

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2007-11092

(P2007-11092A)

(43) 公開日 平成19年1月18日(2007.1.18)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)
G02B 21/02 (2006.01) G O 2 B 21/02 2 H O 8 7
G02B 13/22 (2006.01) G O 2 B 13/22

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2005-193126 (P2005-193126)	(71) 出願人	000004112 株式会社ニコン
(22) 出願日	平成17年6月30日 (2005. 6. 30)	(74) 代理人	100078189 弁理士 渡辺 隆男
		(74) 代理人	100119839 弁理士 大澤 圭司
		(72) 発明者	山口 弘太郎 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
		Fターム(参考)	2H087 KA09 LA01 NA02 PA05 PA06 PA19 PA20 PB07 PB08 PB09 QA02 QA07 QA12 QA14 QA21 QA25 QA26 QA32 QA34 QA41 QA46 RA34

(54) 【発明の名称】 対物レンズ

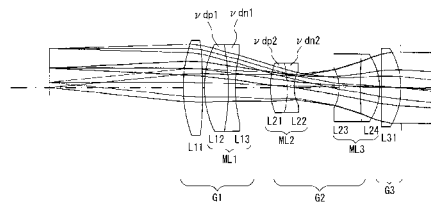
(57) 【要約】

【目的】

広い視野を要求する低倍(10倍以下)の対物レンズであっても、通常の明視野観察に加え、透過照明や落射照明において、微分干渉観察等が可能で、後置されるズーム光学系にも好適である、マクロ観察に好適な対物レンズを提供することを目的とする。

【構成】

物体側より順に、全体として正屈折力を有する第1レンズ群G1、全体として負の屈折力を有する第2レンズ群G2、全体として正の屈折力を有する第3レンズ群G3より構成され、前記第1レンズ群G1は、正屈折力を有する、物体側に凸の面を向けたメニスカス形状の単レンズまたは正屈折力を有する物体側に凸の面を向けたメニスカス形状の接合レンズを含み、前記第2レンズ群G2は、少なくとも1つの接合レンズを含み、物体側に略テレセントリックである構成とする。



【選択図】 図1

【特許請求の範囲】

【請求項1】

物体側より順に、全体として正の屈折力を有する第1レンズ群G1と、全体として負の屈折力を有する第2レンズ群G2と、全体として正の屈折力を有する第3レンズ群G3とより構成され、前記第1レンズ群G1は、正屈折力を有する物体側に凸面を向けたメニスカス形状の単レンズまたは正屈折力を有する物体側に凸面を向けたメニスカス形状の接合レンズを含み、前記第2レンズ群G2は、少なくとも1つの接合レンズを含み、物体側に略テレセントリックであることを特徴とする対物レンズ。

【請求項2】

前記第2レンズ群G2は、メニスカス形状の2つの接合レンズを有し、前記メニスカス形状の2つの接合レンズは、互いに凹面が向かい合うように配置されたことを特徴とする、請求項1に記載の対物レンズ。 10

【請求項3】

前記第1レンズ群G1の前記正屈折力を有する物体側に凸の面を向けた、メニスカス形状の接合レンズ及び、前記第2レンズ群G2の最も物体側に位置する接合レンズは、正レンズと負レンズを貼りあわせて構成され、以下の条件式を満たすことを特徴とする、請求項1又は請求項2に記載の対物レンズ。

$$1.1 < dp1 / dn1 < 3.5 \quad (1)$$

$$1.1 < dn2 / dp2 < 3.0 \quad (2)$$

但し、 $dp1$ ：前記第1レンズ群G1中の前記メニスカス形状接合レンズを構成する正レンズ硝材のアップ数 20

$dn1$ ：前記第1レンズ群G1中の前記メニスカス形状接合レンズを構成する負レンズ硝材のアップ数

$dn2$ ：前記第2レンズ群G2に含まれる前記接合レンズ中、最も物体側の接合レンズを構成する負レンズ硝材のアップ数

$dp2$ ：前記第2レンズ群G2に含まれる前記接合レンズ中、最も物体側の接合レンズを構成する正レンズ硝材のアップ数

【請求項4】

以下の条件式を満たすことを特徴とする請求項1乃至請求項3のいずれか1項に記載の対物物レンズ。 30

$$0.8 < EP / OD < 1.5 \quad (3)$$

但し、 EP ：光軸上、物体位置から前記対物レンズの像側瞳位置までの距離

OD ：光軸上、物体位置から前記対物レンズの物体から最も遠い面までの距離

【請求項5】

以下の条件式を満たすことを特徴とする請求項1乃至請求項4のいずれか1項に記載の対物レンズ。

$$-0.3 < \quad < 0.3 \quad (4)$$

但し、 \quad ：物体上任意の位置における主光線が光軸となす角度（単位は度）

【発明の詳細な説明】

【技術分野】 40

【0001】

本発明は、対物レンズに関するものである。

【背景技術】

【0002】

肉眼でも見ることが出来る物体や標本などを、広い視野に渡って全体を観察しようとする場合、低倍（10倍以下）の対物レンズが使用される。このような低倍の対物レンズを用いたマクロ観察が要求される分野として、例えば工業用途では、半導体ウェーハの欠陥やコンタミネーションの検査、生物分野の用途では、臓器や皮膚などの比較的大きな細胞をスライスせずに観察しようとするもの等がある。従来、このような目的に対しては主として、実体顕微鏡が使われており、上記のような要求に対応する対物レンズは、例えば以 50

下の特許公報に開示されている。

【特許文献1】特開平11-344667 しながら、

【特許文献1】に開示されている対物レンズでは、落射照明で、物体からの反射照明光による観察を行う場合など、視野周辺まで均一な明るさが得られず、広視野を観察した時にパースペクティブを生じたり、観察物体の位置の僅かな差により倍率の変化を生じたりしてしまう。このため、物体の大きさを計測したり、画像解析を行ったりする際に不便であった。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

本発明は、このような従来の問題点を解決するためになされたものであり、広い視野を要求する低倍（10倍以下）の対物レンズで、落射照明により、物体からの反射照明光による観察を行う場合でも、視野周辺まで均一な明るさが得られ、広視野を観察した時にパースペクティブを生じたりせず、観察物体位置に僅かな差があっても、倍率の変化が非常に少ない、所謂マクロ観察に好適な低倍対物レンズを提供することを課題としている。

【課題を解決するための手段】

【0004】

上記目的を達成するため、本発明の対物レンズは以下の構成とする。

請求項1に係わる対物レンズは、物体側より順に、全体として正屈折力を有する第1レンズ群G1、全体として負の屈折力を有する第2レンズ群G2、全体として正の屈折力を有する第3レンズ群G3より構成され、前記第1レンズ群G1は、正屈折力を有する物体側に凸の面を向けたメニスカス形状の単レンズまたは正屈折力を有する物体側に凸の面を向けたメニスカス形状の接合レンズを含み、前記第2レンズ群G2は、少なくとも1つの接合レンズを含み、物体側に略テレセントリックである構成とする。

【0005】

請求項2に係わる対物レンズは、請求項1の構成に加え、前記第2レンズ群G2は、メニスカス形状の2つの接合レンズを有し、前記メニスカス形状の2つの接合レンズは、互いに凹面が向かい合うように配置された構成とする。

【0006】

請求項3に係わる対物レンズは、請求項1又は請求項2の構成に加え、前記第1レンズ群G1中の前記正屈折力を有する物体側に凸の面を向けたメニスカス形状の接合レンズ及び、前記第2レンズ群G2に含まれる、最も物体側に位置する接合レンズは、正レンズと負レンズを貼りあわせて構成され、以下の条件式を満たす構成とする。

【0007】

$$1.1 < d_{p1} / d_{n1} < 3.5 \quad (1)$$

$$1.1 < d_{n2} / d_{p2} < 3.0 \quad (2)$$

但し、 d_{p1} ：前記第1レンズ群G1中の前記メニスカス形状接合レンズを構成する正レンズ硝材のアップ数

d_{n1} ：前記第1レンズ群G1中の前記メニスカス形状接合レンズを構成する負レンズ硝材のアップ数

d_{n2} ：前記第2レンズ群G2に含まれる前記接合レンズ中、最も物体側の接合レンズを構成する負レンズ硝材のアップ数

d_{p2} ：前記第2レンズ群G2に含まれる前記接合レンズ中、最も物体側の接合レンズを構成する正レンズ硝材のアップ数

請求項4に係わる対物レンズは、請求項1乃至請求項4のいずれかの構成に加え、以下の条件式を満足する構成とする。

【0008】

$$0.8 < EP / OD < 1.5 \quad (3)$$

但し、EP：光軸上、物体位置から前記対物レンズの像側瞳位置までの距離

OD：光軸上、物体位置から前記対物レンズの物体から最も遠い面までの距離

10

20

30

40

50

請求項 5 に係わる対物レンズは、請求項 1 乃至請求項 4 の構成に加え、以下の条件式を満たす構成とする。

【0009】

$$-0.3 < \quad < 0.3 \quad (4)$$

但し、 θ : 物体上任意の位置における主光線が光軸となす角度 (単位は度)

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、以上の構成をとることにより、広い視野を要求する低倍 (10 倍以下) の対物レンズであっても、通常の明視野観察に加え、透過照明や、物体からの反射照明光による観察を行う落射照明においても、視野周辺まで均一な明るさが得られ、広視野を観察した時にパースペクティブを生じたりせず、観察物体位置に僅かな差があっても、倍率の変化が非常に少なく、かつ十分な結像性能を有した、マクロ観察に好適な対物レンズを提供することができる。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

以下、最良の形態の構成および条件式を詳しく説明する。

低倍で観察を行う場合、実視野が大きくなる。即ち、物体高が大きくなり、レンズを通過する光軸上の光束と周辺光束の高さの差が大きくなるため、結像に係わる通常の収差に加え、瞳の収差、色収差の補正は格段に困難となってくる。そして、既に述べた如く、落射照明観察を行う場合等、視野周辺まで均一な明るさで、パースペクティブが無く、物体の位置変化に対する像の倍率変動を小さく抑えるためには、物体側に略テレセントリックに照明される必要がある。請求項 1 に係わるレンズ構成はこれを解決するための基本的な構成である。

20

【0012】

また、マクロ観察では、コントラストを高めるため、微分干渉観察を行いたいという要求も多いが、この場合、色ムラの無い画像を得るため、特に、対物レンズ像側瞳の軸上の色収差や球面収差、球面収差の色による変化等が十分に補正される必要がある。また、平坦な像を得るため、像面湾曲に係わるベッツバール和を効率よく補正する必要もある。請求項 2 に係わる構成は、この目的のために好ましいレンズ構成を与えるものである。

30

【0013】

請求項 3 に係わる構成は、色収差の補正上好ましい条件を与えるものである。条件式 (1) は、前記第 1 レンズ群 G1 中の、正の屈折力を有する物体側に凸の面を向けたメニスカス形状の接合レンズを構成する、正レンズ硝材のアッペ数 $dp1$ と負レンズ硝材のアッペ数 $dn1$ との比率を与える。正レンズに負レンズよりもアッペ数の大きい硝材を用いて接合レンズとし、色消し効果をもたせている。条件式 (2) は、前記第 2 レンズ群 G2 に含まれる、最も物体側に位置する接合レンズを構成している、正レンズ硝材のアッペ数 $dp2$ と負レンズ硝材のアッペ数 $dn2$ との比率を規定している。条件式 (1) の場合とは逆に、負レンズに正レンズよりアッペ数の大きい硝材を使用することで、接合面に色出し効果を持たせている。

40

【0014】

このように、条件式 (1) と (2) を同時に満足することにより、対物レンズ全系と像側瞳の色収差補正を両立させることが可能となる。条件式 (1) の上限を超えると第 1 レンズ群の色消しが過剰となり、倍率の色収差の補正が困難となる。また、下限を超えると、第 1 レンズ群の色消しが不足となり、対物レンズの像側瞳の軸上色収差が増大してしまう。ここで、条件式 (1) の上限を 2.9、下限を 1.9 とすることで、より効果的に対物レンズ全系の色収差及び像側瞳の色収差を補正することが出来る。

【0015】

請求項 4 に係わる構成は、ズーム光学系との接続を可能にするために好ましい条件を与えるものである。マクロ観察といえども、ある程度の拡大観察が要求される場合が多く、

50

ズーム機能への要望も多い。この時、対物レンズに後続するズーム光学系に、光束のケラレを生じることなく対物レンズを接続するためには、対物レンズの像側瞳を像側に寄せ、好ましくはレンズの外側に位置させる必要がある。そして、かかる構成を採っても、瞳の軸上色収差や瞳の球面収差、対物レンズ全系の非点収差やコマ収差等の軸外収差は、良好に補正されている必要がある。条件式(3)は、上記構成をとるために好ましい条件である。条件式(3)の上限を超えると像側瞳が物体面から離れ過ぎ、対物レンズの非点収差やコマ収差等、軸外収差の補正が困難になり、後続する光学系での補正も不可能となるので、光学システム全体の構成が困難になる。また、条件式(3)の下限を超えると、像側瞳が物体面に近くなり過ぎ、瞳の軸上色収差や瞳の球面収差の補正が困難になると共に、後続するズーム光学系との結合も困難になってしまう。更に、条件式(3)の上限を1.2、下限を0.9とすることで、より効果的に上記収差を補正することが出来る。

10

【0016】

請求項5に係わる構成は、完全テレセンからのズレをどの程度までに抑えるのが好ましいかを規定する条件式を与えるものである。この条件式(4)の範囲外では、落射照明時に照明ムラが発生してしまい均一な明るさの像を得ることが出来ない。また条件式の上限を外れると、レンズ径が大きくなり過ぎ、システム構成上問題となる。

【0017】

以下では、対物レンズの構成上、更に満たすことが好ましい条件式を挙げる。

$$0.5 < |R1/f2| < 1.5 \quad (5)$$

$$0.5 < |R2/f2| < 1.8 \quad (6)$$

20

R1：前記第2レンズ群G2中、互いに向かい合う凹面を持つメニスカス形状の接合レンズ中、物体側の接合レンズが持つ凹面の曲率半径

R2：前記第2レンズ群G2中、互いに向かい合う凹面を持つメニスカス形状の接合レンズ中、像体側の接合レンズが持つ、前記R1に向かい合う凹面の曲率半径

f2：第2レンズ群G2の焦点距離

条件式(5)、(6)は対物レンズ全系のコマ収差およびペッツパール和の補正に係わるものである。条件式(5)および(6)の上限を超えると、向い合う凹面の曲率半径が共に大きくなり過ぎ、ペッツパール和の補正が困難となり、像面湾曲が残存してしまう。また、下限を超えると向かい合う凹面の曲率半径は小さくなり過ぎコマ収差、非点収差等の補正が困難となる。

30

【0018】

$$0.5 < |HR3/Y| < 1.1 \quad (7)$$

HR3：前記第1レンズ群G1に含まれる、正屈折力を有する物体側に凸の面を向けたメニスカス形状の接合レンズの接合面における最大物体高に対応する主光線の高さ

Y：最大物体高

40

条件式(7)は、色収差の補正およびテレセン性の確保に係わるものである。条件式(7)の上限を超えると、物体高に比べ前記接合面における主光線の位置が高くなり過ぎ、対物レンズ全系での倍率の色収差の補正が困難になると共にレンズ径が増大し、テレセン性の確保が困難となる。下限を超えると、物体高に比べ前記接合面における主光線位置が低くなり過ぎ、像側瞳における瞳の軸上色収差や瞳の球面収差の補正が困難となる。

【0019】

以下、添付図面に基づいて、実施の形態を説明する。

【実施例1】

【0020】

図1は、本発明による第1実施形態の対物レンズ構成図である。なお、図1には、物体

50

上、物体の中心から最周辺に至る4点から発する光線の光路を併せて記載している。この第1実施形態の対物レンズは、物体側より順に、第1レンズ群G1、第2レンズ群G2、第3レンズ群G3で構成される。前記第1レンズ群G1は、物体側に、より屈折力の大きな面を有する両凸レンズである第1レンズ成分L11と、物体側に凸面を向けた正屈折力の接合メニスカスレンズである、レンズL12とレンズL13とより成る第2レンズ成分ML1で構成される。第2レンズ群G2は、レンズL21とレンズL22とより成る第3レンズ成分ML2及びレンズL23とレンズL24とより成る第4レンズ成分ML3の、2つのメニスカス形状接合レンズより構成され。ML2およびML3は、互いに凹面が向かい合うように配置されている。第3レンズ群G3は、像側により屈折力の大きな面を有する両凸レンズである第5レンズ成分L31で構成されている。

10

【0021】

本実施形態は後続するズームレンズ系の最短焦点距離が100mmのときに総合倍率 $= -1$ で $NA = 0.03$ となり、ズーム比が最大で8倍程度かつ NA が最大で0.1まで拡大可能となるように設計された無限系対物レンズである。

以下、第1実施形態の諸元の値を表1に示す。表1において、 γ は対応倍率、 NA は物体側開口数、 F は対物レンズ全系の合成焦点距離(単位mm)、 D_0 は物体から第1レンズ面までの距離(単位mm)である。左端の数字は物体側からの順序を表し、 R は各レンズ面の曲率半径(単位mm)、 D はレンズ厚および各レンズ面間隔(単位mm)、 n_d は d 線($\lambda = 587.562\text{nm}$)に対する屈折率、 d は各レンズ硝材のアッペ数である。

20

表1 [第1実施形態]

$\gamma = -1 \sim -7.5$ 、 $NA = 0.03 \sim 0.1$ 、
 $D_0 = 37.8$ 、 $F = 99.7$

NO.	R	D	n_d	d
1:	39.25410	5.500000	1.59240	68.3
2:	-133.28791	0.500000		
3:	27.69737	6.718011	1.59240	68.3
4:	-64.55481	2.000000	1.72047	34.7
5:	43.44754	9.949972		
6:	20.55359	4.717811	1.71736	29.5
7:	-28.90048	2.000000	1.83481	42.7
8:	10.74737	12.641442		
9:	-11.15870	5.955076	1.83481	42.7
10:	121.28201	5.518289	1.49782	82.5
11:	-16.47334	0.500000		
12:	1825.60719	5.500000	1.59240	68.3
13:	-21.22923			

30

40

第1実施形態についての諸収差図を図2から図4に示す。

【0022】

図2は、対物レンズに後続するズーム光学系(結像レンズを含む)の焦点距離が100mmの理想レンズとして計算された、球面収差、非点収差、歪曲収差およびコマ収差の収差図である。図2に示すように第1実施形態の対物レンズでは、 d 線(587.562nm)、 C 線(656.273nm)、 F 線(486.133nm)、 g 線(435.835nm)の各波長において $NA = 0.03$ 、視野数2.2まで良好に補正されている。

【0023】

図3は、対物レンズに後続するズーム光学系(結像レンズを含む)の焦点距離が400m

50

mの理想レンズとして計算された上記各収差の収差図である。図3に示すように第1実施例の対物レンズでは、d線、C線、F線、g線の各波長においてNA = 0.06視野数2まで良好に補正されている。

【0024】

図4は、対物レンズに後続するズーム光学系(結像レンズを含む)の焦点距離が750mmの理想レンズとして計算された上記各収差の収差図である。図4に示すように第1実施例の対物レンズでは、d線、C線、F線、g線の各波長においてNA = 0.1、視野数2まで良好に補正されている。

【実施例2】

【0025】

図5は、本発明による第2実施形態の対物レンズ構成図(光路図)である。この第2実施形態では、第1レンズ群G1を構成するL2が正屈折率を有するメニスカス形状の単レンズであることを除けば上記第1実施例と同様の構成となっている。第2実施形態は、後続するズームレンズ系の最短焦点距離が100mmのときに総合倍率 = -1でNA = 0.03となり、ズーム比が最大で8倍程度かつNAが最大で0.1まで拡大可能となるように設計された無限系対物レンズである。

【0026】

以下、表2に上記第1実施形態と同様に第2実施形態の諸元を示す。

表2 [第2実施形態]

= -1 ~ -7.5、NA = 0.03 ~ 0.1、
DO = 38.0、F = 99.6

NO.	R	D	nd	d
1:	44.99800	5.500000	1.59240	68.3
2:	-154.71000	0.500000		
3:	25.23100	5.000000	1.59240	68.3
4:	53.22200	6.500000		
5:	25.47300	7.500000	1.49782	82.5
6:	-40.27000	3.000000	1.75500	52.3
7:	11.27600	15.250000		
8:	-12.87300	6.000000	1.80400	46.6
9:	59.78600	5.500000	1.49782	82.5
10:	-18.89500	1.000000		
11:	1128.31000	5.500000	1.59240	68.3
12:	-21.60030			

第2実施形態についての諸収差図を図6から図8に示す。

【0027】

図6は、対物レンズに後続するズーム光学系(結像レンズを含む)の焦点距離が100mmの理想レンズとして計算された第1実施形態と同様な諸収差図である。図6に示すように第2実施形態の対物レンズでは、d線、C線、F線、g線の各波長においてNA = 0.03、視野数2.2まで良好に補正されている。

【0028】

図7は、対物レンズに後続するズーム光学系(結像レンズを含む)の焦点距離が400mmの理想レンズとして計算された諸収差図である。

図7に示すように第2実施形態の対物レンズでは、d線、C線、F線、g線の各波長においてNA = 0.06視野数2.2まで良好に補正されている。

【0029】

図8は、対物レンズに後続するズーム光学系(結像レンズを含む)の焦点距離が750mm

10

20

30

40

50

mの理想レンズとして計算された諸収差図である。

図8に示すように第2実施形態の対物レンズでは、d線、C線、F線、g線の各波長においてNA = 0.1、視野数2.2まで良好に補正されている。

【実施例3】

【0030】

図9は、本発明による第3実施形態の対物レンズ構成図(光路図)である。この第3実施形態は、物体側より順に、第1レンズ群G1、第2レンズ群G2、第3レンズ群G3で構成される。前記第1レンズ群G1は、両凸レンズである第1レンズ成分L11と、物体側に凸面を向けた正屈折力の接合メニスカスレンズである、レンズL12とレンズL13とから成る第2レンズ成分ML1とで構成される。第2レンズ群G2は、像側に凹面を向けたメニスカスレンズである第3レンズ成分L21および、レンズL22とレンズL23とより成る第4レンズ成分ML2、レンズL24とレンズL25とより成る第5レンズ成分ML3の、2つのメニスカス形状接合レンズより構成され、ML2およびML3は、互いに凹面が向かい合うように配置されている。第3レンズ群G3は、像側により屈折力の大きな面を有する両凸レンズである第6レンズ成分L31で構成されている。第3実施形態は、後続するズームレンズ系の最短焦点距離が100mmのときに総合倍率 = -0.5でNA = 0.015となり、ズーム比が最大で8倍程度かつNAが最大で0.05まで拡大可能となるように設計された無限系対物レンズである。

10

以下、表3に上記第1実施形態と同様に第3実施例の諸元を示す。

20

表3 [第3実施形態]

= -0.5 ~ -3.75、NA = 0.015 ~ 0.05、
DO = 52.0、F = 198.0

NO.	R	D	nd	d
1:	74.30554	6.500000	1.77250	49.6
2:	2037.03211	0.500000		
3:	36.39599	10.400000	1.75500	52.3
4:	INFINITY	3.000000	1.80809	22.8
5:	45.76349	4.000000		
6:	22.64802	4.000000	1.64000	60.1
7:	16.06360	22.600000		
8:	28.01779	5.000000	1.80809	22.8
9:	-28.01779	2.000000	1.80400	46.6
10:	12.31254	13.950000		
11:	-17.06184	2.000000	1.90265	35.7
12:	27.41684	5.500000	1.49782	82.5
13:	-17.14338	7.000000		
14:	-130.69481	6.000000	1.59240	68.3
15:	-19.30158			

30

40

第3実施形態についての諸収差図を図10から図12に示す。

【0031】

図10は、対物レンズに後続するズーム光学系(結像レンズを含む)の焦点距離が100mmの理想レンズとして計算された、第1実施形態と同様な諸収差図である。第10に示すように第3実施形態の対物レンズでは、d線、C線、F線、g線の各波長においてNA = 0.015、視野数2.2まで良好に補正されている。

【0032】

図11は、対物レンズに後続するズーム光学系(結像レンズを含む)の焦点距離が400

50

mmの理想レンズとして計算された諸収差図である。図11に示すように第3実施形態の対物レンズでは、d線、C線、F線、g線の各波長においてNA = 0.03、視野数2.2まで良好に補正されている。

【0033】

図12は、対物レンズに後続するズーム光学系(結像レンズを含む)の焦点距離が750mmの理想レンズとして計算された諸収差図である。図12に示すように第3実施例の対物レンズでは、d線、C線、F線、g線の各波長においてNA = 0.05、視野数2.2まで良好に補正されている。

【実施例4】

【0034】

図13は、本発明による第4実施形態の対物レンズ構成図(光路図)である。第4実施形態は、上記第3実施形態と同様な構成であり、後続のズームレンズ系の焦点距離が1000mmのときに総合倍率 = -0.5でNA = 0.015となり、ズーム比が最大で8倍程度かつNAが最大で0.05まで拡大可能となるように設計された無限系対物レンズである。

【0035】

以下、表4に上記第1実施形態と同様に第4実施形態の諸元を示す。

表4 [第4実施形態]

= -0.5 ~ -3.75、NA = 0.015 ~ 0.05、
DO = 52.0、F = 198.0

NO.	R	D	nd	d
1:	171.62745	5.882876	1.77250	49.6
2:	-171.62745	0.500000		
3:	35.35032	10.656757	1.60300	65.5
4:	-968.99678	3.000000	1.80809	22.8
5:	57.21174	0.500000		
6:	21.16891	5.566517	1.72916	54.7
7:	17.03188	21.998566		
8:	31.69094	5.000000	1.80809	22.8
9:	-31.69094	2.000000	1.81600	46.6
10:	12.10648	20.297055		
11:	-16.97407	2.000000	1.88300	40.8
12:	43.25710	5.713904	1.49782	82.5
13:	-18.51337	3.378728		
14:	-412.62298	5.955597	1.59240	68.3
15:	-20.57021			

第4実施形態についての諸収差図を図14~図16に示す。

【0036】

図14は、対物レンズに後続するズーム光学系(結像レンズを含む)の焦点距離が1000mmの理想レンズとして計算された第1実施形態と同様の諸収差図である。図14に示すように第4実施形態の対物レンズでは、d線、C線、F線、g線の各波長においてNA = 0.015、視野数2.2まで良好に補正されている。

【0037】

図15は、対物レンズに後続するズーム光学系(結像レンズを含む)の焦点距離が400mmの理想レンズとして計算された諸収差図である。図15に示すように第4実施例の対物レンズでは、d線、C線、F線、g線の各波長においてNA = 0.03、視野数2.2ま

10

20

30

40

50

で良好に補正されている。

【0038】

図16は、対物レンズに後続するズーム光学系(結像レンズを含む)の焦点距離が750mmの理想レンズとして計算された諸収差図である。図16に示すように第4実施例の対物レンズでは、d線、C線、F線、g線の各波長においてNA=0.05、視野数2.2まで良好に補正されている。

以下に各実施形態の条件式対応値を示す。

	実施形態1	実施形態2	実施形態3	実施形態4
dp1 / dn1	1.97		2.29	2.87
dn2 / dp2	1.45		2.04	2.04
EP / OD	1.00	1.00	1.07	1.12
最大物体高	0.057	0.057	0.023	-0.264
f2	-13.97	-11.81	-11.25	-12.56
R1 / f2	0.769	0.955	1.094	0.964
R2 / f2	0.799	1.090	1.517	1.351
HR3 / Y	0.80		0.832	0.832

以上の説明は、後続するズームレンズ系の最短焦点距離が100mm(広視野端)で、総合倍率が符号を除いて1倍以下となるような極低倍の対物レンズを例に説明したが、低倍領域の対物レンズにも、本発明が適用できることは言うまでもない。

【図面の簡単な説明】

【0039】

【図1】実施形態1の対物レンズ構成図(光路図)

【図2】実施形態1の対物レンズで、後続するズーム光学系の焦点距離が100mmの時の諸収差図

【図3】実施形態1の対物レンズで、後続するズーム光学系の焦点距離が400mmの時の諸収差図

【図4】実施形態1の対物レンズで、後続するズーム光学系の焦点距離が750mmの時の諸収差図

【図5】実施形態2の対物レンズ構成図(光路図)

【図6】実施形態2の対物レンズで、後続するズーム光学系の焦点距離が100mmの時の諸収差図

【図7】実施形態2の対物レンズで、後続するズーム光学系の焦点距離が400mmの時の諸収差図

【図8】実施形態2の対物レンズで、後続するズーム光学系の焦点距離が750mmの時の諸収差図

【図 9】実施形態 3 の対物レンズ構成図（光路図）

【図 10】実施形態 3 の対物レンズで、後続するズーム光学系の焦点距離が 100 mm の時の諸収差図

【図 11】実施形態 3 の対物レンズで、後続するズーム光学系の焦点距離が 400 mm の時の諸収差図

【図 12】実施形態 3 の対物レンズで、後続するズーム光学系の焦点距離が 750 mm の時の諸収差図

【図 13】実施形態 4 の対物レンズ構成図（光路図）

【図 14】実施形態 4 の対物レンズで、後続するズーム光学系の焦点距離が 100 mm の時の諸収差図

10

【図 15】実施形態 4 の対物レンズで、後続するズーム光学系の焦点距離が 400 mm の時の諸収差図

【図 16】実施形態 4 の対物レンズで、後続するズーム光学系の焦点距離が 750 mm の時の諸収差図

【符号の説明】

【0040】

G 1 第1レンズ群

G 2 第2レンズ群

G 3 第3レンズ群

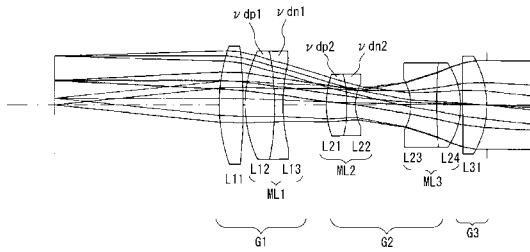
M L 1 第1レンズ群 G 1 に含まれる物体側に凸面を向けた正屈折力の接合メニスカスレンズ 20

M L 2 第2レンズ群 G 2 が有する、互いに向かい合う凹面を持つメニスカス形状の、2つの接合レンズのうち、物体側に位置する接合レンズ

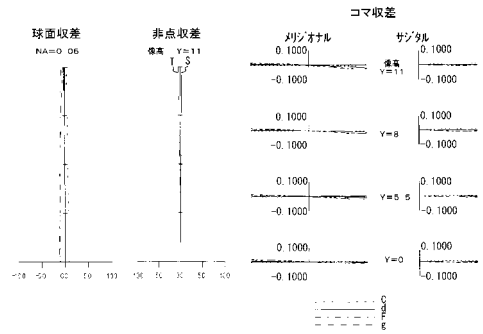
M L 3 第2レンズ群 G 2 が有する、互いに向かい合う凹面を持つメニスカス形状の、2つの接合レンズのうち、像側に位置する接合レンズ

L i j 第 i レンズ群中物体側より第 j 番目のレンズ

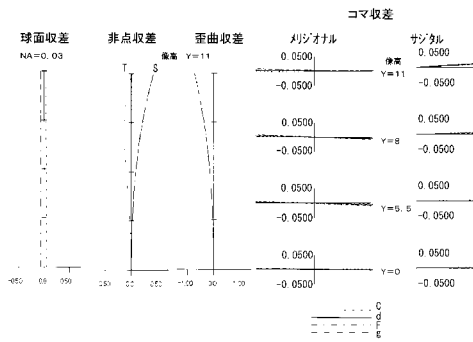
【 図 1 】



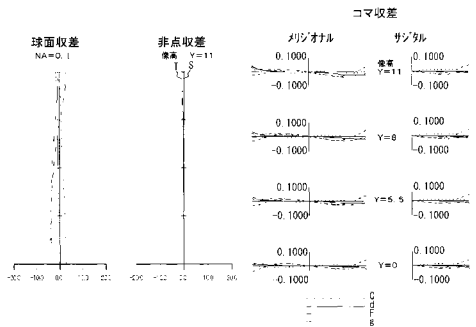
【 図 3 】



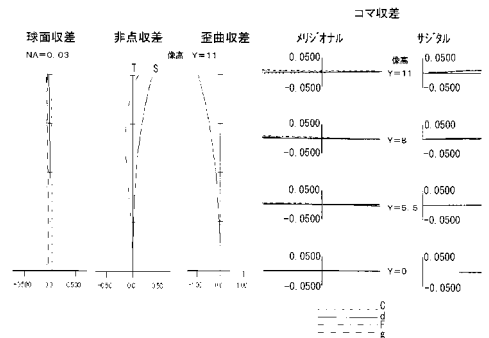
【 図 2 】



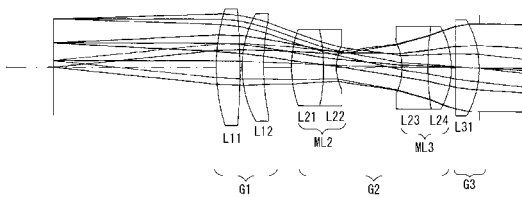
【 図 4 】



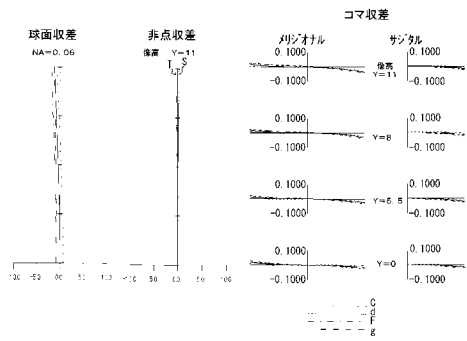
【 図 6 】



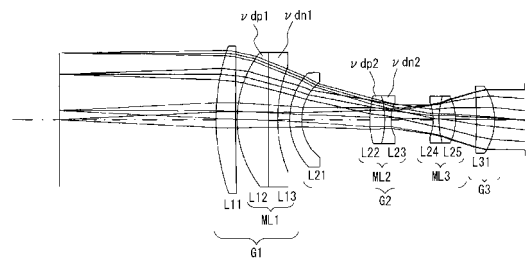
【 図 5 】



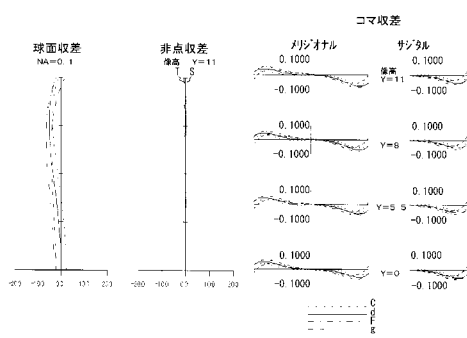
【 図 7 】



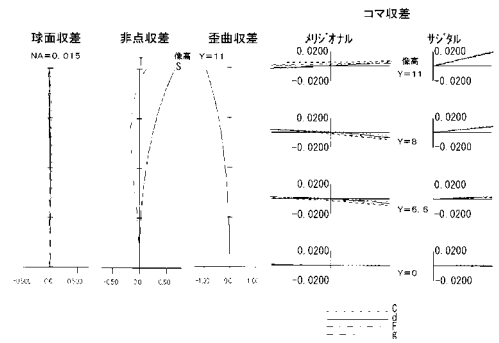
【 図 9 】



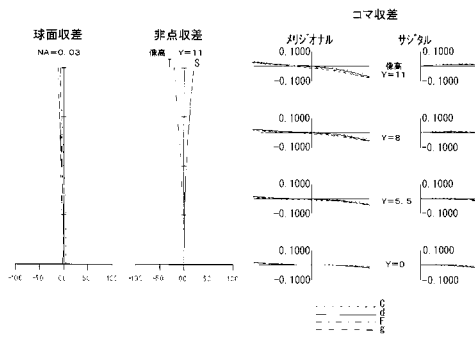
【 図 8 】



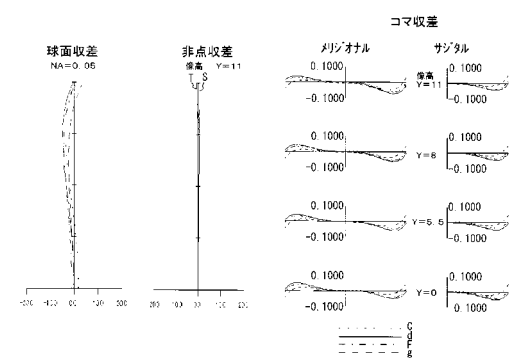
【 図 10 】



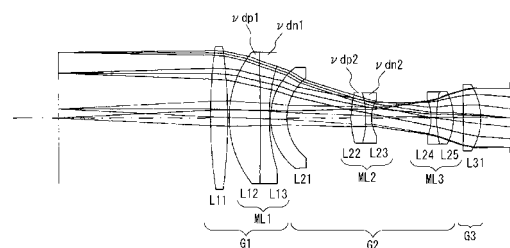
【 図 11 】



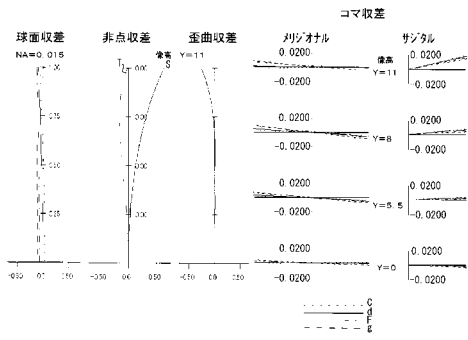
【 図 12 】



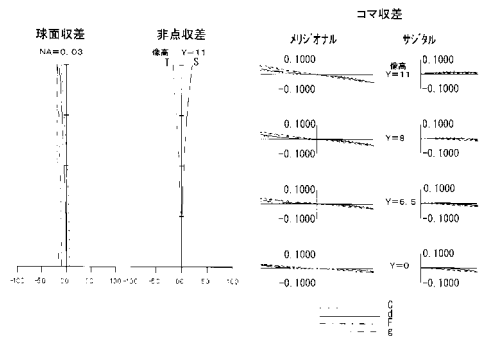
【 図 13 】



【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



【 図 1 6 】

