

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5479206号
(P5479206)

(45) 発行日 平成26年4月23日(2014.4.23)

(24) 登録日 平成26年2月21日(2014.2.21)

(51) Int.Cl.

F 1

G02B 17/08 (2006.01)
G02B 13/18 (2006.01)G02B 17/08
G02B 13/18

請求項の数 6 (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願2010-103612 (P2010-103612)
 (22) 出願日 平成22年4月28日 (2010.4.28)
 (65) 公開番号 特開2011-232610 (P2011-232610A)
 (43) 公開日 平成23年11月17日 (2011.11.17)
 審査請求日 平成25年4月15日 (2013.4.15)

(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 梶山 和彦
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ャノン株式会社内
 (72) 発明者 鈴木 雅之
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ャノン株式会社内
 (72) 発明者 片芝 悠二
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ャノン株式会社内

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】

物体からの光束を集光して該物体の中間像を形成する反射屈折部と、前記中間像が形成される位置に配置されたフィールドレンズと、前記中間像を像面に結像する屈折部と、を有する反射屈折光学系であって、

前記反射屈折部は物体側から順に、物体側の面が凸形状の反射面であり、光軸付近が正の屈折力の透過部である第1の光学素子と、物体側に凹面向けたメニスカス形状であり、像側の面が反射面であり、光軸付近が負の屈折力の透過部である第2の光学素子と、を有し、

前記第1の光学素子と前記第2の光学素子とは互いに前記反射面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、前記第1の光学素子の透過部、前記第2の光学素子の反射面、前記第1の光学素子の反射面、前記第2の光学素子の透過部、を順に介して、前記フィールドレンズ側へ出射しており、

前記屈折部は複数の屈折光学素子を有し、前記第1及び第2の光学素子の材料のアッベ数のうち最も小さなアッベ数を cat、前記複数の屈折光学素子の材料のアッベ数のうち最も小さなアッベ数を dio、とするとき、

$$dio < cat$$

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】

10

20

前記アッペ数 catは

4.5 < cat

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】

前記アッペ数 dioは

dio < 4.0

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2の光学素子において、物体側の面の曲率半径をRM2a、像側の面の曲率半径をRM2b、光軸上の厚さをt、材料の波長587.6nmでの屈折率をNdとし、

10

【数1】

$$\frac{\frac{1}{|RM2b|} - \frac{1}{(|RM2a|+t)}}{\frac{2}{(s'-t) \times Nd}} = \frac{1}{s'}$$

$$\frac{(s'-t) \times Nd}{(Nd+1)} = Rapl$$

とおいたとき、

$$Rapl \times 0.8 < |RM2a| < Rapl \times 1.2$$

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の光学素子の反射面から前記第2の光学素子の反射面までの光軸上の距離をd、前記物体が配置される位置から前記像面までの距離をLとするとき、

20

$$L / d < 4.5$$

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

【請求項6】

光源と、該光源からの光束により前記物体を照明する照明光学系と、前記物体の像を形成する請求項1乃至5のいずれか1項に記載の反射屈折光学系と、前記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。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は物体を拡大し、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。

【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）（物体）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。

40

【0003】

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】

50

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。

【0005】

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）。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可視光全域に渡って高い解像力を有した広帯域顕微鏡用カタディオプトリック結像系が知られている（特許文献2）。また、広い領域に微細なパターンを紫外線波長域の光を用いて露光して半導体素子を製造するのに好適な反射屈折結像光学系が知られている（特許文献3）。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特公昭60-034737

【特許文献2】特表2007-514179

【特許文献3】WO00/39623

【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。特許文献2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ものの、諸収差を良好に補正している波長領域が必ずしも十分でない。

20

【0008】

本発明は、可視光全域に渡って諸収差を良好に補正した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】

【0009】

30

本発明の反射屈折光学系は、物体からの光束を集光して該物体の中間像を形成する反射屈折部と、前記中間像が形成される位置に配置されたフィールドレンズと、前記中間像を像面に結像する屈折部と、を有する反射屈折光学系であって、前記反射屈折部は物体側から順に、物体側の面が凸形状の反射面であり、光軸付近が正の屈折力の透過部である第1の光学素子と、物体側に凹面を向けたメニスカス形状であり、像側の面が反射面であり、光軸付近が負の屈折力の透過部である第2の光学素子と、を有し、前記第1の光学素子と前記第2の光学素子とは互いに前記反射面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、前記第1の光学素子の透過部、前記第2の光学素子の反射面、前記第1の光学素子の反射面、前記第2の光学素子の透過部、を順に介して、前記フィールドレンズ側へ出射しており、前記屈折部は複数の屈折光学素子を有し、前記第1及び第2の光学素子の材料のアッペ数のうち最も小さなアッペ数を cat、前記複数の屈折光学素子の材料のアッペ数のうち最も小さなアッペ数を dio、とするとき、

$$dio < cat$$

なる条件を満足することを特徴としている。

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、可視光全域に渡って諸収差を良好に補正した広い観察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が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

40

50

【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】本発明の実施例1の反射屈折光学系の要部概略図である。

【図3】本発明の実施例1の反射屈折光学系の横収差図である。

【図4】本発明の実施例2の反射屈折光学系の要部概略図である。

【図5】本発明の実施例2の反射屈折光学系の横収差図である。

【図6】本発明の実施例3の反射屈折光学系の要部概略図である。

【図7】本発明の実施例3の反射屈折光学系の横収差図である。

【図8】本発明の実施例4の反射屈折光学系の要部概略図である。

【図9】本発明の実施例4の反射屈折光学系の横収差図である。

【発明を実施するための形態】

10

【0012】

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を形成する反射屈折部CATと、中間像IMが形成されている位置に配置されたフィールドレンズFLとを有している。更に中間像IMを像面（撮像素子105）に結像させる屈折部DIOを有している。また本発明の撮像装置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を結像する反射屈折光学系104を有する。更に反射屈折光学系104によって結像された物体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とを有する。

【0013】

20

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の横収差図である。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系の実施例2の横収差図である。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の横収差図である。図8は本発明の反射屈折光学系の実施例4の要部概略図である。図9は本発明の反射屈折光学系の実施例4の横収差図である。横収差図では試料103上で計算し、ミリメートル単位で示している。中心波長587.6nm以外に波長656.3nm、波長486.1nm、波長435.8nmを示した。

【0014】

30

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（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400nm～波長700nm）が用いられる。反射屈折光学系104は、試料（物体）103の像を撮像素子105上に結像する結像光学系である。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ディスプレイ（表示手段）107などに表示する。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。

40

【0015】

本実施例の反射屈折光学系104は反射屈折部CAT、フィールドレンズFL、屈折部DIOを有する。反射屈折光学系104を構成する反射屈折部CATは物体側から順に、物体側の面M1aが凸形状で光軸周辺が正の屈折力の光透過部MIT、周辺部のうち物体側の面M1aに反射膜を施し、裏面反射部とした第1の光学素子M1を有する。

【0016】

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M2T、周辺部のうち像側の面M2bに反射膜を施し、裏面反射部とした第2の光学素子M2の少なくとも2つの光学素子を有している。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が対向するように配置されている。ここで第1の光学素子M1は試料（物体

50

) 103側の面が凸形状で光軸周辺が正の屈折力の光透過部M1T、周辺部のうち物体側の面M1aに反射膜を施し、裏面反射部としている。

【0017】

第2の光学素子M2には試料(物体)103側に凹面を向け、メニスカス形状で光軸周辺がM2Tが負の屈折力の光透過部、周辺部のうち像側の面M2bに反射膜を施し、裏面反射部としている。屈折部DIOは試料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SHを有している。

【0018】

各実施例の反射屈折光学系104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(マンジャンミラー)M1の中央透過部M1Tを通過する。その後、第2の光学素子(マンジャンミラー)M2の屈折面M2aに入射し、その後裏面M2bで反射し、反射面M2a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M1aで反射する。そして屈折面M1bを通過し、第2の光学素子M2の中央透過部M2Tを通過して試料103の中間像IMを形成する。中間像IMはフィールドレンズFLを構成するレンズ内部に形成されている。中間像IMは複数の屈折光学素子を含む屈折部DIOによって撮像素子105上に拡大結像される。撮像素子105に結像された試料103の像は画像処理系106によって処理されて、表示手段107に表示される。

【0019】

各実施例において反射屈折部CATを構成する第1及び第2の光学素子の材料のアップ数のうち最も小さなアップ数をcatとする。屈折部DIOを構成する複数の屈折光学素子の材料のアップ数のうち最も小さなアップ数をdioとする。このとき、

$$dio < cat \quad \dots (1)$$

なる条件を満足している。各実施例において更に好ましくは次の条件のうち1以上を満足するのが良い。アップ数cat、アップ数dioは

$$45 < cat \quad \dots (2)$$

$$dio < 40 \quad \dots (3)$$

なる条件のうち1以上を満足するのが良い。第2の光学素子M2の物体側と像側の面M2a、M2bの曲率半径を各々RM2a、RM2bとする。第2の光学素子M2の光軸上の厚さをtとする。第2の光学素子M2の材料の波長587.6nmでの屈折率をNdとする。そして

【0020】

【数1】

$$\frac{1}{\left(\frac{|RM2b|}{2}\right)} - \frac{1}{(|RM2a|+t)} = \frac{1}{s'} \quad \dots (a1)$$

$$\frac{(s'-t) \times Nd}{(Nd+1)} = Rapl \quad \dots (a2)$$

【0021】

とおいたとき、

$$Rapl \times 0.8 < |RM2a| < Rapl \times 1.2 \quad \dots (4)$$

なる条件を満足するのが良い。

【0022】

また第1の光学素子M1の裏面反射部M1aが形成されている面から第2の光学素子M2の裏面反射部M2bが形成されている面までの光軸上の距離をdとする。物体が配置される位置から像面までの距離(全長)をLとする。このとき

10

20

30

40

50

$$L / d < 4.5 \quad \dots (5)$$

なる条件を満足している。

【0023】

条件式(1)は可視光領域にわたり高い光学性能を得るためにある。条件式(1)を外れると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を良好に補正し、高い光学性能を得るのが困難になる。

【0024】

条件式(2)、(3)は2次の色収差を良好に補正するためのものである。条件式(2)、(3)を外れると2次の色収差の補正が困難になるので良くない。

【0025】

条件式(4)は第2の光学素子M2の物体側の面M2aに強い負の屈折力を持ち、広い波長領域に渡って収差を低減するためのものである。

【0026】

ここで(a1)式は、反射面M2bに対する結像関係の式であり、物点が屈折面M2aの曲率中心にあり、像点が反射面M2bから距離S'の位置にあることを表している。(a2)式は反射面M2bから距離S'の位置にある虚像の物点に対し、屈折面M2aがアラナティックな条件となるための曲率半径Rap1を示している。条件式(4)は屈折面M2aがアラナティックな条件となるための曲率半径Rap1からどの程度外れて良いかを示している。条件式(4)である程度幅があるのは他の面で発生する収差とのバランスを取るために、第1の光学素子M1とバランスを取るためにも条件式(4)を満たすことが好ましい。

【0027】

各実施例では(a1)、(a2)、条件式(4)の3つの式を満たすことによって、以下に示すような屈折面M2aでの収差が抑えられた構成とすることができる。

- 最初に屈折面M2aに入射する光線がほぼ0度で入射する
- 反射面M2bによって反射された光線が屈折面M2aから射出する際、屈折面M2aの曲率半径がアラナティックな条件となっている

各実施例において最も有効径の大きな屈折面M2aで収差を低減することにより、広い波長領域に渡って収差を低減するのを容易にしている。

【0028】

条件式(5)は全系の小型化を図るためのものである。条件式(5)を外れると全長(物体面から像面までの光軸上の距離)を短縮しながら反射屈折系としたときの光束の中抜けの割合(不使用となる光束の割合)を低く抑えるのが困難になる。

【0029】

更に好ましくは条件式(2)、(3)、(4)、(5)の数値を次の如く設定するのが良い。

【0030】

$$5.0 < cat \quad \dots (2a)$$

$$dio < 3.5 \quad \dots (3a)$$

$$Rap1 \times 0.8 < |RM2a| < Rap1 \quad \dots (4a)$$

$$L1d < 4.0 \quad \dots (5a)$$

次に本発明に係る反射屈折光学系の各実施例について説明する。図2は図1の反射屈折光学系104の実施例1の要部断面図であり、図2において104Aとして示している。

【0031】

図2において104A(後述する他の実施例においては104B乃至104D)は、反射屈折光学系である。反射屈折光学系104Aは試料(物体)103の光束を集光し、所定面に中間像IMを形成する反射面と屈折面を含む反射屈折部CAT、中間像IMからの光束を集光し、後述する屈折部DOI方向へ導光するフィールドレンズ部FLを有している。更に中間像IMを撮像素子(像面)に結像する屈折面と開口絞りASを含む屈折部DOIを有する。

10

20

30

40

50

【0032】

反射屈折部 C A T は光軸付近（光軸周辺）が光透過部で周辺部の一面に反射膜（たとえばアルミや銀等）を施して裏面反射部とした第1、第2の光学素子 M 1、M 2 を有する。ここで第1、第2の光学素子 M 1、M 2 は所謂マンジャンミラーと称される光学素子である。

【0033】

ここで第1の光学素子 M 1 は試料（物体）103側の面が凸形状で光軸周辺が正の屈折力の光透過部 M I T、周辺部のうち物体側の面 M 1 a に反射膜を施し、裏面反射部としている。第2の光学素子 M 2 は試料（物体）103側に凹面を向け、メニスカス形状で光軸周辺 M 2 T が負の屈折力の光透過部、周辺部のうち像側の面 M 2 b に反射膜を施し裏面反射部としている。S H は遮光板であり、試料 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している。遮光板 S H は開口絞り A S 又はその近傍に配置されている。

10

【0034】

図2に示す反射屈折光学系 104 A 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（マンジャンミラー）M 1 の中央透過部 M I 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 M 2 b で反射し、反射面 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 M 1 a で反射する。そして屈折面 M 1 b を通過し、第2の光学素子 M 2 の中央透過部 M 2 T を通過してフィールドレンズ側へ出射し、試料 103 の中間像 I M を形成する。中間像 I M はフィールドレンズ F L を構成するレンズ内部に形成されている。中間像 I M は複数の屈折光学素子を含む屈折部 D I O によって撮像素子 105 上に拡大結像される。撮像素子 105 に結像された試料 103 の像は画像処理系 106 によって処理されて表示手段 107 に表示される。

20

【0035】

本実施例では二つのマンジャンミラーより成る第1、第2の光学素子 M 1、M 2 の裏面反射面 M 1 a、M 2 b を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を良好に補正している。また第2の光学素子 M 2 の屈折面 M 2 a に強い発散作用を持たせることによって以下に示すような光学効果を得ている。

【0036】

30

- 正レンズ作用の第1の光学素子 M 1 の中心付近の光透過部を有効径と比較して相対的に小さくすることができる

- 反射屈折部 C A T と屈折部 D I O の軸上色収差を相殺することができるため、屈折部 D I O の凸レンズパワー（正レンズの屈折力）を強くすることができ、全長の短縮が容易になる

このとき反射屈折部 C A T の硝材を屈折部 D I O の正レンズの硝材よりも低分散のものを用いることによって、2次の色収差を低減することができる。

【0037】

通常の屈折光学系では結像させるために正レンズのパワーを負レンズのパワーより強くしなければならない。そのため正レンズに低分散の硝材、負レンズに高分散の硝材を用いることによって色収差の補正を行っている。このとき低分散の硝材と高分散の硝材で波長に対する屈折率変化の割合が違うため、2次の色収差となって現れる。

40

【0038】

一方、本実施例に係る反射屈折光学系 104 A では、反射屈折部 C A T の負の屈折面 M 2 a のパワー（屈折力）を大きくしても、色収差の生じない反射面 M 2 b のパワーを強くすることで結像させることができる。このため、反射屈折部 C A T の硝材に低分散の（アッペ数の大きな）硝材を用いることで、2次の色収差を低減することができる。反射屈折部 C A T では軸外の収差補正能力が低い。このため、広い観察領域を得るために本実施例では、屈折部 D I O の一部に高分散の（アッペ数の小さな）硝材を使うことによって、軸外での色収差の補正を行い広い観察領域を得ている。このとき、中間像 M 近傍にフィールド

50

レンズ F L を配置することによって、軸外の色収差を更に低減している。このとき、前述の条件式(1)を満たすことで、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ている。

【0039】

【実施例1】

本実施例では反射屈折部 C A T の第1の光学素子 M 1 の反射面 M 1 a と第2の光学素子 M 2 の反射面 M 2 b に集光作用を持たせている。このため、屈折部 D I O のパワーを強くして全長を短くしてもペツツバール和を改善することが容易である。これはペツツバール和の効き方が反射面と屈折面で反対となるためである。また第1、第2の光学素子 M 1 、 M 2 の中心透過部を有効径と比較して相対的に小さくするため、2つの反射面 M 1 a 、 M 2 b の間隔 d と、全長 L を前述した条件式(2)を満たすことによって、全長の短縮を図りながら中抜けの割合を低く抑えている。実施例1の反射屈折光学系において、物体側の開口数 N A は 0.7 であって、結像倍率は 4 倍、試料 103 の物体高は 20 mm である。物体側 103 がテレセントリックに構成されており、瞳の中抜けの割合が面積比で 2 割以下と抑えられている。また白色光での波面収差の最悪値が 100 m (rms) 以下に抑えられている。

【0040】

【実施例2】

図4は本発明の反射屈折光学系 104B の実施例2の要部断面図である。図4において図2と同じ部材には同符号を付している。実施例2の構成は実施例1と略同じである。実施例2では実施例1に比べて中間像 I M がフィールドレンズ F L を構成する接合レンズの接合面近傍に形成されている点が異なっている。実施例2の反射屈折光学系において、物体側の開口数 N A は 0.7 であって、結像倍率は 4 倍、試料 103 の物体高は 20 mm である。実施例1と違い物体側、像側ともテレセントリックに構成されており、瞳の中抜けの割合が面積比で 2 割以下と抑えられている。また白色光での波面収差最悪値が 50 m (rms) 以下に抑えられている。

【0041】

【実施例3】

図6は本発明の反射屈折光学系 104C の実施例3の要部断面図である。図6において図2と同じ部材には、同符号を付している。実施例3の構成は実施例1と略同じである。実施例3では実施例1に比べて中間像 I M がフィールドレンズ F L を構成するレンズ屈折面上に形成されている点が異なっている。実施例3の反射屈折光学系において、物体側の開口数 N A は 0.7 であって、結像倍率は 6 倍、試料 103 の物体高は 17.5 mm 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、瞳の中抜けの割合が面積比で 2 割以下と抑えられている。また白色光での波面収差最悪値が 50 m (rms) 以下に抑えられている。

【0042】

【実施例4】

図8は本発明の反射屈折光学系 104D の実施例4の要部断面図である。図8において図2と同じ部材には同符号を付している。実施例4は実施例1に比べて反射屈折部 C A T の構成が異なっている。実施例4では反射屈折部 C A T を構成する第1、第2の光学素子 M 1 、 M 2 との間に平行平板 P L を設けている点が実施例1と異なっている。試料 103 からの光束は平行平板 P L を 2 回通過してフィールドレンズ F L 側へ出射する。

【0043】

本実施例では平行平板 P L の中心に遮光板 S H を配置することによって、光軸近傍の光束を屈折部 D I O に到達する前に遮光している。このことによって、屈折部 D I O 内で発生する不要光を減らすことができる。また平行平板 P L に傾け機構を備えることによって、組み立て時に発生するレンズ偏心によるコマ収差を調整することができる。また実施例4は実施例1に比べて中間像 I M がフィールドレンズ F L を構成するレンズ間に形成され

ている点が異なっている。実施例4の結像光学系において、物体側の開口数NAは0.7であって、倍率は4倍、物体高は20mm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、瞳の中抜けの割合が面積比で2割以下と抑えられている。また白色光での波面収差最悪値が50m(rms)以下に抑えられている。

【0044】

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る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。

【0045】

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学面の順である。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)。

【0046】

Nd、dは波長587.6nmに対する材料の屈折率とアッベ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、i・・・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。

【0047】

【数2】

$$Z = \frac{ch^2}{1 + \sqrt{(1+k)c^2h^2}} + ah^4 + bh^6 + ch^8 + dh^{10} + eh^{12} + fh^{14} + gh^{16} + hh^{18} + ih^{20} + \dots$$

【0048】

「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。

【0049】

(数値実施例1)
cat = 58.90
dio = 27.58
L / d = 3.65
R a p l = 146.43

面番号	r	d	Nd	d	
物体面	13.39				
1	906.36	17.06	1.52	58.90	40
2	-3997.78	110.10			
3	-126.68	9.90	1.52	58.90	
4	-177.35	-9.90	1.52	58.90	
5	-126.68	-110.10			
6	-3997.78	-17.06	1.52	58.90	
7	906.36	17.06	1.52	58.90	
8	-3997.78	110.10			
9	-126.68	9.90	1.52	58.90	
10	-177.35	10.00			
11	201.21	7.93	1.49	70.40	50

12	-66.18	3.03			
13	-48.21	5.11	1.76	27.58	
14	-62.18	10.24			
15	225.57	11.90	1.62	60.32	
16	-72.13	10.13			
17	-52.69	5.00	1.68	31.65	
18	-99.47	0.50			
19	87.94	11.85	1.62	60.32	
20	26624.84	26.26			
21	186.16	11.47	1.74	43.26	10
22	-153.01	21.01			
23	絞り	70.00			
24	165.44	17.86	1.62	60.34	
25	-287.50	0.50			
26	114.40	17.33	1.74	44.86	
27	-523.65	7.90			
28	-151.69	5.00	1.63	35.31	
29	-2579.73	47.14			
30	-41.07	6.44	1.76	27.58	
31	-94.38	7.81			20
32	-50.16	15.84	1.64	46.53	
33	-36.60	8.81	1.74	44.85	
34	-72.23	10.50			

像面

【 0 0 5 0 】

実施例 1

非球面係数

1,7面

k	0.00E+00		30
a	4.53E-09		
b	9.23E-14		
c	6.79E-18		
d	1.53E-21		
e	-2.53E-25		
f	2.28E-29		
g	-7.53E-34		

4,10面

k	0.00E+00		40
a	3.81E-09		
b	1.60E-13		
c	5.83E-18		
d	8.48E-23		
e	1.83E-26		
f	-6.46E-31		
g	3.14E-35		

22面

k	0.00E+00		50
---	----------	--	----

a	4.42E-07
b	2.82E-11
c	2.17E-14
d	-1.14E-17
e	3.32E-21
f	0.00E+00
g	0.00E+00

25面

k	0.00E+00	10
a	-2.29E-07	
b	2.22E-11	
c	8.97E-15	
d	-3.08E-18	
e	3.19E-22	
f	0.00E+00	
g	0.00E+00	

29面

k	0.00E+00	20
a	5.70E-07	
b	-1.67E-10	
c	-3.30E-14	
d	1.29E-17	
e	-1.42E-21	
f	0.00E+00	
g	0.00E+00	

30面

k	0.00E+00	30
a	2.45E-06	
b	4.62E-10	
c	6.15E-13	
d	-3.59E-16	
e	3.36E-19	
f	0.00E+00	
g	0.00E+00	

【 0 0 5 1 】

(数値実施例 2)		40
cat =	7 0 . 2 4	
dio =	2 5 . 4 3	
L / d =	3 . 8 1	
R a p l =	147.19	

面番号	r	d	Nd	d
物体面	13.39			
1	736.61	24.08	1.49	70.24
2	-9661.75	97.67		
3	-118.31	9.38	1.49	70.24
				50

4	-170.29	-9.38	1.49	70.24	
5	-118.31	-97.67			
6	-9661.75	-24.08	1.49	70.24	
7	736.61	24.08	1.49	70.24	
8	-9661.75	97.67			
9	-118.31	9.38	1.49	70.24	
10	-170.29	10.00			
11	-458.41	5.89	1.64	58.37	
12	-119.83	3.29			
13	-54.79	5.00	1.65	33.79	10
14	-998.82	11.55	1.62	60.25	
15	-54.52	0.73			
16	79.77	7.04	1.62	60.29	
17	483.74	34.05			
18	59.02	11.53	1.76	40.10	
19	109.31	0.50			
20	65.70	20.52	1.49	70.35	
21	-118.81	26.00			
22	絞り	18.84			
23	-49.26	33.31	1.81	25.43	20
24	-79.27	0.50			
25	122.53	26.67	1.64	55.38	
26	-86.46	0.50			
27	57.90	15.51	1.49	70.35	
28	78.67	17.39			
29	-124.44	5.74	1.57	42.86	
30	58.49	15.64			
31	-147.56	8.96	1.76	47.82	
32	-75.81	11.90			
33	-59.72	8.10	1.60	38.03	30
34	272.55	9.12			
35	-178.62	19.27	1.72	34.72	
36	-68.40	0.50			
37	1362.89	16.90	1.51	60.49	
38	-142.77	10.50			

像面

【 0 0 5 2 】

実施例 2

非球面係数

1,7面

k	0.00E+00
a	6.72E-09
b	6.14E-14
c	2.27E-17
d	-9.74E-22
e	1.18E-25
f	-5.31E-30
g	2.75E-34

4,10面

k	0.00E+00
a	5.58E-09
b	2.43E-13
c	9.28E-18
d	1.61E-22
e	2.65E-26
f	-9.34E-31
g	5.28E-35

10

17面

k	0.00E+00
a	6.69E-07
b	-6.19E-11
c	3.77E-14
d	-1.71E-16
e	1.20E-19
f	0.00E+00
g	0.00E+00

20

19面

k	0.00E+00
a	9.53E-07
b	2.89E-10
c	2.54E-14
d	-5.14E-18
e	5.40E-21
f	0.00E+00
g	0.00E+00

30

26面

k	0.00E+00
a	4.94E-07
b	1.25E-11
c	2.56E-15
d	-9.15E-19
e	1.58E-22
f	0.00E+00
g	0.00E+00

40

30面

k	0.00E+00
a	1.32E-06
b	1.83E-10
c	-1.01E-13
d	-2.77E-18
e	-2.19E-21
f	0.00E+00
g	0.00E+00

50

38面

k	0.00E+00
a	-6.34E-07
b	9.02E-12
c	-3.52E-14
d	9.31E-18
e	-1.34E-21
f	0.00E+00
g	0.00E+00

10

【 0 0 5 3 】

(数値実施例 3)

cat = 5 2 . 4 3

dio = 2 7 . 5 8

L / d = 3 . 3 3

R a p 1 = 157.37

面番号	r	d	Nd	d	
物体面		15.87			
1	754.25	22.79	1.52	58.90	20
2	3256.39	116.10			
3	-153.11	11.11	1.52	52.43	
4	-204.85	-11.11	1.52	52.43	
5	-153.11	-116.10			
6	3256.39	-22.79	1.52	58.90	
7	754.25	22.79	1.52	58.90	
8	3256.39	116.10			
9	-153.11	11.11	1.52	52.43	
10	-204.85	10.00			
11	122.17	5.52	1.74	44.85	30
12	339.11	3.40			
13	-68.55	5.00	1.72	29.36	
14	98.91	8.26	1.63	59.19	
15	-51.33	0.50			
16	56.66	8.68	1.67	52.17	
17	143.94	16.52			
18	59.18	15.25	1.68	51.06	
19	-110.80	1.81			
20	3064.28	5.83	1.76	27.58	
21	-292.44	20.31			40
22	絞り	17.44			
23	-37.08	6.62	1.53	50.87	
24	3195.60	3.24			
25	-523.22	14.72	1.75	34.78	
26	-62.19	0.50			
27	-2164.72	20.45	1.54	65.27	
28	-62.64	0.50			
29	70.84	18.40	1.74	44.85	
30	-646.36	9.39			
31	-208.25	5.00	1.74	28.07	50

32	74.90	15.63			
33	-66.07	7.40	1.75	30.36	
34	-53.61	15.34			
35	-42.41	5.00	1.57	63.50	
36	34891.48	9.86			
37	-60.56	5.00	1.67	33.89	
38	-1135.42	14.80			
39	-160.27	31.79	1.74	44.85	
40	-74.15	0.50			
41	478.58	18.46	1.63	59.36	10
42	-221.25	13.00			

像面

【 0 0 5 4 】

実施例 3

非球面係数

1,7面

k	0.00E+00				
a	2.71E-09				
b	-2.26E-14				20
c	1.08E-17				
d	-6.02E-22				
e	3.69E-26				
f	-1.27E-30				
g	2.65E-35				

4,10面

k	0.00E+00				
a	3.18E-09				
b	9.29E-14				30
c	2.40E-18				
d	5.30E-23				
e	2.78E-27				
f	-6.10E-32				
g	3.89E-36				

19面

k	0.00E+00				
a	2.08E-06				
b	3.94E-10				40
c	-2.86E-13				
d	-4.35E-16				
e	4.86E-21				
f	0.00E+00				
g	0.00E+00				

23面

k	0.00E+00				
a	3.44E-07				
b	7.59E-10				50

c 2.58E-13
 d -1.08E-16
 e 1.59E-19
 f 0.00E+00
 g 0.00E+00

28面

k 0.00E+00
 a 9.57E-08
 b 1.47E-10
 c 5.01E-14
 d 9.02E-18
 e 6.69E-21
 f 0.00E+00
 g 0.00E+00

10

34面

k 0.00E+00
 a 1.16E-06
 b -1.81E-11
 c 8.21E-15
 d 2.75E-17
 e -4.75E-20
 f 0.00E+00
 g 0.00E+00

20

44面

k 0.00E+00
 a -3.72E-07
 b 2.92E-11
 c -1.73E-15
 d -2.06E-19
 e 3.79E-23
 f 0.00E+00
 g 0.00E+00

30

【 0 0 5 5 】

(数値実施例 4)
 cat = 5 2 . 4 3
 dio = 2 7 . 5 8
 L / d = 3 . 6 5
 R a p 1 = 145.96

40

面番号	r	d	Nd	d
物体面	13.39			
1	819.00	16.40	1.49	70.24
2	-3201.41	28.35		
3		13.97	1.49	70.24
4		68.55		
5	-122.05	9.54	1.52	52.43

50

6	-172.82	-9.54	1.52	52.43	
7	-122.05	-68.55			
8		-13.97	1.49	70.24	
9		-28.35			
10	-3201.41	-16.40	1.49	70.24	
11	819.00	16.40	1.49	70.24	
12	-3201.41	28.35			
13		13.97	1.49	70.24	
14		68.55			
15	-122.05	9.54	1.52	52.43	10
16	-172.82	10.00			
17	126.58	6.22	1.74	44.85	
18	-950.12	9.32			
19	-64.86	5.00	1.68	31.36	
20	537.54	8.74	1.62	60.32	
21	-56.79	0.50			
22	82.22	7.50	1.49	70.41	
23	635.34	23.00			
24	64.84	14.27	1.69	49.87	
25	618.89	5.01	1.76	27.58	20
26	709.49	10.48			
27	-96.82	8.38	1.75	34.46	
28	-68.50	28.14			
29	絞り	48.00			
30	-577.36	14.75	1.74	44.85	
31	-104.66	0.50			
32	116.63	19.70	1.74	44.85	
33	-222.26	0.50			
34	65.69	7.94	1.76	27.58	30
35	70.78	13.16			
36	-483.66	5.00	1.74	28.39	
37	53.97	51.45			
38	-43.90	5.00	1.62	36.83	
39	-429.14	6.13			
40	-138.53	17.04	1.74	44.50	
41	-58.87	0.50			
42	357.86	13.06	1.74	44.85	
43	-313.15	10.50			

像面

40

【0056】

実施例4

非球面係数

1,11面

k 0.00E+00

a 7.19E-09

b -2.15E-14

c 3.31E-17

d -2.42E-21

e 2.45E-25

50

f -1.36E-29
g 4.52E-34

6,16面

k	0.00E+00	
a	5.09E-09	
b	2.20E-13	
c	8.31E-18	
d	2.05E-22	
e	1.85E-26	10
f	-4.31E-31	
g	3.56E-35	

23面

k	0.00E+00	
a	1.03E-06	
b	1.79E-11	
c	-3.63E-14	
d	3.77E-17	
e	1.29E-20	20
f	0.00E+00	
g	0.00E+00	

26面

k	0.00E+00	
a	7.92E-07	
b	2.89E-10	
c	1.07E-14	
d	-1.21E-17	
e	2.23E-21	30
f	0.00E+00	
g	0.00E+00	

33面

k	0.00E+00	
a	1.89E-07	
b	-4.72E-12	
c	-2.07E-16	
d	-9.83E-20	
e	3.27E-23	40
f	0.00E+00	
g	0.00E+00	

37面

k	0.00E+00	
a	2.31E-07	
b	-2.63E-11	
c	-2.63E-14	
d	2.69E-17	
e	-9.30E-21	50

f 0.00E+00
g 0.00E+00

43面

k 0.00E+00
a -5.54E-07
b 1.02E-10
c -2.53E-14
d 8.33E-19
e 3.66E-22
f 0.00E+00
g 0.00E+00

10

【0057】

【表1】

表1

条件式	実施例			
	1	2	3	4
(2) ν_{cat}	58.9	70.24	52.43	52.43
(3) ν_{dio}	27.58	25.43	27.58	27.58
(4) R_{ap1}	146.43	147.19	157.37	145.96
RM2a	-126.68	-118.31	-153.11	-122.05
(5) L/d	3.65	3.81	3.33	3.65

20

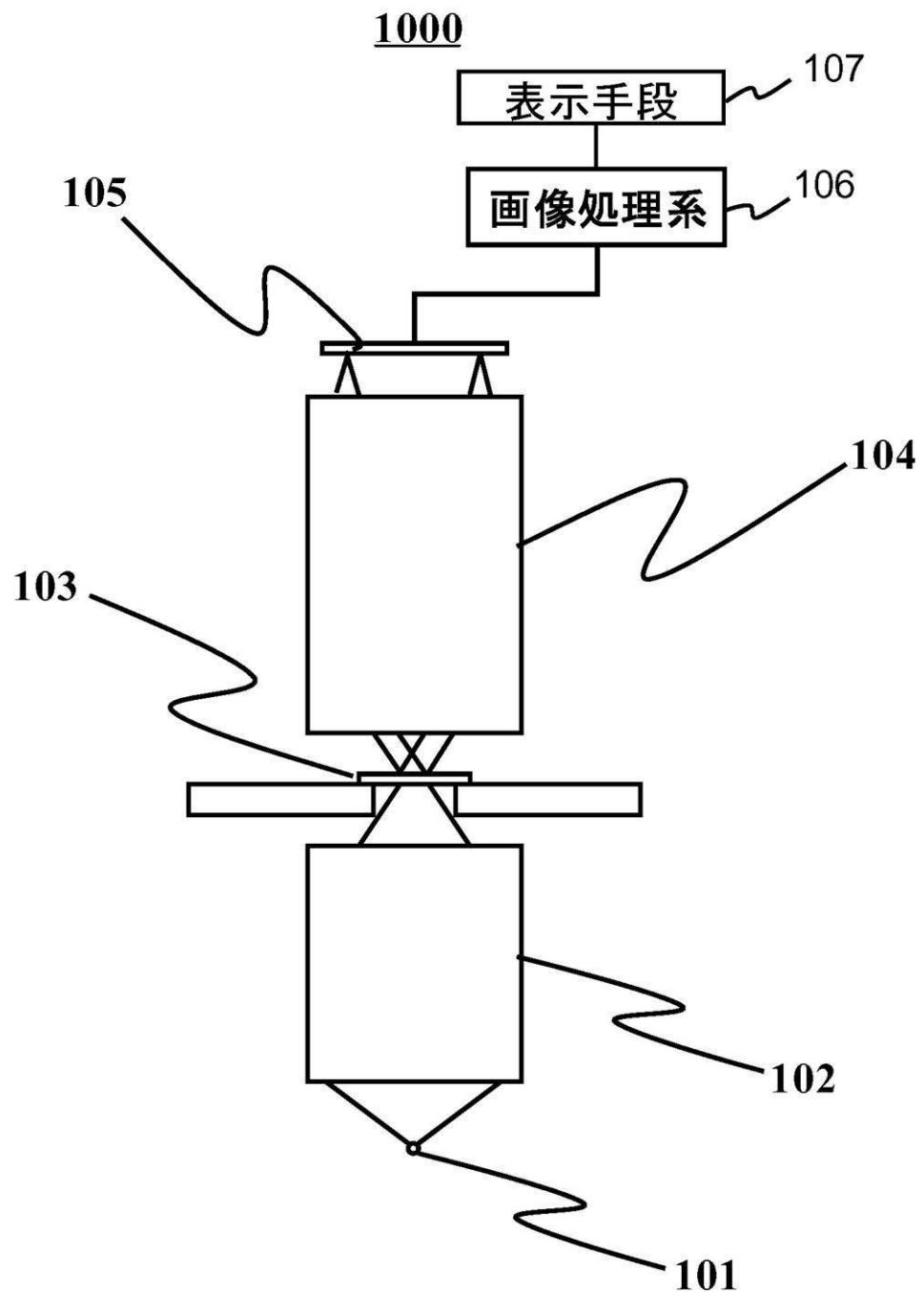
【符号の説明】

【0058】

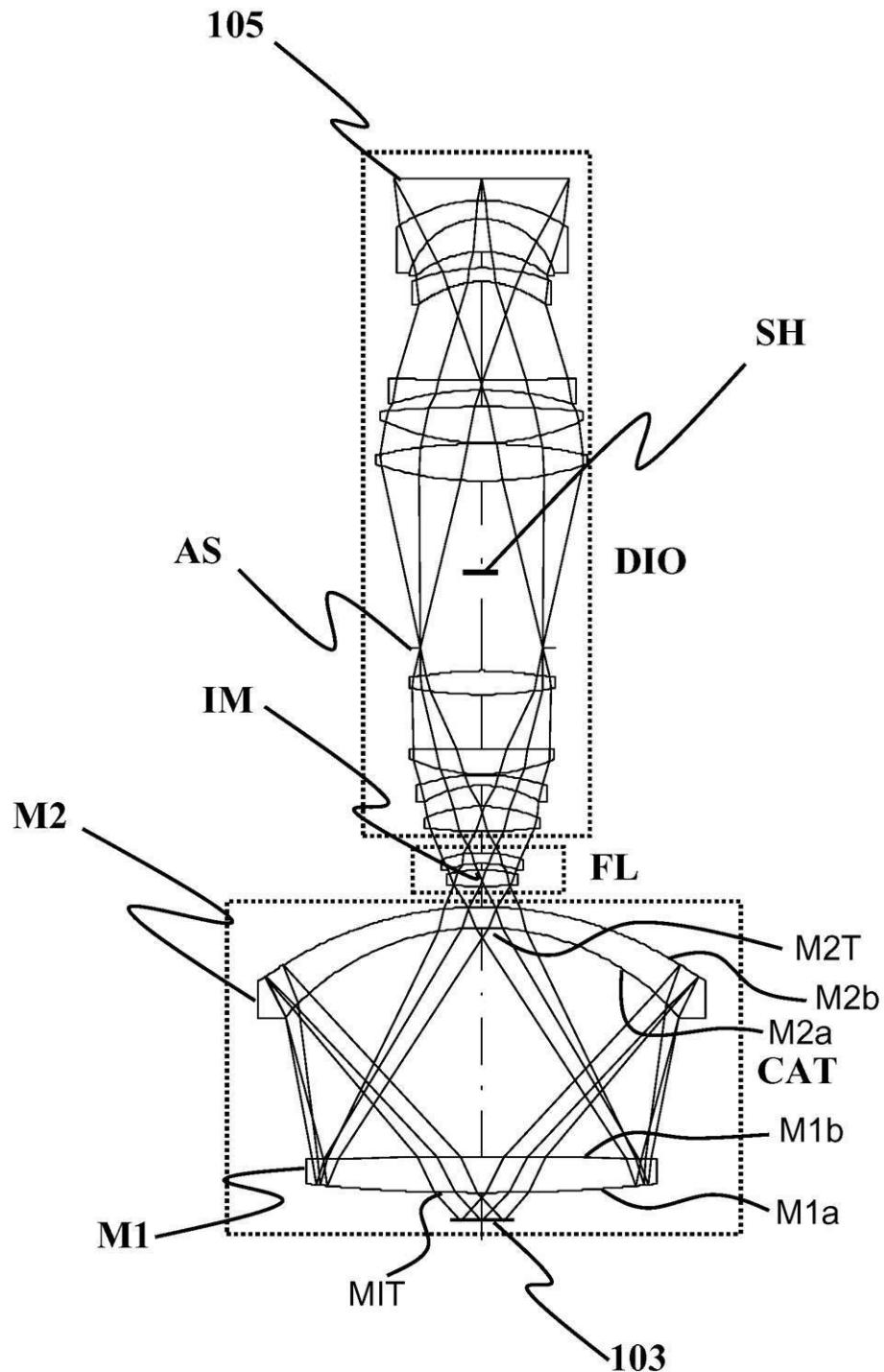
30

101 光源、 102 照明光学系、 103 試料、 104 反射屈折光学系、 105 撮像素子、 IM 中間像、 CAT 反射屈折部、 FL フィールドレンズ部、 DIO 屈折部、 M1 第1の光学素子、 M2 第2の光学素子

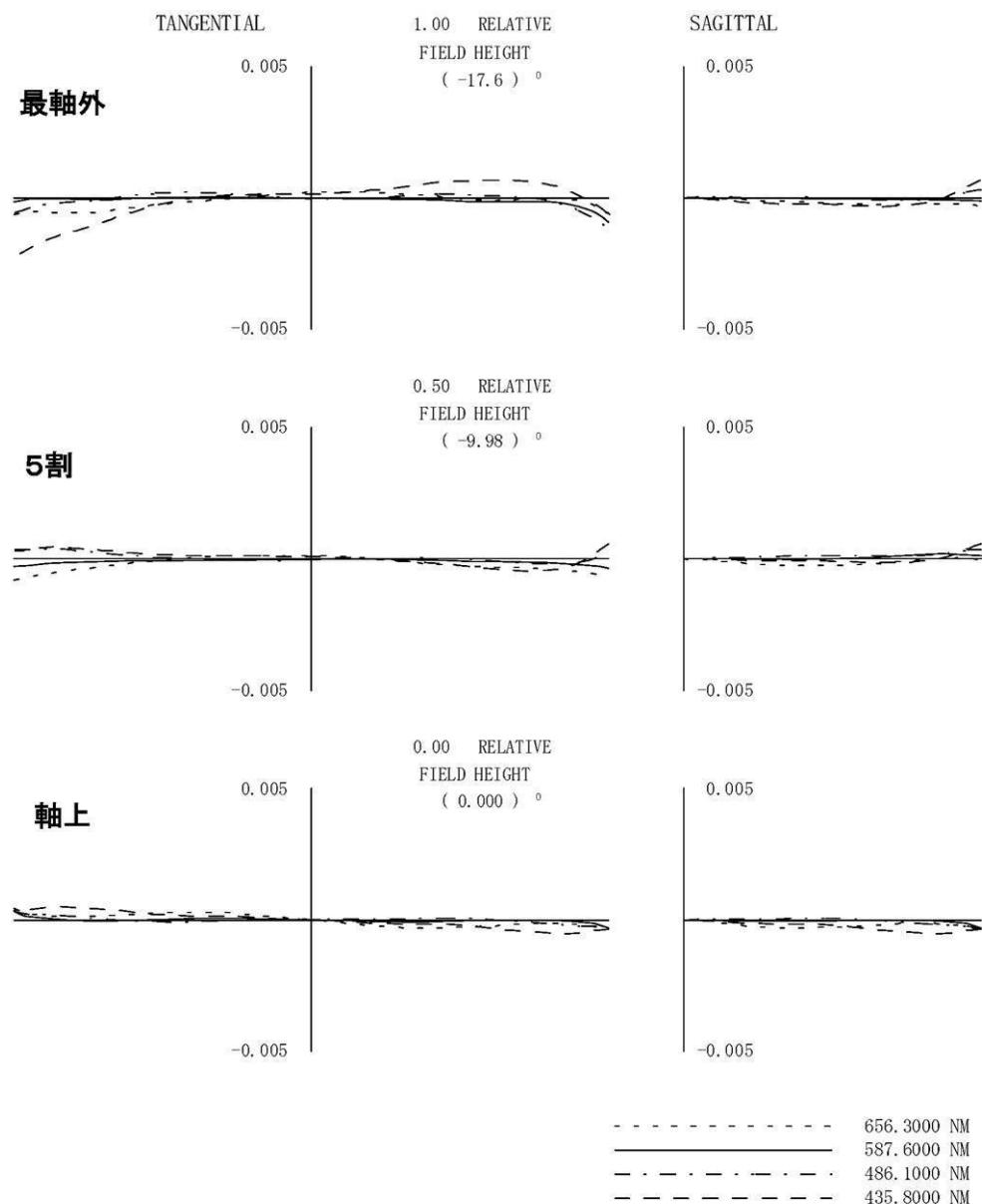
【図1】



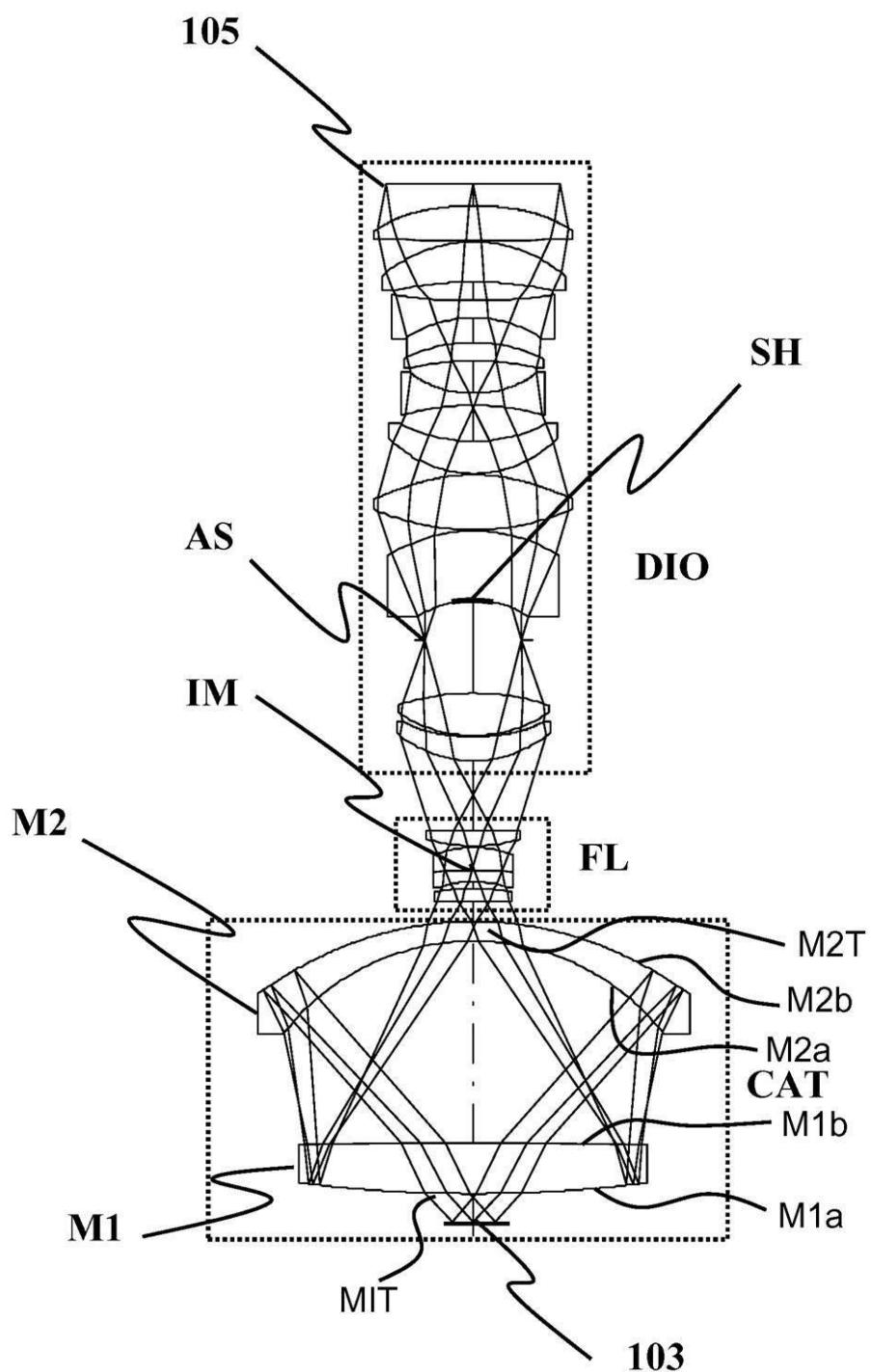
【図2】

104A

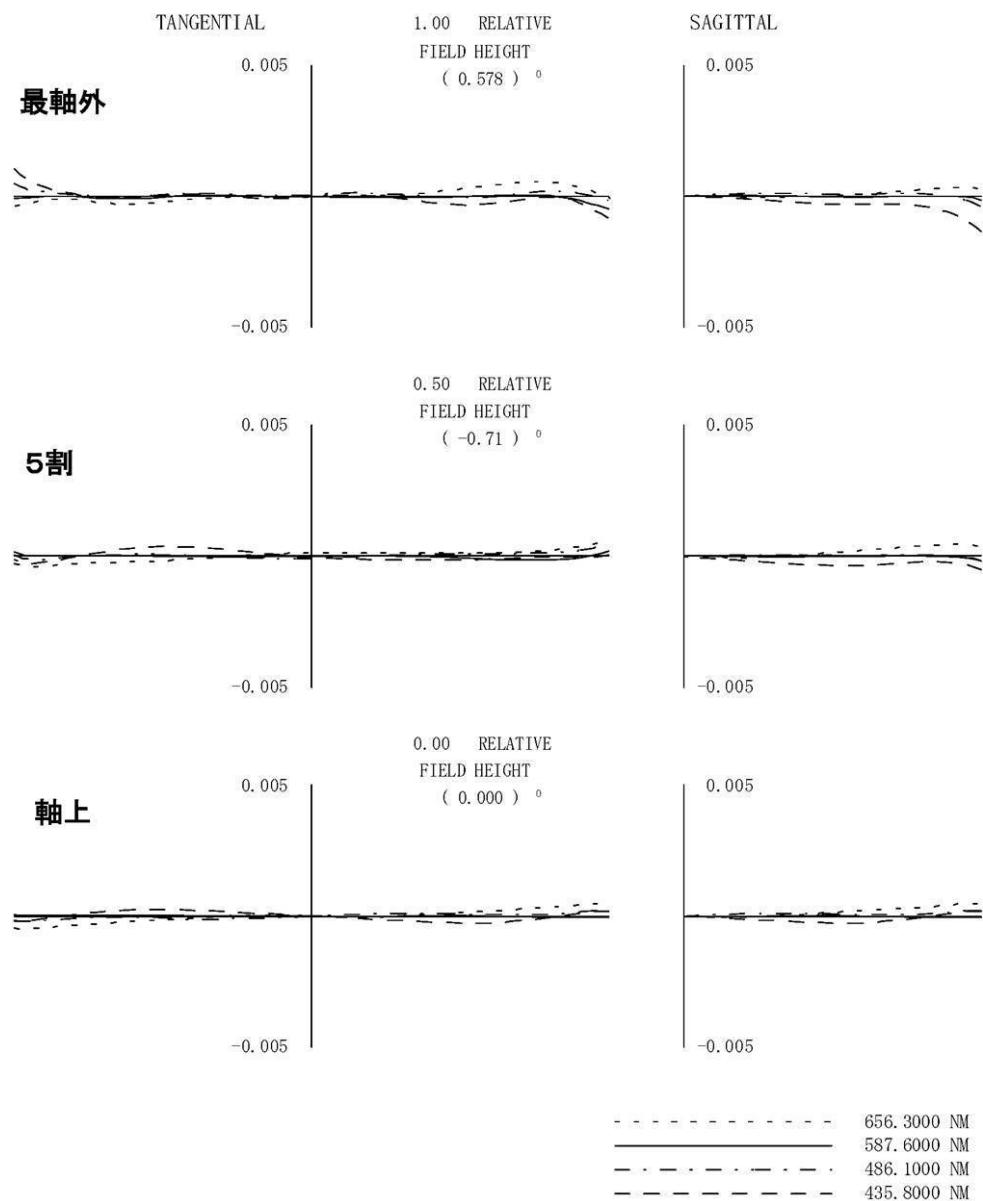
【 四 3 】



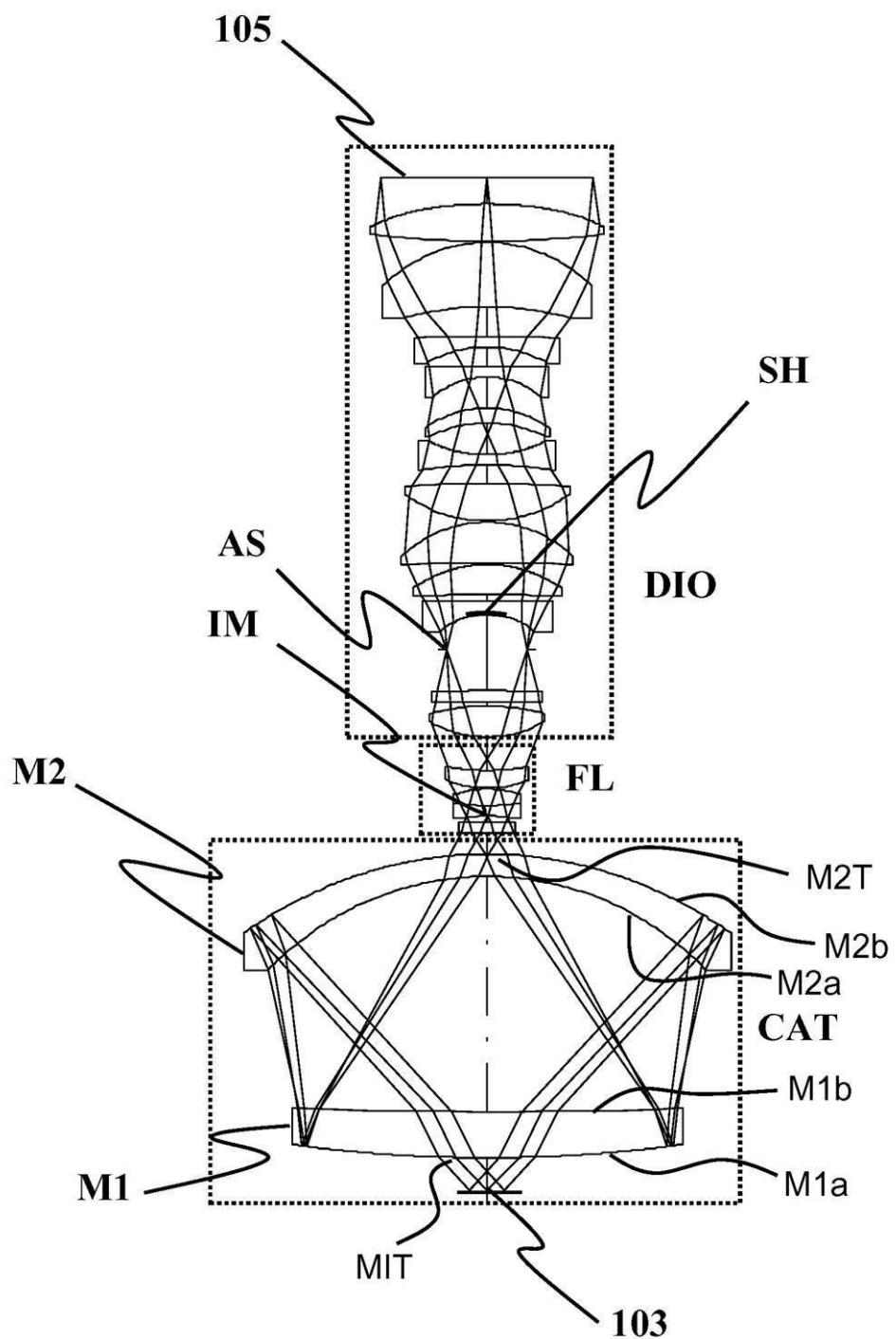
【図4】

104B

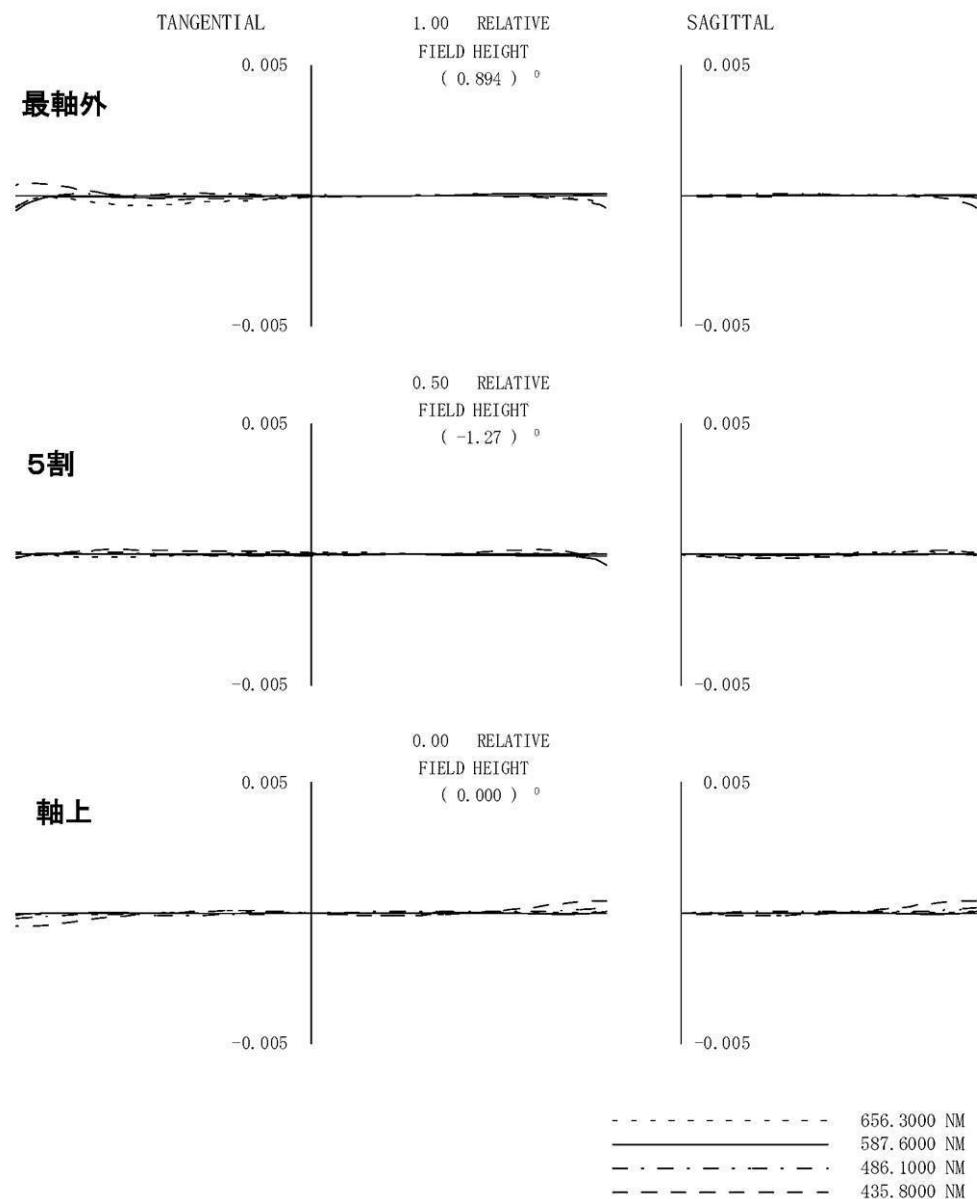
【 图 5 】



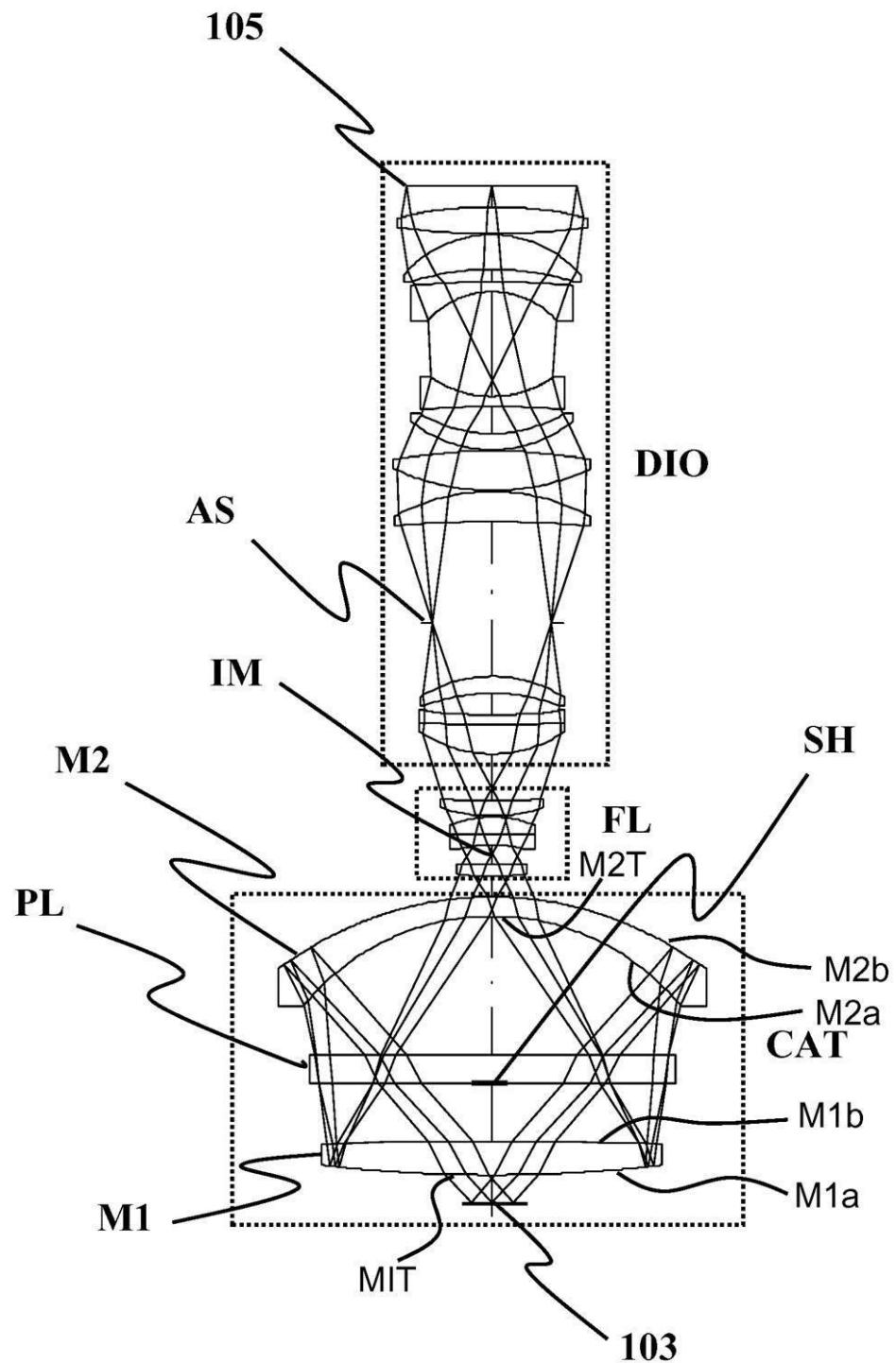
【図6】

104C

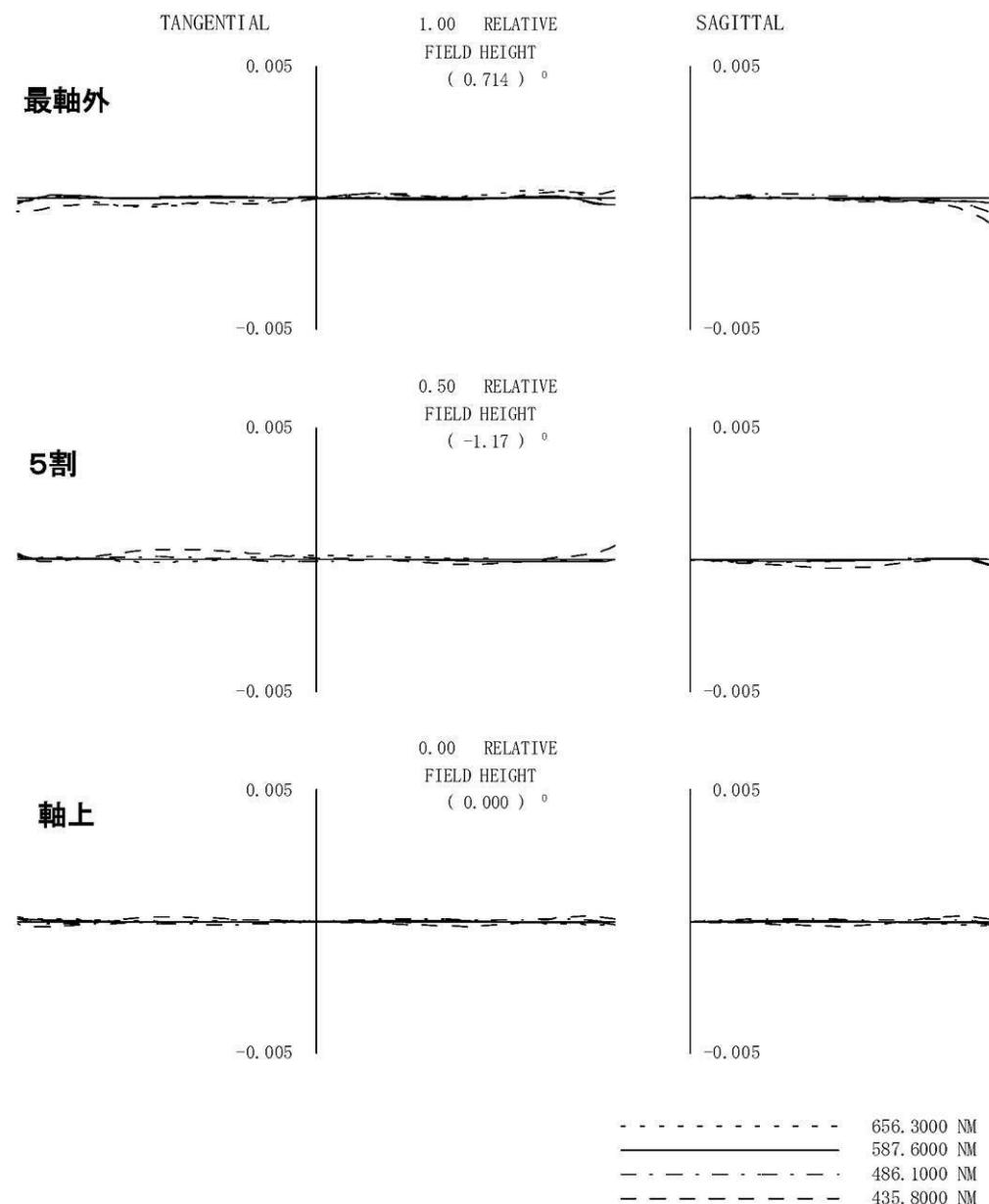
【 四 7 】



【図8】

104D

【 9 】



フロントページの続き

審査官 原田 英信

(56)参考文献 特開2006-518876(JP,A)
特開2002-118058(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 02 B	9 / 00	-	17 / 08
G 02 B	21 / 02	-	21 / 04
G 02 B	25 / 00	-	25 / 04