

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5736766号
(P5736766)

(45) 発行日 平成27年6月17日 (2015. 6. 17)

(24) 登録日 平成27年5月1日 (2015. 5. 1)

(51) Int. Cl.

F 1

G O 2 B 26/10 (2006. 01)

G O 2 B 26/10 1 O 4 Z

G O 2 B 26/08 (2006. 01)

G O 2 B 26/08 E

H O 4 N 1/113 (2006. 01)

H O 4 N 1/04 1 O 4 Z

請求項の数 2 (全 32 頁)

(21) 出願番号 特願2010-286758 (P2010-286758)
 (22) 出願日 平成22年12月22日 (2010. 12. 22)
 (65) 公開番号 特開2012-133242 (P2012-133242A)
 (43) 公開日 平成24年7月12日 (2012. 7. 12)
 審査請求日 平成25年12月11日 (2013. 12. 11)

前置審査

(73) 特許権者 000006220
 ミツミ電機株式会社
 東京都多摩市鶴牧2丁目11番地2
 (74) 代理人 100107766
 弁理士 伊東 忠重
 (74) 代理人 100070150
 弁理士 伊東 忠彦
 (72) 発明者 山田 司
 東京都多摩市鶴牧2丁目11番地2 ミツ
 ミ電機株式会社内

審査官 山口 裕之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光走査装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

レーザ光を反射するミラーと、
 前記ミラーを支持するミラー支持部と、
 前記ミラー支持部を、前記ミラー支持部の軸の方向の両側から支持し、捻れにより前記
 ミラー支持部を軸周りに揺動させる捻れ梁と、を有し、
 前記ミラー支持部の裏面にはリブが設けられ、
 前記リブは、
 前記軸の方向と斜めに交差する方向に設けられた部分と、
 前記ミラーの応力が大きくなる第1の点及び第2の点を結び、一端部が前記第1の点よ
 りも延伸し他端部が前記第2の点よりも延伸し、前記軸の方向と交差するように前記ミラ
 ー支持部の裏面外縁に設けられた円弧状部分と、を備え、
 前記部分は、X状に交差している第1の部分と、第2の部分と、を含み、
 前記第1の部分の一端は前記第1の点で前記円弧状部分と接し、前記第2の部分の一端
 は前記第2の点で前記円弧状部分と接している光走査装置。

【請求項 2】

前記リブは、前記軸の方向と直交する方向に、前記ミラー支持部の中心を通して延在し
 た横断部分を備える請求項1に記載の光走査装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

20

【 0 0 0 1 】

本発明は、光走査装置に関し、特に、ミラー支持部を軸方向両側から捻れ梁により支持し、該捻れ梁の捻れにより前記ミラー支持部を軸周りに揺動させて駆動する光走査装置に関する。

【 背景技術 】

【 0 0 0 2 】

従来から、入射光を反射させる可動板と、該可動板を回動可能に軸支するトーション梁と、該トーション梁にねじり方向の駆動力を作用させる駆動部とを具備し、少なくとも、可動板とトーション梁の接続部分付近にリブを形成した光走査装置が知られている（例えば、特許文献 1 参照）。

10

【 0 0 0 3 】

かかる特許文献 1 に記載の光走査装置においては、可動板の重量を増やすことなく、反射面の動的歪みを抑制することを目的としている。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 4 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 1 0 - 1 2 8 1 1 6 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 5 】

20

ところで、近年、光走査装置の高解像度化が求められる傾向がある。高解像度化のためには、共振周波数を上げる必要があり、そのために捻れ梁（トーション梁）の剛性を上げる必要がある。

【 0 0 0 6 】

ここで、剛性向上のため、捻れ梁の幅を広くすると、捻れの中心軸からの距離に応じて捻れ梁の変形状態が異なり、変位の非線形性が生じてしまうという問題を生じる。

【 0 0 0 7 】

引用文献 1 においては、このような非線形性振動の問題は一切考慮されていないので、共振周波数を上げた場合には、変位の非線形性の問題を生じてしまうという問題があった。また、引用文献 1 に記載の構成では、剛性向上によるミラー変形防止の効果は得られるが、振動による応力は遮断できず、共振周波数を上げた場合には、ミラーの変形を防ぐことができないという問題があった。

30

【 0 0 0 8 】

そこで、本発明は、高い共振周波数で駆動を行った場合であっても、非線形振動の発生を低減しつつ、発生する応力を低減させ、ミラーの変形を防ぐことができる光走査装置を提供することを目的とする。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 9 】

上記目的を達成するため、本発明の一実施態様は、レーザ光を反射するミラー（10）と、前記ミラー（10）を支持するミラー支持部（20）と、前記ミラー支持部（20）を、前記ミラー支持部（20）の軸の方向の両側から支持し、捻れにより前記ミラー支持部（20）を軸周りに揺動させる捻れ梁（30）と、を有し、前記ミラー支持部（20）の裏面にはリブ（23B、25B、27B）が設けられ、前記リブ（23B、25B、27B）は、前記軸の方向と斜めに交差する方向に設けられた部分（25B、27B）と、前記ミラー（10）の応力が大きくなる第1の点（A）及び第2の点（B）を結び、一端部が前記第1の点（A）よりも延伸し他端部が前記第2の点（B）よりも延伸し、前記軸の方向と交差するように前記ミラー支持部（20）の裏面外縁に設けられた円弧状部分（23B）と、を備え、前記部分（25B、27B）は、X状に交差している第1の部分と、第2の部分と、を含み、前記第1の部分の一端は前記第1の点（A）で前記円弧状部分（23B）と接し、前記第2の部分の一端は前記第2の点（B）で前記円弧状部分（23

40

50

B)と接している。

【発明の効果】

【0022】

本発明によれば、非線形振動の発生を低減させつつ、ミラーの変形を防止することができる。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】本発明の実施形態1に係る光走査装置の一例の構成を示した斜視図である。図1(A)は、実施形態1に係る光走査装置の一例の構成を示した上面斜視図であり、図1(B)は、実施形態1に係る光走査装置の一例の構成を示した下面斜視図である。

10

【図2】図1(A)のA部及びB部を拡大した図である。図2(A)は、図1(A)のA部を拡大した図である。図2(B)は、図1(A)のB部を拡大した図である。

【図3】本実施形態に係る光走査装置のスリット構造について説明するための比較例を示した図である。図3(A)は、比較例に係る光走査装置の可動枠60内の構成を示した図である。図3(B)は、比較例に係る光走査装置の捻れ梁130を拡大して示した斜視図である。図3(C)は、比較例に係る光走査装置の捻れ梁130の断面図である。

【図4】線形共振振動と非線形共振振動の周波数/変位特性を示した図である。図4(A)は、線形共振振動の周波数/変位特性の一例を示した図である。図4(B)は、非線形共振振動の周波数/変位特性の一例を示した図である。図4(C)は、非線形共振振動が強く出た場合の周波数/変位特性の例を示した図である。

20

【図5】実施形態1に係る光走査装置の捻れ梁30について説明するための図である。図5(A)は、実施形態1に係る光走査装置の可動枠60の内側の構成を示した図である。図5(B)は、実施形態1に係る光走査装置の捻れ梁30の拡大図である。図5(C)は、実施形態1に係る光走査装置の捻れ梁30の断面構成の一例を示した図である。

【図6】実施例1に係る光走査装置の実施結果を示した図である。図6(A)は、スリット31を有しない比較例に係る光走査装置の実施結果を示した図である。図6(B)は、スリット31が形成された実施例1に係る光走査装置の実施結果を示した図である。

【図7】実施例1及び比較例に係る光走査装置の変位/周波数特性を示した図である。図7(A)は、実施例1に係る光走査装置の変位/周波数特性を示した図である。図7(B)は、スリット31により分割される捻れ梁30L、30Rの角型比を変化させた場合の変位/周波数特性である。図7(C)は、比較例に係る光走査装置の変位/周波数特性を示した図である。

30

【図8】実施形態1に係る光走査装置において、捻れ梁30にスリット31を設けた場合の考慮点についての説明図である。図8(A)は、捻れ梁30に短いスリット131を設けた場合の表面側の拡大図である。図8(B)は、捻れ梁30に短いスリット131を設けた場合の裏面側の拡大図である。図8(C)は、捻れ梁30に短いスリット131を設けた場合の裏面側の応力分布図である。

【図9】実施形態1に係る光走査装置のミラー支持部20と捻れ梁30の連結部の構成の一例を示した図である。図9(A)は、実施形態1に係る光走査装置のミラー支持部20と捻れ梁30の連結部の表面側の構成図である。図9(B)は、実施形態1に係る光走査装置のミラー支持部20と捻れ梁30との連結部の裏面側の構成図である。

40

【図10】実施形態1に係る光走査装置において、捻れ梁30のスリット31の端部31Eにおける応力分布を示した図である。

【図11】ミラー変形防止構造の無い構成の光走査装置におけるミラーの変形分布と応力分布の一例を示した図である。図11(A)は、ミラー変形防止構造が無い構成の光走査装置のミラー10の変形分布の一例を示した図である。図11(B)は、ミラー変形防止構造が無い構成の光走査装置のミラー10の応力分布の一例を示した図である。

【図12】実施形態1に係る光走査装置のミラー変形防止構造の説明図である。

【図13】実施形態1に係る光走査装置のミラー支持部20の裏面のリブ構造を示した図である。図13(A)は、実施形態1に係る光走査装置のミラー支持部20のリブ構造を

50

示した斜視図である。図 13 (B) は、実施形態 1 に係る光走査装置のミラー支持部 20 のリブ構造を示した平面図である。

【図 14】実施形態 1 に係る光走査装置のミラー変形量及び応力分布の一例を示した図である。図 14 (A) は、実施形態 1 に係る光走査装置のミラー変形量を示した図である。図 14 (B) は、実施形態 1 に係る光走査装置の応力分布を、連結リブ 22 の突出部を含めて示した図である。図 14 (C) は、ミラー 10 の面内の応力分布を示した図である。

【図 15】本発明の実施例 2 に係る光走査装置の構成及び実施結果を示す図である。図 15 (A) は、実施例 2 に係る光走査装置の捻れ梁 30 の断面構成図である。図 15 (B) は、実施例 2 に係る光走査装置の裏面の平面構成図である。図 15 (C) は、連結リブ 22 の突出量 X と、最大傾角時のミラー平面度 及び非線形係数 との関係図である。

10

【図 16】実施形態 1 に係る光走査装置において、裏面にリブを有しない可動枠 160 を用いた場合に発生するクロストークの説明図である。図 16 (A) は、裏面にリブを有しない可動枠 160 を用いた光走査装置の表面側の構成を示した斜視図である。図 16 (B) は、裏面にリブを有しない可動枠 160 を用いた光走査装置の裏面側の構成図である。図 16 (C) は、裏面にリブを有しない可動枠 160 を用いた光走査装置の水平駆動状態を示した図である。

【図 17】裏面にリブを設けた可動枠 60 を用いた場合でも発生するクロストークの説明図である。図 17 (A) は、裏面にリブを設けた可動枠 60 を用いた光走査装置の表面側の構成を示した斜視図である。図 17 (B) は、裏面にリブを設けた可動枠 60 を用いた光走査装置の裏面側の構成を示した斜視図である。図 17 (C) は、裏面にリブを設けた可動枠 60 を用いた光走査装置の水平駆動状態を示した図である。

20

【図 18】実施形態 1 に係る光走査装置の水平駆動時の垂直駆動梁へのクロストーク防止構造の説明図である。図 18 (A) は、実施形態 1 に係る光走査装置の表面側の構成を示す斜視図である。図 18 (B) は、実施形態 1 に係る光走査装置の裏面側の斜視図である。図 18 (C) は、実施形態 1 に係る光走査装置のクロストーク防止構造の拡大図である。

【図 19】クロストーク防止リブ 81 ~ 83 を有する実施形態 1 に係る光走査装置の水平駆動時の応力分布図である。

【図 20】実施形態 1 に係る光走査装置に類似しているが、周波数変動防止構造を有していない光走査装置の駆動による周波数変動の説明図である。図 20 (A) は、周波数変動防止構造を有していない光走査装置の平面構成図である。図 20 (B) は、図 20 (A) に示した周波数変動防止構造を有していない光走査装置の可動枠 60 及び共振駆動梁 150 の断面構成図である。図 20 (C) は、共振駆動梁 150 の駆動状態を示した図である。図 20 (D) は、共振駆動梁 150 の積算駆動時間と共振周波数変化率の関係図である。

30

【図 21】周波数変動防止構造を有しない光走査装置の水平駆動時の応力分布図である。図 21 (A) は、周波数変動防止構造を有しない光走査装置の水平駆動時の表面側の応力分布図である。図 21 (B) は、周波数変動防止構造を有しない光走査装置の水平駆動時の裏面側の応力分布図である。図 21 (C) は、周波数変動防止構造を有しない光走査装置の水平駆動時の裏面側の応力分布の駆動梁の起点部分の拡大図である。

40

【図 22】実施形態 1 に係る光走査装置の第 1 の周波数変動防止構造の説明図である。図 22 (A) は、周波数変動防止構造を有する本実施形態に係る光走査装置の平面構成図である。図 22 (B) は、図 22 (A) に示した根元部分 52 の拡大図である。

【図 23】第 1 の周波数変動防止構造を有する実施形態 1 に係る光走査装置の水平駆動時の応力分布図である。図 23 (A) は、第 1 の駆動梁 50 の表面側の応力分布図である。図 23 (B) は、第 1 の駆動梁 50 の裏面側の応力分布図である。図 23 (C) は、図 23 (B) に示した第 1 の駆動梁 50 の根元部分の拡大図である。

【図 24】実施形態 1 に係る光走査装置の共振駆動による積算駆動時間と共振周波数変化率を示した図である。

【図 25】第 1 及び第 2 の周波数変動防止構造を有する実施形態 1 に係る光走査装置の説

50

明図である。図 2 5 (A) は、第 1 及び第 2 の周波数変動防止構造を有する実施形態 1 に係る光走査装置の表面側の平面構成図である。図 2 5 (B) は、第 1 及び第 2 の周波数変動防止構造を有する実施形態 1 に係る光走査装置の裏面側の平面構成図である。図 2 5 (C) は、実施形態 1 に係る光走査装置の可動枠 6 0 の内側を拡大した平面図である。図 2 5 (D) は、第 1 の駆動梁 5 0 の側辺部の応力分布を示した拡大図である。

【図 2 6】各態様の光走査装置の応力分布を比較して示した図である。図 2 6 (A) は、周波数変動防止構造を設けない光走査装置の応力分布図である。図 2 6 (B) は、第 1 の周波数変動防止構造のみを設けた光走査装置の応力分布図である。図 2 6 (C) は、第 1 及び第 2 の周波数変動防止構造を設けた実施形態 1 に係る光走査装置の応力分布図である。

10

【図 2 7】図 2 6 で示した各周波数変動防止構造について、第 1 の駆動梁 5 0 の根元における応力測定結果を示した図である。

【図 2 8】本発明の実施形態 2 に係る光走査装置の一例を示した図である。

【図 2 9】本発明の実施形態 3 に係る光走査装置の一例を示した図である。

【図 3 0】本発明の実施形態 4 に係る光走査装置の一例を示した図である。

【図 3 1】本発明の実施形態 5 に係る光走査装置の一例を示した図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 4 】

以下、図面を参照して、本発明を実施するための形態の説明を行う。

【 0 0 2 5 】

20

〔実施形態 1〕

〔全体構成〕

図 1 は、本発明の実施形態 1 に係る光走査装置の一例の構成を示した斜視図である。図 1 (A) は、実施形態 1 に係る光走査装置の一例の構成を示した上面斜視図であり、図 1 (B) は、実施形態 1 に係る光走査装置の一例の構成を示した下面斜視図である。

【 0 0 2 6 】

図 1 (A)、(B)において、本実施形態に係る光走査装置は、ミラー 1 0 と、ミラー支持部 2 0 と、捻れ梁 3 0 と、連結梁 4 0 と、第 1 の駆動梁 5 0 と、可動枠 6 0 と、第 2 の駆動梁 7 0 と、クロストーク防止リブ 8 0 と、固定枠 9 0 とを備える。捻れ梁 3 0 には、スリット 3 1 が設けられている。また、図 1 (A) に示すように、第 1 の駆動梁 5 0 は、駆動源 5 1 を備え、第 2 の駆動梁 7 0 は、駆動源 7 1 を備える。更に、図 1 (B) に示すように、ミラー支持部 2 0 の裏面にはリブ 2 1 が設けられ、第 2 の駆動梁 7 0 の裏面には、高調波重畳防止用リブ 7 2 が設けられている。

30

【 0 0 2 7 】

図 1 (A)、(B)において、ミラー支持部 2 0 の表面にミラー 1 0 が支持され、ミラー支持部 2 0 は、両側にある捻れ梁 3 0 の端部に連結されている。捻れ梁 3 0 は、揺動軸を構成し、軸方向に延在してミラー支持部 2 0 を軸方向両側から支持している。捻れ梁 3 0 が捻れることにより、ミラー支持部 2 0 に支持されたミラー 1 0 が揺動し、ミラー 1 0 に照射された光の反射光を走査させる動作を行う。捻れ梁 3 0 は、連結梁 4 0 に連結支持され、第 1 の駆動梁 5 0 に連結されている。第 1 の駆動梁 5 0、連結梁 4 0、捻れ梁 3 0、ミラー支持部 2 0 及びミラー 1 0 は、可動枠 6 0 に取り囲まれている。第 1 の駆動梁 5 0 は、可動枠 6 0 に片側が支持され、内周側に延びて連結梁 4 0 と連結している。第 1 の駆動梁 5 0 は、捻れ梁 3 0 とは直交する方向に、ミラー 1 0 及びミラー支持部 2 0 を挟むように、対をなして 2 つ設けられている。第 1 の駆動梁 5 0 の表面には、圧電素子の薄膜が駆動源 5 1 として形成されている。圧電素子は、印加する電圧の極性に応じて伸長したり縮小したりするので、左側の第 1 の駆動梁 5 0 と右側の第 1 の駆動梁 5 0 とで異なる位相の電圧を交互に印加することにより、ミラー 1 0 の左側と右側で第 1 の駆動梁 5 0 が上下反対側に交互に振動し、捻れ梁 3 0 を揺動軸又は回転軸として、ミラー 1 0 を軸周りに揺動させることができる。このミラー 1 0 が捻れ梁 3 0 の周りに揺動する方向を、以後、水平方向と呼ぶことにする。例えば、第 1 の駆動梁 5 0 による水平駆動には、共振振動が

40

50

用いられ、高速にミラー 10 を揺動駆動してよい。また、可動枠 60 の外部には、第 2 の駆動梁 70 の一端が連結されている。第 2 の駆動梁 70 は、第 1 の駆動梁 50 と平行に延在する梁が、隣接する梁と端部で連結され、全体としてジグザグ状の形状を有する。そして、第 2 の駆動梁 70 の他端は、固定枠 90 の内側に連結されている。第 2 の駆動梁 70 も、可動枠 60 を左右両側から挟むように、対をなして 2 つ設けられている。また、第 2 の駆動梁 70 の表面には、曲線部を含まない矩形単位毎に、圧電素子の薄膜が駆動源 71 として形成されている。矩形単位毎に隣接している駆動源 71 同士で、異なる極性の電圧を印加することにより、隣接する矩形梁を上下反対方向に反らせ、各矩形梁の上下動の蓄積を可動枠 60 に伝達することができる。そして、水平方向と直交する方向、つまり垂直方向にミラー 10 を揺動させることができる。例えば、第 2 の駆動梁 70 による駆動力は、非共振振動により発生させてもよい。

10

【0028】

本実施形態に係る光走査装置は、上述のような構成を有し、このような構成を実現できれば、種々の材料及び加工方法により実現されてよい。例えば、本実施形態に係る光走査装置は、MEMS (Micro Electro Machine Systems) 技術により、半導体を用いて実現されてもよい。例えば、SOI (Silicon On Insulator) 基板を用いることにより、厚さの薄い梁部分は表面側のシリコン基板のみを残して加工し、厚さの厚い枠やリブの部分は裏面のシリコン基板も残して加工することにより、容易に光走査装置の構造体を作製することができる。

【0029】

20

本実施形態に係る光走査装置は、マイクロプロジェクタに搭載可能な圧電 2 軸駆動型アクチュエータとして構成することができ、小型で高性能、かつ安価に製造することができる。なお、小型とは、例えば、高さ 7 mm 以下、高性能とは 50 cm の距離で A3 サイズ画面に解像度 XGA (eXtended Graphic Array、1024 × 768 ピクセルの解像度) 又は 720 p で高速描画が行えることを意味する。本実施形態に係る光走査装置は、例えば、60 Hz の鋸波で、機械角 ± 9 deg で垂直方向に揺動する非共振駆動型アクチュエータ機構と、水平方向に共振周波数 25 kHz で機械角 ± 12 deg 揺動する共振駆動型アクチュエータを搭載した、小型で高性能な 2 軸駆動型マイクロミラーアクチュエータとして構成してもよい。

【0030】

30

図 2 は、図 1 (A) の A 部及び B 部を拡大した図である。図 2 (A) は、図 1 (A) の A 部を拡大した図であり、図 2 (B) は、図 1 (A) の B 部を拡大した図である。

【0031】

図 2 (A) において、連結梁 40 に 4 個のミラー水平角度センサ 100 が設けられている。ミラー水平角度センサ 100 は、ミラー 10 の水平方向の傾き角度を検出するセンサである。連結梁 40 は、第 1 の駆動梁 50 による水平方向のミラー 10 の傾き角度を反映しているので、ミラー水平角度センサ 100 を連結梁 40 に設けることにより、水平方向のミラー 10 の傾斜角度を検出することができる。ミラー水平角度センサ 100 は、例えば、圧電素子の薄膜を有し、角度に応じて圧電素子の薄膜に励起された電圧を検出し、水平方向の角度を検出するように構成されてもよい。

40

【0032】

図 2 (B) において、ミラー垂直角度センサ 101 が第 2 の駆動梁 70 に設けられている。垂直方向の駆動は、第 2 の駆動梁 70 の動きに反映されるので、例えば、ミラー垂直角度センサ 101 を第 2 の駆動梁 70 に設けるようにしてもよい。ミラー垂直角度センサ 101 も、例えば上述のように、圧電素子を用いて構成してよい。

【0033】

次に、実施形態 1 に係る光走査装置の構成の詳細について、構成部分毎に順次説明する。なお、実施形態 1 に係る光走査装置において、測定結果等の実施例がある場合には、構成部分毎に実施例として採り上げて説明するものとする。

【0034】

50

〔スリット構造〕

図3は、本実施形態に係る光走査装置のスリット構造について説明するための比較例を示した図である。図3において、本実施形態とは異なり、スリット31が形成されていない捻れ梁130を有する比較例に係る光走査装置が示されている。なお、図3において、本実施形態に係る光走査装置と同様の構成要素については、図1及び図2と同様の参照符号を付し、本実施形態に係る光走査装置と異なる構成要素には異なる参照符号を付すものとする。

【0035】

図3(A)は、比較例に係る光走査装置の可動枠60内の構成を示した図である。図3(A)に示すように、可動枠60の内側において、捻れ梁130にスリット31が形成されて

10

【0036】

図3(B)は、比較例に係る光走査装置の捻れ梁130を拡大して示した斜視図である。図3(B)に示すように、捻れ梁130は、厚さに比して横幅の大きい薄板上の形状であることが示されている。近年求められている高解像度化のためには、単位時間当たり多くのピクセル分を走査する必要があるため、走査のための揺動駆動の高速化が求められる。高速化を実現するためには、ミラー10を駆動する共振周波数を上げる必要があるが、そのためには、捻れ梁130の剛性を上げる必要がある。そうすると、MEMS技術により半導体プロセスで光走査装置を構成する場合には、梁等の薄い部分の厚さは、第2の駆動梁70の揺動感度と1次共振周波数 f_0 に関わる剛性により決定され、総て一定に構成

20

【0037】

図3(C)は、比較例に係る光走査装置の捻れ梁130の断面図である。図3(C)に示すように、捻れ梁130の断面は、厚さに比して横幅が大きい長方形の形状である。これは、上述のように、捻れ梁130の梁幅を広くし、剛性を向上させたためである。そうすると、捻れ梁130が捻れたときに、捻れ梁の中心位置 C_t と、端部 E_g と、中間部 M_d とでは、位置により異なる変形をする。ミラー角度が大きく捻れた場合、位置 C_t 、 M_d 、 E_g による変形状態差が、変位の非線形性として現れることになる。

【0038】

図4は、線形共振振動と非線形共振振動の周波数/変位特性を示した図である。図4(A)は、線形共振振動の周波数/変位特性の一例を示した図である。図4(A)に示すように、線形共振振動においては、共振周波数 f_0 を中心として、左右対照の振動を示す。

30

【0039】

図4(B)は、非線形共振振動の周波数/変位特性の一例を示した図である。図4(B)に示すように、左右のバランスが崩れ、共振周波数の山が右又は左に傾いた状態となる。図4(B)においては、共振周波数の山が右に傾いた状態となっている。

【0040】

図4(C)は、非線形共振振動が強く出た場合の周波数/変位特性の例を示した図である。図4(C)に示すように、非線形共振振動が強く出た場合の最大の問題点は、駆動周波数 f を一定として駆動電圧を $V_1 \sim V_3$ に増減させても、駆動周波数 f における変位は増減しないことである。つまり、ピークが傾いてしまっているため、駆動電圧を増減させても傾いた方向に変位は増減し、周波数 f の点においては変位が何ら増減しないという現象が発生してしまう。これでは、レーザ光の投影サイズを、印加電圧の調整により自由に変更することができなくなってしまう。

40

【0041】

図3に戻る。図3(D)は、正方形の断面を有する梁を示した図である。図3(D)において、幅が W 、厚さが T で示されている。非線形性を防ぐ最も有効な手段は、梁の断面形状を、図3(C)に示した長方形から図3(D)に示した正方形にすることである。

【0042】

50

しかしながら、駆動周波数を一定に保ちつつ、断面形状を正方形にするためには、図 3 (C) の長方形の形状から、厚さ T を増加させる必要がある。しかし、単に厚さ T を増加させると、垂直非共振駆動機構である第 2 の駆動梁 70 の厚さも増加してしまい、所望の垂直駆動電圧感度が得られなくなってしまう。

【0043】

そこで、本実施形態に係る光走査装置においては、捻れ梁 30 にスリット 31 を設け、スリット 31 の両側の捻れ梁 30 の断面は各々正方形としつつ、全体としては捻れ梁 30 の幅を広げて、剛性を保つ構成としている。

【0044】

図 5 は、実施形態 1 に係る光走査装置の捻れ梁 30 について説明するための図である。図 5 (A) は、実施形態 1 に係る光走査装置の可動枠 60 の内側の構成を示した図である。図 5 (A) において、本実施形態に係る光走査装置の捻れ梁 30 は、スリット 31 を有している。

10

【0045】

図 5 (B) は、実施形態 1 に係る光走査装置の捻れ梁 30 の拡大図である。図 5 (B) に示されるように、本実施形態に係る光走査装置の捻れ梁 30 は、軸方向に平行なスリット 31 を有している。図 5 (B) においては、捻れ梁 30 の中央に 1 本だけスリット 31 が設けられているので、スリット 31 は、揺動軸と一致した位置に設けられている。また、スリット 31 は、捻れ梁 30 の内側端及び外側端までには到達しておらず、捻れ梁 30 を分割する構成とはなっていない。

20

【0046】

図 5 (C) は、実施形態 1 に係る光走査装置の捻れ梁 30 の断面構成の一例を示した図である。図 5 (C) に示されるように、捻れ梁 30 の中央にスリット 31 を形成したことにより、スリット 31 を含む断面においては、捻れ梁 30 は、左側の捻れ梁 30 L と右側の捻れ梁 30 R に分割される。分割された左側の捻れ梁 30 L 及び右側の捻れ梁 30 R は、ともに正方形に近い断面形状となる。よって、左側の捻れ梁 30 L の回転中心 30 LC 及び右側の捻れ梁 30 R の回転中心 30 RC は、ともに各々の捻れ梁 30 L、30 R の中心となり、変位による差が生じなくなり、非線形振動を低減させることができる。また、捻れ梁 30 全体としては、仮想回転中心 31 C を中心に揺動しており、ミラー 10 に所望の水平方向の揺動を行わせることができる。

30

【0047】

このように、本実施形態に係る光走査装置によれば、捻れ梁 30 に軸方向と平行なスリット 31 を設け、スリット 31 の存在する断面において分割された各捻れ梁 30 L、30 R を正方形に近い形状とすることにより、非線形振動の発生を抑制することができる。

【0048】

(実施例 1)

図 6 は、本発明の実施例 1 に係る光走査装置の実施結果を示した図である。図 6 (A) は、スリット 31 を有しない比較例に係る光走査装置の実施結果を示した図であり、図 6 (B) は、スリット 31 が形成された実施例 1 に係る光走査装置の実施結果を示した図である。

40

【0049】

図 6 (A) は、比較例に係る光走査装置の構造で、線形的に変位した場合と非線形的に変位した場合のモーメントを示している。線形と非線形のモーメントが乖離していると非線形性が強く、一致していると非線形性が無いことを示す。図 6 (A) においては、線形と非線形のモーメントが重なっておらず、スリット 31 が設けられていない捻れ梁 130 を有する比較例に係る光走査装置は、非線形性が強い特性を示している。

【0050】

一方、図 6 (B) は、実施形態 1 と同様の構成を有する実施例 1 に係る光走査装置の構造で、線形的に変位した場合と非線形的に変位した場合のモーメントを示している。図 6 (B) において、線形と非線形のモーメントは重なっており、非線形性が無いことが示さ

50

れている。

【 0 0 5 1 】

図 7 は、実施例 1 及び比較例に係る光走査装置の変位 / 周波数特性を示した図である。図 7 (A) は、実施例 1 に係る光走査装置の変位 / 周波数特性を示した図であり、図 7 (B) は、スリット 3 1 により分割される捻れ梁 3 0 L、3 0 R の角型比を変化させた場合の変位 / 周波数特性であり、図 7 (C) は、比較例に係る光走査装置の変位 / 周波数特性を示した図である。

【 0 0 5 2 】

図 7 (A) に示すように、実施例 1 に係る光走査装置においては、非線形性がほぼ無くなり、駆動電圧の増減により、周波数 f で変位を増減できる特性となっている。これにより、駆動電圧の増減により、光の照射面積を増減させることが可能となる。

10

【 0 0 5 3 】

なお、図 7 (B) に示すように、スリット 3 1 を設けていても、スリット 3 1 の右側の捻れ梁 3 0 R 及び左側の捻れ梁 3 0 L について、角型比を変化させ、発生応力を緩和すると、非線形性が現れてくる。しかしながら、非線形性は弱くなり、周波数 f で一定のときに、駆動電圧の増減により、変位を増減させることが可能となっている。

【 0 0 5 4 】

よって、図 7 (A)、(B) から、捻れ梁 3 0 にスリット 3 1 を設けることにより、周波数 f を一定とし、駆動電圧を増減させた場合に、変位を増減させることが可能であることが分かる。

20

【 0 0 5 5 】

一方、図 7 (C) に示すように、比較例に係る光走査装置のように、非線形性が強い場合には、周波数 f を一定として駆動電圧を増減させても、周波数 f における変位は変化せず、走査領域の大きさを変えることができないことが分かる。

【 0 0 5 6 】

このように、実施例 1 に係る光走査装置によれば、捻れ梁 3 0 の中央部分に、軸方向と略平行にスリット 3 1 を設けることにより、非線形性を低減させることが可能となる。この場合、スリット 3 1 は、回転軸又は揺動軸と一致することになる。

【 0 0 5 7 】

なお、捻れ梁 3 0 にスリット 3 1 を、回転軸に対称に複数本設けることも可能である。しかしながら、回転軸対称にスリット 3 1 の数を 2 本、3 本と増加させると、非線形性は更に弱まるが、軸梁としての剛性も弱まる。剛性を強化するために、ミラー支持部 2 0 の裏面にリブ 2 1 を多く設けると、今度は、ミラー重心は回転軸よりも厚さ下方向に移動し、振り子運動を発生させてしまう。よって、スリット 3 1 の数を増加させる場合には、剛性とのバランスを考慮しつつスリット 3 1 の数を増加することが必要である。なお、スリット 3 1 が 1 本だけの場合も、振り子運動自体は発生するが、捻れ梁 3 0 の捻れ剛性が十分に高いため、ミラー傾角が機械角 $\pm 1.2 \text{ deg}$ で揺動したときでも、振り子変位梁は微量であり、問題とはならない。

30

【 0 0 5 8 】

[応力分散による変位拡大構造]

40

図 8 は、実施形態 1 に係る光走査装置において、非線形振動対策として、捻れ梁 3 0 にスリット 3 1 を設けた場合に考慮すべき点について説明するための図である。図 8 (A) は、捻れ梁 3 0 に短いスリット 1 3 1 を設けた場合の表面側の拡大図であり、図 8 (B) は、捻れ梁 3 0 に短いスリット 1 3 1 を設けた場合の裏面側の拡大図であり、図 8 (C) は、捻れ梁 3 0 に短いスリット 1 3 1 を設けた場合の裏面側の応力分布を示した図である。

【 0 0 5 9 】

図 8 (A)、(B) には、捻れ梁 3 0 に設けたスリット 1 3 1 の端部が、ミラー支持部 2 0 の裏面に設けられたリブ 1 2 1 の端面と接している場合が示されている。かかる場合には、図 8 (C) に示すように、スリット 3 1 の端部に応力が集中して破損し易くなり、

50

大きくミラー 10 を傾けることができないという問題を生じる。このような現象は、スリット 131 の端部がリブ 121 の端面に到達しない場合にも発生する。

【0060】

図9は、実施形態1に係る光走査装置のミラー支持部20と捻れ梁30との連結部の構成の一例を示した図である。図8で説明したスリット31の端部への応力集中の発生を防止するために、実施形態1に係る光走査装置においては、図9に示す構成を採用する。

【0061】

図9(A)は、実施形態1に係る光走査装置のミラー支持部20と捻れ梁30との連結部の表面側の構成を示した図であり、図9(B)は、実施形態1に係る光走査装置のミラー支持部20と捻れ梁30との連結部の裏面側の構成の一例を示した図である。

10

【0062】

図9(A)において、捻れ梁30に設けられたスリット31の端部31Eは、ミラー支持部20の裏面のリブ21の外側端よりも内側に食い込んでおり、スリット31からリブ21の一部が露出した構成となっている。このように、スリット31の端部31Eを、リブ21の外側端よりも内側に到達させることにより、スリット31の端部31Eをリブ21が補強するような構造となり、スリット31の端部31Eで発生した応力をリブ21で吸収し、緩和することができる。

【0063】

なお、図9(A)において、ミラー10と捻れ梁30との間に、黒色レジスト32の薄膜が形成されている。黒色レジスト32は、ミラー10を超える範囲で光が照射されたときに、ミラー10よりも外側の捻れ梁30との間から光が反射されるのを防ぐために形成されている。黒色レジスト32は、例えば、塗布により形成されてよい。

20

【0064】

図9(B)に示すように、ミラー支持部20と捻れ梁30との連結部に存在するリブ22の内側まで、スリット31が到達した構造となっていることが分かる。

【0065】

図10は、実施形態1に係る光走査装置において、捻れ梁30のスリット31の端部31Eにおける応力分布を示した図である。図10において、スリット31の端部31Eに発生した応力は、端部31Eに集中するのではなく、捻れ梁30中に分散していることが示されている。図8(C)と比較すると、その差が明確となる。

30

【0066】

このように、捻れ梁30に設けたスリット31のミラー支持部20側の端部を、リブ21の外側端面よりも内側に到達させ、ミラー10側に食い込んだ構成とすることにより、スリット端部31Eに発生した応力をスリット端部31E以外に分散することができ、大きな変位でミラー10を傾けることが可能となる。

【0067】

[ミラー変形防止構造]

図11は、ミラー変形防止構造の無い構成の光走査装置におけるミラーの変形分布と応力分布の一例を示した図である。図11(A)は、ミラー変形防止構造が無い構成の光走査装置のミラー10の変形分布の一例を示した図であり、図11(B)は、ミラー変形防止構造が無い構成の光走査装置のミラー10の応力分布の一例を示した図である。

40

【0068】

図11(A)において、ミラー10の中心を通る上下が揺動軸となっている。図11(A)に示すように、揺動軸に直交する直径上の中心から最も遠い部分、及びその間の揺動軸に対称な部分の変形が大きくなっている。

【0069】

図11(B)において、ミラー10の中心を通る上下が揺動軸となっている点は、図11(A)と同様である。図11(B)から、ミラー10に発生する応力が大きい部分は、捻れ梁30との連結部であることが分かる。

【0070】

50

図 1 2 は、実施形態 1 に係る光走査装置のミラー変形防止構造を説明するための図である。図 1 2 において、ミラー 1 0 の変形の大きい部分が A ~ F で示されている。実施形態 1 に係る光走査装置においては、このような、ミラー 1 0 の変形が大きい部分を結ぶリブ 2 1 をミラー支持部 2 0 の裏面に設け、更に捻れ梁 3 0 とミラー支持部 2 0 との境界の連結部にリブ 2 1 を設けることにより、最小のリブ数で最大のミラー変形防止効果を得る。

【 0 0 7 1 】

図 1 3 は、実施形態 1 に係る光走査装置のミラー支持部 2 0 の裏面のリブ構造を示した図である。図 1 3 (A) は、実施形態 1 に係る光走査装置のミラー支持部 2 0 のリブ構造を示した斜視図であり、図 1 3 (B) は、実施形態 1 に係る光走査装置のミラー支持部 2 0 のリブ構造を示した平面図である。

10

【 0 0 7 2 】

図 1 3 (A)、(B) において、図 1 2 に示した応力の大きい A ~ F 点を結ぶように、リブ 2 1 が設けられている。具体的には、図 1 2 の A と B、C と D を各々円弧状に結ぶ円弧状リブ 2 3 と、円弧状リブ 2 3 の両端を結んで円弧状リブ 2 3 を強化する弦状リブ 2 4 と、E と F を揺動軸に直交する方向に結ぶ横断リブ 2 6、A と C、B と D を揺動軸に平行な方向で結ぶ縦断リブ 2 5 とを備える。かかるリブ 2 3 ~ 2 6 により、ミラー 1 0 の変形を直接的に抑制することができる。

【 0 0 7 3 】

しかしながら、図 1 1 (B) に示したように、捻れ梁 3 0 の応力はミラー支持部 2 0 との連結部からミラー 1 0 に至り、ミラー 1 0 を変形させる作用を及ぼすと考えられるので、応力の対策も必要である。そこで、本実施形態に係る光走査装置においては、捻れ梁 3 0 とミラー支持部 2 0 との連結部にも連結リブ 2 2 を設けている。更に、図 1 3 (B) に示すように、連結リブをミラー 1 0 の端部よりも捻れ梁 3 0 側に突出させ、捻れ梁 3 0 からの応力の伝達を効果的に阻止している。かかる連結リブ 2 2 の突出部は、回転軸（又は揺動軸）付近にあるので、慣性は増加せず、高速駆動に有利な構造となっている。

20

【 0 0 7 4 】

図 1 4 は、実施形態 1 に係る光走査装置のミラー変形量及び応力分布の一例を示した図である。図 1 4 (A) は、実施形態 1 に係る光走査装置のミラー変形量の一例を示した図である。図 1 4 (A) に示すように、ミラー変形防止構造としてミラー支持部 2 0 の裏面にリブ 2 1 を設けた場合には、ミラー 1 0 の変形量が殆ど皆無となっており、十分に平坦となっていることが分かる。

30

【 0 0 7 5 】

図 1 4 (B) は、実施形態 1 に係る光走査装置の応力分布を、連結リブ 2 2 の突出部を含めて示した図である。図 1 4 (B) に示すように、ミラー 1 0 の端部よりも捻れ梁 3 0 側にリブ 2 1（連結リブ 2 2）を突出させることで、突出部に応力が集中して捻れ梁 3 0 の応力緩衝部となっていることが分かる。

【 0 0 7 6 】

図 1 4 (C) は、ミラー 1 0 の面内の応力分布を示した図である。図 1 4 (C) に示すように、ミラー 1 0 の面内では、応力は殆ど発生しなくなっている。これは、図 1 4 (B) で示したように、捻れ梁 3 0 からの応力が連結リブ 2 2 の突出部で吸収され、ミラー 1 0 まで伝達しないような構成となっているからである。

40

【 0 0 7 7 】

（実施例 2）

図 1 5 は、本発明の実施例 2 に係る光走査装置の構成及び実施結果を示す図である。図 1 5 (A) は、実施例 2 に係る光走査装置の捻れ梁 3 0 の断面構成を示した図である。図 1 5 (A) に示すように、捻れ梁 3 0 の中央には、スリット 3 1 が設けられ、スリット 3 1 の両側に正方形に近い断面形状の捻れ梁 3 0 L、3 0 R が形成されている。左側の捻れ梁 3 0 L 及び右側の捻れ梁 3 0 R は、等しい断面構成を有しており、幅を W、厚さを T で表すものとする。

【 0 0 7 8 】

50

図 15 (B) は、実施例 2 に係る光走査装置の裏面の平面構成を示した図である。図 15 (B) に示すように、実施例 2 に係る光走査装置は、図 13 において説明した実施形態 1 に係る光走査装置と同様の構成を有し、ミラー 10 の外周よりも捻れ梁 30 側に突出した連結リブ 22 を有しており、連結リブ 22 のミラー 10 からの突出量を X [mm] で表すものとする。

【 0079 】

図 15 (C) は、連結リブ 22 の突出量 X と、最大傾角時のミラー平面度 及び非線形係数 との関係を示した図である。図 15 において、 W は捻れ梁片側幅、 T は捻れ梁厚さ、 W/T は捻れ梁片側の角型比、 X はリブ突出量、 は最大傾角時のミラー平面度、 は非線形係数を表すものとする。また、実線で示された特性はミラー平面度 を示し、破線

10

【 0080 】

図 15 (C) の破線で示された特性において、捻れ梁の角型比 W/T が小さく 1 に近付き (正方形に近付き)、突出量 X [mm] が小さくなる程、非線形係数 は小さくなる。しかしながら、非線形係数 の値は、リブ突出量 X が変化しても、比較的变化は小さい。

【 0081 】

一方、図 15 (C) の実線で示された特性において、ミラー平面度 は、 $W/T = 1.8$ 、 $X = 0.1$ [mm] 付近で極小値となる。 $X = 0.1$ [mm] では、非線形係数 は必ずしも最適値ではないが、上述のように、非線形係数 の変化はそれ程大きくないこと

20

【 0082 】

図 15 (D) は、捻れ梁 30 の角型比 W/T と、最大傾角時ミラー平面度 、最大傾角時軸梁最大応力 及び非線形係数 との関係を示した図である。図 15 (D) においては、図 15 (C) の結果から、突出量 X を $X = 0.1$ [mm] に固定している。そして、捻れ梁 30 の片側 30 R、30 L の角型比 W/T を変化させ、最大傾角時ミラー平面度 、最大傾角時軸梁最大応力 及び非線形係数 の変化を測定した。

【 0083 】

図 15 (D) に示されるように、非線形係数 は、 W/T が小さくなり、1 に近づく程 (正方形に近づく程) 小さくなった。これは、捻れ梁 30 の片側 30 R、30 L を正方形に近づけるのは、本来的に非線形対策として行っているので、当然の結果とも言える。

30

【 0084 】

一方、最大傾角時のミラー平面度 は、 $W/T = 1.76$ で極小値をとる。また、最大傾角時軸梁最大応力 は、 W/T が大きくなる程小さくなるが、最大応力 が、捻れ梁 30 の許容応力 以下であれば問題はない。図 15 (D) に示された最大傾角時軸梁最大応力 は、総て問題の無い値となっている。

【 0085 】

図 15 (C) より、リブ突出量 X の最適範囲は、 $0.05 \leq X \leq 0.15$ [mm] となり、 $X = 0.1$ [mm] が最適値となる。

40

【 0086 】

また、図 15 (D) に示される最大傾角時軸梁最大応力 及び非線形係数 の特性から、 W/T の最適範囲は、 $1.7 \leq W/T \leq 1.9$ となり、 $W/T = 1.76$ が最適値となる。

【 0087 】

このように、リブ突出量 X 及び捻れ梁 30 の片側 30 R、30 L の W/T を調整することにより、捻れ梁 30 に加わる最大応力 を問題無い大きさにしつつ、ミラー平面度 及び非線形係数 を低減させることができる。

【 0088 】

[水平駆動時の垂直駆動梁へのクロストーク防止構造]

50

図 16 は、実施形態 1 に係る光走査装置において、裏面にリブを有しない可動枠 160 を用いた場合に発生するクロストークを説明するための図である。図 16 (A) は、裏面にリブを有しない可動枠 160 を用いた光走査装置の表面側の構成を示した斜視図であり、図 16 (B) は、裏面にリブを有しない可動枠 160 を用いた光走査装置の裏面側の構成を示した図であり、図 16 (C) は、裏面にリブを有しない可動枠 160 を用いた光走査装置の水平駆動状態を示した図である。

【0089】

図 16 (A)、(B) に示されるように、裏面にリブを有しない可動枠 160 で光走査装置を構成した場合には、可動枠 160 も他の梁と同じ厚さの梁として構成される。

【0090】

図 16 (C) に示されるように、裏面にリブを有しない可動枠 160 で光走査装置を構成した場合には、捻れ梁 30 の水平駆動により、垂直駆動梁である第 2 の駆動梁 70 は大きく変形してしまう。つまり、水平駆動時に垂直駆動に影響を与える、いわゆるクロストークが発生してしまう。

【0091】

図 17 は、裏面にリブを設けた可動枠 60 を用いた場合でも発生するクロストークを説明するための図である。図 17 (A) は、裏面にリブを設けた可動枠 60 を用いた光走査装置の表面側の構成を示した斜視図であり、図 17 (B) は、裏面にリブを設けた可動枠 60 を用いた光走査装置の裏面側の構成を示した斜視図であり、図 17 (C) は、裏面にリブを設けた可動枠 60 を用いた光走査装置の水平駆動状態を示した図である。

【0092】

図 17 (A)、(B) に示すように、裏面にリブを設けた可動枠 60 を用いることにより、可動枠 60 は厚みを有し、剛性の高い枠として構成される。

【0093】

しかしながら、図 17 (C) に示すように、第 1 の駆動梁 50 を用いて水平駆動させると、垂直駆動梁である第 2 の駆動梁 70 に変形がやはり生じてしまう。

【0094】

図 18 は、実施形態 1 に係る光走査装置の水平駆動時の垂直駆動梁へのクロストーク防止構造について説明するための図である。図 18 (A) は、実施形態 1 に係る光走査装置の表面側の構成を示した斜視図であり、図 18 (B) は、実施形態 1 に係る光走査装置の裏面側の斜視図であり、図 18 (C) は、実施形態 1 に係る光走査装置のクロストーク防止構造の拡大図である。

【0095】

図 18 (A) に示されるように、光走査装置の表面側には特にクロストーク防止構造は設けられていない。

【0096】

一方、図 18 (B) に示されるように、実施形態 1 に係る光走査装置の裏面側には、リブを有する可動枠 60 が設けられるとともに、第 2 の駆動梁 70 と可動枠 60 との連結部 80 に、複数のクロストーク防止リブ 81 ~ 83 が設けられている。なお、図 18 (B) において、第 2 の駆動梁 70 には、可動枠 60 との連結部 80 以外にもリブ 72 が設けられているが、これは、垂直方向に駆動した場合の高調波重畳防止用リブ 72 であり、クロストーク防止用のリブとは異なる。なお、高調波重畳防止用リブ 72 は、例えば、第 2 の駆動梁 70 が 60 Hz で駆動している場合に、120 Hz、240 Hz、360 Hz 等の 60 Hz の倍数の周波数の高調波が重畳する場合があるので、そのような高調波の重畳を防止する目的で設けられている。

【0097】

図 18 (C) に示されるように、可動枠 60 と第 2 の駆動梁 70 との連結部 80 は、水平駆動の軸方向及び当該軸方向に直交する方向に延在する複数のクロストーク防止リブ 81 ~ 83 を有する。クロストーク防止リブ 81 は、捻れ梁 30 及び第 2 の駆動梁 70 と平行に、可動枠 60 から連続して延びているリブである。また、クロストーク防止リブ 82

10

20

30

40

50

は、高調波重畳防止用リブ 72 と対称に、第 2 の駆動梁 70 の幅方向に延在して設けられている。クロストーク防止リブ 83 は、クロストーク防止リブ 82 と平行に、可動枠 60 から連続して延びて設けられている。また、クロストーク防止リブ 81、83 で、可動枠 60 の外側に、三角形の窪み 84 が形成された構成となっている。

【0098】

このように、垂直駆動梁である第 2 の駆動梁 70 の端部と可動枠 60 との間にクロストーク防止リブ 81 ~ 83 を設けることにより、水平駆動時の振動が、第 2 の駆動梁 70 に伝達するのを防止することができる。特に、リブ 81 とリブ 83 で三角形 84 を形成することにより、三角形 84 の部分で水平駆動により発生する応力を吸収し、垂直駆動梁である第 2 の駆動梁 70 への影響を低減させることができる。

10

【0099】

図 19 は、クロストーク防止リブ 81 ~ 83 を有する実施形態 1 に係る光走査装置の水平駆動時の応力分布を示した図である。図 19 に示すように、水平駆動しているミラー 10 には応力が働いているが、垂直駆動梁である第 2 の駆動梁 70 には、応力が発生していない。このように、垂直駆動梁端と可動枠 60 との間にクロストーク防止リブ 81 ~ 83 を設けることにより、水平共振駆動時の揺動振動の垂直駆動梁への伝搬を遮断することができる。

【0100】

[周波数変動防止構造]

図 20 は、実施形態 1 に係る光走査装置に形状が類似しているが、周波数変動防止構造を有していない光走査装置の駆動による周波数変動を説明するための図である。図 20 (A) は、周波数変動防止構造を有していない光走査装置の平面構成を示した図である。図 20 (A) において、周波数変動防止構造を有していない光走査装置は、可動枠 60 の内壁面から、水平方向の共振駆動梁 150 が延びた形状を有している。共振駆動梁 150 は、可動枠 60 の内壁面から、長さ L で垂直に延びている。

20

【0101】

図 20 (B) は、図 20 (A) に示した周波数変動防止構造を有していない光走査装置の可動枠 60 及び共振駆動梁 150 の断面構成を示した図である。図 20 (B) に示すように、可動枠 60 は、厚いシリコン基板を含む SOI 基板全体で構成され、共振駆動梁 150 は、酸化膜 61 を介して薄いシリコン基板で構成される。また、共振駆動梁 150 は、表面に圧電素子の薄膜からなる駆動源 151 を備えている。このように、可動枠 60 のように、リブを有する部分は、裏面の厚いシリコン基板、酸化膜、表面の薄いシリコン基板が積層された SOI 基板全体で構成される。また、共振駆動梁 150 のように、梁を構成する部分は、表面の薄いシリコン基板のみで構成される。この点は、実施形態 1 に係る光走査装置も同様である。

30

【0102】

図 20 (C) は、共振駆動梁 150 を駆動させた状態を示した図である。駆動源 151 が伸縮を駆動電圧の極性に依りて繰り返し、共振駆動梁 150 が上下に振動する。このとき、共振駆動梁 150 と可動枠 60 に挟まれている酸化膜 61 は、上下駆動の起点になり、また酸化膜 61 は弾性の少ないガラスのような部材であるので、脆性が高く、壊れやすい。よって、共振駆動梁 150 の上下駆動によりクラック 62 が発生し、破損することがある。

40

【0103】

図 20 (D) は、共振駆動梁 150 の積算駆動時間と共振周波数変化率との関係の一例を示した図である。図 20 (D) に示すように、共振駆動梁 150 の連続駆動を行うと、ある時間 T_c で酸化膜 61 の起点にクラック 62 が入り、見掛け上の共振駆動梁 150 の長さ L が $(L + \quad)$ に増大し、周波数が低い方にシフトして変動してしまう。

【0104】

図 21 は、周波数変動防止構造を有しない光走査装置の水平駆動時の応力分布を示した図である。図 21 (A) は、周波数変動防止構造を有しない光走査装置の水平駆動時の表

50

面側の応力分布を示した図であり、図 2 1 (B) は、周波数変動防止構造を有しない光走査装置の水平駆動時の裏面側の応力分布を示した図であり、図 2 1 (C) は、周波数変動防止構造を有しない光走査装置の水平駆動時の裏面側の応力分布の駆動梁の起点部分の拡大図である。

【 0 1 0 5 】

図 2 1 (A)、(B) に示すように、共振駆動梁 1 5 0 は、可動枠 6 0 から垂直に延びた状態で接合している。また、図 2 1 (C) に示すように、可動枠 6 0 の共振駆動梁 1 5 0 の起点となる根元部分 6 3 に、応力が発生し易い状態となっていることが分かる。

【 0 1 0 6 】

図 2 2 は、実施形態 1 に係る光走査装置の第 1 の周波数変動防止構造を説明するための図である。図 2 2 (A) は、周波数変動防止構造を有する本実施形態に係る光走査装置の平面構成を示した図である。図 2 2 (A) において、第 1 の駆動梁 5 0 の可動枠 6 0 と接合する根元部分 5 2 が、可動枠 6 0 の内周壁面に垂直に連結されずに、可動枠 6 0 の手前で丸め構造を有する湾曲形状部 5 3 が形成され、湾曲形状部 5 3 を介して可動枠 6 0 に連結された構成となっている。つまり、第 1 の駆動梁 5 0 の平面形状は、可動枠 6 0 と連結梁 4 0 とを結ぶ側辺の可動枠 6 0 寄りで可動枠 6 0 に達しない位置に、内側に凹んだ湾曲形状 5 3 を有した形状となっている。

【 0 1 0 7 】

図 2 2 (B) は、図 2 2 (A) に示した根元部分 5 2 の拡大図である。図 2 2 (B) において、可動枠 6 0 と第 1 の駆動梁 5 0 との境界部である起点 6 4 から、距離 D だけ離れた箇所に、内側に凹んだ湾曲形状部 5 3 が形成されている。湾曲形状部 5 3 は、応力を分散させて緩和させる効果があるので、これを可動枠 6 0 の起点 6 4 よりも内側に形成することにより、起点 6 4 に集中する応力を湾曲形状部 5 3 に分散させることができる。これにより、可動枠 6 0 の酸化膜 6 1 の部分を保護し、連続駆動が行われても壊れにくくすることができる。

【 0 1 0 8 】

図 2 3 は、第 1 の周波数変動防止構造を有する実施形態 1 に係る光走査装置の水平駆動時の応力分布を示した図である。図 2 3 (A) は、実施形態 1 に係る光走査装置の水平駆動時の第 1 の駆動梁 5 0 の表面側の応力分布を示した図であり、図 2 3 (B) は、実施形態 1 に係る光走査装置の水平駆動時の第 1 の駆動梁 5 0 の裏面側の応力分布を示した図である。図 2 3 (A)、(B) において、第 1 の駆動梁 5 0 の根元部分 5 2 に、湾曲形状部 5 3 が形成されている。

【 0 1 0 9 】

図 2 3 (C) は、図 2 3 (B) に示した第 1 の駆動梁 5 0 の根元部分 5 2 を拡大した図である。図 2 3 (C) において、起点 6 4 よりも内側で、連結梁 4 0 よりも可動枠寄りの位置に、湾曲形状部 5 3 が形成されている。応力分布は、湾曲形状部 5 3 よりも内側寄りに発生しており、起点 6 4 の部分には到達していないことが示されている。ここで、起点 6 4 と湾曲形状部 5 3 の最も起点 6 4 寄りの位置との距離 D は、小さ過ぎると上下駆動の起点 6 4 から発生応力を隔離することができず、大き過ぎるとミラー 1 0 の揺動感度が低下し、仕様を満たせなくなるおそれがある。よって、距離 D を適切な値に設定する必要があり、例えば、0 . 1 [mm] に設定してもよい。

【 0 1 1 0 】

図 2 4 は、実施形態 1 に係る光走査装置の共振駆動による積算駆動時間と、共振周波数変化率を示した図である。図 2 4 で示されるように、図 2 0 (D) の例とは異なり、積算駆動時間が長くなっても、共振周波数変化率は一定で、共振周波数が一定に保たれることが示されている。

【 0 1 1 1 】

このように、実施形態 1 に係る光走査装置によれば、共振駆動を行う第 1 の駆動梁 5 0 の平面形状を、可動枠 6 0 と連結梁 4 0 とを結ぶ側辺において、可動枠 6 0 寄りで可動枠 6 0 に達しない位置に、内側に凹んだ湾曲形状部 5 3 を形成することにより、可動枠 6 0

10

20

30

40

50

と第 1 の駆動梁 5 0 との境界の起点 6 4 への応力の集中を防ぎ、可動枠 6 0 の酸化膜 6 1 の破損を防いで駆動周波数を一定に保つことができる。

【 0 1 1 2 】

図 2 5 は、第 1 の周波数変動防止構造に加えて、第 2 の周波数変動防止構造を更に有する実施形態 1 に係る光走査装置を説明するための図である。図 2 5 (A) は、第 1 及び第 2 の周波数変動防止構造を有する実施形態 1 に係る光走査装置の表面側の平面構成図であり、図 2 5 (B) は、第 1 及び第 2 の周波数変動防止構造を有する実施形態 1 に係る光走査装置の裏面側の平面構成図である。図 2 5 (A)、(B) において、第 1 の駆動梁 5 0 の側辺が、湾曲形状部 5 3 のみでなく、ミラー 1 0 側に切り込まれた括れ部 5 4 を有する点で、図 2 2 及び図 2 4 に示した形状と異なっている、このように、湾曲形状部 5 3 だけ

10

【 0 1 1 3 】

図 2 5 (C) は、実施形態 1 に係る光走査装置の可動枠 6 0 の内側を拡大した平面図であり、図 2 5 (D) は、第 1 の駆動梁 5 0 の側辺部の応力分布を示した拡大図である。図 2 5 (C) に示されるように、第 1 の駆動梁 5 0 は、湾曲形状部 5 3 と、括れ部 5 4 が連続して第 1 の駆動梁 5 0 の側辺部を構成している。また、図 2 5 (D) に示されるように、ミラー 1 0 近くの連結梁 4 0 寄りに括れ部 5 4 を設けたことにより、括れ部 5 4 の方に応力がシフトしており、可動枠 6 0 側の根元には応力が非常に低減されていることが分かる。つまり、括れ部 5 4 を可動枠 6 0 の起点 6 4 から離間させて形成することにより、起

20

【 0 1 1 4 】

図 2 6 は、各態様の光走査装置の応力分布を比較して示した図である。図 2 6 (A) は、周波数変動防止構造を設けない光走査装置の応力分布を示した図であり、図 2 6 (B) は、第 1 の周波数変動防止構造のみを設けた光走査装置の応力分布を示した図であり、図 2 6 (C) は、第 1 及び第 2 の周波数変動防止構造を設けた実施形態 1 に係る光走査装置の応力分布を示した図である。

【 0 1 1 5 】

図 2 6 (A) においては、応力が共振駆動梁 1 5 0 の根元の起点 6 4 に加わってしまっ

30

【 0 1 1 6 】

一方、図 2 6 (B) においては、湾曲形状部 5 3 を起点 6 4 よりも内側に設けたことにより、湾曲形状部 5 3 より内側に応力が発生し、起点 6 4 に応力が到達することを防ぐことができている。

【 0 1 1 7 】

更に、図 2 6 (C) においては、括れ部 5 4 をミラー 1 0 側、つまり連結梁 4 0 側に設けたことにより、応力を括れ部 5 4 に移動させ、湾曲形状部 5 3 よりも外側には殆ど応力を発生させていない。

【 0 1 1 8 】

40

図 2 7 は、図 2 6 で示した各周波数変動防止構造について、第 1 の駆動梁 5 0 の根元における応力測定結果を示した図である。図 2 7 に示すように、周波数変動防止構造を有しない (A) の梁形状に比較して、第 1 の周波数変動防止構造を設けたことにより、(B) の梁形状は大幅に根元の応力を低下させている。また、第 2 の周波数変動防止構造を更に設けることにより、(C) の梁形状は、(B) の梁形状よりも更に根元の発生応力を低減させている。

【 0 1 1 9 】

このように、湾曲形状部 5 3 及び括れ部 5 4 の周波数防止構造を第 1 の駆動梁 5 0 に設けることにより、可動枠 6 0 の起点 6 4 の酸化物 6 1 の破損を防ぎ、長時間の連続駆動を行った場合にも、周波数を一定に保って駆動することができる。

50

【 0 1 2 0 】

〔 実施形態 2 〕

図 2 8 は、本発明の実施形態 2 に係る光走査装置の一例を示した図である。実施形態 2 に係る光走査装置においては、ミラー構造部 2 0 の裏面に設けられたリブ 2 1 A の構造のみが実施形態 1 に係る光走査装置と異なっている。よって、その他の構成要素については、今までの説明と同一の参照符号を用いるとともに、その説明を省略する。

【 0 1 2 1 】

実施形態 2 に係る光走査装置のリブ 2 1 A は、連結リブ 2 2 A、円弧状リブ 2 3 A、弦状リブ 2 4 A、縦断リブ 2 5 A 及び横断リブ 2 6 A については、実施形態 1 に係る光走査装置と同様の構成を有している。実施形態 2 に係る光走査装置は、縦断リブ 2 5 A を延長させた貫通リブ 2 7 A が弦状リブ 2 4 A と交差し、更に円弧状リブ 2 3 A の内壁まで到達している点で、実施形態 1 に係る光走査装置と異なっている。

10

【 0 1 2 2 】

実施形態 2 に係る光走査装置によれば、弦状リブ 2 4 A を貫き、円弧状リブ 2 3 A に到達する貫通リブ 2 7 A を更に設けたことにより、ミラー 1 0 の変形を更に抑制させることができる。

【 0 1 2 3 】

〔 実施形態 3 〕

図 2 9 は、本発明の実施形態 3 に係る光走査装置の一例を示した図である。実施形態 3 に係る光走査装置のリブ 2 1 B においては、縦断リブ 2 5 B 及び貫通リブ 2 7 B が、A と D、B と C を各々結び、X 状にクロスしている形状を有する点で、実施形態 2 に係る光走査装置と異なっている。他の連結リブ 2 2 B、円弧状リブ 2 3 B、弦状リブ 2 4 B、横断リブ 2 6 B については、実施形態 2 に係る光走査装置の対応リブと同様の構成を有しているので、その説明を省略する。

20

【 0 1 2 4 】

実施形態 3 に係る光走査装置によれば、斜めの応力にも強いミラー変形防止構造とすることができる。

【 0 1 2 5 】

〔 実施形態 4 〕

図 3 0 は、本発明の実施形態 4 に係る光走査装置の一例を示した図である。実施形態 4 に係る光走査装置のリブ 2 1 C においては、連結リブ 2 2 C、円弧状リブ 2 3 C 及び弦状リブ 2 4 C が、1 つの大きな塊となって形成されている点で、実施形態 1 及び 2 とは異なっている。このように、連結リブ 2 2 C を、円弧状リブ 2 3 C 及び現状リブ 2 4 C と一体的に構成してもよい。より強固にミラー支持部 2 0 を補強するので、ミラー変形を防止する効果を確実に高めることができる。なお、縦断リブ 2 5 C 及び横断リブ 2 6 C の構成については、実施形態 1 及び 2 と同様であるので、その説明を省略する。

30

【 0 1 2 6 】

〔 実施形態 5 〕

図 3 1 は、本発明の実施形態 5 に係る光走査装置の一例を示した図である。実施形態 5 に係る光走査装置のリブ 2 1 D においては、連結リブ 2 2 D、円弧状リブ 2 3 D 及び弦状リブ 2 4 D が、1 つの大きな塊となって形成されている点で、実施形態 3 と異なっている。この場合においても、より強固にミラー支持部 2 0 を補強するので、ミラー変形を防止する効果を確実に高めることができる。なお、縦断リブ 2 5 D 及び横断リブ 2 6 D の構成については、実施形態 3 と同様であるので、その説明を省略する。

40

【 0 1 2 7 】

以上、本発明の好ましい実施形態について詳説したが、本発明は、上述した実施形態に制限されることはなく、本発明の範囲を逸脱することなく、上述した実施形態に種々の変形及び置換を加えることができる。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 1 2 8 】

50

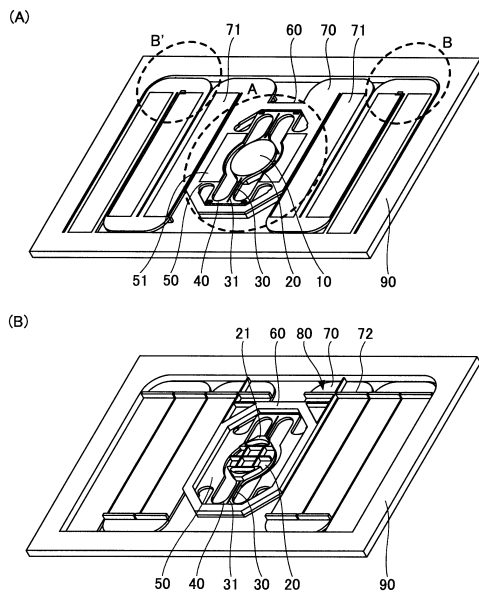
本発明は、光を走査させて映像を投影するプロジェクタ等の画像投影装置に利用することができる。

【符号の説明】

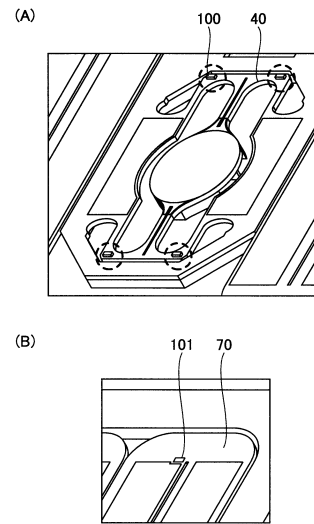
【 0 1 2 9 】

1 0	ミラー	
2 0	ミラー支持部	
2 1、2 1 A ~ 2 1 D	リブ	
2 2、2 2 A ~ 2 2 D	連結リブ	
2 3、2 3 A ~ 2 3 D	円弧状リブ	
2 4、2 4 A ~ 2 4 D	弦状リブ	10
2 5、2 5 A ~ 2 5 D	縦断リブ	
2 6、2 6 A ~ 2 6 D	横断リブ	
2 7 A、2 7 B	貫通リブ	
3 0	捻れ梁	
3 1	スリット	
3 2	黒色レジスト	
4 0	連結梁	
5 0	第 1 の駆動梁	
5 1、7 1	駆動源	
5 2、6 3	根元部分	20
5 3	湾曲形状部	
5 4	括れ部	
6 0	可動枠	
6 1	酸化膜	
6 2	クラック	
6 4	起点	
7 0	第 2 の駆動梁	
7 2	高調波重畳防止用リブ	
8 0	連結部	
8 1、8 2、8 3	クレストーク防止リブ	30
9 0	固定枠	
1 0 0	ミラー水平角度センサ	
1 0 1	ミラー垂直角度センサ	

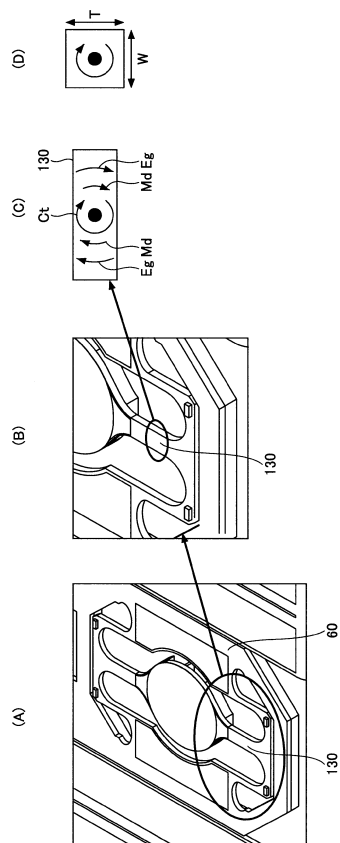
【図 1】



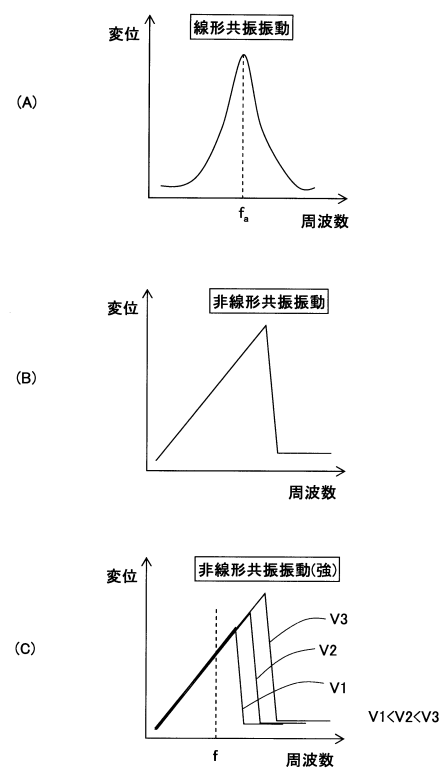
【図 2】



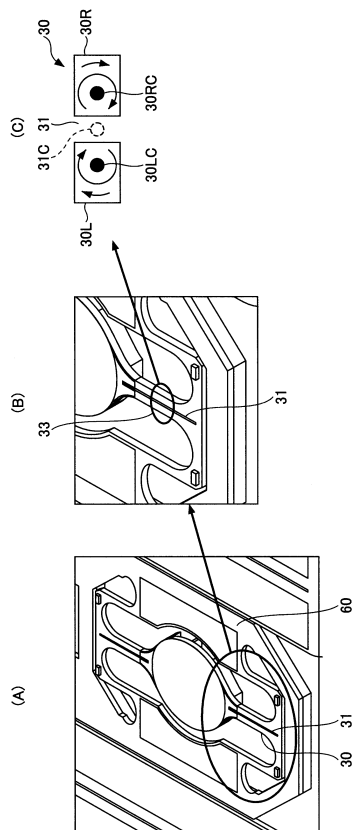
【図 3】



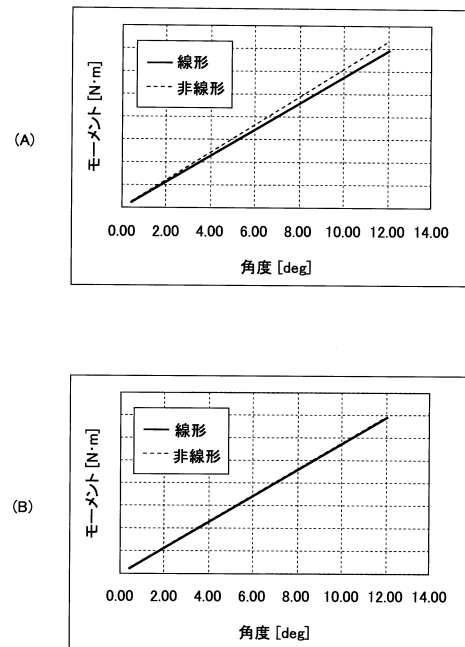
【図 4】



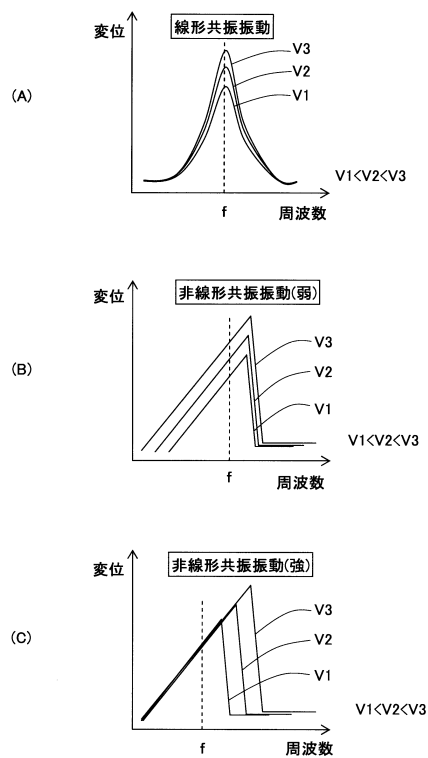
【図 5】



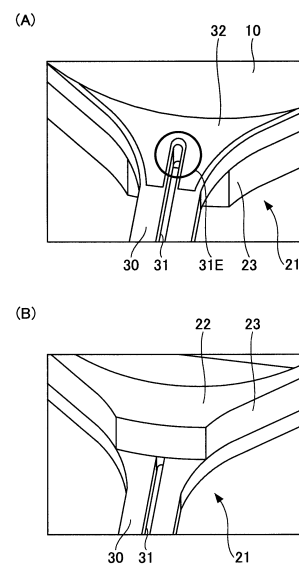
【図 6】



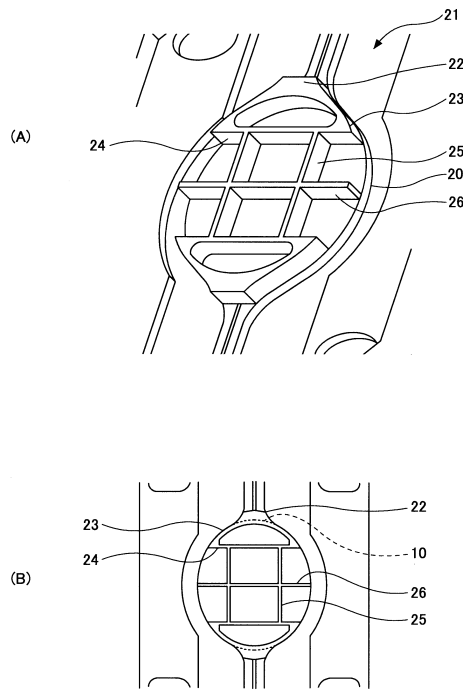
【図 7】



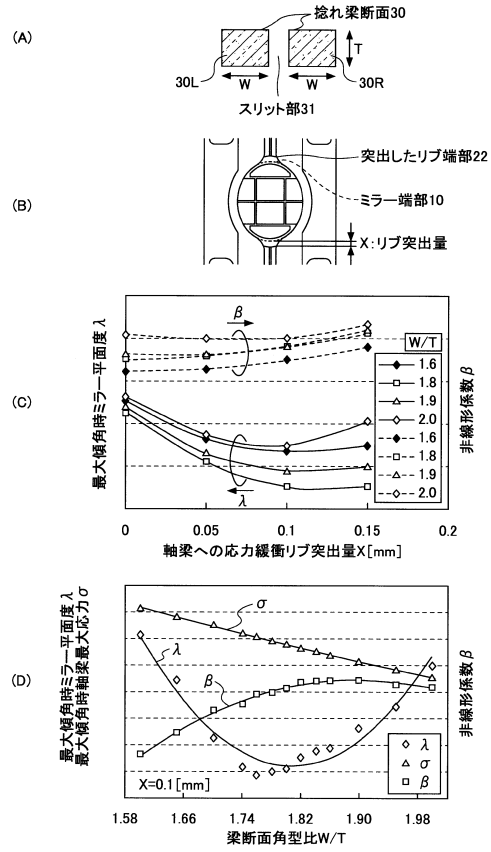
【図 9】



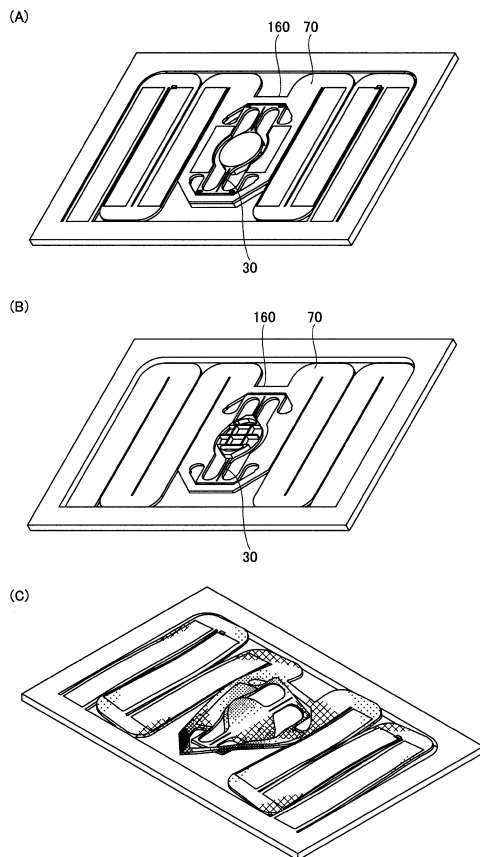
【図 13】



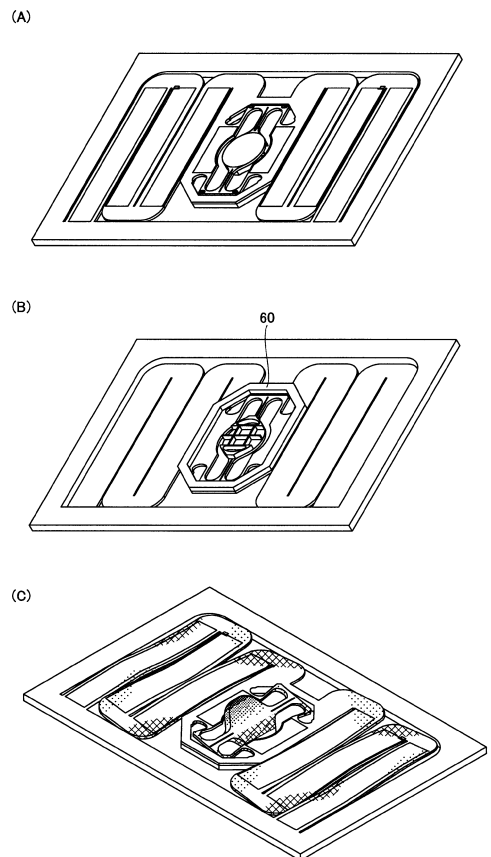
【図 15】



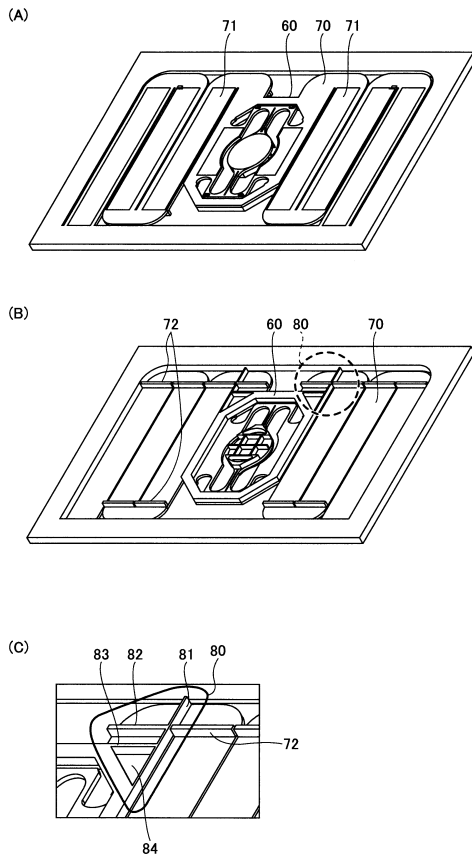
【図 16】



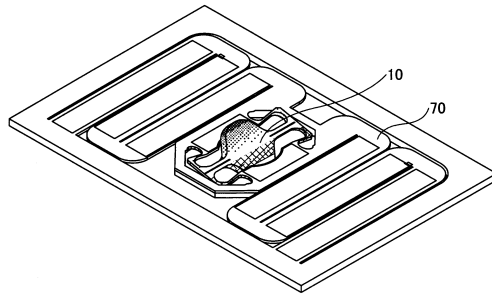
【図 17】



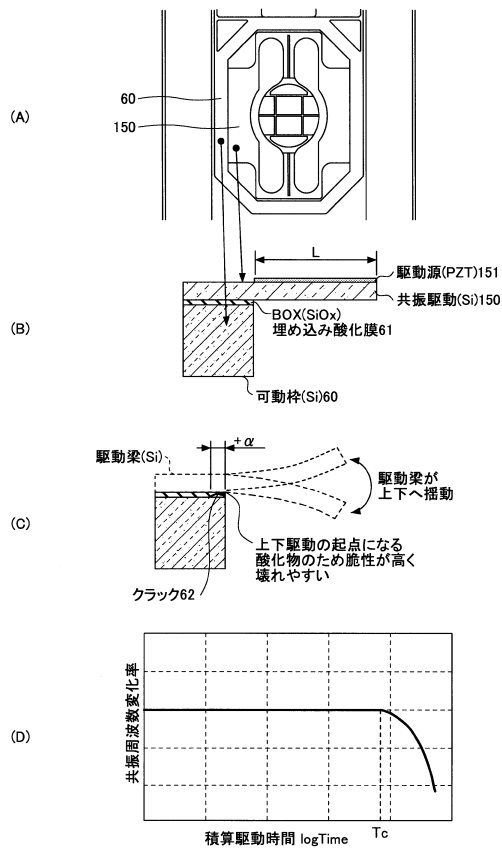
【図 18】



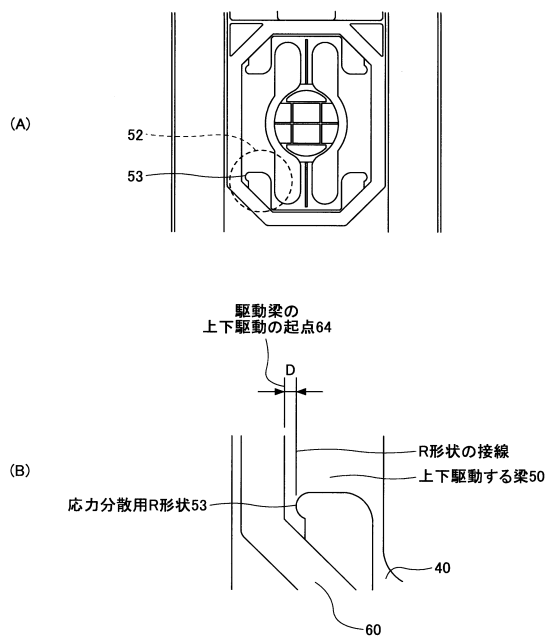
【図 19】



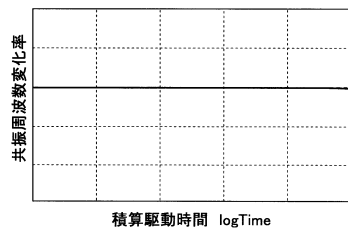
【図 20】



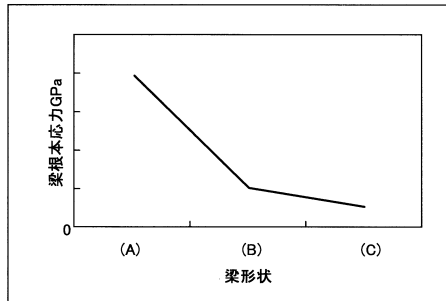
【図 22】



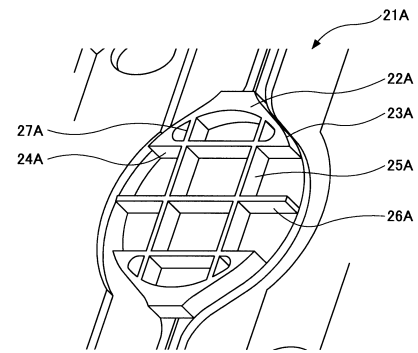
【図 24】



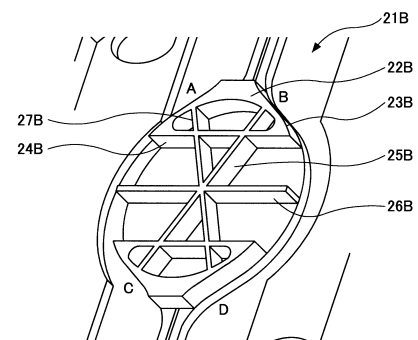
【図 27】



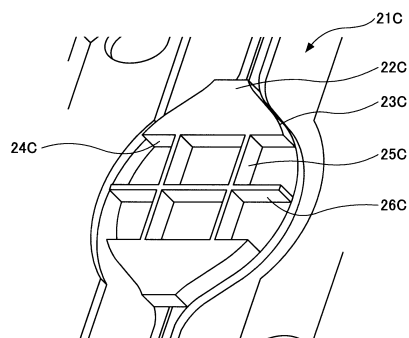
【図 28】



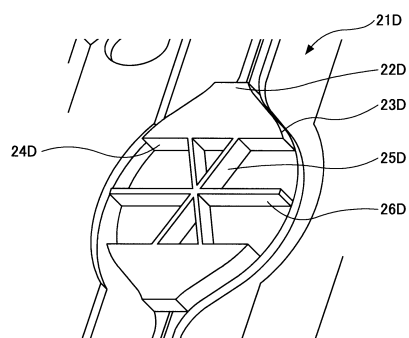
【図 29】



【図 30】

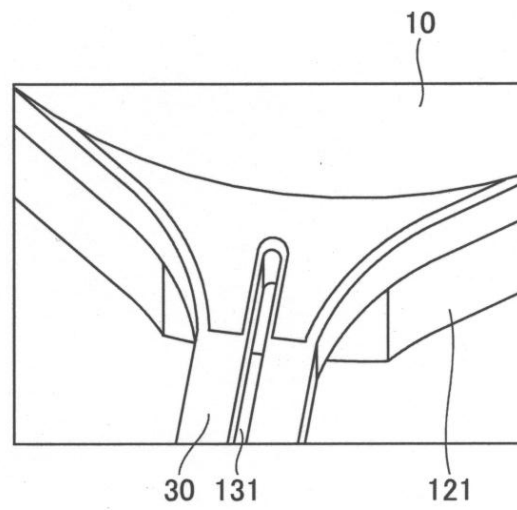


【図 31】

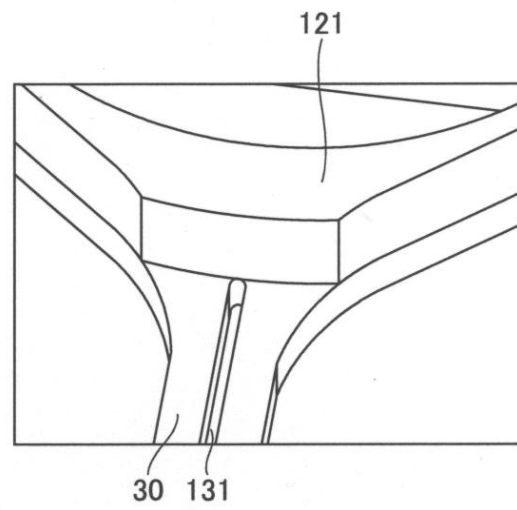


【図 8】

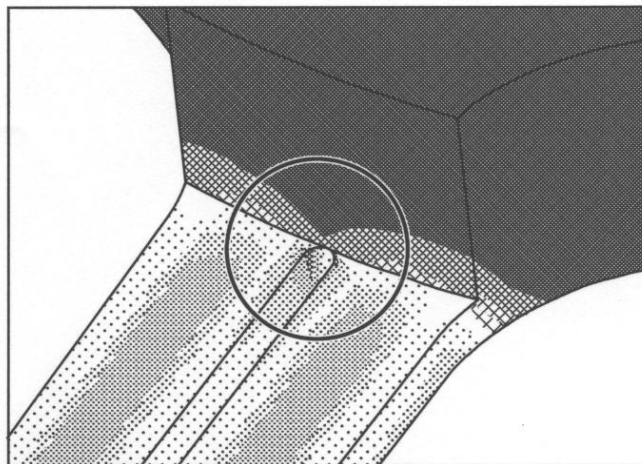
(A)



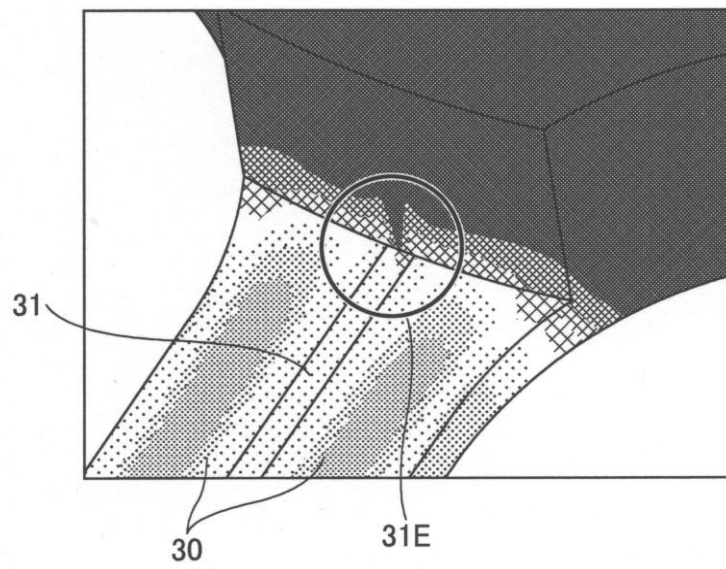
(B)



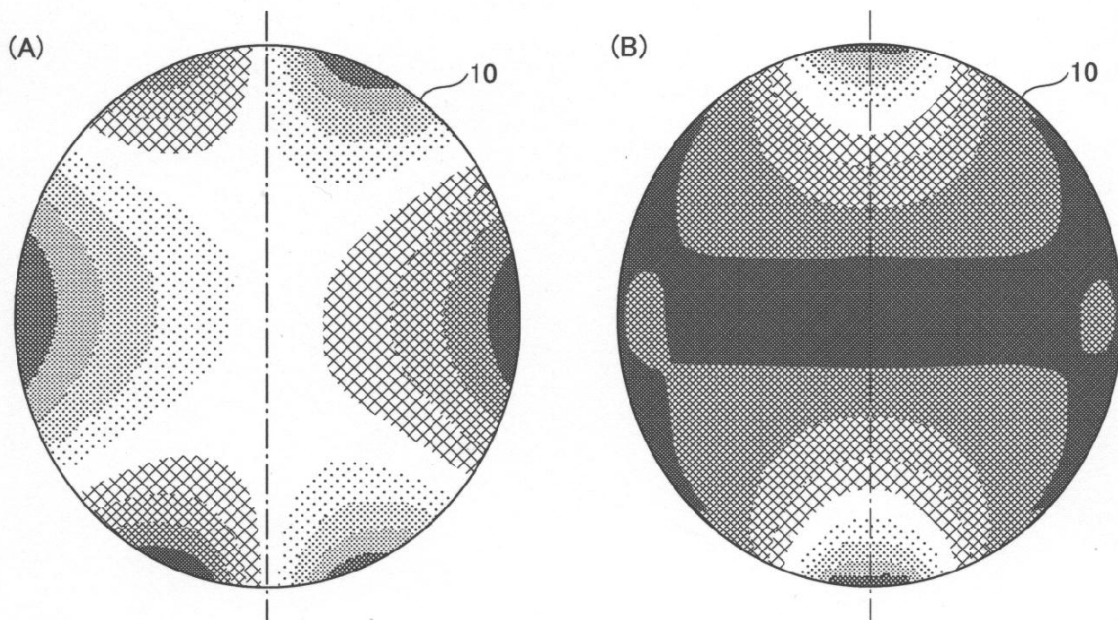
(C)



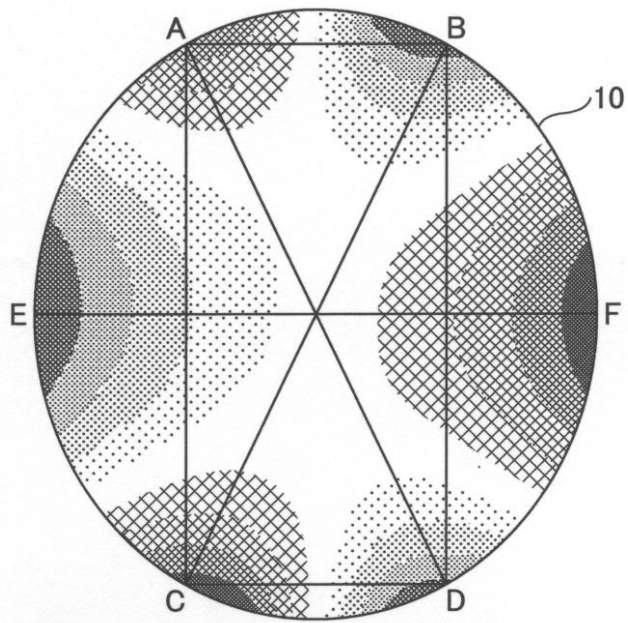
【図 10】



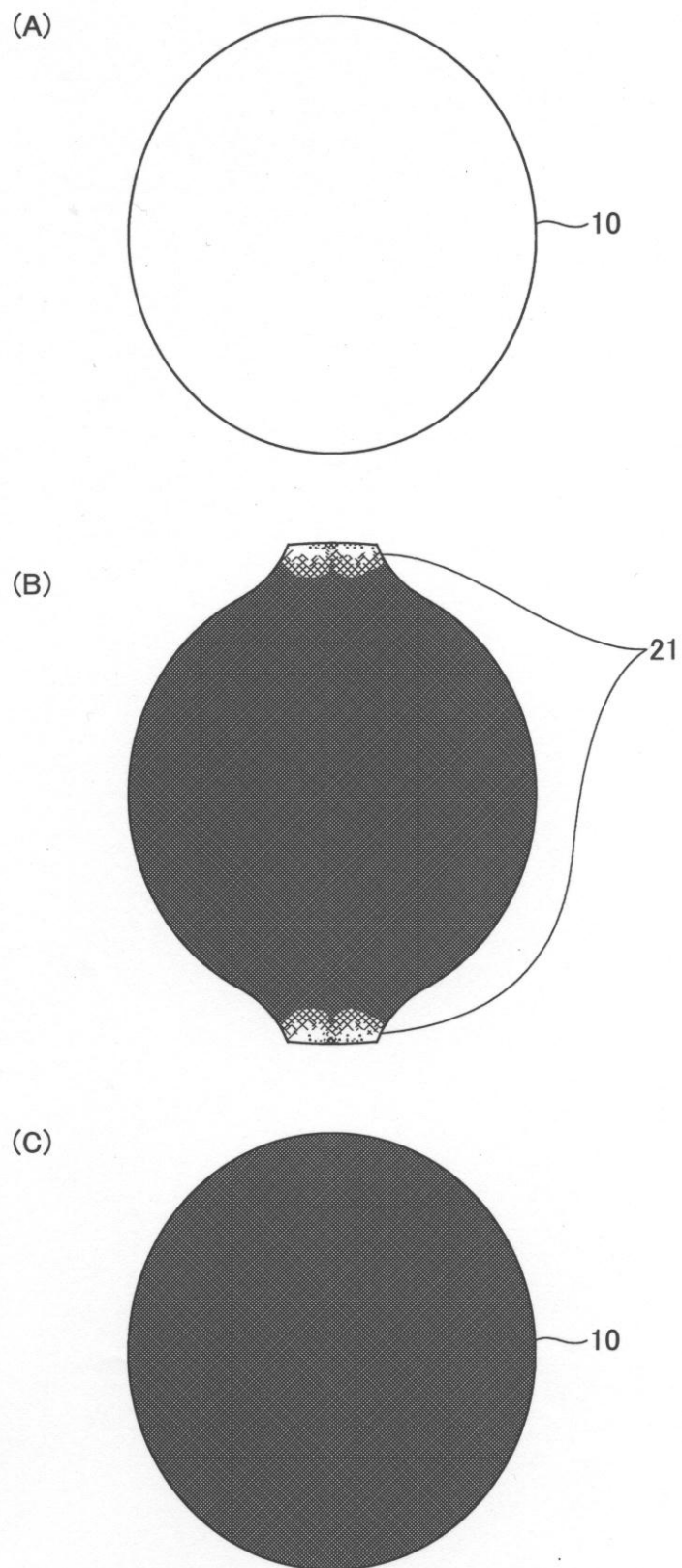
【図 11】



【図 12】



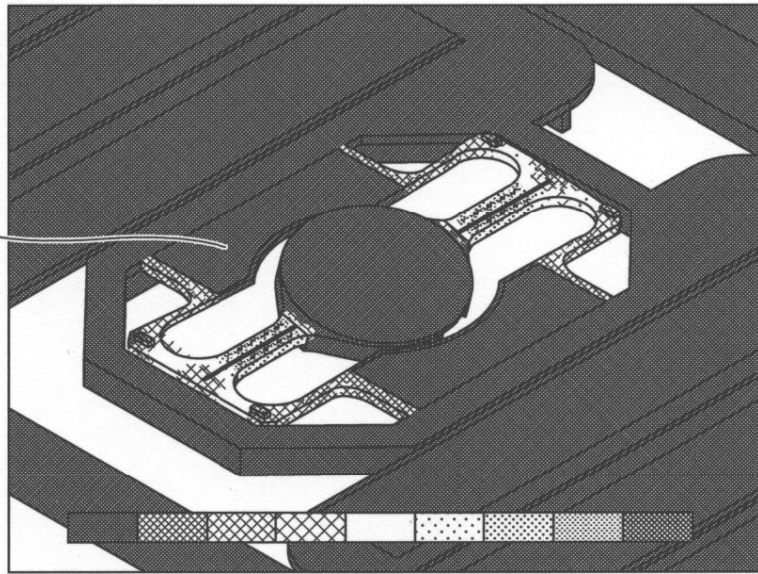
【図 14】



【図 21】

(A)

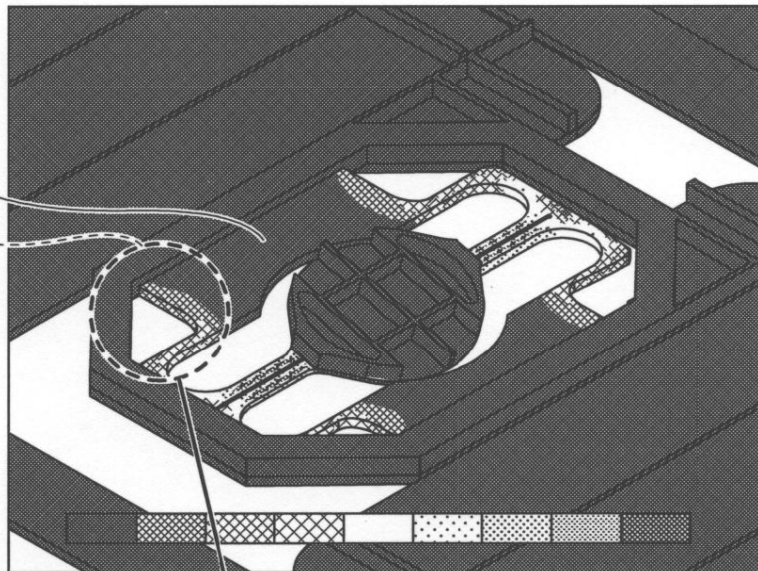
150



(B)

150

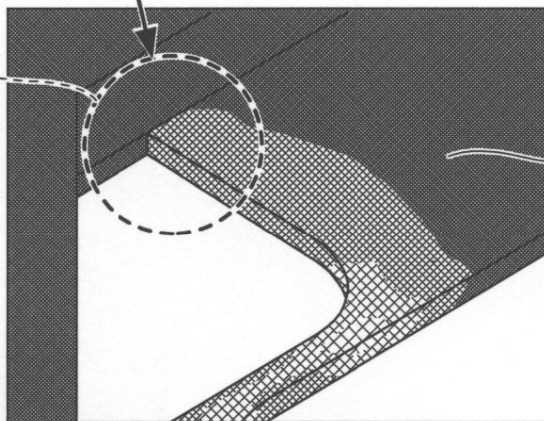
63



(C)

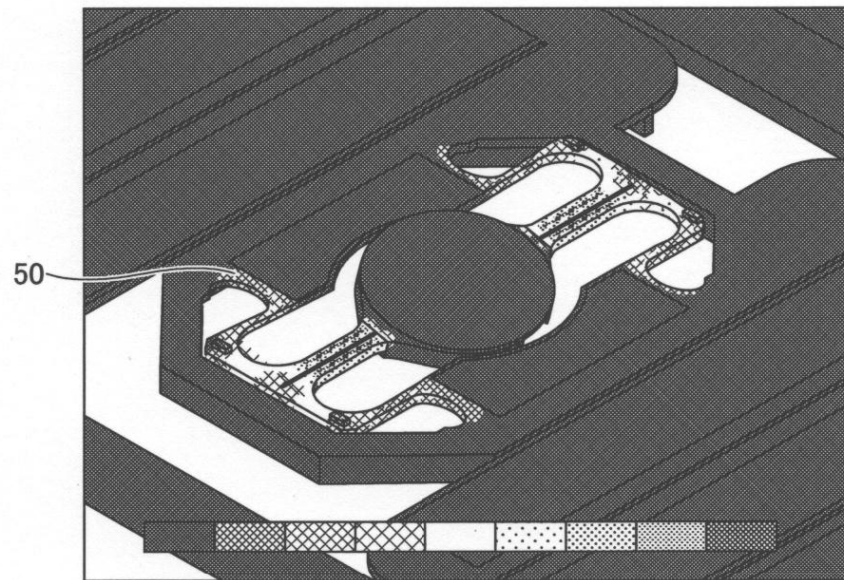
63

150

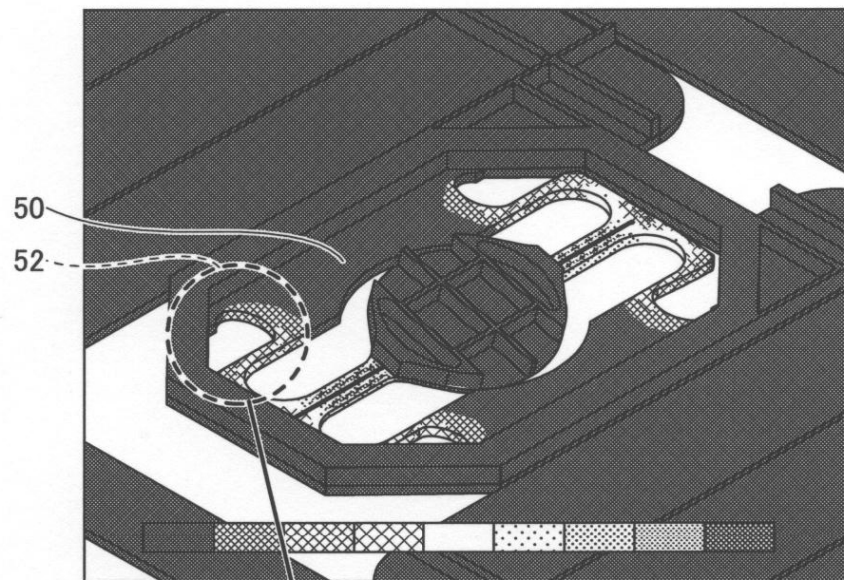


【図 23】

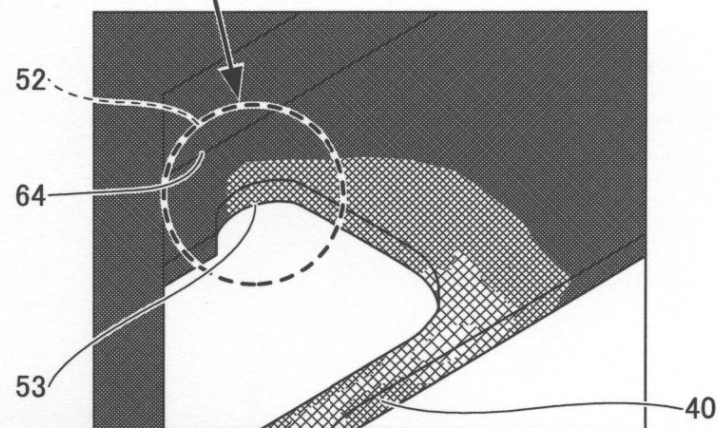
(A)



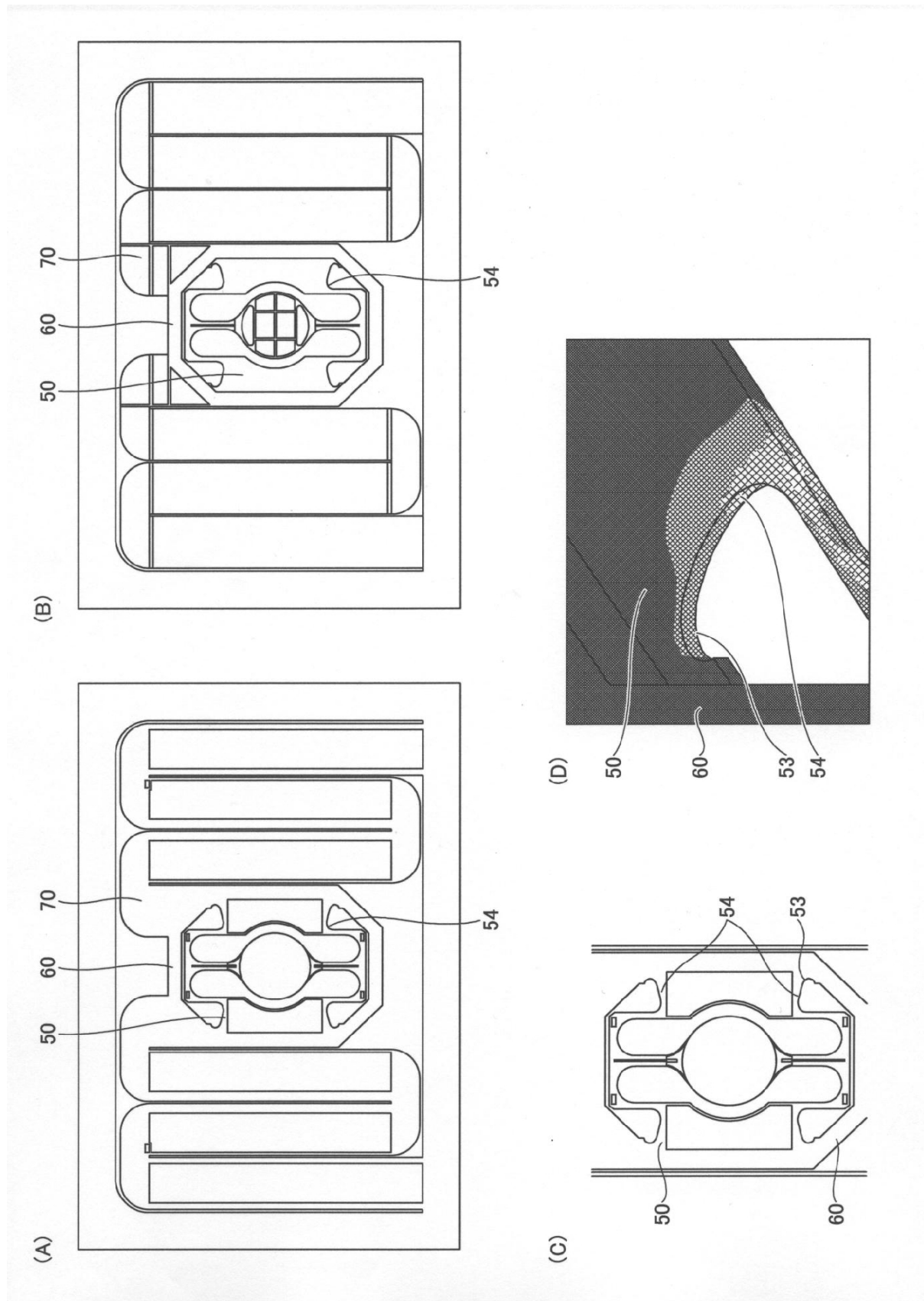
(B)



(C)

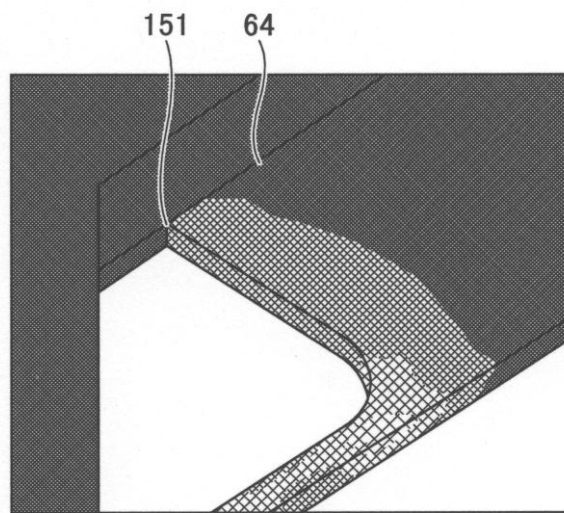


【図 25】

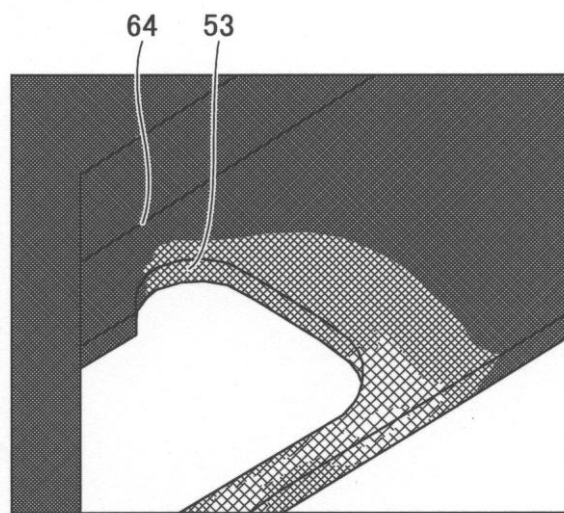


【図 26】

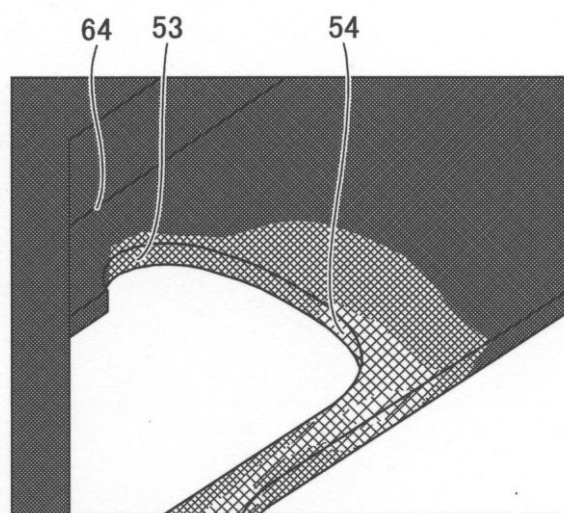
(A)



(B)



(C)



フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2 0 0 1 - 2 4 9 3 0 0 (J P , A)
特開 2 0 0 4 - 3 2 5 5 7 8 (J P , A)
特開 2 0 0 5 - 3 0 8 8 6 3 (J P , A)
特開 2 0 1 0 - 1 2 8 1 1 6 (J P , A)
特開 2 0 0 9 - 1 6 9 2 9 0 (J P , A)
国際公開第 2 0 1 0 / 1 3 1 5 5 7 (W O , A 1)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
G 0 2 B 2 6 / 1 0
G 0 2 B 2 6 / 0 8