

(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2004-266991
(P2004-266991A)

(43) 公開日 平成16年9月24日(2004.9.24)

(51) Int. Cl.⁷

H02N 2/00

F I

H02N 2/00

B

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 23 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2003-379087 (P2003-379087)</p> <p>(22) 出願日 平成15年11月7日 (2003. 11. 7)</p> <p>(31) 優先権主張番号 特願2003-34098 (P2003-34098)</p> <p>(32) 優先日 平成15年2月12日 (2003. 2. 12)</p> <p>(33) 優先権主張国 日本国 (JP)</p>	<p>(71) 出願人 000004260 株式会社デンソー 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地</p> <p>(74) 代理人 100068755 弁理士 恩田 博宣</p> <p>(74) 代理人 100105957 弁理士 恩田 誠</p> <p>(72) 発明者 小野田 邦広 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会 社デンソー内</p> <p>(72) 発明者 西川 英昭 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会 社デンソー内</p> <p>(72) 発明者 吉岡 テツヲ 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会 社デンソー内</p>
--	--

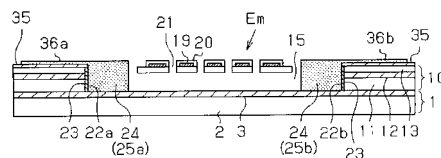
(54) 【発明の名称】 静電アクチュエータおよびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 可動構造体の揺動（振れ角）を大きくすることができる静電アクチュエータおよびその製造方法を提供する。

【解決手段】 シリコン基板11の上に埋込み酸化膜12を介して薄膜シリコン層13を形成した積層基板10を用い、薄膜シリコン層13により挟み梁構造の可動構造体Emが構成され、この可動構造体Emにおける可動側櫛歯電極と、可動側櫛歯電極に対向するように配置した固定側櫛歯電極25a、25bとの間に電位差を生じさせて可動構造体Emを揺動させる。積層基板10を貫通する貫通孔15の内部に固定側櫛歯電極25a、25bが形成されている。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

シリコン基板(11)の上に埋込み絶縁膜(12)を介して薄膜シリコン層(13)を形成した積層基板(10)を用い、前記薄膜シリコン層(13)により捺じり梁構造の可動構造体(E_m)が構成され、この可動構造体(E_m)における可動側櫛歯電極(18a, 18b)と、当該可動側櫛歯電極(18a, 18b)に対向するように配置した固定側櫛歯電極(25a, 25b)との間に電位差を生じさせて前記可動構造体(E_m)を揺動させるようにした静電アクチュエータであって、

前記積層基板(10)を貫通する貫通孔(15)の内部に固定側櫛歯電極(25a, 25b)を形成したことを特徴とする静電アクチュエータ。

10

【請求項 2】

固定側櫛歯電極(25a, 25b)は金属またはポリシリコンよりなることを特徴とする請求項1に記載の静電アクチュエータ。

【請求項 3】

一对の可動側および固定側櫛歯電極(50, 51)を3つ以上設けたことを特徴とする請求項1または2に記載の静電アクチュエータ。

【請求項 4】

可動側櫛歯電極(50)を、可動構造体(E_m)の捺じり梁(16a, 16b)に設けたことを特徴とする請求項1または2に記載の静電アクチュエータ。

【請求項 5】

可動側櫛歯電極において並設した歯(60)と、可動構造体(E_m)の捺じり梁(16a, 16b)とを同一方向に延設し、かつ、可動側櫛歯電極において並設した歯(60)の長さを捺じり梁(16a, 16b)の長さの半分以上としたことを特徴とする請求項1または2に記載の静電アクチュエータ。

20

【請求項 6】

前記貫通孔(15)の内部に形成した固定側櫛歯電極において並設した歯(X1, X2, X3)は、上下方向における中心位置が異なっていることを特徴とする請求項1または2に記載の静電アクチュエータ。

【請求項 7】

前記可動構造体(E_m)に対し間欠的に照射したレーザービームの反射光を、前記可動構造体(E_m)の揺動に伴ない所定角度範囲で発射する際に、可動側櫛歯電極(18a, 18b)と固定側櫛歯電極(25a, 25b)との間に生じさせる電位差で、前記レーザービームの間欠的な照射の周期に同期して強制的に前記可動構造体(E_m)を揺動させるようにしたことを特徴とする請求項1~6のいずれか1項に記載の静電アクチュエータ。

30

【請求項 8】

前記積層基板(10)の下に配置した支持基板(1)上に設けられた容量測定用固定電極(70)と、

前記可動構造体(E_m)に設けられ、前記容量測定用固定電極(70)に対向し、かつ前記可動構造体(E_m)の揺動に伴ない前記容量測定用固定電極(70)に対し接離する方向に変位する容量測定用可動電極(71)と、

40

を備え、
前記容量測定用固定電極(70)と容量測定用可動電極(71)との間の容量を測定して可動構造体(E_m)の揺動角度を求めつつ、所望の可動構造体(E_m)の揺動角度とすべく又は揺動動作を行わせるべく前記可動側櫛歯電極(18a, 18b)と固定側櫛歯電極(25a, 25b)との間に生じさせる電位差を制御するようにしたことを特徴とする請求項1~7のいずれか1項に記載の静電アクチュエータ。

【請求項 9】

前記可動構造体(E_m)に照射したレーザービームの反射光を、カメラにより撮像した画像内での特定箇所の距離測定対象(P1)に向かわせるように、前記可動構造体(E_m)を揺動させるようにしたことを特徴とする請求項1~8のいずれか1項に記載の静電アクチ

50

ユエータ。

【請求項 10】

シリコン基板(11)の上に埋込み絶縁膜(12)を介して薄膜シリコン層(13)を形成した積層基板(10)を用い、前記薄膜シリコン層(13)により捺じり梁構造の可動構造体(Em)が構成され、この可動構造体(Em)における可動側櫛歯電極(18a, 18b)と、当該可動側櫛歯電極(18a, 18b)に対向するように配置した固定側櫛歯電極(25a, 25b)との間に電位差を生じさせて前記可動構造体(Em)を揺動させるようにした静電アクチュエータの製造方法であって、

支持基板(1)の上に積層基板(10)を配置する工程と、

積層基板(10)における固定側櫛歯電極の形成領域に当該積層基板(10)を貫通する貫通孔(22a, 22b)を形成するとともに、この貫通孔(22a, 22b)に、固定側櫛歯電極となる導電性材料(24)を充填する工程と、

積層基板(10)における可動構造体の形成領域の周囲の薄膜シリコン層(13)および埋込み絶縁膜(12)をトレンチエッチングにて除去する工程と、

前記可動構造体の形成領域におけるシリコン基板(11)をエッチング除去する工程と、

を有することを特徴とする静電アクチュエータの製造方法。

【請求項 11】

シリコン基板(11)の上に埋込み絶縁膜(12)を介して薄膜シリコン層(13)を形成した積層基板(10)を用い、前記薄膜シリコン層(13)により捺じり梁構造の可動構造体(Em)が構成され、この可動構造体(Em)における可動側櫛歯電極(18a, 18b)と、当該可動側櫛歯電極(18a, 18b)に対向するように配置した固定側櫛歯電極(25a, 25b)との間に電位差を生じさせて前記可動構造体(Em)を揺動させるようにした静電アクチュエータの製造方法であって、

支持基板(1)の上に積層基板(10)を配置する工程と、

積層基板(10)における固定側櫛歯電極の形成領域に当該積層基板(10)を貫通する貫通孔(22a, 22b)を形成するとともに、この貫通孔(22a, 22b)の側壁に保護膜(23)を形成し、さらに、その内方に、固定側櫛歯電極となる導電性材料(24)を充填する工程と、

積層基板(10)における可動構造体の形成領域の周囲の薄膜シリコン層(13)および埋込み絶縁膜(12)をトレンチエッチングにて除去する工程と、

前記可動構造体の形成領域におけるシリコン基板(11)を、前記保護膜(23)をエッチングストッパとして用いたエッチングにて除去する工程と、

を有することを特徴とする静電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、静電アクチュエータに関するものである。

【背景技術】

【0002】

光スキャナにおけるスキャニングミラーの駆動原理においては、CMOSプロセスとの整合性の高い静電駆動型が主流である。静電アクチュエータは、図34に示す対向電極型の駆動方式と、図35に示す櫛歯電極型の駆動方式に分けられる。図34において、ミラー(質量部)100は捺じり梁101に連結され、ミラー(質量部)100での可動側対向電極102に対して固定側対向電極103が対向配置されている。図35において、ミラー(質量部)110は捺じり梁111に連結され、ミラー(質量部)110での可動側櫛歯電極112に対して固定側櫛歯電極113が対向するように配置されている。しかし、ミラー面を構成する材料には平坦性や平滑性の面から単結晶シリコンが望ましく、その場合、図34の対向電極型の駆動方式は工程が複雑になり、図35の櫛歯電極型が望ましい。

10

20

30

40

50

【0003】

図35の櫛歯電極を用いた静電駆動型マイクロスキャナにおいて、駆動力は固定側櫛歯電極と可動側櫛歯電極との間の電位差から生じる静電引力であり、回転力を与えるためには両電極に高度差を設ける必要がある。つまり、このときの最大変位は電極高度差分となる。

【0004】

一方、図36に示すように、シリコン基板120の上にシリコン酸化膜121、薄膜シリコン層122、シリコン酸化膜123、金属膜124を順に形成した構造体を用いて、金属膜124を電極として形成する場合がある。この場合には、薄膜シリコン層122にて可動側櫛歯電極が構成されるとともに、金属膜124にて固定側櫛歯電極が構成される。

10

【0005】

ここで、可動側櫛歯電極と固定側櫛歯電極との高度差は、次のようになる。

図37において、薄膜シリコン層122の厚さを T_s 、シリコン酸化膜123の厚さを T_o 、金属膜124の厚さを T_m とすると、電極高度差は、

$$\{ (T_s + T_w) / 2 \} + T_o$$

となる。

【0006】

このように、電極高度差は薄膜シリコン層122の膜厚 T_s で限定され、大きな変位(スキャン角度)が得られない。

20

詳しくは以下の通りである。可動側櫛歯電極を薄膜シリコン層122とするとともに、固定側櫛歯電極を薄膜シリコン層122の上に酸化膜123を介して形成した金属膜124とした場合、その高度差は両電極の中心点の高度差となる。そして、例えば、薄膜シリコン層(ミラー)122の厚さ T_s は $10\mu\text{m}$ 、シリコン酸化膜123と金属膜124の厚さ T_o 、 T_m をそれぞれ $1\mu\text{m}$ としても、電極高度差は $6.5\mu\text{m}$ となる。ミラー部(薄膜シリコン層)の縦横サイズを $1000\mu\text{m}$ とした場合、最大変位は $\tan^{-1}(6.5/500) = 0.74^\circ$ となり、スキャン角度としてはその2倍の 1.5° が限界である。

【0007】

一方、共振を用いると、大きな変位を得ることができるが、この場合には、共振周波数

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明はこのような背景の下になされたものであり、その目的は、可動構造体の揺動(振れ角)を大きくすることができる静電アクチュエータおよびその製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

請求項1に記載の発明によれば、以下のような作用・効果を奏する。

40

(i) 積層基板の薄膜シリコン層にて可動側櫛歯電極を構成するとともに積層基板の薄膜シリコン層の上に固定側櫛歯電極を形成する場合と、

(ii) 積層基板の薄膜シリコン層にて可動側櫛歯電極を構成するとともに、積層基板を貫通する貫通孔の内部に固定側櫛歯電極を形成する場合と、を比較する。

【0010】

(i) に比べ(ii)の方が、上下方向における可動側櫛歯電極の中心位置と固定側櫛歯電極の中心位置との差を大きくすることが可能となり、可動構造体の揺動(振れ角)を大きくすることができる。

【0011】

50

請求項 2 に記載のように、前記固定側櫛歯電極は金属またはポリシリコンよりなるものとする。とよい。

請求項 3 に記載のように、一对の可動側および固定側櫛歯電極を 3 つ以上設けると、可動側櫛歯電極と固定側櫛歯電極との間の電位差による静電気力を大きくすることができる。

【0012】

請求項 4 に記載のように、可動側櫛歯電極を、可動構造体の挟り梁に設けるようにすると、振れ角に対する櫛歯電極の変位量を小さくして振れ角を大きくすることが可能となる。

【0013】

請求項 5 に記載のように、可動側櫛歯電極において並設した歯と、可動構造体の挟り梁とを同一方向に延設し、かつ、可動側櫛歯電極において並設した歯の長さを挟り梁の長さの半分以上にすると、可動側櫛歯電極と固定側櫛歯電極との間の電位差による静電気力を大きくすることができる。

【0014】

請求項 6 に記載のように、前記貫通孔の内部に形成した固定側櫛歯電極において並設した歯は、上下方向における中心位置が異なっていると、可動側櫛歯電極が揺動した際（振れた際）の可動側櫛歯電極と固定側櫛歯電極との間の電位差による静電気力を強くすることができる。

【0015】

請求項 7 に記載のように、前記可動構造体に対し間欠的に照射したレーザービームの反射光を、前記可動構造体の揺動に伴ない所定角度範囲で発射する際に、可動側櫛歯電極と固定側櫛歯電極との間に生じさせる電位差で、前記レーザービームの間欠的な照射の周期に同期して強制的に前記可動構造体を揺動させるようにすると、実用上好ましいものとなる。

【0016】

請求項 8 に記載のように、前記積層基板の下に配置した支持基板上に設けられた容量測定用固定電極と、前記可動構造体に設けられ、前記容量測定用固定電極に対向し、かつ前記可動構造体の揺動に伴ない前記容量測定用固定電極に対し接離する方向に変位する容量測定用可動電極と、を備え、前記容量測定用固定電極と容量測定用可動電極との間の容量を測定して可動構造体の揺動角度を求めつつ、所望の可動構造体の揺動角度とすべく又は揺動動作を行わせるべく前記可動側櫛歯電極と固定側櫛歯電極との間に生じさせる電位差を制御すると、実用上好ましいものとなる。

【0017】

請求項 9 に記載のように、前記可動構造体に照射したレーザービームの反射光を、カメラにより撮像した画像内での特定箇所の距離測定対象に向かわせるように、前記可動構造体を揺動させるようにすると、実用上好ましいものとなる。

【0018】

請求項 10, 11 に記載の発明によれば、請求項 1 に記載の静電アクチュエータを製造することが可能となる。

特に、請求項 11 に記載の発明によれば、保護膜をエッチングストッパとして用いることにより、エッチングから固定側櫛歯電極となる導電性材料が保護される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

以下、この発明を具体化した実施の形態を図面に従って説明する。

図 1 には、本実施形態における静電アクチュエータとしての光スキャナの平面図を示す。図 1 の A - A 線での縦断面を図 2 に、図 1 の B - B 線での縦断面を図 3 に、図 1 の C - C 線での縦断面を図 4 に、図 1 の D - D 線での縦断面を図 5 に、それぞれ示す。

【0020】

本実施形態においては、図 2 等に示すように、支持基板 1 の上に積層基板 10 を接合したものを用いている。支持基板 1 はシリコン基板 2 の上にシリコン酸化膜 3 を形成するこ

10

20

30

40

50

とにより構成したものである。積層基板 10 は、シリコン基板 11 の上に埋込み酸化膜（広義には、埋込み絶縁膜）12 を介して薄膜シリコン層 13 を形成することにより構成したものである。

【0021】

図 1, 3, 4 に示すように、積層基板 10 には貫通孔（トレンチ）15 が形成され、このトレンチ（貫通孔 15）はシリコン酸化膜 3 に達している。貫通孔 15 により、図 1 に示すように、長形状をなす積層基板 10 の中央部に、可動構造体 E m が区画形成されることになる。図 3, 4, 5 に示すように、可動構造体 E m の形成領域における埋込み酸化膜 12 とシリコン基板 11 とは除去されている。このように可動構造体 E m は薄膜シリコン層 13 にて構成されている。図 1 に示すように、可動構造体 E m は挟り梁 16 a, 16 b と可動部（質量部）17 を具備し、挟り梁 16 a, 16 b に可動部 17 が連結されている。詳しくは、可動部（質量部）17 は、長形状をなし、長形状の可動部 17 における長辺での中央部には、棒状の挟り梁 16 a, 16 b が直線的に延びている。そして、棒状の梁 16 a, 16 b に連結された可動部 17 が、棒状の梁 16 a, 16 b を結ぶ線を中心にして揺動することができるようになっている。

10

【0022】

長形状の可動部 17 における短辺部には櫛歯電極 18 a, 18 b が形成されている。また、長形状の可動部 17 の上面には、図 5 に示すように、シリコン酸化膜 19 を介して反射膜 20 が成膜されている。反射膜 20 はアルミ等よりなる。図 1 に示すように、長形状の可動部 17 には多数の透孔 21 が形成されている。各透孔 21 は縦横寸法が 3 μm 程度の四角形をなし、そのピッチ（隣り合う透孔 21 の間隔）が 180 μm 程度である。

20

【0023】

一方、図 1, 2 に示すように、積層基板 10（シリコン基板 11 と埋込み酸化膜 12 と薄膜シリコン層 13 との積層体）には貫通孔 22 a, 22 b が形成され、貫通孔 22 a, 22 b は線状に延びている。貫通孔 22 a, 22 b の内壁にはシリコン酸化膜 23 が形成されるとともにその内方にはポリシリコン膜 24 が充填されている。このポリシリコン膜 24 により、図 1 に示すように、固定側櫛歯電極 25 a, 25 b が構成されている。固定側櫛歯電極 25 a, 25 b は貫通孔 15 の側面から突出し、かつ、可動構造体 E m の可動側櫛歯電極 18 a, 18 b と対向している。

30

【0024】

また、図 1 において、延設した貫通孔 22 a, 22 b により、積層基板 10（シリコン基板 11 と埋込み酸化膜 12 と薄膜シリコン層 13 との積層体）が 3 つの領域 30, 31, 32 に区画されている。領域 31 は、第 1 の固定側部材（第 1 の固定電極部）31 a と第 2 の固定側部材（第 2 の固定電極部）31 b からなり、第 1 の固定側部材（第 1 の固定電極部）31 a から挟り梁 16 a が延びている。また、第 2 の固定側部材（第 1 の固定電極部）31 b から挟り梁 16 b が延びている。一方、領域 30 において櫛歯電極 25 a が延びている。また、領域 32 において櫛歯電極 25 b が延びている。

【0025】

固定側櫛歯電極 25 a, 25 b および可動側櫛歯電極 18 a, 18 b における各歯の幅は、例えば 3 μm 程度であり、各歯のピッチ（歯と歯の間隔）は 12 μm 程度である。また、対向して配置される固定側櫛歯電極 25 a, 25 b と可動側櫛歯電極 18 a, 18 b との距離は 4 μm 程度である。

40

【0026】

図 1 において、積層基板 10（シリコン基板 11 と埋込み酸化膜 12 と薄膜シリコン層 13 との積層体）での領域 31 において積層基板 10 の上には、図 2 に示すように、シリコン酸化膜 33 を介してパッド 34 が薄膜シリコン層 13 と電氣的に接続される状態で形成されている。パッド 34 はアルミ等よりなり、このパッド 34 を通して可動側櫛歯電極 18 a, 18 b に電圧を印加することができる。

【0027】

50

図 1 において、積層基板 10 (シリコン基板 11 と埋込み酸化膜 12 と薄膜シリコン層 13 との積層体) での領域 30 において所定領域には、図 2, 3, 4 に示すごとく、シリコン酸化膜 35 を介して配線材としてのポリシリコン膜 36 a が形成されている。このポリシリコン膜 36 a はポリシリコンよりなる固定側櫛歯電極 25 a と電氣的に接続されている。ポリシリコン膜 36 a の上にはパッド 37 a が形成されており、パッド 37 a はアルミ等よりなる。そして、パッド 37 a からポリシリコン膜 36 a を通して固定側櫛歯電極 25 a に電圧を印加することができる。同様に、図 1 において、積層基板 10 での領域 32 において所定領域には、図 2, 3, 4 に示すごとく、シリコン酸化膜 35 を介して配線材としてのポリシリコン膜 36 b が形成され、ポリシリコン膜 36 b はポリシリコンよりなる固定側櫛歯電極 25 b と電氣的に接続されている。ポリシリコン膜 36 b の上にはパッド 37 b が形成されており、パッド 37 b はアルミ等よりなる。そして、パッド 37 b からポリシリコン膜 36 b を通して固定側櫛歯電極 25 b に電圧を印加することができる。

10

【0028】

また、図 1 において、積層基板 10 での領域 30, 32 においてポリシリコン膜 36 a, 36 b の無い部位にパッド 38 a, 38 b が形成されている。パッド 38 a, 38 b を通して領域 30, 32 での薄膜シリコン層 13 がグランド電位に固定される。

【0029】

そして、可動側櫛歯電極 18 a, 18 b と固定側櫛歯電極 25 a, 25 b との間に電圧を印加することにより静電気力が作用する。具体的には、可動側櫛歯電極 18 a, 18 b をグランド電位にするとともに、固定側櫛歯電極 25 a, 25 b のそれぞれに逆位相の交流電圧を印加する。そして、静電引力と拮じれの復元力の釣り合いによって強制駆動が行われる。

20

【0030】

このようにして、シリコン基板 11 の上に埋込み酸化膜 12 を介して薄膜シリコン層 13 を形成した積層基板 10 を用い、薄膜シリコン層 13 により拮じり梁構造の可動構造体 E m が構成されている。そして、この可動構造体 E m における可動側櫛歯電極 18 a, 18 b と、当該可動側櫛歯電極 18 a, 18 b に対向するように配置した固定側櫛歯電極 25 a, 25 b との間に電位差を生じさせて可動構造体 E m が揺動することになる。つまり、光反射部となる可動部 17 の揺動 (振れ) に伴ない反射膜 20 の向きが変更されることになる。これにより、反射膜 20 に照射された光 (例えばレーザービーム) の向きが変更 (光路が変更) されてスキャニングが行われることになる。

30

【0031】

ここで、図 6 を用いて可動側櫛歯電極 18 a, 18 b と固定側櫛歯電極 25 a, 25 b との高度差、つまり、上下方向における可動側櫛歯電極 18 a, 18 b の中心位置と固定側櫛歯電極 25 a, 25 b の中心位置との差について説明する。

【0032】

図 6 において、シリコン基板 11 の厚さが 30 μm 、埋込み酸化膜 12 の厚さが 0.5 μm 、薄膜シリコン層 13 の厚さが 10 μm の場合を考える。積層基板を貫通する貫通孔 15 の内部に固定側櫛歯電極 25 a, 25 b が形成されている。また、積層基板の薄膜シリコン層 13 にて可動側櫛歯電極 18 a, 18 b が構成されている。よって、上下方向における可動側櫛歯電極 18 a, 18 b の中心位置と固定側櫛歯電極 25 a, 25 b の中心位置との差は、

40

$\{ (10 + 0.5 + 30) / 2 \} - (10 / 2) = 15.25 \mu\text{m}$
となる。

【0033】

一方、図 37 に示すように、積層基板の薄膜シリコン層 122 にて可動側櫛歯電極を構成するとともに、積層基板の薄膜シリコン層 122 の上にシリコン酸化膜 23 を介して固定側櫛歯電極 (124) を形成する場合は、次のようになる (その内容は前に述べている)。薄膜シリコン層 122 の厚さ $T_s = 10 \mu\text{m}$ 、シリコン酸化膜 123 の厚さ $T_o = 1$

50

μm 、金属膜 124 の厚さ $T_m = 1 \mu\text{m}$ のとき、電極高度差は $6.5 \mu\text{m}$ となる。

【0034】

このように、図 37 の構造に比べ図 6 の構造の方が、上下方向における可動側櫛歯電極の中心位置と固定側櫛歯電極の中心位置との差を大きくすることができ、可動構造体 E_m の揺動（振れ角）を大きくすることができる。具体的には、可動部（ミラー部）17 の縦横サイズを $1000 \mu\text{m}$ とした場合、最大変位は $\tan^{-1}(15.25/500) = 1.75^\circ$ となり、スキャン角度はその 2 倍の 3.5° となる。これは、図 37 の場合の 1.5° に比べ大きい。

【0035】

次に、製造方法を、図 7 ~ 図 20 を用いて説明する。図 7 ~ 図 20 の各図において、(a) は図 2 に、(b) は図 3 に、(c) は図 4 に対応している。つまり、図 7 ~ 図 20 の各図において、(a) は図 1 の A - A 線での製造工程を表し、(b) は図 1 の B - B 線での製造工程を表し、(c) は図 1 の C - C 線での製造工程を表している。 10

【0036】

まず、図 7 (a), (b), (c) に示すように、支持基板 1 の上に積層基板 10 を配置したものを用意する。支持基板 1 はシリコン基板 2 の上にシリコン酸化膜 3 を形成することにより構成されている。積層基板 10 は、シリコン基板 11 の上に埋込み酸化膜 12 を介して薄膜シリコン層 13 を形成することにより構成されている。

【0037】

詳しくは、図 21 (a) に示すように、シリコン層 13 の上に埋込み酸化膜 12 を介してシリコン基板（シリコン層）11 を形成したものを用意する。また、図 21 (b) に示すように、シリコン基板 2 の上にシリコン酸化膜 3 を形成したものを用意する。そして、図 21 (c) に示すように、シリコン酸化膜 3 とシリコン基板（シリコン層）11 とを貼り合わせる。さらに、シリコン層 13 を研磨して同シリコン層 13 を薄膜化する。これにより、図 21 (d) に示すように、支持基板 1 の上に積層基板 10 を配置したものを得る。 20

【0038】

なお、図 21 (a), (b), (c), (d) においては具体的な膜厚値を例示している。

次に、図 8 (a), (b), (c) に示すように、薄膜シリコン層 13 の上にシリコン酸化膜 35 を形成する。この酸化膜 35 は薄膜シリコン層 13、埋込み酸化膜 12、シリコン基板 11 を貫通する貫通孔（トレンチ）を形成する際のマスク材となるため、十分な厚さが必要である。例えば、埋込み酸化膜 12 が熱酸化膜であり、厚さ $0.5 \mu\text{m}$ 、単結晶シリコンと熱酸化膜のエッチング選択比が「50」、薄膜シリコン層 13 の厚さが $10 \mu\text{m}$ 、シリコン基板 11 の厚さが $30 \mu\text{m}$ である場合にトレンチを形成する際には、ここで形成する酸化膜 35 は、 $(10 + 30) / 50 + 0.5 = 1.3 \mu\text{m}$ 以上を必要とする。この酸化膜 35 の形成は、CVD、熱酸化膜上への CVD、いずれの方法であってもよい。 30

【0039】

引き続き、図 9 (a), (b), (c) に示すように、シリコン酸化膜 35 にトレンチパターンを形成すべくシリコン酸化膜 35 の上にレジストによるトレンチパターンを形成し、レジストをマスクとして所定領域の酸化膜 35 をエッチングする。この際、酸化膜 35 が厚いために横方向へのエッチングによるパターン寸法のずれを防ぐため、異方性のドライエッチングを用いる。そして、レジストを除去した後、薄膜シリコン層 13（厚さ $10 \mu\text{m}$ ）、埋込み酸化膜 12（厚さ $0.5 \mu\text{m}$ ）、シリコン基板 11（厚さ $30 \mu\text{m}$ ）を順にエッチングして貫通孔（トレンチ）22a, 22b を形成する。ここでは一般的にデューブ RIE と呼ばれる高アスペクトなドライエッチング工程を用いる。貫通孔（トレンチ）22a, 22b の幅は $3 \mu\text{m}$ 程度である。 40

【0040】

さらに、例えば 1/50 の HF 水溶液を用いて貫通孔（トレンチ）22a, 22b 中の 50

反応生成物を除去する。ここで、長時間の浸水は埋込み酸化膜 12 を水平方向にエッチングするため、必要最小限な時間にとどめる。

【0041】

このようにして、積層基板 10 における少なくとも固定側櫛歯電極の形成領域に積層基板 10 を貫通する貫通孔（トレンチ）22a, 22b を形成する。

さらに、図 10 (a), (b), (c) に示すように、例えば 1000、ウエット酸化 1 時間で 0.1 μm 程度の熱酸化を行う。これにより、熱酸化によるシリコン酸化膜 23 がトレンチ側壁に形成され、後のシリコン基板 11 のエッチングの際のストッパとなる。熱酸化によるシリコン酸化膜 23 の形成において、図 22 (a) に示すように、貫通孔（トレンチ）22a, 22b 内における埋込み酸化膜 12 の側壁にはシリコン酸化膜（熱酸化膜）23 は形成されない。そのため、貫通孔（トレンチ）22a, 22b 内において埋込み酸化膜 12 の側面での穴幅がシリコン酸化膜（熱酸化膜）23 が形成された部位での穴幅よりも大きくなる（広がる）。

10

【0042】

そして、図 11 (a), (b), (c) に示すように、貫通孔（トレンチ）22a, 22b を導電性材料で埋め戻すことを目的として、例えばリンを高濃度にドーブしたポリシリコン膜 24 を CVD にて成膜する。貫通孔（トレンチ）22a, 22b の幅が 3 μm のとき、CVD によりポリシリコン膜 24 を厚さ 3 μm で成膜すると良好な埋め込みが得られる。この際、過剰な熱酸化膜（シリコン酸化膜 23）の形成は、ここでの埋め戻し時に埋込み酸化膜 12 の水平面上にポイドを発生させるので、膜厚は最適化する必要がある。つまり、図 22 (a) においてシリコン酸化膜（熱酸化膜）23 を過剰に形成すると、ポリシリコン膜 24 の成膜の際に、図 22 (b) に示すように、ポイドができるので、過剰に熱酸化は行わないようにする。即ち、ポイドは櫛歯電極の強度を低下させるので、トレンチ側壁のシリコン酸化膜（熱酸化膜）23 は過剰に厚くしないようにする。

20

【0043】

引き続き、図 12 (a), (b), (c) に示すように、ウエハ表面全面にデポされたポリシリコン膜 24 をマスクレスで 2 μm エッチングし、ポリシリコン膜 24 の残膜を 1 μm 程度とする。

【0044】

そして、図 13 (a), (b), (c) に示すように、不要な領域のポリシリコン膜をエッチング除去し、配線としてのポリシリコン膜 36a, 36b を残す。配線としてのポリシリコン膜 36a, 36b は固定側櫛歯電極 25a, 25b とパッド 37a, 37b を結ぶことになる（図 2, 4 参照）。

30

【0045】

次に、図 14 (a), (b), (c) に示すように、シリコン酸化膜 35 におけるコンタクト領域をパターニング（エッチング除去）して酸化膜 19, 33 とする。

そして、図 15 (a), (b), (c) に示すように、金属膜（アルミ膜）をデポまたはスパッタし、さらに、パターニング（エッチング）して反射膜 20 とパッド 37a, 37b, 34、およびパッド 38a, 38b（図 1 参照）を形成する。この際、反射膜 20 の形成部分には開口部（透孔 21）を多数形成する。この開口部（透孔 21）は縦横寸法が 3 μm 程度の四角形をなし、その間隔（ピッチ）が 180 μm である。金属膜は、アルミの他にも、AlSiCu、金などを用いてもよい。

40

【0046】

さらに、図 16 (a), (b), (c) に示すように、プラズマ TEOS 等の低温 CVD によるシリコン酸化膜 40 を 2 μm 程度デポし、450、30 分間程度のアニール処理を行う。そして、図 17 (a), (b), (c) に示すように、シリコン酸化膜 40 に対し図 1 での符号 15 の貫通孔のパターンおよび符号 21 の透孔のパターンを形成すべくシリコン酸化膜 40 の上にレジストによるトレンチパターンを形成し、レジストをマスクとして所定領域の酸化膜 40 をエッチングする。これにより、開口部 41 が形成される。

【0047】

50

続いて、図18(a), (b), (c)に示すように、レジストを除去した後にシリコン酸化膜40をマスクとしてドライエッチングを用いて薄膜シリコン層13をエッチングし、引き続き、露出した埋込み酸化膜12をドライエッチングを用いて除去する。これにより、貫通孔(トレンチ)15および透孔21が形成される。このとき、トレンチ底部の埋込み酸化膜12はマイクロローディング効果によってエッチングレートが遅いため、十分なエッチング時間とする必要がある。従って、シリコン酸化膜(マスク酸化膜)40とのエッチングレート比より換算して、シリコン酸化膜(TEOS膜)40が十分厚いか、または、マイクロローディング効果を抑止するために開口部(図17の開口部41)は広くなければならない。

【0048】

このようにして、積層基板10における少なくとも、可動構造体の形成領域の周囲の薄膜シリコン層13および埋込み酸化膜12をトレンチエッチングにて除去する(少なくとも貫通孔15を形成する)。

【0049】

次に、図19(a), (b), (c)に示すように、0.3 μ m程度のCVDによるシリコン酸化膜42をデポし、全面を、デポした厚さだけドライエッチングで除去する。これによって、図18で形成した貫通孔(トレンチ)15および透孔21の側壁にのみ薄いシリコン酸化膜42が形成される。

【0050】

さらに、図20(a), (b), (c)に示すように、例えばXeF₂等の等方性エッチング材料を用いて可動構造体Emとなる領域の下のシリコン基板11をエッチング除去する。エッチングガスは図18で形成したトレンチ(符号15, 21の部分)より進入し、エッチング量は可動構造体Emが完全に酸化膜3から離れるまでとする。ここで、XeF₂ガスを用いたエッチングにおいて酸化膜はSiに対して非常に高い選択比を持っており、トレンチ側壁に形成した酸化膜23および可動構造体Emの裏面の埋込み酸化膜12がエッチングストップとなる。

【0051】

最後に、エッチングストップとして用いた酸化膜23, 12および全面のシリコン酸化膜40をドライエッチングによって除去し、アルミ面を露出させると、図2, 3, 4に示す構造が得られる。

【0052】

このように、積層基板10の薄膜シリコン層13よりなる可動側櫛歯電極18a, 18bと、積層基板10の貫通孔15内に形成したポリシリコン膜(導電性材料)からなる固定側櫛歯電極25a, 25bを対向して配置した構造とする。つまり、固定側櫛歯電極25a, 25bの形成のために、トレンチエッチングを行うとともに当該トレンチ内に導電性材料(ポリシリコン膜)を埋め込み、これにより、固定側櫛歯電極25a, 25bを構成する。

【0053】

ここで、トレンチエッチングでのアスペクト比の観点から可動側櫛歯電極と固定側櫛歯電極との高度差について言及する。

固定側櫛歯電極25a, 25bの高さはトレンチエッチングの深さによって決まり、例えばアスペクト比が「60」のエッチング条件を用いた場合には、櫛歯電極の各歯の幅を3 μ mとしたとき、トレンチの深さは180 μ mとなる。従って、可動部17(ミラー面)における薄膜シリコン層13の厚さを10 μ mとした場合、可動側櫛歯電極と固定側櫛歯電極の高度差は、 $(180/2) - (10/2) = 85\mu\text{m}$ となる。故に、背景技術の説明における計算と同様な計算からスキャン角度は $19.3^\circ (= 2 \cdot \{ \tan^{-1}(85/500) \})$ と、背景技術の 1.5° に比べ12倍のスキャン角度を得ることができる。

【0054】

また、製造工程においてトレンチ形成後にその側壁を熱酸化することによってポリシリ

10

20

30

40

50

コンを酸化膜 23 で囲むことができ、可動構造体 E m の下の空間形成工程におけるシリコンのエッチング時の固定側櫛歯電極（ポリシリコン）の保護膜とする。

【0055】

このように、静電アクチュエータの製造方法として下記の特徴を有する。

(イ) 第 1 工程として、図 7 に示すように、支持基板 1 の上に積層基板 10 を配置する。第 2 工程として、図 9, 11 に示すように、積層基板 10 における固定側櫛歯電極の形成領域に当該積層基板 10 を貫通する貫通孔 22 a, 22 b を形成するとともに、この貫通孔 22 a, 22 b に、固定側櫛歯電極となる導電性材料としてのポリシリコン膜 24 を充填する。第 3 工程として、図 18 に示すように、積層基板 10 における可動構造体の形成領域の周囲の薄膜シリコン層 13 および埋込み酸化膜 12 をトレンチエッチングにて除去する。第 4 工程として、図 20 に示すように、可動構造体の形成領域におけるシリコン基板 11 をエッチング除去する。

10

(ロ) 第 1 工程として、図 7 に示すように、支持基板 1 の上に積層基板 10 を配置する。第 2 工程として、図 9, 10, 11 に示すように、積層基板 10 における固定側櫛歯電極の形成領域に当該積層基板 10 を貫通する貫通孔 22 a, 22 b を形成するとともに、この貫通孔 22 a, 22 b の側壁に保護膜としてのシリコン酸化膜（熱酸化膜）23 を形成し、さらに、その内方に、固定側櫛歯電極となる導電性材料としてのポリシリコン膜 24 を充填する。第 3 工程として、図 18 に示すように、積層基板 10 における可動構造体の形成領域の周囲の薄膜シリコン層 13 および埋込み酸化膜 12 をトレンチエッチングにて除去する。第 4 工程として、図 20 に示すように、可動構造体の形成領域におけるシリコン基板 11 を、保護膜としてのシリコン酸化膜 23 をエッチングストップパとして用いたエッチングにて除去する。よって、保護膜としてのシリコン酸化膜 23 をエッチングストップパとして用いることにより、エッチングから固定側櫛歯電極となる導電性材料が保護される。

20

【0056】

以下、応用例を説明する。

図 1 において、固定側櫛歯電極 25 a, 25 b はポリシリコンよりなるものを用いたが、金属を用いてもよい。金属として、具体的には銅、チタンを挙げることができる。

【0057】

また、図 2 の支持基板 1 にはシリコン基板 2 の上にシリコン酸化膜 3 を形成したものを

30

用いたが、ガラス板やセラミック板を用いてもよい。さらに、図 1 の固定側櫛歯電極 25 a, 25 b とパッド 37 a, 37 b とをポリシリコン膜 36 a, 36 b にて電氣的に接続したが、金属膜を用いて固定側櫛歯電極 25 a, 25 b とパッド 37 a, 37 b とを電氣的に接続してもよい。

【0058】

図 1 に代わり、図 23, 24, 25 に示すように、一对の可動側および固定側櫛歯電極 50, 51 を 3 つ以上設けてもよい。つまり、図 1 においては一对の可動側および固定側櫛歯電極（18 a, 18 b, 25 a, 25 b）を 2 つ設けたが、図 23 に示すように 8 つ設けたり、図 24 に示すように 6 つ設けたり、図 25 に示すように「10」設けてもよい。

40

【0059】

詳しくは、図 23 においては、可動側櫛歯電極 50 は、長方形の可動部 17 において挟り梁 16 a, 16 b を設けた辺（対向する 2 つの辺）に設けている。また、図 24, 25 においては、可動側櫛歯電極 50 は、長方形の可動部 17 において挟り梁 16 a, 16 b を設けた辺および挟り梁 16 a, 16 b を設けなかった辺に設けている。

【0060】

このように、図 1 の構造に比べ、図 23, 24, 25 に示すように櫛歯電極の数を増やすことにより、可動側櫛歯電極と固定側櫛歯電極との間の電位差による静電気力を大きくして、低電圧での駆動（揺動動作）が可能となる。

【0061】

50

また、図1においては、可動側櫛歯電極18a, 18bを長形状の可動部17における挟り梁16a, 16bを設けていない辺において設けている。これに対し、図23においては、可動側櫛歯電極50を長形状の可動部17における挟り梁16a, 16aを設けた辺において設けている。これにより、振れ角に対する櫛歯電極の変位量を小さくして振れ角を大きくすることが可能となる。

【0062】

図1に代わり、図26に示すように、可動側櫛歯電極50を、可動構造体Emの挟り梁16a, 16bに設けてもよい。これにより、振れ角に対する櫛歯電極の変位量を小さくして振れ角を大きくすることが可能となる。

【0063】

図1に代わり、図27に示すように、可動側櫛歯電極において並設した歯60と、可動構造体Emの挟り梁16a, 16bとを同一方向に延設し、かつ、可動側櫛歯電極において並設した歯60の長さを挟り梁16a, 16bの長さの半分以上としてもよい。この構成とすることにより、可動側櫛歯電極(60)と固定側櫛歯電極(61)の重なりを大きくすることができる(対向面積を広くすることができる)。その結果、可動側櫛歯電極と固定側櫛歯電極との間の電位差による静電気力を大きくすることができる。

【0064】

図6に代わり、図28に示すように、貫通孔15の内部に形成した固定側櫛歯電極において並設した歯X1, X2, X3は、上下方向における中心位置がH1, H2, H3と異なっているようにしてもよい。このように固定側櫛歯電極の歯の高さH1, H2, H3を異ならせることにより可動部(ミラー)17が傾いた際において、引き込んでいく力を更に強くすることができる。つまり、可動側櫛歯電極が揺動した際(振れた際)の可動側櫛歯電極と固定側櫛歯電極との間の電位差による静電気力を強くすることができる。この場合、任意の電圧を固定側及び可動側櫛歯電極に印加することにより、任意の角度に可動部17(ミラー)を変位させることができる。

【0065】

さらに、図29に示すように、貫通孔15の内部に形成した固定側櫛歯電極における並設した歯X1, X2, X3は、上下方向における中心位置が異なっており、かつ、その長さを異ならせてもよい。つまり、固定側櫛歯電極の歯の一部を可動側櫛歯電極に接近する方向に延ばす。図28においては、可動部(ミラー)17が傾いた際(回動した際)において固定側櫛歯電極から可動側櫛歯電極が離れる方向に変位することになる。これに対し、図29においては、可動部(ミラー)17が傾いた際において、固定側櫛歯電極の歯と可動側櫛歯電極の歯の距離を一定に保つことが可能となり、引き合う力が強い状態を保持することができる。

【0066】

次に、これまで説明してきた本実施形態での光スキャナを、自動車の前方の障害物を検出する障害物検出装置に組み込んだ場合について説明する。

障害物検出装置は、走行中において自動車の前方の自動車までの距離を測定し、車間距離を測定する。このとき、レーザビームを図1の可動構造体Emに照射し可動構造体Emの揺動に伴ないレーザビームの反射光を所定角度範囲で走査する。詳しくは、搭乗している車から前方の車に対しレーザビームを例えば0.5秒間隔で照射し、前方の車からの反射光を受光するまでの時間から車間距離を測定する。例えば、0.5秒あたり1°の速度でミラー面を回動させることで5秒間において10°の視野角内に存在する前方の他車までの距離を測定する。

【0067】

このときの図1での櫛歯電極25aおよび櫛歯電極25bに印加する電圧として、図30に示す波形にする。つまり、櫛歯電極25aに印加する電圧の波形と櫛歯電極25bに印加する電圧の波形は三角波であり、かつ、半周期ずつズレている(位相が180°ズレている)。この逆相の波形を用いることにより、電圧が印加されたときに電極間で引力が発生するため、常にどちらかの電極から引力を受けていることとなる。櫛歯電極25a,

10

20

30

40

50

25bに印加する電圧の波形は図30のような三角波に限らず、挟じれ梁の復元力と釣り合った状態で可動部(ミラー面)17の回動が制御できるような最適な波形にすればよい。

【0068】

また、レーザビームを可動構造体Emに照射し可動構造体Emの揺動に伴ないレーザビームの反射光を所定角度範囲で走査する際に、レーザビームの発光の周期に合わせた長い周期で可動構造体Emを揺動させる。つまり、可動構造体Emに対し間欠的に照射したレーザビームの反射光を、可動構造体Emの揺動に伴ない所定角度範囲で発射する際に、可動側櫛歯電極18a, 18bと固定側櫛歯電極25a, 25bとの間に生じさせる電位差で(印加する電圧で)、レーザビームの間欠的な照射の周期に同期して強制的に可動構造体Emを揺動させる。これは以下の理由により有用である。静電駆動式のスキヤニングミラーを用いて、例えば自動車前方の障害物検知をする際、スキヤン周波数が高すぎることで問題であった。従来の静電駆動式スキヤニングミラーにおいては、図36に示すように、同一面内で対向する櫛歯電極に交流電位を印加することで、固定軸を中心にミラー面を回動運動させていた。この運動は共振運動であり、運動する構造体であるミラー面構成体の質量とこれを支える挟じり梁のパネ定数から決まる固有振動性で限定される。一般的に、シリコンウエハを用いたマイクロデバイス(MEMS)においては、ミラー面構成体の厚さは10 μ m程度、その面積は1mm²程度であり、回動角度は10 $^{\circ}$ 程度、固有振動数は数kHzとなる。一方、レーザを用いたレーダでは、レーザの発光周期は10Hz以下である。数kHzで振動するスキヤナを用いて数Hzの周期でレーザの射出角度をスキヤンしようとする、1/1000の精度でレーザの発光とスキヤナの角度のタイミングを制御しなければならない。これは、自動車という振動や温度などの外因が強い使用環境においては非常に困難である。また、駆動原理が共振式であるため、振動数を任意に制御することができず、角度を固定して停止させることもできない。

10

20

【0069】

そこで、レーザ出力の周期とリンクした長い周期、即ち、レーザの出力周波数とリンクした低周波数でスキヤンさせる。そのために、櫛歯電極25a, 25bに印加する電圧で強制的にミラー角度を変位させることで、レーザ発信周波数(レーザ出力の周期)と同期した、低周波のスキヤン動作を行わせる。また、適当な電圧を櫛歯電極に印加することで、任意の角度にミラー面を固定する。

30

【0070】

また、外乱の影響を受けずに安定した回動動作を行わせるために、常にその角度を測定して把握しておく。そのために、図31, 32のようにする。図31, 32において、可動部(ミラー面)17の下面での軸(挟じり梁16a, 16bを繋ぐ線)により二分された領域のうち一方の領域において容量測定用可動電極(平板電極)71を配置するとともに、支持基板1の上面に容量測定用固定電極(平板電極)70を電極71と対向するように配置する。この電極70と電極71の間の静電容量を計測してミラーの角度を算出する。そして、櫛歯電極25a, 25bへの印加電圧を発生する電圧発生回路に対し測定した静電容量(ミラーの角度)をフィードバックする。この電圧発生回路において図30の印加電圧を微調整する。即ち、平板電極間の容量を測定することでミラーの角度を算出し、これを印加電圧にフィードバックすることによりミラー角度の制御精度を向上させる。

40

【0071】

このように、積層基板10の下に配置した支持基板1上に設けられた容量測定用固定電極70と、可動構造体Emに設けられ、容量測定用固定電極70に対向し、かつ可動構造体Emの揺動に伴ない容量測定用固定電極70に対し接離する方向に変位する容量測定用可動電極71と、を備える。そして、容量測定用固定電極70と容量測定用可動電極71との間の容量を測定して可動構造体Emの揺動角度を求めつつ(ミラー面の角度を把握しつつ)、所望の可動構造体Emの揺動角度(振れ角)とすべく又は揺動動作を行わせるべく可動側櫛歯電極18a, 18bと固定側櫛歯電極25a, 25bとの間に生じさせる電位差を制御する。即ち、最適な電圧を櫛歯電極に印加することでミラーの回動動作、ミラ

50

一の角度を制御する。

【0072】

また、前方走行車との車間距離測定以外の用途に用いることもできる。この場合において、図33に示すように、カメラにより撮像した画像中における任意の一点の対象（距離測定対象）P1までの距離を実測するとよい。

【0073】

詳しくは、駐車支援や、一般道走行中の歩行者の飛び出し検知（ブリクラッシュセンサ）のように、10m以内などの比較的近距离で自動車以外の対象も含めた障害物検知には画像を用いることが多い。これは、CCDカメラなどを用いて得た画像を解析し、画像認識などの技術から対象を判別し、ステレオ視などの手法を用いて対象物までの距離を測定しようとするものである。ただし、データの情報量が多くて解析が複雑である上に、ステレオ視を用いる場合にはカメラが2台以上必要となる問題がある一方、1台では精度が悪いなどの問題があった。この場合、1台のカメラで周辺の画像を撮影し、画像認識の後、個々の物体を同定した後、必要な物体の方向にスキャナのミラーを向けて固定し、この物体までの距離を測定する。本実施形態においては、例えば、走行中の自動車前方に突然現れた物体（図33では道路に飛び出した人）に対し、その物体までの距離を瞬時に計測し、自車の走行速度との相対速度から衝突までの時間を計算し、最適な制動や乗員または歩行者保護のためのアクションを与える。また、駐車支援の用途においては駐車場内部に障害物があった場合にその障害物までの距離を実測し、最適な制動を与える。

【0074】

このように、可動構造体Emに照射したレーザービームの反射光を、カメラにより撮像した画像内での特定箇所の距離測定対象P1に向かわせるように、可動構造体Emを揺動させる。即ち、カメラで捕らえた画像の中で任意の一点の対象までの距離を実測する。

【図面の簡単な説明】

【0075】

【図1】実施の形態における光スキャナの平面図。

【図2】図1のA-A線での縦断面図。

【図3】図1のB-B線での縦断面図。

【図4】図1のC-C線での縦断面図。

【図5】図1のD-D線での縦断面図。

【図6】可動側櫛歯電極と固定側櫛歯電極の位置関係を示す図。

【図7】(a)～(c)は製造工程を説明するための光スキャナの縦断面図。

【図8】(a)～(c)は製造工程を説明するための光スキャナの縦断面図。

【図9】(a)～(c)は製造工程を説明するための光スキャナの縦断面図。

【図10】(a)～(c)は製造工程を説明するための光スキャナの縦断面図。

【図11】(a)～(c)は製造工程を説明するための光スキャナの縦断面図。

【図12】(a)～(c)は製造工程を説明するための光スキャナの縦断面図。

【図13】(a)～(c)は製造工程を説明するための光スキャナの縦断面図。

【図14】(a)～(c)は製造工程を説明するための光スキャナの縦断面図。

【図15】(a)～(c)は製造工程を説明するための光スキャナの縦断面図。

【図16】(a)～(c)は製造工程を説明するための光スキャナの縦断面図。

【図17】(a)～(c)は製造工程を説明するための光スキャナの縦断面図。

【図18】(a)～(c)は製造工程を説明するための光スキャナの縦断面図。

【図19】(a)～(c)は製造工程を説明するための光スキャナの縦断面図。

【図20】(a)～(c)は製造工程を説明するための光スキャナの縦断面図。

【図21】(a)～(d)は製造工程を説明するための縦断面図。

【図22】(a), (b)は製造工程を説明するための縦断面図。

【図23】応用例の光スキャナの平面図。

【図24】応用例の光スキャナの平面図。

【図25】応用例の光スキャナの平面図。

10

20

30

40

50

- 【図26】 応用例の光スキャナの平面図。
- 【図27】 応用例の光スキャナの平面図。
- 【図28】 応用例の光スキャナを説明するための図。
- 【図29】 応用例の光スキャナを説明するための図。
- 【図30】 応用例を説明するための波形図。
- 【図31】 応用例を説明するための光スキャナの斜視図。
- 【図32】 応用例の光スキャナを説明するための図。
- 【図33】 応用例を説明するための撮像した画像を示す図。
- 【図34】 背景技術を説明するための光スキャナの斜視図。
- 【図35】 背景技術を説明するための光スキャナの斜視図。
- 【図36】 背景技術を説明するための光スキャナの断面図。
- 【図37】 可動側櫛歯電極と固定側櫛歯電極の位置関係を示す図。

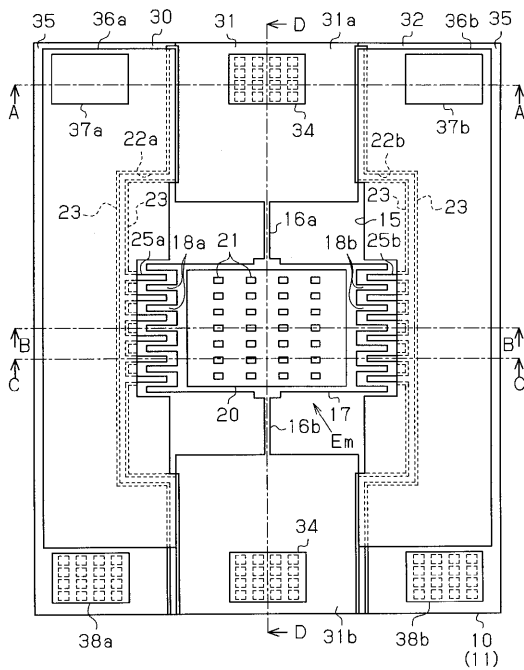
10

【符号の説明】
 【0076】

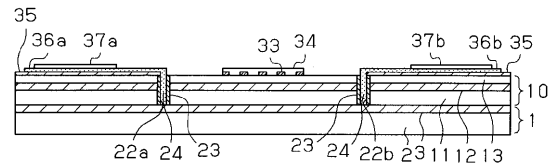
1 ... 支持基板、2 ... シリコン基板、3 ... シリコン酸化膜、10 ... 積層基板、11 ... シリコン基板、12 ... 埋込み酸化膜、13 ... 薄膜シリコン層、15 ... 貫通孔、16a, 16b ... 挟り梁、17 ... 可動部、18a ... 可動側櫛歯電極、18b ... 可動側櫛歯電極、22a ... 貫通孔、22b ... 貫通孔、23 ... シリコン酸化膜、24 ... ポリシリコン膜、25a ... 固定側櫛歯電極、25b ... 固定側櫛歯電極、50 ... 可動側櫛歯電極、51 ... 固定側櫛歯電極、60 ... 歯、70 ... 容量測定用固定電極、71 ... 容量測定用可動電極、Es ... 可動構造体、P1 ... 距離測定対象、X1 ... 歯、X2 ... 歯、X3 ... 歯。

20

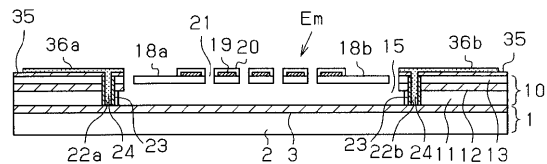
【図1】



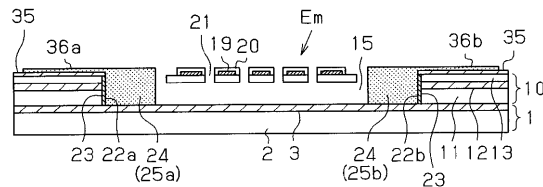
【図2】



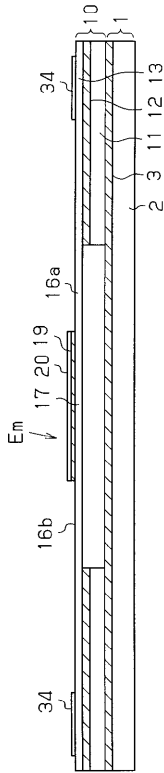
【図3】



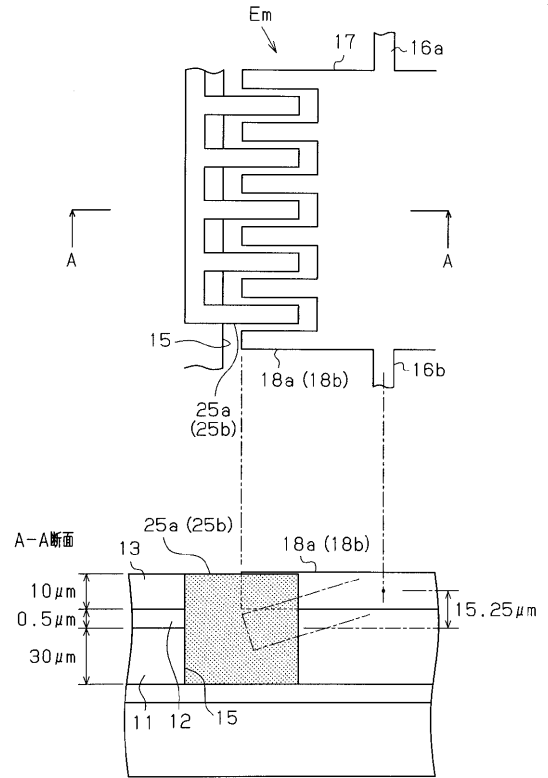
【図4】



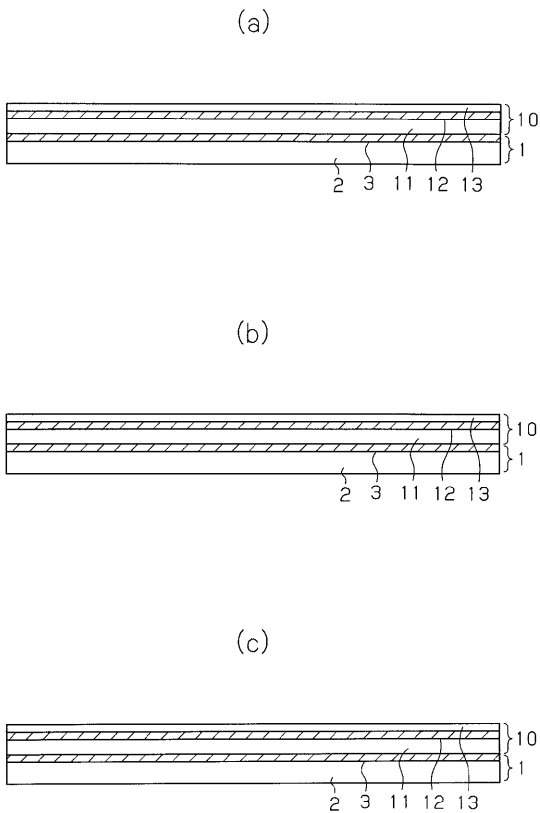
【 図 5 】



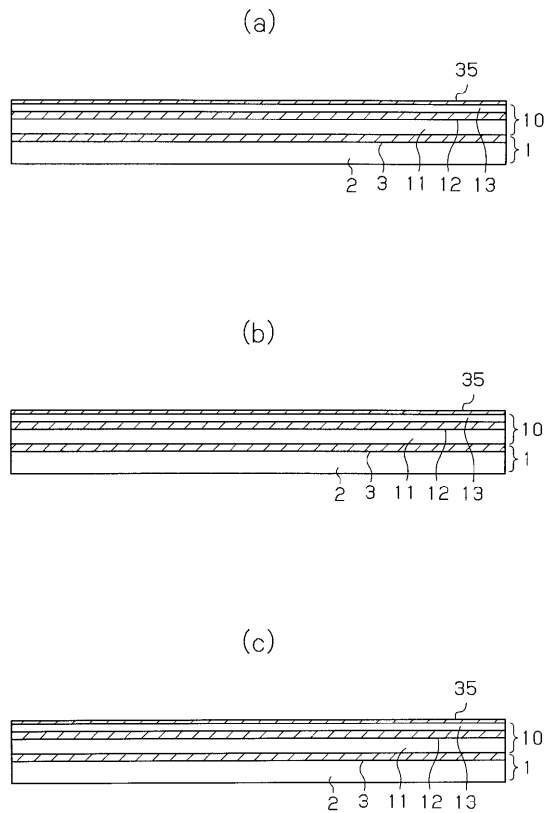
【 図 6 】



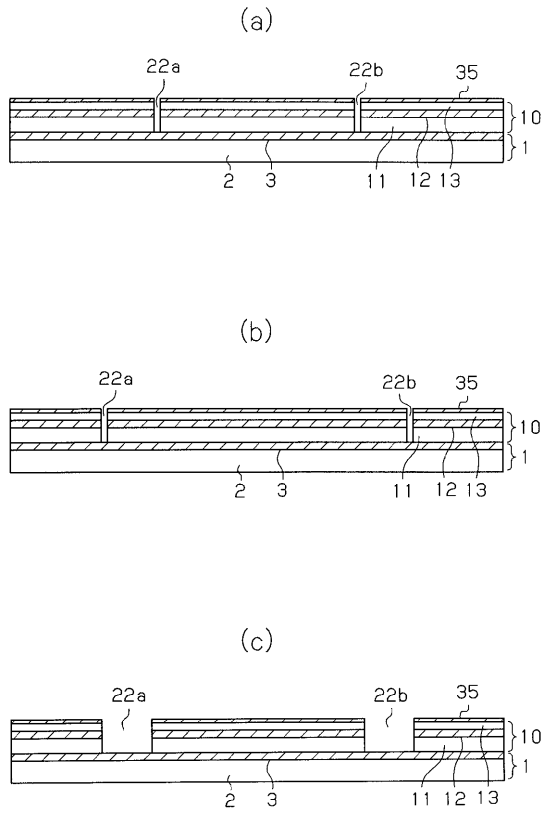
【 図 7 】



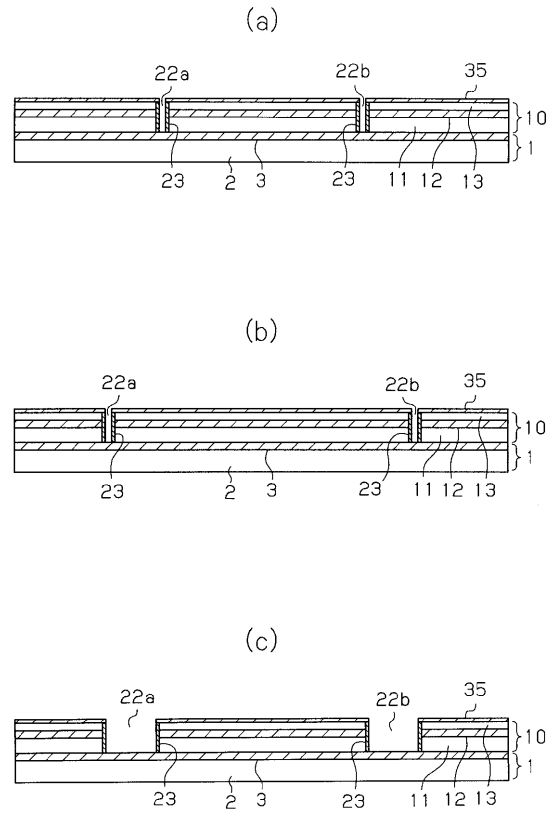
【 図 8 】



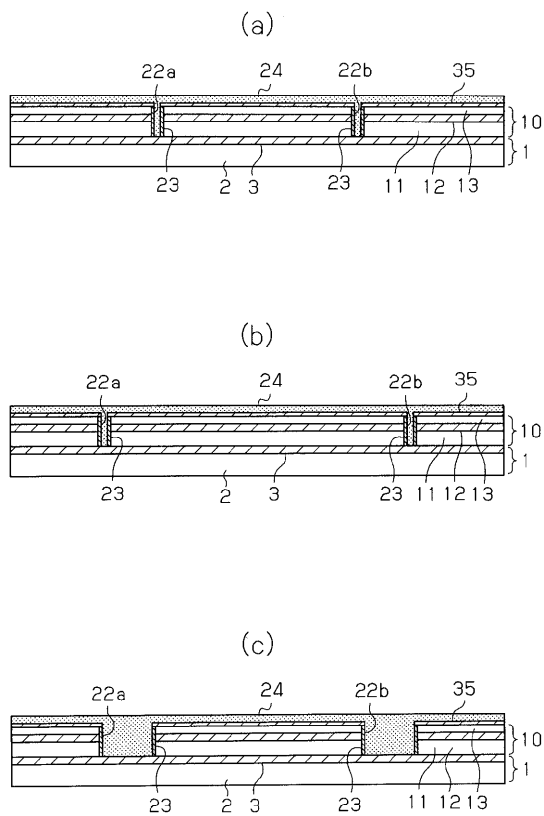
【 図 9 】



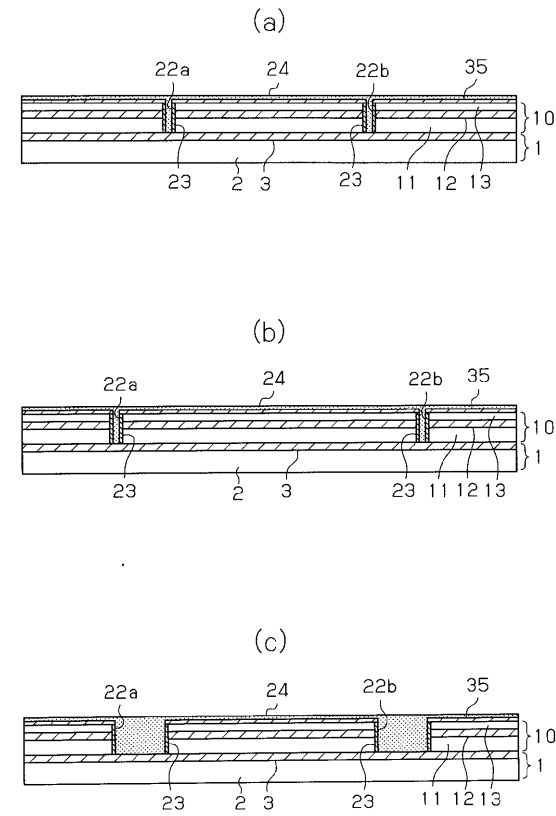
【 図 10 】



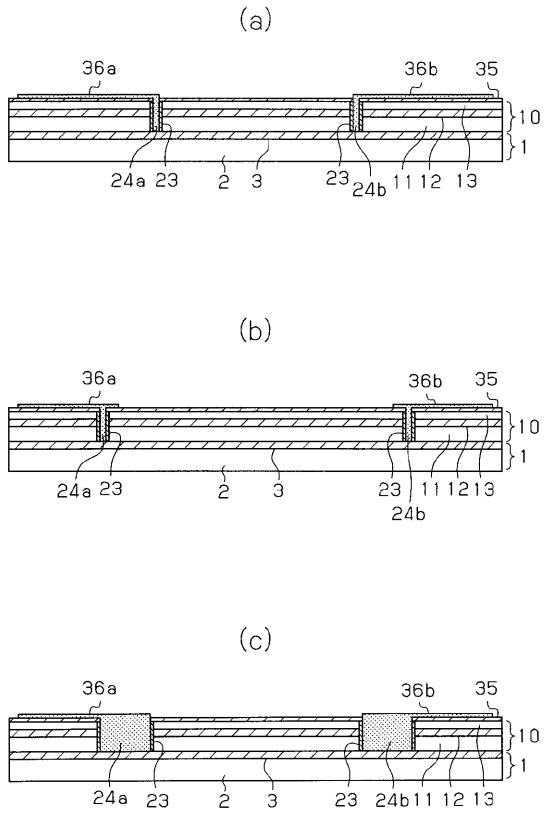
【 図 11 】



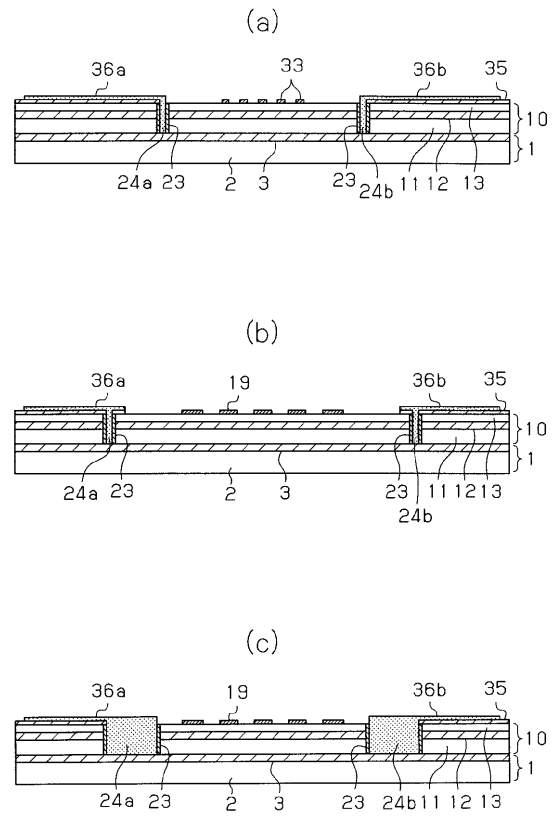
【 図 12 】



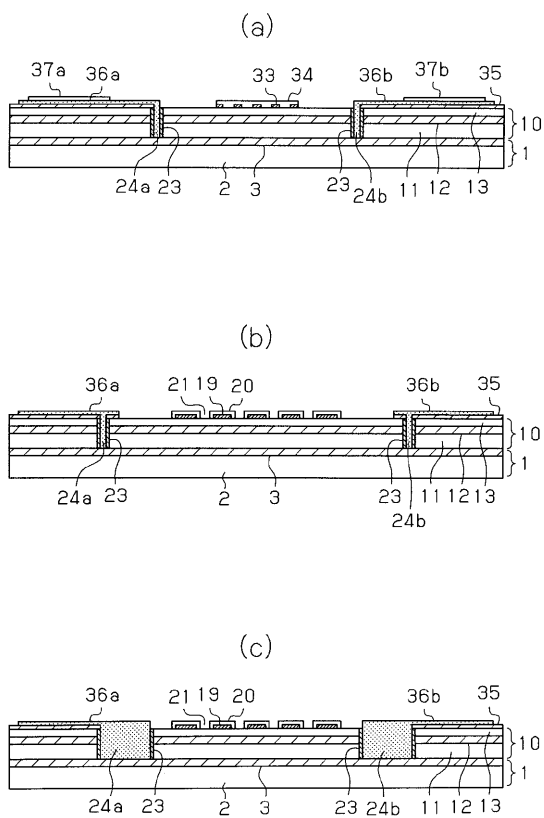
【 図 1 3 】



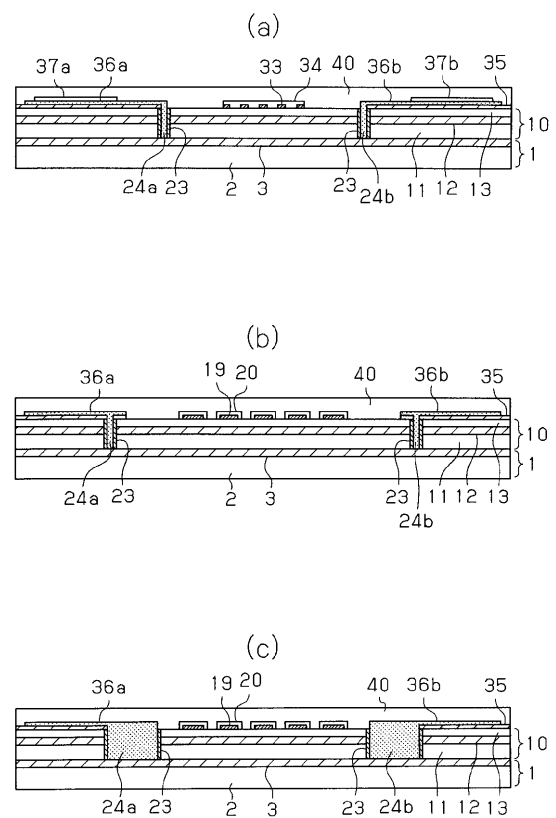
【 図 1 4 】



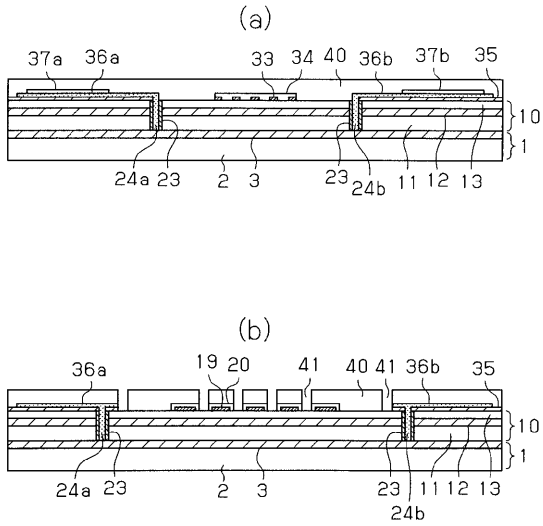
【 図 1 5 】



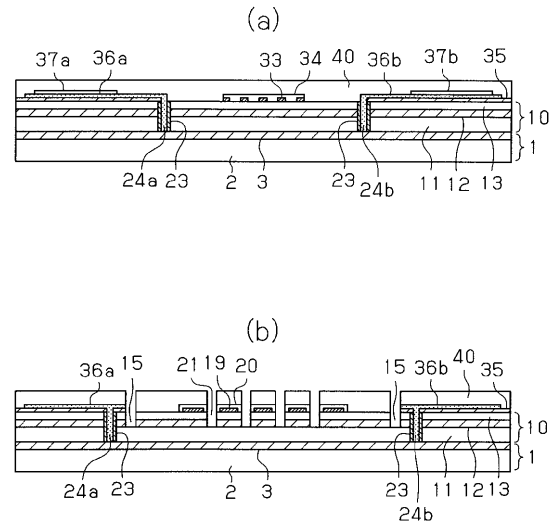
【 図 1 6 】



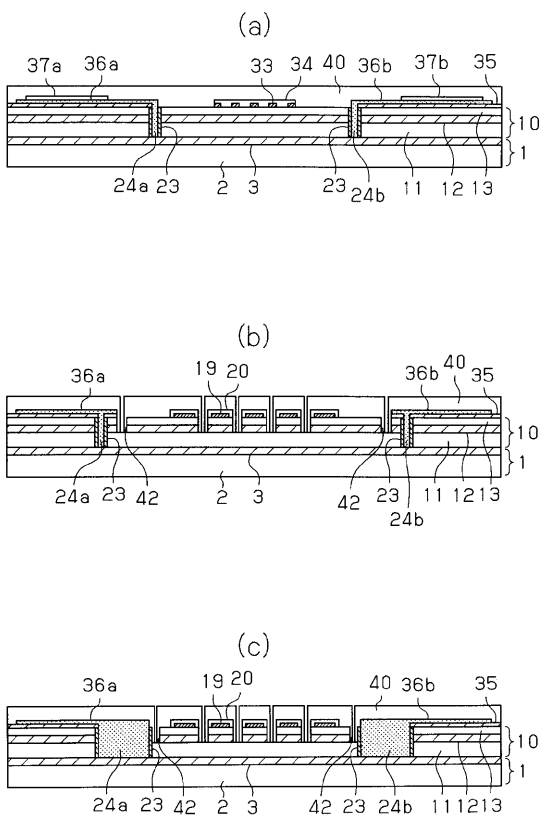
【 図 1 7 】



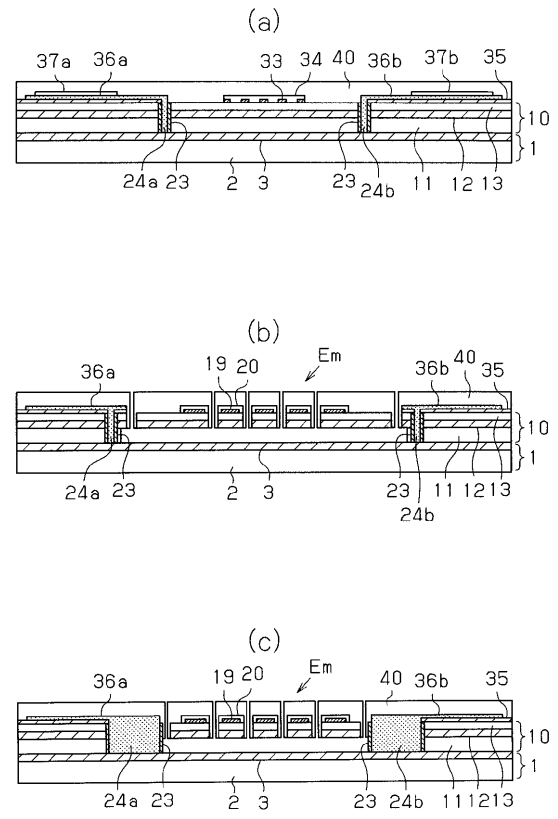
【 図 1 8 】



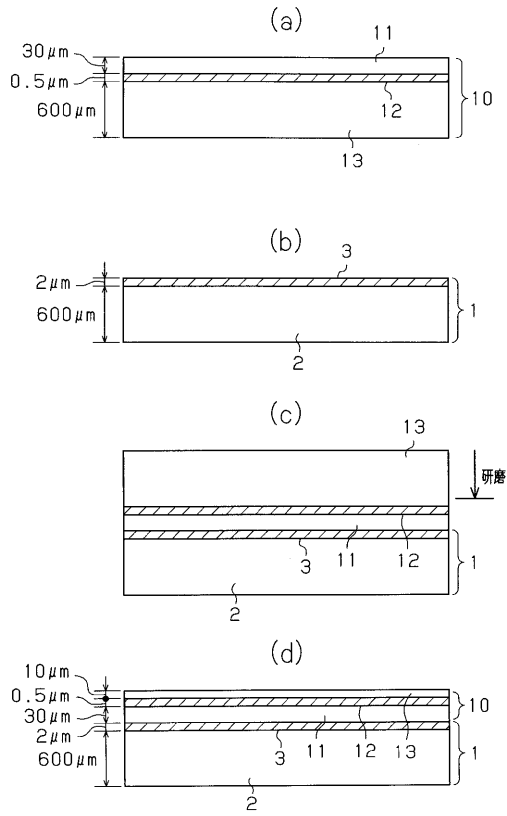
【 図 1 9 】



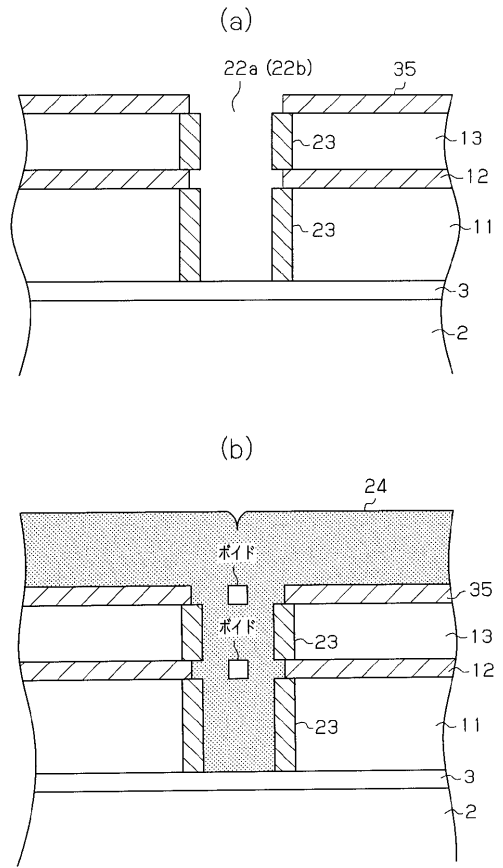
【 図 2 0 】



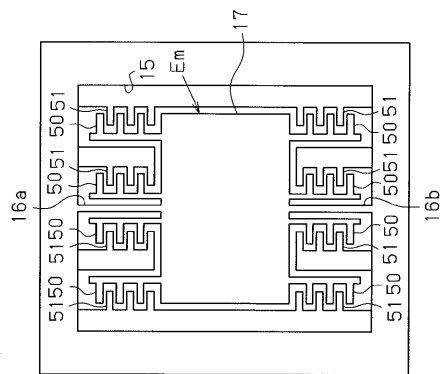
【 図 2 1 】



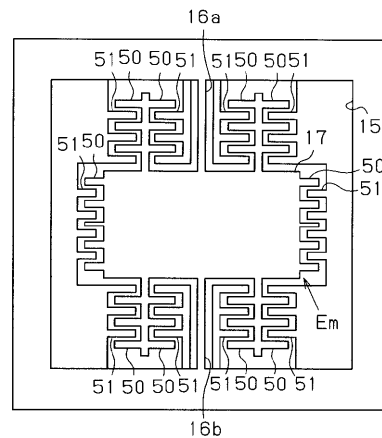
【 図 2 2 】



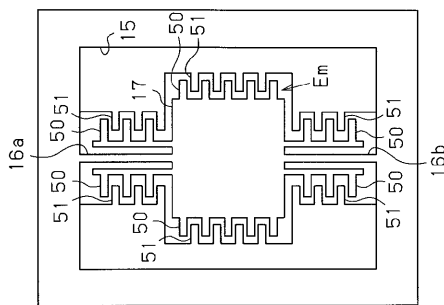
【 図 2 3 】



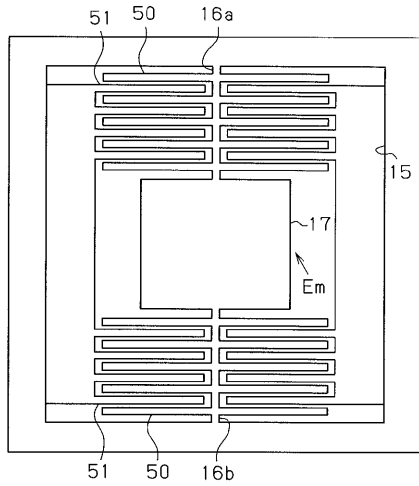
【 図 2 5 】



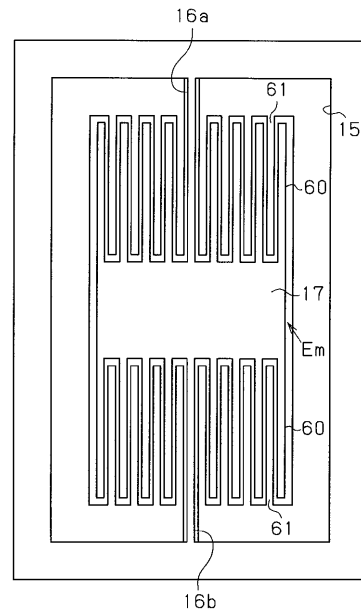
【 図 2 4 】



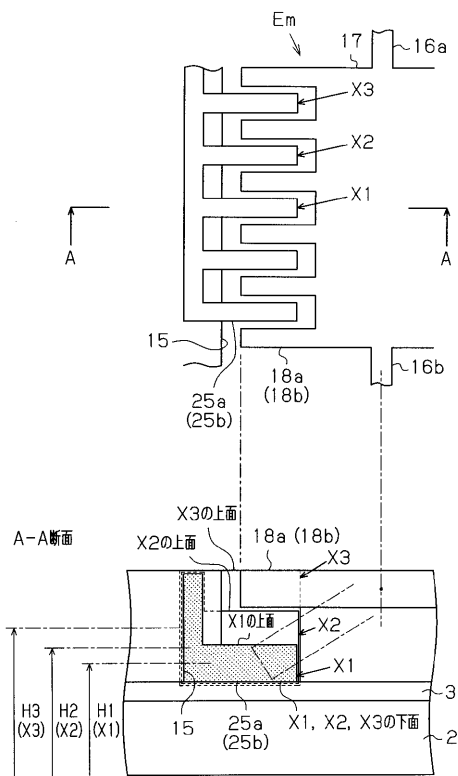
【図 26】



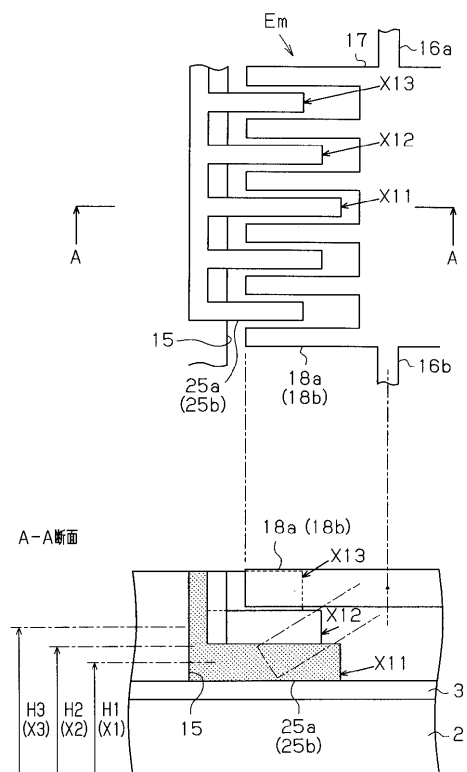
【図 27】



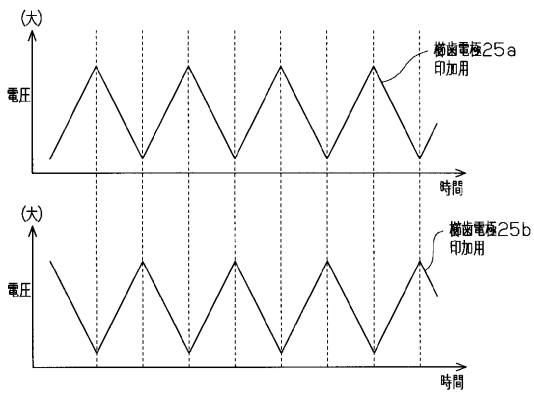
【図 28】



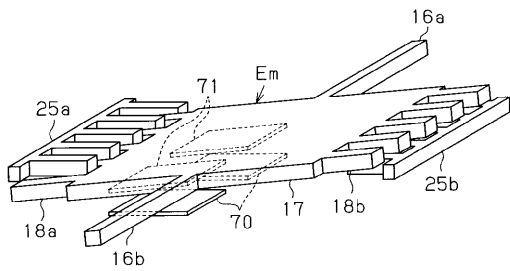
【図 29】



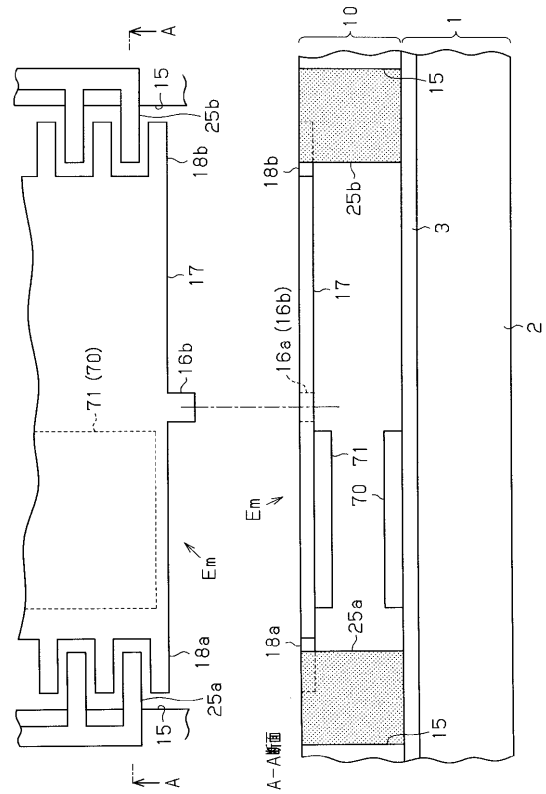
【図30】



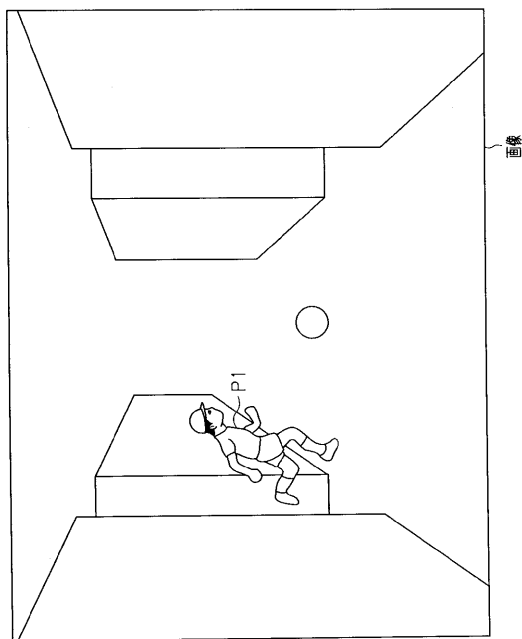
【図31】



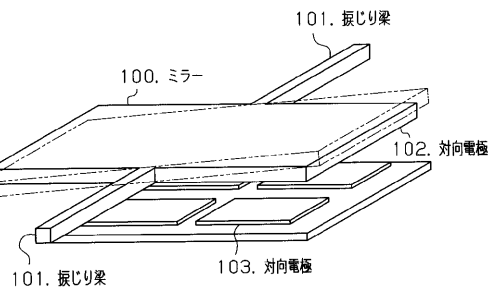
【図32】



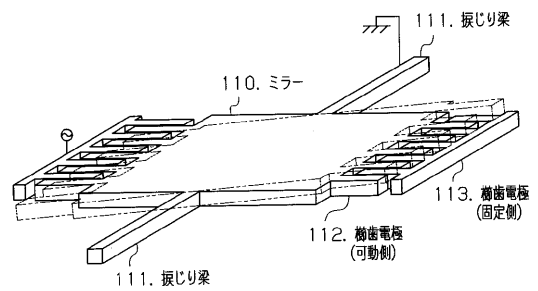
【図33】



【図34】



【図35】



【 図 3 6 】



【 図 3 7 】

