



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 101 97 171 T5 2004.05.27**

(12)

## Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der  
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 30/59170**  
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)  
(21) Deutsches Aktenzeichen: **101 97 171.0**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US01/46465**  
(86) PCT-Anmeldetag: **06.12.2001**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **24.07.2003**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **27.05.2004**

(51) Int Cl.7: **A61B 8/00**

(30) Unionspriorität:  
**09/731,597      06.12.2000      US**

(71) Anmelder:  
**ACUSON Corp., Iselin, N.Y., US**

(74) Vertreter:  
**KRAMER - BARSKE - SCHMIDTCHEN, 81245  
München**

(72) Erfinder:  
**Ayter, Sevig, Cupertino, Calif., US; Sliwa, John W.,  
Los Altos, Calif., US**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Gestapelter und gefüllter kapazitiver mikroelektromechanischer Ultraschallwandler für Ultraschallsysteme für die medizinische Diagnostik**

(57) Hauptanspruch: Ultraschallwandler, der Ultraschallstrahlung übertragen kann, wobei der Wandler ein Substrat umfasst, das mehrere Kammern aufweist, die entlang einer Richtung im Wesentlichen parallel zur Richtung der Ultraschallstrahlung gestapelt sind.

**Beschreibung**

## HINTERGRUND

[0001] Diese Erfindung bezieht sich auf einen Ultraschallwandler für die medizinische Diagnostik. Insbesondere werden ein kapazitiver mikroelektromechanischer Ultraschallwandler und ein Verfahren zum Verwenden des Wandlers vorgesehen.

[0002] Kapazitive mikroelektromechanische Ultraschallwandler (CMUTs) umfassen Wandler Arrays aus einer einzigen Schicht aus Kammern und zugehörigen Membranen, die in einen Silikonwafer geätzt sind. CMUTs sehen ultrabreitbandphasige Arrays vor und ermöglichen es, dass Komponenten von integrierten Schaltkreisen auf den gleichen Wafer wie der Wandler geätzt werden. Jedes CMUT-Element ist eine ausgehöhlte Kammer mit einer Membran, die einem von außen induzierten mechanischen Zusammenbruch unterworfen wird. Die Kammer ermöglicht es der Membran zu vibrieren, wobei akustische Energie weg von dem CMUT transferiert wird oder akustische Energie in elektrische Signale gewandelt wird. Jeder CMUT oder jede Kammer wird unter Verwendung von richtungsabhängigen Nass- oder Trockenätzverfahren gebildet.

[0003] CMUTs sind im Vergleich zu herkömmlichen piezoelektrischen Einrichtungen ineffizient. Beispielsweise sieht eine typische CMUT-Einrichtung mit einer Gleichstromvorspannung von 230 Volt einen maximalen Ausgangsdruck von etwa 33.000 Pascal pro Volt (P/V) vor. Im Vergleich dazu gibt ein Acuson L5 piezoelektrisches Wanderelement einen Druck von ungefähr 64.000 P/V zur Übertragung aus. In ähnlicher Weise werden entsprechende relative Empfangseffizienzen erwartet. Effizientere Einrichtungen erlauben niedrigere Spannungsniveaus, wodurch die Komplexität der Übertragungsschaltkreisanordnung verringert wird. Im Empfangsmodus sieht eine verbesserte Effizienz ein besseres Verhältnis des Signals zum Rauschen vor, was eine verbesserte Bildqualität bei tieferen Tiefen ermöglicht.

[0004] CMUT-Einrichtungen weisen auch eine schlechte mechanische Festigkeit auf. Die CMUT-Einrichtungen können brechen oder betriebsunfähig werden, wenn sie in Kontakt mit Gewebe platziert werden. Der Druck, der von dem Gewebe aufgebracht wird, kann die Leistung der Membran innerhalb der Kammer zum Zusammenbruch bringen oder nachteilig beeinflussen.

## KURZE ZUSAMMENFASSUNG

[0005] Die vorliegende Erfindung wird durch die folgenden Ansprüche definiert und kein Teil dieses Abschnitts sollte als Einschränkung für diese Ansprüche angesehen werden. Einführend angesehen, umfassen die unten beschriebenen bevorzugten Ausführungsformen ein CMUT-Wandlerarray und ein zugehöriges Verfahren zum Verwenden des CMUT-Wand-

lerarrays mit verbesserter Effizienz und Dauerhaftigkeit. Die Effizienz wird vorgesehen, indem CMUTs in der Bereichsdimension (d.h. weg von der Vorderseite des Wandlers) gestapelt werden. Mehrere Kammern und zugehörige Membranen werden entlang einer Bereichsabmessung oder parallel zur Richtung der akustischen Strahlung gestapelt. Da das CMUT-Wandlerelement gestapelt wird, wird Ultraschall durch die mehreren Kammern übertragen, wodurch die Antwort des Wandlerelements verstärkt wird.

[0006] Die Dauerhaftigkeit wird innerhalb des Wandlers erhöht, indem die Kammer mit einem nicht gasförmigen Füller gefüllt wird. Eine Flüssigkeit, ein Polymer, Feststoff oder Gas füllt die Kammer oder Kammern. Der nicht gasförmige Füller ermöglicht die Bewegung der Membran für das Wandeln zwischen akustischen und elektrischen Energien, verhindert jedoch den Kollaps oder das Berühren des Bodens durch die Membran.

[0007] Weitere Aspekte und Vorteile der Erfindung werden unten in Verbindung mit den bevorzugten Ausführungsformen diskutiert.

## KURZE BESCHREIBUNG VON EINIGEN ANSICHTEN DER ZEICHNUNGEN

[0008] **Fig. 1** ist eine graphische Darstellung eines gestapelten CMUTs.

[0009] **Fig. 2** ist eine graphische Darstellung eines Arrays von gestapelten CMUTs.

[0010] **Fig. 3A bis F** sind graphische Darstellungen der Impedanz, die als Funktion einer verschiedenen Anzahl von Schichten oder Kammern eines gestapelten CMUTs vorgesehen wird.

[0011] **Fig. 4** ist eine graphische Darstellung eines CMUTs mit einem nicht gasförmigen Füller.

## DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0012] Die bevorzugten Ausführungsformen umfassen das Stapeln von CMUTs innerhalb eines Elements entlang der Bereichsdimension oder das Füllen einer Kammer eines CMUTs mit einem nicht gasförmigen Füller, oder beides. Die erhöhte Last, die durch den nicht gasförmigen Füller hervorgerufen wird, wird kompensiert, indem eine Verstärkung durch gestapelte CMUTs vorgesehen wird.

[0013] **Fig. 1** zeigt ein einziges Element oder einen Teil eines Elements **10** in einem CMUT-Wandlerarray. Das Element **10** umfasst ein Substrat **12**, mehrere Kammern **14**, mehrere Elektroden **16** und eine optionale Kammer **18** für dämpfendes Füllmaterial. Der Strahlungsweg oder die Propagation von Ultraschallenergie oder die Bereichsdimension wird durch den Pfeil **20** wie gezeigt dargestellt. Abgestrahlte akustische Energie gelangt mit akustischer Energie von anderen Elementen in Wechselwirkung, so dass eine Abtastlinie senkrecht oder unter einem Winkel zur

Vorderfläche des Wandlerarrays erzeugt wird.

[0014] Das Substrat **12** umfasst einen Silikonwafer oder einen Chip. Alternativ umfasst das Substrat ein anderes Material, wie Glas oder Keramik. Das Substrat **12** ist würfelförmig oder anderweitig geformt, so dass die akustische Energie vorzugsweise von einem Rand **22** des Wafers oder Chips aufgenommen und übertragen wird.

[0015] Mehrere Kammern **14** sind in dem Substrat **12** geformt. Die Kammern **14** definieren mehrere Membranen **24**. Bei alternativen Ausführungsformen wird eine einzige Kammer **14** und eine zugehörige Membran **24** vorgesehen. Es kann jede beliebige Anzahl von gestapelten Kammern oder CMUTs vorgesehen werden. Beispielsweise werden zwei oder mehr, wie z.B. vier, sechs oder zehn Kammern und zugehörige Membranen vorgesehen. Die Kammern sind benachbart zueinander mit einem minimalen Abstand geformt und sehen mehrere Schichten oder gestapelte CMUTs entlang einer Bereichsdimension oder einer Dimension parallel zur Richtung von akustischer Strahlung vor. Die Kammern **14** des Stapels können die gleichen oder unterschiedlichen Größen oder Konfigurationen aufweisen und im Azimutal-Winkel oder im Höhenwinkel bezüglich benachbarter Schichten versetzt sein.

[0016] Die Kammern **14** sind so geformt, dass die Membranen **24** etwa 0,1 bis 1 Mikron dick sind. Größere oder kleinere Dicken können verwendet werden und Membranen **24** unterschiedlicher Schichten können unterschiedliche Dicken oder die gleichen Dicken aufweisen: Die Kammern **14** sind ebenfalls 0,1 bis 1 Mikron dick oder tief entlang der Bereichsdimension, können jedoch größere oder kleinere Tiefen aufweisen. Die Tiefe der Kammern **14** ist ähnlich zu oder unterschiedlich zu der Dicke der Membranen **24**, und die Kammern **14** unterschiedlicher Schichten können eine andere Dicke im Vergleich zu anderen Kammern **14** aufweisen. Beispielsweise kann das Verhältnis der Dicke der Membranen **24** zur Tiefe der Kammern **14** so gewählt werden, dass ein elektrostatisches Nebensprechen (cross talk) zwischen benachbarten CMUTs beträchtlich geringer als die Primärtriebskraft innerhalb jedes CMUTs ist. Bei einer Ausführungsform bildet die Dicke zu der Membran zur Kammertiefe ein Verhältnis von 1:5 oder 1:10, wobei jedoch andere Dicken vorgesehen werden können. Bei einer Ausführungsform liegt die Gesamttiefe eines zehnschichtigen Stapels von Kammern **14** und zugehörigen Membranen **24** bei etwa 15 Mikron entlang der Bereichsdimension. Die Gesamttiefe ist so gewählt, dass sie geringer als die Wellenlänge bei der größten Betriebsfrequenz ist, wie z.B. 10 MHz. Andere Gesamttiefen können verwendet werden.

[0017] Bei einer Ausführungsform ist, wie es in **Fig. 2** dargestellt ist, jede Kammer **14** von den anderen Kammern isoliert. Keine Verbindung, die es Flüssigkeit ermöglicht, zwischen den Kammern **14** zu laufen, ist vorgesehen. Alternativ sind eine oder mehrere der Kammern **14**, wie z.B. alle Kammern, verbunden.

**Fig. 1** zeigt, wie alle Kammern **14** über ein gemeinsames Kammergebiet **26** verbunden sind.

[0018] Ein Paar von Elektroden **16** ist innerhalb jeder Kammer **14** vorgesehen. Bei alternativen Ausführungsformen können andere Elektrodenverteilungen innerhalb der CMUT-Schichten verwendet werden, wie dass nur eine oder gar keine Elektrode in einer vorgegebenen Kammer umfasst ist. Die Elektroden **16** sind auf der oberen und unteren Fläche entlang der Bereichsdimension der Kammern **14** vorgesehen. Bei einer Ausführungsform sind die Elektroden etwa 500 Angstrom dick.

[0019] Wie es in **Fig. 2** gezeigt ist, sind die Elektroden **16** jedes Stapels von CMUTs gemeinsam mit den gleichen Gleichstrom- und Wechselstromquellen verbunden. Beispielsweise ist eine obere oder untere Elektrode **16** jeder Kammer **14** mit der Erde verbunden und die andere Elektrode des Elektrodenpaars ist mit der Signalquelle verbunden. Bei alternativen Ausführungsformen werden unterschiedliche Signale auf unterschiedliche CMUTs oder Elektroden **16** anderer Kammern **14** aufgebracht.

[0020] Eine oder mehrere der Kammern **14** ist/sind mit einem nicht gasförmigen Füller gefüllt. Der nicht gasförmige Füller umfasst eine Flüssigkeit, ein Elastomer oder Polymer. Beispielsweise umfasst der nicht gasförmige Füller Wasser. Bei anderen Ausführungsformen umfasst der nicht gasförmige Füller ein Material in der festen Phase. Es wird ein nicht gasförmiger Füller mit gewünschten Eigenschaften gewählt, um ein Zusammenbrechen der Membranen **24** oder eine Berührung des Bodens zu verhindern, wobei er dennoch eine höchst effektive Wandlung zwischen elektrischen und akustischen Energien ermöglicht (z.B. durch Minimieren des Dämpfungseffekts des nicht gasförmigen Füllers). Der nicht gasförmige Füller ist so gewählt, dass er keine Scherspannung unterstützt, was eine Membranbewegung innerhalb der Grenzen der Füllerträglichkeitsschranken erlaubt.

[0021] **Fig. 4** stellt einen CMUT dar, der die Kammer **14** und die Membran **16** umfasst. Die Kammer **14** ist teilweise mit dem nicht gasförmigen Füller **40** gefüllt. Wenn die Membran **16** vibriert, berührt die Membran einen Bereich des nicht gasförmigen Füllers **40**. Wenn die Amplitude der Vibration **16** größer wird, berührt ein größerer Teil der Membran **16** den nicht gasförmigen Füller **40**. Bei einem flüssigen, nicht gasförmigen Füller **40** drückt die Membran **16** den nicht gasförmigen Füller an die Ränder der Kammer **14**. Für einen festen, nicht gasförmigen Füller **40** komprimiert die Membran **14** den nicht gasförmigen Füller **40**. Bei beiden Situationen wird jede nicht Linearität in der Antwort der Membran **16** über die Signalverarbeitung ausgewiesen oder durch die Menge und die Charakteristika des nicht gasförmigen Füllers **40** minimiert. Der nicht gasförmige Füller **40** innerhalb der Kammer **14** ermöglicht es, dass die seitlichen Ränder oder die gesamte Membran **16** oszilliert, wodurch die Trägheitsbeaufschlagung durch den Füller reduziert wird. Bei alternativen Ausführungsformen ist die

Kammer **14** vollständig mit einem nicht gasförmigen Füller **40** gefüllt. Die Membran **16** komprimiert den nicht gasförmigen Füller **40** bei jeder Bewegung.

[0022] Unter Verweis auf **Fig. 1** sieht eine Ausführungsform einen Leerraum **28** vor, der mit einer oder mehreren der Kammern **14** verbunden ist. Beispielsweise liegt der Leerraum **28**, wie es in **Fig. 1** gezeigt ist, innerhalb der gemeinsamen Kammer **26**, die eine Verbindung zu allen Kammern **14** herstellt. Der nicht gasförmige Füller ist in den Kammern **14** und der gemeinsamen Kammer **26** vorgesehen. Bei einem flüssigen, nicht gasförmigen Füller wird der Leerraum **28** durch eine flexible Membran oder eine andere Struktur definiert, die eine Strömung des nicht gasförmigen Füllers in den Leerraum **28** verhindert. Bei einem festen, nicht gasförmigen Füller wird der Leerraum **28** durch das Platzieren des nicht gasförmigen Füllers innerhalb der gemeinsamen Kammer **26** definiert. Der Leerraum **28** erlaubt die Ausdehnung des nicht gasförmigen Füllers oder die Strömung des nicht gasförmigen Füllers in den Raum, der durch den Leerraum **28** eingenommen wird, als Antwort auf Drücke innerhalb der Kammer **14**, die durch die Membranen **24** hervorgerufen werden. Bei einer Ausführungsform ist der Leerraum **28** mit einem Gas oder einer anderen kompressiblen Substanz gefüllt.

[0023] Als Antwort auf akustische Vibrationen oder zum Erzeugen von akustischen Vibrationen sind die Elektroden **16** elektrisch durch das Substrat **12** mit Signalverarbeitungsschaltanordnungen verbunden. Bei einer Ausführungsform ist eine integrierte Schaltkreisanordnung zum Vorsehen eines Gleichstrom-Bias für die CMUTs zur Übertragungssignalerzeugung und zur Verarbeitung von empfangenen Signalen auf dem Substrat **12** integriert. Beispielsweise ist eine Empfangsverstärkung ebenso wie ein Multiplexing für die Schaltkreisanordnung zum Übertragen und Empfangen auf dem Substrat **12** integriert. Da gestapelte CMUTs verwendet werden, ist die Menge des auf dem Substrat zum Implementieren von Schaltkreisanordnungen verfügbaren Raums groß. Bei einer Ausführungsform ist die integrierte Schaltkreisanordnung entfernt vom Rand des Substrats **12** platziert, der zum Übertragen und Empfangen von akustischer Energie verwendet wird.

[0024] Die Kammer **18** für dämpfendes Füllmaterial ist mit einem Material gefüllt, um akustische Energie zu dämpfen. Das dämpfende Füllmaterial verhindert es, dass sich akustische Energie weg von der gewünschten Richtung überträgt. Bei einer Ausführungsform umfasst die Kammer **18** für dämpfendes Füllmaterial eine abgeschlossene Kammer, wobei sie jedoch in anderen Ausführungsformen einen Einschnitt oder einen offenen Durchlass umfassen kann. **Fig. 2** zeigt einen Array **42** gestapelter CMUTs **44**, **46** und **48**. Während der Array **42** jeden gestapelten CMUT **44**, **46**, **48** mit gleicher Konfiguration zeigt, kann einer oder mehrere der gestapelten CMUTs **44**, **46**, **48** eine andere Konfiguration als die anderen aufweisen, wie dass verbundene Kammern vorgesehen

werden, eine unterschiedliche Anzahl von Schichten oder Kammern **14**, unterschiedliche elektrische Verbindungen, unterschiedliche Kammer- und Membranabmessungen oder andere Charakteristika auf einem oder mehreren der gestapelten CMUTs **44**, **46**, **48**. Durch Verändern der Membrandicken, Gestalten, Volumina, Durchmesser oder anderen Eigenschaften werden die akustische Leistung des Gesamtarrays **42** oder einzelne Elemente des Arrays verändert.

[0025] Jeder gestapelte CMUT **44**, **46**, **48** umfasst ein Element eines Arrays von azimuthal beabstandeten Elementen in einer Ausführungsform. Bei alternativen Ausführungsformen umfassen zwei oder mehrere gestapelte CMUTs **44**, **46**, **48** ein einziges Element innerhalb eines Arrays von Wandlern. **Fig. 2** zeigt einen eindimensionalen Array **42**. Zusätzliche gestapelte CMUTs **44**, **46**, **48** können in einer Höhenrichtung als Teil eines eindimensionalen Arrays von Elementen oder als Teil eines zweidimensionalen Arrays von Elementen vorgesehen werden.

[0026] Bei einer Ausführungsform umfasst jeder gestapelte CMUT **44**, **46**, **48** einen einzelnen Chip oder Wafer des Substrats **12**. Jeder gestapelte CMUT **44**, **46**, **48** ist dann azimuthal und/oder in Höhenrichtung angeordnet, so dass ein eindimensionaler oder zweidimensionaler Array **42** vorgesehen wird. Bei alternativen Ausführungsformen werden zwei oder mehrere Elemente oder gestapelte CMUTs **44**, **46**, **48** in dem gleichen Chip, Wafer oder Substrat **12** geformt.

[0027] Jeder gestapelte CMUT **44**, **46**, **48** ist auf der Oberfläche des Substrats gebildet.

[0028] Beispielsweise ist der gestapelte CMUT **44**, **46**, **48** in der Oberfläche eines Silikonwafers geformt. Das Substrat **12** oder der Wafer ist würfelförmig zugeschnitten, geätzt oder geschnitten, so dass der gestapelte CMUT **44**, **46**, **48** akustische Energie vom Rand des Wafers oder Substrat **12** abstrahlt. Beispielsweise wird ein Silikonwafer mit großen X- und Y-Abmessungen und einer kleineren Dicke oder Z-Abmessung verwendet. Der Rand entlang der X- und Z-Abmessung strahlt akustische Energie in der Y-Dimension.

[0029] Jede Kammer **14** und zugehörige Membran **24** wird durch Verwenden von tiefem reagierendem Ionenätzen, einem selektiven Nassätzvorgang auf KOH-Basis oder anderen gerichteten Vorgängen, die bereits bekannt sind oder später für das Ätzen eines Substrats entwickelt werden, gebildet.

[0030] Nachdem die Kammern **14** gebildet sind, werden die Elektroden mit einem chemischen Bedampfungsvorgang (CVD-Vorgang) aufgebracht, wie einem CVD-Titannitrid-Verfahren, das Parylen von Union Carbide Corp. verwendet. Die Elektroden werden von den Rändern der Kammern **14** so aufgebracht, dass die Elektroden auf zwei Seiten der Kammern senkrecht zur Richtung der Strahlung der akustischen Energie gebildet werden. Andere Techniken zum Ausbilden der Elektroden **16** innerhalb der Kammern **14** können verwendet werden.

[0031] Das nicht gasförmige Füllmaterial wird in-

nerhalb der Kammern **14** abgelagert. Bei einer Ausführungsform werden fließfähige Oberflächenspannungsbenetzungswirkungen verwendet, um den nicht gasförmigen Füller **40** in die Kammern **14** zu ziehen, wie das Ablagern von Fluor in Materialien von 3M Corp. Bei anderen Ausführungsformen wird Bedampfung verwendet. Ein anderes Verfahren zum Einspritzen oder zum Befüllen der Kammern **14** mit dem nicht gasförmigen Füller **40** kann verwendet werden. Das nicht gasförmige Füllmaterial wird in situ durch UV-Bestrahlung oder andere Techniken bei einer Ausführungsform ausgehärtet.

[0032] Nach dem Ausbilden der Elektrode **16** und dem Befüllen der Kammern **14** mit dem nicht gasförmigen Füller **40** werden das Loch oder die andere Struktur, die zum gerichteten Ätzen des Substrats **12** verwendet wird, gefüllt und ausgehärtet oder anderweitig blockiert. Bei alternativen Ausführungsformen weist das zum Ätzen, Ablagern und Füllen verwendete Loch einen Labyrinthweg auf, der nicht verstopft oder anderweitig gefüllt wird.

[0033] Während des Betriebs wandeln die gestapelten CMUTs **44**, **46**, **48** zwischen akustischen und elektrischen Energien. Zum Übertragen von akustischer Energie wird jeder CMUT im Gleichklang unter Verwendungen der Elektroden **16** betrieben. Wie es in **Fig. 2** gezeigt ist, wird ein gemeinsames Antriebs-signal über jede Kammer **14** aufgebracht. Das elektrische Signal bewirkt, dass die Membranen **24** oszillieren, wobei sie akustische Energie in der Bereichsdimension abstrahlen. Der während der Übertragung an jeden CMUT vorgesehene Strom kann gleich oder verschieden sein, wie ein Verhältnis oder eine Stromverteilung, die eine Funktion der Membrandicke oder anderer Charakteristika ist.

[0034] Da jede Kammer **14** mit akustisch leitendem, schwach dämpfendem Material (z.B. dem nicht gasförmigen Füller **40**) gefüllt ist, wird eine Berührung des Bodens oder ein Zusammenbrechen der Membranen **24** verhindert. Wenn die Gesamthöhe oder Tiefe des Stapels von CMUTs ein Bruchteil der akustischen Wellenlänge ist, wird ein akustisches Breitbandsignal durch die gestapelten CMUTs **44**, **46**, **48** erzeugt. Das Platzieren des Arrays **42** benachbart zu Gewebe oder anderen Objekten überträgt die akustische Energie in das Objekt.

[0035] Zum Empfangen wird akustische Energie in die gestapelten CMUTs **44**, **46**, **48** übertragen. Die akustische Energie bewirkt, dass die Membranen **24** vibrieren. Als Antwort auf die Vibration werden elektrische Signale auf den Elektrodenpaaren innerhalb der Kammern **14** erzeugt. Die Signale von jedem Elektrodenpaar des Stapels von CMUTs tragen zu einer Gesamtantwort bei. Beispielsweise werden die Signale integriert, aufaddiert oder anderweitig kombiniert. Der Einfluss, den der nicht gasförmige Füller hinsichtlich des Begrenzens oder Dämpfens der Bewegung der Membran hat, wird berücksichtigt, indem die gestapelten CMUTs verwendet werden, um die akustische Energie zu empfangen.

[0036] Das Konstruieren eines gestapelten CMUTs am Rand eines Substrats **12** verbessert die Effizienz, so dass ein gestapelter CMUT eine bessere Effizienz bietet, selbst wenn er mit einem nicht gasförmigen Füller gefüllt ist, als ein herkömmlicher einschichtiger CMUT. Eine Verstärkung wird vorgesehen, indem mehrere CMUTs zu einem Stapel zusammengesetzt werden. Da die individuelle Membran **24** und die Kammern **14** dünn sind, ist die akustische Gesamtimpedanz betrachtet durch mehrere solcher Schichten nahe bei der akustischen Impedanz der typischen Last, wie z.B. Wasser oder einem Patienten. Die gestapelten CMUTs, die mit einem nicht gasförmigen Füller gefüllt sind, weisen eine akustische Impedanz von etwa 1,5 MRayl auf. Die Wandlereffizienz ist verbessert oder nicht beeinträchtigt, da keine Notwendigkeit für aufeinander abgestimmte Schichten besteht, die die akustische Energie dämpfen. Eine verbesserte Abstimmung sieht eine bessere akustische Durchdringung ebenso wie das Eliminieren von einer Kreuzkopplung zwischen den Wandlerelementen durch die übereinstimmenden Schichten vor.

[0037] **Fig. 3** zeigt eine berechnete akustische Impedanz als Funktion der Anzahl von Schichten, wobei jede Schicht Membranen **24** mit einer Dicke von 10.000 Angstrom und wassergefüllte Kammern **14** mit einer Dicke von 5.000 Angstrom umfasst. Die tatsächliche Impedanz wird durch eine durchgezogene Linie dargestellt und die imaginären Impedanzen werden durch eine gestrichelte Linie dargestellt. Selbst mit 16 Schichten ist die Lastimpedanz nahe an der Lastimpedanz einer einzigen Schicht mit einem nicht gasförmigen Füller unter 10 MHz. Für einen Betrieb innerhalb der Standardultraschallbetriebsfrequenzen für medizinische Anwendungen können Stapel von mindestens zehn Schichten aus CMUTs verwendet werden. Mehr oder weniger Schichten können nach Bedarf abhängig von den Betriebserfordernissen verwendet werden. Mit einem angepassten akustischen Füllmaterial wird die Effizienz um einen Faktor von 5 für einen zehnschichtigen gestapelten CMUT im Vergleich zu einem CMUT mit einer Schicht verbessert. Das angepasste akustische Füllmaterial dissipiert näherungsweise die Hälfte des Stroms. Für einen luftgefüllten Stapel von CMUTs wird ein Verbesserungsfaktor von etwa 10 durch eine angepasste akustische Füllung vorgesehen, wobei die Gesamtdicke der gestapelten CMUT-Schichten deutlich geringer als die akustische Wellenlänge ist. Ähnliche Ergebnisse werden für gestapelte CMUTs mit Kammern **14**, die 5.000 Angstrom dick sind und mit Wasser befüllt sind und mit Membranen **24**, die 20.000 Angstrom dick sind, erzielt. Ebenso werden ähnliche Ergebnisse für gestapelte CMUTs mit wasserbefüllten Kammern **14**, die 2.000 Angstrom dick sind und Membranen **24**, die 5.000 oder 10.000 Angstrom dick sind, erreicht.

[0038] Die Erfindung wurde oben unter Verweis auf verschiedene Ausführungsformen beschrieben. Es ist jedoch zu verstehen, dass viele Änderungen und

Modifikationen vorgenommen werden können, ohne vom Rahmen der Erfindung abzuweichen. Beispielsweise können gestapelte CMUTs ohne einen nicht gasförmigen Füller verwendet werden. Ein nicht gasförmiger Füller kann in einer einschichtigen CMUT-Einrichtung verwendet werden. Verschiedene Leistungscharakteristika eines Arrays oder eines Elements eines gestapelten CMUTs können durch das Variieren von Abmessungen und Eigenschaften des CMUTs innerhalb eines Elements oder zwischen den Elementen erreicht werden.

[0039] Es ist daher beabsichtigt, dass die vorhergehende detaillierte Beschreibung als Veranschaulichung der gegenwärtig bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung verstanden wird und nicht als eine Definition der Erfindung. Lediglich die folgenden Ansprüche, einschließlich aller Äquivalente, sollen den Rahmen der Erfindung definieren.

### ZUSAMMENFASSUNG

[0040] Ein kapazitiver mikroelektromechanischer Ultraschallwandlerarray mit verbesserter Effizienz und Dauerhaftigkeit wird vorgesehen. Die Effizienz wird vorgesehen, indem CMUTs in der Bereichsdimension (d.h. weg von der Vorderfläche des Wandlers) gestapelt werden. Mehrere Kammern und zugehörige Membranen sind entlang einer Bereichsdimension oder parallel zur Richtung der akustischen Strahlung gestapelt. Da das CMUT-Wandlerelement gestapelt ist, wird Ultraschall durch die mehreren Kammern übertragen, wobei die Antwort des Wandlerelements verstärkt wird. Eine Dauerhaftigkeit wird erhöht innerhalb des Wandlers, indem die Kammer mit einem nicht gasförmigen Füller gefüllt wird. Eine Flüssigkeit, ein Polymer, ein Feststoff oder Plasma füllt die Kammer oder Kammern. Der nicht gasförmige Füller ermöglicht eine Bewegung der Membran zum Wandeln zwischen akustischen und elektrischen Energien, verhindert jedoch den Zusammenbruch der Membran oder die Berührung des Bodens.

### Patentansprüche

1. Ultraschallwandler, der Ultraschallstrahlung übertragen kann, wobei der Wandler ein Substrat umfasst, das mehrere Kammern aufweist, die entlang einer Richtung im Wesentlichen parallel zur Richtung der Ultraschallstrahlung gestapelt sind.

2. Wandler nach Anspruch 1, wobei das Substrat mindestens vier Kammern umfasst.

3. Wandler nach Anspruch 1, wobei das Substrat einen Wafer mit einer Randseite umfasst, wobei die Randseite senkrecht zur Richtung der Ultraschallstrahlung liegt.

4. Wandler nach Anspruch 1, weiter umfassend mehrere Membranen, die benachbart zu den jewei-

gen mehreren Kammern sind.

5. Wandler nach Anspruch 1, weiter umfassend ein Paar von Elektroden innerhalb jeder Kammer.

6. Wandler nach Anspruch 1, wobei das Substrat weiter ein das akustische Signal dämpfendes Füllmaterial in einer Kammer umfasst.

7. Wandler nach Anspruch 1, weiter umfassend einen nicht gasförmigen Füller in mindestens einer der mehreren Kammern.

8. Wandler nach Anspruch 7, wobei das Substrat ferner einen Leerraum umfasst, der mit den mehreren Kammern verbunden ist, wobei der Leerraum geeignet ist, den sich ausdehnenden nicht gasförmigen Füller aufzunehmen.

9. Wandler nach Anspruch 1, wobei das Substrat mehrere Sätze der mehreren Kammern umfasst, wobei jeder Satz ein Element eines Arrays umfasst.

10. Wandler nach Anspruch 1, wobei das Substrat ein Element in einem Array von

11. Element eines Ultraschallwandlers, umfassend mindestens zwei kapazitive mikroelektromechanische Ultraschallwandler (CMUTs), die in einer Bereichsrichtung gestapelt sind.

12. Element nach Anspruch 11, wobei das Element mindestens sechs gestapelte CMUTs umfasst.

13. Element nach Anspruch 11, wobei jeder CMUT eine Kammer und eine zugehörige Membran aufweist.

14. Element nach Anspruch 13, weiter umfassend ein Paar von Elektroden innerhalb jeder Kammer.

15. Element nach Anspruch 11, wobei mindestens einer der mindestens zwei CMUTs mit einem nicht gasförmigen Füller befüllt ist.

16. Bei einem Verfahren zum Wandeln zwischen akustischer und elektrischer Energie, umfasst eine Verbesserung das Wandeln in Abhängigkeit von einem Substrat, das mehrere Kammern aufweist, die in einer Bereichsrichtung gestapelt sind.

17. Verfahren nach Anspruch 16, wobei das Wandeln umfasst:

- (a) Empfangen von akustischer Energie innerhalb jeder der mehreren Kammern ; und
- (b) Erzeugen von elektrischen Signalen auf Elektroden innerhalb der mehreren Kammern als Antwort auf (a).

18. Verfahren nach Anspruch 16, wobei das Wandeln umfasst:

- (a) Aufbringen eines elektrischen Signals auf Elektroden innerhalb der mehreren Kammern; und
- (b) Abstrahlen von akustischer Energie in der Bereichsdimension als Antwort auf (a).

19. Verfahren nach Anspruch 16, weiter umfassend: (a) Dämpfen der Bewegung einer Membran, die zu einer der mehreren Kammern gehört, mit einem nicht gasförmigen Füller.

20. Ultraschallwandler, umfassend: ein Substrat mit einer Kammer; und einen nicht gasförmigen Füller innerhalb der Kammer.

21. Wandler nach Anspruch 20, wobei der nicht gasförmige Füller eine Flüssigkeit umfasst.

22. Wandler nach Anspruch 20, wobei der nicht gasförmige Füller ein Polymer umfasst.

23. Wandler nach Anspruch 20, wobei der nicht gasförmige Füller einen Teil der Kammer füllt.

24. Wandler nach Anspruch 20, wobei das Substrat weiter einen Leerraum umfasst, der mit der Kammer verbunden ist, wobei der Leerraum einen nicht gasförmigen Füller als Antwort auf Druck aufnehmen kann.

25. Wandler nach Anspruch 20, wobei das Substrat mehrere Kammern umfasst, die entlang einer Dimension im Wesentlichen parallel zur Richtung der akustischen Strahlung gestapelt sind.

26. Wandler nach Anspruch 25, wobei der nicht gasförmige Füller in jeder Kammer ist und jede Kammer von den anderen Kammern getrennt ist.

27. Wandler nach Anspruch 25, wobei der nicht gasförmige Füller in jeder Kammer ist und mindestens zwei Kammern miteinander verbunden sind.

28. Wandler nach Anspruch 20, wobei der nicht gasförmige Füller die gesamte Kammer füllt.

29. Wandler nach Anspruch 20, weiter umfassend ein Paar von Elektroden innerhalb der Kammer.

30. Wandler nach Anspruch 20, weiter umfassend eine Membran, die zu der Kammer gehört, wobei der nicht gasförmige Füller die Bewegung der Membran dämpfen kann.

31. Wandler nach Anspruch 20, weiter umfassend einen Array von Elementen, wobei jedes Element zumindest zu einer Kammer gehört, die mit dem nicht gasförmigen Füller befüllt ist.

32. Verfahren zum Wandeln zwischen akustischen und elektrischen Energien, wobei das Verfahren umfasst:

- (a) Wandeln ansprechend auf ein Substrat, das eine Kammer aufweist; und
- (b) Begrenzen des Zusammenbruchs einer Kammer mit einem nicht gasförmigen Füller.

33. Verfahren nach Anspruch 32, wobei Schritt (a) das Erzeugen von akustischer Energie mit einem kapazitiven mikroelektromechanischen Ultraschallwandler umfasst.

34. Verfahren nach Anspruch 32, wobei Schritt (b) das Begrenzen des Zusammenbruchs mit einem flüssigem Füller umfasst.

35. Verfahren nach Anspruch 32, wobei Schritt (b) das Begrenzen des Zusammenbruchs mit einem Polymerfüller umfasst.

36. Verfahren nach Anspruch 32, wobei Schritt (b) das Dämpfen der Bewegung einer Membran, die zu der Kammer gehört, mit dem nicht gasförmigen Füller umfasst.

37. Verfahren nach Anspruch 32, wobei Schritt (a) das Bewegen einer Membran als Antwort auf elektrische Signale von einem Paar von Elektroden innerhalb der Kammer umfasst.

38. Verfahren nach Anspruch 32, wobei (a) das Wandeln ansprechend auf das Substrat umfasst, das mehrere Kammern gestapelt entlang einer Dimension im Wesentlichen parallel zur Richtung der Ultraschallstrahlung umfasst.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

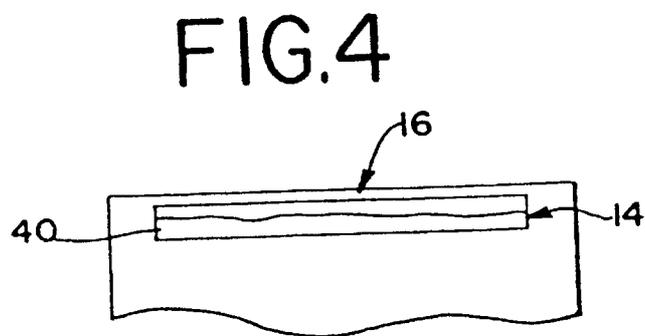
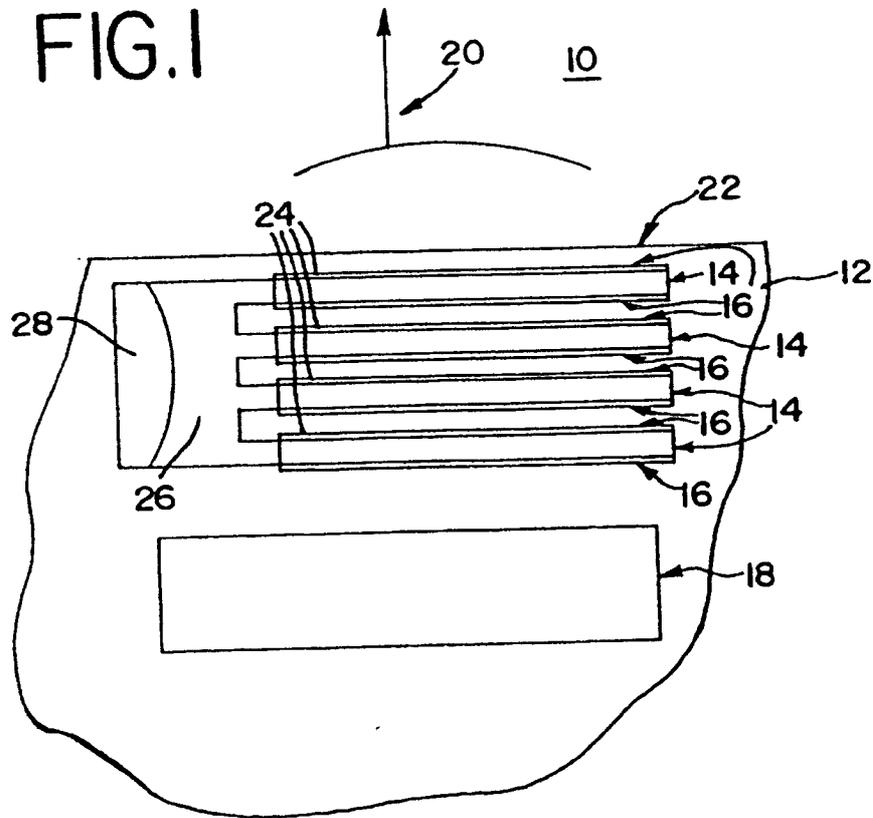
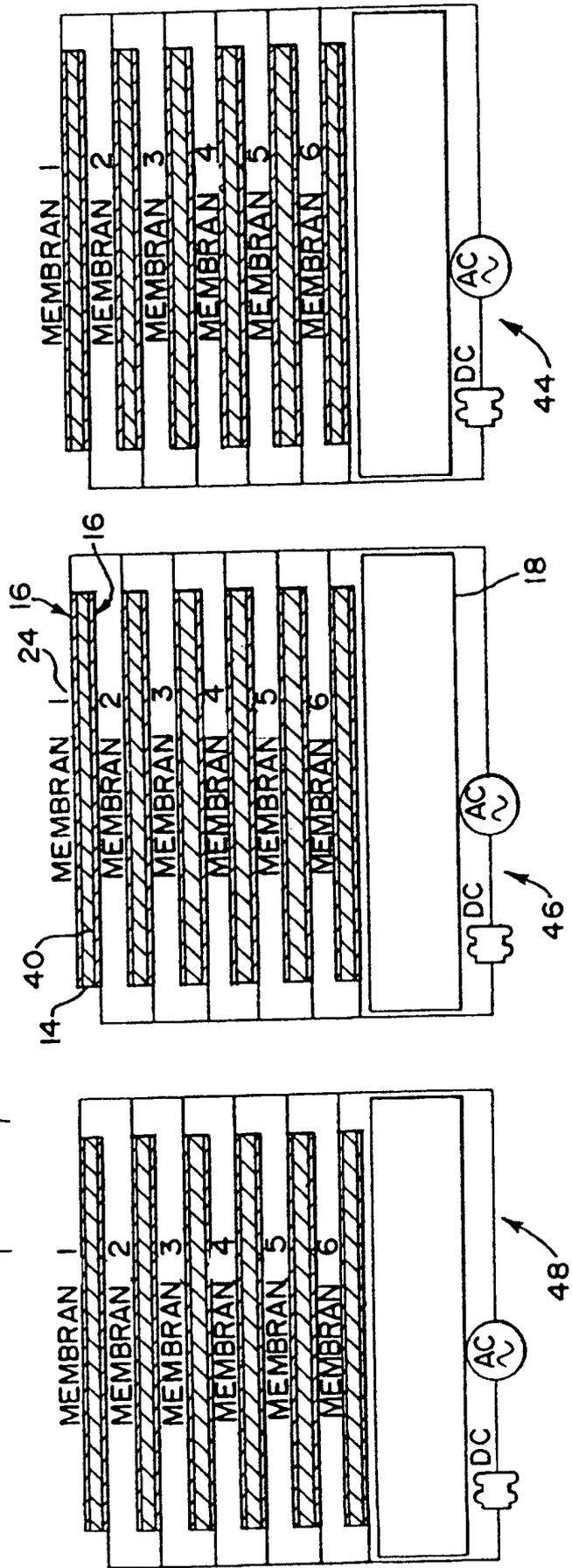
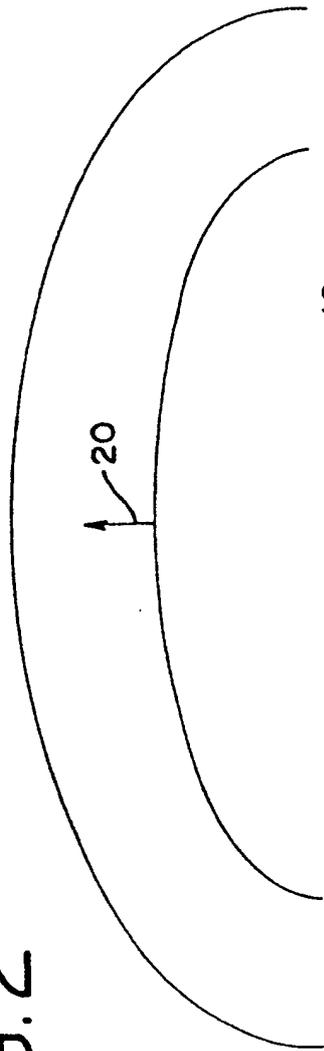
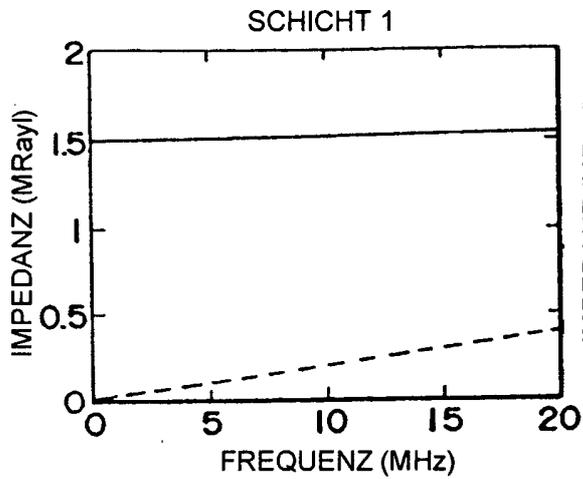


FIG. 2

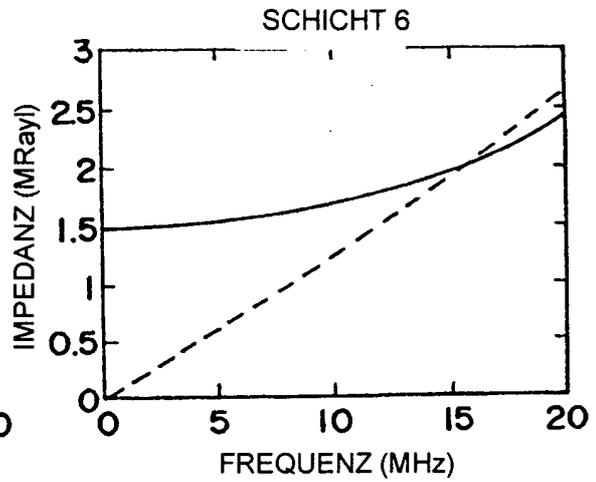
42



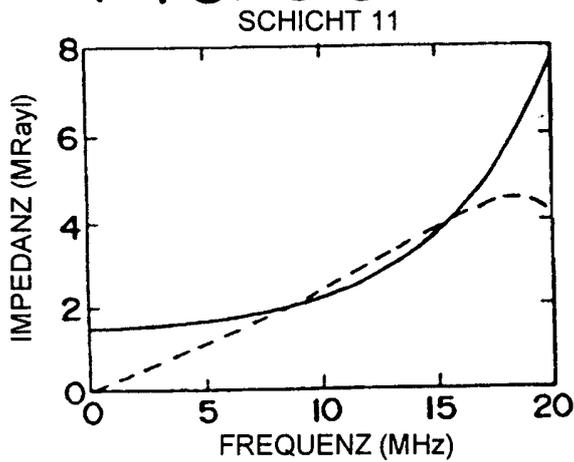
# FIG.3A



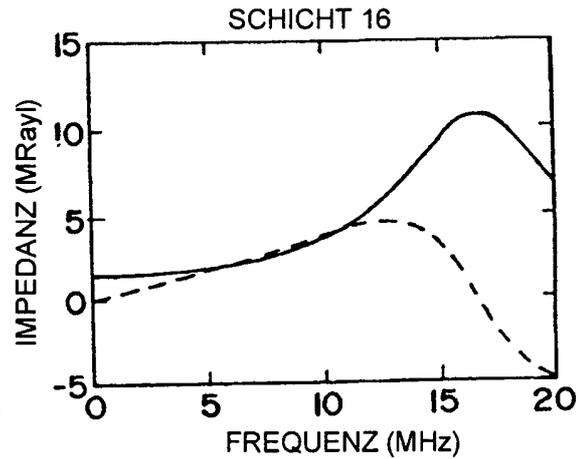
# FIG. 3B



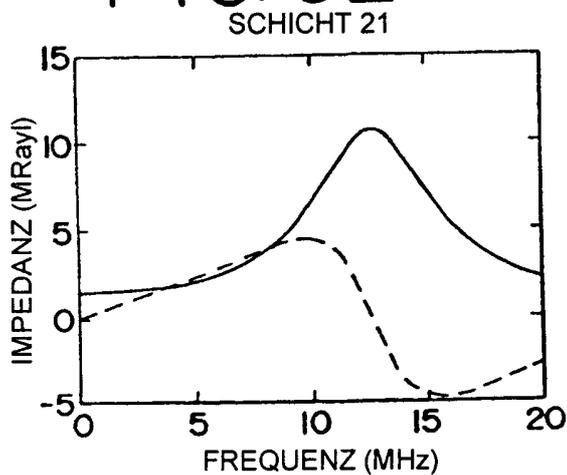
# FIG. 3C



# FIG. 3D



# FIG. 3E



# FIG. 3F

