

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号

特開2024-60686

(P2024-60686A)

(43)公開日 令和6年5月7日(2024.5.7)

(51)国際特許分類		F I		テーマコード(参考)	
G 0 2 B	26/10 (2006.01)	G 0 2 B	26/10	1 0 4 Z	2 H 0 4 5
G 0 2 B	26/08 (2006.01)	G 0 2 B	26/08	E	2 H 1 4 1
B 8 1 B	3/00 (2006.01)	B 8 1 B	3/00		3 C 0 8 1
H 1 0 N	30/20 (2023.01)	H 1 0 N	30/20		

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全16頁)

(21)出願番号	特願2022-168099(P2022-168099)	(71)出願人	000002303 スタンレー電気株式会社 東京都目黒区中目黒2丁目9番13号
(22)出願日	令和4年10月20日(2022.10.20)	(74)代理人	110000800 デロイトトーマツ弁理士法人
		(72)発明者	田中 春輝 東京都目黒区中目黒2丁目9番13号 スタンレー電気株式会社内
		Fターム(参考)	2H045 AB01 AB13 AB38 AB73 AB81 BA12 2H141 MA12 MB24 MC09 MD1 3 MD16 MD20 MD24 ME 25 MF10 MG04 MZ03 MZ0 最終頁に続く

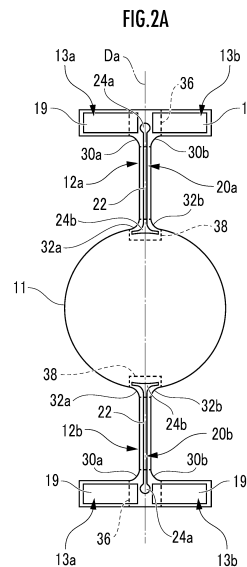
(54)【発明の名称】 光偏向器

(57)【要約】

【課題】 トーションバーのアスペクト比 < 1 である場合に、トーションバーの最大許容回転角を増大させることができる光偏向器を提供する。

【解決手段】 光偏向器 10 は、ミラー部 11 と、ミラー部 11 の各側から回転軸線 Da に沿って延び出るトーションバー 12 a, 12 b と、トーションバー 12 a, 12 b の外側結合領域 36 に両側から結合してトーションバー 12 a, 12 b を回転軸線 Da の回りに往復回転させる内側アクチュエータ 13 a, 13 b と、閉じた両端を有し、内側結合領域 38 及び外側結合領域 36 に達する長さ範囲にわたり回転軸線 Da に沿って延在してトーションバー 12 a, 12 b に形成されているスリット 20 a, スリット 20 b とを備えている。

【選択図】 図 2 A



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

厚さ方向の一方側にミラー面を有し、前記厚さ方向に対して垂直な回転軸線（D a）の回りに往復回転するミラー部と、

前記回転軸線の延在方向の前記ミラー部の両端の内側結合位置から前記回転軸線に沿って延在している 1 対のトーションバーと、

前記延在方向に前記内側結合位置から離れた外側結合位置において前記トーションバーの幅方向の両側から結合し、前記外側結合位置において前記トーションバーを前記回転軸線の回りに往復回転させるアクチュエータと、

前記厚さ方向に前記一方側から前記ミラー面を見るときの方角視としての正面視で、前記延在方向の両端が閉じられているとともに、前記延在方向の前記内側結合位置と前記外側結合位置との間に含まれる長さ範囲では前記回転軸線に沿って延在するように、前記トーションバーに形成されているスリットと、

を備え、

前記トーションバーは、前記正面視で両端間の寸法が  $W a$  で、厚さは  $T a$  であり、

前記スリットは、前記正面視で幅が  $W b$  であり、

$(W a - W b) / T a < 1$  である、光偏向器。

10

## 【請求項 2】

請求項 1 記載の光偏向器において、

前記正面視で、前記トーションバーの側縁と前記アクチュエータの側縁との間の第 1 隅部の側縁は、前記幅方向に前記トーションバーの前記側縁より外側に広がりかつ前記第 1 隅部の内側に凸の曲線である第 1 湾曲線で形成され、

前記スリットは、前記幅方向の幅が前記  $W b$  より広い第 1 湾曲輪郭形状で、前記外側結合位置を内を含む領域として設定されている外側結合領域内に、形成されている外側端部を有している、光偏向器。

20

## 【請求項 3】

請求項 1 記載の光偏向器において、

前記正面視で、前記ミラー部の側縁と前記トーションバーの側縁との間の第 2 隅部の側縁は、前記幅方向に前記トーションバーの前記側縁より外側に広がりかつ前記第 2 隅部の内側に凸の曲線である第 2 湾曲線で形成され、

前記スリットは、前記幅方向の幅が前記  $W b$  より広い第 2 湾曲輪郭形状で、前記内側結合位置を内を含む領域として設定されている内側結合領域内に、形成されている内側端部を有している、光偏向器。

30

## 【請求項 4】

請求項 3 記載の光偏向器において、

前記ミラー部は、前記正面視で円形であり、

前記正面視で、前記第 2 湾曲輪郭形状は、前記円形と同心円の円弧で延在する内側湾曲輪郭部と、前記内側湾曲輪郭部より前記ミラー部の周縁側に位置し前記内側湾曲輪郭部の両端から前記第 2 湾曲線に並行して延在する外側湾曲輪郭部とを含む、光偏向器。

## 【請求項 5】

請求項 3 又は 4 記載の光偏向器において、

前記正面視で、前記トーションバー（の側縁と前記アクチュエータの側縁との間の第 1 隅部の側縁は、前記幅方向に前記トーションバーの前記側縁より外側に広がりかつ前記第 1 隅部の内側に凸の曲線である第 1 湾曲線で形成され、

前記スリットは、前記幅方向の幅が前記  $W b$  より広い第 1 湾曲輪郭形状で、前記外側結合位置を内を含む領域として設定されている外側結合領域内に、形成されている外側端部を有している、光偏向器。

40

## 【請求項 6】

請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の光偏向器において、

前記スリットは、前記延在方向の前記内側結合位置と前記外側結合位置との間に含まれ

50

る長さ範囲では、前記正面視で前記回転軸線に沿って等幅で延在している、光偏向器。

【請求項 7】

請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の光偏向器において、  
 $W a / T a < 1$  である、光偏向器。

【請求項 8】

請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の光偏向器において、  
 $W b = 2 \cdot W c$  である、光偏向器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、走査装置に装備されて、走査光を出射する光偏向器に関する。

【背景技術】

【0002】

MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) デバイスとして製造される光偏向器は、回転軸線の回りに往復回動するミラー部に、入射して来るレーザービームを反射させて、反射光を走査光としてミラー部から出射している (例：特許文献 1 ~ 3)。

【0003】

特許文献 1 の光偏向器は、ミラー部と、ミラー部の回転軸線の延在方向にミラー部に対して各側に 1 つずつあって、回転軸線に沿ってミラー部から延在する 1 対のトーシヨンバーと、各トーシヨンバーの先端側端部に結合してトーシヨンバーを回転軸線の回りに往復回動させる圧電アクチュエータとを備えている。

【0004】

特許文献 2 の光偏向器は、ミラー部と、ミラー部の回転軸線の延在方向にミラー部に対して各側に 2 つずつあって、間に等幅の間隙を挟んで回転軸線に沿って平行に延在する計 4 つのトーシヨンバーと、各トーシヨンバーの先端側端部に結合してトーシヨンバーを回転軸線の回りに往復回動させる圧電アクチュエータとを備えている。

【0005】

特許文献 3 の光偏向器では、ミラー部と、ミラー部に対して回転軸線の延在方向の各側に 2 つずつあって、2 つの間隔が大きく離間した先端側ほど狭くなるように (つまり、八の字状) 穴加工された計 4 つのトーシヨンバーと、ミラー部を回転軸線に対して垂直方向の両側から回転軸線の回りに往復回動させる静電アクチュエータとを備えている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献 1】特開 2009 - 169290 号公報

【特許文献 2】特開 2016 - 151681 号公報

【特許文献 3】特許第 3905539 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

光偏向器は、回転軸線の回りのミラー部の往復回動角に対応する走査角が大きいことが望ましい。一方、ミラー部の最大往復回動角は、トーシヨンバーが往復回動に伴って破損しないようにするために、トーシヨンバーの最大許容応力により制限される。

【0008】

ミラー部の厚さ方向から見た方向視を正面視としたとき、正面視におけるトーシヨンバーの幅と、トーシヨンバーの厚さとの比をアスペクト比  $A \cdot R \cdot$  (Aspect Ratio) と定義する。トーシヨンバーにおける最大応力の発生箇所、すなわちトーシヨンバーの往復回動に伴い最も破損し易い箇所は、 $A \cdot R \cdot > 1$  のときは、トーシヨンバーの正面視で回転軸線上の箇所となる。また、 $A \cdot R \cdot < 1$  のときは、トーシヨンバーの横断面において回転軸線から最も離れている箇所としての隅部となる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 9 】

特許文献 1 の光偏向器は、 $A \cdot R < 1$  であり、ミラー部の最大応力の箇所は、ミラー部の横断面の四隅であり、この構造でミラー部の最大往復回動角を増大させるためには、トーシヨンバーの幅を狭くするか、厚さを薄くするしかない。トーシヨンバーの幅や厚さの減少は、ミラー部に生じる高調波を増大させ、ミラー部に異常振動（回転軸線の延在方向や回転軸線に対して垂直方向の振動等）を誘因する。

## 【 0 0 1 0 】

特許文献 2 は、ミラー部に対して各側にある 2 つのトーシヨンバーがミラー部とは反対側の端において幅方向に延在する隙間によって完全に開いてしまっているため、圧電アクチュエータからトーシヨンバーに伝達される回転力の伝達効率が低下してしまう。

10

## 【 0 0 1 1 】

特許文献 3 の光偏向器は、ミラー部の各側の 2 つのトーシヨンバーがミラー部に結合する結合点が、回転軸線に対して垂直方向に離れた 2 箇所となるので、1 箇所のときに比べて、トーシヨンバーの回動駆動力又は回動反転時の反転駆動力が増大して、アクチュエータの負荷が増大する。

## 【 0 0 1 2 】

本発明の目的は、トーシヨンバーのアスペクト比  $A \cdot R$  が、 $A \cdot R < 1$  である場合に、従来技術の上記の問題を克服して、トーシヨンバーの最大許容回動角を増大させることができる光偏向器を提供することである。

## 【 課題を解決するための手段 】

20

## 【 0 0 1 3 】

本発明の光偏向器は、

厚さ方向の一方側にミラー面を有し、前記厚さ方向に対して垂直な回転軸線（ $D a$ ）の回りに往復回動するミラー部と、

前記回転軸線の延在方向の前記ミラー部の両端の内側結合位置から前記回転軸線に沿って延在している 1 対のトーシヨンバーと、

前記延在方向に前記内側結合位置から離れた外側結合位置において前記トーシヨンバーの幅方向の両側から結合し、前記外側結合位置において前記トーシヨンバーを前記回転軸線の回りに往復回動させるアクチュエータと、

前記厚さ方向に前記一方側から前記ミラー面を見るときの方角視としての正面視で、前記延在方向の両端が閉じられているとともに、前記両端が前記内側結合位置と前記外側結合位置とに達する長さで範囲では前記回転軸線に沿って延在するように、前記トーシヨンバーに形成されているスリットと、

30

を備え、

前記トーシヨンバーは、前記正面視で両端間の寸法が  $W a$  で、厚さは  $T a$  であり、

前記スリットは、前記正面視で幅が  $W b$  であり、

$(W a - W b) / T a < 1$  である。

## 【 発明の効果 】

## 【 0 0 1 4 】

本発明によれば、トーシヨンバーのアスペクト比  $A \cdot R$  が、 $A \cdot R < 1$  である光偏向器において、正面視で、延在方向の両端において閉じられているとともに、両端において内側結合領域及び外側結合領域に達する長さ範囲にわたり回転軸線に沿って延在するように、スリットがトーシヨンバーに形成されている。これにより、回転軸線の回りの往復回動時に各トーシヨンバーにかかる応力は、トーシヨンバーの側面と、スリットの内側面との 4 つに分散されるので、トーシヨンバーに最大許容応力が生じるときの往復回動角を増大させることができる。

40

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 1 5 】

【 図 1 】 光偏向器を正面の斜め前方から見た模式図である。

【 図 2 A 】 図 1 におけるトーシヨンバーとその周辺とを含む範囲を拡大した正面図である

50

。

【図 2 B】図 2 A の外側結合領域の範囲の拡大図である。

【図 2 C】図 2 A の内側結合領域の範囲の拡大図である。

【図 3 A】図 2 A の内側拡張部とは形状の異なる内側拡張部を備える範囲をその両側のトーションバーの内側端部と共に示した正面図である。

【図 3 B】図 3 A の内側結合領域の拡大図である。

【図 4】ミラー部の静止状態において図 1 の軸  $A_x$  に沿って光偏向器の厚さ方向に切ったときの断面図である。

【図 5】トーションバーの等幅延在部の位置において図 4 の断面に対して平行な平面で切ったときの断面図である。

【図 6】トーションバーのアスペクト比についての説明図である。

【図 7】スリットが等幅延在部のみから構成されるときのスリット周辺の応力分布図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、本発明の実施形態について説明する。本発明は、当業者の設計事項の範囲内で実施形態を種々変更した構成形態を包含する。なお、複数の実施形態間で共通する構成要素については、全図を通して同一の符号を使用する。

【0017】

(光偏向器 / 全体)

図 1 は、光偏向器 10 を正面の斜め前方から見た模式図である。光偏向器 10 は、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) デバイスとして、SOI 基板から製造される。説明の便宜上、光偏向器 10 の厚さ方向 (ミラー部 11 の厚さ方向でもある。) に入射光  $L_a$  の入射側 (ミラー部 11 の厚さ方向にミラー面側) から見た方向視を「正面視」と呼ぶことにする。

【0018】

図 1 を参照して、光偏向器 10 の全体構成を概略的に説明する。光偏向器 10 の全体構成の詳細は、例えば、本出願人に係る特開 2012 - 201386 号公報等に記載されているとおりである。

【0019】

光偏向器 10 は、光スキャナとして装備される任意の機器、例えば、プロジェクタ (ピコプロジェクタも含む。)、ヘッドアップディスプレイ、自動車前照灯、又はアイウェア等に装備される。

【0020】

光偏向器 10 は、正面視で、左右対称の構造を有しており、ミラー部 11、上下のトーションバー 12a, 12b、左右の内側アクチュエータ 13a, 13b、可動枠 14、左右の外側アクチュエータ 15a, 15b 及び固定枠 16 を備えている。内側アクチュエータ 13a, 13b 及び外側アクチュエータ 15a, 15b は、いずれも圧電アクチュエータである。

【0021】

光偏向器 10 の構成についての説明の便宜上、ミラー部 11 の中心  $O$  において直交する軸  $A_x$ ,  $A_y$  を定義する。軸  $A_x$ ,  $A_y$  は、ミラー部 11 のミラー面 (図 4 の反射膜 64) に平行な座標軸として定義されている一方、ミラー部 11 の直交する 2 つの回転軸線でもある。また、光偏向器 10 において、中心  $O$  に近い方及び遠い方をそれぞれ内側及び外側と呼ぶことにする。

【0022】

円形のミラー部 11 は、ミラー面として作用する反射膜 64 (図 4) を表面側 (ミラー部 11 の厚さ方向の一方側) に有している。入射光  $L_a$  は、不図示のレーザ光源から出射されて、ミラー部 11 に入射し、ミラー部 11 において反射して、走査光  $L_b$  としてミラー部 11 から出射する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 3 】

トーシヨンバー 1 2 a , 1 2 b は、軸 A y に沿って延在し、ミラー部 1 1 と可動枠 1 4 とを相互に結合している。内側アクチュエータ 1 3 a , 1 3 b は、左右から相互に結合した全体の正面視で上下に長い楕円の周輪郭の形状を有し、個々には、左右の半楕円の楕円弧の形状を有している。

## 【 0 0 2 4 】

図 1 の例では、トーシヨンバー 1 2 a , 1 2 b は、ミラー部 1 1 から延び出て、内側アクチュエータ 1 3 a , 1 3 b との結合部を超え、可動枠 1 4 に達して、可動枠 1 4 の内周に結合している。しかしながら、トーシヨンバー 1 2 a , 1 2 b は、可動枠 1 4 の内周に達することなく、内側アクチュエータ 1 3 a , 1 3 b との結合部の位置に留まる構造とす

10

## 【 0 0 2 5 】

可動枠 1 4 は、正面視で、左右の内側アクチュエータ 1 3 a , 1 3 b を相互に結合した全体形状と相似の縦長楕円輪郭形状を有し、ミラー部 1 1、トーシヨンバー 1 2 a , 1 2 b、及び内側アクチュエータ 1 3 a , 1 3 b を外側から囲っている。内側アクチュエータ 1 3 a , 1 3 b は、トーシヨンバー 1 2 a , 1 2 b と可動枠 1 4 との間に介在している。

## 【 0 0 2 6 】

内側アクチュエータ 1 3 a , 1 3 b は、不図示の駆動装置から相互に逆位相の共振周波数  $F_y$  の正弦波形の駆動電圧が供給されて、トーシヨンバー 1 2 a , 1 2 b を軸 A y の回りに共振周波数  $F_y$  で往復回動させる。

20

## 【 0 0 2 7 】

外側アクチュエータ 1 5 a , 1 5 b は、可動枠 1 4 の左右に配設され、可動枠 1 4 の外周と固定枠 1 6 の内周との間に介在している。外側アクチュエータ 1 5 a , 1 5 b は、ミアンダパターンで直列に結合した複数の直線状の圧電カンチレバーから構成されている。外側アクチュエータ 1 5 a , 1 5 b において横方向（矩形の固定枠 1 6 の長辺に平行な方向）に外側から内側に順番に番号付けしたとき、奇数番号の圧電カンチレバーと偶数番号の圧電カンチレバーとは、不図示の制御装置からの相互に逆位相の非共振周波数  $F_x$  ( $F_x < F_y$ ) の鋸波や三角波の駆動電圧が供給される。これにより、外側アクチュエータ 1 5 a , 1 5 b は、横方向の回転軸線（軸 A x とは別のもの）の回りに可動枠 1 4 を往復回動させる。

30

## 【 0 0 2 8 】

光偏向器 1 0 の全体の概略的な作用について説明する。

## 【 0 0 2 9 】

光偏向器 1 0 の作動中、トーシヨンバー 1 2（トーシヨンバー 1 2 a , 1 2 b の総称）及び外側アクチュエータ 1 5（外側アクチュエータ 1 5 a , 1 5 b の総称）には、不図示の駆動装置から駆動電圧が供給される。これにより、ミラー部 1 1 は、軸 A x , A y の回りにそれぞれ非共振周波数  $F_x$  及び共振周波数  $F_y$  で往復回動する。 $F_x$  及び  $F_y$  は、例えばそれぞれ 6 0 H z 及び 2 5 k H z である。

## 【 0 0 3 0 】

一方、不図示のレーザ光源からレーザビームの入射光 L a が、軸 A x , A y の回りに往復回動しているミラー部 1 1 に入射する。これにより、ミラー部 1 1 からは、入射光 L a の反射光としての走査光 L b が二次元の走査ビームとして出射する。

40

## 【 0 0 3 1 】

入射光 L a は、赤色、緑色及び青色と異なる色の 3 つのレーザビームであってもよいし、所定の色であってもよい。不図示の光源制御装置は、レーザ光源から出射する入射光 L a の輝度（強さ）を色ごとに制御可能になっている。

## 【 0 0 3 2 】

（実施形態のスリットの構成）

図 2 A は、図 1 におけるトーシヨンバー 1 2 a , 1 2 b とその周辺とを含む範囲の拡大正面図である。D a は、ミラー部 1 1 の縦方向の回転軸線であり、図 1 の軸 A y 上を延在

50

している。なお、図 2 A 以降の図では、トーシヨンバー 1 2 a , 1 2 b の外側の端（中心 O から遠い方の端）は、可動枠 1 4 の内周に達することなく、トーシヨンバー 1 2 a , トーシヨンバー 1 2 b との結合位置に留まっている。

【 0 0 3 3 】

トーシヨンバー 1 2 a , 1 2 b にはそれぞれスリット 2 0 a , 2 0 b が形成されている。ミラー部 1 1、トーシヨンバー 1 2 a , 1 2 b 及び内側アクチュエータ 1 3 a , 1 3 b を含む範囲では、正面視で、軸 A x（図 1）に対して上下対称構造となっている。このため、上側のトーシヨンバー 1 2 a 及びスリット 2 0 a の構成及び作用について、説明し、下側のトーシヨンバー 1 2 b 及びスリット 2 0 b の構成及び作用についての説明は省略する。

10

【 0 0 3 4 】

図 2 A において、スリット 2 0 a は、回転軸線 D a に沿って延在し、かつ厚さ方向に貫通するように、トーシヨンバー 1 2 a に形成されている。スリット 2 0 a は、等幅で回転軸線 D a に沿って延在している等幅延在部 2 2 と、それぞれ等幅延在部 2 2 の外側及び内側の端に連設されている外側拡張端部 2 4 a 及び内側拡張端部 2 4 b とを有している。

【 0 0 3 5 】

ミラー部 1 1 とトーシヨンバー 1 2 a との結合部ではミラー部 1 1 の円周線が消失している。ミラー部 1 1 とトーシヨンバー 1 2 a との境界線を当該消失した円周線上に設定すると、スリット 2 0 の等幅延在部 2 2 は、内側の方へは、少なくとも当該境界線まで達し、典型的には、当該境界線を越えて、ミラー部 1 1 内に進入している。なお、当該境界線は、ミラー部 1 1 とトーシヨンバー 1 2 a との結合位置を意味する。

20

【 0 0 3 6 】

トーシヨンバー 1 2 a と内側アクチュエータ 1 3 a , 1 3 b とは、外側結合領域 3 6 において相互に結合している。外側結合領域 3 6 は、幅方向に左右の湾曲状外側隅部（第 1 隅部）3 0 a , 3 0 b のそれぞれの左端及び右端より内側で、延在方向に左右の湾曲状外側隅部 3 0 a , 3 0 b の中心 O 側の端より外側の領域で、延在方向に内側アクチュエータ 1 3 a , 1 3 b の外周輪郭より内側の領域として定義される。なお、外側結合領域 3 6 は、全体がトーシヨンバー 1 2 a とミラー部 1 1 との結合位置を意味する。

【 0 0 3 7 】

ミラー部 1 1 とトーシヨンバー 1 2 a とは、内側結合領域 3 8 において相互に結合している。内側結合領域 3 8 は、幅方向に左右の湾曲状内側隅部（第 2 隅部）3 2 a , 3 2 b のそれぞれの左端及び右端より内側で、延在方向に左右の湾曲状内側隅部 3 2 a , 3 2 b の、中心 O から遠い方の端より中心 O 側の領域として定義される。さらに、内側結合領域 3 8 は、ミラー部 1 1 内では、回転軸線 D a の回りのミラー部 1 1 の往復回動時に所定の応力が生じる領域として定義される。なお、内側結合領域 3 8 は、全体がトーシヨンバー 1 2 a とミラー部 1 1 との結合位置を意味する。

30

【 0 0 3 8 】

湾曲状外側隅部 3 0 a , 3 0 b は、トーシヨンバー 1 2 a の側縁と内側アクチュエータ 1 3 a , 1 3 b の内周縁との間の隅部に、トーシヨンバー 1 2 a の幅方向（回転軸線 D a の延在方向及び厚さ方向に対して垂直な方向）にミラー部 1 1 の側縁より外側に広がり、かつ外側結合領域 3 6 の内側に凸の曲線である第 1 湾曲線として形成されている。湾曲状内側隅部（第 2 隅部）3 2 a , 3 2 b は、ミラー部 1 1 の周縁とトーシヨンバー 1 2 a の側縁との間の隅部に、幅方向にミラー部 1 1 の側縁より外側に広がり、かつ内側結合領域 3 8 の内側に凸の曲線である第 2 湾曲線として形成されている。

40

【 0 0 3 9 】

図 2 B 及び図 2 C は、それぞれ図 2 A の外側結合領域 3 6 及び内側結合領域 3 8 の範囲の拡大図である。外側結合領域 3 6 及び内側結合領域 3 8 には、それぞれスリット 2 0 a の外側拡張端部 2 4 a 及び内側拡張端部 2 4 b が形成されている。外側拡張端部 2 4 a 及び内側拡張端部 2 4 b の効果としての応力緩和については、後述の図 7 において詳説する。ここでは、図 2 B 及び図 2 C を参照して、外側拡張端部 2 4 a 及び内側拡張端部 2 4 b

50

の構成についてのみ説明する。

【0040】

図2Bにおいて、正面視で、外側拡張端部24aと等幅延在部22との境界部分を除いて、外側拡張端部24aは円形(第1湾曲輪郭形状の一例)となっている。一方、当該境界部分の輪郭線は、湾曲状外側隅部30a, 30bの第1湾曲線からほぼ等幅で並行して延在する輪郭線に設定されている。

【0041】

外側拡張端部24aの直径は、等幅延在部22の幅(後述の図6のWb)より大きく、外側拡張端部24aは、スリット20aの幅方向に等幅延在部22より広げられている。湾曲状外側隅部30a, 30bは、外側拡張端部24aの幅方向拡張に対する補強の意義がある。

10

【0042】

図2Cにおいて、内側拡張端部24bは、正面視で回転軸線Daに対して左右対称の形状(第2湾曲輪郭形状の一例)に形成されている。内側拡張端部24bは、ミラー部11の周縁に近い方の外側湾曲輪郭部44a, 44bと中心Oに近い方の内側湾曲輪郭部46とにより画成される貫通孔として形成されている。外側湾曲輪郭部44a, 44bは、湾曲状内側隅部32a, 32bの第2湾曲線からほぼ等幅で並行する輪郭線に設定されている。内側拡張端部24bの、このような輪郭線の意義は、図3A及び図3Cの円柱孔の内側拡張端部24cと対比して後述する。

【0043】

内側湾曲輪郭部46は、ミラー部11の円と同心円の円弧の輪郭線に設定されている。内側拡張端部24bの幅は、等幅延在部22の幅より大きく、内側拡張端部24bは、スリット20aの幅方向に等幅延在部22より広げられている。湾曲状内側隅部32a, 32bは、外側拡張端部24aの幅方向拡張に対する補強の意義がある。

20

【0044】

図3Aは、回転軸線Daの延在方向にミラー部11とトーションバー12a, 12bの内側端部とを含む範囲の正面図である。図3Bは、内側結合領域38の部分を拡大して示す図である。内側拡張端部24cは、形状は外側拡張端部24aと同じ円柱孔(第2湾曲輪郭形状の別例)であり、内側結合領域38において回転軸線Daに対して左右対称でミラー部11を貫通して形成されている。等幅延在部22と内側拡張端部24cとの境界部は、第2湾曲線に並行して延在する輪郭線に設定されている。

30

【0045】

内側拡張端部24cの直径は、等幅延在部22の幅より大きく、内側拡張端部24cは、スリット20aの幅方向に等幅延在部22より広げられている。湾曲状外側隅部30a, 30bは、内側拡張端部24cの幅方向拡張に対する補強の意義がある。

【0046】

(断面構造)

図4は、ミラー部11の静止状態において図1の軸Axに沿って光偏向器10の厚さ方向に切ったときの断面図、図5は、トーションバー12aの等幅延在部22の位置において図4の断面に対して平行な平面で切ったときの断面図である。

40

【0047】

図4及び図5において、SOI基板50は、上から順番に酸化膜層51、活性層52、酸化膜層53、ハンドリング層54及び酸化膜層55の5層の積層構造を有している。酸化膜層51、酸化膜層53及び酸化膜層55は、SiO<sub>2</sub>を成分とする。活性層52及びハンドリング層54は、Siを成分とする。ピエゾ素子58は、上から順番に上側電極層59、PZT(チタン酸ジルコン酸鉛)膜層60及び下側電極層61の3層の積層構造を有している。

【0048】

ミラー部11、トーションバー12a及び固定枠16は、SOI基板50の全層から構成されている。これに対し、内側アクチュエータ13a及び外側アクチュエータ15a,

50

15bは、SOI基板50の上から2層の酸化膜層51及び活性層52と、その上に積層されたピエゾ素子58の3層積層体とから構成されている。ミラー部11は、表面において金属成分の反射膜64により被覆されている。反射膜64は、入射光La(図1)を反射するミラー面の役割をもつ。

【0049】

図5において、スリット20aの等幅延在部22は、トーシヨンバー12aを厚さ方向に貫通している。図示は省略しているが、スリット20aの外側拡張端部24a及び内側拡張端部24bも等幅延在部22と同様に、トーシヨンバー12aの外側拡張端部24a及びミラー部11の内側拡張端部24bを厚さ方向に貫通している。

【0050】

トーシヨンバー12aにおけるスリット20aは、深掘りRIE(Deep RIE)により製造される。典型的な深掘RIEの方法として、高密度プラズマを使い、サンプルを低温に冷やす方法と、ボッシュプロセスと呼ばれるエッチング技術を用いる方法、その両方を用いるものがある。

【0051】

図示は省略しているが、外側結合領域36における断面の積層構造について説明する。外側結合領域36では、ピエゾ素子58の3層積層体のうち上側の上側電極層59及びPZT膜層60は、エッチングにより除去され、最下層の下側電極層61のみが除去されることなく、残存している。下側電極層61は、アース電圧の層であり、外側結合領域36における下側電極層61の残存の結果、左右の内側アクチュエータ13a, 13bの下側電極層61は、外側結合領域36において相互に電氣的に接続状態になっている。一方、左右の内側アクチュエータ13a, 13bは、上側電極層59及びPZT膜層60において外側結合領域36において分離されるので、個々に駆動電圧が供給されて、個々に駆動可能になっている。

【0052】

(アスペクト比)

図6は、トーシヨンバー12aのアスペクト比A・Rの説明図である。図6において、各符号の定義は次のとおりである。

Wa: 正面視のトーシヨンバー12aの両端幅

Wb: 正面視の等幅延在部22の幅

Wc: 等幅延在部22により左右に分断されたトーシヨンバー12aの左右の部分の正面視の幅

Ta: トーシヨンバー12aの厚さ

【0053】

図6から明らかのように、次の(1)式が成り立つ。

の関係は本発明において必須である。

$$(1) \text{式: } W a = W b + 2 \cdot W c$$

【0054】

本発明では、次の(2)式のように、設定されている。

$$(2) \text{式: } (W a - W b) / T a < 1$$

【0055】

実施形態の光偏向器10では、高調波抑制の観点から、次の(3)~(6)式のように、寸法を設定することが好ましい。

$$(3) \text{式: } 0.1 < (W a - W b)$$

$$(4) \text{式: } W b = W c$$

$$(5) \text{式: } W a / T a < 1$$

$$(6) \text{式: } W b < 2 \cdot W c$$

【0056】

(5)式の意義は、スリット20a, 20bは本来的にトーシヨンバー12a, 12bの横断面のコーナに損傷が生じるのを防止するために形成されているにもかかわらず、も

10

20

30

40

50

し  $W_a / T_a < 1$  であると、損傷がトーシヨンバー 12 a , 12 b の回転軸線上に先に生じてしまい、スリット 20 a , 20 b の形成の意義が喪失してしまう可能性があるからである。(6) 式の意義は、 $W_b > 2 \cdot W_c$  であると、回転軸線 D a の延在方向のミラー部 11 の揺れ(ポンピング)が支配的になるからである。また、 $W_b$  は、 $25 \mu m$  以上であることが有利である。

【0057】

特許文献 3 の幅方向に対向する 2 つのトーシヨンバーは、八の字状の穴が形成され、トーシヨンバー同士が離れすぎているため、本発明によるところのスリットとは言えないが、数式的には  $W_b > 2 \cdot W_c$  に含まれる。そのため、トーシヨンバーの回動駆動力又は回動反転時の反転駆動力が増大して、アクチュエータの負荷が増大する。

10

【0058】

また、スリット 20 a を形成する前のトーシヨンバーのアスペクト比が、 $W_a / T_a = (W_a + 2 \cdot W_c) / T_a < 1$  の場合、回転軸線の回りの往復回動時に当該トーシヨンバーに応力が掛かるが、本発明のスリットをトーシヨンバーに設けることにより、応力を緩和することが可能になる。

【0059】

(等幅延在部の作用効果)

トーシヨンバー 12 (トーシヨンバー 12 a , 12 b の総称) の作用効果について説明する。最初に、スリット 20 が、両端の外側拡張端部 24 a 及び内側拡張端部 24 b を省略して、中間の等幅延在部 22 のみを有する構成についての作用効果を説明する。

20

【0060】

トーシヨンバー 12 は、等幅延在部 22 付きのスリット 20 (スリット 20 a , 20 b の総称) を有する結果、側面の総面積は、幅方向の外側の側面の面積に内側の側面としてのスリット 20 の内側面の面積が加算されたものとなる。この結果、側面の面積が増大して、側面にかかる応力が分散される。これは、トーシヨンバー 12 における応力の低下につながり、回転軸線 D a の回りのトーシヨンバー 12 の耐破損の最大許容回動角が増大する。こうして、回転軸線 D a 回りの走査光 L b の横方向走査角が増大する。

【0061】

発明者の計算では、スリット 20 の内側面による応力分散効果により、回転軸線 D a の回りのトーシヨンバー 12 の単位回動角(単位振れ角:  $Mpa / deg$ ) は、25% 減少した。これは、回転軸線 D a の回りのトーシヨンバー 12 の限界振れ角が 1.33 倍となったことを意味する。

30

【0062】

(応力緩和構造)

図 7 は、光偏向器 10 のスリット 20 a , 20 b が外側拡張端部 24 a 及び内側拡張端部 24 b , 24 c を有さず、等幅延在部 22 のみを有する構造としたときのスリット 20 a の周辺の応力分布図である。図 7 は、シミュレーションの解析結果による画面表示を図で示したものであり、黒っぽい箇所から白っぽい箇所に移るほど、応力が増大していることを示している。

【0063】

スリット 20 a , 20 b において外側拡張端部 24 a 及び内側拡張端部 24 b を省略して、等幅延在部 22 のみが形成されている場合、最大応力点が等幅延在部 22 の両端に出現している。白色の破線円 C a , C b は、スリット 20 a の等幅延在部 22 の外側端及び内側端を中心とする円として示している。応力の大きい領域は、等幅延在部 22 の延在方向に等幅延在部 22 の外側端及び内側端からそれぞれ外側及び内側に広がっていることが分かる。

40

【0064】

図 7 を参照して、内側結合領域 38 の位置を説明する。前述したように、ミラー部 11 とトーシヨンバー 12 a との結合部ではミラー部 11 の円周線が消失している。ミラー部 11 とトーシヨンバー 12 a との境界線を当該消失した円周線上に設定すると、内側結合

50

領域 3 8 は、当該境界線に対してミラー部 1 1 側でかつミラー部 1 1 において所定値以上の応力が生じている領域として設定されている。

【 0 0 6 5 】

光偏向器 1 0 では、トーションバー 1 2 a , 1 2 b における最大応力が所定の上限以下になるように、等幅延在部 2 2 に両端にそれぞれ外側拡張端部 2 4 a 及び内側拡張端部 2 4 b 又は内側拡張端部 2 4 c が連設されている。

【 0 0 6 6 】

トーションバー 1 2 a , 1 2 b においてミラー部 1 1 の方から回転軸線 D a に沿って外側方向に伝わってくる応力は、幅方向にスリット 2 0 の両側のトーションバー 1 2 a , 1 2 b の左右部分に分かれて内側結合領域 3 8 に並行して伝わってくる。正面視における外側拡張端部 2 4 a の円形は、この左右に分かれて並行して伝わってくる応力を左右に適切に分散させて、内側結合領域 3 8 における応力を均一化し、かつ最大応力を低減させる作用効果がある。最大応力の低減は、回転軸線 D a の回りのミラー部 1 1 の最大許容往復動角の増大につながる。

【 0 0 6 7 】

内側拡張端部 2 4 c の作用効果を内側拡張端部 2 4 b より先に説明する。内側拡張端部 2 4 c の作用効果は、外側拡張端部 2 4 a と同様である。すなわち、ミラー部 1 1 においてトーションバー 1 2 a , 1 2 b 方から回転軸線 D a に沿って内側方向に伝わってくる応力は、幅方向にスリット 2 0 の両側のトーションバー 1 2 a , 1 2 b の左右部分に分かれてミラー部 1 1 に並行して伝わってくる。正面視で内側拡張端部 2 4 c の円形は、外側拡張端部 2 4 a と同様に、この左右に分かれて並行して伝わってくる応力を左右に適切に分散させて、内側結合領域 3 8 における応力を均一化し、かつ最大応力を低減させる作用効果がある。内側拡張端部 2 4 c は、内側拡張端部 2 4 b より形状が単純であるので、製造コストが易い利点がある。

【 0 0 6 8 】

なお、外側結合領域 3 6 及び内側結合領域 3 8 における最大応力を低減させるために、場合によっては、スリット 2 0 の外側端及び / 又は内側端を図 7 に図示のものより回転軸線 D a に沿ってそれぞれ外側及び内側へ少しだけ移動させてから外側拡張端部 2 4 a 及び内側拡張端部 2 4 b , 2 4 c を連設させた方が有利となることがある。そのような場合には、スリット 2 0 の外側端及び / 又は内側端は、図 7 に図示のものに固定することなく、適宜、回転軸線 D a に沿ってそれぞれ外側結合領域 3 6 及び内側結合領域 3 8 に深く進入させてから、外側拡張端部 2 4 a 及び内側拡張端部 2 4 b , 2 4 c の位置を設定する。

【 0 0 6 9 】

次に内側拡張端部 2 4 c に対する内側拡張端部 2 4 b の利点を説明する。内側拡張端部 2 4 b の内側端は、内側拡張端部 2 4 c の内側端より回転軸線 D a の延在方向に外側に位置する。このことは、入射光 L a のビーム断面がほぼ円形のミラー部 1 1 の表面全体に照射されることを意味する。

【 0 0 7 0 】

内側拡張端部 2 4 c ( 図 3 A 及び図 3 B ) において、中心 O に対する最近点は、ミラー部 1 1 において深く中心 O の方へ侵入している。このことは、回転軸線 D a の延在方向のミラー部 1 1 の有効径が減少することを意味し、走査光 L b がスクリーン等の照射領域に生成する画像の解像度の低下の原因になる。これに対し、内側拡張端部 2 4 b は、ミラー部 1 1 の円周輪郭に沿って形成されて、中心 O に対する最近点を内側拡張端部 2 4 c より十分に遠ざけることができる。このため、トーションバー 1 2 a は、ミラー部 1 1 の有効径の減少を最小限に抑えつつ、トーションバー 1 2 a , 1 2 b の内側端の応力を緩和する。これにより、ミラー部 1 1 の有効径の減少を回避しつつ、回転軸線 D a の回りのミラー部 1 1 の往復動角を増大させることができる。

【 0 0 7 1 】

前述の特許文献 2 の光偏向器では、ミラー部の各側にはトーションバーが 1 つずつではなく、2 つずつ設けられている。すなわち、2 つのトーションバーの間には、間隙が形成

10

20

30

40

50

され、この間隙は、内側、すなわちミラー部側は閉じているものの、外側、すなわちミラー部の反対側では、閉じられることなく、開放されている。これは、トーシヨンバーがミラー部の各側に2つずつ設けられていることを意味する。

【0072】

これに対し、光偏向器10では、スリット20a, 20bは、回転軸線の延在方向の両端において閉じられているので、スリット20a, 20bが内周側に形成されているトーシヨンバー12a, 12bは、各々2つに分離することなく、1つのトーシヨンバーを維持して、光偏向器10は、ミラー部11の各側にトーシヨンバーを1つのみ備える構成となっている。この結果、光偏向器10における内側アクチュエータ13a, 13bからトーシヨンバー12a, 12bへの力の伝達効率が特許文献2の光偏向器の各側に2つのトーシヨンバーの構成に比して高まり、発明者の計算によると、回転軸線Da回りのミラー部11の駆動効率が29%向上した。

10

【0073】

(変形例)

光偏向器10は、二軸走査式の光偏向器であるが、本発明の光偏向器は、アクチュエータがトーシヨンバーを介してミラー部を回転軸線の回りを往復回動させる構成を備えれば、一軸走査式の光偏向器であってもよい。

【0074】

スリット20a, 20bの外側拡張端部24a及び内側拡張端部24bは、正面視がほぼ円形である。しかしながら、本発明のスリットの外側端部及び内側端部は、正面視が回転軸線Daに対して左右対称の正面視が正多角形(例:正三角形、正方形及び正五角形等)の貫通孔であってもよい。

20

【0075】

光偏向器10では、等幅延在部22は、等幅として説明しているが、本発明では、光偏向器10の等幅延在部22の形成箇所の延在部を正面視で全長にわたり等幅の延在部としなくてもよい。例えば、内側アクチュエータ13a, 13bによる駆動力が顕著に増大しない程度で、当該延在部の両端は、正面視で同一幅とし、中間は、幅を広げたり、狭くしたりしても構わないし、当該延在部の両端の幅を相互に相違させることもできる。

【符号の説明】

【0076】

10・・・光偏向器、11・・・ミラー部、12a, 12b・・・トーシヨンバー、13a, 13b・・・内側アクチュエータ、14・・・可動枠、20a, 20b・・・スリット、22・・・等幅延在部、24a・・・外側拡張端部(外側端部)、24b, 24c・・・内側拡張端部(内側端部)、30a, 30b・・・湾曲状外側隅部(第1隅部)、32a, 32b・・・湾曲状内側隅部(第2隅部)、36・・・外側結合領域、38・・・内側結合領域、44・・・外側湾曲輪郭部、46・・・内側湾曲輪郭部、Da・・・回転軸線。

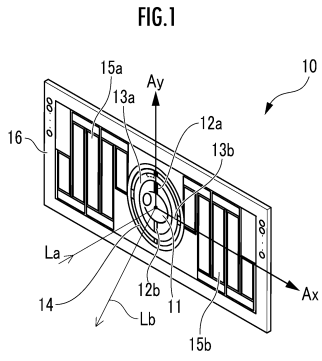
30

40

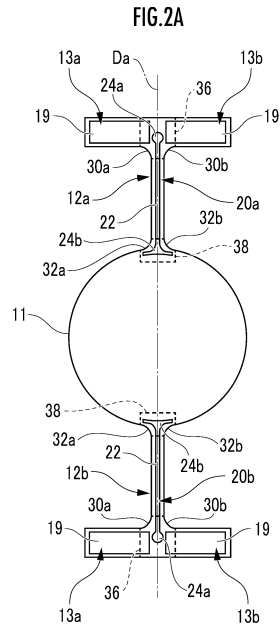
50

【 図面 】

【 図 1 】



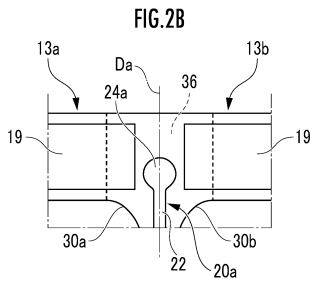
【 図 2 A 】



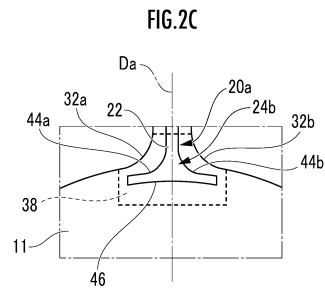
10

20

【 図 2 B 】



【 図 2 C 】



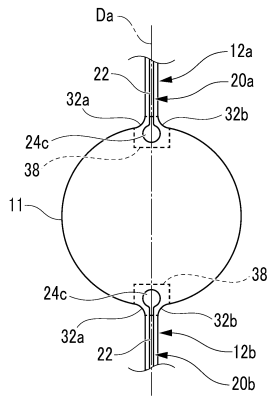
30

40

50

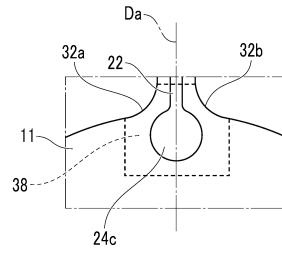
【 図 3 A 】

FIG.3A



【 図 3 B 】

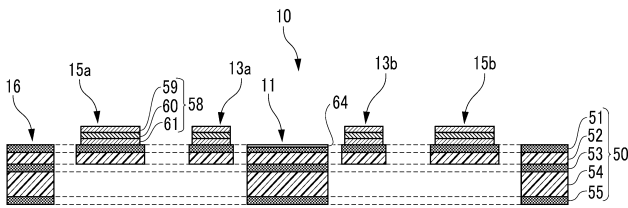
FIG.3B



10

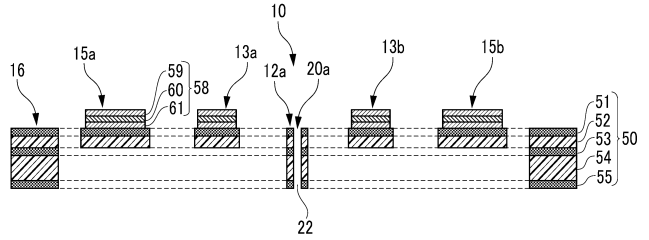
【 図 4 】

FIG.4



【 図 5 】

FIG.5



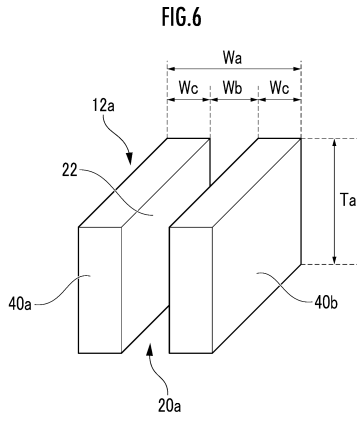
20

30

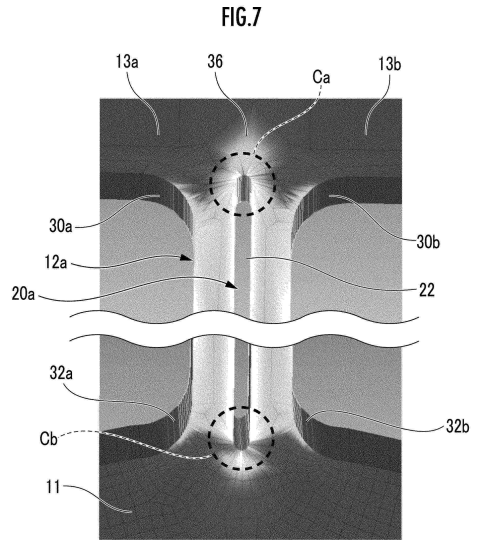
40

50

【 図 6 】



【 図 7 】



10

20

30

40

50

---

フロントページの続き

Fターム(参考) 6 MZ19 MZ26  
3C081 AA13 BA22 BA28 BA44 BA47 BA55 CA14 DA04 DA24 DA30  
EA08 EA11