

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5495918号  
(P5495918)

(45) 発行日 平成26年5月21日(2014.5.21)

(24) 登録日 平成26年3月14日(2014.3.14)

(51) Int.Cl.	F I		
HO4R 19/00 (2006.01)	HO4R	19/00	330
HO2N 1/00 (2006.01)	HO2N	1/00	
HO4R 31/00 (2006.01)	HO4R	31/00	330

請求項の数 12 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2010-96557 (P2010-96557)	(73) 特許権者	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(22) 出願日	平成22年4月20日(2010.4.20)	(74) 代理人	100086483 弁理士 加藤 一男
(65) 公開番号	特開2011-45040 (P2011-45040A)	(72) 発明者	小川 俊之 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
(43) 公開日	平成23年3月3日(2011.3.3)	(72) 発明者	高木 誠 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
審査請求日	平成25年4月10日(2013.4.10)	(72) 発明者	加藤 和彦 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願2009-172723 (P2009-172723)		
(32) 優先日	平成21年7月24日(2009.7.24)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電気機械変換装置、及び電気機械変換装置の作製方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

導電性の基板と、

前記基板の第1の面に配置された複数の電気機械変換部と、を有し、

前記基板には、前記複数の電気機械変換部を互いに電気的に分離するための前記基板の前記第1の面とは反対側の第2の面側から該第1の面側へ伸びる溝が形成され、

前記基板の第1の面側の前記溝の幅は、前記基板の第2の面側の前記溝の幅より狭いことを特徴とする電気機械変換装置。

【請求項2】

前記溝の幅は、前記第1の面側から前記第2の面側に向かって連続的又は非連続的に広くなる断面形状を有することを特徴とする請求項1に記載の電気機械変換装置。

10

【請求項3】

前記溝の側壁が階段状であることを特徴とする請求項1又は2に記載の電気機械変換装置。

【請求項4】

前記溝の側壁が前記基板に対して傾斜した平面状であることを特徴とする請求項1又は2に記載の電気機械変換装置。

【請求項5】

前記電気機械変換部は、支持部と、前記支持部に設けられたメンブレンと、前記メンブレンと対向して設けられた第1の電極と、前記メンブレンに設けられた第2の電極と、を

20

有し、

前記第 1 の電極は、前記溝で囲まれた前記基板の部分と電氣的に繋がっていることを特徴とする請求項 1 から 4 の何れか 1 項に記載の電気機械変換装置。

【請求項 6】

前記基板の第 1 の面側における前記溝の開口部上には、前記電気機械変換部のメンブレンを支持する支持部を備えることを特徴とする請求項 1 から 5 の何れか 1 項に記載の電気機械変換装置。

【請求項 7】

前記基板は単結晶シリコンであることを特徴とする請求項 1 から 6 の何れか 1 項に記載の電気機械変換装置。

10

【請求項 8】

前記溝に充填材が導入されていることを特徴とする請求項 1 から 7 の何れか 1 項に記載の電気機械変換装置。

【請求項 9】

前記基板と回路基板が前記充填材を介在させて接合されていることを特徴とする請求項 8 に記載の電気機械変換装置。

【請求項 10】

導電性のシリコン基板の第 1 の面に配置され、支持部に変位可能に支持されたメンブレンと、前記メンブレンと対向して設けられた第 1 の電極と、前記メンブレンに設けられた第 2 の電極をそれぞれ有する複数の電気機械変換部を有する電気機械変換装置の作製方法であって、

20

前記シリコン基板に、該基板の前記第 1 の面とは反対側の第 2 の面側から該第 1 の面側へ伸びて前記基板の前記第 1 の面側の幅が前記基板の前記第 2 の面側の幅より狭い溝をアルカリウエットエッチングで形成し、互いに分離された複数の前記第 1 の電極を形成する工程と、

前記第 1 の電極に対向するキャビティを形成する工程と、  
前記キャビティに対向する前記メンブレンを形成する工程と、  
前記メンブレンに前記第 2 の電極を形成する工程と、  
を含むことを特徴とする電気機械変換装置の作製方法。

【請求項 11】

30

導電性のシリコン基板の第 1 の面に配置され、支持部に変位可能に支持されたメンブレンと、前記メンブレンと対向して設けられた第 1 の電極と、前記メンブレンに設けられた第 2 の電極をそれぞれ有する複数の電気機械変換部を有する電気機械変換装置の作製方法であって、

前記シリコン基板に、該基板の前記第 1 の面とは反対側の第 2 の面側から該第 1 の面側へ伸びて前記基板の前記第 1 の面側の幅が前記基板の前記第 2 の面側の幅より狭い溝を複数の回のドライエッチングで形成し、互いに分離された複数の前記第 1 の電極を形成する工程と、

前記第 1 の電極に対向するキャビティを形成する工程と、  
前記キャビティに対向する前記メンブレンを形成する工程と、  
前記メンブレンに前記第 2 の電極を形成する工程と、  
を含むことを特徴とする電気機械変換装置の作製方法。

40

【請求項 12】

前記溝に充填材を導入する工程を含むことを特徴とする請求項 10 又は 11 に記載の電気機械変換装置の作製方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波トランスデューサなどの電気機械変換装置及びその作製方法に関する。

【背景技術】

50

## 【0002】

超音波トランスデューサは、電気信号から超音波への変換、超音波から電気信号への変換を行うものであり、医用イメージング、非破壊検査用の探触子として用いられる。超音波トランスデューサの一形態に、容量性マイクロマシン加工超音波トランスデューサ (Capacitive Micromachined Ultrasound Transducer: CMUT) がある。CMUTは、例えば、下部電極を有する基板と、この基板上に形成された支持部で支えられたメンブレンと、上部電極とで構成される。1つのキャピティは、下部電極、メンブレン、上部電極、支持部で画されて形成される。CMUTは、下部電極と上部電極間に印加する電圧でメンブレンを振動させ、音波を放出する。また、受け取った音波でメンブレンが振動させられ、下部電極と上部電極間の静電容量の変化により音波が検出される。

10

## 【0003】

従来、CMUTは、いわゆるサーフェスマイクロマシニング、バルクマイクロマシニングなどを利用して作製されてきた。また、配線方法として、シリコン基板上の複数のメンブレンとキャピティを1つのエレメントとし、前記シリコン基板そのものを下部電極及び貫通配線として回路基板にエレメントを接続する方法がある(特許文献1参照)。この方法を図6で説明する。CMUT1007は複数のエレメント1008で構成され、エレメントを1つのユニットとして超音波の送受信を行う。エレメント1008は、上部電極1000、メンブレン1001、キャピティ1002、下部電極1003で構成されている。隣り合うエレメント1008同士を電氣的に分離して絶縁を図るため、溝1004が形成されている。CMUT1007はパンプ1005によりASIC基板1006と接続されている。

20

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0004】

【特許文献1】US - A1 - 20060075818明細書

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0005】

上記従来のCMUTは、1つのキャピティ又は複数のキャピティの集合体からなる単位素子であるエレメントを電氣的に分離するために数百ミクロンの幅を有する分離溝を必要とする。しかし、この分離溝の部分にはキャピティを配置できないため、基板の単位面積あたりに配置できるキャピティの数が少なくなり、フィルファクター(本明細書では、基板の単位面積あたりの電気機械変換部の占有率を意味する)が低下する。従って、デバイス全体としての感度が低下し易い。

30

## 【課題を解決するための手段】

## 【0006】

上記課題に鑑み、本発明の電気機械変換装置は、導電性の基板と、前記基板の第1の面に配置された複数の静電容量型等の電気機械変換部と、を有する。前記基板には、前記複数の電気機械変換部を互いに電氣的に分離するために、前記基板の前記第1の面とは反対側の第2の面側から前記基板の第1の面側へ伸びる溝が形成されている。そして、前記基板の第1の面側の前記溝の幅は、前記基板の第2の面側の前記溝の幅より狭くなっている。

40

## 【0007】

また、上記課題に鑑み、本発明の電気機械変換装置の作製方法は次の工程を含む。シリコン基板に溝をアルカリウエットエッチングで形成し、互いに分離された複数の第1の電極を形成する工程。前記第1の電極に対向するキャピティを形成する工程。前記キャピティに対向するメンブレンを形成する工程。前記メンブレン上に第2の電極を形成する工程。前記アルカリウエットエッチングにより互いに分離された複数の第1の電極を形成する工程は、シリコン基板に溝を複数回のドライエッチングで形成し、互いに分離された複数の第1の電極を形成する工程に置き換えることもできる。

50

## 【発明の効果】

## 【0008】

本発明によれば、前記基板の第1の面側の溝の幅を第2の面側の溝の幅よりも狭くすることで、第1の面側には複数の電気機械変換部を比較的高い密度で配置することができる。そして、第1の面側から第2の面側に向かって溝の幅を大きくすることで分離溝全体としては十分な幅を確保しているため、電気機械変換部間の電气的分離を確保し、寄生容量を抑えることができる。その結果、第1の面側の溝の幅が小さいことによる感度低下を抑えることができる。また、感度低下を抑えつつ第1の面側の溝の幅を狭くできるので、電気機械変換部を高密度で配置することが可能となり、フィルファクターの向上が可能となる。この点からも、CMUTなどの電気機械変換装置の感度を向上することができる。言い換えれば、本発明により、電気機械変換部間の寄生容量の低減と電気機械変換装置の信号出力の向上を両立させることができる。

10

## 【図面の簡単な説明】

## 【0009】

【図1】本発明の実施例1のCMUTを説明する図である。

【図2】本発明の実施例2のCMUTの作製方法を説明する工程図である。

【図3】本発明の実施例3のCMUTを説明する図である。

【図4】本発明の実施例3のCMUTの作製方法を説明する図である。

【図5】本発明の実施例4のCMUTを説明する図である。

【図6】従来のCMUTを説明する概略図である。

20

## 【発明を実施するための形態】

## 【0010】

以下、本発明の実施形態について説明する。本発明の電気機械変換装置及びその作製方法の特徴は次の点にある。すなわち、複数の電気機械変換部の配置に対応して、導電性基板の第1の面側の幅（底部の幅ともいう）が第2の面側の幅（開口部の幅ともいう）よりも狭い溝を形成して該基板を複数の部分に分割し、電極を兼ねる該基板の複数の部分を互いに絶縁する。

## 【0011】

上記考え方に基づき、本発明の電気機械変換装置及びその作製方法の基本的な形態は、課題を解決するための手段のところ述べてきたような構成を有する。この基本的な形態を基に、以下に述べるような実施形態が可能である。

30

## 【0012】

前記溝は、例えば、開口部から底部に向かって連続的又は非連続的に小さくなる（第1の面側から該第1の面とは反対側の第2の面側に向かって連続的又は非連続的に広がる）断面形状を有することができる。こうした構造は、静電容量型等の電気機械変換部間の寄生容量の低減と電気機械変換部のフィルファクターの向上の観点から、好ましいものである。また、シリコン基板に溝をアルカリウエットエッチングで形成する方法で、容易に実現できる構造である。この方法では、基板面に対して54.7度の角度を成す溝斜面が形成できるので、基板の厚さとエッチング用マスクの開口部の幅を適切に設定することで、上記の如き溝を容易に形成できる（後述の実施例2参照）。この場合、溝の側壁は、基板に対して傾斜した平面状となる。

40

## 【0013】

前記溝の側壁を階段状にすることもできる。こうした構造は、複数回のドライエッチング、つまりドライの多段エッチングで容易に作製できる。すなわち、複数の電気機械変換部の配置に対応した適当なパターンでマスクをシリコン基板の底面に形成して1回目のドライエッチングを実行した後、マスクの開口部を適当に拡大して次のドライエッチングを実行する。このようなエッチング工程を、溝を階段状に深くしつつ基板の他方の面に達するまで繰り返すことで、側壁が階段状の溝を形成できる。この方法でも、底部の幅が開口部よりも小さい溝形状にすることができる。

## 【0014】

50

以下、本発明の複数の実施例を、図面を参照して詳細に説明する。ただし、本発明はこれら実施例の具体的形態に限定されるものではない。

(実施例1)

実施例1を、図1を参照して説明する。実施例1は、溝でエレメントが分離されたSi基板からなる静電容量型超音波トランスデューサであって、メンブレン105をSOI(Silicon-on-insulator)基板の接合により作製したデバイスに関する。本実施例の電気機械変換装置の断面図の図1(a)に示す様に、本電気機械変換装置100は、回路基板101、シリコン基板103で構成される。回路基板101は、シリコン基板103の真下に配置されている。

【0015】

図1(a)の上面図である図1(b)に示す様に、本実施例の電気機械変換装置100は4×4のエレメント104で構成されている。図1(b)の104で示す領域が1エレメントである。ここで、上記静電容量型の電気機械変換部であるエレメント104は、超音波を送受信する1ユニットである。1エレメントにつき、1つの下部電極108とそれに続く貫通配線109が配置されている。ここでは、4×4個のエレメント104が配列されているが、これに限定されない。図1(b)の一部を拡大した図である図1(c)と図1(c)のA-A'断面図である図1(a)を用いて、エレメント104を説明する。基板103の第1の面である一方の面に配置されたエレメント104は、メンブレン105、キャビティ106、上部電極107、下部電極108などで構成される。それぞれの材質は、メンブレンがSi、キャビティ周りの材料(メンブレン側を除く)がSiO<sub>2</sub>、上部電極がAl、下部電極がSi、貫通配線である下部引き出し配線がSiである。Si基板103と回路基板101とは、はんだ110と電極パッド116を介して接合されている。この様に、本実施例では、電気機械変換部であるエレメント104は、支持部と、支持部に設けられたメンブレンと、メンブレンと対向して設けられた第1の電極である下部電極と、メンブレン上に設けられた第2の電極である上部電極を有する。そして、下部電極108は、溝111で囲まれた基板103の部分(貫通配線109)と電氣的に繋がっている。ここにおいて、メンブレンが上部電極を兼ねる構成にすることも可能である。また本実施例では、下部電極108と貫通配線109とを、「電極」及び「配線」に分けて説明したが、本発明においては、下部電極108と貫通配線109とが一体となった構成を採用することもできる。

【0016】

溝111と下部電極108について説明する。図1(a)、(b)、(c)に示す様に、溝111は、隣り合うエレメント104間の領域に略対応する基板103の部分に形成されている。これは、隣り合うエレメント104間の絶縁を図るためである。図1(a)に示す様に、溝111は、下部電極108と貫通配線109であるシリコン基板103の部分を完全に貫通していることが必要である。溝111を、基板の第1の面側の底部が基板の第2の面である他方の面側の開口部より狭い断面形状とすることで、隣り合うエレメント104間での寄生容量を低減し、かつ、1つのエレメント104の有効面積をより大きくできる。本実施例では、溝111の側壁はSi基板103に対し傾斜した平面で構成される。これにより、隣り合うエレメント104間での放電が起こりにくい。溝の断面形状の側壁は、直線状又は曲線状に連続的に傾斜する面であっても、例えば非連続的に階段状になった面であってもよい。

【0017】

上部電極107について図1(a)、(b)、(c)を用いて説明する。1エレメント104内に形成された上部電極107同士を電氣的に接続するために配線112が形成されている。隣り合うエレメント104の上部電極107を電氣的に接続するために、溝111に略対応するメンブレン105の部分である梁113の上部に配線が形成されている。最終的に全ての上部電極107は、引き出し配線114に接続されている。図1(a)に示す様に、上部電極107は引き出し配線114とシリコン基板103を経由して回路基板101に接続されている。

10

20

30

40

50

## 【0018】

各部の寸法について説明する。キャビティ106を持つ各セルのメンブレン105の幅 $w_m$ は200 $\mu\text{m}$ 、厚さ $t_m$ は1.5 $\mu\text{m}$ である。キャビティ106の幅はメンブレンの幅と同様に200 $\mu\text{m}$ 、深さ $t_c$ は1 $\mu\text{m}$ である。溝111の底部の幅 $w_t$ は100 $\mu\text{m}$ 、深さ $t_{t1}$ は100 $\mu\text{m}$ である。図1(c)に示す上部電極107の幅 $w_{e1}$ は100 $\mu\text{m}$ 、厚さ $t_{e1}$ は330nmである。図1(c)に示す上部電極107を繋ぐ配線112の幅 $w_{e2}$ は10 $\mu\text{m}$ 、厚さは上部電極と同じである。引き出し配線114の幅 $w_{e3}$ は100 $\mu\text{m}$ である。下部電極108の幅 $w_{e4}$ は900 $\mu\text{m}$ 、厚さ(貫通配線109も含む)は溝111の深さ $t_{t1}$ と同じである。下部電極パッド116の平面サイズは100 $\mu\text{m}$ ×100 $\mu\text{m}$ 、厚さは330nmである。ただし、これらの値は一例であり、他の値をとることも可能である。また、図面では、各部の寸法の割合は、見易くするために実際とは異なる。溝111の斜面を基板面に対して角度54.7度で形成する異方性エッチングを用いると考えると、溝111の底部の幅と深さでもって、溝111の開口部の幅は200 $\mu\text{m}$ 以上に容易にできる。こうして、第1の面側の溝111の幅を第2の面側の溝111の幅よりも狭くする構造が容易に形成できる。

10

## 【0019】

CMUTの動作原理について説明する。超音波を受信する場合、メンブレン105が変位し上部電極107と下部電極108とのギャップが変化する。それによる静電容量の変化量を検出し信号処理することにより、超音波画像などを得ることができる。また、超音波を発信する場合は、回路基板101より、上部電極107或いは下部電極108に変調電圧を印加することでメンブレン105を振動させる。

20

## 【0020】

本実施例によれば、隣り合うエレメント間での寄生容量の影響を低減し、かつ、1つのエレメントの有効面積をより大きくでき、CMUTの感度を向上させられる。また、シリコン基板自体を配線として用いる上記構成は、キャビティの形成方法として、サーフェスマイクロマシニング、実施例2で述べるバルクマイクログラフィングのどちらも適用できる点で優れている。貫通配線を形成する方法としては、シリコン基板に貫通孔を形成しそこにポリシリコンなどを成膜して配線とする方法や、Cuなどをメッキして配線とする方法があるが、これらの方法は、キャビティ形成が多様な方法で行えるか否かの点で劣る。

30

## 【0021】

(実施例2)

実施例2を説明する。本実施例は、実施例1で説明したCMUTの作製方法に係る。図2は本実施例のCMUTの作製方法を説明する工程図であり、図2のプロセスフローでは説明の簡易化のために2つのエレメントの断面図を示しているが、他のエレメントも同様に作製される。また、図2において、図1に示す部分と同様な機能を担う部分には同符号が付されている。

## 【0022】

まず、Si基板103を用意する。典型的には、これは、半導体加工技術を容易に適用できる単結晶シリコンである。Si基板103は、後に下部電極108及び貫通配線109となるため、抵抗率の低いもの(すなわち或る程度の導電性を有するもの)が好ましい。本実施例では、比抵抗0.02 $\cdot\text{cm}$ 未満のSi基板を用いた。次に、パイロジェニック酸化によりSi基板103に酸化膜201を形成し、フォトリソグラフィによりキャビティパターンを形成する。更に、酸化膜201をバッファードフッ酸(BHF)によりエッチングして、キャビティ106を形成する。例えば、Si基板103は厚さ525 $\mu\text{m}$ 、酸化膜201の厚さは1 $\mu\text{m}$ である。図2(A)はキャビティパターン形成後の上面図であり、図2(A')はA-A'断面図である。

40

## 【0023】

次に、キャビティ106底面の絶縁を図るため、再び基板103を熱酸化する。これにより酸化膜203を厚さ1500 $\text{\AA}$ で形成する。酸化膜203は基板103の下面にも形成する。図2(B)は熱酸化膜203形成後の上面図であり、図2(B')はB-B'断面

50

図である。

【 0 0 2 4 】

次に、図 2 ( B ) の基板 1 0 3 に S O I 基板 2 0 5 を接合する。図 2 ( C ) は S O I 基板接合後の上面図であり、図 2 ( C ' ) は C - C ' 断面図である。S O I 基板 2 0 5 は、デバイス層 ( 厚さ  $1.5 \mu\text{m}$  )、埋め込み酸化膜層 ( 厚さ  $0.4 \mu\text{m}$  )、支持基板層 ( 厚さ  $500 \mu\text{m}$  ) で構成されている。接合工程は次の通りである。まず、基板 1 0 3 と S O I 基板 2 0 5 の接合表面を  $\text{N}_2$  プラズマ処理する。次に、基板 1 0 3 と基板 2 0 5 とをオリフラを突き合わせて位置合わせする。最後に、真空チャンパー内で、温度  $300$ 、荷重  $500 \text{N}$  の条件で、両者を接合する。

【 0 0 2 5 】

次に、S O I 基板 2 0 5 の支持基板層、埋め込み酸化膜層をエッチングにより除去する。S O I 基板 2 0 5 の支持基板層は  $\text{SF}_6$  を用いたドライエッチングで除去され、埋め込み酸化膜層はバッファードフッ酸 ( B H F ) によるエッチングで除去される。これにより、メンブレン 1 0 5 を形成する。図 2 ( D ) は S O I 基板 2 0 5 の支持基板層と埋め込み酸化膜層をエッチング後の上面図であり、図 2 ( D ' ) は D - D ' 断面図である。

【 0 0 2 6 】

次に、上部電極引き出し電極 1 1 4 を形成する。図 2 ( D ) で作製した基板 1 0 3 のメンブレン 1 0 5 側にフォトリソグラフィにより上部電極引き出し電極のレジストパターンを形成する。このレジストをマスクとして、メンブレン 1 0 5 は  $\text{CF}_4$  ガスを用いたドライエッチングによりエッチングされる。同様に、レジストをマスクとして、酸化膜 2 0 1、2 0 3 は  $\text{CF}_4$  ガスを用いたドライエッチングによりエッチングされる。図 2 ( E ) は上部電極引き出し電極 1 1 4 形成後の上面図であり、図 2 ( E ' ) は E - E ' 断面図である。

【 0 0 2 7 】

次に、上部電極 1 0 7 を形成する。図 2 ( E ) で作製した基板のレジストを除去した後、A l を蒸着する。A l が蒸着された面にフォトリソグラフィにより上部電極のレジストパターンを形成する。最後に、このレジストパターンをマスクとして A l をウェットエッチングすることにより上部電極 1 0 7 を形成する。図 2 ( F ) は上部電極 1 0 7 形成後の上面図であり、図 2 ( F ' ) は F - F ' 断面図である。

【 0 0 2 8 】

次に、図 2 ( F ) で作製した基板のレジストを除去した後、 $4 \times 4$  のエレメント 1 0 4 に分離するためのレジストパターンをフォトリソグラフィにより形成する。更に、酸化膜 2 0 3 を B H F によりエッチングした後、レジストを除去する。エッチングされた酸化膜 2 0 3 は溝 1 1 1 を形成するためのエッチングマスクとなる。図 2 ( G ) はエッチングマスク形成後の上面図であり、図 2 ( G ' ) は G - G ' 断面図である。

【 0 0 2 9 】

次に、S i 層 1 0 3 に溝 1 1 1 を形成する。図 2 ( H ) は溝形成後の上面図であり、図 2 ( H ' ) は H - H ' 断面図である。図 2 ( G ) で形成した酸化膜 2 0 3 をエッチングマスクとして、S i 基板 1 0 3 のウェットエッチングを行う。ウェットエッチングは、アルカリ性溶液を使用した異方性ウェットエッチングを用いる。アルカリ性溶液としては、例えば、水酸化カリウム水溶液や水酸化テトラメチルアンモニウム水溶液 ( T M A H ) を用いるとよい。エッチング後、酸化膜 2 0 3 を除去する。溝 1 1 1 の断面は開口部より底面が狭い台形の形状となる。

【 0 0 3 0 】

最後に、図 2 ( H ) で作製した基板と回路基板 1 0 1 とを接合する。図 2 ( I ) は回路基板 1 0 1 接合後の上面図であり、図 2 ( I ' ) は I - I ' 断面図である。接合には、はんだを用いる。基板 1 0 1 の電極パッド 1 1 6 の部分にソルダーペーストを印刷する。次に、ソルダーペーストをリフローすることによりはんだボールを形成する。最後に、回路基板 1 0 1 の各回路素子の電極パッド 1 1 6 と基板 1 0 3 の下部電極とを位置合わせし、はんだ 1 1 6 のリフローにより基板 1 0 1、1 0 3 を接合する。これにより、超音波の送受

10

20

30

40

50

信における信号処理が可能となる構成が作製される。

【0031】

本実施例は、上述した様に、基板に溝をアルカリウエットエッチングで形成して複数の下部電極を形成する工程、下部電極に対向するキャビティを形成する工程、キャビティに対向するメンブレンを形成する工程、メンブレン上に上部電極を形成する工程を含む。また、本実施例では、シリコン基板上にキャビティ構造を形成し、SOI基板を接合させるバルクマイクロマシニングを利用した方法を用いた。この方法で作製した構成では、シリコン単結晶がメンブレンとして用いられるため、メンブレンの機械的特性が向上する。ただし、この他にも、サーフェスマイクロマシニングを利用する作製方法を用いてもよい。具体的には、例えば、次の様にする。ポリシリコン層が犠牲層として形成された基板上にシリコン窒化膜をメンブレンとして成膜し、メンブレンの部分にエッチングホールを形成する。このエッチングホールを介して犠牲層のポリシリコン層をエッチング液でエッチングし、キャビティを形成する。最後にエッチングホールをシリコン窒化膜で埋めることにより封止されたキャビティを形成する。この方法でも、エレメントが形成された基板に、上述した様に溝を形成すればよい。

10

【0032】

(実施例3)

実施例3を、図3(a)を参照して説明する。実施例3は実施例1で説明したCMUTと基本的に同じであるが、溝111の断面形状が階段型となっている部分が異なる。溝111はエレメント104に近い部分の幅が狭いことを特徴としている。この様な断面形状とすることで、隣り合うエレメント104間に発生する寄生容量の増加を最小限に抑えつつ、より多くのキャビティを配置することができる。ここで、図3(b)の様にエレメント104から遠い部分で幅が広がる溝について考える。配置できるキャビティの数は図3(a)と同じであるが、隣り合うエレメント104間に発生する寄生容量は増加し、ノイズが増加する。深さ方向に平均した溝の幅が大きいほど、隣り合うエレメント104間に発生する寄生容量は小さくなる。従って、溝111のエレメント104に近い部分の幅を狭くし、その他の部分の幅を広くすることにより、寄生容量に起因するノイズを最小限に抑えつつ、キャビティ数の増加による感度向上を実現することができる。

20

【0033】

次に、図3(a)のCMUTの作製方法について、図4を用いて説明する。基本的な作製方法は実施例2と同様であるが、溝111を形成する図2(H)にあたる工程のみ異なる。ここでは溝の形成方法についてのみ説明する。まず、図2(G)で形成した酸化膜203上にレジストマスク301を形成し、Si基板103の途中までドライエッチングを行なう(図4(A)、(A'))。レジストマスク301の開口部は酸化膜203の開口部より狭いことが特徴である。次に、レジストマスク301を剥離し、酸化膜203上にレジストマスク302を形成し、酸化膜201(図2(B'))が露出するまでドライエッチングする(図4(B)、(B'))。ドライエッチングは、ポッシュアッププロセスと呼ばれるドライエッチング方式を用いる。この方式は、エッチングと保護膜形成とを交互に行なうことで、高エッチングレートと高アスペクト比とを両立することができる。ドライエッチング後、レジストマスク302を剥離し、酸化膜203を除去する。溝111の断面は底面が大きく窄まる階段形状となる。

30

40

【0034】

実施例2のウエットエッチングによる方法では、シリコンの結晶異方性のために溝の配置に制約を受けるが、実施例3のドライエッチングを用いる方法であればこの様な制約が少なく、溝111の配置の自由度をより高くすることができる。

【0035】

(実施例4)

実施例4を、図5(a)、(b)を参照して説明する。実施例4は、実施例1で説明したCMUTの変形例である。本実施例は、図5(a)の断面図に示す様に、図1(a)で示したCMUTにアンダーフィルと呼ばれるエポキシ系充填材117を導入した構造を有する

50



。図5(b)はその上面図である。図5(a)に示す様に、シリコン基板103と回路基板101との間に充填材であるアンダーフィル117が導入され、この充填材を介在させてシリコン基板103と回路基板101が接合されている。アンダーフィル117は、トレンチ(溝)構造を取ることによって脆弱となる部分を補強するためと、はんだ接合時にシリコン基板103と回路基板101の熱膨張率の違いで発生するひずみを緩和させることなどを目的として導入される。

【0036】

また、アンダーフィル117は、これでシリコン基板103と回路基板101の間の領域付近の音響インピーダンスの整合を取ることで、この領域付近の境界面における超音波の反射による影響を最小限に抑える(反射を抑制する)ことを目的としても導入される。音響インピーダンスを調整するために、エポキシ系の材料DEVCON-B(登録商標)にタングステンやアルミナの微粒子を混ぜて目標のインピーダンスに合わせ込む。例えば、回路基板101の音響インピーダンスは $5.6 \text{ kg/s} \cdot \text{cm}^2$ である一方、DEVCON-Bの音響インピーダンスは $4.7 \text{ kg/s} \cdot \text{cm}^2$ である。例えば、このDEVCON-Bにタングステンを質量比で40%程混ぜて均等に分散させることで、目標である音響インピーダンス $5.6 \text{ kg/s} \cdot \text{cm}^2$ を実現することができる。しかし、タングステンの含有量が多くなるに従って粘性が高くなるため、導入するときに空気の泡を含む可能性がある。空気の抜けが悪い垂直なトレンチでは泡は残ってしまうため、音響的な問題を発生させる可能性がある。つまり、泡があると、泡とエポキシの音響インピーダンスの違いから図5(a)の上方から飛来する超音波は泡のところでその殆どが反射され、その一部がCMUTに戻り新たな信号を発生させてしまう。それはノイズとなって、信号強度の低下をもたらしたり、本来の求める信号と干渉して信号を強めたり弱めたりする。

【0037】

そこで、テーパ型となったトレンチ構造を有する本実施例の場合、上記エポキシが導入されるときに溝111の側壁を伝ってエポキシが流れる。その際、エポキシの液滴が粘性によって大きくなっても、溝111にテーパがついているため、溝111の開口部の導入口で詰まることなく導入される。また、エポキシの導入を助けるためにプラズマ処理を行いトレンチ構造の溝111の表面を活性化することが考えられる。この場合も、テーパがついているため、プラズマ自体が溝111の底部まで入り易くなり、結果としてエポキシを溝111の底部まで容易に導入することができる。更に、テーパがあることで溝111の側壁とエポキシの間隙を保ったまま、空気が逃げる様にエポキシを導入することが可能となる。その結果、空気が残りにくく泡が発生しにくくなり、音響的な問題を低減ないし殆どなくすることができ、広帯域特性を実現することができる。つまり、元々、本実施例の様な静電容量型の電気機械変換装置は圧電方式のものと比較して水中及び空気中でも周波数帯域が広く優れた広帯域特性を有するが、この特徴を更に確実かつ安定的に実現できる様になる。

【符号の説明】

【0038】

100...CMUT(電気機械変換装置)、103...シリコン基板(導電性の基板)、104...エレメント(電気機械変換部)、111...溝

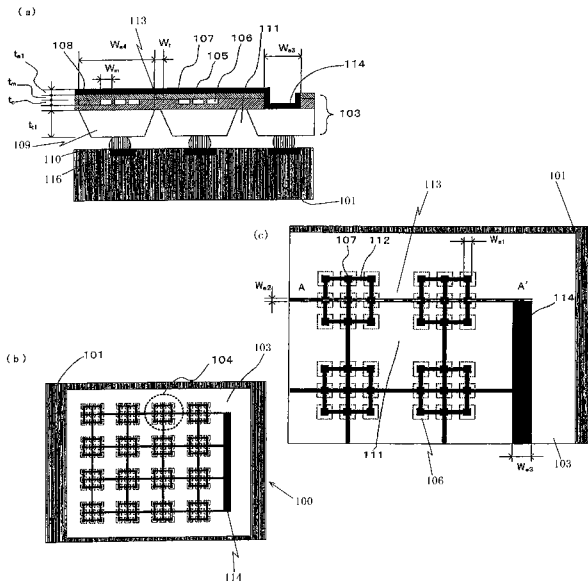
10

20

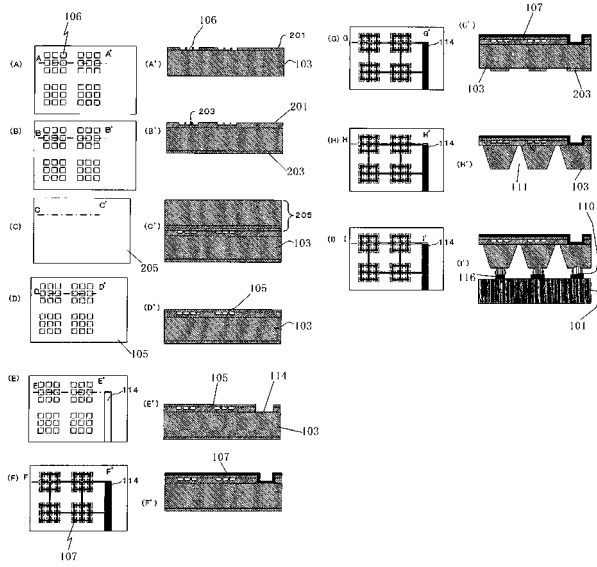
30

40

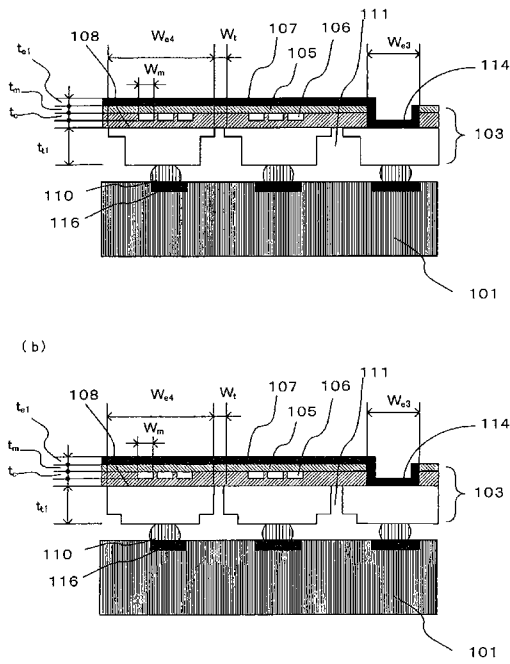
【図1】



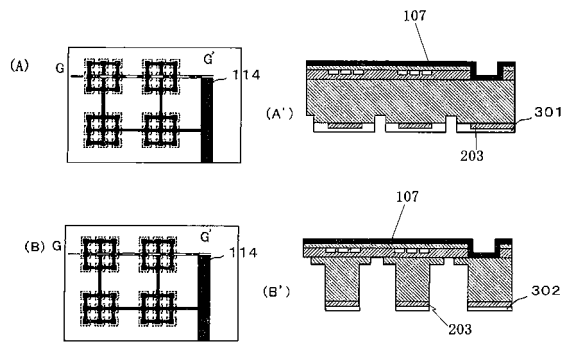
【図2】



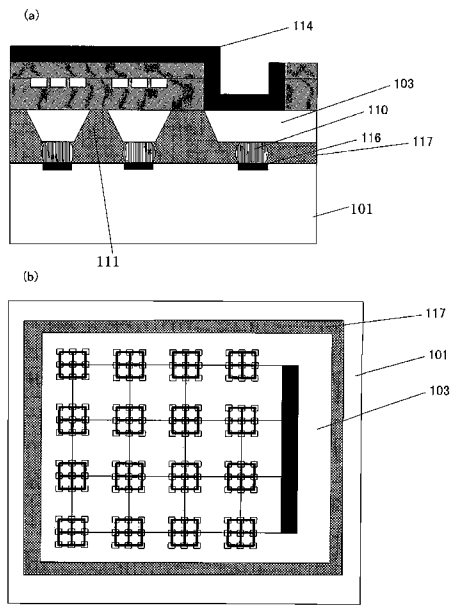
【図3】



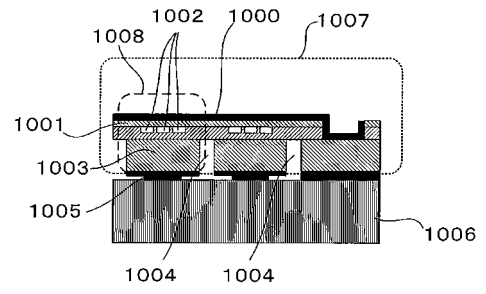
【図4】



【 図 5 】



【 図 6 】



---

フロントページの続き

審査官 菊池 充

- (56)参考文献 特開2006-122188(JP,A)  
特開平11-176307(JP,A)  
米国特許出願公開第2006/0075818(US,A1)  
特開2007-274279(JP,A)  
特開2006-012889(JP,A)  
特開2006-319712(JP,A)  
特開2007-074628(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04R 15/00 - 19/00  
H04R 29/00 - 31/00  
H02N 1/00 - 2/00