

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4761810号
(P4761810)

(45) 発行日 平成23年8月31日(2011.8.31)

(24) 登録日 平成23年6月17日(2011.6.17)

(51) Int.Cl.

F 1

H02N	1/00	(2006.01)	H02N	1/00
B81B	3/00	(2006.01)	B81B	3/00
G02B	26/08	(2006.01)	G02B	26/08

E

請求項の数 16 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2005-118473 (P2005-118473)
 (22) 出願日 平成17年4月15日 (2005.4.15)
 (65) 公開番号 特開2005-341788 (P2005-341788A)
 (43) 公開日 平成17年12月8日 (2005.12.8)
 審査請求日 平成20年1月29日 (2008.1.29)
 (31) 優先権主張番号 特願2004-129281 (P2004-129281)
 (32) 優先日 平成16年4月26日 (2004.4.26)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000005821
 パナソニック株式会社
 大阪府門真市大字門真1006番地
 (74) 代理人 100101683
 弁理士 奥田 誠司
 (72) 発明者 黒塚 章
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下
 電器産業株式会社内
 (72) 発明者 虫鹿 由浩
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下
 電器産業株式会社内
 (72) 発明者 梶野 修
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下
 電器産業株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】マイクロアクチュエータ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基台と、

前記基台によって支持された第1櫛型電極と、

前記第1櫛型電極と対向する第2櫛型電極と、前記基台の方向に突出した少なくとも1つの補強リブとを備える可動部と、

複数方向に延びる梁部を有し、前記可動部の前記基台に対する変位が少なくとも可動部中心まわりの2軸方向に回動可能なように前記基台と前記可動部との間で前記可動部を支持する弾性支持部と、

前記弾性支持部の一部を前記可動部に固定する固定部と

を備え、

前記梁部は、前記固定部から前記可動部の外周部に向かう方向に延びており、

前記補強リブは、前記梁部が延びる方向に沿って延びる第1の補強リブと、前記梁部が延びる方向とは異なる方向に延びる第2の補強リブと、を有し、

前記可動部の底面からの前記第2の補強リブの高さが、前記可動部の底面からの前記第1の補強リブの高さよりも高く、かつ、

前記第2の補強リブは、少なくとも一部の前記第1櫛型電極と同じ方向に沿って延びており、少なくとも一部の前記第1櫛型電極と所定の空間を介してかみ合うように形成されている、マイクロアクチュエータ。

【請求項 2】

10

20

前記第2の補強リブの高さは、前記第2櫛型電極の高さよりも高い、請求項1に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項3】

前記第2櫛型電極は複数の櫛歯部を備え、

前記第2の補強リブの厚さは、前記複数の櫛歯部のそれぞれの厚さよりも厚い、請求項1に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項4】

前記第2櫛型電極は複数の櫛歯部を備え、

前記複数の櫛歯部および前記第2の補強リブは、前記第2櫛型電極の背面から前記基板に向かって突出しており、

10

前記複数の櫛歯部の最高点の位置と前記第2の補強リブの最高点の位置とは互いに異なる、請求項1に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項5】

前記第2の補強リブの最高点の位置から前記第2櫛型電極の背面までの長さは、前記複数の櫛歯部の最高点の位置から前記第2櫛型電極の背面までの長さよりも長い、請求項4に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項6】

前記第2櫛型電極は複数の櫛歯部を備え、

前記複数の櫛歯部は、前記可動部の内側から外側へ向かう方向に沿って延びている、請求項1または4に記載のマイクロアクチュエータ。

20

【請求項7】

前記第2櫛型電極は複数の櫛歯部を備え、

前記複数の櫛歯部は同心円状の形状を有する、請求項1または4に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項8】

前記第2の補強リブは、前記可動部の外周部にさらに設けられている、請求項1または4に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項9】

前記第2櫛型電極は複数の櫛歯部を備え、

前記複数の櫛歯部と前記第2の補強リブとは同じ方向に沿って延びている、請求項1または4に記載のマイクロアクチュエータ。

30

【請求項10】

前記第2櫛型電極は複数の櫛歯部を備え、

前記複数の櫛歯部と前記第2の補強リブの一部とは互いに垂直な方向に沿って延びている、請求項1または4に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項11】

前記第2櫛型電極の高さは、前記可動部の内側から外側へ向かう方向に沿って低くなっている、請求項1または4に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項12】

前記弾性支持部は、前記可動部の前記基台に対する2軸の傾動が可能なように前記可動部を支持する、請求項1または4に記載のマイクロアクチュエータ。

40

【請求項13】

前記第1櫛型電極の互いに隣接する櫛型電極の間に形成された溝部において、前記第2の補強リブと対向する位置に形成された溝部の深さは、その他の溝部の深さよりも深く形成されている、請求項1に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項14】

前記第2櫛型電極の高さと前記第2の補強リブの高さとは互いに異なる、請求項1に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項15】

前記弾性支持部は、前記可動部の前記基台に対する垂直方向の変位、および前記基台に

50

に対する 2 軸の傾動が可能なように前記可動部を支持する、請求項 1 または 4 に記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項 16】

前記可動部は光反射面を備える、請求項 1 または 4 に記載のマイクロアクチュエータ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、櫛型電極を備え、静電力を用いて可動部を変位させるマイクロアクチュエータに関する。本発明のマイクロアクチュエータは、例えば、可動部に光反射面を備えたマイクロミラーデバイスとして用いられる。

10

【背景技術】

【0002】

マイクロマシニング技術を応用したマイクロアクチュエータは、例えば、レーザプリンタ、スキヤナ、ディスプレイ等における光走査装置や、光ファイバに対して入出力する光を切り替える光スイッチングデバイスとして用いられる。

【0003】

特許文献 1 は、櫛型電極を備え、光偏向器として機能するマイクロアクチュエータを開示している。この光偏向器の可動部は光反射面として機能するミラー面を備えている。可動部は同一直線上に設けられた 2 本の梁で支持されており、可動部に設けられた櫛型電極と基台に設けられた櫛型電極との間に発生した静電力により、2 本の梁をねじり回転軸として傾動する。この光偏向器は、モーターを用いてポリゴンミラーを回転させる光偏向器よりも構造がシンプルであり、また、半導体プロセスでの一括形成が可能なため、小型化が容易で製造コストも低くできる等の効果が期待できる。

20

【0004】

この光偏向器の可動部が備える櫛型電極は、傾動軸に対して直交する方向に延びる櫛歯部として機能する突起部を有し、突起部間には溝が形成されている。基台が備える櫛型電極も、傾動軸に対して直交する方向に延びる櫛歯部である突起部を有し、突起部間には溝が形成されている。可動部の櫛歯部と基台の櫛歯部とは、互いにギャップを隔ててかみ合った状態で対向している。可動部の櫛歯部が基台の方向に向かって突出していることにより、可動部が補強されている。

30

【0005】

この光偏向器は 1 軸チルトミラーであり、可動部が傾いたときに可動部の櫛歯部と基台の櫛歯部との間のギャップが変化しないように、これらの櫛歯部は、回転軸と直交する方向にのみ延びている。

【特許文献 1】特開 2000-147419 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、上述の光偏向器では、以下のような課題があった。

【0007】

上述の光偏向器では、可動部の櫛歯部は、傾動軸に直交する 1 方向のみに沿って延びており、その他の方向には可動部は補強されていないので可動部の剛性が低いという問題がある。可動部の剛性が低いと、光の反射率を高めるために可動部表面に Au 膜や誘電体多層膜を形成した場合に、これらの膜の材料と可動部の材料との間の熱膨張係数の差によって可動部にそりが発生し、光反射面の平面度が悪くなるという問題がある。

40

【0008】

可動部の剛性を高めるために櫛歯部の高さを高くすることが考えられる。しかし、可動部に必要な剛性を得るために必要な高さまで櫛歯部を高くすると、可動部の重量が増すため、可動部を駆動するためにはより大きな駆動力が必要となる。また、可動部の重量が増すと、可動部の共振周波数が低くなるので、可動部を高速で駆動させることができないと

50

いう問題がある。

【0009】

また、上述のマイクロアクチュエータの可動部は1軸の傾動を行うのみであるが、他の種類のマイクロアクチュエータとして、櫛歯部を複数の方向に沿って張り巡らせ、可動部に多軸の傾動を行わせるマイクロアクチュエータがある。このようなマイクロアクチュエータでは、可動部の剛性を高めるために櫛歯部の高さを高くすると、可動部を傾動させたときに、可動部に設けられた櫛歯部と基台に設けられた櫛歯部とが接触するという問題がある。このような接触を避けるために、櫛歯部間のギャップを広くすると、発生する静電力が低下するという問題がある。また、櫛歯部の高さを高くすると可動部の重量が増すため、上述したような大きな駆動力が必要となるという問題と、可動部を高速で駆動させることができないという問題がある。このように、可動部の剛性と重量との間、および可動部の剛性と静電力との間の両方にトレードオフがあった。10

【0010】

本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであり、その目的は、多軸の傾動が可能で且つ軽量で剛性の高い可動部を備え、低電圧で高速動作が可能なマイクロアクチュエータを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明のマイクロアクチュエータは、基台と、前記基台によって支持された第1櫛型電極と、前記第1櫛型電極と対向する第2櫛型電極と前記基台の方向に突出した少なくとも1つの補強リブとを備える可動部と、前記可動部の前記基台に対する変位が可能なよう前に記可動部を支持する弾性支持部とを備え、前記第2櫛型電極の高さと前記少なくとも1つの補強リブの高さとは互いに異なることを特徴とする。20

【0012】

ある実施形態において、前記少なくとも1つの補強リブの高さは、前記第2櫛型電極の高さよりも高い。

【0013】

ある実施形態において、前記第2櫛型電極は複数の櫛歯部を備え、前記少なくとも1つの補強リブの厚さは、前記複数の櫛歯部のそれぞれの厚さよりも厚い。

【0014】

ある実施形態において、前記第2櫛型電極は複数の櫛歯部を備え、前記複数の櫛歯部は、前記可動部の内側から外側へ向かう方向に沿って延びている。30

【0015】

ある実施形態において、前記第2櫛型電極は複数の櫛歯部を備え、前記複数の櫛歯部は同心円状の形状を有する。

【0016】

ある実施形態において、前記少なくとも1つの補強リブは、前記可動部の外周部に設けられている。

【0017】

ある実施形態において、前記第2櫛型電極は複数の櫛歯部を備え、前記複数の櫛歯部と前記少なくとも1つの補強リブとは同じ方向に沿って延びている。40

【0018】

ある実施形態において、前記第2櫛型電極は複数の櫛歯部を備え、前記複数の櫛歯部と前記少なくとも1つの補強リブとは互いに垂直な方向に沿って延びている。

【0019】

ある実施形態において、前記第2櫛型電極の高さは、前記可動部の内側から外側へ向かう方向に沿って低くなっている。

【0020】

ある実施形態において、前記第2櫛型電極は複数の櫛歯部を備え、前記複数の櫛歯部のそれぞれの厚さは、前記可動部の内側から外側へ向かう方向に沿って薄くなっている。50

【0021】

ある実施形態において、前記弹性支持部は、前記可動部の前記基台に対する2軸の傾動が可能なように前記可動部を支持する。

【0022】

ある実施形態において、前記弹性支持部は、前記可動部の前記基台に対する垂直方向の変位、および前記基台に対する2軸の傾動が可能なように前記可動部を支持する。

【0023】

ある実施形態において、前記可動部は光反射面を備える。

【発明の効果】**【0024】**

10

本発明のマイクロアクチュエータによれば、可動部が補強リブを備えることで、可動部の剛性を高めることができる。また、補強リブの高さを櫛型電極より高くすることで、可動部の剛性をより高めることができる。剛性を高めるために櫛歯部の高さを高くする必要がないので、互いに噛み合う櫛歯部間の水平方向のギャップを狭くすることができ、また、可動部を軽量にすることができます。これにより、低電圧で高速に可動部を駆動することができる。また、可動部の剛性が高いので、可動部が光反射面を備える場合には、光反射面の平面度を極めて高くすることができる。

【発明を実施するための最良の形態】**【0025】**

以下、図面を参照して本発明の実施形態を説明する。

20

【0026】

(実施形態1)

図1～図6を参照して、本発明によるマイクロアクチュエータの第1の実施形態を説明する。

【0027】

まず、図1および図2を参照する。図1および図2は、本実施形態のマイクロアクチュエータ100を模式的に示す分解斜視図である。図1は、マイクロアクチュエータ100を斜め上から見たときの分解斜視図であり、図2は、マイクロアクチュエータ100を斜め下から見たときの分解斜視図である。図1では、可動部の一部を切り欠いて、可動部背面の断面も示している。マイクロアクチュエータ100は、半導体プロセスを用いたマイクロマシニング技術やMEMS (Micro Electro Mechanical System) 技術によって作製されている。

30

【0028】

マイクロアクチュエータ100は、基台1と、基台1によって支持された複数の第1櫛型電極2と、可動部6と、可動部6の基台1に対する変位が可能なように可動部6を支持する弹性支持部3とを備える。基台1は、第1櫛型電極2に電圧を印加する駆動回路(図示せず)と、駆動回路上に設けられた絶縁層(図示せず)とを備える。基台1の絶縁層上の正六角形の領域に、複数(本実施形態では3つ)の第1櫛型電極2と弹性支持部3とが設けられている。第1櫛型電極2は、固定電極として機能する。第1櫛型電極2のそれぞれは、複数の第1櫛歯部2aを備える。複数の第1櫛歯部2aは、正六角形の領域の内側から外側へ向かう方向に沿って延びている。

40

【0029】

弹性支持部3は、基台1の正六角形の領域の外周側に位置する3つの支持ポスト4と、正六角形の領域の中心に位置する固定部5とを備える。固定部5は弹性支持部3と可動部6とを固定する。支持ポスト4のそれぞれから固定部5へ向かって梁部が延びてあり、この梁部および固定部5は、基台1から所定量浮いている。固定部5と、可動部6の中央ポスト7とが結合することにより、弹性支持部3と可動部6とが固定されている。弹性支持部3は、可動部6の基台1に対する垂直方向の変位、および基台1に対する2軸の傾動が可能なように可動部6を支持している。

【0030】

50

可動部6の平面形状は六角形である。可動部6の平面形状およびサイズは、マイクロアクチュエータ100の用途や求められる性能等によって様々に設計される。本実施形態では、可動部6の幅は約100(μm)とする。可動部6は、光反射面6aと、複数(本実施形態では3つ)の第2櫛型電極8とを備える。光反射面6aは、可動部6のうちの基台1と対向する面とは反対側の面に位置している。第2櫛型電極8は、可動部6のうちの基台1と対向する面に設けられており、可動電極として機能する。第2櫛型電極8のそれぞれは、第1櫛型電極2のうちの対応する1つと対向している。第2櫛型電極8のそれぞれは、複数の第2櫛歯部8aを備える。複数の第2櫛歯部8aは、可動部6の内側から外側へ向かう方向に沿って延びている。第1櫛歯部2aと第2櫛歯部8aとは、互いにギャップを隔ててかみ合った状態で対向している。

10

【0031】

可動部6は、可動部6のうちの基台1と対向する面から基台1の方向に突出した少なくとも1つの補強リブ9を備える。補強リブ9は可動部6を補強し、可動部6の剛性を高めている。本実施形態では、可動部6は、複数の補強リブ9を備える。補強リブ9は、可動部6の外周部に設けられていると共に、可動部6の中心部から六角形の各頂点に向かって放射状に延びている。この放射状に延びている補強リブ9のうちの3つは、それぞれ、第2櫛型電極8のうちの対応する1つを通っており、その対応する第2櫛型電極8が備える複数の第2櫛歯部8aと同じ方向に沿って延びている。

【0032】

補強リブ9のうち、弾性支持部3の上部に位置する3つの補強リブ9は、第2櫛型電極8と同じ高さであり、弾性支持部3から所定量の空隙が空けられている。それ以外の補強リブ9と、第2櫛型電極8の高さとは互いに異なっている。具体的には、第2櫛型電極8を通り、対応する第2櫛歯部8aと同じ方向に沿って延びている補強リブ9の高さは、第2櫛型電極8の高さ(すなわち第2櫛歯部8aの高さ)よりも高い。また、可動部6の外周部に設けられた補強リブ9の高さは、第2櫛型電極8の高さよりも高い。これらの補強リブ9の高さは、第2櫛型電極8の高さよりも例えば約1.5~2倍高い。第1および第2櫛歯部2aおよび8aの高さは、例えば約10~20(μm)であり、補強リブ9の高さは、例えば約15~40(μm)である。これらの補強リブ9の高さが第2櫛型電極8の高さよりも高いことにより、可動部6の剛性をより高くすることができる。

20

【0033】

3つの第1櫛型電極2にはそれぞれ独立に駆動回路から駆動電圧が印加される。弾性支持部3は駆動回路を介してグランドに接続しており、可動部6は弾性支持部3を介してグランドに接続している。第1櫛型電極2に駆動電圧を印加すると、第1櫛型電極2と第2櫛型電極8との間に働く静電力により可動部6が基台1の方向に引き寄せられる。可動部6の基台1に対する変位に応じて弾性支持部5には復元力および復元トルクが生じる。この復元力および復元トルクと静電力とがつり合うように、可動部6は基台1に対する垂直方向の変位、および基台1に対する2軸の傾動を行う。

30

【0034】

図3は、図1に示す3A-3A線に沿ったマイクロアクチュエータ100の断面図であり、マイクロアクチュエータ100の中心を通り弾性支持部3に沿った断面を示している。

40

【0035】

基台1と弾性支持部3との間には、可動部6の所望の変位範囲を確保できるような空隙を開けている。また同様に、弾性支持部3と、弾性支持部3の上部に位置する補強リブ9との間には、可動部6の所望の変位範囲を確保できるような空隙を開けている。可動部6は、弾性支持部3と中央ポスト7との結合部に位置する回動中心10周りに傾動する。

【0036】

図4(a)および図4(b)は、図1に示す3A-3A線に沿ったマイクロアクチュエータ100の部分断面図であり、可動部6が変位した状態を示している。

【0037】

50

図4(a)に示す状態は、全ての第1櫛型電極2に同一電圧を印加して可動部6が下方へ最大距離sだけ並進移動した状態であり、電極間にはたらく静電力によって可動部6が下方に吸引され、弾性支持部3が撓んだ状態である。

【0038】

図4(b)に示す状態は、第1櫛型電極2への印加電圧を互いに異ならすことにより可動部6が最大角度だけ傾斜した状態を示す。傾斜によって最も下方へ変位する部分にも空隙が残るよう各構成要素間の空隙が設定されている。

【0039】

当然のことながら、駆動電圧の印加を止めると可動部6は弾性支持部3の弾性復元力および復元トルクによって元の位置および姿勢に復帰する。

10

【0040】

第1および第2櫛型電極2および8と補強リブ9を形成するには、例えば、D R I E (Deep Reactive Ion Etching)と呼ばれるプラズマエッチングを用いる。D R I Eによって基台1に溝を形成し、その溝内に犠牲層と構造体とをさらに堆積してゆくことでそれらの構成要素を形成する。D R I Eにより形成される溝には幅依存性があり、溝の幅が広いほど溝の深さは深くなる。従って、第2櫛型電極8よりも補強リブ9の幅が広くなるようにパターンニングを行うことにより、第2櫛型電極8の高さよりも補強リブ9の高さを高くすることができる。また、補強リブ9の厚さが第2櫛歯部8aのそれぞれの厚さよりも大きくなることにより、可動部6の剛性をさらに高めることが出来る。第1および第2櫛歯部2aおよび8aの厚さは、例えば約1.0~3.0(μm)であり、補強リブ9の厚さは、例えば約2.0~5.0(μm)である。

20

【0041】

図5は、図1に示す5A-5A線に沿ったマイクロアクチュエータ100の断面図であり、第1櫛型電極2と第2櫛型電極8とが噛み合う様子を示している。

【0042】

第1櫛歯部2aの先端部の高さと第2櫛歯部8aの根元部の高さとの間の距離Gsは、可動部6のストロークの長さより長い。同様に、第2櫛歯部8aの先端部の高さと第1櫛歯部2aの根元部の高さとの間の距離Gsは、可動部6のストロークの長さより長い。距離Gsは、第1および第2櫛歯部2aおよび8aのそれぞれの先端部周辺の空隙の高さに対応している。距離Gsは、例えば約3.0~10(μm)である。第1櫛歯部2aと第2櫛歯部8aとは、互いに長さLだけオーバーラップして噛み合っている。長さLは、例えば約10~20(μm)である。第1および第2櫛歯部2aおよび8aの高さ(Gs+L)は、可動部6のストロークの長さと必要な静電力とに応じて必要最小限の高さに設定する。それに対して、補強リブ9は、第1および第2櫛歯部2aおよび8aよりも高さを高く設定し、可動部6の剛性を高めている。補強リブ9が可動部6の剛性を高めることにより、第1および第2櫛歯部2aおよび8aの高さを必要最小限の高さにするとともに、可動部6の光反射面6a領域の厚さを薄くすることが出来る。これにより、必要な可動部6の剛性を確保しつつ、可動部6の重量を大幅に軽くすることができる。補強リブ9を備える可動部6の重量は、補強リブ9を備えずに同じ剛性を有する可動部(すなわち光反射面6a領域の厚さが大きいおよび/または第2櫛歯部8aの高さが高い可動部)の重量よりも、例えば約2~5倍程度軽くすることが出来る。また、光反射面6aの反射率を高めるために光反射面6aにAu膜や誘電体多層膜を形成した場合に、第2櫛型電極8のみでは可動部6の剛性が不足したとしても、補強リブ9によって可動部6の剛性を増すことが出来るので、平面度の良好な光反射面6aが得られる。第1櫛型電極2のうちの補強リブ9と対向する部分の溝の深さを、補強リブ9の高さに対応して深く形成することにより、補強リブ9の先端部周辺の空隙の高さを第2櫛歯部8aの先端部周辺の空隙の高さと同等にしている。

30

【0043】

図6(a)および図6(b)は、図1に示す5A-5A線に沿ったマイクロアクチュエータ100の断面図であり、可動部6が変位した状態を示している。

40

50

【0044】

図6(a)に示す状態は、全ての第1櫛型電極2に同一電圧を印加して可動部6が最大距離sだけ下方へ並進移動した状態である。可動部6の横方向への移動はないため、第1櫛歯部2aと第2櫛歯部8aとが干渉することはない。第1櫛歯部2aと第2櫛歯部8aとの間の水平方向のギャップをg1、補強リブ9と第1櫛歯部2aとの間のギャップをg2としている。

【0045】

図6(b)に示す状態は、第1櫛型電極2への印加電圧を互いに異ならすことにより可動部6が最大角度だけ傾斜した状態を示す。この場合、可動部6は、回動中心10周りに傾動する。回動中心10から距離Hの位置(すなわち第1櫛歯部2aの先端部の高さの位置)で、第2櫛型電極8は水平方向に最大H移動する。距離Hは、上述の第1および第2櫛歯部2aおよび8aの高さ(Gs+L)にはほぼ等しい。マイクロアクチュエータ100では、高さ(Gs+L)を必要最小限の高さに設定しているのでHも最小限ですむ。櫛歯部同士の干渉を避けるために櫛歯部間の水平方向のギャップg1を大きくすると発生する静電力が低下するが、高さ(Gs+L)を最小限に抑えているので、g1を小さくすることが出来る。補強リブ9と第1櫛歯部2aとの間のギャップg2もg1と同等でよく、補強リブ9も第1櫛型電極2と干渉することはない。

【0046】

このように、静電力を発生する第2櫛型電極8の高さと、可動部6の剛性を高める補強リブ9の高さとを互いに異ならすことにより、駆動力の低下させることなく、可動部6の剛性を必要十分に高めることができる。これにより、軽量で剛性が高く、光反射面の平面度の良好な可動部6が得られる。

【0047】

(実施形態2)

図7を参照して、本発明によるマイクロアクチュエータの第2の実施形態を説明する。

【0048】

図7は、本実施形態の可動部16を模式的に示す平面図である。本実施形態では、マイクロアクチュエータ100は可動部6の代わりに可動部16を備える。

【0049】

可動部16は、可動部6の構成要素に加えて、少なくとも1つ(本実施形態では複数)の補強リブ11をさらに備える。補強リブ11のそれぞれは、第2櫛型電極8のうちの対応する1つを通っており、その対応する第2櫛型電極8が備える第2櫛歯部8aが伸びる方向と垂直な方向に沿って伸びている。補強リブ11は、第2櫛歯部8aの高さよりも高い補強リブ9と同じ高さを有している。本実施形態では、第1櫛型電極2には、補強リブ11に対応する溝部(図示せず)が形成されている。補強リブ11と第1櫛型電極2との間の距離の関係は、補強リブ9と第1櫛型電極2との間の距離の関係と同様に設定される。可動部16が補強リブ11を備えることにより、可動部6と比較して可動部16の剛性をさらに高めることができる。

【0050】

(実施形態3)

図8を参照して、本発明によるマイクロアクチュエータの第3の実施形態を説明する。

【0051】

図8は、本実施形態の可動部26を模式的に示す平面図である。本実施形態では、マイクロアクチュエータ100は可動部6の代わりに可動部26を備える。

【0052】

可動部26は、可動部6の複数の第2櫛型電極8の代わりに複数の第2櫛型電極28を備える。第2櫛型電極28のそれぞれは、同心円状の形状を有する複数の第2櫛歯部8bを備える。本実施形態では、第1櫛歯部2aも第2櫛歯部8bに対応した同心円状の形状(図示せず)になっている。放射状に伸びる補強リブ9に対して第2櫛歯部8bは直角に交わっているため、可動部の剛性を高めることができる。また、可動部26の傾動の方向

10

20

30

40

50

によらず、第1櫛型電極2と第2櫛型電極28との位置関係は同じになるため、駆動力をバランスよく得ることができる。

【0053】

さらには、第1櫛歯部2aと第2櫛歯部8bとの間の水平方向のギャップのばらつきによって生じる水平方向の吸引力は常に半径方向となる。可動部26を支持する弾性支持部3は放射状に延びており半径方向の剛性が高いので、第2櫛型電極28が水平方向に吸引されて第1櫛型電極2と接触することがないという効果も得ることができる。

【0054】

(実施形態4)

図9および図10を参照して、本発明によるマイクロアクチュエータの第4の実施形態を説明する。

10

【0055】

まず、図9を参照する。図9は、本実施形態の可動部36を模式的に示す平面図である。本実施形態では、マイクロアクチュエータ100は可動部6の代わりに可動部36を備える。

【0056】

可動部36は、可動部6の複数の第2櫛型電極8の代わりに複数の第2櫛型電極38を備える。第2櫛型電極38のそれぞれは、複数の第2櫛歯部8cを備える。複数の第2櫛歯部8cのそれぞれの厚さは、可動部36の内側から外側へ向かう方向に沿って薄くなっている。すなわち、第2櫛歯部8cのうちの、可動部36の中心側の幅w1よりも外周側の幅w2を小さくしている。本実施形態では、第1櫛歯部2aの厚さは、第2櫛歯部8cの形状に対応して、可動部36の内側から外側へ向かう方向に沿って厚くなっている(図示せず)、第1櫛歯部2aと第2櫛歯部8cとの間の水平方向のギャップは一定に保たれている。これにより、可動部36の剛性を低下させることなく、可動部6と比較して可動部36をさらに軽量にすることができる。

20

【0057】

図10に、第2櫛歯部8cの断面形状を示す。第2櫛歯部8cの高さは、可動部36の内側から外側へ向かう方向に沿って低くなっている。第1櫛型電極2と第2櫛型電極38とをDRIEにより形成すると、DRIEの幅依存性により、第2櫛歯部8cの幅が狭いところほど高さは低くなる。このような形状の第2櫛歯部8cでは、内周側の高さL1に対し、外周側の高さL2が低くなっている。このような形状により第2櫛歯部8cの外周側の領域周辺の空隙に余裕ができるため、可動部36の傾動によって第2櫛歯部8cが下降した場合でも、第2櫛歯部8cと弾性支持部3との接触を防ぐことができ、より信頼性の高いマイクロアクチュエータが得られる。

30

【0058】

(実施形態5)

図11～図17を参照して、本発明のマイクロアクチュエータ100の製造方法の実施形態を説明する。図11～図17は、本発明のマイクロアクチュエータの製造方法の実施形態を模式的に示す断面図である。図11～図17の(a)は、図1に示す5A-5A線に沿ったマイクロアクチュエータ100の断面に対応しており、図11～図17の(b)は、図1に示す3A-3A線に沿ったマイクロアクチュエータ100の断面に対応している。説明を簡単にするために、本実施形態では、図中に示す第1および第2櫛歯部2aおよび8aの数を、図1に示す数よりも少なくしている。第1および第2櫛歯部2aおよび8aの数は任意である。全ての製造工程は基台1が備える駆動回路(CMOS回路等)の一般的な耐熱温度である450よりも低い温度で実施される。

40

【0059】

まず、図11(a)および図11(b)を参照する。基台1上に第1導電層301を形成する。第1導電層301は、スパッタリング法、フォトリソグラフィ、エッチング技術等を用いて所望の形状に形成される。第1導電層301の材料は、例えばアルミニウムである。第1導電層301の厚さは例えば約0.5～1.0(μm)である。なお、第1導

50

電層 301 の材料は、ポリシリコンであってもよく、この場合は L P C V D (Low Pressure Chemical Vapor Deposition) 法を用いて第 1 導電層 301 が形成される。第 1 導電層 301 は、第 1 櫛型電極 2 の土台部および弾性支持部 3 の支持ポスト 4 になる部分である。

【 0060 】

次に、フォトリソグラフィ法を用いて、基台 1 上に第 1 犠牲層 201 を形成する。第 1 犠牲層 201 の材料は、例えば、フォトレジストおよび感光性ポリイミド等の感光性有機材料である。より好ましくは、第 1 犠牲層 201 の材料は、高アスペクト形状が得られる高粘度タイプの材料（例えば、MicroChem 社製の SU-8 および SU-10（いずれも商品名））である。第 1 犠牲層 201 は、後述の製造工程で、弾性支持部 3 下部の空隙を形成するために設けられる。10

【 0061 】

次に、図 12 (a) および図 12 (b) を参照する。低温スパッタリング法を用いて、第 1 導電層 301 および第 1 犠牲層 201 の上に第 2 導電層 302 を形成する。第 2 導電層 302 の材料は、第 1 導電層 301 と同じ材料（アルミニウム）である。第 2 導電層 302 の厚さは例えば約 0.5 ~ 2.0 (μm) である。第 2 導電層 302 は、第 1 櫛型電極 2 の土台部と、弾性支持部 3 の支持ポスト 4 および梁部とになる部分である。

【 0062 】

次に、フォトリソグラフィ法を用いて、基台 1 および第 1 導電層 301 の上に第 2 犠牲層 202 を形成する。第 2 犠牲層 202 の材料は、第 1 犠牲層 201 の材料と同じである。第 2 犠牲層 202 は、後述の製造工程で、補強リブ 9 下部の空隙を形成するために設けられる。20

【 0063 】

次に、図 13 (a) および図 13 (b) を参照する。図 12 (a) および図 12 (b) に示す構造物上に第 3 犠牲層 203 を形成する。第 3 犠牲層 203 の材料は、例えば、フォトレジストおよび感光性ポリイミド等の感光性有機材料である。より好ましくは、第 3 犠牲層 203 の材料は、高アスペクト形状が得られる高粘度タイプの材料（例えば、MicroChem 社製の SU-8 および SU-10（いずれも商品名））である。但し、第 3 犠牲層 203 の材料としては、第 2 犠牲層 202 とは異なる材料を用い、後述の製造工程で第 3 犠牲層 203 の一部を除去するときに第 2 犠牲層 202 が除去されることを防止する。30

【 0064 】

次に、第 3 犠牲層 203 を露光および現像して、貫通穴 501 ~ 503 を形成する。貫通穴 501 は、第 1 櫛歯部 2a を形成するために用いられる。貫通穴 502 は、補強リブ 9 を形成するために用いられる。貫通穴 503 は、中央ポスト 7 を形成するために用いられる。

【 0065 】

次に、図 14 (a) および図 14 (b) を参照する。第 3 犠牲層 203 上に第 3 導電層 303 を形成する。第 3 導電層 303 は貫通穴 501 ~ 503 に埋め込まれて突起形状を形成する。貫通穴 501 に埋め込まれた第 3 導電層 303 は、第 2 導電層 302 と一体化されて櫛歯部 2a を形成する。貫通穴 502 に埋め込まれた第 3 導電層 303 は、補強リブ 9 を形成する。貫通穴 503 に埋め込まれた第 3 導電層 303 は、第 2 導電層 302 と一体化されて中央ポスト 7 を形成する。40

【 0066 】

第 3 導電層 303 の材料は第 2 導電層 302 と同じ材料（アルミニウム）であり、第 3 導電層 303 は低温スパッタリングによって形成される。スパッタリング条件は、貫通穴 501 ~ 503 全体に上記材料を埋め込むために、貫通穴 501 ~ 503 の側面に均一な厚さで成膜が可能な条件を選ぶ。こうした条件は、例えば下記の文献に開示されている。

【 0067 】

K. A. Shaw et al., "SCREAM I: a single ma50

s k , single-crystal silicon, reactive ion etching process for microelectromechanical structures", Sensors & Actuators A, 40, pp. 63 - 70 (1994)

【0068】

さらに貫通穴 501～503 全体に上記材料を埋め込むために、コリメーション法 (collimated sputtering) やロングスロー法 (long through sputtering) を用いて、A1 ターゲットから基台 1 に入射するスパッタ粒子の方向を基台 1 に垂直な方向に揃えてもよい。

【0069】

次に、第 3 導電層 303 上に第 1 マスク層 401 を形成する。第 1 マスク層 401 の材料は、例えば酸化シリコンである。第 1 マスク層 401 は、第 3 導電層 303 をエッチングする際のマスクとして用いられる。ウェットエッチング法を用いて第 3 導電層 303 をエッチングしてもよいが、ここでは塩素系のガスを用いたプラズマエッチング法を用いて第 3 導電層 303 をエッチングする。エッチング条件は、第 3 導電層 303 と第 3 犠牲層 203 との選択比が大きくなるように設定し、第 3 犠牲層 203 のエッチングを抑制する。

【0070】

図 14 (a) および図 14 (b) は、エッチング後に残された第 3 導電層 303 を示している。貫通穴 501 の上部から第 1 マスク層 401 を除去した状態で A1 エッチングを行うため、貫通穴 501 内に埋め込まれた第 3 導電層 303 の上部は除去される。すなわち、第 1 櫛歯部 2a の上端は第 3 犠牲層 203 の上面よりも低い位置までエッチバックされる。残った第 1 櫛歯部 2a の高さは例えば約 10～20 (μm) である。貫通穴 502 および 503 の上部に第 1 マスク層 401 を残した状態で A1 エッチングを行うため、貫通穴 502 および 503 (図 13 (a) および図 13 (b)) の上部の第 3 導電層 303 は除去されずに残る。

【0071】

A1 エッチングの後、第 1 マスク層 401 は除去される。

【0072】

次に、図 15 (a) および図 15 (b) を参照する。図 14 (a) および図 14 (b) に示す構造物上に第 2 マスク層 402 を形成する。第 2 マスク層 402 は、第 3 犠牲層 203 をエッチングする際のマスクとして使用するためと、後述の製造工程で第 1 櫛歯部 2a 上部の空隙を形成するために設けられる。第 2 マスク層 402 の材料は、例えば酸化シリコンであるが、BCB (Benzocyclo Butene)、PAE (Poly Arylene Ether)、Aromatic hydrocarbon、Parylene、PTFE (Poly Tetra Fluoro Ethylene) などの有機材料でもよい。

【0073】

第 2 マスク層 402 は、貫通穴 501 内の第 3 導電層 303 上の空隙に埋め込まれる。後述の製造工程でこの埋め込まれた第 2 マスク層 402 を除去することにより、第 1 櫛歯部 2a 上部の空隙が形成される。

【0074】

次に、フォトレジスト (不図示) を塗布し、露光および現像して、補強リブおよび支持ポスト 4 となる第 3 導電層 303 上部 (すなわち貫通穴 502 および 503 上部) 以外の領域からこのフォトレジストを除去する。残ったフォトレジストはマスク層 (図示せず) として用いる。この状態で、第 2 マスク層 402 を所定時間エッチングする。第 1 櫛歯部 2a 上に位置する第 2 マスク層 402 の厚さは厚いので、これらの部分の第 2 マスク層 402 は所定の厚さ (例えば約 2.0～10 (μm)) で残される。これらの部分およびフォトレジスト (図示せず) で覆われている部分を除く第 2 マスク層 402 の他の部分は除去される。

10

20

30

40

50

【0075】

次に、第3犠牲層203のエッティングを行う。第2マスク層402が酸化シリコンである場合には、酸素プラズマを用いたドライエッティングが好ましい。第2マスク層402が第3犠牲層203の材料とは異なる有機材料である場合には、有機溶剤等を用いたウェットエッティングでもよい。第2マスク層402に保護されていない第3犠牲層203はその上部が除去されて、下部が残される。残った第3犠牲層203下部の厚さは例えば約2.0~10(μm)である。

【0076】

次に、図16(a)および図16(b)を参照する。図15(a)および図15(b)に示す構造物上に第4犠牲層204を実質的に均一な膜厚で形成する。第4犠牲層204の材料は、フォトレジストまたは感光性ポリイミドである。第4犠牲層204を均一な厚さで形成するには、パルススプレー法(登録商標、ノードソン社)や蒸着重合法を用いるのが好ましい。第4犠牲層204の厚さは例えば約0.5~1.0(μm)である。

10

【0077】

第4犠牲層204を露光および現像し、補強リブ9および支持ポスト4となる第3導電層303上部(すなわち貫通穴502および503上部)の領域から第4犠牲層204を除去する。続いて、これら同じ領域から第2マスク層402をエッティングにより除去して、第3導電層303を露出させる。

【0078】

次に、第4犠牲層204および露出した第3導電層303の上に第4導電層304を低温スパッタリングにより形成する。第4導電層304の材料は第3導電層303と同じ材料(アルミニウム)である。第4導電層304は可動部6となる部分である。

20

【0079】

CMP(Chemical Mechanical Polishing)処理によって第4導電層304を平滑化する。第4導電層304上面は可動部6の光反射面6aとして機能する。次に、可動部6外周部の補強リブ9の周り(すなわち互いに隣接するマイクロアクチュエータ100間の領域)に堆積している層をフォトリソグラフィ法により除去する。個々の可動部6の水平方向の長さは例えば約100~200(μm)である。

【0080】

次に、可動部6(第4導電層304)のリリースを行う。リリースは2段階の工程で実施する。まず酸素プラズマエッティングにより、第1~第4犠牲層201~204を除去する。第3犠牲層203の厚さは厚いためエッチャントの流路が確保しやすい。このため、マイクロアクチュエータ100の外形面積が1600μm²以上と大きな面積になる場合でも、上部にエッティング用の穴を形成することなく、これらの犠牲層の除去が可能である。次に、フッ化水素ガスを用いて第2マスク層402を除去する。これにより、図17(a)および図17(b)に示すように可動部6のリリースが完了し、マイクロアクチュエータ100が完成する。

30

【0081】

補強リブ9は貫通穴内で垂直方向に成膜された薄膜のサンドイッチ構造となっているので残留応力が小さく、光反射面6aの平面度を極めて高くすることができる。可動部6の櫛歯部8aの高さと補強リブ9の高さとは互いに異ならせることが可能であるため、静電的あるいは剛性的な要求に応じてそれぞれを最適な高さで形成することができる。

40

【0082】

第1櫛歯部2aは第1櫛型電極2の土台部と垂直方向に最短距離で接続し、可動部6の櫛歯部8aは可動部の下面と垂直方向に最短距離で接続している。このため、櫛歯部自身は変形しにくく、櫛歯部同士の間隔を狭くしても櫛歯部の不要な変形によるプルインを防止することができる。

【0083】

また、第3および第4犠牲層203および204、および第2マスク層402の厚さを所望の厚さに設定することで、櫛歯部同士の間の水平方向のギャップと垂直方向のギャップ

50

プとを所望の長さに設定できるので、水平方向のギャップを小さくすることによる静電力の増大と、垂直方向のギャップを大きくすることによる可動部6の可動ストロークの拡大とを両立させることができる。

【0084】

なお、上述の実施形態において可動部の形状は正六角形であったが、可動部の形状はこれに限定されない。例えば、可動部の形状は矩形（正方形等）であってもよい。縦横の比率が1：1でない縦長形状の可動部であっても、上述した効果を得ることが可能である。

【産業上の利用可能性】

【0085】

本発明のマイクロアクチュエータは、収差補正、光走査、分光等を行う光デバイス及び光ディスク装置の分野で好適に用いられる。また、チューナブルキャパシタ等の高周波回路や、可変流路等の流体制御デバイス、バイオテクノロジー等の分野でも好適に用いられる。また、本発明のマイクロアクチュエータは、光の方向を高速に変えるアクチュエータとして有用であり、特に、光反射面に高精度の平面度が要求される収差補正マイクロミラーアレイ用のマイクロミラーデバイスとして好適に用いられる。10

【図面の簡単な説明】

【0086】

【図1】本発明の実施形態1によるマイクロアクチュエータを模式的に示す分解斜視図である。

【図2】本発明の実施形態1によるマイクロアクチュエータを模式的に示す分解斜視図である。20

【図3】図1に示す3A-3A線に沿ったマイクロアクチュエータの断面図である。

【図4】(a)および(b)は、図1に示す3A-3A線に沿ったマイクロアクチュエータの部分断面図であり、可動部が変位した状態を示している。

【図5】図1に示す5A-5A線に沿ったマイクロアクチュエータの断面図である。

【図6】(a)および(b)は、図1に示す5A-5A線に沿ったマイクロアクチュエータの断面図であり、可動部が変位した状態を示している。

【図7】本発明の実施形態2によるマイクロアクチュエータの可動部を模式的に示す平面図である。

【図8】本発明の実施形態3によるマイクロアクチュエータの可動部を模式的に示す平面図である。30

【図9】本発明の実施形態4によるマイクロアクチュエータの可動部を模式的に示す平面図である。

【図10】本発明の実施形態4によるマイクロアクチュエータの櫛歯部を模式的に示す部分断面図である。

【図11】(a)および(b)は、本発明の実施形態5によるマイクロアクチュエータの製造方法を模式的に示す断面図である。

【図12】(a)および(b)は、本発明の実施形態5によるマイクロアクチュエータの製造方法を模式的に示す断面図である。

【図13】(a)および(b)は、本発明の実施形態5によるマイクロアクチュエータの製造方法を模式的に示す断面図である。40

【図14】(a)および(b)は、本発明の実施形態5によるマイクロアクチュエータの製造方法を模式的に示す断面図である。

【図15】(a)および(b)は、本発明の実施形態5によるマイクロアクチュエータの製造方法を模式的に示す断面図である。

【図16】(a)および(b)は、本発明の実施形態5によるマイクロアクチュエータの製造方法を模式的に示す断面図である。

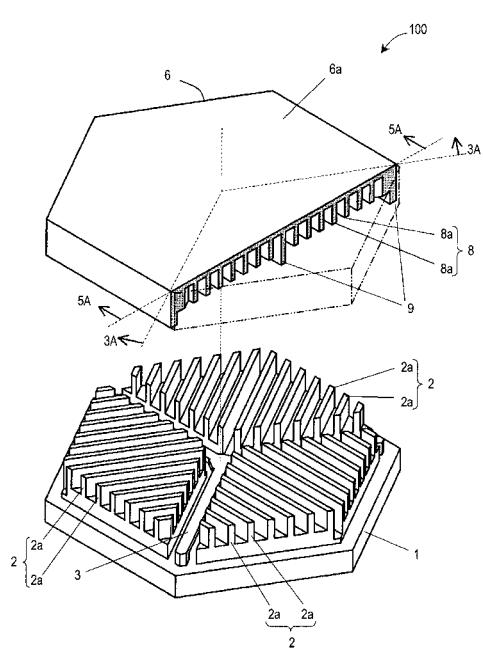
【図17】(a)および(b)は、本発明の実施形態5によるマイクロアクチュエータの製造方法を模式的に示す断面図である。

【符号の説明】

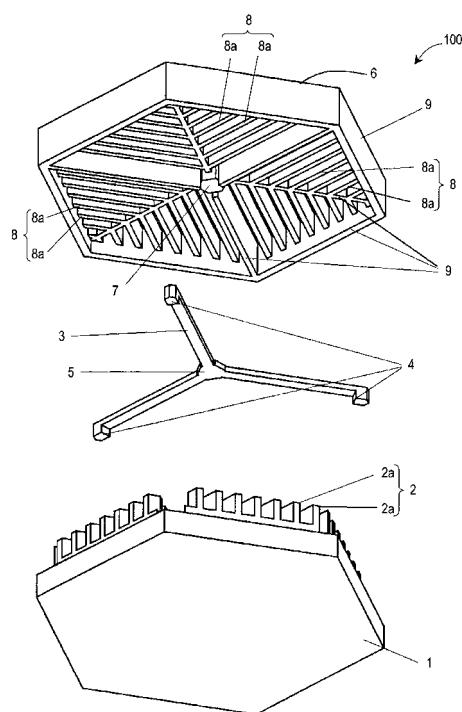
【0087】

- 1 基台
 2 第1櫛型電極
 2a 櫛歯部
 3 弹性支持部
 4 支持ポスト
 5 固定部
 6、16、26、36 可動部
 7 中央ポスト
 8、28、38 第2櫛型電極
 8a、8b、8c 櫛歯部
 9、11 補強リブ
 10 回動中心
 20 可動部
 100 マイクロアクチュエータ
- 10

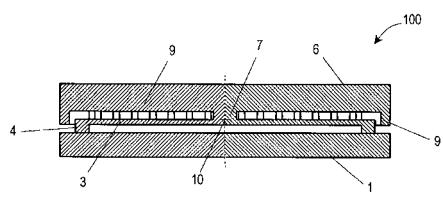
【図1】



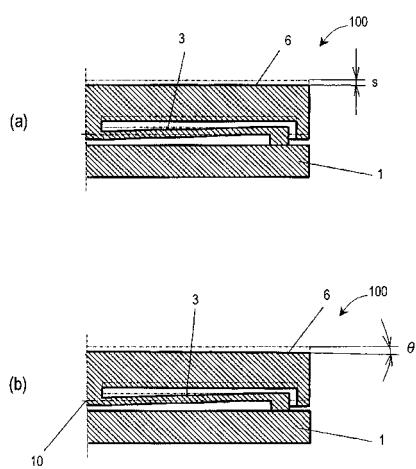
【図2】



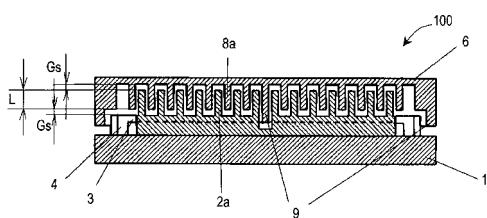
【図3】



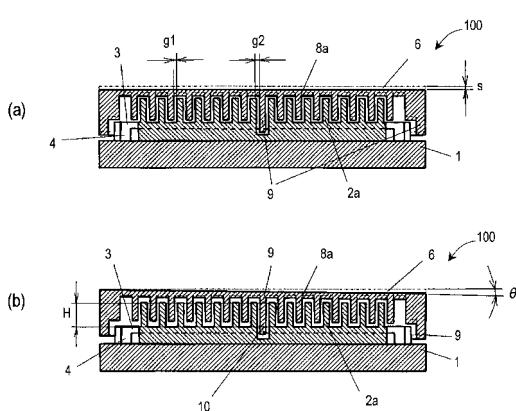
【図4】



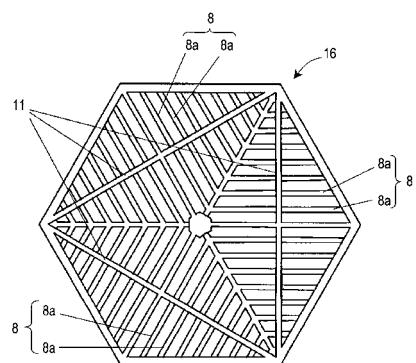
【図5】



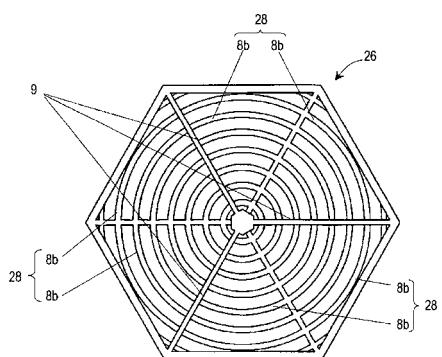
【図6】



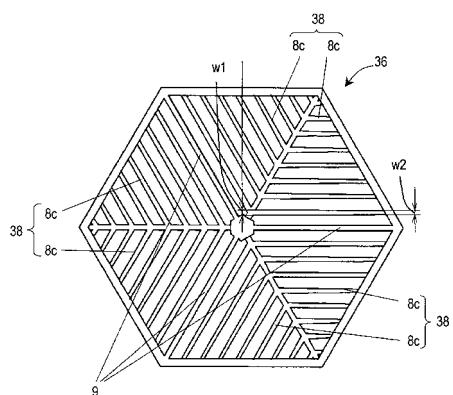
【図7】



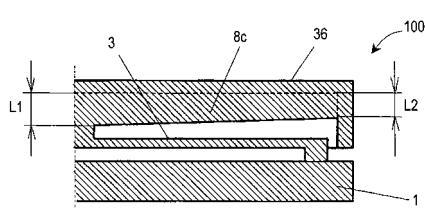
【図8】



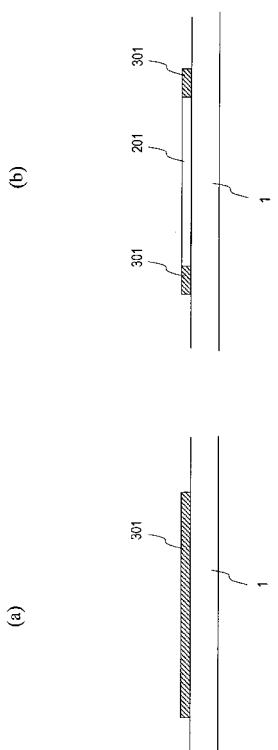
【図9】



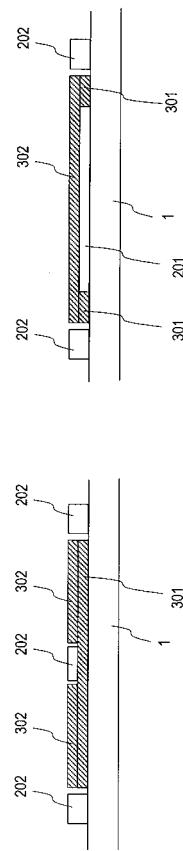
【図10】



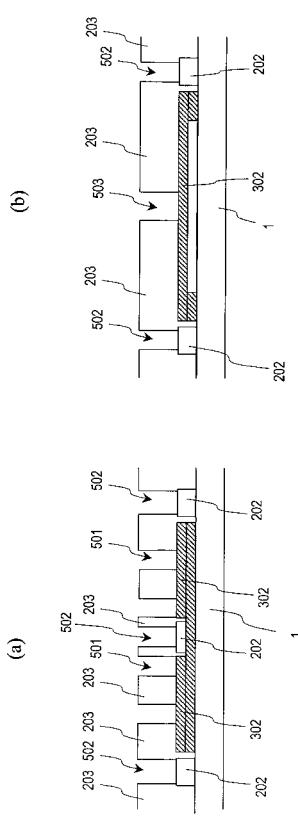
【図11】



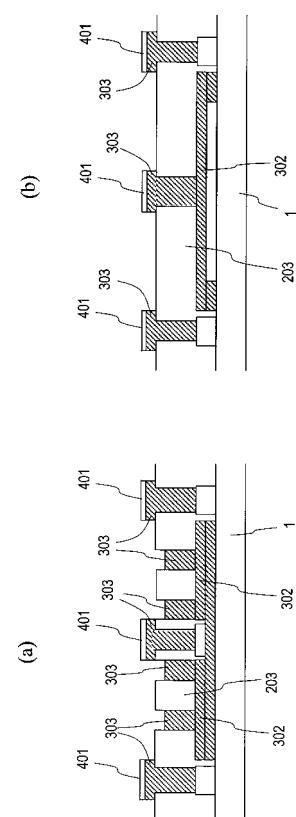
【図12】



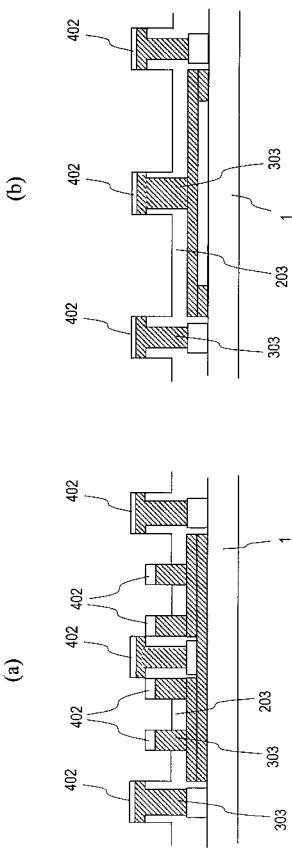
【図13】



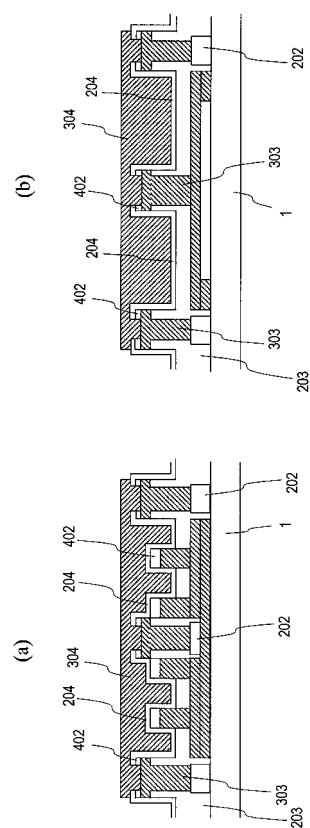
【図14】



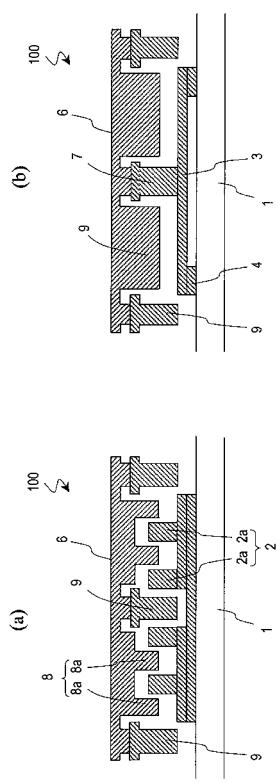
【図15】



【図16】



【図17】



フロントページの続き

審査官 仲村 靖

(56)参考文献 特開2000-147419(JP,A)

特開2003-172897(JP,A)

特開平10-262381(JP,A)

特開2003-007810(JP,A)

特開2000-070429(JP,A)

特開2002-359980(JP,A)

特開昭54-065627(JP,A)

特開平11-136961(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02N 1/00

B81B 3/00

G02B 26/08