

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5921079号
(P5921079)

(45) 発行日 平成28年5月24日(2016.5.24)

(24) 登録日 平成28年4月22日(2016.4.22)

(51) Int. Cl.		F I			
HO4R	19/00	(2006.01)	HO4R	19/00	330
HO4R	31/00	(2006.01)	HO4R	31/00	330
B81B	3/00	(2006.01)	B81B	3/00	

請求項の数 38 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2011-84673 (P2011-84673)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成23年4月6日(2011.4.6)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2012-222514 (P2012-222514A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成24年11月12日(2012.11.12)	(74) 代理人	100126240
審査請求日	平成26年4月7日(2014.4.7)		弁理士 阿部 琢磨
		(74) 代理人	100124442
			弁理士 黒岩 創吾
		(72) 発明者	富吉 俊夫
			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
		(72) 発明者	虎島 和敏
			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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電気機械変換装置及びその作製方法

(57) 【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第一の電極と、

前記第一の電極と間隙を隔てて、該第一の電極と対向するように設けられている振動膜とを備える電気機械変換装置であって、

前記振動膜は、メンブレンと、第二の電極とを、前記間隙側に前記メンブレンが位置するように備え、且つ前記第一の電極は、表面粗さの二乗平均平方根値が6nm以下であることを特徴とする電気機械変換装置。

【請求項2】

前記第一の電極の表面粗さが、前記振動膜の表面形状に反映されてい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。

【請求項3】

前記振動膜の表面粗さが、前記第一の電極の表面粗さと同程度であ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。

【請求項4】

前記第一の電極は、第一の絶縁膜を介して前記基板上に形成されていることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の電気機械変換装置。

【請求項5】

前記第一の電極上には第二の絶縁膜が形成され、前記第二の絶縁膜と前記メンブレンと

の間に前記間隙が形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の電気機械変換装置。

【請求項 6】

前記メンブレンは、前記第二の電極の前記間隙側に形成された第一のメンブレンであり、前記第二の電極の前記間隙側の面とは反対側の面には、第二のメンブレンが形成されており、前記第一のメンブレンと、前記第二の電極と、前記第二のメンブレンと、で振動膜を構成することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の電気機械変換装置。

【請求項 7】

前記第一の電極は、チタン又はチタンを含む合金を有することを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の電気機械変換装置。

10

【請求項 8】

前記第一の電極は、10 nm 以上 100 nm 以下の厚みであることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の電気機械変換装置。

【請求項 9】

前記第一の電極はタンゲステンを有することを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の電気機械変換装置。

【請求項 10】

前記基板はシリコン基板を有することを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の電気機械変換装置。

【請求項 11】

20

前記第一の電極は、第一の絶縁膜を介して前記基板上に形成され、前記第一の絶縁膜は酸化シリコンを有することを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の電気機械変換装置。

【請求項 12】

前記第一の電極上には第二の絶縁膜が形成され、前記第二の絶縁膜と前記メンブレンとの間に前記間隙が形成され、前記第二の絶縁膜は酸化シリコンを有することを特徴とする請求項 1 乃至 11 のいずれか 1 項に記載の電気機械変換装置。

【請求項 13】

前記メンブレンは、窒化シリコンを有することを特徴とする請求項 1 乃至 12 のいずれか 1 項に記載の電気機械変換装置。

30

【請求項 14】

前記電気機械変換装置は、複数のセル構造を有するエレメントを有し、前記複数のセル構造の各々が前記第一の電極と前記振動膜とを有することを特徴とする請求項 1 乃至 13 のいずれか 1 項に記載の電気機械変換装置。

【請求項 15】

前記電気機械変換装置は、複数の前記エレメントを有し、前記第一の電極または前記第二の電極からの電気信号が前記複数のエレメント毎に分離して出力されることを特徴とする請求項 14 に記載の電気機械変換装置。

【請求項 16】

請求項 1 乃至 15 のいずれか 1 項に記載の電気機械変換装置を有する装置であって、さらに電圧印加手段を有し、前記電気機械変換装置が超音波を受信して電流を出力するように、前記電圧印加手段は前記第一の電極及び前記第二の電極間に電圧を印加することを特徴とする装置。

40

【請求項 17】

請求項 1 乃至 15 のいずれか 1 項に記載の電気機械変換装置と電圧印加手段とを有する装置であって、前記電気機械変換装置が超音波を送信するように前記電圧印加手段は前記第一の電極に DC 電圧を印加し、前記第二の電極に AC 電圧を印加することを特徴とする装置。

【請求項 18】

請求項 1 乃至 15 のいずれか 1 項に記載の電気機械変換装置と電圧印加手段とを有する

50

装置であって、前記電気機械変換装置が超音波を送信するように前記電圧印加手段は前記第二の電極にDC電圧を印加し、前記第一の電極にAC電圧を印加することを特徴とする装置。

【請求項19】

電気機械変換装置の作製方法であって、
 基板上に第一の電極を形成する工程と、
 前記第一の電極上に犠牲層を形成する工程と、
 前記犠牲層上にメンブレンを形成する工程と、
 前記メンブレン上に第二の電極を形成する工程と、
 前記メンブレンにエッチングホールを形成し、前記エッチングホールを介して前記犠牲層を除去する工程と、を有し、
 前記第一の電極の表面粗さの二乗平均平方根値が6nm以下となるよう前記第一の電極を形成すること特徴とする電気機械変換装置の作製方法。

【請求項20】

前記基板上に第一の絶縁膜を形成し、前記第一の絶縁膜上に前記第一の電極を形成する工程を有することを特徴とする請求項21に記載の電気機械変換装置の作製方法。

【請求項21】

前記第一の電極上に第二の絶縁膜を形成し、前記第二の絶縁膜上に前記犠牲層を形成する工程を有することを特徴とする請求項21又は22に記載の電気機械変換装置の作製方法。

【請求項22】

前記犠牲層上に第一のメンブレンを形成する工程と、
 前記第二の電極上に第二のメンブレンを形成する工程と、を有することを特徴とする請求項19乃至21のいずれか1項に記載の電気機械変換装置の作製方法。

【請求項23】

前記エッチングホールを封止する工程を有し、
 前記エッチングホールを封止する工程は、前記第二のメンブレンを形成する工程と同一工程であることを特徴とする請求項22に記載の電気機械変換装置の作製方法。

【請求項24】

前記第一の電極はチタン又はチタンを含む合金を有することを特徴とする請求項19乃至23のいずれか1項に記載の電気機械変換装置の作製方法。

【請求項25】

前記第一の電極を10nm以上100nm以下の厚みに形成することを特徴とする請求項19乃至24のいずれか1項に記載の電気機械変換装置の作製方法。

【請求項26】

前記第一の電極はタングステンを有することを特徴とする請求項19乃至25のいずれか1項に記載の電気機械変換装置の作製方法。

【請求項27】

前記基板はシリコン基板を有することを特徴とする請求項19乃至26のいずれか1項に記載の電気機械変換装置の作製方法。

【請求項28】

前記基板上に第一の絶縁膜を形成し、前記第一の絶縁膜上に前記第一の電極を形成する工程を有し、前記第一の絶縁膜は酸化シリコンを有することを特徴とする請求項19乃至27のいずれか1項に記載の電気機械変換装置の作製方法。

【請求項29】

前記第一の電極上に第二の絶縁膜を形成し、前記第二の絶縁膜上に前記犠牲層を形成する工程を有し、前記第二の絶縁膜は酸化シリコンを有することを特徴とする請求項19乃至28のいずれか1項に記載の電気機械変換装置の作製方法。

【請求項30】

前記メンブレンは、窒化シリコンを有することを特徴とする請求項19乃至29のいずれ

れか 1 項に記載の電気機械変換装置の作製方法。

【請求項 3 1】

前記第一の電極を形成する工程は、スパッタリングによって形成する工程であることを特徴とする請求項 1 9 乃至 3 0 のいずれか 1 項に記載の電気機械変換装置の作製方法。

【請求項 3 2】

複数の素子を含み構成される静電容量型の電気機械変換装置であって、
前記複数の素子は、それぞれ複数のセルを備えており、
前記セルは、
第一の電極と、
前記第一の電極と間隙を隔てて設けられている第二の電極と、
前記第二の電極の前記間隙側に設けられており、且つ超音波の受信によって前記第一及び第二の電極間距離が変化するように構成されているメンブレンと、を備え、
前記第一の電極の表面粗さの二乗平均平方根値が 6 nm 以下であることを特徴とする静電容量型の電気機械変換装置。

10

【請求項 3 3】

前記第二の電極の前記間隙側の面及び前記間隙とは反対側の面に前記メンブレンが設けられていることを特徴とする請求項 3 2 に記載の電気機械変換装置。

【請求項 3 4】

前記第一の電極は、前記複数の素子間で共通して用いられる共通電極であることを特徴とする請求項 3 2 または 3 3 に記載の電気機械変換装置。

20

【請求項 3 5】

前記第一の電極の積層方向の厚さは、10 nm 以上 100 nm 以下であることを特徴とする請求項 3 2 乃至 3 4 のいずれか 1 項に記載の電気機械変換装置。

【請求項 3 6】

前記第一の電極はシリコン酸化膜を介して前記間隙に面しており、且つ前記メンブレンは窒化シリコン膜を含み構成されていることを特徴とする請求項 3 2 乃至 3 5 のいずれか 1 項に記載の電気機械変換装置。

【請求項 3 7】

前記第二の電極の前記間隙とは反対側に、窒化シリコン膜が設けられていることを特徴とする請求項 3 2 乃至 3 6 のいずれか 1 項に記載の電気機械変換装置。

30

【請求項 3 8】

前記第一の電極の、 $5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$ のエリアの表面粗さの二乗平均平方根値が 6 nm 以下であることを特徴とする請求項 3 2 乃至 3 7 のいずれか 1 項に記載の電気機械変換装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電気機械変換装置及びその作製方法に関する。特に、超音波トランスデューサとして用いられる電気機械変換装置及びその作製方法に関する。

【背景技術】

40

【0002】

マイクロマシニング技術によって作製される CMUT (Capacitive Micromachined Ultrasonic Transducer) 等の電気機械変換装置は、圧電素子の代替品として研究されている。このような静電容量型の電気機械変換装置は、振動膜の振動により超音波を送信、受信することができる。

【0003】

CMUT の作製方法として、特許文献 1 には、犠牲層エッチングによりキャビティを作製する方法が記載されている。特許文献 1 では、上部電極が犠牲層エッチング時にエッチングされないようにするために、第一のメンブレンと第二のメンブレンとの間に第二の電極を形成し、犠牲層をエッチングする。

50

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】米国特許出願公開第2005/0177045号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献1に記載の作製方法のように、CMUTは、基板上に下部電極や絶縁膜、上部電極、メンブレンが順次繰り返し積層される。この複数膜の成膜の際、膜の厚みがばらつくことが考えられる。膜の厚みがセル毎、素子毎にばらつくと、セル毎、素子毎に周波数特性が変わってしまう。そこで、本発明は、セル毎、素子毎の周波数特性のばらつきを低減することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の電気機械変換装置は、基板と、前記基板上に形成された第一の電極と、前記第一の電極と間隙を隔てて形成されたメンブレンと、前記メンブレン上に形成され前記第一の電極と対向する第二の電極と、を有する振動膜と、を備える電気機械変換装置であって、前記第一の電極は、表面粗さの二乗平均平方根値が6nm以下である。

【0007】

本発明の電気機械変換装置の作製方法は、基板上に第一の電極を形成する工程と、前記第一の電極上に犠牲層を形成する工程と、前記犠牲層上にメンブレンを形成する工程と、前記メンブレン上に第二の電極を形成する工程と、前記メンブレンにエッチングホールを形成し、前記エッチングホールを介して前記犠牲層を除去する工程と、と、を有し、前記第一の電極の表面粗さの二乗平均平方根値が6nm以下となるよう前記第一の電極を形成する。

20

【発明の効果】

【0008】

本発明により、第一の電極の表面状態を適正化することで、セル毎、素子毎の周波数特性のばらつきを低減することができる。

【図面の簡単な説明】

30

【0009】

【図1】本発明の実施例1が適用できる電気機械変換装置を説明するための模式図である。

【図2】本発明の実施例1の適用できる電気機械変換装置の作製方法を説明するため工程図である。

【図3】(a)第一の電極の膜厚と表面粗さとの関係を示したグラフ。(b)振動膜の振動特性と第一の電極の表面粗さとの関係を示したグラフ。

【図4】(a)本発明の実施例2が適用できる電気機械変換装置を説明するための模式図である。

【発明を実施するための形態】

40

【0010】

本発明の発明者らは、振動膜の周波数特性が、基板上に形成される各層の厚みばらつきにより変わってくることに着目した。特に、素子を作製する初期の工程である第一の電極の成膜工程が重要であることを着目した。複数の膜を積層して作製される電気機械変換装置は、第一の電極の形成工程以降の工程では、第一の電極の表面形状を反映した表面形状の膜を得ることができる。この点から、本発明者らは、第一の電極の表面粗さと振動膜の周波数特性とが、一定の関係にあることを見出した。

【0011】

この関係より、本発明は、第一の電極の表面粗さの二乗平均平方根値が6nm以下であることを特徴とする。以下、本発明の実施の形態について図面を用いて説明する。

50

【 0 0 1 2 】

(電気機械変換装置の構成)

図 1 (a) は、本発明の電気機械変換装置の 1 つの素子 1 の上面図である。図 1 (b) は、図 1 (a) の一点鎖線で囲まれたセル構造 2 における A - B 断面図を示している。本実施形態の素子 1 は、電氣的に接続された複数のセル構造 2 を有する。図 1 (a) では、1 つの素子 1 のみ記載しているが、複数の素子 1 で構成しても構わない。また、図 1 (a) では、素子 1 は、9 個のセル構造 2 を配列して構成されているが、個数はいくつであっても構わない。また、セル構造が正方格子状に配列されているが、千鳥に配列されていてもよくどのように配置されていても良い。セル構造の形状は、図 1 では円形であるが、四角形または六角形などであっても構わない。

10

【 0 0 1 3 】

図 1 (b) はセル構造 2 における断面図を示している。セル構造 2 は、基板 1 1、基板 1 1 上に形成される第一の絶縁膜 1 2、第一の電極 1 3、第二の絶縁膜 1 4 を有する。さらに、セル構造 2 は、第一のメンブレン 1 6 と第二の電極 1 7 と第二のメンブレン 1 8 とで構成される振動膜を有している。第一のメンブレン 1 6 は、間隙側 (キャビティ 1 5 側) のメンブレンであり、メンブレン支持部 1 9 により支持されている。第二のメンブレン 1 8 は、キャビティ 1 5 とは反対側のメンブレンである。振動膜は、第二の絶縁膜と間隙であるキャビティ 1 5 を隔てて配置されている。第一の電極 1 3 と第二の電極 1 7 とはキャビティを隔てて対向しており、第一の電極 1 3 と第二の電極 1 7 との間には、不図示の電圧印加手段により電圧が印加される。

20

【 0 0 1 4 】

また、電気機械変換装置は、引き出し配線 6 を用いることで、第二の電極 1 7 から素子毎に電気信号を引き出すことができる。ただし、本実施形態では、引き出し配線 6 により電気信号を引き出しているが、貫通配線等を用いてもよい。また、本実施の形態では、第一の電極 1 3、第二の電極 1 7 とともに素子毎に配置しているが、第一の電極 1 3 と第二の電極 1 7 のどちらか一方を共通電極としても良い。共通電極とは、複数の素子を有する場合に、複数の素子全てで電氣的に接続されている電極を示す。この場合においても、第一の電極 1 3 と第二の電極 1 7 のうちどちらか一方が素子毎に分離されていれば、素子毎の電気信号を取り出すことができる。

【 0 0 1 5 】

(電気機械変換装置の駆動原理)

本発明の駆動原理を説明する。電気機械変換装置で超音波を受信する場合、図示しない電圧印加手段で、第一の電極と第二の電極との間に電位差が生じるように、第一の電極 1 3 に直流電圧を印加しておく。超音波を受信すると、第二の電極 1 7 を有する振動膜が撓むため、第二の電極 1 7 と第一の電極 1 3 との間隔 (キャビティ 1 5 の深さ方向の距離) が変わり、静電容量が変化する。この静電容量変化によって、引き出し配線 6 に電流が流れる。この電流を図示しない電流 - 電圧変換素子によって電圧に変換し、超音波の受信信号とする。上述したように、引き出し配線の構成を変更することによって、第二の電極 1 7 に直流電圧を印加し、第一の電極 1 3 から素子毎に電気信号を引き出してもよい。

30

【 0 0 1 6 】

また、超音波を送信する場合、第一の電極 1 3 に直流電圧を、第二の電極 1 7 に交流電圧を印加し、静電気力によって振動膜を振動させることができる。この振動によって、超音波を送信することができる。超音波を送信する場合も、引き出し配線の構成を変更することによって、第二の電極 1 7 に直流電圧を、第一の電極 1 3 に交流電圧を印加し、振動膜を振動させてもよい。また、第一の電極あるいは、第二の電極に直流電圧と交流電圧を印加し、静電気力によって振動膜を振動させることもできる。

40

【 0 0 1 7 】

(振動膜の周波数特性と第一の電極の表面粗さとの関係)

上述したように、本発明は、第一の電極の表面粗さの二乗平均平方根値が 6 nm 以下であることを特徴とする。以降では、振動膜の周波数特性と第一の電極の表面粗さとの関係

50

について図3を用いて説明する。ここでいう表面粗さは、AFM (Atomic Force Microscope: 原子間力顕微鏡) を用いて測定し、その値はRms (Roughness Root Mean Square: 二乗平均平方根粗さ) で示すものとする。Rmsの測定面積は、 $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ である。また、測定の際に用いたAFMは、VEECO Instruments社製Nanoscope Dimension 3000である。また、測定対象の電気機械変換装置は、第一の電極13の厚みを変化させた以外は、後述の実施例1の電気機械変換装置と同様の構成である。

【0018】

図3(a)は、第一の電極13の電極としてチタンを用い、第一の電極13の膜厚と表面粗さとの関係を示したグラフである。RFパワーを550Wと固定し、チタンの膜厚を50nmから200nmまで増加させて、Rmsを測定した結果を示している。図3(b)は、振動膜の周波数特性と第一の電極13の表面粗さとの関係を示したグラフである。図3(a)と同様にチタンの膜厚を50nmから200nmまで増加させて、振動膜の周波数特性を測定した際の結果を示している。

【0019】

図3(b)では、周波数特性のばらつきを評価するにあたって、Q値との関係を示している。Q値とは、振動の状態を現す無次元数である。振動膜の共振周波数を半値幅で割った値であり、その値が高いほどアレイ化したセル構造2の個々の振動膜の周波数特性が揃っていることを示している。すなわちセル構造2の振動膜の形状および電極間距離などにばらつきが少ないことを示している。

【0020】

周波数特性はAgilent社製インピーダンスアナライザ4294Aを用いて測定した。その結果、Q値は、第一の電極の表面粗さが6nm以下では200以上の高い値を示しており、6nmより大きな範囲では、急激にQ値が減少している。Q値が200以上の領域で一部傾きの異なる曲線になっているのは、インピーダンスアナライザの分解能が十分ではないためだと思われる。

【0021】

図3(b)より、周波数特性のばらつきが小さい振動膜を得るには、第一の電極の表面粗さが重要であり、その表面粗さが6nm以下の範囲と6nmより大きな範囲とでは、Q値が大きく変化することが分かった。この関係は、第一の電極の材料によらない。以上より、第一の電極の表面粗さの二乗平均平方根値が6nm以下であることにより、セル毎、素子毎に周波数特性ばらつきの少ない振動膜とすることができる。また、第一の電極の表面粗さは小さければ小さいほどよい。

【0022】

また、第一の電極としてチタンを用いた場合、図3(a)で示したように、膜厚を変化させると、チタン厚が100nm近傍で変曲点を示し、表面粗さが急に増加している。また、チタン厚が200nm近傍でもまた変曲点を持ち、表面粗さの増加が鈍くなっている結果が得られている。これは、成膜メカニズムにおいて、成膜面はある膜厚以下では2次元成長し、急に3次元成長へと移行し、2次元及び3次元成長の混在した成長が行われると思われる。この傾向は、チタンだけでなく、TiWなどチタンを含む合金も同様の物性を示す。この結果より、本発明の第一の電極としてチタン又はチタンを含む合金を用いた場合、膜厚は100nm以下であることが好ましい。また、成膜の際、アイランド状から膜状になるのは、膜厚10nm以上であるため、チタンの膜厚の下限値としては10nm以上であることが好ましい。よって、本発明の第一の電極は、10nm以上100nm以下の厚みが好ましい。

【0023】

(電気機械変換装置の作製方法)

次に、本発明の電気機械変換装置の作製方法について図2を用いて説明する。図2は、図1(a)(b)に示した電気機械変換装置を作製するための工程図である。図2(a)に示すように基板11上に第一の絶縁膜12を形成する。基板11がシリコン基板のよう

10

20

30

40

50

な導電性を有する基板の場合、第一の絶縁膜12は基板11と第一の電極13との絶縁を目的として形成している。よって、基板11がガラス基板のような絶縁性基板の場合、絶縁膜12は必要としない。基板11は、できる限り表面粗さの小さな基板が望ましい。

【0024】

次に、図2(b)に示すように、第一の絶縁膜上に第一の電極13を形成する。上述したように、第一の電極13は、表面粗さの二乗平均平方根値が6nm以下となるように形成する。積層により作製する方法では、膜の表面粗さは次の膜へと反映されるため、初期工程における表面粗さを小さく抑制することは重要である。特に表面粗さが大きくなりやすい金属膜の成膜工程において、表面粗さを小さくすることにより特性ばらつきを抑制することが重要である。本発明では、第一の電極13を上記表面粗さの範囲で作製することにより、本工程以降の工程において、積層膜に次々に表面粗さが反映されたとしても、振動膜の周波数特性のばらつきが大きくなることを抑制することができる。第一の電極13の材料としては、高い導電性、高温耐性、高い平滑性を有するチタン、チタン合金等が好ましい。

10

【0025】

次に、図2(c)に示すように、第一の電極上に第二の絶縁膜14を形成する。第二の絶縁膜14は、第一の電極と第二の電極との間に電圧が印加された場合の第一の電極と第二の電極間の電氣的短絡あるいは絶縁破壊を防止するために形成する。低電圧で駆動する場合は、第一のメンブレンが絶縁体であるため、第二の絶縁膜14は形成しなくともよい。第二の絶縁膜14の表面粗さが大きい場合、表面粗さによる第一の電極と第二の電極間の距離が、各セル間、各素子間でばらついてしまうため、第二の絶縁膜も表面粗さが小さい材料が望ましい。例えば、窒化シリコン膜、シリコン酸化膜等である。

20

【0026】

次に、図2(d)に示すように、第二の絶縁膜上に犠牲層25を形成する。犠牲層25は、キャビティの形状(深さ)を決定する一つとなるため、エッチング時に粒界や結晶異方性の影響が少ない材料であり、さらに他の構成材料とのエッチング選択性が高い材料が望ましい。また、エッチング時間を短くするために、エッチング速度の速い材料が望ましい。また、表面粗さが小さい材料が望ましい。第一の電極と同様に、犠牲層の表面粗さが大きい場合、表面粗さによる第一の電極と第二の電極間の距離が、各セル間、各素子間でばらついてしまうため、表面粗さが小さい犠牲層が望ましい。例えば、クロム、モリブデンなどである。

30

【0027】

次に、図2(e)に示すように、犠牲層上に第一のメンブレン16を形成する。メンブレン支持部は、この第一のメンブレン16と同一工程により形成される。第一のメンブレン16は、低い引張り応力が望ましい。例えば、0MPaより大きく300MPa以下の引張り応力がよい。窒化シリコン膜はPE-CVD(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition: 気相化学成膜)法を用いて応力制御が可能であり、低い引張り応力を得ることができる。第一のメンブレン16が圧縮応力を有する場合、スティッキングあるいは座屈を引き起こし、振動膜が大きく変形する可能性がある。スティッキングとは、第一のメンブレン16が第一の電極側に付着してしまうことである。また、大きな引張り応力の場合、第一のメンブレンが破壊されることもある。従って、第一のメンブレン16は、低い引張り応力が望ましい。

40

【0028】

次に、図2(f)に示すように、第二の電極17を形成し、さらにエッチングホール(不図示)を形成する。その後、エッチングホールを介して、犠牲層25を除去しキャビティを形成する。第二の電極17は、残留応力が小さく、耐熱性、犠牲層エッチングに対するエッチング耐性を有する材料が望ましい。また、後工程の第二のメンブレンを成膜する際の温度等によって、変質、応力の増加を引き起こさない材料が望ましい。また、エッチング選択比が小さい場合、犠牲層をエッチングする際に、第二の電極17を保護が必要があり、ばらつきの原因となる。したがって犠牲層エッチングにおける耐性を有する材料が望

50

ましい。例えば、チタンまたはチタンの合金等である。

【0029】

次に、図2(g)に示すように、第二のメンブレン18を形成する。本工程では、第二のメンブレン18を形成する工程と、エッチングホールを封止する工程とを同一工程で行う。つまり、本工程により、第二の電極上(第二の電極のキャビティとは反対側の面上)に第二のメンブレン18を形成することで、所望のばね定数を有する振動膜を形成することができ、エッチングホールを封止する封止部を形成することができる。

【0030】

第二のメンブレン18を形成した後に、エッチングホールを形成し、エッチングホールを封止した場合、エッチングホールを封止するための膜が第二のメンブレン上に堆積する。この堆積した膜を除去するために、エッチングを行うと振動膜の厚さばらつきや応力ばらつきが発生する。一方、本工程のように、エッチングホールの封止工程と第二のメンブレン18を形成する工程が同じであるため、振動膜は成膜工程だけで形成することができる。

10

【0031】

また、第二のメンブレン18は、低い引張り応力を有する材料が望ましい。第一のメンブレン16と同様に、第二のメンブレン18が圧縮応力を有する場合、第一のメンブレン16がスティッキングあるいは座屈を引き起こし、大きく変形する可能性がある。また、大きな引張り応力の場合、第二のメンブレン18が破壊されることもある。従って、第二のメンブレン18は、低い引張り応力が望ましい。窒化シリコン膜はPE-CVDを用いて応力制御が可能であり、低い引張り応力を得ることができる。

20

【0032】

本工程の後、図示しない工程により、第一の電極や第二の電極から電気的接続をし易いように引き出し配線を形成する。配線材料は導電性が高くアセンブリに適した材料が望ましく、例えばアルミ等である。

【0033】

本作製方法により電気機械変換装置を作製することによって、振動膜の周波数特性のばらつきを低減することができる。また、この作製方法で作製した電気機械変換装置は、振動膜を成膜工程のみで形成することができるため、振動膜の厚みばらつきを低減できるため、電気機械変換装置のセル毎、素子毎の感度、帯域のばらつきを低減することができる。

30

【0034】

(本発明の好ましい形態)

本発明において基板は、半導体基板、ガラス基板、セラミック基板並びにそれらの複合的基板等、どのような基板を用いても良い。基板11がガラス基板などの絶縁体である場合、第一の絶縁膜12は無くても構わない。特に本発明では、上述したように、基板11としてシリコン基板を用い、第一の絶縁膜12として熱酸化膜を用いることが好ましい。特に平滑性の高い基板として熱酸化膜を有するシリコン基板が好ましい。

【0035】

第一の電極13は、チタンもしくはチタンの合金を用いることが好ましい。スパッタ装置においてRFパワーを制御することで、第一の電極に用いられるチタン膜の表面粗さを精度よく制御することができる。チタンは高い熱耐性を有しているため、以降の工程において高温による変形や変質などを防止することができる。また、積層工程によって表面粗さは次の膜へと反映されるため、初期工程における表面粗さを小さく抑制することは重要である。

40

【0036】

第二の絶縁膜14は、酸化シリコンが好ましい。PE-CVDで形成された酸化シリコン膜は、絶縁性や平滑性が高く、またステップカバレッジ性に優れている。第一の電極13と第二の電極17との間には、高電圧が印加されるため、絶縁性やステップカバレッジ性に優れた酸化シリコン膜は、以降の工程に小さな表面粗さを提供することもできるため

50

、望ましい。

【0037】

第一のメンブレン16と第二のメンブレン18は窒化シリコンが好ましい。PE-CVD法を用いて形成された窒化シリコン膜は、一般的に引っ張り応力を得ることができる。窒化シリコン膜の残留応力による振動膜の大きな変形を防止するためには、引っ張り応力かつ低応力値であることが、望ましい。本発明の電気機械変換装置は、第二の電極17が第一のメンブレン16と第二のメンブレン18との間に形成されている。第二の電極17が第二のメンブレン18上に形成される場合と比べ、第一の電極と第二の電極との距離を小さくできるため、変換効率を高くすることができる。

【0038】

ここでの変換効率とは、振動膜の振動を電気信号に変換する効率のことであり、第一の電極と第二の電極との間の距離が小さいほど変換効率が高い。また、熱膨張係数の異なる異種の材料の組み合わせで振動膜を構成した場合、バイメタル効果によって振動膜が反ってしまう。しかしながら同種の材料で挟み込んだ構成の第二の電極17が第一のメンブレン16と第二のメンブレン18との間に形成することによって、応力のバランスを取ることができ、振動膜の反りを低減できる。そのため振動膜の大きな変形を防止することができるため、望ましい。

【0039】

第二の電極17は、チタンもしくはチタンの合金が好ましい。チタン又はチタンの合金は、電子ビーム蒸着法を用いて形成することができ、電子ビーム蒸着法を用いて低真空度下で成膜したチタン膜は引っ張り応力を得ることができる。第二の電極17を大きな圧縮応力で形成した場合、第一のメンブレン16上の第二の電極17の応力バランスにより、振動膜が大きな変形を引き起こす可能性があり、振動膜の撓みばらつきが大きくなってしまふ。振動膜の大きな変形を防止するためには、第二の電極17が引っ張り応力かつ低応力値であることが、望ましい。また、チタンは熱耐性が高いため、第二のメンブレンを形成する際の温度による変質を防止することができる。また、チタンは表面粗さも小さくできるため、メンブレンのたわみばらつきを抑制できる。

【0040】

以下、より具体的な実施例を挙げて本発明を詳細に説明する。

【実施例1】

【0041】

以下に、本発明の実施の形態について図1を用いて説明する。図1(a)は、本発明の電気機械変換装置の上面図であり、図1(b)は、図1(a)のA-B断面図である。本発明の素子1は、9つのセル構造2を有している。

【0042】

図1(b)において、300 μ m厚さのシリコン基板である基板11、シリコン基板上に形成される第一の絶縁膜12、第一の絶縁膜12上に形成される第一の電極13、第一の電極13上の第二の絶縁膜14を有する。さらに、第一のメンブレン16、第二のメンブレン18、第二の電極17とで構成される振動膜とを有する。第一のメンブレン16は、支持するメンブレン支持部19により支持され、第一の電極13と第二の電極17とは、キャビティ15を隔てて対向して配置されている。

【0043】

第一の絶縁膜12は、熱酸化により形成した厚さ1 μ mのシリコン酸化膜である。第一の電極13はスパッタ装置を用いて形成し、厚さが50nmのチタンであり、表面粗さはRmsが2nm以下となるよう形成している。第二の絶縁膜14は、PE-CVDにより形成したシリコン酸化膜である。第二の絶縁膜14は、第一の電極13の表面粗さを反映するため、第一の電極13の表面粗さと同程度のRmsの値を有する。本実施例の第一の電極13は素子1の全面に形成している。素子1を複数アレイ状に配列する場合は、第一の電極13を複数の素子すべて電気的に接続される共通電極とし、第二の電極17を素子毎に電気的に分離することで、素子毎に電気信号を取り出すことができる。また、第二の

10

20

30

40

50

電極 17 を共通電極とし、第一の電極 13 を素子毎に分離しても良い。さらに、第一の電極 13、第二の電極 17 とともに素子毎に分離した電極としても良い。

【0044】

第二の電極 17 は電子ビーム蒸着装置を用いて、チタンを形成している。チタンの厚さは 100 nm であり、200 MPa 以下の引張り応力で形成する。第一のメンブレン 16、第二のメンブレン 18 は PE-CVD により作製した窒化シリコン膜であり、100 MPa 以下の引張り応力で形成する。また、第一のメンブレン 16、第二のメンブレン 18 の直径は、45 μm であり、それぞれの厚さは、0.4 μm 、0.7 μm であり、第二の電極 17 の直径は 40 μm である。キャビティの厚さは、0.18 μm である。また、第二のメンブレン 18 の厚さは、キャビティ 15 の厚さの 3 倍程度である。これにより、第二のメンブレン 18 を形成する絶縁膜によりエッチングホールを塞いで、キャビティ 15 を良好に封止することができる。

10

【0045】

また、第一のメンブレン 16 は、第二のメンブレン 18 より薄くし、第二のメンブレン 18 の厚さによりメンブレンのばね定数を所望の値に調整する。これらによって、第二のメンブレン 18 を形成する膜をエッチングすることなく、成膜工程だけで所望のばね定数を有する振動膜を形成することができる。

【0046】

本実施例の電気機械変換装置は、引き出し配線 6 を用いることで、第二の電極 17 から素子毎の電気信号を引き出すことができる。

20

【0047】

電気機械変換装置で超音波を受信する場合、図示しない電圧印加手段で、直流電圧を第一の電極 13 に印加する。超音波を受信すると、第二の電極 17 を有する第一のメンブレン 16 および第二のメンブレン 18 が変形するため、第二の電極 17 と第一の電極 13 との間のキャビティ 15 の距離が変わり、静電容量変化によって、引き出し配線 6 に電流（電気信号）が流れる。この電流を図示しない電流 - 電圧変換素子によって、電圧に変換し、超音波の受信信号とする。

【0048】

また、超音波を送信する場合、第一の電極 13 に直流電圧を、第二の電極 17 に交流電圧を印加し、静電気力によって、振動膜を振動させることができる。これによって、超音波を送信することができる。

30

【実施例 2】

【0049】

以下に、本発明の実施例 2 について図 4 を用いて説明する。図 4 (a) は、本実施例の電気機械変換装置の上面図であり、図 4 (b) は、図 4 (a) の C - D 断面図である。実施例 2 の電気機械変換装置の構成は、第一の電極の形状以外は、実施例 1 とほぼ同様である。

【0050】

図 4 (b) において、300 μm 厚さのシリコン基板 41、シリコン基板 41 上に形成される第一の絶縁膜 42、第一の絶縁膜 42 上に形成される第一の電極 43、第一の電極 43 上の第二の絶縁膜 44 を有する。さらに、第一のメンブレン 46、第二のメンブレン 48、第二の電極 47 とで構成される振動膜を有する。第一のメンブレン 46 はメンブレン支持部 49 により支持されている。第一の電極 43 と第二の電極 47 とは、キャビティ 45 を隔てて対向して配置されている。

40

【0051】

第一の絶縁膜 42 は、熱酸化により形成した厚さ 1 μm のシリコン酸化膜である。第一の電極 43 はスパッタ装置を用いて形成し、厚さが 50 nm のチタンであり、表面粗さは Rms が 2 nm 以下で形成されている。さらに、本実施例では、キャビティ以外の位置で、第一の電極と第二の電極の配線とで形成される不要な寄生容量を低減するために、第一の電極は第二の電極の配線との重なり面積をできるだけ少なくするようにパターニングす

50

る。

【 0 0 5 2 】

フォトリソグラフィーおよびエッチングを用いることによって、図示したように第一の電極 4 3 のチタンは高精度にパターンニングできる。エッチャントに過酸化水素水溶液を含む溶液を用いてエッチングすることによって、構成されている材料とのエッチング選択比が高く取れ、周辺材料に損傷などを与えず表面粗さの変わらない極めて平滑性の高い第一の電極が得られる。このように、第一の電極 4 3 も第二の電極 4 7 とほぼ同じ大きさとし、セル間は細い配線 3 3 で接続する。そして、第一の電極 4 3 の配線 3 3 と第二の電極 4 7 の配線 3 6 とを絶縁膜を介して対向しないように配置することで、寄生容量を低減できる。第二の絶縁膜 4 4 は、PE - CVDにより形成したシリコン酸化膜である。

10

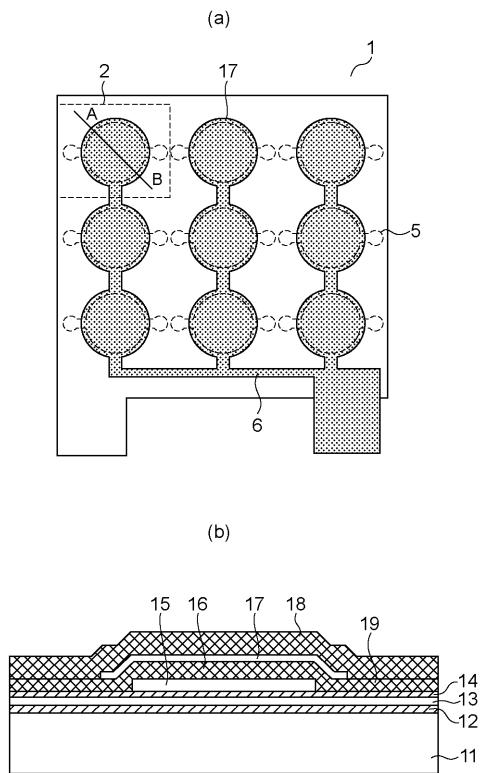
【符号の説明】

【 0 0 5 3 】

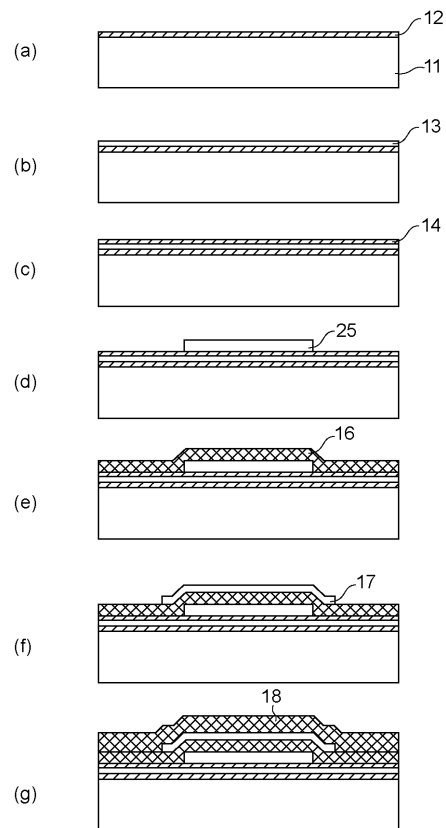
- 1 素子
- 2 セル構造
- 5 エッチングホール
- 6 引き出し配線
- 1 1 基板
- 1 2 第一の絶縁膜
- 1 3 第一の電極
- 1 4 第二の絶縁膜
- 1 5 キャビティ
- 1 6 第一のメンブレン
- 1 8 第二のメンブレン
- 1 9 メンブレン支持部

20

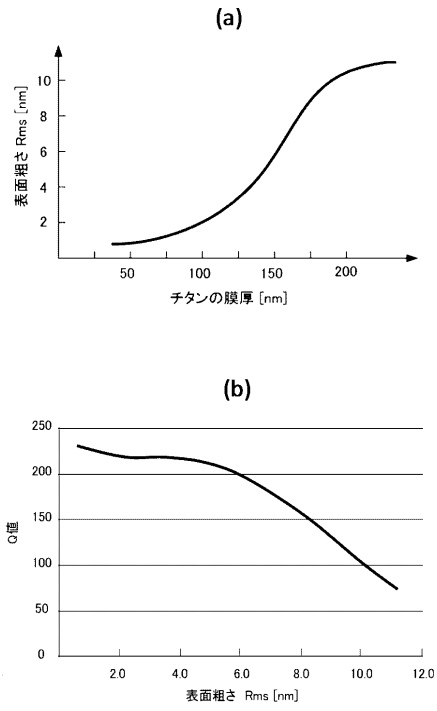
【 図 1 】



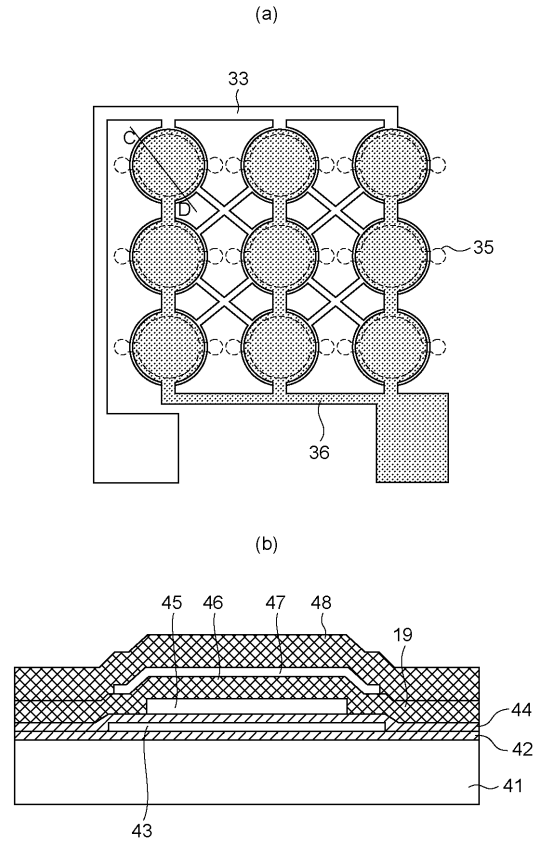
【 図 2 】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(72)発明者 秋山 貴弘
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

審査官 松田 直也

(56)参考文献 特開2007-259165(JP,A)
米国特許出願公開第2007/0222338(US,A1)
特開2010-154734(JP,A)
米国特許出願公開第2010/0123366(US,A1)
特表2007-527285(JP,A)
米国特許出願公開第2005/0200241(US,A1)
特開2010-272956(JP,A)
米国特許出願公開第2012/0058587(US,A1)
特開2009-086469(JP,A)
特開平11-014484(JP,A)
米国特許出願公開第2005/0177045(US,A1)
特表2007-528153(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B81B 3/00
H04R 19/00
H04R 31/00