

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5479224号  
(P5479224)

(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

GO2B 17/08	(2006.01)	GO2B 17/08	A
GO2B 21/02	(2006.01)	GO2B 21/02	
GO2B 13/24	(2006.01)	GO2B 13/24	
GO2B 21/00	(2006.01)	GO2B 21/00	

請求項の数 6 (全 32 頁)

(21) 出願番号	特願2010-121751 (P2010-121751)
(22) 出願日	平成22年5月27日 (2010.5.27)
(65) 公開番号	特開2011-248122 (P2011-248122A)
(43) 公開日	平成23年12月8日 (2011.12.8)
審査請求日	平成25年5月20日 (2013.5.20)

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

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第1結像光学系と、前記中間像を像面に結像する第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、物体側から像側に向かう光束の光路に沿って、物体側の面に設けられた裏面反射部と光軸周辺に設けられた透過部とを含む第1の光学素子と、像側の面に設けられた裏面反射部と光軸周辺に設けられた透過部とを含む第2の光学素子と、を有し、

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の光学素子の透過部、を順に通過した後に前記第2結像光学系側に出射しており、

前記第2結像光学系は物体側から順に、正の屈折力の前群と、開口絞りと、後群と、を有し、前記開口絞りと前記像面との間に配置された複数のレンズ面のうち連続する4つのレンズ面における合成屈折力が負となり、かつ該負の合成屈折力の最大値を  $4n_{max}$  、前記物体における視野領域の最大物高を  $Y_{max}$  、とするとき、

$$-0.52 < 4n_{max} \cdot Y_{max} < -0.14$$

なる条件を満たすことを特徴とする反射屈折光学系。

## 【請求項 2】

前記開口絞りと前記像面との間に配置された負の屈折力のレンズ面の合計の負の屈折力を  $n_{sum}$  、前記物体における視野領域の最大物高を  $Y_{max}$  、とするとき、

10

20

- 0 . 5 8 <  $n_{\text{sum}} \cdot Y_{\text{max}}$  < - 0 . 1 7  
 なる条件を満たす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】

前記像面に最も近い 2 枚のレンズの合成屈折力は正であ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 の光学素子の物体側の面は凸形状であり、かつ前記透過部は正の屈折力を有し、前記第 2 の光学素子は物体側に凹面を向けたメニスカス形状であり、かつ前記透過部は負の屈折力を有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。

10

【請求項 5】

前記物体における視野領域が直径 3 mm 以上であ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】

光源手段と、前記光源手段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。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

【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。

【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。

30

【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。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よる画像データへの悪影響（倍率変化など）を低減するためには、両側（物体側と像側）がテレセントリックである光学系が要望されている。

40

【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）。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）。

50

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0005】

【特許文献1】特公昭60-034737号公報

【特許文献2】特表2001-517806号公報

【特許文献3】特開2002-082285号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0006】

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に開示されている超広帯域紫外顕微鏡映像システムは、紫外の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。また、特許文献3に開示されている反射屈折光学系は広い領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光学系の全長が長い。光学系の全長が長いと装置が大型化してしまい、装置を設置したりや操作したりする上で不便である。

10

## 【0007】

本発明は、両側のテレセントリック性が良く、広い波長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。

20

## 【課題を解決するための手段】

## 【0008】

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第1結像光学系と、前記中間像を像面に結像する第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、物体側から像側に向かう光束の光路に沿って、物体側の面に設けられた裏面反射部と光軸周辺に設けられた透過部とを含む第1の光学素子と、像側の面に設けられた裏面反射部と光軸周辺に設けられた透過部とを含む第2の光学素子と、を有し、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の光学素子の透過部、を順に通過した後に前記第2結像光学系側に出射しており、前記第2結像光学系は物体側から順に、正の屈折力の前群と、開口絞りと、後群と、を有し、前記開口絞りと前記像面との間に配置された複数のレンズ面のうち連続する4つのレンズ面における合成屈折力が負となり、かつ該負の合成屈折力の最大値を  $4n_{max}$ 、前記物体における視野領域の最大物高を  $Y_{max}$ 、とするとき、

$$-0.52 < 4n_{max} \cdot Y_{max} < -0.14$$

なる条件を満たすことを特徴としている。

30

## 【発明の効果】

## 【0009】

本発明によれば両側のテレセントリック性が良く、広い波長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が得られる。

40

## 【図面の簡単な説明】

## 【0010】

【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】本発明の反射屈折光学系の構成を説明するための概略図である。

【図3】実施例1の反射屈折光学系の要部概略図である。

【図4】実施例1の反射屈折光学系の収差図である。

【図5】実施例2の反射屈折光学系の要部概略図である。

【図6】実施例2の反射屈折光学系の収差図である。

【図7】実施例3の反射屈折光学系の要部概略図である。

【図8】実施例3の反射屈折光学系の収差図である。

50

【図9】実施例4の反射屈折光学系の要部概略図である。

【図10】実施例4の反射屈折光学系の収差図である。

【図11】実施例5の反射屈折光学系の要部概略図である。

【図12】実施例5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】

【0011】

本発明の反射屈折光学系は、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を含む第1結像光学系G1と、中間像IMを像面105に結像させる屈折部を含む第2結像光学系G2を有する。本発明の撮像装置は、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を有している。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。

【0012】

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光路断面図である。図3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4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5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6は本発明の反射屈折光学系の実施例2の収差図である。図7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8は本発明の反射屈折光学系の実施例3の収差図である。図9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10は本発明の反射屈折光学系の実施例4の収差図である。図11は本発明の反射屈折光学系の実施例5の要部概略図である。図12は本発明の反射屈折光学系の実施例5の収差図である。

【0013】

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。結像光学系104は試料(物体)103の像を撮像素子105上に結像する反射屈折光学系より成っている。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では結像光学系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。

【0014】

図2は、本発明の反射屈折光学系104の構成を説明するための概略図である。図2において、104は反射屈折光学系、103は物体面(試料)、105は像面(撮像素子)である。AXは反射屈折光学系104の光軸である。反射屈折光学系104は試料(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(反射屈折部)G1を有する。更に中間像IMを撮像素子(像面)105に結像する屈折面と開口絞りASを含む第2結像光学系(屈折部)G2を有する。

【0015】

第一結像光学系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、第2の光学素子(マンジャンミラー)M2、及び、レンズ群(フィールドレンズ)G11を有している。第二結像光学系G2は、物体側から順にレンズ群G21、開口絞りAS、レンズ群G22～レンズG24を有している。レンズ群G21は前群、レンズ群G22～レンズG24は後群を構成している。図2は、物体面103から像面105に至る軸外光束が模式的に示されている。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。

10

20

30

40

50

## 【0016】

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、裏面反射部としている。レンズ群G11は正の屈折力を有する。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は試料(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SHが開口絞りAS又はその近傍に配置されている。

## 【0017】

図2に示す反射屈折光学系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、第2結像光学系側へ出射する。その後レンズ群G11を通過して試料103の中間像IMを形成する。

## 【0018】

本実施例において、第一結像光学系G1の構成はこれに限定されるものではない。例えば、マンジャンミラーより成る第1、第2の光学素子M1、M2の替わりに、中心部に透過部を有する表面反射ミラーとレンズとの組み合わせで構成しても構わないし、また、レンズ群G11を配置せずに中間像IMを形成する構成としても構わない。

## 【0019】

中間像IMからの発散光束は、正の屈折力のレンズ群G21を通過し、開口絞りASで瞳が形成される。そして、開口絞りASを通過した光は、順に、正の屈折力のレンズ群G22、負の屈折力のレンズ群G23、正の屈折力のレンズ群G24を通過し、像面105に入射する。そして像面105上に試料を拡大結像する。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。

## 【0020】

ここで、本実施例の反射屈折光学系104は、開口絞りASと像面105との間に、負の屈折力のレンズ群G23を配置している。軸外光束の光軸AXに対する角度が小さいと、大きな拡大倍率を達成するためには、光学系全長(物体面から像面までの距離)を長くする必要がある。しかしながら、本実施例の反射屈折光学系104では、軸外光束は強い負の屈折力のレンズ群G23により光軸AXから離れる向きに大きく偏向され、光軸AXに対して大きな角度を持つことができる。このため、短い光学系全長で大きな拡大倍率を達成することができる。更に、本実施例の反射屈折光学系104は、像面105の直前に正の屈折力のレンズ群G24を配置している。これにより、レンズ群G23で大きく偏向された光束を光軸AXに平行な向きに戻すことができ、像面105側をテレセントリックにしている。

## 【0021】

各実施例において第2結像光学系G2は物体側より順に正の屈折力の前群G21、開口絞りAS、後群(G22～G24)を有している。そして開口絞りASと像側105の間に配置された複数のレンズ面のうち連続する4つのレンズ面における合成屈折力が負となり、かつこのときの負の合成屈折力の最大値を $4n_{max}$ とする。物体における視野領域の最大物高を $Y_{max}$ とする。このとき、

$$-0.52 < 4n_{max} \cdot Y_{max} < -0.14 \quad \dots (1)$$

を満たす。

## 【0022】

条件式(1)の上限値を超えると、反射屈折光学系の視野領域の大きさに対して負の屈折力が小さくなり過ぎるため、軸外光束を光軸AXから離れる向きに大きく偏向させることができ困難となる。よって、短い光学系全長で大きな拡大倍率を達成することが困難となる。

10

20

30

40

50

## 【0023】

一方、下限値を越えると、各レンズ面の負の屈折力が大きくなり過ぎ、各レンズ面で生じる収差量が大きくなり過ぎるため、反射屈折光学系の諸収差を低減することが困難となる。更に好ましくは条件式(1)の数値範囲を次の如く設定するのが良い。

## 【0024】

$$-0.515 < 4n_{max} \cdot Y_{max} < -0.140 \quad \dots \quad (1a)$$

各実施例において更に好ましくは次の条件のうち1つ以上を満足するのが良い。開口絞りASと像面105との間に配置された負の屈折力のレンズ面の合計の負の屈折力を $n_{sum}$ 、物体103における視野領域の最大物高を $Y_{max}$ とする。このとき、

$$-0.58 < n_{sum} \cdot Y_{max} < -0.17 \quad \dots \quad (2) \quad 10$$

を満たすのが良い。

## 【0025】

条件式(2)の上限値を超えると、光学系の視野領域の大きさに対して負の屈折力が小さくなり過ぎるため、軸外光束を光軸AXから離れる向きに大きく偏向させることが困難となる。よって、短い光学系全長で大きな拡大倍率を達成することが困難となる。

## 【0026】

一方、下限値を超えると、各レンズ面の負の屈折力が大きくなり過ぎ、光学系の諸収差を低減することが困難となる。また、各レンズ面の負の屈折力を小さく抑えるために、負の屈折力のレンズ面数を増やした場合には、加工するレンズ面数の増加により製造が困難となる。また配置するレンズ枚数の増加により光学系全長を短くすることが困難となるため、好ましくない。更に好ましくは条件式(2)の数値範囲を次の如く設定するのが良い。  
。

## 【0027】

$$-0.580 < n_{sum} \cdot Y_{max} < -0.175 \quad \dots \quad (2a)$$

また、像面105の直前の2枚のレンズにおける合成屈折力 $L_2$ は正であるのがよい。これによれば、開口絞りASと像面105との間に配置された強い負の屈折力のレンズ群G23で大きく偏向された軸外光束を、光軸AXと平行な向きに戻すことができ、像面105側をテレセントリックにすることが容易になる。逆に、合成屈折力 $L_2$ が負であると、第二結像光学系G2の光路中に像面105における視野領域より大きい有効径のレンズが必要となり、光学系が大型化してしまうため、好ましくない。  
30

## 【0028】

また、第一結像光学系G1に、正の屈折力のレンズ形状のマンジャンミラーより成る第1の光学素子と、負の屈折力のメニスカス形状のマンジャンミラーより成る第2の光学素子を含んでいるのが良い。ここで、負の屈折力のメニスカス形状のマンジャンミラーの屈折面に強い発散作用を持たせることによって以下に示す光学効果を得ることができる。

## 【0029】

・正レンズ作用の第1の光学素子M1の中心透過部M1Tを有効径と比較して相対的に小さくすることができる

・反射屈折光学系である第一結像光学系G1と屈折光学系である第二結像光学系G2の軸上色収差を相殺することができるため、第二結像光学系G2のレンズの正の屈折力を強くすることができ、光学系全長を短縮することができる  
40

各実施例において物体103の視野領域が直径3mm以上であり、これによって広い観察視野を得ている。以下に本発明の各実施例の反射屈折光学系の構成について説明する。

## 【0030】

## [実施例1]

図3は本発明の反射屈折光学系の実施例1の要部断面図である。図3において、104A(他の実施例においては104B乃至104D)は反射屈折光学系、103は試料(物体面)、105は撮像素子(像面)、ASは開口絞り、IMは中間像である。また、G1は反射屈折部である第一結像光学系、G2は屈折部である第二結像光学系である。第一結像光学系G1は、第1の光学素子(マンジャンミラー)M1、第2の光学素子(マンジャ  
50

ンミラー) M 2、及び、レンズ群 G 1 1 を構成している。第二結像光学系 G 2 は、レンズ群 G 2 1 ~ G 2 4、及び、開口絞り A S を有している。

【0031】

図 3 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(マンジャンミラー) M 1 の中心透過部 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 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 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 を通過する。

【0032】

更にレンズ群 G 1 1 (レンズ L 1) を通過して試料 103 の中間像 I M を形成している。ここで、第一結像光学系 G 1 に含まれる第 1 の光学素子 M 1 の裏面 M 1 a と第 2 の光学素子 M 2 の裏面 M 2 b はいずれも非球面形状としている。これにより、色収差を出すことなく球面収差を良好に補正することができ、高 N A でも、可視の広波長帯域に渡って光学系の諸収差を低減している。また、第 1 の光学素子 M 1 の裏面 M 1 a と第 2 の光学素子 M 2 の裏面 M 2 b は、いずれも正の屈折力としている。これにより、第二結像光学系 G 2 のレンズの正の屈折力を強くして光学系全長を短くしてもペツツバール和が増大しないようしている。これはペツツバール和への効き方が反射面と屈折面で反対となるためである。

【0033】

中間像 I M からの光は、順に、正の屈折力のレンズ群 G 2 1 (レンズ L 2 ~ L 6)、開口絞り A S を通過する。更に正の屈折力のレンズ群 G 2 2 (レンズ L 7 ~ L 9)、強い負の屈折力のレンズ群 G 2 3 (レンズ L 10 ~ L 12)、正の屈折力のレンズ群 G 2 4 (レンズ L 13 ~ L 14) を通過する。そして撮像素子 105 上に試料 103 を拡大結像している。ここで、第二結像光学系 G 2 は、開口絞り A S と強い負の屈折力群のレンズ群 G 2 3 との間に、正の屈折力のレンズ群 G 2 2 を配置し、開口絞り A S と像面 105 との間を、正、負、正の屈折力のレンズ群構成としている。

【0034】

これにより、開口絞り A S の直後の正の屈折力のレンズ群 G 2 2 で光束を収斂させることができるために、その後の強い負の屈折力のレンズ群 G 2 3 では光束の発散を抑えたまま、軸外光束を光軸 A X から離れる向きに大きく偏向している。これによって、短い光学系全長で大きな拡大倍率を容易に達成している。

【0035】

さらに、遮光部 S H は開口絞り A S とレンズ L 7 との間に配置されている。そして試料 103 からの光が、第 1 の光学素子 M 1、及び、第 2 の光学素子 M 2 で反射されることなく、各光学素子 M 1、M 2 の中心透過部を通過して直接撮像素子 105 に到達することを防いでいる。

【0036】

この実施例 1 の反射屈折光学系 104A において、物体側の開口数 N A は 0.7、視野領域は 21.2 mm である。また、開口絞り A S と撮像素子 105 との間に配置された連続する 4 つのレンズ面のうち、合成屈折力が負の最大値となるレンズ面は次のとおりである。各レンズの試料 103 側の面を R 1 面、撮像素子 105 側を R 2 面として、レンズ L 9 の R 2 面(像側の面)(L 9 R 2)からレンズ L 11 の R 1 面(物体側の面)(L 11 R 1)である。開口絞り A S と撮像素子 105 との間に強い負の合成屈折力を有する連続する 4 つのレンズ面 L 9 R 2 から面 L 11 R 1 を配置したことにより、500 mm という短い光学系全長で 4 倍の拡大倍率が達成できている。

【0037】

更に、撮像素子 105 の直前に正屈折力のレンズ群 G 2 4 を配置したことにより、物体側、像側ともテレセントリックに構成できている。瞳の中抜けの割合は面積比で 2 割以下に抑えられている。また、実施例 1 は 656.3 nm、587.6 nm、486.1 nm

10

20

30

40

50

、435.8 nmの各波長において収差は良好に抑えられており、白色光での波面収差最悪値は90 m rms以下に抑えられている。試料103は直径3 mm以上～直径30 mm以下である。

#### 【0038】

##### [実施例2]

図5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5において図3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は実施例1に比べて試料103からの光束が第2の光学素子M2を通過するまでは同じである。実施例2は光束が第2の光学素子M2の中央透過部M2Tを通過後、レンズ群G11( L1～L3 )を通過して試料103の中間像IMを形成する。中間像IMからの光は、順に、正の屈折力のレンズ群G21(レンズL4～L7)、開口絞りAS、正の屈折力のレンズ群G22(レンズL8～L10)を通過する。更に強い負の屈折力のレンズ群G23(レンズL11～L12)、正の屈折力のレンズ群G24(レンズL13～L15)を通過する。そして、撮像素子105上に試料103を拡大結像している。

#### 【0039】

さらに、遮光部SHは開口絞りASとレンズL8との間に配置されている。そして試料103からの光が、第1の光学素子M1、及び第2の光学素子M2で反射されることなく、各光学素子M1、M2の中心透過部を通過して直接撮像素子105に到達することを防いでいる。

#### 【0040】

この実施例2の反射屈折光学系104Bにおいて、物体側の開口数NAは0.7、視野領域は21.2 mmである。また、開口絞りASと撮像素子105との間に配置された連続する4つのレンズ面のうち、合成屈折力が負の最大値となるレンズ面は、レンズL11のR1面(物体側の面)からレンズL12のR2面(像側の面)(L12R2)である。

#### 【0041】

開口絞りASと撮像素子105との間に強い負の合成屈折力を有する連続する4つのレンズ面L11R1から面L12R2を配置したことにより、550 mmという短い光学系全長で4倍の拡大倍率を達成できている。更に、撮像素子105の直前に正の屈折力のレンズ群G24を配置したことにより、物体側、像側ともテレセントリックに構成できている。瞳の中抜けの割合は面積比で2割以下と抑えられている。実施例2は各波長において収差は良好に抑えられており、白色光での波面収差最悪値は60 m rms以下に抑えられている。

#### 【0042】

##### [実施例3]

図7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7において図3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は実施例1に比べて第2結像光学系G2がレンズ群G21～G25より成っている点が異なっている。ここでレンズ群G21は前群、レンズ群G22～レンズ群G25は後群である。

#### 【0043】

実施例3は実施例1に比べて試料103からの光束が第2の光学素子M2を通過するまでは同じである。実施例3は光束が第2の光学素子M2の中央透過部M2Tを通過後、レンズL1～L2を通過して、レンズL3内部に試料103の中間像IMを形成している。中間像IMからの光は、順に、正の屈折力のレンズ群G21(レンズL4～L7)、開口絞りAS、強い負の屈折力のレンズ群G22(レンズL8～L10)、正の屈折力のレンズ群G23(レンズL11～L12)を通過する。更に強い負の屈折力のレンズ群G24(レンズL13)、正の屈折力のレンズ群G25(レンズL14～L15)を通過する。そして、撮像素子105上に試料103を拡大結像している。

#### 【0044】

10

20

30

40

50

ここで、第二結像光学系 G 2 は、開口絞り A S と強い負の屈折力のレンズ群 G 2 4 との間に、強い負の屈折力のレンズ群 G 2 2 、及び、正の屈折力のレンズ群 G 2 3 を配置している。更に開口絞り A S と像面 1 0 5 との間に、負、正、負、正の屈折力のレンズ群という群構成としている。これにより、開口絞り A S の直後の負の屈折力のレンズ群 G 2 2 で発散された光束を、その後の正の屈折力のレンズ群 G 2 3 で収斂させることができる。更に、開口絞り A S から撮像素子 1 0 5 との間に 2 つの強い負の屈折力群 G 2 2 、及び、負の屈折力のレンズ群 G 2 4 を配置することで、軸外光束を光軸 A X から離れる向きに大きく偏向することができる。よって、短い光学系全長で大きな拡大倍率を達成するのに適している。また、開口絞り A S と像面 1 0 5 との間の負の屈折力を 2 つのレンズ群で分担することで、各負の屈折力のレンズ群の屈折力が小さく抑えられ、光学系の収差を容易に低減している。さらに、遮光部 S H はレンズ L 9 の R 2 面上に配置されており、試料 1 0 3 からの光が、第 1 の光学素子 M 1 、及び、第 2 の光学素子 M 2 で反射されることなく、各光学素子 M 1 、M 2 の中心透過部を通過して直接撮像素子 1 0 5 に到達することを防いでいる。10

#### 【 0 0 4 5 】

この実施例 3 の反射屈折光学系 1 0 4 C において、物体側の開口数 N A は 0 . 7 、視野領域は 2 1 . 2 mm である。また、開口絞り A S と撮像素子 1 0 5 との間に配置された連続する 4 つのレンズ面のうち、合成屈折力が負の最大値となるレンズ面は、レンズ L 9 の R 1 面（物体側の面）（ L 9 R 1 ）からレンズ L 1 0 の R 2 面（像側の面）（ L 1 0 R 2 ）である。開口絞り A S と撮像素子 1 0 5 との間に強い負の合成屈折力を有する連続する 4 つのレンズ面 L 9 R 1 から面 L 1 0 R 2 を配置したことにより、 5 0 0 mm という短い光学系全長で 4 倍の拡大倍率が達成できている。20

#### 【 0 0 4 6 】

更に、撮像素子 1 0 5 の直前に正の屈折力のレンズ群 G 2 5 を配置したことにより、物体側、像側ともテレセントリックに構成できている。瞳の中抜けの割合は面積比で 2 割以下と抑えられている。実施例 3 は各波長において収差は良好に抑えられており、白色光での波面収差最悪値は 7 0 m r m s 以下に抑えられている。

#### 【 0 0 4 7 】

##### 〔 実施例 4 〕

図 9 は本発明の反射屈折光学系 1 0 4 D の実施例 4 の要部断面図である。図 9 において図 3 と同じ部材には同符号を付している。実施例 4 の構成は実施例 1 と略同じである。実施例 4 は実施例 1 に比べて試料 1 0 3 からの光束が第 2 の光学素子 M 2 を通過するまでは同じである。実施例 4 は光束が第 2 の光学素子 M 2 の中央透過部 M 2 T を通過後、レンズ L 1 ~ L 2 を通過して、レンズ L 3 内部に試料 1 0 3 の中間像 I M を形成している。中間像 I M からの光は、順に、正の屈折力のレンズ群 G 2 1 （レンズ L 4 ~ L 7 ）、開口絞り A S 、正の屈折力のレンズ群 G 2 2 （レンズ L 8 ~ L 1 0 ）を通過する。また強い負の屈折力のレンズ群 G 2 3 （レンズ L 1 1 ~ L 1 7 ）、正の屈折力のレンズ群 G 2 4 （レンズ L 1 8 ~ L 1 9 ）を通過する。そして撮像素子 1 0 5 上に試料 1 0 3 を拡大結像している。30

#### 【 0 0 4 8 】

さらに、遮光部 S H はレンズ L 8 の R 2 面上に配置されており、試料 1 0 3 からの光が、第 1 の光学素子 M 1 、及び、第 2 の光学素子 M 2 で反射されることなく、各光学素子 M 1 、M 2 の中心透過部を通過して直接撮像素子 1 0 5 に到達することを防いでいる。40

#### 【 0 0 4 9 】

この実施例 4 の反射屈折光学系 1 0 4 D において、物体側の開口数 N A は 0 . 7 、視野領域は 7 mm である。また、開口絞り A S と撮像素子 1 0 5 との間に配置された連続する 4 つのレンズ面のうち、合成屈折力が負の最大値となるレンズ面は、レンズ L 1 4 の R 1 面（物体側の面）（ L 1 4 R 1 ）からレンズ L 1 5 の R 2 面（像側の面）（ L 1 5 R 2 ）である。開口絞り A S と撮像素子 1 0 5 との間に強い負の合成屈折力を有する連続する 4 つのレンズ面 L 1 4 R 1 から面 L 1 5 R 2 を配置したことにより、 5 0 0 mm という短50

い光学系全長で12倍の拡大倍率が達成できている。更に、撮像素子105の直前に正の屈折力のレンズ群G24を配置したことにより、物体側、像側ともテレセントリックに構成できている。瞳の中抜けの割合は面積比で2割以下と抑えられている。実施例2は各波長において収差は良好に抑えられており、白色光での波面収差最悪値は30m rms以下に抑えられている。

#### 【0050】

##### 【実施例5】

図11は本発明の反射屈折光学系104Eの実施例5の要部断面図である。図11において図3と同じ部材には同符号を付している。実施例5の構成は実施例1と略同じである。実施例5は実施例1に比べて第2結像光学系G2がレンズ群G21～G25より成っている点が異なっている。ここでレンズ群G21は前群、レンズ群G22～レンズ群G25は後群である。

10

#### 【0051】

実施例5は実施例1に比べて試料103からの光束が第2の光学素子M2を通過するまでは同じである。実施例5は光束が第2の光学素子M2の中央透過部M2Tを通過後、レンズL1内部に試料103の中間像IMを形成している。中間像IMからの光は、順に、正の屈折力のレンズ群G21(レンズL2～L8)、開口絞りAS、強い負の屈折力のレンズ群G22(レンズL9)、正の屈折力のレンズ群G23(レンズL10～L11)を通過する。更に強い負の屈折力のレンズ群G24(レンズL12～L13)、正の屈折力のレンズ群G25(レンズL14～L15)を通過する。そして、撮像素子105上に試料103を拡大結像している。

20

#### 【0052】

ここで、第二結像光学系G2は、開口絞りASと強い負の屈折力のレンズ群G24との間に、強い負の屈折力のレンズ群G22、及び、正の屈折力のレンズ群G23を配置している。更に開口絞りASと像面105との間を、負、正、負、正の屈折力のレンズ群という群構成としている。これにより、開口絞りASの直後の負の屈折力のレンズ群G22で発散された光束を、その後の正の屈折力のレンズ群G23で収斂させることができる。更に、開口絞りASから撮像素子105との間に2つの強い負の屈折力群G22、及び、負の屈折力のレンズ群G24を配置することで、軸外光束を光軸AXから離れる向きに大きく偏向することができる。よって、短い光学系全長で大きな拡大倍率を達成するのに適している。また、開口絞りASと像面105との間の負の屈折力を2つのレンズ群で分担することで、各負の屈折力のレンズ群の屈折力が小さく抑えられ、光学系の収差を容易に低減している。

30

#### 【0053】

さらに、遮光部SHはレンズL9のR2面上に配置されており、試料103からの光が、第1の光学素子M1、及び、第2の光学素子M2で反射されることなく、各光学素子M1、M2の中心透過部を通過して直接撮像素子105に到達することを防いでいる。

#### 【0054】

この実施例5の反射屈折光学系104Eにおいて、物体側の開口数NAは0.7、視野領域は28.2mmである。また、開口絞りASと撮像素子105との間に配置された連続する4つのレンズ面のうち、合成屈折力が負の最大値となるレンズ面は、レンズL12のR1面(物体側の面)(L12R1)からレンズL13のR2面(像側の面)(L13R2)である。開口絞りASと撮像素子105との間に強い負の合成屈折力を有する連続する4つのレンズ面L12R1から面L13R2を配置したことにより、500mmという短い光学系全長で6倍の拡大倍率が達成できている。

40

#### 【0055】

更に、撮像素子105の直前に正の屈折力のレンズ群G25を配置したことにより、物体側、像側ともテレセントリックに構成できている。瞳の中抜けの割合は面積比で2割以下と抑えられている。実施例5は各波長において収差は良好に抑えられており、白色光での波面収差最悪値は40m rms以下に抑えられている。

50

## 【0056】

## [比較例]

特許文献2の第1実施例では、視野サイズが 1 mm ( $Y_{max}=0.5mm$ ) であり、 $4n_{max} \cdot Y_{max} = -0.013$  となっている。これは条件式(1)の上限値を超えていている。そのため、視野サイズの割に光学系全長(物体面から像面までの距離)が 900 mm 以上と長くなってしまっている。また、特許文献3の第1実施例では、視野サイズが 14.2 mm ( $Y_{max}=7.1mm$ ) であり、 $4n_{max} \cdot Y_{max} = -0.138$  となっている。これは条件式(1)の上限値を超えていている。そのため、視野サイズの割に光学系全長が 1000 mm 程度と長くなってしまっている。よって、本発明の条件式(1)を満たさないと、光学系全長が長くなってしまい、装置が大型化してしまうため好ましくない。

10

## 【0057】

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。

## 【0058】

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)。 $Nd$ 、 $d$  は波長 587.6 nm 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、 $A, B, C, D, E, F, G, H, J, \dots$  は各々、4次、6次、8次、10次、12次、14次、16次、18次、20次、 $\dots$  の非球面係数である。

20

## 【0059】

## 【数1】

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

## 【0060】

「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6に示す。

30

## 【0061】

## (数値実施例1)

$$n_{sum} \cdot Y_{max} = -0.494$$

$$4n_{max} \cdot Y_{max} = -0.359$$

$$L_2 = 0.0089$$

面番号	$r$	$d$	$Nd$	$d$
物体面		13.39		
1	874.70	28.03	1.49	70.24
2	-4231.60	105.76		
3	-124.98	10.01	1.52	52.43
4	-176.51	-10.01	1.52	52.43
5	-124.98	-105.76		
6	-4231.60	-28.03	1.49	70.24
7	874.70	28.03	1.49	70.24
8	-4231.60	105.76		
9	-124.98	10.01	1.52	52.43
10	-176.51	0.53		
11	90.32	6.36	1.61	56.82

40

50

12	1324.70	4.10				
13	-63.40	5.04	1.58	40.75		
14	1018.95	7.44	1.62	60.29		
15	-62.32	4.95				
16	80.73	8.87	1.59	61.14		
17	376.22	23.62				
18	63.15	12.68	1.62	60.29		
19	727.65	10.30				
20	-103.75	8.15	1.76	27.51		
21	-73.26	30.86				10
22	0.00	43.00				
23	-420.24	15.20	1.72	47.93		
24	-95.89	0.50				
25	116.97	19.45	1.76	47.82		
26	-221.60	0.84				
27	64.76	7.55	1.76	27.51		
28	67.36	14.95				
29	-401.04	5.00	1.74	32.26		
30	55.13	37.49				
31	-60.79	23.10	1.76	27.51		20
32	-64.39	6.57				
33	-48.86	6.63	1.67	32.10		
34	-132.64	3.67				
35	-111.24	14.71	1.74	44.79		
36	-62.94	0.50				
37	305.88	10.23	1.74	44.79		
38	-1718.15	10.50				
像面		0.00				

【 0 0 6 2 】						30
(非球面係数)						
面番号						
1, 7	k= 0.00E+00	A= 5.55E-09	B=-4.47E-14	C= 3.25E-17	D=-2.55E-21	
	E= 2.23E-25	F=-1.00E-29	G= 2.56E-34	H= 0.00E+00	J= 0.00E+00	
4, 10	k= 0.00E+00	A= 4.16E-09	B= 1.72E-13	C= 6.20E-18	D= 1.32E-22	
	E= 1.45E-26	F=-4.69E-31	G= 2.88E-35	H= 0.00E+00	J= 0.00E+00	
17	k= 0.00E+00	A= 9.51E-07	B= 8.27E-12	C= 1.98E-14	D= 6.51E-19	
	E= 1.29E-20	F= 0.00E+00	G= 0.00E+00	H= 0.00E+00	J= 0.00E+00	
19	k= 0.00E+00	A= 1.03E-06	B= 2.12E-10	C= 7.08E-15	D=-8.54E-18	
	E= 3.59E-21	F= 0.00E+00	G= 0.00E+00	H= 0.00E+00	J= 0.00E+00	
26	k= 0.00E+00	A= 2.19E-07	B=-1.80E-11	C= 4.12E-15	D=-9.97E-19	
	E= 1.19E-22	F= 0.00E+00	G= 0.00E+00	H= 0.00E+00	J= 0.00E+00	
30	k= 0.00E+00	A= 1.84E-07	B= 5.70E-11	C=-5.40E-14	D= 5.15E-17	
	E=-1.60E-20	F= 0.00E+00	G= 0.00E+00	H= 0.00E+00	J= 0.00E+00	
38	k= 0.00E+00	A=-3.33E-07	B=-2.49E-11	C= 2.47E-14	D=-8.17E-18	
	E= 9.83E-22	F= 0.00E+00	G= 0.00E+00	H= 0.00E+00	J= 0.00E+00	

【 0 0 6 3 】						50
( 数値実施例 2 )						

$n\_sum \cdot Y_{max} = -0.329$

$4n_{max} \cdot Y_{max} = -0.510$

$L_2 = 0.0066$

面番号	r	d	Nd	d	
物体面		13.39			
1	914.69	10.00	1.52	58.90	
2	-3746.87	108.16			
3	-119.33	10.30	1.52	58.90	
4	-171.61	-10.30	1.52	58.90	10
5	-119.33	-108.16			
6	-3746.87	-10.00	1.52	58.90	
7	914.69	10.00	1.52	58.90	
8	-3746.87	108.16			
9	-119.33	10.30	1.52	58.90	
10	-171.61	10.50			
11	-166.20	6.28	1.60	60.64	
12	-78.85	2.58			
13	-59.36	5.00	1.70	30.13	
14	165.70	8.66	1.58	59.37	20
15	-60.59	12.89			
16	91.17	32.10	1.74	44.79	
17	32606.75	20.79			
18	64.72	23.38	1.74	44.79	
19	-93.02	13.04	1.70	30.13	
20	924.91	8.49			
21	-124.32	5.86	1.72	50.23	
22	-106.70	32.20			
23	0.00	30.00			
24	286.56	12.00	1.72	50.23	30
25	-348.88	0.50			
26	482.47	15.14	1.76	26.52	
27	-133.69	4.39			
28	69.00	21.22	1.62	58.17	
29	-674.14	3.68			
30	-351.10	5.00	1.70	30.13	
31	43.45	52.65			
32	-48.16	5.00	1.52	52.43	
33	122.81	2.31			
34	138.39	17.97	1.72	50.23	40
35	-156.35	0.50			
36	149.52	8.70	1.74	44.79	
37	301.27	19.30			
38	245.18	18.02	1.74	44.79	
39	-537.83	10.00			
像面		0.00			

【 0 0 6 4 】

(非球面係数)

面番号

50

1,7	k= 0.00E+00 E= 1.43E-25	A= 7.23E-09 F=-1.32E-29	B= 2.58E-13 G= 6.00E-34	C= 4.55E-18 H= 0.00E+00	D=-3.30E-23 J= 0.00E+00
4,10	k= 0.00E+00 E= 1.80E-26	A= 4.67E-09 F=-1.31E-31	B= 2.22E-13 G= 2.63E-35	C= 9.16E-18 H= 0.00E+00	D= 2.18E-22 J= 0.00E+00
17	k= 0.00E+00 E=-2.20E-21	A= 4.59E-07 F= 0.00E+00	B= 5.81E-11 G= 0.00E+00	C= 4.24E-15 H= 0.00E+00	D= 5.46E-18 J= 0.00E+00
20	k= 0.00E+00 E= 1.70E-20	A= 1.16E-06 F= 0.00E+00	B= 2.27E-10 G= 0.00E+00	C= 7.60E-14 H= 0.00E+00	D=-1.40E-17 J= 0.00E+00
27	k= 0.00E+00 E=-1.99E-23	A= 2.36E-07 F= 0.00E+00	B=-7.77E-12 G= 0.00E+00	C=-6.93E-16 H= 0.00E+00	D= 3.97E-19 J= 0.00E+00
31	k= 0.00E+00 E= 9.63E-20	A=-1.17E-08 F= 0.00E+00	B= 2.80E-11 G= 0.00E+00	C= 1.26E-13 H= 0.00E+00	D=-8.64E-17 J= 0.00E+00
32	k= 0.00E+00 E= 7.72E-20	A= 9.61E-07 F= 0.00E+00	B= 3.85E-10 G= 0.00E+00	C= 2.59E-13 H= 0.00E+00	D=-4.59E-17 J= 0.00E+00

## 【 0 0 6 5 】

## ( 数値実施例 3 )

n\_sum · Y\_max = - 0.405

4 n\_max · Y\_max = - 0.270

L2 = 0.0028

10

20

面番号	r	d	Nd	d	
物体面		13.39			
1	586.79	30.00	1.44	94.95	
2	-3739.09	84.78			
3	-120.61	8.81	1.52	64.14	
4	-168.63	-8.81	1.52	64.14	
5	-120.61	-84.78			
6	-3739.09	-30.00	1.44	94.95	
7	586.79	30.00	1.44	94.95	30
8	-3739.09	84.78			
9	-120.61	8.81	1.52	64.14	
10	-168.63	10.50			
11	-77.11	5.00	1.60	39.24	
12	266.92	2.71			
13	-723.40	9.66	1.72	46.02	
14	-29.36	5.00	1.70	30.13	
15	-143.84	0.50			
16	79.04	7.96	1.74	44.79	
17	-391.94	16.42			40
18	144.85	12.47	1.64	60.08	
19	-86.52	0.50			
20	136.18	5.00	1.74	44.79	
21	156.95	47.11			
22	122.64	16.20	1.52	64.14	
23	-71.07	3.00			
24	0.00	-2.50			
25	102.71	11.64	1.74	32.26	
26	-347.95	0.50			
27	126.81	5.00	1.67	38.15	50

28	57.67	15.23				
29	-75.67	5.00	1.75	35.33		
30	104.26	22.30				
31	1754.93	19.83	1.76	40.10		
32	-82.11	0.50				
33	77.24	24.41	1.62	60.29		
34	-854.55	23.42				
35	-443.76	11.23	1.74	32.26		
36	73.05	43.96				
37	590.09	7.43	1.72	34.71		10
38	371.26	11.91				
39	184.27	10.63	1.76	27.51		
40	-7014.76	10.50				
像面	0					

## 【 0 0 6 6 】

(非球面係数)

面番号

1, 7	k= 0.00E+00 E= 1.35E-25	A= 9.45E-09 F=-9.87E-30	B= 2.42E-13 G= 4.63E-34	C= 1.77E-17 H= 0.00E+00	D=-4.42E-22 J= 0.00E+00	20
4, 10	k= 0.00E+00 E=-3.64E-26	A= 7.09E-09 F= 5.80E-30	B= 3.80E-13 G=-1.18E-34	C= 1.50E-17 H= 0.00E+00	D= 1.07E-21 J= 0.00E+00	
17	k= 0.00E+00 E=-1.02E-19	A= 1.09E-06 F= 0.00E+00	B=-9.09E-11 G= 0.00E+00	C= 1.29E-13 H= 0.00E+00	D=-4.46E-17 J= 0.00E+00	
21	k= 0.00E+00 E= 1.35E-19	A= 9.93E-07 F= 0.00E+00	B= 4.54E-10 G= 0.00E+00	C= 2.40E-13 H= 0.00E+00	D=-4.60E-17 J= 0.00E+00	
22	k= 0.00E+00 E=-3.88E-21	A=-3.59E-07 F= 0.00E+00	B= 1.92E-11 G= 0.00E+00	C=-3.34E-15 H= 0.00E+00	D= 4.34E-18 J= 0.00E+00	
35	k= 0.00E+00 E= 2.65E-21	A=-1.20E-06 F= 0.00E+00	B= 1.22E-10 G= 0.00E+00	C= 8.36E-14 H= 0.00E+00	D=-2.85E-17 J= 0.00E+00	30
37	k= 0.00E+00 E=-7.17E-22	A= 1.08E-06 F= 0.00E+00	B=-1.09E-10 G= 0.00E+00	C= 5.30E-16 H= 0.00E+00	D= 4.22E-18 J= 0.00E+00	

## 【 0 0 6 7 】

(数値実施例 4 )

$$n_{sum} \cdot Y_{max} = -0.176$$

$$4n_{max} \cdot Y_{max} = -0.141$$

$$L_2 = 0.0083$$

面番号	r	d	Nd	d		40
物体面		15.82				
1	901.94	22.89	1.52	58.90		
2	-3197.73	93.13				
3	-144.83	11.11	1.52	58.90		
4	-181.87	-11.11	1.52	58.90		
5	-144.83	-93.13				
6	-3197.73	-22.89	1.52	58.90		
7	901.94	22.89	1.52	58.90		
8	-3197.73	93.13				
9	-144.83	11.11	1.52	58.90		50

10	-181.87	10.18				
11	-120.00	6.14	1.74	44.79		
12	-85.45	3.34				
13	-49.88	5.25	1.64	34.47		
14	32.06	7.75	1.74	44.79		
15	-239.70	0.50				
16	46.16	8.68	1.72	43.71		
17	-96.38	15.77				
18	42.98	9.77	1.76	47.82		
19	-116.10	1.65				10
20	-116.10	5.55	1.80	29.84		
21	-69.89	7.93				
22	-30.23	5.55	1.53	48.84		
23	523.21	2.32				
24	0.00	1.00				
25	-2496.38	13.59	1.73	40.51		
26	-56.33	4.23				
27	-135.33	7.65	1.60	60.64		
28	-54.37	26.11				
29	58.55	18.80	1.76	47.82		20
30	-329.61	9.89				
31	-80.12	5.00	1.72	34.71		
32	171.07	12.67				
33	-637.02	6.27	1.74	32.26		
34	-112.67	9.87				
35	-603.68	5.10	1.61	44.27		
36	121.23	8.84				
37	-51.43	5.00	1.76	27.51		
38	750.98	8.79				
39	-27.80	5.00	1.60	60.64		30
40	-667.36	9.36				
41	-295.65	8.02	1.58	59.37		
42	-118.89	5.79				
43	-73.00	11.77	1.74	44.79		
44	-52.55	0.50				
45	99.25	16.98	1.60	39.24		
46	-5527.02	10.12				
47	195.00	13.78	1.74	32.26		
48	511.43	42.54				
像面	0					40

## 【 0 0 6 8 】

(非球面係数)

面番号

1, 7	k= 0.00E+00	A= 1.68E-09	B=-2.27E-14	C= 6.48E-18	D= 2.22E-22	
	E=-6.17E-26	F= 6.45E-30	G=-2.24E-34	H= 0.00E+00	J= 0.00E+00	
4, 10	k= 0.00E+00	A= 3.18E-09	B= 1.33E-13	C= 4.64E-18	D= 7.74E-23	
	E= 1.31E-26	F=-5.87E-31	G= 3.00E-35	H= 0.00E+00	J= 0.00E+00	
17	k= 0.00E+00	A= 6.33E-06	B= 3.98E-09	C= 3.09E-11	D=-2.89E-13	
	E= 4.86E-21	F= 0.00E+00	G= 0.00E+00	H= 0.00E+00	J= 0.00E+00	50

21	$k = 0.00E+00$	$A = 1.58E-06$	$B = 4.93E-10$	$C = -1.65E-13$	$D = -4.51E-15$
	$E = 1.59E-19$	$F = 0.00E+00$	$G = 0.00E+00$	$H = 0.00E+00$	$J = 0.00E+00$
26	$k = 0.00E+00$	$A = 8.11E-07$	$B = -2.29E-11$	$C = -2.76E-13$	$D = 2.90E-16$
	$E = -1.03E-18$	$F = 0.00E+00$	$G = 0.00E+00$	$H = 0.00E+00$	$J = 0.00E+00$
32	$k = 0.00E+00$	$A = 1.97E-06$	$B = -7.11E-10$	$C = -3.06E-13$	$D = -7.13E-17$
	$E = -4.75E-20$	$F = 0.00E+00$	$G = 0.00E+00$	$H = 0.00E+00$	$J = 0.00E+00$
48	$k = 0.00E+00$	$A = 1.55E-07$	$B = 8.66E-12$	$C = 1.67E-15$	$D = -5.06E-19$
	$E = 7.51E-23$	$F = 0.00E+00$	$G = 0.00E+00$	$H = 0.00E+00$	$J = 0.00E+00$

【 0 0 6 9 】

10

( 数値実施例 5 )

 $n_{sum} \cdot Y_{max} = -0.576$  $4n_{max} \cdot Y_{max} = -0.347$  $L_2 = 0.0083$ 

面番号	r	d	Nd	d	
物体面		3.00			
1	783.74	28.01	1.49	70.24	
2	-797.06	81.57			
3	-102.12	7.77	1.52	64.14	20
4	-140.83	-7.77	1.52	64.14	
5	-102.12	-81.57			
6	-797.06	-28.01	1.49	70.24	
7	783.74	28.01	1.49	70.24	
8	-797.06	81.57			
9	-102.12	7.77	1.52	64.14	
10	-140.83	3.49			
11	-154.32	7.05	1.64	55.38	
12	-72.36	0.50			
13	63.71	17.64	1.44	94.95	30
14	-50.65	5.00	1.67	38.15	
15	531.40	7.25			
16	134.93	13.56	1.70	48.52	
17	-176.29	0.50			
18	54.79	12.36	1.60	65.44	
19	118.83	14.42			
20	234.49	11.45	1.75	35.28	
21	-144.57	3.61			
22	99.73	17.43	1.60	65.44	
23	-54.76	5.00	1.67	38.15	40
24	-392.90	1.00			
25	0.00	3.84			
26	-82.47	5.00	1.61	43.71	
27	106.23	26.38			
28	-475.21	23.33	1.72	43.69	
29	-65.34	0.50			
30	136.04	26.85	1.49	70.24	
31	-132.13	44.13			
32	-86.09	5.00	1.74	32.26	
33	175.53	29.93			50

34	-56.65	5.00	1.49	70.24	
35	-1735.21	11.41			
36	-183.59	29.63	1.76	40.10	
37	-85.12	6.37			
38	456.98	31.46	1.68	50.72	
39	-468.94	10.50			
像面		0			

## 【0070】

(非球面係数)

面番号

1, 7	k= 0.00E+00 E=-9.72E-25	A= 1.67E-09 F= 1.54E-28	B= 3.09E-13 G=-7.54E-33	C= 3.96E-17 H= 0.00E+00	D= 3.63E-21 J= 0.00E+00	
4, 10	k= 0.00E+00 E= 1.53E-25	A= 7.26E-09 F=-8.73E-30	B= 4.06E-13 G= 6.74E-34	C= 2.43E-17 H= 0.00E+00	D= 2.13E-22 J= 0.00E+00	
13	k= 0.00E+00 E=-6.07E-18	A=-6.61E-07 F= 4.64E-21	B= 3.61E-10 G=-1.49E-24	C=-1.77E-12 H= 0.00E+00	D= 4.28E-15 J= 0.00E+00	
19	k= 0.00E+00 E=-1.34E-19	A= 1.06E-06 F= 8.62E-23	B= 1.26E-10 G=-2.47E-26	C=-3.89E-14 H= 0.00E+00	D= 1.21E-16 J= 0.00E+00	
20	k= 0.00E+00 E=-6.10E-20	A=-2.24E-07 F= 4.21E-23	B=-2.10E-10 G=-1.52E-26	C= 7.61E-14 H= 0.00E+00	D= 2.93E-17 J= 0.00E+00	20
22	k= 0.00E+00 E=-2.82E-19	A=-3.39E-07 F= 2.37E-22	B= 1.40E-10 G=-7.09E-26	C=-1.22E-13 H= 0.00E+00	D= 1.12E-16 J= 0.00E+00	
27	k= 0.00E+00 E=-9.05E-19	A=-8.37E-07 F= 5.49E-22	B= 4.38E-10 G=-1.47E-25	C=-6.29E-13 H= 0.00E+00	D= 8.80E-16 J= 0.00E+00	
28	k= 0.00E+00 E=-1.39E-21	A=-5.75E-07 F= 1.53E-25	B= 6.56E-11 G=-2.07E-29	C=-8.58E-15 H= 0.00E+00	D= 2.98E-18 J= 0.00E+00	
31	k= 0.00E+00 E=-3.12E-22	A=-2.68E-07 F= 4.81E-26	B= 3.68E-11 G=-1.39E-30	C= 1.85E-15 H= 0.00E+00	D= 1.56E-19 J= 0.00E+00	
32	k= 0.00E+00 E= 3.66E-21	A=-1.11E-06 F=-2.08E-24	B= 1.65E-10 G= 4.09E-28	C= 1.46E-15 H= 0.00E+00	D=-1.61E-17 J= 0.00E+00	30
35	k= 0.00E+00 E=-2.37E-21	A=-7.37E-07 F= 2.68E-25	B= 2.14E-10 G=-1.43E-29	C=-5.75E-14 H= 0.00E+00	D= 1.31E-17 J= 0.00E+00	
39	k= 0.00E+00 E=-1.62E-22	A=-2.14E-07 F= 8.95E-27	B= 3.18E-11 G=-2.10E-31	C=-8.94E-15 H= 0.00E+00	D= 1.60E-18 J= 0.00E+00	

## 【0071】

## 【表1】

表1

条件式	数値実施例				
	1	2	3	4	5
(1)	-0.359	-0.510	-0.270	-0.141	-0.347
(2)	-0.494	-0.329	-0.405	-0.176	-0.576
(合成屈折力) $\phi_{L2}$	0.0089	0.0066	0.0028	0.0083	0.0083

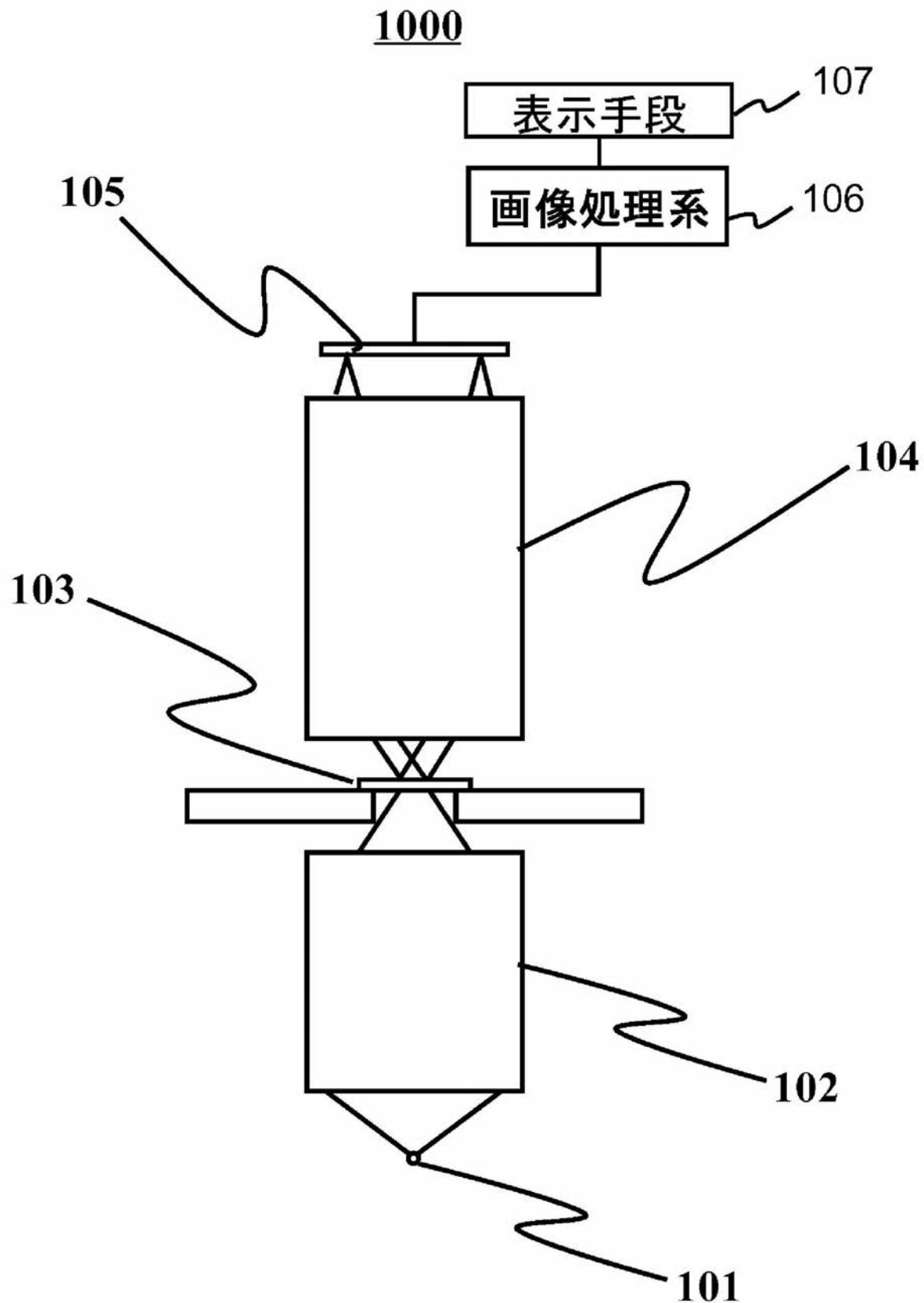
## 【符号の説明】

## 【0072】

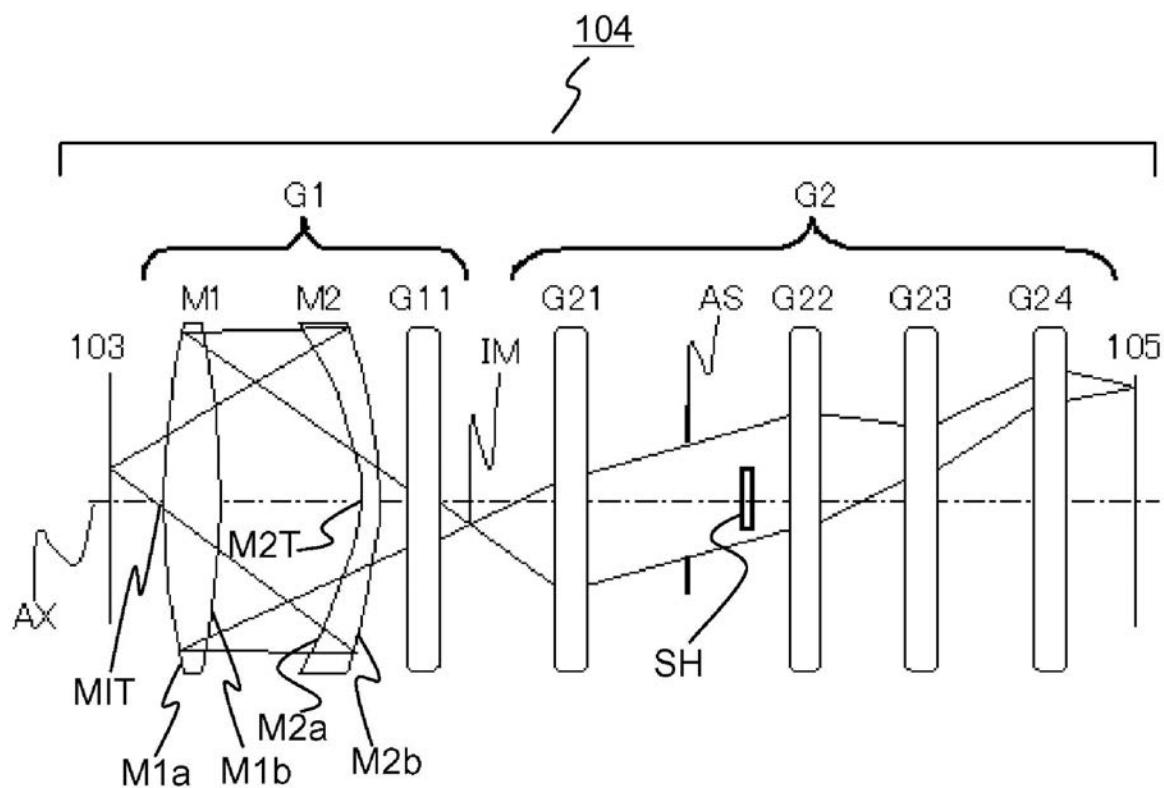
1 0 1	光源、	1 0 2	照明光学系、	1 0 3	試料、	1 0 4	反射屈折光	
学系、	1 0 5	撮像素子、	A S	開口絞り、	I M	中間像、	M 1	第 1

の光学素子、 M 2 第 2 の光学素子、 G 1 第 1 結像光学系、 G 2 第 2 結像光学系

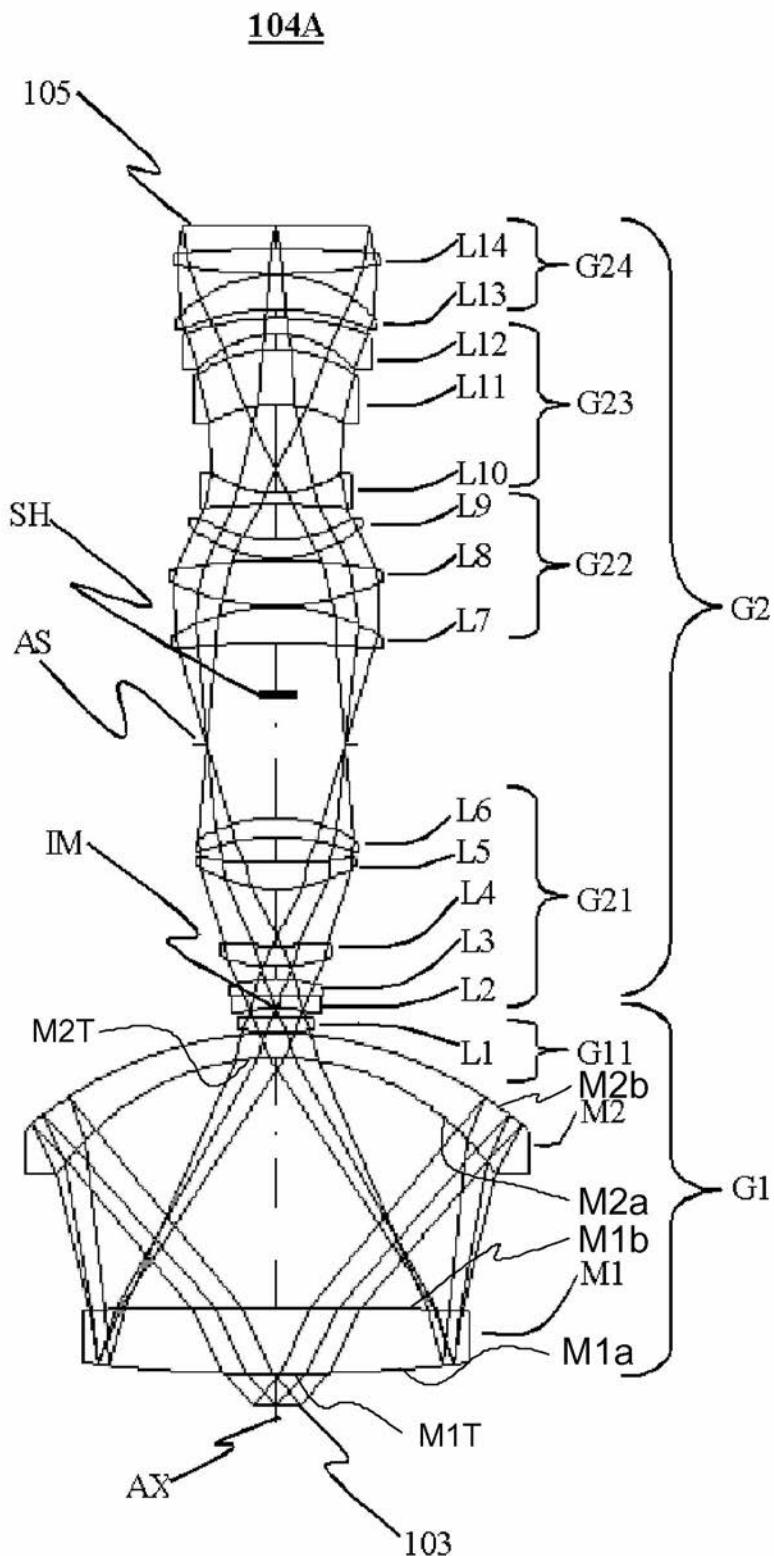
【図1】



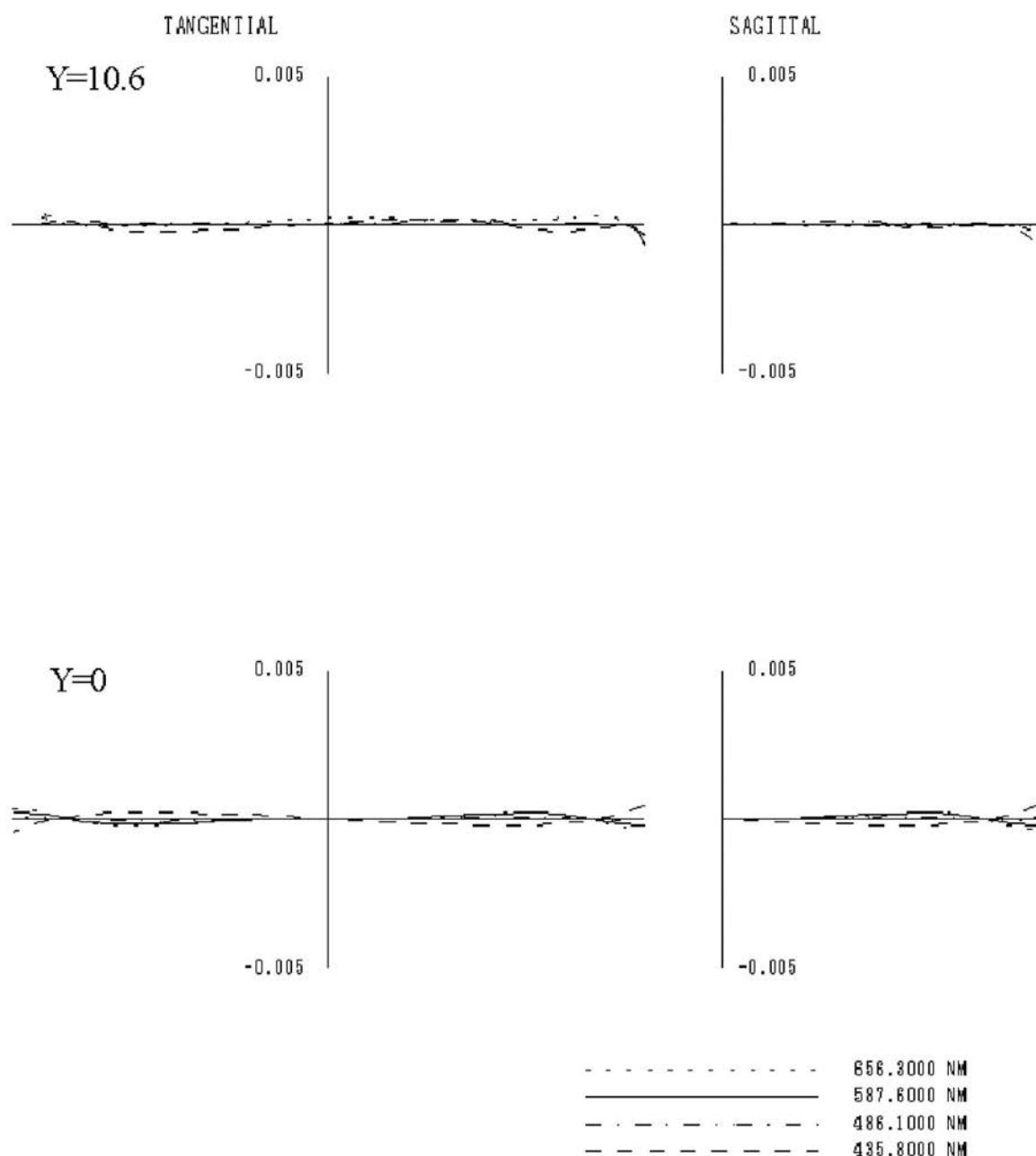
【図2】



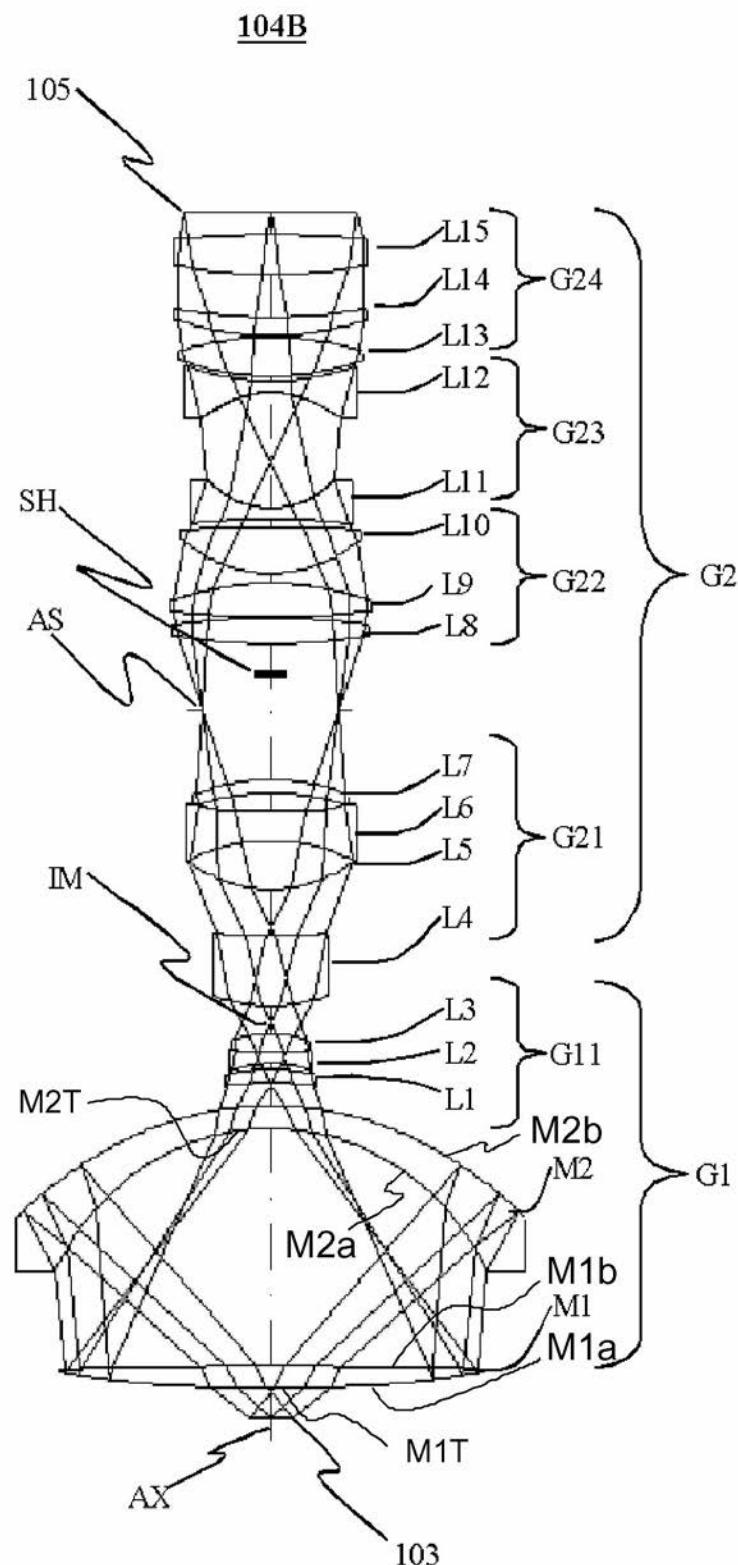
【図3】



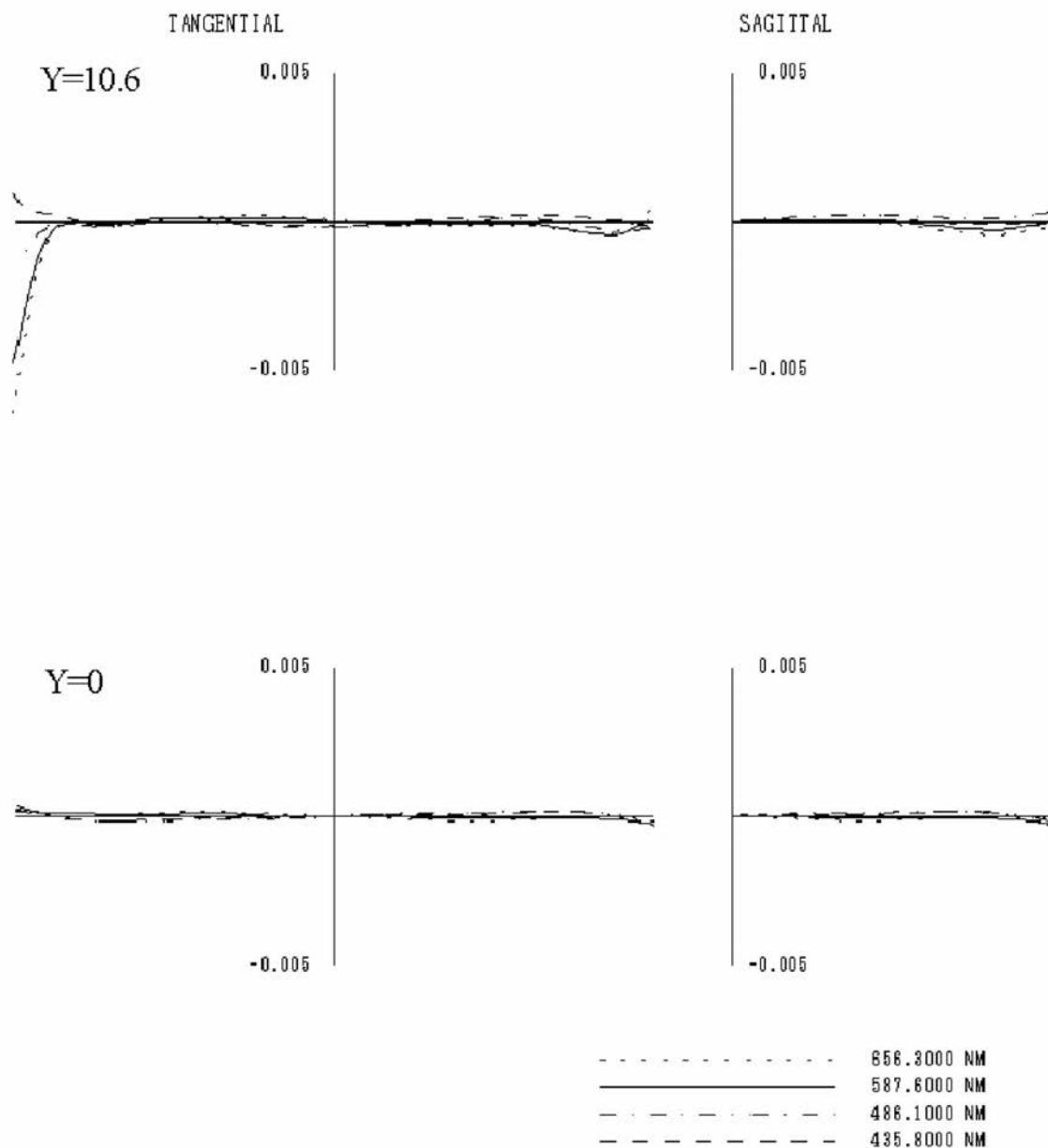
【図4】



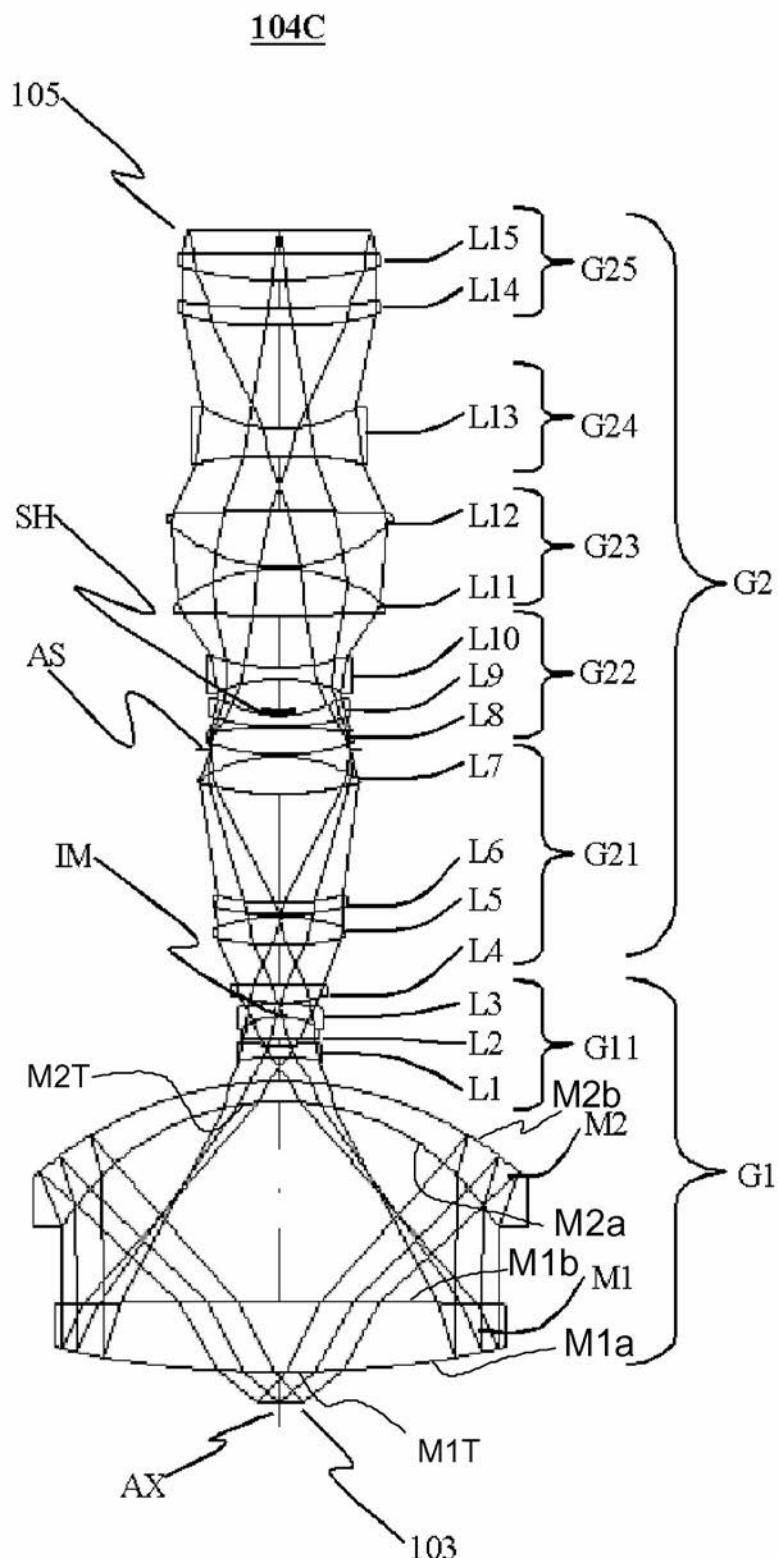
【図5】



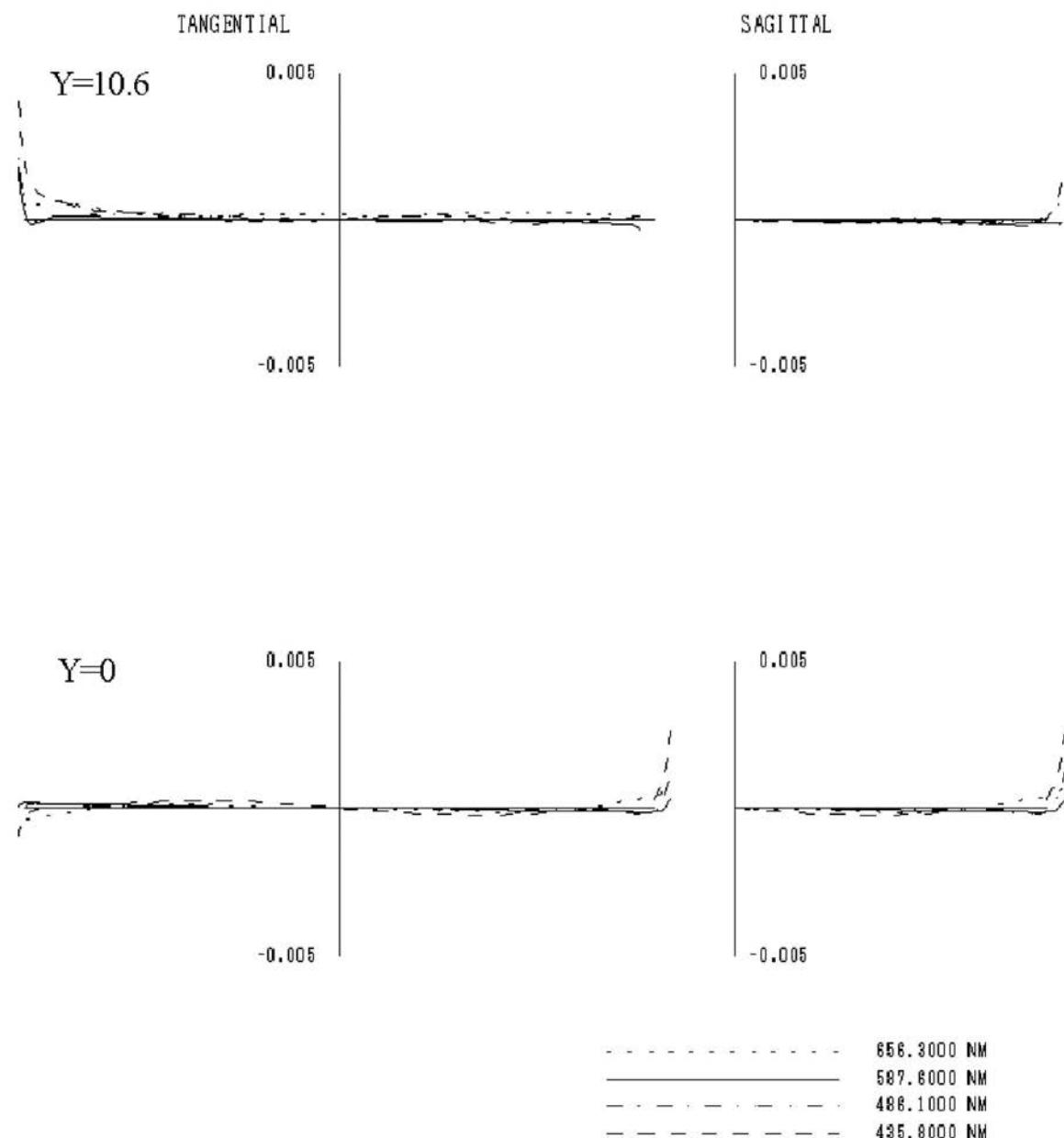
【図6】



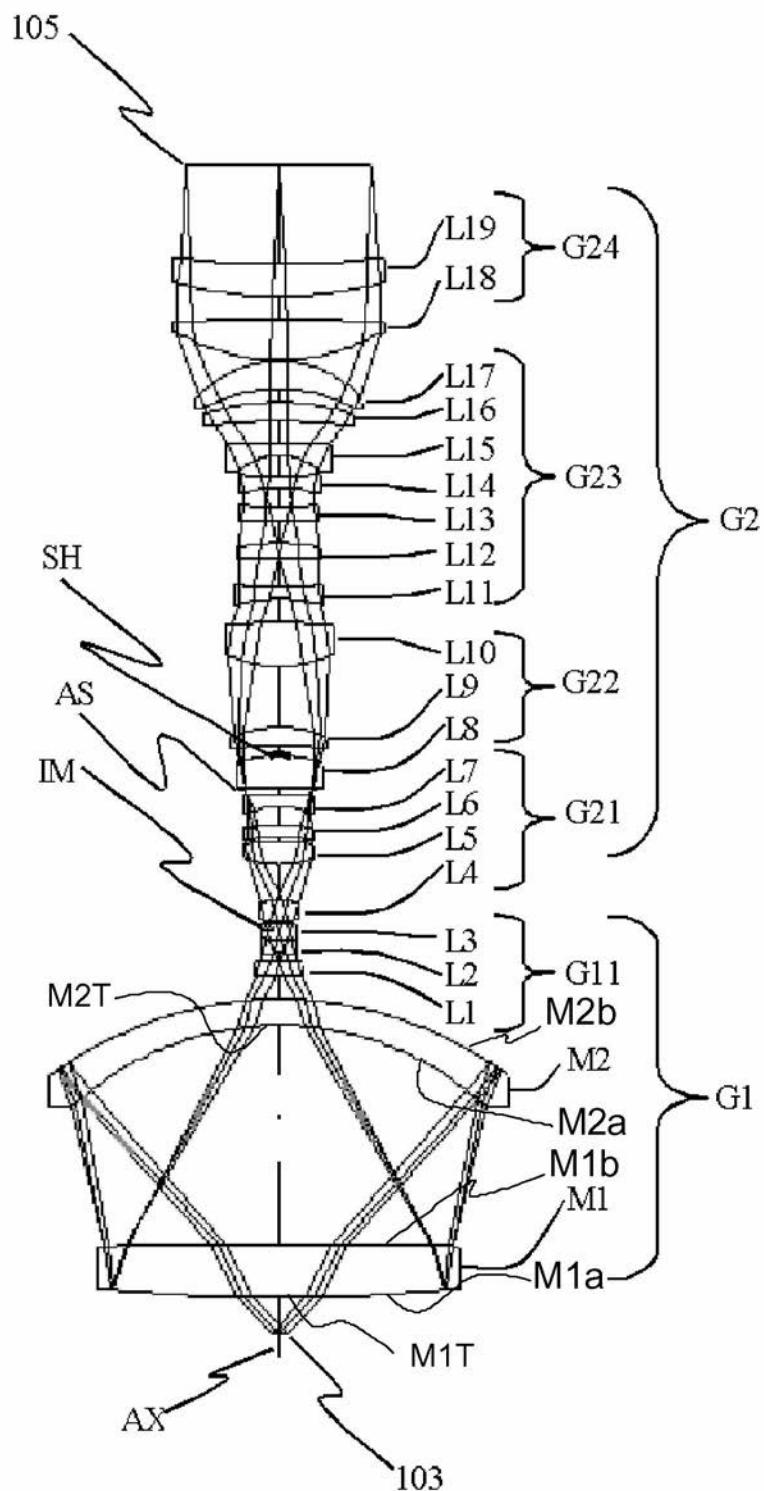
【図7】



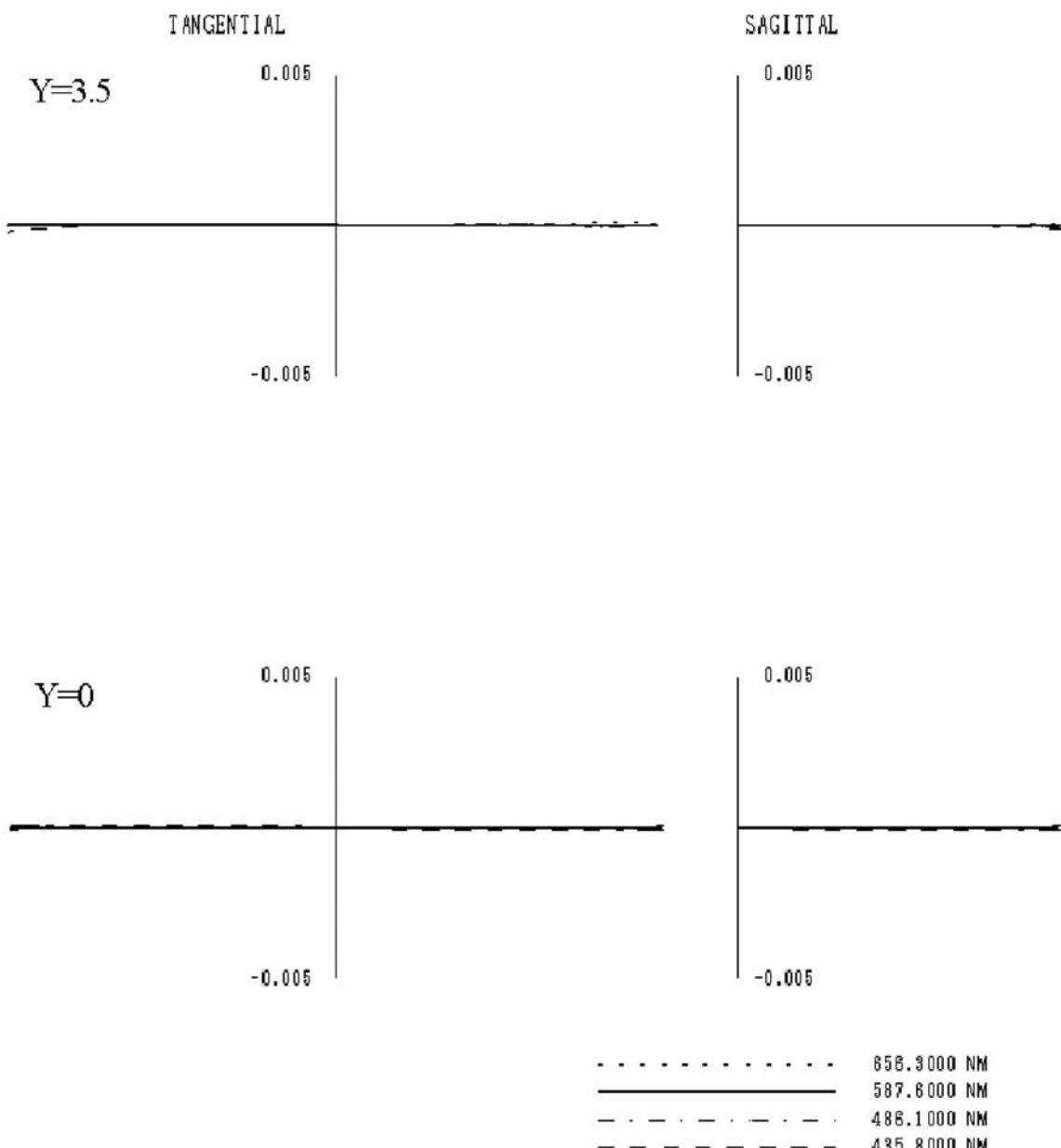
【図8】



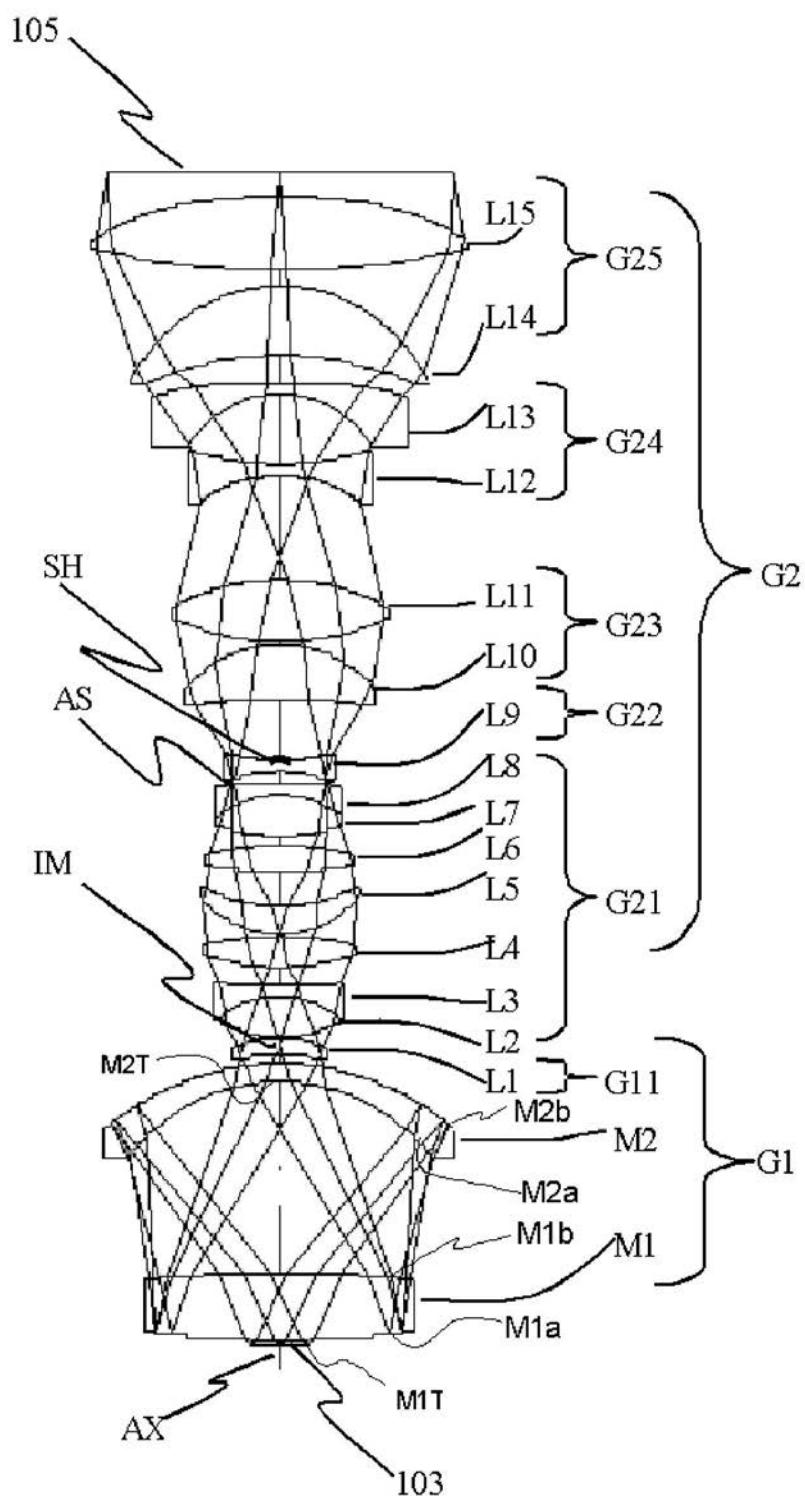
【図9】

104D

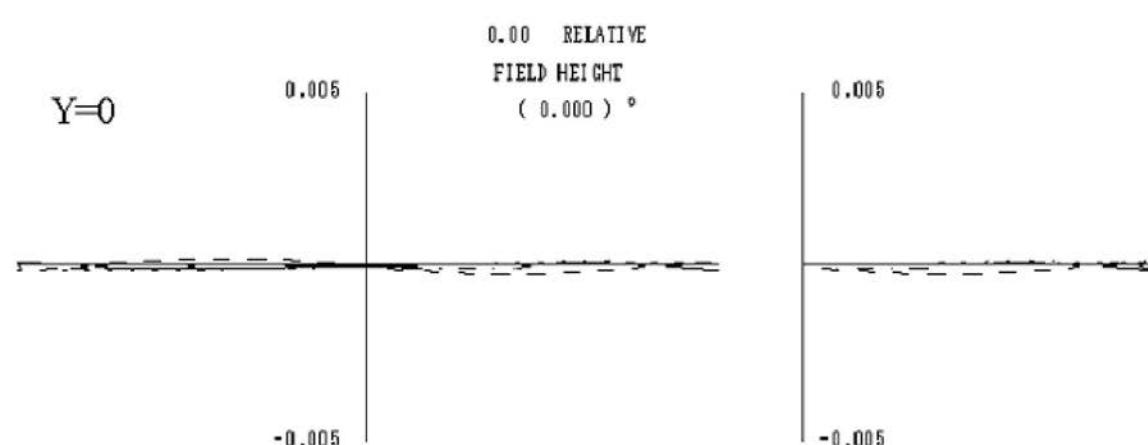
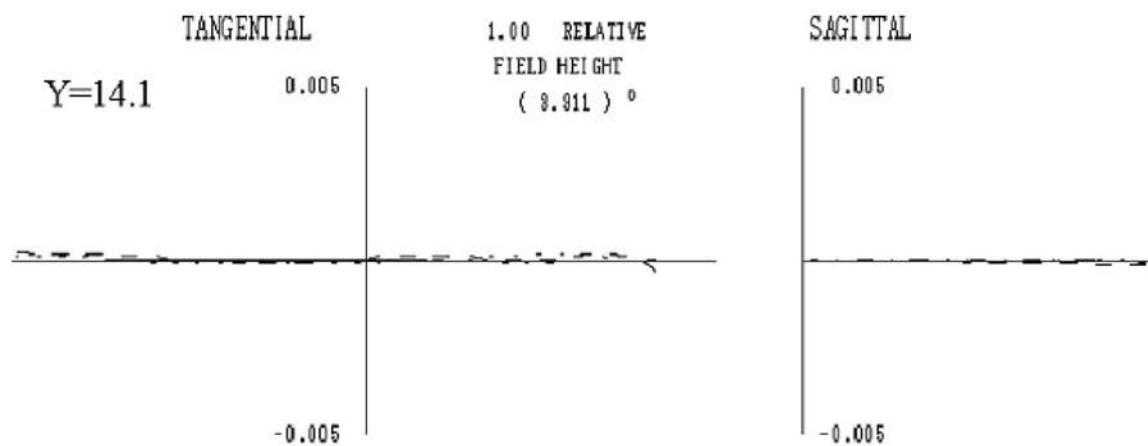
【図10】



【図11】

104E

【図12】



-----  
-----  
-----  
-----  
-----

---

フロントページの続き

審査官 原田 英信

(56)参考文献 特開2002-82285 (JP, A)  
米国特許出願公開第2006/0082905 (US, A1)  
国際公開第2009/154731 (WO, A2)

(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