

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2018-56734  
(P2018-56734A)

(43) 公開日 平成30年4月5日(2018.4.5)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
<b>HO 4 R 19/00</b> (2006.01)	HO 4 R 19/00 3 3 0	4 C 6 0 1
<b>A 6 1 B 8/14</b> (2006.01)	A 6 1 B 8/14	5 D 0 1 9
<b>HO 4 R 31/00</b> (2006.01)	HO 4 R 31/00 3 3 0	

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2016-189023 (P2016-189023)	(71) 出願人	000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(22) 出願日	平成28年9月28日 (2016.9.28)	(74) 代理人	110002066 特許業務法人筒井国際特許事務所
		(72) 発明者	長谷川 浩章 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
		(72) 発明者	町田 俊太郎 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
		(72) 発明者	竹崎 泰一 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内

最終頁に続く

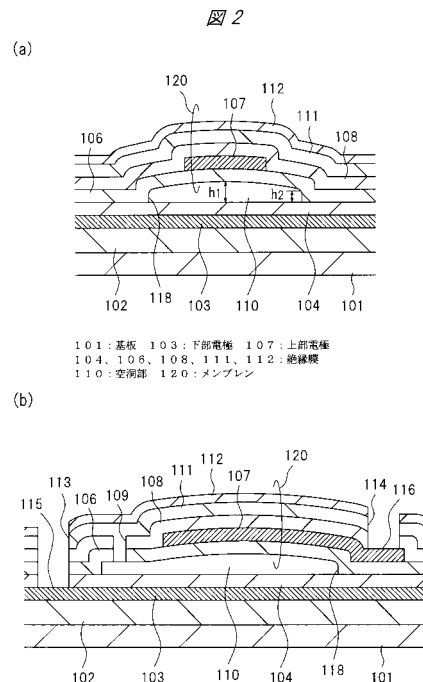
(54) 【発明の名称】 超音波トランスデューサ、その製造方法および超音波撮像装置

(57) 【要約】

【課題】 超音波トランスデューサの駆動電圧の低電圧化と信頼性とを両立させる。

【解決手段】 超音波トランスデューサは、基板101上の下部電極103と上部電極107とに挟まれた絶縁膜104、106の間に形成された空洞部110と、空洞部110の上方の絶縁膜106、108、111、112および上部電極107で構成され、超音波の送受信時に振動するメンブレン120とを有する。また、空洞部110は、中心部の厚さをh1とし、外周部の厚さをh2としたときに、 $h1 > h2 > 0$ の関係が成り立つ断面形状を有する。

【選択図】 図2



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

基板と、  
 前記基板上に形成された下部電極と、  
 前記下部電極上に順次形成された第 1 および第 2 絶縁膜の間に設けられた空洞部と、  
 前記空洞部の上方の前記第 2 絶縁膜上に形成された上部電極と、  
 前記上部電極上に順次形成された第 3 および第 4 絶縁膜と、  
 前記空洞部上の前記第 2 絶縁膜、前記上部電極、前記第 3 および第 4 絶縁膜によって構成されるメンブレンと、  
 を有し、  
 前記空洞部は、中心部の厚さを  $h_1$  とし、外周部の厚さを  $h_2$  としたときに、 $h_1 > h_2 > 0$  の関係が成り立つ断面形状を有する、超音波トランスデューサ。

10

## 【請求項 2】

請求項 1 記載の超音波トランスデューサにおいて、  
 前記空洞部の厚さは、前記中心部から前記外周部に向かって曲線的に単調減少している、超音波トランスデューサ。

## 【請求項 3】

請求項 1 記載の超音波トランスデューサにおいて、  
 前記空洞部の厚さは、前記中心部から前記外周部に向かって直線的に減少している、超音波トランスデューサ。

20

## 【請求項 4】

請求項 1 記載の超音波トランスデューサにおいて、  
 前記空洞部は、前記空洞部上の前記第 2 絶縁膜側に凹部または凸部を有し、  
 前記空洞部の厚さは、前記中心部から前記外周部に向かって曲線的に減少している、超音波トランスデューサ。

## 【請求項 5】

請求項 1 記載の超音波トランスデューサにおいて、  
 前記空洞部の底面は平坦である、超音波トランスデューサ。

## 【請求項 6】

請求項 1 記載の超音波トランスデューサにおいて、  
 前記中心部の厚さ ( $h_1$ ) は、前記外周部の厚さ ( $h_2$ ) の 1.5 倍以上である、超音波トランスデューサ。

30

## 【請求項 7】

請求項 1 記載の超音波トランスデューサにおいて、  
 平面視において前記空洞部と前記上部電極とが重なる領域の面積は、前記空洞部の面積の 75% 以上である、超音波トランスデューサ。

## 【請求項 8】

請求項 1 記載の超音波トランスデューサにおいて、  
 前記第 4 絶縁膜上に形成され、前記第 2、第 3 および第 4 絶縁膜よりも残留応力が高い第 5 絶縁膜をさらに有する、超音波トランスデューサ。

40

## 【請求項 9】

(a) 基板上に下部電極および第 1 絶縁膜を順次形成する工程、  
 (b) 前記第 1 絶縁膜上に犠牲層を形成する工程、  
 (c) 前記第 1 絶縁膜および前記犠牲層を覆う第 2 絶縁膜を形成する工程、  
 (d) 前記第 2 絶縁膜上に上部電極を形成する工程、  
 (e) 前記第 2 絶縁膜および前記上部電極を覆う第 3 絶縁膜を形成する工程、  
 (f) 前記第 3 および第 2 絶縁膜の各一部を除去して前記犠牲層の表面に達する開口を形成する工程、  
 (g) 前記開口を通じて前記犠牲層を除去することにより、前記第 1 および第 2 絶縁膜の間に空洞部を形成する工程、

50

(h) 前記第3絶縁膜上に第4絶縁膜を形成することによって、前記開口に前記第4絶縁膜を埋め込む工程、

(i) 前記第4絶縁膜上に前記第2、第3および第4絶縁膜よりも残留応力が高い第5絶縁膜を堆積し、前記空洞部の上方の前記第2絶縁膜、前記上部電極、前記第3および第4絶縁膜を上方に引き上げることにより、前記空洞部の中心部の厚さを前記空洞部の外周部に沿った側壁部の厚さよりも大きくする工程、

を含む、超音波トランスデューサの製造方法。

【請求項10】

請求項9記載の超音波トランスデューサの製造方法において、

前記(b)工程で前記第1絶縁膜上に形成される前記犠牲層は、前記犠牲層の中心部の厚さを $h_1$ とし、前記犠牲層の外周部の厚さを $h_2$ としたときに、 $h_1 > h_2 > 0$ の関係が成り立つ断面形状を有する、超音波トランスデューサの製造方法。

10

【請求項11】

請求項10記載の超音波トランスデューサの製造方法において、

前記(g)工程で、前記開口を通じて前記犠牲層にエッチング液を供給し、前記犠牲層を溶解して除去する、超音波トランスデューサの製造方法。

【請求項12】

請求項1記載の超音波トランスデューサを有する超音波探触子を備えた、超音波撮像装置。

【発明の詳細な説明】

20

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波トランスデューサ、その製造方法およびそれを用いた超音波撮像装置に関する。

【背景技術】

【0002】

超音波トランスデューサ素子は、超音波撮像装置の超音波探触子(プローブ)内に組み込まれ、超音波を送受信することにより、例えば人体内の腫瘍の診断や、建造物に発生した亀裂の検査などといった様々な用途に用いられている。

【0003】

30

従来、この種の超音波撮像装置の探触子には、電気音響交換素子としてPZT(チタン酸ジルコン酸鉛)などに代表される圧電セラミックスが用いられてきたが、近年、圧電セラミックスよりも広い帯域特性を有する容量検出型の超音波トランスデューサ(Capacitive Micromachined Ultrasonic Transducer; 以下、CMUTと略称する)が注目され、研究開発が進められている。

【0004】

上記CMUTの基本的な構造は、下部電極とその上部に配置した上部電極との間の絶縁層に空洞部(キャピティ)を設け、空洞部の上部の絶縁層と上部電極とをメンブレン(ダイヤフラムとも言う)として機能させるものである。超音波を発信する際は、上部電極と下部電極との間に直流電圧と交流電圧とを重畳して印加し、その際に両電極間に生じる静電気力によってメンブレンを交流電圧の周波数で振動させる。一方、受信の際は、メンブレンの表面に到達した超音波の圧力によってメンブレンを振動させ、その際に生じる両電極間の距離の変化を容量変化として電氣的に検出する。

40

【0005】

特許文献1は、絶縁層によって拘束された空洞部の外周部近傍のメンブレンが空洞部の中心部近傍のメンブレンに比べて変位し難いというCMUTの特性に起因して送受信効率が低下する課題を解決するために、空洞部の高さ(上下方向の距離)を中心部から外周部に向かって曲線的に単調減少させ、空洞部の高さを外周部でゼロにする技術を開示している。

【0006】

50

特許文献1のCMUTによれば、空洞部の外周部で電極間の距離（誘電体が挿入される場合にはその比誘電率を元に真空に換算した等価な距離）を小さくすることで、電極に発生する静電気力を増大させることが可能となるので、メンブレンを駆動させるために必要な駆動電圧を下げるができるという優れた効果が得られる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】国際特許公開WO13/065365号パンフレット

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0008】

特許文献1に開示されたCMUTは、所定の電圧でメンブレンを最大限振動させた際、空洞部の中央部だけでなく空洞部の外周部でも空洞部上下の絶縁層が互いに接触することから、絶縁層同士の接触面積が大きく、これにより、電極から絶縁層に注入される電荷の量が増加する。このため、長時間使用した場合に、絶縁層にトラップされた電荷の蓄積に起因して上下電極間の電荷が遮蔽され、適切な駆動ができなくなったり、絶縁層に絶縁破壊が生じ易くなるなど、信頼性の面での課題を有している。

【0009】

従って、上記のような構造を有するCMUTにおいては、メンブレンを振動させるために必要な駆動電圧を低くするだけでなく、電極から絶縁層への過剰な電荷注入に起因する信頼性の低下を抑制する工夫が求められる。

20

【0010】

本発明の前記ならびにその他の目的と新規な特徴は、本明細書の記述および添付図面から明らかになるであろう。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本願において開示される実施の形態のうち、代表的なものの概要を簡単に説明すれば、次のとおりである。

【0012】

代表的な実施の形態によるCMUTは、基板上の下部電極と上部電極とに挟まれた2層の絶縁膜の間に形成された空洞部と、空洞部の上方の複数の絶縁膜と上部電極とで構成され、超音波の送受信時に振動するメンブレンとを含んでおり、空洞部は、中心部の厚さを $h_1$ とし、外周部の厚さを $h_2$ としたときに、 $h_1 > h_2 > 0$ の関係が成り立つ断面形状を有している。

30

【発明の効果】

【0013】

代表的な実施の形態によれば、駆動電圧の低電圧化と信頼性とを両立させたCMUTを実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

40

【図1】実施の形態1に係るCMUTの要部平面図である。

【図2】(a)は、図1のIIa-IIa線断面図、(b)は、図1のIIb-IIb線断面図である。

【図3】(a)、(b)は、実施の形態1に係るCMUTの製造方法の一例を示す要部断面図である。

【図4】(a)、(b)は、図3に続くCMUTの製造方法を示す要部断面図である。

【図5】(a)、(b)は、図4に続くCMUTの製造方法を示す要部断面図である。

【図6】(a)、(b)は、図5に続くCMUTの製造方法を示す要部断面図である。

【図7】(a)、(b)は、図6に続くCMUTの製造方法を示す要部断面図である。

【図8】(a)、(b)は、図7に続くCMUTの製造方法を示す要部断面図である。

50

【図 9】(a)、(b)は、図 8 に続く C M U T の製造方法を示す要部断面図である。

【図 10】(a)、(b)は、図 9 に続く C M U T の製造方法を示す要部断面図である。

【図 11】(a)、(b)は、実施の形態 1 に係る C M U T の製造方法の別例を示す要部断面図である。

【図 12】(a)、(b)は、図 11 に続く C M U T の製造方法を示す要部断面図である。

【図 13】(a)、(b)は、図 12 に続く C M U T の製造方法を示す要部断面図である。

【図 14】(a)、(b)は、図 13 に続く C M U T の製造方法を示す要部断面図である。

【図 15】(a)、(b)は、図 14 に続く C M U T の製造方法を示す要部断面図である。

【図 16】(a)、(b)は、図 15 に続く C M U T の製造方法を示す要部断面図である。

【図 17】電極面積増加による静電気力への影響の具体例を説明するグラフである。

【図 18】実施の形態 1 に係る C M U T の効果を説明するグラフである。

【図 19】電界集中への具体的な対策の一例を示す要部断面図である。

【図 20】電界集中への具体的な対策の別例を示す要部断面図である。

【図 21】実施の形態 1 の C M U T を備えた超音波撮像装置の外観を示す斜視図である。

【図 22】図 21 に示す超音波撮像装置の機能を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、実施の形態を説明するための全図において、同一の機能を有する部材には同一の符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。また、実施の形態では、特に必要なときを除き、同一または同様な部分の説明を原則として繰り返さない。また、実施の形態を説明する図面においては、構成を分かり易くするために、平面図であってもハッチングを付す場合がある。

【0016】

(実施の形態 1)

図 1 は、本実施の形態に係る C M U T のセル 1 個分の領域を示す平面図、図 2 ( a ) は、図 1 の I I a - I I a 線断面図、図 2 ( b ) は、図 1 の I I b - I I b 線断面図である。なお、図 1 は、主として上下の電極とそれらの間に形成された空洞部の平面レイアウトを示しており、絶縁膜の図示は省略されている。

【0017】

C M U T のセルは、単結晶シリコンからなる基板 101 上に形成された絶縁膜 102、絶縁膜 102 上に形成された下部電極 103、下部電極 103 上に形成された 2 層の絶縁膜 104、106、絶縁膜 104 と絶縁膜 106 との間に形成された空隙によって構成される空洞部 110、空洞部 110 の上方に絶縁膜 106 を介して形成された上部電極 107、および上部電極 107 の上部に形成された 3 層の絶縁膜 108、111、112 を備えている。なお、最上層の絶縁膜 112 の上部には、必要に応じてポリイミド樹脂などからなる異物付着防止用の保護膜 ( 図示せず ) が設けられる場合もある。

【0018】

ここで、絶縁膜 106、108、111、112 および上部電極 107 のうち、空洞部 110 の上方に位置している部分 ( 図 1 の二点鎖線 M で示す境界の内側部分 ) は、超音波の送受信時に振動するメンブレン 120 として機能する。また、絶縁膜 106、108、111、112 のうち、メンブレン 120 として機能する領域を囲んでいる部分 ( 境界 M を囲んでいる部分 ) は、メンブレン 120 を支持する固定部として機能する。

【0019】

上記絶縁膜 104、106、108、111、112 を開口して形成した接続孔 113 の底部には、下部電極 103 の一部によって構成された外部接続用のパッド 115 が露出

10

20

30

40

50

しており、絶縁膜 108、111、112 を開口して形成した接続孔 114 の底部には、上部電極 107 の一部で構成された外部接続用のパッド 116 が露出している。CMUT には、これらのパッド 115、116 を通じて外部の電源から直流電圧および交流電圧が印加される。なお、図中の符号 109 は、空洞部 110 を形成する工程（後述）で絶縁膜 106、108 に形成された開口を示している。

#### 【0020】

CMUT は、上記のように構成された単位セルが基板 101 の主面の一方向あるいは互いに直交する二方向に沿って多数配置された構造を有している。

#### 【0021】

単位セル毎に設けられた空洞部 110 は、その中心部が外周部よりも厚い断面形状を有している。また、空洞部 110 の外周部には、この外周部に沿って形成された側壁部 118 が設けられている。言い換えると、空洞部 110 は、その中心部の厚さ（高さ）を  $h_1$  とし、外周部に設けられた側壁部 118 の厚さ（高さ）を  $h_2$  としたときに、 $h_1 > h_2 > 0$  の関係が成り立つような断面形状を有している。中心部の厚さ（ $h_1$ ）は、好ましくは、外周部の厚さ（ $h_2$ ）の 1.5 倍以上である。

10

#### 【0022】

図示の例では、空洞部 110 の厚さは中心部から外周部に向かって曲線的に単調減少しているが、空洞部 110 の断面形状は、これに限定されるものではなく、例えば、厚さが中心部から外周部に向かってほぼ直線的に減少するような断面形状や、局所的に凹凸を有し、中心部から外周部に向かって曲線的に減少する断面形状であってもよい。

20

#### 【0023】

また、図示の空洞部 110 の断面形状は、底面が平坦で上面が凸形であるが、底面が凹形で上面が平坦な断面形状であってもよい。但し、製造の容易さを考慮すると、図示のような断面形状とすることが好ましい。

#### 【0024】

また、図示の空洞部 110 の平面形状は矩形であるが、空洞部 110 の平面形状は矩形に限定されるものではなく、例えば円形、楕円形、五角形以上の多角形（六角形、八角形）などであってもよい。

#### 【0025】

次に、図 3 ~ 図 10 を用いて本実施の形態の CMUT の製造方法の一例を説明する。図 3 ~ 図 10 の (a) は、図 1 の I I a - I I a 線に沿った断面図、(b) は、図 1 の I I b - I I b 線に沿った断面図である。

30

#### 【0026】

まず、図 3 に示すように、基板 101 上に CVD (Chemical Vapor Deposition) 法または熱酸化法で膜厚 500 nm 程度の酸化シリコン膜からなる絶縁膜 102 を形成した後、絶縁膜 102 の上部にスパッタリング法で膜厚 100 nm 程度のアルミニウム合金膜を堆積することにより下部電極 103 を形成する。続いて、下部電極 103 の上部にプラズマ CVD 法で膜厚 200 nm 程度の酸化シリコン膜からなる絶縁膜 104 を堆積する。

#### 【0027】

次に、図 4 に示すように、絶縁膜 104 の上部にプラズマ CVD 法で膜厚 100 nm 程度の多結晶シリコン膜を堆積した後、フォトリソグラフィ技術とドライエッチング技術を用いて多結晶シリコン膜をパターニングすることにより、絶縁膜 104 の上部に多結晶シリコン膜からなる犠牲層（ダミー層）105 を形成する。犠牲層 105 が形成された領域は、後の工程で空洞部 110 となる領域であり、犠牲層 105 の膜厚は、空洞部 110 の側壁部 118 の厚さ（ $h_2$ ）に相当する。

40

#### 【0028】

次に、図 5 に示すように、絶縁膜 104 および犠牲層 105 の上部にプラズマ CVD 法で膜厚 200 nm 程度の酸化シリコン膜からなる絶縁膜 106 を堆積する。

#### 【0029】

次に、図 6 に示すように、絶縁膜 106 の上部にスパッタリング法で膜厚 100 nm 程

50

度のアルミニウム合金膜を堆積した後、フォトリソグラフィ技術とドライエッチング技術を用いてアルミニウム合金膜をパターニングすることにより上部電極107を形成する。

【0030】

次に、図7に示すように、絶縁膜106および上部電極107の上部にプラズマCVD法で膜厚200nm程度の酸化シリコン膜からなる絶縁膜108を堆積した後、フォトリソグラフィ技術とドライエッチング技術を用いて絶縁膜108、106の各一部を除去し、犠牲層105に達する開口109を形成する。

【0031】

次に、図8に示すように、開口109を通じて犠牲層105の表面に水酸化カリウム水溶液などのウェットエッチング液を接触させて犠牲層105を溶解させる。これにより、犠牲層105が形成されていた領域に空洞部110が形成される。

10

【0032】

次に、図9に示すように、絶縁膜108の上部にプラズマCVD法で膜厚500nm程度の酸化シリコン膜からなる絶縁膜111を堆積する。これにより、開口109の内部に絶縁膜111が埋め込まれ、空洞部110が密閉される。

【0033】

次に、図10に示すように、絶縁膜111の上部にプラズマCVD法で膜厚500nm程度の窒化シリコン膜からなる絶縁膜112を堆積する。絶縁膜112を構成する窒化シリコン膜は、酸化シリコン膜に比べて膜質が緻密なことから残留応力が高い。そのため、酸化シリコン膜からなる絶縁膜106、108、111の上部に窒化シリコン膜からなる絶縁膜112を堆積すると、絶縁膜106、108、111に絶縁膜112の残留応力が作用し、空洞部110の上方の絶縁膜106、108、111が上方に引き上げられる。その結果、空洞部110は、中心部の厚さ(h1)が外周部に沿った側壁部118の厚さ(h2)よりも大きくなり、 $h1 > h2 > 0$ の関係が成り立つような断面形状となる。

20

【0034】

その後、フォトリソグラフィ技術とドライエッチング技術を用いて絶縁膜112、111、108、106、104に接続孔113を形成し、絶縁膜112、111、108に接続孔114を形成することにより、下部電極103の一部が露出されたパッド115と上部電極107の一部が露出されたパッド116を形成する。これにより、図1および図2に示すCMUTが完成する。

30

【0035】

なお、上述したCMUTを構成する電極材料や絶縁膜材料は、好ましい一例であって、これらに限定されるものではない。電極材料としてはアルミニウム合金以外の金属材料、例えばW、Ti、TiN、Al、Cr、Pt、Auや、不純物を高濃度にドーブした多結晶シリコンやアモルファスシリコンなどを使用することもできる。また、酸化シリコン膜からなる絶縁膜に代えて、酸窒化シリコン膜、酸化ハフニウム膜、シリコン-ドーブ酸化ハフニウム膜などを使用することもできる。犠牲層105も、これらの絶縁膜に対するエッチング選択比が高い材料であれば多結晶シリコン膜に限定されず、例えば金属膜やSOG (Spin-on-Glass)膜などであってもよい。

【0036】

上述した製造方法では、窒化シリコン膜(絶縁膜112)の残留応力を利用して空洞部110の中心部の厚さを外周部(側壁部118)の厚さより大きくしたが、次のような方法を用いることもできる。

40

【0037】

まず、図11に示すように、上述した図3の工程に従って基板101上に絶縁膜102、下部電極103および絶縁膜104を順次形成する。

【0038】

次に、図12に示すように、絶縁膜104の上部にプラズマCVD法で膜厚200nm程度の多結晶シリコン膜を堆積した後、グレイスケールフォトマスクを用いたフォトリソグラフィ技術とドライエッチング技術により、中心部の厚さ(h1)が外周部の高さ(h

50

2) よりも厚く、 $h_1 > h_2 > 0$  の関係が成り立つような断面形状を有する犠牲層 205 を形成する。

【0039】

次に、図13に示すように、上述した図5～図7に示す工程に従い、絶縁膜104および犠牲層105の上部に絶縁膜106を形成し、続いて絶縁膜106の上部に上部電極107、絶縁膜108を順次形成した後、絶縁膜108、106の各一部を除去して犠牲層205に達する開口109を形成する。

【0040】

次に、図14に示すように、上述した図8に示す工程に従い、開口109を通じて犠牲層205の表面にウェットエッチング液を接触させて犠牲層205を溶解し、犠牲層205が形成されていた領域に空洞部210を形成する。

10

【0041】

次に、図15に示すように、上述した図9に示す工程に従って絶縁膜108の上部に絶縁膜111を堆積し、開口109の内部に絶縁膜111を埋め込むことによって空洞部210を密閉する。

【0042】

その後、図16に示すように、フォトリソグラフィ技術とドライエッチング技術を用いて絶縁膜111、108、106、104に接続孔213を形成し、絶縁膜111、108に接続孔214を形成することにより、パッド215、216を形成する。

【0043】

20

図11～図16に示す製造方法では、窒化シリコン膜(絶縁膜112)の残留応力を利用しないので、応力に起因する絶縁膜の剥離などの不具合を生じることなく空洞部210の断面形状を規定することができる。

【0044】

なお、図11～図16に示す製造方法においても、絶縁膜111の上部に残留応力の高い絶縁膜を堆積することにより、空洞部210の断面形状をより高精度に制御することができる。この場合は、絶縁膜111の上部に堆積する絶縁膜として比較的残留応力の小さい絶縁膜を用いたり、絶縁膜の膜厚を薄くしたりすることにより、残留応力のみを利用して空洞部210の断面形状を変形させる場合に比べて応力に起因する絶縁膜の剥離などの不具合の発生を抑制することができる。

30

【0045】

次に、上記のような断面形状を有する空洞部110を備えた本実施の形態のCMUTの効果従来技術と比較しながら説明する。

【0046】

まず、断面形状が矩形、すなわち中心部から外周部に亘って均一な高さを有する一般的な形状(以下、基本構造という)の空洞部を備えたCMUTの動作について説明する。

【0047】

この場合、上部電極と下部電極との間に直流電圧と交流電圧とを重畳して印加すると、両電極間に静電気が働き、空洞部の上部の絶縁膜と上部電極とで構成されるメンブレンが弾性変形し、交流電圧の周波数に応じて振動することによって超音波を発信する。すなわち、CMUTから送信される超音波の圧力はメンブレンの振動振幅に依存する。他方、受信の場合は、外部からメンブレンの表面に到達した超音波の圧力によってメンブレンが振動し、両電極間の距離が変化するので、この距離の変化を静電容量の変化として電氣的に検出することによって超音波を受信する。

40

【0048】

上記動作原理から、送信する超音波の圧力はメンブレンの振動振幅に依存する。矩形の断面形状を有する空洞部を備えたCMUTの場合、空洞部の外周部ではメンブレンが固定部(絶縁膜)により支持されており、空洞部の中心部付近のメンブレンの弾性変形により生じる撓みによって振動振幅が発生する。このことから、メンブレンの振動振幅は空洞部の外周部でゼロとなり、空洞部の中心部で最大となるような連続的な分布を持つ。

50

## 【 0 0 4 9 】

このような振幅分布を持つCMUTでは、上部電極のうち空洞部の外周部近傍の領域は、静電気力の発生への寄与が少ない。なぜならば、空洞部の外周部近傍の上下両電極は振動中もその距離を縮めることができないので、電極間の距離（誘電体が挿入されている場合はその比誘電率に基づいて真空中に換算した等価距離）の2乗に反比例する静電気力は、メンブレンの最大振幅点（言い換えれば電極間の距離が最接近する点）の数分の1となるためである。

## 【 0 0 5 0 】

この性質は、送信する超音波の圧力を増やす上で大きな障害となる。なぜならば、超音波の圧力を増やすためには、メンブレンの最大振幅を増やせばよい、すなわち空洞部を高く形成すればよいが、その場合、電極間の距離の増加による静電気力の減少を補ってメンブレンを振動させる必要があるためである。

10

## 【 0 0 5 1 】

また、空洞部の面積に占める電極の面積を増加させることで静電気力を増加させることも可能であるが、前述した理由により、上部電極のうち固定部の近傍の領域は静電気力の発生への寄与が少ないため、その効果は限定的である。加えて、振動に寄与しない静電容量成分、すなわち寄生容量の増加を招くため、送受信時の感度を低下させる。

## 【 0 0 5 2 】

電極面積増加による静電気力への影響の具体例を図17のグラフに示す。グラフの横軸は、空洞部の面積に占める上部電極の面積の割合（以降、「電極面積比」と呼ぶ）を示し、縦軸は電極間に一定電圧を加えた際に発生する静電気力の大きさを示している。グラフ中の破線のプロットは、理想的な場合、すなわちピストン状に上下動する平行平板が発生する静電気力の変化の理論値を示している。また、菱形のプロットは、上述した基本構造の空洞部、言い換えると平坦なメンブレンを有するCMUTが発生する静電気力の変化を示している。

20

## 【 0 0 5 3 】

破線のプロットが示すように、理想的な場合において静電気力は電極面積比に単純比例し、電極面積比が100%となる時最大となる。一方、菱形のプロットが示すように、振動振幅が分布を持つCMUTでは電極面積比が75%を超えると静電気力の増加が鈍り、最大でも理想値の60%に留まる。

30

## 【 0 0 5 4 】

上述した通り、平坦なメンブレンを有する基本構造のCMUTを採用する限り、電極面積比の拡大による静電気力の向上には限界が存在する。この制約下で実用的な音圧を発生させるのに十分な静電気力を得るためには、駆動電圧を大きくすることが必要となる。しかしながら、高い駆動電圧は電極間に印加される電界強度を強めるため、CMUT素子の破壊や特性劣化の進行を早めるなど、信頼性の低下という大きな問題を生じるため望ましくない。

## 【 0 0 5 5 】

CMUTにおける破壊や特性劣化は、主として空洞部の上下の絶縁膜が劣化することによって生じる。これらの絶縁膜は、下部電極と上部電極とを隔て、短絡電流による破壊を防止するために形成されるが、これらの絶縁膜に過大な電界強度が加わると、絶縁破壊が発生したり、電極から絶縁膜に電荷が注入されて絶縁膜がチャージアップするという問題が発生する可能性がある。絶縁破壊が生じた場合、電流の増大によるジュール熱の発生でCMUT素子が破壊され使用不能となる。また、絶縁膜がチャージアップすると、絶縁膜に帯電した電荷により上下電極間の電界が遮蔽され、最適な駆動ができなくなるという問題が生じる。

40

## 【 0 0 5 6 】

このように、矩形の断面形状を有する空洞部を備えた基本構造のCMUTは、メンブレンを振動させるために必要な駆動電圧を低くすることが困難である。

## 【 0 0 5 7 】

50

一方、空洞部の高さを空洞部の外周部でゼロにする特許文献1のCMUTによれば、空洞部の外周部近傍で両電極間の距離が縮まるので、空洞部の外周部近傍の領域も静電気力の発生に寄与できるようになり、より低い駆動電圧でメンブレンを駆動させることができるようになる。

【0058】

しかしながら、特許文献1に開示されているような、空洞部の高さの分布が空洞部の中心部で最大となり、空洞部の外周部でゼロになる構造（第0種ベッセル関数、円弧関数、正弦関数が例として開示される）は、大振幅での超音波送信において信頼性が低下する問題がある。

【0059】

すなわち、特許文献1に開示されたCMUTのように、外周部の高さがゼロになる空洞部は、メンブレンを最大限に振動させた時に空洞部の中心部だけでなく外周部でも空洞部上下の絶縁膜が互いに接触するので、上述した一般的な断面形状の空洞部に比べて空洞部上下の絶縁層同士の接触面積が増加する。その結果、長期間使用した場合に空洞部上下の絶縁膜にチャージアップが生じ易くなるので、絶縁層にトラップされた電荷によって上下電極間の電荷が遮蔽され、適切な駆動ができなくなったり、絶縁層に絶縁破壊が生じ易くなる。

【0060】

これに対し、本実施の形態のCMUTの空洞部110は、下部電極103と上部電極107との間に電圧が印加されていない時の中心部の厚さを $h_1$ とし、外周部に設けられた側壁部118の厚さを $h_2$ としたときに、 $h_1 > h_2 > 0$ の関係が成り立つような断面形状を有する。

【0061】

空洞部110を上記のような断面形状とした場合の静電気力増大の効果を、図18のグラフに示す。グラフ中には図17で示した数値例も比較のために示している。すなわち、破線のプロットは理想的な場合、すなわちピストン状に上下動する平行平板が発生する静電気力の変化の理論値を示しており、菱形のプロットは、上述した断面形状が矩形の空洞部を有するCMUTが発生する静電気力の変化を示している。また、円形のプロットは本実施の形態のCMUTが発生する静電気力の変化を示している。

【0062】

上述したように、断面形状が矩形の空洞部を有するCMUTの場合は、電極面積比が75%を超えると静電気力の増加が鈍り、最大でも理想値の60%に留まる。これに対し、本実施の形態のCMUTの場合は、断面形状が矩形の空洞部を有するCMUTでは静電気力の増大が見込めない電極面積比75%以上で静電気力の増大が顕著に生じ、理想状態の90%を達成可能である。同一の電圧において強い静電気力を発生できるということは、すなわち、低電圧で同等の静電気力を発生させることが可能であることを意味している。

【0063】

また、本実施の形態のCMUTは、側壁部118近傍の空洞部110がある一定の厚さ（ $h_2$ ）を持つため、上下の電極間の絶縁膜が接触しない程度の変位の小さい状態では、上下の電極のうち側壁部118付近の領域で大きな静電気力を発生させ、電極間絶縁膜の接触が生じうる変位の大きな状態では、絶縁膜のうち振動振幅が最大となる空洞部110の中心付近の領域のみが接触する。側壁部118付近の空洞層がある高さを持つことにより、絶縁膜の接触部を限定することができ、接触部には電界強度を緩和する構造を配置することで、絶縁膜接触による電界集中への対策を空洞部の中央部に限定して施すことが可能となり、絶縁膜の劣化を抑制することができる。

【0064】

電界集中への具体的な対策としては、例えば以下の方法が考えられる。図19は、下部電極103または上部電極107の少なくとも一方のうち、絶縁膜104、106が接触する領域の電極部分を除去することによって電界の集中を抑制する例である。また、図20は、絶縁膜104、106が接触する領域で絶縁膜104、106の少なくとも一方の

10

20

30

40

50

膜厚を局所的に厚くし、絶縁膜 104、106 の接触が生じても電荷の蓄積が問題とならない程度まで電界強度を下げる例である。なお、図 20 の方法を採用する場合でも、下部電極 103 と上部電極 107 との間に電圧が印加されていない時の中心部の厚さを  $h_1'$  とし、外周部に設けられた側壁部 118 の厚さを  $h_2$  としたときに、 $h_1' > h_2 > 0$  の関係が成り立つような断面形状とする必要がある。

#### 【0065】

図 19 の例では、メンブレン 120 の最大変位部で電極部分を除去しているが、メンブレン 120 の複数箇所でも電極部分を除去してもよい。また、図 20 の例では、メンブレン 120 の最大変位部で絶縁膜を厚くしているが、メンブレン 120 の複数箇所でも絶縁膜を厚くしてもよい。

10

#### 【0066】

以上のように、本実施の形態によれば、駆動電圧の低電圧化と長期信頼性の確保を両立させた CMUT を実現することができる。

#### 【0067】

(実施の形態 2)

図 21 は、前記実施の形態 1 の CMUT を備えた超音波撮像装置の外観を示す斜視図、図 22 は、図 21 に示す超音波撮像装置の機能を示すブロック図である。

#### 【0068】

超音波撮像装置 301 は、超音波の送受信を行う超音波送受信回路や超音波送受信回路が受信したエコー信号を処理し、検査対象の超音波画像を生成する信号処理回路などを収納する本体 305 と、本体 305 に接続され、超音波画像や操作者とのインターフェースを行うための GUI を表示する表示部 303 と、操作者が操作する入力部 304 と、本体 305 に固定された超音波探触子接続部 306 を介して超音波送受信回路に接続される超音波探触子 302 とを備えている。

20

#### 【0069】

超音波探触子 302 は、被検体（患者）に接触させて被検体との間で超音波を送受信する装置であり、多数のトランスデューサ素子を 1 次元または 2 次元アレイ状に配置した構造を有する超音波トランスデューサ 307 と、音響レンズやバックング材などを備えている。超音波トランスデューサ 307 は、CMUT 素子を数百～1 万個程度の範囲で 1 次元または 2 次元のアレイ状に配置して構成されている。

30

#### 【0070】

なお、図 21 では、一例として本体 305 の底部にキャスト 308 を備えた可動式の超音波撮像装置を示しているが、本実施の形態の超音波撮像装置 301 は、検査室に固定された超音波撮像装置、ノート型やボックス型などの携帯型超音波撮像装置、その他公知の超音波撮像装置に適用することができる。

#### 【0071】

図 22 に示すように、超音波撮像装置 301 の本体 305 は、超音波送受信部 411、信号処理部 412、制御部 413、メモリ部 414、電源装置 415、および補助装置 416 を備えている。

#### 【0072】

超音波送受信部 411 は、超音波探触子 302 から超音波を送信するための駆動電圧を発生させたり、超音波探触子 302 からエコー信号を受信するものであり、遅延回路、フィルタ、ゲイン調整回路などを備えている。

40

#### 【0073】

信号処理部 412 は、受信したエコー信号に対し、LOG 圧縮、深度補正などの補正や画像作成などに必要な処理を行うものであり、DSC（デジタルスキャンコンバータ）、カラードライ回路、FFT 解析部などを含んでいてもよい。信号処理部 412 による信号処理は、アナログ信号処理およびデジタル信号処理のいずれもが可能であり、一部はソフトウェアで実現でき、また ASIC（application specific integrated circuit）や FPGA（field-programmable gate array）で実現することも可能である。

50

## 【 0 0 7 4 】

制御部 4 1 3 は、本体 3 0 5 の各回路や本体 3 0 5 に接続された機器の制御を行う。メモリ部 4 1 4 には、信号処理や制御に必要な情報やパラメータおよび処理結果が記憶される。電源装置 4 1 5 は、超音波撮像装置の各部に必要な電力を供給する。補助装置 4 1 6 は、上述した各部の他に、超音波撮像装置 3 0 1 に付随する機能、例えば音声発生などを実現するためのものであり、必要に応じて適宜追加される。

## 【 0 0 7 5 】

本実施の形態の超音波撮像装置 3 0 1 は、超音波探触子 3 0 2 の超音波トランスデューサ 3 0 7 として、前記実施の形態 1 の CMUT を用いているので、被検体（患者）に接触しても安全な低電圧でも超音波を高感度で送受信することができる。また、CMUT の長期信頼性が高いことから、超音波撮像装置 3 0 1 のランニングコストを低減することができる。

10

## 【 0 0 7 6 】

以上、本発明者によってなされた発明をその実施の形態に基づき具体的に説明したが、本発明は前記実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能である。

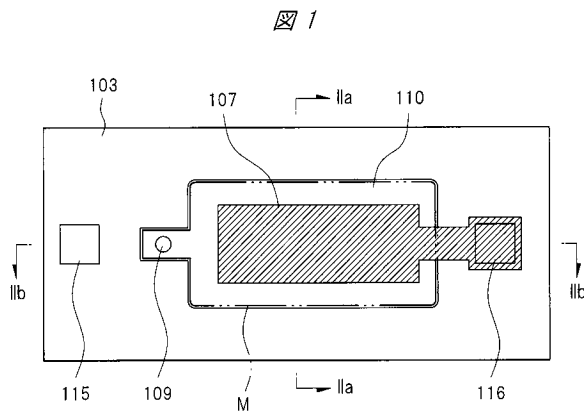
## 【 符号の説明 】

## 【 0 0 7 7 】

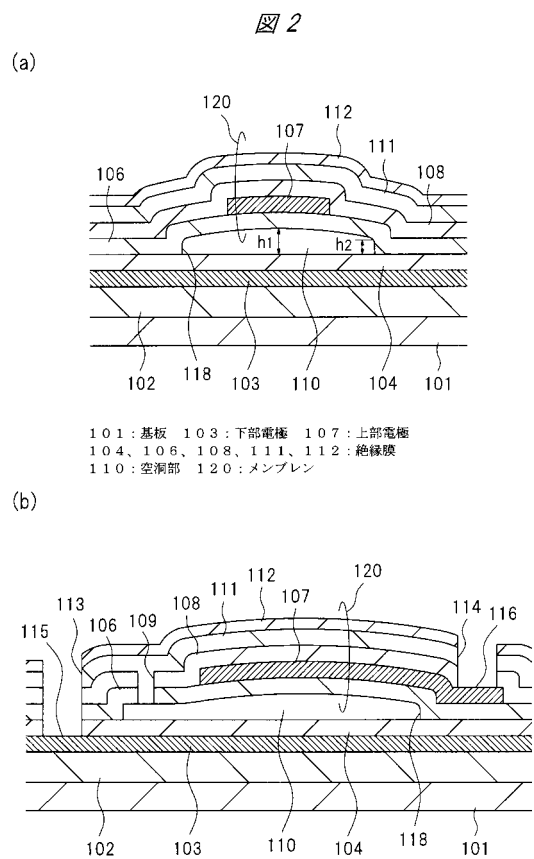
1 0 1	基板	
1 0 2	絶縁膜	20
1 0 3	下部電極	
1 0 4	絶縁膜	
1 0 5	犠牲層	
1 0 6	絶縁膜	
1 0 7	上部電極	
1 0 8	絶縁膜	
1 0 9	開口	
1 1 0	空洞部	
1 1 1	絶縁膜	
1 1 2	絶縁膜	30
1 1 3	接続孔	
1 1 4	接続孔	
1 1 5	パッド	
1 1 6	パッド	
1 1 8	側壁部	
1 2 0	メンブレン	
2 0 5	犠牲層	
2 1 0	空洞部	
2 1 3	接続孔	
2 1 4	接続孔	40
2 1 5	パッド	
2 1 6	パッド	
3 0 1	超音波撮像装置	
3 0 2	超音波探触子	
3 0 3	表示部	
3 0 4	入力部	
3 0 5	本体	
3 0 6	超音波探触子接続部	
3 0 7	超音波トランスデューサ	
3 0 8	キャスト	50

- 4 1 1 超音波送受信部
- 4 1 2 信号処理部
- 4 1 3 制御部
- 4 1 4 メモリ部
- 4 1 5 電源装置
- 4 1 6 補助装置

【 図 1 】



【 図 2 】

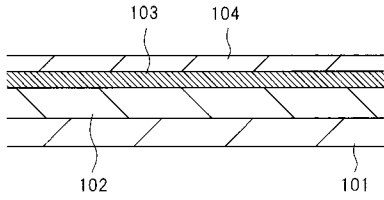


101 : 基板 103 : 下部電極 107 : 上部電極  
 104、106、108、111、112 : 絶縁膜  
 110 : 空洞部 120 : メンブレン

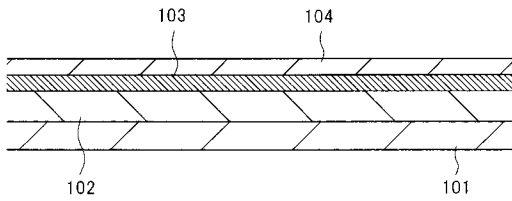
【 図 3 】

図 3

(a)



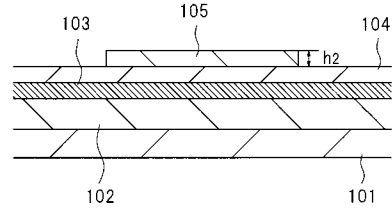
(b)



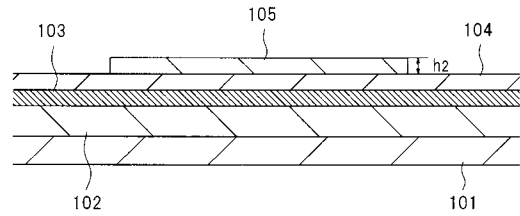
【 図 4 】

図 4

(a)



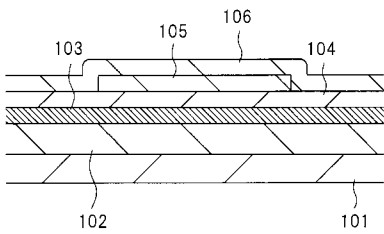
(b)



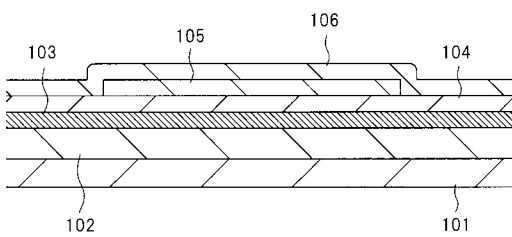
【 図 5 】

図 5

(a)



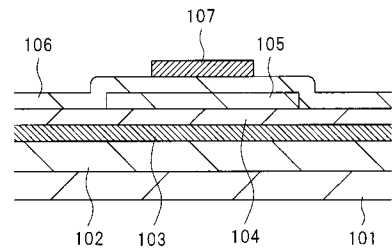
(b)



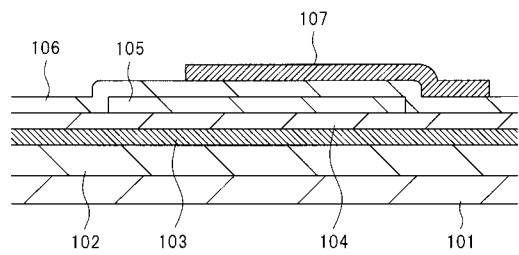
【 図 6 】

図 6

(a)



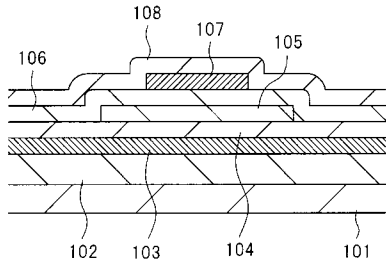
(b)



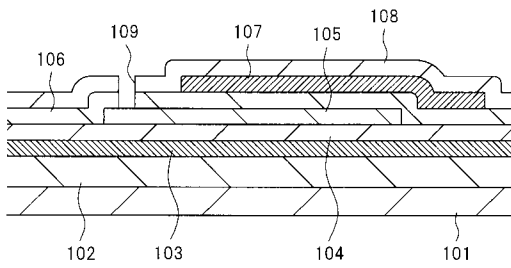
【 図 7 】

図 7

(a)



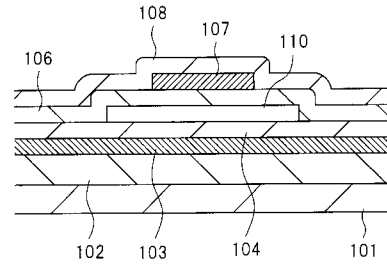
(b)



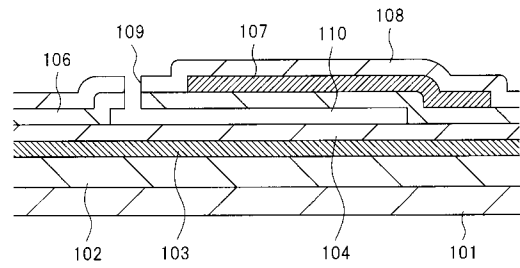
【 図 8 】

図 8

(a)



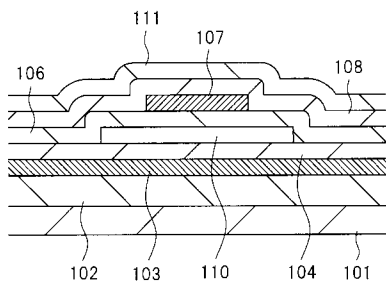
(b)



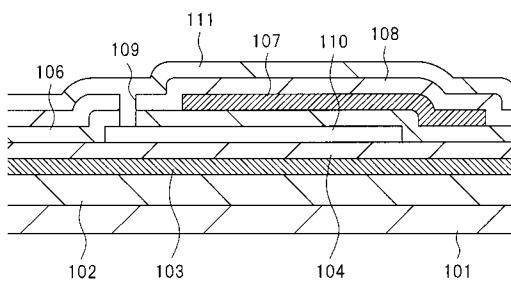
【 図 9 】

図 9

(a)



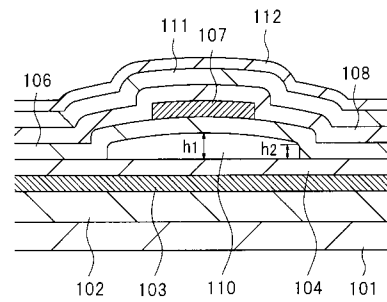
(b)



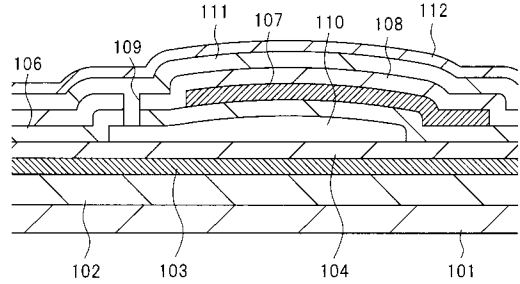
【 図 10 】

図 10

(a)



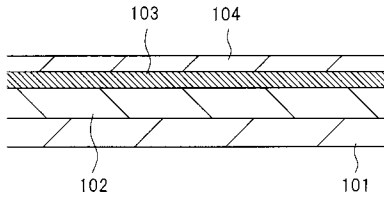
(b)



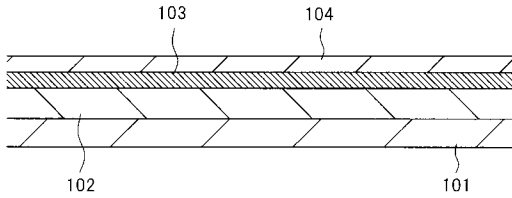
【図 1 1】

図 11

(a)



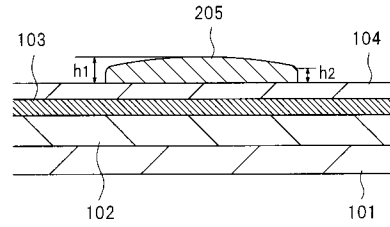
(b)



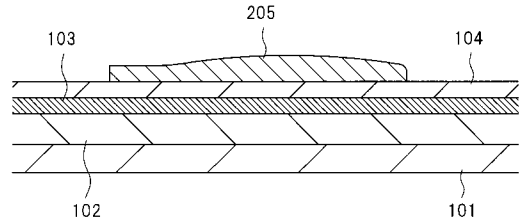
【図 1 2】

図 12

(a)



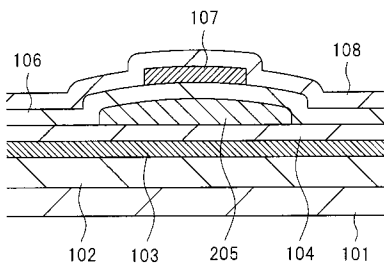
(b)



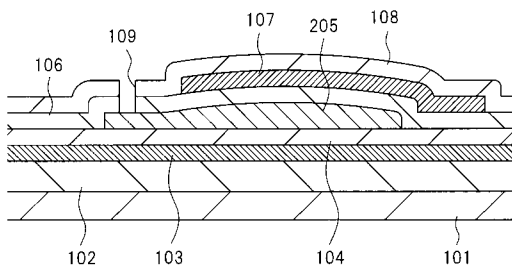
【図 1 3】

図 13

(a)



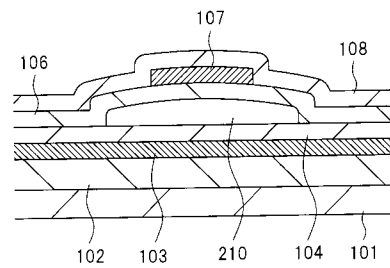
(b)



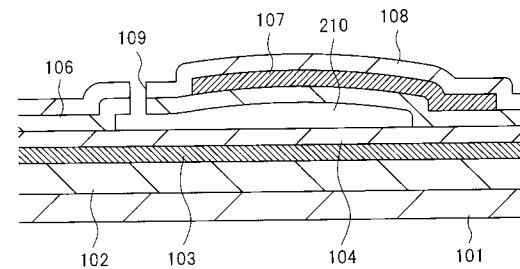
【図 1 4】

図 14

(a)

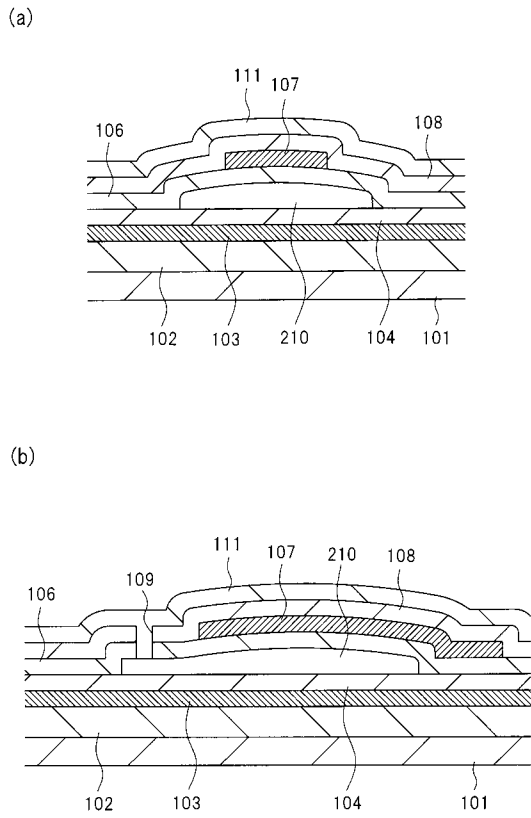


(b)



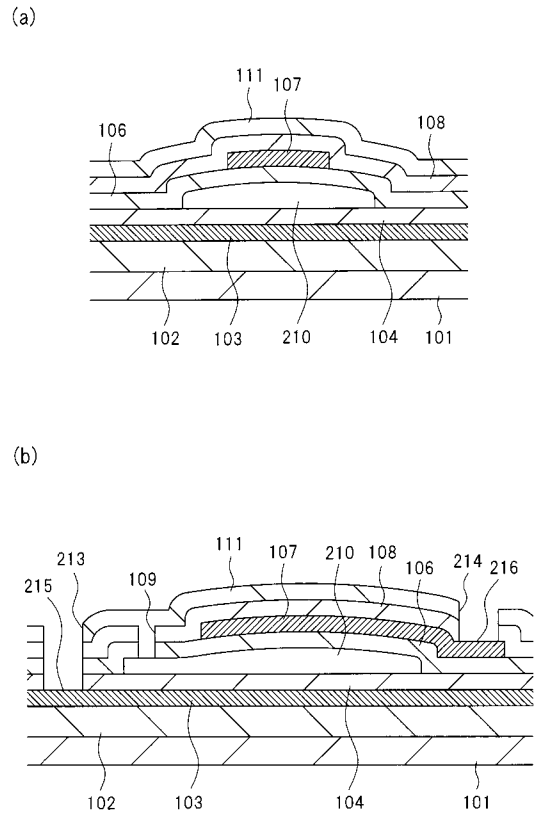
【図 15】

図 15



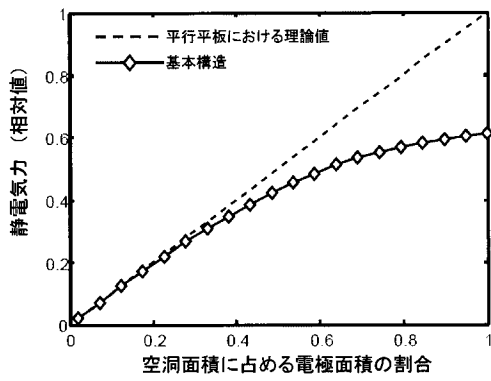
【図 16】

図 16



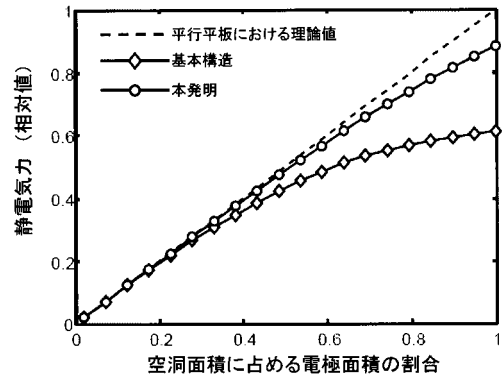
【図 17】

図 17

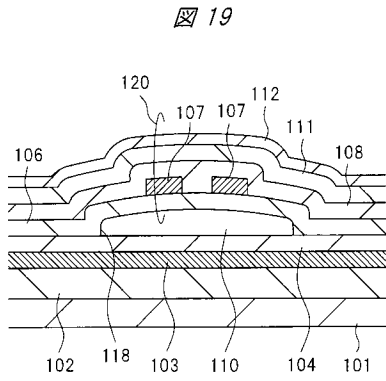


【図 18】

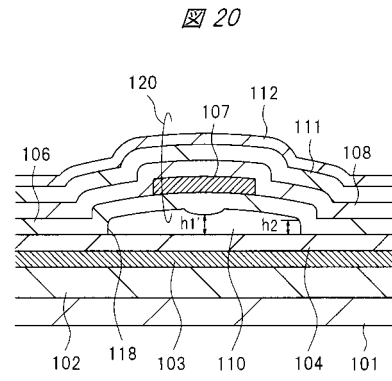
図 18



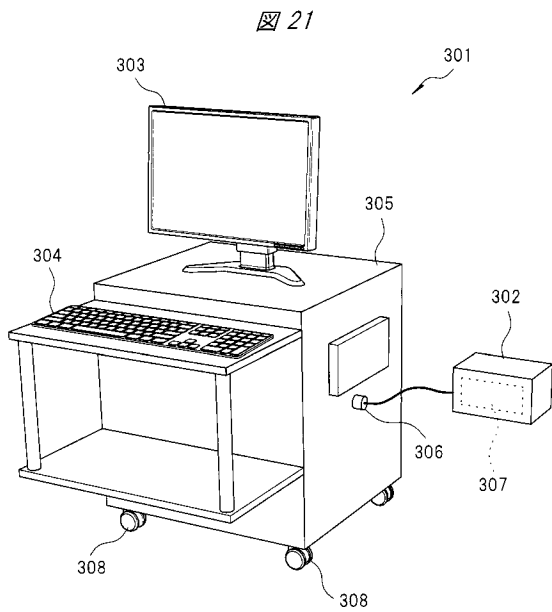
【図19】



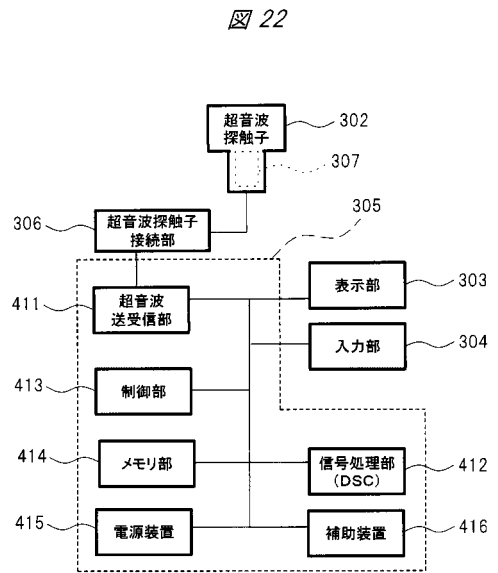
【図20】



【図21】



【図22】



---

フロントページの続き

(72)発明者 龍崎 大介

東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内

Fターム(参考) 4C601 EE03 EE10 EE21 GB03 GB41

5D019 DD01 HH01 HH02

专利名称(译)	超声换能器，制造该换能器的方法		
公开(公告)号	<a href="#">JP2018056734A</a>	公开(公告)日	2018-04-05
申请号	JP2016189023	申请日	2016-09-28
[标]申请(专利权)人(译)	株式会社日立制作所		
申请(专利权)人(译)	株式会社日立制作所		
[标]发明人	長谷川浩章 町田俊太郎 竹崎泰一 龍崎大介		
发明人	長谷川 浩章 町田 俊太郎 竹崎 泰一 龍崎 大介		
IPC分类号	H04R19/00 A61B8/14 H04R31/00		
FI分类号	H04R19/00.330 A61B8/14 H04R31/00.330		
F-TERM分类号	4C601/EE03 4C601/EE10 4C601/EE21 4C601/GB03 4C601/GB41 5D019/DD01 5D019/HH01 5D019/HH02		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a>		

摘要(译)

超声波换能器低压驱动电压和可靠性问题的解决 超声波换能器包括形成在夹在基板101上的下电极103和上电极107之间的绝缘膜104,106之间的空腔部分110以及空腔部分110上方的绝缘膜106, 108,111,112和上部电极107, 并且当发射和接收超声波时以及相对于轴线振动的膜120。另外, 当中心部分的厚度为h 1并且外周部分的厚度为h 2时, 中空部分110具有满足关系 $h\ 1 > h\ 2 > 0$ 的横截面形状。

