

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5206085号  
(P5206085)

(45) 発行日 平成25年6月12日(2013.6.12)

(24) 登録日 平成25年3月1日(2013.3.1)

(51) Int.Cl.

F 1

G02B 21/02 (2006.01)  
G02B 13/18 (2006.01)G02B 21/02  
G02B 13/18

A

請求項の数 4 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2008-103139 (P2008-103139)  
 (22) 出願日 平成20年4月11日 (2008.4.11)  
 (65) 公開番号 特開2009-251554 (P2009-251554A)  
 (43) 公開日 平成21年10月29日 (2009.10.29)  
 審査請求日 平成23年4月1日 (2011.4.1)

(73) 特許権者 000004112  
 株式会社ニコン  
 東京都千代田区有楽町1丁目12番1号  
 (74) 代理人 100140800  
 弁理士 保坂 丈世  
 (72) 発明者 渡士 妙子  
 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内  
 (72) 発明者 宮川 晶子  
 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

審査官 原田 英信

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】顕微鏡対物レンズ

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群と、第2レンズ群と、負の屈折力を有する第3レンズ群とを有し、

前記第1レンズ群は、最も物体側に位置し負の屈折力を有するレンズ面を含む正レンズ成分と、少なくとも1つ以上の、合成で正の屈折力を有する接合レンズ成分とを有し、

前記第2レンズ群は、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と、少なくとも1つ以上の接合レンズ成分とを有し、

前記第3レンズ群は、少なくとも1つ以上の色補正レンズ成分を有し、且つ、当該第3レンズ群の最も像側のレンズ面が、像側に凹面を向けて配置されており、

前記第1レンズ群に設けられた前記正レンズ成分の前記負の屈折力を有するレンズ面の曲率半径をrとし、当該負の屈折力を有するレンズ面の物体側の媒質のd線に対する屈折率をn1、像側の媒質のd線に対する屈折率をn2とし、前記負の屈折力を有するレンズ面の頂点から物体までの光路長をdRとしたとき、次式

$$| (n_2 - n_1) / (r \cdot dR) | = 0.5$$

の条件を満足し、

全系の焦点距離をfとし、前記回折光学面を通る最大画角に対応する光束の主光線の光軸からの高さをhとしたとき、次式

$$0.1 \leq |h/f| \leq 0.5$$

10

20

の条件を満足し、

全系の焦点距離を  $f$  とし、前記第 1 レンズ群と前記第 2 レンズ群との合成焦点距離を  $f_{12}$  としたとき、次式

$$1.5 \quad |f_{12}/f| \quad 2.5$$

の条件を満足し、

全系の焦点距離を  $f$  とし、前記第 3 レンズ群の焦点距離を  $f_3$  としたとき、次式

$$1.0 \quad |f_3/f| \quad 2.0$$

の条件を満足するように構成された顕微鏡対物レンズ。

【請求項 2】

全系の焦点距離を  $f$  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

$$3.0 \quad |f_2/f|$$

の条件を満足する請求項 1 に記載の顕微鏡対物レンズ。

【請求項 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、当該回折光学面の有効半径を  $H$  としたとき、次式

$$2 \quad N/H \quad 1.0$$

の条件を満足する請求項 1 又は 2 に記載の顕微鏡対物レンズ。

【請求項 4】

前記回折光学素子中の前記 2 つの回折素子要素のうち、屈折率が低くアッペ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、屈折率が高くアッペ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

$$n_{d1} \quad 1.54$$

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

$$1.55 \quad n_{d2}$$

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

の条件を満足する請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の顕微鏡対物レンズ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、顕微鏡対物レンズに関する。

【背景技術】

【0002】

従来の顕微鏡対物レンズは、諸収差の中でも色収差を良好に補正するために多数の接合レンズを必要とし、また、異常分散ガラスを用いる必要があったため、高価にならざるを得なかった。近年、高倍率・高開口数で、接合レンズや異常分散ガラスを多用することなく諸収差、特に色収差を補正できる回折光学素子 (DOE) を用いたレンズ系が提案されている（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、このような回折光学素子を用いたレンズ系では、回折光学素子で色収差を補正できても、高倍率・高開口数では高画角でのコマ収差の補正が困難となり、視野周辺部での像性能が低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、十分な色収差の補正がされ、且つ、十分な視野範囲で、諸収差が良好に補正された顕微鏡対物レンズを提供することを目的とする。

10

20

30

40

50

## 【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、本発明に係る顕微鏡対物レンズは、物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群と、第2レンズ群と、負の屈折力を有する第3レンズ群とを有し、第1レンズ群は、最も物体側に位置し負の屈折力を有するレンズ面を含む正レンズ成分と、少なくとも1つ以上の、合成で正の屈折力を有する接合レンズ成分とを有し、第2レンズ群は、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と、少なくとも1つ以上の接合レンズ成分とを有し、第3レンズ群は、少なくとも1つ以上の色補正レンズ成分を有し、且つ、当該第3レンズ群の最も像側のレンズ面が、像側に凹面を向けて配置されて構成されている。そして、第1レンズ群に設けられた正レンズ成分の負の屈折力を有するレンズ面の曲率半径を $r$ とし、当該負の屈折力を有するレンズ面の物体側の媒質のd線に対する屈折率を $n_1$ 、像側の媒質のd線に対する屈折率を $n_2$ とし、負の屈折力を有するレンズ面の頂点から物体までの光路長を $dR$ としたとき、次式

$$|(n_2 - n_1) / (r \cdot dR)| = 0.5$$

の条件を満足し、全系の焦点距離を $f$ とし、回折光学面を通る最大画角に対応する光束の主光線の光軸からの高さを $h$ としたとき、次式

$$0.1 < |h/f| < 1$$

の条件を満足するように構成される。但し、軸外物点から発する光束の主光線は、軸外物点から射出される光束の中、最も光軸から離れた方向に射出される光線を、軸上物点から射出される最大開口数( $NA$ )の光線と第1レンズ群内の適宜の面との交点で制限し、最も光軸に近い方向に射出される光線を、軸上物点から射出される最大開口数の光線と第3レンズ群内の適宜の面との交点で制限したとき、当該軸外光束の中心光線とする。

## 【0006】

また、このような顕微鏡対物レンズは、全系の焦点距離を $f$ とし、第1レンズ群と第2レンズ群との合成焦点距離を $f_{12}$ としたとき、次式

$$1.5 < |f_{12}/f| < 2.5$$

の条件を満足し、全系の焦点距離を $f$ とし、第3レンズ群の焦点距離を $f_3$ としたとき、次式

$$1.0 < |f_3/f| < 2.0$$

の条件を満足するように構成される。

## 【0007】

また、このような顕微鏡対物レンズは、全系の焦点距離を $f$ とし、第2レンズ群の焦点距離を $f_2$ としたとき、次式

$$3.0 < |f_2/f| < 1$$

の条件を満足することが好ましい。

## 【0008】

また、このような顕微鏡対物レンズは、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、当該回折光学面の有効半径を $H$ としたとき、次式

$$2 < N/H < 10$$

の条件を満足することが好ましい。但し、有効半径 $H$ は、軸上物点から射出される最大開口数の光線及び、軸外物点から射出される光束の中、最も光軸から離れた方向に射出される光線を、軸上物点から射出される最大開口数の光線と第1レンズ群内の適宜の面との交点で制限し、最も光軸に近い方向に射出される光線を、軸上物点から射出される最大開口数の光線と第3レンズ群内の適宜の面との交点で制限したときに決まる当該光束の最外側の光線で決定される。

## 【0009】

さらに、このような顕微鏡対物レンズは、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

10

20

30

40

50

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

$$\begin{array}{ll} n_{d1} & 1.54 \\ 0.0145 & n_{F1} - n_{C1} \\ 1.55 & n_{d2} \\ n_{F2} - n_{C2} & 0.013 \end{array}$$

の条件を満足することが好ましい。

【発明の効果】

【0010】

本発明に係る顕微鏡対物レンズを以上のように構成すると、十分な色収差の補正がされ、且つ、視野が十分な範囲での諸収差が良好に補正された顕微鏡対物レンズを提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

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、本実施の形態に係る顕微鏡対物レンズの構成について説明する。この顕微鏡対物レンズOLは、物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2と、負の屈折力を有する第3レンズ群G3とを有して構成される。

【0012】

このような顕微鏡対物レンズOLにおいて、第1レンズ群G1は、物体からの発散光束を平行光束へと近づけるためのレンズ群であり、そのため、負の屈折力を有するレンズ面を含む正レンズ成分（例えば、図1における正メニスカスレンズL1）と、正レンズと負レンズとを接合してなる少なくとも1つ以上の色消しレンズ成分（図1における接合レンズCL11）とを有して構成される。なお、正レンズ成分は、単レンズで構成しても良いし、接合レンズで構成しても良い。ここで、正レンズ成分に含まれる負の屈折力を有するレンズ面（例えば、図1における第1面）の曲率半径を  $r$  とし、当該レンズ面の物体側のd線に対する屈折率を  $n_1$  、像側のd線に対する屈折率を  $n_2$  とし、物体から最も物体側にあるレンズ面（すなわち、図1における第1面）の頂点までの光路長を  $d_R$  としたとき、次の条件式（1）を満足する。

【0013】

$$|(n_2 - n_1) / (r \cdot d_R)| \quad 0.5 \quad (1)$$

【0014】

この条件式（1）は、第1レンズ群G1に設けられた上述の正レンズ成分に含まれる前記負の屈折力を有するレンズ面の屈折力を規定するものであり、この条件式（1）の上限値を上回ると、ペツツバール和の補正が困難となり、高画角までの像面平坦性を確保することが困難になる。さらに好ましくは、条件式（1）の上限値を0.4とすれば、ペツツバール和の補正はより良好とできる。

【0015】

また、第2レンズ群G2は、第1レンズ群G1から出射した略平行光束を受けて、球面収差や色収差を補正するためのレンズ群であり、特に色収差を補正するために、回折光学素子GDが設けられている。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ペ数 = -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。光学ガラスのアッペ数は、通常30~80程度であるが、回折光学素子のアッペ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（回折光学素子）とは逆で光の波長が短

10

20

30

40

50

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 G D 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。

【 0 0 1 6 】

本実施の形態における回折光学素子 G D 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 L 6 , L 7 ）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 を構成している、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 線から C 線を含む広波長域において回折効率を高くすることができます。したがって、本実施の形態に係る顕微鏡対物レンズ O L 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（=  $I_1 / I_0 \times 100$  [%] ）を示す。

【 0 0 1 7 】

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、また光線の入射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顕微鏡対物レンズ O L では、製造が容易となり、また回折効率も良くなる。

【 0 0 1 8 】

ここで、この顕微鏡対物レンズ O L の全系の焦点距離を f とし、回折光学面 D を通る最大画角に対応する光束の主光線の光軸からの高さを h としたとき、この回折光学素子 G D は、次の条件式（2）を満足する位置に配置される。

【 0 0 1 9 】

$$0.1 \leq |h/f| \quad (2)$$

【 0 0 2 0 】

但し、この図 1 の顕微鏡対物レンズ O L において、軸外物点から発する光束の主光線を、軸外物点から射出される光束の中、最も光軸から離れた方向に射出される光線を、軸上物点から射出される最大開口数の光線と第 1 レンズ群 G 1 内のレンズ L 2 の像側の面との交点で制限し、最も光軸に近い方向に射出される光線を、軸上物点から射出される最大開口数の光線と第 3 レンズ群 G 3 内のレンズ L 1 1 の物体側の面との交点で制限し、軸外光束を決め、当該軸外光束の中心光線として決めている。

【 0 0 2 1 】

回折光学素子 G D を、この条件式（2）を満足する位置に配置することにより、この回折光学素子 G D の色収差補正能力を、軸上色収差の補正だけでなく倍率色収差の補正にも効果を持たせることができる。なお、この回折光学素子 G D 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 2 レンズ群 G 2 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 2 レンズ群 G 2 には、正レンズと負レンズとを接合してなる色消しレンズ成分（図 1 における接合レンズ成分 C L 2 1 ）を少なくとも 1 つ以上設けることが必要である。

【 0 0 2 2 】

第 3 レンズ群 G 3 は、第 2 レンズ群 G 2 を出射した収斂光束を略平行光束にするレンズ群である。この第 3 レンズ群 G 3 は、負の屈折力を有する色補正レンズ成分（図 1 における両凸レンズ L 1 1 及び両凹レンズ L 1 2 からなる接合レンズ成分 C L 3 1 ）を少なくとも 1 つ有して構成されている。さらに、この第 3 レンズ群 G 3 の最も像側に配置されるレンズの像側の面は、像側に凹形状に形成されている。第 3 レンズ群 G 3 へ入射する光束は、第 1 レンズ群 G 1 及び第 2 レンズ群 G 2 が正の屈折力を持っているため収斂光束となっている。第 3 レンズ群 G 3 は、かかる収斂光束を受け、球面収差やコマ収差の発生を抑えつつ平行光束に変換することが大切である。第 3 レンズ群 G 3 の最も像側の面は、第 3 レ

10

20

30

40

50

ンズ群G3の負の屈折力の多くの部分を担う面であり、この面を像側に凹の面で構成することにより、収斂光線の当該最終面に対する入射角を小さく構成でき、特に高次のコマ収差等の発生を的確に抑えることが可能となる。なお、この色補正レンズ要素は、接合レンズとしてだけでなく、色収差補正能力を大きく低下させない程度の空気間隔を空けて配置した複数のレンズで構成しても良い。

## 【0023】

さらに、この顕微鏡対物レンズOLは、全系の焦点距離をfとし、第1レンズ群G1と第2レンズ群G2との合成焦点距離をf12としたとき、次の条件式(3)を満足することが望ましい。

## 【0024】

$$1.5 \quad | f_{12} / f | \quad 2.5$$

(3)

10

## 【0025】

条件式(3)は、高開口数を確保するための条件である。この条件式(1)の下限値を下回ると、全系の焦点距離fに比べ、第1及び第2レンズ群G1, G2の合成焦点距離f12が短くなり、開口数の確保が困難になるとともに、球面収差の補正が困難になる。反対に、条件式(3)の上限値を上回ると、全系の焦点距離fに比べ、第1及び第2レンズ群G1, G2の合成焦点距離f12が長くなり、光線の収束が十分でなくなることで全長が長くなる傾向になるとともに、高画角での諸収差や、色収差の二次スペクトルの補正が困難となる。

## 【0026】

20

また、この顕微鏡対物レンズOLは、全系の焦点距離をfとし、第3レンズ群G3の焦点距離をf3としたとき、次の条件式(4)を満足することが望ましい。

## 【0027】

$$10 \quad | f_3 / f | \quad 20$$

(4)

## 【0028】

条件式(4)は、色による変化も含めた球面収差を良好に補正し、さらに十分な視野を確保するための条件である。この条件式(4)の下限値を下回ると、全系の焦点距離fに比べ、第3レンズ群G3の焦点距離f3が短くなり、色毎に球面収差のばらつきが出るとともに、高次の曲がりが発生する。反対に、条件式(4)の上限値を上回ると、全系の焦点距離fに比べ、第3レンズ群G3の焦点距離f3が長くなり、球面収差の補正が不足になるとともに、像性能の良い十分な視野を確保することが困難となる。

30

## 【0029】

ところで、回折光学素子GDは、回折格子溝の厚さを持っているため、わずかな入射角の変化でも回折効率が大きく変化する。すなわち、回折光学面Dに対する入射角が大きくなると、回折効率が著しく低下し、ブレ-ズされていない次数の光線がフレアとなって表れてしまう。そこで、この顕微鏡対物レンズOLは、全系の焦点距離をfとし、第2レンズ群G2の焦点距離をf2としたとき、次の条件式(5)を満足することが望ましい。

## 【0030】

$$30 \quad | f_2 / f |$$

(5)

## 【0031】

40

条件式(5)は、パワー配分を使って回折光学素子GDへの入射角を制御するための条件である。この条件式(5)の下限値を下回ると、全系の焦点距離fに比べ、第2レンズ群G2の焦点距離f2が短くなり、この第2レンズ群G2内の光線の屈折角が大きくなり、回折光学素子GDへの入射角が大きくなってしまう。また、上述の条件式(3)で、全系の焦点距離fに対する第1及び第2レンズ群G1, G2の合成焦点距離f12の範囲を規定しているため、この条件式(5)の下限値を下回ると、第1レンズ群G1のパワーが弱くなつて第1レンズ群G1から発生する収差が減り、第2レンズ群G2での収差、特に球面収差の発生が大きくなり、第1レンズ群G1と第2レンズ群G2との収差のバランスをとるのが困難となる。

## 【0032】

50

また、この顕微鏡対物レンズ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(6)を満足することが望ましい。

## 【0033】

2 N / H 10

(6)

## 【0034】

但し、この図1の顕微鏡対物レンズOLにおいて、有効半径Hは、軸上物点から射出される最大開口数の光線及び、軸外物点から射出される光束の中、最も光軸から離れた方向に射出される光線を、軸上物点から射出される最大開口数の光線と第1レンズ群G1内のレンズL2の像側の面との交点で制限し、最も光軸に近い方向に射出される光線を、軸上物点から射出される最大開口数の光線と第3レンズ群G3内のレンズL11の物体側の面との交点で制限したときに決まる当該光束の最外側の光線で決定される。

10

## 【0035】

条件式(6)は、回折光学面Dの回折格子溝の数Nと有効半径Hの適切な範囲を規定する条件式である。この条件式(6)の下限値を下回ると、軸上色収差はd線とg線で色消しした際に、C線とF線で色消し不足となる(二次スペクトル)。一方、条件式(6)の上限値を上回ると、軸上色収差はd線とg線で色消しした際に、C線とF線で色消し過剰となる(二次スペクトル)。また、回折光学素子GDに形成された回折格子溝の最小ピッチ幅が小さくなり、製造上の精度を確保するのが困難となる。

## 【0036】

20

さらに、この顕微鏡対物レンズOLは、回折光学素子GD中の2つの回折素子要素のうち、屈折率が低くアッペ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nd1、F線に対する屈折率をnF1、C線に対する屈折率をnC1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nd2、F線に対する屈折率をnF2、C線に対する屈折率をnC2としたとき、次の条件式(7)～(10)を満足することが望ましい。

## 【0037】

nd1 1.54

(7)

0.0145 nF1 - nC1

(8)

1.55 nd2

(9)

nF2 - nC2 0.013

(10)

30

## 【0038】

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(nF - nC)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利点を維持することが困難になってしまう。

40

## 【実施例】

## 【0039】

以下に、本実施の形態に係る顕微鏡対物レンズOLの5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

50

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。

## 【0040】

(表1)

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

10

## 【0041】

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(頂点曲率半径)をrとし、円錐定数をとし、n次の非球面係数をAn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。

## 【0042】

$$S(y) = (y^2 / r) / \{ 1 + (1 - A_2 \times y^2 / r^2)^{1/2} \} + A_2 \times y^2 + A_4 \times y^4 + A_6 \times y^6 + A_8 \times y^8 + A_{10} \times y^{10} \quad (11)$$

## 【0043】

20

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。

## 【0044】

また、以下の各実施例における顕微鏡対物レンズOL1～OL5は、無限遠補正型のものであり、図11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。

30

## 【0045】

(表2)

m	r	d	nd	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			

## 【0046】

40

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。

## 【0047】

[第1実施例]

上述の説明で用いた図1は、第1実施例に係る顕微鏡対物レンズOL1を示している。この顕微鏡対物レンズOL1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と、正の屈折力を有する第2レンズ群G2と、負の屈折力を有する第3レンズ群G3とから構成される。第1レンズ群G1は、物体側より順に、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL1、両凸レンズL2、及び、物体側に凸面を向

50

けた負メニスカスレンズ L 3 と両凸レンズ L 4 とを接合した接合レンズ成分（色消しレンズ成分）CL 11 から構成される。また、第2レンズ群 G 2 は、物体側から順に、回折光学面 D を含む回折光学素子 G D、及び、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L 9 と両凸レンズ L 10 とを接合した接合レンズ成分（色消しレンズ成分）CL 21 から構成される。さらに、第3レンズ群 G 3 は、物体側から順に、両凸レンズ L 11 と両凹レンズ L 12 とを接合した接合レンズ成分 CL 31 から構成される。このように、この第1実施例においては、第3レンズ群 G 3 を構成する色補正レンズ成分 CL 31 は、2つのレンズを接合した接合レンズ成分として構成されている。

#### 【0048】

また、回折光学素子 G D は、平板状の光学ガラス L 5、それぞれ異なる樹脂材料から形成された平板状の2個の光学部材 L 6, L 7、及び、平板状の光学ガラス L 8 がこの順で接合され、光学部材 L 6, L 7 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 G D は、密着複層型の回折光学素子である。

#### 【0049】

このように図1に示した第1実施例に係る顕微鏡対物レンズ OL 1 の諸元を表3に示す。なお、この表3において、f は顕微鏡対物レンズ OL 1 の全系の焦点距離を、NA は開口数を、 は倍率をそれぞれ示している。また、この第1実施例、第2実施例及び第3実施例において、d 0 は標本から最も物体側にある最初のレンズ（レンズ L 1）の最も物体側のレンズ面（第1面）の頂点までの光軸上の距離を示している。また、d R は、第1レンズ群 G 1 の最も物体側に位置し負の屈折力を有するレンズ面の頂点から物体までの光路長を示しており、この負の屈折力を有するレンズ面は、第1実施例、第2実施例及び第3実施例においては、第1面である。また、h は回折光学面 D を通る最大画角に対応する光束の主光線の光軸からの高さを示し、f 1 は第1レンズ群 G 1 の焦点距離を示し、f 2 は第2レンズ群 G 2 の焦点距離を示し、f 12 は第1及び第2レンズ群 G 1, G 2 の合成焦点距離を示し、f 3 は第3レンズ群 G 3 の焦点距離を示し、N は回折光学素子 G D における回折光学面 D の回折格子溝の数を示し、H は、この回折光学面の有効半径を示す。また前述の如く、本第1実施例における軸外主光線及び有効径を決める軸外光束を制限するレンズ面は、両凸レンズ L 2 の像側の面（第4面）と両凸レンズ L 11 の物体側の面（第17面）である。

#### 【0050】

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 ~ 19 に対応している。また、第2欄 r において、曲率半径 0.000 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。これらの諸元表の説明は、以降の実施例においても同様である。

#### 【0051】

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 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。

#### 【0052】

（表3）

f = 4.005

NA = 0.8

= 50x

d 0 = 1.71

d R = 1.71

h = 0.69

10

20

30

40

50

f 1 = 7.862  
 f 2 = 140.481  
 f 1 2 = 7.456  
 f 3 = -45.026  
 N = 41  
 H = 6.89

m	r	d	n d	d	
1	-2.740	4.1	1.83481	42.7	
2	-4.212	0.1			10
3	22967.611	5.5	1.49782	82.5	
4	-10.771	0.2			
5	92.682	1.3	1.79504	28.7	
6	16.210	5.9	1.49782	82.5	
7	-14.459	0.2			
8	0.000	1.5	1.51680	64.1	
9	0.000	0.2	1.55690	50.2	
10	0.000	0.0	10001.00000	-3.5	
11*	0.000	0.2	1.52760	34.7	
12	0.000	2.0	1.51680	64.1	20
13	0.000	0.5			
14	34.600	1.5	1.74950	35.3	
15	9.130	5.0	1.60300	65.5	
16	-2824.563	26.5			
17	19.407	3.7	1.84666	23.8	
18	-12.700	2.9	1.75692	31.6	
19		8.699			

### 回折光学面データ

第 1 1 面 = 1.0000 A 2 = -4.99472E-08 A 4 = 1.32542E-13  
 A 6 = -2.23241E-16 A 8 = -1.44998E-18 A 10 = 0.00000E-00

### 条件対応値

- ( 1 ) | ( n 2 - n 1 ) / ( r + d R ) | = 0.178
- ( 2 ) | h / f | = 0.17
- ( 3 ) | f 1 2 / f | = 1.86
- ( 4 ) | f 3 / f | = 11.2
- ( 5 ) | f 2 / f | = 35.1
- ( 6 ) N / H = 6.0
- ( 7 ) n d 1 = 1.528
- ( 8 ) n F 1 - n C 1 = 0.0152
- ( 9 ) n d 2 = 1.557
- ( 10 ) n F 2 - n C 2 = 0.0111

### 【 0 0 5 3 】

なお、表 3 に示した条件対応値のうち、条件式 ( 1 ) は、第 1 面の曲率半径 r とその前後の媒質の d 線に対する屈折率 n 1 , n 2 とから算出された値である。また、条件式 ( 7 ) , ( 8 ) は第 1 1 面の値に相当し、条件式 ( 9 ) , ( 10 ) は第 9 面の値に相当する。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、倍率色収差、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 N A に対する収差量を示し、非点収差図及び倍率色収差は像高 Y に対する収差量を示し、コマ収差図は、像高 Y が 12.6 mm のとき、9.0 mm のとき、6.0 mm のとき、及び、0 mm のときの収差量を示している。また、球面収差図、倍率色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サジタル像面を示し、破線は各波長に対するメリジオナ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のように、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。

【 0 0 5 4 】

10

[ 第 2 実施例 ]

次に、第 2 実施例として、図 3 に示す顕微鏡対物レンズ O L 2 について説明する。この図 3 に示す顕微鏡対物レンズ O L 2 も、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 G 1 と、負の屈折力を有する第 2 レンズ群 G 2 と、負の屈折力を有する第 3 レンズ群 G 3 とから構成される。第 1 レンズ群 G 1 は、物体側より順に、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズ L 1 、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズ L 2 、及び、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L 3 と両凸レンズ L 4 とを接合した接合レンズ成分（色消しレンズ成分）C L 1 1 から構成される。また、第 2 レンズ群 G 2 は、物体側から順に、回折光学面 D を含む両凸レンズ形状の回折光学素子 G D と両凹レンズ L 9 と両凸レンズ L 1 0 とを接合した接合レンズ成分（色消しレンズ成分）C L 2 1 で構成される。さらに、第 3 レンズ群 G 3 は、物体側から順に、両凸レンズ L 1 1 と両凹レンズ L 1 2 とを接合した接合レンズ成分 C L 3 1 から構成される。このように、この第 2 実施例においては、第 3 レンズ群 G 3 を構成する色補正レンズ成分 C L 3 1 は、2 つのレンズを接合した接合レンズ成分として構成されている。なお、本第 2 実施例では、第 2 レンズ群 G 2 の屈折力が負となっているが、これは第 1 レンズ群 G 1 の正屈折力が十分強いため、第 1 レンズ群 G 1 を射出する光束は十分な収斂光束となっているためである。また、本第 2 実施例における軸外主光線及び有効径を決める軸外光束を制限するレンズ面は、正メニスカスレンズ L 2 の像側の面（第 4 面）と両凸レンズ L 1 1 の物体側の面（第 1 6 面）である。

20

【 0 0 5 5 】

30

また、この第 2 実施例に係る回折光学素子 G D も密着複層型の回折光学素子であって、物体側に凸面を向けた平凸レンズ L 5 、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 L 6 , L 7 、及び、像側に凸面を向けた平凸レンズ L 8 がこの順で接合され、光学部材 L 6 , L 7 の接合面に回折格子溝（回折光学面 D ）が形成されている。

【 0 0 5 6 】

この図 3 に示した第 2 実施例に係る顕微鏡対物レンズ O L 2 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 ~ 1 8 と一致している。

【 0 0 5 7 】

( 表 4 )

f = 3.967

40

N A = 0.8

= 50x

d 0 = 1.71

d R = 1.71

h = 0.71

f 1 = 7.289

f 2 = -306.768

f 1 2 = 7.265

f 3 = -50.628

N = 22

50

H = 6.62

m	r	d	n d	d	
1	-2.722	4.3	1.90265	35.7	
2	-4.398	0.1			
3	-79.653	5.5	1.49782	82.5	
4	-11.202	0.2			
5	49.789	1.3	1.79504	28.7	
6	15.062	5.9	1.49782	82.5	
7	-12.303	0.2			10
8	36.594	1.3	1.51680	64.1	
9	0.000	0.2	1.55690	50.2	
10	0.000	0.0	10001.00000	-3.5	
11*	0.000	0.2	1.52760	34.7	
12	0.000	3.0	1.49782	82.5	
13	-10.999	1.2	1.66755	42.0	
14	12.389	4.0	1.49782	82.5	
15	-49.958	28.2			
16	17.770	3.7	1.84666	23.8	
17	-13.000	2.9	1.75692	31.6	20
18		8.383			

#### 回折光学面データ

第 1 1 面 = 1.0000 A 2 = -2.92088E-08 A 4 = 1.20938E-13  
 A 6 = -1.83902E-16 A 8 = -3.40027E-19 A 10 = 0.00000E-00

#### 条件対応値

- ( 1 ) | ( n 2 - n 1 ) / ( r · d R ) | = 0.194
- ( 2 ) | h / f | = 0.18
- ( 3 ) | f 1 2 / f | = 1.83
- ( 4 ) | f 3 / f | = 12.8
- ( 5 ) | f 2 / f | = 77.3
- ( 6 ) N / H = 3.3
- ( 7 ) n d 1 = 1.528
- ( 8 ) n F 1 - n C 1 = 0.0152
- ( 9 ) n d 2 = 1.557
- ( 10 ) n F 2 - n C 2 = 0.0111

#### 【 0 0 5 8 】

なお、表 4 に示した条件対応値のうち、条件式 ( 1 ) は、第 1 面の曲率半径 r とその前後の媒質の d 線に対する屈折率 n 1 , n 2 とから算出された値である。また、条件式 ( 7 ) , ( 8 ) は第 1 1 面の値に相当し、条件式 ( 9 ) , ( 10 ) は第 9 面の値に相当する。このように、第 2 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 4 にこの第 2 実施例に係る顕微鏡対物レンズ O L 2 の球面収差、非点収差、倍率色収差及びコマ収差の諸収差図を示す。なお、この図 4 に示すコマ収差図は、像高 Y が 12.8 mm のとき、9.0 mm のとき、6.0 mm のとき、及び、0 mm のときの収差量を示している。この各収差図から明らかのように、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。

#### 【 0 0 5 9 】

#### [ 第 3 実施例 ]

次に、第 3 実施例として、図 5 に示す顕微鏡対物レンズ O L 3 について説明する。この

10

20

30

40

50

図5に示す顕微鏡対物レンズOL3も、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と、負の屈折力を有する第2レンズ群G2と、負の屈折力を有する第3レンズ群G3とから構成される。第1レンズ群G1は、物体側より順に、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL1、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL2、及び、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL3と両凸レンズL4とを接合した接合レンズ成分(色消しレンズ成分)CL11から構成される。また、第2レンズ群G2は、物体側から順に、回折光学面Dを含む両凸レンズ形状の回折光学素子GD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成分(色消しレンズ成分)CL21で構成される。さらに、第3レンズ群G3は、物体側から順に、両凸レンズL11、及び、両凹レンズL12から構成される。このように、この第3実施例においては、第3レンズ群G3を構成する色補正レンズ成分CL31は、空気間隔を空けた2つのレンズから構成されている。なお、本第3実施例についても、第2レンズ群G2は負の屈折力を有しているが、この理由は第2実施例における理由と同じである。また、本第3実施例における軸外主光線及び有効径を決める軸外光束を制限するレンズ面は、正メニスカスレンズL2の像側の面(第4面)と両凹レンズL12の物体側の面(第18面)である。

## 【0060】

また、この第3実施例に係る回折光学素子GDも密着複層型の回折光学素子であって、物体側に凸面を向けた平凸レンズL5、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L6、L7、及び、像側に凸面を向けた平凸レンズL8がこの順で接合され、光学部材L6、L7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5に示した第3実施例に係る顕微鏡対物レンズ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1~19と一致している。

## 【0062】

(表5)

f = 4.018

NA = 0.8

= 50x

d0 = 1.71

dR = 1.71

h = 0.56

f1 = 7.541

f2 = -243.716

f12 = 7.545

f3 = -60.190

N = 63

H = 7.16

m	r	d	n d	d
1	-2.674	4.3	1.83481	42.7
2	-4.201	0.1		
3	-23.463	5.6	1.49782	82.5
4	-12.063	0.2		
5	39.359	1.4	1.79504	28.7
6	15.762	6.0	1.60300	65.5
7	-15.718	0.2		
8	38.466	1.2	1.51680	64.1
9	0.000	0.2	1.55690	50.2
10	0.000	0.0	10001.00000	-3.5
11*	0.000	0.2	1.52760	34.7

10

20

30

40

50

12	0.000	3.0	1.56384	60.7
13	-19.843	1.2	1.72342	37.9
14	9.484	4.0	1.51680	64.1
15	-53.877	26.0		
16	17.590	3.7	1.74950	35.3
17	-26.797	1.5		
18	-25.258	2.9	1.67000	57.4
19	7.691			

## 回折光学面データ

10

第 11 面  $= 1.0000$      $A_2 = -7.15155E-08$      $A_4 = 2.36388E-14$   
 $A_6 = -3.33620E-16$      $A_8 = -2.96788E-19$      $A_{10} = 0.00000E-00$

## 条件対応値

- ( 1 )  $| ( n_2 - n_1 ) / ( r \cdot d_R ) | = 0.183$   
 ( 2 )  $| h / f | = 0.14$   
 ( 3 )  $| f_{12} / f | = 1.88$   
 ( 4 )  $| f_3 / f | = 15.0$   
 ( 5 )  $| f_2 / f | = 60.7$   
 ( 6 )  $N / H = 8.8$   
 ( 7 )  $n_{d1} = 1.528$   
 ( 8 )  $n_{F1} - n_{C1} = 0.0152$   
 ( 9 )  $n_{d2} = 1.557$   
 ( 10 )  $n_{F2} - n_{C2} = 0.0111$

## 【0063】

なお、表 5 に示した条件対応値のうち、条件式(1)は、第 1 面の曲率半径  $r$  とその前後の媒質の  $d$  線に対する屈折率  $n_1$ ,  $n_2$  とから算出された値である。また、条件式(7), (8)は第 11 面の値に相当し、条件式(9), (10)は第 9 面の値に相当する。このように、第 3 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 6 にこの第 3 実施例に係る顕微鏡対物レンズ O L 3 の球面収差、非点収差、倍率色収差及びコマ収差の諸収差図を示す。なお、この図 6 に示すコマ収差図は、像高  $Y$  が 12.8 mm のとき、9.0 mm のとき、6.0 mm のとき、及び、0 mm のときの収差量を示している。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。

30

## 【0064】

## [第 4 実施例]

次に、第 4 実施例として、図 7 に示す顕微鏡対物レンズ O L 4 について説明する。この図 7 に示す顕微鏡対物レンズ O L 4 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液浸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 G 1 と、正の屈折力を有する第 2 レンズ群 G 2 と、負の屈折力を有する第 3 レンズ群 G 3 とから構成される。第 1 レンズ群 G 1 は、物体側より順に、物体側が平面に形成された平凸レンズ L 1 と物体側に凹面向けた負メニスカスレンズ L 2 とを接合した接合レンズ成分 C L 11、物体側に凹面向けた正メニスカスレンズ L 3 、及び、両凹レンズ L 4 と両凸レンズ L 5 とを接合した接合レンズ成分(色消しレンズ成分) C L 12 から構成される。また、第 2 レンズ群 G 2 は、物体側から順に、物体側に凸面向けた負メニスカスレンズ L 6 と両凸レンズ L 7 とを接合した接合レンズ成分(色消しレンズ成分) C L 21、及び、回折光学面 D を含む回折光学素子 G D から構成される。さらに、第 3 レンズ群 G 3 は、物体側から順に、両凸レンズ L 12 と両凹レンズ L 13 とを接合した接合レンズ成分 C L 31 から構成される。このように、この第 4 実施例においては、第 3 レンズ群 G 3 を構成する色補正レンズ成分 C

40

50

L 3 1 は、2つのレンズを接合した接合レンズ成分として構成されている。また、本第4実施例における軸外主光線及び有効径を決める軸外光束を制限するレンズ面は、正メニスカスレンズL 3 の像側の面(第5面)と両凸レンズL 1 2 の物体側の面(第18面)である。

【0065】

また、この第4実施例に係る回折光学素子G Dも密着複層型の回折光学素子であって、平板状の光学ガラスL 8 、それぞれ異なる樹脂材料から形成された平板状の2個の光学部材L 9 , L 1 0 、及び、平板状の光学ガラスL 1 1 がこの順で接合され、光学部材L 9 , L 1 0 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7に示した第4実施例に係る顕微鏡対物レンズOL 4 の諸元を表6に示す。なお、カバープレートCを使用するこの第4実施例及び次の第5実施例では、d 0 は、カバープレートCの厚さを除く、物体(標本)から最も物体側にある最初のレンズ(レンズL 1 )の最も物体側のレンズ面(第1面)の頂点までの光軸上の距離を示し、d R は、カバープレートCの厚さを除く、第2面の頂点から物体までの光路長を示している。ここで、カバープレートCは、厚さ0.17mm、d線に対する屈折率1.52216、アッベ数58.8であり、浸液は、d線に対する屈折率1.51536、アッベ数41.4である。また、表6に示す面番号は図7に示した面番号1~20と一致している。

【0067】

(表6)

f = 1.990

N A = 1.25

= 100x

d 0 = 0.174

d R = 0.871

h = 0.46

f 1 = 4.374

f 2 = 88.548

f 1 2 = 4.672

f 3 = -30.152

N = 23

H = 5.27

m	r	d	n d	d
1	0.000	0.4	1.51823	58.9
2	-1.261	3.3	1.90265	35.7
3	-2.875	0.1		
4	-112.396	3.2	1.60300	65.5
5	-7.930	0.2		
6	-609.844	1.5	1.74950	35.3
7	10.980	6.2	1.49782	82.5
8	-8.898	0.1		
9	36.907	1.7	1.75692	31.6
10	8.144	4.5	1.49782	82.5
11	-24.025	0.2		
12	0.000	2.0	1.51680	64.1
13	0.000	0.2	1.55690	50.2
14	0.000	0.0	10001.00000	-3.5
15*	0.000	0.2	1.52760	34.7
16	0.000	2.0	1.51680	64.1

10

20

30

40

50

17	0.000	26.5		
18	105.388	2.4	1.69895	30.1
19	-8.220	3.4	1.51680	64.1
20		7.755		

## 回折光学面データ

第15面  $= 1.0000$   $A_2 = -5.00000E-08$   $A_4 = 3.64816E-14$   
 $A_6 = -1.91386E-16$   $A_8 = -5.33683E-19$   $A_{10} = 0.00000E-00$

## 条件対応値

(1)  $| (n_2 - n_1) / (r \cdot d_R) | = 0.350$   
(2)  $| h / f | = 0.23$   
(3)  $| f_{12} / f | = 2.35$   
(4)  $| f_3 / f | = 15.2$   
(5)  $| f_2 / f | = 44.5$   
(6)  $N / H = 4.4$   
(7)  $n_{d1} = 1.528$   
(8)  $n_{F1} - n_{C1} = 0.0152$   
(9)  $n_{d2} = 1.557$   
(10)  $n_{F2} - n_{C2} = 0.0111$

## 【0068】

なお、表6に示した条件対応値のうち、条件式(1)は、第2面の曲率半径 $r$ とその前後の媒質の $d$ 線に対する屈折率 $n_1$ ,  $n_2$ とから算出された値である。また、条件式(7), (8)は第15面の値に相当し、条件式(9), (10)は第13面の値に相当する。このように、第4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8にこの第4実施例に係る顕微鏡対物レンズOL4の球面収差、非点収差、倍率色収差及びコマ収差の諸収差図を示す。なお、この図8に示すコマ収差図は、像高 $Y$ が11.1mmのとき、8.0mmのとき、5.0mmのとき、及び、0mmのときの収差量を示している。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。

## 【0069】

## [実施例5]

次に、第5実施例として、図9に示す顕微鏡対物レンズOL5について説明する。この図9に示す顕微鏡対物レンズ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液浸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と、正の屈折力を有する第2レンズ群G2と、負の屈折力を有する第3レンズ群G3とから構成される。第1レンズ群G1は、物体側より順に、物体側が平面に形成された平凸レンズL1と物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズL2とを接合した接合レンズ成分CL11、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL3、及び、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL4と両凸レンズL5とを接合した接合レンズ成分(色消しレンズ成分)CL12から構成される。また、第2レンズ群G2は、物体側から順に、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成分(色消しレンズ成分)CL21、及び、回折光学面Dを含む回折光学素子GDから構成される。さらに、第3レンズ群G3は、物体側から順に、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL12と両凸レンズL13と両凹レンズL14とを接合した接合レンズ成分CL31から構成される。このように、この第5実施例においては、第3レンズ群G3を構成する色補正レンズ成分CL31は、3つのレンズを接合した接合レンズ成分として構成されている。また、本第5実施例における軸外主光線及び有効径を決める軸外光束を制限するレンズ面は、正メニスカスレンズL3の像側の面(第5面)と負メニスカスレンズL12の物体側の面(第18面)で

10

20

30

40

50

ある。

【0070】

また、この第5実施例に係る回折光学素子G Dも密着複層型の回折光学素子であって、平板状の光学ガラスL 8、それぞれ異なる樹脂材料から形成された平板状の2個の光学部材L 9、L 10、及び、平板状の光学ガラスL 11がこの順で接合され、光学部材L 9、L 10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9に示した第5実施例に係る顕微鏡対物レンズOL 5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1～21と一致している。

【0072】

10

（表7）

$f = 1.989$

$N_A = 1.25$

= 100x

$d_0 = 0.174$

$d_R = 0.871$

$h = 0.43$

$f_1 = 4.322$

$f_2 = 101.572$

$f_{12} = 4.650$

20

$f_3 = -30.092$

$N = 25$

$H = 5.26$

m	r	d	n	d
1	0.000	0.4	1.51823	58.9
2	-1.261	3.3	1.90265	35.7
3	-2.889	0.1		
4	-86.403	3.2	1.60300	65.5
5	-7.861	0.2		
6	140.533	1.5	1.74950	35.3
7	10.780	6.2	1.49782	82.5
8	-9.124	0.1		
9	44.249	1.7	1.75692	31.6
10	8.181	4.5	1.49782	82.5
11	-22.375	0.2		
12	37663.957	2.0	1.51680	64.1
13	0.000	0.2	1.55690	50.2
14	0.000	0.0	10001.00000	-3.5
15*	0.000	0.2	1.52760	34.7
16	0.000	2.0	1.51680	64.1
17	0.000	25.0		
18	58.830	1.5	1.61340	44.3
19	14.067	3.0	1.67270	32.1
20	-7.152	2.5	1.56883	56.3
21	8.451			

回折光学面データ

第15面 = 1.0000 A2 = -5.23715E-08 A4 = 2.66577E-13

A6 = -2.84237E-16 A8 = -3.93947E-18 A10 = 0.00000E-00

50

## 条件対応値

- ( 1 ) | ( n<sub>2</sub> - n<sub>1</sub> ) / ( r + d<sub>R</sub> ) | = 0.350  
 ( 2 ) | h / f | = 0.22  
 ( 3 ) | f<sub>12</sub> / f | = 2.34  
 ( 4 ) | f<sub>3</sub> / f | = 15.1  
 ( 5 ) | f<sub>2</sub> / f | = 51.1  
 ( 6 ) N / H = 4.8  
 ( 7 ) n<sub>d1</sub> = 1.528  
 ( 8 ) n<sub>F1</sub> - n<sub>C1</sub> = 0.0152  
 ( 9 ) n<sub>d2</sub> = 1.557  
 ( 10 ) n<sub>F2</sub> - n<sub>C2</sub> = 0.0111

## 【0073】

なお、表7に示した条件対応値のうち、条件式(1)は、第2面の曲率半径rとその前後の媒質のd線に対する屈折率n<sub>1</sub>、n<sub>2</sub>とから算出された値である。また、条件式(7)、(8)は第15面の値に相当し、条件式(9)、(10)は第13面の値に相当する。このように、第5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10にこの第5実施例に係る顕微鏡対物レンズOL5の球面収差、非点収差、倍率色収差及びコマ収差の諸収差図を示す。なお、この図10に示すコマ収差図は、像高Yが11.1mmのとき、8.0mmのとき、5.0mmのとき、及び、0mmのときの収差量を示している。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。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0074】

- 【図1】第1実施例に係る顕微鏡対物レンズのレンズ構成図である。  
 【図2】上記第1実施例に係る顕微鏡対物レンズの諸収差図である。  
 【図3】第2実施例に係る顕微鏡対物レンズのレンズ構成図である。  
 【図4】上記第2実施例に係る顕微鏡対物レンズの諸収差図である。  
 【図5】第3実施例に係る顕微鏡対物レンズのレンズ構成図である。  
 【図6】上記第3実施例に係る顕微鏡対物レンズの諸収差図である。  
 【図7】第4実施例に係る顕微鏡対物レンズのレンズ構成図である。  
 【図8】上記第4実施例に係る顕微鏡対物レンズの諸収差図である。  
 【図9】第5実施例に係る顕微鏡対物レンズのレンズ構成図である。  
 【図10】上記第5実施例に係る顕微鏡対物レンズの諸収差図である。

【図11】上記顕微鏡対物レンズととも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】

## 【0075】

OL(OL1～OL5) 顕微鏡対物レンズ

G1 第1レンズ群 G2 第2レンズ群 G3 第3レンズ群 GD 回折光学  
素子

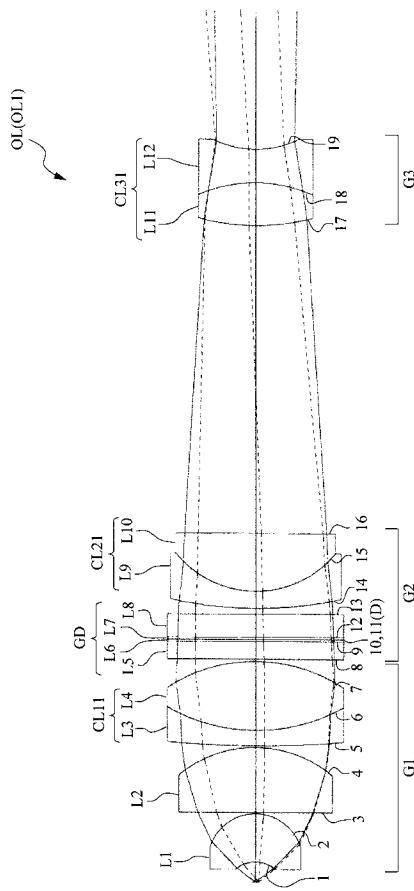
10

20

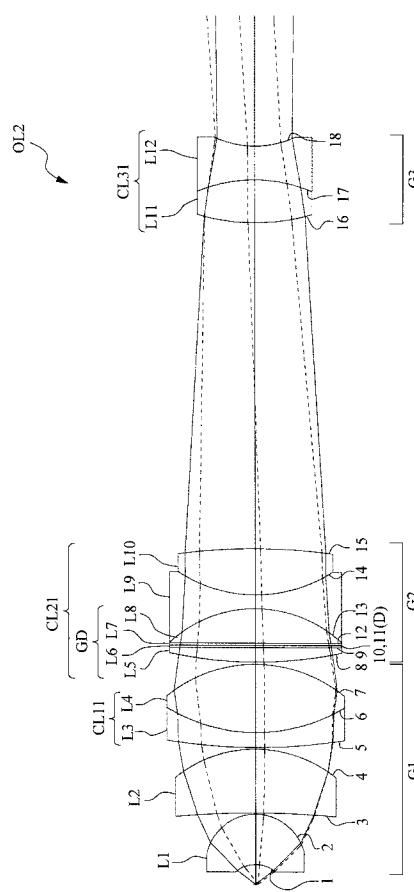
30

40

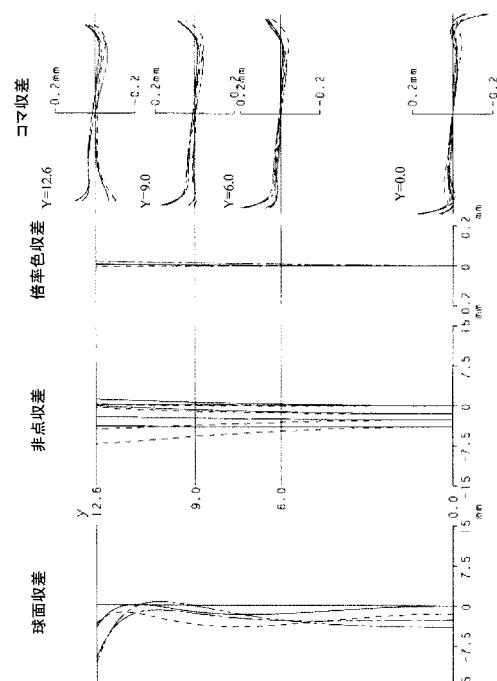
【図1】



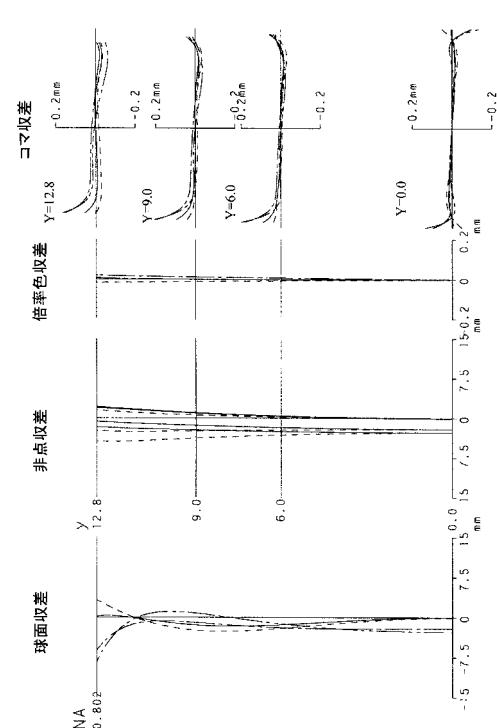
【図3】



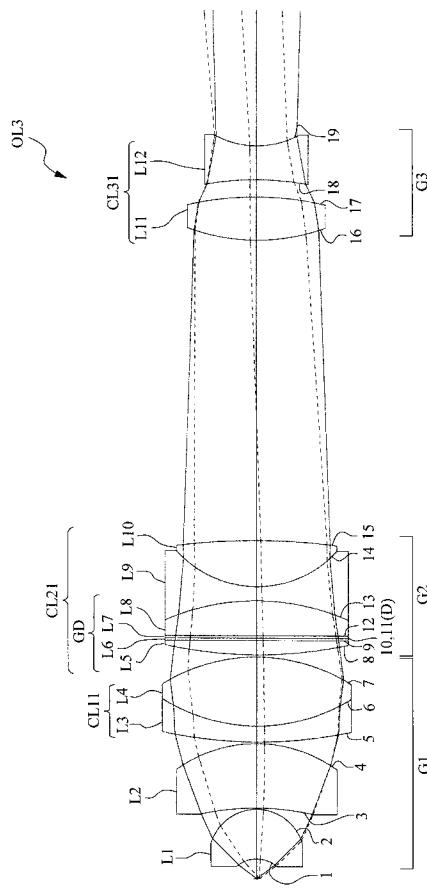
【図2】



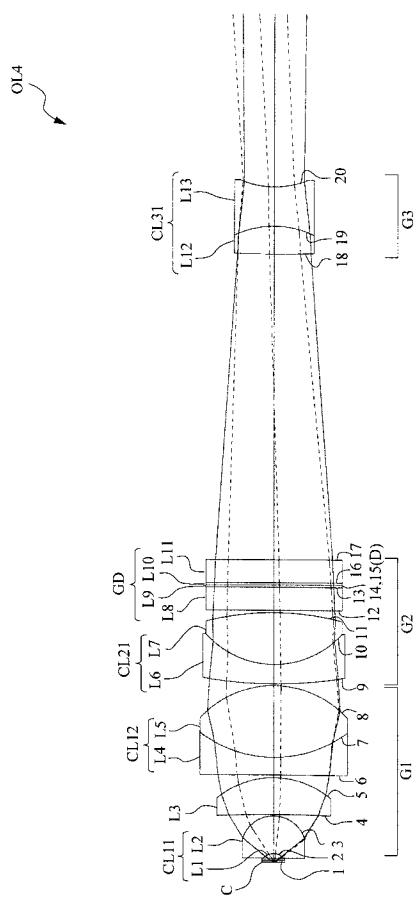
【図4】



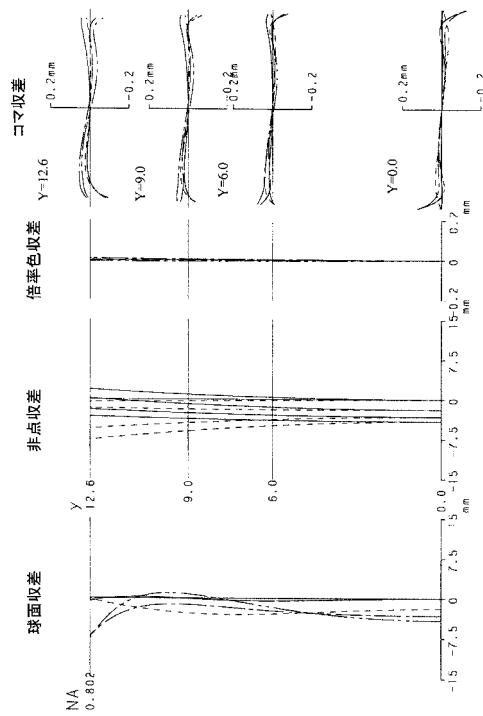
【図5】



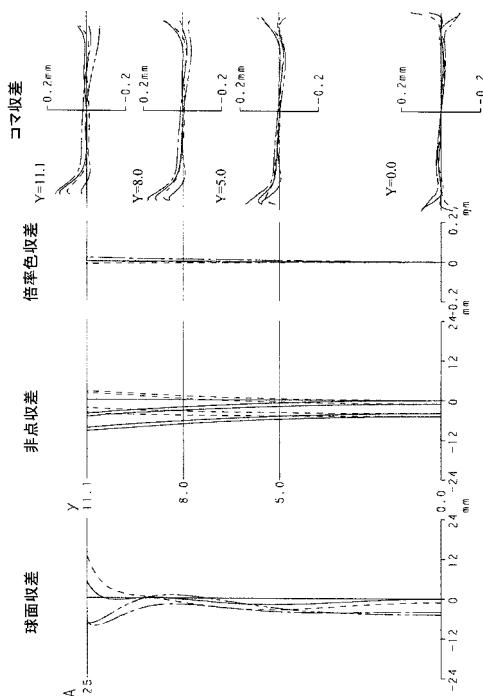
【図7】



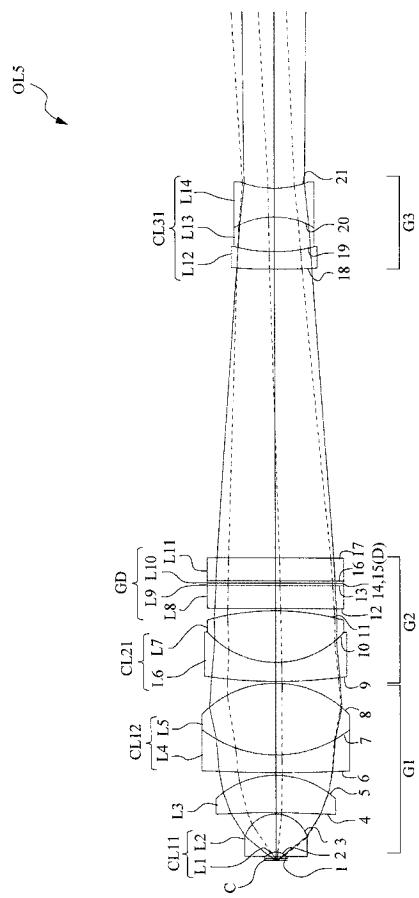
【図6】



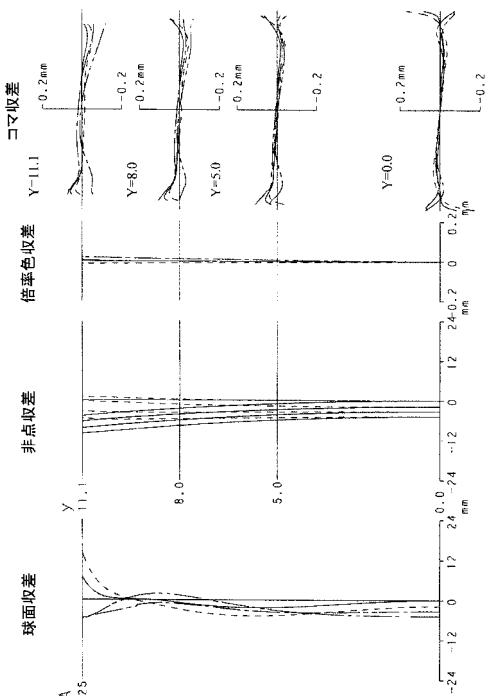
【図8】



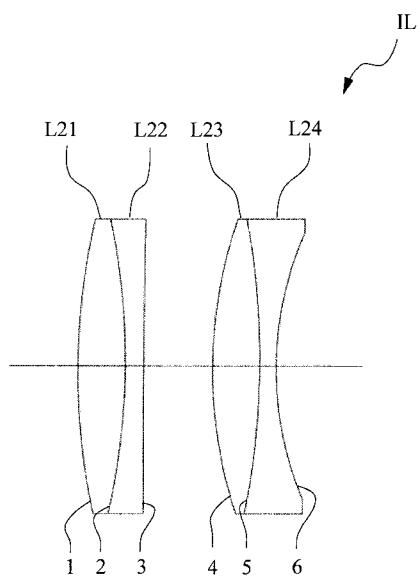
【図9】



【図10】



【図11】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開平06-331898(JP,A)  
特開2008-083096(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 02 B	9 / 0 0	-	1 7 / 0 8
G 02 B	2 1 / 0 2	-	2 1 / 0 4
G 02 B	2 5 / 0 0	-	2 5 / 0 4