

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6810454号
(P6810454)

(45) 発行日 令和3年1月6日(2021.1.6)

(24) 登録日 令和2年12月15日(2020.12.15)

(51) Int. Cl.		F I	
GO2B	3/08 (2006.01)	GO2B	3/08
GO1S	7/481 (2006.01)	GO1S	7/481 A
GO2B	13/00 (2006.01)	GO2B	13/00
GO2B	13/18 (2006.01)	GO2B	13/18
GO2B	26/10 (2006.01)	GO2B	26/10 I O I

請求項の数 9 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2017-54393 (P2017-54393)	(73) 特許権者	597073645 ナルックス株式会社 大阪府大阪市東淀川区南江口3丁目4番29号
(22) 出願日	平成29年3月21日(2017.3.21)	(74) 代理人	100105393 弁理士 伏見 直哉
(65) 公開番号	特開2018-156008 (P2018-156008A)	(72) 発明者	迫平 洋輔 大阪府三島郡島本町山崎2丁目1番7号 ナルックス株式会社 山崎本社内
(43) 公開日	平成30年10月4日(2018.10.4)	(72) 発明者	藤村 佳代子 大阪府三島郡島本町山崎2丁目1番7号 ナルックス株式会社 山崎本社内
審査請求日	令和2年1月14日(2020.1.14)	(72) 発明者	小室 聡 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社 本田技術研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 受光光学系

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

回転軸の周りに回転するように構成され、該回転軸に対して所定の角度を有するように配置された反射面を有する回転ミラーと、該回転軸と一致する光軸を有する結像光学系と、多焦点フレネルレンズと、複数の受光素子とを有する受光光学系であって、

被検物からの光線が、該光軸に垂直な断面において、該光軸と該多焦点フレネルレンズの外周を結ぶ線分に対応する線状の領域に集光する状態で機能し、

該多焦点フレネルレンズは、該光軸の周りに同心状に形成された複数の領域を備え、該線分と該光軸とを含む面内において該回転ミラーに入射した光線が、該光軸に対する該光線の角度に応じて、該結像光学系によって該多焦点フレネルレンズのいずれかの領域に集光された後、該複数の受光素子のうちの該いずれかの領域に対応する受光素子に到達するように構成され、該回転ミラーの回転位置にかかわらず、該光線の該光軸に対する角度に応じて該光線の到達する受光素子が定まるように構成された受光光学系。

【請求項2】

該回転軸と所定の角度で交わる基準軸と、該回転軸とを含む基準面に直交するように該反射面が設置され、該基準面内において該基準軸となす角度が所定の角度範囲の光線が該線状の領域に集光し、該基準面が該回転ミラーとともに回転する状態で機能するように構成された請求項1に記載の受光光学系。

【請求項3】

該回転軸と該基準軸とが直交するように構成された請求項2に記載の受光光学系。

【請求項 4】

該複数の領域のうちある領域に集光される光線の、該光軸に対する角度の最大値と最小値との差を α とし、該複数の領域の複数の L_n のうちの最小値を L_n とし、該結像光学系の入射瞳径を D 、撮像系において点像が許容錯乱円以下となる最小の物体距離である近点距離を L_n 、使用波長を λ としたとき、

【数 1】

$$\alpha \geq \sqrt{4.88\lambda/L_n}$$

及び

$$4.88 / D \leq L_n$$

を満たす、請求項 1 から 3 のいずれかに記載の受光光学系。

10

【請求項 5】

該多焦点フレネルレンズの該複数の領域のそれぞれが、連続面をもつレンズの形状である、請求項 1 から 4 のいずれかに記載の受光光学系。

【請求項 6】

該多焦点フレネルレンズの該複数の領域のそれぞれが、フレネルレンズの形状である、請求項 1 から 4 のいずれかに記載の受光光学系。

【請求項 7】

該多焦点フレネルレンズの該複数の領域のそれぞれが、回折格子レンズの形状である、請求項 1 から 4 のいずれかに記載の受光光学系。

20

【請求項 8】

該多焦点フレネルレンズと該受光素子との間に集光レンズをさらに備えた、請求項 1 から 7 のいずれかに記載の受光光学系。

【請求項 9】

該結像光学系と該多焦点フレネルレンズの間に、光線が通過する領域を制限し、該回転ミラーとともに回転するアパーチャをさらに備えた、請求項 1 から 8 のいずれかに記載の受光光学系。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、周囲の物体の情報を収集するために光を受信する受光光学系に関する。

30

【背景技術】

【0002】

レーザなどの光を周囲の物体に照射して反射波を受信することにより周囲の物体の情報を収集するシステムであって、照射及び受信のために光学系を回転させるシステムが知られている（特許文献 1）。このような装置においては、受信した光を電気信号に変換する受光素子を回転部分に設置する必要がある。受光素子を回転部分に設置すると、回転部分が大型になり、システム全体も大型化する。また、受光素子の出力である電気信号を回転部分から外部に取り出すための装置が必要となるなどシステムの構成が煩雑になる。

【0003】

レーザなどの光を周囲の物体に照射して反射波を受信することにより周囲の物体の情報を収集するシステムであって、コンパクトで構成が簡単なシステムを実現するための受光光学系は開発されていない。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】 US2014/0211194A1

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

50

したがって、レーザなどの光を周囲の物体に照射して反射波を受信することにより周囲の物体の情報を収集するシステムであって、コンパクトで構成が簡単なシステムを実現するための受光光学系に対するニーズがある。本発明が解決すべき課題は、コンパクトで構成が簡単な上記のシステムを実現するための受光光学系を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明による受光光学系は、所定の回転軸の周りに回転するように構成され、該回転軸に対して所定の角度を有するように配置された反射面を有する回転ミラーと、該回転軸と一致する光軸を有する結像光学系と、多焦点フレネルレンズと、複数の受光素子とを有する。該多焦点フレネルレンズは、該光軸の周りに同心状に形成された複数の領域を備え、該回転ミラーに入射した光線が、該光軸に対する角度に応じて、該結像光学系によって該多焦点フレネルレンズのいずれかの領域に集光された後、該複数の受光素子のうちの該いずれかの領域に対応する受光素子に到達するように構成され、該回転ミラーの回転位置にかかわらず、該光線の該光軸に対する角度に応じて該光線の到達する受光素子が定まるように構成されている。

10

【0007】

本発明による受光光学系によれば、複数の受光素子を回転させる必要がないので、レーザなどの光を周囲の物体に照射して反射波を受信することにより周囲の物体の情報を収集するシステムであって、コンパクトで構成が簡単なシステムを実現することができる。

【0008】

本発明の第1の実施形態による受光光学系は、該回転軸と所定の角度で交わる基準軸と、該回転軸とを含む基準面に直交するように該反射面が設置され、該基準面内において該基準軸となす角度が所定の角度範囲の光線を取り込むように構成されている。

20

【0009】

本実施形態によれば、該基準面内において該基準軸となす角度が所定の角度範囲の光線を、固定された複数の受光素子に振り分けることができる。

【0010】

本発明の第2の実施形態による受光光学系は、第1の実施形態による受光光学系であって、該回転軸と該基準軸とが直交するように構成されている。

【0011】

本発明の第3の実施形態による受光光学系は、該複数の領域のうちある領域に集光される光線の、該光軸に対する角度の最大値と最小値との差を α とし、該複数の領域の複数の α のうちの最小値を α_{\min} とし、該結像光学系の入射瞳径をD、近点距離を L_n 、使用波長を λ としたとき、

30

【0012】

【数1】

$$\alpha \geq \sqrt{4.88\lambda/L_n}$$

【0013】

及び

$$4.88 / D \leq L_n$$

を満たす。

40

【0014】

本実施形態によれば、結像光学系の許容錯乱円直径 δ を多焦点フレネルレンズの輪帯幅の半分以下とすることができるので、良好に輪帯に入る光線を分離することができる。

【0015】

本発明の第4の実施形態による受光光学系は、該多焦点フレネルレンズの該複数の領域のそれぞれが、連続面をもつレンズの形状である。

【0016】

本発明の第5の実施形態による受光光学系は、該多焦点フレネルレンズの該複数の領域

50

のそれが、フレネルレンズの形状である。

【0017】

本発明の第6の実施形態による受光光学系は、該多焦点フレネルレンズの該複数の領域のそれぞれが、回折格子レンズの形状である。

【0018】

本発明の第7の実施形態による受光光学系は、該多焦点フレネルレンズと該受光素子との間に集光レンズをさらに備えている。

【0019】

本実施形態によれば、集光レンズによって狭い領域に光を集めることができるので、受光面上での単位面積当たりの光量を大きくすることができる。さらに、受光素子の受光面のサイズを集光レンズが無い場合に比べて小さくすることができる。また、他の理由により、複数の受光素子間の間隔を大きくする必要がある場合に有利である。

【0020】

本発明の第8の実施形態による受光光学系は、該結像光学系と該多焦点フレネルレンズの間に、光線が通過する領域を制限するアパーチャをさらに備えている。

【0021】

本実施形態によれば、回転ミラーに同期させて回転軸のまわりにアパーチャを回転させることによって、不要な光を遮断することができる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】本発明の一実施形態の受光光学系及び被検物を示す図である。

【図2】本発明の一実施形態の受光光学系構成を示す図である。

【図3】多焦点フレネルレンズの機能を説明するための図である。

【図4】多焦点フレネルレンズの軸A×2に垂直な断面を示す図である。

【図5】被検物からの光線の光路を示す図である。

【図6】多焦点フレネルレンズのいずれかの輪帯に対応する仮想レンズを説明するための図である。

【図7】多焦点フレネルレンズのいずれかの輪帯の仮想レンズの光軸OPを示す図である。

。

【図8】回転ミラー、結像光学系、多焦点フレネルレンズを含む光学系の構成を示す図である。

【図9】アパーチャの開口部を示す図である。

【図10】回転ミラーがある回転角度の場合の、集光レンズを使用しない受光光学系の光路を示す図である。

【図11】回転ミラーが図10の状態から時計回りに90度回転した場合の、集光レンズを使用しない受光光学系の光路を示す図である。

【図12】回転ミラーが図11の状態から時計回りに90度回転した場合の、集光レンズを使用しない受光光学系の光路を示す図である。

【図13】回転ミラーが図12の状態から時計回りに90度回転した場合の、集光レンズを使用しない受光光学系の光路を示す図である。

【図14】回転ミラーがある回転角度の場合の、集光レンズを使用する受光光学系の光路を示す図である。

【図15】回転ミラーが図14の状態から時計回りに90度回転した場合の、集光レンズを使用する受光光学系の光路を示す図である。

【図16】回転ミラーが図15の状態から時計回りに90度回転した場合の、集光レンズを使用する受光光学系の光路を示す図である。

【図17】回転ミラーが図16の状態から時計回りに90度回転した場合の、集光レンズを使用する受光光学系の光路を示す図である。

【図18】結像光学系の集光位置と集光位置からの光路長が最大値 L_0 を示す最も離れた受光素子とを示す図である。

10

20

30

40

50

【図19】実施例3の多焦点フレネルレンズを示す図である。

【図20】実施例3の多焦点フレネルレンズのy z断面を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0023】

図1は、本発明の一実施形態の受光光学系1000及び被検物50を示す図である。被検物50の中心と受光光学系1000の基準点を結ぶ直線を軸AX1と呼称する。被検物50上の点から受光光学系1000に到達する光線は、軸AX1に対して、 $\pm a^\circ$ の角度範囲の所定の角度をなす。上記所定の角度は、被検物50上の点の位置によって定まる。受光光学系1000は、軸AX1に所定の角度で交わり、基準点を通過する軸AX2に沿って形成される。図1は、軸AX1及び軸AX2を含む断面を示す。

10

【0024】

図2は、本発明の一実施形態の受光光学系1000の構成を示す図である。図2は、軸AX1及び軸AX2を含む断面を示す。図2に示す受光光学系1000において、軸AX2は軸AX1と直交するように定めている。一般的に、軸AX2と軸AX1とがなす角度は、 45° から 135° の範囲内であるのが好ましい。受光光学系1000は、回転ミラー100と、結像光学系200と、多焦点フレネルレンズ300と、複数の集光レンズ400と複数の受光素子500と、を含む。回転ミラー100は、軸AX1及び軸AX2を含む面に直交し、該面内において軸AX2に対する角度が（鋭角）である反射面を含み、軸AX2の周りに回転するように構成されている。回転ミラー100が回転することによって、軸AX2の周りの被検物からの光線が受光光学系1000に到達する。軸AX2は、回転ミラー100の回転軸であるとともに、結像光学系200の光軸である。結像光学系200は、軸AX1を基準として $\pm a^\circ$ の範囲の角度の光線を、軸AX2を中心軸とする多焦点フレネルレンズ300の面上に集光させるように構成されている。

20

【0025】

図3は、多焦点フレネルレンズ300の機能を説明するための図である。図3において、Wは、多焦点フレネルレンズ300の軸AX2に垂直な断面の外周を形成する円の半径を示す。

【0026】

図4は、多焦点フレネルレンズ300の軸AX2に垂直な断面を示す図である。多焦点フレネルレンズ300は、軸AX2の周りに同心状に形成された複数の領域301、302、303、304及び305を含む。これらの領域は輪帯とも呼称する。

30

【0027】

図5は、被検物50からの光線の光路を示す図である。結像光学系200は、軸AX1に沿って進行する光線L1が、上述のように、多焦点フレネルレンズ300の軸AX2に垂直な断面の外周を形成する円の中心と円周との中間点（輪帯303内）を通過するように構成される。さらに、結像光学系200は、軸AX1に対して $+a^\circ$ の角度の光線が輪帯301内の、該中心に結像し、軸AX1に対して $-a^\circ$ の角度の光線が輪帯305内の該円周に集光するように構成される。回転ミラー100の、ある回転位置において、軸AX1に対する角度が $+a^\circ$ から $-a^\circ$ までの光線は、該中心と該円周を結ぶ線分に対応する線状の領域に集光する。後で説明するように、回転ミラー100が軸AX2の周りに回転すると、上記の線状の領域も軸AX2の周りに回転する。結局、光線は、回転ミラー100が軸AX2の周りの回転位置にかかわらず、光線の軸AX1に対する角度にしたがって定まる、いずれかの輪帯に集光される。図5において、符号301-305は、それぞれの光線が到達する輪帯を示す。

40

【0028】

なお、それぞれの輪帯の幅を同じにする必要はない。光線の軸AX1に対する角度の範囲の定め方にしたがってそれぞれの輪帯の幅を定めればよい。

【0029】

図6は、多焦点フレネルレンズ300のいずれかの輪帯に対応する仮想レンズを説明するための図である。仮想レンズは、球面、非球面、自由曲面などの連続面のレンズ、フレ

50

ネルレンズ、回折格子のいずれによって実現することもできる。軸 A X 2 に平行に進行する光線が仮想レンズを通過した後に進行する方向を仮想レンズの光軸とする。そこで、それぞれの輪帯に対応する仮想レンズの光軸を受光素子または集光レンズの方向に向けると、その輪帯に入射する光線のうち、軸 A X 2 に対して平行に近い光線は、複数の集光レンズのいずれか、または複数の受光素子のいずれかに向けることができる。

【 0 0 3 0 】

図 7 は、多焦点フレネルレンズ 3 0 0 のいずれかの輪帯の仮想レンズの光軸 O P を示す図である。

【 0 0 3 1 】

図 8 は、回転ミラー 1 0 0、結像光学系 2 0 0、多焦点フレネルレンズ 3 0 0 を含む光学系の構成を示す図である。結像光学系 2 0 0 は、第 1 のレンズ 2 0 1、第 2 のレンズ 2 0 3、第 3 のレンズ 2 0 5、バンドパスフィルター 2 0 7 を含む。バンドパスフィルター 2 0 7 は、受光素子が使用する波長の光のみを透過させる。一般的に、多層膜のバンドパスフィルターを使用する場合は入射角によって透過率が変わってしまうため、光線入射角の小さくなる場所に挿入するのが良い。さらに、バンドパスフィルター 2 0 7 と多焦点フレネルレンズ 3 0 0 との間にアパーチャ（開口絞り）2 5 0 を備えてもよい。

10

【 0 0 3 2 】

図 9 は、アパーチャ 2 5 0 の開口部 2 5 1 を示す図である。

【 0 0 3 3 】

照明系によって、受光光学系 1 0 0 0 の受光範囲よりも広い部分が照明される場合がある。この場合、結像光学系 2 0 0 と多焦点フレネルレンズ 3 0 0 の間にアパーチャ 2 5 0 を配置し、受光光学系 1 0 0 0 に必要な光のみを通過させるようにしたうえで、回転ミラー 1 0 0 に同期させて軸 A X 2 のまわりにアパーチャ 2 5 0 を回転させると、受光光学系 1 0 0 0 に不要な光はアパーチャ 2 5 0 によって遮られ、受光光学系 1 0 0 0 に必要な光のみが多焦点フレネルレンズ 3 0 0 を通って受光素子上に導かれる。

20

【 0 0 3 4 】

また、回転ミラー 1 0 0 とともに、結像光学系 2 0 0 も回転させてもよい。結像光学系 2 0 0 の光軸と回転軸は軸 A X 2 であるので、回転させた場合でも性能は変化しないので、アパーチャ 2 5 0 を回転させる場合には構造的に有利となる。

【 0 0 3 5 】

ここで、回転ミラー 1 0 0 の軸 A X 2 の周りの回転について説明する。

30

【 0 0 3 6 】

図 1 0 は、回転ミラー 1 0 0 がある回転角度の場合の、集光レンズを使用しない受光光学系の光路を示す図である。

【 0 0 3 7 】

図 1 1 は、回転ミラー 1 0 0 が図 1 0 の状態から時計回りに 9 0 度回転した場合の、集光レンズを使用しない受光光学系の光路を示す図である。

【 0 0 3 8 】

図 1 2 は、回転ミラー 1 0 0 が図 1 1 の状態から時計回りに 9 0 度回転した場合の、集光レンズを使用しない受光光学系の光路を示す図である。

40

【 0 0 3 9 】

図 1 3 は、回転ミラー 1 0 0 が図 1 2 の状態から時計回りに 9 0 度回転した場合の、集光レンズを使用しない受光光学系の光路を示す図である。

【 0 0 4 0 】

図 1 0 乃至図 1 3 に示すように、回転ミラー 1 0 0 の回転角度にかかわらず、光線は、光線の軸 A X 1 に対する角度にしたがって定まる、受光素子 5 0 1 乃至 5 0 5 のいずれかに到達する。

【 0 0 4 1 】

図 1 4 は、回転ミラー 1 0 0 がある回転角度の場合の、集光レンズ 4 0 1 - 4 0 5 を使用する受光光学系の光路を示す図である。

50

【 0 0 4 2 】

図 1 5 は、回転ミラー 1 0 0 が図 1 4 の状態から時計回りに 9 0 度回転した場合の、集光レンズ 4 0 1 - 4 0 5 を使用する受光光学系の光路を示す図である。

【 0 0 4 3 】

図 1 6 は、回転ミラー 1 0 0 が図 1 5 の状態から時計回りに 9 0 度回転した場合の、集光レンズ 4 0 1 - 4 0 5 を使用する受光光学系の光路を示す図である。

【 0 0 4 4 】

図 1 7 は、回転ミラー 1 0 0 が図 1 6 の状態から時計回りに 9 0 度回転した場合の、集光レンズ 4 0 1 - 4 0 5 を使用する受光光学系の光路を示す図である。

【 0 0 4 5 】

図 1 4 乃至図 1 7 に示すように、回転ミラー 1 0 0 の回転角度にかかわらず、光線は、光線の軸 A X 1 に対する角度にしたがって定まる、集光レンズ 4 0 1 乃至 4 0 5 のいずれかに到達する。

【 0 0 4 6 】

要約すると、被験物 5 0 から受光光学系 1 0 0 0 に入射する光線の、受光光学系 1 0 0 0 の中心軸 A X 1 に対する角度 (- a ° から + a ° の範囲) によって、該光線が、多焦点フレネルレンズ 3 0 0 のどの輪帯に入射するかが決まる。さらに、いずれかの輪帯に入射した光線は、該輪帯に対応する受光素子、または集光レンズに到達する。このようにして、被験物 5 0 から受光光学系 1 0 0 0 に入射する光線の、受光光学系 1 0 0 0 の中心軸 A X 1 に対する角度によって、該光線が到達する受光素子を定めることができる。この場合、光線が到達する受光素子は、回転ミラー 1 0 0 の回転に無関係に、受光光学系 1 0 0 0 の中心軸 A X 1 に対する該光線の角度のみによって定まる。したがって、受光光学系 1 0 0 0 において、受光素子を回転させる必要がない。

【 0 0 4 7 】

つぎに、受光光学系 1 0 0 0 について検討する。

【 0 0 4 8 】

最初に、結像光学系 2 0 0 について検討する。結像光学系 2 0 0 は、像側テレセントリックであることが好ましい。像側テレセントリックである場合、結像位置が光軸方向にずれた場合においても像高が変わらないので、多焦点フレネルレンズ 3 0 0 上での位置が変わらないためである。

【 0 0 4 9 】

結像光学系 2 0 0 の半画角 θ と像高 y 、焦点距離 f の関係は、 $y=f \tan \theta$ であることがフレネルレンズの設計が簡便となり好ましいが、その他の関係であつてもかまわない。本明細書の説明においては、 $y=f \theta$ とする。

【 0 0 5 0 】

結像光学系の入射瞳径を D 、 F 値を F 、1 輪帯に入射する光線の角度範囲 (分解能) のうち、最小の値を θ の範囲に対応する、受光素子に光を導く多焦点フレネルレンズ 3 0 0 の輪帯幅を w とすると、以下の式が成り立つ。

$$w=f \theta \quad (1)$$

$$F=f / D \quad (2)$$

【 0 0 5 1 】

受光光学系 1 0 0 0 において、物体が遠距離の位置にある場合でも近距離の位置にある場合でも分解能が変わらず受光できることが好ましい。つまり、結像光学系 2 0 0 において、被写界深度を深くする必要がある。結像光学系 2 0 0 の許容錯乱円直径を δ 、ベストピントでの入射瞳位置と物体間の距離を L_p 、後方被写界深度を L_r 、前方被写界深度を L_f とすると、 L_r 、及び L_f は、以下の式で表すことができる。

10

20

30

40

【数 2】

$$Lr = \frac{\delta FL_p^2}{f^2 - \delta FL_p} \quad (3)$$

【数 3】

$$Lf = \frac{\delta FL_p^2}{f^2 + \delta FL_p} \quad (4)$$

【0052】

遠距離まで受光できるようにするには、後方被写界深度Lrを無限大にする必要がある。つまり、後方被写界深度Lrの分母が0になるようにすればよいので、以下の条件を満たせばよい。

10

【数 4】

$$\delta = \frac{f^2}{FL_p} \quad (5)$$

このとき、式(4)は、Lf=Lp/2となるので、撮像系において点像が許容錯乱円以下となる最小の物体距離である近点距離をLnとすると、

$$Ln = Lp - Lf = Lp/2$$

20

となる。

【0053】

ここで、許容錯乱円直径が多焦点フレネルレンズ300の輪帯幅の半分程度であれば、良好に輪帯に入る光線を分離することができるため、以下の関係が満たされるのが望ましい。

$$w/2 \quad (6)$$

式(1)、式(2)、式(5)、及び式(6)から、

30

$$Lp \geq 2D/$$

となるので、

$$D \leq Ln \quad (7)$$

となる。

【0054】

他方、結像光学系のエアリーディスク直径を、使用波長を とすると、以下の関係が成立する。

40

$$= 2.44 \lambda f / D$$

光の干渉によってエアリーディスク直径以下の径には集光できないが、許容錯乱円直径とエアリーディスク直径が同程度の場合には、被写界深度の範囲内では集光スポット径がほとんど変わらないことになる。よって、多焦点フレネルレンズ300の輪帯での光線の分離を考えると、w/2とするのがよい。

【0055】

したがって、式(1)及び式(7)と組み合わせて、以下の関係が成立する必要がある

50

。

$$4.88 / D \quad \text{Ln} \quad (8)$$

ここから、Dに解が存在するためには、以下の関係が成立する必要がある。

【数5】

$$\alpha \geq \sqrt{4.88\lambda/L_n} \quad (9)$$

式(9)を満たすように結像光学系200を構成すれば、多焦点フレネルレンズ300によって軸AX1に対する角度にしたがって光線を分離することができる。

10

【0056】

つぎに、多焦点フレネルレンズ300、及び受光素子500について検討する。最初に、集光レンズ400を使用しない場合について検討する。

【0057】

多焦点フレネルレンズ300のある一つの輪帯において、結像光学系200からの光線が受光素子上に入射するように仮想レンズを定める必要がある。このとき、結像光学系からの光線はFによって決まる角度の幅を持っており、光軸に対する光線の最大角度をとすると、以下の関係が成立する。

【数6】

$$\beta = \sin^{-1}\left(\frac{1}{2F}\right) \quad (10)$$

20

受光素子上に、結像光学系の絞りを通過した光の大部分が集まるためには、受光素子がこの角度範囲よりも大きいサイズである必要があり、結像光学系の集光位置から受光素子までの光路長を L_d とすると、受光素子の半径 r_d は、以下の関係を満たすのが好ましい。

$$r_d \geq L_d \cdot \tan \beta \quad (11)$$

【0058】

他方、輪帯上の光線を1つの受光素子上に集めるためには、 L_d は少なくともその輪帯の最大直径よりも長くする必要があり、実際の多焦点フレネルレンズを考えると、多焦点フレネルレンズの半径 W と、最も光軸から遠い受光素子の中心と光軸との距離 P_d の和よりも長くするのがよい。その理由は、 L_d を短くすると、フレネルレンズ形状の接線角が大きくなりすぎ、加工が難しくなるからである。したがって、以下の関係を満たすのが好ましい。

30

【数7】

$$r_d \geq \frac{L_d}{\sqrt{4F^2 - 1}} \geq \frac{W + P_d}{\sqrt{4F^2 - 1}} \quad (12)$$

したがって、Fは、以下の関係を満たすのが好ましい。

【数8】

$$F \geq \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{W + P_d}{r_d}\right)^2 + 1} \quad (13)$$

40

結像光学系で受光可能な半画角の最大値を θ_{\max} とすると、式(1)及び式(2)から以下の関係が成立する。

$$W = f_{\max} = DF_{\max} \quad (14)$$

式(13)及び式(14)から、以下の関係を満たすのが好ましい。

50

【数 9】

$$F = \frac{W}{D\alpha_{\max}} \geq \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{W+P_d}{r_d}\right)^2 + 1} \quad (15)$$

したがって、以下の関係を満たすのが好ましい。

【数 10】

$$D\alpha_{\max} \leq \frac{2W}{\sqrt{\left(\frac{W+P_d}{r_d}\right)^2 + 1}} \quad (16)$$

10

【0059】

つぎに、集光レンズ400を使用する場合について検討する。集光レンズを使用する場合、集光レンズによって狭い領域に光を集めることができるので、受光面上での単位面積当たりの光量を大きくすることができる。さらに、受光素子の受光面のサイズを集光レンズが無い場合に比べて小さくすることができる。このとき、各受光素子に対して集光レンズが必要となり、複数の受光素子に対応する複数の集光レンズ400を配置するためには、複数の受光素子500間の間隔を大きくする必要がある。したがって、他の理由により、複数の受光素子500間の間隔を大きくする必要がある場合には、複数の集光レンズ400を備えた上記の構成が適している。

20

【0060】

複数の集光レンズ400を備えた場合に、式(16)において、受光素子の半径 r_d を集光レンズの最大半径 r_c に置き換えて、以下の関係を満たすのが好ましい。

【数 11】

$$D\alpha_{\max} \leq \frac{2W}{\sqrt{\left(\frac{W+P_d}{r_c}\right)^2 + 1}} \quad (17)$$

30

【0061】

つぎに、本発明の実施例について説明する。以下の実施例においては、設計波長 λ を1064[nm]とし、多焦点フレネルレンズの輪帯の数は5とし、各輪帯の幅は同じとした。また、近点距離 L_n は、510[mm]とした。

【0062】

なお、以下の複数の実施例の説明において、たとえば、結像光学系、多焦点フレネルレンズがそれぞれ異なる場合でも、同じ符号200、300を使用している。

【0063】

実施例 1

実施例1において、多焦点フレネルレンズ300のそれぞれの輪帯は連続面によって構成され、受光光学系は集光レンズを備えていない。

40

【0064】

結像光学系200の入射瞳径 D 、1輪帯に入射する光線の角度範囲 α 、結像光学系で受光可能な半画角の最大値を α_{\max} 、輪帯幅 w 、多焦点フレネルレンズの半径 W 、受光素子の半径 r_d 、及び最も軸AX2から遠い受光素子の中心と軸AX2との距離 P_d を以下のように定めた。

$$D=2.2[\text{mm}]$$

$$\alpha_{\max}=0.25[\text{deg}]=4.363\text{E-}03[\text{rad}]$$

$$w=0.6[\text{mm}]$$

$$w=0.6[\text{mm}]$$

50

W=3.0[mm]

$r_d=0.25$ [mm]

$P_d=1.5$ [mm]

【 0 0 6 5 】

このとき、式(9)の右辺は、3.191E-03であるので、式(9)は満たされる。

【 0 0 6 6 】

また、式(16)の左辺は0.048[mm]であり、式(16)の右辺は0.333[mm]であるので、式(16)は満たされる。

【 0 0 6 7 】

上記の仕様を満たす結像光学系200を以下のように定めた。ここで、ベストピントでの入射瞳位置と物体間の距離を L_p 及び近点距離 L_n は、以下のとおりである。

$L_p=2L_n=1020$ [mm]

また、結像光学系200と多焦点フレネルレンズ300の間にの波長を透過するバンドパスフィルター207を挿入した。

【 0 0 6 8 】

表1は、結像光学系200のデータを示す表である。表1における長さの単位はミリメートルである。

【表1】

#	R	d	k	A_4	A_6	屈折率
物体	Infinity	1.020E+03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	
絞り	Infinity	0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	
1	3.358E+00	2.000E+00	0.000E+00	2.669E-04	0.000E+00	1.521E+00
2	3.229E+01	4.700E+00	0.000E+00	4.244E-03	0.000E+00	
3	-9.794E-01	1.000E+00	-1.000E+00	9.264E-02	0.000E+00	1.521E+00
4	6.758E-01	9.364E+00	-1.000E+00	-6.934E-02	0.000E+00	
5	-1.660E+01	2.500E+00	0.000E+00	-7.631E-04	-6.426E-05	1.521E+00
6	-4.842E+00	1.000E+00	-1.000E+00	-7.298E-04	-6.832E-05	
BPF	Infinity	2.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.450E+00
	Infinity	3.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	
像面	Infinity		0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	

【 0 0 6 9 】

表1の最も左側の列の数字1-6は、それぞれ、図8におけるレンズ201の入側面及び出側面、レンズ203の入側面及び出側面、レンズ205の入側面及び出側面を示す。これらの面は、結像光学系200の光軸AX2とそれぞれの面との交点をそれぞれの面定義中心として、以下の式で表せる。

【数12】

$$Z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_i A_i r^i$$

上記の式におけるZは、光軸AX2の座標を表し、像面側を正とする。rは光軸AX2からの距離を表す。

【 0 0 7 0 】

表1の最も左側の列のBPFは、バンドパスフィルター207を示す。

【 0 0 7 1 】

表1の最も上の行のRは、上記の式のcの逆数に相当し、面定義中心における曲率半径

を示す。k は、上記の式の k に相当し、コーニック定数を示す。A₄ 及び A₆ は、上記の式の A_i の値を示す。また、d は、面間の距離を示す。たとえば、物体の行の d の数値は、物体から絞りまでの距離を示し、絞りの行の d の数値は、絞りからレンズ 201 の入側面までの距離を示す。絞りの行の d の数値は、0 であるので、絞りはレンズ 201 の入側面上にある。

【0072】

表 2 は、多焦点フレネルレンズ 300 のそれぞれの輪帯の面形状のデータを示す表である。表 2 における長さの単位はミリメートルである。

【表 2】

	輪帯				
	1	2	3	4	5
R(=1/c)	14.853	14.9414	15.04169	15.18156	15.40069
k	0	0	0	0	0
A ₀₀	0.152707	0.098094	0	-0.14035	-0.32167
A ₀₁	-0.14688	-0.07329	0	0.072756	0.1451
r _{min}	0	0.6	1.2	1.8	2.4
r _{max}	0.6	1.2	1.8	2.4	3

10

【0073】

表 2 の最も上の行の数字 1 - 5 は、それぞれの輪帯を示し、それぞれ、図 4 の 301 - 305 に相当する。

【0074】

多焦点フレネルレンズ 300 のそれぞれの輪帯の面は、以下の式で表せる。屈折率は 1.521 とした。

【数 13】

$$Z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_{m,n} A_{mn} x^m y^n (r \min \leq r < r \max)$$

結像光学系 200 の像面と光軸 AX2 との交点をフレネル面の面定義中心とし、輪帯 303 の面と光軸 AX2 との交点に一致させる。上記の式における Z は、フレネル面の面定義中心を基準とした光軸 AX2 の座標を表し、受光素子側を正とする。r は光軸 AX2 からの距離を表す。光軸 AX2 に垂直な面内において互いに直交する x 軸及び y 軸を定めた。

30

【0075】

表 2 の最も左側の列の R は、上記の式の c の逆数に相当し、面定義中心における曲率半径を示す。k は、上記の式の k に相当し、コーニック定数を示す。A₀₀ 及び A₀₁ は、上記の式の A_{mn} の値を示す。r_{min} は、それぞれの輪帯の内側の境界をなす円周の光軸 AX2 からの距離を表し、r_{max} は、それぞれの輪帯の外側の境界をなす円周の光軸 AX2 からの距離を表す。

【0076】

表 3 は、多焦点フレネルレンズ 300 の受光素子側の面の面形状のデータを示す表である。表 3 における長さの単位はミリメートルである。

40

【表 3】

R(=1/c)	-32.000
k	0
t	1.5

【0077】

表 3 の最も左側の列の R は、面定義中心における曲率半径を示す。k はコーニック定数

50

を表し、0であるので面は球面である。tは、フレネル面の面定義中心から受光素子400側の面の面定義中心までの距離を表す。

【0078】

このようにすると、結像光学系の集光位置(像面)から受光素子までの光路長の最大値 L_d を21.508[mm]として、0.75[mm]間隔でy軸方向に直線状に配列された半径 $r_d=0.25$ [mm]の受光素子にそれぞれの輪帯を通過した光線を入射させることができる。

【0079】

図18は、結像光学系の集光位置と集光位置からの光路長が最大値 L_d を示す最も離れた受光素子とを示す図である。

【0080】

受光光学系1000の中心軸AX1が、結像光学系200の光軸AX2に垂直になるように設定し、このとき軸AX1に沿って進行する光線が多焦点フレネルレンズ300の、軸AX2から半径Wの半分 $W/2$ 離れた位置を通るように回転ミラー100の軸AX2に対する角度を45.3125[deg]とした。このとき軸AX1から+0.625[deg]の方向からの光線は、結像光学系200を通過して多焦点フレネルレンズ300の中心を通り、受光素子501に向かう。また、軸AX1から-0.625[deg]の方向からの光線は、多焦点フレネルレンズ300の光学領域の外周を通り、受光素子505に向かう。

【0081】

以上の構成にすると、軸AX1に対して+0.625[deg]~+0.375[deg]の範囲の光線は多焦点フレネルレンズ300の輪帯301を通過して受光素子501に入る。同様に、軸AX1に対して+0.375[deg]~+0.125[deg]の範囲の光線は輪帯302を通過して受光素子502に、軸AX1に対して+0.125[deg]~-0.125[deg]の範囲の光線は輪帯303を通過して受光素子503に、軸AX1に対して-0.125[deg]~-0.375[deg]の範囲の光線は輪帯304を通過して受光素子504に、軸AX1に対して-0.375[deg]~-0.625[deg]の範囲の光線は輪帯305を通過して受光素子505に入る。

【0082】

実施例2

実施例2において、多焦点フレネルレンズ300のそれぞれの輪帯が連続面によって構成され、受光光学系は集光レンズを備えている。

【0083】

結像光学系200の入射瞳径D、1輪帯に入射する光線の角度範囲、結像光学系で受光可能な半画角の最大値を θ_{max} 、輪帯幅w、多焦点フレネルレンズの半径W、集光レンズの半径 r_c 、受光素子の半径 r_d 、及び最も軸AX2から遠い受光素子の中心と軸AX2との距離 P_d を以下のように定めた。

$$D=4.0[\text{mm}]$$

$$\theta_{max}=0.45[\text{deg}]=7.8540\text{E}-03[\text{rad}]$$

$$\theta_{min}=2.25[\text{deg}]$$

$$w=0.66[\text{mm}]$$

$$W=3.3[\text{mm}]$$

$$r_c=3.0[\text{mm}]$$

$$r_d=0.25[\text{mm}]$$

$$P_d=12.0[\text{mm}]$$

【0084】

このとき、式(9)の右辺は、3.191E-03であるので、式(9)は満たされる。

【0085】

また、式(17)の左辺は0.157[mm]であり、式(17)の右辺は1.270[mm]であるので、式(17)は満たされる。

【0086】

上記の仕様を満たす結像光学系200を以下のように定めた。ここで、ベストピントでの入射瞳位置と物体間の距離を L_p 及び近点距離 L_n は、以下のとおりである。

10

20

30

40

50

$L_p=2L_n=1020$ [mm]

また、結像光学系 200 と多焦点フレネルレンズ 300 の間に の波長を透過するバンドパスフィルター 207 を挿入した。

【 0087 】

表 4 A 及び表 4 B は、結像光学系 200 のデータを示す表である。表 4 A 及び表 4 B における長さの単位はミリメートルである。

【表 4 A】

#	R(=1/c)	d	k	屈折率
物体	Infinity	1.020E+03	0.000E+00	
絞り	Infinity	0.000E+00	0.000E+00	
1	3.538E+00	2.000E+00	0.000E+00	1.521E+00
2	3.129E+01	4.750E+00	0.000E+00	
3	-1.303E+00	1.000E+00	-1.000E+00	1.521E+00
4	9.775E-01	7.500E+00	-1.000E+00	
5	-8.656E+01	2.850E+00	0.000E+00	1.521E+00
6	-5.214E+00	2.000E+00	-1.000E+00	
BPF	Infinity	2.000E+00	0.000E+00	1.450E+00
	Infinity	1.300E+01	0.000E+00	
像面	Infinity	-	0.000E+00	

10

20

【 0088 】

【表 4 B】

#	A_4	A_6	A_8	A_{10}
物体	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
絞り	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1	1.878E-04	-1.077E-04	0.000E+00	0.000E+00
2	2.420E-03	-1.142E-04	0.000E+00	0.000E+00
3	-6.529E-02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
4	-1.378E-01	4.963E-02	0.000E+00	0.000E+00
5	2.022E-03	-4.370E-04	2.592E-05	-4.882E-07
6	4.884E-04	-1.204E-04	1.413E-06	5.959E-08
BPF	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
像面	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

30

【 0089 】

表 4 A 及び表 4 B の最も左側の列の数字 1 - 6 は、それぞれ、図 8 におけるレンズ 201 の入側面及び出側面、レンズ 203 の入側面及び出側面、レンズ 205 の入側面及び出側面を示す。これらの面は、結像光学系 200 の光軸 A X 2 とそれぞれの面との交点をそれぞれの面定義中心として、以下の式で表せる。

【数 14】

$$Z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_i A_i r^i$$

上記の式における Z は、光軸 A X 2 の座標を表し、像面側を正とする。r は光軸 A X 2 か

40

50

らの距離を表す。

【 0 0 9 0 】

表 4 A 及び表 4 B の最も左側の列のBPFは、バンドパスフィルター 2 0 7 を示す。

【 0 0 9 1 】

表 4 A 及び表 4 B の最も上の行の R は、上記の式の c の逆数に相当し、面定義中心における曲率半径を示す。k は、上記の式の k に相当し、コーニック定数を示す。A₄、A₆ 及び A₈ は、上記の式の A_i の値を示す。また、d は、面間の距離を示す。たとえば、物体の行の d の数値は、物体から絞りまでの距離を示し、絞りの行の d の数値は、絞りからレンズ 2 0 1 の入側面までの距離を示す。絞りの行の d の数値は、0 であるので、絞りはレンズ 2 0 1 の入側面上にある。

10

【 0 0 9 2 】

表 5 は、多焦点フレネルレンズ 3 0 0 のそれぞれの輪帯の面形状のデータを示す表である。表 5 における長さの単位はミリメートルである。

【表 5】

	輪帯				
	1	2	3	4	5
R(=1/c)	127.9161	35.53567	46.36309	37.07233	47.97842
k	0	0	0	0	0
A ₀₀	0.295605	0.191438	0	-0.30894	-0.68227
A ₀₁	-0.3013	-0.1501	0	0.149479	0.298806
r _{min}	0	0.66	1.32	1.98	2.64
r _{max}	0.66	1.32	1.98	2.64	3.3

20

【 0 0 9 3 】

表 5 の最も上の行の数字 1 - 5 は、それぞれの輪帯を示し、それぞれ、図 4 の 3 0 1 - 3 0 5 に相当する。

【 0 0 9 4 】

多焦点フレネルレンズ 3 0 0 のそれぞれの輪帯の面は、以下の式で表せる。屈折率は 1.521 とした。

30

【数 1 5】

$$Z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_{m,n} A_{mn} x^m y^n (r_{\min} \leq r < r_{\max})$$

結像光学系 2 0 0 の像面と光軸 A X 2 との交点をフレネル面の面定義中心とし、輪帯 3 0 3 の面と光軸 A X 2 との交点に一致させる。上記の式における Z は、フレネル面の面定義中心を基準とした光軸 A X 2 の座標を表し、受光素子側を正とする。r は光軸 A X 2 からの距離を表す。光軸 A X 2 に垂直な面内において互いに直交する x 軸及び y 軸を定めた。

【 0 0 9 5 】

表 5 の最も左側の列の R は、上記の式の c の逆数に相当し、面定義中心における曲率半径を示す。k は、上記の式の k に相当し、コーニック定数を示す。A_{0 0} 及び A_{0 1} は、上記の式の A_{m n} の値を示す。r_{min} は、それぞれの輪帯の内側の境界をなす円周の光軸 A X 2 からの距離を表し、r_{max} は、それぞれの輪帯の外側の境界をなす円周の光軸 A X 2 からの距離を表す。

40

【 0 0 9 6 】

また、受光素子側の面は平面とし、フレネル面の面定義中心から受光素子側の面の面定義中心までの距離 t は 1.5 [mm] とした。

【 0 0 9 7 】

表 6 は、多焦点フレネルレンズ 3 0 0 の 5 個の輪帯に対応する 5 個の集光レンズのデータを示す表である。表 6 における長さの単位はミリメートルである。

50

【表 6】

項目	集光レンズ					
	1	2	3	4	5	
dz	71.477	71.513	71.611	71.713	71.497	
dy	11.079	5.541	0.000	-5.560	-11.089	
tx	-8.90	-4.47	0.00	4.46	8.82	
tc	2.500	2.500	2.500	2.500	3.000	
s1	R(=1/c)	2.769E+00	2.851E+00	2.663E+00	3.653E+00	3.824E+00
	K	-1.000E+00	-1.000E+00	-1.000E+00	-1.000E+00	-1.000E+00
	A4	0.000E+00	0.000E+00	3.962E-08	-4.243E-03	-4.087E-03
	A6	0.000E+00	0.000E+00	-5.035E-09	-2.165E-08	1.906E-08
s2	R(=1/c)	-1.047E+01	-8.413E+00	-9.815E+00	-4.221E+00	-3.114E+00
	K	-1.000E+00	-1.000E+00	-1.000E+00	-1.000E+00	-1.000E+00
	A4	0.000E+00	0.000E+00	-2.054E-08	-2.064E-03	6.082E-03
	A6	0.000E+00	0.000E+00	3.328E-09	5.901E-08	-2.020E-08

10

【 0 0 9 8 】

表 6 の最も上の行の数字 1 - 5 は、それぞれの集光レンズを示し、それぞれ、図 1 4 - 1 7 の 4 0 1 - 4 0 5 に相当する。

20

【 0 0 9 9 】

軸 A X 2 と像面との交点を原点として、像面内に互いに直交する x 軸及び y 軸を定める。また、軸 A X 2 を z 軸とする。

【 0 1 0 0 】

集光レンズの多焦点フレネルレンズ側の面を S1 面、受光素子側の面を S2 面とする。

【 0 1 0 1 】

表 6 の最も左側の列において、dz は像面から各集光レンズの S1 面の面定義中心までの z 方向距離 [mm]、dy は軸 A X 2 から S1 面の面定義中心までの y 軸方向距離 [mm]、tx は集光レンズの中心軸と軸 A X 2 との角度 [deg]、tc は集光レンズの芯厚 [mm] をそれぞれ示す。ここで、それぞれの集光レンズは、その中心軸が、対応する輪帯の仮想レンズの光軸と一致するように配置される。

30

【 0 1 0 2 】

S1 面及び S2 面は、以下の式で表せる。

【 数 1 6 】

$$Z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_i A_i r^i$$

上記の式における Z は、面定義中心を基準とした対応する輪帯の仮想レンズの光軸方向の座標を表し、受光素子側を正とする。r は光軸からの距離を表す。

40

【 0 1 0 3 】

表 6 の最も左側の列における R は、上記の式の c の逆数に相当し、面定義中心における曲率半径を示す。k は、上記の式の k に相当し、コーニック定数を示す。A₄ 及び A₆ は、上記の式の A_i の値を示す。

【 0 1 0 4 】

このようにすると、結像光学系の集光位置（像面）から集光レンズまでの光路長の最大値 L₀ を 73.572 [mm] として、6.0 [mm] 間隔で y 軸方向に直線状に配列された受光素子にそれぞれの輪帯を通過した光線を入射させることができる。

【 0 1 0 5 】

軸 A X 1 が、結像光学系 2 0 0 の光軸 A X 2 に垂直になるように設定し、このとき軸 A

50

X 1 に沿って進行する光線が多焦点フレネルレンズ 3 0 0 の、軸 A X 2 から半径 W の半分 W / 2 離れた位置を通るように回転ミラー 1 0 0 の軸 A X 2 に対する角度 を 45.5625 [deg] とした。このとき軸 A X 1 から +1.125 [deg] の方向からの光線は、結像光学系 2 0 0 を通って多焦点フレネルレンズ 3 0 0 の中心を通り、受光素子 5 0 1 に向かう。また、軸 A X 1 から -1.125 [deg] の方向からの光線は、多焦点フレネルレンズ 3 0 0 の光学領域の外周を通り、受光素子 5 0 5 に向かう。

【 0 1 0 6 】

以上の構成にすると、軸 A X 1 に対して +1.125 [deg] ~ +0.675 [deg] の範囲の光線は多焦点フレネルレンズ 3 0 0 の輪帯 3 0 1 を通って受光素子 5 0 1 に入る。同様に、軸 A X 1 に対して +0.675 [deg] ~ +0.225 [deg] の範囲の光線は輪帯 3 0 2 を通って受光素子 5 0 2 に、軸 A X 1 に対して +0.225 [deg] ~ -0.225 [deg] の範囲の光線は輪帯 3 0 3 を通って受光素子 5 0 3 に、軸 A X 1 に対して -0.225 [deg] ~ -0.675 [deg] の範囲の光線は輪帯 3 0 4 を通って受光素子 5 0 4 に、軸 A X 1 に対して -0.675 [deg] ~ -1.125 [deg] の範囲の光線は輪帯 3 0 5 を通って受光素子 5 0 5 に入る。

【 0 1 0 7 】

実施例 3

実施例 3 の受光光学系は、多焦点フレネルレンズを除いて実施例 1 の受光光学系と同じである。実施例 3 の多焦点フレネルレンズのそれぞれの輪帯は、フレネル形状とした。こうすることにより、フレネル面側の全体的なサグ量を小さくし、多焦点フレネルレンズを薄くすることができる。

【 0 1 0 8 】

表 7 は、多焦点フレネルレンズ 3 0 0 のそれぞれの輪帯の面形状のデータを示す表である。表 7 における長さの単位はミリメートルである。

【表 7】

	輪帯				
	1	2	3	4	5
R(=1/c)	10.357	10.391	10.340	10.422	10.416
k	-1	-1	-1	-1	-1
dy	-1.5	-0.75	0	0.75	1.5
rmin	0	0.6	1.2	1.8	2.4
rmax	0.6	1.2	1.8	2.4	3

【 0 1 0 9 】

表 7 の最も上の行の数字 1 - 5 は、それぞれの輪帯を示し、それぞれ、図 4 の 3 0 1 - 3 0 5 に相当する。それぞれの輪帯のフレネルレンズのピッチは、0.3mm とした。

【 0 1 1 0 】

多焦点フレネルレンズ 3 0 0 のそれぞれの輪帯の面形状は以下の式で表せる。屈折率は 1.521 とした。

【数 1 7】

$$Z = \frac{c \left(\sqrt{x^2 + (y - dy)^2} \right)^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k)c^2 \left(\sqrt{x^2 + (y - dy)^2} \right)^2}} \quad \left(r_{\min} \leq \sqrt{x^2 + (y - dy)^2} < r_{\max} \right)$$

結像光学系 2 0 0 の像面と光軸 A X 2 との交点をフレネル面の面定義中心とする。上記の式における Z は、フレネル面の面定義中心を基準とした光軸 A X 2 の座標を表し、受光素子側を正とする。光軸 A X 2 に垂直な面内において互いに直交する x 軸及び y 軸を定めた。

【 0 1 1 1 】

表 7 の最も左側の列の R は、上記の式の c の逆数に相当し、面定義中心における曲率半

径を示す。k は、上記の式の k に相当し、コーニック定数を示す。dy は軸 A X 2 からそれぞれの輪帯の面の面定義中心までの y 軸方向距離 [mm] を示す。r m i n は、それぞれの輪帯の内側の境界をなす円周の光軸 A X 2 からの距離を表し、r m a x は、それぞれの輪帯の外側の境界をなす円周の光軸 A X 2 からの距離を表す。

【 0 1 1 2 】

また、受光素子側の面は平面とし、フレネル面の面定義中心から受光素子側の面の面定義中心までの距離 t は 1.5 [mm] とした。

【 0 1 1 3 】

上記の実施例 3 の多焦点フレネルレンズによって実施例 1 の多焦点フレネルレンズと同様の効果が得られる。

【 0 1 1 4 】

図 19 は、実施例 3 の多焦点フレネルレンズを示す図である。

【 0 1 1 5 】

図 20 は、実施例 3 の多焦点フレネルレンズの y z 断面を示す図である。上述のように、それぞれの輪帯のフレネルレンズのピッチは、0.3mm である。また、それぞれの輪帯のフレネル形状は、凸部の頂点がフレネル定義面、すなわちフレネル面の面定義中心を通り軸 A X 2 に垂直な面と一致するように定めた。

【 0 1 1 6 】

実施例 4

実施例 4 の受光光学系は、多焦点フレネルレンズを除いて実施例 1 の受光光学系と同じである。実施例 4 の多焦点フレネルレンズのそれぞれの輪帯は、回折格子で形成されている。

【 0 1 1 7 】

表 8 は、多焦点フレネルレンズ 3 0 0 のそれぞれの輪帯の面形状のデータを示す表である。表 8 における長さの単位はミリメートルである。

【表 8】

	輪帯				
	1	2	3	4	5
B ₂	-144.505	-145.935	-147.527	-146.833	-146.495
dy	-1.5	-0.75	0	0.75	1.5
r _{min}	0	0.6	1.2	1.8	2.4
r _{max}	0.6	1.2	1.8	2.4	3

【 0 1 1 8 】

表 8 の最も上の行の数字 1 - 5 は、それぞれの輪帯を示し、それぞれ、図 4 の 3 0 1 - 3 0 5 に相当する。

【 0 1 1 9 】

多焦点フレネルレンズ 3 0 0 のそれぞれの輪帯の回折格子の位相関数は以下の式で表せる。

【数 1 8】

$$\Phi = \sum_i B_i \left(\sqrt{x^2 + (y - dy)^2} \right)^i$$

上記の式における B_i は、多項式の係数である。光軸 A X 2 に垂直な面内において互いに直交する x 軸及び y 軸を定めた。

【 0 1 2 0 】

表 8 の最も左側の列の dy は軸 A X 2 からそれぞれの輪帯の面の面定義中心までの y 軸方向距離 [mm] を示す。r m i n は、それぞれの輪帯の内側の境界をなす円周の光軸 A X 2 からの距離を表し、r m a x は、それぞれの輪帯の外側の境界をなす円周の光軸 A X 2 から

10

20

30

40

50

の距離を表す。

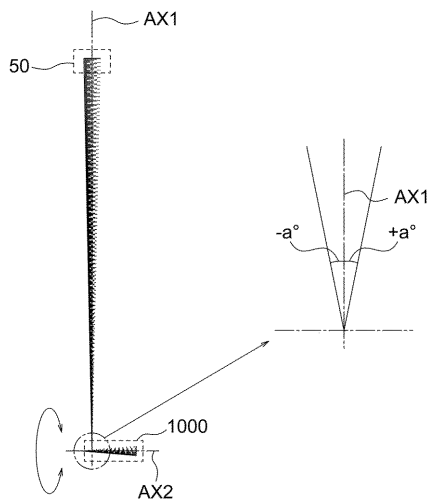
【0121】

また、受光素子側の面は平面とし、フレネル面の面定義中心から受光素子側の面の面定義中心までの距離 t は1.5[mm]とした。

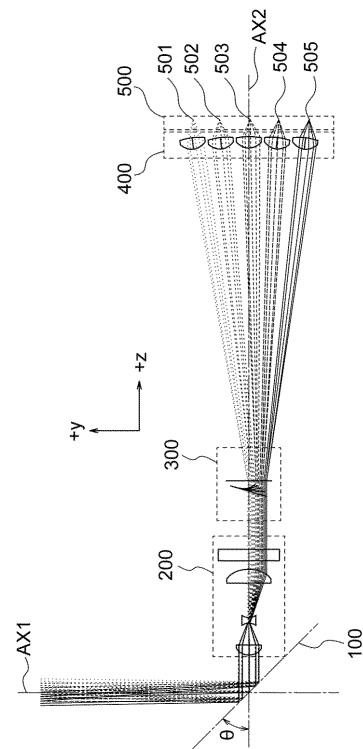
【0122】

上記の実施例4の多焦点フレネルレンズによって実施例1の多焦点フレネルレンズと同様の効果が得られる。

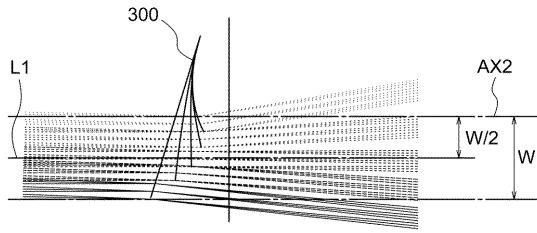
【図1】



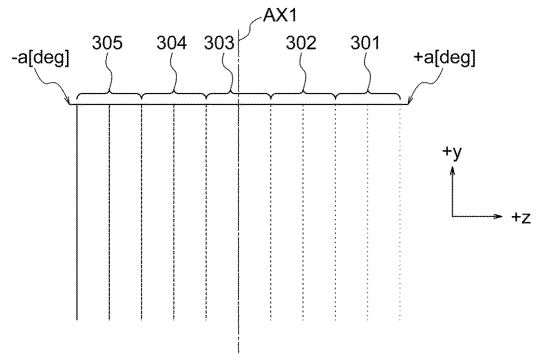
【図2】



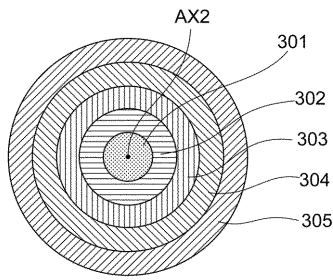
【 図 3 】



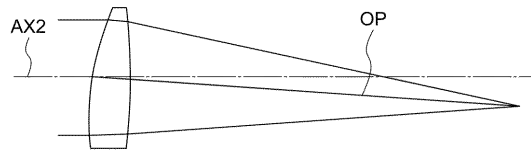
【 図 5 】



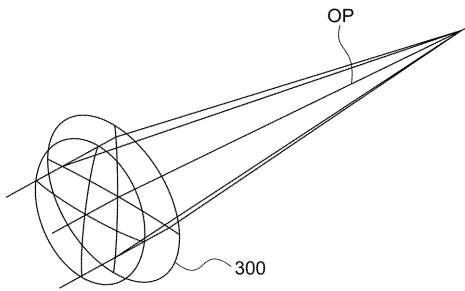
【 図 4 】



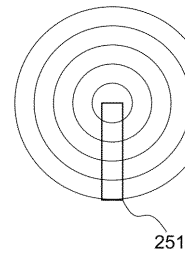
【 図 6 】



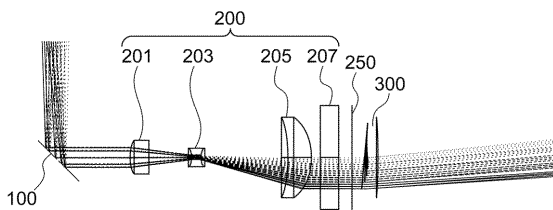
【 図 7 】



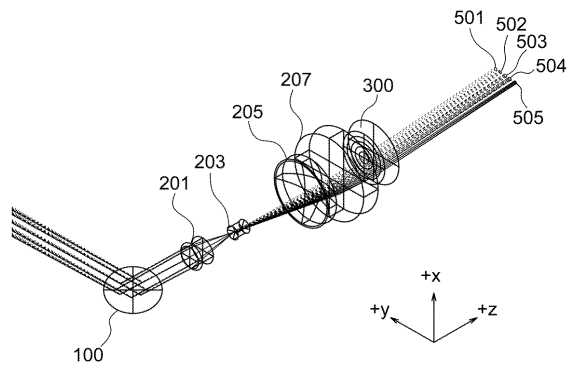
【 図 9 】



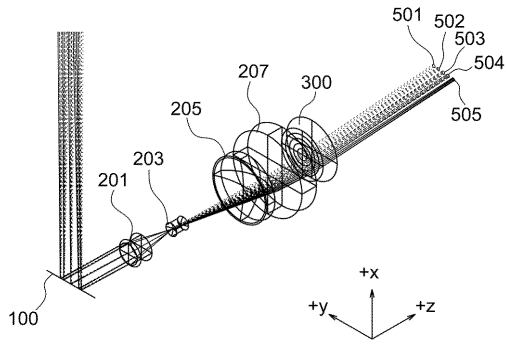
【 図 8 】



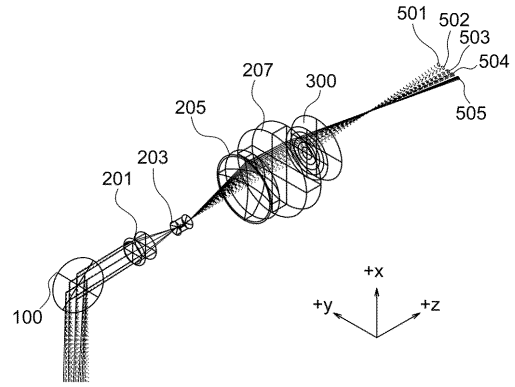
【 図 10 】



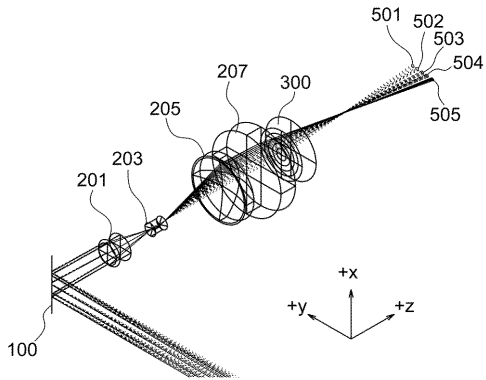
【図11】



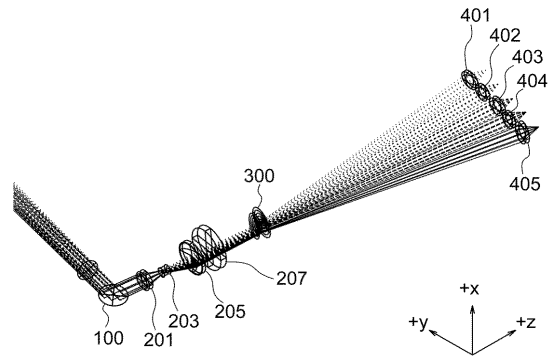
【図13】



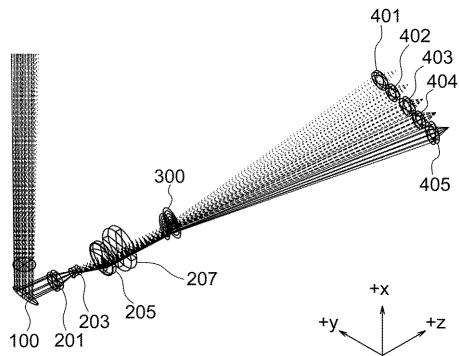
【図12】



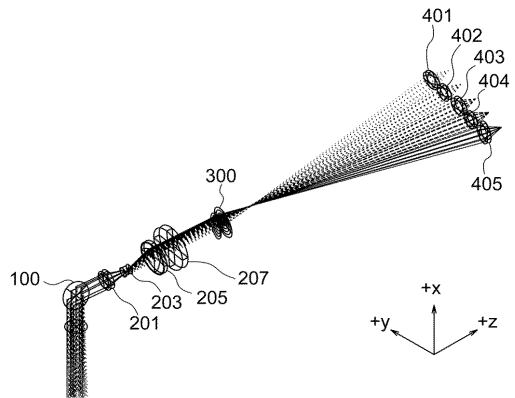
【図14】



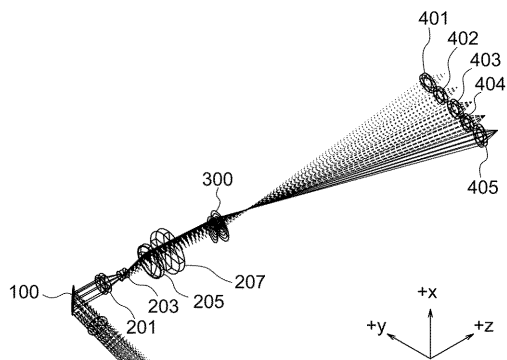
【図15】



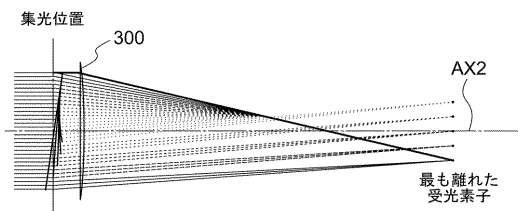
【図17】



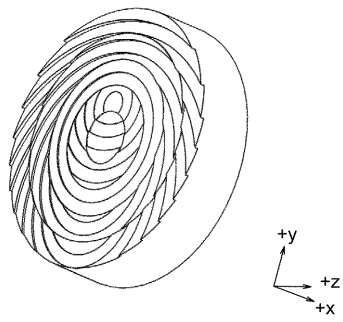
【図16】



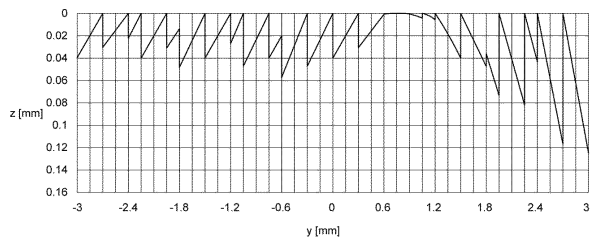
【図18】



【 19 】



【 20 】



フロントページの続き

審査官 中村 説志

- (56)参考文献 特開2010-190759(JP,A)
特開2013-072770(JP,A)
特開平07-270602(JP,A)
特開2013-200367(JP,A)
特開2012-145562(JP,A)
特開平09-021874(JP,A)
特開平08-082677(JP,A)
特開昭61-193136(JP,A)
特開平08-094757(JP,A)
米国特許出願公開第2015/0185313(US,A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G02B 3/08
G01S 7/481
G02B13/00
G02B26/10