

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5590251号
(P5590251)

(45) 発行日 平成26年9月17日(2014.9.17)

(24) 登録日 平成26年8月8日(2014.8.8)

(51) Int.Cl.		F I			
H O 1 G	5/16	(2006.01)	H O 1 G	5/24	5 5 1
H O 1 G	5/011	(2006.01)	H O 1 G	5/24	M
B 8 1 B	3/00	(2006.01)	B 8 1 B	3/00	

請求項の数 9 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2013-542879 (P2013-542879)	(73) 特許権者	000006231
(86) (22) 出願日	平成24年6月28日 (2012.6.28)		株式会社村田製作所
(86) 国際出願番号	PCT/JP2012/066500		京都府長岡京市東神足1丁目10番1号
(87) 国際公開番号	W02013/069333	(74) 代理人	110000970
(87) 国際公開日	平成25年5月16日 (2013.5.16)		特許業務法人 楓国際特許事務所
審査請求日	平成25年12月9日 (2013.12.9)	(72) 発明者	小中 義宏
(31) 優先権主張番号	特願2011-244139 (P2011-244139)		京都府長岡京市東神足1丁目10番1号
(32) 優先日	平成23年11月8日 (2011.11.8)		株式会社村田製作所内
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(72) 発明者	川手 俊矢
			京都府長岡京市東神足1丁目10番1号
			株式会社村田製作所内
		審査官	田中 晃洋

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 可変容量装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

固定基板と、

前記固定基板に対向して、前記固定基板との間隔を変えることができる可動電極を備える可動梁と、

前記可動電極に対向して前記固定基板に形成された少なくとも一つの固定基板側駆動電極と、

前記可動電極に対向するとともに前記固定基板側駆動電極から離間して前記固定基板に形成された固定基板側容量電極と、

前記可動電極と前記固定基板側駆動電極との間に形成された誘電体膜と、

前記固定基板側駆動電極に印加される電圧の高さと、前記可動電極に印加される電圧の高さと、が周期的に切り替わり、前記固定基板側容量電極に印加される電圧の高さと、前記可動電極に印加される電圧の高さと、が常に一致するように構成された回路部と、

を備える可変容量装置。

【請求項2】

前記回路部は、前記可動電極と前記固定基板側容量電極との間に接続されるRFカット抵抗を備える、請求項1に記載の可変容量装置。

【請求項3】

前記RFカット抵抗は、前記可動電極と前記固定基板側容量電極との間に形成されるRF容量のインピーダンスよりも、大きいインピーダンスを有する、請求項2に記載の可変

容量装置。

【請求項 4】

第 1 の R F 信号端子と、第 2 の R F 信号端子とをさらに備え、

前記回路部は、前記可動電極と第 1 の R F 信号端子との間に接続される第 1 の D C カット容量と、前記固定基板側容量電極と第 2 の R F 信号端子との間に接続される第 2 の D C カット容量と、を備える、請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の可変容量装置。

【請求項 5】

前記第 1 の D C カット容量および前記第 2 の D C カット容量は、前記可動電極と前記固定基板側容量電極との間に形成される R F 容量よりも、大きい容量値を有する、請求項 4 に記載の可変容量装置。

10

【請求項 6】

前記固定基板側駆動電極に印加される電圧の高さと、前記可動電極に印加される電圧の高さとが、グラウンドと所定の電圧の高さとに周期的に切り替わる、請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載の可変容量装置。

【請求項 7】

前記可動電極に接続される第 1 の R F 信号端子と、前記固定基板側容量電極に接続される第 2 の R F 信号端子とを、更に備え、

前記回路部は、

前記可動電極と第 1 の R F 信号端子との間に接続される第 1 の D C カット容量と、

前記可動電極に直流の駆動電圧を印加する可動電極用の駆動電圧印加端子と、を備え、

前記可動電極用の駆動電圧印加端子と、前記可動電極との間に接続される第 1 のコイルを備える、請求項 1 に記載の可変容量装置。

20

【請求項 8】

前記回路部は、

前記可動電極用の駆動電圧印加端子と前記固定基板側容量電極との間に接続される第 2 のコイルを備える、請求項 7 に記載の可変容量装置。

【請求項 9】

前記回路部は、

前記可動電極と前記固定基板側容量電極との間に接続される第 3 のコイルを備える、請求項 7 に記載の可変容量装置。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、静電力により駆動する静電駆動型アクチュエータを利用して R F (R a d i o F r e q u e n c y) 容量を変えることができる可変容量装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、MEMS (M i c r o E l e c t r o M e c h a n i c a l S y s t e m s) を用いた静電駆動型アクチュエータが可変容量装置に利用されることがある (例えば特許文献 1 参照。) 。

40

【0003】

図 1 は、可変容量装置を構成する従来の静電駆動型アクチュエータ 101 の構成例を説明する図である。

図 1 に示すように、静電駆動型アクチュエータ 101 は、半導体基板 102 と、弾性部材 103 と、下部駆動電極 104 A と、上部駆動電極 104 B と、下部容量電極 105 A と、上部容量電極 105 B と、絶縁膜 106 とを備えている。弾性部材 103 は絶縁性材料からなる可動部であり、半導体基板 102 に一端が固定されている。下部駆動電極 104 A と下部容量電極 105 A とは、互いに隣接して半導体基板 102 上に形成されている。絶縁膜 106 は、下部駆動電極 104 A と下部容量電極 105 A とを覆うように形成さ

50

れている。上部駆動電極 104B は、下部駆動電極 104A に対向するように弾性部材 103 に形成されている。上部容量電極 105B は、下部容量電極 105A に対向するように弾性部材 103 に形成されている。

【0004】

この静電駆動型アクチュエータ 101 は、下部駆動電極 104A と上部駆動電極 104B との間に駆動電圧（DC 電圧）が印加されることで駆動する。具体的には、下部駆動電極 104A と上部駆動電極 104B との間に印加される駆動電圧により、下部駆動電極 104A と上部駆動電極 104B との間に駆動容量が形成される。弾性部材 103 は、駆動容量における静電引力によって半導体基板 102 に引き寄せられ、上部容量電極 105B が絶縁膜 106 に接触する。これにより、上部容量電極 105B と下部容量電極 105A との間に、第 1 の容量が形成される。また、静電駆動型アクチュエータ 101 が駆動されていない状態では、上部容量電極 105B と絶縁膜 106 との間にギャップ空間が形成される。そのため、上部容量電極 105B と下部容量電極 105A との間には、第 1 の容量よりも容量値が小さい第 2 の容量が形成される。このように、静電駆動型アクチュエータ 101 は、可変容量素子として機能する。

10

【0005】

このような静電駆動型アクチュエータでは、スティッキング現象と呼ばれる現象が発生することがある。詳細には、静電駆動型アクチュエータが駆動されることにより、上部容量電極が絶縁膜に接触する際に、上部駆動電極も絶縁膜に接触する。このとき、上部駆動電極と下部駆動電極との電位差により、絶縁膜に電荷が注入され、その電荷が絶縁膜にトラップされて絶縁膜がチャージアップ（帯電）することがある。そして、駆動電圧の印加を止めても、絶縁膜のチャージアップにより、絶縁膜に上部駆動電極が引き寄せられる。このような要因で、弾性部材が半導体基板に引き寄せられた状態から動かなくなる現象がスティッキング現象であり、スティッキング現象が発生すると、静電駆動型アクチュエータの制御ができなくなり問題となる。

20

【0006】

そこで、上記静電駆動型アクチュエータ 101 では、駆動する際に、上部駆動電極 104B に駆動電圧が印加されるとともに下部駆動電極 104A をグラウンドに接続する状態と、下部駆動電極 104A に駆動電圧が印加されるとともに上部駆動電極 104B をグラウンドに接続する状態と、が切り替えられる（以下、このような駆動方法をバイポーラ駆動と称する。）。このバイポーラ駆動によって、絶縁膜 106 のチャージアップを解消し、スティッキング現象の発生を防ぐことができる。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献 1】特開 2010 - 280057 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

ここで、上述の静電駆動型アクチュエータ 101 において、可動部である弾性部材に形成される上部駆動電極と上部容量電極とを単一の可動部側電極として構成する場合を考える。この場合、下部容量電極と可動部側電極との間に駆動電圧が印加されると、弾性部材の変位を制御することが難しくなるため、可動部側電極をグラウンドに接続した構成とすることが妥当である。そのような構成では、下部駆動電極に印加される駆動電圧の極性を正負で切り替えることにより、バイポーラ駆動を利用してスティッキング現象の発生を防ぐことが可能になる。

40

【0009】

しかしながら、下部駆動電極に印加される駆動電圧の極性を正負で切り替えるためには、正負の両極性の駆動電圧を発生することができる駆動回路が必要になる。そのような駆動回路は、単一の極性の駆動電圧のみを発生する駆動回路に比べて、回路構造が複雑で高

50

コストである。このため、可変容量装置全体が高コスト化してしまう。

【0010】

そこで、本発明の目的は、バイポーラ駆動によりスティッキング現象の発生を防ぐことができ、回路部を安価で簡易に構成することが可能な可変容量装置を実現することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

この発明の可変容量装置は、固定基板と、可動梁と、固定基板側駆動電極と、固定基板側容量電極と、誘電体膜と、回路部と、を備えている。可動梁は、固定基板に対向して、固定基板との間隔を変えることができる可動電極を備える。少なくとも一つの固定基板側駆動電極は、可動電極に対向して固定基板に形成されている。固定基板側容量電極は、可動電極に対向するとともに固定基板側駆動電極から離間して固定基板に形成されている。誘電体膜は、可動電極と固定基板側駆動電極との間に形成されている。回路部は、固定基板側駆動電極に印加される電圧の高さと、可動電極に印加される電圧の高さとが周期的に切り替わるとともに、固定基板側容量電極に印加される電圧の高さと可動電極に印加される電圧の高さとが常に一致するように構成されている。

この構成では、固定基板側駆動電極に印加される電圧の高さと可動電極に印加される電圧の高さが周期的に切り替わるようにバイポーラ駆動させることにより、誘電体膜に作用する電界の方向を周期的に反転させることができる。このため、誘電体膜がチャージアップ（帯電）することがなくなり、スティッキング現象の発生を防ぐことができる。また、固定基板側容量電極に印加される電圧の高さが可動電極に印加される電圧の高さと一致するようにすることにより、固定基板側容量電極と可動電極との間に電位差が生じることを防ぐことができ、固定基板側容量電極と可動電極との間に生じる電位差によって可動梁の変位量が影響を受けることを防ぐことができる。固定基板側駆動電極に印加される電圧の高さと、可動電極に印加される電圧の高さとが、異なる高さの電圧に周期的に切り替わることにより、正負の両極性のDC電圧を発生させるような高度な構成ではなく、回路部を安価で簡易な構成とすることが可能になる。

【0012】

上述の可変容量装置において、回路部は、可動電極と固定基板側容量電極との間に接続されるRFカット抵抗を備えると好適である。RFカット抵抗は、可動電極と固定基板側容量電極との間に形成されるRF容量のインピーダンスよりも、大きいインピーダンスを有すると好ましい。特に、可動電極と固定基板側容量電極との間に形成されるRF容量のインピーダンスの10倍以上に大きいインピーダンスを有すると好ましい。

この構成では、RFカット抵抗を介して可動電極と固定基板側容量電極とが接続されるので、可動電極に印加される電圧の高さと固定基板側容量電極に印加される電圧の高さとが常に一致するため、可動電極と固定基板側容量電極との間に電位差が生じることを防ぐことができる。このことにより、可動電極と固定基板側容量電極との間の電位差が、可動梁の変位量に影響を及ぼすことを防ごうことができる。また、可動電極や固定基板側容量電極に接続される回路部に、RF信号が漏れることを防ぐことができる。

【0013】

上述の可変容量装置において、第1のRF信号端子と、第2のRF信号端子とをさらに備え、回路部は、可動電極と第1のRF信号端子との間に接続される第1のDCカット容量と、固定基板側容量電極と第2のRF信号端子との間に接続される第2のDCカット容量と、を備えると好適である。第1のDCカット容量および第2のDCカット容量は、可動電極と固定基板側容量電極との間に形成されるRF容量よりも、大きい容量値を有すると好ましい。特に、20倍以上に大きい容量値を有すると好ましい。

【0014】

この構成では、DCカット容量を介して可動電極や固定基板側容量電極がRF信号端子に接続されるので、RF信号端子に接続される外部回路にDC成分が影響を及ぼすことを防ぐことができる。

【0015】

上述の変容量装置において、固定基板側駆動電極に印加される電圧の高さと、前記可動電極に印加される電圧の高さとが、グラウンドと所定の電圧の高さとに周期的に切り替わると好適である。

この構成では、グラウンドと所定の電圧の高さを利用することで、回路構成を極めて簡易なものにすることができる。

【0016】

上述の変容量装置において、可動電極に接続する第1のRF信号端子と、固定基板側容量電極に接続する第2のRF信号端子とを、更に備え、回路部は、可動電極と第1のRF信号端子との間に接続される第1のDCカット容量と、可動電極に直流の駆動電圧を印加する可動電極用の駆動電圧印加端子と、を備え、可動電極用の駆動電圧印加端子と、可動電極との間に接続される第1のコイルを備えてもよい。

10

【0017】

この構成では、直流の駆動電圧の切り替え時に可動電極に印加される電圧の復帰の時定数が改善される。これにより、駆動電圧が切り替えられた際に発生する可動電極と固定基板側駆動電極との間の電位差が、瞬時に復帰する。

【0018】

上述の変容量装置において、回路部は、可動電極用の駆動電圧印加端子と固定基板側容量電極との間に接続される第2のコイルを備えてもよい。

【0019】

20

この構成でも、直流の駆動電圧の切り替え時の電圧復帰の時定数が改善される。これにより、駆動電圧が切り替えられた際に発生する可動電極と固定基板側駆動電極との間の電位差が、より瞬時に復帰する。

【0020】

上述の変容量装置において、回路部は、可動電極と固定基板側容量電極との間に接続される第3のコイルを備えてもよい。

【0021】

この構成では、可動電極と固定基板側容量電極とで形成される可変容量と、第3のコイルと、によって並列共振回路が形成される。これにより、共振周波数を可変する共振回路を構成するコイルと、DCカット用のコイルとを兼用でき、当該可変容量素子を備える共振回路を、小型に形成できる。

30

【発明の効果】

【0022】

この発明によれば、固定基板側駆動電極に印加される電圧の高さと可動電極に印加される電圧の高さが周期的に切り替わるようにバイポーラ駆動させることにより、誘電体膜に作用する電界の方向を周期的に反転させることができる。このため、誘電体膜がチャージアップ(帯電)することがなくなり、スティッキング現象の発生を防ぐことができる。また、固定基板側容量電極に印加される電圧の高さが可動電極に印加される電圧の高さと一致するようにすることにより、固定基板側容量電極と可動電極との間に電位差が生じることを防ぐことができ、固定基板側容量電極と可動電極との間に生じる電位差によって可動梁の変位量が影響を受けることを防ぐことができる。固定基板側駆動電極に印加される電圧の高さと、可動電極に印加される電圧の高さとが、異なる高さの電圧に周期的に切り替わることにより、正負の両極性のDC電圧を発生させるような高度な構成ではなく、回路部を安価で簡易な構成とすることが可能となる。

40

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】従来の静電駆動型アクチュエータの構成例を説明する図である。

【図2】本発明の第1の実施形態に係る可変容量装置を構成する静電駆動型アクチュエータの構成例を説明する図である。

【図3】本発明の第1の実施形態に係る可変容量装置の回路図である。

50

【図 4】本発明の第 1 の実施形態に係る可変容量装置において、R F 容量が最大である時について説明する図である。

【図 5】本発明の第 1 の実施形態に係る可変容量装置において、R F 容量が最小である時について説明する図である。

【図 6】本発明の第 2 の実施形態に係る可変容量装置の回路図である。

【図 7】本発明の第 3 の実施形態に係る可変容量装置の回路図である。

【図 8】本発明の第 4 の実施形態に係る可変容量装置の回路図である。

【図 9】可変容量装置の各点におけるスイッチング動作時の電圧波形を示す図である。

【図 10】可変容量装置の耐大電力特性を示す図である。

【図 11】本発明の第 5 の実施形態に係る可変容量装置の回路図である。

10

【図 12】本発明の第 6 の実施形態に係る可変容量装置の回路図である。

【発明を実施するための形態】

【0024】

本発明の実施形態に係る可変容量装置の構成例について図を参照して説明する。なお、いくつかの図には、静電駆動型アクチュエータの可動梁の厚さ方向を Z 軸方向、可動梁の主軸方向を X 軸方向、可動梁の幅方向を Y 軸方向とする直交座標形の X - Y - Z 軸を付している。

【0025】

《第 1 の実施形態》

まず、本発明の第 1 の実施形態に係る可変容量装置 1 について説明する。本実施形態に係る可変容量装置 1 は、静電駆動型アクチュエータ 11 を備える。図 2 に、本実施形態に係る可変容量装置 1 を構成する静電駆動型アクチュエータ 11 の構成を示す。図 2 (A) は、本発明の第 1 の実施形態に係る可変容量装置 1 を構成する静電駆動型アクチュエータ 11 の断面図 (X - Z 面断面図) である。

20

【0026】

図 2 (A) に示すように、静電駆動型アクチュエータ 11 は、筐体 2 と、可動梁 3 と、駆動電極 5 A , 5 B と、R F 容量電極 6 と、駆動電極 7 A ~ 7 C と、同電位電極 8 A ~ 8 C , 9 A ~ 9 C と、外部接続電極 10 と、絶縁膜 12 A , 12 B とを備えている。

【0027】

筐体 2 は、固定基板 2 A と、固定基板 2 B と、枠体 2 C とを備えていて、内部に気密封止された空間を有する。筐体 2 の内部の気密封止された空間は、減圧雰囲気 (約 1000 Pa) とされている。固定基板 2 A と固定基板 2 B とは、それぞれ、ガラスやサファイアなどからなる絶縁性基板であり、平面視した際の形状が矩形である。固定基板 2 A と固定基板 2 B とは、シリコンからなる基板であってもよい。枠体 2 C は、Cu などの金属からなり、平面視した際の形状が矩形環状である。固定基板 2 A と固定基板 2 B と枠体 2 C とは、枠体 2 C を間に挟んで互いに接合されていて、これにより筐体 2 が構成されている。固定基板 2 A は第 1 固定基板であり、固定基板 2 B は第 2 固定基板である。

30

【0028】

可動梁 3 は、Cu などの金属からなり、筐体 2 の内部に収容されている。可動梁 3 は、可動部 3 A とアンカー部 3 B とを備えている。可動部 3 A は、アンカー部 3 B によって一端が支持されている。アンカー部 3 B は、固定基板 2 B と固定基板 2 A とに接合された柱状の部位である。可動部 3 A は、詳細な動作は後述するが、非駆動時には固定基板 2 A と固定基板 2 B との両方に間隔を隔てて対向し、駆動時には固定基板 2 A 側または固定基板 2 B 側に変位する。

40

図 2 (B) は、静電駆動型アクチュエータ 11 を構成する可動部 3 A の斜視図である。図 2 (A) および図 2 (B) に示すように、可動部 3 A は、容量形成部 3 A 1 , 3 A 2 , 3 A 3 を備えている。容量形成部 3 A 1 , 3 A 2 , 3 A 3 はそれぞれ厚く (約 10 μ m) 形成されていて、可動端側 (X 軸正方向側) から固定端側 (X 軸負方向側) にかけて順に配列され、薄い (約 3 μ m) 部分を介して互いに連結されている。容量形成部 3 A 1 には、固定基板 2 A と対向する側の面に突起部 13 A が設けられている。容量形成部 3 A 2 に

50

は、固定基板 2 A と対向する側の面に突起部 1 3 B が設けられている。容量形成部 3 A 3 には、固定基板 2 A と対向する側の面に突起部 1 3 C が設けられている。なお、可動部 3 A は、可動部側駆動容量電極と可動部側 R F 容量電極とが一体に形成された可動電極である。

【 0 0 2 9 】

駆動電極 5 A , 5 B と、R F 容量電極 6 と、同電位電極 8 A ~ 8 C とは、固定基板 2 A における可動梁 3 と対向する側の面に形成されている。また、絶縁膜 1 2 A は、駆動電極 5 A , 5 B と、R F 容量電極 6 と、同電位電極 8 A ~ 8 C とを覆うように、固定基板 2 A における可動梁 3 と対向する側の面に形成されている。

【 0 0 3 0 】

駆動電極 5 A , 5 B は、後述する駆動端子 D C - 1 2 , D C - 2 2 にそれぞれ接続される電極であり、固定基板側駆動電極である。駆動電極 5 A は、容量形成部 3 A 1 に対向する位置に設けられている。駆動電極 5 B は、容量形成部 3 A 3 に対向する位置に設けられている。R F 容量電極 6 は、後述する R F 信号出力端子 R F - O U T に接続される電極であり、固定基板側容量電極である。R F 容量電極 6 は、容量形成部 3 A 2 に対向する位置に設けられている。同電位電極 8 A ~ 8 C は、可動梁 3 と同電位である電極である。同電位電極 8 A は、容量形成部 3 A 1 の突起部 1 3 A に対向する位置に設けられている。同電位電極 8 B は、容量形成部 3 A 2 の突起部 1 3 B に対向する位置に設けられている。同電位電極 8 C は、容量形成部 3 A 3 の突起部 1 3 C に対向する位置に設けられている。

【 0 0 3 1 】

なお、駆動電極 5 A , 5 B や R F 容量電極 6 は、低抵抗であることが望ましい。そのため、駆動電極 5 A , 5 B と、R F 容量電極 6 と、同電位電極 8 A ~ 8 C とは、C u , A u , A l , W などの比抵抗の小さい金属を主成分とする金属からなる。また、駆動電極 5 A , 5 B と、R F 容量電極 6 と、同電位電極 8 A ~ 8 C とは、0 . 5 ~ 2 . 0 μ m の厚さで形成されている。

【 0 0 3 2 】

可動部 3 A に設けられた突起部 1 3 A ~ 1 3 C は、可動部 3 A が固定基板 2 A 側に変位した場合に絶縁膜 1 2 A に接触する。このとき、絶縁膜 1 2 A における駆動電極 5 A , 5 B や R F 容量電極 6 の上に形成されている領域は、可動部 3 A と接触しないことになる。このことにより、絶縁膜 1 2 A における駆動電極 5 A , 5 B や R F 容量電極 6 の上に形成されている領域がチャージアップ（帯電）することが抑制されることになる。また、絶縁膜 1 2 A における突起部 1 3 A ~ 1 3 C に接触する領域は、絶縁膜 1 2 A における同電位電極 8 A ~ 8 C の上に形成されている領域であり、突起部 1 3 A ~ 1 3 C と同電位電極 8 A ~ 8 C との間位置することになり、突起部 1 3 A ~ 1 3 C および同電位電極 8 A ~ 8 C と同電位となる。このことにより、絶縁膜 1 2 A における同電位電極 8 A ~ 8 C の上に形成されている領域がチャージアップすることも抑制されることになる。

【 0 0 3 3 】

駆動電極 7 A ~ 7 C と、同電位電極 9 A ~ 9 C とは、固定基板 2 B における可動梁 3 と対向する側の面に形成されている。また、絶縁膜 1 2 B は、駆動電極 7 A ~ 7 C と、同電位電極 9 A ~ 9 C とを覆うように、固定基板 2 B における可動梁 3 と対向する側の面に形成されている。

【 0 0 3 4 】

駆動電極 7 A ~ 7 C は、後述する駆動端子 D C - 1 1 , D C - 2 1 にそれぞれ接続される電極であり、固定基板側駆動電極である。駆動電極 7 A は、容量形成部 3 A 1 に対向する位置に設けられている。駆動電極 7 B は、容量形成部 3 A 2 に対向する位置に設けられている。駆動電極 7 C は、容量形成部 3 A 3 に対向する位置に設けられている。ここでは、駆動電極 7 A ~ 7 C は、5 0 ~ 5 0 0 n m の厚さで形成されている。

【 0 0 3 5 】

同電位電極 9 A ~ 9 C は、可動梁 3 と同電位である電極である。同電位電極 9 A は、容量形成部 3 A 1 の X 軸正方向側の端部に対向するように設けられている。同電位電極 9 B

10

20

30

40

50

は、容量形成部 3 A 1 の X 軸負方向側の端部と容量形成部 3 A 2 の X 軸正方向側の端部、容量形成部 3 A 2 の X 軸負方向側の端部と容量形成部 3 A 3 の X 軸正方向側の端部とのそれぞれに対向するように設けられている。同電位電極 9 C は、容量形成部 3 A 3 の X 軸負方向側の端部に対向するように設けられている。ここでは、同電位電極 9 A ~ 9 C は、駆動電極 7 A ~ 7 C よりも厚く、100 ~ 1000 nm の厚さで形成されている。このため、絶縁膜 1 2 B は、同電位電極 9 A ~ 9 C の上に形成されている領域が周囲よりも突出している。したがって、可動部 3 A が固定基板 2 B 側に変位した場合には、絶縁膜 1 2 B における同電位電極 9 A ~ 9 C の上に形成されている領域のみが可動部 3 A に接触し、絶縁膜 1 2 B における駆動電極 7 A ~ 7 C の上に形成されている領域は、可動部 3 A と接触しないことになる。このことにより、絶縁膜 1 2 B における駆動電極 7 A ~ 7 C の上に形成されている領域がチャージアップすることも抑制されることになる。また、絶縁膜 1 2 B における同電位電極 9 A ~ 9 C の上に形成されている領域は、可動部 3 A と同電位電極 9 A ~ 9 C との間に位置することになり、可動部 3 A および同電位電極 9 A ~ 9 C と同電位となる。このことにより、絶縁膜 1 2 B における同電位電極 9 A ~ 9 C の上に形成されている領域がチャージアップすることも抑制されることになる。

10

【0036】

外部接続電極 10 は、固定基板 2 A の下面に形成されていて、静電駆動型アクチュエータ 11 の実装に用いられる。各外部接続電極 10 は固定基板 2 A に設けられた貫通電極を介して、筐体 2 内部の各電極および可動梁 3 に接続されている。

【0037】

絶縁膜 1 2 A と絶縁膜 1 2 B とは、SiN または SiO₂ などからなり、本実施形態の誘電体膜に相当する。絶縁膜 1 2 A は、駆動電極 5 A, 5 B と、RF 容量電極 6 と、同電位電極 8 A ~ 8 C が、可動部 3 A に直接接触して短絡することを防ぐとともに、それらの電極を保護するために設けられている。絶縁膜 1 2 B は、駆動電極 7 A ~ 7 C と同電位電極 9 A ~ 9 C が、可動部 3 A に直接接触して短絡することを防ぐとともに、それらの電極を保護するために設けられている。

20

【0038】

ここで、静電駆動型アクチュエータ 11 の等価回路を含む可変容量装置 1 の回路構成について説明する。

図 3 は、本発明の第 1 の実施形態に係る可変容量装置 1 の回路図である。本発明の第 1 の実施形態に係る可変容量装置 1 は、静電駆動型アクチュエータ 11 を駆動する回路部を備える。

30

【0039】

可動部 3 A は、DC カット容量 C 1 を介して、RF 信号入力端子 RF - IN に接続されている。RF 信号入力端子 RF - IN は、第 1 の RF 信号端子である。RF 容量電極 6 は、DC カット容量 C 2 を介して、RF 信号出力端子 RF - OUT に接続されている。RF 信号出力端子 RF - OUT は、第 2 の RF 信号端子である。また、駆動電極 7 A ~ 7 C は、RF カット抵抗 R 1 を介してスイッチ SW 1 に接続されている。駆動電極 5 A, 5 B は、RF カット抵抗 R 2 を介してスイッチ SW 2 に接続されている。可動部 3 A と DC カット容量 C 1 との接続点は、RF カット抵抗 R 3 を介してスイッチ SW 3 に接続されている。RF 容量電極 6 と DC カット容量 C 2 との接続点は、RF カット抵抗 R 4 を介してスイッチ SW 3 に接続されている。スイッチ SW 1 は、第 1 の駆動端子 DC - 11、または、第 2 の駆動端子 DC - 21 に、選択的に接続される。スイッチ SW 2 は、第 1 の駆動端子 DC - 12、または、第 2 の駆動端子 DC - 22 に、選択的に接続される。スイッチ SW 3 は、第 1 の駆動端子 DC - 13、または、第 2 の駆動端子 DC - 23 に、選択的に接続される。なお、スイッチ SW 1, SW 2, SW 3 は、それぞれ第 1 の駆動端子 DC - 11、DC - 12、DC - 13、または、グラウンド (DC 0 V) に、選択的に接続されるように構成されていてもよい。

40

【0040】

DC カット容量 C 1 は、例えば 100 pF の容量値であり、RF 信号入力端子 RF - I

50

NにDC成分が漏れることを防ぐために設けられている。DCカット容量C2は、例えば100pFの容量値であり、RF信号出力端子RF-OUTにDC成分が漏れることを防ぐために設けられている。RFカット抵抗R1は、例えば200kの抵抗値であり、スイッチSW1を介して駆動端子DC-11, DC-21にRF信号が漏れることを防ぐために設けられている。RFカット抵抗R2は、例えば200kの抵抗値であり、スイッチSW2を介して駆動端子DC-12, DC-22にRF信号が漏れることを防ぐために設けられている。RFカット抵抗R3, R4は、例えばそれぞれ200kの抵抗値であり、スイッチSW3を介して駆動端子DC-13, DC-23にRF信号が漏れることを防ぐために設けられている。

【0041】

この回路構成における基本動作を説明すると、可動部3Aは、固定基板2A側に変位した状態、または、固定基板2B側に変位した状態に制御される。

可動部3Aが固定基板2A側に変位した状態にするためには、可動部3Aと駆動電極5A, 5Bとの間に電位差が生じるように駆動電圧が印加され、可動部3Aと駆動電極7A~7Cとが同電位となるように、スイッチSW1, SW2, SW3がスイッチングされる。すると、可動部3Aと駆動電極5A, 5Bとの間に駆動容量が形成され、この駆動容量による静電引力によって、可動部3Aが固定基板2A側に変位する。このため、可動部3AとRF容量電極6との間の距離が最も近くなり、可動部3AとRF容量電極6との間に形成されるRF容量が最大となる。

【0042】

また、可動部3Aが固定基板2B側に変位した状態にするためには、可動部3Aと駆動電極7A~7Cとの間に電位差が生じるように駆動電圧が印加され、可動部3Aと駆動電極5A, 5Bとが同電位となるように、スイッチSW1, SW2, SW3がスイッチングされる。すると、可動部3Aと駆動電極7A~7Cとの間に駆動容量が形成され、この駆動容量による静電引力によって、可動部3Aが固定基板2B側に変位する。このため、可動部3AとRF容量電極6との間の距離が最も遠くなり、可動部3AとRF容量電極6との間に形成されるRF容量が最小となる。

【0043】

次に、可変容量装置1を駆動する際の、具体的なスイッチング動作について説明する。可変容量装置1は、可動部3Aが固定基板2A側に変位した状態と、可動部3Aが固定基板2B側に変位した状態とのそれぞれで、可動部3Aの変位した状態を維持しながら、第1のスイッチング動作と第2のスイッチング動作とを切り替えるようにバイポーラ駆動される。

図4は、本発明の第1の実施形態に係る可変容量装置1において、RF容量が最大である時について説明する図である。図4(A)は、可動部3Aが固定基板2A側に変位した状態での筐体2の内部空間を示す部分拡大断面図である。図4(B)は、可動部3Aが固定基板2A側に変位した状態での第1のスイッチング動作を説明する回路図である。図4(C)は、可動部3Aが固定基板2A側に変位した状態での第2のスイッチング動作を説明する回路図である。なお、バイポーラ駆動についての理解の容易化のために、ここでは、第1の駆動端子DC-11, DC-12, DC-13にDC0Vを印加し、第2の駆動端子DC-21, DC-22, DC-23にDC30Vを印加したものとして回路を示している。

【0044】

可変容量装置1は、可動部3Aが固定基板2A側に変位した状態にするために、第1のスイッチング動作を行う。具体的には、可変容量装置1は、第1のスイッチング動作で、スイッチSW1が第1の駆動端子DC-11(DC0V)に接続され、スイッチSW3が第1の駆動端子DC-13(DC0V)に接続され、スイッチSW2が第2の駆動端子DC-22(DC30V)に接続される。このため、駆動電極7A~7Cと可動部3Aとの間には電位差が生じず、駆動電極5A, 5Bと可動部3Aとの間にDC30Vの電位差が生じる。したがって、可動部3Aと駆動電極5A, 5Bとの間に駆動容量が形成され、こ

10

20

30

40

50

の駆動容量による静電引力によって可動部 3 A が固定基板 2 A 側に変位する。これにより、可動部 3 A と R F 容量電極 6 との間の距離が最も近くなり、可動部 3 A と R F 容量電極 6 との間に形成される R F 容量が最大となる。

【 0 0 4 5 】

可変容量装置 1 においては、上記のように第 1 のスイッチング動作を行った後に、第 2 のスイッチング動作を行う。具体的には、可変容量装置 1 は、可動部 3 A が固定基板 2 A 側に変位した状態での第 2 のスイッチング動作で、スイッチ S W 1 が第 2 の駆動端子 D C - 2 1 (D C 3 0 V) に接続され、スイッチ S W 3 が第 2 の駆動端子 D C - 2 3 (D C 3 0 V) に接続され、スイッチ S W 2 が第 1 の駆動端子 D C - 1 2 (D C 0 V) に接続される。このため、駆動電極 7 A ~ 7 C と可動部 3 A との間には電位差が生じず、駆動電極 5 A , 5 B と可動部 3 A との間に D C 3 0 V の電位差が生じる。したがって、可動部 3 A と駆動電極 5 A , 5 B との間に駆動容量が形成され、この駆動容量による静電引力によって可動部 3 A が固定基板 2 A 側に変位した状態が維持される。この時にも、可動部 3 A と R F 容量電極 6 との間の距離が最も近く、可動部 3 A と R F 容量電極 6 との間に形成される R F 容量が最大のみである。

10

【 0 0 4 6 】

このように、第 2 のスイッチング動作を行った後に、さらに第 1 のスイッチング動作を行うなど、可動部 3 A が固定基板 2 A 側に変位した状態で、第 1 のスイッチング動作と第 2 のスイッチング動作とを一定周期で切り替えることにより、可動部 3 A が固定基板 2 A 側に変位した状態を維持しながら、絶縁膜 1 2 A に作用する電界の方向を一定周期で反転させることができる。これにより、絶縁膜 1 2 A に電荷がトラップされることがないため、絶縁膜 1 2 A がチャージアップ(帯電)することがなくなり、スティッキング現象の発生をより確実に防ぐことができる。

20

【 0 0 4 7 】

図 5 は、本発明の第 1 の実施形態に係る可変容量装置 1 において、R F 容量が最小である時について説明する図である。図 5 (A) は、可動部 3 A が固定基板 2 B 側に変位した状態での筐体 2 の内部空間を示す部分拡大断面図である。図 5 (B) は、可動部 3 A が固定基板 2 B 側に変位した状態での第 1 のスイッチング動作を説明する回路図である。図 5 (C) は、可動部 3 A が固定基板 2 B 側に変位した状態での第 2 のスイッチング動作を説明する回路図である。ここでも、第 1 の駆動端子 D C - 1 1 , D C - 1 2 , D C - 1 3 に D C 0 V を印加し、第 2 の駆動端子 D C - 2 1 , D C - 2 2 , D C - 2 3 に D C 3 0 V を印加したもとして回路を示している。

30

【 0 0 4 8 】

可変容量装置 1 は、可動部 3 A が固定基板 2 B 側に変位した状態にするために、第 1 のスイッチング動作を行う。具体的には、可変容量装置 1 は、第 1 のスイッチング動作で、スイッチ S W 2 が第 2 の駆動端子 D C - 2 2 (D C 3 0 V) に接続され、スイッチ S W 3 が第 2 の駆動端子 D C - 2 3 (D C 3 0 V) に接続され、スイッチ S W 1 が第 1 の駆動端子 D C - 1 1 (D C 0 V) に接続される。このため、駆動電極 5 A , 5 B と可動部 3 A との間には電位差が生じず、駆動電極 7 A ~ 7 C と可動部 3 A との間に D C 3 0 V の電位差が生じる。したがって、可動部 3 A と駆動電極 7 A ~ 7 C との間に駆動容量が形成され、この駆動容量による静電引力によって可動部 3 A が固定基板 2 B 側に変位する。これにより、可動部 3 A と R F 容量電極 6 との間の距離が最も遠くなり、可動部 3 A と R F 容量電極 6 との間に形成される R F 容量が最小となる。

40

【 0 0 4 9 】

可変容量装置 1 においては、上記のように第 1 のスイッチング動作を行った後に、第 2 のスイッチング動作を行う。具体的には、可変容量装置 1 は、可動部 3 A が固定基板 2 B 側に変位した状態での第 2 のスイッチング動作で、スイッチ S W 2 が第 1 の駆動端子 D C - 1 2 (D C 0 V) に接続され、スイッチ S W 3 が第 1 の駆動端子 D C - 1 3 (D C 0 V) に接続され、スイッチ S W 1 が第 2 の駆動端子 D C - 2 1 (D C 3 0 V) に接続される。このため、駆動電極 5 A , 5 B と可動部 3 A との間には電位差が生じず、駆動電極 7 A

50

～7Cと可動部3Aとの間にDC30Vの電位差が生じる。したがって、可動部3Aと駆動電極7A～7Cとの間に駆動容量が形成され、この駆動容量による静電引力によって可動部3Aが固定基板2B側に変位した状態が維持される。この時にも、可動部3AとRF容量電極6との間の距離が最も遠く、可動部3AとRF容量電極6との間に形成されるRF容量が最小のままである。

【0050】

このように、第2のスイッチング動作を行った後に、さらに第1のスイッチング動作を行うなど、可動部3Aが固定基板2B側に変位した状態で、第1のスイッチング動作と第2のスイッチング動作とを一定周期で切り替えることにより、可動部3Aが固定基板2B側に変位した状態を維持しながら、絶縁膜12Bに作用する電界の方向を一定周期で反転させることができる。これにより、絶縁膜12Bに電荷がトラップされることがないため、絶縁膜12Bがチャージアップ(帯電)することがなくなり、スティッキング現象の発生をより確実に防ぐことができる。

10

【0051】

このように、本実施形態の可変容量装置1は、駆動状態において、可動部3Aと、駆動電極5A, 5Bと、駆動電極7A～7Cに印加される駆動電圧を一定とするのではなく、異なる高さの駆動電圧に交互に切り替えるようにバイポーラ駆動を行うことにより、スティッキング現象の発生を防ぐことができる。そのため、正負の両極性のDC電圧を発生させるような高度な駆動回路が不要であり、安価で簡易な駆動回路を利用して、可変容量装置1の全体としての製品コストを低くすることができる。

20

【0052】

第1のスイッチング動作と第2のスイッチング動作とを一定周期で切り替えることにより、可動部3Aに印加される駆動電圧はDC30VとDC0Vとに交互に切り替わることになるが、可動部3AとRF容量電極6とをRFカット抵抗R3, R4を介して互いに接続することにより、RF容量電極6に印加される電圧の高さと、可動部3Aに印加される電圧の高さとが常に一致するため、可動部3AとRF容量電極6との間に電位差が生じることを防ぐことができる。このことにより、可動部3AとRF容量電極6との間の電位差が、可動部3Aの変位量に影響を及ぼすことを防ぐことができる。なお、駆動端子DC-1, DC-2に漏れるRF信号を少なくするために、RFカット抵抗R3, R4のインピーダンスは、可動部3AとRF容量電極6との間に形成されるRF容量のインピーダンスよりも大きい方が好ましい。特に、可動部3AとRF容量電極6との間に形成されるRF容量のインピーダンスの10倍以上のインピーダンスをRFカット抵抗R3, R4が有すると好適である。

30

【0053】

また、DC成分は、RF信号入力端子RF-INやRF信号出力端子RF-OUTに接続される外部回路に影響を及ぼす可能性があるが、ここでは、可動部3AやRF容量電極6がDCカット容量C1, C2を介してRF信号入力端子RF-INまたはRF信号出力端子RF-OUTに接続されることにより、DCカット容量C1, C2によってDC成分が除去されるため、RF信号入力端子RF-INやRF信号出力端子RF-OUTに接続される外部回路に影響が及ぶことを防いでいる。なお、DCカット容量C1, C2を設けることにより、可変容量装置1のRF容量が影響を受けるが、可動部3AとRF容量電極6との間に形成されるRF容量よりもDCカット容量C1, C2の容量値を大きくすることで、その影響を抑制することができる。好ましく、可動部3AとRF容量電極6との間に形成されるRF容量の最大値よりもDCカット容量C1, C2の容量値を20倍以上大きくすると、DCカット容量C1, C2を設けることによる影響を無視できるほど小さくすることができる。

40

【0054】

また、副次的には、可動部3AとRF容量電極6とをRFカット抵抗R3, R4を介して互いに接続することにより、静電気放電(ESD)による電荷がRF容量電極6や可動部3Aに印加されても、RFカット抵抗R3, R4を介して電荷が速やかに移動すること

50

になり、可変容量装置 1 の E S D 破壊を防いで高い E S D 耐性を実現することができる。

【 0 0 5 5 】

《 第 2 の実施形態 》

次に、本発明の第 2 の実施形態に係る可変容量装置 2 1 について説明する。なお、本発明の第 1 の実施形態で示した部材と同様の部材については、同じ参照番号を付与して説明する。

【 0 0 5 6 】

前述の第 1 の実施形態に係る可変容量装置 1 では、駆動電極 5 A , 5 B と可動部 3 A との間に形成される駆動容量によって可動部 3 A の固定基板 2 A 側への変位を実現し、駆動電極 7 A ~ 7 C と可動部 3 A との間に形成される駆動容量によって可動部 3 A の固定基板 2 B 側への変位を実現したが、本実施形態に係る可変容量装置 2 1 では、駆動電極 5 A , 5 B と可動部 3 A との間に形成される駆動容量によって可動部 3 A の固定基板 2 A 側への変位を実現し、可動部 3 A が有する弾性力によって可動部 3 A が固定基板 2 A と固定基板 2 B との両方に間隔を隔てて対向する状態への変位を実現する。言い換えれば、本実施形態に係る可変容量装置 2 1 では、第 1 の実施形態に係る可変容量装置 1 から、駆動電極 7 A ~ 7 C 、同電位電極 9 A ~ 9 C 、絶縁膜 1 2 B 、 R F カット抵抗 R 1 、スイッチ S W 1 などを除去した構成である。

【 0 0 5 7 】

図 6 は、本発明の第 2 の実施形態に係る可変容量装置 2 1 において、駆動時および非駆動時について説明する図である。ここでも、第 1 の駆動端子 D C - 1 2 , D C - 1 3 に D C 0 V を印加し、第 2 の駆動端子 D C - 2 2 , D C - 2 3 に D C 3 0 V を印加したものとして回路を示している。図 6 (A) は、本実施形態の可変容量装置 2 1 の非駆動時のスイッチング状態を説明する回路図である。

可変容量装置 2 1 は、非駆動時には、スイッチ S W 2 , S W 3 のいずれも第 1 の駆動端子 D C - 1 2 , D C - 1 3 (D C 0 V) に接続され、可動部 3 A が有する弾性力により、可動部 3 A は固定基板 2 A と固定基板 2 B との両方に間隔を隔てて対向する。したがって、可動部 3 A と R F 容量電極 6 との間の距離が最も遠くなり、可動部 3 A と R F 容量電極 6 との間に形成される R F 容量が最小となる。

【 0 0 5 8 】

図 6 (B) は、本実施形態の可変容量装置 2 1 の駆動時の第 1 のスイッチング動作を説明する回路図である。

可変容量装置 2 1 は、駆動時に可動部 3 A が固定基板 2 A 側に変位した状態にするために、第 1 のスイッチング動作を行う。具体的には、可変容量装置 2 1 は、第 1 のスイッチング動作で、スイッチ S W 2 が第 1 の駆動端子 D C - 1 2 (D C 0 V) に接続され、スイッチ S W 3 が第 2 の駆動端子 D C - 2 3 (D C 3 0 V) に接続される。このため、駆動電極 5 A , 5 B と可動部 3 A との間に D C 3 0 V の電位差が生じる。したがって、可動部 3 A と駆動電極 5 A , 5 B との間に駆動容量が形成され、この駆動容量による静電引力によって可動部 3 A が固定基板 2 A 側に変位する。これにより、可動部 3 A と R F 容量電極 6 との間の距離が最も近くなり、可動部 3 A と R F 容量電極 6 との間に形成される R F 容量が最大となる。

【 0 0 5 9 】

図 6 (C) は、本実施形態の可変容量装置 2 1 の駆動時の第 2 のスイッチング動作を説明する回路図である。

可変容量装置 2 1 においては、上記のように第 1 のスイッチング動作を行った後に、第 2 のスイッチング動作を行う。具体的には、可変容量装置 2 1 は、可動部 3 A が固定基板 2 A 側に変位した状態での第 2 のスイッチング動作で、スイッチ S W 2 が第 2 の駆動端子 D C - 2 2 (D C 3 0 V) に接続され、スイッチ S W 3 が第 1 の駆動端子 D C - 1 3 (D C 0 V) に接続される。このため、駆動電極 5 A , 5 B と可動部 3 A との間に D C 3 0 V の電位差が生じる。したがって、可動部 3 A と駆動電極 5 A , 5 B との間に駆動容量が形成され、この駆動容量による静電引力によって可動部 3 A が固定基板 2 A 側に変位した状

10

20

30

40

50

態が維持される。この時にも、可動部 3 A と R F 容量電極 6 との間の距離が最も近く、可動部 3 A と R F 容量電極 6 との間に形成される R F 容量が最大のままである。

【 0 0 6 0 】

このように、第 2 のスイッチング動作を行った後に、さらに第 1 のスイッチング動作を行うなど、可動部 3 A が固定基板 2 A 側に変位した状態で、第 1 のスイッチング動作と第 2 のスイッチング動作とを一定周期で切り替えることにより、可動部 3 A が固定基板 2 A 側に変位した状態を維持しながら、絶縁膜 1 2 A に作用する電界の方向を一定周期で反転させることができる。これにより、絶縁膜 1 2 A に電荷がトラップされることがないため、絶縁膜 1 2 A がチャージアップ（帯電）することがなくなり、スティッキング現象の発生をより確実に防ぐことができる。

10

【 0 0 6 1 】

《 第 3 の実施形態 》

次に、本発明の第 3 の実施形態に係る可変容量装置 3 1 について説明する。なお、本発明の第 1 の実施形態で示した部材と同様の部材については、同じ参照番号を付与して説明する。

【 0 0 6 2 】

図 7 は、本発明の第 3 の実施形態に係る可変容量装置 3 1 の回路図である。本実施形態の可変容量装置 3 1 は、R F カット抵抗 R 3 の位置が、前述の第 1 の実施形態と相違する。具体的には、可動部 3 A と D C カット容量 C 1 との接続点は、R F カット抵抗 R 4 を介して、R F 容量電極 6 と D C カット容量 C 2 との接続点に接続されている。そして、可動部 3 A と D C カット容量 C 1 との接続点は、R F カット抵抗 R 3 を介してスイッチ S W 3 に接続されている。スイッチ S W 3 は、第 1 の駆動端子 D C - 1 3、または、第 2 の駆動端子 D C - 2 3 を選択して接続される。

20

【 0 0 6 3 】

このような回路構成であっても、第 1 の実施形態と同様のバイポーラ駆動を行うことにより、スティッキング現象の発生を防ぐことができる。

【 0 0 6 4 】

《 第 4 の実施形態 》

次に、本発明の第 4 の実施形態に係る可変容量装置 4 1 について説明する。図 8 は、本発明の第 4 の実施形態に係る可変容量装置 4 1 の回路図である。本実施形態の可変容量装置 4 1 は、第 1 の実施形態で示した可変容量装置 1 に対して、R F カット抵抗 R 3 を省略し、スイッチ S W 3 と可動部 3 A との間に、コイル L 1 を挿入ものであり、他の構成は可変容量装置 1 と同じである。したがって、異なる箇所のみを具体的に説明する。

30

【 0 0 6 5 】

より具体的には、コイル L 1 は、可動部 3 A と D C カット容量 C 1 との接続点と、スイッチ S W 3 との間に接続されている。この際、コイル L 1 は、可動部 3 A と R F カット抵抗 R 4 との接続点よりもスイッチ S W 3 側に接続される。コイル L 1 のインダクタンスは、例えば可変容量装置で実現する容量値に基づくインピーダンスの約 1 0 倍以上にするとよい。これにより、コイル L 1 は、R F カット素子として十分に機能する。例えば、上述の各実施形態の回路構成例にあわせれば、2 0 n H ~ 3 0 n H 程度以上であればよい。コイル L 1 は、本発明の第 1 のコイルに相当する。

40

【 0 0 6 6 】

このような構成とすることで、次に示す更なる作用効果を得ることができる。図 9 は、可変容量装置の各点におけるスイッチング動作時の電圧波形を示す図である。V 1 は、スイッチ S W 1 から印加される電圧を示す。V 2 は、スイッチ S W 2 から印加される電圧を示す。V 3 は、スイッチ S W 3 から印加される電圧を示す。V は可動部 3 A と駆動電極 5 A、5 B との電位差を示す。なお、V のグラフにおいて、実線が本実施形態の構成の場合（コイル L 1 を用いた場合）を示し、点線が第 1 の実施形態の構造の場合（R F カット抵抗 R 3 を用いた場合）を示す。

【 0 0 6 7 】

50

上述のように、スイッチング動作により印加電圧を切り替える場合、スイッチSW3から印加される電圧V3は、スイッチSW3とRF信号出力端子RF-INとの間に接続される回路素子によって決定される時定数に応じて電圧が遷移する。

【0068】

第1の実施形態の構成では、スイッチSW3とRF信号出力端子RF-INとの間に、RFカット抵抗R3と、DCカット容量C1が直列接続される。RFカット抵抗R3は、上述のようにRFカットの機能を持たせるために、所定の抵抗値以上であることが好ましい。また、DCカット容量C1も、可変容量装置で実現する容量値に影響を与えないために、所定の容量値以上であることが好ましい。したがって、時定数は大きくなってしまふ。このため、Vの特性図の点線に示すように、スイッチングのタイミングにおいて、30Vから0Vに低下し、再度30Vまで復帰するのに、ある程度の時間が掛かってしまふ。例えば、上述の回路構成例であれば、msc.オーダーで復帰する。

10

【0069】

本実施形態の構成では、RFカット抵抗R3がコイルL1に置き換えられ、コイルL1のインピーダンスが所定値以上に設定されている。したがって、上述のV3の時定数を小さくすることができる。これにより、図9に示すように、瞬時にVが復帰する。例えば、上述の回路構成例であれば、1nsec.程度で復帰する。

【0070】

このように、本実施形態の構成を用いれば、スイッチング時の電位差Vの復帰速度を高速にすることができる。すなわち、電位差Vが、例えば0Vであったりするような、低い時間が短くなる。

20

【0071】

図10は、可変容量装置の耐大電力特性を示す図である。図10において、横軸は0Vの継続する時間、縦軸は耐大電力特性を示す。

【0072】

駆動電極5A, 5Bと可動部3Aとの間に静電引力、すなわち直流の電位差を連続して与えられない場合、印加されるRF信号の電圧が高くなっていくと、RF容量電極6と可動部3Aとの間隔が広がるセルフアクチュエーションが生じ、容量値が変化してしまふ。耐大電力特性とは、所定の直流電位差が与えられない時間に応じたセルフアクチュエーションが生じない最大のRF電圧を示す特性である。

30

【0073】

図10に示すように、0V時間、すなわち所定の直流電位差が与えられない時間が短いほど、最大のRF電圧は高くなる。

【0074】

本実施形態の構成では、第3の実施形態の構成よりも、所定の直流電位差が与えられない時間を短くすることができる。これにより、本実施形態の構成では、耐大電力特性を向上させることができる。すなわち、より高いRF電圧まで利用できる可変容量装置を実現することができる。

【0075】

《第5の実施形態》

40

次に、本発明の第5の実施形態に係る可変容量装置51について説明する。図11は、本発明の第5の実施形態に係る可変容量装置51の回路図である。本実施形態の可変容量装置51は、第4の実施形態で示した可変容量装置41に対して、RFカット抵抗R4を削除し、新たにコイルL2を追加したものであり、他の構成は可変容量装置41と同じである。したがって、異なる箇所のみを具体的に説明する。

【0076】

より具体的には、コイルL2は、RF容量電極6とDCカット容量C2との接続点と、スイッチSW3との間に接続されている。この際、コイルL2は、一方端がスイッチSW3に接続し、他方端がRF容量電極6とDCカット容量C2との接続点に接続するように、配置されている。コイルL2のインダクタンスも、コイルL1と同様に決定される。コ

50

イル L 2 は、本発明の第 2 のコイルに相当する。

【 0 0 7 7 】

このような構成であっても、第 4 の実施形態の可変容量装置 4 1 と同様に、耐大電力特性の良好な可変容量装置を実現することができる。

【 0 0 7 8 】

《第 6 の実施形態》

次に、本発明の第 6 の実施形態に係る可変容量装置 6 1 について説明する。図 1 2 は、本発明の第 6 の実施形態に係る可変容量装置 6 1 の回路図である。本実施形態の可変容量装置 6 1 は、第 4 の実施形態で示した可変容量装置 4 1 に対して、R F カット抵抗 R 4 をコイル L 3 に置き換えたものであり、他の構成は可変容量装置 4 1 と同じである。

10

【 0 0 7 9 】

コイル L 3 のインダクタンスも、コイル L 1 と同様に決定される。コイル L 3 は、本発明の第 3 のコイルに相当する。

【 0 0 8 0 】

このような構成であっても、第 4 の実施形態の可変容量装置 4 1 と同様に、耐大電力特性の良好な可変容量装置を実現することができる。

【 0 0 8 1 】

さらに、本実施形態の構成では、R F 容量電極 6 および可動部 3 A による容量可変部とコイル L 3 とで、並列 L C 共振回路を実現することができる。

【 0 0 8 2 】

20

これにより、コイル L 3 は、R F カット用のコイルの機能と、並列 L C 共振回路の構成要素とを兼用することができる。これにより、当該可変容量装置を含む可変特性の共振回路を小型に実現することができる。

【 0 0 8 3 】

以上の各実施形態で説明したように本発明は実施できるが、同電位電極や突出部は必ずしも設けなくても良く、その場合であっても、バイポーラ駆動によりスティッキング現象の発生を抑制することができる。

【 0 0 8 4 】

また、各 R F カット抵抗 R 1 ~ R 4、コイル L 1、L 2、L 3、D C カット容量 C 1、C 2 は、チップ部品として構成しても良く、固定基板 2 A や固定基板 2 B に設けられる配線や電極によって構成しても良い。また、スイッチ S W 1 ~ S W 3 のスイッチングは、外部からの制御信号によって行うようにしても良く、可変容量装置 1 にスイッチ制御用 I C を搭載しても良い。

30

【 0 0 8 5 】

本発明は、以上に説明した各実施形態の記載に制限されるものではなく、本発明の範囲は特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図されるものである。

【符号の説明】

【 0 0 8 6 】

1, 2 1, 3 1, 4 1, 5 1, 6 1 ... 可変容量装置

40

1 1 ... 静電駆動型アクチュエータ

2 ... 筐体

2 A, 2 B ... 固定基板

2 C ... 枠体

3 ... 可動梁

3 A ... 可動部

3 A 1, 3 A 2, 3 A 3 ... 容量形成部

3 B ... アンカー部

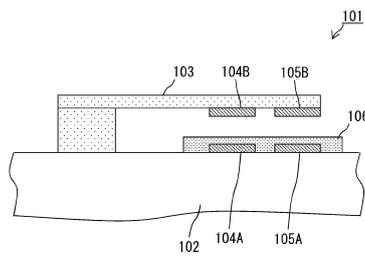
5 A, 5 B ... 駆動電極

6 ... R F 容量電極

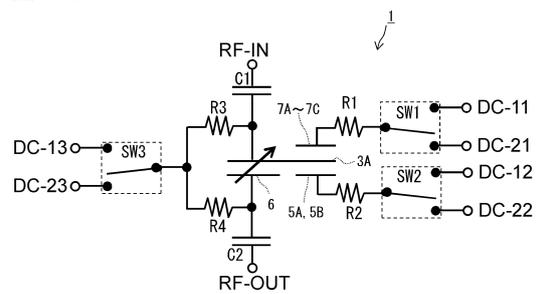
50

- 7 A ~ 7 C ... 駆動電極
- 8 A ~ 8 C , 9 A ~ 9 C ... 同電位電極
- 10 ... 外部接続電極
- 12 A , 12 B ... 絶縁膜
- 13 A ~ 13 C ... 突起部

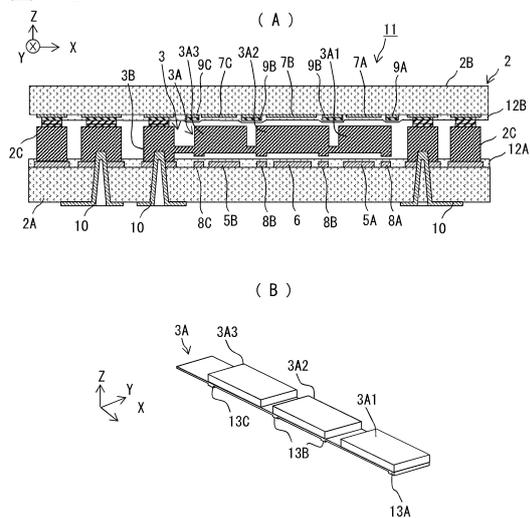
【 図 1 】



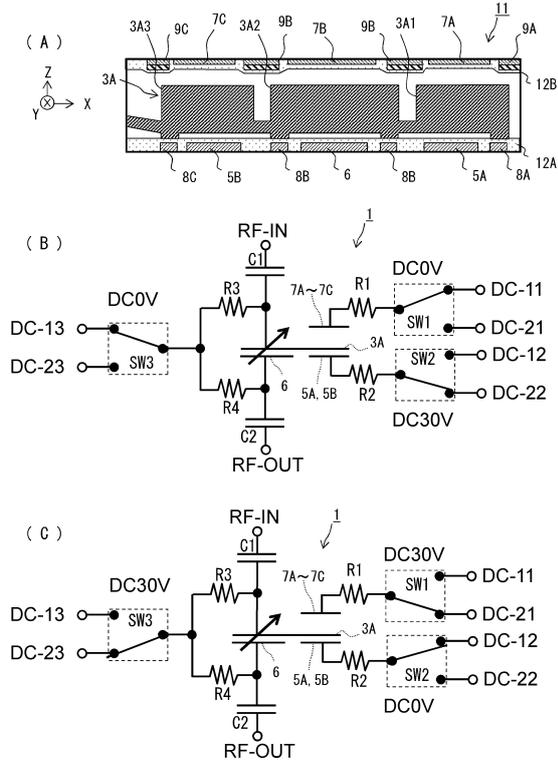
【 図 3 】



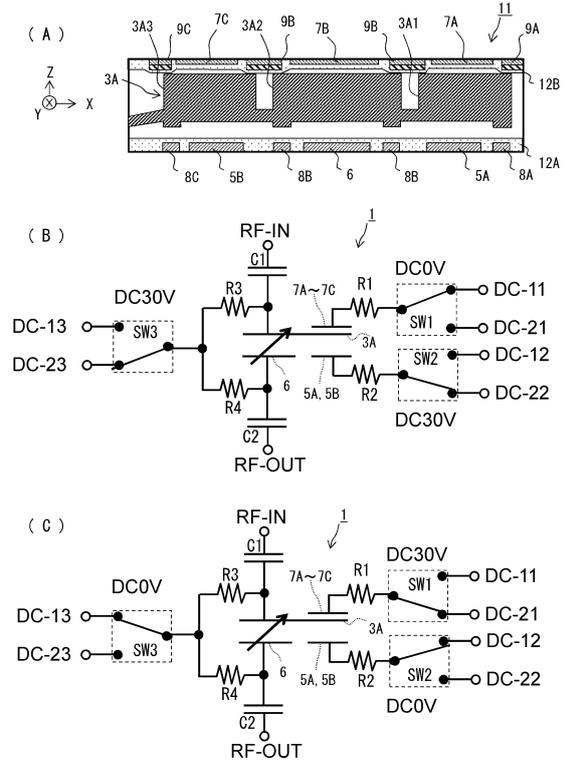
【 図 2 】



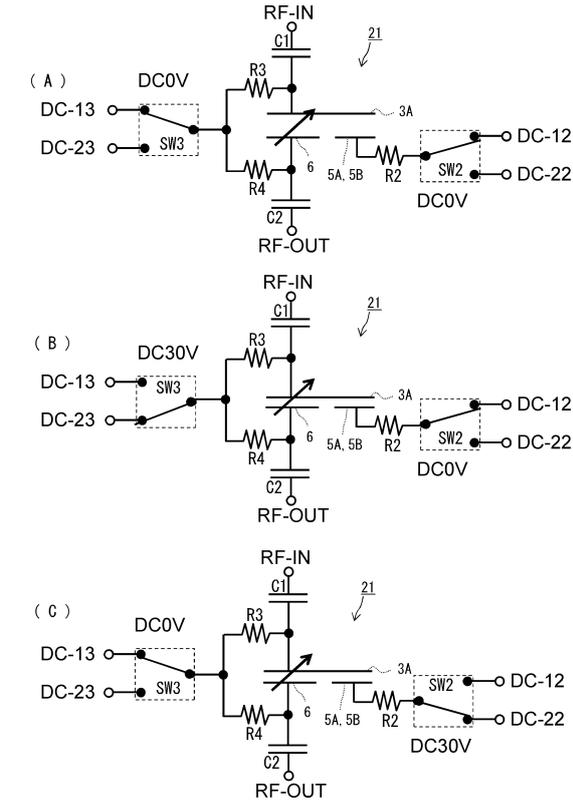
【 図 4 】



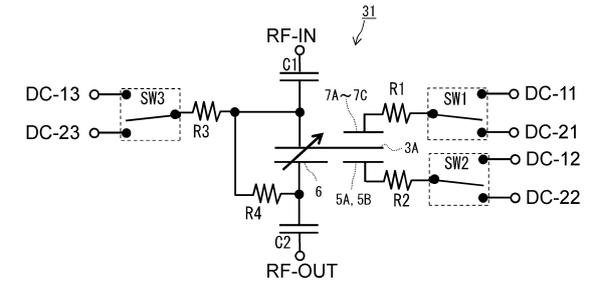
【 図 5 】



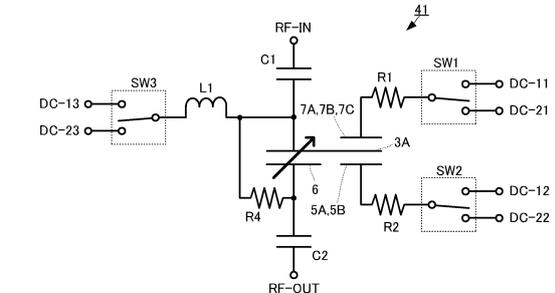
【 図 6 】



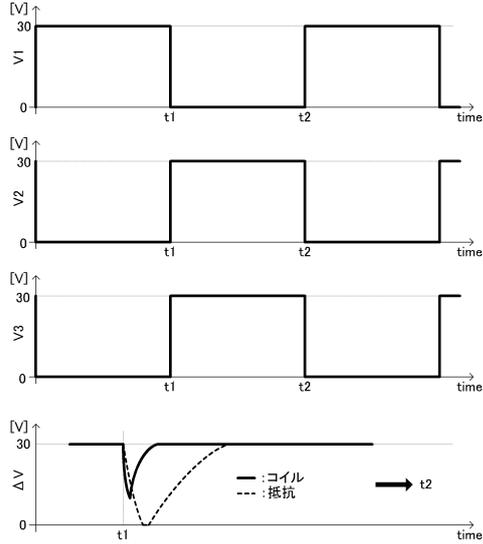
【 図 7 】



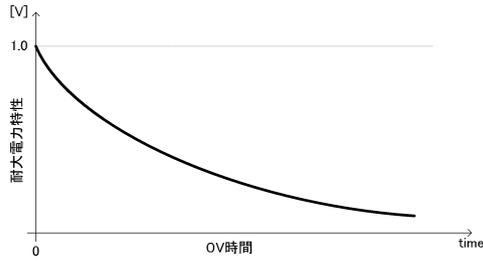
【 図 8 】



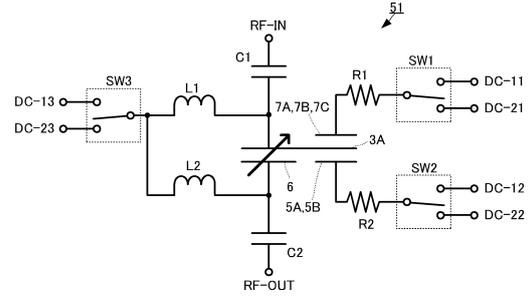
【図 9】



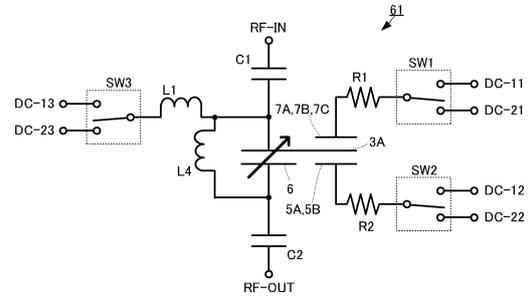
【図 10】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平5 - 172846 (JP, A)
特開2010 - 280057 (JP, A)
特開2011 - 11325 (JP, A)
特開平5 - 2976 (JP, A)
特開2006 - 247820 (JP, A)
特開2009 - 212451 (JP, A)
特開2011 - 42019 (JP, A)
国際公開第2011/152192 (WO, A1)
国際公開第2012/102119 (WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B81B 1/00 - 5/00

H01G 5/00 - 7/06