

(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2011-43793

(P2011-43793A)

(43) 公開日 平成23年3月3日(2011.3.3)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G02B 26/10 (2006.01)	G02B 26/10 D	2H040
G02B 13/00 (2006.01)	G02B 26/10 109	2H045
G02B 23/24 (2006.01)	G02B 13/00	2H087
A61B 1/00 (2006.01)	G02B 23/24 A	4C061
	A61B 1/00 300Y	
審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 23 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2010-108930 (P2010-108930)	(71) 出願人	000113263
(22) 出願日	平成22年5月11日 (2010.5.11)		H O Y A 株式会社
(31) 優先権主張番号	特願2009-172433 (P2009-172433)		東京都新宿区中落合2丁目7番5号
(32) 優先日	平成21年7月23日 (2009.7.23)	(74) 代理人	100078880
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 松岡 修平
		(74) 代理人	100148895
			弁理士 荒木 佳幸
		(72) 発明者	村山 稔
			東京都新宿区中落合2丁目7番5号 H O
			Y A 株式会社内
		Fターム(参考)	2H040 BA02 CA07 CA12 CA26
			2H045 AE05 CA55 DA02 DA31

最終頁に続く

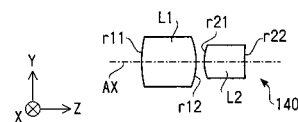
(54) 【発明の名称】 走査用対物レンズ、走査型プローブ、及び走査型内視鏡

(57) 【要約】

【課題】 小型かつ広視野角でありつつも良好な光学性能を有する走査用対物レンズを提供すること。

【解決手段】 所定の湾曲面上を所定の軌跡で移動する光ファイバ射出端から射出された光を対象物上で走査させるための走査用対物レンズであって、光ファイバの射出端側から順に、正のパワーを有する第一レンズ群、正のパワーを有する第二レンズ群を有し、該第一レンズ群及び該第二レンズ群を所定の条件を満たすように構成した走査用対物レンズを提供する。

【選択図】 図5



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

対物レンズ側に凸の湾曲面上を所定の軌跡で移動する光ファイバ射出端から射出された光を対象物上で走査させるための走査用対物レンズであって、

前記射出端側から順に、正のパワーを有する第一レンズ群、正のパワーを有する第二レンズ群を有し、

前記第一レンズ群の焦点距離を f_1 (単位: mm) と定義し、前記第二レンズ群の焦点距離を f_2 (単位: mm) と定義し、該第一レンズ群の各面のうち前記射出端側に最も近い面の曲率半径を R_{1a} (単位: mm) と定義し、該第一レンズ群の各面のうち前記対象物側に最も近い面の曲率半径を R_{1b} (単位: mm) と定義した場合に、次の条件式 (1)

$$0.60 < f_1 / f_2 < 1.25 \cdots (1)$$

$$0.95 < |R_{1a} / R_{1b}| < 2.50 \cdots (2)$$

を同時に満たすことを特徴とする走査用対物レンズ。

【請求項 2】

前記第二レンズ群の各面のうち前記対象物側に最も近い面が凹面であって、該凹面の曲率半径を R_{2b} (単位: mm) と定義し、全系の焦点距離を f (単位: mm) と定義した場合に、次の条件式 (3)

$$1.25 < R_{2b} / f < 4.80 \cdots (3)$$

を満たすことを特徴とする、請求項 1 に記載の走査用対物レンズ。

【請求項 3】

前記第一レンズ群は、前記射出端側から順に、第一の負レンズ、第一の正レンズが配置され、互いを貼り合わせた接合レンズであって、該第一レンズ群の光軸上の厚みを d_1 (単位: mm) と定義し、該第一の負レンズの光軸上の厚みを d_{11} (単位: mm) と定義し、該第一の負レンズの e 線に対するアッペ数を v_{11} と定義し、該第一の正レンズの e 線に対するアッペ数を v_{12} と定義した場合に、次の条件式 (4)、(5)

$$0.35 < d_{11} / d_1 < 0.60 \cdots (4)$$

$$2.0 < v_{12} - v_{11} \cdots (5)$$

を同時に満たすことを特徴とする、請求項 1 又は請求項 2 に記載の走査用対物レンズ。

【請求項 4】

前記第一レンズ群は単レンズであることを特徴とする、請求項 1 又は請求項 2 に記載の走査用対物レンズ。

【請求項 5】

前記第二レンズ群は、前記射出端側から順に、第二の正レンズ、第二の負レンズが配置され、互いを貼り合わせた接合レンズであって、該第二の負レンズの e 線に対するアッペ数を v_{22} と定義した場合に、次の条件式 (6)

$$v_{22} < 2.5 \cdots (6)$$

を満たすことを特徴とする、請求項 1 から請求項 4 の何れか一項に記載の走査用対物レンズ。

【請求項 6】

前記第二レンズ群は単レンズであることを特徴とする、請求項 1 から請求項 4 の何れか一項に記載の走査用対物レンズ。

【請求項 7】

前記第二レンズ群の後段に、負のパワーを有する第三レンズ群を有することを特徴とする、請求項 1 から請求項 6 の何れか一項に記載の走査用対物レンズ。

【請求項 8】

所定の光源から射出された前記光を前記対象物に向けて伝送する前記光ファイバと、

前記光ファイバ射出端が前記所定の湾曲面上を前記所定の軌跡で周期的に移動するように該光ファイバを振動させる振動手段と、

前記射出端から射出された前記光を前記対象物上で走査させるための請求項 1 から請求

10

20

30

40

50

項 7 の何れか一項に記載の走査用対物レンズと、

前記走査された光の反射光を受光して所定の画像処理装置に出力する光出力手段と、
を有することを特徴とする走査型プローブ。

【請求項 9】

所定の光源から射出された前記光を前記対象物に向けて伝送する前記光ファイバと、
前記光ファイバ射出端が前記所定の湾曲面上を前記所定の軌跡で周期的に移動するように該光ファイバを振動させる振動手段と、

前記射出端から射出された前記光を前記対象物上で走査させるための請求項 1 から請求項 7 の何れか一項に記載の走査用対物レンズと、

前記走査された光の反射光を受光して所定の画像処理装置に出力する光出力手段と、
を有することを特徴とする走査型内視鏡。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、極細径の光ファイバの先端を共振させて対象物を光走査して画像情報を取得する走査型プローブ、走査型内視鏡、及びこれらに好適な対物レンズ（以下、「走査用対物レンズ」と記す。）に関する。

【背景技術】

【0002】

医師が患者の体腔内を診断する際に使用する医療機器として、電子スコープが一般的に知られている。この種の電子スコープの先端部は、当該スコープの挿入部が患者の体腔内や微少な隙間に円滑に挿入されるように小型に設計されている。電子スコープの先端部には、種々の部品が実装されている。先端部の設計上可能な最小外形寸法は、寸法の大きい実装部品（例えば固体撮像素子）によって実質的に規定される。従って、先端部を細径化させるためには、より一層小型化された固体撮像素子等を選択することが望まれる。しかし、例えば固体撮像素子は、一般に小型であるほど、解像度やダイナミックレンジ、S/N 比等に関する性能が低下する。そのため、先端部を細径化させたい場合であっても、小さな固体撮像素子を安易に選択することはできない。

20

【0003】

そこで、固体撮像素子自体を不要とした構成を採用することによって、従来型の電子スコープ（つまり、固体撮像素子を搭載した電子スコープ）よりも細径化させることが可能な走査型プローブが提案されている。この種の走査型プローブを有する医療用観察システムの具体的構成例は、特許文献 1 に記載されている。特許文献 1 に記載の走査型プローブは、単一の光ファイバの先端を共振させて所定の走査光により対象物を所定の走査パターンで走査する。かかる走査型プローブは、対象物からの反射光を検出して光電変換しビデオプロセッサに順次出力する。ビデオプロセッサは、光電変換された信号を処理して画像化しモニタに出力する。医師は、このようにして得られた体腔内の映像を、電子スコープを使用した場合と同じくモニタを通じて観察し診断や施術等を行うことができる。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

40

【0004】

【特許文献 1】米国特許第 6, 856, 712 号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献 1 に記載の走査型プローブは、光ファイバの射出端に走査用対物レンズ（マイクロレンズ）を備えている。当該走査型プローブにおいては、従来型の電子スコープと異なり、光源（ここでは光ファイバの射出端）が移動する。そのため、従来型の電子スコープに搭載されている対物レンズの場合と同じ技術的思想をもって走査用対物レンズを設計すると、従来想定し得ない異質の問題が生じることが想定される。例えば、光ファイバの

50

射出端である光源が移動すると、その移動軌跡が描く仮想的な面は平面ではなく対物レンズに対して凸な曲面になる。そのため、像面湾曲が非常に大きくなることが想定される。このように、特許文献 1 に記載の走査用対物レンズには種々の問題が内在する。それにも拘わらず、特許文献 1 においてはこれらの問題が看過されており、当該走査用対物レンズの具体的構成について何ら記載がされていない。

【0006】

本発明は上記の事情に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、良好な画像を撮影するために好適に構成された走査型プローブ、走査型内視鏡、及び該走査型プローブ又は該走査型内視鏡に搭載された走査用対物レンズを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記の課題を解決する本発明の一形態に係る走査用対物レンズは、極細径の光ファイバの先端を共振させて対象物を光走査して画像情報を取得する走査型プローブに搭載される小型で視野角の広い走査用対物レンズであって、対物レンズ側に凸の湾曲面上を所定の軌跡で周期的に移動する光ファイバ射出端から射出された光を対象物上で走査させるのに適した光学性能を有している。具体的には、当該走査用対物レンズは、光ファイバの射出端側から順に、正のパワーを有する第一レンズ群、正のパワーを有する第二レンズ群を有している。そして、第一レンズ群の焦点距離を f_1 (単位: mm) と定義し、第二レンズ群の焦点距離を f_2 (単位: mm) と定義し、該第一レンズ群の各面のうち射出端側に最も近い面の曲率半径を R_{1a} (単位: mm) と定義し、該第一レンズ群の各面のうち対象物側に最も近い面の曲率半径を R_{1b} (単位: mm) と定義した場合に、次の条件式 (1)

$$0.60 < f_1 / f_2 < 1.25 \cdots (1)$$

$$0.95 < |R_{1a} / R_{1b}| < 2.50 \cdots (2)$$

を同時に満たすように構成されている。

【0008】

条件式 (1) の上限を超えると、光ファイバの射出端からの光を光軸側に屈折させる第一レンズ群のパワーが弱くなるため、レンズ径を大きく設計せざるを得ない。また、全系の正のパワーを確保するために第二レンズ群にパワーを負担させざるを得ず、第二レンズ群の中でも強い正のパワーを持つ光ファイバ射出端側の面の曲率半径が小さくなる。このことは、上記光ファイバ射出端側の面でのベッツバール値が大きくなり、像面湾曲の発生が大きくなることを意味する。条件式 (1) の下限を下回ると、第一レンズ群のパワーが強くなり過ぎて、第一レンズ群に起因するコマ収差及び非点収差の発生が大きくなる。

【0009】

条件式 (2) の上限を超えると、第一レンズ群の対象物側の面による非点収差の発生が大きくなると共に、光ファイバの射出端からの光を光軸側に屈折させる第一レンズ群の射出端側の面のパワーが弱くなるため、レンズ径を大きく設計せざるを得ない。条件式 (2) の下限を下回ると、第一レンズ群の光ファイバ射出端側の面のパワーが強くなり過ぎて、当該レンズ面によるコマ収差の発生が大きくなる。

【0010】

本発明に係る走査用対物レンズは、光ファイバ射出端の移動軌跡が描く仮想的な面 (すなわち物体面) の湾曲に伴って大きく発生した像面湾曲をより一層良好に補正するため、第二レンズ群の各面のうち対象物側に最も近い面が凹面であって、該凹面の曲率半径を R_{2b} (単位: mm) と定義し、全系の焦点距離を f (単位: mm) と定義した場合に、次の条件式 (3)

$$1.25 < R_{2b} / f < 4.80 \cdots (3)$$

を満たすように構成されてもよい。

【0011】

条件式 (3) の上限を超えると、第二レンズ群の対象物側の面のパワーが弱いため、像面湾曲が補正不足になる。条件式 (3) の下限を下回ると、第二レンズ群の正のパワーを

10

20

30

40

50

確保するために、第二レンズ群の光ファイバ射出端側の面の曲率半径を小さく設定せざるを得ない。その結果として、該射出端側の面による像面湾曲の発生が大きくなり、周辺解像度が著しく劣化する。また、該射出端側の面の曲率半径が小さくなるため、第二レンズ群のコバ厚を十分に確保できない。コバ厚が薄くなることによって第二レンズ群の加工が難しくなり、製造技術面の不利益が大きい。更に、第二レンズ群の対象物側の面のパワーが強くなり過ぎて、該面によるコマ収差の発生が大きくなる。

【0012】

ここで、第一レンズ群は、色収差を良好に補正すべく、射出端側から順に、第一の負レンズ、第一の正レンズが配置され、互いを貼り合わせた接合レンズであって、該第一レンズ群の光軸上の厚みを d_1 (単位: mm) と定義し、該第一の負レンズの光軸上の厚みを d_{11} (単位: mm) と定義し、該第一の負レンズの e 線に対するアッペ数を v_{11} と定義し、該第一の正レンズの e 線に対するアッペ数を v_{12} と定義した場合に、次の条件式 (4)、(5)

$$0.35 < d_{11} / d_1 < 0.60 \cdots (4)$$

$$20 < v_{12} - v_{11} \cdots (5)$$

を同時に満たす構成としてもよい。

【0013】

条件式 (4) の上限を超えると、第一の正レンズのコバ厚を確保するために接合面の曲率半径を大きくせざるを得なくなり、色収差が補正不足になる。条件式 (4) の下限を下回ると、接合面での光束径が小さいため、軸上色収差を良好に補正できない。条件式 (5) を満たさない場合には、接合面の曲率半径が小さくなるため、第一の正レンズのコバ厚を確保するのが難しくなる。加工自体も難しくなり、製造技術面の不利益が大きい。

【0014】

また、第二レンズ群は、像面湾曲及び軸上色収差をより一層良好に補正すべく、光ファイバの射出端側から順に、第二の正レンズ、第二の負レンズが配置され、互いを貼り合わせた接合レンズであって、該第二の負レンズの e 線に対するアッペ数を v_{22} と定義した場合に、次の条件式 (6)

$$v_{22} < 25 \cdots (6)$$

を満たす構成としてもよい。

【0015】

条件式 (6) を満たさないと、軸上色収差が補正不足となる。

【0016】

第一、第二レンズ群の少なくとも一方は単レンズとしてもよい。

【0017】

本発明に係る走査用対物レンズは、更なる広視野角化や良好な収差補正を達成し、若しくは第一レンズ群又は第二レンズ群の設計の自由度を高めるべく、第二レンズ群の後段に、負のパワーを有する第三レンズ群を有する構成としてもよい。

【0018】

上記の課題を解決する本発明の一形態に係る走査型プローブ又は走査型内視鏡は、所定の光源から射出された光を対象物に向けて伝送する光ファイバと、該光ファイバ射出端が所定の湾曲面上を所定の軌跡で周期的に移動するように該光ファイバを振動させる振動手段と、射出端から射出された光を対象物上で走査させるための上記の何れかに記載の走査用対物レンズと、該走査された光の反射光を受光して所定の画像処理装置に出力する光出力手段とを有することを特徴とする。

【発明の効果】

【0019】

このように、本発明によれば、小型かつ広視野角でありつつも良好な光学性能を有する走査用対物レンズ、及び該走査用対物レンズを搭載した走査型プローブ及び走査型内視鏡が提供される。

【図面の簡単な説明】

10

20

30

40

50

【 0 0 2 0 】

【図 1】本発明の実施形態の走査型医療用プローブの構成を概略的に示す側面図である。

【図 2】本発明の実施形態の走査型医療用プローブの先端部の内部構造を概略的に示す斜視図である。

【図 3】本発明の実施形態の走査型医療用プローブが有するシングルモードファイバの射出端が移動する X Y 近似面を説明するための図である。

【図 4】走査型医療用プローブにおける物体高と像高との関係を説明するための図である。

【図 5】本発明の実施形態（実施例 1）の走査用対物レンズの構成を示す側面図である。

【図 6】本発明の実施例 1 の走査用対物レンズの各種収差図である。

10

【図 7】本発明の実施例 1 の走査用対物レンズの横収差図である。

【図 8】本発明の実施例 2 の走査用対物レンズの構成を示す側面図である。

【図 9】本発明の実施例 2 の走査用対物レンズの各種収差図である。

【図 10】本発明の実施例 2 の走査用対物レンズの横収差図である。

【図 11】本発明の実施例 3 の走査用対物レンズの構成を示す側面図である。

【図 12】本発明の実施例 3 の走査用対物レンズの各種収差図である。

【図 13】本発明の実施例 3 の走査用対物レンズの横収差図である。

【図 14】本発明の実施例 4 の走査用対物レンズの構成を示す側面図である。

【図 15】本発明の実施例 4 の走査用対物レンズの各種収差図である。

【図 16】本発明の実施例 4 の走査用対物レンズの横収差図である。

20

【図 17】本発明の実施形態の別の変形例（実施例 5）の走査用対物レンズの構成を示す側面図である。

【図 18】本発明の実施例 5 の走査用対物レンズの各種収差図である。

【図 19】本発明の実施例 5 の走査用対物レンズの横収差図である。

【図 20】本発明の実施形態の変形例（実施例 6）の走査用対物レンズの構成を示す側面図である。

【図 21】本発明の実施例 6 の走査用対物レンズの各種収差図である。

【図 22】本発明の実施例 6 の走査用対物レンズの横収差図である。

【図 23】本発明の実施例 7 の走査用対物レンズの構成を示す側面図である。

【図 24】本発明の実施例 7 の走査用対物レンズの各種収差図である。

30

【図 25】本発明の実施例 7 の走査用対物レンズの横収差図である。

【図 26】比較例 1 の走査用対物レンズの構成を示す側面図である。

【図 27】比較例 1 の走査用対物レンズの各種収差図である。

【図 28】比較例 1 の走査用対物レンズの横収差図である。

【図 29】比較例 2 の走査用対物レンズの構成を示す側面図である。

【図 30】比較例 2 の走査用対物レンズの各種収差図である。

【図 31】比較例 2 の走査用対物レンズの横収差図である。

【図 32】比較例 3 の走査用対物レンズの構成を示す側面図である。

【図 33】比較例 3 の走査用対物レンズの各種収差図である。

【図 34】比較例 3 の走査用対物レンズの横収差図である。

40

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 1 】

以下、添付された各図面を参照しつつ、本発明の実施形態の走査用対物レンズ、及び該走査用対物レンズを搭載した走査型医療用プローブについて説明する。

【 0 0 2 2 】

図 1 は、本発明の実施形態の走査型医療用プローブ 100 の構成を概略的に示す側面図である。図 1 においては、説明の便宜上、走査型医療用プローブ 100 の先端部 130 についてだけ、内部の構造を示している。図 2 は、先端部 130 の内部構造を概略的に示す斜視図である。なお、以降においては、走査型医療用プローブ 100 の構成を説明するにあたり、便宜上、走査型医療用プローブ 100 の長手方向を Z 方向、Z 方向に直交しかつ

50

互いに直交する二方向を X 方向、Y 方向と定義する。かかる定義によれば、例えば図 1 の先端部 130 の内部構造図は、走査型医療用プローブ 100 の中心軸 AX を含む YZ 平面での先端部 130 の側断面図となっている。

【0023】

図 1 に示されるように、走査型医療用プローブ 100 の基端には、走査型医療用プローブ 100 と光源装置又は画像処理装置（何れも不図示）とを光学的に又は電氣的に接続するコネクタ部 150 が備えられている。コネクタ部 150 から先端部 130 にかけては、可撓性を有するシース 132（図 2 では便宜上図示省略）が備えられ、走査型医療用プローブ 100 が有する各種内蔵部品を保護している。シース 132 の外径は、走査型医療用プローブ 100 が固体撮像素子を搭載しない構成であるため、従来型の電子スコープの外径に比べて格段に細い。そのため、走査型医療用プローブ 100 は、従来型の電子スコープに比べてより一層の低浸襲性が達成されている。

10

【0024】

図 1 に示されるように、走査型医療用プローブ 100 は、シングルモードファイバ 112 を有している。シングルモードファイバ 112 は、コネクタ部 150 から先端部 130 に亘って延びた形状を有し、シース 132 に収容されている。シングルモードファイバ 112 の入射端（不図示）は、コネクタ部 150 と光源装置とを接続させたときに、当該入射端と光源とが高効率で結合するように、コネクタ部 150 の内部に精度良く位置決めされている。当該入射端に入射された光束は、シングルモードファイバ 112 の内部を全反射を繰り返すことによって伝播される。伝播された光束は、シングルモードファイバ 112 の射出端 112b から射出される。

20

【0025】

図 1 又は図 2 に示されるように、シース 132 内部には、支持体 134 が設けられている。シングルモードファイバ 112 の先端部 112c は、支持体 134 の貫通穴に挿入され通されて片持ち梁の状態で支持されている。支持体 134 は、一対のアクチュエータ 136、138、内枠 144（図 2 では便宜上図示省略）も支持している。アクチュエータ 136、138 は、圧電アクチュエータであって、圧電素子上の所定位置に電極が形成されている。各電極は、末端がコネクタ部 150 の内部に収容された電線（不図示）と接続されている。アクチュエータ 136、138 には、コネクタ部 150 と画像処理装置とを接続させたとき、所定期間中、各電線を介して、位相が互いに直交しかつ振幅がリニアに増加する所定周波数の交流電圧が印加される。

30

【0026】

アクチュエータ 136、138 はそれぞれ、所定周波数の交流電圧が印加されたときに、X、Y 方向に所定の横振動モードで共振するように、材料及び形状が選択され構成されている。シングルモードファイバ 112 の射出端 112b は、アクチュエータ 136、138 による X、Y 方向への運動エネルギーが合成されることにより、XY 平面に近似する面（以下、「XY 近似面」と記す。）上において中心軸 AX を中心に所定の軌跡を描くように回転する。所定の軌跡は、例えば中心軸 AX を中心とした渦巻状の軌跡である。上記所定期間中の射出端 112b の渦巻状の軌跡の径は、アクチュエータ 136、138 に印加される電圧に比例して大きくなる。シングルモードファイバ 112 の入射端に入射された光束は、上記所定期間中、射出端 112b から射出され続ける。なお、所定の軌跡は、中心軸 AX を中心とした軌跡に限られない。所定の軌跡は、例えばラスタスキャン（水平走査）軌跡のような直線的な軌跡であってもよい。

40

【0027】

図 1 に示されるように、内枠 144 の先端は、光軸が中心軸 AX と一致する位置に配置された走査用対物レンズ 140（図 2 では便宜上図示省略）によって封止されている。シングルモードファイバ 112 の射出端 112b から射出された光束は、走査用対物レンズ 140 を介して観察対象上にスポットを形成する。なお、図 1 においては、図面を簡略化するため、走査用対物レンズ 140 が単一のレンズで示されている。しかし、本実施形態の走査用対物レンズ 140 は、複数枚のレンズで構成されている。走査用対物レンズ 14

50

0の具体的な構成については、後に詳細に説明する。

【0028】

図2に示されるように、支持体134の端面134aには、円環状に並ぶ複数の貫通穴が形成されている。各貫通穴には、検出用ファイバ142が差し込まれている。なお、図2中、検出用ファイバ142については、図面を明瞭にする便宜上一本だけを破線で示している。検出用ファイバ142は、貫通穴から走査用対物レンズ140側に延在する部分がシース132と内枠144との間のスペースに挟持されており、先端（入射端142a）が走査型医療用プローブ100の先端面に位置している。図2において図示省略するが、各検出用ファイバ142は支持体134の後方で束ねられており、単一の光ファイババンドルを構成している。

10

【0029】

走査用対物レンズ140を介して観察対象上に形成されたスポットは、当該観察対象で反射され、検出用ファイバ142に入射する。入射端142aに入射された光束は、光ファイババンドルの内部を終端に向かって伝播される。光ファイババンドルの終端に到達した光束は、光学コネクタ部150を介して画像処理装置の光検出器に入射され検出されて、画像化処理に用いられる。

【0030】

これまでの説明で明らかなように、走査型医療用プローブ100は、従来型の電子スコープと異なり、光源（物点であって、ここではシングルモードファイバ112の射出端112b）が不動でなく、XY近似面（物体面）上を移動している。ここで、走査型医療用プローブには、医師による病変部の発見を好適に補助すべく、例えば100°（「走査型医療用プローブ100の中心軸AXを基準に±50°」と同義である。）以上の広視野角が基本的仕様として求められる。広視野角を達成するには、シングルモードファイバ112の射出端112bの移動範囲を大きく設定する必要がある。しかし、射出端112bの移動範囲が拡大するほど走査用対物レンズ140を大径化させなければ、諸収差を良好に抑えることが困難になる。

20

【0031】

図3は、シングルモードファイバ112の射出端112bが移動するXY近似面を説明するための図である。図3においては、図説の便宜上、共振エネルギーによって動かされているシングルモードファイバ112の先端部112cのみを模式的に示す。図3に示されるように、XY近似面は、XY平面に対してシングルモードファイバ112の基端側に湾曲している（別の表現によれば、走査用対物レンズ140側に凸となるような湾曲面である）。XY平面に対するXY近似面の湾曲量は、中心軸AXから離れるほど増加していく。

30

【0032】

図4は、走査型医療用プローブにおける物体高（光源の光軸からの距離）と像高（光源の像の光軸からの距離）との関係を説明するための図である。図4に示される走査型医療用プローブは、本実施形態の走査用対物レンズ140と相違した構成として走査用対物レンズLを有している。

【0033】

図4中符号FCは、物体面がXY平面である場合における走査用対物レンズLの像面（観察面）である。走査用対物レンズLは、良好な性能を得るため、種々の収差がコントロールされた結果、像面湾曲が理想的な像面Pに対してアンダー方向に残存している。しかし、残存する像面湾曲量は、許容量以下に抑えられている。かかる場合、仕様を満たす周辺解像度が結果的に得られるため、問題がない。一方、図4中符号FC'は、物体面がXY近似面である場合における走査用対物レンズLの像面である。この場合、物体高に応じてアンダー方向に湾曲した物体面が、もともと残存しているアンダー方向の像面湾曲に更なる湾曲を生じさせている。そのため、周辺解像度が低下する。本発明においては、このアンダー方向に大きく生じた像面湾曲を良好に補正する。

40

【0034】

50

本出願人は、上記の光源（シングルモードファイバ 1 1 2 の射出端 1 1 2 b）の移動に伴う諸問題を認識し、当該諸問題を解決する具体的手段として、走査用対物レンズ 1 4 0 を以下のように構成している。

【0035】

図 5 は、本発明の実施例 1（詳しくは後述）の走査用対物レンズ 1 4 0 の構成を示す側面図である。ここでは、図 5 を利用して、本発明の実施形態の走査用対物レンズ 1 4 0 について説明することとする。なお、図 5 をはじめとする走査用対物レンズ 1 4 0 の各構成図は、図中左側がシングルモードファイバ 1 1 2 の射出端 1 1 2 b（物体）側であり、図中右側が像面（観察面）である。

【0036】

図 5 に示されるように、走査用対物レンズ 1 4 0 は、物体側から順に、第一レンズ群 L 1、第二レンズ群 L 2 を有している。第一レンズ群 L 1、第二レンズ群 L 2 は共に、正のパワーを有している。なお、第一レンズ群 L 1、第二レンズ群 L 2 の各群は、一枚構成に限らず、複数枚構成、例えば複数枚を貼り合わせた接合レンズとしてもよい。以降においては、説明の便宜上、走査用対物レンズ 1 4 0 を構成する各光学部品の物体側の面、像側の面をそれぞれ、第一面、第二面と記す。また、第一レンズ群 L 1 の各面のうち物体側に最も近い第一面に符号 r 1 1 を、第一レンズ群 L 1 の各面のうち像面側に最も近い第二面に符号 r 1 2 を、それぞれ付す。第二レンズ群 L 2 の各面のうち物体側に最も近い第一面に符号 r 2 1 を、第二レンズ群 L 2 の各面のうち像面側に最も近い第二面に符号 r 2 2 を、それぞれ付す。

【0037】

走査用対物レンズ 1 4 0 は、第一レンズ群 L 1 の焦点距離を f_1 （単位：mm）と定義し、第二レンズ群 L 2 の焦点距離を f_2 （単位：mm）と定義し、第一レンズ群 L 1 の第一面 r 1 1 の曲率半径を R_{1a} （単位：mm）と定義し、第一レンズ群 L 1 の第二面 r 1 2 の曲率半径を R_{1b} （単位：mm）と定義した場合に、次の条件式（1）、（2）を同時に満たすように構成されている。

$$0.60 < f_1 / f_2 < 1.25 \cdots (1)$$

$$0.95 < |R_{1a} / R_{1b}| < 2.50 \cdots (2)$$

【0038】

シングルモードファイバが振動すると射出光が光軸から離れる方向に射出されるため、従来は、シングルモードファイバの振幅以上に走査用対物レンズを大径化させる必要があった。しかし、条件式（1）、（2）が同時に満たされるように走査用対物レンズ 1 4 0 を構成すると、光源側に配置された第一レンズ群 L 1 に正のパワーを持たせてシングルモードファイバ 1 1 2 の射出端 1 1 2 b からの光束を光軸側に屈折させることにより、上記問題に起因する走査用対物レンズ 1 4 0 の大径化が効果的に抑えられると同時に像面湾曲、コマ収差、非点収差等も良好に抑えられる。

【0039】

条件式（1）の上限を超えると、シングルモードファイバ 1 1 2 の射出端 1 1 2 b からの光束を光軸側に屈折させる第一レンズ群 L 1 のパワーが弱くなるため、走査用対物レンズ 1 4 0 を大径化せざるを得ない。また、全系の正のパワーを確保するために第二レンズ群 L 2 にパワーを負担させざるを得ず、第二レンズ群 L 2 の中でも強い正のパワーを持つ第一面 r 2 1 の曲率半径が小さくなってこの面でのペッツパール値が大きくなり、像面湾曲の発生が大きくなる。

【0040】

条件式（1）の下限を下回ると、第一レンズ群 L 1 のパワーが強くなり過ぎて、第一レンズ群 L 1 に起因するコマ収差及び非点収差の発生が大きくなる。

【0041】

条件式（2）の上限を超えると、第一レンズ群 L 1 の第二面 r 1 2 による非点収差の発生が大きくなると共に、シングルモードファイバ 1 1 2 の射出端 1 1 2 b からの光束を光軸側に屈折させる第一レンズ群 L 1 の第一面 r 1 1 のパワーが弱くなるため、走査用対物

10

20

30

40

50

レンズ 140 を大径化せざるを得ない。

【0042】

条件式(2)の下限を下回ると、第一レンズ群 L1 の第一面 r11 のパワーが強くなり過ぎて、第一面 r11 によるコマ収差の発生が大きくなる。

【0043】

走査用対物レンズ 140 は、物体面がアンダー方向に湾曲したことに伴って大きく発生した像面湾曲を良好に補正するため、第二レンズ群 L2 の第二面 r22 が凹面に形成され、かつ、第二面 r22 の曲率半径を R2b (単位: mm) と定義し、走査用対物レンズ 140 の全系の焦点距離を f (単位: mm) と定義した場合に、次の条件式(3)を満たすように構成されている。

10

$$1.25 < R2b / f < 4.80 \cdots (3)$$

【0044】

条件式(3)の上限を超えると、第二面 r22 の負のパワーが弱いため、像面湾曲が補正不足になる。

【0045】

条件式(3)の下限を下回ると、第二レンズ群 L2 の正のパワーを確保するために、第二レンズ群 L2 の第一面 r21 (凸面) の曲率半径を小さく設定せざるを得ない。その結果として、第一面 r21 による像面湾曲の発生が大きくなり、周辺解像度が著しく劣化する。また、第一面 r21 の曲率半径が小さくなるため、第二レンズ群 L2 のコバ厚を十分に確保できない。コバ厚が薄くなることによって第二レンズ群 L2 の加工が難しくなり、製造技術面の不利益が大きい。更に、第二レンズ群 L2 の第二面 r22 のパワーが強くなり過ぎて、第二面 r22 によるコマ収差の発生が大きくなる。

20

【0046】

複数種類の波長の光を用いて観察対象を撮影する場合には、走査用対物レンズ 140 において色収差が発生する。この種の色収差による画像の劣化は、画像処理装置側の処理によって電氣的にある程度は補正することができる。しかし、画像の電氣的補正は、色再現性が悪く、ノイズも増加する。また、色収差で波長毎の分解能が異なった場合、その差を補正するのは困難である。そのため、走査用対物レンズ 140 における色収差の発生自体を抑えることが望ましい。

【0047】

30

図 20 は、本発明の実施例 6 (詳しくは後述) の走査用対物レンズ 140 の構成を示す側面図である。ここでは、図 20 を利用して、本実施形態の変形例であって、色収差が良好に補正された走査用対物レンズ 140 について説明することとする。なお、当該変形例又は後述する実施例、比較例において、前述の実施形態の構成と同一の又は同様の構成には同一の又は同様の符号を付して説明を省略する。

【0048】

図 20 に示されるように、変形例の走査用対物レンズ 140 は、物体側から順に、第一レンズ群 L1、第二レンズ群 L2、第三レンズ群 L3 を有している。第一レンズ群 L1 は、屈折力の異なる正負二枚のレンズを接合した接合レンズであり、全体として正のパワーを有している。ここで、接合レンズにおける物体側のレンズを正レンズとした場合、接合面が物体側に凹面になる。そのため、軸上光線が接合面の法線に対して浅い角度で入射されることとなり、軸上色収差補正の効果が十分に得られない。また、像面側に配置される負レンズの分散を高くせざるを得ないため、第一レンズ群 L1 の第二面 12 による色収差の発生が大きくなる。そこで、変形例の第一レンズ群 L1 は、物体側から順に、負レンズ L11、正レンズ L12 が配置され、両レンズが貼り合わせられた接合レンズとなっている。

40

【0049】

第一レンズ群 L1、第二レンズ群 L2 は共に正のパワーを、第三レンズ群 L3 は負のパワーを、それぞれ有している。なお、負レンズ L11 と正レンズ L12 との接合面に符号 r13 を付す。また、第三レンズ群 L3 の各面のうち物体側に最も近い第一面に符号 r3

50

1を、第三レンズ群L3の各面のうち像面側に最も近い第二面に符号r32を、それぞれ付す。

【0050】

変形例の走査用対物レンズ140は、軸上色収差と倍率色収差が良好に補正されるよう、第一レンズ群L1の光軸上の厚みをd1(単位:mm)と定義し、負レンズL11の光軸上の厚みをd11(単位:mm)と定義し、負レンズL11のe線に対するアッペ数をv11と定義し、正レンズL12のe線に対するアッペ数をv12と定義した場合に、次の条件式(4)、(5)を同時に満たすように構成されている。

$$0.35 < d11 / d1 < 0.60 \cdots (4)$$

$$20 < v12 - v11 \cdots (5)$$

10

【0051】

条件式(4)の上限を超えると、正レンズL12のコバ厚を確保するために接合面r13の曲率半径を大きくせざるを得なくなり、色収差が補正不足になる。

【0052】

条件式(4)の下限を下回ると、接合面r13での光束径が小さいため、軸上色収差を良好に補正できない。

【0053】

条件式(5)を満たさない場合には、接合面r13の曲率半径が小さくなるため、正レンズL12のコバ厚を確保するのが難しくなる。加工自体も難しくなり、製造技術面の不利益が大きい。

20

【0054】

変形例の走査用対物レンズ140は、第三レンズ群L3の第一面31が凹面に形成されている。第三レンズ群L3にパワーを負担させることにより、更なる広視野角化や良好な収差補正が達成され、若しくは第一レンズ群L1又は第二レンズ群L2の設計の自由度が高まる。

【0055】

図17は、本発明の実施例5(詳しくは後述)の走査用対物レンズ140の構成を示す側面図である。ここでは、図17を利用して、本実施形態の別の変形例であって、色収差が良好に補正された走査用対物レンズ140について説明することとする。

【0056】

30

図17に示されるように、別の変形例の走査用対物レンズ140は、物体側から順に、第一レンズ群L1、第二レンズ群L2、カバーガラスCGを有している。第一レンズ群L1は、負レンズL11と正レンズL12とを接合した接合レンズであり、物体側に負レンズL11が配置されている。第二レンズ群L2は、正レンズL21と負レンズL22とを接合した接合レンズであり、物体側に正レンズL21が配置されている。第一レンズ群L1、第二レンズ群L2は共に正のパワーを有している。なお、正レンズL21と負レンズL22との接合面に符号r23を付す。また、カバーガラスCGの第一面に符号rCG1を、第二面に符号rCG2を、それぞれ付す。

【0057】

40

変形例の走査用対物レンズ140は、軸上色収差が良好に補正されるよう、第二レンズ群L2の正レンズL21が低分散性硝材であり、負レンズL22が高分散性硝材で構成されている。変形例の走査用対物レンズ140は、負レンズL22のe線に対するアッペ数をv22と定義した場合に、次の条件式(6)を満たすように構成されている。

$$v22 < 25 \cdots (6)$$

【0058】

正レンズL21は強い正のパワーを有するため、正レンズL21を分散の大きい硝材で構成した場合には軸上色収差の発生が大きくなる。そこで、条件式(6)を満たすように負レンズL22を高分散性硝材で構成し、更に第二面r22(対象物側の面)を凹面にすることにより、像面湾曲と軸上色収差が同時に良好に補正される。条件式(6)を満たさないと、軸上色収差が補正不足となる。

50

【 0 0 5 9 】

次に、これまで説明された走査用対物レンズ 1 4 0 の具体的数値実施例を 7 例説明する。各数値実施例 1 ~ 7 の走査用対物レンズ 1 4 0 は、図 1 に示される走査型医療用プローブ 1 0 0 の先端部 1 3 0 に配置されている。

【 実施例 1 】

【 0 0 6 0 】

本発明の実施例 1 の走査用対物レンズ 1 4 0 の構成は、上述したように、図 5 に示される通りである。本実施例 1 の走査用対物レンズ 1 4 0 の仕様、具体的には、開口数 NA 、全系の焦点距離 f (単位: mm)、光学倍率 m 、半視野角 ω (単位: deg)、バックフォーカス BF (単位: mm)、像高 Y (単位: mm) は、次に表す通りである。

$NA : 0.008$

$f : 0.45$

$m : -15.467$

$\omega : 50.4$

$BF : 6.93$

$y : 8.43$

【 0 0 6 1 】

本実施例 1 の走査用対物レンズ 1 4 0 の具体的数値構成 (設計値) は、表 1 に示される。表 1 において、 R (単位: mm) は光学部材の各面の曲率半径を、 D (単位: mm) は光軸上の光学部材厚又は光学部材間隔を、 N_e は e 線の屈折率を、 v_e は e 線のアッベ数を、それぞれ示す。なお、表 1 中、第一レンズ群 L_1 の第一面 r_{11} 、第二面 r_{12} にそれぞれ、面番号 1、2 を付す。第二レンズ群 L_2 の第一面 r_{21} 、第二面 r_{22} にそれぞれ、面番号 3、4 を付す。なお、本実施例 1 をはじめとする各数値実施例及び比較例において、シングルモードファイバ 1 1 2 の射出端 1 1 2 b は、半径 $3.94 mm$ の球面 (XY 近似面) 上を移動する。

【 0 0 6 2 】

(表 1)

面番号	R	D	N_e	v_e
1	1.731	0.850	1.88814	40.5
2	-0.931	0.120	-	-
3	0.620	0.620	1.88814	40.5
4	0.846	-	-	-

【 0 0 6 3 】

図 6 (a) ~ (d) は、本実施例 1 の走査用対物レンズ 1 4 0 の各種収差図である。具体的には、図 6 (a) は、 e 線、 g 線、 C 線での球面収差及び軸上色収差を示す。図 6 (b) は、 e 線、 g 線、 C 線での倍率色収差を示す。図 6 (a)、(b) 中、実線は e 線の収差を、破線は g 線での収差を、一点鎖線は C 線での収差を、それぞれ示す。図 6 (c) は、非点収差を示す。図 6 (c) 中、実線はサジタル成分を、破線はメリディオナル成分を、それぞれ示す。図 6 (d) は、歪曲収差を示す。図 6 (a) ~ (c) の各図の縦軸は像高を、横軸は収差量を、それぞれ示す。また、図 6 (d) の縦軸は像高を、横軸は像の歪曲量を、それぞれ示す。

【 0 0 6 4 】

図 7 (a) ~ (d) は、本実施例 1 の走査用対物レンズ 1 4 0 の各像高における e 線の横収差図である。図 7 (a) ~ (d) の各図の縦軸は横収差量を、横軸は入射瞳座標を、それぞれ示す。本図においては、横軸の左側が上光線を、右側が下光線を、それぞれ示す。図 7 (a)、(b)、(c)、(d) はそれぞれ、像高 $0.00 mm$ 、 $3.54 mm$ 、 $6.03 mm$ 、 $8.43 mm$ に対応する光線の横収差図である。

【 0 0 6 5 】

本実施例 1 の走査用対物レンズ 1 4 0 は、図 6、7 に示されるように、各種収差が良好に補正されていることが分かる。なお、本実施例 1 の各図表についての説明は、他の数値

実施例及び比較例で提示される各図表においても適用される。

【実施例 2】

【0066】

次に、本発明の実施例 2 について説明する。図 8 は、本実施例 2 の走査用対物レンズ 140 の構成を示す側面図である。本実施例 2 の走査用対物レンズ 140 は、物体側から順に、第一レンズ群 L1、第二レンズ群 L2 を有している。各群は、単レンズで構成されている。本実施例 2 の走査用対物レンズ 140 の具体的仕様は、次に表す通りである。

NA : 0.008

f : 0.44

m : -16.363

ω : 49.5

BF : 7.16

y : 8.41

【0067】

表 2 は、本実施例 2 の走査用対物レンズ 140 の具体的数値構成（設計値）を示す。なお、表 2 中の面番号の割り振りは本実施例 1 と同一である。

【0068】

（表 2）

面番号	R	D	Ne	ve
1	1.450	0.738	1.82017	46.4
2	-0.908	0.063	-	-
3	0.618	0.620	1.88814	40.5
4	1.748	-	-	-

【0069】

図 9（a）は本実施例 2 の走査用対物レンズ 140 の球面収差及び軸上色収差を、図 9（b）は倍率色収差を、図 9（c）は非点収差を、図 9（d）は歪曲収差を、それぞれ示す。図 10（a）～（d）は、本実施例 2 の走査用対物レンズ 140 の各像高における e 線の横収差図である。本実施例 2 の走査用対物レンズ 140 は、図 9，10 に示されるように、各種収差が良好に補正されていることが分かる。

【実施例 3】

【0070】

次に、本発明の実施例 3 について説明する。図 11 は、本実施例 3 の走査用対物レンズ 140 の構成を示す側面図である。本実施例 3 の走査用対物レンズ 140 は、物体側から順に、第一レンズ群 L1、第二レンズ群 L2、カバーガラス CG を有している。各群は、単レンズで構成されている。本実施例 3 の走査用対物レンズ 140 は、本実施例 1 と同様に、各群が単レンズで構成されている。本実施例 3 の走査用対物レンズ 140 の具体的仕様は、次に表す通りである。

NA : 0.008

f : 0.46

m : -16.221

ω : 59.3

BF : 7.09

y : 12.31

【0071】

表 3 は、本実施例 3 の走査用対物レンズ 140 の具体的数値構成（設計値）を示す。なお、表 3 中面番号 1～4 の割り振りは実施例 1 と同一である。面番号 5 はカバーガラス CG の第一面 rCG1 に、面番号 6 はカバーガラス CG の第二面 rCG2 に、それぞれ対応する。

【0072】

（表 3）

10

20

30

40

50

面 番 号	R	D	Ne	v e
1	1.259	0.668	1.88814	40.5
2	-1.259	0.125	-	-
3	0.564	0.557	1.88814	40.5
4	1.689	0.070	-	-
5	INFINITY	0.300	1.51825	63.9
6	INFINITY	-	-	-

【 0 0 7 3 】

図 1 2 (a) は本実施例 3 の走査用対物レンズ 1 4 0 の球面収差及び軸上色収差を、図 1 2 (b) は倍率色収差を、図 1 2 (c) は非点収差を、図 1 2 (d) は歪曲収差を、それぞれ示す。図 1 3 (a) ~ (d) は、本実施例 3 の走査用対物レンズ 1 4 0 の各像高における e 線の横収差図である。本実施例 3 の走査用対物レンズ 1 4 0 は、図 1 2 , 1 3 に示されるように、各種収差が良好に補正されていることが分かる。

10

【 実施例 4 】

【 0 0 7 4 】

次に、本発明の実施例 4 について説明する。図 1 4 は、本実施例 4 の走査用対物レンズ 1 4 0 の構成を示す側面図である。本実施例 4 の走査用対物レンズ 1 4 0 は、物体側から順に、第一レンズ群 L 1、第二レンズ群 L 2、カバーガラス C G を有している。第一レンズ群 L 1 は、物体側から順に、負レンズ L 1 1、正レンズ L 1 2 が配置された接合レンズである。二群レンズ L 2 は、単レンズで構成されている。本実施例 4 の走査用対物レンズ 1 4 0 の具体的仕様は、次に表す通りである。

20

N A : 0 . 0 0 8

f : 0 . 4 4

m : - 1 6 . 3 4 5

 ω : 5 0 . 7

B F : 6 . 8 5

y : 8 . 7 2

【 0 0 7 5 】

表 4 は、本実施例 4 の走査用対物レンズ 1 4 0 の具体的数値構成 (設計値) を示す。なお、表 4 中、負レンズ L 1 1 の第一面 r 1 1、負レンズ L 1 1 と正レンズ L 1 2 との接合面 r 1 3、正レンズ L 1 2 の第二面 r 1 2 にそれぞれ、面番号 1 , 2 , 3 を付す。二群レンズ L 2 の第一面 r 2 1、第二面 r 2 2 にそれぞれ、面番号 4 , 5 を付す。カバーガラス C G の第一面 r C G 1、第二面 r C G 2 にそれぞれ、面番号 6 , 7 を付す。

30

【 0 0 7 6 】

(表 4)

面 番 号	R	D	Ne	v e
1	1.624	0.446	1.93430	18.7
2	0.696	0.496	1.77621	49.3
3	-0.696	0.062	-	-
4	0.546	0.645	1.73234	54.4
5	0.671	0.062	-	-
6	INFINITY	0.350	1.51825	63.9
7	INFINITY	-	-	-

40

【 0 0 7 7 】

図 1 5 (a) は本実施例 4 の走査用対物レンズ 1 4 0 の球面収差及び軸上色収差を、図 1 5 (b) は倍率色収差を、図 1 5 (c) は非点収差を、図 1 5 (d) は歪曲収差を、それぞれ示す。図 1 6 (a) ~ (d) は、本実施例 4 の走査用対物レンズ 1 4 0 の各像高における e 線の横収差図である。本実施例 4 の走査用対物レンズ 1 4 0 は、図 1 5 , 1 6 に示されるように、各種収差が良好に補正されていることが分かる。

【 実施例 5 】

50

【 0 0 7 8 】

次に、本発明の実施例 5 について説明する。本実施例 5 の走査用対物レンズ 1 4 0 の構成は、上述したように、図 1 7 に示される通りである。本実施例 5 の走査用対物レンズ 1 4 0 の具体的仕様は、次に表す通りである。

NA : 0 . 0 0 7

f : 0 . 4 4

m : - 1 7 . 5 3 8

ω : 4 9 . 1

BF : 7 . 3 0

y : 8 . 7 7

10

【 0 0 7 9 】

表 5 は、本実施例 5 の走査用対物レンズ 1 4 0 の具体的数値構成（設計値）を示す。なお、表 5 中、負レンズ L 1 1 の第一面 r 1 1、負レンズ L 1 1 と正レンズ L 1 2 との接合面 r 1 3、正レンズ L 1 2 の第二面 r 1 2 にそれぞれ、面番号 1 , 2 , 3 を付す。正レンズ L 2 1 の第一面 r 2 1、正レンズ L 2 1 と負レンズ L 2 2 との接合面 r 2 3、負レンズ L 2 2 の第二面 r 2 2 にそれぞれ、面番号 4 , 5 , 6 を付す。カバーガラス C G の第一面 r C G 1、第二面 r C G 2 にそれぞれ、面番号 7 , 8 を付す。

【 0 0 8 0 】

（表 5）

面番号	R	D	Ne	v e
1	1.756	0.391	1.93430	18.7
2	0.818	0.592	1.83945	42.5
3	-0.818	0.063	-	-
4	0.635	0.441	1.83945	42.5
5	INFINITY	0.302	1.85504	23.6
6	0.794	0.050	-	-
7	INFINITY	0.400	1.51825	63.9
8	INFINITY	-	-	-

20

【 0 0 8 1 】

図 1 8 (a) は本実施例 5 の走査用対物レンズ 1 4 0 の球面収差及び軸上色収差を、図 1 8 (b) は倍率色収差を、図 1 8 (c) は非点収差を、図 1 8 (d) は歪曲収差を、それぞれ示す。図 1 9 (a) ~ (d) は、本実施例 5 の走査用対物レンズ 1 4 0 の各像高における e 線の横収差図である。本実施例 5 の走査用対物レンズ 1 4 0 は、図 1 8 , 1 9 に示されるように、各種収差が良好に補正されていることが分かる。

30

【 実施例 6 】

【 0 0 8 2 】

次に、本発明の実施例 6 について説明する。本実施例 6 の走査用対物レンズ 1 4 0 の構成は、上述したように、図 2 0 に示される通りである。本実施例 6 の走査用対物レンズ 1 4 0 の具体的仕様は、次に表す通りである。

NA : 0 . 0 0 8

f : 0 . 4 3

m : - 1 6 . 9 5 6

ω : 5 0 . 0

BF : 6 . 9 5

y : 8 . 5 7

40

【 0 0 8 3 】

表 6 は、本実施例 6 の走査用対物レンズ 1 4 0 の具体的数値構成（設計値）を示す。なお、表 6 中、負レンズ L 1 1 の第一面 r 1 1、負レンズ L 1 1 と正レンズ L 1 2 との接合面 r 1 3、正レンズ L 1 2 の第二面 r 1 2 にそれぞれ、面番号 1 , 2 , 3 を付す。二群レンズ L 2 の第一面 r 2 1、第二面 r 2 2 にそれぞれ、面番号 4 , 5 を付す。第三レンズ群

50

L 3 の第一面 r 3 1、第二面 r 3 2 にそれぞれ、面番号 6 , 7 を付す。

【 0 0 8 4 】

(表 6)

面番号	R	D	Ne	v e
1	1.371	0.625	1.93430	18.7
2	0.701	0.450	1.73234	54.4
3	-0.762	0.060	-	-
4	0.557	0.662	1.88814	40.5
5	0.833	0.080	-	-
6	-1.000	0.340	1.51825	63.9
7	INFINITY	-	-	-

10

【 0 0 8 5 】

図 2 1 (a) は本実施例 6 の走査用対物レンズ 1 4 0 の球面収差及び軸上色収差を、図 2 1 (b) は倍率色収差を、図 2 1 (c) は非点収差を、図 2 1 (d) は歪曲収差を、それぞれ示す。図 2 2 (a) ~ (d) は、本実施例 6 の走査用対物レンズ 1 4 0 の各像高における e 線の横収差図である。本実施例 6 の走査用対物レンズ 1 4 0 は、図 2 1 , 2 2 に示されるように、各種収差が良好に補正されていることが分かる。

【 実施例 7 】

【 0 0 8 6 】

次に、本発明の実施例 7 について説明する。図 2 3 は、本実施例 7 の走査用対物レンズ 1 4 0 の構成を示す側面図である。本実施例 7 の走査用対物レンズ 1 4 0 は、物体側から順に、第一レンズ群 L 1、第二レンズ群 L 2 を有している。各群は、単レンズで構成されている。本実施例 7 の走査用対物レンズ 1 4 0 の具体的仕様は、次に表す通りである。

20

NA : 0 . 0 0 8

f : 0 . 4 4

m : - 1 6 . 1 0 8

ω : 5 0 . 1

BF : 7 . 0 1

y : 8 . 4 3

【 0 0 8 7 】

30

表 7 は、本実施例 7 の走査用対物レンズ 1 4 0 の具体的数値構成 (設計値) を示す。なお、表 7 中の面番号の割り振りは本実施例 1 と同一である。

【 0 0 8 8 】

(表 7)

面番号	R	D	Ne	v e
1	1.330	0.722	1.88814	40.5
2	-0.997	0.060	-	-
3	0.657	0.664	1.88814	40.5
4	2.079	-	-	-

【 0 0 8 9 】

40

図 2 4 (a) は本実施例 7 の走査用対物レンズ 1 4 0 の球面収差及び軸上色収差を、図 2 4 (b) は倍率色収差を、図 2 4 (c) は非点収差を、図 2 4 (d) は歪曲収差を、それぞれ示す。図 2 5 (a) ~ (d) は、本実施例 7 の走査用対物レンズ 1 4 0 の各像高における e 線の横収差図である。本実施例 7 の走査用対物レンズ 1 4 0 は、図 2 4 , 2 5 に示されるように、各種収差が良好に補正されていることが分かる。

【 0 0 9 0 】

表 8 は、本実施例 1 ~ 7 における各条件式 (1) ~ (6) の値を示す図である。表 8 に示されるように、本実施例 1 ~ 7 の何れにおいても各条件式が満たされている。そのため、本実施例 1 ~ 7 の何れの走査用対物レンズ 1 4 0 においても、小型化かつ広視野角化が達成されると同時に良好な光学性能が発揮される。

50

【 0 0 9 1 】

(表 8)

	実施例 1	実施例 2	実施例 3	実施例 4	実施例 5	実施例 6	実施例 7
(1)	0.703	0.926	1.048	0.648	0.680	1.030	0.847
(2)	1.859	1.597	1.000	2.333	2.147	1.799	1.334
(3)	1.876	3.982	3.712	1.525	1.813	1.937	4.736
(4)	-	-	-	0.473	0.398	0.581	-
(5)	-	-	-	30.6	23.8	35.7	-
(6)	-	-	-	-	23.6	-	-

【 0 0 9 2 】

10

次に、これまで説明された本実施例の走査用対物レンズ 1 4 0 の光学性能を検証する。
検証するにあたり、次の 3 例を比較例として挙げる。

【 0 0 9 3 】

図 2 6、図 2 9 はそれぞれ、比較例 1、2 の走査用対物レンズ 2 4 0 の構成を示す側面図である。比較例 1、2 の走査用対物レンズ 2 4 0 は、本実施例 1 と同じく、物体側から順に、第一レンズ群 L 1、第二レンズ群 L 2 を有している。各群は、単レンズで構成されている。比較例 1 の走査用対物レンズ 2 4 0 の具体的仕様は、次に表す通りである。

NA : 0 . 0 0 8

f : 0 . 4 7

m : - 1 5 . 5 6 2

 ω : 4 9 . 5

BF : 7 . 2 2

y : 8 . 5 1

【 0 0 9 4 】

表 9 は、比較例 1 の走査用対物レンズ 2 4 0 の具体的数値構成（設計値）を示す。なお、表 9 中の面番号の割り振りは本実施例 1 と同一である。

【 0 0 9 5 】

(表 9)

面番号	R	D	Ne	v e
1	1.183	0.906	1.88814	40.5
2	-1.286	0.139	-	-
3	0.628	0.661	1.88814	40.5
4	0.590	-	-	-

30

【 0 0 9 6 】

図 2 7 (a) は比較例 1 の走査用対物レンズ 2 4 0 の球面収差及び軸上色収差を、図 2 7 (b) は倍率色収差を、図 2 7 (c) は非点収差を、図 2 7 (d) は歪曲収差を、それぞれ示す。図 2 8 (a) ~ (d) は、比較例 1 の走査用対物レンズ 2 4 0 の各像高における e 線の横収差図である。

【 0 0 9 7 】

比較例 2 の走査用対物レンズ 2 4 0 の具体的仕様は、次に表す通りである。

40

NA : 0 . 0 0 8

f : 0 . 4 5

m : - 1 6 . 2 3 5

 ω : 5 0 . 1

BF : 7 . 2 1

y : 8 . 7 3

【 0 0 9 8 】

表 1 0 は、比較例 2 の走査用対物レンズ 2 4 0 の具体的数値構成（設計値）を示す。なお、表 1 0 中の面番号の割り振りは本実施例 1 と同一である。

【 0 0 9 9 】

50

(表 1 0)

面 番 号	R	D	Ne	v e
1	1.039	0.703	1.88814	40.5
2	-0.998	0.121	-	-
3	0.681	0.675	1.88814	40.5
4	2.342	-	-	-

【 0 1 0 0 】

図 3 0 (a) は比較例 2 の走査用対物レンズ 2 4 0 の球面収差及び軸上色収差を、図 3 0 (b) は倍率色収差を、図 3 0 (c) は非点収差を、図 3 0 (d) は歪曲収差を、それぞれ示す。図 3 1 (a) ~ (d) は、比較例 2 の走査用対物レンズ 2 4 0 の各像高における e 線の横収差図である。

10

【 0 1 0 1 】

図 3 2 は、比較例 3 の走査用対物レンズ 2 4 0 の構成を示す側面図である。比較例 3 の走査用対物レンズ 2 4 0 は、本実施例 4 と同じく、物体側から順に、負レンズ L 1 1 と正レンズ L 1 2 とを接合した第一レンズ群 L 1、第二レンズ群 L 2、カバーガラス C G を有している。比較例 3 の走査用対物レンズ 2 4 0 の具体的仕様は、次に表す通りである。

N A : 0 . 0 0 8

f : 0 . 4 4

m : - 1 6 . 6 0 3

 ω : 5 0 . 0

B F : 6 . 9 9

y : 8 . 6 2

20

【 0 1 0 2 】

表 1 1 は、比較例 3 の走査用対物レンズ 2 4 0 の具体的数値構成 (設計値) を示す。なお、表 1 1 中の面番号の割り振りは本実施例 4 と同一である。

【 0 1 0 3 】

(表 1 1)

面 番 号	R	D	Ne	v e
1	1.254	0.312	1.93430	18.9
2	0.481	0.625	1.77621	49.6
3	-0.700	0.063	-	-
4	0.552	0.650	1.73234	54.7
5	0.661	0.050	-	-
6	INFINITY	0.330	1.51825	64.1
7	INFINITY	-	-	-

30

【 0 1 0 4 】

図 3 3 (a) は比較例 3 の走査用対物レンズ 2 4 0 の球面収差及び軸上色収差を、図 3 3 (b) は倍率色収差を、図 3 3 (c) は非点収差を、図 3 3 (d) は歪曲収差を、それぞれ示す。図 3 4 (a) ~ (d) は、比較例 3 の走査用対物レンズ 2 4 0 の各像高における e 線の横収差図である。

40

【 0 1 0 5 】

表 1 2 は、比較例 1 ~ 3 における各条件式 (1) ~ (6) の値を示す図である。

【 0 1 0 6 】

(表 1 2)

	比較例 1	比較例 2	比較例 3
(1)	0.549	0.753	0.615
(2)	0.920	1.041	1.791
(3)	1.258	5.193	1.500
(4)	-	-	0.333
(5)	-	-	30.6

50

(6) - - -

【 0 1 0 7 】

表 1 2 に示されるように、比較例 1 においては、条件式 (1) 及び (2) の下限を下回するため、第一レンズ群 L 1 のパワーが強くなり過ぎて、当該レンズに起因する周辺部でのコマ収差及び非点収差の発生が大きい。

【 0 1 0 8 】

表 1 2 に示されるように、比較例 2 においては、条件式 (3) の上限を超えるため、第二レンズ群 L 2 の第二面 r 2 2 の負のパワーが弱くなり、像面湾曲が補正不足になる。

【 0 1 0 9 】

表 1 2 に示されるように、比較例 3 においては、条件式 (4) の下限を下回するため、第一レンズ群 L 1 の接合面での光束径が小さくなり、軸上色収差を良好に補正できない。ここで、表 1 3 に、本実施例 4 ~ 6、比較例 3 の各例の走査用対物レンズの軸上色収差を示す。表 1 3 中の軸上色収差は、e 線に対する g 線と c 線のズレを示している。表 1 3 に示されるように、本実施例 4 ~ 6 の走査用対物レンズ 1 4 0 は、比較例 3 の走査用対物レンズ 2 4 0 と異なり、軸上色収差が良好に補正されていることが分かる。

10

【 0 1 1 0 】

(表 1 3)

	実施例 4	実施例 5	実施例 6	比較例 3
g 線	0.013	0.041	0.044	-0.473
C 線	0.283	0.339	0.371	0.535

20

【 0 1 1 1 】

このように、本実施例 1 ~ 7 の走査用対物レンズ 1 4 0 は、比較例 1 ~ 3 との比較検証結果から分かるように、少なくとも条件式 (1)、(2) を同時に満たすことにより、小型化かつ広視野角化が達成されると同時に走査型医療用プローブに適した良好な光学性能も達成する。

【 0 1 1 2 】

以上が本発明の実施形態の説明である。本発明は、上記の構成に限定されるものではなく、本発明の技術的思想の範囲において様々な変形が可能である。例えば走査用対物レンズ 1 4 0 又は走査型医療用プローブ 1 0 0 の特徴的構成は医療分野に限らず、工業用の製品分野の機器にも適用可能である。また、走査用対物レンズ 1 4 0 又は走査型医療用プローブ 1 0 0 の特徴的構成は、プローブ形態の機器だけでなく、走査型内視鏡の形態の機器にも適用可能である。

30

【 0 1 1 3 】

本実施例 1 ~ 3、7 では、第一レンズ群 L 1、第二レンズ群 L 2 が何れも単レンズであるレンズ構成が例示されている。本実施例 4、6 では、第一レンズ群 L 1、第二レンズ群 L 2 が、順に接合レンズ、単レンズであるレンズ構成が例示されている。本実施例 5 では、第一レンズ群 L 1、第二レンズ群 L 2 が何れも接合レンズであるレンズ構成が例示されている。本発明の技術的思想の範囲における別の実施例としては、第一レンズ群 L 1、第二レンズ群 L 2 が、順に単レンズ、接合レンズであるレンズ構成も想定される。

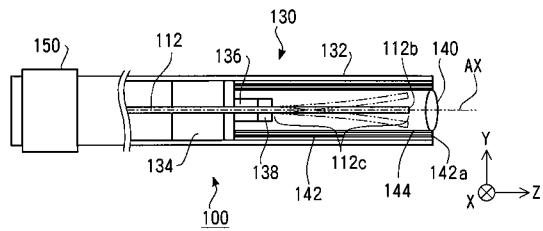
【 符号の説明 】

40

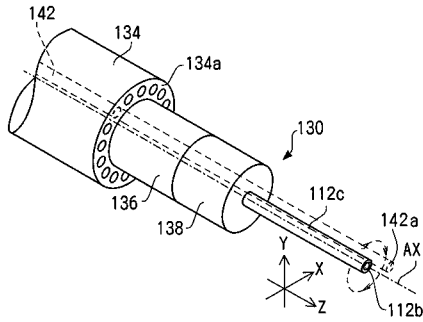
【 0 1 1 4 】

1 0 0 走査型医療用プローブ
1 4 0 走査用対物レンズ

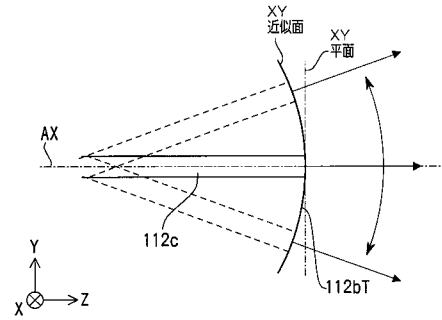
【図 1】



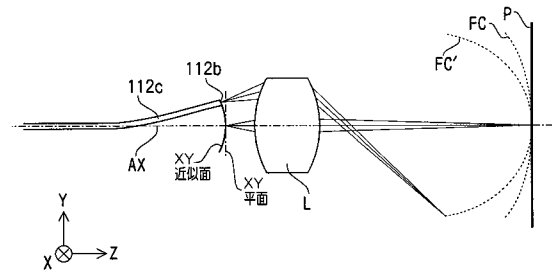
【図 2】



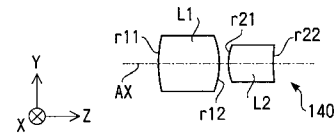
【図 3】



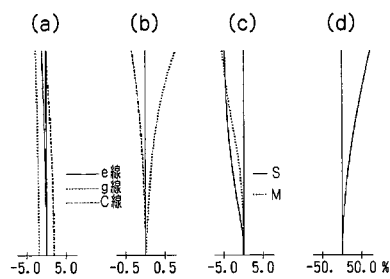
【図 4】



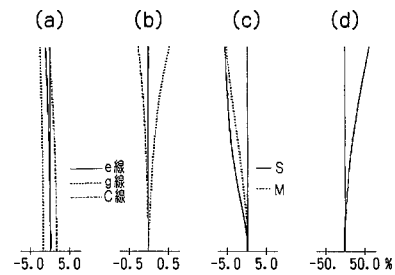
【図 5】



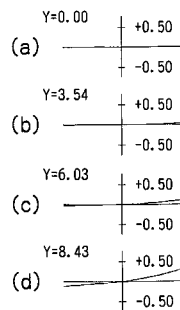
【図 6】



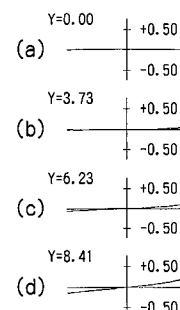
【図 9】



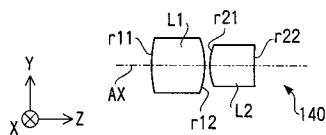
【図 7】



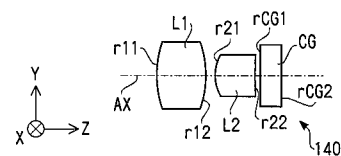
【図 10】



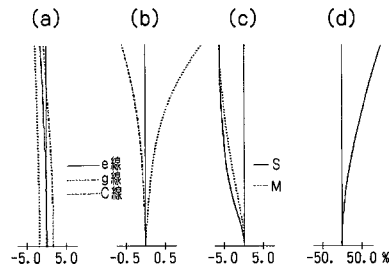
【図 8】



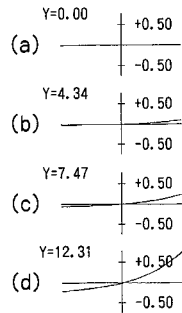
【図 11】



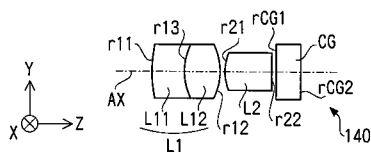
【図 1 2】



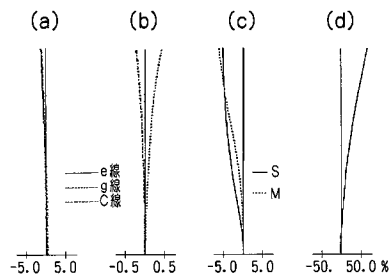
【図 1 3】



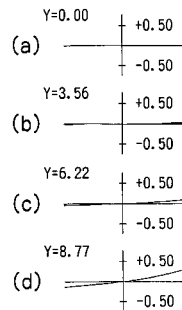
【図 1 4】



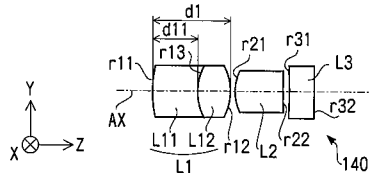
【図 1 8】



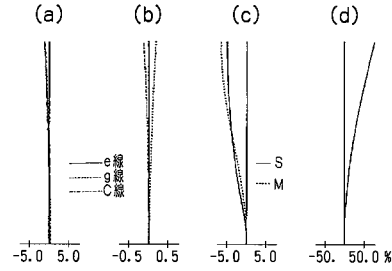
【図 1 9】



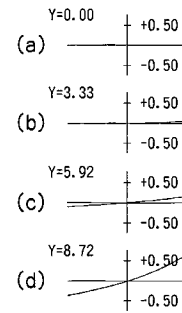
【図 2 0】



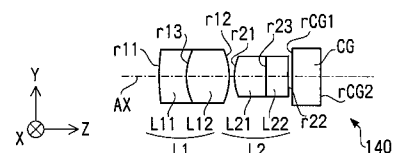
【図 1 5】



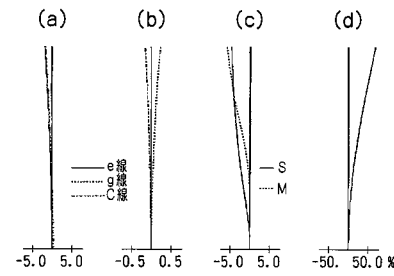
【図 1 6】



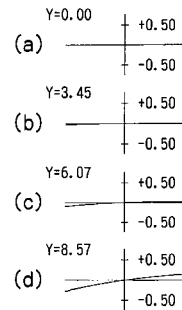
【図 1 7】



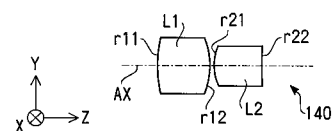
【図 2 1】



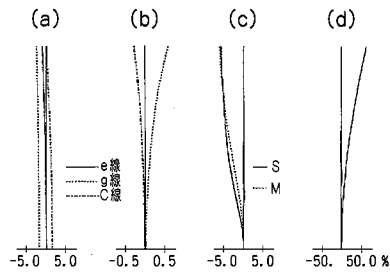
【図 2 2】



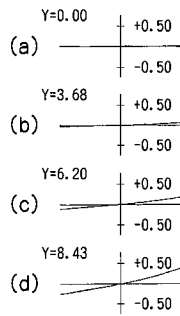
【図 2 3】



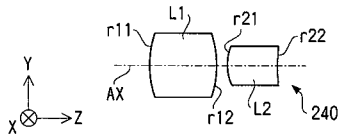
【図 2 4】



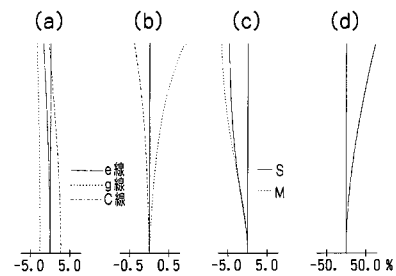
【図 2 5】



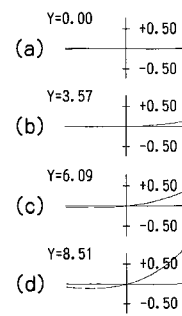
【図 2 6】



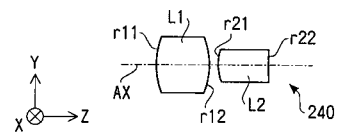
【図 2 7】



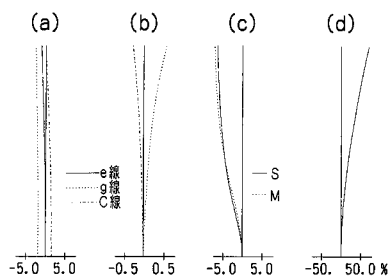
【図 2 8】



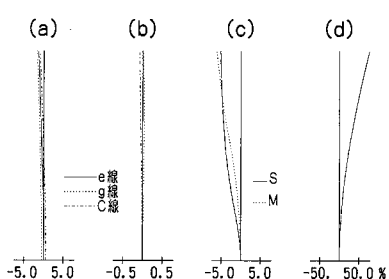
【図 2 9】



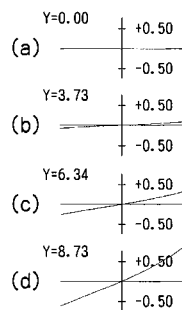
【図 3 0】



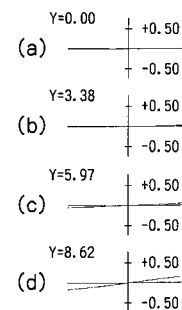
【図 3 3】



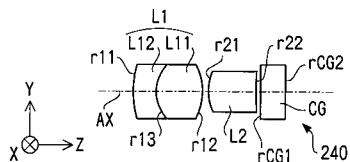
【図 3 1】



【図 3 4】



【図 3 2】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

テーマコード(参考)

A 6 1 B 1/00 3 0 0 D

F ターム(参考) 2H087 KA11 LA01 LA22 PA02 PA03 PA17 PA18 PA19 PB02 PB03
PB04 QA02 QA05 QA06 QA14 QA17 QA21 QA25 QA32 QA38
QA41 QA45 QA46 RA42 RA45
4C061 BB01 CC04 FF40 FF47 HH28

专利名称(译)	扫描物镜，扫描探针和扫描内窥镜		
公开(公告)号	JP2011043793A	公开(公告)日	2011-03-03
申请号	JP2010108930	申请日	2010-05-11
[标]申请(专利权)人(译)	保谷股份有限公司		
申请(专利权)人(译)	HOYA株式会社		
[标]发明人	村山稔		
发明人	村山 稔		
IPC分类号	G02B26/10 G02B13/00 G02B23/24 A61B1/00		
CPC分类号	G02B26/103 G02B23/243		
FI分类号	G02B26/10.D G02B26/10.109 G02B13/00 G02B23/24.A A61B1/00.300.Y A61B1/00.300.D A61B1/00.524 A61B1/00.550 A61B1/00.731 A61B1/07.733		
F-TERM分类号	2H040/BA02 2H040/CA07 2H040/CA12 2H040/CA26 2H045/AE05 2H045/CA55 2H045/DA02 2H045/DA31 2H087/KA11 2H087/LA01 2H087/LA22 2H087/PA02 2H087/PA03 2H087/PA17 2H087/PA18 2H087/PA19 2H087/PB02 2H087/PB03 2H087/PB04 2H087/QA02 2H087/QA05 2H087/QA06 2H087/QA14 2H087/QA17 2H087/QA21 2H087/QA25 2H087/QA32 2H087/QA38 2H087/QA41 2H087/QA45 2H087/QA46 2H087/RA42 2H087/RA45 4C061/BB01 4C061/CC04 4C061/FF40 4C061/FF47 4C061/HH28 4C161/BB01 4C161/CC04 4C161/FF40 4C161/FF47 4C161/HH28		
代理人(译)	荒木义行		
优先权	2009172433 2009-07-23 JP		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

要解决的问题：提供具有优异光学性能的扫描物镜，同时结构紧凑并具有宽视角。解决方案：扫描物镜用于扫描从光纤的发射端发射的光，该光纤沿预定轨道在预定曲面上移动，包括具有正光焦度的第一透镜组和具有正光焦度的第二透镜组。从光纤的发射端开始按顺序排列，并且第一透镜组和第二透镜组布置成满足预定条件。 Z

