(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
2008 年1 月24 日 (24.01.2008)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2008/010560 A1

(51) 国際特許分類:
G02B 25/00 (2006.01) *G02B 13/18* (2006.01)
G02B 5/18 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2007/064293

(22) 国際出願日: 2007 年7 月12 日 (12.07.2007)

(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2006-197595 2006 年7 月20 日 (20.07.2006) 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): 鈴木憲三郎 (SUZUKI, Kenzaburo) [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).

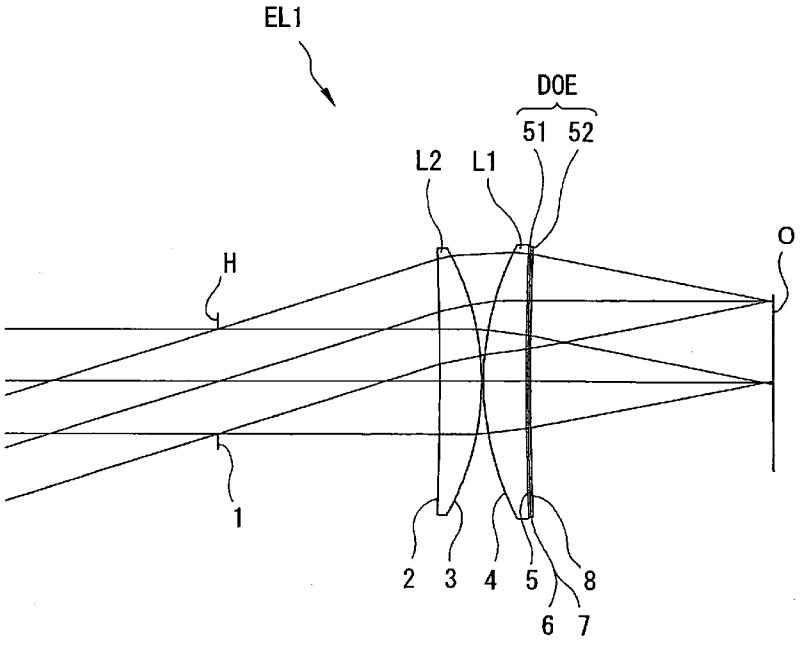
(74) 代理人: 大西正悟 (OHNISHI, Shogo); 〒1700013 東京都豊島区東池袋3-20-3, 東池袋SSﾋﾞﾙ１階大西国際特許事務所 Tokyo (JP).

(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, 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, 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, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK,

[続葉有]

(54) **Title:** OPTICAL SYSTEM AND EYEPIECE

(54) 発明の名称: 光学系及び接眼レンズ



(57) **Abstract:** An eyepiece (EL1) includes a first lens (L1) having a positive refractive power and a second lens (L2) having a positive refractive power which are arranged in this order from an object (O). A contact multi-layer diffractive optics (DOE) is arranged on an optical surface of the first lens (L1) or the second lens (L2). The contact multi-layer diffractive optics (DOE) includes a first optic element (51) having relief pattern and a second optic element (52) which is in contact with the surface of the first optic element (51) where the relief pattern is formed.

(57) 要約: 接眼レンズＥＬ１は、物体Ｏ側から順に並んだ、正の屈折力を有する第１レンズＬ１と、同じく正の屈折力を有する第２レンズＬ２とを有して構

[続葉有]

WO 2008/010560 A1

SL, SM, 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, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, 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:
— 国際調査報告書

２文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

成され、レリーフパターンが形成された第１光学素子要素５１と、第１光学素子要素５１においてレリーフパターンが形成される面上に密着接合された第２光学素子要素５２とを有する密着複層型回折光学素子ＤＯＥが、第１レンズＬ１および第２レンズＬ２におけるいずれかの光学面上に設けられている。

明　　細　　書

光学系及び接眼レンズ

技術分野

本発明は、回折を利用した光学系に関し、特に、小型軽量かつ高性能である観察光学系や投写光学系に用いる光学系に関する。

背景技術

従来、光学系一般に、光学性能、特に収差を減じて結像性能を向上させるため、屈折を利用した（主としてガラスで作られる）光学素子が多く用いられていた。ところが、基準スペクトル線に関するザイデルの５収差および色収差を十分に減ずるために、収差補正自由度を増す必要があり、このため光学素子の数や大きさや重さが増えてしまうことが多かった。

そこで、物体側から順に、平凸形の形状を有する第１レンズと、同じく平凸形の第２レンズとを、それぞれ凸面が向き合った状態で配設して、第１レンズおよび第２レンズにおけるいずれかの光学面上に回折面を形成した接眼レンズ（光学系）が考案されている（例えば、特開平１１－３８３３０号公報を参照）。このようにすれば、レンズの枚数が少ない簡単な構成でありながら、所定のアイレリーフを確保しつつ、倍率色収差が良好に補正された接眼レンズを得ることができる。

発明の開示

発明が解決しようとする課題

しかしながら、上述のような接眼レンズでは、中心波長（例えば、ｄ線）での光学特性（倍率色収差等）は良好だが、その他の波長域での光学特性はあまり良好でなかった。

本発明は、このような問題に鑑みてなされたものであり、使用波長の全領域で良好な光学特性を得ることができる光学系および、これを備えた接眼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

このような目的達成のため、本発明に係る光学系は、物体側から順に並んだ、第１レンズと、正の屈折力を有する第２レンズとを有して構成され、レリーフパターンが形成された第１光学素子要素と、第１光学素子要素においてレリーフパターンが形成される面上に密着接合された第２光学素子要素とを有する密着複層型回折光学素子が、第１レンズおよび第２レンズにおけるいずれかの光学面上に設けられている。

また、上述の発明において、第１光学素子要素と第２光学素子要素とのｄ線での屈折率の差が０．４５以下であり、第１レンズと第２レンズとの間の光軸上の空気間隔をＤとし、光学系全体の焦点距離をｆとしたとき、次式「０．００２＜Ｄ／ｆ＜２．０」の条件を満たすことが好ましい。

さらに、上述の発明において、第１レンズの焦点距離をｆ１とし、第２レンズの焦点距離をｆ２としたとき、ｆ１＞０かつｆ２＞０の場合、次式「０＜Ｄ／（ｆ１×ｆ２）＜０．１５」の条件を満たすことが好ましい。

また、上述の発明において、第１レンズの焦点距離をｆ１とし、第２レンズの焦点距離をｆ２としたとき、ｆ１＜０かつｆ２＞０かつ｜ｆ１｜＞｜ｆ２｜の場合、次式「－０．１＜Ｄ／（ｆ１×ｆ２）＜０」の条件を満たすことが好ましい。

さらに、上述の発明において、第１レンズおよび第２レンズにおける少なくとも一つの光学面が非球面であることが好ましい。

また、上述の発明において、第１レンズにおける物体側と対向する面上に、密着複層型回折光学素子が設けられていることが好ましい。

さらに、上述の発明において、相対的に高屈折率低分散の材料および低屈折率高分散の材料のうち一方を用いて第１光学素子要素が形成されるとともに、他方を用いて第２光学素子要素が形成され、第１光学素子要素と第２光学素子要素とのアッベ数の差を $\Delta\nu d$ とし、第１光学素子要素と第２光学素子要素とのｄ線での屈折率の差を Δnd としたとき、次式「５０＜$\Delta\nu d$／Δnd＜２０００」の条件を満たすことが好ましい。

また、上述の発明において、密着複層型回折光学素子のｄ線での回折効率をＥｄとし、密着複層型回折光学素子のｇ線での回折効率をＥｇとし、密着複層型回折光学素子のＣ線の回折効率をＥＣとしたとき、次式「（Ｅｇ＋ＥＣ）／２＞０．９×Ｅｄ」の条件を満たすことが好ましい。

さらに、上述の発明において、レリーフパターンの最小ピッチをｐとし、光学系全体の焦点距離をｆとしたとき、次式「０．０００１＜ｐ／ｆ＜０．００３」の条件を満たすこ

とが好ましい。

また、上述の発明において、光学系全体の焦点距離をｆとし、瞳径をφとし、アイレリーフをＲとしたとき、次式

$$0.1 < \phi \cdot R / f^2 < 2.0$$

の条件を満たすことが好ましい。

また、本発明に係る接眼レンズは、物体の像を観察するための接眼レンズであって、本発明に係る光学系を有して構成されることを特徴とする。

発明の効果

本発明によれば、使用波長の全領域で良好な光学特性を得ることができる。

図面の簡単な説明

図１は、複層型回折光学素子の模式断面図であり、（ａ）は非密着複層型の回折光学素子の模式断面図、（ｂ）は密着複層型の回折光学素子の模式断面図である。

図２は、第１実施例における光学系の構成を示す図である。

図３は、第１実施例における光学系の諸収差図である。

図４は、密着複層型回折光学素子の各波長に対する回折効率を示す図である。

図５は、第２実施例における光学系の構成を示す図である。

図６は、第２実施例における光学系の諸収差図である。

図７は、第３実施例における光学系の構成を示す図である。

図８は、第３実施例における光学系の諸収差図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の好ましい実施形態について図を参照しながら説明する。従来より、屈折光学系や反射光学系では達し得ない高性能化・小型化等を目指し、光学系に回折光学面を組み込む試みが種々行われてきた。しかしながら、このような回折光学面を有する単層の回折光学素子では、設計波長からずれた波長域の光によりフレアが発生し、画質・結像性能を損ねてしまう問題があり、その使用はレーザー光源などの単一波長や、狭い波長域での使用に限られていた。

そこで、近年、複層型（ないしは積層型）と呼ばれる回折光学素子が提案されている。

このタイプの回折光学素子は、鋸歯状に形成された回折光学面（レリーフパターン）を有し、異なる屈折率および分散を有した複数の回折素子要素を分離あるいは密着させた形で積層させてなるものであり、所望の広波長域（例えば、可視光領域）のほぼ全域で高い回折効率が保たれる、すなわち、波長特性が良好であるという特徴を有している。なお、このような回折光学素子の性質に関しては、「『回折光学素子入門』応用物理学会日本光学会監修平成１８年増補改訂版発行」に詳しい。なお、実施例に示す回折光学面のデータは、超高屈折率法で示してあり、同じく「『回折光学素子入門』応用物理学会日本光学会監修平成１８年増補改訂版発行」に詳しい。

ここで、複層型回折光学素子の構造について説明すると、一般に、図１（ａ）に示すように、第１の材質からなる第１光学素子要素５１と、これとは屈折率や分散値が異なる第２の材質からなる第２光学素子要素５２とから構成され、それぞれ光学素子要素５１，５２の対向し合う面は図のように鋸歯状に形成されている。そして、特定の２波長に対して色消し条件を満足させるように、第１光学素子要素５１のレリーフパターンの高さｈ１を所定の値に決定し、第２回折素子要素５２のレリーフパターンの高さｈ２を別の所定の値に決定する。これにより、特定の２波長に対しては回折効率が１．０となり、その他の波長に対してもかなり高い回折効率を得ることができるようになる。なお、回折効率とは、透過型の回折光学素子において、該回折光学素子に入射する光の強度I_0と、一次回折光の強度I_1との割合η（$=I_1/I_0$）を指している。

なお、図１（ａ）に示す分離複層型の回折光学素子ＤＯＥ′では、これを構成する第１光学素子要素５１および第２光学素子要素５２において、それぞれレリーフパターン５３，５４の高さｈ１，ｈ２が相異なるため複数の金型が必要であるとともに、これら金型を用いて第１および第２光学素子要素５１，５２を同じ手順で別々に製造し、さらに精度良く位置合わせをしなければならず、生産に非常に手間がかかってしまう。

そこで、第１光学素子要素５１におけるレリーフパターン５３の高さｈ１と、第２回折素子要素５２におけるレリーフパターン５４の高さｈ２とを一致させた、密着複層型の回折光学素子ＤＯＥが提案されている（図１（ｂ）参照）。この密着型の回折光学素子ＤＯＥは、第１光学素子要素５１においてレリーフパターン５３が形成される面上に、第２光学素子要素５２を密着接合させた構成であり、分離型に比べて、回折格子の高さの誤差感度（公差）が緩くなったり、格子面の面粗さの誤差感度（公差）が緩くなったりする等、製造し易くなるメリットがあり、生産性に優れて量産性が高い。このため、光学製品のコ

ストダウンに好都合である利点を有している。このように、回折光学素子の構成を密着複層型にすることで、回折光学素子をほぼ全波長に対して適用することができるようになり、広帯域の白色光を利用する写真カメラの撮像レンズや可視域で使用する接眼レンズ等に容易に用いることができる。

本発明は、このような密着複層型回折光学素子を利用した小型軽量の光学系に関するものである。そして、本実施形態の光学系は、物体側から順に並んだ、第１レンズと、正の屈折力を有する第２レンズとを有して構成され、第１レンズおよび第２レンズのいずれかの光学面上に密着複層型回折光学素子が設けられている。これにより、使用波長の全領域で良好な光学特性を有する、小型で高性能な光学系を得ることができる。なお、このような光学系は、撮影レンズ光学系として用いることもでき、さらに、像面近くに表示素子を配設することで、投写光学系として用いることも可能である。

なおこのとき、第１レンズにおける物体側と対向する面上に、密着複層型回折光学素子が設けられていることが好ましい。このようにすれば、物体からの光が密着複層型回折光学素子のレリーフパターンに垂直近傍で入射することになる。そのため、レリーフパターンの段差部分において斜光線が正規の角度で入射せずに迷光が発生してしまう不都合を軽減することができる。さらに、最も物体側に位置する回折光学素子が密着型であるため、例えば、レリーフパターンを透過する光以外の迷光がレンズ面や鏡筒面等での反射を経て結像面に悪影響を及ぼす不都合を軽減することができる。

また、回折光学素子全体で正の屈折力を有している場合、第１の光学素子要素は正の屈折力を有することが好ましいが、第２の光学素子要素は正負どちらの屈折力を有していても構わない。設計要件に照らして、仕様達成、収差補正等に都合よく構成すればよい。なおこのとき、回折光学面で正の屈折力を有していれば負の分散を有するので、回折光学素子全体で良好な色消しを達成することが可能になる。

密着複層型回折光学素子を構成する光学素子要素は、相対的に高屈折率低分散の材料および低屈折率高分散の材料からなることが必要であり、どちらが物体側であってもよい。具体的には、高屈折率低分散の材料および低屈折率高分散の材料のうち一方を用いて第１光学素子要素５１（図１（ｂ）を参照）が形成されるとともに、他方を用いて第２光学素子要素５２（図１（ｂ）を参照）が形成される必要があり、密着複層型回折光学素子を形成するための必須の構成要件である。また、製造上の誤差感度を低減させるために、第１光学素子要素５１と第２光学素子要素５２とのｄ線での屈折率の差が０．４５以下である

ことが好ましく、０．２以下であることがより好ましい。

そして、本実施形態では、第１レンズと第２レンズとの間の光軸上の空気間隔をＤとし、光学系全体の焦点距離をｆとしたとき、次の条件式（１）で表される条件を満足する。

０．００２＜Ｄ／ｆ＜２．０　　…（１）

条件式（１）は、第１レンズと第２レンズとの空気間隔Ｄの適切なる範囲を、焦点距離ｆとの割合で規定する。この条件式（１）を満たせば、全長を短くしても良好な光学特性を有する光学系を得ることができる。なお、Ｄ／ｆが条件式（１）の上限を超えると、光学系の全長が長くなりすぎてしまい、小型化を損なうばかりか、軸外収差の発生も大きくなって良好な結像性能が得られなくなる不都合が生じる。特に、主光線よりも上側の光線のコマ収差が大きくなり、歪曲収差が＋側に発生しやすくなる傾向となってしまう。

一方、Ｄ／ｆが条件式（１）の下限を超えると、光学系の射出瞳位置が近くになりすぎ、例えば撮像素子にテレセントリック近くに入射する条件から外れやすくなる。このとき、いわゆる像高が高くなるのにしたがってシェーディングが発生しやすくなってしまう。また、コマ収差の補正が不十分になる傾向となって、十分な結像性能が得られなくなってしまう。なお、条件式（１）において、Ｄ／ｆの上限を１．０とするとともに、下限を０．００３とすることがより好ましい。

また、条件式（１）において、Ｄ／ｆの上限を０．１とするとともに、下限を０．００３とすることがより好ましい。

またこのとき、第１レンズおよび第２レンズにおける少なくとも一つの光学面は、非球面であることが好ましい。このようにすれば、密着複層型回折光学素子を採用し、かつ光学系の全長を短くしても、軸外収差等の諸収差を良好に補正することができる。

ところで、光学系全体の焦点距離ｆは、第１レンズの焦点距離をｆ１とし、第２レンズの焦点距離をｆ２とすると、薄肉系の合成焦点距離として次の（２１）式から算出される。また、（２１）式を変形することにより、（２２）式が得られる。

$$1/f=(1/f1)+(1/f2)-D/(f1\times f2) \quad \cdots(21)$$

$$D/(f1\times f2)=\{(1/f1)+(1/f2)\}-1/f \quad \cdots(22)$$

この（２２）式から、ｆ１＞０かつｆ２＞０の場合、次の条件式（２）で表される条件を満足することが好ましい。

０＜Ｄ／（ｆ１×ｆ２）＜０．１５　　…（２）

条件式（２）は、Ｄ／（ｆ１×ｆ２）の値が零近傍まで小さければ、所定のｆ１および

ｆ２の値に対し第１レンズと第２レンズとを接近させることで、光学系全体の十分な屈折力が得られることを示している。これにより、レンズ間の距離を短くして全長が短縮された、屈折力の大きな光学系（例えば、接眼レンズ）を得ることができる。

なお、Ｄ／（ｆ１×ｆ２）が条件式（２）の上限を超えると、光学系全体の屈折力が弱まり、十分な屈折力（倍率）が得られない。また、レンズと像面との距離が近くなりすぎ、ミラーやプリズムを配置しにくくなる不都合が生じる。さらに、歪曲収差が一側に大きくなりすぎ、良好な像が得られなくなる。一方、レンズ同士が接してしまうと、光軸近傍に干渉縞が写りこむ不都合やレンズ面に傷が付いてしまう不都合が生じるので、Ｄ／（ｆ１×ｆ２）の下限は０とする。なお、条件式（２）において、Ｄ／（ｆ１×ｆ２）の上限を０．１とすることがより好ましい。

また、ｆ１＜０かつｆ２＞０かつ｜ｆ１｜＞｜ｆ２｜の場合、次の条件式（３）で表される条件を満足することが好ましい。

$$-0.1 < D/(f1 \times f2) < 0 \qquad \cdots (3)$$

第１レンズが負の屈折力を有し、かつ第２レンズが正の屈折力を有する場合には、レンズによる色消し作用が出るので、所定の色消しを達成するためにレリーフパターンのピッチを緩くすることができる。このため、フレア発生が小さくなり、また回折光学素子を製造しやすくなって好都合であるが、一方で、レンズ同士を接近させると屈折力が小さくなる不都合が生じる。条件式（３）は、光学系の全長、屈折力、および収差に関し、適正なバランスを示すものである。

Ｄ／（ｆ１×ｆ２）が条件式（３）の下限を超えると、レンズ間の距離が長くなって全長が長くなり、小型の光学系は得られない。さらに、歪曲収差が＋側に大きくなりすぎ、良好な像が得られなくなる。一方、レンズ同士が接してしまうと、光軸近傍に干渉縞が写りこむ不都合やレンズ面に傷が付いてしまう不都合が生じるので、Ｄ／（ｆ１×ｆ２）の上限は０とする。なお、条件式（３）において、Ｄ／（ｆ１×ｆ２）の下限を－０．０１とすることがより好ましい。

また、第１光学素子要素５１と第２光学素子要素５２とのアッベ数の差を $\Delta\nu d$ とし、第１光学素子要素５１と第２光学素子要素５２とのｄ線での屈折率の差を Δnd としたとき、次の条件式（４）で表される条件を満足することが好ましい。

$$50 < \Delta\nu d / \Delta nd < 2000 \qquad \cdots (4)$$

条件式（４）は、高屈折率低分散の材料および低屈折率高分散の材料における、アッベ

数の差Δνｄおよび屈折率の差Δｎｄの適切な範囲を規定する。条件式（４）で規定された範囲を外れると、高屈折率低分散の材料および低屈折率高分散の材料からなる密着複層型回折光学素子であっても、レリーフパターンの高さが高くなってしまったり、諸波長に対する回折効率が低下してしまったりする不都合が生じる。なお、条件式（４）において、Δνｄ／Δｎｄの上限を８００とするとともに、下限を１００とすることがより好ましい。

また、密着複層型回折光学素子のｄ線での回折効率をＥｄとし、密着複層型回折光学素子のｇ線での回折効率をＥｇとし、密着複層型回折光学素子のＣ線での回折効率をＥＣとしたとき、次の条件式（５）で表される条件を満足することが好ましい。

（Ｅｇ＋ＥＣ）／２＞０．９×Ｅｄ　　…（５）

条件式（５）は、広帯域の波長における回折効率の適切な範囲を規定する。条件式（５）で規定される範囲を外れると、短波長もしくは長波長のいずれか回折効率が低下してしまい、回折フレアが大きくなり画質を損ねてしまう。具体的には、Ｅｇが低下する場合には青色系の回折フレアが増大し、ＥＣが低下する場合には赤色系の回折フレアが増大して、画質を損ねてしまう。なお、条件式（５）において、Ｅｄに係る係数を０．８～０．９８の範囲にすることが好ましいが、０．９の値は、多人数のサンプル抽出による経験値である。

第１レンズおよび第２レンズのいずれかの光学面上に設けられた密着複層型回折光学素子が、光軸に対して対称で、最も外側を通る光線（主光線）の入射角度が１０度以下となる回折光学面（レリーフパターン）を有する場合、回折光学面の有効径（直径）をＣとし、光学系全体の焦点距離をｆとしたとき、次の条件式（６）で表される条件を満足することが好ましい。

０．１＜Ｃ／ｆ＜３．０　　…（６）

条件式（６）は、回折光学面の有効径（直径）の適切な範囲を規定する。Ｃ／ｆが条件式（６）の上限を超えると、有効径が大きくなりすぎ、回折光学面（レリーフパターン）の製作が難しくなりコスト上昇に繋がる。また、回折光学面に外部からの有害光が入りやすくなり、フレア等による画質低下を招きやすくなる。一方、Ｃ／ｆが条件式（６）の下限を超えると、回折光学面が設けられるレンズの有効径が小さくなるとともにレリーフパターンのピッチが小さくなるため、回折光学面（レリーフパターン）の製作が難しくなってコスト上昇に繋がるだけでなく、回折光学面でのフレアの発生が大きくなり画質低下を

招きやすくなる。なお、条件式（６）において、Ｃ／ｆの上限を０．８とするとともに、下限を０．１とすることがより好ましい。

また、第１レンズにおける物体側と対向する面が凹面であるとともに、第１レンズにおける物体側と反対側に位置する面が凸面であり、これらのうちいずれかの面上に密着複層型回折光学素子が設けられている場合、レリーフパターンの高さをｈとし、第１光学素子要素における光軸上の厚さおよび第２光学素子要素における光軸上の厚さのうち小さい方をｄとしたとき、次の条件式（７）で表される条件を満足することが好ましい。

０．０５＜ｈ／ｄ＜２．０　　…（７）

条件式（７）は、溝深さの低いレリーフパターンを形成する際の適正なる高さｈと、光学素子要素の厚さｄとの関係を示す。ｈ／ｄが条件式（７）の上限を超えると、相対的に溝の高さが高くなりすぎるため、レリーフパターンを作りにくくなるだけでなく、溝の段差部分が大きくなって、この段差部分に当たった光による散乱等で迷光が発生しやすくなる。一方、ｈ／ｄが条件式（７）の下限を超えると、相対的に光学素子要素が厚くなりすぎるため、やはりレリーフパターンを作りにくくなるだけでなく、光学素子要素における光の内部吸収が増えてしまい、光学系全体の透過率が低下したり、色付きが起こりやすくなったりして、画質が低下してしまう。なお、条件式（７）において、ｈ／ｄの上限を１．０とするとともに、下限を０．０２としてもよい。

また、レリーフパターンの最小ピッチをｐとし、光学系全体の焦点距離をｆとしたとき、次の条件式（８）で表される条件を満足することが好ましい。

０．０００１＜ｐ／ｆ＜０．００３　　…（８）

条件式（８）は、最小ピッチｐと光学系全体の焦点距離ｆとの適切な比を規定している。最小ピッチｐが小さいと、回折角が大きくなって回折光学面での色分散が大きくなり、色収差補正に効果的ではあるが、一方で、加工が難しくなり、回折光学面でのフレアの発生も大きくなる。そのため、最小ピッチｐを適切な範囲で用いることは重要である。

ｐ／ｆが条件式（８）の上限を超えると、最小ピッチｐが大きくなりすぎてしまい、十分な色消しが達成できず、画質が低下する不都合が発生しやすくなる。ｐ／ｆが条件式（８）の下限を超えると、最小ピッチｐが小さくなりすぎてしまい、上述したように、加工が難しくなり、回折光学面でのフレアの発生も大きくなる。また、不要なフレア光による画質の低下を招き、さらに、回折効率の低下を招いてしまう。

また、本実施形態の光学系の応用として、小型ディスプレイや対物レンズ等で形成され

た画像を拡大観察するような用途に対しては、光学系全体の焦点距離をｆとし、瞳径をϕとし、アイレリーフをＲとしたとき、次の条件式（９）で表される条件を満足することが好ましい。

$$0.1 < \phi \times R / f^2 < 2.0 \quad \cdots (9)$$

条件式（９）は、本実施形態の光学系を上述のような観察光学系に適用した場合の、瞳径ϕ、アイレリーフＲ、焦点距離ｆの適切なる関係を示している。アイレリーフＲを十分に取ることは、観察光学系を構成する上で重要である。

$\phi \times R / f^2$が条件式（９）の上限を超えると、アイレリーフＲが長くなりすぎてしまい、光学系の大型化を招きやすくなる。一方、$\phi \times R / f^2$が条件式（９）の下限を超えると、アイレリーフＲが短くなりすぎてしまい、画像の観察がやりにくくなる。また、瞳径ϕも小さくなるため、けられやすくなり、使用時に画像が観察しにくくなる不都合が発生しやすくなってしまう。なお、瞳の形状は、円形である必要はなく、用途や設計仕様に応じて、矩形や楕円であっても構わない。なおこのとき、レンズの形状や絞りの形状を工夫することにより、このような瞳の形状を達成することができる。また、条件式（９）において、$\phi \times R / f^2$の上限を１．０とするとともに、下限を０．１５とすることがより好ましい。また、条件式（９）において、$\phi \times R / f^2$の上限を１．０とするとともに、下限を０．２とすることがより好ましい。なお、$\phi \times R / f^2$は０．３前後であることがさらに好ましい。

また、実際に本実施形態の光学系を構成する際、以下に述べる要件を満たすことが、より好ましい。

まず、第１および第２光学素子要素において、成形性を良好に保ち、優れた量産性を確保するためには、どちらか一方の光学素子要素を構成する材料の粘度（未硬化物粘度）が、少なくとも４０Pa・ｓ（パスカル・秒）以上であることが好ましい。この粘度が４０Pa・ｓ以下であると、成形中に樹脂が流れ易くなり、精密な形状形成が困難となってしまう不都合が生じる。しかしながら、もう一方の光学素子要素を構成する材料の粘度は、逆に少なくとも２０００Pa・ｓ以上であることが好ましい。

さらに、第１および第２光学素子要素は、生産効率を向上させるため、いずれもＵＶ硬化型樹脂を用いて形成されることが好ましい。これにより、工数を削減でき、コストダウンにも繋がり好都合である。

また、上述のように、第１および第２光学素子要素の材料がいずれも樹脂である場合、

小型化・軽量化のため、これら樹脂の比重がいずれも２．０以下であることが好ましい。ガラスに比して樹脂は比重が小さいため、光学系の軽量化に非常に有効である。さらに効果を発揮するには、比重が１．６以下であることがより好ましい。さらに、第１および第２光学素子要素は、空気との界面に正屈折力の屈折面を有しており、この屈折面は非球面であることが好ましい。

また、第１および第２光学素子要素のうち、いずれかの樹脂に色素を混入して、色フィルター効果を持たせることも可能である。例えば、この手法により、赤外線カットフィルタを構成し、小型撮像光学系を構成することもできる。

また、絞りは、光学系中に随意に設置することが可能であるが、不要な光線をカットして、結像に有用な光線のみを通すように構成することが好ましい。例えば、レンズ枠そのものを開口絞りとしてもよく、レンズから離れた位置にメカ部材で絞りを構成してもよい。なお、絞りの形状は、設計仕様に応じて、円形に限らず、楕円や矩形としてもよい。

本実施形態の光学系を撮影光学系に適用する場合には、密着複層型回折光学素子の内部又は外部に、光学的ローパスフィルタを組み込んで用いてもよい。

また、本実施形態の光学系を観察光学系に適用する場合には、そのルーペ倍率が２倍以上、２０倍以下であることが好ましい。

なお、密着複層型回折光学素子を組み込んで得られる３つ以上の（複数の）構成要素からなる光学系も、本発明の範囲を逸脱するものではない。また、屈折率分布型レンズ、結晶材料レンズなどを組み込んで得られる光学系に関しても同様である。

また、ｄ線、ｇ線、Ｃ線、およびＦ線の軸上色収差における最大拡がり幅を Δ とすると、次の条件式（１０）で表される条件を満足することが好ましい。

$$0.001 < \Delta / f < 0.02 \qquad \cdots (10)$$

条件式（１０）は、軸上色収差の適切なる補正範囲の条件を規定している。Δ／ｆが条件式（１０）の上限を超えると、軸上色収差が大きくなりすぎてしまい、色付いた画像となって画質を大きく損ねてしまう。なお、条件式（１０）において、Δ／ｆの上限を０．００３とするとともに、下限を０．００２とすることがより好ましい。

実施例

以下、本発明の各実施例を添付図面に基づいて説明する。各実施例において、回折光学面の位相差は、通常の屈折率と後述する非球面式（２３），（２４）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は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（２３），（２４）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（波長587.6ｎｍ，屈折率10001）、Ｃ線（波長656.3ｎｍ，屈折率11170.4255）、Ｆ線（波長486.1ｎｍ，屈折率8274.7311）及びｇ線（波長435.8ｎｍ，屈折率7418.6853）を選んでいる。

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、非球面の頂点における接平面から高さｙにおける非球面上の位置までの光軸に沿った距離（サグ量）をＳ（ｙ）、基準球面の曲率半径をｒ、近軸曲率半径をＲ、円錐係数をκ、ｎ次の非球面係数をC_nとしたとき、以下の条件式（２３），（２４）で表される。

$$S(y)=(y^2/r)/\{1+(1-\kappa\cdot y^2/r^2)^{1/2}\}+C_2y^2+C_4y^4+C_6y^6+C_8y^8+C_{10}y^{10} \quad \cdots(23)$$

$$R=1/\{(1/r)+2C_2\} \quad \cdots(24)$$

なお、各実施例において、非球面形状に形成されたレンズ面には、表中の面番号の右側に＊印を付している。また、各実施例において、回折光学面の位相差は通常の屈折率と上記非球面式（２３），（２４）とを用いて行う超高屈折率法により計算した。このため、非球面レンズ面及び回折光学面のいずれにも、非球面式（２３），（２４）が用いられるが、非球面レンズ面に用いられる非球面式（２３），（２４）はレンズ面の非球面形状そのものを示し、一方、回折光学面に用いられる非球面式（２３），（２４）は回折光学面の性能の諸元を示す。

第１実施例

以下、本発明の第１実施例について図２～図４を用いて説明する。各実施例の光学系は、物体の像を観察するための接眼レンズとして用いられるものである。図２に示すように、第１実施例の光学系（接眼レンズ）ＥＬ１は、物体Ｏ側から順に並んだ、正の屈折力を有する第１レンズＬ１と、同じく正の屈折力を有する第２レンズＬ２とを有して構成され、第１レンズＬ１における物体Ｏ側と対向する面上に、密着複層型回折光学素子ＤＯＥが貼り付けられている。なお、上記図面では、射出瞳を符号Ｈで示している。物体Ｏは、例えば液晶表示装置であり、液晶表示装置に表示された画像を本実施例の光学系（接眼レンズ）ＥＬ１を用いて拡大観察することができる。なお、この光学系（接眼レンズ）ＥＬ１

の全画角は３５．４度である。

また、密着複層型回折光学素子ＤＯＥは、第１レンズＬ１に貼り付けられる側から順に、第１光学素子要素５１と、第２光学素子要素５２とを有して構成される。なお、第１レンズＬ１における物体Ｏ側と対向する面は僅かに曲率を持つ凹面であり、第１レンズＬ１における物体Ｏ側と反対側に位置する面（第２レンズＬ２と対向する面）は凸面である。また、第２レンズＬ２における第１レンズＬ１と対向する面は凸面であり、第２レンズＬ２における第１レンズＬ１と反対側に位置する面は凹面である。

なお、本実施例では、第１および第２レンズＬ１，Ｌ２の材質をともに日本ゼオン社製ＺＥＯＮＥＸ４８０Ｒとし、第１光学素子要素５１の材質を以下に説明する相対的に低屈折率高分散な紫外線硬化樹脂とし、第２光学素子要素５２を以下に説明する相対的に高屈折率低分散な紫外線硬化樹脂とした。

ここで、上記の相対的に低屈折率高分散な紫外線硬化樹脂について説明すると、この樹脂は、２，２，３，３，４，４，５，５－オクタフルオヘキサン－１，６－ジアクリルレートと、９，９－ビス［４－（２－アクリロイルオキシエトキシ）フェニル］フルオレンと、イルガキュア１８４を混合し、所定の操作を行って生成された紫外線硬化製組成物である。以下、便宜上、低屈樹脂Ｎｏ．１と称する。次に、相対的に高屈折率低分散な紫外線硬化樹脂について説明すると、この樹脂は、トリシクロデカンジメタノールジアクリレートと、ジ（２－メルカプトジエチル）スルフィドとを付加反応させた後に、イルガキュア１８４を添加して得られた紫外線硬化性組成物である。以下、便宜上、高屈樹脂Ｎｏ．１と称する。

下の表１に、第１実施例における各レンズの諸元を示す。表１における面番号１～８は図２における面１～８と対応する。なお、第１面は瞳面である。また、表１におけるｒはレンズ面の曲率半径（非球面の場合には基準球面の曲率半径）を、ｄはレンズ面の間隔を、ｎ（ｄ）はｄ線に対する屈折率を、ｎ（ｇ）はｇ線に対する屈折率を、ｎ（Ｃ）はＣ線に対する屈折率を、ｎ（Ｆ）はＦ線に対する屈折率をそれぞれ示している。なお、前述の条件式（１）～（１０）（条件式（３）を除く）に対応する値、すなわち条件対応値も以下に示している。ここで、以下の全ての諸元値において掲載されている曲率半径ｒ、面間隔ｄおよびその他の長さの単位は、特記のない場合、一般に「ｍｍ」が使われるが、光学径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」に限定されることなく、他の適当な単位を用いることもできる。以上の表の説明は、他の実施例に

おける表中においても同様である。

なお、表１において、非球面形状に形成されたレンズ面には、面番号の右に＊印を付している。本実施例では、面番号３および７に相当する面が非球面であり、面番号６に相当する面が回折光学面である。回折光学面は、超高屈折率法で標記されている。ｎ（ｄ）＝10001などの非常に大きい屈折率値と、非球面係数との組み合わせで回折光学面を表現している。

（表１）

面番号	r	d	n（d）	n（g）	n（C）	n（F）
1	0.00000	21.00000	1.000000			
2	−300.00000	4.00000	1.524700	1.536490	1.521960	1.531290
3*	−26.22573	0.20000	1.000000			
4	28.31486	4.00000	1.524700	1.536490	1.521960	1.531290
5	297.99863	0.20000	1.527600	1.547700	1.523300	1.538500
6*	297.99863	0.00000	10001	7418.6853	11170.4255	8274.7311
7*	297.99863	0.20000	1.556900	1.571100	1.553700	1.564800
8	297.99863	23.07811	1.000000			

（非球面データ）

面番号	κ	C_2	C_4	C_6	C_8
3	0.4700	0.00000	-8.00000×10^{-6}	1.38460×10^{-9}	2.00000×10^{-12}

C_{10}
0.00000

面番号	κ	C_2	C_4	C_6	C_8
7	1.0000	-1.90000×10^{-7}	3.00000×10^{-10}	0.00000	0.00000

C_{10}
0.00000

（条件対応値）

D＝0.2
f ＝25.812
f 1＝48.847
f 2＝54.496
Δνd＝15.46
Δnd＝0.0293
Eg＝98.221
EC＝98.233
Ed＝99.999
C＝24.19
h＝0.02
d＝0.2
p＝0.0238
φ＝10.000
R＝21.000
Δ＝0.1873
（1）D／f ＝0.00775
（2）D／（f 1×f 2）＝0.0000751
（4）Δνd／Δnd＝527.645
（5）（Eg＋EC）／2＝98.227
0．9×Ed＝89.999
（6）C／f ＝0.937
（7）h／d＝0.1
（8）p／f ＝0.000922
（9）φ×R／f^2＝0.3152
（10）Δ／f ＝0.00726

このように本実施例では、上記条件式（1）～（10）（条件式（3）を除く）が全て満たされていることが分かる。

図3は、第1実施例における諸収差図である。各収差図は、d線、g線、C線、および

Ｆ線についての結果を示しており、ＦＮＯはＦナンバーを、Ｙは像高を示している。球面収差図では最大口径に対応するＦナンバーの値を示し、非点収差図および歪曲収差図では像高の最大値をそれぞれ示し、コマ収差図では各像高の値を示す。また、非点収差図において、実線はサジタル像面を示し、破線はメリディオナル像面を示している。以上、収差図の説明は他の実施例においても同様である。各収差図から明らかであるように、本実施例では、ｄ線だけでなく、ｇ線、Ｃ線、およびＦ線についても、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分かる。

なお、図４に示す曲線ＡおよびＢは、ｄ線で回折効率が１００％となるように設定した回折効率の分布であり、曲線Ａは低屈樹脂Ｎｏ．１の表面にレリーフパターンが形成された単層の回折光学素子における回折効率、曲線Ｂは低屈樹脂Ｎｏ．１と高屈樹脂Ｎｏ．１とからなる密着複層型回折光学素子における回折効率を示している。本実施例において、ｇ線からＣ線までの波長領域で０．９５（９５％）以上の高い回折効率（光強度）を得ることができた。

第２実施例

以下、本発明の第２実施例について図５～図６を用いて説明する。図５に示すように、第２実施例の光学系（接眼レンズ）ＥＬ２は、物体Ｏ側から順に並んだ、負の屈折力を有する第１レンズＬ１と、正の屈折力を有する第２レンズＬ２とを有して構成され、第１レンズＬ１における物体Ｏ側と対向する面上に、密着複層型回折光学素子ＤＯＥが貼り付けられている。なお、上記図面では、射出瞳を符号Ｈで示している。この光学系（接眼レンズ）ＥＬ２の全画角は２４．３度である。

図５からわかるように、第２実施例の光学系（接眼レンズ）ＥＬ２は、第１実施例の光学系ＥＬ１と同様の構成であり、各部に第１実施例の場合と同一の符号を付して詳細な説明を省略する。ただし、第１レンズＬ１が負の屈折力を有する点で第１実施例と異なっている。また、第２レンズＬ２における第１レンズＬ１と反対側に位置する面が凹面である点で第１実施例と異なっている。

下の表２に、第２実施例における各レンズの諸元を示す。表２における面番号１～８は図５における面１～８と対応する。また、表２において、非球面形状に形成されたレンズ面には、面番号の右に＊印を付している。本実施例では、面番号３および４並びに７に相当する面が非球面であり、面番号６に相当する面が回折光学面である。なお、回折光学面

は、第１実施例と同様に、超高屈折率法で表記している。

（表２）

面番号	r	d	n（d）	n（g）	n（C）	n（F）
1	0.00000	21.00000	1.000000			
2	34.04256	4.60000	1.524700	1.536490	1.521960	1.531290
3*	−19.63227	0.10000	1.000000			
4*	140.45480	2.50000	1.517420	1.529800	1.514440	1.524310
5	49.47642	0.20000	1.527600	1.547700	1.523300	1.538500
6*	49.47642	0.00000	10001	7418.6853	11170.4255	8274.7311
7*	49.47642	0.20000	1.556900	1.571100	1.553700	1.564800
8	49.47642	22.76128	1.000000			

（非球面データ）

面番号	κ	C_2	C_4	C_6	C_8
3	−1.7871	0.00000	1.78450×10^{-4}	-1.65830×10^{-6}	7.11790×10^{-9}

C_{10}
-6.18770×10^{-12}

面番号	κ	C_2	C_4	C_6	C_8
4	−6.5471	0.00000	1.86590×10^{-4}	-1.49880×10^{-6}	6.23320×10^{-9}

C_{10}
-2.70900×10^{-12}

面番号	κ	C_2	C_4	C_6	C_8
7	1.0000	-1.50000×10^{-7}	7.68750×10^{-11}	-1.03410×10^{-11}	1.78730×10^{-13}

C_{10}
-9.74580×10^{-16}

（条件対応値）

D＝0.1

f ＝26.335

f 1 =−269.234

f 2 =24.452

Δνd=15.46

Δnd=0.0293

Eg=98.221

EC=98.233

Ed=99.999

C=18.71

h=0.02

d=0.2

p=0.0305

φ=10.000

R=21.000

Δ=0.1124

（1）D／f=0.00380

（3）D／（f 1×f 2）=−0.00001519

（4）Δνd／Δnd=527.645

（5）（Eg+EC）／2=98.227

0．9×Ed=89.999

（6）C／f=0.711

（7）h／d=0.1

（8）p／f=0.00116

（9）φ×R／f^2=0.3028

（10）Δ／f=0.00427

このように本実施例では、上記条件式（1）～（10）（条件式（2）を除く）が全て満たされていることが分かる。

図6は、第2実施例における諸収差図である。各収差図から明らかであるように、本実施例では、d線だけでなく、g線、C線、およびF線についても、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分かる。

第３実施例

以下、本発明の第３実施例について図７～図８を用いて説明する。図７に示すように、第３実施例の光学系（接眼レンズ）ＥＬ３は、物体O側から順に並んだ、正の屈折力を有する第１レンズＬ１１と、同じく正の屈折力を有する第２レンズＬ１２とを有して構成され、第２レンズＬ１２における第１レンズＬ１１と対向する面上に、密着複層型回折光学素子ＤＯＥが貼り付けられている。なお、上記図面では、射出瞳を符号Ｈで示している。この光学系（接眼レンズ）ＥＬ３の全画角は４０．０度である。

また、密着複層型回折光学素子ＤＯＥは、第２レンズＬ１２に貼り付けられる側から順に、第１光学素子要素５１と、第２光学素子要素５２とを有して構成される。なお、第１レンズＬ１１における物体O側と対向する面は平面であり、第１レンズＬ１１における物体O側と反対側に位置する面（第２レンズＬ１２と対向する面）は凸面である。また、第２レンズＬ１２における第１レンズＬ１１と対向する面は凸面であり、第２レンズＬ１２における第１レンズＬ１１と反対側に位置する面は平面である。

なお、本実施例では、第１および第２レンズＬ１１，Ｌ１２の材質をともにアクリル樹脂とし、第１光学素子要素５１の材質を（前述の第１実施例と同様の）相対的に高屈折率低分散な紫外線硬化樹脂とし、第２光学素子要素５２を（前述の第１実施例と同様の）相対的に低屈折率高分散な紫外線硬化樹脂とした。

下の表３に、第３実施例における各レンズの諸元を示す。表３における面番号１～８は図７における面１１～１８と対応する。また、表３において、非球面形状に形成されたレンズ面には、面番号の右に＊印を付している。本実施例では、面番号５に相当する面が非球面であり、面番号４に相当する面が回折光学面である。なお、回折光学面は、第１実施例と同様に、超高屈折率法で表記している。

（表３）

面番号	r	d	n（d）	n（g）	n（C）	n（F）
1	0.00000	5.00000	1.000000			
2	0.00000	2.00000	1.491080	1.501900	1.488540	1.497070
3	−8.20000	0.20000	1.556900	1.571100	1.553700	1.564800
4*	−8.20000	0.00000	10001	7418.6853	11170.4255	8274.7311

5*	−8.20000	0.20000	1.527600	1.547700	1.523300	1.538500
6	−8.20000	13.00000	1.000000			
7	8.20000	3.00000	1.491080	1.501900	1.488540	1.497070
8	0.00000	0.20254	1.000000			

(非球面データ)

面番号	κ	C_2	C_4	C_6	C_8
5	1.0000	-2.20000×10^{-7}	-2.00000×10^{-9}	0.00000	0.00000

C_{10}
0.00000

(条件対応値)

D=13

f =13.47645

f 1=15.537

f 2=16.698

$\Delta\nu$ d=15.46

Δn d=0.0293

E g=98.221

E C=98.233

E d=99.999

C=6.38

h=0.02

d=0.2

p=0.01203

ϕ=10.000

R=21.000

Δ=0.0488

(1) D/f =0.9646

(2) D/(f 1×f 2) =0.0501

（4）$\Delta\nu d/\Delta n d=527.645$

（5）$(Eg+EC)/2=98.227$

$0.9\times Ed=89.999$

（6）$C/f=0.4734$

（7）$h/d=0.1$

（8）$p/f=0.000893$

（9）$\phi\times R/f^2=1.1563$

（10）$\Delta/f=0.00362$

このように本実施例では、上記条件式（1）～（10）（条件式（3）を除く）が全て満たされていることが分かる。

図8は、第3実施例における諸収差図である。各収差図から明らかであるように、本実施例では、前述の第1および第2実施例ほどではないが、d線だけでなく、g線、C線、およびF線についても、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分かる。なお、各実施例において、本発明の発明者がD／f≒0．003となる条件で光学系の設計を試みたが、従来と比較して諸収差の大きな改善は見られなかった。

以上のような本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲であれば適宜改良可能である。また、上述の各実施例では、接眼レンズとして用いられる光学系の例について説明しているが、これに限られるものではなく、本実施形態の光学系は、投写光学系等に用いることも可能である。なお、接眼レンズの場合、第1および第2実施例のように、物体側のレンズに密着複層型回折光学素子を設けることがより好ましい。なぜなら、レリーフパターンが形成された光学面に対して主光線が略垂直に入射するため、フレアがより少なくなるからである。

請　求　の　範　囲

1．物体側から順に並んだ、第１レンズと、正の屈折力を有する第２レンズとを有して構成され、

レリーフパターンが形成された第１光学素子要素と、前記第１光学素子要素において前記レリーフパターンが形成される面上に密着接合された第２光学素子要素とを有する密着複層型回折光学素子が、前記第１レンズおよび前記第２レンズにおけるいずれかの光学面上に設けられていることを特徴とする光学系。

2．前記第１光学素子要素と前記第２光学素子要素とのｄ線での屈折率の差が０．４５以下であり、

前記第１レンズと前記第２レンズとの間の光軸上の空気間隔をＤとし、光学系全体の焦点距離をｆとしたとき、次式

０．００２＜Ｄ／ｆ＜２．０

の条件を満たすことを特徴とする請求項１に記載の光学系。

3．前記第１レンズの焦点距離をｆ１とし、前記第２レンズの焦点距離をｆ２としたとき、ｆ１＞０かつｆ２＞０の場合、次式

０＜Ｄ／（ｆ１×ｆ２）＜０．１５

の条件を満たすことを特徴とする請求項２に記載の光学系。

4．前記第１レンズの焦点距離をｆ１とし、前記第２レンズの焦点距離をｆ２としたとき、ｆ１＜０かつｆ２＞０かつ｜ｆ１｜＞｜ｆ２｜の場合、次式

－０．１＜Ｄ／（ｆ１×ｆ２）＜０

の条件を満たすことを特徴とする請求項２に記載の光学系。

5．前記第１レンズおよび前記第２レンズにおける少なくとも一つの光学面が非球面であることを特徴とする請求項１から請求項４のうちいずれか一項に記載の光学系。

6．前記第１レンズにおける物体側と対向する面上に、前記密着複層型回折光学素子が設

けられていることを特徴とする請求項１から請求項５のうちいずれか一項に記載の光学系。

７．相対的に高屈折率低分散の材料および低屈折率高分散の材料のうち一方を用いて前記第１光学素子要素が形成されるとともに、他方を用いて前記第２光学素子要素が形成され、

前記第１光学素子要素と前記第２光学素子要素とのアッベ数の差を $\Delta\nu d$ とし、前記第１光学素子要素と前記第２光学素子要素とのｄ線での屈折率の差を Δnd としたとき、次式

$$50 < \Delta\nu d / \Delta nd < 2000$$

の条件を満たすことを特徴とする請求項１から請求項６のうちいずれか一項に記載の光学系。

８．前記密着複層型回折光学素子のｄ線での回折効率をＥｄとし、前記密着複層型回折光学素子のｇ線での回折効率をＥｇとし、前記密着複層型回折光学素子のＣ線での回折効率をＥＣとしたとき、次式

$$(Eg + EC) / 2 > 0.9 \times Ed$$

の条件を満たすことを特徴とする請求項１から請求項７のうちいずれか一項に記載の光学系。

９．前記レリーフパターンの最小ピッチをｐとし、光学系全体の焦点距離をｆとしたとき、次式

$$0.0001 < p / f < 0.003$$

の条件を満たすことを特徴とする請求項１から請求項８のうちいずれか一項に記載の光学系。

１０．前記光学系全体の焦点距離をｆとし、瞳径を ϕ とし、アイレリーフをＲとしたとき、次式

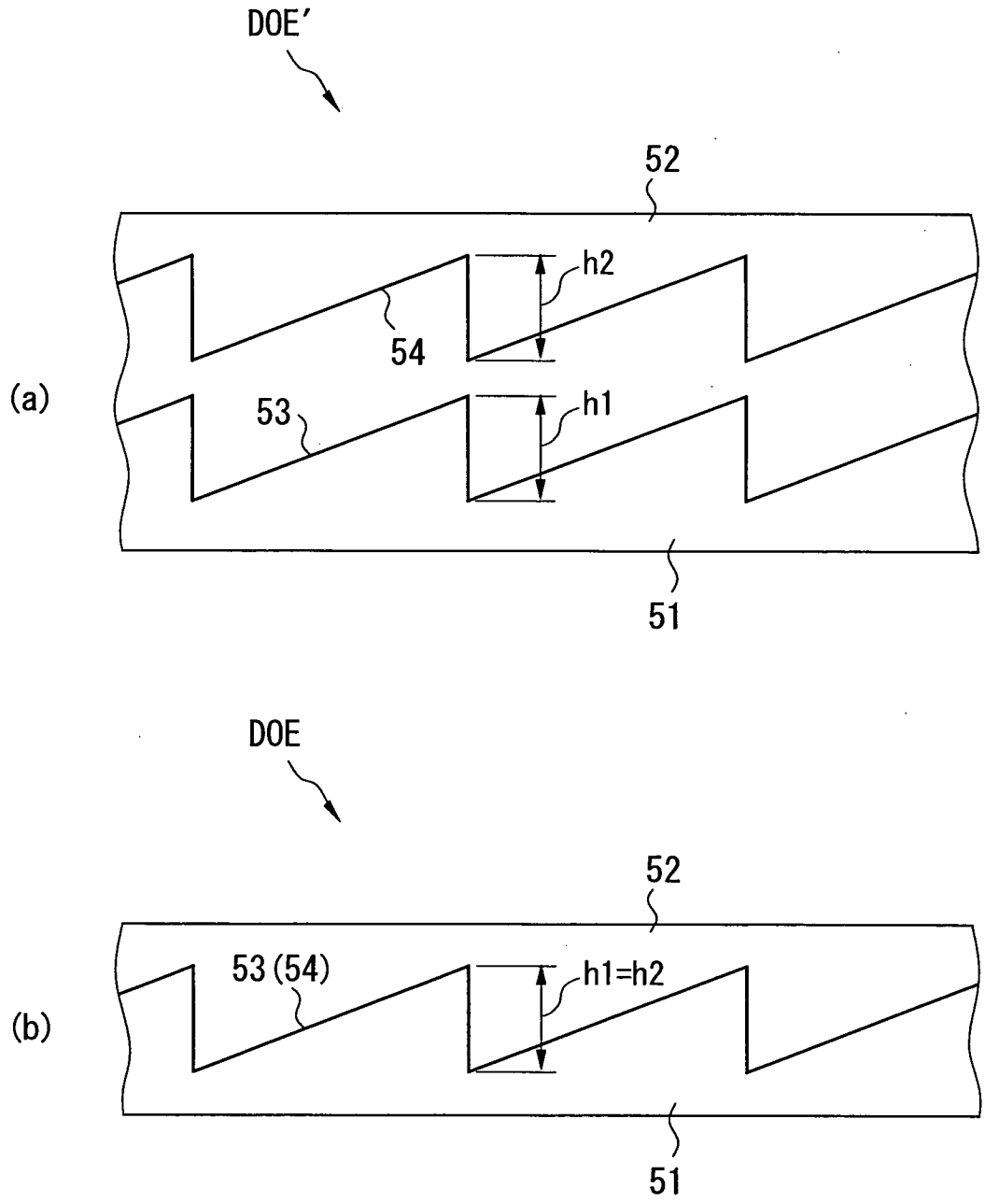
$$0.1 < \phi \times R / f^2 < 2.0$$

の条件を満たすことを特徴とする請求項１から請求項９のうちいずれか一項に記載の光

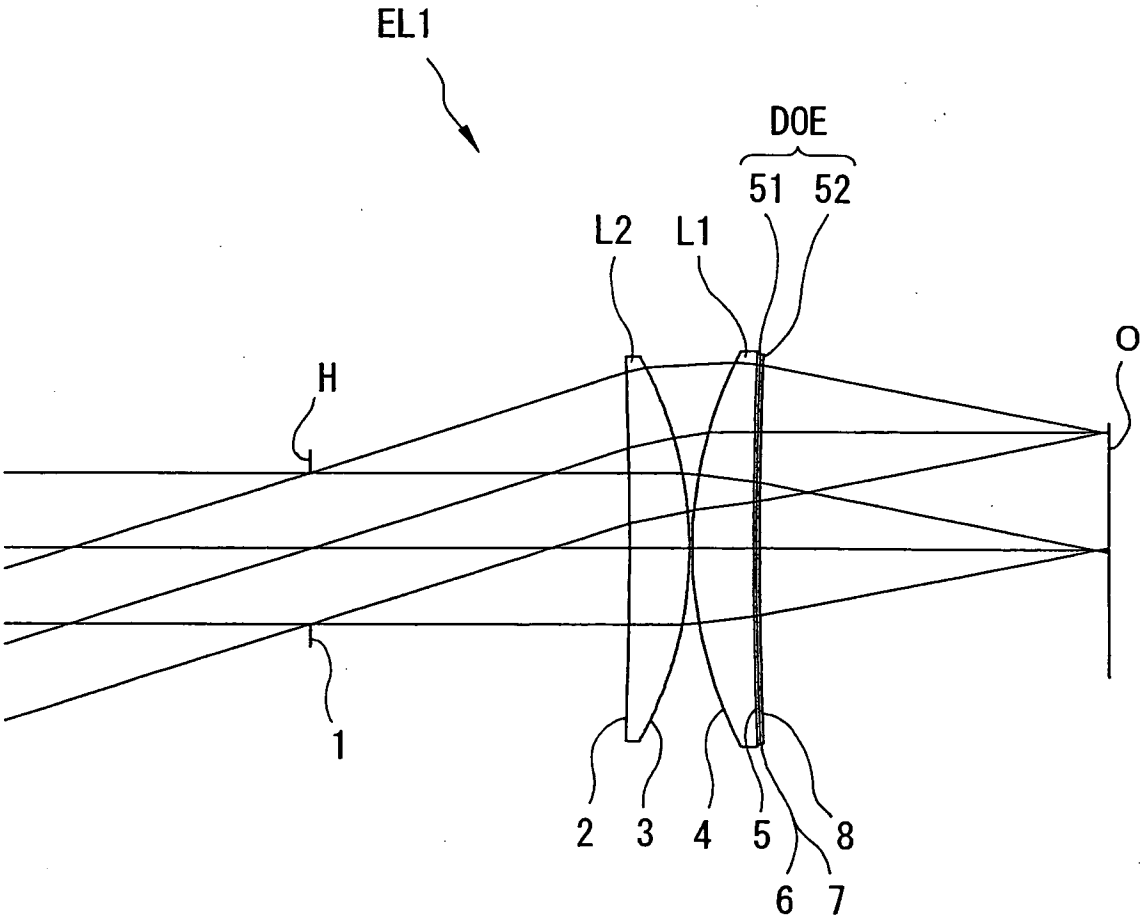
学系。

１１．物体の像を観察するための接眼レンズであって、請求項１から請求項１０のうちいずれか一項に記載の光学系を有して構成されることを特徴とする接眼レンズ。

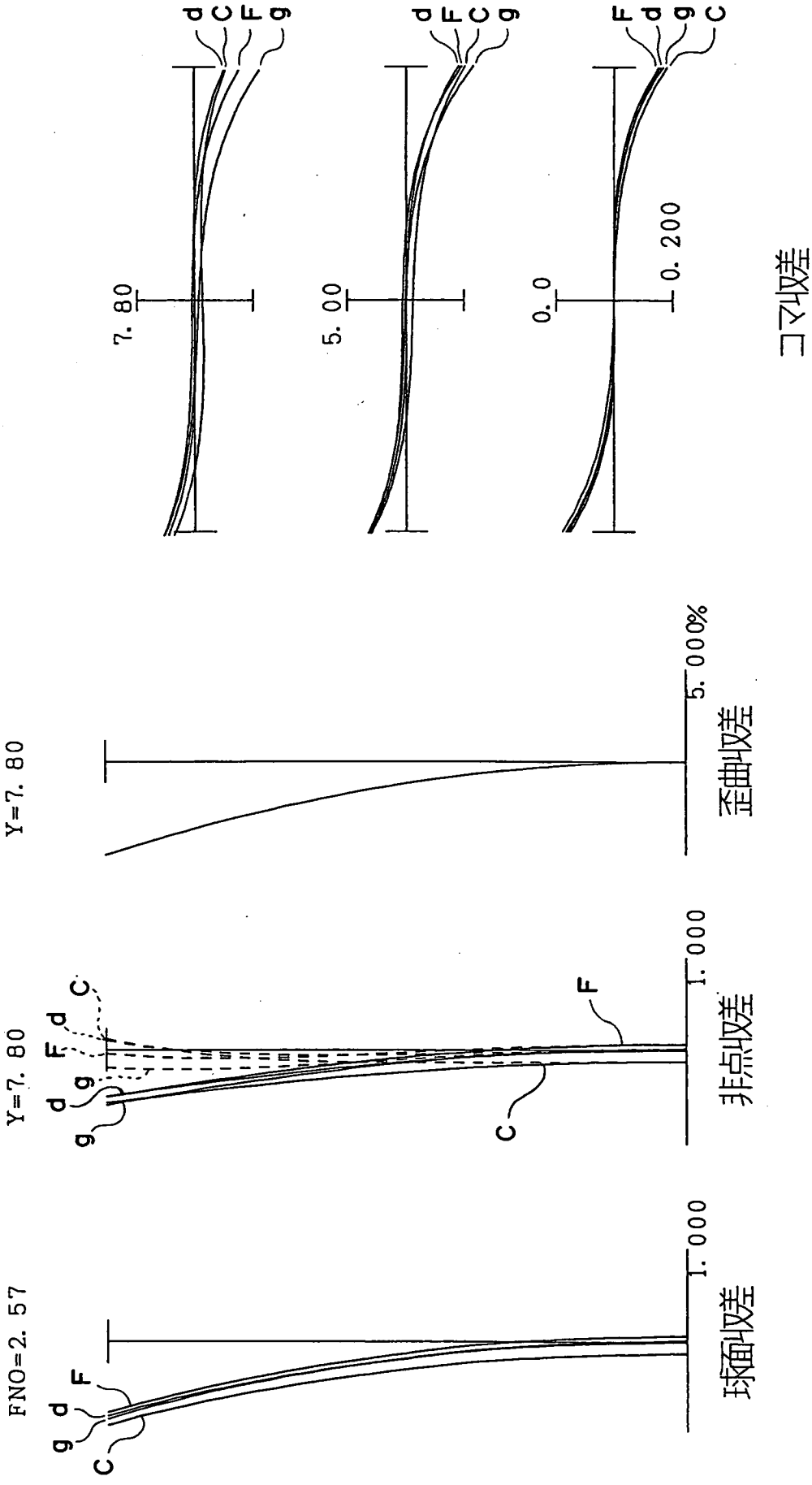
第 1 図



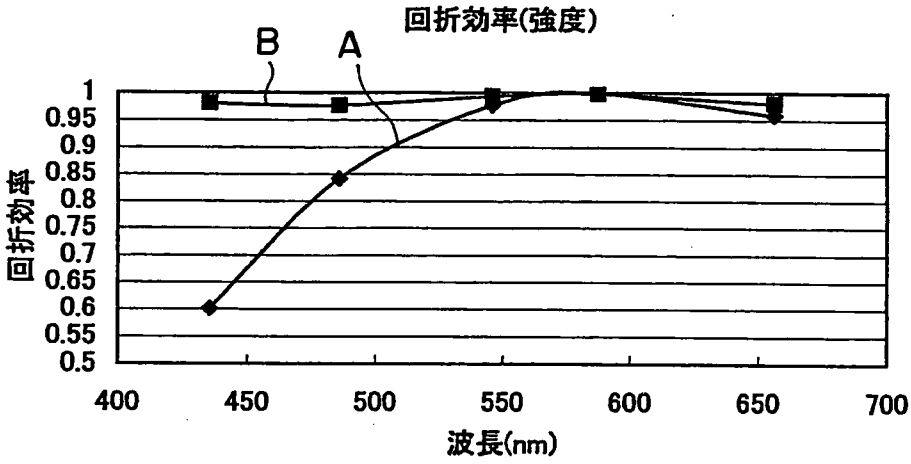
第 2 図



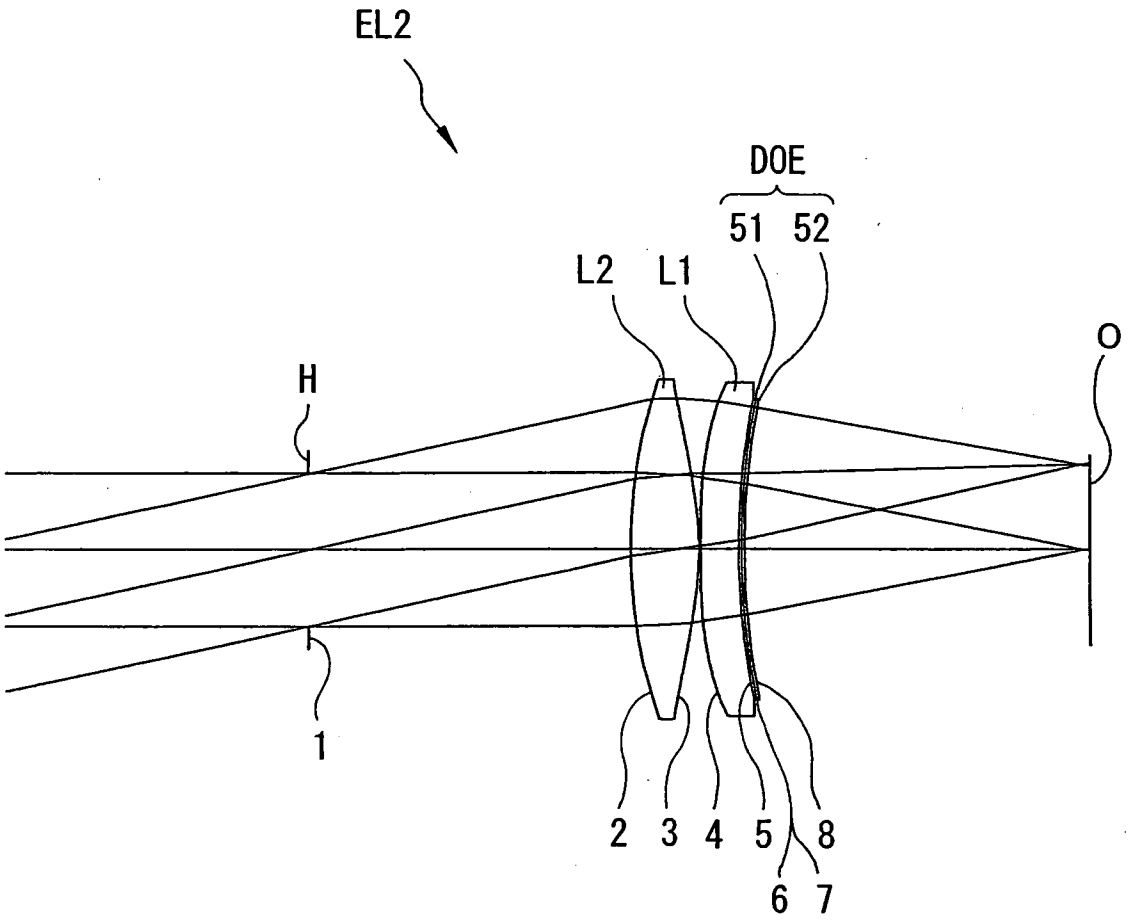
第３図


FNO=2.57
Y=7.80
Y=7.80
Y=7.80
1.000
1.000
5.000%
0.200
球面収差
非点収差
歪曲収差
コマ収差
C
d
F
g

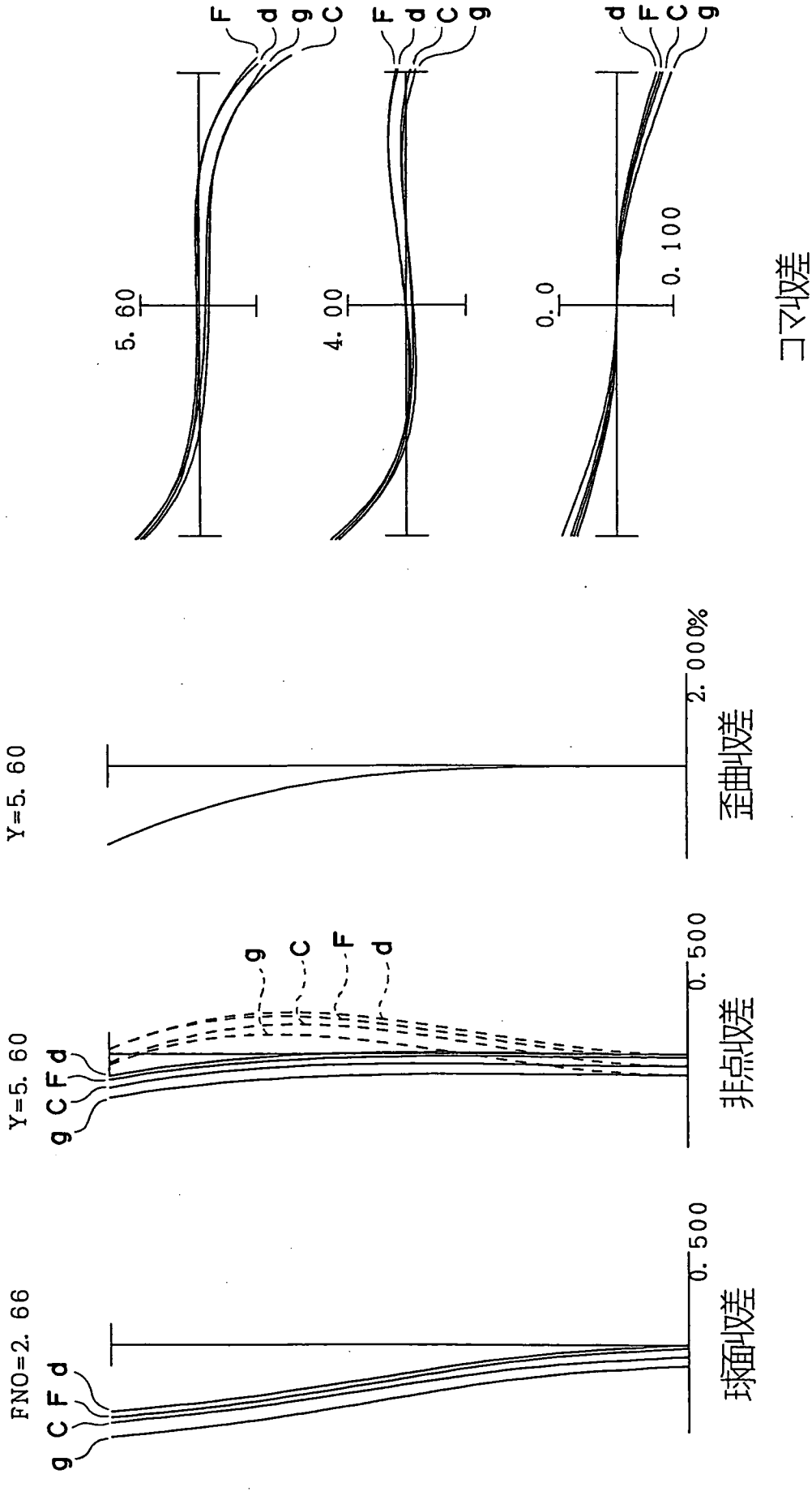
第 4 図


回折効率(強度)
B
A
回折効率
1
0.95
0.9
0.85
0.8
0.75
0.7
0.65
0.6
0.55
0.5
400
450
500
550
600
650
700
波長(nm)

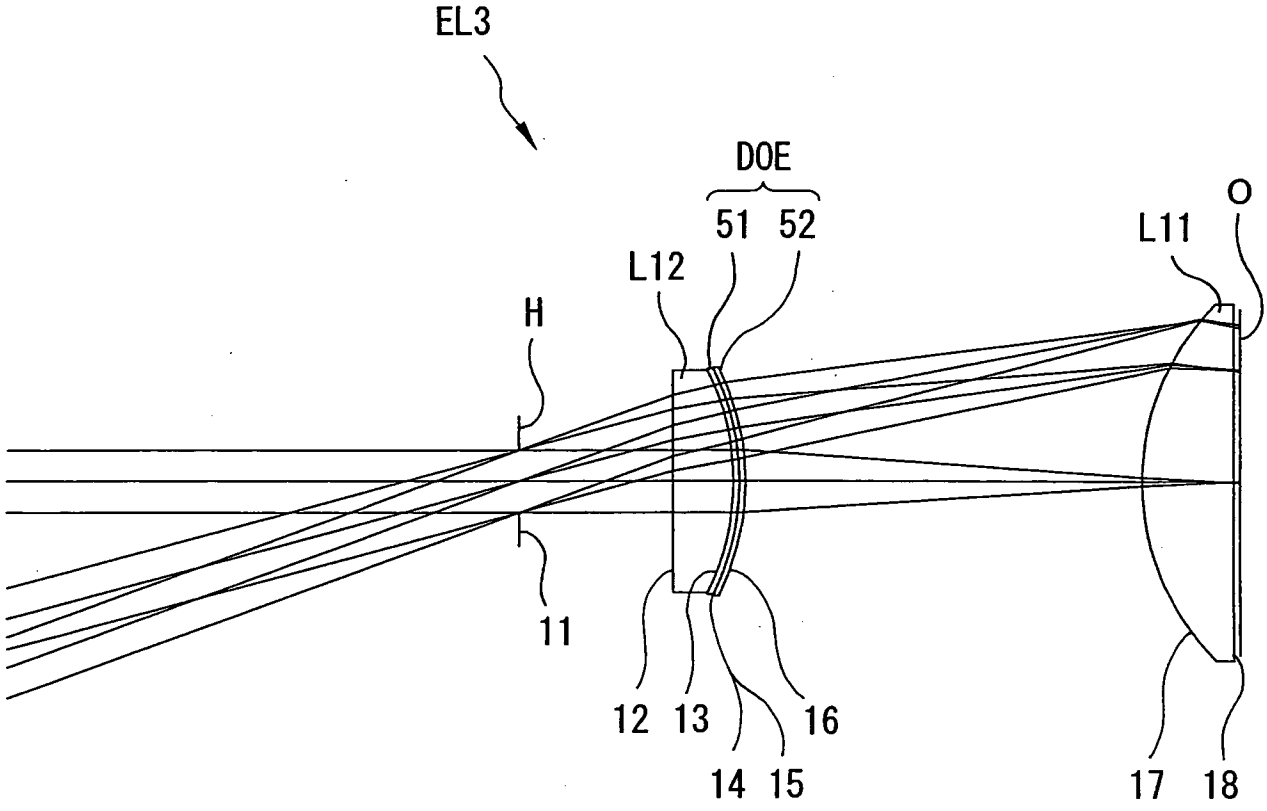
第 5 図



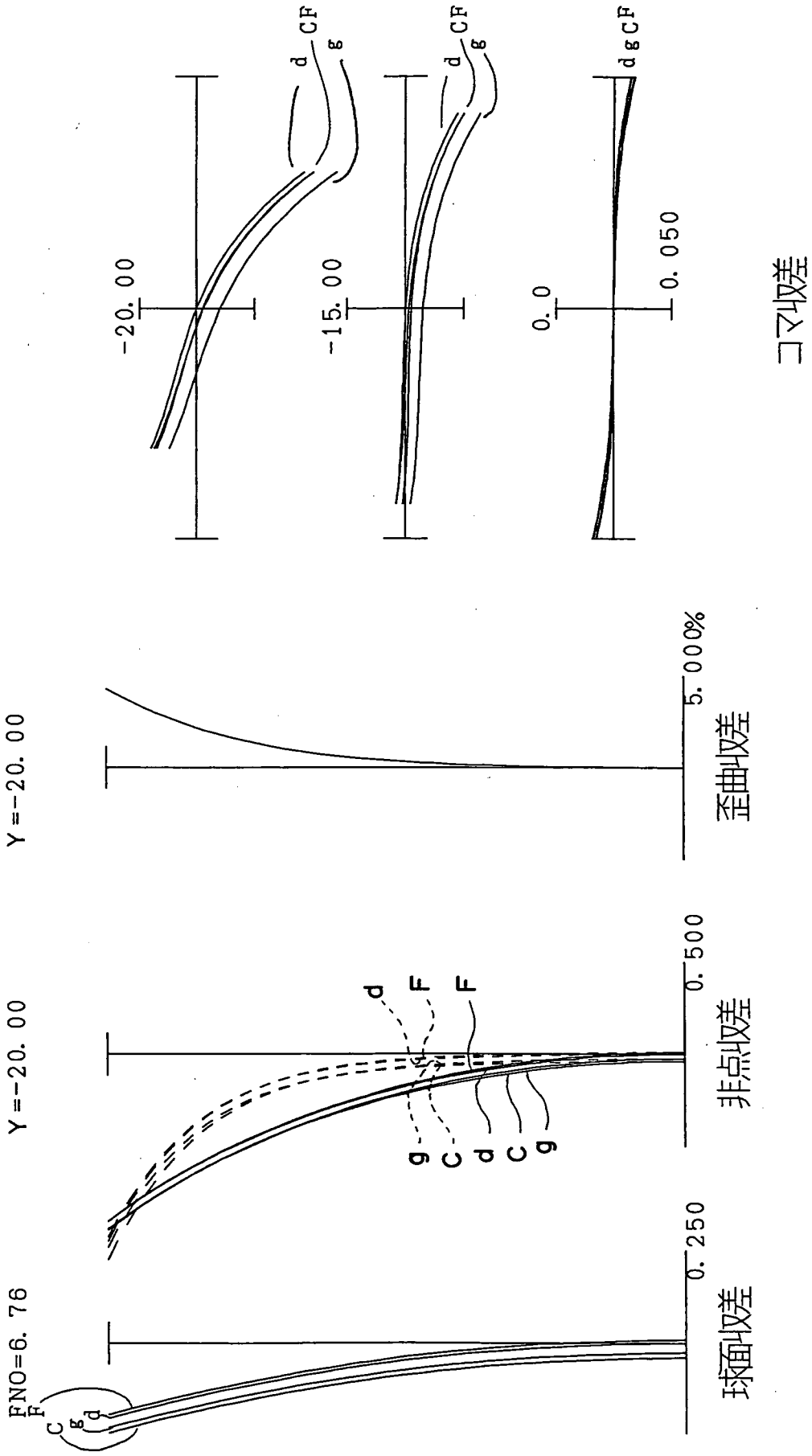
第６図


FNO=2. 66
g C F d
球面収差
0. 500
Y=5. 60
g C F d
非点収差
0. 500
Y=5. 60
歪曲収差
2. 000%
5. 60
4. 00
0. 0
0. 100
F d g C
F d C g
d F C g
コマ収差

第 7 図



第８図


FNO=6.76
Y=-20.00
Y=-20.00
F
C
g
d
球面収差
0.250
d
F
F
g
C
d
C
g
非点収差
0.500
歪曲収差
5.000%
-20.00
d
CF
g
-15.00
d
CF
g
0.0
0.050
d
g
CF
コマ収差

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2007/064293

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G02B25/00(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)
G02B25/00, 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 1996-2007
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2007 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2007

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 2001-21817 A (Fuji Photo Optical Co., Ltd.), 26 January, 2001 (26.01.01), Par. Nos. [0016] to [0027]; Fig. 1 & US 6469836 B1	1-11
Y	JP 2004-126393 A (Nikon Corp.), 22 April, 2004 (22.04.04), Par. Nos. [0016], [0027] to [0030]; Fig. 1 (Family: none)	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	Date of mailing of the international search report
11 October, 2007 (11.10.07)	23 October, 2007 (23.10.07)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２００７／０６４２９３

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G02B25/00(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（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G02B25/00，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	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２００７年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２００７年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２００７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	関連する請求の範囲の番号
Ｙ	ＪＰ ２００１－２１８１７　Ａ（富士写真光機株式会社）２００１．０１．２６，【００１６】－【００２７】，【図１】，＆ ＵＳ ６４６９８３６ Ｂ１	１－１１
Ｙ	ＪＰ２００４－１２６３９３　Ａ（株式会社ニコン）２００４．０４．２２，【００１６】，【００２７】－【００３０】，【図１】，（ファミリーなし）	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	国際調査報告の発送日
１１．１０．２００７	２３．１０．２００７

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　２Ｖ　９１２０
瀬川　勝久
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２７１