

(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2015-36706

(P2015-36706A)

(43) 公開日 平成27年2月23日(2015.2.23)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G O 2 B 17/08 (2006.01)	G O 2 B 17/08 A	2 H 0 5 2
G O 2 B 13/18 (2006.01)	G O 2 B 13/18	2 H 0 8 7
G O 2 B 21/00 (2006.01)	G O 2 B 21/00	5 F 1 4 6
H O 1 L 21/027 (2006.01)	H O 1 L 21/30 5 1 5 D	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2013-167376 (P2013-167376)	(71) 出願人	000001007
(22) 出願日	平成25年8月12日 (2013.8.12)		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	梶山 和彦
			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
		Fターム(参考)	2H052 AB06 AC19
			2H087 KA09 KA21 LA01 NA02 RA05
			RA12 RA13 RA32 TA01 TA04
			TA06
			5F146 CB12

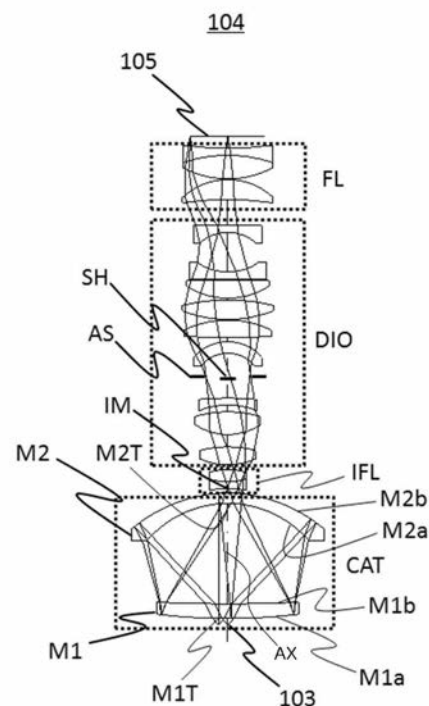
(54) 【発明の名称】 撮像装置

(57) 【要約】

【課題】 可視光全域に渡って諸収差が良好に補正され、広い撮像領域に渡って高い解像力を持ちテレセントリック性の良い反射屈折光学系を得ること。

【解決手段】 反射屈折光学系と撮像素子とを有する撮像装置であり、反射屈折光学系は物体からの光束を集光して物体の中間像を形成する反射屈折部と、中間像を像面に結像する屈折部と、反射屈折部と屈折部との間に配置され、反射屈折部からの光束を屈折部へ導光する中間フィールドレンズと、屈折部と像面との間に配置され、屈折部からの光束を像側に導光する像側フィールドレンズとを備え、中間フィールドレンズと像側フィールドレンズは正と負のレンズを有しており、中間フィールドレンズの隣接する正レンズと負レンズとの対向するレンズ面と像側フィールドレンズの隣接する正レンズと負レンズとの対向するレンズ面のそれぞれにおいて、軸上光束と最軸外光束とが互いに異なった領域を通過すること。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

物体を結像する反射屈折光学系と、該反射屈折光学系によって形成された前記物体の像を光電変換する撮像素子と、を有する撮像装置であって、

前記反射屈折光学系は、前記物体からの光束を集光して前記物体の中間像を形成する反射屈折部と、前記中間像を像面に結像する屈折部と、前記反射屈折部と前記屈折部との間に配置され、前記反射屈折部からの光束を前記屈折部へ導光する中間フィールドレンズと、前記屈折部と像面との間に配置され、前記屈折部からの光束を像側に導光する像側フィールドレンズと、を備え、

前記中間フィールドレンズ及び前記像側フィールドレンズのそれぞれは、正レンズと負レンズとを有しており、

前記中間フィールドレンズの隣接する正レンズ I F L p 1 と負レンズ I F L n 1 との対向するレンズ面、及び前記像側フィールドレンズの隣接する正レンズ F L p 1 と負レンズ F L n 1 との対向するレンズ面、のそれぞれにおいて、前記物体からの軸上光束と最軸外光束とが互いに異なった領域を通過することを特徴とする撮像装置。

【請求項 2】

前記正レンズ I F L p 1 と前記負レンズ I F L n 1 の材料のアッベ数を各々 I F L p 1、I F L n 1、前記正レンズ F L p 1 と前記負レンズ F L n 1 の材料のアッベ数を各々 F L p 1、F L n 1 とするとき、

$$20 < I F L p 1 - I F L n 1$$

$$20 < F L p 1 - F L n 1$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 の撮像装置。

【請求項 3】

前記正レンズ I F L p 1 と前記負レンズ I F L n 1 の対向するレンズ面の曲率半径を各々 R I F L p 1、R I F L n 1、前記正レンズ F L p 1 と前記負レンズ F L n 1 の対向するレンズ面の曲率半径を各々 R F L p 1、R F L n 1 とするとき、

$$0.5 < R I F L p 1 / R I F L n 1 < 2.0$$

$$0.5 < R F L p 1 / R F L n 1 < 2.0$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 又は 2 の撮像装置。

【請求項 4】

前記反射屈折部は物体側から像側へ順に、物体側の面が凸形状で光軸周辺が正の屈折力の光透過部、該光透過部よりも外周側の周辺部のうち物体側の面に反射膜を施し、裏面反射部とした第 1 の光学素子と、物体側に凹面を向け、メニスカス形状で光軸周辺が負の屈折力の光透過部、該光透過部よりも外周側の周辺部のうち像側の面に反射膜を施し、裏面反射部とした第 2 の光学素子を有し、前記第 1 の光学素子と前記第 2 の光学素子は互いに前記裏面反射部が対向するように配置されており、

前記物体からの光束は順に、前記第 1 の光学素子の光透過部、前記第 2 の光学素子の裏面反射部、前記第 1 の光学素子の裏面反射部、前記第 2 の光学素子の光透過部を通過して、前記中間フィールドレンズの方へ出射することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の撮像装置。

【請求項 5】

光源手段と、前記光源手段からの光束で物体を照明する照明光学系と、前記反射屈折光学系によって結像された物体の像を光電変換する前記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請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項の撮像装置。

【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撮像装置に関するものである。

【背景技術】

【 0 0 0 2 】

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。

【 0 0 0 3 】

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。

【 0 0 0 4 】

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てい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。また撮像する病理標本及び撮像素子の光軸方向の位置誤差に因る画像データへの解析の誤差（倍率変化等）を低減するためには、物体側と像側の両側でテレセントリック性の良い光学系であることが要望されている。

【 0 0 0 5 】

従来、集積回路やフォトマスクに存在するゴミ等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用カタディオプトリック光学系が知られている（特許文献1）。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2）。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 6 】

【 特許文献 1 】 特表 2 0 0 7 - 5 1 4 1 7 9

【 特許文献 2 】 国際公開第 0 0 / 0 3 9 6 2 3 号

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 7 】

一般に、バーチャル顕微鏡用の撮像光学系では広い視野領域にわたり、球面収差、コマ収差、非点収差等の諸収差が良好に補正され高い光学性能を有することが求められている。また物体側と像側においてテレセントリック性の良いことが求められている。例えば、狭い撮像領域の場合は瞳の収差が小さく、波長毎のテレセントリック性の違いはあまり問題にならない。しかしながら広い撮像領域を持った光学系では、瞳の収差が大きくなるため波長毎にテレセントリック性が異なってくるという場合がある。

【 0 0 0 8 】

また波長毎のテレセントリック性が異なり撮像面（像面）へ入射する角度が波長毎に異なってくると、撮像素子側でフォーカスを合わせるとき、倍率色収差が生じてくる。また、広い撮像領域を持った光学系で撮像する際に、複数の撮像素子を並列に配置して複数回撮像することで1枚の画像データを取得する場合がある。このとき、波長毎にテレセントリック性が異なってくると、個々の撮像素子の配置精度が厳しくなってくる。

【 0 0 0 9 】

特許文献1に開示されているカタディオプトリック結像系は可視光全域に渡って諸収差を良好に低減し、高い解像力を持っているものの観察領域の大きさが必ずしも十分でない。特許文献2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ものの、諸収差の補正やテレセントリック性を良好に維持している波長領域の広さ

10

20

30

40

50

が必ずしも十分でない。

【 0 0 1 0 】

本発明は、可視光全域に渡って諸収差が良好に補正され、かつ広い撮像領域に渡って高い解像力を持ちテレセントリック性の良い反射屈折光学系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】

【 0 0 1 1 】

本発明の撮像装置は、物体を結像する反射屈折光学系と、該反射屈折光学系によって形成された前記物体の像を光電変換する撮像素子と、を有する撮像装置であって、前記反射屈折光学系は、前記物体からの光束を集光して前記物体の中間像を形成する反射屈折部と、前記中間像を像面に結像する屈折部と、前記反射屈折部と前記屈折部との間に配置され、前記反射屈折部からの光束を前記屈折部へ導光する中間フィールドレンズと、前記屈折部と像面との間に配置され、前記屈折部からの光束を像側に導光する像側フィールドレンズと、を備え、前記中間フィールドレンズ及び前記像側フィールドレンズのそれぞれは、正レンズと負レンズとを有しており、前記中間フィールドレンズの隣接する正レンズ $IFLp1$ と負レンズ $IFLn1$ との対向するレンズ面、及び前記像側フィールドレンズの隣接する正レンズ $FLp1$ と負レンズ $FLn1$ との対向するレンズ面、のそれぞれにおいて、前記物体からの軸上光束と最軸外光束とが互いに異なった領域を通過することを特徴としている。

10

【発明の効果】

20

【 0 0 1 2 】

本発明によれば、可視光全域に渡って諸収差が良好に補正され、かつ広い撮像領域に渡って高い解像力を持ちテレセントリック性の良い反射屈折光学系が得られる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 3 】

【図 1】本発明の撮像装置の構成を示す概略断面図である。

【図 2】本発明に係る反射屈折光学系の実施例 1 の要部概略図である。

【図 3】本発明に係る反射屈折光学系の実施例 1 のフィールドレンズの概略図である。

【図 4】本発明に係る反射屈折光学系の実施例 1 の横収差図である。

【図 5】本発明に係る反射屈折光学系の実施例 2 の要部概略図である。

30

【図 6】本発明に係る反射屈折光学系の実施例 2 のフィールドレンズの概略図である。

【図 7】本発明に係る反射屈折光学系の実施例 2 の横収差図である。

【図 8】本発明に係る反射屈折光学系の実施例 3 の要部概略図である。

【図 9】本発明フィールドレンズ部の概略図である。

【図 10】本発明に係る反射屈折光学系の実施例 3 の横収差図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 4 】

以下、本発明の反射屈折光学系及びそれを有する撮像装置について説明する。本発明の撮像装置は、物体を結像する反射屈折光学系と、反射屈折光学系によって形成された物体の像を光電変換する撮像素子と、を有する。また、本発明の撮像装置を構成する反射屈折光学系は、物体からの光束を集光して物体の中間像を形成する反射屈折部と、中間像が形成されている位置又はその近傍に配置された中間フィールドレンズ部とを有している。

40

【 0 0 1 5 】

更に中間像を像面（撮像素子）に結像する屈折部と、屈折部からの光束を像側へ導光する像側フィールドレンズと、を備えている。中間フィールドレンズ及び像側フィールドレンズのそれぞれは正レンズと負レンズとを有している。

【 0 0 1 6 】

図 1 は本発明の撮像装置の要部概略図である。図 2 は本発明の撮像装置を構成する反射屈折光学系の実施例 1 の要部概略図である。図 3（A）、（B）は本発明に係る反射屈折光学系の実施例 1 の一部分の中間フィールドレンズと像側フィールドレンズの要部概略図

50

である。図 4 は本発明に係る反射屈折光学系の実施例 1 の横収差図である。

【 0 0 1 7 】

図 5 は本発明の撮像装置を構成する反射屈折光学系の実施例 2 の要部概略図である。図 6 (A) , (B) は各々本発明に係る反射屈折光学系の実施例 2 の一部分の中間フィールドレンズと像側フィールドレンズの要部概略図である。図 7 は本発明に係る反射屈折光学系の実施例 2 の横収差図である。

【 0 0 1 8 】

図 8 は本発明の撮像装置を構成する反射屈折光学系の実施例 3 の要部概略図である。図 9 (A) , (B) はそれぞれ本発明に係る反射屈折光学系の実施例 3 の一部分の中間フィールドレンズと像側フィールドレンズの要部概略図である。図 1 0 は本発明の反射屈折光学系の実施例 3 の横収差図である。横収差図では試料 (物体) 上で計算し、ミリメートル単位で示している。中心波長 5 8 7 . 6 n m 以外に波長 6 5 6 . 3 n m 、波長 4 8 6 . 1 n m 、波長 4 3 5 . 8 n m についても示した。

【 0 0 1 9 】

以下、図 1 を参照して、本発明の撮像装置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 1 0 0 0 の概略断面図である。撮像装置 1 0 0 0 は、光源 (光源手段) 1 0 1 からの光を照明光学系 1 0 2 によって集光して試料 (物体) 1 0 3 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 4 0 0 n m ~ 波長 7 0 0 n m) が用いられる。結像光学系 1 0 4 は試料 (物体) 1 0 3 の像を撮像素子 1 0 5 上に結像する反射屈折光学系より成っている。

【 0 0 2 0 】

反射屈折光学系 1 0 4 は波長 4 0 0 n m ~ 波長 7 0 0 n m の範囲で収差補正されている。撮像素子 1 0 5 で取得したデータ (画像情報) は、画像処理系 1 0 6 によって画像データを生成し、生成した画像データをディスプレイ (表示手段) 1 0 7 などに表示する。この他、画像処理系 1 0 6 によって処理された画像データを記憶する記憶手段 1 1 0 を有する。画像処理系 1 0 6 では結像光学系 1 0 4 で補正しきれなかった収差を補正する、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するなど用途に応じた処理が行われる。

【 0 0 2 1 】

図 2 , 図 5 , 図 8 の反射屈折光学系 1 0 4 について説明する。各実施例の反射屈折光学系 1 0 4 は反射屈折部 C A T 、中間フィールドレンズ I F L 、屈折部 D I O 、像側フィールドレンズ F L を有する。

【 0 0 2 2 】

反射屈折部 C A T は反射面と屈折面を有し試料 (物体) 1 0 3 からの光束を集光し、所定面に中間像 I M を形成する。中間フィールドレンズ I F L は反射屈折部 C A T からの光束を集光し、後述する屈折部 D I O 方向へ導光する。屈折部 D I O は中間フィールドレンズ I F L からの光束を集光し、像側フィールドレンズ F L に導光する。屈折部 D I O と、像面フィールドレンズ F L によって中間像 I M を撮像素子 (像面) に結像する。

【 0 0 2 3 】

反射屈折部 C A T は物体側から像側へ順に、物体側の面が凸形状で光軸 A X 周辺が正の屈折力の光透過部 M 1 T 、光透過部 M I T より外周側の物体側の面 M 1 a に反射膜 (例えばアルミや銀等) を施している。また裏面反射部 M 1 a とした第 1 の光学素子 (マジシャンミラー) M 1 を有する。

【 0 0 2 4 】

更に、物体側に凹面を向け、メニスカス形状で光軸周辺が負の屈折力の光透過部 M 2 T と光透過部 M 2 T より外周側の周辺部のうち像側の面 M 2 b に反射膜 (アルミや銀等) を施し、裏面反射部 M 2 b とした第 2 の光学素子 (マジシャンミラー) M 2 を有している。第 1 の光学素子 M 1 と第 2 の光学素子 M 2 は互いに裏面反射部 M 1 a , M 2 a が対向するように配置されている。屈折部 D I O は屈折光学素子と、開口絞り A S と、試料 1 0 3 からの光束のうち光軸 A X 近傍の光束を遮光し、撮像素子 1 0 5 に入射するのを防止する遮

10

20

30

40

50

光板 S H を有している。

【 0 0 2 5 】

実施例 1 , 2 では屈折部 D I O は開口絞り A S を有する。開口絞り A S は遮光板 S H 又はその近傍に配置されている。実施例 3 において反射屈折部 C A T は開口絞り A S を有する。

【 0 0 2 6 】

中間フィールドレンズ I F L は正レンズと負レンズを有し、像側フィールドレンズ F L は正レンズと負レンズを有する。中間フィールドレンズ I F L の隣接する正レンズ I F L p 1 と負レンズ I F L n 1 の対向するレンズ面にはそれぞれ物体からの光束であって、軸上光束と最軸外光束が互いに異なった領域を通過する。像側フィールドレンズ F L の隣接する正レンズ F L p 1 と負レンズ F L n 1 の対向するレンズ面にはそれぞれ物体からの光束であって、軸上光束と最軸外光束が互いに異なった領域を通過する。

【 0 0 2 7 】

ここで最軸外光束は撮像素子の有効撮像範囲の光軸から最も遠い位置に入射する光束である。また、中間フィールドレンズ I F L の構成として、図 3 (A) , 図 6 (A) の実施例 1 , 2 では一对の正レンズ I F L p 1 と負レンズ I F L n 1 を貼り合わせレンズで構成している。また図 9 (A) の実施例 3 では一对の正レンズ I F L p 1 と負レンズ I F L n 1 を貼り合わせ接合レンズ、正レンズ I F L p 2 で構成している。

【 0 0 2 8 】

各実施例において、正レンズ I F L p 1 と負レンズ I F L n 1 の隣接する面 (対向する面) は、貼りあわせ面 (接合レンズ面) I F L S p n である。この貼り合わせ面 I F L S p n には軸上光束 L a 1 の通過領域と最軸外光束 L a 2 の通過領域が重ならないように構成されている。即ち貼り合わせ面 I F L S p n の異なった領域を通過する。像側フィールドレンズ F L は図 3 (B) の実施例 1 では正レンズ F L p 2 、正レンズ F L p 1 と負レンズ F L n 1 を貼り合わせた接合レンズで構成している。

【 0 0 2 9 】

図 6 (B) の実施例 2 では負レンズ F L n 1 、正レンズ F L p 1 、正レンズ F L 2 p で構成している。図 9 (B) の実施例では負レンズ F L n 2 、負レンズ F L n 1 と正レンズ F L p 1 とを貼り合わせた接合レンズ、正レンズ F L p 2 、正レンズ F L p 3 で構成している。そして各実施例において隣接する正レンズ F L p 1 と負レンズ F L n 1 の隣接する面 (対向する面) 、図 3 (B) 、図 9 (B) では接合レンズ面 F L S p n には軸上光束 L a 1 の通過領域と最軸外光束 L a 2 の通過領域が重ならないように構成されている。

【 0 0 3 0 】

図 6 (B) ではレンズ面 F L S n とレンズ面 F L S p には軸上光束 L a 1 の通過領域と最軸外光束 L a 2 の通過領域が重ならないように構成されている。各実施例の反射屈折光学系 1 0 4 では、照明光学系 1 0 2 からの光束で照明され、試料 1 0 3 から出射した光束は第 1 の光学素子 (マンジャンミラー) M 1 の中央領域の透過部 M 1 T を通過する。その後、第 2 の光学素子 (マンジャンミラー) M 2 の屈折面 M 2 a に入射し、その後、裏面反射部 M 2 b で反射し、屈折面 M 2 a を通過して第 1 の光学素子 M 1 の屈折面 M 1 b に入射する。その後、第 1 の光学素子 M 1 の裏面反射部 M 1 a で反射する。

【 0 0 3 1 】

そして第 1 の光学素子 M 1 の屈折面 M 1 b を通過し、第 2 の光学素子 M 2 の中央領域の透過部 M 2 T を通過して中間フィールドレンズ I F L 側へ出射して試料 1 0 3 の中間像 I M を形成する。中間像 I M は少なくとも一对の正レンズと負レンズを含む中間像フィールドレンズ I F L のレンズ内部又はその近傍に形成されている。中間像 I M は複数の屈折光学素子を含む屈折部 D I O で集光された後に、少なくとも一对の正レンズと負レンズを含む像側フィールドレンズ F L を介して撮像素子 1 0 5 上に拡大結像される。

【 0 0 3 2 】

撮像素子 1 0 5 に結像された試料 1 0 3 の像は画像処理系 1 0 6 によって処理されて、表示手段 1 0 7 に表示される。各実施例において中間フィールドレンズ I F L と像側フィ

10

20

30

40

50

ールドレンズFLは、それぞれ少なくとも一对の光軸方向に隣接した正レンズと負レンズを含んでいる。そして各フィールドレンズの一对の正レンズと負レンズの対向するレンズ面には、軸上光束と最軸外光束が互いに異なった領域を通過するように構成されている。

【0033】

このような構成とすることで、中間フィールドレンズIFLでは色の高次収差を軸外まで補正し、像側フィールドレンズFLでは色毎のテレセントリック性を軸外まで高めている。その結果、可視光全域に渡って諸収差を良好に補正しつつテレセントリック性を維持して、高い解像力と広い撮像領域を持つ反射屈折光学系を達成している。

【0034】

各実施例では2つのマンジャンミラーより成る第1の光学素子M1の裏面反射面M1aと、第2の光学素子M2の裏面反射面M2bを正の屈折力の反射面とし、かつ非球面形状とすることによって色収差を発生することなく球面収差等の諸収差を良好に補正している。また第2の光学素子M2の屈折面M2aに強い発散作用（負の屈折力）を持たせることによって以下に示すような効果を得ている。

【0035】

集光作用をする第1の光学素子M1の中心付近の光透過部MITを相対的に小さくすることができる。反射屈折部CATと屈折部DIOの軸上色収差を相殺することができるため、屈折部DIOの正レンズのパワー（正レンズの屈折力）を強くすることができ、レンズ全長（第1レンズ面から像面までの長さ）の短縮が容易になる。

【0036】

このとき、前述のように中間フィールドレンズIFLと像側フィールドレンズFLに一对の隣接した正レンズと負レンズを配置し、正レンズと負レンズの隣接したレンズ面には軸上光束の通過領域と最軸外光束の通過領域が重ならないように構成している。これにより、広い領域に渡って高い解像力を持ちながら、可視光全域に渡って諸収差を良好に補正し、かつテレセントリック性を良好に維持している。尚、各実施例において反射屈折光学系104は少なくとも波長400～波長700nmで収差が補正されている。

【0037】

各実施例において、正レンズIFLp1と負レンズIFLn1の材料のアップ数を各々IFLp1、IFLn1とする。正レンズFLp1と負レンズFLn1の材料のアップ数をFLp1、FLn1とする。このとき、

$$20 < \text{IFLp1} - \text{IFLn1} \quad \dots (1a)$$

$$20 < \text{FLp1} - \text{FLn1} \quad \dots (1b)$$

なる条件式を満足するのが良い。

【0038】

条件式(1a)、(1b)は可視光領域にわたり高い光学性能を得るためのものである。条件式(1a)、(1b)を外れるとフィールドレンズを構成する正レンズと負レンズのレンズ面の曲率半径が小さくなり、レンズの製造が困難になる。また広い撮像領域に渡って高い解像力を持ちながら可視光全域にわたって諸収差やテレセントリック性を良好に維持し、高い光学性能を得るのが困難になる。更に好ましくは条件式(1a)、(1b)の数値を次の如く設定するのが良い。

【0039】

$$30 < \text{IFLp1} - \text{IFLn1} \quad \dots (1aa)$$

$$30 < \text{FLp1} - \text{FLn1} \quad \dots (1bb)$$

また各実施例において、正レンズIFLp1と負レンズIFLn1の対向するレンズ面の曲率半径を各々RIFLp1、RIFLn1とする。正レンズFLp1と負レンズFLn1の対向するレンズ面の曲率半径を各々RFLp1、RFLn1とする。

【0040】

このとき、

$$0.5 < \text{RIFLp1} / \text{RIFLn1} < 2.0 \quad \dots (2a)$$

$$0.5 < \text{RFLp1} / \text{RFLn1} < 2.0 \quad \dots (2b)$$

なる条件式を満足するのが良い。

【0041】

条件式(2a), (2b)は色収差や色毎のテレセントリック性を良好に維持するためのものである。条件式(2a), (2b)を外れると色収差や色毎のテレセントリック性を維持することが困難になるので良くない。更に好ましくは条件式(2a), (2b)の数値を次の如く設定するのが良い。

【0042】

$$0.75 < RIFLp1 / RIFLn1 < 1.60 \quad \dots (2aa)$$

$$0.75 < RFLp1 / RFLn1 < 1.60 \quad \dots (2bb)$$

次に各実施例の特徴について説明する。

10

【0043】

[実施例1]

実施例1では中間フィールドレンズIFLに含まれ隣接する一对の正レンズIFLp1と負レンズIFLn1を貼り合わせた接合レンズで構成することによって条件式(2)を満たしている。そして可視光全域に渡って諸収差を良好に補正しつつテレセントリック性を良好に維持している。

【0044】

実施例1の反射屈折光学系において、物体側の開口数NAは0.7であって、結像倍率は4倍、試料103の物体高は7mmである。物体側、像側ともテレセントリックに構成されており、色毎のテレセントリック性の違いも0.1度以下に抑えられている。また白色光での波面収差の誤差が100m (rms)以下に抑えられている。

20

【0045】

[実施例2]

実施例2では像面フィールドレンズFLの一对の正レンズFLp1と負レンズFLn1が独立したレンズより構成され、条件式(2)を満たし、可視光全域に渡って諸収差を良好に補正しつつ、テレセントリック性を良好に維持している。

【0046】

実施例2の反射屈折光学系において、物体側の開口数NAは0.7であって、結像倍率は6倍、試料103の物体高は7mmである。物体側、像側ともテレセントリックに構成されており、色毎のテレセントリック性の違いも0.1度以下に抑えられている。また白色光での波面収差の誤差が100m rms以下に抑えられている。

30

【0047】

[実施例3]

実施例3では反射屈折部CAT内に開口絞りASを有する。実施例3の反射屈折光学系において、物体側の開口数NAは0.7であって、結像倍率は10倍、試料103の物体高は7mmである。物体側、像側ともテレセントリックに構成されており、色毎のテレセントリック性の違いも0.1度以下に抑えられている。また白色光での波面収差の誤差が100m (rms)以下に抑えられている。

【0048】

以上、各実施例によれば、可視光全域に渡って諸収差が良好に補正され、かつ広い観察領域に渡って高い解像力を持ち、テレセントリック性の良い反射屈折光学系を有する撮像装置が得られる。

40

【0049】

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、本発明に係る反射屈折光学系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。

以下、各実施例の反射屈折光学系の数値実施例を示す。面番号は物体面(試料面)から像面まで光束の通過順に数えた光学面の順である。rは第i番目の光学面の曲率半径であ

50

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 587.6 nm 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。

【0050】

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・・・は各々、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。

【0051】

【数 1】

10

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

【0052】

「E-X」は「10^{-X}」を意味する。前述した各条件式と数値実施例との関係を表 1 に示す。

【0053】

（数値実施例 1）

面番号	r	d	Nd	d	
物体面		4.548735			20
1	521.4833	10.42778	51.63	64.14	
2	1198.537	71.91445			
3	-83.5906	7.356464	51.63	64.14	
4	-113.055	-7.35646	51.63	64.14	
5	-83.5906	-71.9145			
6	1198.537	-10.4278	51.63	64.14	
7	521.4833	10.42778	51.63	64.14	
8	1198.537	71.91445			
9	-83.5906	7.356464	51.63	64.14	30
10	-113.055	3.040876			
11	-188.33	5.071829	1.75	33.92	
12	46.25732	8.776166	1.49	69.93	
13	-51.379	3.457397			
14	53.63198	12.82361	1.51	67.62	
15	-88.3458	8.879021			
16	46.17255	16.25461	1.71	47.59	
17	-93.1165	4.722488			
18	-70.4565	5	1.75	29.11	
19	-275.968	32.3078			40
20	-26.5533	8.205358	1.76	27.58	
21	-35.4804	1.414069			
22	1.00E+18	1.418539			
23	393.1702	12.66315	1.63	50.26	
24	-78.9729	0.5			
25	98.36622	13.97233	1.57	63.39	
26	-141.89	1.256678			
27	60.3378	13.11688	1.75	31.20	
28	-994.544	0.588979			
29	-1169.76	5.103376	1.75	31.58	50

30	48.46664	28.35765		
31	-33.1409	5	1.61	37.27
32	831.641	18.72344		
33	-153.464	14.11247	1.64	56.87
34	-51.9262	0.5		
35	74.56586	16.86557	1.62	59.56
36	-112.85	5	1.68	31.60
37	211.6056	8.620272		

像面

10

非球面係数

面番号

1,7	k= 0.00E+00	a= 4.09E-08	b=-1.52E-12	c= 6.23E-16	d=-8.34E-20	e= 1.82E-23	f=-2.67E-27	g= 2.45E-31
4,10	k= 0.00E+00	a= 1.46E-08	b= 1.60E-12	c= 1.46E-16	d= 9.29E-21	e= 1.76E-24	f=-1.12E-28	g=2.25E-32
18	k= 0.00E+00	a=-2.16E-06	b=-7.96E-10	c=-3.84E-13	d= 2.64E-15	e=-1.54E-18	f= 0.00E+00	g= 0.00E+00
20	k= 0.00E+00	a=1.23E-06	b= 7.11E-10	c= 1.86E-12	d=-8.69E-17	e= 3.07E-18	f=0.00E+00	g= 0.00E+00
26	k= 0.00E+00	a=-3.90E-07	b= 1.09E-09	c=-6.44E-13	d= 2.00E-16	e=-1.76E-20	f=-5.33E-24	g= 0.00E+00
30	k= 0.00E+00	a= 4.16E-06	b=-1.09E-09	c= 1.07E-12	d= 1.99E-15	e=-3.41E-18	f= 3.59E-21	g= 0.00E+00
33	k= 0.00E+00	a= 1.06E-06	b= 2.45E-11	c=-2.07E-13	d= 1.67E-16	e=-2.89E-19	f= 2.79E-22	g=-9.41E-26

20

【 0 0 5 4 】

(数值实施例 2)

面番号	r	d	Nd	d
物体面		4.48267		
1	542.9976	11.19734	51.63	64.14
2	2581.476	65.2412		
3	-78.3122	6.866609	51.63	64.14
4	-105.393	-6.86661	51.63	64.14
5	-78.3122	-65.2412		
6	2581.476	-11.1973	51.63	64.14
7	542.9976	11.19734	51.63	64.14
8	2581.476	65.2412		
9	-78.3122	6.866609	51.63	64.14
10	-105.393	3		
11	-345.367	7.270176	62.16	60.09
12	-29.029	5 64.90	33.69	
13	-53.1824	5.505975		
14	109.6718	7.953115	52.54	66.65
15	-84.7588	3.773701		
16	44.03214	13.62125	62.04	60.32
17	-49.3515	0.5		
18	-103.894	5	75.52	27.61
19	54.02885	13.6406		

30

40

50

20	1.00E+18	5.04281		
21	-267.232	10.26275	72.33	46.56
22	-42.1763	36.68524		
23	-423.35	13.42666	68.89	50.00
24	-49.4215	0.5		
25	52.28456	11.52281	74.32	44.91
26	169.025	5.173315		
27	309.7103	5 62.04	36.41	
28	34.16828	19.8749		
29	-90.3918	5 49.30	67.13	
30	255.7377	24.8303		
31	-32.7311	5 75.52	27.58	
32	-111.168	3		
33	-169.118	21.35711	48.75	70.41
34	-45.75	0.5		
35	223.8303	22.31531	48.75	70.41
36	-105.607	7.607199		

像面

非球面系数

面番号

1,7	k= 0.00E+00 a= 3.14E-08 b= 1.96E-12 c= 1.50E-16 d= 5.69E-20 e=-2.37E-23 f= 7.70E-27 g=-8.12E-31	
4,10	k= 0.00E+00 a= 1.38E-08 b= 1.78E-12 c= 2.01E-16 d= 1.35E-20 e= 4.44E-24 f=-4.21E-28 g= 7.91E-32	
18	k= 0.00E+00 a=-6.51E-06 b=-1.70E-09 c=-8.36E-14 d= 1.70E-15 e=-2.18E-19 f=-6.56E-26 g= 0.00E+00	
24	k= 0.00E+00 a= 1.25E-06 b= 3.16E-10 c=-2.82E-14 d= 8.91E-17 e=-4.39E-20 f= 1.75E-23 g= 0.00E+00	
28	k= 0.00E+00 a= 1.16E-06 b= 6.87E-10 c= 9.91E-13 d= 2.63E-15 e=-4.56E-18 f= 7.65E-21 g= 0.00E+00	
36	k= 0.00E+00 a=-1.00E-06 b= 8.32E-10 c=-6.76E-13 d= 4.24E-16 e=-1.75E-19 f= 4.18E-23 g=-4.30E-27	

【 0 0 5 5 】

(数值实施例 3)

面番号	r	d	Nd	d
物体面		5		
1	573.0926	11.40932	51.63	64.14
2	-3916.13	70.74034		
3	-84.6952	7.289476	51.63	64.14
4	-116.031	-7.28948	51.63	64.14
5	-84.6952	-70.7403		
6	-3916.13	-11.4093	51.63	64.14
7	573.0926	11.40932	51.63	64.14
8	-3916.13	70.74034		
9	-84.6952	7.289476	51.63	64.14
10	-116.031	5.015545		
11	-39.4543	6.889033	62.041	60.32
12	-22.7623	5	74.8912	35.10

10

20

30

40

50

13	-39.3312	0.5		
14	47.78814	8.078701	60.0126	61.41
15	-62.9182	16.40919		
16	35.92122	11.52923	48.8481	69.79
17	-94.357	21.4421		
18	-23.8795	5	75.3962	28.79
19	-60.9281	2.862957		
20	1.00E+18	1.530541		
21	274.0142	14.04267	62.8709	58.71
22	-64.1201	0.887846		
23	225.4758	12.80297	68.9493	49.93
24	-61.4939	0.5		
25	51.8838	18.06069	75.1356	31.72
26	52.2339	44.74289		
27	-34.9243	5	62.3385	59.73
28	785.4749	45.64548		
29	-75.6302	5	75.5201	27.58
30	-637.205	27.00348	62.041	60.32
31	-78.0391	0.5		
32	-294.153	20.8202	48.749	70.41
33	-108.5	0.5		
34	-572.455	22.79735	48.749	70.41
35	-157.862	3		

10

20

像面

非球面係数

面番号

1,7	k= 0.00E+00	a= 2.98E-08	b=-2.10E-12	c= 1.35E-15	d=-3.50E-19	e= 6.81E-23	f=-7.53E-27	g= 4.10E-31
4,10	k= 0.00E+00	a= 1.49E-08	b= 1.60E-12	c= 1.31E-16	d= 9.91E-21	e= 1.35E-24	f=-7.86E-29	g= 1.44E-32
14	k= 0.00E+00	a=-4.67E-06	b= 4.21E-09	c=-3.67E-11	d= 1.43E-13	e=-1.87E-16	f=-1.09E-19	g= 0.00E+00
19	k= 0.00E+00	a=-2.20E-06	b=-2.79E-09	c= 1.06E-12	d= 2.33E-16	e=-2.27E-17	f= 1.62E-20	g= 0.00E+00
22	k= 0.00E+00	a=-4.47E-07	b=-1.35E-09	c= 1.09E-12	d= 9.35E-16	e=-3.33E-19	f=-1.97E-23	g= 0.00E+00
24	k= 0.00E+00	a= 2.83E-06	b= 9.48E-10	c=-6.33E-13	d=-4.38E-16	e= 3.52E-19	f=-7.47E-23	g= 0.00E+00
28	k= 0.00E+00	a= 1.99E-06	b=-1.46E-10	c=-3.91E-13	d= 4.92E-17	e= 1.71E-19	f=-1.24E-22	g= 0.00E+00
35	k= 0.00E+00	a=-4.22E-07	b= 1.57E-10	c=-4.70E-14	d= 8.09E-18	e=-7.33E-22	f= 2.31E-26	g= 4.70E-31

30

40

【 0 0 5 6 】

【表 1】

条件式	実 施 例		
	1	2	3
(1 a) $\nu \text{ I F L p } 1 - \nu \text{ I F L n } 1$	36.01	26.4	25.22
(1 b) $\nu \text{ F L p } 1 - \nu \text{ F L n } 1$	27.96	42.83	32.74
(2 a) $\text{R I F L p } 1 / \text{R I F L n } 1$	1	1	1
(2 b) $\text{R F L p } 1 / \text{R F L n } 1$	1	1.52	1

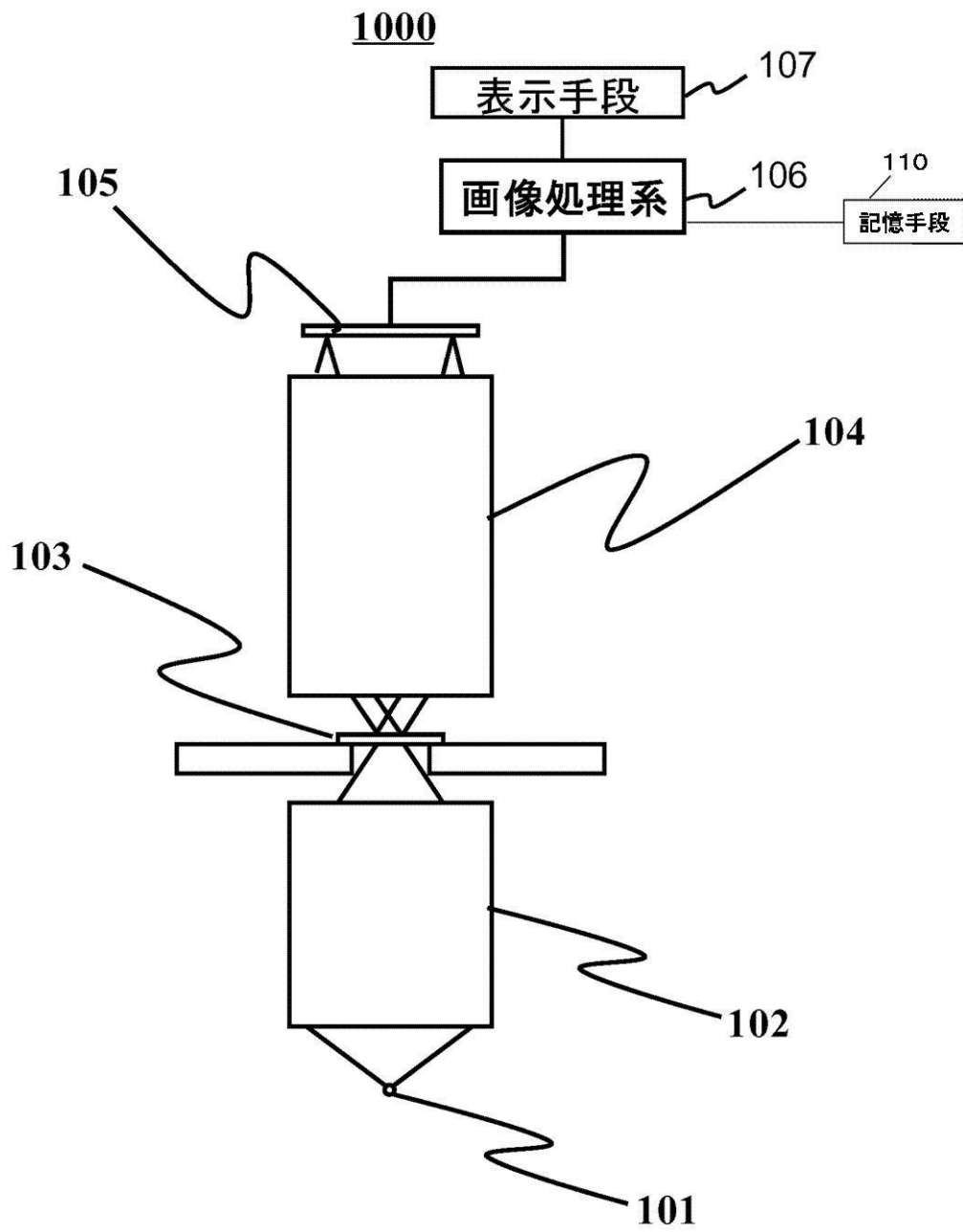
【符号の説明】

10

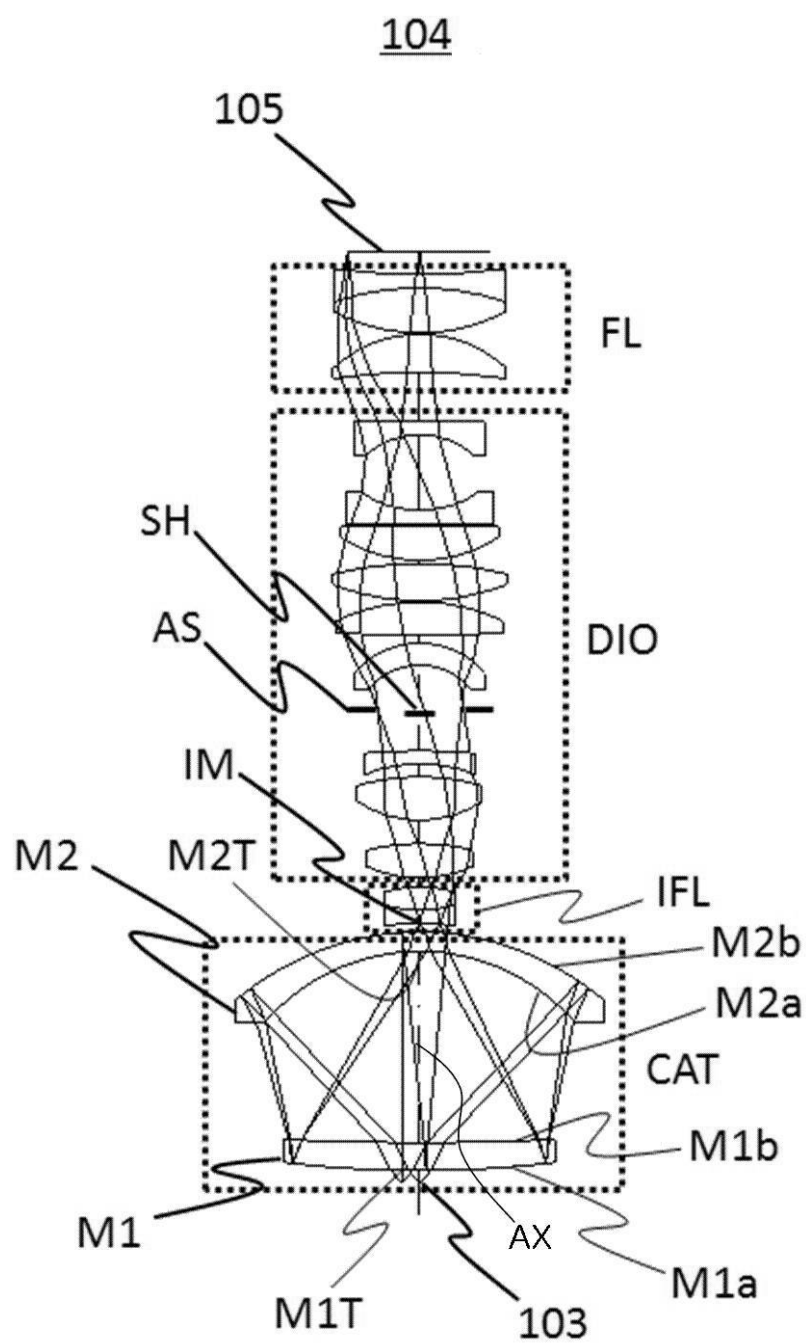
【0057】

101 光源手段 102 照明光学系 103 試料
 104 反射屈折光学系 105 撮像素子 I M 中間像
 C A T 反射屈折部 I F L 中間フィールドレンズ D I O 屈折部
 F L 像側フィールドレンズ M 1 第1の光学素子 M 2 第2の光学素子

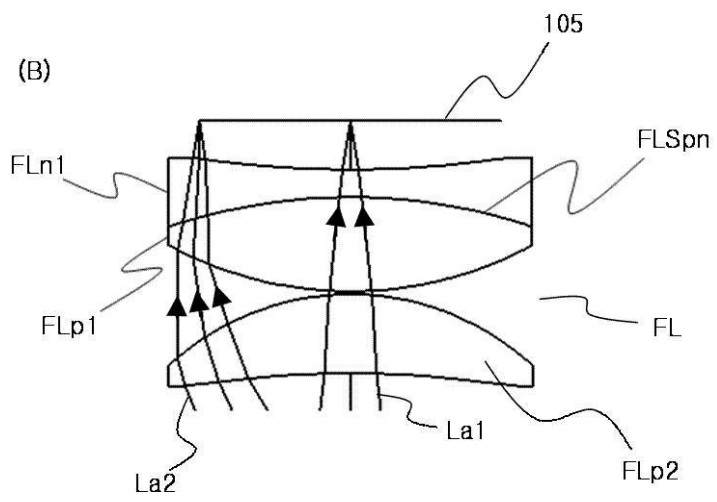
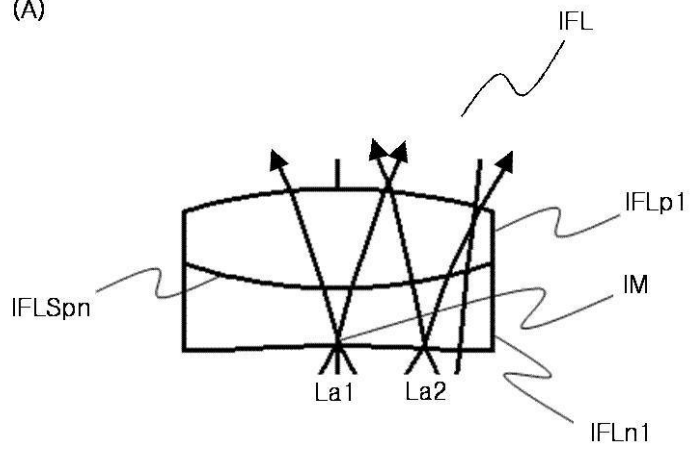
【 図 1 】



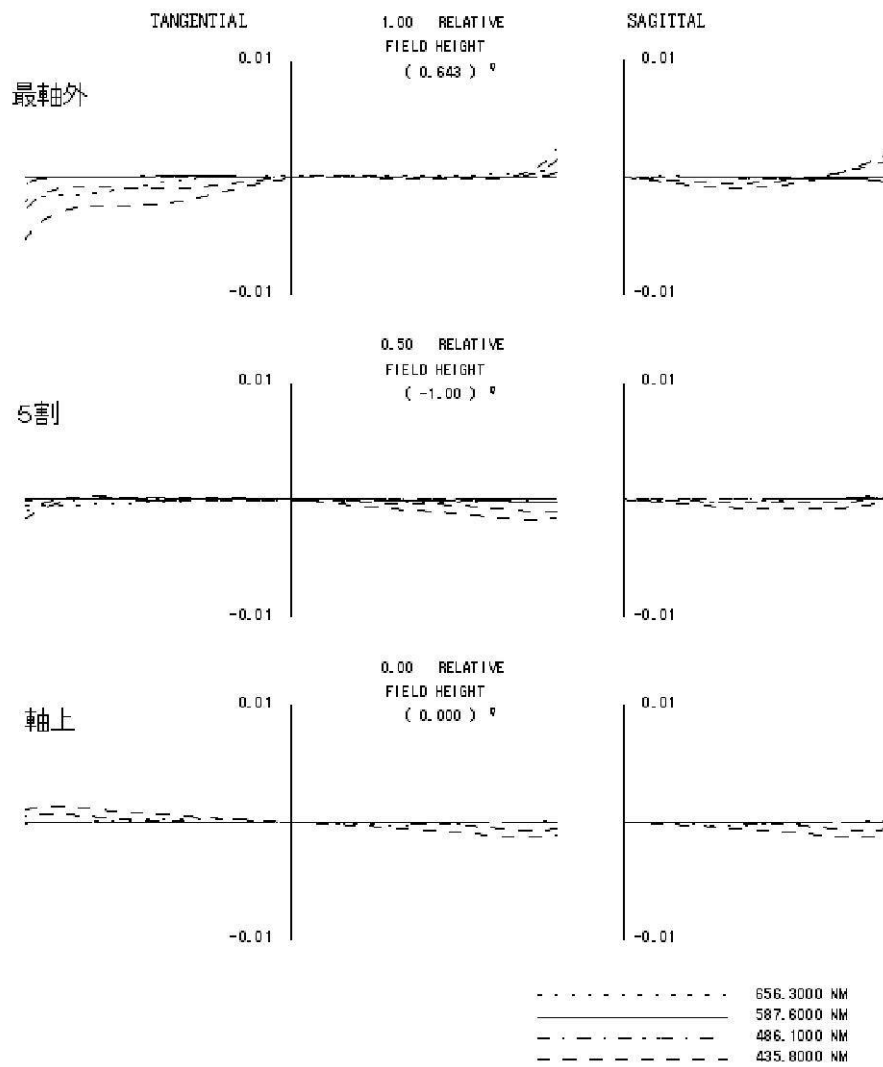
【図2】



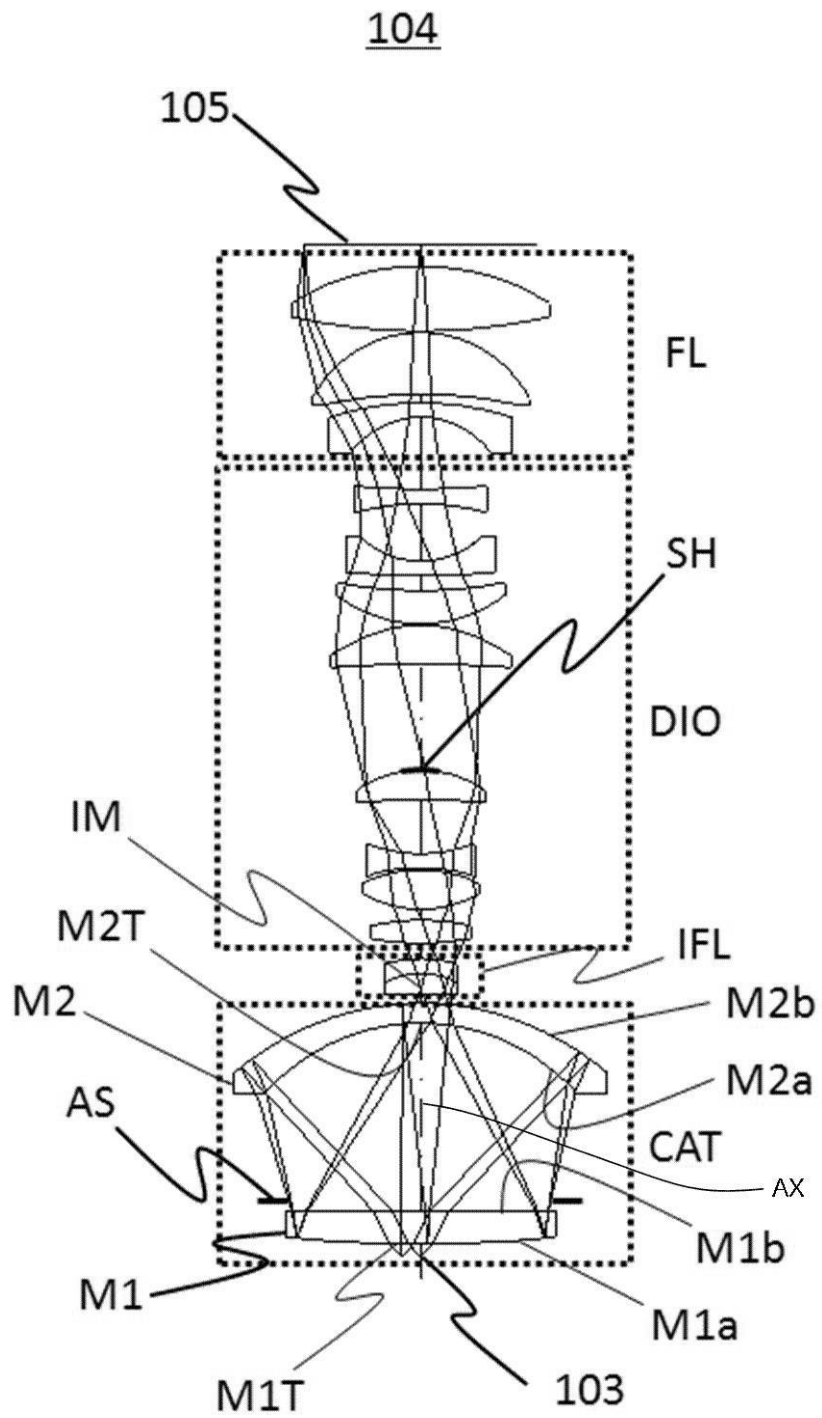
(A)



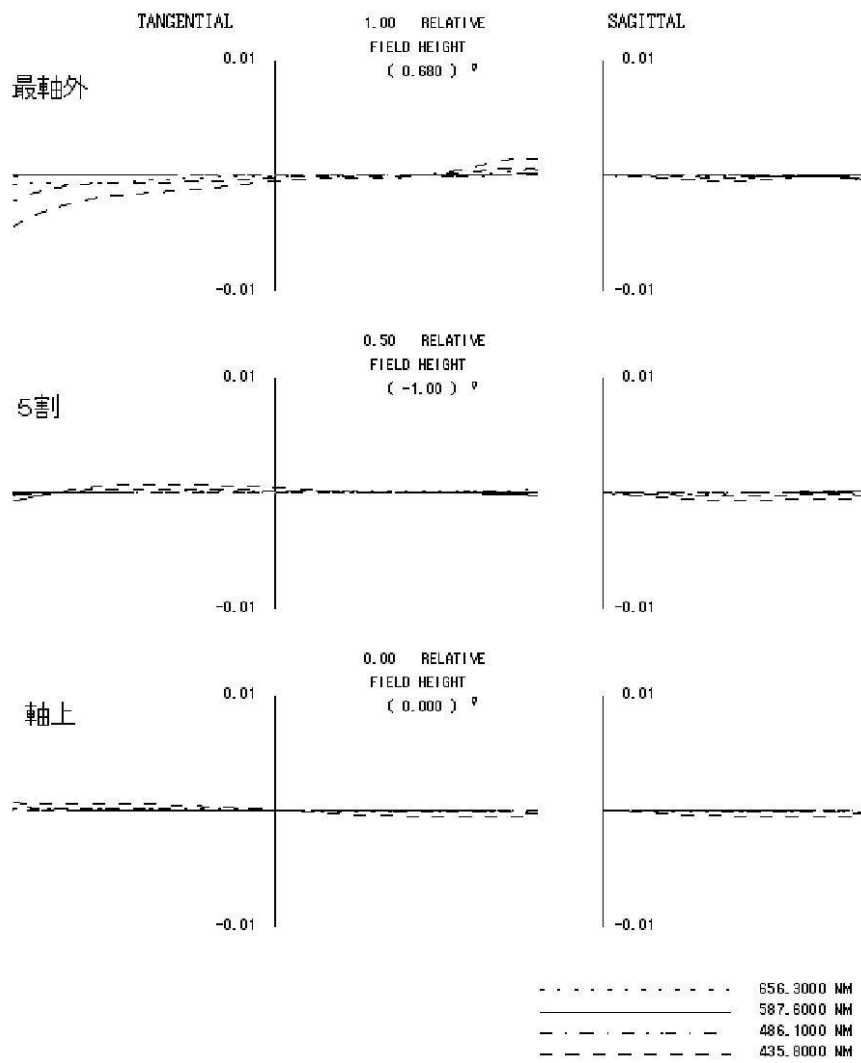
【 図 4 】



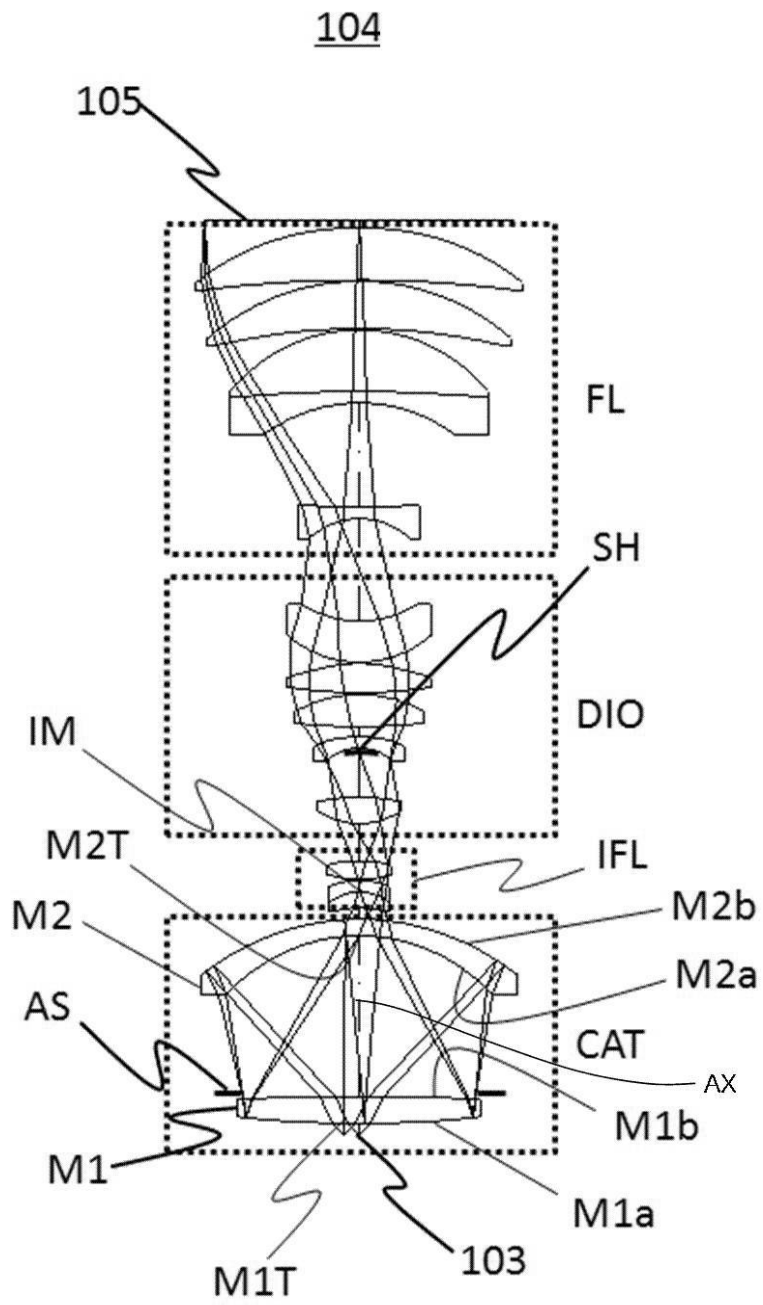
【図 5】



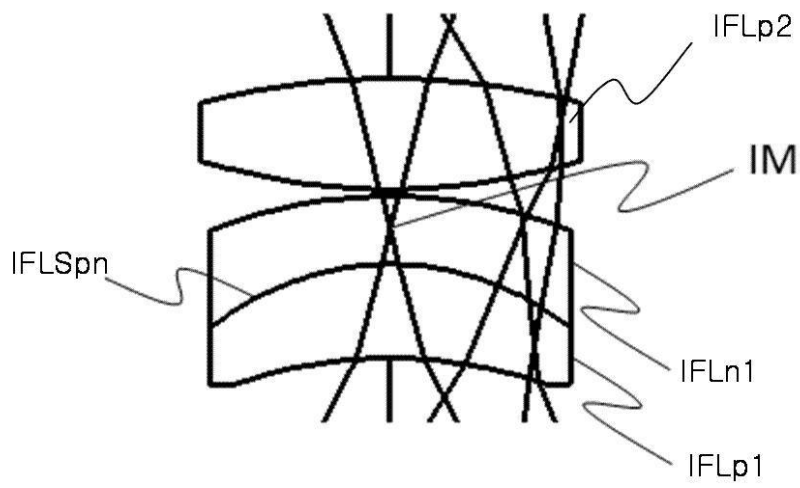
【図 7】



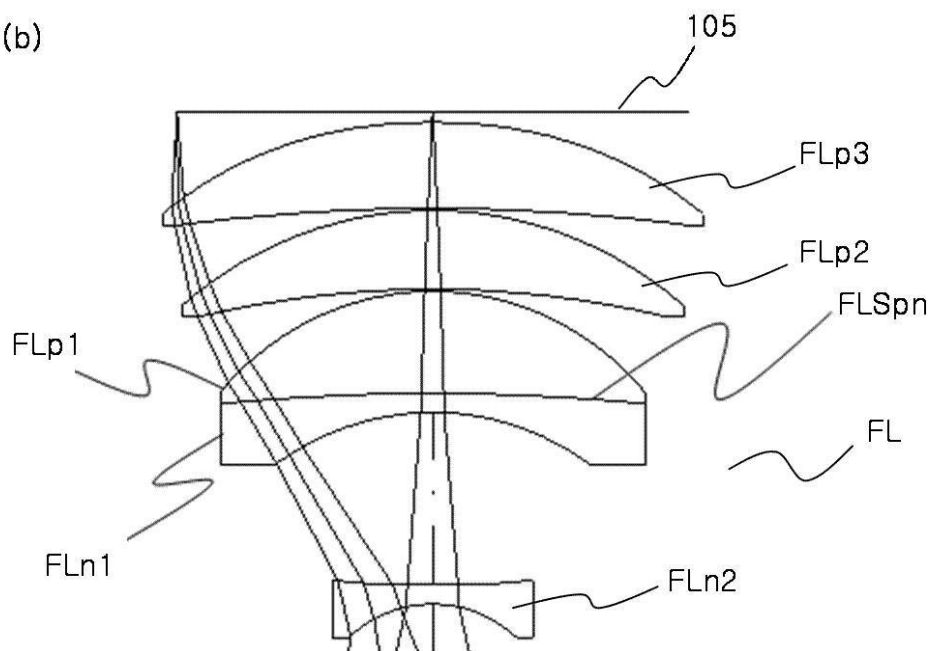
【図 8】



【図 9】
(a)



(b)



【図 10】

