

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5656682号
(P5656682)

(45) 発行日 平成27年1月21日(2015.1.21)

(24) 登録日 平成26年12月5日(2014.12.5)

(51) Int.Cl.

F 1

G02B 17/08	(2006.01)	GO2B 17/08	A
G02B 21/02	(2006.01)	GO2B 21/02	A
G02B 21/00	(2006.01)	GO2B 21/00	

請求項の数 10 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2011-35746 (P2011-35746)

(22) 出願日 平成23年2月22日(2011.2.22)

(65) 公開番号 特開2012-173525 (P2012-173525A)

(43) 公開日 平成24年9月10日(2012.9.10)

審査請求日 平成26年1月20日(2014.1.20)

(73) 特許権者 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(74) 代理人 100086818

弁理士 高梨 幸雄

(72) 発明者 中野 正嗣
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
ヤノン株式会社内

審査官 堀井 康司

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】反射屈折光学系及びそれを有する撮像装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

物体の中間像を形成する第1結像光学系と、該中間像を結像する第2結像光学系と、を有する反射屈折光学系であって、

前記第1結像光学系は、光軸側から周辺側に向けて順に第1の光透過部と物体側の面が反射面である第1の裏面反射部とを含む第1の光学素子と、光軸側から周辺側に向けて順に第2の光透過部と像側の面が反射面である第2の裏面反射部とを含む第2の光学素子と、前記第1の光学素子と前記第2の光学素子との間の光路中に配置された負レンズと、から成り、

前記物体からの光束は、前記第1の光透過部、前記負レンズ、前記第2の裏面反射部、前記負レンズ、前記第1の裏面反射部、前記負レンズ、前記第2の光透過部、を順に介した後に前記第2結像光学系に入射しており、

前記負レンズのパワーを n 、前記負レンズの物体側及び像側の面の曲率半径を各々 $R_1 n$ 及び $R_2 n$ 、前記第1結像光学系のパワーを 1 、とするとき、

$$0.1 < |n| < 0.3$$

$$0.3 < R_1 n / R_2 n < 0.8$$

なる条件を満足することを特徴とする反射屈折光学系。

【請求項 2】

前記第1の裏面反射部における反射面の曲率半径を $M_1 R$ 、前記第2の裏面反射部における反射面の曲率半径を $M_2 R$ 、とするとき、

10

20

- 3 . 5 < M 1 R / M 2 R < - 2 . 0

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 に記載の反射屈折光学系。

【請求項 3】

前記第 1 結像光学系の焦点距離を f_1 、前記第 1 の光学素子の像側の面から前記負レンズの物体側の面までの距離を t_1 、前記負レンズの像側の面から前記第 2 の光学素子の物体側の面までの距離を t_2 、とするとき、

$$0 . 6 < t_1 / f_1 < 1 . 0$$

$$0 . 0 1 < t_2 / t_1 < 0 . 2 0$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の反射屈折光学系。

【請求項 4】

前記第 1 の光学素子の材料のアッベ数を n_1 、前記第 2 の光学素子の材料のアッベ数を n_2 、前記負レンズの材料のアッベ数を n 、前記負レンズの材料の屈折率を n 、とするとき、

$$0 . 4 0 < n_1 / n_2 < 1 . 6 0$$

$$0 . 5 < n / n_1 . 0$$

$$1 . 5 0 < n < 1 . 7 0$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の反射屈折光学系。

【請求項 5】

前記第 1 の光学素子の物体側及び像面側の面の曲率半径を各々 r_1 及び r_2 とするとき、

$$0 . 4 0 < r_1 / r_2 < 1 . 0 0$$

なる条件を満たすことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の反射屈折光学系。

【請求項 6】

前記第 2 結像光学系のパワーを P_2 とするとき、

$$0 . 1 0 < P_2 / P_1 < 0 . 3 0$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の反射屈折光学系。

【請求項 7】

前記負レンズの物体側の面は凹面であることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の反射屈折光学系。

【請求項 8】

前記第 1 の光学素子は物体側の面が凸面のメニスカス形状であり、前記負レンズは物体側の面が凹面のメニスカス形状であり、前記第 2 の光学素子は像面側の面が凸面のメニスカス形状であり、前記第 1 及び第 2 の光透過部は正の屈折力を有することを特徴とする請求項 7 に記載の反射屈折光学系。

【請求項 9】

前記物体を照明する照明光学系と、請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の反射屈折光学系と、該反射屈折光学系により形成された前記物体の像を光電変換する撮像素子と、該撮像素子からのデータより画像情報を生成する画像処理系と、を有することを特徴とする撮像装置。

【請求項 10】

前記物体における視野領域が 3 mm 以上であることを特徴とする請求項 9 に記載の撮像装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は試料（物体）を拡大し、観察する際に好適な反射屈折光学系及びそれを有する撮像装置に関するものである。

10

20

30

40

50

【背景技術】**【0002】**

現在の病理検査では、光学顕微鏡を用いて病理標本（試料）を直接、人の目で観察している。近年、病理標本を画像データとして取り込み、ディスプレイ上で観察するバーチャル顕微鏡と呼ばれるものが利用されている。バーチャル顕微鏡では病理標本の画像データをディスプレイ上で観察できるため、複数人で同時に観察することができる。またこのバーチャル顕微鏡を用いると画像データを遠方の病理医と共有して診断を仰ぐこともできるなど多くの利点がある。しかし、この方法は病理標本を撮像して画像データとして取り込むためには時間がかかるという問題があった。

【0003】

10

時間がかかる原因の1つとして、大きな撮像範囲の病理標本を顕微鏡の狭い撮像領域を用いて画像データとして取り込まねばならないことが挙げられる。顕微鏡の撮像領域が狭い場合、複数回撮像して、もしくはスキャンしながら撮像してそれらを繋げることで一枚の画像とする必要がある。従来より撮像回数を少なくして画像データを取り込む時間を短縮するために、広い撮像領域を持った光学系（撮像光学系）が求められている。

【0004】

この他、病理標本を観察する上で、広い撮像領域が求められると同時に可視領域（広い波長域）での高い解像力を持った光学系が要望されている。高い解像力を持った光学系は病理診断の用途に限らず様々な分野で要望されている。屈折光学系より成り可視光全域に渡って収差を良好に低減した生体細胞などの観察に好適な顕微鏡対物レンズが知られている（特許文献1）。

20

【0005】

また集積回路やフォトマスクに存在する欠陥を検査するため反射屈折光学系を用いて紫外の広波長帯域に渡って高い解像力を有した超広帯域紫外顕微鏡映像システムが知られている（特許文献2）。また、広い領域に微細なパターンを露光して半導体素子を製造するのに好適な反射屈折光学系が知られている（特許文献3）。

【先行技術文献】**【特許文献】****【0006】****【特許文献1】特公昭60-034737号公報**

30

【特許文献2】特表2007-514179号公報**【特許文献3】WO00/039623****【発明の概要】****【発明が解決しようとする課題】****【0007】**

特許文献1に開示されている顕微鏡対物レンズは、可視光全域に渡って諸収差を良好に低減しているが、観察領域の大きさが必ずしも十分でない。また、特許文献2に開示されている広帯域顕微鏡カタディオプトリック結像系は広波長帯域に渡って収差を良好に低減し、高い解像力を持っているものの視野領域の大きさが必ずしも十分でない。

【0008】

40

また、特許文献3に開示されている反射屈折結像光学系は広い領域に渡って、高い解像力を持っているが収差が良好に補正されている波長域の広さが必ずしも十分でない。試料を拡大して観察するための顕微鏡レンズとしては、観察領域が大きく、かつ広い波長範囲にわたり高い光学性能を有することが求められている。

【0009】

本発明は、広い波長域に渡って諸収差を良好に補正し、かつ広い撮像領域に渡って高い解像力を持つ反射屈折光学系及びそれを有する撮像装置の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】**【0010】**

本発明の反射屈折光学系は、物体の中間像を形成する第1結像光学系と、該中間像を結

50

像する第2結像光学系と、を有する反射屈折光学系であって、

前記第1結像光学系は、光軸側から周辺側に向て順に第1の光透過部と物体側の面が反射面である第1の裏面反射部とを含む第1の光学素子と、光軸側から周辺側に向て順に第2の光透過部と像側の面が反射面である第2の裏面反射部とを含む第2の光学素子と、前記第1の光学素子と前記第2の光学素子との間の光路中に配置された負レンズと、から成り、

前記物体からの光束は、前記第1の光透過部、前記負レンズ、前記第2の裏面反射部、前記負レンズ、前記第1の裏面反射部、前記負レンズ、前記第2の光透過部、を順に介した後に前記第2結像光学系に入射しており、

前記負レンズのパワーを n 、前記負レンズの物体側及び像側の面の曲率半径を各々 $R_1 n$ 及び $R_2 n$ 、前記第1結像光学系のパワーを 1 、とするとき、 10

$$0.1 < |n / 1| < 0.3$$

$$0.3 < R_1 n / R_2 n < 0.8$$

なる条件を満足することを特徴としている。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、広い波長域に渡って諸収差を良好に補正し、かつ広い撮像領域に渡つて高い解像力を持つ反射屈折光学系が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本実施例の撮像装置の実施例1の概略断面図である。

【図2】実施例1の反射屈折光学系の要部概略図である。

【図3】実施例1の反射屈折光学系の収差図である。

【図4】実施例2の反射屈折光学系の要部概略図である。

【図5】実施例2の反射屈折光学系の収差図である。

【図6】実施例3の反射屈折光学系の要部概略図である。

【図7】実施例3の反射屈折光学系の収差図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

本発明の反射屈折光学系104は、物体103からの光束を集光して物体の中間像IMを形成する第1結像光学系G1と、中間像IMを像面105に結像する第2結像光学系G2を有する。本発明の撮像装置1000は、光源手段101と、光源手段101からの光束で物体103を照明する照明光学系102と、物体103の像を結像する反射屈折光学系104を有している。更に撮像装置1000は反射屈折光学系104によって結像された物体の像を光電変換する撮像素子105と、撮像素子105からのデータより画像情報を生成する画像処理系106と画像処理系106で生成した画像データを表示する表示手段107とを有する。 30

【0014】

本発明の反射屈折光学系104を構成する第1結像光学系G1は、光軸側から周辺側に向て順に光透過部(第1の光透過部)M1Tと、物体側の面が反射面である反射部(第1の裏面反射部)M1aとを含む第1の光学素子M1を有する。更に光軸側から周辺側に向て順に光透過部(第2の光透過部)M2T、像側の面が反射面である反射部(第2の裏面反射部)M2bを含む第2の光学素子M2とを有する。更に反射屈折光学系104は第1の光学素子M1と第2の光学素子M2との間の光路中に負レンズL1とを有する。この負レンズL1の材料のアッペ数は、第2の光学素子M2の材料のアッペ数よりも大きい。
40

【0015】

図1は本発明の撮像装置の要部概略図である。図2は本発明の反射屈折光学系の実施例1の要部概略図である。図3は本発明の反射屈折光学系の実施例1の収差図である。図4は本発明の反射屈折光学系の実施例2の要部概略図である。図5は本発明の反射屈折光学
50

系の実施例 2 の収差図である。図 6 は本発明の反射屈折光学系の実施例 3 の要部概略図である。図 7 は本発明の反射屈折光学系の実施例 3 の収差図である。

【 0 0 1 6 】

[実施例 1]

以下、図 1 を参照して、本発明の反射屈折光学系 104 を有する撮像装置 1000 の構成について説明する。ここで図 1 は、本発明の撮像装置 1000 の概略断面図である。撮像装置 1000 は、光源手段 101 からの光を照明光学系 102 によって集光して試料（物体）103 を均一に照明する。このとき使用する光は可視光（例えば、波長 400 nm ~ 波長 700 nm）が用いられる。可視光としては波長 486 nm ~ 波長 656 nm の範囲内の光束が含まれていれば良い。反射屈折光学系 104 は試料（物体）103 の像を撮像素子 105 上に結像する。
10

【 0 0 1 7 】

撮像素子 105 で取得したデータ（画像情報）は、画像処理系 106 によって画像データを生成し、生成した画像データを表示手段 107 などに表示する。この他記録媒体（記録手段）に保持している。画像処理系 106 では反射屈折光学系 104 で補正しきれなかった収差を補正したり、または、撮像位置の異なった画像データを繋げて一枚の画像データに合成したりするなど用途に応じた処理が行われる。

【 0 0 1 8 】

図 2 は、図 1 の反射屈折光学系 104 の構成を説明するための概略図である。図 2 において、104A（他の実施例では 104B、104C）は反射屈折光学系、103 は試料が配置される物体面、105 は撮像素子が配置される像面である。AX は反射屈折光学系 104A の光軸である。反射屈折光学系 104A は物体 103 からの光束を集光し、所定面に中間像 IM を形成する反射面を含む第 1 結像光学系 G1 を有する。
20

【 0 0 1 9 】

中間像 IM が形成される位置にはフィールドレンズ部 FL が配置されている。フィールドレンズ部 FL は中間像 IM からの光束を第 2 結像光学系 G2 に効率良く導光している。尚、フィールドレンズ部 FL は省略しても良い。そして中間像 IM を像面 105 に結像する屈折面と遮光部 OBS を含む第 2 結像光学系 G2 を有する。

【 0 0 2 0 】

第 1 結像光学系 G1 は、物体側から順に第 1 の光学素子（マンジャンミラー）M1、負レンズ L1、第 2 の光学素子（マンジャンミラー）M2 を有している。第 1 の光学素子 M1 は同心形状又は略同心形状のメニスカス形状より成っている。負レンズ L1 の材料のアッペ数は第 2 の光学素子 M2 の材料のアッペ数よりも大きい。第 2 結像光学系 G2 は、物体側から順にレンズ群 G21、遮光部 OBS、レンズ群 G22 を有している。
30

【 0 0 2 1 】

図 2 は、物体面 103 から像面 105 に至る光束が示されている。第 1 結像光学系 G1 の第 1 の光学素子 M1 は、物体 103 側の面 M1a が凸形状で、像側の面 M1b が凹形状で光軸付近及び光軸周辺が正の屈折力の光透過部（第 1 の光透過部）M1T、周辺部のうち物体側の面 M1a に反射膜を施し、裏面反射部（第 1 の裏面反射部）としている。面 M1a は非球面形状より成っている。負レンズ L1 は物体側の面が凹で非球面形状である。負レンズ L1 はメニスカス形状で面全体が光透過面となっている。
40

【 0 0 2 2 】

第 2 の光学素子 M2 は物体側に凹面を向けたメニスカス形状で、光軸周辺が正の屈折力の光透過部（第 2 の光透過部）M2T、周辺部のうち像側の面 M2b に反射膜を施し、裏面反射部（第 2 の裏面反射部）としている。M2a は第 2 の光学素子 M2 の物体側の面である。面 M2b は非球面形状である。第 1 の光学素子 M1 と第 2 の光学素子 M2 は互いに裏面反射部 M1a、M2b が対向するように配置されている。第 2 の結像光学系 G2 は物体 103 からの光束のうち光軸近傍の光束を遮光し、撮像素子 105 に入射するのを防止する遮光板 OBS が第 2 結像光学系 G2 中又は開口絞り若しくはその近傍に配置されている。
50

【0023】

図2に示す反射屈折光学系104Aでは、照明光学系102からの光束で照明され、試料103から出射した光束は第1の光学素子M1の中央透過部(第1の光透過部)M1Tを通過する。その後、負レンズL1を通過し、発散され第2の光学素子M2の屈折面M2aに入射する。その後裏面反射部(第2の裏面反射部)M2bで反射し集光されて、屈折面M2a、負レンズL1を通過して第1の光学素子M1の屈折面M1bに入射する。その後、第1の光学素子M1の裏面反射部(第1の裏面反射部)M1aで反射する。そして屈折面M1b、負レンズL1を通過し、第2の光学素子M2の中央透過部(第2の光透過部)M2Tを通過し、第2結像光学系G2側へ出射する。その後フィールドレンズ群FLの近傍に試料103の中間像IMを形成する。

10

【0024】

本実施例において、フィールドレンズ群FLを配置せずに中間像IMを形成する構成としても良い。中間像IMからの発散光束は、正の屈折力のレンズ群G21と正の屈折力のレンズ群G22を通過し、像面105に入射する。そして像面105上に物体103の像を拡大結像する。撮像素子105に結像された物体103の像是画像処理系106によって処理されて表示手段107に表示される。

【0025】

本実施例の中間像IMを形成する第1結像光学系G1の特徴について説明する。マンジャンミラーによる第1の光学素子M1とマンジャンミラーによる第2の光学素子M2の光路間に負レンズL1を配置している。これによって、第1結像光学系G1で発生する球面収差の補正を容易にしている。ここで、第1の光学素子M1の外径(有効径、以下同じ)をH1とし、第1の光学素子M1の透過部の有効径をH2とする。物体103からの光は第1の光学素子M1の光透過部M1Tおよび負レンズL1を通過後、第2の光学素子M2の面M2bで反射される。

20

【0026】

そして再び負レンズL1に入射し、負レンズL1の負のパワーにより第1の光学素子M1へ入射する光束の角度が光軸に対して小さくなる。これにより、第1の光学素子M1の径H1が大きくなり、物体面103から第1の光学素子M1へ入射したときの透過部の径H2との比率H2/H1を下げている。つまり、光軸AX上の中央遮蔽率を小さく抑えて、その結果、像性能の悪化を防いでいる。

30

【0027】

各実施例において、負レンズL1のパワーをn、負レンズL1の物体側及び像側のレンズ面の曲率半径を各々R1n及びR2nとする。第1結像光学系G1のパワーを1とする。このとき、

$$0.1 < |n / 1| < 0.3 \quad \dots (1)$$

$$0.3 < R1n / R2n < 0.8 \quad \dots (2)$$

を満足している。

【0028】

条件式(1)は主に、第1結像光学系G1で発生する色収差を小さくするためのものである。条件式(1)の上限値を上回ると、負レンズL1のパワーが強くなりすぎ、負レンズL1より発生する収差が多くなり、この収差の補正が困難となる。また、負レンズL1より発生する収差を補正するためには第2の光学素子M2のパワーを強くしなければならず、その結果、第2の光学素子M2のレンズ端の厚みを確保することが困難になる。条件式(1)の下限値を下回ると、負レンズL1のパワーが弱くなりすぎ、中央遮蔽率H2/H1が大きくなり、像性能が悪化するので良くない。

40

【0029】

条件式(2)は負レンズL1の物体側と像側のレンズ面の曲率半径の比に関し、主に球面収差とコマ収差を小さくするためのものである。条件式(2)の範囲を外れると、球面収差とコマ収差の補正が難しくなるため良くない。各実施例において、更に好ましくは次の諸条件のうち1以上を満足するのが良い。

50

【0030】

第1の光学素子M1の第1の裏面反射部M1aの曲率半径をM1Rとする。第2の光学素子M2の第2の裏面反射部M2bの曲率半径をM2Rとする。第1結像光学系G1の焦点距離をf1とする。第1の光学素子M1の像側の面から負レンズL1の物体側の面までの距離をt1、負レンズL1の像側の面から第2の光学素子M2の物体側の面までの距離をt2とする。第1、第2の光学素子M1、M2、負レンズL1の材料のアッペ数を各々1、2、nとする。負レンズL1の材料の屈折率をnとする。第1の光学素子M1の物体側及び像面側の面の曲率半径を各々r1及びr2とする。第2結像光学系G2のパワーを2とする。

【0031】

このとき

$$\begin{aligned} -3.5 < M1R / M2R < -2.0 & \dots (3) \\ 0.6 < t1 / f1 < 1.0 & \dots (4) \\ 0.01 < t2 / t1 < 0.20 & \dots (5) \\ 0.40 < 1 / 2 < 1.60 & \dots (6) \\ 0.5 < 2 / n < 1.0 & \dots (7) \\ 1.50 < n < 1.70 & \dots (8) \\ 0.40 < r1 / r2 < 1.00 & \dots (9) \\ 0.10 < 2 / 1 < 0.30 & \dots (10) \end{aligned}$$

なる条件式のうち1以上を満足するのが良い。

10

20

【0032】

条件式(3)は第1、第2の光学素子M1、M2の裏面反射部の曲率半径の比に関し、主に軸上色収差を小さくするためのものである。条件式(3)の範囲を外れると、軸上色収差の補正が難しくなるため良くない。また、条件式(3)の下限値を下回ると中央遮蔽率が大きくなってしまうため更に良くない。更に、条件式(3)の上限値を上回ると光束径が大きくなり第1の光学素子M1の径が大型化するため更に良くない。

【0033】

条件式(4)は負レンズL1の光路中の位置に関し、主に中央遮蔽率と光学素子のサイズを小さくするためのものである。条件式(4)の下限値を下回ると中央遮蔽率が大きくなり像質が劣化するため好ましくない。また、条件式(4)の上限値を上回ると第2の光学素子M2の径が大型化するとともに全長も伸びるため、好ましくない。

30

【0034】

条件式(5)は負レンズL1の光路中の位置に関し、主に球面収差、コマ収差、軸上色収差を小さくするためのものである。条件式(5)の上限値を超えると、球面収差、コマ収差、軸上色収差を同時に補正することが難しくなるため良くない。また、条件式(5)の下限値を下回ると、負レンズL1と第2の光学素子M2が機械的に干渉しやすくなるので良くない。条件式(6)は第1、第2の光学素子M1、M2の材料のアッペ数の比に関し、主に色収差を良好に補正するためものである。条件式(6)の下限値あるいは上限値を超えると軸上色収差の補正が難しくなるか、又は適切な光学材料が存在しないため好ましくない。

40

【0035】

条件式(7)は第1結像光学系G1で発生する色収差を小さくするためのものである。条件式(7)の下限値あるいは上限値を超えると第1結像光学系G1で発生する色収差、特に軸上色収差が大きくなり、これを第2結像光学系G2で打ち消すためには多くのレンズ枚数を必要とするので良くない。条件式(8)は負レンズL1の材料の屈折率に関し、主に像面湾曲収差と色収差を小さくするものである。条件式(8)の下限値を下まわると像面湾曲が補正過剰、上限値を上回ると像面湾曲が補正不足となり好ましくない。また条件式(8)の範囲を外れると、利用可能な光学材料のアッペ数が限定され軸上色収差の補正が難しくなるため好ましくない。

【0036】

50

条件式(9)は第1の光学素子M1の形状がほぼ同心形状であることを示すものである。条件式(9)の範囲を外れると、軸上色収差が発生するため好ましくない。条件式(10)は第1、第2光学系G1、G2のパワー(屈折力)の比に関し、主に像面湾曲収差を小さくするものである。条件式(10)の範囲を外れると、像面湾曲を小さく保つことが難しくなるとともに、所望の横倍率を得ることも難しくなるため、好ましくない。

【0037】

本実施例の反射屈折型光学系では、負レンズL1の凹面を非球面形状としている。これによって、球面収差とコマ収差を良好に補正している。本実施例の反射屈折型光学系では、第1、第2の光学素子M1、M2の反射面M1a、M2bを非球面形状としている。これによって、球面収差およびコマ収差をさらに良好に補正している。本実施例の反射屈折型光学系は、後述する数値実施例をmm単位で表したとき視野領域を(直径)3mm以上としている。視野領域がこれ以下であると、物体面全体を分割撮像する場合の撮像回数が増えて、撮像全体に掛かる時間が長くなるため好ましくない。10

【0038】

視野領域を3mm以上とすることにより、分割撮像の分割数が少なくなるので撮像時間の短縮が容易となる。更に、視野領域が10mm以上であれば更に好ましく、物体面の一括撮像が容易になるので、撮像時間の大変な短縮が容易になる。

【0039】

本実施例において第1、第2の光学素子M1、M2の裏面の反射部は何れも凹形状であり、且つ、何れも非球面形状としている。負レンズL1の凹面もまた非球面形状である。このように3つの非球面形状を用いることにより、色収差を増加させることなく、球面収差とコマ収差等の諸収差の発生を抑えている。実施例1の反射屈折光学系104Aにおいて、物体側の開口数は0.7であって、倍率は6倍、物体高は14.14mm、視野領域は28.28mmである。視野領域は3mm以上を満たしており、且つ10mm以上も満たしている。20

【0040】

物体側、像側とも、ほぼテレセントリックな光学系となっている。また、可視域の波長486nm～656nmの範囲をカバーする白色光での波面収差が50mrads以下に抑えられている。

【0041】

図3は実施例1の像面(撮像素子面)における横収差を示しており、軸上、軸外とも、可視域の広い波長帯域で収差が良好に補正されている。収差図においてYは像高である。また、負レンズL1の材料のアッベ数nと第2の光学素子M2の材料のアッベ数2の比、2/nは0.60となり、条件式(7)の範囲内である。さらに、負レンズL1のパワー-nの値は-0.0018であり、第1結像光学系G1のパワー-1は0.01181であり、条件式(1)の範囲内である。30

【0042】

[実施例2]

図4の実施例2の反射屈折光学系について説明する。なお、特に述べない部分については実施例1と同様である。実施例2の反射屈折光学系において、物体側の開口数は0.7であって、倍率は6倍、物体高は14.14mm、視野領域は28.28mmである。視野領域は3mm以上を満たしており、且つ10mm以上も満たしている。物体側、像側とも、ほぼテレセントリックな光学系となっている。また、可視域の波長486nm～656nmの範囲をカバーする白色光での波面収差が50mrads以下に抑えられている。40

【0043】

図5は実施例2の像面(撮像素子面)における横収差を示しており、軸上、軸外とも、可視域の広い波長帯域で収差が良好に補正されている。また、負レンズL1の材料のアッベ数nと第2の光学素子M2の材料のアッベ数2の比、2/nは0.84となり、条件式(7)の範囲内である。さらに、負レンズL1のパワー-nの値は-0.00250

1、第1結像光学系G1のパワー₁は0.01099であり、条件式(1)の範囲内である。

【0044】

[実施例3]

図6の実施例3の反射屈折光学系について説明する。なお、特に述べない部分については実施例1と同様である。実施例3の反射屈折光学系において、物体側の開口数は0.7であって、倍率は6倍、物体高は14.14mm、視野領域は28.28mmである。視野領域は3mm以上を満たしており、且つ10mm以上も満たしている。物体側、像側とも、ほぼテレセントリックな光学系となっている。また、可視域の波長486nm～656nmの範囲をカバーする白色光での波面収差が50mrms以下に抑えられている。10

【0045】

図7は実施例3の像面(撮像素子面)における横収差を示しており、軸上、軸外とも、可視域の広い波長帯域で収差が良好に補正されている。また、負レンズL1の材料のアッペ数nと第2の光学素子M2の材料のアッペ数2の比、2/nは0.71となり、条件式(7)の範囲内である。さらに、負レンズL1のパワー_nの値は-0.0027、第1結像光学系G1のパワー₁は0.011588であり、条件式(1)の範囲内である。

【0046】

以上のように各実施例によれば、高NAで可視光全域に亘って収差を低減し、かつ広い視野領域を有する反射屈折光学系及びそれを用いた撮像装置が得られる。以上、本発明の好ましい実施例について説明したが、本発明はこれらの実施例に限定されないことはいうまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形、及び、変更が可能である。例えば、本発明は大画面をスキャンする撮像装置にもスキャンしない撮像装置にも適用可能である。20

以下、各実施例の数値実施例を示す。面番号は物体面(試料面)から像面まで数えた光が通過する順の光学面である。rは第i番目の光学面の曲率半径である。dは第i番目と第i+1番目の間隔である(符号は物体側から像面側へ測ったときを(光が進行するときを)正、逆方向を負としている)。Nd、dは波長587.6nmに対する材料の屈折率とアッペ数をそれぞれ示している。非球面の形状は、以下の式に示す一般的な非球面の式で表される。以下の式において、Zは光軸方向の座標、cは曲率(曲率半径rの逆数)、hは光軸からの高さ、kは円錐係数、A、B、C、D、E、F、G、H、J…は各自、4次、6次、8次、10次、12次、14次、16次、18次、20次、…の非球面係数である。30

【0047】

[数1]

$$Z = \frac{ch^2}{1 + \sqrt{(1+k)c^2h^2}} + Ah^4 + Bh^6 + Ch^8 + Dh^{10} + Eh^{12} + Fh^{14} + Gh^{16} + Hh^{18} + Jh^{20} + \dots$$

【0048】

「E-X」は「10^{-X}」を意味する。各実施例における各要素の光学定数及び前述した各条件式と数値実施例との関係を表-1に示す。40

[数値実施例1]

面番号 r	d	Nd	d
物体面	6.00		
1 337.13	13.70	1.8052	25.43
2 374.52	65.18		
3 -120.72	9.20	1.5237	60.10
4 -213.77	8.82		

5	-174.37	9.49	1.5889	35.83	
6	-152.43	-9.49	1.5889	35.83	
7	-174.37	-8.82			
8	-213.77	-9.20	1.5237	60.10	
9	-120.72	-65.18			
10	374.52	-13.70	1.8052	25.43	
11	337.13	13.70	1.8052	25.43	
12	374.52	65.18			
13	-120.72	9.20	1.5237	60.10	
14	-213.77	8.82			10
15	-174.37	9.49	1.5889	35.83	
16	-152.43	3.00			
17	983.84	3.61	1.8040	46.58	
18	-206.61	9.98			
19	-87.23	8.91	1.7395	27.33	
20	136.90	12.01	1.8040	46.58	
21	-70.30	0.50			
22	60.02	21.77	1.8040	46.58	
23	-103.47	3.64	1.7346	27.49	
24	106.25	13.87	1.8040	46.58	20
25	-115.15	35.52			
26	175.99	16.45	1.8041	44.96	
27	-88.70	4.48	1.7208	27.99	
28	-423.28	34.79			
29	-291.12	20.41	1.8044	37.17	
30	-74.03	0.50			
31	127.61	20.29	1.8040	46.58	
32	-373.57	5.61			
33	-351.62	6.26	1.7799	28.92	
34	86.74	68.63			30
35	-88.66	6.60	1.5934	35.24	
36	-554.01	20.77			
37	-103.78	7.72	1.6578	56.16	
38	-170.99	4.05			
39	-181.71	23.65	1.8040	46.58	
40	-103.36	0.50			
41	1023.54	24.07	1.8040	46.58	
42	-289.07	10.00			

像面

40

【 0 0 4 9 】

【 表 1 】

面番号	k	A	B	C	D	E	F	G	H	J
1,11	0.00E+00	-9.89E-09	1.27E-13	-7.80E-17	1.31E-20	-2.12E-24	1.95E-28	-6.99E-33	0.00E+00	0.00E+00
3,9,13	0.00E+00	1.13E-07	3.42E-12	3.37E-16	-1.64E-20	7.19E-25	7.88E-29	-1.02E-32	0.00E+00	0.00E+00
6,16	3.60E-01	3.06E-08	1.10E-12	6.41E-17	9.78E-22	1.14E-25	2.56E-30	1.33E-34	0.00E+00	0.00E+00
17	0.00E+00	-1.49E-06	-2.02E-10	1.78E-14	7.69E-16	-2.85E-18	2.14E-21	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
19	0.00E+00	3.95E-06	-5.28E-09	7.87E-12	-8.77E-15	4.76E-18	-5.26E-29	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
22	0.00E+00	-2.82E-06	1.03E-09	-1.09E-12	9.08E-16	-4.88E-19	1.31E-22	-1.00E-26	0.00E+00	0.00E+00
28	0.00E+00	3.58E-07	6.24E-11	-8.58E-14	8.23E-17	-5.35E-20	1.98E-23	-3.14E-27	0.00E+00	0.00E+00
30	0.00E+00	2.85E-07	4.41E-12	1.17E-14	-2.14E-18	6.95E-22	-1.12E-25	1.47E-29	0.00E+00	0.00E+00
33	0.00E+00	-7.58E-10	-1.02E-10	3.93E-14	-1.53E-17	4.61E-21	8.62E-25	7.52E-29	0.00E+00	0.00E+00
38	0.00E+00	1.17E-09	-1.75E-11	1.56E-15	1.53E-19	-1.02E-22	1.38E-26	-6.87E-31	0.00E+00	0.00E+00
42	0.00E+00	5.72E-08	7.68E-12	7.20E-16	-4.54E-19	7.46E-23	-5.58E-27	1.61E-31	0.00E+00	0.00E+00

【 0 0 5 0 】

[数 值 实 施 例 2]

50

面番号	r	d	N d	d	
物体面		6.00			
1	390.58	10.00	1.8052	25.43	
2	432.37	81.29			
3	-119.76	9.00	1.5087	56.98	
4	-241.63	6.54			
5	-195.40	9.00	1.7726	48.08	
6	-163.28	-9.00	1.7726	48.08	
7	-195.40	-6.54			
8	-241.63	-9.00	1.5087	56.98	10
9	-119.76	-81.29			
10	432.37	-10.00	1.8052	25.43	
11	390.58	10.00	1.8052	25.43	
12	432.37	81.29			
13	-119.76	9.00	1.5087	56.98	
14	-241.63	6.54			
15	-195.40	9.00	1.7726	48.08	
16	-163.28	3.00			
17	-586.62	4.00	1.8040	46.58	
18	-192.54	4.92			20
19	-95.85	6.07	1.6264	32.71	
20	80.99	12.20	1.7053	52.19	
21	-79.05	1.34			
22	77.57	14.24	1.8040	46.58	
23	-75.54	4.00	1.5861	36.24	
24	308.44	9.36	1.8040	46.58	
25	-158.65	29.41			
26	260.65	13.44	1.7022	52.41	
27	-59.00	4.00	1.8052	25.43	
28	-84.22	60.04			30
29	2550.04	22.62	1.7977	46.86	
30	-82.71	0.50			
31	154.20	13.22	1.8043	38.54	
32	1196.56	20.48			
33	-244.57	6.00	1.7170	28.58	
34	94.75	59.28			
35	-65.02	10.00	1.5502	42.95	
36	699.95	9.25			
37	-432.81	35.00	1.8040	46.58	
38	-104.32	0.50			40
39	-22758.34	25.30	1.8041	43.70	
40	-287.63	10.00			

像面

【 0 0 5 1 】

【表2】

面番号	k	A	B	C	D	E	F	G	H	J
1,11	0.00E+00	-6.82E-09	-9.57E-14	-1.01E-17	1.31E-22	-1.53E-25	2.39E-29	-1.04E-33	0.00E+00	0.00E+00
3,9,13	0.00E+00	7.48E-08	4.86E-12	1.54E-16	1.79E-21	1.27E-24	-9.92E-29	3.62E-33	0.00E+00	0.00E+00
6,16	3.54E-01	2.27E-08	8.79E-13	2.90E-17	9.81E-22	7.86E-26	-1.81E-30	1.52E-34	0.00E+00	0.00E+00
17	0.00E+00	-3.60E-08	-9.38E-10	1.40E-12	-1.57E-15	1.96E-18	-2.70E-33	-1.75E-24	0.00E+00	0.00E+00
19	0.00E+00	7.53E-08	-4.06E-09	2.99E-12	-1.77E-15	-6.32E-19	-1.68E-34	1.73E-24	0.00E+00	0.00E+00
22	0.00E+00	-3.34E-06	1.42E-09	-1.56E-12	1.18E-15	-5.35E-19	3.14E-23	5.11E-26	0.00E+00	0.00E+00
28	0.00E+00	1.13E-07	2.12E-11	-1.26E-16	4.38E-18	6.50E-21	1.59E-24	-2.42E-27	0.00E+00	0.00E+00
30	0.00E+00	2.94E-07	2.33E-11	3.38E-15	1.01E-19	3.47E-23	-1.47E-27	1.22E-30	0.00E+00	0.00E+00
33	0.00E+00	-2.57E-09	-3.00E-11	1.16E-14	-3.85E-18	1.13E-21	-2.72E-25	3.10E-29	0.00E+00	0.00E+00
36	0.00E+00	-9.41E-08	4.24E-12	1.97E-15	-6.89E-19	1.25E-22	-1.29E-26	5.35E-31	0.00E+00	0.00E+00
40	0.00E+00	-8.24E-08	1.57E-12	8.85E-16	-2.47E-19	2.63E-23	-1.45E-27	3.39E-32	0.00E+00	0.00E+00

【0 0 5 2】

[数值実施例3]

面番号	r	d	N d	d	10
物体面		6.00			
1	461.73	10.00	1.6031	58.77	
2	1120.55	79.64			
3	-106.20	9.00	1.6541	56.52	
4	-197.77	2.00			
5	-185.42	9.67	1.8042	40.34	
6	-152.17	-9.67	1.8042	40.34	
7	-185.42	-2.00			
8	-197.77	-9.00	1.6541	56.52	
9	-106.20	-79.64			20
10	1120.55	-10.00	1.6031	58.77	
11	461.73	10.00	1.6031	58.77	
12	1120.55	79.64			
13	-106.20	9.00	1.6541	56.52	
14	-197.77	2.00			
15	-185.42	9.67	1.8042	40.34	
16	-152.17	20.30			
17	64.13	4.25	1.8040	46.58	
18	189.21	5.05			
19	-83.43	7.00	1.7060	28.56	30
20	89.39	8.41	1.7264	50.74	
21	-287.04	1.00			
22	80.68	1.36			
23	102.32	5.62	1.8040	46.58	
24	4255.70	7.13			
25	54.32	18.20	1.8040	46.58	
26	-169.08	38.03			
27	112.01	28.58	1.6393	53.55	
28	-47.40	6.00	1.8052	25.43	
29	468.82	12.65			40
30	299.80	30.00	1.8046	32.49	
31	-76.74	0.50			
32	173.71	15.00	1.8043	37.45	
33	-786.95	24.66			
34	-62.97	4.00	1.7339	27.51	
35	206.43	35.40			
36	-50.06	28.18	1.8040	46.58	
37	-75.07	3.00			
38	-327.29	23.25	1.8048	29.77	
39	-134.69	6.36			50

40 322.77 18.82 1.8052 25.71
 41 19763.06 30.94

像面

【0053】

【表3】

面番号	k	A	B	C	D	E	F	G	H	J
1,11	0.00E+00	-1.93E-09	3.10E-13	-5.79E-18	1.82E-21	-8.43E-26	-3.48E-29	3.00E-33	0.00E+00	0.00E+00
39,13	0.00E+00	5.86E-08	4.82E-12	6.90E-16	-1.11E-19	2.52E-23	-2.18E-27	1.21E-31	0.00E+00	0.00E+00
6,16	-5.45E-02	1.46E-08	6.21E-13	5.96E-17	-8.74E-21	1.34E-24	-8.48E-29	2.92E-33	0.00E+00	0.00E+00
19	0.00E+00	2.47E-06	-8.65E-10	8.30E-13	-8.02E-16	3.30E-19	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
24	0.00E+00	1.96E-06	1.79E-10	7.72E-14	-4.13E-17	2.58E-20	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
25	0.00E+00	-1.68E-06	2.39E-10	-2.18E-13	6.00E-17	-1.67E-20	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
31	0.00E+00	1.48E-07	3.92E-11	7.68E-15	-3.88E-19	5.62E-23	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
34	0.00E+00	3.10E-07	1.04E-10	2.08E-14	-4.65E-18	1.54E-21	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
41	0.00E+00	-2.40E-08	-3.46E-13	1.26E-16	-6.80E-21	1.03E-25	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

10

【0054】

【表4】

	実施例1	実施例2	実施例3
第1結像光学系の焦点距離(f1)	84.676	90.963	86.294
第1結像光学系のパワー(ϕ1)	0.01181	0.010993	0.011588
第2結像光学系の焦点距離(f2)	398.926	357.413	657.569
第2結像光学系のパワー(ϕ2)	0.002507	0.002798	0.001521
第1の光学素子M1の反射面の近軸曲率半径(MIR)	337.13	390.58	461.73
第1の光学素子M1の材料のアッペ数(ν1)	25.43	25.43	58.77
負レンズL1の物体側面の近軸曲率半径(Rn1)	-120.718	-119.758	-106.198
負レンズL1の物体側面の近軸曲率(c1)	-0.00828	-0.00835	-0.00942
負レンズL1の像側面の近軸曲率半径(Rn2)	-213.766	-241.631	-197.766
負レンズL1の像側面の近軸曲率(c2)	-0.00468	-0.00414	-0.00506
負レンズL1の材料の屈折率(n)	1.5237	1.5087	1.6541
負レンズL1の材料のアッペ数(νn)	60.1	56.98	56.52
負レンズL1の焦点距離	-548.227	-478.688	-364.813
負レンズL1のパワー(ϕn)	-0.00182	-0.00209	-0.00274
第2の光学素子M2の反射面の近軸曲率半径(M2R)	-152.435	-163.276	-152.173
第2の光学素子M2の反射面の近軸曲率(c3)	-0.00656	-0.00612	-0.00657
第2の光学素子M2の材料のアッペ数(ν2)	35.83	48.08	40.34
M1～L1の距離(t1)	65.1793	81.2864	79.6399
L1～M2の距離(t2)	8.8236	6.5388	2
c1-c3	-0.00172	-0.00223	-0.00284
ABS(c1-c3)	0.001724	0.002226	0.002845
c1-c2	-0.00361	-0.00421	-0.00436
ABS(c1-c2)	0.003606	0.004212	0.00436
ABS(c1-c2)+ABS(c1-c3)	0.005329	0.006437	0.007205

20

【0055】

30

【表5】

条件式	実施例		
	1	2	3
(1) $ \phi_n / \phi_1 $	0.154	0.190	0.236
(2) $R_1 n / R_2 n$	0.5647	0.4956	0.5369
(3) $M_1 R / M_2 R$	-2.21	-2.392	-3.034
(4) t_1 / f_1	0.770	0.894	0.923
(5) t_2 / t_1	0.135	0.080	0.025
(6) v_1 / v_2	0.710	0.529	1.457
(7) v_2 / v_n	0.596	0.8438	0.7137
(8) n	1.5237	1.5087	1.6541
(9) r_1 / r_2	0.900	0.903	0.412
(10) ϕ_2 / ϕ_1	0.212	0.255	0.131

【符号の説明】

【0056】

101 光源 102 照明光学系 103 試料 104 結像光学系

105 撮像素子 IM 中間像 AX 光軸

G1 第1結像光学系

G2 第2結像光学系 FL フィールドレンズ群

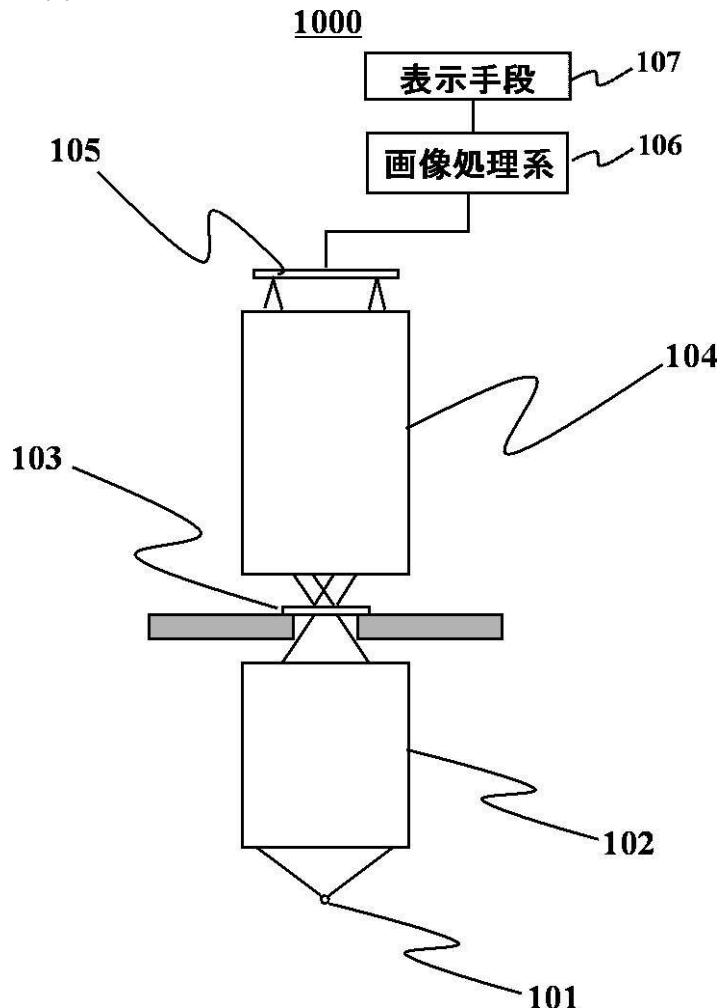
L1 負レンズ

M1、M2 マンジャンミラー

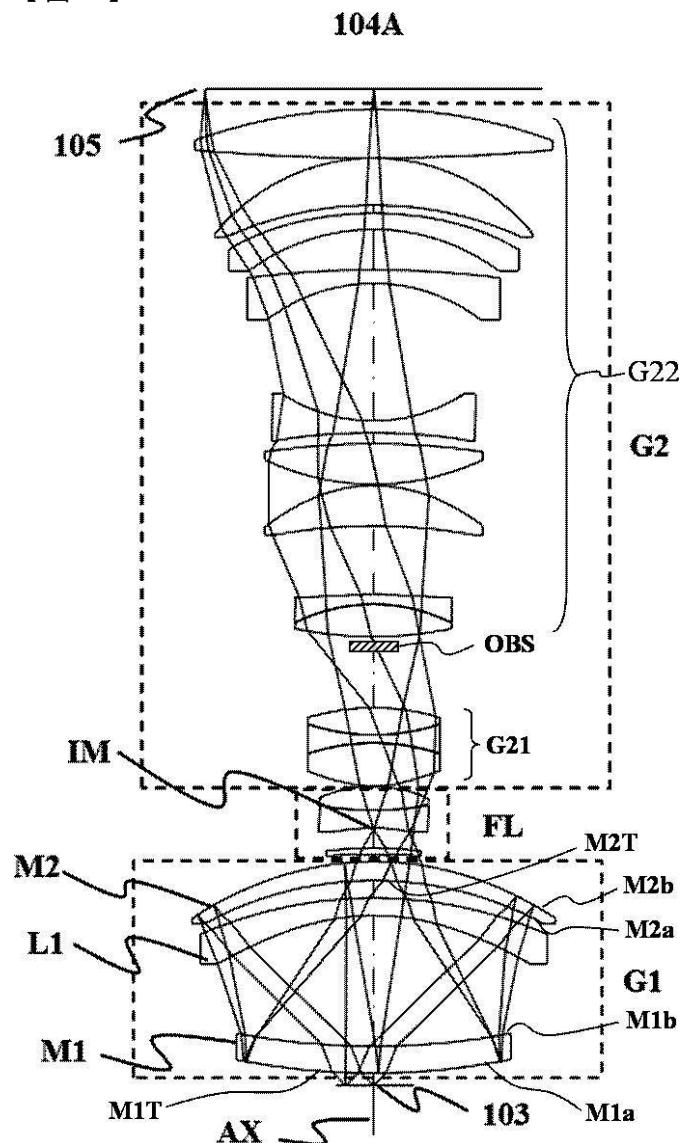
10

20

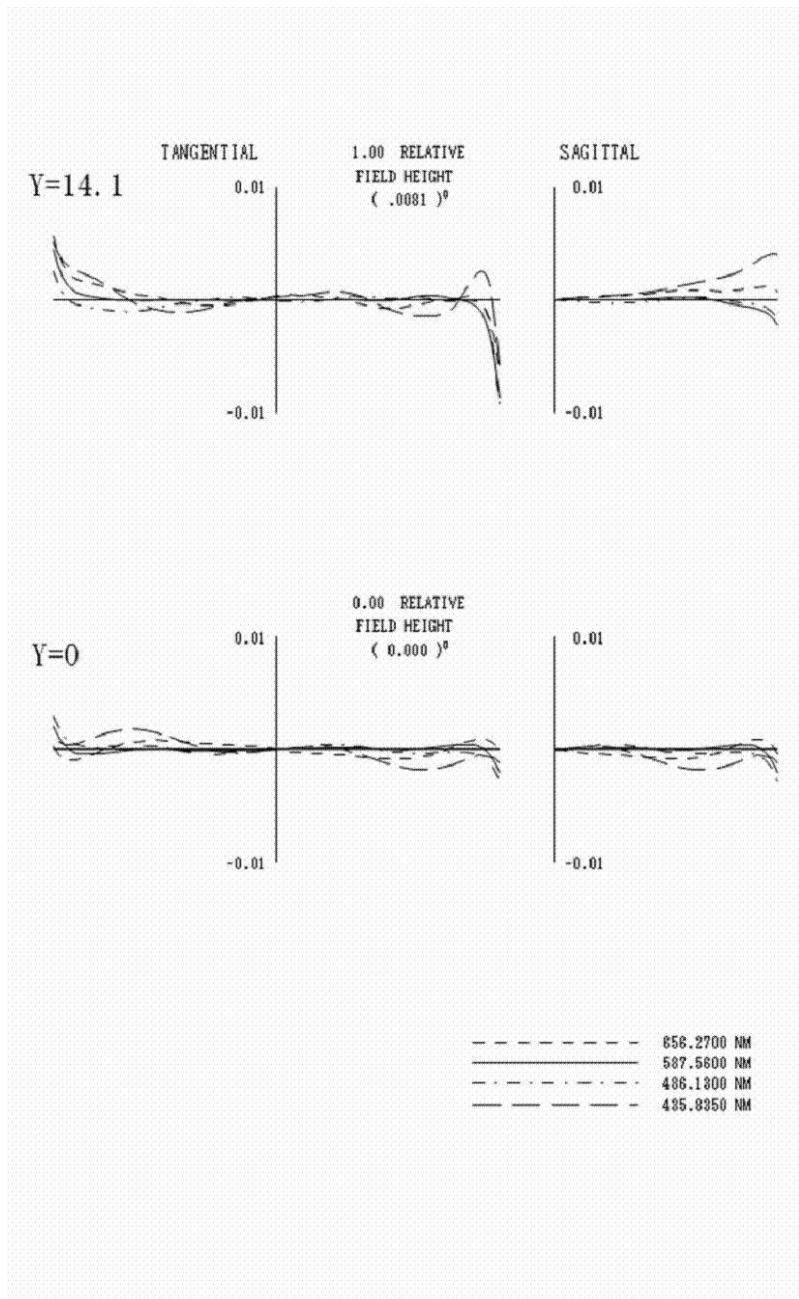
【図1】



【図2】

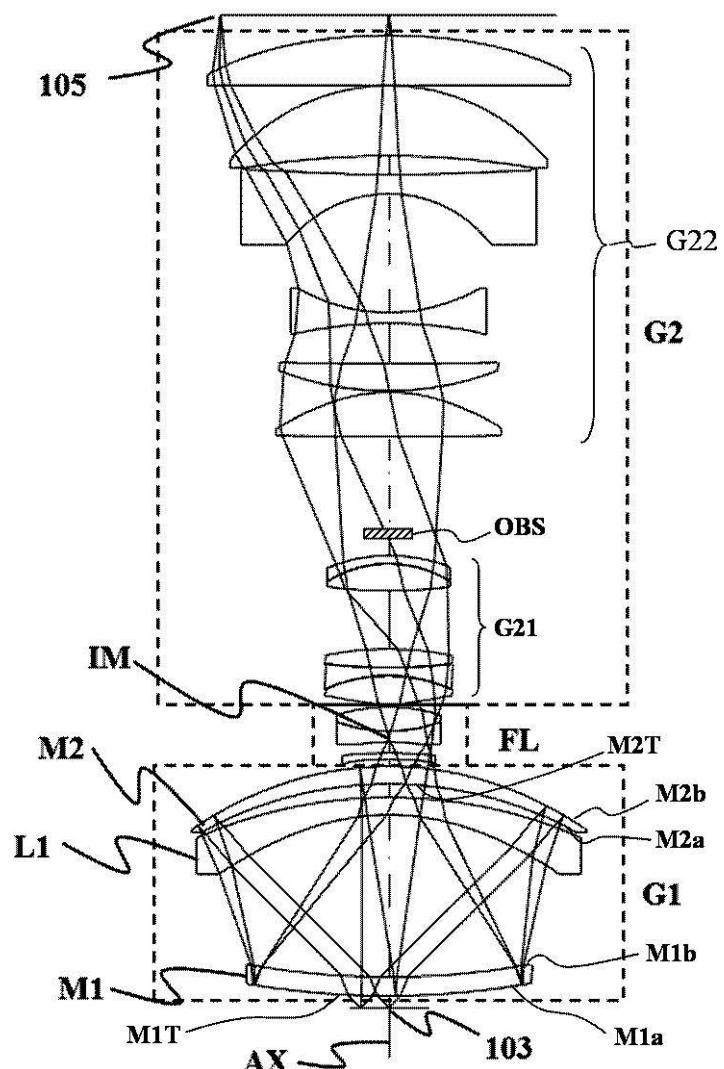


【図3】

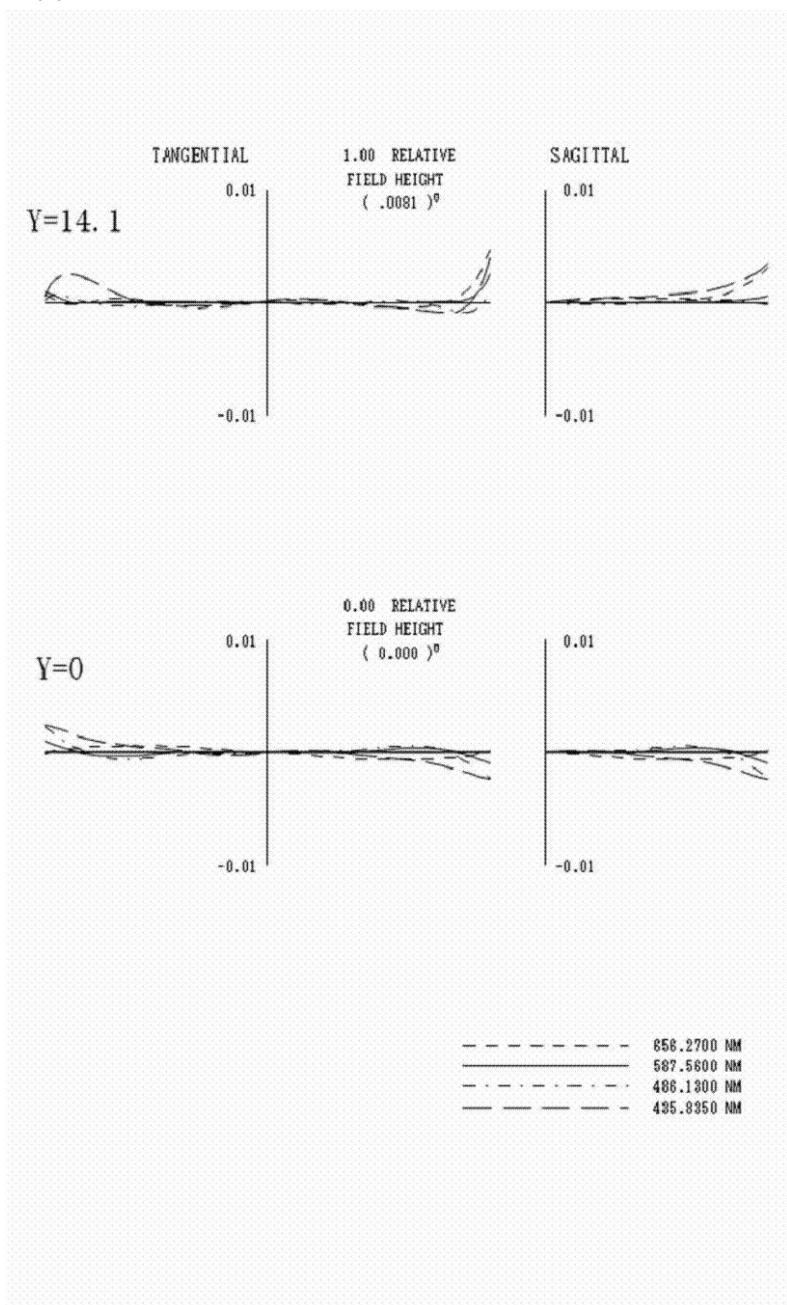


【図4】

104B

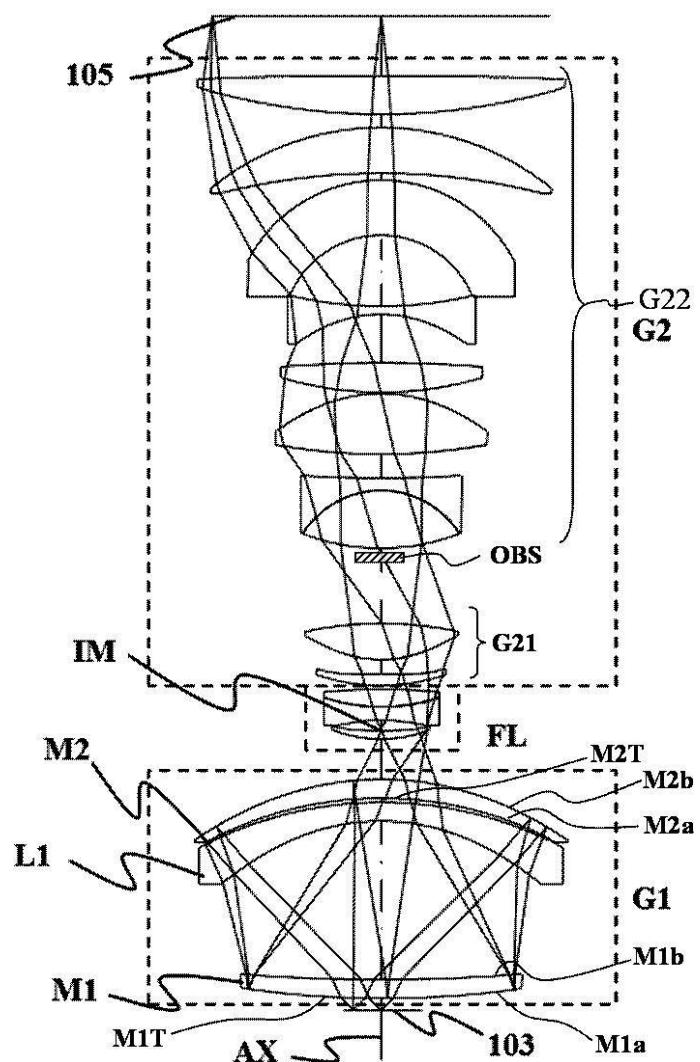


【図5】

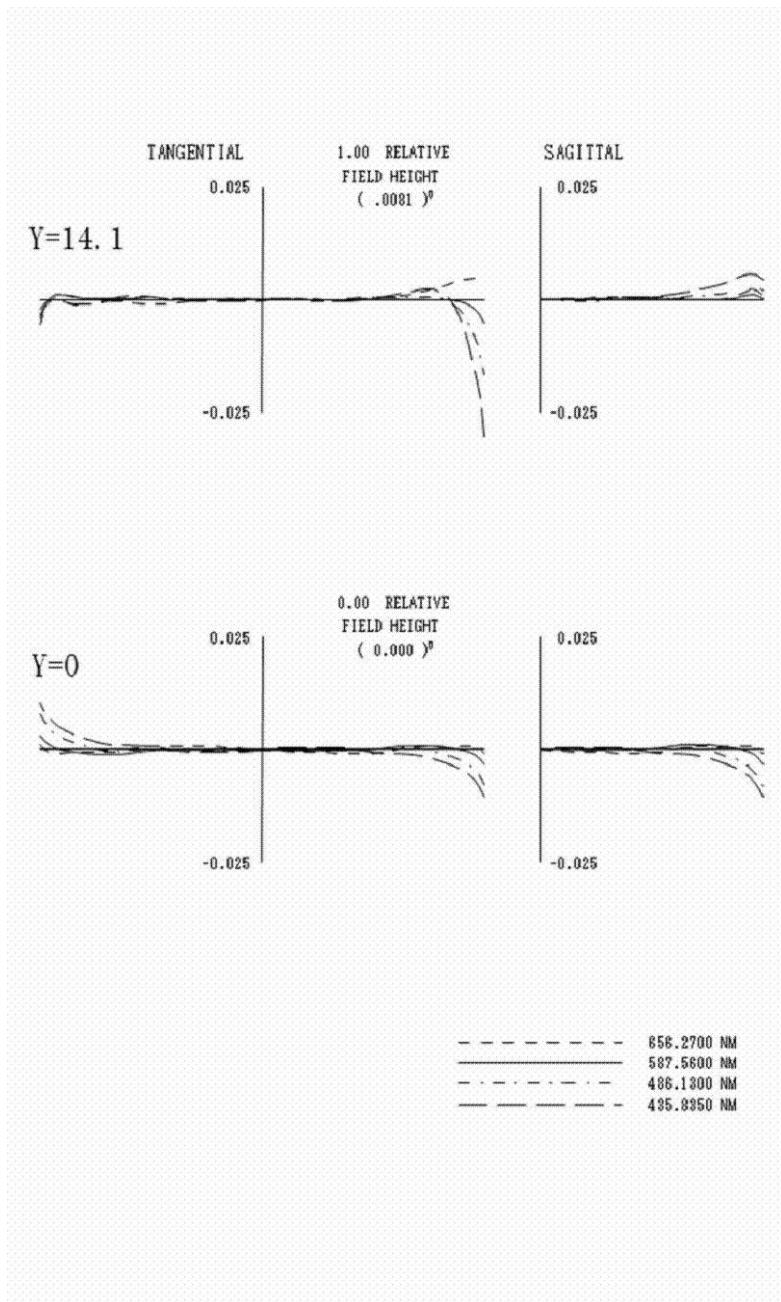


【図6】

104C



【図7】



フロントページの続き

(56)参考文献 米国特許出願公開第2007/0171547(US,A1)

特表2011-525995(JP,A)

特表2008-537164(JP,A)

特表2008-545165(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 17/08

G02B 21/02

G02B 21/00