

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5374860号  
(P5374860)

(45) 発行日 平成25年12月25日(2013.12.25)

(24) 登録日 平成25年10月4日(2013.10.4)

(51) Int.Cl.

F 1

HO2N	1/00	(2006.01)
HO1L	21/027	(2006.01)
GO2B	26/08	(2006.01)
B81B	3/00	(2006.01)

HO2N	1/00	
HO1L	21/30	529
GO2B	26/08	E
B81B	3/00	

請求項の数 17 (全 24 頁)

(21) 出願番号

特願2007-290577 (P2007-290577)

(22) 出願日

平成19年11月8日 (2007.11.8)

(65) 公開番号

特開2009-118682 (P2009-118682A)

(43) 公開日

平成21年5月28日 (2009.5.28)

審査請求日

平成22年10月27日 (2010.10.27)

(73) 特許権者 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区有楽町1丁目12番1号

(74) 代理人 100096770

弁理士 四宮 通

(72) 発明者 鈴木 純児

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72) 発明者 大和 壮一

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

審査官 河村 勝也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】マイクロアクチュエータ及びその製造方法、マイクロアクチュエータアレー、マイクロアクチュエータ装置、光学デバイス、表示装置、露光装置、並びにデバイス製造方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

基体と、該基体に支持された板状部材と、駆動力付与手段とを備え、

前記板状部材は、前記板状部材の周辺部における全周又はその一部に渡る所定箇所で前記基体に対して固定されて、前記板状部材における前記所定箇所以外の領域で撓み変形可能であり、

前記所定箇所は、前記板状部材の前記周辺部において互いに対向する2箇所を含み、

被駆動体が、前記板状部材の撓み変形可能な領域のうちの所定部位に局所的に機械的に接続され、

前記駆動力付与手段は、信号に応じて、前記板状部材の前記撓み変形可能な領域が撓み変形をして前記板状部材の前記所定部位の傾きが変化するよう、前記板状部材の少なくとも一部に駆動力を付与し得るものであり、

前記基体における前記板状部材との対向領域が平坦化され、

前記駆動力付与手段は、前記基体に設けられた1つ以上の第1の電極部と、前記板状部材に設けられ前記1つ以上の第1の電極部との間の電圧により前記1つ以上の第1の電極部との間に静電力を生じ得る1つ以上の第2の電極部とを、含む、

ことを特徴とするマイクロアクチュエータ。

## 【請求項 2】

前記1つ以上の第1の電極部は、前記板状部材の一部と対向するとともに前記板状部材の残りの部分とは対向しないことを特徴とする請求項1記載のマイクロアクチュエータ。

10

20

**【請求項 3】**

前記基体は、前記対向領域に C M P により平坦化された平坦化膜を有することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載のマイクロアクチュエータ。

**【請求項 4】**

前記駆動力が付与されない状態において、前記板状部材と前記基体における前記対向領域との間の空隙が 0 . 3  $\mu$ m 以下であることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載のマイクロアクチュエータ。

**【請求項 5】**

前記被駆動体が主平面を有し、前記板状部材の主平面と前記被駆動体の主平面とが略平行であることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載のマイクロアクチュエータ。

10

**【請求項 6】**

前記板状部材の前記所定部位は、前記板状部材の重心から偏心した部位であることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載のマイクロアクチュエータ。

**【請求項 7】**

基体と、該基体に支持された板状部材と、駆動力付与手段とを備え、

前記板状部材は、前記板状部材の周辺部における全周又はその一部に渡る所定箇所で前記基体に対して固定されて、前記板状部材における前記所定箇所以外の領域で撓み変形可能であり、

前記所定箇所は、前記板状部材の前記周辺部において互いに対向する 2 箇所を含み、

被駆動体が、前記板状部材の撓み変形可能な領域のうちの所定部位に局所的に機械的に接続され、

20

前記駆動力付与手段は、信号に応じて、前記板状部材の前記撓み変形可能な領域が撓み変形をして前記板状部材の前記所定部位の傾きが変化するように、前記板状部材の少なくとも一部に駆動力を付与し得るものであり、

前記基体における前記板状部材との対向領域が平坦化され、

前記板状部材の前記所定部位は、前記板状部材の重心から偏心した部位である、

ことを特徴とするマイクロアクチュエータ。

**【請求項 8】**

複数のマイクロアクチュエータと、複数の端子からなる第 1 の端子群と、複数の端子からなる第 2 の端子群と、を備えたマイクロアクチュエータアレーであって、

30

前記各マイクロアクチュエータは、請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載のマイクロアクチュエータであり、

前記各マイクロアクチュエータに関して、当該マイクロアクチュエータの前記第 1 の電極部が、前記第 1 及び第 2 の端子群のうちの一方の端子群のいずれか 1 つの端子に電気的に接続されるとともに前記第 1 及び第 2 の端子群の他の端子に電気的に接続されず、

前記各マイクロアクチュエータに関して、当該マイクロアクチュエータの前記第 2 の電極部が、前記第 1 及び第 2 の端子群のうちの他方の端子群のいずれか 1 つの端子に電気的に接続されるとともに前記第 1 及び第 2 の端子群の他の端子に電気的に接続されず、

前記各マイクロアクチュエータに関して、当該マイクロアクチュエータの前記第 1 の電極部に電気的に接続された第 1 又は第 2 の端子群の 1 つの端子と当該マイクロアクチュエータの前記第 2 の電極部に電気的に接続された前記第 1 又は第 2 の端子群の 1 つの端子との組み合わせは、当該マイクロアクチュエータに固有のものとなり、

40

前記第 1 の端子群の少なくとも 1 つの端子が、前記複数のマイクロアクチュエータのうちの 2 つ以上のマイクロアクチュエータの前記第 1 又は第 2 の電極部に、共通して電気的に接続され、

前記第 2 の端子群の少なくとも 1 つの端子が、前記複数のマイクロアクチュエータのうちの 2 つ以上のマイクロアクチュエータの前記第 1 又は第 2 の電極部に、共通して電気的に接続された、

ことを特徴とするマイクロアクチュエータアレー。

**【請求項 9】**

50

請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載のマイクロアクチュエータと、前記被駆動体とを備え、前記被駆動体が光学素子であることを特徴とする光学デバイス。

【請求項 1 0】

前記光学素子がミラーであることを特徴とする請求項 9 記載の光学デバイス。

【請求項 1 1】

前記マイクロアクチュエータ及び前記光学素子の組を複数備えたことを特徴とする請求項 9 又は 1 0 記載の光学デバイス。

【請求項 1 2】

空間光変調器を備えた表示装置であって、前記空間光変調器が請求項 1 1 記載の光学デバイスであることを特徴とする表示装置。

10

【請求項 1 3】

照明光を用いて、物体を露光する露光装置であって、

前記照明光の光路上に配置される請求項 1 1 記載の光学デバイスを備え、

該光学デバイスを介した前記照明光を用いて前記物体を露光することを特徴とする露光装置。

【請求項 1 4】

前記光学デバイスは、前記照明光の照射により所定のパターンを生成することを特徴とする請求項 1 3 に記載の露光装置。

【請求項 1 5】

前記物体を保持して移動する移動体を更に備え、

20

前記光学デバイスの前記各マイクロアクチュエータの前記駆動力付与手段は、前記移動体の所定方向への移動に同期して制御されることを特徴とする請求項 1 3 又は 1 4 記載の露光装置。

【請求項 1 6】

リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、

前記リソグラフィ工程では、請求項 1 3 乃至 1 5 のいずれかに記載の露光装置を用いて露光を行うことを特徴とするデバイス製造方法。

【請求項 1 7】

基板と絶縁膜と固定電極と配線パターンとを含んで構成される基体と、

前記基体に支持され、前記固定電極により撓み変形が可能な板状部材とを有するマイクロアクチュエータの製造方法であって、

30

前記基板上に前記絶縁膜を成膜することと、

前記固定電極が前記板状部材の一部と対向するとともに前記板状部材の残りの部分とは対向しないように、前記絶縁膜上に前記固定電極及び配線パターンを形成することと、

前記絶縁膜上と、前記固定電極及び配線パターン上における、前記板状部材との対向領域に平坦化膜となるべき膜を成膜することと、

前記平坦化膜となるべき膜を平坦化して平坦化膜とすることと、

前記平坦化膜上に犠牲層を形成することと、

前記犠牲層上に前記板状部材を形成することと、

を含み、

40

前記マイクロアクチュエータは請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載のマイクロアクチュエータである、

ことを特徴とするマイクロアクチュエータの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、マイクロアクチュエータ、マイクロアクチュエータアレー、マイクロアクチュエータ装置、光学デバイス、表示装置、露光装置、及びデバイス製造方法に関するものである。

【背景技術】

50

**【 0 0 0 2 】**

M E M S (Micro-Electro-Mechanical System) 技術の進展に伴い、この技術を応用したマイクロアクチュエータや、これを利用したD M D (Digital Micro-mirror Device) 等の光学デバイスや、このような光学デバイスを利用した投影表示装置やこのような光学デバイスを可変整形マスク(プログラマブルマスクやアクティブマスクとも呼ばれる。)として用いた露光装置などが、種々提案されている。

**【 0 0 0 3 】**

例えば、下記特許文献1には、代表的なD M Dが開示されている。このD M Dでは、ミラーをトーションヒンジで保持し、静電力によりヒンジをねじれ変形させてミラーを回転させてその向きを変え、入射光の反射方向を変える。この基本単位を複数1次元状や2次元状に並べて空間光変調器とし、光学的情報処理装置、投影表示装置や静電写真印刷装置などに応用されている。

10

**【 0 0 0 4 】**

また、ミラーを設けた片持ち梁を静電力で撓ませて、入射光の反射方向を変える光学デバイスも、知られている。

**【 0 0 0 5 】**

ところが、トーションヒンジを用いたマイクロアクチュエータでは、ミラーの保持がトーションヒンジによるために、トーションヒンジの結合部に加わるねじりストレスによって破損し易く、その寿命を長くすることが困難であった。また、片持ち梁を用いたマイクロアクチュエータでは、片持ち梁の固有振動数が低いために応答速度を速くすることができなかった。

20

**【 0 0 0 6 】**

そこで、下記特許文献2には、V字形の凹部を有する基板上に両端を固定して前記凹部を掛け渡すように設けた両持ち梁を用いたマイクロミラーデバイスが、提案されている。このデバイスでは、両持ち梁に光反射膜が形成されて、ミラーが両持ち梁と全体的に一体化されている。静電力を加えない状態では、両持ち梁(すなわち、ミラー)は平板状をなす一方、静電力を加えると、両持ち梁(すなわち、ミラー)が静電力によってV字形の凹部に沿ってV字形に変形し、入射光の反射方向を変える。

**【 0 0 0 7 】**

このデバイスでは、両持ち梁が用いられているため、トーションヒンジを用いる場合に比べて破損が生じ難くなり長寿命化を図ることができるとともに、固有振動数を高くすることができ、応答速度を速くすることができる。

30

【特許文献1】特許第3492400号公報

【特許文献2】特開2005-24966号公報

**【発明の開示】****【発明が解決しようとする課題】****【 0 0 0 8 】**

しかしながら、特許文献2に開示されているデバイスでは、ミラーが両持ち梁と一体化されているため、両持ち梁が静電力によってV字形に変形するときには、ミラーもV字形に変形してしまい、ミラーの反射面は向きの異なる2つの面(V字形の一方の面と他方の面)になってしまふ。その結果、反射光の方向が入射光が入射する位置に応じて大きく異なってしまい、迷光等を引き起こし易く、迷光に対する吸光処理等が困難になる。

40

**【 0 0 0 9 】**

このように、特許文献2に開示されているデバイスでは、長寿命化及び応答速度の高速化の点で大変優れているものの、被駆動体であるミラーが両持ち梁と一体化されているので、被駆動体であるミラーも変形してしまい、これに起因して不都合が生ずるのである。

**【 0 0 1 0 】**

また、特許文献2に開示されているようなミラーデバイスで用いられるマイクロアクチュエータに限らず、他の種々の用途において用いられるマイクロアクチュエータにおいても、被駆動体自体を変形させずに被駆動体の向きのみを変更することが要請される場合が

50

ある。

#### 【0011】

さらに、このようなマイクロアクチュエータでは、より駆動の高速化を図るために、駆動する際の振動が減衰して静定するまでの時間（静定時間）が短いことが好ましい。

#### 【0012】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、長寿命化及び応答速度の高速化を図ることができ、しかも被駆動体自体を変形させずに被駆動体の向きのみを変更することができ、更には静定時間を短縮して駆動をより高速化することができるマイクロアクチュエータを提供することを目的とする。また、本発明は、このようなマイクロアクチュエータを用いたマイクロアクチュエータアレー、マイクロアクチュエータ装置、光学デバイス、表示装置、露光装置、並びに、このような露光装置を用いたデバイス製造方法を提供することを目的とする。10

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0013】

前記課題を解決するため、本発明の第1の態様によるマイクロアクチュエータは、基体と、該基体に支持された板状部材と、駆動力付与手段とを備え、前記板状部材は、前記板状部材の周辺部における全周又はその一部に渡る所定箇所で前記基体に対して固定されて、前記板状部材における前記所定箇所以外の領域で撓み変形可能であり、前記所定箇所は、前記板状部材の前記周辺部において互いに對向する2箇所を含み、被駆動体が、前記板状部材の撓み変形可能な領域のうちの所定部位に局所的に機械的に接続され、前記駆動力付与手段は、信号に応じて、前記板状部材の前記撓み変形可能な領域が撓み変形をして前記板状部材の前記所定部位の傾きが変化するように、前記板状部材の少なくとも一部に駆動力を付与し得るものであり、前記基体における前記板状部材との對向領域が平坦化され、前記駆動力付与手段は、前記基体に設けられた1つ以上の第1の電極部と、前記板状部材に設けられ前記1つ以上の第1の電極部との間の電圧により前記1つ以上の第1の電極部との間に静電力を生じ得る1つ以上の第2の電極部とを、含むものである。20

本発明の第2の態様によるマイクロアクチュエータは、前記第1の態様において、前記1つ以上の第1の電極部は、前記板状部材の一部と對向するとともに前記板状部材の残りの部分とは對向しないものである。

#### 【0014】

本発明の第3の態様によるマイクロアクチュエータは、前記第1又は第2の態様において、前記基体は、前記對向領域にCMPにより平坦化された平坦化膜を有するものである。30

#### 【0015】

本発明の第4の態様によるマイクロアクチュエータは、前記第1乃至第3のいずれかの態様において、前記駆動力が付与されない状態において、前記板状部材と前記板状部材と前記基体における前記對向領域との間の空隙が0.3μm以下であるものである。

#### 【0016】

本発明の第5の態様によるマイクロアクチュエータは、前記第1乃至第4のいずれかの態様において、前記被駆動体が主平面を有し、前記板状部材の主平面と前記被駆動体の主平面とが略平行であるものである。40

#### 【0017】

本発明の第6の態様によるマイクロアクチュエータは、前記第1乃至第5のいずれかの態様において、前記板状部材の前記所定部位は、前記板状部材の重心から偏心した部位であるものである。

#### 【0018】

本発明の第7の態様によるマイクロアクチュエータは、基体と、該基体に支持された板状部材と、駆動力付与手段とを備え、前記板状部材は、前記板状部材の周辺部における全周又はその一部に渡る所定箇所で前記基体に対して固定されて、前記板状部材における前記所定箇所以外の領域で撓み変形可能であり、前記所定箇所は、前記板状部材の前記周辺50

部において互いに対向する2箇所を含み、被駆動体が、前記板状部材の撓み変形可能な領域のうちの所定部位に局所的に機械的に接続され、前記駆動力付与手段は、信号に応じて、前記板状部材の前記撓み変形可能な領域が撓み変形をして前記板状部材の前記所定部位の傾きが変化するように、前記板状部材の少なくとも一部に駆動力を付与し得るものであり、前記基体における前記板状部材との対向領域が平坦化され、前記板状部材の前記所定部位は、前記板状部材の重心から偏心した部位である。

【0020】

本発明の第8の態様によるマイクロアクチュエータレーは、複数のマイクロアクチュエータと、複数の端子からなる第1の端子群と、複数の端子からなる第2の端子群と、を備えたマイクロアクチュエータレーであって、(i)前記各マイクロアクチュエータは、前記第1乃至第6のいずれかの態様によるマイクロアクチュエータであり、(ii)前記各マイクロアクチュエータに関して、当該マイクロアクチュエータの前記第1の電極部が、前記第1及び第2の端子群のうちの一方の端子群のいずれか1つの端子に電気的に接続されるとともに前記第1及び第2の端子群の他の端子に電気的に接続されず、(iii)前記各マイクロアクチュエータに関して、当該マイクロアクチュエータの前記第2の電極部が、前記第1及び第2の端子群のうちの他方の端子群のいずれか1つの端子に電気的に接続されるとともに前記第1及び第2の端子群の他の端子に電気的に接続されず、(iv)前記各マイクロアクチュエータに関して、当該マイクロアクチュエータの前記第1の電極部に電気的に接続された第1又は第2の端子群の1つの端子と当該マイクロアクチュエータの前記第2の電極部に電気的に接続された前記第1又は第2の端子群の1つの端子との組み合わせは、当該マイクロアクチュエータに固有のものとなり、(v)前記第1の端子群の少なくとも1つの端子が、前記複数のマイクロアクチュエータのうちの2つ以上のマイクロアクチュエータの前記第1又は第2の電極部に、共通して電気的に接続され、(vi)前記第2の端子群の少なくとも1つの端子が、前記複数のマイクロアクチュエータのうちの2つ以上のマイクロアクチュエータの前記第1又は第2の電極部に、共通して電気的に接続されたものである。

【0021】

前記(iv)の「固有」とは、第1の端子群から任意の1つの端子を選択するとともに第2の端子群から任意の1つの端子を選択したとき、この2つの端子に対応する(すなわち、この2つの端子が両電極にそれぞれ電気的に接続されている)マイクロアクチュエータが1つだけ特定される意味である。

【0023】

本発明の第9の態様による光学デバイスは、前記第1乃至第7のいずれかの態様によるマイクロアクチュエータと、前記被駆動体とを備え、前記被駆動体が光学素子であるものである。

【0024】

本発明の第10の態様による光学デバイスは、前記第9の態様において、前記光学素子がミラーであるものである。

【0025】

本発明の第11の態様による光学デバイスは、前記第9又は第10の態様において、前記マイクロアクチュエータ及び前記光学素子の組を複数備えたものである。

【0026】

本発明の第12の態様による表示装置は、空間光変調器を備えた表示装置であって、前記空間光変調器が前記第11の態様による光学デバイスであるものである。

【0027】

本発明の第13の態様による露光装置は、照明光を用いて、物体を露光する露光装置であって、前記照明光の光路上に配置される前記第11の態様による光学デバイスを備え、該光学デバイスを介した前記照明光を用いて前記物体を露光するものである。

【0028】

本発明の第14の態様による露光装置は、前記第13の態様において、前記光学デバイ

10

20

30

40

50

スは、前記照明光の照射により所定のパターンを生成するものである。

【0029】

本発明の第15の態様による露光装置は、前記第13又は第14の態様において、前記物体を保持して移動する移動体を更に備え、前記光学デバイスの前記各マイクロアクチュエータの前記駆動力付与手段は、前記移動体の所定方向への移動に同期して制御されるものである。

【0030】

本発明の第16の態様によるデバイス製造方法は、リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、前記リソグラフィ工程では、前記第13乃至第15のいずれかの態様による露光装置を用いて露光を行うものである。

本発明の第17の態様によるデバイス製造方法は、基板と絶縁膜と固定電極と配線パターンとを含んで構成される基体と、前記基体に支持され、前記固定電極により撓み変形が可能な板状部材とを有するマイクロアクチュエータの製造方法であって、前記基板上に前記絶縁膜を成膜することと、前記固定電極が前記板状部材の一部と対向するとともに前記板状部材の残りの部分とは対向しないように、前記絶縁膜上に前記固定電極及び配線パターンを形成することと、前記絶縁膜上と、前記固定電極及び配線パターン上における、前記板状部材との対向領域に平坦化膜となるべき膜を成膜することと、前記平坦化膜となるべき膜を平坦化して平坦化膜とすることと、前記平坦化膜上に犠牲層を形成することと、前記犠牲層上に前記板状部材を形成することと、を含み、前記マイクロアクチュエータは前記第1乃至第7のいずれかの態様によるマイクロアクチュエータであるものである。

【発明の効果】

【0031】

本発明によれば、長寿命化及び応答速度の高速化を図ることができ、しかも被駆動体自身を変形させずに被駆動体の向きのみを変更することができ、更には静定時間を短縮して駆動をより高速化することができるマイクロアクチュエータを提供することができる。また、本発明によれば、このようなマイクロアクチュエータを用いたマイクロアクチュエータアレー、マイクロアクチュエータ装置、光学デバイス、表示装置、露光装置、並びに、このような露光装置を用いたデバイス製造方法を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0032】

以下、本発明によるマイクロアクチュエータ、マイクロアクチュエータアレー、マイクロアクチュエータ装置、光学デバイス、表示装置、露光装置、及びデバイス製造方法について、図面を参照して説明する。

【0033】

【第1の実施の形態】

【0034】

図1は、本発明の第1の実施の形態による光学デバイスの単位素子を模式的に示す概略斜視図である。図2は、図1に示す単位素子を模式的に示す概略平面図である。図1及び図2において、平坦化膜20は省略して示している。図3は、図1に示す単位素子の板状部材2を模式的に示す概略平面図である。図3には、後述する接続部11も併せて示している。図4は、図2中のA-A'線に沿った概略断面図である。

【0035】

説明の便宜上、図1乃至図4に示すように、互いに直交するX軸、Y軸、Z軸を定義する（後述する図についても同様である。）。基板1の面がXY平面と平行となっている。Z軸方向の+側を上側、Z軸方向の-側を下側という場合がある。なお、以下に説明する材料等は例示であり、これに限定されるものではない。

【0036】

本実施の形態による光学デバイスは、基体を構成するシリコン基板1と、シリコン基板1に脚部3を介して支持された板状部材2と、被駆動体である光学素子としてのミラー4と、固定電極（第1の電極部）5とを有している。基体は、シリコン基板1のみならず、

10

20

30

40

50

シリコン基板1上に形成された絶縁膜6、固定電極5及び平坦化膜20も含んでいる。なお、本発明によるマイクロアクチュエータが駆動する被駆動体は、ミラー4に限定されるものではなく、例えば、回折光学素子、光学フィルタやフォトニック結晶などの他の光学素子でもよいし、光学素子以外の任意の部材であってもよい。

【0037】

本実施の形態では、板状部材2は、Z軸方向から見た平面視で四角形状をなしている。駆動力としての後述する静電力が付与されていない場合は、板状部材2の主平面は、図1乃至図4に示すように、XY平面と平行になっている。

【0038】

板状部材2は、板状部材2の周辺部において互いに対向する2箇所である+X側の一辺付近及び-X側の一辺付近で、基板1上の酸化シリコン膜等の絶縁膜6上に形成されたアルミニウム膜からなる配線パターン7(図4参照。図1及び図2では省略。)及び酸化シリコン膜等の平坦化膜20(図4参照。図1及び図2では省略。)を介して基板1から立ち上がる脚部3を介して、基板1に対して固定されている。したがって、本実施の形態では、板状部材2は両持ち梁となっている。板状部材2における+X側の脚部3と-X側の脚部3との間の領域が、撓み変形可能な領域となっている。

10

【0039】

板状部材2は、薄膜で構成され、下側の絶縁膜としての窒化シリコン膜8、中間のアルミニウム膜9及び上側の窒化シリコン膜10を積層した3層膜で構成されている。

20

【0040】

本実施の形態では、脚部3は、板状部材2を構成する窒化シリコン膜8,10及びアルミニウム膜9がそのまま延びることによって構成されている。アルミニウム膜9は、脚部3において窒化シリコン膜8及び平坦化膜20にそれぞれ形成された開口を介して配線パターン7に接続されている。

20

【0041】

本実施の形態では、ミラー4は、薄膜で構成され、アルミニウム膜で構成される。Z軸方向から見た平面視で四角形状をなしている。駆動力としての後述する静電力が付与されていない場合は、ミラー4の主平面は、図1乃至図4に示すように、XY平面と平行になっており、板状部材2の主平面と平行になっている。なお、図面には示していないが、ミラー4の剛性を高めるため、必要に応じて、その周囲には段差(立ち上がり部又は立ち下がり部)を形成して補強することが好ましい。

30

【0042】

ミラー4は、接続部11を介して、板状部材2の撓み変形可能な領域のうちの、板状部材2の中心(重心)から-X方向へ偏心した部位に、局所的に機械的に接続されている。接続部11は、ミラー4を構成するアルミニウム膜がそのまま延びることによって構成されている。

30

【0043】

本実施の形態では、固定電極5は、板状部材2のX軸方向の中央付近において板状部材2のY軸方向の全体に渡って板状部材2と重なるように、アルミニウム膜によって形成されている。板状部材2を構成するアルミニウム膜9の、固定電極5と対向する領域が、固定電極5との間の電圧により固定電極5との間に静電力を生じ得る可動電極(第2の電極部)となっている。アルミニウム膜9の残りの領域は、可動電極を配線パターン7へ接続するための配線パターンとなっている。

40

【0044】

本実施の形態では、前述したように、ミラー4の板状部材2に対する固定部位が-X方向へ偏心しているとともに、固定電極5及び前記可動電極が板状部材2のX軸方向の中央に配置されている。本実施の形態では、これにより、固定電極5及び前記可動電極が、信号(本実施の形態では、固定電極5と可動電極との間の電圧)に応じて、板状部材2の前記撓み変形可能な領域が撓み変形して、ミラー4の板状部材2に対する固定部位の傾きが変化するように、板状部材2に駆動力(本実施の形態では、静電力)を付与し得る駆動力

50

付与手段を、構成している。もっとも、本発明では、駆動力付与手段は、静電力以外の任意の駆動力を付与し得るように構成してもよい。例えば、駆動力付与手段として、磁界内に配置されて通電によりローレンツ力を生ずる電流路を板状部材2に設けたり、圧電素子を設けて圧電素子による駆動力を利用したりしてもよい。

【0045】

本実施の形態では、図4に示すように、板状部材2との対向領域を含む基板1上の領域において、配線パターン7、固定電極5及び絶縁膜6を覆うように、酸化シリコン膜等からなる平坦化膜20が形成されることで、基体における板状部材2との対向領域が平坦化されている。平坦化膜20は、例えばCMPにより平坦化された膜であるが、必ずしもこれに限定されるものではない。基体における板状部材2との対向領域と板状部材2との間には、空隙dが形成されている。

10

【0046】

ここで、本実施の形態による光学デバイスの動作（特に、単位素子の動作）について、図5を参照して説明する。図5は、本実施の形態による光学デバイスの各動作状態を模式的に示す図であり、図4を大幅に簡略化した断面図に相当している。

【0047】

図5(a)は、図4と同じく、固定電極5と前記可動電極（アルミニウム膜9の、固定電極5と対向する領域）との間に電圧を印加せず（すなわち、両者を同電位とし）、両者の間に静電力を発生させない状態を示している。この状態では、板状部材2は変形しておらず、平坦形状になっている。このため、ミラー4は、基板1に対して平行を維持している。

20

【0048】

図5(b)は、固定電極5と前記可動電極との間にさほど高くない電圧を印加し、両者の間に静電力を発生させた状態を示している。この静電力により、板状部材2のX軸方向の中央付近が基板方向(-Z方向)に引っ張られる。これにより、板状部材2は、図5(b)に示すように、基板1側に撓む。ミラー4の板状部材2に対する固定部位（すなわち、接続部11が接続されている部位）が板状部材2の中心から-X方向に偏心しているため、板状部材2は接続部11の位置で傾斜面をなす。この作用により、ミラー4は基板1に対して傾く。その傾き角度は、固定電極5と前記可動電極との間に印加する電圧を調整することで、調整可能である。なお、本実施の形態では、両電極間に直流電圧を印加する直流駆動を採用してもよいし、両電極に交流パルスを印加する交流駆動を採用してもよい。チャージアップ等の影響を避けるためには、交流駆動を採用することが好ましい。

30

【0049】

図5(c)は、固定電極5と前記可動電極との間に比較的高い電圧を印加して、両者の間に比較的大きい静電力を発生させた状態を示している。この状態では、板状部材2は基板1側に当接するまで変形して、当接したところで静止している。この場合も、図5(b)の場合と同様にミラー4が基板1に対して傾くが、その傾き角度は図5(b)の場合より大きくなっている。

【0050】

以上、本実施の形態による光学デバイスの単位素子について説明したが、前述した単位素子の構造のうちミラー4以外の構成要素によって、ミラー4を駆動するマイクロアクチュエータが構成されている。

40

【0051】

本実施の形態による光学デバイスでは、図6に示すように、前述した図1乃至図4に示す単位素子が基板1上に2次元状に配置されている。これにより、本実施の形態による光学デバイスは、空間光変調器を構成している。なお、図6では、簡単のため、4×4個の単位素子をアレイ化したものとしたが、その数は幾つでも構わない。図6において、1つのミラー4は、1つの単位素子に対応しているが、簡単のため、各単位素子のミラー4以外の構成要素の図示は省略している。なお、単位素子の並べ方は、図6に示す例に限定されるものではなく、例えば、列毎または行毎に半ピッチづづらすなどの並べ方を採用し

50

てもよい。また、単位素子を1次元状に並べてもよい。なお、図6では、2行目2列目のミラー4が図5(c)に示す状態になっているとともに、他のミラー4は図5(a)に示す状態になっている。本実施の形態では、図5(b)に示す状態は用いずに図5(c)の状態を利用するようになっているが、逆に図5(b)に示す状態の方を用いるようにしてもよい。

#### 【0052】

本実施の形態による光学デバイスでは、図面には示していないが、各単位素子のミラー4の状態が制御信号に応じた状態となるように、各単位素子の電極間の電圧状態を決定する駆動回路が採用される。このような駆動回路としては、例えばDMD等と同様の駆動回路を採用することができるが、本実施の形態によるアレイ化した光学デバイス(この光学デバイスの各単位素子からミラー4を除いたものがマイクロアクチュエータアレーをなす。)は、チップ上において、図11に示す回路構成を有している。この回路構成については、後述する。

10

#### 【0053】

ここで、本実施の形態による光学デバイスの製造方法の一例について、特に前記単位素子に着目して、図7乃至図9を参照して説明する。図7乃至図9は、各製造工程を示す断面図であり、図4に対応している。

#### 【0054】

まず、シリコン基板上1に、酸化シリコン膜6を成膜する。次いで、アルミニウム膜を成膜し、フォトリソエッティング法により、そのアルミニウム膜を、固定電極5及び配線パターン7の形状にパターニングする(図7(a))。

20

#### 【0055】

次に、平坦化膜となるべき酸化シリコン膜20を成膜する(図7(b))。引き続いて、酸化シリコン膜20をCMPにより平坦化して平坦化膜とし、この平坦化膜20において、脚部3を形成すべき位置にコンタクトホール20aを、フォトリソグラフィにより形成する(図7(c))。なお、コンタクトホール20aは、後述の犠牲層21と窒化シリコン膜8を形成した後にも形成でき、この場合は犠牲層21をより平坦度良く形成できる。

#### 【0056】

引き続いて、スピニ塗布によりフォトレジスト等の犠牲層21を形成し、犠牲層21において脚部3を形成すべき位置に開口21aをフォトリソグラフィにより形成する(図8(a))。

30

#### 【0057】

その後、窒化シリコン膜8、アルミニウム膜9及び窒化シリコン膜10を順に成膜し、これらの膜8~10を、フォトリソエッティング法により板状部材2の形状にパターニングする(図8(b))。このとき、エッティングを行なう工程は、成膜毎でもよいし、全ての膜を成膜し終わってから、その後上層膜から順にエッティングを加えても良いし、それらを組み合わせることもできる。なお、脚部3においてアルミニウム膜9が配線パターン7と電気的に接続されるように、窒化シリコン膜8には脚部3において開口を形成しておく。

#### 【0058】

次に、窒化シリコン膜10において接続部11を形成すべき位置に、開口10aをフォトリソグラフィにより形成する。また、フォトレジスト等の犠牲層22を形成し、犠牲層22において接続部11を形成すべき位置に開口22aをフォトリソグラフィにより形成する(図9(a))。なお、ミラー4は必ずしもアルミニウム膜9と電気的に接続する必要はないので、開口10aは必ずしも形成する必要はない。

40

#### 【0059】

次いで、アルミニウム膜を成膜し、フォトリソエッティング法により、このアルミニウム膜をミラー4の形状にパターニングする(図9(b))。最後に、プラズマアッティング等により、犠牲層21, 22を除去する。これにより、本実施の形態による光学デバイスが完成する。

50

## 【0060】

本実施の形態では、前述したように、図4に示すように、平坦化膜20が形成されることで基体における板状部材2との対向領域が平坦化され、基体における板状部材2との対向領域と板状部材2との間には、空隙dが形成されている。この空隙dは、後述する静定時間を短縮するためには、0.3μm以下であることが好ましく、例えば、0.25μm程度とされる。

## 【0061】

図4に示すように、板状部材2の下方の領域には、部分的に固定電極5及び配線パターン7が形成されているが、これによる凹凸形状が板状部材2に転写されてしまわないよう10する必要がある。板状部材2にその凹凸形状が転写されてしまうと、前述した板状部材2の撓み動作に支障を来すためである。本実施の形態では、前記凹凸形状が板状部材2に転写されないようにするため、前述したようにCMPにより平坦化された平坦化膜20が形成され、基体における板状部材2との対向領域が平坦化されている。

## 【0062】

これに対し、前記凹凸形状が板状部材2に転写されないようにするには、平坦化膜20を形成せずに、基体における板状部材2との対向領域を平坦化しないまま、図7(a)に示す状態の基板上に直接に、フォトレジストによる犠牲層21をスピinn塗布することとし、犠牲層21を十分に厚くしてもよい。犠牲層21を十分に厚くすれば、犠牲層21の上面を平坦化することが可能であり、板状部材2への前記凹凸形状の転写を防ぐことができる。しかしながら、この場合、犠牲層21の上面を十分に平坦化するには、犠牲層21を十分に厚くする必要があるため、基体における板状部材2との対向領域と板状部材2との間の空隙が、かなり広くなってしまい、0.3μm以下にすることはできない。20

## 【0063】

基体における板状部材2との対向領域と板状部材2との間の空隙が広いと、駆動の高速化に悪影響を及ぼす。その理由を以下に述べる。本実施の形態で用いられているようなマイクロアクチュエータでは、微細化すると、一般的に大きなQ値を有するため、一旦板状部材2等が振動すると、なかなか静定しない傾向がある。そして、基体における板状部材2との対向領域と板状部材2との間の空隙が十分に狭ければ、スクイーズドフィルムダンピング効果が顕著に現れ、駆動する際の振動が減衰して静定するまでの時間(静定時間)が短くなるが、前記空隙が広いと、スクイーズドフィルムダンピング効果が低下してしまい、静定時間が長くなり、駆動の高速化に悪影響を及ぼすのである。30

## 【0064】

したがって、前記凹凸形状が板状部材2に転写されないようにするために平坦化膜20を形成せずに犠牲層21を厚くすることは、駆動の高速化に悪影響を及ぼすのである。

## 【0065】

これに対し、本実施の形態では、平坦化膜20が形成されて基体における板状部材2との対向領域が平坦化されているので、犠牲層21を薄くしても、凹凸形状が板状部材2に転写されない。したがって、犠牲層21の厚さを0.3μm以下などのように薄くすることができ、これにより、スクイーズドフィルムダンピング効果が顕著に現れ、静定時間が短縮され、駆動の高速化を図ることができる。この場合のスクイーズドフィルムダンピング効果は、板状部材2が駆動の際にその周囲の空気(ガス)から空気抵抗を受けることで生じ、空隙dを狭くすることによって、この空気抵抗が効果的に大きくなる。40

## 【0066】

本発明者は、空隙dを0.25μmとして、本実施の形態と同様の光学デバイスを作製した。その光学デバイスの駆動特性の実験結果を図10に示す。その実験では、図10に示すように固定電極5と可動電極との間に一周期毎に正負を反転させた方形波の駆動電圧を印加し、ミラー4にレーザー光を当て、その反射光の強度をフォトダイオードで計測した。反射光の強度の計測は、ミラー4の角度(基板1と平行である角度を基準とした角度)が0degと1.8degで出力が最大になる位置の2カ所で行った。図10から、この実験では、ミラー4の両角度間の切り換えを、静定時間を含めて3μsec以下と非常

10

20

30

40

50

に短い時間で行うことができる。

【0067】

図11は、本実施の形態による光学デバイスのチップ上の回路構成を示す電気回路図である。図1乃至図4に示す単一の単位素子（ひいては、単一のマイクロアクチュエータ）は、電気回路的には、1個のコンデンサ（固定電極5と前記可動電極（アルミニウム膜9の、固定電極5と対向する領域）とがなすコンデンサに相当）と見なせる。図11では、m行目n列目の単位素子のコンデンサをそれぞれCmnと表記している。例えば、図11中の左上の（1行目1列目の）単位素子のコンデンサをC11と表記している。本実施の形態では、各コンデンサの図11中の左側電極が固定電極5、図11中の右側電極が可動電極となっている。

10

【0068】

図11では、説明を簡単にするため、9個の単位素子を3行3列に配置している。もっとも、単位素子の数は何ら限定されるものではなく、他の数の場合も原理は同一である。また、単位素子の数が同じであっても、行数と列数を同数にする必要はないし、マトリクス配置にする必要もない。

【0069】

本実施の形態でによる光学デバイスには、図11に示すように、複数の端子CD1～CD3からなる第1の複数の端子群、及び、複数の端子CU1～CU3からなる第2の端子群が設けられている。これらの端子CD1～CD3, CU1～CU3は、外部接続用の端子である。本実施の形態では、前述した脚部3の下の配線パターン7及び固定電極5の配線パターンによって、図11に示す電気的な接続が実現されている。端子CD1～CD3, CU1～CU3は、例えば、これらの配線パターンの一部を電極パッドとすることにより構成することができる。

20

【0070】

また、図11では、第1の端子群の端子CD1～CD3の数が単位素子の行数と同じく3個とされ、第2の端子群の端子CU1～CU3の数が単位素子の列数と同じく3個とされている。もっとも、第1及び第2の端子群の数は、単位素子の行数や列数と必ずしも同一にする必要はなく、例えば、下記の条件（a）～（e）を満たせばよい。すなわち、（a）各マイクロアクチュエータに関して、当該マイクロアクチュエータの固定電極5が、前記第1及び第2の端子群のうちの一方の端子群のいずれか1つの端子に電気的に接続されるとともに前記第1及び第2の端子群の他の端子に電気的に接続されないこと、（b）各マイクロアクチュエータに関して、当該マイクロアクチュエータの可動電極が、前記第1及び第2の端子群のうちの他方の端子群のいずれか1つの端子に電気的に接続されるとともに前記第1及び第2の端子群の他の端子に電気的に接続されないこと、（c）各マイクロアクチュエータに関して、当該マイクロアクチュエータの前記固定電極5に電気的に接続された第1又は第2の端子群の1つの端子と当該マイクロアクチュエータの可動電極に電気的に接続された前記第1又は第2の端子群の1つの端子との組み合わせは、当該マイクロアクチュエータに固有のものとなること、（d）前記第1の端子群の少なくとも1つの端子が、当該光学デバイスに搭載されている複数のマイクロアクチュエータのうちの2つ以上のマイクロアクチュエータの固定電極5又は可動電極に、共通して電気的に接続されること、（e）前記第2の端子群の少なくとも1つの端子が、当該光学デバイスに搭載されている複数のマイクロアクチュエータのうちの2つ以上のマイクロアクチュエータの固定電極5又は可動電極に、共通して電気的に接続されること、の各条件を満たせばよい。

30

【0071】

前記条件（a）～（e）を満たす一例として、図11に示す例では、1行目のコンデンサC11, C12, C13の固定電極5は、第1の端子群の端子CD1に共通して電気的に接続され、その他の端子には電気的に接続されていない。2行目のコンデンサC21, C22, C23の固定電極5は、第1の端子群の端子CD2に共通して電気的に接続され、その他の端子には電気的に接続されていない。3行目のコンデンサC31, C32, C

40

50

3 3 の固定電極 5 は、第 1 の端子群の端子 C D 3 に共通して電気的に接続され、その他の端子には電気的に接続されていない。また、1 列目のコンデンサ C 1 1 , C 2 1 , C 3 1 の可動電極は、第 2 の端子群の端子 C U 1 に共通して電気的に接続され、その他の端子には電気的に接続されていない。2 列目のコンデンサ C 1 2 , C 2 2 , C 3 2 の可動電極は、第 2 の端子群の端子 C U 2 に共通して電気的に接続され、その他の端子には電気的に接続されていない。3 列目のコンデンサ C 1 3 , C 2 3 , C 3 3 の可動電極は、第 2 の端子群の端子 C U 3 に共通して電気的に接続され、その他の端子には電気的に接続されていない。

#### 【 0 0 7 2 】

本実施の形態では、図示しない外部制御回路が、前記端子 C D 1 ~ C D 3 , C U 1 ~ C U 3 に接続され、これらの端子の電位をそれぞれ独立して制御することで、各単位素子の状態の切り換え（例えば、図 5 ( a ) に示す状態と図 5 ( c ) に示す状態との間の切り換え）を制御する。前記外部制御回路は、指令信号に応答して当該指令信号が示す切換状態を実現するための制御信号を、各端子 C D 1 ~ C D 3 , C U 1 ~ C U 3 に与える電位として供給する。

#### 【 0 0 7 3 】

図 1 2 は、外部制御回路が各端子 C D 1 ~ C D 3 , C U 1 ~ C U 3 に与える電位のタイミングチャートの一例を示すものである。図 1 2 に示す例では、外部制御回路は、各端子 C D 1 ~ C D 3 , C U 1 ~ C U 3 には、電位  $\pm V_h$  ,  $\pm V_m$  , 0 のいずれかの電位を与える。図 1 2 に示す例では、交流駆動が採用されている。ここで、 $V_h$  ,  $V_m$  は 0 を基準とした正の値とし、 $V_h > V_m$  とする。もっとも、各電位の絶対値は、それらの相対的な関係を変えなければ、任意の電位レベルを基準として定めてもよいことは、言うまでもない。

#### 【 0 0 7 4 】

図 1 2 に示す例では、時刻  $t_1$  以前は、全てのアクチュエータは解放状態（図 5 ( a ) に示す状態）となっている。時刻  $t_1$  において、9 個の全てのアクチュエータはクランプ状態（図 5 ( c ) に示す状態）となる。 $V_h$  は  $2 \times V_h$  がアクチュエータのクランプ電圧  $V_c$  ( 解放状態からクランプ状態になる最小の電圧 ) より高い電圧でより高くなるように設定しておく。 $V_m$  は、 $V_m$  が図 1 1 の解放電圧  $V_r$  ( クランプ状態から解放状態になる最大の電圧 )  $V_r < V_c$  ) より高くなりかつ  $2 \times V_m$  がクランプ電圧  $V_c$  より低くなるように、設定しておく。その後、時刻  $t_1$  から時刻  $t_8$  まで、全アクチュエータを一旦クランプ状態にし、そこから任意のアクチュエータを解放状態にする方法が示されている。一部のアクチュエータが解放状態の時点から、特定の解放状態とされたアクチュエータをクランプ状態にし、別のアクチュエータを解放状態にする場合が、時刻  $t_9$  以降に示されている。図 1 2 に示す動作例は、特開 2004-184564 号公報の図 1 6 ( したがって、当該公報の図 1 3 ) に開示されている動作例と同様である。

#### 【 0 0 7 5 】

本実施の形態による光学デバイスでは、チップ上の回路構成として前述した図 1 1 に示す回路構成が採用されているので、特開 2004-184564 号公報に開示されている技術と同様に、チップ上にアドレス回路等を搭載することなく外部接続用の端子数（すなわち、外部に引き出す配線の本数）を減らすことができる。

#### 【 0 0 7 6 】

本実施の形態によれば、板状部材 2 が両持ち梁となっているので、前述した特許文献 2 に開示されたデバイスと同様に、トーションヒンジを用いる場合に比べて破損が生じ難くなり長寿命化を図ることができるとともに、固有振動数を高くすることができ、応答速度を速くすることができる。

#### 【 0 0 7 7 】

そして、本実施の形態によれば、前述した特許文献 2 に開示されたデバイスと異なり、ミラー 4 は、板状部材 2 と全体的に一体化されるのではなく、接続部 1 1 を介して、板状部材 2 の撓み変形可能な領域のうちの一部の部位に、局所的に機械的に接続されている。

10

20

30

40

50

したがって、前述した図5に示すように、ミラー4自体を変形させずに、ミラー4の向きのみを変更することができる。

#### 【0078】

さらに、本実施の形態によれば、前述したように、平坦化膜20が形成されることで基体における板状部材2との対向領域が平坦化されているので、基体における板状部材2との対向領域と板状部材2との間の空隙dを狭めることができる。したがって、本実施の形態によれば、前述したスケイーズドフィルムダンピング効果を高めることができるので、静定時間を短縮して駆動をより高速化することができる

#### 【0079】

なお、本発明では、必ずしも前述した単位素子を基板1上に複数配置する必要はなく、前述した単位素子を基板1上に1つだけ配置してもよい。

10

#### 【0080】

##### 〔第2の実施の形態〕

#### 【0081】

図13は、本発明の第2の実施の形態による投影表示装置（投射型表示装置）を示す概略構成図である。

#### 【0082】

本発明による投影表示装置は、光源31と、照明光学系32と、空間光変調器33と、吸光板34と、投影光学系35と、スクリーン36と、制御部37とを備えている。本実施の形態では、空間光変調器33として、前述した第1の実施の形態による光学デバイスが用いられている。

20

#### 【0083】

光源31から発せられた照明光は、照明光学系32を通過した後、空間光変調器33に照射される。空間光変調器33の各単位素子はそれぞれそのミラー4が第1の角度（図5（a）に示す状態）あるいは第2の角度（図5（b）又は図5（c）に示す状態）を有しているとする。第1の角度では、入射光は第1の方向へ反射され、吸光板34に到達し、その光は消滅する。第2の角度では、入射光は第2の方向へ反射され、投影光学系35を通過した後、スクリーン36上に投影される。制御部37は、画像信号に従って空間光変調器33に制御信号を送って空間光変調器33を制御し、各単位素子のミラー4の角度を画像信号に応じて変更させる。この制御により、入力された画像信号が示す静止画像や動画像がスクリーン36上に形成できる。

30

#### 【0084】

本実施の形態は、いわゆる白黒の表示装置の例であったが、カラー化も従来技術を流用することにより達成可能である。図示していないが、例えば、照明光学系32の中に、あるいは照明光学系32と空間光変調器33との間に、カラーホイールを設置する、あるいは、光源31を赤・青・緑の三色が時間分割制御できるようなものであるとし、空間光変調器33と同期させることによりカラー化が達成可能である。

#### 【0085】

なお、本発明による光学デバイスを用いた投影表示装置は、本実施の形態のようなタイプの表示装置に限定されるものではなく、種々のタイプの投影表示装置に用いることができる。投影画像表示装置の構成例としては、空間光変調器として、液晶パネルやDMDなどを用いたものが種々提案されている。DMDを用いた投影画像表示装置で使われる光学系については、本発明の光学デバイスによる空間光変調器がDMDと同様のミラー角度を変更するミラーデバイスであるため、基本的に全く同等のものが使用できる。液晶パネルを用いた投影画像表示装置は、原理的に偏光した光線を用い、また、反射型だけでなく、透過型のものもある。このため、本発明による光学デバイスによる空間光変調器にこれらの光学系を適応させる場合は、それらの点に関して変更を伴えばよい。

40

#### 【0086】

なお、空間光変調器を用いた応用用途としては、投影画像表示装置などの映像用途や、後述する露光装置のみならず、前述した光学的情報処理装置や静電写真印刷装置、さらに

50

、光通信に使われる光スイッチやSwitched Blazed Grating Device、印刷分野で使われるプレートセッターなど様々な用途があるが、本発明もこれらに適応できる。

【0087】

【第3の実施の形態】

【0088】

図14は、本発明の第3の実施の形態による露光装置100を示す概略構成図である。

【0089】

本実施の形態による露光装置100は、照明系41、パターン生成装置42、投影光学系PL、ステージ装置43、反射ミラー44及び制御系等を含んでいる。この露光装置100は、パターン生成装置42で生成されたパターンの像（パターン像）をステージ装置43の一部を構成するステージSTに載置されたウェハW上に投影光学系PLを用いて形成するものである。前記制御系は、マイクロコンピュータを含み、装置全体を統括的に制御する主制御装置45を中心として構成されている。

【0090】

照明系41は、光源ユニット及び光源制御系を含む光源系、並びにコリメートレンズ、オプティカルインテグレータ（フライアイレンズ、ロッド型インテグレータあるいは回折素子など）、集光レンズ、視野絞り、リレーレンズ等を含む照明光学系等（いずれも不図示）を含んでいる。この照明系41からは、照明光ILが射出される。

【0091】

光源ユニットとしては、例えば国際公開第1999/46835号パンフレット（対応米国特許第7,023,610号明細書）に開示されているように、DFB半導体レーザ又はファイバーレーザなどの固体レーザ光源、ファイバーアンプなどを有する光増幅部、及び波長変換部などを含み、波長193nmのパルス光を出力する高調波発生装置が用いられている。なお、光源ユニットは、例えば波長440nmの連続光又はパルス光を発生するレーザダイオードなどでも良い。

【0092】

反射ミラー44は、照明系41から射出される照明光ILをパターン生成装置42の後述する可変形マスクVMに向けて反射する。なお、この反射ミラー44は、実際には、照明系41内部の照明光学系の一部を構成するものであるが、ここでは、説明の便宜上から照明系41の外部に取り出して示されている。

【0093】

パターン生成装置42は、可変形マスクVM及びミラー駆動系51等を含んでいる。可変形マスクVMは、前記投影光学系PLの-Z側で、かつ反射ミラー44で反射された照明光ILの光路上に配置されている。本実施の形態では、可変形マスクVMとして、前述した第1の実施の形態による光学デバイスが用いられている。本実施の形態では、図5(a)に示す状態の場合に、当該単位素子のミラー4に照明光ILが照射されると、照明光ILはミラー4で反射して、投影光学系PLに入射するとともに、図5(c)に示す状態（あるいは図5(b)に示す状態）の場合に、当該単位素子のミラー4に照明光ILが照射されると、当該単位素子のミラー4で反射された照明光は、投影光学系PLには入射しないようになっている。ミラー駆動系51は、主制御装置45の指示の下で可変形マスクVMを駆動するものであり、前述した第1の実施の形態で説明した外部制御回路に相当する回路を含んでいる。

【0094】

ミラー駆動系51は、不図示のインターフェースを介して不図示の上位装置からパターン像の形成に必要なデータのうちパターンの設計データ（例えば、CADデータ）を取得する。そして、ミラー駆動系51は、取得した設計データに基づいて、ウェハW上における露光対象の区画領域部分に可変形マスクVMからの光が投影光学系PLを介して照射され、ウェハW上における露光対象の区画領域部分以外の部分に可変形マスクVMからの光が照射されないように、各単位素子を駆動する信号を生成し、可変形マスクVMに供給する。これにより、パターン生成装置42で、設計データに応じたパターンが生成さ

10

20

30

40

50

れる。なお、パターン生成装置 4 2 で生成されるパターンは、ウエハ W の走査方向（ここでは、X 軸方向）への移動に伴って変化する。

【 0 0 9 5 】

投影光学系 P L は、鏡筒の内部に所定の位置関係で配置された複数の光学素子を有する。投影光学系 P L は、パターン生成装置 4 2 で生成されたパターンを、被露光面上に配置されたウエハ W 上に投影倍率 で縮小投影する。

【 0 0 9 6 】

ステージ装置 4 3 は、露光対象のウエハ W を投影光学系 P L に対してアライメントした状態で X Y 面内で移動させるためのものであり、ステージ S T と、該ステージ S T の駆動を制御するステージ駆動系 5 2 とを備えている。

10

【 0 0 9 7 】

ステージ S T は、ステージ駆動系 5 2 により駆動されて X Y 面内及び Z 軸方向に 3 次元的に移動し、あるいは投影光学系 P L の像面に対して適宜傾斜することによって投影光学系 P L を介したパターン像に対してウエハ W をアライメント可能である。さらに、ステージ S T は、ステージ駆動系 5 2 により駆動されて走査方向に所望の速度で移動させることができる。

【 0 0 9 8 】

主制御装置 4 5 は、照明系 4 1 、パターン生成装置 4 2 、ステージ装置 4 3 等を適当なタイミングで動作させて、ウエハ W 上の適所にパターン生成装置 4 2 で生成されたパターンの像を投影光学系 P L を介して投影する。このとき、主制御装置 4 5 は、ステージ装置 4 3 によるウエハ W の移動に同期して、ミラー駆動系 5 1 に可変成形マスク VM を制御させる。

20

【 0 0 9 9 】

本発明の一実施の形態によるデバイス製造方法では、半導体デバイスは、デバイスの機能・性能設計を行う工程、シリコン材料からウエハを形成する工程、上記の実施の形態の露光装置 1 0 0 により可変成形マスク VM を介してウエハ W を露光する工程を含むリソグラフィ工程、エッチング等の回路パターンを形成する工程、デバイス組み立て工程（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む）、及び検査工程等を経て製造される。なお、本発明は、半導体デバイス製造用の露光装置のみならず、他の種々のデバイスを製造するための露光装置にも適用することができる。

30

【 0 1 0 0 】

【 第 4 の実施の形態 】

【 0 1 0 1 】

図 1 5 は、本発明の第 4 の実施の形態による光学デバイスの単位素子の板状部材 2 を模式的に示す概略平面図であり、図 3 に対応している。図 1 5 において、図 3 中の要素と同一又は対応する要素には同一符号を付し、その重複する説明は省略する。

【 0 1 0 2 】

本実施の形態による光学デバイスが前記第 1 の実施の形態による光学デバイスと異なる所は、前記第 1 の実施の形態では、板状部材 2 がその 2 辺付近のみで脚部 3 を介して基板 1 に対して固定されていたのに対し、本実施の形態では、板状部材 2 がその 4 辺付近で脚部 3 を介して基板 1 に対して固定されている点のみである。本実施の形態によっても、前記第 1 の実施の形態と同様の利点が得られる。

40

【 0 1 0 3 】

【 第 5 の実施の形態 】

【 0 1 0 4 】

図 1 6 は、本発明の第 5 の実施の形態による光学デバイスの単位素子を模式的に示す概略断面図であり、図 4 に対応している。図 1 6 において、図 4 中の要素と同一又は対応する要素には同一符号を付し、その重複する説明は省略する。

【 0 1 0 5 】

本実施の形態による光学デバイスが前記第 1 の実施の形態による光学デバイスと異なる

50

所は、接続部 11 がミラー 4 の中心に配置されている点と、接続部 11 が板状部材 2 の中心に固定されている点と、板状部材 2 の X 軸方向の中央付近において基板 1 上に形成されていた 1 つの固定電極 5 に代えて、板状部材 2 の -X 側と +X 側に X 軸方向に関して対称的な位置に 2 つの固定電極 5a, 5b が基板 1 上に形成されている点と、全体として連続した 1 つのアルミニウム膜 9 が、 -X 側と +X 側の 2 つのアルミニウム膜 9a, 9b に分離されている点のみである。

#### 【0106】

なお、本実施の形態においても、前記第 1 の実施の形態と同様に、板状部材 2 との対向領域を含む基板 1 上の領域において、配線パターン 7、固定電極 5a, 5b 及び絶縁膜 6 を覆うように、酸化シリコン膜等からなる平坦化膜 20 が形成されることで、基体における板状部材 2 との対向領域が平坦化されている。

10

#### 【0107】

本実施の形態では、アルミニウム膜 9a の、固定電極 5a と対向する領域 9a' が、固定電極 5a との間の電圧により固定電極 5a との間に静電力を生じ得る可動電極となっている。また、アルミニウム膜 9b の、固定電極 5b と対向する領域 9b' が、固定電極 5b との間の電圧により固定電極 5b との間に静電力を生じ得る可動電極となっている。

#### 【0108】

図 17 及び図 18 は、本実施の形態による光学デバイスの各動作状態を模式的に示す図であり、図 16 を大幅に簡略化した断面図に相当している。

#### 【0109】

20

図 17 (a) は、図 16 と同じく、電極 5a, 電極 9a' 間及び電極 5b, 電極 9b' 間にそれぞれ電圧を印加せず、それらの間に静電力を発生させない状態を示している。この状態では、板状部材 2 は変形しておらず、平坦形状になっている。このため、ミラー 4 は、基板 1 に対して平行を維持している。

#### 【0110】

図 17 (b) は、電極 5a, 9a' 間に比較的高い電圧を印加して両者の間に比較的大きい静電力を発生させる一方、電極 5b, 9b' 間に電圧を印加せずそれらの間に静電力を発生させない状態を示している。この状態では、板状部材 2 は、電極 9a' 付近で電極 5a 付近に当接するが、電極 5b, 9b' の間隔は比較的大きくなっている。この状態では、ミラー 4 が比較的大きく図中の左側へ傾いている。

30

#### 【0111】

図 17 (c) は、電極 5b, 9b' 間に比較的高い電圧を印加して両者の間に比較的大きい静電力を発生させる一方、電極 5a, 9a' 間に電圧を印加せずそれらの間に静電力を発生させない状態を示している。この状態では、板状部材 2 は、電極 9b' 付近で電極 5b 付近に当接するが、電極 5a, 9a' の間隔は比較的大きくなっている。この状態では、ミラー 4 が比較的大きく図中の右側へ傾いている。

#### 【0112】

図 18 (a) は、電極 5b, 9b' 間にさほど高くない電圧を印加して両者の間に静電力を発生させる一方、電極 5a, 電極 9a' 間に電圧を印加せずそれらの間に静電力を発生させない状態を示している。この状態では、板状部材 2 は、電極 9b' 付近で電極 5b 付近に近づくが、電極 5a, 9a' の間隔は比較的大きくなっている。この状態では、ミラー 4 がさほど大きくなく図中の右側へ傾いている。その傾き角度は、電極 5b, 9b' 間に印加する電圧を調整することで、調整可能である。

40

#### 【0113】

図面には示していないが、図 18 (a) の場合と逆に、電極 5a, 9a' 間にさほど高くない電圧を印加して両者の間に静電力を発生させる一方、電極 5b, 電極 9b' 間に電圧を印加せずそれらの間に静電力を発生させない状態にすると、板状部材 2 は、電極 9a' 付近で電極 5a 付近に近づくが、電極 5b, 9b' の間隔は比較的大きくなる。この状態では、ミラー 4 がさほど大きくなく図中の左側へ傾く。その傾き角度は、電極 5a, 9a' 間に印加する電圧を調整することで、調整可能である。

50

## 【0114】

図18(b)は、電極5a, 9a'間に及び電極5b, 電極9b'間にそれぞれ比較的高い電圧を印加してそれら間に比較的大きい静電力を発生させた状態を示している。この状態では、板状部材2は、電極9a'付近で電極5a付近に当接するとともに、電極9b'付近で電極5b付近に当接している。この状態では、ミラー4は、基板1に対して平行を維持したまま、最も低い位置に位置している。

## 【0115】

図18(c)は、電極5a, 9a'間に及び電極5b, 電極9b'間にそれぞれさほど高くない電圧を印加してそれら間にさほど大きくない静電力を発生させた状態を示している。この状態では、板状部材2は、電極9a'付近で電極5a付近に近づくとともに、電極9b'付近で電極5b付近に同程度近づいている。この状態では、ミラー4は、基板1に対して平行を維持したまま、中間の高さ位置に位置している。その高さは、電極5a, 9a'間に及び電極5b, 9b'間に印加する電圧を調整することで、調整可能である。

10

## 【0116】

このように、本実施の形態によれば、図17(a)~(c)及び図18(a)に示すように、ミラー4の傾きを変化させることができるだけではなく、図17(a)、図18(b) (c)に示すように、ミラー4を基板1に対して平行に維持したまま、高さを変えることができる。

## 【0117】

よって、本実施の形態によれば、反射光の方向を変えることができるのみならず、ミラー4を傾けることなく高さ位置を変えることで反射光の光学距離を変えて反射光の位相をシフトさせることができるとなり、位相変調器としても用いることができる。したがって、本実施の形態による光学デバイスを、前記第3の実施の形態のような露光装置において可変形マスクVMとして用いれば、位相シフトマスクとして機能させることもできる。

20

## 【0118】

これ以外については、本実施の形態によっても前記第1の実施の形態と同様の利点が得られる。

## 【0119】

以上、本発明の各実施の形態について説明したが、本発明はこれらの実施の形態に限定されるものではない。

30

## 【図面の簡単な説明】

## 【0120】

【図1】本発明の第1の実施の形態による光学デバイスの単位素子を模式的に示す概略斜視図である。

【図2】図1に示す単位素子を模式的に示す概略平面図である。

【図3】図1に示す単位素子の板状部材を模式的に示す概略平面図である。

【図4】図2中のA-A'線に沿った概略断面図である。

【図5】本発明の第1の実施の形態による光学デバイスの各動作状態を模式的に示す図である。

【図6】本発明の第1の実施の形態による光学デバイスにおける単位画素の配置例を示す図である。

40

【図7】本発明の第1の実施の形態による光学デバイスの製造方法を示す工程図である。

【図8】図7に引き続く工程を示す工程図である。

【図9】図8に引き続く工程を示す工程図である。

【図10】作製した光学デバイスの駆動特性の実験結果を示す図である。

【図11】第1の実施の形態による光学デバイスのチップ上の回路構成を示す電気回路図である。

【図12】本発明の第1の実施の形態による光学デバイスの各端子に与える電位のタイミングチャートである。

【図13】本発明の第2の実施の形態による投影表示装置(投射型表示装置)を示す概略

50

構成図である。

【図14】本発明の第3の実施の形態による露光装置を示す概略構成図である。

【図15】本発明の第4の実施の形態による光学デバイスの単位素子の板状部材2を模式的に示す概略平面図である。

【図16】本発明の第5の実施の形態による光学デバイスの単位素子を模式的に示す概略断面図である。

【図17】本発明の第5の実施の形態による光学デバイスの各動作状態を模式的に示す図である。

【図18】本発明の第5の実施の形態による光学デバイスの他の各動作状態を模式的に示す図である。

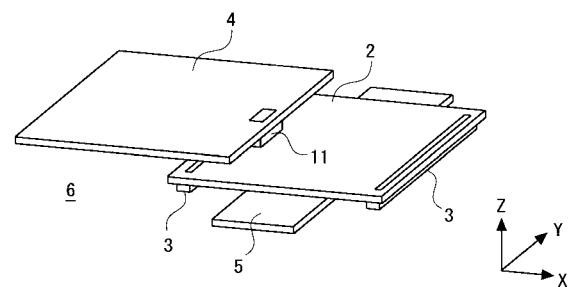
10

【符号の説明】

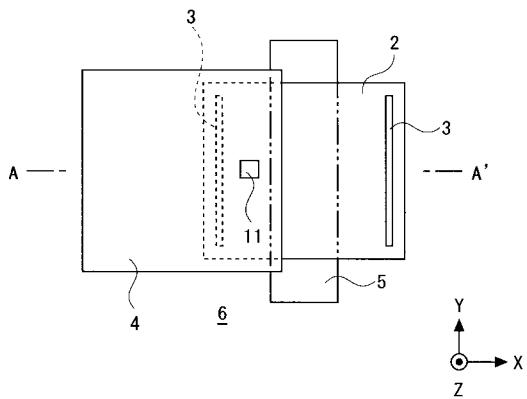
【0121】

- 1 基板
- 2 板状部材
- 4 ミラー
- 5 固定電極
- 6 平坦化膜
- 20 平坦化膜

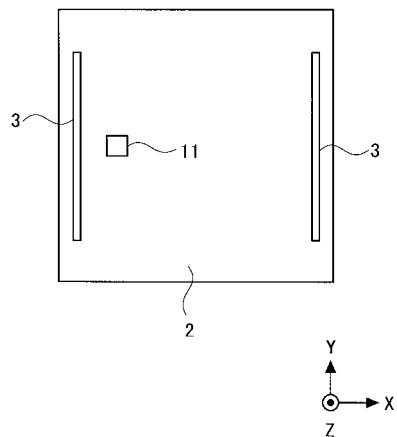
【図1】



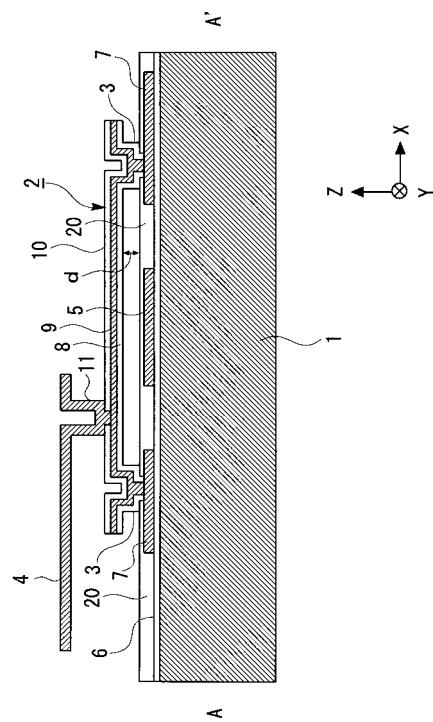
【図2】



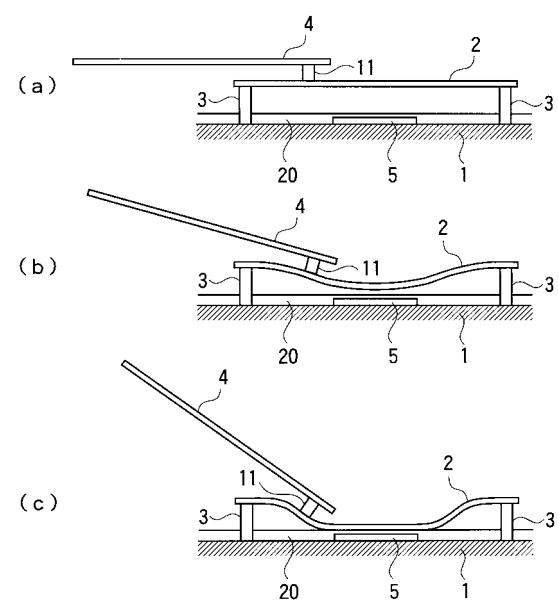
【図3】



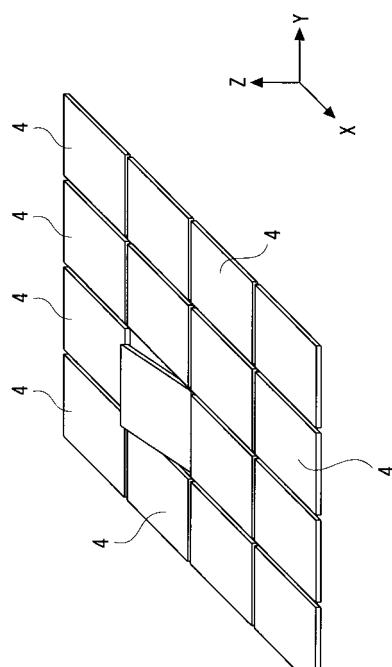
【図4】



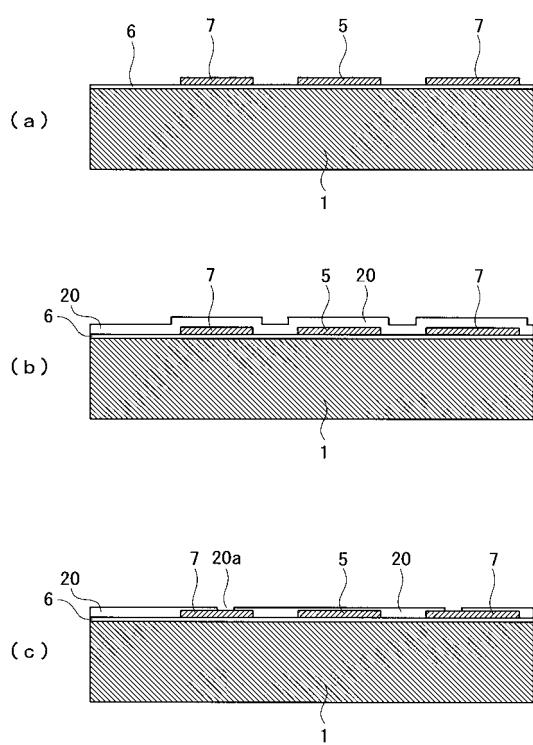
【図5】



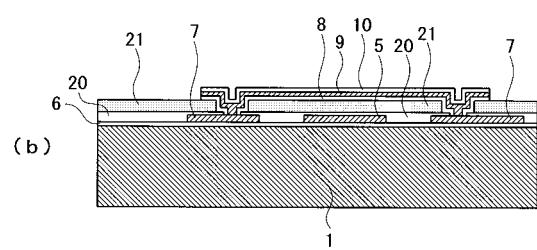
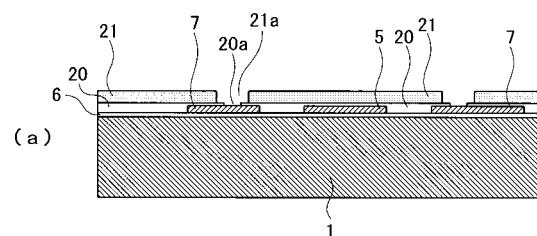
【図6】



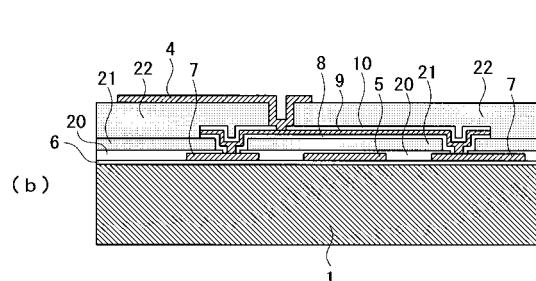
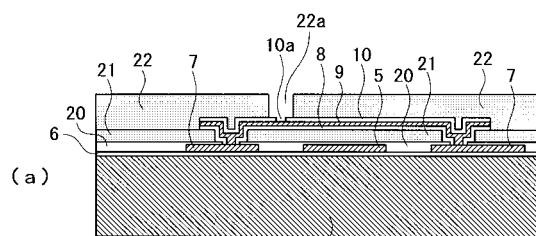
【図7】



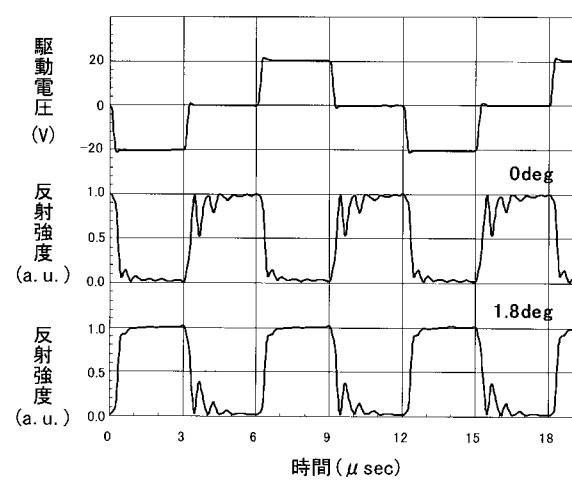
【図8】



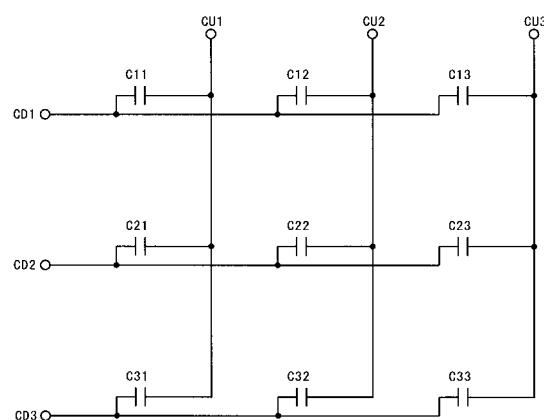
【図9】



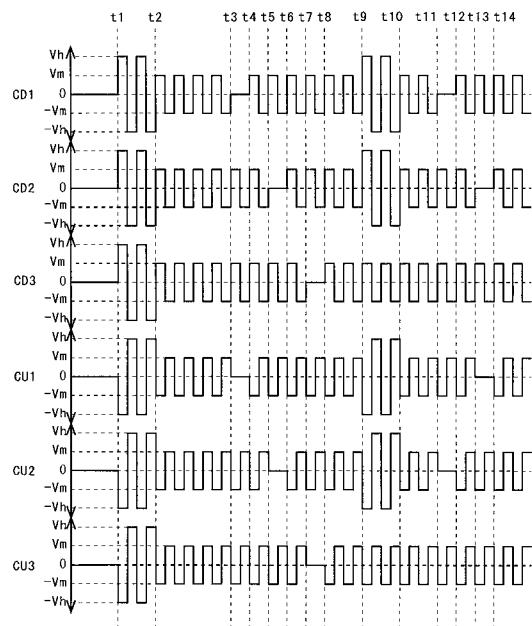
【図10】



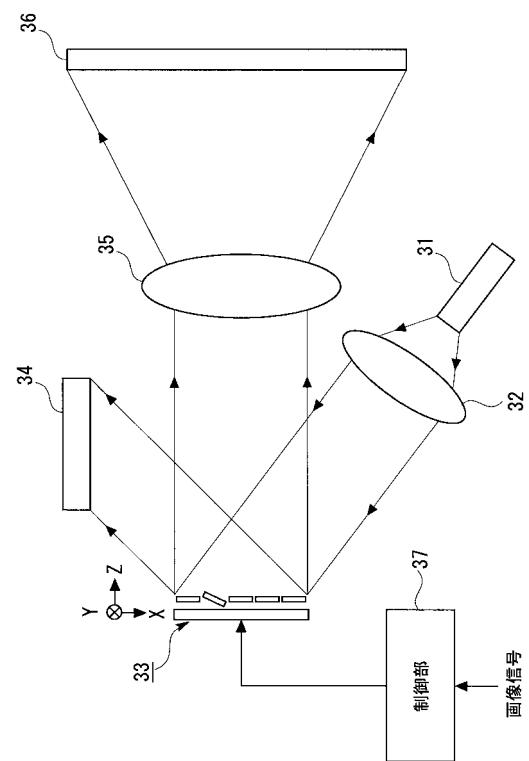
【図11】



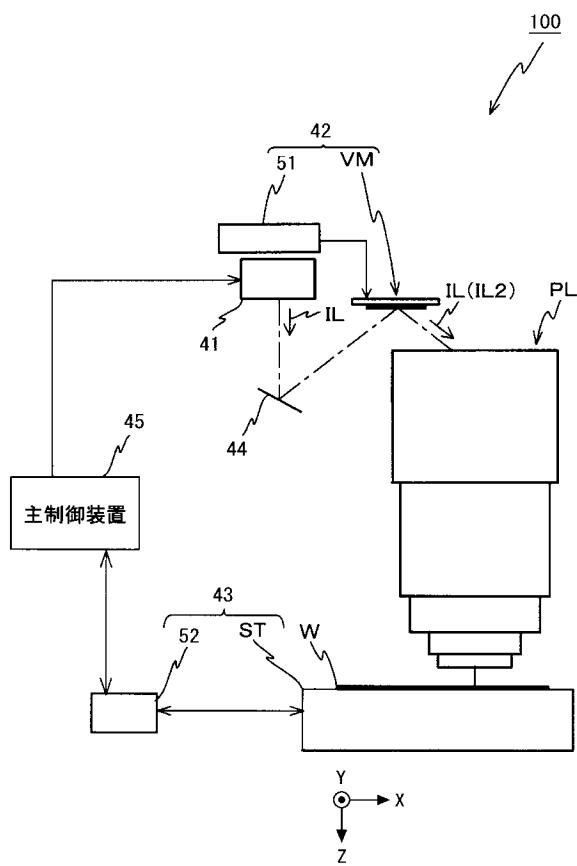
【図12】



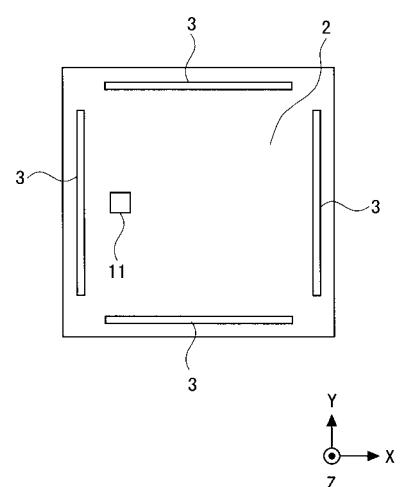
【図13】



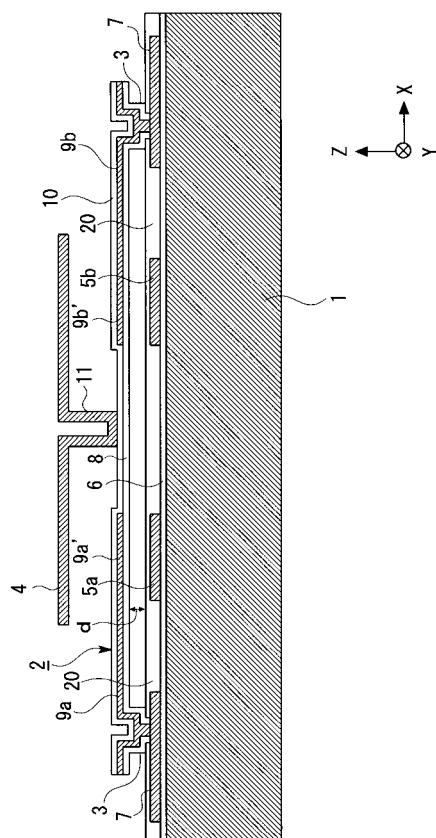
【図14】



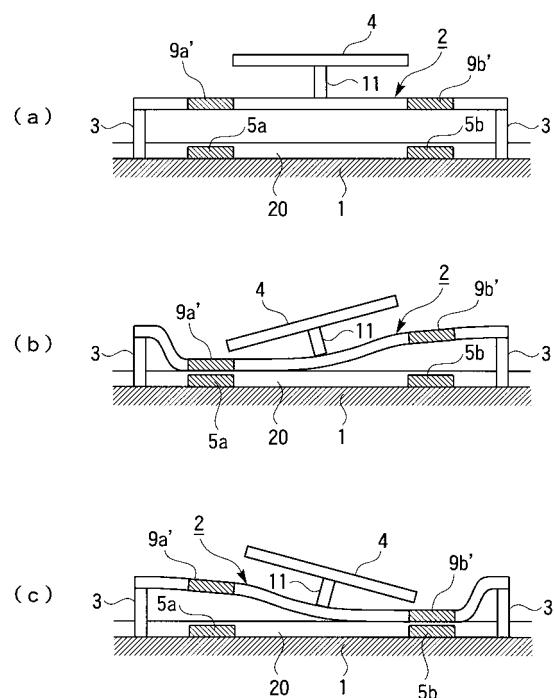
【図15】



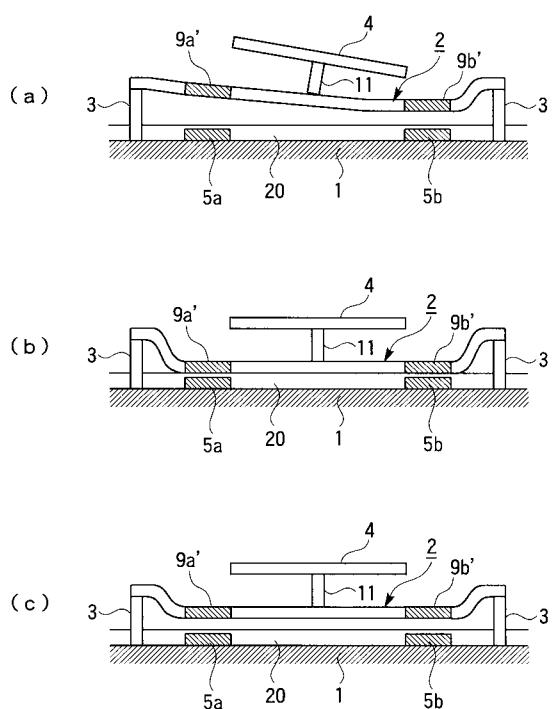
【図16】



【図17】



【図18】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2003-340795(JP,A)  
特開2006-187060(JP,A)  
特開平08-293590(JP,A)  
特開2002-261289(JP,A)  
特開2007-214374(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 02 N	1 / 0 0
H 02 N	2 / 0 0
H 01 L	2 1 / 0 0
G 02 F	1 / 0 0