

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2021-131925
(P2021-131925A)

(43) 公開日 令和3年9月9日(2021.9.9)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G 1 1 B 7/1374 (2012.01)	G 1 1 B 7/1374	2H087
G 1 1 B 7/004 (2006.01)	G 1 1 B 7/004 Z	5D090
G O 2 B 13/00 (2006.01)	G O 2 B 13/00	5D789
G O 2 B 13/18 (2006.01)	G O 2 B 13/18	

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願2021-84888 (P2021-84888)	(71) 出願人	314012076 パナソニックIPマネジメント株式会社
(22) 出願日	令和3年5月19日(2021.5.19)		大阪府大阪市中央区城見2丁目1番61号
(62) 分割の表示	特願2020-503829 (P2020-503829) の分割	(74) 代理人	110002000 特許業務法人栄光特許事務所
原出願日	令和1年10月23日(2019.10.23)	(72) 発明者	金馬 慶明 大阪府門真市大字門真1006番地 パナ ソニック株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願2018-224311 (P2018-224311)	(72) 発明者	小林 靖史 大阪府門真市大字門真1006番地 パナ ソニック株式会社内
(32) 優先日	平成30年11月30日(2018.11.30)	(72) 発明者	南 和博 大阪府門真市大字門真1006番地 パナ ソニック株式会社内
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

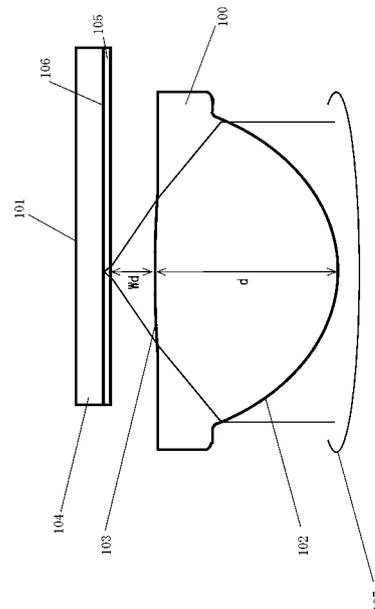
(54) 【発明の名称】 対物レンズ

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 光ディスク上へ光ビームを微小に絞る集光光学系の光ディスク側開口数(NA)を大きくする対物レンズを提供する。

【解決手段】 対物レンズ100は、NA及び屈折率nを有する両面凸レンズの単レンズであって、焦点距離fが1mm~1.3mmで、作動距離Wdが0.2mm~0.3mmであり、いずれの面のサグも、それぞれ光軸からレンズ外縁部に向かってサグ量が常に同じ方向に変化し、開口数NAは0.94 NA 0.91である。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

開口数 NA 及び屈折率 n を有する両面凸レンズの単レンズであって、いずれの面のサグも、それぞれ光軸からレンズ外縁部に向かってサグ量が常に同じ方向に変化し、前記 NA は 0.94 NA 0.91 であることを特徴とする対物レンズ。

【請求項 2】

請求項 1 記載の対物レンズであって、
 $n < 1.72$ である対物レンズ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、例えば光ディスクなどの光情報媒体上に記憶される情報の記録・再生あるいは消去を行う光ヘッド装置及び光情報装置および、光情報装置における記録再生方法、そして、これらを応用した光ディスクシステムに関するもの、そしてまた、前記光ヘッド装置に用いる対物レンズに関するものである。

【背景技術】

【0002】

高密度・大容量の記憶媒体として、ピット状パターンを有する光ディスクを用いる光メモリ技術は、デジタルオーディオディスク、ビデオディスク、文書ファイルディスク、さらにはデータファイルと用途を拡張しつつ、実用化されてきている。微小に絞られた光ビームを介して、光ディスクへの情報記録再生が高い信頼性のもとに首尾よく遂行される機能は、回折限界の微小スポットを形成する集光機能、光学系の焦点制御（フォーカサーボ）とトラッキング制御、及びピット信号（情報信号）検出に大別される。

20

【0003】

近年、光学系設計技術の進歩と光源である半導体レーザの短波長化により、従来以上の高密度の記憶容量を持つ光ディスクの開発が進んでいる。高密度化のアプローチとしては、光ディスク上へ光ビームを微小に絞る集光光学系の光ディスク側開口数（以降、 NA ）を大きくすることが検討されている。

【0004】

光ディスクの第 1 世代といえるコンパクトディスク（CD）は赤外光（波長 λ は $780\text{ nm} \sim 820\text{ nm}$ ）、と NA 0.45 の対物レンズを使用し、ディスクの基材厚は 1.2 mm である。第 2 世代の DVD は赤色光（波長 λ は $630\text{ nm} \sim 680\text{ nm}$ ）、と NA 0.6 の対物レンズを使用し、ディスクの基材厚は 0.6 mm である。そしてさらに、第 3 世代の光ディスクは青色光（波長 λ は $390\text{ nm} \sim 415\text{ nm}$ ）、と NA 0.85 の対物レンズを使用し、ディスクの基材厚は 0.1 mm である。なお、本明細書中では、基板厚み（あるいは基材厚）とは光ディスク（または情報媒体）に光ビームの入射する面から情報記録面までの厚みを指す。

30

【0005】

インターネットの拡大により、世界で生み出され蓄積すべきデータは増大し続けている。それらのデータを長期間安全に、かつ、低消費電力で保存する媒体として光ディスクの重要性はますます高まっている。従って、光ディスクを大容量化しより多くの情報を光ディスクに蓄積可能とすることが必要である。そのため、対物レンズの NA をさらに高くすることが望まれる。高 NA の対物レンズを単レンズ構成で実現した例が提案されている（例えば、特許文献 1 及び 2 参照）。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献 1】日本国特開 2003 - 279851 号公報

【特許文献 2】日本国特開 2008 - 293633 号公報

【特許文献 3】日本国特開 2013 - 206496 号公報

50

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、特許文献1、2のいずれにおいても実施例として具体的に開示されている設計例のNAは0.85のみであり、より高いNAの対物レンズにおける課題が示されていない。実施例としてNAが0.85を超える高い開口数の対物レンズの具体的設計例が開示されていないため課題も示されておらず適切な屈折率すら明確でない。

【0008】

また、特許文献3にはNAが0.85をこえる設計例が示されているが、NAが0.9を超える設計例については屈折率が1.59959の一例に限定されている。NAが0.9以下の設計例では他の屈折率の例も開示されてはいるがこのように大きなNAの対物レンズであればNAの違いは設計上も収差性能上も製作難易度の面でも違いは大きく、NAが0.9以下のレンズの設計例からNAが0.9を超えるレンズの設計の指針を得ることは困難である。すなわち特許文献3にはNAが0.9を超える(NA 0.91)場合に適切な屈折率範囲がいくらであるかという課題意識がなく、当然ながら適切な屈折率範囲を推し量ることはできない。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明では上述の課題を解決するため、以下のような対物レンズ、光ヘッド装置、光情報装置、光ディスクシステムを構成する。

(1)

開口数NA及び屈折率nを有する単レンズであって、 $NA = 0.91$ かつ $1.61 < n < 1.72$ である対物レンズ。

(2)

(1)に記載の対物レンズであって、前記対物レンズは両面凸レンズであり、いずれの面のサグも、光軸から外周側に向かってサグ量が常に同じ方向に変化することを特徴とする対物レンズ。

(3)

(1)または(2)に記載の対物レンズであって、焦点距離fが1mm~1.3mmであることを特徴とする対物レンズ。

(4)

(1)~(3)のいずれかに記載の対物レンズであって、作動距離Wdが0.2mm~0.3mmであることを特徴とする対物レンズ。

(5)

(1)~(4)に記載のいずれかの対物レンズであって、NA 0.94であることを特徴とする対物レンズ。

(6)

光ビームを出射するレーザ光源と、前記レーザ光源から出射される光ビームを受けて光ディスクの記録面上へ微小スポットに集光する(1)~(5)のいずれかに記載の対物レンズと、前記光ディスクの記録面上で反射した光ビームを受けてその光量に応じて電気信号を出力する光検出部を形成した光検出器とを具備することを特徴とする光ヘッド装置。

(7)

(6)に記載の光ヘッド装置と、光ディスクを回転するモータと、前記光ヘッド装置から得られる信号を受け、前記モータや前記対物レンズや前記レーザ光源を制御および駆動する電気回路を具備する光情報装置。

(8)

光ヘッド装置と、光ディスクを回転するモータと、前記光ヘッド装置から得られる信号を受け、前記モータや前記光ヘッド装置の対物レンズやレーザ光源を制御および駆動する電気回路を具備する光情報装置であって、前記光ヘッド装置は、波長1の青色光を出射する第1の光源と、前記第1の光源から出射される光ビームを受けて基材厚t1の基材を

10

20

30

40

50

通して光ディスクの記録面上へ微小スポットに集光する構成(1)~(5)に記載のいずれかの対物レンズと、前記光ディスクの記録面上で反射した光ビームを受けてその光量に応じて電気信号を出力する光検出部を形成した光検出器と、前記対物レンズを光軸方向に駆動して前記微小スポットを前記光ディスクの記録面上へ焦点あわせするアクチュエータを具備し、前記光検出器から、焦点誤差信号を検出するための電気信号を検出し、前記アクチュエータによって前記対物レンズを光軸方向に駆動することによって、前記微小スポットを前記光ディスクの記録面上へ焦点あわせすることを特徴とする光情報装置。

(9)

(7)または(8)に記載の光情報装置と、情報を入力するための入力装置あるいは入力端子と、前記入力装置から入力された情報や前記光情報装置から再生された情報に基づいて演算を行う演算装置と、前記入力装置から入力された情報や前記光情報装置から再生された情報や、前記演算装置によって演算された結果を表示あるいは出力するための出力装置あるいは出力端子を備えた光ディスクシステム。

10

(10)

(7)または(8)に記載の光情報装置と、前記光情報装置から得られる情報信号を画像に変換する情報から画像へのデコーダを有する光ディスクシステム。

(11)

(7)または(8)に記載の光情報装置と、画像情報を前記光情報装置によって記録する情報に変換する画像から情報へのエンコーダを有する光ディスクシステム。

20

(12)

(7)または(8)に記載の光情報装置と、外部との情報のやりとりを行う入出力端子を備えた光ディスクシステム。

【発明の効果】

【0010】

本発明の実施形態にかかる対物レンズは、高密度の光ディスクに記録再生することを実現する。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の実施の形態1に係る対物レンズの構成図

【図2】実施例1の波面収差を示す図

30

【図3】実施例1の軸外性能を示す図

【図4】実施例1の対物レンズのあおり特性を示す図

【図5】実施例2の対物レンズの第2面のサグ形状を示す図

【図6】参考例1の対物レンズの第2面のサグ形状を示す図

【図7】実施例3の対物レンズの第一面のサグ形状を示す図

【図8】実施例4の波面収差を示す図

【図9】実施例4の軸外性能を示す図

【図10】実施例4の対物レンズのあおり特性を示す図

【図11】実施例5の対物レンズの第2面のサグ形状を示す図

【図12】参考例4の対物レンズの第2面のサグ形状を示す図

40

【図13】本発明の実施の形態2に係る光ヘッド装置を示す構成図

【図14】本発明の実施の形態3に係る光情報装置を示す構成図

【図15】本発明の実施の形態4に係る光ディスクシステムを示す構成図

【図16】本発明の実施の形態5に係る光ディスクシステムを示す構成図

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、適宜図面を参照しながら、実施の形態を詳細に説明する。ただし、必要以上に詳細な説明は省略する場合がある。例えば、既によく知られた事項の詳細説明や実質的に同一の構成に対する重複説明を省略する場合がある。これは、以下の説明が不必要に冗長になることを避け、当業者の理解を容易にするためである。

50

【 0 0 1 3 】

なお、添付図面及び以下の説明は、当業者が本開示を十分に理解するために提供されるのであって、これらにより特許請求の範囲に記載の主題を限定することは意図されていない。

【 0 0 1 4 】

(実施の形態 1)

対物レンズの NA を高くするためには、光軸から離れた外周部分の光の屈折角度を大きくする必要がある。そのために、ガラスや樹脂など対物レンズを構成する硝材の屈折率 n をより大きくすることが望ましい。しかしながら、我々が、実際に NA が 0.9 を超える単玉の対物レンズを設計したところ、屈折率 n はいくらでも大きければ良いというものでは無く適正範囲があることがわかった。

10

【 0 0 1 5 】

図 1 は、本発明の実施の形態 1 に係る対物レンズ 100 の構成図である。図 1 において、対物レンズ 100 は、入射光線 (光ビーム) 107 を受ける第一面 102 と、その第一面 102 に対向し、光ディスク 101 に近い側に配置する第二面 103 を有する。光ディスク 101 は、基板 104、基材 105、基板 104 と基材 105 に挟まれた情報記録面 106 を有する。光ビーム 107 は、対物レンズ 100 の第一面 102 に入射し、第二面 103 を通り、光ディスク 101 の情報記録面 106 に収束される。ここで、光ビーム 107 が情報記録面 106 に収束されている状態での第二面 103 と光ディスク 101 の基材 105 との距離をワーキングディスタンス (以降、 Wd) と呼ぶ。また、対物レンズ 100 の第一面 102 と第二面 103 の光軸における間隔を d とする。

20

【 実施例 1 】

【 0 0 1 6 】

本発明の具体的な実施の形態について、実施例を用いてさらに詳細に説明する。各実施例において、以下に示す符号を共通とする。また、実験に利用した光ディスクは平行平板とし、設計波長 λ を 405 nm、光ディスクの厚みは約 0.08 mm、屈折率はいずれも 1.623918 を中心とした。

f : 対物レンズの焦点距離

NA : 対物レンズの NA

R_1 : 対物レンズの第 1 面の曲率半径

R_2 : 対物レンズの第 2 面の曲率半径

d : 対物レンズのレンズ厚み

n : 対物レンズの屈折率

Wd : 対物レンズの第 2 面から光ディスクまでの距離

なお、NA と屈折率は無単位であり、他の単位は mm である。

また、非球面形状は、以下の (数 1) で与えられる。

(数 1)

【数 1】

$$X = \frac{C_j h^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k_j) C_j^2 h^2}} + \sum A_{j,n} h^n \quad (\text{数 1})$$

40

ただし各符号の意味は以下の通りである。

X : 光軸からの高さが h の非球面上の点の非球面頂点の接平面からの距離

h : 光軸からの高さ

C_j : 対物レンズの第 j 面の非球面頂点の曲率 ($C_j = 1 / R_j$)

K_j : 対物レンズの第 j 面の円錐定数

50

$A_{j,n}$: 対物レンズの第 j 面の n 次の非球面係数

ただし $j = 1, 2$

【0017】

(実施例1)

実施例1の対物レンズの具体的数値を以下に示す。実施例1は、硝材の屈折率 $n = 1.6239179286$ において、焦点距離 $f = 1.309$ 、開口数 $NA = 0.92$ 、作動距離 $Wd = 0.2603$ の単レンズを設計した例である。

$$f = 1.309$$

$$NA = 0.92$$

$$R1 = 0.9478402$$

$$R2 = -1.396387$$

$$d = 1.88232$$

$$n = 1.6239179286$$

$$Wd = 0.2603$$

$$K1 = -0.6129$$

$$A_{1,4} = 0.032330925$$

$$A_{1,6} = -0.055965387$$

$$A_{1,8} = 0.2934815$$

$$A_{1,10} = -0.57827049$$

$$A_{1,12} = 0.3927477$$

$$A_{1,14} = 0.47990334$$

$$A_{1,16} = -0.94535234$$

$$A_{1,18} = 0.39255542$$

$$A_{1,20} = -0.034679428$$

$$A_{1,22} = 0.35663912$$

$$A_{1,24} = -0.31441135$$

$$A_{1,26} = -0.14052526$$

$$A_{1,28} = 0.24739738$$

$$A_{1,30} = -0.083565112$$

$$A_{1,32} = 0.0049397773$$

$$A_{1,34} = -0.00015933301$$

$$A_{1,36} = -0.0002234926$$

$$A_{1,38} = -5.0255976e-05$$

ここで、 $e-05$ は $\times 10$ の -5 乗を表す。

$$A_{1,40} = 0.00016990175$$

$$K2 = -32.65169$$

$$A_{2,4} = 1.5718168$$

$$A_{2,6} = -9.1516081$$

$$A_{2,8} = 32.322227$$

$$A_{2,10} = -71.479196$$

$$A_{2,12} = 77.554531$$

$$A_{2,14} = 26.928859$$

$$A_{2,16} = -196.41859$$

$$A_{2,18} = 233.56162$$

$$A_{2,20} = -94.329769$$

$$A_{2,22} = -4.5393102$$

$$A_{2,24} = -15.335899$$

$$A_{2,26} = 16.596486$$

$$A_{2,28} = 3.3163821$$

$$A_{2,30} = 6.263965$$

10

20

30

40

50

$A_{2,32} = -2.0316557$
 $A_{2,34} = 0.034825839$
 $A_{2,36} = -4.9330315$
 $A_{2,38} = -9.5297525$
 $A_{2,40} = 9.7816725$

【0018】

図2は、本実施例の波面収差を示す図である。収差は、P V値でも9 m（は波長）以下、全収差のrms値では2.1 m以下に収まっており、収差特性は非常に良好である。

【0019】

図3は、本実施例の軸外性能を示す図である。画角0.6°において全収差は30 m rms以内であり、実用上問題ない。

【0020】

図4は、対物レンズのみを傾けたときの波面収差の変化、すなわち対物レンズのあおり特性を示す図である。光ディスクが傾いた時に発生するコマ収差が60 m程度までであれば、対物レンズのあおりによってこれをキャンセルした場合に非点収差の発生は10 m以内に収まる。

【0021】

なお、収差計算において、光ディスク表面から記録面までの基材厚みは0.078 mm、基材の屈折率は1.6173566451であり、傾きの無い状態での3次の球面収差を最小にするため対物レンズへの入射光はわずかに収束光になっている。

【0022】

実施例1では、軸上収差はもちろんのこと、斜め光線に対する収差も十分に補正されている。また、光ディスクの傾きによって生じるコマ収差を、光ヘッド全体でなく対物レンズのみを傾けることによって補正する場合にも適している。第一面の最も最も急峻な部分の傾斜角度は64.7°であり、工業的に金型を加工してガラス成形を行うことの出来る範囲内であるといえる。

【0023】

また、光ディスク用の対物レンズは開口数NAを設計通りの値で用いるために開口制限を使用することが多い。例えば図1において対物レンズ100の略平行光入射側（図1の下方）に絞り（図示は省略）を配置して対物レンズ100への入射光線107の光束径を所望の値にして、正確な開口数NAを実現する。この際に絞りと対物レンズ100位置関係は設計との誤差が発生し公差が必要である。この公差は20 μmあれば十分である。図1の左右前後方向の交差20 μmを焦点距離1 mm程度の対物レンズにおいて許容するためには0.02 mm ÷ NA = 0.02なので、開口数が0.02程度大きな範囲まで、少なくとも軸上において収差が小さくなるように設計することが望ましい。本実施例の場合であれば、NAは0.92 + 0.02 = 0.94まで、軸上収差を抑えられるよう設計して、光ピックアップに実装する際には絞り（アパーチャ）によって、NAを0.9 ~ 0.92に制限して使用することが想定される。

【0024】

（実施例2）

実施例2の対物レンズの具体的数値を以下に示す。実施例2は、硝材の屈折率を実施例1よりもさらに高くした場合の設計例である。屈折率 $n = 1.710000$ において設計した。実施例1と同じく開口数 $NA = 0.92$ 、作動距離 $Wd = 0.2603$ の単レンズである。焦点距離 $f = 1.299$ もほぼ同じである。

$f = 1.299$

$NA = 0.92$

$R1 = 1.018122$

$R2 = -2.342684$

$d = 1.866571$

10

20

30

40

50

$n = 1.710000$
 $Wd = 0.2603$
 $K1 = -0.5907896$
 $A1, 4 = 0.029373894$
 $A1, 6 = -0.05957560$
 $A1, 8 = 0.29429474$
 $A1, 10 = -0.58184186$
 $A1, 12 = 0.39011067$
 $A1, 14 = 0.48115837$
 $A1, 16 = -0.94380807$
 $A1, 18 = 0.39156078$
 $A1, 20 = -0.035160214$
 $A1, 22 = 0.35700693$
 $A1, 24 = -0.31507323$
 $A1, 26 = -0.14056908$
 $A1, 28 = 0.24748702$
 $A1, 30 = -0.083460424$
 $A1, 32 = 0.0055100959$
 $A1, 34 = -0.00039080295$
 $A1, 36 = -0.00037894571$
 $A1, 38 = -0.00019212844$
 $A1, 40 = 0.00030159435$
 $K2 = -81.35706$
 $A2, 4 = 1.4407636$
 $A2, 6 = -9.0852959$
 $A2, 8 = 32.349655$
 $A2, 10 = -71.42993$
 $A2, 12 = 77.671948$
 $A2, 14 = 26.954773$
 $A2, 16 = -196.4673$
 $A2, 18 = 233.06062$
 $A2, 20 = -96.538054$
 $A2, 22 = -2.4015789$
 $A2, 24 = -12.305189$
 $A2, 26 = 17.460283$
 $A2, 28 = 3.0227737$
 $A2, 30 = 2.9785866$
 $A2, 32 = -6.1157086$
 $A2, 34 = -4.0736054$
 $A2, 36 = -2.5063237$
 $A2, 38 = 1.1701339$
 $A2, 40 = 7.1032384$
【0025】

実施例 2 においても、波面収差は PV 値で 1.1 m (は波長) 以下、全収差の rms 値では 2.4 m 以下に収まっており、収差特性は非常に良好である。また、実施例 2 の軸外性能、画角性能、あおり特性は図示しないが、実施例 1 の場合と同等である。

【0026】

図 5 は、対物レンズの第 2 面のサグ形状を示す図である。図 5 において、下方がガラス等のレンズ構成材料であり、上方は空気である。実施例 2 で使用した対物レンズの第二面は、光軸から外周側に向かってサグ量が常に減る方向に変化している。言い換えると、サ

10

20

30

40

50

グ量の半径位置（光軸からの高さ h と同じ意味）による微分係数が常に負であり第一面との距離が減る方向であるとも言える。実施例 1 では、この点言及しなかったが同じ特性を有する。実施例 1 や実施例 2 の対物レンズは、両面凸レンズで構成される。また、図 5 におけるサグは式 1 における X と同じ意味を持ち、 X の原点をレンズ有効径最外周側にあたる非球面上の点にシフトしたものである。

【 0 0 2 7 】

以上より、実施例 2 の対物レンズは、軸上収差はもちろんのこと、斜め光線に対する収差も十分に補正されている。また、光ディスクの傾きによって生じるコマ収差を、光ヘッド全体でなく対物レンズのみを傾けることによって補正する場合にも適している。

【 0 0 2 8 】

また、単レンズは金型によって硝材を変形させて作製する、すなわち成形することにより、高い生産性、高い精度を得ることができる。金型は光軸を中心に回転させながらダイヤモンドバイトで削ることによって形状を作り出す。ダイヤモンドバイトは光軸中心から外周側へ、あるいは外周側から光軸中心へと半径位置を移動させながら、同時に光軸に平行な方向へも移動することによって非球面形状を削り出すことになる。半径方向とともに光軸方向も途中で反転すること無く一定方向に移動することが望ましい。なぜなら移動方向を反転するといわゆるバックラッシュ（送りねじ、歯車等の互いにはまり合って運動する機械要素において、運動方向の隙間の事。この隙間が無ければ歯同士が干渉し、回す事ができなくなるが、ある方向に回転していたものを反対方向に回転させた時、寸法のずれや衝撃が生じる事がある）により送り誤差が生じてしまう。従って、実施例 1 や実施例 2 のように、光軸からレンズの外周側（レンズ外縁部）に向かってサグ量が常に同じ方向に変化することは、誤差無く高精度の形状を実現できるという顕著な効果を奏する。

【 0 0 2 9 】

（参考例 1）

参考例 1 の対物レンズの具体的数値を以下に示す。硝材の屈折率を実施例 2 よりもさらに高くした場合の設計例である。屈折率 $n = 1.720000$ において設計した。実施例と同じく開口数 $NA = 0.92$ 、作動距離 $Wd = 0.2603$ の単レンズである。焦点距離 $f = 1.300$ もほぼ同じである。

$$f = 1.300$$

$$NA = 0.92$$

$$R1 = 1.024459$$

$$R2 = -2.579919$$

$$d = 1.863167$$

$$n = 1.720000$$

$$Wd = 0.2603$$

$$K1 = -0.585802$$

$$A1, 4 = 0.028877709$$

$$A1, 6 = -0.05899921$$

$$A1, 8 = 0.29117644$$

$$A1, 10 = -0.5766808$$

$$A1, 12 = 0.38681897$$

$$A1, 14 = 0.48122367$$

$$A1, 16 = -0.94440282$$

$$A1, 18 = 0.3926264$$

$$A1, 20 = -0.034697825$$

$$A1, 22 = 0.3565036$$

$$A1, 24 = -0.31484578$$

$$A1, 26 = -0.1407322$$

$$A1, 28 = 0.24733906$$

$$A1, 30 = -0.083343932$$

10

20

30

40

50

$A_{1,32} = 0.0054445552$
 $A_{1,34} = -0.00035259087$
 $A_{1,36} = -0.00037446607$
 $A_{1,38} = -0.00015222256$
 $A_{1,40} = 0.00027476454$
 $K_2 = -95.00379$
 $A_{2,4} = 1.4442607$
 $A_{2,6} = -9.0856317$
 $A_{2,8} = 32.335139$
 $A_{2,10} = -71.472763$
 $A_{2,12} = 77.810621$
 $A_{2,14} = 26.855803$
 $A_{2,16} = -196.36443$
 $A_{2,18} = 232.95167$
 $A_{2,20} = -96.985826$
 $A_{2,22} = -1.5722635$
 $A_{2,24} = -12.445859$
 $A_{2,26} = 17.498444$
 $A_{2,28} = 2.3337752$
 $A_{2,30} = 2.9579413$
 $A_{2,32} = -6.6579158$
 $A_{2,34} = -1.8786513$
 $A_{2,36} = -1.6977991$
 $A_{2,38} = -2.6994291$
 $A_{2,40} = 9.0711995$
【0030】

参考例 1 においても、波面収差は P V 値で 11 m (は波長) 以下、全収差の r m s 値では 2.4 m 以下に収まっており、収差特性は非常に良好である。また、参考例 1 の軸外性能、画角性能、あおり特性に係る図示は省略するが、実施例 1 の場合と同等である。

【0031】

参考例 1 は、軸上収差はもちろんのこと、斜め光線に対する収差も十分に補正されている。また、光ディスクの傾きによって生じるコマ収差を、光ヘッド全体でなく対物レンズのみを傾けることによって補正する場合にも適している。

【0032】

図 6 は、対物レンズの第 2 面のサグ形状を示す。図 6 において、下方がガラス等のレンズ構成材料であり、上方は空気である。参考例 1 の対物レンズの第二面は、光軸からレンズの外周側に向かってサグ量が減る方向に変化しているが、中心からの距離 0.4 mm 近辺においてサグ量が逆に増えている。言い換えると、サグ量の半径位置による微分係数が一部正負逆転している。このような形状を作製する際には、金型の加工途中に移動方向を反転しなければならないので、バックラッシュにより送り誤差が生じ、高精度の加工が難しくなるという課題が生じる。また、NA が 0.85 程度であれば、本参考例のように一部がへこんだ形状、曲率変化の大きな形状、であっても金型形状に沿ってガラスを成形することが可能であったが、NA が 0.91 以上にまで高い対物レンズでは、表面の傾斜が大きくなるなど、より成形の難易度が高いため、成形も困難である。つまり、硝材の屈折率を 1.72 以上に選ぶことは、高精度に非球面形状を実現し収差の小さな高 NA 対物レンズを実現するためには不利であり、 $n < 1.72$ が望ましい。

【0033】

(実施例 3)

実施例 3 の対物レンズの具体的数値を以下に示す。実施例 3 は、硝材の屈折率を実施例

10

20

30

40

50

1 よりもさらに低くした場合の設計例である。屈折率 $n = 1.610000$ において設計した。実施例 1 や 2 と同じく、開口数 $NA = 0.92$ 、作動距離 $Wd = 0.2603$ の単レンズである。焦点距離 $f = 1.305$ もほぼ同じである。

$$f = 1.305$$

$$NA = 0.92$$

$$R1 = 0.9370816$$

$$R2 = -1.25738$$

$$d = 1.885516$$

$$n = 1.610000$$

$$Wd = 0.2603$$

10

$$K1 = -0.6115083$$

$$A1,4 = 0.03238076$$

$$A1,6 = -0.05645141$$

$$A1,8 = 0.29574459$$

$$A1,10 = -0.57944289$$

$$A1,12 = 0.39044441$$

$$A1,14 = 0.48349108$$

$$A1,16 = -0.94483544$$

$$A1,18 = 0.39086313$$

$$A1,20 = -0.035512351$$

20

$$A1,22 = 0.35738559$$

$$A1,24 = -0.3143863$$

$$A1,26 = -0.14031996$$

$$A1,28 = 0.24745013$$

$$A1,30 = -0.083717561$$

$$A1,32 = 0.0049186126$$

$$A1,34 = -0.00017253649$$

$$A1,36 = -0.00019351854$$

$$A1,38 = -6.8308307e-05$$

$$A1,40 = 0.00017672193$$

30

$$K2 = -30.57304$$

$$A2,4 = 1.573592$$

$$A2,6 = -9.176123$$

$$A2,8 = 32.357336$$

$$A2,10 = -71.415156$$

$$A2,12 = 77.538725$$

$$A2,14 = 26.809091$$

$$A2,16 = -196.65894$$

$$A2,18 = 233.61675$$

$$A2,20 = -93.949162$$

40

$$A2,22 = -3.9052453$$

$$A2,24 = -15.495289$$

$$A2,26 = 16.060141$$

$$A2,28 = 2.6291159$$

$$A2,30 = 5.6093585$$

$$A2,32 = -1.8042748$$

$$A2,34 = 0.65037455$$

$$A2,36 = -3.2017711$$

$$A2,38 = -8.7330391$$

$$A2,40 = 7.5649305$$

50

【 0 0 3 4 】

実施例 3 においても、波面収差は P V 値で 9 m (は波長) 以下、全収差の r m s 値では 2 . 2 m 以下に収まっており、収差特性は非常に良好である。また本実施例の軸外性能、画角性能、あおり特性も図示は省略するが、実施例 1 と同等である。

【 0 0 3 5 】

図 7 は、実施例 3 の対物レンズの第一面のサグ形状を示す。図 7 において、上方がガラス等のレンズ構成材料で有り、下方は空気である。第一面は光軸からレンズの外周側に向かってサグ量が常に減る方向に変化している。言い換えるとサグ量の半径位置による微分係数が常に正であり第二面との距離が減る方向であるともいえる。先の実施例ではこの点言及しなかったがいずれも同じ特性である。そして水平方向との成す傾斜角度は外縁付近において最も急峻になる。この角度は硝材の屈折率に依存する。本実施例では最も急峻な部分の傾斜角度は 6 5 ° である。

10

【 0 0 3 6 】

実施例 3 では、軸上収差はもちろんのこと、斜め光線に対する収差も十分に補正されている。また、光ディスクの傾きによって生じるコマ収差を、光ヘッド全体でなく対物レンズのみを傾けることによって補正する場合にも適している。屈折率を低く設定したため、第一面の最も急峻な部分の傾斜角度は 6 5 ° である。6 5 ° までであれば、工業的に金型を加工してガラス成形を行うことの出来る範囲内である。

【 0 0 3 7 】

(参考例 2)

20

参考例 2 の対物レンズの具体的数値を以下に示す。参考例 2 は硝材の屈折率を実施例 3 よりもさらに低くした場合の設計例である。屈折率 $n = 1 . 5 5 0 0 0 0$ において設計した。実施例 1 ~ 3 と同じく開口数 $N A = 0 . 9 2$ 、作動距離 $W d = 0 . 2 6 0 3$ の単レンズである。焦点距離 $f = 1 . 2 7 9$ もほぼ同じである。

$$f = 1 . 2 7 9$$

$$N A = 0 . 9 2$$

$$R 1 = 0 . 8 8 7 1 6 1 8$$

$$R 2 = - 0 . 8 2 3 8 8 0 3$$

$$d = 1 . 8 9 4 5 1 7$$

$$n = 1 . 5 5 0 0 0$$

$$W d = 0 . 2 6 0 3$$

30

$$K 1 = - 0 . 5 9 9 7 3 6 3$$

$$A 1 , 4 = 0 . 0 3 4 1 5 7 7 3 4$$

$$A 1 , 6 = - 0 . 0 5 1 8 9 6 3 5 4$$

$$A 1 , 8 = 0 . 2 9 0 6 9 6 7$$

$$A 1 , 1 0 = - 0 . 5 7 5 1 3 1 2 3$$

$$A 1 , 1 2 = 0 . 3 9 3 5 6 1 8 9$$

$$A 1 , 1 4 = 0 . 4 8 5 0 4 4 0 7$$

$$A 1 , 1 6 = - 0 . 9 4 7 4 1 1 5 1$$

$$A 1 , 1 8 = 0 . 3 9 0 0 7 0 9 6$$

40

$$A 1 , 2 0 = - 0 . 0 3 5 6 8 3 9 0 9$$

$$A 1 , 2 2 = 0 . 3 5 8 0 5 1 0 3$$

$$A 1 , 2 4 = - 0 . 3 1 3 8 8 2 9 8$$

$$A 1 , 2 6 = - 0 . 1 4 0 0 3 1 1 4$$

$$A 1 , 2 8 = 0 . 2 4 7 6 8 3 0 6$$

$$A 1 , 3 0 = - 0 . 0 8 4 1 6 0 7 3 7$$

$$A 1 , 3 2 = 0 . 0 0 4 5 4 0 7 2 8 2$$

$$A 1 , 3 4 = - 3 . 2 5 3 7 9 8 e - 0 5$$

$$A 1 , 3 6 = - 6 . 6 2 3 1 8 3 9 e - 0 5$$

$$A 1 , 3 8 = - 1 . 2 1 3 4 8 8 1 e - 0 5$$

50

$A_{1,40} = 0.0001139315$
 $K_2 = -26.23391$
 $A_{2,4} = 1.5285423$
 $A_{2,6} = -9.0146929$
 $A_{2,8} = 32.379133$
 $A_{2,10} = -71.535564$
 $A_{2,12} = 77.430565$
 $A_{2,14} = 26.80827$
 $A_{2,16} = -196.58835$
 $A_{2,18} = 233.73766$
 $A_{2,20} = -94.008362$
 $A_{2,22} = -3.74137$
 $A_{2,24} = -15.454934$
 $A_{2,26} = 15.918963$
 $A_{2,28} = 2.398242$
 $A_{2,30} = 5.4239064$
 $A_{2,32} = -1.9325894$
 $A_{2,34} = 0.97340243$
 $A_{2,36} = -2.7019492$
 $A_{2,38} = -8.5654022$
 $A_{2,40} = 7.0259232$

10

20

【0038】

参考例2においても、波面収差はPV値で10m（は波長）以下、全収差のrms値では2.6m以下に収まっており、収差特性は非常に良好である。また本実施例の軸外性能、画角性能、あおり特性も図示は省略するが、先の第1の実施例と同等である。

【0039】

第一面のサグ形状は概略先の実施例などと同様であるが、屈折率が低く1.55のため水平方向との成す傾斜角度は実施例3よりも急峻である。外縁付近の最も急峻な部分の傾斜角度は69.5°である。

30

【0040】

参考例2では、軸上収差はもちろんのこと、斜め光線に対する収差も十分に補正されている。また、光ディスクの傾きによって生じるコマ収差を、光ヘッド全体でなく対物レンズのみを傾けることによって補正する場合にも適している。屈折率をさらに低く設定したため、第一面の最も急峻な部分の傾斜角度は69.5°である。金型を加工してガラス成形を行う可能性はあるが、金型の加工、成形、そして検査のための測定も難易度が高くなる。工業化の出来る限度の範囲内と考えられるものの、実施例3の最大傾斜角度65°との製作難易度差は非常に大きくて、好ましくない選択であると言わざるを得ない。従って、実施例3から屈折率 $n = 1.61$ が望ましいといえる。

【0041】

(参考例3)

40

参考例3の対物レンズの具体的数値を以下に示す。参考例3は硝材の屈折率を参考例2よりもさらに低くした場合の設計例である。屈折率 $n = 1.530000$ において設計した。実施例1~3や参考例2と同じく開口数 $NA = 0.92$ 、作動距離 $Wd = 0.2603$ の単レンズである。焦点距離 $f = 1.267$ もほぼ同じである。

$$f = 1.267$$

$$NA = 0.92$$

$$R_1 = 0.8701568$$

$$R_2 = -0.7201186$$

$$d = 1.897722$$

$$n = 1.53000$$

50

$W d = 0 . 2 6 0 3$
 $K 1 = - 0 . 6 0 2 5 8 3 1$
 $A 1 , 4 = 0 . 0 3 7 8 8 0 1 0 8$
 $A 1 , 6 = - 0 . 0 5 3 3 7 5 3 8 9$
 $A 1 , 8 = 0 . 2 9 3 0 4 5 2 2$
 $A 1 , 1 0 = - 0 . 5 7 3 8 0 2 4 3$
 $A 1 , 1 2 = 0 . 3 9 3 7 2 8 4 7$
 $A 1 , 1 4 = 0 . 4 8 4 8 0 2 3 7$
 $A 1 , 1 6 = - 0 . 9 4 7 4 7 3 8 2$
 $A 1 , 1 8 = 0 . 3 9 0 0 7 2 4 1$ 10
 $A 1 , 2 0 = - 0 . 0 3 5 5 3 6 2 0 6$
 $A 1 , 2 2 = 0 . 3 5 8 2 1 4 4 4$
 $A 1 , 2 4 = - 0 . 3 1 3 7 7 1 8 7$
 $A 1 , 2 6 = - 0 . 1 3 9 9 9 9 2 2$
 $A 1 , 2 8 = 0 . 2 4 7 6 7 4 1 9$
 $A 1 , 3 0 = - 0 . 0 8 4 1 8 9 3 9 3$
 $A 1 , 3 2 = 0 . 0 0 4 4 5 2 0 0 1 7$
 $A 1 , 3 4 = - 3 . 9 9 0 7 9 9 3 e - 0 5$
 $A 1 , 3 6 = - 5 . 0 4 5 6 8 0 6 e - 0 5$
 $A 1 , 3 8 = - 1 . 6 0 5 4 9 1 1 e - 0 6$ 20
 $A 1 , 4 0 = 0 . 0 0 0 1 2 0 9 9 6 8 5$
 $K 2 = - 2 3 . 9 3 7 1 3$
 $A 2 , 4 = 1 . 5 2 5 4 2 3 4$
 $A 2 , 6 = - 8 . 9 9 5 5 3 7 1$
 $A 2 , 8 = 3 2 . 3 9 7 8 4 3$
 $A 2 , 1 0 = - 7 1 . 5 2 1 5 2 2$
 $A 2 , 1 2 = 7 7 . 4 2 6 8 4 5$
 $A 2 , 1 4 = 2 6 . 7 9 3 8 1 5$
 $A 2 , 1 6 = - 1 9 6 . 6 1 3 7 4$
 $A 2 , 1 8 = 2 3 3 . 7 2 6 5 3$ 30
 $A 2 , 2 0 = - 9 4 . 0 0 8 2 0 2$
 $A 2 , 2 2 = - 3 . 7 4 3 7 7 1 8$
 $A 2 , 2 4 = - 1 5 . 4 3 8$
 $A 2 , 2 6 = 1 5 . 9 4 3 1 6 2$
 $A 2 , 2 8 = 2 . 4 3 8 4 2 9 6$
 $A 2 , 3 0 = 5 . 4 2 8 2 7 4 2$
 $A 2 , 3 2 = - 1 . 9 3 9 8 6$
 $A 2 , 3 4 = 0 . 9 5 0 1 5 2 0 3$
 $A 2 , 3 6 = - 2 . 7 7 3 4 2 8 4$
 $A 2 , 3 8 = - 8 . 6 1 4 5 0 0 5$ 40
 $A 2 , 4 0 = 7 . 1 1 7 9 0 9 9$

【 0 0 4 2 】

参考例 3 においても、波面収差は P V 値で 1 0 m (は波長) 以下、全収差の r m s 値では 2 . 8 m 以下に収まっており、収差特性は非常に良好である。また本参考例の軸外性能、画角性能、あおり特性も図示は省略するが、実施例 1 と同等である。

【 0 0 4 3 】

参考例 3 の対物レンズの第一面のサグ形状は、屈折率が低く 1 . 5 3 のため、水平方向との成す傾斜角度は参考例 2 よりもさらに急峻である。外縁付近の最も急峻な部分の傾斜角度は 7 1 . 6 ° である。

【 0 0 4 4 】

参考例 3 では、軸上収差はもちろんのこと、斜め光線に対する収差も十分に補正されている。また、光ディスクの傾きによって生じるコマ収差を、光ヘッド全体でなく対物レンズのみを傾けることによって補正する場合にも適している。しかし、屈折率をさらに低く設定したため、第一面の最も急峻な部分の傾斜角度は 71.6° であり、 70° を超えている。金型の加工、ガラス成形、そして検査のための測定も困難になる。実施例 3 と参考例 2、3 から、硝材の屈折率 n は 1.61 n が望ましい。

【 0 0 4 5 】

(実施例 4)

実施例 4 の対物レンズの具体的数値を以下に示す。実施例 4 は、硝材の屈折率 $n = 1.6239179286$ において、焦点距離 $f = 1.095$ 、開口数 $NA = 0.92$ 、作動距離 $Wd = 0.227$ の単レンズを設計した例である。

$$f = 1.095$$

$$NA = 0.92$$

$$R1 = 0.7976014$$

$$R2 = -1.159809$$

$$d = 1.571839$$

$$n = 1.6239179286$$

$$Wd = 0.227$$

$$K1 = -0.5995013$$

$$A1,4 = 0.048732638$$

$$A1,6 = -0.083099251$$

$$A1,8 = 0.60556523$$

$$A1,10 = -1.5012196$$

$$A1,12 = 1.3269474$$

$$A1,14 = 2.008697$$

$$A1,16 = -5.1298791$$

$$A1,18 = 2.7142693$$

$$A1,20 = -0.22337017$$

$$A1,22 = 3.8248011$$

$$A1,24 = -4.2754736$$

$$A1,26 = -2.4272268$$

$$A1,28 = 5.1478273$$

$$A1,30 = -2.1882933$$

$$A1,32 = 0.21845392$$

$$A1,34 = 0.056599416$$

$$A1,36 = 0.0094328176$$

$$A1,38 = -0.011086886$$

$$A1,40 = -0.053664515$$

$$K2 = -36.76408$$

$$A2,4 = 2.2045114$$

$$A2,6 = -16.260526$$

$$A2,8 = 71.238827$$

$$A2,10 = -197.2256$$

$$A2,12 = 269.57208$$

$$A2,14 = 116.16759$$

$$A2,16 = -1071.1173$$

$$A2,18 = 1590.1162$$

$$A2,20 = -804.11863$$

$$A2,22 = -39.868862$$

$$A2,24 = -185.88804$$

10

20

30

40

50

$A_{2, 26} = 280.31798$
 $A_{2, 28} = 13.182275$
 $A_{2, 30} = 37.295733$
 $A_{2, 32} = 60.707292$
 $A_{2, 34} = 259.19454$
 $A_{2, 36} = -230.43116$
 $A_{2, 38} = -1245.5184$
 $A_{2, 40} = 1179.7888$

【0046】

図8は、実施例4の波面収差示す図である。収差はPV値でも9m（は波長）以下、全収差のrms値では2.1m以下に収まっており非常に良好である。 10

【0047】

図9は、本実施例4の軸外性能を示す図である。画角0.6°において全収差は30m rms以内であり実用上問題ない。

【0048】

図10は、対物レンズのみを傾けたときの波面収差の変化、すなわち対物レンズのあおり特性を示す図である。光ディスクが傾いた時に発生するコマ収差が60m程度までであれば、対物レンズのあおりによってこれをキャンセルした場合に非点収差の発生は10m以内に収まる。

【0049】

なお、収差計算において、光ディスク表面から記録面までの基材厚みは0.0805m、基材の屈折率は1.6173566451であり、傾きの無い状態での3次の球面収差を最小にするため対物レンズへの入射光はわずかに収束光になっている。 20

【0050】

軸上収差はもちろんのこと、斜め光線に対する収差も十分に補正されている。また、光ディスクの傾きによって生じるコマ収差を、光ヘッド全体でなく対物レンズのみを傾けることによって補正する場合にも適している。

【0051】

(実施例5)

実施例5の対物レンズの具体的数値を以下に示す。実施例5は、硝材の屈折率を実施例4よりも高くした場合の設計例である。屈折率 $n = 1.710000$ において設計した。実施例4と同じく開口数 $NA = 0.92$ 、作動距離 $Wd = 0.227$ の単レンズである。焦点距離 $f = 1.087$ も実施例4とほぼ同じである。 30

$f = 1.087$

$NA = 0.92$

$R1 = 0.8513452$

$R2 = -2.119132$

$d = 1.524259$

$n = 1.710000$

$Wd = 0.227$

$K1 = -0.5701376$

$A_{1, 4} = 0.042260149$

$A_{1, 6} = -0.07932301$

$A_{1, 8} = 0.57083044$

$A_{1, 10} = -1.4704232$

$A_{1, 12} = 1.3326274$

$A_{1, 14} = 1.9444891$

$A_{1, 16} = -5.1332246$

$A_{1, 18} = 2.7557259$

$A_{1, 20} = -0.19163368$

40

50

A 1 , 2 2 = 3 . 8 0 9 3 9 4 7
 A 1 , 2 4 = - 4 . 3 1 6 4 6 8 4
 A 1 , 2 6 = - 2 . 4 6 4 1 9 8 4
 A 1 , 2 8 = 5 . 1 4 6 4 2 4 7
 A 1 , 3 0 = - 2 . 1 4 0 7 5 2 8
 A 1 , 3 2 = 0 . 3 2 4 1 7 3 1 7
 A 1 , 3 4 = 0 . 0 0 9 5 5 0 0 9 0 2
 A 1 , 3 6 = - 0 . 0 7 3 5 9 4 1 5
 A 1 , 3 8 = - 0 . 0 4 6 2 8 6 9 0 2
 A 1 , 4 0 = 0 . 0 1 8 5 0 1 0 7 2
 K 2 = - 1 0 0 . 6 9 4 4
 A 2 , 4 = 1 . 9 9 7 0 7 8 7
 A 2 , 6 = - 1 5 . 9 5 1 7 0 7
 A 2 , 8 = 7 1 . 3 0 6 3 7 4
 A 2 , 1 0 = - 1 9 7 . 6 4 6 3 2
 A 2 , 1 2 = 2 6 9 . 0 6 6 8 5
 A 2 , 1 4 = 1 1 7 . 2 9 1 2
 A 2 , 1 6 = - 1 0 6 8 . 2 5 7
 A 2 , 1 8 = 1 5 8 9 . 7 7 1 3
 A 2 , 2 0 = - 8 1 0 . 3 6 2 1 7
 A 2 , 2 2 = 7 7 . 3 7 7 5 4 6
 A 2 , 2 4 = - 1 5 5 . 5 9 2 9 2
 A 2 , 2 6 = 3 2 2 . 9 6 6 5 3
 A 2 , 2 8 = 2 1 3 . 9 4 1 5 7
 A 2 , 3 0 = 3 . 5 0 8 3 8 2 8
 A 2 , 3 2 = - 5 8 0 . 6 4 2 0 1
 A 2 , 3 4 = - 1 2 8 . 0 8 0 0 5
 A 2 , 3 6 = 3 0 6 . 2 5 7 2 4
 A 2 , 3 8 = 7 2 4 . 4 3 3 3 6
 A 2 , 4 0 = - 4 9 5 . 0 5 9 6 4

10

20

30

【 0 0 5 2 】

実施例 5 も、波面収差は P V 値で 7 m (は波長) 以下、全収差の r m s 値では 2 m 以下に収まっており非常に良好である。また実施例 5 の軸外性能、画角性能、あおり特性も図示は省略するが、実施例 1 と同等である。

【 0 0 5 3 】

図 1 1 は、対物レンズの第 2 面のサグ形状を示す図である。図 1 1 では、下方がガラス等のレンズ構成材料で有り、上方は空気である。実施例 5 の対物レンズの第 2 面は光軸からレンズの外周側に向かってサグ量が常に減る方向に変化している。言い換えるとサグ量の半径位置による微分係数が常に負であり第一面との距離が減る方向であるともいえる。先の第 4 の実施例ではこの点言及しなかったが同じ特性である。

40

【 0 0 5 4 】

実施例 5 では、軸上収差はもちろんのこと、斜め光線に対する収差も十分に補正されている。また、光ディスクの傾きによって生じるコマ収差を、光ヘッド全体でなく対物レンズのみを傾けることによって補正する場合にも適している。

【 0 0 5 5 】

実施例 5 の対物レンズの第二面は、光軸からレンズの外周側に向かってサグ量が常に減る方向に変化している。言い換えるとサグ量の半径位置による微分係数が常に負であり第一面との距離が減る方向であるともいえる。実施例 4 ではこの点言及しなかったが同じ特性である。実施例 2 について説明したとおり、実施例 4 や 5 のように、光軸からレンズの外周側に向かってサグ量が常に同じ方向に変化することは、誤差無く高精度の形状を実現

50

できるという顕著な効果を奏する。

【 0 0 5 6 】

(参考例 4)

参考例 4 の対物レンズの具体的数値を以下に示す。参考例 4 は、硝材の屈折率を実施例 5 よりもさらに高くした場合の設計例である。屈折率 $n = 1.720000$ において設計した。実施例 4 や 5 と同じく開口数 $NA = 0.92$ 、作動距離 $Wd = 0.236$ の単レンズである。焦点距離 $f = 1.084$ も実施例 4 や 5 とほぼ同じである。

$$f = 1.084$$

$$NA = 0.92$$

$$R1 = 0.8533957$$

$$R2 = -2.431396$$

$$d = 1.497296$$

$$n = 1.720000$$

$$Wd = 0.236$$

$$K1 = -0.5623167$$

$$A_{1,4} = 0.041873955$$

$$A_{1,6} = -0.078487103$$

$$A_{1,8} = 0.57035292$$

$$A_{1,10} = -1.469524$$

$$A_{1,12} = 1.3311124$$

$$A_{1,14} = 1.9451143$$

$$A_{1,16} = -5.1357862$$

$$A_{1,18} = 2.7591604$$

$$A_{1,20} = -0.1913136$$

$$A_{1,22} = 3.8033139$$

$$A_{1,24} = -4.3107475$$

$$A_{1,26} = -2.4651919$$

$$A_{1,28} = 5.1461636$$

$$A_{1,30} = -2.1422117$$

$$A_{1,32} = 0.327606$$

$$A_{1,34} = 0.0083325205$$

$$A_{1,36} = -0.074993046$$

$$A_{1,38} = -0.04497432$$

$$A_{1,40} = 0.01756398$$

$$K2 = -124.7254$$

$$A_{2,4} = 2.006511$$

$$A_{2,6} = -15.920383$$

$$A_{2,8} = 71.268236$$

$$A_{2,10} = -197.74098$$

$$A_{2,12} = 268.96006$$

$$A_{2,14} = 117.30896$$

$$A_{2,16} = -1067.7616$$

$$A_{2,18} = 1590.8539$$

$$A_{2,20} = -806.40392$$

$$A_{2,22} = -88.892721$$

$$A_{2,24} = -156.0547$$

$$A_{2,26} = 320.82989$$

$$A_{2,28} = 212.15027$$

$$A_{2,30} = 8.8926951$$

$$A_{2,32} = -535.69858$$

10

20

30

40

50

$A_{2,34} = -57.395299$

$A_{2,36} = 273.49988$

$A_{2,38} = 491.48637$

$A_{2,40} = -412.33933$

【0057】

参考例4も、波面収差はPV値で7m（は波長）以下、全収差のrms値では1.5m以下に収まっており非常に良好である。また本実施例の軸外性能、画角性能、および特性も図示は省略するが、実施例1と同等である。

【0058】

図12は、参考例4の対物レンズの第2面のサグ形状を示す図である。図12において、下方がガラス等のレンズ構成材料であり、上方は空気である。本実施例の第2面は光軸からレンズの外周側に向かってサグ量が減る方向に変化しているが、中心からの距離0.4mm近辺においてサグ量が逆に増えるところがある。言い換えるとサグ量の半径位置による微分係数が一部正負逆転している。

10

【0059】

参考例4では、軸上収差はもちろんのこと、斜め光線に対する収差も十分に補正されている。また、光ディスクの傾きによって生じるコマ収差を、光ヘッド全体でなく対物レンズのみを傾けることによって補正する場合にも適している。

【0060】

しかしながら、参考例4の対物レンズの第二面は、光軸からレンズの外周側に向かってサグ量が減る方向に変化しているが、中心からの距離0.34mm近辺においてサグ量が逆に増えるところがある。言い換えるとサグ量の半径位置による微分係数が一部正負逆転している。このような形状を作製する際には、金型の加工途中に移動方向を反転しなければならないので、バックラッシュにより送り誤差が生じ、高精度の加工が難しくなるという課題が生じる。つまり、硝材の屈折率を1.72以上に選ぶことは、高精度に非球面形状を実現し収差の小さな高NA対物レンズを実現するためには不利であり、 $n < 1.72$ が望ましい。

20

【0061】

本発明の対物レンズは、単レンズでありながらNA0.91以上の高い開口数を持ち、光ディスクの対物レンズとして使える回折限界の性能を確保できる。軸上収差はもちろんのこと、斜め光線に対する収差も十分に補正されている。

30

【0062】

さらに、光ディスクの傾きによって生じるコマ収差を、光ヘッド全体でなく対物レンズのみを傾けることによって補正する場合にも適している。すなわち、軸外にコマ収差を最適な量だけ付加することによって、光ディスクが傾くことによって生じるコマ収差を補正するためのレンズの傾き量を減らすことができ、光ディスク用光ピックアップ光学系においてコマ収差補正時のトータルの収差を低減することができる。

【0063】

本実施の形態で述べた屈折率の適切な範囲は単レンズのNAを0.91以上に拡大することにより顕在化した特徴である。

40

【0064】

なお、対物レンズを光ピックアップに搭載する際には、対物レンズに入射する光ビームの直径を限定する開口制限（アパーチャ：aperture）を第1面の近傍に配置することも可能である。開口制限により、対物レンズの設計範囲より外周側に入射した光が大きな収差を発生させて収束性能が劣化することを回避できる。ただし、開口制限と対物レンズの中心軸ズレ分の余裕を確保するために、開口制限の直径を対物レンズの全有効半径より小さめに設定することが望ましい。焦点距離1mm程度の対物レンズにおいて、10ミクロン程度の軸ズレ余裕を確保するためにはNAが0.91になるよう、開口制限の半径を設定すると良い。このように考えると、実施例の対物レンズのNAは0.91以上と表現することが適当である。

50

【0065】

(実施の形態2)

図13は、実施の形態2にかかる光ヘッド装置1300を示す構成図である。図13において、光ヘッド装置1300は、レーザ光源1301、リレーレンズ1302、ビームスプリッタ1303、コリメートレンズ(第1の凸レンズ)1304、立ち上げミラー1305、1/4波長板1306、対物レンズ100、駆動手段1307、回折素子1308、検出レンズ1309、第1の光検出器1310、集光レンズ1311、第2の光検出器1312を備える。光ディスク101は、基材厚み t_1 が約0.1mm(製造誤差を含め0.11mm以下の基材厚を約0.1mmと呼ぶ)あるいはより薄い基材厚みを有し、波長 λ の光ビームによって記録・再生をされる。レーザ光源1301(第1の光源)は、波長 λ (390nm~415nm:標準的には405nmぐらい)の青色光の光ビーム107を出射する。光ディスク101は、図1に示したように、光の入射面から記録面までの基材105に加え、厚み1.1mm程度の基板104と張り合わせて機械的強度を補強し外形を1.2mm程度にする。以降、本発明の図面では、簡単のため、保護材は省略する。

10

【0066】

レーザ光源1301は、好ましくは半導体レーザ光源とすることにより光ヘッド装置、及びこれを用いた光情報装置を小型、軽量、低消費電力にすることができる。

【0067】

光ディスク101の記録再生を行う際には、レーザ光源1301から出射した波長 λ の光ビーム107は、リレーレンズ1302を介してビームスプリッタ1303によって反射され、コリメートレンズ1304によって略平行光にされ、さらに立ち上げミラー1305によって光軸を折り曲げられ、1/4波長板1306によって円偏光になる。対物レンズ100によって光ディスク101の厚さ約0.1mmの基材を通して光ビーム107が情報記録面106に収束される。リレーレンズ1302により、レーザ光源1301からの光利用効率や遠視野像(far field pattern)を好ましいものに設定できるが、特に必要ない場合は省略も可能である。ここで、図面の都合上、立ち上げミラー1305は光ビームを図面の上方に曲げるように記述したが実際には図面から手前(あるいは奥)へ図面に対して垂直な方向へ光ビーム光軸を折り曲げる構成とする。ここまでの光路を往路と呼ぶ。

20

30

【0068】

情報記録面で反射した光ビーム107は、もとの光路を逆にたどって(復路)、1/4波長板1306によって初期とは直角方向の直線偏光になり、ビームスプリッタ1303をほぼ全透過し、検出レンズ1309によって焦点距離を伸ばされて、光検出部を形成する第1の光検出器1310に入射する。第1の光検出器1310の出力の電気信号を演算することによって、焦点制御やトラッキング制御に用いるサーボ信号及び、情報信号を得る。なお、復路中に回折素子1308を設けることにより高精度で安定なサーボ信号検出を実現することも出来る。上記のようにビームスプリッタ1303は、波長 λ の光ビーム107に関しては、1方向の直線偏光を全反射し、それと直角方向の直線偏光を全透過する偏光分離膜を具備する。なお再生専用機など光ヘッド装置1300の用途によっては、ビームスプリッタ1303は偏光依存性をなくし、1/4波長板1306を省略することも可能である。

40

【0069】

ここで、対物レンズ100は、実施の形態1の対物レンズであり、NAが0.9を超えるにもかかわらず表面形状を高精度に作成可能なため、光ヘッド装置1300は高い解像度で高密度の情報記録再生を行うことができるという効果を持つ。対物レンズ100は、光ビーム107を集光して光ディスク101の記録面上に微小スポットを形成する。アクチュエータの一例としての駆動手段1307によって、対物レンズ100を光軸方向に駆動することにより、光ビーム107の微小スポットを焦点あわせする。

【0070】

50

また、コリメートレンズ1304を光軸方向（図13の左右方向）へ動かすことにより光ビームの平行度を変化させることも有効である。基材の厚さ誤差や、光ディスク101が2層ディスクの場合に層間厚さに起因する基材厚さがあると球面収差が発生するが、このようにコリメートレンズ1304を光軸方向に動かすことによってその球面収差を補正することができる。このように、コリメートレンズ1304を動かすことによる球面収差の補正は、 $\pm 30 \mu\text{m}$ 以上の基材厚さを補正することもできる。

【0071】

さらに、ビームスプリッタ1303を、レーザ光源1301から出射する直線偏光の光を一部（例えば10%程度）透過するようにして、透過した光ビーム107をさらに集光レンズ1311によって第2の光検出器1312へ導くと、第2の光検出器1312から得られる信号を用いて光ビーム107の発光光量変化をモニターしたり、さらに、その光量変化をフィードバックして、光ビーム107の発光光量を一定に保つ制御を行うこともできる。

10

【0072】

（実施の形態3）

図14は、実施の形態3に係る光情報装置1400の構成図である。図14において、光情報装置1400は、光ヘッド装置1300、駆動装置1401、電気回路1402、モータ1403、ターンテーブル1404、クランパ1405を備える。光ヘッド装置1300は、実施の形態2で説明したものである。

20

【0073】

光ディスク101は、ターンテーブル1404に乗せられ、クランパ1405で固定された状態でモータ1403によって回転される。光ヘッド装置1300は、光ディスク101の所望の情報の存在するトラックのところまで、駆動装置1401によって粗動される。

30

【0074】

光ヘッド装置1300は、光ディスク101との位置関係に対応して、フォーカスエラー信号（焦点誤差信号）やトラッキングエラー信号を電気回路1402へ送る。電気回路1402はこの信号に対応して、光ヘッド装置1300へ、対物レンズ100を微動させるための信号を送る。この信号によって、光ヘッド装置1300は、光ディスク101に対してフォーカス制御や、トラッキング制御を行い、光ヘッド装置1300によって、情報の読み出し、または書き込み（記録）や消去を行う。

40

【0075】

本実施の形態の光情報装置1400は、光ヘッド装置として実施の形態2で説明した光ヘッド装置1300を用いるので、記録密度の高い光ディスクに対応することができるという効果を有する。

【0076】

（実施の形態4）

実施の形態3に記した光情報装置1400を具備した、あるいは、上述の記録・再生方法を採用したコンピュータや、光ディスクプレーヤ、光ディスクレコーダ、サーバ、車両等は、異なる種類の光ディスクを安定に記録あるいは再生できるので、広い用途に使用できるという効果を有するものとなる。また、これらは、光ヘッド装置を用いて光ディスクから情報を再生するという意味では共通のものなので、すべてを総称して光ディスクシステムということもできる。

40

【0077】

図15は、実施の形態4に係る光ディスクシステム1500を示す構成図である。光ディスクシステム1500は、実施の形態3の光情報装置1400、演算装置1501を備える。光ディスクシステム1500は、入力装置1502を接続する入力端子、出力装置1503を接続する出力端子を備える。入力装置1502は、情報の入力を行う。例えば、キーボードあるいはマウス、タッチパネルは、入力装置1502の一例である。演算装置1501は、入力装置1502から入力された情報や、光情報装置1400から読み出

50

した情報などに基づいて演算を行う。例えば、中央演算装置（CPU）は、演算装置1501の一例である。出力装置1503は、演算装置1501によって演算された結果などの情報を表示する。例えば、ブラウン管や液晶表示装置、プリンターは、出力装置1503の一例である。

【0078】

本実施の形態の光ディスクシステムは、光ヘッド装置として、実施の形態3の光ヘッド装置を用いるので、記録密度の高い光ディスクに対応することができるという効果を有する。

【0079】

なお、演算装置1501は、光情報装置1400から得られる情報信号を静止画や動画を含む画像に変換する情報から画像へのデコーダーの一例としての変換装置であっても良い。また、演算装置1501は、静止画や動画を含む画像の画像情報を光情報装置1400によって記録する情報に変換する画像から情報へのエンコーダーの一例としての変換装置であっても良い。また、光情報装置1400から得られる情報信号を静止画や動画を含む画像に変換するとともに、静止画や動画を含む画像を光情報装置1400によって記録する情報に変換することができる変換装置であっても良い。また、入力装置1502や出力装置1503は、光ディスクシステム1500に一体に構成されていても良い。

【0080】

（実施の形態5）

図16は、実施の形態5に係る光ディスクシステム1600の構成図である。光ディスクシステム1600は、実施の形態3の光ディスクシステム1500に対して、さらに入出力端子1601を備える。入出力端子1601は、光ディスクシステム1600に記録する情報を取り込んだり、光情報装置1400によって読み出した情報を外部ネットワーク1602に出力する有線または無線の通信端子である。これによって、ネットワーク、すなわち、複数の機器、例えば、コンピュータ、電話、テレビチューナ等と情報をやりとりし、これら複数の機器から共有の情報サーバとして利用することが可能となる。実施の形態5における光情報装置は、異なる種類の光ディスクを安定に記録あるいは再生できるので、広い用途に使用できる効果を有するものとなる。さらに、情報を表示するブラウン管や液晶表示装置、プリンターなどの出力装置1503を備えてもよい。

【0081】

さらに、複数の光ディスクを光情報装置1400に出し入れすることができるチェンジャーを具備することにより、多くの情報を記録・蓄積できる効果を得ることができ、データセンターにおける情報蓄積装置として好適である。

【0082】

本実施の形態の光情報装置は、光ヘッド装置として、本発明で上述した光ヘッド装置を用いるので、記録密度の高い光ディスクに対応することができるという効果を有する。

【0083】

なお、実施の形態4及び5において図15及び図16には出力装置1503を示したが、出力端子を備えて出力装置1503を持たず、別売りとする商品形態があり得ることはいうまでもない。逆に、実施の形態4及び5において、入力装置は別売りとして入力端子のみを持った形態も可能である。

【0084】

なお、本出願は、2018年11月30日出願の日本特許出願（特願2018-224311）に基づくものであり、その内容は本出願の中に参照として援用される。

【産業上の利用可能性】

【0085】

本発明により大容量の光ディスクに対してより多くの情報を蓄積することができ、コンピュータ、光ディスクプレーヤ、光ディスクレコーダ、カーナビゲーションシステム、編集システム、データサーバー、AVコンポーネント、車両など、情報を蓄えるあらゆるシステムに応用展開可能である。

10

20

30

40

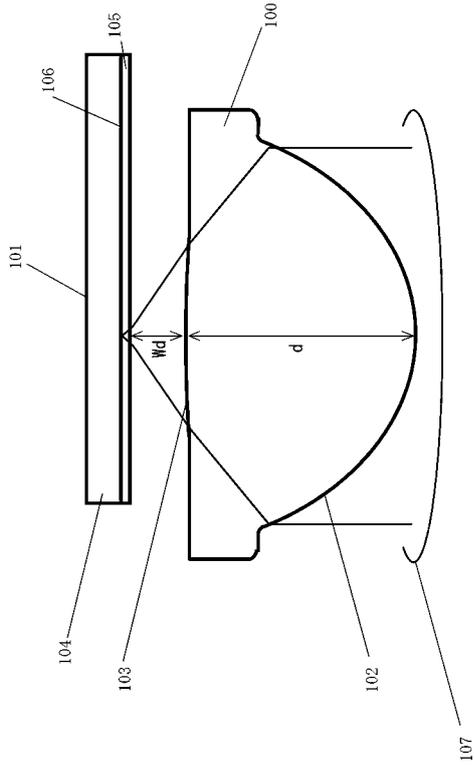
50

【符号の説明】

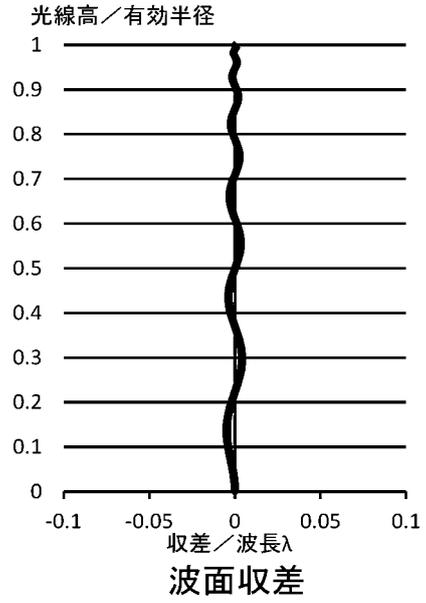
【0086】

100	対物レンズ	
101	光ディスク	
102	第一面	
103	第二面	
104	基板	
105	基材	
106	情報記録面	
107	光ビーム	10
1300	光ヘッド装置	
1301	レーザ光源	
1302	リレーレンズ	
1303	ビームスプリッタ	
1304	コリメートレンズ	
1305	立ち上げミラー	
1306	1/4波長板	
1307	駆動手段	
1308	回折素子	
1309	検出レンズ	20
1310	第1の光検出器	
1311	集光レンズ	
1312	第2の光検出器	
1400	光情報装置	
1401	駆動装置	
1402	電気回路	
1403	モータ	
1404	ターンテーブル	
1405	クランパ	
1500、1600	光ディスクシステム	30
1501	演算装置	
1502	入力装置	
1503	出力装置	
1601	入出力端子	
1602	外部ネットワーク	

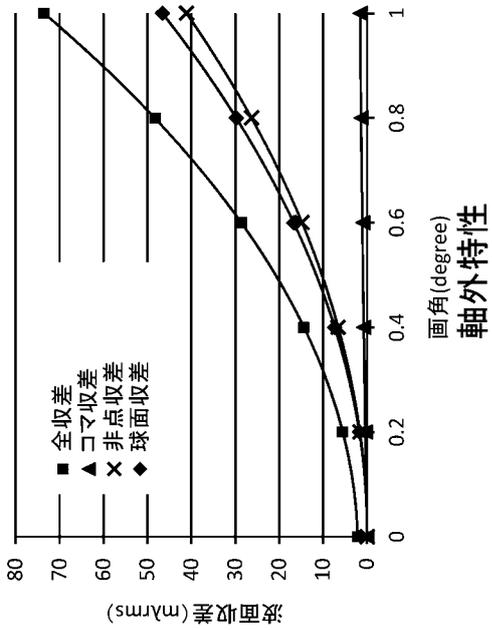
【 図 1 】



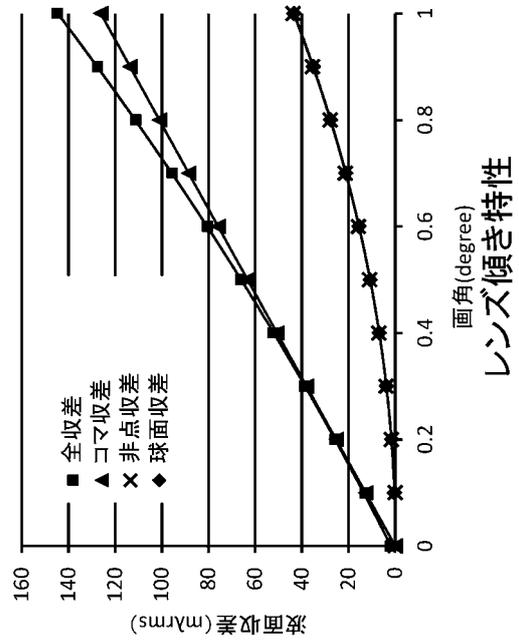
【 図 2 】



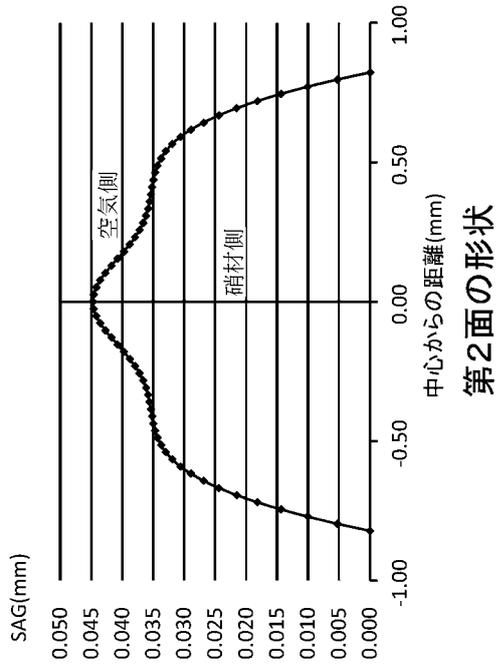
【 図 3 】



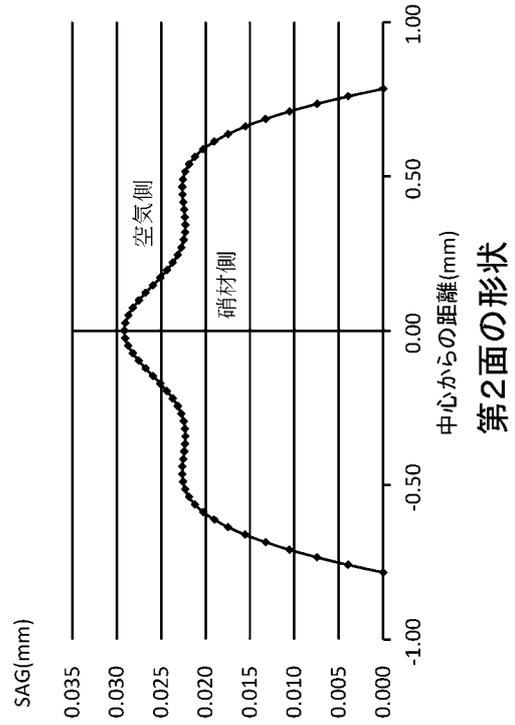
【 図 4 】



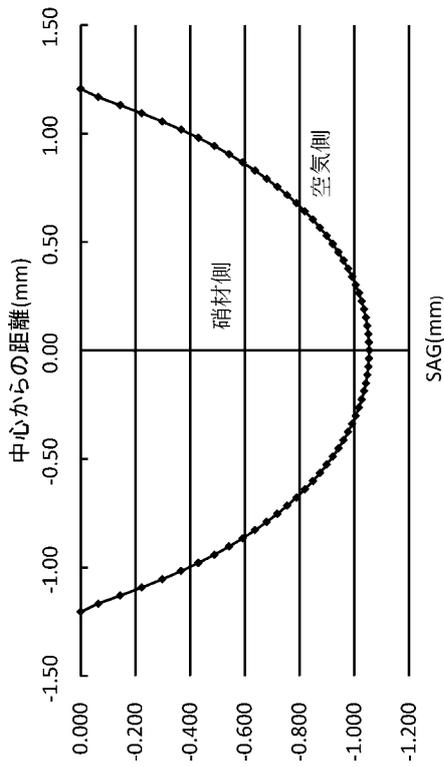
【 図 5 】



【 図 6 】

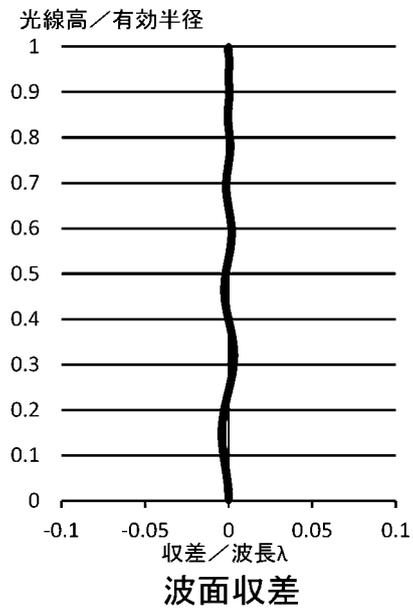


【 図 7 】

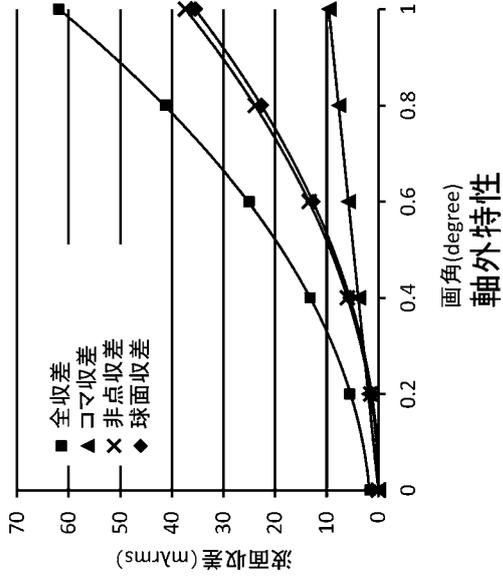


第1面の形状

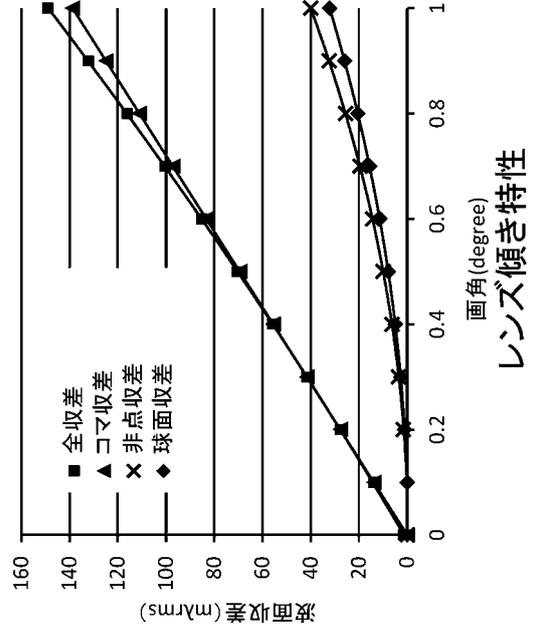
【 図 8 】



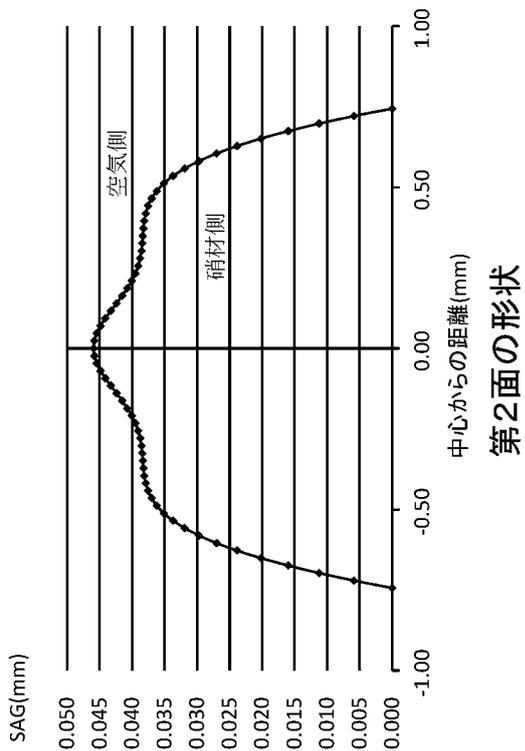
【 図 9 】



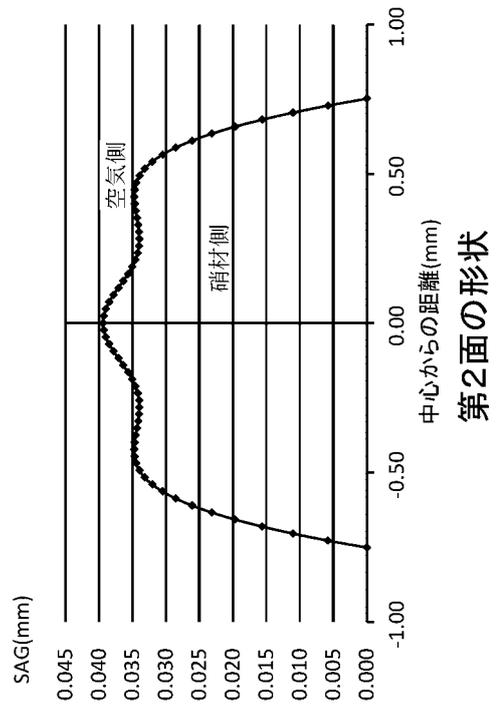
【 図 10 】



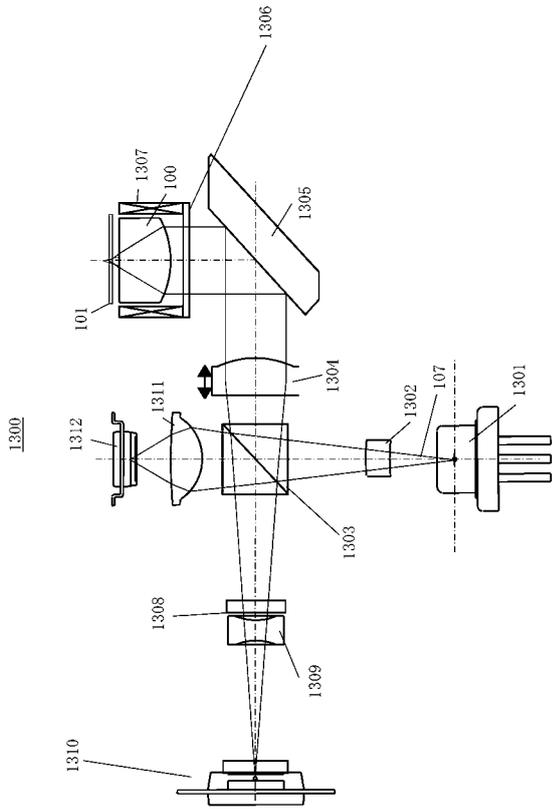
【 図 11 】



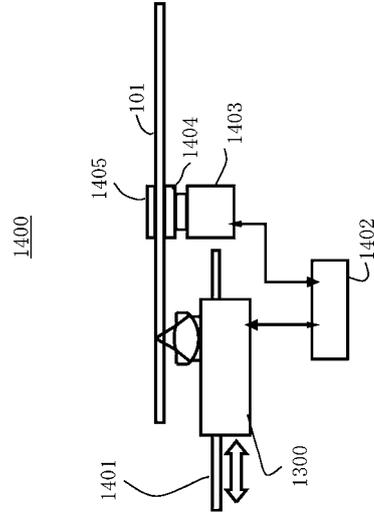
【 図 12 】



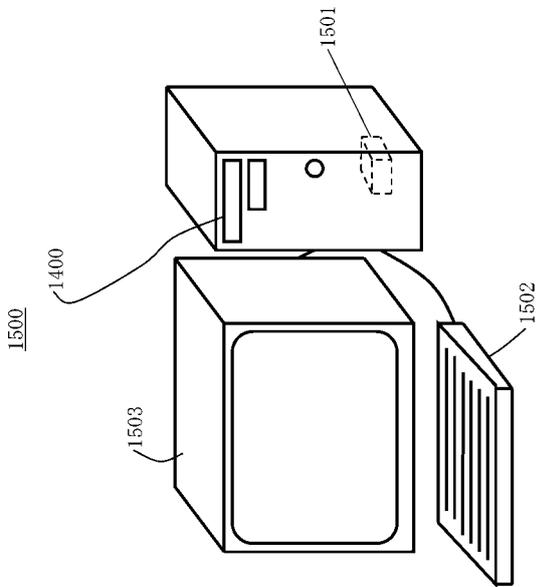
【 図 1 3 】



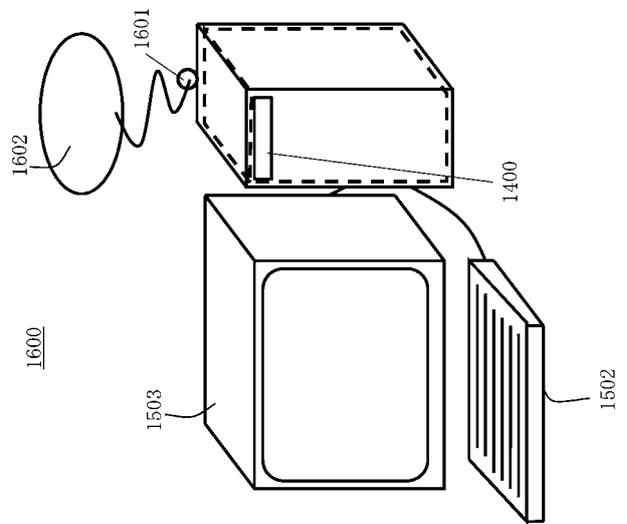
【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2H087 KA13 LA01 PA01 PA17 PB01 QA02 QA07 QA14 QA34 RA04
RA05 RA12 RA13 RA44 RA45
5D090 AA01 FF11 KK01 LL01
5D789 AA11 AA22 JA43 JB02