

(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 1 月 13 日(13.01.2011)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2011/004827 A1

- (51) 国際特許分類:
G11B 7/135 (2006.01) G02B 13/18 (2006.01)
G02B 5/18 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/061491
- (22) 国際出願日: 2010 年 7 月 6 日(06.07.2010)
- (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 2009-164240 2009 年 7 月 10 日(10.07.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 旭硝子株式会社 (Asahi Glass Company, Limited.) [JP/JP]; 〒1008405 東京都千代田区有楽町一丁目 1 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 宮坂 浩司 (MIYASAKA Koji) [JP/JP]; 〒9630215 福島県郡山市待池台 1-8 郡山西部第二工業団地 A G C エレクトロニクス株式会社内 Fukushima (JP). 野村 琢治 (NOMURA Takuji) [JP/JP]; 〒9630215 福島県郡山市待池台 1-8 郡山西部第二工業団地 A G C エレクトロニクス株式会社内 Fukushima (JP). 小野 健介 (ONO Kensuke) [JP/JP]; 〒9630215 福島県郡山市待池台 1-8

郡山西部第二工業団地 A G C エレクトロニクス株式会社内 Fukushima (JP).

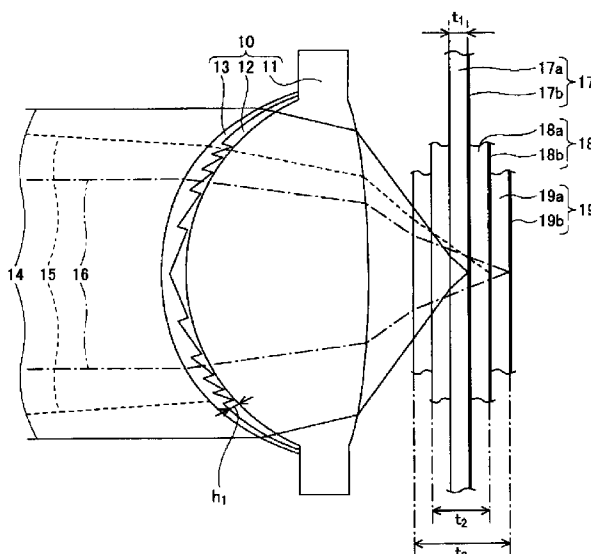
- (74) 代理人: 小栗 昌平, 外(OGURI Shohei et al.); 〒1050003 東京都港区西新橋一丁目 7 番 1 3 号 虎ノ門イーストビルディング 10 階 栄光特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, 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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF,

[続葉有]

(54) Title: COMPOSITE OPTICAL ELEMENT AND OPTICAL HEAD DEVICE

(54) 発明の名称: 複合光学素子及び光ヘッド装置

[図2]



(57) Abstract: A composite optical element is provided with a single lens having a curved surface and acting optically, a first resin layer formed on the surface of the aforementioned single lens, and a second resin layer formed on the aforementioned first resin layer. The aforementioned first resin layer has a diffraction grating in the shape of a Fresnel lens on the side facing the aforementioned second resin layer. The refraction indices of the first and second resin layers are approximately the same value for light of at least one wavelength among three different wavelengths λ_1 , λ_2 and λ_3 ($\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$), and the refraction indices of the first and second resin layer are different values for light of at least one other wavelength among said wavelengths.

(57) 要約: 複合光学素子は、曲面形状を有し光学的に作用する単レンズと、前記単レンズの表面に形成された第1の樹脂層と、前記第1の樹脂層の上に形成された第2の樹脂層を備え、前記第1の樹脂層は、前記第2の樹脂層側にフレネルレンズ形状となる回折格子を有し、波長 λ_1 の光、波長 λ_2 の光及び波長 λ_3 の光 ($\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$) の3種類の光のうち、少なくとも1種類の波長の光においては、前記第1の樹脂層の屈折率と前記第2の樹脂層の屈折率とが略同一の値であり、他の少なくとも1種類の波長の光においては、前記第1の

樹脂層の屈折率と前記第2の樹脂層の屈折率とが異なる値である。

WO 2011/004827 A1



BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, 添付公開書類:
SN, TD, TG).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 複合光学素子及び光ヘッド装置

技術分野

[0001] 本発明は、複合光学素子及び光ヘッド装置に関するものであり、特に波長の異なる情報記録媒体に用いる複合光学素子及び光ヘッド装置に関する。

背景技術

[0002] 光ディスクとして、Blu-ray（商品名、以下、BD）、DVD、CDが幅広く普及している。これらBD、DVD、CDは、記録及び再生に用いる光の波長等が異なっている。具体的には、BDは、基板の厚さ（カバー層の厚さ）が0.1mmの情報記録媒体に、波長405nmの光源から出射された光をNA（開口数）が0.85の対物レンズにより集光させることにより情報の記録及び再生を行う。DVDは、基板の厚さ（カバー層の厚さ）が0.6mmの情報記録媒体に、波長660nmの光源から出射された光をNAが0.65の対物レンズにより集光させることにより情報の記録及び再生を行う。CDは、基板の厚さ（カバー層の厚さ）が1.2mmの情報記録媒体に、波長780nmの光源から出射された光をNAが、0.45の対物レンズにより集光し、情報の記録及び再生を行う。

[0003] 上述したBD、DVD、CDにおける光ディスクにおいて、1つの対物レンズにより各々の光ディスクに使用する波長の光を集光することを考えた場合、各々の光ディスクのカバー層の厚さの違いに起因する球面収差を補正することができ、各光ディスクへの良好な集光特性が得られるようにすることが必要となる。また、各々の光の光軸方向に平行に移動する対物レンズが、光ディスクの表面と接触することを防ぐため、対物レンズと光ディスクとの間に一定の距離を確保しながら、各光ディスクへの良好な集光特性が得られるようにする必要がある。

[0004] これに対応するため、対物レンズに入射する各々の波長の光ごと、発散角を調整する方法がある。図1A及び1Bは、この方法を用いた光学系につい

ての例を模式的に示した図であり、図1AはBD用の光学系、図1BはCD用の光学系を示す。例えば、図1Aに示すように、BD用の光学系においては、対物レンズ201を $\phi 3\text{ mm}$ 、NA0.85、対物レンズ201と光ディスク(BD)202との距離WD1を0.7 mmに設定し、BD用の波長の光203を無限系(発散角 0°)で入射させ、カバー層202aの厚さ0.1 mmの光ディスク202の情報記録面202bに集光させるものである。

[0005] 一方、同じ対物レンズ201を用いて、光ディスク(CD)212に対応させようとする場合、対物レンズ201に光源213よりCD用の波長の光214を発散光として入射することによりカバー層212aの厚さ1.2 mmの光ディスク(CD)212の情報記録面212bに球面収差の補正が可能な状態で集光させることができる。しかしながら、光ディスク(CD)212において、対物レンズ201と光ディスク(CD)212との間の距離WD2を例えば0.3 mm確保しようとした場合、光源213と対物レンズ201との間の距離Lが15 mm程度と短くなるため、光源213から光ディスク(CD)212の間の光路中において、他の光学部品を配置することが困難となる。また、BD及びCDにおいて反射した光の焦点距離も異なるので、これらの光を検出する光検出器を各々の光学系に対し設ける必要があり、光ディスクの記録及び再生を行う信号処理回路が複雑になるという問題を有している。

[0006] このような問題に対応する方法として、特許文献1では、DVDやCDに対応する各々の波長の光に対しても対物レンズとしての機能を有するように、これら波長の光に対して回折作用を示す回折光学素子を光学系中に配置することで、1つの回折光学素子を用いて3つの異なる規格の光ディスクにおける情報の記録及び再生を行う光ピックアップ装置が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：日本国特許第3966303号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0008] 特許文献 1 に開示されている方法では、DVD 及び CD の各々の波長の光に対して独立に回折作用を与えることができるため、各々の波長の光に対し好適な発散角とし、また、球面収差を補正するような位相分布をさらに付加することができるので、CD 用の光学系における対物レンズと光ディスクの間の距離を確保しながら、記録及び再生に用いられる光の波長の異なる 3 種類の規格の光ディスクに対して好適に光を集光させることが可能である。
- [0009] ところで、特許文献 1 に記載された方法では、回折光学素子に対物レンズとは別個に設置する必要があるため、対物レンズ等に対し精密に位置合せを行う必要があるため、量産性が低くなるという問題点を有していた。また、CD 用の光を回折させるために断面が矩形状となるバイナリ格子を用いており、そのため ± 1 次回折光のうち一方の回折光のみを利用することから光の利用効率が低いという問題がある。
- [0010] 本発明は、上記点を鑑みてなされたものであり、位置合せを行う必要がなく、光の利用効率が高く、異なる規格の光ディスクに対して好適に光を集光させることが可能な複合光学素子及び光ヘッド装置を提供することを目的とするものである。

課題を解決するための手段

- [0011] 本発明は、曲面形状を有し光学的に作用する単レンズと、前記単レンズの表面に形成された第 1 の樹脂層と、前記第 1 の樹脂層の上に形成された第 2 の樹脂層を備え、前記第 1 の樹脂層は、前記第 2 の樹脂層側にフレネルレンズ形状となる回折格子を有し、波長 λ_1 の光、波長 λ_2 の光及び波長 λ_3 の光 ($\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$) の 3 種類の光のうち、少なくとも 1 種類の波長の光においては、前記第 1 の樹脂層の屈折率と前記第 2 の樹脂層の屈折率とが略同一の値であり、他の少なくとも 1 種類の波長の光においては、前記第 1 の樹脂層の屈折率と前記第 2 の樹脂層の屈折率とが異なる値である複合光学素子を提供する。

- [0012] 前記第2の樹脂層は、前記第1の樹脂層側と対向する側の表面にフレネルレンズ形状となる回折格子を有してもよい。
- [0013] 前記第2の樹脂層の前記第1の樹脂層側と対向する側の表面に形成された回折格子は、ブレード形状を複数の段差に近似した階段状の擬似ブレード形状を有してもよく、各前記段差は、前記3種類の波長の光のうち1種類の波長の略整数倍の位相差を与えるかまたは、前記3種類の波長の光のうち2種類の波長それぞれにおいて略整数倍の位相差を与えてもよい。
- [0014] 前記第2の樹脂層は、前記第1の樹脂層側と対向する側の表面において、光軸を中心とした中心領域と、前記中心領域を囲む輪帯状の周辺領域を有してもよく、前記中心領域は曲面形状を有してもよく、前記周辺領域は、前記中心領域の曲面に対して位相段差またはバイナリ一回折格子を有してもよい。
- [0015] 前記周辺領域は、前記位相段差を有してもよく、前記位相段差は、複数の段差を有してもよく、各前記段差は、前記3種類の波長の光のうち1種類の波長の略整数倍の位相差を与えるかまたは、前記3種類の波長の光のうち2種類の波長それぞれの略整数倍の位相差を与えてもよい。
- [0016] 前記周辺領域は、前記位相段差を有してもよく、前記位相段差は、1つの段差からなってもよく、前記段差は、前記波長 λ_3 の光に対して $\lambda_3/2$ の奇数倍に略等しい位相差を与えるとともに、波長 λ_1 の光および波長 λ_2 の光に対してそれぞれの波長において略整数倍に略等しい位相差を与えてもよい。
- [0017] 前記周辺領域は、前記バイナリ一回折格子を有してもよく、前記バイナリ一回折格子の深さは、前記波長 λ_3 の光に対して $\lambda_3/2$ の奇数倍に略等しい位相差を与えるとともに、波長 λ_1 の光および波長 λ_2 の光に対してそれぞれの波長の整数倍に略等しい位相差を与える値であってもよい。
- [0018] 前記第1の樹脂層は、前記第2の樹脂層側に、光軸を中心とした内部中心領域と、前記内部中心領域を囲む輪帯状の内部周辺領域を有してもよく、前記内部中心領域はフレネルレンズ形状となる回折格子を有してもよく、前記内部周辺領域は、曲面形状を有してもよい。

- [0019] 前記第2の樹脂層上に、保護層が形成されてもよい。
- [0020] 前記波長 λ_1 は、375～435nmとなる405nm波長帯であってもよく、前記波長 λ_2 は、630～690nmとなる660nm波長帯であってもよく、前記波長 λ_3 は、750～810nmとなる780nm波長帯であってもよい。
- [0021] また、本発明は、405nm波長帯の光、660nm波長帯の光および780nm波長帯の光を出射する光源と、前記光源から出射された各々の波長帯の光を各々の波長帯の光に対応した光ディスクの情報記録面に集光させる前記記載の複合光学素子と、前記光ディスクの情報記録面において反射された信号光を検出するための光検出器を備える光ヘッド装置を提供する。

発明の効果

- [0022] 本発明によれば、回折光学素子等の位置合せを行う必要がなく、光の利用効率が高く、異なる規格の光ディスクに対しても各々好適に光を集光させることが可能な複合光学素子及び光ヘッド装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

- [0023] [図1A] 共通する対物レンズを用いて異なる光ディスクに集光させる従来の光学系の説明図
- [図1B] 共通する対物レンズを用いて異なる光ディスクに集光させる従来の光学系の説明図
- [図2] 第1の実施の形態における複合光学素子の断面図
- [図3] 第1の実施の形態における複合光学素子の正面図
- [図4] 第1の実施の形態における第1の樹脂層及び第2の樹脂層における波長と屈折率との相関図
- [図5] 第2の実施の形態における複合光学素子の断面図
- [図6] 第2の実施の形態における複合光学素子の正面図
- [図7A] 第2の実施の形態における複合光学素子の説明図
- [図7B] 第2の実施の形態における複合光学素子の説明図
- [図8] 第3の実施の形態における複合光学素子の断面図

- [図9] 第4の実施の形態における複合光学素子の断面図
- [図10] 第5の実施の形態における複合光学素子の断面図
- [図11] 第6の実施の形態における複合光学素子の断面図
- [図12] 第7の実施の形態における複合光学素子の断面図
- [図13] 第7の実施の形態における第1の樹脂層及び第2の樹脂層における波長と屈折率との相関図
- [図14] 第8の実施の形態における複合光学素子の断面図
- [図15] 第9の実施の形態における複合光学素子の断面図
- [図16] 第10の実施の形態における光ヘッド装置の構成図
- [図17] 第11の実施の形態における光ヘッド装置の構成図
- [図18] 実施例1における波長と回折効率との相関図
- [図19] 実施例1における波長と回折効率との相関図
- [図20] 仮想的な光源から光ディスクまでの光学的位置関係の説明図
- [図21A] 実施例1における405nm波長光の収差図
- [図21B] 実施例1における660nm波長光の収差図
- [図21C] 実施例1における780nm波長光の収差図
- [図22A] 実施例2における405nm波長光の収差図
- [図22B] 実施例2における660nm波長光の収差図
- [図22C] 実施例2における780nm波長光の収差図
- [図23A] 実施例3における405nm波長光の収差図
- [図23B] 実施例3における660nm波長光の収差図
- [図23C] 実施例3における780nm波長光の収差図
- [図24A] 実施例4における405nm波長光の収差図
- [図24B] 実施例4における660nm波長光の収差図
- [図24C] 実施例4における780nm波長光の収差図
- [図25A] 実施例5における405nm波長光の収差図
- [図25B] 実施例5における660nm波長光の収差図
- [図25C] 実施例5における780nm波長光の収差図

[図26A]実施例8における405nm波長光の収差図

[図26B]実施例8における660nm波長光の収差図

[図26C]実施例8における780nm波長光の収差図

[図27A]実施例9における405nm波長光の収差図

[図27B]実施例9における660nm波長光の収差図

[図27C]実施例9における780nm波長光の収差図

[図28A]実施例10における405nm波長光の収差図

[図28B]実施例10における660nm波長光の収差図

[図28C]実施例10における780nm波長光の収差図

発明を実施するための形態

[0024] 本発明を実施するための形態について、以下に説明する。

[0025] (第1の実施の形態)

第1の実施の形態について説明する。本実施の形態は、対物レンズ形状を有する単レンズを含んだ構成の複合光学素子である。

[0026] 図2に基づき、本実施の形態における複合光学素子について説明する。図2は、本実施の形態における複合光学素子と、3種類の光ディスクについて模式的に示したものである。本実施の形態における複合光学素子10は、単レンズ11の表面に第1の樹脂層12、第1の樹脂層12の表面に第2の樹脂層13が形成されており、一体化した構成となっている。また、この複合光学素子10を含んだ構成の光ヘッド装置では、不図示の光源より必要に応じて光学系等を介し、波長の異なる3種類の光線、即ち、波長 λ_1 の光線14、波長 λ_2 の光線15、波長 λ_3 の光線16が入射可能となるよう構成されており、各々の光が本実施の形態における複合光学素子10を介し、各々の種類の光ディスクに集光される。

[0027] 3種類の光ディスクは、厚さが t_1 であるカバー層17aと情報記録面17bからなる第1の光ディスク17と、厚さが t_2 であるカバー層18aと情報記録面18bからなる第2の光ディスク18と、厚さが t_3 であるカバー層19aと情報記録面19bからなる第3の光ディスク19である。また、第1

の光ディスク 17 は、波長 λ_1 の光により情報の記録及び再生が行われるものであり、第 2 の光ディスク 18 は、波長 λ_2 の光により情報の記録及び再生が行われるものであり、第 3 の光ディスク 19 は、波長 λ_3 の光により情報の記録及び再生が行われるものである。各々の波長の光は各々の情報記録面に集光されることにより情報の記録及び再生が行われる。また、波長 λ_1 、波長 λ_2 、波長 λ_3 については、 $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$ の関係にあり、各々の光ディスクのカバー層の厚さ t_1 、 t_2 、 t_3 については、 $t_1 < t_2 < t_3$ の関係にある。

[0028] 例えば、第 1 の光ディスク 17 は BD であり、波長 λ_1 は 405 nm 波長帯 ($375 \text{ nm} \leq \lambda_1 \leq 435 \text{ nm}$) となる光であり、第 2 の光ディスク 18 は DVD であり、波長 λ_2 は 660 nm 波長帯 ($630 \text{ nm} \leq \lambda_2 \leq 690 \text{ nm}$) となる光であり、第 3 の光ディスク 19 は CD であり、波長 λ_3 は 780 nm 波長帯 ($750 \text{ nm} \leq \lambda_3 \leq 810 \text{ nm}$) となる光である。

[0029] 尚、図 2 においては、第 1 の光ディスク 17、第 2 の光ディスク 18 及び第 3 の光ディスク 19 を示しているが、一度に記録再生を行うことが可能な光ディスクは 1 種類であり、3 種類の第 1 の光ディスク 17、第 2 の光ディスク 18 及び第 3 の光ディスク 19 のうちいずれか 1 つについて、情報の記録及び再生が行われる。つまり、第 1 の光ディスク 17 は、波長 λ_1 の光線 14 が入射することにより情報の記録及び再生が行われ、第 2 の光ディスク 18 は、波長 λ_2 の光線 15 が入射することにより情報の記録及び再生が行われ、第 3 の光ディスク 19 は、波長 λ_3 の光線 16 が入射することにより情報の記録及び再生が行われる。また、各々の第 1 の光ディスク 17、第 2 の光ディスク 18 及び第 3 の光ディスク 19 に光線 14、15、16 が入射する際における開口数 NA の値を、各々 NA_1 、 NA_2 、 NA_3 とすると、 $NA_1 > NA_2 > NA_3$ の関係にある。

[0030] 本実施の形態を説明する上で、図 2 では、第 1 の光ディスク 17 に入射する波長 λ_1 の光線 14 及び第 3 の光ディスク 19 に入射する波長 λ_3 の光線 16 は、複合光学素子 10 に対して平行光となる無限系で入射しており、第 2 の光ディスク 18 に入射する波長 λ_2 の光線 15 は、複合光学素子 10 に対し

て発散または収束しながら進行する有限系で入射している構成を示しているが、これに限らない。第3の光ディスク19に入射する波長 λ_3 の光線16を複合光学素子10に対して有限系で入射し、第2の光ディスク18に入射する波長 λ_2 の光線15を複合光学素子10に対して無限系で入射する構成でもよい。また、第2の光ディスク18に入射する波長 λ_2 の光線及び第3の光ディスク19に入射する λ_3 の光線16をともに複合光学素子10に対して有限系で入射する構成としてもよい。

[0031] 前述のとおり、本実施の形態における複合光学素子10は、単レンズ11の表面に第1の樹脂層12、第1の樹脂層12の表面に第2の樹脂層13が形成されており、第1の樹脂層12と第2の樹脂層13との接合面（界面）によって、波長 λ_2 の光線15及び波長 λ_3 の光線16が透過する領域には断面形状がブレード形状の回折格子が形成される。図3は、本実施の形態における複合光学素子10において、単レンズ11に形成された第1の樹脂層12の状態を複合光学素子10の光軸方向より模式的に示したものである。尚、単レンズ11としては、ガラスや樹脂材料等が用いられ、ガラスの場合、低屈折率のものが好ましく用いられ、また、樹脂材料としてプラスチックを用いる場合、シクロオレフィンポリマー（COP）などを用いて、プレス加工により対物レンズ等のレンズ形状に形成することができる。

[0032] また、第1の樹脂層12は、光線15よりも外側（光軸に対して周辺側）にブレード形状などの凹凸を有してもよく、この場合の凹凸形状は、波長 λ_2 の光および波長 λ_3 の光が入射する場合でも、それぞれ、第2の光ディスク18、第3の光ディスク19には集光しないような形状であるとよい。また、このように、光線15よりも外側に凹凸を有する場合、第1の樹脂層12と第2の樹脂層13と、が接する表面積が増えるので、これらの樹脂同士の密着性が上がる。これより、信頼性が上がるとともに、第2の樹脂層13を第1の樹脂層に積層する場合、この凹凸により樹脂の流動を阻害でき、樹脂の収縮による変形を抑制することができる。なお、このように、凹凸を与えることは、以降の実施の形態においても同様に用いることができる。

[0033] 第1の樹脂層12及び第2の樹脂層13は、入射する光の波長に対する屈折率、アッペ数が異なる特性を有する材料を各々用いる。図4に、第1の樹脂層12と第2の樹脂層13における波長と屈折率との関係（波長分散特性）を示す。例えば、屈折率特性12aは、第1の樹脂層12における波長分散特性を示し、屈折率特性13aは、第2の樹脂層13における波長分散特性を示したものである。第1の樹脂層12の屈折率と第2の樹脂層13の屈折率とは、波長 λ_1 の帯域において屈折率 n_{11} で略同一の値となっている。しかしながら、波長 λ_2 の帯域において、第1の樹脂層12の屈折率 n_{12} であり、第2の樹脂層13の屈折率 n_{22} であり各々異なる値となる。また、波長 λ_3 の帯域において、第1の樹脂層12の屈折率 n_{13} であり、第2の樹脂層13の屈折率 n_{23} であり各々異なる値となる。ここで、波長の帯域とは、特定の波長 λ_x に対して、 $0.97\lambda_x \sim 1.03\lambda_x$ の波長領域のことを意味するものである。尚、屈折率の値が略同一とは、特定の波長の光における、2つの樹脂材料の屈折率の差を Δn_A とするとき、 $|\Delta n_A| \leq 0.02$ であるものとし、以降の実施の形態においても同様である。

[0034] また、図4においては、波長 λ_2 の光及び波長 λ_3 の光において、第1の樹脂層12の屈折率に対し、第2の樹脂層13の屈折率が高い場合について示したが、逆に、第2の樹脂層13の屈折率に対し、第1の樹脂層12の屈折率が高い場合についても同様の効果を得ることができる。また、以降の他の実施の形態において図4を参照する場合も、屈折率特性12aは、第1の樹脂層における波長分散特性を示し、屈折率特性13aは、第2の樹脂層における波長分散特性を示すものとする。

[0035] ここで、低アッペ数樹脂材料としては、芳香族系炭化水素を含む樹脂材料や TiO_2 、 Nb_2O_5 等の低アッペ数の無機微粒子を含有した樹脂を用いることが可能である。芳香族系炭化水素は紫外線の波長領域において吸収を有する場合があります、波長が405nm近傍において急峻な屈折率分散を得ることが可能である。しかしながら、405nmの波長の光が照射された際に、劣化しやすい傾向にあり、これを避けるためにフェニルシラン構造等の405

nmの波長に対して劣化耐性のある構造を含むものであることが好ましい。

[0036] 高アッペ数樹脂材料としては、脂肪族系炭化水素、フッ素系炭化水素、硫黄系炭化水素を用いることが可能である。また、これらの樹脂に ZrO_2 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 La_2O_3 等の高アッペ数の無機微粒子を含むものを用いることも可能である。脂肪族系炭化水素は緩やかな屈折率分散が得られるが、屈折率が低くなる傾向にあるため、アダマンタン構造やジアマンタン構造等の材料を含めることにより屈折率を高めて、低アッペ数材料との屈折率の調整を行うことが好ましい。

[0037] 次に、複合光学素子10の具体的な構成について説明する。図2に示すように、第1の樹脂層12を進行する光の方向と略平行方向に与えられる第1の樹脂層12のブレードの高さ（回折面におけるブレードの高さ） h_1 は、波長 λ における2つの樹脂の屈折率差を Δn とした場合に、 $\Delta n \times h_1 / \lambda$ の値が波長 λ_2 から波長 λ_3 の波長の帯域において略1となるように形成されている。ここで、略1であるとは、好ましくは $0.5 \leq \Delta n \times h_1 / \lambda \leq 1.5$ の範囲であり、より好ましくは、 $0.7 \leq \Delta n \times h_1 / \lambda \leq 1.3$ の範囲である。

[0038] また、第1の樹脂層12のブレードの高さは、全面にわたって h_1 のみの値とする場合限らず、 h_1 と異なる高さの値を有するなど、不均一であってもよい。例えば、波長 λ_2 の光の回折効率と波長 λ_3 の光の回折効率を所定の値より変える場合、第1の樹脂層12のブレードの高さを2値化するなど自由に設定することができる。また、フレネルレンズ形状を有する第1の樹脂層12の隣り合う頂点間の距離（＝フレネルピッチ）が短くなる場合、回折効率が所定の値に対して変化することがある。この場合、高さをピッチ毎に調整して、例えば、光軸を中心に周辺部に向けて、高さのグラデーションを与えることで回折効率を均一化させることもできる。また、高さを全面にわたって不均一とする場合において、所定の高さを h_1 とするとき、 $0.8 \times h_1 \leq h \leq 1.2 \times h_1$ の間で高さ h の値が調整されていればよい。なお、このように、高さに不均一な分布を与えることは、以降の実施の形態においても同様

に用いることができる。

- [0039] 第1の樹脂層12及び第2の樹脂層13として用いることのできる樹脂材料は、上述した屈折率の関係を満たすものであればよく、熱硬化型や紫外線硬化型の樹脂材料を用いることができる。また、樹脂を含んだ材料であれば無機微粒子が混合されるようなハイブリッド材料であってもよい。また、単レンズ11に対して、第1の樹脂層12及び第2の樹脂層13を接合し、第1の樹脂層12と第2の樹脂層13との界面に回折面を形成する方法としては、紫外線や熱によるインプリント法を用いることができる。
- [0040] このようにして形成された本実施の形態における複合光学素子10においては、波長 λ_1 の光は第1の樹脂層12における屈折率及び第2の樹脂層13における屈折率が略同一の値となっているため、第1の樹脂層12及び第2の樹脂層13における界面において波長 λ_1 の光は回折されずに進行する。従って、波長 λ_1 の光が無限系で複合光学素子10に入射した場合、第1の光ディスク17の情報記録面17bに集光させることができるよう、単レンズ11、第1の樹脂層12及び第2の樹脂層13の形状を決定する。
- [0041] 一方、波長 λ_3 の光が無限系で入射すると、第1の樹脂層12と第2の樹脂層13との界面に形成された回折格子により回折されるため、複合光学素子10と第3の光ディスク19との間の距離を十分に保った状態で、波長 λ_3 の光を第3の光ディスク19の情報記録面19bの表面に集光させることができ、かつ、第1の光ディスク17のカバー層17aと第3の光ディスク19のカバー層19aとの厚さの違いにより生じる球面収差の補正を行うことができる。
- [0042] 更に、本実施の形態における複合光学素子10では、波長 λ_2 の光を有限系で入射させ球面収差の補正を行うことにより、第2の光ディスク18の情報記録面18bに、波長 λ_2 の光を集光させることができる。つまり、複合光学素子10に入射する波長 λ_2 の光の発散状態（発散角）と、入射する光を回折させて集光させる回折格子の性能（仕様）を調整することで、第2の光ディスク18の情報記録面18bに集光させることができる。

[0043] 本実施の形態における複合光学素子 10 では、上述した構成により、複合光学素子 10 と第 1 の光ディスク 17、第 2 の光ディスク 18 及び第 3 の光ディスク 19 との間の距離を十分に保った状態で、波長 λ_1 の光、波長 λ_2 の光及び波長 λ_3 の光を集光させることができる。

[0044] (第 2 の実施の形態)

次に、第 2 の実施の形態について説明する。図 5 に基づき本実施の形態における複合光学素子について説明する。本実施の形態における複合光学素子は、単レンズを含んだ構成のものである。

[0045] 本実施の形態における複合光学素子 20 は、単レンズ 21 の表面に第 1 の樹脂層 22、第 1 の樹脂層 22 の表面に第 2 の樹脂層 23 が形成されており一体化した構成となっている。第 1 の樹脂層 22 と第 2 の樹脂層 23 との界面によって、断面形状がブレード形状の回折格子が形成されており、第 2 の樹脂層 23 の表面、即ち、第 1 の樹脂層 22 と接しない面には、位相差 24 が形成されている。第 1 の樹脂層 22 の屈折率と第 2 の樹脂層 23 の屈折率は、波長 λ_1 の帯域において略同一の値であり、波長 λ_2 の帯域及び波長 λ_3 の帯域において値が異なるものであって、図 4 に示すような波長分散特性を有する。また、波長 λ_2 の光及び波長 λ_3 の光は有限系で複合光学素子 20 に入射する。尚、図 6 は、本実施の形態における複合光学素子 20 において、第 2 の樹脂層 23 の表面における位相差 24 が形成されている状態を光軸方向より模式的に示したものである。また、本実施形態では、第 2 の樹脂層 23 の表面において、位相差 24 が形成された領域を周辺領域、光軸を含み位相差 24 が形成されない領域を中心領域という。

[0046] 次に、図 7 A 及び 7 B に基づき本実施の形態における複合光学素子 20 の位相差 24 及びその効果について説明する。位相差 24 は、複合光学素子 20 における残留収差の補正をするために形成されている。例えば、位相差 24 が形成されていないため、波長 λ_2 の光が入射し、第 2 の光ディスクに集光した際、残留波面収差が図 7 A における波面収差 31 のような分布を有している場合に、位相差 24 により、波面収差 31 を相殺するように波

面収差 32 に示すような位相差を与える補正を行うことで、球面収差を低減させる。そして、図 7 B は、波面収差 31 に対して波面収差 32 を差し引いた残留の波面収差 33 を示したものである。尚、図 7 A 及び 7 B は、本実施の形態における複合光学素子 20 の光軸に沿った断面における波面収差を示すものであり、波面収差 31 となる球面収差は光軸を中心に回転対称の分布となるように発生する。周辺領域は光軸を中心に回転対称となる輪帯状の領域となる。

[0047] 本実施の形態における複合光学素子 20 により生じる波面収差の大きさは、波長 λ_1 の光、波長 λ_2 の光、波長 λ_3 の光によって異なるため、位相差差 24 により特に波面収差を補正したい特定の波長の光に対してのみを対象とし、他の波長の光に対して余分な波面収差を発生させないことが好ましい。例えば、波長 λ_2 の光についてのみ波面収差の補正をしたい場合には、位相差差 24 における段差 d_2 が、以下の (1) ~ (3) の数式を満たすように作製する。

$$[0048] \quad (m_1 - 0.1) \lambda_1 \leq d_2 (n_2(\lambda_1) - 1) \leq (m_1 + 0.1) \lambda_1 \cdots$$

(1)

$$(m_2 + 0.1) \lambda_2 < d_2 (n_2(\lambda_2) - 1) < (m_2 + 0.9) \lambda_2 \cdots$$

(2)

$$(m_3 - 0.1) \lambda_3 \leq d_2 (n_2(\lambda_3) - 1) \leq (m_3 + 0.1) \lambda_3 \cdots$$

(3)

ここで、 $n_2(\lambda_1)$ 、 $n_2(\lambda_2)$ 及び $n_3(\lambda_3)$ は、それぞれ、第 2 の樹脂層 23 における波長 λ_1 の光の屈折率、波長 λ_2 の光の屈折率及び波長 λ_3 の光の屈折率である。また、 m_1 、 m_2 及び m_3 は整数である。上記 (1) ~ (3) に記載した式を満たすように本実施の形態における複合光学素子 20 を作製する。尚、段差 d_2 は、光軸に略平行な高さに相当し、図 5 において例として段差 d_2 の数が 2 つ (ステップ数 = 2) となる位相差差 24 としているが、波面収差 31 を相殺できればステップ数が 3 以上であってもよい。

[0049] これにより、本実施の形態における複合光学素子 20 では、波面 (球面)

収差の補正が不十分であった場合に、所定の波長における波面（球面）収差の補正をすることができ、波長 λ_1 の光、波長 λ_2 の光及び波長 λ_3 の光を第1の光ディスク17、第2の光ディスク18及び第3の光ディスク19に対し、低い波面（球面）収差量で良好に集光させることができる。また、本実施の形態では、第2の樹脂層23の表面に位相段差24を形成したが、第1の樹脂層22の回折格子面に位相段差を加えた形状としてもよい。尚、上記以外の内容については第1の実施の形態と同様である。

[0050] （第3の実施の形態）

次に、第3の実施の形態について説明する。図8は、本実施の形態における複合光学素子40を模式的に示したものである。本実施の形態における複合光学素子40は、単レンズ41の表面に第1の樹脂層42、第1の樹脂層42の表面に第2の樹脂層43が形成されており一体化した構成となっている。第1の樹脂層42と第2の樹脂層43との界面によって、第1の実施の形態と同様の、断面形状がブレード形状の回折格子が形成されており、後述するもう一つの回折格子と区別するため、この回折格子を第1の回折格子とする。そして、第2の樹脂層43の表面、即ち、第1の樹脂層43と接しない第2の樹脂層43の表面には第2の回折格子44が形成されている。第1の樹脂層42の屈折率と第2の樹脂層43の屈折率は、波長 λ_1 の帯域において略同一の値であり、波長 λ_2 の帯域及び波長 λ_3 の帯域において値が異なるものであって、図4に示すような波長分散特性を有する。

[0051] 第2の回折格子44は第2の樹脂層43の表面全体に形成されており、この第2の回折格子44においても入射する光を回折させることによって、発生する収差を低減して集光性を改善することができる。つまり、第1の回折格子においても残留収差が残っている場合に、残留収差の補正を行うためのものである。樹脂層43の表面に入射した光は、第2の回折格子44により回折されるため進行方向が変化し、第1の樹脂層42と第2の樹脂層43との間で屈折率が異なる波長の光に対し、第1の回折格子によって回折させることによって残留収差の補正が行われ、各々の波長の光が、第1の光ディス

ク 17、第2の光ディスク18及び第3の光ディスク19に集光される。

[0052] 第2の回折格子44がブレード形状である場合、最大の回折効率となるのは、光軸と略平行となるブレード形状の高さ d_3 が、以下の(4)～(6)における式を満たす場合である。

$$[0053] \quad (m_1 - 0.3) \lambda_1 \leq d_3 (n_2(\lambda_1) - 1) \leq (m_1 + 0.3) \lambda_1 \cdot \cdot \cdot \quad (4)$$

$$(m_2 - 0.3) \lambda_2 \leq d_3 (n_2(\lambda_2) - 1) \leq (m_2 + 0.3) \lambda_2 \cdot \cdot \cdot \quad (5)$$

$$(m_3 - 0.3) \lambda_3 \leq d_3 (n_2(\lambda_3) - 1) \leq (m_3 + 0.3) \lambda_3 \cdot \cdot \cdot \quad (6)$$

ここで、 $n_2(\lambda_1)$ 、 $n_2(\lambda_2)$ 及び $n_3(\lambda_3)$ は、それぞれ、第2の樹脂層43における波長 λ_1 の光の屈折率、波長 λ_2 の光の屈折率及び波長 λ_3 の光の屈折率である。また、 m_1 、 m_2 及び m_3 は整数である。上記(4)～(6)における数式を満たすように本実施の形態における複合光学素子40を製作する。

[0054] これにより、本実施の形態における複合光学素子40における光の屈折、第2の樹脂層43の表面(第2の回折格子)における光の回折、第1の樹脂層42と第2の樹脂層43との界面(第1の回折格子)における光の回折と、3つの光学特性を利用して、各々の波長の光を各々の光ディスクの情報記録面に良好に集光させるように自由度の高い設計を実現できる。

[0055] ここで、本実施の形態の複合光学素子40に含まれる第1の樹脂層42と第2の樹脂層43の屈折率は、図4に示すような波長分散特性を有するものとしたので、波長 λ_1 の光については、複合光学素子40における光の屈折及び第2の樹脂層43における光の回折により、第1の光ディスク17に集光される。また、波長 λ_2 の光については、複合光学素子40における光の屈折、第2の回折格子における光の回折及び第1の回折格子における光の回折により、第2の光ディスク18に集光される。また、波長 λ_3 の光についても、複合光学素子40における光の屈折、第2の回折格子における光の回折及び

第1の回折格子における光の回折により、第3の光ディスク19に集光される。

[0056] また、第2の回折格子44の断面形状が、図8に示すようにブレード形状を階段状に近似した擬似ブレード形状である場合には、各々の波長の光に対して異なる光学作用を与えることができる。例えば、波長 λ_2 の光に対してのみ第2の回折格子44で回折させようとする場合、擬似ブレード形状の各段の段差 d_{3s} は、以下の(7)～(9)の式を満たすように作製することにより、波長 λ_2 の光に対してのみ作用し、波長 λ_1 の光及び波長 λ_3 の光については、第2の回折格子44で回折されることなく透過する。

[0057] $(p_1 - 0.1) \lambda_1 \leq d_{3s} (n_2(\lambda_1) - 1) \leq (p_1 + 0.1) \lambda_1 \cdots$
 $\cdots (7)$

$(p_2 + 0.1) \lambda_2 < d_{3s} (n_2(\lambda_2) - 1) < (p_2 + 0.9) \lambda_2 \cdots$
 $\cdots (8)$

$(p_3 - 0.1) \lambda_3 \leq d_{3s} (n_2(\lambda_3) - 1) \leq (p_3 + 0.1) \lambda_3 \cdots$
 $\cdots (9)$

また、 p_1 、 p_2 及び p_3 は整数である。これにより、第2の回折格子44の断面形状が擬似ブレード形状であるとき、本実施の形態における複合光学素子40における屈折、第2の回折格子において入射する光の波長を選択的に回折、第1の回折格子における回折と3つの光学特性を利用して、各々の波長の光を各々の光ディスクの情報記録面に良好に集光させるように自由度の高い設計を実現できる。

[0058] ここで、本実施の形態の複合光学素子40に含まれる第1の樹脂層42の屈折率と第2の樹脂層43の屈折率は、図4に示すような波長分散特性を有するものとしたので、波長 λ_1 の光については、複合光学素子40における光の屈折により、第1の光ディスク17における情報記録面17bに集光される。また、波長 λ_2 の光については、複合光学素子40における光の屈折、第2の回折格子における光の回折及び第1の回折格子における光の回折により、第2の光ディスク18における情報記録面18bに集光される。また、波

長 λ_3 の光についても、複合光学素子40における光の屈折、第1の回折格子における光の回折により、第3の光ディスク19における情報記録面19bに集光される。

[0059] 本実施の形態においては、波長 λ_1 の光は無限系で複合光学素子40に入射することが望ましいが、波長 λ_2 の光及び波長 λ_3 の光は無限系、有限系のどちらで入射してもよい。本実施の形態における複合光学素子40では、各々の波長の光に対して集光し、複合光学素子40と第1の光ディスク17、第2の光ディスク18及び第3の光ディスク19との間の距離を十分に保つことが可能である。尚、上記以外の内容については第1の実施の形態と同様である。

[0060] (第4の実施の形態)

次に、第4の実施の形態について説明する。図9は、本実施の形態における複合光学素子50を模式的に示したものである。本実施の形態における複合光学素子50は、単レンズ51の表面に第1の樹脂層52、第1の樹脂層52の表面に第2の樹脂層53が形成されており一体化した構成となっている。第1の樹脂層52と第2の樹脂層53との界面によって、第1の実施の形態と同様の断面形状がブレード形状の回折格子が形成されており、後述するもう一つの回折格子と区別するため、この回折格子を第1の回折格子とする。そして、第2の樹脂層53の表面、即ち、第1の樹脂層53と接しない面にはバイナリー型の第2の回折格子54が形成されている。また、本実施形態では、第2の樹脂層53の表面において、第2の回折格子54が形成された領域を周辺領域、光軸を含み第2の回折格子54が形成されない領域を中心領域という。第1の樹脂層52の屈折率と第2の樹脂層53の屈折率は、波長 λ_1 の帯域において略同一の値であり、波長 λ_2 の帯域及び波長 λ_3 の帯域において値が異なるものであって、図4に示すような波長分散特性を有する。

[0061] また、本実施の形態においては、波長 λ_1 の光は無限系で本実施の形態の複合光学素子50に入射することが望ましく、波長 λ_2 の光及び波長 λ_3 の光は

有限系で本実施の形態における複合光学素子50に入射するとよい。尚、波長 λ_2 の光と波長 λ_3 の光のいずれか一方は無限系で複合光学素子50に入射するものであってもよい。

[0062] 第2の回折格子54は第2の樹脂層53の周辺領域に形成されており、開口の大きさを制限する作用を有するものである。第2の回折格子54が形成された領域は、光軸を中心に回転対称となる輪帯状の領域であり、波長 λ_3 の光が第2の回折格子54に入射した場合、光を回折させることによって波長 λ_3 の光に対応した第3の光ディスク19へ集光させる光の開口を制限する。一方、波長 λ_1 の光及び波長 λ_2 の光は第2の回折格子54において光は回折されることなく、それぞれ、第1の光ディスク17及び第2の光ディスク18の情報記録面18bに集光する。つまり、波長 λ_3 の光のうち周辺領域となる第2の回折格子54に入射して回折した光は、第3の光ディスク19の情報記録面19bに集光せず、第2の回折格子54が形成されていない光軸を含む中心領域を透過する光のみ、第3の光ディスク19の情報記録面19bに集光する。

[0063] 第1～第3の実施の形態では、各々の波長の光が開口制限された、所望のNAとなった状態で複合光学素子に入射することを前提として説明したが、本実施の形態では、このように入射する光を波長選択的に開口制限させる機能を発現する第2の回折格子54を形成することで、複合光学素子50を用いる光学系において、複合光学素子50とは別に開口制限機能を発現する光学素子等を用いなくてもよい場合がある。

[0064] このような開口制限機能を発現するため、本実施の形態における複合光学素子50において、第2の回折格子54における、光軸と略平行となる高さ d_4 は、以下の(10)～(12)における式を満たすように作製されている。

$$\begin{aligned}
 [0065] \quad & (m_1 - 0.2) \lambda_1 \leq d_4 (n_2(\lambda_1) - 1) \leq (m_1 + 0.2) \lambda_1 \cdots \\
 & \cdot (10) \\
 & (m_2 - 0.2) \lambda_2 \leq d_4 (n_2(\lambda_2) - 1) \leq (m_2 + 0.2) \lambda_2 \cdots
 \end{aligned}$$

・ (11)

$$(m_3 + 0.3) \lambda_3 \leq d_4 (n_2(\lambda_3) - 1) \leq (m_3 + 0.7) \lambda_3 \cdot \cdot$$

・ (12)

ここで、 $n_2(\lambda_1)$ 、 $n_2(\lambda_2)$ 及び $n_3(\lambda_3)$ は、それぞれ、第2の樹脂層53における波長 λ_1 の光の屈折率、波長 λ_2 の光の屈折率及び波長 λ_3 の光の屈折率である。また、 m_1 、 m_2 及び m_3 は整数である。このようにすると、上記(10)、(11)を満足することにより、波長 λ_3 の光の開口数(NA_3)より大きい開口数で入射する波長 λ_1 の光及び波長 λ_2 の光は回折格子54で回折されることなく透過し、さらに、上記(12)を満足することにより回折格子54に入射する波長 λ_3 の光は±1次回折効率が最大となり直進透過する光の光量が略0(0次回折効率が略0%)となるので、第2の回折格子54に入射した光はほとんど第3の光ディスク19の情報記録面19bに集光せず、開口制限機能が向上し、好ましい。

[0066] これにより、本実施の形態では、各々の波長の光に対して適した開口の大きさの光を光ディスクに集光することができ、また、複合光学素子50と第1の光ディスク17、第2の光ディスク18及び第3の光ディスク19との間の距離を十分に保つことが可能である。尚、上記以外の内容については第1の実施の形態と同様である。

[0067] (第5の実施の形態)

次に、第5の実施の形態について説明する。図10は、本実施の形態における複合光学素子60を模式的に示したものである。本実施の形態における複合光学素子60は、単レンズ61の表面に第1の樹脂層62、第1の樹脂層62の表面に第2の樹脂層63が形成されており一体化された構成となっている。第1の樹脂層62と第2の樹脂層63との界面によって、第1の実施の形態と同様の断面形状がブレード形状の回折格子が形成されており、第2の樹脂層63の表面、即ち、第1の樹脂層63と接しない面には位相差64が形成されている。また、本実施形態では、第2の樹脂層63の表面において、位相差64が形成された領域を周辺領域、光軸を含み位相差6

4が形成されない領域を中心領域という。第1の樹脂層62の屈折率と第2の樹脂層63の屈折率は、波長 λ_1 の帯域において略同一の値であり、波長 λ_2 の帯域及び波長 λ_3 の帯域において値が異なるものであって、図4に示すような波長分散特性を有する。

[0068] また、本実施の形態においては、波長 λ_1 の光は無限系で本実施の形態の複合光学素子60に入射することが望ましく、波長 λ_2 の光及び波長 λ_3 の光は有限系で本実施の形態における複合光学素子60に入射するとよい。尚、波長 λ_2 の光と波長 λ_3 の光のいずれか一方は無限系で複合光学素子60に入射するものであってもよい。

[0069] 位相差64は第2の樹脂層63の周辺領域に形成されており、波長 λ_3 の光の開口の大きさを制限する作用を有するものである。位相差64が形成された領域は、光軸を中心に回転対称となる輪帯状の領域であり、第2の樹脂層63に入射する波長 λ_3 の光のうち、位相差64が形成された輪帯状の周辺領域と、位相差64が形成されていない光軸を含む中心領域との間で位相差を与える作用を有している。具体的には、波長 λ_3 の光のみ位相差64により光の位相を変化させることによって、大きな収差を発生させる。発生した収差により、位相差64を通過した光は、第3の光ディスク19の情報記録面19bに集光せず、位相差64が形成されていない中心領域を透過する光のみ、第3の光ディスク19の情報記録面19bに集光する。したがって、複合光学素子60を用いる光学系において、複合光学素子60とは別に開口制限機能を有する光学素子等を用いなくてもよい場合がある。

[0070] これにより、波長 λ_1 の光及び波長 λ_2 の光は位相差64における収差が発生することなく、第1の光ディスク17及び第2の光ディスク18の情報記録面に集光し、波長 λ_3 の光は位相差64に入射した光は大きな収差が発生するため、位相差64よりも内側の中心領域に入射した光のみが、第3の光ディスク19の情報記録面に集光する。

[0071] このような開口制限機能を発現するため、本実施の形態における複合光学素子60において、位相差64における光軸と略平行となる段差 d_5 は、以

下の (13) ~ (15) における式を満たすように作製されている。

$$[0072] \quad (m_1 - 0.2) \lambda_1 \leq d_5 (n_2(\lambda_1) - 1) \leq (m_1 + 0.2) \lambda_1 \cdot \cdot$$

・ (13)

$$(m_2 - 0.2) \lambda_2 \leq d_5 (n_2(\lambda_2) - 1) \leq (m_2 + 0.2) \lambda_2 \cdot \cdot$$

・ (14)

$$(m_3 + 0.3) \lambda_3 \leq d_5 (n_2(\lambda_3) - 1) \leq (m_3 + 0.7) \lambda_3 \cdot \cdot$$

・ (15)

ここで、 $n_2(\lambda_1)$ 、 $n_2(\lambda_2)$ 及び $n_2(\lambda_3)$ は、それぞれ、第2の樹脂層63における波長 λ_1 の光の屈折率、波長 λ_2 の光の屈折率及び波長 λ_3 の光の屈折率である。また、 m_1 、 m_2 及び m_3 は整数である。このように、上記 (13)、(14) を満足することで、入射する波長 λ_1 の光及び波長 λ_2 の光は、位相差64でこれらの波長の略整数倍の位相差が与えられるので、見かけ上、位相差が発生しない状態と同じ状態で透過する。更に、上記 (15) を満足するにより位相差64に入射する波長 λ_3 の光は、中心領域に対して最も大きな位相差が発生するので、位相差64を透過した光は光ディスク19の情報記録面における集光性が大きく低下するので、開口制限機能が向上し、好ましい。

[0073] これにより、本実施の形態では、各々の波長の光に対して適した開口の大きさの光を光ディスクに集光することができ、また、複合光学素子60と第1の光ディスク17、第2の光ディスク18及び第3の光ディスク19との間の距離を十分に保つことが可能である。また、本実施の形態では、第2の樹脂層63の表面に位相差64を形成したが、第1の樹脂層62の回折格子面に位相差を加えた形状としてもよい。尚、上記以外の内容については第1の実施の形態と同様である。

[0074] (第6の実施の形態)

次に、第6の実施の形態について説明する。図11は、本実施の形態における複合光学素子65を模式的に示したものである。本実施の形態における複合光学素子65は、単レンズ66の表面に第1の樹脂層67、第1の樹脂

層 6 7 の表面に第 2 の樹脂層 6 8 が形成されており一体化した構成となっている。第 1 の樹脂層 6 7 と第 2 の樹脂層 6 8 との界面によって、第 1 の実施の形態と同様の断面形状がブレード形状の回折格子が形成されており、後述するもう一つの回折格子と区別するため、この回折格子を第 1 の回折格子とする。そして、第 2 の樹脂層 6 8 の表面、即ち、第 1 の樹脂層 6 7 と接しない面にはブレード形状の第 2 の回折格子 6 9 が形成されている。また、本実施形態では、第 2 の樹脂層 6 8 の表面において、第 2 の回折格子 6 9 が形成された領域を周辺領域、光軸を含み第 2 の回折格子 6 9 が形成されない領域を中心領域という。第 1 の樹脂層 6 7 の屈折率と第 2 の樹脂層 6 8 の屈折率は、波長 λ_1 の帯域において略同一の値であり、波長 λ_2 の帯域及び波長 λ_3 の帯域において値が異なるものであって、図 4 に示すような波長分散特性を有する。

[0075] また、本実施の形態においては、波長 λ_1 の光は無限系で本実施の形態の複合光学素子 6 5 に入射することが望ましく、波長 λ_2 の光及び波長 λ_3 の光は有限系で本実施の形態における複合光学素子 6 5 に入射するとよい。尚、波長 λ_2 の光と波長 λ_3 の光のいずれか一方は無限系で複合光学素子 6 5 に入射するものであってもよい。

[0076] 第 2 の回折格子 6 9 は第 2 の樹脂層 6 8 の周辺領域に形成されており、この周辺領域は、光軸を中心に回転対称となる輪帯状の領域である。また、第 2 の回折格子 6 9 が形成される周辺領域は、任意の領域として設定することができるが、ここでは、他の波長の光に比べて開口数が大きい波長 λ_1 の光のみ、が入射する領域に相当し、波長 λ_2 の光および波長 λ_3 の光は、周辺領域に入射しないものとする。そして、波長 λ_1 の光が中心領域および周辺領域に入射する場合、中心領域に入射する光を屈折させ、一方で周辺領域に入射する光を、第 2 の回折格子 6 9 で回折させることによって波長 λ_1 の光に対応した第 1 の光ディスク 1 7 へ集光させる。また、波長 λ_2 の光および波長 λ_3 の光については、第 1 の実施の形態と同様に、それぞれ、第 2 の光ディスク 1 8、第 3 の光ディスク 1 9 へ集光させる。

[0077] 本実施の形態における複合光学素子65では、とくに周辺領域にブレード形状の第2の回折格子を設けることで、開口数が大きい波長 λ_1 の光のうち、周辺領域に入射する光を所定の回折角で回折することができる。そして、周辺領域の回折角を大きくすることで、複合光学素子65、とくに単レンズ66の周辺領域の形状を緩やかにすることができる。この場合、複合光学素子の加工精度が高くなり、所望の光学特性を得やすい。また、屈折と回折の色分散の方向が異なることを利用して色収差を補正するようにしてもよい。

[0078] 〔第7の実施の形態〕

次に、第7の実施の形態について説明する。図12は、本実施の形態における複合光学素子70を模式的に示したものである。本実施の形態における複合光学素子70は、単レンズ71の表面に第1の樹脂層72、第1の樹脂層72の表面に第2の樹脂層73が形成されており一体化した構成となっている。第1の樹脂層72と第2の樹脂層73との界面によって、断面形状がブレード形状の回折格子が形成されている。

[0079] 図13に、第1の樹脂層72と第2の樹脂層73における波長と屈折率の関係（波長分散特性）を示す。屈折率特性72aは、第1の樹脂層72における波長分散特性を示し、屈折率特性73aは、第2の樹脂層73における波長分散特性を示したものである。図13に示されるように、波長 λ_1 の帯域においては、第1の樹脂層72における屈折率は n_{11R} であり、第2の樹脂層73における屈折率は n_{21R} であり異なっている。しかしながら、波長 λ_2 の帯域においては、第1の樹脂層72における屈折率は n_{12R} であり、第2の樹脂層73における屈折率は n_{22R} であり、略同一の値となっている。また、波長 λ_3 の帯域においては、第1の樹脂層72における屈折率は n_{13R} であり、第2の樹脂層73における屈折率は n_{23R} であり、略同一の値となっている。第1の樹脂層72と第2の樹脂層73との界面によって形成されている、第1の樹脂層72を進行する光の方向と略平行方向に与えられるブレード形状の高さ h_6 は、第1の樹脂層72の屈折率と第2の樹脂層73の屈折率との差、屈折率差を $\Delta n(\lambda_1)$ とした場合に、(16)における式を満たしていれば

ば好ましく、

$$(m_1 - 0.5) \lambda_1 \leq h_6 \Delta n(\lambda_1) \leq (m_1 + 0.5) \lambda_1 \cdots \cdots (16)$$

(17) における式を満たしていればより好ましい。

[0080] $(m_1 - 0.3) \lambda_1 \leq h_6 \Delta n(\lambda_1) \leq (m_1 + 0.3) \lambda_1 \cdots \cdots (17)$

尚、 m_1 は自然数である。これにより、第1の樹脂層72と第2の樹脂層73との界面によって形成された回折格子において、波長 λ_1 の光が入射した場合には光が回折し、波長 λ_2 の光及び波長 λ_3 の光が入射した場合には光がほぼ回折することなく透過する。また、第1の樹脂層72のブレードの高さは、全面にわたって h_6 のみの値に限らず、 h_6 と異なる高さの値を有するなど、不均一であってもよい。

[0081] 本実施の形態における複合光学素子70では、波長 λ_3 の光が入射した場合には、複合光学素子70と第3の光ディスク19の間の距離を十分保った状態で、第3の光ディスク19における情報記録面19bの表面に集光するような形状で複合光学素子70が作製されている。また、波長 λ_2 の光が入射した場合には、第2の光ディスク18のカバー層18aの厚さと第3の光ディスク19のカバー層19aの厚さが相違していても、これにより生じる球面収差を補正することができるよう形成されている。また、波長 λ_1 の光は無限系で入射した場合において、複合光学素子70における光の屈折、第1の樹脂層72と第2の樹脂層73との間に形成された回折格子による光の回折により、第1の光ディスク17における情報記録面17bに集光される。尚、第2の樹脂層73の表面には、第2、第5の実施の形態で示したような位相差や第3、第4の実施の形態で示したような(第2の)回折格子を設けてもよい。

[0082] これにより、本実施の形態では、複合光学素子70と第1の光ディスク17、第2の光ディスク18及び第3の光ディスク19との間の距離を十分に保った状態で各々集光することが可能である。尚、上記以外の内容について

は第 1 の実施の形態と同様である。また、以降の他の実施の形態において図 1 3 を参照する場合も、屈折率特性 7 2 a は、第 1 の樹脂層における波長分散特性を示し、屈折率特性 7 3 a は、第 2 の樹脂層における波長分散特性を示すものとする。

[0083] 〔第 8 の実施の形態〕

次に、第 8 の実施の形態について説明する。図 1 4 は、本実施の形態における複合光学素子 8 0 を模式的に示したものである。本実施の形態における複合光学素子 8 0 は、単レンズ 8 1 の表面に第 1 の樹脂層 8 2、第 1 の樹脂層 8 2 の表面に第 2 の樹脂層 8 3 が形成されており一体化した構成となっている。第 1 の樹脂層 8 2 と第 2 の樹脂層 8 3 との界面によって、光軸を含む一部の領域に断面形状がブレード形状の回折格子が形成されている。

[0084] 本実施の形態における複合光学素子 8 0 は、具体的に、前述の第 1 の樹脂層 8 2 と第 2 の樹脂層 8 3 との界面によって、断面形状がブレード形状の回折格子が形成されている第 1 の領域 7 A と、第 1 の樹脂層 8 2 と第 2 の樹脂層 8 3 との界面によって、このようなブレード形状の回折格子は形成されていない第 2 の領域 7 B を有する。また、第 1 の領域 7 A は、光軸を含む円形の領域であり、第 2 の領域 7 B は第 1 の領域 7 A の周辺部分となる輪帯状の領域である。なお、第 1 の領域 7 A は内部中心領域、第 2 の領域 7 B は内部周辺領域ともいうこととする。

[0085] ここで、例えば、第 2 の領域 7 B となる周辺の領域に回折格子を形成する場合、回折格子のピッチが光軸からの距離に反比例して狭くなるので、より高い精度の製造技術が要求される。複合光学素子 8 0 は、光軸から離れた第 2 の領域 7 B に入射する波長 λ_1 の光に対して回折ではなく、屈折のみで第 1 の光ディスク 1 7 の情報記録面 1 7 b に集光させるための曲面形状を有するものである。つまり、第 1 の領域 7 A に入射する波長 λ_1 の光は、光の屈折と光の回折によって第 1 の光ディスク 1 7 の情報記録面 1 7 b に集光させ、第 2 の領域 7 B に入射する波長 λ_1 の光は、光の屈折によって第 1 の光ディスク 1 7 の情報記録面 1 7 b に集光させることができる。尚、第 2 の領域 7 A に

入射する波長 λ_2 の光は第2の光ディスク18の情報記録面18bには集光し、波長 λ_3 の光は第3の光ディスク19の情報記録面19bに集光するように形成されている。

[0086] 第1の樹脂層82と第2の樹脂層83とは、第7の実施形態の場合と同様に図13に示す波長分散特性を有し、波長 λ_1 の帯域においては、第1の樹脂層82における屈折率と、第2の樹脂層83における屈折率とは異なった値であるが、波長 λ_2 の帯域においては、第1の樹脂層82における屈折率と、第2の樹脂層83における屈折率とは略同一の値であり、また、波長 λ_3 の帯域においては、第1の樹脂層82における屈折率と、第2の樹脂層83における屈折率とは略同一の値である。第1の樹脂層82と第2の樹脂層83との間に形成されている、第1の樹脂層82に入射する光の進行方向と略平行方向に与えられるブレード形状の高さ h_7 は、第1の樹脂層82の屈折率と第2の樹脂層83との屈折率差を $\Delta n(\lambda_1)$ とした場合に、(18)における式を満たしていれば好ましく、

$$(m_1 - 0.5) \lambda_1 \leq h_7 \Delta n(\lambda_1) \leq (m_1 + 0.5) \lambda_1 \cdots \cdots (18)$$

(19)における式を満たしていればより好ましい。

[0087] $(m_1 - 0.3) \lambda_1 \leq h_7 \Delta n(\lambda_1) \leq (m_1 + 0.3) \lambda_1 \cdots \cdots (19)$

尚、 m_1 は自然数である。尚、本実施の形態における複合光学素子80は第1の領域7Aでは、波長 λ_3 の光が入射した場合には、複合光学素子80と第3の光ディスク19との間の距離を十分保った状態で、第3の光ディスク19の情報記録面19bに集光されるよう、また、第2の領域7Bでは、波長 λ_1 の光が入射した場合には、第1の光ディスク17の情報記録面17bに集光されるような形状で形成されている。また、第1の樹脂層82のブレードの高さは、全面にわたって h_7 のみの値に限らず、 h_7 と異なる高さの値を有するなど、不均一であってもよい。

[0088] このように、本実施の形態における複合光学素子80には、波長 λ_1 の光が

無限系で入射した場合、第1の領域7Aを透過した光は第1の樹脂層82と第2の樹脂層83との界面によって形成された回折格子により回折され、第1の光ディスク17における情報記録面17bに集光される。また、第2の領域7Bでは光が屈折されて第1の光ディスク17の情報記録面17bに集光される。また、波長 λ_2 の光及び波長 λ_3 の光は有限系、又は無限系で本実施の形態における複合光学素子80の第1の領域7Aに入射し、第1の樹脂層82と第2の樹脂層83との界面によって形成された回折格子により回折されることなく集光される。尚、第2の樹脂層83の表面には、第2、第5の実施の形態で示したような位相段差や第3、第4、第6の実施の形態で示したような（第2の）回折格子を設けてもよい。

[0089] これにより、本実施の形態では、複合光学素子80と第1の光ディスク17、第2の光ディスク18及び第3の光ディスク19との間の距離を十分に保った状態で各々集光することが可能である。尚、上記以外の内容については第7の実施の形態と同様である。

[0090] 〔第9の実施の形態〕

次に、第9の実施の形態について説明する。図15は、本実施の形態における複合光学素子90を模式的に示したものである。本実施の形態における複合光学素子90は、単レンズ91の表面に第1の樹脂層92、第1の樹脂層92の表面に第2の樹脂層93が形成されており一体化した構成となっている。第1の樹脂層92と第2の樹脂層93との界面によって、断面形状がブレード形状で、第1の樹脂層92を進行する光の方向と略平行方向に与えられる高さ h_8 の回折格子が形成されている。更に、第2の樹脂層93の表面には保護層94が形成されている。

[0091] また、図4に示す波長分散特性のように、第1の樹脂層92の屈折率と第2の樹脂層93の屈折率とは、波長 λ_1 の帯域の光において略同一の値であり、波長 λ_2 の帯域の光及び波長 λ_3 の帯域の光において異なった値となっているか、または、図13に示す波長分散特性のように、波長 λ_2 の帯域の光及び波長 λ_3 の帯域の光において各々略同一の値であり、波長 λ_1 の帯域の光にお

いて異なった値となっているものである。

- [0092] 単レンズ 9 1 は、プレス加工により非球面形状に形成してもよく、また、研磨加工により両面を球面形状に加工してもよい。また、保護層 9 4 は単レンズ 9 1 と同一の材料でもよく、また異なった材料であってもよい。保護層 9 4 は第 2 の樹脂層 9 3 の上に樹脂を直接形成してもよいし、別途ガラスや樹脂をプレスしたレンズ形状のものを第 2 の樹脂層 9 3 を介して接着するようなものであってもよい。
- [0093] 本実施の形態における複合光学素子 9 0 において、図 4 に示す波長分散特性のように、第 1 の樹脂層 9 2 の屈折率と第 2 の樹脂層 9 3 の屈折率とが、波長 λ_1 の帯域の光において略同一の値であり、波長 λ_2 の帯域の光及び波長 λ_3 の帯域の光において異なった値である場合について説明する。波長 λ_1 の光が無限系で入射した場合、複合光学素子 9 0 における光の屈折により第 1 の光ディスク 1 7 の情報記録面 1 7 b に集光される。また、波長 λ_3 の光が入射した場合、複合光学素子 9 0 における光の屈折と第 1 の樹脂層 9 2 と第 2 の樹脂層 9 3 との界面によって形成された回折格子による光の回折により、複合光学素子 9 0 と第 3 の光ディスク 1 9 との間の距離を十分保った状態で、波長 λ_3 の光が第 3 の光ディスク 1 9 の情報記録面 1 9 b に集光される。波長 λ_2 の光が入射した場合、波長 λ_3 の光とは異なった発散角で入射することにより、第 3 の光ディスク 1 9 のカバー層 1 9 a とは異なる厚さの第 2 の光ディスク 1 8 のカバー層 1 8 a による球面収差を補正して、第 2 の光ディスク 1 8 の情報記録面 1 8 b に集光させることができる。
- [0094] 本実施の形態では、保護層 9 4 を形成することにより第 1 の樹脂層 9 2 及び第 2 の樹脂層 9 3 が保護されるため、信頼性を高めることができ、また、複合光学素子 8 0 と第 1 の光ディスク 1 7、第 2 の光ディスク 1 8 及び第 3 の光ディスク 1 9 との間の距離を十分に保った状態で各々集光することが可能である。また、第 1 の樹脂層 9 2 のブレードの高さは、全面にわたって h_8 のみの値に限らず、 h_8 と異なる高さの値を有するなど、不均一であってもよい。

[0095] 尚、第2の樹脂層93の表面には第2、第5の実施の形態で示したような位相段差や第3、第4、第6の実施の形態で示したような（第2の）回折格子を設けてもよく、さらに、第8の実施の形態に記載されているように2つの領域のうち一方の領域にのみ回折格子を形成したものであってもよい。尚、上記以外の内容については第1の実施の形態と同様である。

[0096] 〔第10の実施の形態〕

次に、第10の実施の形態について説明する。本実施の形態は、第1～第9の実施の形態における複合光学素子を有する光ヘッド装置である。

[0097] 図16に基づき本実施の形態における光ヘッド装置について説明する。本実施の形態における光ヘッド装置は、光ディスク110の記録及び再生を行うための光ヘッド装置であり、3種類の異なる波長の光に対応したものである。具体的には、光ディスク110として、BD、DVD、CDの3種類の光ディスクに対応するものであり、それぞれ、405nm波長帯、660nm波長帯、780nm波長帯の光に対応したものである。

[0098] 本実施の形態における光ヘッド装置は、405nm波長帯である波長 λ_1 の光を発する第1のレーザ光源111、660nm波長帯である波長 λ_2 の光を発する第2のレーザ光源112、780nm波長帯である波長 λ_3 の光を発する第3のレーザ光源113、第1のビームスプリッタ114、第2のビームスプリッタ115、第3のビームスプリッタ116、コリメータレンズ117、複合光学素子118、第4のビームスプリッタ119、第5のビームスプリッタ120、第1のフォトディテクタ121、第2のフォトディテクタ122、第3のフォトディテクタ123を有している。尚、これらのビームスプリッタは、偏光ビームスプリッタ、ダイクロイックプリズムなどが用いられる。

[0099] 尚、複合光学素子118は、対物レンズ機能を発現する第1～第9の実施の形態のいずれかに記載された複合光学素子を利用できる。また、コリメータレンズ117は、光軸に平行に移動することにより複合光学素子118に入射する各々の波長の光の発散角を調節することができるものが備えられて

もよい。コリメータレンズ 117 の移動には不図示のステッピングモーター等が用いられる。具体的には、各々の光源からの位置とコリメータレンズ 117 までの物体側主点の距離を s_1 とし、コリメータレンズ 117 の像側主点とコリメータレンズ 117 の像側主点とコリメータレンズ 117 による結像位置の距離を s_2 とし、コリメータレンズ 117 の焦点距離を f とした場合に、数 1 に記載された式が成立する。数 1 における式において、 s_2 の値によってコリメータレンズ 117 に入射する光の発散角が定まるため、所望の発散角となるように、 s_1 の値、 f の値を定めることができる。

[0100] [数1]

$$\frac{1}{s_2} = \frac{1}{s_1} + \frac{1}{f}$$

[0101] 本実施の形態において、第 1 のレーザ光源 111 より発せられた波長 λ_1 の光は、第 1 のビームスプリッタ 114、第 2 のビームスプリッタ 115 及び第 3 のビームスプリッタ 116 を直進し、コリメータレンズ 117 を介し、対物レンズである複合光学素子 118 により集光され、光ディスク 110 に照射される。この際、再生される光ディスク 110 は、波長 λ_1 の光に対応した第 1 の光ディスクである BD である。この後、光ディスク 110 の情報記録面において反射された光は、複合光学素子 118 及びコリメータレンズ 117 を透過した後、第 3 のビームスプリッタ 116 により偏向され、更に、第 4 のビームスプリッタ 119 及び第 5 のビームスプリッタ 120 を直進した後、第 1 のフォトディテクタ 121 に入射し、光ディスク 110 の情報記録面に記録された信号が電気信号に変換され検出される。尚、コリメータレンズ 117 と複合光学素子 118 との間の光路中には、光の波長に対して $1/4$ となる位相差を与える不図示の $1/4$ 波長板が備えられる。更に光路中に複合光学素子 118 に入射する角波長の光の開口数を制御する不図示の開口制限素子が備えられていてもよい。

[0102] また、第 2 のレーザ光源 112 より発せられた波長 λ_2 の光は、第 1 のビー

ムスプリッタ 114 において偏向された後、第 2 のビームスプリッタ 115 及び第 3 のビームスプリッタ 116 を直進し、コリメータレンズ 117 を介し、対物レンズである複合光学素子 118 により集光され、光ディスク 110 に照射される。この際、再生される光ディスク 110 は、波長 λ_2 の光に対応した第 2 の光ディスクである DVD である。この後、光ディスク 110 の情報記録面において反射された光は、複合光学素子 118 及びコリメータレンズ 117 を透過した後、第 3 のビームスプリッタ 116 により偏向され、更に、第 4 のビームスプリッタ 119 を直進した後、第 5 のビームスプリッタ 120 により偏向されて、第 2 のフォトディテクタ 122 に入射し、光ディスク 110 の情報記録面に記録された信号が電気信号に変換され検出される。

[0103] また、第 3 のレーザ光源 113 より発せられた波長 λ_3 の光は、第 2 のビームスプリッタ 115 において偏向された後、第 3 のビームスプリッタ 116 を直進し、コリメータレンズ 117 を介し、対物レンズである複合光学素子 118 により集光され、光ディスク 110 に照射される。この際、再生される光ディスク 110 は、波長 λ_3 の光に対応した第 3 の光ディスクである CD である。この後、光ディスク 110 の情報記録面において反射された光は、複合光学素子 118 及びコリメータレンズ 117 を透過した後、第 3 のビームスプリッタ 116 により偏向され、更に、第 4 のビームスプリッタ 119 により偏向されて、第 3 のフォトディテクタ 123 に入射し、光ディスク 110 の情報記録面に記録された信号が電気信号に変換され検出される。

[0104] 以上より、本実施の形態は、3つの異なる波長のレーザ光源、即ち、波長 λ_1 の光を発する第 1 のレーザ光源 111、波長 λ_2 の光を発する第 2 のレーザ光源 112、波長 λ_3 の光を発する第 3 のレーザ光源 113 を有し、各々の光源から発射する光に対応した光ディスクの情報記録面に記録されている情報を検出することができる。

[0105] 〔第 11 の実施の形態〕

次に、第 11 の実施の形態について説明する。本実施の形態は、第 1 ～第

9の実施の形態のいずれかに記載された複合光学素子を有する光ヘッド装置である。

[0106] 図17に基づき本実施の形態における光ヘッド装置について説明する。本実施の形態における光ヘッド装置は、光ディスク110の記録及び再生を行うための光ヘッド装置であり、3種類の異なる波長の光に対応したものである。具体的には、光ディスク110として、BD、DVD、CDの3種類の光ディスクに対応するものであり、それぞれ、405nm波長帯、660nm波長帯、780nm波長帯の光に対応したものである。

[0107] 本実施の形態における光ヘッド装置は、405nm波長帯である波長 λ_1 の光を発する第1のレーザ光源131、660nm波長帯である波長 λ_2 の光及び780nm波長帯である波長 λ_3 の光を発する第2のレーザ光源132、第1のビームスプリッタ133、第2のビームスプリッタ134、コリメータレンズ135、複合光学素子136、フォトディテクタ137を有している。尚、これらのビームスプリッタは、偏光ビームスプリッタ、ダイクロイックプリズムなどが用いられる。

[0108] 尚、複合光学素子136は、対物レンズ機能を発現する第1～第9の実施の形態のいずれかに記載された複合光学素子を利用できる。また、コリメータレンズ135は、光軸に平行に移動することにより複合光学素子136に入射する各々の波長の光に発散角を調節することができる不図示のステップモーター等が備えられている。本実施の形態において、第1のレーザ光源131より発せられた波長 λ_1 の光は、第1のビームスプリッタ133及び第2のビームスプリッタ134を直進し、コリメータレンズ135を介し、対物レンズである複合光学素子136により集光され、光ディスク110に照射される。この際、再生される光ディスク110は、波長 λ_1 の光に対応した第1の光ディスクであるBDである。この後、光ディスク110の情報記録面において反射された光は、複合光学素子136及びコリメータレンズ135を透過した後、第2のビームスプリッタ134により偏向され、フォトディテクタ137に入射し、光ディスク110の情報記録面に記録された信

号が電気信号に変換され検出される。

[0109] また、第2のレーザ光源132より発せられた波長 λ_2 の光は、第1のビームスプリッタ133により偏向された後、第2のビームスプリッタ134を直進し、コリメータレンズ135を介し、対物レンズである複合光学素子136により集光され、光ディスク110に照射される。この際、再生される光ディスク110は、波長 λ_2 の光に対応した第2の光ディスクであるDVDである。この後、光ディスク110の情報記録面において反射された光は、複合光学素子136及びコリメータレンズ135を透過した後、第2のビームスプリッタ134により偏向され、フォトディテクタ137に入射し、光ディスク110の情報記録面に記録された信号が電気信号に変換され検出される。

[0110] また、第3のレーザ光源132より発せられた波長 λ_3 の光は、第1のビームスプリッタ133により偏向された後、第2のビームスプリッタ134を直進し、コリメータレンズ135を介し、対物レンズである複合光学素子136により集光され、光ディスク110に照射される。この際、再生される光ディスク110は、波長 λ_3 の光に対応した第3の光ディスクであるCDである。この後、光ディスク110の情報記録面において反射された光は、複合光学素子136及びコリメータレンズ135を透過した後、第2のビームスプリッタ134により偏向され、フォトディテクタ137に入射し、光ディスク110の情報記録面に記録された信号が電気信号に変換され検出される。

[0111] 以上より、本実施の形態は、3つの異なる波長のレーザ光源、即ち、波長 λ_1 の光を発する第1のレーザ光源131、波長 λ_2 の光及び波長 λ_3 の光の2種類の波長の光を発する第2のレーザ光源132を有し、各々の光源に対応した光ディスクの情報記録面に記録されている情報を検出することができる。特に、コリメータレンズ135の位置を調整して、複合光学素子136に入射する各々の波長の光の発散角が変えられ、さらに、複合光学素子136が発現する集光特性を調整することによって、光ディスク110で反射され

た、各々の波長の光を１つのフォトディテクタ１３７に共通して集光させることができる。この構成により、光学素子の部品点数が少なくでき、光ヘッド装置の小型化が実現できる。

実施例

[0112] (実施例１)

実施例１は、第１の実施の形態に基づくものである。本実施例における複合光学素子１０は、波長 λ_1 が４０５ｎｍ、波長 λ_2 が６６０ｎｍ、波長 λ_3 が７８０ｎｍの光を光ディスクに集光するものとして設計したものである。各々の波長における開口数及び入射瞳の径（単位、[mm]）は、表１に示される。尚、実施例において、第２の樹脂層１３の（空気側の）表面を第１面、単レンズ１１の光入射側の表面を第２面、複合光学素子１０の光出射側の表面を第３面と記載する場合がある。

[0113] [表１]

波長	405nm	660nm	780nm
入射瞳径	3.00	2.45	2.02
開口数	0.85	0.65	0.5

[0114] 本実施例の複合光学素子１０は、ガラスモールド法により、単レンズ１１を所望の形状となるように作製した後、ガラス表面に形成される第１の樹脂層１２との密着性を高めるため、カップリング処理を行う。この後、インプリント法により、第１の樹脂層１２を形成する。第１の樹脂層１２は、表面がフレネルレンズ形状となるように形成される。更に、形成された第１の樹脂層１２上に第２の樹脂層１３を所望の形状となるようにモールドによって加工し形成する。

[0115] 第１の樹脂層１２の屈折率及び第２の樹脂層１３の屈折率を表２に示す。また、第１の樹脂層１２に形成されるフレネルレンズ形状となるブレード型の回折格子は、波長 λ_2 の光、即ち、６６０ｎｍの光が進行する方向に対して

、高さ h_1 が $25\mu\text{m}$ となるように形成する。

[0116] [表2]

波長	405nm	660nm	780nm
第1の樹脂層	1.555382	1.507765	1.501782
第2の樹脂層	1.555794	1.533637	1.529838

[0117] 上述した第1の樹脂層12及び第2の樹脂層13により形成され、高さ h_1 が $25\mu\text{m}$ であるブレード型の回折格子の回折効率 η は、図18に示すようになる。即ち、 405nm 波長帯で入射した光は回折されることなく0次光を出射し、 660nm 波長帯の光及び 780nm 波長帯で入射した光は、高い-1次回折光の回折効率で出射する。尚、 η_0 は0次回折効率、 η_{-1} は-1次回折効率、 η_{+1} は+1次回折効率を意味するものである。また、+1次回折光は光軸方向に集光するように回折する光であり、-1次回折光は光軸方向と反対方向に集光するように回折する光である。尚、図18において、 η_{+1} はほぼゼロであるので図示していない。

[0118] また、複合光学素子10の各面（第1面～第3面）は非球面形状となっており、数2に示す式により表される。尚、第4面は、カバー層の面、第5面は情報記録面である。

[0119] [数2]

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \alpha_1 r^2 + \alpha_2 r^4 + \alpha_3 r^6 + \alpha_4 r^8 + \alpha_5 r^{10} + \alpha_6 r^{12} + \alpha_7 r^{14} + \alpha_8 r^{16}$$

[0120] ここで、数2に示す式は、光軸方向を z 、光軸と垂直な面内における光軸からの距離を r [mm] とし、複合光学素子10の各面の光軸と交わる点を $z=0$ とした場合における非球面形状の r 依存性を示すものである。 c は各面頂点の曲率半径の逆数、 k はコーニック係数、 α_i ($i=1\sim 8$) は非球面係数である。

[0121] 表3に複合光学素子10の各々の面の曲率半径（単位、[mm]）、面間隔（光軸における各面間の距離、単位、[mm]）および各面を構成する材料の屈折率を示す。そして、表4に、各々の波長の光について以下に定義する光学距離（単位、[mm]）を示す。尚、図20に示すようにL1は、仮想的な光源151からコリメータレンズ152を介し、複合光学素子10までの距離、L2は、複合光学素子10から各々の光ディスクのカバー層153までの距離、L3は、各々の光ディスクのカバー層153の厚さを示すものである。また、複合光学素子10における光軸上の単レンズ11の厚さは、1.757mmであり、光軸上の第2の樹脂層13と単レンズ11との距離は、0.04mmと設定した。尚、表4に示すL3に相当する各々の光ディスクのカバー層は、それぞれ、BD（405nm）、DVD（660nm）、CD（780nm）に対応させたものである。

[0122] [表3]

面	曲率半径 (mm)	面間隔 (mm)	屈折率		
			405nm	660nm	780nm
		L1			
1	1.177233	0.04	1.555794	1.533637	1.529838
2	1.177233	1.757473	1.599637	1.579996	1.576415
3	-4.410797	L2			
4	∞	L3	1.622308	1.579613	1.573456
5	∞				

[0123] [表4]

波長	405nm	660nm	780nm
L1	∞	-37.460	∞
L2	0.7	0.525	0.3
L3	0.1	0.6	1.2

[0124] 第1面（第2の樹脂層13の光軸方向からの面）及び第2面（単レンズ11の光軸方向からの面）におけるコーニック係数、非球面係数は同じ値であり、以下の値となる。

$$k = -0.638656713$$

$$\alpha_1 = 0.0$$

$$\alpha_2 = 1.563195E-2$$

$$\alpha_3 = -1.082702E-2$$

$$\alpha_4 = 2.860841E-2$$

$$\alpha_5 = -2.971487E-2$$

$$\alpha_6 = 1.883752E-2$$

$$\alpha_7 = -6.176390E-3$$

$$\alpha_8 = 7.951991E-4$$

また、第3面（単レンズ11の光出射面）のコーニック係数、非球面係数は以下の値になる。

$$k = -39.76454404$$

$$\alpha_1 = 0.0$$

$$\alpha_2 = 1.309717E-1$$

$$\alpha_3 = -1.219434E-1$$

$$\alpha_4 = 5.463863E-2$$

$$\alpha_5 = -8.999275E-3$$

$$\alpha_6 = -3.311178E-4$$

$$\alpha_7 = 0$$

$$\alpha_8 = 0$$

さらに、数3に示す数式により、位相関数 $\phi(r)$ により回折による光路の変化を表す。ここで、 M は回折次数、 A_i （ i は1以上の整数）、 ρ は1mmによって規格化された r の値である。

[0125]

[数3]

$$\phi = M \sum_{i=1}^N A_i \rho^{2i}$$

[0126] 数3に示す数式において、Mの値は波長405nmで0、波長660nm及び波長780nmで-1である。そして、 $A_1 \sim A_3$ の値は、

$$A_1 = -279.6016$$

$$A_2 = 5.82717$$

$$A_3 = 6.83897$$

となるように第1の樹脂層12と第2の樹脂層13との界面の回折格子面の形状を設定する。

[0127] 図21A、21B及び21Cは、各々の波長の光における球面収差SA (=Spherical Aberration) の収差図を示したものであり、図21A、図21B、図21Cはそれぞれ、405nmの光、660nmの光、780nmの光に対応するものである。そして、実施例1における複合光学素子10を出射する各々の波長の光の集光点、つまり、各々の光ディスクの各々の情報記録面を想定した位置における収差は、波長405nmにおいて21.2mλrms、波長660nmにおいて6.2mλrms及び波長780nmで9.4mλrmsとなり、良好に光を集光することができる。尚、収差は、70λrms以下であれば、良好に光を集光することが可能となる。

[0128] (実施例2)

実施例2では、波長 λ_2 の光、即ち、波長660nmの光を無限系入射とし、波長 λ_3 の光、即ち、波長780nmの光を有限系入射とした場合における、複合光学素子について設計した。実施例1とは、入射瞳径、面間隔L1及びL2の値、及び第2面の位相関数の値が異なり、表5に入射瞳径、面間隔L1及びL2の値(単位、[mm])を示す。

[0129]

[表5]

波長	405nm	660nm	780nm
入射瞳孔径	3.00	2.43	1.98
L1	∞	∞	38.73989
L2	0.7	0.544	0.3

[0130] また、数3に示す数式において、Mの値は波長405nmで0、波長660nm及び波長780nmで-1である。そして、 $A_1 \sim A_3$ の値は、

$$A_1 = -173.7479582$$

$$A_2 = 5.856708628$$

$$A_3 = 5.507469245$$

となるように第1の樹脂層12と第2の樹脂層13との界面の回折格子面の形状を設定する。

[0131] 図22A、22B及び22Cは、各々の波長の光における球面収差SAの収差図を示したものであり、図22A、図22B、図22Cはそれぞれ、405nmの光、660nmの光、780nmの光に対応するものである。そして、実施例2における複合光学素子10を出射する各々の波長の光の集光点、つまり、各々の光ディスクの各々の情報記録面を想定した位置における収差は、波長405nmにおいて $21.2m\lambda_{rms}$ 、波長660nmにおいて $6.3m\lambda_{rms}$ 及び波長780nmで $6.5m\lambda_{rms}$ となり、良好に光を集光することができる。尚、他の条件等は実施例1と同様である。

[0132] (実施例3)

実施例3では、波長 λ_2 の光、即ち、波長660nmの光及び、波長 λ_3 の光、即ち、波長780nmの光とともに有限系入射とした複合光学素子10である。実施例1とは、入射瞳孔径、面間隔L1及びL2の値、及び第2面の位相関数の値が異なり、表6に入射瞳孔径、面間隔L1及びL2の値(単位、[mm])を示す。

[0133] [表6]

	405nm	660nm	780nm
入射瞳孔径	3.00	2.44	1.99
L1	∞	-74.8551	75
L2	0.7	0.533	0.3

[0134] また、数3に示す数式において、Mの値は波長405nmで0、波長660nm及び波長780nmで-1である。そして、 $A_1 \sim A_3$ の値は、

$$A_1 = -224.8858698$$

$$A_2 = 5.821827362$$

$$A_3 = 6.508923842$$

となるように第1の樹脂層12と第2の樹脂層13との界面の回折格子面の形状を設定する。

[0135] 図23A、23B及び23Cは、各々の波長の光における球面収差SAの収差図を示したものであり、図23A、図23B、図23Cはそれぞれ、405nmの光、660nmの光、780nmの光に対応するものである。そして、実施例3における複合光学素子10を出射する各々の波長の光の集光点、つまり、各々の光ディスクの各々の情報記録面を想定した位置における収差は、波長405nmにおいて $21.2m\lambda_{rms}$ 、波長660nmにおいて $5.9m\lambda_{rms}$ 及び波長780nmで $8.8m\lambda_{rms}$ となり、良好に光を集光することができる。尚、他の条件等は実施例1と同様である。

[0136] (実施例4)

実施例4における複合光学素子は、第2の実施の形態に基づくものである。具体的には、第2の樹脂層23の表面に位相段差構造を形成し、波長 λ_2 の光、即ち、波長660nmの光及び、波長 λ_3 の光、即ち、波長780nmの光とともに無限系入射とした複合光学素子20である。尚、単レンズ21は

、実施例 1 における単レンズ 1 1 と同じものである。また、表 7 に、本実施例における入射瞳孔径、面間隔 L_1 及び L_2 の値（単位、[mm]）を示す。

[0137] [表 7]

	405nm	660nm	780nm
入射瞳孔径	3.00	2.51	2.00
L_1	∞	∞	∞
L_2	0.7	0.619	0.3

[0138] また、数 3 に示す数式において、 M の値は波長 405 nm で 0、波長 660 nm 及び波長 780 nm で -1 である。そして、 $A_1 \sim A_3$ の値は、

$$A_1 = -283.8906959$$

$$A_2 = 16.8274628$$

$$A_3 = -0.6609704$$

となるように第 1 の樹脂層 2 2 と第 2 の樹脂層 2 3 の界面との回折格子面の形状を設定する。

[0139] 第 2 の樹脂層 2 3 の表面に形成された段差 d_2 を $1.457 \mu\text{m}$ とすることにより、波長 405 nm、660 nm、780 nm の各々の光における空気と第 2 の樹脂層 2 3 との屈折率 $\Delta n(\lambda)$ によって生じる位相差 $\Delta n(\lambda) d_2 / \lambda$ (λ は波長) の値を各々 2、1.18、0.99 とすることができる。つまり、405 nm の波長の光及び 780 nm の波長の光が入射した場合には、位相差が波長の略整数倍となっているため、位相差の影響を受けることはないが、660 nm の波長の光が入射した場合には、位相差が波長の略整数倍とはならないため、位相差の影響を受ける。

[0140] この際、空気と第 2 の樹脂層 2 3 との界面の位相段差の形状を以下の係数の値となるように加工する。

$$A_1 = -13.30723534$$

$$A_2 = 13.30723534$$

図24A、24B及び24Cは、各々の波長の光における球面収差SAの収差図を示したものであり、図24A、図24B、図24Cはそれぞれ、405nmの光、660nmの光、780nmの光に対応するものである。以上より、実施例4における複合光学素子20では、各々の波長において良好に光を集光することができる。尚、他の条件等は実施例1と同様である。

[0141] (実施例5)

実施例5における複合光学素子は、第3の実施の形態に基づくものである。具体的には、第1の樹脂層42と第2の樹脂層43との界面及び第2の樹脂層43の（空気側の）表面にフレネルレンズ形状となる回折格子を形成し、波長 λ_2 の光、即ち、波長660nmの光及び、波長 λ_3 の光、即ち、波長780nmの光をともに無限系入射とした複合光学素子40である。尚、単レンズ41は、実施例1における単レンズ11と同じものである。また、表8に、本実施例における入射瞳孔、面間隔L1及びL2の値（単位、[mm]）を示す。

[0142] [表8]

	405nm	660nm	780nm
入射瞳孔	3.00	2.32	2.00
L1	∞	∞	∞
L2	0.7	0.450	0.3

[0143] また、数3に示す数式において、Mの値は波長405nmで0、波長660nm及び波長780nmで-1である。そして、 $A_1 \sim A_3$ の値は、

$$A_1 = -281.4348109$$

$$A_2 = 10.5725758$$

$$A_3 = 3.5814807$$

となるように第1の樹脂層42と第2の樹脂層43との界面の回折格子面の

形状を設定する。

[0144] 次に、第2の樹脂層43の表面に形成された段差 d_{3s} を $1.457\mu\text{m}$ のステップ数が5段の擬似ブレードとすることにより、波長 405nm 、 660nm 、 780nm の各々の波長における空気と第2の樹脂層23との屈折率 Δn によって生じる位相差 $\Delta n d_{3s} / \lambda$ (λ は波長)の値を各々2、1.18、0.99とすることができる。 405nm の波長の光及び 780nm の波長の光が入射した場合には、位相差が波長の略整数倍となっているため、光が回折することはないが、 660nm の波長の光が入射した場合には、位相差が波長の略整数倍とならないため光が回折する。

[0145] この際、空気と第2の樹脂層43との界面の回折格子面の形状を以下の係数の値となるように加工する。

$$A_1 = -232.61692015$$

$$A_2 = -3.10648414$$

$$A_3 = -9.08156951$$

図25A、25B及び25Cは、各々の波長の光における球面収差SAの収差図を示したものであり、図25A、図25B、図25Cはそれぞれ、 405nm の光、 660nm の光、 780nm の光に対応するものである。そして、実施例5における複合光学素子40を出射する各々の波長の光の集光点、つまり、各々の光ディスクの各々の情報記録面を想定した位置における収差は、波長 405nm において $21.2m\lambda_{\text{rms}}$ 、波長 660nm において $8.4m\lambda_{\text{rms}}$ 及び波長 780nm で $2.5m\lambda_{\text{rms}}$ となり、良好に光を集光することができる。尚、他の条件等は実施例1と同様である。

[0146] (実施例6)

実施例6における複合光学素子は、第4の実施の形態に基づくものである。具体的には、第2の樹脂層53の表面の周辺領域に回折構造を形成し、波長 λ_3 の光、即ち、波長 780nm の光が所定の開口数となるように、波長 λ_3 の光が入射する径を制限する機能を有する複合光学素子50である。尚、単レンズ51は、実施例1における単レンズ11と同じものである。

[0147] 第2の樹脂層53の周辺領域に高さ d_4 の値が $3.65\mu\text{m}$ となるようなバイナリー回折格子を形成する。このようなバイナリー回折格子を形成することにより、波長 405nm 、 660nm 、 780nm の各々の波長における空気と第2の樹脂層23との屈折率 $\Delta n(\lambda)$ によって生じる位相差 $\Delta n(\lambda) d_4 / \lambda$ (λ は波長)の値を各々 5.0 、 3.0 、 2.5 とすることができる。 405nm の波長の光及び 660nm の波長の光が入射した場合には、位相差が波長の略整数倍となっているため、光が回折することはないが、 780nm の波長の光が入射した場合には、位相差が波長の略整数倍とならないため光が回折し、バイナリー回折格子の形成された領域の光はほぼ直進透過しない。

[0148] 以上より、実施例6における複合光学素子50では、各々の波長において良好に光を集光することができる。また、 780nm の波長の光の入射径を制限することができる。尚、他の条件等は実施例1と同様である。

[0149] (実施例7)

実施例7における複合光学素子は、第5の実施の形態に基づくものである。具体的には、第2の樹脂層63の表面の周辺領域に位相差を形成し、波長 λ_3 の光、即ち、波長 780nm の光が所定の開口数となるように、波長 λ_3 の光が入射する径を制限する機能を有する複合光学素子60である。尚、単レンズ61は、実施例1における単レンズ11と同じものである。

[0150] 第2の樹脂層63の周辺領域に段差 d_5 の値が $3.65\mu\text{m}$ となるような溝を形成する。このような溝を形成することにより、波長 405nm 、 660nm 、 780nm の各々の波長における空気と第2の樹脂層63との屈折率 $\Delta n(\lambda)$ によって生じる位相差 $\Delta n(\lambda) d_5 / \lambda$ (λ は波長)の値を各々 5.0 、 3.0 、 2.5 とすることができる。 405nm の波長の光及び 660nm の波長の光が入射した場合には、位相差が波長の略整数倍となっているため、光が位相変化を受けることはないが、 780nm の波長の光が入射した場合には、位相差が波長の略整数倍とはならないため光が位相変化を受け、溝が形成された領域に入射する波長 λ_3 の光は第3の光ディスク19の

情報記録面 19b に良好に集光されないため、実質的に開口の大きさが制限される。

[0151] 以上より、実施例 7 における複合光学素子 60 では、各々の波長において良好に光を集光することができる。また、780nm の波長の光の入射径を制限することができる。

[0152] 尚、他の条件等は実施例 1 と同様である。

[0153] (実施例 8)

実施例 8 における複合光学素子は、第 7 の実施の形態に基づくものである。本実施例における複合光学素子 70 は、単レンズ 71、第 1 の樹脂層 72 及び第 2 の樹脂層 73 から構成されており、第 1 の樹脂層 72 と第 2 の樹脂層 73 との界面によって、断面形状がブレード形状となる回折格子が形成されている。

[0154] 表 9、表 10 及び表 11 に、本実施例における複合光学素子 70 の形状及び屈折率等の値を示す。特に、表 10 は、本実施例における入射瞳径、面間隔 L1、L2 及び L3 の値（単位、[mm]）を示す。尚、第 1 面～第 3 面は、複合光学素子 70 の各面、第 4 面は、カバー層の面、第 5 面は情報記録面である。

[0155] [表 9]

面	曲率半径 (mm)	面間隔 (mm)	屈折率		
			405nm	660nm	780nm
		L1			
1	1.2397532	0.04	1.525099	1.506956	1.503724
2	1.2397532	1.70E+00	1.599637	1.579996	1.576415
3	-4.410797	L2			
4	∞	L3	1.622308	1.579613	1.573456
5	∞				

[0156]

[表10]

波長	405nm	660nm	780nm
入射瞳孔径	3.00	2.45	2.02
L1	∞	-148.273	28.5289
L2	0.742868	0.516	0.3
L3	0.1	0.6	1.2

[0157] [表11]

	第1面	第2面	第3面
k	-5.167833E-01	-5.167833E-01	-3.976454E+01
α_1	0	0	0
α_2	6.053505E-03	6.053505E-03	1.309717E-01
α_3	6.491001E-03	6.491001E-03	-1.219434E-01
α_4	-1.048838E-03	-1.048838E-03	5.463863E-02
α_5	-8.330428E-04	-8.330428E-04	-8.999275E-03
α_6	1.664393E-03	1.664393E-03	-3.311178E-04
α_7	-7.706654E-04	-7.706654E-04	0
α_8	1.680936E-04	1.680936E-04	0

[0158] また、表 1 2 には、第 1 の樹脂層 7 2 及び第 2 の樹脂層 7 3 の屈折率を示す。尚、第 1 の樹脂層 7 2 及び第 2 の樹脂層 7 3 との界面が第 1 の樹脂層 7 2 を進行する光の方向に対して高さ h_6 が 1 3. 5 μm のブレード形状となる回折格子を形成する。

[0159]

[表12]

波長	405nm	660nm	780nm
第1の樹脂層	1.5554	1.5078	1.5018
第2の樹脂層	1.5251	1.5070	1.5037

[0160] 本実施例における回折格子の回折効率 η は、図19に示されるものとなる。即ち、405nm波長帯で入射した光は、高い+1次回折光の回折効率(η_{+1})で回折され、660nm波長帯の光及び780nm波長帯で入射した光は回折されることなく透過する。よって、効率よく各々の波長の光を利用することができる。尚、図18において、 η_{-1} はほぼゼロであるので図示していない。

[0161] また、数3に示す数式において、Mの値は波長405nmで1、波長660nm及び波長780nmで0である。第1の樹脂層72と第2の樹脂層73との界面における回折格子面の位相関数の係数は、

$$A_1 = -175.0024593$$

$$A_2 = -17.3941813$$

$$A_3 = 109.140934$$

$$A_4 = -85.5726871$$

$$A_5 = 26.8307306$$

となる。

[0162] 図26A、26B及び26Cは、各々の波長の光における球面収差SAの収差図を示したものであり、図26A、図26B、図26Cはそれぞれ、405nmの光、660nmの光、780nmの光に対応するものである。そして、実施例8における複合光学素子70を出射する各々の波長の光の集光点、つまり、各々の光ディスクの各々の情報記録面を想定した位置における収差は、波長405nmにおいて20.9mλrms、波長660nmにおいて11.9mλrms及び波長780nmで8.9mλrmsとなり、良

好に光を集光することができる。

[0163] (実施例 9)

実施例 9 における複合光学素子は、第 8 の実施の形態に基づくものである。本実施例における複合光学素子 80 は、単レンズ 81、第 1 の樹脂層 82 及び第 2 の樹脂層 83 から構成されており、第 1 の樹脂層 82 と第 2 の樹脂層 83 との界面の領域の一部（光軸を含む領域）には、断面形状がブレード形状となる回折格子が形成されている。具体的には、第 1 の樹脂層 82 と第 2 の樹脂層 83 との界面によって、回折格子の形成される第 1 の領域 7A と、回折格子の形成されない第 2 の領域 7B を有しており、 $r \leq 1.3$ の範囲で数 4 に示す数式となり、 $r > 1.3$ の範囲で数 5 に示す数式を満たすように形成されている。

[0164] [数 4]

$$z_1 = \frac{c_1 r^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k_1) c_1^2 r^2}} + \sum_{i=1}^8 \alpha_{1i} r^{2i}$$

[0165] [数 5]

$$z_2 = z_0 + \frac{c_2 r^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k_2) c_2^2 r^2}} + \sum_{i=1}^8 \alpha_{2i} r^{2i}$$

[0166] ここで、 z_0 は、 z_0 が無い場合の面形状を $z_1(r)$ 、 $z_2'(r)$ とした場合に、 $r = 1.3$ における値の差 $z_0 = z_1(1.3) - z_2'(1.3)$ を表している。また、表 13、表 14 及び表 15 には、本実施例における複合光学素子 80 の形状及び屈折率を示す。特に、表 14 は、本実施例における入射瞳孔径、面間隔 L_1 、 L_2 及び L_3 の値（単位、[mm]）を示す。なお、第 2 の樹脂層 83 の（空気側の）表面を第 1 面、第 1 の樹脂層 82 と単レンズ 81 との界面を第 2 面、複合光学素子（単レンズ 81）の光出射側の表面

を第3面とし、光軸を含む中心領域を第1の領域、第1の領域の周辺にある輪帯状の領域を第2の領域とする。尚、第4面は、カバー層の面、第5面は情報記録面である。

[0167] [表13]

面	曲率半径1 (mm)	曲率半径2 (mm)	面間隔 (mm)	屈折率		
				405nm	660nm	780nm
			L1			
1	1.24E+00	2.21E+00	4.00E-02	1.525099	1.506956	1.503724
2	1.24E+00	2.21E+00	1.74E+00	1.599637	1.579996	1.576415
3	-4.94E+00		L2			
4	∞		L3	1.622308	1.579613	1.573456
5	∞					

[0168] [表14]

波長	405nm	660nm	780nm
入射瞳孔径	3.00	2.42	1.97
L1	∞	∞	27.48756
L2	0.7	0.530022	0.3
L3	0.0875	0.6	1.2

[0169]

[表15]

	第1面 第1の領域	第1面 第2の領域	第2面 第1の領域	第2面 第2の領域	第3面
k	-7.005571E-01	-1.993780E-01	-7.005571E-01	-1.993780E-01	-3.282262E+00
α_1	0	0	0	0	0
α_2	2.112110E-02	1.457418E-03	2.112110E-02	1.457418E-03	1.374404E-01
α_3	-5.685809E-03	6.097773E-02	-5.685809E-03	6.097773E-02	-5.859392E-02
α_4	1.469420E-02	7.575594E-03	1.469420E-02	7.575594E-03	-2.863478E-02
α_5	1.456893E-03	-4.296919E-03	1.456893E-03	-4.296919E-03	3.290110E-02
α_6	-1.309836E-02	-1.713527E-03	-1.309836E-02	-1.713527E-03	-8.009095E-03
α_7	9.560925E-03	-1.115996E-04	9.560925E-03	-1.115996E-04	0
α_8	-2.157703E-03	2.097861E-04	-2.157703E-03	2.097861E-04	0

[0170] また、数 3 に示す数式において、M の値は波長 405 nm で 1、波長 660 nm 及び波長 780 nm で 0 である。第 1 の樹脂層 82 と第 2 の樹脂層 83 との界面において第 1 の領域 7A においてのみ形成された回折格子の位相関係の係数は、

$$A_1 = -436.590796$$

$$A_2 = -30.22682545$$

$$A_3 = 250.5501439$$

$$A_4 = -242.3786543$$

$$A_5 = 108.1249459$$

の値となる。

[0171] 図 27A、27B 及び 27C は、各々の波長の光における球面収差 SA の収差図を示したものであり、図 27A、図 27B、図 27C はそれぞれ、405 nm の光、660 nm の光、780 nm の光に対応するものである。そして、実施例 9 における複合光学素子 80 を出射する各々の波長の光の集光点、つまり、各々の光ディスクの各々の情報記録面を想定した位置における収差は、波長 405 nm において $40.3\text{ m}\lambda\text{ rms}$ 、波長 660 nm において $7.7\text{ m}\lambda\text{ rms}$ 及び波長 780 nm で $4.5\text{ m}\lambda\text{ rms}$ となり、良好に光を集光することができる。尚、他の条件等は実施例 8 と同様である。

[0172] (実施例 10)

実施例 10 における複合光学素子は、第 9 の実施の形態に基づくものである。本実施例における複合光学素子 90 は、単レンズ 91、第 1 の樹脂層 92 及び第 2 の樹脂層 93、さらに保護層 94 から構成されている。第 1 の樹脂層 92 と第 2 の樹脂層 93 との界面には、断面形状がブレード形状となる回折格子が形成されており、単レンズ 91 と第 1 の樹脂層 92 と接する面及び、第 2 の樹脂層 93 と保護層 94 と接する面は、各々球面となっている。

[0173] 表 16、表 17 及び表 18 には、本実施例における複合光学素子 90 の形状及び屈折率を示す。特に、表 17 は、本実施例における入射瞳径、面間隔 L_1 、 L_2 及び L_3 の値（単位、[mm]）を示す。なお、保護層 94 の（

空気側の) 表面を第 1 面、保護層 9 4 と第 2 の樹脂層 9 3 との界面を第 2 面、第 1 の樹脂層 9 2 と単レンズ 9 1 との界面を第 3 面、複合光学素子 (単レンズ 9 1) の光出射側の表面を第 4 面とする。尚、第 5 面は、カバー層の面、第 6 面は情報記録面である。

[0174] [表16]

面	曲率半径1 (mm)	面間隔 (mm)	屈折率		
			405nm	660nm	780nm
		L1			
1	1.27E+00	5.00E-01	1.841127	1.799909	1.793089
2	1.50E+00	4.00E-02	1.555794	1.533637	1.529838
3	1.50E+00	1.14E+00	1.599637	1.579996	1.576415
4	-7.46E+00	L2			
5	∞	L3	1.622308	1.579613	1.573456
6	∞				

[0175] [表17]

波長	405nm	660nm	780nm
入射瞳孔径	3.00	2.46	2.01
L1	∞	-5.83E+01	∞
L2	7.00E-01	5.58E-01	3.00E-01
L3	0.0875	0.6	1.2

[0176]

[表18]

	第1面	第4面
k	-0.615506505	-10.35279107
α_1	0	0
α_2	0.017365902	0.147522458
α_3	-0.006535879	-0.178950646
α_4	0.025027607	0.10759781
α_5	-0.028153281	-0.033306217
α_6	0.018616288	0.004132273
α_7	-0.006218606	0
α_8	0.000774416	0

また、表 19 には、第 1 の樹脂層 9 2 と第 2 の樹脂層 9 3 における各々の波長の光の屈折率を示す。

[0177] [表19]

波長	405nm	660nm	780nm
第1の樹脂層	1.5554	1.5078	1.5018
第2の樹脂層	1.5558	1.5336	1.5298

[0178] 第 1 の樹脂層 9 2 と第 2 の樹脂層 9 3 との界面が第 1 の樹脂層 9 2 を進行する光の方向に対して高さ h_g が $25 \mu m$ のブレード形状となる回折格子を形成する。また、数 3 に示す数式において、 M の値は波長 $405 nm$ で -1 、波長 $660 nm$ 及び波長 $780 nm$ で 0 である。これにより、波長 $405 nm$ の光が入射した場合には高い屈折率となり、波長 $660 nm$ 及び $780 nm$ の光が入射した場合には高い -1 次回折効率で効率よく回折させることが

できる。また、位相関係の係数は、

$$A_1 = -371.1647158$$

$$A_2 = 52.6764996$$

$$A_3 = 0.2249316$$

の値となる。

[0179] 図28A、28B及び28Cは、各々の波長の光における球面収差SAの収差図を示したものであり、図28A、図28B、図28Cはそれぞれ、405nmの光、660nmの光、780nmの光に対応するものである。そして、実施例10における複合光学素子90を出射する各々の波長の光の集光点、つまり、各々の光ディスクの各々の情報記録面を想定した位置における収差は、波長405nmにおいて14.9mλrms、波長660nmにおいて7.0mλrms及び波長780nmで6.0mλrmsとなり、良好に光を集光することができる。

[0180] 本出願を詳細にまた特定の実施態様を参照して説明したが、本発明の精神と範囲を逸脱することなく様々な変更や修正を加えることができることは当業者にとって明らかである。

本出願は、2009年7月10日出願の日本特許出願（特願2009-164240）に基づくものであり、その内容はここに参照として取り込まれる。

符号の説明

[0181]	10	複合光学素子
	11	単レンズ
	12	第1の樹脂層
	12a	第1の樹脂層における屈折率特性
	13	第2の樹脂層
	13a	第2の樹脂層における屈折率特性
	14	波長 λ_1 の光線
	15	波長 λ_2 の光線
	16	波長 λ_3 の光線

1 7	第 1 の光ディスク
1 7 a	カバー層
1 7 b	情報記録面
1 8	第 2 の光ディスク
1 8 a	カバー層
1 8 b	情報記録面
1 9	第 3 の光ディスク
1 9 a	カバー層
1 9 b	情報記録面
1 1 0	光ディスク
1 1 1	第 1 のレーザ光源
1 1 2	第 2 のレーザ光源
1 1 3	第 3 のレーザ光源
1 1 4	第 1 のビームスプリッタ
1 1 5	第 2 のビームスプリッタ
1 1 6	第 3 のビームスプリッタ
1 1 7	コリメータレンズ
1 1 8	複合光学素子（対物レンズ）
1 1 9	第 4 のビームスプリッタ
1 2 0	第 5 のビームスプリッタ
1 2 1	第 1 のフォトディテクタ
1 2 2	第 2 のフォトディテクタ
1 2 3	第 3 のフォトディテクタ

請求の範囲

- [請求項1] 曲面形状を有し光学的に作用する単レンズと、
前記単レンズの表面に形成された第1の樹脂層と、
前記第1の樹脂層の上に形成された第2の樹脂層を備え、
前記第1の樹脂層は、前記第2の樹脂層側にフレネルレンズ形状となる回折格子を有し、
波長 λ_1 の光、波長 λ_2 の光及び波長 λ_3 の光（ $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$ ）の3種類の光のうち、少なくとも1種類の波長の光においては、前記第1の樹脂層の屈折率と前記第2の樹脂層の屈折率とが略同一の値であり、他の少なくとも1種類の波長の光においては、前記第1の樹脂層の屈折率と前記第2の樹脂層の屈折率とが異なる値である複合光学素子。
- [請求項2] 前記第2の樹脂層は、前記第1の樹脂層側と対向する側の表面にフレネルレンズ形状となる回折格子を有する請求項1に記載の複合光学素子。
- [請求項3] 前記第2の樹脂層の前記第1の樹脂層側と対向する側の表面に形成された回折格子は、ブレース形状を複数の段差に近似した階段状の擬似ブレース形状を有し、
各前記段差は、前記3種類の波長の光のうち1種類の波長の略整数倍の位相差を与えるかまたは、前記3種類の波長の光のうち2種類の波長それぞれにおいて略整数倍の位相差を与える請求項2に記載の複合光学素子。
- [請求項4] 前記第2の樹脂層は、前記第1の樹脂層側と対向する側の表面において、光軸を中心とした中心領域と、前記中心領域を囲む輪帯状の周辺領域を有し、
前記中心領域は曲面形状を有し、
前記周辺領域は、前記中心領域の曲面に対して位相段差またはバイナリ一回折格子を有する請求項1に記載の複合光学素子。

- [請求項5] 前記周辺領域は、前記位相差差を有し、
前記位相差差は、複数の段差を有し、
各前記段差は、前記3種類の波長の光のうち1種類の波長の略整数倍の位相差を与えるかまたは、前記3種類の波長の光のうち2種類の波長それぞれの略整数倍の位相差を与える請求項4に記載の複合光学素子。
- [請求項6] 前記周辺領域は、前記位相差差を有し、
前記位相差差は、1つの段差からなり、
前記段差は、前記波長 λ_3 の光に対して $\lambda_3/2$ の奇数倍に略等しい位相差を与えるとともに、波長 λ_1 の光および波長 λ_2 の光に対してそれぞれの波長において略整数倍に略等しい位相差を与える請求項4に記載の複合光学素子。
- [請求項7] 前記周辺領域は、前記バイナリ一回折格子を有し、
前記バイナリ一回折格子の深さは、前記波長 λ_3 の光に対して $\lambda_3/2$ の奇数倍に略等しい位相差を与えるとともに、波長 λ_1 の光および波長 λ_2 の光に対してそれぞれの波長の整数倍に略等しい位相差を与える値である請求項4に記載の複合光学素子。
- [請求項8] 前記第1の樹脂層は、前記第2の樹脂層側に、光軸を中心とした内部中心領域と、前記内部中心領域を囲む輪帯状の内部周辺領域を有し、
前記内部中心領域はフレネルレンズ形状となる回折格子を有し、
前記内部周辺領域は、曲面形状を有する請求項1に記載の複合光学素子。
- [請求項9] 前記第2の樹脂層上に、保護層が形成されている請求項1～8いずれか1項に記載の複合光学素子。
- [請求項10] 前記波長 λ_1 は、375～435nmとなる405nm波長帯であり、前記波長 λ_2 は、630～690nmとなる660nm波長帯であり、前記波長 λ_3 は、750～810nmとなる780nm波長帯

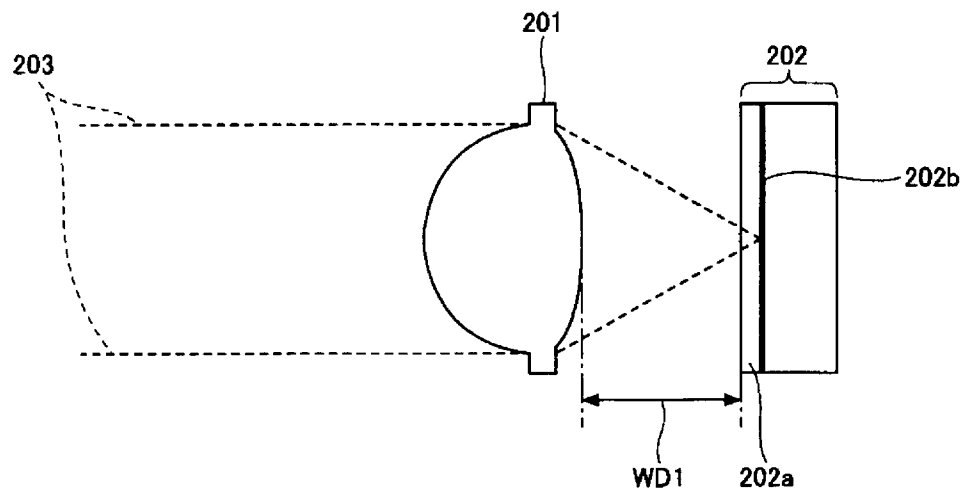
である請求項 1 ～ 9 のいずれか 1 項に記載の複合光学素子。

[請求項11] 405nm波長帯の光、660nm波長帯の光および780nm波長帯の光を出射する光源と、

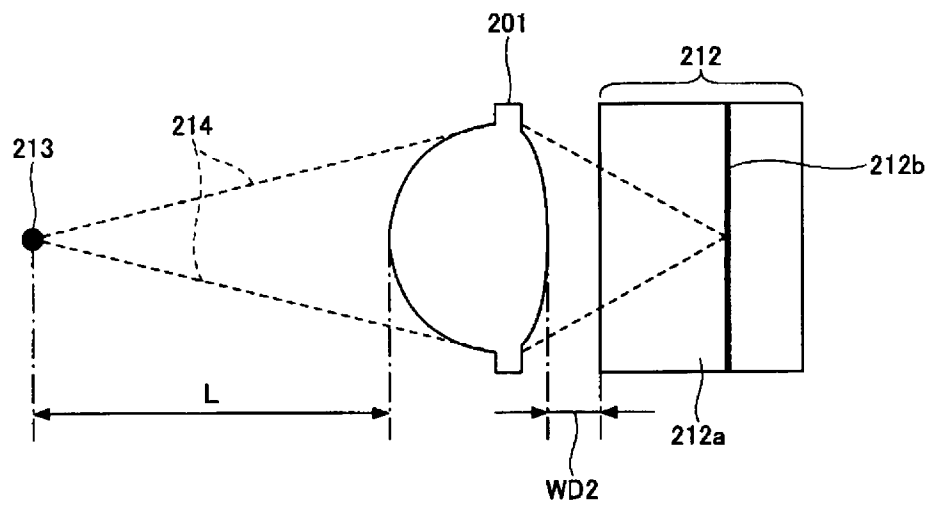
前記光源から出射された各々の波長帯の光を各々の波長帯の光に対応した光ディスクの情報記録面に集光させる請求項 1 ～ 10 のいずれか 1 項に記載の複合光学素子と、

前記光ディスクの情報記録面において反射された信号光を検出するための光検出器を備える光ヘッド装置。

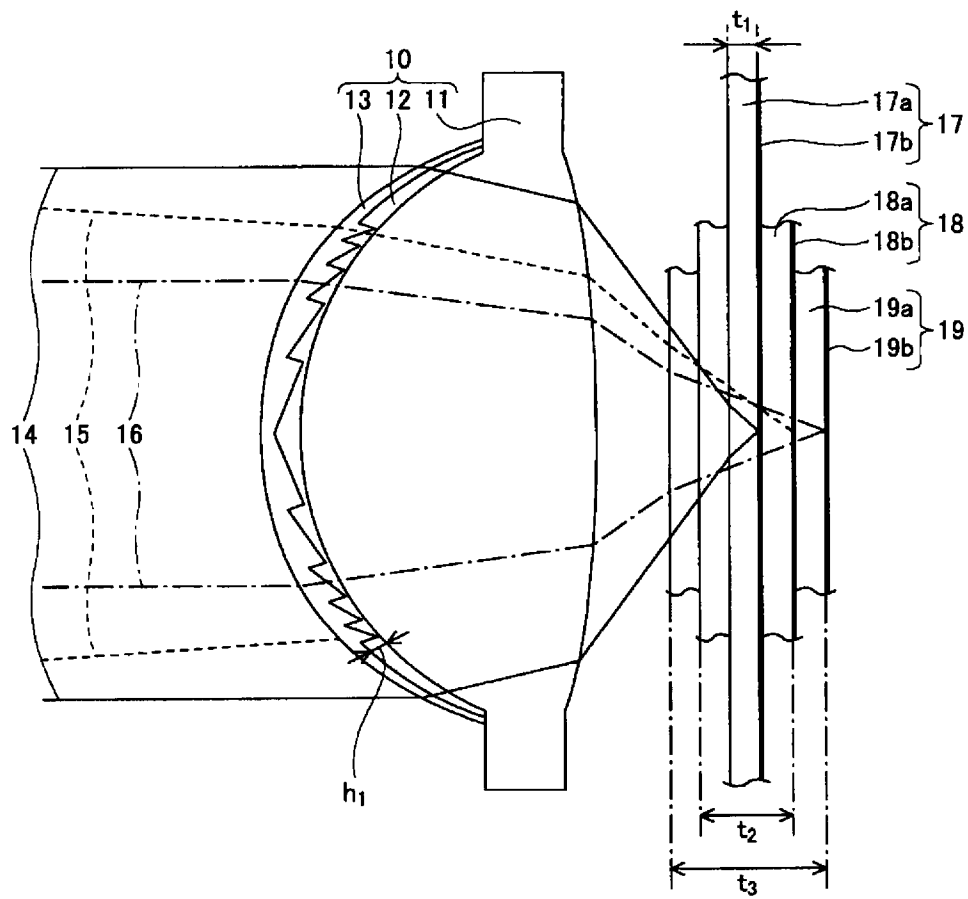
[図1A]



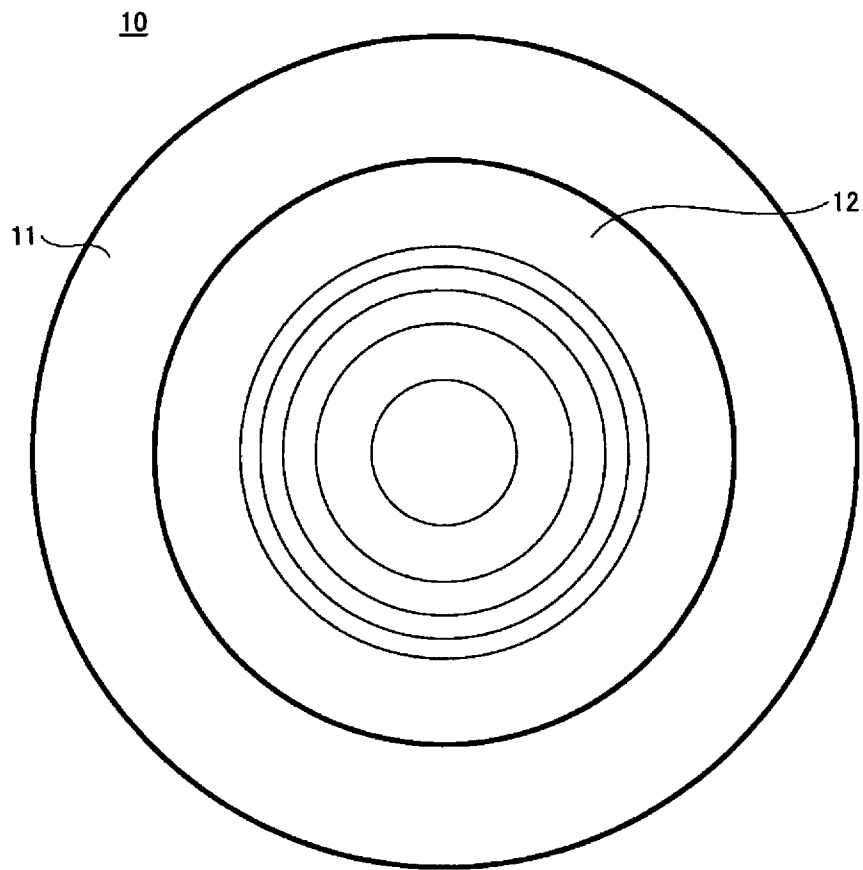
[図1B]



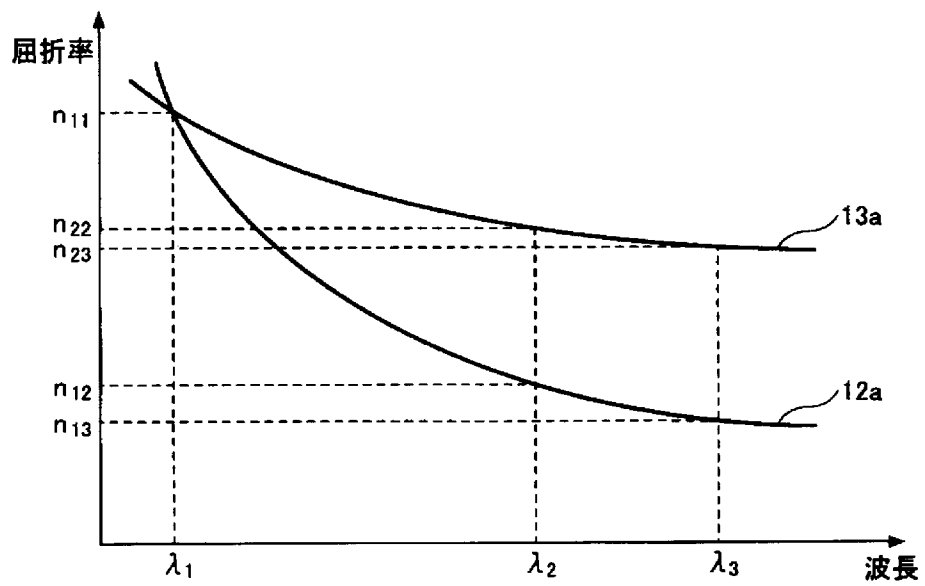
[図2]



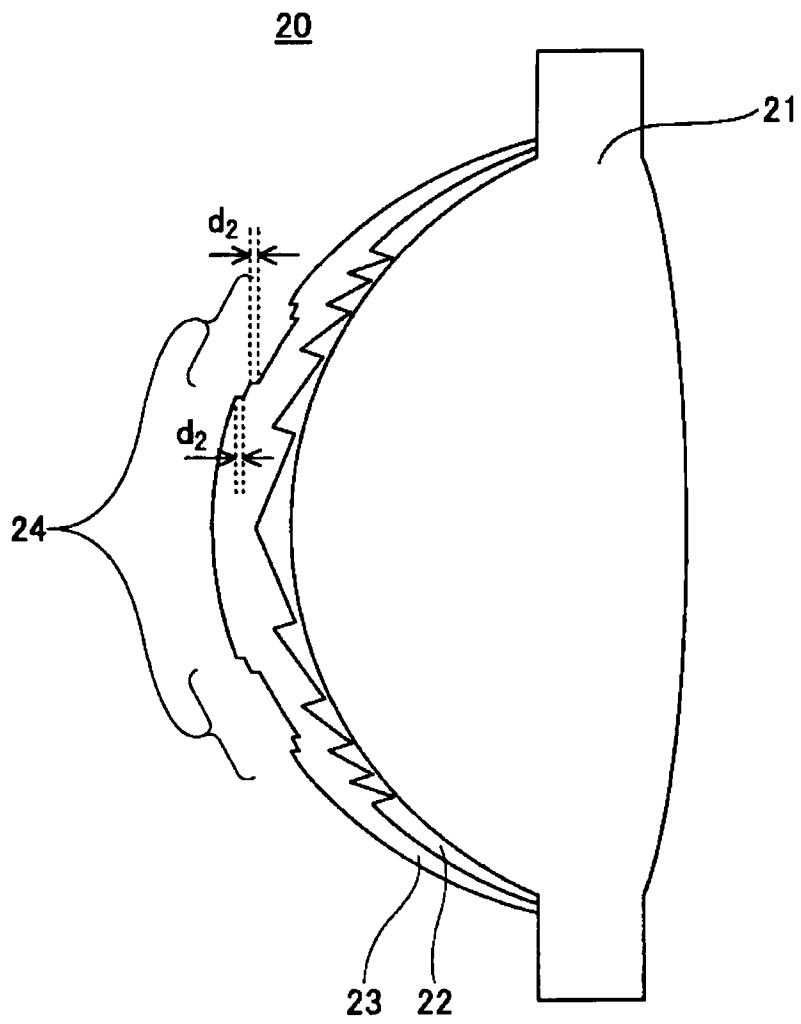
[図3]



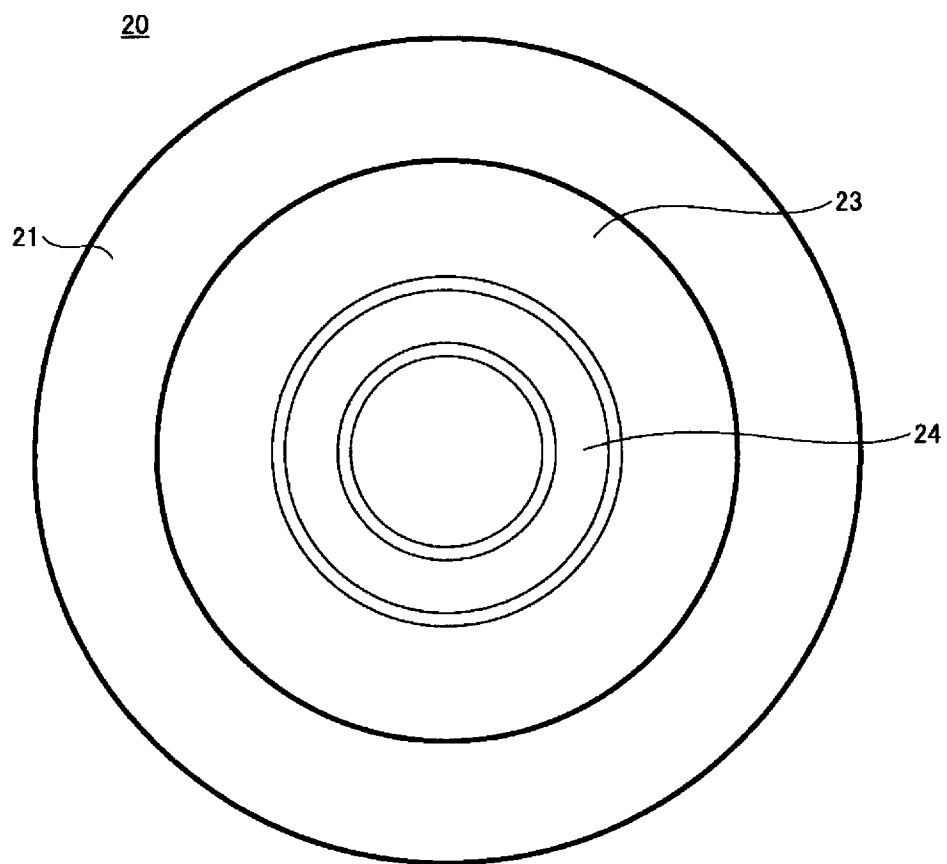
[図4]



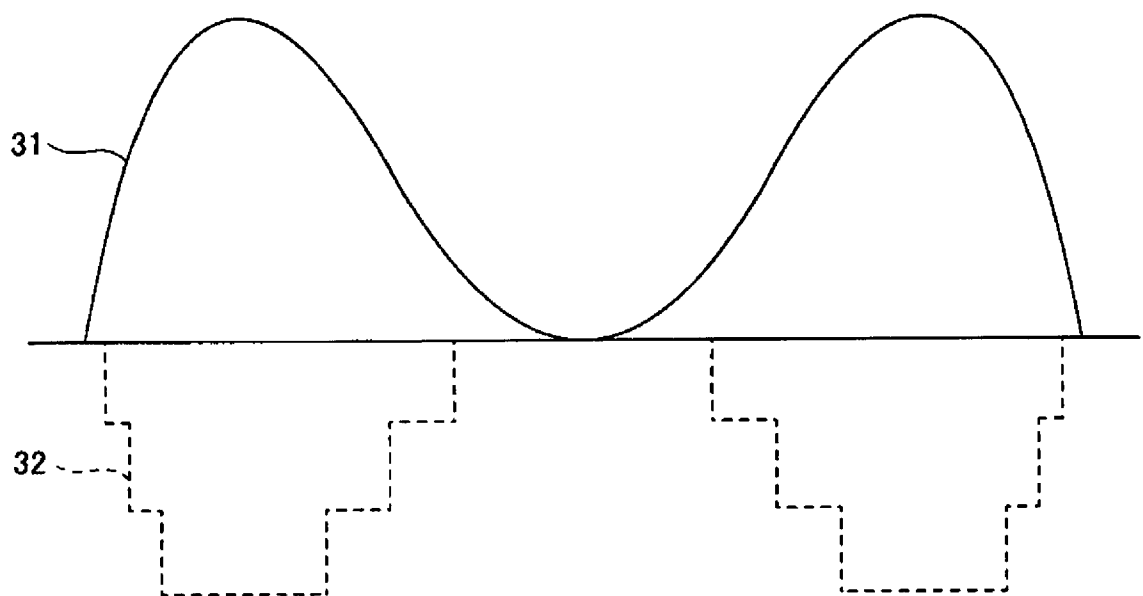
[図5]



[図6]



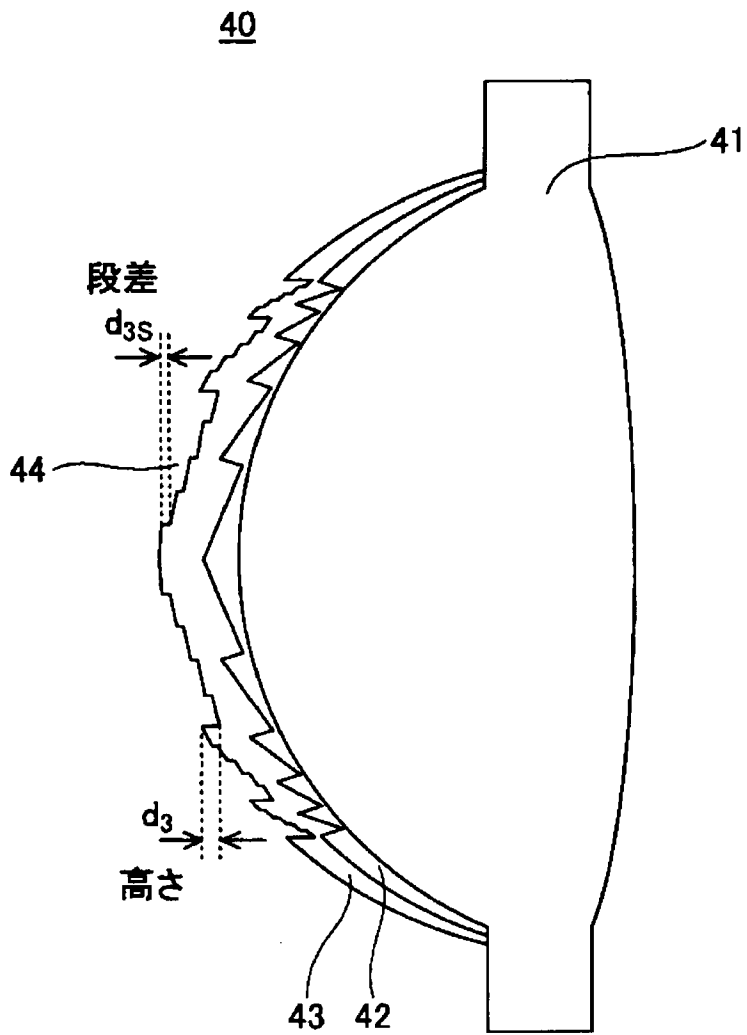
[図7A]



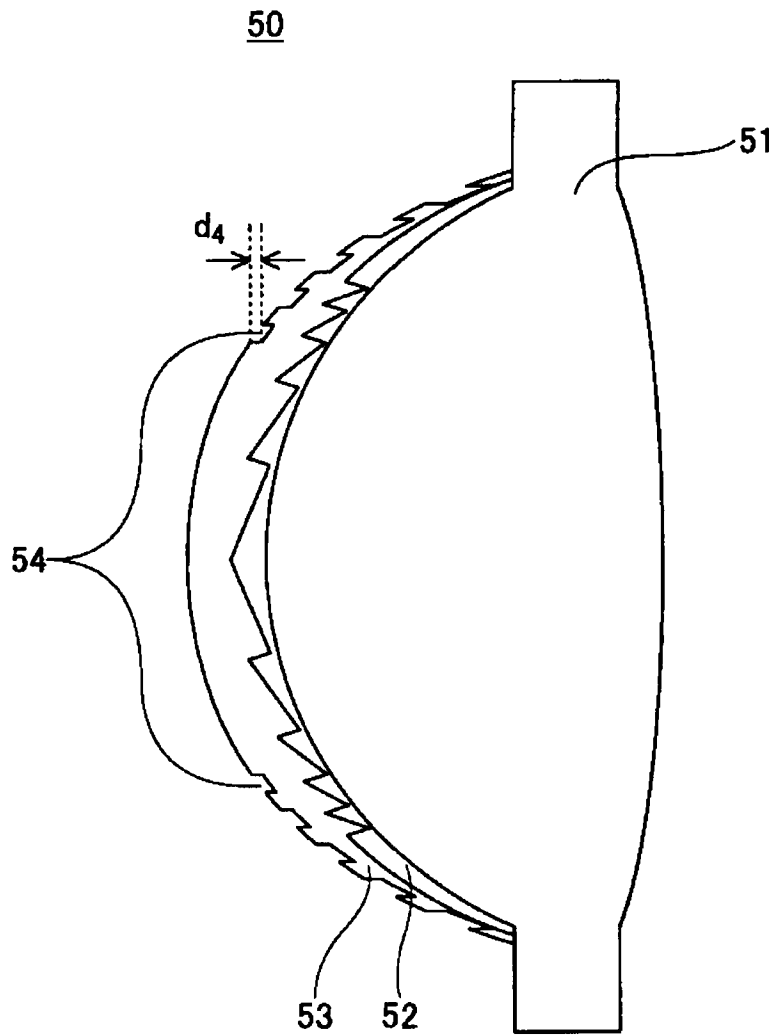
[図7B]



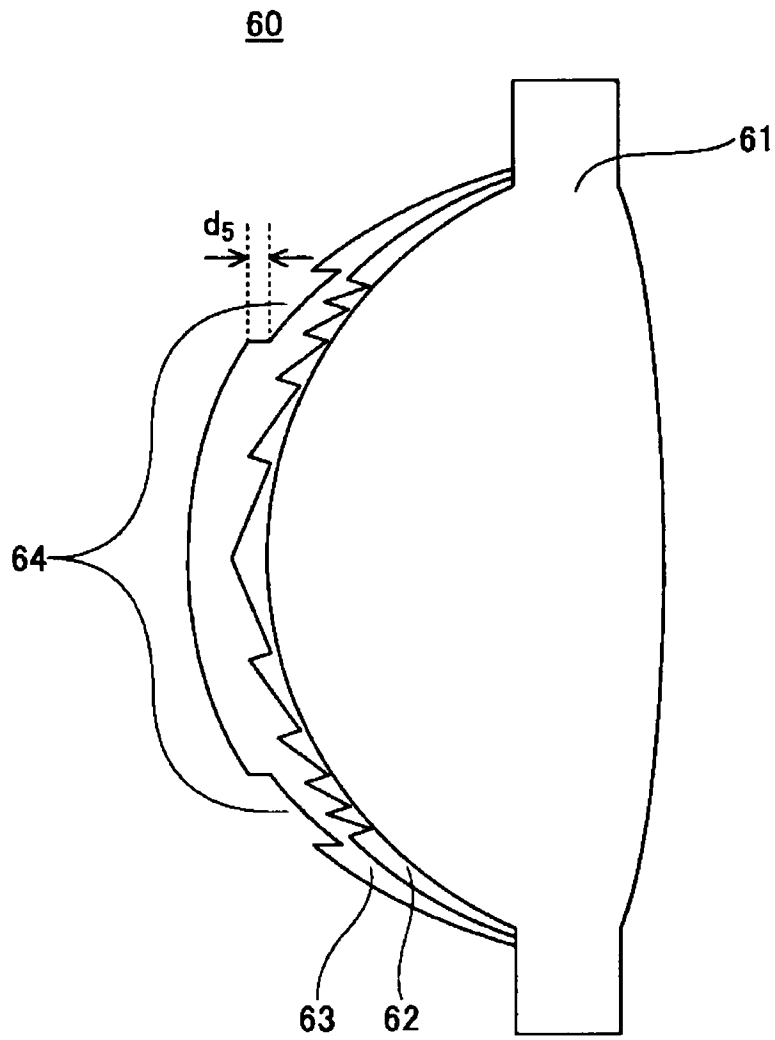
[図8]



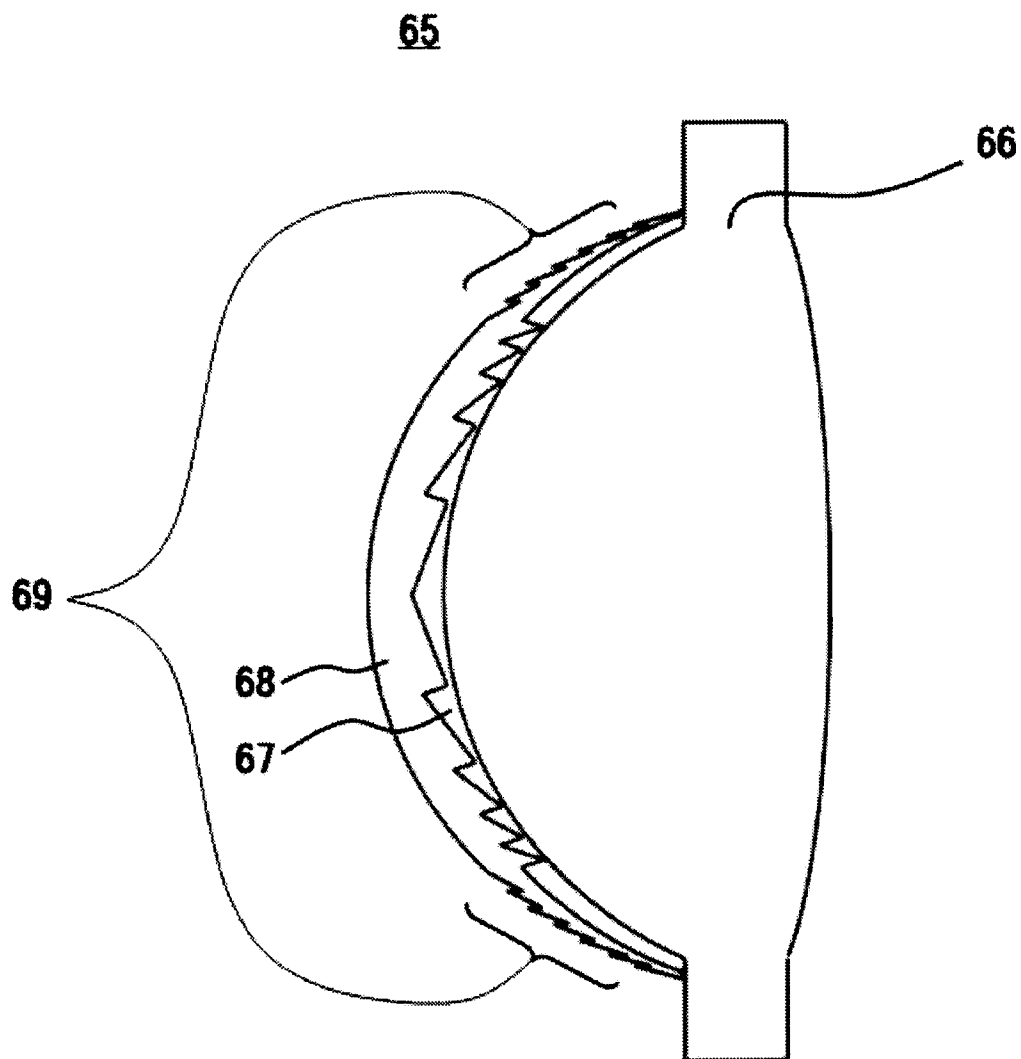
[図9]



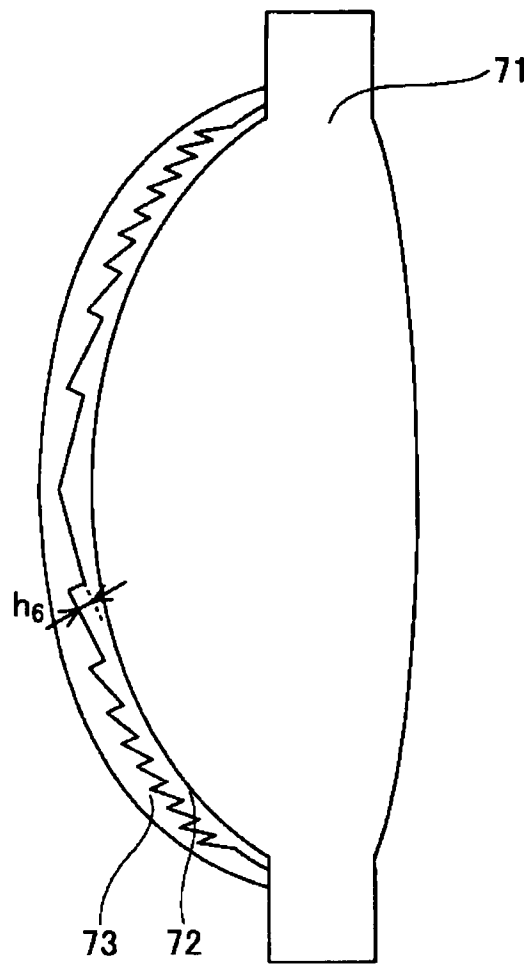
[図10]



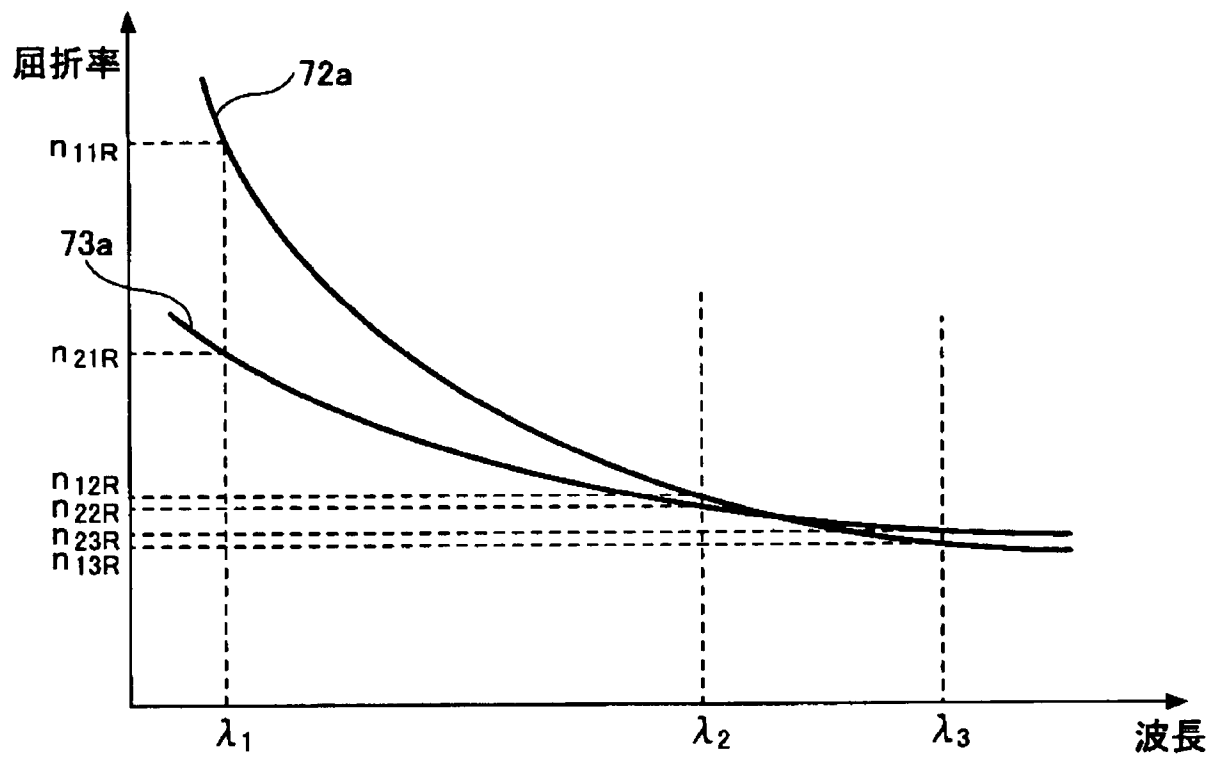
[図11]



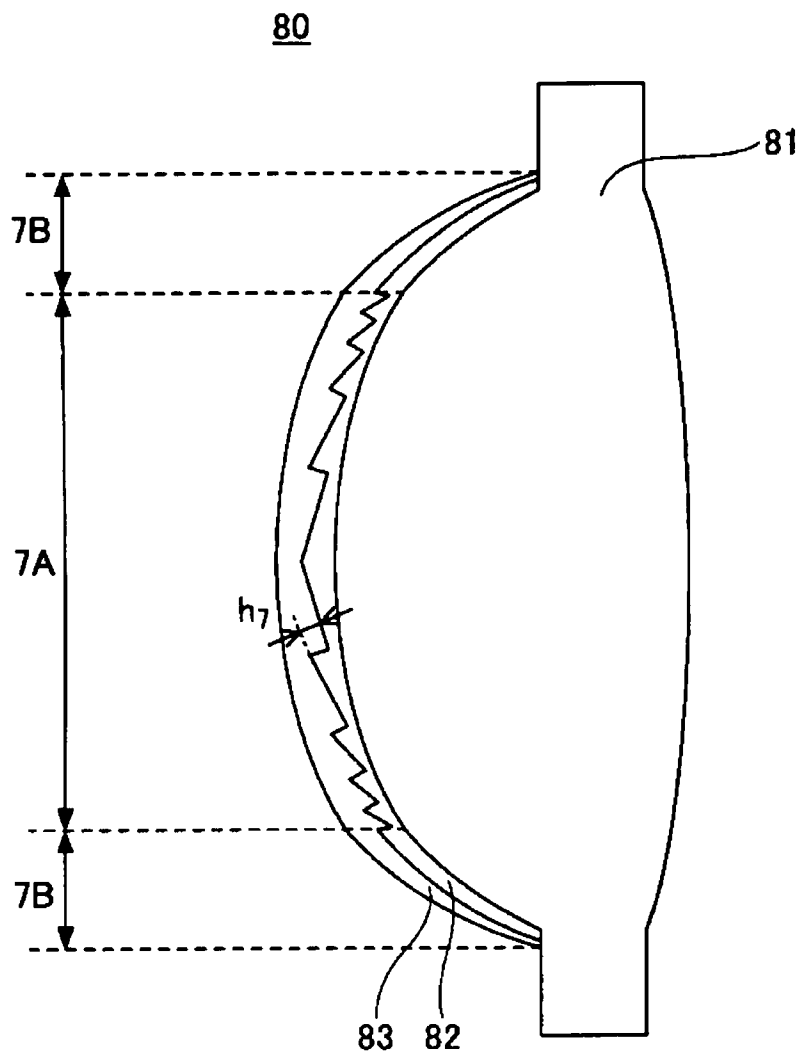
[図12]

70

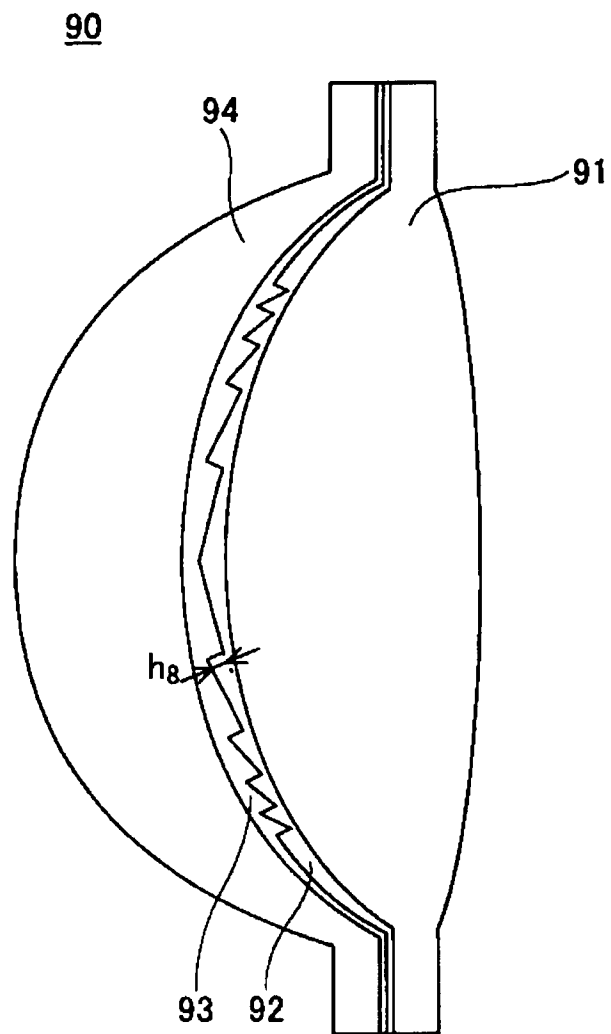
[図13]



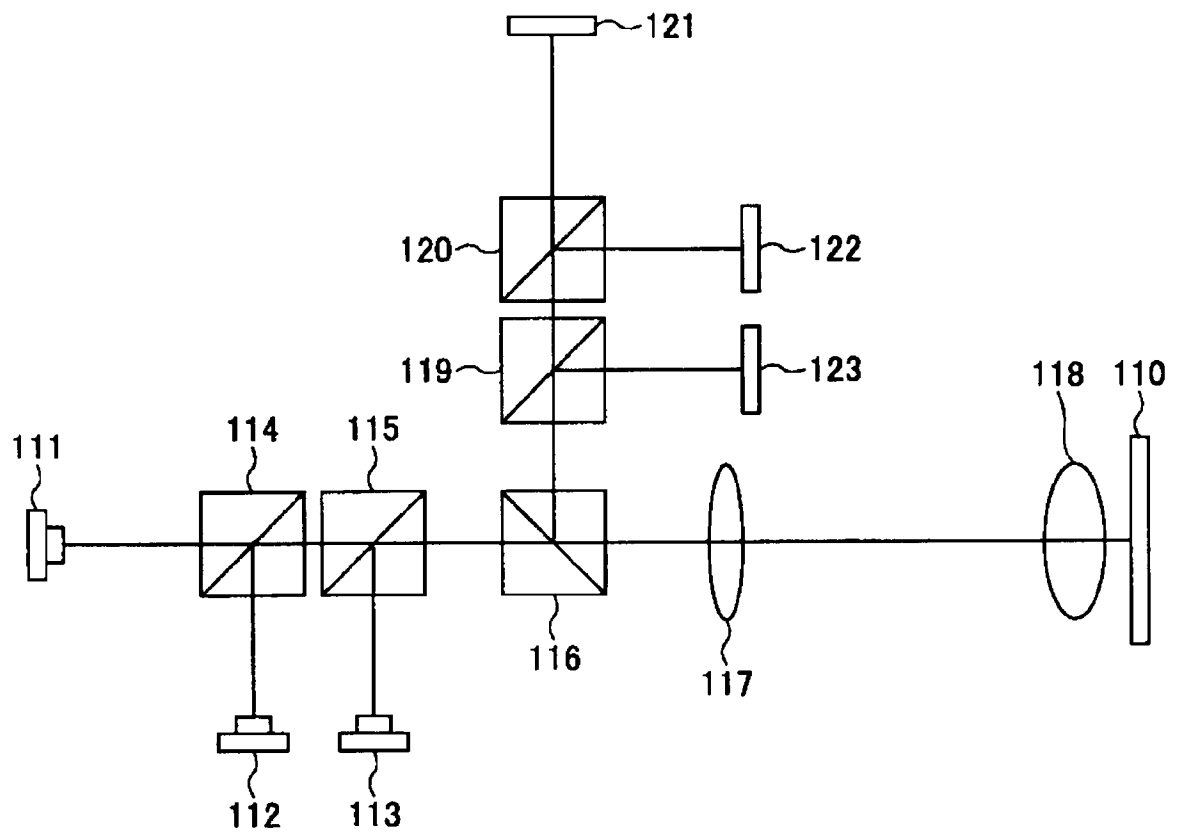
[図14]



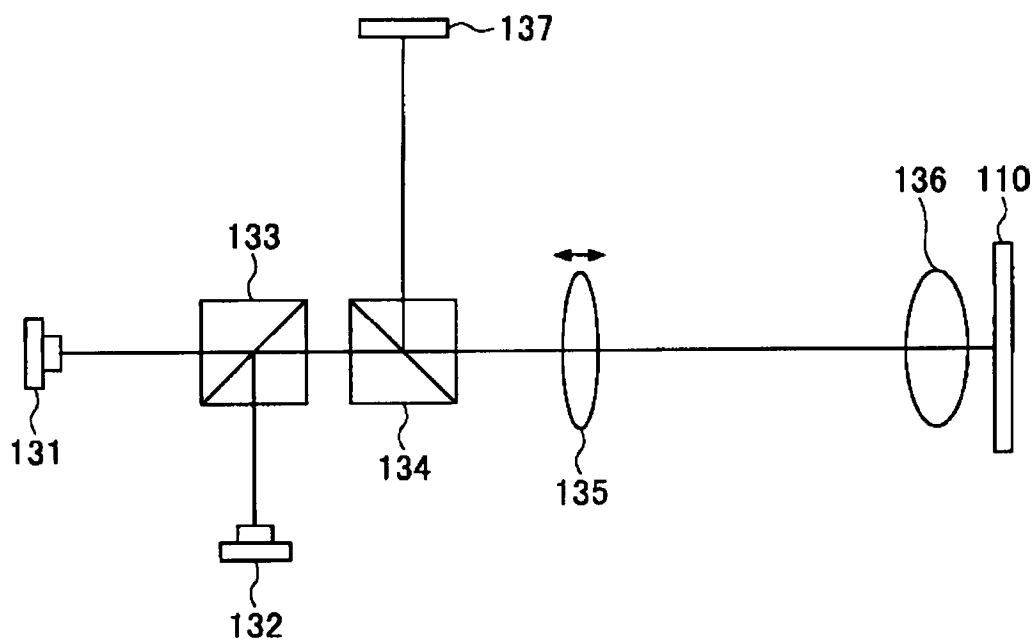
[図15]



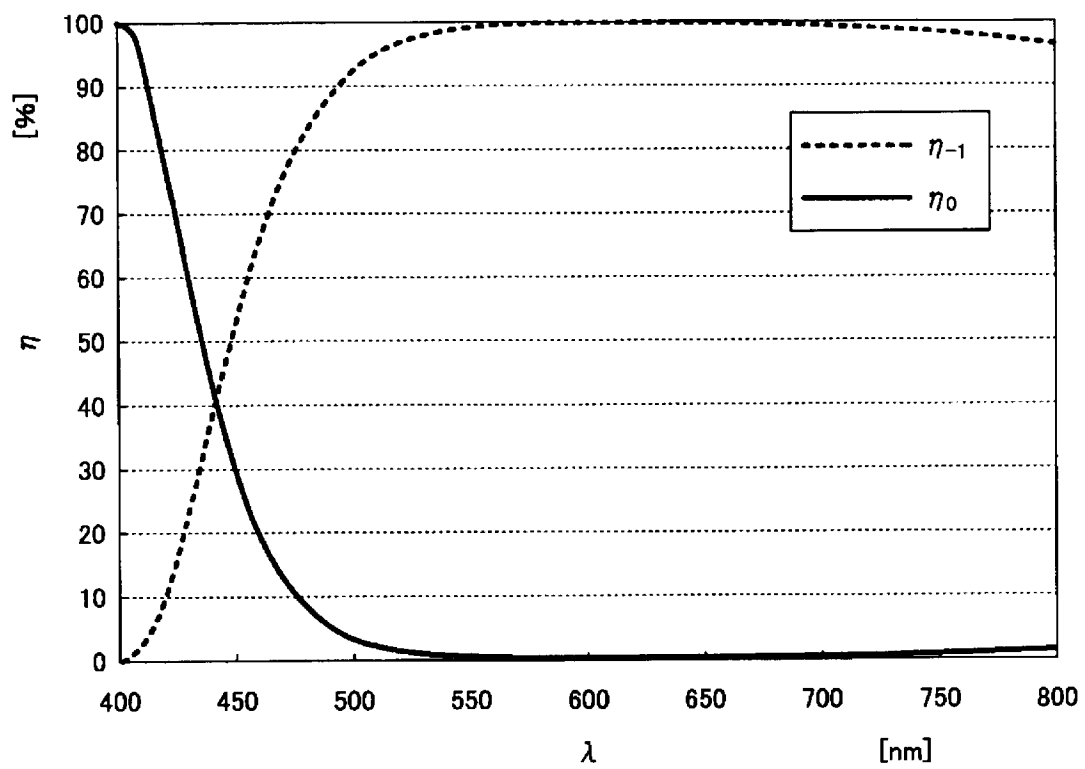
[図16]



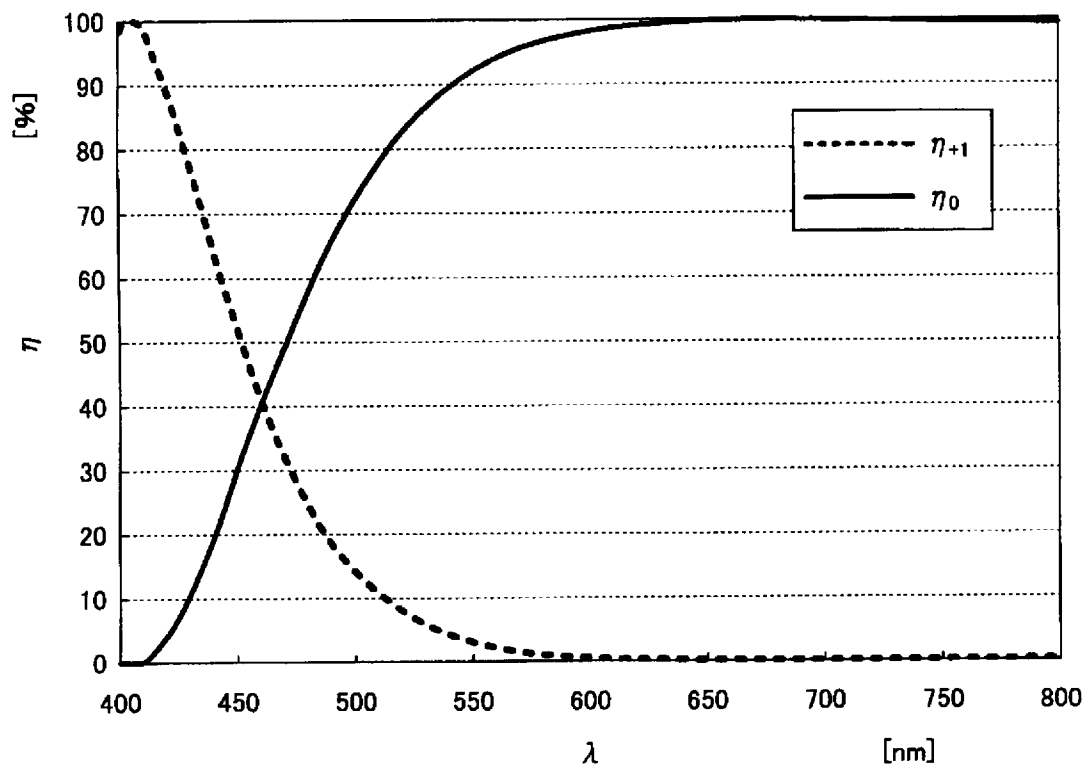
[図17]



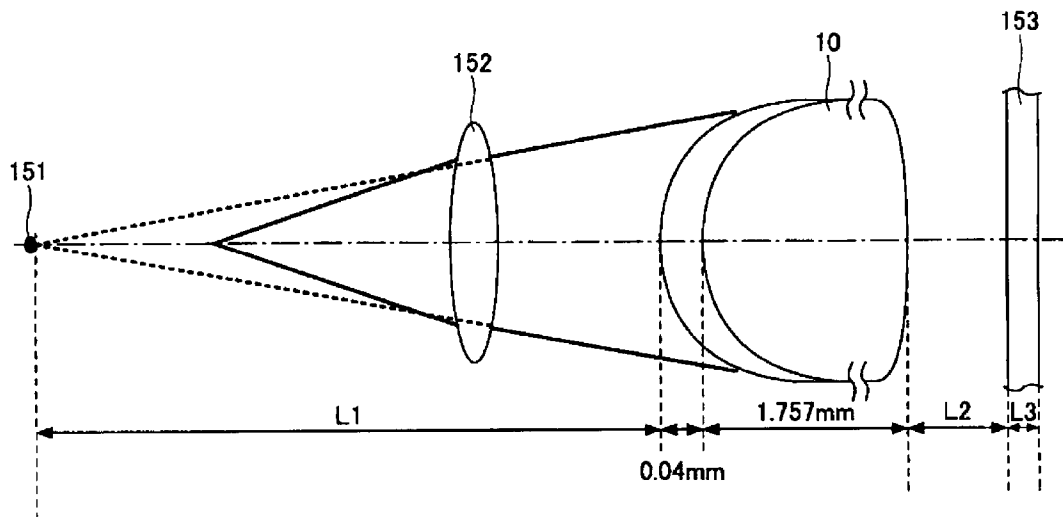
[図18]



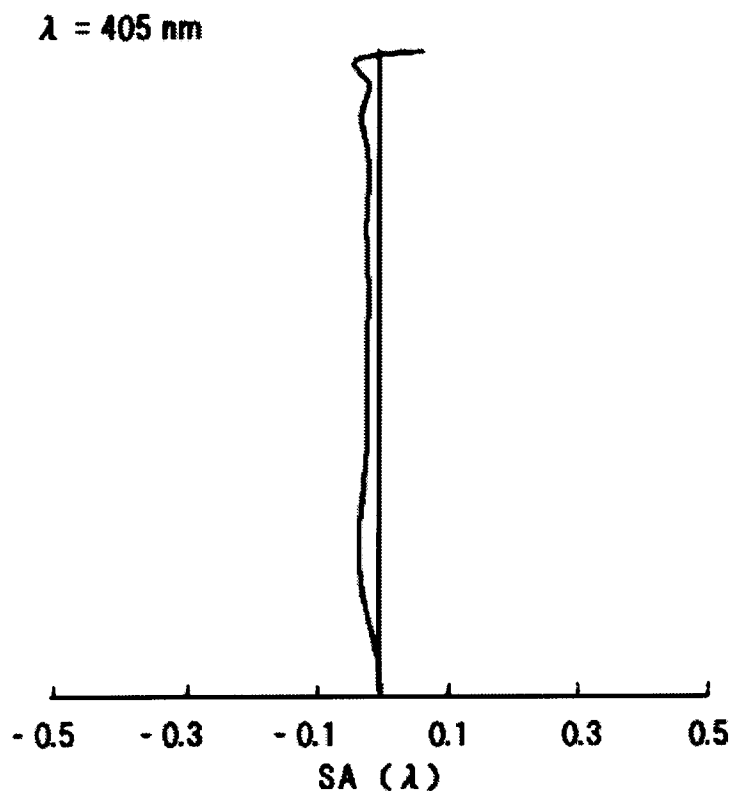
[図19]



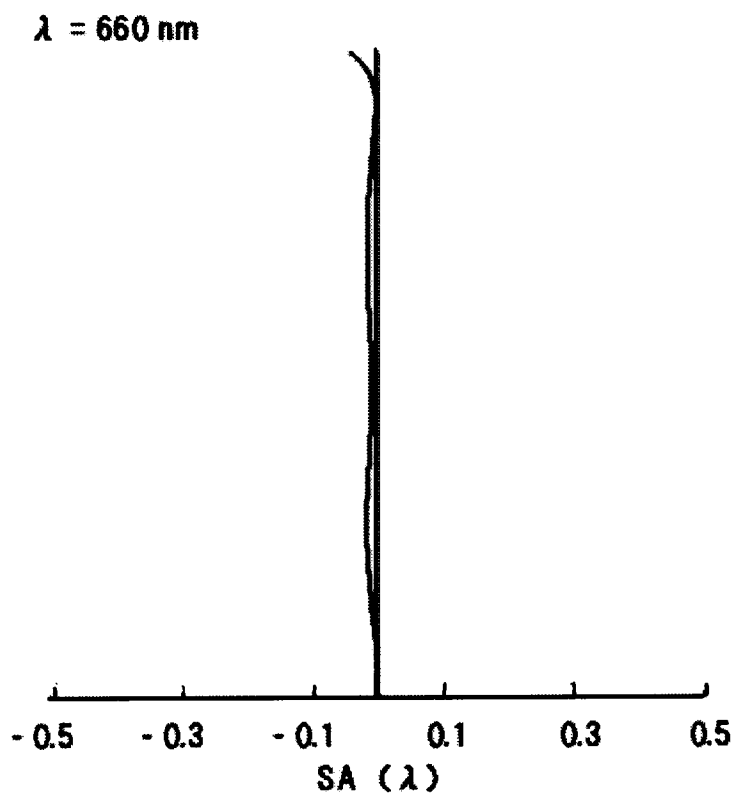
[図20]



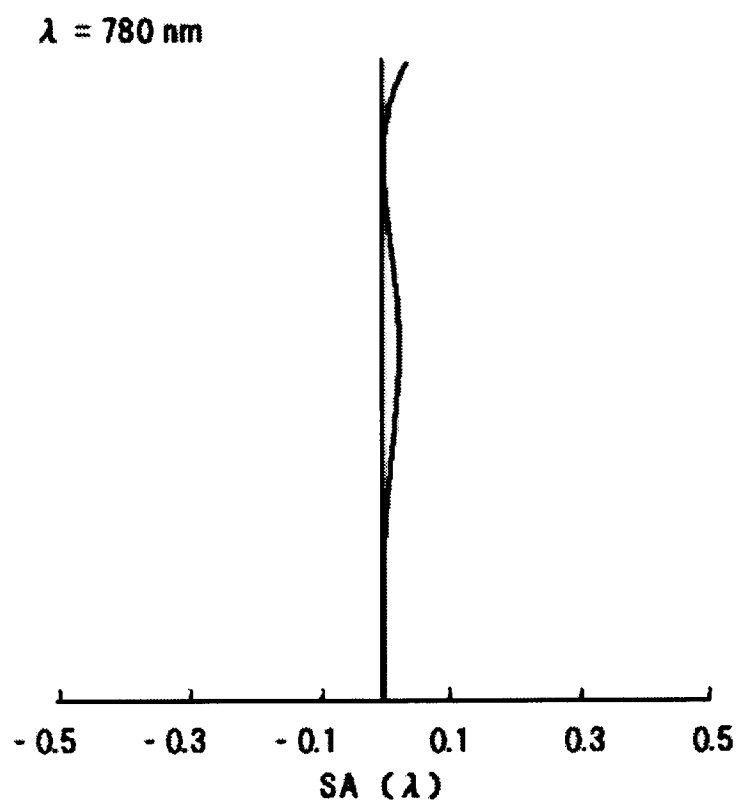
[図21A]



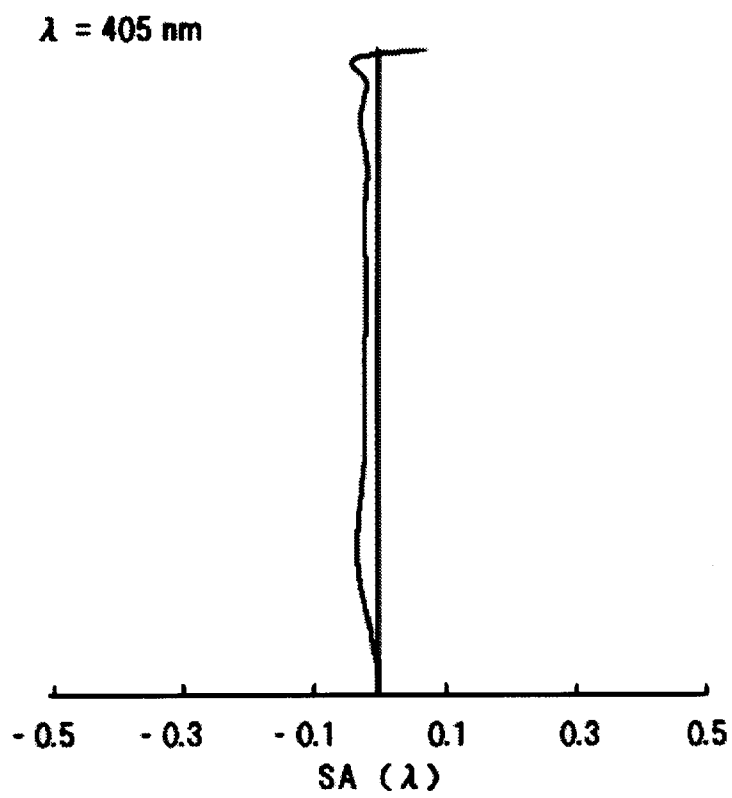
[図21B]



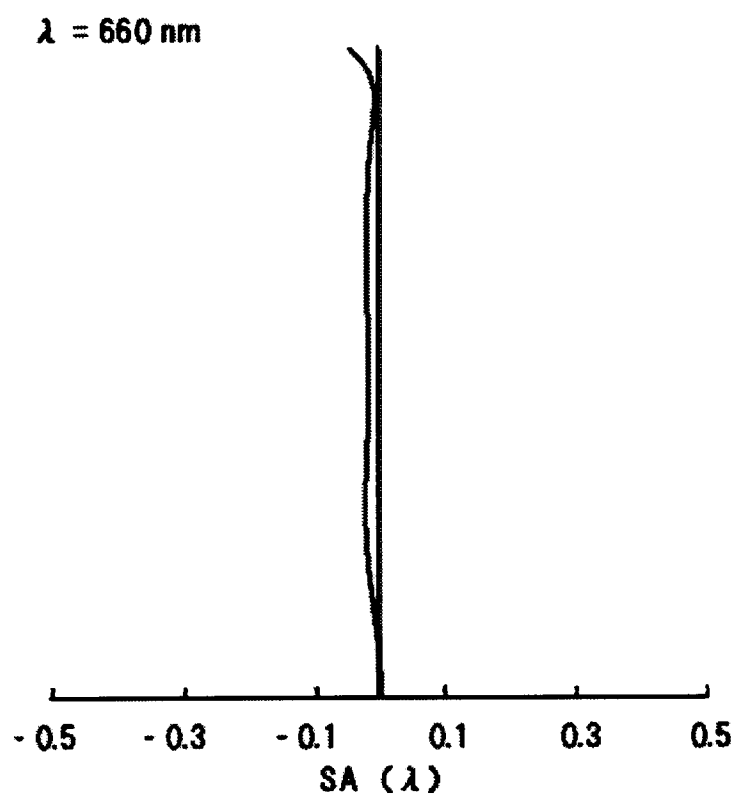
[図21C]



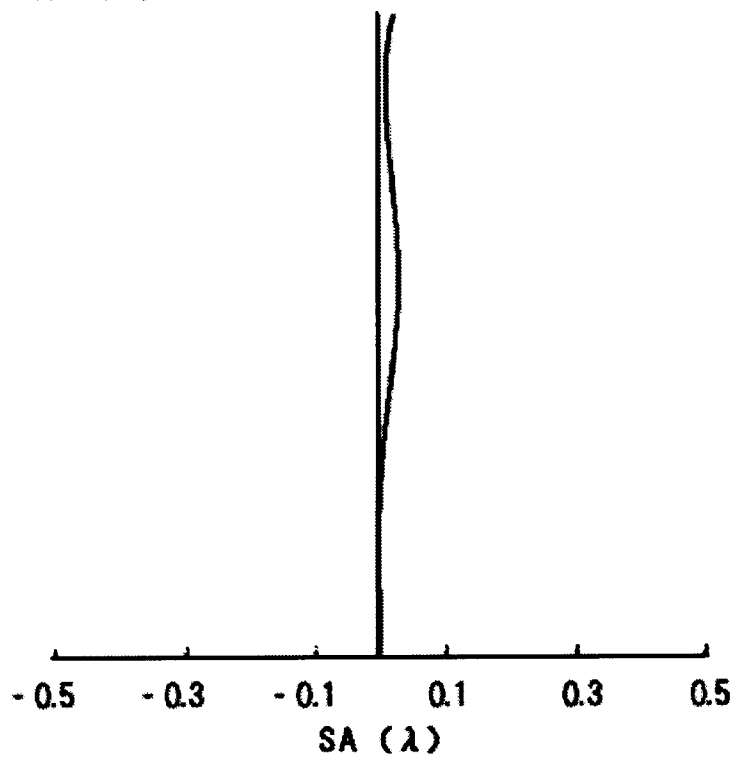
[図22A]



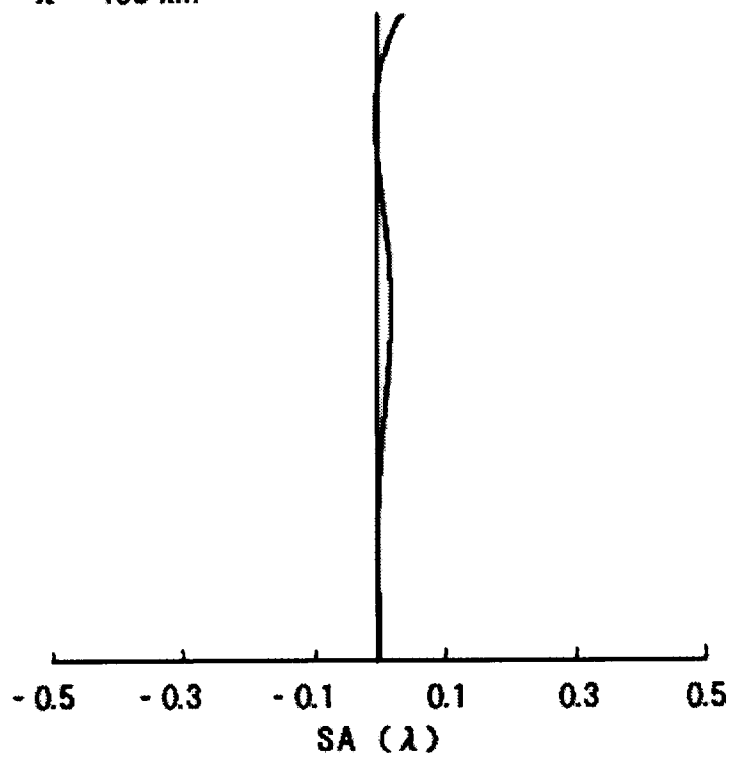
[図22B]



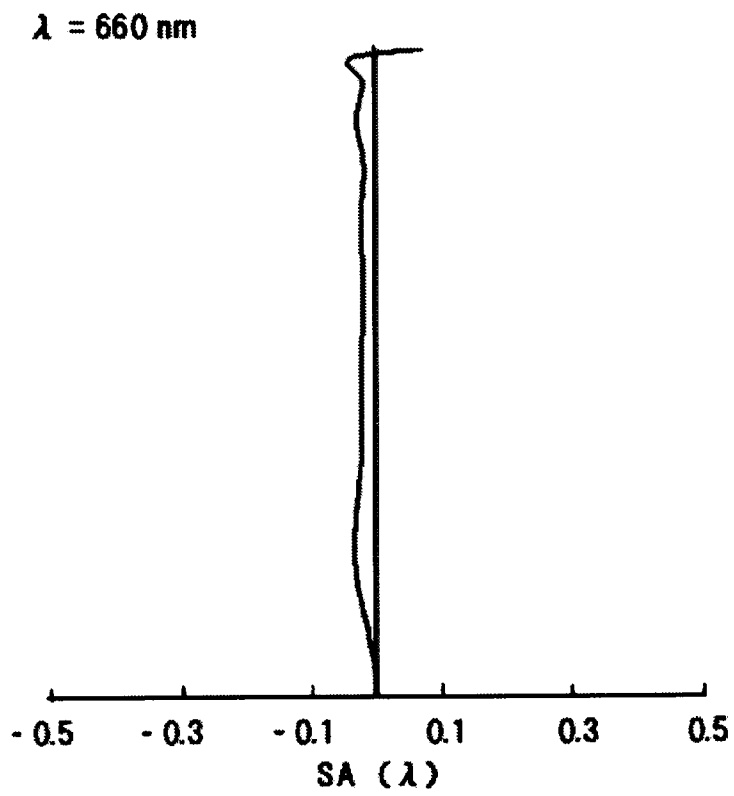
[図22C]

 $\lambda = 780 \text{ nm}$ 

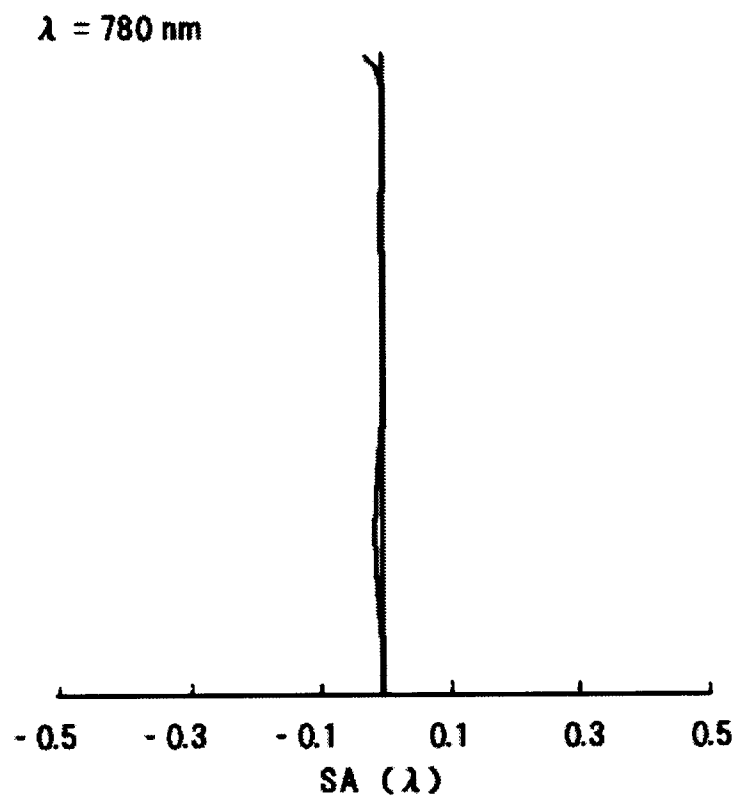
[図23A]

 $\lambda = 405 \text{ nm}$ 

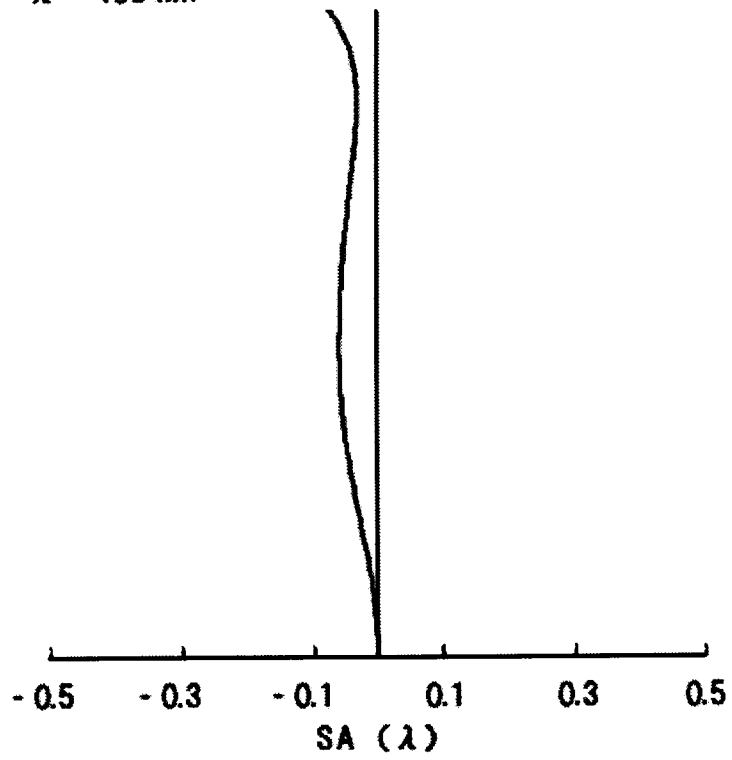
[図23B]



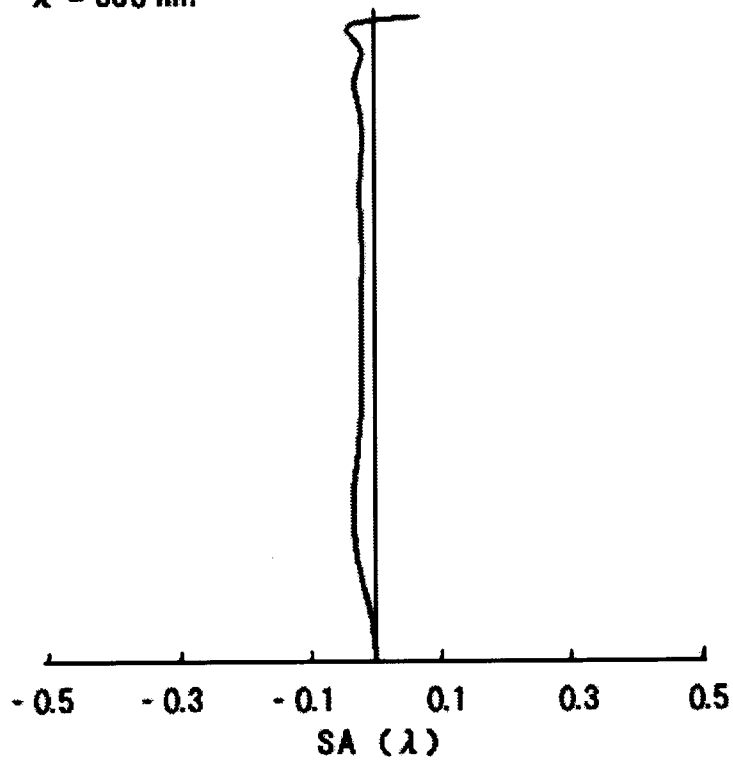
[図23C]



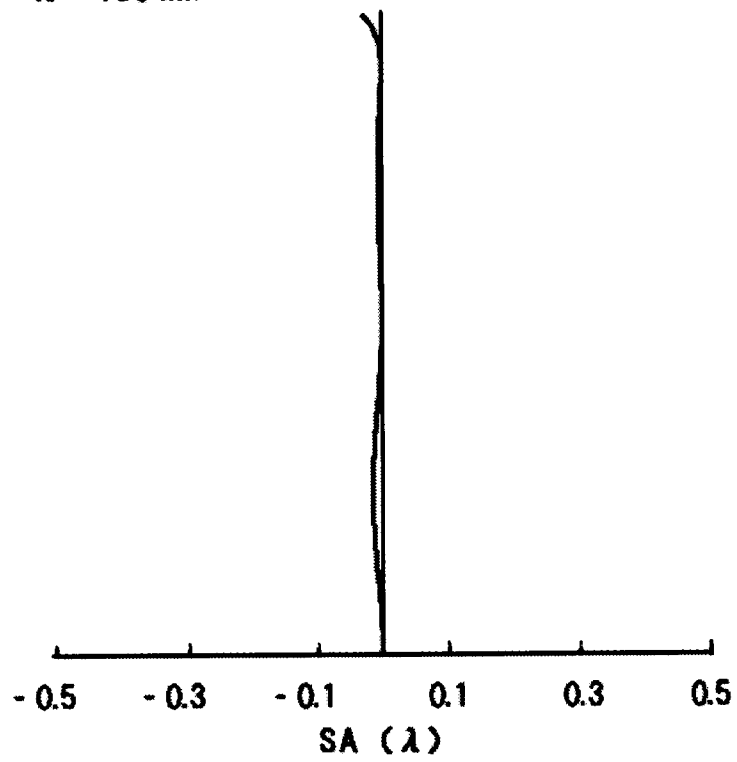
[図24A]

 $\lambda = 405 \text{ nm}$ 

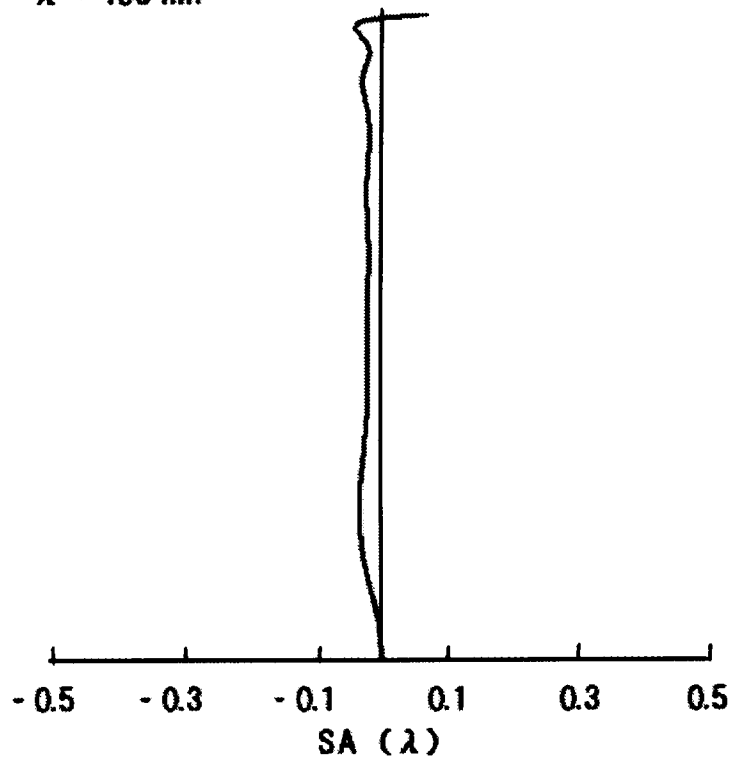
[図24B]

 $\lambda = 660 \text{ nm}$ 

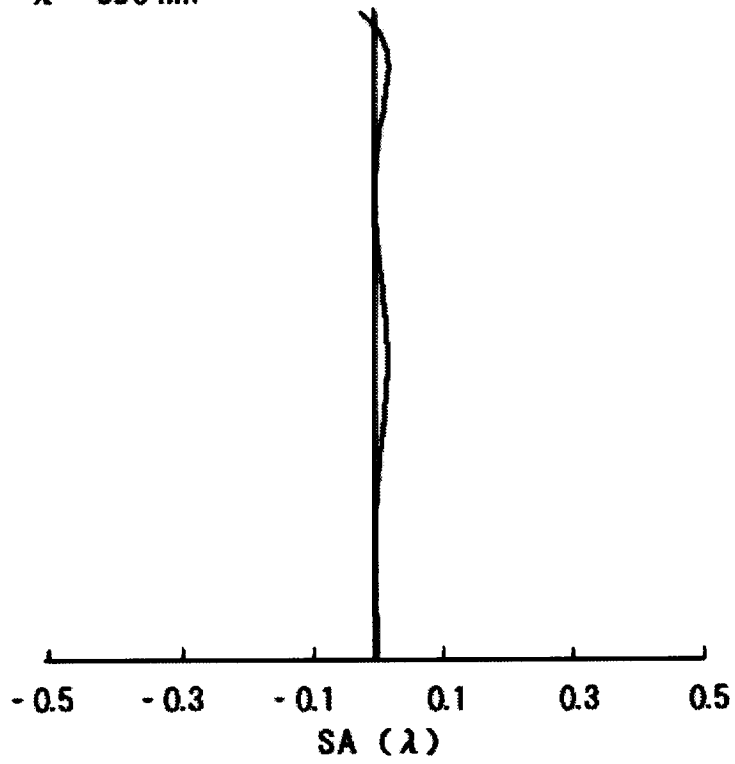
[図24C]

 $\lambda = 780 \text{ nm}$ 

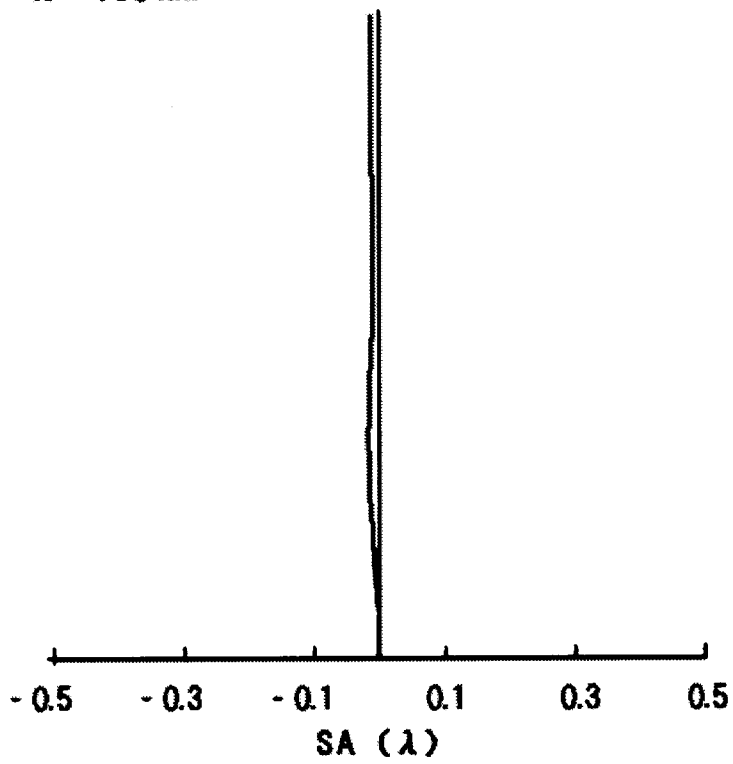
[図25A]

 $\lambda = 405 \text{ nm}$ 

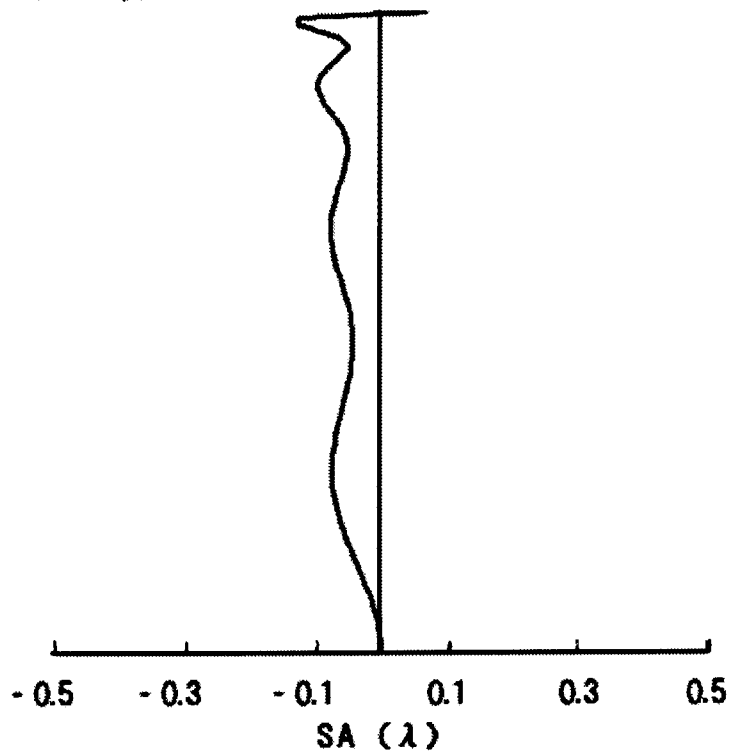
[図25B]

 $\lambda = 660 \text{ nm}$ 

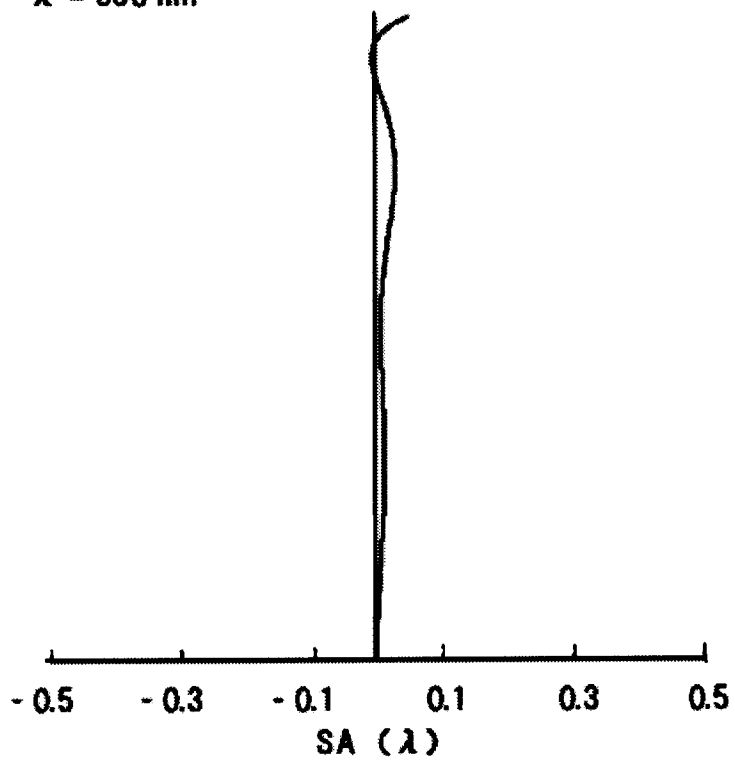
[図25C]

 $\lambda = 780 \text{ nm}$ 

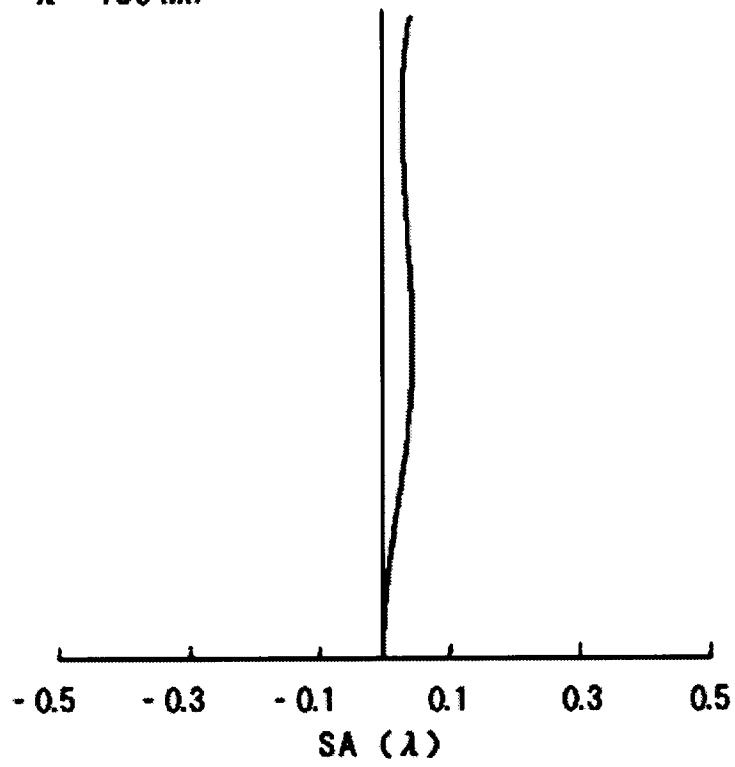
[図26A]

 $\lambda = 405 \text{ nm}$ 

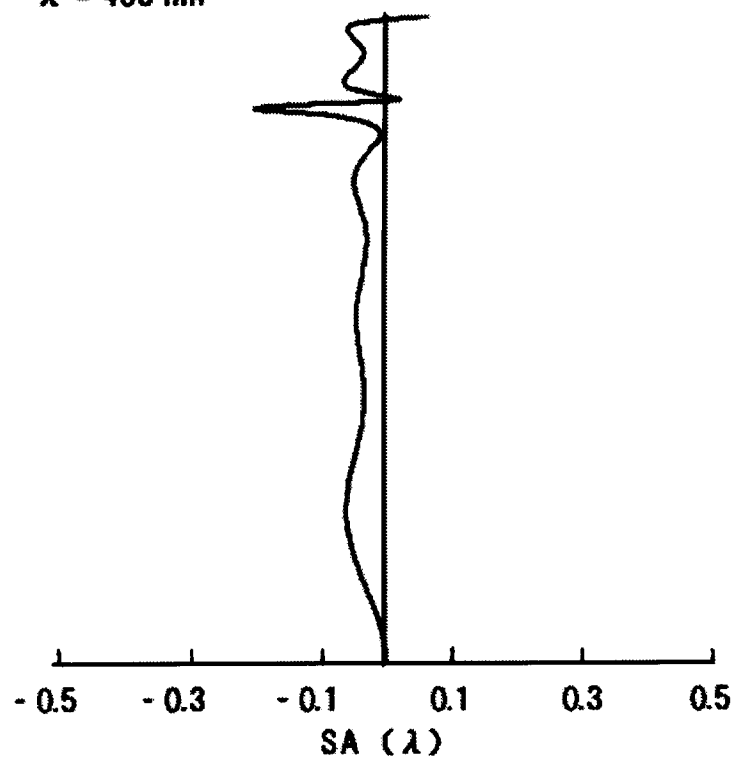
[図26B]

 $\lambda = 660 \text{ nm}$ 

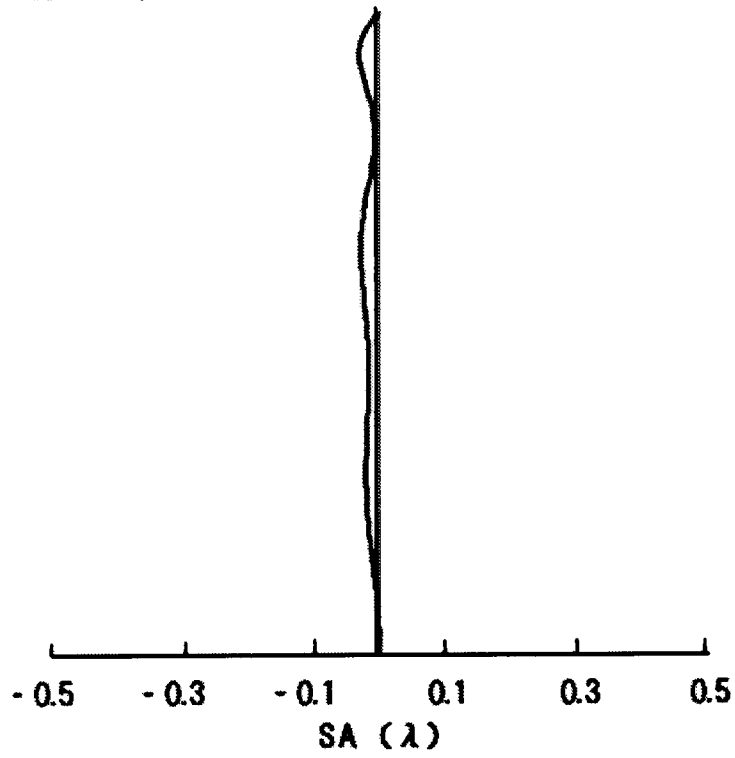
[図26C]

 $\lambda = 780 \text{ nm}$ 

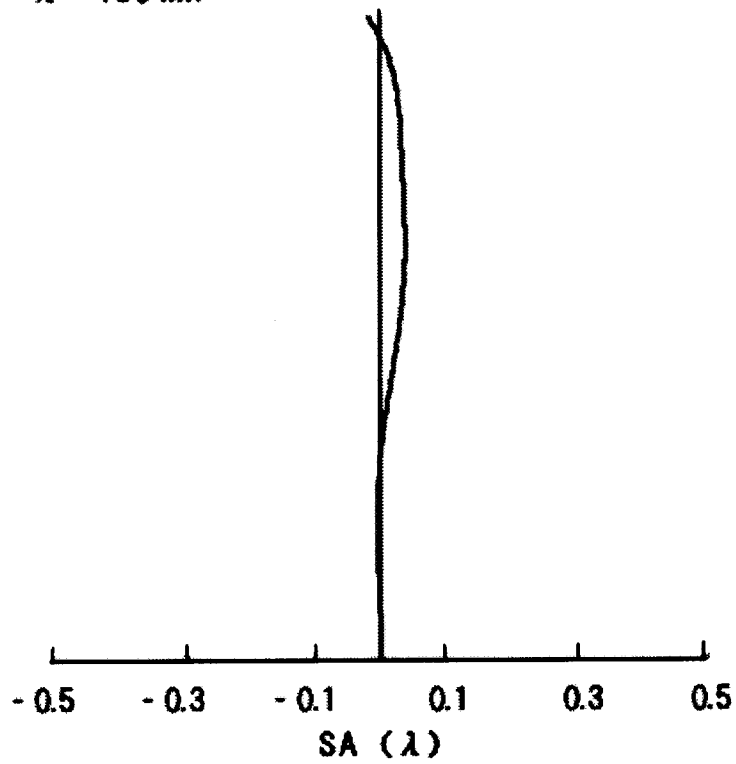
[図27A]

 $\lambda = 405 \text{ nm}$ 

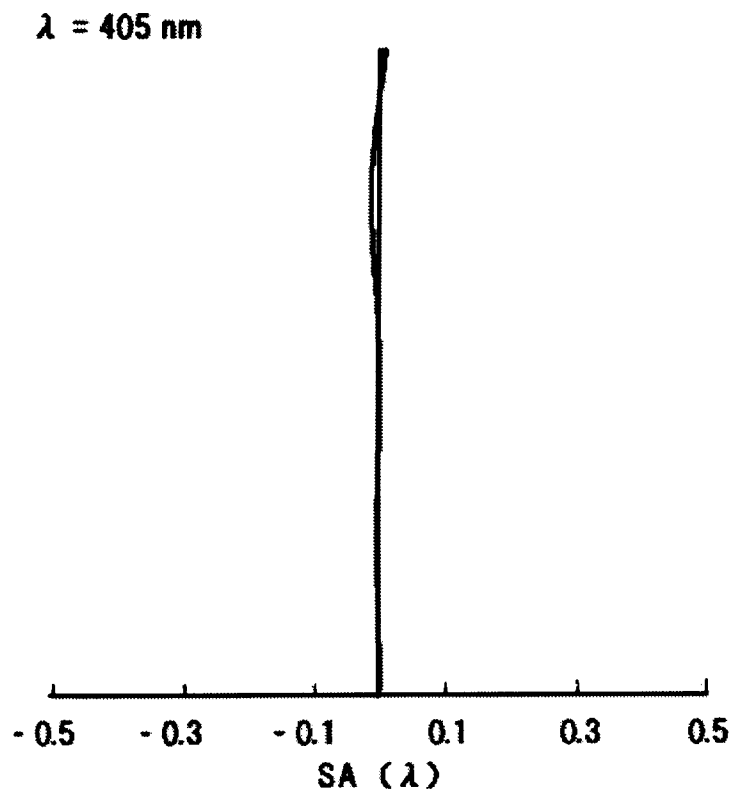
[図27B]

 $\lambda = 660 \text{ nm}$ 

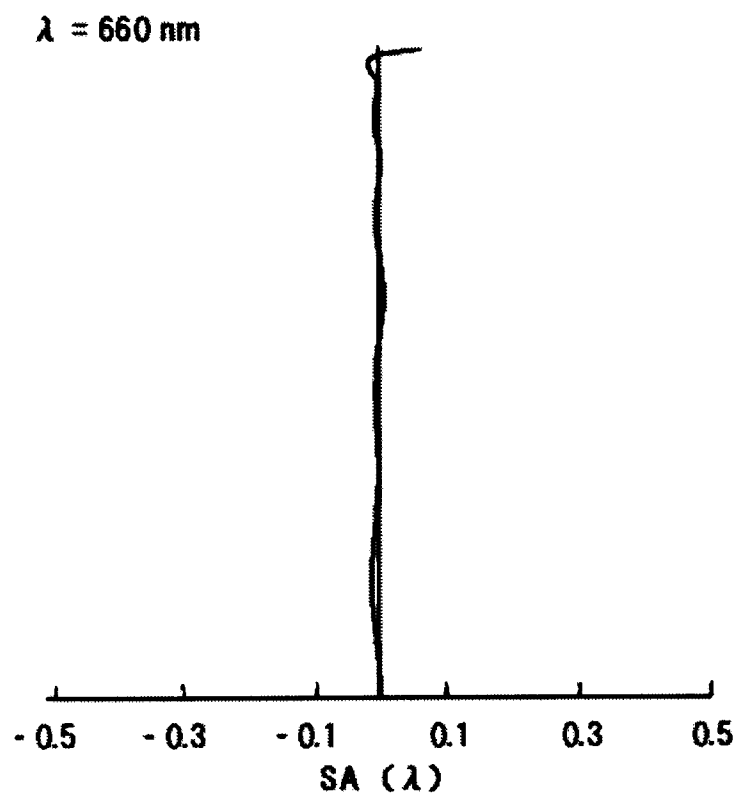
[図27C]

 $\lambda = 780 \text{ nm}$ 

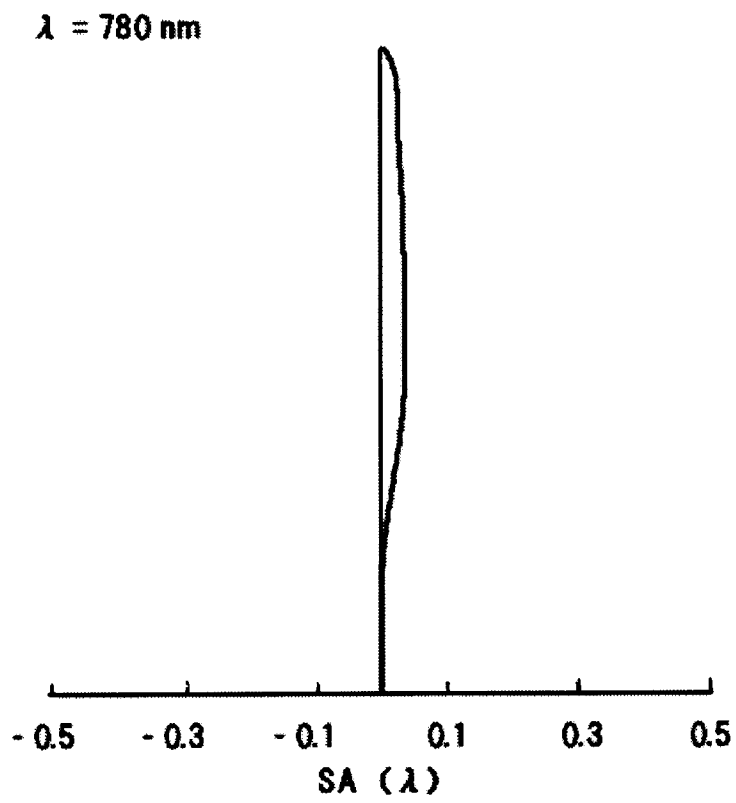
[図28A]



[図28B]



[図28C]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/061491

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G11B7/135(2006.01)i, G02B5/18(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, G02B5/18, 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	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

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.
Y	JP 2008-52787 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 06 March 2008 (06.03.2008), entire text; all drawings & US 2008/0049587 A1 & CN 101131463 A	1-11
Y	JP 2004-30724 A (Sharp Corp.), 29 January 2004 (29.01.2004), entire text; fig. 1 to 6 & US 7075865 B2	1-11
Y	JP 2006-12394 A (Konica Minolta Opto, Inc.), 12 January 2006 (12.01.2006), entire text; all drawings & US 2005/0265151 A1 & WO 2005/117001 A1 & CN 1957403 A	1-11

☒ 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
06 October, 2010 (06.10.10)

Date of mailing of the international search report
19 October, 2010 (19.10.10)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/061491

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 11-194207 A (Fuji Photo Optical Co., Ltd.), 21 July 1999 (21.07.1999), abstract; fig. 1 to 3 & US 6166854 A	1-11
A	WO 2007/145120 A1 (Panasonic Corp.), 21 December 2007 (21.12.2007), entire text; all drawings & US 2009/0147363 A1	1-11

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, G02B5/18(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, G02B5/18, 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 0 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 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
Y	JP 2008-52787 A（松下電器産業株式会社）2008.03.06 全文, 全図 & US 2008/0049587 A1 & CN 101131463 A	1-11
Y	JP 2004-30724 A（シャープ株式会社）2004.01.29 全文, 図1-6 & US 7075865 B2	1-11

☒ 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 6 . 1 0 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

1 9 . 1 0 . 2 0 1 0

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

C (続き) . 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
Y	JP 2006-12394 A (コニカミノルタオプト株式会社) 2006.01.12 全文, 全図 & US 2005/0265151 A1 & WO 2005/117001 A1 & CN 1957403 A	1-11
Y	JP 11-194207 A (富士写真光機株式会社) 1999.07.21 要約, 図1-3 & US 6166854 A	1-11
A	WO 2007/145120 A1 (パナソニック株式会社) 2007.12.21 全文, 全図 & US 2009/0147363 A1	1-11