

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

シリコン基板と、該シリコン基板の上面に配設された第 1 の電極と、該第 1 の電極と対向し所定の空隙を隔てて配設された第 2 の電極と、該第 2 の電極を支持するメンブレンとからなる振動子セルから構成された振動子エレメントとから構成される静電容量型超音波振動子において、

隣接する前記振動子エレメント間に溝部を設け、該溝部に導電膜が形成されていることを特徴とする静電容量型超音波振動子。

【請求項 2】

前記静電容量型超音波振動子は、前記振動子エレメントと前記シリコン基板の背面に電極パッドを介して接合されたフレキシブルプリント基板とから構成されることを特徴とする請求項 1 に記載の静電容量型超音波振動子。 10

【請求項 3】

一次元に複数配列された前記振動子エレメントから構成される振動子ユニット間に設けられた前記溝部の底部は、前記シリコン基板と前記電極パッドを貫通して前記フレキシブルプリント基板の表面に達していることを特徴とする請求項 2 に記載の静電容量型超音波振動子。

【請求項 4】

前記導電膜は、前記溝部の溝内壁部及び底部に形成され、かつ該底部に形成された該導電膜は、前記シリコン基板表面に形成したオーミックコンタクト領域と接合していることを特徴とする請求項 1 ～ 3 のうちいずれか 1 項に記載の静電容量型超音波振動子。 20

【請求項 5】

前記溝部は、超音波減衰材料で充填されていることを特徴とする請求項 1 ～ 4 のうちいずれか 1 項に記載の静電容量型超音波振動子。

【請求項 6】

前記超音波減衰材料が、エポキシ樹脂、シリコーン樹脂、及びウエタン樹脂のうち少なくともいずれか 1 つを主成分とする樹脂にタングステン微粉末を混合した複合樹脂であることを特徴とする請求項 5 に記載の静電容量型超音波振動子。

【請求項 7】

前記溝部の断面形状は、該溝部の底部に向かうに従い溝幅が小さくなるテーパ形状であることを特徴とする請求項 1 に記載の静電容量型超音波振動子。 30

【請求項 8】

前記溝部の内壁にサブ μm オーダー以上の凹凸を設けたことを特徴とする請求項 1 ～ 7 のうちいずれか 1 項に記載の静電容量型超音波振動子。

【請求項 9】

前記貫通された溝表面は該表面を前記導電膜により被膜されており、該溝表面は前記フレキシブルプリント基板に配設された接地配線に導電性接着剤、ボールバンプまたは異方性導電体シートを介して接続されていることを特徴とする請求項 3 に記載の静電容量型超音波振動子。

【請求項 10】

前記溝部は、前記振動子エレメントを上方から見た場合に、少なくとも直線形状以外の、曲線形状、または鋸線形状を有することを特徴とする請求項 1 ～ 9 のうちいずれか 1 項に記載の静電容量型超音波振動子。 40

【請求項 11】

シリコン基板と、該シリコン基板の上面に配設された第 1 の電極と、該第 1 の電極と対向し所定の空隙を隔てて配設された第 2 の電極と、該第 2 の電極を支持するメンブレンとからなる振動子セルから構成される振動子エレメントと、前記シリコン基板の背面に電極パッドを介して接合されたフレキシブルプリント基板とから構成される静電容量型超音波振動子の製造方法において、

隣接する前記振動子エレメント間に溝部を設ける溝形成工程と、 50

前記溝部を導電化して該溝部の底部に第３の電極を形成する導電化工程と、
からなることを特徴とする静電容量型超音波振動子の製造方法。

【請求項１２】

前記導電化工程では、イオン注入または化学気相成長方法を行った後に、拡散処理を行うことにより前記第３の電極を形成することを特徴とする請求項１１に記載の静電容量型超音波振動子の製造方法。

【請求項１３】

前記導電化工程では、物理気相生長法により前記第３の電極を形成することを特徴とする請求項１１に記載の静電容量型超音波振動子の製造方法。

【請求項１４】

さらに、前記第３の電極を形成した前記溝部に超音波減衰材料を充填する超音波減衰材料充填工程を行うことを特徴とする請求項１１～１３のうちいずれか１項に記載の静電容量型超音波振動子の製造方法。

【請求項１５】

さらに、前記超音波減衰材料を充填した前記溝部を裁断する第１の裁断工程を行うことを特徴とする請求項１４に記載の静電容量型超音波振動子の製造方法。

【請求項１６】

前記シリコン基板と前記電極パッドを貫通して前記フレキシブルプリント基板の表面に達するまで、前記溝部を裁断する第２の裁断工程を行うことを特徴とする請求項１１～１５のうちいずれか１項に記載の静電容量型超音波振動子の製造方法。

【請求項１７】

前記第１の裁断工程は、レーザービームを用いて裁断することを特徴とする請求項１５に記載の静電容量型超音波振動子の製造方法。

【請求項１８】

前記第２の裁断工程は、レーザービームを用いて裁断することを特徴とする請求項１６に記載の静電容量型超音波振動子の製造方法。

【請求項１９】

請求項１～１０のうちいずれか１項に記載の静電容量型超音波振動子を備えることを特徴とする超音波内視鏡。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、シリコンマイクロマシーニング技術を用いてシリコン半導体基板を加工した静電容量型超音波振動子に関する。

【背景技術】

【０００２】

体腔内に超音波を照射し、そのエコー信号から体内の状態を画像化して診断する体腔内超音波診断装置による超音波診断法が普及している。この超音波診断法に用いられる機材の１つに超音波内視鏡がある。超音波内視鏡は、体腔内へ挿入する挿入部の先端に超音波振動子（超音波トランスデューサ）が取り付けられており、このトランスデューサは電気信号を超音波に変換し体腔内へ照射したり、また体腔内で反射した超音波を受信して電気信号に変換したりするものである。

【０００３】

従来、超音波トランスデューサでは、電気信号を超音波に変換させる圧電素子として、セラミック圧電材ＰＺＴ（ジルコン酸チタン酸鉛）が使用されてきたが、シリコンマイクロマシーニング技術を用いてシリコン半導体基板を加工した静電容量型超音波トランスデューサ（Capacitive Micromachined Ultrasonic Transducer（以下、c-MUTと称する））が注目を集めている（例えば、非特許文献１）。これは、マイクロマシン（MEMS：Micro Electro-Me

10

20

30

40

50

mechanical System、超小型電氣的・機械的複合体)と総称される素子の1つである。

【0004】

MEMS素子は、シリコン基板、ガラス基板等の基板上に微細構造体として形成されており、機械的駆動力を出力する駆動体と、駆動体を駆動する駆動機構と、駆動機構を制御する半導体集積回路等とを電氣的に、更には機械的に結合させた素子である。MEMS素子の基本的な特徴は、機械的構造として構成されている駆動体が素子の一部に組み込まれていることであって、駆動体の駆動は、電極間のクーロン引力などを応用して電氣的に行われる。

【0005】

さて、非特許文献1では、図15に示すようなc-MUTが開示されている。図15(a)は64個の振動子エレメントからなる1次元c-MUTアレイの2セットを上面から観た図を示しており、図15(b)はダミーネイバー(Dummy Neighbor)を設けた単離された1個のc-MUTエレメントを示しており、図15(c)は並列に接続された8×160個のセルで構成されたc-MUTエレメントの拡大図を示す。ここで、振動子エレメントとは駆動制御信号を入出力する最小単位である。この振動子エレメントは複数の振動子セルから構成されている。

【0006】

振動子エレメント500は、複数のセル501、各セル501の上部に設けられた上部電極502、接地電極503、ダミーネイバー(Dummy Neighbor)505、溝(トレンチ)部506から構成されている。隣接する上部電極502間は導通しており、さらに両端の接地電極503に接続されている。ダミーネイバー505は、隣接するエレメントとのクロストークを防止するためのものである。電極502、503とダミーネイバーの間には、溝506が設けてある。

【0007】

上部電極502は、メンブレンにより支持されている。また、不図示ではあるが、上部電極502と対向する位置でセル内部に下部電極が設けられ、下部電極とメンブレン間には空隙部(キャビティ)がある。振動子エレメント500の上部電極502及び下部電極に電圧を印加すると、各セル501が同時に駆動して、同位相で一斉に振動する。これにより、超音波が放射される。

【0008】

非特許文献1では、シリコン基板のラム(Lamb)波(A0モード)及び固相-液相間のストーンリー(Stoneley)波(境界波)が隣接する振動子エレメント間のクロストークに重大な影響を与えることを見出しており、振動子エレメント500を用いることによりその影響を軽減している。

【非特許文献1】Xuecheng Jin, 外3名、「Characterization of One-Dimensional Capacitive Micromachined Ultrasonic Immersion Transducer Arrays」, "IEEE TRANSACTIONS ON ULTRASONICS, FERROELECTRICS, AND FREQUENCY CONTROL", VOL. 48, NO. 3, P750-760, MAY 2001

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、振動子エレメント500のように、溝部506と、ダミーネイバー領域505と、溝部506と超音波を送受するセル領域の間に電極領域503とを設けると、振動子エレメント全体に占める振動子セル領域の比率が小さくなる。

【0010】

この場合に、セル領域の面積をある程度の大きさに保持しようとする、振動子エレメントを大きくする必要があり、このc-MUTを使用した超音波振動子の小型化を図るこ

10

20

30

40

50

とができない。また、エレメントの大きさを従来と同程度に保持しようとする、セル領域の面積を小さくする必要があり、発生させる超音波の出力低下を招くことになる。

【 0 0 1 1 】

上記の課題に鑑み、本発明では、振動子エレメントの両端に溝部を設けた静電容量型超音波振動子において、全体に占めるセル領域の面積比率を低下させず、かつ発生させる超音波の出力低下のない静電容量型超音波振動子を提供する。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 2 】

上記課題は、特許請求の範囲の請求項 1 に記載の発明によれば、シリコン基板と、該シリコン基板の上面に配設された第 1 の電極と、該第 1 の電極と対向し所定の空隙を隔てて配設された第 2 の電極と、該第 2 の電極を支持するメンブレンとからなる振動子セルから構成された振動子エレメントとから構成される静電容量型超音波振動子において、隣接する前記振動子エレメント間に溝部を設け、該溝部に導電膜が形成されていることを特徴とする静電容量型超音波振動子を提供することによって達成できる。

10

【 0 0 1 3 】

上記課題は、特許請求の範囲の請求項 2 に記載の発明によれば、前記静電容量型超音波振動子は、前記振動子エレメントと前記シリコン基板の背面に電極パッドを介して接合されたフレキシブルプリント基板とから構成されることを特徴とする請求項 1 に記載の静電容量型超音波振動子を提供することによって達成できる。

【 0 0 1 4 】

上記課題は、特許請求の範囲の請求項 3 に記載の発明によれば、一次元に複数配列された前記振動子エレメントから構成される振動子ユニット間に設けられた前記溝部の底部は、前記シリコン基板と前記電極パッドを貫通して前記フレキシブルプリント基板の表面に達していることを特徴とする請求項 2 に記載の静電容量型超音波振動子を提供することによって達成できる。

20

【 0 0 1 5 】

上記課題は、特許請求の範囲の請求項 4 に記載の発明によれば、前記導電膜は、前記溝部の溝内壁部及び底部に形成され、かつ該底部に形成された該導電膜は、前記シリコン基板表面に形成したオーミックコンタクト領域と接合していることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のうちいずれか 1 項に記載の静電容量型超音波振動子を提供することによって達成できる。

30

【 0 0 1 6 】

上記課題は、特許請求の範囲の請求項 5 に記載の発明によれば、前記溝部は、超音波減衰材料で充填されていることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のうちいずれか 1 項に記載の静電容量型超音波振動子を提供することによって達成できる。

【 0 0 1 7 】

上記課題は、特許請求の範囲の請求項 6 に記載の発明によれば、前記超音波減衰材料が、エポキシ樹脂、シリコン樹脂、及びウエタン樹脂のうち少なくともいずれか 1 つを主成分とする樹脂にタングステン微粉末を混合した複合樹脂であることを特徴とする請求項 5 に記載の静電容量型超音波振動子を提供することによって達成できる。

40

【 0 0 1 8 】

上記課題は、特許請求の範囲の請求項 7 に記載の発明によれば、前記溝部の断面形状は、該溝部の底部に向かうに従い溝幅が小さくなるテーパ形状であることを特徴とする請求項 1 に記載の静電容量型超音波振動子を提供することによって達成できる。

【 0 0 1 9 】

上記課題は、特許請求の範囲の請求項 8 に記載の発明によれば、前記溝部の内壁にサブ μm オーダー以上の凹凸を設けたことを特徴とする請求項 1 ~ 7 のうちいずれか 1 項に記載の静電容量型超音波振動子を提供することによって達成できる。

【 0 0 2 0 】

上記課題は、特許請求の範囲の請求項 9 に記載の発明によれば、前記貫通された溝表面

50

は該表面を前記導電膜により被膜されており、該溝表面は前記フレキシブルプリント基板に配設された接地配線に導電性接着剤、ボールパンプまたは異方性導電体シートを介して接続されていることを特徴とする請求項 3 に記載の静電容量型超音波振動子を提供することによって達成できる。

【 0 0 2 1 】

上記課題は、特許請求の範囲の請求項 1 0 に記載の発明によれば、前記溝部は、前記振動子エレメントを上方から見た場合に、少なくとも直線形状以外の、曲線形状、または鋸線形状を有することを特徴とする請求項 1 ~ 9 のうちいずれか 1 項に記載の静電容量型超音波振動子を提供することによって達成できる。

【 0 0 2 2 】

上記課題は、特許請求の範囲の請求項 1 1 に記載の発明によれば、シリコン基板と、該シリコン基板の上面に配設された第 1 の電極と、該第 1 の電極と対向し所定の空隙を隔てて配設された第 2 の電極と、該第 2 の電極を支持するメンブレンとからなる振動子セルから構成される振動子エレメントと、前記シリコン基板の背面に電極パッドを介して接合されたフレキシブルプリント基板とから構成される静電容量型超音波振動子の製造方法において、隣接する前記振動子エレメント間に溝部を設ける溝形成工程と、前記溝部を導電化して該溝部の底部に第 3 の電極を形成する導電化工程と、からなることを特徴とする静電容量型超音波振動子の製造方法を提供することによって達成できる。

【 0 0 2 3 】

上記課題は、特許請求の範囲の請求項 1 2 に記載の発明によれば、前記導電化工程では、イオン注入または化学気相成長方法を行った後に、拡散処理を行うことにより前記第 3 の電極を形成することを特徴とする請求項 1 1 に記載の静電容量型超音波振動子の製造方法を提供することによって達成できる。

【 0 0 2 4 】

上記課題は、特許請求の範囲の請求項 1 3 に記載の発明によれば、前記導電化工程では、物理気相生長法により前記第 3 の電極を形成することを特徴とする請求項 1 1 に記載の静電容量型超音波振動子の製造方法を提供することによって達成できる。

【 0 0 2 5 】

上記課題は、特許請求の範囲の請求項 1 4 に記載の発明によれば、さらに、前記第 3 の電極を形成した前記溝部に超音波減衰材料を充填する超音波減衰材料充填工程を行うことを特徴とする請求項 1 1 ~ 1 3 のうちいずれか 1 項に記載の静電容量型超音波振動子の製造方法を提供することによって達成できる。

【 0 0 2 6 】

上記課題は、特許請求の範囲の請求項 1 5 に記載の発明によれば、さらに、前記超音波減衰材料を充填した前記溝部を裁断する第 1 の裁断工程を行うことを特徴とする請求項 1 4 に記載の静電容量型超音波振動子の製造方法を提供することによって達成できる。

【 0 0 2 7 】

上記課題は、特許請求の範囲の請求項 1 6 に記載の発明によれば、前記シリコン基板と前記電極パッドを貫通して前記フレキシブルプリント基板の表面に達するまで、前記溝部を裁断する第 2 の裁断工程を行うことを特徴とする請求項 1 1 ~ 1 5 のうちいずれか 1 項に記載の静電容量型超音波振動子の製造方法を提供することによって達成できる。

【 0 0 2 8 】

上記課題は、特許請求の範囲の請求項 1 7 に記載の発明によれば、前記第 1 の裁断工程は、レーザービームを用いて裁断することを特徴とする請求項 1 5 に記載の静電容量型超音波振動子の製造方法を提供することによって達成できる。

【 0 0 2 9 】

上記課題は、特許請求の範囲の請求項 1 8 に記載の発明によれば、前記第 2 の裁断工程は、レーザービームを用いて裁断することを特徴とする請求項 1 6 に記載の静電容量型超音波振動子の製造方法を提供することによって達成できる。

【 0 0 3 0 】

10

20

30

40

50

上記課題は、特許請求の範囲の請求項 19 に記載の発明によれば、請求項 1 ~ 10 のうちいずれか 1 項に記載の静電容量型超音波振動子を備えることを特徴とする超音波内視鏡を提供することによって達成できる。

【発明の効果】

【0031】

本発明を用いることにより、エレメントの両端に溝を設けた静電容量型超音波振動子において、全体に占めるセル領域の面積比率を低下させる必要がなくなる。それにより、発生させる超音波の出力が軽減することが無くなる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0032】

10

< 第 1 の実施形態 >

本実施形態では、溝部の底部に接地電極を設けた振動子エレメントの製造について説明する。

【0033】

図 1 は、本実施形態における静電容量型ラジアル走査アレイ超音波振動子を示す。静電容量型ラジアル走査アレイ超音波振動子 1 は、複数の振動子エレメント 3 から構成される振動子ユニット 2、制御回路ユニット 4、配線用 FPC (フレキシブルプリント基板) 5 から構成される。

【0034】

複数の長方形の振動子ユニット 2 は短手方向に直列に結合し、それが円筒形をなしている。配線用 FPC 5 は、FPC 上に配線パターンや電極パッドが形成されているものである。制御回路ユニット 4 は FPC 5 に対し cMUT とは反対の面に振動子ユニット 2 と位置をあわせて、1 振動子ユニットに 1 制御回路ユニットという配置になっている。cMUT のエレメントを単位として FPC を貫通するスルーホールが形成され、それを通して cMUT ユニットと制御回路ユニットが接続される様に配置される。制御回路ユニット 4 はパルサー、チャージアンプ、マルチプレクサ等の集積回路等から構成される。なお、振動子ユニット 2 の形状は長方形に限定されない。

20

【0035】

図 2 は、本実施形態における振動子ユニット 2 単体の上面図を示す。振動子ユニット 2 は、複数の正方形の振動子エレメント 3 から構成されている。同図では、振動子ユニット 2 は振動子エレメント 3 を複数次元に配列して構成されている。隣接する振動子ユニット間には振動子ユニット配列方向溝 7 が設けられている。また、各振動子ユニット内において隣接する振動子エレメント間には振動子エレメント間溝 6 が設けられている。なお、振動子エレメントの形状は、正方形に限定されない。

30

【0036】

図 3 は、本実施形態における振動子エレメント 3 単体の上面図を示す。振動子エレメント 3 は、振動子ユニット配列方向溝 7、振動子エレメント間溝 6、振動子セル電極間インターコネクト電極 8、9、10、振動子セル上部電極 11、犠牲層剤除去孔 13、下部電極スルーホール電極部 14 から構成される。振動子セル上部電極 11 の背面 (図面に対して垂直方向) には、キャビティが形成されており、それをキャビティ周縁部 12 として表している。

40

【0037】

振動子エレメント 3 は、複数の振動子セルから構成されており、振動子セルはキャビティの個数に等しく、同図では 4 つの振動子セルから構成される。また、15 はダイシングするためのダイシングラインを示している。

【0038】

図 4 は、図 3 の Aa - Ab についての断面図である。この断面において、振動子エレメント 3 は、上述の通り、30 で示される構成単位を振動子セルという。メンブレンとはセル 30 上部を覆っている膜のことをいい、図 4 では上部電極 11、メンブレン上層 24、メンブレン下層 22 で構成される膜のことをいう。このメンブレンは、各振動子セルの両

50

端のメンブレン支持部 20 で固定された振動膜である。メンブレン支持部 20 間におけるシリコン基板 16 の表面（凹部の底部分）に、上部電極 11 と対向するように下部電極 19 が構成され、その上に誘電体膜 27（例えば、 SiO_2 ）が形成されている。

【0039】

下部電極 19 には、下部電極 19 とシリコン基板 16 の底面に設けられた信号入出力端子電極パッド 26 とを電氣的に導通させるための下部電極スルーホール電極部 14 が設けられている。具体的には、この下部電極スルーホール電極部 14 のホール表面に形成されたインターコネクト配線 191 により下部電極 19 と信号入出力端子電極パッド 26 とは電氣的に導通している。

【0040】

シリコン基板 16 の底面表面はシリコン酸化膜 17 で被膜されている。上部電極 11 及び振動子セル電極間インターコネクト電極 10 は、金属膜で構成されている。また、この上部電極は、溝部 6, 7 の側面及び底面に被膜された金属膜に電氣的に導通している。

【0041】

接地電極パッド 25 は、上部電極 11 を GND に接続するために、溝 6, 7 の底面に形成した電極をシリコン基板 16 底面に電氣的に導通させるためのパッドである。

誘電体膜 27 は、キャビティを挟んだ上部電極 11 と下部電極 19 間の静電容量を増幅させるためのものである。空乏層 18 は、電子あるいは正孔がほとんど存在しない状態になっている層である。

【0042】

なお、キャビティ（空隙部）21 は、メンブレンとメンブレン支持部 20 と下部電極 19 及び誘電体膜 27 とで囲まれた空間のことをいう。なお、メンブレンは、図 5 で後述するように、製造工程上複数のメンブレン膜から構成されている。また、溝部 6, 7 の底部に配設された電極と設置電極パッド 25 との間の「接触抵抗」が限りなく小さく（オーミックコンタクト）なる構造となっている。

【0043】

振動子セル 30 の動作について説明すると、上部電極 11 と下部電極 19 の一对の電極に電圧をかけることで電極間が引っ張りあい、電圧を 0 にすると元に戻る。この振動動作によってメンブレンが振動した結果、超音波が発生し、上部電極 11 の上方向に超音波が照射される。

【0044】

図 5（図 5A, 図 5B, 図 5C）では、本実施形態における静電容量型超音波振動子の製造工程について説明する。

まず、N 型シリコン基板 40（厚さ約 100 ~ 500 μm ）の上表面に酸化膜（ SiO_2 ）202 で、マスクする（S1）。マスク形成は、Wet 酸化法により、厚さ約 300 ~ 4000 の酸化膜を形成する。そして、フォトリソグラフィー工程で下部電極スルーホール電極部 42 を形成するためのパターンニングを行い、エッチング工程でパターンニングした酸化膜を除去する。

【0045】

次に、ICP-RIE（Inductively Coupled Plasma Reactive Ion Etching：誘導結合型プラズマ反応性イオンエッチング）を行うことにより、S1 でマスクされていない部分に孔 42 が開く（S2）。

【0046】

次に、空乏層 43 を形成する（S3）。ここでは、まず N 型シリコン基板 40 の底面についても酸化膜（ SiO_2 ）でマスクし、フォトリソグラフィー工程で空乏層 43 を形成するためのパターンニングを N 型シリコン基板 40 の上下面について行い、エッチング工程でパターンニングした酸化膜を除去する。それから、P 型のイオンを注入して、熱処理を行うことにより、P 型の拡散層を形成する。

【0047】

次に、コンタクト層（N+）44 を両面に形成する（S4）。マスク形成工程、フォト

10

20

30

40

50

リソグラフィ工程、エッチング工程により、コンタクト層 44 を形成する部分以外を SiO_2 でマスクする。それからマスクされていない部分に対して、N 型のイオンを注入して、熱処理を行うことにより、N 型の拡散層を形成する。これをシリコン基板の両面のコンタクト層 (N+) 44 について行う。

【0048】

次に、電極膜 (Pt/Ti) 45 を両面に形成する (S5)。まず、マスク 41 を除去した後、電極膜を形成する部分以外をレジスト材でマスクする。その後、スパッタにより電極膜 45 を形成し、リフトオフ工程でマスクしたレジスト材を除去する。なお、電極の材質は Pt/Ti に限定されず、Au/Cr、Mo、W、リン青銅、Al などでもよい。

【0049】

次に、誘電体膜を形成する (S6)。マスク形成工程、スパッタ工程、リフトオフ工程を経て誘電体膜 (例えば、 SrTiO_3) 50 を形成する。なお、誘電体膜 50 は SrTiO_3 に限定されず、チタン酸バリウム BaTiO_3 、チタン酸バリウム・ストロンチウム、五酸化タンタル、酸化ニオブ安定化五酸化タンタル、酸化アルミニウム、または酸化チタン TiO_2 等の高誘電率を有する材料を用いてもよい。

【0050】

次に、メンブレン支持層を形成する (S7)。メンブレン支持部を形成する部分以外をマスクした後、CVD により SiN 層を形成して、マスクを除去する。そうすると、メンブレン支持部が形成されている。

【0051】

次に、S7 で形成したメンブレン支持部間に犠牲層としてポリシリコン 52 を充填する (S8)。なお、本実施形態では、犠牲層にポリシリコンを用いたが、例えば SiO_2 等エッチングできる部材であれば特に限定されない。

【0052】

次に、メンブレンを形成する (S9)。まず、犠牲層エッチング用孔 54 及び溝 55 となる部分をマスクする。そして、CVD で SiN 膜 53 を形成する。それから、マスクを除去する。そうすると、メンブレン 53 と犠牲層エッチング用孔 54 と溝 55 とが形成されている。

【0053】

次に、エッチングにより犠牲層 52 を除去する (S10)。本実施形態ではポリ Si を犠牲層に用いているので、エッチャーとして XeF_2 を用いてエッチングして、犠牲層を犠牲層エッチング用孔 54 から除去する。そうすると、キャビティ 56 及び溝 55 が形成されている。

【0054】

次に、犠牲層エッチング用孔 54 を塞ぐ (S11)。まず、溝 55 の底部分 (コンタクト電極) をマスクし、CVD を用いてエレメント上面全体に SiN 膜を形成する。それから、マスクを除去して、溝 55 の底部分 (コンタクト電極) を露出させる。

【0055】

最後に、図 3 に示したように、振動子セル電極間インターコネクト電極 8, 9, 10、振動子セル上部電極 11、振動子ユニット配列方向溝 7 の底部の電極、振動子エレメント間溝 6 の底部の電極以外をマスクし、スパッタリング、リフトオフを経て、電極膜 (Pt/Ti) 61 を振動子エレメント上面全体に形成する (S12) ことにより、振動子エレメント 3 が完成する。

【0056】

なお、本実施形態において、電極膜 (及びコンタクト層) の形成、すなわち溝内にある電極を形成する処理 (導体化処理) では、イオン注入もしくは CVD (Chemical Vapor Deposition: 化学気相成長方法) と拡散処理、または PVD (Physical Vapor Deposition: 物理気相成長法) により行われる。

【0057】

10

20

30

40

50

以上より、溝部分に接地電極を形成することで、別途接地電極のための領域を振動子エレメント内に設ける必要が無く、振動子エレメントに占める超音波出力領域の面積比率を低下させることはない。また、溝部を設けているために隣接するエレメント間のクロストークの影響を抑制することができる。

【0058】

なお、本実施形態では一例としてラジアルタイプの静電容量型超音波振動子を用いたが、これに限定されず、コンベックスタイプでもリニアタイプでもよい。

<第2の実施形態>

本実施形態では、振動子エレメントに設けた溝の形状のバリエーションについて説明する。

10

【0059】

図6は、本実施形態における溝の形状のバリエーションの一例(その1)を示す。70及び71は溝部を示している。76はシリコン基板を示している。72(72a, 72b, 72c)はシリコン基板76上面側のコンタクト電極を示している。73(73a, 73b, 73c)はコンタクト電極72(72a, 72b, 72c)周辺に形成されたコンタクト層を示している。74はシリコン基板76下面側のコンタクト電極を示している。75はコンタクト電極74周辺に形成されたコンタクト層を示している。77及び78はSiN層を示している。79は電極膜を示している。

【0060】

70は、溝部をテーパ形状にして開口部を底部より広くした場合を示している。このようにすることにより、孔径がある大きさ以上の場合、スパッタリングを用いて電極を成膜することが可能となる。また、溝の側面が垂直な場合と比較して、スパッタで電極膜が付着しやすく、より厚く成膜することができる。それにより、配線の信頼性が向上する。

20

【0061】

71は、ボッシュ(Bosch)プロセスにより溝部側面の表面に凹凸を形成した場合を示している。ボッシュプロセスとは、反応ガスに C_4F_8 と SF_6 を用い、交互に切り替えエッチングとパッシベーション(化学反応を起こさないように表面に保護膜を付与する)工程を繰り返すプロセスのことである。高アスペクト比の加工が可能になる。ボッシュプロセスで溝部を形成する場合、パッシベーションとエッチングのタイミングを変化させ、

30

【0062】

通常ボッシュプロセスでできる波線状の凹凸は数~数十nmオーダーである。しかしながら、本実施形態では、密着強度を上げるために、溝側壁にサブ μm オーダー以上の凹凸を設けてある。この凹凸により、付与するメンブレンと同材質のSiNや上部電極と繋がる導体薄膜の密着性が向上する。そして、後述する超音波減衰材料の密着性も向上し、精密裁断などにより裁断する時の強度向上に繋がる。

【0063】

このように、ボッシュプロセスを用いて溝部側面の表面に凹凸を形成することで、表面積が大きくなり、その後の工程で付与される電極膜やSiN膜が剥離しにくくなる。また、溝部の底部にあるコンタクト電極72(72a, 72b, 72c)のGNDは、シリコン基板76を介してコンタクト電極74から接続される。

40

【0064】

図6の左側のトレンチ部分は開口部より底部の方が広い形状となっている場合の例を示している。このように、溝の形状は、どのような形状でも構わない。

図7は、本実施形態における溝の形状のバリエーションの一例(その2)を示す。同図は、図6より溝の底部をシリコン基板76内部まで掘り下げた場合を示す。シリコン基板76までエッチングした後に、コンタクト層73を形成してそれを下地として電極を成膜したものである。すなわち、コンタクト層形成後に、SiN(犠牲層の除去する穴を塞ぐ)の成膜をCVDで行い、コンタクト層表面が自然酸化等で抵抗を持たないように、メン

50

ブレンと繋がっている電極 7 9 を成膜する前に、耐蝕性の強い電極材を下地電極として成膜する。

【 0 0 6 5 】

このように、コンタクト電極 7 2 (7 2 a , 7 2 b , 7 2 c) とコンタクト電極 7 4 との距離が短くなり、電氣的損失を減少させることができるので、配線の信頼性が向上する。

【 0 0 6 6 】

また、ドライエッチングなので、機械的強度に問題がない限り、波線状にエッチングすることも可能である。つまり、通常の溝形成 (裁断も同様) はダイシングソー (精密裁断機) で行われるが、そのため、直線状にしか溝形成はできない。しかし、 I C P - R I E などのドライエッチングでは波線をはじめ任意の形状で溝形成が可能となる。

10

【 0 0 6 7 】

また、溝表面が不定形では、長さに差があるため一定の共振が起こりにくくなるという観点から、クロストーク減少の効果がある。また、基板背面への接地電極の取り出しを容易にする効果もあり。

【 0 0 6 8 】

また、シリコン基板中にも溝がある構成にすることにより、クロストーク減少の効果がある。すなわち、メンブレンの屈曲振動によって超音波を送受信するが、その屈曲振動は、ラム波またはストーンリー波等による振動で隣接したエレメント間でクロストークが発生する。また、屈曲振動はメンブレン支持部に反作用的に縦振動応力を伝達する。この振動はメンブレン支持部の付け根からシリコン基板表面に到達し、シリコン基板表面に沿って伝播し、同じ経路を逆にたどって隣のエレメントに伝播しクロストークの原因になる。このようなクロストークの発生を減少させることができる。

20

【 0 0 6 9 】

図 8 は、本実施形態における溝の形状のバリエーションの一例 (その 3) を示す。同図は、シリコン基板 7 6 の両面のコンタクト層を接合した場合を示す。同図のように、シリコン基板 7 6 の厚さが薄い場合、または (G N D 用) 溝をシリコン基板にエッチングした後、コンタクト層 7 3 , 7 5 を形成し、拡散させ、コンタクト層を形成すると、薄いコンタクト層同士を接続することができる。このようにすることにより、抵抗値の低い領域がコンタクト電極 7 2 とコンタクト電極 7 4 間で形成されるので電氣的に導通しやすく、電氣的損失を減少させることができるので、配線の信頼性が向上する。

30

【 0 0 7 0 】

< 第 3 の実施形態 >

本実施形態では、静電容量型振動子エレメントのバリエーションについて説明する。

図 9 は、本実施形態における静電容量型振動子エレメントのバリエーションの一例 (その 1) を示す。

【 0 0 7 1 】

8 0 は溝部を示している。8 6 はシリコン基板を示している。8 2 はシリコン基板 8 6 上面側のコンタクト電極を示している。8 3 はコンタクト電極 8 2 周辺に形成されたコンタクト層を示している。8 4 はシリコン基板 8 6 下面側のコンタクト電極を示している。8 5 はコンタクト電極 8 4 周辺に形成されたコンタクト層を示している。8 7 及び 8 8 は S i N 層を示している。8 9 は電極膜を示している。9 0 は S i O₂ 膜を示している。8 1 は下部電極スルーホール電極部を示している。

40

【 0 0 7 2 】

同図は、シリコン基板 8 6 の下面側のコンタクト電極付近もエッチングされている場合を示す。これは、図 5 の S 1 の段階で、シリコン基板下面にも S i O₂ でマスクし、ウェットエッチングにより、電極コンタクト部をエッチングして、凹部形状となるようにする。このようにすることにより、両面のコンタクト電極 (8 2 , 8 4) 間の距離がより短くなり、電氣的損失を減少させることができるので、配線の信頼性が向上する。

【 0 0 7 3 】

50

また、図 7 と同様に、シリコン基板 8 6 に溝部が侵食した構成を採用することにより、クロストーク減少の効果がある。つまり、メンブレンの屈曲振動によって超音波を送受信するが、その屈曲振動は、ラム波またはストーンリー波等による振動で隣接したエレメント間にクロストークが発生する。また、屈曲振動はメンブレン支持部に反作用的に縦振動応力を伝達する。この振動はメンブレン支持部の付け根からシリコン基板表面に到達し、シリコン基板表面に沿って伝播し、同じ経路を逆にたどって隣のエレメントに伝播しクロストークの原因になる。シリコン基板 8 6 に溝部が侵食した構成を採用することにより、このようなクロストークを減少させることができる。また、基板背面への接地電極の取り出しを容易にする効果もある。

【0074】

10

なお、空乏層の形成の変わりに、 SiO_2 の *Wet* 酸化膜を利用してもよい。これは *Wet* 酸化の方が、緻密な膜が得られるからである。また溝を形成後に、N 型シリコン基板であれば溝内に N^+ をドーブし、加熱により拡散処理を行うことにより、コンタクト層 (N^+) を形成してもよい。また、溝の形状は、溝底部のうち一部分がさらに深くなっている形状でもよいし、またシリコン基板下面まで孔が到達している形状でも良い。

【0075】

図 10 は、本実施形態における静電容量型振動子エレメントのバリエーションの一例 (その 2) を示す。同図は、シリコン基板 8 6 をエッチングすることによりキャピティ 9 1 を形成した場合を示す。この場合、シリコン基板 8 6 がメンブレン支持部としても機能する。

20

【0076】

まず、 TMAH (*Tetramethyl Ammonium Hydroxide*) を使って、 Si の異方性エッチングを実施する。これにより、シリコン基板 8 6 の上面側に所定の深さのキャピティ 9 1 及び溝 8 0 を形成し、下面側に凹部 9 5 を形成する。

【0077】

次に、 ICP-RIE で貫通孔 8 1 を形成する。その後、酸化膜 9 0 を *Wet* 酸化で成膜する (空乏層の代わりとして用いている)。次に、下部電極 9 2 (Pt/Ti) を成膜して、貫通孔 8 1 の側壁へ導体付与する。

【0078】

次に、誘電体 9 3 を下部電極 9 2 の上面に成膜し、熱処理を行う。その後、キャピティ 9 1 に犠牲層を形成し、その上から SiN メンブレン 8 7 を成膜する。成膜したメンブレンに孔 9 4 を開け、犠牲層をエッチングして除去する。その後、 SiN にて犠牲層除去用の孔 9 4 を埋める (8 8)。その上から上部電極 (8 9) を成膜する。

30

【0079】

このようにすることで、メンブレン支持部を形成する工程を別途設ける必要が無く、工程数を減らすことができる。

図 11 は、本実施形態における静電容量型振動子エレメントのバリエーションの一例 (その 3) を示す。図 12 は、本実施形態における静電容量型振動子エレメントのバリエーションの一例 (その 4) を示す。図 11 及び図 12 は、溝部 8 0 を樹脂 100 で充填した場合を示す。

40

【0080】

図 11 と図 12 の相違は、シリコン基板 8 6 の下面のコンタクト電極が凹部形状になっているか否かである。溝部分 8 0 に樹脂 100 が充填されていないと、振動子内に横波定在波 (不要振動) が励起されることがあり、良好な超音波特性が得ることができない。そこで、溝部分 8 0 に樹脂 100 を充填する。材質としては、不要超音波による振動を減衰させるために、タングステン微粉末やガラスバブルなどの粉末をシリコン樹脂、エポキシ樹脂、ウレタン樹脂などに混合した柔軟性がある複合樹脂を超音波減衰材料として用いる。このようにすることにより、不要振動を抑制することができる。

【0081】

なお、図 1 ~ 図 4 の溝部 (上方から振動子エレメントを見た場合に縦横に溝が形成され

50

ている)のうち、コンベックス、ラジアルのように振動子の配列が曲率を持つタイプは少なくとも、片面側(例えば、上面側)をダイシングする。この際に、充填樹脂が存在すると、応力が低減され電極の剥離、チップングなどが減少する。このように、配線の信頼性が向上すると共に、チップングが減少することで、キャピティと溝との間を短くすることができるので設計上有効部分が増加し、単位面積あたりの音圧増加、つまりは感度向上、サイズの縮小化に繋がる。

【0082】

図13は、本実施形態における静電容量型振動子エレメントのバリエーションの一例(その5)を示す。同図は、振動子エレメントをFPC(フレキシブルプリント基板)に導電性樹脂101を用いて接合した場合を示す図である。なお、導電性樹脂101の代わり

10

【0083】

なお、溝部80には樹脂を充填せずダイシングしてダイシング溝105を形成することも可能であるし、溝部80に樹脂を充填してダイシングしてダイシング溝105を形成することも可能である。ダイシング後、湾曲させてトランスデューサを形成した後、減衰の大きな樹脂材料を充填しても良い。裁断溝の深度は、コンベックスタイプやラジアルタイプのように振動子エレメントを湾曲させるタイプのものでは、導電性樹脂101まで裁断する必要があるが、リニアタイプなどの湾曲させないものは、少なくともシリコン基

20

【0084】

なお、シリコン基板を貫通させる場合、レーザービームを用いても良い。レーザービームを用いることにより、ドライエッチング同様に、任意の形状で溝切り、裁断が可能となる。そのため、クロストーク低減の効果や、波線状にすることで電極の接触面積が増え密着強度が向上する。また、エレメントを任意の形状とできるため、セル配置を任意に行え、高密度化(エレメント内に占めるセル面積が多いなど)が達成できる。内視鏡のように限られた空間内で、高感度化を実現するには重要となる。

30

【0085】

なお、通常、振動子エレメント上方から見た場合、図3に示すように溝は直線状であるが、フォトリソと、エッチングを用いると曲線状の溝を形成することも可能である。この例を図14に示す。

【0086】

図14は、本実施形態における振動子エレメント3を上面から見たときに曲線状の溝を形成する場合の一例を示す図である。図14(a)は、振動子エレメント3を囲む溝111(横方向の溝111a,縦方向の溝111bを曲線状にし、直線状にダンシング(ダンシングライン110)した場合の一例を示す。このように、振動子エレメントの全周囲が波線状の溝形状をもってもよい。

40

【0087】

図14(b)は、振動子エレメントを囲む溝111a,111bを曲線状にし、曲線状にダンシング(ダンシングライン110)した場合の一例を示す。レーザーダイシングを用いれば、このように曲線状の溝に沿ってダイシングが可能となる。

【0088】

図14(c)は、振動子エレメントを囲む溝のうち、縦方向の溝111bを直線状、横方向の溝111aを曲線状にし、直線状にダンシング(ダンシングライン110)した場合の一例を示す。112は接地電極である。このように、部分的に波線状の溝構造をもってもよい。

【0089】

50

図 1 4 の例以外にも、溝の形状及びダンシングの形状は、当然、矩形波状や鋸波であってもその他不定形なものであっても構わない。

直線状の溝では、共振が激しくなり、定在波も起こりやすくなるが、直線状でない場合には不要振動は打ち消し合って弱まる。そのために、クロストークが減少し、そして、S/N 比が向上、高画質な画像にすることができる。なお、ダイシング位置や、充填する減衰樹脂も曲線状のものを採用することで、同様な機能・効果を持たせることができる。

【図面の簡単な説明】

【0090】

【図 1】第 1 の実施形態における静電容量型ラジアル走査アレイ超音波振動子を示す図である。

10

【図 2】第 1 の実施形態における振動子ユニット 2 単体の上面図を示す図である。

【図 3】第 1 の実施形態における振動子エレメント 3 単体の上面図を示す図である。

【図 4】図 3 の A a - A b についての断面図である。

【図 5 A】第 1 の実施形態における静電容量型超音波振動子の製造工程を示す図（その 1）である。

【図 5 B】第 1 の実施形態における静電容量型超音波振動子の製造工程を示す図（その 2）である。

【図 5 C】第 1 の実施形態における静電容量型超音波振動子の製造工程を示す図（その 3）である。

【図 6】第 2 の実施形態における溝の形状のバリエーションの一例（その 1）を示す図である。

20

【図 7】第 2 の実施形態における溝の形状のバリエーションの一例（その 2）を示す図である。

【図 8】第 2 の実施形態における溝の形状のバリエーションの一例（その 3）を示す図である。

【図 9】第 3 の実施形態における静電容量型振動子エレメントのバリエーションの一例（その 1）を示す図である。

【図 10】第 3 の実施形態における静電容量型振動子エレメントのバリエーションの一例（その 2）を示す図である。

【図 11】第 3 の実施形態における静電容量型振動子エレメントのバリエーションの一例（その 3）を示す図である。

30

【図 12】第 3 の実施形態における静電容量型振動子エレメントのバリエーションの一例（その 4）を示す図である。

【図 13】第 3 の実施形態における静電容量型振動子エレメントのバリエーションの一例（その 5）を示す図である。

【図 14】第 3 の実施形態における振動子エレメント 3 を上面から見たときに曲線状の溝を形成する場合の一例を示す図である。

【図 15】従来のも C - M U T を示す図である。

【符号の説明】

【0091】

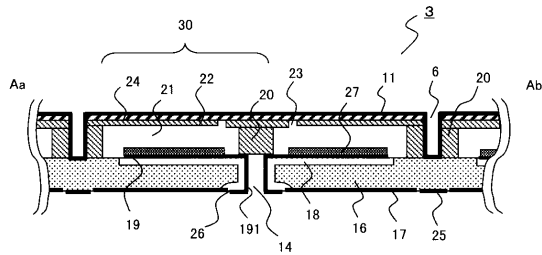
40

- 1 静電容量型ラジアル走査アレイ超音波振動子
- 2 振動子ユニット
- 3 振動子エレメント
- 4 制御回路ユニット
- 5 配線用 F P C
- 6 振動子エレメント間溝
- 7 振動子ユニット配列方向溝
- 8 , 9 , 10 振動子セル電極間インターコネクト電極
- 11 上部電極
- 12 キャビティ周縁部

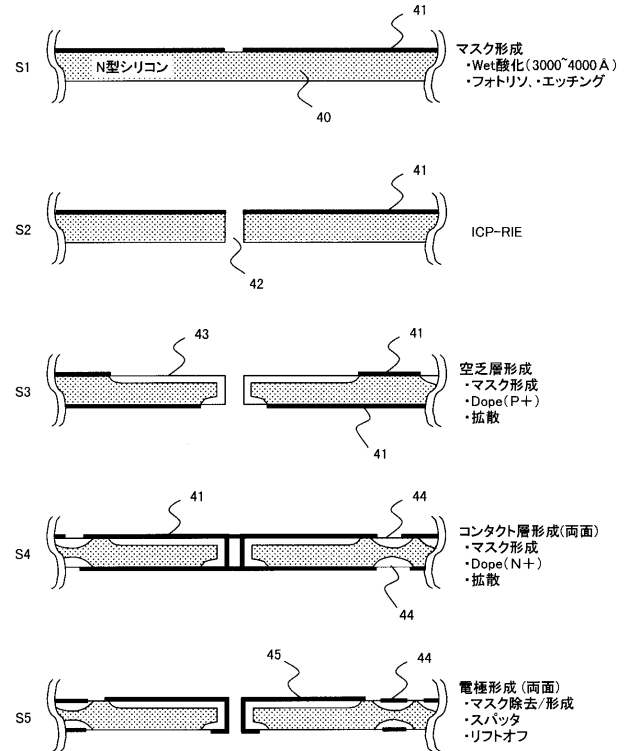
50

1 3	犠牲層剤除去孔	
1 4	下部電極スルーホール電極部	
1 5	ダイシングライン	
1 6	シリコン基板	
1 7	シリコン酸化膜	
1 8	空乏層	
1 9	下部電極	
1 9 1	インターコネクト配線	
2 0	メンブレン支持部	
2 1	キャビティ	10
2 2	メンブレン下層（キャビティ形成用被覆膜）	
2 3	犠牲層除去孔	
2 4	メンブレン上層（犠牲層除去孔遮蔽膜）	
2 5	接地電極パッド	
2 6	信号入出力端子電極パッド	
2 7	誘電体膜	
3 0	振動子セル	
7 0 , 7 1	溝部	
7 2 (7 2 a , 7 2 b , 7 2 c)	コンタクト電極	
7 3 (7 3 a , 7 3 b , 7 3 c)	コンタクト層	20
7 4	コンタクト電極	
7 5	コンタクト層	
7 7 , 7 8	S i N 層	
7 9	電極膜	
8 0	溝部	
8 1	下部電極スルーホール電極部	
8 2	コンタクト電極	
8 3	コンタクト層	
8 4	コンタクト電極	
8 5	コンタクト層	30
8 6	シリコン基板	
8 7 , 8 8	S i N 層	
8 9	電極膜	
9 0	S i O ₂ 膜	

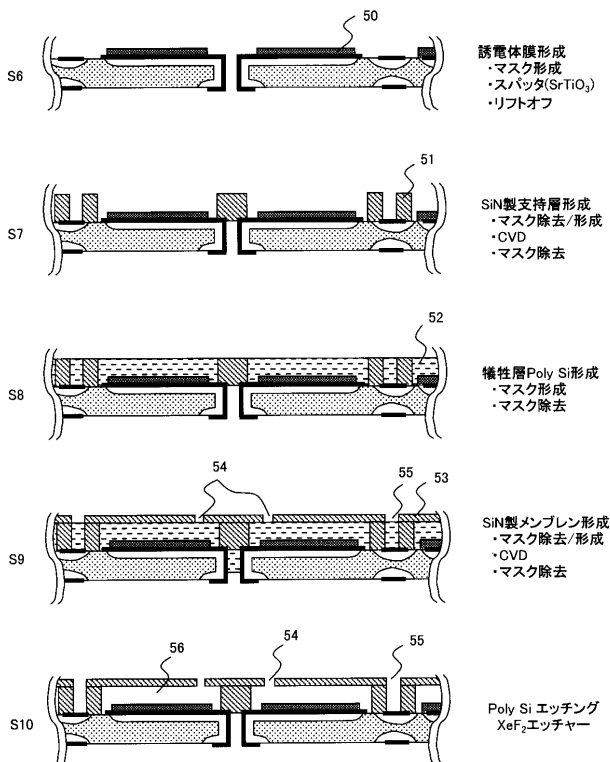
【図 4】



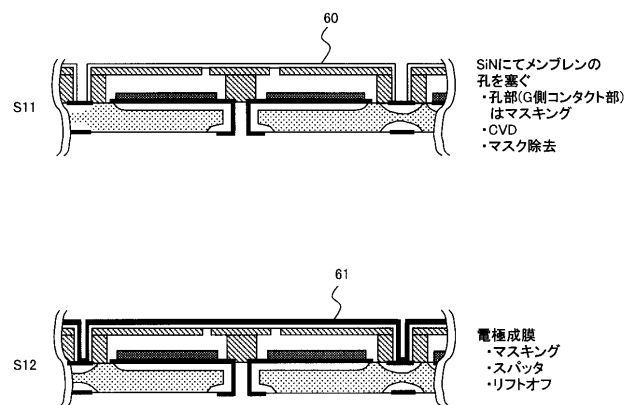
【図 5 A】



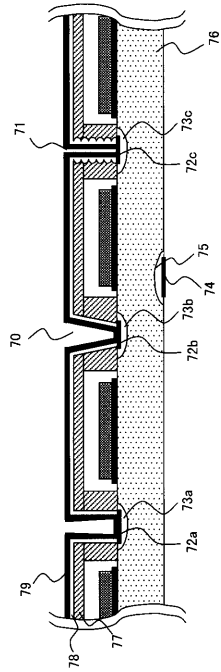
【図 5 B】



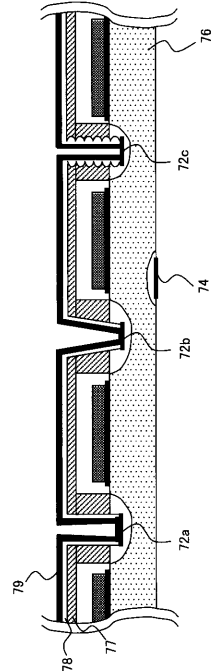
【図 5 C】



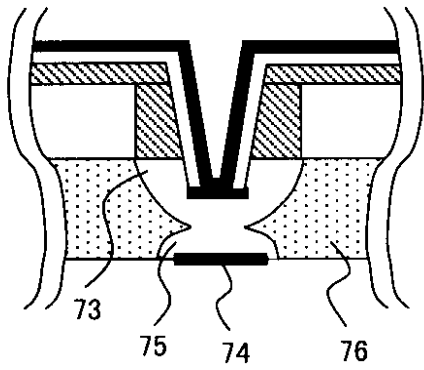
【図 6】



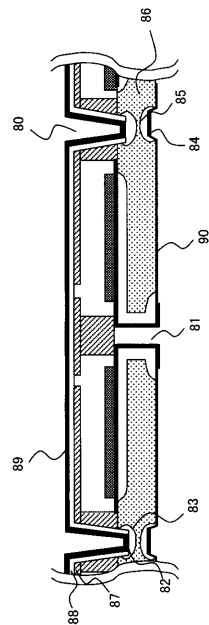
【図 7】



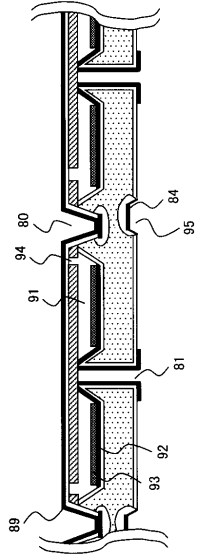
【図 8】



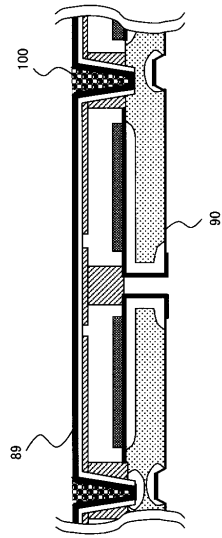
【図 9】



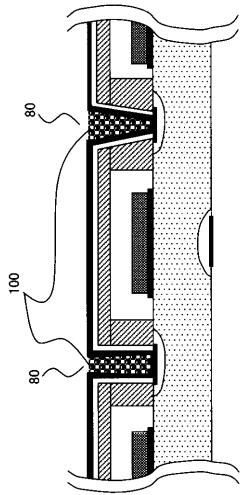
【図 10】



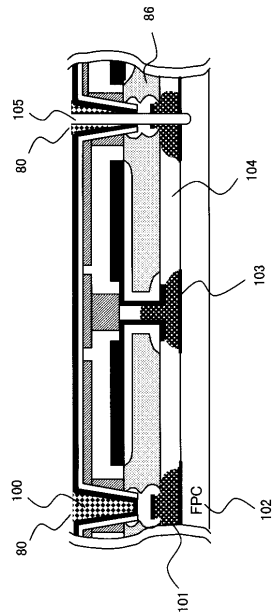
【図 11】



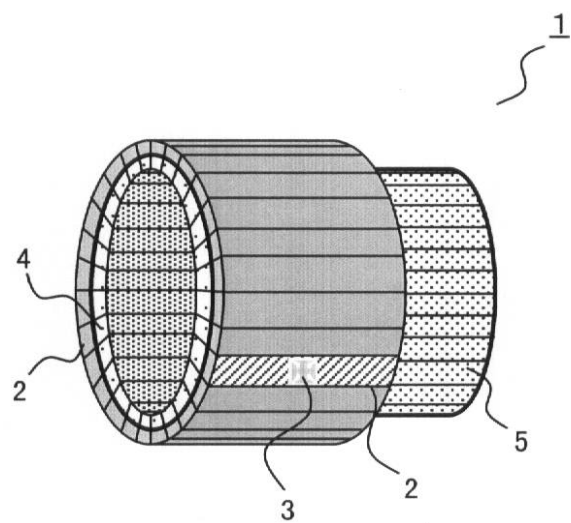
【図 12】



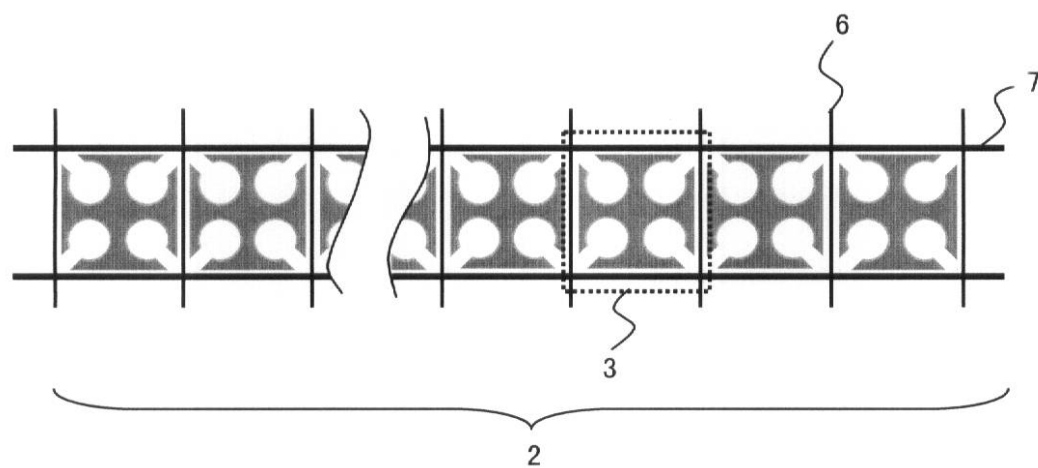
【図 13】



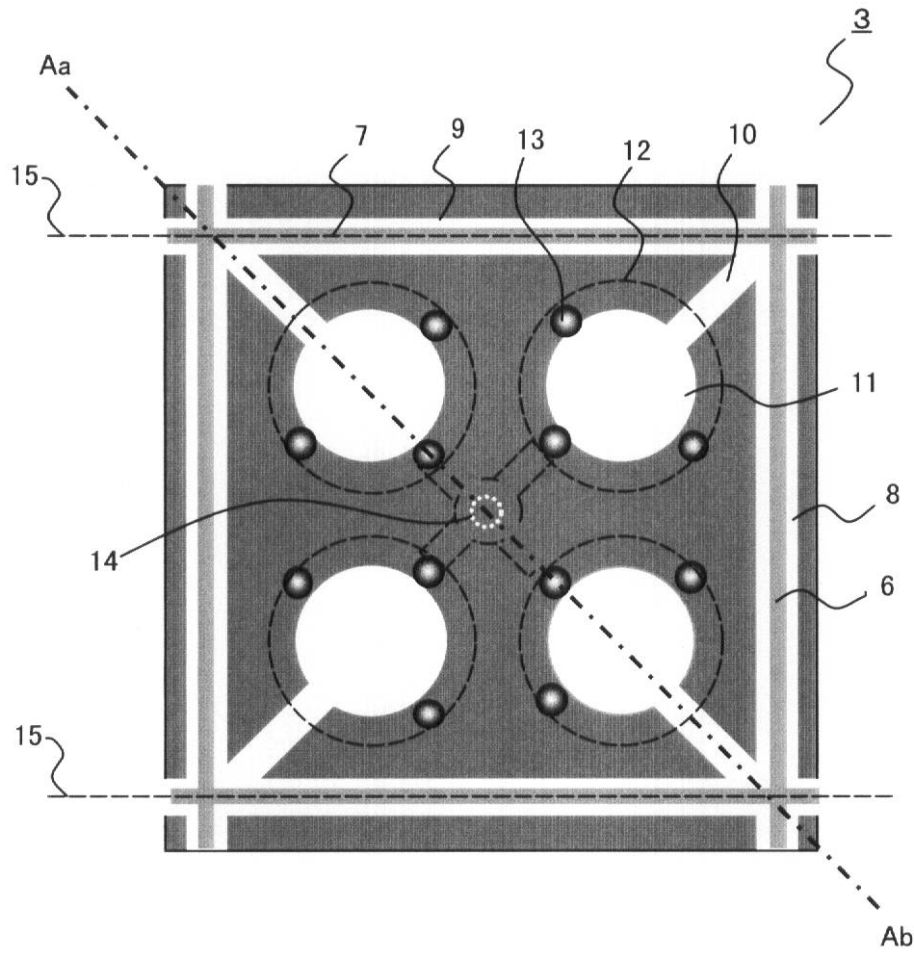
【 図 1 】



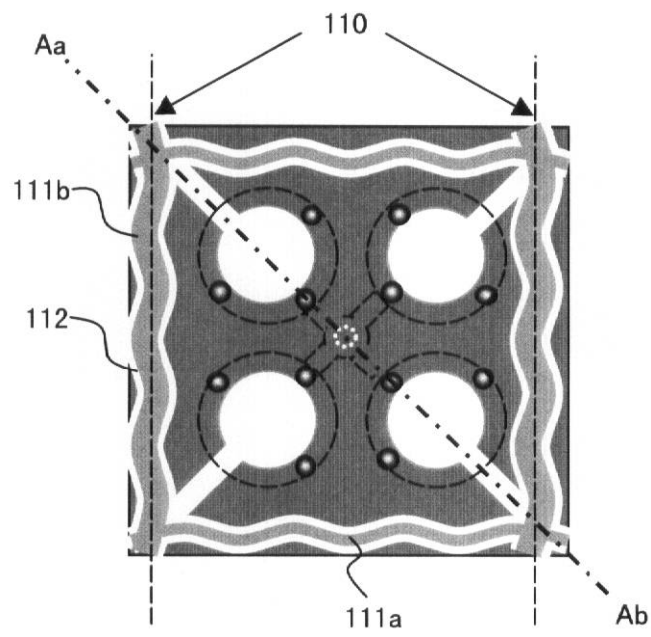
【 図 2 】



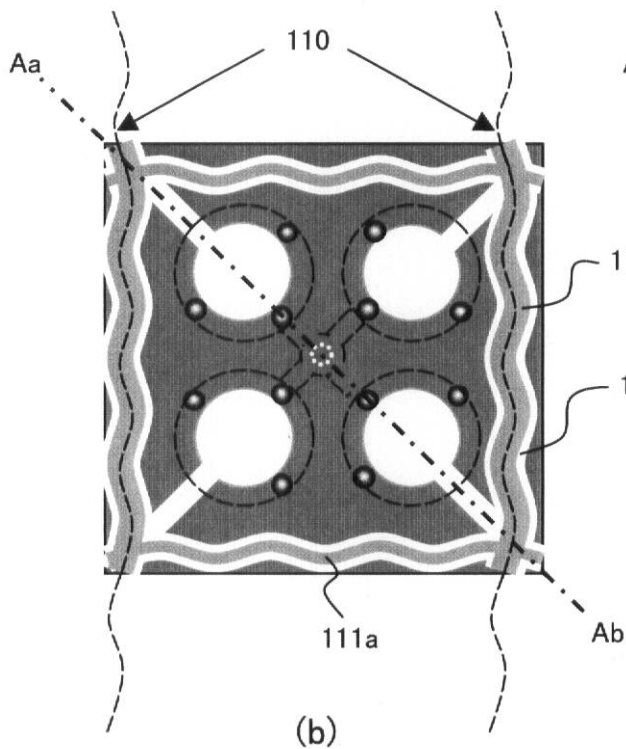
【図 3】



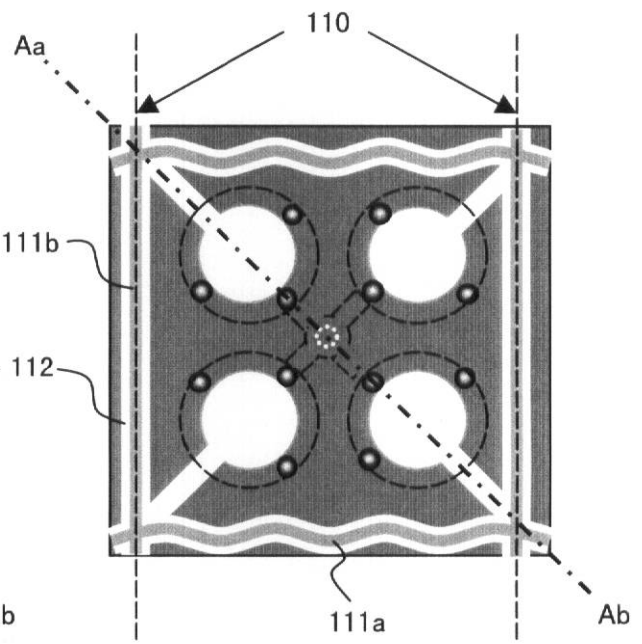
【図 14】



(a)

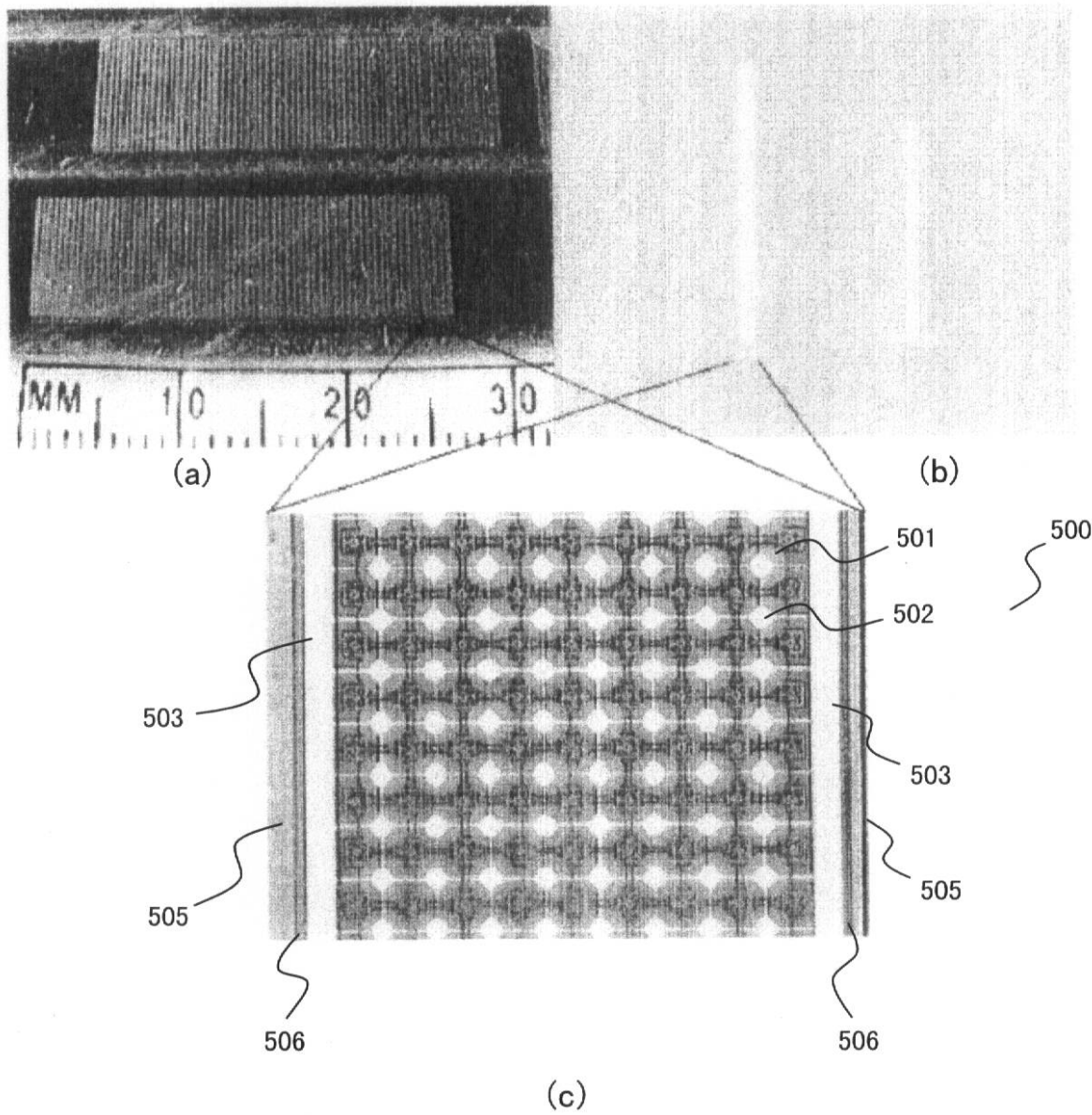


(b)



(c)

【図 15】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2G047 AA12 AC13 CA01 DB02 EA15 GB02 GB18 GB21 GB32
4C601 BB06 BB24 EE13 FE03 FE04 GB10 GB41 GB48
5D019 AA21 AA25 DD01 HH01

专利名称(译)	电容式超声换能器及其制造方法		
公开(公告)号	JP2006122188A	公开(公告)日	2006-05-18
申请号	JP2004312172	申请日	2004-10-27
[标]申请(专利权)人(译)	奥林巴斯株式会社		
申请(专利权)人(译)	奥林巴斯公司		
[标]发明人	若林勝裕 安達日出夫 根本清志		
发明人	若林 勝裕 安達 日出夫 根本 清志		
IPC分类号	A61B8/00 G01N29/24 H04R19/00		
FI分类号	A61B8/00 G01N29/24.502 H04R19/00.330 A61B8/12		
F-TERM分类号	2G047/AA12 2G047/AC13 2G047/CA01 2G047/DB02 2G047/EA15 2G047/GB02 2G047/GB18 2G047/GB21 2G047/GB32 4C601/BB06 4C601/BB24 4C601/EE13 4C601/FE03 4C601/FE04 4C601/GB10 4C601/GB41 4C601/GB48 5D019/AA21 5D019/AA25 5D019/DD01 5D019/HH01		
其他公开文献	JP4624763B2		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

解决的问题：提供一种电容式超声波换能器，其中在换能器元件的两端都设置有凹槽，其中，不减小单元区域相对于整体的面积比，并且不减小所产生的超声波的输出。 提供一个超声换能器。 硅基板，设置在该硅基板的上表面上的第一电极，与该第一电极相对并在它们之间具有预定间隙的第二电极， 振动器元件，其是用于输入和输出驱动控制信号的最小单元；以及柔性印刷板，其通过电极焊盘粘合到硅基板的背面 在如上配置的电容式超声换能器中，在相邻的换能器元件之间设置凹槽，并且在该凹槽中形成导电膜，从而解决了上述问题。 [选择图]图4

