

(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2006-294591

(P2006-294591A)

(43) 公開日 平成18年10月26日(2006.10.26)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
H01H 59/00 (2006.01)	H01H 59/00	
H01H 49/00 (2006.01)	H01H 49/00	L
B81B 3/00 (2006.01)	B81B 3/00	
B81C 1/00 (2006.01)	B81C 1/00	

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 32 頁)

(21) 出願番号	特願2006-16973 (P2006-16973)	(71) 出願人	000002945 オムロン株式会社
(22) 出願日	平成18年1月25日 (2006.1.25)		京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町 801番地
(31) 優先権主張番号	特願2005-71729 (P2005-71729)	(74) 代理人	100127030 弁理士 増井 義久
(32) 優先日	平成17年3月14日 (2005.3.14)	(74) 代理人	100125944 弁理士 比村 潤相
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(72) 発明者	増田 貴弘 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不 動堂町801番地 オムロン株式会社内
		(72) 発明者	積 知範 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不 動堂町801番地 オムロン株式会社内

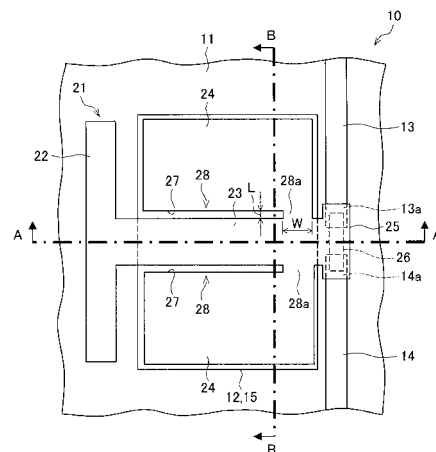
(54) 【発明の名称】 静電マイクロ接点開閉器およびその製造方法、ならびに静電マイクロ接点開閉器を用いた装置

(57) 【要約】

【課題】従来と同等の復帰力を確保しつつ、接触力の向上、印加電圧の低減、および／または、電極の寸法の縮小を実現する。

【解決手段】静電マイクロリレー10は、ベース11に設けた固定電極12と、アクチュエータ21の可動電極24との間に電圧を印加して生じる静電引力で可動電極24を駆動し、ベース11に設けた固定接点13a・14aにアクチュエータ21に設けた可動接点26を接離させて電気回路を開閉する。アクチュエータ21は、ベース11に立設する支持部22と、支持部22から側方に延在し、可動電極24および可動接点26を弾性支持する梁部23とを備える。梁部23は、支持部22の側から可動電極24および可動接点26の順番で弾性支持している。梁部23と可動電極24とを接続する接続部28は、支持部22の側からスリット27が形成されている。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ベースに設けた固定電極と、アクチュエータの可動電極との間に電圧を印加して生じる静電引力で前記可動電極を駆動し、前記ベースに設けた固定接点に前記アクチュエータに設けた可動接点を接離させて電気回路を開閉する静電マイクロ接点開閉器において、

前記アクチュエータは、前記ベースに立設する支持部と、該支持部から側方に延在し、接続部を介して前記可動電極を弾性支持するとともに、前記可動接点を弾性支持する梁部とを備えており、

該梁部は、前記支持部の側から前記可動電極および前記可動接点の順番で弾性支持しており、

10

前記梁部と前記可動電極とを接続する前記接続部には、前記支持部の側からスリットが形成されていることを特徴とする静電マイクロ接点開閉器。

【請求項 2】

前記スリットの長さは、前記接続部の長さの約 37% 以上であることを特徴とする請求項 1 に記載の静電マイクロ接点開閉器。

【請求項 3】

前記スリットの長さは、前記接続部の長さの約 60% 以上であることを特徴とする請求項 2 に記載の静電マイクロ接点開閉器。

【請求項 4】

前記スリットの長さは、前記接続部の長さの約 70% 乃至約 90% であることを特徴とする請求項 3 に記載の静電マイクロ接点開閉器。

20

【請求項 5】

ベースに設けた固定電極と、アクチュエータの可動電極との間に電圧を印加して生じる静電引力で前記可動電極を駆動し、前記ベースに設けた固定接点に前記アクチュエータに設けた可動接点を接離させて電気回路を開閉する静電マイクロ接点開閉器において、

前記アクチュエータは、前記ベースに立設する支持部と、該支持部から側方に延在し、接続部を介して前記可動電極を弾性支持するとともに、前記可動接点を弾性支持する梁部とを備えており、

該梁部は、前記支持部の側から前記可動電極および前記可動接点の順番で弾性支持しており、

30

前記梁部と前記可動電極とを接続する前記接続部は、前記梁部と同様の材質および厚さ、または、前記可動電極と同様の材質および厚さで形成されたものに比べて、弾性定数が小さいことを特徴とする静電マイクロ接点開閉器。

【請求項 6】

前記接続部は、前記梁部および前記可動電極に比べて、薄くなっていることを特徴とする請求項 5 に記載の静電マイクロ接点開閉器。

【請求項 7】

前記接続部は、前記梁部および前記可動電極に比べて、材質および／または構造が異なることを特徴とする請求項 1 ないし 6 の何れか 1 項に記載の静電マイクロ接点開閉器。

【請求項 8】

電気回路の開閉を行うために、請求項 1 ないし 7 の何れか 1 項に記載の静電マイクロ接点開閉器を備えた装置。

40

【請求項 9】

ベースに設けた固定電極と、アクチュエータの可動電極との間に電圧を印加して生じる静電引力で前記可動電極を駆動し、前記ベースに設けた固定接点に前記アクチュエータに設けた可動接点を接離させて電気回路を開閉する静電マイクロ接点開閉器であって、前記アクチュエータは、前記ベースに立設する支持部と、該支持部から側方に延在し、接続部を介して前記可動電極を弾性支持するとともに、前記可動接点を弾性支持する梁部とを備える静電マイクロ接点開閉器の製造方法において、

前記ベースとなるガラス基板に、前記アクチュエータとなる S O I ウエハを接合し、

50

前記ＳＯＩウエハをエッチングして酸化シリコン膜を露出させ、

前記梁部と前記可動電極とを接続する前記接続部に対応する領域以外の領域をエッチングして、酸化シリコン膜を除去することを特徴とする静電マイクロ接点開閉器の製造方法。

【請求項１０】

ベースに設けた固定電極と、アクチュエータの可動電極との間に電圧を印加して生じる静電引力で前記可動電極を駆動し、前記ベースに設けた固定接点に前記アクチュエータに設けた可動接点を接離させて電気回路を開閉する静電マイクロ接点開閉器であって、前記アクチュエータは、前記ベースに立設する支持部と、該支持部から側方に延在し、接続部を介して前記可動電極を弾性支持するとともに、前記可動接点を弾性支持する梁部とを備える静電マイクロ接点開閉器の製造方法において、

前記アクチュエータとなるＳＯＩウエハに対しエッチングを行って前記支持部を形成し、

前記梁部と前記可動電極とを接続する前記接続部に対応する領域に金属膜をパターン形成することを特徴とする静電マイクロ接点開閉器の製造方法。

【請求項１１】

ベースに設けた固定電極と、アクチュエータの可動電極との間に電圧を印加して生じる静電引力で前記可動電極を駆動し、前記ベースに設けた固定接点に前記アクチュエータに設けた可動接点を接離させて電気回路を開閉する静電マイクロ接点開閉器であって、前記アクチュエータは、前記ベースに立設する支持部と、該支持部から側方に延在し、接続部を介して前記可動電極を弾性支持するとともに、前記可動接点を弾性支持する梁部とを備える静電マイクロ接点開閉器の製造方法において、

前記アクチュエータとなるＳＯＩウエハに対しエッチングを行って前記支持部を形成し、

前記ＳＯＩウエハに対し、前記梁部と前記可動電極とを接続する前記接続部に対応する領域にエッチングを行って酸化シリコン膜を露出させ、

前記接続部に対応する領域に金属膜を形成することを特徴とする静電マイクロ接点開閉器の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、静電引力によって接点どうしを接離させることにより電気回路を開閉する静電マイクロ接点開閉器およびその製造方法、ならびに静電マイクロ接点開閉器を用いた装置に関するものである。特に、本発明は、静電マイクロ接点開閉器におけるアクチュエータの構造に関するものである。

【背景技術】

【０００２】

静電マイクロ接点開閉器の一種である静電マイクロリレーの従来例について、図４０～図４５を参照しつつ説明する。図４０は、従来の静電マイクロリレーの概要を示している。静電マイクロリレー１００は、ベース１０１と、一部がベース１０１の上面に固定され、他部がベース１０１から離間しているアクチュエータ１１１とを備える構成である。なお、図中同じ部材には同じ符号を付している。

【０００３】

ベース１０１の上面には、固定電極１０２と、２つの信号線１０３・１０４とが設けられている。２つの信号線１０３・１０４は、同一直線上に僅かに離間して配置され、信号線１０３・１０４の対向部分がそれぞれ固定接点１０３ａ・１０４ａとなる。

【０００４】

アクチュエータ１１１は、支持部１１２、梁部１１３、可動電極１１４、および可動接点部１１５を備える構成である。支持部１１２は、ベース１０１の上面に立設され、梁部１１３、可動電極１１４、および可動接点部１１５を支持するものである。梁部１１３は

、支持部 112 から側方に延在し、接続部 118 を介して可動電極 114 を弾性支持すると共に、可動接点部 115 を弾性支持するものである。梁部 113 の先端には可動接点部 115 が設けられ、梁部 113 の両側には接続部 118・118 を介して可動電極 114・114 が設けられる。なお、接続部 118 の厚さと、梁部 113 および可動電極 114 の厚さとは同じである。

【0005】

可動電極 114・114 は、ベース 101 の固定電極 102 と対向する位置に設けられる。なお、固定電極 102 と可動電極 114 との短絡を防止するため、固定電極 12 上に絶縁膜 105 が形成されている。可動接点部 115 は、固定接点 103a から固定接点 104a までの領域に対向する位置に設けられ、可動接点部 115 の下面には可動接点 116 が設けられる。可動接点 116 は、各固定接点 103a, 104a と対向し、両固定接点 103a, 104a と閉成することにより、信号線 103, 104 を互いに電氣的に接続するようになっている。 10

【0006】

図 41 (a)・(b) は、固定電極 102 と可動電極 114 との間に電圧を印加していない状態を示している。この場合、図示のように、可動接点 116 と固定接点 103a・104a とが離間しており、信号線 103, 104 を互いに電氣的に分離している。

【0007】

図 42 (a)・(b) は、固定電極 102 と可動電極 114 との間に電圧を印加している状態を示している。この場合、図示のように、上記電圧の印加により発生する静電引力で、可動電極 114 が固定電極 102 側に駆動される。これにより、可動接点 116 と固定接点 103a・104a とが接触して、信号線 103, 104 を互いに電氣的に接続する。このとき、可動接点 116 と固定接点 103a・104a との間の接触抵抗を安定させるような接触力を、上記静電引力により可動接点部 115 に与える必要がある。 20

【0008】

次に、固定電極 102 と可動電極 114 との間の電圧を無くすと、静電引力が消滅し、梁部 113 および可動電極 114 の復元力により、アクチュエータ 111 は、図 41 (a)・(b) に示す元の位置に戻る。このとき、可動接点 116 と固定接点 103a・104a との付着力よりも大きな復元力を可動接点部 115 に与える必要がある。なお、以下では、可動接点部 115 に働く復元力を「復帰力」と称する。この復帰力は、梁部 113 の弾性定数と、接続部 118 の弾性定数と、可動接点 115 および固定接点 103a, 104a の接点間距離とによって決まるものである。 30

【0009】

次に、電圧の印加による可動電極の動作について、図 43 および図 44 を参照しつつ説明する。図 43 は、図 40 に示す従来の静電マイクロリレー 100 の要部を示している。また、図 44 (a)～(d) は、図 43 に示す R-R 線、すなわち、可動電極 114 から可動接点部 115 にかけて断面した図であり、可動電極 114 が静電引力により移動する様子を示している。

【0010】

従来の可動電極 114 の動作は下記の通りである。すなわち、電圧無印加時では、可動電極 114 は図 44 (a) に示す配置となる。そして、電圧を印加すると、まず同図 (b) に示すように、可動電極 114 の外側が静電引力により固定電極 102 側に撓む。電極間の静電引力 F_{e1e} は次式で表される。 40

$$F_{e1e} = (C \times V_s^2) / (2 \times d) \quad \cdots (11)$$

ここで、C は電気容量であり、 V_s は印加電圧であり、d は電極間の距離である。

【0011】

可動電極 114 が撓むことにより、可動電極 114 および固定電極 102 間の距離が小さくなって、上記式 (11) から静電引力が増加することになる。これにより、同図 (c) に示すように、可動電極 114 および可動接点部 115 がベース 101 の側に移動する。 50

【0012】

可動電極114がベース101側に移動することにより、可動電極114および固定電極102間の距離がさらに小さくなって、上記式(3)から静電引力がさらに増加することになる。これにより、同図(d)に示すように、可動電極114および可動接点部115がベース101の側にさらに移動して、可動接点116が固定接点103aと接触する。

【0013】

次に、電圧の印加によるアクチュエータ111の変位量について図45を参照しつつ説明する。図45は、従来のアクチュエータ111に対し電圧を印加した場合における変位量のシミュレーション結果を示している。図示において、変位量の等しい点を等高線で結んでおり、可動電極114の輪郭と等高線とで囲まれた領域における変位量の概要をドットの密度で示している。すなわち、ドットの無い領域は、変位量がほぼゼロである状態を示しており、ドットの密度が最も高い領域は、可動電極114が固定電極102に接着している状態を示している。

10

【0014】

図45を参照すると、従来の可動電極114は、変位量が少なく、大部分が固定電極102に接着していないことが理解できる。

【特許文献1】特開平11-111146号公報(1999年4月23日公開)

【特許文献2】特開平11-134998号公報(1999年5月21日公開)

【発明の開示】

20

【発明が解決しようとする課題】

【0015】

上述のように、静電マイクロリレー100を正常に動作させるには、十分な接触力と復帰力とが必要である。接触力を大きくするには、固定電極102および可動電極114の間に電圧を印加することによって発生する静電引力を大きくすればよい。静電引力を大きくするには、下記の3つの方法が考えられる。すなわち、

(方法a) 梁部113および可動電極114に関して、平面視したときの形状を変えることなく厚さを薄くすることにより弾性定数を小さくして、電圧印加時の固定電極102および可動電極114間の距離をできる限り小さくする。

(方法b) 印加する電圧を上昇する。

30

(方法c) 固定電極102および可動電極114の寸法を拡大する。

【0016】

しかしながら、方法aによって弾性定数を小さくすると、復帰力も小さくなるため、電圧の印加を止めた後でも、可動接点116と固定接点103a・104aとが付着し続ける虞がある。また、方法bおよび方法cの場合、低電圧化および小型化という技術的進歩の流れに逆行することになる。

【0017】

本発明は、上記の問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、復帰力を維持しつつ、接触力の向上、印加電圧の低減、および／または、電極の寸法の縮小を実現することができる静電マイクロ接点開閉器などを提供することにある。

40

【課題を解決するための手段】

【0018】

本発明に係る静電マイクロ接点開閉器は、ベースに設けた固定電極と、アクチュエータの可動電極との間に電圧を印加して生じる静電引力で前記可動電極を駆動し、前記ベースに設けた固定接点に前記アクチュエータに設けた可動接点を接離させて電気回路を開閉する静電マイクロ接点開閉器において、上記課題を解決するため、前記アクチュエータは、前記ベースに立設する支持部と、該支持部から側方に延在し、接続部を介して前記可動電極を弾性支持するとともに、前記可動接点を弾性支持する梁部とを備えており、該梁部は、前記支持部の側から前記可動電極および前記可動接点の順番で弾性支持しており、前記梁部と前記可動電極とを接続する前記接続部には、前記支持部の側からスリットが形成さ

50

れていることを特徴としている。

【0019】

上記の構成によると、接続部にスリットが形成されているから、接続部における実際の接続部分、すなわち梁部と可動電極とを実際に接続している部分の長さが従来よりも短くなる。これにより、梁部によって支持される接続部の弾性定数が小さくなるので、静電引力による可動電極の変位量が大きくなり、可動電極および固定電極間の距離が短くなって、静電引力がさらに増大する。また、静電引力が増大することにより、可動電極が接続部を介して梁部に加える力が増大し、梁部に支持された可動接点が、固定接点に加える接触力が増大する。

【0020】

従って、復帰力を維持したまま、接続部の弾性定数を小さくして、静電引力を増大させることができる。これにより、従来と同等の復帰力を確保しつつ接触力を向上することができる。なお、接触力が従来と同等でよい場合には、静電引力を低減できるので、印加電圧を低減することができ、かつ／または、電極の寸法を縮小することができる。

【0021】

なお、前記スリットの長さが前記接続部の長さの約37%以上である場合、接触力が著しく増大するので好ましい。また、前記スリットの長さが前記接続部の長さの約60%以上である場合、接触力が最大付近となるので特に好ましい。そして、前記スリットの長さが前記接続部の長さの約70%乃至約90%である場合、製造時のばらつきや接続部における実際の接続部分での強度を確保する観点から最も好ましい。

【0022】

本発明に係る静電マイクロ接点開閉器は、上記課題を解決するため、前記アクチュエータは、前記ベースに立設する支持部と、該支持部から側方に延在し、接続部を介して前記可動電極を弾性支持するとともに、前記可動接点を弾性支持する梁部とを備えており、該梁部は、前記支持部の側から前記可動電極および前記可動接点の順番で弾性支持しており、前記梁部と前記可動電極とを接続する前記接続部は、前記梁部または前記可動電極を延在して形成した前記接続部に比べて、弾性定数が小さいことを特徴としている。

【0023】

上記の構成によると、接続部は、梁部または可動電極を延在して形成した従来の接続部に比べて、弾性定数が小さいから撓み易い。これにより、静電引力による可動電極の変位量が大きくなり、可動電極および固定電極間の距離が短くなって、静電引力がさらに増大する。また、静電引力が増大することにより、可動電極が接続部を介して梁部に加える力が増大し、梁部に支持された可動接点が、固定接点に加える接触力が増大する。

【0024】

従って、復帰力を維持したまま、接続部の弾性定数を小さくすることにより、静電引力を増大させることができる。これにより、従来と同等の復帰力を確保しつつ接触力を向上することができる。なお、接触力が従来と同等でよい場合には、静電引力を低減できるので、印加電圧を低減することができ、かつ／または、電極の寸法を縮小することができる。

【0025】

なお、接続部の弾性定数を、上記従来の接続部の弾性定数に比べて小さくするには、梁部および可動電極に比べて接続部を薄くすることが考えられる。

【0026】

また、前記接続部は、前記梁部および前記可動電極に比べて、材質および／または構造が異なってもよい。この場合、接続部の幅や厚みを容易に変更できるので、接続部の設計の自由度が向上する。

【0027】

なお、上記構成の接続部を有する静電マイクロ接点開閉器を製造するには、前記ベースとなるガラス基板に、前記アクチュエータとなるSOIウエハを接合し、前記SOIウエハをエッチングして酸化シリコン膜を露出させ、前記接続部に対応する領域以外の領域を

10

20

30

40

50

エッチングして、酸化シリコン膜を除去すればよい。或いは、前記ＳＯＩウエハに対しエッチングを行って前記支持部を形成し、前記接続部に対応する領域に金属膜をパターン形成すればよい。或いは、前記ＳＯＩウエハに対しエッチングを行って前記支持部を形成し、前記ＳＯＩウエハに対し、前記接続部に対応する領域にエッチングを行って酸化シリコン膜を露出させ、前記接続部に対応する領域に金属膜を形成すればよい。

【００２８】

また、電気回路の開閉を行うために、上記構成の静電マイクロ接点開閉器を備えた装置でも、上述の作用効果を奏することができる。なお、上記装置の例としては、上記構成の静電マイクロ接点開閉器を、アンテナと内部回路との間の信号線を開閉するように設けた無線通信機、上記構成の静電マイクロ接点開閉器を、測定対象物と内部回路との間の信号線を開閉するように設けた計測器、上記構成の静電マイクロ接点開閉器を、対象装置の温度に基づいて、該装置の内部回路への給電線を開閉するように設けた温度管理装置、および、上記構成の静電マイクロ接点開閉器を、内部の電気信号を開閉するように設けた携帯情報端末が挙げられる。

【発明の効果】

【００２９】

以上のように、本発明に係る静電マイクロ接点開閉器は、接続部にスリットを形成したり、接続部の弾性定数を従来の接続部に比べて小さくしたりすることにより、静電引力による可動電極の変位量を大きくできるので、従来と同等の復帰力を確保しつつ、接触力の向上、印加電圧の低減、および／または、電極の寸法の縮小を実現することができるという効果を奏する。

【発明を実施するための最良の形態】

【００３０】

〔実施の形態１〕

本発明の一実施形態について図１～図５を参照しつつ説明する。図１は、本実施形態の静電マイクロリレー（静電マイクロ接点開閉器）の概要を示している。静電マイクロリレー１０は、ベース１１と、一部がベース１１の上面に固定され、他部がベース１１から離間しているアクチュエータ２１とを備える構成である。なお、図中同じ部材には同じ符号を付している。また、図面では、本願発明を理解し易くするため、所要の部分を強調して記載している。このため、図面に記載の静電マイクロリレー１０の各種寸法は、実際の静電マイクロリレー１０の各種寸法を反映しているとは限らない。

【００３１】

ベース１１は、バイレックス（登録商標）などのガラス基板によって構成される。ベース１１の上面には、金、銅、アルミニウムなどの導電体により、固定電極１２と、２つの信号線１３・１４とが形成されている。２つの信号線１３・１４は、同一直線上に僅かに離間して配置され、信号線１３・１４の対向部分がそれぞれ固定接点１３ａ・１４ａとなる。また、固定電極１２と可動電極２４との短絡を防止するため、固定電極１２上に絶縁膜１５が形成されている。

【００３２】

アクチュエータ２１は、シリコンなどの半導体基板によって構成され、支持部２２、梁部２３、可動電極２４、および可動接点部２５を備える構成である。支持部２２は、ベース１１の上面に立設され、梁部２３、可動電極２４、および可動接点部２５を支持するものである。梁部２３は、支持部２２から側方に延在し、接続部２８を介して可動電極２４を弾性支持すると共に、可動接点部２５を弾性支持するものである。梁部２３の先端には可動接点部２５が設けられ、梁部２３の両側には接続部２８・２８を介して可動電極２４・２４が設けられる。なお、本実施形態では、接続部２８の厚さと、梁部２３および可動電極２４の厚さとは同じである。

【００３３】

可動電極２４・２４は、ベース１１の固定電極１２と対向する位置に設けられる。本実施形態では、可動電極２４・２４と梁部２３との間の接続部２８には、支持部２２側から

スリット 27・27 が形成されている。従って、可動電極 24・24 と梁部 23 とは、可動接点部 25 側で接続することになる。

【0034】

可動接点部 25 は、固定接点 13a から固定接点 14a までの領域に対向する位置に設けられる。また、可動接点部 25 の下面には、絶縁膜（図示せず）が形成され、該絶縁膜上に、導電体からなる可動接点 26 が設けられる。可動接点 26 は、各固定接点 13a・14a と対向し、両固定接点 13a・14a と閉成することにより、信号線 13・14 を互いに電氣的に接続するようになっている。

【0035】

このように、本実施形態の静電マイクロリレー 10 は、可動接点 26 が 2 箇所の固定接点 13a・14a と接離するダブルブレイク構造となっている。また、本実施形態におけるアクチュエータ 21 は、可動接点部 25 を片側から支持しているもので、「片持ち型（カンチレバー型）アクチュエータ」と呼ばれている。

【0036】

図 2（a）・（b）は、固定電極 12 と可動電極 24 との間に電圧を印加していない状態を示している。この場合、図示のように、可動接点 26 と固定接点 13a・14a とが離間しており、信号線 13，14 を互いに電氣的に分離している。

【0037】

図 3（a）・（b）は、固定電極 12 と可動電極 24 との間に電圧を印加している状態を示している。この場合、図示のように、上記電圧の印加により発生する静電引力で、可動電極 24 が固定電極 12 側に駆動される。これにより、可動接点 26 と固定接点 13a・14a とが接触して、信号線 13，14 を互いに電氣的に接続する。

【0038】

本実施形態では、梁部 23 と可動電極 24・24 とは、可動接点部 25 側で接続しており、支持部 22 側でスリット 27 により離間している。これにより、図 3（a）・（b）に示すように、可動電極 24・24 は、可動接点部 25 側を除く大部分で、絶縁膜 15 を介して固定電極 12 と接着することになる。この場合、可動電極 24 および固定電極 12 における静電引力は、可動電極 24 および固定電極 12 間の距離の 2 乗に反比例するから、著しく大きくなる。これにより、梁部 23 の弾性定数を大きくしても、可動接点部 25 に与える接触力を大きくでき、可動接点 26 と固定接点 13a・14a との間の接触抵抗を安定させることができる。

【0039】

次に、固定電極 12 と可動電極 24 との間の電圧を無くすと、静電引力が消滅し、梁部 23 および可動電極 24 の復元力により、アクチュエータ 21 は、図 2（a）・（b）に示す元の位置に戻る。本実施形態では、上述のように、梁部 23 の弾性定数を大きくできるので、梁部 23 が可動接点部 25 に与える復帰力を大きくでき、可動接点 26 と固定接点 13a・14a との付着を防止することができる。

【0040】

次に、本実施形態における可動電極 24 の各種特性について検討する。電圧の印加による可動電極 24 の変位量は、梁部 23 と可動電極 24 とを接続する接続部 28 の弾性定数に依存する。接続部 28 の弾性定数 k は次式で表される。

$$k \propto W \times H^3 / L^3 \quad \cdots (1)$$

ここで、 W は、接続部 28 において可動電極 24 と梁部 23 とを接続する実際の接続部分 28a の長さであり、 L は、実際の接続部分 28a における可動電極 24 と梁部 23 との間の幅であり、 H は、可動電極 24 の厚さである。図 1 には、記号 $W \cdot L$ を記載しており、図 2（b）には、記号 H を記載している。

【0041】

ところで、固定電極 12 に可動電極 24 を十分に引き付けるのに必要な印加電圧を示す指標として、プルイン（Pull in）電圧がある。プルイン電圧は、可動平行平板電極の電極間距離が初期の $2/3$ 以下になる電圧をいう。プルイン電圧が低いと、固定電極 12 に

可動電極 24 の大部分を接着するのに必要な印加電圧も低くなる。

【0042】

上記のプルイン (Pull in) 電圧 V_{pi} は次式で表される。

$$V_{pi} = \left((8 \times k \times d_0^3) / (27 \times \varepsilon \times S) \right)^{1/2} \dots (2)。$$

ここで、 d_0 は電圧無印加時の電極間の距離であり、 ε は電極間の誘電率であり、 S は電極面積である。

【0043】

また、電極間の静電引力 F_{e1e} は次式で表される。

$$F_{e1e} = (C \times V_s^2) / (2 \times d) \dots (3)。$$

ここで、 C は電気容量であり、 V_s は印加電圧であり、 d は電極間の距離である。

10

【0044】

図 1 および図 2 (b) と、図 40 および図 41 (b) とを比較すると、本実施形態の静電マイクロリレー 10 では、従来の静電マイクロリレー 100 に比べて、幅 L および厚さ H が等しいが、実際の接続部分 28a の長さ W が、従来の実際の接続部分の長さ、すなわち従来の接続部 118 の長さ W よりも短いことが理解できる。従って、上記式 (1) より、本実施形態の接続部 28 は、従来の接続部 118 に比べて、弾性定数を小さくすることができる。さらに、上記式 (2) より、可動電極 24 の寸法を大きくすることなく、プルイン電圧を下げるができる。

【0045】

次に、電圧の印加による可動電極 24 の動作について、図 4 および図 5 を参照しつつ説明する。図 4 は、図 1 に示す本実施形態の静電マイクロリレー 10 の要部を示している。また、図 5 (a) ~ (d) は、図 4 に示す C-C 線、すなわち、可動電極 24 から可動接点部 25 にかけて断面した図であり、可動電極 24 が静電引力により移動する様子を示している。

20

【0046】

本実施形態の可動電極 24 の動作は下記の通りである。すなわち、電圧無印加時では、可動電極 24 は図 5 (a) に示す配置となる。そして、電圧を印加すると、まず同図 (b) に示すように、可動電極 24 の外側が静電引力により固定電極 12 側に変位する。このとき、上述のように、接続部 28 は、弾性定数が小さく、撓み量が多いので、可動電極 24 は、変位量が大きく、先端部が絶縁膜 15 を介して固定電極 12 に接着する。

30

【0047】

可動電極 24 の変位量が大きいことにより、可動電極 24 および固定電極 12 間の距離が小さくなって、上記式 (3) により静電引力が増加する。これにより、同図 (c) に示すように、可動電極 24 および可動接点部 25 がベース 11 の側に移動する。このとき、接続部 28 の撓み量が多いため、上記電極間の距離の減少量が多く、静電引力の増加量が多い。このため、可動電極 24 および可動接点部 25 の変位量が多く、可動電極 24 の半分が絶縁膜 15 を介して固定電極 12 に接着するとともに、可動接点 26 が固定接点 13a と接触する。

【0048】

可動電極 24 がベース 11 側に移動することにより、可動電極 24 および固定電極 12 間の距離がさらに小さくなって、上記式 (3) により静電引力がさらに増加する。これにより、同図 (d) に示すように、可動電極 24 および可動接点部 25 がベース 11 の側にさらに移動する。これにより、可動電極 24 は、大部分が絶縁膜 15 を介して固定電極 12 に接着するので、可動電極 24 に働く静電引力が著しく大きくなり、可動接点 26 と固定接点 13a との接触力が大きくなって、接触抵抗が安定する。

40

【0049】

従って、復帰力を維持したまま、接続部 28 の弾性定数を小さくすることにより、静電引力を増大させることができる。これにより、従来と同等の復帰力を確保しつつ接触力を向上することができる。なお、接触力が従来と同等でよい場合には、静電引力を低減できるので、印加電圧を低減したり、可動電極 24 の寸法を縮小したりすることができる。

50

【0050】

なお、本実施形態では、梁部23の両側に可動電極24・24を設けているが、図4に示すように、梁部23の片側のみに可動電極24を設けても良い。しかしながら、可動接点部25をベース11に対して傾くことなく移動させるために、梁部23の両側に可動電極24・24を設けることが望ましい。

【0051】

(実施例1)

次に、本実施形態の静電マイクロリレー10の具体例について図6～図9を参照しつつ説明する。なお、以下では、梁部23の長手方向を縦方向とし、短手方向を幅方向とする。本実施例の静電マイクロリレー10では、ベース11はガラス基板によって構成され、固定電極12、信号線13・14は、Auによって形成され、アクチュエータ21はシリコン半導体基板によって構成され、可動接点26はAuによって形成されている。

10

【0052】

また、本実施例の静電マイクロリレー10における各種寸法は以下の通りである。すなわち、梁部23では、丈(縦方向の長さ)が450 μ mであり、幅(幅方向の長さ)が120 μ mである。また、可動電極24は、丈が410 μ mであり、幅が500 μ mである。また、接続部28は、丈が可動電極24と同じ410 μ mであり、幅が40 μ mである。接続部28のうち、スリット27の丈が310 μ mであり、実際の接続部分28aの丈Wが100 μ mである。また、梁部23、可動電極24、可動接点部25、および接続部28の厚さHは21.15 μ mである。また、電圧の無印加時において、固定電極12および可動電極24間の距離は1.2 μ mであり、固定接点13a・14aおよび可動接点26間の距離は1.0 μ mである。

20

【0053】

図6は、本実施例の静電マイクロリレー10に関して、20Vの電圧を印加した場合におけるアクチュエータ21の変位量のシミュレーション結果を示している。図示において、変位量の等しい点を等高線で結んでおり、可動電極24の輪郭と等高線とで囲まれた領域における変位量の概要をドットの密度で示している。すなわち、ドットの無い領域は、変位量がほぼゼロである状態を示しており、ドットの密度が最も高い領域は、可動電極24が固定電極12に接着している状態を示している。

【0054】

図6を参照すると、本実施形態の可動電極24は、変位量が多く、ほぼ全てが固定電極12に接着していることが理解できる。従って、固定電極12および可動電極24間の静電引力により、可動接点26が固定接点13a・14aを押圧する力が従来に比べて大きくなるので、接触力が大きくなることが理解できる。

30

【0055】

次に、本実施例および比較例の接触力について、図7～図9を参照しつつ、より詳細に検討する。なお、比較例は、図40に示される従来の静電マイクロリレー100であって、スリット27を除く本実施例の上記寸法と同様の寸法を有するものである。なお、本実施例と比較例との復帰力を揃えるために、比較例の静電マイクロリレー100では、梁部113、可動電極114、および可動接点部115の厚さHを19.46 μ mとしている。すなわち、本実施例の静電マイクロリレー10では、従来と同程度の復帰力を確保するために、梁部23、可動電極24、可動接点部25、および接続部28の厚さHを増加させている。

40

【0056】

図7は、本実施例の静電マイクロリレー10と比較例の静電マイクロリレー100とにおける印加電圧と接触力との関係を示すグラフである。同図を参照すると、本実施例の静電マイクロリレー10は、従来と同程度の復帰力で、接触力が従来よりも9倍程度と著しく向上することが理解できる。

【0057】

また、接触力がゼロよりも大きくなるということは、固定接点13a・14aと可動接

50

点 2 6 とが接触して、静電マイクロリレー 1 0 がオン状態となることを意味している。したがって、図 7 を参照すると、比較例では印加電圧が 1 7 V でオン状態になるのに対し、本実施例では印加電圧が 1 5 V でオン状態になることが理解できる。すなわち、本実施例の静電マイクロリレー 1 0 は、従来よりも低い印加電圧でオン状態になることが理解できる。

【0058】

また、図 7 を参照すると、印加電圧が 1 5 V である場合の本実施例の接触力は、印加電圧が 2 0 V である場合の比較例の接触力よりも大きい。したがって、従来と同程度の接触力 (0. 2 1 mN) でよい場合には、印加電圧を約 2 0 V から約 1 5 V に約 2 5 % 減少することができる。これは、電極面積を約半分にすることと等価である。その結果、従来よりも小型化および／または低電圧化が可能な静電マイクロリレー 1 0 を実現することができる。

10

【0059】

なお、上記式 (3) のように、静電引力は静電容量に比例するが、本実施例での静電容量は 2 9. 3 1 pF であり、比較例での静電容量は 7. 1 6 pF であった。したがって、本実施例の静電マイクロリレー 1 0 は、従来の静電マイクロリレー 1 0 0 に比べて、同じ印加電圧で静電引力が著しく向上することが理解できる。

【0060】

図 8 および図 9 は、本実施例の静電マイクロリレー 1 0 において、スリット 2 7 の丈と接触力との関係をそれぞれ表形式およびグラフで示している。図 9 のグラフを参照すると、スリット 2 7 の丈が 1 5 0 μm である位置から接触力が急激に上昇することが理解できる。したがって、スリット 2 7 の丈は、1 5 0 μm 以上、すなわち可動電極 2 4 の丈の約 3 7 % 以上であることが好ましい。

20

【0061】

さらに、図 9 のグラフを参照すると、スリット 2 7 の丈が 2 5 0 μm である場合に、接触力が最大となり、それ以降は接触力がほぼ同じであることが理解できる。したがって、スリット 2 7 の丈は、2 5 0 μm 以上、すなわち可動電極 2 4 の丈の約 6 0 % 以上であることが、安定した接触力を確保する上でより好ましい。その中でも製造時のばらつきや実際の接続部分 2 8 a での強度を考慮すると、スリット 2 7 の丈は、可動電極 2 4 の丈の約 7 0 ~ 約 9 0 % である 2 8 0 ~ 3 7 0 μm であることが特に好ましい。

30

【0062】

〔実施の形態 2〕

次に、本発明の別の実施形態について、図 1 0 を参照しつつ説明する。本実施形態の静電マイクロリレー 1 0 は、図 1 に示す静電マイクロリレー 1 0 に比べて、信号線 1 3・1 4 の両側に固定電極 1 2 を設けている点と、可動接点部 2 5 の両側に支持部 2 2、梁部 2 3、可動電極 2 4、および接続部 2 8 を設けている点のみが異なり、その他の構成は同様である。なお、上記実施形態で説明した構成と同様の機能を有する構成には同一の符号を付して、その説明を省略する。

【0063】

図 1 0 は、本実施形態の静電マイクロリレー 1 0 の概要を示すものである。なお、図示のアクチュエータ 2 1 は、可動接点部 2 5 を両側から支持するため、「両持ち型アクチュエータ」と呼ばれている。

40

【0064】

本実施形態の静電マイクロリレー 1 0 は、図 1 に示す静電マイクロリレー 1 0 と同様の作用効果を奏することができる。さらに、本実施形態の静電マイクロリレー 1 0 は、図 1 に示す静電マイクロリレー 1 0 に比べて、信号線 1 3・1 4 の両側に固定電極 1 2 などを載置するスペースを必要とするが、可動接点部 2 5 を、ベース 1 1 に対して略平行状態を維持しつつ、垂直方向に移動させることができるため、可動接点 2 6 と固定接点 1 3 a・1 4 a との接触を安定化させることができる。また、接触部分の偏摩耗を抑制することができる。

50

【0065】

(実施例2)

次に、本実施形態の静電マイクロリレー10の具体例について図11を参照しつつ説明する。本実施例の静電マイクロリレー10は、図1に示す静電マイクロリレー10の実施例に比べて、信号線13・14の両側に固定電極12を設けている点と、可動接点部25の両側に支持部22、梁部23、可動電極24、および接続部28を設けている点のみが異なり、構成要素の材質や各種寸法は同様である。

【0066】

図11は、本実施例の静電マイクロリレー10に関して、20Vの電圧を印加した場合における可動電極24の変位量のシミュレーション結果を示している。なお、図示の等高線やドットは図6と同様の意味である。 10

【0067】

図11を参照すると、本実施例の可動電極24は、変位量が多く、ほぼ全てが固定電極12に接着していることが理解できる。従って、固定電極12および可動電極24間の静電引力により、可動接点26が固定接点13a・14aを押圧する力が従来に比べて大きくなるので、接触力が大きくなることが理解できる。

【0068】

〔実施の形態3〕

次に、本発明のさらに別の実施形態について、図12～図19を参照しつつ説明する。本実施形態の静電マイクロリレー10は、図1に示す静電マイクロリレー10に比べて、接続部28における実際の接続部分のみが異なり、その他の構成は同様である。なお、上記実施形態で説明した構成と同様の機能を有する構成には同一の符号を付して、その説明を省略する。 20

【0069】

図12は、本実施形態の静電マイクロリレー10の概要を示すものである。図示のように、本実施形態の静電マイクロリレー10は、図1に示す静電マイクロリレー10に比べて、接続部28における実際の接続部分28bにおける材質および／または構造が、梁部23および可動電極24における材質および／または構造とは異なっている。これにより、実際の接続部分28bの材質および／または構造に応じて、実際の接続部分28bの幅や厚みを容易に変更できるので、実際の接続部分28bの設計の自由度が向上する。 30

【0070】

なお、実際の接続部分28bの構成例としては、実際の接続部分28bを積層膜にすることや、実際の接続部分28bに導電物を充填した後単層に削ることなどが挙げられる。

【0071】

次に、上記構成の静電マイクロリレー10の製造方法について図13～図15を参照しつつ説明する。

【0072】

図13(a)・(b)は、ベース11の製造工程の一例を示している。まず、同図(a)に示すように、パイレックス(登録商標)等のガラス基板11aを用意する。次に、同図(b)に示すように、ガラス基板11aに金属膜を形成し、固定電極12および信号線13・14をパターン形成する。なお、これと同時に、その他のプリント配線および接続用パッドをそれぞれパターン形成してもよい。そして、固定電極12に絶縁膜15を形成することにより、ベース11が完成する。なお、絶縁膜15として比誘電率3～4のシリコン酸化膜あるいは比誘電率7～8のシリコン窒化膜を用いれば、大きな静電引力が得られ、接触力を増加させることができる。 40

【0073】

図14(a)・(b)は、アクチュエータ21の製造工程の一例を示している。まず、同図(a)に示すように、SOI(Silicon on Insulator)ウエハ30を用意する。次に、同図(b)に示すように、例えば、シリコン酸化膜をマスクとするTMAH(Tetramethyl ammonium hydroxide)によるウェットエッチングを行い、支持部22を形成する。そ 50

して、絶縁膜および金属膜を形成して、可動接点 26 をパターン形成する。

【0074】

図 15 (a) ~ (c) は、ベース 11 およびアクチュエータ 21 の接続工程の一例を示している。まず、同図 (a) に示すように、ベース 11 に SOI ウエハ 30 を陽極接合で接合一体化する。次に、同図 (b) に示すように、SOI ウエハ 30 の上面を TMAH, KOH 等のアルカリエッチング液で酸化シリコン (SiO₂) 膜 31 までエッチングして薄くする。さらに、同図 (c) に示すように、接続部 28 の実際の接続部分 28b に対応する領域以外の酸化シリコン膜 31 をフッ素系エッチング液で除去して梁部 23、可動電極 24、および可動接点部 25 を露出させる。次に、RIE (Reactive Ion Etching) 等を用いたドライエッチングで型抜きエッチングを行い、スリット 27・27 や種々の切欠き部 (図示せず) を形成し、静電マイクロリレー 10 が完成する。 10

【0075】

従って、図 13 ~ 図 15 に示す製造方法により製造された接続部 28 の実際の接続部分 28b は、図 15 (c) に示すように、梁部 23 および可動電極 24 と同様のシリコン層上に、圧縮応力膜の酸化シリコン膜 31 が形成された積層構造となる。

【0076】

次に、上記構成の静電マイクロリレー 10 の別の製造方法について図 16 および図 17 を参照しつつ説明する。なお、ベース 11 の製造工程は図 13 に示す製造工程と同様であるので、その説明を省略する。

【0077】

図 16 (a) ~ (c) は、アクチュエータ 21 の製造工程の一例を示している。まず、同図 (a) に示すように、SOI ウエハ 30 を用意する。次に、同図 (b) に示すように、SOI ウエハ 30 の上面から、例えば、シリコン酸化膜をマスクとする TMAH によるウェットエッチングを行い、支持部 22 を形成する。そして、同図 (c) に示すように、絶縁膜および金属膜を形成して、可動接点 26 をパターン形成する。これと同時に、接続部 28 の実際の接続部分 28b に対応する領域にも、金属膜をパターン形成する。 20

【0078】

図 17 (a) ・ (b) は、ベース 11 およびアクチュエータ 21 の接続工程の一例を示している。まず、同図 (a) に示すように、ベース 11 に SOI ウエハ 30 を陽極接合で接合一体化する。次に、同図 (b) に示すように、SOI ウエハ 30 の上面を TMAH, KOH 等のアルカリエッチング液で酸化シリコン膜 31 までエッチングして薄くし、さらに、フッ素系エッチング液で酸化シリコン膜 31 を除去して梁部 23、可動電極 24、および可動接点部 25 を露出させる。次に、RIE 等を用いたドライエッチングで型抜きエッチングを行い、スリット 27・27 や種々の切欠き部 (図示せず) を形成し、静電マイクロリレー 10 が完成する。 30

【0079】

従って、図 16 および図 17 に示す製造方法により製造された接続部 28 の実際の接続部分 28b は、図 17 (b) に示すように、梁部 23 および可動電極 24 と同様のシリコン層と、ベース 11 側に形成された金属膜 32 とからなる積層構造となる。

【0080】

次に、上記構成の静電マイクロリレー 10 の他の製造方法について図 18 および図 19 を参照しつつ説明する。なお、ベース 11 の製造工程は図 13 に示す製造工程と同様であるので、その説明を省略する。 40

【0081】

図 18 (a) ~ (c) は、アクチュエータ 21 の製造工程の一例を示している。まず、同図 (a) に示すように、SOI ウエハ 30 を用意する。次に、同図 (b) に示すように、SOI ウエハ 30 の上面から、例えば、シリコン酸化膜をマスクとする TMAH によるウェットエッチングを行い、支持部 22 を形成する。さらに、接続部 28 の実際の接続部分 28b に対応する領域にエッチングを行って、酸化シリコン膜 31 を露出させる。そして、同図 (c) に示すように、絶縁膜および金属膜を形成して、可動接点 26 をパターン 50

形成する。これと同時に、接続部 28 の実際の接続部分 28b に対応する凹部にも、金属膜 33 をパターン形成する。

【0082】

図 19 (a)・(b) は、ベース 11 およびアクチュエータ 21 の接続工程の一例を示している。まず、同図 (a) に示すように、ベース 11 に SOI ウエハ 30 を陽極接合で接合一体化する。次に、同図 (b) に示すように、SOI ウエハ 30 の上面を TMAH, KOH 等のアルカリエッチング液で酸化シリコン膜 31 までエッチングして薄くし、さらに、フッ素系エッチング液で酸化シリコン膜 31 を除去して梁部 23、可動電極 24、および可動接点部 25 を露出させる。次に、RIE 等を用いたドライエッチングで型抜きエッチングを行い、スリット 27・27 や種々の切欠き部 (図示せず) を形成し、静電マイクロリレー 10 が完成する。 10

【0083】

従って、図 18 および図 19 に示す製造方法により製造された接続部 28 の実際の接続部分 28b は、図 19 (b) に示すように、梁部 23 および可動電極 24 と材質の異なる金属膜 33 からなる単層構造となる。

【0084】

〔実施の形態 4〕

次に、本発明のさらに別の実施形態について、図 20 を参照しつつ説明する。本実施形態の静電マイクロリレー 10 は、図 1 に示す静電マイクロリレー 10 に比べて、接点構造をシングルブレイク構造とした点のみが異なり、その他の構成は同様である。なお、上記実施形態で説明した構成と同様の機能を有する構成には同一の符号を付して、その説明を省略する。 20

【0085】

図 20 は、本実施形態の静電マイクロリレー 10 の概要を示すものである。図示のように、本実施形態の静電マイクロリレー 10 は、図 1 に示す静電マイクロリレー 10 に比べて、ベース 11 上の信号線 13・14 が、固定電極 12 を挟むように、梁部 23 と同一直線上に設けられている。なお、信号線 13 における信号線 14 との対向部分が固定接点 13a となる。

【0086】

また、アクチュエータ 21 の支持部 22 の中央から梁部 23 を介して可動接点部 25 までの下面には、絶縁膜 (図示せず) を介して、導電体から成る信号線 35 が形成されている。信号線 35 は、ベース 11 の信号線 14 と電氣的に接続しており、可動接点部 25 の下面の部分、すなわち信号線 13 の固定接点 13a との対向部分が可動接点 35a となる。 30

【0087】

上記構成の静電マイクロリレー 10 において、可動電極 24 および固定電極 12 間に電圧を印加すると、可動接点部 25 が移動して可動接点 35a と固定接点 13a とが接触する。これにより、信号線 13・14 が、信号線 35 を介して電氣的に接続することになる。このように、本実施形態では、可動接点 35a が 1 箇所の固定接点 13a と接離するシングルブレイク構造である。本実施形態の静電マイクロリレー 10 は、図 1 に示す静電マイクロリレー 10 に比べて、接点の数が少ないため、接触信頼性が向上する。 40

【0088】

〔実施の形態 5〕

次に、本発明のさらに別の実施形態について、図 21～図 25 を参照しつつ説明する。本実施形態の静電マイクロリレー 10 は、図 1 に示す静電マイクロリレー 10 に比べて、接続部 28 の構成のみが異なり、その他の構成は同様である。なお、上記実施形態で説明した構成と同様の機能を有する構成には同一の符号を付して、その説明を省略する。

【0089】

図 21 は、本実施形態の静電マイクロリレーの概要を示している。図示のように、本実施形態の静電マイクロリレー 10 は、図 1 に示す静電マイクロリレー 10 に比べて、可動 50

電極 2 4・2 4 と梁部 2 3 との間の接続部 2 8・2 8 に凹部 5 0・5 0 が形成されている点が異なる。

【0090】

図 2 2 (a)・(b) は、固定電極 1 2 と可動電極 2 4 との間に電圧を印加していない状態を示している。この場合、図示のように、可動接点 2 6 と固定接点 1 3 a・1 4 a とが離間しており、信号線 1 3, 1 4 を互いに電氣的に分離している。

【0091】

図 2 3 (a)・(b) は、固定電極 1 2 と可動電極 2 4 との間に電圧を印加している状態を示している。この場合、図示のように、上記電圧の印加により発生する静電引力で、可動電極 2 4 を固定電極 1 2 側に駆動する。これにより、可動接点 2 6 と固定接点 1 3 a・1 4 a とが接触して、信号線 1 3, 1 4 を互いに電氣的に接続する。 10

【0092】

本実施形態では、接続部 2 8 に凹部 5 0・5 0 が形成されている。凹部 5 0 は、梁部 2 3 および可動電極 2 4 に比べて薄いので、弾性定数が従来よりも小さく撓みやすい。従って、図 2 3 (a)・(b) に示すように、凹部 5 0・5 0 にて大きく撓むことにより、可動電極 2 4・2 4 は、梁部 2 3 に近い領域を除く大部分で、絶縁膜 1 5 を介して固定電極 1 2 と接着することになる。この場合、可動電極 2 4 および固定電極 1 2 における静電引力は、可動電極 2 4 および固定電極 1 2 間の距離の 2 乗に反比例するから、著しく大きくなる。これにより、梁部 2 3 の弾性定数を大きくしても、可動接点部 2 5 に与える接触力を大きくでき、可動接点 2 6 と固定接点 1 3 a・1 4 a との間の接触抵抗を安定させることができる。 20

【0093】

そして、固定電極 1 2 と可動電極 2 4 との間の電圧を無くすと、静電引力が消滅し、梁部 2 3、可動電極 2 4、および凹部 5 0 の復元力により、アクチュエータ 2 1 は図 2 2 (a)・(b) に示す元の位置に戻る。

【0094】

次に、電圧の印加による可動電極 2 4 の動作について、図 2 4 および図 2 5 を参照しつつ説明する。図 2 4 は、図 2 1 に示す本実施形態の静電マイクロリレー 1 0 の要部を示している。また、図 2 5 (a)～(d) は、図 2 4 に示す C-C 線、すなわち、可動電極 2 4 から可動接点部 2 5 にかけて断面した図であり、可動電極 2 4 が静電引力により移動する様子 30

【0095】

本実施形態の可動電極 2 4 の動作は下記の通りである。すなわち、電圧無印加時では、可動電極 2 4 は図 2 5 (a) に示す配置となる。そして、電圧を印加すると、まず同図 (b) に示すように、可動電極 2 4 が静電引力により固定電極 1 2 側に変位する。このとき、上述のように、本実施形態の凹部 5 0 は弾性定数が従来よりも小さいため、撓み量が多い。このため、可動電極 2 4 の変位量が多くなり、可動電極 2 4 の先端が絶縁膜 1 5 を介して固定電極 1 2 に接着する。

【0096】

可動電極 2 4 の変位量が多いことにより、可動電極 2 4 および固定電極 1 2 間の距離が小さくなって、上記式 (3) により静電引力が増加する。これにより、同図 (c) に示すように、可動電極 2 4 および可動接点部 2 5 がベース 1 1 の側に移動する。このとき、本実施形態の凹部 5 0 は、撓み量が多いため、上記電極間の距離の減少量が多く、静電引力の増加量が多い。このため、可動電極 2 4 および可動接点部 2 5 の変位量が多く、可動電極 2 4 の半分が絶縁膜 1 5 を介して固定電極 1 2 に接着するとともに、可動接点 2 6 が固定接点 1 3 a と接触する。 40

【0097】

可動電極 2 4 がベース 1 1 側に移動することにより、可動電極 2 4 および固定電極 1 2 間の距離がさらに小さくなって、上記式 (3) により静電引力がさらに増加する。これにより、同図 (d) に示すように、可動電極 2 4 および可動接点部 2 5 がベース 1 1 の側に 50

さらに移動する。これにより、可動電極 24 は、大部分が絶縁膜 15 を介して固定電極 12 に接着するので、可動電極 24 に働く静電引力が著しく大きくなり、可動接点 26 と固定接点 13a との接触力が大きくなって、接触抵抗が安定する。

【0098】

従って、復帰力を維持したまま、接続部 28 の弾性定数を小さくすることにより、静電引力を増大させることができる。これにより、従来と同等の復帰力を確保しつつ接触力を向上することができる。なお、接触力が従来と同等でよい場合には、静電引力を低減できるので、印加電圧を低減したり、可動電極 24 の寸法を縮小したりすることができる。

【0099】

なお、本実施形態では、梁部 23 の両側に可動電極 24・24 を設けているが、図 24 に示すように、梁部 23 の片側のみに可動電極 24 を設けても良い。しかしながら、可動接点部 25 をベース 11 に対して傾くことなく移動させるために、梁部 23 の両側に可動電極 24・24 を設けることが望ましい。

【0100】

〔実施の形態 6〕

次に、本発明の別の実施形態について、図 26 を参照しつつ説明する。本実施形態の静電マイクロリレー 10 は、図 21 に示す静電マイクロリレー 10 に比べて、信号線 13・14 の両側に固定電極 12 を設けている点と、可動接点部 25 の両側に支持部 22、梁部 23、可動電極 24、および接続部 28 を設けている点のみが異なり、その他の構成は同様である。なお、上記実施形態で説明した構成と同様の機能を有する構成には同一の符号を付して、その説明を省略する。

【0101】

図 26 は、本実施形態の静電マイクロリレー 10 の概要を示すものである。なお、図示のアクチュエータ 21 は、可動接点部 25 を両側から支持する両持ち型アクチュエータである。

【0102】

本実施形態の静電マイクロリレー 10 は、図 21 に示す静電マイクロリレー 10 と同様の作用効果を奏することができる。さらに、本実施形態の静電マイクロリレー 10 は、図 21 に示す静電マイクロリレー 10 に比べて、信号線 13・14 の両側に固定電極 12 などを載置するスペースを必要とするが、可動接点部 25 を、ベース 11 に対して略平行状態を維持しつつ、垂直方向に移動させることができるため、可動接点 26 と固定接点 13a・14a との接触を安定化させることができる。また、接触部分の偏摩耗を抑制することができる。

【0103】

〔実施の形態 7〕

次に、本発明のさらに別の実施形態について、図 27～図 34 を参照しつつ説明する。本実施形態の静電マイクロリレー 10 は、図 21 に示す静電マイクロリレー 10 に比べて、接続部の構成のみが異なり、その他の構成は同様である。なお、上記実施形態で説明した構成と同様の機能を有する構成には同一の符号を付して、その説明を省略する。

【0104】

図 27 (a)・(b) は、本実施形態の静電マイクロリレー 10 の構造を示すものである。図示のように、本実施形態の静電マイクロリレー 10 は、図 21 に示す静電マイクロリレー 10 に比べて、梁部 23 と可動電極 24・24 との接続部 51 が、梁部 23 または可動電極 24 を延在した従来の接続部よりも弾性定数の小さい導電体または半導体としてゐる。これにより、接続部 51 の材質および／または構造に応じて、接続部 51 の幅や厚みを容易に変更できるので、接続部 51 の設計の自由度が向上する。なお、接続部 51 の構成例としては、接続部 51 を積層膜にすることや、接続部 51 に導電物を充填した後単層に削ることなどが挙げられる。

【0105】

次に、上記構成の静電マイクロリレー 10 の一製造方法について図 28～図 30 を参照

しつつ説明する。

【0106】

図28(a)・(b)は、ベース11の製造工程の一例を示している。まず、同図(a)に示すように、パイレックス(登録商標)等のガラス基板11aを用意する。次に、同図(b)に示すように、ガラス基板11aに金属膜を形成し、固定電極12および信号線13・14をパターン形成する。なお、これと同時に、その他のプリント配線および接続用パッドをそれぞれパターン形成してもよい。そして、固定電極12に絶縁膜15を形成することにより、ベース11が完成する。なお、絶縁膜15として比誘電率3~4のシリコン酸化膜あるいは比誘電率7~8のシリコン窒化膜を用いれば、大きな静電引力が得られ、接触力を増加させることができる。

10

【0107】

図29(a)~(c)は、アクチュエータ21の製造工程の一例を示している。まず、同図(a)に示すように、SOIウエハ30を用意する。次に、同図(b)に示すように、SOIウエハ30の上面から、例えば、シリコン酸化膜をマスクとするTMAHによるウェットエッチングを行い、支持部22を形成する。さらに、接続部51に対応する領域にエッチングを行って、酸化シリコン膜31を露出させる。そして、同図(c)に示すように、絶縁膜および金属膜を形成して、可動接点26をパターン形成する。これと同時に、接続部51に対応する領域にも、金属膜60をパターン形成する。

【0108】

図30(a)・(b)は、ベース11およびアクチュエータ21の接続工程の一例を示している。まず、同図(a)に示すように、ベース11にSOIウエハ30を陽極接合で接合一体化する。次に、同図(b)に示すように、SOIウエハ30の上面をTMAH、KOH等のアルカリエッチング液で酸化シリコン膜31までエッチングして薄くし、さらに、フッ素系エッチング液で酸化シリコン膜31を除去して梁部23、可動電極24、可動接点部25、および接続部51を露出させる。次に、RIE等を用いたドライエッチングで型抜きエッチングを行い、種々の切欠き部(図示せず)を形成し、静電マイクロリレー10が完成する。

20

【0109】

従って、図28~図30に示す製造方法により製造された接続部51は、図30(b)に示すように、梁部23および可動電極24と材質の異なる金属膜33からなる単層構造となる。

30

【0110】

次に、上記構成の静電マイクロリレー10の別の製造方法について図31および図32を参照しつつ説明する。なお、ベース11の製造工程は図28に示す製造工程と同様であるので、その説明を省略する。

【0111】

図31(a)・(b)は、アクチュエータ21の製造工程の一例を示している。まず、同図(a)に示すように、SOIウエハ30を用意する。次に、同図(b)に示すように、例えば、シリコン酸化膜をマスクとするTMAHによるウェットエッチングを行い、支持部22を形成する。そして、絶縁膜および金属膜を形成して、可動接点26をパターン形成する。

40

【0112】

図32(a)・(b)は、ベース11およびアクチュエータ21の接続工程の一例を示している。まず、同図(a)に示すように、ベース11にSOIウエハ30を陽極接合で接合一体化する。次に、同図(b)に示すように、SOIウエハ30の上面をTMAH、KOH等のアルカリエッチング液で酸化シリコン(SiO₂)膜31までエッチングして薄くし、さらに、接続部51に対応する領域以外の酸化シリコン膜31をフッ素系エッチング液で除去して梁部23、可動電極24、および可動接点部25を露出させる。次に、RIE等を用いたドライエッチングで型抜きエッチングを行い、種々の切欠き部(図示せず)を形成し、静電マイクロリレー10が完成する。

50

【0113】

従って、図31および図32に示す製造方法により製造された接続部51は、図32(b)に示すように、梁部23および可動電極24と同様のシリコン層上に、圧縮応力膜の酸化シリコン膜31が形成された積層構造となる。

【0114】

次に、上記構成の静電マイクロリレー10の他の製造方法について図33および図34を参照しつつ説明する。なお、ベース11の製造工程は図28に示す製造工程と同様であるので、その説明を省略する。

【0115】

図33(a)・(b)は、アクチュエータ21の製造工程の一例を示している。まず、同図(a)に示すように、SOIウエハ30を用意する。次に、同図(b)に示すように、SOIウエハ30の上面から、例えば、シリコン酸化膜をマスクとするTMAHによるウェットエッチングを行い、支持部22を形成する。そして、絶縁膜および金属膜を形成して、可動接点26をパターン形成する。これと同時に、接続部51に対応する領域にも、引張応力膜となる金属膜62をパターン形成する。 10

【0116】

図34(a)・(b)は、ベース11およびアクチュエータ21の接続工程の一例を示している。まず、同図(a)に示すように、ベース11にSOIウエハ30を陽極接合で接合一体化する。次に、同図(b)に示すように、SOIウエハ30の上面をTMAH、KOH等のアルカリエッチング液で酸化シリコン膜31までエッチングして薄くし、さらに、フッ素系エッチング液で酸化シリコン膜31を除去して梁部23、可動電極24、および可動接点部25を露出させる。次に、RIE等を用いたドライエッチングで型抜きエッチングを行い、種々の切欠き部(図示せず)を形成し、静電マイクロリレー10が完成する。 20

【0117】

従って、図33および図34に示す製造方法により製造された接続部51は、図34(b)に示すように、梁部23および可動電極24と同様のシリコン層と、ベース11側に形成された金属膜62とからなる積層構造となる。なお、金属膜62の代わりに、SiNなどその他の引張応力膜を使用しても良い。

【0118】

〔実施の形態8〕

次に、本発明のさらに別の実施形態について、図35を参照しつつ説明する。本実施形態の静電マイクロリレー10は、図21に示す静電マイクロリレー10に比べて、接点構造をシングルブレイク構造とした点のみが異なり、その他の構成は同様である。なお、上記実施形態で説明した構成と同様の機能を有する構成には同一の符号を付して、その説明を省略する。 30

【0119】

図35は、本実施形態の静電マイクロリレー10の概要を示すものである。図示のように、本実施形態の静電マイクロリレー10は、図21に示す静電マイクロリレー10に比べて、ベース11上の信号線13・14が、固定電極12を挟むように、梁部23と同一直線上に設けられている。なお、信号線13における信号線14との対向部分が固定接点13aとなる。 40

【0120】

また、アクチュエータ21の支持部22の中央から梁部23を介して可動接点部25までの下面には、絶縁膜(図示せず)を介して、導電体から成る信号線35が形成されている。信号線35は、ベース11の信号線14と電氣的に接続しており、可動接点部25の下面の部分、すなわち信号線13の固定接点13aとの対向部分が可動接点35aとなる。

【0121】

上記構成の静電マイクロリレー10において、可動電極24および固定電極12間に電 50

圧を印加すると、可動接点部 2 5 が移動して可動接点 3 5 a と固定接点 1 3 a とが接触する。これにより、信号線 1 3 ・ 1 4 が、信号線 3 5 を介して電氣的に接続することになる。このように、本実施形態では、可動接点 3 5 a が 1 箇所の固定接点 1 3 a と接離するシングルブレイク構造である。本実施形態の静電マイクロリレー 1 0 は、図 2 1 に示す静電マイクロリレー 1 0 に比べて、接点の数が少ないため、接触信頼性が向上する。

【0 1 2 2】

〔実施の形態 9〕

次に、本発明のさらに別の実施形態について図 3 6 を参照しつつ説明する。図 3 6 は、本実施形態の無線通信機 7 1 の概略構成を示している。無線通信機 7 1 では、静電マイクロリレー 7 2 が内部処理回路 7 3 とアンテナ 7 4 との間に接続されている。静電マイクロリレー 7 2 をオン、オフすることによって、内部処理回路 7 3 がアンテナ 7 4 を通じて送信または受信可能な状態と、送信または受信不能な状態とに切り替えられるようになっている。

10

【0 1 2 3】

本実施形態では、静電マイクロリレー 7 2 に、図 1 ～図 3 5 に示される静電マイクロリレー 1 0 を利用している。これにより、静電マイクロリレー 7 2 において駆動電圧の低減および小型化を実現できるので、無線通信機 7 1 の低電力化および小型化を実現できる。

【0 1 2 4】

〔実施の形態 1 0〕

次に、本発明のさらに別の実施形態について図 3 7 を参照しつつ説明する。図 3 7 は、本実施形態の計測器 7 5 の概略構成を示している。計測器 7 5 では、複数の静電マイクロリレー 7 2 が、1 つの内部処理回路 7 6 から複数の測定対象物 7 8 に至る複数の信号線 7 7 の途中にそれぞれ接続されている。各静電マイクロリレー 7 2 をオン、オフすることにより、内部処理回路 7 6 が送信または受信すべき測定対象物 7 8 を切り替えられるようになっている。

20

【0 1 2 5】

本実施形態では、静電マイクロリレー 7 2 に、図 1 ～図 3 5 に示される静電マイクロリレー 1 0 を利用している。これにより、静電マイクロリレー 7 2 において駆動電圧の低減および小型化を実現できるので、計測器 7 5 の低電力化および小型化を実現できる。

【0 1 2 6】

〔実施の形態 1 1〕

次に、本発明のさらに別の実施形態について図 3 8 を参照しつつ説明する。図 3 8 は、本実施形態の温度管理装置（温度センサ）8 1 の概略構成を示している。温度管理装置 8 1 は、例えば電源装置、制御機器など、温度に対するセーフティ機能を必要とする装置（以下、「対象装置」と称する）8 2 に取り付けて、対象装置 8 2 の温度を管理するものである。図示のように、温度管理装置 8 1 は、対象装置 8 2 の温度に基づいて、対象装置 8 2 の内部回路 8 3 への給電をオン・オフするための静電マイクロリレー 7 2 を備える。

30

【0 1 2 7】

例えば、対象装置 8 2 の使用限界が 1 0 0 °C 以上の温度で 1 時間以内である場合、温度管理装置 8 1 は、対象装置 8 2 の温度を計測し、対象装置 8 2 が 1 0 0 °C 以上の温度で 1 時間動作していることを検知すると、温度管理装置 8 1 内の静電マイクロリレー 7 2 が対象装置 8 2 の内部回路 8 3 への給電を遮断する。

40

【0 1 2 8】

本実施形態では、静電マイクロリレー 7 2 に、図 1 ～図 3 5 に示される静電マイクロリレー 1 0 を利用している。これにより、静電マイクロリレー 7 2 において駆動電圧の低減および小型化を実現できるので、温度管理装置 8 1 の低電力化および小型化を実現できる。

【0 1 2 9】

〔実施の形態 1 2〕

次に、本発明の他の実施形態について図 3 9 を参照しつつ説明する。図 3 9 は、本実施

50

形態の携帯情報端末 85 の要部構成を示している。携帯情報端末 85 では、2 つの静電マイクロリレー 72 a, 72 b が利用されている。一方の静電マイクロリレー 72 a は、内部アンテナ 86 と外部アンテナ 87 とを切り替える働きをしており、他方の静電マイクロリレー 72 b は、信号の流れを送信回路側の電力増幅器 88 と受信回路側の低ノイズ増幅器 89 とに切り替えられるようにしている。

【0130】

本実施形態では、静電マイクロリレー 72 a, 72 b に、図 1 ～ 図 35 に示される静電マイクロリレー 10 を利用している。これにより、静電マイクロリレー 72 a, 72 b において駆動電圧の低減および小型化を実現できるので、温度管理装置 81 の低電力化および小型化を実現できる。

10

【0131】

以上のように、本実施形態の静電マイクロリレー 10 は、従来と同等の復帰力を確保しつつ、接触力の向上、印加電圧の低減、および／または電極の寸法の縮小を実現することができるので、例えば、無線通信機、計測器、温度管理装置、携帯情報端末などの各種装置に本実施形態の静電マイクロリレー 10 を採用することにより、装置の低電力化および小型化を実現することができる。

【0132】

本発明は上述した各実施形態に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能であり、異なる実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせて得られる実施形態についても本発明の技術的範囲に含まれる。

20

【0133】

例えば、上記実施形態では、静電マイクロリレーについて説明しているが、静電マイクロスイッチなど、静電引力によって接点どうしを接離させることにより電気回路を開閉する任意の静電マイクロ接点開閉器に対して本願発明を適用することができる。

【0134】

また、上記実施形態では、可動接点部 25 の幅を梁部 23 の幅よりも広くしているが、これは、可動接点部 25 と梁部 23 との違いを強調するためである。従って、可動接点部 25 の幅を梁部 23 の幅と等しくても良いし、それ以下でも良い。

【0135】

また、上記実施形態では、梁部 23 の大部分は、固定電極 12 と対向しており、梁部 23 と固定電極 12 との間に電圧を印加すると、静電引力により固定電極 12 側に駆動される。したがって、梁部 23 において固定電極 12 と対向する部分は、可動電極 24 としての機能を有することになる。

30

【産業上の利用可能性】

【0136】

以上のように、本発明に係る静電マイクロ接点開閉器は、従来と同等の復帰力を確保しつつ、接触力の向上、印加電圧の低減、および／または電極の寸法の縮小を実現することができるので、低電力化および小型化が要求されるその他の MEMS 素子にも適用することができる。

【図面の簡単な説明】

40

【0137】

【図 1】本発明の一実施形態である静電マイクロリレーの概要を示す平面図である。

【図 2】上記静電マイクロリレーにおいて、固定電極と可動電極との間に電圧を印加していない状態を示しており、同図 (a) は、図 1 の A-A 線で断面し、矢印方向に見た図であり、同図 (b) は、図 1 の B-B 線で断面し、矢印方向に見た図である。

【図 3】上記静電マイクロリレーにおいて、固定電極と可動電極との間に電圧を印加した状態を示しており、同図 (a) は、図 1 の A-A 線で断面し、矢印方向に見た図であり、同図 (b) は、図 1 の B-B 線で断面し、矢印方向に見た図である。

【図 4】上記静電マイクロリレーの要部を示す平面図である。

【図 5】同図 (a) ～ (d) は、図 4 の C-C 線で断面し、矢印方向に見た図であり、可

50

動電極が静電引力により移動する様子を示す図である。

【図 6】上記静電マイクロリレーのアクチュエータにおける変位量のシミュレーション結果を示す図である。

【図 7】上記静電マイクロリレーの実施例と比較例とにおける印加電圧と接触力との関係を示すグラフである。

【図 8】上記静電マイクロリレーの実施例において、スリットの丈と接触力との関係を表形式で示す図である。

【図 9】上記静電マイクロリレーの実施例において、スリットの丈と接触力との関係を示すグラフである。

【図 10】本発明の別の実施形態である静電マイクロリレーの概要を示す平面図である。 10

【図 11】上記静電マイクロリレーにおけるアクチュエータの変位量のシミュレーション結果を示す図である。

【図 12】本発明のさらに別の実施形態である静電マイクロリレーの概要を示す平面図である。

【図 13】同図 (a) ・ (b) は、上記静電マイクロリレーにおけるベースの製造工程の一例を示す断面図である。

【図 14】同図 (a) ・ (b) は、上記静電マイクロリレーにおけるアクチュエータの製造工程の一例を示す断面図である。

【図 15】同図 (a) ～ (c) は、上記ベースおよび上記アクチュエータの接続工程の一例を示す断面図である。 20

【図 16】同図 (a) ～ (c) は、上記アクチュエータの製造工程の別の例を示す断面図である。

【図 17】同図 (a) ・ (b) は、上記ベースおよび上記アクチュエータの接続工程の別の例を示す断面図である。

【図 18】同図 (a) ～ (c) は、上記アクチュエータの製造工程のさらに別の例を示す断面図である。

【図 19】同図 (a) ・ (b) は、上記ベースおよび上記アクチュエータの接続工程のさらに別の例を示す断面図である。

【図 20】本発明のさらに別の実施形態である静電マイクロリレーの構造を示しており、同図 (a) は平面図であり、同図 (b) は、同図 (a) の D-D 線で断面し、矢印方向に見た図である。 30

【図 21】本発明のさらに別の実施形態である静電マイクロリレーの概要を示す平面図である。

【図 22】上記静電マイクロリレーにおいて、固定電極と可動電極との間に電圧を印加していない状態を示しており、同図 (a) は、図 21 の E-E 線で断面し、矢印方向に見た図であり、同図 (b) は、図 21 の F-F 線で断面し、矢印方向に見た図である。

【図 23】上記静電マイクロリレーにおいて、固定電極と可動電極との間に電圧を印加した状態を示しており、同図 (a) は、図 21 の E-E 線で断面し、矢印方向に見た図であり、同図 (b) は、図 21 の F-F 線で断面し、矢印方向に見た図である。

【図 24】上記静電マイクロリレーの要部を示す平面図である。 40

【図 25】同図 (a) から (d) は、図 24 の G-G 線で断面し、矢印方向に見た図であり、可動電極が静電引力により移動する様子を示す図である。

【図 26】本発明の別の実施形態である静電マイクロリレーの概要を示す平面図である。

【図 27】本発明のさらに別の実施形態である静電マイクロリレーの構造を示す断面図であり、同図 (a) は、固定電極と可動電極との間に電圧を印加していない状態を示しており、同図 (b) は、上記電圧を印加した状態を示している。

【図 28】同図 (a) ・ (b) は、上記静電マイクロリレーにおけるベースの製造工程の一例を示す断面図である。

【図 29】同図 (a) ～ (c) は、上記静電マイクロリレーにおけるアクチュエータの製造工程の一例を示す断面図である。 50

【図 3 0】同図 (a) ・ (b) は、上記ベースおよび上記アクチュエータの接続工程の一例を示す断面図である。

【図 3 1】同図 (a) ・ (b) は、上記アクチュエータの製造工程の別の例を示す断面図である。

【図 3 2】同図 (a) ・ (b) は、上記ベースおよび上記アクチュエータの接続工程の別の例を示す断面図である。

【図 3 3】同図 (a) ・ (b) は、上記アクチュエータの製造工程のさらに別の例を示す断面図である。

【図 3 4】同図 (a) ・ (b) は、上記ベースおよび上記アクチュエータの接続工程のさらに別の例を示す断面図である。

【図 3 5】本発明のさらに別の実施形態である静電マイクロリレーの構造を示しており、同図 (a) は平面図であり、同図 (b) は、同図 (a) の H-H 線で断面し、矢印方向に見た図である。

【図 3 6】本発明のさらに別の実施形態である無線通信機の概略構成を示すブロック図である。

【図 3 7】本発明のさらに別の実施形態である計測器の概略構成を示すブロック図である。

【図 3 8】本発明のさらに別の実施形態である温度管理装置の概略構成を示すブロック図である。

【図 3 9】本発明の他の実施形態である携帯情報端末の要部構成を示す回路図である。

【図 4 0】従来の静電マイクロリレーの概要を示す平面図である。

【図 4 1】上記静電マイクロリレーにおいて、固定電極と可動電極との間に電圧を印加していない状態を示しており、同図 (a) は、図 4 0 の P-P 線で断面し、矢印方向に見た図であり、同図 (b) は、図 4 0 の Q-Q 線で断面し、矢印方向に見た図である。

【図 4 2】上記静電マイクロリレーにおいて、固定電極と可動電極との間に電圧を印加した状態を示しており、同図 (a) は、図 4 0 の P-P 線で断面し、矢印方向に見た図であり、同図 (b) は、図 4 0 の Q-Q 線で断面し、矢印方向に見た図である。

【図 4 3】上記静電マイクロリレーの要部を示す平面図である。

【図 4 4】同図 (a) ~ (d) は、図 4 3 の R-R 線で断面し、矢印方向に見た図であり、可動電極が静電引力により移動する様子を示す図である。

【図 4 5】上記可動電極の変位量のシミュレーション結果を示す図である。

【符号の説明】

【0 1 3 8】

1 0 静電マイクロリレー (静電マイクロ接点開閉器)

1 1 ベース

1 2 固定電極

1 3 a ・ 1 4 a 固定接点

2 1 アクチュエータ

2 2 支持部

2 3 梁部

2 4 可動電極

2 6 可動接点

2 7 スリット

2 8 ・ 5 1 接続部

2 8 a ・ 2 8 b 接続部における実際の接続部分

5 0 凹部

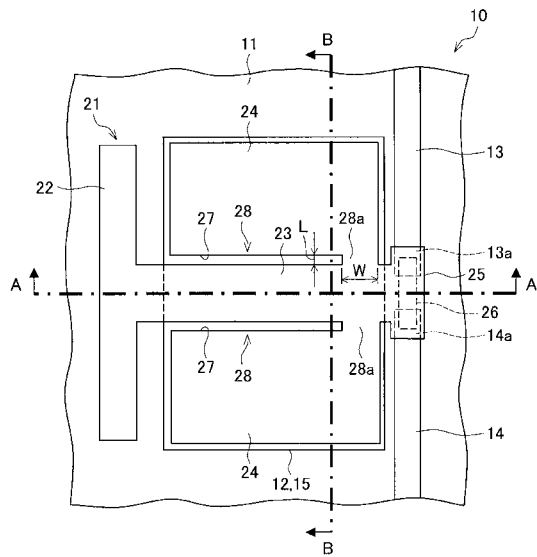
10

20

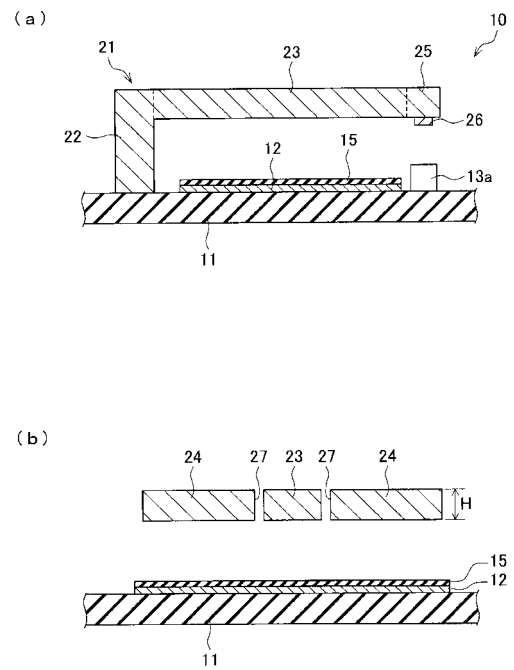
30

40

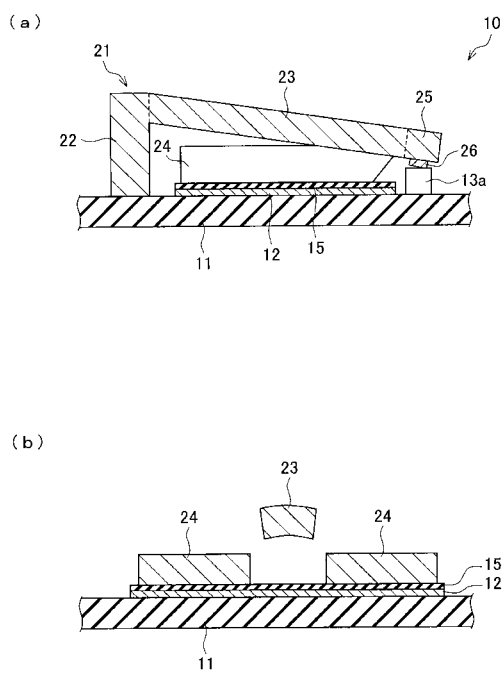
【図 1】



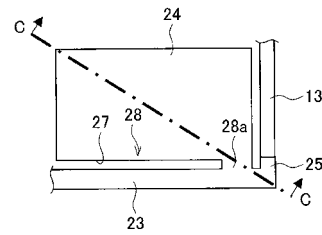
【図 2】



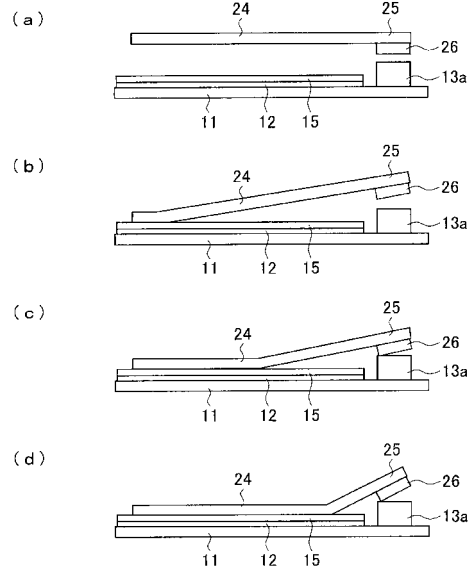
【図 3】



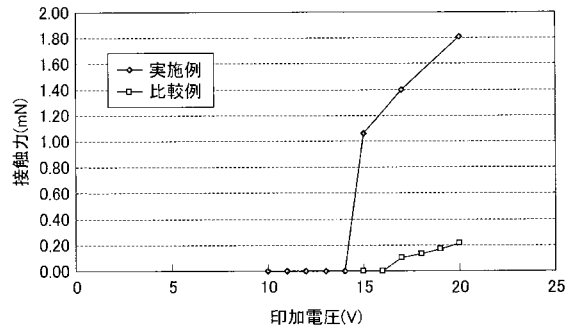
【図 4】



【図 5】



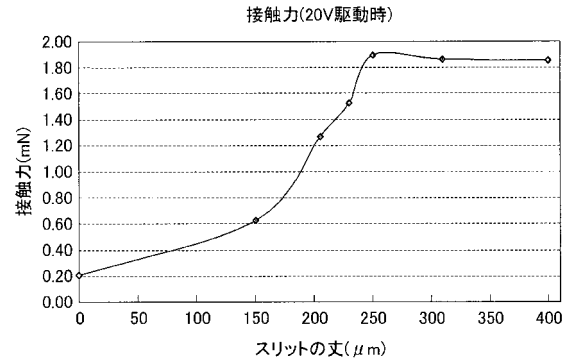
【図 7】



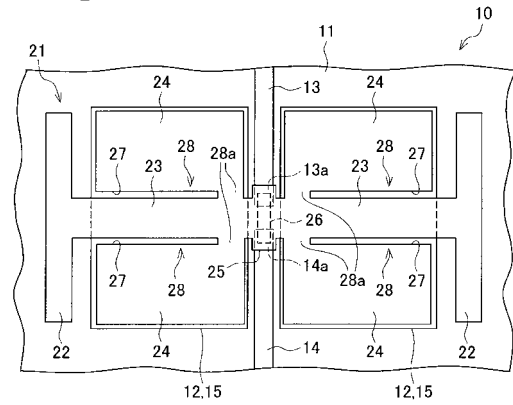
【図 8】

File	スリットの丈 (μm)	復帰力 (mN)	接触力 (mN) (20V駆動時)	ACT厚 (μm)
比較例のカンチレバー	0	0.85	0.21	19.46
実施例のカンチレバー(1)	150	0.85	0.62	21.15
実施例のカンチレバー(2)	205	0.84	1.27	21.15
実施例のカンチレバー(3)	230	0.84	1.53	21.15
実施例のカンチレバー(4)	250	0.84	1.89	21.15
実施例のカンチレバー(5)	310	0.83	1.86	21.15
実施例のカンチレバー(6)	400	0.81	1.85	21.15

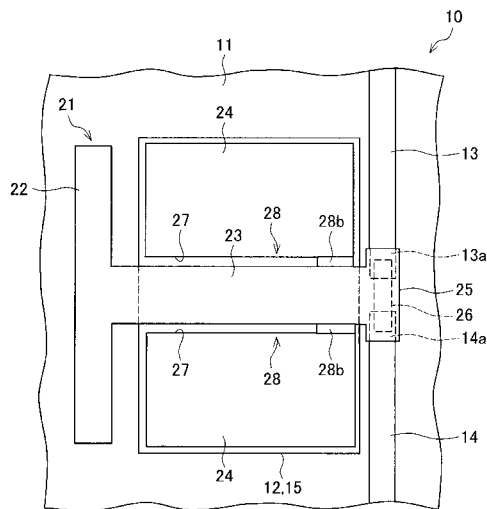
【図 9】



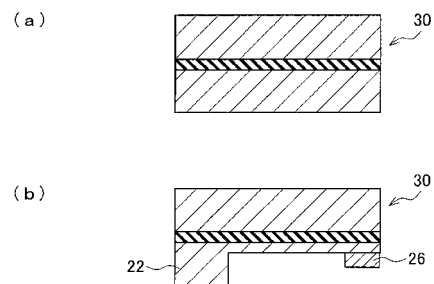
【図 10】



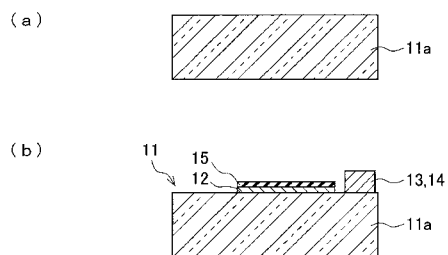
【図 12】



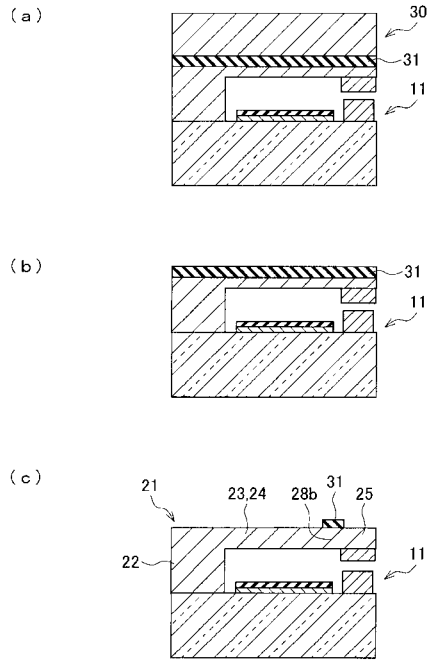
【図 14】



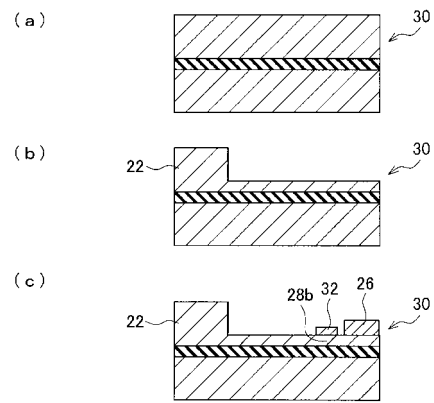
【図 13】



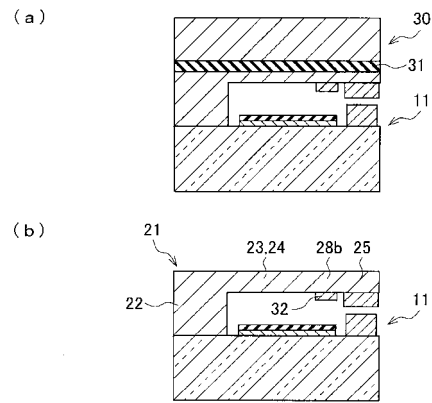
【図 15】



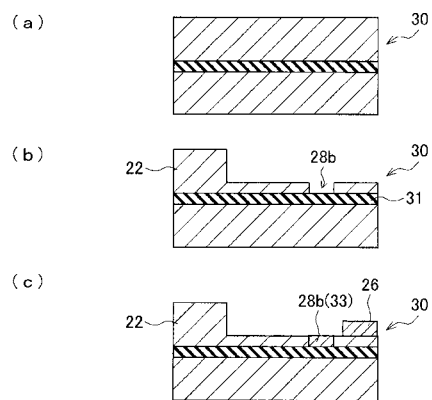
【図 16】



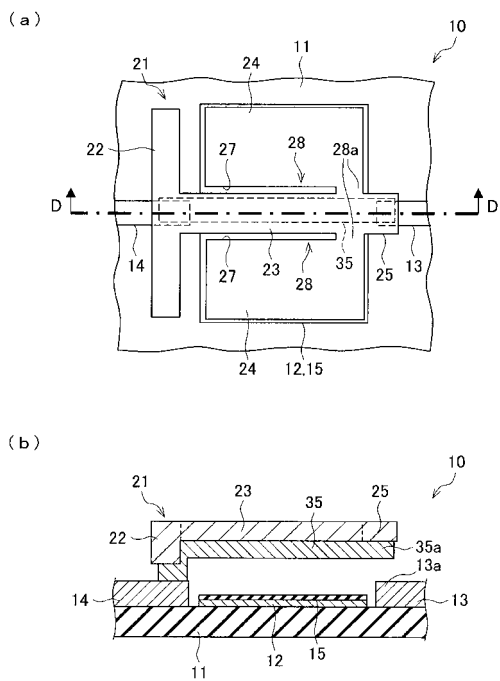
【図 17】



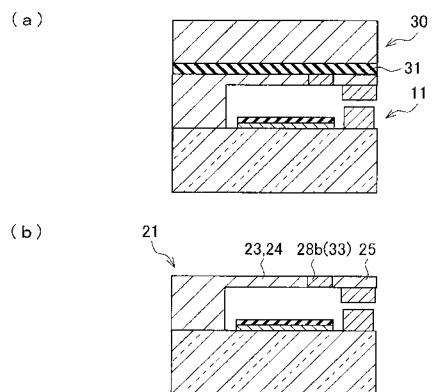
【図 18】



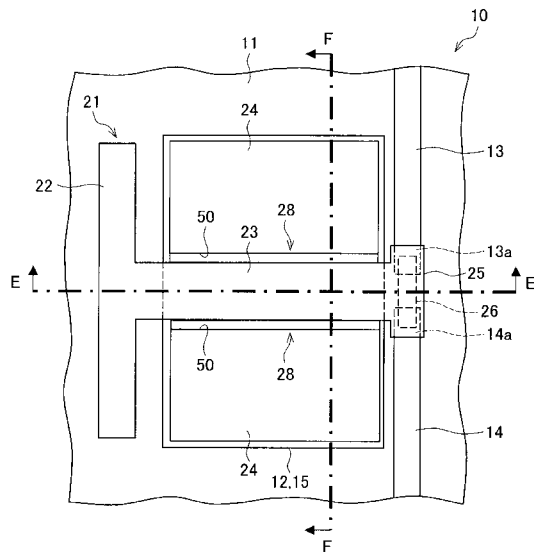
【図 20】



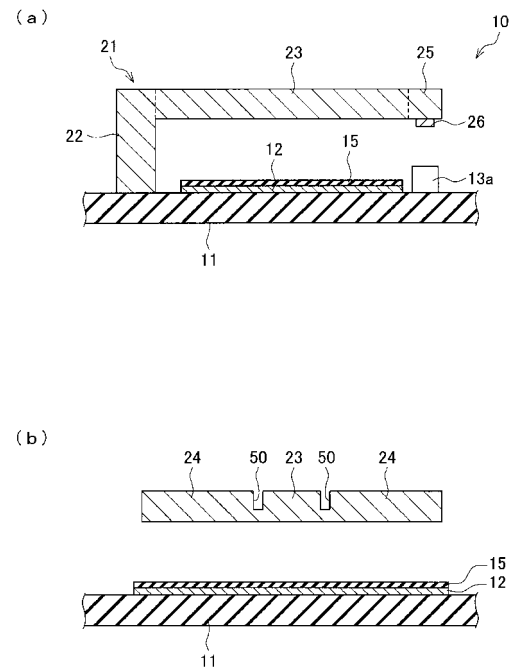
【図 19】



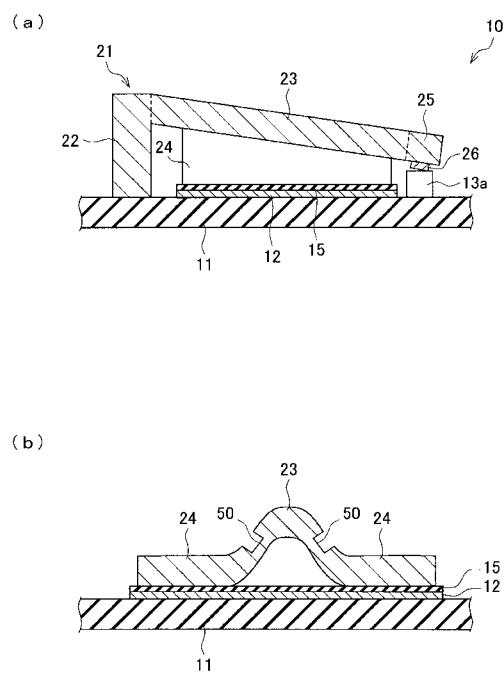
【図 2 1】



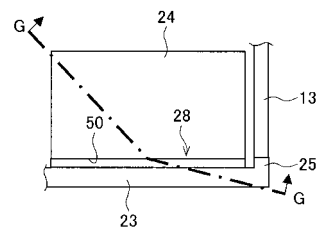
【図 2 2】



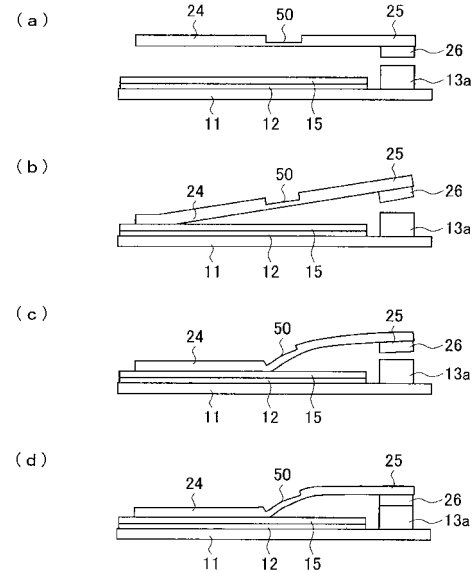
【図 2 3】



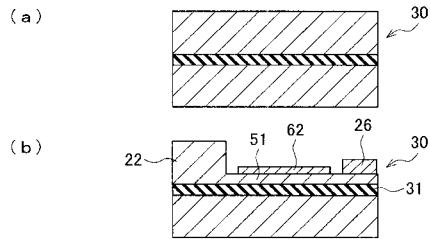
【図 2 4】



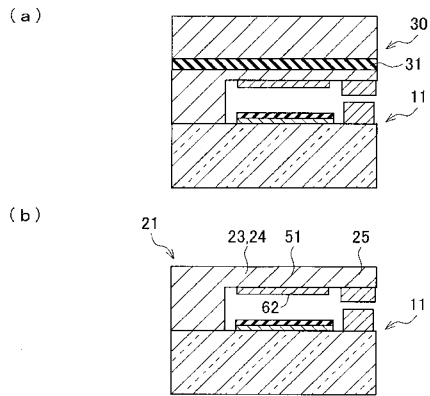
【図 2 5】



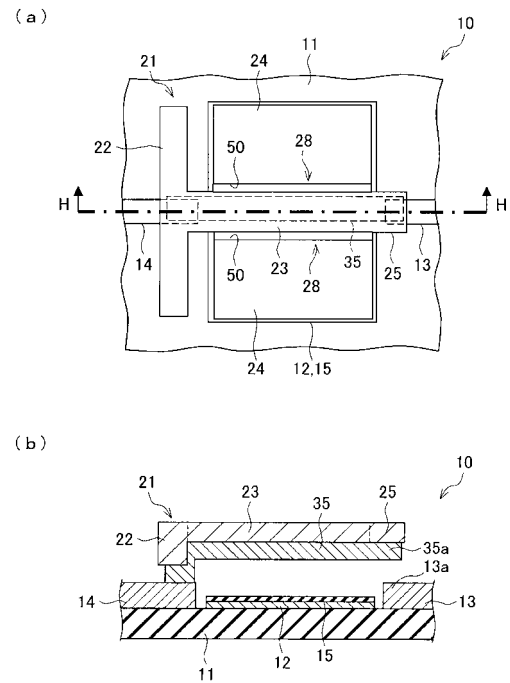
【図 3 3】



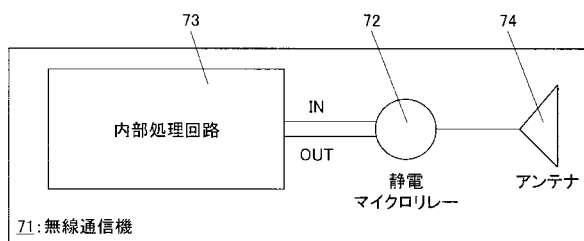
【図 3 4】



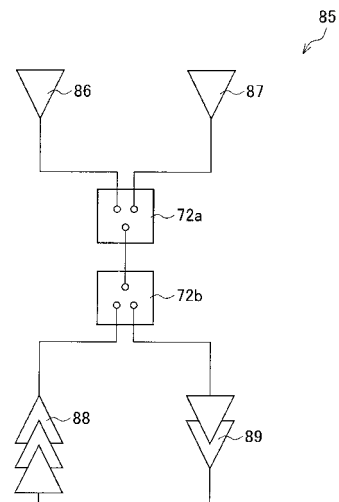
【図 3 5】



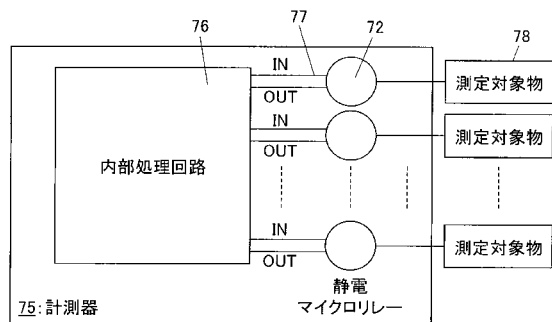
【図 3 6】



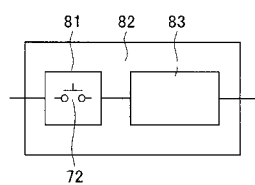
【図 3 9】



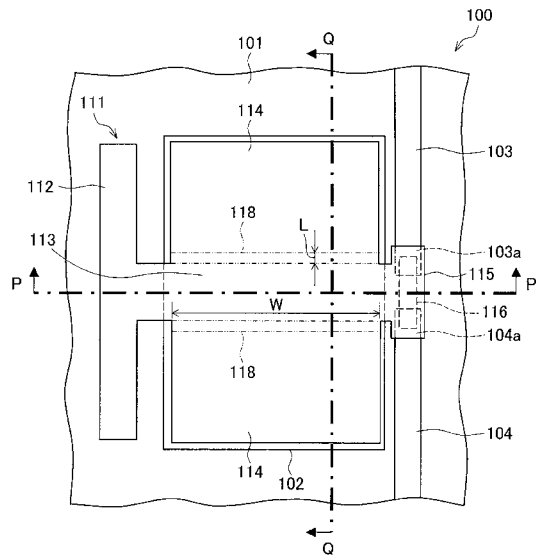
【図 3 7】



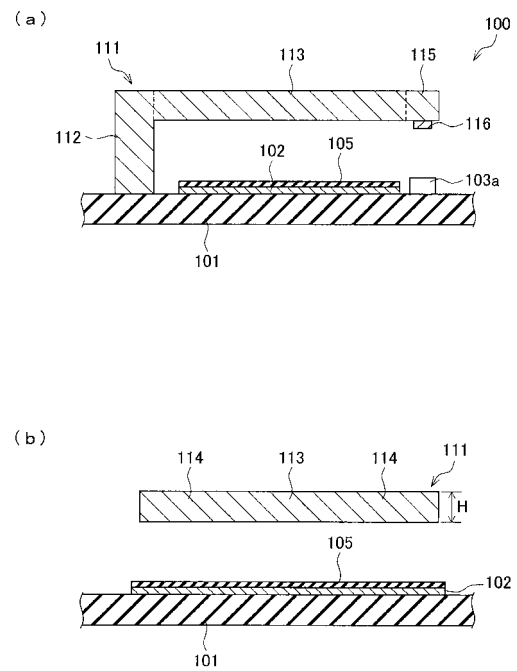
【図 3 8】



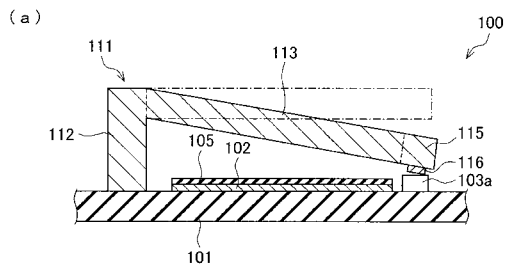
【図 4 0】



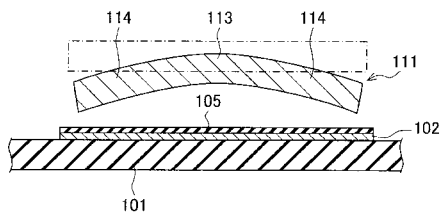
【図 4 1】



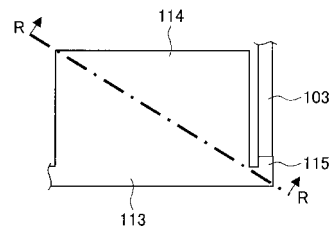
【図 4 2】



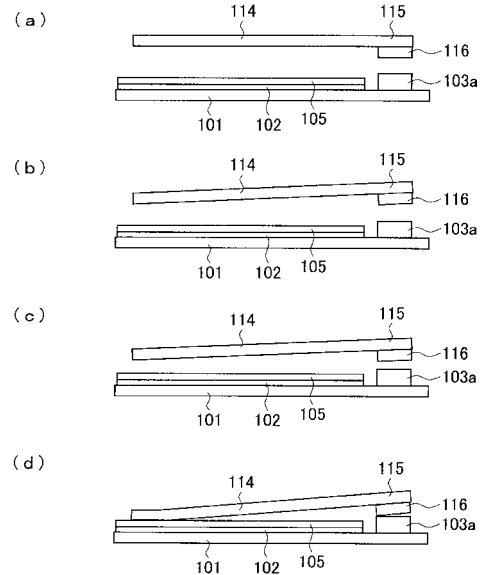
(b)



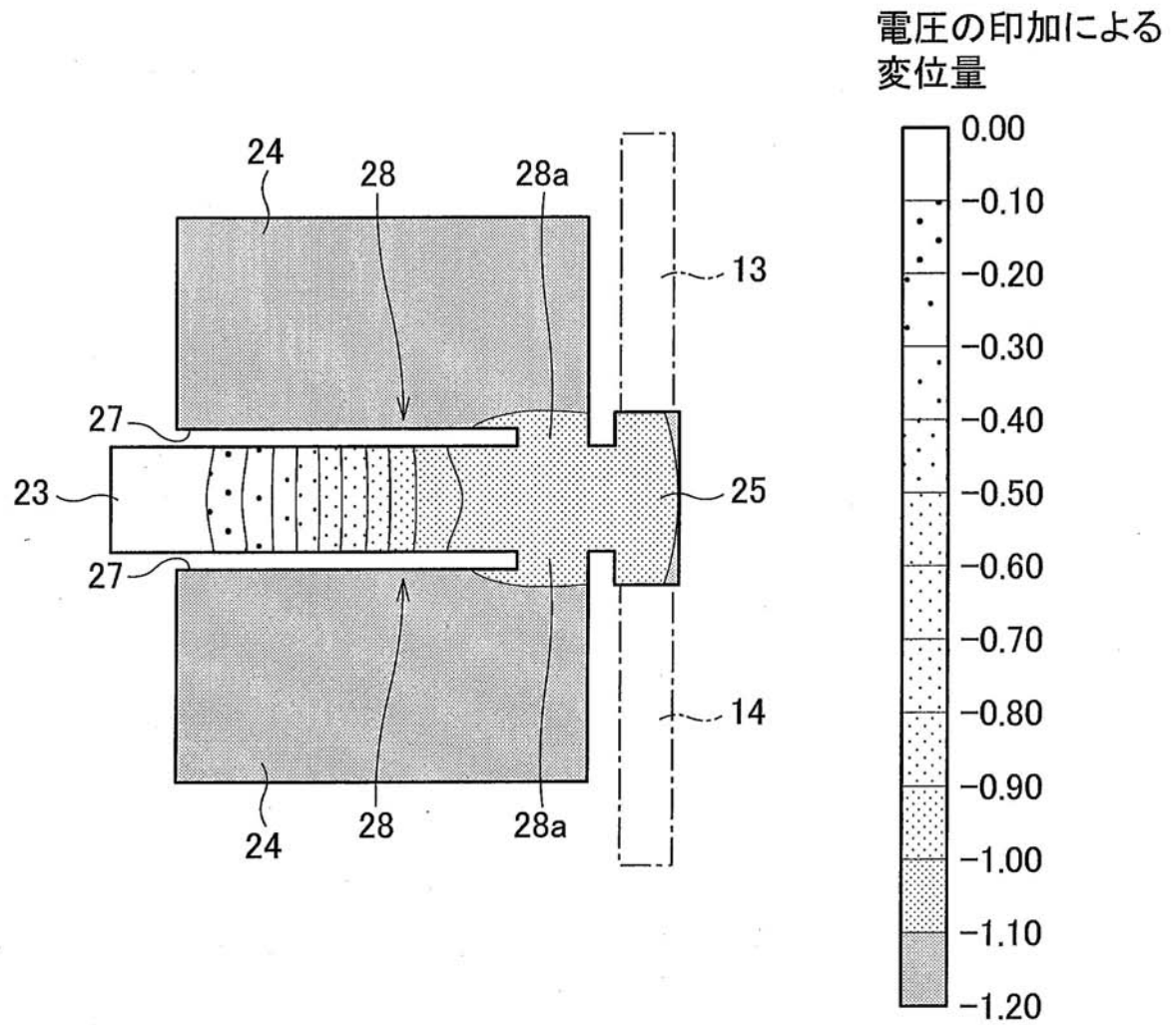
【図 4 3】



【図 4 4】

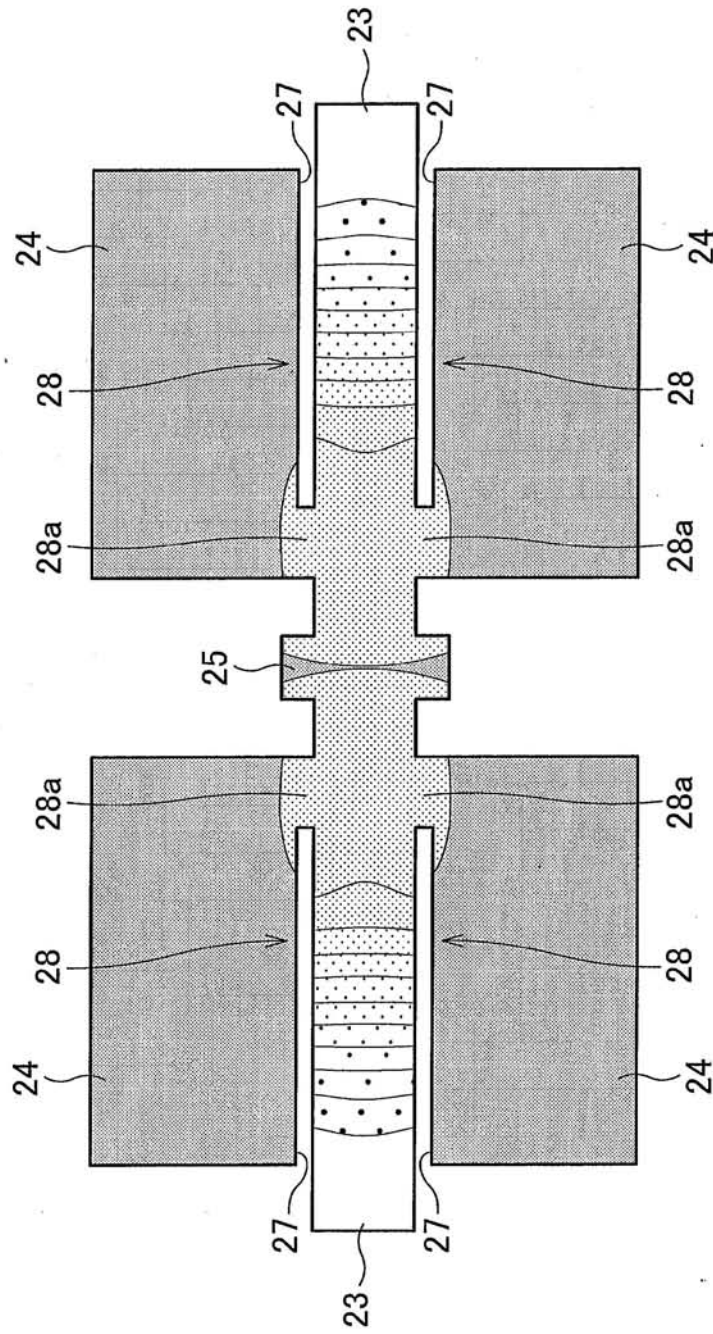
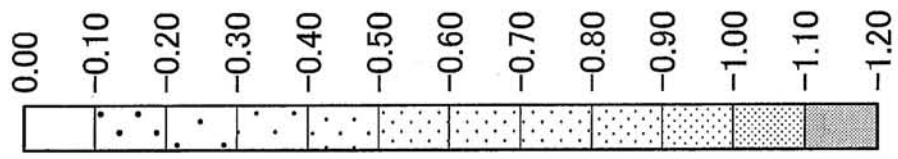


【図 6】



【図 1 1】

電圧の印加による
変位量



【図 4 5】

