(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第3666953号

(P3666953)

(45)発行日　平成17年6月29日(2005.6.29)　(24)登録日　平成17年4月15日(2005.4.15)

| (51)Int.Cl.[7] | F I | | |
|---|---|---|---|
| G02B 17/08 | G02B | 17/08 | A |
| G02B 1/11 | G02B | 5/10 | Z |
| G02B 5/10 | G02B | 1/10 | A |

請求項の数 5　(全 17 頁)

(21)出願番号　特願平7-274894
(22)出願日　平成7年9月27日(1995.9.27)
(65)公開番号　特開平9-90229
(43)公開日　平成9年4月4日(1997.4.4)
審査請求日　平成14年9月19日(2002.9.19)

(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　関田　誠
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

審査官　森内　正明

最終頁に続く

(54)【発明の名称】光学素子

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

物体からの光束が入射する入射面と、該入射面から入射した光束が順に反射する互いに偏心した少なくとも３つの曲面反射面と、該曲面反射面からの光束が射出する射出面とを一体形成した光学素子であって、

物体からの光束は、該光学素子中で中間結像し、該光学素子を射出した後に所定面上で再度結像すると共に、

該入射面と射出面に反射防止膜を施し、該少なくとも３つの曲面反射面の結像光束が入射する範囲のみに反射膜を施していることを特徴とする光学素子。

【請求項２】

前記反射膜の形成範囲以外の部分は粗面であることを特徴とする請求項１の光学素子。

【請求項３】

前記反射膜の形成範囲は円状若しくは楕円状若しくは多角形状であることを特徴とする請求項１又は２の光学素子。

【請求項４】

前記反射膜を形成した前記反射面の上に保護層を設けていることを特徴とする請求項１～３のいずれか１項に記載の光学素子。

【請求項５】

前記保護層は黒色塗装であることを特徴とする請求項４の光学素子。

【発明の詳細な説明】

【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は物体面を所定面上に形成する光学素子に関し、特にビデオカメラやスチールビデオカメラ、及び複写機等の光学系に好適なものである。
【０００２】
【従来の技術】
従来より凹面鏡や凸面鏡等の反射面を利用した撮影光学系が種々と提案されている。図13は１つの凹面鏡と１つの凸面鏡より成る所謂ミラー光学系の要部概略図である。
【０００３】
同図のミラー光学系において、物体からの物体光束134 は、凹面鏡131 にて反射され、収束されつつ物体側に向かい、凸面鏡132 にて反射された後、像面133 に結像する。
【０００４】
このミラー光学系は、所謂カセグレン式反射望遠鏡の構成を基本としており、屈折レンズで構成されるレンズ全長の長い望遠レンズ系の光路を相対する二つの反射ミラーを用いて折りたたむことにより、光学系全長を短縮することを目的としたものである。
【０００５】
また、望遠鏡を構成する対物レンズ系においても、同様な理由から、カセグレン式の他に、複数の反射ミラーを用いて光学系の全長を短縮する形式が多数知られている。
【０００６】
この様に、従来よりレンズ全長の長い撮影レンズのレンズの代わりに反射ミラーを用いることにより、効率よく光路を折りたたんで、コンパクトなミラー光学系を得ている。
【０００７】
しかしながら、一般的にカセグレン式反射望遠鏡等のミラー光学系においては、凸面鏡132 により物体光線の一部がケラレると言う問題点がある。この問題は物体光束134 の通過領域中に凸面鏡132 があることに起因するものである。
【０００８】
この問題点を解決する為に、反射ミラーを偏心させて使用して、物体光束134 の通過領域を光学系の他の部分が遮蔽することを避ける、即ち光束の主光線を光軸135 から離すミラー光学系も提案されている。
【０００９】
図14は米国特許3、674、334 号明細書に開示されているミラー光学系の要部概略図であり、反射ミラーの中心軸自体を光軸に対して偏心させて物体光束の主光線を光軸から離して上記のケラレの問題を解決している。
【００１０】
同図のミラー光学系は光束の通過順に凹面鏡111 、凸面鏡113 そして凹面鏡112 があるが、それらはそれぞれ図中二点破線で示す様に、もともと光軸114 に対して回転対称な反射ミラーである。このうち凹面鏡111 は光軸114 に対して紙面上側のみ、凸面鏡113 は光軸114 に対して紙面下側のみ、凹面鏡112 は光軸114 に対して紙面下側のみを使用することにより、物体光束115 の主光線を光軸114 から離し、物体光束115 のケラレを無くした光学系を構成している。
【００１１】
図15は米国特許5,063,586 号明細書に開示されているミラー光学系の要部概略図である。同図のミラー光学系は反射ミラーの中心軸自体を光軸に対して偏心させて物体光束の主光線を光軸から離して上記の問題を解決している。
【００１２】
同図において、被写体面121 の垂直軸を光軸127 と定義した時に、光束の通過順に凸面鏡122 ・凹面鏡123 ・凸面鏡124 そして凹面鏡125 のそれぞれの反射面の中心座標及び中心軸（その反射面の中心とその面の曲率中心とを結んだ軸）122a,123a,124a,125a は、光軸127 に対して偏心している。同図ではこのときの偏心量と各面の曲率半径を適切に設定することにより、物体光束の各反射ミラーによるケラレを防止して、物体像を効率よく結像

面126 に結像させている。

【００１３】

これらの反射型の撮影光学系は、構成部品点数が多く、必要な光学性能を得る為には、それぞれの光学部品を精度良く組み立てることが必要であった。特に、ミラー光学系を構成する各反射ミラーを偏心させて、物体光線のケラレを防ぐタイプでは、各反射ミラーを異なる偏心量にて配置しなければならず、各反射ミラーを取り付ける構造体が複雑となり、また取り付け精度が非常に厳しいものとなる。

【００１４】

この問題を解決する一つの方法として、例えばミラー系を一つのブロック化することにより、組立時に生じる光学部品の組み込み誤差を回避する方法が考えられる。

【００１５】

従来、多数の反射面が一つのブロックになっているものとして、例えばペンタゴナルダハプリズムやポロプリズム等のカメラのファインダー系に使用されるものや、撮影レンズからの光束を例えば赤色・緑色・青色の三色光に分解し、各々の色光に基づいた物体像を各々の撮像素子面上に結像させる、色分解プリズム等の光学プリズムがある。

【００１６】

これらのプリズムは、複数の反射面が一体成形されている為に、各反射面の相対的な位置関係は非常に精度良く作られており、反射面相互の位置調整は不要となる。

【００１７】

しかしながら、これら光学プリズムには有効光線以外の位置及び角度からプリズムへ入射する、不正入射光に伴う有害なゴースト光の発生頻度が高いという問題点がある。

【００１８】

ここで、光学プリズムの代表例として一眼レフレックスカメラに多く用いられるペンタゴナルダハプリズムの機能について図16を用いて説明する。図中、101 は撮影レンズ、102 はクイックリターンミラー、103 はピント面、104 はコンデンサーレンズ、105 はペンタゴナルダハプリズム、106 は接眼レンズ、107 は観察者の瞳、108 は光軸、109 は像面である。

【００１９】

不図示の被写体からの光線は、撮影レンズ101 を通過後、クイックリターンミラー102 にてカメラの上方向に反射され、像面109 と等価な位置にあるピント面103 に結像する。ピント面103 の後方には、撮影レンズ101 の射出瞳を観察者の瞳107 に結像する為のコンデンサーレンズ104 が配置されており、コンデンサーレンズ104 の後方には、ピント面103 の物体像を正立正像にするペンタゴナルダハプリズム105 が配置されている。

【００２０】

ペンタゴナルダハプリズム105 の入射面105aに入射した物体光は、ダハ面105bにより物体像の左右反転が行われた後、反射面105cにより観察者側に物体光を出射する。

【００２１】

反射面105cにより観察者側に出射した物体光は、ペンタゴナルダハプリズム105 の出射面105dを通過後、接眼レンズ106 に至り、接眼レンズ106 の屈折力により物体光を略平行光とした後、観察者の瞳107 に至り、物体像が観察されることとなる。

【００２２】

この様な構成のペンタゴナルダハプリズムにおいては、例えば図16中矢印で示した様な有効光線と異なる角度で入射したゴースト光は、ダハ面105b、反射面105cの順に反射した後、入射面105aで全反射され、出射面105dの下側から観察側に出射する。このゴースト光は正常な有効光線と反射回数が異なる為に、上下が逆転した像が、観察画面の下側に現れることになる。

【００２３】

このゴースト光を除去する為に、ペンタゴナルダハプリズム105 においては、遮光溝100をペンタゴナルダハプリズム105 の出射面105dに設けることにより、このゴースト光を除去している。

【００２４】
また、入射面105aと出射面105dを除いたプリズム面全体を黒色ペイントで覆うことによりダハ面105b及び反射面105cに蒸着される反射膜を温度・湿度等の環境変化から反射膜を保護し、さらにプリズム外部からの光線に対する遮光をも行っている。
【００２５】
又、プリズムの反射面に曲率を持たせた光学系も知られている。図17は米国特許4,775,217 号明細書に開示されている観察光学系の要部概略図である。この観察光学系は外界の風景を観察すると共に、情報表示体に表示した表示画像を風景とオーバーラップして観察する光学系である。
【００２６】
この観察光学系では、情報表示体141 の表示画像から射出する表示光束145 は面142 にて反射して物体側に向かい、凹面より成るハーフミラー面143 に入射する。そしてこのハーフミラー面143 にて反射した後、表示光束145 は凹面143 の有する屈折力によりほぼ平行な光束となり、面142 を屈折透過した後、表示画像の拡大虚像を形成するとともに、観察者の瞳144 に入射して表示画像を観察者に認識させている。
【００２７】
一方、物体からの物体光束146 は反射面142 とほぼ平行な面147 に入射し、屈折して凹面のハーフミラー面143 に至る。凹面143 には半透過膜が蒸着されており、物体光束146 の一部は凹面143 を透過し、面142 を屈折透過後、観察者の瞳144 に入射する。これにより観察者は外界の風景の中に表示画像をオーバーラップして視認する。
【００２８】
図18は特開平2-297516号公報に開示されている観察光学系の要部概略図である。この観察光学系も外界の風景を観察すると共に、情報表示体に表示した表示画像をオーバーラップして観察する光学系である。
【００２９】
この観察光学系では、情報表示体150 から出射した表示光束154 は、プリズムPaを構成する平面157 を透過しプリズムPaに入り放物面反射面151 に入射する。表示光束154 はこの反射面151 にて反射されて収束光束となり焦点面156 に結像する。このとき反射面151 で反射された表示光束154 は、プリズムPaを構成する２つの平行な平面157 と平面158 との間を全反射しながら焦点面156 に到達しており、これによって光学系全体の薄型化を達成している。
【００３０】
次に焦点面156 から発散光として出射した表示光束154 は、平面157 と平面158 の間を全反射しながら放物面より成るハーフミラー152 に入射し、このハーフミラー面152 で反射されると同時にその屈折力によって表示画像の拡大虚像を形成すると共にほぼ平行な光束となり、面157 を透過して観察者の瞳153 に入射し、これにより表示画像を観察者に認識させている。
【００３１】
一方、外界からの物体光束155 はプリズムPbを構成する面158bを透過し、放物面より成るハーフミラー152 を透過し、面157 を透過して観察者の瞳153 に入射する。観察者は外界の風景の中に表示画像をオーバーラップして視認する。
【００３２】
【発明が解決しようとする課題】
従来のペンタゴナルダハプリズム等の光学プリズムの主な機能は、光線の進行方向を変化させることにより像の反転を行うものであり、各反射面を平面のみで構成したものが一般的であり、反射面に曲率を持たせ、反射面にて積極的に収差補正を行うものではなかった。
【００３３】
前記の米国特許4,775,217 号明細書及び特開平2-297516号公報に開示されている観察光学系においては、表示像を観察すると共に物体像の認識も合わせて行える構成とするために

半透過面を使用しており、表示像の透過光量が少なくなってしまう。そこで、前記のように、全反射面を用いることによって各反射面での光量のロスを最小限にする方法が一般的にとられている。

【００３４】

しかしながら、全反射を用いる場合、構造の単純化の為に、全反射面を平面のみの構成とすることが多いが、収差補正の観点からすると、各反射面においても面形状を曲面にして各反射面にて収差補正を行い最適化を図ることが望ましい。しかし、反射面に入射する全ての光線に対して、全反射条件を満たそうとすると、面形状の自由度がなく、反射面にて効率の良い収差補正が行えないと言う欠点があった。

【００３５】

本発明は、収差を効果的に補正する曲率を有する反射面を複数個一体に形成した光学素子において、該光学素子の入出射面に反射防止膜を蒸着し、該反射面に反射膜を蒸着する際に、該反射膜の蒸着範囲の最適化を図り、また蒸着範囲以外の部分の形態を規定することにより、光学素子全体の透過光量の低下を最小限に押さえるとともに、光学素子内にて発生するゴースト光の強度を低下させる光学素子の提供を目的とする。

【００３６】

その他、

（１－１）　曲率を有する複数の反射面に反射膜を蒸着し、透過面に反射防止膜を蒸着することにより、光学素子全体における透過光量の低下を最小限に押さえる。

（１－２）　反射面の結像光線が入射する範囲に合わせて反射膜を蒸着することにより、ゴースト光の発生を防止する。

（１－３）　反射面の結像光線が入射する範囲以外の部分を粗面とすることにより、前記領域からのゴースト光を防止する。

（１－４）　反射膜を円状若しくは楕円状若しくは多角形状に蒸着することにより、ゴースト光の発生を有効に防止する。

（１－５）　反射面に反射膜を蒸着後、その上に保護層を設けることにより、環境変化に強い光学素子を得る。

（１－６）　保護層に遮光特性を持たせることにより、ゴースト光の発生を防止する。

（１－７）　透過光量の低下を防止する為に、全反射面がある場合には、その全反射効果を有効に用いる。

等の少なくとも１つの効果を有する光学素子の提供を目的とする。

【００３７】

【課題を解決するための手段】

本発明の光学素子は、

（２－１）物体からの光束が入射する入射面と、該入射面から入射した光束が順に反射する互いに偏心した少なくとも３つの曲面反射面と、該曲面反射面からの光束が射出する射出面とを一体形成した光学素子であって、

物体からの光束は、該光学素子中で中間結像し、該光学素子を射出した後に所定面上で再度結像すると共に、

該入射面と射出面に反射防止膜を施し、該少なくとも３つの曲面反射面の結像光束が入射する範囲のみに反射膜を施していることを特徴としている。

【００３８】

特に

（２－１－１）前記反射膜の形成範囲以外の部分は粗面であること、

（２－１－２）前記反射膜の形成範囲は円状若しくは楕円状若しくは多角形状であること、（２－１－３）前記反射膜を形成した前記反射面の上に保護層を設けていること、

（２－１－４）前記保護層は黒色塗装であること、

等を特徴としている。

【００３９】

【発明の実施の形態】

実施形態の説明に入る前に、実施形態の構成諸元の表し方及び実施形態全体の共通事項について説明する。

【００４０】

図1 は本発明の光学素子の構成データを定義する座標系の説明図である。本発明の実施形態では物体側から像面に進む１つの光線（図1 中の一点鎖線で示すもので基準軸光線と呼ぶ）に沿ってｉ番目の面を第ｉ面とする。

【００４１】

図1 において第1 面R1は絞り、第2 面R2は第１面と共軸な屈折面（入射面）、第3 面R3は第2 面R2に対してチルトされた反射面、第4 面R4、第5 面R5は各々の前面に対してシフト、チルトされた反射面、第6 面R6は第5 面R5に対してシフト、チルトされた屈折面（出射面）である。第2 面R2から第6 面R6までの各々の面はガラス、プラスチック等の媒質で構成される一つの光学素子上に構成されており、図1 中では光学素子1 としている。本発明の光学素子1 は2 つの屈折面と少なくとも3 つの曲面の反射面を一体に形成している。

【００４２】

従って、図1 の構成では不図示の物体面から第2 面R2までの媒質は空気、第2 面R2から第6 面R6まではある共通の媒質、第6 面R6から不図示の第7 面R7までの媒質は空気で構成している。

【００４３】

本発明の光学系は偏心光学系であるため光学系を構成する各面は共通の光軸を持っていない。そこで、本発明の実施形態においては先ず第1 面の光線有効径の中心を原点とする絶対座標系を設定する。

【００４４】

そして、本発明の実施形態においては、第1 面の光線有効径の中心点を原点とすると共に、原点と最終結像面の中心とを通る光線（基準軸光線）の経路を光学系の基準軸と定義している。さらに、本実施形態中の基準軸は方向（向き）を持っている。その方向は基準軸光線が結像に際して進行する方向である。

【００４５】

本発明の実施形態においては、光学系の基準となる基準軸を上記の様に設定したが、光学系の基準となる軸の決め方は光学設計上、収差の取りまとめ上、若しくは光学系を構成する各面形状を表現する上で都合の良い軸を採用すれば良い。しかし、一般的には像面の中心と、絞り又は入射瞳又は出射瞳又は光学系の第１面の中心若しくは最終面の中心のいずれかを通る光線の経路を光学系の基準となる基準軸に設定する。

【００４６】

つまり、本発明の実施形態においては、基準軸は第1 面、即ち絞り面の光線有効径の中心点を通り、最終結像面の中心へ至る光線（基準軸光線）が各屈折面及び反射面によって屈折・反射する経路を基準軸に設定している。各面の順番は基準軸光線が屈折・反射を受ける順番に設定している。

【００４７】

従って基準軸は設定された各面の順番に沿って屈折若しくは反射の法則に従ってその方向を変化させつつ、最終的に像面の中心に到達する。

【００４８】

本発明の各実施形態の光学系を構成するチルト面は基本的にすべてが同一面内でチルトしている。そこで、絶対座標系の各軸を以下のように定める。

【００４９】

Z軸：原点を通り第２面R2に向かう基準軸

Y軸：原点を通りチルト面内（図１の紙面内）でZ 軸に対して反時計回りに90° をなす直線

X軸：原点を通りZ、Y 各軸に垂直な直線（図１の紙面に垂直な直線）

又、光学系を構成する第ｉ面の面形状を表すには、絶対座標系にてその面の形状を表記するより、基準軸と第ｉ面が交差する点を原点とするローカル座標系を設定して、ローカル

座標系でその面の面形状を表した方が形状を認識する上で理解し易い為、本発明の構成データを表示する実施形態では第ｉ面の面形状をローカル座標系で表わす。

【００５０】

また、第ｉ面のYZ面内でのチルト角は絶対座標系のZ 軸に対して反時計回り方向を正とした角度θｉ（単位°）で表す。よって、本発明の実施形態では各面のローカル座標の原点は図１中のYZ平面上にある。またXZおよびXY面内での面の偏心はない。さらに、第ｉ面のローカル座標(x,y,z) のy,z 軸は絶対座標系(X,Y,Z) に対してYZ面内で角度θｉ 傾いており、具体的には以下のように設定する。

【００５１】

z 軸：ローカル座標の原点を通り、絶対座標系のZ 方向に対しYZ面内において反時計方向に角度θｉ をなす直線

y 軸：ローカル座標の原点を通り、z 方向に対しYZ面内において反時計方向に90° をなす直線

x 軸：ローカル座標の原点を通り、YZ面に対し垂直な直線

また、Diは第ｉ面と第(i+1) 面のローカル座標の原点間の間隔を表すスカラー量、Ndi 、νdiは第ｉ面と第（ｉ＋１）面間の媒質の屈折率とアッベ数である。

【００５２】

本発明の実施形態は球面及び回転非対称の非球面を有している。その内の球面部分は球面形状としてその曲率半径$R_i$を記している。曲率半径$R_i$の符号は第1 面から像面に進む基準軸（図1 中の一点鎖線）に沿って曲率中心が第1 面側にある場合をマイナス、結像面側にある場合をプラスとする。

【００５３】

球面は以下の式で表される形状である：

【００５４】

【数１】

$$z=\frac{(x^2+y^2)/R_i}{1+\{1-(x^2+y^2)/R_i^{\,2}\}^{1/2}}$$

また、本発明の光学系は少なくとも回転非対称な非球面を一面以上有し、その形状は以下の式により表す：

$$A=(a+b)\cdot(y^2\cdot\cos^2 t+x^2)$$

$$B=2a\cdot b\cdot\cos t[1+\{(b-a)\cdot y\cdot\sin t/2a\cdot b\}$$

$$+[1+\{(b-a)\cdot y\cdot\sin t/(a\cdot b)\}-\{y^2/(a\cdot b)\}-\{4a\cdot b\cdot\cos^2 t+(a+b)^2\sin^2 t\}x^2/(4a^2b^2\cos^2 t)]^{1/2}]$$

として

$$z=A/B+C_{02}y^2+C_{20}x^2+C_{03}y^3+C_{21}x^2y+C_{04}y^4+C_{22}x^2y^2+C_{40}x^4$$

上記曲面式はx に関して偶数次の項のみであるため、上記曲面式により規定される曲面はyz面を対称面とする面対称な形状である。さらに以下の条件が満たされる場合はxz面に対して対称な形状を表す。

【００５５】

$C_{03}=C_{21}=0$ 、 t ＝0

さらに

$C_{02}=C_{20}$ $C_{04}=C_{40}=C_{22}/2$

が満たされる場合は回転対称な形状を表す。以上の条件を満たさない場合は非回転対称な形状である。

【００５６】
なお、本発明の実施形態においては、すべて$C_{02}$ ＝$C_{20}$ ＝0 となっており、２次曲面の基本形状に高次非対称非球面を加えて構成している。
【００５７】
なお、本発明の実施形態においては図１に示すように、その第1 面は絞りである。又、水平半画角$u_Y$とは図1 のYZ面内において絞りR1に入射する光束の最大画角、垂直半画角$u_X$とはXZ面内において絞りR1に入射する光束の最大画角である。また、第1 面である絞りR1の直径を絞り径として示している。これは光学系の明るさに関係する。なお、入射瞳は第1 面に位置するため上記絞り径は入射瞳径に等しい。
【００５８】
又、像面上での有効像範囲を像サイズとして示す。像サイズはローカル座標のy 方向のサイズを水平、x 方向のサイズを垂直とした矩形領域で表している。
【００５９】
又、実施形態には光学系のサイズを示している。そのサイズは光線有効径によって定められるサイズである。
【００６０】
図2 は本発明の実施形態1 の要部概略図である。図はYZ面内での断面図であり、軸上光束の光路も図示している。図中、1 は曲率を有する複数の反射面が一体に形成された光学素子である。光学素子1 は物体側より順に、凹屈折面（入射面）R2及び凹面鏡R3・凸面鏡R4・凹面鏡R5・凸面鏡R6・凹面鏡R7の5 つの反射面及び凸屈折面（出射面）R8より構成されており、光学素子1 に入射する基準軸の方向と光学素子1 から出射する基準軸の方向は平行でかつ逆方向である。3 はCCD 等の撮像素子であり、R9はその受光面である。4(R1) は光学素子1 の物体側に配置された絞り、5 は本光学素子1 の基準軸である。なお、２つの屈折面はいずれも回転対称の球面であり、すべての反射面はYZ平面に対して対称なアナモフィック面である。
【００６１】
次に、本実施形態の数値データーを以下に示す。本実施形態は水平画角63.4度、垂直画角49.6度の撮影光学系である。
【００６２】
水平半画角　　31.7
垂直半画角　　24.8
絞り径　　2.0
像サイズ　　水平4mm ×垂直3mm
光学系のサイズ(X×Y ×Z)＝ 9.0x 26.3x 15.2

| i | Yi | Zi | θi | Di | Ndi | νdi | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.82 | 1 | | 絞り |
| 2 | 0.00 | 1.82 | 0.00 | 7.49 | 1.58310 | 30.20 | 屈折面 |
| 3 | 0.00 | 9.30 | 18.49 | 9.86 | 1.58310 | 30.20 | 反射面 |
| 4 | -5.93 | 1.43 | 3.23 | 9.30 | 1.58310 | 30.20 | 反射面 |
| 5 | -10.65 | 9.44 | -12.55 | 8.90 | 1.58310 | 30.20 | 反射面 |
| 6 | -11.50 | 0.58 | -22.91 | 9.39 | 1.58310 | 30.20 | 反射面 |
| 7 | -18.82 | 6.46 | -25.63 | 8.02 | 1.58310 | 30.20 | 反射面 |
| 8 | -18.82 | -1.56 | -0.01 | 3.68 | 1 | | 屈折面 |
| 9 | -18.82 | -5.24 | -0.01 | 0.00 | 1 | | 像面 |

球面形状

R 1 面 ∞

R 2 面 -7.648

R 8 面 10.757

R 9 面 ∞

非球面形状

R 3 面 a =-1.09716e+01 b =-1.25390e+01 t = 2.15145e+01

$C_{02}$= 0. $C_{20}$= 0.

$C_{03}$= 6.87152e-05 $C_{21}$=-1.21962e-04

$C_{04}$= 3.59209e-05 $C_{22}$= 1.02173e-04 $C_{40}$= 4.95588e-05

R 4 面 a =-2.34468e+00 b = 4.88786e+00 t =-3.56094e+01

$C_{02}$= 0. $C_{20}$= 0.

$C_{03}$=-4.48049e-03 $C_{21}$=-7.45433e-03

$C_{04}$= 1.81003e-03 $C_{22}$= 2.09229e-03 $C_{40}$=-8.28024e-04

R 5 面 a =-6.11985e+00 b = 1.70396e+01 t =-2.17033e+01
$C_{02}$= 0. $C_{20}$= 0.
$C_{03}$=-3.23467e-04 $C_{21}$=-1.07985e-03
$C_{04}$=-3.70249e-05 $C_{22}$=-1.74689e-04 $C_{40}$=-1.21908e-04

R 6 面 a = ∞ b = ∞ t = 0.
$C_{02}$= 0. $C_{20}$= 0.
$C_{03}$= 1.10097e-03 $C_{21}$=-3.73963e-04
$C_{04}$=-1.59596e-04 $C_{22}$=-3.22152e-04 $C_{40}$=-1.74291e-04

R 7 面 a =-2.11332e+01 b =-1.31315e+03 t = 1.70335e+00
$C_{02}$= 0. $C_{20}$= 0.
$C_{03}$= 8.29145e-05 $C_{21}$=-1.11374e-03
$C_{04}$=-2.50522e-05 $C_{22}$=-5.28330e-05 $C_{40}$=-2.91711e-05

次に本実施形態における結像作用を説明する。基準軸5 に沿って入射する軸上光束6 は、絞り4(R1) により入射光量を規制された後、光学素子1 の凹屈折面R2に入射する。凹屈折面R2に入射した光束6 は、凹屈折面R2のパワーにより発散光束となって射出し、凹面鏡R3にて反射されるとともに、凹面鏡のパワーにより中間結像面N1上に物体像を一次結像する。このように、早い段階にて光学素子1 内に物体像を結像することにより、絞り4 より像側に配置された面の光線有効径の増大を抑制している。

【００６３】

中間結像面N1に一次結像された物体光束6 は、凸面鏡R4、凹面鏡R5、凸面鏡R6、凹面鏡R7にて反射を繰り返しながら、それぞれの反射鏡の持つパワーによる光学作用を受けつつ、凸屈折面R8に至り、凸屈折面R8のパワーにて屈折されて受光面R9上に結像し、物体像を形成する。

【００６４】

この様に光学素子1 は、入出射面による屈折と、曲率を有する複数の反射鏡による反射を繰り返して受光面R9に達し、所望の光学性能と全体として正のパワーを有するレンズユニットとして機能している。

【００６５】

本実施形態では、光学素子1 に入射する基準軸の方向とこれから出射する基準軸の方向は平行でかつ反対方向を向いている。又、入出射を含むすべての基準軸は紙面（YZ平面）に載っている。

【００６６】

本実施形態では、上記構成の光学素子1 の屈折面に反射防止膜、反射面の適切な範囲に反射膜を蒸着し、光学素子全体の透過光量の低下を最小限に押さえている。

【００６７】

これについて説明する。一般的に光学素子トータルでの透過光量は、
透過光量＝{(反射面反射率)**(反射面数)}＊{(透過面透過率)**(透過面数)}
で表すことができる。

【００６８】

本実施形態においては、5 つの反射面と2 つの透過面があり、例えば反射面の反射率を95

% 、透過面の透過率を98% と仮定すると、本実施形態における透過光量は
透過光量＝$0.95^5$ ＊$0.98^2$ ＝0.74
であり、入射光量に対する出射光量の比が74%となっている。

【００６９】
上記の透過光量をさらに多くしたい場合には、いくつかの反射面の面形状の最適化を図りながら、全反射条件を満たす様に反射面を設定する。

【００７０】
図3 は実施形態1 の光路図である。図4 ～図10は夫々実施形態1 において軸上及び軸外24画角の光束について多数の光線を光線追跡した際の各面への入射光線の入射点の分布図（光線分布図）である。なお、受光面R9へ結像する光線を結像光線と呼ぶこととする。

【００７１】
図4 は凹屈折面R2における光線入射点の分布図であるが絞り4(R1) の形状を反映して略円の中に分布している。又、図8 は瞳結像面近傍の凸面鏡R6における光線分布図であるが瞳形状を反映してほぼ円の中に分布している。一方、図7 及び図9 は瞳結像面から離れた凹面鏡R5及び凹面鏡R7における光線分布図であるがこれらは円形形状からずれた楕円の中に光線が分布している。

【００７２】
又、図6 は一次結像面近傍の凸面鏡R4における光線分布図であり、又図10は凸屈折面R8の光線分布図であるが、これらは受光面R9の形状を反映した矩形の中に光線が分布している。又、図5 は凹面鏡R3における光線分布図であるが台形の中に光線が分布している。

【００７３】
この様に光学素子1 は、各面において夫々異なる光線分布形状を示す反射面及び屈折面を一体に形成して構成している。

【００７４】
図11及び図12は本実施形態の光学素子1 をZ 軸方向のプラス側及びマイナス側から見た図であり、夫々各面の光線分布も示している。

【００７５】
図11に示すように光学素子1 は、入射面である凹屈折面R2と凸面鏡R4、凸面鏡R6、出射面である凸屈折面R8をそれぞれ隣接した構成となっている。

【００７６】
又図12に示すように光学素子1 は、凹面鏡R3、凹面鏡R5、凹面鏡R7をそれぞれ隣接した構成となっている。

【００７７】
ここで図12の凹面鏡R3と凹面鏡R5の隣接部分を考えると、凹面鏡R3では結像光線は台形形状に分布しており、凹面鏡R5では結像光線は楕円形状に分布している。これに対して、光学素子1 の各反射面の形状は、その構成上矩形形状となっている為に、反射面全域に反射膜を矩形形状に形成（蒸着）した場合、結像光線が入射する範囲以外の範囲にまで反射膜を形成してしまうこととなる。

【００７８】
ここで、光学素子1 で発生するゴースト光を考えた場合、ゴースト光は結像光線と異なる位置及び角度からの入射光に対して発生する場合が多く、この為各面において結像光線が入射する範囲からはずれた位置に光線が当る場合が多い。

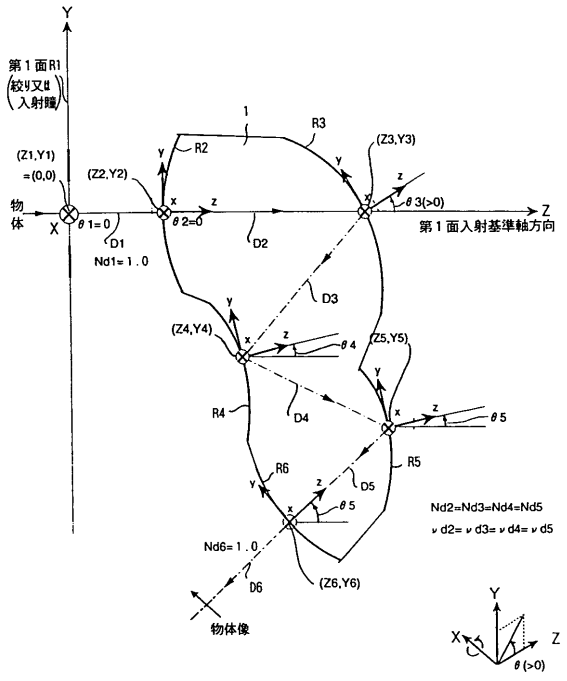
【００７９】
そして、反射面全面に反射膜を形成してしまうと、結像光線が入射する範囲以外の部分からゴースト光が生じる可能性が非常に高くなる。従って可能な限り反射膜形成範囲を小さくすることがゴースト光の発生を防止する上で望ましい。

【００８０】
そこで、本実施形態においては、図11、図12中の反射鏡面R3,R4,R5,R6,R7には点線で示す範囲のみに、つまり結像光線が該反射面に入射する範囲と略等しい範囲（もちろん若干の余裕を付けて）に反射膜を形成することにより、結像光線の入射範囲以外の部分で発生す

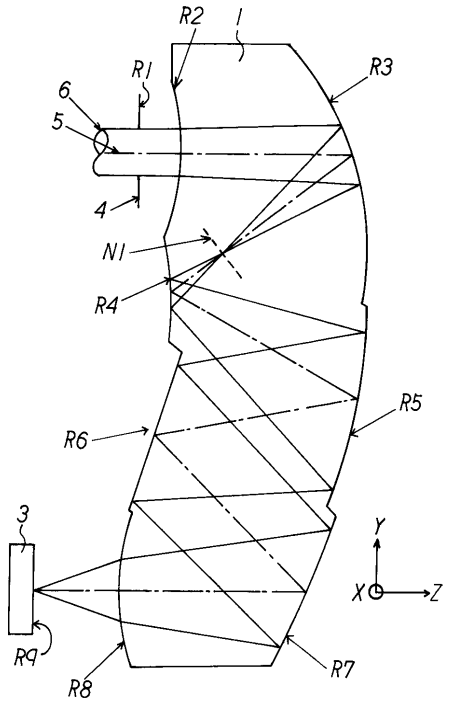
るゴースト光を防止している。
【００８１】
本実施形態のように少なくとも３つの曲面の反射面を一体に形成した光学素子では特にゴーストが発生し易いが、本発明では以上のように反射膜の形成範囲の最適化を図ってゴースト光を効果的に防止している。
【００８２】
さらに本実施形態においては、上記の反射鏡面の反射膜形成範囲以外の斜線部分を粗面（非平滑面）、例えば拡散面とすることによりこの部分に入射する不要光若しくはゴースト光の強度を拡散面の拡散作用により低下させることが出来る。
【００８３】
また一般に、光学素子の反射面上にアルミニューム、銀等の金属膜を直接蒸着した場合、高温や高湿度等の環境状態においては反射膜が腐食する可能性が高く、反射膜の耐久性を確保することが困難となる。そこで本実施形態においては、アルミニューム、銀等の金属膜又は誘電体膜等の反射膜を蒸着後、反射膜の上に保護膜を蒸着している。保護膜として、例えば$SiO_2$等の環境変化に強い物質を反射膜の上に蒸着しても良いが、より好ましくは遮光作用を持たせる為に、黒色ペイント等を反射膜の上に施すのが良い。
【００８４】
【発明の効果】
本発明は以上の構成により、収差を効果的に補正する曲率を有する反射面を複数個一体に形成した光学素子において、該光学素子の入出射面に反射防止膜を蒸着し、該反射面に反射膜を蒸着する際に、該反射膜の蒸着範囲の最適化を図り、また蒸着範囲以外の部分の形態を規定することにより、光学素子全体の透過光量の低下を最小限に押さえるとともに、光学素子内にて発生するゴースト光の強度を低下させる光学素子を達成する。
【００８５】
その他、
（３－１）　曲率を有する複数の反射面に反射膜を蒸着し、透過面に反射防止膜を蒸着することにより、光学素子全体における透過光量の低下を最小限に押さえる。
（３－２）　反射面の結像光線が入射する範囲に合わせて反射膜を蒸着することにより、ゴースト光の発生を防止する。
（３－３）　反射面の結像光線が入射する範囲以外の部分を粗面とすることにより、前記領域からのゴースト光を防止する。
（３－４）　反射膜を円状若しくは楕円状若しくは多角形状に蒸着することにより、ゴースト光の発生を有効に防止する。
（３－５）　反射面に反射膜を蒸着後、その上に保護層を設けることにより、環境変化に強い光学素子を得る。
（３－６）　保護層に遮光特性を持たせることにより、ゴースト光の発生を防止する。
（３－７）　透過光量の低下を防止する為に、全反射面がある場合には、その全反射効果を有効に用いる。
等の少なくとも１つの効果を有した光学素子を達成することができる。
【図面の簡単な説明】
【図１】　本発明の光学素子の構成データを定義する座標系の説明図
【図２】　本発明の実施形態１の要部概略図
【図３】　実施形態１の光路図
【図４】　実施形態１の凹屈折面R2における光線分布図
【図５】　実施形態１の凸面鏡R3における光線分布図
【図６】　実施形態１の凸面鏡R4における光線分布図
【図７】　実施形態１の凹面鏡R5における光線分布図
【図８】　実施形態１の凸面鏡R6における光線分布図
【図９】　実施形態１の凹面鏡R7における光線分布図
【図１０】　実施形態１の凹屈折面R8における光線分布図

【図１１】　実施形態１をZ 軸のプラス側から見た時の各面形状と光線分布図
【図１２】　実施形態１をZ 軸のマイナス側から見た時の各面形状と光線分布図
【図１３】　従来のミラー光学系の要部概略図
【図１４】　従来のミラー光学系の要部概略図
【図１５】　従来のミラー光学系の要部概略図
【図１６】　従来のペンタゴナルダハプリズムの説明図
【図１７】　従来の観察光学系の要部概略図
【図１８】　他の観察光学系の要部概略図
【符号の説明】
１　光学素子
３　CCD 等の撮像素子
４(R1)　絞り
５　光学系の基準軸
６　軸上光束
R9 受光面

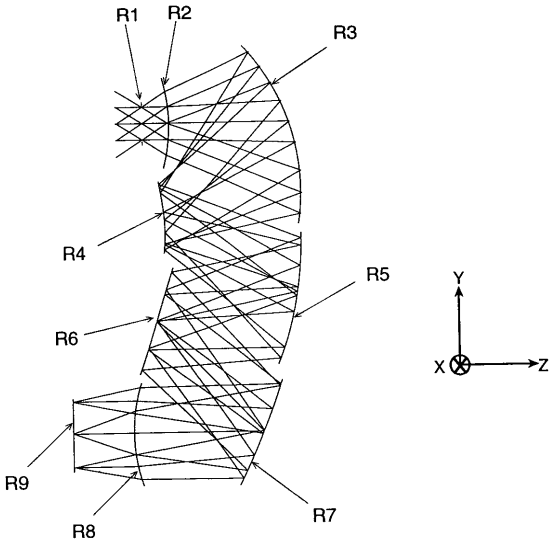
【図１】



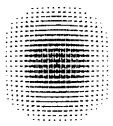

【図２】



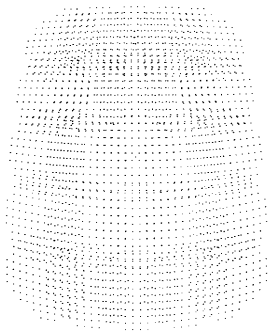
【図３】




【図４】



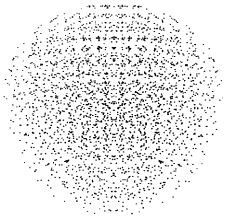
【図５】



【図６】



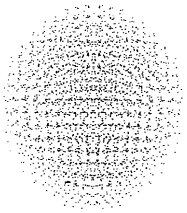
【図７】



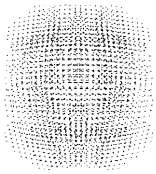
【図８】



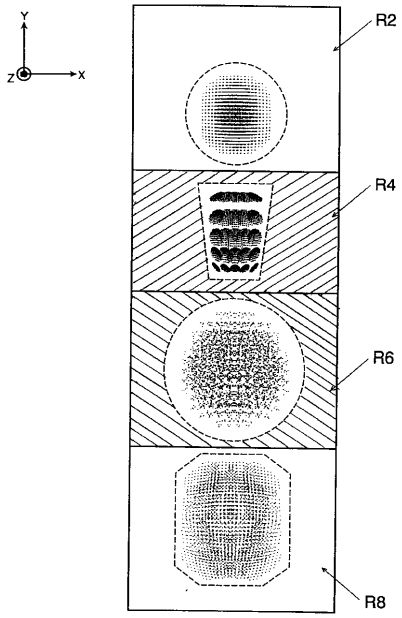
【図９】



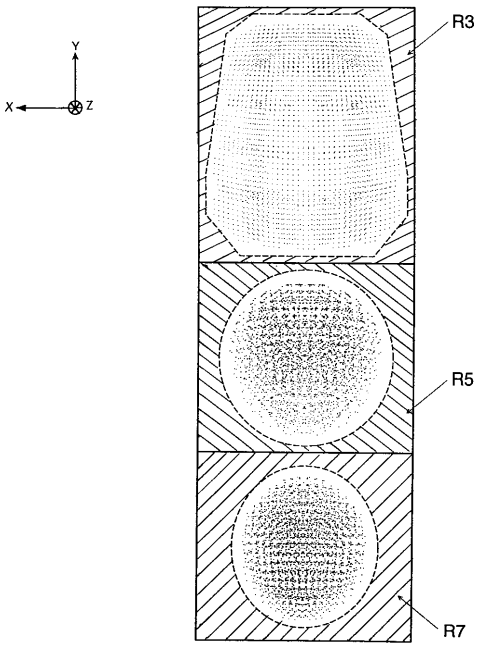
【図１０】



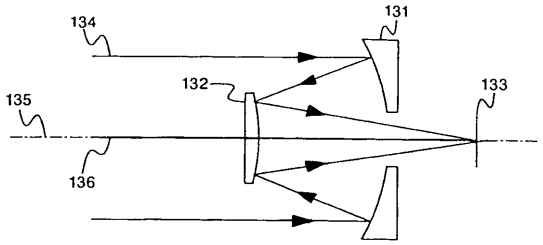
【図１１】



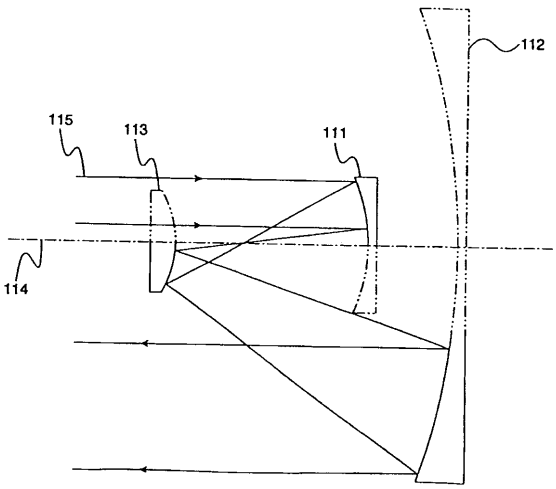

【図１２】



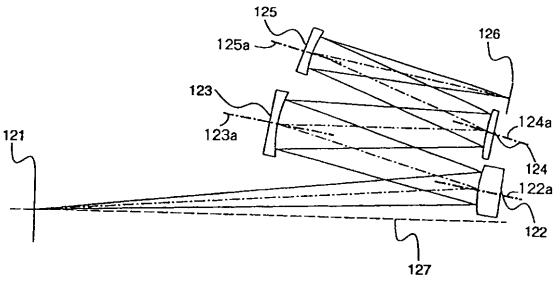

【図１３】



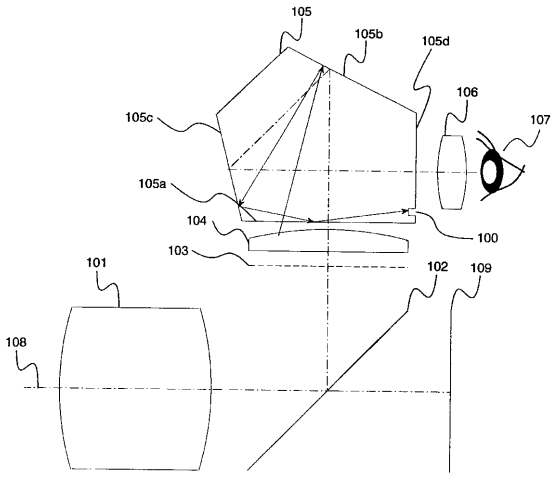

【図１４】



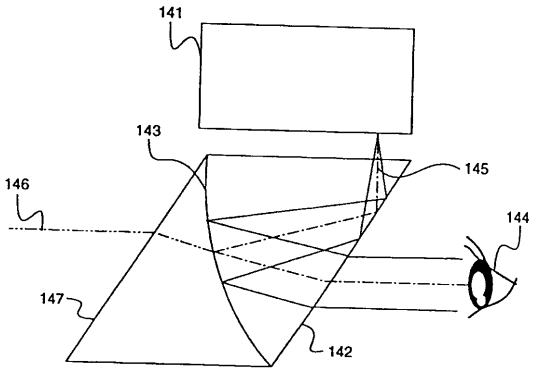

【図１５】



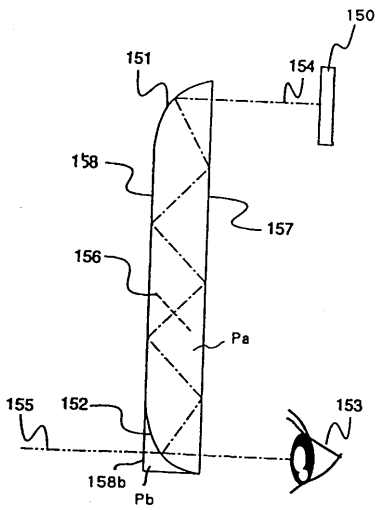
【図１６】


105
105b
105d
106
107
105c
105a
104
100
103
102
109
101
108

【図１７】


141
143
145
146
144
147
142

【図１８】


150
151
154
158
157
156
Pa
155
152
153
158b
Pb

フロントページの続き

(56)参考文献 特開昭６２－１４６４４４（ＪＰ，Ａ）
特開平 ２－２９７５１６（ＪＰ，Ａ）
特開平 ５－ ５３０５７（ＪＰ，Ａ）
米国特許第５０６３５８６（ＵＳ，Ａ）
特開平 ７－ ３６９５９（ＪＰ，Ａ）
特開昭５４－１５７６３９（ＪＰ，Ａ）
特開昭５３－１０２０５０（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)

G02B 1/10 - 1/12
G02B 5/00 - 5/136
G02B 9/00 - 17/08
G02B 21/02 - 21/04
G02B 25/00 - 25/04