

(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2017-111423

(P2017-111423A)

(43) 公開日 平成29年6月22日(2017.6.22)

|                                 |                |             |
|---------------------------------|----------------|-------------|
| (51) Int.Cl.                    | F 1            | テーマコード (参考) |
| <b>G 0 2 B 21/02 (2006.01)</b>  | G 0 2 B 21/02  | 2 H 0 8 7   |
| <b>G 0 2 B 15/163 (2006.01)</b> | G 0 2 B 15/163 |             |

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 17 頁)

|              |                              |          |                            |
|--------------|------------------------------|----------|----------------------------|
| (21) 出願番号    | 特願2016-188155 (P2016-188155) | (71) 出願人 | 506151659                  |
| (22) 出願日     | 平成28年9月27日 (2016. 9. 27)     |          | カール ツァイス マイクロスコピー ゲーエムベーハー |
| (31) 優先権主張番号 | 10 2015 225 641.3            |          | CARL ZEISS MICROSCOPY GMBH |
| (32) 優先日     | 平成27年12月17日 (2015.12.17)     |          | ドイツ連邦共和国 07745 イェナ         |
| (33) 優先権主張国  | ドイツ(DE)                      |          | カール・ツァイス・プロメナーデ 10         |
|              |                              | (74) 代理人 | 100105957                  |
|              |                              |          | 弁理士 恩田 誠                   |
|              |                              | (74) 代理人 | 100068755                  |
|              |                              |          | 弁理士 恩田 博宣                  |
|              |                              | (74) 代理人 | 100142907                  |
|              |                              |          | 弁理士 本田 淳                   |

最終頁に続く

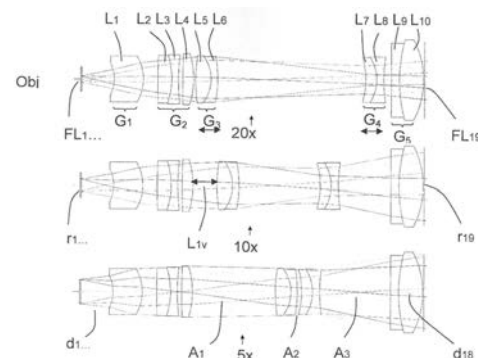
(54) 【発明の名称】ズーム対物レンズ

## (57) 【要約】

【課題】最小の設置寸法の場合の対物レンズの製造費を減少させ、かつ作動間隔が一定のままであることにより倍率変更の際に物体が常に焦点内にあり続ける顕微鏡検査用ズーム対物レンズを提供すること。

【解決手段】本発明は、5つのレンズ群 $G_1, G_2, G_3, G_4, G_5$ を含み、倍率を連続的に変化させ得るズーム対物レンズに関しており、この場合、第1のレンズ群 $G_1$ 、第2のレンズ群 $G_2$ 、および第5のレンズ群 $G_5$ が物体 $O_{bj}$ に対して固定されており、第3のレンズ群 $G_3$ および第4のレンズ群 $G_4$ が軸方向に変位可能に配置されている。これに関連しては、以下の条件、小さな倍率 $\beta$ から大きな倍率 $\beta$ に移行する際、第2のレンズ群 $G_2$ と第3のレンズ群 $G_3$ の間の可変の空気間隔 $L_{1v}$ が小さくなるかまたは変曲点を有すること、第2、第3、および第5のレンズ群 $G_2, G_3, G_5$ が正の屈折力を有すること、ならびに第4のレンズ群 $G_4$ が負の屈折力を有することが適用される。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

5つのレンズ群 ( $G_1$ 、 $G_2$ 、 $G_3$ 、 $G_4$ 、 $G_5$ ) を含み、倍率を連続的に変化させ得るズーム対物レンズであって、第1のレンズ群 ( $G_1$ )、第2のレンズ群 ( $G_2$ )、および第5のレンズ群 ( $G_5$ ) が物体 ( $O b j$ ) に対して固定されており、第3のレンズ群 ( $G_3$ ) および第4のレンズ群 ( $G_4$ ) が軸方向に変位可能に配置されており、かつ下記の条件、

小さな倍率  $\beta$  から大きな倍率  $\beta$  に移行する際、該第2のレンズ群 ( $G_2$ ) と該第3のレンズ群 ( $G_3$ ) の間の可変の空気間隔 ( $L_{1v}$ ) が小さくなるかまたは変曲点を有すること、

該第2、第3、および第5のレンズ群 ( $G_2$ 、 $G_3$ 、 $G_5$ ) が正の屈折力を有すること、ならびに

該第4のレンズ群 ( $G_4$ ) が負の屈折力を有することが適用される、ズーム対物レンズ。

## 【請求項 2】

同焦点距離が 60 mm で、設置長さが  $\leq 63.56$  mm であり、該同焦点距離が物体面からリア絞りの前の対物レンズ胴付き面までの長さであり、該設置長さが物体面からリア絞りまでの長さに定義されていることを特徴とする請求項 1 に記載のズーム対物レンズ。

## 【請求項 3】

前記第1のレンズ群 ( $G_1$ ) が、メニスカス状の単レンズであるか、または接合光学素子からなり、該接合光学素子ではフロントレンズ ( $L_1$ ) が前記物体側 ( $O b j$ ) の方向に向いた平面を有しており、

前記第2のレンズ群 ( $G_2$ ) が、それぞれ正の屈折力をもつ最大で2つの単レンズ ( $L_4$  または  $L_2 / L_3$  または  $L_3 / L_4$ ) と、最大で3つのレンズ ( $L_2 / L_3$  または  $L_4 / L_5 / L_6$  または  $L_5 / L_6 / L_7$ ) で構成された接合光学素子とからなり、

前記第3のレンズ群 ( $G_3$ ) が、2つの単レンズ ( $L_7 / L_8$ ) または2重の接合光学素子 ( $L_5 / L_6$  または  $L_8 / L_9$ ) のいずれかを有しており、

前記第4のレンズ群 ( $G_4$ ) が、2重の接合光学素子 ( $L_7 / L_8$  または  $L_9 / L_{10}$  または  $L_{10} / L_{11}$ ) からなるか、または2重の接合光学素子 ( $L_{11} / L_{12}$ ) および1つの単レンズ ( $L_{10}$ ) からなるかのいずれかであり、該2重の接合光学素子がメニスカス状のレンズ ( $L_7$  または  $L_9$  または  $L_{11}$  または  $L_{10}$ ) を有しており、該メニスカス状のレンズの曲率中心が前記物体側にあり、かつ

前記第5のレンズ群 ( $G_5$ ) が2重の接合光学素子であり、該接合光学素子では両凸レンズ ( $L_{10}$  または  $L_{12}$  または  $L_{14}$  または  $L_{13}$ ) が結像側にあることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のズーム対物レンズ。

## 【請求項 4】

前記第3のレンズ群 ( $G_3$ ) および前記第4のレンズ群 ( $G_4$ ) を変位させるため、手動式およびモータ式のうちの少なくとも一方で、それぞれ1つの補正環によって駆動される2つの調節要素が存在していることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか1項に記載のズーム対物レンズ。

## 【請求項 5】

光線束を制限するためにレンズ ( $L_1 \sim L_{14}$ ) が境界線を有することを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか1項に記載のズーム対物レンズ。

## 【請求項 6】

倍率を適合するために直径が可変の絞りが設けられていないことを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか1項に記載のズーム対物レンズ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、5つのレンズ群を含み、倍率を連続的に変化させ得るズーム対物レンズに関

10

20

30

40

50

しており、この場合、第1のレンズ群、第2のレンズ群、および第5のレンズ群は物体に対して固定されており、第3のレンズ群および第4のレンズ群は軸方向に変位可能に配置されている。

【背景技術】

【0002】

顕微鏡検査では通常、倍率の異なるレボルバー内の対物レンズを旋回させることによって、焦点距離の異なる結像レンズを切り替えることによって、（たいていは結像レンズの前で）無限空間にアフォーカル部分システムを付加することによって、鏡柱において調節自在（アフォーカル）システムを使用することによって、またはデジタルズーミングによって結像倍率を変化させることができる。

10

【0003】

レボルバー内の対物レンズを速く旋回させるとき、結像レンズを切り替えるとき、およびアフォーカル部分システムを付加するときに、鏡柱での強い振動、像の明るさの急激な変化、およびフォーカスドリフトが発生し得る。さらに、レボルバー内の対物レンズ交換の際には、しばしば液浸媒質の交換も必要であり、したがって顕微鏡使用者が液浸するかまたは顕微鏡使用者の標本を液浸から解放し、その後、試料位置を改めて見つけ出さなければならない。

【0004】

鏡柱において調節自在システムを使用する際にはかなり大きな設置スペースが必要となるのに対し、デジタル「ズーミング」は解像度の適成なしで倍率だけを変化させ、この「ズーミング」は連続的な倍率変更と定義されている。

20

【0005】

第1の側面はコンパクト性である。すべてのズーム・システムは、開口光線および主光線での光線通過高さを変えるために、可変の空気間隔を内包している。

これに関し開口光線は、軸上の物点から出て開口縁部に当たる光線であり、これに対して主光線は、視野の最高点から出て瞳の中心を通過して延びる光線と定義されている。

【0006】

したがって焦点距離（つまり倍率）は変化し、バックフォーカス（焦点）は変化しない。この場合、像欠陥は最適化されたままである。

この空気間隔の変化により、ズーム比が大きい場合にとりわけ、ズーム・システムの設置寸法が大きくなる。

30

【0007】

その一方で顧客のために鏡柱を造形するにあたっては、常にコンパクト性（つまりできるだけ短い設置長さ）が目標とされる。

米国特許第6674582号明細書（特許文献1）では、オリンパス社のズーム対物レンズ10×/0.25～40×/0.60（0.80）が、複数の例示的实施形態と共に示されている。これら例示的实施形態は、理論的研究のために考えられたものであり、作製するために考えられてはいない。これらの解決策に関する欠点としては、

－ 対物レンズに開口絞りが組み込まれており、この開口絞りの直径を倍率に応じて調整しなければならないこと、

40

－ 対物レンズが16～20個のレンズを有しており、これらのレンズのうちの幾つかは複数の非球面を有していること、および

－ 設置長さが比較的大きいことが分かっている。

【0008】

この対物レンズは、仮に作製可能だとしても極端に高いコストでしか製造することができない。

連続的な倍率変更（ズーミング）は重要な側面である。倍率の全範囲で結像欠陥を回折限界まで補正する。さらに焦点位置をズーミングの際に維持し続ける。こうすることで観察者は、ズーミング中に関心のある試料位置（region of interest）を常に眼前に保つことができ、像がどこかに行ってしまうことを回避することができる。

50

## 【0009】

たとえば設計段階ですべての倍率に対する集束距離が一定のままであっても、許容誤差がそれぞれの倍率に応じて集束距離を変動させる。この変動を、後から各々の対物レンズに関して測定および記録する。続いて、このデータを鏡柱に転送する。対物レンズで倍率を変更するにあたって、鏡柱がそのような機能を補助する場合は、このデータによって自動的に再合焦することができる。

## 【0010】

ズーム機能付きで、同時に下記の特性を有する顕微鏡対物レンズのための光学系デザインはこれまで公表されていない。

- ー 設置長さ  $\leq 63.56\text{ mm}$ 、
- ー 非球面なしのセミアポクロマート補正、
- ー  $4\times$ ズームによる連続的な倍率変更、
- ー 開口数 最大  $0.8$ 、および
- ー レンズ数  $\leq 14$  個。

10

## 【0011】

これに関し、設置長さは物体面からリア絞りまでの長さであり、その一方で同焦点距離は物体面から対物レンズ胴付き面までの長さとして定義されている。

顕微鏡検査のためには、カバーガラスが  $0.17\text{ mm}$  で設置長さが  $48.56\text{ mm}$  で、同焦点距離が  $45\text{ mm}$  のズーム対物レンズは実現不可能である。となると、同焦点距離に関する ISO で標準化された次のレベルは、設置長さ  $63.56\text{ mm}$  およびカバーガラス  $0.17\text{ mm}$  での、 $60\text{ mm}$  であろう。

20

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0012】

【特許文献1】米国特許第 6674582 号明細書

【特許文献2】米国特許第 5999329 号明細書

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0013】

現況技術の欠点を出発点とし、本発明の基礎を成す課題は、最小の設置寸法の場合の対物レンズの製造費を減少させ、かつ作動間隔が一定のままであることにより倍率変更の際に物体が常に焦点内にあり続けるという主旨で、顕微鏡検査用ズーム対物レンズをさらに発展させることである。

30

## 【課題を解決するための手段】

## 【0014】

この課題は、特許請求項 1 の特徴を有する冒頭に述べた種類のズーム対物レンズによって解決される。有利な形態は従属請求項 2～6 に示されている。

本発明によれば、小さな倍率から大きな倍率に移行する際、第 2 のレンズ群 ( $G_2$ ) と第 3 のレンズ群 ( $G_3$ ) との間の可変の空気間隔 ( $L_{1v}$ ) が小さくなるかまたは変曲点を有している。

40

## 【0015】

第 2、第 3、および第 5 のレンズ群 ( $G_2$ 、 $G_3$ 、 $G_5$ ) は正の屈折力を有しており、その一方で第 4 のレンズ群 ( $G_4$ ) は負の屈折力を有している。

有利なのは、第 1 のレンズ群が、液浸を使用しないメニスカス状の単レンズであるか、または液浸を使用する接合光学素子からなり、この接合光学素子ではフロントレンズが物体側の方向に向いた平面を有しており、その一方で第 2 のレンズ群が、正の屈折力をもつ少なくとも 1 つの単レンズと、接合光学素子とからなることである。

## 【0016】

これに関し第 3 のレンズ群は、分離しているかまたは相互に接合されている 2 つのレンズを有しており、その一方で第 4 のレンズ群は、2 重の接合光学素子からなるか、または

50

2重の接合光学素子および1つの単レンズからなる。2重の接合光学素子はメニスカス状のレンズを内包しており、このメニスカス状のレンズの曲率中心は物体側にあり、この両方のレンズ群の変位は、手動式および／またはモータ式で、それぞれ1つの補正環によって駆動される2つの調節要素を使って行われる。

#### 【0017】

第5のレンズ群は2重の接合光学素子であり、この接合光学素子では両凸レンズが結像側にある。有利なのは、光線束を制限するためにレンズが境界線を有することである。

本発明による解決策に関し、同焦点距離が60mmで設置長さが63.56mm以下のズーム機能付きの4種の顕微鏡対物レンズを手短に述べる。

#### 【0018】

これに関しては、対物レンズの内部に調整可能な開口絞りが必要ないように、光線束の制限を選択している。

以下では、本発明によるズーム対物レンズを例示的实施形態に基づいてより詳しく説明する。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0019】

【図1】倍率5×～20×のための第1の例示的实施形態におけるズーム対物レンズの概略図。

【図2】倍率10×～40×のための第2の例示的实施形態におけるズーム対物レンズの概略図。

【図3】倍率10×～40×のための第3の例示的实施形態におけるズーム対物レンズの概略図。

【図4】倍率10×～40×のための第4の例示的实施形態におけるズーム対物レンズの概略図。

【図5】例示的实施形態1に基づく、それぞれ最小および最大の倍率での4つの波長に関する開口に対応した縦収差、像面湾曲、非点収差、ならびに歪曲を示す図。

【図6】例示的实施形態2に基づく、それぞれ最小および最大の倍率での4つの波長に関する開口に対応した縦収差、像面湾曲、非点収差、ならびに歪曲を示す図。

【図7】例示的实施形態3に基づく、それぞれ最小および最大の倍率での4つの波長に関する開口に対応した縦収差、像面湾曲、非点収差、ならびに歪曲を示す図。

【図8】例示的实施形態4に基づく、それぞれ最小および最大の倍率での4つの波長に関する開口に対応した縦収差、像面湾曲、非点収差、ならびに歪曲を示す図。

#### 【発明を実施するための形態】

#### 【0020】

図1は、物体側Obj、レンズ群G<sub>1</sub>、G<sub>2</sub>、G<sub>3</sub>、G<sub>4</sub>、およびG<sub>5</sub>を基礎として、5×（最小）、10×（中程度）、および20×（最大）の倍率βでの第1の例示的实施形態におけるズーム対物レンズの概略図と一緒に示しており、この場合、第1のレンズ群G<sub>1</sub>、第2のレンズ群G<sub>2</sub>、および第5のレンズ群G<sub>5</sub>は物体面Objに対して固定されており、かつ第3のレンズ群G<sub>3</sub>および第4のレンズ群G<sub>4</sub>は軸方向に変位可能に配置されており、可変の空気間隔A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、およびA<sub>3</sub>を特色とする。さらに、この図は、レンズL<sub>1</sub>～L<sub>10</sub>の面FL<sub>1</sub>～FL<sub>19</sub>および半径r<sub>1</sub>～r<sub>19</sub>ならびにレンズの厚さまたは空気間隔d<sub>1</sub>～d<sub>18</sub>を示している。L<sub>1v</sub>を付した可変の空気間隔L<sub>1v</sub>=レンズ群G<sub>2</sub>とG<sub>3</sub>の間のA<sub>1</sub>は、小さな倍率から大きな倍率に移行する際に小さくなる。

#### 【0021】

この例示的实施形態で示した液浸なしで用いられるズーム対物レンズの第1のレンズ群G<sub>1</sub>は、メニスカス状の単レンズL<sub>1</sub>からなる。レンズ群G<sub>2</sub>、G<sub>3</sub>、およびG<sub>5</sub>はそれぞれ正の屈折力を有しており、その一方でレンズ群G<sub>4</sub>は負の屈折力を有している。

#### 【0022】

レンズ群G<sub>2</sub>は、正の屈折力をもつ少なくとも1つの単レンズL<sub>4</sub>と、少なくとも2つのレンズL<sub>2</sub>およびL<sub>3</sub>で構成された接合光学素子とからなる。

10

20

30

40

50

レンズ群  $G_3$  は、分離しているかまたは接合されているかのいずれかである 2 つのレンズ  $L_5$  および  $L_6$  を有しており、その一方でレンズ群  $G_4$  は、レンズ  $L_7$  および  $L_8$  で構成された 2 重の接合光学素子を内包しており、この接合光学素子ではメニスカス状のレンズ  $L_7$  およびレンズ  $L_8$  の両方の曲率中心が物体側  $O_bj$  にある。レンズ群  $G_5$  は、レンズ  $L_9$  および  $L_{10}$  を有する 2 重の接合光学素子であり、この接合光学素子では両凸レンズ  $L_{10}$  が結像側にある。

【0023】

開口数  $NA$  が 0.18 (倍率  $5\times$ ) および 0.25 (倍率  $20\times$ ) での、 $5\times\sim 20\times$  の倍率  $\beta$  のための第 1 の例示的实施形態に基づくズーム対物レンズは、下記の構造データの特徴とし、これに関し、半径  $r_1\sim r_{19}$  ならびに厚さもしくは空気間隔  $d_1\sim d_{18}$  または可変の空気間隔  $A_1$ 、 $A_2$ 、および  $A_3$  は  $mm$  で示されており、その一方で、 $n_e$  は屈折率であり、 $v_e$  はアッベ数である。

【0024】

【表 1】

| 面No.<br>FL1-FL19 | 半径<br>$r_1-r_{19}$ | 厚さ<br>$d_1-d_{18}$ | $n_e$ | $v_e$ |
|------------------|--------------------|--------------------|-------|-------|
| 1                | 平面                 | 0.170              | 1.526 | 54.3  |
| 2                | 平面                 | 6.000              |       |       |
| 3                | -6.7653            | 5.400              | 1.808 | 46.3  |
| 4                | -8.4532            | 2.636              |       |       |
| 5                | 175.5037           | 2.571              | 1.530 | 76.6  |
| 6                | -14.5588           | 1.200              | 1.658 | 39.5  |
| 7                | 38.5031            | 0.800              |       |       |
| 8                | 129.2733           | 2.000              | 1.530 | 76.6  |
| 9                | -17.1705           | $A_1$              |       |       |
| 10               | 29.1381            | 2.900              | 1.597 | 67.4  |
| 11               | -7.3667            | 1.200              | 1.617 | 44.3  |
| 12               | -24.3758           | $A_2$              |       |       |
| 13               | -15.6934           | 2.000              | 1.813 | 25.2  |
| 14               | -8.0534            | 1.300              | 1.716 | 53.7  |
| 15               | 28.5432            | $A_3$              |       |       |
| 16               | -783.1668          | 1.500              | 1.678 | 32.0  |
| 17               | 29.4250            | 4.500              | 1.489 | 70.2  |
| 18               | -16.6791           | 0.200              |       |       |
| 19               | 平面                 |                    |       |       |

既知の焦点距離 195 mm のアクロマート補正された鏡筒が用いられている。

【0025】

入射瞳が無窮遠にあり、かつ視野数が 23 の場合、可変の空気間隔  $A_1$ 、 $A_2$ 、および  $A_3$  は下記の固有値を特色とし、

【0026】

【表 2】

| $\beta$     | $NA$ | $A_1$  | $A_2$  | $A_3$  |
|-------------|------|--------|--------|--------|
| $5\times$   | 0.18 | 15.327 | 0.800  | 13.056 |
| $7.5\times$ | 0.20 | 9.613  | 8.862  | 10.707 |
| $10\times$  | 0.23 | 4.401  | 15.069 | 9.712  |
| $15\times$  | 0.23 | 2.852  | 21.831 | 4.499  |
| $20\times$  | 0.25 | 0.350  | 27.432 | 1.400  |

10

20

30

40

50

その一方で制限性の面  $FL_{12}$  の直径は  $8.50\text{ mm}$  である。

【0027】

図2は、物体側  $Obj$ 、レンズ群  $G_1$ 、 $G_2$ 、 $G_3$ 、 $G_4$ 、および  $G_5$  を基礎として、 $10\times$ （最小）、 $20\times$ （中程度）、および  $40\times$ （最大）の倍率での第2の例示的实施形態におけるズーム対物レンズの概略図を一緒に示しており、この場合、第1の例示的实施形態でのように、第1のレンズ群  $G_1$ 、第2のレンズ群  $G_2$ 、および第5のレンズ群  $G_5$  は物体面  $Obj$  に対して固定されており、第3のレンズ群  $G_3$  および第4のレンズ群  $G_4$  は軸方向に変位可能に配置されており、可変の空気間隔  $A_1$ 、 $A_2$ 、および  $A_3$  を特色とする。さらに、この図は、レンズ  $L_1 \sim L_{12}$  の面  $FL_1 \sim FL_{23}$  および半径  $r_1 \sim r_{23}$  ならびにレンズの厚さまたは空気間隔  $d_1 \sim d_{22}$  を示している。 $L_{1v}$  を付した可変の空気間隔  $L_{1v}$  = レンズ群  $G_2$  と  $G_3$  の間の  $A_1$  は、ここでは、小さな倍率から大きな倍率に移行する際に、より詳しくは示されていない変曲点を有している。

10

【0028】

この例示的实施形態で示した同様に液浸なしで用いられるズーム対物レンズの第1のレンズ群  $G_1$  は、ここでもメニスカス状の単レンズ  $L_1$  からなる。レンズ群  $G_2$ 、 $G_3$ 、および  $G_5$  はそれぞれ正の屈折力を有しており、その一方でレンズ群  $G_4$  は負の屈折力を有している。

【0029】

レンズ群  $G_2$  は、ここでは2つの単レンズ  $L_2$  および  $L_3$  と、レンズ  $L_4$ 、 $L_5$ 、および  $L_6$  で構成された三重の接合光学素子とからなり、その一方でレンズ群  $G_3$  は、この例示的实施形態のように分離しているかまたは接合されているかのいずれかである2つのレンズ  $L_7$  および  $L_8$  を有している。

20

【0030】

レンズ群  $G_4$  は、レンズ  $L_9$  および  $L_{10}$  で構成された2重の接合光学素子であり、この接合光学素子ではメニスカス状のレンズ  $L_9$  およびレンズ  $L_{10}$  の両方の曲率中心が物体側  $Obj$  にある。

【0031】

レンズ群  $G_5$  は、レンズ  $L_{11}$  および  $L_{12}$  を有する2重の接合光学素子であり、この接合光学素子では両凸レンズ  $L_{12}$  が結像側にある。

開口数  $NA$  が  $0.3$ （倍率  $10\times$ ）および  $0.6$ （倍率  $40\times$ ）での、 $10\times \sim 40\times$  の倍率  $\beta$  のための第2の例示的实施形態に基づくズーム対物レンズは下記の構造データを特徴とし、これに関し、半径  $r_1 \sim r_{23}$  ならびに厚さもしくは空気間隔  $d_1 \sim d_{22}$  または可変の空気間隔  $A_1$ 、 $A_2$ 、および  $A_3$  は  $\text{mm}$  で示されており、その一方で  $n_e$  は屈折率であり、 $v_e$  はアッベ数である。

30

【0032】

【表 3】

| 面No.<br>FL1-FL23 | 半径<br>r1-r23 | 厚さ<br>d1-d22 | $n_e$ | $\nu_e$ |    |
|------------------|--------------|--------------|-------|---------|----|
| 1                | 平面           | 0.170        | 1.526 | 54.3    |    |
| 2                | 平面           | 2.214        |       |         |    |
| 3                | -3.2550      | 3.680        | 1.758 | 52.1    |    |
| 4                | -5.1580      | 0.512        |       |         |    |
| 5                | 18.3030      | 2.500        | 1.498 | 81.1    |    |
| 6                | -14.0240     | 0.500        |       |         |    |
| 7                | -50.1187     | 1.800        | 1.530 | 76.6    | 10 |
| 8                | -12.9580     | 0.499        |       |         |    |
| 9                | -133.3541    | 1.200        | 1.658 | 39.5    |    |
| 10               | 9.3070       | 5.600        | 1.440 | 94.5    |    |
| 11               | -6.1313      | 2.150        | 1.658 | 39.5    |    |
| 12               | -11.3030     | A1           |       |         |    |
| 13               | 9.0390       | 3.000        | 1.620 | 63.1    |    |
| 14               | 7.6060       | 2.000        |       |         |    |
| 15               | 19.6700      | 2.050        | 1.530 | 76.6    |    |
| 16               | -66.8362     | A2           |       |         |    |
| 17               | -9.1730      | 1.650        | 1.624 | 36.1    | 20 |
| 18               | -5.0120      | 1.200        | 1.489 | 70.2    |    |
| 19               | 14.3310      | A3           |       |         |    |
| 20               | 325.4810     | 1.200        | 1.624 | 36.1    |    |
| 21               | 27.5827      | 3.100        | 1.530 | 76.6    |    |
| 22               | -21.9103     | 0.300        |       |         |    |
| 23               | 平面           |              |       |         |    |

既知の焦点距離 195 mm のアクロマート補正された鏡筒が用いられている。

【0033】

入射瞳が無有限遠にあり、かつ視野数が 22 の場合、可変の空気間隔  $A_1$ 、 $A_2$ 、および  $A_3$  は下記の固有値を特色とし、

【0034】

【表 4】

| $\beta$ | NA   | A1    | A2     | A3     |
|---------|------|-------|--------|--------|
| 10×     | 0.30 | 7.217 | 0.800  | 20.217 |
| 20×     | 0.45 | 0.500 | 13.258 | 14.477 |
| 30×     | 0.55 | 2.505 | 17.785 | 7.944  |
| 40×     | 0.60 | 7.570 | 19.864 | 0.800  |

その一方で制限性の面 FL<sub>3</sub>、FL<sub>13</sub>、FL<sub>19</sub>、および FL<sub>23</sub> は下記の直径を有している。

【0035】

【表 5】

| 面番号  | 直径    |
|------|-------|
| FL3  | 3.04  |
| FL13 | 12.60 |
| FL19 | 5.44  |
| FL23 | 14.60 |

図 3 は、物体側 Obj、レンズ群  $G_1$ 、 $G_2$ 、 $G_3$ 、 $G_4$ 、および  $G_5$  を基礎として、

10×（最小）、20×（中程度）、および40×（最大）の倍率での第3の例示的实施形態におけるズーム対物レンズの概略図を一緒に示しており、この場合、前出の例示的实施形態と同様に、第1のレンズ群 $G_1$ 、第2のレンズ群 $G_2$ 、および第5のレンズ群 $G_5$ は物体面Objに対して固定されており、第3のレンズ群 $G_3$ および第4のレンズ群 $G_4$ は軸方向に変位可能に配置されており、可変の空気間隔 $A_1$ 、 $A_2$ 、および $A_3$ を特色とする。さらに、この図は、レンズ $L_1 \sim L_{14}$ の面 $FL_1 \sim FL_{24}$ および半径 $r_1 \sim r_{24}$ ならびにレンズの厚さまたは空気間隔 $d_1 \sim d_{23}$ を示している。 $L_{1v}$ を付した可変の空気間隔 $L_{1v}$ =レンズ群 $G_2$ と $G_3$ の間の $A_1$ は、小さな倍率から大きな倍率に移行する際に小さくなる。

#### 【0036】

10

この例示的实施形態で示した液浸ありで用いられるズーム対物レンズの第1のレンズ群 $G_1$ は、レンズ $L_1$ 、 $L_2$ 、および $L_3$ を有する接合光学素子からなり、この接合光学素子ではフロントレンズ $L_1$ が物体側Objに平面を有している。レンズ群 $G_2$ 、 $G_3$ 、および $G_5$ はそれぞれ正の屈折力を有しており、その一方でレンズ群 $G_4$ は負の屈折力を有している。

#### 【0037】

レンズ群 $G_2$ は、ここでは単レンズ $L_4$ と、3重の接合光学素子 $L_5$ 、 $L_6$ 、および $L_7$ とからなり、その一方でレンズ群 $G_3$ は2つのレンズ $L_8$ および $L_9$ を有しており、これらのレンズは、この例示的实施形態でのように接合されているかまたは分離しているかのいずれかである。

20

#### 【0038】

レンズ群 $G_4$ は、単レンズ $L_{10}$ と、レンズ $L_{11}$ および $L_{12}$ で構成された2重の接合光学素子とからなり、この接合光学素子ではメニスカス状のレンズ $L_{11}$ およびレンズ $L_{11}$ の両方の曲率中心が物体側Objにある。

#### 【0039】

レンズ群 $G_5$ は、レンズ $L_{13}$ および $L_{14}$ を有する2重の接合光学素子であり、この接合光学素子では両凸レンズ $L_{14}$ が結像側にある。

開口数NAが0.3（倍率10×）および0.8（倍率40×）での、10×～40×の倍率 $\beta$ のための第3の例示的实施形態に基づくズーム対物レンズは下記の構造データの特徴とし、これに関し、半径 $r_1 \sim r_{24}$ ならびに厚さもしくは空気間隔 $d_1 \sim d_{23}$ または可変の空気間隔 $A_1$ 、 $A_2$ 、および $A_3$ はmmで示されており、その一方で、 $n_e$ は屈折率であり、 $v_e$ はアッペ数である。

30

#### 【0040】

【表 6】

| 面No.<br>FL1-FL24 | 半径<br>r1-r24 | 厚さ<br>d1-d23 | $n_e$ | $\nu_e$ |
|------------------|--------------|--------------|-------|---------|
| 1                | 平面           | 0.170        | 1.526 | 54.3    |
| 2                | 平面           | 1.300        | 1.334 | 55.9    |
| 3                | 平面           | 1.100        | 1.489 | 70.2    |
| 4                | -1.4487      | 2.229        | 1.888 | 40.5    |
| 5                | -7.5654      | 2.400        | 1.620 | 63.1    |
| 6                | -4.3205      | 0.500        |       |         |
| 7                | -60.7020     | 2.650        | 1.530 | 76.6    |
| 8                | -8.2476      | 0.500        |       |         |
| 9                | 80.3925      | 1.200        | 1.617 | 44.3    |
| 10               | 13.0369      | 5.400        | 1.440 | 94.5    |
| 11               | -7.6168      | 1.400        | 1.617 | 44.3    |
| 12               | -16.7348     | A1           |       |         |
| 13               | 23.5032      | 3.400        | 1.700 | 55.2    |
| 14               | -14.2452     | 1.100        | 1.617 | 44.3    |
| 15               | 92.0615      | A2           |       |         |
| 16               | -104.7364    | 1.100        | 1.561 | 53.8    |
| 17               | 11.4708      | 1.500        |       |         |
| 18               | -5.9185      | 2.020        | 1.855 | 23.7    |
| 19               | -5.2823      | 1.100        | 1.617 | 44.3    |
| 20               | -12.8144     | A3           |       |         |
| 21               | 1355.4370    | 1.200        | 1.607 | 37.8    |
| 22               | 16.6021      | 3.100        | 1.530 | 76.6    |
| 23               | -15.5387     | 0.300        |       |         |
| 24               | 平面           |              |       |         |

10

20

既知の焦点距離 1 9 5 mm のアクロマート補正された鏡筒が用いられている。

【0 0 4 1】

入射瞳が無限遠にあり、かつ視野数が 2 0 の場合、可変の空気間隔  $A_1$ 、 $A_2$ 、および  $A_3$  は下記の固有値を特色とし、

【0 0 4 2】

【表 7】

| $\beta$ | NA   | A1     | A2     | A3    |
|---------|------|--------|--------|-------|
| 10×     | 0.30 | 20.181 | 0.800  | 8.911 |
| 20×     | 0.52 | 6.300  | 17.244 | 6.342 |
| 30×     | 0.70 | 1.528  | 24.687 | 3.693 |
| 40×     | 0.80 | 0.500  | 28.524 | 0.800 |

40

その一方で制限性の面 FL<sub>3</sub>、FL<sub>15</sub>、FL<sub>20</sub>、および FL<sub>24</sub> は下記の直径を有している。

【0 0 4 3】

【表 8】

| 面番号  | 直径    |
|------|-------|
| FL3  | 2.80  |
| FL15 | 12.90 |
| FL20 | 7.20  |
| FL24 | 12.00 |

50

図4は、物体側Obj、レンズ群G<sub>1</sub>、G<sub>2</sub>、G<sub>3</sub>、G<sub>4</sub>、およびG<sub>5</sub>を基礎として、10×（最小）、20×（中程度）、および40×（最大）の倍率での第4の例示的实施形態におけるズーム対物レンズの概略図を一緒に示しており、この場合、前出の例示的实施形態と同様に、第1のレンズ群G<sub>1</sub>、第2のレンズ群G<sub>2</sub>、および第5のレンズ群G<sub>5</sub>は物体面Objに対して固定されており、第3のレンズ群G<sub>3</sub>および第4のレンズ群G<sub>4</sub>は軸方向に変位可能に配置されており、可変の空気間隔A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、およびA<sub>3</sub>を特色とする。さらに、この図は、レンズL<sub>1</sub>～L<sub>13</sub>の面FL<sub>1</sub>～FL<sub>23</sub>および半径r<sub>1</sub>～r<sub>23</sub>ならびにレンズの厚さまたは空気間隔d<sub>1</sub>～d<sub>22</sub>を示している。L<sub>1v</sub>を付した可変の空気間隔L<sub>1v</sub>=レンズ群G<sub>2</sub>とG<sub>3</sub>の間のA<sub>1</sub>は、小さな倍率から大きな倍率に移行する際に小さくなる。

10

#### 【0044】

この例示的实施形態で示した液浸ありで用いられるズーム対物レンズの第1のレンズ群G<sub>1</sub>は、レンズL<sub>1</sub>およびL<sub>2</sub>を有する接合光学素子からなり、この接合光学素子ではフロントレンズL<sub>1</sub>が物体側Objに平面を有している。レンズ群G<sub>2</sub>、G<sub>3</sub>、およびG<sub>5</sub>はそれぞれ正の屈折力を有しており、その一方でレンズ群G<sub>4</sub>は負の屈折力を有している。

#### 【0045】

レンズ群G<sub>2</sub>は、ここでは2つの単レンズL<sub>3</sub>およびL<sub>4</sub>と、レンズL<sub>5</sub>、L<sub>6</sub>、およびL<sub>7</sub>で構成された3重の接合光学素子とからなり、その一方でレンズ群G<sub>3</sub>は2つのレンズL<sub>8</sub>およびL<sub>9</sub>を有しており、これらのレンズは、この例示的实施形態のように接合されているかまたは分離しているかのいずれかである。

20

#### 【0046】

レンズ群G<sub>4</sub>は、レンズL<sub>10</sub>およびL<sub>11</sub>を有する2重の接合光学素子からなり、この接合光学素子ではメニスカス状のレンズL<sub>10</sub>およびレンズL<sub>10</sub>の両方の曲率中心が物体側Objにある。

#### 【0047】

レンズ群G<sub>5</sub>は、レンズL<sub>12</sub>およびL<sub>13</sub>を有する2重の接合光学素子であり、この接合光学素子では両凸レンズL<sub>13</sub>が結像側にある。

開口数NAが0.3（倍率10×）および0.8（倍率40×）での、10×～40×の倍率βのための第4の例示的实施形態に基づくズーム対物レンズは下記の構造データを特徴とし、これに関し、半径r<sub>1</sub>～r<sub>23</sub>ならびに厚さもしくは空気間隔d<sub>1</sub>～d<sub>22</sub>または可変の空気間隔A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、およびA<sub>3</sub>はmmで示されており、その一方で、n<sub>e</sub>は屈折率であり、v<sub>e</sub>はアッベ数である。

30

#### 【0048】

【表 9】

| 面No.<br>FL1-FL23 | 半径<br>rl-r23 | 厚さ<br>dl-d22 | $n_e$ | $\nu_e$ |    |
|------------------|--------------|--------------|-------|---------|----|
| 1                | 平面           | 0.170        | 1.526 | 54.3    |    |
| 2                | 平面           | 1.047        | 1.334 | 55.9    |    |
| 3                | 平面           | 1.110        | 1.460 | 67.7    |    |
| 4                | -1.4130      | 6.010        | 1.888 | 40.5    |    |
| 5                | -5.9570      | 0.300        |       |         |    |
| 6                | -20.8340     | 2.130        | 1.594 | 68.0    | 10 |
| 7                | -10.7450     | 0.262        |       |         |    |
| 8                | 47.6566      | 2.900        | 1.594 | 68.0    |    |
| 9                | -16.4292     | 0.304        |       |         |    |
| 10               | 28.7996      | 1.200        | 1.561 | 53.8    |    |
| 11               | 9.7156       | 4.800        | 1.435 | 94.7    |    |
| 12               | -12.4080     | 1.100        | 1.607 | 37.8    |    |
| 13               | 20.8340      | A1           |       |         |    |
| 14               | 20.2422      | 4.400        | 1.530 | 76.6    |    |
| 15               | -9.4424      | 1.200        | 1.617 | 44.3    |    |
| 16               | -23.5430     | A2           |       |         |    |
| 17               | -11.7130     | 1.300        | 1.855 | 23.7    | 20 |
| 18               | -7.9440      | 1.200        | 1.561 | 53.8    |    |
| 19               | 20.8340      | A3           |       |         |    |
| 20               | -115.4813    | 1.200        | 1.624 | 36.1    |    |
| 21               | 28.1840      | 2.900        | 1.498 | 81.2    |    |
| 22               | -15.9619     | 0.180        |       |         |    |
| 23               | 平面           |              |       |         |    |

焦点距離 164.5 mm の、ICS (Inter Colour-Correction System) に基づいて補正された鏡筒が用いられている。

【0049】

入射瞳が無限遠にあり、かつ視野数が 20 の場合、可変の空気間隔  $A_1$ 、 $A_2$ 、および  $A_3$  は下記の固有値を特色とし、

【0050】

【表 10】

| $\beta$ | NA   | A1     | A2     | A3     |
|---------|------|--------|--------|--------|
| 10×     | 0.30 | 15.278 | 1.000  | 13.570 |
| 20×     | 0.48 | 6.664  | 14.753 | 8.431  |
| 30×     | 0.65 | 2.835  | 22.722 | 4.290  |
| 40×     | 0.80 | 0.500  | 28.547 | 0.800  |

40

その一方で制限性の面 FL<sub>3</sub>、FL<sub>6</sub>、FL<sub>17</sub>、および FL<sub>23</sub> は下記の直径を有している。

【0051】

【表 11】

| 面番号  | 直径    |
|------|-------|
| FL3  | 2.56  |
| FL6  | 11.10 |
| FL17 | 5.86  |
| FL23 | 12.30 |

50

図5は、例示的实施形態1に基づくズーム対物レンズに関し、それぞれ5×の最小倍率 $\beta$ （像I）および20×の最大倍率 $\beta$ （像II）での、4つの波長（0.480nm、0.546nm、0.644nm、および0.436nm）に関する開口に対応した射出瞳における縦収差図を示している。さらに、このズーム対物レンズに関して像面湾曲および非点収差（像IIIおよび像V）を示している。

#### 【0052】

像IIIおよび像Vはそれぞれ、最小倍率および最大倍率の各々に対する、像高Y（最大11mm）に対応した4つの波長でのサジタル像面およびタンジェンシャル像面である。これに関し、Sはサジタル像面およびTはタンジェンシャル像面を表している。S像面とT像面は常にペアで示され、したがって図ではT像面だけに符号を付している。非点収差は、両方の像面の差から読み取ることができる。

10

#### 【0053】

4つの異なる波長での、像高Y（最大11mm）に対応した歪曲（像IVおよび像VI）を、同様に最小倍率および最大倍率に対して示している。

図6は、例示的实施形態2に基づくズーム対物レンズに関し、それぞれ10×の最小倍率 $\beta$ （像I）および40×の最大倍率 $\beta$ （像II）での、4つの波長（0.644nm、0.546nm、0.480nm、および0.436nm）に関する開口に対応した射出瞳における縦収差図を示している。さらに、このズーム対物レンズに関して像面湾曲および非点収差（像IIIおよび像V）を示している。像IIIおよび像Vはそれぞれ、最小倍率および最大倍率の各々に対する、像高Y（最大11mm）に対応した4つの波長でのサジタル像面およびタンジェンシャル像面である。これに関し、Sはサジタル像面およびTはタンジェンシャル像面を表している。S像面とT像面は常にペアで示され、したがって図ではT像面だけに符号を付している。非点収差は、両方の像面の差から読み取ることができる。4つの異なる波長での、像高Y（最大11mm）に対応した歪曲（像IVおよび像VI）を、同様に最小倍率および最大倍率に対して示している。

20

#### 【0054】

図7は、例示的实施形態3に基づくズーム対物レンズに関し、例示的实施形態3に基づくズーム対物レンズによる、それぞれ10×の最小倍率 $\beta$ （像I）および40×の最大倍率 $\beta$ （像II）での、4つの波長（0.644nm、0.546nm、0.480nm、および0.436nm）に関する開口に対応した射出瞳における縦収差図を示している。

30

#### 【0055】

さらに、このズーム対物レンズに関して像面湾曲および非点収差（像IIIおよび像V）を示している。像IIIおよび像Vはそれぞれ、最小倍率および最大倍率の各々に対する、像高Y（最大11mm）に対応した4つの波長でのサジタル像面およびタンジェンシャル像面である。これに関し、Sはサジタル像面およびTはタンジェンシャル像面を表している。S像面とT像面は常にペアで示され、したがって図ではT像面だけに符号を付している。非点収差は、両方の像面の差から読み取ることができる。4つの異なる波長での、像高Y（最大11mm）に対応した歪曲（像IVおよび像VI）を、同様に最小倍率および最大倍率に対して示している。

#### 【0056】

図8は、例示的实施形態4に基づくズーム対物レンズに関し、例示的实施形態4に基づくズーム対物レンズによる、それぞれ10×の最小倍率 $\beta$ （像I）および40×の最大倍率 $\beta$ （像II）での、4つの波長（0.480nm、0.436nm、0.546nm、および0.644nm）に関する開口に対応した射出瞳における縦収差図を示している。さらに、このズーム対物レンズに関して像面湾曲および非点収差（像IIIおよび像V）を示している。像IIIおよび像Vはそれぞれ、最小倍率および最大倍率の各々に対する、像高Y（最大11mm）に対応した4つの波長でのサジタル像面およびタンジェンシャル像面である。これに関し、Sはサジタル像面およびTはタンジェンシャル像面を表している。S像面とT像面は常にペアで示され、したがって図ではT像面だけに符号を付している。非点収差は、両方の像面の差から読み取ることができる。4つの異なる波長での、

40

50

像高  $Y$ （最大  $11\text{ mm}$ ）に対応した歪曲（像  $IV$  および像  $VI$ ）を、同様に最小倍率および最大倍率に対して示している。

【符号の説明】

【0057】

$G_1 \sim G_5$  … レンズ群

$L_1 \sim L_{14}$  … レンズ

$FL_1 \sim FL_{24}$  … 面

$r_1 \sim r_{24}$  … 半径

$d_1 \sim d_{23}$  … 厚さ／空気間隔

$\beta$  … 倍率

$NA$  … 開口数

$L_{1v}$ 、 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  … 可変の空気間隔

$Obj$  … 物体側

$S$  … サジタル像面（図では符号を付されていない線。）

$T$  … タンジェンシャル像面

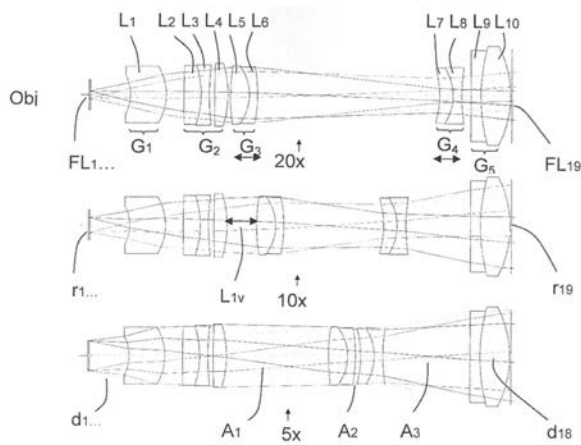
$Y$  … 像高

$n_e$  … 屈折率

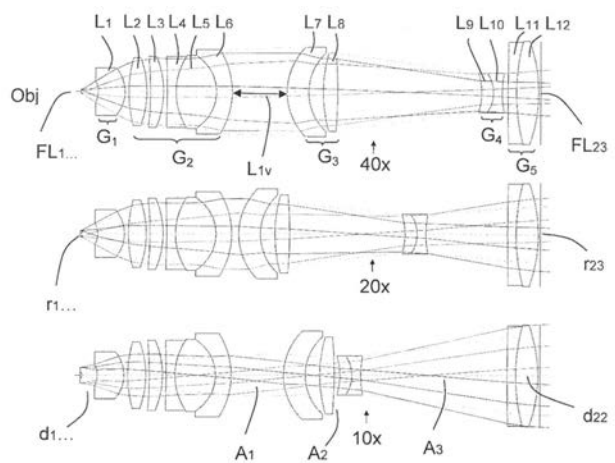
$v_e$  … アッペ数

10

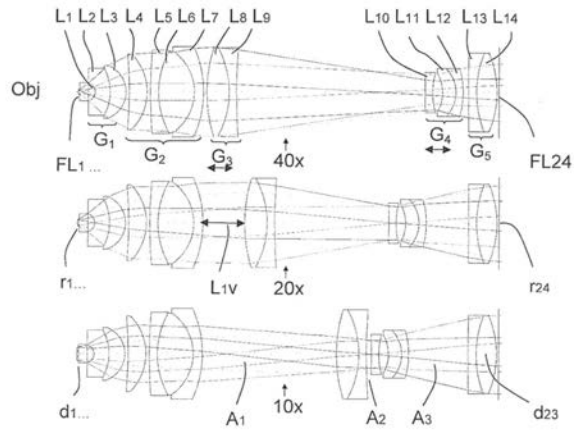
【図 1】



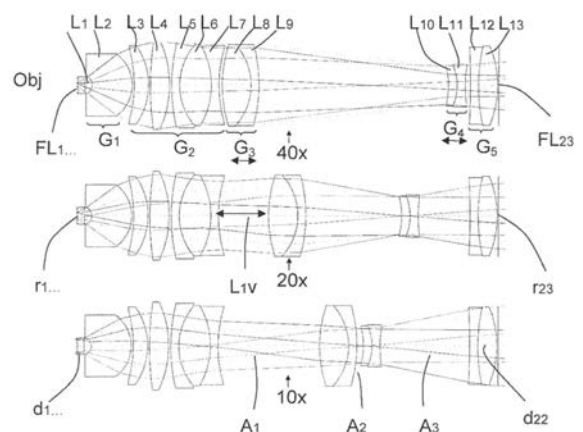
【図 2】



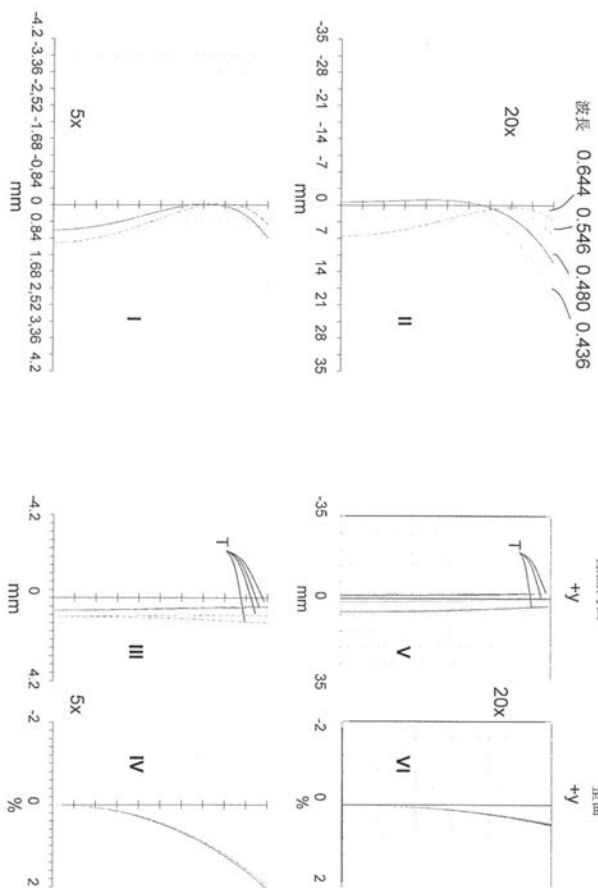
【図 3】



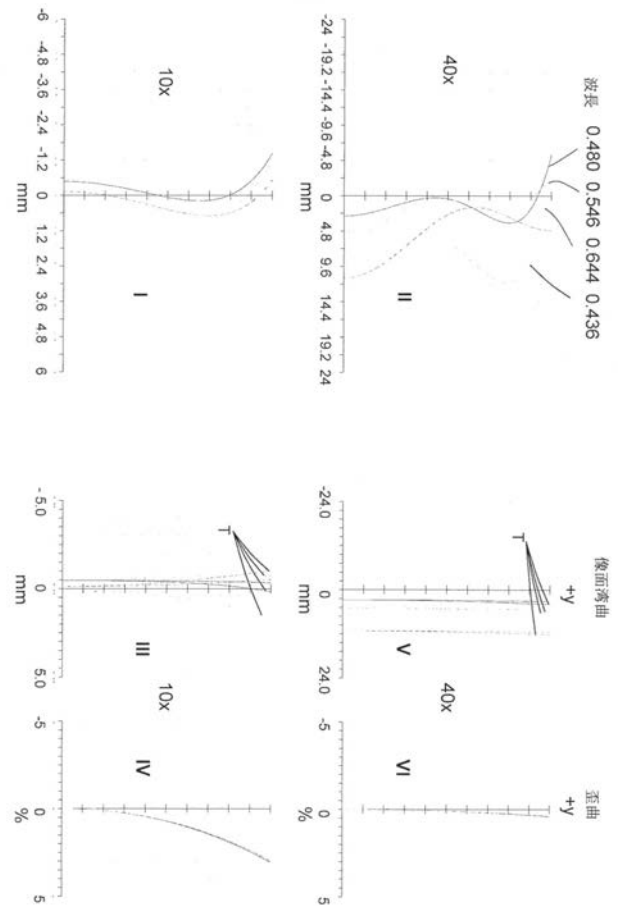
【図 4】



【図 5】



【図 6】





## フロントページの続き

- (72)発明者 レンファー シー  
ドイツ連邦共和国 37085 ゲッティンゲン イェームスーグラーフーフォンーモルトケーヴ  
ェーク 21
- (72)発明者 インゴ ファールブッシュ  
ドイツ連邦共和国 37077 ゲッティンゲン ディステルヴェーク 15
- (72)発明者 マティアス ゴンショール  
ドイツ連邦共和国 37130 グライヒェン ゾンネンシュタイン 5アー
- (72)発明者 ミヒャエル ゲグラー  
ドイツ連邦共和国 82515 ヴォルフラーツハウゼン タンネンヴェーク 5ペー
- (72)発明者 ホルガー リヒター  
ドイツ連邦共和国 37249 ノイーアイヒェンベルク イム クライネン フェルト 15
- (72)発明者 ハラルト シャドヴィンケル  
ドイツ連邦共和国 30161 ハノーファー ランベルクシュトラーセ 29
- (72)発明者 イェルク シャフェル  
ドイツ連邦共和国 37085 ゲッティンゲン アム カルテン ボルン 28
- (72)発明者 ロビン ツア ニーデン  
ドイツ連邦共和国 37081 ゲッティンゲン レーンボーゲン 2
- Fターム(参考) 2H087 KA09 LA01 NA14 PA06 PA07 PA08 PA16 PA20 PB10 PB12  
PB13 QA03 QA07 QA17 QA21 QA25 QA26 QA34 QA42 QA46  
SA44 SA46 SA49 SA53 SA55 SB02 SB03 SB14 SB15 SB16  
SB23 SB33 SB34 SB43 UA06