

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2009年3月19日 (19.03.2009)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2009/035072 A1

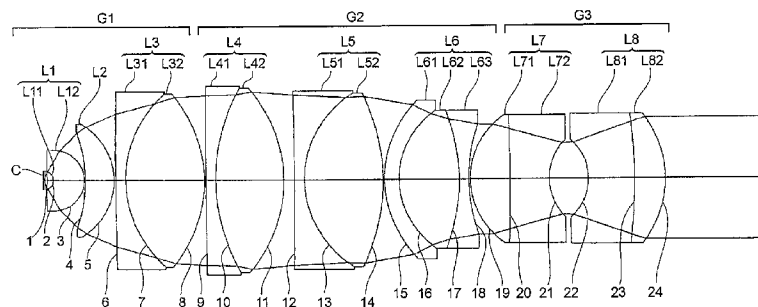
- (51) 国際特許分類:
G02B 21/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2008/066527
- (22) 国際出願日: 2008年9月12日 (12.09.2008)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2007-238136 2007年9月13日 (13.09.2007) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 山口 弘太郎 (YAMAGUCHI, Kotaro) [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ビル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, AO, 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,

[続葉有]

(54) Title: IMMERSION MICROSCOPE OBJECTIVE LENS

(54) 発明の名称: 液浸系顕微鏡対物レンズ

[図1]



(57) **Abstract:** An immersion microscope objective lens comprises, in order from the object side, a first lens group including a first lens component constituted by bonding a meniscus lens with its concave surface toward an object and a meniscus lens with its convex surface toward an image, a second lens component constituted by a single lens having a positive refracting power, and a third lens component constituted by bonding a negative lens and a positive lens and having a positive refracting power as a whole, a second lens group including a lens component constituted by bonding a negative lens and a positive lens and having a positive refracting power as a whole, and a third lens group having a negative refracting power as a whole. The immersion microscope objective lens satisfies the conditions of the following expressions: $1 < |r1/F| < 50$, $0.1 < |r2/F| < 1.5$, $n12 - n11 > 0.3$, and $n3Gp > 1.7$, wherein $n11$ and $n12$ are refractive indexes with respect to a d line of the meniscus lens with its concave surface toward the object of the first lens component and the meniscus lens with its convex surface toward the image of the first lens component, respectively, $r1$ is the radius of curvature of a lens surface touching an immersion liquid of the meniscus lens with its concave surface toward the object of the first lens component, $r2$ is the radius of curvature of a bonded surface of the first lens component, F is the focal length of the entire lens system, and $n3Gp$ is the refractive index with respect to the d line of a positive lens closest to the image of the third lens group.

(57) 要約: 液浸系顕微鏡対物レンズは、物体側から順に並んだ、物体側に凹面を向けたメニスカスレンズと像側に凸面を向けたメニスカスレンズとを貼り合わせてなる第1レンズ成分と、正の屈折力を有する単レンズからなる第2レンズ成分と、負レンズと正レンズとを貼り合わせてなる第3レンズ成分とで構成され、全体として正の屈折力を有する第1レンズ群と、負レンズと正レンズとを貼り合わせてなるレンズ成分を含み、全体として正の屈折力を有する第2レンズ群と、全体として負の屈折力を有

[続葉有]

WO 2009/035072 A1



NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(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,

添付公開書類:
— 国際調査報告書

する第3レンズ群とを備え、前記第1レンズ成分の物体側に凹面を向けたメニスカスレンズ、前記第1レンズ成分の像側に凸面を向けたメニスカスレンズのd線に対する屈折率をそれぞれ、 n_{11} 、 n_{12} とし、前記第1レンズ成分の物体側に凹面を向けたメニスカスレンズの浸液に接するレンズ面の曲率半径を r_1 とし、前記第1レンズ成分の接合面の曲率半径を r_2 とし、レンズ全系の焦点距離をFとし、前記第3レンズ群の最も像側に位置する正レンズのd線の屈折率を n_{3Gp} としたとき、次式、 $1 < |r_1/F| < 50$ 、 $0.1 < |r_2/F| < 1.5$ 、 $n_{12} - n_{11} > 0.3$ 及び $n_{3Gp} > 1.7$ の条件を満足する。

明 細 書

液浸系顕微鏡対物レンズ

技術分野

[0001] 本発明は、液浸系顕微鏡対物レンズに関し、更に詳しくは、近紫外域から近赤外域において使用される、液浸系で中・高倍率の超アポクロマート級液浸系顕微鏡対物レンズに関する。

背景技術

[0002] 高倍率の液浸系顕微鏡対物レンズでは、像面湾曲の補正をするために、像側に凸面を向けたメニスカスレンズにこれよりも相対的に屈折率の低い平凸レンズを平面が物体側となるように接合して最も物体側に配設し、これら2つのレンズの屈折率差を利用し、その接合面に負の屈折力を与えてペッツバル和を低減させる構成となっている。更に、光束径の小さい位置に互いに向き合った凹面を配置し、その強い負の屈折力によりペッツバル和を低減させる、いわゆるガウスタイプのレンズ系を配置した構成も知られており、これら両構成の組合せが像面湾曲を効果的に低減し得るものとして公知の技術となっている。

[0003] このような構成を有する液浸系顕微鏡対物レンズとして、例えば、特許文献1～3に開示された、高倍率のアポクロマート級顕微鏡対物レンズが知られている。これら特許文献1～3に示された液浸系顕微鏡対物レンズにおいて、最も物体側に配置された前記接合レンズ(いわゆる埋め込みレンズ、即ち先端に小径レンズが埋め込まれた全体形状を持つ)を構成する物体側の先端レンズの浸液と接する側の面が平面となっているのは、浸液中の泡や異物等を除去するときの作業が容易であることや、レンズそのものの加工が比較的容易であること等の理由による。

[0004] ここで、浸液をオイルとする場合には、浸液の屈折率と埋め込みレンズの浸液と接する先端レンズの屈折率とをほぼ等しくすることができるため(オイルとガラスの屈折率はともにおよそ1.5)、埋め込みレンズの浸液と接する面(第1レンズ面と称する)が平面で入射光の入射角が 60° を超えるような場合でも、その面で発生する収差は小さくなり、上記第1レンズ面や中心厚の寸法誤差は収差にほとんど影響を与えない。

[0005] しかしながら、浸液を水とする場合には、水の屈折率が約1.33とレンズ(ガラス)に比べて低く、レンズとの間の屈折率差によってその境界面で球面収差が発生してしまうという問題がある。特に、NA(開口数)が1.2を超え且つ広視野なレンズを設計する場合には、高次球面収差の発生が大きくなり、後のレンズ群での補正が困難になってくる。実際、浸液とレンズ(水とガラス)との屈折率差が0.1より大きく、上記第1レンズ面が平面でNAが1.2を超える場合には、その球面収差の補正は非常に難しいものとなっていた。そこで、例えば、浸液と接する第1レンズ面を弱い凹面とすることで、NAを1.2よりも大きくした対物レンズが、特許文献4に開示されている。

[0006] 特許文献1:特開平7-230038号公報

特許文献2:特開2000-35541号公報

特許文献3:特開2002-148519号公報

特許文献4:特開2005-266131号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0007] ところで、最近では観察方法も多岐にわたり、蛍光観察用液浸系顕微鏡対物レンズ等において、近紫外域から近赤外域までの広範な励起光にも対応できるものが望まれている。しかしながら、上記特許文献の対物レンズでは、色収差の補正範囲が近紫外域から可視域までとなっており、近赤外域を使用するアプリケーションに対応するためには、色収差の補正範囲を拡大する必要がある。

[0008] 本発明は、このような問題に鑑みてなされたものであり、NAが1.2を超える高開口数で広視野でありながら、近紫外域から近赤外域の広波長域にわたって諸収差を良好に補正することができる、中・高倍率の液浸系顕微鏡対物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

[0009] このような目的を達成するため、本発明は、物体側から順に並んだ、物体側に凹面を向けたメニスカスレンズと像側に凸面を向けたメニスカスレンズとを貼り合わせてなる第1レンズ成分と、正の屈折力を有する単レンズからなる第2レンズ成分と、負レンズと正レンズとを貼り合わせてなる第3レンズ成分とで構成され、全体として正の屈折

力を有する第1レンズ群と、負レンズと正レンズとを貼り合わせてなるレンズ成分を含み、全体として正の屈折力を有する第2レンズ群と、全体として負の屈折力を有する第3レンズ群とを備え、前記第1レンズ成分の物体側に凹面を向けたメニスカスレンズのd線に対する屈折率を n_{11} とし、前記第1レンズ成分の像側に凸面を向けたメニスカスレンズのd線に対する屈折率を n_{12} とし、前記第1レンズ成分の物体側に凹面を向けたメニスカスレンズの浸液に接するレンズ面の曲率半径を r_1 とし、前記第1レンズ成分の接合面の曲率半径を r_2 とし、レンズ全系の焦点距離を F とし、前記第3レンズ群の最も像側に位置する正レンズのd線の屈折率を n_{3Gp} としたとき、次式 $1 < |r_1/F| < 50$ 、 $0.1 < |r_2/F| < 1.5$ 、 $n_{12} - n_{11} > 0.3$ 及び $n_{3Gp} > 1.7$ の条件を満足することを特徴とする。

[0010] なお、前記第2レンズ群は、物体側から順に並んだ、負レンズと正レンズとを貼り合わせてなる第4レンズ成分及び第5レンズ成分と、負メニスカスレンズと両凸レンズと両凹レンズとを3枚貼り合わせてなる第6レンズ成分とを含むことが好ましい。

[0011] また、前記第3レンズ群は、物体側から順に並んだ、正レンズと負レンズとの貼り合わせからなり、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の第7レンズ成分と、負レンズと正レンズとの貼り合わせからなり、像側に凸面を向けたメニスカス形状の第8レンズ成分とを備え、前記第8レンズ成分の正レンズのアッベ数を ν_{8p} とし、前記第8レンズ成分の正レンズのd線に対する屈折率を n_{8p} としたとき、次式 $\nu_{8p} > 41$ 及び $n_{8p} > 1.8$ の条件を満足することが好ましい。

[0012] また、前記第1レンズ群から第3レンズ群を構成する全てのレンズにおいて、アッベ数が41以上であることが好ましい。

発明の効果

[0013] 以上説明したように、本発明によれば、倍率40倍で、開口数が1.25と大きく広視野でありながら、広波長域(近紫外域から近赤外域)にわたって諸収差(球面収差、コマ収差、像面湾曲、色収差等)が良好に補正され、優れた結像性能を有する液浸系顕微鏡対物レンズを実現できる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]本発明の第1実施例に係る液浸系顕微鏡対物レンズのレンズ構成図である。

[図2]本発明の第1実施例に係る液浸系顕微鏡対物レンズの諸収差図である。

[図3]本発明の第2実施例に係る液浸系顕微鏡対物レンズのレンズ構成図である。

[図4]本発明の第2実施例に係る液浸系顕微鏡対物レンズの諸収差図である。

[図5]本発明の第3実施例に係る液浸系顕微鏡対物レンズのレンズ構成図である。

[図6]本発明の第3実施例に係る液浸系顕微鏡対物レンズの諸収差図である。

[図7]上記実施例に係る液浸系顕微鏡対物レンズと組み合わせて用いられる、結像レンズのレンズ構成図である。

符号の説明

- [0015] G1 第1レンズ群
 G2 第2レンズ群
 G3 第3レンズ群
 L1 第1レンズ成分
 L2 第2レンズ成分
 L3 第3レンズ成分
 L31 第3レンズ成分の負レンズ
 L32 第3レンズ成分の正レンズ
 L4 第4レンズ成分
 L41 第4レンズ成分の負レンズ
 L42 第4レンズ成分の正レンズ
 L5 第5レンズ成分
 L6 第6レンズ成分
 L7 第7レンズ成分
 L8 第8レンズ成分
 L82 第8レンズ成分の正レンズ

発明を実施するための最良の形態

- [0016] 以下、本願の好ましい実施形態について、図面を参照しながら説明する。図1及び図3は、それぞれ本願の第1及び第2実施形態に対応する液浸系顕微鏡対物レンズのレンズ構成図であり、いずれも、物体(観察試料)側から順に並んだ、全体として正

の屈折力を有する第1レンズ群G1と、全体として正の屈折力を有する第2レンズ群G2と、全体として負の屈折力を有する第3レンズ群G3とを備えて構成されている。

[0017] 第1レンズ群G1は、物体側から順に並んだ、物体側に弱い凹面を向けた第1メニスカスレンズL11と像側に凸面を向けた第2メニスカスレンズL12とを貼り合わせてなる第1レンズ成分(埋め込みレンズ)L1と、像側に物体側より屈折力の大きな面を向けた正の屈折力を有する単レンズからなる第2レンズ成分L2と、負レンズL31と正レンズL32とを貼り合わせてなり正の屈折力を有する第3レンズ成分L3とを有した構成となっている。

[0018] ここで、第1レンズ成分L1は、第2メニスカスレンズL12に比して径が小さい第1メニスカスレンズL11の像側の凸面が第2メニスカスレンズL12の物体側の凹面に埋め込まれるようにして接合されている、いわゆる埋め込みレンズである。第2レンズ成分L2は、正メニスカスレンズからなる単レンズであり、その凹面を物体側に向けて配置されている。第3レンズ成分L3において、負レンズL31は両凹レンズ又は物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズからなり、正レンズL32は両凸レンズからなっている。

[0019] 第2レンズ群G2は、物体側から順に並んだ、負レンズL41と正レンズL42とを貼り合わせてなり正の屈折力を有する第4レンズ成分L4、負レンズL51と正レンズL52とを貼り合わせてなり正の屈折力を有する第5レンズ成分L5と、負メニスカスレンズL61と両凸レンズL62と両凹レンズL63とを3枚貼り合わせてなる第6レンズ成分L6とを有した構成となっている。

[0020] なお、第4レンズ成分L4において、負レンズL41は物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズからなり、正レンズL42は両凸レンズからなっている。第5レンズ成分L5において、負レンズL51は両凹レンズからなり、正レンズL52は両凸レンズからなっている。

[0021] 第3レンズ群G3は、物体側から順に並んだ、正レンズL71と負レンズL72との貼り合わせからなり、全体として物体側に凸面を向けたメニスカス形状の第7レンズ成分L7と、負レンズL81と正レンズL82との貼り合わせからなり、全体として像側に凸面を向けたメニスカス形状の第8レンズ成分L8とを有した構成となっている。

[0022] なお、第7レンズ成分L7において、正レンズL71は両凸レンズからなり、負レンズL

72は両凹レンズからなっている。また、第8レンズ成分L8において、負レンズL81は像側に凸面を向けた負メニスカスレンズからなり、正レンズL82は像側に凸面を向けた正メニスカスレンズからなっている。

[0023] 上記のように、埋め込みレンズL1を構成する第1メニスカスレンズL11は、物体側に弱い凹面を向けた正メニスカスレンズからなっているため、第1メニスカスレンズL11の屈折率と、これと接して使用される浸液の屈折率との差(屈折率差)が0.1を超える場合(すなわち、浸液の屈折率を n_0 とし、第1メニスカスレンズL11の屈折率を n_{11} としたときに、式 $|n_0 - n_{11}| > 0.1$ が満たされる場合)においても、第1メニスカスレンズL11と浸液との境界面で発生する高次球面収差が効果的に低減される。すなわち、本発明に係る液浸系顕微鏡対物レンズでは、第1メニスカスレンズL11と浸液との境界面を凹面とすることで物体からの光束の入射角を小さくし、高次球面収差の発生を抑える構成となっている。また、第1メニスカスレンズL11と、これが埋め込まれる第2メニスカスレンズL12との接合面には強い負の屈折力が与えられるので、ペッツバル和が効果的に低減される。

[0024] 物体から出た光束は上記第1レンズ成分L1を出た後、正の屈折力を有する第2レンズ成分L2によって緩やかに曲げられる。ここで、第2レンズ成分L2において、像側に物体側よりも屈折力の大きい面を配することにより、マージナル光線(光軸上の物点を出た光束のうち最も外側に位置する光線)の偏角をできるだけ小さく抑えている。また、第3レンズ成分L3において、基準波長(d線)の屈折率が互いに近似し(屈折率差が小さく)かつ相異なる分散を有した負レンズL31と正レンズL32とを貼り合わせた構成とすることにより、第1レンズ成分L1と第2レンズ成分L2それぞれの像側の強い凸面で発生した軸上色収差や色の(波長差による)球面収差を、基準波長の収差に影響を与えずに良好に補正している。

[0025] 物体から出た光は、正の屈折力を有する第1レンズ群G1と第2レンズ群G2によって収斂光に変換される。そして、第2レンズ群G2の最も物体側に配置された負レンズL41と正レンズL42とが貼り合わされてなる第4レンズ成分L4を通ることにより、上記発散光に含まれる球面収差及び軸上色収差は良好に補正される。なお、これら収差(球面収差および軸上色収差)を最も好ましく補正するためには、本願のように、第2

レンズ群G2を、上記第4レンズ成分L4に加え、負レンズL51と正レンズL52とが貼り合わされてなる第5レンズ成分L5及び負メニスカスレンズL61と両凸レンズL62と両凹レンズL63との3枚のレンズが貼り合わされてなる第6レンズ成分L6とから構成することが好ましい。

[0026] 第3レンズ群G3は、全体として負の屈折力を有するレンズ構成となっているので、ペッツバル和を減少させつつ、軸上色収差と倍率色収差とをバランスよく補正することができる。この場合、第3レンズ群G3は、所謂ガウスタイプのレンズ構成であることが好ましく、このような構成であればペッツバル和をより効果的に補正することが可能である。

[0027] 上記構成の液浸系顕微鏡対物レンズにおいて、第1レンズ成分L1の物体側に凹面を向けたメニスカスレンズL11のd線に対する屈折率を n_{11} とし、第1レンズ成分L1の像側に凸面を向けたメニスカスレンズL12のd線に対する屈折率を n_{12} とし、第1レンズ成分L1の物体側に凹面を向けたメニスカスレンズL11の浸液に接するレンズ面の曲率半径を r_1 とし、第1レンズ成分L1の接合面の曲率半径を r_2 とし、レンズ全系の焦点距離をFとし、第3レンズ群G3の最も像側に位置する正レンズL82のd線の屈折率を n_{3Gp} としたとき、次式(1)～(4)を満足することが好ましい。

[0028] $1 < |r_1/F| < 50 \quad \dots(1)$

$$0.1 < |r_2/F| < 1.5 \quad \dots(2)$$

$$n_{12} - n_{11} > 0.3 \quad \dots(3)$$

$$n_{3Gp} > 1.7 \quad \dots(4)$$

[0029] 上記条件式(1)は、埋め込みレンズである第1メニスカスレンズL11における浸液と接する面(第1レンズ面と称する。後述の第1実施例及び第2実施例における面番号1の面に相当)の曲率半径と、レンズ全系の焦点距離Fとの適切な比の範囲を規定するものである。条件式(1)の上限値を上回ると(第1メニスカスレンズL11の曲率半径が大きくなり過ぎると)、物体からの光束の入射角が大きくなり過ぎて、後群のレンズで高次球面収差を補正することが困難になってしまう。また、条件式(1)の下限値を下回ると(第1メニスカスレンズL11の曲率半径が小さくなり過ぎると)、浸液中の泡や異物等を取り除くことが困難になってしまう。なお、NA(開口数)が1.2を超える場合

、更に優れた結像性能を発揮するためには、上記条件式(1)の下限値を2とすることが好ましい。また、上限値を9とすることが好ましい。

[0030] また、上記条件式(2)は、第1レンズ成分L1を構成する第1メニスカスレンズL11と第2メニスカスレンズL12との接合面の曲率半径と、レンズ全系の焦点距離Fとの適切な比の範囲を規定するものである。条件式(2)の上限値を上回ると、上記両レンズ間L11, L12の接合面での十分な負の屈折力が得られなくなり、ペッツバル和が大きくなって、像面の平坦性が悪くなる。また、条件式(2)の下限値を下回ると、第1レンズ成分L1を構成する第1メニスカスレンズL11と第2メニスカスレンズL12との接合面の曲率半径が小さくなり過ぎて加工が困難となる。特に、接合時に第1メニスカスレンズL11と第2メニスカスレンズL12との偏芯が取りきれず、非対称収差が発生する等、性能低下を招く。なお、視野数25程度まで像面湾曲を補正しつつ、更に良好な結像性能を発揮するためには、上記条件式(2)の下限値を0.13とすることが好ましい。また、上限値を0.6とすることが好ましい。

[0031] また、上記条件式(3)は、第1レンズ成分L1を構成する第1メニスカスレンズL11と第2メニスカスレンズL12との適切な屈折率差の範囲を規定するものである。上記条件式(3)の下限値を下回ると、両者の屈折率差が小さくなり過ぎて、第1レンズ成分L1における両者の接合面で十分な負の屈折力が得られなくなり、ペッツバル和が増大し、像面の平坦性が悪くなる。なお、視野数25まで像面湾曲を補正しつつ、更に良好な結像性能を発揮するためには、上記条件式(3)の下限値を0.35とすることが好ましい。

[0032] また、上記条件式(4)は、第3レンズ群G3の最も像側に配置される正レンズ(後述の第1及び第2実施例では第3レンズ群G3を構成する正レンズL82)の屈折率の適切な範囲を規定するものである。上記条件式(4)の下限値を下回ると、ペッツバル和を減少させるために、第8レンズ成分L8の空気側面(空気に触れる側の側面)の曲率半径が小さくなり、コマ収差が悪化してしまう。

[0033] さらに、第3レンズ群G3における、第8レンズ成分L8の正レンズL82のアッベ数を v_{8p} とし、第8レンズ成分L8の正レンズL82のd線に対する屈折率を n_{8p} としたとき、次式(5)及び(6)を満足することが好ましい。

[0034] $v_{8p} > 41 \quad \dots (5)$

$n_{8p} > 1.8 \quad \dots (6)$

[0035] 上記条件式(5)及び(6)は、第3レンズ群G3が所謂ガウスタイプのレンズ構成となる場合において、第8レンズ成分L8の正レンズL82のアッベ数及び第8レンズ成分L8の正レンズL82のd線に対する屈折率の適切な範囲を規定するものである。上記条件式(5)及び(6)を外れると、屈折率が1.8よりも大きい硝材は近紫外域での透過率が低下してしまい、蛍光観察において十分な性能を発揮できなくなる。

[0036] また、第1レンズ群G1から第3レンズ群G3を構成する全てのレンズにおいて、アッベ数が41以上であることが好ましい。これは、各レンズを分散の小さいガラスで構成することにより、本質的に色収差の発生を少なくするためである。この条件を外れると、視野中心から周辺まで色収差によるにじみを減らして結像性能を維持しつつ、対物レンズ全体の近紫外域における透過率を確保することが困難になってしまう。透過率の確保が困難なのは、アッベ数が41未満の範囲にある光学ガラスは、近紫外線の透過率が低いからである。

実施例

[0037] 以下、本願に係る液浸系顕微鏡対物レンズの各実施例を添付図面に基づいて説明する。

[0038] 以下に示す表1～表3は、本願に係る液浸系顕微鏡対物レンズの第1～第3実施例の各レンズの諸元の表である。いずれの表においても、 β は倍率、NAは開口数、D0はカバーガラスの対物レンズ側の面から第1レンズ群G1の第1レンズ面(表中の面番号1)までの距離、Fはレンズ全系の合成焦点距離をそれぞれ示している。また、面番号は光線の進行する方向に沿った物体側からのレンズ面の順序(以下、面番号と称する)を、面間隔は各光学面から次の光学面(又は像面)までの光軸上の距離を、屈折率はd線(波長587.5620nm)に対する値をそれぞれ示している。

[0039] 表中において、焦点距離F、曲率半径、面間隔、その他の長さの単位は、一般に「mm」が使われている。但し、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」に限定されことなく、他の適当な単位を用いることが可能である。また、表中において、曲率半径の「0.0000」は平面を示し、空気の屈

折率「1.00000」の記載は省略している。また、表中において、上記の条件式(1)～(6)に対応する値、すなわち条件対応値も示している。

[0040] なお、以下の実施例では、浸液として n_d (d線に対する屈折力) $=1.33249$, v_d (アッベ数) $=55.97$ の水を使用し、カバーガラスCは、 t (厚さ) $=0.17$, n_d (d線に対する屈折力) $=1.52216$, v_d (アッベ数) $=58.80$ を基準として設計されている。

[0041] (第1実施例)

本願の第1実施例に係る液浸系顕微鏡対物レンズについて、図1、図2及び表1を用いて説明する。第1実施例に係る液浸系顕微鏡対物レンズは、浸液を水とした、倍率40倍、開口数1.25を有する水浸用アポクロマート級顕微鏡対物レンズであり、図1に示すように、物体(観察試料)側から順に並んだ、全体として正の屈折力を有する第1レンズ群G1と、全体として正の屈折力を有する第2レンズ群G2と、全体として負の屈折力を有する第3レンズ群G3とを備えて構成されている。

[0042] 第1レンズ群G1は、物体側から順に並んだ、物体側に弱い凹面を向けた第1メニスカスレンズL11と像側に凸面を向けた第2メニスカスレンズL12とを貼り合わせてなる第1レンズ成分L1と、像側に物体側より屈折力の大きな面を向けた正の屈折力を有する単レンズからなる第2レンズ成分L2と、負レンズL31と正レンズL32とを貼り合わせてなり正の屈折力を有する第3レンズ成分L3とを有した構成となっている。第2レンズ群G2は、物体側から順に並んだ、負レンズL41と正レンズL42とを貼り合わせてなり正の屈折力を有する第4レンズ成分L4、負レンズL51と正レンズL52とを貼り合わせてなり正の屈折力を有する第5レンズ成分L5と、負メニスカスレンズL61と両凸レンズL62と両凹レンズL63とを3枚貼り合わせてなる第6レンズ成分L6とを有した構成となっている。第3レンズ群G3は、物体側から順に並んだ、正レンズL71と負レンズL72との貼り合わせからなり、全体として物体側に凸面を向けたメニスカス形状の第7レンズ成分L7と、負レンズL81と正レンズL82との貼り合わせからなり、全体として像側に凸面を向けたメニスカス形状の第8レンズ成分L8とを有した構成となっている。

[0043] 表1に第1実施例における各諸元の表を示す。なお、表1における面番号1～24は、図1に示す面1～24に対応している。

[0044] (表1)

[全体諸元]

$$\beta = -39.9, NA = 1.25, DO = 0.25, F = 5.012$$

[レンズ諸元]

面番号	曲率半径	面間隔	屈折率	アッベ数	レンズ名
1	-10.75887	0.700	1.45850	67.8	L11
2	-1.03110	3.000	1.81600	46.6	L12
3	-3.15990	0.100			
4	-14.71881	3.180	1.56907	71.3	L2
5	-6.73158	0.150			
6	-532.23269	1.000	1.51742	52.4	L31
7	12.42195	8.500	1.49782	82.5	L32
8	-13.53418	0.150			
9	111.17799	1.000	1.81600	46.6	L41
10	18.41259	7.200	1.43425	95.0	L42
11	-15.84471	1.000			
12	-144.29266	1.000	1.51823	59.0	L51
13	10.83822	8.500	1.43385	95.3	L52
14	-20.48705	0.150			
15	13.72040	1.500	1.81600	46.6	L61
16	10.33666	6.150	1.43425	95.0	L62
17	-23.42408	1.000	1.81600	46.6	L63
18	25.36729	0.150			
19	9.00000	4.750	1.49782	82.5	L71
20	-200.00000	2.200	1.51823	59.0	L72
21	6.58860	5.200			
22	-7.01686	3.250	1.65160	58.5	L81
23	-40.89441	3.250	1.73800	32.3	L82
24	-10.97925				

[条件対応値]

$$r1 = -10.75887$$

$$F = 5.012$$

$$n12 = 1.81600$$

$$r2 = -1.03110$$

$$n11 = 1.45850$$

$$n3Gp = n8p = 1.73800$$

$$\nu_{8p} = 32.3$$

$$\text{条件式(1)} \quad |r1/F| = 2.147$$

$$\text{条件式(2)} \quad |r2/F| = 0.206$$

$$\text{条件式(3)} \quad n12 - n11 = 0.358$$

$$\text{条件式(4)} \quad n3Gp = 1.73800$$

$$\text{条件式(5)} \quad \nu_{8p} = 32.3$$

$$\text{条件式(6)} \quad n8p = 1.73800$$

[0045] 表1に示す諸元の表から分かるように、本実施例に係る液浸系顕微鏡対物レンズでは、上記条件式(1)～(4)を満たすことが分かる。

[0046] 図2は、s線(波長852.1100nm)、A^{*}線(波長768.1950nm)、C線(波長656.2790nm)、d線(波長587.5620nm)、F線(波長486.1330nm)、g線(波長435.08350nm)及びh線(波長404.6560nm)に対する第1実施例の諸収差図(球面収差、非点収差及びコマ収差)である。ここで、非点収差図において、実線はサジタル像面を示し、破線はメリジオナル像面をそれぞれ示す。また、各収差図において、NAは開口数を、Yは像高を示している。以上、収差図の説明は、他の実施例においても同様である。

[0047] 各収差図から明らかなように、第1実施例に係る液浸系顕微鏡対物レンズでは、色収差補正範囲が通常のアポクロマートレンズのd線、C線、F線、g線を含む、h線～s線の波長域において、NA=1.25、視野数22まで良好に補正されていることが分かる。

[0048] (第2実施例)

本願の第2実施例について、図3、図4及び表2を用いて説明する。第2実施例に

係る液浸系顕微鏡対物レンズは、浸液を水とした、倍率40倍、開口数1.25を有する水浸用アポクロマート級顕微鏡対物レンズである。なお、第2実施例の液浸系顕微鏡対物レンズは、第1実施例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(図3参照)。表2に、第2実施例における各諸元の表を示す。なお、表2における面番号1～24は、図3に示す面1～24に対応している。

[0049] (表2)

[全体諸元]

$$\beta = -40.1, NA = 1.25, DO = 0.25, F = 4.988$$

[レンズ諸元]

面番号	曲率半径	面間隔	屈折率	アッベ数	レンズ名
1	-10.00800	0.600	1.45850	67.8	L11
2	-1.03110	3.100	1.83481	42.7	L12
3	-3.15990	0.100			
4	-15.04688	2.900	1.59240	68.3	L2
5	-6.77255	0.150			
6	400.00000	1.000	1.51742	52.4	L31
7	11.51510	8.000	1.49782	82.5	L32
8	-13.44936	0.150			
9	569.31905	1.000	1.81600	46.6	L41
10	18.34459	7.000	1.43385	95.3	L42
11	-13.97045	1.100			
12	-430.45703	1.000	1.51823	59.0	L51
13	10.06428	8.100	1.43385	95.3	L52
14	-19.51431	0.150			
15	11.04816	1.500	1.81600	46.6	L61
16	8.29541	6.200	1.43425	95.0	L62
17	-19.04776	1.000	1.77250	49.6	L63

18	16.74321	0.150			
19	7.78895	4.100	1.43425	95.0	L71
20	-146.46359	4.000	1.56384	60.7	L72
21	5.61449	4.000			
22	-5.30741	4.700	1.56384	60.7	L81
23	-52.09943	3.100	1.83481	42.7	L82
24	-10.63002				

[条件対応値]

$$r1 = -10.00800$$

$$F = 4.988$$

$$r2 = -1.03110$$

$$n12 = 1.83481$$

$$n11 = 1.45850$$

$$n3Gp = n8p = 1.83481$$

$$\nu_{8p} = 42.7$$

$$\text{条件式(1)} \quad |r1/F| = 2.006$$

$$\text{条件式(2)} \quad |r2/F| = 0.207$$

$$\text{条件式(3)} \quad n12 - n11 = 0.376$$

$$\text{条件式(4)} \quad n3Gp = 1.83481$$

$$\text{条件式(5)} \quad \nu_{8p} = 42.7$$

$$\text{条件式(6)} \quad n8p = 1.83481$$

[0050] 表2に示す諸元の表から分かるように、本実施例に係る液浸系顕微鏡対物レンズでは、上記条件式(1)～(6)を全て満たすことが分かる。

[0051] 図4は、s線(波長852.1100nm)、A⁺線(波長768.1950nm)、C線(波長656.2790nm)、d線(波長587.5620nm)、F線(波長486.1330nm)、g線(波長435.08350nm)及びh線(波長404.6560nm)に対する第2実施例の諸収差図(球面収差、非点収差及びコマ収差)である。各収差図から明らかなように、第2実施例に係る液浸系顕微鏡対物レンズでは、色収差補正範囲が通常のアポクロマートレンズのd線、C線、F線、g線を

含む、h線～s線の波長域において、NA=1.25、視野数22まで良好に補正されていることが分かる。

[0052] (第3実施例)

本願の第3実施例について、図5、図6及び表3を用いて説明する。第3実施例に係る液浸系顕微鏡対物レンズは、浸液を水とした、倍率40倍、開口数1.15を有する水浸用アポクロマート級顕微鏡対物レンズである。なお、第3実施例の液浸系顕微鏡対物レンズは、第2レンズ群G2の第6レンズ成分L6が両凸レンズL61と両凹レンズL62との2枚貼り合わせで構成されている以外は、第1実施例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(図5参照)。表3に、第3実施例における各諸元の表を示す。なお、表3における面番号1～23は、図5に示す面1～23に対応している。

[0053] (表3)

[全体諸元]

$$\beta = -39.9, NA = 1.15, DO = 0.60, F = 5.013$$

[レンズ諸元]

面番号	曲率半径	面間隔	屈折率	アッベ数	レンズ名
1	-100.00000	0.600	1.45850	67.8	L11
2	-2.00000	3.739	1.83481	42.7	L12
3	-3.94616	0.100			
4	-8.24295	2.900	1.59240	68.3	L2
5	-6.82271	0.150			
6	451.83977	1.000	1.51742	52.4	L31
7	11.51758	8.000	1.49782	82.5	L32
8	-16.91853	0.150			
9	37.39913	1.000	1.81600	46.6	L41
10	20.03370	7.000	1.43385	95.3	L42
11	-18.27314	1.100			
12	41.25503	1.000	1.81600	46.6	L51

13	11.70822	8.100	1.43385	95.3	L52
14	-16.52039	0.150			
15	10.76207	6.200	1.43385	95.3	L61
16	-22.50935	1.000	1.81600	46.6	L62
17	10.84608	0.150			
18	7.68165	4.100	1.43425	95.0	L71
19	-50.00000	5.511	1.56384	60.7	L72
20	5.56244	3.623			
21	-4.90844	4.077	1.56384	60.7	L81
22	-36.64293	3.100	1.83481	42.7	L82
23	-9.47184				

[条件対応値]

$$r1 = -100.00000$$

$$F = 5.013$$

$$r2 = -2.00000$$

$$n12 = 1.83481$$

$$n11 = 1.45850$$

$$n3Gp = n8p = 1.83481$$

$$\nu 8p = 42.7$$

$$\text{条件式(1)} \quad |r1/F| = 19.948$$

$$\text{条件式(2)} \quad |r2/F| = 0.399$$

$$\text{条件式(3)} \quad n12 - n11 = 0.376$$

$$\text{条件式(4)} \quad n3Gp = 1.83481$$

$$\text{条件式(5)} \quad \nu 8p = 42.7$$

$$\text{条件式(6)} \quad n8p = 1.83481$$

[0054] 表3に示す諸元の表から分かるように、本実施例に係る液浸系顕微鏡対物レンズでは、上記条件式(1)～(6)を全て満たすことが分かる。

[0055] 図6は、s線(波長852.1100nm)、A[〃]線(波長768.1950nm)、C線(波長656.2790nm)

、d線(波長587.5620nm)、F線(波長486.1330nm)、g線(波長435.08350nm)及びh線(波長404.6560nm)に対する第3実施例の諸収差図(球面収差、非点収差及びコマ収差)である。各収差図から明らかなように、第3実施例に係る液浸系顕微鏡対物レンズでは、色収差補正範囲が通常のアポクロマートレンズのd線、C線、F線、g線を含む、h線～s線の波長域において、NA=1.15、視野数22まで良好に補正されていることが分かる。

[0056] 図7は、各実施例の液浸系顕微鏡対物レンズと組み合わせて使用された結像レンズの構成図であり、物体側から順に、両凸レンズM11と両凹レンズM12との貼り合せからなる第1接合レンズM1と、両凸レンズM21と両凹レンズM22との貼り合せからなる第2接合レンズM2とから構成されている。表4は、この結像レンズのレンズデータの一例である。表4において、面番号は光線の進行する方向に沿った物体側からのレンズ面の順序(以下、面番号と称する)を、面間隔は各光学面から次の光学面(又は像面)までの光軸上の距離を、屈折率はd線(波長587.5620nm)に対する値をそれぞれ示している。

[0057] (表4)

[レンズ諸元]

面番号	曲率半径	面間隔	屈折率	アッベ数	レンズ名
1	75.040	5.1	1.62280	57.03	M11
2	-75.040	2.0	1.74950	35.19	M12
3	1600.580	7.5			
4	50.260	5.1	1.66755	41.96	M21
5	-84.540	1.8	1.66755	44.41	M22
6	36.910				

[0058] 表4の諸元の結像レンズを用いた場合、第1～第3実施例の液浸系顕微鏡対物レンズとの間の間隔は、50mm～180mmの間であれば実用上特に問題はない。なお、第1～第3実施例に係る図2、図4及び図6に示す諸収差図は、上記間隔を150mmとしたときの結果である。但し、これらの結果は、上記間隔が50mm～180mmの間であれば(150mm以外の位置でも)特に大きな相違はない。

- [0059] 以上から、本発明に係る液浸系顕微鏡対物レンズによれば、倍率が40倍、高開口数で広視野でありながら、広波長域(h線～s線)にわたって諸収差(球面収差、非点収差及びコマ収差)を良好に補正することができ、優れた結像性能を発揮し得ることが分かる。
- [0060] なお、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、本発明に係る要旨を逸脱しない範囲であれば適宜改良可能である。

請求の範囲

- [1] 物体側から順に並んだ、物体側に凹面を向けたメニスカスレンズと像側に凸面を向けたメニスカスレンズとを貼り合わせてなる第1レンズ成分と、正の屈折力を有する単レンズからなる第2レンズ成分と、負レンズと正レンズとを貼り合わせてなる第3レンズ成分とで構成され、全体として正の屈折力を有する第1レンズ群と、

負レンズと正レンズとを貼り合わせてなるレンズ成分を含み、全体として正の屈折力を有する第2レンズ群と、

全体として負の屈折力を有する第3レンズ群とを備え、

前記第1レンズ成分の物体側に凹面を向けたメニスカスレンズのd線に対する屈折率を n_{11} とし、前記第1レンズ成分の像側に凸面を向けたメニスカスレンズのd線に対する屈折率を n_{12} とし、前記第1レンズ成分の物体側に凹面を向けたメニスカスレンズの浸液に接するレンズ面の曲率半径を r_1 とし、前記第1レンズ成分の接合面の曲率半径を r_2 とし、レンズ全系の焦点距離を F とし、前記第3レンズ群の最も像側に位置する正レンズのd線の屈折率を n_{3Gp} としたとき、次式

$$1 < |r_1/F| < 50$$

$$0.1 < |r_2/F| < 1.5$$

$$n_{12} - n_{11} > 0.3$$

$$n_{3Gp} > 1.7$$

の条件を満足することを特徴とする液浸系顕微鏡対物レンズ。

- [2] 前記第3レンズ群は、物体側から順に並んだ、正レンズと負レンズとの貼り合わせからなり、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の第7レンズ成分と、負レンズと正レンズとの貼り合わせからなり、像側に凸面を向けたメニスカス形状の第8レンズ成分とを備え、

前記第8レンズ成分の正レンズのアッベ数を v_{8p} とし、前記第8レンズ成分の正レンズのd線に対する屈折率を n_{8p} としたとき、次式

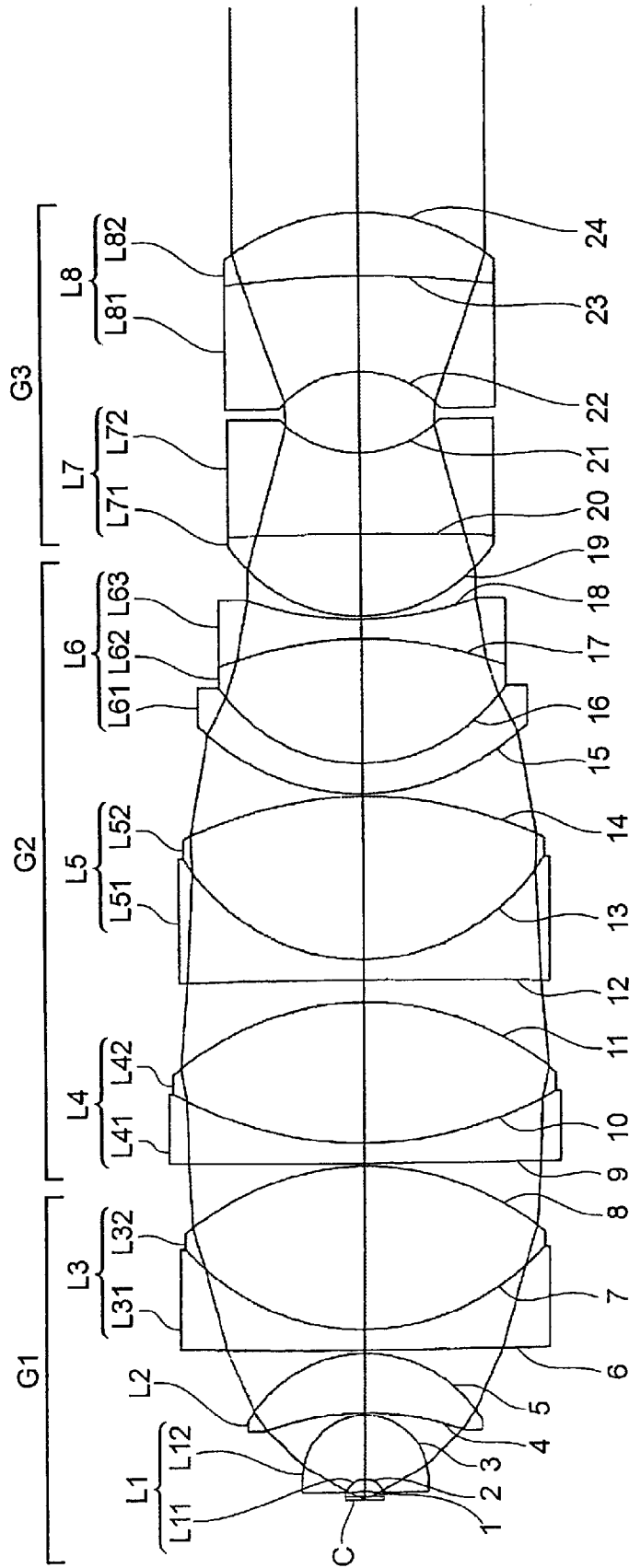
$$v_{8p} > 41$$

$$n_{8p} > 1.8$$

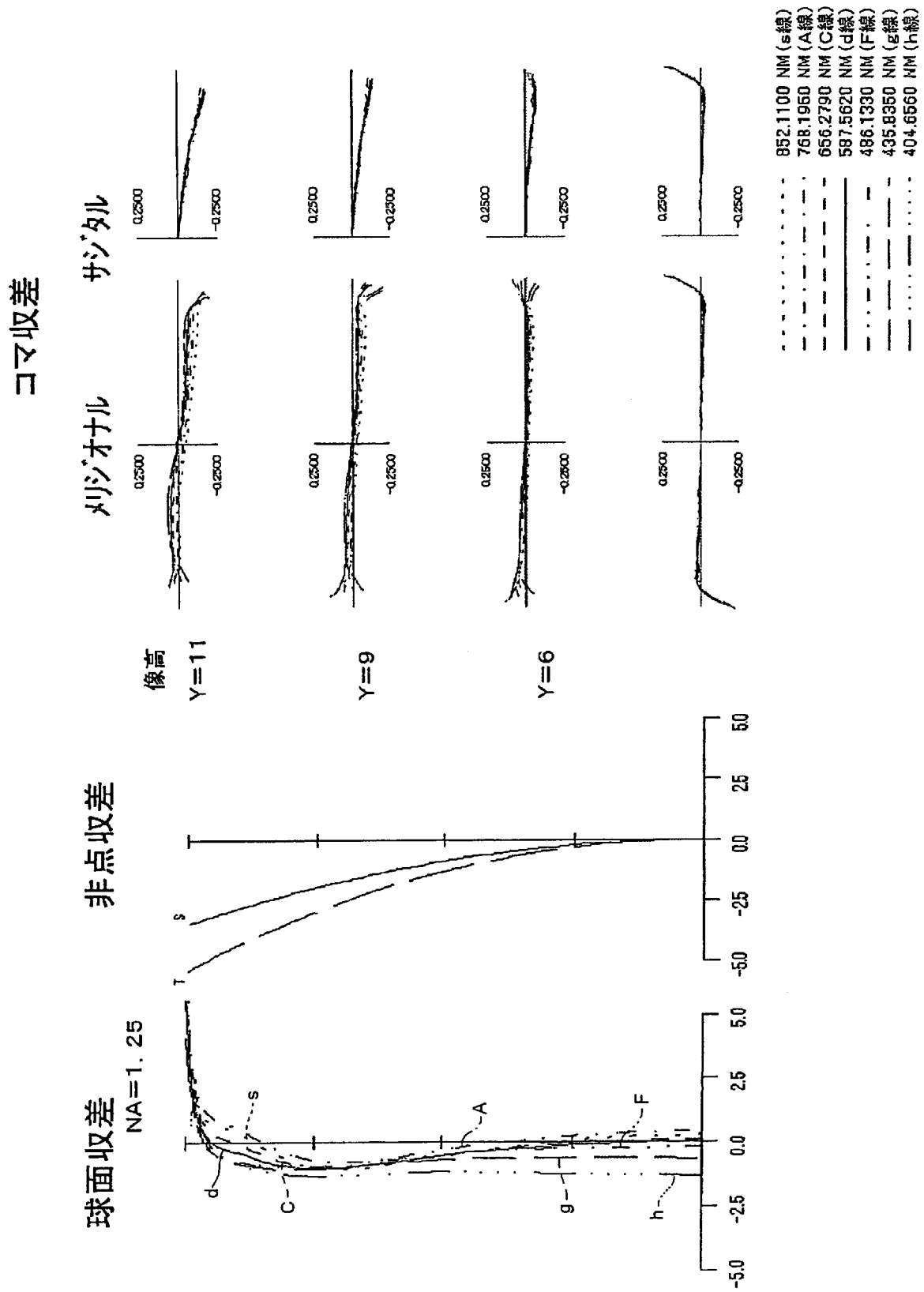
の条件を満足することを特徴とする請求項1に記載の液浸系顕微鏡対物レンズ。

- [3] 前記第1レンズ群から第3レンズ群を構成する全てのレンズにおいて、アッベ数が41以上であることを特徴とする請求項2に記載の液浸系顕微鏡対物レンズ。
- [4] 前記第2レンズ群は、物体側から順に並んだ、負レンズと正レンズとを貼り合わせてなる第4レンズ成分及び第5レンズ成分と、負メニスカスレンズと両凸レンズと両凹レンズとを3枚貼り合わせてなる第6レンズ成分とを含むことを特徴とする請求項1に記載の液浸系顕微鏡対物レンズ。
- [5] 前記第3レンズ群は、物体側から順に並んだ、正レンズと負レンズとの貼り合わせからなり、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の第7レンズ成分と、負レンズと正レンズとの貼り合わせからなり、像側に凸面を向けたメニスカス形状の第8レンズ成分とを備え、
前記第8レンズ成分の正レンズのアッベ数を ν_{8p} とし、前記第8レンズ成分の正レンズのd線に対する屈折率を n_{8p} としたとき、次式
- $$\nu_{8p} > 41$$
- $$n_{8p} > 1.8$$
- の条件を満足することを特徴とする請求項3に記載の液浸系顕微鏡対物レンズ。
- [6] 前記第1レンズ群から第3レンズ群を構成する全てのレンズにおいて、アッベ数が41以上であることを特徴とする請求項5に記載の液浸系顕微鏡対物レンズ。

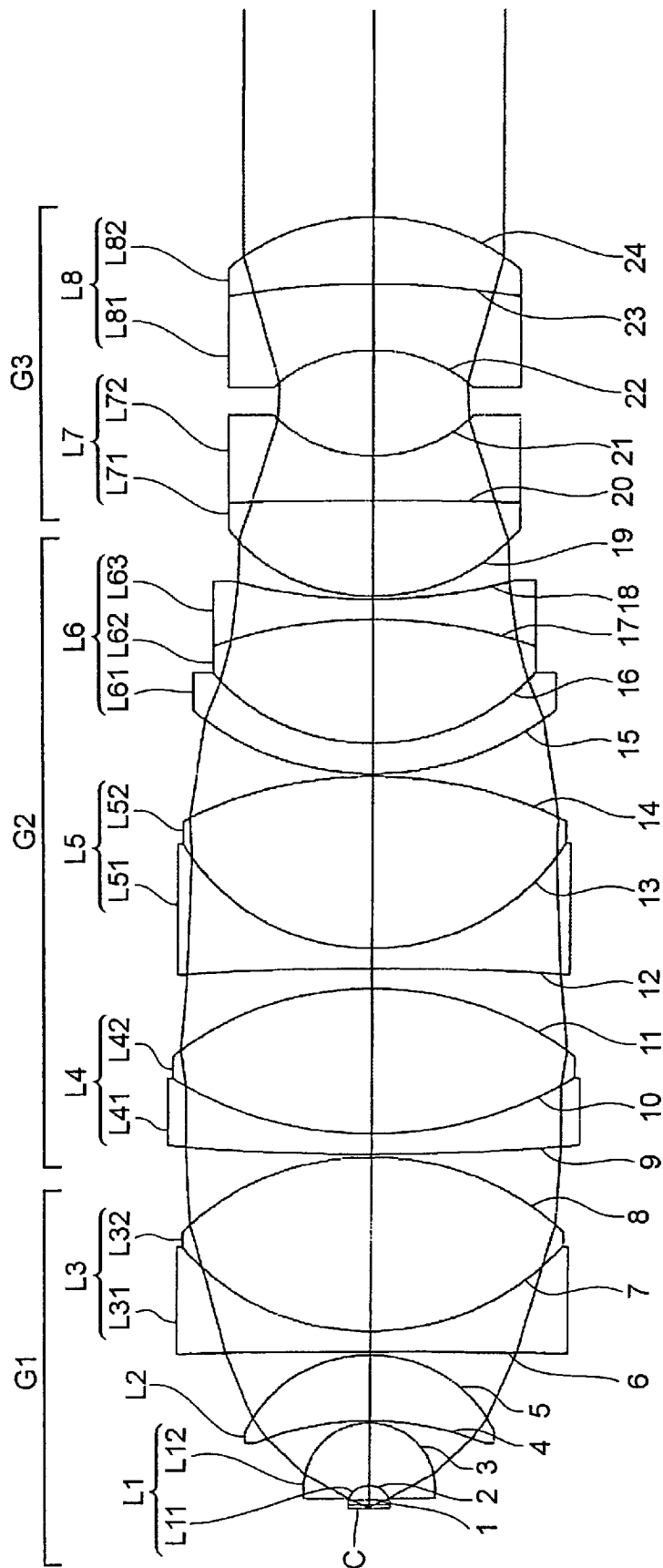
[図1]



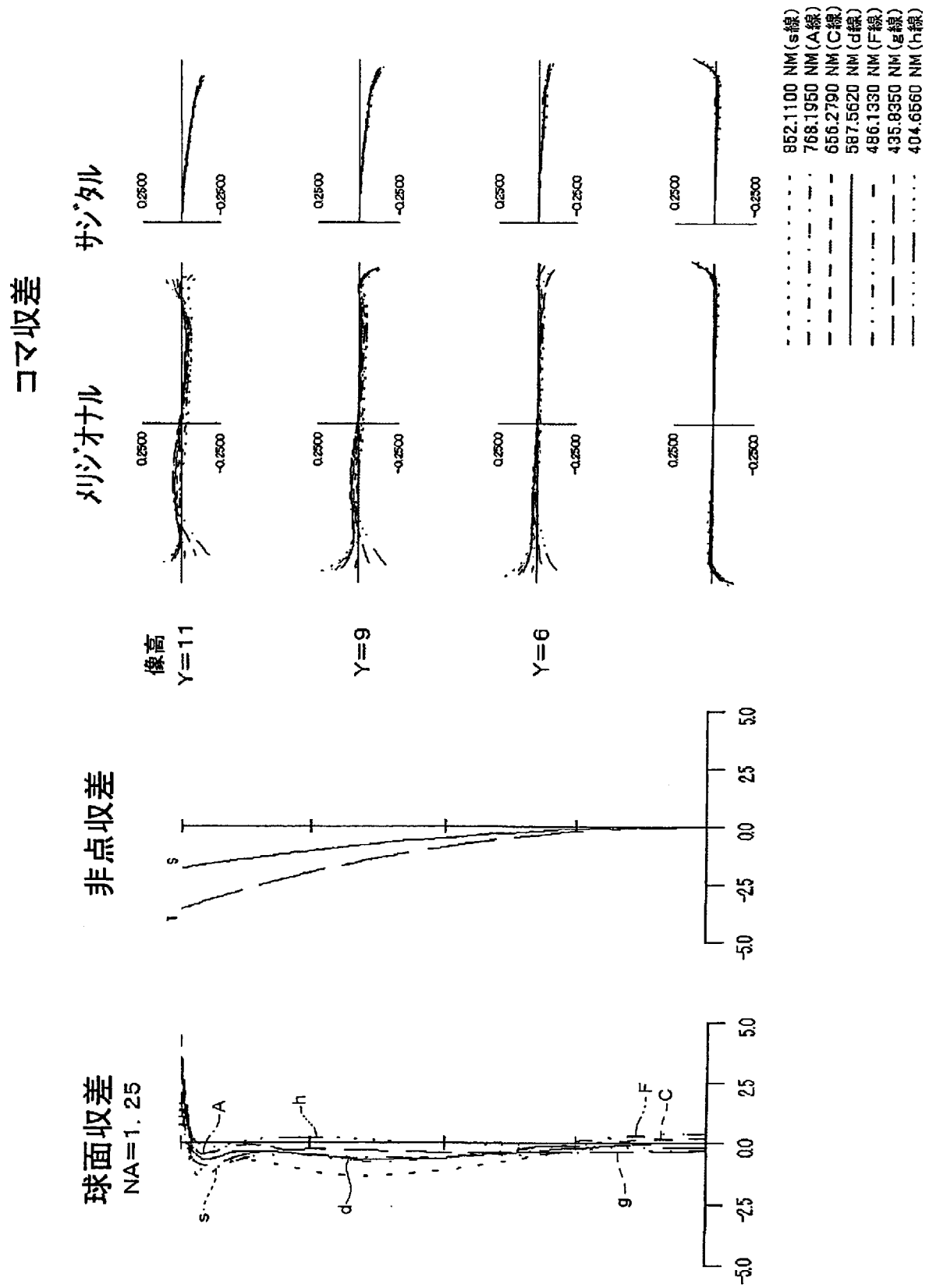
[図2]



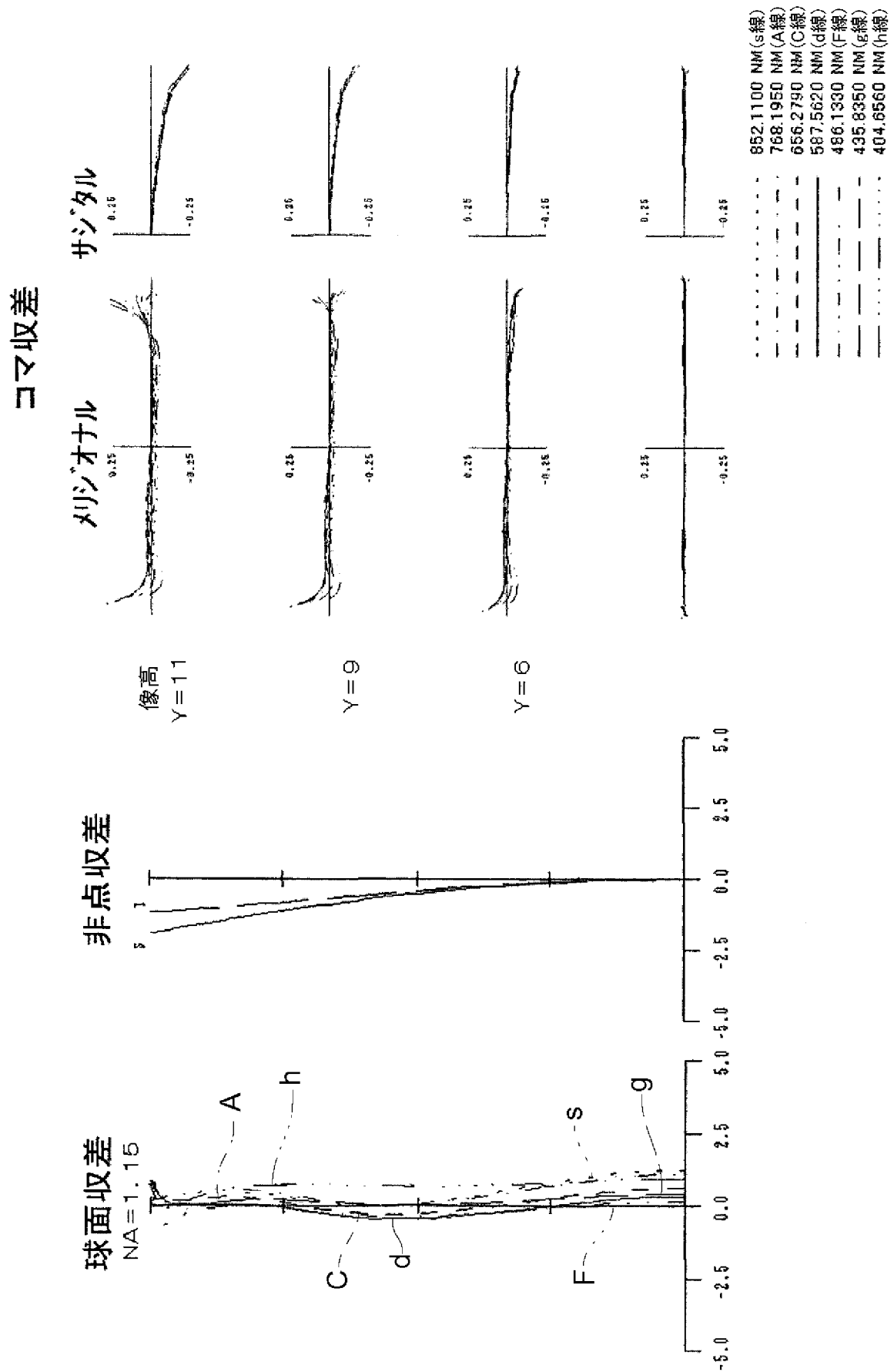
[図3]



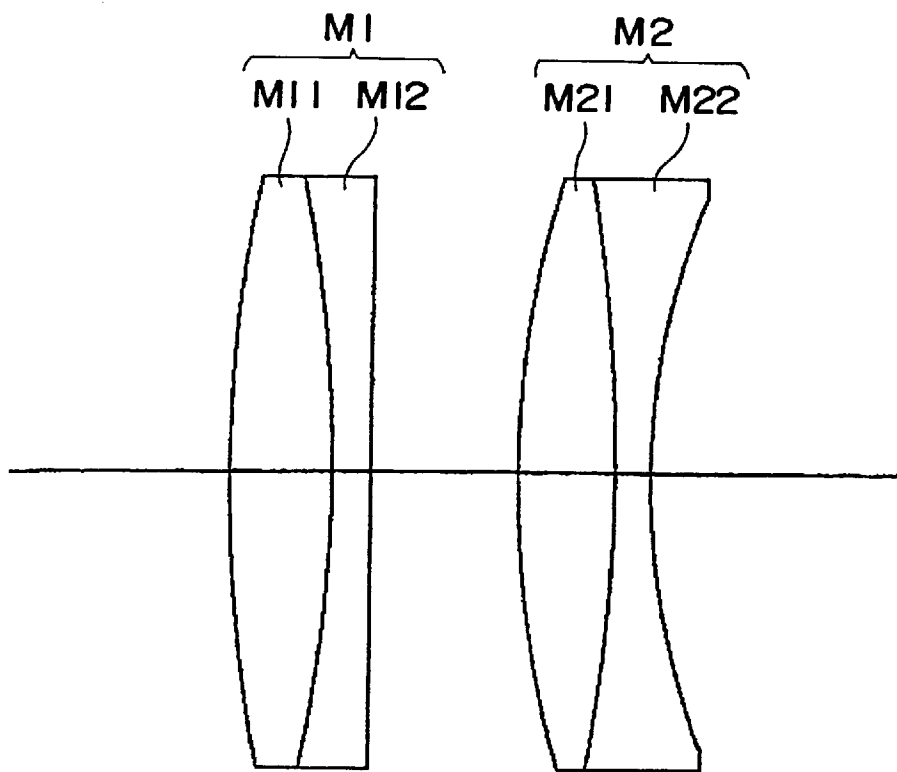
[図4]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2008/066527

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B21/02 (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)

G02B21/02

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	1996-2008
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2008	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2008

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.
A	JP 2003-121750 A (Nikon Corp.), 23 April, 2003 (23.04.03), Full text; all drawings & US 2003/0076600 A1	1-6
A	JP 63-135912 A (The Perkin-Elmer Corp.), 08 June, 1988 (08.06.88), Figs. 2, 4 & US 4772107 A & EP 269868 A1 & DE 3780266 A	1-6

☐ 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
01 October, 2008 (01.10.08)

Date of mailing of the international search report
14 October, 2008 (14.10.08)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G02B21/02 (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（I P C））

Int.Cl. G02B21/02

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 0 8 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 8 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 8 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
A	JP 2003-121750 A（株式会社ニコン） 2003.04.23, 全文、全図 & US 2003/0076600 A1	1-6
A	JP 63-135912 A（ザ・パーキン・エルマー・コーポレーション） 1988.06.08, 第2図、第4図 & US 4772107 A & EP 269868 A1 & DE 3780266 A	1-6

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

0 1 . 1 0 . 2 0 0 8

国際調査報告の発送日

1 4 . 1 0 . 2 0 0 8

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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）

森内 正明

2 V

3 8 1 0

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 7 1