

(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2020-8552

(P2020-8552A)

(43) 公開日 令和2年1月16日 (2020.1.16)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G O 1 S 7/481 (2006.01)	G O 1 S 7/481 A	2 H 0 4 5
G O 2 B 26/08 (2006.01)	G O 2 B 26/08 E	2 H 1 4 1
G O 2 B 26/10 (2006.01)	G O 2 B 26/10 1 O 4 Z	5 J 0 8 4

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 32 頁)

(21) 出願番号	特願2019-4230 (P2019-4230)	(71) 出願人	518237336
(22) 出願日	平成31年1月15日 (2019.1.15)		D o l p h i n株式会社
(62) 分割の表示	特願2018-127086 (P2018-127086) の分割		埼玉県越谷市越ヶ谷本町8番地3号2階
原出願日	平成30年7月3日 (2018.7.3)	(74) 代理人	100123881
			弁理士 大澤 豊
		(74) 代理人	100080931
			弁理士 大澤 敬
		(72) 発明者	段 志輝
			埼玉県川口市道合449-13
		Fターム (参考)	2H045 AB16 AB62
			2H141 MA12 MB24 MC05 MD12 MD16
			MD20 MD23 ME01 ME04 ME09
			ME24 ME25 MG06 MZ06 MZ17

最終頁に続く

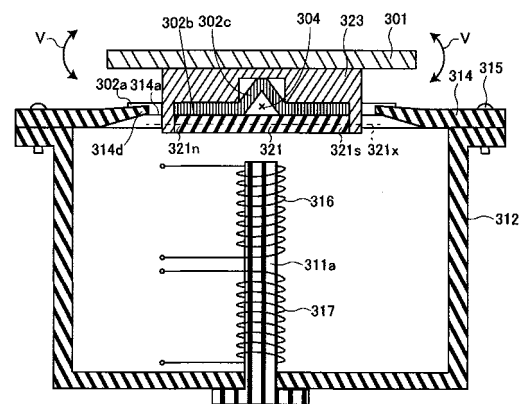
(54) 【発明の名称】 物体検出装置、物体検出方法、制御方法、プログラム、可動子及び可動子の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 レーザビームの投光方向を周期的に変動させる走査を、小型かつ耐久性の高い構成で実現する。

【解決手段】 支持部材に固定されたねじりばね302と、上記ねじりばね302の一方の面に固定されたミラー301と、仮想的な回転軸304を跨ぐようにねじりばね302の他方の面に固定された永久磁石321と、駆動コイル316と、駆動コイル316を囲む磁性体の枠ヨーク312及びトップヨーク314とを備え、ミラー301が、駆動コイル316への駆動信号の印加に応じて往復運動する。トップヨーク314の、永久磁石321のN極321n及びS極321sと対向する端部にある突起314dがそれぞれ、駆動コイル316の軸の永久磁石321と対向する一端から該軸に沿った方向で見て、N極321nとS極321sとを結ぶ永久磁石321の中心線321xよりも離れた位置にある。

【選択図】 図8A



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

レーザビームを外部へ投光する投光部と、
受光素子と、
外部からの入射光を前記受光素子へ導く受光光学系と、
前記レーザビームの投光タイミングと、前記受光素子が出力する光検出信号のタイミングとに基づき、前記レーザビームの光路上の物体までの距離を検出する物体検出部とを備える物体検出装置であって、
前記受光光学系が、
入射光を所定の焦点面上に結像させる集光レンズと、
前記集光レンズの焦点面上に配置されたアパーチャーとを備えることを特徴とする物体検出装置。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載の物体検出装置であって、
前記投光部によるレーザビームの投光時の発散角を α 、前記アパーチャーの通光領域の直径を D 、前記集光レンズから前記アパーチャーまでの距離を d 、 $\beta = \arctan(D/d)$ として、 $\alpha \leq \beta$ であることを特徴とする物体検出装置。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の物体検出装置であって、
 $1 \leq \beta/\alpha \leq 3$ であることを特徴とする物体検出装置。

20

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の物体検出装置であって、
前記受光素子はシリコンフォトマルチプライヤー (SiPM) であって、
前記集光レンズを通過した光が、前記シリコンフォトマルチプライヤーの受光面の全域に入射することを特徴とする物体検出装置。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載の物体検出装置であって、
前記アパーチャーと前記受光素子との間に光拡散部材を備えることを特徴とする物体検出装置。

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載の物体検出装置であって、
前記投光部によるレーザビームの投光方向を周期的に変動させる走査部を備え、
前記物体検出部は、前記レーザビームの投光タイミング及び投光方向と、前記受光素子が出力する光検出信号のタイミングとに基づき、前記レーザビームの光路上の物体までの距離及びその物体がある方向を検出することを特徴とする物体検出装置。

30

【請求項 7】

レーザビームを外部へ投光し、
外部からの入射光を集光レンズにより所定の焦点面上に結像させ、
前記集光レンズの焦点面上に配置したアパーチャーにより、前記集光レンズにより集光された光を絞り、
前記アパーチャーを通過した光を受光素子に入射させ、
前記レーザビームの投光タイミングと、前記受光素子が出力する光検出信号のタイミングとに基づき、前記レーザビームの光路上の物体までの距離を検出することを特徴とする物体検出方法。

40

【請求項 8】

レーザビームを外部へ投光する投光部と、
前記投光部によるレーザビームの投光方向を周期的に変動させる走査部と、
受光素子と、
外部からの入射光を前記受光素子へ導く受光光学系と、
前記レーザビームの投光タイミング及び投光方向と、前記受光素子が出力する光検出信

50

号のタイミングとに基づき、前記レーザビームの光路上の物体までの距離及びその物体がある方向を検出する物体検出部とを備える物体検出装置であって、

前記走査部は、

折れ目を有する板材で形成されたねじりばねであって、前記折れ目により形成された直線状の突起部を備え、支持部材に固定されたねじりばねと、

前記ねじりばねの一方の面に固定され、前記レーザビームを反射するミラーと、

前記突起部を跨ぐように前記ねじりばねの他方の面に固定され、前記突起部を跨いだ一方側にN極が、他方側にS極が位置する永久磁石と、

前記永久磁石の前記ねじりばねと反対側に配置された駆動コイルと、

前記駆動コイルと共通の芯材を有するセンシングコイルと、

前記駆動コイルを囲む磁性体と、

前記駆動コイルに周期的に電圧又は電流が変化する駆動信号を印加する駆動部とを備え、

前記ミラーが、前記駆動信号の印加に応じて往復運動をすることを特徴とする物体検出装置。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の物体検出装置であって、

前記突起部の断面形状がV字型であることを特徴とする物体検出装置。

【請求項 10】

請求項 8 又は 9 に記載の物体検出装置であって、

前記駆動コイルの軸の一端が前記永久磁石のS極とN極の中間点と対向していることを特徴とする物体検出装置。

【請求項 11】

請求項 8 乃至 10 のいずれか一項に記載の物体検出装置であって、

前記磁性体の、前記永久磁石のN極及びS極と対向する端部が、前記駆動コイルの軸の前記永久磁石と対向する一端から該軸に沿った方向で見て、該N極と該S極とを結ぶ前記永久磁石の中心線よりも離れた位置にあることを特徴とする物体検出装置。

【請求項 12】

請求項 8 乃至 11 のいずれか一項に記載の物体検出装置であって、

前記センシングコイルに発生する電圧又は電流を検出する検出部と、前記検出部が検出した電圧又は電流のレベルに応じて、前記投光部が投光するレーザビームの点滅周期を制御する周期制御部とを備えることを特徴とする物体検出装置。

【請求項 13】

請求項 12 に記載の物体検出装置であって、

前記周期制御部は、前記検出部が検出した電圧又は電流のレベルが、前記ミラーが前記往復駆動の経路の中央付近にあることを示す第1レベルである場合に、前記ミラーが前記往復駆動の経路の端部付近にあることを示す第2レベルである場合に比べて、前記点滅周期を短くすることを特徴とする物体検出装置。

【請求項 14】

請求項 8 乃至 10 のいずれか一項に記載の物体検出装置を制御する制御方法であって、

前記センシングコイルに発生する電圧又は電流を検出し、該検出した電圧又は電流のレベルに応じて、前記投光部が投光するレーザビームの点滅周期を制御することを特徴とする制御方法。

【請求項 15】

請求項 14 に記載の制御方法であって、

前記センシングコイルに発生する電圧又は電流のレベルに応じて、該電圧又は電流のレベルが、前記ミラーが前記往復駆動の経路の中央付近にあることを示す第1レベルである場合に、前記ミラーが前記往復駆動の経路の端部付近にあることを示す第2レベルである場合に比べて、点滅の周期を短くするように、前記レーザビームの点滅周期を制御することを特徴とする制御方法。

10

20

30

40

50

【請求項 16】

プロセッサにハードウェアを制御させて、請求項 14 又は 15 に記載の制御方法を実行させるためのプログラム。

【請求項 17】

折れ目を有する板材で形成されたねじりばねであって、前記折れ目により形成された直線状の突起部と、前記突起部の中央付近に前記突起部を跨ぐように前記突起部と一体に形成された平面部とを備えるねじりばねと、

前記平面部の、前記突起部が突出する側の第 1 面に固定された、前記突起部と同じ高さの第 1 スペースと、

前記第 1 スペースの前記平面部と反対側に固定された第 1 部材と、

前記平面部の、前記第 1 面と反対側の第 2 面に固定された第 2 部材とを備え、

前記第 1 部材と前記第 2 部材の一方がミラーで、他方が磁石であり、前記磁石は、前記突起部を跨ぐように固定され、前記突起部を跨いだ一方側に N 極が、他方側に S 極が位置することを特徴とする可動子。

【請求項 18】

請求項 17 に記載の可動子であって、

前記平面部と前記第 2 部材との間に第 2 スペースを有し、前記第 2 部材は、前記第 2 スペースを介して前記平面部に固定されていることを特徴とする可動子。

【請求項 19】

折れ目を有する板材で形成されたねじりばねであって、前記折れ目により形成された直線状の突起部と、前記突起部の中央付近に前記突起部を跨ぐように前記突起部と一体に形成された平面部とを備えるねじりばねにおける、前記平面部の前記突起部が突出する側の第 1 面に、前記突起部と同じ高さの第 1 スペースを、接着又は圧着により、第 3 工程の加熱処理中にも固定を維持できるように固定する第 1 工程と、

前記第 1 工程の後で、前記第 1 スペース上に加熱により溶融する接着層を介して第 1 部材を積層し、前記平面部の前記第 1 面と反対側の第 2 面上に第 2 部材を、加熱により溶融する接着層を介して積層した積層体を形成する第 2 工程であって、前記第 1 部材と前記第 2 部材の一方がミラーで、他方が磁石であり、前記磁石は、前記突起部を跨ぎ、前記突起部を跨いだ一方側に N 極が、他方側に S 極が位置するように積層される第 2 工程と、

前記第 2 工程で形成した積層体に加熱処理を行い、前記第 1 スペースに前記第 1 部材を固定すると共に前記平面部に前記第 2 部材を固定する前記第 3 工程とを備えることを特徴とする、可動子の製造方法。

【請求項 20】

請求項 19 に記載の可動子の製造方法であって、

前記第 1 工程は、前記平面部の前記第 2 面に、接着又は圧着により、第 2 スペースを、前記第 3 工程の加熱処理中にも固定を維持できるように固定する工程を含み、

前記第 2 工程において、前記第 2 部材を、前記第 2 スペースの前記平面部と反対側の面上に、前記加熱により溶融する接着層を介して積層し、

前記第 3 工程において、前記第 2 部材を、前記第 2 スペースを介して前記平面部に固定することを特徴とする、可動子の製造方法。

【請求項 21】

請求項 19 に記載の可動子の製造方法であって、

前記ねじりばねと、前記第 1 スペースとを、それぞれ複数個連結され平面的に配列された状態で用意し、

前記第 1 工程において、前記複数個のねじりばねと前記複数個の第 1 スペースとを、それぞれ連結された状態で一括して固定し、

前記第 2 工程において、前記複数個のねじりばねのそれぞれについて前記積層体を形成し、

前記第 3 工程において、複数の前記積層体を一括して前記加熱処理を行って、連結された複数個の可動子を形成することを特徴とする、可動子の製造方法。

【請求項 22】

請求項 20 に記載の可動子の製造方法であって、

前記ねじりばねと、前記第 1 スペーサと、前記第 2 スペーサとを、それぞれ複数個連結され平面的に配列された状態で用意し、

前記第 1 工程において、前記複数個のねじりばねと前記複数個の第 1 スペーサと前記複数個の第 2 スペーサとを、それぞれ連結された状態で一括して固定し、

前記第 2 工程において、前記複数個のねじりばねのそれぞれについて前記積層体を形成し、

前記第 3 工程において、複数の前記積層体を一括して前記加熱処理を行って、連結された複数個の可動子を形成することを特徴とする、可動子の製造方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、レーザ光を用いて該レーザ光の光路上の物体を検出する物体検出装置及び物体検出方法に関する。また、制御方法、プログラム、可動子及び可動子の製造方法にも関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、レーザ光のパルスを外へ照射し、物体により反射されて戻ってきたレーザ光を検出することにより、レーザ光の光路上にある物体及びその物体までの距離を検出する物体検出装置が知られている。このような物体検出装置は、ライダー（LiDAR: Light Detection and Ranging）と呼ばれる。

20

近年、ライダーは、自動車の自動運転の分野でも活用されるようになっている。外部の照明環境の影響を受けやすいカメラセンサーや、分解能が低いミリ波レーダーの欠点を補い、走行環境下の比較的小型の障害物を、精度よく検出するために、カメラセンサーやミリ波レーダーと併用する等である。

【0003】

自動運転の分野に利用し得るライダーの例は、例えば特許文献 1 に記載されている。特許文献 1 に記載のライダーは、測定角度に合わせ、光源としての近赤外線レーザと受信機としての光検出素子がペアとして基板上に配置され、視野内の高分解能の距離情報を取り込むために、32 セット又は 64 セットの光源－受信機ペアが用いられている。従って、装置が非常に高コストになる。

30

【0004】

また、別のライダーの例は、非特許文献 1 に記載されている。非特許文献 1 に記載のライダーは、それぞれ傾き角の異なる 3 つの面を持つポリゴンミラーを回転させ、そのポリゴンミラーでレーザビームを偏向することにより、垂直方向 4.5° の視野角の範囲内にレーザビームを投射しつつ、物体からの反射光を、ポリゴンミラーの投射時と同じ面で反射して光検出素子に導いて検出する。

【0005】

40

非特許文献 1 に記載のライダーでは、1 つの受光素子で、垂直方向の複数の位置からの反射光を検出可能である。しかし、非特許文献 1 に記載のライダーでは、反射面毎に傾き角が異なるポリゴンミラーを用いることから、その重心の設計が難しく、この点でコストが高くなるという問題があった。また、ポリゴンミラーの高速回転を長時間続けると、摩擦による軸受けの発熱や摩耗が発生し、長時間使用の場合のメンテナンス性の点でも問題がある。

回転ミラーを用いたライダーについては非特許文献 2 にも記載があるが、この文献ではライダーの構成について詳細な説明はない。

【先行技術文献】

【特許文献】

50

【0006】

【特許文献1】米国特許第8767190号明細書

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献1】Cristiano Niclass, et al., "A100-m Range 10-Frame/s 340 × 96-Pixel Time-of-Flight DepthSensor in 0.18-μm CMOS", IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, Institute of Electrical and Electronics Engineers, FEBRUARY 2013, VOL. 48, NO. 2, p. 559-572

【非特許文献2】清水直茂、「レベル3実現に冗長系やLiDAR Audiが自動運転の先駆者に」、日経Automotive、株式会社日経BP、2017年9月、p. 22-23

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

ところで、ライダーにおける物体検出において、より遠距離で、より光反射率の低い物体を検出するためには、受光素子（光検出素子）の検出感度を上げ、より弱い反射光を検出できるようにするアプローチが考えられる。しかしながら、物体からの反射光を取り込むための光路からは、外乱光も入射してしまうため、受光素子の検出感度を上げると、物体からの反射光だけでなく外乱光の検出信号も大きくなり、外乱光を、物体からの反射光であると誤認してしまう可能性も高くなる。

【0009】

20

そこで、従来は、照射するレーザービームの出力を上げることにより、反射光の強度も強くし、相対的に外乱光の影響を低減するアプローチが多く行われていた。しかし、このアプローチでは、高出力のレーザービームを生成するために装置が大型化し、高価になるし、路上において高出力のレーザービームを投射することには安全性の面でも問題があった。

なお、以上のような外乱光の問題は、レーザービームによる走査を前提とせず、1方向のみの物体を検出する場合にも同様に発生するものである。

【0010】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、外部へ投光したレーザービームの、外部から入射する反射光を受光素子を用いて検出する場合に、簡易かつ安価に外乱光の影響を低減することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0011】

以上の目的を達成するため、この発明の物体検出装置は、レーザービームを外部へ投光する投光部と、受光素子と、外部からの入射光を上記受光素子へ導く受光光学系と、上記レーザービームの投光タイミングと、上記受光素子が出力する光検出信号のタイミングとに基づき、上記レーザービームの光路上の物体までの距離を検出する物体検出部とを備える物体検出装置であって、上記受光光学系が、入射光を所定の焦点面上に結像させる集光レンズと、上記集光レンズの焦点面上に配置されたアパーチャーを備えるものである。

【0012】

このような物体検出装置において、上記投光部によるレーザービームの投光時の発散角を α 、上記アパーチャーの通光領域の直径をD、上記集光レンズから上記アパーチャーまでの距離をd、 $\beta = \arctan(D/d)$ として、 $\alpha \leq \beta$ であるとよい。

40

さらに、 $1 \leq \beta/\alpha \leq 3$ であるとよい。

さらに、上記受光素子はシリコンフォトマルチプライヤー（SiPM）であって、上記集光レンズを通過した光が、上記シリコンフォトマルチプライヤーの受光面の全域に入射するとよい。

さらに、上記アパーチャーと上記受光素子との間に光拡散部材を備えるとよい。

【0013】

さらに、上記投光部によるレーザービームの投光方向を周期的に変動させる走査部を備え、上記物体検出部は、上記レーザービームの投光タイミング及び投光方向と、上記受光素子

50

が出力する光検出信号のタイミングとに基づき、上記レーザビームの光路上の物体までの距離及びその物体がある方向を検出するとよい。

【0014】

また、この発明の物体検出方法は、レーザビームを外部へ投光し、外部からの入射光を集光レンズにより所定の焦点面上に結像させ、上記集光レンズの焦点面上に配置したアパーチャーにより、上記集光レンズにより集光された光を絞り、上記アパーチャーを通過した光を受光素子に入射させ、上記レーザビームの投光タイミングと、上記受光素子が出力する光検出信号のタイミングとに基づき、上記レーザビームの光路上の物体までの距離を検出するものである。

【0015】

また、この発明は、レーザビームの投光方向を周期的に変動させる走査を、小型かつ耐久性の高い構成で実現することを目的とした、別の物体検出装置、その制御方法及びプログラムも提供する。

【0016】

この物体検出装置は、レーザビームを外部へ投光する投光部と、上記投光部によるレーザビームの投光方向を周期的に変動させる走査部と、受光素子と、外部からの入射光を上記受光素子へ導く受光光学系と、上記レーザビームの投光タイミング及び投光方向と、上記受光素子が出力する光検出信号のタイミングとに基づき、上記レーザビームの光路上の物体までの距離及びその物体がある方向を検出する物体検出部とを備える物体検出装置であって、上記走査部は、折れ目を有する板材で形成されたねじりばねであって、上記折れ目により形成された直線状の突起部を備え、支持部材に固定されたねじりばねと、上記ねじりばねの一方の面に固定され、上記レーザビームを反射するミラーと、上記突起部を跨ぐように、上記ねじりばねの他方の面に固定され、上記突起部を跨いだ一方側にN極が、他方側にS極が位置する永久磁石と、上記永久磁石の上記ねじりばねと反対側に配置された駆動コイルと、上記駆動コイルと共通の芯材を有するセンシングコイルと、上記駆動コイルを囲む磁性体と、上記駆動コイルに周期的に電圧又は電流が変化する駆動信号を印加する駆動部とを備え、上記ミラーが、上記駆動信号の印加に応じて往復運動をするものである。

【0017】

このような物体検出装置において、上記突起部の断面形状がV字型であるとよい。

さらに、上記駆動コイルの軸の一端が上記永久磁石のS極とN極の中間点と対向しているとよい。

さらに、上記磁性体の、上記永久磁石のN極及びS極と対向する端部は、上記駆動コイルの軸の上記永久磁石と対向する一端から該軸に沿った方向で見て、該N極と該S極とを結ぶ上記永久磁石の中心線よりも離れた位置にあるとよい。

さらに、上記センシングコイルに発生する電圧又は電流を検出する検出部と、上記検出部が検出した電圧又は電流のレベルに応じて、上記投光部が投光するレーザビームの点滅周期を制御する周期制御部とを備えるとよい。

さらに、上記周期制御部は、上記検出部が検出した電圧又は電流のレベルが、上記ミラーが上記往復駆動の経路の中央付近にあることを示す第1レベルである場合に、上記ミラーが上記往復駆動の経路の端部付近にあることを示す第2レベルである場合に比べて、上記点滅周期を短くするとよい。

【0018】

また、この発明の制御方法は、上記のいずれかの物体検出装置を制御する制御方法であって、上記センシングコイルに発生する電圧又は電流を検出し、該検出した電圧又は電流のレベルに応じて、上記投光部が投光するレーザビームの点滅周期を制御するものである。

このような制御方法において、上記センシングコイルに発生する電圧又は電流のレベルに応じて、該電圧又は電流のレベルが、上記ミラーが上記往復駆動の経路の中央付近にあることを示す第1レベルである場合に、上記ミラーが上記往復駆動の経路の端部付近にあ

10

20

30

40

50

ることを示す第2レベルである場合に比べて、点滅の周期を短くするように、上記レーザービームの点滅周期を制御するとよい。

また、この発明のプログラムは、プロセッサにハードウェアを制御させて、上記のいずれかの制御方法を実行させるためのプログラムである。

【0019】

また、この発明は、レーザービームの投光方向を周期的に変動させる走査に利用可能な、往復駆動されるミラーを備えた可動子を、低コストで量産可能な構成で実現することを目的とした、可動子及びその製造方法も提供する。

【0020】

この可動子は、折れ目を有する板材で形成されたねじりばねであって、上記折れ目により形成された直線状の突起部と、上記突起部の中央付近に上記突起部を跨ぐように上記突起部と一体に形成された平面部とを備えるねじりばねと、上記平面部の、上記突起部が突出する側の第1面に固定された、上記突起部と同じ高さの第1スペーサと、上記第1スペーサの上記平面部と反対側に固定された第1部材と、上記平面部の、上記第1面と反対側の第2面に固定された第2部材とを備え、上記第1部材と上記第2部材の一方がミラーで、他方が磁石であり、上記磁石は、上記突起部を跨ぐように固定され、上記突起部を跨いだ一方側にN極が、他方側にS極が位置するものである。

このような可動子が、上記平面部と上記第2部材との間に第2スペーサを有し、上記第2部材は、上記第2スペーサを介して上記平面部に固定されているとよい。

【0021】

また、可動子の製造方法は、折れ目を有する板材で形成されたねじりばねであって、上記折れ目により形成された直線状の突起部と、上記突起部の中央付近に上記突起部を跨ぐように上記突起部と一体に形成された平面部とを備えるねじりばねにおける、上記平面部の上記突起部が突出する側の第1面に、上記突起部と同じ高さの第1スペーサを、接着又は圧着により、第3工程の加熱処理中にも固定を維持できるように固定する第1工程と、上記第1工程の後で、上記第1スペーサ上に加熱により溶融する接着層を介して第1部材を積層し、上記平面部の上記第1面と反対側の第2面上に第2部材を、加熱により溶融する接着層を介して積層した積層体を形成する第2工程であって、上記第1部材と上記第2部材の一方がミラーで、他方が磁石であり、上記磁石は、上記突起部を跨ぎ、上記突起部を跨いだ一方側にN極が、他方側にS極が位置するように積層される第2工程と、上記第2工程で形成した積層体に加熱処理を行い、上記第1スペーサに上記第1部材を固定すると共に上記平面部に上記第2部材を固定する上記第3工程とを備えるものである。

【0022】

このような可動子の製造方法において、上記第1工程は、上記平面部の上記第2面に、接着又は圧着により、第2スペーサを、上記第3工程の加熱処理中にも固定を維持できるように固定する工程を含み、上記第2工程において、上記第2部材を、上記第2スペーサの上記平面部と反対側の面上に、上記加熱により溶融する接着層を介して積層し、上記第3工程において、上記第2部材を、上記第2スペーサを介して上記平面部に固定するとよい。

【0023】

さらに、上記ねじりばねと、上記第1スペーサとを、それぞれ複数個連結され平面的に配列された状態で用意し、上記第1工程において、上記複数個のねじりばねと上記複数個の第1スペーサとを、それぞれ連結された状態で一括して固定し、上記第2工程において、上記複数個のねじりばねのそれぞれについて上記積層体を形成し、上記第3工程において、複数の上記積層体を一括して上記加熱処理を行って、連結された複数個の可動子を形成するとよい。

【0024】

あるいは、上記ねじりばねと、上記第1スペーサと、上記第2スペーサとを、それぞれ複数個連結され平面的に配列された状態で用意し、上記第1工程において、上記複数個のねじりばねと上記複数個の第1スペーサと上記複数個の第2スペーサとを、それぞれ連結

された状態で一括して固定し、上記第 2 工程において、上記複数個のねじりばねのそれぞれについて上記積層体を形成し、上記第 3 工程において、複数の上記積層体に一括して上記加熱処理を行って、連結された複数個の可動子を形成するとよい。

【0025】

また、上で装置、方法あるいはプログラム等として説明した発明は、その説明した態様のみならず、装置、システム、方法、プログラム、プログラムを記録した記録媒体等、任意の態様で実施することができる。

【発明の効果】

【0026】

以上のような本発明の構成によれば、外部へ投光したレーザビームの、外部から入射する反射光を受光素子を用いて検出する場合に、簡易かつ安価に外乱光の影響を低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【0027】

【図 1】この発明の一実施形態である物体検出装置 10 の主な構成要素をその機能に注目して区分して示すブロック図である。

【図 2】物体検出装置 10 における物体検出の原理について説明するための図である。

【図 3】物体検出装置 10 の主な構成要素の構造を示す分解斜視図である。

【図 4】物体検出装置 10 の外観を示す斜視図である。

【図 5】アクチュエータ 300、380 の概略の外観及び配置を、図 3 よりも拡大して示す図である。

【図 6】アクチュエータ 300 を構成する部品の構造と、その組み立て工程の概略を示す分解斜視図である。

【図 7】アクチュエータ 300 の可動子 320 を構成する部品の構造を示す分解斜視図である。

【図 8 A】図 6 の (d) に示したアクチュエータ 300 の一点鎖線で示す面における断面を、矢印 M 方向から見た断面図である。

【図 8 B】アクチュエータ 300 の変形例の構成を示す、図 8 A と対応する断面図である。

【図 9】可動子 330 を構成する部品の構造と、その組み立て工程の概略を示す分解斜視図である。

【図 10】図 9 の (c) に示した可動子 330 の一点鎖線で示す面における断面を、矢印 N 方向から見た断面図である。

【図 11】ねじりばね 331、第 1 スペーサ 332 及び第 2 スペーサ 333 を、それぞれ複数連結され平面的に配列された状態で積層して固定した積層体の例を示す図である。

【図 12】ミラー 301 の走査角と走査角速度の絶対値との関係を示すグラフである。

【図 13】LD モジュール 21 の駆動信号の例を示す図である。

【図 14】図 13 の駆動信号を用いた場合に走査線上に形成される出射光 L2 によるスポットの例を示す図である。

【図 15】LD モジュール 21 の駆動信号のパルスの間隔を制御するための制御回路の構成を、その周辺の回路と共に示す図である。

【図 16】図 15 の回路にて生成される LD モジュール 21 の駆動信号の例を示す図である。

【図 17】図 16 の駆動信号を用いた場合に走査線上に形成される出射光 L2 によるスポットの例を示す図である。

【図 18】投光部 20 から投光されるレーザビームの光路を模式的に示す図である。

【図 19】アパーチャー 44 がない場合の、集光レンズ 42 による戻り光 L4 の集光の光路を示す図である。

【図 20】アパーチャー 44 がある場合の、集光レンズ 42 による戻り光 L4 の集光の光路を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 2 1】アパーチャー 4 4 の通光領域の配置を示す図である。

【図 2 2】アパーチャー 4 4 の効果について説明するための図である。

【図 2 3】アパーチャー 4 4 の効果について説明するための別の図である。

【図 2 4】光拡散部材 4 6 を設けた場合の、集光レンズ 4 2 による戻り光 L 4 の集光の光路を示す、図 2 0 と対応する図である。

【発明を実施するための形態】

【0028】

この発明の実施形態について、図面を参照しながら説明する。

〔1. 物体検出装置の全体構成（図 1 乃至図 4）〕

まず、この発明の一実施形態である物体検出装置の全体構成について、図 1 及び図 2 を用い、主な構成要素をその機能に注目して区分して説明する。図 1 は、物体検出装置の主な構成要素をその機能に注目して区分して示すブロック図である。図 2 は、物体検出装置における物体検出の原理について説明するための図である。

【0029】

この発明の一実施形態である物体検出装置 1 0 は、レーザビームを外部へ投光すると共に、外部の物体で反射されて戻ってくるレーザビームを検出し、その投光タイミングと反射光の検出タイミングとの差に基づき、レーザビームの光路上にある物体までの距離及びその物体がある方向を検出する装置である。この物体検出装置 1 0 は、図 1 に示すように、投光部 2 0、走査部 3 0、受光部 4 0、フロントエンド回路 5 1、T D C（時間—デジタル変換器：Time-to-Digital Converter）5 2、プロセッサ 5 3、入出力部 5 4 を備える。

【0030】

これらのうち投光部 2 0 は、レーザビームを外部へ投光するためのモジュールであり、L D（レーザダイオード）モジュール 2 1、レーザ駆動回路 2 2、投光光学系 2 3 を備える。

L D モジュール 2 1 は、レーザ駆動回路 2 2 から印加される駆動信号に応じてレーザ光を出力する発光部である。ここでは、複数の発光点を備えるものを用い、出力の強度を高めているが、発光点は 1 つであってもよい。レーザ光の波長に特に制約はないが、たとえば近赤外光のレーザ光を用いることが考えられる。

レーザ駆動回路 2 2 は、プロセッサ 5 3 から供給されるパラメータに従ったタイミングで L D モジュール 2 1 を点灯させるための駆動信号を生成し、L D モジュール 2 1 に印加するための回路である。L D モジュール 2 1 の点灯は、パルス波により間欠的に行う。

【0031】

投光光学系 2 3 は、L D モジュール 2 1 が出力するレーザ光を平行光のビームにするための光学系であり、この実施形態では、L D モジュール 2 1 が備える複数の発光点の中心に焦点が位置する凸レンズによるコリメートレンズを用いている。

なお、投光光学系 2 3 により形成されたレーザビーム L 1 は、受光部のミラー 4 1 の透孔 4 1 a を通過し、走査部 3 0 のミラー 3 1 により反射されて、出射光 L 2 として物体検出装置 1 0 の外部へ出力される。

【0032】

次に、走査部 3 0 は、投光部 2 0 により出力されるレーザビームを偏向して、所定の視野（F O V : Field of View）7 0 内を走査させるためのモジュールであり、ミラー 3 1 を有するアクチュエータ 3 2 を備える。アクチュエータ 3 2 は、レーザビームの光路上に設けたミラー 3 1 の向きを周期的に変動させることにより、レーザビームの投光方向を周期的に変動させる。

【0033】

また、図 1 ではアクチュエータ 3 2 を 1 つしか示していないが、実際にはアクチュエータ 3 2 は図 3 及び図 5 に示すようにそれぞれ異なる軸を中心にミラーを揺動させる 2 つのアクチュエータ 3 0 0、3 8 0 で構成される。そして、アクチュエータ 3 0 0 は、主走査方向の走査を担当して主走査方向（Horizontal）走査線 7 1 a を形成し、アクチュエータ

380は、主走査方向の走査の端部においてミラーの向きを変化させ、副走査方向（Vertical）走査線71bを形成すると共に、副走査方向の走査位置を調整する。

なお、LDモジュール21は間欠的に点灯するので、実際には走査線71は連続した線ではなくビームスポットの集合となる。

【0034】

次に、受光部40は、物体検出装置10の外部から入射する光を検出するためのモジュールであり、ミラー41、集光レンズ42、受光素子43、アパーチャー44を備える。この受光部40により検出したい光は、物体検出装置10から投光され外部の物体により反射されて戻ってくるレーザビームである。レーザビームは、物体面において乱反射されるが、そのうち投光時の光路と逆向きに反射された成分のみが、戻り光L3として物体検出装置10に戻る。この戻り光L3は、出射光L2とほぼ同じ経路を逆向きに進み、戻り光L4としてミラー41に到達する。

10

【0035】

ミラー41は、投光部20から出力されるレーザビームを通過させるための透孔41aを備えると共に、戻り光L4を受光素子43へ導くための固定のミラーである。ミラー41の位置において、戻り光L4はレーザビームL1に比べると広がりが大きいため、透孔41aよりも広い範囲でミラー41に当たり、透孔41a以外の位置に当たる成分が、受光素子43へ向けて反射される。

【0036】

集光レンズ42は、ミラー41で反射された戻り光L4を集光して所定の焦点面上に結像させるレンズである。

20

受光素子43は、所定の受光面上に当たった光の強度に応じた検出信号を出力する光検出素子である。この実施形態では、受光素子としてシリコンフォトマルチプライヤー（SiPM）を用いている。この点については後に詳述する。

アパーチャー44は、集光レンズ42の焦点面上に配置され、開口部以外の光を遮光する。このアパーチャー44の詳細な構成及びその意義についても、後述する。

以上のうちミラー41、集光レンズ42及びアパーチャー44が、受光光学系を構成する。

【0037】

次に、フロントエンド回路51は、受光素子43が出力する検出信号を、TDC52でのタイミング検出に適した波形に整形する回路である。

30

TDC52は、レーザ駆動回路22から供給される駆動信号と、フロントエンド回路51から供給される整形後の検出信号とに基づき、出射光となるレーザビームL1の点灯パルスのタイミング t_0 と、これと対応する戻り光L4のパルスのタイミング t_1 との時間差を示すデジタル出力を形成する回路である。

【0038】

出射光のパルスと、戻り光のパルスでは、光が光路上の物体に到達して戻ってくるのに要する時間だけの時間差があるので、その時間差 Δt に基づき、図2に示すように物体検出装置10から物体までの距離 s を、 $s = c(\Delta t) / 2$ として求めることができる。 c は光速である。なお、上記 s は、正確には物体から受光素子43までの光路長である。

40

【0039】

プロセッサ53は、図1に示した各部の動作を制御する制御部である。CPU、ROM、RAM等を備え、ソフトウェアを実行する汎用のコンピュータにより構成してもよいし、専用のハードウェアにより構成してもよいし、それらの組み合わせであってもよい。プロセッサ53は例えば、TDC52からの出力信号に基づく物体までの距離の算出、戻り光の検出時点での走査部30による走査のタイミング（出射光L2の投光方向）に基づく物体のある方向の算出を行う。また、後に詳述するが、走査部30におけるミラー31の向きに応じたLDモジュール21の点灯間隔の制御も行う。

【0040】

入出力部54は、外部との間の情報の入出力を行うモジュールである。ここでいう情報

50

の入出力には、外部の装置との間での有線あるいは無線による通信、ボタンやタッチパネル等を用いたユーザからの操作の受け付け、ディスプレイ、ランプ、スピーカ、バイブレータ等を用いたユーザへの情報の提示を含む。入出力部 54 が外部へ出力すべき情報としては、例えば、検出した物体に関する情報（距離や方向の生データでも、それらに基づき所定のサイズ、位置、移動速度等の物体を検出したことを示す情報でもよい）、物体検出装置 10 の動作状態や設定状態に関する情報が考えられる。入出力部 54 が外部から入力を受け付けるべき情報としては、例えば、物体検出装置 10 の動作の設定に関する情報が考えられる。

【0041】

入出力部 54 による通信の相手としては、例えば自動運転システムを備えた自動車と考えられる。物体検出装置 10 が検出した物体の情報を自動運転システムに供給すれば、自動運転システムは、その情報を参照し、検出した物体を回避するような走行ルートを計画することができる。

なお、この発明を、物体検出装置 10 と、その通信相手の自動車やドローン、航空機等の装置とを含むシステムとして実施することも考えられる。

【0042】

次に、物体検出装置 10 の概略の構造について、図 3 及び図 4 を用いて説明する。図 3 は、物体検出装置の主な構成要素の構造を示す分解斜視図、図 4 は、物体検出装置の外観を示す斜視図である。

物体検出装置 10 は、図 3 及び図 4 に示すように、トップカバー 61 とリアカバー 62 を、2 つのカバークリップ 63、63 により結合した外装を備える。また、トップカバー 61 は、出射光 L2 を通過させるための窓を備え、その窓には塵の侵入を防ぐための、出射光 L2 の波長において透明な保護材 64 が嵌められている。

【0043】

これらの筐体の内側に、図 1 に示した各構成要素が格納されている。なお、図 1 に示したアクチュエータ 32 は、主走査方向の走査を担当するアクチュエータ 300 と、副走査方向の走査を担当するアクチュエータ 380 との、2 つのアクチュエータとして示している。ミラー 301 は、アクチュエータ 300 が備えるミラーである。

また、ミラー 48 は、図 1 には示していないが、ミラー 41 と集光レンズ 42 の間にあって戻り光 L4 の向きを変えるための光学素子である。破線 65 は、物体検出装置 10 の視野（出射光 L2 による走査範囲）を示し、図 1 の視野 70 と対応する。レーザ駆動回路 22、プロセッサ 53 等の回路やモジュール間の配線は、図を見やすくするため図 3 では図示を省略している。

以上で全体構成の説明を終え、以下、物体検出装置 10 のいくつかの構成要素について個別に説明する。

【0044】

〔2. ねじりばねを用いた揺動アクチュエータ（図 5 乃至図 8 B）〕

走査部 30 が、アクチュエータ 300 と 380 を備えることは既に述べたが、これらのうちアクチュエータ 300 は特徴的な構成を備えるので、次にこの点について説明する。

図 5 に、アクチュエータ 300、380 の概略の外観及び配置を、図 3 よりも拡大して示す。

【0045】

図 5 に示すように、アクチュエータ 300 とアクチュエータ 380 は、その構成が大きく異なる。

アクチュエータ 380 は、出射光 L2 の副走査方向の偏向のために用いるので、さほど高速な運動は要求されないことから、物理的な軸を中心にミラーを回転運動させるタイプのアクチュエータを用いている。このアクチュエータ 380 は、ミラー 381 を軸 382 に固定し、軸 382 をホルダ 383 に差し込んで回転可能に取り付けて構成されている。そして、ミラー 381 の裏側に配置された永久磁石及びコイルの作用により、コイルに印加された電圧に応じて、ミラー 381 が軸 382 の中心を回転軸 384 として回転し、所

10

20

30

40

50

定の角度範囲を往復運動する。電圧の強度を調整することにより、ミラーを運動範囲内の所望の角度で停止させることも可能である。

このようなアクチュエータは、ガルバノミラーと呼ばれる。一般には、軸の一端に力を加えることにより軸の他端に取り付けられたミラーを回転させる構成が広く用いられているが、アクチュエータ 380 のように、軸に力を加える位置とミラーの取り付け位置が、軸の長手方向について同じ位置であっても、同様な原理での駆動が可能である。

【0046】

一方、アクチュエータ 300 は、出射光 L2 の主走査方向の偏向のために用いるので、高速な運動が要求され、またその高速な運動を長時間継続できる耐久性も求められる。そこで、アクチュエータ 300 としては、このような目的に合った新規なアクチュエータを用いている。

10

【0047】

その具体的な構成は図 6 乃至図 8 A を用いて詳述するが、概略としては、アクチュエータ 300 は、ミラー 301 を、直線状の突起部を有するねじりばね 302 の一方の面に、突起部を跨ぐように固定し、ねじりばね 302 の端部を支持部材としてのトップヨーク 314 に固定して構成されている。そして、ねじりばね 302 の他方の面側に配置された永久磁石及びコイルの作用により、コイルに印加された電圧に応じて、ねじりばね 302 及びミラー 301 が、ねじりばね 302 の突起部の略中心に位置する回転軸 304 を中心に回転し、所定の角度範囲を往復運動する。

20

【0048】

走査部 30 は、以上のアクチュエータ 300、380 により駆動されるミラー 301、381 によりレーザビーム L1 を反射し、偏向することにより、図 1 に示した走査線 71 上を走査する出射光 L2 を、外部へ投光することができる。

なお、副走査方向の偏向走査を行うアクチュエータとして、アクチュエータ 300 と同じ構造のものを用いることも、もちろん妨げられない。

【0049】

次に、図 6 乃至図 8 A を用いて、アクチュエータ 300 の構造と動作原理についてより詳細に説明する。図 6 は、アクチュエータ 300 を構成する部品の構造と、その組み立て工程の概略を示す分解斜視図であり、その最終工程において完成したアクチュエータ 300 の斜視図も含む。図 7 は、アクチュエータ 300 の可動子 320 を構成する部品の構造を示す分解斜視図である。図 8 A は、図 6 の (d) に示したアクチュエータ 300 の一点鎖線で示す面における断面を、矢印 M 方向から見た断面図である。ただし、図を見やすくするため、図 8 A においてコイルアッセンブリ 313 の図示は省略し、コイルの巻き方を模式的に示している。

30

【0050】

アクチュエータ 300 は、図 6 の (a) に示すように、コアヨーク 311、枠ヨーク 312、コイルアッセンブリ 313、トップヨーク 314、可動子 320 を備える。

これらのうち枠ヨーク 312 とトップヨーク 314 は、コイルを囲む磁性体による外装を形成する。枠ヨーク 312 とトップヨーク 314 は、4 組のねじ孔 312b、314b を貫通する 4 本のねじ 315 により、内部にコイルアッセンブリ 313 を保持するように固定される。

40

【0051】

コイルアッセンブリ 313 は、非磁性体によるボビン 313a に、図 8 A に示す駆動コイル 316 及び検出コイル 317 の 2 本のコイルを巻き、その外側を保護カバー 313c で覆ったものである。ボビン 313a の内部には、コア部 311a を通すための挿通孔 313b が設けられている。また、保護カバー 313c は、外装に覆われない位置に、駆動コイル 316 へ駆動信号を印加するための端子と、センシングコイル 317 に発生する信号を出力するための端子とを備える。

コアヨーク 311 は、駆動コイル 316 及びセンシングコイル 317 のコアとなる、強磁性体によるコア部 311a を備える。

50

【0052】

これらの各部品は、図6の(b)に示すようにコアヨーク311のコア部311aを枠ヨーク312の挿通孔312aに挿入し、その後(c)に示すようにコイルアセンブリ313の挿通孔313bにコア部311aを挿入してコイルアセンブリ313の位置決めを行い、その後(d)に示すようにトップヨーク314と枠ヨーク312とをねじ314により固定して、一体化される。

【0053】

このとき、(a)から(b)の工程で、コア部311aを枠ヨーク312に固定し、(b)から(c)の工程で、コイルアセンブリ313をコア部311a(及び枠ヨーク312)に固定する。この固定は、不図示のねじや溶接、または接着を用いて行ったり、挿入側の部材を受け入れ側のスペースよりも若干大きくして受け入れ位置へ圧入することにより行ったり、これらの組み合わせで行ったりすることが考えられる。

なお、図6の(b)及び(c)では、スペースの都合上、可動子320の図示は省略している。

【0054】

また、可動子320は、図7に示すように、ミラー301及びねじりばね302の他、永久磁石321と連結ホルダ323を備える。

これらのうちねじりばね302は、金属板をプレス加工又は折り加工等により折り曲げて形成したばねであり、その折れ目によって、V字型の断面を有する直線状の突起部302cを備える。また、突起部302cの中央付近には、突起部302cを跨ぐように両側に突出する平面部302bを備え、突起部302cの両端にはそれぞれ、突起部302cを跨ぐように両側に突出する平面部302aを備える。これらの突起部302cと平面部302a、302bは、全て一体であり、一枚の板状部材を折り曲げてこれらの各部を形成することにより、十分な強度を持ったねじりばね302を、低コストで形成することができる。

【0055】

また、両端の平面部302aと平面部302bとは、自然状態では全て同一平面上に位置する。しかし、両端の平面部302aを同一平面上に固定した状態で平面部302bに対して突起部302cを中心に回転する力を加えると、突起部302cがねじれ、平面部302bは突起部302cを中心に回転移動する。力をかけるのをやめると、ばねの復元力により突起部302cのねじれが解消し、平面部302bは平面部302aと同一平面上に戻る。

また、永久磁石321は、平面部302bの、突起部302cと反対側の面に、突起部を跨いだ一方側にN極321nが、他方側にS極321sが位置するように固定される。N極321nとS極321sの位置は、図と逆でも問題ない。

【0056】

永久磁石321と平面部302bとの間の固定は、連結ホルダ323にて、図8Aに示すように永久磁石321と平面部302bとを外側から挟み込むことにより行う。そして、連結ホルダ323と永久磁石321と平面部302bとを、相互に接着等して固定する。弾性を有する連結ホルダ323を用いて、その弾性力により固定することも考えられる。これらの組み合わせでもよい。また、アウトサート成形により、樹脂製の連結ホルダ323を、ねじりばね302上にねじりばね302と一体に形成することも考えられる。

図8Aは、平面部302bの中央付近を通り、突起部302cの長手方向に垂直な平面での断面図である。

【0057】

ミラー301は、連結ホルダ323の、平面部302bと反対側の面に固定する。この固定は、接着により行う。接着剤は任意のものを用いてよいが、硬化収縮の少ないものが望ましい。

以上の可動子320は、図7に示した各部材を予め組み立てた後で、図6の(c)と(d)の間の工程で、トップヨーク314の可動子保持部314aに対して固定する。この

固定は、可動子保持部 3 1 4 a に対して平面部 3 0 2 a を不図示のねじによりねじ止めして行ったり、平面部 3 0 2 a と可動子保持部 3 1 4 a とを接着あるいは溶接することにより行ったり、平面部 3 0 2 a を可動子保持部 3 1 4 a に設けたスリットに挿入して行ったり等、任意の方法で行うことができる。

【0058】

可動子 3 2 0 がトップヨーク 3 1 4 に固定された状態では、ねじりばね 3 0 2 の平面部 3 0 2 b 及び永久磁石 3 2 1 は、トップヨーク 3 1 4 の開口部 3 1 4 c を通してコイルアッセンブリ 3 1 3 と対向する。より具体的には、図 8 A に示すように、コイルアッセンブリ 3 1 3 内に設けられた駆動コイル 3 1 6 の軸の一端が、永久磁石 3 2 1 の N 極 3 2 1 n と S 極 3 2 1 s の中間点と対向する。永久磁石 3 2 1 から見ると、ねじりばね 3 0 2 と反対側に駆動コイル 3 1 6 が配置されていることになる。

10

【0059】

この状態で駆動コイル 3 1 6 に通電し、例えば永久磁石 3 2 1 と対向する側の端部が N 極となると、永久磁石 3 2 1 の S 極 3 2 1 s は駆動コイル 3 1 6 に引き寄せられ、N 極 3 2 1 n は駆動コイル 3 1 6 と反発し、永久磁石 3 2 1 には、図 8 A で見て時計回りに回転しようとする力が働く。その力はねじりばね 3 0 2 の平面部 3 0 2 b に伝わり、ねじりばね 3 0 2 は、突起部 3 0 2 c の断面の中心付近にある仮想的な回転軸 3 0 4 を中心に時計回りに回転してねじれる。これにつれて、平面部 3 0 2 b に固定されたミラー 3 0 1 も、回転軸 3 0 4 を中心に時計回りに回転する。

そして、駆動コイル 3 1 6 と永久磁石 3 2 1 の間に生じる磁力と、ねじりばね 3 0 2 の復元力とが釣り合う位置で回転が止まる。駆動コイル 3 1 6 に流す電流の強さを変えることにより、この回転の速さと停止位置を調整可能である。

20

【0060】

次に、永久磁石 3 2 1 及びミラー 3 0 1 が適当な位置まで時計回りに回転した状態で、駆動コイル 3 1 6 への通電方向を逆向きにすると、永久磁石 3 2 1 と対向する側の端部が S 極となり、今度は永久磁石 3 2 1 の N 極 3 2 1 n が駆動コイル 3 1 6 に引き寄せられ、S 極 3 2 1 s が駆動コイル 3 1 6 と反発し、永久磁石 3 2 1 には、図 8 A で見て反時計回りに回転しようとする力が働く。その力は時計回りの場合と同様にねじりばね 3 0 2 の平面部 3 0 2 b に伝わり、ねじりばね 3 0 2 は回転軸 3 0 4 を中心に反時計回りに回転して先ほどと逆向きにねじれる。これにつれて、平面部 3 0 2 b に固定されたミラー 3 0 1 も、回転軸 3 0 4 を中心に反時計回りに回転する。

30

【0061】

駆動コイル 3 1 6 に印加する駆動信号の電圧又は電流の向きを定期的に反転させることにより、矢印 V で示すようにミラー 3 0 1 に上記の時計回り及び反時計回りの回転を交互に行わせ、回転軸 3 0 4 の廻りを所定の角度範囲で回転する往復運動をさせることができる。すなわち、ミラー 3 0 1 を、所定の移動経路上で揺動させることができる。そして、このことにより、図 1 を用いて説明した、主走査方向の走査に必要なレーザビーム L 1 の周期的な偏向を実現することができる。

【0062】

なお、ねじりばね 3 0 2 の寿命を考えると、揺動の範囲は自然状態に対して対称であることが望ましい。しかしこれは必須ではない。例えば、駆動コイル 3 1 6 に印加する電圧のオンオフを周期的に切り換えることにより、自然状態付近の位置を一端とする所定範囲での揺動を行うこともできる。駆動コイル 3 1 6 に印加する電圧又は電流を、適宜な範囲で周期的に変化させることにより、ねじりばね 3 0 2 の可動範囲内の任意の揺動範囲で、ミラー 3 0 1 を揺動させることができる。

40

【0063】

いずれにせよ、このアクチュエータ 3 0 0 では、可動子 3 2 0 はその端部がトップヨーク 3 1 4 に固定されているが、実際に移動する平面部 3 0 2 b 付近の部分は空中に浮いているため、揺動時に部品間の摩擦が発生せず、長時間連続で使用しても、発熱や摩耗が生じにくい。従って、高い耐久性を得ることができる。

50

また、コイルアッセンブリ 3 1 3 を磁性体のトップヨーク 3 1 4 及び枠ヨーク 3 1 2 で囲んでいるため、駆動コイル 3 1 6 に生じる磁力の漏れを防止し、高い駆動効率を得ることができる。ただし、このような磁性体の囲みを設けることは、必須ではない。

【0064】

また、図 6 及び図 8 A に示すように、トップヨーク 3 1 4 の可動子保持部 3 1 4 a は、トップヨーク 3 1 4 の他の部分よりも薄肉としている。これは、永久磁石 3 2 1 を、トップヨークと枠ヨーク 3 1 2 とで構成される外装の内側に位置させ、駆動コイル 3 1 6 に生じる磁力を漏らさずに永久磁石 3 2 1 に伝えるためである。

駆動コイル 3 1 6 に生じる磁力を漏らさないためには、磁性体による外装の、永久磁石 3 2 1 の N 極 3 2 1 n 及び S 極 3 2 1 s と対向する端部が、駆動コイル 3 1 6 の軸の永久磁石 3 2 1 と対向する一端からその軸に沿った方向（図 8 A の上下方向）で見て、N 極 3 2 1 n と S 極 3 2 1 s とを結ぶ永久磁石 3 2 1 の中心線（図 8 A に符号 3 2 1 x で示す）よりも離れた位置にあるとよい。

【0065】

この実施形態では、トップヨーク 3 1 4 の開口部 3 1 4 c に、両側から可動子 3 2 0 に向かって、かつ駆動コイル 3 1 6 から離れる方向（図 8 A の上方向）に延びる突起 3 1 4 d を設けることにより、上記の磁力を漏らさないために構造を実現している。この構造により、駆動コイル 3 1 6 から可動子 3 2 0 へ大きな回転モーメントを与えることができ、ミラー 3 0 1 の揺動速度の高速化、及び／又は消費電力の低減を図ることができる。

【0066】

なお、図 8 A のように可動子保持部 3 1 4 a を薄肉とすると、ミラー 3 0 1 がトップヨーク 3 1 4 に近接してしまうため、ミラー 3 0 1 とトップヨーク 3 1 4 との干渉によりミラー 3 0 1 の可動域が制約される可能性がある。

この点に対処するためには、図 8 B に示すように、可動子保持部 3 1 4 a を他の部分よりも厚肉として、ミラー 3 0 1 をトップヨーク 3 1 4 から離すことが考えられる。この構成では、永久磁石 3 2 1 が、トップヨーク 3 1 4 の外側にはみ出してしまいうこともあり得、これは磁力漏れの原因となり得る。しかしこの場合であっても、図 8 B に示すように、突起 3 1 4 d を、その端部が中心線 3 2 1 x よりも図で上方に位置するように形成すれば、磁力漏れを防止し、揺動速度の高速化、及び／又は消費電力の低減を図ることができる。

【0067】

また、ねじりばね 3 0 2 の材質は、例えばステンレスや、りん青銅とすることが考えられるが、その他、弾性ばねを形成可能な任意の材質を採用することができる。また、突起部 3 0 2 c の断面を V 字型にしているのは、発明者らのシミュレーションにより、大きなばね定数が得られ、このことによりねじりばね 3 0 2 の共振周波数を高められることが見出されたためである。共振周波数が高いと、より小さい駆動電力で大きな走査角度が実現でき、望ましい。

しかし、断面の形状は V 字型に限られることはなく、ねじりばねとして機能し得るのであれば、断面が角張った n 字型や U 字型、または M 字型、W 字型、開口部のない空芯薄壁閉断面など、他の形状であってもよい。

【0068】

なお、こうした直線状の突起部 3 0 2 c を有する構造は、平面構造のねじりばねに比べ、回転軸に直交する方向の剛性を高くすることができる。この剛性は、自動車内のような、常時振動する環境で安定した走査を行い、また揺動部の耐久性を確保する上で非常に有用である。

また、突起部 3 0 2 c を有するねじりばねは、立体形状であり、全体としての厚みが大きい。このため、板材を折り曲げて形成することは容易であるが、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) の技術を利用したウエーハープロセスで、十分な高さの突起部 3 0 2 c を有するねじりばねを形成することは、困難である。

【0069】

また、駆動コイル 3 1 6 は、図 8 A の例では自然状態で平面部 3 0 2 b に対して垂直な向きに配置しているが、軸の一端が、永久磁石 3 2 1 の N 極 3 2 1 n と S 極 3 2 1 s の中間点と対向していれば、向きは図 8 A に示したものに限られない。例えば、軸を突起部 3 0 2 c と平行に配置しても、図 8 A の構成の場合と同様なミラー 3 0 1 の揺動が可能である。

【0070】

また、駆動コイル 3 1 6 を、コイルアッセンブリ 3 1 3 に収納したり、ボビンに巻いたりすることも必須ではなく、コア部 3 1 1 a に直接巻くことも妨げられない。

また、センシングコイル 3 1 7 は、図 9 乃至図 1 5 を用いて後述するレーザビーム L 1 の点灯タイミング調整を行うために設けたものであり、この調整を行わないのであれば、不要である。

10

【0071】

また、図 8 A 及び図 8 B に示した例では、ねじりばね 3 0 2 の突起部 3 0 2 c が、ミラー 3 0 1 側に突出していたが、逆に永久磁石 3 2 1 側に突出していてもよい。すなわち、永久磁石 3 2 1 を、平面部 3 0 2 b の、突起部 3 0 2 c が突出する側の面に、連結ホルダ 3 2 3 と同様なホルダを介して設け、ミラー 3 0 1 を、その反対側の面に設けてもよい。この構成でも、図 8 A 及び図 8 B を用いて説明した構成の場合と同様に、ミラー 3 0 1 を、突起部 3 0 2 c の略中心に位置する回転軸を中心に揺動させることができる。

また、以上の他、永久磁石 3 2 1 に代えて、ミラーの駆動時に通電される電磁石を用いることも妨げられない。ただし、永久磁石 3 2 1の方が、構造が単純で組み付け誤差が発生しにくく、余計なノイズを発生しない点で好ましい。

20

【0072】

〔3. 揺動アクチュエータが備える可動子の別の構成例及びその製造方法（図 9 乃至図 1 1）〕

次に、上述したアクチュエータ 3 0 0 にて利用可能な可動子の別の構成例及びその製造方法について説明する。本項で説明する可動子 3 3 0 は、量産に適した構成のものである。

【0073】

図 9 は、可動子 3 3 0 を構成する部品の構造と、その組み立て工程の概略を示す分解斜視図であり、その最終工程において完成した可動子 3 3 0 の斜視図も含む。図 1 0 は、図 9 の（c）に示した可動子 3 3 0 の一点鎖線で示す面における断面を、矢印 N 方向から見た断面図である。

30

可動子 3 3 0 は、図 9 の（a）に示すように、ねじりばね 3 3 1、第 1 スペーサ 3 3 2、第 2 スペーサ 3 3 3、ミラー 3 0 1 及び永久磁石 3 2 1 を備える。ミラー 3 0 1 及び永久磁石 3 2 1 は、図 7 に示した可動子 3 2 0 を構成するものと同等なものである。

【0074】

ねじりばね 3 3 1 も、可動子 3 2 0 を構成するねじりばね 3 0 2 と同様な平面部 3 3 1 b 及び突起部 3 3 1 c を備える。しかし、突起部 3 3 1 c の両端に設ける平面部 3 3 1 a は、平面部 3 3 1 b の外側を取り囲むように、相互に接続された一体の構成となっている。このようなねじりばね 3 3 1 は、金属の板材に対しプレスで打ち抜きと折り曲げの加工を同時に行うことにより、形成することができる。

40

【0075】

第 1 スペーサ 3 3 2 は、主として、突起部 3 3 1 c を回避して平面部 3 3 1 b 上に第 1 部材であるミラー 3 0 1 を取り付けることができるよう、平面部 3 3 1 b の、突起部 3 3 1 c が突出する側の面（第 1 面）に配置して、ミラー 3 0 1 の取り付け位置を突起部 3 3 1 c と同じ高さまでかさ上げするためのスペーサである。スペーサ部 3 3 2 b が、このかさ上げを担う、突起部 3 3 1 c と同じ高さのスペーサである。このスペーサ部 3 3 2 b は、ブリッジ 3 3 2 d により、外周部 3 3 2 a と接続されている。

【0076】

外周部 3 3 2 a は、ねじりばね 3 3 1 の平面部 3 3 1 a と同じ形に形成され、突起部 3

50

3 1 c と対応する位置に、突起部 3 3 1 c をカバーする突起部 3 3 2 c を備える。なお、外周部 3 3 2 a についてはスペースの確保は必ずしも必要ない。しかし、図 1 1 を用いて後述するような多数個同時製造の場合に、スペーサ部 3 3 2 b のみであると隣接する個体との距離が遠すぎて、ねじりばね 3 3 1 の各個体と対応するスペーサ部 3 3 2 b を一枚のシートに形成することが困難であるので、ブリッジ 3 3 2 d を支えるために、ねじりばね 3 3 1 の保護材の役割を兼ねて設けたものである。

なお、第 1 スペーサ 3 3 2 は、ねじりばね 3 3 1 及びミラー 3 0 1 の双方を固定可能な材質であれば、材質に特に制約はない。弾性を持つ必要もない。

【0077】

一方、第 2 スペーサ 3 3 3 は、主として、ねじりばね 3 3 1 がステンレス等の半田付けに適さない材質である場合に、平面部 3 3 1 b の、突起部 3 3 1 c が突出する側と反対側の面（第 2 面）に配置して、第 2 部材である永久磁石 3 2 1 を半田付けで平面部 3 3 1 b に固定するための土台として用いる。スペーサ部 3 3 3 b が、この土台の役割を担う。このスペーサ部 3 3 3 b は、ブリッジ 3 3 3 d により、外周部 3 3 3 a と接続されている。

【0078】

外周部 3 3 3 a も、ねじりばね 3 3 1 の平面部 3 3 1 a と同じ形に形成され、突起部 3 3 1 c と対応する位置に、突起部 3 3 1 c の裏側をカバーする突起部 3 3 3 c を備える。外周部 3 3 3 a を設けた理由は、外周部 3 3 2 a の場合と同様である。

第 2 スペーサ 3 3 3 の材質は、ねじりばね 3 3 1 に固定可能かつ半田付けが可能な材質を用いる。例えば、ねじりばね 3 3 1 がステンレスであれば、りん青銅は、第 2 スペーサの材質として好適である。

【0079】

可動子 3 3 0 を製造する場合、以下の工程で行うとよい。

まず、図 9 の（b）に示すように、ねじりばね 3 3 1 の突起部 3 3 1 c 側に第 1 スペーサ 3 3 2 を、突起部 3 3 1 c と反対側に第 2 スペーサ 3 3 3 を、後述の加熱工程でも固定を維持できるように、接着又は圧着により固定する。図 1 0 には、第 1 スペーサ 3 3 2 及び第 2 スペーサ 3 3 3 の接着に、それぞれ接着剤を用いた例を示しており、それらが接着剤 3 4 1, 3 4 2 として示されている。ただし接着剤は、加熱工程で溶融しない耐熱性のものを用いる。あるいは、分子圧着法を用いてもよい。

なお、図 1 0 は、平面部 3 3 2 b の中央付近を通り、突起部 3 3 2 c の長手方向に垂直な平面での断面図である。また、部品間の接着に用いる部材を表記できるよう、接着層の厚さを実際よりもかなり強調して示している。

【0080】

次に、ダイシング等により、可動子 3 3 0 の完成品に不要なブリッジ 3 3 2 d 及び 3 3 3 d を除去する。

その後、第 1 スペーサ 3 3 2 のうちスペーサ部 3 3 2 b 上に、加熱により溶融する材質の接着層 3 4 3 を塗布し、その上にミラー 3 0 1 を配置する。スペーサ部 3 3 1 b が突起部 3 3 1 c と同じ高さであるので、突起部 3 3 1 c が障害とならずに、突起部 3 3 1 c を跨いでミラー 3 0 1 を配置することができる。図 1 0 では接着層 3 4 3 の分だけスペーサ部 3 3 2 b が突起部 3 3 1 c より若干低くなっているように見えるが、実際には接着層 3 4 3 は薄く、両者の高さに実質的な差はない。

接着層 3 4 3 としては、低融点ガラスペーストを用いることが望ましい。接着に加熱処理を要する場合、ミラー 3 0 1 を構成するガラスと接着剤とで収縮率が異なると、冷却時の収縮によりミラー 3 0 1 が歪んで走査の精度が低下することが考えられるが、低融点ガラスペーストであれば、これを避けられるためである。

【0081】

また、第 2 スペーサ 3 3 3 のうちスペーサ部 3 3 3 b 上にも、加熱により溶融する材質の接着層 3 4 4 を塗布し、その上（図 1 0 では下側）に永久磁石 3 2 1 を配置する。可動子 3 2 0 の場合と同様、突起部 3 3 1 c を跨いだ一方側に N 極 3 2 1 n が、他方側に S 極 3 2 1 s が位置するように配置する。接着層 3 4 4 としては、コストの観点でクリーム半

10

20

30

40

50

田を用いることが望ましいが、これに限られることはない。また、永久磁石 3 2 1 としては、この後の加熱工程に耐えられるよう、ネオジムタイプではなく、サマリウムコバルトタイプの磁石を用いることが望ましい。

ミラー 3 0 1 と永久磁石 3 2 1 の配置が済んだ積層体は、外観としては図 9 の (c) に示す可動子 3 3 0 とほぼ共通である。

【0082】

最後に、この積層体を加熱処理することにより、接着層 3 4 3, 3 4 4 を溶融させて、ミラー 3 0 1 と永久磁石 3 2 1 の固定を完了し、以上で可動子 3 3 0 が完成する。

可動子 3 3 0 は、可動子 3 2 0 の場合と同様に、図 6 及び図 8 A 等に示したトップヨーク 3 1 4 上に固定して用いることができ、駆動コイル 3 1 6 への通電に応じて、ミラー 3 0 1 を揺動させることができる。なおこの場合、もちろん、トップヨーク 3 1 4 における可動子保持部 3 1 4 a は、可動子 3 3 0 の構造及び形状に合った構成とする。

【0083】

以上の可動子 3 3 0 は、突起部はあるものの略平面状の部材を積層して接着し、また必要に応じてそれらを切断するのみで製造できるため、大量生産に適している。

ねじりばね 3 3 1、第 1 スペーサ 3 3 2 及び第 2 スペーサ 3 3 3 を、それぞれ複数連結され平面的に配列された状態でシート状の部材として用意し、その状態で積層して固定することも可能である。

【0084】

図 1 1 に、その積層して固定した状態を示す。

図 1 1 において、ねじりばね 3 3 1、第 1 スペーサ 3 3 2 及び第 2 スペーサ 3 3 3 は、それぞれ 1 枚のシート上に 3 行 4 列に配列されている。なお、図 1 1 は、ブリッジ 3 3 2 d, 3 3 3 d はダイシングにより除去した状態で示している。

この状態の積層体に、接着層 3 4 3, 3 4 4 を形成し、可動子 3 3 0 の各個体と対応するミラー 3 0 1 及び永久磁石 3 2 1 を配置する作業は、従来の表面実装 (SMT) 技術を用いた電子部品用の自動部品搭載機を利用すれば、非常に効率よく行うことができる。

【0085】

また、リフロー炉を用いれば、加熱処理も、従来広く用いられている装置を用いて容易に行うことができる。

図 1 1 では、一番左上側の個体にのみ、ミラー 3 0 1 (及び裏側に隠れた永久磁石 3 2 1) を固定した状態を示しているが、全ての個体に、同時に同様な固定を行うことができる。そして、その後に各個体の可動子 3 3 0 を切り離すことができる。なお、可動子 3 3 0 の用途によっては、複数の可動子 3 3 0 を連結したまま利用することも妨げられない。

【0086】

以上の構成を採用すれば、アクチュエータ 3 0 0 に利用可能な可動子 3 3 0 を、従来用いられている電子部品の実装と同様な工程で、従来用いられている装置を利用して効率よく製造することができる。従って、低コストで可動子 3 3 0 を製造可能であり、アクチュエータ 3 0 0 のコストダウンにも資する。

なお、永久磁石 3 2 1 をねじりばね 3 3 1 に直接半田付け可能な場合には、第 2 スペーサ 3 3 3 を省略可能である。この場合、接着層 3 4 4 は、平面部 3 3 1 b の、突起部 3 3 1 c と反対側の面に直接形成し、その上に永久磁石 3 2 1 を配置すればよい。

【0087】

また、可動子 3 3 0 においても、可動子 3 2 0 の場合と同様、平面部 3 3 1 b の、突起部 3 3 1 c が突出する側の面に第 1 部材として永久磁石 3 2 1 を設け、ミラー 3 0 1 を、第 2 部材としてその反対側の面に設けてもよい。この場合、第 1 スペーサ 3 3 2 上に永久磁石 3 2 1 を、第 2 スペーサ 3 3 3 上にミラー 3 1 0 を固定する点と、それに伴って各スペーサや使用する接着層の材質を入れ替える点以外は、以上説明してきた構造及び製造方法を、同様に適用可能である。

【0088】

[4. 主走査方向の走査位置に応じたビームの点灯間隔の制御 (図 1 2 乃至図 1 7)]

10

20

30

40

50

次に、出射光 L 2 の主走査方向の走査位置に応じた、ビームの点灯間隔の制御について説明する。なお、主走査方向の走査位置は、アクチュエータ 3 0 0 におけるミラー 3 0 1 の向きと対応するので、ここで説明する制御は、ミラー 3 0 1 の向きに応じた制御でもある。

【0089】

まず、アクチュエータ 3 0 0 によるミラー 3 0 1 の揺動動作の特徴について、図 1 2 乃至図 1 4 を用いて説明する。

図 1 2 は、ミラー 3 0 1 の走査角と走査角速度の絶対値との関係を示すグラフ、図 1 3 は、LD モジュール 2 1 の駆動信号の例を示す図、図 1 4 は、走査線上に形成される出射光 L 2 によるスポットの例を示す図である。

10

【0090】

発明者らの実験により、アクチュエータ 3 0 0 により揺動されるミラー 3 0 1 の移動速度は一定ではないことがわかっている。ミラー 3 0 1 は揺動経路の端部では停止し、他の部分では動いているので、移動速度に変動があるのは明らかだが、その速度は、図 1 2 に示すように、概ね揺動経路の端部に行くほど遅く、中央部に行くほど速くなっている。反時計回りに回転する際も時計回りに回転する際も、移動の向きが異なるのみで、同じ位置であれば速さはほぼ等しい。

【0091】

そこで、図 1 2 では、揺動経路上の位置（回転角により表現し、「走査角」と呼ぶことにする）を横軸に、その位置での角速度の絶対値を縦軸に取って速度の変化を図示している。

20

このようにミラー 3 0 1 の回転速度に変動があるため、図 1 3 に示すような等間隔のパルスをもつ駆動信号 d r v 1 により LD モジュール 2 1 を駆動すると、走査線 7 1 上には、図 1 4 に示すような出射光 L 2 のスポット 7 2 が形成されることになる。すなわち、主走査方向の中央部では粗く、端部では細かく分布するスポットが形成される。このため、物体の検出分解能も、中央部では端部よりも粗くなってしまう。

【0092】

物体検出装置 1 0 の用途として障害物の検出を考えた場合、視野の中央付近の重要度が最も高いと考えられるため、この状態は好ましくない。

そこで、物体検出装置 1 0 には、ミラー 3 0 1 の走査角に応じて LD モジュール 2 1 の駆動信号のパルスの間隔を制御するための制御回路を設けている。

30

【0093】

図 1 5 に、その制御回路の構成を示す。

図 1 5 に示す制御回路 3 5 1 は、周期制御部に該当し、大きく分けて、駆動コイル 3 1 6 の駆動制御、ミラー 3 0 1 の回転速度の検出、及び LD モジュール 2 1 の点灯間隔の制御に関する動作を行う。

【0094】

まず、駆動コイル 3 1 6 の駆動制御については、制御回路 3 5 1 は、駆動コイル 3 1 6 へ印加する駆動信号 3 5 3 を生成する駆動信号生成回路 3 5 2 に対し、アクチュエータ 3 0 0 に実行させる走査の範囲や周期の値を設定する。駆動信号生成回路 3 5 2 は、その設定された値に従い、適当な周期で変動する電圧の、適当なレベルの駆動信号 3 5 3 を生成してアクチュエータ 3 0 0 の駆動コイル 3 1 6 に印加する。このことにより、図 8 A を用いて説明したように、アクチュエータ 3 0 0 にミラー 3 0 1 を揺動させることができる。

40

【0095】

次に、ミラー 3 0 1 の回転速度の検出については、検出回路 3 5 4 が、アクチュエータ 3 0 0 のセンシングコイル 3 1 7 に生じる誘導電圧を検出し、A D C（アナログデジタルコンバータ）3 5 5 がリアルタイムでその電圧をデジタル値に変換し、その値を差分算出部 3 5 7 によって補正して制御回路 3 5 1 に供給する。制御回路 3 5 1 は、その電圧値に基づき、ミラー 3 0 1 の回転速度を算出する。センシングコイル 3 1 7 の巻数は、駆動コイル 3 1 6 と同じで、駆動コイル 3 1 6 と逆巻きにするとよいが、これに限られることは

50

ない。

【0096】

ここで、ミラー301を揺動させる際、センシングコイル317には、2種類の要因による誘導起電力が発生する。

1つめの要因は、駆動コイル316に印加される駆動信号の電圧変動によって駆動コイル316が発生する磁界の強さ及び向きが変動することによる誘導起電力である。

2つ目の要因は、永久磁石321が揺動することによって生じる磁界の強さの変動による誘導起電力である。永久磁石321が図8Aを用いて説明したように揺動する場合、それによってセンシングコイル317内に生じる磁界の強さの変動速度は、概ね永久磁石321の回転角速度に比例すると考えることができる。永久磁石321の回転角速度は、すなわちミラー301の回転角速度でもあるので、2つめの要因で生じる誘導起電力の強さは、ミラー301の回転角速度に比例すると考えることができる。

10

【0097】

相互誘導電圧パターン記憶部356及び差分算出部357は、以上のうち1つめの要因による誘導起電力分の値をADC355の出力から差し引くために設けたものである。

すなわち、相互誘導電圧パターン記憶部356は、アクチュエータ300において、永久磁石321を取り外した状態で駆動信号を駆動コイル316に印加した場合に相互誘導によりセンシングコイル317に生じる誘導電圧の電圧値の推移を、駆動信号の1周期分、駆動信号の位相と対応付けて記憶している。そして、駆動信号生成回路352は、ミラー301を揺動させるために駆動信号を駆動コイル316に印加する際、相互誘導電圧パターン記憶部356に対し、駆動信号の位相を示すタイミング信号を供給する。相互誘導電圧パターン記憶部356は、このタイミング信号に基づき、現在のタイミングと対応する電圧値を、差分算出部357へ供給する。

20

【0098】

差分算出部357は、ADC355から供給される、実際にセンシングコイル317に生じている誘導電圧の値から、相互誘導電圧パターン記憶部356から供給される電圧値を、相互誘導の寄与分として減算し、その結果の差分を制御回路351へ供給する。

以上により、制御回路351へ、ミラー301の回転角速度に比例した誘導電圧の値を供給することができる。制御回路351へ供給される誘導電圧の変化を、ミラー301の揺動範囲の一端から他端まで半周期分の時間を横軸に取ってプロットすると、グラフ361に示すように、図12に示した回転角速度のグラフと概ね同様な形状になると考えられる。

30

【0099】

制御回路351は、時刻 t において差分算出部357から供給される電圧値 $V_R(t)$ に、予め求めて設定された比例定数 K を乗じて、ミラー301の角速度 $\omega(t)$ を、 $\omega(t) = K \times V_R(t)$ により求める。

K の値は、例えば、半周期分のミラー301の回転角を他の手段で計測した値と、半周期分の電圧値 $V_R(t)$ の積分値とを比較することにより求められる。

【0100】

また、制御回路351は、 $\omega(t)$ を用いて、主走査方向の走査線71a上で所望の分解能が得られるようにLDモジュール21を点灯させるための点灯間隔 T を求めることができる。分解能を ψ 度とすると、 $T = \pi \cdot (\psi / 180) / \omega(t)$ である。

40

制御回路351は、LDモジュール21の点灯間隔の制御を行うため、差分算出部357からの電圧値 $V_R(t)$ の供給に応じて、リアルタイムで点灯間隔 T を求め、その T の値を示すパルス幅変調信号をパルス発生器358へ供給する。

【0101】

パルス発生器358は、そのパルス幅変調信号に従ってパルス幅変調を行い、間隔 T のパルスを持するタイミング信号を生成してレーザ駆動回路22に供給する。レーザ駆動回路22は、パルス発生器358から供給されるタイミング信号に含まれるパルスのタイミングでLDモジュール21を点灯させる駆動信号を生成して、LDモジュール21へ供給

50

する。

【0102】

制御回路351がパルス発生器358へ供給するパルス間隔を、グラフ361と同様に時間を横軸に取ってミラーの揺動範囲の一端から他端までの期間について示すと、グラフ362のようになる。すなわち、制御回路351は、センシングコイル317に発生する誘導電圧に応じて、ミラー301が揺動経路の中央付近にあってその誘導電圧が高いレベル（第1レベル）である場合に、ミラー301が揺動経路の端部付近にあってその誘導電圧が低いレベル（第2レベル）である場合に比べて、LDモジュール21の点滅周期を短くするような制御を行っていることになる。

【0103】

その結果、レーザ駆動回路22が生成するLDモジュール21の駆動信号は、図16に示すdrv2のように、ミラー301の移動速度に応じて異なるパルス間隔のものになる。そして、このように点灯制御されたレーザビームL1を、ミラー301で偏向して得られるビームスポット72は、図17に示すように、主走査方向の走査線71a上に、その全長に亘って概ね等間隔で配列されることになる。そして、このことにより、物体検出装置10は、物体の検出を、その視野70内において概ね均等な分解能で行うことができる。

副走査方向については、主走査方向の1ライン分の走査を行う間ミラー351を静止させているため、上述のような問題は起こらず、点灯間隔の調整は不要である。

【0104】

なお、上述した制御回路351は、プロセッサ53の一部として設けても、プロセッサ53と別に設けてもよい。また、制御回路351の機能は、専用のハードウェアによって実現しても、汎用のプロセッサにソフトウェアを実行させることにより実現しても、それらの組み合わせでもよい。

また、図15の例では、センシングコイル317に生じる誘導電圧の電圧値に基づき制御を行う例について説明したが、誘導電流の電流値を用いても、同様な制御が可能である。

【0105】

〔5. 受光部40の構成（図18乃至図24）〕

次に、受光部40の構成の詳細について説明する。物体検出装置10は、受光部40において、集光レンズ42の焦点面上にアパーチャ44を設けた点に一つの特徴を有するので、この点を中心に説明する。

【0106】

まず、投光部20から投光されるレーザビームL1の性質について説明する。

図18は、投光部20から投光されるレーザビームの光路を模式的に示す図である。

投光部20のLDモジュール21は、図18に示すように複数の発光点21a1～21a3を備えるものである。各発光点21a1～21a3はそれぞれ、ある程度の広がりを持ったレーザ光B1～B3を出力する。また、これらの発光点21a1～21a3は、近接した位置に配列されるが、必然的にある程度の広がりをもって配置されることになる。もちろん、数は3つに限られない。

【0107】

一方、投光光学系23は、LDモジュール21が出力するレーザ光から平行光のビームを生成すべく設計される。例えば、投光光学系23を、いずれかの発光点（ここでは発光点21a2とする）が焦点に位置するような凸レンズで構成すると、その発光点が出力するレーザ光B2を、その凸レンズのパワーにより、凸レンズの光軸に沿って進む平行光のビームC2にすることができる。

【0108】

しかし、焦点面上にあっても焦点とずれた位置にある発光点21a1, 21a3が出力するレーザ光B1, B3は、凸レンズのパワーにより平行光にはなるものの、光軸に対して若干傾いた向きに進むビームC1, C3になってしまう。

10

20

30

40

50

従って、全体として、発光点 2 1 a 1 ~ 2 1 a 3 が出力するレーザ光は、投光光学系 2 3 を通過すると、ほぼ平行光だが若干の広がりを持つレーザビームになる。この広がり
の角度は、投光光学系 2 3 から十分離れた位置では一定とみなすことができ、その角度を
レーザビーム L 1 あるいは出射光 L 2 の発散角 α とする。

【0109】

次に、受光部 4 0 に設けたアパーチャ 4 4 の詳細な構成及びその効果について説明す
る。

まず、この実施形態の物体検出装置 1 0 においては、受光部 4 0 に設ける受光素子 4 3
として、シリコンフォトマルチプライヤー (S i P M) を用いている。この S i P M は、
ガイガーモードで動作するアバランシェフォトダイオード (A P D) のアレイであり、光
子 1 つから検出できるほどの高い検出感度と、高い増倍率、高速応答性、優れた時間分解
能などを得られる。

【0110】

一例として、一般的な A P D では出力信号は入力信号 (受光面に入射する光の強度) に
対して約 5 0 倍の増幅率であるところ、浜松フォトリクス社が販売する M P P C (Multi-
pixel Photon Counter: 登録商標) では、約 1 0 万倍の増幅率を得ることができるものも
ある (https://www.hamamatsu.com/resources/pdf/ssd/Photodetector_lidar_kapd0005e.pdf)。

【0111】

従って、S i P M を用いることにより、弱い戻り光 L 4 でも検出することができるので
、低い強度のレーザビームを用いて、遠方の、光反射率の低い物体も検出可能な物体検出
装置を構成することができる。S i P M では A P D の 2 0 0 0 倍程度の増幅率を得られる
ため、理論的には、S i P M を用いると、A P D を用いる物体検出装置の場合に比べ、1
/ 2 0 0 0 の出力のレーザビームを用いて、同程度の物体検出能力を得られることになる
。

【0112】

レーザビームの強度を増すためには、大型かつ高価な装置が必要となるため、レーザビ
ームの強度が低くてよい点は、物体検出装置の小型化や低コスト化において大きなアドバ
ンテージとなる。しかしながら、S i P M は、A P D と比べ、受光面のサイズが大きくな
ってしまうため、単純に A P D を S i P M に置き換えると、外乱光の影響を受けやすくな
るという問題がある。

【0113】

図 1 9 を用いて、この点について説明する。図 1 9 は、アパーチャ 4 4 がいない場合の
、集光レンズ 4 2 による戻り光 L 4 の集光の光路を示す図である。

受光部 4 0 において、集光レンズ 4 2 は、入射する戻り光 L 4 を、焦点面上に結像させ
るように設計される。ここでは焦点距離を f とする。なお、戻り光は、図 1 8 を用いて説
明したように出射光が発散角 α を有することに対応し、当該 α の広がりを持つ視野範囲か
ら物体検出装置 1 0 に戻ってくる。しかしここでは、一旦、戻り光 L 4 は完全な平行光で
あるとみなす。

【0114】

そうすると、光軸に沿って集光レンズ 4 2 へ入射する戻り光 L 4 は、集光レンズ 4 2 の
焦点に集光され、その後発散する。そして、受光素子 4 3 は、その受光面全域で戻り光 L
4 を受けるために、焦点より先の、戻り光 L 4 が受光面の幅 D' に広がる位置に配置する
ことが好ましい。このときの集光レンズ 4 2 から受光素子 4 3 までの距離を d' とする。
受光素子 4 3 は焦点よりも手前に配置してもよく、このようにすると d' を小さくして装
置を小型化できるが、外乱光の影響低減の観点からは、焦点よりも先に配置することが好
ましい。

【0115】

ところで、物体検出装置 1 0 には、戻り光 L 4 だけでなく、様々な方角からの外乱光も
入射する。その一部は、戻り光 L 4 と同じ又は近接した光路で受光部 4 0 に到達する。そ

10

20

30

40

50

して、集光レンズ42の中心を通る光は集光レンズ42を通過しても直進する性質を考慮すると、図19に破線で示す、視野角 ϕ の範囲の外乱光X（及びこれらに平行に集光レンズ42に入射する外乱光）は、受光素子43に入射してしまうことになる。この ϕ の値は、 $\phi = \arctan(D'/d')$ により、近似的に求めることができる。「 $\arctan$ 」は、アークタンジェントである。

【0116】

受光素子43としてAPDを用いる場合、受光面の有効直径は例えば0.08mm程度であるので、 $D' = 50\text{mm}$ とすると、 $\phi = 0.1$ 度となり、極めて限られた範囲の外乱光しか受光素子43に入射しない。従って、外乱光Xが物体検出に及ぼす影響は限定的である。

10

しかし、受光素子43としてSiPMを用いる場合、受光面の有効直径は例えば1.3mm程度もあり、そうすると、 $D' = 50\text{mm}$ の場合、 $\phi = 1.5$ 度であり、かなり広い視野角の外乱光が受光素子43に入射することになる。SiPMの感度が極めて高いこともあり、この状況では、太陽光が強い場合、外乱光Xにより受光素子43が飽和してしまい、戻り光L4が検出できず、測距もできなくなってしまう。

【0117】

従って、図19の構成では、物体検出装置の受光素子としてSiPMを用いることは難しいという問題があった。

そこで、この実施形態においては、集光レンズ42の焦点面上にアパーチャー44を設けることにより、この問題を解決した。

20

【0118】

図20及び図21を用いて、この点について説明する。図20は、アパーチャー44がある場合の、集光レンズ42による戻り光L4の集光の光路を示す図である。図21は、アパーチャー44の通光領域の配置を示す図である。

アパーチャー44は、集光レンズ42の焦点面上に設けられ、戻り光L4を通過させるための通光領域（開口部）44aを有し、その他の部分は遮光領域44bである。

【0119】

ここで、戻り光L4は、実際には広がり角 α の視野範囲から戻ってくるため、集光レンズ42の収差を考慮しなかったとしても焦点の一点に結像されることはなく、近似的に直径が $f \cdot \tan \alpha$ のスポットとして焦点面上に結像される。従って、戻り光L4を全て通過させるためには、通光領域44aの直径Dも、最低限 $f \cdot \tan \alpha$ だけ必要である。ただし、部品の組み付け誤差も考慮すると、直径Dは、最低限の値よりも少し大きい方がよい。

30

【0120】

一方、集光レンズ42からアパーチャー44までの距離をd（図20の例では集光レンズ42の焦点距離fと等しい）とすると、アパーチャー44の通光領域44aを通過する外乱光Xは、視野角が $\beta = \arctan(D/d)$ の範囲となる。従って、Dがあまり大きすぎても外乱光の影響が大きくなる。

これらを考慮した発明者らのシミュレーションによれば、 $1 \leq \beta / \alpha \leq 3$ となる範囲で通光領域44aの直径Dを定めると、外乱光の影響を抑えつつ、多少の組み付け誤差を許容可能で、歩留まりと信頼性の高い物体検出装置10を構成できる。

40

【0121】

以上のようなアパーチャー44を設けることにより、図22に破線で示すような、視野角 β の範囲外からの外乱光を、アパーチャー44により遮光して、受光素子43に入射させないようにすることができる。図19に示した構成の場合と比べ、図23に示すように、集光レンズ42の光軸を中心に視野角 ϕ と視野角 β の間の範囲から入射する外乱光Xを、アパーチャー44により遮光できるという捉え方もできる。一方で、視野角（発散角） α の範囲から入射する戻り光L4は、アパーチャー44を通過して受光素子43に入射するので、これを検出することができる。もちろん、アパーチャー44が視野角 ϕ よりさらに外側の外乱光を遮光して差支えない。

50

【0122】

そして、アパーチャー44の配置は、コストの点でも製造難易度の点でもさほど大きな影響があるものではない。従って、アパーチャー44により、簡易かつ安価に外乱光の影響を低減できると言える。そして、このことにより、SiPMの特性を活かし、上述したように低コストで検出感度のよい物体検出装置を構成することができる。ただし、SiPMを用いることは必須ではなく、本発明は、他の受光素子への外乱光の影響を低減するためにも当然適用可能である。

【0123】

なお、図20の例ではアパーチャー44を集光レンズ42の焦点面上に設けたが、これは必須ではない。戻り光L4のスポットは焦点面上で最も小さくなるため、アパーチャー44を焦点面上に設けると、通光領域44aの径を小さくでき、外乱光の阻止に最も効果的であるが、多少焦点面からずれた位置に設けても、通光領域44aをその位置での戻り光L4のスポットに合ったサイズとすれば、ある程度の効果は得られる。また、焦点面からのずれが、通光領域44aの径にほとんど影響を与えない程度であれば、焦点面上に設けた場合と同一視できる。

【0124】

また、図20では示していないが、受光部40において、戻り光L4を集光レンズ42に導くためのミラー41には、出射するレーザビームL1を通過させるための透孔41aが開いている。このため、透孔41aの部分では戻り光L4が反射されないで、このままでは、受光素子43に入射する戻り光L4のスポットは、透孔41aと対応する領域が暗いスポットとなってしまう。そうすると、暗い部分ではピークの検出信号が得られにくくなってしまうので、その分、受光素子43の実質的な検出感度が低下してしまうことになる。

【0125】

そこで、図24に示すように、アパーチャー44と受光素子43との間に光拡散部材46を設け、戻り光L4を拡散して受光素子43に入射させるとよい。このようにすれば、受光素子43の受光面全体に戻り光L4を概ね均一に入射させることができ、検出感度の低下を防止できる。光拡散部材46としては、磨りガラスやホログラフィックディフューザーを用いることが考えられる。

【0126】

〔6. その他の変形例〕

以上で実施形態の説明を終了するが、この発明において、物体検出装置の具体的な構成、具体的な動作の手順、各部のサイズその他のパラメータの値、部品の具体的な形状等は、実施形態で説明したものに限るものではない。

例えば、上述した実施形態における集光レンズ42や投光光学系23は、単一のレンズで構成するのみならず、複数のレンズのパワーを組み合わせることも可能である。

【0127】

また、以上の各項目において説明した特徴は、それぞれ独立して装置やシステムに適用し得るものである。特に、受光部40や、アクチュエータ300、可動子320、330等は、単独で部品としても流通し得るものである。また、その用途も、物体検出装置に限られない。

また、上述した物体検出装置10は、人の手のひらに載る程度のサイズで構成可能であり、自動車に搭載して、自動運転のための障害物検出装置として用いるために好適なものであるが、その利用目的はこれに限られない。柱や壁等に固定して、定点観測に用いることもできる。

【0128】

また、この発明のプログラムの実施形態は、1のコンピュータに、あるいは複数のコンピュータを協働させて、所要のハードウェアを制御させ、上述した実施形態における物体検出装置10における、LDモジュール21の発光タイミング調整機能を含む機能を実現

させ、あるいは上述した実施形態にて説明した処理を実行させるためのプログラムである。

【0129】

このようなプログラムは、はじめからコンピュータに備えるROMや他の不揮発性記憶媒体（フラッシュメモリ、EEPROM等）などに格納しておいてもよい。メモリカード、CD、DVD、ブルーレイディスク等の任意の不揮発性記録媒体に記録して提供することもできる。さらに、ネットワークに接続された外部装置からダウンロードし、コンピュータにインストールして実行させることも可能である。

【0130】

また、以上説明してきた実施形態及び変形例の構成が、相互に矛盾しない限り任意に組み合わせる実施可能であり、また、一部のみを取り出して実施することができることは、勿論である。

【符号の説明】

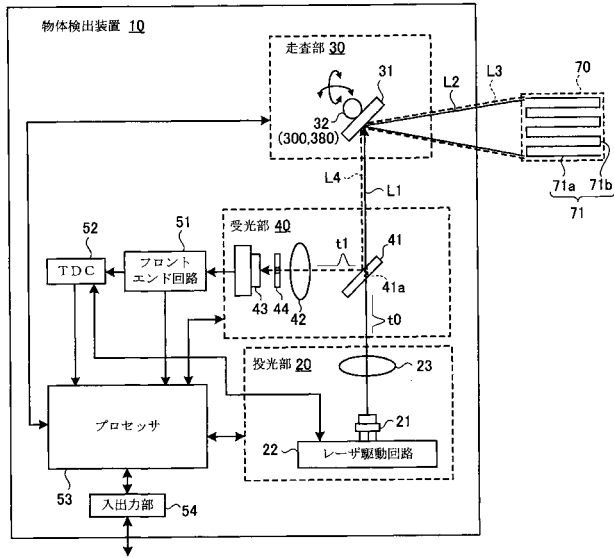
【0131】

10…物体検出装置、20…投光部、21…LDモジュール、22…レーザ駆動回路、23…投光光学系、30…走査部、31…ミラー、32…アクチュエータ、40…受光部、41, 48…ミラー、42…集光レンズ、43…受光素子、44…アパーチャ、46…光拡散部材、51…フロントエンド回路、52…TDC、53…プロセッサ、54…入出力部、61…トップカバー、62…リアカバー、63…カバークリップ、64…保護材、70…視野、71…走査線、72…スポット、300, 380…アクチュエータ、301, 381…ミラー、304, 384…回転軸、311…コアヨーク、312…枠ヨーク、313…コイルアセンブリ、314…トップヨーク、315…ねじ、316…駆動コイル、317…センシングコイル、302, 330…可動子、321…永久磁石、321s…S極、321n…N極、322, 331…ねじりばね、323…連結ホルダ、332…第1スペーサ、333…第2スペーサ、341～344…接着層、351…制御回路、352…駆動信号生成回路、353…駆動信号、354…検出回路、355…ADC、356…相互誘導電圧パターン記憶部、357…差分算出部、358…パルス発生器、382…軸、383…ホルダ、L1…レーザビーム、L2…出射光、L3, L4…戻り光

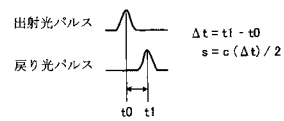
10

20

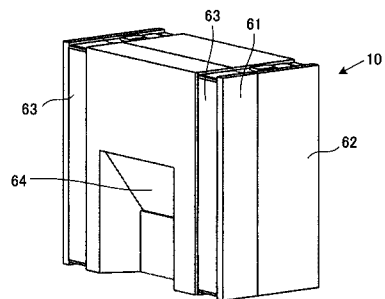
【図 1】



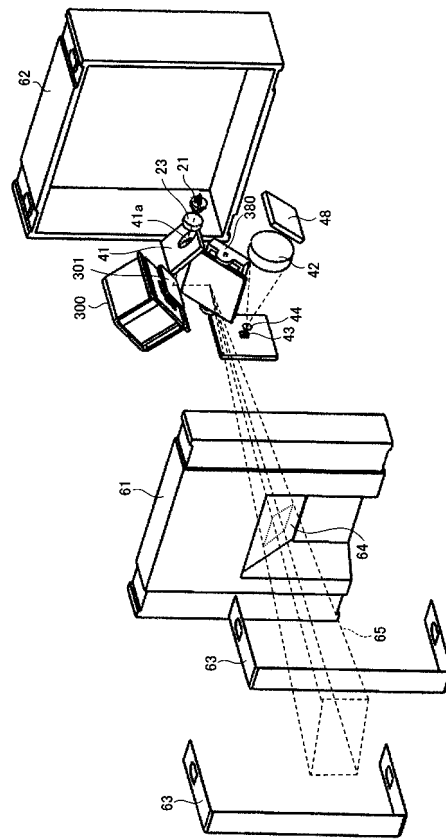
【図 2】



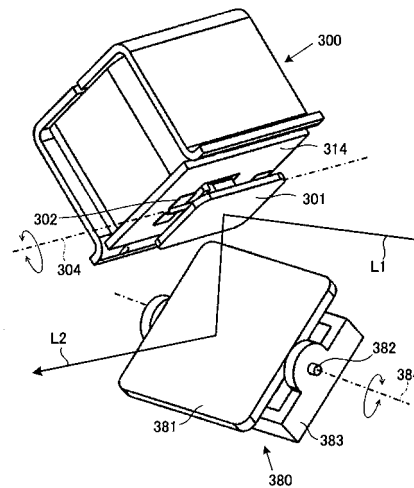
【図 4】



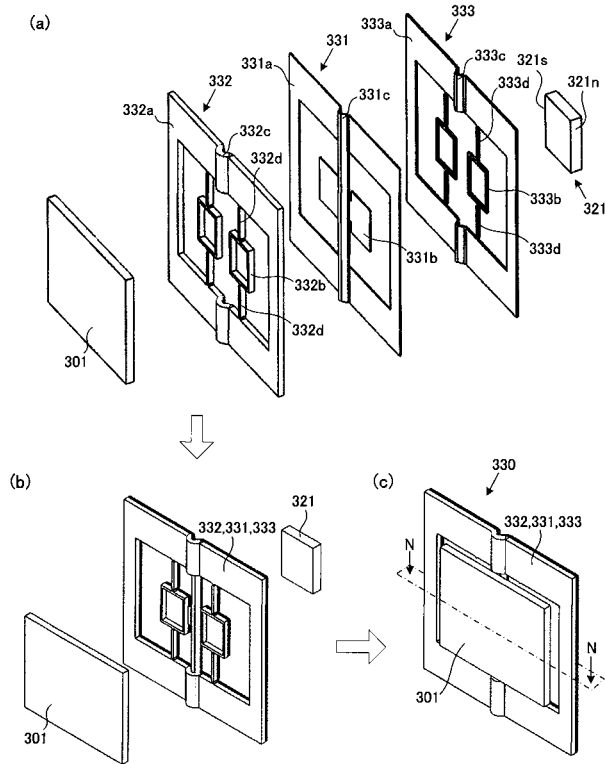
【図 3】



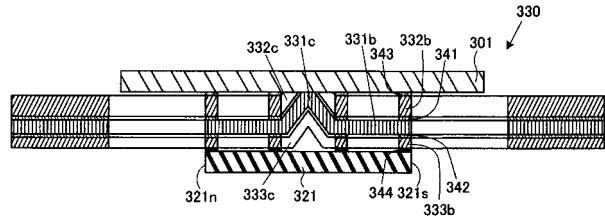
【図 5】



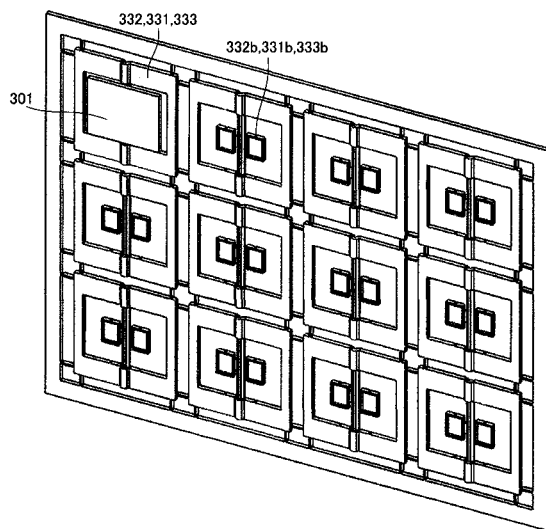
【図 9】



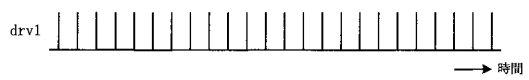
【図 10】



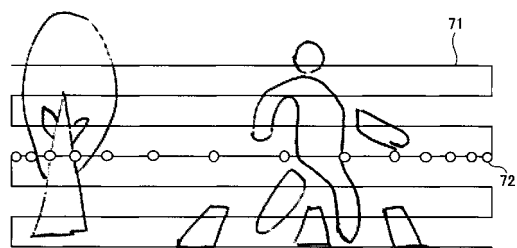
【図 11】



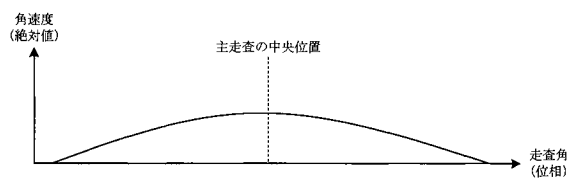
【図 13】



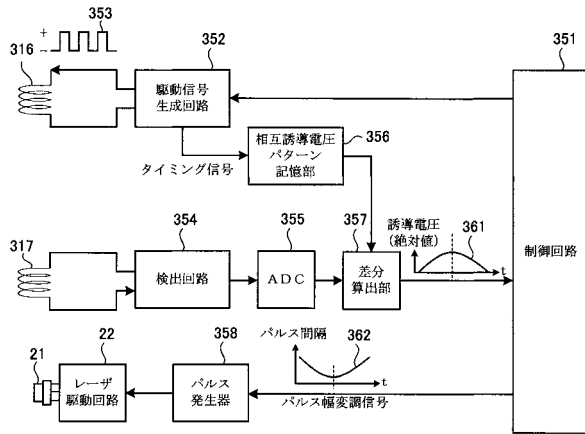
【図 14】



【図 12】



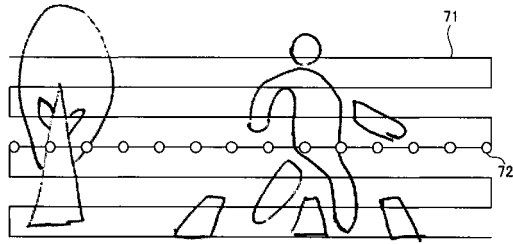
【図 15】



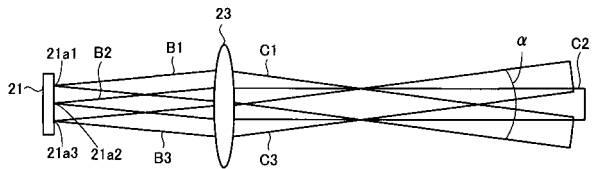
【図 16】



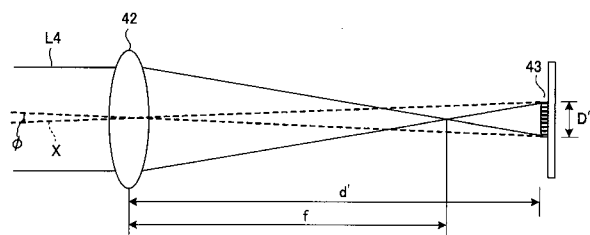
【図 17】



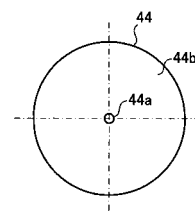
【図 18】



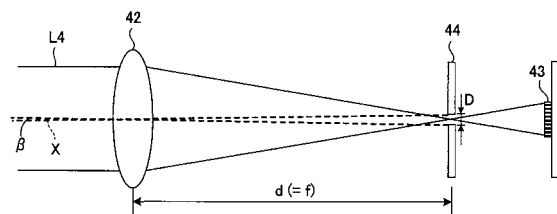
【図 19】



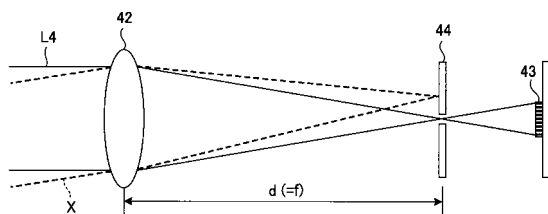
【図 21】



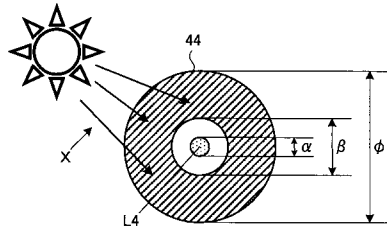
【図 20】



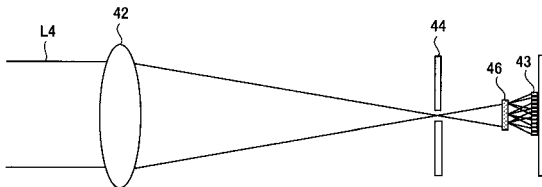
【図 22】



【図 2 3】



【図 2 4】



【手続補正書】

【提出日】平成31年1月15日(2019.1.15)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

レーザビームを外部へ投光する投光部と、

受光素子と、

外部からの入射光を前記受光素子へ導く受光光学系と、

前記レーザビームの投光タイミングと、前記受光素子が出力する光検出信号のタイミングとに基づき、前記レーザビームの光路上の物体までの距離を検出する物体検出部とを備える物体検出装置であって、

前記受光光学系が、

入射光を所定の焦点面上に結像させる集光レンズと、

前記集光レンズの焦点面上に配置されたアパーチャーとを備えることを特徴とする物体検出装置。

フロントページの続き

Fターム(参考) 5J084 AA04 AA05 AA07 AA10 AC02 AD01 BA04 BA36 BA50 BB02
BB04 BB21 BB28 BB37 CA03 CA31 CA49 EA01