

(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2015-161765
(P2015-161765A)

(43) 公開日 平成27年9月7日(2015.9.7)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
G 0 2 B 26/06 (2006.01)	G 0 2 B 26/06	2 H 0 4 3
B 8 1 B 3/00 (2006.01)	B 8 1 B 3/00	2 H 1 4 1
G 0 2 B 7/188 (2006.01)	G 0 2 B 7/188	3 C 0 8 1
G 1 1 B 7/135 (2012.01)	G 1 1 B 7/135	A 5 D 7 8 9

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2014-36315 (P2014-36315)
(22) 出願日 平成26年2月27日 (2014.2.27)

(71) 出願人 504132272
国立大学法人京都大学
京都府京都市左京区吉田本町36番地1
(74) 代理人 100114502
弁理士 山本 俊則
(72) 発明者 土屋 智由
京都府京都市左京区吉田本町36番地の1
国立大学法人京都大学内
Fターム(参考) 2H043 CD04
2H141 MA27 MB23 MB56 MB63 MC06
MD04 MD32 MF10 MF22 MG10
MZ16 MZ19 MZ26
3C081 AA09 AA13 BA28 BA45 BA48
BA53 EA07
5D789 AA17 AA37 EC01 JA09 JA57
JB06 NA05

(54) 【発明の名称】 静電駆動可変ミラー

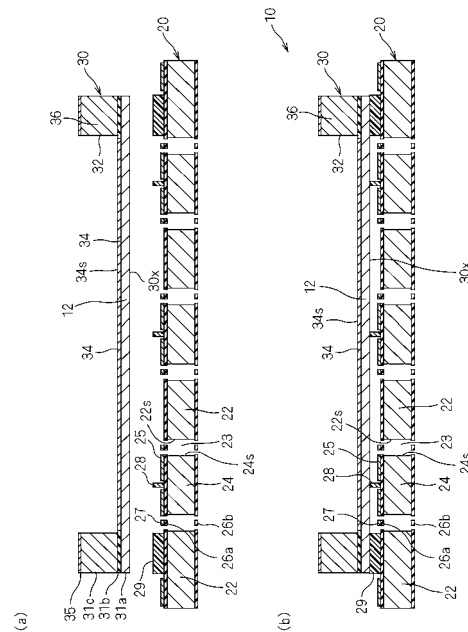
(57) 【要約】

【課題】低い駆動電圧でも反射面の変形量を大きくすることができる静電駆動可変ミラーを提供する。

【解決手段】反射面34sを有するミラー12の裏面30xに、電極25を有する複数の可動部24が、接続部28を介して接続され、接続部28においてミラー12と可動部24の間隔が保たれている。可動部24は、支持部26a, 26bを介して固定部22に接続され、ミラー12に対して接離する方向に移動可能に保持されている。電極25に電圧を印加すると、ミラー12が傾き、変形する。このとき、ミラー12の変形に応じて可動部24が接離方向に移動するので電極25とミラー12の間隔を常に小さく、よって静電駆動力を大きくすることができる。

【選択図】 図12

【図12】



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

反射面と前記反射面とは反対側の裏面とを有するミラーと、
 前記ミラーの前記裏面との間に間隔を設けて前記裏面に対向し、前記裏面に対向する電極を有する可動部と、
 前記可動部を、前記ミラーに対して接離する方向に移動可能に保持する固定部と、
 前記ミラーと前記可動部との間に配置され、前記ミラーと前記可動部との少なくとも一方に固定され、前記ミラーと前記可動部の間隔を保つ接続部と、
 を備えたことを特徴とする、静電駆動可変ミラー。

【請求項 2】

前記接続部が、前記ミラーと前記可動部との両方に固定されていることを特徴とする、請求項 1 に記載の静電駆動可変ミラー。

【請求項 3】

前記接続部は、前記ミラーと前記可動部とのうち一方のみに固定され、
 前記可動部と前記固定部とを接続し、前記可動部を前記ミラー側に付勢し、前記ミラーと前記可動部とのうち他方と前記接続部との接触を保持する支持部をさらに備えたことを特徴とする、請求項 1 に記載の静電駆動可変ミラー。

【請求項 4】

前記固定部は、前記可動部との間に間隔を設けて前記可動部を収容し、
 前記支持部は、前記可動部が前記ミラーに対して接離する前記方向に互いに間隔を設けて配置された第 1 及び第 2 の梁部を含むことを特徴とする、請求項 1 乃至 3 のいずれか一つに記載の静電駆動可変ミラー。

【請求項 5】

複数の前記可動部を備えたことを特徴とする、請求項 1 乃至 4 のいずれか一つに記載の静電駆動可変ミラー。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、静電駆動可変ミラーに関し、詳しくは、静電力で反射面の形状を変化させる静電駆動可変ミラーに関する。

【背景技術】

【0002】

眼底観察や天体観測などにおいて高精細な画像を得るために、波面補償ミラーが用いられている。波面補償ミラーは、反射面の形状を変形させることによって、入射光の持つ波面のずれを反射時に補正する。

【0003】

例えば図 19 の断面図に示す静電駆動可変ミラーは、反射膜 115 とは反対側に複数個の電極 116 a ~ 116 e が配置され、電極 116 a ~ 116 e に印加する電圧を電圧制御回路 120 によって制御することによって、反射膜 115 を変形させる（例えば、特許文献 1 参照）。

【0004】

また、撮影装置における像振れ補正を行うための手段として、例えば図 20 の説明図に示す可変ミラー 111 が提案されている。この可変ミラー 111 は、反射部 204 を有する上部基板 201 が、下部基板 201 のピボット 261 によって一点で支持され、バネ 251 ~ 254 を介して連結されている。上部基板 201 に形成された上部電極 202 と下部基板 201 に形成された複数の下部電極 222 ~ 225 との間の電位差を調整し、上部電極 203 と下部電極 222 ~ 225 との間の静電力によって上部基板 201 の傾斜方向と傾斜角を変えることができる（例えば、特許文献 2 参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

20

30

40

50

【0005】

【特許文献1】特開2005-221579号公報

【特許文献2】国際公開第2004/109359号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

波面補償ミラーを、半導体微細加工技術によって微小な機械構造体を作製するMEMSで実現する場合、電磁、圧電、静電などの駆動方式のうち、特許文献1のような静電駆動方式を用いると、デバイス構造が比較的単純になる。

【0007】

しかしながら、静電駆動方式では、駆動に用いる静電力が、電極間隔の二乗に反比例し、電極間に印加する駆動電圧の二乗に比例する。そのため、波面補償に大きな変形が必要となる場合には、ストロークを確保するために電極間隔が大きくなり、その結果、駆動電圧は、例えば100V以上と高くなる。

【0008】

特許文献2のようにミラーを一点で支持して静電駆動する場合、ミラーの傾きが変化するだけであり、アレイ化しただけではミラーに大変位を与えられない。また、電極面積を大きくして駆動力を大きくすると、ミラーを傾ける角度が小さくなりかえって変形量が小さくなる。

【0009】

本発明は、かかる実情に鑑み、低い駆動電圧でも反射面の変形量を大きくすることができる静電駆動可変ミラーを提供しようとするものである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明は、上記課題を解決するために、以下のように構成した静電駆動可変ミラーを提供する。

【0011】

静電駆動可変ミラーは、(a)反射面と前記反射面とは反対側の裏面とを有するミラーと、(b)前記ミラーの前記裏面との間に間隔を設けて前記裏面に対向し、前記裏面に対向する電極を有する可動部と、(c)前記可動部を、前記ミラーに対して接離する方向に移動可能に保持する固定部と、(d)前記ミラーと前記可動部との間に配置され、前記ミラーと前記可動部との少なくとも一方に固定され、前記ミラーと前記可動部の間隔を保つ接続部と、を備えている。

【0012】

上記構成において、可動部の電極に電圧を印加すると、可動部とミラーの間に静電力が作用する。このとき、接続部においてミラーと可動部の間隔が保たれているため、静電力によってミラーが可動部に対して傾き、ミラーが変形する。可動部は、ミラーに対して接離する方向に移動可能に保持されている。そのため、可動部は、ミラーの変形に伴い、ミラーに対して接離する方向に移動する。なお、接続部は、ミラーと可動部のいずれか一方又は両方と一体に形成されても構わないし、弾性変形しても構わない。

【0013】

上記構成によれば、接続部によって、電極とミラーとの間隔は所定範囲内に保たれる。そのため、電極に印加する電圧を低くしてもミラーが変形するように構成できる。ミラーが変形したときに可動部が移動可能であるため、ミラーの移動が接続部で制限されずにミラーと電極との間隔に制約されることなく、ミラーの変形量を大きくすることができる。したがって、低い駆動電圧でも反射面の変形量を大きくすることができる。

【0014】

好ましい一態様において、前記接続部が、前記ミラーと前記可動部との両方に固定されている。

【0015】

10

20

30

40

50

好ましい他の態様において、前記接続部は、前記ミラーと前記可動部とのうち一方のみに固定される。前記可動部と前記固定部とを接続し、前記可動部を前記ミラー側に付勢し、前記ミラーと前記可動部とのうち他方と前記接続部との接触を保持する支持部をさらに備える。

【0016】

好ましくは、前記固定部は、前記可動部との間に間隔を設けて前記可動部を収容する前記支持部は、前記可動部が前記ミラーに対して接離する前記方向に互いに間隔を設けて配置された第1及び第2の梁部を含む。

【0017】

この場合、第1及び第2の梁部によって、可動部がミラーに対して接離する方向に対する可動部の傾きを抑制することができる。また、MEMS構造の静電駆動可変ミラーを容易に作製することができる。

10

【0018】

好ましくは、複数の前記可動部を備える。

【0019】

この場合、任意の電圧を分割された可動部上の電極に印加することで隣接する可動部によるミラーの変形を拘束することなく大きく変形し、その時も可動部がミラーと狭い間隔を維持することができるのでミラーの複雑な変形が低い電圧で可能となる。

【発明の効果】

【0020】

本発明によれば、低い駆動電圧でも反射面の変形量を大きくすることができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】静電駆動可変ミラーの基本的な構成を示す説明図である。(第1のタイプ)

【図2】静電駆動可変ミラーの基本的な構成を示す説明図である。(第1のタイプの変形例1)

【図3】静電駆動可変ミラーの基本構成を示す説明図である。(第1のタイプの変形例2)

【図4】静電駆動可変ミラーの基本的な構成を示す説明図である。(第2のタイプ)

【図5】静電駆動可変ミラーの基本的な構成を示す説明図である。(第3のタイプ)

30

【図6】静電駆動可変ミラーをアレイ化した場合の説明図である。(第3のタイプ)

【図7】静電駆動可変ミラーの平面図である。(実施例1)

【図8】下部基板の要部拡大平面図である。(実施例1)

【図9】上部基板の製造プロセスを示す断面図である。(実施例1)

【図10】下部基板の製造プロセスを示す断面図である。(実施例1)

【図11】下部基板の製造プロセスを示す断面図である。(実施例1)

【図12】静電駆動可変ミラーの(a)分解断面図、(b)組立断面図である。(実施例1)

【図13】シミュレーションモデルのイメージ図である。(実施例1)

【図14】シミュレーションモデルのイメージ図である。(実施例1)

40

【図15】アクチュエータのイメージ図である。(実施例1)

【図16】シミュレーション結果を示すイメージ図である。(実施例1)

【図17】シミュレーション結果を示すイメージ図である。(実施例1)

【図18】シミュレーション結果を示すグラフである。(実施例1)

【図19】静電駆動可変ミラーの構成を示す断面図である。(従来例1)

【図20】可変ミラーの構成を示す説明図である。(従来例2)

【発明を実施するための形態】

【0022】

以下、本発明の実施の形態について、図面を参照しながら説明する。

【0023】

50

まず、本発明の静電駆動可変ミラーの基本的な構成について、図1～図6を参照しながら説明する。

【0024】

<第1のタイプ> 図1(a)及び(b)は、第1のタイプの静電駆動可変ミラー10aの基本的な構成を示す説明図である。図1(a)は分解状態を示し、図1(b)は組立状態を示す。図1(a)及び(b)に示すように、ミラー12は反射面12aと、反射面12aとは反対側の裏面12bとを有し、ミラー12の裏面12bに可動部24が対向するように配置されている。ミラー12の周囲は枠部36で拘束されている場合を例示しているが、ミラー12の周囲を拘束しないようにすることも可能である。

【0025】

可動部24は、ミラー12に対して接近したり離れたりするミラー接離方向(例えば、変形前のミラー12の裏面12bの法線方向)に移動可能に固定部22に保持されている。可動部24には接続部28aが固定され、接続部28aのまわりに少なくとも一つの電極25が形成されている。接続部28aは、可動部24からミラー12側に突出している。可動部24は、支持部26によってミラー12側に付勢される。

【0026】

すなわち、第1のタイプの静電駆動可変ミラー10aは、図1(a)に示した分解状態から、ミラー12が、固定部22、可動部24及び支持部26に相対的に接近し、図1(b)に示したように、ミラー12の裏面12bに接続部28aが当接するように構成され、支持部26によって、ミラー12の裏面12bに接続部28aが当接する状態が保持される。例えば、支持部26が可動部24をミラー12側に弾力的に引張り、ミラー12の裏面12bに接続部28aが当接する状態が保持されるように構成する。

【0027】

支持部は、適宜に形成することができる。例えば、可動部24のミラー12とは反対側の面24bを、ばねやスポンジ等の弾性部材で押圧してもよいし、後述する実施例1のように、梁部を介して可動部を支持してもよい。

【0028】

可動部24の電極25に電圧を印加すると、ミラー12側の電極(例えば、ミラー12を形成するシリコン)と電極25との間の電位差によって静電力が生じる。このとき、接続部28aにおいてミラー12と可動部24の間隔が保たれているため、静電力によって、ミラー12が可動部24に対して傾き、ミラー12が変形する。接続部28aのまわりに複数の電極25を形成し、電極25に選択的に電圧を印加すると、ミラー12は、電圧が印加された電極25に応じた方向に傾く。支持部26は、ミラーが変形しても、接続部28aがミラー12から離れないように保持するとともに、ミラー12の変形に応じた可動部24の移動を許容する。接続部28aとミラー12の裏面12bとの間で滑りが生じやすくと、ミラー12の反射面12aの変形は滑らかになる。接続部28aは、弾性変形することによって伸縮したり屈曲したりしても構わない。

【0029】

図2は、第1のタイプの変形例1の静電駆動可変ミラー10dの基本的な構成を示す説明図である。図2に示すように、接続部28dは、可動部24ではなく、ミラー12の裏面12bに固定されても構わない。また、ミラー12側に複数の電極25sを形成し、可動部24側に一つの電極25tを形成しても構わない。この場合、ミラー12側の複数の電極25sは接続部28dの周りに形成し、ミラー12側の電極25sに選択的に電圧を印加する。また、支持部26が可動部24をミラー12側に引張るのではなく、支持部26が可動部24をミラー12側に弾力的に押圧し、接続部28dと可動部24との接触が保持されるように構成しても構わない。

【0030】

図3は、第1のタイプの変形例2の静電駆動可変ミラー10eの基本的な構成を示す説明図である。図3に示すように、接続部28eは、可動部24eと一体に形成されても構わない。あるいは、図示していないが、接続部がミラーと一体に形成されても構わない。

10

20

30

40

50

また、可動部 2 4 e 側の電極 2 5 e とミラー 1 2 側の電極とが互いに平行ではない構成としても構わない。

【 0 0 3 1 】

< 第 2 のタイプ > 図 4 は、第 2 のタイプの静電駆動可変ミラー 1 0 b の基本的な構成を示す説明図である。図 4 に示すように、第 2 のタイプの静電駆動可変ミラー 1 0 b は、接続部 2 8 b がミラー 1 2 と可動部 2 4 の両方に固定され、ミラー 1 2 と可動部 2 4 とは一体に移動する。そのため、可動部 2 4 をミラー 1 2 側に押し当てる必要はない。

【 0 0 3 2 】

可動部 2 4 は、固定部 2 2 によってミラー接離方向（例えば、変形前のミラー 1 2 の裏面 1 2 b の法線方向）に移動可能に、かつ、ミラー接離方向に対して垂直方向（例えば、変形前のミラー 1 2 の裏面 1 2 b と平行な方向）の移動を規制するように、保持されている。可動部 2 4 と固定部 2 2 とは、ミラー接離方向に相対移動可能に接触してもよいし、ミラー接離方向に対して垂直方向の可動部 2 4 の移動を規制する程度の隙間を設けて、互いに離れていてもよい。

10

【 0 0 3 3 】

接続部 2 8 b においてミラー 1 2 と可動部 2 4 の間隔が保たれているため、可動部 2 4 の電極 2 5 に電圧を印加すると、静電力によってミラー 1 2 が可動部 2 4 に対して傾き、ミラー 1 2 が変形し、可動部 2 4 は、ミラー 1 2 の変形に応じて、矢印 2 4 x で示すように、ミラー接離方向に移動する。接続部 2 8 b は、弾性変形することによって伸縮したり屈曲したりしても構わない。

20

【 0 0 3 4 】

< 第 3 のタイプ > 図 5 は、第 3 のタイプの静電駆動可変ミラー 1 0 c の基本的な構成を示す説明図である。図 5 に示すように、第 3 のタイプの静電駆動可変ミラー 1 0 c は、接続部 2 8 c がミラー 1 2 と可動部 2 4 の両方に固定され、ミラー 1 2 と可動部 2 4 とは一体に移動する。可動部 2 4 と固定部 2 2 とは、支持部 2 6 を介して接続されている。支持部 2 6 は、ミラー 1 2 が変形したときに、矢印 2 4 x で示すミラー接離方向の可動部 2 4 の移動を許容する。すなわち、接続部 2 8 c においてミラー 1 2 と可動部 2 4 の間隔が保たれているため、可動部 2 4 の電極 2 5 に電圧を印加すると、静電力によってミラー 1 2 が可動部 2 4 に対して傾き、ミラー 1 2 が変形し、可動部 2 4 は、ミラー 1 2 の変形に応じて、矢印 2 4 x で示すように、ミラー接離方向に移動する。接続部 2 8 c は、弾性変形することによって、伸縮したり屈曲したりしても構わない。

30

【 0 0 3 5 】

図 6 (a) ~ (c) は、第 3 のタイプの静電駆動可変ミラー 1 0 c をアレイ化した場合の説明図である。図 6 (a) に示すように、接続部 2 8 c の両端にミラー 1 2 と可動部 2 4 が固定された第 3 のタイプの基本構成 1 0 k を並べ、ミラー 1 2 と固定部 2 2 を、それぞれ一体化する。図 6 (b) 及び (c) に示すように、電極 2 5 a , 2 5 b のうち一方の電極 2 5 a のみに電圧を印加すると、ミラー 1 2 が傾くと同時に、一体化されたミラー全体 1 2 a の周辺の境界条件によって、ミラー全体 1 2 a を上下に変位させようとする力が働く。これによって、ミラー全体 1 2 a が上下に動く。

【 0 0 3 6 】

なお、第 1 及び第 2 のタイプの静電駆動可変ミラー 1 0 a , 1 0 b についても、同様にアレイ化することが可能である。また、第 1 ないし第 3 のタイプの静電駆動可変ミラー 1 0 a , 1 0 b , 1 0 c の基本構成を適宜に組み合わせてアレイ化することも可能である。また、第 2 及び第 3 のタイプの静電駆動可変ミラー 1 0 b , 1 0 c は、第 1 のタイプの静電駆動可変ミラー 1 0 a の変形例 1、2 と同様に構成することも可能である。

40

【 0 0 3 7 】

< 実施例 1 > 実施例 1 の静電駆動可変ミラー 1 0 について、図 7 ~ 図 1 2 を参照しながら説明する。実施例 1 の静電駆動可変ミラー 1 0 は、第 3 のタイプの静電駆動可変ミラーをアレイ化したものである。

【 0 0 3 8 】

50

図 7 は静電駆動可変ミラー 10 の平面図である。図 8 は、下部基板 20 の要部拡大平面図である。図 12 (a) は、静電駆動可変ミラー 10 の分解断面図である。図 12 (b) は、静電駆動可変ミラー 10 の組立断面図である。

【 0039 】

図 7 及び図 12 に示すように、静電駆動可変ミラー 10 は、可動部 24 が形成された下部基板 20 と、反射面 34 s を有する上部基板 30 とが接続されている。

【 0040 】

上部基板 30 は、下部基板 20 とは反対側に凹部 32 が形成され、凹部 32 の底面に反射膜 34 が形成されており、反射膜 34 の表面 34 s が反射面 34 s となる。上部基板 30 のうち、上部基板 30 の下部基板 20 側の裏面 30 x と反射面 34 s との間がミラー 12 となり、ミラー 12 の周囲の枠部 36 はミラー 12 の外周を拘束している。

10

【 0041 】

図 8 及び図 12 に示すように、可動部 24 は、下部基板 20 に形成された開口部 23 内に、第 1 及び第 2 の梁部 26 a , 26 b を介して支持され、開口部 23 の内周面 23 s と可動部 24 の外周面 24 s との間に隙間が形成されている。下部基板 20 のうち、可動部 24 と、第 1 及び第 2 の梁部 26 a , 26 b とを除く部分が、固定部 22 となる。

【 0042 】

可動部 24 は、柱状の形状を有する。可動部 24 の上部基板 30 側の主面 24 a は、接続部 28 が中央に形成され、接続部 28 の周囲に、図 8 において斜線を付された 4 つの電極 25 が形成されている。

20

【 0043 】

第 1 及び第 2 の梁部 26 a , 26 b は、下部基板 20 の上部基板 30 側と、その反対側とに、対になるように形成されている。第 1 及び第 2 の梁部 26 a , 26 b は、可動部 24 の上部基板 30 側の主面 24 a と反対側の主面の各辺に沿って延在する相対的に長い第 1 直線部 26 p と、相対的に短い第 2 直線部 26 q とが直角に接続された L 字状の形状を有し、第 1 直線部 26 p の一端が下部基板 20 の固定部 22 に接続され、第 2 直線部 26 q の一端が可動部 24 に接続されている。

【 0044 】

可動部 24 は、接続部 28 を介してミラー 12 の裏面 30 x に接続され、4 対の第 1 及び第 2 の梁部 26 a , 26 b によって、ミラー 12 に対して接離する方向（以下、「ミラー接離方向」という。）に対する傾きが抑制されながら、ミラー接離方向に移動自在に支持されている。

30

【 0045 】

固定部 22 と第 1 の梁部 26 a には、図 8 において斜線が付された配線パターン 27 が形成されている。配線パターン 27 は電極 25 に接続されており、外部から配線パターン 27 を介して電極 25 に電圧を印加することができる。

【 0046 】

次に、静電駆動可変ミラー 10 の動作について説明する。可動部 24 の電極 25 に電圧を印加すると、上部基板 30 のミラー 12 と電極 25 との間の電位差によって静電力が生じ、ミラー 12 が傾き、ミラー 12 が変形する。ミラー 12 に接続されている可動部 24 は、ミラー 12 の変形に伴い、ミラー接離方向に移動する。

40

【 0047 】

電極が固定され、電極が移動しない場合には、電極とミラーの間隔によってミラーの変形量が制限される。これに対し、静電駆動可変ミラー 10 は、電極 25 を有する可動部 24 がミラー 12 に接続されているので、電極 25 とミラー 12 との間隔は所定範囲内に保たれる。そのため、電極 25 に印加する電圧を低くしてもミラー 12 が変形するように構成できる。ミラー 12 が変形したときに可動部 24 が移動するため、ミラー 12 と電極 25 との間隔に制約されることなく、ミラー 12 の変形量を大きくすることができる。したがって、低い駆動電圧でも反射面 34 s の変形量を大きくすることができる。

【 0048 】

50

次に、静電駆動可変ミラー 10 の製造工程の一例について、図 9 ~ 図 12 を参照しながら説明する。静電駆動可変ミラー 10 は、上部基板 30 と下部基板 20 とをそれぞれ作製した後に、接続する

【0049】

図 9 は、上部基板 30 の製造プロセスを示す断面図である。

【0050】

まず、図 9 (a) に示すように、活性層 31a とハンドル層 31c の間に SiO_2 の BOX 層 31b が挟まれた SOI ウエハ 31 を準備し、SOI ウエハ 31 のハンドル層 31c 側に、フォトレジストを塗布・露光・現像して、枠部 36 に対応するマスクパターン 38 を形成する。

10

【0051】

次いで、図 9 (b) に示すように、DRIE (Deep Reactive Ion Etching、深掘り RIE) 加工によって、マスクパターン 38 を介してハンドル層 31c を除去し、凹部 32 を形成し、BOX 層 31b を露出させる。

【0052】

次いで、図 9 (c) に示すように、BOX 層 31b の露出部分とマスクパターン 38 を除去し、凹部 32 内に活性層 31a を露出させる。

【0053】

次いで、図 9 (d) に示すように、ハンドル層 31c 側から、金属の蒸着等によって、反射膜 34 を形成する。このとき、枠部 36 にも、金属膜 35 が形成される。なお、反射膜 34 を形成せずに、凹部 32 内に露出した活性層 31a の表面を反射面として用いることも可能である。

20

【0054】

例えば、活性層 31a の厚みが $2 \sim 5 \mu\text{m}$ 、BOX 層 31b の厚みが $2 \mu\text{m}$ 、ハンドル層の厚みが $400 \mu\text{m}$ の SOI ウエハ 31 を用いて、厚み $0.2 \mu\text{m}$ の Al の反射膜 34 を形成する。

【0055】

図 10 及び図 11 は、下部基板 20 の製造プロセスを示す断面図である。

【0056】

まず、図 10 (a) に示すように、シリコンウエハ 21 の両面に、LPCVD (low pressure Chemical Vapor Deposition、減圧 CVD) 法を用いて、厚み $0.3 \mu\text{m}$ の低応力 SiN 膜 21a, 21b を成膜する。

30

【0057】

次いで、裏面側の SiN 膜 21b に、フォトレジストを塗布・露光・現像して、第 2 の梁部 26b と固定部 22 及び可動部 24 とに対応するマスクパターンを形成し、 CF_4 ガスを用いる RIE (Reactive Ion Etching) 加工によって、マスクパターンを介して SiN 膜 21b を除去することによって、図 10 (b) に示すように、第 2 の梁部 26b を形成する。

【0058】

次いで、図 10 (c) に示すように、DRIE 加工によって、第 2 の梁部 26b に沿って、シリコンウエハ 21 の厚みの半分程度の深さのトレンチ 21x を形成する。

40

【0059】

次いで、表面側の SiN 膜 21a について、裏面側の第 2 の梁部 26b と同様に加工し、図 10 (d) に示すように、第 1 の梁部 21a を形成する。

【0060】

次いで、メタルマスクを介して蒸着する等によって、厚み $0.2 \mu\text{m}$ の Al 膜を成膜し、図 11 (e) に示すように、SiN 膜 21a 上に電極 25 及び配線パターン 27 を形成する。

【0061】

次いで、エポキシ系ネガ型フォトレジストである SU-8 を塗布・露光・現像すること

50

によって、図 1 1 (f) に示すように、厚み $5 \mu\text{m}$ の接続部 2 8 , 2 9 を形成する。

【 0 0 6 2 】

次いで、DRIE加工によって、図 1 1 (g) に示すように、第 1 の梁部 2 6 a に沿って、シリコンウエハ 2 1 の厚みの半分程度の深さのトレンチ 2 1 y を形成する。

【 0 0 6 3 】

次いで、 XeF_2 ガスを利用した等方性ドライエッチングによって、図 1 1 (h) に示すように、第 1 及び第 2 の梁部 2 6 a , 2 6 b の間と、上下のトレンチ 2 1 x , 2 1 y の間を除去し、第 1 及び第 2 の梁部 2 6 a , 2 6 b をリリースする。例えば、厚み $525 \mu\text{m}$ のシリコンウエハ 2 1 を用い、両面から、それぞれ $200 \mu\text{m}$ 程度の深さのトレンチ 2 1 x , 2 1 y を形成し、トレンチ 2 1 x , 2 1 y 間に残っている約 $100 \mu\text{m}$ を、両側から $50 \mu\text{m}$ 程度エッチングする。

10

【 0 0 6 4 】

作製した上部基板 3 0 と下部基板 2 0 は、図 1 2 (a) に示すように、上部基板 3 0 の裏面 3 0 x と、下部基板 2 0 の接続部 2 8 , 2 9 とを対向させ、図 1 2 (b) に示すように、接続部 2 8 を介してミラー 1 2 と可動部 2 4 とを接続し、接続部 2 9 を介して枠部 3 6 と固定部 2 2 とを接続する。例えば、 $16 \text{mm} \times 16 \text{mm}$ の大きさの下部基板 2 0 に、内径が 8mm の凹部 3 2 が形成され、枠部 3 6 の幅が 2mm の上部基板 3 0 を接続する。

【 0 0 6 5 】

以上の工程によって、MEMS構造の静電駆動可変ミラー 1 0 を容易に作製することができる。接続部 2 8 をSU-8を用いて形成することによって、ミラーと可動部 2 4 とが接続された構成を容易に作製することができる。また、接続部 2 8 の弾性変形によって、反射面 3 4 s の変形が滑らかになる。

20

【 0 0 6 6 】

次に、実施例 1 のシミュレーションについて、図 1 3 ~ 図 1 8 を参照しながら説明する。

【 0 0 6 7 】

図 1 3 及び図 1 4 は、シミュレーションモデルのイメージ図である。図 1 3 に示すように、14個のアクチュエータ 1 4 a , 1 4 b , 1 4 c を用いる第 1 のモデルと、図 1 4 に示すように、7個のアクチュエータ 1 4 a , 1 4 b , 1 4 c を用いる第 2 のモデルとについて、ミラー 1 2 x の変形をシミュレーションした。ミラー 1 2 x の外周は拘束されている。ミラー 1 2 x が矩形である点以外は、実施例 1 と同様に構成されている。

30

【 0 0 6 8 】

図 1 5 は、1個分のアクチュエータ 1 4 のイメージ図である。図 1 5 に示すように、アクチュエータ 1 4 は、実施例 1 と同様に、柱状の可動部 2 4 が、幅 $10 \mu\text{m}$ 、長さ $340 \mu\text{m}$ の4つのL字状の第 1 及び第 2 の梁部 2 6 a , 2 6 b を介して、不図示の固定部に支持されている。ミラーに対向する可動部の主面 2 4 a は、 $320 \mu\text{m} \times 320 \mu\text{m}$ の正方形であり、この主面 2 4 a に、 $100 \mu\text{m} \times 120 \mu\text{m}$ の長方形で近似した4つの電極 2 5 x が配置されている。なお、シミュレーションソフトの仕様上、長方形の電極としているが、4つの電極 2 5 x は電気的には独立し個別に静電力を発生するものとして計算した。接続部 2 8 の高さ、すなわち、接続部 2 8 でのミラー 1 2 x と可動部 2 4 (電極 2 5 x) の初期の間隔は、 $5 \mu\text{m}$ とした。

40

【 0 0 6 9 】

図 1 6 ~ 図 1 8 に、図 1 3 及び図 1 4 に示したアクチュエータ 1 4 a , 1 4 b , 1 4 c のうち、外側に配置されるアクチュエータ 1 4 a , 1 4 b の外側の電極のみに電圧を印加する場合のシミュレーション結果を示す。すなわち、図 1 3 及び図 1 4 において、アクチュエータ 1 4 a は、4つの電極 2 5 x (図 1 5 参照)のうち、ミラー中心から最も遠い1つの電極のみに電圧が印加され、アクチュエータ 1 4 b は、4つの電極 2 5 x のうち、ミラー中心から遠い外側の隣り合う2つの電極のみに電圧が印加され、中心に近い内側のアクチュエータ 1 4 c はすべての電極に電圧が印加されない。

【 0 0 7 0 】

50

図16は、アクチュエータが14個の場合の第1のモデルについてのシミュレーション結果を示すイメージ図である。図17は、アクチュエータが7個の場合の第2のモデルについてのシミュレーション結果を示すイメージ図である。図16及び図17から、ミラー12xが略同心に凸状に変形することが分かる。

【0071】

図18は、シミュレーション結果を示すグラフである。図18において、横軸は、電極に印加する電圧であり、縦軸はミラー12xの中央の変位であり、変位の方向は、変形前のミラー面(X-Y方向)に対して垂直方向(Z方向)である。図18において、の記号は、アクチュエータが14個の第1のモデルを示し、の記号は、アクチュエータが7個の第2のモデルを示す。図18から、電極に印加する電圧の大きさに応じてミラーの変形量が大きくなり、電極に印加する電圧が16~20V程度で、ミラー12xの最大変位が、接続部28でのミラー12xと可動部24(電極25x)の初期の間隔である5μmを超えることが分かる。

10

【0072】

<まとめ> 以上に説明したように、ミラーに対して接離する方向に移動可能に可動部を保持し、可動部に電極を設け、静電力でミラーを傾ける本発明の静電駆動可変ミラーは、低い駆動電圧でも反射面の変形量を大きくすることができる。

【0073】

なお、本発明は、上記実施の形態に限定されるものではなく、種々変更を加えて実施することが可能である。

20

【0074】

例えば可動部の内部に電極が形成されてもよい。また、可動部の電極と対向し、可動部の電極との間に電位差を生じるミラー側電極を、ミラーの内部や裏面に形成してもよい。

【0075】

また、本発明は、光の位相の制御に限らず、光の強度の制御や、光の方向の制御にも利用可能である。

【符号の説明】

【0076】

- 10, 10a ~ 10e 静電駆動可変ミラー
- 12, 12x ミラー
- 12a 反射面
- 12b 裏面
- 20 下部基板
- 22 固定部
- 24, 24e 可動部
- 25, 25a, 25b, 25e, 25s, 25t, 25x 電極
- 26 支持部
- 26a, 26b 梁部(支持部)
- 28, 28a ~ 28e, 29 接続部
- 30 上部基板
- 30x 裏面
- 34s 反射面

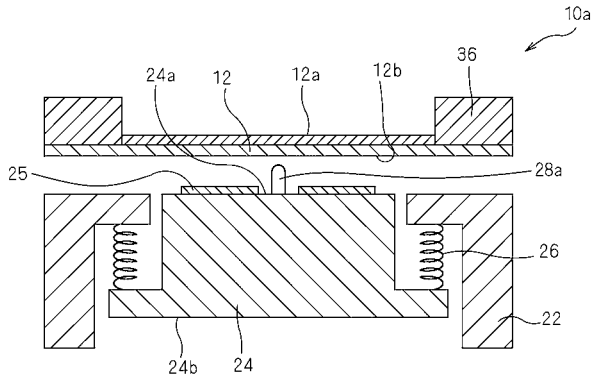
30

40

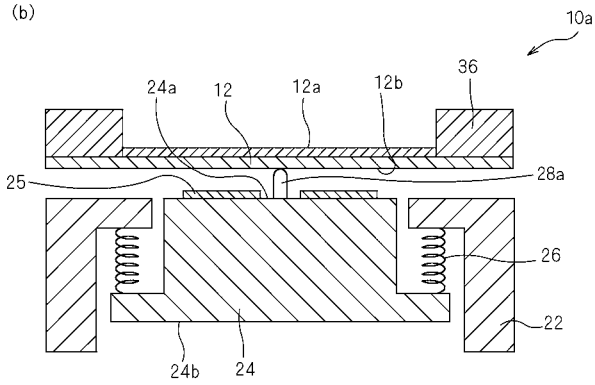
【図1】

【図1】

(a)

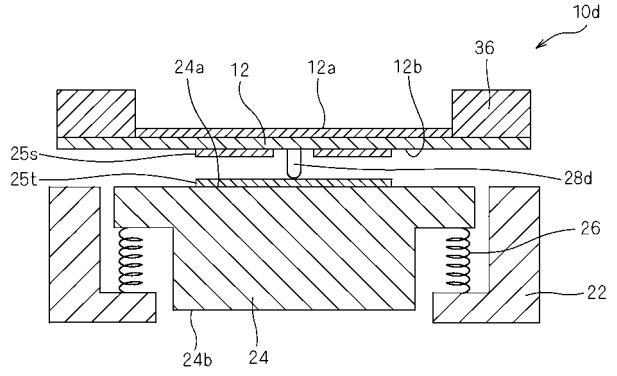


(b)



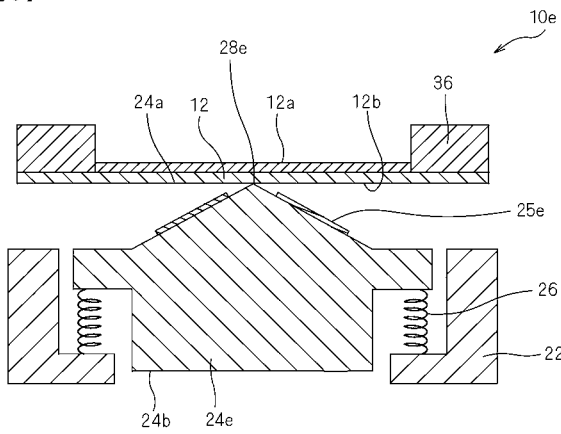
【図2】

【図2】



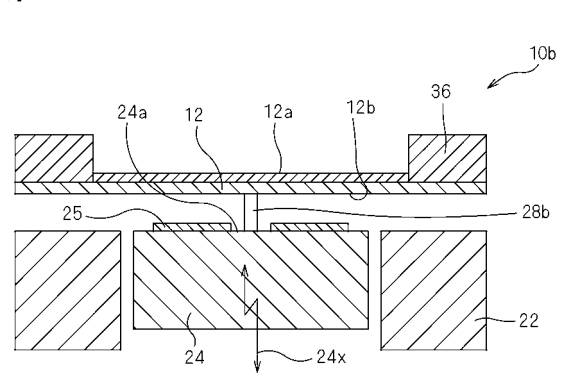
【図3】

【図3】



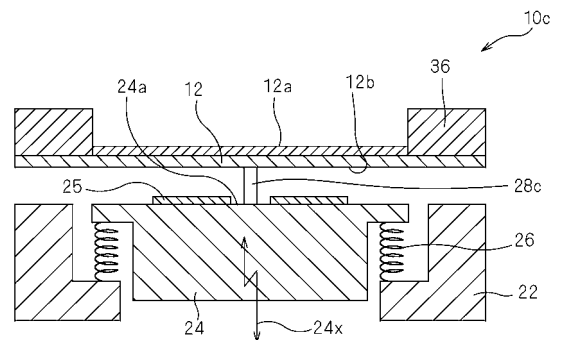
【図4】

【図4】



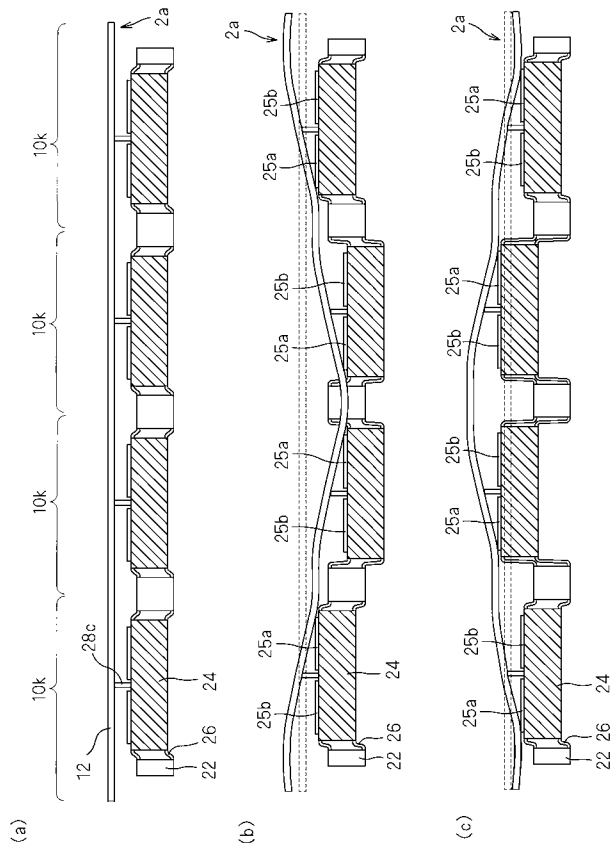
【図5】

【図5】



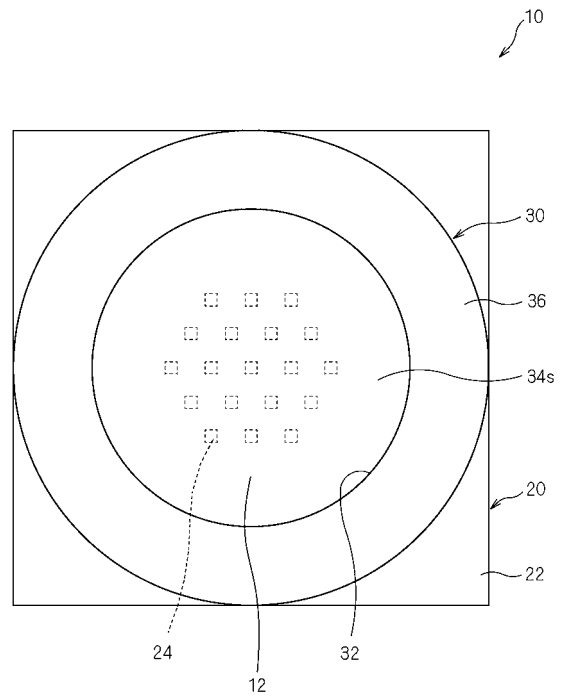
【図6】

【図6】



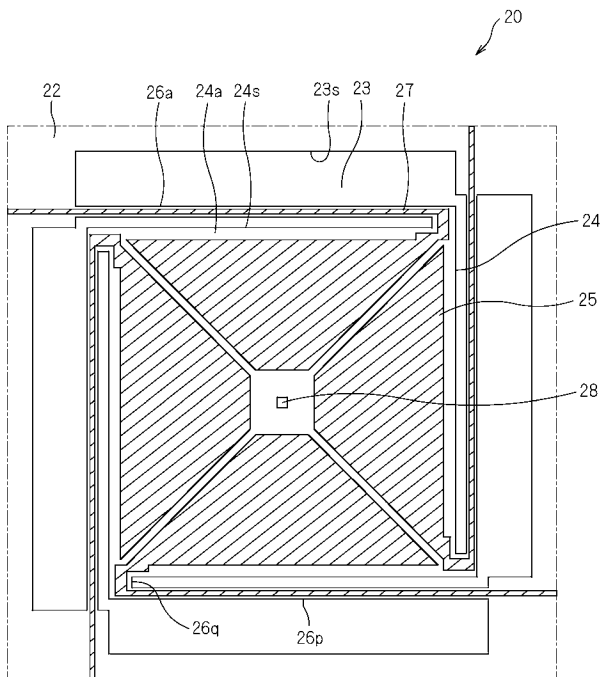
【図7】

【図7】



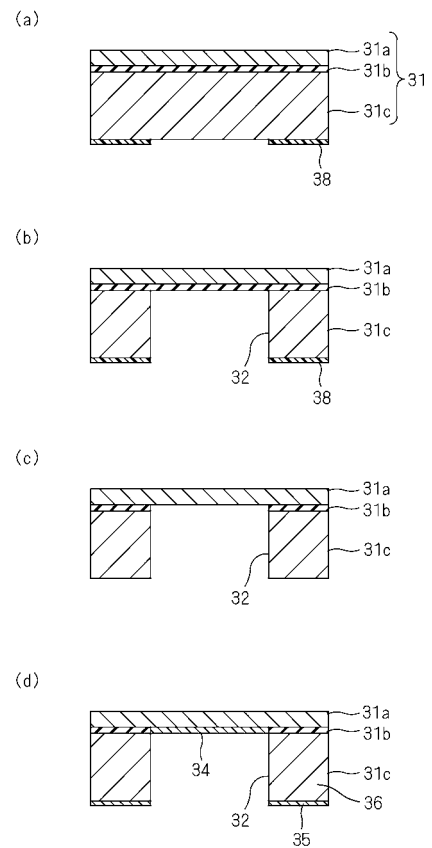
【図8】

【図8】



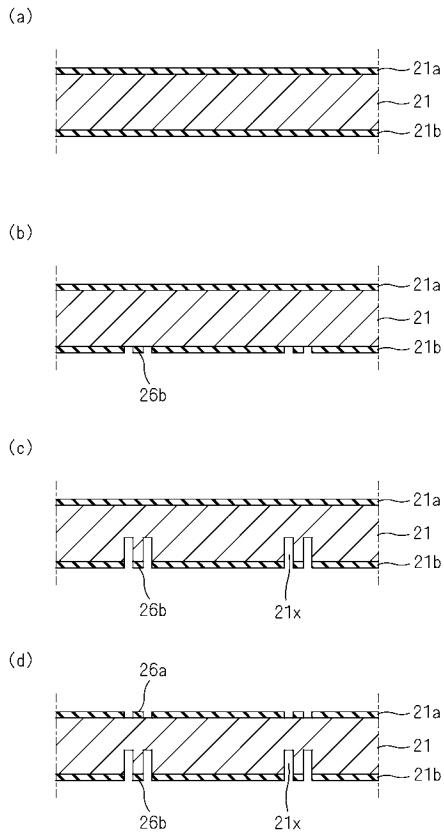
【図9】

【図9】



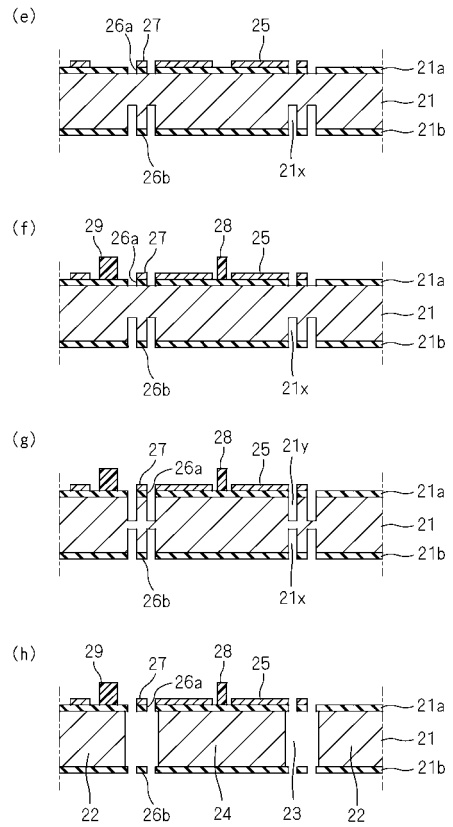
【図10】

【図10】



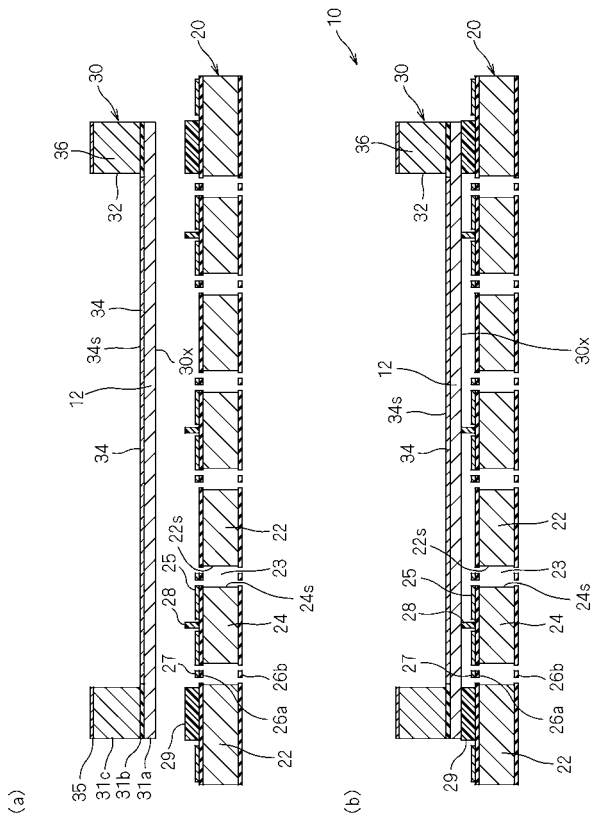
【図11】

【図11】



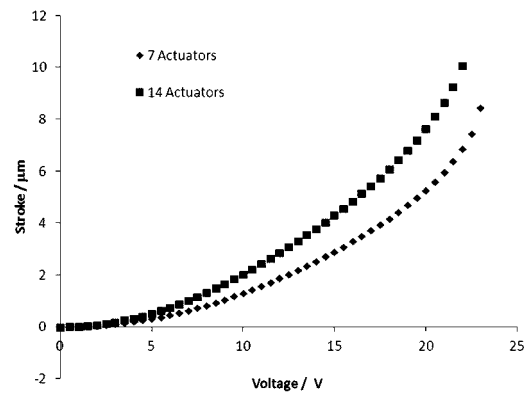
【図12】

【図12】



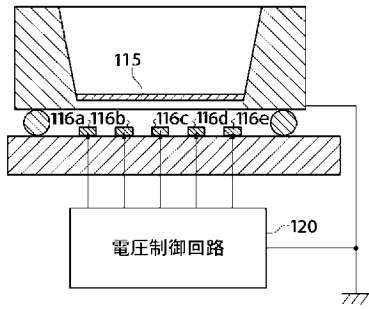
【図18】

【図18】



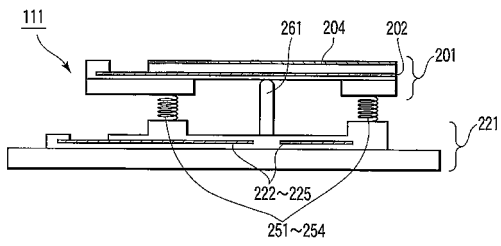
【図19】


【図19】




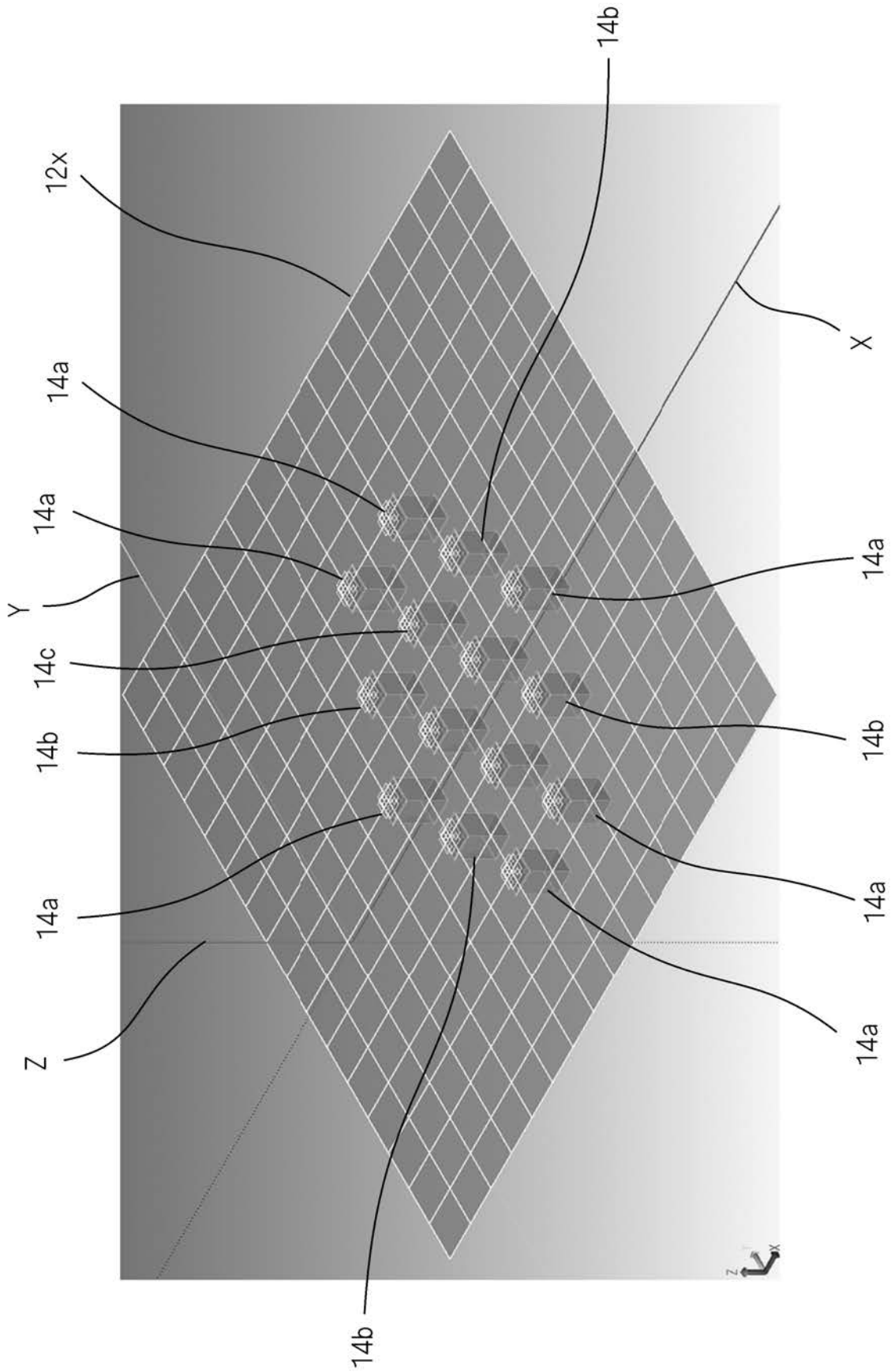
【図20】

【図20】



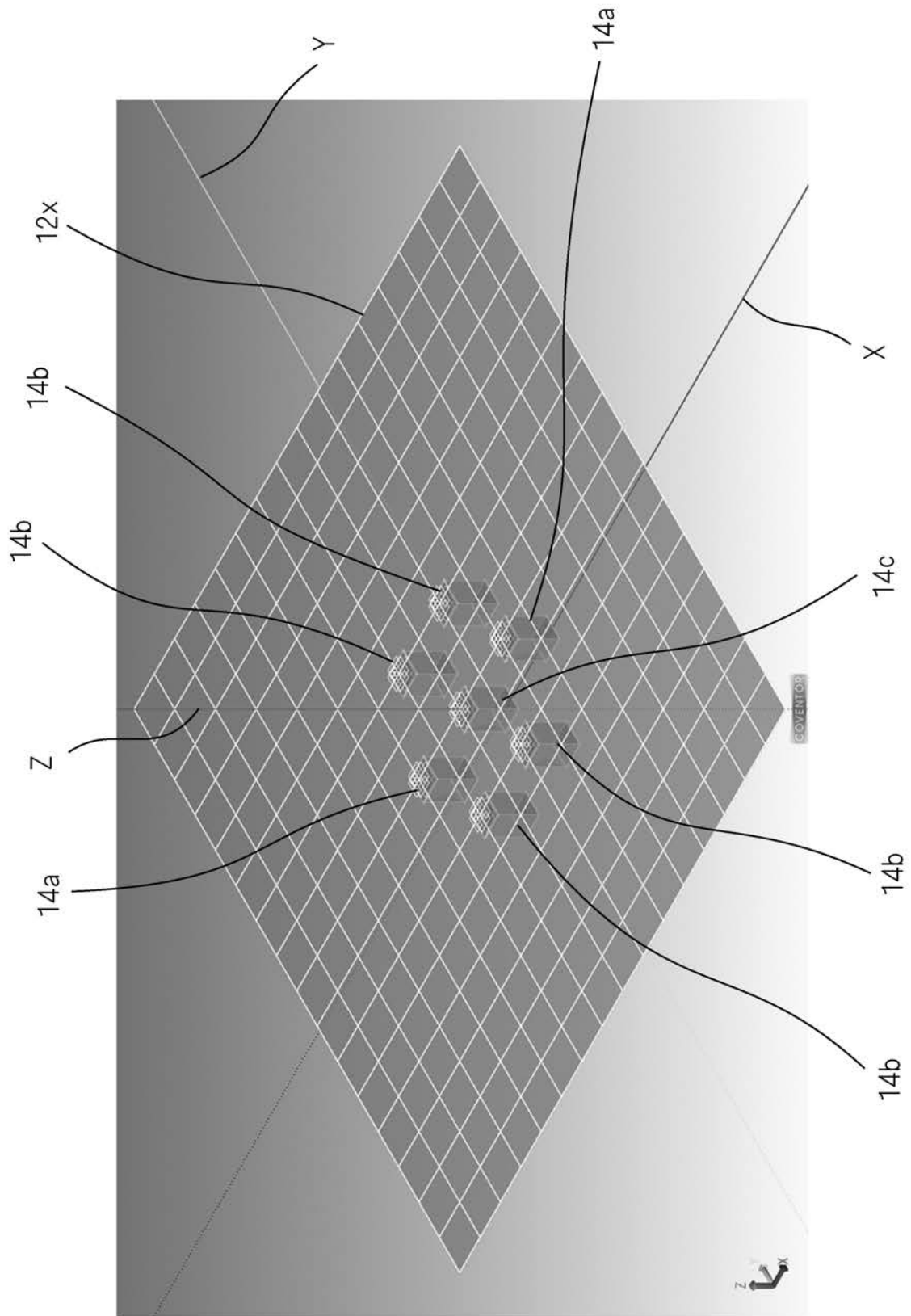
【 1 3】

【 1 3】



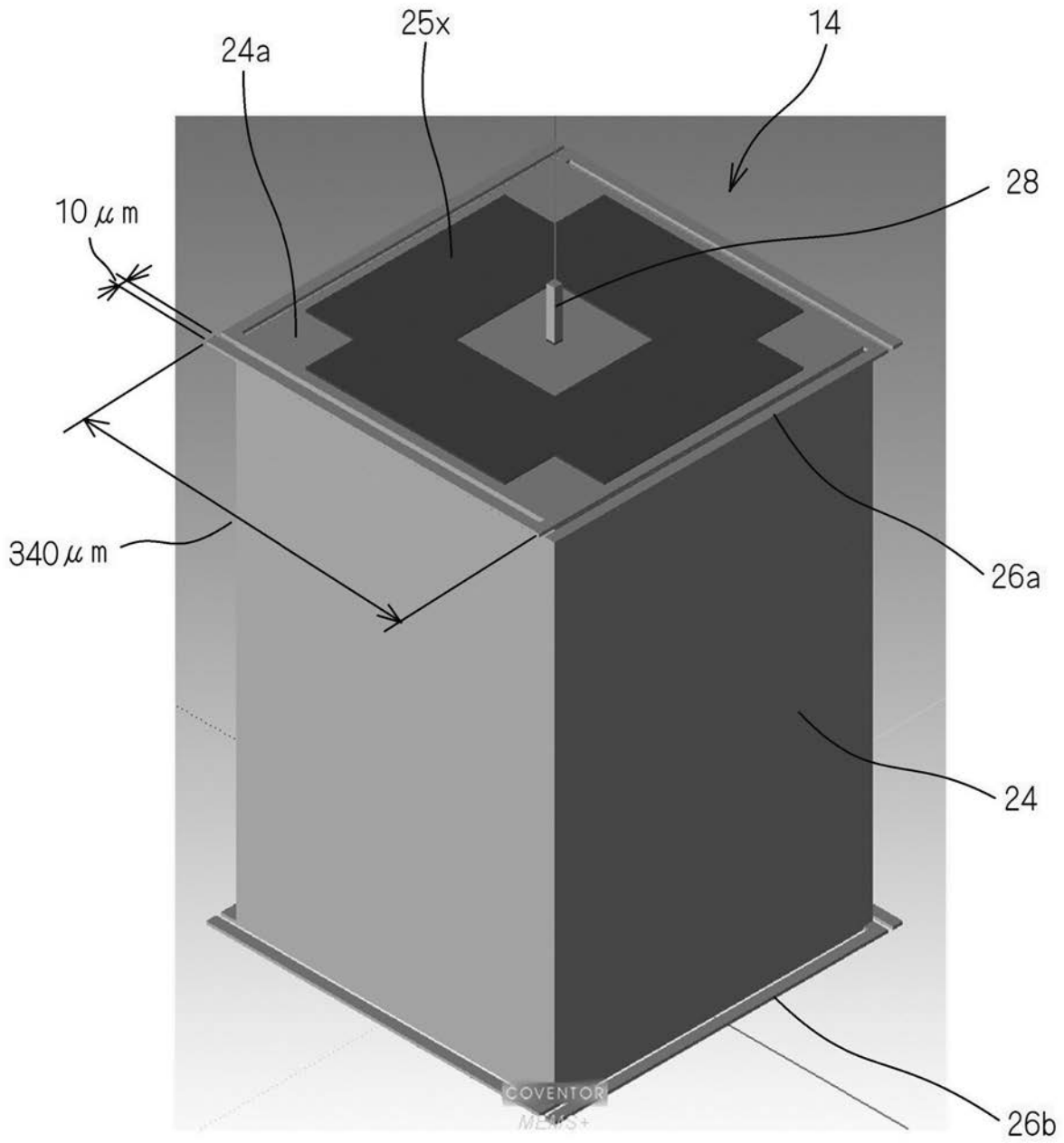
【図 14】

【図 14】



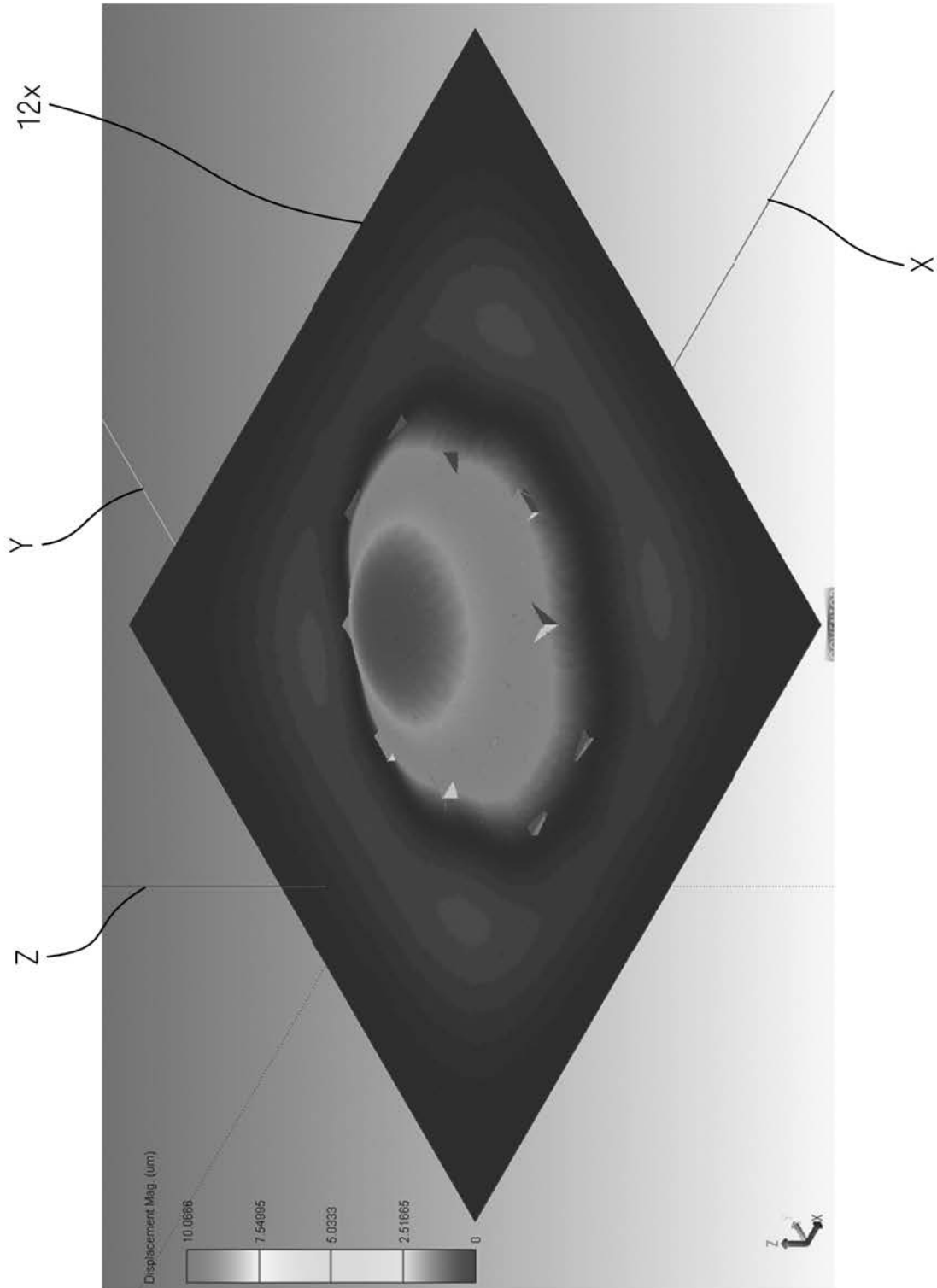
【図15】

【図15】



【図16】

【図16】



【図 17】

【図 17】

