01 < m_1 < 0.01 \quad (4)$$

$$-0.01 < m_2 < 0.01 \quad (5)$$

$$-0.01 < m_3 < 0.01 \quad (6)$$

但し、 m_1 は、前記第１光束が前記対物レンズに入射する時の前記対物レンズの倍率を表し、 m_2 は、前記第２光束が前記対物レンズに入射する時の前記対物レンズの倍率を表し、 m_3 は、前記第３光束が前記対物レンズに入射する時の前記対物レンズの倍率を表す。

[0037] 請求項１７に記載の光ピックアップ装置は、請求項１乃至１６のいずれかに記載の対物レンズを有することを特徴とする。

[0038] 請求項１８に記載の光情報記録再生装置は、請求項１７に記載の光ピックアップ装置を有することを特徴とする。

[0039] 本発明に係る光ピックアップ装置は、第１光源、第２光源、第３光源の少なくとも３つの光源を有する。さらに、本発明の光ピックアップ装置は、第１光束を第１光ディスクの情報記録面上に集光させ、第２光束を第２光ディスクの情報記録面上に集光させ、第３光束を第３光ディスクの情報記録面上に集光させるための集光光学系を有する。また、本発明の光ピックアップ装置は、第１光ディスク、第２光ディスク又は第３光ディスクの情報記録面からの反射光束を受光する受光素子を有する。

[0040] 第１光ディスクは、厚さが t_1 の保護基板と情報記録面とを有する。第２光ディスクは厚さが t_2 （ $t_1 < t_2$ ）の保護基板と情報記録面とを有する。第３光ディスクは、厚さが t_3 （ $t_2 < t_3$ ）の保護基板と情報記録面とを有する。第１光ディスクがＢＤであり、第２光ディスクがＤＶＤであり、第３光ディスクがＣＤであることが好ましいが、これに限られるものではない。なお、第１光ディスク、第２光ディスク又は第３光ディスクは、複数の情報記録面を有する複数層の光ディスクでもよい。

[0041] 本明細書において、ＢＤとは、波長３９０～４１５ｎｍ程度の光束、ＮＡ

0.8～0.9程度の対物レンズにより情報の記録／再生が行われ、保護基板の厚さが0.05～0.125mm程度であるBD系列光ディスクの総称であり、単一の情報記録層のみ有するBDや、2層又はそれ以上の情報記録層を有するBD等を含むものである。更に、本明細書においては、DVDとは、NA0.60～0.67程度の対物レンズにより情報の記録／再生が行われ、保護基板の厚さが0.6mm程度であるDVD系列光ディスクの総称であり、DVD-ROM、DVD-Video、DVD-Audio、DVD-RAM、DVD-R、DVD-RW、DVD+R、DVD+RW等を含む。また、本明細書においては、CDとは、NA0.45～0.51程度の対物レンズにより情報の記録／再生が行われ、保護基板の厚さが1.2mm程度であるCD系列光ディスクの総称であり、CD-ROM、CD-Audio、CD-Video、CD-R、CD-RW等を含む。尚、記録密度については、BDの記録密度が最も高く、次いでDVD、CDの順に低くなる。

[0042] なお、保護基板の厚さ t_1 、 t_2 、 t_3 に関しては、以下の条件式(9)、(10)、(11)を満たすことが好ましいが、これに限られない。尚、ここで言う、保護基板の厚さとは、光ディスク表面に設けられた保護基板の厚さのことである。即ち、光ディスク表面から、表面に最も近い情報記録面までの保護基板の厚さのことをいう。

$$[0043] \quad 0.050\text{mm} \leq t_1 \leq 0.125\text{mm} \quad (9)$$

$$0.5\text{mm} \leq t_2 \leq 0.7\text{mm} \quad (10)$$

$$1.0\text{mm} \leq t_3 \leq 1.3\text{mm} \quad (11)$$

[0044] 本明細書において、第1光源、第2光源、第3光源は、好ましくはレーザ光源である。レーザ光源としては、好ましくは半導体レーザ、シリコンレーザ等を用いることが出来る。第1光源から出射される第1光束の第1波長 λ_1 、第2光源から出射される第2光束の第2波長 λ_2 ($\lambda_2 > \lambda_1$)、第3光源から出射される第3光束の第3波長 λ_3 ($\lambda_3 > \lambda_2$) は以下の条件式(12)、(13)を満たすことが好ましい。

[0045] $1.5 \cdot \lambda_1 < \lambda_2 < 1.7 \cdot \lambda_1$ (12)

$1.8 \cdot \lambda_1 < \lambda_3 < 2.0 \cdot \lambda_1$ (13)

また、第1光ディスク、第2光ディスク、第3光ディスクとして、それぞれ、BD、DVD及びCDが用いられる場合、第1光源の第1波長 λ_1 は好ましくは、350nm以上、440nm以下、より好ましくは、390nm以上、415nm以下であって、第2光源の第2波長 λ_2 は好ましくは570nm以上、680nm以下、より好ましくは、630nm以上、670nm以下であって、第3光源の第3波長 λ_3 は好ましくは、750nm以上、880nm以下、より好ましくは、760nm以上、820nm以下である。

[0046] また、第1光源、第2光源、第3光源のうち少なくとも2つの光源をユニット化してもよい。ユニット化とは、例えば第1光源と第2光源とが1パッケージに固定収納されているようなものをいう。また、光源に加えて、後述する受光素子を1パッケージ化してもよい。

[0047] 受光素子としては、フォトダイオードなどの光検出器が好ましく用いられる。光ディスクの情報記録面上で反射した光が受光素子へ入射し、その出力信号を用いて、各光ディスクに記録された情報の読み取り信号が得られる。さらに、受光素子上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い、この検出に基づいて、合焦、トラッキングのために対物レンズを移動させることが出来る。受光素子は、複数の光検出器からなってもよい。受光素子は、メインの光検出器とサブの光検出器を有していてもよい。例えば、情報の記録再生に用いられるメイン光を受光する光検出器の両脇に2つのサブの光検出器を設け、当該2つのサブの光検出器によってトラッキング調整用のサブ光を受光するような受光素子としてもよい。また、受光素子は各光源に対応した複数の受光素子を有していてもよい。

[0048] 集光光学系は、対物レンズを有する。集光光学系は、対物レンズの他にコリメータ等のカップリングレンズを有していることが好ましい。カップリン

グレンズとは、対物レンズと光源の間に配置され、光束の発散角を変える単レンズ又はレンズ群のことをいう。コリメータは、カップリングレンズの一種で、コリメータに入射した光を平行光にして出射するレンズである。本明細書において、対物レンズとは、光ピックアップ装置において光ディスクに対向する位置に配置され、光源から射出された光束を光ディスクの情報記録面上に集光する機能を有する光学系を指す。対物レンズは、二つ以上の複数のレンズ及び／又は光学素子から構成されていてもよいし、単玉のレンズのみからなっているもよいが、好ましくは単玉の凸レンズからなる対物レンズである。また、対物レンズは、ガラスレンズであってもプラスチックレンズであっても、又は、ガラスレンズの上に光硬化性樹脂、UV硬化性樹脂、又は熱硬化性樹脂などで光路差付与構造を設けたハイブリッドレンズであってもよい。対物レンズが複数のレンズを有する場合は、ガラスレンズとプラスチックレンズを混合して用いてもよい。対物レンズが複数のレンズを有する場合、光路差付与構造を有する平板光学素子と非球面レンズ（光路差付与構造を有していてもいなくてもよい）の組み合わせであってもよい。また、対物レンズは、屈折面が非球面であることが好ましい。また、対物レンズは、光路差付与構造が設けられるベース面が非球面であることが好ましい。

[0049] また、対物レンズをガラスレンズとする場合は、ガラス転移点 T_g が 500°C 以下、更に好ましくは 400°C 以下であるガラス材料を使用することが好ましい。ガラス転移点 T_g が 500°C 以下であるガラス材料を使用することにより、比較的低温での成形が可能となるので、金型の寿命を延ばすことが出来る。このようなガラス転移点 T_g が低いガラス材料としては、例えば（株）住田光学ガラス製の K-PG325 や、K-PG375（共に製品名）がある。

[0050] ところで、ガラスレンズは一般的に樹脂レンズよりも比重が大きいため、対物レンズをガラスレンズとすると、重量が大きくなり対物レンズを駆動するアクチュエータに負担がかかる。そのため、対物レンズをガラスレンズとする場合には、比重が小さいガラス材料を使用するのが好ましい。具体的に

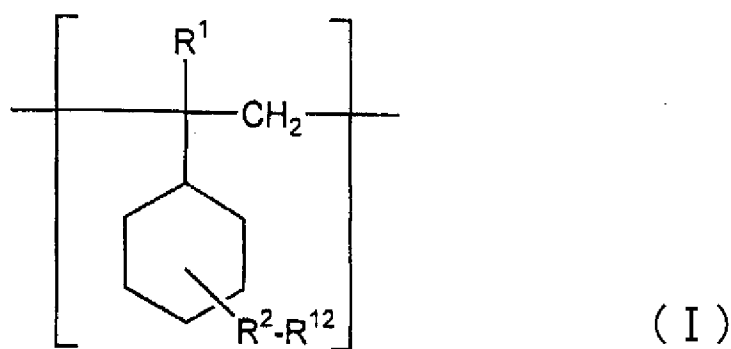
は、比重が4.0以下であるのが好ましく、更に好ましくは比重が3.0以下であるものである。

[0051] 加えて、ガラスレンズを成形して製作する際に重要となる物性値の一つが線膨張係数 α である。仮に T_g が400℃以下の材料を選んだとしても、プラスチック材料と比較して室温との温度差は依然大きい。線膨張係数 α が大きい硝材を用いてレンズ成形を行った場合、降温時に割れが発生しやすくなる。硝材の線膨張係数 α は、200（10E-7/K）以下にあることが好ましく、さらに好ましくは120以下であることである。

[0052] 脂環式炭化水素系重合体の好ましい例を幾つか、以下に示す。

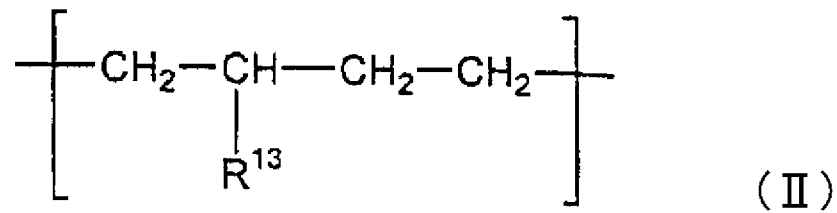
[0053] 第1の好ましい例は、下記式（I）で表される繰返し単位〔1〕を含有する重合体ブロック〔A〕と、下記式（1）で表される繰返し単位〔1〕並びに下記式（II）で表される繰返し単位〔2〕または／および下記式（III）で表される繰返し単位〔3〕を含有する重合体ブロック〔B〕とを有し、前記ブロック〔A〕中の繰返し単位〔1〕のモル分率 a （モル％）と、前記ブロック〔B〕中の繰返し単位〔1〕のモル分率 b （モル％）との関係が $a > b$ であるブロック共重合体からなる樹脂組成物である。

[0054] [化1]



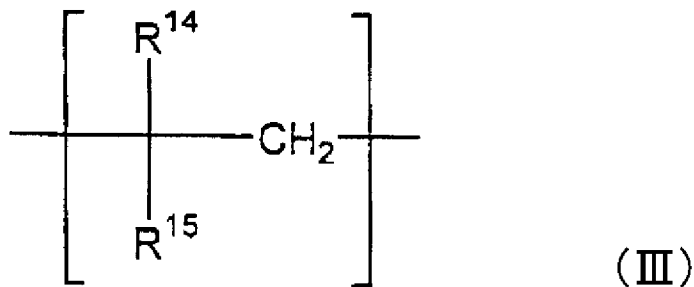
[0055] （式中、 R^1 は水素原子、または炭素数1～20のアルキル基を表し、 R^2 － R^{12} はそれぞれ独立に、水素原子、炭素数1～20のアルキル基、ヒドロキシル基、炭素数1～20のアルコキシ基、またはハロゲン基である。）

[0056] [化2]



[0057] (式中、R¹³は、水素原子、または炭素数 1 ～ 20 のアルキル基を表す。
)

[0058] [化3]



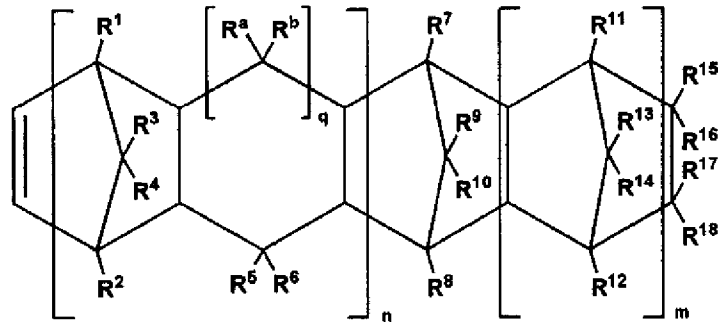
[0059] (式中、R¹⁴およびR¹⁵はそれぞれ独立に、水素原子、または炭素数 1 ～ 20 のアルキル基を表す。)

[0060] 次に、第2の好ましい例は、少なくとも炭素原子数 2 ～ 20 の α -オレフィンと下記一般式 (I V) で表される環状オレフィンからなる単量体組成物とを付加重合させることにより得られる重合体 (A) と、炭素原子数 2 ～ 20 の α -オレフィンと下記一般式 (V) で表される環状オレフィンからなる単量体組成物とを付加重合させることにより得られる重合体 (B) とを含む樹脂組成物である。

[0061]

[化4]

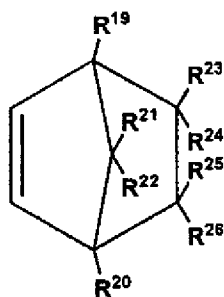
一般式(IV)



[0062] 〔式中、 n は0または1であり、 m は0または1以上の整数であり、 q は0または1であり、 $R^1 \sim R^{18}$ 、 R^a 及び R^b は、それぞれ独立に水素原子、ハロゲン原子または炭化水素基であり、 $R^{15} \sim R^{18}$ は互いに結合して単環または多環を形成していてもよく、括弧内の単環または多環が二重結合を有していてもよく、また R^{15} と R^{16} と、または R^{17} と R^{18} とでアルキリデン基を形成していてもよい。〕

[0063] [化5]

一般式(V)



[0064] 〔式中、 $R^{19} \sim R^{26}$ はそれぞれ独立に水素原子、ハロゲン原子または炭化水素基である。〕

[0065] 樹脂材料に更なる性能を付加するために、以下のような添加剤を添加してもよい。

[0066] (安定剤)

フェノール系安定剤、ヒンダードアミン系安定剤、リン系安定剤及びイオウ系安定剤から選ばれた少なくとも1種の安定剤を添加することが好ましい。これらの安定剤を適宜選択し添加することで、例えば、405 nmといった短波長の光を継続的に照射した場合の白濁や、屈折率の変動等の光学特性変動をより高度に抑制することができる。

[0067] 好ましいフェノール系安定剤としては、従来公知のものが使用でき、例えば、2-*t*-ブチル-6-(3-*t*-ブチル-2-ヒドロキシ-5-メチルベンジル)-4-メチルフェニルアクリレート、2,4-ジ-*t*-アミル-6-(1-(3,5-ジ-*t*-アミル-2-ヒドロキシフェニル)エチル)フェニルアクリレートなどの特開昭63-179953号公報や特開平1-168643号公報に記載されるアクリレート系化合物；オクタデシル-3-(3,5-ジ-*t*-ブチル-4-ヒドロキシフェニル)プロピオネート、2,2'-メチレンビス(4-メチル-6-*t*-ブチルフェノール)、1,1,3-トリス(2-メチル-4-ヒドロキシ-5-*t*-ブチルフェニル)ブタン、1,3,5-トリメチル-2,4,6-トリス(3,5-ジ-*t*-ブチル-4-ヒドロキシベンジル)ベンゼン、テトラキス(メチレン-3-(3',5'-ジ-*t*-ブチル-4'-ヒドロキシフェニル)プロピオネート)メタン[すなわち、ペンタエリスリメチル-テトラキス(3-(3,5-ジ-*t*-ブチル-4-ヒドロキシフェニル)プロピオネート)]、トリエチレングリコールビス(3-(3-*t*-ブチル-4-ヒドロキシ-5-メチルフェニル)プロピオネート)などのアルキル置換フェノール系化合物；6-(4-ヒドロキシ-3,5-ジ-*t*-ブチルアニリノ)-2,4-ビスオクチルチオ-1,3,5-トリアジン、4-ビスオクチルチオ-1,3,5-トリアジン、2-オクチルチオ-4,6-ビス-(3,5-ジ-*t*-ブチル-4-オキシアニリノ)-1,3,5-トリアジンなどのトリアジン基含有フェノール系化合物；などが挙げられる。

[0068] また、好ましいヒンダードアミン系安定剤としては、ビス(2,2,6,

6-テトラメチル-4-ピペリジル) セバケート、ビス (2, 2, 6, 6-テトラメチル-4-ピペリジル) スクシネート、ビス (1, 2, 2, 6, 6-ペンタメチル-4-ピペリジル) セバケート、ビス (N-オクトキシ-2, 2, 6, 6-テトラメチル-4-ピペリジル) セバケート、ビス (N-ベンジルオキシ-2, 2, 6, 6-テトラメチル-4-ピペリジル) セバケート、ビス (N-シクロヘキシルオキシ-2, 2, 6, 6-テトラメチル-4-ピペリジル) セバケート、ビス (1, 2, 2, 6, 6-ペンタメチル-4-ピペリジル) 2- (3, 5-ジ-tert-ブチル-4-ヒドロキシベンジル)-2-ブチルマロネート、ビス (1-アクロイル-2, 2, 6, 6-テトラメチル-4-ピペリジル) 2, 2-ビス (3, 5-ジ-tert-ブチル-4-ヒドロキシベンジル)-2-ブチルマロネート、ビス (1, 2, 2, 6, 6-ペンタメチル-4-ピペリジル) デカンジオエート、2, 2, 6, 6-テトラメチル-4-ピペリジルメタクリレート、4- [3- (3, 5-ジ-tert-ブチル-4-ヒドロキシフェニル) プロピオニルオキシ] -1- [2- (3- (3, 5-ジ-tert-ブチル-4-ヒドロキシフェニル) プロピオニルオキシ) エチル] -2, 2, 6, 6-テトラメチルピペリジン、2-メチル-2- (2, 2, 6, 6-テトラメチル-4-ピペリジル) アミノ-N- (2, 2, 6, 6-テトラメチル-4-ピペリジル) プロピオンアミド、テトラキス (2, 2, 6, 6-テトラメチル-4-ピペリジル) 1, 2, 3, 4-ブタンテトラカルボキシレート、テトラキス (1, 2, 2, 6, 6-ペンタメチル-4-ピペリジル) 1, 2, 3, 4-ブタンテトラカルボキシレート等が挙げられる。

[0069] また、好ましいリン系安定剤としては、一般の樹脂工業で通常使用される物であれば格別な限定はなく、例えば、トリフェニルホスファイト、ジフェニルイソデシルホスファイト、フェニルジイソデシルホスファイト、トリス (ノニルフェニル) ホスファイト、トリス (ジノニルフェニル) ホスファイト、トリス (2, 4-ジ-tert-ブチルフェニル) ホスファイト、10- (3, 5-ジ-tert-ブチル-4-ヒドロキシベンジル) -9, 10-ジヒドロ-

9-オキサー-10-ホスファフェナントレン-10-オキサイドなどのモノホスファイト系化合物；4, 4'-ブチリデン-ビス（3-メチル-6-*t*-ブチルフェニル-ジトリデシルホスファイト）、4, 4'-イソプロピリデン-ビス（フェニル-ジアルキル（C12～C15）ホスファイト）などのジホスファイト系化合物などが挙げられる。これらの中でも、モノホスファイト系化合物が好ましく、トリス（ノニルフェニル）ホスファイト、トリス（ジノニルフェニル）ホスファイト、トリス（2, 4-ジ-*t*-ブチルフェニル）ホスファイトなどが特に好ましい。

[0070] また、好ましいイオウ系安定剤としては、例えば、ジラウリル3, 3-チオジプロピオネート、ジミリスチル3, 3'-チオジプロピオネート、ジステアリル3, 3-チオジプロピオネート、ラウリルステアリル3, 3-チオジプロピオネート、ペンタエリスリトール-テトラキス-（ β -ラウリル-チオ）-プロピオネート、3, 9-ビス（2-ドデシルチオエチル）-2, 4, 8, 10-テトラオキサスピロ[5, 5]ウンデカンなどが挙げられる。

[0071] これらの各安定剤の配合量は、本発明の目的を損なわれない範囲で適宜選択されるが、脂環式炭化水素系共重合体100質量部に対して通常0.01～2質量部、好ましくは0.01～1質量部であることが好ましい。

[0072] （界面活性剤）

界面活性剤は、同一分子中に親水基と疎水基とを有する化合物である。界面活性剤は樹脂表面への水分の付着や上記表面からの水分の蒸発の速度を調節することで、樹脂組成物の白濁を防止することが可能となる。

[0073] 界面活性剤の親水基としては、具体的には、ヒドロキシ基、炭素数1以上のヒドロキシアルキル基、ヒドロキシル基、カルボニル基、エステル基、アミノ基、アミド基、アンモニウム塩、チオール、スルホン酸塩、リン酸塩、ポリアルキレングリコール基などが挙げられる。ここで、アミノ基は1級、2級、3級のいずれであってもよい。界面活性剤の疎水基としては、具体的に炭素数6以上のアルキル基、炭素数6以上のアルキル基を有するシリル基

、炭素数6以上のフルオロアルキル基などが挙げられる。ここで、炭素数6以上のアルキル基は置換基として芳香環を有していてもよい。アルキル基としては、具体的にヘキシル、ヘプチル、オクチル、ノニル、デシル、ウンデセニル、ドデシル、トリデシル、テトラデシル、ミリスチル、ステアシル、ラウリル、パルミチル、シクロヘキシルなどが挙げられる。芳香環としてはフェニル基などが挙げられる。この界面活性剤は、上記のような親水基と疎水基とをそれぞれ同一分子中に少なくとも1個ずつ有していればよく、各基を2個以上有していてもよい。

[0074] このような界面活性剤としては、より具体的には、例えば、ミリスチルジエタノールアミン、2-ヒドロキシエチル-2-ヒドロキシドデシルアミン、2-ヒドロキシエチル-2-ヒドロキシトリデシルアミン、2-ヒドロキシエチル-2-ヒドロキシテトラデシルアミン、ペンタエリスリトールモノステアレート、ペンタエリスリトールジステアレート、ペンタエリスリトールトリステアレート、ジ-2-ヒドロキシエチル-2-ヒドロキシドデシルアミン、アルキル（炭素数8～18）ベンジルジメチルアンモニウムクロライド、エチレンビスアルキル（炭素数8～18）アミド、ステアシルジエタノールアミド、ラウリルジエタノールアミド、ミリスチルジエタノールアミド、パルミチルジエタノールアミド、などが挙げられる。これらのうちでも、ヒドロキシアルキル基を有するアミン化合物またはアミド化合物が好ましく用いられる。本発明では、これら化合物を2種以上組合わせて用いてもよい。

[0075] 界面活性剤は、温度、湿度の変動に伴なう成形物の白濁を効果的に抑え、成形物の光透過率を高く維持するという観点から、脂環式炭化水素系重合体100質量部に対して0.01～10質量部添加されることが好ましい。界面活性剤の添加量は脂環式炭化水素系重合体100質量部に対して0.05～5質量部とすることがより好ましく、0.3～3質量部とすることが更に好ましい。

[0076] （可塑剤）

可塑剤は共重合体のメルトインデックスを調節するため、必要に応じて添加される。

[0077] 可塑剤としては、アジピン酸ビス（２－エチルヘキシル）、アジピン酸ビス（２－ブトキシエチル）、アゼライン酸ビス（２－エチルヘキシル）、ジプロピレングリコールジベンゾエート、クエン酸トリ－*n*－ブチル、クエン酸トリ－*n*－ブチルアセチル、エポキシ化大豆油、２－エチルヘキシルエポキシ化トール油、塩素化パラフィン、リン酸トリ－２－エチルヘキシル、リン酸トリクレジル、リン酸－*t*－ブチルフェニル、リン酸トリ－２－エチルヘキシルジフェニル、フタル酸ジブチル、フタル酸ジイソヘキシル、フタル酸ジヘプチル、フタル酸ジノニル、フタル酸ジウンデシル、フタル酸ジ－２－エチルヘキシル、フタル酸ジイソノニル、フタル酸ジイソデシル、フタル酸ジトリデシル、フタル酸ブチルベンジル、フタル酸ジシクロヘキシル、セバシン酸ジ－２－エチルヘキシル、トリメリット酸トリ－２－エチルヘキシル、Santizer 278、Paraplex G40、Drapex 334F、Plastolein 9720、Mesamoll、DNO DP-610、HB-40等の公知のものが適用可能である。可塑剤の選定及び添加量の決定は、共重合体の透過性や環境変化に対する耐性を損なわないことを条件に適宜行なわれる。

[0078] これらの樹脂としては、シクロオレフィン樹脂が好適に用いられ、具体的には、日本ゼオン社製のZEONEXや、三井化学社製のAPEL、TOPAS ADVANCED POLYMERS社製のTOPAS、JSR社製ARTONなどが好ましい例として挙げられる。

[0079] また、対物レンズを構成する材料のアッベ数は、５０以上であることが好ましい。

[0080] 対物レンズについて、以下に記載する。対物レンズの少なくとも一つの光学面が、中央領域と、中央領域の周りの中間領域と、中間領域の周りの周辺領域とを少なくとも有する。中央領域は、対物レンズの光軸を含む領域であることが好ましいが、光軸を含む微小な領域を未使用領域や特殊な用途の領

域とし、その周りを中心領域（中央領域ともいう）としてもよい。中央領域、中間領域、及び周辺領域は同一の光学面上に設けられていることが好ましい。図1に示されるように、中央領域CN、中間領域MD、周辺領域OTは、同一の光学面上に、光軸を中心とする同心円状に設けられていることが好ましい。また、対物レンズの中央領域には第一光路差付与構造が設けられ、中間領域には第二光路差付与構造が設けられている。周辺領域は屈折面であってもよいし、周辺領域に第三光路差付与構造が設けられていてもよい。中央領域、中間領域、周辺領域はそれぞれ隣接していることが好ましいが、間に僅かに隙間があっても良い。

[0081] 対物レンズの中央領域は、第1光ディスク、第2光ディスク及び第3光ディスクの記録／再生に用いられる第1、第2、第3光ディスク共用領域と言える。即ち、対物レンズは、中央領域を通過する第1光束を、第1光ディスクの情報記録面上に情報の記録／再生ができるように集光し、中央領域を通過する第2光束を、第2光ディスクの情報記録面上に情報の記録及び／又は再生ができるように集光し、中央領域を通過する第3光束を、前記第3光ディスクの情報記録面上に情報の記録／再生ができるように集光する。また、中央領域に設けられた第1光路差付与構造は、第1光路差付与構造を通過する第1光束及び第2光束に対して、第1光ディスクの保護基板の厚さ t_1 と第2光ディスクの保護基板の厚さ t_2 の違いにより発生する球面収差／第1光束と第2光束の波長の違いにより発生する球面収差を補正することが好ましい。さらに、第1光路差付与構造は、第1光路差付与構造を通過した第1光束及び第3光束に対して、第1光ディスクの保護基板の厚さ t_1 と第3光ディスクの保護基板の厚さ t_3 との違いにより発生する球面収差／第1光束と第3光束の波長の違いにより発生する球面収差を補正することが好ましい。

[0082] 対物レンズの中間領域は、第1光ディスク、第2光ディスクの記録／再生に用いられ、第3光ディスクの記録／再生に用いられない第1、第2光ディスク共用領域と言える。即ち、対物レンズは、中間領域を通過する第1光束

を、第1光ディスクの情報記録面上に情報の記録／再生ができるように集光し、中間領域を通過する第2光束を、第2光ディスクの情報記録面上に情報の記録／再生ができるように集光する。その一方で、中間領域を通過する第3光束を、第3光ディスクの情報記録面上に情報の記録／再生ができるように集光しない。対物レンズの中間領域を通過する第3光束は、第3光ディスクの情報記録面上でフレアを形成することが好ましい。図2に示すように、対物レンズを通過した第3光束が第3光ディスクの情報記録面上で形成するスポットにおいて、光軸側（又はスポット中心部）から外側へ向かう順番で、光量密度が高いスポット中心部S C N、光量密度がスポット中心部より低いスポット中間部S M D、光量密度がスポット中間部よりも高くスポット中心部よりも低いスポット周辺部S O Tを有することが好ましい。スポット中心部が、光ディスクの情報の記録／再生に用いられ、スポット中間部及びスポット周辺部は、光ディスクの情報の記録／再生には用いられない。上記において、このスポット周辺部をフレアと言っている。但し、スポット中心部の周りにスポット中間部が存在せずスポット周辺部があるタイプ、即ち、集光スポットの周りに薄く光が大きなスポットを形成する場合も、そのスポット周辺部をフレアと呼んでもよい。つまり、対物レンズの中間領域を通過した第3光束は、第3光ディスクの情報記録面上でスポット周辺部を形成することが好ましいとも言える。

[0083] 対物レンズの周辺領域は、第1光ディスクの記録／再生に用いられ、第2光ディスク及び第3光ディスクの記録／再生に用いられない第1光ディスク専用領域と言える。即ち、対物レンズは、周辺領域を通過する第1光束を、第1光ディスクの情報記録面上に情報の記録／再生ができるように集光する。その一方で、周辺領域を通過する第2光束を、第2光ディスクの情報記録面上に情報の記録／再生ができるように集光せず、周辺領域を通過する第3光束を、第3光ディスクの情報記録面上に情報の記録／再生ができるように集光しない。対物レンズの周辺領域を通過する第2光束及び第3光束は、第2光ディスク及び第3光ディスクの情報記録面上でフレアを形成することが

好ましい。つまり、対物レンズの周辺領域を通過した第2光束及び第3光束は、第2光ディスク及び第3光ディスクの情報記録面上でスポット周辺部を形成することが好ましい。

[0084] 第1光路差付与構造は、対物レンズの中央領域の面積の70%以上の領域に設けられていることが好ましく、90%以上がより好ましい。より好ましくは、第1光路差付与構造が、中央領域の全面に設けられていることである。第2光路差付与構造は、対物レンズの中間領域の面積の70%以上の領域に設けられていることが好ましく、90%以上がより好ましい。より好ましくは、第2光路差付与構造が、中間領域の全面に設けられていることである。周辺領域が第3光路差付与構造を有する場合、第3光路差付与構造は、対物レンズの周辺領域の面積の70%以上の領域に設けられていることが好ましく、90%以上がより好ましい。より好ましくは、第3光路差付与構造が、周辺領域の全面に設けられていることである。

[0085] なお、本明細書でいう光路差付与構造とは、入射光束に対して光路差を付加する構造の総称である。光路差付与構造には、位相差を付与する位相差付与構造も含まれる。また、位相差付与構造には回折構造が含まれる。本発明の光路差付与構造は回折構造であることが好ましい。光路差付与構造は、段差を有し、好ましくは段差を複数有する。この段差により入射光束に光路差及び／又は位相差が付加される。光路差付与構造により付加される光路差は、入射光束の波長の整数倍であっても良いし、入射光束の波長の非整数倍であっても良い。段差は、光軸垂直方向に周期的な間隔をもって配置されていてもよいし、光軸垂直方向に非周期的な間隔をもって配置されていてもよい。また、光路差付与構造を設けた対物レンズが単玉非球面レンズの場合、光軸からの高さによって光束の対物レンズへの入射角が異なるため、光路差付与構造の段差量は各輪帯毎に若干異なることとなる。例えば、対物レンズが単玉非球面の凸レンズである場合、同じ光路差を付与させる光路差付与構造であっても、一般的に光軸から離れる程、段差量が大きくなる傾向となる。

[0086] また、本明細書でいう回折構造とは、段差を有し、回折によって光束を収

束あるいは発散させる作用を持たせる構造の総称である。例えば、単位形状が光軸を中心として複数並ぶことによって構成されており、それぞれの単位形状に光束が入射し、透過した光の波面が、隣り合う輪帯毎にズレを起こし、その結果、新たな波面を形成することによって光を収束あるいは発散させるような構造を含むものである。回折構造は、好ましくは段差を複数有し、段差は光軸垂直方向に周期的な間隔をもって配置されていてもよいし、光軸垂直方向に非周期的な間隔をもって配置されていてもよい。また、回折構造を設けた対物レンズが単玉非球面レンズの場合、光軸からの高さによって光束の対物レンズへの入射角が異なるため、回折構造の段差量は各輪帯毎に若干異なることとなる。例えば、対物レンズが単玉非球面の凸レンズである場合、同じ回折次数の回折光を発生させる回折構造であっても、一般的に光軸から離れる程、段差量が大きくなる傾向となる。

[0087] ところで、光路差付与構造は、光軸を中心とする同心円状の複数の輪帯を有することが好ましい。また、光路差付与構造は、一般に、様々な断面形状（光軸を含む面での断面形状）をとり得、光軸を含む断面形状がブレード型構造と階段型構造とに大別される。

[0088] ブレード型構造とは、図3（a）、（b）に示されるように、光路差付与構造を有する光学素子の光軸を含む断面形状が、鋸歯状の形状ということである。尚、図3の例においては、上方が光源側、下方が光ディスク側であって、母非球面としての平面に光路差付与構造が形成されているものとする。ブレード型構造において、1つのブレード単位の光軸垂直方向の長さをピッチPという。（図3（a）、（b）参照）また、ブレードの光軸に平行方向の段差の長さを段差量Bという。（図3（a）参照）

[0089] また、階段型構造とは、図3（c）、（d）に示されるように、光路差付与構造を有する光学素子の光軸を含む断面形状が、小階段状のもの（階段単位と称する）を複数有するということである。尚、本明細書中、「Vレベル」とは、階段型構造の1つの階段単位において光軸垂直方向に対応する（向いた）輪帯状の面（以下、テラス面と称することもある）が、段差によって

区分けされ V 個の輪帯面毎に分割されていることをいい、特に3レベル以上の階段型構造は、小さい段差と大きい段差を有することになる。

[0090] 例えば、図3(c)に示す光路差付与構造を、5レベルの階段型構造といい、図3(d)に示す光路差付与構造を、2レベルの階段型構造(バイナリ構造ともいう)という。2レベルの階段型構造について、以下に説明する。光軸を中心とした同心円状の複数の輪帯を含み、対物レンズの光軸を含む複数の輪帯の断面の形状は、光軸に平行に延在する複数の段差面 P_a 、 P_b と、隣接する段差面 P_a 、 P_b の光源側端同士を連結する光源側テラス面 P_c と、隣接する段差面 P_a 、 P_b の光ディスク側端同士を連結する光ディスク側テラス面 P_d とから形成され、光源側テラス面 P_c と光ディスク側テラス面 P_d とは、光軸に交差する方向に沿って交互に配置される。

[0091] また、階段型構造において、1つの階段単位の水軸垂直方向の長さをピッチ P という。(図3(c)、(d)参照)また、階段の水軸に平行方向の段差の長さを段差量 B_1 、 B_2 という。3レベル以上の階段型構造の場合、大段差量 B_1 と小段差量 B_2 とが存在することになる。(図3(c)参照)

[0092] 尚、光路差付与構造は、ある単位形状が周期的に繰り返されている構造であることが好ましい。ここでいう「単位形状が周期的に繰り返されている」とは、同一の形状が同一の周期で繰り返されている形状は当然含む。さらに、周期の1単位となる単位形状が、規則性を持って、周期が徐々に長くなったり、徐々に短くなったりする形状も、「単位形状が周期的に繰り返されている」ものに含まれているとする。

[0093] 光路差付与構造が、ブレード型構造を有する場合、単位形状である鋸歯状の形状が繰り返された形状となる。図3(a)に示されるように、同一の鋸歯状形状が繰り返されてもよいし、図3(b)に示されるように、光軸から離れる方向に進むに従って、徐々に鋸歯状形状のピッチが長くなっていく形状、又は、ピッチが短くなっていく形状であってもよい。加えて、ある領域においては、ブレード型構造の段差が光軸(中心)側とは逆を向いている形状とし、他の領域においては、ブレード型構造の段差が光軸(中心)側を向

いている形状とし、その間に、ブレード型構造の段差の向きを切り替えるために必要な遷移領域が設けられている形状としてもよい。なお、このようにブレード型構造の段差の向きを途中で切り替える構造にする場合、輪帯ピッチを広げることが可能となり、光路差付与構造の製造誤差による透過率低下を抑制できる。

[0094] 光路差付与構造が、階段型構造を有する場合、図3(c)で示されるような5レベルの階段単位が、繰り返されるような形状等があり得る。さらに、光軸から離れる方向に進むに従って、徐々に階段単位のピッチが長くなっていく形状や、徐々に階段単位のピッチが短くなっていく形状であってもよい。

[0095] また、第1光路差付与構造及び第2光路差付与構造は、それぞれ対物レンズの異なる光学面に設けてもよいが、同一の光学面に設けることが好ましい。更に、第3光路差付与構造を設ける場合も、第1光路差付与構造及び第2光路差付与構造と同じ光学面に設けることが好ましい。同一の光学面に設けることにより、製造時の偏芯誤差を少なくすることが可能となるため好ましい。また、第1光路差付与構造、第2光路差付与構造及び第3光路差付与構造は、対物レンズの光ディスク側の面よりも、対物レンズの光源側の面に設けられることが好ましい。別の言い方では、第1光路差付与構造、第2光路差付与構造及び第3光路差付与構造は、対物レンズの曲率半径の絶対値が小さい方の光学面に設けることが好ましい。

[0096] 次に、中央領域に設けられる第1光路差付与構造について説明する。第1光路差付与構造は、少なくとも第1基礎構造と第2基礎構造を重ね合わせた構造である。

[0097] 第1基礎構造は、ブレード型構造である。また、第1基礎構造は、第1基礎構造を通過した第1光束のX次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくし、第1基礎構造を通過した第2光束のY次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくし、第1基礎構造を通過した第3光束のZ次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくする。このと

き、 X は、奇数の整数である。また、 X は5以下の奇数であると、第1基礎構造の段差量が大きくなり過ぎないため、製造が容易となり、製造誤差に起因する光量ロスを抑えることが出来ると共に、波長変動時の回折効率変動も低減することができるため好ましい。

[0098] また、少なくとも中央領域の光軸付近に設けられる第1基礎構造は、その段差が光軸とは逆の方向を向いている。「段差が光軸とは逆の方向を向いている」とは、図4(b)のような状態を言う。また、「少なくとも中央領域の光軸付近」に設けられる第1基礎構造とは、上記 X が奇数となる段差のうち、少なくとも最も光軸に近い段差を言う。好ましくは、少なくとも、光軸から中央領域と中間領域の境界までの光軸直交方向の半分の位置と、光軸との間に存在する上記 X が奇数となる段差が、光軸とは逆の方向を向いていることである。

[0099] 例えば、中央領域の中間領域付近に設けられる第1基礎構造は、段差が光軸の方向を向いていてもよい。即ち、図5(b)に示すように、第1基礎構造が光軸付近では段差が光軸とは逆の方向を向いているが、途中で切り替わり、中間領域付近では第1基礎構造の段差が光軸の方を向くような形状としてもよい。但し、好ましくは、中央領域に設けられる第1基礎構造の全ての段差が光軸とは逆の方向を向いていることである。

[0100] このように、第1光束における回折次数が奇数次数となる第1基礎構造の段差の向きを光軸と逆方向に向けることにより、BD/DVD/CDの3種類の光ディスクの互換で用いるような軸上厚が厚い厚肉の対物レンズにおいても、CD使用時にワーキングディスタンスを十分確保することが可能となるのである。

[0101] BD/DVD/CDの3種類の光ディスクの互換で用いるような軸上厚が厚い厚肉の対物レンズにおいても、CD使用時にワーキングディスタンスを十分確保するという観点からは、第1基礎構造が第1光束に対して近軸パワーを持つことが好ましい。ここで、「近軸パワーを持つ」とは、第1基礎構造の光路差関数を後述する数2式で表した場合、 B^2h^2 が0でないことを意

味する。

- [0102] また、第2基礎構造も、ブレード型構造である。第2基礎構造は、第2基礎構造を通過した第1光束のL次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくし、第1基礎構造を通過した第2光束のM次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくし、第1基礎構造を通過した第3光束のN次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくする。このとき、Lは、偶数の整数である。また、Lは4以下の偶数であると、第2基礎構造の段差量が大きくなり過ぎないため、製造が容易となり、製造誤差に起因する光量ロスを抑えることが出来ると共に、波長変動時の回折効率変動も低減することができるため好ましい。
- [0103] また、少なくとも中央領域の光軸付近に設けられる第2基礎構造は、その段差が光軸の方向を向いている。「段差が光軸の方向を向いている」とは、図4(a)のような状態を言う。また、「少なくとも中央領域の光軸付近」に設けられる第2基礎構造とは、上記Lが偶数となる段差のうち、少なくとも最も光軸に近い段差を言う。好ましくは、少なくとも光軸から中央領域と中間領域の境界までの光軸直交方向の半分の位置と、光軸との間に存在する上記Lが偶数となる段差が光軸の方向を向いていることである。
- [0104] 例えば、中央領域の中間領域付近に設けられる第2基礎構造は、段差が光軸とは逆の方向を向いていてもよい。即ち、図5(a)に示すように、第2基礎構造が光軸付近では段差が光軸の方向を向いているが、途中で切り替わり、中間領域付近では第2基礎構造の段差が光軸とは逆の方向を向くような形状としてもよい。但し、好ましくは、中央領域に設けられる第2基礎構造は、全ての段差が光軸の方向を向いていることである。
- [0105] このように、第1光束に対して奇数次数の回折光を発生し、少なくとも中央領域の光軸付近においては段差が光軸とは逆の方向を向いている第1基礎構造と、第1光束に対して偶数次数の回折光を発生し、少なくとも中央領域の光軸付近においては段差が光軸の方向を向いている第2基礎構造を重ね合わせることにより、第1基礎構造と第2基礎構造の段差の向きが同じになる

ように重ね合わせた場合に比べて、重ね合わせた後の段差の高さが高くなることを抑制でき、それに伴い、製造誤差などに因る光量ロスを抑えることが可能となると共に、波長変動時の回折効率の変動を抑えることが可能となるものである。

[0106] また、BD/DVD/CDの3種類の光ディスクの互換を可能とするだけでなく、BD/DVD/CDの3種類の何れの光ディスクに対しても、高い光利用効率を維持できる光利用効率のバランスが取れた対物レンズを提供することも可能となる。例えば、波長 λ_1 に対する回折効率を80%以上、波長 λ_2 に対する回折効率を60%以上、波長 λ_3 に対する回折効率を50%以上とする対物レンズを提供することも可能となる。更には、波長 λ_1 に対する回折効率を80%以上、波長 λ_2 に対する回折効率を70%以上、波長 λ_3 に対する回折効率を60%以上とする対物レンズも提供することができる。加えて、第1基礎構造の段差の向きを光軸と逆方向に向けることにより、波長が長波長側に変動した際に収差をアンダー（補正不足）の方向に変化させることが可能となる。これにより、光ピックアップ装置の温度が上昇した際に発生する収差を抑えることが可能となり、対物レンズがプラスチック製である場合に、温度変化時においても安定した性能を維持できる対物レンズを提供することが可能となる。

[0107] 対物レンズがプラスチック製である場合に、温度変化時においても安定した性能を維持するためには、波長が長くなった際に対物レンズにおいて発生する3次球面収差及び5次球面収差が何れもアンダー（補正不足）であることが好ましい。

[0108] より好ましい第1光路付与構造は、 $|X|$ 、 $|Y|$ 、 $|Z|$ が、それぞれ、1、1、1である第1基礎構造と、 $|L|$ 、 $|M|$ 、 $|N|$ が、それぞれ、2、1、1である第2基礎構造とを重ね合わせたものである。このような第1光路付与構造にすると、段差の高さを非常に低くできる。従って、より製造誤差を低減させることが可能となり、光量ロスを更に抑えることが可能となると共に、波長変動時の回折効率の変動をより抑えることが可能とな

る。

[0109] 第1基礎構造と第2基礎構造とを重ね合わせた後の第1光路差付与構造の形状と段差量という観点から、 $|X|$ 、 $|Y|$ 、 $|Z|$ が、それぞれ、1、1、1である第1基礎構造と、 $|L|$ 、 $|M|$ 、 $|N|$ が、それぞれ、2、1、1である第2基礎構造とを重ね合わせた第1光路差付与構造を以下のように表現することができる。少なくとも中央領域の光軸付近に設けられている第1光路差付与構造は、光軸とは逆の方向を向いている段差と、光軸の方向を向いている段差とを共に有し、光軸とは逆の方向を向いている段差の段差量 d_{11} と、光軸の方向を向いている段差の段差量 d_{12} とが、以下の条件式(3)、(4)を満たすことが好ましい。より好ましくは、中央領域の全ての領域において、以下の条件式(3)、(4)を満たすことである。尚、光路差付与構造を設けた対物レンズが単玉非球面の凸レンズの場合、光軸からの高さによって光束の対物レンズへの入射角が異なるため、同じ光路差を付与させる光路差付与構造であっても、一般的に光軸から離れる程、段差量が大きくなる傾向となる。下記条件式において上限に1.5を乗じているのは、当該段差量の増加を加味した故である。但し、 n は、第1の波長 λ_1 における対物レンズの屈折率を表す。

$$0.6 \cdot (\lambda_1 / (n - 1)) < d_{11} < 1.5 \cdot (\lambda_1 / (n - 1)) \quad (3)$$

$$0.6 \cdot (\lambda_1 / (n - 1)) < d_{12} < 1.5 \cdot (2\lambda_1 / (n - 1)) \quad (4)$$

[0110] 尚、「少なくとも中央領域の光軸付近」に設けられる第1光路差付与構造とは、少なくとも光軸に最も近い光軸とは逆の方向を向いている段差と、光軸に最も近い光軸の方向を向いている段差とを共に有する光路差付与構造をいう。好ましくは、少なくとも、光軸から中央領域と中間領域の境界までの光軸直交方向の半分の位置と、光軸との間に存在する段差を有する光路差付与構造である。

[0111] また、例えば、 λ_1 が390～415nm(0.390～0.415 μ m

）であって、 n が $1.54 \sim 1.60$ である場合、上記条件式は以下のように表すことが可能となる。

$$[0112] \quad 0.39 \mu\text{m} < d_{11} < 1.15 \mu\text{m} \quad (14)$$

$$0.39 \mu\text{m} < d_{12} < 2.31 \mu\text{m} \quad (15)$$

[0113] 更に、第1基礎構造と第2基礎構造の重ね合わせ方としては、第1基礎構造と第2基礎構造のピッチを合わせ、第2基礎構造の全ての段差の位置と、第1基礎構造の段差の位置を合わせるか、第1基礎構造の全ての段差の位置と、第2基礎構造の段差の位置を合わせることが好ましい。

[0114] 上述のように第2基礎構造の全ての段差の位置と、第1基礎構造の段差の位置を合わせて重ね合わせた場合、第1光路差付与構造の d_{11} 、 d_{12} は以下の条件式(3)'、(4)'を満たすことが好ましい。より好ましくは、中央領域の全ての領域において、以下の条件式(3)'、(4)'を満たすことである。

$$0.6 \cdot (\lambda_1 / (n-1)) < d_{11} < 1.5 \cdot (\lambda_1 / (n-1)) \quad (3)'$$

$$0.6 \cdot (\lambda_1 / (n-1)) < d_{12} < 1.5 \cdot (\lambda_1 / (n-1)) \quad (4)'$$

[0115] また、例えば、 λ_1 が $390 \sim 415 \text{ nm}$ ($0.390 \sim 0.415 \mu\text{m}$)であって、 n が $1.54 \sim 1.60$ である場合、上記条件式は以下のように表すことが可能となる。

$$[0116] \quad 0.39 \mu\text{m} < d_{11} < 1.15 \mu\text{m} \quad (14)'$$

$$0.39 \mu\text{m} < d_{12} < 1.15 \mu\text{m} \quad (15)'$$

[0117] 更に好ましくは、以下の条件式(3)"、(4)"を満たすことが好ましい。より好ましくは、中央領域の全ての領域において、以下の条件式(3)"、(4)"を満たすことである。

$$0.9 \cdot (\lambda_1 / (n-1)) < d_{11} < 1.5 \cdot (\lambda_1 / (n-1)) \quad (3)''$$

$$0.9 \cdot (\lambda_1 / (n-1)) < d_{12} < 1.5 \cdot (\lambda_1 / (n-1))$$

(4) ”

[0118] また、例えば、 λ_1 が $390 \sim 415 \text{ nm}$ ($0.390 \sim 0.415 \mu\text{m}$)であって、 n が $1.54 \sim 1.60$ である場合、上記条件式は以下のよう
に表すことが可能となる。

[0119] $0.59 \mu\text{m} < d_{11} < 1.15 \mu\text{m}$ (14) ‘ ‘

$0.59 \mu\text{m} < d_{12} < 1.15 \mu\text{m}$ (15) ‘ ‘

[0120] また、 $|X|$ 、 $|Y|$ 、 $|Z|$ が、それぞれ、1、1、1である第1基礎構造と、 $|L|$ 、 $|M|$ 、 $|N|$ が、それぞれ、2、1、1である第2基礎構造とを重ね合わせた第1光路差付与構造にすることにより、第1基礎構造は波長が長くなった際に収差をアンダー（補正不足）とし（波長特性をアンダーとする）、第2基礎構造は逆に波長が長くなった際に収差をオーバー（補正過剰）とできる（波長特性をオーバーとする）ため、波長特性がアンダーに大きくなりすぎたり、オーバーに大きくなりすぎることがなく、丁度よいレベルのアンダーの波長特性を得ることが可能となる。「丁度よいレベルのアンダーの波長特性」とは、 λ_{rms} の絶対値が150以下であることが好ましい。これによって、対物レンズがプラスチック製である場合であっても、温度変化時の収差変化を小さく抑えることが可能となるという観点からも好ましい。

[0121] 上記のように「丁度よいレベルのアンダーの波長特性」を得るという観点から、第2基礎構造に比べて、第1基礎構造の寄与率が支配的であることが好ましい。第2基礎構造に比べて、第1基礎構造の寄与率を支配的にするという観点からは、第1基礎構造の平均ピッチが、第2基礎構造の平均ピッチに比べて小さいことが好ましい。別の表現では、光軸とは逆の方向を向いている段差間のピッチが、光軸の方向を向いている段差間のピッチに比べて小さいとも言えるし、第1光路差付与構造において、光軸とは逆の方向を向いている段差の数が、光軸の方向を向いている段差の数に比べて多いとも言える。尚、第1基礎構造の平均ピッチが、第2基礎構造の平均ピッチの $1/4$ 以下であることが好ましい。更に好ましくは、 $1/6$ 以下とすることである

。第1基礎構造の平均ピッチを、第2基礎構造の平均ピッチの $1/4$ 以下(好ましくは $1/6$ 以下)とすることにより、前述のように「丁度よいレベルのアンダーの波長特性」とすることが可能となるだけでなく、CDにおけるワーキングディスタンスを十分に確保するという観点からも好ましい。別の表現では、中央領域の第1光路差付与構造において、光軸とは逆の方向を向いている段差の数が、光軸の方向を向いている段差の数の4倍以上であることが好ましいともいえる。より好ましくは6倍以上である。

[0122] また、第1光路差付与構造の最小ピッチが $15\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。当該観点からは、第1光路差付与構造の最小ピッチ p と第1波長 λ_1 における焦点距離 f_1 の比 p/f_1 が 0.004 以下であることが好ましい。より好ましくは $10\mu\text{m}$ 以下である。また、第1光路差付与構造の平均ピッチが $30\mu\text{m}$ 以下となることが好ましい。より好ましくは $20\mu\text{m}$ 以下とすることである。この様な構成にすることにより、上記のように丁度よいレベルのアンダーの波長特性を得ることが可能となると共に、第1光路差付与構造を通過した第3光束において発生する、第3光ディスクの情報の記録/再生に用いられる必要光のベストフォーカス位置と、第3光ディスクの情報の記録/再生に用いられない不要光のベストフォーカス位置を離すことができ、誤検出を低減することも可能となる。尚、平均ピッチとは、中央領域の第1光路差付与構造の全てのピッチを合計し、中央領域の第1光路差付与構造の段差数で割った値である。

[0123] また、対物レンズは、軸上色収差が $0.9\mu\text{m}/\text{nm}$ 以下であることが好ましい。より好ましくは、軸上色収差を $0.8\mu\text{m}/\text{nm}$ 以下とすることである。第1基礎構造のピッチを小さくしすぎると、軸上色収差が悪化してしまう可能性があるため、軸上色収差が $0.9\mu\text{m}/\text{nm}$ より大きくなるようなピッチにならないように留意して設計することが望ましい。当該観点からは、第1光路差付与構造の最小ピッチ p と第1波長 λ_1 における焦点距離 f_1 の比 p/f_1 が 0.002 以上であることが好ましい。一方で、CDにおけるワーキングディスタンスを十分に確保するためには、軸上色収差が $0.$

4 $\mu\text{m}/\text{nm}$ 以上であることが好ましい。

- [0124] 第1光路差付与構造を通過した第3光束によって、第3光束が形成するスポットの光強度が最も強い第1ベストフォーカス位置と、第3光束が形成するスポットの光強度が次に強い第2ベストフォーカス位置とが、以下の条件式(16)を満たすことが好ましい。なお、ここでいうベストフォーカス位置とは、ビームウェストが、或るデフォーカスの範囲でビームウェストが極小となる位置を指すものである。第1ベストフォーカス位置が第3光ディスクの記録／再生に用いられる必要光のベストフォーカス位置であり、第2ベストフォーカス位置が第3光ディスクの記録／再生に用いられない不要光のうち、最も光量が多い光束のベストフォーカス位置である。

$$0.05 \leq L/f_{13} \leq 0.35 \quad (16)$$

但し、 f_{13} [mm] は、第1光路差付与構造を通過し、第1ベストフォーカスを形成する第3光束の焦点距離を指し、 L [mm] は、第1ベストフォーカスと第2ベストフォーカスの間の距離を指す。

- [0125] より好ましくは、以下の条件式(16)'を満たすことである。

$$0.10 \leq L/f_{13} \leq 0.25 \quad (16)'$$

- [0126] 以上述べた第1光路差付与構造の好ましい一例を図6に示す。尚、図6は、便宜上、第1光路差付与構造ODS1が平板状に設けられたものとして示されているが、単玉非球面の凸レンズ上に設けられていてもよい。 $|L|$ 、 $|M|$ 、 $|N|$ が、それぞれ、2、1、1である第2基礎構造BS2に、 $|X|$ 、 $|Y|$ 、 $|Z|$ が、それぞれ、1、1、1である第1基礎構造BS1が重ねあわされている。また、第2基礎構造BS2の段差は光軸OAの方向を向いており、第1基礎構造BSの段差は光軸OAとは逆の方向を向いている。更に、第1基礎構造BS1と第2基礎構造BS2のピッチを合わせ、第2基礎構造の全ての段差の位置と、第1基礎構造の段差の位置が合っていることがわかる。本例においては、 $d_1 = \lambda_1 / (n - 1)$ であり、 $d_2 = \lambda_1 / (n - 1)$ である。本例において、 $\lambda_1 = 405 \text{ nm}$ ($0.405 \mu\text{m}$)、 $n = 1.5592$ とすると、 $d_1 = d_2 = 0.72 \mu\text{m}$ となる。更に、

第1基礎構造BS1の平均ピッチが、第2基礎構造BS2の平均ピッチに比べて小さく、第1基礎構造の光軸とは逆の方向を向いている段差の数が、第2基礎構造の光軸の方向を向いている段差の数に比べて多い。

[0127] 次に、中間領域に設けられる第2光路差付与構造について説明する。第2光路差付与構造は、少なくとも第3基礎構造と第4基礎構造の2つの基礎構造を重ね合わせた構造であることが好ましい。

[0128] 第3基礎構造は、第3基礎構造を通過した第1光束のA次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくし、第3基礎構造を通過した第2光束のB次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくし、第3基礎構造を通過した第3光束のC次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくする。また、第4基礎構造は、第4基礎構造を通過した第1光束のD次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくし、第4基礎構造を通過した第2光束のE次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくし、第4基礎構造を通過した第3光束のF次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくする。

[0129] このとき、第1光路差付与構造及び第2光路差付与構造は、 $X=A$ 、 $Y=B$ 、 $L=D$ 、 $M=E$ を満たすことが好ましい。このようにすることにより、中央領域と中間領域で光路差付与構造で発生する位相差を略等しくでき、中央領域と中間領域との間で位相ずれを低減できるため、好ましい。より好ましくは、 $Z=C$ 、 $N=F$ も満たすことである。つまり、第1基礎構造と第3基礎構造が同じ構造であり、第2基礎構造と第4基礎構造が同じ構造であることが好ましい。即ち、第1光路差付与構造と第2光路差付与構造が同じ構造であることが望ましい。ただし、ピッチについては、第1光路差付与構造と第2光路差付与構造で異なってもよい。

[0130] また、本発明の対物レンズのように、第1光束の有効径が1.9mmから3.0mmと小径である場合には、第3基礎構造と第4基礎構造からなる第2光路差付与構造において既にピッチが十分細かく、輪帯数の数も十分多いため、第3基礎構造と第4基礎構造に加えて更に別の基礎構造を重ねてしま

うと、さらにピッチが細くなり、輪帶数もより多くなってしまうため、製造誤差による回折効率の低下や、輪帶の影の効果による回折効率の低下といった問題が大きくなってしまう。そのため、第2光路差付与構造において、第3基礎構造と第4基礎構造以外の構造を重ね合わせることはできる限り避けることが望ましい。

[0131] 周辺構造に第3光路差付与構造を設ける場合、任意の光路差付与構造を設けることが可能である。第3光路差付与構造は、第6基礎構造を有することが好ましい。第6基礎構造は、第6基礎構造を通過した第1光束のP次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくし、第6基礎構造を通過した第2光束のQ次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくし、第6基礎構造を通過した第3光束のR次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくする。尚、波長変動時の回折効率の変動を抑えるためにも、Pが5以下であることが好ましい。より好ましくはPが2以下であることである。

[0132] 第1光ディスクに対して情報を再生／記録するために必要な対物レンズの像側開口数を NA_1 とし、第2光ディスクに対して情報を再生／記録するために必要な対物レンズの像側開口数を NA_2 ($NA_1 > NA_2$) とし、第3光ディスクに対して情報を再生／記録するために必要な対物レンズの像側開口数を NA_3 ($NA_2 > NA_3$) とする。 NA_1 は、0.75以上、0.9以下であることが好ましく、より好ましくは、0.8以上、0.9以下である。特に NA_1 は0.85であることが好ましい。 NA_2 は、0.55以上、0.7以下であることが好ましい。特に NA_2 は0.60又は0.65であることが好ましい。また、 NA_3 は、0.4以上、0.55以下であることが好ましい。特に NA_3 は0.45又は0.53であることが好ましい。

[0133] 対物レンズの中央領域と中間領域の境界は、第3光束の使用時において、 $0.9 \cdot NA_3$ 以上、 $1.2 \cdot NA_3$ 以下（より好ましくは、 $0.95 \cdot NA_3$ 以上、 $1.15 \cdot NA_3$ 以下）の範囲に相当する部分に形成されていることが好ましい。より好ましくは、対物レンズの中央領域と中間領域の境界

が、NA3に相当する部分に形成されていることである。また、対物レンズの中間領域と周辺領域の境界は、第2光束の使用時において、 $0.9 \cdot NA^2$ 以上、 $1.2 \cdot NA^2$ 以下（より好ましくは、 $0.95 \cdot NA^2$ 以上、 $1.15 \cdot NA^2$ 以下）の範囲に相当する部分に形成されていることが好ましい。より好ましくは、対物レンズの中間領域と周辺領域の境界が、NA2に相当する部分に形成されていることである。

[0134] 対物レンズを通過した第3光束を第3光ディスクの情報記録面上に集光する場合に、球面収差が少なくとも1箇所の不連続部を有することが好ましい。その場合、不連続部は、第3光束の使用時において、 $0.9 \cdot NA^3$ 以上、 $1.2 \cdot NA^3$ 以下（より好ましくは、 $0.95 \cdot NA^3$ 以上、 $1.15 \cdot NA^3$ 以下）の範囲に存在することが好ましい。

[0135] 尚、対物レンズの第1光束に対する有効径を ϕ (mm)としたときに、以下の式を満たす。

$$1. \quad 9 \leq \phi \leq 3.0 \quad (1)$$

より好ましくは、以下の式を満たすことである。

$$2. \quad 0 \leq \phi \leq 3.0 \quad (1')$$

[0136] また、対物レンズは、以下の条件式(5)を満たすことが好ましい。

$$1. \quad 0 \leq d/f \leq 1.5 \quad (5)$$

但し、 d は、対物レンズの光軸上の厚さ (mm) を表し、 f は、第1光束における対物レンズの焦点距離を表す。

[0137] BDのような短波長、高NAの光ディスクに対応させる場合、対物レンズにおいて、非点収差が発生しやすくなり、偏心コマ収差も発生しやすくなるという課題が生じるが、条件式(5)を満たすことにより非点収差や偏心コマ収差の発生を抑制することが可能となる。

[0138] また、条件式(5)を満たすことにより、対物レンズの軸上厚が厚めの厚肉対物レンズになるため、CDの記録／再生時におけるワーキングディスタンスが短くなりがちになるにも拘わらず、本発明の第1光路差付与構造を対物レンズに設けることにより、CDの記録／再生におけるワーキングディスタ

タンスも十分に確保できるため、本発明の効果がより顕著なものとなる。

[0139] 第1光束、第2光束及び第3光束は、平行光として対物レンズに入射してもよいし、発散光若しくは収束光として対物レンズに入射してもよい。トラッキング時においても、コマ収差が発生することを防止するためには、第1光束、第2光束、及び第3光束を全て平行光又は略平行光として対物レンズに入射させることが好ましい。本発明の第1光路差付与構造を用いることによって、第1光束、第2光束及び第3光束の全てを平行光又は略平行光として対物レンズに入射させることが可能となるため、本発明の効果がより顕著となる。第1光束が平行光又は略平行光になる場合、第1光束が対物レンズに入射する時の対物レンズの結像倍率 m_1 が、下記の式(6)を満たすことが好ましい。

$$-0.01 < m_1 < 0.01 \quad (6)$$

[0140] また、第2光束を平行光又は略平行光として対物レンズに入射させる場合、第2光束が対物レンズへ入射する時の、対物レンズの結像倍率 m_2 が、下記の式(7)を満たすことが好ましい。

$$-0.01 < m_2 < 0.01 \quad (7)$$

[0141] 一方で、第2光束を発散光として対物レンズに入射させる場合、第2光束が対物レンズへ入射する時の、対物レンズの結像倍率 m_2 が、下記の式(7)'を満たすことが好ましい。

$$-0.025 < m_2 \leq -0.01 \quad (7)'$$

[0142] また、第3光束を平行光束又は略平行光束として対物レンズに入射させる場合、第3光束が対物レンズへ入射する時の、対物レンズの結像倍率 m_3 が、下記の式(8)を満たすことが好ましい。

$$-0.01 < m_3 < 0.01 \quad (8)$$

[0143] 一方で、第3光束を発散光として対物レンズに入射させる場合、第3光束が対物レンズへ入射する時の、対物レンズの結像倍率 m_3 が、下記の式(8)'を満たすことが好ましい。

$$-0.025 < m_3 \leq -0.01 \quad (8)'$$

- [0144] また、第3光ディスクを用いる際の対物光学素子のワーキングディスタンス(WD)は、0.15mm以上、1.5mm以下であることが好ましい。好ましくは、0.3mm以上、0.9mm以下である。次に、第2光ディスクを用いる際の対物光学素子のWDは、0.2mm以上、1.3mm以下であることが好ましい。さらに、第1光ディスクを用いる際の対物光学素子のWDは、0.25mm以上、1.0mm以下であることが好ましい。
- [0145] 本発明に係る光情報記録再生装置は、上述の光ピックアップ装置を有する光ディスクドライブ装置を有する。
- [0146] ここで、光情報記録再生装置に装備される光ディスクドライブ装置に関して説明すると、光ディスクドライブ装置には、光ピックアップ装置等を収納している光情報記録再生装置本体から光ディスクを搭載した状態で保持可能なトレイのみが外部に取り出される方式と、光ピックアップ装置等が収納されている光ディスクドライブ装置本体ごと、外部に取り出される方式とがある。
- [0147] 上述した各方式を用いる光情報記録再生装置には、概ね、次の構成部材が装備されているがこれに限られるものではない。ハウジング等に収納された光ピックアップ装置、光ピックアップ装置をハウジングごと光ディスクの内周あるいは外周に向けて移動させるシークモータ等の光ピックアップ装置の駆動源、光ピックアップ装置のハウジングを光ディスクの内周あるいは外周に向けてガイドするガイドレールなどを有した光ピックアップ装置の移送手段及び、光ディスクの回転駆動を行うスピンドルモータ等である。
- [0148] 前者の方式には、これら各構成部材の他に、光ディスクを搭載した状態で保持可能なトレイおよびトレイを摺動させるためのローディング機構等が設けられ、後者の方式にはトレイおよびローディング機構がなく、各構成部材が外部に引き出し可能なシャーシに相当するドロワーに設けられていることが好ましい。

発明の効果

- [0149] 本発明によれば、BD/DVD/CDの3種類の光ディスクの互換で用い

るような軸上厚が厚い厚肉の対物レンズにおいて、CD使用時にワーキングディスタンスを確保しながらも、色収差劣化を抑制することが可能となる。さらに、光路差付与構造の段差の高さが高くなることを抑制でき、それに伴い、製造誤差などに因る光量ロスを抑えることが可能となると共に、波長変動時の回折効率の変動を抑えることが可能となる。また、BD/DVD/CDの3種類の何れの光ディスクに対しても、高い光利用効率を維持できる光利用効率のバランスが取れた対物レンズを提供することも可能となる。加えて、光ピックアップ装置の温度が上昇した際に発生する収差を抑えることが可能となり、対物レンズがプラスチック製である場合に、温度変化時においても安定した性能を維持できる対物レンズを提供することが可能となる。これらの効果によって、BD/DVD/CDの3種類の光ディスクの記録/再生も、共通の対物レンズで良好に行うことが可能となるものである。さらに、有効径を小径とすることで、焦点距離を短くし、スリムタイプの光ピックアップ装置に好適な対物レンズを提供できる。

図面の簡単な説明

[0150] [図1]本実施の形態にかかる単玉の対物レンズOLを光軸方向に見た図である。

[図2]対物レンズを通過した第3光束が第3光ディスクの情報記録面上で形成するスポットを形成する状態を示す図である。

[図3]光路差付与構造の例を示す軸線方向断面図であり、(a)、(b)はブレード型構造を示し、(c)、(d)は階段型構造を示す。

[図4] (a)は段差が光軸の方向を向いている状態を示し、(b)は段差が光軸とは逆の方向を向いている状態を示す図である。

[図5] (a)は光軸付近では段差が光軸の方向を向いているが、途中で切り替わり、中間領域付近では段差が光軸とは逆の方を向くような形状を示し、(b)は光軸付近では段差が光軸とは逆の方向を向いているが、途中で切り替わり、中間領域付近では段差が光軸の方を向くような形状を示す図である。

[図6]第1光路差付与構造の概念図である。

[図7]異なる光ディスクであるBDとDVDとCDに対して適切に情報の記録及び／又は再生を行うことができる本実施の形態の光ピックアップ装置PU1の構成を概略的に示す図である。

[図8] (a) はBDの時の実施例1の球面収差図、(b) はDVDの時の実施例1の球面収差図、(c) はCDの時の実施例1の球面収差図である。

[図9]実施例1の回折効率の波長依存性を示す図であり、(a) はBD、(b) はDVD、および、(c) はCDの場合を示す。

[図10]実施例1の第1光路差付与構造、第2光路差付与構造、第3光路差付与構造を、平板素子に設けた場合の概念断面図である。

発明を実施するための形態

[0151] 以下、本発明の実施の形態を、図面を参照して説明する。図7は、異なる光ディスクであるBDとDVDとCDに対して適切に情報の記録及び／又は再生を行うことができる本実施の形態の光ピックアップ装置PU1の構成を概略的に示す図である。かかる光ピックアップ装置PU1は、スリムタイプであり、薄形の光情報記録再生装置に搭載できる。ここでは、第1光ディスクをBDとし、第2光ディスクをDVDとし、第3光ディスクをCDとする。なお、本発明は、本実施の形態に限られるものではない。

[0152] 光ピックアップ装置PU1は、対物レンズOL、 $\lambda/4$ 波長板QWP、コリメートレンズCOL、偏光ビームスプリッタBS、ダイクロイックプリズムDP、BDに対して情報の記録／再生を行う場合に発光され波長 $\lambda_1 = 405\text{ nm}$ のレーザ光束（第1光束）を射出する第1半導体レーザLD1（第1光源）と、DVDに対して情報の記録／再生を行う場合に発光され波長 $\lambda_2 = 660\text{ nm}$ のレーザ光束（第2光束）を射出する第2半導体レーザLD2（第2光源）及びCDに対して情報の記録／再生を行う場合に発光され波長 $\lambda_3 = 785\text{ nm}$ のレーザ光束（第3光束）を射出する第3半導体レーザLD3を一体化したレーザユニットLDP、センサレンズSEN、光検出器としての受光素子PD等を有する。

[0153] 図1に示されるように、本実施の形態にかかる単玉の対物レンズOLにお

いて、光源側の非球面光学面に光軸を含む中央領域CNと、その周囲に配置された中間領域MDと、更にその周囲に配置された周辺領域OTとが、光軸を中心とする同心円状に形成されている。図示していないが、中心領域CNには既に詳述した第1光路差付与構造が形成され、中間領域MDには既に詳述した第2光路差付与構造が形成されている。また、周辺領域OTには、第3光路差付与構造が形成されている。本実施の形態では、第3光路差付与構造はブレード型の回折構造である。また、本実施の形態の対物レンズはプラスチックレンズである。対物レンズOLの中心領域CNに形成された第1光路差付与構造は、図6に示すように、第1基礎構造と第2基礎構造とを重ね合わせた構造であり、第1基礎構造は、第1基礎構造を通過した第1光束の-1次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくし、第1基礎構造を通過した第2光束の-1次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくし、第1基礎構造を通過した第3光束の-1次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくし、少なくとも中心領域CNの光軸付近に設けられる第1基礎構造は、その段差が光軸とは逆の方向を向いており（即ち負のパワーを持ち）、第2基礎構造は、第2基礎構造を通過した第1光束の2次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくし、前記第2基礎構造を通過した第2光束の1次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくし、前記第2基礎構造を通過した第3光束の1次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくし、少なくとも中心領域CNの光軸付近に設けられる第2基礎構造は、その段差が光軸の方向を向いており（即ち正のパワーを持つ）。対物レンズOLの有効径を ϕ (mm)としたときに、以下の式を満たす。

$$1.9 \leq \phi \leq 3.0 \quad (1)$$

[0154] 青紫色半導体レーザLD1から射出された第1光束 ($\lambda_1 = 405 \text{ nm}$) の発散光束は、実線で示すように、ダイクロイックプリズムDPを通過し、偏光ビームスプリッタBSを通過した後、コリメートレンズCOLを通過して平行光となり、 $\lambda/4$ 波長板QWPにより直線偏光から円偏光に変換され

、不図示の絞りによりその光束径が規制され、対物レンズOLに入射する。ここで、対物レンズOLの中央領域と中間領域と周辺領域により集光された光束は、厚さ0.1mmの保護基板PL1を介して、BDの情報記録面RL1上に形成されるスポットとなる。

[0155] 情報記録面RL1上で情報ピットにより変調された反射光束は、再び対物レンズOL、不図示の絞りを透過した後、 $\lambda/4$ 波長板QWPにより円偏光から直線偏光に変換され、コリメートレンズCOLにより収斂光束とされ、偏光ビームスプリッタBSで反射され、センサレンズSENを介して受光素子PDの受光面上に収束する。そして、受光素子PDの出力信号を用いて、2軸アクチュエータAC1により対物レンズOLをフォーカシングやトラッキングさせることで、BDに記録された情報を読み取ることができる。ここで、第1光束に波長変動が生じた場合や、複数の情報記録層を有するBDの記録／再生を行う場合、波長変動や異なる情報記録層に起因して発生する球面収差を、倍率変更手段としてのコリメートレンズCOLを光軸方向に変化させて、対物光学素子OLに入射する光束の発散角又は収束角を変更することで補正できるようになっている。

[0156] レーザユニットLDPの半導体レーザLD2から射出された第2光束($\lambda_2 = 660\text{nm}$)の発散光束は、点線で示すように、ダイクロイックプリズムDPで反射され、偏光ビームスプリッタBS、コリメートレンズCOLを通過し、 $\lambda/4$ 波長板QWPにより直線偏光から円偏光に変換され、対物レンズOLに入射する。ここで、対物レンズOLの中央領域と中間領域により集光された(周辺領域を通過した光束はフレア化され、スポット周辺部を形成する)光束は、厚さ0.6mmの保護基板PL2を介して、DVDの情報記録面RL2に形成されるスポットとなり、スポット中心部を形成する。

[0157] 情報記録面RL2上で情報ピットにより変調された反射光束は、再び対物レンズOLを透過した後、 $\lambda/4$ 波長板QWPにより円偏光から直線偏光に変換され、コリメートレンズCOLにより収斂光束とされ、偏光ビームスプリッタBSで反射され、センサレンズSENを介して受光素子PDの受光面

上に収束する。そして、受光素子PDの出力信号を用いてDVDに記録された情報を読み取ることができる。

[0158] レーザユニットLDの半導体レーザLD3から射出された第3光束（ $\lambda_3 = 785 \text{ nm}$ ）の発散光束は、一点鎖線で示すように、ダイクロイックプリズムDPで反射され、偏光ビームスプリッタBS、コリメートレンズCOLを通過し、 $\lambda/4$ 波長板QWPにより直線偏光から円偏光に変換され、対物レンズOLに入射する。ここで、対物レンズOLの中央領域により集光された（中間領域及び周辺領域を通過した光束はフレア化され、スポット周辺部を形成する）光束は、厚さ1.2mmの保護基板PL3を介して、CDの情報記録面RL3上に形成されるスポットとなる。

[0159] 情報記録面RL3上で情報ピットにより変調された反射光束は、再び対物レンズOLを透過した後、 $\lambda/4$ 波長板QWPにより円偏光から直線偏光に変換され、コリメートレンズCOLにより収斂光束とされ、偏光ビームスプリッタBSで反射され、センサレンズSENを介して受光素子PDの受光面上に収束する。そして、受光素子PDの出力信号を用いてCDに記録された情報を読み取ることができる。

[0160] （実施例）

以下、上述した実施の形態に用いることができる実施例について説明する。尚、これ以降（表のレンズデータ含む）において、10のべき乗数（例えば、 2.5×10^{-3} ）を、E（例えば、 $2.5 \times E^{-3}$ ）を用いて表す場合がある。また、対物レンズの光学面は、それぞれ数1式に表に示す係数を代入した数式で規定される、光軸の周りに軸対称な非球面に形成されている。

[0161] [数1]

$$X(h) = \frac{(h^2/r)}{1 + \sqrt{1 - (1 + \kappa)(h/r)^2}} + \sum_{i=0}^{10} A_{2i} h^{2i}$$

[0162] ここで、 $X(h)$ は光軸方向の軸（光の進行方向を正とする）、 κ は円錐

係数、 A_i は非球面係数、 h は光軸からの高さ、 r は近軸曲率半径である。

[0163] また、回折構造を用いた実施例の場合、その回折構造により各波長の光束に対して与えられる光路差は、数2式の光路差関数に、表に示す係数を代入した数式で規定される。

[0164] [数2]

$$\Phi = m\lambda \sum B_{2i} h^{2i}$$

(単位: mm)

[0165] 尚、 h は光軸からの高さ、 λ は入射光束の波長、 m は回折次数、 B_{2i} は光路差関数の係数である。

[0166] (実施例1)

実施例1の対物レンズはプラスチック単玉レンズである。実施例1の第1光路差付与構造の概念図を図6に示す。(図6は実施例1の実際の形状とは異なり、あくまでも概念図である)実施例1の第1光路差付与構造は、中央領域の全領域において、 $|L|$ 、 $|M|$ 、 $|N|$ が、それぞれ、2、1、1のブレード型の回折構造である第2基礎構造BS2に、 $|X|$ 、 $|Y|$ 、 $|Z|$ が、それぞれ、1、1、1であるブレード型の回折構造である第1基礎構造BS1が重ねあわされた光路差付与構造となっている。また、第2基礎構造BS2の段差は光軸OAの方向を向いており、第1基礎構造BS1の段差は光軸OAとは逆の方向を向いている。更に、第1基礎構造BS1と第2基礎構造BS2のピッチを合わせ、第2基礎構造の全ての段差の位置と、第1基礎構造の段差の位置が合っていることがわかる。更に、第1基礎構造BS1の平均ピッチが、第2基礎構造BS2の平均ピッチに比べて小さく、第1基礎構造の光軸とは逆の方向を向いている段差の数が、第2基礎構造の光軸の方向を向いている段差の数に比べて多い。

[0167] 実施例1の第1光路差付与構造は、以下の条件式(3)'、(4)'を満たす。 d_{11} は、光軸とは逆の方向を向いている段差の段差量であり、 d_{12} は、光軸の方向を向いている段差の段差量である。

$$0.9 \cdot (\lambda_1 / (n-1)) < d_{11} < 1.5 \cdot (\lambda_1 / (n-1)) \quad (3)'$$

$$0.9 \cdot (\lambda_1 / (n-1)) < d_{12} < 1.5 \cdot (\lambda_1 / (n-1)) \quad (4)'$$

[0168] 実施例1の、 λ_1 は405nm(0.405 μ m)であって、nは1.5414であるので、段差量 d_{11} 、 d_{12} は、以下の条件式を満たすことになる。

$$0.71\mu\text{m} < d_{11} < 1.12\mu\text{m}$$

$$0.71\mu\text{m} < d_{12} < 1.12\mu\text{m}$$

[0169] また、実施例1の第2光路差付与構造は、中間領域の全領域において、第1基礎構造と同じ第3基礎構造と、第2基礎構造と同じ第4基礎構造とを重ねあわせた光路差付与構造となっている。

[0170] 表1に実施例1のレンズデータを示す。

[0171] [表1]

【実施例】

対物レンズの焦点距離
開口数
倍率

$f_1=1.41\text{mm}$
NA1:0.85
m1: 0

$f_2=1.62\text{mm}$
NA2:0.60
m2: 0

$f_3=1.70\text{mm}$
NA3:0.47
m3: 0

面no.	ri	di(405nm)	ni(405nm)	di(660nm)	ni(660nm)	di(785nm)	ni(785nm)
0		∞		∞		∞	
1(絞り縁)		0.0(ϕ 2.40mm)		0.0(ϕ 2.00mm)		0.0(ϕ 1.69mm)	
2-1	0.80067	1.680	1.5414	1.680	1.5225	1.680	1.5193
2-2	0.95860						
2-3	0.93092						
3	-1.53056	0.47		0.46		0.20	
4	∞	0.0875	1.6223	0.600	1.5796	1.200	1.5733
5	∞						

面no.	2-1	2-2	2-3	3
領域	$h \leq 1.180$	$1.180 \leq h \leq 1.45$	$1.45 \leq h \leq 1.87$	
非球面係数	R	8.0067E-01	9.5860E-01	9.3092E-01
	K	-9.9075E-01	-2.9587E-01	-5.9855E-01
	A0	0.0000E+00	2.7580E-02	1.8031E-02
	A4	-7.1116E-05	7.7905E-02	8.2221E-02
	A6	1.8295E-01	-2.7175E-02	-5.0713E-03
	A8	-1.4609E-01	8.9545E-03	5.1830E-02
	A10	7.0085E-02	-1.1495E-01	-8.6419E-02
	A12	-3.2200E-03	3.0990E-02	2.9936E-02
	A14	2.2398E-01	8.1065E-02	7.6465E-02
	A16	-6.1786E-01	-1.5721E-01	-1.2819E-01
第1光路差関数	A18	6.0619E-01	1.5898E-01	8.4845E-02
	A20	-2.0054E-01	-6.8003E-02	-2.1415E-02
	回折次数 m	1/1/1	1/1/1	2/1/1
	B2	1.9731E+02	1.8783E+02	3.7663E+01
	B4	-6.5906E+01	-2.6920E+00	5.3487E+00
	B6	1.1904E+02	-5.4894E+00	-2.0954E+00
第2光路差関数	B8	-1.0044E+02	7.3482E+00	-3.1664E+00
	B10	4.2178E+01	-7.5909E-01	-2.8248E+00
	回折次数 m	2/1/1	2/1/1	
	B2	-3.7466E+01	-3.3447E+01	-
	B4	-3.0288E+01	-1.4948E+01	-
	B6	4.3468E+01	-5.0926E+00	-
第2光路差関数	B8	-4.1966E+01	-6.3608E+00	-
	B10	1.3273E+01	1.3380E+00	-

$\Phi = m\lambda \sum B_i h^{2i}$

m: 回折次数 λ : 波長
B_i: 光路差関数係数 h: 光軸からの高さ

[0172] 更に、実施例1のレンズデータに基づいて、実際の対物レンズの形状を設計した。当該実形状のデータを表2A及び表2Bに示す。表2A、表2B、

表 2 C（連続する）に示されるデータを、数 3 式で示される数式に代入することにより、各輪帯の実形状データが得られる。

[0173] [数3]

$$x = A_0 + A_2 \times h^2 + A_4 \times h^4 + A_6 \times h^6$$

[0174] h は、光軸直交方向の光軸からの高さを表す。さらに、実施例 1 の第 1 光路差付与構造、第 2 光路差付与構造、第 3 光路差付与構造を、平板素子に設けた場合の概念断面図を、図 10 として示す。第 1 光路差付与構造が設けられた中央領域が C N であり、第 2 光路差付与構造が設けられた中間領域が M D で示された領域であり、第 3 光路差付与構造が設けられた周辺領域が O T で示された領域である。

[0175]

[表2A]

Ring No.	hs	hl	A0	A2	A4	A6
1	0.00000	0.07125	1.48994E-10	5.03517E-01	7.02664E-02	0.00000E+00
2	0.07125	0.10085	8.81380E-04	5.03751E-01	7.09921E-02	0.00000E+00
3	0.10085	0.12361	1.76282E-03	5.03977E-01	7.16839E-02	0.00000E+00
4	0.12361	0.14285	2.64434E-03	5.04197E-01	7.23587E-02	0.00000E+00
5	0.14285	0.15984	3.52599E-03	5.04410E-01	7.30175E-02	0.00000E+00
6	0.15984	0.17523	2.99459E-03	5.04231E-01	7.36875E-02	0.00000E+00
7	0.17523	0.18942	3.87656E-03	5.04433E-01	7.43074E-02	0.00000E+00
8	0.18942	0.20265	4.75872E-03	5.04628E-01	7.49138E-02	0.00000E+00
9	0.20265	0.21511	5.64111E-03	5.04819E-01	7.55072E-02	0.00000E+00
10	0.21511	0.22691	6.52375E-03	5.05005E-01	7.60883E-02	0.00000E+00
11	0.22691	0.23816	5.99337E-03	5.04803E-01	7.66398E-02	0.00000E+00
12	0.23816	0.24892	6.87651E-03	5.04981E-01	7.71898E-02	0.00000E+00
13	0.24892	0.25927	7.75995E-03	5.05153E-01	7.77296E-02	0.00000E+00
14	0.25927	0.26924	8.64370E-03	5.05322E-01	7.82596E-02	0.00000E+00
15	0.26924	0.27888	9.52778E-03	5.05487E-01	7.87804E-02	0.00000E+00
16	0.27888	0.28822	8.99874E-03	5.05271E-01	7.92365E-02	0.00000E+00
17	0.28822	0.29729	9.88345E-03	5.05429E-01	7.97338E-02	0.00000E+00
18	0.29729	0.30610	1.07685E-02	5.05584E-01	8.02240E-02	0.00000E+00
19	0.30610	0.31469	1.16540E-02	5.05735E-01	8.07076E-02	0.00000E+00
20	0.31469	0.32307	1.11261E-02	5.05510E-01	8.11020E-02	0.00000E+00
21	0.32307	0.33125	1.20123E-02	5.05656E-01	8.15681E-02	0.00000E+00
22	0.33125	0.33925	1.28989E-02	5.05798E-01	8.20297E-02	0.00000E+00
23	0.33925	0.34707	1.37859E-02	5.05937E-01	8.24874E-02	0.00000E+00
24	0.34707	0.35474	1.32594E-02	5.05708E-01	8.28340E-02	0.00000E+00
25	0.35474	0.36226	1.41473E-02	5.05839E-01	8.32799E-02	0.00000E+00
26	0.36226	0.36964	1.50356E-02	5.05969E-01	8.37239E-02	0.00000E+00
27	0.36964	0.37689	1.59245E-02	5.06095E-01	8.41666E-02	0.00000E+00
28	0.37689	0.38401	1.68138E-02	5.06217E-01	8.46085E-02	0.00000E+00
29	0.38401	0.39101	1.62893E-02	5.05976E-01	8.49156E-02	0.00000E+00
30	0.39101	0.39789	1.71797E-02	5.06092E-01	8.53528E-02	0.00000E+00
31	0.39789	0.40467	1.80708E-02	5.06204E-01	8.57911E-02	0.00000E+00
32	0.40467	0.41135	1.89625E-02	5.06312E-01	8.62311E-02	0.00000E+00
33	0.41135	0.41792	1.84399E-02	5.06062E-01	8.65196E-02	0.00000E+00
34	0.41792	0.42441	1.93329E-02	5.06162E-01	8.69602E-02	0.00000E+00
35	0.42441	0.43080	2.02267E-02	5.06256E-01	8.74042E-02	0.00000E+00
36	0.43080	0.43710	2.11212E-02	5.06346E-01	8.78523E-02	0.00000E+00
37	0.43710	0.44333	2.06011E-02	5.06083E-01	8.81335E-02	0.00000E+00
38	0.44333	0.44947	2.14974E-02	5.06163E-01	8.85869E-02	0.00000E+00
39	0.44947	0.45553	2.23946E-02	5.06237E-01	8.90460E-02	0.00000E+00
40	0.45553	0.46152	2.32928E-02	5.06305E-01	8.95111E-02	0.00000E+00
41	0.46152	0.46744	2.27759E-02	5.06026E-01	8.97950E-02	0.00000E+00
42	0.46744	0.47329	2.36763E-02	5.06081E-01	9.02696E-02	0.00000E+00
43	0.47329	0.47907	2.45779E-02	5.06130E-01	9.07517E-02	0.00000E+00
44	0.47907	0.48478	2.54808E-02	5.06171E-01	9.12414E-02	0.00000E+00
45	0.48478	0.49043	2.49680E-02	5.05871E-01	9.15366E-02	0.00000E+00
46	0.49043	0.49602	2.58735E-02	5.05898E-01	9.20393E-02	0.00000E+00
47	0.49602	0.50155	2.67806E-02	5.05916E-01	9.25509E-02	0.00000E+00
48	0.50155	0.50703	2.76893E-02	5.05925E-01	9.30715E-02	0.00000E+00
49	0.50703	0.51244	2.71818E-02	5.05600E-01	9.33846E-02	0.00000E+00
50	0.51244	0.51780	2.80937E-02	5.05593E-01	9.39207E-02	0.00000E+00
51	0.51780	0.52311	2.90075E-02	5.05576E-01	9.44667E-02	0.00000E+00
52	0.52311	0.52837	2.99233E-02	5.05549E-01	9.50228E-02	0.00000E+00
53	0.52837	0.53358	2.94223E-02	5.05193E-01	9.53585E-02	0.00000E+00
54	0.53358	0.53873	3.03420E-02	5.05147E-01	9.59316E-02	0.00000E+00
55	0.53873	0.54384	3.12640E-02	5.05091E-01	9.65152E-02	0.00000E+00
56	0.54384	0.54890	3.07685E-02	5.04710E-01	9.68691E-02	0.00000E+00
57	0.54890	0.55392	3.16950E-02	5.04633E-01	9.74706E-02	0.00000E+00
58	0.55392	0.55889	3.26239E-02	5.04545E-01	9.80827E-02	0.00000E+00
59	0.55889	0.56382	3.35555E-02	5.04444E-01	9.87054E-02	0.00000E+00
60	0.56382	0.56871	3.30688E-02	5.04027E-01	9.90858E-02	0.00000E+00

[表2B]

内

61	0.56871	0.57355	3.40055E-02	5.03905E-01	9.97265E-02	0.00000E+00
62	0.57355	0.57835	3.49451E-02	5.03771E-01	1.00378E-01	0.00000E+00
63	0.57835	0.58311	3.20571E-02	5.37700E-01	0.00000E+00	9.98647E-02
64	0.58311	0.58784	3.14378E-02	5.37942E-01	0.00000E+00	9.86490E-02
65	0.58784	0.59252	3.22295E-02	5.38569E-01	0.00000E+00	9.77330E-02
66	0.59252	0.59717	3.30202E-02	5.39195E-01	0.00000E+00	9.68553E-02
67	0.59717	0.60178	3.38099E-02	5.39819E-01	0.00000E+00	9.60143E-02
68	0.60178	0.60635	3.31871E-02	5.40052E-01	0.00000E+00	9.49545E-02
69	0.60635	0.61089	3.39750E-02	5.40672E-01	0.00000E+00	9.41825E-02
70	0.61089	0.61539	3.47619E-02	5.41290E-01	0.00000E+00	9.34421E-02
71	0.61539	0.61986	3.41367E-02	5.41516E-01	0.00000E+00	9.24814E-02
72	0.61986	0.62429	3.49219E-02	5.42131E-01	0.00000E+00	9.18005E-02
73	0.62429	0.62870	3.57061E-02	5.42743E-01	0.00000E+00	9.11469E-02
74	0.62870	0.63307	3.64895E-02	5.43354E-01	0.00000E+00	9.05194E-02
75	0.63307	0.63740	3.58612E-02	5.43571E-01	0.00000E+00	8.96704E-02
76	0.63740	0.64171	3.66429E-02	5.44178E-01	0.00000E+00	8.90922E-02
77	0.64171	0.64598	3.74237E-02	5.44784E-01	0.00000E+00	8.85367E-02
78	0.64598	0.65023	3.67932E-02	5.44994E-01	0.00000E+00	8.77590E-02
79	0.65023	0.65444	3.75724E-02	5.45596E-01	0.00000E+00	8.72465E-02
80	0.65444	0.65863	3.83507E-02	5.46197E-01	0.00000E+00	8.67539E-02
81	0.65863	0.66279	3.91281E-02	5.46796E-01	0.00000E+00	8.62802E-02
82	0.66279	0.66691	3.84949E-02	5.46997E-01	0.00000E+00	8.55839E-02
83	0.66691	0.67101	3.92708E-02	5.47593E-01	0.00000E+00	8.51467E-02
84	0.67101	0.67509	4.00459E-02	5.48186E-01	0.00000E+00	8.47263E-02
85	0.67509	0.67913	4.08203E-02	5.48778E-01	0.00000E+00	8.43223E-02
86	0.67913	0.68315	4.01845E-02	5.48972E-01	0.00000E+00	8.36953E-02
87	0.68315	0.68714	4.09575E-02	5.49560E-01	0.00000E+00	8.33226E-02
88	0.68714	0.69111	4.17299E-02	5.50147E-01	0.00000E+00	8.29648E-02
89	0.69111	0.69505	4.10924E-02	5.50334E-01	0.00000E+00	8.23836E-02
90	0.69505	0.69896	4.18636E-02	5.50916E-01	0.00000E+00	8.20544E-02
91	0.69896	0.70285	4.26344E-02	5.51496E-01	0.00000E+00	8.17390E-02
92	0.70285	0.70672	4.34048E-02	5.52073E-01	0.00000E+00	8.14370E-02
93	0.70672	0.71056	5.30114E-02	4.91040E-01	1.21892E-01	0.00000E+00
94	0.71056	0.71437	5.40818E-02	4.90492E-01	1.22793E-01	0.00000E+00
95	0.71437	0.71817	5.51584E-02	4.89927E-01	1.23704E-01	0.00000E+00
96	0.71817	0.72193	5.47990E-02	4.89138E-01	1.24254E-01	0.00000E+00
97	0.72193	0.72568	5.58877E-02	4.88541E-01	1.25181E-01	0.00000E+00
98	0.72568	0.72940	5.69835E-02	4.87924E-01	1.26119E-01	0.00000E+00
99	0.72940	0.73311	5.80867E-02	4.87287E-01	1.27069E-01	0.00000E+00
100	0.73311	0.73678	5.77496E-02	4.86444E-01	1.27642E-01	0.00000E+00
101	0.73678	0.74044	5.88671E-02	4.85769E-01	1.28613E-01	0.00000E+00
102	0.74044	0.74407	5.99931E-02	4.85071E-01	1.29597E-01	0.00000E+00
103	0.74407	0.74769	5.96751E-02	4.84182E-01	1.30191E-01	0.00000E+00
104	0.74769	0.75128	6.08177E-02	4.83440E-01	1.31201E-01	0.00000E+00
105	0.75128	0.75485	6.19701E-02	4.82672E-01	1.32227E-01	0.00000E+00
106	0.75485	0.75840	6.31330E-02	4.81874E-01	1.33271E-01	0.00000E+00
107	0.75840	0.76193	1.55476E-01	0.00000E+00	9.66145E-01	-4.80079E-01
108	0.76193	0.76544	1.57353E-01	0.00000E+00	9.58111E-01	-4.70459E-01
109	0.76544	0.76892	1.59232E-01	0.00000E+00	9.50215E-01	-4.61085E-01
110	0.76892	0.77239	1.59622E-01	0.00000E+00	9.41812E-01	-4.51842E-01
111	0.77239	0.77584	1.61504E-01	0.00000E+00	9.34190E-01	-4.42943E-01
112	0.77584	0.77927	1.63388E-01	0.00000E+00	9.26892E-01	-4.34261E-01
113	0.77927	0.78268	1.65274E-01	0.00000E+00	9.19313E-01	-4.25786E-01
114	0.78268	0.78607	1.65686E-01	0.00000E+00	9.11447E-01	-4.17449E-01
115	0.78607	0.78944	1.67556E-01	0.00000E+00	9.04301E-01	-4.09371E-01
116	0.78944	0.79279	1.69449E-01	0.00000E+00	8.97259E-01	-4.01476E-01
117	0.79279	0.79612	1.69845E-01	0.00000E+00	8.89753E-01	-3.93731E-01
118	0.79612	0.79944	1.71743E-01	0.00000E+00	8.82919E-01	-3.86186E-01
119	0.79944	0.80273	1.73645E-01	0.00000E+00	8.76178E-01	-3.78799E-01
120	0.80273	0.80601	1.74045E-01	0.00000E+00	8.68994E-01	-3.71578E-01
121	0.80601	0.80927	1.75953E-01	0.00000E+00	8.62433E-01	-3.64497E-01
122	0.80927	0.81251	1.77866E-01	0.00000E+00	8.55953E-01	-3.57555E-01
123	0.81251	0.81573	1.79783E-01	0.00000E+00	8.49548E-01	-3.50744E-01
124	0.81573	0.81894	5.48292E-02	5.62979E-01	0.00000E+00	7.63772E-02
125	0.81894	0.82212	5.57272E-02	5.63181E-01	0.00000E+00	7.65662E-02
126	0.82212	0.82529	5.66385E-02	5.63353E-01	0.00000E+00	7.67769E-02
127	0.82529	0.82845	5.61103E-02	5.63202E-01	0.00000E+00	7.66841E-02
128	0.82845	0.83158	5.70466E-02	5.63319E-01	0.00000E+00	7.69331E-02
129	0.83158	0.83470	5.79985E-02	5.63404E-01	0.00000E+00	7.72048E-02
130	0.83470	0.83780	5.89670E-02	5.63453E-01	0.00000E+00	7.74995E-02
131	0.83780	0.84088	5.84816E-02	5.63211E-01	0.00000E+00	7.74658E-02
132	0.84088	0.84395	5.94808E-02	5.63197E-01	0.00000E+00	7.78006E-02
133	0.84395	0.84700	6.04988E-02	5.63144E-01	0.00000E+00	7.81591E-02

[0177] [表2C]

中	134	0.84700	0.85018	6.37733E-02	5.54508E-01	0.00000E+00	8.42889E-02
	135	0.85018	0.85335	6.44451E-02	5.55195E-01	0.00000E+00	8.41051E-02
	136	0.85335	0.85651	6.51330E-02	5.55846E-01	0.00000E+00	8.39475E-02
	137	0.85651	0.85965	6.44507E-02	5.56001E-01	0.00000E+00	8.37011E-02
	138	0.85965	0.86278	6.51703E-02	5.56583E-01	0.00000E+00	8.35927E-02
	139	0.86278	0.86590	6.45166E-02	5.56676E-01	0.00000E+00	8.33896E-02
	140	0.86590	0.86901	6.52697E-02	5.57186E-01	0.00000E+00	8.33287E-02
	141	0.86901	0.87210	6.60413E-02	5.57658E-01	0.00000E+00	8.32923E-02
	142	0.87210	0.87518	6.54341E-02	5.57653E-01	0.00000E+00	8.31518E-02
	143	0.87518	0.87825	6.62416E-02	5.58052E-01	0.00000E+00	8.31601E-02
	144	0.87825	0.88131	6.56661E-02	5.57984E-01	0.00000E+00	8.30580E-02
	145	0.88131	0.88436	6.65107E-02	5.58309E-01	0.00000E+00	8.31089E-02
	146	0.884356	0.887389	6.73756E-02	5.58595E-01	0.00000E+00	8.31816E-02
	147	0.887389	0.890412	6.68504E-02	5.58429E-01	0.00000E+00	8.31341E-02
	148	0.890412	0.893422	6.77537E-02	5.58642E-01	0.00000E+00	8.32461E-02
	149	0.893422	0.896421	6.72620E-02	5.58413E-01	0.00000E+00	8.32312E-02
	150	0.896421	0.899409	6.82043E-02	5.58554E-01	0.00000E+00	8.33798E-02
	151	0.899409	0.902385	6.77461E-02	5.58264E-01	0.00000E+00	8.33951E-02
	152	0.902385	0.90535	6.87275E-02	5.58334E-01	0.00000E+00	8.35778E-02
	153	0.90535	0.908303	6.97298E-02	5.58367E-01	0.00000E+00	8.37777E-02
	154	0.90830	0.91125	6.93232E-02	5.57986E-01	0.00000E+00	8.38347E-02
	155	0.91125	0.91418	7.03640E-02	5.57952E-01	0.00000E+00	8.40645E-02
	156	0.91418	0.91710	6.99903E-02	5.57515E-01	0.00000E+00	8.41452E-02
	157	0.91710	0.92001	7.10690E-02	5.57417E-01	0.00000E+00	8.44020E-02
	158	0.92001	0.92291	7.07274E-02	5.56927E-01	0.00000E+00	8.45038E-02
	159	0.92291	0.92579	7.18429E-02	5.56768E-01	0.00000E+00	8.47847E-02
	160	0.92579	0.92867	7.29777E-02	5.56578E-01	0.00000E+00	8.50777E-02
	161	0.92867	0.93154	7.26835E-02	5.56012E-01	0.00000E+00	8.52074E-02
	162	0.93154	0.93439	7.38531E-02	5.55766E-01	0.00000E+00	8.55202E-02
	163	0.93439	0.93724	7.35882E-02	5.55155E-01	0.00000E+00	8.56648E-02
	164	0.93724	0.94007	7.47911E-02	5.54859E-01	0.00000E+00	8.59950E-02
	165	0.94007	0.94290	7.45543E-02	5.54206E-01	0.00000E+00	8.61524E-02
	166	0.94290	0.94571	7.57893E-02	5.53861E-01	0.00000E+00	8.64978E-02
	167	0.94571	0.94851	7.55800E-02	5.53168E-01	0.00000E+00	8.66664E-02
	168	0.94851	0.95131	7.68463E-02	5.52778E-01	0.00000E+00	8.70251E-02
	169	0.95131	0.95409	7.81291E-02	5.52363E-01	0.00000E+00	8.73908E-02
	170	0.95409	0.95686	7.79613E-02	5.51612E-01	0.00000E+00	8.75746E-02
	171	0.95686	0.95962	7.92758E-02	5.51153E-01	0.00000E+00	8.79524E-02
	172	0.95962	0.96238	7.91361E-02	5.50363E-01	0.00000E+00	8.81455E-02
	173	0.96238	0.96512	8.04846E-02	5.49856E-01	0.00000E+00	8.85359E-02
174	0.96512	0.96785	8.03759E-02	5.49025E-01	0.00000E+00	8.87392E-02	
175	0.96785	0.97058	8.17630E-02	5.48464E-01	0.00000E+00	8.91440E-02	
176	0.97058	0.97329	8.16902E-02	5.47583E-01	0.00000E+00	8.93597E-02	
177	0.97329	0.97599	8.31238E-02	5.46956E-01	0.00000E+00	8.97826E-02	
178	0.97599	0.97869	8.30955E-02	5.46014E-01	0.00000E+00	9.00144E-02	
179	0.97869	0.98137	8.45883E-02	5.45304E-01	0.00000E+00	9.04613E-02	
180	0.98137	0.98405	8.46173E-02	5.44281E-01	0.00000E+00	9.07152E-02	
181	0.98405	0.98671	8.61884E-02	5.43459E-01	0.00000E+00	9.11949E-02	
182	0.98671	0.98937	8.62933E-02	5.42330E-01	0.00000E+00	9.14792E-02	
183	0.98937	0.99201	8.79704E-02	5.41356E-01	0.00000E+00	9.20045E-02	
184	0.99201	0.99465	8.81780E-02	5.40081E-01	0.00000E+00	9.23310E-02	
185	0.99465	0.99727	8.99996E-02	5.38900E-01	0.00000E+00	9.29188E-02	
186	0.99727	0.99989	9.03470E-02	5.37427E-01	0.00000E+00	9.33035E-02	
187	0.99989	1.00250	2.71448E-01	0.00000E+00	5.34681E-01	-8.38241E-02	
188	1.00250	1.11783	-1.81052E-02	8.12560E-01	-2.67331E-01	1.95258E-01	
189	1.11783	1.13796	5.34266E-01	-5.36605E-01	8.27749E-01	-1.01387E-01	
190	1.13796	1.15273	1.05344E+00	-1.74181E+00	1.75677E+00	-3.40306E-01	
191	1.15273	1.16475	2.66916E-01	0.00000E+00	4.67735E-01	-2.25310E-02	
192	1.16475	1.17504	2.33079E-01	0.00000E+00	5.19318E-01	-4.80048E-02	
193	1.17504	1.18412	1.90600E-01	0.00000E+00	5.82558E-01	-7.86246E-02	
194	1.18412	1.19229	1.39522E-01	0.00000E+00	6.56829E-01	-1.13981E-01	
195	1.19229	1.19974	7.98194E-02	0.00000E+00	7.41706E-01	-1.53785E-01	
196	1.19974	1.20661	1.14048E-02	0.00000E+00	8.36917E-01	-1.97838E-01	
197	1.20661	1.21300	-6.58798E-02	0.00000E+00	9.42331E-01	-2.46015E-01	
198	1.21300	1.21898	-1.52165E-01	0.00000E+00	1.05780E+00	-2.98194E-01	
199	1.21898	1.22461	-2.47583E-01	0.00000E+00	1.18322E+00	-3.54271E-01	
200	1.22461	1.22994	-3.52342E-01	0.00000E+00	1.31858E+00	-4.14203E-01	
201	1.22994	1.23500	-4.66563E-01	0.00000E+00	1.46378E+00	-4.77899E-01	
外							

[0178] 表 1 に示されるように、実施例 1 において、有効径 $\phi = 2.4 \text{ mm}$ である。 $m_1 = 0$ 、 $m_2 = 0$ 、 $m_3 = 0$ である。また、 $d/f = 1.68/1.41 = 1.19$ である。このような d/f が大きく CD でのワーキングディスタンスを取るのが困難な対物レンズであっても、実施例 1 は、CD の際のワーキングディスタンスとして 0.20 mm を確保することに成功している。また、表 2 A 及び表 2 B から、第 1 光路差付与構造の最小ピッチは、約 $3.1 \mu\text{m}$ であり、平均ピッチは約 $6.4 \mu\text{m}$ であることがわかる。したがって、 $p/f_1 = 0.0022$ である。

[0179] また、実施例 1 の対物レンズの回折効率は、BD において 92% 、DVD において 70% 、CD において 54% と、何れの光ディスクに対してもバランスよく高い回折効率を得られていることがわかる。

[0180] 実施例 1 の球面収差図を、図 8 に示す。図 8 (a) は BD の時の球面収差図、図 8 (b) は DVD の時の球面収差図、図 8 (c) は CD の時の球面収差図である。図 8 (a)、(b)、(c) に示されるように、BD、DVD、CD のいずれにおいても、 $m_1 = 0$ 、 $m_2 = 0$ 、 $m_3 = 0$ という状況下で、その必要開口数内において良好な球面収差を保っており、何れの光ディスクに対しても情報の記録／再生を良好に行えることがわかる。また、図 8 (a)、(b)、(c) から、BD において DVD においても中央領域と中間領域との間で位相ずれが生じていない、という好ましい結果が得られていることもわかる。

[0181] 実施例 1 の波長特性と温度特性を、表 3 に示す。以下の表 3 に示される温度変化時において、温度変化による第 1 光源の波長変動が含まれているものとして示されており、 $\Delta\lambda_1/\Delta T = 0.05 \text{ nm/deg}$ としている。倍率補正とは、コリメータを移動させることによる倍率補正のことをいう。

[0182]

[表3]

$\Delta \lambda +5\text{nm}$	倍率補正前	倍率補正後
SA3	-0.118	0.000
SA5	-0.021	0.000
SA7	-0.001	0.003
$\Delta T +30\text{deg}$	倍率補正前	倍率補正後
SA3	0.042	0.000
SA5	0.012	0.005
SA7	0.005	0.003

[0183] 更に、実施例1の回折効率の波長依存性（BD（a）、DVD（b）、CD（c））を図9に示す。図9（a）、（b）、（c）から、BD、DVD、CDのいずれにおいても、波長変動時の回折効率の変動が小さく抑えられており、好ましい結果が得られていることがわかる。

[0184] 本発明は、明細書に記載の実施例に限定されるものではなく、他の実施例・変形例を含むことは、本明細書に記載された実施例や思想から本分野の当業者にとって明らかである。明細書の記載及び実施例は、あくまでも例証を目的としており、本発明の範囲は後述するクレームによって示されている。

符号の説明

- [0185] AC1 2軸アクチュエータ
BS 偏光ビームスプリッタ
CN 中央領域
COL コリメートレンズ
DP ダイクロイックプリズム
LD1 第1半導体レーザ又は青紫色半導体レーザ
LD2 第2半導体レーザ
LD3 第3半導体レーザ
LDP レーザユニット
MD 中間領域

OL 対物レンズ

OT 周辺領域

PD 受光素子

PL1 保護基板

PL2 保護基板

PL3 保護基板

PU1 光ピックアップ装置

QWP $\lambda/4$ 波長板

RL1 情報記録面

RL2 情報記録面

RL3 情報記録面

SEN センサレンズ

請求の範囲

[請求項1]

第1波長 λ_1 の第1光束を射出する第1光源と、第2波長 λ_2 ($\lambda_2 > \lambda_1$)の第2光束を射出する第2光源と、第3波長 λ_3 ($\lambda_3 > \lambda_2$)の第3光束を射出する第3光源とを有し、前記第1光束を用いて厚さが t_1 の保護基板を有する第1光ディスクの情報の記録及び／又は再生を行い、前記第2光束を用いて厚さが t_2 ($t_1 < t_2$)の保護基板を有する第2光ディスクの情報の記録及び／又は再生を行い、前記第3光束を用いて厚さが t_3 ($t_2 < t_3$)の保護基板を有する第3光ディスクの情報の記録及び／又は再生を行う光ピックアップ装置において用いられる対物レンズであって、

前記対物レンズの光学面は、中央領域と、前記中央領域の周りの中間領域と、前記中間領域の周りの周辺領域とを少なくとも有し、

前記中央領域は第1光路差付与構造を有し、

前記中間領域は第2光路差付与構造を有し、

前記対物レンズは、前記中央領域を通過する前記第1光束を、前記第1光ディスクの情報記録面上に情報の記録及び／又は再生ができるように集光し、前記中央領域を通過する前記第2光束を、前記第2光ディスクの情報記録面上に情報の記録及び／又は再生ができるように集光し、前記中央領域を通過する前記第3光束を、前記第3光ディスクの情報記録面上に情報の記録及び／又は再生ができるように集光し、

前記対物レンズは、前記中間領域を通過する前記第1光束を、前記第1光ディスクの情報記録面上に情報の記録及び／又は再生ができるように集光し、前記中間領域を通過する前記第2光束を、前記第2光ディスクの情報記録面上に情報の記録及び／又は再生ができるように集光し、前記中間領域を通過する前記第3光束を、前記第3光ディスクの情報記録面上に情報の記録及び／又は再生ができるように集光せず、

前記対物レンズは、前記周辺領域を通過する前記第1光束を、前記第1光ディスクの情報記録面上に情報の記録及び／又は再生ができるように集光し、前記周辺領域を通過する前記第2光束を、前記第2光ディスクの情報記録面上に情報の記録及び／又は再生ができるように集光せず、前記周辺領域を通過する前記第3光束を、前記第3光ディスクの情報記録面上に情報の記録及び／又は再生ができるように集光せず、

前記第1光路差付与構造は、少なくとも第1基礎構造と第2基礎構造とを重ね合わせた構造であり、

前記第1基礎構造は、前記第1基礎構造を通過した第1光束のX次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくし、前記第1基礎構造を通過した第2光束のY次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくし、前記第1基礎構造を通過した第3光束のZ次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくし、

前記Xは、奇数の整数であり、

前記第1基礎構造はブレード型構造であり、

少なくとも前記中央領域の光軸付近に設けられる前記第1基礎構造は、その段差が光軸とは逆の方向を向いており、

前記第2基礎構造は、前記第2基礎構造を通過した第1光束のL次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくし、前記第2基礎構造を通過した第2光束のM次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくし、前記第2基礎構造を通過した第3光束のN次の回折光量を他のいかなる次数の回折光量よりも大きくし、

前記Lは、偶数の整数であり、

前記第2基礎構造はブレード型構造であり、

少なくとも前記中央領域の光軸付近に設けられる前記第2基礎構造は、その段差が光軸の方向を向いており、

前記対物レンズの前記第1光束に対する有効径を ϕ (mm)とした

ときに、以下の式を満たすことを特徴とする対物レンズ。

$$1. \quad 9 \leq \phi \leq 3. \quad 0 \quad (1)$$

[請求項2] 前記中央領域の前記第1光路差付与構造の最小ピッチ p と第1波長における前記対物レンズの焦点距離 f_1 の比 p/f_1 が下記の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。

$$0.002 \leq p/f_1 \leq 0.004 \quad (2)$$

[請求項3] 前記 L は、絶対値が4以下の偶数であり、前記 X は、絶対値が5以下の奇数であることを特徴とする請求項1に記載の対物レンズ。

[請求項4] $(X, Y, Z) = (-1, -1, -1)$ 且つ $(L, M, N) = (2, 1, 1)$ であることを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載の対物レンズ。

[請求項5] 前記中央領域に設けられる前記第1基礎構造は、全ての段差が光軸とは逆の方向を向いていることを特徴とする請求項1乃至4のいずれかに記載の対物レンズ。

[請求項6] 前記中央領域の前記中間領域付近に設けられる前記第1基礎構造は、段差が光軸の方向を向いていることを特徴とする請求項1乃至4のいずれかに記載の対物レンズ。

[請求項7] 前記中央領域に設けられる前記第2基礎構造は、全ての段差が光軸の方向を向いていることを特徴とする請求項1乃至6のいずれかに記載の対物レンズ。

[請求項8] 前記中央領域の前記中間領域付近に設けられる前記第2基礎構造は、段差が光軸とは逆の方向を向いていることを特徴とする請求項1乃至6のいずれかに記載の対物レンズ。

[請求項9] 波長が長くなった際に発生する3次球面収差及び5次球面収差が何れもアンダー（補正不足）であることを特徴とする請求項1乃至8のいずれかに記載の対物レンズ。

[請求項10] 少なくとも前記中央領域の光軸付近に設けられている前記第1光路差付与構造は、光軸とは逆の方向を向いている段差と、光軸の方向を

向いている段差とを共に有し、

前記光軸とは逆の方向を向いている段差の段差量 d_{11} と、前記光軸の方向を向いている段差の段差量 d_{12} とが、以下の条件式 (3)、(4) を満たすことを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載の対物レンズ。

$$0.6 \cdot (\lambda_1 / (n-1)) < d_{11} < 1.5 \cdot (\lambda_1 / (n-1)) \quad (3)$$

$$0.6 \cdot (\lambda_1 / (n-1)) < d_{12} < 1.5 \cdot (2\lambda_1 / (n-1)) \quad (4)$$

但し、 n は、 λ_1 における対物レンズの屈折率を表す。

[請求項11] 前記中央領域の全ての領域において前記条件式 (3)、(4) を満たすことを特徴とする請求項 10 に記載の対物レンズ。

[請求項12] 以下の条件式を満たすことを特徴とする請求項 10 又は 11 に記載の対物レンズ。

$$0.9 \cdot (\lambda_1 / (n-1)) < d_{11} < 1.5 \cdot (\lambda_1 / (n-1)) \quad (3)''$$

$$0.9 \cdot (\lambda_1 / (n-1)) < d_{12} < 1.5 \cdot (\lambda_1 / (n-1)) \quad (4)''$$

[請求項13] 前記中央領域の全ての領域において前記条件式 (3)'、(4)' を満たすことを特徴とする請求項 12 に記載の対物レンズ。

[請求項14] 前記中央領域において、前記光軸とは逆の方向を向いている段差の数が、前記光軸の方向を向いている段差の数に比べて多いことを特徴とする請求項 10 乃至 13 のいずれかに記載の対物レンズ。

[請求項15] 以下の条件式を満たすことを特徴とする請求項 1 乃至 14 のいずれかに記載の対物レンズ。

$$1.0 \leq d/f \leq 1.5 \quad (5)$$

但し、 d は、前記対物レンズの光軸上の厚さ (mm) を表し、 f は、前記第 1 光束における前記対物レンズの焦点距離を表す。

[請求項16] 以下の条件式（6）、（7）、（8）を満たすことを特徴とする請求項1乃至15のいずれかに記載の対物レンズ。

$$-0.01 < m_1 < 0.01 \quad (6)$$

$$-0.01 < m_2 < 0.01 \quad (7)$$

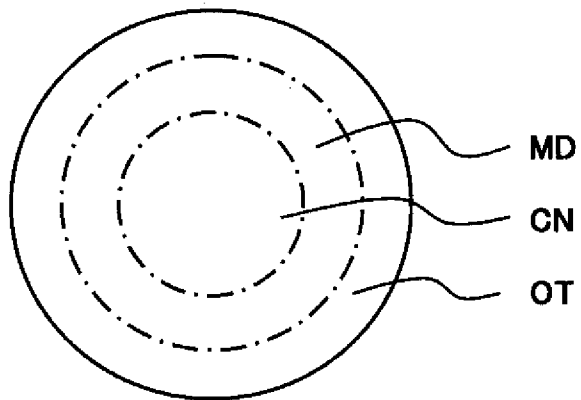
$$-0.01 < m_3 < 0.01 \quad (8)$$

但し、 m_1 は、前記第1光束が前記対物レンズに入射する時の前記対物レンズの倍率を表し、 m_2 は、前記第2光束が前記対物レンズに入射する時の前記対物レンズの倍率を表し、 m_3 は、前記第3光束が前記対物レンズに入射する時の前記対物レンズの倍率を表す。

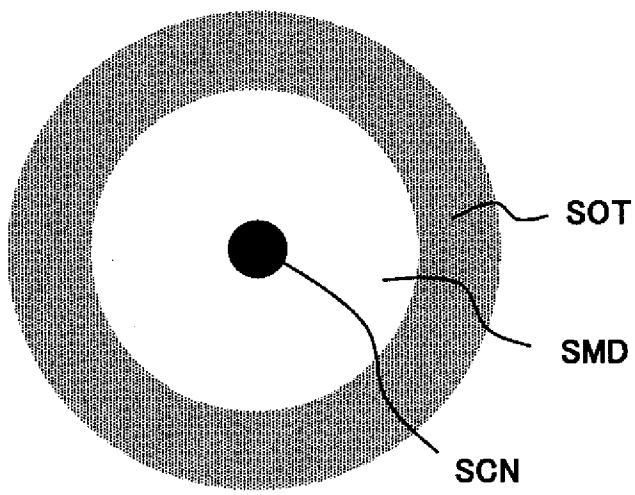
[請求項17] 請求項1乃至16のいずれかに記載の対物レンズを有することを特徴とする光ピックアップ装置。

[請求項18] 請求項17に記載の光ピックアップ装置を有することを特徴とする光情報記録再生装置。

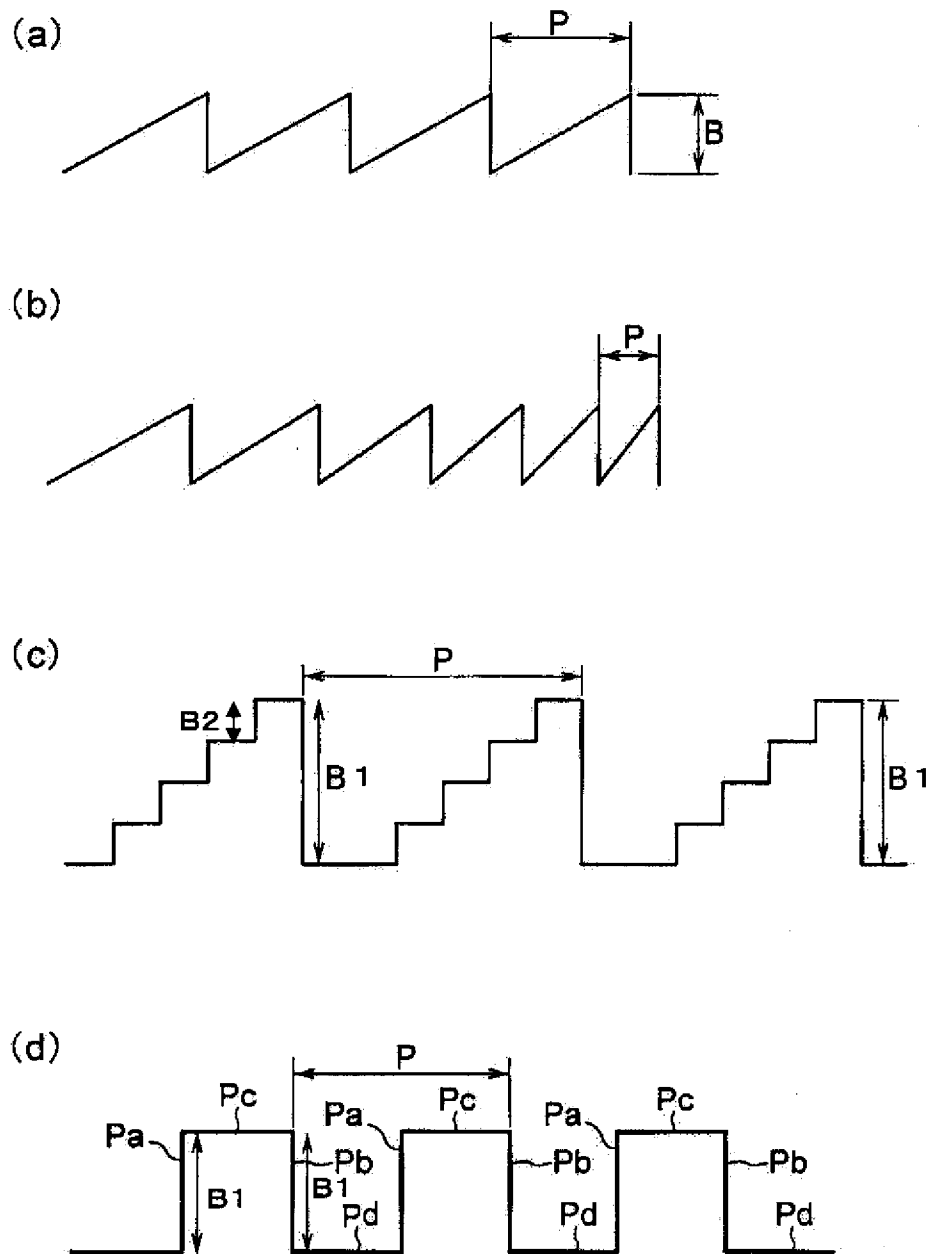
[図1]



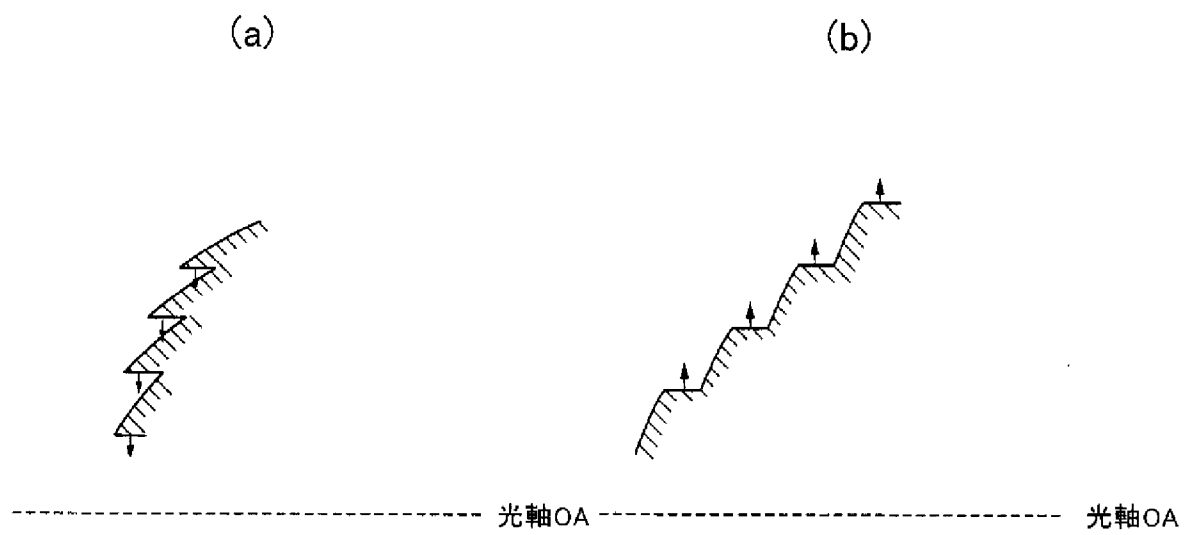
[図2]



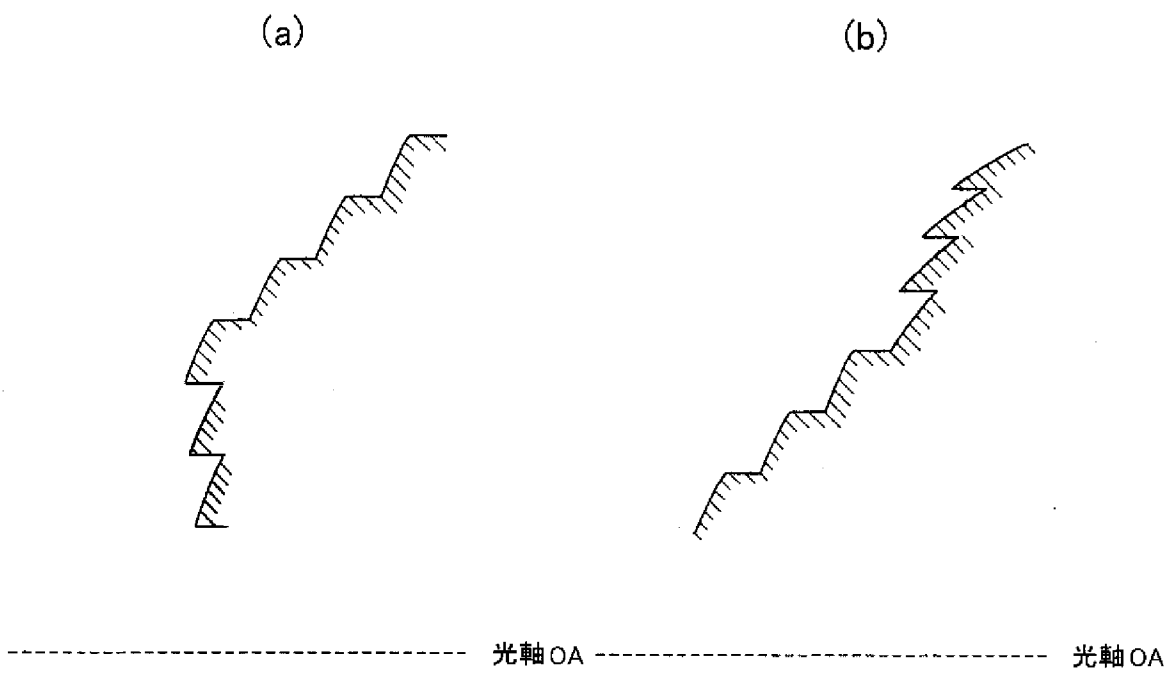
[図3]



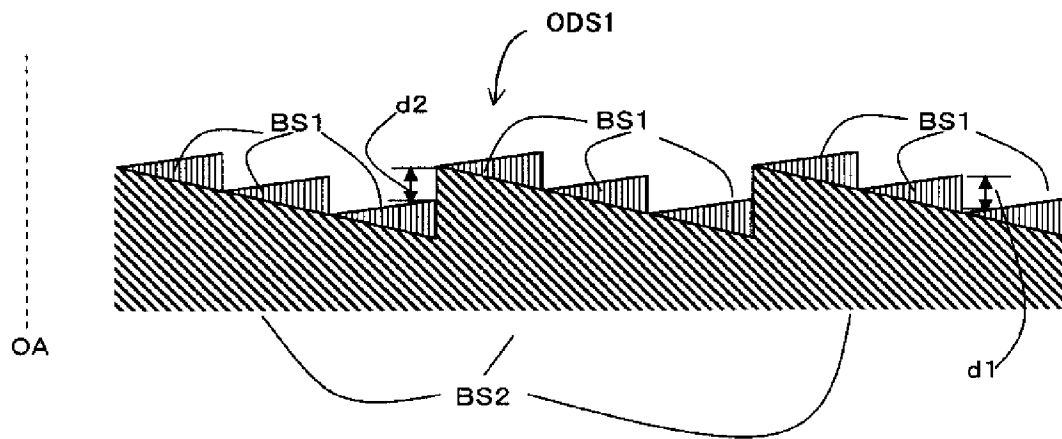
[図4]



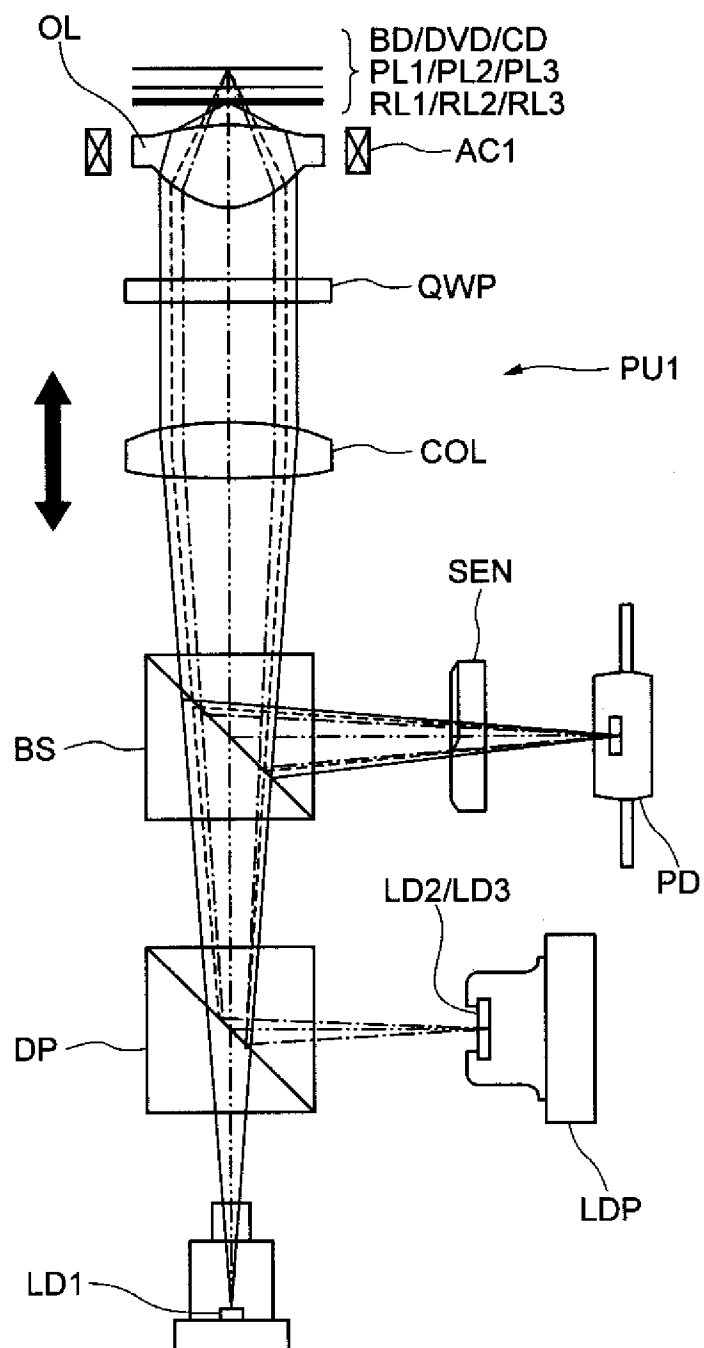
[図5]



[図6]

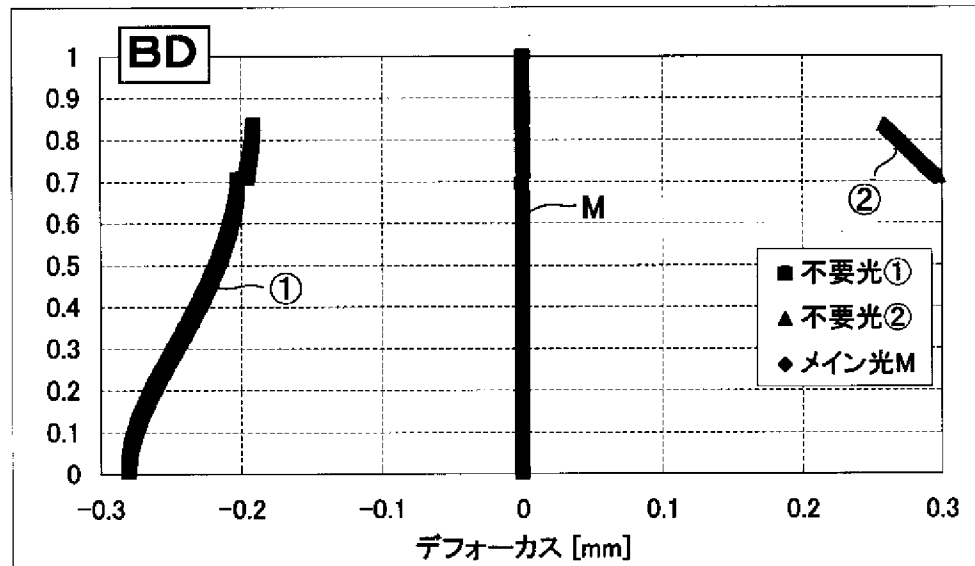


[図7]

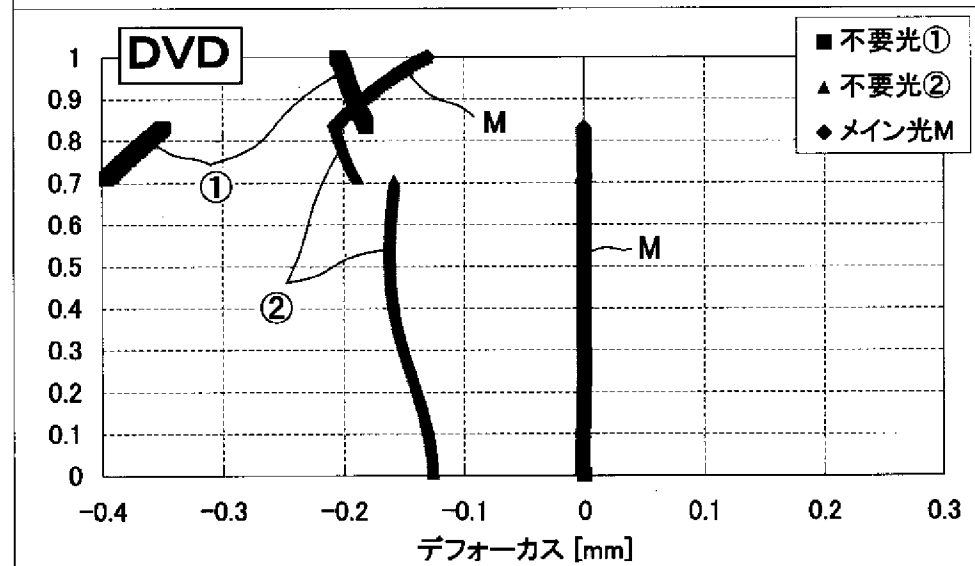


[図8]

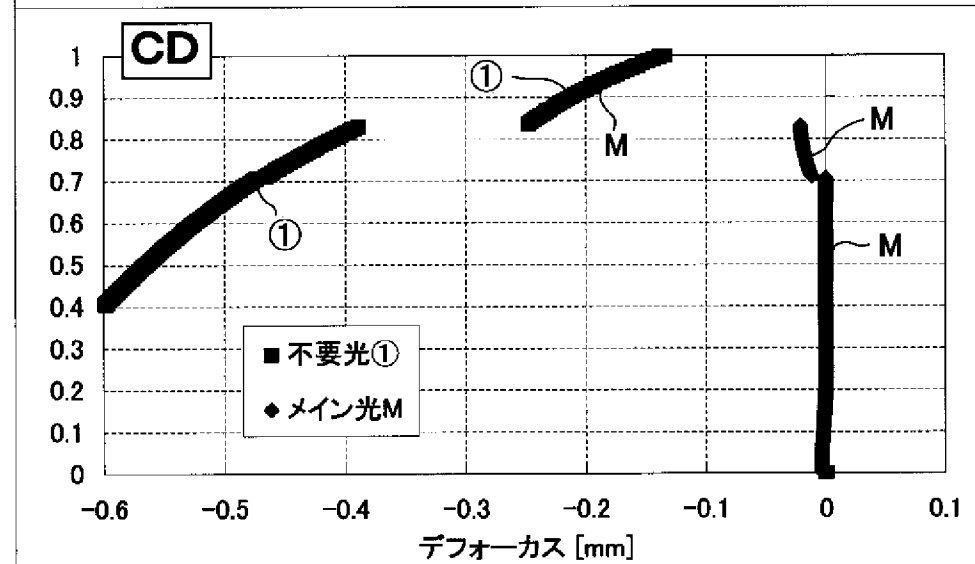
(a)



(b)

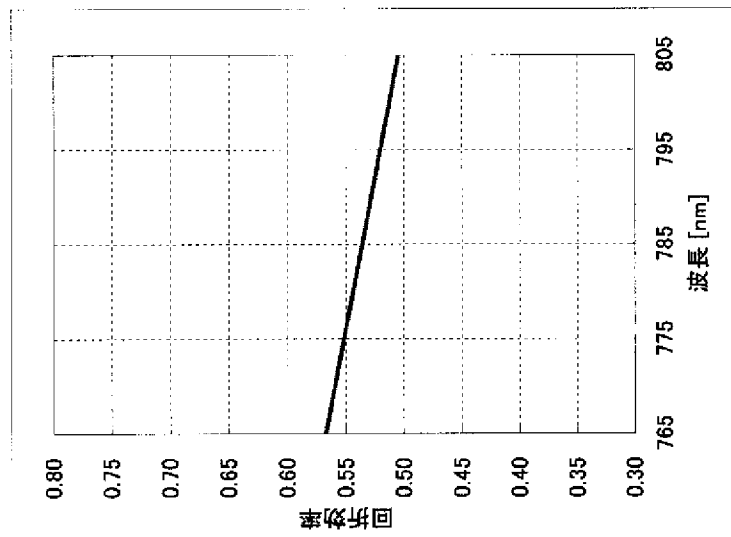


(c)

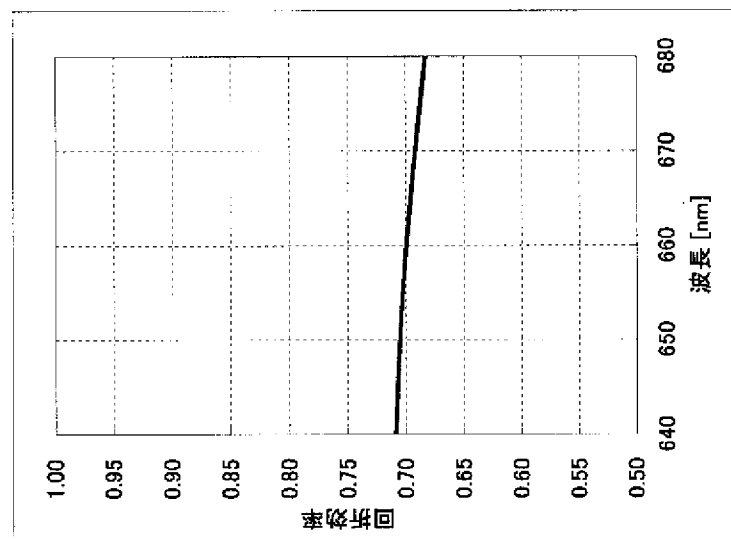


[図9]

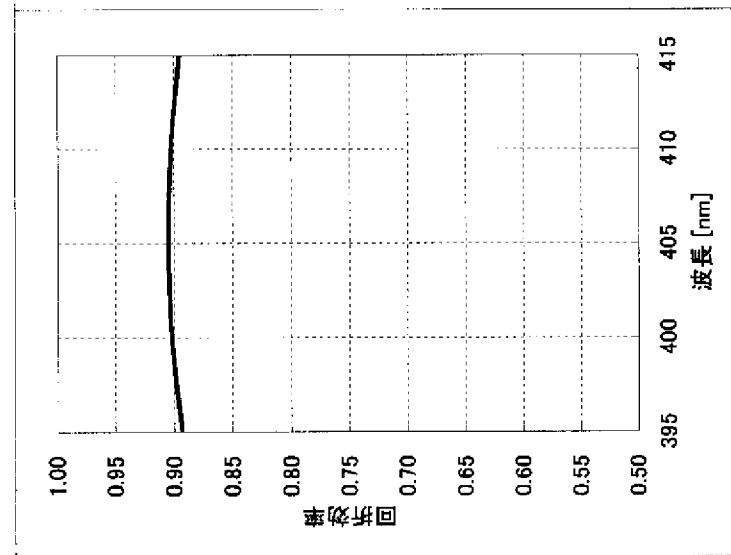
(c)



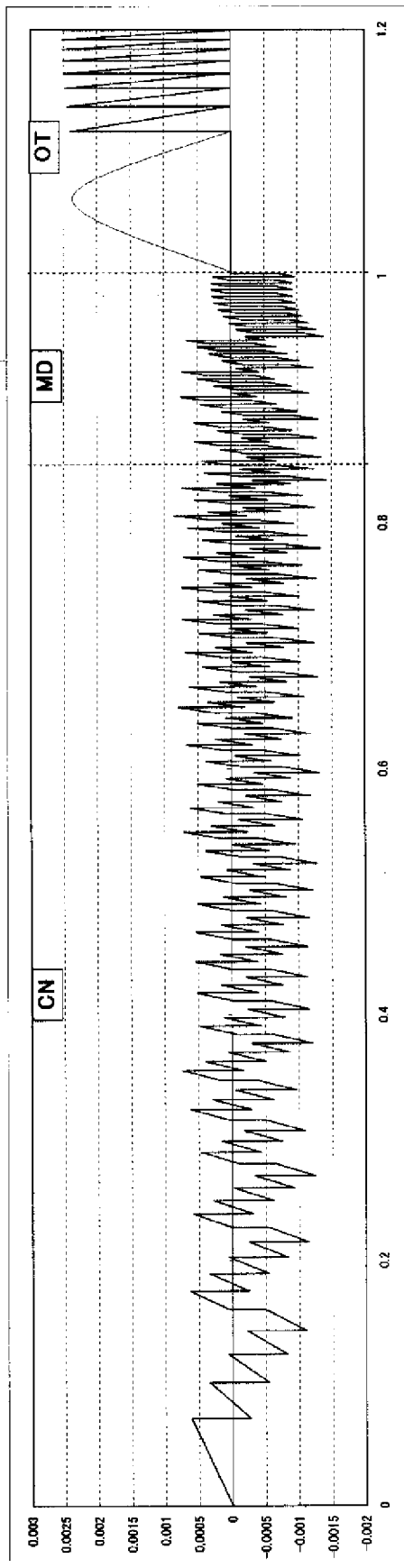
(b)



(a)



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/059680

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G11B7/135(2006.01)i, G02B13/00(2006.01)i, G02B13/18(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G11B7/135, G02B13/00, G02B13/18

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2010/013616 A1 (Konica Minolta Opto, Inc.), 04 February 2010 (04.02.2010), paragraphs [0047] to [0066], [0073] to [0080], [0095] to [0103] (Family: none)	1-18
A	WO 2008/044475 A1 (Konica Minolta Opto, Inc.), 17 April 2008 (17.04.2008), entire text; fig. 1, 2 (Family: none)	1-18
A	WO 2007/145202 A1 (Konica Minolta Opto, Inc.), 21 December 2007 (21.12.2007), entire text; fig. 1, 2, 6, 7 (Family: none)	1-18



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
01 July, 2011 (01.07.11)

Date of mailing of the international search report
12 July, 2011 (12.07.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G11B7/135(2006.01)i, G02B13/00(2006.01)i, G02B13/18(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G11B7/135, G02B13/00, G02B13/18

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	WO 2010/013616 A1（コニカミノルタオプト株式会社）2010.02.04 段落[0047]-[0066], [0073]-[0080], [0095]-[0103] （ファミリーなし）	1-18
A	WO 2008/044475 A1（コニカミノルタオプト株式会社）2008.04.17 全文, 図1, 図2（ファミリーなし）	1-18
A	WO 2007/145202 A1（コニカミノルタオプト株式会社）2007.12.21 全文, 図1, 2, 6, 7（ファミリーなし）	1-18

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 1 . 0 7 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

1 2 . 0 7 . 2 0 1 1

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

中野 浩昌

5 D

9 2 9 4

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 5 1