

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7707283号
(P7707283)

(45)発行日 令和7年7月14日(2025.7.14)

(24)登録日 令和7年7月4日(2025.7.4)

(51)国際特許分類	F I
G 0 1 S 7/481(2006.01)	G 0 1 S 7/481 A
G 0 2 B 26/10 (2006.01)	G 0 2 B 26/10 1 0 4 Z
G 0 2 B 26/08 (2006.01)	G 0 2 B 26/08 E

請求項の数 11 (全19頁)

(21)出願番号 特願2023-510296(P2023-510296)	(73)特許権者 306037311 富士フイルム株式会社 東京都港区西麻布2丁目26番30号
(86)(22)出願日 令和4年1月13日(2022.1.13)	(74)代理人 110001519 弁理士法人太陽国際特許事務所
(86)国際出願番号 PCT/JP2022/000998	(72)発明者 中林 耕基 神奈川県足柄上郡開成町牛島577番地 富士フイルム株式会社内
(87)国際公開番号 WO2022/209137	審査官 仲野 一秀
(87)国際公開日 令和4年10月6日(2022.10.6)	
審査請求日 令和6年10月4日(2024.10.4)	
(31)優先権主張番号 特願2021-56177(P2021-56177)	
(32)優先日 令和3年3月29日(2021.3.29)	
(33)優先権主張国・地域又は機関 日本国(JP)	

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光学系及び光走査装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

可動ミラーによって偏向された偏向光が入射する光学系であって、
第1軸に対して回転対称であって、前記偏向光を反射して第1反射光として出射する第1反射面を有する第1反射部材と、
前記第1軸に対して回転対称であって、前記第1反射光を反射して第2反射光として出射する第2反射面を有する第2反射部材と、を備え、
前記第1反射面を前記第1軸に平行な面で切断した断面形状は凹状であり、
前記第2反射面を前記第1軸に平行な面で切断した断面形状は凸状であり、
前記第1反射光の光路は、前記第1軸と平行であり、
前記第2反射光の光路は、前記第1軸から外側に向かう方向である、
光学系。

10

【請求項2】

前記可動ミラーは、法線方向が前記第1軸に対して一定の角度範囲で傾斜した状態で回転する、
請求項1に記載の光学系。

【請求項3】

前記偏向光は平行光であって、
前記第1反射光の集光位置と、前記第2反射光の光路から前記第2反射面に仮想的に平行光を入射させた場合において前記第2反射面により反射された反射光の虚像の集光位置

20

とが一致する、

請求項 1 又は請求項 2 に記載の光学系。

【請求項 4】

前記第 1 反射面から前記第 1 反射光の集光位置までの距離を f_1 、前記第 2 反射面から前記虚像の集光位置までの距離を f_2 、前記第 1 反射面と前記第 2 反射面との前記第 1 軸への距離を d とした場合に、

$0.9 \times d \leq f_1 - f_2 \leq 1.1 \times d$ の範囲内である、

請求項 3 に記載の光学系。

【請求項 5】

前記第 1 反射面と前記第 2 反射面とのうちいずれか一方の形状は、双曲面である、

10

請求項 1 から請求項 4 のうちいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 6】

前記第 1 反射面と前記第 2 反射面とのうちいずれか一方の形状は、奇数次非球面である、

請求項 1 から請求項 5 のうちいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 7】

前記第 1 軸に対して回転対称であって前記第 2 反射部材より外側に配置され、前記第 2 反射光を屈折させるプリズムを備える、

請求項 1 から請求項 6 のうちいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 8】

前記プリズムを前記第 1 軸に平行な面で切断した断面形状は三角形である、

20

請求項 7 に記載の光学系。

【請求項 9】

請求項 1 から請求項 8 のうちいずれか 1 項に記載の光学系と、

前記可動ミラーを有する可動ミラー装置と、

前記可動ミラーに入射させる光を発する光源と、

を備える光走査装置。

【請求項 10】

前記可動ミラーには、前記第 1 軸に沿って前記光が入射する、

請求項 9 に記載の光走査装置。

【請求項 11】

30

前記第 2 反射光を走査光として、前記第 1 軸周りの全方位に向けて出射する

請求項 9 又は請求項 10 に記載の光走査装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示の技術は、光学系及び光走査装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、自動車等に L i D A R (Light Detection And Ranging) と呼ばれる光走査装置を搭載して周辺障害物の距離情報を取得することにより、自己の位置を推定し、自動走行制御を可能にするための研究開発等が活発に行われている。そのため、L i D A R の性能の向上が求められており、小型かつ軽量であって、広視野角及び高分解能の走査を可能とする L i D A R の開発が行われている。

40

【0003】

現在製品として販売されている L i D A R には、主に 2 つの方式が存在する。第 1 の方式は、レーザ光源及び受光素子をモータ等の機械的な機構により回転させ、360 度の全方位にレーザ光を走査(以下、全方位走査という。)するメカニカルスキャン方式である。第 2 の方式は、レーザ光を、M E M S (Micro Electro Mechanical Systems) で構成された可動ミラー(M E M S ミラーとも称される。)で偏向することにより走査する M E M S 方式である。M E M S 方式は、メカニカルスキャン方式と比べて、小型かつ軽量で

50

あって、高速な走査が可能である。

【0004】

MEMS方式のLiDARにおいても全方位走査が可能である（例えば、国際公開第2019/167587号公報及び非特許文献（“Resonant biaxial 7-mm MEMS mirror for omnidirectional scanning”, J. Micro/Nanolith. MEMS MOEMS 13(1), 011103 (Jan-Mar 2014)）参照）。国際公開第2019/167587号公報には、MEMS方式のLiDARにおいて、可動ミラーで偏向された光を水平方向に変換するための回転対称な光学系を用いることにより、全方位走査を可能とすることが記載されている。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0005】

MEMS方式のLiDARにおいて、回転対称な光学系を用いて全方位走査を行う場合、可動ミラーで偏向された光は、光学系で反射された後、LiDARから外部へ走査光として出射される。この場合、LiDARから出射される走査光は、光学系における反射によりビーム径が広がる可能性がある。ビーム径が広がると、距離計測の空間的な分解能が低下してしまう。国際公開第2019/167587号公報に記載の光学系は、ビーム径の広がりによる分解能の低下については考慮されていない。

【0006】

また、上記非特許文献に記載の光学系は、MEMSミラーの可動角度（振れ角とも称される。）が 15° に到達した場合においてのみ実現される。しかし、実際には可動角度が 6.5° までしか到達されていないため、上記非特許文献に記載の光学系は実現されていない。このように、特に、MEMSミラーの可動角度が小さいときには、全方位走査が可能な光学系を実現することが困難であることが分かっている。

20

【0007】

本開示の技術は、分解能の低下を抑制することを可能とする光学系及び光走査装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記目的を達成するために、本開示の光学系は、可動ミラーによって偏向された偏向光が入射する光学系であって、第1軸に対して回転対称であって、偏向光を反射して第1反射光として出射する第1反射面を有する第1反射部材と、第1軸に対して回転対称であって、第1反射光を反射して第2反射光として出射する第2反射面を有する第2反射部材と、を備え、第1反射面を第1軸に平行な面で切断した断面形状は凹状であり、第2反射面を第1軸に平行な面で切断した断面形状は凸状であり、第1反射光の光路は、第1軸と平行であり、第2反射光の光路は、第1軸から外側に向かう方向である。

30

【0009】

可動ミラーは、法線方向が第1軸に対して一定の角度範囲で傾斜した状態で回転することが好ましい。

【0010】

偏向光は平行光であって、第1反射光の集光位置と、第2反射光の光路から第2反射面に仮想的に平行光を入射させた場合において第2反射面により反射された反射光の虚像の集光位置とが一致することが好ましい。

40

【0011】

第1反射面から第1反射光の集光位置までの距離を f_1 、第2反射面から虚像の集光位置までの距離を f_2 、第1反射面と第2反射面との第1軸への距離を d とした場合に、 $0.9 \times d \leq f_1 - f_2 \leq 1.1 \times d$ の範囲内であることが好ましい。

【0012】

第1反射面と第2反射面とのうちいずれか一方の形状は、双曲面であることが好ましい。

【0013】

第1反射面と第2反射面とのうちいずれか一方の形状は、奇数次非球面であることが好

50

ましい。

【0014】

第1軸に対して回転対称であって第2反射部材より外側に配置され、第2反射光を屈折させるプリズムを備えることが好ましい。

【0015】

プリズムを第1軸に平行な面で切断した断面形状は三角形であることが好ましい。

【0016】

本開示の光走査装置は、上記のうちいずれかの光学系と、可動ミラーを有する可動ミラー装置と、可動ミラーに入射させる光を発する光源とを備える。

【0017】

可動ミラーには、第1軸に沿って光が入射することが好ましい。

【0018】

第2反射光を走査光として、第1軸周りの全方位に向けて出射することが好ましい。

【発明の効果】

【0019】

本開示の技術によれば、分解能の低下を抑制することを可能とする光学系及び光走査装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】LiDAR装置の概略構成の一例を示すブロック図である。

【図2】可動ミラー装置の概略構成の一例を示す斜視図である。

【図3】可動ミラーが歳差運動する様子を示す図である。

【図4】光学系の一例を示す概略斜視図である。

【図5】光学系の一例を示す概略分解斜視図である。

【図6】光学系の一例を示す概略断面図である。

【図7】第1反射面、第2反射面、及び可動ミラーの位置関係について説明する図である。

【図8】第1実施形態に係る第1反射面及び第2反射面の形状を表すパラメータの値を示す図である。

【図9】第1実施形態に係る走査光の断面形状を表すシミュレーション画像である。

【図10】第2実施形態に係る第1反射面及び第2反射面の形状を表すパラメータの値を示す図である。

【図11】第2実施形態に係る走査光の断面形状を表すシミュレーション画像である。

【図12】第3実施形態に係る光学系の構成を示す概略断面図である。

【図13】第3実施形態に係る第1反射面及び第2反射面の形状を表すパラメータの値を示す図である。

【図14】第3実施形態に係る屈折面、反射面、及び第2反射面の形状を表すパラメータの値を示す図である。

【図15】第4実施形態に係る垂直走査について説明する図である。

【図16】第4実施形態に係る第1反射面及び第2反射面の形状を表すパラメータの値を示す図である。

【図17】第4実施形態に係る走査光の断面形状を表すシミュレーション画像である。

【図18】比較例に係る光学系の構成を示す概略断面図である。

【図19】比較例に係る第1反射面及び第2反射面の形状を表すパラメータの値を示す図である。

【図20】比較例に係る走査光の断面形状を表すシミュレーション画像である。

【発明を実施するための形態】

【0021】

添付図面に従って本開示の技術に係る実施形態の一例について説明する。

【0022】

[第1実施形態]

10

20

30

40

50

図1は、一実施形態に係るLiDAR装置2の概略構成を示す。LiDAR装置2は、対象物3に対して走査光Lsを出射し、その戻り光Lrを受光して対象物3までの距離を計測する。LiDAR装置2は、例えば自動車に搭載され、周辺障害物の距離情報を取得する。LiDAR装置2は、本開示の技術に係る「光走査装置」の一例である。

【0023】

図1に示すように、LiDAR装置2は、光源10、可動ミラー装置11、光学系12、受光部13、及び制御部14を備える。可動ミラー装置11は、可動ミラー20と、可動ミラー20を駆動するための駆動部35とを含む。光学系12は、第1反射部材40、第2反射部材41、及びプリズム42を含む。

【0024】

光源10は、例えば、レーザダイオードであり、レーザ光Lを可動ミラー装置11の可動ミラー20に向けて出射する。レーザ光Lは、例えば、波長905nmの赤外線である。また、レーザ光Lは、例えば、パルス状である。なお、レーザ光Lは、本開示の技術に係る「光源が発する光」の一例である。

【0025】

なお、光源10は、レーザダイオードに限られず、DPSS (Diode Pumped Solid State) レーザ、ファイバーレーザ等の各種構成のレーザを用いることが可能である。また、レーザ光は、上記のレーザ光に限られず、例えば850nmから1550nm帯の近赤外光までの波長を有する一般的にLiDARに用いられているパルスレーザ光を使用することができる。

【0026】

可動ミラー20は、光源10から入射したレーザ光Lを反射することにより、レーザ光Lを偏向する。すなわち、可動ミラー20は、入射したレーザ光Lを反射して偏向光Ldとして出射する。可動ミラー20から出射された偏向光Ldは、光学系12に入射する。光学系12に入射した偏向光Ldは、第1反射部材40及び第2反射部材41で順に反射され、プリズム42により屈折した後、走査光Lsとして、LiDAR装置2の外部に出射される。

【0027】

対象物3からの戻り光Lrは、光学系12に入射する。光学系12に入射した戻り光Lrは、プリズム42により屈折し、第2反射部材41及び第1反射部材40で順に反射された後、可動ミラー20に入射する。可動ミラー20に入射した戻り光Lrは、可動ミラー20により偏向された後、例えば、ハーフミラー50 (図6参照) で反射されることにより、受光部13に導かれる。なお、ハーフミラー50に代えて、レーザ光Lを通過させる貫通孔を有し、かつ戻り光Lrを反射させる反射面を有するミラーを用いてもよい。

【0028】

受光部13は、戻り光Lrを受光し、受光した戻り光Lrの光量に対応する検出信号を生成する。受光部13は、例えば、アバランシェフォトダイオードにより構成されている。受光部13が生成した検出信号は、制御部14に入力される。

【0029】

制御部14は、光源10からのレーザ光Lの出射を制御するとともに、受光部13から入力された検出信号に基づいて、対象物3までの距離を算出する処理を行う。また、制御部14は、可動ミラー20を駆動するための駆動電圧を駆動部35に供給する。

【0030】

図2は、可動ミラー装置11の概略構成を示す。可動ミラー装置11は、SOI (Silicon On Insulator) 基板をエッチング処理することにより形成されたマイクロミラーデバイスである。可動ミラー装置11は、MEMSミラーデバイスとも称される。

【0031】

可動ミラー装置11は、可動ミラー20、第1支持部21、第1可動枠22、第2支持部23、第2可動枠24、接続部25、及び固定枠26を有する。可動ミラー装置11は、いわゆるMEMSスキャナである。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 2 】

可動ミラー 2 0 は、入射光を反射する反射面 2 0 A を有する。反射面 2 0 A は、可動ミラー 2 0 の一面に設けられた、例えば、金 (A u)、アルミニウム (A l)、銀 (A g)、又は銀の合金等の金属薄膜で形成されている。反射面 2 0 A の形状は、例えば、 a_1 軸と a_2 軸との交点を中心とした円形状である。

【 0 0 3 3 】

第 1 支持部 2 1 は、可動ミラー 2 0 の外側に、 a_2 軸を挟んで対向する位置にそれぞれ配置されている。第 1 支持部 2 1 は、 a_1 軸上で可動ミラー 2 0 と接続されており、可動ミラー 2 0 を a_1 軸周りに揺動可能に支持している。本実施形態では、第 1 支持部 2 1 は、 a_1 軸に沿って延伸したトーションバーである。

10

【 0 0 3 4 】

第 1 可動枠 2 2 は、可動ミラー 2 0 を取り囲む矩形形状の枠体であって、 a_1 軸上で第 1 支持部 2 1 を介して可動ミラー 2 0 と接続されている。第 1 可動枠 2 2 の上には、 a_1 軸を挟んで対向する位置にそれぞれ圧電素子 3 0 が形成されている。このように、第 1 可動枠 2 2 上に 2 つの圧電素子 3 0 が形成されることにより、一对の第 1 アクチュエータ 3 1 が構成されている。

【 0 0 3 5 】

一对の第 1 アクチュエータ 3 1 は、 a_1 軸を挟んで対向する位置に配置されている。第 1 アクチュエータ 3 1 は、可動ミラー 2 0 に、 a_1 軸周りの回転トルクを作用させることにより、可動ミラー 2 0 を a_1 軸周りに揺動させる。

20

【 0 0 3 6 】

第 2 支持部 2 3 は、第 1 可動枠 2 2 の外側に、 a_1 軸を挟んで対向する位置にそれぞれ配置されている。第 2 支持部 2 3 は、 a_2 軸上で第 1 可動枠 2 2 と接続されており、第 1 可動枠 2 2 及び可動ミラー 2 0 を、 a_2 軸周りに揺動可能に支持している。本実施形態では、第 2 支持部 2 3 は、 a_2 軸に沿って延伸したトーションバーである。

【 0 0 3 7 】

第 2 可動枠 2 4 は、第 1 可動枠 2 2 を取り囲む矩形形状の枠体であって、 a_2 軸上で第 2 支持部 2 3 を介して第 1 可動枠 2 2 と接続されている。第 2 可動枠 2 4 の上には、 a_2 軸を挟んで対向する位置にそれぞれ圧電素子 3 0 が形成されている。このように、第 2 可動枠 2 4 上に 2 つの圧電素子 3 0 が形成されることにより、一对の第 2 アクチュエータ 3 2 が構成されている。

30

【 0 0 3 8 】

一对の第 2 アクチュエータ 3 2 は、 a_2 軸を挟んで対向する位置に配置されている。第 2 アクチュエータ 3 2 は、可動ミラー 2 0 及び第 1 可動枠 2 2 に、 a_2 軸の周りの回転トルクを作用させることにより、 a_2 軸の周りに可動ミラー 2 0 を揺動させる。

【 0 0 3 9 】

接続部 2 5 は、第 2 可動枠 2 4 の外側に、 a_1 軸を挟んで対向する位置にそれぞれ配置されている。接続部 2 5 は、 a_2 軸上で第 2 可動枠 2 4 と接続されている。

【 0 0 4 0 】

固定枠 2 6 は、第 2 可動枠 2 4 を取り囲む矩形形状の枠体であって、 a_2 軸上で接続部 2 5 を介して第 2 可動枠 2 4 と接続されている。

40

【 0 0 4 1 】

以下の説明では、可動ミラー 2 0 が傾斜していない状態における反射面 2 0 A 法線方向を Z 軸方向とし、Z 軸方向に直交する一方向を X 軸方向とし、Z 軸方向及び X 軸方向に直交する方向を Y 軸方向とする。

【 0 0 4 2 】

一对の第 1 アクチュエータ 3 1 及び一对の第 2 アクチュエータ 3 2 が、上述の駆動部 3 5 に対応する。上述の制御部 1 4 は、一对の第 1 アクチュエータ 3 1 と、一对の第 2 アクチュエータ 3 2 とに、それぞれ位相の異なる正弦波の駆動電圧を印加することにより、可動ミラー 2 0 を歳差運動させる。

50

【 0 0 4 3 】

図 3 は、可動ミラー 2 0 が歳差運動する様子を示す。歳差運動とは、可動ミラー 2 0 の反射面 2 0 A の法線 N が円を描くように振れる運動である。すなわち、可動ミラー 2 0 は、法線方向が Z 軸 a_z に対して一定の角度範囲で傾斜した状態で回転する。なお、Z 軸 a_z は、Z 軸方向に平行であって、かつ可動ミラー 2 0 の中心を通る軸である。Z 軸 a_z は、本開示の技術に係る「第 1 軸」の一例である。

【 0 0 4 4 】

光源 1 0 から出射されたレーザ光 L は、Z 軸 a_z に沿って可動ミラー 2 0 の中心に入射する。図 3 に示すように歳差運動を行っている可動ミラー 2 0 により偏向された偏向光 L d は円を描くように可動ミラー 2 0 から出射される。

10

【 0 0 4 5 】

図 4 ~ 図 6 は、光学系 1 2 の構成を示す。図 4 は、光学系 1 2 の概略斜視図である。図 5 は、光学系 1 2 の概略分解斜視図である。図 6 は、光学系 1 2 を Z 軸 a_z に沿って切断した概略断面図である。光学系 1 2 を構成する第 1 反射部材 4 0、第 2 反射部材 4 1、及びプリズム 4 2 は、いずれも Z 軸 a_z に対して回転対称な形状である。第 1 反射部材 4 0 及び第 2 反射部材 4 1 は、光源 1 0 から出射されたレーザ光 L の進行方向に沿って、第 1 反射部材 4 0、第 2 反射部材 4 1 の順に配置されている。

【 0 0 4 6 】

第 1 反射部材 4 0 は、外形がほぼ円盤状であって、中央にレーザ光 L を通過させる孔 4 0 A が形成されている。第 1 反射部材 4 0 の第 2 反射部材 4 1 側には、第 1 反射面 4 0 B が形成されている。第 1 反射面 4 0 B は、Z 軸 a_z に対して回転対称である。また、第 1 反射面 4 0 B を Z 軸 a_z に平行な面で切断した断面形状は凹状である。

20

【 0 0 4 7 】

第 1 反射面 4 0 B は、可動ミラー 2 0 から出射された偏向光 L d が入射する。第 1 反射面 4 0 B は、入射した偏向光 L d を反射して第 1 反射光 L h 1 として出射する。第 1 反射面 4 0 B から出射される第 1 反射光 L h 1 の光路は、Z 軸 a_z と平行である。

【 0 0 4 8 】

第 2 反射部材 4 1 の中央には、レーザ光 L 及び偏向光 L d を通過させる孔 4 1 A が形成されている。第 2 反射部材 4 1 の第 1 反射部材 4 0 側には、第 2 反射面 4 1 B が形成されている。第 2 反射面 4 1 B は、Z 軸 a_z に対して回転対称である。また、第 2 反射面 4 1 B を Z 軸 a_z に平行な面で切断した断面形状は凸状である。

30

【 0 0 4 9 】

第 2 反射面 4 1 B には、第 1 反射面 4 0 B から第 1 反射光 L h 1 が入射する。第 2 反射面 4 1 B は、入射した第 1 反射光 L h 1 を反射して第 2 反射光 L h 2 として出射する。第 2 反射面 4 1 B から出射される第 2 反射光 L h 2 の光路は、Z 軸 a_z から外側に向かう方向である。なお、Z 軸 a_z から外側に向かう方向とは、Z 軸 a_z を中心とした円の半径方向である。

【 0 0 5 0 】

プリズム 4 2 には、中央に第 2 反射部材 4 1 を収容するための空洞 4 2 A が形成されている。プリズム 4 2 は、Z 軸 a_z に対して回転対称であって、第 2 反射部材 4 1 より外側に配置されている。また、プリズム 4 2 を Z 軸 a_z に平行な面で切断した断面形状は三角形である。プリズム 4 2 には、第 2 反射面 4 1 B から第 2 反射光 L h 2 が入射する。プリズム 4 2 は、第 2 反射面 4 1 B から入射した第 2 反射光 L h 2 を屈折させ、走査光 L s として出射する。走査光 L s の出射方向は、例えば、Z 軸 a_z に直交する方向である。すなわち、走査光 L s は、Z 軸 a_z 周りの全方位に向けて出射される。

40

【 0 0 5 1 】

図 6 に示すように、光源 1 0 から出射されたレーザ光 L の光路上には、ハーフミラー 5 0 が配置されている。ハーフミラー 5 0 は、光源 1 0 からのレーザ光 L を透過させ可動ミラー 2 0 に入射させるとともに、可動ミラー 2 0 で反射された戻り光 L r を反射して受光部 1 3 に入射させる。

50

【 0 0 5 2 】

光源 1 0 から出射されたレーザ光 L は、ハーフミラー 5 0 を透過した後、第 1 反射部材 4 0 の孔 4 0 A、及び第 2 反射部材 4 1 の孔 4 1 A を通過して可動ミラー 2 0 に入射する。可動ミラー 2 0 に入射したレーザ光 L は、可動ミラー 2 0 で反射されることにより、可動ミラー 2 0 から偏向光 L d として出射される。可動ミラー 2 0 から出射された偏向光 L d は、第 2 反射部材 4 1 の孔 4 1 A を通過して第 1 反射部材 4 0 の第 1 反射面 4 0 B に入射する。

【 0 0 5 3 】

第 1 反射面 4 0 B に入射した偏向光 L d は、第 1 反射面 4 0 B で反射されることにより、第 1 反射面 4 0 B から第 1 反射光 L h 1 として出射される。第 1 反射面 4 0 B から出射された第 1 反射光 L h 1 は、Z 軸 a_z に沿って進行して第 2 反射部材 4 1 の第 2 反射面 4 1 B に入射する。

10

【 0 0 5 4 】

第 2 反射面 4 1 B に入射した第 1 反射光 L h 1 は、第 2 反射面 4 1 B で反射されることにより、第 2 反射面 4 1 B から第 2 反射光 L h 2 として出射される。第 2 反射面 4 1 B から出射された第 2 反射光 L h 2 は、Z 軸 a_z から外側に伸びる方向に進行してプリズム 4 2 に入射する。プリズム 4 2 に入射した第 2 反射光 L h 2 は、屈折した後、走査光 L s としてプリズム 4 2 から対象物 3 (図 1 参照) に向けて出射される。

【 0 0 5 5 】

対象物 3 からの戻り光 L r は、プリズム 4 2 に入射し、偏向光 L d、第 1 反射光 L h 1、及び第 2 反射光 L h 2 の光路を逆方向に進行して可動ミラー 2 0 に入射する。戻り光 L r は、可動ミラー 2 0 により反射された後、第 1 反射部材 4 0 の孔 4 0 A、及び第 2 反射部材 4 1 の孔 4 1 A を通過してハーフミラー 5 0 に入射する。ハーフミラー 5 0 に入射した戻り光 L r は、一部がハーフミラー 5 0 により反射されて受光部 1 3 に入射する。

20

【 0 0 5 6 】

第 1 反射面 4 0 B 及び第 2 反射面 4 1 B は、例えば、金 (Au)、アルミニウム (Al)、又は銀 (Ag) 化合物などの金属膜により形成されている。なお、第 1 反射面 4 0 B 及び第 2 反射面 4 1 B は、多層反射膜により形成されていてもよい。

【 0 0 5 7 】

プリズム 4 2 は、アクリル、ポリカーボネート、ゼオネクスなどの光学樹脂により形成されている。

30

【 0 0 5 8 】

図 7 は、第 1 反射面 4 0 B、第 2 反射面 4 1 B、及び可動ミラー 2 0 の位置関係について説明する。図 7 において、h 1 は、第 1 反射面 4 0 B における偏向光 L d の入射位置から Z 軸 a_z までの距離を表している。h 2 は、第 2 反射面 4 1 B における第 1 反射光 L h 1 の入射位置から Z 軸 a_z までの距離を表している。d 1 は、第 1 反射面 4 0 B における偏向光 L d の入射位置から可動ミラー 2 0 までの Z 軸方向に関する距離を表している。

【 0 0 5 9 】

図 7 に示す構成においてレーザ光 L の拡がり角を小さくする条件について、Z 軸 a_z に直交する方向 (以下、水平方向という。) と、Z 軸 a_z に平行な方向 (以下、垂直方向という。) とに分けて説明する。レーザ光 L の拡がり角を小さくする条件を水平方向と垂直方向とに分けて説明するのは、レーザ光 L の光束の断面方向によって第 1 反射面 4 0 B 及び第 2 反射面 4 1 B の曲率が異なるからである。

40

【 0 0 6 0 】

まず、水平方向に対してレーザ光 L の拡がり角を小さくする条件について説明する。第 1 反射面 4 0 B の曲率と、距離 d 1 の値とは、 $h_1 = h_2$ の関係を満たすように決定されている。h 1 = h 2 が満たされるように、第 1 反射面 4 0 B の曲率と距離 d 1 の値とを決定することにより、第 1 反射面 4 0 B における水平方向に対するレーザ光 L の収束角度と、第 2 反射面 4 1 B におけるレーザ光 L の水平方向に対する広がり角度とが同じになる。このように、レーザ光 L の収束と広がりとが相殺することにより、水平方向に対するレー

50

ザ光 L は平行光となる。なお、少なくとも 1 つの振れ角 θ において $h_1 = h_2$ が満たされればよい。また、 h_1 と h_2 は、完全に同一の値でなくてもよく、実質的に同一であればよい。

【 0 0 6 1 】

次に、垂直方向に対してレーザー光 L の拡がり角を小さくする条件について説明する。図 7 に示すように、可動ミラー 2 0 に入射するレーザー光 L を平行な光束（すなわち平行光）とすると、偏向光 L d は平行光として第 1 反射面 4 0 B に入射する。第 1 反射面 4 0 B は凹面であるので、第 1 反射面 4 0 B から出射される第 1 反射光 L h 1 は、収束光となる。第 2 反射面 4 1 B は凸面であるので、第 2 反射面 4 1 B は、第 1 反射光 L h 1 を反射させる際に発散させる。第 2 反射面 4 1 B は、第 2 反射光 L h 2 はほぼ平行光となるように曲率が決定されている。

10

【 0 0 6 2 】

図 7 において、P は、第 2 反射面 4 1 B が存在しない場合における第 1 反射光 L h 1 の集光位置を示している。第 2 反射光 L h 2 の光路から第 2 反射面 4 1 B に仮想的に平行光を入射させた場合において第 2 反射面 4 1 B により反射された反射光の虚像の集光位置は、第 1 反射光 L h 1 の集光位置 P と一致することが好ましい。この虚像の集光位置と、第 1 反射光 L h 1 の集光位置 P とが一致することにより、第 2 反射光 L h 2 が平行光となる。

【 0 0 6 3 】

換言すると、 $f_1 = f_2 + d_2$ の関係を満たすように第 2 反射面 4 1 B の曲率が決定されている。ここで、 f_1 は、第 1 反射面 4 0 B における偏向光 L d の入射位置から、第 1 反射光 L h 1 の集光位置までの距離である。 f_2 は、第 2 反射面 4 1 B における第 1 反射光 L h 1 の入射位置から、上記虚像の集光位置までの距離である。 d_2 は、第 1 反射面 4 0 B における偏向光 L d の入射位置から、第 2 反射面 4 1 B における第 1 反射光 L h 1 の入射位置までの距離である。なお、少なくとも 1 つの振れ角 θ において $f_1 = f_2 + d_2$ の関係が満たされていけばよい。

20

【 0 0 6 4 】

また、虚像の集光位置と第 1 反射光 L h 1 の集光位置 P とは、完全に一致していなくてもよく、実質的に一致していればよい。例えば、 f_1 と f_2 との差は、 $0.9 \times d_2 \leq f_1 - f_2 \leq 1.1 \times d_2$ の範囲内であればよい。これは、曲面への斜入射により非点収差が発生し、水平方向と垂直方向の焦点距離が若干ずれてしまうためである。このずれ量は、設計の経験上 1 0 % 程度であるので、 f_1 と f_2 との差が上記範囲内であれば、虚像の集光位置と第 1 反射光 L h 1 の集光位置 P とが実質的に一致していると言える。なお、 $f_1 > f_2$ であり、「 $f_1 - f_2$ 」は正の値となる。

30

【 0 0 6 5 】

第 1 反射面 4 0 B 及び第 2 反射面 4 1 B は、いずれも非球面である。一般に、反射面の形状は、下式 (1) の非球面定義式で表される。

【 0 0 6 6 】

【 数 1 】

$$z = \left(\frac{1}{R}\right) \frac{h^2}{1 + \sqrt{1 - (1+K)\left(\frac{1}{R}\right)^2 h^2}} + A_1 h + A_2 h^2 + A_3 h^3 + \dots \quad (1)$$

40

【 0 0 6 7 】

z は Z 軸方向に関する座標を表す。 h は Z 軸 a_z からの距離を表す。 R は曲率半径である。 K はコーニック係数である。 $A_1 \sim A_3$ は非球面係数である。 R 、 K 、及び $A_1 \sim A_3$ は、反射面の形状を決定するパラメータである。なお、本開示では、四次以上の非球面係数は全て 0 とする。

【 0 0 6 8 】

$K = 0$ の場合には、反射面は球面となる。 $0 > K > -1$ の場合には、反射面は楕円面と

50

なる。 $K = -1$ の場合には、反射面は放物面となる。 $-1 > K$ の場合には、反射面は双曲面となる。

【 0 0 6 9 】

本実施形態では、第 1 反射面 4 0 B 及び第 2 反射面 4 1 B を共に双曲面とする。第 1 反射面 4 0 B 及び第 2 反射面 4 1 B の形状を表すパラメータは、図 8 に示す値に設定されている。また、上述の d_1 及び d_2 は、図 8 に示す値に設定されている。

【 0 0 7 0 】

図 9 は、図 8 に示す条件に基づいて構成される光学系 1 2 を用い、 $\theta = 6.5^\circ$ とした場合に、光学系 1 2 から出射される走査光 L s の断面形状の一例を示す。図 9 は、光学系 1 2 から約 1 m 離れた場所における走査光 L s の断面形状を表すシミュレーション画像である。図 9 に示す画像は、垂直方向が Z 軸方向に平行であり、水平方向が Z 軸方向に直交する方向に平行である。

10

【 0 0 7 1 】

本シミュレーションにおいて、図 7 に示す h_1 及び h_2 のシミュレーション値は、 $h_1 = 10.3 \text{ mm}$ 、 $h_2 = 10.4 \text{ mm}$ となった。すなわち、 h_1 及び h_2 として、ほぼ等しい値が得られた。また、図 7 に示す f_1 及び f_2 のシミュレーション値は、 $f_1 = 58 \text{ mm}$ 、 $f_2 = 23 \text{ mm}$ となった。すなわち、 f_1 と f_2 との差は、 35 mm であり、図 8 に示す d_2 の値 (33 mm) とほぼ等しい値となった。

【 0 0 7 2 】

図 9 に示す走査光 L s のビーム径 (半値全幅) は、垂直方向及び水平方向ともに、約 1.6 mm である。すなわち、走査光 L s の広がり角 θ は、 $\theta = \tan^{-1}(1.6 / 1000) = 0.09^\circ$ と算出される。

20

【 0 0 7 3 】

[第 2 実施形態]

上記第 1 実施形態では、第 1 反射面 4 0 B 及び第 2 反射面 4 1 B をともに双曲面としているが、本実施形態では、第 1 反射面 4 0 B を双曲面とし、第 2 反射面 4 1 B を放物面とする。第 1 反射面 4 0 B 及び第 2 反射面 4 1 B の形状を表すパラメータは、図 10 に示す値に設定されている。また、上述の d_1 及び d_2 は、図 10 に示す値に設定されている。

【 0 0 7 4 】

図 11 は、図 10 に示す条件に基づいて構成される光学系 1 2 を用い、 $\theta = 6.5^\circ$ とした場合に、光学系 1 2 から出射される走査光 L s の断面形状の一例を示す。図 11 は、光学系 1 2 から約 1 m 離れた場所における走査光 L s の断面形状を表すシミュレーション画像である。図 11 に示す画像は、垂直方向が Z 軸方向に平行であり、水平方向が Z 軸方向に直交する方向に平行である。

30

【 0 0 7 5 】

本シミュレーションにおいて、 h_1 及び h_2 のシミュレーション値は、 $h_1 = 9.2 \text{ mm}$ 、 $h_2 = 8.7 \text{ mm}$ となった。すなわち、 h_1 及び h_2 として、ほぼ等しい値が得られた。また、 f_1 及び f_2 のシミュレーション値は、 $f_1 = 44 \text{ mm}$ 、 $f_2 = 16 \text{ mm}$ となった。すなわち、 f_1 と f_2 との差は、 28 mm であり、図 10 に示す d_2 の値 (29 mm) とほぼ等しい値となった。

40

【 0 0 7 6 】

図 11 に示す走査光 L s のビーム径 (半値全幅) は、第 1 実施形態と同様に、垂直方向及び水平方向ともに、約 1.6 mm である。すなわち、走査光 L s の広がり角 θ は、 $\theta = \tan^{-1}(1.6 / 1000) = 0.09^\circ$ と算出される。

【 0 0 7 7 】

[第 3 実施形態]

第 3 実施形態では、第 1 反射部材 4 0 としてマンギンミラーと呼ばれる裏面型凹面ミラーを用いる。第 3 実施形態に係る光学系 1 2 の構成は、第 1 反射部材 4 0 を裏面型凹面ミラーとすること以外は、第 1 実施形態に係る光学系 1 2 と同様である。

【 0 0 7 8 】

50

図 1 2 に示すように、本実施形態の第 1 反射部材 4 0 は、Z 軸 a_z に対して回転対称な形状を有する屈折面 4 0 C 及び反射面 4 0 D を有する。屈折面 4 0 C 及び反射面 4 0 D を Z 軸 a_z に平行な面で切断した断面形状は、いずれも凹状である。反射面 4 0 D は、本開示の技術に係る「第 1 反射面」の一例である。すなわち、反射面 4 0 D は、第 1 実施形態の第 1 反射面 4 0 B に対応する。

【 0 0 7 9 】

本実施形態では、可動ミラー 2 0 から出射された偏向光 L_d は、第 1 反射部材 4 0 に入射し、屈折面 4 0 C で屈折した後、反射面 4 0 D に入射する。反射面 4 0 D が偏向光 L_d を反射することにより反射面 4 0 D から出射される第 1 反射光 L_{h1} は、屈折面 4 0 C で屈折した後、第 2 反射部材 4 1 の第 2 反射面 4 1 B に入射する。

10

【 0 0 8 0 】

本実施形態では、屈折面 4 0 C を双曲面とし、反射面 4 0 D を放物面とし、第 2 反射面 4 1 B を楕円面とする。屈折面 4 0 C、反射面 4 0 D、及び第 2 反射面 4 1 B の形状を表すパラメータは、図 1 3 に示す値に設定されている。また、上述の d_1 及び d_2 は、図 1 3 に示す値に設定されている。

【 0 0 8 1 】

図 1 4 は、図 1 3 に示す条件に基づいて構成される光学系 1 2 を用い、 $\theta = 6.5^\circ$ とした場合に、光学系 1 2 から出射される走査光 L_s の断面形状の一例を示す。図 1 4 は、光学系 1 2 から約 1 m 離れた場所における走査光 L_s の断面形状を表すシミュレーション画像である。図 1 4 に示す画像は、垂直方向が Z 軸方向に平行であり、水平方向が Z 軸方向に直交する方向に平行である。

20

【 0 0 8 2 】

本シミュレーションにおいて、 h_1 及び h_2 のシミュレーション値は、 $h_1 = 10.4$ mm、 $h_2 = 9.4$ mm となった。すなわち、 h_1 及び h_2 として、ほぼ等しい値が得られた。また、 f_1 及び f_2 のシミュレーション値は、 $f_1 = 48$ mm、 $f_2 = 15$ mm となった。すなわち、 f_1 と f_2 との差は、33 mm であり、図 1 3 に示す d_2 の値 (35 mm) とほぼ等しい値となった。

【 0 0 8 3 】

図 1 4 に示す走査光 L_s のビーム径 (半値全幅) は、第 1 実施形態と同様に、垂直方向及び水平方向ともに、約 1.6 mm である。すなわち、走査光 L_s の広がり角 θ は、 $\theta = \tan^{-1}(1.6 / 1000) = 0.09^\circ$ と算出される。

30

【 0 0 8 4 】

[第 4 実施形態]

上記各実施形態では、可動ミラー 2 0 の振れ角 θ を固定しているが、可動ミラー 2 0 を歳差運動させている間に振れ角 θ を偏向することにより、走査光 L_s を、Z 軸回りの周方向に走査するとともに、Z 軸方向に走査 (垂直走査) することも可能である。図 1 5 に示すように、本実施形態では、光学系 1 2 から出射される走査光 L_s が、YZ 面に対して $+15^\circ$ をなす方向と、YZ 面に対して -15° をなす方向との間で、走査光 L_s を Z 軸方向に走査する。

【 0 0 8 5 】

40

本実施形態では、第 1 実施形態と同様に、第 1 反射面 4 0 B 及び第 2 反射面 4 1 B を共に双曲面とする。第 1 反射面 4 0 B 及び第 2 反射面 4 1 B の形状を表すパラメータは、図 1 6 に示す値に設定されている。また、上述の d_1 及び d_2 は、図 1 6 に示す値に設定されている。

【 0 0 8 6 】

図 1 7 は、図 1 6 に示す条件に基づいて構成される光学系 1 2 を用い、振れ角 θ を変化させ場合に、光学系 1 2 から出射される走査光 L_s の断面形状の一例を示す。図 1 7 (A) は、YZ 面と走査光 L_s とのなす角が $+15^\circ$ となるように振れ角 θ を設定した場合における走査光 L_s の断面形状を表すシミュレーション画像である。図 1 7 (B) は、YZ 面と走査光 L_s とのなす角が 0° となるように振れ角 θ を設定した場合における走査光 L

50

s の断面形状を表すシミュレーション画像である。図 17 (C) は、YZ 面と走査光 L s とのなす角が -15° となるように振れ角 θ を設定した場合における走査光 L s の断面形状を表すシミュレーション画像である。図 17 (A) ~ (C) のいずれの画像も、光学系 12 から約 1 m 離れた場所における走査光 L s の断面形状を表すシミュレーション画像である。

【0087】

図 17 (A) に示す走査光 L s のビーム径 (半値全幅) は、垂直方向に約 3 mm であり、水平方向に約 5 mm である。すなわち、走査光 L s の垂直方向への広がり角 θ_v は、 $\theta_v = \tan^{-1}(3/1000) = 0.17^\circ$ と算出され、走査光 L s の水平方向への広がり角 θ_h は、 $\theta_h = \tan^{-1}(5/1000) = 0.29^\circ$ と算出される。

10

【0088】

図 17 (B) に示す走査光 L s のビーム径 (半値全幅) は、垂直方向及び水平方向ともに、約 10 mm である。すなわち、走査光 L s の広がり角 θ は、 $\theta = \tan^{-1}(10/1000) = 0.57^\circ$ と算出される。

【0089】

図 17 (C) に示す走査光 L s のビーム径 (半値全幅) は、垂直方向に約 5 mm であり、水平方向に約 20 mm である。すなわち、走査光 L s の垂直方向への広がり角 θ_v は、 $\theta_v = \tan^{-1}(5/1000) = 0.29^\circ$ と算出され、走査光 L s の水平方向への広がり角 θ_h は、 $\theta_h = \tan^{-1}(20/1000) = 1.1^\circ$ と算出される。

【0090】

20

[比較例]

次に、比較例について説明する。図 18 は、比較例に係る光学系 12 の構成を示す。本比較例では、第 1 反射面 40 B は平面であり、第 2 反射面 41 B は円錐面である。すなわち、第 1 反射面 40 B 及び第 2 反射面 41 B を Z 軸 a_z に平行な面で切断した断面形状は、いずれも直線状である。本比較例では、第 1 反射面 40 B 及び第 2 反射面 41 B の形状を表すパラメータは、図 19 に示す値に設定されている。また、上述の d_1 は、図 19 に示す値に設定されている。

【0091】

本比較例では、第 1 反射面 40 B が平面であるので、第 1 反射面 40 B から出射される第 1 反射光 L h 1 の光路は、Z 軸 a_z と平行ではない。すなわち、上記各実施形態で説明した $h_1 = h_2$ の関係、及び $f_1 = f_2 + d_2$ の関係は満たされない。

30

【0092】

図 20 は、図 19 に示す条件に基づいて構成される光学系 12 を用い、 $\theta = 6.5^\circ$ とした場合に、光学系 12 から出射される走査光 L s の断面形状の一例を示す。図 14 は、光学系 12 から約 1 m 離れた場所における走査光 L s の断面形状を表すシミュレーション画像である。図 20 に示す画像は、垂直方向が Z 軸方向に平行であり、水平方向が Z 軸方向に直交する方向に平行である。

【0093】

図 20 に示す走査光 L s のビーム径 (半値全幅) は、垂直方向に約 8 mm であり、水平方向に約 100 mm である。すなわち、走査光 L s の垂直方向への広がり角 θ_v は、 $\theta_v = \tan^{-1}(8/1000) = 0.46^\circ$ と算出され、走査光 L s の水平方向への広がり角 θ_h は、 $\theta_h = \tan^{-1}(100/1000) = 5.7^\circ$ と算出される。

40

【0094】

比較例では、第 1 反射面 40 B 及び第 2 反射面 41 B の断面形状が直線状であるため、ビーム径に広がりが生じる。特に、比較例では、振れ角 θ の依存性が大きく、振れ角 θ が小さい場合に水平方向へのビーム径の広がりが大きくなる。これに対して、上記各実施形態では、第 1 反射面 40 B の断面形状が凹状であり、第 2 反射面 41 B の断面形状が凸状であるので、ビーム径の広がりが抑制される。すなわち、本開示の技術によれば、ビーム径の広がりによる距離計測の空間的な分解能低下を抑制することができる。

【0095】

50

なお、上記各実施形態では、第1反射部材の第1反射面を双曲面又は放物面とし、第2反射部材の第2反射面を双曲面、放物面、又は楕円面としている。また、第1反射面と第2反射面とのうちいずれか一方又は両方の形状は、奇数次非球面であることが好ましい。奇数次非球面とは、上式(1)のように奇数次の非球面係数を含んで表される曲面を意味する。

【0096】

また、上記各実施形態では、可動ミラー20へのレーザー光Lの入射方向はZ軸方向であるが、レーザー光Lの入射方向はZ軸方向には限定されず、Z軸方向に交差する方向(例えば、Z軸方向に直交する方向)であってもよい。

【0097】

また、上各実施形態の光学系12の一部を切り出すことにより、レーザー光Lの走査範囲を、例えば270°又は180°としたLiDAR装置を構成することも可能である。

【0098】

本明細書に記載された全ての文献、特許出願および技術規格は、個々の文献、特許出願および技術規格が参照により取り込まれることが具体的かつ個々に記された場合と同程度に、本明細書中に参照により取り込まれる。

10

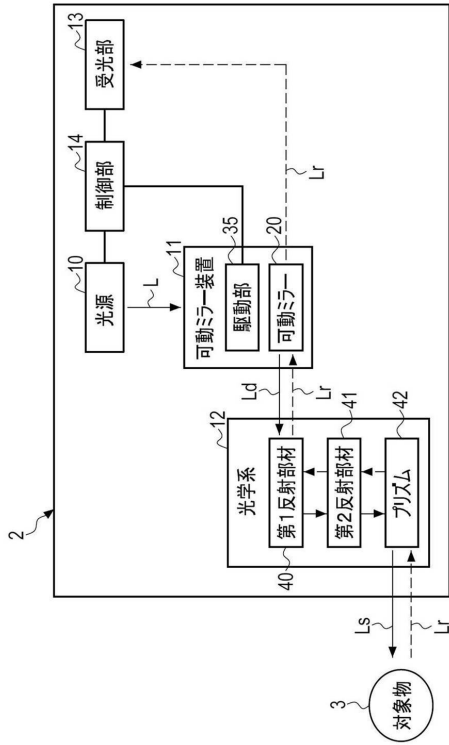
20

30

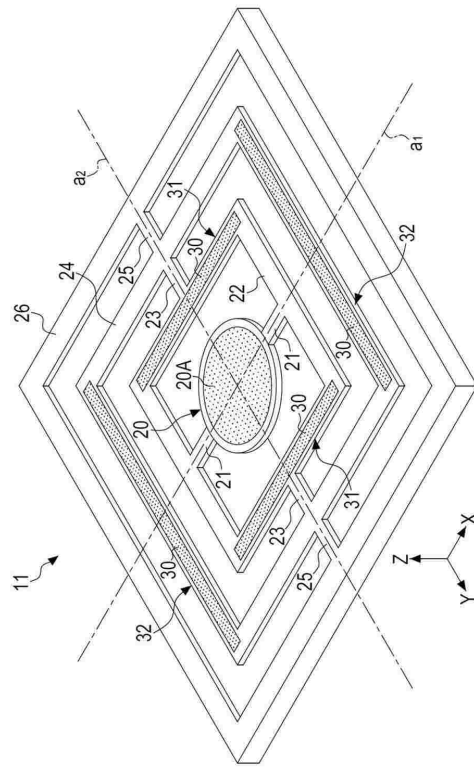
40

50

【図面】
【図 1】



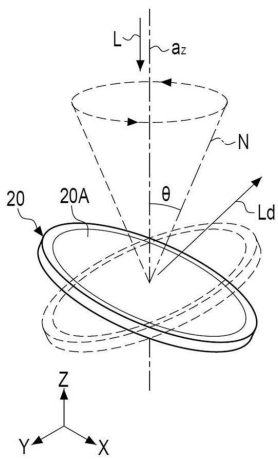
【図 2】



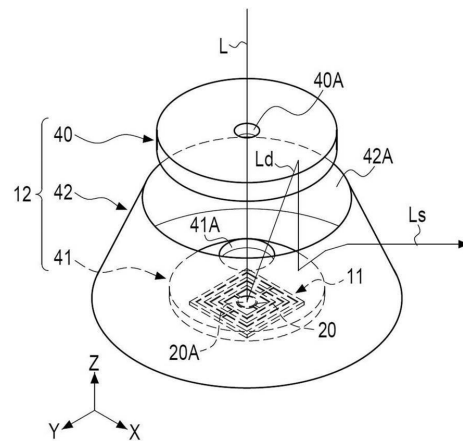
10

20

【図 3】



【図 4】

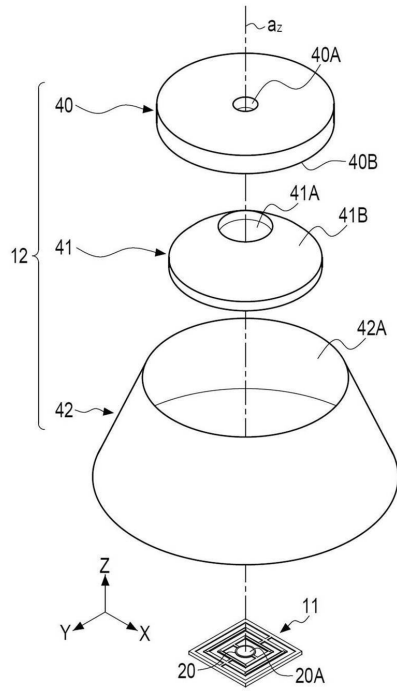


30

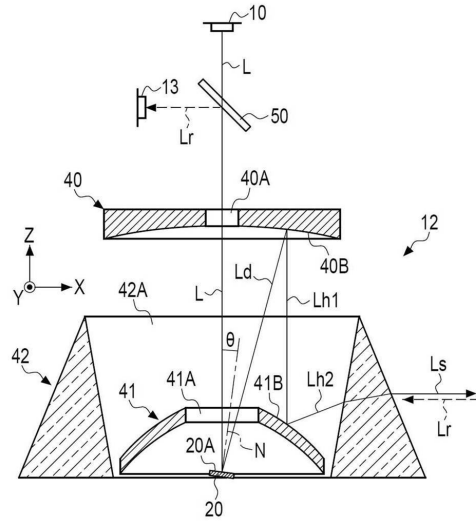
40

50

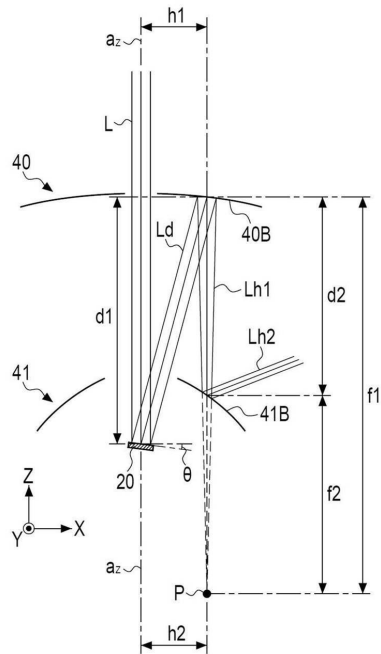
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】

	第1反射面 (双曲面)	第2反射面 (双曲面)
R	80	22
K	-20	-2
A ₁	0	0.3
A ₂	0	0
A ₃	0	0
間隔 (mm)		
d1	46	
d2	33	

10

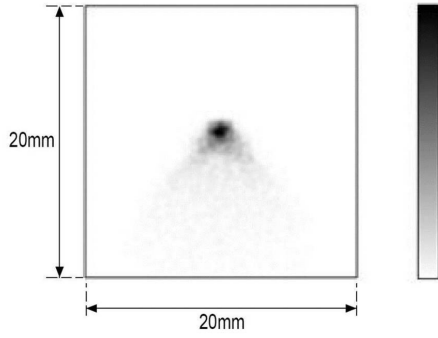
20

30

40

50

【 図 9 】

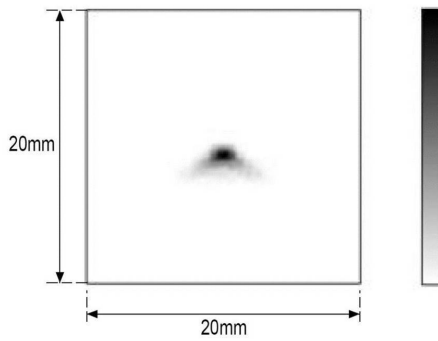


【 図 1 0 】

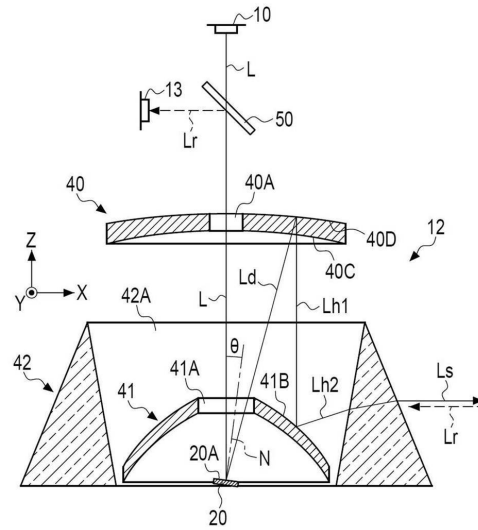
	第1反射面 (双曲面)	第2反射面 (放物面)
R	80	20
K	-5	-1
A ₁	0.01	0.24
A ₂	0	0
A ₃	0	0
間隔 (mm)		
d1	41	
d2	29	

10

【 図 1 1 】



【 図 1 2 】

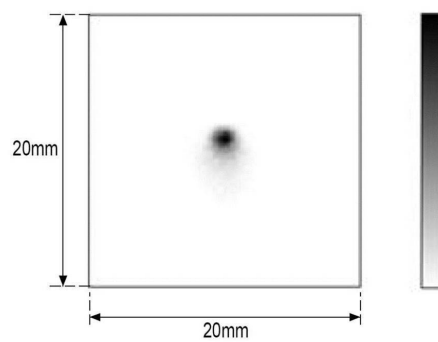


20

【 図 1 3 】

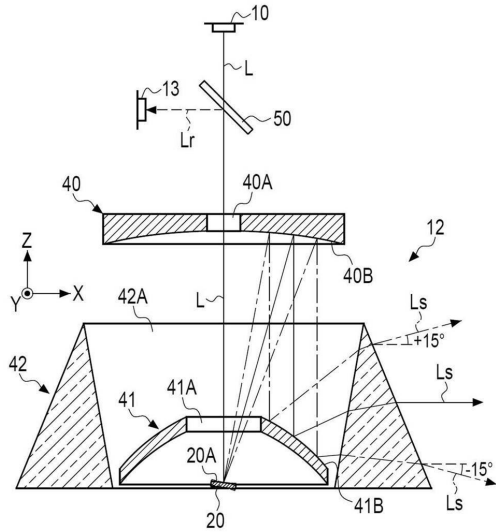
	第1反射部材		第2反射部材
	屈折面 (双曲面)	反射面 (放物面)	第2反射面 (楕円面)
R	95	130	21
K	-7	-1	-0.8
A ₁	0	0	0.187
A ₂	0	0	0
A ₃	0	0	0
間隔 (mm)			
d1	43		
d2	35		

【 図 1 4 】



40

【 図 1 5 】

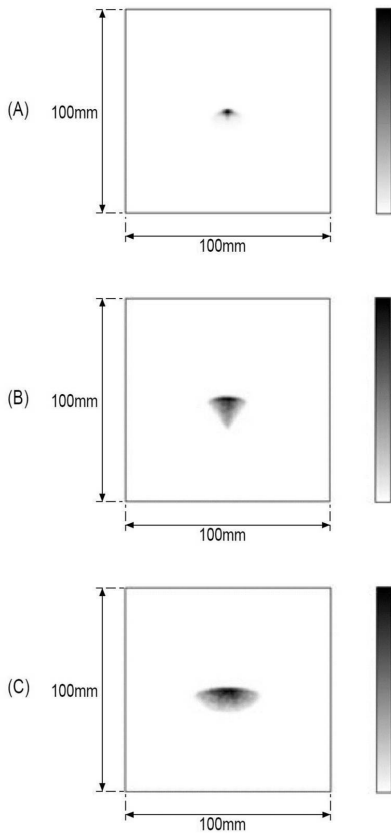


【 図 1 6 】

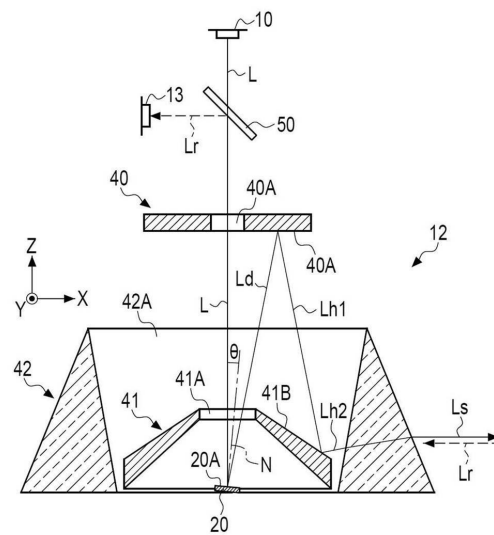
	第1反射面 (双曲面)	第2反射面 (双曲面)
R	92.983	23.061
K	-23.789	-1.238
A ₁	-1.823E-03	0.166
A ₂	9.445E-04	8.134E-03
A ₃	0	-1.947E-04
間隔 (mm)		
d1	47	
d2	32	

10

【 図 1 7 】



【 図 1 8 】



20

30

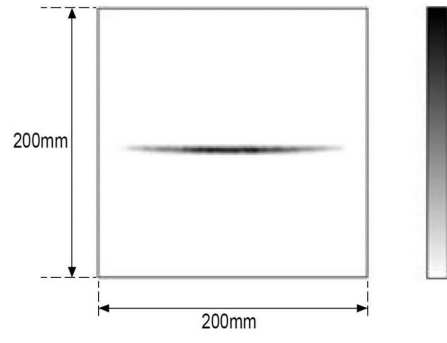
40

50

【 図 1 9 】

	第1反射面 (平面)	第2反射面 (円錐面)
R	0	0
K	0	0
A ₁	0	0.5
A ₂	0	0
A ₃	0	0
	間隔 (mm)	
d1	31	

【 図 2 0 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第2020/100955(WO, A1)
特表2020-526755(JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

G01S 7/48 - 7/51
17/00 - 17/95
G02B 26/10 - 26/12
G02B 26/08
G01C 1/00 - 1/14
5/00 - 15/14
G01C 3/00 - 3/32
G01B 11/00 - 11/30