

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4633405号
(P4633405)

(45) 発行日 平成23年2月16日(2011.2.16)

(24) 登録日 平成22年11月26日(2010.11.26)

(51) Int.Cl.

G02B 21/02 (2006.01)

F 1

G 02 B 21/02

A

請求項の数 5 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2004-247975 (P2004-247975)
 (22) 出願日 平成16年8月27日 (2004.8.27)
 (65) 公開番号 特開2006-65023 (P2006-65023A)
 (43) 公開日 平成18年3月9日 (2006.3.9)
 審査請求日 平成19年8月23日 (2007.8.23)

(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 100075867
 弁理士 向 寛二
 (72) 発明者 坂倉 正洋
 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号
 オリ
 ナパス株式会社内
 (72) 発明者 藤本 靖
 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号
 オリ
 ナパス株式会社内
 審査官 森内 正明

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、第1レンズ群と第2レンズ群よりなり、前記第1レンズ群は、物体側から順に、正レンズと、正レンズと像側に凹面を向けた負レンズとを貼り合わせた接合レンズとよりなり、前記第2レンズ群は、物体側から順に、負レンズと正レンズとを貼り合わせた接合レンズと、正レンズと、物体側に平面または凹面を向けた負レンズと正レンズとを貼り合わせた第2の接合レンズからなり、下記条件(1)、(2)、(3)、(4)、(5)を満足する顕微鏡対物レンズ。

$$(1) d(L_1 p) - d(L_1 n) > 20$$

$$(2) d(L_2 p) > 75$$

$$(3) -0.007 < \{ C_t(L_2 p) - C_t(L_2 n) \} / \{ d(L_2 p) - d(L_2 n) \} < 0$$

$$(4) 15 < f < 55$$

$$(5) |f(L_2) / f| < 4$$

ただし、 $d(L_1 p)$ は、前記第1レンズ群中の接合レンズの正レンズのd線に対するアッペ数、 $d(L_1 n)$ は前記第1レンズ群中の接合レンズの像側に凹面を向けた負レンズのd線に対するアッペ数、 $d(L_2 p)$ は、前記第2レンズ群中の第2の接合レンズの正レンズのd線に対するアッペ数、 $d(L_2 n)$ は前記第2レンズ群中の第2の接合レンズの物体側に平面または凹面を向けた負レンズのd線に対するアッペ数、 $C_t(L_2 p)$ は前記第2レンズ群中の第2の接合レンズの正レンズのt線に対する部分分

10

20

散比、 $C_t (L_2 n)$ は前記第2レンズ群中の第2の接合レンズの物体側に平面または凹面を向けた負レンズの t 線に対する部分分散比、 $f (L_2)$ は前記第2レンズ群中の第2の接合レンズの焦点距離、 f は対物レンズ全系の焦点距離である。

【請求項2】

前記第2レンズ群中の接合レンズに入射する光束が発散光束であることを特徴とする請求項1の顕微鏡対物レンズ。

【請求項3】

前記条件(1)に代えて、以下条件(1-1)を満足する請求項1または請求項2に記載の顕微鏡対物レンズ。

$$(1-1) \quad d(L_1 p) - d(L_1 n) > 25$$

10

【請求項4】

前記第1レンズ群中の接合レンズの正レンズのアッベ数 $d(L_1 p)$ が以下条件(6)を満足する請求項1から請求項3のいずれかに記載の顕微鏡対物レンズ。

$$(6) \quad d(L_1 p) > 75$$

【請求項5】

請求項1から請求項4のいずれかに記載の対物レンズを用いた光学顕微鏡あるいは光学観察装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

20

本発明は、顕微鏡対物レンズで、特に倍率が4倍から10倍程度であって、可視域から近赤外域まで諸収差が良好に補正されたアポクロマート顕微鏡対物レンズに関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、生物関係の研究市場において、次のような要求がある。

【0003】

まず、蛍光観察法においては、これまでよりも更に長い波長の蛍光色素を利用して、近赤外域での蛍光観察が行なわれるようになり、そのため、近赤外域での良好な結像性能を有する光学系が望まれている。

30

【0004】

また、近赤外DIC観察法が利用されるようになり、近赤外域での良好な結像性能が望まれている。

【0005】

また2フォトン(photon)に代表されるようなマルチフォトン観察においては、標本を長波長光にて励起し、可視光にて観察するため、可視域の波長と近赤外域の波長とで標本上での焦点位置のずれの小さいことが望まれる。

【0006】

更に、蛍光観察法と近赤外DIC観察法の同時観察が行なわれることがあり、可視域の波長と近赤外域の波長とで、標本上での焦点位置のずれが小さいことが望まれている。

40

【0007】

以上のような理由から、可視域から近赤外域まで諸収差が良好に補正されたアポクロマート顕微鏡対物レンズが望まれている。

【0008】

従来、可視域から近赤外域まで諸収差を良好に補正するようにした対物レンズとして、下記文献に記載されたものが知られている。

【特許文献1】特開昭62-49313号公報

【特許文献2】特公平7-104488号公報 (特開平4-26813号公報)

【特許文献3】特開平6-175034号公報

【特許文献4】特開平11-174338号公報

50

【特許文献 5】特開 2003 - 167199 号公報 上記文献のうち、文献 1 に記載された対物レンズは、倍率が 50 倍で NA が 0.5 の対物レンズや、倍率が 60 倍で NA が 0.6 の対物レンズである。

【0009】

また、文献 2 に記載されている対物レンズは、倍率が 5 倍で NA が 0.14、倍率が 10 倍で NA が 0.26、倍率が 20 倍で NA が 0.4、倍率が 50 倍で NA が 0.42、倍率が 100 倍で NA が 0.5 の対物レンズである。

【0010】

また、文献 3 には、倍率が 50 倍で NA が 0.45 の対物レンズが記載されている。

【0011】

また、文献 4 には、倍率が 5 倍で NA が 0.13、倍率が 10 倍で NA が 0.21、倍率が 20 倍で NA が 0.35、倍率が 50 倍で NA が 0.4、倍率が 100 倍で NA が 0.5 の対物レンズが記載されている。

【0012】

更に、文献 5 には倍率が 100 倍で NA が 0.7 の対物レンズが記載されている。

【0013】

これら従来例に記載されている対物レンズは、半導体 IC や液晶パネルの観察・検査のために用いられるものである。これら対物レンズは、YAG レーザー (1064 nm) を用いた配線欠陥リペアのため近赤外線まで収差補正を行なっている。しかし、これら対物レンズは、観察対象が半導体 IC や液晶パネルであるために、作動距離が長く、そのために NA が小になっている。それにより、高解像や明るい観察像を必要とする細胞や蛋白質や DNA 等を観察する対物レンズとしては不向きである。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

本発明は、高 NA で可視域から近赤外域まで、特に t 線 (= 1013.98 nm) 近傍ま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ものである。

【課題を解決するための手段】

【0015】

本発明の顕微鏡対物レンズは、物体側から順に、第 1 レンズ群と第 2 レンズ群とよりなり、前記第 1 レンズ群は、物体側から順に、正レンズと、正レンズと像側に凹面を向けた負レンズとを貼り合わせた接合レンズとよりなり、前記第 2 レンズ群は、物体側から順に、負レンズと正レンズとを貼り合わせた接合レンズと、正レンズと、物体側に平面または凹面を向けた負レンズと正レンズとを貼り合わせた第 2 の接合レンズからなり、次の条件(1)乃至条件(5)を満足することを特徴とする。

$$(1) \quad d(L1p) - d(L1n) > 20$$

$$(2) \quad d(L2p) > 75$$

$$(3) \quad -0.007 < \{ C_t(L2p) - C_t(L2n) \} / \{ d(L2p) - d(L2n) \} < 0$$

$$(4) \quad 15 < f < 55$$

$$(5) \quad |f(L2)/f| < 4$$

ただし、 $d(L1p)$ は、前記第 1 レンズ群中の接合レンズの正レンズの d 線に対するアッペ数、 $d(L1n)$ は前記第 1 レンズ群中の接合レンズの像側に凹面を向けた負レンズの d 線に対するアッペ数、 $d(L2p)$ は、前記第 2 レンズ群中の第 2 の接合レンズの正レンズの d 線に対するアッペ数、 $d(L2n)$ は前記第 2 レンズ群中の第 2 の接合レンズの物体側に平面または凹面を向けた負レンズの d 線に対するアッペ数、 $C_t(L2p)$ は前記第 2 レンズ群中の第 2 の接合レンズの正レンズの t 線に対する部分分散比、 $C_t(L2n)$ は前記第 2 レンズ群中の第 2 の接合レンズの物体側に平面または凹面を向けた負レンズの t 線に対する部分分散比、 $f(L2)$ は前記第 2 レンズ群中の第 2 の接合レンズの焦点距離、 f は対物レンズ全系の焦点距離である。

10

20

30

40

50

【0016】

尚、部分分数 C_t は次の式にて与えられる。

【0017】

$$C_t = (n_C - n_t) / (n_F - n_C)$$

ここで、 n_C 、 n_t 、 n_F は夫々 C 線、t 線、F 線に対する屈折率である。また、g 線、F 線、d 線、C 線、A' 線、t 線の波長は、夫々 435.835 nm、486.13 nm, 587.56 nm, 656.27 nm, 768.19 nm, 1013.98 nm である。

【0018】

上記のように、本発明の顕微鏡対物レンズは、第1レンズ群と第2レンズ群とによりなり、第1レンズ群は正レンズと像側に凹面を向けた負レンズとを接合した接合レンズを少なくとも含んでおり、第2レンズ群は物体側に平面または凹面を向けた負レンズと正レンズとを接合した第2の接合レンズを少なくとも含んだ構成のレンズ系である。10

【0019】

本発明の対物レンズにおいて、第1レンズ群の接合レンズはレンズ系の前側（物体側）に配置されるため、光線高の上下の大きい場所（光線高の変化の大きい場所）に配置される。そのために、この第1レンズ群に含まれる接合レンズは、強い軸上色収差の補正作用を有している。また、球面収差、非点収差、コマ収差等の諸収差の補正作用も有している。20

【0020】

また、第2レンズ群の接合レンズは、対物レンズの後群に配置され、したがってながらかに光線が通過する場所に配置される。そのため、この第2レンズ群に含まれる接合レンズは、光線がなだらかに通過する場所に配置されるために、球面収差、非点収差、コマ収差等の諸収差へ与える影響を少なくし、主として軸上色収差補正の作用を持たせることができる。20

【0021】

そこで、本発明は、第1レンズ群中に前記の通りの接合レンズを配置して、主として可視域での軸上色収差を補正するようにし、また第2レンズ群に前記の通りの接合レンズを配置することによって可視域の軸上色収差と共に近赤外域（例えば 750 nm ~ 1014 nm）の軸上色収差を補正するようにした。30

【0022】

更に、本発明の第1レンズ群中に配置した前記構成の接合レンズにおいて可視域の色収差を良好に補正するためには、この接合レンズを構成する正レンズと像側に凹面を向けた負レンズのアッペ数 d は離れた値であることが好ましく、前記条件（1）を満足することが望ましい。

【0023】

条件（1）において下限値の 20 より下回る可視域での色収差の補正が困難になる。

【0024】

この条件（1）の代わりに下記条件（1-1）を満足すれば、色収差を一層良好に補正し得る。40

【0025】

$$(1-1) \quad d(L_1 p) - d(L_1 n) > 25$$

ここで第1レンズ群の接合レンズの正レンズのアッペ数 $d(L_1 p)$ が下記条件（6）を満足することが好ましい。

【0026】

$$(6) \quad d(L_1 p) > 75$$

この条件（6）を満足することにより d 線、C 線、F 線の色収差を良好に補正できる。また、アッペ数が 75 を超えるガラスは、g 線における異常分散性が大きいため g 線の色収差も良好に補正できる。

【0027】

条件(6)において、下限の75を下回ると、特にg線の色収差の補正が十分行なわれなくなる。

【0028】

次に、第2レンズ群に含まれる前記構成の接合レンズは、可視域と赤外域での色収差の補正を可能にする。そのうちの可視域の色収差を補正するために、条件(2)を設けた。

【0029】

この条件(2)において、下限の75を下回ると、可視域での色収差が補正不足になる。

【0030】

尚、この条件(2)や前記条件(6)を満足する材料としてフツリン酸系ガラスやリン酸系ガラスや萤石等がある。

10

【0031】

また、条件(3)は、第2レンズ群中の第2の接合レンズにより近赤外域での色収差を補正するために設けた条件である。

【0032】

通常、可視域のみの色収差を補正する目的をもって接合レンズを用いる場合、条件(3)にて規定する値は正になることが多い。

【0033】

本発明は、第2レンズ群に条件(3)の値が負になる第2の接合レンズを加えることによって、近赤外域での色収差を補正するようにした。

20

【0034】

条件(3)において、下限値の-0.007を下回ると近赤外域での色収差が補正過剰になり、また、この第2レンズ群の接合レンズを構成する負レンズと正レンズのアッペ数の差が小になり、可視域での色収差の補正が十分でなくなる。

【0035】

条件(3)において、上限値の0を超えると、可視域での色収差の補正には有利であるが、近赤外域で色収差が補正不足になる。

【0036】

条件(4)は、本発明の顕微鏡対物レンズの適用範囲を規定するものである。つまり、本発明の対物レンズの倍率の範囲を規定している。この条件(4)において、下限値の15を下回ると対物レンズの倍率が大になりすぎ、第2レンズ群中に条件(3)を満足する第2の接合レンズを配置することが困難になる。上限値の55を超えると、対物レンズの倍率が小になりすぎ、色収差の発生量が大になり、これを補正することが困難になる。

30

【0037】

条件(5)は、第2レンズ群に含まれる前記構成の第2の接合レンズの屈折力を規定するものである。この条件(5)において、上限値の4を超えると第2レンズ群の第2の接合レンズの屈折力が弱くなり、本発明の適用範囲である低倍率の対物レンズとする場合、光束を有效地に伝達することができず、全系の焦点距離に不都合を生ずる。つまり、対物レンズの焦点距離を長くする(低倍率にする)ことが困難になる。

40

【0038】

本発明の対物レンズを構成する第1レンズ群および第2レンズ群は、例えば後に述べる実施例のように、前記構成の各接合レンズのほか、単レンズや接合レンズを配置してもよい。

【0039】

以上述べた本発明の各構成の対物レンズにおいて、第2レンズ群中の物体側に平面あるいは凹面を向けた負レンズと正レンズとを貼り合わせた第2の接合レンズへ入射する光束が発散光束であるようにすることが望ましい。

【0040】

前記の第2の接合レンズによる色収差補正の自由度を増すためには、前記のようにこ

50

の接合レンズへ入射する光束が発散光束であることが好ましい。もし、この入射光束が発散光束でないと、条件(3)を満足するような接合レンズを配置することが困難になる。

【0041】

以上述べた本発明の対物レンズを備えた光学顕微鏡あるいは光学観察装置は、標本の高解像で明るい観察が可能であり、細胞その他の観察にとって有効である。

【発明の効果】

【0042】

本発明によれば、高NAであって、可視域から近赤外域までにわたり、色収差をはじめ、球面収差、非点収差、コマ収差等の諸収差が良好に補正された顕微鏡対物レンズを実現し得る。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0043】

次に本発明の顕微鏡対物レンズの実施の形態を各実施例にもとづいて説明する。

【実施例1】

【0044】

本発明の実施例1は、図1に示す通りの構成で、物体側より第1レンズ群G1と第2レンズ群G2によりなり、第1レンズ群G1が物体側から順に、正レンズ($r_1 \sim r_2$)と、正レンズL1p($r_3 \sim r_4$)と像側に凹面を向けた負レンズL1n($r_4 \sim r_5$)とを貼り合わせた接合レンズL1($r_3 \sim r_5$)とよりなる。また、第2レンズ群G2は、物体側から順に、負レンズ($r_6 \sim r_7$)と正レンズ($r_7 \sim r_8$)とを貼り合わせた接合レンズ($r_6 \sim r_8$)と、正レンズ($r_9 \sim r_{10}$)と、物体側に凹面を向けた負レンズL2n($r_{11} \sim r_{12}$)と正レンズL2p($r_{12} \sim r_{13}$)とを貼り合わせた第2の接合レンズL2($r_{11} \sim r_{13}$)からなる。

20

【0045】

この実施例1のデータは下記の通りである。

$$f = 45, \quad = 4x, \quad NA = 0.16, \quad \text{視野数} = 26.5, \quad WD = 13.327$$

$$r_1 = 23.5100 \quad d_1 = 3.3114 \quad n_1 = 1.51633 \quad _1 = 64.14$$

$$r_2 = -18.0816 \quad d_2 = 1.1909$$

$$r_3 = 11.9099 \quad d_3 = 8.3841 \quad n_2 = 1.49700 \quad _2 = 81.54$$

$$r_4 = -11.4327 \quad d_4 = 1.4037 \quad n_3 = 1.74100 \quad _3 = 52.64$$

$$r_5 = 7.6802 \quad d_5 = 4.9712$$

$$r_6 = -4.8583 \quad d_6 = 1.8582 \quad n_4 = 1.77250 \quad _4 = 49.60$$

$$r_7 = 511.8307 \quad d_7 = 3.2971 \quad n_5 = 1.43875 \quad _5 = 94.93$$

$$r_8 = -7.5362 \quad d_8 = 0.2307$$

$$r_9 = -269.1995 \quad d_9 = 4.7695 \quad n_6 = 1.49700 \quad _6 = 81.54$$

$$r_{10} = -11.3589 \quad d_{10} = 0.3500$$

$$r_{11} = -56.7065 \quad d_{11} = 1.2469 \quad n_7 = 1.48749 \quad _7 = 70.23$$

$$r_{12} = 15.5159 \quad d_{12} = 4.2171 \quad n_8 = 1.49700 \quad _8 = 81.54$$

$$r_{13} = -24.9502$$

30

$$d(L1p) = 81.54$$

$$d(L1n) = 52.64$$

$$d(L2p) = 81.54$$

$$d(L2n) = 70.23$$

$$Ct(L2p) = 0.8258$$

$$Ct(L2n) = 0.8924$$

$$f(L2) = 79.799$$

$$f = 45$$

$$(1) \quad d(L1p) - d(L1n) = 28.9$$

$$(2) \quad d(L2p) = 81.54$$

40

50

$$(3) \{ C_t(L2p) - C_t(L2n) \} / \{ d(L2p) - d(L2n) \} = -0.0059$$

$$(4) f = 45$$

$$(5) |f(L2)/f| = 1.77$$

$$(6) d(L1p) = 81.54$$

ただし r_1, r_2, \dots はレンズ各面の曲率半径、 d_1, d_2, \dots は各レンズの肉厚および空気間隔、 n_1, n_2, \dots は各レンズの d 線に対する屈折率、 v_1, v_2, \dots は各レンズの d 線に対するアッベ数である。尚データ中の長さの単位はmである。また、 f は焦点距離、 \times は倍率、NAは開口数、WDは作動距離である。

【0046】

10

この実施例1にて使用するガラスは、紫外域での透過率が優れ、自家蛍光の少ないガラスである。したがって、この実施例1は、蛍光観察に最適な対物レンズである。

【実施例2】

【0047】

実施例2は、図2に示す通りの対物レンズである。つまり第1レンズ群G1と第2レンズ群G2ととなる。また第1レンズ群G1は、物体側から順に、正レンズ($r_1 \sim r_2$)と、正レンズL1p($r_3 \sim r_4$)と像側に凹面を向けた負レンズL1n($r_4 \sim r_5$)とを貼り合わせた接合レンズL1($r_3 \sim r_5$)ととなる。また、第2レンズ群G2は、物体側から順に、負レンズ($r_6 \sim r_7$)と正レンズ($r_7 \sim r_8$)とを貼り合わせた接合レンズ($r_6 \sim r_8$)と、正レンズ($r_9 \sim r_{10}$)と、物体側に凹面を向けた負レンズL2n($r_{11} \sim r_{12}$)と正レンズL2p($r_{12} \sim r_{13}$)とを貼り合わせた第2の接合レンズL2($r_{11} \sim r_{13}$)からなる。この実施例2も紫外域での透過率に優れ、自家蛍光の少ないガラスを用いており、蛍光観察に好ましい構成である。

20

【0048】

この実施例2のデータは次の通りである。

$$f = 45, \times = 4 \times, NA = 0.16, \text{ 視野数} = 26.5, WD = 13.128$$

$$r_1 = 22.0338 \quad d_1 = 2.5851 \quad n_1 = 1.51633 \quad v_1 = 64.14$$

$$r_2 = -16.3327 \quad d_2 = 1.0057$$

$$r_3 = 13.2301 \quad d_3 = 8.0333 \quad n_2 = 1.49700 \quad v_2 = 81.54$$

$$r_4 = -10.6413 \quad d_4 = 1.4762 \quad n_3 = 1.74100 \quad v_3 = 52.64$$

$$r_5 = 7.7218 \quad d_5 = 5.0902$$

$$r_6 = -4.6759 \quad d_6 = 1.7801 \quad n_4 = 1.74100 \quad v_4 = 52.64$$

$$r_7 = -48.9050 \quad d_7 = 3.3001 \quad n_5 = 1.43875 \quad v_5 = 94.93$$

$$r_8 = -7.3261 \quad d_8 = 0.3451$$

$$r_9 = \quad d_9 = 4.8401 \quad n_6 = 1.49700 \quad v_6 = 81.54$$

$$r_{10} = -12.9154 \quad d_{10} = 0.2325$$

$$r_{11} = -69.4925 \quad d_{11} = 1.8817 \quad n_7 = 1.48749 \quad v_7 = 70.23$$

$$r_{12} = 18.2063 \quad d_{12} = 4.6804 \quad n_8 = 1.43875 \quad v_8 = 94.93$$

$$r_{13} = -20.2479$$

30

$$d(L1p) = 81.54$$

$$d(L1n) = 52.64$$

$$d(L2p) = 94.93$$

$$d(L2n) = 70.23$$

$$Ct(L2p) = 0.8373$$

$$Ct(L2n) = 0.8924$$

$$f(L2) = 77.941$$

$$f = 45$$

$$(1) d(L1p) - d(L1n) = 28.9$$

$$(2) d(L2p) = 94.93$$

40

50

(3) $\{ C_t(L_2 p) - C_t(L_2 n) \} / \{ d(L_2 p) - d(L_2 n) \} = -0.0022$
(4) $f = 45$
(5) $|f(L_2) / f| = 1.73$
(6) $d(L_1 p) = 81.54$

【実施例3】

【0049】

実施例3は、図3に示す通りの構成の第1レンズ群G1と第2レンズ群G2によりなる顕微鏡対物レンズである。

【0050】

この実施例3の第1レンズ群G1は、物体側から順に、正レンズ($r_1 \sim r_2$)と、正レンズL1p($r_3 \sim r_4$)と像側に凹面を向けた負レンズL1n($r_4 \sim r_5$)とを貼り合わせた接合レンズL1($r_3 \sim r_5$)とよりなる。また、第2レンズ群G2は、物体側から順に、負レンズ($r_6 \sim r_7$)と正レンズ($r_7 \sim r_8$)とを貼り合わせた接合レンズ($r_6 \sim r_8$)と、正レンズ($r_9 \sim r_{10}$)と、物体側に平面を向けた負レンズL2n($r_{11} \sim r_{12}$)と正レンズL2p($r_{12} \sim r_{13}$)とを貼り合わせた第2の接合レンズL2($r_{11} \sim r_{13}$)からなる。

【0051】

この実施例3のデータは下記の通りである。

$f = 18$ 、	$= 4 \times$ 、	$NA = 0.16$ 、	視野数 = 26.5、	WD = 13.074	20
$r_1 = 15.4116$		$d_1 = 2.4262$	$n_1 = 1.51633$	$\alpha_1 = 64.14$	
$r_2 = -24.8478$		$d_2 = 0.9700$			
$r_3 = 15.3969$		$d_3 = 8.0632$	$n_2 = 1.49700$	$\alpha_2 = 81.54$	
$r_4 = -9.7470$		$d_4 = 1.4344$	$n_3 = 1.74100$	$\alpha_3 = 52.64$	
$r_5 = 8.4888$		$d_5 = 5.0716$			
$r_6 = -4.7470$		$d_6 = 1.7813$	$n_4 = 1.74100$	$\alpha_4 = 52.64$	
$r_7 = -29.6562$		$d_7 = 3.2984$	$n_5 = 1.43875$	$\alpha_5 = 94.93$	
$r_8 = -7.6436$		$d_8 = 0.3428$			
$r_9 = 807.1999$		$d_9 = 4.8337$	$n_6 = 1.49700$	$\alpha_6 = 81.54$	
$r_{10} = -12.8532$		$d_{10} = 0.1456$			30
$r_{11} =$		$d_{11} = 1.7263$	$n_7 = 1.48749$	$\alpha_7 = 70.23$	
$r_{12} = 13.7643$		$d_{12} = 4.5524$	$n_8 = 1.43875$	$\alpha_8 = 94.93$	
$r_{13} = -27.2037$					

$d(L_1 p) = 81.54$
 $d(L_1 n) = 52.64$
 $d(L_2 p) = 94.93$
 $d(L_2 n) = 70.23$
 $C_t(L_2 p) = 0.8373$
 $C_t(L_2 n) = 0.8924$

$f(L_2) = 78.321$

$f = 45$

(1) $d(L_1 p) - d(L_1 n) = 28.9$
(2) $d(L_2 p) = 94.93$
(3) $\{ C_t(L_2 p) - C_t(L_2 n) \} / \{ d(L_2 p) - d(L_2 n) \} = -0.0022$

(4) $f = 45$

(5) $|f(L_2) / f| = 1.74$

(6) $d(L_1 p) = 81.54$

この実施例3の対物レンズも紫外域での透過率に優れ、自家蛍光の少ないガラスより

なり、蛍光観察に最適な構成である。

参考例 1

【実施例 4】

【0052】

本発明の参考例 1の対物レンズは、図 4 に示す通りの構成で、第1レンズ群 G1 と第2レンズ群 G2 によりなる。そして、第1レンズ群 G1 は、物体側から順に、負レンズ($r_1 \sim r_2$)と正レンズ($r_2 \sim r_3$)を貼り合わせた接合レンズ($r_1 \sim r_3$)と、正レンズ($r_4 \sim r_5$)と、正レンズ($r_6 \sim r_7$)と、正レンズ L1p ($r_8 \sim r_9$)と像側に凹面を向けた負レンズ L1n ($r_9 \sim r_{10}$)とを貼り合わせた接合レンズ L1 ($r_8 \sim r_{10}$)とによりなる。また第2レンズ群 G2 は、物体側より順に、物体側に凹面を向けた負レンズ L2n ($r_{11} \sim r_{12}$)と正レンズ L2p ($r_{12} \sim r_{13}$)とを貼り合わせた接合レンズ L2 ($r_{11} \sim r_{13}$)と、正レンズ($r_{14} \sim r_{15}$)とによりなる。
10

【0053】

この参考例 1のデータは次の通りである。

$f = 18$ 、	$= 10 \times$ 、	$NA = 0.4$ 、	視野数 = 26.5、	WD = 3.8	
$r_1 = -10.0179$		$d_1 = 6.0670$	$n_1 = 1.67300$	$\alpha_1 = 38.15$	
$r_2 = 55.2737$		$d_2 = 2.7505$	$n_2 = 1.49700$	$\alpha_2 = 81.54$	
$r_3 = -9.2112$		$d_3 = 0.2125$			
$r_4 = 83.9358$		$d_4 = 4.0793$	$n_3 = 1.56907$	$\alpha_3 = 71.30$	20
$r_5 = -35.6271$		$d_5 = 1.1100$			
$r_6 = 11.8739$		$d_6 = 4.5781$	$n_4 = 1.43875$	$\alpha_4 = 94.93$	
$r_7 =$		$d_7 = 6.5068$			
$r_8 = 10.2087$		$d_8 = 3.6739$	$n_5 = 1.43875$	$\alpha_5 = 94.93$	
$r_9 = -9.8106$		$d_9 = 1.2763$	$n_6 = 1.55836$	$\alpha_6 = 54.01$	
$r_{10} = 8.2650$		$d_{10} = 5.6402$			
$r_{11} = -6.3912$		$d_{11} = 2.7687$	$n_7 = 1.48749$	$\alpha_7 = 70.23$	
$r_{12} = -19.9601$		$d_{12} = 3.2167$	$n_8 = 1.49700$	$\alpha_8 = 81.54$	
$r_{13} = -12.7726$		$d_{13} = 0.1300$			
$r_{14} =$		$d_{14} = 3.0324$	$n_9 = 1.49700$	$\alpha_9 = 81.54$	
$r_{15} = -16.8356$					30

$$d(L1p) = 94.93$$

$$d(L1n) = 54.01$$

$$d(L2p) = 81.54$$

$$d(L2n) = 70.23$$

$$Ct(L2p) = 0.8258$$

$$Ct(L2n) = 0.8924$$

$$f(L2) = -38.52$$

$$f = 18$$

$$(1) d(L1p) - d(L1n) = 40.92$$

$$(2) d(L2p) = 81.54$$

$$(3) \{ Ct(L2p) - Ct(L2n) \} / \{ d(L2p) - d(L2n) \} = -0.0059$$

$$(4) f = 18$$

$$(5) |f(L2)/f| = 2.14$$

$$(6) d(L1p) = 94.93$$

この参考例 1も、使用するガラスが紫外域での透過率に優れ、自家蛍光の少ない特徴を有し、蛍光観察に最適な構成である。

参考例 2

【実施例 5】

【0054】

本発明の参考例2の対物レンズは、図5に示すような構成の、第1レンズ群G1と第2レンズ群G2によりなるレンズ系である。

【0055】

また、第1レンズ群G1は、物体側から順に、負レンズ($r_1 \sim r_2$)と正レンズ($r_2 \sim r_3$)を貼り合わせた接合レンズ($r_1 \sim r_3$)と、正レンズ($r_4 \sim r_5$)と、正レンズ($r_6 \sim r_7$)と、正レンズL1p($r_8 \sim r_9$)と像側に凹面を向けた負レンズL1n($r_9 \sim r_{10}$)とを貼り合わせた接合レンズL1($r_8 \sim r_{10}$)によりなる。また、第2レンズ群G2は、物体側より順に、物体側に凹面を向けた負レンズL2n($r_{11} \sim r_{12}$)と正レンズL2p($r_{12} \sim r_{13}$)とを貼り合わせた接合レンズL2($r_{11} \sim r_{13}$)と、正レンズ($r_{14} \sim r_{15}$)によりなる。
10

【0056】

この参考例2のデータは次の通りである。

$$f = 18, \quad = 10 \times, \quad NA = 0.4, \quad \text{視野数} = 26.5, \quad WD = 3.949$$

$$r_1 = -5.9965 \quad d_1 = 2.9820 \quad n_1 = 1.67300 \quad 1 = 38.15$$

$$r_2 = 71.8587 \quad d_2 = 3.0905 \quad n_2 = 1.49700 \quad 2 = 81.54$$

$$r_3 = -7.1299 \quad d_3 = 0.2125$$

$$r_4 = 177.0850 \quad d_4 = 4.1851 \quad n_3 = 1.56907 \quad 3 = 71.30$$

$$r_5 = -18.9259 \quad d_5 = 1.1100$$

$$r_6 = 11.1707 \quad d_6 = 3.6235 \quad n_4 = 1.43875 \quad 4 = 94.93$$

$$r_7 = \quad d_7 = 5.4744$$

$$r_8 = 9.3475 \quad d_8 = 3.6935 \quad n_5 = 1.43875 \quad 5 = 94.93$$

$$r_9 = -10.9268 \quad d_9 = 1.8214 \quad n_6 = 1.55836 \quad 6 = 54.01$$

$$r_{10} = 7.4855 \quad d_{10} = 5.5110$$

$$r_{11} = -5.4188 \quad d_{11} = 3.5673 \quad n_7 = 1.51633 \quad 7 = 64.14$$

$$r_{12} = 116.2141 \quad d_{12} = 4.0903 \quad n_8 = 1.43875 \quad 8 = 94.93$$

$$r_{13} = -10.7940 \quad d_{13} = 0.1300$$

$$r_{14} = \quad d_{14} = 3.2380 \quad n_9 = 1.49700 \quad 9 = 81.54$$

$$r_{15} = -17.1112$$

20

30

$$d(L1p) = 94.93$$

$$d(L1n) = 54.01$$

$$d(L2p) = 94.93$$

$$d(L2n) = 64.14$$

$$Ct(L2p) = 0.8373$$

$$Ct(L2n) = 0.8687$$

$$f(L2) = -28.379$$

$$f = 18$$

$$(1) \quad d(L1p) - d(L1n) = 40.92$$

$$(2) \quad d(L2p) = 94.93$$

$$(3) \quad \{ Ct(L2p) - Ct(L2n) \} /$$

$$\{ d(L2p) - d(L2n) \} = -0.001$$

$$(4) \quad f = 18$$

$$(5) \quad | f(L2) / f | = 1.58$$

$$(6) \quad d(L1p) = 94.93$$

以上述べた実施例1、2、3、4、5は、データに示すように条件(1)、(2)、(3)、(4)、(5)、(6)のいずれも満足する。

【0057】

また、実施例1、2、3はいずれも倍率が4倍で、NAが0.16の対物レンズである。参考例1、2は、倍率が10倍で、NAが0.4である。
40

50

【0058】

この参考例2にて使用するガラスも、紫外域での透過率に優れ、自家蛍光の少ない特徴を有し、蛍光観察に適した構成の対物レンズである。

【0059】

上記実施例1～3、参考例1、2にて用いられるカバーガラスCは、厚さが0.17mm、d線に対する屈折率が1.521、d線に対するアッペ数が56.02である。

またこれら実施例1～3、参考例1、2は、いずれも対物レンズからの射出先が平行光束である無限遠補正型対物レンズであり、それ自体では結像しない。したがって、例えば図11に示す構成で、下記データを有する結像レンズと組み合わせて用いられる。

F = 180

R ₁ = 68.7541	D ₁ = 7.7321	N ₁ = 1.48749	V ₁ = 70.20
R ₂ = -37.5679	D ₂ = 3.4742	N ₂ = 1.80610	V ₂ = 40.95
R ₃ = -102.8477	D ₃ = 0.6973		
R ₄ = 84.3099	D ₄ = 6.0238	N ₃ = 1.83400	V ₃ = 37.16
R ₅ = -50.7100	D ₅ = 3.0298	N ₄ = 1.64450	V ₄ = 40.82
R ₆ = 40.6619			

ここで、R₁，R₂，…，R₆は結像レンズの各レンズ面の曲率半径、D₁，D₂，…，D₅は結像レンズの各レンズの肉厚および空気間隔、N₁，N₂，N₃，N₄は結像レンズの各レンズの屈折率、V₁，V₂，V₃，V₄は結像レンズの各レンズのアッペ数、Fは結像レンズの焦点距離である。

【0060】

この結像レンズを各実施例、参考例と組み合わせて使用する場合、対物レンズと結像レンズとの間隔が50mm～170mmになる位置に結像レンズを配置して使用する。

【0061】

実施例1、2、3、参考例1、2に120mm離して上記結像レンズと組み合わせた時の収差状況は夫々図6、図7、図8、図10に示す通りである。

【0062】

これら収差状況より明らかなように、本発明の各実施例、参考例は、可視域から近赤外域まで色収差をはじめ諸収差が良好に補正されている。

【0063】

また、本発明の対物レンズは、前記文献等の従来の可視域から近赤外域まで波長に対して使用可能の対物レンズで、同程度の倍率のものと比べ高NAを有し、明るく解像度の高い対物レンズである。

【産業上の利用可能性】

【0064】

本発明の顕微鏡対物レンズは、蛍光観察やDIC観察等に用いるもので、倍率が4～10倍程度で可視域から近赤外域まで収差が良好に補正されている。しかも、高いNAを有し、したがって、細胞、蛋白質、DNAの観察にも適している。

【図面の簡単な説明】

【0065】

【図1】本発明の実施例1の対物レンズの構成を示す図

【図2】本発明の実施例2の対物レンズの構成を示す図

【図3】本発明の実施例3の対物レンズの構成を示す図

【図4】本発明の参考例1の対物レンズの構成を示す図

【図5】本発明の参考例2の対物レンズの構成を示す図

【図6】本発明の実施例1の収差曲線図

【図7】本発明の実施例2の収差曲線図

【図8】本発明の実施例3の収差曲線図

【図9】本発明の参考例1の収差曲線図

【図10】本発明の参考例2の収差曲線図

10

20

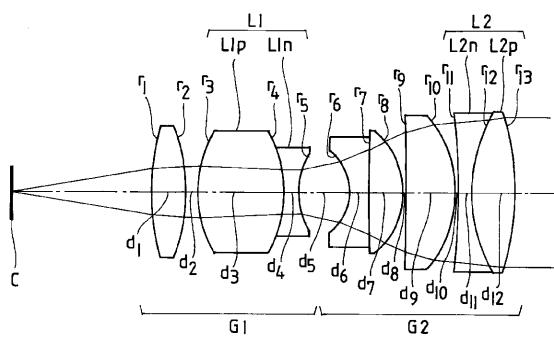
30

40

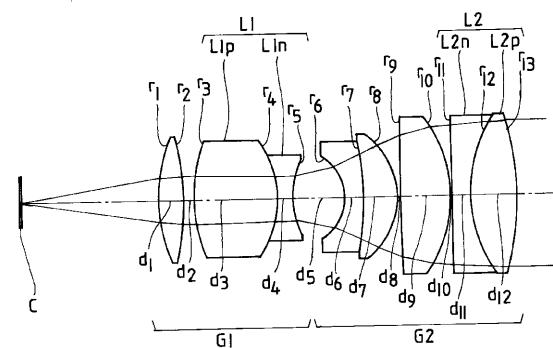
50

【図1】本発明の対物レンズと組み合わせて使用する結像レンズの1例の構成を示す図

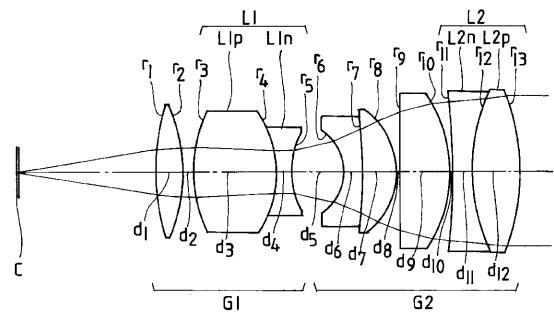
【図1】



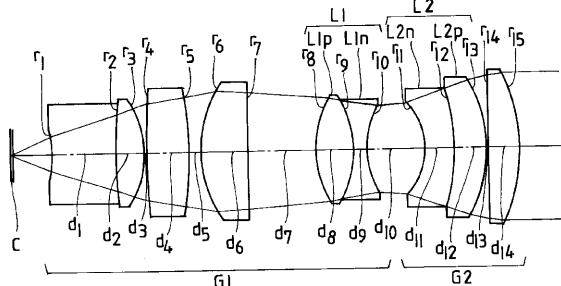
【図3】



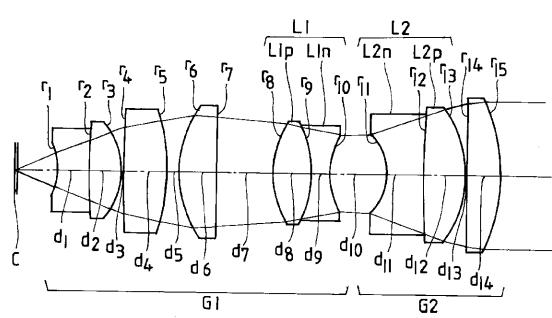
【図2】



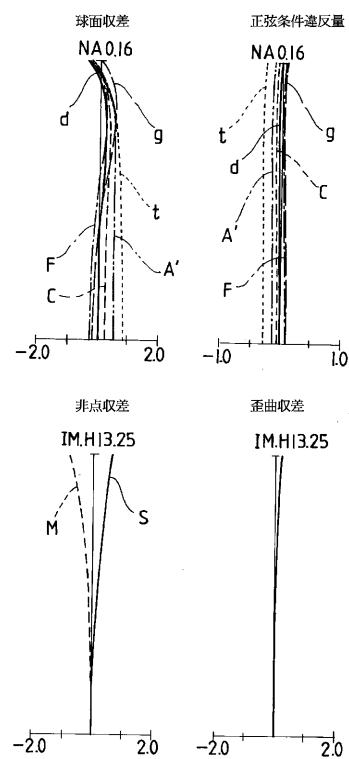
【図4】



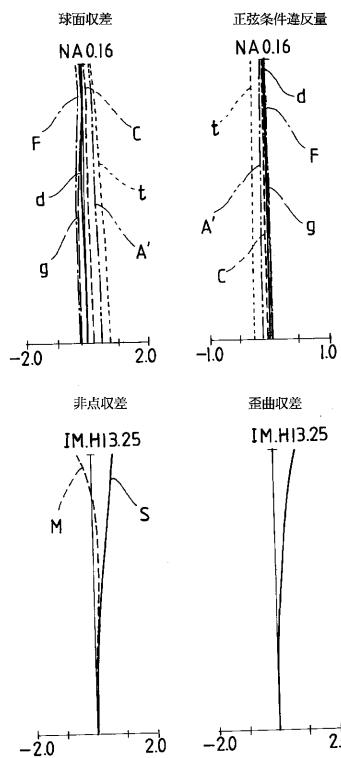
【図5】



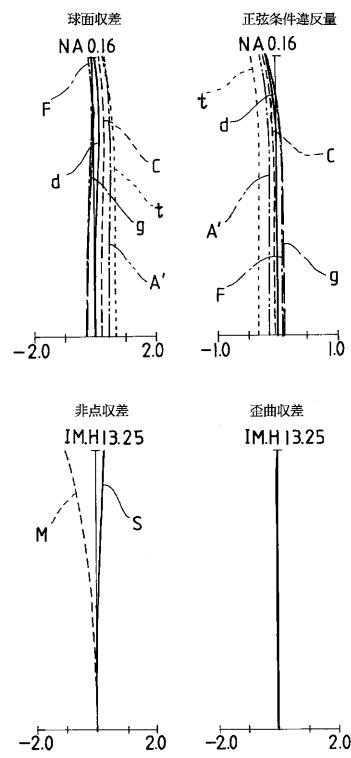
【図6】



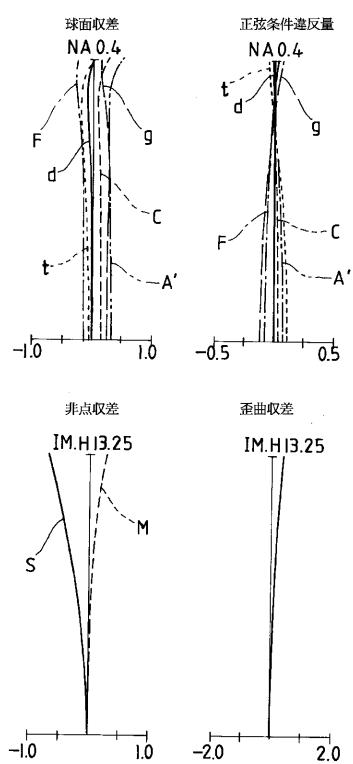
【図7】



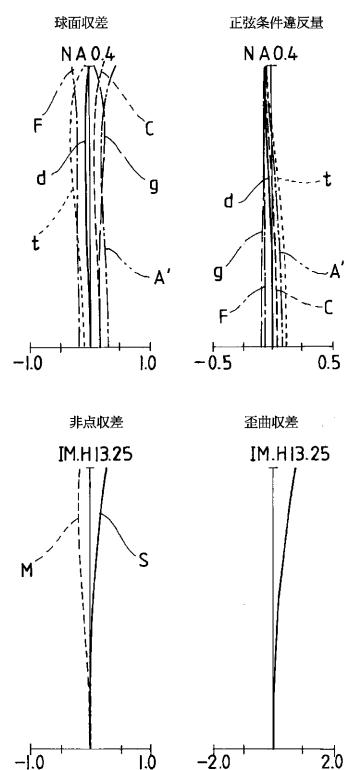
【図8】



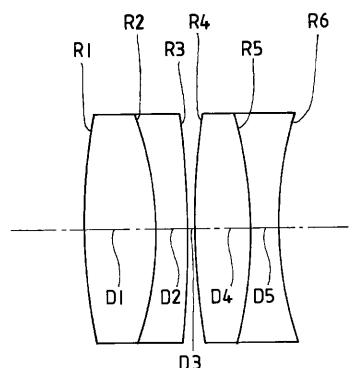
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平11-352407(JP,A)
特開平4-159506(JP,A)
特開平11-174338(JP,A)
特開昭61-275810(JP,A)
実公昭47-30810(JP,Y1)
特開2001-272604(JP,A)
特開平9-138351(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