

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4130938号

(P4130938)

(45) 発行日 平成20年8月13日 (2008. 8. 13)

(24) 登録日 平成20年6月6日 (2008. 6. 6)

(51) Int. Cl. F I
G O 2 B 13/00 (2006. 01) G O 2 B 13/00
G O 2 B 13/18 (2006. 01) G O 2 B 13/18
G 1 1 B 7/135 (2006. 01) G 1 1 B 7/135 A

請求項の数 2 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2001-303336 (P2001-303336)	(73) 特許権者	000113263
(22) 出願日	平成13年9月28日 (2001. 9. 28)		H O Y A 株式会社
(65) 公開番号	特開2003-107341 (P2003-107341A)		東京都新宿区中落合2丁目7番5号
(43) 公開日	平成15年4月9日 (2003. 4. 9)	(74) 代理人	100098235
審査請求日	平成16年10月18日 (2004. 10. 18)		弁理士 金井 英幸
		(72) 発明者	久保 渉
			東京都板橋区前野町2丁目36番9号 旭
			光学工業株式会社内
		審査官	瀬川 勝久
		(56) 参考文献	特開平04-163510 (JP, A)
		(58) 調査した分野 (Int. Cl., DB 名)	G02B 9/00-17/08

(54) 【発明の名称】 光ピックアップ用対物光学系

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

入射した略平行光束を光情報記録媒体の記録面上に収束させる光ピックアップ用対物光学系であって、

前記略平行光束の入射側の面が非球面形状の正の屈折力を持つ面であるとともに、射出側の面が非球面形状の正又は負の屈折力を持つ面であることによって、両面同士が $2 \mu\text{m}$ 偏心した場合でも軸上波面収差が 0.07 rms 以下であってほぼ回折限界まで集光可能である 0.8 以上の開口数を有する両面非球面単レンズから構成され、

前記両面非球面単レンズの各面の形状を、光軸からの高さが h となる点の光軸上での接平面からの距離 $F_i(h)$ として下記式 (1) により表した場合に、下記式 (2) 乃至式 (5) を満足する

ことを特徴とする光ピックアップ用対物光学系。

$$F_i(h) = (h^2/r) / (1 + (1 - (1 + \dots) h^2/r^2)^{1/2}) + A_4 h^4 + A_6 h^6 + A_8 h^8 + A_{10} h^{10} + A_{12} h^{12} \dots \quad (1)$$

(但し、 i は面番号であり、 $F_1(h)$ は入射側の面の形状であり、 $F_2(h)$ は射出側の面の形状であり、 r はレンズ面の光軸上での曲率半径であり、 \dots は円錐係数であり、 A_4 , A_6 , A_8 , A_{10} , A_{12} は 4 次以上 12 次以下の各偶数次の非球面係数)

-2	$dF_1(h)/dh$	+2	... (2)
-0.1	$dF_2(h)/dh$	+0.1	... (3)
+0.5	$d^2F_1(h)/dh^2$	+3.5	... (4)
-0.2	$d^2F_2(h)/dh^2$	+0.2	... (5)

10

20

【請求項 2】

前記両面非球面単レンズは、屈折率が 1.6 以上であるガラス材料をモールドすることによって成形されている

ことを特徴とする請求項 1 記載の光ピックアップ用対物光学系。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】

本発明は、光記憶媒体から光情報を読み込む際に、若しくは、光記憶媒体に光情報を書き込む際に用いられる光ピックアップ用対物光学系に、関する。

【0002】

【従来の技術】

CD (コンパクトディスク) や DVD のような光記憶媒体に記録されている光情報を読み出すための光情報再生装置や光記憶媒体に光情報を記録するための光情報記録装置に用いられる光ピックアップは、一般に、レーザダイオードから射出されたレーザビームを、光記憶媒体の記録面にレーザスポットとして照射する構成となっている。具体的には、これら光情報再生装置及び光情報記録装置内において、レーザダイオードからレーザビームが射出される。このレーザビームは、その断面が楕円状の発散光として射出されるので、レーザダイオードの前方に配置されたコリメートレンズにより平行光に変換され、さらに、ビーム成形プリズムによってその断面が円形に変換された後に、光記憶媒体径と平行な方向へ反射される。そして、このようにして断面が円形な平行光に変換されたレーザビームは、トラッキング方向へ移動可能に設けられたキャリッジ内の立ち上げミラーによって、光記憶媒体の記録面に対して垂直に入射する方向へ反射され、対物光学系によって光記憶媒体の記録面に収束される。

【0003】

光ピックアップ用の対物光学系の初期のものは、プラスチックモールドによって成形された単レンズから構成されていたので、その開口数 (NA) は、比較的低かった。但し、従来の光記憶媒体は CD のように比較的小容量なものであったので、開口数 (NA) が低くても足りていた。

【0004】

ところが、近年では、光記憶媒体の大容量化、即ち高密度化に伴って、光記憶媒体の記録面でのビームスポット径を微細なものとするために、対物光学系の開口数を 0.8 以上に高くする必要が生じている。そこで、本出願人は、先に出願した特願 2000-29879 において、従来のプラスチックモールド単レンズからなる対物光学系用に設計されたファインアクチュエータ (キャリッジ内で対物光学系を光軸方向へ駆動してフォーカシングするための機構) を流用可能な超高 NA のガラス製単レンズからなる対物光学系を、提案した。

【0005】

このようなガラス製レンズを従来のプラスチックレンズと同様にモールド成形しようとする場合、両レンズ面に相対する金型同士を中心軸を合わせるのが困難であるという問題に、直面する。即ち、モールド成形後にできあがったレンズを取り出すには、当然、金型同士を相対的に離さなければならないが、モールド装置内で金型が動く為には、金型と金型との間や金型と装置との間にそれなりのクリアランス (隙間公差) が不可欠となる。このような理由で避け得ないクリアランスの範囲内では、金型同士の位置や傾きが規制されないため、両レンズ面に相対する金型同士を中心軸を合わせるのが困難となるのである。その結果として、完成したレンズのレンズ面同士の間に偏心が生じると、レンズの波面収差性能が劣化してしまい、所望の性能を得ることができない。従って、両レンズ面間の偏心量の許容値を意味する偏心公差を大きく確保することが、レンズを製造し易くして歩留まり向上させるのに、繋がるのである。そのため、上記出願においては、対物光学系を構成する単レンズを、平凸レンズとして設計することにより、その両レンズ面間の偏心公差を、殆どフリーにできるまで大きくしていた。

【 0 0 0 6 】

【 発明が解決しようとする課題 】

しかしながら、平凸レンズの開口数（NA）を0.8以上の超高NAにしようとする、たとえガラス製であったとしても、片側が平面であるために、光軸外の入射光に対してコマ収差（正弦条件（SC））が十分に補正され得ないので、像側の点像性能が維持される範囲が、相対的に狭くなってしまう。その結果、ピックアップ装置やファインアクチュエータ等に搭載する場合に、その対物光学系に入射する入射光の中心軸と対物光学系の光軸とを精密に合わせなければならないので、作業効率が悪くなっていた。また、対物光学系の固定後に何らかの原因により対物光学系に入射する光束の中心軸と当該対物光学系の光軸との間の相対的な傾きに変化が生じた場合に、波面収差性能の劣化が激しかった。すなわち、光ピックアップ（ファインアクチュエータ）等に対する組付けのマージンが狭くなっており、やや使い難かった。

10

【 0 0 0 7 】

本発明の課題は、上述した相反する問題点を同時に解決し、開口数が高い単レンズからなるにも拘わらず、イメージサークル径が大きい為に光ピックアップ（ファインアクチュエータ）等に対する組付けマージンが大きく、しかも、モールド成形する際にある程度の公差内で偏心しても性能劣化が殆ど無いが故に歩留まり良く製造できる光ピックアップ用対物光学系を、提供することである。

【 0 0 0 8 】

【 課題を解決するための手段 】

20

本発明は、上記課題を解決するために、以下の手段を採用した。

【 0 0 0 9 】

即ち、本発明による光ピックアップ用対物光学系は、入射した略平行光束を光情報記録媒体の記録面上に収束させる光ピックアップ用対物光学系であって、前記略平行光束の入射側の面が非球面形状の正の屈折力を持つ面であるとともに、射出側の面が非球面形状の正又は負の屈折力を持つ面であることによって、両面同士が2μm偏心した場合でも軸上波面収差が0.07 rms以下であってほぼ回折限界まで集光可能である0.8以上の開口数を有する両面非球面単レンズから構成されていることを、特徴とする。

更に、本発明による対物光学系は、下記の式（2）～（5）を満足するように設計される。なお、以下に示す式（1）は、光軸からの高さがhとなる点の光軸上での接平面からの距離 $F_i(h)$ として面形状を表した回転対称非球面形状の一般式である。

30

$$F_i(h) = (h^2/r) / (1 + (1 - (1 + \dots)h^2/r^2)^{1/2}) + A_4h^4 + A_6h^6 + A_8h^8 + A_{10}h^{10} + A_{12}h^{12} \dots \quad (1)$$

式（1）において、iは面番号（i=1は略平行光が入射する面を示し、i=2は射出側の面を示す）である。従って、 $F_1(h)$ は入射側の面の形状を表し、 $F_2(h)$ は射出側の面の形状を表す。また、rはレンズ面の光軸上での曲率半径であり、 \dots は円錐係数であり、 $A_4, A_6, A_8, A_{10}, A_{12}$ は4次以上12次以下の各偶数次の非球面係数である。

なお、当然の事ながら、r, \dots , $A_4, A_6, A_8, A_{10}, A_{12}$ は、夫々、第1面（i=1）と第2面（i=2）とで別個の値を採る。

式（2）は、入射側面（i=1）に関する式（1）のhによる一次微分関数： $dF_1(h)/dh$ のhの範囲を規定するものである。

40

$$-2 \leq dF_1(h)/dh \leq +2 \quad \dots (2)$$

具体的な条件式である式（3）は、射出側面（i=2）に関する式（1）のhによる一次微分関数： $dF_2(h)/dh$ のhの範囲を規定するものである。

$$-0.1 \leq dF_2(h)/dh \leq +0.1 \quad \dots (3)$$

具体的な条件式である式（4）は、入射側面（i=1）に関する式（1）のhによる二次微分関数： $d^2F_1(h)/dh^2$ のhの範囲を規定するものである。

$$+0.5 \leq d^2F_1(h)/dh^2 \leq +3.5 \quad \dots (4)$$

具体的な条件式である式（5）は、射出側面（i=2）に関する式（1）のhによる二次微分関数： $d^2F_2(h)/dh^2$ のhの範囲を規定するものである。

$$-0.3 \leq d^2F_2(h)/dh^2 \leq +0.2 \quad \dots (5)$$

50

【 0 0 1 0 】

このような構成によると、開口数が 0.8 以上である単レンズから光ピックアップ用対物光学系が構成されるために、光情報記録媒体に対する高密度な情報記録又は情報読出が可能になるとともに、従来プラスチック単レンズを保持するために用いられていたファインアクチュエータ等を流用することができる。また、一方の面が他方の面に対し $2\ \mu\text{m}$ 偏心した場合でも軸上波面収差が $0.07\ \text{rms}$ 以下であってほぼ回折限界まで集光可能である両面非球面对物レンズとして成形されているので、イメージサークル径を大きくすることができ、これにより、対物光学系の光軸に対して光ピックアップ装置やファインアクチュエータから射出される略平行光束の光軸が傾いても、波面収差性能が急激に劣化することが避けられる。

10

【 0 0 1 1 】

本発明は、以下に説明する技術的思想に基づいてなされた。即ち、発明者は、上述した課題を解決するに際して、上記出願にて提案した平凸単レンズにおけるディスク側の第 2 面を非球面化することにより、現実的な製造誤差範囲内（片側 $2\ \mu\text{m}$ 程度）での偏心公差において波面収差性能が劣化し難いように、偏心コマ収差の発生を抑えながら、より広いイメージサークル径を確保して、軸外像高でのコマ収差（正弦条件）を補正することにした。これにより、レンズをモールド成形する時に使用される金型同士の偏心を、実際上の有限な偏心公差内において許容できるようになるので、製造時における歩留まり（製造コスト）を確保することができる。さらに、非球面形状による補正力によって、軸外特性のコマ収差をも補正することが可能になり、超高 NA 単レンズであっても、良好な波面収差特性と十分な偏心公差マージンとが得られるようになったのである。

20

【 0 0 1 2 】

なお、ファインアクチュエータに取り付ける為の適度な厚みのコバを確保する為には、レンズ材料の屈折率は、1.6 以上であることが必要である。従来用いられていたプラスチックの屈折率は 1.5 程度であり、その他の特性（例えば、複屈折異方性の有無、等）をも考慮すると、高屈折率の材料が多くあり、設計のための選択肢を比較的多く取ることが可能なガラス材料を用いることが望ましい。レンズ材料としてガラス材料を用いた場合、ガラス材料はプラスチック材料に比べて熱（線）膨張係数も一桁以上小さいので、環境条件の変化に対しても（非球面）形状安定性が高く、信頼性を高める事が可能である。特に、本発明において対物光学系として用いられる両面非球面レンズの場合、略平行光を集光する為の有効な正のパワーは、略平行光が入射する面において殆ど発生しているので、その入射側の面の形状を安定的に維持する事が、重要である。また、高屈折材料であるガラスを用いれば、凸面の曲率をあまり大きくすることなく必要な屈折力を確保することができるので、マージナル光線付近でも面に対する入射角が緩和される。その結果、反射防止用コート設計及び実施において有利である。更には、ガラス材料は、プラスチック材料に比べて、コート後のレンズ取り扱いやコートの安定性においても、有利となる。

30

【 0 0 1 3 】

これに対して、プラスチック材料のような比較的低屈折率な材料によって製造されたレンズでは、必要な屈折力を確保するために曲率を大きくせざるを得ないので、マージナル光線付近での面に対する入射角が非常に大きくなってしまふ。そのため、温度変化に因って面形状（入射角）が変化し易いことと相まって、波面収差性能が劣化し易いのである。

40

【 0 0 2 1 】

【 発明の実施の形態 】

以下、図面に基づいて本発明による光ピックアップ用対物光学系の実施の形態を、説明する。図 1 は、本発明による光ピックアップ用対物光学系が組み込まれた光ディスク記録再生装置（詳しくは MO ディスクドライブ装置）の概要を示す一部透視斜視図である。本実施形態において、光情報媒体は光ディスク（更に詳しくは光磁気ディスク）2 として実現されている。

【 0 0 2 2 】

図 1 及びその一部拡大図である図 2 に示されるように、本実施形態における光ディスク記

50

録再生装置 1 は、光ディスク 2 をローディング及びアンローディング可能な箱形の筐体を有している。さらに、この筐体の底面のほぼ中央には、ローディングされた光ディスク 2 の中心をその回転軸 4 5 a の先端に固着してこの光ディスク 2 を回転駆動するスピンドルモータ 4 5 が配置され、このスピンドルモータ 4 5 の回転軸 4 5 a の先端に固着された光ディスク 2 の径方向と平行に、互いに平行な一対のガイドレール 4 2 a , 4 2 b が配置され、各ガイドレール 4 2 a , 4 2 b におけるスピンドル 4 5 とは反対側の位置には、各ガイドレール 4 2 a , 4 2 b と平行に両ガイドレール 4 2 a , 4 2 b の間に光情報記録用又は光情報再生用のレーザビーム（平行光束）1 を射出する光源モジュール 7 が、配置されている。

【 0 0 2 3 】

両ガイドレール 4 2 a , 4 2 b には、光源モジュール 7 から射出されたレーザビーム 1 を、光ディスク 2 の記録面における任意のトラックに向けて反射させるためのキャリッジ 4 0 が、摺動可能に取り付けられている。このキャリッジ 4 0 は、コイル 4 1 a , 4 1 b と図示せぬ永久磁石とによって夫々構成される一対のリニアモーターによって、両ガイドレール 4 2 a , 4 2 b にガイドされて、光ディスク 2 の半径方向（トラッキング方向）にスライド駆動される。このキャリッジ 4 0 の中心には、両ガイドレール 4 2 a , 4 2 b と平行に、光源モジュール 7 から射出されたレーザビーム 1 が射し込む開口 4 0 a が形成されている。この開口 4 0 a は、キャリッジ 4 0 の先端（スピンドルモータ 4 5 に近接する側）近傍まで達しており、その最奥部に、図 3 に示すようにレーザビーム 1 を光ディスク 2 の記録面に対して垂直に反射させる反射鏡 3 1 が、設置されている。そして、キャリッジ 4 0 における M O ディスク 2 に対向する面には、この反射鏡 3 1 によって反射されたレーザビーム 1 を通過させるための開口が、穿たれている。

【 0 0 2 4 】

この開口には、両面非球面単レンズである対物光学系 6 が、ファインアクチュエータ 5 によって、レーザビーム 1 と同軸に保持されている。ファインアクチュエータ 5 は、対物光学系 6 を保持するレンズ枠 1 2 と、キャリッジ 4 0 における M O ディスク 2 に対向する面上に固定された支持部 4 3 と、夫々の基端が支持部 4 3 に固定されているとともに夫々の先端にてレンズ枠 1 2 を軸方向（対物光学系 6 の光軸方向）に移動可能に保持する 4 本一組の支持ワイヤ 4 4 と、キャリッジ 4 0 の開口に対して固定された円弧形状の永久磁石 1 5 と、レンズ枠 1 2 の外周に設けられたフォーカスコイル 1 3 と、対物レンズ 1 1 のディスク側面において光軸と同軸に設けられた磁気コイル 1 4 とから、構成されている。レンズ枠 1 2 に保持された対物光学系 6 は、フォーカスコイル 1 3 に電流が流されてこの磁気コイル 1 4 が永久磁石 1 5 に対して相対的に吸引又は反発されることによって、その光軸方向に適宜直進駆動される。このようにして、光軸方向における位置が調整された対物光学系 6 に対して、反射鏡 3 1 によって反射されたレーザビーム 1 が、その光軸と同軸に入射する。対物光学系 6 は、このレーザビーム 1 を、M O ディスク 2 の記録面に収束させる。また、磁気コイル 1 4 は、M O ディスク 2 への光情報の記録時において、その記録面におけるレーザビーム 1 が収束されている箇所に磁界を印加する。

【 0 0 2 5 】

一方、光源モジュール 7 内には、レーザビーム 1 を発散光束として射出する半導体レーザ素子 1 8 , この半導体レーザ素子 1 8 から射出されたレーザビーム 1 を平行光束にするコリメートレンズ 2 0 , このコリメートレンズ 2 0 を透過したレーザビームを透過させる複合プリズムアッセイ 2 1 , 及び、この複合プリズムアッセイ 2 1 を透過したレーザビーム 1 をキャリッジ 4 0 の開口 4 0 a へ向けて反射する偏向ミラー 2 6 の他、レーザパワーセンサ 2 2 , ウォラストンプリズム 3 1 , ホログラム板 3 2 , 集光レンズ 3 3 , 及び、サーボ&データセンサ 2 4 が、内蔵されている。

【 0 0 2 6 】

上述の複合プリズムアッセイ 2 1 は、全体として互いに平行な上面及び底面を有し、側面 2 1 1 b に対して所定の鋭角をなす入射面 2 1 1 a と側面 2 1 1 b に対して 4 5 度をなす部分反射面 2 1 1 c とを有する第 1 プリズム 2 1 1 , この第 1 プリズム 2 1 1 c の部分反

10

20

30

40

50

射面 2 1 1 c に貼り付けられた部分反射面 2 1 2 a とこの部分反射面 2 1 2 a に対して夫々 4 5 度をなす射出面 2 1 2 b 及び側面 2 1 2 c とからなる直角プリズムである第 2 プリズム 2 1 2 , 並びに、この第 2 プリズム 2 1 2 の部分反射面 2 1 2 a に対してその斜面 2 1 3 a が平行となる様にこの第 2 プリズム 2 1 2 の側面 2 1 2 c に貼り付けられた直角プリズムである第 3 プリズム 2 1 3 から、構成されている。そして、この複合プリズムアッセイ 2 1 は、その側面 2 1 1 b が両ガイドレール 4 2 a , 4 2 b の軸方向 (即ち、キャリッジ 4 0 の移動方向) に対して垂直となるように、光源モジュール 7 内に固定されている。

【 0 0 2 7 】

また、偏向ミラー 2 6 は、光ディスク 2 の記録面に平行な軸を回転中心とする図示せぬガルバノモーターに取り付けられており、レーザビーム 1 を光ディスク 2 の記録面に垂直な方向に微小角度振ることができるようになっている。

【 0 0 2 8 】

以上のように構成される M O ドライブ装置 1 の動作の概略を、以下に説明する。先ず、情報記録時には、図示せぬ変調回路によって O N / O F F 変調された駆動電流が供給された半導体レーザ 1 8 は、この駆動電流に従って、断続的にレーザビーム 1 を発振する。

【 0 0 2 9 】

上述したコリメートレンズ 2 0 は、レーザビーム 1 が複合プリズムアッセイ 2 1 の入射面 2 1 1 a にて屈折されて側面 2 1 1 b と平行になるように、その光軸が複合プリズムアッセイ 2 1 の側面 2 1 1 b に対して傾いた状態で、固定されている。従って、このコリメータレンズ 2 0 を透過することによって平行光束とされたレーザビームのビーム断面は、この複合プリズムアッセイ 2 1 の入射面 2 1 1 にて屈折されることによって、光強度分布が楕円形から略円形に整形される。この入射面 2 1 1 にて屈折されたレーザビーム 1 は、側面 2 1 1 b と平行に第 1 プリズム 2 1 1 内を進み、部分反射面 2 1 1 c において、その一部のみレーザパワーセンサ 2 2 に向けて反射される。

【 0 0 3 0 】

レーザパワーセンサ 2 2 は、受光したレーザビーム 1 に基づいて、レーザビームの光量を示す信号を出力する。この信号が図示せぬレーザパワーコントロール回路に帰還されることによって、半導体レーザ 1 8 の出力が、所望の値となるように自動調整される。

【 0 0 3 1 】

一方、部分反射面 2 1 1 c を透過したレーザビーム 1 は、射出面 2 1 2 b を通ってこの複合プリズムアッセイ 2 1 から射出され、偏向ミラー 2 6 によって、キャリッジ 4 0 の開口 4 0 a 内に射し込む方向へ反射される。偏向ミラー 2 6 は、後述するサーボ&データセンサ 2 4 の出力に基づいて、レーザビーム 1 を、両ガイドレール 4 2 a , 4 2 b と平行な方向へ、正確に反射させる。従って、キャリッジ 4 0 がガイドレール 4 2 a , 4 2 b に沿ってどの位置に移動されていても、レーザビーム 1 は、開口 4 0 a 内に射し込み、反射鏡 3 1 によって、対物光学系 6 に向けて反射される。

【 0 0 3 2 】

後述するサーボ&データセンサ 2 4 の出力に基づいて生成された駆動電流がフォーカスコイル 1 3 に流されることにより、ファインアクチュエータ 5 は、対物光学系 6 の後側焦点 (光ディスク側焦点) を、光ディスク 2 の記録面 2 b と一致させる。従って、反射鏡 3 1 を介して対物光学系 6 へ入射したレーザビーム 1 は、この対物光学系 6 によって収束され、光ディスク 2 の保護層 2 a を通って、その記録面 2 b にてレーザスポットを形成する。この記録面 2 b におけるレーザスポットが形成された領域の磁化方向は、磁気コイル 1 4 によって印加されている磁気方向へ向けられ、これにより、光情報の記録がなされる。

【 0 0 3 3 】

光ディスク 2 の記録面 2 b に入射したレーザ光 1 の一部は、この記録面 2 b にて反射さ

10

20

30

40

50

れて、元の光路に沿って光源ユニット 7 まで戻る。この光源ユニット 7 に戻った反射光は、偏向ミラー 2 6 によって反射され、射出面 2 1 2 b から複合プリズムアッセイ 2 1 内に入射する。このようにして複合プリズムアッセイ 2 1 内に入射した反射光は、部分反射面 2 1 1 c にて反射されて、第 3 プリズム 2 1 3 の斜面 2 1 3 a を経て、ウォラストンプリズム 3 1 内に入射する。このウォラストンプリズム 3 1 は、入射した光のうち、特定方向を向いた直線偏光成分のみを透過する。このウォラストンプリズム 3 1 を透過した反射光は、ホログラム板 3 2 及び集光レンズ 3 3 を介してサーボ&データセンサ 2 4 によって受光される。このサーボ&データセンサ 2 4 は、受光した反射光から対物光学系 6 のサーボ制御状態（フォーカス誤差情報やトラッキング誤差情報）を示す信号を出力する。これらの出力信号は、図示せぬ制御回路によって、ガルバノモーター及びフォーカスコイル 1 3 の駆動電流に変換され、サーボが掛けられる。

10

【 0 0 3 4 】

なお、以上のような光情報の記録がなされている間に、スピンドルモータ 4 5 が光ディスク 2 を回転させるとともに、リニアモーターがキャリッジ 4 0 を移動させてトラッキングを行う。これにより、光ディスク 2 の記録面 2 b 上に、連続して光情報の記録がなされるのである。

【 0 0 3 5 】

一方、光ディスク 2 の記録面 2 b からの光情報の読取時には、半導体レーザー素子 1 8 は、低出力なレーザービーム 1 を連続的に射出し、磁気コイル 1 4 には駆動電流は流されない。この状態で、スピンドルモータ 4 5 が光ディスク 2 を回転させるとともにリニアモータがキャリッジ 4 0 を移動させてトラッキングを行うと、光ディスク 2 の記録面 2 b が対物光学系 6 によって収束されたレーザースポットによって走査され、その反射光がサーボ&データセンサ 2 4 によって受光される。この際、レーザービーム 1 の反射光の偏光方向は、光ディスク 2 の記録面 2 b における磁化方向に従って、所定の向きに回転される。従って、上述したウォラストンプリズム 3 1 が透過する偏光の向きが適宜調整されていれば、サーボ&データセンサ 2 4 に入射する反射光の光量は、記録面 2 b の磁化方向に従って回転するレーザービームの偏光方向の変化に、応じたものとなる。よって、サーボ&データセンサ 2 4 の出力から、光ディスク 2 の記録面 2 b に記録された光情報が再生され得るのである。

20

【 0 0 3 6 】

上述した対物光学系 6 は、上記 [課題を解決するための手段] において説明したように、光源側の面が正の屈折力を持つ非球面であるとともに、光ディスク 2 側の面が正又は負の屈折力を持つ非球面である両面非球面単レンズである。この対物光学系 6 は、0.8 以上の開口数を有する高性能レンズであり、一方の面が他方の面に対して 2 μ m 偏心した場合でも軸上波面収差が 0.07 μ m 以下であってほぼ回折限界まで集光可能であるという条件に従って、設計されている。具体的には、各面の形状を、光軸からの高さが h となる点の光軸上での接平面からの距離 $F_i(h)$ として下記式 (1) により表した場合に、下記式 (2) 乃至式 (5) を満足するように、設計されている。

30

【 0 0 3 7 】

$$F_i(h) = (h^2/r) / (1 + (1 - (1 +)h^2/r^2)^{1/2}) + A_4h^4 + A_6h^6 + A_8h^8 + A_{10}h^{10} + A_{12}h^{12} \dots \quad (1)$$

40

(但し、 i は面番号であり、 $F_1(h)$ は入射側の面形状であり、 $F_2(h)$ は射出側の面形状であり、 r はレンズ面の光軸上での曲率半径であり、 β は円錐係数であり、 $A_4, A_6, A_8, A_{10}, A_{12}$ は 4 次以上 12 次以下の各偶数次の非球面係数である。)

$$-2 \quad dF_1(h)/dh \quad +2 \quad \dots \quad (2)$$

$$-0.1 \quad dF_2(h)/dh \quad +0.1 \quad \dots \quad (3)$$

$$+0.5 \quad d^2F_1(h)/dh^2 \quad +3.5 \quad \dots \quad (4)$$

$$-0.2 \quad d^2F_2(h)/dh^2 \quad +0.2 \quad \dots \quad (5)$$

また、この単レンズは、実際の製造時には、1.6 以上の屈折率を有するガラス材料を、各面の形状に対応した成形面を有する一対の金型を用いてコンプレッションモールドすることによって、成形されている。

50

【 0 0 3 8 】

次に、上述した実施形態に基づく対物光学系 6 の具体的な実施例を 2 例、性能比較のための比較例とともに、提示する。

【 0 0 3 9 】

【実施例 1】

実施例 1 は、実際のメディア保護膜厚が 0 . 1 mm 程度である光ディスクを想定し、レーザービーム 1 の波長を $\lambda = 405 \text{ nm}$ とするとともに、必要な開口数を $NA = 0 . 85$ として、設計した例である。

【 0 0 4 0 】

図 4 は、実施例 1 による対物光学系 6 と、光ディスク 2 のメディア保護層表面 2 a 及び記録面 2 b とを、示す（但し、対物光学系 6 のフランジ 6 a の図示は省略されている）。実施例 1 による対物光学系 6 の具体的な数値構成は、表 1 に示されている。但し、表中における寸法と示す数値は、対物光学系 6 の焦点距離 f を 1 としたときの比率として、規格化されている。

【 0 0 4 1 】

表 1 において、面番号 R 1 が対物光学系 6 の光源側レンズ面、面番号 R 2 が対物光学系 6 の光ディスク側レンズ面、面番号 R 3 , R 4 が光ディスク 2 の保護層 2 a 及び記録面 2 b を、夫々示している。また、 F_{NO} , f , ω は、夫々、対物光学系 6 の F ナンバー、焦点距離、半画角（単位：degree）である。また、 r は各面の近軸曲率半径、 d は各面から次の面までのレンズ厚又はレンズ間隔、 n は各面から次の面までの媒質の波長 405 nm に対する屈折率、 ν_d は各面から次の面までの媒質のアッペ数、 n_d は各面から次の面までの媒質の d 線に対する屈折率である。なお、面番号 R 1 , R 2 によって夫々示される対物光学系 6 の光源側レンズ面及びディスク側レンズ面は共に非球面であり、それらの形状 ($F_1(h)$, $F_2(h)$) は、上記式 (1) によって表される。

【 0 0 4 2 】

なお、対物光学系 6 の光源側の面形状を規定するために上記式 (1) に適用される円錐係数 A_4 , A_6 , A_8 , A_{10} , A_{12} は、表 2 に示される。さらに、対物光学系 6 の光ディスク側の面形状を規定するために上記式 (1) に適用される円錐係数 A_4 , A_6 , A_8 , A_{10} , A_{12} は、表 3 に示される。

【 0 0 4 3 】

【表 1】

$$F_{NO}=1:0.588$$

$$f = 1.00$$

$$\omega = 0.5$$

面番号	r	d	n	ν_d	n_d
R 1	0.762	1.149	1.76250	40.5	1.73077
R 2	515.151	0.316	—	—	—
R 3	∞	0.052	1.62231	29.9	1.58547
R 4	∞	—	—	—	—

【 0 0 4 4 】

【表 2】

$$\kappa = -0.50308$$

$$A_4 = 0.21381 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = 0.16273 \times 10^{-1}$$

$$A_8 = -0.81118 \times 10^{-1}$$

$$A_{10} = 0.17431$$

$$A_{12} = -0.27567$$

【 0 0 4 5 】

10

【表 3】

$$\kappa = 0$$

$$A_4 = 0.42512$$

$$A_6 = -0.32856 \times 10^{+1}$$

$$A_8 = 0.11792 \times 10^{+2}$$

$$A_{10} = -0.22353 \times 10^{+2}$$

$$A_{12} = 0.17533 \times 10^{+2}$$

20

次に、対物光学系 6 の光源側レンズ面についての上記各係数を式 (1) に当てはめることによって得られた面形状 $F_1(h)$ と、この面形状 $F_1(h)$ を一次微分して得られた関数 $dF_1(h)/dh$ と、二次微分して得られた関数 $d^2F_1(h)/dh^2$ とに、夫々、 h の各値を代入して算出した結果を、表 4 に示す。同様に、対物光学系 6 のディスク側レンズ面についての上記各係数を式 (1) に当てはめることによって得られた面形状 $F_2(h)$ と、この面形状 $F_2(h)$ を一次微分して得られた関数 $dF_2(h)/dh$ と、二次微分して得られた関数 $d^2F_2(h)/dh^2$ とに、夫々、 h の各値を代入して算出した結果を、表 5 に示す。なお、下記表 4 における「相対的 h 」とは、開口数 $NA = 0.85$ における有効半径 (0.85 mm) を 1 として正規化した値である。また、下記表 5 における h の値は、光ディスク側の面の有効半径 (0.54 mm) を「相対的 h 」 = 1 として、各「相対的 h 」毎に逆算した高さである。

30

【 0 0 4 6 】

【表 4】

相对的h	h (mm)	$F_1(h)$	$dF_1(h)/dh$	$d^2F_1(h)/dh^2$
1	0.850	5.895×10^{-1}	1.54313	1.40102
0.9	0.765	4.495×10^{-1}	1.36776	2.46921
0.8	0.680	3.407×10^{-1}	1.15188	2.51497
0.7	0.595	2.528×10^{-1}	0.94863	2.24920
0.6	0.510	1.812×10^{-1}	0.76992	1.96254
0.5	0.425	1.234×10^{-1}	0.61332	1.73317
0.4	0.340	7.781×10^{-2}	0.47353	1.56527
0.3	0.255	4.327×10^{-2}	0.34580	1.44755
0.2	0.170	1.908×10^{-2}	0.22631	1.37010
0.1	0.085	4.748×10^{-3}	0.11193	1.32630
0	0	0	0	1.31216
-0.1	-0.085	4.748×10^{-3}	-0.11193	1.32630
-0.2	-0.170	1.908×10^{-2}	-0.22631	1.37010
-0.3	-0.255	4.327×10^{-2}	-0.34580	1.44755
-0.4	-0.340	7.781×10^{-2}	-0.47353	1.56527
-0.5	-0.425	1.234×10^{-1}	-0.61332	1.73317
-0.6	-0.510	1.812×10^{-1}	-0.76992	1.96254
-0.7	-0.595	2.528×10^{-1}	-0.94863	2.24920
-0.8	-0.680	3.407×10^{-1}	-1.15188	2.51497
-0.9	-0.765	4.495×10^{-1}	-1.36776	2.46921
-1	-0.850	5.895×10^{-1}	-1.54313	1.40102

10

20

30

【 0 0 4 7 】

【表 5】

相対的h	h (mm)	$F_2(h)$	$dF_2(h)/dh$	$d^2F_2(h)/dh^2$	
1	0.540	2.825×10^{-4}	-0.00651	-0.18506	
0.9	0.486	2.288×10^{-4}	0.00281	-0.15089	
0.8	0.432	1.808×10^{-4}	0.00965	-0.10333	
0.7	0.378	1.385×10^{-4}	0.01398	-0.05592	
0.6	0.324	1.018×10^{-4}	0.01551	0.00035	
0.5	0.270	7.071×10^{-5}	0.01399	0.05378	10
0.4	0.216	4.527×10^{-5}	0.01014	0.08344	
0.3	0.162	2.547×10^{-5}	0.00560	0.07895	
0.2	0.108	1.132×10^{-5}	0.00208	0.04905	
0.1	0.054	2.830×10^{-6}	0.00036	0.01600	
0	0	0	0	0.00194	
-0.1	-0.054	2.830×10^{-6}	-0.00036	0.01600	
-0.2	-0.108	1.132×10^{-5}	-0.00208	0.04905	20
-0.3	-0.162	2.547×10^{-5}	-0.00560	0.07895	
-0.4	-0.216	4.527×10^{-5}	-0.01014	0.08344	
-0.5	-0.270	7.071×10^{-5}	-0.01399	0.05378	
-0.6	-0.324	1.018×10^{-4}	-0.01551	0.00035	
-0.7	-0.378	1.385×10^{-4}	-0.01398	-0.05592	
-0.8	-0.432	1.808×10^{-4}	-0.00965	-0.10333	
-0.9	-0.486	2.288×10^{-4}	-0.00281	-0.15089	30
-1	-0.540	2.825×10^{-4}	0.00651	-0.18506	

表4中の $dF_1(h)/dh$ は、 $-1.54313 \sim 1.54313$ の範囲内に分布しているので、第1実施例は、上記式(2)に規定する条件を満足している。同様に、 $d^2F_1(h)/dh^2$ は、 $1.31216 \sim 2.51497$ の範囲内に分布しているので、第1実施例は、上記式(4)に規定する条件を満足している。また、表5中の $dF_2(h)/dh$ は、 $-0.01551 \sim 0.01551$ の範囲内に分布しているので、第1実施例は、上記式(3)に規定する条件を満足している。同様に、 $d^2F_2(h)/dh^2$ は、 $-0.18506 \sim 0.08344$ の範囲内に分布しているので、第1実施例は、上記式(5)に規定する条件を満足している。なお、図5は、上記表4及び表5に示した各算出値をプロットしたグラフである。

【0048】

図6は、波長405nmに対する対物光学系6の球面収差SA(実線)及び正弦条件SC(破線)を示すグラフである。図6から明らかなように、実施例1の対物光学系6は、波長405nmに対して球面収差及びコマ収差が良好に補正されていることが判る。

【0049】

また、図7は、波長405nmに対する対物光学系6のメリジオナル面内における波面収差を示し、同図(A)は、光軸上に収束する同族光線の射出瞳におけるメリジオナル面内での瞳座標(横軸:瞳径)と波面収差量(縦軸:単位[PV])との関係を示すグラフであり、同図(B)は、像面における像高 $Y=0.003$ (単位:[mm])の点に収束する同族光線の射出瞳におけるメリジオナル面内での瞳座標と波面収差量との関係を示すグラフで

10

20

30

40

50

あり、同図（C）は、像面における像高 $Y = 0.006$ の点に収束する同族光線の射出瞳におけるメリジオナル面内での瞳座標と波面収差量との関係を示すグラフであり、同図（D）は、像面における像高 $Y = 0.009$ の点に収束する同族光線の射出瞳におけるメリジオナル面内での瞳座標と波面収差量との関係を示すグラフである。この図7から明らかなように、実施例1の対物光学系6は、波長 405 nm に対して波面収差が良好に補正され、イメージサークル径が十分に大きい（像高 $Y = 0.006$ までは、マレシャルの評価基準値（ 0.07 rms ）におよそ相当する $\pm 0.2\text{ PV}$ の範囲にほぼ収まる）ことが判る。

【0050】

また、図8は、対物光学系6の光源側の面と光ディスク側の面との偏心率（DEC）をパラメータとした像高（横軸：単位 $[\text{mm}]$ ）と波面収差量（縦軸：単位 $[\text{rms}]$ ）との関係を示すグラフであり、カーブDEC00は偏心率なしの場合を示し、カーブDEC10は偏心率 $1.0\text{ }\mu\text{m}$ の場合を示し、カーブDEC20は偏心率 $2.0\text{ }\mu\text{m}$ の場合を示し、カーブPLANEは比較用に平凸レンズの場合を示す。この図8から明らかなように、実施例1の対物光学系6は、偏心率が $2\text{ }\mu\text{m}$ あっても、軸上波面収差がマレシャルの評価基準値（ 0.07 rms ）以下であり、更に、実用上の限界付近である 0.05 rms 以下であることが判る。

【0051】

以上の各図に対する分析より、実施例1による対物光学系6は、光情報記録用及び読出用として使用するに足る程度に高性能であることが判る。

【0052】

【実施例2】

実施例2は、実際のメディア保護膜厚が 0.01 mm 程度である表面記録に近い光ディスクを想定し、レーザービーム1の波長を $= 655\text{ nm}$ とするとともに、必要な開口数を $NA = 0.80$ として、設計した例である。

【0053】

図9は、実施例2による対物光学系6と、光ディスク2のメディア保護層表面2a及び記録面2bとを、示す（但し、対物光学系6のフランジ6aの図示は省略されている）。実施例2による対物光学系6の具体的な数値構成は、表6に示されている。但し、表中における寸法と示す数値は、対物光学系6の焦点距離 f を1としたときの比率として、規格化されている。

【0054】

表6中の各記号の意味は、上記実施例1の場合と同じである。面番号 $R1$ 、 $R2$ によって夫々示される対物光学系6の光源側レンズ面及びディスク側レンズ面は共に非球面であり、それらの形状（ $F_1(h)$ 、 $F_2(h)$ ）は、上記式（1）によって表される。

【0055】

なお、対物光学系6の光源側の面形状を規定するために上記式（1）に適用される円錐係数及び各非球面係数 A_4 、 A_6 、 A_8 、 A_{10} 、 A_{12} は、表7に示される。さらに、対物光学系6の光ディスク6側の面形状を規定するために上記式（1）に適用される円錐係数及び各非球面係数 A_4 、 A_6 、 A_8 、 A_{10} 、 A_{12} は、表8に示される。

【0056】

【表6】

$$F_{N0}=1:0.625$$

$$f = 1.00$$

$$\omega = 0.5$$

面番号	r	d	n	ν_d	n_d
R 1	0.735	1.059	1.72549	40.5	1.73077
R 2	-21.587	0.391	—	—	—
R 3	∞	0.005	1.48924	57.4	1.49176
R 4	∞	—	—	—	—

10

【 0 0 5 7 】

【 表 7 】

$$\kappa = -0.47005$$

$$A_4 = 0.10190 \times 10^{-1}$$

$$A_6 = -0.62926 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -0.49576 \times 10^{-1}$$

20

$$A_{10} = 0.33730 \times 10^{-1}$$

$$A_{12} = -0.28355$$

【 0 0 5 8 】

【 表 8 】

$$\kappa = 0$$

$$A_4 = 0.61166$$

$$A_6 = -0.47578 \times 10^{+1}$$

30

$$A_8 = 0.17983 \times 10^{+2}$$

$$A_{10} = -0.35919 \times 10^{+2}$$

$$A_{12} = 0.29822 \times 10^{+2}$$

次に、対物光学系 6 の光源側レンズ面について上記各係数を式 (1) に当てはめることによって得られた面形状 $F_1(h)$ と、この面形状 $F_1(h)$ を一次微分して得られた関数 $dF_1(h)/dh$ と、二次微分して得られた関数 $d^2F_1(h)/dh^2$ とに、夫々、 h の各値を代入して算出した結果を、表 9 に示す。同様に、対物光学系 6 のディスク側レンズ面について上記各係数を式 (1) に当てはめることによって得られた面形状 $F_2(h)$ と、この面形状 $F_2(h)$ を一次微分して得られた関数 $dF_2(h)/dh$ と、二次微分して得られた関数 $d^2F_2(h)/dh^2$ とに、夫々、 h の各値を代入して算出した結果を、表 10 に示す。なお、下記表 9 における「相対的 h 」とは、開口数 $NA = 0.80$ における有効径 (0.80 mm) を 1 として正規化した値である。また、下記表 10 における h の値は、光ディスク側の面の有効径 (0.53 mm) を「相対的 h 」= 1 として、各「相対的 h 」毎に逆算した高さである。

40

【 0 0 5 9 】

【 表 9 】

相对的h	h (mm)	$F_1(h)$	$dF_1(h)/dh$	$d^2F_1(h)/dh^2$
1	0.80	5.479×10^{-1}	1.46109	1.74594
0.9	0.72	4.159×10^{-1}	1.29045	2.38825
0.8	0.64	3.143×10^{-1}	1.09543	2.41976
0.7	0.56	2.328×10^{-1}	0.90954	2.21003
0.6	0.48	1.667×10^{-1}	0.74264	1.96544
0.5	0.40	1.134×10^{-1}	0.59402	1.75828
0.4	0.32	7.148×10^{-2}	0.45995	1.60152
0.3	0.24	3.974×10^{-2}	0.33657	1.48993
0.2	0.16	1.752×10^{-2}	0.22056	1.41594
0.1	0.08	4.359×10^{-3}	0.10917	1.37379
0	0	0	0	1.36011
-0.1	-0.08	4.359×10^{-3}	-0.10917	1.37379
-0.2	-0.16	1.752×10^{-2}	-0.22056	1.41594
-0.3	-0.24	3.974×10^{-2}	-0.33657	1.48993
-0.4	-0.32	7.148×10^{-2}	-0.45995	1.60152
-0.5	-0.40	1.134×10^{-1}	-0.59402	1.75828
-0.6	-0.48	1.667×10^{-1}	-0.74264	1.96544
-0.7	-0.56	2.328×10^{-1}	-0.90954	2.21003
-0.8	-0.64	3.143×10^{-1}	-1.09543	2.41976
-0.9	-0.72	4.159×10^{-1}	-1.29045	2.38825
-1	-0.80	5.479×10^{-1}	-1.46109	1.74594

10

20

30

【 0 0 6 0 】

【表 1 0】

相対的h	h (mm)	$F_2(h)$	$dF_2(h)/dh$	$d^2F_2(h)/dh^2$
1	0.530	-6.486×10^{-3}	-0.01769	-0.16890
0.9	0.477	-5.255×10^{-3}	-0.00829	-0.16706
0.8	0.424	-4.154×10^{-3}	-0.00051	-0.12624
0.7	0.371	-3.182×10^{-3}	0.00501	-0.08001
0.6	0.318	-2.339×10^{-3}	0.00768	-0.01875
0.5	0.265	-1.625×10^{-3}	0.00700	0.04207
0.4	0.212	-1.041×10^{-3}	0.00374	0.07419
0.3	0.159	-5.855×10^{-4}	-0.00009	0.06300
0.2	0.106	-2.602×10^{-4}	-0.00236	0.01950
0.1	0.053	-6.506×10^{-6}	-0.00210	-0.02681
0	0	0	0	-0.04632
-0.1	-0.053	-6.506×10^{-6}	0.00210	-0.02681
-0.2	-0.106	-2.602×10^{-4}	0.00236	0.01950
-0.3	-0.159	-5.855×10^{-4}	0.00009	0.06300
-0.4	-0.212	-1.041×10^{-3}	-0.00374	0.07419
-0.5	-0.265	-1.625×10^{-3}	-0.00700	0.04207
-0.6	-0.318	-2.339×10^{-3}	-0.00768	-0.01875
-0.7	-0.371	-3.182×10^{-3}	-0.00501	-0.08001
-0.8	-0.424	-4.154×10^{-3}	0.00051	-0.12624
-0.9	-0.477	-5.255×10^{-3}	0.00829	-0.16706
-1	-0.530	-6.486×10^{-3}	0.01769	-0.16890

表 9 中の $dF_1(h)/dh$ は、 $-1.46109 \sim 1.46109$ の範囲内に分布しているので、第 2 実施例は、上記式 (2) に規定する条件を満足している。同様に、 $d^2F_1(h)/dh^2$ は、 $1.36011 \sim 2.41976$ の範囲内に分布しているので、第 2 実施例は、上記式 (4) に規定する条件を満足している。また、表 10 中の $dF_2(h)/dh$ は、 $-0.01769 \sim 0.01769$ の範囲内に分布しているので、第 2 実施例は、上記式 (3) に規定する条件を満足している。同様に、 $d^2F_2(h)/dh^2$ は、 $-0.16890 \sim 0.07419$ の範囲内に分布しているので、第 2 実施例は、上記式 (5) に規定する条件を満足している。なお、図 10 は、上記表 9 及び表 10 に示した各算出値をプロットしたグラフである。

【0061】

図 11 は、波長 655 nm に対する対物光学系 6 の球面収差 SA (実線) 及び正弦条件 SC (破線) を示すグラフである。図 11 から明らかなように、実施例 2 の対物光学系 6 は、波長 655 nm に対して球面収差及びコマ収差が良好に補正されていることが判る。

【0062】

また、図 12 は、波長 655 nm に対する対物光学系 6 のメリジオナル面内における波面収差を示し、同図 (A) は、光軸上に収束する同族光線の射出瞳におけるメリジオナル面内での瞳座標 (横軸：瞳径) と波面収差量 (縦軸：単位 [PV]) との関係を示すグラフであり、同図 (B) は、像面における像高 $Y = 0.003$ (単位：[mm]) の点に収束する同族光線の射出瞳におけるメリジオナル面内での瞳座標と波面収差量との関係を示すグラフ

10

20

30

40

50

であり、同図（C）は、像面における像高 $Y = 0.006$ の点に収束する同族光線の射出瞳におけるメリジオナル面内での瞳座標と波面収差量との関係を示すグラフであり、同図（D）は、像面における像高 $Y = 0.009$ の点に収束する同族光線の射出瞳におけるメリジオナル面内での瞳座標と波面収差量との関係を示すグラフである。この図12から明らかなように、実施例2の対物光学系6は、波長 655 nm に対して波面収差が良好に補正され、イメージサークル径が十分に大きい（像高 $Y = 0.006$ までは、マレシャルの評価基準値（ 0.07 rms ）におよそ相当する $\pm 0.2\text{ PV}$ の範囲にほぼ収まる）ことが判る。

【0063】

また、図13は、対物光学系6の光源側の面と光ディスク側の面との偏心率（DEC）をパラメータとした像高（横軸：単位 $[\text{mm}]$ ）と波面収差量（縦軸：単位 $[\text{rms}]$ ）との関係を示すグラフであり、カーブDEC00は偏心率なしの場合を示し、カーブDEC10は偏心率 $1.0\text{ }\mu\text{m}$ の場合を示し、カーブDEC20は偏心率 $2.0\text{ }\mu\text{m}$ の場合を示し、カーブDEC30は偏心率 $3.0\text{ }\mu\text{m}$ の場合を示し、PLANEは比較用に平凸レンズの場合を示す。この図13から明らかなように、実施例2の対物光学系6は、偏心率が $2\text{ }\mu\text{m}$ であっても、軸上波面収差がマレシャルの評価基準値（ 0.07 rms ）以下であり、更に、実用上の限界付近である 0.05 rms 以下であることが判る。

【0064】

以上の各図に対する分析より、実施例2による対物光学系6は、光情報記録用及び読出用として使用するに足る程度に高性能であることが判る。

【0065】

【比較例】

上記各実施例との性能の比較のために設計された比較例は、第1実施例と同じく、実際のメディア保護膜厚が 0.1 mm である光ディスクを対象とし、レーザービーム1の波長を $= 405\text{ nm}$ とし、開口数を $NA = 0.85$ としている。

【0066】

図14は、本比較例による対物光学系6'と、光ディスク2のメディア保護層表面2a及び記録面2bとを、示す。本比較例による対物光学系6'の具体的な数値構成は、表11に示されている。但し、表中における寸法と示す数値は、対物光学系6'の焦点距離 f を1としたときの比率として、規格化されている。

【0067】

表11中の各記号の意味は、上記実施例1の場合と同じである。面番号 $R1$ 、 $R2$ によって夫々示される対物光学系6'の光源側レンズ面及びディスク側レンズ面は共に非球面であり、それらの形状（ $F_1(h)$ 、 $F_2(h)$ ）は、上記式（1）によって表される。

【0068】

なお、対物光学系6'の光源側の面形状を規定するために上記式（1）に適用される円錐係数及び各非球面係数 A_4 、 A_6 、 A_8 、 A_{10} 、 A_{12} は、表12に示される。さらに、対物光学系6'の光ディスク6側の面形状を規定するために上記式（1）に適用される円錐係数及び各非球面係数 A_4 、 A_6 、 A_8 、 A_{10} 、 A_{12} は、表13に示される。

【0069】

【表11】

$$F_{N0}=1:0.588$$

$$f = 1.00$$

$$\omega = 0.5$$

面番号	r	d	n	ν_d	n_d
R 1	0.741	1.005	1.76250	40.5	1.73077
R 2	11.053	0.382	—	—	—
R 3	∞	0.052	1.62231	29.9	1.58547
R 4	∞	—	—	—	—

10

【 0 0 7 0 】

【表 1 2】

$$\kappa = -0.38523$$

$$A_4 = 0.16890 \times 10^{-2}$$

$$A_6 = 0.57349 \times 10^{-2}$$

$$A_8 = -0.35097 \times 10^{-2}$$

20

$$A_{10} = 0.23743 \times 10^{-1}$$

$$A_{12} = -0.28827 \times 10^{-1}$$

【 0 0 7 1 】

【表 1 3】

$$\kappa = 0$$

$$A_4 = 0.72252$$

$$A_6 = -0.21168 \times 10^{+1}$$

30

$$A_8 = 0.44234 \times 10^{+1}$$

$$A_{10} = -0.53047 \times 10^{+1}$$

$$A_{12} = 0.27766 \times 10^{+1}$$

次に、本比較例による対物光学系 6' の光源側の面について上記各係数を式 (1) に当てはめることによって得られた面形状 $F_1(h)$ と、この面形状 $F_1(h)$ を一次微分して得られた関数 $dF_1(h)/dh$ と、二次微分して得られた関数 $d^2F_1(h)/dh^2$ とに、夫々、 h の各値を代入して算出した結果を、表 1 4 に示す。同様に、対物光学系 6' の光ディスク側の面について上記各係数を式 (1) に当てはめることによって得られた面形状 $F_2(h)$ と、この面形状 $F_2(h)$ を一次微分して得られた関数 $dF_2(h)/dh$ と、二次微分して得られた関数 $d^2F_2(h)/dh^2$ とに、夫々、 h の各値を代入して算出した結果を、表 1 5 に示す。なお、下記表 1 4 における「相対的 h 」とは、開口数 $NA = 0.85$ における有効径 (0.85 mm) を 1 として正規化した値である。また、下記表 1 5 における h の値は、光ディスク側の面の有効径 (0.57 mm) を「相対的 h 」= 1 として、各「相対的 h 」毎に逆算した高さである。

40

【 0 0 7 2 】

【表 1 4】

相对的h	h (mm)	$F_1(h)$	$dF_1(h)/dh$	$d^2F_1(h)/dh^2$
1	0.850	6.765×10^{-1}	2.62573	15.9253
0.9	0.765	4.967×10^{-1}	1.76686	6.66767
0.8	0.680	3.678×10^{-1}	1.32783	4.06574
0.7	0.595	2.686×10^{-1}	1.03706	2.90623
0.6	0.510	1.904×10^{-1}	0.81916	2.27801
0.5	0.425	1.287×10^{-1}	0.64278	1.90210
0.4	0.340	8.066×10^{-2}	0.49193	1.66495
0.3	0.255	4.468×10^{-2}	0.35736	1.51273
0.2	0.170	1.965×10^{-2}	0.23315	1.41779
0.1	0.085	4.883×10^{-3}	0.11513	1.36558
0	0	0	0	1.34890
-0.1	-0.085	4.883×10^{-3}	-0.11513	1.36558
-0.2	-0.170	1.965×10^{-2}	-0.23315	1.41779
-0.3	-0.255	4.468×10^{-2}	-0.35736	1.51273
-0.4	-0.340	8.066×10^{-2}	-0.49193	1.66495
-0.5	-0.425	1.287×10^{-1}	-0.64278	1.90210
-0.6	-0.510	1.904×10^{-1}	-0.81916	2.27801
-0.7	-0.595	2.686×10^{-1}	-1.03706	2.90623
-0.8	-0.680	3.678×10^{-1}	-1.32783	4.06574
-0.9	-0.765	4.967×10^{-1}	-1.76686	6.66767
-1	-0.850	6.765×10^{-1}	-2.62573	15.9253

10

20

30

【 0 0 7 3 】

【表 1 5】

相対的h	h (mm)	$F_2(h)$	$dF_2(h)/dh$	$d^2F_2(h)/dh^2$	
1	0.570	1.444×10^{-2}	0.24628	0.70689	
0.9	0.513	1.175×10^{-2}	0.20731	0.66187	
0.8	0.456	9.323×10^{-3}	0.17067	0.62482	
0.7	0.399	7.161×10^{-3}	0.13600	0.59175	
0.6	0.342	5.273×10^{-3}	0.10336	0.55098	
0.5	0.285	3.668×10^{-3}	0.07360	0.48910	10
0.4	0.228	2.350×10^{-3}	0.04811	0.40109	
0.3	0.171	1.322×10^{-3}	0.02821	0.29559	
0.2	0.114	5.879×10^{-4}	0.01436	0.19297	
0.1	0.057	1.470×10^{-4}	0.00568	0.11798	
0	0	0	0	0.09047	
-0.1	0.057	1.470×10^{-4}	-0.00568	0.11798	
-0.2	0.114	5.879×10^{-4}	-0.01436	0.19297	20
-0.3	0.171	1.322×10^{-3}	-0.02821	0.29559	
-0.4	0.228	2.350×10^{-3}	-0.04811	0.40109	
-0.5	0.285	3.668×10^{-3}	-0.07360	0.48910	
-0.6	0.342	5.273×10^{-3}	-0.10336	0.55098	
-0.7	0.399	7.161×10^{-3}	-0.13600	0.59175	
-0.8	0.456	9.323×10^{-3}	-0.17067	0.62482	
-0.9	0.513	1.175×10^{-2}	-0.20731	0.66187	30
-1	0.570	1.444×10^{-2}	-0.24628	0.70689	

表 1 4 中の $dF_1(h)/dh$ は、 $-2.62573 \sim 2.62573$ の範囲内に分布しているので、本比較例は、上記式 (2) に規定する条件を満足していない。同様に、 $d^2F_1(h)/dh^2$ は、 $1.34890 \sim 15.9253$ の範囲内に分布しているので、本比較例は、上記式 (4) に規定する条件を満足していない。また、表 1 5 中の $dF_2(h)/dh$ は、 $-0.24628 \sim 0.24628$ の範囲内に分布しているので、本比較例は、上記式 (3) に規定する条件を満足していない。同様に、 $d^2F_2(h)/dh^2$ は、 $0.09047 \sim 0.70689$ の範囲内に分布しているので、本比較例は、上記式 (5) に規定する条件を満足していない。なお、図 1 5 は、上記表 1 4 及び表 1 5 に示した各算出値をプロットしたグラフである。

【0074】

図 1 6 は、波長 405 nm に対する対物光学系 6' の球面収差 SA (実線) 及び正弦条件 SC (破線) を示すグラフである。

【0075】

また、図 1 7 は、波長 405 nm に対する対物光学系 6' のメリジオナル面内における波面収差を示し、同図 (A) は、光軸上に収束する同族光線の射出瞳におけるメリジオナル面内での瞳座標 (横軸: 瞳径) と波面収差量 (縦軸: 単位 [PV]) との関係を示すグラフであり、同図 (B) は、像面における像高 $Y = 0.003$ (単位: [mm]) の点に収束する同族光線の射出瞳におけるメリジオナル面内での瞳座標と波面収差量との関係を示すグラフであり、同図 (C) は、像面における像高 $Y = 0.006$ の点に収束する同族光線の射出瞳

10

20

30

40

50

におけるメリジオナル面内での瞳座標と波面収差量との関係を示すグラフであり、同図(D)は、像面における像高 $Y = 0.009$ の点に収束する同族光線の射出瞳におけるメリジオナル面内での瞳座標と波面収差量との関係を示すグラフである。

【0076】

また、図18は、対物光学系6'の光源側の面と光ディスク側の面との偏心率(DEC)をパラメータとした像高(横軸:単位[mm])と波面収差量(縦軸:単位[rms])との関係を示すグラフであり、カーブDEC00は偏心率なしの場合を示し、カーブDEC05は偏心率 $0.5\mu\text{m}$ の場合を示し、カーブDEC10は偏心率 $1.0\mu\text{m}$ の場合を示し、カーブDEC15は偏心率 $1.5\mu\text{m}$ の場合を示し、カーブDEC20は偏心率 $2.0\mu\text{m}$ の場合を示す。この図18から明らかなように、上記式(2)乃至式(5)を満足していない本比較例による対物光学系6'は、少なくとも偏心率が $1.5\mu\text{m}$ 以上であると、軸上波面収差がマレシャルの評価基準値(0.07 rms)を越えてしまい、偏心率が1.0以上でも、実用上の限界付近である 0.05 rms を越えてしまう。従って、本比較例によると、実質的に偏心率公差は $0.5\mu\text{m}$ 程度しかないの

10

【0077】

【発明の効果】

以上のように構成された本発明の光ピックアップ用対物光学系によれば、開口数が多い単レンズからなるにも拘わらず、イメージサークル径が大きい為に、ピックアップ装置(ファインアクチュエータ)等に入射する略平行光束の軸に対してそれ自体の光軸が多少傾いたとしても、波面収差性能が急激に劣化することがないので、ピックアップ装置(ファインアクチュエータ)等に対する組付けマージンが大きい。しかも、モールド成形する際にある程度の公差内で偏心率しても、性能劣化が殆ど無いので、歩留まり良く製造することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の光ピックアップ用対物光学系の実施形態である光ディスク記録再生装置の概略斜視図

【図2】 図1の一部拡大図

【図3】 ファインアクチュエータ及び対物光学系の断面図

【図4】 実施例1の対物光学系を示すレンズ図

【図5】 実施例1の対物光学系の各面の形状に基づいて算出した式(2)~(5)の関数の値をプロットしたグラフ

30

【図6】 実施例1の対物光学系の球面収差及び正弦条件を示すグラフ

【図7】 メリジオナル面における波面収差を示すグラフ

【図8】 偏心率をパラメータとして実施例1の対物光学系による像高と波面収差量との関係を示すグラフ

【図9】 実施例2の対物光学系を示すレンズ図

【図10】 実施例2の対物光学系の各面の形状に基づいて算出した式(2)~(5)の関数の値をプロットしたグラフ

【図11】 実施例2の対物光学系の球面収差及び正弦条件を示すグラフ

【図12】 メリジオナル面における波面収差を示すグラフ

40

【図13】 偏心率をパラメータとして実施例2の対物光学系による像高と波面収差量との関係を示すグラフ

【図14】 比較例の対物光学系を示すレンズ図

【図15】 比較例の対物光学系の各面の形状に基づいて算出した式(2)~(5)の関数の値をプロットしたグラフ

【図16】 比較例の対物光学系の球面収差及び正弦条件を示すグラフ

【図17】 メリジオナル面における波面収差を示すグラフ

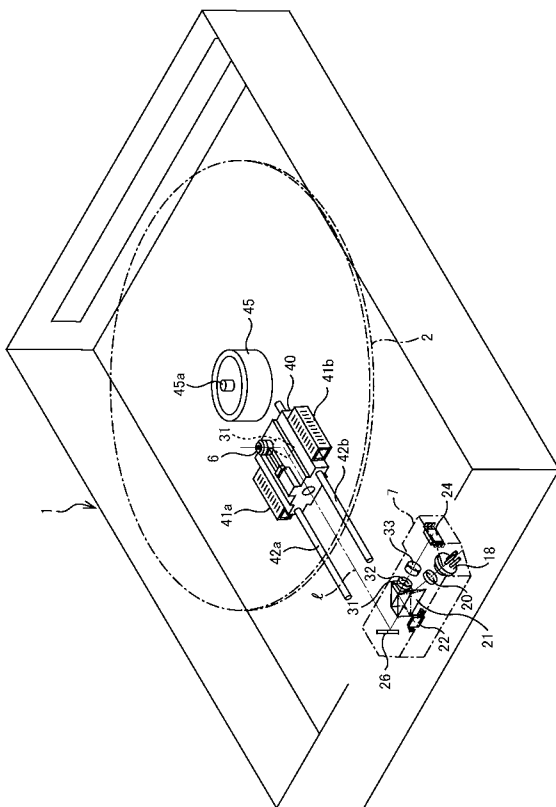
【図18】 偏心率をパラメータとして比較例の対物光学系による像高と波面収差量との関係を示すグラフ

【符号の説明】

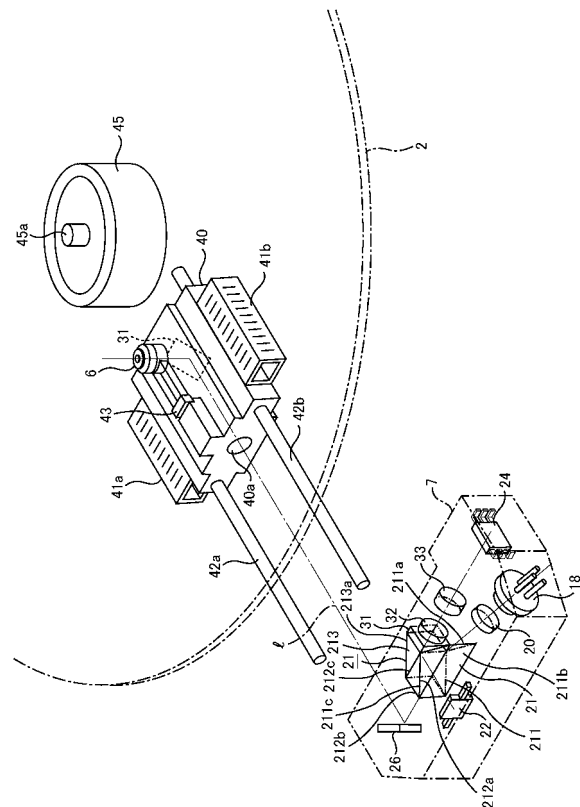
50

- 1 光ディスク記録再生装置
- 2 光ディスク
- 5 ファインアクチュエータ
- 6 対物光学系
- 18 半導体レーザー素子
- 20 コリメータレンズ
- 31 反射鏡

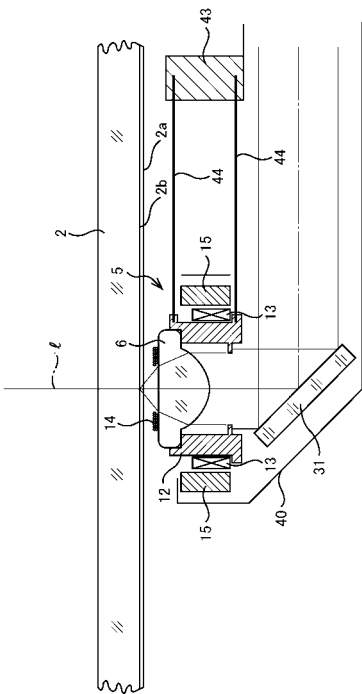
【図 1】



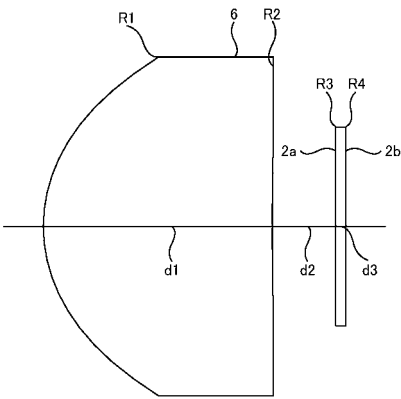
【図 2】



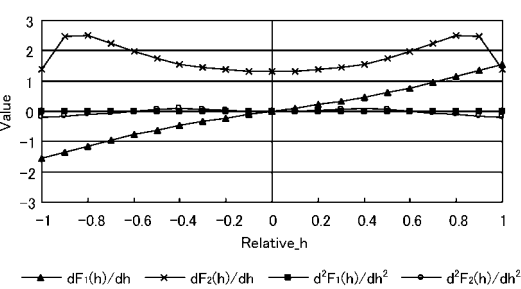
【図 3】



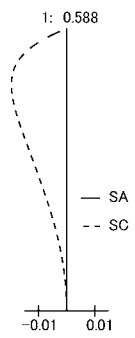
【図 4】



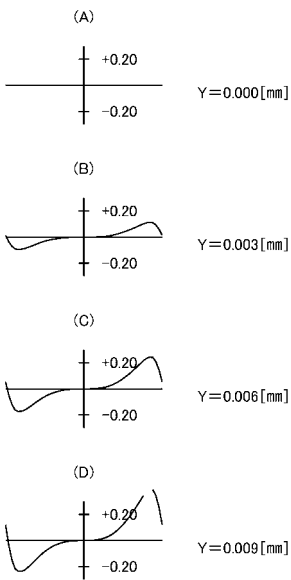
【図 5】



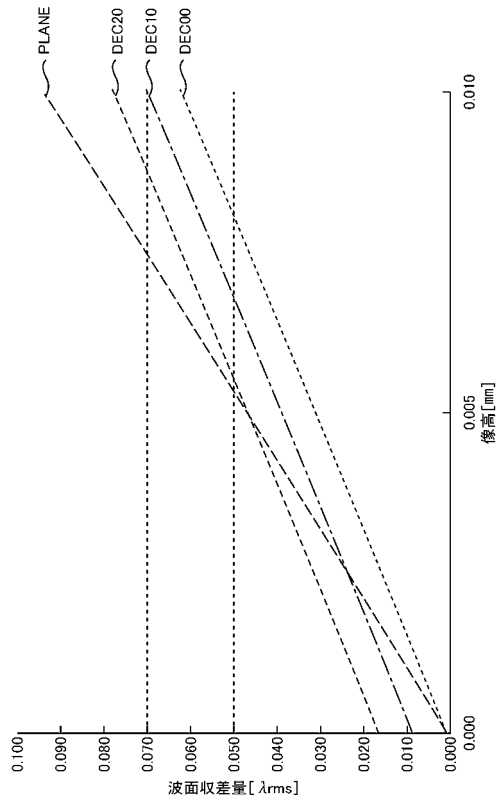
【図 6】



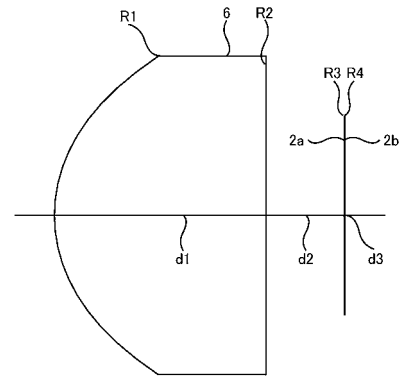
【図 7】



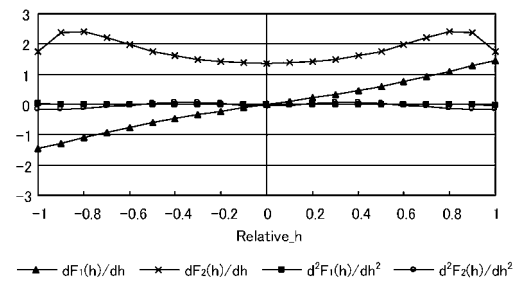
【図 8】



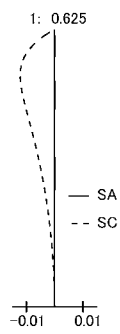
【図 9】



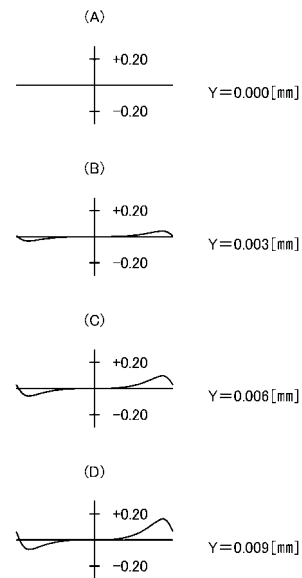
【図 10】



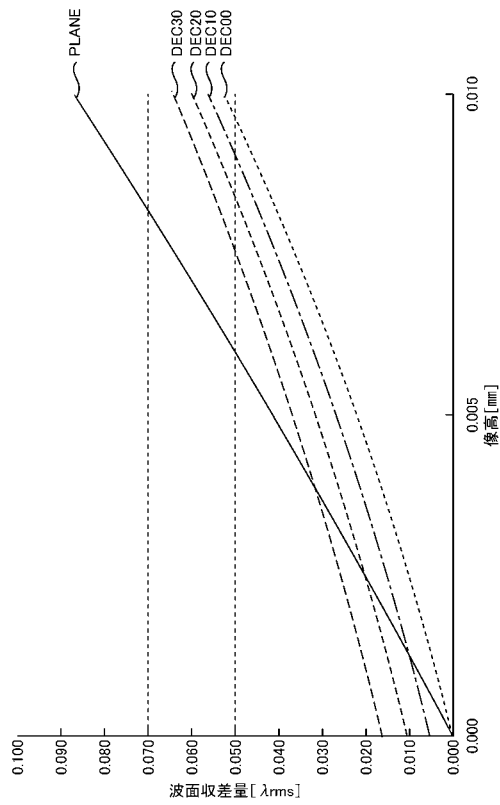
【図 11】



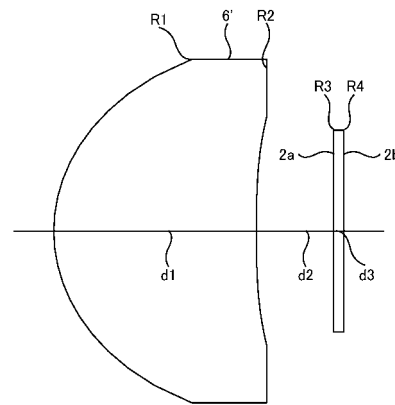
【図 12】



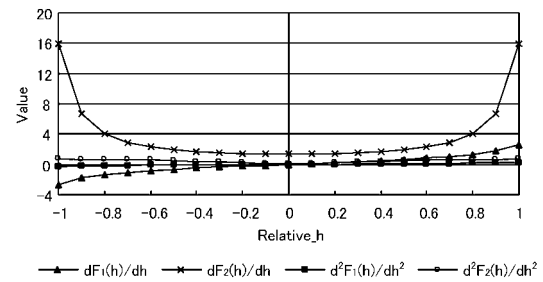
【図 13】



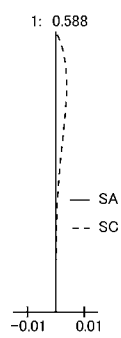
【図 14】



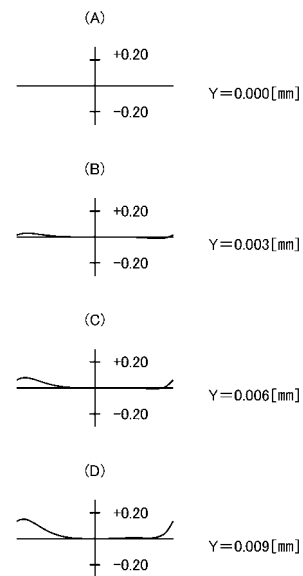
【図 15】



【図 16】



【図 17】



【図 18】

