

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6416232号
(P6416232)

(45) 発行日 平成30年10月31日(2018.10.31)

(24) 登録日 平成30年10月12日(2018.10.12)

(51) Int. Cl.	F I				
HO4R 31/00	(2006.01)	HO4R	31/00	330	
B81C 1/00	(2006.01)	B81C	1/00		
B81B 3/00	(2006.01)	B81B	3/00		
HO1L 29/84	(2006.01)	HO1L	29/84		Z
HO4R 19/00	(2006.01)	HO1L	29/84		B
請求項の数 15 (全 19 頁) 最終頁に続く					

(21) 出願番号 特願2016-516522 (P2016-516522)
 (86) (22) 出願日 平成26年9月15日(2014.9.15)
 (65) 公表番号 特表2016-540392 (P2016-540392A)
 (43) 公表日 平成28年12月22日(2016.12.22)
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2014/069574
 (87) 国際公開番号 W02015/043989
 (87) 国際公開日 平成27年4月2日(2015.4.2)
 審査請求日 平成29年9月12日(2017.9.12)
 (31) 優先権主張番号 13185792.2
 (32) 優先日 平成25年9月24日(2013.9.24)
 (33) 優先権主張国 欧州特許庁 (EP)

(73) 特許権者 590000248
 コーニンクレッカ フィリップス エヌ
 ヴェ
 KONINKLIJKE PHILIPS
 N. V.
 オランダ国 5656 アーエー アイン
 ドーフェン ハイテック キャンパス 5
 High Tech Campus 5,
 NL-5656 AE Eindhove
 n
 (74) 代理人 100107766
 弁理士 伊東 忠重
 (74) 代理人 100070150
 弁理士 伊東 忠彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 CMUTデバイス製造方法、CMUTデバイス、及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板上の第1の電極と電気絶縁メンブレンに埋め込まれた第2の電極とを有する容量性マイクロマシン超音波トランスデューサ(CMUT)デバイスを製造する方法であって、前記第1の電極と前記メンブレンとが、前記第1の電極と前記メンブレンとの間の犠牲材料の除去によって形成されるキャビティによって離隔され、当該方法は、前記第2の電極上のメンブレン部分と、該メンブレン部分から前記犠牲材料の横に沿って前記基板の方に延在する更なるメンブレン部分とを形成することを有し、前記メンブレン部分及び前記更なるメンブレン部分のそれぞれの厚さが、前記キャビティを形成する前に前記犠牲材料の厚さを少なくとも5倍上回る、方法。

【請求項2】

前記更なるメンブレン部分の厚さが前記メンブレン部分の厚さを上回る、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記メンブレン部分の厚さが前記犠牲材料の厚さの少なくとも10倍である、請求項1又は2に記載の方法。

【請求項4】

前記犠牲材料を除去する段階が、前記犠牲材料へのアクセスを作り出すことを有し、当該方法は更に、前記キャビティを形成した後に前記アクセスを封止することを有し、前記封止する段階は、前記メンブレン部分及び前記更なるメンブレン部分の上に封止部を形成

することを含み、請求項 1 乃至 3 の何れかに記載の方法。

【請求項 5】

前記封止する段階に先立って、前記メンブレン部分上にエッチング停止層を形成することと、

前記メンブレン部分から前記封止部をエッチング除去することであり、前記エッチング停止層上で終了するエッチング除去することと、

前記エッチング除去する段階の後に、前記エッチング停止層を除去することと、
を更に有する請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

前記エッチング停止層は、前記エッチング除去する段階の完了を受けて前記封止部のリングが前記更なるメンブレン部分上に残存するような寸法にされる、請求項 5 に記載の方法。

10

【請求項 7】

前記メンブレンは、少なくとも部分的に、

前記犠牲材料を覆って第 1 の誘電材料層を形成し、

前記第 1 の誘電材料層上に第 2 の電極を形成し、且つ

前記第 2 の電極上に前記メンブレン部分を形成し、前記メンブレン部分は第 2 の誘電材料層の一部を形成する、

ことによって形成される、請求項 1 乃至 6 の何れかに記載の方法。

【請求項 8】

20

基板上の第 1 の電極と電気絶縁メンブレンに埋め込まれた第 2 の電極とを有する容量性マイクロマシン超音波トランスデューサ (CMUT) デバイスであって、前記第 1 の電極と前記メンブレンとがキャビティによって離隔され、前記メンブレンは、前記第 2 の電極上の単一層メンブレン部分と、該単一層メンブレン部分から前記キャビティの横に沿って前記基板の方に延在する更なるメンブレン部分とを有し、前記単一層メンブレン部分及び前記更なるメンブレン部分は各々、前記キャビティの高さを少なくとも 5 倍上回る厚さを有する、CMUT デバイス。

【請求項 9】

前記単一層メンブレン部分及び前記更なるメンブレン部分は各々、前記キャビティの高さを少なくとも 10 倍上回る厚さを有する、請求項 8 に記載の CMUT デバイス。

30

【請求項 10】

前記更なるメンブレン部分の厚さが前記単一層メンブレン部分の厚さを上回る、請求項 8 又は 9 に記載の CMUT デバイス。

【請求項 11】

当該 CMUT デバイスは更に、前記更なるメンブレン部分上に電気絶縁材料のリングを有し、前記単一層メンブレン部分は少なくとも部分的に、前記リングの内側で露出されている、請求項 10 に記載の CMUT デバイス。

【請求項 12】

前記キャビティから延在した封止材料の突出部、を更に有する請求項 8 乃至 10 の何れかに記載の CMUT デバイス。

40

【請求項 13】

前記封止材料は、アルミニウムなどの金属又はアルミニウム系合金などの金属合金である、請求項 12 に記載の CMUT デバイス。

【請求項 14】

当該 CMUT デバイスは、請求項 1 乃至 7 の何れかに記載の方法によって得られる、請求項 8 乃至 13 の何れかに記載の CMUT デバイス。

【請求項 15】

請求項 8 乃至 14 の何れかに記載の CMUT デバイスを有する装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

50

【 0 0 0 1 】

本発明は、基板上の第 1 の電極と電気絶縁メンブレンに埋め込まれた第 2 の電極とを有し、第 1 の電極とメンブレンとの間の犠牲材料の除去によって形成されるキャビティが第 1 の電極とメンブレンとを離隔させる、容量性マイクロマシン（微細加工）超音波トランスデューサ（capacitive micro-machined ultrasound transducer；CMUT）デバイスを製造する方法に関する。

【 0 0 0 2 】

本発明は更に、基板上の第 1 の電極と電気絶縁メンブレンに埋め込まれた第 2 の電極とを有し、第 1 の電極とメンブレンとがキャビティによって離隔された、CMUT デバイスに関する。

10

【 0 0 0 3 】

本発明は更には、そのような CMUT デバイスを有する装置に関する。

【 背景技術 】

【 0 0 0 4 】

例えば撮像装置などのセンシング装置の領域におけるセンサとして、容量性マイクロマシン超音波トランスデューサ（CMUT）デバイスが、急速に、既定の選択肢となりつつある。これは何故なら、CMUT デバイスは優れた帯域幅及び音響インピーダンス特性を提供可能なことが多く、そのことが CMUT デバイスを例えば圧電トランスデューサよりも好ましいものにするからである。

【 0 0 0 5 】

20

圧力を印加する（例えば、超音波を用いて）ことによって、CMUT メンブレン（膜）の振動をトリガーすることができ、あるいは、電氣的に CMUT メンブレン）の振動を誘起することができる。例えば特定用途向け集積回路（ASIC）などの集積回路（IC）によることが多い CMUT デバイスへの電気接続が、デバイスの送信モード及び受信モードの双方を支援する。受信モードでは、メンブレン位置の変化が電気容量の変化を引き起こし、それを電子的に検知することができる。送信モードでは、電気信号を与えることでメンブレンの振動が発生する。

【 0 0 0 6 】

CMUT デバイスは一般に、バイアス電圧を印加されて動作する。CMUT デバイスは、印加されるバイアス電圧がコラプス電圧よりも上まで増大されて、メンブレンを制約し、その一部を基板に当接させて拘束するという、所謂コラプスモードで動作され得る。CMUT デバイスの動作の周波数は、例えば剛性などのメンブレンの材料及び物理特性と、キャビティの大きさによって特徴付けられる。CMUT デバイスのバイアス電圧及び印加は動作モードにも影響する。CMUT デバイスは、しばしば、超音波撮像装置の用途及び流体若しくは空気の圧力を検出するのに CMUT デバイスが使用されるその他の用途の装置で使用される。圧力がメンブレンの振れ（デフレクション）を生じさせ、それがキャパシタンスの変化として電子的に検知される。そして、圧力読み取りを導出することができる。

30

【 0 0 0 7 】

設計仕様を満たす CMUT デバイスの製造は、簡単ではない課題である。コスト効率の良いデバイスを得るには、例えば、既存の製造テクノロジーで CMUT デバイスを製造することが望ましい。CMOS は、そのようなテクノロジーの非限定的な一例である。例えば、米国特許第 8 3 0 9 4 2 8 号（特許文献 1）は、そのようなデバイスの CMOS 製造法を開示している。

40

【 0 0 0 8 】

しかしながら、そのようなテクノロジーで製造されるウェハから、許容範囲の CMUT デバイスを高い歩留りで得ることは難しいことが分かっている。本願の発明者により見出されたことには、ウェハにわたって、製造される CMUT デバイスのうちのかなりの数がメンブレン反りに悩まされ、それがデバイスを機能なくする。この問題は、例えば米国特許出願公開第 2 0 1 3 / 0 0 6 9 4 8 0 号（特許文献 2）の教示に従ってデバイスが製

50

造される場合に発生する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】米国特許第8309428号明細書

【特許文献2】米国特許出願公開第2013/0069480号明細書

【発明の概要】

【0010】

本発明は、製造プロセスの歩留りを向上させるCMUTデバイスの製造方法を提供しようとするものである。

10

【0011】

本発明は更に、この製造プロセスによって得ることが可能なウェハを提供しようとするものである。

【0012】

本発明は更には、この製造プロセスによって得ることが可能なCMUTデバイスを提供しようとするものである。

【0013】

本発明は更には、そのようなCMUTデバイスを有する装置を提供しようとするものである。

【0014】

20

一態様によれば、基板上の第1の電極と電気絶縁メンブレンに埋め込まれた第2の電極とを有する容量性マイクロマシン超音波トランスデューサ(CMUT)デバイスを製造する方法が提供され、第1の電極とメンブレンとが、第1の電極とメンブレンとの間の犠牲材料の除去によって形成されるキャビティによって離隔され、当該方法は、第2の電極上のメンブレン部分と、該メンブレン部分から犠牲材料の横に沿って基板の方に延在する更なるメンブレン部分とを形成することを有し、メンブレン部分及び更なるメンブレン部分のそれぞれの厚さが、キャビティを形成する前の犠牲材料の厚さを上回る。

【0015】

本願の発明者が驚きをもって発見したことには、機能しないCMUTデバイス、及び/又はこのような製造プロセスから得られる設計許容範囲外で動作するCMUTデバイス、のうちの多数が、最先端の製造プロセスにおいてはキャビティのリリース後に、例えば、メンブレンを形成することにも使用される電気絶縁(誘電)材料などの好適な封止材料によってキャビティへのアクセスが封止されるときに、メンブレンが仕上げられるという事実によって発生されている。そのようなプロセスは、例えば、特許文献2(米国特許出願公開第2013/0069480号)に開示されている。そのようなプロセスは、キャビティの封止及びメンブレンの完成が単一の堆積工程によって達成され得るので魅力的ではあるが、本願の発明者が気付いたことには、これは、メンブレンが比較的薄いものでありながらしてキャビティを封止するとき、変形したメンブレンを有する比較的多数のCMUTデバイスを完成ウェハ上に生じさせる結果となる。見出されたことには、このこと
40
の理由は、そのような封止工程が典型的に、例えば約400といった上昇された温度で
40
実行され、第2の電極及びメンブレン誘電材料の熱膨張係数の差が、過度な応力をメンブレンに発生させて、メンブレンの反り又はバックリング(座屈)をもたらす得るからである。この歩留りは、第2の電極を覆うメンブレンの厚さがキャビティを形成する前の犠牲材料の厚さを上回ることを確実にすることによって、劇的に向上され得る。

【0016】

なお、特許文献1(米国特許第8309428号)は、犠牲層の除去の前に上部電極を覆って保護層が形成されるCMUTデバイスのCMOS製造プロセスを開示している。しかしながら、この保護層は、電極を汚染から保護するためのものであり、特許文献1は、この保護層の厚さ、及びキャビティ形成中のメンブレン変形の防止に対するその効果について、全く話をしていない。

50

【 0 0 1 7 】

一実施形態において、更なるメンブレン部分の厚さがメンブレン部分の厚さを上回る。これは、キャビティ形成工程中のメンブレンの頑強さを更に向上させ、それにより、製造プロセスの歩留りを更に改善する。

【 0 0 1 8 】

メンブレン部分の厚さは、犠牲材料の厚さの少なくとも5倍、又は更には10倍とし得る。というのは、これらの厚さで、キャビティの形成中に望ましいメンブレン頑強性が達成されるからである。大きめのキャビティ、例えば、少なくとも100ミクロンのキャビティ直径を有するCMUTデバイスでは、犠牲材料の厚さの少なくとも10倍のメンブレン部分の厚さが好ましい。

10

【 0 0 1 9 】

一実施形態において、犠牲材料を除去する段階が、犠牲材料へのアクセスを作り出すことを有し、当該方法は更に、キャビティを形成した後にアクセスを封止することを有し、封止する段階は、メンブレン部分及び更なるメンブレン部分の上に封止部を形成することを含む。これは、メンブレンの厚さ及び最終的なデバイスの頑強さを更に高める。これは例えば、例えば50ミクロン以上のメンブレン直径といったミクロン領域のメンブレン直径を有するCMUTデバイスに特に有利である。

【 0 0 2 0 】

他の一実施形態において、当該方法は更に、封止する段階に先立って、メンブレン部分上にエッチング停止層を形成することと、メンブレン部分から封止部をエッチング除去することと、エッチング停止層上で終了するエッチング除去することと、エッチング除去する段階の後に、エッチング停止層を除去することとを有する。

20

【 0 0 2 1 】

エッチング停止層は、エッチング除去する段階の完了を受けて封止部のリングが更なるメンブレン部分上に残存するような寸法にされ得る。見出されたことには、このようなリングは、メンブレンの柔軟性に有意に影響することなく、メンブレンを更に強化する。

【 0 0 2 2 】

一実施形態において、メンブレンは、少なくとも部分的に、犠牲材料を覆って第1の誘電材料層を形成し、第1の誘電材料層上に第2の電極を形成し、且つ第2の誘電材料層であるメンブレン部分を第2の電極上に形成することによって形成され。誘電材料は、窒化シリコン又は何らかのその他の好適誘電材料とし得る。

30

【 0 0 2 3 】

本発明の一実施形態に従った方法によって得られる複数のCMUTデバイスを有するウェハが提供され得る。このようなウェハは、許容可能なCMUTデバイスが遥かに高い歩留りでウェハから取り出されることの恩恵を受ける。

【 0 0 2 4 】

他の一態様によれば、基板上の第1の電極と電気絶縁メンブレンに埋め込まれた第2の電極とを有する容量性マイクロマシン超音波トランスデューサ(CMUT)デバイスが提供され、第1の電極とメンブレンとがキャビティによって離隔され、メンブレンは、第2の電極上の単一層メンブレン部分と、該単一層メンブレン部分からキャビティの横に沿って基板の方に延在する更なるメンブレン部分とを有し、単一層メンブレン部分及び更なるメンブレン部分は各々、キャビティの高さを上回る厚さを有し、該厚さは、キャビティの高さの少なくとも5倍、そして好ましくは10倍である。このようなデバイスは、高い歩留りで製造され得ると同時に、優れた帯域幅及び音響インピーダンス特性を示すので、コスト効率的であることの恩恵を受ける。

40

【 0 0 2 5 】

一実施形態において、更なるメンブレン部分の厚さが単一層メンブレン部分の厚さを上回る。これは、CMUTデバイスの頑強さを更に向上させる。

【 0 0 2 6 】

一実施形態において、当該CMUTデバイスは更に、更なるメンブレン部分上に電気絶

50

縁材料のリングを有し、単一層メンブレン部分が少なくとも部分的に、このリングの内側で露出される。これは、メンブレンの動的特性に有意に影響することなく、メンブレンの強度を高める。

【0027】

一実施形態において、当該CMUTデバイスは更に、キャビティから延在した封止材料の突出部を有する。この実施形態において、この突出部は、第2の電極を覆うメンブレンの全体厚さを追加することなくキャビティを封止する。

【0028】

当該CMUTデバイスは、本発明の一実施形態に従った方法によって取得され得る。

【0029】

他の一態様によれば、本発明の一実施形態に従ったCMUTデバイスを有する装置が提供される。そのような装置は、例えば、超音波撮像装置又は圧力センシング装置とし得る。

【図面の簡単な説明】

【0030】

添付の図面を参照して、本発明の実施形態を例として更に詳細に説明する。

【図1】従来技術のCMUTデバイスを模式的に示す図である。

【図2】図1の従来技術のCMUTデバイスのメンブレンの望ましくない変形を模式的に示す図である。

【図3】図1の従来技術のCMUTデバイスの応力感度を応力感度プロットにて示す図である。

【図4】本発明の一実施形態に従ったCMUTデバイスを製造するための様々な処理工程を模式的に示す図である。

【図5】本発明の他の一実施形態に従ったCMUTデバイスを製造するための肝要な処理工程を模式的に示す図である。

【図6】本発明の更なる他の一実施形態に従ったCMUTデバイスを製造するための肝要な処理工程を模式的に示す図である。

【図7】図1の従来技術のCMUTデバイス及び本発明の実施形態に従ったCMUTデバイスの応力感度を応力感度プロットにて示す図である。

【図8】従来技術のウェハの一部（上図）及び本発明の一実施形態に従って製造されたウェハの一部（下図）の顕微鏡像を示す図である。

【図9】CMUTデバイスの典型的なキャパシタンス - 電圧カーブを示す図である。

【図10】従来技術のCMUTデバイスのコラプス電圧特性をそれらのウェハ位置の関数として示すプロットである。

【図11】本発明の実施形態に従ったCMUTデバイスのコラプス電圧特性をそれらのウェハ位置の関数として示すプロットである。

【図12】本発明の一実施形態に従ったCMUTデバイスの音響性能をそれらのウェハ位置の関数として示すプロットである。

【発明を実施するための形態】

【0031】

理解されるべきことには、図面は、単に模式的なものであり、縮尺を揃えて描かれてはいない。これまた理解されるべきことには、同じ又は同様の部分を指し示すために、図面全体を通して同じ参照符号が使用されている。

【0032】

図1は、CMUTデバイスの典型的な構造を模式的に示している。CMUTデバイスは、その上でキャビティ（空洞）30内に第1の電極（明瞭さのため図示せず）が形成される基板10を有する。キャビティ30は、メンブレン20に埋め込まれた第2の電極（明瞭さのため図示せず）を有するメンブレン20によって範囲を定められる。メンブレン20は典型的に、キャビティ30の上方の第1の部分22と、第1の部分22から基板10に向かって延在し、キャビティ30の壁としての役割を果たす第2の部分24とを有する

10

20

30

40

50

【 0 0 3 3 】

キャビティ 3 0 は、直径 2 R すなわち半径 R、及び高さ g を有し得る。第 1 のメンブレン部分 2 2 は厚さ t を有し、第 2 のメンブレン部分 2 4 は厚さ w を有している。完成された C M U T デバイスの典型的な寸法は、 $g \sim 0.25 \mu\text{m}$ 、 $t \sim 0.5 - 4 \mu\text{m}$ 、 $w \sim t$ 、そして、 $R \sim 15 - 150 \mu\text{m}$ である。しかしながら、キャビティ 3 0 のリリースの前、厚さ t (及び w) は典型的にもっと小さい。というのは、先述のように、メンブレン 2 0 は典型的に、それを通じてキャビティ 3 0 がリリースされる例えばビアといったアクセスを封止すると同時に完成されるからである。理解されるべきことには、図 1 は単純化して模式的に描かれている。例えば、理解されるべきことには、メンブレン 2 0 を形成する 1 つ以上の層は、後続の図からも明らかになるように、基板 1 0 の上方まで延在する。このように延在した層は、図 1 では単に明瞭さのために省略されている。

10

【 0 0 3 4 】

キャビティ 3 0 をリリースする犠牲エッチング中、C M U T デバイスは最高で 4 0 0 に至る温度に晒される。本発明者によって認識されたことには、第 2 の電極材料及びメンブレン 2 0 の材料の熱膨張係数間の違いが、図 2 に示すようなメンブレン 2 0 の変形につながり得る応力をメンブレン 2 0 に生じさせる。メンブレン 2 0 上の応力は、第 1 の部分 2 2 が水平面から距離 h だけ押し出されること、及び第 2 の部分 (すなわち、壁区画) 2 4 が垂直面から角度 θ だけ押し出されることを引き起こし得る。見出されたことには、この変形が、キャビティ 3 0 を形成 (リリース) するための犠牲材料の除去の間にこの犠牲材料の上に比較的薄いメンブレンが存在する典型的な最新技術の C M U T デバイス製造プロセスにおける低い歩留りの、主たる理由である。

20

【 0 0 3 5 】

変形の量は、本発明者によって導出された以下の分析式：

【 0 0 3 6 】

【 数 1 】

$$h \sim R \cdot \frac{S}{E} \cdot \frac{t}{w} \left\{ 3 \left(\frac{g}{t} + \frac{1}{2} \right)^2 \left(\frac{t}{w} \right)^2 + \left(\frac{g}{t} + \frac{1}{2} \right) \left(\frac{g}{t} + 1 \right) \right\} \quad (1)$$

30

を用いてモデル化され得る。

【 0 0 3 7 】

この式において、S はメンブレン内の応力 (M P a 単位) であり、E はヤング率であり、これは、5 0 - 2 5 0 G P a の範囲内に典型値を有する。第 1 の部分 2 2 の面外変形に由来する第 2 の部分 2 4 上への力が、図 2 に示すような第 2 の部分 2 4 の菱形的な変形を生じさせる。

【 0 0 3 8 】

分析式 (1) を用いて、比 t/w (x 軸) 及び g/t (y 軸) の関数として第 1 のメンブレン部分 2 2 に関する変形プロットを計算することができる。このようなプロットを図 3 に示す。このプロット内の黒い点は、 $g/t \sim 1$ での、キャビティ 3 0 のリリース中の、薄いメンブレン 2 0 を有する典型的な従来技術の C M U T デバイスの第 1 のメンブレン部分 2 2 の典型的な面外屈曲 h を示している。変形 h はまた、ウェハ上での C M U T デバイスの相対位置にも相関を有し、ウェハ周辺部にあるデバイスのメンブレンは、ウェハの中心部に位置するデバイスよりも、このような変形を起こしやすい。これは、例えば、メンブレン 2 0 の形成に使用される堆積ツールによって導入されるウェハ位置依存の不均一性によって引き起こされる。これについては、以下にて更に詳細に例証する。

40

【 0 0 3 9 】

例えば低周波の用途領域といった、一部の用途領域においては、キャビティ 3 0 の半径 R を増大させる必要がある。理解され得るように、面外屈曲 h の量は半径 R とともに線形に拡大するので、この問題は、より大きい C M U T デバイスほど、すなわち、より大きい

50

Rを有するCMUTデバイスほど悪化する。本発明での分析式から理解され得るように、第1のメンブレン部分22の面外屈曲の量は、比 g/t 及び w/t 又は比 t/w を小さくすることによって低減され得る。本発明の実施形態は、CMUTデバイス製造プロセスの歩留りを向上させるために、これらの比のうちの少なくとも一方が低減されるCMUTデバイス製造方法を提供する。

【0040】

図4は、CMUT製造方法の一実施形態を模式的に描いている。この方法は、ステップ(a)にて、例えばシリコン基板、シリコン・オン・インシュレータ基板、シリコンゲルマニウム基板、及び窒化ガリウム基板などの何らかの好適基板とし得る基板110を用意して開始する。シリコン系基板は、例えば、CMOS製造プロセスで使用され得る。基板110上に第1の電極112が形成される。この電極は、例えば金属又は金属合金といった何らかの好適な導電材料から形成され得る。例えば、選択される製造テクノロジーで容易に利用可能な金属を使用することが特に有利である。というのは、こうすることは、製造フローの最小限の再設計しか必要とせず、これはコスト面で魅力的である。例えば、CMOSプロセスでは、例えばAl、W、Cu、Ti、TiNなどの導電材料、及びこのような材料の組み合わせが、第1の電極112を形成するのに使用され得る。一実施形態において、第1の電極112は、Al、AlNd合金、又はAl/Mo積層体から選択される。このような電極の形成それ自体は周知であるので、これについては、簡潔さのために、更に詳細には説明しない。

【0041】

その後、オプションで、第1の電極112及び基板110が電気絶縁材料層114によって覆われ得る。これはステップ(b)に示されている。電気絶縁層は、本願では、誘電体層としても参照される。このような誘電体層114は、例えば、第1の電極112をその対電極(カウンタ電極)(後で示す)から電氣的に絶縁してCMUTデバイスの動作中にこれらの電極間の短絡を防ぐために使用され得る。さらに、誘電体層114は、第1の電極112の上方にキャビティを形成するための犠牲材料の除去中のダメージから第1の電極112及び基板110を保護するために使用され得る。

【0042】

誘電体層114は、基板110の表面全体を覆うように示されているが、第1の電極112とともに基板110の特定の部分のみが誘電体層114によって覆われるように、パターン形成された誘電体層114を設けることも等しく実現可能である。第1の電極112及び基板110の保護には、如何なる好適な誘電材料が使用されてもよい。一実施形態において、誘電体層114は、例えばTEOS又はこれに類するものなどの酸化シリコンであるが、誘電体層114には如何なる好適な誘電材料が使用されてもよい。従って、誘電体層114は、例えば、CVD及びPECVDなどの好適な堆積技術を用いてなど、如何なる好適な手法で形成されてもよく、その形成については、簡潔さのために、更に詳細には説明しない。

【0043】

ステップ(c)にて、誘電体層114の上に、例えば好適な堆積技術により、犠牲材料が形成される。犠牲材料は、それからキャビティが形成される第1の部分116を形成するようにパターンニングされるとともに、それを介して犠牲材料が除去されるチャンネルとして作用する第2の部分116'を更に有し得る。形成されることになるキャビティの図1に示した間隙高さ g に対応した、犠牲材料の第1の部分116及び第2の部分116'の大きさは、典型的に100-1000nmの範囲内であるが、理解されるべきことには、この範囲の外の値も企図され得る。

【0044】

一実施形態において、第1の部分116は、数個の歯状の突出部(例えば、2-8個の突出部)を第2の部分116'として有する円形部分として堆積され得る。そのような犠牲材料部分の上面図をステップ(c')に示す。ここでは、単に非限定的な例として、4個のそのような突出部が示されている。歯状の第2の部分116'は典型的に、キャビテ

ィを開く又はリリースするために第1の部分116へのアクセスを提供することが可能な、形成されるメンブレンの外側のキャピティアクセスプラットフォームとして使用される。理解されるべきことには、第1の部分116及び第2の部分116'は典型的に同じ厚さ又は高さ形成され、形成されるメンブレンが、歯状の第2の部分116'間で基板110に向けて延在される。本願の様々な図では、この点、すなわち、CMUTデバイスのメンブレンが歯状の第2の部分116'間で基板110に向かって延在する点を指し示すために、第2の部分116'は異なる厚さを有するように示されている。これは、第1の部分116及び第2の部分116'が実際に異なる厚さを有するとして解釈されるべきでない。

【0045】

原理上、如何なる好適な犠牲材料が使用されてもよいが、デバイス性能上の理由から、後続のエッチングステップで効率的に除去されることが可能な犠牲材料を使用することが好ましい。例えば、Al、Cr及びMoなどの金属の使用、又は非晶質シリコン及び酸化シリコンなどの非金属の使用が企図され得る。例えばAl、非晶質シリコン及び酸化シリコンなどの材料は、例えば、CMOSプロセスで容易に利用可能であり、これらの材料のうちAlは、エッチングによって特に効率的に除去され得る。パターン形成された犠牲材料は、例えば好適な堆積・パターニング技術を用いてなど、如何なる好適な手法で形成されてもよく、その形成については、簡潔さのために、更に詳細には説明しない。

【0046】

理解されるように、第1の部分116の直径が、形成されるCMUTデバイスのキャピティの直径を定める。一実施形態において、この直径は、20 - 500ミクロンの範囲内、より好ましくは50 - 300ミクロンの範囲内で選定されるが、理解されるべきことには、例えば最大で1000ミクロンまでの直径といった、より大きい直径も企図され得る。

【0047】

ステップ(d)にて、犠牲材料の第1の部分116及び第2の部分116'と誘電体層114の露出部とを覆って、形成されるメンブレンの第1の誘電体層120が堆積される。第1の誘電体層120及び誘電体層114はどちらも、犠牲材料を除去するためのエッチングレシピに晒されるので、第1の誘電体層120及び誘電体層114は、同じ材料のものとし得るが、当然ながら、第1の誘電体層120及び誘電体層114のそれぞれに異なる材料を使用するものもつともである。一実施形態において、第1の誘電体層120及び誘電体層114は各々、例えばTEOS層又はこれに類するものなどの酸化シリコン層を有する。第1の誘電体層120は、例えば酸化物 - 窒化物スタック又は酸化物 - 窒化物 - 酸化物スタックといった、レイヤスタック(積層体)として形成されてもよい。同様に、誘電体層114はそのようなスタックとして形成されてもよい。繰り返すに、誘電体層114及び第1の誘電体層120には、如何なる好適な誘電材料も使用され得る。

【0048】

次に、第2の電極122が第1の電極112の反対を向くよう、ステップ(e)に示すように、第1の誘電体層120の上に第2の電極122が形成される。第2の電極122は好ましくは、第1の電極112と同じ導電材料で形成されるが、理解されるべきことには、代わりに第2の電極122及び第1の電極112は相異なる材料で形成されてもよい。第2の電極122は、例えば、Al、W、Cu、Ti、TiNなど及びこのような材料の組み合わせなどの、如何なる好適な導電材料で形成されてもよい。一実施形態において、第2の電極122は、Al、AlNd合金、又はAl/Mo積層体から選択される。第2の電極122は周知の技術を用いて形成されることができ、それについては、簡潔さのために、更に詳細には説明しない。第1の電極112及び第2の電極122は、例えば200 - 700nm厚さといった如何なる好適厚さにも形成され得る。

【0049】

ステップ(f)にて、第2の電極122及び第1の誘電体層120を覆って、形成されるメンブレンの第2の誘電体層124が形成される。第2の誘電体層は典型的に、第2の

10

20

30

40

50

電極の上方の第1の部分22と、第1の部分22から犠牲材料の第1の部分116に並んで且つ先述のように犠牲材料の第2の部分116'の間(及び上)で基板10の方に延在する第2の部分24とを有する。第1の部分22は初期厚さ t_1 を有し、第2の部分は初期厚さ w_1 を有し、 w_1 及び t_1 は典型的に(おおよそ)等しい。誤解を避けるため、 t_1 は図1における t に対応し、 w_1 は図1における w に対応する。本発明の一実施形態によれば、図1の助けを借りて先述した比 t/g を小さくするために、 t_1 は第1の部分116の高さよりも大きく選定される。好適な一実施形態において、キャビティの形成中に望ましい頑強性をメンブレンに与えるために、比 t/g は、4 - 20の範囲内、より好ましくは5 - 10の範囲内で選定される。例えば、犠牲部分116の高さ g が100 - 700 nmの範囲内で選定されるとともに、第1の部分22を犠牲部分116の少なくとも5

10

【0050】

第2の誘電体層124は、第1の誘電体層スタック120の少なくとも上側層と同じ材料で製造されることができ、一般には、例えば酸化シリコンや窒化シリコンといった好適な電気絶縁材料で製造されることができ、当然ながら、第2の誘電体層124が第1の誘電体層120とは相異なる材料で製造されることも実現可能である。しかしながら、その場合、キャビティを形成するために犠牲材料が除去される温度でそれらの層の間に熱誘起応力が構築されることを回避するために、それら相異なる材料それぞれの熱膨張係数が同等又は同じであるように注意を払うべきである。前述のように、第2の誘電体層124は如何なる好適手法で形成されてもよい。

20

【0051】

ステップ(g)にて、第2の誘電体層124の第1の部分の上にエッチング停止層126が形成され、その後、犠牲材料の第2の部分116'へのアクセスを供するよう、第1の誘電体層120及び第2の誘電体層124を貫いて、アクセス又はビア128が形成される。これをステップ(h)に示す。アクセス又はビアは典型的に、先述のように、メンブレンの周縁の外側の犠牲材料の歯状の第2の部分116'のうちの1つ上に着地する。このようなアクセス又はビア128の形成それ自体は周知であり、単に簡潔さのために、更に詳細には説明しない。

【0052】

次に、ステップ(i)にて、CMUTデバイスのメンブレンの第1の誘電体層120と第2の誘電体層124との間に埋め込まれた第2の電極122と、第1の電極120との間にキャビティ130を形成するため、好適なエッチングレシピを用いて、アクセス又はビア128を通じて、犠牲材料の第1の部分116及び第2の部分116'が除去される。このような従来からの犠牲材料に関する好適なエッチングレシピそれ自体は周知であり、当業者は、自身の一般的常識を用いて、適切なエッチングレシピを困難なく選択するであろう。

30

【0053】

その後、ステップ(j)にて、例えば好適な更なる誘電材料といった好適な封止材料を用いて、アクセス又はビア128が封止され、それにより、エッチング停止層126及び第2の誘電体層124を覆う更なる誘電材料層132と、アクセス又はビア128内の封止プラグ132'とが生み出される。一実施形態において、更なる誘電材料層132の最小厚さは、アクセス又はビア128の効果的な封止を確実にするため、キャビティ130の高さ g の2倍である。この更なる誘電材料は、それ自体周知なような、何らかの好適な手法で堆積され得る何らかの好適な誘電材料とし得る。一実施形態において、この更なる誘電材料は、例えば酸化シリコン又は窒化シリコンなど、第2の誘電体層124の材料と同じ材料である。更なる誘電材料層132の形成は、第2の部分24によって定められるキャビティの壁部分の厚さを、ステップ(j)に示すように $w_1 + w_2$ に増大させる。誤解を避けるために言及しておくに、 $w_1 + w_2$ は図1における w に対応する。

40

【0054】

CMUTデバイスの比 t/w を小さくするため、ステップ(k)にて、第1の部分22

50

の上方の更なる誘電材料層 1 3 2 の部分が、エッチング停止層 1 2 6 上で停止する例えば等方性ドライエッチングレジピといった好適なエッチングレジピを用いて、選択的に除去される。この時点で明らかなはずのことには、エッチング停止層の材料は、更なる誘電材料層 1 3 2 の選択部分を除去するのに使用されるエッチングレジピに対して高度に耐えるように選択される。そのような材料はそれ自体知られており、故に、如何なる好適なエッチング停止材料が選択されて如何なる好適な手法で堆積及びパターンニングされてもよいと言える。【 0 0 5 5 】

その後、ステップ (k) にて、エッチング停止層が、例えばエッチングにより、開口 1 3 4 を形成するように除去されることで、第 2 の電極 1 2 2 の上方の第 1 の部分 2 2 の厚さが t_1 であり、且つキャビティ 1 3 0 の横に沿う第 2 の部分 2 4 の厚さが $w_1 + w_2$ である、すなわち、 $t_1 \sim w_1$ であるときに $t_1 + w_2$ であるメンブレンを有する C M U T デバイスが生み出される。従って、キャビティ 1 3 0 を形成するための犠牲材料の除去の段階で $g \quad t$ 且つ $t \quad w$ であるので、キャビティリリース工程中のメンブレン頑強性が向上された C M U T デバイスが得られる。さらに、キャビティ 1 3 0 のリリースに先立って第 2 の誘電体層 1 2 4 が例えば堆積されて形成されるので、改善された平坦性を有するメンブレンが得られる。というのは、第 2 の誘電体層 1 2 4 の形成中に、犠牲材料の存在が第 1 の誘電体層 1 2 0 の変形を防止するからである。【 0 0 5 6 】

C M U T デバイスは更に、第 2 の部分 2 4 の上方に更なる誘電材料層 1 3 2 のリング 1 3 6 を有し、このリングが第 1 の部分 2 2 の境界を定める。見出されたことには、このようなリム (縁枠) 又はリング構造 (例えば兎の耳又はそれに類するような、先の尖った耳のような形状にされ得る) の存在は、キャビティリリース工程中のメンブレンの頑強さを更に高める。本願の文脈において、理解されるべきことには、頑強さは、図 2 に示したような面外変形 ' h ' に耐えるメンブレンの能力を記述するために使用される。【 0 0 5 7 】

しかしながら、このようなリング 1 3 6 は、他の実施形態における C M U T デバイス設計から省かれ得る。1 つのそのような実施形態を、図 4 に示して上述した製造方法への選択された代替ステップを示すものである図 5 に示す。図 5 のステップ (a) は、図 4 のステップ (g) を置き換え、図 5 のステップ (b) は、図 4 のステップ (k) を置き換える。単に簡潔さのために図 5 には明示的に含めていないが、図 4 に示したその他のステップがまた、図 5 に描くプロセスフローの部分形成する。【 0 0 5 8 】

ステップ (a) にて、エッチング停止層 2 2 6 は、第 2 の誘電体層 1 2 4 の第 1 の部分 2 2 及び第 2 の部分 2 4 を覆うような寸法にされる。これは、後続工程において、特に、図 4 のステップ (j) で形成される更なる誘電材料層 1 3 2 の選択的な除去において、第 2 の部分 2 4 の厚さが第 1 の部分 2 2 の厚さと比較して (有意に) 増大されない、すなわち、この実施形態において $t \sim w$ である C M U T デバイスをもたらすという結果を有する。これは何故なら、更なる誘電材料層 1 3 2 の選択された部分を除去するエッチングレジピに対して、下に位置する第 2 の誘電体層 1 2 4 のいっそう大きい領域を保護するいっそう大きいエッチング停止層 2 2 6 から明らかになるように、第 2 の誘電体層 1 2 4 のいっそう広い領域の上で更なる誘電材料層 1 3 2 が除去されるからである。それに代えて、図 5 のステップ (b) に示すように、得られる C M U T デバイスは、アクセス又はビア 1 2 8 の中の封止プラグ 1 3 2 ' と、この封止プラグから上方に延在する上記更なる誘電材料層の部分 2 3 2 とを有する。封止プラグ 1 3 2 ' と部分 2 3 2 との組み合わせは、アクセス又はビア 1 2 8 に押し込まれるピンに例えられることができ、部分 2 3 2 がピンの頭部を形成する。分析式 (1) から理解され得るように、図 5 (b) に示す C M U T デバイスはなおも、キャビティ 1 3 0 を形成するための犠牲材料の除去の段階で $g \quad t$ であるので、キャビティリリース工程中のメンブレン頑強さの向上を示す。さらに、キャビティ 1 3 0 のリリースに先立って第 2 の誘電体層 1 2 4 が例えば堆積されて形成されるので、改善

10

20

30

40

50

された平坦性を有するメンブレンが得られる。というのは、第2の誘電体層124の形成中に、犠牲材料の存在が第1の誘電体層120の変形を防止するからである。

【0059】

一実施形態において、更なる誘電体層132は、例えばA1封止層などの金属の封止層によって置き換えられてもよい。これは、キャビティ130内の真空を改善する。というのは、金属は典型的に、気相で堆積されて高めの残留圧力をキャビティ130内に残すものである例えば窒化シリコンなどの誘電材料の堆積とは対照的に、高真空堆積技術を用いて堆積されるからである。従って、封止プラグ132'及び部分232は、例えばアルミニウムなどの好適な金属、又は例えばA1系合金といった金属合金で製造されてもよい。

【0060】

キャビティ130のリリースの時点で比 g/t_1 を有するCMUTデバイス製造方法の他の一実施形態を図6に示す。図6の開始点は、図4のステップ(a)-(e)の後に得られた中間構造であり、すなわち、単に簡潔さのために図6には明示的に示していないが、図4に示したステップ(a)-(e)がまた、図6に示す製造方法の部分を形成する。

【0061】

第2の電極122の形成後、この方法は、図6のステップ(a)に示すように進み、第2の誘電体層124が、第1の電極112と第2の電極122との間の犠牲材料の第1の部分116の厚さを上回る第1の厚さ t_1' まで形成されることで、キャビティ130の形成後にキャビティ間隙の高さ g が厚さ t_1' よりもかなり小さい、すなわち、 g/t_1' 1であるようにされる。好ましくは、 $t_1' = 5g$ である。これは、ステップ(b)でのキャビティ130のリリース中に、すなわち、図4のステップ(h)及び(i)にて更に詳細に記載した、アクセス又はビア128の形成とその後の犠牲材料の第1の部分116及び第2の部分116'の除去によるキャビティ130のリリース中に、キャビティリリース工程中にメンブレンがなおもメンブレン頑強さの向上を示すことを確実にする。というのは、キャビティ130を形成するための犠牲材料の除去の段階で $g < t_1'$ であるからである。さらに、キャビティ130のリリースに先立って第2の誘電体層124が例えば堆積されて形成されるので、改善された平坦性を有するメンブレンが得られる。というのは、第2の誘電体層124の形成中に、犠牲材料の存在が第1の誘電体層120の変形を防止するからである。

【0062】

図4及び5に示した方法とは対照的に、第2の誘電体層124上にエッチング停止層は形成されない。それに代えて、図4のステップ(j)の助けを借りて更に詳細に記載したアクセス又はビア128内のプラグ132'を含む更なる誘電体層132の形成によるステップ(c)でのアクセス又はビア128の封止において、メンブレンの厚さが更に増大される。一実施形態において、更なる誘電体層132は、第2の誘電体層124よりもかなり薄い。前述のように、更なる誘電体層132は、アクセス又はビア128を効果的に封止するためにキャビティ130の高さの少なくとも2倍の高さに形成される。これもやはり、図1に示した t 及び w がおおよそ等しいCMUTデバイスを生み出す。というのは、第2の誘電体層124及び更なる誘電体層132は典型的にコンフォーマル(共形)に形成されるからである。

【0063】

この時点で言及しておくことには、図4-6それぞれの実施形態に従って形成されるCMUTデバイス群は、好ましくは、同じ又は同様の音響特性をデバイスが示すことを確保するよう、同じ最終メンブレン厚を有する。従って、第2の誘電体層124は典型的に、図6の実施形態と比較して、図4及び5の実施形態ではいっそう大きい厚さに形成される。というのは、図6に示した実施形態とは対照的に、封止層すなわち更なる誘電体層132が、キャビティ130を覆うメンブレンの少なくとも第1の部分22の最終厚さを追加しないからである。

【0064】

10

20

30

40

50

以上の実施形態は、例えば、 $50\ \mu\text{m}$ 以上、特に $100\ \mu\text{m}$ 以上、例えば 500 若しくは更には $1000\ \mu\text{m}$ に至るキャビティ半径を有するCMUTデバイスや、 $20 - 500\ \mu\text{m}$ 、 $30 - 500\ \mu\text{m}$ 、又は $30 - 300\ \mu\text{m}$ の範囲内のキャビティ半径を有するデバイスなど、比較的大きいCMUTデバイスを、高い歩留りで作り出すことができることを例証している。というのは、キャビティ130の形成に先立って、第2の電極122の上方に厚い第2の誘電体層124を設けることによって、特にウェハの周縁部でのCMUTメンブレンの過度な変形が回避されたからである。

【0065】

この時点で言及しておくことには、リング形状とし得るものである本発明の実施形態に従ったCMUTデバイスは、例えば特許文献2（米国特許出願公開第2013/0069480号）の場合（特許文献2の特に図4A-F参照）のようにキャビティ130の形成後に第2の誘電体層124が形成される従来技術のデバイスから、容易に区別されることができる。これは何故なら、キャビティ130を形成するための犠牲材料の除去が、露出されたメンブレンの上面に残留汚染を形成させるからである（特許文献2のCMUTデバイスの場合、第1のメンブレン35上にそのような汚染の存在を生じさせることになる）。

【0066】

対照的に、図4(k)、図5(b)及び図6(c)のCMUTデバイスでは、そのような汚染は、露出された第2の誘電材料層124の部分上に存在し、それ故に、キャビティ130を形成するための犠牲材料の除去中に第2の電極の上方にメンブレンの第2の誘電材料層124が存在していたかという事実を、そのような汚染の位置が指し示すことになる。換言すれば、メンブレンの下側領域における、すなわち、第1の誘電体層120表面上、又はキャビティ130に面し且つキャビティ130の間隙高さ g に等しい厚さを持つメンブレンの領域内における、そのような汚染の不存在は、そのCMUTデバイスが本発明の製造方法の一実施形態に従って得られていることを指し示す。

【0067】

なお、そのような汚染は、メンブレンのそれぞれの誘電材料が例えば窒化シリコンといった同じ材料であるときでさえも、トンネル電子顕微鏡（TEM）イメージングを用いて検出されることができる。というのは、汚染物は、その後堆積される同じ材料の層との間に明瞭な描写として現れるからである。

【0068】

図4-6の実施形態の概念を、図7の助けを借りて更に説明する。図7はやはり、図3に示したような、比 t/w （ x 軸）及び g/t （ y 軸）の関数としての第1のメンブレン部分22に関する変形プロットを描いている。描かれた変形特性は、分析式（1）を用いてモデル化される。従来技術のCMUTデバイスの変形特性にラベル700を付している。これらの特性における第1の向上が、図5及び6に示した方法に従って製造されるCMUTデバイスに関する g/t 比の低減によって得られる（この特性にラベル710を付している）。これらの特性の更なる向上が、図4に示した方法に従って製造されるCMUTデバイスに関する g/t 比及び t/w 比の低減によって得られる（この特性にラベル720を付している）。

【0069】

図8は、第2の電極上に厚い第2の誘電体層124が存在しない場合（上図）、及び図6に示した方法によって得られる第2の電極上に厚い第2の誘電体層124が存在する場合（下図）について、複数の円形のCMUTデバイスを有するウェハの、光学顕微鏡を用いて得られた像を示している。上図の平面内の矢印は、従来技術のCMUTデバイスのメンブレンにおける光リングを特定しており、これは、相当なメンブレン変形を指し示すものである。下図に光リングが存在しないことは、実施形態に従ったCMUTデバイスのメンブレンの、そのような変形に対する向上された頑強性を例証している。

【0070】

図9は、CMUTデバイスの典型的なキャパシタンス - 電圧（CV）カーブを表してい

10

20

30

40

50

る。増加していくバイアス電圧を第1の電極112と第2の電極122とにわたって印加すると、或る臨界電圧にて、電気力がメンブレンを第1の電極112の方に崩落（コラプス）させることになる。この電圧は、コラプス電圧としても知られている。電圧をコラプス電圧から低下させていくと、メンブレンはスナップバック電圧にてその元の位置へと跳ね返る（スナップバックする）ことになる。CMUTデバイスは、コラプスモード、すなわち、メンブレンがそのコラプス状態にあるモードで動作され得る。この目的のため、コラプス電圧を超えるバイアス電圧が、永続的に第1の電極112及び第2の電極122に印加され得る。

【0071】

図2に示すようなメンブレン変形の量 h は、コラプス電圧の大きさ及びCMUTデバイスの音響特性に顕著な影響を及ぼす。故に、ウェハにわたるCMUTデバイスのコラプス電圧のマッピングは、キャビティ形成中のCMUTデバイスの応力非感受性を指し示す良好なインジケーションを提供する。というのは、ウェハにわたるコラプス電圧の分布は、そのような応力非感受性の場合の小さい変化を例証するはずだからである。

【0072】

図10は、十分な厚さの第2の誘電体層124が存在せずにウェハにわたるCMUTデバイス群にそれぞれのキャビティ130が形成された図8の上図における、ウェハにわたるコラプス電圧 V_c の等高線図を描いている。ウェハの中央では、およそ90Vの V_c の典型値が得られたが、ウェハの周縁では、この電圧が150V以上まで上昇しており、すなわち、このウェハは、ウェハにわたるCMUTデバイスのコラプス電圧 V_c において、65%を超えるバラつきを示している。これは、図2に示したようなメンブレンの面外屈曲を、ウェハ周縁において明瞭に指し示すものであり、この変形を逆にしてメンブレンをコラプスモードにさせるには、より高いバイアス電圧が必要である。

【0073】

図11は、本発明の異なる実施形態に従って製造された2つのウェハにわたるコラプス電圧 V_c の等高線図を示している。上の等高線図は、図6の方法に従って製造されたウェハを示しており、下の等高線図は、図4の方法に従って製造されたウェハを示している。明らかなように、非常に小さいバラつき（7%未満のバラつき）のみが、ウェハの中央におけるCMUTデバイスのコラプス電圧 V_c とウェハ周縁におけるCMUTデバイスのコラプス電圧 V_c との間に存在する。

【0074】

図12の上側の図は、図6の方法に従って製造されたウェハ上の位置（-4, 0）から（0, +4）までの恣意的に選択されたCMUTデバイス（すなわち、ウェハの中心のCMUTデバイスを含む9個のCMUTデバイスのリニアアレイ）について、その出力圧の等高線図を示している。出力圧は、音響性能を指し示す重要なインジケータである。出力圧は、バイアス電圧（ x 軸）を-150Vから150Vまで変化させるとともにパルス長（ y 軸）を20nsから140nsまで変化させることにより、CMUTデバイスのRF励起によって生成した。下側の図は、これらのデバイスの各々の出力圧のヒストグラムを、ウェハ上でのそれらの位置の関数として示している。このアレイ内の全てのデバイスに関して、それらの出力圧における2%未満のバラつきを伴って、略等しい等高線図が得られた。これは、本発明の実施形態に従って製造されるウェハ上の（円形）CMUTデバイスの音響性能における優れた均一性を指し示すものである。

【0075】

この時点で言及しておくに、様々な実施形態で図示されていないが、理解されるべきことには、実施形態に従って製造されるウェハ上のデバイスに従ったCMUTデバイスは、更なる回路要素を有していてもよく、それら更なる回路要素は、基板110上に集積されてもよいし、あるいは、別個の基板上に設けられて、本発明の実施形態に従って製造されたウェハからのCMUTデバイスのうちの1つ以上とともに単一のパッケージへと集積されてもよい。そのような更なる回路は例えば、先に説明したように例えば1つ以上のCMUTデバイスの送信及び/又は受信モードを制御するために、1つ以上のCMUTデバイ

10

20

30

40

50

スを制御し、且つ / 或いは 1 つ以上の C M U T デバイスによって生成された信号を処理するための、例えば A S I C と呼ばれる I C とし得る。

【 0 0 7 6 】

本発明の実施形態に従った 1 つ以上の C M U T デバイスは、例えば圧力センシング装置などのセンシング装置に、特に、例えば超音波撮像装置といった医療撮像装置に、有利に組み込まれることができ、C M U T に基づくセンシング素子の集積は、装置の撮像分解能を有意に向上させることができる（これは例えば、人体などの哺乳類の体といった調査される被検体の体内の、例えば腫瘍などの異常といった小さいサイズの対象物の、検出可能性を向上させる）。一実施形態において、このような装置は、各 C M U T デバイスが個々にアドレス指定可能であるマトリクスにて配置された、本発明の実施形態に従った複数の C M U T デバイスを有する。このような装置は、例えば、数百個又は数千個もの、このような個々にアドレス指定可能な C M U T デバイスを有し得る。

10

【 0 0 7 7 】

なお、上述の実施形態は、発明を限定ではなく例示するものであり、当業者は、添付の請求項の範囲を逸脱することなく、これらに代わる実施形態を設計することができるであろう。請求項において、括弧内に置かれた如何なる参照番号も、請求項を限定するものとして解されるべきでない。用語“有する”は、請求項に列挙されたもの以外の要素又はステップの存在を排除するものではない。要素の前に置かれた用語“a”又は“an”は、その要素が複数存在することを排除するものではない。本発明は、幾つかの異なる要素を有するハードウェアによって実装されることができる。複数の手段を列挙するデバイスの請求項において、それらの手段のうちの幾つかが同一のハードウェア品目で具現化されてもよい。特定の複数の手段が相互に異なる従属項に記載されているという単なる事実、それらの手段の組合せが有利に使用され得ないということを示すものではない。

20

【 図 1 】

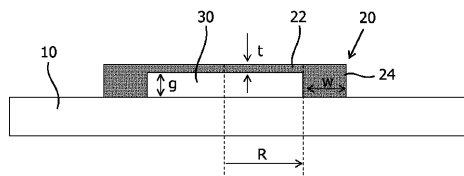


FIG. 1

【 図 2 】

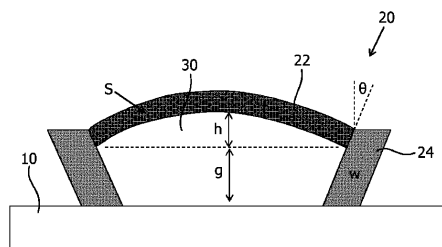


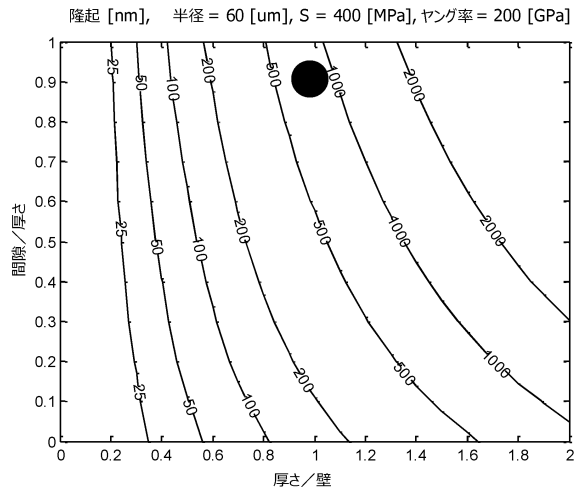
FIG. 2

【 図 3 】

(a)

$$h \sim R \cdot \frac{S}{E} \cdot \frac{t}{w} \left\{ 3 \left(\frac{g}{t} + \frac{1}{2} \right)^2 \left(\frac{t}{w} \right)^2 + \left(\frac{g}{t} + \frac{1}{2} \right) \left(\frac{g}{t} + 1 \right) \right\}$$

(b)



【 図 4 - 1 】

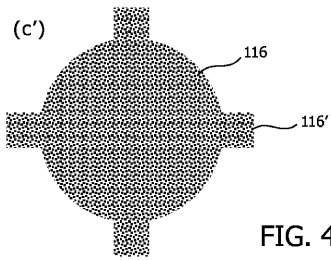
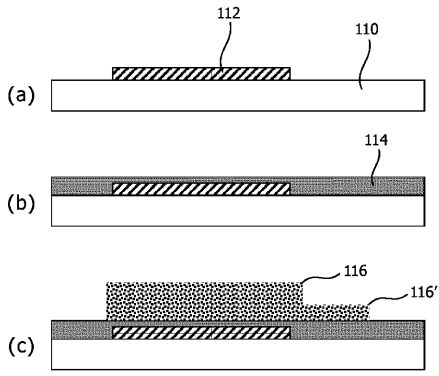
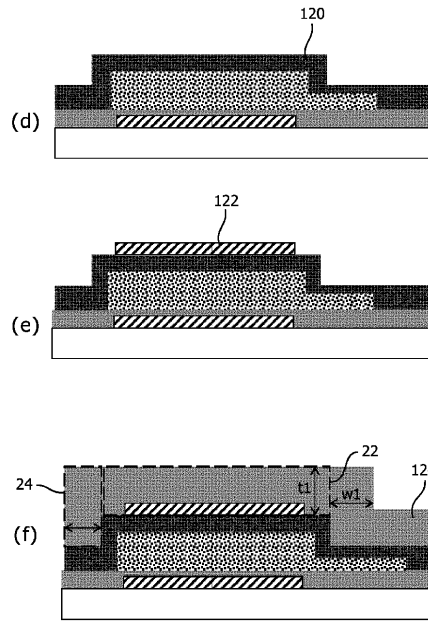


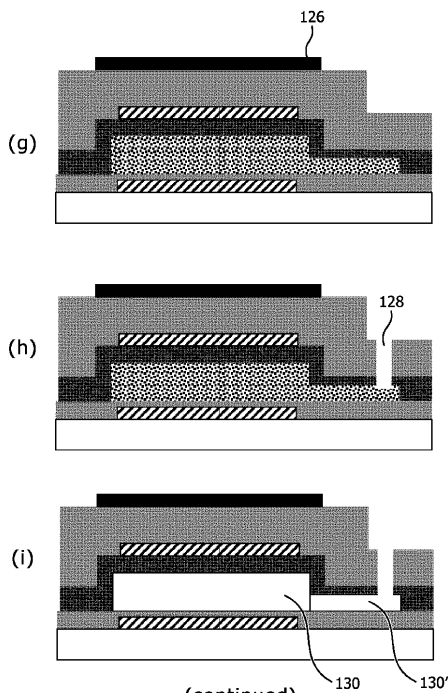
FIG. 4

【 図 4 - 2 】



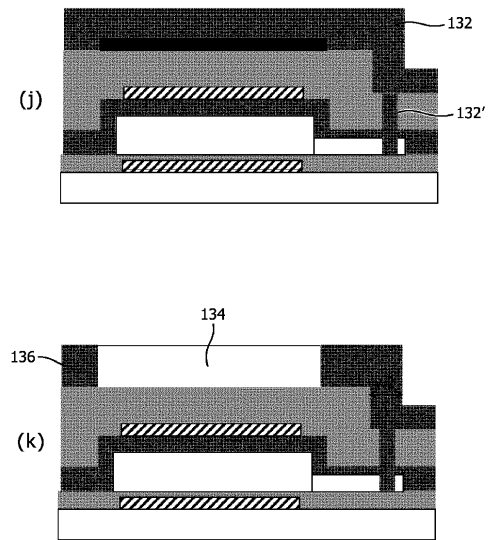
(continued)
FIG. 4

【 図 4 - 3 】



(continued)
FIG. 4

【 図 4 - 4 】



(continued)
FIG. 4

【 図 5 】

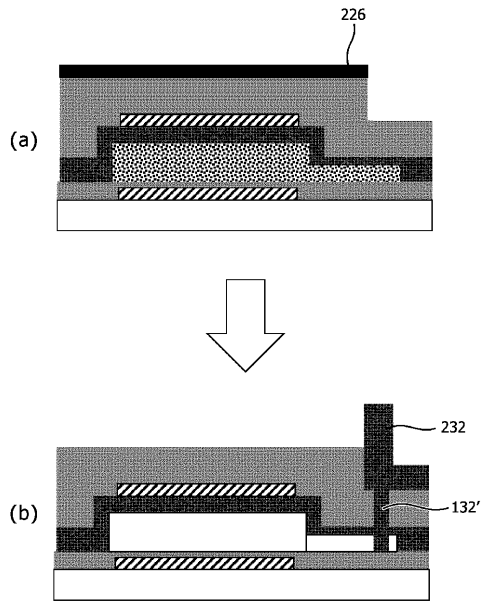


FIG. 5

【 図 6 】

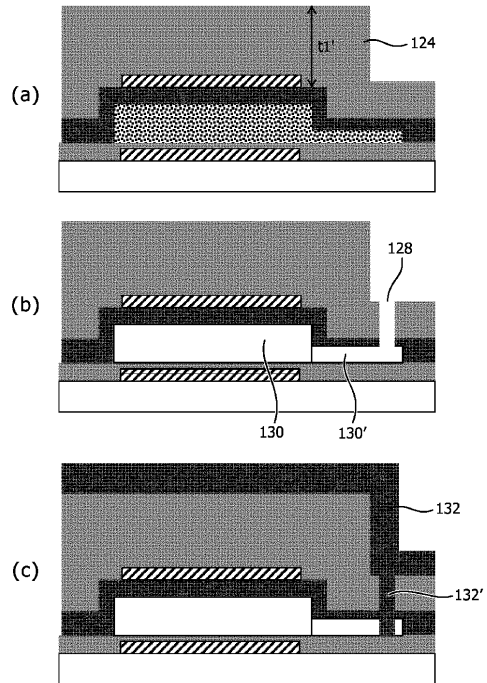
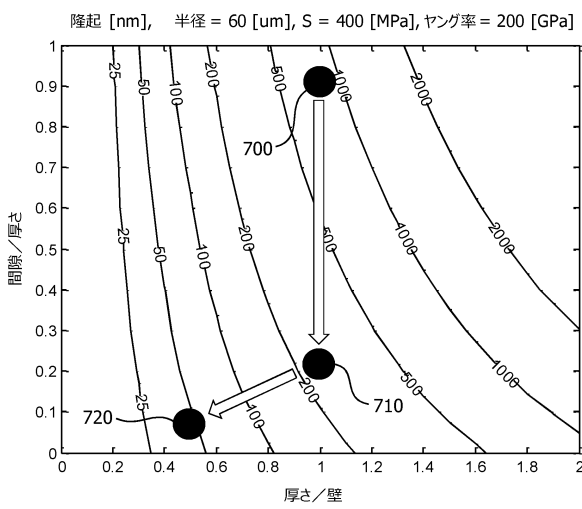


FIG. 6

【 図 7 】



【 図 8 】

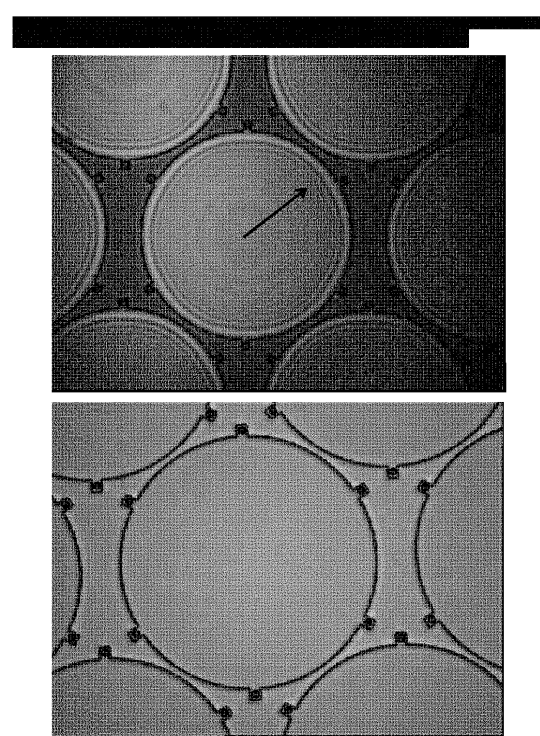
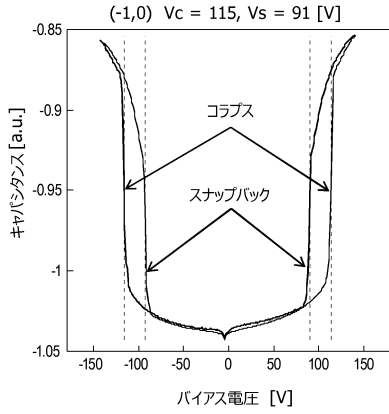
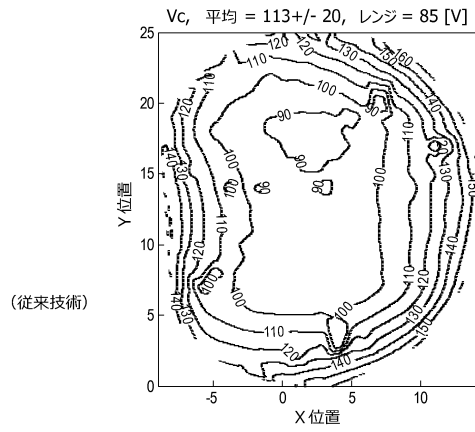


FIG. 8

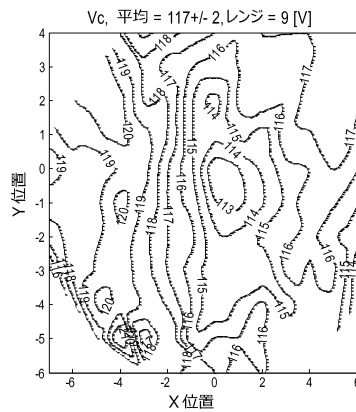
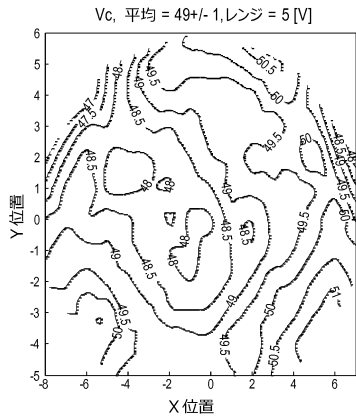
【図9】



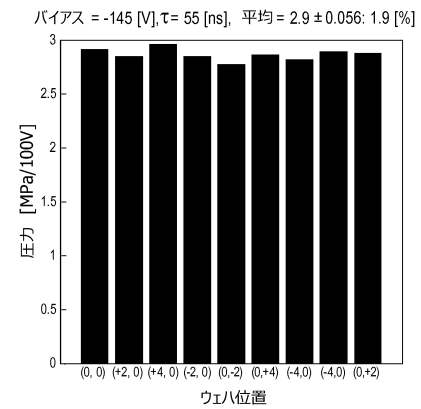
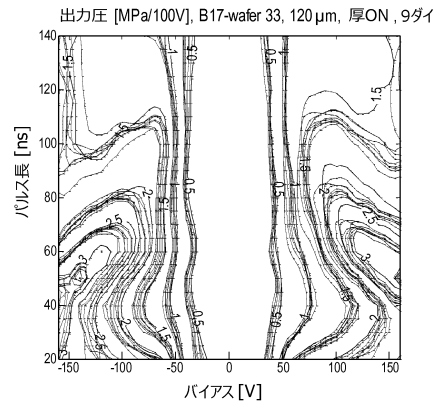
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
 H 0 4 R 7/04 (2006.01) H 0 4 R 19/00 3 3 0
 H 0 4 R 7/04

(74)代理人 100091214

弁理士 大貫 進介

(72)発明者 ディルクセン, ペーテル

オランダ国, 5 6 5 6 アーエー アインドーフエン, ハイ・テク・キャンパス 5

(72)発明者 ミュルデル, マルセル

オランダ国, 5 6 5 6 アーエー アインドーフエン, ハイ・テク・キャンパス 5

(72)発明者 レーウエステイン, アドリアーン

オランダ国, 5 6 5 6 アーエー アインドーフエン, ハイ・テク・キャンパス 5

審査官 大石 剛

(56)参考文献 特表2015-508625(JP,A)
 国際公開第2013/005486(WO,A1)
 特開2005-207959(JP,A)
 特開2013-065983(JP,A)
 特開2008-213057(JP,A)
 特開2010-263444(JP,A)
 特表2008-510324(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B 8 1 B 3 / 0 0
 B 8 1 C 1 / 0 0
 H 0 1 L 2 9 / 8 4
 H 0 4 R 7 / 0 4
 H 0 4 R 1 9 / 0 0
 H 0 4 R 3 1 / 0 0