(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3600926号
(P3600926)
(45)発行日　平成16年12月15日(2004.12.15)　(24)登録日　平成16年10月1日(2004.10.1)

(51)Int.Cl.[7]　F I
G02B 21/02　G02B 21/02　A

請求項の数 6　(全 15 頁)

(21)出願番号　特願平8-71954
(22)出願日　平成8年3月27日(1996.3.27)
(65)公開番号　特開平9-265044
(43)公開日　平成9年10月7日(1997.10.7)
審査請求日　平成14年10月24日(2002.10.24)

(73)特許権者　000000376
オリンパス株式会社
東京都渋谷区幡ヶ谷２丁目４３番２号
(74)代理人　100097777
弁理士　韮澤　弘
(74)代理人　100088041
弁理士　阿部　龍吉
(74)代理人　100092495
弁理士　蛭川　昌信
(74)代理人　100092509
弁理士　白井　博樹
(74)代理人　100095120
弁理士　内田　亘彦
(74)代理人　100095980
弁理士　菅井　英雄

最終頁に続く

(54)【発明の名称】長作動距離顕微鏡対物レンズ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

物体から順に、複数の正屈折力単体レンズから構成され、物体からの光線を収斂光束に変換する第１レンズ群と、物体側に凸面を向けた負の接合メニスカスレンズ成分を少なくとも１つ含み、全体で負の屈折力を持つ第２レンズ群とからなり、以下の条件を満足することを特徴とする長作動距離顕微鏡対物レンズ。

$3.4 < |r_1/(n_1-1)|/f$　・・・（１）

$2.54 \leqq |f_m/f| < 5$　・・・（２）

ただし、r_1 は前記第１レンズ群の最も物体側の正屈折力単体レンズの物体側の曲率半径、n_1 は前記の最も物体側の正屈折力単体レンズの屈折率、ｆはレンズ全系の焦点距離、f_m は前記第２レンズ群中の何れか１つの接合メニスカスレンズの焦点距離である。

【請求項２】

物体から順に、複数の正屈折力単体レンズから構成され、正屈折力を有する第Ｉレンズ群、負の屈折力を有する第IIレンズ群、負の屈折力を有する第III レンズ群、負の屈折力を有する第IVレンズ群により構成され、以下の条件を満たすことを特徴とする長作動距離顕微鏡対物レンズ。

$3.4 < |r_1/(n_1-1)|/f$　・・・（１）

ただし、r_1 は前記第Ｉレンズ群の最も物体側の正屈折力単体レンズの物体側の曲率半径、n_1 は前記の最も物体側の正屈折力単体レンズの屈折率、ｆはレンズ全系の焦点距離である。

【請求項３】
前記第１レンズ群中の少なくとも１つの正屈折力単体レンズのｄ線に対するアッベ数ν_dが以下の条件を満足することを特徴とする請求項１記載の長作動距離顕微鏡対物レンズ。
$\nu_d > 62$ ・・・（３）
【請求項４】
前記第２レンズ群に負レンズと正レンズと負レンズの３枚接合レンズが含まれ、前記３枚接合レンズは、物体側に凸面を向けていることを特徴とする請求項１記載の長作動距離顕微鏡対物レンズ。
【請求項５】
前記第２レンズ群は、全て負の屈折力を持った接合レンズで構成されていることを特徴とする請求項１記載の長作動距離顕微鏡対物レンズ。
【請求項６】
以下の条件を満足することを特徴とする請求項２記載の長作動距離顕微鏡対物レンズ。
$3 < |f_{II}/f_b|$ ・・・（５）
ただし、f_{II}は前記第IIレンズ群の焦点距離、f_bは前記第IIレンズ群から第IVレンズ群までの合成の焦点距離である。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、作動距離の長い中倍率程度の顕微鏡対物レンズに関するものである。
【０００２】
【従来の技術】
近年、生物顕微鏡、工業顕微鏡の対物レンズは、長作動距離のものが求められることが多い。生物顕微鏡では、標本を加熱ステージの中に入れて観察したいときに作動距離が必要となり、通常の対物レンズでは観察することができない場合がある。また、標本の生物細胞に直接針を刺して様々な操作をするときに、作動距離が長くないと、十分な操作ができない場合がある。工業顕微鏡においては、凹凸がある標本を見ることが多いため、標本を保護するためにも作動距離は長い方がよい。また、凹凸の大きい標本の底面を観察したい場合や標本を傾けて観察するような場合にも、対物レンズの作動距離が必要になる。
【０００３】
２０×程度の中倍率の対物レンズの場合、凹凸のある標本の低部の観察等において作動距離が焦点距離の２倍以上の２０ｍｍ程度のものが求められている。中倍率の作動距離の長い対物レンズとしては、特開昭６０－１４２１５号記載のものや、特開昭６４－６３９１５号記載のものが知られている。
【０００４】
【発明が解決しようとする課題】
しかし、上記の従来例には、作動距離が焦点距離の２倍以上の２０ｍｍ程度のものはなく、十分な操作性を満たす作動距離には不足している。
【０００５】
本発明は従来技術の上記問題に鑑みてなされたものであり、その目的は、従来以上の長い作動距離を有しつつ、優れた結像性能を有する長作動距離顕微鏡対物レンズを提供することである。
【０００６】
【課題を解決するための手段】
上記目的を達成する本発明の長作動距離顕微鏡対物レンズは、物体から順に、複数の正屈折力単体レンズから構成され、物体からの光線を収斂光束に変換する第１レンズ群と、物体側に凸面を向けた負の接合メニスカスレンズ成分を少なくとも１つ含み、全体で負の屈折力を持つ第２レンズ群とからなり、以下の条件を満足することを特徴とするものである。
$3.4 < |r_1/(n_1 - 1)|/f$ ・・・（１）

２．５４≦｜ｆ$_{m}$／ｆ｜＜５　　・・・（２）
ただし、ｒ$_{1}$は前記第１レンズ群の最も物体側の正屈折力単体レンズの物体側の曲率半径、ｎ$_{1}$は前記の最も物体側の正屈折力単体レンズの屈折率、ｆはレンズ全系の焦点距離、ｆ$_{m}$は前記第２レンズ群中の何れか１つの接合メニスカスレンズの焦点距離である。
【０００７】
また、第１レンズ群中の少なくとも１つの正屈折力単体レンズのｄ線に対するアッベ数ν$_{d}$が以下の条件を満足することが望ましい。
【０００８】
ν$_{d}$　＞６２　　・・・（３）
さらに、第２レンズ群に負レンズと正レンズと負レンズの３枚接合レンズを含むことが望ましい。
また、その３枚接合レンズは、物体側に凸面を向けていることが望ましい。
【０００９】
また、その３枚接合レンズの何れか一方の負レンズのｄ線に対するアッベ数をν$_{o}$　、その３枚接合レンズの正レンズのｄ線に対するアッベ数をν$_{t}$　とするとき、以下の条件を満たすことが望ましい。
【００１０】
ν$_{t}$　－ν$_{o}$　＞３０　　・・・（４）
また、第２レンズ群は、全て負の屈折力を持った接合レンズで構成されていることが望ましい。
【００１１】
また、以下のような構成においても、本発明の長作動距離対物レンズは構成することができる。すなわち、物体から順に、複数の正屈折力単体レンズから構成され、正屈折力を有する第Ｉレンズ群、負の屈折力を有する第ＩＩレンズ群、負の屈折力を有する第ＩＩＩレンズ群、負の屈折力を有する第ＩＶレンズ群により構成され、以下の条件を満たすことを特徴とする構成である。
３．４＜｜ｒ$_{1}$　／（ｎ$_{1}$　－１）｜／ｆ　　・・・（１）
ただし、ｒ$_{1}$　は前記第Ｉレンズ群の最も物体側の正屈折力単体レンズの物体側の曲率半径、ｎ$_{1}$　は前記の最も物体側の正屈折力単体レンズの屈折率、ｆはレンズ全系の焦点距離である。
【００１２】
また、第ＩＩレンズ群は、負レンズと正レンズと負レンズの３枚接合レンズであることが望ましい。
【００１３】
また、第ＩＩレンズ群は、物体側に凸面を向けたレンズであることが望ましい。
【００１４】
また、その第ＩＩレンズ群中の少なくとも１つの負レンズのｄ線に対するアッベ数をν$_{o}$　、その３枚接合レンズの正レンズのｄ線に対するアッベ数をν$_{t}$　とするとき、以下の条件を満たすことが望ましい。
【００１５】
ν$_{t}$　－ν$_{o}$　＞３０　　・・・（４）
また、第ＩＩＩ　レンズ群は、正レンズ、負レンズの接合レンズであることが望ましい。
【００１６】
また、第ＩＩＩ　レンズ群は、物体側に凸面を向けたメニスカスレンズであることが望ましい。
【００１７】
また、第ＩＶレンズ群は、接合レンズを有することが望ましい。
【００１８】
さらに、以下の条件を満足することが望ましい。
３＜｜ｆ$_{II}$／ｆ$_{b}$　｜　　・・・（５）

ただし、f_{II}は第ＩＩレンズ群の焦点距離、f_b　は第ＩＩレンズ群から第ＩＶレンズ群までの合成の焦点距離である。

【００１９】

以下に、本発明において上記構成をとる理由と作用について詳細に説明する。顕微鏡対物レンズの同焦位置を一定とし、作動距離を長くするには、物体側に正の屈折力を持つレンズ群を配置し、像側に強い負の屈折力を持つレンズ群を配置する必要がある。一般に、対物レンズの作動距離は長くなる程諸収差が急激に悪化する。長作動距離の顕微鏡対物レンズは、この構成でなるべく作動距離を長くしながら諸収差を良好に補正することが必要になる。

【００２０】

本発明の顕微鏡対物レンズは、物体から順に、複数の正屈折力単体レンズから構成される第１レンズ群と、物体側に凸面を向けた負の接合メニスカスレンズ成分を少なくとも１つ含み、全体で負の屈折力を持つ第２レンズ群とから構成される。

【００２１】

第１レンズ群の最も物体側の正屈折力単体レンズは、アプラナテックに近い面を２面構成することによって収差の発生を最小限に抑えながら、物体からの発散光の光線高を下げている。また、それに続く正屈折力の単体レンズにより光線を収斂光線に変化させる。

【００２２】

第１レンズ群は単体レンズにより構成した方がレンズの枚数を少なくすることができ、この結果、作動距離を長くすることができる。第１レンズ群は単体正レンズにより構成されるため、色収差が補正不足であるが、２０×程度の中倍率では、後に続く第２レンズ群の接合レンズにより色収差を補正することが可能である。

【００２３】

上記の（１）式は、前記単体正レンズの屈折力を規定したものである。この式の下限の３．４を越えると、アプラナテックな条件から外れ、コマ収差、球面収差が増大する。また、（１）式の範囲を越えると、最も物体側の面の曲率半径が小さくなり、作動距離を大きくすることが難しくなる。

【００２４】

また、第２レンズ群は、少なくとも１つ物体側に凸面を向けた負の接合メニスカスレンズ成分を含み、全体で負の屈折力を持っている。物体からの光線は第１レンズ群により収束光線になっているので、第２レンズ群には少なくとも１つ物体側に凸面を向けた負のメニスカスレンズを持つことが収差補正上有利である。また、何れか１つの負のメニスカスレンズの焦点距離は上記の（２）式を満たすことが必要である。（２）式の下限の２．５４を越えると、負のメニスカスレンズのパワーが大きすぎてペッツバール和がマイナス方向に大きくなり、コマ収差が補正できなくなる。（２）式の上限の５を越えると、負のメニスカスレンズで負担する負のパワーが小さくなり、その分を他のレンズが負担することになり、短波長の球面収差、コマ収差を補正することが困難になる。

【００２５】

第１レンズ群の少なくとも１つの正の単レンズのｄ線に対するアッベ数は、（３）式を満たすことが望ましい。第１レンズ群で発生する色収差を少なくするためには、第１レンズ群の少なくとも１つのレンズを（３）式を満たす低分散ガラスを用いる必要がある。（３）式を満たさない場合には、色収差が補正不足になる。

【００２６】

第２レンズ群は、第１レンズ群で補正不足の色収差を補正するための負レンズ、正レンズ、負レンズにて構成される３枚接合レンズが必要である。第２レンズ群は全体で負の屈折力を持つため、３枚接合レンズも負の屈折力を持つ負レンズ、正レンズ、負レンズの組合せにより負の屈折力を負担することが望ましい。また、この３枚接合レンズは第１レンズ群により収斂光束に変換された光線中に配置されるため、物体側に凸面を向けることによって、コマ収差の発生を小さく抑えることができる。

【００２７】

この３枚接合レンズにより有効に色収差を補正するには、（４）式を満たすことが望ましい。３枚接合レンズの凹レンズと凸レンズのアッベ数の差を（４）式のように大きくすることにより、色収差を小さくすることができる。（４）式の範囲を越えると、特に短波長の球面収差を補正することができなくなる。

【００２８】

また、第２レンズ群は全体として強い負のパワーを持つ必要があるため、全て負のパワーを持つレンズにより構成し、パワーを分散することが望ましい。また、長作動距離の対物レンズでは、軸上の色収差、倍率の色収差の補正が困難になるため、全ての群が接合レンズで構成されていることが望ましい。

【００２９】

本発明においては、レンズ系の群構成を４群構成とすることもできる。

長作動距離顕微鏡対物レンズは、前群に正のパワー、後群に負のパワーを持つことが必要であるが、この後群の強い負のパワーを第ＩＩレンズ群、第ＩＩＩ　レンズ群、第ＩＶレンズ群に分散して構成している。強い負のパワーを３つの群に分散することにより、長作動距離を保ちながら各収差の発生を小さく抑えることができる。特に、強い正屈折力の第Ｉレンズ群で発生する正のペッツバール和は、この３つの負の屈折力を持つ群による補正が望ましい。

【００３０】

本構成では、物体から発した発散光を正屈折力を有する第Ｉレンズ群により収斂光束にし、それを負屈折力を有する第ＩＩレンズ群ないし第ＩＶレンズ群によって徐々に収斂度を弱めて行き、第ＩＶレンズ群を射出する光線、すなわち対物レンズを射出する光線が平行光になるようにする。

【００３１】

すでに述べたように、第Ｉレンズ群の最も物体側の単体正レンズにアプラナテックに近い面を２面有することによって、球面収差、コマ収差を良好に補正しながら物体からの発散光の光線高を下げている。

【００３２】

この場合の条件式（１）は、第Ｉレンズ群の単体正レンズの最も物体側のレンズ面の屈折力を対物レンズの焦点距離で規格化したものである。条件式（１）を満たすことによって、球面収差、コマ収差を良好に補正することができる。

【００３３】

また、第ＩＩレンズ群を負レンズと正レンズと負レンズの３枚接合レンズとすることで、色収差を効果的に補正することが可能となる。

【００３４】

さらに、第ＩＩレンズ群は収斂光束中にあるため、物体側に凸面を向けることによって、コマ収差の発生を小さく抑えることができる。

【００３５】

また、第ＩＩレンズ群の負レンズと正レンズのアッベ数は（４）式を満たすことが望ましい。（４）式を満たすことによって、色収差を十分に補正することができる。

【００３６】

第ＩＩＩ　レンズ群は、正レンズと負レンズの接合レンズとすることが望ましい。これによって、色収差を効果的に補正することができる。

【００３７】

さらに、第ＩＩレンズ群射出後の光線は収斂光束になっているため、第ＩＩＩ　レンズ群は物体側に凸面を向けたメニスカスレンズとすることによって、コマ収差の発生を小さく抑えることができる。

【００３８】

また、第ＩＶレンズ群が接合レンズを有することによって、色収差、中でも倍率の色収差を十分に補正することが可能となる。

【００３９】

また、（５）式は、第ＩＩレンズ群ないし第ＩＶレンズ群の全体の負屈折力に対する第ＩＩレンズ群の負屈折力を規定したものである。（５）式の下限の３を越えると、第ＩＩレンズ群の負担する負の屈折力が強くなりすぎ、短波長の球面収差、コマ収差を十分に補正することができなくなる。

【００４０】

【発明の実施の形態】

以下に、本発明の長作動距離顕微鏡対物レンズの実施例１～４について説明する。

各実施例のレンズデータは後記するが、図１～図４はそれぞれ実施例１～４のレンズ構成を示す断面図である。

【００４１】

実施例１の構成は、図１に断面図を示すように、第１レンズ群Ｇ１は、物体側に平面を向けた正の平凸レンズと凸面を物体側に向けた正メニスカス単体レンズとにより構成され、第１レンズ群Ｇ１は第Ｉレンズ群Ｉと同じである。第２レンズ群Ｇ２は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズと両凸レンズと両凹レンズからなり、物体側に凸面を向けた負の３枚接合メニスカスレンズ、両凸レンズと両凹レンズからなり、物体側に凸面を向けた負の接合メニスカスレンズ、両凹レンズと両凸レンズからなり、物体側に凹面を向けた負の接合メニスカスレンズにより構成されており、第２レンズ群Ｇ２の３枚接合メニスカスレンズが第ＩＩレンズ群ＩＩを、物体側に凸面を向けた負の接合メニスカスレンズが第ＩＩＩ　レンズ群ＩＩＩ　を、物体側に凹面を向けた負の接合メニスカスレンズが第ＩＶレンズ群ＩＶを構成している。

【００４２】

実施例２の構成は、図２に断面図を示すように、第１レンズ群Ｇ１は、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズと正の両凸単体レンズとにより構成され、第１レンズ群Ｇ１は第Ｉレンズ群Ｉと同じである。第２レンズ群Ｇ２は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズと両凸レンズと物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズからなり、物体側に凸面を向けた負の３枚接合レンズ、両凸レンズと両凹レンズからなり、物体側に凸面を向けた負の接合メニスカスレンズ、両凸レンズと両凹レンズからなり、物体側に凸面を向けた負の接合メニスカスレンズにより構成されており、第２レンズ群Ｇ２の３枚接合レンズが第ＩＩレンズ群ＩＩを、物体側に凸面を向けた第１の負の接合メニスカスレンズが第ＩＩＩ　レンズ群ＩＩＩ　を、物体側に凸面を向けた第２の負の接合メニスカスレンズが第ＩＶレンズ群ＩＶを構成している。

【００４３】

実施例３の構成は、図３に断面図を示すように、第１レンズ群Ｇ１は、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズと正の両凸単体レンズとにより構成され、第１レンズ群Ｇ１は第Ｉレンズ群Ｉと同じである。第２レンズ群Ｇ２は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズと両凸レンズと物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズからなり、物体側に凸面を向けた負の３枚接合レンズ、両凸レンズと両凹レンズからなり、物体側に凸面を向けた負の接合メニスカスレンズ、両凹レンズと両凸レンズからなり、物体側に凹面を向けた負の接合メニスカスレンズにより構成されており、第２レンズ群Ｇ２の３枚接合レンズが第ＩＩレンズ群ＩＩを、物体側に凸面を向けた負の接合メニスカスレンズが第ＩＩＩ　レンズ群ＩＩＩ　を、物体側に凹面を向けた負の接合メニスカスレンズ第ＩＶレンズ群ＩＶを構成している。

【００４４】

実施例４の構成は、図４に断面図を示すように、第１レンズ群Ｇ１は、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズと正の両凸単体レンズとにより構成され、第１レンズ群Ｇ１は第Ｉレンズ群Ｉと同じである。第２レンズ群Ｇ２は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズと両凸レンズと物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズからなり、物体側に凸面を向けた負の３枚接合レンズ、両凸レンズと両凹レンズからなり、物体側に凸面を向けた負の接合メニスカスレンズ、両凹レンズと両凸レンズからなり、物体側に凹面を向けた負の接合メニスカスレンズにより構成されており、第２レンズ群Ｇ２の３枚接合レンズが第Ｉ

Ｉレンズ群ＩＩを、物体側に凸面を向けた負の接合メニスカスレンズが第ＩＩＩ　レンズ群ＩＩＩ　を、物体側に凹面を向けた負の接合メニスカスレンズ第ＩＶレンズ群ＩＶを構成している。

【００４５】

以下に、各実施例のレンズデータを示す。記号は、上記の他、ＮＡは開口数、ＷＤは作動距離、βは倍率、ｆは焦点距離である。また、r_1　、r_2　…は物体側から順に示した各レンズ面の曲率半径、d_1　、d_2　…は物体側から順に示した各レンズ面間の間隔、n_{d1}、n_{d2}…は物体側から順に示した各レンズのｄ線の屈折率、ν_{d1}、ν_{d2}…は物体側から順に示した各レンズのアッベ数である。

【００４６】

実施例１

NA＝0．35，WD＝23．5，β＝－20，f＝9

r_1 =	∞	d_1 = 2	n_{d1} =1.883	ν_{d1} =40.78
r_2 =	-23.925	d_2 = 0.081		
r_3 =	11.480	d_3 = 4.19	n_{d2} =1.497	ν_{d2} =81.61
r_4 =	288.350	d_4 = 0.261		
r_5 =	14.882	d_5 = 0.9	n_{d3} =1.74	ν_{d3} =31.71
r_6 =	6.573	d_6 = 6.41	n_{d4} =1.439	ν_{d4} =94.97
r_7 =	-9.688	d_7 = 0.9	n_{d5} =1.645	ν_{d5} =40.82
r_8 =	41.483	d_8 = 0.075		
r_9 =	5.852	d_9 = 4.39	n_{d6} =1.569	ν_{d6} =71.3
r_{10}=	-12.433	d_{10}= 0.88	n_{d7} =1.645	ν_{d7} =40.82
r_{11}=	5.852	d_{11}= 2.562		
r_{12}=	-6.450	d_{12}= 0.69	n_{d8} =1.773	ν_{d8} =49.60
r_{13}=	5.712	d_{13}= 2.66	n_{d9} =1.805	ν_{d9} =25.43
r_{14}=	-12.895			

(1) $|r_1/(n_1-1)|/f$＝∞

(2) $|f_{III}/f|$　＝3．45，3．56

(3) ν_d　＝81．61

(4) $\nu_t-\nu_0$　＝63．26，54．15

(5) $|f_{II}/f_b|$　＝3．45　。

【００４７】

実施例２

NA＝０．３５，WD＝２１．２２，β＝－２０，f＝９

r_1 = -33.509	d_1 = 2.00	n_{d1} =1.883	ν_{d1} =40.78	
r_2 = -17.307	d_2 = 0.20			
r_3 = 13.101	d_3 = 4.50	n_{d2} =1.439	ν_{d2} =94.97	
r_4 = -52.009	d_4 = 0.22			
r_5 = 14.940	d_5 = 1.51	n_{d3} =1.773	ν_{d3} =49.60	10
r_6 = 8.406	d_6 = 6.95	n_{d4} =1.439	ν_{d4} =94.97	
r_7 = -9.829	d_7 = 1.3	n_{d5} =1.740	ν_{d5} =31.71	
r_8 = -64.774	d_8 = 0.08			
r_9 = 9.565	d_9 = 4.13	n_{d6} =1.618	ν_{d6} =63.39	
r_{10}= -9.748	d_{10}= 0.90	n_{d7} =1.740	ν_{d7} =31.71	
r_{11}= 7.465	d_{11}= 3.00			
r_{12}= 116.490	d_{12}= 2.00	n_{d8} =1.847	ν_{d8} =23.78	20
r_{13}= -5.404	d_{13}= 1.00	n_{d9} =1.729	ν_{d9} =54.68	
r_{14}= 10.451				

(1) $|r_1/(n_1-1)|/f$＝４．２２

(2) $|f_{III}/f|$ ＝４．３，２．８３

(3) ν_d ＝９４．９７

(4) $\nu_t-\nu_o$ ＝４５．３７，６３．２６

(5) $|f_{II}/f_b|$ ＝１９．２３ 。 30

【００４８】

実施例３

NA＝０．３５，WD＝２１．６，β＝－２０，ｆ＝９

r_1 = -126.867	d_1 = 1.94	n_{d1} =1.883	ν_{d1} =40.78	
r_2 = -23.553	d_2 = 0.2			
r_3 = 13.501	d_3 = 4.24	n_{d2} =1.439	ν_{d2} =94.97	
r_4 = -73.654	d_4 = 0.34			
r_5 = 15.570	d_5 = 1.4	n_{d3} =1.740	ν_{d3} =31.71	
r_6 = 8.024	d_6 = 6.87	n_{d4} =1.439	ν_{d4} =94.97	
r_7 = -10.284	d_7 = 1.13	n_{d5} =1.645	ν_{d5} =40.82	
r_8 = -92.433	d_8 = 0.25			
r_9 = 6.541	d_9 = 4.51	n_{d6} =1.569	ν_{d6} =71.30	
r_{10}= -73.888	d_{10}= 0.86	n_{d7} =1.740	ν_{d7} =31.71	
r_{11}= 4.063	d_{11}= 2.52			
r_{12}= -7.617	d_{12}= 0.72	n_{d8} =1.773	ν_{d8} =49.60	
r_{13}= 5.480	d_{13}= 2.74	n_{d9} =1.805	ν_{d9} =25.43	
r_{14}= -16.110				

(1) $|r_1/(n_1-1)|/f$＝１６

(2) $|f_{III}/f|$ ＝２．５４

(3) ν_d ＝９４．９７

(4) $\nu_t-\nu_o$ ＝６３．２６，５４．６５

(5) $|f_{II}/f_b|$ ＝１６９．１ 。

【００４９】

実施例４

NA＝０．３５，WD＝２１．２６，β＝－２０，ｆ＝９

r_1 = -64.448	d_1 = 1.76	n_{d1} =1.883	ν_{d1} =40.78	
r_2 = -21.175	d_2 = 0.20			
r_3 = 13.692	d_3 = 4.25	n_{d2} =1.569	ν_{d2} =71.30	
r_4 = -87.078	d_4 = 0.16			
r_5 = 19.334	d_5 = 1.40	n_{d3} =1.719	ν_{d3} =33.52	
r_6 = 7.353	d_6 = 7.06	n_{d4} =1.439	ν_{d4} =94.97	
r_7 = -8.747	d_7 = 1.13	n_{d5} =1.645	ν_{d5} =40.82	
r_8 = -116.357	d_8 = 0.29			
r_9 = 6.103	d_9 = 4.12	n_{d6} =1.569	ν_{d6} =71.30	
r_{10}= -22.289	d_{10}= 0.86	n_{d7} =1.645	ν_{d7} =40.82	
r_{11}= 3.952	d_{11}= 2.77			
r_{12}= -13.406	d_{12}= 1.10	n_{d8} =1.773	ν_{d8} =49.60	
r_{13}= 4.961	d_{13}= 2.69	n_{d9} =1.805	ν_{d9} =25.43	
r_{14}= -56.640				

(1) $|r_1/(n_1-1)|/f$＝８．１１

(2) $|f_{III}/f|$ ＝４．５

(3) ν_d ＝７１．３０

(4) $\nu_t-\nu_o$ ＝６１．４５，５４．１５

(5) $|f_{II}/f_b|$ ＝４．６９ 。

【００５０】

上記実施例１～４は何れも対物レンズからの射出光が平行光束となる無限遠補正型の対物レンズであり、これら単体では結像しない。そこで、例えば以下に示すレンズデータを有し、図５にレンズ断面を示す結像レンズと組み合わせて使用される。ただし、レンズデータ中、r_1'、r_2'…は物体側から順に示した各レンズ面の曲率半径、d_1'、d_2'…は物体側から順に示した各レンズ面間の間隔、n_{d1}'、n_{d2}'…は物体側から順に示した各レンズのｄ線の屈折率、ν_{d1}'、ν_{d2}'…は物体側から順に示した各レンズのアッベ数である。

【００５１】

r_1'= 68.754	d_1'= 7.732	n_{d1}'=1.487	ν_{d1}'=70.2
r_2'= -37.567	d_2'= 3.474	n_{d2}'=1.806	ν_{d2}'=40.9
r_3'= -102.847	d_3'= 0.697		
r_4'= 84.309	d_4'= 6.023	n_{d3}'=1.834	ν_{d3}'=37.1
r_5'= -50.710	d_5'= 3.029	n_{d4}'=1.644	ν_{d4}'=40.8
r_6'= 40.661			

。

【００５２】

この場合、実施例１～４の対物レンズと図５の結像レンズの間の間隔は５０ｍｍ～１７０ｍｍの間の何れの位置でもよいが、この間隔を１２０ｍｍとした場合の実施例１～４の収差図をそれぞれ図６～図９に示す。ただし、これら収差図において、（ａ）は球面収差、（ｂ）は非点収差、（ｃ）は歪曲収差、（ｄ）はコマ収差を示す。これら収差図中、ＩＨは像高を示す。なお、上記間隔が５０ｍｍ～１７０ｍｍの間で１２０ｍｍ以外の位置においてもほぼ同様の収差状況を示す。

【００５３】

以上の本発明の長作動距離顕微鏡対物レンズは例えば次のように構成することができる。

〔１〕　物体から順に、複数の正屈折力単体レンズから構成され、物体からの光線を収斂光束に変換する第１レンズ群と、物体側に凸面を向けた負の接合メニスカスレンズ成分を少なくとも１つ含み、全体で負の屈折力を持つ第２レンズ群とからなり、以下の条件を満足することを特徴とする長作動距離顕微鏡対物レンズ。

$3.4 < |r_1/(n_1-1)|/f$　　・・・（１）

$1.8 < |f_m/f| < 5$　　・・・（２）’

ただし、r_1 は前記第１レンズ群の最も物体側の正屈折力単体レンズの物体側の曲率半径、n_1 は前記の最も物体側の正屈折力単体レンズの屈折率、ｆはレンズ全系の焦点距離、f_m は前記第２レンズ群中の何れか１つの接合メニスカスレンズの焦点距離である。

【００５４】

〔２〕　以下の条件を満足することを特徴とする上記〔１〕記載の長作動距離顕微鏡対物レンズ。

$2.1 < |f_m/f| < 4.8$　　・・・（２）”

。

【００５５】

〔３〕　前記第１レンズ群中の少なくとも１つの正屈折力単体レンズのｄ線に対するアッベ数 ν_d が以下の条件を満足することを特徴とする上記〔１〕記載の長作動距離顕微鏡対物レンズ。

$\nu_d > 62$　　・・・（３）

。

【００５６】

〔４〕　前記第２レンズ群に負レンズと正レンズと負レンズの３枚接合レンズが含まれることを特徴とする上記〔１〕記載の長作動距離顕微鏡対物レンズ。

【００５７】

〔５〕　前記３枚接合レンズは、物体側に凸面を向けていることを特徴とする上記〔４〕記載の長作動距離顕微鏡対物レンズ。

【００５８】

〔６〕　前記３枚接合レンズの何れか一方の負レンズのｄ線に対するアッベ数を ν_o 、前記３枚接合レンズの正レンズのｄ線に対するアッベ数を ν_t とするとき、以下の条件を満たすことを特徴とする上記〔４〕記載の長作動距離顕微鏡対物レンズ。

$\nu_t - \nu_o > 30$　　・・・（４）

。

【００５９】

〔７〕　前記第２レンズ群は、全て負の屈折力を持った接合レンズで構成されていることを特徴とする上記〔１〕記載の長作動距離顕微鏡対物レンズ。

【００６０】

〔８〕　物体から順に、複数の正屈折力単体レンズから構成され、正屈折力を有する第Ｉレンズ群、負の屈折力を有する第ＩＩレンズ群、負の屈折力を有する第ＩＩＩ　レンズ群、負の屈折力を有する第ＩＶレンズ群により構成され、以下の条件を満たすことを特徴とする長作動距離顕微鏡対物レンズ。

$3.4 < |r_1/(n_1-1)|/f$　　・・・（１）

ただし、r_1 は前記第Ｉレンズ群の最も物体側の正屈折力単体レンズの物体側の曲率半

径、n_1　は前記の最も物体側の正屈折力単体レンズの屈折率、ｆはレンズ全系の焦点距離である。

【００６１】

〔９〕　前記第ＩＩレンズ群は、負レンズと正レンズと負レンズの３枚接合レンズであることを特徴とする上記〔８〕記載の長作動距離顕微鏡対物レンズ。

【００６２】

〔１０〕　前記第ＩＩレンズ群は、物体側に凸面を向けたレンズであることを特徴とする上記〔８〕記載の長作動距離顕微鏡対物レンズ。

【００６３】

〔１１〕　前記第ＩＩレンズ群中の少なくとも１つの負レンズのｄ線に対するアッベ数をν_o　、前記３枚接合レンズの正レンズのｄ線に対するアッベ数をν_t　とするとき、以下の条件を満たすことを特徴とする上記〔９〕記載の長作動距離顕微鏡対物レンズ。

$$\nu_t - \nu_o > 30 \quad \cdots (4)$$

。

【００６４】

〔１２〕　前記第ＩＩＩ　レンズ群は、正レンズ、負レンズの接合レンズであることを特徴とする上記〔８〕記載の長作動顕微鏡対物レンズ。

【００６５】

〔１３〕　前記第ＩＩＩ　レンズ群は、物体側に凸面を向けたメニスカスレンズであることを特徴とする上記〔８〕記載の長作動距離顕微鏡対物レンズ。

【００６６】

〔１４〕　前記第ＩＶレンズ群は、接合レンズを有することを特徴とする上記〔８記載の長作動距離顕微鏡対物レンズ。

【００６７】

〔１５〕　さらに、以下の条件を満足することを特徴とする上記〔８〕記載の長作動距離顕微鏡対物レンズ。

$$3 < |f_{II} / f_b| \quad \cdots (5)$$

ただし、f_{II}　は前記第ＩＩレンズ群の焦点距離、f_b　は前記第ＩＩレンズ群から第ＩＶレンズ群までの合成の焦点距離である。

【００６８】

【発明の効果】

以上の説明から明らかなように、本発明の顕微鏡対物レンズは、従来以上の長い作動距離を有しつつ、優れた結像性能を有する中倍率程度の生物顕微鏡、工業顕微鏡に適したレンズ系である。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の顕微鏡対物レンズの実施例１のレンズ断面図である。

【図２】実施例２のレンズ断面図である。

【図３】実施例３のレンズ断面図である。

【図４】実施例４のレンズ断面図である。

【図５】各実施例の顕微鏡対物レンズと共に用いる結像レンズの１例のレンズ断面図である。

【図６】実施例１の球面収差、非点収差、歪曲収差、コマ収差を示す収差図である。

【図７】実施例２の球面収差、非点収差、歪曲収差、コマ収差を示す収差図である。

【図８】実施例３の球面収差、非点収差、歪曲収差、コマ収差を示す収差図である。

【図９】実施例４の球面収差、非点収差、歪曲収差、コマ収差を示す収差図である。

【符号の説明】

Ｇ１…第１レンズ群

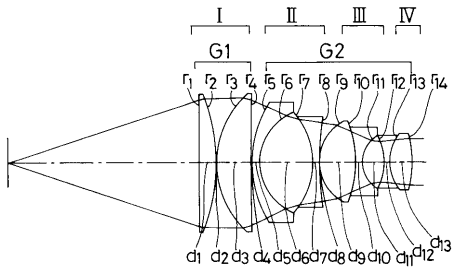
Ｇ２…第２レンズ群

Ｉ　…第Ｉレンズ群

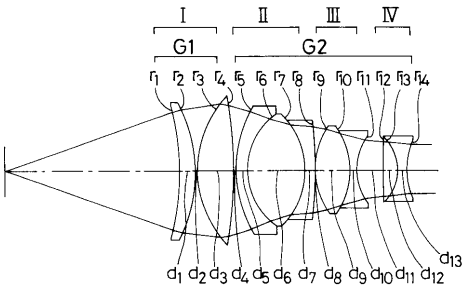
ＩＩ　…第ＩＩレンズ群

ＩＩＩ　…第ＩＩＩ　レンズ群
ＩＶ　…第ＩＶレンズ群

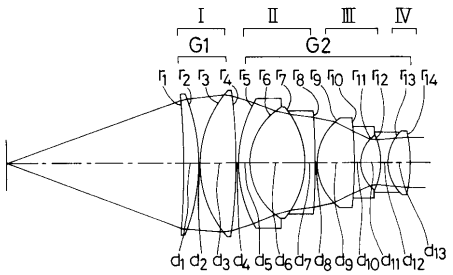
【図１】



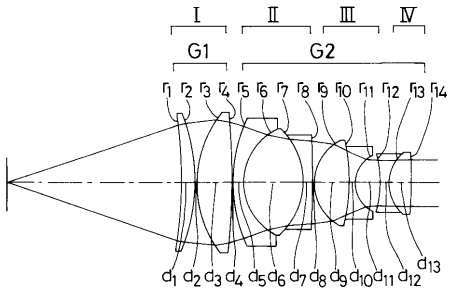
【図２】



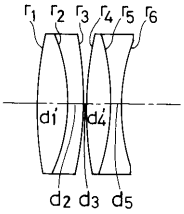
【図３】



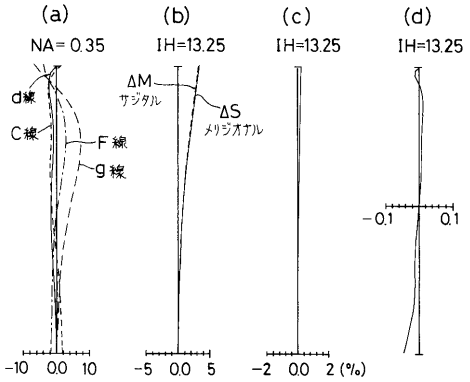
【図４】



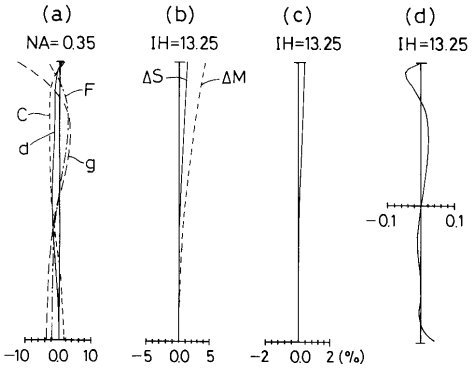
【図５】


r1 r2 r3 r4 r5 r6
d1
d4
d2 d3 d5

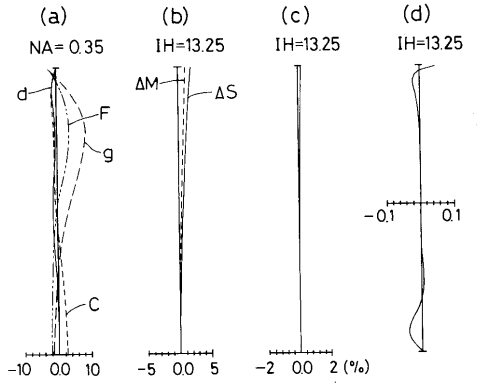
【図６】


(a)
NA= 0.35
(b)
IH=13.25
(c)
IH=13.25
(d)
IH=13.25
d線
C線
F線
g線
ΔM
サジタル
ΔS
メリジオナル
−10 0.0 10
−5 0.0 5
−2 0.0 2 (%)
−0.1 0.1

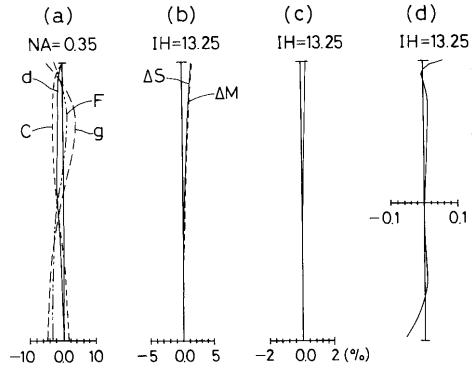
【図７】


(a)
NA= 0.35
(b)
IH=13.25
(c)
IH=13.25
(d)
IH=13.25
F
C
d
g
ΔS
ΔM
−10 0.0 10
−5 0.0 5
−2 0.0 2 (%)
−0.1 0.1

【図８】


(a)
NA= 0.35
(b)
IH=13.25
(c)
IH=13.25
(d)
IH=13.25
d
F
g
C
ΔM
ΔS
−10 0.0 10
−5 0.0 5
−2 0.0 2 (%)
−0.1 0.1

【図９】


(a)
NA= 0.35
(b)
IH=13.25
(c)
IH=13.25
(d)
IH=13.25
d
F
C
g
ΔS
ΔM
−10 0.0 10
−5 0.0 5
−2 0.0 2 (%)
−0.1 0.1

フロントページの続き

(74)代理人 100094787
弁理士 青木 健二
(74)代理人 100091971
弁理士 米澤 明
(72)発明者 日下健一
東京都渋谷区幡ヶ谷２丁目４３番２号オリンパス光学工業株式会社内

審査官 吉野 公夫

(56)参考文献 特開平０７－２６１０９３（ＪＰ，Ａ）
特開平０３－１８９６０８（ＪＰ，Ａ）
特開平０８－０６２５０４（ＪＰ，Ａ）
特開平０９－２２２５６５（ＪＰ，Ａ）
特開昭５４－０３６７４６（ＪＰ，Ａ）
特開昭６２－０３４１１７（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.^{7}，ＤＢ名)
G02B 21/02