

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4138736号
(P4138736)

(45) 発行日 平成20年8月27日(2008.8.27)

(24) 登録日 平成20年6月13日(2008.6.13)

(51) Int.Cl.		F I	
GO2B 26/08	(2006.01)	GO2B	26/08 E
B81B 3/00	(2006.01)	B81B	3/00
GO1P 9/04	(2006.01)	GO1P	9/04

請求項の数 9 (全 34 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2004-349793 (P2004-349793)</p> <p>(22) 出願日 平成16年12月2日(2004.12.2)</p> <p>(65) 公開番号 特開2006-162663 (P2006-162663A)</p> <p>(43) 公開日 平成18年6月22日(2006.6.22)</p> <p>審査請求日 平成18年3月2日(2006.3.2)</p> <p>(出願人による申告)平成16年度、独立行政法人情報通信研究機構、「経済的な光ネットワークを実現する高機能集積化光スイッチングノードの研究開発」委託研究、産業再生法第30条の適用を受ける特許出願</p> <p>早期審査対象出願</p>	<p>(73) 特許権者 000005223 富士通株式会社 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号</p> <p>(74) 復代理人 100117178 弁理士 古澤 寛</p> <p>(74) 代理人 100086380 弁理士 吉田 稔</p> <p>(74) 代理人 100103078 弁理士 田中 達也</p> <p>(72) 発明者 ▲高▼馬 悟覚 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内</p>
---	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マイクロ揺動素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

フレームと、

可動機能部、当該可動機能部に連結するアーム部、および、当該アーム部から各々が延出し且つ当該アーム部の長手方向に互いに離隔する複数の第1電極歯からなる第1櫛歯電極、を有する揺動部と、

前記フレームおよび前記揺動部を連結して当該揺動部の回転揺動動作の揺動軸心を規定する捩れ連結部と、

前記アーム部の長手方向に互いに離隔して前記フレームに連結する複数の第2電極歯からなる、前記第1櫛歯電極と協働して前記揺動動作の駆動力を発生させるための第2櫛歯電極と、を備え、

前記第1および前記第2櫛歯電極は、前記揺動部の前記揺動動作の方向に位置ずれている、マイクロ揺動素子。

【請求項2】

前記複数の第1電極歯の延び方向は、前記揺動軸心に対して平行である、請求項1に記載のマイクロ揺動素子。

【請求項3】

前記複数の第1電極歯の延び方向は、前記アーム部の長手方向および前記揺動軸心の方向とは交差する方向である、請求項1に記載のマイクロ揺動素子。

【請求項4】

前記第 1 櫛歯電極は 3 本以上の電極歯からなり、隣り合う 2 つの第 1 電極歯間の距離は、前記揺動軸心から遠いほど長い、請求項 1 から 3 のいずれか一つに記載のマイクロ揺動素子。

【請求項 5】

前記第 2 櫛歯電極は 3 本以上の電極歯からなり、隣り合う 2 つの第 2 電極歯間の距離は、前記揺動軸心から遠いほど長い、請求項 1 から 4 のいずれか一つに記載のマイクロ揺動素子。

【請求項 6】

前記アーム部の延び方向において隣り合う 2 つの第 2 電極歯の間に位置する第 1 電極歯は、当該 2 つの第 2 電極歯間の中心位置から、前記揺動軸心に近づく方に偏位している、請求項 1 から 5 のいずれか一つに記載のマイクロ揺動素子。

10

【請求項 7】

前記アーム部の延び方向において隣り合う 2 つの第 2 電極歯の間に位置する第 1 電極歯は、当該 2 つの第 2 電極歯間の中心位置から、前記揺動軸心から遠ざかる方に偏位している、請求項 1 から 5 のいずれか一つに記載のマイクロ揺動素子。

【請求項 8】

前記第 2 櫛歯電極は、前記アーム部を挟んで対向して設けられ、

前記対向して設けられた第 2 櫛歯電極は電氣的に分離されている、請求項 1 から 7 のいずれか一つに記載のマイクロ揺動素子。

【請求項 9】

20

前記可動機能部から延出する追加アーム部と、

前記追加アーム部の延び方向と交差する方向に当該追加アーム部から各々が延出し且つ当該追加アーム部の延び方向に互いに離隔する複数の第 3 電極歯、からなる第 3 櫛歯電極と、

前記追加アーム部の延び方向と交差する方向に前記フレームから各々が延出し且つ前記追加アーム部の延び方向に互いに離隔する複数の第 4 電極歯からなる、前記第 3 櫛歯電極と協働して前記揺動動作の駆動力を発生させるための第 4 櫛歯電極と、を更に備え、

前記第 3 および前記第 4 櫛歯電極は、前記揺動部の前記揺動動作の方向に位置ずれしており、

前記第 1 および前記第 3 櫛歯電極は電氣的に分離されており、

30

前記アーム部および前記追加アーム部は、直角をなすようには延びていない、請求項 1 から 7 のいずれか一つに記載のマイクロ揺動素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、回転変位可能な揺動部を有する例えばマイクロミラー素子、加速度センサ、角速度センサ、振動素子などのマイクロ揺動素子に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、様々な技術分野において、マイクロマシニング技術により形成される微小構造を有する素子の応用化が図られている。例えば光通信技術の分野においては、光反射機能を有する微小なマイクロミラー素子が注目されている。

40

【0003】

光通信においては、光ファイバを媒体として光信号が伝送され、一般に、光信号の伝送経路を或るファイバから他のファイバへと切り換えるべく光スイッチング装置が利用される。良好な光通信を達成するうえで光スイッチング装置に求められる特性としては、切り換え動作における、大容量性、高速性、高信頼性などが挙げられる。これらの観点より、光スイッチング装置としては、マイクロマシニング技術により作製されるマイクロミラー素子を組み込んだものに対する期待が高まっている。マイクロミラー素子は、光スイッチング装置における入力側の光伝送路と出力側の光伝送路との間で、光信号を電気信号に変

50

換せずに光信号のままにスイッチング処理を行うことができ、上掲の特性を得るうえで好適だからである。

【0004】

マイクロミラー素子は、光を反射するためのミラー面を備え、当該ミラー面の揺動により光の反射方向を変化させることができる。ミラー面を揺動するうえで静電力を利用する静電駆動型のマイクロミラー素子が、多くの装置で採用されている。静電駆動型マイクロミラー素子は、いわゆる表面マイクロマシニング技術により製造されるマイクロミラー素子と、いわゆるバルクマイクロマシニング技術により製造されるマイクロミラー素子と、大きく2つに類別することができる。

【0005】

表面マイクロマシニング技術では、基板上において、各構成部位に対応する材料薄膜を所望のパターンに加工し、このようなパターンを順次積層することにより、支持固定部、揺動部、ミラー面、および電極部など、素子を構成する各部位や、後に除去される犠牲層を形成する。一方、バルクマイクロマシニング技術では、材料基板自体をエッチングすることにより固定支持部や揺動部などを所望の形状に成形し、ミラー面や電極を薄膜形成する。バルクマイクロマシニング技術については、例えば下記の特許文献1～4に記載されている。

【0006】

【特許文献1】特開平9-146032号公報

【特許文献2】特開平9-146034号公報

【特許文献3】特開平10-190007号公報

【特許文献4】特開平2000-31502号公報

【0007】

マイクロミラー素子に要求される技術的事項の一つとして、光反射を担うミラー面の平面度が高いことが挙げられる。しかしながら、表面マイクロマシニング技術によると、最終的に形成されるミラー面が薄いためにミラー面が湾曲しやすく、従って、広面積のミラー面において高い平面度を達成するのが困難である。これに対し、バルクマイクロマシニング技術によると、相対的に分厚い材料基板自体をエッチング技術により削り込んでミラー支持部を構成して当該ミラー支持部上にミラー面を設けるため、広面積のミラー面であっても、その剛性を確保することができる。その結果、十分に高い光学的平面度を有するミラー面を形成することが可能である。

【0008】

図32は、バルクマイクロマシニング技術によって作製される従来のマイクロミラー素子X6の一部省略斜視図である。マイクロミラー素子X6は、上面にミラー面64が設けられたミラー支持部61と、フレーム62(一部省略)と、これらを連結する一対のトーションバー63とを有する。ミラー支持部61には、その一対の端部に櫛歯電極61a, 61bが形成されている。フレーム62には、櫛歯電極61a, 61bに対応して、内方に延びる一対の櫛歯電極62a, 62bが形成されている。一対のトーションバー63は、フレーム62に対するミラー支持部61の揺動動作の揺動軸心A6を規定している。

【0009】

このような構成のマイクロミラー素子X6においては、駆動力(静電引力)を発生させるために近接して設けられた一組の櫛歯電極、例えば櫛歯電極61a, 62aは、電圧非印加時には、図33(a)に示すように、2段に分れた配向をとる。一方、所定電圧印加時には、図33(b)に示すように、櫛歯電極61aが櫛歯電極62aに引き込まれ、これによりミラー支持部61が回転変位する。具体的には、櫛歯電極61aを正に帯電させ且つ櫛歯電極62aを負に帯電させると、櫛歯電極61aが櫛歯電極62aに引き込まれ、ミラー支持部61が、一対のトーションバー63を振りながら揺動軸心A6まわりに回転変位する。このようなミラー支持部61の揺動駆動により、ミラー支持部61上に設けられたミラー面64により反射される光の反射方向が切り換えられる。

【発明の開示】

10

20

30

40

50

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

マイクロミラー素子X6において揺動軸心A6方向の短縮化により小型化を図るためには、實際上、揺動軸心A6方向において素子寸法の相当程度を占めるミラー支持部61の長さL61を、小さくする必要がある。しかしながら、マイクロミラー素子X6においては、ミラー支持部61の揺動動作のための駆動力を確保しつつ、揺動軸心A6方向の短縮化による小型化を図ることは、困難である。

【0011】

マイクロミラー素子X6では、櫛歯電極61a, 61bの各々の複数の電極歯が、揺動軸心A6方向に互いに離隔してミラー支持部61に支持されているので、櫛歯電極61a, 61bの電極歯数は、ミラー支持部61の長さL61による制約を受ける。そのため、一組の櫛歯電極61a, 62aを構成する電極歯の数、および、一組の櫛歯電極61b, 62bを構成する電極歯の数は、ミラー支持部61の長さL61による制約を受ける。また、ミラー支持部61の揺動動作のための駆動力、即ち、櫛歯電極61a, 62a間および櫛歯電極61b, 62b間に発生し得る静電引力を、確保するためには、一組の櫛歯電極61a, 62aにおいて電極歯どうしが対向可能な面積、および、一組の櫛歯電極61b, 62bにおいて電極歯どうしが対向可能な面積を、確保しなければならない。したがって、ミラー支持部61の長さL61を小さくしたうえで当該対向可能面積を確保するためには、各電極歯の幅d1を短縮し且つ電極歯間ギャップd2を短縮することにより、各櫛歯電極61a, 61b, 62a, 62bの電極歯数を一定以上に設定する手法や、ミラー支持部61およびフレーム62の間の距離を長くし且つ各電極歯の長さd3を増大する手法が、考えられる。

【0012】

しかしながら、電極歯における幅d1の短縮および長さd3の増大は、電極歯の幅方向の機械的強度を低下させ、図33(b)を参照して上述したような電圧印加時において電極歯がその幅方向に変形して隣りの電極歯に張り付くという不具合を招来する。また、電極歯間ギャップd2の短縮は、マイクロミラー素子X6の製造において、プロセスの難化や、歩留まりの低下などを招来する。

【0013】

このように、マイクロミラー素子X6は、ミラー支持部61の揺動動作のための駆動力を確保しつつ揺動軸心A6方向の短縮化による小型化を図るのに、困難性を有する。マイクロミラー素子X6のようなマイクロ揺動素子では、一般に、揺動動作する部位について、回転変位が大きく且つ高速の揺動動作を低い駆動電圧にて実現することができる特性が要求されるところ、そのような特性を得るうえでは、揺動部の揺動動作のための駆動力を一定以上に確保する必要がある。

【0014】

本発明は、このような事情のもとで考え出されたものであり、揺動部の揺動動作のための駆動力を確保しつつ小型化を図るのに適したマイクロ揺動素子を提供することを、目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0015】

本発明により提供されるマイクロ揺動素子は、フレームと、可動機能部、当該可動機能部から延出するアーム部、および、当該アーム部の伸び方向と交差する方向に当該アーム部から各々が延出し且つ伸び方向に互いに離隔する複数の第1電極歯からなる第1櫛歯電極、を有する揺動部と、フレームおよび揺動部を連結し、且つ、当該揺動部の揺動動作の、アーム部の伸び方向と交差する揺動軸心を規定する、捩れ連結部と、アーム部の伸び方向と交差する方向にフレームから各々が延出し且つアーム部の伸び方向に互いに離隔する複数の第2電極歯からなる、第1櫛歯電極と協働して揺動動作の駆動力を発生させるための第2櫛歯電極と、を備える。本素子における第1および第2櫛歯電極は、揺動部の揺動動作のための駆動機構としての、いわゆる櫛歯電極型アクチュエータを構成する。また、

本素子は、例えばマイクロミラー素子に適用することができる。

【0016】

本素子では、第1櫛歯電極の複数の第1電極歯は、可動機能部から延出するアーム部の延び方向に互いに離隔して当該アーム部に支持されており、且つ、第2櫛歯電極の複数の第2電極歯は、可動機能部から延出するアーム部の延び方向に互いに離隔してフレームに支持されている。第1および第2電極歯は、可動機能部に直接的には支持されていない。そのため、一組の櫛歯電極（第1櫛歯電極、第2櫛歯電極）を構成する電極歯（第1電極歯、第2電極歯）の数は、アーム部の延び方向に対して例えば直角に交差する揺動軸心の延び方向における可動機能部の長さによる制約を受けない。したがって、本素子では、揺動軸心方向における可動機能部の設計寸法に関わらず、所望数の第1および第2電極歯を設けることにより、第1および第2櫛歯電極において電極歯どうしが対向可能な面積を確保することができる。本素子では、第1および第2櫛歯電極において電極歯どうしが対向可能な面積を確保するうえで、第1および第2電極歯の機械的強度に支障を来すほどに第1および第2電極歯について幅を短縮したり延出長さを増大する必要はなく、且つ、素子の製造過程に不具合を生じるほどに電極歯間ギャップを短縮する必要はない。このように、本素子は、揺動軸心方向における可動機能部の設計寸法に関わらず所望数の第1および第2電極歯を設けることによって揺動部の揺動動作のための駆動力を確保しつつ、揺動軸心方向における可動機能部したがって素子全体の設計寸法を短く設定することによって小型化を図るのに、適しているのである。

10

【0017】

本発明の好ましい実施の形態では、複数の第1電極歯の延び方向は、揺動軸心に対して平行である。この場合、第2電極歯の延び方向は、第1電極歯の延び方向に対して平行であるのが好ましい。第1および第2電極歯の延び方向が揺動軸心に対して平行である構成は、当該揺動軸心まわりの揺動動作のための駆動力を効率よく発生するうえで好適である。

20

【0018】

本発明の他の好ましい実施の形態では、複数の第1電極歯の延び方向と揺動軸心の延び方向とは交差する。この場合、第2電極歯の延び方向は、第1電極歯の延び方向に対して平行であるのが好ましい。第1および第2電極歯の延び方向が、揺動軸心に対して非平行であっても、揺動軸心まわりの揺動動作のための駆動力を第1および第2櫛歯電極により発生可能な場合がある。

30

【0019】

好ましくは、第1櫛歯電極は3本以上の電極歯からなり、隣り合う2つの第1電極歯間の距離は、揺動軸心から遠いほど長い。また、好ましくは、第2櫛歯電極は3本以上の電極歯からなり、隣り合う2つの第2電極歯間の距離は、揺動軸心から遠いほど長い。第1電極歯は、揺動軸心から遠いほど、揺動部の揺動動作時における電極歯離隔方向（アーム部の延び方向）の変位量が大きいところ、これらの構成は、揺動部の揺動動作時において第1電極歯が第2電極歯に当接してしまうのを回避するうえで好適である。

【0020】

好ましくは、アーム部の延び方向において隣り合う2つの第2電極歯の間に位置する第1電極歯は、当該2つの第2電極歯間の中心位置から、揺動軸心に近づく方に偏位している。或は、アーム部の延び方向において隣り合う2つの第2電極歯の間に位置する第1電極歯は、当該2つの第2電極歯間の中心位置から、揺動軸心から遠ざかる方に偏位している。いわゆるpull-in現象を抑制するうえでは、これらの構成を採用するのが好ましい場合がある。

40

【0021】

好ましい実施の形態においては、本マイクロ揺動素子は、アーム部の延び方向と交差する方向に当該アーム部から各々が延出し且つ当該アーム部の延び方向に互いに離隔する複数の第3電極歯、からなる第3櫛歯電極と、アーム部の延び方向と交差する方向にフレームから各々が延出し且つアーム部の延び方向に互いに離隔する複数の第4電極歯からなる

50

、第3櫛歯電極と協働して揺動動作の駆動力を発生させるための第4櫛歯電極と、を更に備え、第2および第4櫛歯電極は電氣的に分離されている。この場合、好ましくは、第1および第3櫛歯電極は電氣的に接続されている。本構成によると、第2櫛歯電極に付与する電位と第4櫛歯電極に付与する電位とを異ならしめることによって、第1および第2櫛歯電極間に生ずる静電力と第3および第4櫛歯電極間に生ずる静電力とを異ならしめることができる。このような構成は、揺動軸心と交差する所定の軸心まわりの可動機能部の回転変位を制御するうえで、即ち、当該軸心まわりの可動機能部の姿勢を調整するうえで、好適である。

【0022】

他の好ましい実施の形態においては、本マイクロ揺動素子は、可動機能部から延出する追加アーム部と、追加アーム部の伸び方向と交差する方向に当該追加アーム部から各々が延出し且つ当該追加アーム部の伸び方向に互いに離隔する複数の第3電極歯、からなる第3櫛歯電極と、追加アーム部の伸び方向と交差する方向にフレームから各々が延出し且つ追加アーム部の伸び方向に互いに離隔する複数の第4電極歯からなる、第3櫛歯電極と協働して揺動動作の駆動力を発生させるための第4櫛歯電極と、を更に備え、第1および第3櫛歯電極は電氣的に分離されている。この場合、好ましくは、第2および第4櫛歯電極は電氣的に接続されている。本構成によると、第1櫛歯電極に付与する電位と第3櫛歯電極に付与する電位とを異ならしめることによって、第1および第2櫛歯電極間に生ずる静電力と第3および第4櫛歯電極間に生ずる静電力とを異ならしめることができる。このよ

10

20

【0023】

好ましくは、本マイクロ揺動素子は、追加フレームと、フレームおよび追加フレームを連結し、且つ、当該追加フレームの揺動動作の、揺動軸心の伸び方向と交差する追加揺動軸心を規定する、追加擦れ連結部と、追加フレームの揺動動作の駆動力を発生させるための駆動機構と、を更に備える。この場合、揺動軸心の伸び方向と追加揺動軸心の伸び方向とは直交するのが好ましい。本素子は、このように2軸型の揺動素子として構成してもよい。

【発明を実施するための最良の形態】

【0024】

図1～図4は、本発明の第1の実施形態に係るマイクロミラー素子X1を表す。図1は、マイクロミラー素子X1の平面図であり、図2は、マイクロミラー素子X1の一部省略平面図であり、図3および図4は、各々、図1の線III-IIIおよび線IV-IVに沿った断面図である。

30

【0025】

マイクロミラー素子X1は、揺動部10と、フレーム21と、擦れ連結部22と、櫛歯電極23A、23Bとを備え、MEMS技術などのバルクマイクロマシニング技術により、いわゆるSOI(silicon on insulator)基板である材料基板に対して加工を施すことによって製造されたものである。当該材料基板は、第1および第2シリコン層ならびに当該シリコン層間の絶縁層よりなる積層構造を有し、各シリコン層は、不純物のドーブにより所定の導電性が付与されている。マイクロミラー素子X1における上述の各部位は主に第1シリコン層および/または第2シリコン層に由来して形成されるところ、図の明確化の観点より、図1においては、第1シリコン層に由来して絶縁層より紙面手前方向に突き出る部位について、斜線ハッチングを付して表す。また、図2は、マイクロミラー素子X1において第2シリコン層に由来する構造を表す。

40

【0026】

揺動部10は、ミラー支持部11と、アーム部12と、櫛歯電極13A、13Bとを有する。

【0027】

ミラー支持部11は、第1シリコン層に由来する部位であり、その表面には、光反射機

50

能を有するミラー面 1 1 a が設けられている。ミラー面 1 1 a は、例えば、第 1 シリコン層上に成膜された Cr 層およびその上の Au 層よりなる積層構造を有する。このようなミラー支持部 1 1 およびミラー面 1 1 a は、本発明における可動機能部を構成する。また、ミラー支持部 1 1 ないし可動機能部について図 1 に示す長さ L 1 は、例えば 2 0 ~ 3 0 0 μm である。

【 0 0 2 8 】

アーム部 1 2 は、主に第 1 シリコン層に由来する部位であり、ミラー支持部 1 1 から延出する。アーム部 1 2 について図 1 に示す長さ L 2 は、例えば 1 0 ~ 1 0 0 μm である。

【 0 0 2 9 】

櫛歯電極 1 3 A は、複数の電極歯 1 3 a からなる。複数の電極歯 1 3 a は、アーム部 1 2 から各々が延出し、且つ、アーム部 1 2 の延び方向に互いに離隔する。櫛歯電極 1 3 B は、複数の電極歯 1 3 b からなる。複数の電極歯 1 3 b は、電極歯 1 3 a とは反対の側にアーム部 1 2 から各々が延出し、且つ、アーム部 1 2 の延び方向に互いに離隔する。電極歯 1 3 a , 1 3 b は、主に第 1 シリコン層に由来する部位である。本実施形態では、図 1 に示すように、電極歯 1 3 a , 1 3 b の延び方向とアーム部 1 2 の延び方向とは直交し、電極歯 1 3 a は、図 3 に示すように素子厚さ方向 H に起立しており、電極歯 1 3 b も素子厚さ方向 H に起立している。また、本実施形態では、図 1 に示すように、電極歯 1 3 a , 1 3 b の幅は一樣である。このような櫛歯電極 1 3 A ないし電極歯 1 3 a と櫛歯電極 1 3 B ないし電極歯 1 3 b とは、アーム部 1 2 を介して電氣的に接続されている。

【 0 0 3 0 】

フレーム 2 1 は、主に第 1 および第 2 シリコン層に由来する部位であり、揺動部 1 0 を囲む形状を有する。フレーム 2 1 において第 2 シリコン層に由来する部位は図 2 に示す。また、フレーム 2 1 は、所定の機械的強度を有してフレーム 2 1 内の構造を支持する。フレーム 2 1 について図 1 に示す長さ L 3 は、例えば 5 ~ 5 0 μm である。

【 0 0 3 1 】

擦れ連結部 2 2 は、一对のトーシヨンバー 2 2 a からなる。各トーシヨンバー 2 2 a は、主に第 1 シリコン層に由来する部位であり、揺動部 1 0 のアーム部 1 2 とフレーム 2 1 において第 1 シリコン層に由来する部位とに接続してこれらを連結する。トーシヨンバー 2 2 a により、フレーム 2 1 の第 1 シリコン層由来部位とアーム部 1 2 とは電氣的に接続される。また、トーシヨンバー 2 2 a は、素子厚さ方向 H において、図 3 に示すようにアーム部 1 2 より薄肉であり、フレーム 2 1 の第 1 シリコン層由来部位よりも薄肉である。このような擦れ連結部 2 2 ないし一对のトーシヨンバー 2 2 a は、揺動部 1 0 ないしミラー支持部 1 1 の揺動動作の揺動軸心 A 1 を規定する。揺動軸心 A 1 は、図 1 に示す矢印 D 方向と、即ちアーム部 1 2 の延び方向と、直交する。したがって、アーム部 1 2 の延び方向に直交する方向にアーム部 1 2 から延出する上述の電極歯 1 3 a , 1 3 b の延び方向は、揺動軸心 A 1 に対して平行である。このような揺動軸心 A 1 は、好ましくは、揺動部 1 0 の重心またはその近傍を通る。

【 0 0 3 2 】

本実施形態では、各トーシヨンバー 2 2 a に代えて、第 1 シリコン層において成形されて並列する一組のトーシヨンバーを設けてもよい。この場合、当該一組のトーシヨンバーの間隔は、フレーム 2 1 からアーム部 1 2 に近付くにつれて漸増するのが好ましい。マイクロミラー素子 X 1 では、一对のトーシヨンバー 2 2 a に代えて、このように並列する 2 つのトーシヨンバーを 2 組設けることにより、揺動軸心 A 1 を規定してもよい。後述のマイクロミラー素子においても同様である。

【 0 0 3 3 】

櫛歯電極 2 3 A は、櫛歯電極 1 3 A と協働して静電引力を発生するための部位であり、複数の電極歯 2 3 a からなる。複数の電極歯 2 3 a は、フレーム 2 1 から各々が延出し、且つ、アーム部 1 2 の延び方向に互いに離隔する。また、櫛歯電極 2 3 A は、主に第 2 シリコン層に由来する部位であり、図 2 に示すように、フレーム 2 1 の第 2 シリコン層由来部位に固定されている。本実施形態では、図 1 に示すように、電極歯 2 3 a の延び方向と

10

20

30

40

50

アーム部 1 2 の延び方向とは直交し、電極歯 2 3 a の延び方向は揺動軸心 A 1 に対して平行である。また、本実施形態では、図 1 に示すように電極歯 2 3 a の幅は一様であり、図 3 に示すように電極歯 2 3 a は素子厚さ方向 H に起立している。

【 0 0 3 4 】

このような櫛歯電極 2 3 A は、櫛歯電極 1 3 A と共に駆動機構を構成する。櫛歯電極 1 3 A , 2 3 A は、揺動部 1 0 の例えば非動作時には、図 3 および図 4 に示すように、互いに異なる高さに位置する。また、櫛歯電極 1 3 A , 2 3 A は、揺動部 1 0 の揺動動作時において互いに当接しないように、それらの電極歯 1 3 a , 2 3 a が位置ずれした態様で配されている。本実施形態では、隣り合う 2 つの電極歯 1 3 a 間の距離は全て同じであり、隣り合う 2 つの電極歯 2 3 a 間の距離は全て同じであり、アーム部 1 2 の延び方向において 2 つの電極歯 2 3 a の間に位置する電極歯 1 3 a は、2 つの電極歯 2 3 a 間の中心に位置する。

10

【 0 0 3 5 】

櫛歯電極 2 3 B は、櫛歯電極 1 3 B と協働して静電引力を発生するための部位であり、複数の電極歯 2 3 b からなる。複数の電極歯 2 3 b は、フレーム 2 1 から各々が延出し、且つ、アーム部 1 2 の延び方向に互いに離隔する。また、櫛歯電極 2 3 B は、主に第 2 シリコン層に由来する部位であり、図 2 に示すように、フレーム 2 1 の第 2 シリコン層由来部位に固定されている。櫛歯電極 2 3 B ないし電極歯 2 3 b は、フレーム 2 1 の第 2 シリコン層由来部位を介して櫛歯電極 2 3 A ないし電極歯 2 3 a と電氣的に接続されている。本実施形態では、図 1 に示すように、電極歯 2 3 b の延び方向とアーム部 1 2 の延び方向とは直交し、電極歯 2 3 b の延び方向は揺動軸心 A 1 に対して平行である。また、本実施形態では、図 1 に示すように電極歯 2 3 b の幅は一様であり、電極歯 2 3 a と同様に電極歯 2 3 b も素子厚さ方向 H に起立している。

20

【 0 0 3 6 】

このような櫛歯電極 2 3 B は、櫛歯電極 1 3 B と共に駆動機構を構成する。櫛歯電極 1 3 B , 2 3 B は、揺動部 1 0 の例えば非動作時には、図 4 に示すように、互いに異なる高さに位置する。また、櫛歯電極 1 3 B , 2 3 B は、揺動部 1 0 の揺動動作時において互いに当接しないように、それらの電極歯 1 3 b , 2 3 b が位置ずれした態様で配されている。本実施形態では、隣り合う 2 つの電極歯 1 3 b 間の距離は全て同じであり、隣り合う 2 つの電極歯 2 3 b 間の距離は全て同じであり、アーム部 1 2 の延び方向において 2 つの電極歯 2 3 b の間に位置する電極歯 1 3 b は、2 つの電極歯 2 3 b 間の中心に位置する。

30

【 0 0 3 7 】

図 5 および図 6 は、マイクロミラー素子 X 1 の製造方法の一例を表す。この方法は、バルクマイクロマシニング技術によりマイクロミラー素子 X 1 を製造するための一手法である。図 5 および図 6 においては、図 6 (d) に示すミラー支持部 M、アーム部 A R、フレーム F 1 , F 2、トーションバー T 1 , T 2、および一組の櫛歯電極 E 1 , E 2 の形成過程を、一の断面の変化として表す。当該一の断面は、加工が施される材料基板 (多層構造を有するウエハ) における単一のマイクロミラー素子形成区画に含まれる複数の所定箇所の断面を、モデル化して連続断面として表したものである。ミラー支持部 M は、ミラー支持部 1 1 の一部に相当する。アーム部 A R は、アーム部 1 2 に相当し、アーム部 1 2 の横断面を表す。フレーム F 1 , F 2 は、各々、フレーム 2 1 に相当し、フレーム 2 1 の横断面を表す。トーションバー T 1 は、トーションバー 2 2 a に相当し、トーションバー 2 2 a の延び方向の断面を表す。トーションバー T 2 は、トーションバー 2 2 a に相当し、トーションバー 2 2 a の横断面を表す。櫛歯電極 E 1 は、櫛歯電極 1 3 A , 1 3 B の一部に相当し、電極歯 1 3 a , 1 3 b の横断面を表す。櫛歯電極 E 2 は、櫛歯電極 2 3 A , 2 3 B の一部に相当し、電極歯 2 3 a , 2 3 b の横断面を表す。

40

【 0 0 3 8 】

マイクロミラー素子 X 1 の製造においては、まず、図 5 (a) に示すような材料基板 1 0 0 を用意する。材料基板 1 0 0 は、シリコン層 1 0 1 , 1 0 2 と、当該シリコン層 1 0 1 , 1 0 2 間の絶縁層 1 0 3 とからなる積層構造を有する S O I 基板である。シリコン層

50

101, 102は、不純物をドーピングすることにより導電性を付与されたシリコン材料よりなる。不純物としては、Bなどのp型不純物や、PおよびSbなどのn型不純物を採用することができる。絶縁層103は例えば酸化シリコンよりなる。シリコン層101の厚さは例えば10~100 μm であり、シリコン層102の厚さは例えば50~500 μm であり、絶縁層103の厚さは例えば0.3~3 μm である。

【0039】

次に、図5(b)に示すように、シリコン層101上にミラー面11aを形成する。ミラー面11aの形成においては、まず、スパッタリング法により、シリコン層101に対して例えばCr(50nm)およびこれに続いてAu(200nm)を成膜する。次に、所定のマスクを介してこれら金属膜に対してエッチング処理を順次行うことにより、ミラー面11aをパターン形成する。Auに対するエッチング液としては、例えば、ヨウ化カリウム-ヨウ素水溶液を使用することができる。Crに対するエッチング液としては、例えば硝酸第二セリウムアンモニウム水溶液を使用することができる。

10

【0040】

次に、図5(c)に示すように、シリコン層101上には酸化膜パターン110およびレジストパターン111を形成し、シリコン層102上に酸化膜パターン112を形成する。酸化膜パターン110は、揺動部10(ミラー支持部M, アーム部AR, 櫛歯電極E1)およびフレーム21(フレームF1, F2)に対応するパターン形状を有する。レジストパターン111は、両トーションバー22a(トーションバーT1, T2)に対応するパターン形状を有する。また、酸化膜パターン112は、フレーム21(フレームF1, F2)および櫛歯電極23A, 23B(櫛歯電極E2)に対応するパターン形状を有する。

20

【0041】

次に、図5(d)に示すように、酸化膜パターン110およびレジストパターン111をマスクとして、DRIE(deep reactive ion etching)により、シリコン層101に対し所定の深さまでエッチング処理を行う。所定の深さとは、トーションバーT1, T2の厚さに相当する深さであり、例えば5 μm である。DRIEでは、エッチングと側壁保護とを交互に行うBoschプロセスにおいて、良好なエッチング処理を行うことができる。後出のDRIEについても、このようなBoschプロセスを採用することができる。

30

【0042】

次に、図6(a)に示すように、剥離液を作用させることにより、レジストパターン111を剥離する。剥離液としては、例えばAZリムーバ700(クラリアントジャパン製)を使用することができる。

【0043】

次に、図6(b)に示すように、酸化膜パターン110をマスクとして、DRIEにより、トーションバーT1, T2を残存形成しつつシリコン層101に対して絶縁層103に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、揺動部10(ミラー支持部M, アーム部AR, 櫛歯電極E1)、両トーションバー22a(トーションバーT1, T2)、および、フレーム21(フレームF1, F2)の一部が、成形される。

40

【0044】

次に、図6(c)に示すように、酸化膜パターン112をマスクとして、DRIEによりシリコン層102に対して絶縁層103に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、フレーム21(フレームF1, F2)の一部および櫛歯電極23A, 23B(櫛歯電極E2)が成形される。

【0045】

次に、図6(d)に示すように、絶縁層103において露出している箇所、および酸化膜パターン110, 112を、エッチング除去する。エッチング手法としては、ドライエッチングまたはウエットエッチングを採用することができる。ドライエッチングを採用する場合、エッチングガスとしては、例えば、 CF_4 や CHF_3 などを採用することができる

50

。ウエットエッチングを採用する場合、エッチング液としては、例えば、フッ酸とフッ化アンモニウムからなるパフアードフッ酸（BHF）を使用することができる。

【0046】

以上の一連の工程を経ることにより、ミラー支持部M、アーム部AR、フレームF1、F2、トーションバーT1、T2、および一組の櫛歯電極E1、E2を成形してマイクロミラー素子X1を製造することができる。

【0047】

マイクロミラー素子X1においては、櫛歯電極13A、13B、23A、23Bに対して必要に応じて所定の電位を付与することにより、揺動部10ないしミラー支持部11を揺動軸心A1まわりに回転変位させることができる。櫛歯電極13A、13Bに対する電位付与は、フレーム21の第1シリコン層由来部位、両トーションバー22a、およびアーム部12を介して実現することができる。櫛歯電極13A、13Bは、例えばグラウンド接続される。一方、櫛歯電極23A、23Bに対する電位付与は、フレーム21の第2シリコン層由来部位を介して実現することができる。フレーム21の第2シリコン層由来部位と、フレーム21の第1シリコン層由来部位とは、絶縁層（例えば上述の絶縁層103）により電氣的に分離されている。

【0048】

櫛歯電極13A、13B、23A、23Bの各々に所定の電位を付与することにより櫛歯電極13A、23A間および櫛歯電極13B、23B間に所望の静電引力を発生させると、櫛歯電極13Aは櫛歯電極23Aに引き込まれ、且つ、櫛歯電極13Bは櫛歯電極23Bに引き込まれる。そのため、揺動部10ないしミラー支持部11は、揺動軸心A1まわりに揺動動作し、当該静電引力と各トーションバー22aの捩り抵抗力の総和とが釣り合う角度まで回転変位する。釣り合い状態においては、櫛歯電極13A、23Bは、例えば図7に示す配向をとり、櫛歯電極13B、23Bも同様の配向をとる。このような揺動動作における回転変位量は、櫛歯電極13A、13B、23A、23Bへの付与電位を調整することにより、調節することができる。また、櫛歯電極13A、23A間の静電引力および櫛歯電極23A、23B間の静電引力を消滅させると、各トーションバー22aはその自然状態に復帰し、揺動部10ないしミラー支持部11は、図3に表れているような配向をとる。以上のような揺動部10ないしミラー支持部11の揺動駆動により、ミラー支持部11上に設けられたミラー面11aにて反射される光の反射方向を適宜切り換えることができる。

【0049】

マイクロミラー素子X1においては、櫛歯電極13Aの複数の電極歯13aは、ミラー支持部11から延出するアーム部12の伸び方向に互いに離隔してアーム部12に支持されており、且つ、櫛歯電極23Aの複数の電極歯23aは、アーム部12の伸び方向に互いに離隔してフレーム21に支持されている。一方、櫛歯電極13Bの複数の電極歯13bは、ミラー支持部11から延出するアーム部12の伸び方向に互いに離隔してアーム部12に支持されており、且つ、櫛歯電極23Bの複数の電極歯23bは、アーム部12の伸び方向に互いに離隔してフレーム21に支持されている。これら電極歯13a、13b、23a、23bは、ミラー支持部11に直接的には支持されていない。そのため、一組の櫛歯電極13A、23Aを構成する電極歯13a、23aの数、および、一組の櫛歯電極13B、23Bを構成する電極歯13b、23bの数は、アーム部12の伸び方向に対して直交する揺動軸心A1の伸び方向におけるミラー支持部11の長さによる制約を受けない。

【0050】

したがって、マイクロミラー素子X1では、揺動軸心A1方向におけるミラー支持部11の設計寸法に関わらず、所望数の電極歯13a、13b、23a、23bを設けることにより、電極歯13a、23aどうしが対向可能な面積、および、電極歯13b、23bどうしが対向可能な面積を、確保することができる。マイクロミラー素子X1では、例えば、一組の櫛歯電極13A、23Aにおいて電極歯13a、23aどうしが対向可能な面

10

20

30

40

50

積を確保するうえで、電極歯 13a, 23a の機械的強度に支障を来すほどに電極歯 13a, 23a について幅を短縮したり延出長さを増大する必要はなく、且つ、素子の製造過程に不具合を生じるほどに電極歯間ギャップを短縮する必要はない。

【0051】

このように、マイクロミラー素子 X1 は、揺動軸心 A1 方向におけるミラー支持部 11 の設計寸法に関わらず所望数の電極歯 13a, 13b, 23a, 23b を設けることによって揺動部 10 の揺動動作のための駆動力を確保しつつ、揺動軸心 A1 方向におけるミラー支持部 11 したがって素子全体の設計寸法を短く設定することによって小型化を図るのに、適しているのである。

【0052】

図 8 は、マイクロミラー素子 X1 の第 1 変形例の平面図である。本変形例では、アーム部 12 の延び方向において隣り合う 2 つの電極歯 23a の間に位置する電極歯 13a は、当該 2 つの電極歯 23a 間の中心位置から、揺動軸心 A1 に近づく方に偏位しているか、或は、アーム部 12 の延び方向において隣り合う 2 つの電極歯 13a の間に位置する電極歯 23a は、当該 2 つの電極歯 13a 間の中心位置から、揺動軸心 A1 から遠ざかる方に偏位している。これとともに、アーム部 12 の延び方向において隣り合う 2 つの電極歯 23b の間に位置する電極歯 13b は、当該 2 つの電極歯 23b 間の中心位置から、揺動軸心 A1 に近づく方に偏位しているか、或は、アーム部 12 の延び方向において隣り合う 2 つの電極歯 13b の間に位置する電極歯 23b は、当該 2 つの電極歯 13b 間の中心位置から、揺動軸心 A1 から遠ざかる方に偏位している。

【0053】

図 9 は、マイクロミラー素子 X1 の第 2 変形例の平面図である。本変形例では、アーム部 12 の延び方向において隣り合う 2 つの電極歯 23a の間に位置する電極歯 13a は、当該 2 つの電極歯 23a 間の中心位置から、揺動軸心 A1 から遠ざかる方に偏位しているか、或は、アーム部 12 の延び方向において隣り合う 2 つの電極歯 13a の間に位置する電極歯 23a は、当該 2 つの電極歯 13a 間の中心位置から、揺動軸心 A1 に近づく方に偏位している。これとともに、アーム部 12 の延び方向において隣り合う 2 つの電極歯 23b の間に位置する電極歯 13b は、当該 2 つの電極歯 23b 間の中心位置から、揺動軸心 A1 から遠ざかる方に偏位しているか、或は、アーム部 12 の延び方向において隣り合う 2 つの電極歯 13b の間に位置する電極歯 23b は、当該 2 つの電極歯 13b 間の中心位置から、揺動軸心 A1 に近づく方に偏位している。

【0054】

第 1 および第 2 変形例の構成は、一組の櫛歯電極 13A, 23A および一組の櫛歯電極 13B, 23B において、素子駆動時にいわゆる pull-in 現象の発生を抑制するのに好ましい場合がある。素子駆動時には、上述のように、櫛歯電極 13A, 23A 間および櫛歯電極 13B, 23B 間に所望の静電引力が発生され、櫛歯電極 13A は櫛歯電極 23A に引き込まれ、且つ、櫛歯電極 13B は櫛歯電極 23B に引き込まれる。櫛歯電極 13A, 23A が図 1, 3, 4 に示す構造を有するマイクロミラー素子 X1 では、櫛歯電極 13A が櫛歯電極 23A に引き込まれた状態において、素子厚さ方向 H における揺動軸心 A1 の位置によっては、一の電極歯 13a と揺動軸心 A1 に対して当該電極歯 13a よりも外側で当該電極歯 13a と隣り合う電極歯 23a との距離が、揺動軸心 A1 に対して当該電極歯 13a よりも内側で当該電極歯 13a と隣り合う他の電極歯 23a と当該電極歯 13a との距離よりも、短い場合や長い場合がある。短い場合、電極歯 13a と外側の電極歯 23a との間の静電引力（第 1 の静電引力）は、電極歯 13a と内側の電極歯 23a との間の静電引力（第 2 の静電引力）よりも、大きい傾向にある。第 1 の静電引力が第 2 の静電引力より所定以上に大きいと、電極歯 13a と外側の電極歯 23a とが不当に引き合い、pull-in 現象が生じやすい。第 2 の静電引力が第 1 の静電引力より所定以上に大きいと、電極歯 13a と内側の電極歯 23a とが不当に引き合い、pull-in 現象が生じやすい。同様に、櫛歯電極 13B, 23B が図 1, 4 に示す構造を有するマイクロミラー X1 では、当該櫛歯電極 13B, 23B において pull-in 現象が発生してしまう場合がある。pull-in

10

20

30

40

50

現象の発生は、素子の揺動特性を阻害するので好ましくない。

【 0 0 5 5 】

これに対し、アーム部 1 2 の伸び方向において隣り合う 2 つの電極歯 2 3 a の間に位置する電極歯 1 3 a が、揺動部 1 0 が回転変位していない状態では当該 2 つの電極歯 2 3 a 間の中心位置から内側または外側の電極歯 2 3 a の方に偏位している第 1 または第 2 変形例では、素子厚さ方向 H における揺動軸心 A 1 の位置に応じて当該偏位量を適当に設定することにより、揺動部 1 0 が回転変位して櫛歯電極 1 3 A が櫛歯電極 2 3 A , 2 3 B に引き込まれた状態における、一の電極歯 1 3 a と外側の電極歯 2 3 a との距離、および、当該電極歯 1 3 a と内側の電極歯 2 3 a との距離を、実質的に等しくすることができる場合がある。この場合、櫛歯電極 1 3 A , 2 3 A において pull-in 現象の発生を抑制すること

10

【 0 0 5 6 】

図 1 0 は、マイクロミラー素子 X 1 の第 3 変形例の平面図である。本変形例では、アーム部 1 2 の伸び方向におけるアーム部 1 2 の寸法およびフレーム 2 1 の寸法が増大され、隣り合う 2 つの電極歯 1 3 a 間の距離、隣り合う 2 つの電極歯 1 3 b 間の距離、隣り合う 2 つの電極歯 2 3 a 間の距離、および、隣り合う 2 つの電極歯 2 3 b 間の距離は、揺動軸心 A 1 から遠いほど長い。

【 0 0 5 7 】

電極歯 1 3 a , 1 3 b は、揺動軸心 A 1 から遠いほど、揺動部 1 0 の揺動動作時における電極歯離隔方向（アーム部 1 2 の伸び方向）の変位量が大きいところ、本変形例は、素子駆動時に揺動部 1 0 が回転変位して櫛歯電極 1 3 A , 1 3 B が各々櫛歯電極 2 3 A , 2 3 B に引き込まれた状態において、電極歯 1 3 a , 2 3 a 間の距離を全て同程度にするうえで好適であり、電極歯 1 3 b , 2 3 b 間の距離を全て同程度にするうえで好適である。素子駆動時における電極歯 1 3 a , 2 3 a 間の距離を全て同程度にすることにより、素子駆動時において櫛歯電極 1 3 A , 2 3 A 間の全体にわたって均等化された静電引力を発生させることが可能である。同様に、素子駆動時における電極歯 1 3 b , 2 3 b 間の距離を全て同程度にすることにより、素子駆動時において櫛歯電極 1 3 B , 2 3 B 間の全体にわたって均等化された静電引力を発生させることが可能である。

20

【 0 0 5 8 】

図 1 1 は、マイクロミラー素子 X 1 の第 4 変形例の平面図である。本変形例では、櫛歯電極 1 3 A , 1 3 B の複数の電極歯 1 3 a , 1 3 b の伸び方向、および、櫛歯電極 2 3 A , 2 3 B の複数の電極歯 2 3 a , 2 3 b の伸び方向は、アーム部 1 2 の伸び方向とは直交せず、電極歯 1 3 a , 2 3 a の伸び方向は互いに平行であり、電極歯 1 3 b , 2 3 b の伸び方向は互いに平行である。電極歯 1 3 a , 1 3 b , 2 3 a , 2 3 b の伸び方向とアーム部 1 2 の伸び方向とがなす鋭角は例えば 4 5 ° である。マイクロミラー素子 X 1 は、このような構造の櫛歯電極 1 3 A , 1 3 A , 2 3 A , 2 3 B を有していてもよい。

30

【 0 0 5 9 】

図 1 2 は、マイクロミラー素子 X 1 の第 5 変形例の平面図である。本変形例では、電極歯 1 3 a , 1 3 b の両側面がアーム部 1 2 の側面に対して非垂直であり、電極歯 1 3 a , 1 3 b の幅は、アーム部 1 2 から遠ざかるほど小さい。これとともに、電極歯 2 3 a , 2 3 b の両側面がフレーム 2 1 の側面に対して非垂直であり、電極歯 2 3 a , 2 3 b の幅は、フレーム 2 1 から遠ざかるほど小さい。

40

【 0 0 6 0 】

このような構成は、素子駆動時に揺動部 1 0 が回転変位して櫛歯電極 1 3 A , 1 3 B が各々櫛歯電極 2 3 A , 2 3 B に引き込まれた状態において、電極歯 1 3 a , 2 3 a 間や電極歯 1 3 b , 2 3 b 間が過度に近接するのを回避するのに好適である。素子駆動時に電極歯 1 3 a , 2 3 a 間が過度に近接するのを回避することにより、素子駆動時に櫛歯電極 1 3 A , 2 3 A において pull-in 現象が発生するのを抑制することができる。同様に、素子駆動時に電極歯 1 3 b , 2 3 b 間が過度に近接するのを回避することにより、素子駆動時

50

に櫛歯電極 1 3 B , 2 3 B においてpull-in現象が発生するのを抑制することができる。

【 0 0 6 1 】

図 1 3 は、マイクロミラー素子 X 1 の第 6 変形例の平面図である。本変形例では、電極歯 1 3 a , 1 3 b の、ミラー支持部 1 1 側を向く側面が、アーム部 1 2 の側面に対して垂直であり、電極歯 1 3 a , 1 3 b の他方の側面がアーム部 1 2 の側面に対して非垂直であり、電極歯 1 3 a , 1 3 b の幅は、アーム部 1 2 から遠ざかるほど小さい。これとともに、電極歯 2 3 a , 2 3 b の、ミラー支持部 1 1 側を向く側面が、フレーム 2 1 の側面に対して非垂直であり、電極歯 2 3 a , 2 3 b の他方の側面がフレーム 2 1 の側面に対して垂直であり、電極歯 2 3 a , 2 3 b の幅は、フレーム 2 1 から遠ざかるほど小さい。

【 0 0 6 2 】

このような構成は、素子駆動時に揺動部 1 0 が回転変位して櫛歯電極 1 3 A , 1 3 B が各々櫛歯電極 2 3 A , 2 3 B に引き込まれた状態において、特に電極歯 1 3 a と外側の電極歯 2 3 a との間や電極歯 1 3 b と外側の電極歯 2 3 b との間が、過度に近接するのを回避するのに好適である。

【 0 0 6 3 】

図 1 4 は、マイクロミラー素子 X 1 の第 7 変形例の、図 1 の線 III - III に相当する断面図である。本変形例では、揺動部 1 0 の非動作時には電極歯 1 3 a の起立方向は、素子厚さ方向 H に対して傾斜している。具体的には、電極歯 1 3 a は、電極歯 2 3 a に近づくほどミラー支持部 1 1 に近づくように傾斜している。これとともに、電極歯 2 3 a は、電極歯 1 3 a に近づくほどミラー支持部 1 1 から遠ざかるように傾斜している。本変形例では、電極歯 1 3 b , 2 3 b も、電極歯 1 3 a , 2 3 a と同様に傾斜している。

【 0 0 6 4 】

揺動部 1 0 の非動作時における櫛歯電極 2 3 A に対する櫛歯電極 1 3 A の配向と、揺動部 1 0 が回転変位して櫛歯電極 1 3 A が櫛歯電極 2 3 A に引き込まれた状態での櫛歯電極 2 3 A に対する櫛歯電極 1 3 A の配向とは、異なる。櫛歯電極 1 3 A , 2 3 A が図 1 , 3 , 4 に示す構造を有する場合、この配向の変化は比較的大きい。これに対し、本変形例の櫛歯電極 1 3 A , 2 3 A は、櫛歯電極 1 3 A が櫛歯電極 2 3 A に引き込まれるときに電極歯 1 3 a が傾斜する方向に予め傾斜している電極歯 1 3 a , 2 3 a を有するので、非動作時と動作時との間での配向の変化は、比較的小さい。同様に、本変形例の櫛歯電極 1 3 B , 2 3 B も、櫛歯電極 1 3 B が櫛歯電極 2 3 B に引き込まれるときに電極歯 1 3 b が傾斜する方向に予め傾斜している電極歯 1 3 b , 2 3 b を有するので、非動作時と動作時との間での配向の変化は、比較的小さい。このような配向変化の抑制は、櫛歯電極 1 3 A , 2 3 A 間および櫛歯電極 1 3 B , 2 3 B 間にて安定した静電引力を発生させるうえで好ましい。

【 0 0 6 5 】

図 1 5 ~ 図 1 8 は、本発明の第 2 の実施形態に係るマイクロミラー素子 X 2 を表す。図 1 5 は、マイクロミラー素子 X 2 の平面図であり、図 1 6 は、マイクロミラー素子 X 2 の一部省略平面図であり、図 1 7 および図 1 8 は、各々、図 1 5 の線 XVII - XVII および線 XVIII - XVIII に沿った断面図である。

【 0 0 6 6 】

マイクロミラー素子 X 2 は、揺動部 1 0 と、フレーム 2 4 と、挟れ連結部 2 2 と、櫛歯電極 2 3 A , 2 3 B とを備える。マイクロミラー素子 X 2 は、フレーム 2 1 に代えてフレーム 2 4 を備える点において、マイクロミラー素子 X 1 と異なる。また、マイクロミラー素子 X 2 は、マイクロミラー素子 X 1 に関して上述したように MEMS 技術を利用して、SOI 基板である材料基板に対して加工を施すことにより製造されたものである。当該材料基板は、第 1 および第 2 シリコン層ならびに当該シリコン層間の絶縁層よりなる積層構造を有し、各シリコン層は、不純物のドーピングにより所定の導電性が付与されている。図の明確化の観点より、図 1 5 においては、第 1 シリコン層に由来して絶縁層より紙面手前方向に突き出る部位について、斜線ハッチングを付して表す。また、図 1 6 は、マイクロミラー素子 X 2 において第 2 シリコン層に由来する構造を表す。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 7 】

フレーム 2 4 は、主に第 1 および第 2 シリコン層に由来する部位であり、揺動部 1 0 を囲む形状を有する。フレーム 2 4 において第 2 シリコン層に由来する部位は、図 1 6 に示すように第 1 部位 2 4 a および第 2 部位 2 4 b に構造的に分離している。本実施形態では、第 1 部位 2 4 a および第 2 部位 2 4 b は電気的にも分離されている。

【 0 0 6 8 】

擦れ連結部 2 2 は、第 1 シリコン層に由来して成形された一对のトーシヨンバー 2 2 a からなり、各トーシヨンバー 2 2 a は、揺動部 1 0 のアーム部 1 2 とフレーム 2 4 における第 1 シリコン層由来部位とに接続してこれらを連結する。また、トーシヨンバー 2 2 a は、素子厚さ方向 H において、図 1 7 に示すようにアーム部 1 2 よりも薄肉であり、フレーム 2 1 の第 1 シリコン層由来部位よりも薄肉である。

10

【 0 0 6 9 】

櫛歯電極 2 3 A は、揺動部 1 0 の櫛歯電極 1 3 A と協働して静電引力を発生するための部位であり、フレーム 2 4 から各々が延出し且つアーム部 1 2 の伸び方向に互いに離隔する複数の電極歯 2 3 a からなる。電極歯 2 3 a は、主に第 2 シリコン層に由来する部位であり、図 1 6 に示すようにフレーム 2 4 の第 1 部位 2 4 a に固定されている。このような櫛歯電極 2 3 A は、櫛歯電極 1 3 A と共に駆動機構を構成する。

【 0 0 7 0 】

櫛歯電極 2 3 B は、櫛歯電極 1 3 B と協働して静電引力を発生するための部位であり、フレーム 2 4 から延出する複数の電極歯 2 3 b からなる。電極歯 2 3 b は、主に第 2 シリコン層に由来する部位であり、図 1 6 に示すようにフレーム 2 4 の第 2 部位 2 4 b に固定されている。フレーム 2 4 の第 2 部位 2 4 b は、第 1 部位 2 4 a とは構造的かつ電気的に分離されているため、櫛歯電極 2 3 B ないし電極歯 2 3 b は、第 1 部位 2 4 a に固定されている櫛歯電極 2 3 A ないし電極歯 2 3 a とは電気的に分離されている。このような櫛歯電極 2 3 B は、櫛歯電極 1 3 B と共に駆動機構を構成する。

20

【 0 0 7 1 】

マイクロミラー素子 X 2 における揺動部 1 0 の構成、擦れ連結部 2 2 の他の構成、および、櫛歯電極 2 3 A , 2 3 B の他の構成については、第 1 の実施形態における揺動部 1 0 、擦れ連結部 2 2 、および櫛歯電極 2 3 A , 2 3 B に関して上述したのと同様である。

【 0 0 7 2 】

マイクロミラー素子 X 2 においては、櫛歯電極 1 3 A , 1 3 B , 2 3 A , 2 3 B に対して必要に応じて所定の電位を付与することにより、揺動部 1 0 ないしミラー支持部 1 1 を揺動軸心 A 1 まわりに回転変位させることができる。櫛歯電極 1 3 A , 1 3 B に対する電位付与は、フレーム 2 4 の第 1 シリコン層由来部位、両トーシヨンバー 2 2 a 、およびアーム部 1 2 を介して実現することができる。櫛歯電極 1 3 A , 1 3 B は、例えばグラウンド接続される。一方、櫛歯電極 2 3 A , 2 3 B に対する電位付与は、各々、フレーム 2 4 の第 1 部位 2 4 a および第 2 部位 2 4 b を介して実現することができる。揺動動作における回転変位量は、櫛歯電極 1 3 A , 1 3 B , 2 3 A , 2 3 B への付与電位を調整することにより、調節することができる。このような揺動部 1 0 ないしミラー支持部 1 1 の揺動駆動により、ミラー支持部 1 1 上に設けられたミラー面 1 1 a にて反射される光の反射方向を適宜切り換えることができる。

30

40

【 0 0 7 3 】

マイクロミラー素子 X 2 においては、櫛歯電極 2 3 A に付与する電位と櫛歯電極 2 3 B に付与する電位とを異ならしめることにより、櫛歯電極 1 3 A , 2 3 A 間に生ずる静電引力と、櫛歯電極 1 3 B , 2 3 B 間に生ずる静電引力とを異ならしめることができる。そのため、揺動部 1 0 ないしミラー支持部 1 1 について、回転軸心 A 1 まわりの回転変位以外の回転変位量を制御することができる。例えば、回転軸心 A 1 と交差する軸心 (図 1 8 に示す例えば軸心 A 1 ') まわりの、揺動部 1 0 ないしミラー支持部 1 1 の回転変位量を、調節することができる。したがって、マイクロミラー素子 X 2 では、回転軸心 A 1 に対してミラー面 1 1 a が常時的に平行となるように、揺動部 1 0 ないしミラー支持部 1 1 の姿

50

歯電極 13 B は、複数の電極歯 13 b からなる。複数の電極歯 13 b は、電極歯 13 a とは反対の側にアーム部 15 から延出し、且つ、アーム部 15 の延び方向に互いに離隔する。電極歯 13 a , 13 b は、主に第 1 シリコン層に由来する部位である。本実施形態では、図 19 に示すように、電極歯 13 a の延び方向とアーム部 14 の延び方向とは直交し、且つ、電極歯 13 b の延び方向とアーム部 15 の延び方向とは直交する。アーム部 14 の主部 14 a は、アーム部 15 とは電氣的に分離されているため、主部 14 a に固定されている櫛歯電極 13 A ないし電極歯 13 a は、アーム部 15 に固定されている櫛歯電極 13 B ないし電極歯 13 b とは電氣的に分離されている。

【 0081 】

揺動部 10' におけるミラー支持部 11 の構成および櫛歯電極 13 A , 13 B の他の構成については、第 1 の実施形態におけるミラー支持部 11 および櫛歯電極 13 A , 13 B に関して上述したのと同様である。

【 0082 】

フレーム 25 は、主に第 1 および第 2 シリコン層に由来する部位であり、揺動部 10' を囲む形状を有する。フレーム 25 において第 1 シリコン層に由来する部位は、図 19 および図 23 に示すように第 1 部位 25 a および第 2 部位 25 b に構造的に分離している。本実施形態では、第 1 部位 25 a および第 2 部位 25 b は電氣的にも分離されている。

【 0083 】

擦れ連結部 22 は、第 1 シリコン層に由来して成形された一对のトーシヨンバー 22 a からなる。一方のトーシヨンバー 22 a は、揺動部 10' のアーム部 14 の主部 14 a とフレーム 25 の第 1 部位 25 a とに接続してこれらを連結する。このトーシヨンバー 22 a により、第 1 部位 25 a と主部 14 a とは電氣的に接続される。また、このトーシヨンバー 22 a は、素子厚さ方向 H において、図 21 に示すように主部 14 a よりも薄肉であり、第 1 部位 25 a よりも薄肉である。他方のトーシヨンバー 22 a は、揺動部 10' のアーム部 15 とフレーム 25 の第 2 部位 25 b とに接続してこれらを連結する。このトーシヨンバー 22 a により、第 2 部位 25 b とアーム部 15 とは電氣的に接続される。また、このトーシヨンバー 22 a は、素子厚さ方向 H においてアーム部 15 および第 2 部位 25 b よりも薄肉である。

【 0084 】

櫛歯電極 23 A は、揺動部 10' の櫛歯電極 13 A と協働して静電引力を発生するための部位であり、複数の電極歯 23 a からなる。複数の電極歯 23 a は、フレーム 25 から各々が延出し、且つ、アーム部 14 の延び方向に互いに離隔する。電極歯 23 a は、主に第 2 シリコン層に由来する部位であり、図 20 に示すように、フレーム 25 の第 2 シリコン層由来部位に固定されている。このような櫛歯電極 23 A は、櫛歯電極 13 A と共に駆動機構を構成する。

【 0085 】

櫛歯電極 23 B は、櫛歯電極 13 B と協働して静電引力を発生するための部位であり、複数の電極歯 23 b からなる。複数の電極歯 23 b は、フレーム 25 から各々が延出し、且つ、アーム部 15 の延び方向に互いに離隔する。電極歯 23 b は、主に第 2 シリコン層に由来する部位であり、図 20 に示すように、フレーム 25 の第 2 シリコン層由来部位に固定されている。櫛歯電極 23 B は、フレーム 25 の第 2 シリコン層由来部位を介して櫛歯電極 23 A と電氣的に接続されている。このような櫛歯電極 23 B は、櫛歯電極 13 B と共に駆動機構を構成する。

【 0086 】

マイクロミラー素子 X3 における擦れ連結部 22 の他の構成および櫛歯電極 23 A , 23 B の他の構成については、第 1 の実施形態における擦れ連結部 22 および櫛歯電極 23 A , 23 B に関して上述したのと同様である。

【 0087 】

マイクロミラー素子 X3 においては、櫛歯電極 13 A , 13 B , 23 A , 23 B に対して必要に応じて所定の電位を付与することにより、揺動部 10' ないしミラー支持部 11

10

20

30

40

50

を揺動軸心 A 1 まわりに回転変位させることができる。櫛歯電極 1 3 A に対する電位付与は、フレーム 2 5 の第 1 部位 2 5 a、一方のトーションバー 2 2 a、およびアーム部 1 4 の主部 1 4 a を介して実現することができる。櫛歯電極 1 3 B に対する電位付与は、フレーム 2 5 の第 2 部位 2 5 b、他方のトーションバー 2 2 a、およびアーム部 1 5 を介して実現することができる。また、櫛歯電極 2 3 A、2 3 B に対する電位付与は、フレーム 2 5 の第 2 シリコン層由来部位を介して実現することができる。櫛歯電極 2 3 A、2 3 B は、例えばグラウンド接続される。フレーム 2 5 の第 2 シリコン層由来部位と、フレーム 2 5 の第 1 シリコン層由来部位（第 1 部位 2 5 a、第 2 部位 2 5 b）とは、絶縁層により電氣的に分離されている。揺動動作における回転変位量は、櫛歯電極 1 3 A、1 3 B、2 3 A、2 3 B への付与電位を調整することにより、調節することができる。このような揺動部 1 0' ないしミラー支持部 1 1 の揺動駆動により、ミラー支持部 1 1 上に設けられたミラー面 1 1 a にて反射される光の反射方向を適宜切り換えることができる。

10

【0088】

マイクロミラー素子 X 3 においては、櫛歯電極 1 3 A に付与する電位と櫛歯電極 1 3 B に付与する電位とを異ならしめることにより、櫛歯電極 1 3 A、2 3 A 間に生ずる静電引力と、櫛歯電極 1 3 B、2 3 B 間に生ずる静電引力とを異ならしめることができる。そのため、揺動部 1 0' ないしミラー支持部 1 1 について、回転軸心 A 1 まわりの回転変位以外の回転変位量を制御することができる。例えば、回転軸心 A 1 と交差する軸心（図 2 2 に示す例えば軸心 A 1'）まわりの、揺動部 1 0' ないしミラー支持部 1 1 の回転変位量を、調節することができる。したがって、マイクロミラー素子 X 3 では、回転軸心 A 1 に対してミラー面 1 1 a が常時的に平行となるように、揺動部 1 0' ないしミラー支持部 1 1 の姿勢を制御することが可能である。このような姿勢調整機構は、高精度な光反射機能を実現するうえで好適である。

20

【0089】

また、マイクロミラー素子 X 3 は、マイクロミラー素子 X 1 に関して上述したのと同様に、揺動軸心 A 1 方向におけるミラー支持部 1 1 の設計寸法に関わらず所望数の電極歯 1 3 a、1 3 b、2 3 a、2 3 b を設けることによって揺動部 1 0' の揺動動作のための駆動力を確保しつつ、揺動軸心 A 1 方向におけるミラー支持部 1 1 したがって素子全体の設計寸法を短く設定することによって小型化を図るのに、適している。

30

【0090】

図 2 4 および図 2 5 は、本発明の第 4 の実施形態に係るマイクロミラー素子 X 4 を表す。図 2 4 は、マイクロミラー素子 X 4 の平面図であり、図 2 5 は、図 2 4 の線 XXV - XXV に沿った断面図である。

【0091】

マイクロミラー素子 X 4 は、揺動部 3 0 と、フレーム 4 1 と、擦れ連結部 4 2 と、櫛歯電極 4 3 A、4 3 B、4 4 A、4 4 B とを備える。また、マイクロミラー素子 X 4 は、マイクロミラー素子 X 1 に関して上述したように MEMS 技術を利用して、SOI 基板である材料基板に対して加工を施すことにより製造されたものである。当該材料基板は、第 1 および第 2 シリコン層ならびに当該シリコン層間の絶縁層よりなる積層構造を有し、各シリコン層は、不純物のドーピングにより所定の導電性が付与されている。図の明確化の観点より、図 2 4 においては、第 1 シリコン層に由来して絶縁層より紙面手前方向に突き出る部位について、斜線ハッチングを付して表す。

40

【0092】

揺動部 3 0 は、ミラー支持部 3 1 と、アーム部 3 2、3 3 と、櫛歯電極 3 4 A、3 4 B、3 5 A、3 5 B とを有する。

【0093】

ミラー支持部 3 1 は、主に第 1 シリコン層に由来する部位であり、その表面には、光反射機能を有するミラー面 3 1 a が設けられている。ミラー支持部 3 1 およびミラー面 3 1 a は、本発明における可動機能部を構成する。

【0094】

50

アーム部 3 2 は、主に第 1 シリコン層に由来する部位であり、ミラー支持部 3 1 から延出する。アーム部 3 3 は、主に第 1 シリコン層に由来する部位であり、アーム部 3 2 とは反対の側にミラー支持部 3 1 から延出する。アーム部 3 2 の延び方向とアーム部 3 3 の延び方向は一致する。

【 0 0 9 5 】

櫛歯電極 3 4 A は、複数の電極歯 3 4 a からなる。複数の電極歯 3 4 a は、アーム部 3 2 から各々が延出し、且つ、アーム部 3 2 の延び方向に互いに離隔する。櫛歯電極 3 4 B は、複数の電極歯 3 4 b からなる。複数の電極歯 3 4 b は、電極歯 3 4 a とは反対の側にアーム部 3 2 から延出し、且つ、アーム部 3 2 の延び方向に互いに離隔する。電極歯 3 4 a , 3 4 b は、主に第 1 シリコン層に由来する部位である。本実施形態では、図 2 4 に示すように、電極歯 3 4 a , 3 4 b の延び方向とアーム部 3 2 の延び方向とは直交する。このような櫛歯電極 3 4 A ないし電極歯 3 4 a と櫛歯電極 3 4 B ないし電極歯 3 4 b とは、アーム部 3 2 を介して電氣的に接続されている。

10

【 0 0 9 6 】

櫛歯電極 3 5 A は、複数の電極歯 3 5 a からなる。複数の電極歯 3 5 a は、アーム部 3 3 から各々が延出し、且つ、アーム部 3 3 の延び方向に互いに離隔する。櫛歯電極 3 5 B は、複数の電極歯 3 5 b からなる。複数の電極歯 3 5 b は、電極歯 3 5 a とは反対の側にアーム部 3 3 から延出し、且つ、アーム部 3 3 の延び方向に互いに離隔する。電極歯 3 5 a , 3 5 b は、主に第 1 シリコン層に由来する部位である。本実施形態では、図 2 4 に示すように、電極歯 3 5 a , 3 5 b の延び方向とアーム部 3 3 の延び方向とは直交する。このような櫛歯電極 3 5 A ないし電極歯 3 5 a と櫛歯電極 3 5 B ないし電極歯 3 5 b とは、アーム部 3 3 を介して電氣的に接続されている。また、櫛歯電極 3 5 A , 3 5 B は、ミラー支持部 3 1 を介して櫛歯電極 3 4 A , 3 4 B と電氣的に接続されている。

20

【 0 0 9 7 】

フレーム 4 1 は、主に第 1 および第 2 シリコン層に由来する部位であり、揺動部 3 0 を囲む形状を有する。また、フレーム 4 1 は、所定の機械的強度を有してフレーム 4 1 内の構造を支持する。

【 0 0 9 8 】

擦れ連結部 4 2 は、一对のトーシヨンバー 4 2 a からなる。各トーシヨンバー 4 2 a は、主に第 1 シリコン層に由来する部位であり、揺動部 3 0 のミラー支持部 3 1 とフレーム 4 1 において第 1 シリコン層に由来する部位とに接続してこれらを連結する。トーシヨンバー 4 2 a により、フレーム 4 1 の第 1 シリコン層由来部位とミラー支持部 3 1 とは電氣的に接続される。また、図 2 5 に示すように、トーシヨンバー 4 2 a は、素子厚さ方向 H において、ミラー支持部 3 1 、およびフレーム 4 1 の第 1 シリコン層由来部位よりも、薄肉である。このような擦れ連結部 4 2 ないし一对のトーシヨンバー 4 2 a は、揺動部 3 0 ないしミラー支持部 3 1 の揺動動作の揺動軸心 A 4 を規定する。揺動軸心 A 4 は、図 2 4 に示す矢印 D 方向と、即ちアーム部 3 2 , 3 3 の延び方向と、直交する。したがって、アーム部 3 2 の延び方向に直交する方向にアーム部 3 2 から延出する上述の電極歯 3 4 a , 3 4 b の延び方向は、揺動軸心 A 4 に対して平行であり、且つ、アーム部 3 3 の延び方向に直交する方向にアーム部 3 3 から延出する上述の電極歯 3 5 a , 3 5 b の延び方向は、揺動軸心 A 4 に対して平行である。このような揺動軸心 A 4 は、好ましくは、揺動部 1 0 の重心またはその近傍を通る。

30

40

【 0 0 9 9 】

櫛歯電極 4 3 A は、櫛歯電極 3 4 A と協働して静電引力を発生するための部位であり、複数の電極歯 4 3 a からなる。複数の電極歯 4 3 a は、フレーム 4 1 から各々が延出し、且つ、アーム部 3 2 の延び方向に互いに離隔する。また、電極歯 4 3 a は、主に第 2 シリコン層に由来する部位であり、フレーム 4 1 の第 2 シリコン層由来部位に固定されている。本実施形態では、図 2 4 に示すように、電極歯 4 3 a の延び方向とアーム部 3 2 の延び方向とは直交し、電極歯 4 3 a の延び方向は揺動軸心 A 4 に対して平行である。

【 0 1 0 0 】

50

このような櫛歯電極 4 3 A は、櫛歯電極 3 4 A と共に駆動機構を構成する。櫛歯電極 3 4 A , 4 3 A は、揺動部 3 0 の例えば非動作時には、図 2 5 に示すように、互いに異なる高さに位置する。また、櫛歯電極 3 4 A , 4 3 A は、揺動部 3 0 の揺動動作時において互いに当接しないように、それらの電極歯 3 4 a , 4 3 a が位置ずれした態様で配されている。

【 0 1 0 1 】

櫛歯電極 4 3 B は、櫛歯電極 3 4 B と協働して静電引力を発生するための部位であり、複数の電極歯 4 3 b からなる。複数の電極歯 4 3 b は、フレーム 4 1 から各々が延出し、且つ、アーム部 3 2 の伸び方向に互いに離隔する。また、電極歯 4 3 b は、主に第 2 シリコン層に由来する部位であり、フレーム 4 1 の第 2 シリコン層由来部位に固定されている。櫛歯電極 4 3 B ないし電極歯 4 3 b は、フレーム 4 1 の第 2 シリコン層由来部位の一部を介して櫛歯電極 4 3 A ないし電極歯 4 3 a と電氣的に接続されている。本実施形態では、図 2 4 に示すように、電極歯 4 3 b の伸び方向とアーム部 3 2 の伸び方向とは直交し、電極歯 4 3 b の伸び方向は揺動軸心 A 4 に対して平行である。

10

【 0 1 0 2 】

このような櫛歯電極 4 3 B は、櫛歯電極 3 4 B と共に駆動機構を構成する。櫛歯電極 3 4 B , 4 3 B は、揺動部 3 0 の例えば非動作時には、互いに異なる高さに位置する。また、櫛歯電極 3 4 B , 4 3 B は、揺動部 3 0 の揺動動作時において互いに当接しないように、それらの電極歯 3 4 b , 4 3 b が位置ずれした態様で配されている。

20

【 0 1 0 3 】

櫛歯電極 4 4 A は、櫛歯電極 3 5 A と協働して静電引力を発生するための部位であり、複数の電極歯 4 4 a からなる。複数の電極歯 4 4 a は、フレーム 4 1 から各々が延出し、且つ、アーム部 3 3 の伸び方向に互いに離隔する。また、電極歯 4 4 a は、主に第 2 シリコン層に由来する部位であり、フレーム 4 1 の第 2 シリコン層由来部位に固定されている。本実施形態では、フレーム 4 1 の第 2 シリコン層由来部位において電極歯 4 4 a が固定されている箇所と、フレーム 4 1 の第 2 シリコン層由来部位において上述の電極歯 4 3 a , 4 3 b が固定されている箇所とは、電氣的に分離されており、従って、櫛歯電極 4 4 A ないし電極歯 4 4 a と、櫛歯電極 4 3 A , 4 3 B ないし電極歯 4 3 a , 4 3 b とは、電氣的に分離されている。また、本実施形態では、図 2 4 に示すように、電極歯 4 4 a の伸び方向とアーム部 3 3 の伸び方向とは直交し、電極歯 4 4 a の伸び方向は揺動軸心 A 4 に対して平行である。

30

【 0 1 0 4 】

このような櫛歯電極 4 4 A は、櫛歯電極 3 5 A と共に駆動機構を構成する。櫛歯電極 3 5 A , 4 4 A は、揺動部 3 0 の例えば非動作時には、図 2 5 に示すように、互いに異なる高さに位置する。また、櫛歯電極 3 5 A , 4 4 A は、揺動部 3 0 の揺動動作時において互いに当接しないように、それらの電極歯 3 5 a , 4 4 a が位置ずれした態様で配されている。

【 0 1 0 5 】

櫛歯電極 4 4 B は、櫛歯電極 3 5 B と協働して静電引力を発生するための部位であり、複数の電極歯 4 4 b からなる。複数の電極歯 4 4 b は、フレーム 4 1 から各々が延出し、且つ、アーム部 3 3 の伸び方向に互いに離隔する。また、電極歯 4 4 b は、主に第 2 シリコン層に由来する部位であり、フレーム 4 1 の第 2 シリコン層由来部位の一部に固定されている。本実施形態では、フレーム 4 1 の第 2 シリコン層由来部位において電極歯 4 4 b が固定されている箇所と、フレーム 4 1 の第 2 シリコン層由来部位において上述の電極歯 4 3 a , 4 3 b が固定されている箇所とは、電氣的に分離されており、従って、櫛歯電極 4 4 B ないし電極歯 4 4 b と、櫛歯電極 4 3 A , 4 3 B ないし電極歯 4 3 a , 4 3 b とは、電氣的に分離されている。一方、櫛歯電極 4 4 B ないし電極歯 4 4 b は、フレーム 4 1 の第 2 シリコン層由来部位の一部を介して櫛歯電極 4 4 A ないし電極歯 4 4 a と電氣的に接続されている。また、本実施形態では、図 2 4 に示すように、電極歯 4 4 b の伸び方向とアーム部 3 3 の伸び方向とは直交し、電極歯 4 4 b の伸び方向は揺動軸心 A 4 に対して

40

50

平行である。

【0106】

このような櫛歯電極44Bは、櫛歯電極35Bと共に駆動機構を構成する。櫛歯電極35B、44Bは、揺動部30の例えば非動作時には、互いに異なる高さに位置する。また、櫛歯電極35B、44Bは、揺動部30の揺動動作時において互いに当接しないように、それらの電極歯35b、44bが位置ずれした態様で配されている。

【0107】

マイクロミラー素子X4においては、櫛歯電極34A、34B、35A、35B、43A、43B、44A、44Bに対して必要に応じて所定の電位を付与することにより、揺動部30ないしミラー支持部31を揺動軸心A4まわりに回転変位させることができる。櫛歯電極34A、34B、35A、35Bに対する電位付与は、フレーム41の第1シリコン層由来部位、両トーションバー42a、ミラー支持部31、およびアーム部32、33を介して実現することができる。櫛歯電極34A、34B、35A、35Bは、例えばグラウンド接続される。一方、櫛歯電極43A、43Bに対する電位付与は、フレーム41の第2シリコン層由来部位の一部を介して実現することができる。櫛歯電極44A、44Bに対する電位付与は、フレーム41の第2シリコン層由来部位の他の一部を介して実現することができる。揺動動作における回転変位量は、櫛歯電極34A、34B、35A、35B、43A、43B、44A、44Bへの付与電位を調整することにより、調節することができる。このような揺動部30ないしミラー支持部31の揺動駆動により、ミラー支持部31上に設けられたミラー面31aにて反射される光の反射方向を適宜切り換えることができる。

10

20

【0108】

また、マイクロミラー素子X4は、マイクロミラー素子X1に関して上述したのと同様に、揺動軸心A4方向におけるミラー支持部31の設計寸法に関わらず所望数の電極歯34a、34b、35a、35b、43a、43b、44a、44bを設けることによって揺動部30の揺動動作のための駆動力を確保しつつ、揺動軸心A4方向におけるミラー支持部31したがって素子全体の設計寸法を短く設定することによって小型化を図るのに、適している。

【0109】

図26～図30は、本発明の第5の実施形態に係るマイクロミラー素子X5を表す。図26は、マイクロミラー素子X5の平面図であり、図27は、マイクロミラー素子X5の一部省略平面図である。また、図28～図30は、各々、図26の線XXVIII-XXVIII、線XXIX-XXIX、および線XXX-XXXに沿った断面図である。

30

【0110】

マイクロミラー素子X5は、揺動部10と、フレーム21と、擦れ連結部22と、櫛歯電極23A、23Bと、フレーム51（一部省略）と、アーム部52、53と、擦れ連結部54と、櫛歯電極55、56とを備える。また、マイクロミラー素子X5は、マイクロミラー素子X1に関して上述したようにMEMS技術を利用して、SOI基板である材料基板に対して加工を施すことにより製造されたものである。当該材料基板は、第1および第2シリコン層ならびに当該シリコン層間の絶縁層よりなる積層構造を有し、各シリコン層は、不純物のドーピングにより所定の導電性が付与されている。図の明確化の観点より、図26においては、第1シリコン層に由来して絶縁層より紙面手前方向に突き出る部位について、斜線ハッチングを付して表す。また、図27は、マイクロミラー素子X5において第2シリコン層に由来する構造を表す。

40

【0111】

マイクロミラー素子X5における揺動部10、フレーム21、擦れ連結部22、および櫛歯電極23A、23Bについては、第1の実施形態における揺動部10、フレーム21、擦れ連結部22、および櫛歯電極23A、23Bに関して上述したのと同様である。

【0112】

フレーム51は、主に第1および第2シリコン層に由来する部位であり、所定の機械的

50

強度を有してフレーム 5 1 内の構造を支持する。フレーム 5 1 において第 2 シリコン層に由来する部位は図 2 7 に示す。

【 0 1 1 3 】

アーム部 5 2 は、主に第 1 シリコン層に由来する部位であり、揺動部 1 0 の揺動軸心 A 1 と直交する方向にフレーム 2 1 から延出する。また、アーム部 5 2 は、図 2 8 に示すように、フレーム 2 1 において第 1 シリコン層に由来する部位に固定されている。アーム部 5 3 は、主に第 2 シリコン層に由来する部位であり、揺動部 1 0 の揺動軸心 A 1 と直交する方向であってアーム部 5 2 に平行にフレーム 5 1 から延出する。また、アーム部 5 3 は、図 2 7 に示すように、フレーム 5 1 において第 2 シリコン層に由来する部位に固定されている。

10

【 0 1 1 4 】

捩れ連結部 5 4 は、一組のトーシヨンバー 5 4 a , 5 4 b およびトーシヨンバー 5 4 c からなる。

【 0 1 1 5 】

トーシヨンバー 5 4 a は、主に第 1 シリコン層に由来する部位であり、フレーム 2 1 の第 1 シリコン層由来部位とフレーム 5 1 の第 1 シリコン層由来部位とに接続してこれらを連結する。トーシヨンバー 5 4 a により、フレーム 5 1 の第 1 シリコン層由来部位とフレーム 2 1 の第 1 シリコン層由来部位とは電氣的に接続される。また、トーシヨンバー 5 4 a は、図 2 8 に示すように、素子厚さ方向 H においてフレーム 2 1 の第 1 シリコン層由来部位およびフレーム 5 1 の第 1 シリコン層由来部位よりも薄肉である。

20

【 0 1 1 6 】

トーシヨンバー 5 4 b は、主に第 2 シリコン層に由来する部位であり、フレーム 2 1 の第 2 シリコン層由来部位とフレーム 5 1 の第 2 シリコン層由来部位とに接続してこれらを連結する。トーシヨンバー 5 4 b により、フレーム 5 1 の第 2 シリコン層由来部位とフレーム 2 1 の第 2 シリコン層由来部位と電氣的に接続される。フレーム 5 1 の第 2 シリコン層由来部位において、トーシヨンバー 5 4 b が固定されている箇所と、上述のアーム部 5 3 が固定されている箇所とは電氣的に分離されている。また、トーシヨンバー 5 4 b は、図 2 8 に示すように、素子厚さ方向 H においてフレーム 2 1 の第 2 シリコン層由来部位およびフレーム 5 1 の第 2 シリコン層由来部位よりも薄肉である。

30

【 0 1 1 7 】

トーシヨンバー 5 4 c は、主に第 1 シリコン層に由来する部位であり、フレーム 5 1 の第 1 シリコン層由来部位とアーム部 5 2 とに接続してこれらを連結する。トーシヨンバー 5 4 c により、フレーム 5 1 の第 1 シリコン層由来部位とアーム部 5 2 とは電氣的に接続される。また、トーシヨンバー 5 4 c は、図 2 8 に示すように、素子厚さ方向 H においてフレーム 5 1 の第 1 シリコン層由来部位およびアーム部 5 2 よりも薄肉である。

【 0 1 1 8 】

このような捩れ連結部 5 4 (トーシヨンバー 5 4 a , 5 4 b , 5 4 c) は、フレーム 2 1 の揺動動作の揺動軸心 A 5 を規定する。揺動軸心 A 5 の延び方向は、揺動軸心 A 1 の延び方向と直交する。このような揺動軸心 A 5 は、好ましくは、揺動部 1 0 の重心またはその近傍を通る。

40

【 0 1 1 9 】

櫛歯電極 5 5 は、複数の電極歯 5 5 a からなる。複数の電極歯 5 5 a は、アーム部 5 2 から各々が延出し、且つ、アーム部 5 2 の延び方向に互いに離隔する。電極歯 5 5 a は、主に第 1 シリコン層に由来する部位である。

【 0 1 2 0 】

櫛歯電極 5 6 は、櫛歯電極 5 5 と協働して静電引力を発生するための部位であり、複数の電極歯 5 6 a からなる。複数の電極歯 5 6 a は、アーム部 5 3 から各々が延出し、且つ、アーム部 5 3 の延び方向に互いに離隔する。電極歯 5 6 a は、主に第 2 シリコン層に由来する部位である。

【 0 1 2 1 】

50

このような櫛歯電極 55, 56 は、本素子の駆動機構を構成する。櫛歯電極 55, 56 は、フレーム 21 の例えば非動作時には、図 28 および図 30 に示すように、互いに異なる高さに位置する。また、櫛歯電極 55, 56 は、フレーム 21 の揺動動作時において互いに当接しないように、それらの電極歯 55a, 56a が位置ずれした態様で配されている。

【0122】

マイクロミラー素子 X5 においては、櫛歯電極 13A, 13B, 23A, 23B, 55, 56 に対して必要に応じて所定の電位を付与することにより、揺動部 10 ないしミラー支持部 11 を揺動軸心 A1 まわりに揺動駆動することができるとともに、フレーム 21 およびこれに伴う揺動部 10 を揺動軸心 A5 まわりに揺動駆動することができる。すなわち

10

【0123】

櫛歯電極 13A, 13B に対する電位付与は、フレーム 51 の第 1 シリコン層由来部位、トーションバー 54a、フレーム 21 の第 1 シリコン層由来部位、両トーションバー 22a、およびアーム部 12 を介して、または、フレーム 51 の第 1 シリコン層由来部位、トーションバー 54c、アーム部 52、フレーム 21 の第 1 シリコン層由来部位、両トーションバー 22a、およびアーム部 12 を介して、実現することができる。櫛歯電極 55 に対する電位付与は、フレーム 51 の第 1 シリコン層由来部位、トーションバー 54a、フレーム 21 の第 1 シリコン層由来部位、およびアーム部 52 を介して、または、フレーム 51 の第 1 シリコン層由来部位、トーションバー 54c、およびアーム部 52 を介して

、実現することができる。櫛歯電極 13A, 13B, 55 は例えばグラウンド接続される。櫛歯電極 23A, 23B に対する電位付与は、フレーム 51 の第 2 シリコン層由来部位、トーションバー 54b、および、フレーム 21 の第 2 シリコン層由来部位を介して実現することができる。櫛歯電極 56 に対する電位付与は、フレーム 51 の第 2 シリコン層由来部位およびアーム部 53 を介して実現することができる。揺動軸心 A1 まわりの揺動動作における回転変位量は、櫛歯電極 13A, 13B, 23A, 23B への付与電位を調整することにより、調節することができる。また、揺動軸心 A5 まわりの揺動動作における回転変位量は、櫛歯電極 55, 56 への付与電位を調整することにより、調節することができる。このような、揺動部 10 ないしミラー支持部 11 の揺動駆動およびフレーム 21 およびこれに伴う揺動部 10 の揺動駆動により、ミラー支持部 11 上に設けられたミラー

20

30

【0124】

また、マイクロミラー素子 X5 は、マイクロミラー素子 X1 に関して上述したのと同様に、揺動軸心 A1 方向におけるミラー支持部 11 の設計寸法に関わらず所望数の電極歯 13a, 13b, 23a, 23b, 55a, 56a を設けることによって揺動部 10 の揺動動作のための駆動力を確保しつつ、揺動軸心 A1 方向におけるミラー支持部 11 したがって素子全体の設計寸法を短く設定することによって小型化を図るのに、適している。

【0125】

図 31 は、複数のマイクロミラー素子 X5 を含むマイクロミラーアレイ Y を表す。図の明確化の観点より、図 31 においては、揺動部 10、フレーム 21、51、アーム部 52、および櫛歯電極 55 について斜線ハッチングを付して表す。マイクロミラーアレイ Y では、複数のマイクロミラー素子 X5 は、回転軸心 A1 の方向に一行に配されている。したがって、マイクロミラーアレイ Y では、複数のミラー面 11a は、回転軸心 A1 の方向に一行に配されている。各マイクロミラー素子 X5 は、上述のように、駆動力を得つつ素子全体の回転軸心 A1 方向寸法を短く設定することによる小型化を図るのに適している。そのため、マイクロミラーアレイ Y によると、複数のミラー面 11a について、短い配設ピッチを実現することができる。すなわち、マイクロミラーアレイ Y では、複数のミラー面 11a を、揺動軸心 A1 方向において高密度に配設することが可能である。加えて、各マイクロミラー素子 X5 では、ミラー支持部 11 およびトーションバー 22a (擦れ連結部 22) が回転軸心 A1 方向において重なり合う。このような構成は、揺動軸心 A1 方向に

40

50

おけるミラー面 1 1 a の高密度化を図るうえで好適である。

【 0 1 2 6 】

以上のまとめとして、本発明の構成およびそのバリエーションを以下に付記として列挙する。

【 0 1 2 7 】

(付記 1) フレームと、

可動機能部、当該可動機能部から延出するアーム部、および、当該アーム部の延び方向と交差する方向に当該アーム部から各々が延出し且つ前記延び方向に互いに離隔する複数の第 1 電極歯からなる第 1 櫛歯電極、を有する揺動部と、

前記フレームおよび前記揺動部を連結して当該揺動部の揺動動作の揺動軸心を規定する擦れ連結部と、

前記アーム部の延び方向と交差する方向に前記フレームから各々が延出し且つ前記アーム部の延び方向に互いに離隔する複数の第 2 電極歯からなる、前記第 1 櫛歯電極と協働して前記揺動動作の駆動力を発生させるための第 2 櫛歯電極と、を備えるマイクロ揺動素子。

10

(付記 2) 前記複数の第 1 電極歯の延び方向は、前記揺動軸心に対して平行である、付記 1 に記載のマイクロ揺動素子。

(付記 3) 前記複数の第 1 電極歯の延び方向と前記揺動軸心の延び方向とは交差する、付記 1 に記載のマイクロ揺動素子。

(付記 4) 前記第 2 電極歯の延び方向は、前記第 1 電極歯の延び方向に対して平行である、付記 1 から 3 のいずれか一つに記載のマイクロ揺動素子。

20

(付記 5) 前記第 1 櫛歯電極は 3 本以上の電極歯からなり、隣り合う 2 つの第 1 電極歯間の距離は、前記揺動軸心から遠いほど長い、付記 1 から 4 のいずれか一つに記載のマイクロ揺動素子。

(付記 6) 前記第 2 櫛歯電極は 3 本以上の電極歯からなり、隣り合う 2 つの第 2 電極歯間の距離は、前記揺動軸心から遠いほど長い、付記 1 から 5 のいずれか一つに記載のマイクロ揺動素子。

(付記 7) 前記アーム部の延び方向において隣り合う 2 つの第 2 電極歯の間に位置する第 1 電極歯は、当該 2 つの第 2 電極歯間の中心位置から、前記揺動軸心に近づく方に偏位している、付記 1 から 6 のいずれか一つに記載のマイクロ揺動素子。

30

(付記 8) 前記アーム部の延び方向において隣り合う 2 つの第 2 電極歯の間に位置する第 1 電極歯は、当該 2 つの第 2 電極歯間の中心位置から、前記揺動軸心から遠ざかる方に偏位している、付記 1 から 6 のいずれか一つに記載のマイクロ揺動素子。

(付記 9) 前記アーム部の延び方向と交差する方向に当該アーム部から各々が延出し且つ前記アーム部の延び方向に互いに離隔する複数の第 3 電極歯、からなる第 3 櫛歯電極と、

前記アーム部の延び方向と交差する方向に前記フレームから各々が延出し且つ前記アーム部の延び方向に互いに離隔する複数の第 4 電極歯からなる、前記第 3 櫛歯電極と協働して前記揺動動作の駆動力を発生させるための第 4 櫛歯電極と、を更に備え、

前記第 2 および前記第 4 櫛歯電極は電氣的に分離されている、付記 1 から 8 のいずれか一つに記載のマイクロ揺動素子。

40

(付記 10) 前記第 1 および前記第 3 櫛歯電極は電氣的に接続されている、付記 9 に記載のマイクロ揺動素子。

(付記 11) 前記可動機能部から延出する追加アーム部と、

前記追加アーム部の延び方向と交差する方向に当該追加アーム部から各々が延出し且つ当該追加アーム部の延び方向に互いに離隔する複数の第 3 電極歯、からなる第 3 櫛歯電極と、

前記追加アーム部の延び方向と交差する方向に前記フレームから各々が延出し且つ前記追加アーム部の延び方向に互いに離隔する複数の第 4 電極歯からなる、前記第 3 櫛歯電極と協働して前記揺動動作の駆動力を発生させるための第 4 櫛歯電極と、を更に備え、

前記第 1 および前記第 3 櫛歯電極は電氣的に分離されている、付記 1 から 8 のいずれか

50

一つに記載のマイクロ揺動素子。

(付記 1 2) 前記第 2 および前記第 4 櫛歯電極は電氣的に接続されている、付記 1 1 に記載のマイクロ揺動素子。

(付記 1 3) 追加フレームと、

前記フレームおよび前記追加フレームを連結し、且つ、当該追加フレームの揺動動作の、前記揺動軸心の延び方向と交差する追加揺動軸心を規定する、追加捩れ連結部と、

前記追加フレームの前記揺動動作の駆動力を発生させるための駆動機構と、を更に備える、付記 1 から 1 2 のいずれか一つに記載のマイクロ揺動素子。

【図面の簡単な説明】

【0128】

10

【図 1】本発明の第 1 の実施形態に係るマイクロミラー素子の平面図である。

【図 2】図 1 に示すマイクロミラー素子の一部省略平面図である。

【図 3】図 1 の線 III - III に沿った断面図である。

【図 4】図 1 の線 IV - IV に沿った断面図である。

【図 5】図 1 のマイクロミラー素子の製造方法における一部の工程を表す。

【図 6】図 5 の後に続く工程を表す。

【図 7】駆動時における図 1 の線 III - III に沿った断面図である。

【図 8】図 1 のマイクロミラー素子の第 1 変形例の平面図である。

【図 9】図 1 のマイクロミラー素子の第 2 変形例の平面図である。

【図 10】図 1 のマイクロミラー素子の第 3 変形例の平面図である。

20

【図 11】図 1 のマイクロミラー素子の第 4 変形例の平面図である。

【図 12】図 1 のマイクロミラー素子の第 5 変形例の平面図である。

【図 13】図 1 のマイクロミラー素子の第 6 変形例の平面図である。

【図 14】図 1 のマイクロミラー素子の第 7 変形例の平面図である。

【図 15】本発明の第 2 の実施形態に係るマイクロミラー素子の平面図である。

【図 16】図 15 に示すマイクロミラー素子の一部省略平面図である。

【図 17】図 15 の線 XVII - XVII に沿った断面図である。

【図 18】図 15 の線 XVIII - XVIII に沿った断面図である。

【図 19】本発明の第 3 の実施形態に係るマイクロミラー素子の平面図である。

【図 20】図 19 に示すマイクロミラー素子の一部省略平面図である。

30

【図 21】図 19 の線 XXI - XXI に沿った断面図である。

【図 22】図 19 の線 XXII - XXII に沿った断面図である。

【図 23】図 19 の線 XXIII - XXIII に沿った断面図である。

【図 24】本発明の第 4 の実施形態に係るマイクロミラー素子の平面図である。

【図 25】図 24 の線 XXV - XXV に沿った断面図である。

【図 26】本発明の第 5 の実施形態に係るマイクロミラー素子の平面図である。

【図 27】図 26 に示すマイクロミラー素子の一部省略平面図である。

【図 28】図 26 の線 XXVIII - XXVIII に沿った断面図である。

【図 29】図 26 の線 XXIX - XXIX に沿った断面図である。

【図 30】図 26 の線 XXX - XXX に沿った断面図である。

40

【図 31】複数の図 26 のマイクロミラー素子を含むマイクロミラーアレイを表す。

【図 32】従来のマイクロミラー素子の一部省略斜視図である。

【図 33】図 32 に示すマイクロミラー素子における一組の櫛歯電極の配向を表す。

【符号の説明】

【0129】

X 1 , X 2 , X 3 , X 4 , X 5 , X 6 マイクロミラー素子

Y マイクロミラーアレイ

1 0 , 3 0 揺動部

1 1 , 3 1 , 6 1 ミラー支持部

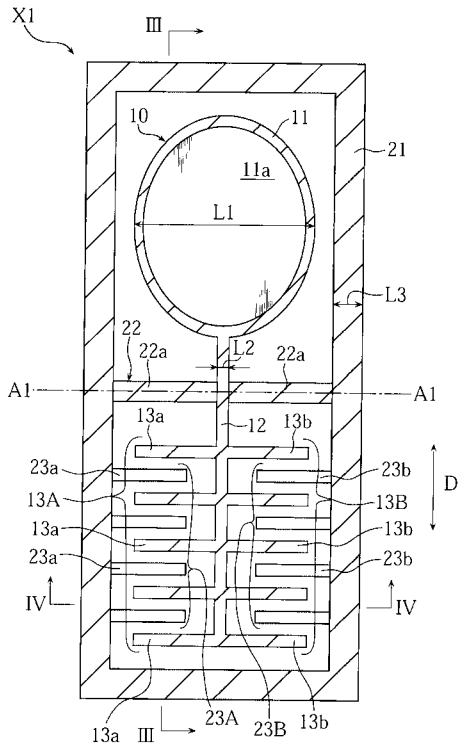
1 2 , 1 4 , 1 5 , 3 2 , 3 3 , 5 2 , 5 3 アーム部

50

- 1 3 A , 2 3 A , 3 4 A , 3 5 A , 4 3 A , 4 4 A 櫛歯電極
- 1 3 a , 2 3 a , 3 4 a , 3 5 a , 4 3 a , 4 4 a 電極歯
- 1 3 B , 2 3 B , 3 4 B , 3 5 B , 4 3 B , 4 4 B 櫛歯電極
- 1 3 b , 2 3 b , 3 4 b , 3 5 b , 4 3 b , 4 4 b 電極歯
- 2 1 , 4 1 , 5 1 , 6 2 フレーム
- 2 2 , 4 2 , 5 4 抜け連結部
- 2 2 a , 4 2 a , 5 4 a , 5 4 b , 5 4 c トーションバー
- 5 5 , 5 6 櫛歯電極
- 5 5 a , 5 6 電極歯

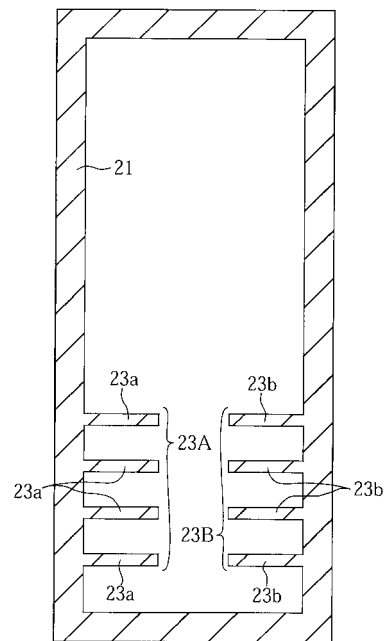
【図1】

第1の実施形態のマイクロミラー素子

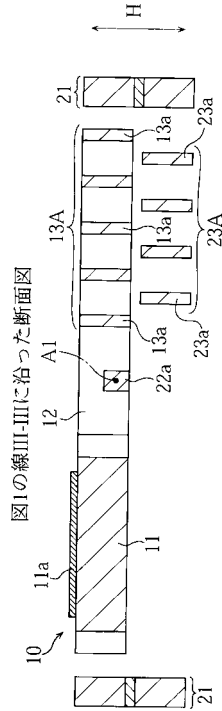


【図2】

図1のマイクロミラー素子の一部省略平面図

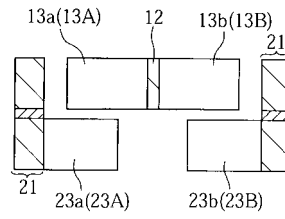


【 図 3 】



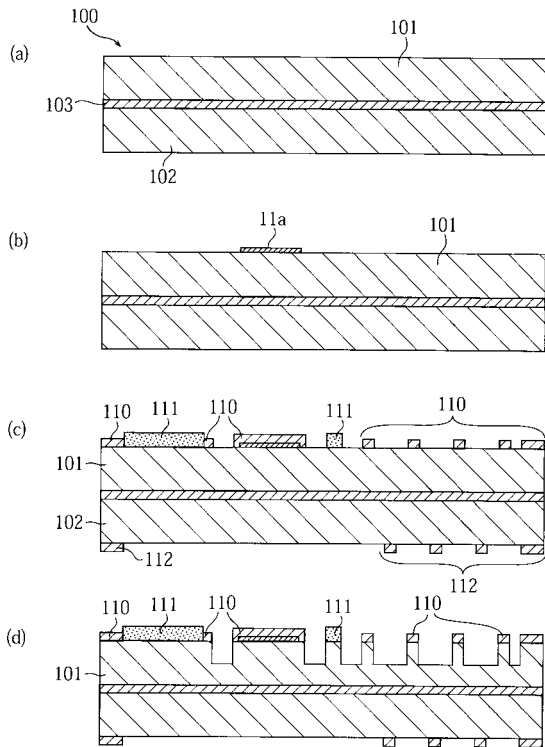
【 図 4 】

図1の線IV-IVに沿った断面図



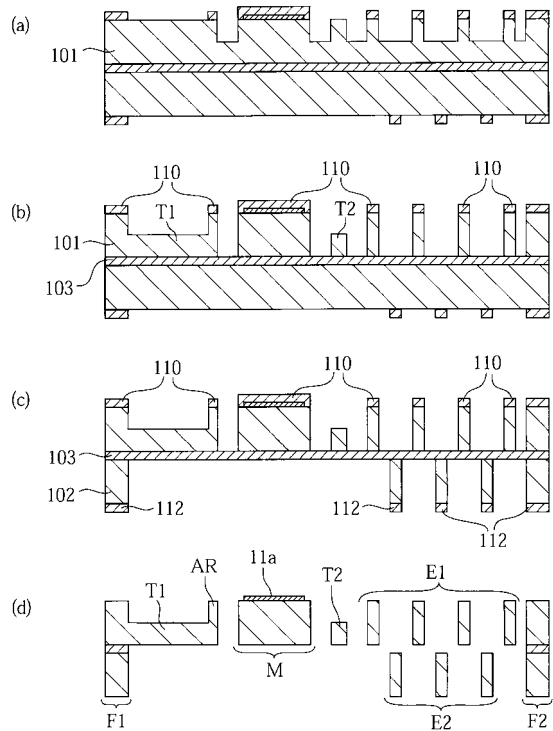
【 図 5 】

図1のマイクロミラー素子の製造方法における一部の工程

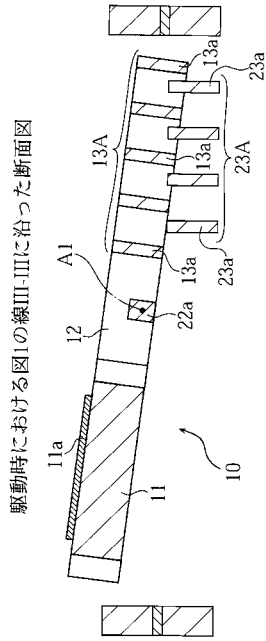


【 図 6 】

図5の後に続く工程

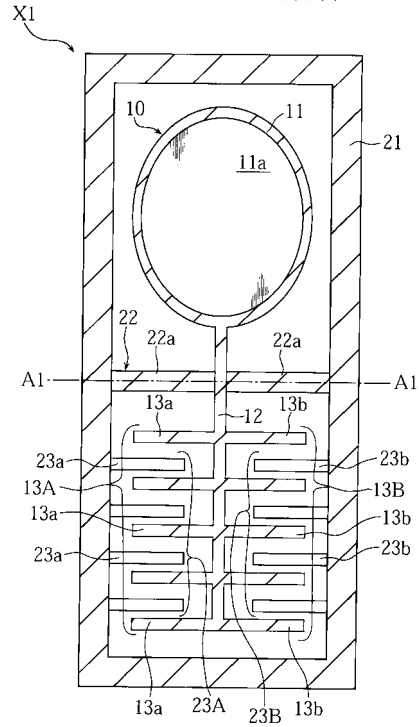


【図7】



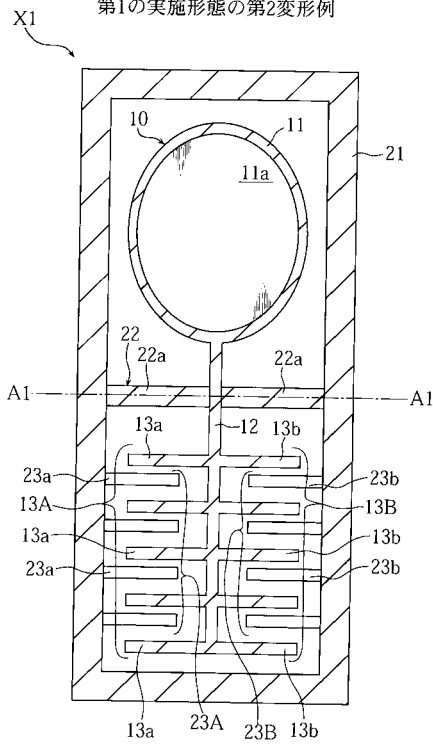
【図8】

第1の実施形態の第1変形例



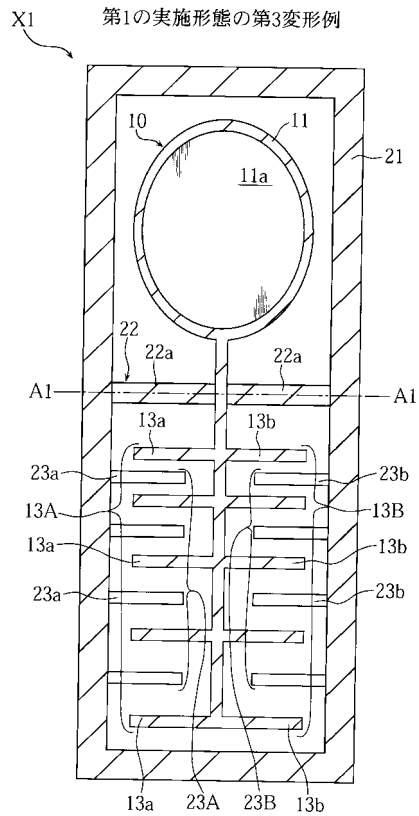
【図9】

第1の実施形態の第2変形例



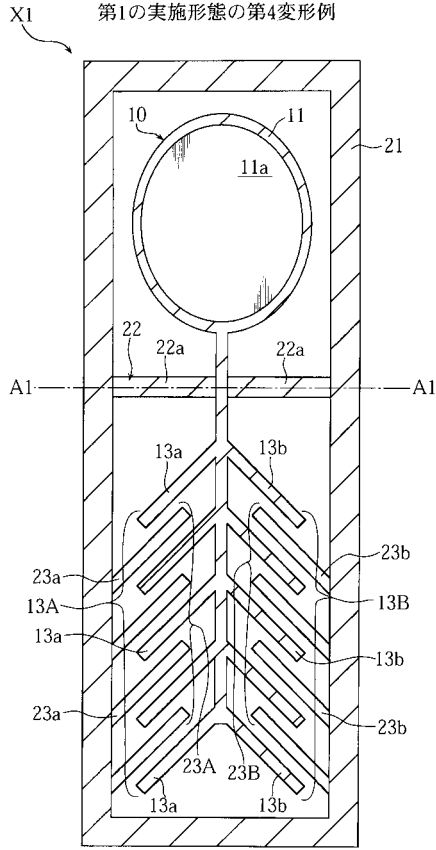
【図10】

第1の実施形態の第3変形例



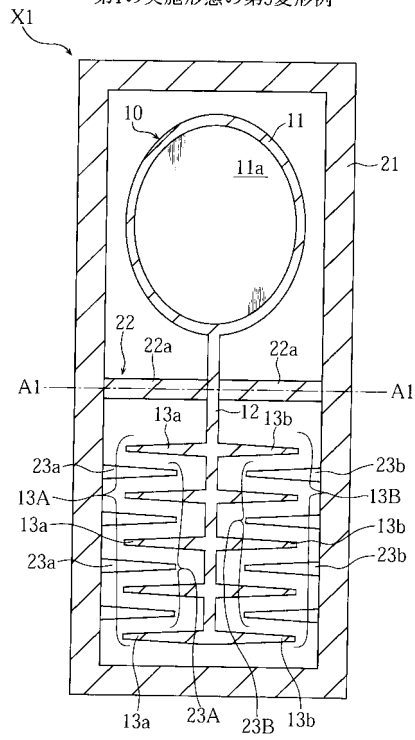
【図11】

第1の実施形態の第4変形例



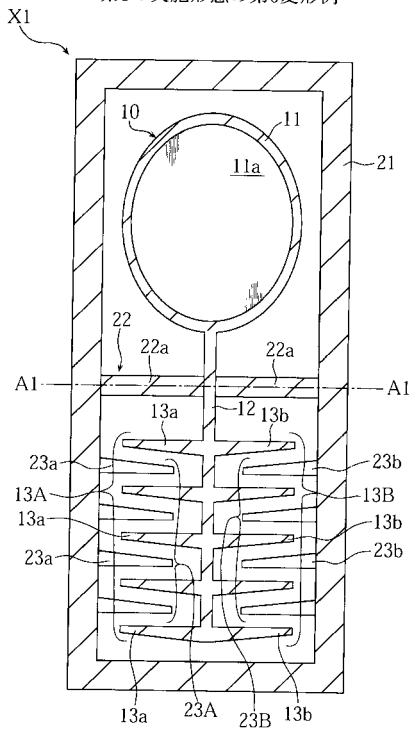
【図12】

第1の実施形態の第5変形例

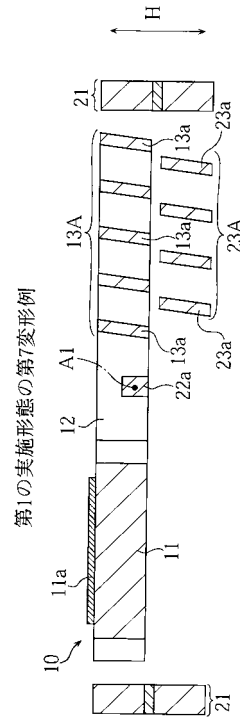


【図13】

第1の実施形態の第6変形例

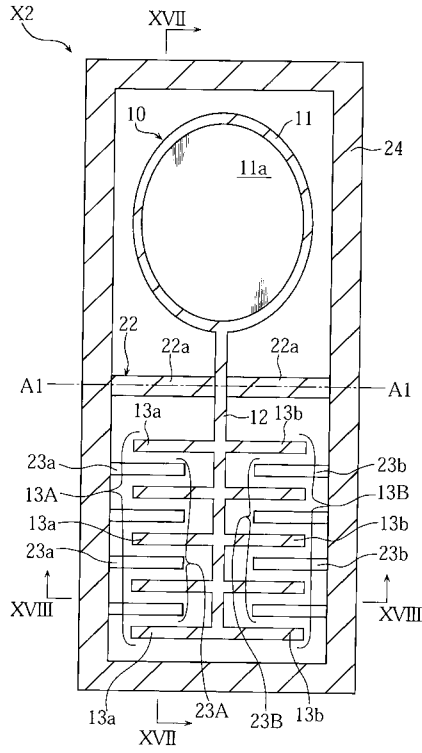


【図14】



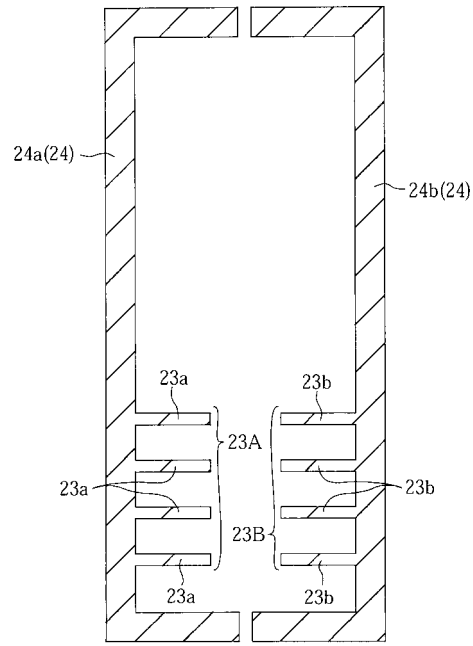
【図15】

第2の実施形態のマイクロミラー素子



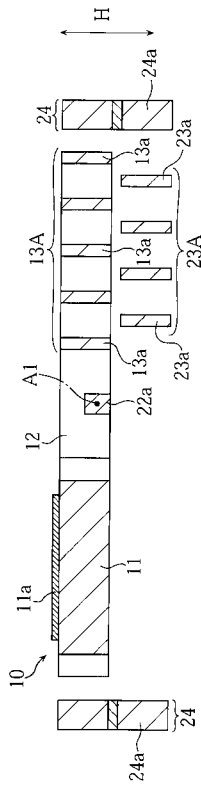
【図16】

図15のマイクロミラー素子の一部省略平面図



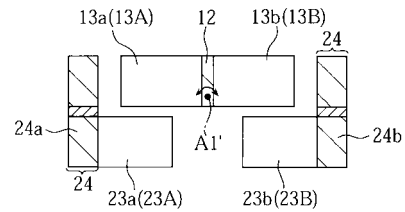
【図17】

図15の線XXVII-XXVIIに沿った断面図



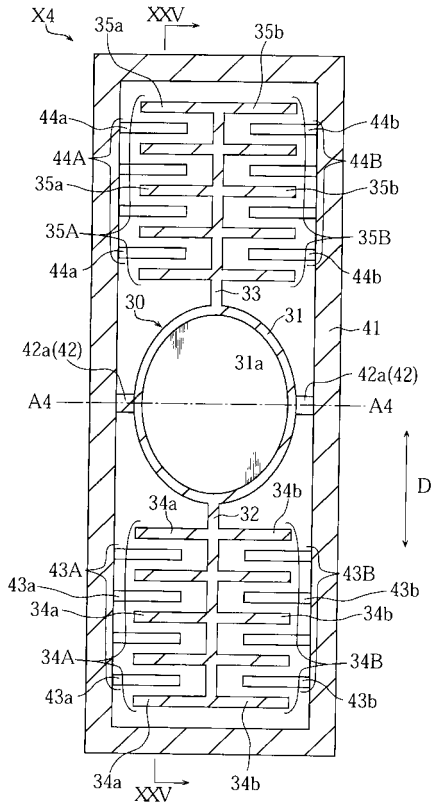
【図18】

図15の線XVIII-XVIIIに沿った断面図



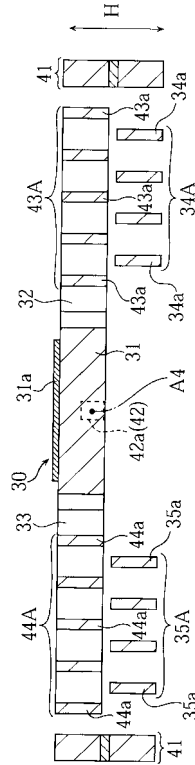
【図24】

第4の実施形態のマイクロミラー素子



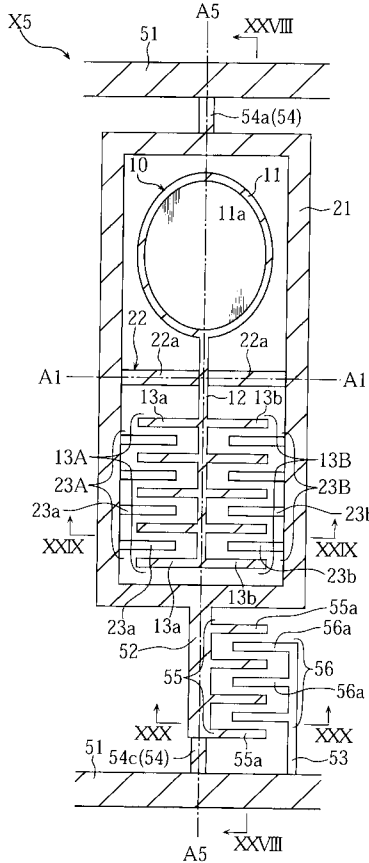
【図25】

図24の線XXV-XXVに沿った断面図



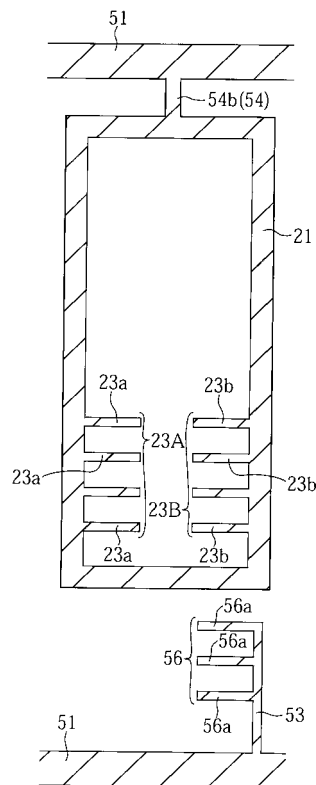
【図26】

第5の実施形態のマイクロミラー素子



【図27】

図26のマイクロミラー素子の一部省略平面図



【図28】

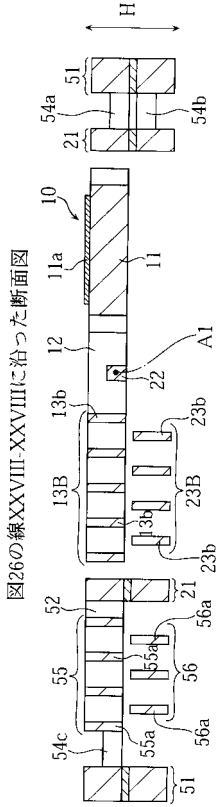
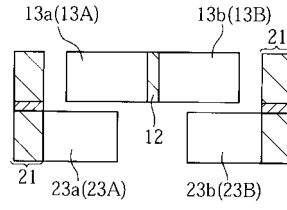


図26の線XXVIII-XXVIIIに沿った断面図

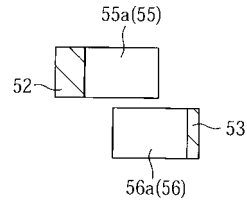
【図29】

図26の線XXIX-XXIXに沿った断面図

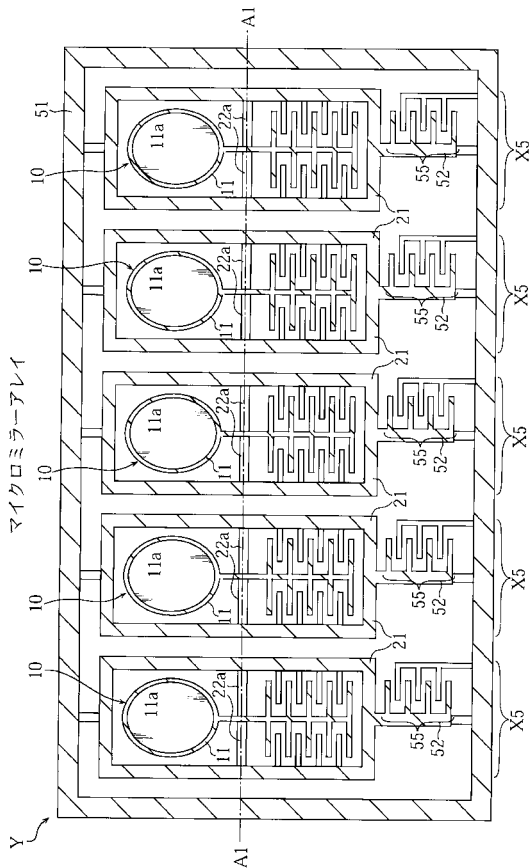


【図30】

図26の線XXX-XXXに沿った断面図

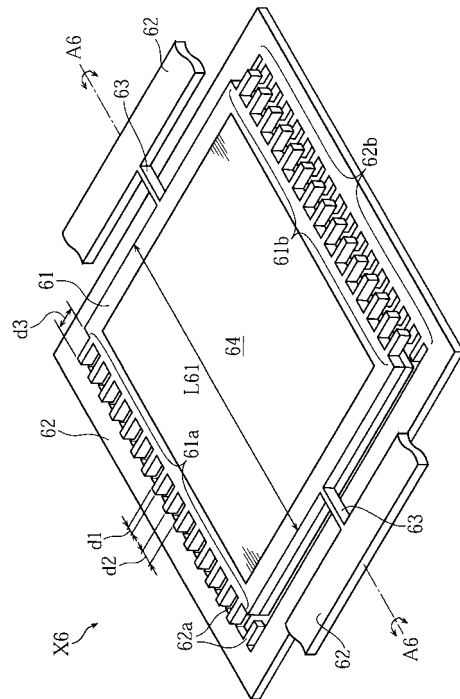


【図31】



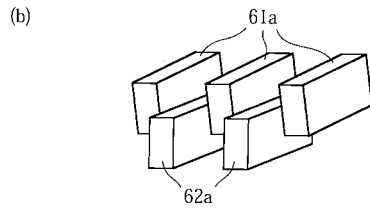
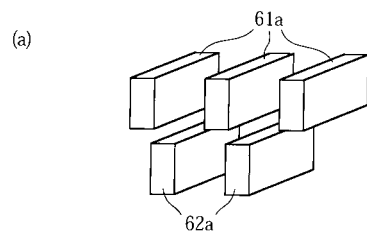
【図32】

従来のマイクロミラー素子



【図33】

一組の櫛歯電極の配向を表す部分斜視図



フロントページの続き

- (72)発明者 壺井 修
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
- (72)発明者 曾根田 弘光
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
- (72)発明者 上田 知史
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
- (72)発明者 佐脇 一平
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

審査官 植田 高盛

- (56)参考文献 特開2006-162699(JP,A)
特開2004-082288(JP,A)
特表2003-529108(JP,A)
特開平04-325882(JP,A)
特表平11-515092(JP,A)
特開2005-305582(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G02B 26/00 - 26/10