

(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2014-182226

(P2014-182226A)

(43) 公開日 平成26年9月29日(2014.9.29)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G02B 26/10 (2006.01)	G02B 26/10 1 O 4 Z	2 H 0 4 5
G02B 27/01 (2006.01)	G02B 26/10 C	2 H 1 9 9
G02B 27/02 (2006.01)	G02B 27/02 A	3 C 0 8 1
B81B 3/00 (2006.01)	G02B 27/02 Z	5 C 0 5 8
H04N 5/74 (2006.01)	B 8 1 B 3/00	
審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 36 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2013-55729 (P2013-55729)
 (22) 出願日 平成25年3月18日 (2013.3.18)

(71) 出願人 000002369
 セイコーエプソン株式会社
 東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
 (74) 代理人 100091292
 弁理士 増田 達哉
 (74) 代理人 100091627
 弁理士 朝比 一夫
 (72) 発明者 清水 武士
 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
 Fターム(参考) 2H045 AB13 AB24 AB25 AB38 AB44
 AB81 BA13 BA24 CB63
 2H199 CA03 CA12 CA34 DA03
 3C081 AA01 BA22 BA28 BA33 BA44
 BA47 BA54 EA08 EA12
 5C058 AA18 EA05 EA13 EA27

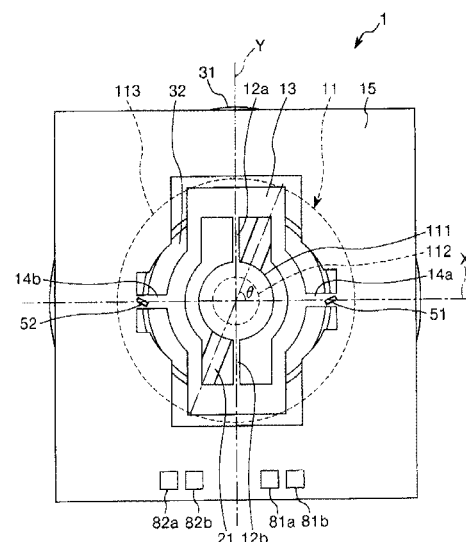
(54) 【発明の名称】 光スキャナー、アクチュエーター、画像表示装置およびヘッドマウントディスプレイ

(57) 【要約】

【課題】可動部を含むジンバル構造において、歪検出素子に接続された配線の断線を抑制しつつ、歪検出素子を用いて可動部の第1の軸周りの挙動を検出することができる光スキャナーおよびアクチュエーターを提供すること、また、かかる光スキャナーを備える信頼性に優れた画像表示装置およびヘッドマウントディスプレイを提供すること。

【解決手段】光スキャナー1は、Y軸周りに揺動可能な可動ミラー部11と、Y軸に交差するX軸周りに揺動可能な枠体部13と、可動ミラー部11と枠体部13とを接続する軸部12a、12bと、固定部15と、枠体部13と固定部15とを接続する軸部14a、14bと、軸部14aに配置された歪検出素子51とを備え、歪検出素子51の検出信号に含まれる軸部14aの曲げ変形および捩れ変形に基づく信号を用いて、可動ミラー部11のX軸周りおよびY軸周りの挙動を検出する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

光反射性を有する光反射部が設けられ、かつ、第 1 の軸周りに揺動可能な可動部と、
前記第 1 の軸に交差する第 2 の軸周りに揺動可能な枠体部と、
前記可動部と前記枠体部とを接続する第 1 軸部と、
固定部と、
前記枠体部と前記固定部とを接続する第 2 軸部と、
前記第 2 軸部に配置され、前記第 2 軸部の変形を検出する歪検出素子と、
前記歪検出素子の検出信号が入力され、前記第 2 軸部の曲げ変形に基づく信号を出力する第 1 信号処理部と、
前記歪検出素子の検出信号が入力され、前記第 2 軸部の捩り変形に基づく信号を出力する第 2 信号処理部と、を備えることを特徴とする光スキャナー。

10

【請求項 2】

前記第 1 信号処理部から出力された信号に基づいて、前記可動部の前記第 1 の軸周りの挙動を検出する請求項 1 に記載の光スキャナー。

【請求項 3】

前記歪検出素子は、圧電抵抗領域と、前記圧電抵抗領域上に前記第 2 軸部の長手方向に対して傾斜した方向に並んで配置された 1 対の端子と、を備える請求項 1 または 2 に記載の光スキャナー。

【請求項 4】

前記歪検出素子は、前記第 2 軸部の前記固定部側の端部に配置されている請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載の光スキャナー。

20

【請求項 5】

オブザーバーを用いて、前記第 1 信号処理部から出力された信号に基づいて、前記可動部の前記第 1 の軸周りの挙動を推定する請求項 2 に記載の光スキャナー。

【請求項 6】

前記可動部の前記第 1 の軸周りの揺動に関する共振周波数における振幅と、前記枠体部の前記第 1 の軸周りの揺動に関する共振周波数における振幅との比を用いて、前記第 1 信号処理部から出力された信号に基づいて、前記可動部の前記第 1 の軸周りの挙動を推定する請求項 2 に記載の光スキャナー。

30

【請求項 7】

前記第 2 軸部は、前記枠体部を挟んで 1 対設けられており、
前記歪検出素子は、前記 1 対の第 2 軸部のそれぞれに配置されている請求項 1 ないし 6 のいずれか 1 項に記載の光スキャナー。

【請求項 8】

前記第 2 信号処理部から出力された信号に基づいて、前記可動部の前記第 2 の軸周りの挙動を検出する請求項 1 ないし 7 のいずれか 1 項に記載の光スキャナー。

【請求項 9】

光反射性を有する光反射部が設けられ、かつ、第 1 の軸周りに揺動可能な可動部と、
前記第 1 の軸に交差する第 2 の軸周りに揺動可能な枠体部と、
前記可動部と前記枠体部とを接続する第 1 軸部と、
固定部と、
前記枠体部と前記固定部とを接続する第 2 軸部と、を備え、
前記第 2 軸部のみに歪検出素子が配置され、
前記歪検出素子の検出信号が前記第 2 軸部の曲げ変形および捩れ変形に基づく信号を含んでいることを特徴とする光スキャナー。

40

【請求項 10】

枠体部の内側で前記枠体部に支持される第 1 軸部により可動部を第 1 の軸周りに揺動可能に支持するとともに前記枠体部の外側で第 2 軸部により前記枠体部を前記第 1 の軸に交差する第 2 の軸周りに揺動可能に支持するジンバル構造を有するアクチュエーターであっ

50

て、

前記第 2 軸部に配置され、前記第 2 軸部の変形を検出する歪検出素子を有し、

前記歪検出素子の検出信号に含まれる前記第 2 軸部の曲げ変形および捩れ変形に基づく信号を用いて、前記可動部の前記第 1 の軸周りおよび前記第 2 の軸周りの挙動を検出することを特徴とするアクチュエーター。

【請求項 1 1】

請求項 1 ないし 9 のいずれか 1 項に記載の光スキャナーと、

光を出射する光源と、を備え、

前記光源から出射した光を前記光反射部で反射し、画像を表示することを特徴とする画像表示装置。

10

【請求項 1 2】

請求項 1 ないし 9 のいずれか 1 項に記載の光スキャナーと、

光を出射する光源と、を備え、

前記光源から出射した光を前記光反射部で反射し、画像を虚像として表示することを特徴とするヘッドマウントディスプレイ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光スキャナー、アクチュエーター、画像表示装置およびヘッドマウントディスプレイに関するものである。

20

【背景技術】

【0002】

例えば、プロジェクター、ヘッドマウントディスプレイ等に用いられ、光を 2 次的に走査する光スキャナーが知られている（例えば、特許文献 1 参照）。

例えば、特許文献 1 に記載の光スキャナーは、枠状の外側フレーム（固定部）と、外側フレームの内側に設けられた枠状の内側フレーム（枠体部）と、内側フレームを外側フレームに対して回動可能に支持する 1 対の第 2 の弾性ビーム（第 2 軸部）と、内側フレームの内側に設けられたミラー部（可動部）と、ミラー部を内側フレームに対して回動可能に支持する 1 対の第 1 の弾性ビーム（第 1 軸部）とを有する。

【0003】

30

このような光スキャナーでは、第 2 の弾性ビームを捩れ変形させながら内側フレームを外側フレームに対して回動させるとともに、第 1 の弾性ビームを捩れ変形させながらミラー部を内側フレームに対して回動させることにより、ミラー部で反射した光を 2 次的に走査する。

また、特許文献 1 に記載の光スキャナーでは、ミラー部と内側フレームとの間の第 1 の弾性ビーム上にピエゾ抵抗が配置されている。これにより、このピエゾ抵抗の抵抗値変化に基づいて、第 1 の弾性ビームの捩れ変形によるミラー部の回動を検知することができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

40

【0004】

【特許文献 1】特開 2003 - 207737 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献 1 に記載の光スキャナーでは、ミラー部と内側フレームとの間の第 1 の弾性ビーム上にピエゾ抵抗が設けられているため、そのピエゾ抵抗に電力を供給するための配線やピエゾ抵抗の検出信号を取り出すための配線を内側フレームと外側フレームとの間の第 2 の弾性ビーム上の全域に亘って配置する必要がある。

このように、第 2 の弾性ビーム上の全域に亘って配線が形成されていると、第 2 の弾性

50

ビームの捩れによる変形量の最も大きい部分上を配線が通るため、弾性ビームの捩れ変形により繰返し応力を受けることによって、配線が断線するおそれがあるという問題があった。

本発明の目的は、歪検出素子に接続された配線の断線を抑制しつつ、歪検出素子を用いて可動部の挙動を検出することができる光スキャナーおよびアクチュエーターを提供すること、また、かかる光スキャナーを備える信頼性に優れた画像表示装置およびヘッドマウントディスプレイを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

このような目的は、下記の本発明により達成される。

10

本発明の光スキャナーは、光反射性を有する光反射部が設けられ、かつ、第1の軸周りに揺動可能な可動部と、

前記第1の軸に交差する第2の軸周りに揺動可能な枠体部と、

前記可動部と前記枠体部とを接続する第1軸部と、

固定部と、

前記枠体部と前記固定部とを接続する第2軸部と、

前記第2軸部に配置され、前記第2軸部の変形を検出する歪検出素子と、

前記歪検出素子の検出信号が入力され、前記第2軸部の曲げ変形に基づく信号を出力する第1信号処理部と、

前記歪検出素子の検出信号が入力され、前記第2軸部の捩り変形に基づく信号を出力する第2信号処理部と、を備えることを特徴とする。

20

このような光スキャナーによれば、第1信号処理部から出力された信号に基づいて、可動部の第1の軸周りの挙動を検出することができる。また、第2信号処理部から出力された信号に基づいて、可動部の第2の軸周りの挙動を検出することができる。

しかも、歪検出素子が第2軸部に配置されているため、歪検出素子に接続される配線を第2軸部の長手方向での全域に亘って配置する必要がない。そのため、かかる配線の断線を抑制することができる。

【0007】

本発明の光スキャナーでは、前記第1信号処理部から出力された信号に基づいて、前記可動部の前記第1の軸周りの挙動を検出することが好ましい。

30

これにより、検出した挙動に基づいて、可動部の第1の軸周りの挙動を所望の状態となるように制御したり、可動部の第1の軸周りの挙動と他の装置の動作とを同期させたりすることができる。

【0008】

本発明の光スキャナーでは、前記歪検出素子は、圧電抵抗領域と、前記圧電抵抗領域上に前記第2軸部の長手方向に対して傾斜した方向に並んで配置された1対の端子と、を備えることが好ましい。

これにより、歪検出素子から出力される信号に含まれる第2軸部の曲げ変形および捩れ変形のそれぞれに基づく信号を大きくすることができる。

【0009】

40

本発明の光スキャナーでは、前記第1歪検出素子は、前記第2軸部の前記固定部側の端部に配置されていることが好ましい。

これにより、歪検出素子に接続される配線の第2軸部に配置される部分を少なくすることができる。

本発明の光スキャナーでは、オブザーバーを用いて、前記第1信号処理部から出力された信号に基づいて、前記可動部の前記第1の軸周りの挙動を推定することが好ましい。

これにより、可動部の第1の軸周りの揺動が共振状態でなくとも、第1信号処理部から出力された信号に基づいて、可動部の第1の軸周りの挙動を検出することができる。

【0010】

本発明の光スキャナーでは、前記可動部の前記第1の軸周りの揺動に関する共振周波数

50

における振幅と、前記枠体部の前記第 1 の軸周りの揺動に関する共振周波数における振幅との比を用いて、前記第 1 信号処理部から出力された信号に基づいて、前記可動部の前記第 1 の軸周りの挙動を推定することが好ましい。

これにより、比較的簡単な構成で、第 1 信号処理部から出力された信号に基づいて、可動部の第 1 の軸周りの挙動を高精度に検出することができる。

【0011】

本発明の光スキャナーでは、前記第 2 軸部は、前記枠体部を挟んで 1 対設けられており、

前記歪検出素子は、前記 1 対の第 2 軸部のそれぞれに配置されていることが好ましい。

これにより、1 対の歪検出素子の検出信号から、第 2 軸部の曲げ変形に基づく信号と、第 2 軸部の捩れ変形に基づく信号とをそれぞれ効率的に取り出すことができる。

【0012】

本発明の光スキャナーでは、前記第 2 信号処理部から出力された信号に基づいて、前記可動部の前記第 2 の軸周りの挙動を検出することが好ましい。

これにより、検出した挙動に基づいて、可動部の第 2 の軸周りの挙動を所望の状態となるように制御したり、可動部の第 2 の軸周りの挙動と他の装置の動作とを同期させたりすることができる。

【0013】

本発明の光スキャナーは、光反射性を有する光反射部が設けられ、かつ、第 1 の軸周りに揺動可能な可動部と、

前記第 1 の軸に交差する第 2 の軸周りに揺動可能な枠体部と、

前記可動部と前記枠体部とを接続する第 1 軸部と、

固定部と、

前記枠体部と前記固定部とを接続する第 2 軸部と、を備え、

前記第 2 軸部のみに歪検出素子が配置され、

前記歪検出素子の検出信号が前記第 2 軸部の曲げ変形および捩れ変形に基づく信号を含んでいることを特徴とする。

このような光スキャナーによれば、歪検出素子の検出信号に基づいて、可動部の第 1 の軸周りおよび第 2 の軸周りの挙動を検出することができる。また、歪検出素子に接続される配線を第 2 軸部の長手方向での全域に亘って配置する必要がない。そのため、かかる配線の断線を抑制することができる。

【0014】

本発明のアクチュエーターは、枠体部の内側で前記枠体部に支持される第 1 軸部により可動部を第 1 の軸周りに揺動可能に支持するとともに前記枠体部の外側で第 2 軸部により前記枠体部を前記第 1 の軸に交差する第 2 の軸周りに揺動可能に支持するジンバル構造を有するアクチュエーターであって、

前記第 2 軸部に配置され、前記第 2 軸部の変形を検出する歪検出素子を有し、

前記歪検出素子の検出信号に含まれる前記第 2 軸部の曲げ変形および捩れ変形に基づく信号を用いて、前記可動部の前記第 1 の軸周りおよび前記第 2 の軸周りの挙動を検出することを特徴とする。

このようなアクチュエーターによれば、歪検出素子の検出信号に基づいて、可動部の第 1 の軸周りおよび第 2 の軸周りの挙動を検出することができる。また、歪検出素子に接続される配線を第 2 軸部の長手方向での全域に亘って配置する必要がない。そのため、かかる配線の断線を抑制することができる。

【0015】

本発明の画像表示装置は、本発明の光スキャナーと、

光を出射する光源と、を備え、

前記光源から出射した光を前記光反射部で反射し、画像を表示することを特徴とする。

これにより、優れた信頼性を有する画像表示装置を提供することができる。

本発明のヘッドマウントディスプレイは、本発明の光スキャナーと、

光を出射する光源と、を備え、

前記光源から出射した光を前記光反射部で反射し、画像を虚像として表示することを特徴とする。

これにより、優れた信頼性を有するヘッドマウントディスプレイを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】本発明の第1実施形態に係る光スキャナーを示す平面図である。

【図2】図1に示す光スキャナーの断面図（X軸に沿った断面図）である。

【図3】図1に示す光スキャナーの制御系を示すブロック図である。

10

【図4】図1に示す光スキャナーが備える駆動部の電圧印加部を説明するためのブロック図である。

【図5】図4に示す第1の電圧発生部および第2の電圧発生部での発生電圧の一例を示す図である。

【図6】図1に示す光スキャナーの歪検出素子を説明するための図である。

【図7】2端子型の歪検出素子の姿勢とシリコンの結晶方位との関係を説明するための図である。

【図8】piezo抵抗領域にp型シリコンを用いた場合における2端子型の歪検出素子の姿勢（角度）と引張応力およびせん断応力による抵抗値変化率の絶対値との関係を示すグラフである。

20

【図9】piezo抵抗領域にn型シリコンを用いた場合における2端子型の歪検出素子の姿勢（角度）と引張応力およびせん断応力による抵抗値変化率の絶対値との関係を示すグラフである。

【図10】2端子型の歪検出素子の姿勢（角度）と引張応力およびせん断応力による抵抗値変化率の絶対値の比との関係を示すグラフである。

【図11】（a）は、枠体部に印加される第1の軸周りのトルクと可動部および枠体部のY軸周りの揺動角との比に関する周波数特性を示すグラフ、（b）は、枠体部に印加される第1の軸周りのトルクと可動部および枠体部の第1の軸周りの揺動との位相差に関する周波数特性を示すグラフである。

【図12】（a）は、図11（a）の共振周波数付近を拡大したグラフ、（b）は、図11（b）の共振周波数付近を拡大したグラフである。

30

【図13】本発明の第2実施形態に係る光スキャナーを示す平面図である。

【図14】図13に示す光スキャナーの歪検出素子を説明するための図である。

【図15】piezo抵抗領域にp型シリコンを用いた場合における4端子型の歪検出素子の姿勢（角度）と引張応力およびせん断応力による抵抗値変化の絶対値との関係を示すグラフである。

【図16】piezo抵抗領域にn型シリコンを用いた場合における4端子型の歪検出素子の姿勢（角度）と引張応力およびせん断応力による抵抗値変化の絶対値との関係を示すグラフである。

【図17】4端子型の歪検出素子の姿勢（角度）と引張応力およびせん断応力による抵抗値変化の絶対値の比との関係を示すグラフである。

40

【図18】本発明の画像表示装置の実施形態を模式的に示す図である。

【図19】図18に示す画像表示装置の制御系を示すブロック図である。

【図20】本発明の画像表示装置の応用例1を示す斜視図である。

【図21】本発明の画像表示装置の応用例2を示す斜視図である。

【図22】本発明の画像表示装置の応用例3を示す斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下、本発明の光スキャナー、アクチュエーター、画像表示装置およびヘッドマウントディスプレイの好適な実施形態について、添付図面を参照しつつ説明する。なお、以下で

50

は、本発明のアクチュエーターを光スキャナーに適用した場合を例に説明するが、本発明のアクチュエーターは、この場合に限定されず、例えば、光スイッチ、光アッテネーター等の他の光学デバイスにも適用可能である。

【0018】

(光スキャナー)

<第1実施形態>

図1は、本発明の第1実施形態に係る光スキャナーを示す平面図、図2は、図1に示す光スキャナーの断面図(X軸に沿った断面図)、図3は、図1に示す光スキャナーの制御系を示すブロック図である。また、図4は、図1に示す光スキャナーが備える駆動部の電圧印加部を説明するためのブロック図、図5は、図4に示す第1の電圧発生部および第2の電圧発生部での発生電圧の一例を示す図である。

10

【0019】

なお、以下では、説明の便宜上、図2中の上側を「上」、下側を「下」と言う。

図1および図2に示すように、光スキャナー1は、可動ミラー部11と、1対の軸部12a、12b(第1軸部)と、枠体部13と、1対の軸部14a、14b(第2軸部)と、固定部15と、永久磁石21と、コイル31と、磁心32と、電圧印加部4と、歪検出素子51(第1歪検出素子)および歪検出素子52(第2歪検出素子)とを備える。

【0020】

ここで、可動ミラー部11、1対の軸部12a、12bは、Y軸(第1の軸)周りに揺動(往復回転)する第1の振動系を構成する。また、可動ミラー部11、1対の軸部12a、12b、枠体部13、1対の軸部14a、14bおよび永久磁石21は、X軸(第2の軸)周りに揺動(往復回転)する第2の振動系を構成する。

20

また、永久磁石21、コイル31および電圧印加部4は、永久磁石21およびコイル31の磁界の相互作用により、前述した第1の振動系および第2の振動系を駆動(すなわち、可動ミラー部11をX軸およびY軸周りに揺動)させる駆動部を構成する。

【0021】

特に、光スキャナー1では、歪検出素子51、52が軸部14a、14bに配置されており、歪検出素子51、52の検出信号は、それぞれ、軸部14a、14bの曲げ変形および捩れ変形に基づく信号を含み、図3に示すように、第1信号処理回路71および第2信号処理回路72に入力される。第1信号処理回路71は、軸部14a、14bの曲げ変形に基づく信号を出力する。第1信号処理回路71から出力された信号は、制御部6に入力される。制御部6は、第1信号処理回路71から出力された信号に基づいて、可動ミラー部11のY軸周りの挙動を検出する。このように、歪検出素子51、52の検出信号に含まれる軸部14a、14bの曲げ変形に基づく信号を用いて、可動ミラー部11のY軸周りの挙動を検出する。これにより、歪検出素子51、52に接続される配線(図示せず)を軸部12a、12bに配置したり軸部14aまたは軸部14bの長手方向での全域に亘って配置したりする必要がない。そのため、かかる配線の断線を抑制することができる。

30

【0022】

また、第2信号処理回路72は、軸部14a、14bの捩れ変形に基づく信号を出力する。第2信号処理回路72から出力された信号は、制御部6に入力される。制御部6は、第2信号処理回路72から出力された信号に基づいて、可動ミラー部11のX軸周りの挙動を検出する。このように、歪検出素子51、52から出力される信号に含まれる軸部14a、14bの捩れ変形に基づく信号を用いて、可動ミラー部11のX軸周りの挙動を検出する。

40

【0023】

以下、光スキャナー1の各部を順次詳細に説明する。

可動ミラー部11は、基部(可動部)111と、スペーサー112を介して基部111に固定された光反射板113とを有する。ここで、基部(可動部)111は固定部15に対して揺動(回転)可能な機能を有するものである。

50

光反射板 1 1 3 の上面（一方の面）には、光反射性を有する光反射部 1 1 4 が設けられている。

この光反射板 1 1 3 は、軸部 1 2 a、1 2 b に対して光反射板 1 1 3 の板厚方向に離間するとともに、板厚方向からみたときに（以下、「平面視」ともいう）軸部 1 2 a、1 2 b と重なって設けられている。

【0024】

そのため、軸部 1 2 a と軸部 1 2 b との間の距離を短くしつつ、光反射板 1 1 3 の板面の面積を大きくすることができる。また、軸部 1 2 a と軸部 1 2 b との間の距離を短くすることができることから、枠体部 1 3 の小型化を図ることができる。さらに、枠体部 1 3 の小型化を図ることができることから、軸部 1 4 a と軸部 1 4 b との間の距離を短くすることができる。

10

このようなことから、光反射板 1 1 3 の板面の面積を大きくしても、光スキャナー 1 の小型化を図ることができる。

【0025】

また、光反射板 1 1 3 は、平面視にて、軸部 1 2 a、1 2 b の全体を覆うように形成されている。言い換えると、軸部 1 2 a、1 2 b は、それぞれ、平面視にて、光反射板 1 1 3 の外周に対して内側に位置している。これにより、光反射板 1 1 3 の板面の面積が大きくなり、その結果、光反射部 1 1 4 の面積を大きくすることができる。また、不要な光（例えば、光反射部 1 1 4 に入射できなかった光）が軸部 1 2 a、1 2 b で反射して迷光となるのを抑制することができる。

20

【0026】

また、光反射板 1 1 3 は、平面視にて、枠体部 1 3 の全体を覆うように形成されている。言い換えると、枠体部 1 3 は、平面視にて、光反射板 1 1 3 の外周に対して内側に位置している。これにより、光反射板 1 1 3 の板面の面積が大きくなり、その結果、光反射部 1 1 4 の面積を大きくすることができる。また、不要な光が枠体部 1 3 で反射して迷光となるのを抑制することができる。

【0027】

さらに、光反射板 1 1 3 は、平面視にて、軸部 1 4 a、1 4 b の全体を覆うように形成されている。言い換えると、軸部 1 4 a、1 4 b は、それぞれ、平面視にて、光反射板 1 1 3 の外周に対して内側に位置している。これにより、光反射板 1 1 3 の板面の面積が大きくなり、その結果、光反射部 1 1 4 の面積を大きくすることができる。また、不要な光が軸部 1 4 a、1 4 b で反射して迷光となるのを抑制することができる。

30

【0028】

本実施形態では、光反射板 1 1 3 は、平面視にて、円形をなしている。なお、光反射板 1 1 3 の平面視形状は、これに限定されず、例えば、楕円形、四角形等の多角形であってもよい。また、光反射板 1 1 3 の平面視形状を X 軸および Y 軸に沿った方向に突出した形状にすることで、光反射板 1 1 3 の慣性モーメントを小さく抑えつつ各軸部での迷光を効率よく低減できる。

このような光反射板 1 1 3 の下面（他方の面、光反射板 1 1 3 の基部 1 1 1 側の面）には、硬質層 1 1 5 が設けられている。

40

【0029】

硬質層 1 1 5 は、光反射板 1 1 3 本体の構成材料よりも硬質な材料で構成されている。これにより、光反射板 1 1 3 の剛性を高めることができる。そのため、光反射板 1 1 3 の揺動時における撓みを抑制することができる。また、光反射板 1 1 3 の厚さを薄くし、光反射板 1 1 3 の X 軸および Y 軸周りの揺動時における慣性モーメントを抑えることができる。

このような硬質層 1 1 5 の構成材料としては、光反射板 1 1 3 本体の構成材料よりも硬質な材料であれば、特に限定されず、例えば、ダイヤモンド、水晶、サファイヤ、タンタル酸リチウム、ニオブ酸カリウム、カーボンナイトライド膜などを用いることができるが、特に、ダイヤモンドを用いるのが好ましい。

50

【0030】

硬質層115の厚さ(平均)は、特に限定されないが、1~10 μ m程度であるのが好ましく、1~5 μ m程度であるのがさらに好ましい。

また、硬質層115は、単層で構成されていてもよいし、複数の層の積層体で構成されていてもよい。また、硬質層115は、光反射板113の下面全体に設けられていてもよいし、下面の一部に設けられていてもよい。なお、硬質層115は、必要に応じて設けられるものであり、省略することもできる。

【0031】

このような硬質層115の形成には、例えば、プラズマCVD、熱CVD、レーザーCVDのような化学蒸着法(CVD)、真空蒸着、スパッタリング、イオンプレーティング等の乾式メッキ法、電解メッキ、浸漬メッキ、無電解メッキ等の湿式メッキ法、溶射、シート状部材の接合等を用いることができる。

また、光反射板113の下面は、スペーサー112を介して基部111に固定されている。これにより、軸部12a、12b、枠体部13および軸部14a、14bとの接触を抑制しつつ、光反射板113をY軸周りに揺動させることができる。

【0032】

また、基部111は、平面視にて、光反射板113の外周に対して内側に位置している。また、基部111の平面視での面積は、基部111がスペーサー112を介して光反射板113を支持することができれば、できるだけ小さいのが好ましい。これにより、光反射板113の板面の面積を大きくしつつ、軸部12aと軸部12bとの間の距離を小さくすることができる。

【0033】

枠体部13は、枠状をなし、前述した可動ミラー部11の基部111を囲んで設けられている。言い換えると、可動ミラー部11の基部111は、枠状をなす枠体部13の内側に設けられている。

この枠体部13は、平面視にて、可動ミラー部11の基部111および1対の軸部12a、12bからなる構造体の外形に沿った形状をなしている。これにより、可動ミラー部11、1対の軸部12a、12bで構成された第1の振動系の振動、すなわち、可動ミラー部11のY軸周りの揺動を許容しつつ、枠体部13の小型化を図ることができる。

【0034】

また、枠体部13は、枠体部13の厚さ方向に軸部12a、12bおよび軸部14a、14bよりも突出したリブ131を有する。このようなリブ131により枠体部13の変形を小さくすることができる。また、このリブ131は、可動ミラー部11が永久磁石21に接触するのを抑制する機能(スペーサーとしての機能)も有する。

なお、枠体部13の形状は、枠状であれば、図示のものに限定されない。

【0035】

また、枠体部13は、Y軸に沿った方向での長さがX軸に沿った方向での長さよりも長くなっている。これにより、軸部12a、12bに必要な長さを確保しつつ、X軸に沿った方向における光スキャナー1の長さを短くすることができる。

そして、枠体部13は、軸部14a、14bを介して固定部15に支持されている。また、可動ミラー部11の基部111は、軸部12a、12bを介して枠体部13に支持されている。

軸部12a、12bおよび軸部14a、14bは、それぞれ、弾性変形可能である。

【0036】

そして、軸部12a、12b(第1軸部)は、可動ミラー部11をY軸(第1の軸)周りに揺動(回動)可能とするように、可動ミラー部11と枠体部13とを接続している。また、軸部14a、14b(第2軸部)は、枠体部13をY軸に直交するX軸(第2の軸)周りに揺動(回動)可能とするように、枠体部13と固定部15とを接続している。

より具体的に説明すると、軸部12a、12bは、可動ミラー部11の基部111を介して(挟んで)互いに対向するように配置されている。

10

20

30

40

50

【0037】

また、軸部12a、12bは、それぞれ、Y軸に沿った方向に延びる長手形状（棒状）をなしている。そして、軸部12a、12bは、それぞれ、一方の端部が基部111に接続され、他方の端部が枠体部13に接続されている。また、軸部12a、12bは、それぞれ、中心軸がY軸に一致するように配置されている。

このように、軸部12a、12bは、可動ミラー部11の基部111を両側から支持している。そして、軸部12a、12bは、それぞれ、可動ミラー部11のY軸周りの揺動に伴って捩れ変形する。

【0038】

なお、軸部12a、12bの形状は、それぞれ、可動ミラー部11を枠体部13に対してY軸周りに揺動可能に支持するものであれば、前述したものに限定されず、例えば、途中の少なくとも1箇所に、屈曲または湾曲した部分、分岐した部分、幅の異なる部分を有していてもよい。

軸部14a、14bは、枠体部13を介して互いに対向するように配置されている。

【0039】

また、1対の軸部14a、14bは、それぞれ、平面視にてX軸上に沿って配置され、X軸に沿った長手形状（棒状）をなしている。そして、軸部14a、14bは、それぞれ、一方の端部が枠体部13に接続され、他方の端部が固定部15に接続されている。また、軸部14a、14bは、それぞれ、中心軸がX軸に一致するように配置されている。

このように、軸部14a、14bは、枠体部13を両側から支持している。そして、軸部14a、14bは、それぞれ、枠体部13のX軸周りの揺動に伴って捩れ変形する。

【0040】

なお、軸部14a、14bの形状は、それぞれ、枠体部13を固定部15に対してX軸周りに揺動可能に支持するものであれば、前述したものに限定されず、例えば、途中の少なくとも1箇所に、屈曲または湾曲した部分、分岐した部分、幅の異なる部分を有していてもよい。

このように、可動ミラー部11をY軸周りに揺動可能とするとともに、枠体部13をX軸周りに揺動可能とすることにより、可動ミラー部11（換言すれば光反射板113）を互いに直交するX軸およびY軸の2軸周りに揺動（回動）させることができる。

以上説明したような基部111、軸部12a、12b、枠体部13、軸部14a、14bおよび固定部15は、一体的に形成されている。

【0041】

本実施形態では、基部111、軸部12a、12b、枠体部13、軸部14a、14bおよび固定部15は、第1のSi層（デバイス層）と、SiO₂層（ボックス層）と、第2のSi層（ハンドル層）とがこの順に積層したSOI基板をエッチングすることにより形成されている。これにより、第1の振動系および第2の振動系の振動特性を優れたものとすることができる。また、SOI基板は、エッチングにより微細な加工が可能であるため、SOI基板を用いて基部111、軸部12a、12b、枠体部13、軸部14a、14bおよび固定部15を形成することにより、これらの寸法精度を優れたものとすることができ、また、光スキャナー1の小型化を図ることができる。

【0042】

そして、基部111、軸部12a、12bおよび軸部14a、14bは、それぞれ、SOI基板の第1のSi層で構成されている。これにより、軸部12a、12bおよび軸部14a、14bの弾性を優れたものとすることができる。また、基部111がY軸周りに回動する際に枠体部13に接触するのを抑制することができる。

ここで、このSOI基板の第1のSi層は、p型シリコン単結晶基板またはn型シリコン単結晶基板である。そして、例えば、この第1のSi層が（100）面のp型シリコン単結晶基板である場合、軸部14a、14bは、それぞれ、（100）面のp型シリコン単結晶基板の結晶軸の<110>方向に沿って延びている。また、この第1のSi層が（100）面のn型シリコン単結晶基板である場合、軸部14a、14bは、それぞれ、（

10

20

30

40

50

100)面のn型シリコン単結晶基板の結晶軸の<100>方向に沿って延びている。

【0043】

また、枠体部13および固定部15は、それぞれ、SOI基板の第1のSi層、SiO₂層および第2のSi層からなる積層体で構成されている。これにより、枠体部13および固定部15の剛性を優れたものとすることができる。

また、枠体部13のSiO₂層および第2のSi層、すなわち、枠体部13の軸部12a、12bまたは軸部14a、14bよりも厚さ方向に突出した部分は、前述した枠体部13の剛性を高めるリブ131を構成する。

【0044】

また、平面視にて、光反射板113の外側に位置する部分(本実施形態では、固定部15)の上面には、反射防止処理が施されているのが好ましい。これにより、光反射板113以外に照射された不要光が迷光となるのを抑制することができる。

かかる反射防止処理としては、特に限定されないが、例えば、反射防止膜(誘電体多層膜)の形成、粗面化処理、黒色処理等が挙げられる。

【0045】

なお、前述した基部111、軸部12a、12b、枠体部13、軸部14a、14bおよび固定部15の構成材料および形成方法は、一例であり、本発明は、これに限定されるものではない。例えば、シリコン基板をエッチングすることにより、基部111、軸部12a、12b、枠体部13、軸部14a、14bおよび固定部15を形成してもよい。

また、本実施形態では、スペーサー112および光反射板113も、SOI基板をエッチングすることにより形成されている。そして、スペーサー112は、SOI基板のSiO₂層および第2のSi層からなる積層体で構成されている。また、光反射板113は、SOI基板の第1のSi層で構成されている。

【0046】

このように、SOI基板を用いてスペーサー112および光反射板113を形成することにより、互いに接合されたスペーサー112および光反射板113を簡単かつ高精度に製造することができる。

このようなスペーサー112は、例えば、接着剤、ろう材等の接合材(図示せず)により基部111に接合されている。

【0047】

固定部15は、枠体部13を支持するものであれば、前述したものに限定されず、例えば、固定部15と軸部14a、14bが別体であってもよい。

前述した枠体部13の下面(光反射板113とは反対側の面)、すなわちリブ131の先端面には、永久磁石21が接合されている。

永久磁石21と枠体部13との接合方法としては、特に限定されないが、例えば、接着剤を用いた接合方法を用いることができる。

永久磁石21は、平面視にて、X軸およびY軸に対して傾斜する方向に磁化されている。

【0048】

本実施形態では、永久磁石21は、X軸およびY軸に対して傾斜する方向に延在する長手形状(棒状)をなす。そして、永久磁石21は、その長手方向に磁化されている。すなわち、永久磁石21は、一端部をS極とし、他端部をN極とするように磁化されている。

また、永久磁石21は、平面視にて、X軸とY軸との交点を中心として対称となるように設けられている。

【0049】

なお、本実施形態では、枠体部13に1つの永久磁石の数を設置した場合を例に説明するが、これに限定されず、例えば、枠体部13に2つの永久磁石を設置してもよい。この場合、例えば、長尺状をなす2つの永久磁石を、平面視にて基部111を介して互いに向向するとともに、互いに平行となるように、枠体部13に設置すればよい。

X軸に対する永久磁石21の磁化の方向(延在方向)の傾斜角は、特に限定されない

10

20

30

40

50

が、 30° 以上 60° 以下であるのが好ましく、 30° 以上 45° 以下であることがより好ましく、 45° であるのがさらに好ましい。このように永久磁石21を設けることで、円滑かつ確実に可動ミラー部11をX軸の周りに回動させることができる。

【0050】

これに対し、傾斜角 θ が前記下限値未満であると、電圧印加部4によりコイル31に印加される電圧の強さなどの諸条件によっては、可動ミラー部11を十分にX軸周りに回動させることができない場合がある。一方、傾斜角 θ が前記上限値を超えると、諸条件によっては、可動ミラー部11を十分にY軸周りに回動させることができない場合がある。

このような永久磁石21としては、例えば、ネオジム磁石、フェライト磁石、サマリウムコバルト磁石、アルニコ磁石、ボンド磁石等を好適に用いることができる。このような永久磁石21は、高磁性体を着磁したものであり、例えば、着磁前の硬磁性体を枠体部13に設置した後に着磁することにより形成される。既に着磁がなされた永久磁石21を枠体部13に設置しようとする、外部や他の部品の磁界の影響により、永久磁石21を所望の位置に設置できない場合があるからである。

【0051】

永久磁石21の直下には、コイル31が設けられている。すなわち、枠体部13の下面に対向するように、コイル31が設けられている。これにより、コイル31から発生する磁界を効率的に永久磁石21に作用させることができる。これにより、光スキャナー1の省電力化および小型化を図ることができる。

本実施形態では、コイル31は、磁心32に巻回されて設けられている。これにより、コイル31で発生した磁界を効率的に永久磁石21に作用させることができる。なお、磁心32は、省略してもよい。

このようなコイル31は、電圧印加部4に電氣的に接続されている。

【0052】

そして、電圧印加部4によりコイル31に電圧が印加されることで、コイル31からX軸およびY軸に直交する方向の磁界が発生する。

電圧印加部4は、図4に示すように、可動ミラー部11をY軸周りに回動させるための第1の電圧 V_1 を発生させる第1の電圧発生部41と、可動ミラー部11をX軸周りに回動させるための第2の電圧 V_2 を発生させる第2の電圧発生部42と、第1の電圧 V_1 と第2の電圧 V_2 とを重畳する電圧重畳部43とを備え、電圧重畳部43で重畳した電圧をコイル31に印加する。

【0053】

第1の電圧発生部41は、図5(a)に示すように、周期 T_1 で周期的に変化する第1の電圧 V_1 （水平走査用電圧）を発生させるものである。すなわち、第1の電圧発生部41は、第1周波数（ $1/T_1$ ）の第1の電圧 V_1 を発生させるものである。

第1の電圧 V_1 は、正弦波のような波形をなしている。そのため、光スキャナー1は効果的に光を主走査することができる。なお、第1の電圧 V_1 の波形は、これに限定されない。

【0054】

また、第1周波数（ $1/T_1$ ）は、水平走査に適した周波数であれば、特に限定されないが、 $10 \sim 40 \text{ kHz}$ であるのが好ましい。

本実施形態では、第1周波数は、可動ミラー部11、1対の軸部12a、12bで構成される第1の振動系（振り振動系）の振り共振周波数（ f_1 ）と等しくなるように設定されている。つまり、第1の振動系は、その振り共振周波数 f_1 が水平走査に適した周波数になるように設計（製造）されている。これにより、可動ミラー部11のY軸周りの回動角を大きくすることができる。

【0055】

一方、第2の電圧発生部42は、図5(b)に示すように、周期 T_1 と異なる周期 T_2 で周期的に変化する第2の電圧 V_2 （垂直走査用電圧）を発生させるものである。すなわち、第2の電圧発生部42は、第2周波数（ $1/T_2$ ）の第2の電圧 V_2 を発生させるも

のである。

第2の電圧 V_2 は、鋸波のような波形をなしている。そのため、光スキャナー1は効果的に光を垂直走査（副走査）することができる。なお、第2の電圧 V_2 の波形は、これに限定されない。

【0056】

第2周波数（ $1/T_2$ ）は、第1周波数（ $1/T_1$ ）と異なり、かつ、垂直走査に適した周波数であれば、特に限定されないが、30～120Hz（60Hz程度）であるのが好ましい。このように、第2の電圧 V_2 の周波数を60Hz程度とし、前述したように第1の電圧 V_1 の周波数を10～40kHzとすることで、ディスプレイでの描画に適した周波数で、可動ミラー部11を互いに直交する2軸（X軸およびY軸）のそれぞれの軸周りに回動させることができる。ただし、可動ミラー部11をX軸およびY軸のそれぞれの軸周りに回動させることができれば、第1の電圧 V_1 の周波数と第2の電圧 V_2 の周波数との組み合わせは、特に限定されない。

10

【0057】

本実施形態では、第2の電圧 V_2 の周波数は、可動ミラー部11、1対の軸部12a、12b、枠体部13、1対の軸部14a、14bおよび永久磁石21で構成された第2の振動系（振り振動系）の振り共振周波数（共振周波数）と異なる周波数となるように調整されている。

このような第2の電圧 V_2 の周波数（第2周波数）は、第1の電圧 V_1 の周波数（第1周波数）よりも小さいことが好ましい。すなわち、周期 T_2 は、周期 T_1 よりも長いことが好ましい。これにより、より確実かつより円滑に、可動ミラー部11をY軸周りに第1周波数で回動させつつ、X軸周りに第2周波数で回動させることができる。

20

【0058】

また、第1の振動系の振り共振周波数を f_1 [Hz]とし、第2の振動系の振り共振周波数を f_2 [Hz]としたとき、 f_1 と f_2 とが、 $f_2 < f_1$ の関係を満たすことが好ましく、 $f_1 = 10f_2$ の関係を満たすことがより好ましい。これにより、より円滑に、可動ミラー部11を、Y軸周りに第1の電圧 V_1 の周波数で回動させつつ、X軸周りに第2の電圧 V_2 の周波数で回動させることができる。これに対し、 $f_1 = f_2$ とした場合は、第2周波数による第1の振動系の振動が起こる可能性がある。

【0059】

30

このような第1の電圧発生部41および第2の電圧発生部42は、それぞれ、制御部6に接続され、この制御部6からの信号に基づき駆動する。このような第1の電圧発生部41および第2の電圧発生部42には、電圧重畳部43が接続されている。

電圧重畳部43は、コイル31に電圧を印加するための加算器43aを備えている。加算器43aは、第1の電圧発生部41から第1の電圧 V_1 を受けるとともに、第2の電圧発生部42から第2の電圧 V_2 を受け、これらの電圧を重畳しコイル31に印加するようになっている。

【0060】

次に、光スキャナー1の駆動方法について説明する。なお、本実施形態では、前述したように、第1の電圧 V_1 の周波数は、第1の振動系の振り共振周波数と等しく設定されており、第2の電圧 V_2 の周波数は、第2の振動系の振り共振周波数と異なる値に、かつ、第1の電圧 V_1 の周波数よりも小さくなるように設定されている（例えば、第1の電圧 V_1 の周波数が18kHz、第2の電圧 V_2 の周波数が60Hzに設定されている）。

40

例えば、図5（a）に示すような第1の電圧 V_1 と、図5（b）に示すような第2の電圧 V_2 とを電圧重畳部43にて重畳し、重畳した電圧をコイル31に印加する。

【0061】

すると、第1の電圧 V_1 によって、永久磁石21の一方の磁極をコイル31に引き付けようとするとともに、永久磁石21の他方の磁極をコイル31から離間させようとする磁界（この磁界を「磁界A1」という）と、永久磁石21の一方の磁極をコイル31から離間させようとするとともに、永久磁石21の他方の磁極をコイル31に引き付けようとする

50

る磁界（この磁界を「磁界 A 2」という）とが交互に切り換わる。

【0062】

ここで、上述したように、図 1 の平面視において、Y 軸を挟んで一方側に永久磁石 2 1 の N 極が位置し、他方側に永久磁石 2 1 の S 極が位置している。そのため、磁界 A 1 と磁界 A 2 とが交互に切り換わることで、枠体部 1 3 に Y 軸周りの捩り振動成分を有する振動が励振され、その振動に伴って、軸部 1 2 a、1 2 b を捩れ変形させつつ、可動ミラー部 1 1 が第 1 の電圧 V_1 の周波数で Y 軸まわりに回転する。

また、第 1 の電圧 V_1 の周波数は、第 1 の振動系の捩り共振周波数と等しい。そのため、第 1 の電圧 V_1 によって、効率的に、可動ミラー部 1 1 を Y 軸周りに回転させることができる。すなわち、前述した枠体部 1 3 の Y 軸周りの捩り振動成分を有する振動が小さくても、その振動に伴う可動ミラー部 1 1 の Y 軸周りの回転角を大きくすることができる。

10

【0063】

一方、第 2 の電圧 V_2 によって、永久磁石 2 1 の一方の磁極をコイル 3 1 に引き付けようとするとともに、永久磁石 2 1 の他方の磁極をコイル 3 1 から離間させようとする磁界（この磁界を「磁界 B 1」という）と、永久磁石 2 1 の一方の磁極をコイル 3 1 から離間させようとするとともに、永久磁石 2 1 の他方の磁極をコイル 3 1 に引き付けようとする磁界（この磁界を「磁界 B 2」という）とが交互に切り換わる。

【0064】

ここで、上述したように、図 1 の平面視において、X 軸を挟んで一方側に永久磁石 2 1 の N 極が位置し、他方側に永久磁石 2 1 の S 極が位置している。そのため、磁界 B 1 と磁界 B 2 とが交互に切り換わることで、軸部 1 4 a、1 4 b をそれぞれ捩れ変形させつつ、枠体部 1 3 が可動ミラー部 1 1 とともに、第 2 の電圧 V_2 の周波数で X 軸周りに回転する。

20

【0065】

また、第 2 の電圧 V_2 の周波数は、第 1 の電圧 V_1 の周波数に比べて極めて低く設定されている。また、第 2 の振動系の捩り共振周波数は、第 1 の振動系の捩り共振周波数よりも低く設計されている。そのため、可動ミラー部 1 1 が第 2 の電圧 V_2 の周波数で Y 軸周りに回転してしまうことを抑制することができる。

このように、第 1 の電圧 V_1 と第 2 の電圧 V_2 とを重畳させた電圧をコイル 3 1 に印加することで、可動ミラー部 1 1 を、Y 軸周りに第 1 の電圧 V_1 の周波数で回転させつつ、X 軸周りに第 2 の電圧の V_2 の周波数で回転させることができる。これにより、装置の低コスト化および小型化を図るとともに、電磁駆動方式（ムービングマグネット方式）により、可動ミラー部 1 1 を X 軸および Y 軸のそれぞれの軸周りに回転させることができる。また、駆動源を構成する部品（永久磁石およびコイル）の数を少なくすることができるため、簡単かつ小型な構成とすることができる。また、コイル 3 1 が光スキャナー 1 の振動系と離間しているので、かかる振動系に対するコイル 3 1 の発熱による悪影響を抑制することができる。

30

このような可動ミラー部 1 1 の挙動は、歪検出素子 5 1、5 2 の検出信号に基づいて検出される。

【0066】

40

以下、歪検出素子 5 1、5 2 について詳述する。

図 6 は、図 1 に示す光スキャナーの歪検出素子を説明するための図である。また、図 7 は、2 端子型の歪検出素子の姿勢とシリコンの結晶方位との関係を説明するための図である。また、図 8 は、圧電抵抗領域に p 型シリコンを用いた場合における 2 端子型の歪検出素子の姿勢（角度）と引張応力およびせん断応力による抵抗値変化率の絶対値との関係を示すグラフである。また、図 9 は、圧電抵抗領域に n 型シリコンを用いた場合における 2 端子型の歪検出素子の姿勢（角度）と引張応力およびせん断応力による抵抗値変化率の絶対値との関係を示すグラフである。また、図 10 は、2 端子型の歪検出素子の姿勢（角度）と引張応力およびせん断応力による抵抗値変化率の絶対値の比との関係を示すグラフである。

50

【0067】

歪検出素子51（第1歪検出素子）は、軸部14aに配置され、軸部14aの変形（曲げ変形および捩れ変形）を検出する。一方、歪検出素子52（第2歪検出素子）は、軸部14bに配置され、軸部14bの変形（曲げ変形および捩れ変形）を検出する。

歪検出素子51、52は、平面視にて、Y軸に対して対称となるように配置されている。なお、以下では、歪検出素子51について主に説明し、歪検出素子52については、歪検出素子51と同様であるため、その説明を省略する。

【0068】

本実施形態では、歪検出素子51は、軸部14aの固定部15側の端部に配置されている。これにより、歪検出素子51に接続される配線を固定部15に引き回すに際し、かかる配線の軸部14aに配置される部分を少なくすることができる。

10

この歪検出素子51は、2端子型の圧電抵抗素子である。

具体的に説明すると、歪検出素子51は、図6に示すように、圧電抵抗領域511と、圧電抵抗領域511上に配置された1対の端子512、513とを有している。

【0069】

圧電抵抗領域511は、軸部14a表面に不純物をドーピングすることにより形成されている。より具体的には、軸部14aがp型シリコン単結晶基板を加工することにより形成されている場合、圧電抵抗領域511は、軸部14a表面にリン等の不純物をドーピングすることにより形成されたn型シリコン単結晶（n型抵抗領域）である。一方、軸部14aがn型シリコン単結晶基板を加工することにより形成されている場合、圧電抵抗領域511は、軸部14a表面にボロン等の不純物をドーピングすることにより形成されたp型シリコン単結晶（p型抵抗領域）である。

20

【0070】

また、圧電抵抗領域511は、軸部14aの長手方向（すなわちX軸方向）に対して傾斜した方向に延びる長手形状をなしている。また、圧電抵抗領域511は、平面視にて、軸部14aの幅方向での中心を跨って配置されている。

なお、本実施形態では、圧電抵抗領域511全体が軸部14a上に設けられているが、圧電抵抗領域511は、軸部14aの曲げ変形による引張応力または圧縮応力を受けるとともに軸部14aの捩れ変形によるせん断応力を受けることができれば、図示の位置に限定されず、例えば、軸部14aと固定部15との境界部を跨るように設けられていてもよい。

30

【0071】

このような圧電抵抗領域511上には、軸部14aの長手方向（すなわちX軸方向）に対して傾斜した方向に並んで1対の端子512、513が配置されている。

本実施形態では、圧電抵抗領域511の長手方向での両端部に1対の端子512、513が配置されている。

1対の端子512、513は、第1信号処理回路71に電氣的に接続されている。なお、図6では、図示しないが、1対の端子512、513は、図3に示す第2信号処理回路72にも電氣的に接続されている。

【0072】

40

このような歪検出素子51では、軸部14aの曲げ変形に伴って圧電抵抗領域511に引張応力または圧縮応力が生じると、その引張応力または圧縮応力の程度に応じて、圧電抵抗領域511の比抵抗値が変化する。

また、歪検出素子51では、軸部14aの捩れ変形に伴って圧電抵抗領域511にせん断応力が生じると、そのせん断応力の程度に応じて、圧電抵抗領域511の比抵抗値が変化する。

したがって、歪検出素子51の検出信号は、軸部14aの曲げ変形および捩れ変形に基づく信号を含んでいる。

【0073】

本実施形態では、1対の端子512、513が圧電抵抗領域511上にX軸方向に対

50

して傾斜した方向に並んで配置されているので、歪検出素子 5 1 から出力される信号に含まれる軸部 1 4 a の曲げ変形および捩れ変形のそれぞれに基づく信号を大きくすることができる。

このような歪検出素子 5 1 の検出信号に含まれる軸部 1 4 a の曲げ変形に基づく信号と軸部 1 4 a の捩れ変形に基づく信号との比は、歪検出素子 5 1 の角度（傾斜角度）に応じて変化する。ここで、角度は、軸部 1 4 a の長手方向（すなわち X 軸方向）と、1 対の端子 5 1 2、5 1 3 とが並ぶ方向（1 対の端子 5 1 2、5 1 3 を最短距離で結ぶ直線方向）とのなす角度である。

【0074】

以下、歪検出素子 5 1 の検出信号について、図 7 に示すように、軸部 1 4 a の長手方向をシリコン単結晶の結晶軸の $\langle 110 \rangle$ 方向とした場合を例に詳細に説明する。

ピエゾ抵抗領域 5 1 1 を p 型のシリコン単結晶で構成した場合、図 8 (a) に示すように、1 対の端子 5 1 2、5 1 3 間におけるピエゾ抵抗領域 5 1 1 の引張応力に関する抵抗値変化率の絶対値は、角度（ $\langle 110 \rangle$ からのオフセット）が大きくなるに従い小さくなる。すなわち、角度が大きくなるほど、歪検出素子 5 1 の検出信号に含まれる軸部 1 4 a の曲げ変形に基づく信号が小さくなる。

【0075】

一方、この場合、図 8 (b) に示すように、1 対の端子 5 1 2、5 1 3 間におけるピエゾ抵抗領域 5 1 1 のせん断応力に関する抵抗値変化率の絶対値は、角度が大きくなるに従い大きくなる。すなわち、角度が大きくなるほど、歪検出素子 5 1 の検出信号に含まれる軸部 1 4 a の捩れ変形に基づく信号が大きくなる。ただし、捩れ変形に基づく信号の角度による変化は、曲げ変形に基づく信号の角度による変化よりも小さい。

【0076】

また、ピエゾ抵抗領域 5 1 1 を n 型のシリコン単結晶で構成した場合、図 9 (a) に示すように、1 対の端子 5 1 2、5 1 3 間におけるピエゾ抵抗領域 5 1 1 の引張応力に関する抵抗値変化率の絶対値は、角度が大きくなるに従い小さくなる。すなわち、角度が大きくなるほど、歪検出素子 5 1 の検出信号に含まれる軸部 1 4 a の曲げ変形に基づく信号が小さくなる。ただし、曲げ変形に基づく信号の角度による変化は小さい。

【0077】

一方、この場合、図 9 (b) に示すように、1 対の端子 5 1 2、5 1 3 間におけるピエゾ抵抗領域 5 1 1 のせん断応力に関する抵抗値変化率の絶対値は、角度が大きくなるに従い大きくなる。すなわち、角度が大きくなるほど、歪検出素子 5 1 の検出信号に含まれる軸部 1 4 a の捩れ変形に基づく信号が大きくなる。しかも、捩れ変形に基づく信号の角度による変化は、曲げ変形に基づく信号の角度による変化よりも大きい。

【0078】

また、ピエゾ抵抗領域 5 1 1 を p 型のシリコン単結晶で構成した場合、図 10 (a) に示すように、1 対の端子 5 1 2、5 1 3 間におけるピエゾ抵抗領域 5 1 1 の引張応力に関する抵抗値変化率の絶対値 (R_1) とせん断応力に関する抵抗値変化率の絶対値 (R_2) との比 (R_1 / R_2) は、角度が大きくなるに従い小さくなる。すなわち、角度が大きくなるほど、歪検出素子 5 1 の検出信号に含まれる軸部 1 4 a の捩れ変形に基づく信号に対する曲げ変形に基づく信号の割合が小さくなる。

【0079】

また、ピエゾ抵抗領域 5 1 1 を n 型のシリコン単結晶で構成した場合も、図 10 (b) に示すように、1 対の端子 5 1 2、5 1 3 間におけるピエゾ抵抗領域 5 1 1 の引張応力に関する抵抗値変化率の絶対値 (R_1) とせん断応力に関する抵抗値変化率の絶対値 (R_2) との比 (R_1 / R_2) は、角度が大きくなるに従い小さくなる。すなわち、角度が大きくなるほど、歪検出素子 5 1 の検出信号に含まれる軸部 1 4 a の捩れ変形に基づく信号に対する曲げ変形に基づく信号の割合が小さくなる。ただし、かかる割合は、角度によらず小さく、角度による変化も小さい。

以上のようなことから、軸部 1 4 a の長手方向をシリコン単結晶の結晶軸の $\langle 110 \rangle$

10

20

30

40

50

方向とした場合、圧電抵抗領域 5 1 1 を p 型のシリコン単結晶で構成することにより、歪検出素子 5 1 から出力される信号に含まれる軸部 1 4 a の曲げ変形および捩れ変形のそれぞれに基づく信号を効率的に大きくすることができる。

【0080】

また、角度 θ は、軸部 1 4 a、1 4 b を構成するシリコン単結晶の導電型や結晶軸の方向によって異なり、特に限定されないが、例えば、軸部 1 4 a、1 4 b の長手方向をシリコン単結晶の結晶軸の $\langle 110 \rangle$ 方向とし、かつ、圧電抵抗領域 5 1 1 を p 型のシリコン単結晶で構成した場合、 3° 以上 25° 以下であることが好ましく、 5° 以上 8° 以下であることがより好ましい。図 10 (a) に示すように、角度 θ を 3° 以上 25° 以下とすることにより、上述した比 ($R1/R2$) を約 10% から 90% までの範囲とすることができる。また、角度 θ を 5° 以上 8° 以下とすることにより、上述した比 ($R1/R2$) を約 40% から 60% までの範囲とすることができる。

10

【0081】

このような歪検出素子 5 1 の検出信号は、固定部 1 5 に設けられた 1 対の端子 8 1 a、8 1 b を介して、第 1 信号処理回路 7 1 (第 1 信号処理部) および第 2 信号処理回路 7 2 (第 2 信号処理部) に入力される (図 3 参照)。なお、歪検出素子 5 2 の検出信号は、固定部 1 5 に設けられた 1 対の端子 8 2 a、8 2 b を介して、第 1 信号処理回路 7 1 および第 2 信号処理回路 7 2 に入力される。

【0082】

第 1 信号処理回路 7 1 は、歪検出素子 5 1、5 2 の検出信号を所定の処理により信号処理に適した信号に変換する機能を有する。

20

第 1 信号処理回路 7 1 における具体的な処理としては、例えば、インピーダンス変換、温度補償、信号増幅、フィルタ、A/D コンバータ等が挙げられる。

前述したように、歪検出素子 5 1、5 2 の検出信号は、軸部 1 4 a、1 4 b の曲げ変形および捩れ変形に基づく信号を含んでいる。そして、第 1 信号処理回路 7 1 は、上述したような処理を必要に応じて行って、歪検出素子 5 1、5 2 の検出信号から軸部 1 4 a、1 4 b の捩れ変形に基づく信号を除去し、軸部 1 4 a、1 4 b の曲げ変形に基づく信号を出力する。これにより、第 1 信号処理回路 7 1 から出力された信号に基づいて、可動ミラー部 1 1 の Y 軸周りの挙動を検出することができる。

【0083】

30

本実施形態では、第 1 信号処理回路 7 1 は、図 6 に示すように、抵抗素子 7 1 1、7 1 2、7 1 3 および処理部 7 1 4 を有している。

この抵抗素子 7 1 1、7 1 2、7 1 3 および歪検出素子 5 1 は、ブリッジ回路 (ホイートストンブリッジ回路) を構成している。このブリッジ回路は、歪検出素子駆動回路 5 3 により電力が供給され、歪検出素子 5 1 の抵抗値の変化に応じた信号 (電圧) を処理部 7 1 4 へ出力する。

このような抵抗素子 7 1 1、7 1 2、7 1 3 は、それぞれ、歪検出素子 5 1 と同等の温度特性を有していることが好ましい。これにより、歪検出素子 5 1 の温度特性によらず、軸部 1 4 a の曲げ変形量に応じた信号 (電圧) を安定して出力することができる。

【0084】

40

なお、抵抗素子 7 1 1、7 1 2、7 1 3 は、軸部 1 4 a、1 4 b の変形に伴う応力を受けない位置で、固定部 1 5 に配置してもよい。この場合、抵抗素子 7 1 1、7 1 2、7 1 3 は、それぞれ、歪検出素子 5 1 の圧電抵抗領域と同様に構成された抵抗領域と、その抵抗領域に設けられた 1 対の端子とで構成することができる。また、この場合、抵抗素子 7 1 1、7 1 2、7 1 3 は、それぞれ、歪検出素子 5 1 と同等の温度条件となる位置に配置されることが好ましい。

処理部 7 1 4 は、上述したような歪検出素子 5 1 を含むブリッジ回路からの信号 (電圧) から軸部 1 4 a の捩れ変形に基づく成分を除去する。

【0085】

例えば、処理部 7 1 4 は、差動増幅回路であり、歪検出素子 5 1 を含むブリッジ回路か

50

らの信号（電圧）と、このブリッジ回路と同様に構成された歪検出素子 5 2 を含むブリッジ回路からの信号（電圧）との差を増幅する。これにより、これらのブリッジ回路からの信号に含まれる捩れ変形成分を除去するとともに、曲げ変形成分を増幅することができる。

【 0 0 8 6 】

このように、枠体部 1 3 を挟んで設けられた 1 対の軸部 1 4 a、1 4 b に配置された 1 対の歪検出素子 5 1、5 2 の検出信号から、軸部 1 4 a、1 4 b の曲げ変形に基づく信号を構成率的に取り出すことができる。

このような第 1 信号処理回路 7 1 から出力された信号は、図 3 に示す制御部 6 に入力される。

【 0 0 8 7 】

一方、第 2 信号処理回路 7 2 は、歪検出素子 5 1、5 2 の検出信号を所定の処理により信号処理に適した信号に変換する機能を有する。

第 2 信号処理回路 7 2 における具体的な処理としては、例えば、インピーダンス変換、温度補償、信号増幅、フィルタ、A/D コンバータ等が挙げられる。

前述したように、歪検出素子 5 1、5 2 の検出信号は、軸部 1 4 a、1 4 b の曲げ変形および捩れ変形に基づく信号を含んでいる。そして、第 2 信号処理回路 7 2 は、上述したような処理を必要に応じて行って、歪検出素子 5 1、5 2 の検出信号から軸部 1 4 a、1 4 b の曲げ変形に基づく信号を除去し、軸部 1 4 a、1 4 b の捩れ変形に基づく信号を出力する。これにより、第 2 信号処理回路 7 2 から出力された信号に基づいて、可動ミラー部 1 1 の X 軸周りの挙動を検出することができる。

【 0 0 8 8 】

例えば、第 2 信号処理回路 7 2 は、差動増幅回路を含み、上述したような歪検出素子 5 1 を含むブリッジ回路からの信号（電圧）と、このブリッジ回路と同様に構成された歪検出素子 5 2 を含むブリッジ回路からの信号（電圧）との和を増幅する。これにより、これらのブリッジ回路からの信号に含まれる曲げ変形成分を除去するとともに、捩れ変形成分を増幅することができる。

【 0 0 8 9 】

このように、枠体部 1 3 を挟んで設けられた 1 対の軸部 1 4 a、1 4 b に配置された 1 対の歪検出素子 5 1、5 2 の検出信号から、軸部 1 4 a、1 4 b の捩れ変形に基づく信号を構成率的に取り出すことができる。

このような第 2 信号処理回路 7 2 から出力された信号は、図 3 に示す制御部 6 に入力される。

【 0 0 9 0 】

制御部 6 では、第 1 信号処理回路 7 1 から出力された信号に基づいて、可動ミラー部 1 1 の Y 軸周りの挙動を検出する。これにより、検出した挙動に基づいて、可動ミラー部 1 1 の Y 軸周りの挙動を所望の状態となるように制御したり、可動ミラー部 1 1 の Y 軸周りの挙動と他の装置の動作とを同期させたりすることができる。

制御部 6 では、第 2 信号処理回路 7 2 から出力された信号に基づいて、可動ミラー部 1 1 の X 軸周りの挙動を検出する。これにより、検出した挙動に基づいて、可動ミラー部 1 1 の X 軸周りの挙動を所望の状態となるように制御したり、可動ミラー部 1 1 の X 軸周りの挙動と他の装置の動作とを同期させたりすることができる。

【 0 0 9 1 】

本実施形態では、制御部 6 は、図 3 に示すように、H 検出部 6 1 と、V 検出部 6 2 と、H 制御部 6 3 と、V 制御部 6 4 と、H 目標値記憶部 6 5 と、V 目標値生成部 6 6 とを有している。

H 検出部 6 1 は、第 1 信号処理回路 7 1 から出力された信号に基づいて、水平走査の制御に必要な信号として、例えば可動ミラー部 1 1 の Y 軸周りの揺動角に応じた信号を生成する。なお、可動ミラー部 1 1 の Y 軸周りの揺動角の検出方法については、後に詳述する。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 2 】

V 検出部 6 2 は、第 2 信号処理回路 7 2 から出力された信号に基づいて、垂直走査の制御に必要な信号として、例えば可動ミラー部 1 1 の X 軸周りの揺動角に応じた信号を生成する。

H 制御部 6 3 は、H 目標値記憶部 6 5 に予め記憶された H 目標値と、H 検出部 6 1 から出力された信号とに基づいて、水平走査用の駆動信号を生成する。

【 0 0 9 3 】

H 目標値記憶部 6 5 には、H 目標値として、例えば、水平走査用の駆動信号との位相差、可動ミラー部 1 1 の Y 軸周りの最大揺動角が格納（記憶）されている。

V 制御部 6 4 は、V 目標値生成部 6 6 から出力された V 目標値と、V 検出部 6 2 から出力された信号とに基づいて、垂直走査用の駆動信号を生成する。

V 目標値生成部 6 6 は、外部から入力された垂直走査方向へのライン情報に基づいて、V 目標値として、例えば、垂直走査用の駆動信号との位相差、可動ミラー部 1 1 の X 軸周りの最大揺動角を生成する。

ここで、歪検出素子 5 1、5 2 の検出信号を用いて可動ミラー部 1 1 の Y 軸周りの挙動を検出する方法について、可動ミラー部 1 1 の Y 軸周りの揺動角を検出する場合を例として説明する。

【 0 0 9 4 】

（第 1 検出方法）

第 1 検出方法では、オブザーバーを用いて、第 1 信号処理回路 7 1 から出力された信号に基づいて、可動ミラー部 1 1 の Y 軸周りの挙動（本例では揺動角）を推定する。

以下、第 1 検出方法について詳述する。

光スキャナー 1 は、前述したように、水平走査のための第 1 の電圧と垂直走査のための第 2 の電圧を重畳してコイル 3 1 に印加することによって、可動ミラー部 1 1 を Y 軸（第 1 の軸）周りに第 1 の電圧の周波数で揺動させるとともに X 軸（第 2 の軸）周りに第 2 の電圧の周波数で揺動させる。

【 0 0 9 5 】

ここで、第 1 の電圧の周波数（水平走査の駆動周波数）と第 2 の電圧の周波数（垂直走査の駆動周波数）とは十分に離れているため、第 1 の電圧によって生じるトルクと第 2 の電圧によって生じるトルクとのクロストークを考慮しなくてもよい。したがって、光スキャナー 1 における X 軸周りに関する運動と Y 軸周りに関する運動とを独立して考えることができる。

そうすると、光スキャナー 1 の Y 軸周りに関する運動方程式は、下記式（1）で表すことができる。

【 0 0 9 6 】

【数 1】

$$\begin{cases} I_{hh}\ddot{\theta}_{hh} + c_{hh}(\dot{\theta}_{hh} - \dot{\theta}_{vh}) + k_{hh}(\theta_{hh} - \theta_{vh}) = 0 \\ I_{vh}\ddot{\theta}_{vh} + c_{vh}\dot{\theta}_{vh} - c_{hh}(\dot{\theta}_{hh} - \dot{\theta}_{vh}) + k_{vh}\theta_{vh} - k_{hh}(\theta_{hh} - \theta_{vh}) = T(t) \end{cases} \quad (1)$$

【 0 0 9 7 】

ここで、前記式（1）中、 θ_{hh} ：可動ミラー部 1 1 の Y 軸周りの揺動角、 θ_{vh} ：枠体部 1 3 の Y 軸周りの揺動角、 I_{hh} ：可動ミラー部 1 1 の Y 軸周りのイナーシャ、 I_{vh} ：枠体部 1 3 の Y 軸周りのイナーシャ、 C_{hh} ：可動ミラー部 1 1 の Y 軸周りの揺動（振動）の減衰係数、 C_{vh} ：枠体部 1 3 の Y 軸周りの揺動（振動）の減衰係数、 k_{hh} ：軸部 1 2 a、1 2 b の Y 軸周りの捩りばね定数、 k_{vh} ：軸部 1 4 a、1 4 b の Y 軸周りの捩りばね定数、 $T(t)$ ：永久磁石 2 1 およびコイル 3 1 の磁界の相互作用によって枠体部 1 3 が受ける Y 軸周りのトルクである。

そして、

【 0 0 9 8 】

10

20

30

40

【数 2】

$$X = \begin{bmatrix} \theta_{hh} \\ \theta_{vh} \\ \dot{\theta}_{hh} \\ \dot{\theta}_{vh} \end{bmatrix}$$

【0 0 9 9】

とし、軸部 1 4 a、1 4 b の曲げ応力に関する歪検出素子 5 1、5 2 の検出信号の出力（曲げ成分）を y とし、歪検出素子 5 1、5 2 の変換係数を α としたとき、前記式（1）から、次に示すような X および y の関係を導くことができる。 10

【0 1 0 0】

【数 3】

$$\dot{X} = AX + BU$$

$$y = CX$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\frac{k_{hh}}{I_{hh}} & \frac{k_{vh}}{I_{hh}} & -\frac{c_{hh}}{I_{hh}} & \frac{c_{vh}}{I_{hh}} \\ \frac{k_{hh}}{I_{vh}} & -\frac{k_{vh}}{I_{vh}} & \frac{c_{hh}}{I_{vh}} & -\frac{c_{vh}}{I_{vh}} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, C = [0 \quad \alpha \quad 0 \quad 0] \quad 20$$

【0 1 0 1】

このような X および y の関係で与えられるシステムの可観測係数を

【0 1 0 2】

【数 4】

$$M_{obs} = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_1 A_1 \\ C_1 A_1^2 \\ C_1 A_1^3 \end{bmatrix} \quad 30$$

【0 1 0 3】

とすると、次の式が得られる。

【0 1 0 4】

【数 5】

$$M_{obs} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{k_{11}}{I_{21}} & -\frac{k_{21}}{I_{21}} & \frac{c_{21}}{I_{21}} & -\frac{c_{21}}{I_{21}} \\ \frac{c_{11}k_{11}}{I_{11}I_{21}} - \frac{c_{21}k_{11}}{I_{21}^2} & \frac{c_{11}k_{21}}{I_{11}I_{21}} + \frac{c_{21}k_{21}}{I_{21}^2} & -\frac{c_{11}^2}{I_{11}I_{21}} + \frac{k_{11}}{I_{21}} - \frac{c_{11}c_{21}}{I_{21}^2} & \frac{c_{11}c_{21}}{I_{11}I_{21}} - \frac{k_{21}}{I_{21}} + \frac{c_{21}^2}{I_{21}^2} \end{bmatrix} \quad 40$$

【0 1 0 5】

ここで、 $M_{obs} = 4$ であるから、このシステムは可観測である。したがって、軸部 1 4 a、1 4 b に配置した歪検出素子 5 1、5 2 の検出信号に含まれる軸部 1 4 a、1 4 b の曲げ変形に基づく信号に基づいて、オブザーバーによって、可動ミラー部 1 1 の Y 軸周 50

りの揺動角（振れ角）を推定することができる。

かかるオブザーバーは、オブザーバーゲインを L とし、 X および y の推定値の関係は、次のように表される。

【 0 1 0 6 】

【数 6】

$$\dot{\hat{X}} = A\hat{X} + BU - L(\hat{y} - y)$$

$$\hat{y} = C\hat{X}$$

ここで、 \hat{X} = (X の推定値)、 \hat{y} = (y の推定値) である。

10

【 0 1 0 7 】

このような X および y の推定値の関係を用いることにより、歪検出素子 5 1、5 2 の検出信号に含まれる軸部 1 4 a、1 4 b の曲げ変形に基づく信号に基づいて、可動ミラー部 1 1 の Y 軸周りの揺動角を推定することができる。

以上説明したような第 1 検出方法によれば、可動ミラー部 1 1 の Y 軸周りの揺動が共振状態でなくても、第 1 信号処理回路 7 1 から出力された信号に基づいて、可動ミラー部 1 1 の Y 軸周りの挙動を検出することができる。

【 0 1 0 8 】

(第 2 検出方法)

第 2 検出方法では、可動ミラー部 1 1 の Y 軸周りの揺動に関する共振周波数における振幅と、枠体部 1 3 の Y 軸周りの揺動に関する共振周波数における振幅との比を用いて、第 1 信号処理回路 7 1 から出力された信号に基づいて、可動ミラー部 1 1 の Y 軸周りの挙動（本例では揺動角）を推定する。

20

以下、第 2 検出方法について詳述する。

前記式 (1) において、 x_{hh} および x_{vh} のラプラス変換をそれぞれ X_{hh} および X_{vh} とし、初期値をすべて 0 とすると、下記式 (2) が得られる。

【 0 1 0 9 】

【数 7】

$$\begin{cases} (I_{hh}s^2 + c_{hh}s + k_{hh})X_{hh} + (-c_{hh}s - k_{hh})X_{vh} = 0 \\ (-c_{hh}s - k_{hh})X_{hh} + \{c_{vh}s^2 + (c_{vh} + c_{hh})s + (k_{vh} + k_{hh})\}X_{vh} = \text{laplace}[T(t)] \end{cases} \quad \cdots (2)$$

30

【 0 1 1 0 】

この式 (2) を変形すると、下記式 (3) が得られる。

【 0 1 1 1 】

【数 8】

$$\begin{bmatrix} X_{hh} \\ X_{vh} \end{bmatrix} = \frac{1}{(I_{hh}s^2 + c_{hh}s + k_{hh}) \{c_{vh}s^2 + (c_{vh} + c_{hh})s + (k_{vh} + k_{hh})\} - (c_{hh}s + k_{hh})^2} \begin{bmatrix} c_{hh}s + k_{hh} \\ I_{hh}s^2 + c_{hh}s + k_{hh} \end{bmatrix} \text{laplace}[T(t)] \quad \cdots (3)$$

【 0 1 1 2 】

ここで、可動ミラー部 1 1 および枠体部 1 3 の Y 軸周りの揺動に関する共振周波数は、それぞれ、前記式 (3) の分母が最小となるとき $s (= j\omega)$ 、 ω : 角周波数) によって決まる。前記式 (3) からわかるように、 X_{hh} および X_{vh} の分母は互いに等しいため、可動ミラー部 1 1 の Y 軸周りの揺動に関する共振周波数と、枠体部 1 3 の Y 軸周りの揺動に関する共振周波数とは一致する。

40

【 0 1 1 3 】

具体的には、枠体部 1 3 に印加される Y 軸周りのトルクと可動ミラー部 1 1 および枠体部 1 3 の Y 軸周りの揺動角との比に関する周波数特性は、図 1 1 (a) および図 1 2 (a) に示すようになる。

また、枠体部 1 3 に印加される Y 軸周りのトルクと可動ミラー部 1 1 および枠体部 1 3 の Y 軸周りの揺動との位相差に関する周波数特性は、図 1 1 (b) および図 1 2 (b) に

50

示すようになる。

【0114】

なお、図11(a)は、枠体部に印加される第1の軸周りのトルクと可動部および枠体部のY軸周りの揺動角との比に関する周波数特性を示すグラフ、図11(b)は、枠体部に印加される第1の軸周りのトルクと可動部および枠体部の第1の軸周りの揺動との位相差に関する周波数特性を示すグラフである。また、図12(a)は、図11(a)の共振周波数付近を拡大したグラフ、図12(b)は、図11(b)の共振周波数付近を拡大したグラフである。

【0115】

ところで、可動ミラー部11および枠体部13のY軸周りの揺動は、軸部14a、14bの引張応力として現れる。したがって、軸部14a、14bに配置された歪検出素子51、52の検出信号に基づいて、可動ミラー部11がY軸周りの揺動に関する共振状態であるか否かを把握することができる。より具体的には、枠体部13に印加されるY軸周りのトルクと可動ミラー部11および枠体部13のY軸周りの揺動との位相差に基づいて、可動ミラー部11がY軸周りの揺動に関する共振状態であるか否かを把握することができる。

10

【0116】

歪検出素子51、52の検出信号に基づいて可動ミラー部11の揺動角(振れ角)を推定するには、歪検出素子51、52の応答に、可動ミラー部11のY軸周りの揺動に関する共振状態における可動ミラー部11のY軸周りの振幅と枠体部13のY軸周りの振幅との比を乗じればよい。

20

かかる比が温度変化により変化する場合には、光スキャナー1付近に温度センサーを設置し、その温度センサーによって検知された温度に応じて、当該比を補正すればよい。

以上説明したような第2検出方法によれば、比較的簡単な構成で、第1信号処理回路71から出力された信号に基づいて、可動ミラー部11のY軸周りの挙動を高精度に検出することができる。

【0117】

以上説明したような光スキャナー1によれば、軸部14a、14bに配置された歪検出素子51、52の検出信号に基づいて、可動ミラー部11のY軸周りおよびX軸周りの挙動を検出することができる。しかも、軸部14a、14bのみに歪検出素子51、52が配置されているので、歪検出素子51、52に接続される配線(図示せず)を軸部12a、12bに配置したり軸部14a、14bの長手方向での全域に亘って配置したりする必要がない。そのため、かかる配線の断線を抑制することができる。

30

【0118】

<第2実施形態>

次に、本発明の第2実施形態について説明する。

図13は、本発明の第2実施形態に係る光スキャナーを示す平面図、図14は、図13に示す光スキャナーの歪検出素子を説明するための図である。また、図15は、ピエゾ抵抗領域にp型シリコンを用いた場合における4端子型の歪検出素子の姿勢(角度)と引張応力およびせん断応力による抵抗値変化の絶対値との関係を示すグラフである。また、図16は、ピエゾ抵抗領域にn型シリコンを用いた場合における4端子型の歪検出素子の姿勢(角度)と引張応力およびせん断応力による抵抗値変化の絶対値との関係を示すグラフである。また、図17は、4端子型の歪検出素子の姿勢(角度)と引張応力およびせん断応力による抵抗値変化の絶対値の比との関係を示すグラフである。

40

【0119】

本実施形態に係る光スキャナーは、歪検出素子の構成が異なる以外は、前述した第1実施形態にかかる光スキャナーと同様である。

なお、以下の説明では、第2実施形態に関し、前述した実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項に関してはその説明を省略する。また、図13および図14において、前述した実施形態と同様の構成については、同一符号を付している。

50

【0120】

図13に示す光スキャナー1Aは、前述した第1実施形態の歪検出素子51、52に代えて、歪検出素子51A、52Aを有する。

歪検出素子51A（第1歪検出素子）は、軸部14aに配置され、軸部14aの変形（曲げ変形および捩れ変形）を検出する。一方、歪検出素子52A（第2歪検出素子）は、軸部14bに配置され、軸部14bの変形（曲げ変形および捩れ変形）を検出する。

【0121】

歪検出素子51A、52Aは、平面視にて、Y軸に対して対称となるように配置されている。なお、以下では、歪検出素子51Aについて主に説明し、歪検出素子52Aについては、歪検出素子51Aと同様であるため、その説明を省略する。

本実施形態では、歪検出素子51Aは、軸部14aの固定部15側の端部に配置されている。

【0122】

この歪検出素子51Aは、4端子型のピエゾ抵抗素子である。

具体的に説明すると、歪検出素子51Aは、図14に示すように、ピエゾ抵抗領域511Aと、ピエゾ抵抗領域511A上に配置された1対の入力端子512A、513Aおよび1対の出力端子514A、515Aとを有している。

ピエゾ抵抗領域511Aは、軸部14a表面に不純物をドーピングすることにより形成されている。

本実施形態では、ピエゾ抵抗領域511Aは、平面視にて、四角形をなしている。

【0123】

なお、本実施形態では、ピエゾ抵抗領域511A全体が軸部14a上に設けられているが、ピエゾ抵抗領域511Aは、軸部14aの曲げ変形による引張応力または圧縮応力を受けるとともに軸部14aの捩れ変形によるせん断応力を受けることができれば、図示の位置に限定されず、例えば、軸部14aと固定部15との境界部を跨るように設けられていてもよい。

【0124】

このようなピエゾ抵抗領域511A上には、軸部14aの長手方向（すなわちX軸方向）に対して傾斜した方向に並んで1対の入力端子512A、513Aが配置されているとともに、1対の入力端子512A、513Aが並ぶ方向に対して垂直な方向に並んで1対の出力端子514A、515Aが配置されている。

1対の入力端子512A、513Aは、固定部15に設けられた1対の端子83a、83bを介して、歪検出素子駆動回路53に電氣的に接続されている。

【0125】

一方、1対の出力端子514A、515Aは、固定部15に設けられた1対の端子83c、83dを介して、第1信号処理回路71および第2信号処理回路72に電氣的に接続されている。

このような歪検出素子51Aでは、歪検出素子駆動回路53が1対の入力端子512A、513A間に定電圧または定電流で電圧を印加する。これにより、ピエゾ抵抗領域511A上に軸部14aの長手方向に対して傾斜した方向の電界Eを生じさせる。この電界Eのもと、軸部14aの捩れ変形に伴ってピエゾ抵抗領域511Aにせん断応力が生じると、そのせん断応力の程度に応じて、ピエゾ抵抗領域511Aの比抵抗値が変化し、1対の出力端子514A、515A間の電位差が変化する。

【0126】

この電位差は、軸部14aの捩れ変形量や、可動ミラー部11および枠体部13のX軸周りの揺動角に応じて変化する。したがって、かかる電位差に基づいて、可動ミラー部11のX軸周りの挙動を検知することができる。

また、この電界Eのもと、軸部14aの曲げ変形に伴ってピエゾ抵抗領域511Aに引張応力が生じると、その引張応力の程度に応じて、ピエゾ抵抗領域511Aの比抵抗値が変化し、1対の出力端子514A、515A間の電位差が変化する。

【0127】

この電位差は、軸部14aの曲げ変形量や、可動ミラー部11および枠体部13のY軸周りの揺動角に応じて変化する。したがって、かかる電位差に基づいて、可動ミラー部11のY軸周りの挙動を検知することができる。

したがって、歪検出素子51Aの検出信号は、軸部14aの曲げ変形および捩れ変形に基づく信号を含んでいる。

【0128】

本実施形態では、1対の入力端子512A、513Aが圧電抵抗領域511A上にX軸方向に対して傾斜した方向に並んで配置されているので、歪検出素子51Aから出力される信号に含まれる軸部14aの曲げ変形および捩れ変形のそれぞれに基づく信号を大きくすることができる。

このような歪検出素子51Aの検出信号に含まれる軸部14aの曲げ変形に基づく信号と軸部14aの捩れ変形に基づく信号との比は、歪検出素子51Aの角度（傾斜角度）に応じて変化する。ここで、角度は、軸部14aの長手方向（すなわちX軸方向）と、1対の入力端子512A、513Aとが並ぶ方向（1対の入力端子512A、513A間を最短距離で結ぶ直線方向）とのなす角度である。

【0129】

以下、歪検出素子51Aの検出信号について、軸部14aの長手方向をシリコン単結晶の結晶軸の<110>方向とした場合を例に詳細に説明する。

圧電抵抗領域511Aをp型のシリコン単結晶で構成した場合、図15(a)に示すように、1対の出力端子514A、515A間における圧電抵抗領域511Aの引張応力に関する抵抗値変化率の絶対値は、角度（<110>からのオフセット）が大きくなるに従い大きくなる。すなわち、角度が大きくなるほど、歪検出素子51Aの検出信号に含まれる軸部14aの曲げ変形に基づく信号が大きくなる。

【0130】

一方、この場合、図15(b)に示すように、1対の出力端子514A、515A間における圧電抵抗領域511Aのせん断応力に関する抵抗値変化率の絶対値は、角度が大きくなるに従い小さくなる。すなわち、角度が大きくなるほど、歪検出素子51Aの検出信号に含まれる軸部14aの捩れ変形に基づく信号が小さくなる。ただし、捩れ変形に基づく信号の角度による変化は、曲げ変形に基づく信号の角度による変化よりも小さい。

【0131】

また、圧電抵抗領域511Aをn型のシリコン単結晶で構成した場合、図16(a)に示すように、1対の出力端子514A、515A間における圧電抵抗領域511Aの引張応力に関する抵抗値変化率の絶対値は、角度が大きくなるに従い大きくなる。すなわち、角度が大きくなるほど、歪検出素子51Aの検出信号に含まれる軸部14aの曲げ変形に基づく信号が大きくなる。ただし、曲げ変形に基づく信号の角度による変化は小さい。

【0132】

一方、この場合、図16(b)に示すように、1対の出力端子514A、515A間における圧電抵抗領域511Aのせん断応力に関する抵抗値変化率の絶対値は、角度が大きくなるに従い小さくなる。すなわち、角度が大きくなるほど、歪検出素子51Aの検出信号に含まれる軸部14aの捩れ変形に基づく信号が小さくなる。ただし、捩れ変形に基づく信号の角度による変化は、曲げ変形に基づく信号の角度による変化よりも大きい。

【0133】

また、圧電抵抗領域511Aをp型のシリコン単結晶で構成した場合、図17(a)に示すように、1対の出力端子514A、515A間における圧電抵抗領域511Aの引張応力に関する抵抗値変化率の絶対値(R1)とせん断応力に関する抵抗値変化率の絶対値(R2)との比(R1/R2)は、角度が大きくなるに従い大きくなる。すなわち

10

20

30

40

50

、角度 θ が大きくなるほど、歪検出素子 5 1 A の検出信号に含まれる軸部 1 4 a の捩れ変形に基づく信号に対する曲げ変形に基づく信号の割合が大きくなる。

【0134】

また、圧電抵抗領域 5 1 1 A を n 型のシリコン単結晶で構成した場合も、図 1 7 (b) に示すように、1 対の出力端子 5 1 4 A、5 1 5 A 間における圧電抵抗領域 5 1 1 A の引張応力に関する抵抗値変化率の絶対値 (R_1) とせん断応力に関する抵抗値変化率の絶対値 (R_2) との比 (R_1 / R_2) は、角度 θ が大きくなるに従い大きくなる。すなわち、角度 θ が大きくなるほど、歪検出素子 5 1 A の検出信号に含まれる軸部 1 4 a の捩れ変形に基づく信号に対する曲げ変形に基づく信号の割合が大きくなる。ただし、かかる割合は、角度 θ によらず小さく、角度 θ による変化も小さい。

10

以上のようなことから、軸部 1 4 a の長手方向をシリコン単結晶の結晶軸の $\langle 110 \rangle$ 方向とした場合、圧電抵抗領域 5 1 1 A を p 型のシリコン単結晶で構成することにより、歪検出素子 5 1 A から出力される信号に含まれる軸部 1 4 a の曲げ変形および捩れ変形のそれぞれに基づく信号を効率的に大きくすることができる。

【0135】

また、角度 θ は、軸部 1 4 a、1 4 b を構成するシリコン単結晶の導電型や結晶軸の方向によって異なり、特に限定されないが、例えば、軸部 1 4 a、1 4 b の長手方向をシリコン単結晶の結晶軸の $\langle 110 \rangle$ 方向とし、かつ、圧電抵抗領域 5 1 1 A を p 型のシリコン単結晶で構成した場合、 22° 以上 42° 以下であることが好ましく、 38° 以上 42° 以下であることがより好ましい。図 1 7 (a) に示すように、角度 θ を 22° 以上 42° 以下とすることにより、上述した比 (R_1 / R_2) を約 10 % から 90 % までの範囲とすることができる。また、角度 θ を 38° 以上 42° 以下とすることにより、上述した比 (R_1 / R_2) を約 40 % から 60 % までの範囲とすることができる。

20

【0136】

このような歪検出素子 5 1 A の検出信号は、第 1 信号処理回路 7 1 (第 1 信号処理部) および第 2 信号処理回路 7 2 (第 2 信号処理部) に入力される。同様に、歪検出素子 5 2 A の検出信号は、第 1 信号処理回路 7 1 および第 2 信号処理回路 7 2 に入力される。なお、歪検出素子 5 2 は、端子 8 4 a、8 4 b を介して歪検出素子駆動回路 5 3 に電氣的に接続され、端子 8 4 c、8 4 d を介して第 1 信号処理回路 7 1 および第 2 信号処理回路 7 2 に電氣的に接続されている。

30

【0137】

例えば、第 1 信号処理回路 7 1 は、差動増幅回路を含み、上述したような歪検出素子 5 1 A の検出信号と、この歪検出素子 5 1 A と同様に構成された歪検出素子 5 2 A の検出信号との差を増幅する。これにより、これらの歪検出素子 5 1 A、5 2 A からの信号に含まれる捩れ変形成分を除去するとともに、曲げ変形成分を増幅することができる。

同様に、例えば、第 2 信号処理回路 7 2 は、差動増幅回路を含み、上述したような歪検出素子 5 1 A の検出信号と、この歪検出素子 5 1 A と同様に構成された歪検出素子 5 2 A の検出信号との差を増幅する。これにより、これらの歪検出素子 5 1 A、5 2 A からの信号に含まれる曲げ変形成分を除去するとともに、捩れ変形成分を増幅することができる。

40

【0138】

以上説明したような第 2 実施形態に係る光スキャナー 1 A によっても、軸部 1 4 a、1 4 b に配置された歪検出素子 5 1 A、5 2 A の検出信号に基づいて、可動ミラー部 1 1 の Y 軸周りおよび X 軸周りの挙動を検出することができる。しかも、軸部 1 4 a、1 4 b のみに歪検出素子 5 1 A、5 2 A が配置されているので、歪検出素子 5 1 A、5 2 A に接続される配線 (図示せず) を軸部 1 2 a、1 2 b に配置したり軸部 1 4 a、1 4 b の長手方向での全域に亘って配置したりする必要がない。そのため、かかる配線の断線を抑制することができる。

【0139】

以上説明したような光スキャナー 1、1 A は、それぞれ、例えば、プロジェクター、ヘッドアップディスプレイ (HUD)、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) のようなイ

50

メーキング用ディスプレイ等の画像表示装置が備える光スキャナーに好適に適用することができる。このような画像表示装置は、優れた信頼性を有し、高品位な画像を表示することができる。

【0140】

< 画像表示装置の実施形態 >

図18は、本発明の画像表示装置の実施形態を模式的に示す図、図19は、図18に示す画像表示装置の制御系を示すブロック図である。なお、図19において、前述した構成と同様の構成については同一符号を付している。

本実施形態では、画像表示装置の一例として、光スキャナー1をイメージング用ディスプレイの光スキャナーとして用いた場合を説明する。なお、スクリーンSの長手方向を「横方向」といい、長手方向に直角な方向を「縦方向」という。また、X軸がスクリーンSの横方向と平行であり、Y軸がスクリーンSの縦方向と平行である。

【0141】

画像表示装置（プロジェクター）9は、レーザーなどの光を照出する光源装置（光源）91と、複数のダイクロイックミラー92A、92B、92Cと、光スキャナー1と、光源駆動回路94と、光検出部95と、光強度検出回路96と、制御部6Aと、トリガー生成部73とを有している。

トリガー生成部73は、第2信号処理回路から出力された信号に基づいて、水平走査方向の描画開始のためのトリガーを生成するための信号を生成する。このトリガー生成部73は、例えば、コンパレータである。

【0142】

制御部6Aは、画像処理部67と、光源駆動信号生成部68と、APC制御部69と、光量目標値記憶部70とを有している。

画像処理部67は、画像信号が入力され、その画像信号に基づいて、描画に必要な描画信号を生成し、その描画信号を、トリガー生成部73から出力された信号に基づいて、光源駆動信号生成部68へ出力する。また、画像処理部67は、垂直走査方向のライン情報をV目標値生成部66へ出力する。

【0143】

光源駆動信号生成部68は、画像処理部67から出力された描画信号に基づいて、光源駆動回路94を駆動する駆動信号を生成する。画像処理部67からの描画信号と光源駆動回路94のための駆動信号との対応付けは、APC制御部69からの信号に基づいて、定期的に更新される。

APC制御部69は、光源装置91の発光強度と画像信号のデータとの対応が環境変化によらず目標値となるように対応付けを補正するための信号を光源駆動信号生成部68へ出力する。

【0144】

光源駆動回路94は、光源駆動信号生成部68からの駆動信号に基づいて、光源装置91を駆動させる駆動電流を生成する。

光強度検出回路96は、光源装置91の発光強度を検出するフォトダイオード等の光検出部95からの出力を信号処理に必要な信号に変換する。この光強度検出回路96は、例えば、増幅回路、フィルター、ADコンバーター等を含んで構成されている。

光源装置91は、赤色光を照出する赤色光源装置911と、青色光を照出する青色光源装置912と、緑色光を照出する緑色光源装置913とを備えている。

【0145】

各ダイクロイックミラー92A、92B、92Cは、赤色光源装置911、青色光源装置912、緑色光源装置913のそれぞれから照出された光を合成する光学素子である。

このような画像表示装置9は、図示しないホストコンピュータからの画像情報（画像信号）に基づいて、光源装置91（赤色光源装置911、青色光源装置912、緑色光源装置913）から照出された光をダイクロイックミラー92A、92B、92Cでそれぞれ合成し、この合成された光が光スキャナー1によって2次元走査され、スクリーンS上

でカラー画像を形成する。

【0146】

2次元走査の際、光スキャナー1の可動ミラー部11のY軸周りの回動により光反射部114で反射した光がスクリーンSの横方向に走査（主走査）される。一方、光スキャナー1の可動ミラー部11のX軸周りの回動により光反射部114で反射した光がスクリーンSの縦方向に走査（副走査）される。

なお、図18中では、ダイクロイックミラー92A、92B、92Cで合成された光を光スキャナー1によって2次元的に走査した後、その光を固定ミラー93で反射させてからスクリーンSに画像を形成するように構成されているが、固定ミラー93を省略し、光スキャナー1によって2次元的に走査された光を直接スクリーンSに照射してもよい。

10

【0147】

以下に、画像表示装置の応用例について説明する。

< 画像表示装置の応用例1 >

図20は、本発明の画像表示装置の応用例1を示す斜視図である。

図20に示すように、画像表示装置9は、携帯用画像表示装置100に適用することができる。

【0148】

この携帯用画像表示装置100は、手で把持することができる寸法で形成されたケーシング110と、ケーシング110内に内蔵された画像表示装置9とを有している。この携帯用画像表示装置100により、例えば、スクリーンや、デスク上等の所定の面に、所定の画像を表示することができる。

20

また、携帯用画像表示装置100は、所定の情報を表示するディスプレイ120と、キーパッド130と、オーディオポート140と、コントロールボタン150と、カードスロット160と、AVポート170とを有している。

なお、携帯用画像表示装置100は、通話機能、GSP受信機能等の他の機能を備えていてもよい。

【0149】

< 画像表示装置の応用例2 >

図21は、本発明の画像表示装置の応用例2を示す斜視図である。

図21に示すように、画像表示装置9は、ヘッドアップディスプレイシステム200に適用することができる。

30

このヘッドアップディスプレイシステム200では、画像表示装置9は、自動車のダッシュボードに、ヘッドアップディスプレイ210を構成するよう搭載されている。このヘッドアップディスプレイ210により、フロントガラス220に、例えば、目的地までの案内表示等の所定の画像を表示することができる。

なお、ヘッドアップディスプレイシステム200は、自動車に限らず、例えば、航空機、船舶等にも適用することができる。

【0150】

< 画像表示装置の応用例3 >

図22は、本発明の画像表示装置の応用例3を示す斜視図である。

40

図22に示すように、画像表示装置9は、ヘッドマウントディスプレイ300に適用することができる。

すなわち、ヘッドマウントディスプレイ300は、眼鏡310と、眼鏡310に搭載された画像表示装置9とを有している。そして、画像表示装置9により、眼鏡310の本来レンズである部位に設けられた表示部320に、一方の目で視認される所定の画像を表示する。

【0151】

表示部320は、透明であってもよく、また、不透明であってもよい。表示部320が透明な場合は、現実世界からの情報に画像表示装置9からの情報を上乗せして使用することができる。

50

なお、ヘッドマウントディスプレイ 300 に、2 つ画像表示装置 9 を設け、両方の目で視認される画像を、2 つの表示部に表示するようにしてもよい。

【0152】

以上、本発明の光スキャナー、アクチュエーター、画像表示装置およびヘッドマウントディスプレイについて、図示の実施形態に基づいて説明したが、本発明はこれに限定されるものではない。例えば、本発明の光スキャナー、画像表示装置およびヘッドマウントディスプレイでは、各部の構成は、同様の機能を有する任意の構成のものに置換することができ、また、他の任意の構成を付加することもできる。

【0153】

また、本発明は、前記各実施形態のうちの、任意の 2 以上の構成（特徴）を組み合わせ

10

たものであってもよい。
また、前述した実施形態では、光スキャナーまたはアクチュエーターの駆動方式としてムービングマグネット方式を採用した場合を例に説明したが、これに限定されず、ムービングコイル方式を採用した光スキャナーまたはアクチュエーターにも本発明を適用できる。また、本発明は、ムービングマグネット方式やムービングコイル方式のような電磁駆動方式に限定されず、例えば、圧電駆動方式、静電駆動方式等の他の駆動方式にも適用可能である。

【0154】

また、前述した実施形態では、第 1 軸部が 2 つ（1 対）設けられている場合を例に説明したが、これに限定されず、例えば、第 1 軸部が 4 つ（2 対）以上設けられていてもよい。

20

また、前述した実施形態では、第 2 軸部が 2 つ（1 対）設けられている場合を例に説明したが、これに限定されず、例えば、第 2 軸部が 4 つ（2 対）以上であってもよい。

【0155】

また、前述した実施形態では、平面視にて光反射板が第 1 軸部全体、枠体部全体および第 2 軸部全体を覆う場合を例に説明したが、平面視にて光反射板が第 1 軸部の少なくとも一部（可動ミラー部の基部側の端部）が覆われていれば、前述したような光学デバイスの小型化、光反射板の大面积化、光反射板の動撓みの抑制、第 1 軸部の基部側の端部による迷光の抑制等の効果を奏することができる。

【0156】

30

また、前述した実施形態では、SOI 基板を加工することにより光反射板およびスペーサーを形成した場合を例に説明したが、これに限定されず、例えば、光反射板およびスペーサーを別々の基板から形成してもよい。

また、光反射板と基部との間のスペーサーは、ハンダボールであってもよい。この場合、例えば、光反射板および基部のスペーサー側の面にそれぞれ金属膜を形成しておき、これらの金属膜同士をハンダボールを介して接合すればよい。

【0157】

また、前述した実施形態では、光反射板に光反射部が設けられている場合を例に説明したが、これに限定されず、例えば、光反射板を省略し、基部（可動部）に光反射部を設けてもよい。

40

また、歪検出素子の配置、数、形状、大きさ、端子数等は、第 2 軸部の曲げ変形および捩れ変形を検出し得るものであれば、前述した実施形態に限定されず、公知の歪検出素子を用いることができる。

【0158】

また、前述した実施形態では、1 対の第 2 軸部のそれぞれに歪検出素子を配置した場合を例に説明したが、1 対の第 2 軸部の一方のみに、第 2 軸部の曲げ変形および捩れ変形を検出する歪検出素子が設けられていてもよい。この場合、例えば、第 1 信号処理部が歪検出素子の検出信号から捩れ成分を除去するフィルターを備え、第 2 信号処理部が歪検出素子の検出信号から曲げ成分を除去するフィルターを備えていればよい。

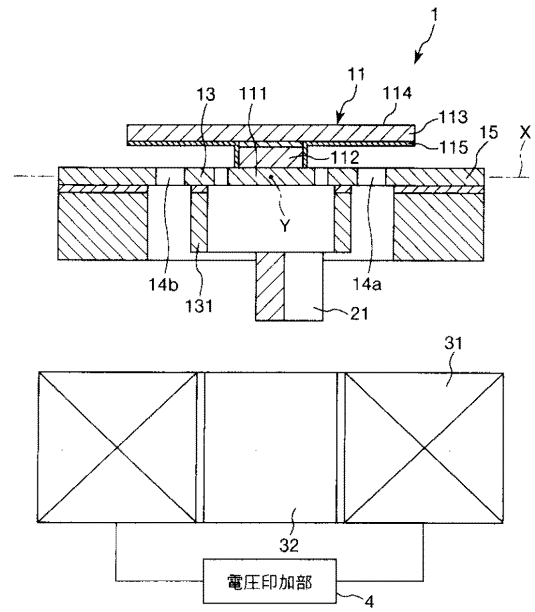
【符号の説明】

50

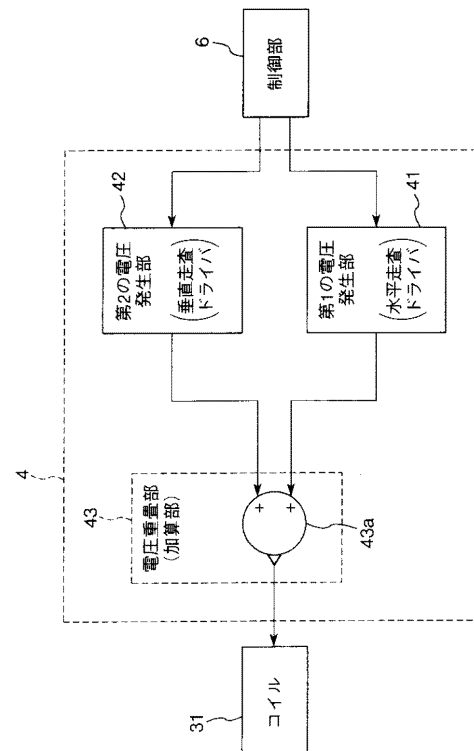
【 0 1 5 9 】

1	光スキャナー	1 A	光スキャナー	4	電圧印加部	6	制御部	6 A	
	制御部	9	画像表示装置	1 1	可動ミラー部	1 2 a	軸部	1 2 b	
軸部	1 3	枠体部	1 4 a	軸部	1 4 b	軸部	1 5	固定部	2 1
永久磁石	3 1	コイル	3 2	磁心	4 1	第 1 の電圧発生部	4 2	第 2 の電	
圧発生部	4 3	電圧重畳部	4 3 a	加算器	5 1	歪検出素子	5 1 A	歪	
検出素子	5 2	歪検出素子	5 2 A	歪検出素子	5 3	歪検出素子駆動回路			
6 1	H 検出部	6 2	V 検出部	6 3	H 制御部	6 4	V 制御部	6 5	
H 目標値記憶部	6 6	V 目標値生成部	6 7	画像処理部	6 8	光源駆動信号			
生成部	6 9	A P C 制御部	7 0	光量目標値記憶部	7 1	第 1 信号処理回路			10
7 2	第 2 信号処理回路	7 3	トリガー生成部	8 1 a	端子	8 1 b	端		
子	8 2 a	端子	8 2 b	端子	8 3 a	端子	8 3 b	端子	8 3 c
子	8 3 d	端子	8 4 a	端子	8 4 b	端子	8 4 c	端子	8 4 d
子	9 1	光源装置	9 2 A	ダイクロイックミラー	9 2 B	ダイクロイックミ			
ラー	9 2 C	ダイクロイックミラー	9 3	固定ミラー	9 4	光源駆動回路			
9 5	光検出部	9 6	光強度検出回路	1 0 0	携帯用画像表示装置	1 1 0			
ケーシング	1 1 1	基部	1 1 2	スペーサー	1 1 3	光反射板	1 1 4		
光反射部	1 1 5	硬質層	1 2 0	ディスプレイ	1 3 0	キーパット	1 3		
1	リブ	1 4 0	オーディオポート	1 5 0	コントロールボタン	1 6 0			
カードスロット	1 7 0	ポート	2 0 0	ヘッドアップディスプレイシステム	2				20
1 0	ヘッドアップディスプレイ	2 2 0	フロントガラス	3 0 0	ヘッドマウ				
ントディスプレイ	3 1 0	眼鏡	3 2 0	表示部	5 1 1	ピエゾ抵抗領域	5		
1 1 A	ピエゾ抵抗領域	5 1 2	端子	5 1 2 A	入力端子	5 1 3	端子		
5 1 3 A	入力端子	5 1 4 A	出力端子	5 1 5 A	出力端子	7 1 1	抵抗		
素子	7 1 2	抵抗素子	7 1 3	抵抗素子	7 1 4	処理部	9 1 1	赤色光	
源装置	9 1 2	青色光源装置	9 1 3	緑色光源装置	S	スクリーン			

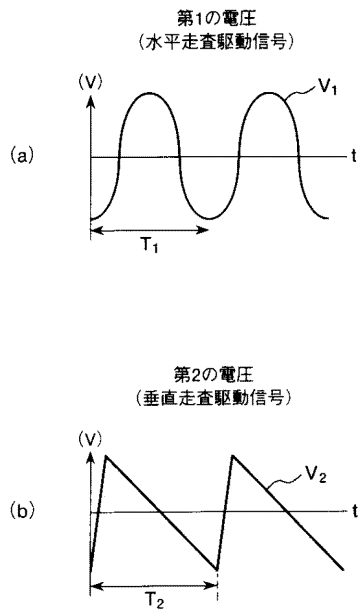
【 図 2 】



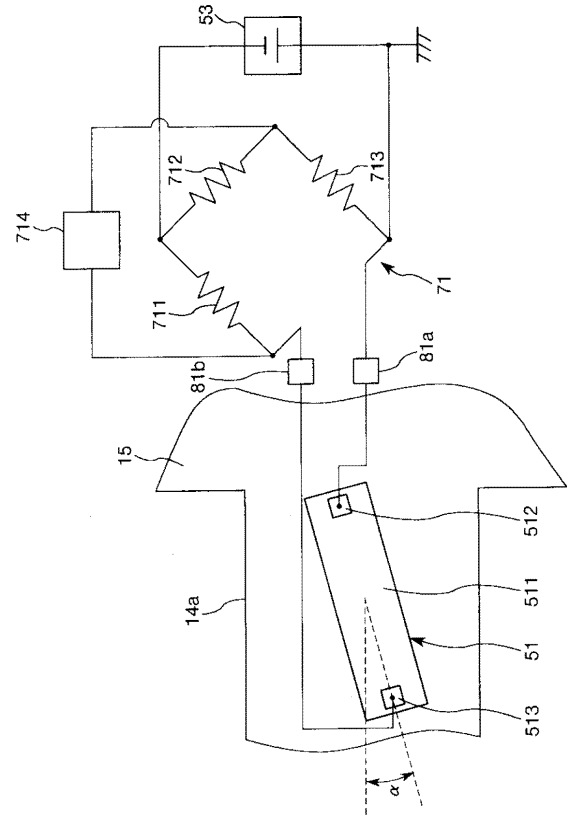
【 図 4 】



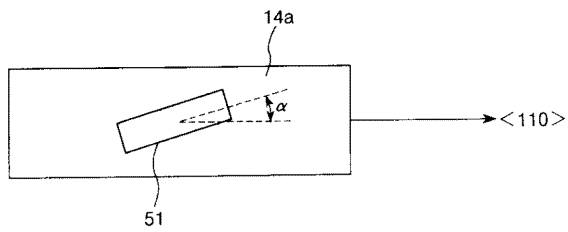
【図 5】



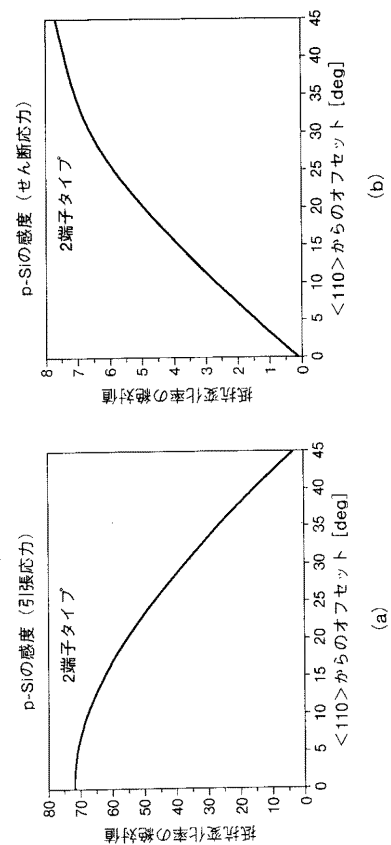
【図 6】



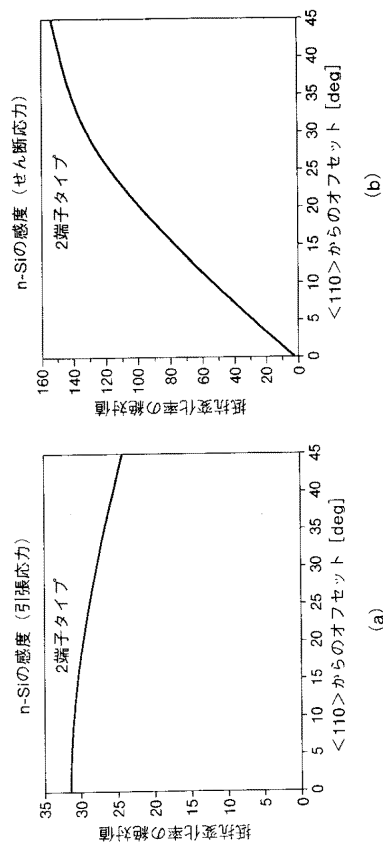
【図 7】



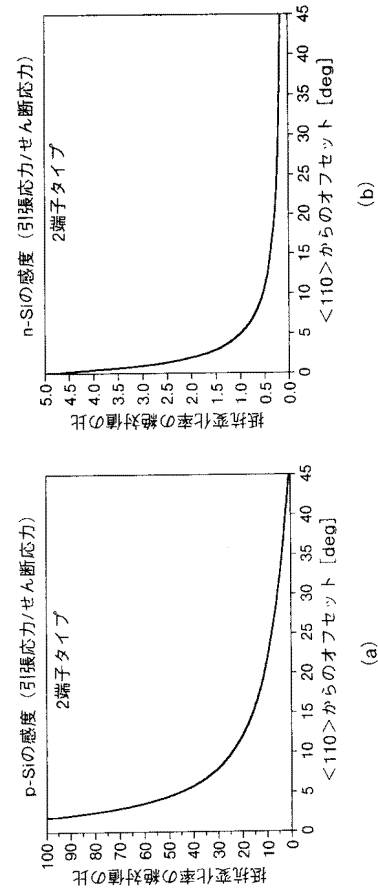
【図 8】



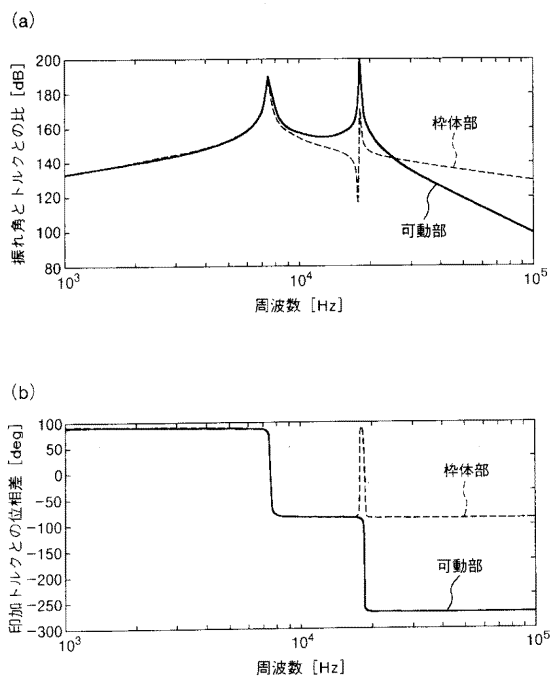
【図 9】



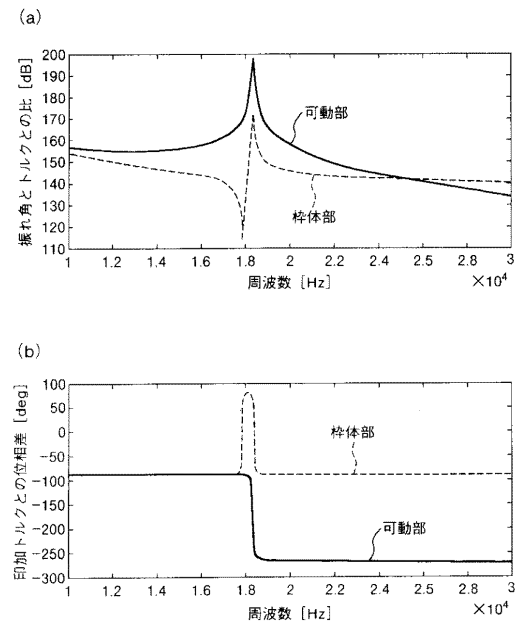
【図 10】



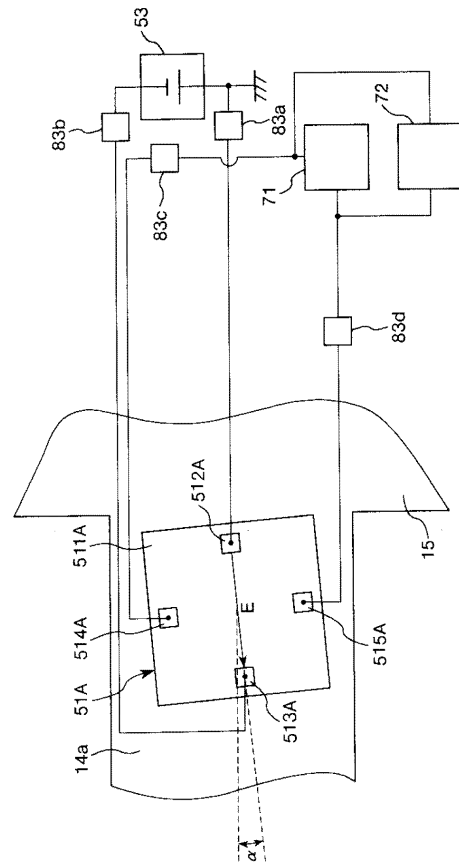
【図 11】



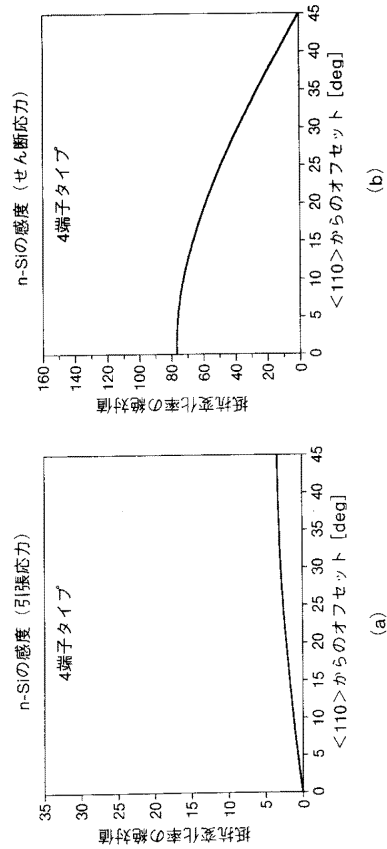
【図 12】



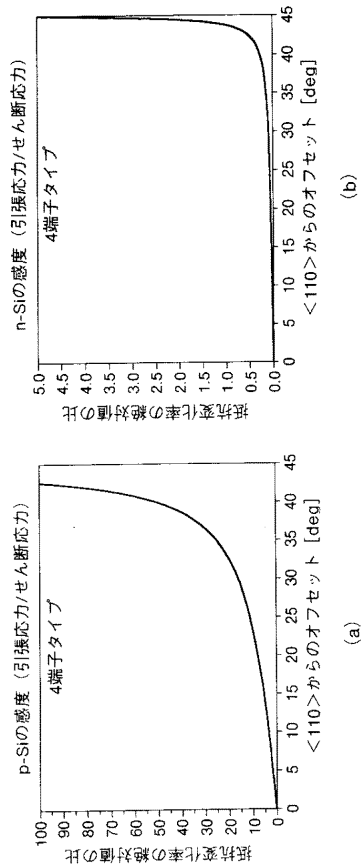
【 図 1 4 】



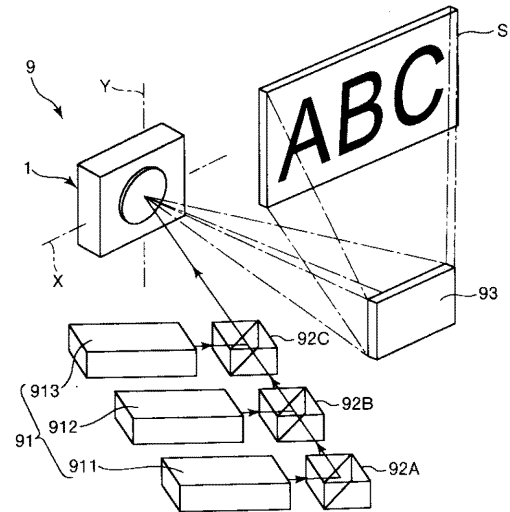
【 図 1 6 】



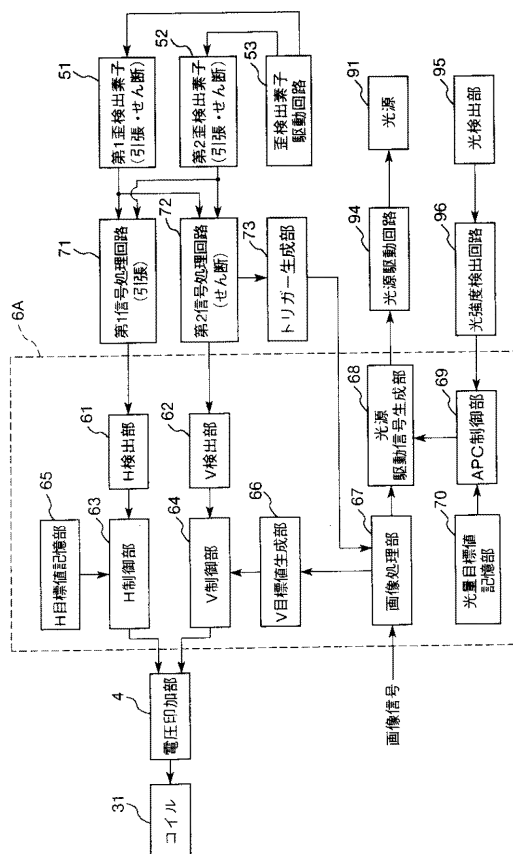
【図 17】



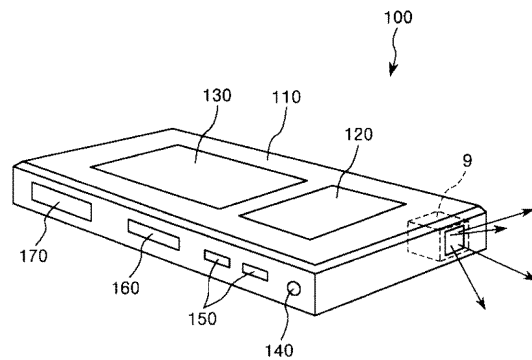
【図 18】



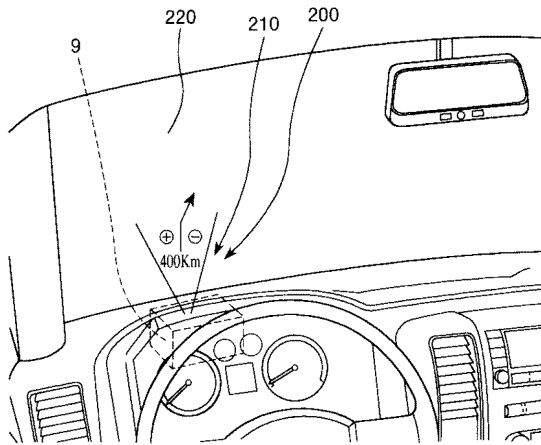
【図 19】



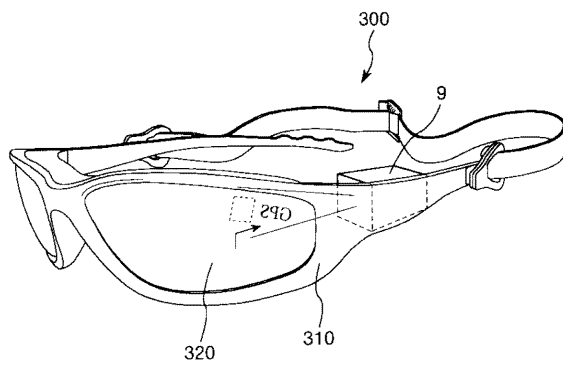
【図 20】



【図 2 1】



【図 2 2】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

H 0 4 N 5/74

H

テーマコード(参考)