(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2009-169089
(P2009-169089A)
(43)公開日　平成21年7月30日(2009.7.30)

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード（参考）
G02B 26/08	(2006.01)	G02B	26/08	E	2H045
G02B 26/10	(2006.01)	G02B	26/10	104Z	2H141
B81B 3/00	(2006.01)	B81B	3/00		3C081
B81C 1/00	(2006.01)	B81C	1/00		

審査請求 未請求　請求項の数 11　ＯＬ　（全 21 頁）

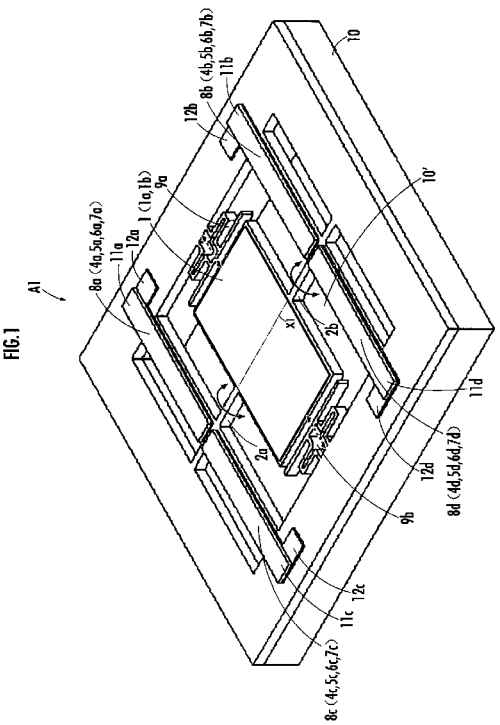
(21)出願番号　特願2008-6950 (P2008-6950)
(22)出願日　平成20年1月16日 (2008.1.16)

(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
(74)代理人　100077805
弁理士　佐藤　辰彦
(74)代理人　100081477
弁理士　堀　進
(74)代理人　100099690
弁理士　鷲　健志
(74)代理人　100109232
弁理士　本間　賢一
(74)代理人　100125210
弁理士　加賀谷　剛

最終頁に続く

(54)【発明の名称】光偏向器

(57)【要約】
【課題】圧電アクチュエータを用いた光偏向器において、デバイスサイズの増大や偏向・走査性能の低下を防止しつつ、振動や衝撃を緩和して破損を効果的に回避できる光偏向器を提供する。
【解決手段】光偏向器Ａ１は、反射面を有するミラー部１と、トーションバー２ａ，２ｂに一端が連結され他端が支持部１０に連結されて支持された圧電アクチュエータ８ａ～８ｄとを備え、圧電アクチュエータ８ａ～８ｄに駆動電圧を印加することで、トーションバー２ａ，２ｂを介してミラー部１を回転駆動させる。光偏向器Ａ１は、ミラー部１と支持部１０との間に設けられた空隙１０’に、支持部１のミラー部１に対向する部分に連結された衝撃緩和部９ａ，９ｂを有する。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
反射面を有するミラー部と、該ミラー部の端部から外側に延びたトーションバーと、該ミラー部を囲むように設けられた支持部と、一端が該トーションバーに連結され他端が該支持部に連結されて支持された圧電アクチュエータとを備え、該圧電アクチュエータは、支持体上に形成された圧電体に駆動電圧を印加することで圧電駆動により屈曲変形を行う１つ以上の圧電カンチレバーを含み、該圧電アクチュエータに駆動電圧を印加することで該トーションバーを介して該ミラー部を回転駆動させる光偏向器において、
前記ミラー部と前記支持部との間に設けた空隙に、前記支持部に連結された衝撃緩和部を備えたことを特徴とする光偏向器。
【請求項２】
請求項１記載の光偏向器において、前記衝撃緩和部はバネ特性を有する形状で、半導体基板を形状加工して前記支持部と一体的に形成されることを特徴とする光偏向器。
【請求項３】
請求項１記載の光偏向器において、前記衝撃緩和部は、弾性を有する感光性の高分子材料をフォトリソグラフィ処理によりパターニング加工して形成されることを特徴とする光偏向器。
【請求項４】
請求項３記載の光偏向器において、前記ミラー部の前記空隙側に、前記衝撃緩和部に対向するように、該ミラー部の回転駆動を妨げない所定サイズの少なくとも１つ以上の突起部が形成されることを特徴とする光偏向器。
【請求項５】
請求項１～４のいずれか記載の光偏向器において、前記圧電アクチュエータは、前記ミラー部と該ミラー部の両端から外側に延びた１対のトーションバーとを挟んで対向するように１対又は２対配置され、各圧電アクチュエータの少なくとも一端が該１対のトーションバーに連結され、他端は前記支持部に連結されて支持され、該ミラー部は、該１対又は２対の圧電アクチュエータにより回転駆動されることを特徴とする光偏向器。
【請求項６】
請求項１～４のいずれか記載の光偏向器において、前記圧電アクチュエータは、前記ミラー部と該ミラー部の両端から外側に延びた１対の第１のトーションバーとを挟んで対向するように１対又は２対配置され、各圧電アクチュエータの少なくとも一端が該１対の第１のトーションバーに連結され、他端は該ミラー部を囲むように設けられた可動枠の内側に連結されて支持された第１の圧電アクチュエータと、前記１対の第１のトーションバーと異なる方向に、該ミラー部と該可動枠と該可動枠の両端から外側に延びた１対の第２のトーションバーとを挟んで対向するように１対又は２対配置され、各圧電アクチュエータの少なくとも一端が該１対の第２のトーションバーに連結され、他端は該可動枠を囲むように設けられた前記支持部に支持された第２の圧電アクチュエータとから構成され、
前記ミラー部は、前記１対又は２対の第１の圧電アクチュエータにより前記１対の第１のトーションバーを介して第１の軸周りで駆動されると共に、前記１対又は２対の第２の圧電アクチュエータにより前記１対の第２のトーションバー及び前記可動枠を介して該第１の軸周りと異なる第２の軸周りで駆動されるものであり、
前記衝撃緩和部は、前記ミラー部と前記可動枠との間に設けられた第１の空隙に有する、該可動枠に連結された第１の衝撃緩和部と、該可動枠と前記支持部との間に設けられた第２の空隙に有する、該支持部に連結された第２の衝撃緩和部とから構成されることを特徴とする光偏向器。
【請求項７】
請求項５又は６記載の光偏向器において、前記１対又は２対の圧電アクチュエータへ印加される駆動電圧は交流電圧であることを特徴とする光偏向器。
【請求項８】
請求項７記載の光偏向器において、前記１対又は２対の圧電アクチュエータのうちの、

前記トーションバーの一方の側の圧電アクチュエータへ印加される第１の交流電圧と、該トーションバーの他方の側の圧電アクチュエータへ印加される第２の交流電圧とは、互いに１８０度位相が異なることを特徴とする光偏向器。
【請求項９】
請求項１～８のいずれか記載の光偏向器において、前記ミラー部、前記トーションバー、及び前記圧電カンチレバーの支持体は、半導体基板を形状加工して前記支持部と一体的に形成されることを特徴とする光偏向器。
【請求項１０】
請求項９記載の光偏向器において、前記圧電カンチレバーの圧電体は、前記半導体基板上に直接成膜された単層の圧電膜を形状加工して形成されることを特徴とする光偏向器。
【請求項１１】
請求項１０記載の光偏向器において、前記ミラー部の反射面及び前記圧電カンチレバーの電極は、前記半導体基板上に直接成膜された金属薄膜と、前記圧電膜上に直接成膜された金属薄膜とを形状加工して形成されるものであることを特徴とする光偏向器。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、レーザ光等の光ビームを偏向・走査する光偏向器に関する。
【背景技術】
【０００２】
近年、半導体プロセスやマイクロマシン技術を用いたＭＥＭＳ（micro electro mechanical systems）デバイスとして、半導体基板上にミラーや圧電アクチュエータ等の機構部品を一体的に形成した光偏向器が提案されている。この光偏向器では、圧電アクチュエータの一端が枠部（支持部）に連結されて支持され、この圧電アクチュエータが発生したトルクを他端に接合されたトーションバー（弾性梁）に伝え、トーションバーの先に備え付けられたミラーを回転駆動する。この光偏向器は、小型で簡単な構造で大きな駆動力が得られ、作製が容易で量産化がしやすいという利点がある。
【０００３】
この光偏向器は、ミラーを回転駆動するための可動部（トーションバー、圧電アクチュエータ）を有するので、外部からの振動によって誤作動を生じたり、衝撃によって破損したりする場合がある。このため、振動や衝撃を緩和するように、光偏向器を実装したモジュール全体を緩衝材で覆う手法が挙げられる。しかし、光偏向器を実装したモジュールを緩衝材で覆うことは、モジュールサイズの大型化を招き、小型で高機能であるＭＥＭＳデバイスの利点を失うことになる。このため、偏向器の可動部を堅く壊れ難い構造にしたり、振動や衝撃を吸収する機構を付加したりして、光偏向器そのものに振動や衝撃を緩和する機構を持たせる手法が提案されている（例えば、特許文献１～３を参照）。特許文献１及び２の光偏向器では、トーションバーの断面形状を工夫することにより、振動や衝撃を緩和している。また、特許文献３の光偏向器では、固定枠のデバイス裏面側に緩衝材を直接貼り付けて振動や衝撃を緩和している。
【特許文献１】特開２００４－３４２５６号公報
【特許文献２】特開２００４－２６４７０２号公報
【特許文献３】特開２００４－３４７７１３号公報
【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
しかしながら、光偏向器のトーションバーを堅い構造とすると、トーションバーの剛性を増大させることになるため、得られる最大偏向角が低下してしまう。また、特許文献１及び２の光偏向器のようにトーションバーの断面形状を工夫して壊れ難い構造とすると、複雑な構造を形成するために作製工程が増加したり、高い加工精度が要求されるために歩留まりが低下するという問題がある。

【０００５】
また、特許文献３の光偏向器では、固定枠のデバイス裏面側に緩衝材を貼り付けているが、光偏向器では可動部があるので固定枠がデバイス裏面に占める面積（緩衝材を貼り付ける面積）の割合は限られるため、外部からの振動や衝撃に対して十分な緩衝効果を得ることは難しい。また、光偏向器では、外部からの振動や衝撃がトーションバーを介して伝わってミラーが異常振動し、ミラーが固定枠に衝突して破損する場合が多い。これに対して、特許文献３の光偏向器では、外部からの振動や衝撃が伝わりミラーが異常振動した際に、ミラーが固定枠に衝突して破損することを回避することは困難である。
【０００６】
さらに、シリコンを基材にしたＭＥＭＳデバイスの場合、ゴムなどの緩衝材との熱膨張係数に大きな差があるため、環境温度によって、その界面に大きな応力が生じる。このため、特許文献３の光偏向器のように緩衝材を貼り付けると、緩衝材により生じる応力で光偏向器の機械的特性が低下し、偏向・走査性能が低下してしまう。
【０００７】
本発明は上記背景を鑑みてなされたものであり、圧電アクチュエータを用いた光偏向器において、デバイスサイズの増大や偏向・走査性能の低下を防止しつつ、振動や衝撃を緩和して破損を効果的に回避できる光偏向器を提供することを目的とする。
【課題を解決するための手段】
【０００８】
本発明は、反射面を有するミラー部と、該ミラー部の端部から外側に延びたトーションバーと、該ミラー部を囲むように設けられた支持部と、一端が該トーションバーに連結され他端が該支持部に連結されて支持された圧電アクチュエータとを備え、該圧電アクチュエータは、支持体上に形成された圧電体に駆動電圧を印加することで圧電駆動により屈曲変形を行う１つ以上の圧電カンチレバーを含み、該圧電アクチュエータに駆動電圧を印加することで該トーションバーを介して該ミラー部を回転駆動させる光偏向器において、前記ミラー部と前記支持部との間に設けた空隙に、該支持部に連結された衝撃緩和部を備えたことを特徴とする（第１発明）。
【０００９】
第１発明の光偏向器によれば、ミラー部と支持部との間に設けられた空隙に衝撃緩和部を有するので、外部からの振動や衝撃がトーションバーを介してミラー部に伝わりミラー部が異常振動しても、ミラー部は衝撃緩和部に接触することとなる。これにより、ミラー部が支持部に衝突して破損することが回避されると共に、ミラー部の異常振動が緩和される。ここで、衝撃緩和部は支持部に連結されているので、ミラー部の通常の回転駆動は妨げず、偏向・走査性能を損なわない。また、衝撃緩和部はミラー部と支持部との間の空隙に設けられるので、光偏向器のデバイスサイズを増大させることもない。よって、デバイスサイズの増大や偏向・走査性能の低下を防止しつつ、振動や衝撃を緩和して破損を効果的に回避できる。
【００１０】
また、第１発明の光偏向器において、前記衝撃緩和部はバネ特性を有する形状で、半導体基板を形状加工して前記支持部と一体的に形成されることが好ましい（第２発明）。
【００１１】
第２発明の光偏向器によれば、衝撃緩和部はバネ特性を有する形状に形成されるので、ミラー部が異常振動を生じて衝撃緩和部に接触しても、衝撃が緩和されてミラー部及び衝撃緩和部が破損することが回避される。また、衝撃緩和部は、支持部と共に形状加工により一体的に形成されるので、別体で形成して接合や接着等の加工法を用いて形成する場合に比べて、接合部材や接着剤等が不要であり、アライメント精度を向上することができ、容易に精度良く形成することができる。また、一体的に形成されることにより支持部及び衝撃緩和部が機械的に連結されるので、別体で形成して連結する場合に比べて、連結部に応力が集中することがなく衝撃緩和部の耐久性を向上することできる。さらに、半導体基板から形成されるので、半導体プレーナプロセス及びマイクロマシン技術による光偏向器

の作製工程を兼用して、衝撃緩和部を容易に形成することができる。

【００１２】

または、第１発明の光偏向器において、前記衝撃緩和部は、弾性を有する感光性の高分子材料をフォトリソグラフィ処理によりパターニング加工して形成されることが好ましい（第３発明）。

【００１３】

第３発明の光偏向器によれば、衝撃緩和部は弾性を有する高分子材料を加工して形成されるので、ミラー部が異常振動を生じて衝撃緩和部に接触しても、衝撃が緩和されてミラー部及び衝撃緩和部が破損することが回避される。このとき、衝撃緩和部は、感光性の高分子材料をフォトリソグラフィー処理によりパターニング加工して形成されるので、半導体プレーナプロセス及びマイクロマシン技術による光偏向器の作製工程に衝撃緩和部の形成工程を組み込み、衝撃緩和部を容易に形成することができる。

【００１４】

また、第３発明の光偏向器において、前記ミラー部の前記空隙側に、前記衝撃緩和部に対向するように、該ミラー部の回転駆動を妨げない所定サイズの少なくとも１つ以上の突起部が形成されることが好ましい（第４発明）。

【００１５】

第４発明の光偏向器によれば、高分子材料から形成される衝撃緩和部は、ミラー部が衝撃緩和部に接触した際に、密着してスティクション（張り付き）を生じる可能性がある。このとき、ミラー部の衝撃緩和部に対向する部分に、ミラー部の回転駆動を妨げない所定サイズの突起部を設けることで、ミラー部と衝撃緩和部が密着してスティクションを生じることを防止することができ、スティクションによる偏向・走査性能の低下を防止することができる。

【００１６】

また、第１～第４発明のいずれかの光偏向器において、前記圧電アクチュエータは、前記ミラー部と該ミラー部の両端から外側に延びた１対のトーションバーとを挟んで対向するように１対又は２対配置され、各圧電アクチュエータの少なくとも一端が該１対のトーションバーに連結され、他端は前記支持部に連結されて支持され、該ミラー部は、該１対又は２対の圧電アクチュエータにより回転駆動されることが好ましい（第５発明）。

【００１７】

第５発明の光偏向器によれば、１対又は２対の圧電アクチュエータをミラー部及びトーションバーを挟んで対向して配置し、これらの圧電アクチュエータの駆動によりミラー部を１つの軸周りで回転させることができる。これにより、１方向について安定して偏向・走査を行うことができる。そして、この１軸の偏向・走査に対して、外部からの振動や衝撃による異常振動が生じても、衝撃緩和部により、ミラー部が支持部に衝突して破損することが回避されると共に、ミラー部の異常振動が緩和される。

【００１８】

または、第１～第４発明のいずれかの光偏向器において、前記圧電アクチュエータは、前記ミラー部と該ミラー部の両端から外側に延びた１対の第１のトーションバーとを挟んで対向するように１対又は２対配置され、各圧電アクチュエータの少なくとも一端が該１対の第１のトーションバーに連結され、他端は該ミラー部を囲むように設けられた可動枠の内側に連結されて支持された第１の圧電アクチュエータと、前記１対の第１のトーションバーと異なる方向に、該ミラー部と該可動枠と該可動枠の両端から外側に延びた１対の第２のトーションバーとを挟んで対向するように１対又は２対配置され、各圧電アクチュエータの少なくとも一端が該１対の第２のトーションバーに連結され、他端は該可動枠を囲むように設けられた前記支持部に支持された第２の圧電アクチュエータとから構成され、前記ミラー部は、前記１対又は２対の第１の圧電アクチュエータにより前記１対の第１のトーションバーを介して第１の軸周りで駆動されると共に、前記１対又は２対の第２の圧電アクチュエータにより前記１対の第２のトーションバー及び前記可動枠を介して該第１の軸周りと異なる第２の軸周りで駆動されるものであり、前記衝撃緩和部は、前記ミラ

ー部と前記可動枠との間に設けられた第１の空隙に有する、該可動枠に連結された第１の衝撃緩和部と、該可動枠と前記支持部との間に設けられた第２の空隙に有する、該支持部に連結された第２の衝撃緩和部とから構成されることが好ましい（第６発明）。

【００１９】

第６発明の光偏向器によれば、１対又は２対の内側の第１の圧電アクチュエータをミラー部を挟んで対向して配置し、これらの内側の第１の圧電アクチュエータの駆動によりミラー部を第１の軸周りで回転させることができる。さらに、この回転とは独立且つ両立して、１対ま又は２対の外側の第２の圧電アクチュエータを可動枠を挟んで対向して配置し、これらの外側の第２の圧電アクチュエータの駆動により、可動枠をミラー部及び内側の圧電アクチュエータと一体的に第２の軸周りで回転させることができる。これにより、ミラー部を２軸で回転させることができ、光偏向器で、２方向について安定して偏向・走査を行うことができる。

【００２０】

このとき、ミラー部と可動枠との間に設けられた第１の空隙に第１の衝撃緩和部を有するので、外部からの振動や衝撃が第１のトーションバーを介してミラー部に伝わってミラー部が異常振動しても、ミラー部が可動枠に衝突して破損することが回避されると共に、ミラー部の異常振動が緩和される。また、可動枠と支持部との間に設けられた第２の空隙に第２の衝撃緩和部を有するので、外部からの振動や衝撃が第２のトーションバーを介して可動枠に伝わって可動枠が異常振動しても、可動枠が支持部に衝突して破損することが回避されると共に、可動枠の異常振動が緩和される。

【００２１】

また、第５又は第６発明の光偏向器において、前記１対又は２対の圧電アクチュエータへ印加される駆動電圧は交流電圧であることが好ましい（第７発明）。

【００２２】

第７発明の光偏向器によれば、トーションバーを挟んで対向した各対の圧電アクチュエータの駆動により、ミラー部をトーションバーを中心軸として回転振動して走査することができる。そして、この走査に対して、外部からの振動や衝撃による異常振動が生じても、衝撃緩和部により、ミラー部が支持部に衝突して（又はミラー部が可動枠に衝突し可動枠が支持部に衝突）破損することが回避されると共に、ミラー部（又はミラー部及び可動枠）の異常振動が緩和される。

【００２３】

また、第７発明の光偏向器において、前記１対又は２対の圧電アクチュエータのうちの、前記トーションバーの一方の側の圧電アクチュエータへ印加される第１の交流電圧と、該トーションバーの他方の側の圧電アクチュエータへ印加される第２の交流電圧とは、互いに１８０度位相が異なることが好ましい（第８発明）。

【００２４】

第８発明の光偏向器によれば、トーションバーを挟んで対向した各対の圧電アクチュエータの圧電カンチレバーを逆位相で屈曲変形させることにより、ミラー部をトーションバーを中心軸として効率良く回転振動して走査することができる。そして、この走査に対して、外部からの振動や衝撃による異常振動が生じても、衝撃緩和部により、ミラー部が支持部に衝突して（又はミラー部が可動枠に衝突し可動枠が支持部に衝突）破損することが回避されると共に、ミラー部（又はミラー部及び可動枠）の異常振動が緩和される。

【００２５】

また、第１～第８発明の光偏向器において、前記ミラー部、前記トーションバー、及び前記圧電カンチレバーの支持体は、半導体基板を形状加工して前記支持部と一体的に形成されることが好ましい（第９発明）。

【００２６】

第９発明の光偏向器によれば、ミラー部、トーションバー、支持部、及び圧電カンチレバーの支持体が形状加工により一体的に形成されるので、別体で形成して接合や接着等の加工法を用いて形成する場合に比べて、接合部材や接着剤等が不要であり、アライメント

精度を向上することができ、容易に精度良く形成することができる。また、一体的に形成されることにより光偏向器全体が機械的に連結されることとなるので、別体で形成して連結する場合に比べて、連結部に応力が集中することがなく光偏向器の強度を向上することできる。さらに、半導体基板（例えば単結晶シリコン基板やＳＯＩ基板等のシリコン基板）から形成されるので、半導体プレーナプロセス及びＭＥＭＳプロセスを用いて半導体基板の一部を除去加工することで、容易に一体的に形成することができる。

【００２７】

なお、本発明の光偏向器において、可動枠を備える場合は、可動枠も、ミラー部、トーションバー、支持部、及び圧電カンチレバーの支持体と共に、半導体基板を形状加工して一体的に形成されることが好ましい。

【００２８】

また、第９発明の光偏向器において、前記圧電カンチレバーの圧電体は、前記半導体基板上に直接成膜された単層の圧電膜を形状加工して形成されることが好ましい（第１０発明）。

【００２９】

第１０発明の光偏向器によれば、圧電カンチレバーの圧電体は、半導体基板上に直接成膜された単層の圧電膜を形状加工して形成されるので、構造が簡単であり、半導体プレーナプロセスを用いて容易に形成することができる。しかも、支持体と圧電体とを一体的に形成可能であり、支持体と圧電体とを別体で形成して接着する場合に比べて、接着剤が不要であり、アライメント精度が向上し、接着部に応力が集中することがなく圧電アクチュエータの強度を向上することができる。

【００３０】

また、第１０発明の光偏向器において、前記ミラー部の反射面及び前記圧電カンチレバーの電極は、前記半導体基板上に直接成膜された金属薄膜と、前記圧電膜上に直接成膜された金属薄膜とを形状加工して形成されることが好ましい（第１１発明）。

【００３１】

第１１発明の光偏向器によれば、ミラー部の反射面及び圧電カンチレバーの電極は、直接成膜された金属薄膜を形状加工して形成されるので、構造が簡単であり、半導体プレーナプロセスを用いて容易に形成することができる。

【００３２】

そして、本発明の光偏向器によれば、半導体プレーナプロセス及びＭＥＭＳプロセスを用いて光偏向器全体を一体的に形成することができるので、光偏向器の作製が容易になり、量産や歩留りの向上が可能となる。さらに、この光偏向器をデバイスに組み込む場合に、デバイス全体として半導体プレーナプロセス及びＭＥＭＳプロセスを用いて一体的に形成することが可能となるので、他のデバイスに組み込むことが容易となり、小型化や量産が可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００３３】

［第１実施形態］

本発明の第１実施形態について、図１～図２を参照して説明する。図１は、本実施形態における光偏向器Ａ１の外観図、図２は、図１の光偏向器Ａ１の製造工程を示す説明図である。

【００３４】

図１に示すように、本実施形態の光偏向器Ａ１は、入射された光を反射するミラー部１と、ミラー部１に連結されたトーションバー２ａ，２ｂと、ミラー部１をそれぞれトーションバー２ａ，２ｂを介して駆動する２対の圧電アクチュエータ８ａ～８ｄと、圧電アクチュエータ８ａ～８ｄを支持する支持部１０と、支持部１０に連結された衝撃緩和部９ａ，９ｂとを備えている。

【００３５】

ミラー部１は矩形形状で、その１対の対辺のそれぞれの中心位置から外側へ向かって、

上記１対のトーションバー２ａ，２ｂが延びている。一方のトーションバー２ａは、その基端部が支持部１０に連結され、先端部がミラー部１に連結されている。このトーションバー２ａは、その基端部を挟んで対向した１対の第１の圧電アクチュエータ８ａ，８ｃのそれぞれの先端部に連結されている。

【００３６】

また、他方のトーションバー２ｂも、その基端部が支持部１０に連結され、先端部がミラー部１に連結されている。このトーションバー２ｂは、その基端部を挟んで対向した１対の第１の圧電アクチュエータ８ｂ，８ｄのそれぞれの先端部に連結されている。

【００３７】

圧電アクチュエータ８ａ～８ｄは、それぞれ、その基端部が支持部１０に連結されて支持されている。支持部１０は、ミラー部１、トーションバー２ａ，２ｂ、圧電アクチュエータ８ａ～８ｄを囲むように設けられている。圧電アクチュエータ８ａ～８ｄは、それぞれ、１つの圧電カンチレバーから構成される。各圧電カンチレバーは、支持体４ａ～４ｄと下部電極５ａ～５ｄと圧電体６ａ～６ｄと上部電極７ａ～７ｄとを備えている。

【００３８】

また、光偏向器Ａ１は、２対の圧電アクチュエータ８ａ～８ｄの上部電極７ａ～７ｄと下部電極５ａ～５ｄとの間にそれぞれ駆動電圧を印加するための上部電極パッド１１ａ～１１ｄ（本実施形態では、上部電極パッド１１ａ～１１ｄは上部電極７ａ～７ｄの延長として形成されている）と下部電極パッド１２ａ～１２ｄとを、支持部１０上に備えている。

【００３９】

下部電極パッド１２ａ～１２ｄと下部電極５ａ～５ｄとは、シリコン基板上の金属薄膜（本実施形態では２層の金属薄膜、以下、下部電極層ともいう）を半導体プレーナプロセスを用いて形状加工することにより形成される。この金属薄膜の材料としては、例えば、１層目（下層）にはチタン（Ｔｉ）を用い、２層目（上層）には白金（Ｐｔ）を用いる。詳細には、圧電アクチュエータ８ａ～８ｄの下部電極５ａ～５ｄは、支持体４ａ～４ｄ上のほぼ全面に形成されている。そして、支持部１０上に形成された下部電極パッド１２ａ～１２ｄは、支持部１０上の下部電極層を介して、下部電極５ａ～５ｄに導通される。

【００４０】

圧電体６ａ～６ｄは、下部電極層上の１層の圧電膜（以下、圧電体層ともいう）を半導体プレーナプロセスを用いて形状加工することにより、それぞれ、下部電極５ａ～５ｄ上に互いに分離して形成されている。この圧電膜の材料としては、例えば、圧電材料であるチタン酸ジルコン酸鉛（ＰＺＴ）が用いられる。詳細には、圧電アクチュエータ８ａ～８ｄの圧電体６ａ～６ｄは、支持体４ａ～４ｄ上のほぼ全面に形成されている。

【００４１】

上部電極パッド１１ａ～１１ｄと上部電極７ａ～７ｄとは、圧電体層上の金属薄膜（本実施形態では１層の金属薄膜、以下、上部電極層ともいう）を半導体プレーナプロセスを用いて形状加工することにより形成されている。この金属薄膜の材料としては、例えばＰｔ、Ａｕ等が用いられる。詳細には、上部電極７ａ～７ｄは、圧電体６ａ～６ｄ上のほぼ全面に形成されている。そして、支持部１０上に形成された上部電極パッド１１ａ～１１ｄは上部電極７ａ～７ｄに導通される。

【００４２】

ミラー部１は、ミラー部支持体１ａと、ミラー部支持体１ａ上に形成されたミラー面反射膜（反射面）１ｂとを備えている。ミラー面反射膜１ｂは、ミラー部支持体１ａ上の金属薄膜（本実施形態では下部電極層を兼用した２層の金属薄膜）を半導体プレーナプロセスを用いて形状加工して形成されている。金属薄膜の材料としては、例えばＡｕ，Ｐｔ，Ａｇ，Ａｌ等が用いられる。

【００４３】

また、ミラー部支持体１ａと、トーションバー２ａ，２ｂと、圧電アクチュエータ８ａ～８ｄの圧電カンチレバーの支持体４ａ～４ｄと、支持部１０とは、半導体基板を形状加

工することにより一体的に形成されている。半導体基板を形状加工する手法としては、フォトリソグラフィ技術やドライエッチング技術等を利用した半導体プレーナプロセス及びＭＥＭＳプロセスが用いられる。

【００４４】

ミラー部１と支持部１０との間には空隙１０’が設けられ、ミラー部１が所定角度まで回転可能となっている。ミラー部１は、一体的に形成することで、圧電アクチュエータ８ａ～８ｄと、トーションバー２ａ，２ｂを介して機械的に連結され、圧電アクチュエータ８ａ～８ｄの駆動に応じて回動する。

【００４５】

さらに、衝撃緩和部９ａ，９ｂが、トーションバー２ａ，２ｂと直交する方向のミラー部１の１対の対辺にそれぞれ対向して、支持部１０に連結して空隙１０’に設けられている。このように、衝撃緩和部９ａ，９ｂはミラー部１と支持部１０との間の空隙１０’に設けられるので、光偏向器Ａ１のデバイスサイズを増大させない。

【００４６】

また、衝撃緩和部９ａ，９ｂは、上述の半導体基板を形状加工することにより、支持部１０と一体的に、バネ特性を有する形状に形成されている。衝撃緩和部９ａ，９ｂは、支持部１０と共に形状加工により一体的に形成されるので、別体で形成して接合や接着等の加工法を用いて形成する場合に比べて、接合部材や接着剤等が不要であり、アライメント精度を向上することができ、容易に精度良く形成することができる。また、一体的に形成されることにより支持部１０及び衝撃緩和部９ａ，９ｂが機械的に連結されるので、別体で形成して連結する場合に比べて、連結部に応力が集中することがなく衝撃緩和部９ａ，９ｂの耐久性を向上することできる。

【００４７】

さらに、光偏向器Ａ１は、ミラー部１の偏向・走査を制御する制御回路（図示せず）に接続されている。制御回路は、圧電アクチュエータ８ａ～８ｄの駆動電圧の位相、周波数、振幅、波形等を制御することで、ミラー部１の偏向・走査の位相、周波数、偏向角を制御する。

【００４８】

次に、本実施形態の光偏向器Ａ１の作動を説明する。まず、圧電アクチュエータ８ａ～８ｄの駆動によりミラー部１が回転振動する通常状態では、光偏向器Ａ１では、２対の圧電アクチュエータ８ａ～８ｄに電圧を印加する。

【００４９】

詳細には、一方の対の圧電アクチュエータ８ａ，８ｃの上部電極７ａ，７ｃと下部電極５ａ，５ｃとの間にそれぞれ互いに逆極性の電圧±Ｖ1を印加して駆動させると、互いに逆方向に屈曲変形する。これらの屈曲変形により、圧電アクチュエータ８ａ，８ｃの基端部は支持部１０に連結されて支持されているので、先端部は支持部１０（基板）の厚み方向に上下に回動する。圧電アクチュエータ８ａ，８ｃに互いに逆極性の電圧±Ｖ1を印加するので、圧電アクチュエータ８ａ，８ｃの先端部は互いに逆方向に動く。これにより、トーションバー２ａにねじれ変位が生じて、ミラー部１にトーションバー２ａを中心とした回転トルクが作用する。

【００５０】

同様に、他方の対の圧電アクチュエータ８ｂ，８ｄに互いに逆極性の電圧±Ｖ1を印加して駆動させることにより、トーションバー２ｂに同じ方向にねじれ変位が生じて、ミラー部１にトーションバー２ｂを中心とした回転トルクが作用する。

【００５１】

よって、圧電アクチュエータ８ａ～８ｄの駆動により、ミラー部１にはトーションバー２ａ，２ｂを中心とした回転トルクαが作用する。これにより、ミラー部１は、図１の矢印で示したように、トーションバー２ａ，２ｂを中心軸として１軸ｘ１周りで回転する。

【００５２】

なお、各対の一方の圧電アクチュエータ８ａ，８ｂには、互いに同位相の第１の交流電

圧を印加する。また、各対の他方の圧電アクチュエータ８ｃ，８ｄにも、互いに同位相の第２の交流電圧を印加する。このとき、第１の交流電圧と第２の交流電圧とは、互いに逆位相或いは位相のずれた交流電圧（例えば正弦波）とする。これにより、ミラー部１を回転させて１方向について所定の周波数で所定の偏向角で光走査することができる。このとき、これらの圧電アクチュエータ８ａ～８ｄでは、駆動電圧としてトーションバー２ａ，２ｂを含むミラー部１の機械的な共振周波数（第一次共振点）付近の周波数の交流電圧を印加して共振駆動させることで、より大きな偏向角で光走査することができる。なお、圧電アクチュエータ８ａ～８ｄの駆動は、非共振駆動でもよく、印加する電圧は直流電圧でもよい。

【００５３】

このような通常の状態では、ミラー部１は衝撃緩和部９ａ，９ｂに接触することなく回転する。そして、衝撃緩和部９ａ，９ｂは支持部１０に連結されているので、ミラー部１の通常の回転駆動は妨げない。

【００５４】

これに対して、外部から付加された衝撃や振動によりミラー部１が振動する異常状態では、トーションバー２ａ，２ｂを中心軸とした回転以外に、デバイス面で、トーションバー２ａ，２ｂに直交する方向に並進運動が生じる（図１に破線矢印で示す）。このような並進運動が生じても、衝撃緩和部９ａ，９ｂが設けられているので、ミラー部１が支持部１０に直接衝突することが回避される。そして、衝撃緩和部９ａ，９ｂはバネ特性を有する形状に形成されるので、ミラー部１が衝撃緩和部９ａ，９ｂに接触することで衝撃が緩和される。

【００５５】

従って、本実施形態の光偏向器Ａ１によれば、衝撃緩和部９ａ，９ｂを備えることで、デバイスサイズの増大や偏向・走査性能の低下を防止しつつ、振動や衝撃を緩和して破損を効果的に回避できる。

［製造工程］

図２には、光偏向器Ａ１の製造工程を示す。なお、図２（ａ）～（ｈ）は、光偏向器Ａ１の断面を模式的に示している。

【００５６】

図２（ａ）に示すように、ミラー部支持体１ａ、トーションバー２ａ，２ｂ、圧電アクチュエータ８ａ～８ｄの圧電カンチレバーの支持体４ａ～４ｄ、支持部１０、衝撃緩和部９ａ，９ｂを形成する半導体基板としては、ＳＯＩ基板３１を用いている。ＳＯＩ基板３１は、単結晶シリコン（活性層３１ａ、又はＳＯＩ層ともいう）／酸化シリコン（中間酸化膜層３１ｂ）／単結晶シリコン（ハンドリング層３１ｃ）の張り合わせ基板である。ＳＯＩ基板の各層の厚みは、例えば、活性層３１ａの厚みは5～100［μｍ］、中間酸化膜層３１ｂの厚みは0.5～2［μｍ］、ハンドリング層３１ｃの厚みは100～600［μｍ］である。また、活性層３１ａの表面は光学研磨処理が施されている。

【００５７】

まず、図２（ｂ）に示すように、ＳＯＩ基板３１の表面（活性層３１ａ側）及び裏面（ハンドリング層３１ｃ側）を熱酸化炉（拡散炉）によって酸化して熱酸化シリコン膜３２ａ，３２ｂを形成する（熱酸化膜形成ステップ）。熱酸化シリコン膜３２ａ，３２ｂの厚みは、例えば0.1～1［μｍ］とする。

【００５８】

次に、図２（ｃ）に示すように、ＳＯＩ基板３１の表面（活性層３１ａ側）に、下部電極層３３、圧電体層３４、上部電極層３５を順次形成する。

【００５９】

まず、下部電極層形成ステップで、ＳＯＩ基板３１の活性層３１ａ側の熱酸化シリコン膜３２ａ上に、２層の金属薄膜からなる下部電極層３３を形成する。下部電極層３３の材料としては、１層目（下層）の金属薄膜にはチタンを用い、２層目（上層）の金属薄膜には白金を用いる。各金属薄膜は、例えば、スパッタ法、電子ビーム蒸着法等により成膜す

る。各金属薄膜の厚みは、例えば１層目のＴｉは30～100［nm］、２層目のＰｔは100～300［nm］程度とする。

【００６０】

次に、圧電体層形成ステップで、下部電極層３３上に、１層の圧電膜からなる圧電体層３４を形成する。圧電体層３４の材料としては、圧電材料であるチタン酸ジルコン酸鉛（ＰＺＴ）を用いる。また、圧電膜の厚みは、例えば1～10［μm］程度とする。圧電膜は、例えば、反応性アーク放電を利用したイオンプレーティング法により成膜する。反応性アーク放電を利用したイオンプレーティング法については、具体的には、本願出願人による特開２００１－２３４３３１号公報、特開２００２－１７７７６５号公報、特開２００３－８１６９４号公報に記載された手法を用いる。

【００６１】

このアーク放電プラズマを利用した反応性イオンプレーティング法は、プラズマガンで真空容器内に発生させた高密度酸素プラズマ中で原料金属を加熱蒸発させ、真空容器内或いは半導体基板上において各金属蒸気と酸素とが反応することにより、半導体基板上に圧電膜を形成するものである。この方法を用いることにより、比較的低い成膜温度においても高速に圧電膜を形成できる。特に、アーク放電反応性イオンプレーティング法による圧電膜を形成する際に、その下地として、例えば化学溶液堆積法（ＣＳＤ（Chemical Solution Deposition）法）によりシード層を形成することで、より優れた圧電特性を有する圧電膜を形成することができる。

【００６２】

なお、圧電膜は、例えばスパッタ法、ゾルゲル法等により成膜してもよい。ただし、反応性アーク放電を利用したイオンプレーティング法を用いることにより、良好な圧電特性（バルクの圧電体と同等の圧電特性）を有する厚みのある膜を成膜することができる。

【００６３】

次に、上部電極層形成ステップで、圧電体層３４上に、１層の金属薄膜からなる上部電極層３５を形成する。上部電極層３５の材料としては、Ｐｔ又はＡｕを用いる。上部電極層３５は、例えば、スパッタ法、電子ビーム蒸着法等により成膜する。上部電極層３５の厚みは、例えば10～200［nm］程度とする。

【００６４】

次に、図２（ｄ）に示すように、形状加工ステップで、上部電極層３５、圧電体層３４、下部電極層３３の形状を加工して、圧電アクチュエータ８ａ～８ｄの圧電カンチレバーの上部電極７ａ～７ｄ、圧電体６ａ～６ｄ、下部電極５ａ～５ｄを形成する。

【００６５】

具体的には、まず、上部電極層３５上にフォトリソグラフィ技術を用いてレジスト材料をパターニングする。次に、パターニングしたレジスト材料をマスクとして、上部電極層３５及び圧電体層３４に対して、ＲＩＥ（Reactive Ion Etching）装置を用いて、ドライエッチングを行う。これにより、上部電極パッド１１ａ～１１ｄ、上部電極７ａ～７ｄ、及び圧電体６ａ～６ｄが形成される。

【００６６】

同様に、下部電極層３３上にフォトリソグラフィ技術を用いてレジスト材料をパターニングする。次に、パターニングしたレジスト材料をマスクとして、下部電極層３３に対して、RIE装置を用いて、ドライエッチングを行う。これにより、下部電極パッド１２ａ～１２ｄ、及び下部電極５ａ～５ｄが形成される。

【００６７】

このとき、図２（ｄ）に示すように、形状加工ステップを反射面形成ステップとして兼用し、ミラー部１の位置に対応した下部電極層を、レジスト材料によりマスクしてドライエッチングから保護することで反射膜として残し、ミラー部１のミラー面反射膜１ｂを形成する。

【００６８】

なお、ミラー部１の光反射効率を高めたい場合には、形状加工ステップの後に、改めて

反射面形成ステップを行うものとしてもよい。この場合、まず、ＳＯＩ基板３１のＳＯＩ層３１ａ側の全面に、１層の金属薄膜（反射膜）を形成する。反射膜の材料としては、例えばＡｕ，Ｐｔ，Ａｇ，Ａｌ等を用いる。また、反射膜は、例えばスパッタ法、蒸着法を用いて成膜する。反射膜の厚みは、例えば100～500［nm］程度とする。

【００６９】

次に、反射膜の形状を加工する。具体的には、まず、反射膜上にフォトリソグラフィ技術を用いてレジスト材料をパターニングする。次に、パターニングしたレジスト材料をマスクとして、反射膜に対して、ＲＩＥ装置を用いてドライエッチングを行う。これにより、ＳＯＩ基板３１の活性層３１ａ側の熱酸化シリコン膜３２ａ上に、ミラー面反射膜１ｂが形成される。

【００７０】

次に、図２（ｅ）～（ｈ）に示すように、支持体形成ステップ（衝撃緩和部形成ステップに兼用）で、ミラー部支持体１ａ、トーションバー２ａ，２ｂ、圧電アクチュエータ８ａ～８ｄの圧電カンチレバーの支持体４ａ～４ｄ、支持部１０、衝撃緩和部９ａ，９ｂが形成される。

【００７１】

まず、図２（ｅ）に示すように、熱酸化膜３２ｂを除去して、ハードマスクを形成する。詳細には、ＳＯＩ基板３１の表面全体を厚膜レジストで保護しておき、裏面のハンドリング層３１ｃ側の熱酸化シリコン膜３２ｂをバッファードフッ酸（ＢＨＦ）で除去する。そして、ＳＯＩ基板３１のハンドリング層３１ｃ上の全面に、１層のＡｌ薄膜３７を形成する。Ａｌ薄膜３７は、例えばスパッタ法、蒸着法を用いて成膜する。そして、Ａｌ薄膜３７上にフォトリソグラフィ技術を用いてレジスト材料をパターニングする。次に、パターニングしたレジスト材料をマスクとして、Ａｌ薄膜３７に対してウェットエッチングを行う。これにより、後述の図２（ｇ）のＩＣＰ（Inductively Coupled Plasma）－ＲＩＥ装置によるドライエッチングに用いるハードマスクが形成される。

【００７２】

次に、図２（ｆ）に示すように、活性層３１ａ（単結晶シリコン）の形状を加工する。まず、フォトリソグラフィ技術を用いてレジスト材料をパターニングし、このパターニングしたレジスト材料をマスクとして、ＩＣＰ－ＲＩＥ装置を用いて、熱酸化膜３２ａ及び活性層３１ａのシリコンの形状を加工する。ＩＣＰ－ＲＩＥ装置は、マイクロマシン技術で使用されるドライエッチング装置であり、シリコンを垂直に深く掘ることが可能な装置である。

【００７３】

次に、図２（ｇ）に示すように、ハンドリング層３１ｃの形状を加工する。図２（ｅ）で形成したハードマスクを用いて、ＩＣＰ－ＲＩＥ装置を用いて、ハンドリング層３１ｃのシリコンを加工する。これにより、ミラー部支持体１ａ、トーションバー２ａ，２ｂ、支持体４ａ～４ｄ、衝撃緩和部９ａ，９ｂの裏側を深く掘り下げ中空状態にする。

【００７４】

次に、図２（ｈ）に示すように、ＳＯＩ基板３１の中間酸化膜層３１ｂをバッファードフッ酸（ＢＨＦ）でウェットエッチングして除去する。これにより、ミラー部１、トーションバー２ａ，２ｂ、圧電アクチュエータ８ａ～８ｄ、衝撃緩和部９ａ，９ｂの周囲を部分的にＳＯＩ基板３１から切り離して空隙１０’を形成し、ミラー部１及びトーションバー２ａ，２ｂの回転と、圧電アクチュエータ８ａ～８ｄの駆動と、衝撃緩和部９ａ，９ｂの変形とを可能にする。

【００７５】

以上の工程により光偏向器Ａ１が作製される。なお、上述の工程を行った後、ＳＯＩ基板３１上に作製された各デバイスは、ダイシング工程によってＳＯＩ基板３１から個片（チップ）として分離される。そして、各デバイスのチップは、ＴＯ（Transister Outline）型ＣＡＮパッケージにダイボンド及びワイヤーボンドにより実装される。

【００７６】

このように、光偏向器Ａ１を半導体プレーナプロセス及びＭＥＭＳプロセスを用いて一体的に形成することができるので、作製が容易であり、小型化や量産や歩留まりの向上が可能となる。しかも、衝撃緩和部９ａ，９ｂは、光偏向器Ａ１の他の構成を形成する工程を利用して形成することができ、工程数の増加や工程の複雑化を伴わない。さらに、光偏向器Ａ１をデバイスに組み込む場合に、デバイス全体として半導体プレーナプロセス及びＭＥＭＳプロセスを用いて一体的に形成することが可能となるので、光偏向器Ａ１を他のデバイスに組み込むことが容易となる。

［実施例１］

実施例１として、本実施形態の光偏向器Ａ１の駆動特性の試験について説明する。本実施例では、上述の光偏向器Ａ１を、共振周波数が5［kHz］となるように設計し、上述の製造工程で作製した。このとき、ＳＯＩ基板の各層の厚みは、活性層30［μｍ］、中間酸化膜層2［μｍ］、ハンドリング層525［μｍ］とし、熱酸化シリコン膜の厚みは500［nm］とした。また、下部電極層（Ｔｉ／Ｐｔ）の厚みはＴｉを50［μｍ］、Ｐｔを150［nm］とし、圧電体層の厚みは3［μｍ］とし、上部電極層（Ｐｔ）の厚みは150［nm］とした。

【００７７】

この光偏向器について、圧電アクチュエータ８ａ～８ｄにピーク間電圧Ｖpp＝20［V］、周波数5［kHz］の交流電圧（正弦波）を駆動信号として印加したところ、光偏向器の最大偏向角として±10°が得られた。なお、ミラー部１の回転角度は、Ｈｅ－Ｎｅレーザ光をミラー部１に入射し、反射光を所定距離に配置したスクリーン上で観察することで測定した。

【００７８】

この光偏向器に対して、外部から加速度1500［G］の衝撃を付加した。なお、試験方法は、JIS C60068-2-27 環境試験方法－電気・電子－衝撃試験方法（振り子式衝撃試験器）、及びJIS C60068-2-32 環境試験方法－電気・電子－自然落下試験方法（自然落下試験器）を用いた。この結果、1500［G］の衝撃を付加しても破損することはなく、光偏向器の機械的な特性（偏向・走査特性）を維持することができた。

【００７９】

また、この光偏向器に対して、外部から加速度500［G］の振動を付加した。なお、試験方法は、JIS C60068-2-6 環境試験方法－電気・電子－正弦波振動試験方法を用いた。この結果、500［G］の振動を付加しても破損することはなく、光偏向器の機械的な特性（偏向・走査特性）を維持することができた。

［比較例１］

比較例１として、衝撃緩和部９ａ，９ｂを備えない点以外は実施例１と同じ構成の光偏向器を作製した。この光偏向器に、実施例１と同様の加速度1500［G］の衝撃を付加したところ、トーションバー２ａ，２ｂが破損した。また、この光偏向器に、実施例１と同様の加速度500［G］の振動を付加したところ、トーションバー２ａ，２ｂにクラックが入り、光偏向器の機械的な特性が大幅に劣化した。

［第２実施形態］

本発明の第２実施形態について、図３を参照して説明する。図３は、本発明の第２実施形態における光偏向器の構成を示す斜視図である。本実施形態の光偏向器Ａ２は、第１実施形態のミラー部、トーションバー、２対の圧電アクチュエータを一体的に回転させるための、さらに２対の圧電アクチュエータを備えたものである。

【００８０】

本実施形態の光偏向器Ａ２は、入射された光を反射するミラー部４１と、ミラー部４１に連結された第１のトーションバー４２ａ，４２ｂと、ミラー部４１を第１のトーションバー４２ａ，４２ｂを介して駆動する２対の内側の第１の圧電アクチュエータ４８ａ～４８ｄと、第１の圧電アクチュエータ４８ａ～４８ｄを支持する可動枠４９と、可動枠４９に連結された第２のトーションバー５０ａ，５０ｂと、可動枠４９をトーションバー５０ａ，５０ｂを介して駆動する２対の外側の第２の圧電アクチュエータ５１ａ～５１ｄと、第２の圧電アクチュエータ５１ａ～５１ｄを支持する支持部５２とを備えている。

【００８１】
ミラー部４１は矩形形状で、その１対の対辺のそれぞれの中心位置から外側へ向かって、１対のトーションバー４２ａ，４２ｂが延びている。一方の第１のトーションバー４２ａは、その基端部が可動枠４９の内側に連結され、先端部がミラー部１に連結されている。この第１のトーションバー４２ａは、その基端部を挟んで対向した１対の圧電アクチュエータ４８ａ，４８ｃのそれぞれの先端部に連結されている。
【００８２】
また、他方の第１のトーションバー４２ｂも、その基端部が可動枠４９の内側に連結され、先端部がミラー部１に連結されている。この第１のトーションバー４２ｂは、その基端部で、このトーションバー４２ｂを挟んで対向した１対の第１の圧電アクチュエータ４８ｂ，４８ｄのそれぞれの先端部に連結されている。
【００８３】
また、可動枠４９は矩形形状で、第１のトーションバー４２ａ，４２ｂと直交する方向の１対の対辺のそれぞれの中心位置から外側へ向かって、１対の第２のトーションバー５０ａ，５０ｂが延びている。一方の第２のトーションバー５０ａは、その基端部が支持部５２に連結され、先端部が可動枠４９の外側に連結されている。この第２のトーションバー５０ａは、その基端部を挟んで対向した１対の第２の圧電アクチュエータ５１ａ，５１ｃのそれぞれの先端部に連結されている。
【００８４】
また、他方の第２のトーションバー５０ｂも、その基端部が支持部５２に連結され、先端部が可動枠４９の外側に連結されている。この第２のトーションバー５０ｂは、その基端部を挟んで対向した１対の第２の圧電アクチュエータ５１ｂ，５１ｄのそれぞれの先端部に連結されている。
【００８５】
可動枠４９は、ミラー部４１と、第１のトーションバー４２ａ，４２ｂと、第１の圧電アクチュエータ４８ａ～４８ｄとを囲むように設けられている。第１の圧電アクチュエータ４８ａ～４８ｄは、その基端部が可動枠４９の内側に連結されて支持されている。支持部５１は、可動枠４９と、第２のトーションバー５０ａ，５０ｂと、第２の圧電アクチュエータ５１ａ～５１ｄとを囲むように設けられている。第２の圧電アクチュエータ５１ａ～５１ｄは、その基端部が支持部５２に連結されて支持されている。
【００８６】
これらの第１及び第２の圧電アクチュエータ４８ａ～４８ｄ，５１ａ～５１ｄは、それぞれ、１つの圧電カンチレバーから構成される。各圧電カンチレバーは、支持体４４ａ～４４ｈと下部電極４５ａ～４５ｈと圧電体４６ａ～４６ｈと上部電極４７ａ～４７ｈとを備えている。
【００８７】
また、光偏向器Ａ２は、第１の圧電アクチュエータ４８ａ～４８ｄの上部電極４７ａ～４７ｄと下部電極４５ａ～４５ｄとの間にそれぞれ駆動電圧を印加するための上部電極パッド５３ａ～５３ｄと下部電極パッド５４ａ～５４ｄと、第２の圧電アクチュエータ５１ａ～５１ｄの上部電極４７ｅ～４７ｈと下部電極４５ｅ～４５ｈとの間にそれぞれ駆動電圧を印加するための上部電極パッド５３ｅ～５３ｈ（本実施形態では、上部電極パッド５３ｅ～５３ｈは上部電極４７ｅ～４７ｈの延長として形成されている）と下部電極パッド５４ｅ～５４ｈとを、支持部５３上に備えている。
【００８８】
ミラー部支持体４１ａ、第１及び第２のトーションバー４２ａ，４２ｂ，５０ａ，５０ｂ、第１及び第２の圧電アクチュエータ４８ａ～４８ｄ，５１ａ～５１ｄの支持体４４ａ～４４ｈ、可動枠４９、及び支持部５２は、半導体基板を形状加工することにより一体的に形成されている。半導体基板を形状加工する手法としては、第１実施形態と同じ手法が用いられる。ミラー部４１と可動枠４９との間には空隙４９’が設けられ、ミラー部４１が所定角度まで回転可能となっている。また、可動枠４９と支持部５２との間には空隙５

２’が設けられ、可動枠４９が所定角度まで回転可能となっている。

【００８９】

さらに、第１の衝撃緩和部５５ａ，５５ｂが、第１のトーションバー４２ａ，４２ｂと直交する方向のミラー部４１の１対の対辺にそれぞれ対向して、可動枠４９に連結して空隙４９に設けられている。また、第２の衝撃緩和部５５ｃ～５５ｆが、第２のトーションバー５０ａ，５０ｂと直交する方向の可動枠４９の１対の対辺にそれぞれ対向して、支持部５２に連結して空隙５２’に設けられている。このとき、第１及び第２の衝撃緩和部５５ａ～５５ｆは、上述の半導体基板を形状加工することにより、可動枠４９及び支持部５２と一体的に、バネ特性を有する形状に形成されている。

【００９０】

さらに、光偏向器Ａ２は、ミラー部４１の偏向・走査を制御する制御回路に接続されている。制御回路は、第１及び第２の圧電アクチュエータ４８ａ～４８ｄ，５１ａ～５１ｄの駆動電圧の位相、周波数、振幅、波形等を制御することで、ミラー部４１の偏向・走査の位相、周波数、偏向角を制御する。

【００９１】

なお、ミラー部４１の詳細は、第１実施形態のミラー部１と同じである。また、第１及び第２の圧電アクチュエータ４８ａ～４８ｄ，５１ａ～５１ｄの支持体４４ａ～４４ｈ、下部電極４５ａ～４５ｈ、圧電体４６ａ～４６ｈ、上部電極４７ａ～４７ｈの詳細は、第１実施形態の支持体４ａ～４ｄ、下部電極５ａ～５ｄ、圧電体６ａ～６ｄ、上部電極７ａ～７ｄと同じである。また、第１及び第２の衝撃緩和部５５ａ～５５ｆの詳細は、第１実施形態の衝撃緩和部９ａ，９ｂと同じである。

【００９２】

次に、本実施形態の光偏向器Ａ２の作動を説明する。まず、第１及び第２の圧電アクチュエータ４８ａ～４８ｄ，５１ａ～５１ｄの駆動によりミラー部４１が回転振動する通常状態では、第１実施形態と同様に、まず、内側の２対の第１の圧電アクチュエータ４８ａ～４８ｄに電圧を印加する。これにより、第１の圧電アクチュエータ４８ａ～４８ｄが駆動され、それぞれ、先端部に角度変位を発生する。これらの角度変位により、ミラー部４１は、１対の第１のトーションバー４２ａ，４２ｂと同軸の第１の軸ｘ２周りで図３の矢印の示す方向に回転する。

【００９３】

これと共に、第１の圧電アクチュエータ４８ａ～４８ｄと同様に、外側の２対の第２の圧電アクチュエータ５１ａ～５１ｄに電圧を印加する。これにより、第２の圧電アクチュエータ５１ａ～５１ｄが駆動され、それぞれ、先端部に角度変位を発生する。これらの角度変位により、可動枠４９は、第１の軸ｘ２周りと直交する、１対の第２のトーションバー５０ａ，５０ｂと同軸の第２の軸ｘ３周りで図３の矢印の示す方向に回転する。

【００９４】

このとき、ミラー部４１を駆動する第１の圧電アクチュエータ４８ａ～４８ｄと、可動枠４９を駆動する第２の圧電アクチュエータ５１ａ～５１ｄとは、独立に制御可能なので、ミラー部４１と可動枠４９とが互いの動きに干渉することなく独立に回転される。そして、この可動枠４９の回転により、ミラー部４１と第１の圧電アクチュエータ４８ａ～４８ｄとが一体的に回転し、第１の圧電アクチュエータ４８ａ～４８ｄの駆動による回転とは独立にミラー部４１が回転する。従って、第１及び第２の圧電アクチュエータ４８ａ～４８ｄ，５１ａ～５１ｄの駆動により、ミラー部４１が２軸駆動されて、入射されたレーザ光等の光ビームが偏向される。この状態では、ミラー部４１は第１及び第２の衝撃緩和部５５ａ～５５ｆに接触することなく回転する。

【００９５】

これに対して、外部から付加された衝撃や振動によりミラー部４１及び可動枠４９が振動する異常状態では、第１のトーションバー４２ａ，４２ｂ、第２のトーションバー５０ａ，５０ｂを中心軸とした回転以外に、デバイス面で、ミラー部４１が第１のトーションバー４２ａ，４２ｂに直交する方向の並進運動や、可動枠４９が第２のトーションバー５

０ａ，５０ｂに直交する方向の並進運動が生じる（図３に破線矢印で示す）。このような並進運動が生じても、ミラー部４１と可動枠４９との間に設けられた第１の空隙４９’に第１の衝撃緩和部５５ａ，５５ｂを有するので、ミラー部４１が可動枠４９に衝突して破損することが回避されると共に、ミラー部１の異常振動が緩和される。また、可動枠４９と支持部５２との間に設けられた第２の空隙５２’に第２の衝撃緩和部５５ｃ～５５ｆを有するので、可動枠４９が支持部５２に衝突して破損することが回避されると共に、可動枠４９の異常振動が緩和される。

【００９６】

よって、本実施形態によれば、第１実施形態と同様に、第１及び第２の衝撃緩和部５５ａ～５５ｆを備えることで、デバイスサイズの増大や偏向・走査性能の低下を防止しつつ、振動や衝撃を緩和して破損を効果的に回避できる。

【００９７】

なお、本実施形態の光偏向器Ａ２は、第１実施形態の光偏向器Ａ１の製造工程と同様に作製することができる。

［実施例２］

実施例２として、本実施形態の光偏向器Ａ２の駆動特性の試験について説明する。本実施例では、上述の光偏向器Ａ２を、ミラー部４１の共振周波数が16［kHz］以上、可動枠４９の共振周波数が60［Hz］となるように設計し、実施例１と同様の製造工程で作製した。

【００９８】

この光偏向器に対して、実施例１と同様に、外部から衝撃を付加した。この結果、加速度500［G］の衝撃を付加しても破損することはなく、光偏向器の機械的な特性（偏向・走査特性）を維持することができた。

［比較例２］

比較例２として、衝撃緩和部を備えない点以外は実施例２と同じ構成の光偏向器を作製した。この光偏向器に、実施例２と同様に衝撃を付加したところ、加速度100［G］以下の衝撃に対して第２のトーションバーが破損した。

［第３実施形態］

本発明の第３実施形態について、図４を参照して説明する。図４は、本発明の第３実施形態における光偏向器Ａ３の構成を示す斜視図である。本実施形態の光偏向器Ａ３は、衝撃緩和部のみが第１実施形態と相違する。第１実施形態と同じ構成は、同じ符号を付して説明を省略する。

【００９９】

本実施形態の衝撃緩和部６１ａ，６１ｂは、第１実施形態の衝撃緩和部９ａ，９ｂと同様に、トーションバー２ａ，２ｂと直交する方向のミラー部１の１対の対辺にそれぞれ対向して、支持部１０に連結して空隙１０’に設けられている。このとき、本実施形態では、衝撃緩和部６１ａ，６１ｂは、弾性を有する感光性の高分子材料をフォトリソグラフィ処理によりパターニング加工して形成される。高分子材料としては、例えばエポキシ樹脂系やポリイミド樹脂系のレジスト材料が用いられる。

【０１００】

本実施形態の光偏向器Ａ３の製造工程では、図２（ｅ）で示すように活性層３１ａのシリコンの形状をドライエッチングにより加工した後に、衝撃緩和部６１ａ，６１ｂを形成する材料であるレジスト材料を塗布し、露光・現像して、衝撃緩和部６１ａ，６１ｂとなる部分をパターニング加工して形成する。その後、所定温度でキュアして衝撃緩和部６１ａ，６１ｂを形成する。この後、図２（ｆ）で示したベースウェハ側のエッチング工程に進む。他の製造工程は第１実施形態と同じである。このように、衝撃緩和部６１ａ，６１ｂは、半導体プレーナプロセス及びマイクロマシン技術による光偏向器Ａ３の製造工程に形成工程を組み込んで容易に形成することができる。

【０１０１】

本実施形態の光偏向器Ａ３の作動では、第１実施形態と同様に、圧電アクチュエータ８

ａ～８ｄの駆動によりミラー部１が回転する通常状態では、ミラー部１は衝撃緩和部６１ａ，６１ｂに接触することなくトーションバー２ａ，２ｂを中心軸として回転する。これに対して、外部から付加された衝撃や振動によりミラー部１が振動する異常状態で、ミラー部１がトーションバー２ａ，２ｂを中心軸とした回転以外の並進運動（図４に破線矢印で示す）を生じても、ミラー部１はまず衝撃緩和部６１ａ，６１ｂに接触することとなり、ミラー部１が支持部１０に直接接触することはない。そして、衝撃緩和部６１ａ，６１ｂに接触すると衝撃が緩和されるので、ミラー部１、トーションバー２ａ，２ｂ、及び衝撃緩和部６１ａ，６１ｂが破損することが回避される。

【０１０２】

よって、本実施形態の光偏向器Ａ３によれば、第１実施懈怠と同様に、衝撃緩和部６１ａ，６１ｂを備えることで、デバイスサイズの増大や偏向・走査性能の低下を防止しつつ、振動や衝撃を緩和して破損を効果的に回避できる。

［実施例３］

実施例３として、本実施形態の光偏向器Ａ３の駆動特性の試験について説明する。本実施例では、衝撃緩和部６１ａ，６１ｂ以外は実施例１と同様の光偏向器を作製した。衝撃緩和部６１ａ，６１ｂの材料としてはエポキシ樹脂系の圧膜レジストＳＵ－８（化薬マイクロケム（株）製）を使用した。また、キュア温度は250［℃］とした。この光偏向器について、実施例１と同様に駆動信号を印加して、実施例１と同様に光偏向器の最大偏向角として±10°が得られた。

【０１０３】

この光偏向器に対して、実施例１と同様に、外部から衝撃・振動を付加した。この結果、外部から加速度1200［G］の衝撃を付加しても破損することはなく、光偏向器の機械的な特性（偏向・走査特性）を維持することができた。また、外部から加速度300［G］の振動を付加しても破損することはなく、光偏向器の機械的な特性（偏向・走査特性）を維持することができた。ただし、この光偏向器で、加速度1200［G］以上の衝撃、加速度300［G］以上の振動を付加した場合、ミラー部１と衝撃緩和部６１ａ，６１ｂとのスティクションを生じて、光偏向器が動作不良となる場合があった。

［第４実施形態］

本発明の第４実施形態について、図５を参照して説明する。図５は、本発明の第４実施形態における光偏向器Ａ４の構成を示す斜視図である。本実施形態の光偏向器Ａ４は、ミラー部に突起部を設けたことのみが第３実施形態と相違する。第３実施形態と同じ構成は、同じ符号を付して説明を省略する。

【０１０４】

本実施形態のミラー部１は、衝撃緩和部６１ａ，６１ｂに対向する１対の対辺に、少なくとも１つ以上（本実施形態では各辺に３つずつ、計６つ）の突起部６２ａ～６２ｆを備えている。突起部６２ａ～６２ｆは、ミラー部支持体１ａと共に、半導体基板を形状加工して一体的に形成される。

【０１０５】

突起部６２ａ～６２ｆは、ミラー部１の回転駆動を妨げない所定サイズに形成される。すなわち、圧電アクチュエータ８ａ～８ｄの駆動によりミラー部１が回転する通常状態では、ミラー部１及び突起部６２ａ～６２ｆは、衝撃緩和部６１ａ，６１ｂに接触することなくトーションバー２ａ，２ｂを中心軸として回転する。この回転駆動による偏向・走査特性（最大偏向角等）については、突起部６２ａ～６２ｆによる変化は十分に小さい。

【０１０６】

また、外部から付加された衝撃や振動によりミラー部１が振動する異常状態で、ミラー部１が異常振動する場合には、ミラー部１は衝撃緩和部６１ａ，６１ｂに接触することで、衝撃が緩和されると共に、ミラー部１、トーションバー２ａ，２ｂ、及び衝撃緩和部６１ａ，６１ｂが破損することが回避される。このとき、ミラー部１の衝撃緩和部６１ａ，６１ｂに対向する部分に突起部６２ａ～６２ｆを設けることで、ミラー部１と高分子材料から形成される衝撃緩和部６１ａ，６１ｂが密着してスティクションを生じることを防止

することができる。他の構成は、第３実施形態と同じである。

【０１０７】

よって、本実施形態によれば、第３実施形態と同様に、衝撃緩和部６１ａ，６１ｂを備えることで、デバイスサイズの増大や偏向・走査性能の低下を防止しつつ、振動や衝撃を緩和して破損を効果的に回避できる。さらに、本実施形態によれば、突起部６２ａ～６２ｆを設けることで、ミラー部１と衝撃緩和部６１ａとのスティクションによる偏向・走査特性の低下を防止することができる。

［実施例４］

実施例４として、本実施形態の光偏向器Ａ４の駆動特性の試験について説明する。本実施例では、ミラー部１に突起部６２ａ～６２ｆを設けた以外は実施例３と同様の光偏向器を作製した。この光偏向器について、実施例１と同様に駆動信号を印加して、実施例１と同様に光偏向器の最大偏向角として±10°が得られた。

【０１０８】

この光偏向器に対して、実施例１と同様に、外部から衝撃・振動を付加した。この結果、外部から加速度1400［G］の衝撃を付加しても破損することはなく、光偏向器の機械的な特性（偏向・走査特性）を維持することができた。また、外部から加速度400［G］の振動を付加しても破損することはなく、光偏向器の機械的な特性（偏向・走査特性）を維持することができた。このように、実施例４では、ミラー部１と衝撃緩和部６１ａ，６１ｂとのスティクションが防止され、実施例３よりも大きい耐衝撃性・耐振動性が得られた。

【０１０９】

なお、第１～第４実施形態の光偏向器は、例えば、投射型ディスプレイ等の画像表示装置、電子写真方式の複写機やレーザプリンタ等の画像形成用の光走査装置、或いはレーザレーダ、バーコードリーダ、エリアセンサ等のセンシング用の光走査装置に用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【０１１０】

【図１】本発明の第１実施形態における光偏向器の構成を示す斜視図。

【図２】図１に示した光偏向器の製造工程を示す説明図。

【図３】本発明の第２実施形態における光偏向器の構成を示す斜視図。

【図４】本発明の第３実施形態における光偏向器の構成を示す斜視図。

【図５】本発明の第４実施形態における光偏向器の構成を示す斜視図。

【符号の説明】

【０１１１】

１…ミラー部、１ａ…ミラー部支持体、１ｂ…ミラー面反射膜、２ａ，２ｂ…トーションバー、４ａ～４ｄ…支持体、５ａ～５ｄ…下部電極、６ａ～６ｄ…圧電体、７ａ～７ｄ…上部電極、８ａ～８ｄ…圧電アクチュエータ、９ａ，９ｂ…衝撃緩和部、１０…支持部、１１ａ～１１ｄ…上部電極パッド、１２ａ～１２ｄ…下部電極パッド、

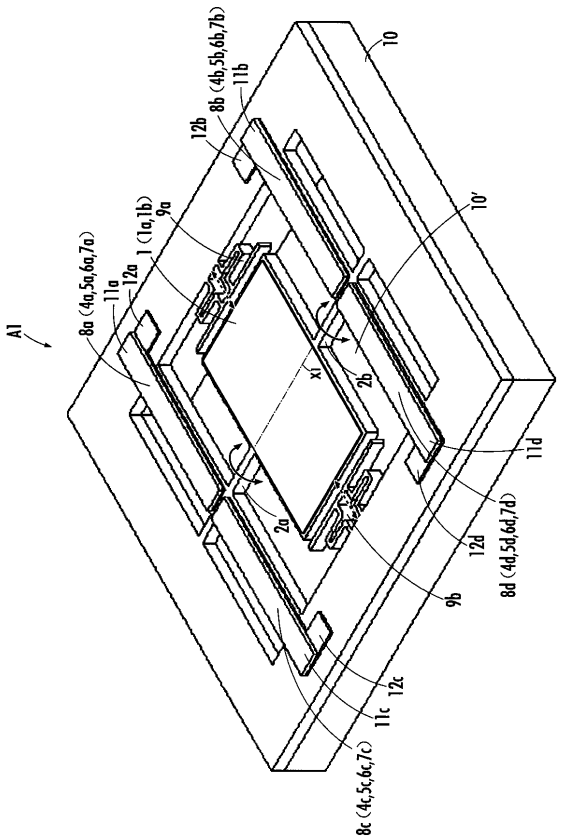
３１…ＳＯＩ基板、３１ａ…活性層、３１ｂ…中間酸化膜層、３１ｃ…ハンドリング層、３２ａ，３２ｂ…熱酸化シリコン膜、３３…下部電極層、３４…圧電体層、３５…上部電極層、３７…Ａｌ薄膜、

４１…ミラー部、４１ａ…ミラー部支持体、４１ｂ…ミラー面反射膜、４２ａ，４２ｂ…第１のトーションバー、４４ａ～４４ｈ…支持体、４５ａ～４５ｈ…下部電極、４６ａ～４６ｈ…圧電体、４７ａ～４７ｈ…上部電極、４８ａ～４８ｄ…第１の圧電アクチュエータ、４９…可動枠、５０ａ，５０ｂ…第２のトーションバー、５１ａ～５１ｄ…第２の圧電アクチュエータ、５２…支持部、５３ａ～５３ｈ…上部電極パッド、５４ａ～５４ｈ…下部電極パッド、

６１ａ，６１ｂ…衝撃緩和部、６２ａ～６２ｆ…突起部。

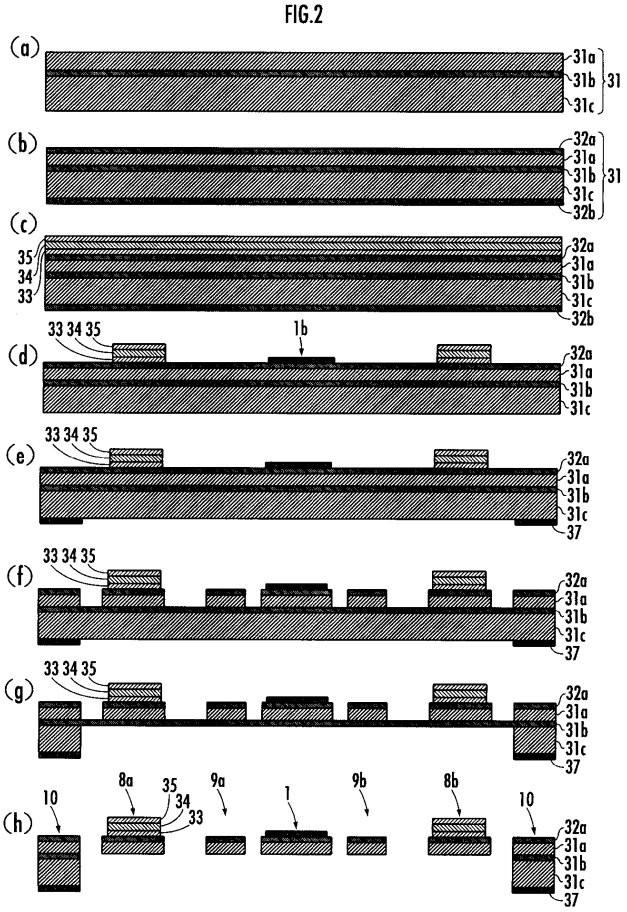
【図１】

FIG.1



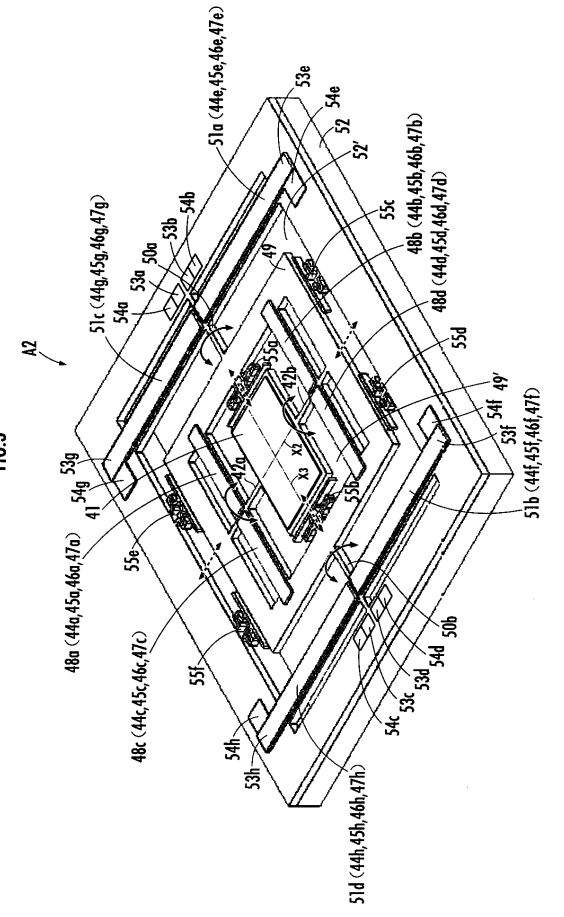
【図２】

FIG.2



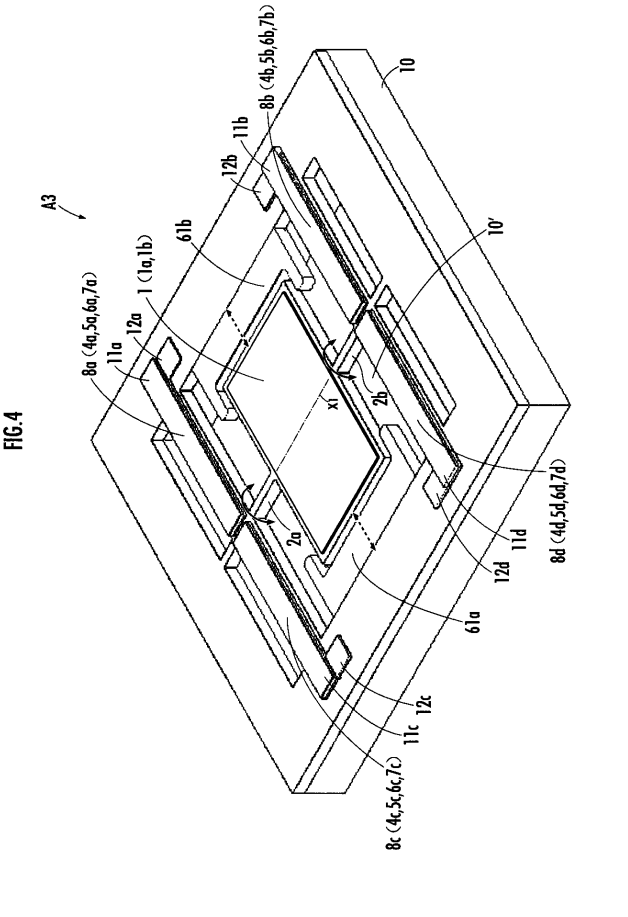
【図３】

FIG.3



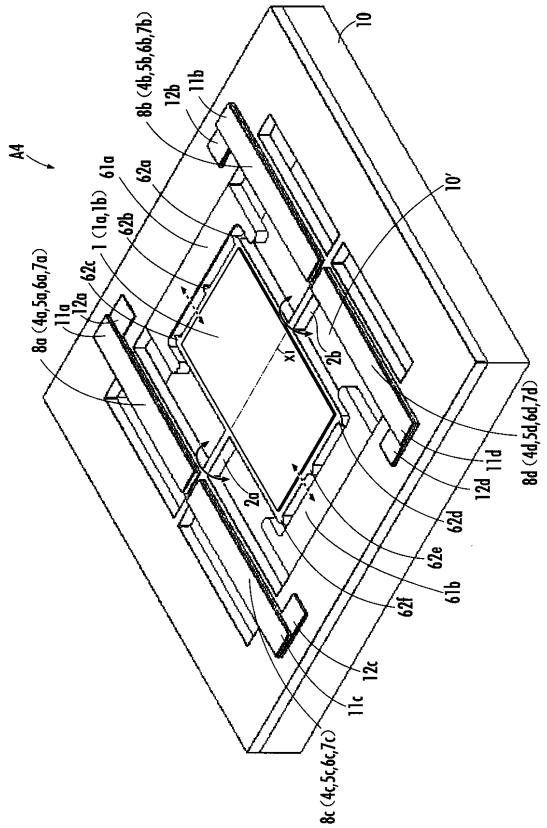
【図４】

FIG.4



【図５】

FIG.5


A4
8a (4a,5a,6a,7a)
11a
12a
62c
1 (1a,1b)
62b
61a
62a
8b (4b,5b,6b,7b)
12b
11b
10
10'
2b
X1
2a
8d (4d,5d,6d,7d)
11d
12d
62d
62e
61b
62f
12c
11c
8c (4c,5c,6c,7c)

フロントページの続き

(72)発明者　谷　雅直
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
(72)発明者　安田　喜昭
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
(72)発明者　赤松　雅洋
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
(72)発明者　四十物　孝憲
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 AB06
2H141 MA12 MB24 MC09 MD12 MD13 MD20 MF03 MF24 MF28 MZ06
MZ18 MZ20 MZ26
3C081 AA00 AA02 BA28 BA29 BA44 BA47 BA55 CA02 CA14 CA15
CA27 CA28 DA04 EA08