

(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2005-91660

(P2005-91660A)

(43) 公開日 平成17年4月7日(2005.4.7)

(51) Int. Cl.⁷

G02B 13/08

G02B 19/00

F I

G02B 13/08

G02B 19/00

テーマコード(参考)

2H052

2H087

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号

特願2003-324072 (P2003-324072)

(22) 出願日

平成15年9月17日(2003.9.17)

(71) 出願人

000006079

ミノルタ株式会社

大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13

号 大阪国際ビル

(74) 代理人

100085501

弁理士 佐野 静夫

(74) 代理人

100111811

弁理士 山田 茂樹

(72) 発明者

志茂 光昭

大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大

阪国際ビル ミノルタ株式会社内

Fターム(参考)

2H052 BA02 BA03 BA09 BA11

2H087 KA29 LA28 PA10 PA14 PA15

PA17 PB10 PB14 PB15 RA07

TA01 TA03 TA06

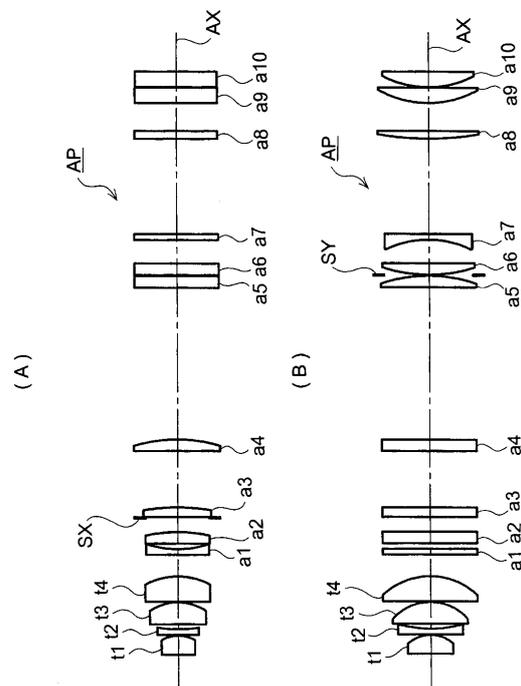
(54) 【発明の名称】 アナモフィック光学系

(57) 【要約】

【課題】 少ないレンズ枚数で高い光学性能を保持しながら、大きなアナモ比を有するアナモフィック光学系を提供する。

【解決手段】 互いに垂直な方向の倍率が異なるアナモフィック光学系APは、光軸AXに対して回転対称な回転対称レンズt1, ...と、互いに垂直な方向の曲率が異なる面を含むアナモフィックレンズa1, ...とを有し、倍率の絶対値の大きい方向を長軸方向、倍率の絶対値の小さい方向を短軸方向とすると、条件式： $1.90 < |f_{Xa11} / f_{sym}| < 20.00$ (f_{Xa11} : アナモフィック光学系の長軸方向の焦点距離、 f_{sym} : 全回転対称レンズのみから成るレンズ群の焦点距離)を満たす。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光軸に対して回転対称な回転対称レンズと、互いに垂直な方向の曲率が異なる面を含むアナモフィックレンズと、をそれぞれ 1 枚以上有するとともに、互いに垂直な方向の倍率が異なるアナモフィック光学系であって、倍率の絶対値の大きい方向を長軸方向、倍率の絶対値の小さい方向を短軸方向とすると、以下の条件式(1)を満足することを特徴とするアナモフィック光学系；

$$1.90 < |f_{Xall} / f_{sym}| < 20.00 \quad \dots (1)$$

ただし、

f_{Xall} ：アナモフィック光学系の長軸方向の焦点距離、

f_{sym} ：全回転対称レンズのみから成るレンズ群の焦点距離、

である。

10

【請求項 2】

以下の条件式(2)を満足することを特徴とする請求項 1 記載のアナモフィック光学系；

$$6.4 < |long / short| < 30.0 \quad \dots (2)$$

ただし、

$long$ ：アナモフィック光学系の長軸方向の倍率、

$short$ ：アナモフィック光学系の短軸方向の倍率、

である。

20

【請求項 3】

光軸に対して回転対称な回転対称レンズと、互いに垂直な方向の曲率が異なる面を含むアナモフィックレンズと、をそれぞれ 1 枚以上有するとともに、互いに垂直な方向の倍率が異なるアナモフィック光学系であって、倍率の絶対値の大きい方向を長軸方向、倍率の絶対値の小さい方向を短軸方向とすると、以下の条件式(2)を満足することを特徴とするアナモフィック光学系；

$$6.4 < |long / short| < 30.0 \quad \dots (2)$$

ただし、

$long$ ：アナモフィック光学系の長軸方向の倍率、

$short$ ：アナモフィック光学系の短軸方向の倍率、

である。

30

【請求項 4】

以下の条件式(1)を満足することを特徴とする請求項 3 記載のアナモフィック光学系；

$$1.90 < |f_{Xall} / f_{sym}| < 20.00 \quad \dots (1)$$

ただし、

f_{Xall} ：アナモフィック光学系の長軸方向の焦点距離、

f_{sym} ：全回転対称レンズのみから成るレンズ群の焦点距離、

である。

【請求項 5】

光源からの光を被照射面に導く照明光学系であって、前記光源が第 1 焦点近傍に位置するように配置された楕円面鏡と、その楕円面鏡の第 2 焦点近傍に入射端面を持つオプティカルインテグレータと、そのオプティカルインテグレータの射出端面の像を被照射面上に形成する結像光学系とを有し、前記結像光学系が請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載のアナモフィック光学系から成ることを特徴とする照明光学系。

40

【請求項 6】

楕円面鏡と、その楕円面鏡の第 1 焦点近傍に配置された光源と、前記楕円面鏡の第 2 焦点近傍に入射端面を持つオプティカルインテグレータと、そのオプティカルインテグレータの射出端面の像を被照射面上に形成する結像光学系とを有し、前記結像光学系が請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載のアナモフィック光学系から成ることを特徴とする照明装置。

【発明の詳細な説明】

50

【技術分野】

【0001】

本発明はアナモフィック光学系に関するものであり、特に、安価で高性能・高アナモ比のアナモフィック光学系、並びにそれを有する照明光学系及び照明装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

アナモフィック光学系は様々な分野で利用されており、例えば、縦横の拡大率を変えた像の観察、矩形形状の物体面や光学素子面(例えば表示素子面)に対する効率的な照明等に用いられている。このため、従来より提案されているアナモフィック光学系のタイプも様々であり(例えば、特許文献1, 2参照。)、回転対称光学系を含んだタイプのアナモフィック光学系も提案されている(例えば、特許文献3参照。)

10

【特許文献1】特開平3 - 39922号公報

【特許文献2】特開平3 - 210515号公報

【特許文献3】特開平11 - 6956号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

ここで、アナモフィック光学系で矩形形状の物体面を照明する場合を考えてみる。光源からの光を楕円面鏡で集光したときの光束の断面形状は、円形又は楕円形である。このため、そこからそのまま矩形形状に光束を切り出したのでは、矩形形状の物体面を効率良く照明することができない。特に、矩形形状の縦横比が大きければ、なおさらその傾向は強くなる。使用するアナモフィック光学系を、矩形形状の短辺方向には縮小倍率(又は等倍より低い拡大倍率)とし、矩形形状の長辺方向には大きな拡大倍率とすれば、円形の光束からの光の利用効率を高くすることができる。

20

【0004】

しかしながら、特許文献1~3で提案されているような従来のアナモフィック光学系では、この縦横の拡大率の比(すなわちアナモ比)があまり大きくないため、縦横比の非常に大きな物体面や光学素子面の照明には対応することができない。さらに、縦横の大きさの比が大きく歪んだ像を元の歪みのない像として観察する場合、逆に像の縦横の大きさの比を大きく歪ませて観察する場合には、従来のアナモフィック光学系では対応することができない。また、単純にアナモ比を大きくしようとすると、同等のレンズ枚数では性能が著しく低下してしまい、逆に、アナモ比が大きく高性能なアナモフィック光学系を実現しようとすると、レンズ枚数が極端に多くなってしまふ。そしてレンズ枚数が多くなると、アナモフィック光学系は非常に高価なものとなり、さらに全長が大きくなってコンパクト化が困難になる。

30

【0005】

本発明はこのような状況に鑑みてなされたものであって、その目的は、少ないレンズ枚数で高い光学性能を保持しながら、大きなアナモ比を有するアナモフィック光学系を提供することにある。

40

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記目的を達成するために、第1の発明のアナモフィック光学系は、光軸に対して回転対称な回転対称レンズと、互いに垂直な方向の曲率が異なる面を含むアナモフィックレンズと、をそれぞれ1枚以上有するとともに、互いに垂直な方向の倍率が異なるアナモフィック光学系であって、倍率の絶対値の大きい方向を長軸方向、倍率の絶対値の小さい方向を短軸方向とするとき、以下の条件式(1)を満足することを特徴とする。

【0007】

$$1.90 < |f_{Xall} / f_{sym}| < 20.00 \quad \dots (1)$$

ただし、

50

f_{Xall} : アナモフィック光学系の長軸方向の焦点距離、
 f_{sym} : 全回転対称レンズのみから成るレンズ群の焦点距離、

である。

【0008】

第2の発明のアナモフィック光学系は、上記第1の発明において、以下の条件式(2)を満足することを特徴とする。

【0009】

$$6.4 < | \text{long} / \text{short} | < 30.0 \quad \dots (2)$$

ただし、

long : アナモフィック光学系の長軸方向の倍率、

short : アナモフィック光学系の短軸方向の倍率、

である。

【0010】

第3の発明のアナモフィック光学系は、光軸に対して回転対称な回転対称レンズと、互いに垂直な方向の曲率が異なる面を含むアナモフィックレンズと、をそれぞれ1枚以上有するとともに、互いに垂直な方向の倍率が異なるアナモフィック光学系であって、倍率の絶対値の大きい方向を長軸方向、倍率の絶対値の小さい方向を短軸方向とするとき、以下の条件式(2)を満足することを特徴とする。

【0011】

$$6.4 < | \text{long} / \text{short} | < 30.0 \quad \dots (2)$$

ただし、

long : アナモフィック光学系の長軸方向の倍率、

short : アナモフィック光学系の短軸方向の倍率、

である。

【0012】

第4の発明のアナモフィック光学系は、上記第3の発明において、以下の条件式(1)を満足することを特徴とする。

【0013】

$$1.90 < | f_{Xall} / f_{sym} | < 20.00 \quad \dots (1)$$

ただし、

f_{Xall} : アナモフィック光学系の長軸方向の焦点距離、

f_{sym} : 全回転対称レンズのみから成るレンズ群の焦点距離、

である。

【0014】

第5の発明の照明光学系は、光源からの光を被照射面に導く照明光学系であって、前記光源が第1焦点近傍に位置するように配置された楕円面鏡と、その楕円面鏡の第2焦点近傍に入射端面を持つオプティカルインテグレータと、そのオプティカルインテグレータの射出端面の像を被照射面上に形成する結像光学系とを有し、前記結像光学系が上記第1～第4のいずれか1つの発明に係るアナモフィック光学系から成ることを特徴とする。

【0015】

第6の発明の照明装置は、楕円面鏡と、その楕円面鏡の第1焦点近傍に配置された光源と、前記楕円面鏡の第2焦点近傍に入射端面を持つオプティカルインテグレータと、そのオプティカルインテグレータの射出端面の像を被照射面上に形成する結像光学系とを有し、前記結像光学系が上記第1～第4のいずれか1つの発明に係るアナモフィック光学系から成ることを特徴とする。

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、回転対称レンズとアナモフィックレンズを共に有する特徴的な光学構成になっているため、少ないレンズ枚数で高い光学性能を保持しながら、大きなアナモ比を有する安価なアナモフィック光学系を実現することができる。そして、本発明に係るア

10

20

30

40

50

ナモフィック光学系を用いて照明光学系や照明装置を構成すれば、これらの軽量・コンパクト化，低コスト化，高性能化，光利用効率の向上等に寄与することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

以下、本発明を実施したアナモフィック光学系等を、図面を参照しつつ説明する。図1～図4に、アナモフィック光学系の第1～第4の実施の形態のレンズ構成をそれぞれ光学断面で示す。図1～図4において、(A)は長軸方向(すなわち倍率の絶対値の大きい方向)のレンズ構成、(B)は短軸方向(すなわち倍率の絶対値の小さい方向)のレンズ構成をそれぞれ示しており、APは互いに垂直な方向(つまり長軸方向と短軸方向)の倍率が異なるアナモフィック光学系、 t_i ($i = 1, 2, 3, \dots$)は光軸AXに対して回転対称な第*i*回転対称レンズ、 a_j ($j = 1, 2, 3, \dots$)は互いに垂直な方向の曲率が異なる面を含む第*j*アナモフィックレンズ、STは絞り、SXは長軸方向絞り、SYは短軸方向絞りをそれぞれ示している。

10

【0018】

第1の実施の形態(図1)のアナモフィック光学系APは、長軸方向の縮小側から順に、第1～第4回転対称レンズ $t_1 \sim t_4$ と、第1, 第2アナモフィックレンズ a_1, a_2 と、長軸方向絞りSXと、第3～第5アナモフィックレンズ $a_3 \sim a_5$ と、短軸方向絞りSYと、第6～第10アナモフィックレンズ $a_6 \sim a_{10}$ と、から成っている。第1回転対称レンズ t_1 は正パワーを有する平凸レンズであり、第2回転対称レンズ t_2 は負パワーを有する平凹レンズであり、第3, 第4回転対称レンズ t_3, t_4 は正パワーを有する平凸レンズである。第1アナモフィックレンズ a_1 は長軸方向に負パワーを有するシリンドリカルレンズであり、第2～第4アナモフィックレンズ $a_2 \sim a_4$ は長軸方向に正パワーを有するシリンドリカルレンズであり、第5, 第6アナモフィックレンズ a_5, a_6 は短軸方向に正パワーを有するシリンドリカルレンズであり、第7アナモフィックレンズ a_7 は短軸方向に負パワーを有するシリンドリカルレンズであり、第8～第10アナモフィックレンズ $a_8 \sim a_{10}$ は短軸方向に正パワーを有するシリンドリカルレンズである。

20

【0019】

第2の実施の形態(図2)のアナモフィック光学系APは、長軸方向の縮小側から順に、第1～第6回転対称レンズ $t_1 \sim t_6$ と、絞りSTと、第1アナモフィックレンズ a_1 と、第7回転対称レンズ t_7 と、第2～第8アナモフィックレンズ $a_2 \sim a_8$ と、から成っている。第1回転対称レンズ t_1 は負パワーを有するメニスカスレンズであり、第2回転対称レンズ t_2 は負パワーを有する両凹レンズであり、第3～第6回転対称レンズ $t_3 \sim t_6$ は正パワーを有する平凸レンズであり、第7回転対称レンズ t_7 は負パワーを有するメニスカスレンズである。第1アナモフィックレンズ a_1 は短軸方向に負パワーを有するシリンドリカルレンズであり、第2, 第3アナモフィックレンズ a_2, a_3 は長軸方向に正パワーを有するシリンドリカルレンズであり、第4～第6アナモフィックレンズ $a_4 \sim a_6$ は短軸方向に正パワーを有するシリンドリカルレンズであり、第7アナモフィックレンズ a_7 は長軸方向に正パワーを有するシリンドリカルレンズであり、第8アナモフィックレンズ a_8 は短軸方向に正パワーを有するシリンドリカルレンズである。

30

【0020】

第3の実施の形態(図3)のアナモフィック光学系APは、長軸方向の縮小側から順に、第1～第3回転対称レンズ $t_1 \sim t_3$ と、長軸方向絞りSXと、第4, 第5回転対称レンズ t_4, t_5 と、第1～第3アナモフィックレンズ $a_1 \sim a_3$ と、短軸方向絞りSYと、第4, 第5アナモフィックレンズ a_4, a_5 と、から成っている。第1回転対称レンズ t_1 は正パワーを有するメニスカスレンズであり、第2回転対称レンズ t_2 は正パワーを有する両凸レンズであり、第3回転対称レンズ t_3 は正パワーを有する平凸レンズであり、第4, 第5回転対称レンズ t_4, t_5 は負パワーを有する両凹レンズである。第1, 第2アナモフィックレンズ a_1, a_2 は長軸方向に正パワーを有するシリンドリカルレンズであり、第3, 第4アナモフィックレンズ a_3, a_4 は短軸方向に正パワーを有するシリンドリカルレンズであり、第5アナモフィックレンズ a_5 は長軸方向に正パワーを有するシ

40

50

リンドリカルレンズである。

【0021】

第4の実施の形態(図4)のアナモフィック光学系APは、長軸方向の縮小側から順に、第1～第3回転対称レンズt1～t3と、長軸方向絞りSXと、第4、第5回転対称レンズt4、t5と、第1～第3アナモフィックレンズa1～a3と、短軸方向絞りSYと、第4、第5アナモフィックレンズa4、a5と、から成っている。第1回転対称レンズt1は正パワーを有するメニスカスレンズであり、第2回転対称レンズt2は正パワーを有する両凸レンズであり、第3回転対称レンズt3は正パワーを有する平凸レンズであり、第4、第5回転対称レンズt4、t5は負パワーを有する両凹レンズである。第1、第2アナモフィックレンズa1、a2は長軸方向に正パワーを有するシンドリカルレンズであり、第3、第4アナモフィックレンズa3、a4は短軸方向に正パワーを有するシンドリカルレンズであり、第5アナモフィックレンズa5は長軸方向に正パワーを有するシンドリカルレンズである。

10

【0022】

全体としてアナモ比(=|長軸方向の倍率/短軸方向の倍率|)が大きく、かつ、レンズ枚数が少ないアナモフィック光学系を構成するには、光軸に対して回転対称な回転対称レンズと、互いに垂直な方向の曲率が異なる面を含むアナモフィックレンズと、をそれぞれ1枚以上有する構成にするのが好ましい。その場合、例えば第1の実施の形態のように、1枚以上の回転対称レンズから成る回転対称レンズ群t1～t4と、1枚以上のアナモフィックレンズから成るアナモフィックレンズ群a1～a10と、が独立して存在する配置にしてもよく、第2の実施の形態のように、1枚以上の回転対称レンズから成る回転対称レンズ群t1～t7と、1枚以上のアナモフィックレンズから成るアナモフィックレンズ群a1～a8と、が混在した配置にしてもよい。

20

【0023】

アナモフィック光学系を構成する場合、すべてのレンズを長軸方向か短軸方向のどちらかにパワーを持つシンドリカルレンズのみで構成すると、倍率の異なる2本の光学系を持つことと等価になるため、レンズ枚数が倍増してしまう。また、長軸方向と短軸方向の両方にパワーを持つトロイダルレンズを使用すると、レンズ枚数は少なくできるが、個々のトロイダルレンズは製作が難しく高価であるため、結局は高価な光学系になってしまう。さらに、倍率の異なるアナモフィック光学系の各レンズ間隔を等しくしなければならず、像面の補正や歪曲の補正に対し不利になる。

30

【0024】

したがって、アナモフィック光学系のレンズ枚数を少なくしてもコストアップを招かないようにするには、回転対称レンズとアナモフィックレンズとを共に有する構成にすることが好ましい。例えば各実施の形態のように、光軸AXに対して回転対称な回転対称レンズtiと、互いに垂直な方向の曲率が異なる面を含むアナモフィックレンズajと、をそれぞれ1枚以上有する構成が好ましい。こうすることにより、アナモフィックレンズのみで構成するよりも、レンズ枚数の削減を効果的に行うことができる。また、短軸方向と長軸方向の倍率に起因する収差の発生に対しても、アナモフィックレンズ部分の構成の自由度があるため、収差補正が容易になる。なお、上記アナモフィックレンズはシンドリカルレンズに限定されない。アナモフィックレンズとしてトロイダルレンズを含む構成でもよく、その場合でも同様の効果を得ることができる。

40

【0025】

回転対称レンズとアナモフィックレンズとを共に有するアナモフィック光学系においては、回転対称レンズ群(すなわち全回転対称レンズのみから成るレンズ群)とアナモフィックレンズ群(すなわち全アナモフィックレンズのみから成るレンズ群)とに対して適切にパワーを振り分けることが重要になる。全系に占める回転対称レンズ群のパワーと、全系に占めるアナモフィックレンズ群のパワーと、を適切に配分することにより、更にコンパクトかつ効率的でレンズ枚数の少ないアナモフィック光学系を実現することができる。また、両者に共通のパワーを回転対称レンズ群に負担させることにより、長軸方向だけ又は短

50

軸方向だけで各方向のパワーを負担するよりも、効率的なパワー配置が可能となる。

【0026】

また、収差補正の観点から考えると、長軸方向と短軸方向とに共通の収差補正を回転対称レンズ群で行い、その残りの収差と倍率の差に起因する収差とについては、アナモフィックレンズ群で補正を行う方がより効率的であり好ましい。両者に共通する収差の大部分を回転対称レンズ群で行えば、アナモフィックレンズ群で長軸方向、短軸方向共に収差補正を行う必要がなくなる。したがってレンズ枚数の削減が可能となり、さらにアナモフィック光学系の高性能化が可能となる。

【0027】

前記パワー配分に関しては、以下の条件式(1)を満足することが望ましい。

10

【0028】

$$1.90 < |f_{Xall} / f_{sym}| < 20.00 \quad \dots (1)$$

ただし、

f_{Xall} : アナモフィック光学系の長軸方向の焦点距離、

f_{sym} : 全回転対称レンズのみから成るレンズ群の焦点距離、

である。

【0029】

条件式(1)は、回転対称レンズ群のパワー(= $1 / f_{sym}$)が長軸方向における全系のパワー(= $1 / f_{Xall}$)に占める割合の好ましい範囲を規定している。条件式(1)の下限を越えて回転対称レンズ群のパワーが弱くなると、アナモフィック光学系全体に占める回転対称レンズの枚数は少なく済むが、長軸方向・短軸方向に共通のパワー配分が減るため、アナモフィックレンズの枚数が増加し、アナモフィック光学系が高価になってしまう。また、両方向に共通な収差補正が不十分になるため、やはりアナモフィックレンズの枚数が増加し、アナモフィック光学系が高価になってしまうか、あるいはコンパクト化が困難になる。逆に、条件式(1)の上限を越えて回転対称レンズ群のパワーが強くなると、両方向に共通な収差補正が過剰になるか、あるいは新たな収差が発生し、その補正のためにアナモフィックレンズの枚数が増加し、アナモフィック光学系が高価になってしまうか、あるいは高性能化が困難になる。

20

【0030】

以下の条件式(1a)を満足することが更に望ましい。条件式(1a)は、上記条件式(1)が規定している条件範囲のなかでも、上記観点等に基づいてより一層好ましい条件範囲を規定している。

30

【0031】

$$2.00 < |f_{Xall} / f_{sym}| < 10.00 \quad \dots (1a)$$

【0032】

前記アナモ比に関しては、以下の条件式(2)を満足することが望ましい。また、レンズ枚数の削減及び光学性能の向上とのバランスをとりながら大きなアナモ比を得るためには、前記条件式(1)とともに条件式(2)を満足することが更に望ましい。

【0033】

$$6.4 < |long / short| < 30.0 \quad \dots (2)$$

40

ただし、

$long$: アナモフィック光学系の長軸方向の倍率、

$short$: アナモフィック光学系の短軸方向の倍率、

である。

【0034】

条件式(2)は、レンズ枚数の削減、光学性能の向上及びアナモ比の増大を両立させる上で好ましいアナモ比の範囲を規定している。条件式(2)の下限を越えてアナモ比が小さくなると、アナモフィック光学系のメリットが少なくなる。例えば、縦横比の非常に大きな物体面や光学素子面(例えば表示素子面)の照明に対応することができなくなる。また、縦横の大きさの比が大きく歪んだ像を元の歪みのない像として観察する場合、逆に像の縦横

50

の大きさの比を大きく歪ませて観察する場合に対応することができなくなる。条件式(2)の上限を越えてアナモ比が大きくなると、収差補正が困難になり、その補正のためにアナモフィック光学系が大型化してしまう。また、レンズ枚数も飛躍的に増えてしまうため、アナモフィック光学系は高価になってしまう。

【0035】

以下の条件式(2a)を満足することが更に望ましい。条件式(2a)は、上記条件式(2)が規定している条件範囲のなかでも、上記観点等に基づいてより一層好ましい条件範囲を規定している。

【0036】

$$10.0 < | \text{long} / \text{short} | < 20.0 \quad \dots (2a)$$

10

【0037】

図9に、アナモフィック光学系APとして第1の実施の形態(図1)を備えた照明光学系の概略光学構成を短軸方向について示す。この照明光学系は、光源1からの光を被照射面IMに導く照明光学系であって、光源1が第1焦点F1近傍に位置するように配置された楕円面鏡2と、その楕円面鏡2の第2焦点F2近傍に入射端面3aを持つオプティカルインテグレータ3と、そのオプティカルインテグレータ3の射出端面3bの像を被照射面IM上に形成するアナモフィック光学系APと、を有しており、光源1を含めた状態で照明装置の主要部を構成している。

【0038】

集光光学系として機能する楕円面鏡2は、2つの焦点F1, F2を持つ回転楕円形状の反射面を有しており、楕円面鏡2に近い側の第1焦点F1に位置する光源1からの光を集光して、第2焦点F2位置に2次光源を形成する。光源1としては、例えば、ハロゲンランプ、水銀ランプ、レーザー光源等、様々なタイプのものが利用可能であり、特定の光源に限定されない。なお、楕円面鏡2の代わりに回転放物面鏡や球面鏡等を用いてもよいが、その場合、光源からの光を集光するために、集光レンズ等と組み合わせて集光光学系を構成する必要がある。

20

【0039】

楕円面鏡2の第2焦点F2近傍にはオプティカルインテグレータ3の入射端面3aが位置しているので、楕円面鏡2から射出した光はオプティカルインテグレータ3の入射端面3a近傍で結像することになる。図9に示すオプティカルインテグレータ3は、4枚の平面ミラーを貼り合わせて成る中空ロッド方式のオプティカルインテグレータ(いわゆるオプティカルインテグレータロッド)であり、入射端面3aから入射してきた光を側面(すなわち内壁面)で何度も繰り返し反射させることによりミキシングし、光の空間的なエネルギー分布を均一化して射出端面3bから射出する。その射出端面3bと被照射面IMとはアナモフィック光学系APに関して共役な関係になっているため、射出端面3b位置の均一な光強度分布状態はアナモフィック光学系APにより被照射面IMに転写される。したがって、上記ミキシング効果により射出端面3bでの光強度分布が均一化された光束は、被照射面IMを効率良く均一に照明することになる。なお、被照射面IMとしては、物体面、光学素子面(例えば表示素子面)等が挙げられるが、それらに限定するものではなく、照明が必要とされるものすべてが対象となる。

30

40

【0040】

一般的なオプティカルインテグレータの形状は、加工のし易さ、均一性の確保等の観点から直方体になっている。そのため、オプティカルインテグレータの入射端面形状や射出端面形状は共に長方形であることが多い。しかし、図9に示す照明光学系の場合、第2焦点F2近傍での光束断面形状が円形に近くなることを考慮して、光利用効率を良くするために、オプティカルインテグレータ3の入射端面3aを光束断面よりも大きい正方形としている。射出端面3bの形状も、加工のし易さ、均一性の確保等の観点から入射端面3aと同様に正方形としているが、これに限定するものではない。この照明光学系では、照明を必要とする被照射面IMの形状に射出端面3bの形状を適合させる必要がないからである。一般に、照明を必要とする被照射面の形状は様々であり、例えば、表示素子面の形状

50

は正方形の場合もあれば長方形の場合もある。また、表示素子面を構成する画素の集まりを照明する場合も同様であり、その照明を必要とする領域が正方形の場合もあれば長方形の場合もある。いずれにしても照明を必要とする領域の縦横比は多様であり、その領域の形状がオプティカルインテグレータの射出端面の形状と相似でなければ、通常回転対称光学系を使用した照明では光利用効率が非常に低くなってしまふ。

【0041】

図9に示す照明光学系では、照明を必要とする領域の形状とオプティカルインテグレータの射出端面の形状との不適合を、アナモフィック光学系APを用いることにより解消している。つまり、正方形の射出端面3bから射出した光束を、アナモフィック光学系APで被照射面IMの照明を必要とする領域の形状に近づけることにより、光利用効率を高めているのである。オプティカルインテグレータ3の射出端面3bが被照射面IM上で結像する構成に変わりはないので、光強度分布の均一性も保たれる。このようにアナモフィック光学系を用いて照明光学系や照明装置を構成すれば、これらの軽量・コンパクト化、低コスト化、高性能化、光利用効率の向上等に寄与することができる。特に、照明を必要とする領域の形状が縦横比の大きい長方形である場合には有効である。

10

【実施例】

【0042】

以下、本発明を実施したアナモフィック光学系を、コンストラクションデータ等を挙げて更に具体的に説明する。ここで挙げる実施例1~4は、前述した第1~第4の実施の形態にそれぞれ対応する数値実施例であり、第1~第4の実施の形態を表すレンズ構成図(図1~図4)は、対応する実施例1~4のレンズ構成をそれぞれ示している。

20

【0043】

各実施例のコンストラクションデータでは、各レンズ構成図の(A)に対応する長軸方向のレンズ構成データと、各レンズ構成図の(B)に対応する短軸方向のレンズ構成データとを挙げている。各コンストラクションデータにおいて、 r_i ($i=1,2,3,\dots$)は物体側から数えてi番目の面の曲率半径(mm)、 d_i ($i=1,2,3,\dots$)は物体側から数えてi番目の軸上面間隔(mm)を示しており、 N_i ($i=1,2,3,\dots$)、 ν_i ($i=1,2,3,\dots$)は物体側から数えてi番目のレンズのd線に対する屈折率(Nd)、アッベ数(ν)を示している。また、全系の倍率、開口数NA、物体距離S1{すなわち第1面(r_1)から物体までの距離(mm)}及び設計波長(λ)を他のデータとあわせて示し、表1に各条件式規定のパラメータに対応するデータを各実施例について示す。

30

【0044】

図5~図8は、実施例1~実施例4に対応する収差図である。図5~図8中、(A)~(C)は長軸方向の収差図、(D)~(F)は短軸方向の収差図であり、(A)と(D)は球面収差図、(B)と(E)は非点収差図、(C)と(F)は歪曲収差図である{NA:開口数、Y':最大像高(mm)}。球面収差図において、実線は設計波長に対する球面収差量(mm)を表しており、破線SCは正弦条件不満足量(mm)を表している。非点収差図において、破線DMはメリディオナル面、実線DSはサジタル面でのd線に対する各非点収差(mm)を表している。また、歪曲収差図において実線はd線に対する歪曲(%)を表している。

40

【0045】

《実施例1の長軸方向データ》

$= -6.6$, $NA=0.085$, $S1=-1.5$, $\lambda=435.84$

[曲率半径] [軸上面間隔] [屈折率] [アッベ数]

$r1=$

$d1= 9.900$ $N1= 1.52667$ $\nu1= 64.20(t1)$

$r2= -18.088$

$d2= 0.300$

$r3=$

$d3= 3.000$ $N2= 1.52667$ $\nu2= 64.20(t2)$

$r4= 62.016$

50

	d4=	2.633			
r5=					
	d5=	11.400	N3=	1.52667	3= 64.20(t3)
r6=	-25.840				
	d6=	0.300			
r7=					
	d7=	13.000	N4=	1.52667	4= 64.20(t4)
r8=	-36.176				
	d8=	11.183			
r9=					10
	d9=	3.000	N5=	1.52667	5= 64.20(a1)
r10=	51.680				
	d10=	2.865			
r11=					
	d11=	6.000	N6=	1.52667	6= 64.20(a2)
r12=	-77.520				
	d12=	7.178			
r13=	(SX)				
	d13=	0.500			
r14=					20
	d14=	5.000	N7=	1.52667	7= 64.20(a3)
r15=	-103.360				
	d15=	29.363			
r16=					
	d16=	6.000	N8=	1.52667	8= 64.20(a4)
r17=	-77.520				
	d17=	78.749			
r18=					
	d18=	6.000	N9=	1.52667	9= 64.20(a5)
r19=					30
	d19=	0.300			
r20=	(SY)				
	d20=	0.300			
r21=					
	d21=	6.000	N10=	1.52667	10=64.20(a6)
r22=					
	d22=	12.172			
r23=					
	d23=	3.000	N11=	1.52667	11=64.20(a7)
r24=					40
	d24=	49.527			
r25=					
	d25=	4.000	N12=	1.52667	12=64.20(a8)
r26=					
	d26=	14.525			
r27=					
	d27=	8.000	N13=	1.52667	13=64.20(a9)
r28=					
	d28=	0.300			
r29=					50

d29= 8.000 N14=1.52667 14=64.20(a10)

r30=

【 0 0 4 6 】

《 実施例 1 の短軸方向データ 》

=-1.3 , NA=0.43 , S1=-1.5 , =435.84

[曲率半径] [軸上面間隔] [屈折率] [ア ッ ペ 数]

r1=

d1= 9.900 N1= 1.52667 1= 64.20(t1)

r2= -18.088

d2= 0.300

r3=

d3= 3.000 N2= 1.52667 2= 64.20(t2)

r4= 62.016

d4= 2.633

r5=

d5= 11.400 N3= 1.52667 3= 64.20(t3)

r6= -25.840

d6= 0.300

r7=

d7= 13.000 N4= 1.52667 4= 64.20(t4)

r8= -36.176

d8= 11.183

r9=

d9= 3.000 N5= 1.52667 5= 64.20(a1)

r10=

d10= 2.865

r11=

d11= 6.000 N6= 1.52667 6= 64.20(a2)

r12=

d12= 7.178

r13= (SX)

d13= 0.500

r14=

d14= 5.000 N7= 1.52667 7= 64.20(a3)

r15=

d15=29.363

r16=

d16= 6.000 N8= 1.52667 8= 64.20(a4)

r17=

d17=78.749

r18=

d18= 6.000 N9= 1.52667 9= 64.20(a5)

r19= -77.520

d19= 0.300

r20= (SY)

d20= 0.300

r21= 77.520

d21= 6.000 N10=1.52667 10=64.20(a6)

r22=

d22=12.172

10

20

30

40

50

r23=	-51.680	d23=	3.000	N11=	1.52667	11=	64.20(a7)	
r24=		d24=	49.527					
r25=	155.040	d25=	4.000	N12=	1.52667	12=	64.20(a8)	
r26=		d26=	14.525					
r27=	51.680	d27=	8.000	N13=	1.52667	13=	64.20(a9)	10
r28=		d28=	0.300					
r29=	51.680	d29=	8.000	N14=	1.52667	14=	64.20(a10)	
r30=								
	【 0 0 4 7 】							
	《 実施例 2 の長軸方向データ 》							
	=-6.6, NA=0.03, S1=-1.5, =435.84							
	[曲率半径] [軸上面間隔] [屈折率] [アッベ数]							
r1=	-15.631	d1=	2.430	N1=	1.79149	1=	27.51(t1)	20
r2=	-452.227	d2=	4.010					
r3=	-42.111	d3=	2.000	N2=	1.70011	2=	32.10(t2)	
r4=	19.316	d4=	0.861					
r5=		d5=	6.700	N3=	1.52667	3=	64.20(t3)	
r6=	-12.980	d6=	0.647					30
r7=		d7=	5.600	N4=	1.52667	4=	64.20(t4)	
r8=	-15.570	d8=	3.703					
r9=		d9=	3.400	N5=	1.52667	5=	64.20(t5)	
r10=	-36.330	d10=	0.300					
r11=		d11=	3.200	N6=	1.52667	6=	64.20(t6)	40
r12=	-41.520	d12=	0.300					
r13=	(ST)	d13=	0.500					
r14=		d14=	2.300	N7=	1.52667	7=	64.20(a1)	
r15=		d15=	17.668					
r16=	452.227							50

r17= 15.631	d16= 2.430	N8= 1.79149	8= 27.51(t7)	
	d17= 2.920			
r18=				
r19= -77.520	d18= 6.000	N9= 1.52667	9= 64.20(a2)	
	d19= 1.036			
r20= 51.680				
	d20= 8.000	N10=1.52667	10=64.20(a3)	
r21=				10
	d21= 5.632			
r22=				
	d22= 7.000	N11=1.52667	11=64.20(a4)	
r23=				
	d23= 0.300			
r24=				
	d24= 8.000	N12=1.52667	12=64.20(a5)	
r25=				
	d25=37.369			
r26=				20
	d26= 8.000	N13=1.52667	13=64.20(a6)	
r27=				
	d27= 2.680			
r28= 51.680				
	d28= 8.000	N14=1.52667	14=64.20(a7)	
r29=				
	d29=17.837			
r30=				
	d30= 8.000	N15=1.52667	15=64.20(a8)	
r31=				30
【 0 0 4 8 】				
《 実施例 2 の短軸方向データ 》				
=-1.0, NA=0.021, S1=-1.5, =435.84				
[曲率半径] [軸上面間隔] [屈折率] [アッペ数]				
r1= -15.631				
	d1= 2.430	N1= 1.79149	1= 27.51(t1)	
r2= -452.227				
	d2= 4.010			
r3= -42.111				
	d3= 2.000	N2= 1.70011	2= 32.10(t2)	40
r4= 19.316				
	d4= 0.861			
r5=				
	d5= 6.700	N3= 1.52667	3= 64.20(t3)	
r6= -12.980				
	d6= 0.647			
r7=				
	d7= 5.600	N4= 1.52667	4= 64.20(t4)	
r8= -15.570				
	d8= 3.703			50

r9=	d9= 3.400	N5= 1.52667	5= 64.20(t5)	
r10= -36.330	d10= 0.300			
r11=	d11= 3.200	N6= 1.52667	6= 64.20(t6)	
r12= -41.520	d12= 0.300			
r13= (ST)	d13= 0.500			10
r14=	d14= 2.300	N7= 1.52667	7= 64.20(a1)	
r15= 12.980	d15=17.668			
r16= 452.227	d16= 2.430	N8= 1.79149	8= 27.51(t7)	
r17= 15.631	d17= 2.920			
r18=	d18= 6.000	N9= 1.52667	9= 64.20(a2)	20
r19=	d19= 1.036			
r20=	d20= 8.000	N10=1.52667	10=64.20(a3)	
r21=	d21= 5.632			
r22=	d22= 7.000	N11=1.52667	11=64.20(a4)	
r23= -25.950	d23= 0.300			30
r24=	d24= 8.000	N12=1.52667	12=64.20(a5)	
r25= -51.680	d25=37.369			
r26= 103.360	d26= 8.000	N13=1.52667	13=64.20(a6)	
r27=	d27= 2.680			
r28=	d28= 8.000	N14=1.52667	14=64.20(a7)	40
r29=	d29=17.837			
r30= 51.680	d30= 8.000	N15=1.52667	15=64.20(a8)	
r31=				

【 0 0 4 9 】

《 実施例 3 の長軸方向データ 》

=-7.3, NA=0.025, S1=-28.174, =436

[曲率半径] [軸上面間隔] [屈折率] [アッベ数]

r1= -34.868

r2=	-22.674	d1= 5.800	N1= 1.76502	1= 44.78(t1)	
r3=	37.278	d2= 0.300			
r4=	-50.107	d3= 6.470	N2= 1.50036	2= 83.58(t2)	
r5=	15.570	d4= 3.461			
r6=		d5= 5.600	N3= 1.52665	3= 64.20(t3)	10
r7=	(SX)	d6= 2.071			
r8=	-42.111	d7= 0.822			
r9=	19.316	d8= 2.000	N4= 1.70006	4= 32.10(t4)	
r10=	-42.111	d9= 13.451			
r11=	19.316	d10= 2.000	N5= 1.70006	5= 32.10(t5)	20
r12=		d11=19.225			
r13=	-25.950	d12= 7.000	N6= 1.52665	6= 64.20(a1)	
r14=	155.040	d13=65.706			
r15=		d14= 4.000	N7= 1.52665	7= 64.20(a2)	
r16=		d15=44.038			30
r17=		d16= 5.000	N8= 1.52665	8= 64.20(a3)	
r18=	(SY)	d17=182.653			
r19=		d18= 70.024			
r20=		d19= 6.000	N9= 1.52665	9= 64.20(a4)	
r21=	129.200	d20= 5.903			40
r22=		d21= 4.500	N10=1.52665	10=64.20(a5)	
【 0 0 5 0 】					
《 実施例 3 の短軸方向データ 》					
=-0.5 , NA=0.025 , S1=-28.174 , =436					
[曲率半径] [軸上面間隔] [屈折率] [アッペ数]					
r1=	-34.868	d1= 5.800	N1= 1.76502	1= 44.78(t1)	
r2=	-22.674	d2= 0.300			50

r3=	37.278	d3=	6.470	N2=	1.50036	2=	83.58(t2)	
r4=	-50.107	d4=	3.461					
r5=	15.570	d5=	5.600	N3=	1.52665	3=	64.20(t3)	
r6=		d6=	2.071					
r7=	(SX)	d7=	0.822					10
r8=	-42.111	d8=	2.000	N4=	1.70006	4=	32.10(t4)	
r9=	19.316	d9=	13.451					
r10=	-42.111	d10=	2.000	N5=	1.70006	5=	32.10(t5)	
r11=	19.316	d11=	19.225					
r12=		d12=	7.000	N6=	1.52665	6=	64.20(a1)	20
r13=		d13=	65.706					
r14=		d14=	4.000	N7=	1.52665	7=	64.20(a2)	
r15=		d15=	44.038					
r16=		d16=	5.000	N8=	1.52665	8=	64.20(a3)	
r17=	-77.850	d17=	182.653					30
r18=	(SY)	d18=	70.024					
r19=	31.140	d19=	6.000	N9=	1.52665	9=	64.20(a4)	
r20=		d20=	5.903					
r21=		d21=	4.500	N10=	1.52665	10=	64.20(a5)	
r22=								
	【 0 0 5 1 】							40
	《 実施例 4 の長軸方向データ 》							
	=-7.3, NA=0.025, S1=-24.105, =436							
	[曲率半径]	[軸上面間隔]	[屈折率]	[アッベ数]				
r1=	-34.868	d1=	5.800	N1=	1.76502	1=	44.78(t1)	
r2=	-22.674	d2=	3.479					
r3=	37.278	d3=	6.470	N2=	1.50036	2=	83.58(t2)	
r4=	-50.107							50

	d4= 0.650			
r5= 15.570				
	d5= 5.600	N3= 1.52665	3= 64.20(t3)	
r6=				
	d6= 2.475			
r7= (SX)				
	d7= 1.155			
r8= -42.111				
	d8= 2.000	N4= 1.70006	4= 32.10(t4)	
r9= 19.316				10
	d9= 7.358			
r10= -42.111				
	d10= 2.000	N5= 1.70006	5= 32.10(t5)	
r11= 19.316				
	d11=18.032			
r12=				
	d12= 7.000	N6= 1.52665	6= 64.20(a1)	
r13= -25.950				
	d13= 1.161			
r14= 103.360				20
	d14= 5.000	N7= 1.52665	7= 64.20(a2)	
r15=				
	d15=105.837			
r16=				
	d16= 5.000	N8= 1.52665	8= 64.20(a3)	
r17=				
	d17=152.871			
r18= (SY)				
	d18= 71.725			
r19=				30
	d19= 6.000	N9= 1.52665	9= 64.20(a4)	
r20=				
	d20= 6.390			
r21= 103.360				
	d21= 5.000	N10=1.52665	10=64.20(a5)	
r22=				
【 0 0 5 2 】				
《 実施例 4 の 短軸 方向 データ 》				
=-0.5 , NA=0.025 , S1=-24.105 , =436				
[曲率半径] [軸上面間隔] [屈折率] [アッベ数]				40
r1= -34.868				
	d1= 5.800	N1= 1.76502	1= 44.78(t1)	
r2= -22.674				
	d2= 3.479			
r3= 37.278				
	d3= 6.470	N2= 1.50036	2= 83.58(t2)	
r4= -50.107				
	d4= 0.650			
r5= 15.570				
	d5= 5.600	N3= 1.52665	3= 64.20(t3)	50

r6=		d6= 2.475			
r7=	(SX)	d7= 1.155			
r8=	-42.111	d8= 2.000	N4= 1.70006	4= 32.10(t4)	
r9=	19.316	d9= 7.358			
r10=	-42.111	d10= 2.000	N5= 1.70006	5= 32.10(t5)	10
r11=	19.316	d11=18.032			
r12=		d12= 7.000	N6= 1.52665	6= 64.20(a1)	
r13=		d13= 1.161			
r14=		d14= 5.000	N7= 1.52665	7= 64.20(a2)	
r15=		d15=105.837			20
r16=		d16= 5.000	N8= 1.52665	8= 64.20(a3)	
r17=	-67.470	d17=152.871			
r18=	(SY)	d18= 71.725			
r19=	31.140	d19= 6.000	N9= 1.52665	9= 64.20(a4)	
r20=		d20= 6.390			30
r21=		d21= 5.000	N10=1.52665	10=64.20(a5)	

【 0 0 5 3 】

【表 1】

条件式	条件式(1),(1a)	条件式(2),(2a)
対応値	fXall / fsym	β long / β short
実施例1	1.92	5.08
実施例2	4.96	6.60
実施例3	3.51	14.55
実施例4	2.39	14.55

【図面の簡単な説明】

【 0 0 5 4 】

【図 1】第 1 の実施の形態(実施例 1)のレンズ構成図。

【図 2】第 2 の実施の形態(実施例 2)のレンズ構成図。

【図 3】第 3 の実施の形態(実施例 3)のレンズ構成図。

【図 4】第 4 の実施の形態(実施例 4)のレンズ構成図。

【図5】実施例1の収差図。

【図6】実施例2の収差図。

【図7】実施例3の収差図。

【図8】実施例4の収差図。

【図9】アナモフィック光学系(実施例1)を搭載した照明光学系の実施の形態を短軸方向について示す光学構成図。

【符号の説明】

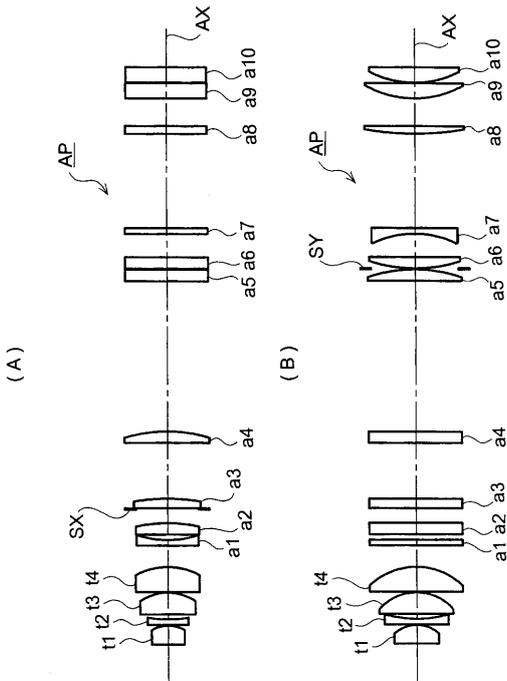
【0055】

- A P アナモフィック光学系(結像光学系)
- t i 第i回転対称レンズ
- a j 第jアナモフィックレンズ
- S T 絞り
- S X 長軸方向絞り
- S Y 短軸方向絞り
- 1 光源
- 2 楕円面鏡
- F 1 第1焦点
- F 2 第2焦点
- 3 オプティカルインテグレータ
- 3 a 入射端面
- 3 b 射出端面
- I M 被照射面
- A X 光軸

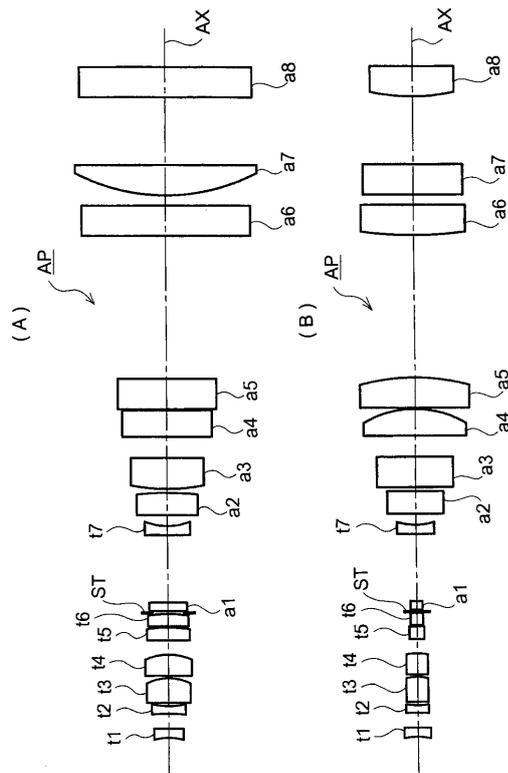
10

20

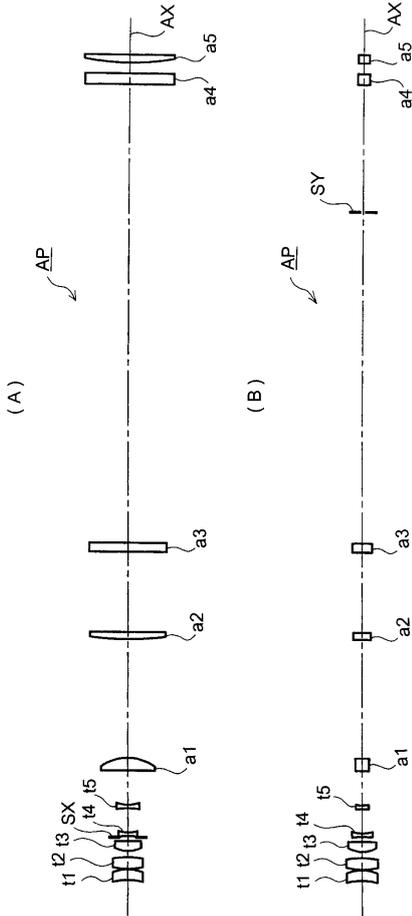
【図1】



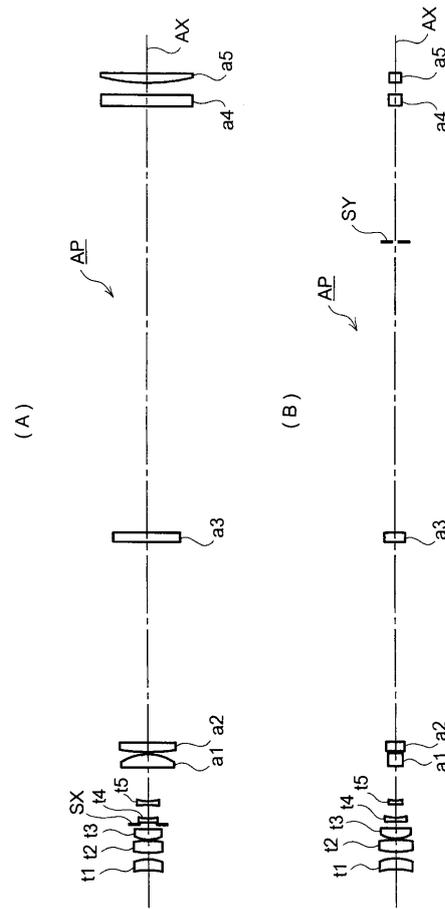
【図2】



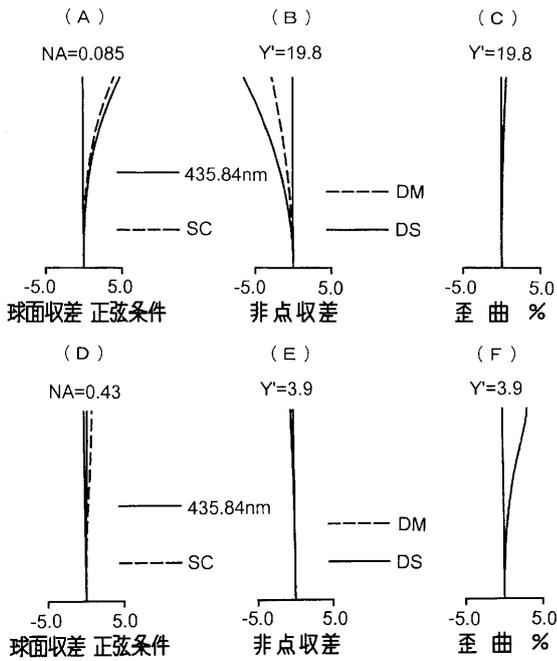
【 図 3 】



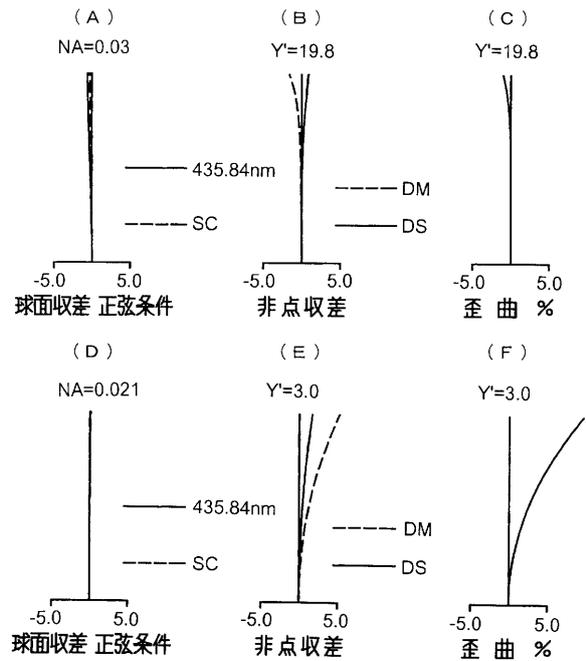
【 図 4 】



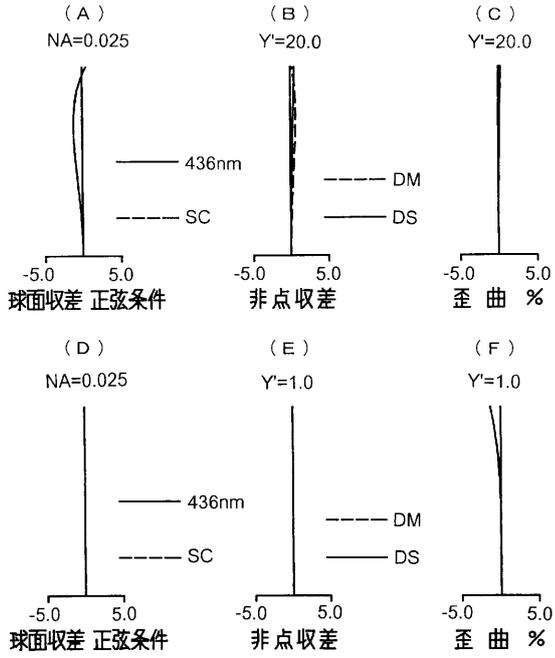
【 図 5 】



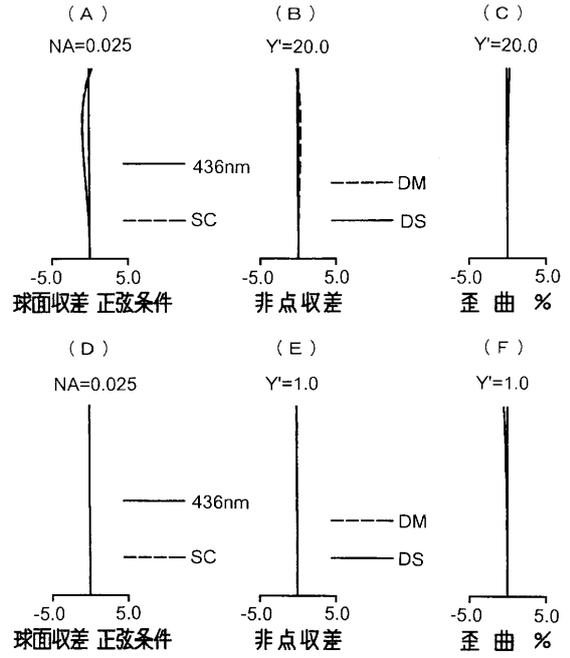
【 図 6 】



【图 7】



【图 8】



【图 9】

