

(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2008-91167

(P2008-91167A)

(43) 公開日 平成20年4月17日(2008.4.17)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO1H 57/00 (2006.01)	HO1H 57/00 A	
B81B 3/00 (2006.01)	B81B 3/00	
HO1L 41/09 (2006.01)	HO1L 41/08 C	
HO1L 41/187 (2006.01)	HO1L 41/18 IO1B	
HO1G 5/00 (2006.01)	HO1G 5/24 N	

審査請求 未請求 請求項の数 9 OL (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2006-269773 (P2006-269773)
 (22) 出願日 平成18年9月29日 (2006.9.29)

(71) 出願人 000003078
 株式会社東芝
 東京都港区芝浦一丁目1番1号
 (74) 代理人 100109900
 弁理士 堀口 浩
 (72) 発明者 川久保 隆
 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地
 東芝リサーチコンサルティング株式会社内
 (72) 発明者 長野 利彦
 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
 (72) 発明者 西垣 亨彦
 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

(54) 【発明の名称】 マイクロメカニカルデバイス

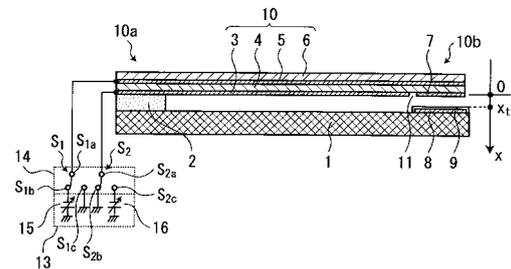
(57) 【要約】

【課題】 圧電膜に鉛系の材料を用いず、作製が容易であり、スティッキングが発生してもそれを解消することが可能な圧電駆動アクチュエータを備えたマイクロメカニカルデバイスの提供。

【解決手段】

基板1上に設けられ、圧電膜4と、圧電膜4の基板1に対向する面に設けられた下部電極3と、圧電膜4の下部電極3が設けられた面に対向する面に設けられた上部電極5とを有し、基板1上に固定された固定部10aと、固定部10aから延在した作用部10bとを備えたアクチュエータ10と、下部電極3と上部電極5との間に電圧を印加する電圧印加手段13と、印加される電圧の極性を切り替える極性切替手段14と、を備える。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板と、

前記基板上に設けられ、圧電膜と、前記圧電膜の前記基板に対向する面に設けられた第 1 の電極と、前記圧電膜の前記第 1 の電極が設けられた面に対向する面に設けられた第 2 の電極とを有し、前記基板上に固定された固定部と、前記固定部から延在した作用部とを備えたアクチュエータと、

前記作用部に対向して前記基板の表面に配置された固定電極と、

前記第 1 の電極と前記第 2 の電極との間に電圧を印加する電圧印加手段と

前記電圧の極性を切替えて、前記アクチュエータを前記基板に近づく方向又は前記基板から遠ざかる方向に屈曲変位させる極性切替手段と、を備えたことを特徴とするマイクロメカニカルデバイス。

10

【請求項 2】

前記電圧印加手段は、単極性の直流電源であることを特徴とする請求項 1 記載のマイクロメカニカルデバイス。

【請求項 3】

前記電圧印加手段は、双極性の直流電源であることを特徴とする請求項 1 記載のマイクロメカニカルデバイス。

【請求項 4】

前記圧電膜は、窒化アルミニウム又は酸化亜鉛の c 軸配向膜で構成されていることを特徴とする請求項 1 から 3 いずれか 1 項に記載のマイクロメカニカルデバイス。

20

【請求項 5】

基板と、

前記基板上に設けられ、前記基板に対向する側から第 1 の電極、第 1 の圧電膜、第 2 の電極、第 2 の圧電膜、第 3 の電極がこの順で積層された積層構造を有し、前記基板上に固定された固定部と、前記固定部から延在した作用部とを備えたアクチュエータと、

前記作用部に対向して前記基板の表面に配置された固定電極と、

前記第 2 の電極と前記第 3 の電極、及び前記第 2 の電極と前記第 1 の電極との間に電圧を印加する電圧印加手段と

前記各々の電圧の極性を切替えて、前記アクチュエータを前記基板に近づく方向又は前記基板から遠ざかる方向に屈曲変位させる極性切替手段と、を備えたことを特徴とするマイクロメカニカルデバイス。

30

【請求項 6】

前記電圧印加手段は、単極性の直流電源であることを特徴とする請求項 5 記載のマイクロメカニカルデバイス。

【請求項 7】

前記電圧印加手段は、双極性の直流電源であることを特徴とする請求項 5 記載のマイクロメカニカルデバイス。

【請求項 8】

前記第 1 の圧電膜及び前記第 2 の圧電膜は、窒化アルミニウム又は酸化亜鉛の c 軸配向膜で構成されていることを特徴とする請求項 5 から 7 いずれか 1 項に記載のマイクロメカニカルデバイス。

40

【請求項 9】

前記マイクロメカニカルデバイスは、可変キャパシタ又はスイッチであることを特徴とする請求項 1 から 8 いずれか 1 項に記載のマイクロメカニカルデバイス。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、マイクロメカニカルデバイスに関し、特に、圧電アクチュエータにより駆動されるマイクロメカニカルデバイスに関する。

50

【背景技術】

【0002】

近年、マイクロ電気機械システム(MEMS: Micro-electro-mechanical System)技術で作製された薄膜アクチュエータを用いて、スイッチや可変キャパシタ等のマイクロメカニカルデバイスを作製する技術に関心が集まっている。

【0003】

このようなMEMS技術で作製された薄膜アクチュエータの一つとして、静電力を駆動力とした静電アクチュエータが知られている。この静電アクチュエータは、空間を隔てた一对の電極に駆動電圧を印加するだけという非常に簡単な動作機構で済むという長所がある。その反面、静電力が距離のマイナス二乗に比例するという性質から、印加電圧と移動量が非線型である、初期間隔の2/3程度以下では間隔が不連続に閉じてしまうプルインという現象が生じて駆動範囲が狭い、1 μ m以上の距離を駆動するためには一般に20V以上の高い駆動電圧が必要である、電圧印加により可動電極に電荷が注入されて電極間にスティッキングが生じる、といった短所を有する。現状ではこれらの短所、特に駆動電圧が高い問題点から、一般民生用機器には応用が及んでいないのが現状である。

10

【0004】

このような問題を解決するために、駆動力として圧電力を使用した圧電アクチュエータが一般的に知られている(例えば、特許文献1)。このような圧電アクチュエータは、圧電膜として圧電性が高く、加工性が高いPZT系(ジルコン酸チタン酸鉛)が好適に使用されている。そのため、アクチュエータとして様々な形状のものを容易に作製することが可能である。

20

【特許文献1】特開2006-87231公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、薄膜技術によりPZT系の圧電膜を使用したアクチュエータを作製する場合には、様々な困難性がある。例えば、鉛系の材料は融点や蒸気圧が高く成膜過程での組成制御が困難である。また、通常の半導体製造ラインでは、鉛系の材料は環境汚染等の問題から使用を制限されているという問題がある。

30

【0006】

さらに、薄膜技術により作製された圧電アクチュエータにおいても、静電アクチュエータと同様に、スティッキングという問題がある。このスティッキングは、例えば、金属電極と誘電膜間、あるいは誘電膜相互間では主としてファンデルワールス力に起因して生じ、また金属電極間のオーミックコンタクトにより開閉を行うMEMSスイッチにおいては、金属電極同士の凝集力により生じるので、物理的に不可避な現象である。

【0007】

そこで、本発明は、圧電膜に鉛系の材料を用いず、作製が容易であり、スティッキングが発生してもそれを解消することができる圧電アクチュエータを備えたマイクロメカニカルデバイスを提供することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明に係るマイクロメカニカルデバイスは、基板と、前記基板上に設けられ、圧電膜と、前記圧電膜の前記基板に対向する面に設けられた第1の電極と、前記圧電膜の前記第1の電極が設けられた面に対向する面に設けられた第2の電極とを有し、前記基板上に固定された固定部と、前記固定部から延在した作用部とを備えたアクチュエータと、前記作用部に対向して前記基板の表面に配置された固定電極と、前記第1の電極と前記第2の電極との間に電圧を印加する電圧印加手段と前記電圧の極性を切替えて、前記アクチュエータを前記基板に近づく方向又は前記基板から遠ざかる方向に屈曲変位させる極性切替手段と、を備えたことを特徴とする。

50

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、圧電膜に鉛系の材料を用いず、作製が容易であり、スティッキングが発生してもそれを解消することができる圧電アクチュエータを備えたマイクロメカニカルデバイスが提供される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

本発明者は、前述した問題を解決すべく、薄膜法で作製可能な圧電体材料を種々検討した結果、ウルツ鉱型結晶系を持つ、窒化アルミニウム（AlN）ないし酸化亜鉛（ZnO）のc軸配向膜が適していることを見出した。ただし、AlNやZnOの圧電性は、前述したPZT系の場合と比較すると、1/10以下と非常に小さい。このためAlNやZnOの圧電膜を備えた圧電アクチュエータを作製する場合は、その変位量を大きくとるために、アクチュエータの厚さを薄くし、長さを長く、すなわちアスペクト比を大きく取る必要がある。しかしながらこのようなアスペクト比の大きいアクチュエータ構造を採用した場合は、アクチュエータの剛性が小さくなり、接点間のスティッキングなどにより動作不良をより生じやすくなるという問題が生じる。

10

【0011】

このスティッキングの現象について、図面を用いて説明する、図11は従来の圧電アクチュエータを備える可変キャパシタの構造を示す図である。1は基板、2はアンカー、3はアクチュエータの下部電極、4は圧電膜、5は上部電極、6は支持膜、7は可変キャパシタを構成する可動電極、8は固定電極、9は誘電膜、10はアクチュエータ、12は電圧印加手段（直流電源）である。

20

【0012】

図11において、電圧印加手段12を使用して圧電膜4を挟む下部電極3と上部電極5との間に電圧Vを印加すると圧電膜4は膜厚方向に伸長して長軸方向に縮小する。このため、アクチュエータ10は、図中、x方向に向かって屈曲し、 x_t だけ変位すると可動電極7は固定電極8上の誘電膜9に接触する。

【0013】

図12は、図11に示したアクチュエータ10に圧電駆動電圧 $V_0 \sim V_t$ を印加した時の駆動機構を説明する図である。

30

【0014】

アクチュエータ10は固有の剛性を持ち、アクチュエータ10の変位xに比例したバネ弾性力Fを生じる。一方、アクチュエータ10に圧電駆動電圧 $V_0 \sim V_t$ を印加することにより、圧電駆動力 $F_0 \sim F_t$ を生じ、この圧電駆動力 $F_0 \sim F_t$ とアクチュエータのバネ弾性力Fとがつりあう変位 $x_0 \sim x_t$ を生じる。アクチュエータ10は変位 x_t で誘電膜9に接触すると、それ以上は変位できないので、圧電駆動電圧Vとアクチュエータ変位xの関係は図13(a)に示すようになる。

【0015】

しかしながら、上述したように圧電定数の小さいAlNやZnOを圧電膜として使用した圧電アクチュエータは、薄く長い構造を持ち、剛性、言い換えると前述したバネ弾性力Fが小さいという特徴があり、アクチュエータ10のバネ弾性力Fや圧電駆動力 $F_0 \sim F_t$ のほかに、電極同士が接触した場合の凝集力による固着（スティッキング）も無視出来なくなる。すなわち、図12において圧電駆動電圧 V_t を印加して変位 x_t で可動電極7が誘電膜9に接触した後、圧電駆動電圧を V_0 に戻したときに、アクチュエータ10には F_t の引き戻す力が働く。もし、可動電極7と誘電膜9との間の固着力が力 F_t より大きい場合は、アクチュエータ10は誘電膜9にスティッキングを生じ、可変キャパシタとして機能しなくなる（図13(b)）。

40

【0016】

発明者らは、種々の検討を重ねた結果、このスティッキングの問題に対処するため、圧電アクチュエータに適用することができる、新たな構造および駆動方法を見出した。

50

【 0 0 1 7 】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。以下の図面の記載において、同一の部分には同一の符号を付し、重複する記載は省略する。また、図面は模式的なものであり、厚みと平面寸法との関係、各層の厚みの比率等は現実のものとは異なる。更に、図面相互間においても互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれている。

【 0 0 1 8 】

(第1の実施形態)

図1は、本発明の第1の実施形態に係るマイクロメカニカルデバイスの断面構造を示す図である。本実施形態に係るマイクロメカニカルデバイスは、ユニモルフ型圧電駆動可変キャパシタに関するもので、図1に示すように、基板1上に、アクチュエータ10が設けられている。アクチュエータ10は、例えば、アンカー2を介して固定された固定部10aと、固定部10aから延在した可動電極7を有する作用部10bとを有し、基板1上にアンカー2を介して、下部電極3、圧電膜4、上部電極5及び支持膜6がこの順で積層された構造を備えている。作用部10bの可動電極7は、下部電極3と同層及び同材料で設けられ、下部電極3と可動電極7の間には電極スリット11が設けられている。

10

【 0 0 1 9 】

アクチュエータ10の作用部10bの可動電極7に対向して、基板1の表面には固定電極8が設けられており、固定電極8は誘電膜9で覆われている。可動電極7と誘電膜9との間は、ギャップ(空間)が生じるように、固定電極8と誘電膜9との合計の高さは、アンカー2の高さより小さく設計されている。

20

【 0 0 2 0 】

アクチュエータ10には、下部電極3と上部電極5との間に電圧を印加する電圧印加手段13が接続されており、下部電極3及び上部電極5と、電圧印加手段13との間には、印加される電圧の極性を切り替える極性切替手段14が設けられている。

【 0 0 2 1 】

電圧印加手段13は、図1に示すように、単極性の直流電源15、16を備える。直流電源15、16は、電圧印加手段13内で極性を逆にして配置されている。このため、電圧印加手段13は、双極性の特性を備えている。

【 0 0 2 2 】

極性切替手段14は、切替スイッチ S_1 及び切替スイッチ S_2 を備える。切替スイッチ S_1 は、上部電極5に接続された第1切替端 S_{1a} と、直流電源15の負極性に接続された第2切替端 S_{1b} 又は接地された第3切替端 S_{1c} との間を切替えるスイッチである。切替スイッチ S_2 は、下部電極3に接続された第4切替端 S_{2a} と、接地された第5切替端 S_{2b} 又は直流電源16の負極性に接続された第6切替端 S_{2c} との間を切り替えるスイッチである。直流電源15、16の正極性は接地されている。

30

【 0 0 2 3 】

極性切替手段14の駆動は、第1切替端 S_{1a} を第2切替端 S_{1b} に、第4切替端 S_{2a} を第5切替端 S_{2b} にそれぞれ接続させた状態(以下、第1状態という)で、下部電極3を正極性、上部電極5を負極性とした電圧を印加することができる。また、第1切替端 S_{1a} を第3切替端 S_{1c} に、第4切替端 S_{2a} を第6切替端 S_{2c} にそれぞれ接続させた状態(以下、第2状態という)で、下部電極3を負極性、上部電極5を正極性とした電圧を印加することができる。すなわち、極性切替手段14は、この第1状態と第2状態とを切替える切替手段である。極性切替手段14は、半導体スイッチ又はメカニカルスイッチで構成されている。

40

【 0 0 2 4 】

本実施形態に係るマイクロメカニカルデバイスは、下部電極3を正極性、上部電極5を負極性とした電圧を印加した場合には、圧電膜4は長軸方向に伸長し、アクチュエータ10本体は基板1側に向かって屈曲する。逆に、下部電極3を負極性、上部電極5を正極性とした電圧を印加した場合には、圧電膜4は長軸方向に縮小し、アクチュエータ10本体は基板1側と反対の方向に向かって屈曲する。

50

【 0 0 2 5 】

図 2 に本実施形態における駆動機構を説明する図を示す。

【 0 0 2 6 】

本実施形態に係るマイクロメカニカルデバイスは、電圧印加手段 1 3 及び極性切替手段 1 4 を用いて、圧電駆動電極（下部電極 3 及び上部電極 5）間に、可動電極 7 と誘電膜 9 とを接触させるための駆動電圧 V_t を印加することができ、更に、可動電極 7 と誘電膜 9 とを離反させるための逆極性の電駆動圧 $-V_t$ を印加することができる。すなわち、可動電極 7 と誘電膜 9 との間にスティッキングが生じた場合でも、アクチュエータには引き戻すための力（ここではパネ弾性力） $-F_t$ に加えて、駆動電圧 $-V_t$ に応じた引き離し方向の力（ここでは圧電力） $-F_t$ が更に加わるため、スティッキングを容易に解消することができる。

10

【 0 0 2 7 】

図 3 に本実施形態に係るマイクロメカニカルデバイスの動作機構を説明する図を示す。

【 0 0 2 8 】

最初に点 A にあるアクチュエータ 1 0 に電圧 V_t を印加すると、アクチュエータ 1 0 が図 1 に示す x 方向に向かって x_t だけ屈曲変位して点 B において可動電極 7 が固定電極 8 上の誘電膜 9 に接触する。この時に、強いスティッキングが生じた場合、印加電圧を V_0 に戻してもスティッキングは解消されない（点 C）。ここでアクチュエータ 1 0 が離反する方向の逆向きの駆動電圧 $-V_t$ を印加することで駆動電圧 $-V_r$ でスティッキングが解消され（点 D）、駆動電圧 $-V_r$ に相当するアクチュエータ 1 0 の屈曲変位位置に戻り（点 E）、点 F まで離れる。その後、駆動電圧を V_0 に戻すことによりアクチュエータ 1 0 の位置は最初の点 A に戻る。

20

【 0 0 2 9 】

基板 1 は、絶縁性のガラス基板、シリコン（Si）等の半導体基板が用いられる。

【 0 0 3 0 】

アンカー 2 は、酸化シリコン（ SiO_2 ）等の絶縁膜が好適に用いられる。

【 0 0 3 1 】

下部電極 3、上部電極 5、可動電極 7 及び固定電極 8 等の電極材料としては、アルミニウム（Al）、金（Au）、白金（Pt）、銅（Cu）、インジウム（Ir）、タングステン（W）、モリブデン（Mo）等の加工が容易な金属が好適に用いられる。

30

【 0 0 3 2 】

支持膜 6 は、例えば、ポリ Si 膜が好適に用いられる。

【 0 0 3 3 】

誘電膜 8 は、酸化シリコン（ SiO_2 ）や窒化シリコン（ Si_3N_4 ）等の絶縁膜が用いられる。

【 0 0 3 4 】

圧電膜 4 は、ウルツ鉱型結晶系を持つ、窒化アルミニウム（AlN）ないし酸化亜鉛（ZnO）の c 軸配向膜を用いることが好ましい。なお、圧電膜 4 に PZT 系の材料を用いた場合の駆動機構を図 4、図 5 を用いて説明する。

【 0 0 3 5 】

40

図 4 は PZT などの強誘電体膜に印加した電界 E と分極 P の関係、一般に P - E ヒステリシス曲線と呼ばれる関係図である。まず分極していない状態 A 点から正の電界を印加していくと強誘電分極が生じ、B 点で分極が飽和して C 点に至る。C 点から電界を負方向に走引していくと、D 点で強誘電分極が反転し始め、E 点で反転が飽和し、F 点に至る。再び印加電界を正方向に走引していくと、G 点で再び強誘電分極が反転し始め、H 点で飽和し、C 点に戻る。このように、強誘電体の場合は正負の電界印加に対応して、C D E F G H C の強誘電ヒステリシスを描く。

【 0 0 3 6 】

次に、強誘電体に生じる電歪 ϵ と印加電界 E との関係を図 5 に示す。電歪 ϵ は分極量と電界 E の積にほぼ依存する。すなわち、分極していない状態 A 点から正の電界を印加して

50

いくと分極および電界 E の増加に従い電歪が増加し、B 点を経て C 点に至る。C 点から電界 E を負方向に走引していくと、電界 E の減少に伴い電歪も減少する。電界 E が負になると D 点と E 点の間で強誘電分極が反転し、分極と電界 E の方向が一致するため、再び電歪が増加して F 点に至る。再び印加電界を正方向に走引していくと、電界 E の減少に伴い電歪も減少するが、電界 E が正になると G 点と H 点の間で強誘電分極が反転し、分極と電界 E の方向が一致するため、再び電歪が増加して C 点に戻る。このように、強誘電体の場合に電歪は、分極せず電界 E も 0 の場合の A 点と比較して、正に強く電界 E を加えた場合 (C 点) も負に強く電界 E を加えた場合 F 点も同じ方向に電歪を生じるので、電界 E を正負に切り替えてもメリットは極めて限られること分かる。

【0037】

一方、圧電アクチュエータに分極反転を生じない、AlN や ZnO などの圧電体を使用した場合の電界 E と分極 P の関係を図 6 に、電界 E と電歪の関係を図 7 に示す。AlN や ZnO などの圧電体の場合は非常に単純であり、分極量や電歪は単純に印加された電界 E に比例し、正の電界 E を加えれば正の方向に電歪を生じ、負の電界 E を加えれば負の電歪を生じるため、これまで述べてきたように圧電アクチュエータにとって正負の電界 E を印加することが非常に有効な手段となる。

【0038】

以上より、本実施形態に係るマイクロメカニカルデバイスは、圧電性が低い AlN や ZnO を圧電膜として用いた場合でも、下部電極 3 と上部電極 5 との間の電圧の極性を切替える極性切替手段が設けられているため、スティッキングが発生した場合でも、それを解除できるため、鉛系の材料を用いることなく、作製が容易なマイクロメカニカルデバイスを実現することができる。

【0039】

以下、本実施形態における具体的な実施例を説明する。

【0040】

図 1 に示す構成のマイクロメカニカルデバイスを、下記に示す条件にて作成した。

【0041】

- ・下部電極：Al (厚さ 200 nm)
- ・圧電膜：c 軸配向させた AlN (厚さ 500 nm)
- ・上部電極：Al (厚さ 200 nm)
- ・支持膜：SiO₂ 膜 (厚さ 300 nm)
- ・固定電極：Al (厚さ 200 nm)
- ・可動電極：Al (厚さ 200 nm)
- ・可変キャパシタの等価面積 6400 μm²
- ・アクチュエータ 10 の長軸 200 μm
- ・アクチュエータ 10 の短軸 100 μm

作製した可変キャパシタを駆動させた際の駆動電圧と容量との関係図を図 8 に示す。

【0042】

図 8 に示すように、駆動電圧を 0 V から 3 V まで増加させたところ、容量は 0.22 pF から 1.85 pF まで連続的に増加した (A 点)。しかしながら、続けて駆動電圧を 0 V にしたところ、電極同士でスティッキングが生じたため容量値はほとんど変化しなかった (B 点)。そこで次に、駆動電圧を 0 V から -3 V まで負電圧を印加して行ったところ、-2 V 付近でスティッキングが解消されて容量が 1.82 pF から 0.13 pF まで不連続に減少した (C 点)。その後、駆動電圧を -3 V から 0 V まで減少させると、容量は 0.12 pF から 0.22 pF まで連続的に増加した (D 点)。

【0043】

このように、電極同士が接触後スティッキングを生じた場合に、逆極性の電圧を印加することでスティッキングが解消されることが確認された。

【0044】

また、0 ~ 3 V の正電圧を印加した場合の容量変化範囲である 0.22 pF から 1.8

10

20

30

40

50

5 pFに加えて、-3 V ~ 0 Vの負電圧を印加した場合の容量変化範囲である0.12 pFから0.22 pFの領域も利用することが可能になり、容量変化倍率も8.4倍から15.4倍に増加することが確認された。

【0045】

また、圧電膜としてc軸配向させたZnO(厚さ500 nm)を用いた場合でも同様な傾向の結果が確認された。

【0046】

(第2の実施形態)

図9は、本発明の第2の実施形態に係るマイクロメカニカルデバイスの断面構造を示す図である。本実施形態に係るマイクロメカニカルデバイスは、バイモルフ型圧電駆動MEMS可変キャパシタに関するもので、図9に示すように、基板21上に、アクチュエータ40が設けられている。アクチュエータ40は、例えば、アンカー22を介して固定された固定部40aと、固定部40aから延在した可動電極28を有する作用部40bとを有し、基板21上のアンカー22を介して、下部電極23、下部圧電膜24、中間電極25、上部圧電膜26、上部電極27がこの順で積層された構造を備えている。作用部40bの可動電極28は、下部電極23と同層に設けられ、下部電極23と可動電極28の間には電極スリット29が設けられている。

10

【0047】

また、作用部40bの可動電極28に対向して、基板21の表面には固定電極30が設けられており、固定電極30は誘電膜31で覆われている。

20

【0048】

可動電極28と誘電膜31の間にはギャップ(空間)が生じるように、誘電膜31と固定電極30との合計の高さはアンカー22の高さより小さく設計されている。

【0049】

アクチュエータ40には、下部電極23と中間電極25との間、及び中間電極25と上部電極27との間に電圧を印加する電圧印加手段32が接続されており、下部電極23、中間電極25及び上部電極27と電圧印加手段32の間には、印加される電圧の極性を切り替える極性切替手段33が設けられている。

【0050】

電圧印加手段32は、図9に示すように、単極性の直流電源34を備える。

30

【0051】

極性切替手段33は、切替スイッチ S_3 及び切替スイッチ S_4 を備える。切替スイッチ S_3 は、下部電極23及び上部電極27に接続された第1切替端 S_{3a} と、直流電源34の負極性に接続された第2切替端 S_{3b} 又は接地された第3切替端 S_{3c} との間を切替えるスイッチである。切替スイッチ S_4 は、中間電極25に接続された第4切替端 S_{4a} と、接地された第5切替端 S_{4b} 又は直流電源34の負極性に接続された第6切替端 S_{4c} とを切替えるスイッチである。すなわち、第2切替端 S_{3b} 及び第6切替端 S_{4c} は、直流電源34の負極性に並列に接続され、第3切替端 S_{3c} 及び第5切替端 S_{4b} は、接地されている。直流電源34の正極性は接地されている。

40

【0052】

極性切替手段33の駆動は、第1切替端 S_{3a} を第2切替端 S_{3b} に、第4切替端 S_{4a} を第5切替端 S_{4b} にそれぞれ接続させた状態(以下、第1状態という)で、中間電極25を正極性、下部電極23及び上部電極27を負極性とした電圧を印加することができる。また、第1切替端 S_{3a} を第3切替端 S_{3c} に、第4切替端 S_{4a} を第6切替端 S_{4c} にそれぞれ接続させた状態(以下、第2状態という)にすることで、中間電極25を負極性、下部電極23及び上部電極27を正極性とした電圧を印加することができる。すなわち、極性切替手段33は、この第1状態と第2状態とを切替える切替手段である。極性切替手段33は、半導体スイッチ又はメカニカルスイッチで構成されている。

【0053】

本実施形態に係るマイクロメカニカルデバイスは、中間電極25に対して負極性、下部

50

電極 23 と上部電極 27 に対して正極性の電圧を印加した場合には、上部圧電膜 26 は長軸方向に伸長し、下部圧電膜 24 は長軸方向に縮小し、アクチュエータ 40 本体は基板 21 側に向かって屈曲する。逆に、中間電極 25 に対して正極性、下部電極 23 と上部電極 27 に対して負極性の電圧を印加した場合には、上部圧電膜 26 は長軸方向に縮小し、下部圧電膜 24 は長軸方向に伸長し、アクチュエータ 40 本体は基板 21 側と反対の方向に向かって屈曲する。

【0054】

基板 21 は、絶縁性のガラス基板、シリコン (Si) 等の半導体基板が用いられる。

【0055】

アンカー 22 は、酸化シリコン (SiO₂) 等の絶縁膜が好適に用いられる。

10

【0056】

下部電極 23、中間電極 25、上部電極 27、可動電極 28 及び固定電極 30 等の電極材料としては、アルミニウム (Al)、金 (Au)、白金 (Pt)、銅 (Cu)、インジウム (Ir)、タングステン (W)、モリブデン (Mo) 等の加工が容易な金属が好適に用いられる。

【0057】

誘電膜 31 は、酸化シリコン (SiO₂) や窒化シリコン (Si₃N₄) 等の絶縁膜が用いられる。

【0058】

下部圧電膜 24 及び上部圧電膜 26 は、ウルツ鉱型結晶系を持つ、窒化アルミニウム (AlN) ないし酸化亜鉛 (ZnO) の c 軸配向膜を用いることが好ましい。

20

【0059】

なお、その他の駆動原理、効果等は、第 1 の実施形態と同様なため説明を省略する。

【0060】

以下、本実施形態における具体的な実施例を説明する。

【0061】

図 9 に示す構成の可変キャパシタを、下記に示す条件にて作成した。

【0062】

- ・下部電極：Al (厚さ 200 nm)
- ・圧電膜：c 軸配向させた AlN (厚さ 500 nm)
- ・中間電極：Al (厚さ 200 nm)
- ・上部電極：Al (厚さ 200 nm)
- ・固定電極：Al (厚さ 200 nm)
- ・可動電極：Al (厚さ 200 nm)
- ・可変キャパシタの等価面積 6400 μm²
- ・アクチュエータ 10 の長軸 200 μm
- ・アクチュエータ 10 の短軸 100 μm

30

作製した可変キャパシタを駆動させたところ、第 1 の実施形態で説明したユニモルフ型圧電駆動 MEMS 可変キャパシタよりも 1.8 倍ほど大きな容量変化が確認されたが、第 1 の実施形態と同様に、可変キャパシタの電極間でスティッキングを生じ、駆動電圧を 0 V に戻してもスティッキングは解消されなかった。

40

【0063】

そこで、逆特性の電圧を印加したところ、-1.5 V 付近でスティッキングが解消され、安定に動作することが確認された。

【0064】

また、圧電膜として c 軸配向させた ZnO (厚さ 500 nm) を用いた場合でも同様な傾向の結果が確認された。

【0065】

(第 3 の実施形態)

図 10 は、本発明の第 3 の実施形態に係るマイクロメカニカルデバイスの断面構造を示

50

す図である。本実施形態に係るマイクロメカニカルデバイスは、第1の実施形態で説明した可変キャパシタと構成は類似するものであるが、機能として、RFスイッチに関するものである。本実施形態に係るマイクロメカニカルデバイスは、第1の実施形態に係るマイクロメカニカルデバイスと比較すると、誘電膜9が無い構成を備えており、その他の構成、駆動原理、効果等は、第1の実施形態と同様なため、説明を省略する。

【0066】

本実施形態に係るマイクロメカニカルデバイスは、可動電極7と固定電極8とが直接接触することで、オーミックコンタクトが可能になり、RFスイッチとして機能するものである。

【0067】

以下、本実施形態における具体的な実施例を説明する。

【0068】

図4に示す構成のRFスイッチを、下記に示す条件にて作成した。

【0069】

- ・下部電極：Au（厚さ200nm）
- ・圧電膜：c軸配向させたAlN（厚さ500nm）
- ・上部電極：Au（厚さ200nm）
- ・支持膜：SiO₂膜（厚さ300nm）
- ・固定電極：Au（厚さ200nm）
- ・可動電極：Au（厚さ200nm）
- ・アクチュエータ10の長軸200μm
- ・アクチュエータ10の短軸100μm

作製した圧電アクチュエータに3Vの駆動電圧を加えたところ、可動電極と固定電極の間でオーミックコンタクトが得られ、2GHzにおける損失は0.3dBと非常に小さい値が得られた。しかしながら、続けて駆動電圧を0Vに戻したが、電極間でスティッキングを生じたために抵抗値はほとんど変化しなかった。そこで次に0Vから-3Vまで負電圧を印加して行ったところ、-1.2V付近でスティッキングが解消されて導通がなくなり、-3Vにおけるアイソレーションは2GHzで32dBという高い値が得られた。その後、駆動電圧を0Vに戻したとき、アイソレーションは25dBであった。

【0070】

このように、電極が接触後スティッキングを生じた場合に、逆極性の電圧を印加することでスティッキングを解消することが可能になり、安定に動作させることが可能になった。すなわち、導通させる場合は正極性の電圧を圧電アクチュエータに印加することで達成され、導通を切る場合は一旦負電圧を印加して0Vに戻すことで達成される。また大きな絶縁アイソレーションが必要とされる場合は、負極性の電圧を印加し続けることで達成される。また、AlN、ZnOで構成された圧電膜は容易に高い絶縁性を達成することができ、本実施例では3Vを印加しても流れる電流は 10^{-10} A以下であり、消費電力は無視できた。

【0071】

（その他の実施形態）

前述した第1の実施形態から第3の実施形態に係るアクチュエータは、一方の端部を固定部とする片持ち構造に関するものであるが、本発明は、両持ち構造や、折り返し構造など様々な構造が適用可能であることはいうまでもない。また、電圧印加手段、極性切替手段においても、圧電アクチュエータの電極間に逆極性の電圧を印加出来れば良いため、様々な形態の電圧印加手段及び極性切替手段を使用することができる。例えば、第1の実施形態で説明した電圧印加手段13及び極性切替手段14は、第2の実施形態で説明した電圧印加手段32及び極性切替手段33に置き換えることも可能であり、また、その逆も可能である。

【図面の簡単な説明】

【0072】

10

20

30

40

50

【図 1】本発明の第 1 の実施形態に係るマイクロメカニカルデバイスの断面構造を示す図。

【図 2】第 1 の実施形態における駆動機構を説明する図。

【図 3】第 1 の実施形態に係るマイクロメカニカルデバイスの動作機構を説明する図。

【図 4】圧電膜 4 に P Z T 系の材料を用いた場合の駆動機構を説明する図。

【図 5】圧電膜 4 に P Z T 系の材料を用いた場合の駆動機構を説明する図。

【図 6】A l N や Z n O などの圧電体を使用した場合の電界と分極の関係を示す図。

【図 7】A l N や Z n O などの圧電体を使用した場合の電界と電歪との関係を示す図。

【図 8】作製した可変キャパシタを駆動させた際の駆動電圧と容量との関係を示す図。

【図 9】本発明の第 2 の実施形態に係るマイクロメカニカルデバイスの断面構造を示す図

10

【図 10】本発明の第 3 の実施形態に係るマイクロメカニカルデバイスの断面構造を示す図。

【図 11】従来の圧電アクチュエータを備える可変キャパシタの構造を示す図。

【図 12】図 11 に示したアクチュエータ 10 に圧電駆動電圧 $V_0 \sim V_t$ を印加したときの駆動機構を説明する図。

【図 13】圧電駆動電圧 V と変位 x との関係を示す図。

【符号の説明】

【0073】

1 基板

2 アンカー

3 下部電極

4 圧電膜

5 上部電極

6 支持膜

7 可動電極

8 固定電極

9 誘電膜

10 アクチュエータ

10a 固定部

10b 作用部

11 電極スリット

12 電圧印加手段

13 電圧印加手段

14 極性切替手段

15 直流電源

16 直流電源

21 基板

22 アンカー

23 下部電極

24 下部圧電膜

25 中間電極

26 上部圧電膜

27 上部電極

28 可動電極

29 電極スリット

30 固定電極

31 誘電膜

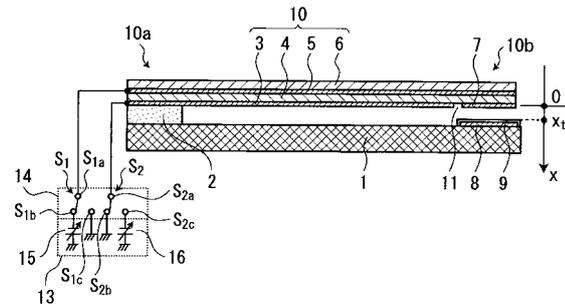
$S_1 \sim S_4$ スイッチ

20

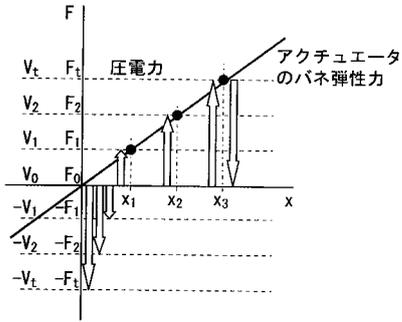
30

40

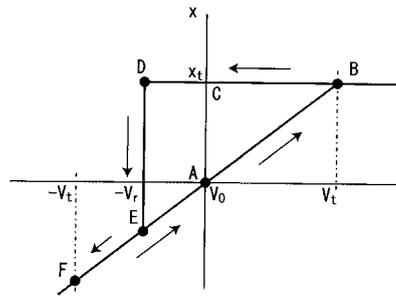
【 図 1 】



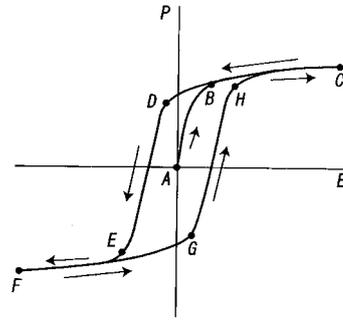
【 図 2 】



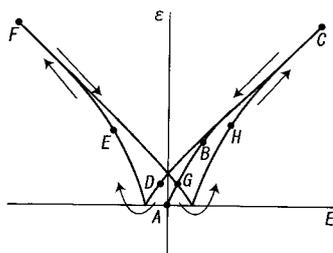
【 図 3 】



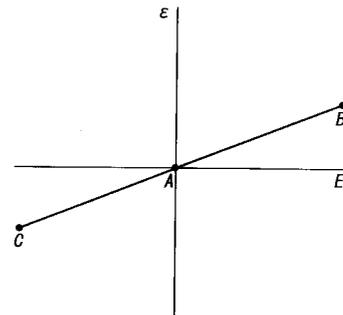
【 図 4 】



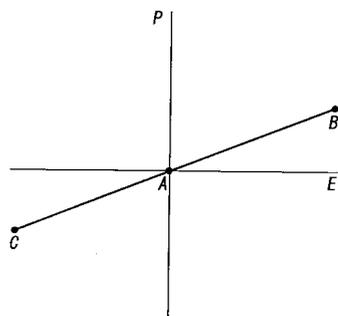
【 図 5 】



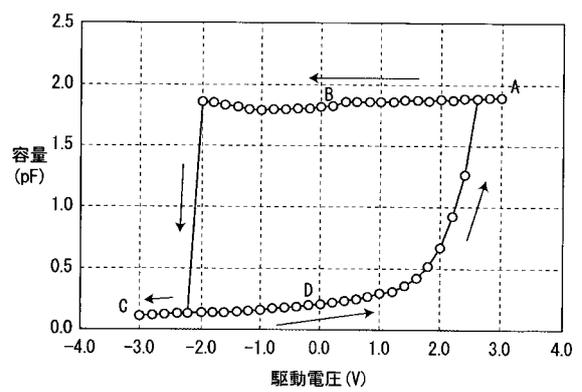
【 図 7 】



【 図 6 】



【 図 8 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

H 0 1 G 5/18 (2006.01)

F I

H 0 1 G 5/24 5 6 1

H 0 1 G 5/18

テーマコード(参考)