

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5341909号
(P5341909)

(45) 発行日 平成25年11月13日(2013.11.13)

(24) 登録日 平成25年8月16日(2013.8.16)

(51) Int.Cl.

F I

H O 4 R 19/00 (2006.01)

H O 4 R 19/00 3 3 0

A 6 1 B 8/00 (2006.01)

A 6 1 B 8/00

請求項の数 18 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2010-536238 (P2010-536238)	(73) 特許権者	507382119
(86) (22) 出願日	平成20年12月3日(2008.12.3)		コロ テクノロジーズ インコーポレイテッド
(65) 公表番号	特表2011-505766 (P2011-505766A)		アメリカ合衆国 9 5 1 3 5 カリフォルニア州 サンノゼ ブリタニー コート
(43) 公表日	平成23年2月24日(2011.2.24)		3 3 0 0
(86) 国際出願番号	PCT/US2008/085434	(74) 代理人	100077481
(87) 国際公開番号	W02009/073743		弁理士 谷 義一
(87) 国際公開日	平成21年6月11日(2009.6.11)	(74) 復代理人	100115624
審査請求日	平成23年11月25日(2011.11.25)		弁理士 濱中 淳宏
(31) 優先権主張番号	60/992,027	(74) 復代理人	100115635
(32) 優先日	平成19年12月3日(2007.12.3)		弁理士 窪田 郁大
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100088915
			弁理士 阿部 和夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電圧フィードバックを施した容量性マイクロマシン加工超音波変換器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

容量性マイクロマシン加工超音波変換器 (C M U T) であって、

第 1 の電極と、

間隙によって前記第 1 の電極から分離される第 2 の電極であって、第 1 のキャパシタンスが前記第 1 の電極と前記第 2 の電極との間に存在するようにする、第 2 の電極と、

前記第 2 の電極が、前記第 1 の電極に向かって、および前記第 1 の電極から離れる方に移動するのを可能にするための、前記第 2 の電極を支持するバネ要素と、

を備える、容量性マイクロマシン加工超音波変換器 (C M U T) と、

前記 C M U T と直列に接続されるフィードバック構成要素であって、前記 C M U T に印加される電圧にフィードバックを提供する、フィードバック構成要素と、

を備え、

前記フィードバック構成要素は、前記第 1 のキャパシタンスの 1 0 パーセントから 3 0 0 パーセントである、第 2 のキャパシタンスを有するキャパシタである、システム。

【請求項 2】

前記フィードバック構成要素は、前記 C M U T の前記第 1 のキャパシタンスが、前記第 2 の電極の移動の結果として増加する時に、前記電圧を減少させるために、前記 C M U T に印加される前記電圧に負のフィードバックを提供するキャパシタである、請求項 1 に記載のシステム。

10

20

【請求項 3】

前記フィードバック構成要素は、前記第 1 のキャパシタンスとほぼ同等またはそれ未満である、第 2 のキャパシタンスを有するキャパシタである、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 4】

前記フィードバック構成要素は、前記第 1 のキャパシタンスの 30 パーセントから 100 パーセントある、第 2 のキャパシタンスを有するキャパシタである、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 5】

前記 C M U T が音響エネルギーを検出するために受信モードで使用される時には、前記フィードバック構成要素を回避するための経路を提供するように作動可能であり、前記 C M U T が音響エネルギーを送信するために送信モードで使用される時には、前記 C M U T と直列に前記フィードバック構成要素を配置するように作動可能である、スイッチをさらに備える、請求項 1 に記載のシステム。

10

【請求項 6】

前記フィードバック構成要素と前記 C M U T との間にバイアス電圧を印加するためのバイアス回路をさらに備える、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 7】

前記フィードバック構成要素と前記 C M U T との間のスイッチであって、前記 C M U T が音響エネルギーを送信するために送信モードで使用される時には、前記 C M U T を前記フィードバック構成要素および送電電圧源と直列に接続し、前記 C M U T が音響エネルギーを検出するために受信モードで使用される時には、前記 C M U T を受信端末に接続する、スイッチと、

20

前記スイッチと前記 C M U T との間にバイアス用電圧を印加するためのバイアス回路と、

をさらに備える、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 8】

前記フィードバック構成要素と前記 C M U T との間のスイッチであって、前記 C M U T が音響エネルギーを送信するために送信モードで使用される時には、前記 C M U T を前記フィードバック構成要素および送電電圧源と直列に接続し、前記 C M U T が音響エネルギーを検出するために受信モードで使用される時には、前記 C M U T を受信端末に接続する、スイッチと、

30

前記スイッチが前記 C M U T を前記受信端末に接続する時に、バイアス用電圧を印加するためのバイアス回路と、

をさらに備える、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 9】

前記 C M U T が表面に位置する超音波プローブをさらに備え、前記フィードバック構成要素は、前記プローブ内に位置し、前記プローブの前記表面から絶縁される、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 10】

前記 C M U T が表面に位置する前記プローブを有する、超音波システムをさらに備え、前記フィードバック構成要素は、ケーブルを介して前記プローブに接続される前記超音波システムの基盤ユニット内に位置する、請求項 1 に記載のシステム。

40

【請求項 11】

前記フィードバック構成要素は、所定の動作周波数で、前記 C M U T のインピーダンスと同じ桁数であるインピーダンスを有する、レジスタまたはインダクタである、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 12】

前記フィードバック構成要素は、所定の動作周波数で、前記 C M U T のインピーダンスの 50 パーセントから 300 パーセントであるインピーダンスを有する、レジスタまたはインダクタである、請求項 1 に記載のシステム。

50

【請求項 13】

第1の電極と、前記第1の電極から空間によって分離される第2の電極と、を含む容量性マイクロマシン加工超音波変換器（CMUT）を提供するステップであって、前記第1の電極と前記第2の電極との間に、第1のキャパシタンスが存在するようにし、前記第2の電極は、前記第2の電極が前記第1の電極に向かって移動し、元の位置に戻るのを可能にするためのバネ要素によって支持され、前記第1の電極と前記第2の電極との間に第1のキャパシタンスが存在する、ステップと、

フィードバックキャパシタを前記CMUTと直列に配置するステップであって、前記フィードバックキャパシタは、前記CMUTの前記第1の電極と前記第2の電極との間の前記第1のキャパシタンスに基づく第2のキャパシタンスを有する、ステップと、

を含み、

前記第2のキャパシタンスは、前記CMUTの前記第1のキャパシタンスの10パーセントから300パーセントである、

方法。

【請求項 14】

前記CMUTを作動させるために前記CMUTおよび前記フィードバックキャパシタに送電電圧を印加するステップをさらに含み、前記フィードバックキャパシタは、前記CMUTの前記第1のキャパシタンスが、前記CMUTの作動の間に増加する時に、前記CMUTに印加される前記送電電圧が減少するように、前記CMUTに印加される前記送電電圧にフィードバックを適用する、請求項13に記載の方法。

【請求項 15】

前記CMUTの前記第1のキャパシタンス以下である前記第2のキャパシタンスを有するように、前記フィードバックキャパシタを選択するステップをさらに含む、請求項13に記載の方法。

【請求項 16】

前記CMUTの前記第1のキャパシタンスの30パーセントから100パーセントである前記第2のキャパシタンスを有するように、前記フィードバックキャパシタを選択するステップをさらに含む、請求項13に記載の方法。

【請求項 17】

容量性マイクロマシン加工超音波変換器（CMUT）であって、

第1の電極と、

間隙によって前記第1の電極から分離される第2の電極であって、前記第2の電極が第1の位置にある時に、第1のキャパシタンスが、前記第1の電極と前記第2の電極との間に存在するようにする、第2の電極と、

前記第2の電極が、電圧が印加される時に、所定の変位のために前記第1の位置から前記第1の電極の方へ移動し、音響エネルギーを生成するために前記第1の位置に戻るのを可能にするための、前記第2の電極を支持する可撓性要素と、

前記CMUTと直列に接続されるフィードバックキャパシタであって、前記フィードバックキャパシタは、前記第1のキャパシタンスの10パーセントから300パーセントの第2のキャパシタンスを有し、前記フィードバックキャパシタおよび前記CMUTは、分圧器を形成し、前記CMUTの前記第1のキャパシタンスの増加により、前記フィードバックキャパシタが、前記CMUTに印加される前記電圧に負のフィードバックを提供する時、前記CMUTに印加される前記電圧が減少するようにする、フィードバックキャパシタと、

を備える、システム。

【請求項 18】

前記システムは、前記CMUTが表面に位置する前記プローブを有する超音波システムであり、

前記フィードバックキャパシタは、前記プローブ内に位置し、前記プローブの前記表面から絶縁されるか、ケーブルを介して前記プローブに接続される前記超音波システムの基

10

20

30

40

50

盤ユニット内に位置する、

請求項 17 に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

[関連出願の相互参照]

本出願は、2007年12月3日に提出された米国仮特許出願第60/992,027号の利益を主張し、その開示全体が、参照することにより本明細書に組み込まれる。

【0002】

容量性マイクロマシン加工超音波変換器 (CMUT) は、種々の用途で広く使用されている静電気アクチュエータ/変換器である。超音波変換器は、液体、固体、および気体を含む種々の媒体中で動作することができる。超音波変換器は、診断および療法のための医用撮像、生化学的撮像、材料の非破壊的評価、ソナー、通信、近接センサ、気体流量測定、in-situプロセス監視、超音波顕微鏡法、水中検知、水中撮像、および多くの他の実用的用途に一般的に使用されている。CMUTの典型的な構造体は、可撓性膜上またはその中に存在する、剛性の底面電極および可動最上部電極を備える平行板キャパシタで、隣接する媒体内で音波を送信 (TX) または受信/検出 (RX) するために使用される。通常は感度および帯域幅を最大化することを目的として、直流 (DC) バイアス電圧を電極間に印加して、CMUT動作に最適の位置に該膜を偏向することができる。送信中、交流 (AC) 信号が変換器に印加される。最上部電極と底面電極との間の交流静電力により、該膜が、CMUTを囲む媒体に音響エネルギーを伝えるように作動される。受信中衝突する音波が膜を振動させ、それにより2つの電極の間のキャパシタンスを変化させる。

【0003】

CMUT内の静電力は非線形であるため、2つの電極の間の分離空間が作動の間に減少すると、電極間の静電力は、典型的には膜の復元力よりも大きな比率で増加する。したがって、可動電極がある位置に変位すると (例えば、典型的には電極間隙の3分の1)、膜の復元力は、静電力の均衡を保つことができない。さらなる電圧の増加は、CMUTの不安定性または崩壊をもたらす得る、「引き込み」現象を引き起こし得る。よって、特定の用途に十分な変位を達成するためには、2つの電極間の離隔間隙は、実際に必要とされる変位よりはるかに大きくなるように設計されなければならない、これが従来の動作においてCMUTの性能を根本的に制限し得る。

【図面の簡単な説明】

【0004】

付随する図面は、説明と併せて、本明細書において企図される最良の形態の原理を示し、説明する役割を果たす。図では、参照番号の最も左の数字は、該参照番号が最初に現れる図を特定する。図面では、類似する数字は、幾つかの図を通して実質的に類似する特徴および構成要素を表す。

【0005】

【図1A】理論上のCMUTを含むシステムの例示的な概略モデルを示す図である。

【図1B】理論上のCMUTを含むシステムの例示的な概略モデルを示す図である。

【図2A】フィードバックキャパシタを備えるCMUTを含むシステムの、例示的な実装形態を示す図である。

【図2B】フィードバックキャパシタを備えるCMUTを含むシステムの、例示的な実装形態を示す図である。

【図3】フィードバックキャパシタを備えるCMUTを含むシステムの、別の例示的な実装形態を示す図である。

【図4】フィードバックキャパシタを備えるCMUTを含むシステムの、別の例示的な実装形態を示す図である。

【図5A】フィードバック構成要素を備えるCMUTを含むシステムの、例示的な実装形

10

20

30

40

50

態を示す図である。

【図５Ｂ】フィードバック構成要素を備えるＣＭＵＴを含むシステムの、例示的な実装形態を示す図である。

【図５Ｃ】フィードバック構成要素を備えるＣＭＵＴを含むシステムの、例示的な実装形態を示す図である。

【図６】フィードバックキャパシタを備えるＣＭＵＴのための、例示的な方法のフローチャートを示す図である。

【図７】フィードバックキャパシタを備えるＣＭＵＴを含むシステムの、別の例示的な実装形態を示す図である。

【図８】フィードバックキャパシタを備えるＣＭＵＴを含むシステムの、別の例示的な実装形態を示す図である。

10

【図９】フィードバックキャパシタを備えるＣＭＵＴを含むシステムの、別の例示的な実装形態を示す図である。

【図１０】フィードバックキャパシタを備えるＣＭＵＴを含むシステムの、別の例示的な実装形態を示す図である。

【図１１】フィードバックキャパシタを備えるＣＭＵＴを含むシステムの、別の例示的な実装形態を示す図である。

【図１２】フィードバックキャパシタを備えるＣＭＵＴを含むシステムの、別の例示的な実装形態を示す図である。

【図１３】フィードバックキャパシタを備えるＣＭＵＴを含むシステムの、別の例示的な実装形態を示す図である。

20

【図１４】フィードバックキャパシタを備えるＣＭＵＴを含むプローブを備えるシステムの、例示的な実装形態を示す図である。

【図１５】フィードバックキャパシタを備えるＣＭＵＴを含むプローブを備えるシステムの、別の例示的な実装形態を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【０００６】

以下の詳細な説明においては、本開示の一部を成し、制限目的ではなく、説明目的で例示的な実装形態を示す、付随する図面を参照する。さらに、本説明は、以下に説明され、図面で示されるように、種々の例示的な実装形態を提供するが、本開示は、本明細書において説明され、図示の実装形態に制限されず、当業者にとって既知である、または既知となるであろう他の実装形態にまで及び得ることに留意されたい。本明細書における「一実装形態」、「本実装形態」、または「これらの実装形態」への言及は、該実装形態に関連して記載される特定の特徵、構造、または特性が、少なくとも１つの実装形態に含まれることを意味し、本明細書の様々な箇所で見られるこれらの句が、必ずしも全て同一の実装形態を指しているとは限らない。さらに、該説明において、完全な開示を提供するために、多くの具体的な詳細が記載される。しかしながら、当業者には、これらの具体的な詳細の全てが、全ての実装形態において必要であるとは限らないことは明白である。他の状況において、周知の構造、材料、回路、プロセス、およびインターフェースは、不必要に本開示を分かりにくくしないために、詳細に説明されておらず、および／またはブロック図の形態で示されている場合がある。

30

40

【０００７】

本明細書で開示される実装形態は、ＣＭＵＴ、ならびに構成要素（例えば、キャパシタ、レジスタ、インダクタ等）が、ＣＭＵＴに印加される電圧にフィードバックを提供するために追加される、ＣＭＵＴを設計および動作するための方法およびシステムに関する。通常、追加される構成要素の存在により、ＣＭＵＴのキャパシタンスが増加すると、ＣＭＵＴに印加される入力電圧の割合が減少する。したがって、追加構成要素は、ＣＭＵＴに印加される入力電圧の割合にフィードバックを提供する。追加構成要素の存在は、電極の離隔距離を増加せずにＣＭＵＴの変位および出力電力を改善すること、ＣＭＵＴ構造体に印加される絶対電圧を減少させることによって、電氣的短絡または破壊に対するデバイス

50

の信頼性を改善すること、ならびにCMUT構造体のキャパシタンスを増加することによって受信感度を改善することを含む、多くの利点を提供する。CMUTに印加される入力電圧の割合に負のフィードバックを効率的に提供するために、追加構成要素の電氣的値は、該構成要素がCMUTの動作周波数領域内でCMUTに印加される電圧に所望のフィードバックを提供することができるように、慎重に選択すべきである。実装形態は、超音波システム、変換器、プローブ等に組み込むことができる。

【0008】

CMUT動作における課題を解決し、CMUTの性能を改善するために、本明細書で開示される一部の実装形態は、本明細書ではフィードバックキャパシタと称される、構成要素を備える。該フィードバックキャパシタは、CMUT動作の間、特に送信モードでの（すなわち、超音波エネルギーを生成する）CMUTの動作の間、CMUTに印加される入力電圧の割合にフィードバックを提供する、CMUTと直列に配置される特別に選択されたキャパシタンスを有するキャパシタである。一部の例示的な実装形態は、CMUTに印加される入力電圧の割合に負のフィードバックを提供する、フィードバックキャパシタの使用に関する。例えば、一部の実装形態において、フィードバックキャパシタは、CMUT変換器と直列のキャパシタである。直列キャパシタおよびCMUTは、CMUTのキャパシタンスの増加により、CMUTに印加される入力電圧の割合が減少するように、分圧器を形成し得る。したがって、直列キャパシタは、CMUTに印加される電圧に、予測可能なレベルの負のフィードバックを提供するように選択されるキャパシタンスを有する。該フィードバックキャパシタは、膜の変位、ならびにキャパシタンスが増加すると、CMUTに印加される入力電圧の割合を減少させるため、CMUTは、従来の引き込み現象によって設定される制限を超えて動作することができる。したがって、本明細書で開示される動作方法および実装形態のCMUTの最大変位は（例えば、フィードバックキャパシタと直列の）、従来の動作における同一CMUTのものより大きくてもよく（追加のフィードバックキャパシタなしで）、あるいは電極を分離する空間は、従来の動作における電極のより大きな離隔距離を伴うCMUTと同じ最大変位を達成するために、実質的により小さくなるように設計してもよい。

【0009】

一部の実装形態において、効率的なフィードバックを提供するために、フィードバックキャパシタのキャパシタンスは、入力電圧をCMUTとフィードバックキャパシタとの間で有意義に分配することができるように、CMUTのキャパシタンスと同等である。一部の実装形態において、フィードバックキャパシタのキャパシタンスは、CMUTのキャパシタンスに基づいて、規定の範囲内である。さらに、一部の実装形態において、フィードバックキャパシタは、CMUT送信（TX）動作の間のみ機能するように構成することができる。さらに、一部の実装形態において、フィードバックキャパシタを有するCMUTにバイアス電圧を印加することができる。一部の実装形態において、RX動作時のみ、CMUTにバイアス電圧を印加することができる。さらに、一部の実装形態において、フィードバックキャパシタを有するCMUTと接続されるバイアス回路において、減結合キャパシタを使用することもできる。

【0010】

指定値を伴う他の電子的構成要素（例えば、レジスタ、インダクタ等）を、一部の実装形態において使用されるフィードバックキャパシタの代わりに使用して、CMUTに印加される電圧にフィードバックを提供することができる。しかしながら、フィードバックキャパシタとは異なり、他の電子的構成要素によって提供されるフィードバックは、周波数に依存する場合があります。一部の用途では望ましくない場合がある。したがって、周波数に依存しないフィードバックキャパシタを使用して、本明細書で開示される多くの実装形態を示すが、CMUT動作におけるフィードバック機能を提供する他の構成要素を使用する実装形態も、本開示の範囲内であることに留意されたい。

【0011】

図1Aは、本明細書で開示される例示的な実装形態の原理を示すために、送信動作中の

10

20

30

40

50

理論上のCMUT100の概略モデルを含む、例示的なシステム101を示す。CMUT100は、固定電極110と、可動電極112と、等価バネ114と、バネアンカー116とを備える。最上部電極および底面電極は、本実装形態において送信入力電圧(V_{TX})を受信する第1のポート120と、本実装形態において接地(GND)として機能する第2のポート122とを含む、インターフェース回路に接続することができる。通常第1のポート120は、CMUTシステムのフロント回路(図示せず)に接続される。CMUTのフロント回路は、CMUT100に作動信号(V_{TX})を印加するか、CMUT100からの受信信号を検出するかのいずれかである。CMUT100は、電極離隔間隙「 g 」130を伴って設計され、これは、CMUT100が送電電圧または外部の音響エネルギーによって作動されない元の位置にある時には、可動電極112と固定電極110との間に存在する空間である。例えば、CMUT100が第1のポート120に印加される電圧によって作動される時には、可動電極112は、可動電極112と固定電極110との間の静電力によって、特定の変位位置 x 132まで固定電極110の方へ変位する。電圧が、可動電極112を固定電極110の方へ変位するように印加される時には、バネ114(または等価構造体)が復元力を提供して、可動電極112をその元の位置に戻す。

【0012】

しかしながら、CMUT内の静電力は非線形であるため、該静電力は、2つの電極間の離隔距離が小さくなると、バネ114の復元力より速く増加し得る。結果、特定の最大変位 X_m 134において、バネ114の復元力は、可動電極112と固定電極110との間の静電力に打ち勝つことができない。この最大変位点 X_m 134に到達すると、さらなる電圧の増加は、可動電極112の固定電極110上での崩壊を来し得る。したがって、可動電極の変位 x 132は、通常のCMUT動作のために、 X_m 134よりも小さくあるように制御される必要がある。典型的には、最大設計変位 X_m 134は、電極離隔間隙 g 130よりもはるかに小さい。例えば、静的作動中の理想的な平行板CMUTについて、 X_m 134は、典型的には離隔間隙 g 130の約3分の1であり得る。したがって、従来の設計では、特定の用途にとって十分な変位を達成するために、固定電極と可動電極との間の離隔間隙 g 130は、所望の量の音響エネルギーを生成するために実際に必要とされる、変位 x 132よりもはるかに大きくなるように、設計される必要がある。

【0013】

図1Bは、図1AのCMUT100の等価回路として、システム101を示す。CMUT100は、本実装形態では可変キャパシタとして符号で表される。CMUT100のキャパシタンスは、 $1/g$ に比例する。図示の実装形態では、入力電圧 V_{TX} の全てをCMUT100に印加することができる。

【0014】

可動電極112は、通常動作中は、 X_m 134より小さい変位である x 132を有するため、図1AのCMUT100は、図1Bにも示すように、 X_m 134に固定される仮想浮動電極111を挿入することによって、概念的に2つの部分に分離することができる。したがって、可動電極112および浮動電極111は、別の可変キャパシタ200を形成し(図2Aのシステム201に示す)、浮動電極111および固定キャパシタ110は、定数キャパシタ240を形成する(図2Aに示す)。本明細書で開示されるように、図1Bおよび図2Aの回路は、同一の電気および音響特性を有し得る。図2Bは、図2Aのシステム201の、例示的な実装形態の概略モデルを示す。キャパシタ240を有するCMUT200は、直列に接続される。しかしながら、図2A~2BのCMUT200の初期キャパシタンスは、図1A~1BのCMUT100の初期キャパシタンスの g/X_m 倍であり、図2A~2Bのキャパシタ240のキャパシタンスは、図1A~1BのCMUT100の初期キャパシタンスの $g/(g-X_m)$ 倍である。したがって、CMUT200およびキャパシタ240の両方のキャパシタンスは、CMUT100のものよりも大きく、図2A~2Bの2つの直列キャパシタ(すなわち、CMUT200およびキャパシタ240)の総初期キャパシタンスは、図1A~1BのCMUT100の初期キャパシタンスと同一である。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 5 】

図 1 A ~ 1 B および図 2 A ~ 2 B の回路または概略モデルの音響および機械的特性は同一であるため、図 2 A ~ 2 B の C M U T 2 0 0 では、理想的には、可動電極 1 1 2 は、C M U T 2 0 0 の電極離隔距離 g_{230} 全体と同一である、最大変位 X_m を有することができる。したがって、直列に接続される適切なキャパシタ 2 4 0 を備える C M U T 2 0 0 の電極離隔距離上の相対変位は、直列のキャパシタを備えない同一 C M U T のものよりはるかに大きくなることができる。これは、フィードバックキャパシタ 2 4 0 (以下「 C_F 」と称されるキャパシタンスを有する)が、C M U T 2 0 0 に印加される入力電圧の割合にフィードバックを提供するためである。図 1 A ~ 1 B では、全ての入力電圧 V_{TX} が C M U T 1 0 0 に印加される。しかしながら、図 2 A ~ 2 B では、入力電圧 (V_A) の一部のみが C M U T に印加され、入力電圧 (V_B) の残りはフィードバックキャパシタに印加される、すなわち、 $V_{TX} = V_A + V_B$ である。キャパシタ 2 4 0 および C M U T 2 0 0 は、一緒になって、C M U T 2 0 0 のキャパシタンスならびに変位の増加により C M U T 2 0 0 に印加される電圧の割合が減少するように、分圧器を形成し、したがって、キャパシタ 2 4 0 は、C M U T 2 0 0 に印加される電圧に負のフィードバックを提供する。したがって、キャパシタ 2 4 0 と直列に接続されると、C M U T 2 0 0 は、通常動作中の C M U T (すなわち、直列フィードバックキャパシタを備えない)内の引き込み現象によって設定される制限をはるかに超えて、安定して動作することができる。

10

【 0 0 1 6 】

さらに、図 2 A ~ 2 B の実装形態では、C M U T 2 0 0 の C M U T キャパシタンスは、可動電極 1 1 2 の同一変位 x_{232} を達成するために、図 1 の理論上のモデルである C M U T 1 0 0 のキャパシタンスより実質的に大きい。より大きな C M U T キャパシタンスは、例えば、C M U T が、音響エネルギーの検出 / 受信のために検出 / 受信モードで使われる時に、C M U T の性能を改善するために望ましい。

20

【 0 0 1 7 】

本明細書で開示される実装形態において、キャパシタ 2 4 0 は、定数キャパシタンスを有する任意の種類のキャパシタであり得る。例えば、キャパシタ 2 4 0 は、最上部電極および底面電極として金属またはシリコンを使用、ならびに誘電材料として窒化物または酸化物を使用する等により、C M U T 基板上に直接製造することができる。代替として、キャパシタ 2 4 0 は、本明細書に記載される原理および技法に従って設計される C M U T 変換器に接続される、個別のキャパシタ構成要素であってもよい。

30

【 0 0 1 8 】

図 3 は、前述の原理を組み込む、C M U T 3 0 0 およびフィードバックキャパシタ 3 4 0 を含むシステム 3 0 1 の、例示的な実装形態を示す。C M U T 3 0 0 の基本構造体は、可撓性パネ要素 3 1 4 の上、またはその中、またはその一部として存在する、剛性の第 1 の電極 3 1 0 および第 2 の電極 3 1 2 を有する、可撓性膜製の容量性マイクロマシン加工変換器であり、該パネ要素は、電圧が印加されると、第 2 の電極 3 1 2 が第 1 の電極 3 1 0 の方へ移動し、次いで第 2 の電極 3 1 2 が元の位置に戻るのを可能にするためのパネとして機能する、可撓性膜または他の構造体であり得る。パネ要素 3 1 4 および第 2 の電極 3 1 2 は、支持アンカー 3 1 6 によって第 1 の電極 3 1 0 から分離され、変換離隔間隙 g_{330} を形成する。C M U T 3 0 0 を使用して、可撓性膜 3 1 4 の偏向を介して隣接する媒体中に音波を送信 (TX) または検出 (RX) することができる。例えば送信中、第 1 のポート 1 2 0 を介して A C 信号が C M U T 3 0 0 に印加される。第 1 の電極 3 1 0 と第 2 の電極 3 1 2 との間の交流静電力が、音響エネルギーを C M U T 3 0 0 を囲む媒体に供給するために、膜 3 1 4 を作動する。同様に、受信時、衝突する音波が膜 3 1 4 を振動させ、これにより 2 つの電極 3 1 0 と 3 1 2 との間の実効キャパシタンスを変化させ、電子回路 (図示せず) が、C M U T をセンサとして使用するために、このキャパシタンス変化を検出および測定する。

40

【 0 0 1 9 】

図 3 の例示的な C M U T 3 0 0 は、電極 3 1 0 または 3 1 2 のうちの 1 つと直列に接続

50

される、フィードバックキャパシタ 340 を含む。フィードバックキャパシタ 340 は、好ましくは、後述する範囲内等の、CMUT 300 の実効キャパシタンス C_c とほぼ同等またはそれ未満であるキャパシタンスを有する。CMUT 300 と直列のフィードバックキャパシタ 340 を含むことにより、依然として同様の最大変位を達成しながら、離隔間隙 330 を、フィードバックキャパシタ 340 を備えない CMUT において必要とされるであろう大きさの 2 分の 1 から 3 分の 1 未満であるように、設計することが可能であり得る。フィードバックキャパシタ 340 は、第 1 の電極 310 または第 2 の電極 312 のうちの 1 つと同一 CMUT 基板上に直接製造してもよく、または代替として、キャパシタ 340 を、個別のキャパシタ構成要素として CMUT 300 に接続してもよい。

【0020】

図 4 は、直列に接続されるフィードバックキャパシタ 440 を備える CMUT 400 を含む、例示的なシステム 401 の別の実装形態を示す。CMUT 400 は、第 1 の電極 410 および第 2 の電極 412 を含む。CMUT 400 は、内蔵バネ要素 414 を含み、該内蔵バネ要素は、第 2 の電極 412 が第 1 の電極 410 の方に移動し、次いで元の位置に跳ね返るのを可能にするためのバネとして機能する、可撓性膜または他の構造体であり得る。さらに、バネ要素 414 は、導電性であり、第 1 の電極 410 の一部であり得る。変換離隔間隙 g_{430} を形成するように、支持体 416 によってバネ要素 414 から第 2 の電極 412 を浮き上げることができる。CMUT 400 は、CMUT 300 について上述したものと同様の様態で動作することができる。

【0021】

図 4 の例示的な CMUT 400 は、電極 410 または 412 のうちの 1 つと直列に接続されるフィードバックキャパシタ 440 を含む。フィードバックキャパシタ 440 は、好ましくは、後述する範囲内等の、CMUT 400 の実効キャパシタンス C_c とほぼ同等またはそれ未満であるキャパシタンスを有する。CMUT 400 と直列のキャパシタ 440 を含むことにより、依然として同様の最大変位を達成しながら、離隔間隙 430 を、通常動作中に CMUT において必要とされるであろう大きさの 2 分の 1 から 3 分の 1 未満であるように、設計することができる。キャパシタ 440 は、第 1 の電極 410 または第 2 の電極 412 のうちの 1 つと同一 CMUT 基板上に直接製造してもよく、または代替として、キャパシタ 440 を、個別のキャパシタ構成要素として CMUT 400 に接続してもよい。

【0022】

図 5 A は、一部の実装形態に従う CMUT 500 を含むシステム 501 の基本構成を描写する略図である。キャパシタンス C_F を有するフィードバックキャパシタ 540 が、キャパシタンス C_c を有する CMUT 500 と直列に接続される。第 2 のポート 122 は、GND またはバイアス源に接続される。第 1 のポート 120 は、CMUT システムのフロント回路（図示せず）に接続される。CMUT のフロント回路は、直列のフィードバックキャパシタ 540 を備える CMUT 500 に作動信号（ V_{IN} ）を印加するか、または CMUT 500 からの受信信号を検出するかのいずれかである。通常、フィードバックキャパシタを使用する実装形態は、CMUT の検出 / 受信動作よりも、送信動作においてより多くの利点を提供するため、送信動作を使用して、図 5 A の実装形態を示す。この場合、入力電圧 V_{IN} は、送信信号 V_{TX} である。送信信号 V_{TX} から CMUT 500 に印加される電圧 V_A は、 $V_A = V_{TX} - V_B = V_{TX} (1 + (C_c / C_F))^{-1}$ として得ることができる。特定の印加される入力信号 V_{TX} について、CMUT に印加される電圧 V_A は、CMUT のキャパシタンス C_c が増加するにつれて減少する。したがって、直列キャパシタ 540 は、CMUT 500 に印加される電圧 V_A に負のフィードバックを提供する。

【0023】

フィードバックキャパシタ 540 によって提供されるフィードバックの効率は、 C_c / C_F の比率に依存する。したがって、直列キャパシタ 540 のキャパシタンスは、CMUT 500 に印加される入力電圧への所望のフィードバックを達成するように、適切に選択される必要がある。適切に選択されたフィードバックキャパシタを備える一部の実装形態

10

20

30

40

50

では、CMUT500に印加される入力電圧へのフィードバックは、CMUT動作範囲を、通常のCMUT動作における引き込み現象によって制限されるものを超えて拡大することができる。結果として、キャパシタンス C_F を有するフィードバックキャパシタ540を備えるCMUT500は、本明細書で開示される実装形態に従う、所定の変換空間内で、通常動作中の同一CMUT（フィードバックキャパシタを備えない）よりも大きな変位を達成することができる。例えば、理想的な平行板キャパシタンス配列を有するCMUTモデルにおいて、フィードバックキャパシタが、CMUTのキャパシタンス C_C の2分の1であるキャパシタンス C_F を有するように選択される場合、引き込み現象はなく、CMUTの最大変位 X_m は、図2Aおよび2Bを参照して前述したように、CMUTの電極離隔距離 g と同一であり得る。これによって、通常のCMUT動作用に設計されるものと同じの変位を達成する、実質的により大きなキャパシタンスを有するCMUTか、または通常のCMUT動作用に設計されるものと同じキャパシタンスのための、実質的により大きな変位を有するCMUTを設計することが可能になる。

10

【0024】

前述のように、CMUT500に印加される電圧 V_A と、フィードバックキャパシタ540に印加される電圧 V_B との合計は、印加される送電電圧 V_{TX} に等しい、すなわち、 $V_{TX} = V_A + V_B$ である。一部の实装形態において、 V_B は、 V_A と同等であるか、または V_A よりもさらに大きい。したがって、本明細書で開示されるCMUT構造体に印加される電圧（ V_A ）は、通常動作におけるCMUT構造体に印加される電圧（ V_{TX} ）よりも小さい。本明細書で開示されるCMUTの実装形態が、超音波プローブ等の超音波システム内に実装される時に、より小さい電圧をCMUTに印加することから達成される幾つかの利点がある。第一に、一部の实装形態において、CMUTのキャパシタンスを、好適なフィードバックキャパシタを備えずに、同等の変位を有するCMUTのものよりも大きくなるように設計することができる。したがって、本明細書におけるCMUTのキャパシタンス C_C を増加させることにより、CMUTの受信性能を改善することができる。また、典型的には、通常動作では（直列フィードバックキャパシタを備えない）、送電電圧 V_{TX} 全体がCMUTに印加される。しかし、本明細書で開示される実装形態では、全電圧の一部のみ（例えば、 $V_A < V_{TX}$ ）がCMUTに印加され、残りの電圧（電圧 V_B ）は、フィードバックキャパシタに印加される。これは、CMUTが、超音波を媒体に放出するか、または媒体から超音波を受信するために、電圧に敏感な位置に配置される必要がある超音波変換器として機能する一部の实装形態に対して、第2の利点を提供する。フィードバックキャパシタ540は、CMUT500と直列であるいずれの場所にも位置し得るため、CMUT自体に印加される電圧の量を減少することができ、これは、変換器の近傍で高電圧が好ましくない用途にとって有益であり得る。

20

30

【0025】

したがって、本明細書で開示されるCMUTに印加される電圧（ V_A ）は、フィードバックキャパシタを組み込まないCMUTに印加される電圧（ V_{TX} ）より、両者が同一超音波力を放出する時には、はるかに低くなり得る。本明細書で開示される実装形態のCMUTに印加される電圧 V_A は、はるかに低いいため、これは、前述のCMUTにおける静電破壊の課題に対して有益である。さらに、本明細書で開示されるフィードバックキャパシタを備えるCMUTに印加されるより低い電圧は、2つの電極が崩壊する時に絶縁破壊を防止するための、CMUT内のより薄い絶縁層を可能にする。理想的には、絶縁層は、一部の实装形態では必要でない場合がある。これは、絶縁層における誘電帯電が最小限に抑えられるか、または完全に排除されるため、CMUTの信頼性を改善する。したがって、本明細書で開示されるCMUT（直列フィードバックキャパシタを備える）は、はるかに優れた信頼性を有する。

40

【0026】

一部の实装形態において、直列キャパシタを使用して、CMUTに印加される電圧への所望のフィードバックを提供するために、フィードバックキャパシタのキャパシタンス C_F は、CMUTのキャパシタンス C_C と同等、例えば、同一桁数内であるべきである。例え

50

ば、フィードバックキャパシタのキャパシタンス C_F を、 $0.1C_C \sim 3C_C$ （すなわち、 C_C の10～300パーセントの間）の範囲内となるように設計することができ、 C_C は、CMUTの実効基準キャパシタンス、あるいはより正確には、送電電圧 V_{TX} の入力によってキャパシタンスに変化が生じる前に、CMUTが送信動作に設定される時の、CMUTのキャパシタンスを表す。さらに、一部の例示的な実装形態において、フィードバックキャパシタのキャパシタンス C_F を、最適動作のために、 $0.3C_C \sim 1C_C$ （すなわち、 C_C の30～100パーセントの間）内となるように設計することができる。さらに、一部の实装形態において、キャパシタンス C_C は、特定の実際的な装置またはCMUT構造体自体内に存在する寄生キャパシタンスがある場合は、CMUTキャパシタンスおよび任意の寄生キャパシタンスの両方を含み得る。

10

【0027】

キャパシタの使用に加えて、他の好適に構成される電子的構成要素、例えば、レジスタ、インダクタ等を、図5Aのフィードバックキャパシタ540の代わりに使用して、CMUT500に印加される入力電圧への所望のフィードバックを達成することができる。キャパシタ以外の構成要素のフィードバックは周波数に依存するため、電子的構成要素の値は、CMUT500の動作周波数で、所望のフィードバックキャパシタンス C_F のものと類似する電気インピーダンス Z_F を有するように選択することができる。

【0028】

図5Bは、CMUT500と直列に接続されるフィードバックレジスタ542を備える、CMUT500を含むシステム501bを示す。フィードバックレジスタ542は、CMUT500の2つの電極のうちの1つと接続され、選択した抵抗 R_F を有する。第2のポート122は、GNDまたはバイアス源に接続される。第1のポート120は、CMUTのフロント回路（図示せず）に接続される。CMUTのフロント回路は、直列のフィードバックレジスタ542を備えるCMUT500に作動信号（ V_{IN} ）を印加するか、あるいはCMUT500からの受信信号を検出するかのいずれかである。送信信号 V_{IN} からCMUT500に印加される電圧 V_A は、

20

$V_A = V_{in} - V_B = V_{in} (1 + j \omega_C R_F C_C)^{-1}$ として求めることができ、式中、 j は虚数単位であり、 ω_C は、CMUTの動作周波数である。特定の印加される入力信号 V_{IN} について、CMUTに印加される電圧 V_A は、CMUTのキャパシタンス C_C が増加すると、減少する。したがって、適切に選択した抵抗 R_F を有する直列レジスタ542は、CMUT500に印加される電圧 V_A に負のフィードバックを提供する。

30

【0029】

フィードバックレジスタ542によって提供されるフィードバックの効率は、 $j \omega_C R_F C_C$ のフィードバック係数に依存する。前述のフィードバックキャパシタの使用とは異なり、フィードバックレジスタを使用するフィードバック係数は、CMUTの動作周波数 ω_C の関数である。また、フィードバック係数は虚数であるため、CMUTに印加される電圧（ V_A ）と入力電圧（ V_{IN} ）との間に位相差が存在することも注目し得る。この位相差により、CMUT500へのレジスタ542のフィードバックが、CMUTの変位に対する減衰効果として機能するようになる。したがって、フィードバックレジスタ542を備えるCMUTは、通常動作中のCMUTより良好な帯域幅を有し得る。故に、本手法は、媒体として空気中で動作するCMUTの帯域幅を広げるために特に有用である。したがって、直列レジスタ542の抵抗 R_F は、動作周波数領域内のCMUTにおいて、CMUT500に印加される入力電圧への所望のフィードバックを達成するように、適切に選択する必要がある。例えば、CMUT500に印加される電圧（ V_A ）へのフィードバックキャパシタ540と同様の絶対的なフィードバック効果を達成するために、フィードバックレジスタ542は、CMUT500の所定の動作周波数（ ω_C ）に基づく、CMUT500のインピーダンス $Z_F = 1 / j \omega_C C_C$ と同じ桁数である、インピーダンス $Z_F = R_F$ を有する。例えば、レジスタ542のインピーダンスは、所定の動作周波数でのCMUT500のインピーダンスの50～300パーセントの間であり得る。

40

【0030】

50

さらに、図5Cは、CMUT500と直列に接続されるフィードバックインダクタ544を有するCMUT500を含む、システム501cを示す。フィードバックインダクタ544は、CMUT500の2つの電極のうちの1つに接続される。第2のポート122は、GNDまたはバイアス源に接続される。第1のポート120は、CMUTのフロント回路（図示せず）に接続される。CMUTのフロント回路は、直列のフィードバックインダクタを備えるCMUT500へ作動信号（ V_{IN} ）を印加するか、またはCMUT500からの受信信号を検出するかのいずれかである。送信信号 V_{IN} からCMUT500に印加される電圧 V_A は、

$V_A = V_{IN} - V_B = V_{IN} (1 + (-\omega_c^2 L_F C_C))^{-1}$ として得ることができる。印加される入力信号 V_{IN} について、CMUTに印加される電圧 V_A の割合は、CMUTのキャパシタンス C_C が増加するにつれて増加する。したがって、直列インダクタ544は、CMUT500に印加される電圧 V_A に正のフィードバックを提供する。

【0031】

フィードバックインダクタ544によって提供されるフィードバックの効率は、 $-\omega_c^2 L_F C_C$ のフィードバック係数に依存する。前述のフィードバックキャパシタの使用とは異なり、フィードバックインダクタ544を使用するフィードバック係数は、周波数 ω_c の強関数である。また、フィードバック係数が負であるために、インダクタが正のフィードバックを提供すること、注目に値する。したがって、CMUTに印加される電圧（ V_A ）は、入力電圧（ V_{IN} ）よりも大きくなり得る。直列インダクタを備えるCMUTは、より狭い帯域幅を有し得る。そのためこれは、複数のパルスを有する信号が必要とされる用途、例えば、高密度焦点式超音波療法（HIFU）に有用であり得る。直列インダクタ544のインダクタンス L_F は、動作周波数領域内のCMUTにおいて、CMUT500に印加される入力電圧への所望のフィードバックを達成するように、適切に選択する必要がある。例えば、CMUT500に印加される電圧（ V_A ）への、インダクタンス L_F を有するフィードバックインダクタ544のように効果的なフィードバック効果を達成するために、フィードバックインダクタ544は、CMUT500の所定の動作周波数（ ω_c ）に基づき、CMUT500のインピーダンス $Z_F = 1 / j \omega_c C_C$ と同じ桁数である、インピーダンス $Z_F = 1 / j \omega_c L_F$ を有する。例えば、インダクタ544のインピーダンス Z_F は、所定の動作周波数でのCMUT500のインピーダンスの50～300パーセントの間であり得る。

【0032】

以下の説明および関連する図面では、フィードバックキャパシタを使用して、本明細書で開示される種々の実装形態を示すが、前述の考察を考慮に入れて、同一実装形態において、前述のフィードバックレジスタおよびフィードバックインダクタ等の他のフィードバック構成要素を使用することができる。

【0033】

図6は、本明細書において記載される実装形態に従う、フィードバックキャパシタを含むCMUTのための例示的な方法の、フローチャート600を示す。さらに、本方法は完全に例示的であり、本発明は、いずれの特定の方法にも限定されないことに留意されたい。

【0034】

ブロック601：一部の实装形態において、指定の電圧がCMUTに印加される時に所定の量の音響エネルギーを生成するように、第1の電極に向かう第2の電極の所望の設計変位 x を最初に決定する必要がある。

【0035】

ブロック602：所望の変位 x が決定されると、前述のように、指定の送電電圧に基づいて、CMUTの第1の電極と第2の電極との間に存在するキャパシタンス C_C を決定することができる。

【0036】

ブロック603：CMUTのキャパシタンス C_C が決定された後、CMUTのキャパシ

10

20

30

40

50

タンス C_C に基づいて、フィードバックキャパシタを選択することができる。前述したように、一部の実装形態では、フィードバックキャパシタは、 $CMUT$ のキャパシタンス C_C 未満、またはそれとほぼ同等であるキャパシタンス C_F を有する。他の実装形態において、フィードバックキャパシタは、上で挙げた特定の範囲内、すなわち、キャパシタンス C_C の30～100パーセントの間、またはキャパシタンス C_C の10～300パーセントの間で選択される。

【0037】

ブロック604：フィードバックキャパシタは、 $CMUT$ と直列に配置される。

【0038】

ブロック605：送電電圧が $CMUT$ およびフィードバックキャパシタに印加され、 $CMUT$ を作動する。送電電圧は、第2の電極を、第1の電極の方へ移動させ、および第1の電極から離れるように移動させて、超音波エネルギーを生成する。フィードバックキャパシタは、 $CMUT$ のキャパシタンス C_C が $CMUT$ の作動中に増加すると、 $CMUT$ に印加される送電電圧の割合が減少するように、およびその逆であり得るように、 $CMUT$ に印加される電圧にフィードバックを適用する。

【0039】

図7～13は、図5に示す基本構成の、 $CMUT$ の異なる動作方法および構成でのより詳細な実装形態を示す。図7は、フィードバックキャパシタ740と直列に接続される $CMUT$ 700を含むシステム701の、実装形態を示す。第2のポート122は、 GND またはバイアス源に接続される。第1のポート120は、 $CMUT$ システムのフロント回路（図示せず）に接続される。 $CMUT$ のフロント回路は、 $CMUT$ 700に作動信号を印加するか、 $CMUT$ 700からの受信信号を検出するかのいずれかである。スイッチ760を使用して、 $CMUT$ 700の動作の特定の期間中等に、フィードバックキャパシタ740を短絡させることができる。例えば、スイッチ760は、送信（ TX ）動作中に開放し、受信（ RX ）動作中に閉鎖して回路を短絡させ、それにより、フィードバックキャパシタ740を、超音波エネルギーの送信中は作動状態にし、超音波エネルギーの受信中は非作動状態にすることができる。受信動作中、検出信号を駆動するためにより大きな $CMUT$ キャパシタンスが所望されるため、フィードバックキャパシタンスは、全体のキャパシタンスを増加させるために、短絡されることが所望される。さらに、前述および後述の他の例示的な構成において、スイッチ760が図示されていなくても、所望の場合は、かかるスイッチを、それらの実装形態のうちのいずれにおいても追加することができる。図7に示すスイッチは、実際のスイッチまたはスイッチ回路であってよく、 $CMUT$ 700の特定の動作（例えば TX または RX 動作）において、フィードバックキャパシタ740を含むか、または除外するためにスイッチのように機能する、任意の回路または機能ボックスであってもよい。

【0040】

図8は、フィードバックキャパシタ840と直列に接続される $CMUT$ 800を含むシステム801の、実装形態を示す。本実装形態では、 $CMUT$ 800が、抵抗 R_{Bias} を有するバイアスレジスタ826を含むバイアス回路850を介して、第3のポート824でバイアス用電圧 V_{Bias} を受信することを前提とする。通常、バイアスレジスタの抵抗は、 $CMUT$ のインピーダンスよりはるかに大きい。そのため、バイアスレジスタ、ならびに後で取り入れる減結合キャパシタの存在は、 $CMUT$ の動作周波数での $CMUT$ 動作に最小限の影響しか及ぼさない。しばしば、電氣的浮動動作点/ポートは、音響信号を受信するための検出/受信モードにある時等に、安定した動作を達成するために、所望の信号源へバイアスされるべきである。図8の実装形態では、 $CMUT$ 800とフィードバックキャパシタ840との間に電氣的浮動点があり、そのため、 $CMUT$ 800は、第3のポート824でバイアス源 V_{Bias} によってバイアスされ得る。一部の实装形態において、バイアス源は、 DC 電圧源、接地、または任意の他の信号源であり得る。図8の実装形態では、 TX/RX スイッチ860は、送信モードと受信/検出モードを切り替えるための第1のポート120に含まれる。したがって、スイッチ860が TX 入力端子827に切り替

10

20

30

40

50

わる時には、送電電圧 V_{TX} をCMUT800に送ることができる。代替として、スイッチ860がRX出力端子828に切り替わる時には、超音波エネルギーを受信または検出した結果、CMUT800によって生成される出力電流を、測定回路等（図示せず）に送ることができる。

【0041】

本明細書で開示される一部の実装形態に使用され得る、種々のバイアス方法が存在する。本明細書で開示される実装形態および構成におけるTX/RXスイッチ860は、送信（TX）動作と受信（RX）動作との間でスイッチのように機能する、任意の回路または機能ボックスであり得る。例えば、TX/RXスイッチ860は、実際の物理的なスイッチであってよく、送信動作中の受信の前置増幅のための保護回路、または同一機能を行う何らかの他の配列であってもよい。

10

【0042】

図8は、CMUT800およびフィードバックキャパシタ840にバイアスがかかるための例示的な方法を示す。CMUT800に印加されるバイアス電圧 V_{Bias} は、バイアスレジスタ826を介して伝えることができる。フィードバックキャパシタ840は、前述のフィードバック機能を行うことができ、フィードバックキャパシタ840に加えてDC減結合キャパシタが必要とされないように、一部の实装形態においてDC減結合機能を実行することもできる。さらに、本明細書に記載される全ての構成について、適切なバイアスを印加するために使用される、 R_{Bias} を有するバイアスレジスタを、スイッチと置き換えることができる。

20

【0043】

図8の実装形態では、フィードバックキャパシタ840およびバイアス電圧 V_{Bias} の両方が、CMUT800とTX/RXスイッチ860との間に配置される。しかし、図9はシステム901の代替実装形態を示し、ここでは、CMUT900は、第3のポート824およびバイアス回路850を介してバイアス電圧 V_{Bias} を受信し、フィードバックキャパシタ940は、TX動作中、フィードバックキャパシタ940のみが機能するように、入力端子827でTX/RXスイッチ860の反対側に位置する。

【0044】

図10は、CMUT1000を含むシステム1001の別の実装形態を示し、ここでは V_{Bias} を提供するバイアス回路850が、出力端子828でやはりTX/RXスイッチ860の反対側に位置し、その結果、 V_{Bias} 824はRX動作モード中のみ機能し、フィードバックキャパシタ1040は送信モード中のみ機能する。

30

【0045】

さらに、図8の実装形態では、フィードバックキャパシタ840は、CMUT800とTX/RXスイッチ860との間に配置される。この構成では、CMUTの動作点は、バイアス電圧のみによって決定される。しかし、他の実装形態では、図11に示すように、フィードバックキャパシタをCMUTの反対側に配置することができる。図11では、フィードバックキャパシタ1140およびバイアス回路850を含むシステム1101は、CMUT1100と、本実装形態において接地としても機能する第2のポート122との間に位置する。図11のCMUT1100の動作点は、バイアス電圧 V_{Bias} のみによって、あるいは、スイッチ860がTX入力端子827と接触する時には、バイアス電圧 V_{Bias} および送信（TX）入力信号電圧 V_{TX} の両方によって決定することができる。

40

【0046】

また、図9の実装形態では、バイアス回路850は、CMUT900とTX/RXスイッチ860との間に配置される。しかし、図12に示すように、バイアス電圧 V_{Bias} も、CMUTの反対側に配置することができる。図12は、CMUT1200が第2のポート122を介してバイアス電圧源に直接接続され、送信モード中、フィードバックキャパシタ1240のみが接続される、システム1201の実装形態を示す。

【0047】

図13は、2つのバイアス回路1350、1351が、それぞれ、CMUT1300の

50

両側に配置される、システム 1301 の実装形態を示す。電圧 V_{Bias1} を有する第 1 のバイアス回路 1350 は、第 3 のポート 1324 に設けられ、CMUT 1300 とフィードバックキャパシタ 1340 との間に印加される抵抗 R_{Bias1} を有する第 1 のバイアスレジスタ 1326 を介して印加される。電圧 V_{Bias2} を有する第 2 のバイアス回路 1351 は、第 4 のポート 1325 に設けられ、CMUT 1300 の反対側に印加される抵抗 R_{Bias2} を有する第 2 のバイアスレジスタ 1327 を介して印加される。さらに、減結合キャパシタ 1390 を、CMUT 1300 と第 2 のポート 122 との間の CMUT 1300 のこの側を含むことができる。したがって、図 13 の実装形態は、フィードバックキャパシタ 1340 に加えて、CMUT 1300 と直列の減結合キャパシタ 1390 を含む。例えば、減結合キャパシタ 1390 は、典型的には CMUT 1300 のキャパシタンス C_C よりはるかに大きくなるように（すなわち、 $C_D \gg C_C$ となるように一桁を超えて）選択される、キャパシタンス C_D を有する減結合キャパシタであり、したがって、キャパシタンス C_D も、フィードバックキャパシタ 1340 のキャパシタンス C_F よりはるかに大きくなる。その結果、CMUT 1300 による送信動作中、減結合キャパシタ 1390 上の電圧降下はごくわずかであり、送信入力電圧 V_{TX} のほとんど全部が、CMUT 1300 およびフィードバックキャパシタ 1340 に印加される。さらに、図 13 の変形例において、フィードバックキャパシタ 1340 および第 1 のバイアス回路 1350 を、図 10 に示す実装形態と同様、TX/RX スイッチ 860 の反対側に配置することができ、その結果、フィードバックキャパシタ 1340 は、TX 動作中のみ機能し、第 1 のバイアス回路 1350 は、RX 動作中にのみ機能する。

【0048】

図 1 ~ 13 を参照して前述したフィードバックキャパシタを備える CMUT を、種々の異なるシステム、デバイス等に組み込むことができる。例えば、図 14 は、一部の実装形態に従う超音波システム 1401 において使用される、例示的なプローブ 1402 を示す。プローブは、ケーブル 1404 等を介して残りの超音波システムに接続される。図 14 の実装形態は、上記で開示された実装形態に従う、直列に接続されるフィードバックキャパシタ 1440 を有する CMUT 1400 を含む。図 14 の実装形態では、CMUT 1400 およびフィードバックキャパシタ 1440 の両方が、超音波システムのプローブ 1402 内に位置する。

【0049】

典型的には、CMUT は、超音波エネルギーを効率的に放出および受信するために、プローブ表面の近傍のいずれかの場所に配置される必要がある。しかし、安全上の配慮から、プローブ表面近傍のいずれかの場所に高電圧を存在させるのは、望ましくない。したがって、図 14 の実装形態では、CMUT 1400 は、プローブ前面 1403 に位置する。しかし、フィードバックキャパシタ 1440 は、比較的高い電圧を維持するのに安全である、プローブ内の任意の場所に配置することができる。通常、フィードバックキャパシタ 1440 は、プローブの表面から遠くに配置することが好ましい。これらを考慮し、CMUT 1400 およびフィードバックキャパシタ 1440 を、別個の位置に配置することができ、CMUT 1400 は、プローブ 1402 の前面 1403 に配置し、フィードバックキャパシタ 1440 は、プローブ 1402 の内部等の、表面から絶縁される、高電圧に対して安全であるプローブ 1402 内の位置に配置することができる。この場合、前述のように、本明細書で開示される実装形態における、プローブ表面近傍にさらされる電圧 (V_A) は、CMUT が通常動作において使用されるときには、全送電電圧 (V_{TX}) よりもはるかに低い。

【0050】

さらに、超音波システム 1501 の他の実装形態において、図 15 の例示的な実装形態に示すように、フィードバックキャパシタ 1540 は、CMUT 1500 から遠隔に位置することができ、かつ、高電圧に対して安全である超音波システム内のいずれかの場所に配置することができる。図 15 の実装形態では、本明細書で開示される実装形態に従う CMUT 1500 は、超音波プローブ 1502 内に位置する。フィードバックキャパシタ 1

10

20

30

40

50

５４０は、基盤ユニット１５０８等内の離れた位置に位置し、ケーブル１５０４等を介してＣＭＵＴ１５００と直列に接続される。本構成は、例えば、カテーテル、他のプローブ型デバイス、または類似の機器に組み込むために有用であり得る。図１～１３を参照して説明した実装形態のうちのいずれも、図１４および１５のシステムに実装することができる。

【００５１】

前述のことから、本明細書で開示される実装形態は、同一変位を達成するために、通常動作中にＣＭＵＴによって必要とされるものよりも低い電圧で機能することができる、ＣＭＵＴを提供することが明白になる。これは、超音波システムの一実装形態において、大きな電圧を利用することができないか、あるいは望ましくない時に有用である。例えば、人体に付着または挿入されたデバイスに対して使用できる高い電圧については、制限がある。さらに、本明細書で開示されるＣＭＵＴの実装形態は、２つの電極間に、はるかに小さい分離空間または離隔間隙を有することができる。また、より小さい電極間隙およびより低い所要電圧は、送信モードおよび受信モードの両方の間、ＣＭＵＴの効率を高めることができる。

10

【００５２】

また、実装形態は、本明細書に記載されるＣＭＵＴを作製および使用するための、方法、システム、および装置にも関する。さらに、図１４および１５に示すシステム構成は、実装形態が提供され得る、純粹に例示的なシステムであり、実装形態が特定のハードウェア構成に限定されるものではないことに留意されたい。説明の中では、本開示の完全な理解を提供するために、説明目的で、多くの詳細について記載した。しかしながら、当業者には、これらの具体的な詳細の全てが必要とされるわけではないことが、明白となるであろう。

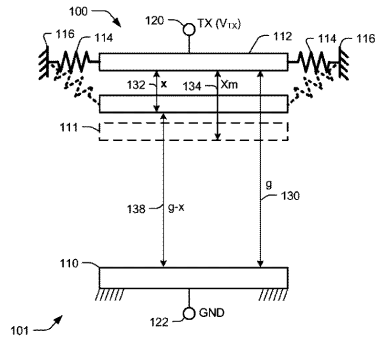
20

【００５３】

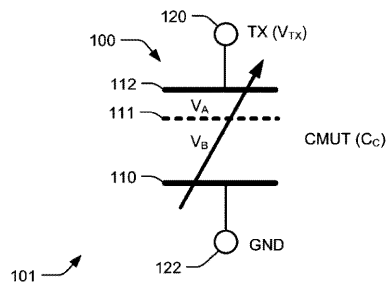
構造的特徴および／または方法論的行為に特定の文言で、主題について記載したが、添付の特許請求の範囲において定義される主題は、上記の特定の特徴または行為に限定されるものではないことを理解されたい。むしろ、上述の特定の特徴および行為は、特許請求の範囲を実装する例示的形態として開示される。さらに、当業者は、同一目的を達成すると算定されるいずれの配置も、開示される特定の实装形態と置き換え得ることを認識する。本開示は、開示される実装形態の全ての適合および変形を網羅することを意図し、以下の特許請求の範囲で使用される条件が、本明細書において開示される特定の实装形態に本特許を限定するものと解釈されるべきではないことを理解されたい。むしろ、本特許の範囲は、以下の特許請求の範囲が権利を付与されるあらゆる同等物とともに、かかる特許請求の範囲によってその全体が決定される。

30

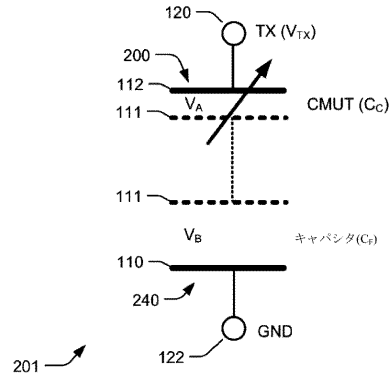
【図 1 A】



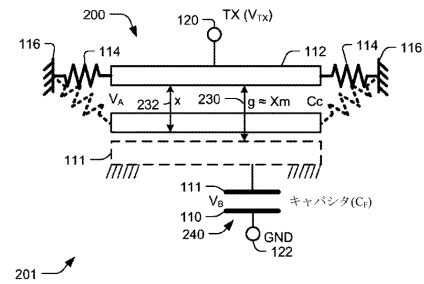
【図 1 B】



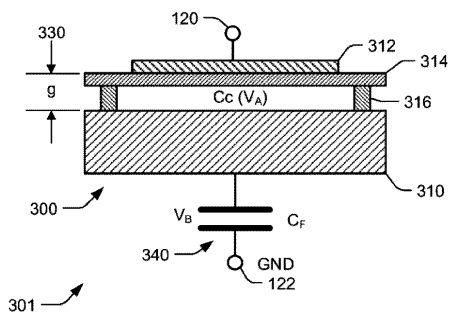
【図 2 A】



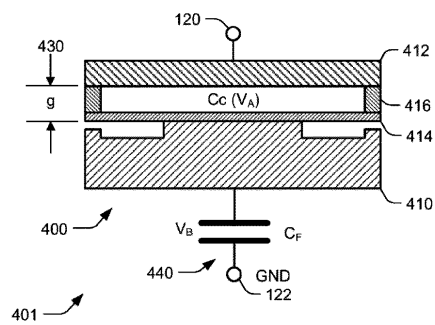
【図 2 B】



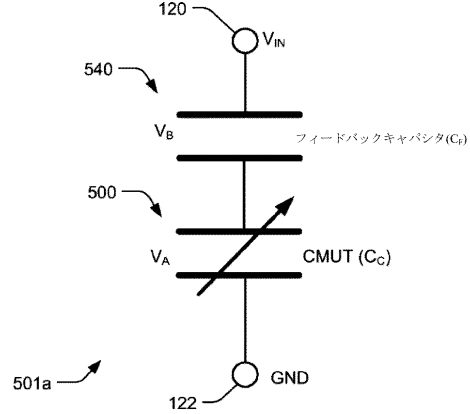
【図 3】



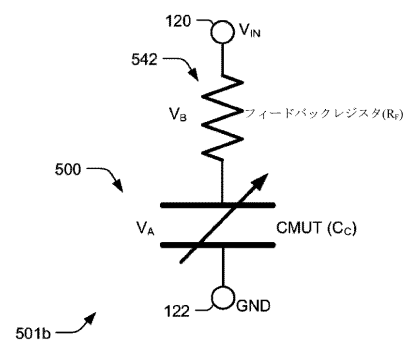
【図 4】



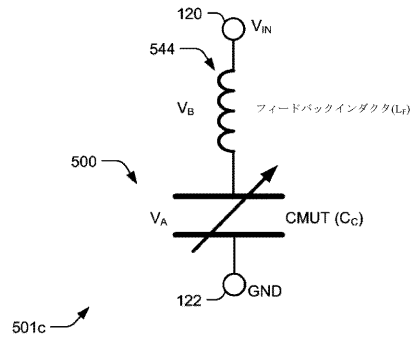
【図 5 A】



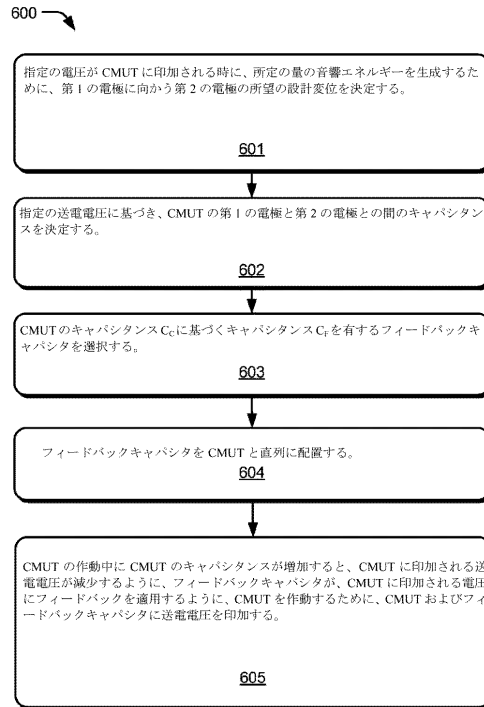
【図 5 B】



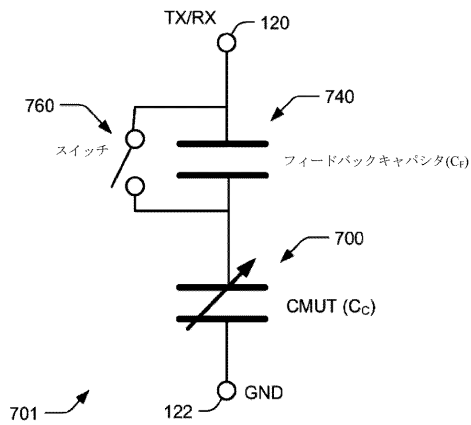
【図 5 C】



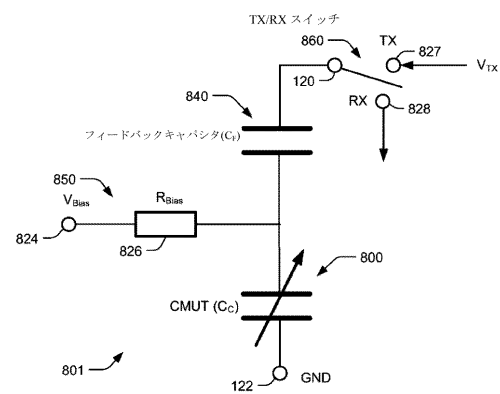
【図 6】



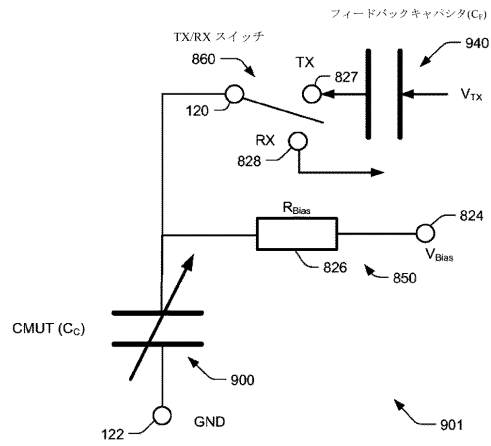
【図 7】



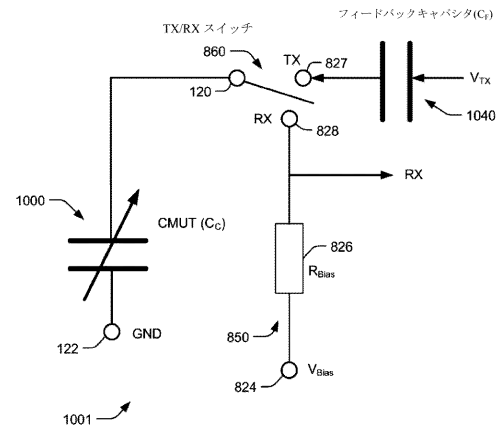
【図 8】



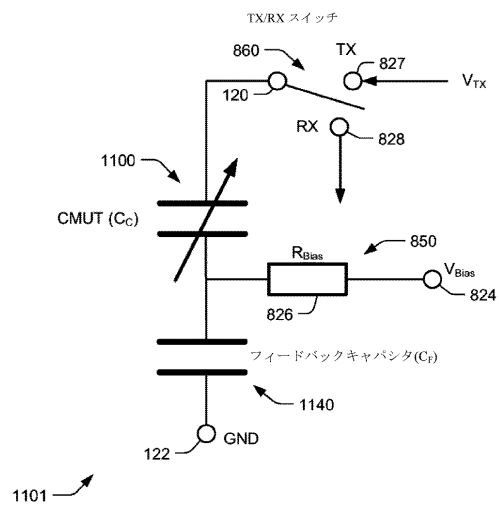
【図 9】



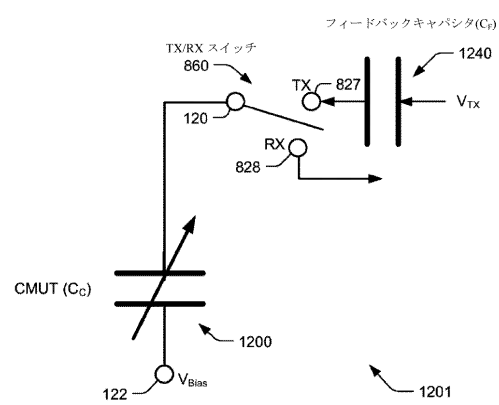
【図 10】



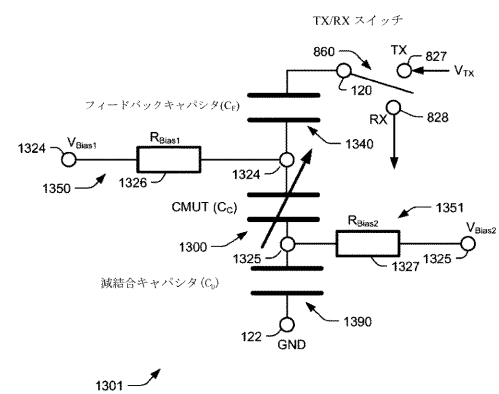
【図 11】



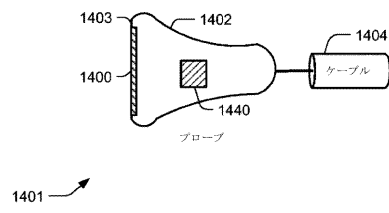
【図 12】



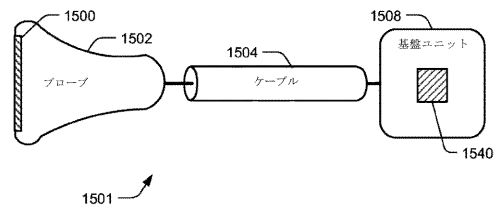
【図 13】



【図 14】



【図 15】



フロントページの続き

(72)発明者 ヨンリ ファン

アメリカ合衆国 9 5 1 3 5 カリフォルニア州 サン ノゼ ブリタニー コート 3 3 0 0

審査官 大野 弘

(56)参考文献 特開平 1 0 - 1 8 6 0 2 1 (J P , A)

特開昭 6 2 - 1 4 9 2 9 9 (J P , A)

特開 2 0 0 6 - 0 2 0 3 1 3 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 4 R 1 9 / 0 0

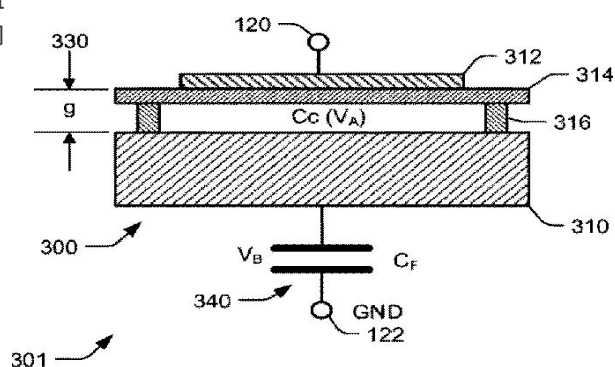
A 6 1 B 8 / 0 0

专利名称(译)	具有电压反馈的电容微机械超声换能器		
公开(公告)号	JP5341909B2	公开(公告)日	2013-11-13
申请号	JP2010536238	申请日	2008-12-03
[标]申请(专利权)人(译)	科隆科技公司		
申请(专利权)人(译)	轱技术公司		
当前申请(专利权)人(译)	轱技术公司		
[标]发明人	ヨンリファン		
发明人	ヨンリ ファン		
IPC分类号	H04R19/00 A61B8/00		
CPC分类号	B06B1/0207		
FI分类号	H04R19/00.330 A61B8/00		
代理人(译)	谷义 滨笃 安倍晋三和夫		
审查员(译)	大野 弘		
优先权	60/992027 2007-12-03 US		
其他公开文献	JP2011505766A		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

电容微机械超声换能器 (CMUT) 的实现包括与CMUT串联连接的反馈组件。反馈组件对施加在CMUT上的电压施加反馈，以在CMUT的致动期间随着CMUT的电容改变而影响施加在CMUT上的电压。

【图 3】



【图 4】