

(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
2009年9月3日(03.09.2009)

PCT

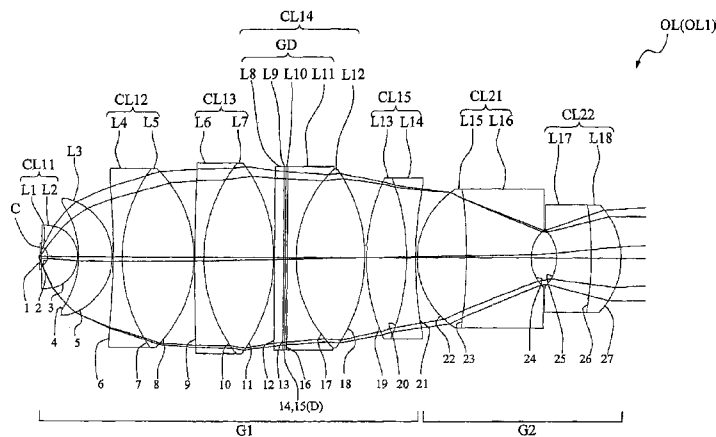
(10) 国際公開番号
WO 2009/107610 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 21/02 (2006.01) G02B 13/00 (2006.01)
G02B 5/18 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/053293
- (22) 国際出願日: 2009年2月24日(24.02.2009)
- (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 2008-042763 2008年2月25日(25.02.2008) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社ニコン(NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3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): 万袋 三環子(MANDAI, Miwako) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号株式会社ニコン内 Tokyo (JP). 宮川 晶子(MIYAKAWA, Akiko) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号株式会社ニコン内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 大西正悟(OHNISHI, Shogo); 〒1700013 東京都豊島区東池袋3-20-3、東池袋SSビル1階 大西国際特許事務所 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, 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, 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, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, 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, 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 (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, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: OBJECTIVE LENS

(54) 発明の名称: 対物レンズ

[図1]



(57) Abstract: An objective lens (OL) is provided with a first lens group (G1), a second lens group (G2), and a diffraction optical device (GD). The first lens group is disposed on the object side, has a positive refractive power as a whole, and is provided with a positive lens (planoconvex lens (L1)) disposed closest to the object side with a lens surface thereof closest to the object side being formed into a flat surface or a surface with a gentle curvature and at least one or more cemented lenses (cemented lens (CL12) and the like). The second lens group is disposed on the image side, has a negative refractive power as a whole, and is provided with a strong concave surface facing the image side and a strong concave surface facing the object side, which are opposite to each other. The diffraction optical device is provided with a diffraction optical surface (D) by which two diffraction device elements formed of different optical materials are joined and in the joint surface of which diffraction grating grooves are formed, and is disposed closer to the object side than a position at which a main beam and an optical axis cross.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2009/107610 A1



対物レンズOLは、物体側に配置され、全体として正の屈折力を有し、最も物体側に配置され、最も物体側のレンズ面が平面若しくは緩い曲率の面に形成された正レンズ（平凸レンズL1）、及び、少なくとも1つ以上の接合レンズ（接合レンズCL12等）を有する第1レンズ群G1と、像側に配置され、全体として負の屈折力を有し、互いに対向する像側に向いた強い凹面と物体側に向いた強い凹面とを有する第2レンズ群G2と、異なる光学材料からなる2つの回折素子要素を接合し、当該接合面に回折格子溝が形成された回折光学面Dを有し、主光線と光軸が交わる位置よりも物体側に配置された回折光学素子GDとを有する。

明 細 書

対物レンズ

技術分野

[0001] 本発明は、対物レンズに関する。

背景技術

[0002] 従来、顕微鏡の対物レンズには解像力や蛍光観察時の明るさを向上させるため、常に高開口数化が求められており、同時に色収差の良好な補正も必要とされる。しかしながら、高開口数であればあるほど焦点深度は浅くなり、色収差(球面収差の色による差等を含めた)を補正することが難しく、これを解決するためには、多くの異常分散ガラスを使用する必要があるが、異常分散ガラスは、高価で加工が難しい。また、近年CCD等の撮像素子ならびにその周辺技術が進歩し、顕微鏡においても従来の接眼レンズによる検鏡目的から、画像の入力装置としての意味合いが強くなっている。その場合、取り込んだ画像についてはその全視野にわたって平坦で均質であることが望まれる。このような状況において、色収差を高度に補正するために、回折光学素子を用いた対物レンズが近年種々提案されている(例えば、特許文献1参照)。

特許文献1:特開平6-331898号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0003] しかしながら、このような対物レンズは、顕微鏡で使用するためには、視野全体にわたる諸収差の補正が十分でないという課題があった。

[0004] 本発明はこのような課題に鑑みてなされたものであり、異常分散ガラスを多用することなく、開口数が大きく、視野全体に亘って諸収差、特に色収差が良好に補正された対物レンズを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0005] 前記課題を解決するために、本発明に係る対物レンズは、物体側から順に、全体として正の屈折力を有する第1レンズ群と、全体として負の屈折力を有する第2レンズ群と、を有して構成される。また、第1レンズ群は、最も物体側に配置されて最も物体

側のレンズ面が平面若しくは凹面に形成された正レンズ、異なる光学材料からなる2つの回折素子要素を接合し、当該接合面に回折格子溝が形成された回折光学面を有する回折光学素子、及び、少なくとも1つ以上の接合レンズを有し、第2レンズ群は、互いに対向する、像側に向いた強い凹面と物体側に向いた強い凹面とを有して構成される。さらに、回折光学素子は、主光線が光軸と交わる位置よりも物体側に配置される。そして、この対物レンズは、回折光学素子に入射する光線の最大入射角を $\theta_{\max}$ としたとき、次式

$$|\theta_{\max}| \leq 10^\circ$$

の条件を満足し、この対物レンズの全系の焦点距離を f_a とし、回折光学素子の焦点距離を f_{doe} としたとき、次式

$$|f_{doe}/f_a| \geq 100$$

の条件を満足する。

[0006] このような対物レンズは、この対物レンズの全系の焦点距離を f_a とし、第2レンズ群の焦点距離を f_2 としたとき、次式

$$3 \leq |f_2/f_a| \leq 30$$

の条件を満足し、さらに、レンズ面の曲率半径を r とし、当該レンズ面の前後の媒質の d 線に対する屈折率を n, n' として、当該レンズ面のパワー Φ を次式

$$\Phi = (n' - n)/r$$

で定義し、第2レンズ群の像側に向いた強い凹面のパワーを Φ_{2-1} とし、物体側に向いた強い凹面のパワーを Φ_{2-2} としたとき、次式

$$0.7 \leq |\Phi_{2-1}/\Phi_{2-2}| \leq 1.4$$

の条件を満足することが好ましい。

[0007] また、このような対物レンズは、回折光学素子における回折光学面の回折格子溝の数を N とし、回折光学素子における回折光学面の有効半径を H としたとき、次式

$$2 \leq N/H \leq 10$$

の条件を満足することが好ましい。

[0008] また、このような対物レンズは、この対物レンズに含まれる正レンズのアッベ数のうちの最大値を $v_{d\max}$ としたとき、次式

$$v_{dmax} \leq 85$$

の条件を満足することが好ましい。

- [0009] また、このような対物レンズは、回折光学素子中の2つの回折素子要素のうち、屈折率が低くアッペ数が小さい方の回折素子要素の材料のd線($\lambda = 587.562\text{nm}$)に対する屈折率を n_{d1} 、F線($\lambda = 486.133\text{nm}$)に対する屈折率を n_{F1} 、C線($\lambda = 656.273\text{nm}$)に対する屈折率を n_{C1} とし、回折光学素子中の2つの回折素子要素のうち、屈折率が高くアッペ数が大きい方の回折素子要素の材料のd線に対する屈折率を n_{d2} 、F線に対する屈折率を n_{F2} 、C線に対する屈折率を n_{C2} としたとき、次式

$$n_{d1} \leq 1.54$$

$$0.0145 \leq n_{F1} - n_{C1}$$

$$1.55 \leq n_{d2}$$

$$n_{F2} - n_{C2} \leq 0.013$$

の条件を満足することが好ましい。

- [0010] また、このような対物レンズにおいて、第1レンズ群は、少なくとも1枚の正の単レンズを有することが好ましい。

発明の効果

- [0011] 本発明に係る対物レンズを以上のように構成すると、開口数が大きく、視野全体に亘って諸収差、特に色収差が良好に補正された対物レンズを提供することができる。

図面の簡単な説明

- [0012] [図1]本発明の第1実施例に係る対物レンズのレンズ構成図である。
 [図2]上記第1実施例に係る対物レンズの諸収差図である。
 [図3]本発明の第2実施例に係る対物レンズのレンズ構成図である。
 [図4]上記第2実施例に係る対物レンズの諸収差図である。
 [図5]本発明の第3実施例に係る対物レンズのレンズ構成図である。
 [図6]上記第3実施例に係る対物レンズの諸収差図である。
 [図7]本発明の第4実施例に係る対物レンズのレンズ構成図である。
 [図8]上記第4実施例に係る対物レンズの諸収差図である。
 [図9]本発明の第5実施例に係る対物レンズのレンズ構成図である。

[図10]上記第5実施例に係る対物レンズの諸収差図である。

[図11]本発明の第6実施例に係る対物レンズのレンズ構成図である。

[図12]上記第6実施例に係る対物レンズの諸収差図である。

[図13]本発明の第7実施例に係る対物レンズのレンズ構成図である。

[図14]上記第7実施例に係る対物レンズの諸収差図である。

[図15]上記対物レンズと共に用いられる結像レンズのレンズ構成図である。

符号の説明

[0013] OL (OL1～7) 対物レンズ G1 第1レンズ群

L1 平凸レンズ(正レンズ) L3 正メニスカスレンズ(正の単レンズ)

CL12, CL13, CL14, CL15 接合レンズ

G2 第2レンズ群 GD 回折光学素子 D 回折光学面

発明を実施するための最良の形態

[0014] 以下、本発明の好ましい実施形態について図面を参照して説明する。まず、図1を用いて、本発明に係る対物レンズの構成について説明する。この対物レンズOLは、物体側より順に、全体として正の屈折力を有する第1レンズ群G1と、像側に配置され、全体として負の屈折力を有する第2レンズ群G2とを有し、さらに、主光線が光軸と交わる位置よりも物体側に、回折光学素子GDが設けられている。

[0015] このような対物レンズOLにおいて、第1レンズ群G1は、物体から出た発散光を収束させるレンズ群であり、最も物体側に、像側に強い凸面を向けた正レンズ成分(例えば、図1の場合、平凸レンズL1と正メニスカスレンズL2とを接合した接合レンズCL11)を有して構成される。ここで、この最も物体側に配置された正レンズ成分の最も物体側には、正レンズを有し、この正レンズの最も物体側の面は、対物レンズOLの先端部を浸液に浸して物体(標本)を観察するときに、この正レンズの物体側の面(第1面)内に気泡等が滞留しないようにするとともに、諸収差の発生を少なくするように、平面若しくは緩い曲率を有する凹面として構成される。また、最も物体側に配置された正レンズ成分の像側の凸面の曲率がきつくなると、球面収差やコマ収差を発生してしまうため、この第1レンズ群G1には、少なくとも1枚の正の単レンズ(例えば、図1の場合、正メニスカスレンズL3)が設けられていることが望ましい。なお、ここで、正レ

レンズ成分は、単レンズ若しくは接合レンズで構成されるものである。

[0016] 本実施の形態における対物レンズOLにおいて、回折光学素子GDは、色収差を補正するために設けられている。回折光学素子GDは、1mmあたり数本から数百本の細かい溝状またはスリット状の格子構造が同心円状に形成された回折光学面Dを備え、この回折光学面Dに入射した光を格子ピッチ(回折格子溝の間隔)と入射光の波長によって定まる方向へ回折する性質を有している。また、回折光学素子GD(回折光学面D)は、負の分散値(本願の実施例ではアッベ数 $= -3.453$)を有し、分散が大きく、また異常分散性(本願の実施例では部分分散比 $(n_g - n_F) / (n_F - n_C) = 0.2956$)が強いため、強力な色収差補正能力を有している。光学ガラスのアッベ数は、通常30~80程度であるが、回折光学素子のアッベ数は負の値を持っている。換言すると、回折光学素子GDの回折光学面Dは分散特性が通常のガラス(屈折光学素子)とは逆で光の波長が短くなるに伴い屈折率が小さくなり、長い波長の光ほど大きく曲がる性質を有している。そのため、通常の屈折光学素子と組み合わせることにより、大きな色消し効果が得られる。したがって回折光学素子GDを利用することで、色収差を良好に補正することが可能になる。

[0017] この回折光学素子GDによって、軸上色収差と倍率色収差を同時に補正するためには、屈折力の配置上、その回折光学面Dを、主光線が光軸と交わる位置より物体側に配置する必要がある。主光線が光軸と交わる位置よりも前側(物体側)で、この回折光学素子GDにより軸上色収差と倍率色収差のバランスを取って補正し、主光線が光軸と交わる位置よりも後ろ側で、接合レンズ等により、残った倍率色収差を補正することができるからである。なお、この回折光学素子GDの回折格子溝の最小ピッチが小さくなってしまわないように、1次の色消しをこの第1レンズ群G1の屈折レンズである程度行う必要がある。そのため、この第1レンズ群G1には、少なくとも1つ以上の接合レンズ(例えば、図1の場合、接合レンズCL12等)が設けられている。

[0018] 本実施の形態における回折光学素子GDは、異なる光学材料からなる2つの回折素子要素(例えば、図1の場合、光学部材L9, L10)を接合し、その接合面に回折格子溝を設けて回折光学面Dを構成しており、いわゆる「密着複層型回折光学素子」である。そのため、この回折光学素子は、g線($\lambda = 435.835\text{nm}$)からC線までの広波

長域において回折効率を高くすることができる。したがって、本実施の形態に係る対物レンズOLは広波長域において利用することが可能となる。なお、回折効率は、透過型の回折光学素子において1次回折光を利用する場合、入射強度 I_0 と一次回折光の強度 I_1 との割合 η ($=I_1/I_0 \times 100[\%]$)を示す。

[0019] また、密着複層型回折光学素子は、回折格子溝が形成された2つの回折素子要素をこの回折格子溝同士が対向するように近接配置してなるいわゆる分離複層型回折光学素子に比べて製造工程を簡素化することができるため、量産効率がよく、また入射画角に対する回折効率が良いという長所を備えている。したがって、密着複層型回折光学素子を利用した本実施の形態に係る対物レンズOLでは、製造が容易となり、また回折効率が良くなる。

[0020] 第2レンズ群G2は、第1レンズ群G1で収束させた収束光を平行光にするレンズ群である。この第2レンズ群G2は、ペッツバル和を補正するため、いわゆるガウスタイプの構成をとっており、像側に曲率の強い凹面を向けた負レンズ(図1における両凹レンズL16)と、物体側に曲率の強い凹面を向けた負レンズ(図1における負メニスカスレンズL17)とを有し、これらの凹面(図1におけるレンズL16の像側の凹面(第24面)とレンズL17の物体側の凹面(第25面))が対向するよう配置されている。

[0021] それでは、本実施の形態に係る対物レンズOLを構成するための条件について、以下に説明する。まず、光束が回折光学素子GDに入射する角度が大きいと、回折効率が落ちてしまい、設計次数以外の回折光の効率が大きくなってフレアとなってしまう。そのため、この対物レンズOLにおいて、回折光学素子GDに入射する光線の最大入射角を $\theta_{\max}$ としたとき、次の条件式(1)を満足する位置にこの回折光学素子GDを配置する必要がある。

[0022] $|\theta_{\max}| \leq 10^\circ \quad (1)$

[0023] 条件式(1)は、回折光学素子GDに入射する光線の最大入射角を規定した条件である。この条件式(1)を満足することにより、回折効率が良く、設計次数以外の回折光の効率が大きくなることを抑え、フレアを良好に防止することができる。

[0024] また、本実施の形態に係る対物レンズOLは、この対物レンズOLの全系の焦点距離を f_a とし、回折光学素子GDの焦点距離を f_{doe} としたとき、次の条件式(2)を満足

するように構成される。

$$[0025] \quad |f_{doe}/f_a| \geq 100 \quad (2)$$

[0026] 条件式(2)は、回折光学素子GDの回折光学面Dのパワーを制限するための条件式である。この条件式(2)の下限値を下回ると、回折光学素子GDの回折光学面Dのパワーが強くなり過ぎてしまい、色収差が大きく発生してしまう。この回折光学面Dで発生した色収差を、その他の屈折系において補正しようとする、屈折系のパワーが大きくなり、球面収差やコマ収差が発生し、補正することができなくなってしまう。また、周辺における回折格子溝のピッチ幅も細かくなってしまう、製造上難しくなってしまう。

[0027] また、この対物レンズOLは、第2レンズ群G2の焦点距離を f_2 としたとき、次の条件式(3)を満足することが望ましい。

$$[0028] \quad 3 \leq |f_2/f_a| \leq 30 \quad (3)$$

[0029] 条件式(3)は、第2レンズ群G2のパワーを制限するための条件式である。この条件式(3)の上限値を上回ると、ペッツバール和が大きくなってしまい、像の平坦性が悪化してしまう。反対に、条件式(3)の下限値を下回ると、高次の球面収差やコマ収差が発生してしまう。また、より好ましくは、条件式(3)の下限値を4、上限値を20とすればさらなる性能向上が図れる。

[0030] また、この対物レンズOLは、第2レンズ群G2の像側に向いた曲率の強い凹面のパワーを Φ_{2-1} とし、物体側に向いた曲率の強い凹面のパワーを Φ_{2-2} としたとき、次の条件式(4)を満足することが望ましい。ここでレンズ面のパワー Φ は、その曲率半径を r とし、当該レンズ面の前後の媒質の d 線に対する屈折率を n, n' として以下のように定義される。

$$[0031] \quad 0.7 \leq |\Phi_{2-1}/\Phi_{2-2}| \leq 1.4 \quad (4)$$

$$\text{但し、} \Phi = (n' - n)/r$$

[0032] 条件式(4)は、第2レンズ群G2に設けられた、互いに対向する凹面のパワーのバランスを制限する条件式であり、この条件(4)の上限値又は下限値を超えると、対向する曲率の強い凹面のパワーのバランスが悪く、コマ収差が悪化してしまう。

[0033] また、本実施例に係る対物レンズOLは、回折光学素子GDにおける回折光学面D

の回折格子溝の数をNとし、この回折光学面Dの有効半径をHとしたとき、次の条件式(5)を満足することが望ましい。

$$[0034] \quad 2 \leq N/H \leq 10 \quad (5)$$

[0035] 条件式(5)は、回折光学面Dの回折格子溝の数と有効半径の適切な範囲を規定する条件式である。この条件式(5)の上限値を上回ると、色収差が補正過剰となってしまう。反対に、条件式(5)の下限値を下回ると、補正不足になってしまう。

[0036] さらに、本実施の形態に係る対物レンズOLは、この対物レンズOLに含まれる正レンズのアッベ数のうち、最大値を ν_{dmax} としたとき、次の条件式(6)を満足することが望ましい。

$$[0037] \quad \nu_{dmax} \leq 85 \quad (6)$$

[0038] 条件式(6)は、対物レンズOLに含まれる正レンズのアッベ数を規定する条件式である。この条件式(6)の上限値を超えるアッベ数を有する硝材は、ホタル石など異常分散性をもつ材料であり、回折光学素子GDを使用した上にこのような材料を正レンズに使用すると、色収差が補正過剰となってしまう。

[0039] さらに、本実施の形態に係る対物レンズOLは、回折光学素子GD中の2つの回折素子要素のうち、屈折率が低くアッベ数が小さい方の回折素子要素の材料のd線に対する屈折率を n_{d1} 、F線に対する屈折率を n_{F1} 、C線に対する屈折率を n_{C1} とし、回折光学素子中の2つの回折素子要素のうち、屈折率が高くアッベ数が大きい方の回折素子要素の材料のd線に対する屈折率を n_{d2} 、F線に対する屈折率を n_{F2} 、C線に対する屈折率を n_{C2} としたとき、次の条件式(7)～(10)を満足することが望ましい。

$$[0040] \quad n_{d1} \leq 1.54 \quad (7)$$

$$0.0145 \leq n_{F1} - n_{C1} \quad (8)$$

$$1.55 \leq n_{d2} \quad (9)$$

$$n_{F2} - n_{C2} \leq 0.013 \quad (10)$$

[0041] 条件式(7)～(10)は、回折光学素子GDを構成する2つの回折素子要素の材質の屈折率と、F線及びC線に対する分散($n_F - n_C$)をそれぞれ規定するものである。これらの条件式を満足することで、より良い性能で異なる2つの回折素子要素を密着接

合させて回折光学面Dを形成することができ、これにより、g線からC線までの広波長域において90%以上の回折効率を実現することができる。なお、このような光学材料としての樹脂の例としては、例えば特願2004-367607号公報、特願2005-237573号公報等に記載されている。各条件式(7)～(10)の上限値または下限値を超えると、本実施の形態に係る色消しレンズ系における回折光学素子GDは、広波長域において90%以上の回折効率を得ることが困難になり、密着複層型回折光学素子の形状を維持することが困難になってしまう。

[0042] なお、 η_m をm次回折光の回折効率としたとき、当該回折効率 η_m は、次式により求めることができる。なお、mは回折次数を、dは回折格子高を、n1は回折格子面(回折光学面D)を形成する一方の材料の屈折率を、n2は回折格子面(回折光学面D)を形成する他方の材料の屈折率を、 λ は波長を、それぞれ表している。

$$[0043] \quad \eta_m = \{ (\sin(a-m)\pi) / (a-m)\pi \}^2$$

$$\text{但し、} a = \{ (n1-1)d - (n2-1)d \} / \lambda$$

[0044] 以降の実施例で用いた樹脂の組み合わせの場合、格子高は $20.05 \mu\text{m}$ であり、1次の回折効率はg線で98%、F線で98%、d線で100%、C線で98%と広い波長域に亘って回折効率が98%以上という優れた値を持つ密着複層型回折光学素子が実現できる。

実施例

[0045] 以下に、本実施の形態に係る対物レンズOLの7つの実施例を示すが、各実施例において、回折光学素子GDに形成された回折光学面Dの位相差は、通常の屈折率と後述する非球面式(11)とを用いて行う超高屈折率法により計算した。超高屈折率法とは、非球面形状と回折光学面の格子ピッチとの間の一定の等価関係を利用するものであり、本実施例においては、回折光学面Dを超高屈折率法のデータとして、すなわち、後述する非球面式(11)及びその係数により示している。なお、本実施例では収差特性の算出対象として、d線、C線、F線及びg線を選んでいる。本実施例において用いられたこれらd線、C線、F線及びg線の波長と、各スペクトル線に対して設定した超高屈折率法の計算に用いるための屈折率の値を次の表1に示す。

[0046] (表1)

	波長	屈折率(超高屈折率法による)
d線	587.562nm	10001.0000
C線	656.273nm	11170.4255
F線	486.133nm	8274.7311
g線	435.835nm	7418.6853

[0047] 各実施例において、非球面は、光軸に垂直な方向の高さを y とし、高さ y における各非球面の頂点の接平面から各非球面までの光軸に沿った距離(サグ量)を $S(y)$ とし、基準球面の曲率半径(近軸曲率半径)を r とし、円錐定数を κ とし、 n 次の非球面係数を A_n としたとき、以下の式(11)で表される。なお、以降の実施例において、「 $E-n$ 」は「 $\times 10^{-n}$ 」を示す。またこのとき、近軸曲率半径 R は以下の式(12)で表される。

$$[0048] \quad S(y) = (y^2/r) / \{1 + (1 - \kappa \times y^2/r^2)^{1/2}\} \\ + A_2 \times y^2 + A_4 \times y^4 + A_6 \times y^6 + A_8 \times y^8 \quad (11)$$

$$R = 1 / (1/r + 2A_2) \quad (12)$$

[0049] なお、各実施例において、回折光学面が形成されたレンズ面には、表中の面番号の右側に*印を付しており、非球面式(11)は、この回折光学面の性能の諸元を示している。

[0050] また、以下の各実施例における対物レンズOLは、無限遠補正型のものであり、図15に示す構成であって、表2に示す諸元を有する結像レンズILとともに使用される。なお、この表2において、第1欄 m は物体側からの各光学面の番号を、第2欄 r は各光学面の曲率半径を、第3欄 d は各光学面から次の光学面までの光軸上の距離を、第4欄 nd は d 線に対する屈折率を、そして、第5欄 v_d はアッベ数をそれぞれ示している。ここで、空気の屈折率1.00000は省略してある。この諸元表の説明は以降の実施例においても同様である。

[0051] (表2)

m	r	d	nd	v_d
1	75.043	5.1	1.62280	57.0
2	-75.043	2.0	1.74950	35.2
3	1600.580	7.5		

4	50.256	5.1	1.66755	42.0
5	-84.541	1.8	1.61266	44.4
6	36.911			

[0052] なお、この結像レンズILは、物体側から順に、両凸レンズL21と両凹レンズL22とを接合した接合レンズ、及び、両凸レンズL23と両凹レンズL24とを接合した接合レンズから構成される。

[0053] (第1実施例)

上述の説明で用いた図1は、第1実施例に係る対物レンズOL1を示している。この対物レンズOL1は、カバープレートCの下に標本(物体)を載置し、先端部を浸液に浸した状態でこの標本を観察する顕微鏡に用いられる対物レンズであって、物体側、すなわちカバープレートC側より順に、正の屈折力を有する第1レンズ群G1、及び、負の屈折力を有する第2レンズ群G2を有し、第1レンズ群G1内に回折光学素子GDが配設されている。第1レンズ群G1は、物体側が平面に形成された平凸レンズL1と像側に強い凸面を向けた正メニスカスレンズL2とを接合した接合レンズCL11、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL3、両凹レンズL4と両凸レンズL5とを接合した接合レンズCL12、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL6と両凸レンズL7とを接合した接合レンズCL13、回折光学面Dを含み、像側に凹面を向けた平凹レンズL11(回折光学素子GD)と両凸レンズL12とを接合した接合レンズCL14、及び、両凸レンズL13と両凹レンズL14とを接合した接合レンズCL15から構成される。また、第2レンズ群G2は、両凸レンズL15と像側に曲率の強い凹面を向けた両凹レンズL16とを接合した接合レンズCL21、及び、物体側に曲率の強い凹面を向けた負メニスカスレンズL17と像側に凸面を向けた正メニスカスレンズL18とを接合した接合レンズCL22から構成される。

[0054] また、上述のように、回折光学素子GDは、光学ガラスL8、それぞれ異なる樹脂材料から形成された2個の光学部材L9、L10、及び光学ガラス(平凹レンズ)L11がこの順で接合され、光学部材L9、L10の接合面に回折格子溝(回折光学面D)が形成されている。すなわち、この回折光学素子GDは、密着複層型の回折光学素子である。

[0055] このように図1に示した第1実施例に係る対物レンズOL1の諸元を表3に示す。なお、この表3において、 f_a は対物レンズOL1の全系の焦点距離を、NAは開口数を、 β は倍率をそれぞれ示している。また、カバープレートCを使用した第1～第5実施例では、 d_0 は、カバープレートCの厚さを除く、標本から最も物体側にある最初のレンズ(レンズL1)の最も物体側のレンズ面の頂点までの光軸上の距離を示し、カバープレートCを使用しない第6、第7実施例では、 d_0 は標本から最も物体にある最初のレンズ(レンズL1)の最も物体側のレンズ面の頂点までの光軸上の距離を示している。また、第1欄mに示す各光学面の番号(右の*は回折光学面として形成されているレンズ面を示す)は、図1に示した面番号1～27に対応している。また、第2欄rにおいて、曲率半径0.0000は平面を示している。また、回折光学面の場合は、第2欄rにベースとなる非球面の基準となる球面の曲率半径を示し、超高屈折率法に用いるデータは非球面データとして諸元表内に示している。さらに、この表3には、上記条件式(1)～(10)に対応する値、すなわち、条件対応値も示している。また、第1～第5実施例において使用されるカバープレートCは、厚さ0.17mm、d線に対する屈折率1.522であり、浸液のd線に対する屈折率 n_d 及びアッベ数 ν_d は諸元表内に示す。これらの説明は以降の実施例においても同様である。

[0056] なお、以下の全ての諸元において掲載される曲率半径r、面間隔d、全系の焦点距離 f_a その他長さの単位は、特記の無い場合、一般に「mm」が使われるが、光学系は比例拡大又は比例縮小しても同等の光学性能が得られるので、単位は「mm」に限定されることはなく、他の適当な単位を用いることもできる。

[0057] (表3)

$$f_a = 3.33$$

$$NA = 1.4$$

$$d_0 = 0.14$$

$$\beta = 60X$$

m	r	d	n_d	ν_d
1	0.000	0.65	1.518	59.0

2	-1.261	3.37	2.003	28.3
3	-3.538	0.12		
4	-10.382	3.71	1.652	58.5
5	-6.752	0.12		
6	-90.644	1.01	1.517	52.4
7	17.410	8.00	1.498	82.5
8	-13.988	0.10		
9	269.060	1.00	1.720	34.7
10	17.427	7.80	1.498	82.5
11	-17.877	0.10		
12	0.000	1.00	1.517	64.1
13	0.000	0.20	1.557	50.2
14	0.000	0.00	10001.000	-3.5
15*	0.000	0.20	1.528	34.7
16	0.000	1.00	1.816	46.6
17	14.028	7.71	1.498	82.5
18	-17.313	0.20		
19	20.928	4.51	1.498	82.5
20	-24.737	1.00	1.816	46.6
21	44.159	0.20		
22	9.179	5.50	1.620	60.3
23	-53.913	7.20	1.816	46.6
24	4.373	2.83		
25	-4.601	3.90	1.670	57.3
26	-38.524	3.30	1.717	29.5
27	-8.677			

浸液

$$n_d = 1.515$$

$$\nu_d = 41.4$$

回折光学面データ

$$\text{第15面 } \kappa = 1 \quad A_2 = -1.92301\text{E-}08 \quad A_4 = 1.01800\text{E-}10$$

$$A_6 = -3.71803\text{E-}13 \quad A_8 = -4.33291\text{E-}15$$

条件対応値

$$(1) \quad |\theta_{\max}| = 5.6^\circ$$

$$(2) \quad |f_{\text{doe}}/f_a| = 780.8$$

$$(3) \quad |f_2/f_a| = 10.7$$

$$(4) \quad |\Phi_{2-1}/\Phi_{2-2}| = 1.28$$

$$(5) \quad N/H = 2.77$$

$$(6) \quad \nu_{d\max} = 82.5$$

$$(7) \quad n_{d1} = 1.528$$

$$(8) \quad n_{F1} - n_{C1} = 0.0152$$

$$(9) \quad n_{d2} = 1.557$$

$$(10) \quad n_{F2} - n_{C2} = 0.011$$

[0058] なお、表3に示した条件対応値のうち、条件式(4)において、 Φ_{2-1} は第24面のパワーを示し、 Φ_{2-2} は第25面のパワーを示している。このように第1実施例では上記条件式(1)～(10)は全て満たされていることが分かる。図2に、この第1実施例におけるd線、C線、F線及びg線の光線に対する球面収差、非点収差、及び、コマ収差の諸収差図を示す。これらの収差図のうち、球面収差図は開口数NAに対する収差量を示し、非点収差図は像高Yに対する収差量を示し、コマ収差図は、像高Yが12.5mmのとき、9mmのとき、6mmのとき、及び、0mmのときの収差量を示している。また、球面収差図及びコマ収差図において、実線はd線を示し、点線はC線を示し、一点鎖線はF線を示し、二点鎖線はg線を示している。さらに、非点収差図において、実線は各波長に対するメリジオナル像面を示し、破線は各波長に対するサジタル

像面を示している。これらの諸収差図の説明は以降の実施例においても同様である。この図2に示す各収差図から明らかなように、第1実施例では諸収差が良好に補正され、優れた結像性能が確保されていることがわかる。

[0059] (第2実施例)

次に、第2実施例として、図3に示す対物レンズOL2について説明する。この図3に示す対物レンズOL2も、カバープレートCの下に標本(物体)を載置し、先端部を浸液に浸した状態でこの標本を観察する顕微鏡に用いられる対物レンズであって、物体側、すなわちカバープレートC側より順に、正の屈折力を有する第1レンズ群G1、及び、負の屈折力を有する第2レンズ群G2を有し、第1レンズ群G1内に回折光学素子GDが配設されている。第1レンズ群G1は、物体側が平面に形成され像側に強い凸面を向けた平凸レンズL1、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL2、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL3、回折光学素子GD、両凸レンズL8と両凹レンズL9と両凸レンズL10とを接合した接合レンズCL11、及び、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL11と両凸レンズL12と両凹レンズL13とを接合した接合レンズCL12から構成される。また、第2レンズ群G2は、両凸レンズL14と像側に曲率の強い凹面を向けた両凹レンズL15とを接合した接合レンズCL21、及び、物体側に曲率の強い凹面を向けた両凹レンズL16と両凸レンズL17とを接合した接合レンズCL22から構成される。

[0060] また、回折光学素子GDは、光学ガラスL4、それぞれ異なる樹脂材料から形成された2個の光学部材L5、L6、及び、光学ガラスL7がこの順で接合され、光学部材L5、L6の接合面に回折格子溝(回折光学面D)が形成されている。

[0061] この図3に示した第2実施例に係る対物レンズOL2の諸元を表4に示す。なお、表4に示す面番号は図3に示した面番号1～26と一致している。

[0062] (表4)

$$f_a = 2.0$$

$$NA = 1.3$$

$$d_0 = 0.22$$

$$\beta = 100X$$

m	r	d	nd	ν d
1	0.000	3.41	1.518	59.0
2	-2.630	0.19		
3	-9.283	3.46	1.603	65.4
4	-5.640	0.22		
5	-45.586	2.62	1.498	82.5
6	-11.264	0.15		
7	0.000	1.50	1.518	59.0
8	0.000	0.20	1.557	50.2
9	0.000	0.00	10001.000	-3.5
10*	0.000	0.20	1.528	34.7
11	0.000	1.50	1.518	59.0
12	0.000	0.20		
13	95.573	3.62	1.498	82.5
14	-11.434	1.03	1.613	44.3
15	12.550	6.72	1.498	82.5
16	-13.511	1.00		
17	19.710	0.98	1.697	55.5
18	8.505	6.05	1.498	82.5
19	-18.386	1.50	1.624	47.0
20	231.449	3.50		
21	7.487	4.68	1.603	65.4
22	-61.353	7.36	1.729	54.7
23	3.041	2.86		
24	-2.308	4.98	1.713	53.9
25	60.987	3.99	1.786	44.2
26	-8.232			

浸液

$$n_d = 1.515$$

$$v_d = 41.4$$

回折光学面データ

$$\text{第10面 } \kappa = 1 \quad A_2 = -4.74734\text{E-}08 \quad A_4 = 2.57710\text{E-}10$$

$$A_6 = -1.55521\text{E-}13 \quad A_8 = -4.49132\text{E-}14$$

条件対応値

$$(1) \quad |\theta_{\max}| = 4.1^\circ$$

$$(2) \quad |f_{\text{doe}}/f_a| = 526.6$$

$$(3) \quad |f_2/f_a| = 11.9$$

$$(4) \quad |\Phi_{2-1}/\Phi_{2-2}| = 0.78$$

$$(5) \quad N/H = 4.71$$

$$(6) \quad v_{d\max} = 82.5$$

$$(7) \quad n_{d1} = 1.528$$

$$(8) \quad n_{F1} - n_{C1} = 0.0152$$

$$(9) \quad n_{d2} = 1.557$$

$$(10) \quad n_{F2} - n_{C2} = 0.011$$

[0063] なお、表4に示した条件対応値のうち、条件式(4)において、 Φ_{2-1} は第23面のパワーを示し、 Φ_{2-2} は第24面のパワーを示している。このように第2実施例でも上記条件式(1)～(10)は全て満たされていることが分かる。図4にこの第2実施例に係る対物レンズOL2の球面収差、非点収差及びコマ収差の諸収差図を示す。この各収差図から明らかなように、この第2実施例でも、収差が良好に補正され、優れた結像性能が確保されていることが分かる。

[0064] (第3実施例)

第3実施例として、図5に示す対物レンズOL3について説明する。この図5に示す

対物レンズOL3も、カバープレートCの下に標本(物体)を載置し、先端部を浸液に浸した状態でこの標本を観察する顕微鏡に用いられる対物レンズであって、物体側、すなわちカバープレートC側より順に、正の屈折力を有する第1レンズ群G1、及び、負の屈折力を有する第2レンズ群G2を有し、第1レンズ群G1内に回折光学素子GDが配設されている。第1レンズ群G1は、物体側が平面に形成され像側に強い凸面を向けた平凸レンズL1、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL2、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL3、回折光学素子GD、両凸レンズL8と両凹レンズL9と両凸レンズL10とを接合した接合レンズCL11、及び、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL11と両凸レンズL12と両凹レンズL13とを接合した接合レンズCL12から構成される。また、第2レンズ群G2は、両凸レンズL14と像側に曲率の強い凹面を向けた両凹レンズL15とを接合した接合レンズCL21、物体側に曲率の強い凹面を向けた両凹負レンズL16、及び、両凸レンズL17から構成される。

[0065] また、回折光学素子GDは、光学ガラスL4、それぞれ異なる樹脂材料から形成された2個の光学部材L5、L6、及び、光学ガラスL7がこの順で接合され、光学部材L5、L6の接合面に回折格子溝(回折光学面D)が形成されている。

[0066] この図5に示した第3実施例に係る対物レンズOL3の諸元を表5に示す。なお、表5に示す面番号は図5に示した面番号1～27と一致している。

[0067] (表5)

$$f_a = 2.0$$

$$NA = 1.3$$

$$d_0 = 0.22$$

$$\beta = 100X$$

m	r	d	nd	v d
1	0.000	3.39	1.518	59.0
2	-2.663	0.22		
3	-9.109	3.48	1.603	65.4
4	-5.654	0.24		

5	-41.641	2.63	1.603	65.4
6	-11.836	0.16		
7	0.000	1.50	1.518	59.0
8	0.000	0.20	1.557	50.2
9	0.000	0.00	10001.000	-3.5
10*	0.000	0.20	1.528	34.7
11	0.000	1.50	1.518	59.0
12	0.000	0.20		
13	194.205	3.63	1.498	82.5
14	-11.489	1.03	1.606	43.7
15	12.046	6.72	1.498	82.5
16	-13.587	0.99		
17	20.465	0.97	1.697	55.5
18	8.573	6.04	1.498	82.5
19	-18.094	1.50	1.618	49.8
20	253.129	3.49		
21	7.652	4.66	1.620	60.3
22	-85.258	7.35	1.720	50.2
23	3.106	2.84		
24	-2.325	4.98	1.720	50.2
25	151.126	0.98		
26	-288.713	3.99	1.786	44.2
27	-9.000			

浸液

nd=1.515

ν d=41.4

回折光学面データ

第10面 $\kappa = 1$ $A2 = -6.81197E-08$ $A4 = 3.08352E-10$

$A6 = -6.70196E-14$ $A8 = -6.32486E-14$

条件対応値

- (1) $|\theta_{\max}| = 3.7^\circ$
- (2) $|f_{\text{doe}}/f_a| = 367.0$
- (3) $|f_2/f_a| = 12.1$
- (4) $|\Phi_{2-1}/\Phi_{2-2}| = 0.75$
- (5) $N/H = 7.10$
- (6) $\nu_{\text{dmax}} = 82.5$
- (7) $n_{\text{d1}} = 1.528$
- (8) $n_{\text{F1}} - n_{\text{C1}} = 0.0152$
- (9) $n_{\text{d2}} = 1.557$
- (10) $n_{\text{F2}} - n_{\text{C2}} = 0.011$

[0068] なお、表5に示した条件対応値のうち、条件式(4)において、 Φ_{2-1} は第23面のパワーを示し、 Φ_{2-2} は第24面のパワーを示している。このように第3実施例でも上記条件式(1)～(10)は全て満たされていることが分かる。図6にこの第3実施例に係る対物レンズOL3の球面収差、非点収差及びコマ収差の諸収差図を示す。この各収差図から明らかなように、この第3実施例でも、収差が良好に補正され、優れた結像性能が確保されていることが分かる。

[0069] (第4実施例)

第4実施例として、図7に示す対物レンズOL4について説明する。この図7に示す対物レンズOL4も、カバープレートCの下に標本(物体)を載置し、先端部を浸液に浸した状態でこの標本を観察する顕微鏡に用いられる対物レンズであって、物体側、すなわちカバープレートC側より順に、正の屈折力を有する第1レンズ群G1、及び、負の屈折力を有する第2レンズ群G2を有し、第1レンズ群G1内に回折光学素子GDが配設されている。第1レンズ群G1は、物体側が平面に形成された平凸レンズL1と

像側に強い凸面を向けた正メニスカスレンズL2とを接合した接合レンズCL11、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL3、両凹レンズL4と両凸レンズL5とを接合した接合レンズCL12、回折光学面Dを含み、像側に凹面を向けた平凹レンズL9(回折光学素子GD)と両凸レンズL10とを接合した接合レンズCL13、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL11と両凸レンズL12とを接合した接合レンズCL14、及び、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL13と両凸レンズL14と両凹レンズL15とを接合した接合レンズCL15から構成される。また、第2レンズ群G2は、両凸レンズL16と像側に曲率の強い凹面を向けた両凹レンズL17とを接合した接合レンズCL21、及び、物体側に曲率の強い凹面を向けた両凹レンズL18と両凸レンズL19とを接合した接合レンズCL22から構成される。

[0070] また、回折光学素子GDは、光学ガラスL6、それぞれ異なる樹脂材料から形成された2個の光学部材L7、L8、及び、光学ガラス(平凹レンズ)L9がこの順で接合され、光学部材L7、L8の接合面に回折格子溝(回折光学面D)が形成されている。

[0071] この図7に示した第4実施例に係る対物レンズOL4の諸元を表6に示す。なお、表6に示す面番号は図7に示した面番号1～28と一致している。

[0072] (表6)

$$f_a = 3.33$$

$$NA = 1.25$$

$$d_0 = 0.25$$

$$\beta = 60^\circ$$

m	r	d	nd	ν_d
1	-10.541	0.63	1.459	67.8
2	-1.052	2.78	1.835	42.7
3	-2.853	0.07		
4	-11.763	3.10	1.640	60.1
5	-7.499	0.16		
6	-53.223	1.00	1.532	48.9

7	15.092	8.29	1.498	82.5
8	-11.321	0.19		
9	0.000	1.00	1.517	64.1
10	0.000	0.20	1.557	50.2
11	0.000	0.00	10001.000	-3.5
12*	0.000	0.20	1.528	34.7
13	0.000	0.99	1.816	46.6
14	16.292	8.80	1.498	82.5
15	-14.429	0.19		
16	16.095	1.18	1.744	44.8
17	10.516	6.30	1.498	82.5
18	-119.471	0.58		
19	30.083	1.09	1.816	46.6
20	13.025	4.49	1.498	82.5
21	-13.110	1.00	1.816	46.6
22	37.709	0.18		
23	8.701	5.90	1.603	60.7
24	-27.147	4.61	1.618	63.3
25	4.242	2.87		
26	-4.919	4.42	1.603	65.4
27	42.136	3.73	1.596	39.2
28	-8.910			

浸液

nd=1.333

ν_d =55.9

回折光学面データ

$$\begin{aligned} \text{第12面 } \kappa &= 1 & A2 &= -2.20000\text{E-}08 & A4 &= -3.48972\text{E-}13 \\ & & A6 &= -6.90107\text{E-}15 & A8 &= 1.40411\text{E-}15 \end{aligned}$$

条件対応値

- (1) $|\theta_{\max}| = 4.0^\circ$
- (2) $|f_{\text{doe}}/f_a| = 682.5$
- (3) $|f_2/f_a| = 19.4$
- (4) $|\Phi_{2-1}/\Phi_{2-2}| = 1.19$
- (5) $N/H = 3.39$
- (6) $v_{\text{dmax}} = 82.5$
- (7) $n_{\text{d1}} = 1.528$
- (8) $n_{\text{F1}} - n_{\text{C1}} = 0.0152$
- (9) $n_{\text{d2}} = 1.557$
- (10) $n_{\text{F2}} - n_{\text{C2}} = 0.011$

[0073] なお、表6に示した条件対応値のうち、条件式(4)において、 Φ_{2-1} は第25面のパワーを示し、 Φ_{2-2} は第26面のパワーを示している。このように第4実施例でも上記条件式(1)～(10)は全て満たされていることが分かる。図8にこの第4実施例に係る対物レンズOL4の球面収差、非点収差及びコマ収差の諸収差図を示す。この各収差図から明らかなように、この第4実施例でも、収差が良好に補正され、優れた結像性能が確保されていることが分かる。

[0074] (第5実施例)

第5実施例として、図9に示す対物レンズOL5について説明する。この図9に示す対物レンズOL5も、カバープレートCの下に標本(物体)を載置し、先端部を浸液に浸した状態でこの標本を観察する顕微鏡に用いられる対物レンズであって、物体側、すなわちカバープレートC側より順に、正の屈折力を有する第1レンズ群G1、及び、負の屈折力を有する第2レンズ群G2を有し、第1レンズ群G1内に回折光学素子GDが配設されている。第1レンズ群G1は、物体側が平面に形成された平凸レンズL1と像側に強い凸面を向けた正メニスカスレンズL2とを接合した接合レンズCL11、物体

側に凹面を向けた正メニスカスレンズL3、両凹レンズL4と両凸レンズL5とを接合した接合レンズCL12、回折光学面Dを含み、像側に凹面を向けた平凹レンズL9(回折光学素子GD)と両凸レンズL10とを接合した接合レンズCL13、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL11と両凸レンズL12とを接合した接合レンズCL14、及び、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL13と両凸レンズL14と両凹レンズL15とを接合した接合レンズCL15から構成される。また、第2レンズ群G2は、両凸レンズL16と像側に曲率の強い凹面を向けた両凹レンズL17とを接合した接合レンズCL21、及び、物体側に曲率の強い凹面を向けた両凹レンズL18と両凸レンズL19とを接合した接合レンズCL22から構成される。

[0075] また、回折光学素子GDは、光学ガラスL6、それぞれ異なる樹脂材料から形成された2個の光学部材L7, L8、及び、光学ガラス(平凹レンズ)L9がこの順で接合され、光学部材L7, L8の接合面に回折格子溝(回折光学面D)が形成されている。

[0076] この図9に示した第5実施例に係る対物レンズOL5の諸元を表7に示す。なお、表7に示す面番号は図9に示した面番号1～28と一致している。

[0077] (表7)

$$f_a = 3.33$$

$$NA = 1.25$$

$$d_0 = 0.25$$

$$\beta = 60^\circ$$

m	r	d	nd	ν_d
1	-11.217	0.63	1.459	67.8
2	-1.054	2.79	1.835	42.7
3	-2.842	0.08		
4	-11.932	3.09	1.640	60.1
5	-7.858	0.16		
6	-78.438	1.01	1.548	45.8
7	16.224	8.30	1.498	82.5

8	-11.409	0.19		
9	0.000	1.00	1.517	64.1
10	0.000	0.20	1.557	50.2
11	0.000	0.00	10001.000	-3.5
12*	0.000	0.20	1.528	34.7
13	0.000	1.00	1.816	46.6
14	16.819	8.80	1.498	82.5
15	-14.609	0.20		
16	16.818	1.19	1.773	49.6
17	10.584	6.30	1.498	82.5
18	-61.560	0.59		
19	30.611	1.09	1.816	46.6
20	14.009	4.49	1.498	82.5
21	-13.593	0.99	1.816	46.6
22	37.430	0.18		
23	8.472	5.89	1.603	65.4
24	-25.872	4.59	1.652	58.5
25	4.147	2.87		
26	-4.779	4.42	1.603	65.4
27	35.900	3.73	1.596	39.2
28	-8.672			

浸液

nd=1.333

ν_d =55.9

回折光学面データ

第12面 $\kappa=1$ $A2=-1.83289E-08$ $A4=-8.47811E-13$

$$A6 = -1.23765E-14 \quad A8 = 2.60069E-15$$

条件対応値

- (1) $|\theta_{\max}| = 4.2^\circ$
- (2) $|f_{\text{doe}}/f_a| = 819.2$
- (3) $|f_2/f_a| = 16.4$
- (4) $|\Phi_{2-1}/\Phi_{2-2}| = 1.25$
- (5) $N/H = 2.70$
- (6) $\nu_{\text{dmax}} = 82.5$
- (7) $n_{\text{d1}} = 1.528$
- (8) $n_{\text{F1}} - n_{\text{C1}} = 0.0152$
- (9) $n_{\text{d2}} = 1.557$
- (10) $n_{\text{F2}} - n_{\text{C2}} = 0.011$

[0078] なお、表7に示した条件対応値のうち、条件式(4)において、 Φ_{2-1} は第25面のパワーを示し、 Φ_{2-2} は第26面のパワーを示している。このように第5実施例でも上記条件式(1)～(10)は全て満たされていることが分かる。図10にこの第5実施例に係る対物レンズOL5の球面収差、非点収差及びコマ収差の諸収差図を示す。この各収差図から明らかなように、この第5実施例でも、収差が良好に補正され、優れた結像性能が確保されていることが分かる。

[0079] (第6実施例)

第6実施例として、図11に示す対物レンズOL6について説明する。この図11に示す対物レンズOL6は、乾燥系の対物レンズであって、物体側より順に、正の屈折力を有する第1レンズ群G1、及び、負の屈折力を有する第2レンズ群G2を有し、第1レンズ群G1内に回折光学素子GDが配設されている。第1レンズ群G1は、物体側のレンズ面がゆるい曲率の凹面として形成された正メニスカスレンズL1と像側に強い凸面を向けた正メニスカスレンズL2とを接合した接合レンズCL11、両凸正レンズL3、回折光学素子GD、及び、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL8と両凸レンズL9とを接合した接合レンズCL12から構成される。また、第2レンズ群G2は、両凸レ

レンズL10と像側に曲率の強い凹面を向けた両凹レンズL11とを接合した接合レンズCL21、及び、物体側に曲率の強い凹面を向けた両凹レンズL12と両凸レンズL13とを接合した接合レンズCL22から構成される。

[0080] また、回折光学素子GDは、光学ガラスL4、それぞれ異なる樹脂材料から形成された2個の光学部材L5、L6、及び、光学ガラスL7がこの順で接合され、光学部材L5、L6の接合面に回折格子溝(回折光学面D)が形成されている。

[0081] この図11に示した第6実施例に係る対物レンズOL6の諸元を表8に示す。なお、表8に示す面番号は図11に示した面番号1～20と一致している。

[0082] (表8)

$$f_a = 10.00$$

$$NA = 0.46$$

$$d_0 = 4.68$$

$$\beta = 20^\circ$$

m	r	d	nd	ν_d
1	-14.879	7.57	1.804	39.6
2	-55.780	3.03	1.652	58.5
3	-14.805	0.46		
4	104.559	3.58	1.603	65.4
5	-16.598	0.20		
6	0.000	1.50	1.517	64.1
7	0.000	0.20	1.557	50.2
8	0.000	0.00	10001.000	-3.5
9*	0.000	0.20	1.528	34.7
10	0.000	1.50	1.517	64.1
11	0.000	0.20		
12	21.497	1.46	1.795	28.7
13	12.079	4.46	1.498	82.5

14	-55.112	0.16		
15	11.530	4.50	1.603	65.4
16	-38.752	6.20	1.639	44.9
17	5.779	2.61		
18	-5.441	2.99	1.583	46.4
19	555.043	2.99	1.723	38.0
20	-10.034			

回折光学面データ

第9面 $\kappa = 1$ $A2 = -4.55967E-08$ $A4 = -3.98721E-11$
 $A6 = 1.74410E-13$ $A8 = -3.52316E-15$

条件対応値

- (1) $|\theta_{\max}| = 2.6^\circ$
- (2) $|f_{\text{doe}}/f_a| = 109.7$
- (3) $|f_2/f_a| = 4.9$
- (4) $|\Phi_{2-1}/\Phi_{2-2}| = 1.03$
- (5) $N/H = 5.59$
- (6) $\nu_{\text{dmax}} = 82.5$
- (7) $n_{\text{d1}} = 1.528$
- (8) $n_{\text{F1}} - n_{\text{C1}} = 0.0152$
- (9) $n_{\text{d2}} = 1.557$
- (10) $n_{\text{F2}} - n_{\text{C2}} = 0.011$

[0083] なお、表8に示した条件対応値のうち、条件式(4)において、 Φ_{2-1} は第17面のパワーを示し、 Φ_{2-2} は第18面のパワーを示している。このように第6実施例でも上記条件式(1)～(10)は全て満たされていることが分かる。図12にこの第6実施例に係る対物レンズOL6の球面収差、非点収差及びコマ収差の諸収差図を示す。この各収差図から明らかなように、この第5実施例でも、収差が良好に補正され、優れた結像

性能が確保されていることが分かる。

[0084] (第7実施例)

さらに、第7実施例として、図13に示す対物レンズOL7について説明する。この図13に示す対物レンズOL7は、乾燥系の対物レンズであって、物体側より順に、正の屈折力を有する第1レンズ群G1、及び、負の屈折力を有する第2レンズ群G2を有し、第1レンズ群G1内に回折光学素子GDが配設されている。第1レンズ群G1は、物体側のレンズ面がゆるい曲率の凹面として形成された両凹レンズL1と像側に強い凸面を有する両凸レンズL2とを接合した接合レンズCL11、回折光学面Dを含み、物体側に凸面を向けた凸平レンズL3と像側に凸面を向けた平凸レンズL4とを接合した接合レンズL12(回折光学素子GD)、及び、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL7と両凸レンズL8とを接合した接合レンズCL13から構成される。また、第2レンズ群G2は、両凸レンズL9と像側に曲率の強い凹面を向けた両凹レンズL10とを接合した接合レンズCL21、及び、物体側に曲率の強い凹面を向けた両凹レンズL11両凸レンズL12を接合した接合レンズCL22から構成される。

[0085] また、回折光学素子GDは、レンズL3, L6の間に、それぞれ異なる樹脂材料から形成された2個の光学部材L4, L5がこの順で接合され、光学部材L4, L5の接合面に回折格子溝(回折光学面D)が形成されている。

[0086] この図13に示した第7実施例に係る対物レンズOL7の諸元を表9に示す。なお、表9に示す面番号は図13に示した面番号1~18と一致している。

[0087] (表8)

$$f_a = 10.00$$

$$NA = 0.46$$

$$d_0 = 4.68$$

$$\beta = 20X$$

m	r	d	nd	v_d
1	-15.373	7.49	1.786	44.2
2	1902.674	2.99	1.620	60.3

3	-11.344	0.40		
4	25.437	3.00	1.617	54.0
5	0.000	0.20	1.557	50.2
6	0.000	0.00	10001.000	-3.5
7*	0.000	0.20	1.528	34.7
8	0.000	3.50	1.617	54.0
9	-25.335	0.21		
10	46.511	1.41	1.804	39.6
11	10.510	4.50	1.498	82.5
12	-30.007	0.20		
13	10.555	4.01	1.603	65.4
14	-91.996	7.00	1.702	41.2
15	6.007	2.70		
16	-6.259	3.69	1.581	40.7
17	38.618	2.54	1.749	35.3
18	-11.756			

回折光学面データ

第7面 $\kappa = 1$ $A2 = -4.61565E-08$ $A4 = -2.28998E-12$
 $A6 = 8.36695E-13$ $A8 = -1.04070E-15$

条件対応値

- (1) $|\theta_{\max}| = 4.8^\circ$
- (2) $|f_{\text{doe}}/f_a| = 108.3$
- (3) $|f_2/f_a| = 7.2$
- (4) $|\Phi_{2-1}/\Phi_{2-2}| = 1.26$
- (5) $N/H = 5.08$
- (6) $\nu_{\text{dmax}} = 82.5$
- (7) $n_{d1} = 1.528$

$$(8) nF1 - nC1 = 0.0152$$

$$(9) nd2 = 1.557 \quad (10) nF2 - nC2 = 0.011$$

[0088] なお、表9に示した条件対応値のうち、条件式(4)において、 $\Phi 2-1$ は第15面のパワーを示し、 $\Phi 2-2$ は第16面のパワーを示している。このように第7実施例でも上記条件式(1)～(10)は全て満たされていることが分かる。図14にこの第7実施例に係る対物レンズOL7の球面収差、倍率色収差及びコマ収差の諸収差図を示す。この各収差図から明らかなように、この第7実施例でも、収差が良好に補正され、優れた結像性能が確保されていることが分かる。

請求の範囲

- [1] 物体側より順に、全体として正の屈折力を有する第1レンズ群と、全体として負の屈折力を有する第2レンズ群と、を有し、

前記第1レンズ群は、最も物体側に配置されて最も物体側のレンズ面が平面若しくは凹面に形成された正レンズ、異なる光学材料からなる2つの回折素子要素を接合し、当該接合面に回折格子溝が形成された回折光学面を有する回折光学素子、及び、少なくとも1つ以上の接合レンズを有し、

前記第2レンズ群は、互いに対向する、像側に向いた強い凹面と物体側に向いた強い凹面とを有し、

前記回折光学素子は、主光線が光軸と交わる位置よりも物体側に配置され、

前記回折光学素子に入射する光線の最大入射角を $\theta_{\max}$ としたとき、次式

$$|\theta_{\max}| \leq 10^\circ$$

の条件を満足し、

全系の焦点距離を f_a とし、前記回折光学素子の焦点距離を f_{doe} としたとき、次式 $|f_{\text{doe}}/f_a| \geq 100$

の条件を満足するように構成された対物レンズ。

- [2] 全系の焦点距離を f_a とし、前記第2レンズ群の焦点距離を f_2 としたとき、次式

$$3 \leq |f_2/f_a| \leq 30$$

の条件を満足し、

レンズ面の曲率半径を r とし、当該レンズ面の前後の媒質の d 線に対する屈折率を n , n' とし、当該レンズ面のパワー Φ を次式

$$\Phi = (n' - n)/r$$

で定義し、前記第2レンズ群の前記像側に向いた強い凹面のパワーを Φ_{2-1} とし、前記物

体側に向いた強い凹面のパワーを Φ_{2-2} としたとき、次式

$$0.7 \leq |\Phi_{2-1}/\Phi_{2-2}| \leq 1.4$$

の条件を満足する請求項1に記載の対物レンズ。

- [3] 前記回折光学素子における前記回折光学面の回折格子溝の数を N とし、前記回

折光学素子における前記回折光学面の有効半径をHとしたとき、次式

$$2 \leq N/H \leq 10$$

の条件を満足する請求項1または2に記載の対物レンズ。

- [4] 当該対物レンズに含まれる正レンズのアッベ数のうちの最大値を ν_{dmax} としたとき、
次式

$$\nu_{dmax} \leq 85$$

の条件を満足する請求項1～3いずれか一項に記載の対物レンズ。

- [5] 前記回折光学素子中の前記2つの回折素子要素のうち、屈折率が低くアッベ数が小さい方の前記回折素子要素の材料のd線に対する屈折率を n_{d1} 、F線に対する屈折率を n_{F1} 、C線に対する屈折率を n_{C1} とし、前記回折光学素子中の前記2つの回折素子要素のうち、屈折率が高くアッベ数が大きい方の前記回折素子要素の材料のd線に対する屈折率を n_{d2} 、F線に対する屈折率を n_{F2} 、C線に対する屈折率を n_{C2} としたとき、次式 $n_{d1} \leq 1.54$

$$0.0145 \leq n_{F1} - n_{C1}$$

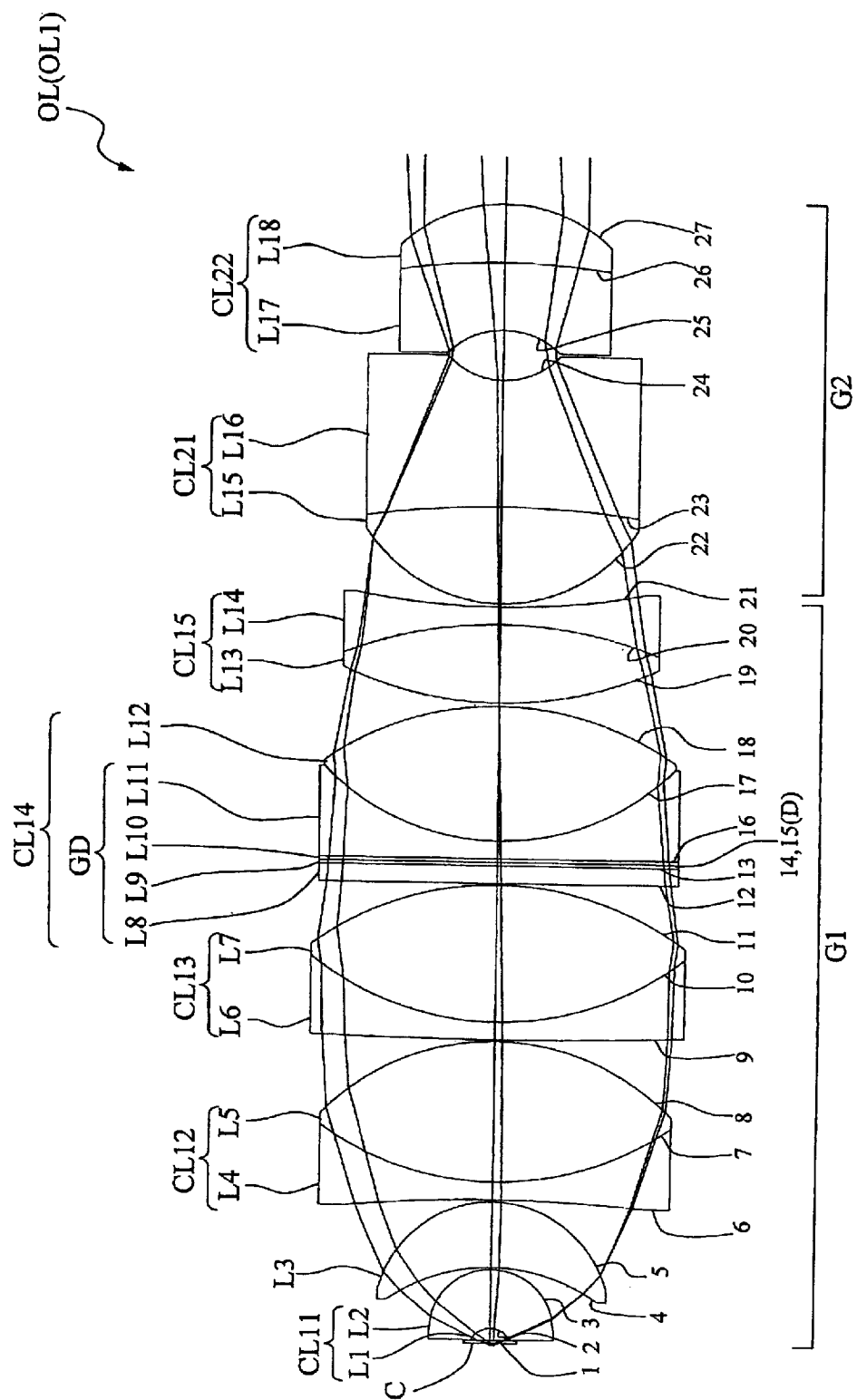
$$1.55 \leq n_{d2}$$

$$n_{F2} - n_{C2} \leq 0.013$$

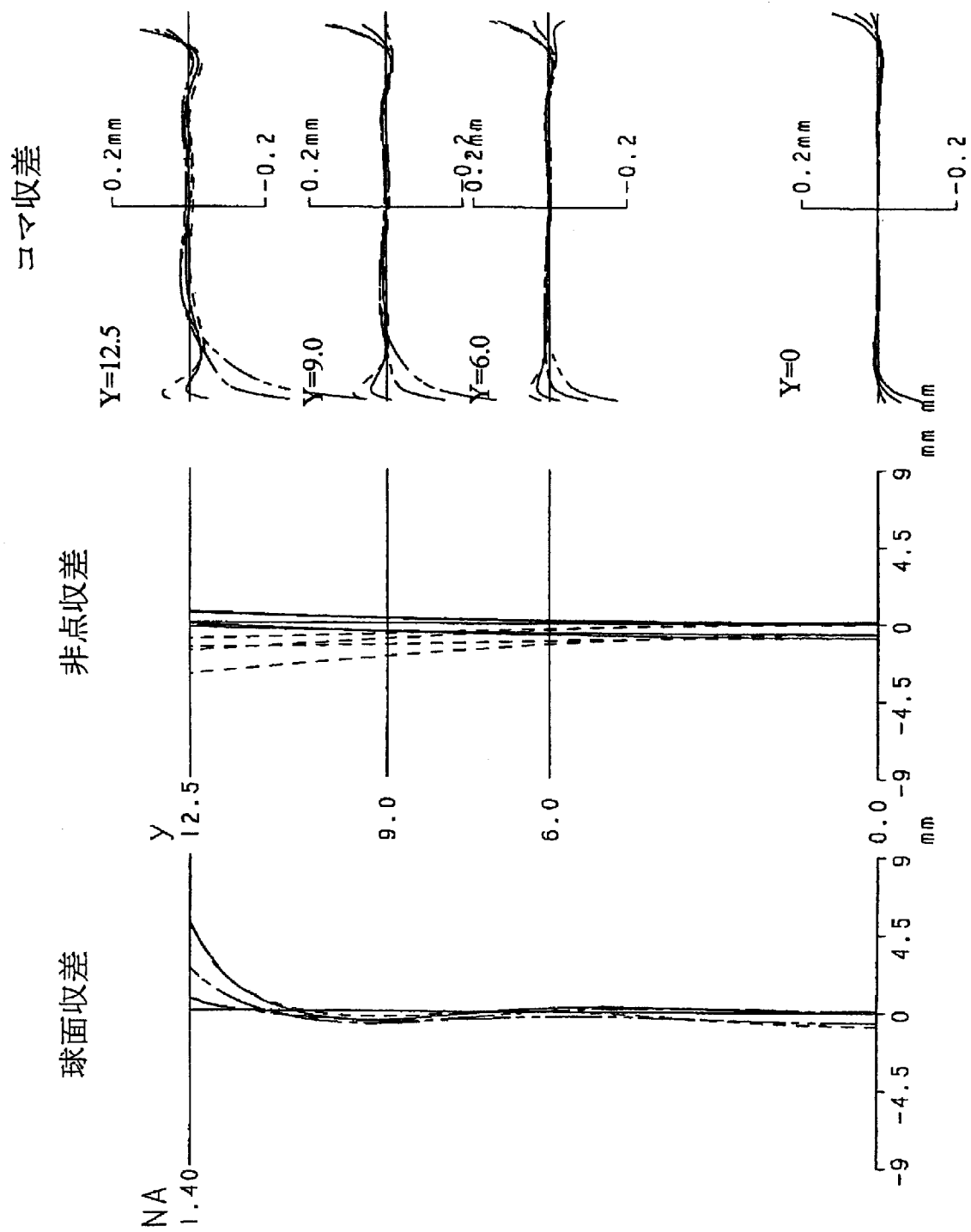
の条件を満足する請求項1～4いずれか一項に記載の対物レンズ。

- [6] 前記第1レンズ群は、少なくとも1枚の正の単レンズを有する請求項1～5いずれか一項に記載の対物レンズ。

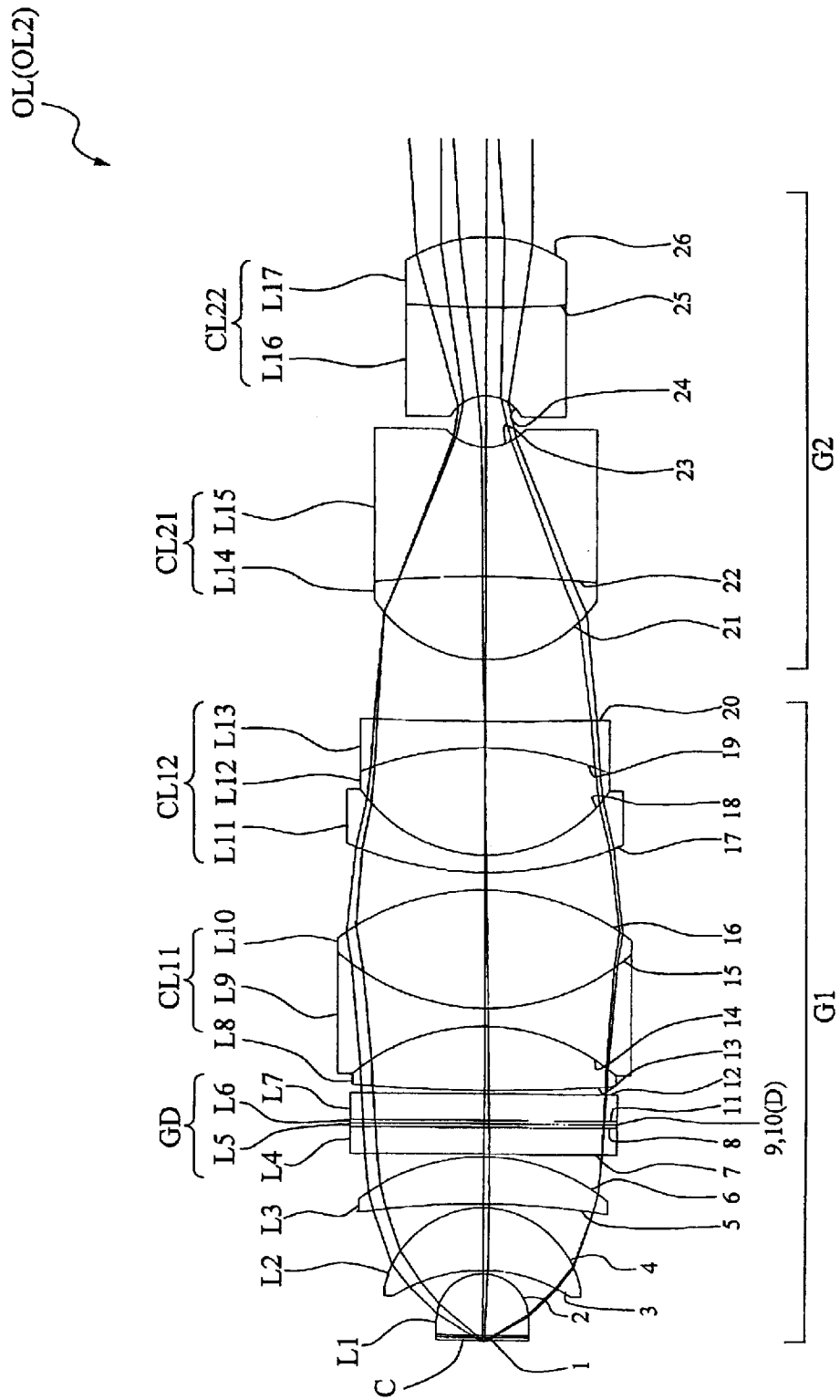
[図1]



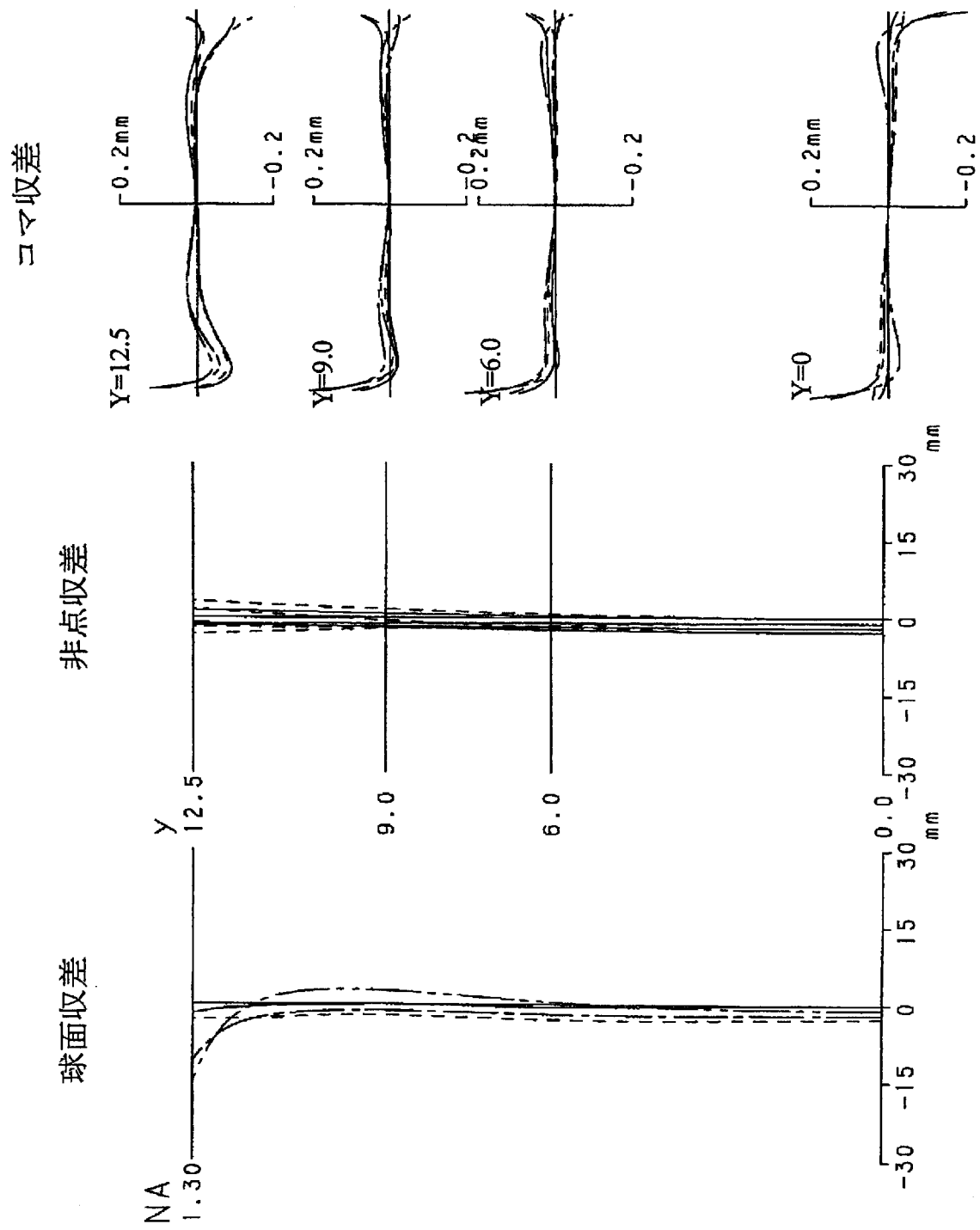
[図2]



[図3]

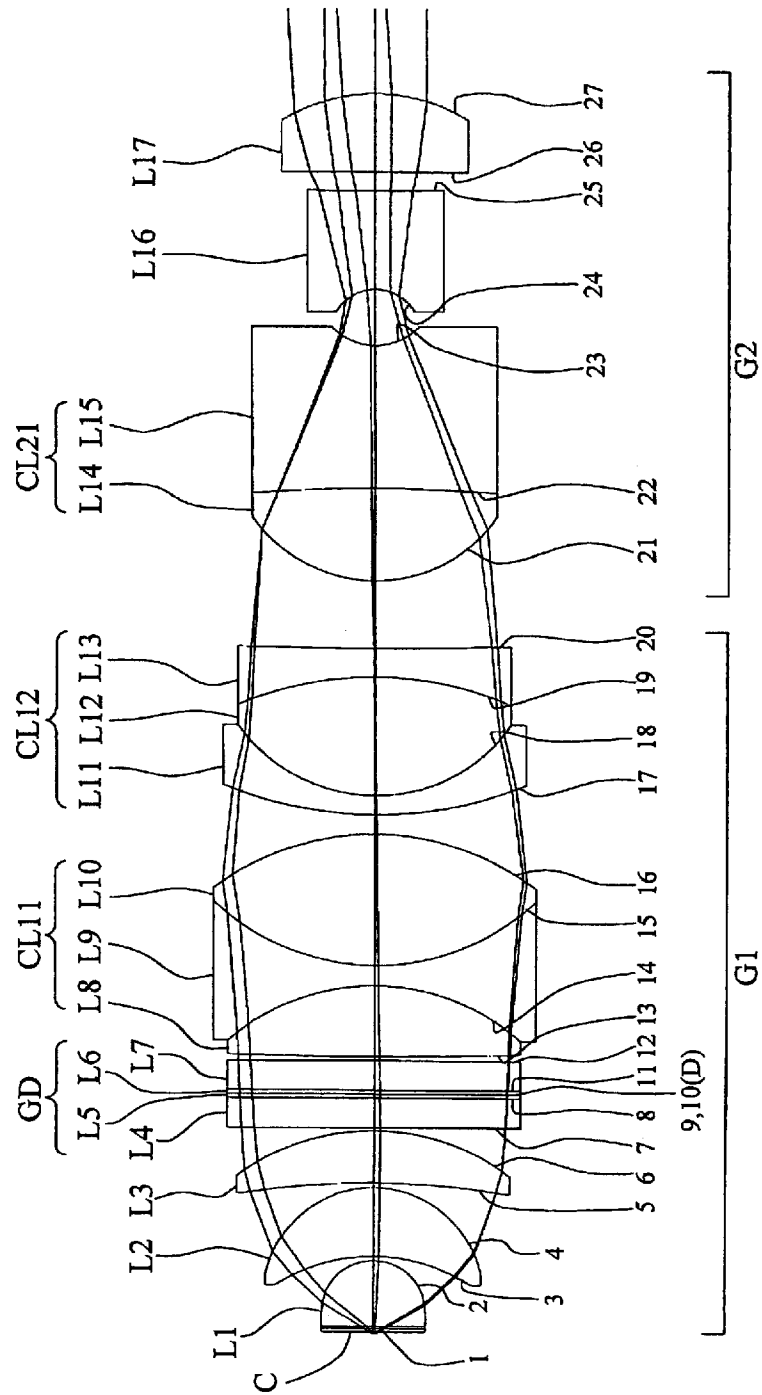


[図4]

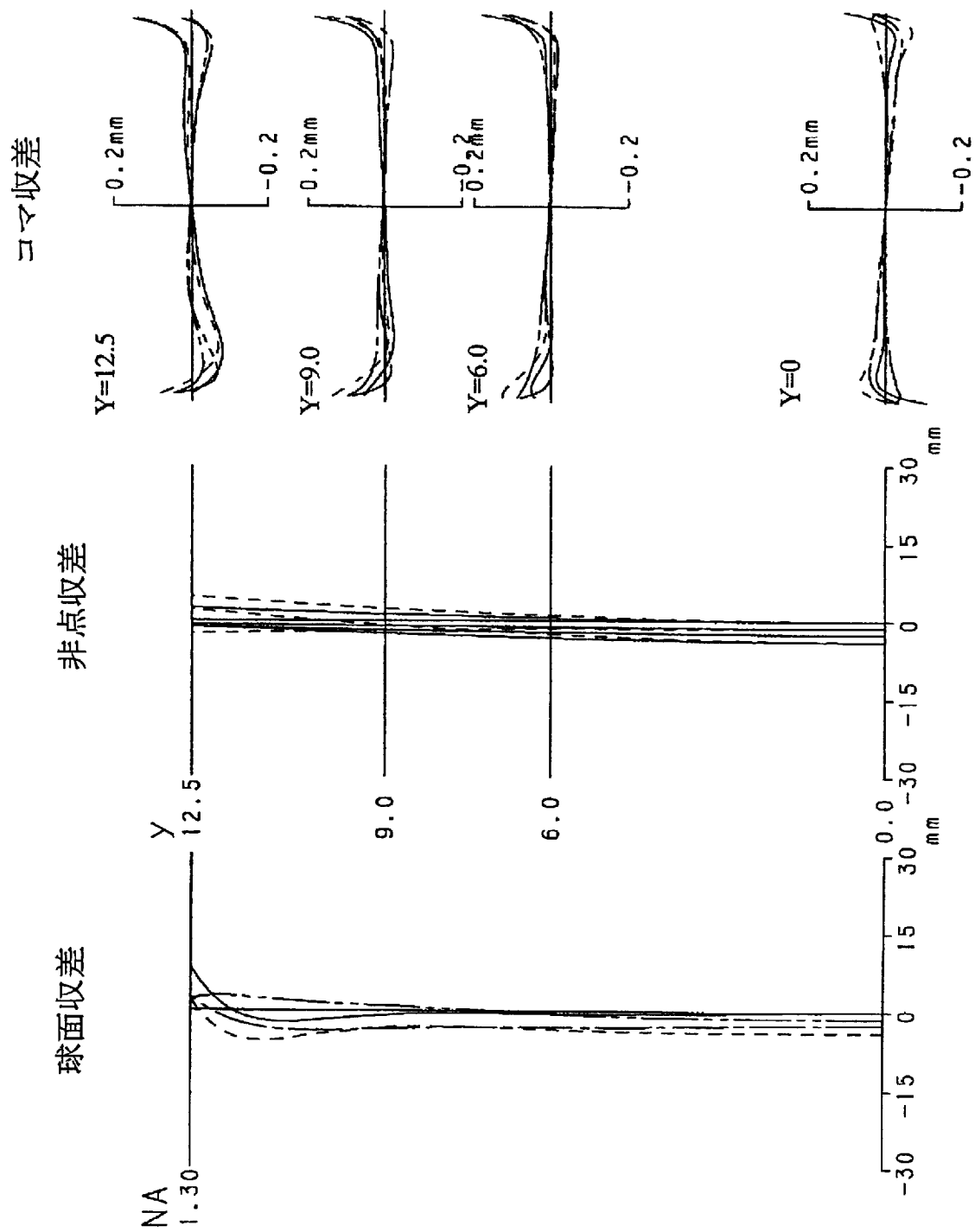


[図5]

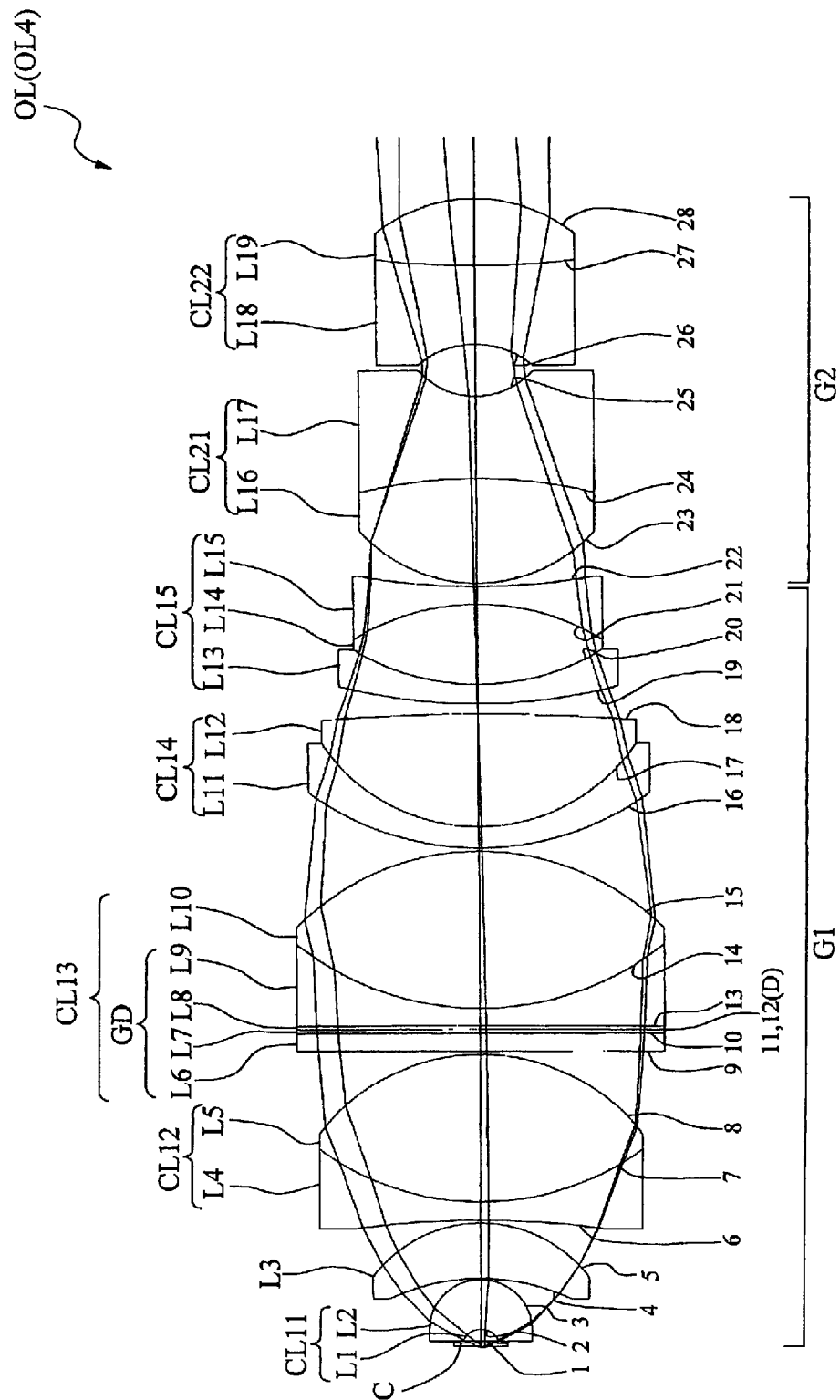
OL(OL3)



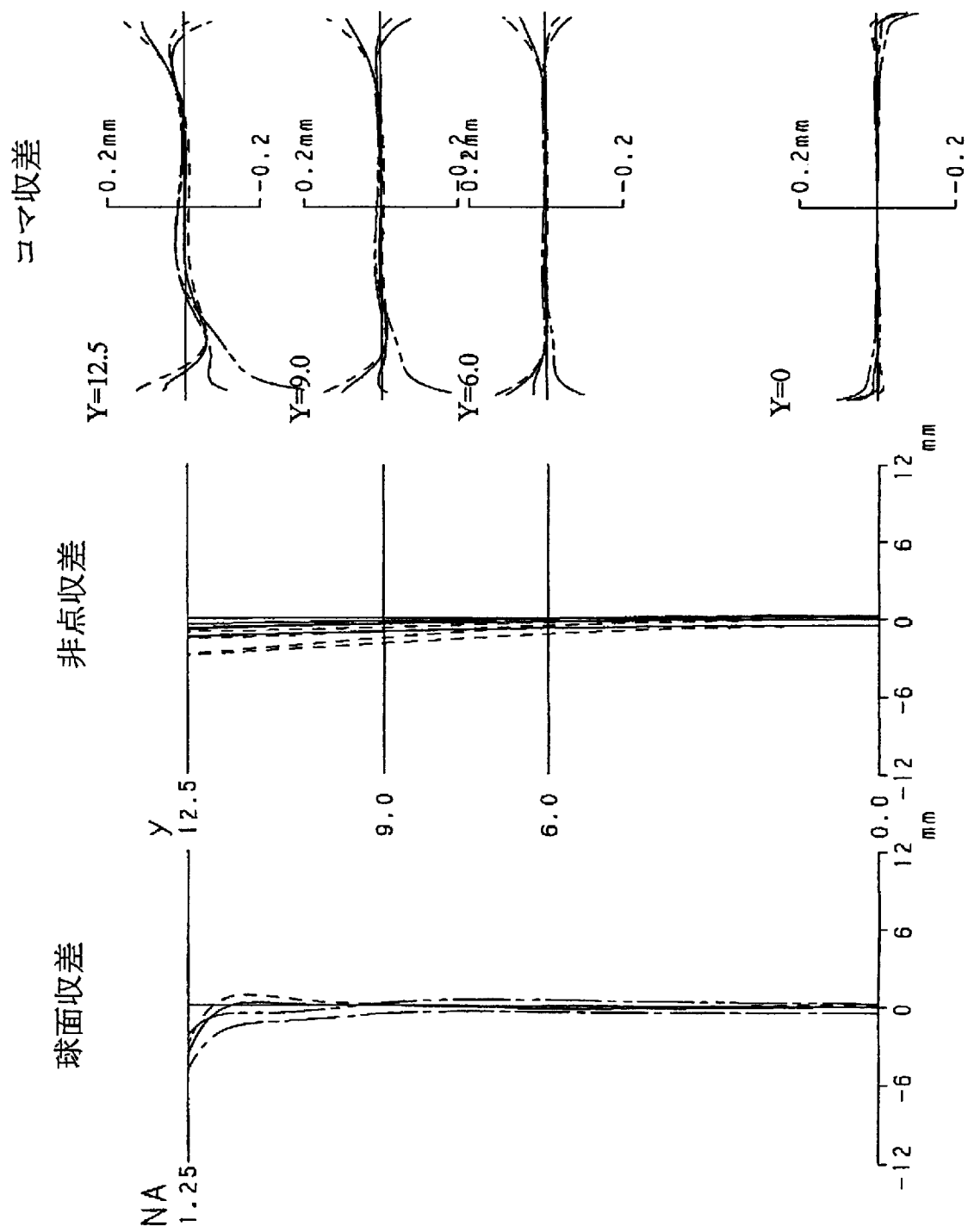
[図6]



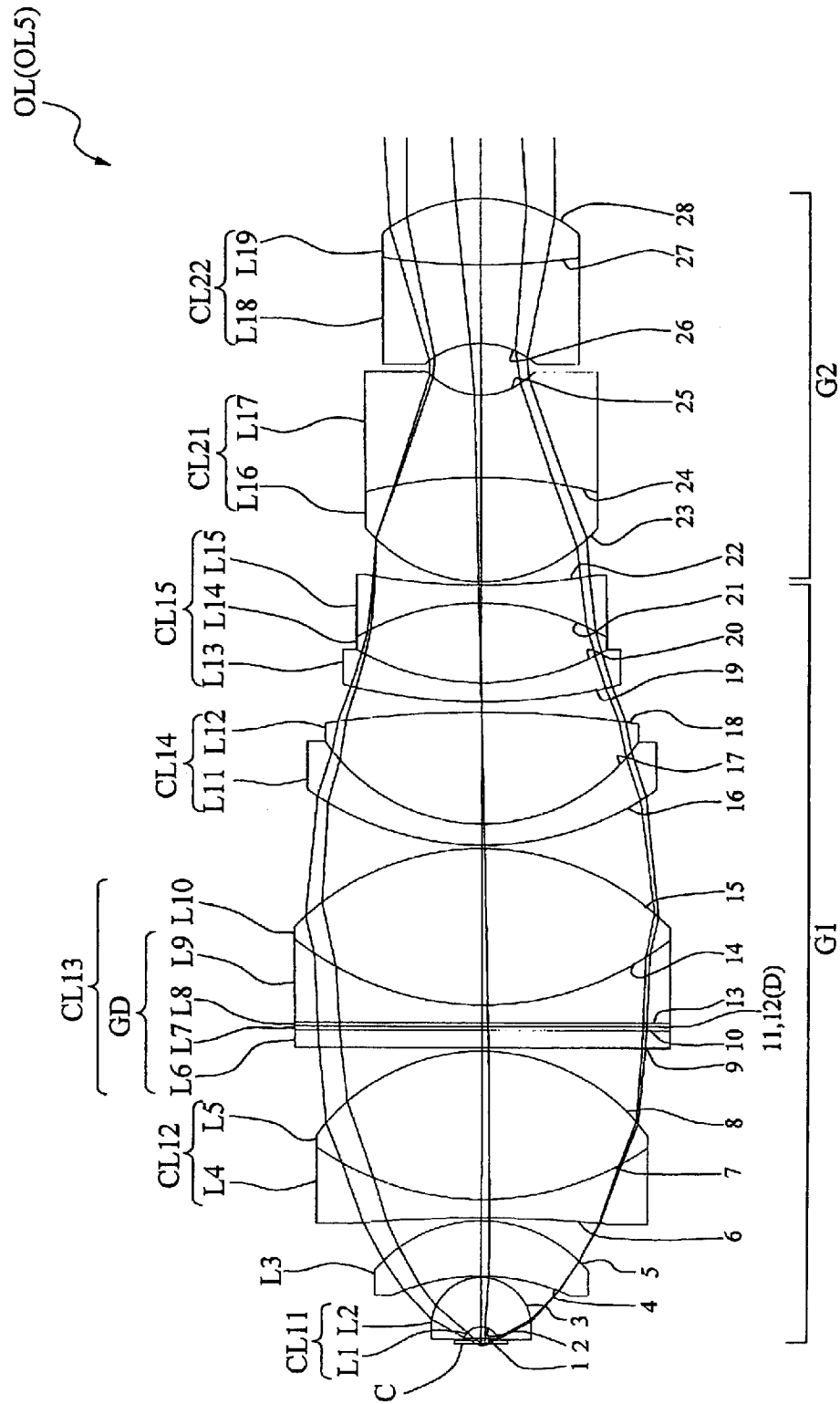
[図7]



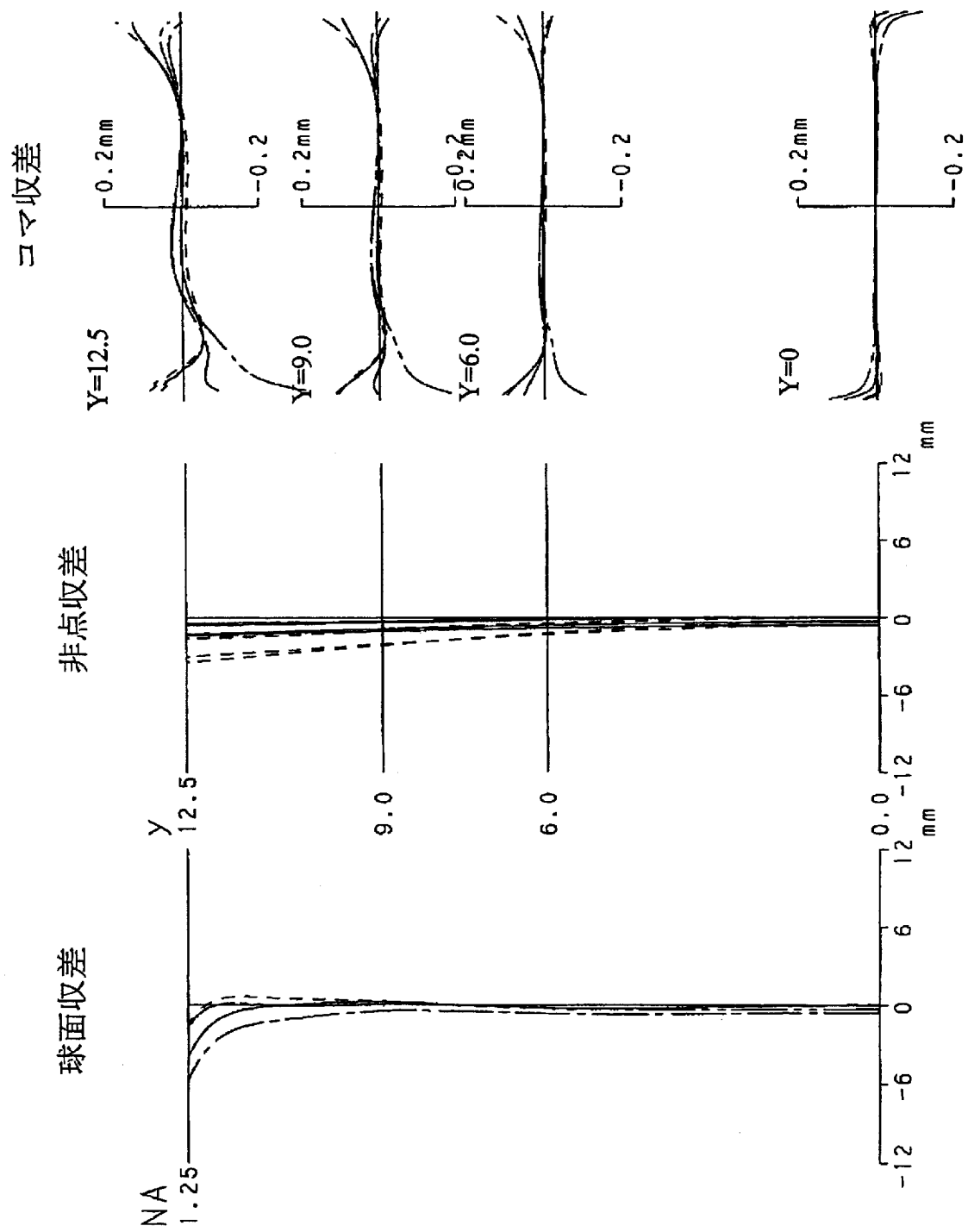
[図8]



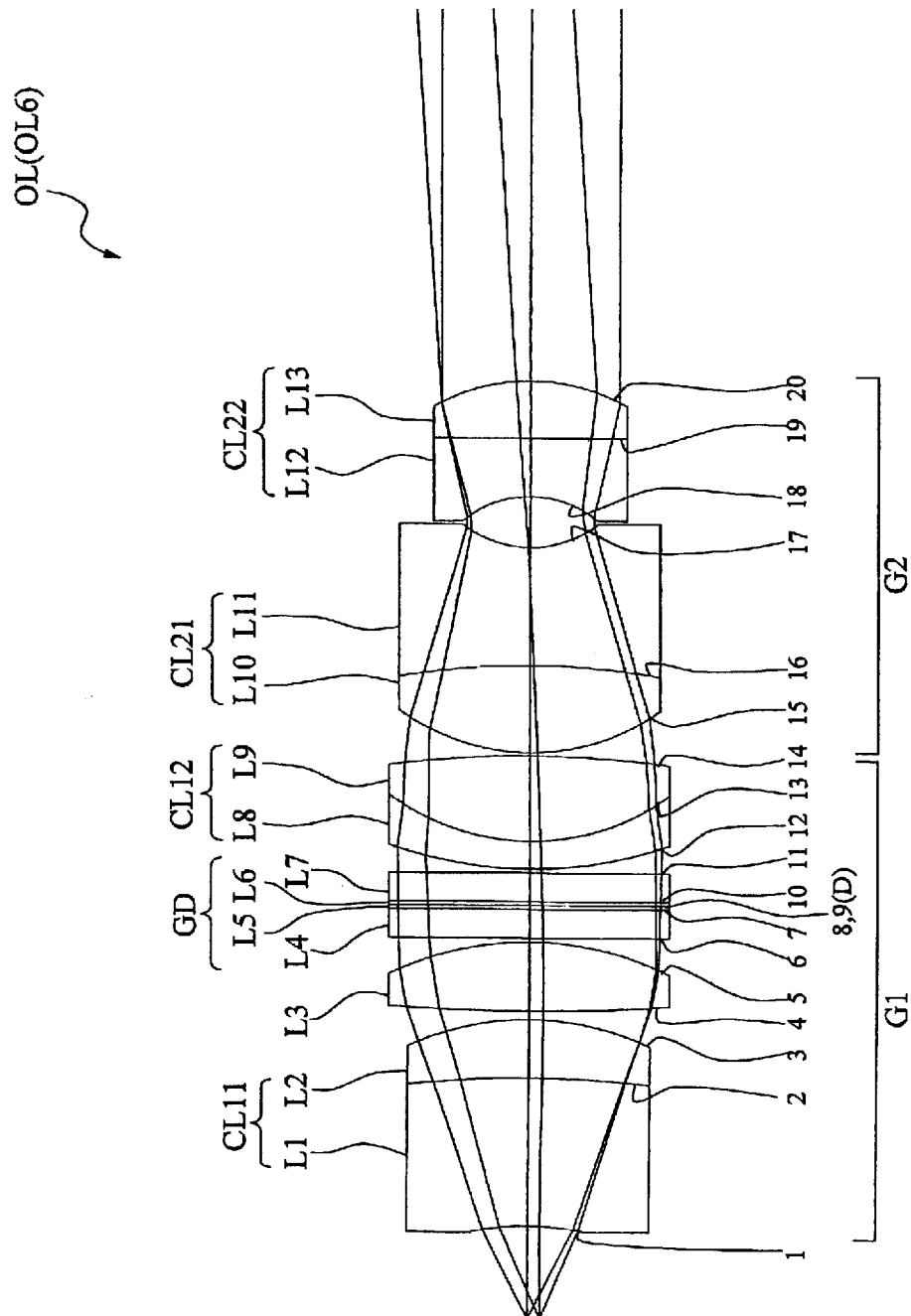
[図9]



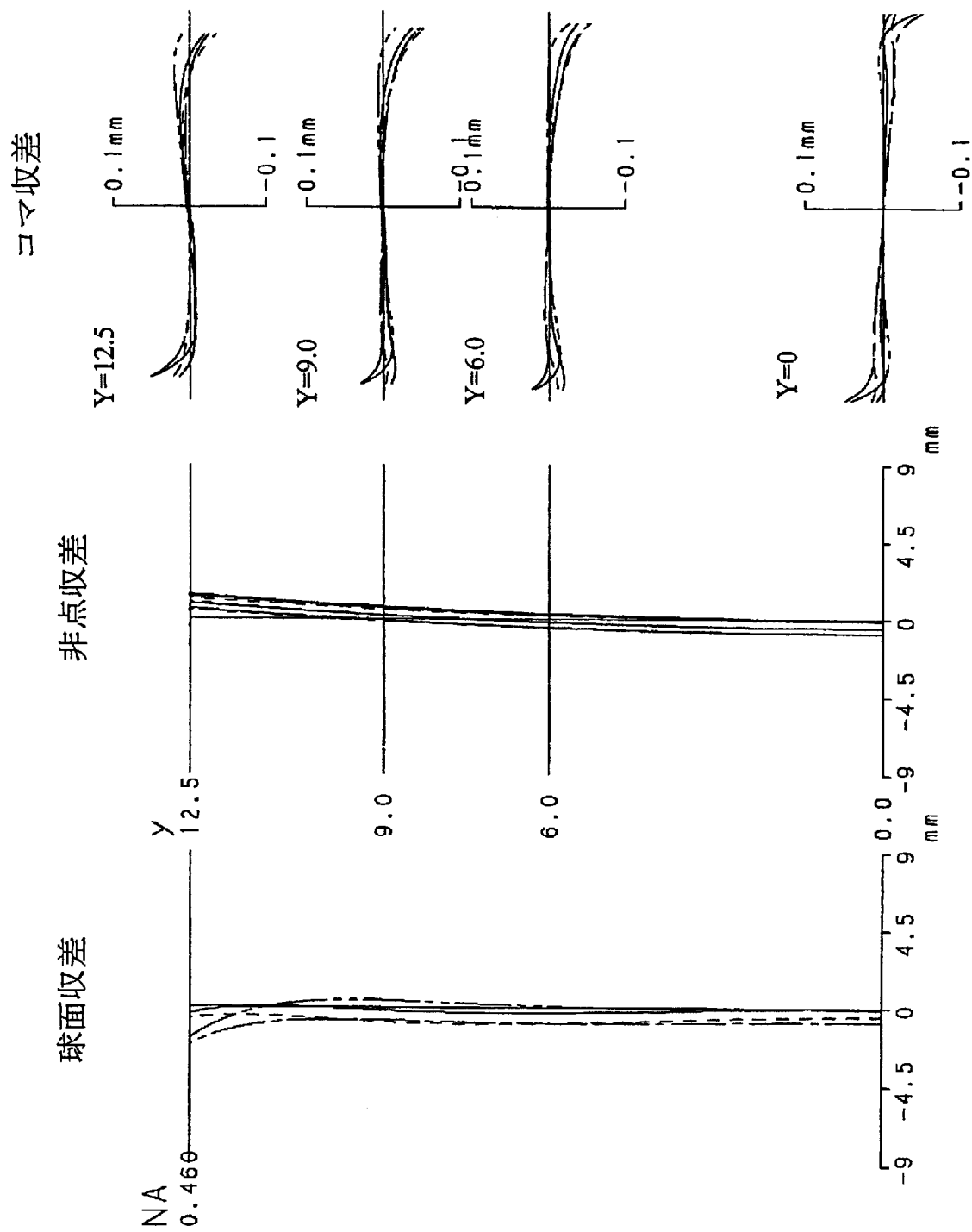
[図10]



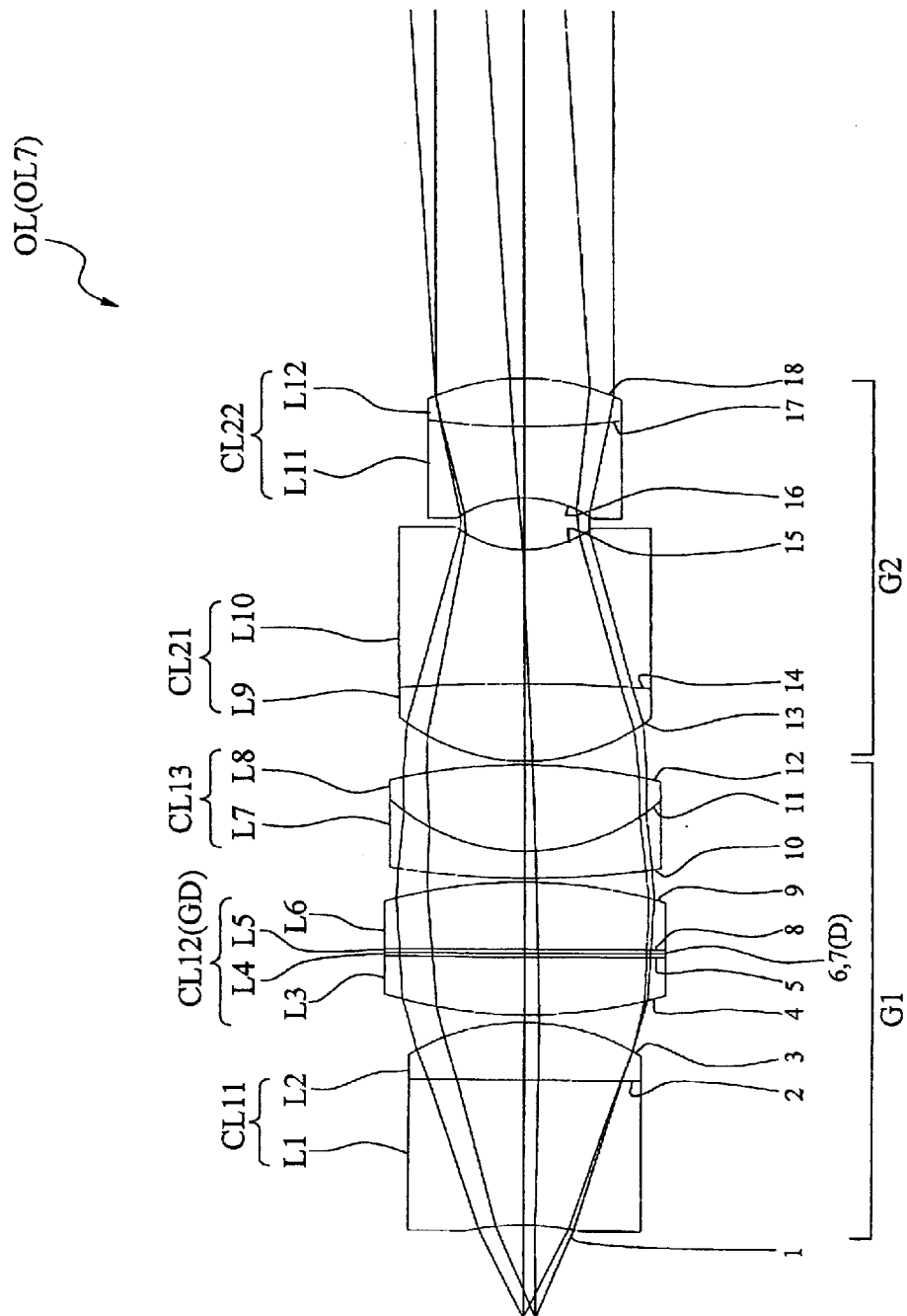
[図11]



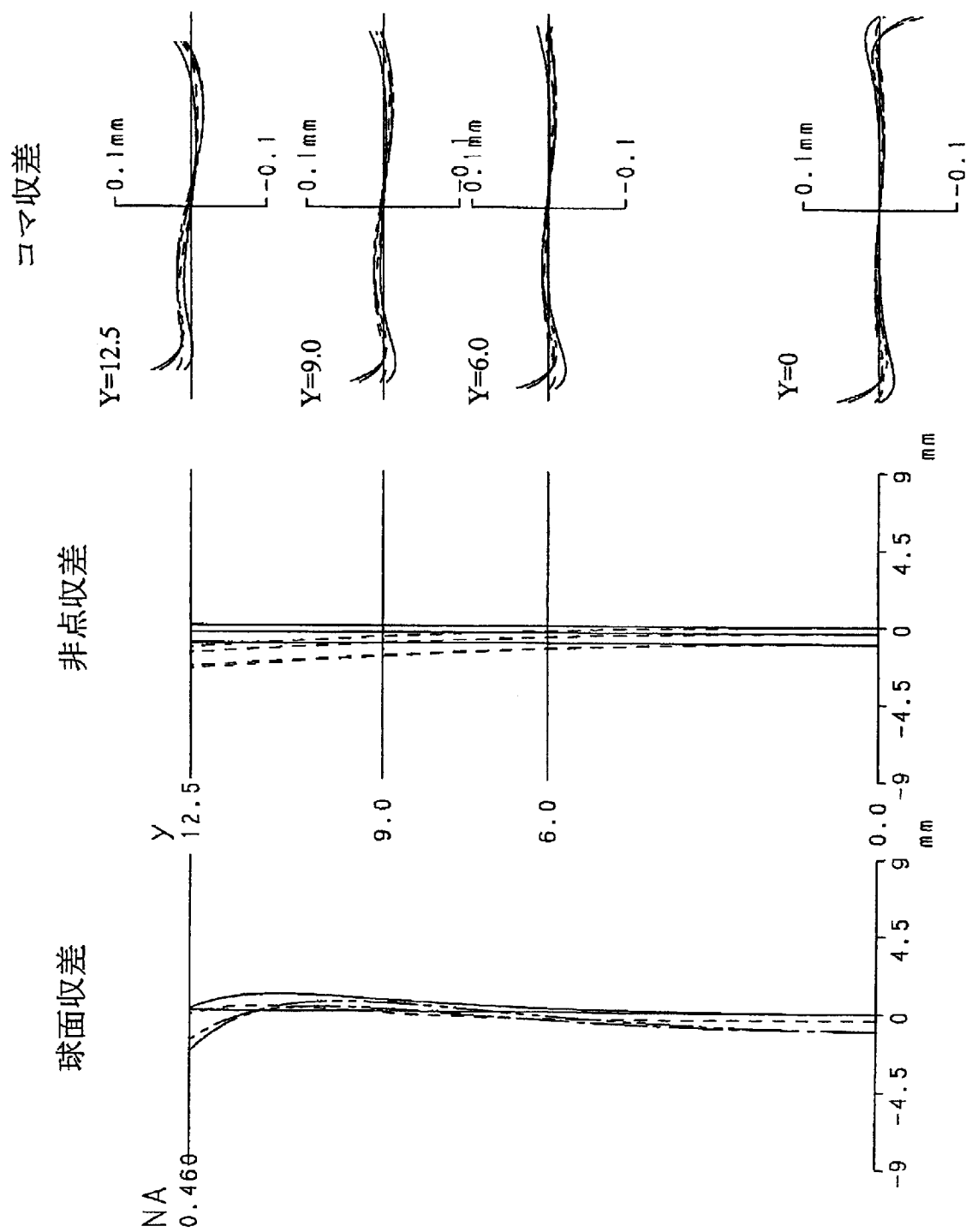
[図12]



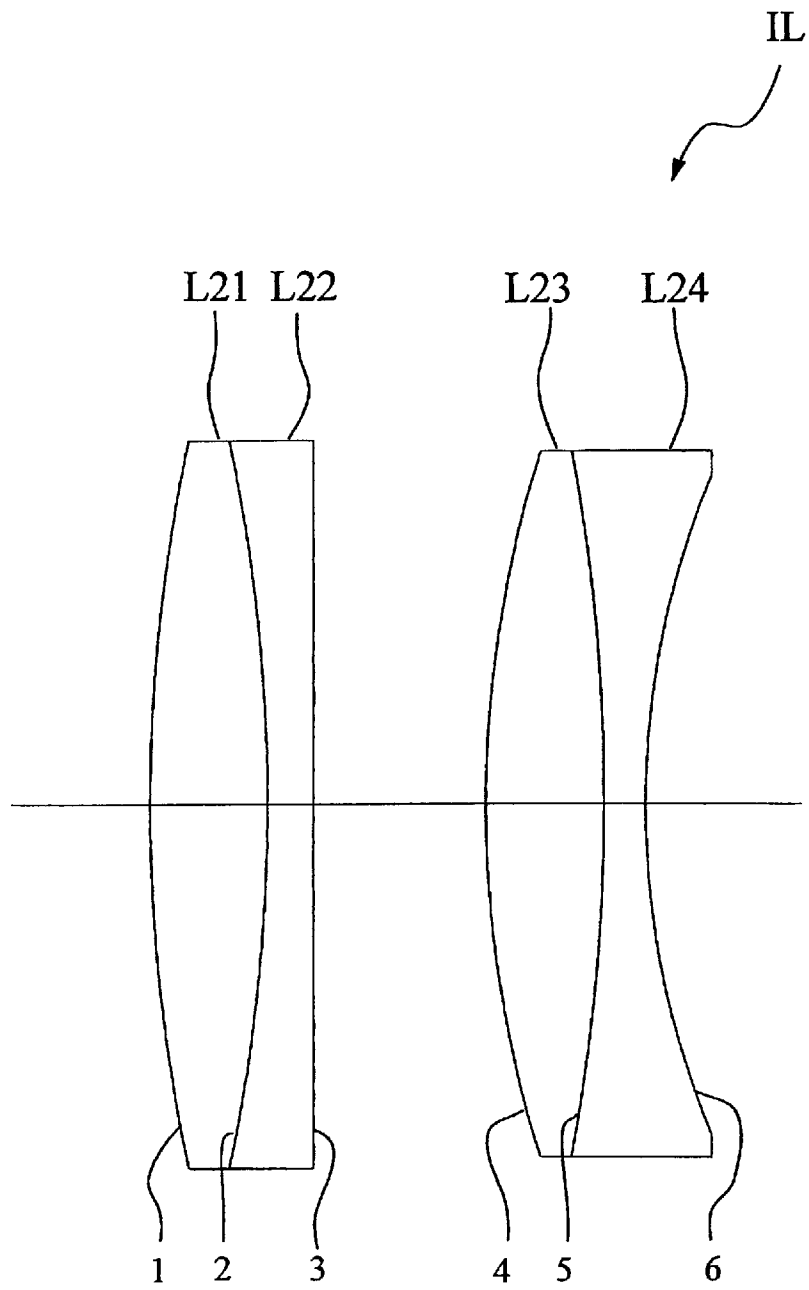
[図13]



[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/053293

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B21/02(2006.01) i, G02B5/18(2006.01) i, G02B13/00(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)

G02B21/02, G02B5/18, G02B13/00

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	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

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 8-286113 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 01 November, 1996 (01.11.96), Full text (particularly, examples) & US 5748372 A	1-6
Y	JP 6-331898 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 02 December, 1994 (02.12.94), Full text (particularly, example 1) & US 5631779 A	1, 3-6
Y	WO 2006/068137 A1 (Nikon Corp.), 29 June, 2006 (29.06.06), Full text (particularly, Claims 3, 4; Par. Nos. [0015], [0020], [0021]) & US 2008/0094712 A1 & EP 1830204 A1	1-6

☐ 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
26 May, 2009 (26.05.09)

Date of mailing of the international search report
02 June, 2009 (02.06.09)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G02B21/02(2006.01)i, G02B5/18(2006.01)i, G02B13/00(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. G02B21/02, G02B5/18, G02B13/00

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 0 9 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 9 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 9 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 8-286113 A（オリンパス光学工業株式会社）1996. 11. 01, 全文（特に実施例参照） & US 5748372 A	1-6
Y	JP 6-331898 A（オリンパス光学工業株式会社）1994. 12. 02, 全文（特に実施例 1 参照） & US 5631779 A	1, 3-6
Y	WO 2006/068137 A1（株式会社ニコン）2006. 06. 29, 全文（特に請求項 3、4、段落【0015】、【0020】、【0021】参照） & US 2008/0094712 A1 & EP 1830204 A1	1-6

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

2 6 . 0 5 . 2 0 0 9

国際調査報告の発送日

0 2 . 0 6 . 2 0 0 9

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 1 0 0 - 8 9 1 5

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）

原田 英信

2 V

3 7 0 2

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 7 1