

(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2005-236337

(P2005-236337A)

(43) 公開日 平成17年9月2日(2005.9.2)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
H04R 19/02	H04R 19/02	5D021
H01L 41/09	H03H 3/02	5J108
H01L 41/22	H03H 9/17	
H03H 3/02	H04R 31/00	
H03H 9/17	H01L 41/08	
	審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 17 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号	特願2001-141845 (P2001-141845)	(71) 出願人	000000206
(22) 出願日	平成13年5月11日 (2001.5.11)		宇部興産株式会社
			山口県宇部市大字小串1978番地の96
		(74) 代理人	100065385
			弁理士 山下 穰平
		(72) 発明者	山田 哲夫
			山口県宇部市大字小串1978番地の5
			宇部興産株式会社宇部研究所内
		(72) 発明者	長尾 圭吾
			山口県宇部市大字小串1978番地の5
			宇部興産株式会社宇部研究所内
		(72) 発明者	橋本 智仙
			山口県宇部市大字小串1978番地の5
			宇部興産株式会社宇部研究所内
		Fターム (参考)	5D021 DD00
			最終頁に続く

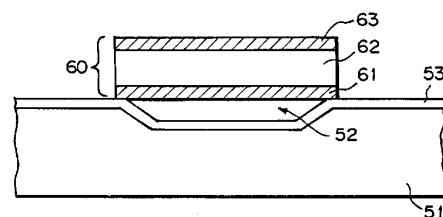
(54) 【発明の名称】 薄膜音響共振器及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】電気機械結合係数及び音響品質係数などに優れた高性能の薄膜音響共振器を提供する。

【解決手段】シリコンウェーハ51の表面に酸化シリコン薄層53の形成された基板に、窪み52が形成されている。窪み52をまたぐように、圧電体層62とその両面に接合された下方電極61及び上方電極63とからなる挟み込み構造体60が配置されている。下方電極61の上面及びこれと接合されている圧電体層62の下面は、高さのRMS変動が50nm以下である。下方電極61の厚さは150nm以下である。

【選択図】 図8



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

圧電体層と、該圧電体層の第 1 の表面に接合された第 1 の電極と、前記圧電体層の前記第 1 の表面と反対側の第 2 の表面に接合された第 2 の電極とを有しており、前記圧電体層の第 1 の表面は高さの R M S 変動が 5 0 n m 以下であることを特徴とする薄膜音響共振器。

【請求項 2】

圧電体層と、該圧電体層の第 1 の表面に接合された第 1 の電極と、前記圧電体層の前記第 1 の表面と反対側の第 2 の表面に接合された第 2 の電極とを有しており、前記第 1 の電極の前記圧電体層の側の表面は高さの R M S 変動が 5 0 n m 以下であることを特徴とする薄膜音響共振器。

10

【請求項 3】

前記圧電体層の前記第 2 の表面は高さの R M S 変動が前記圧電体層の厚さの 5 % 以下であることを特徴とする、請求項 1 ～ 2 のいずれかに記載の薄膜音響共振器。

【請求項 4】

前記第 2 の電極の表面のうねり高さは前記圧電体層の厚さの 2 5 % 以下であることを特徴とする、請求項 1 ～ 3 のいずれかに記載の薄膜音響共振器。

【請求項 5】

前記第 2 の電極は中央部と該中央部より厚い外周部とを有することを特徴とする、請求項 1 ～ 3 のいずれかに記載の薄膜音響共振器。

20

【請求項 6】

前記外周部は前記中央部の周囲に枠状に位置することを特徴とする、請求項 5 に記載の薄膜音響共振器。

【請求項 7】

前記第 2 の電極は前記中央部の厚さ変動が該中央部の厚さの 1 % 以下であることを特徴とする、請求項 5 ～ 6 のいずれかに記載の薄膜音響共振器。

【請求項 8】

前記外周部の厚さは前記中央部の高さの 1 . 1 倍以上であることを特徴とする、請求項 5 ～ 7 のいずれかに記載の薄膜音響共振器。

【請求項 9】

前記外周部は前記第 2 の電極の外縁から 4 0 μ m までの距離の範囲内に位置することを特徴とする、請求項 5 ～ 8 のいずれかに記載の薄膜音響共振器。

30

【請求項 1 0】

前記中央部の表面のうねり高さは前記圧電体層の厚さの 2 5 % 以下であることを特徴とする、請求項 5 ～ 9 のいずれかに記載の薄膜音響共振器。

【請求項 1 1】

前記圧電体層と前記第 1 の電極と前記第 2 の電極とからなる挟み込み構造体は、基板の表面に形成された窪みをまたぐように前記基板により縁部が支持されていることを特徴とする、請求項 1 ～ 1 0 のいずれかに記載の薄膜音響共振器。

【請求項 1 2】

前記基板の表面上には、前記窪みをまたぐように形成された絶縁体層が配置されており、該絶縁体層上に前記挟み込み構造体が形成されていることを特徴とする、請求項 1 1 に記載の薄膜音響共振器。

40

【請求項 1 3】

圧電体層と、該圧電体層の第 1 の表面に接合された第 1 の電極と、前記圧電体層の前記第 1 の表面と反対側の第 2 の表面に接合された第 2 の電極とを有する薄膜音響共振器を製造する方法であって、
基板の表面に窪みを形成し、該窪み内に犠牲層を充填し、該犠牲層の表面を高さの R M S 変動が 5 0 n m 以下となるように研磨し、前記犠牲層の表面の一部の領域と前記基板の表面の一部の領域とにわたってそれらの上に前記第 1 の電極を形成し、該第 1 の電極上に前

50

記圧電体層を形成し、該圧電体層上に前記第2の電極を形成し、前記窪み内から前記犠牲層をエッチング除去することを特徴とする、薄膜音響共振器の製造方法。

【請求項14】

前記第1の電極を厚さ150nm以下に形成し、該第1の電極の上面を高さのRMS変動が50nm以下となるようにすることを特徴とする、請求項13に記載の薄膜音響共振器の製造方法。

【請求項15】

前記犠牲層の上に前記第1の電極を形成するに先立って絶縁体層を形成することを特徴とする、請求項13～14のいずれかに記載の薄膜音響共振器の製造方法。

【発明の詳細な説明】

10

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、圧電体薄膜の電気音響効果を利用した薄膜音響共振器に関するものである。薄膜音響共振器は、通信機用フィルタの構成要素として利用することができる。

【0002】

【従来の技術】

電子機器のコストおよび寸法を減らす必要性から、その回路構成要素としてのフィルタの寸法を小さくする努力が絶えず続いている。セル式電話およびミニチュア・ラジオのような民生用電子機器には、それに内蔵されている構成要素の大きさおよびコストの双方に厳しい制限が加えられている。このような多数の電子機器は、精密な周波数に同調させなければならないフィルタを利用している。したがって、廉価でコンパクトなフィルタを提供する努力が続けられている。

20

【0003】

これらの低価格及び小型化の要求を満たす可能性のあるフィルタとして、音響共振器を用いて構成されているものが挙げられる。音響共振器は、薄膜圧電体(PZ)材料内のバルク弾性音響波を利用している。音響共振器の一つの簡単な構成では、薄膜PZ材料の層が二つの金属電極の間に挟み込まれた挟み込み構造を形成している。この挟み込み構造は、周囲を支持することにより中央部が空中に吊された橋架け構造により支持される。二つの電極の間に印加される電圧により電界が発生すると、PZ材料は、電気エネルギーの幾らかを音波の形の機械エネルギーに変換する。音波は、電界と同じ方向に伝播し、電極／空気境界面で反射する。

30

【0004】

機械的に共振している時、音響共振器は電気共振器として機能し、したがって、これを用いてフィルタを構成することができる。音響共振器の機械的共振は、音波が伝播する材料の厚さが音波の半波長と等しくなる周波数で発生する。音波の周波数は、電極に印加される電気信号の周波数に等しい。音の速度は光の速度より多数桁小さいから、得られる共振器を極めてコンパクトにすることができる。GHz帯の用途のための共振器を、直径200ミクロン未満で厚さ数ミクロン未満の寸法で構成することができる。

【0005】

以上のような薄膜バルク音響共振器(Thin Film Bulk Acoustic Resonators:以下FBARという)、及び上記挟み込み構造を積層した形態の積層薄膜バルク音響共振器およびフィルタ(Stacked Thin Film Bulk Acoustic Resonators and Filters:以下SBARという)において、挟み込み構造の中心部はスパッタ法により作製された厚さ約1～2ミクロン程度の圧電体薄膜である。上方および下方の電極は、電気リードとして働き圧電体薄膜を挟み込んで圧電体薄膜を貫く電界を与える。圧電体薄膜は、電界エネルギーの一部を力学エネルギーに変換する。時間変化する印加電界エネルギーに応答して、時間変化する「応力／歪み」エネルギーが形成される。

40

【0006】

FBARまたはSBARを音響共振器として動作させるには、圧電体薄膜を含む挟み込み

50

構造を橋架け構造により支持して、音波を挟み込み構造内に閉じ込めるための空気／結晶境界面を形成しなければならない。挟み込み構造は、通常、基板表面上に下方電極、PZ層、および次に上方電極を堆積させることにより作られる。したがって、挟み込み構造の上側には、第1の空気／結晶境界面が既に存在している。挟み込み構造の下側に第2の空気／結晶境界面を設けなければならない。この第2の空気／結晶境界面を得るのに、従来、以下に示すような幾つかの方法が用いられている。

【0007】

第1の方法は、例えば特開昭58-153412号公報に記載のように、基板を形成しているウェーハのエッチング除去を利用している。基板がシリコンからなるものであれば、加熱KOH水溶液を使用してシリコン基板の一部を裏側からエッチングして取り去って孔を形成する。これにより、挟み込み構造の縁をシリコン基板の孔の周囲の部分で支持した形態を有する共振器が得られる。しかし、このようなウェーハを貫いて開けられた孔は、ウェーハを非常に繊細にし、且つ、非常に破壊しやすくする。更に、基板表面に対して54.7度のエッチング傾斜でKOHを用いた湿式エッチングを行うと、最終製品の取得量、即ちウェーハ上のFBAR/SBARの歩留まりの向上が困難である。たとえば、250 μ m厚さのシリコンウェーハ上に形成される約150 μ m $\times$ 150 μ mの横寸法を有する挟み込み構造は、約450 μ m $\times$ 450 μ mの寸法の裏側エッチング開口を必要とする。したがって、ウェーハの約1/9を生産に利用できるだけである。

【0008】

挟み込み構造の下に空気／結晶境界面を設ける従来の第2の方法は、例えば特開平2-13109号公報に記載のように、空気ブリッジ式FBAR素子を作ることである。通常、最初に犠牲層(Sacrificial layer)を設置し、次に犠牲層の上に挟み込み構造を作製する。プロセスの終わりまたは終わり近くに、犠牲層を除去する。処理はすべてウェーハの前面側で行われるから、この方法は、ウェーハ両面側の位置合わせも大きい面積の裏側開口も必要としない。

【0009】

特開2000-69594号公報には、犠牲層として燐酸石英ガラス(PSG)を使用した空気ブリッジ式FBAR/SBAR素子の構成と製造方法が記載されている。同公報においては、PSG層がシリコンウェーハ上に堆積されている。PSGは、シランおよびP₂O₅を使用して約450℃までの温度で堆積され、燐含有量約8%である軟ガラス様物質を形成する。PSGは、比較的低温で堆積させることができ、且つ、希釈H₂O:H₂F溶液で非常に高いエッチング速度でエッチングされる。

【0010】

しかしながら、同公報においては、PSG犠牲層の高さのRMS(2乗平均平方根)変動が0.5 μ m未満と記載されているものの、具体的には0.1 μ mより小さいオーダーのRMS変動の具体的記載はない。この0.1 μ mオーダーのRMS変動は、原子的にみると非常に粗い凹凸である。FBAR/SBAR形式の音響共振器は、結晶が電極平面に垂直な柱状晶をなして成長する圧電体材料を必要とする。特開2000-69594号公報では、PSG層の表面に平行な導電シートの高さのRMS変動は2 μ m未満と記載されているものの、具体的には0.1 μ mより小さいオーダーのRMS変動の具体的記載はない。この0.1 μ mオーダーのRMS変動は、音響共振器用の圧電体薄膜を形成する表面としては不十分な表面粗さである。圧電体膜を成長させる試みが行われたが、粗面上の多数の凹凸の影響で多様な方向に結晶が成長するので、得られた圧電体薄膜の結晶品質は必ずしも十分なものでなく、圧電効果を殆どまたは全く示さない不十分なものであった。

【0011】

以上のような空気／結晶境界面を設ける代わりに、適切な音響ミラーを設ける方法もある。この方法は、例えば特開平6-295181号公報に記載のように、挟み込み構造の下に音響的ブラッグ反射鏡からなる大きな音響インピーダンスが作り出される。ブラッグ反射鏡は、高低の音響インピーダンス材料の層を交互に積層することにより作られる。各層の厚さは共振周波数の波長の1/4に固定される。十分な層数により、圧電体／電極境界

面における有効インピーダンスを、素子の音響インピーダンスよりはるかに高くすることができ、したがって、圧電体内の音波を有効に閉じ込めることができる。この方法により得られる音響共振器は、挟み込み構造の下に空隙が存在しないので、固体音響ミラー取付け共振器（SMR）と呼ばれる。

【0012】

この方法は、周辺部が固定され中心部が自由に振動できる膜を作るという前述の第1の方法及び第2の方法の問題を回避しているが、この方法にも多くの問題点がある。即ち、金属層はフィルタの電気性能を劣化させる寄生コンデンサを形成するのでブラッグ反射鏡の層に使用できないから、ブラッグ反射鏡に使用する材料の選択には、制限がある。利用可能な材料から作られる層の音響インピーダンスの差は大きくない。したがって、音波を閉じ込めるには、非常に多くの数の層が必要である。この方法は、各層にかかる応力を精密に制御しなければならないので、製作プロセスが複雑である。また、10ないし14といった多数の層を貫くパイアを作るのは困難であるから、この方法により得られる音響共振器は他の能動素子との集積化には不都合である。更に、これまでに報告された例では、この方法により得られる音響共振器は、空気ブリッジを有する音響共振器より有効結合係数かなり低い。その結果、SMRを用いたフィルタは、空気ブリッジ式の音響共振器を用いたものに比較して有効帯域幅が狭い。

10

【0013】

【発明が解決しようとする課題】

本発明の目的は、改良された性能を有するFBAR/SBAR素子を提供することである。

20

【0014】

本発明の他の目的は、薄膜圧電体（PZ）の結晶品質を向上させることにより、電気機械結合係数、音響品質係数（Q値）、温度特性などに優れた高性能のFBAR/SBAR素子を提供することである。

【0015】

本発明の更に別の目的は、上方電極の形状を工夫することにより、電気機械結合係数、音響品質係数（Q値）、温度特性などに優れた高性能のFBAR/SBAR素子を提供することである。

【0016】

【課題を解決するための手段】

本発明によれば、以上の如き目的を達成するものとして、
圧電体層と、該圧電体層の第1の表面に接合された第1の電極と、前記圧電体層の前記第1の表面と反対側の第2の表面に接合された第2の電極とを有しており、前記圧電体層の第1の表面は高さのRMS変動が50nm以下であることを特徴とする薄膜音響共振器、
が提供される。

30

【0017】

本発明において、高さのRMS変動は、日本工業規格JIS B0601:2001「製品の幾何特性仕様（GPS）—表面性状：輪郭曲線方式—用語、定義及び表面性状パラメータ」に記載の二乗平均平方根粗さ：Rqである（以下に記載の発明についても同様）。

40

【0018】

また、本発明によれば、以上の如き目的を達成するものとして、
圧電体層と、該圧電体層の第1の表面に接合された第1の電極と、前記圧電体層の前記第1の表面と反対側の第2の表面に接合された第2の電極とを有しており、前記第1の電極の前記圧電体層の側の表面は高さのRMS変動が50nm以下であることを特徴とする薄膜音響共振器、
が提供される。

【0019】

本発明の一態様においては、前記圧電体層の前記第2の表面は高さのRMS変動が前記圧電体層の厚さの5%以下である。本発明の一態様においては、前記第2の電極の表面のう

50

ねり高さは前記圧電体層の厚さの 25% 以下である。

【0020】

本発明の一態様においては、前記第 2 の電極は中央部と該中央部より厚い外周部とを有する。本発明の一態様においては、前記外周部は前記中央部の周囲に枠状に位置する。本発明の一態様においては、前記第 2 の電極は前記中央部の厚さ変動が該中央部の厚さの 1% 以下である。本発明の一態様においては、前記外周部の厚さは前記中央部の高さの 1.1 倍以上である。本発明の一態様においては、前記外周部は前記第 2 の電極の外縁から 40 μm までの距離の範囲内に位置する。本発明の一態様においては、前記中央部の表面のうねり高さは前記圧電体層の厚さの 25% 以下である。

【0021】

本発明の一態様においては、前記圧電体層と前記第 1 の電極と前記第 2 の電極とからなる挟み込み構造体は、基板の表面に形成された窪みをまたぐように前記基板により縁部が支持されている。本発明の一態様においては、前記基板の表面上には、前記窪みをまたぐように形成された絶縁体層が配置されており、該絶縁体層上に前記挟み込み構造体が形成されている。

【0022】

更に、本発明によれば、以上の如き目的を達成するものとして、
圧電体層と、該圧電体層の第 1 の表面に接合された第 1 の電極と、前記圧電体層の前記第 1 の表面と反対側の第 2 の表面に接合された第 2 の電極とを有する薄膜音響共振器を製造する方法であって、
基板の表面に窪みを形成し、該窪み内に犠牲層を充填し、該犠牲層の表面を高さの RMS 変動が 50 nm 以下となるように研磨し、前記犠牲層の表面の一部の領域と前記基板の表面の一部の領域とにわたってそれらの上に前記第 1 の電極を形成し、該第 1 の電極上に前記圧電体層を形成し、該圧電体層上に前記第 2 の電極を形成し、前記窪み内から前記犠牲層をエッチング除去することを特徴とする、薄膜音響共振器の製造方法、
が提供される。

【0023】

本発明の一態様においては、前記第 1 の電極を厚さ 150 nm 以下に形成し、該第 1 の電極の上面を高さの RMS 変動が 50 nm 以下となるようにする。

【0024】

本発明の一態様においては、前記犠牲層の上に前記第 1 の電極を形成するに先立って絶縁体層を形成する。

【0025】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を、図面を参照しながら説明する。

【0026】

図 1 および図 2 は、それぞれ、本発明による薄膜音響共振器である FBAR および SBAR の基本構成を説明するための模式的断面図である。

【0027】

図 1 において、FBAR 20 は、上方電極 21 および下方電極 23 を備え、これらは圧電体 (PZ) 材料の層 22 の一部を挟み込んで挟み込み構造を形成している。好適な PZ 材料は窒化アルミニウム (AlN) または酸化亜鉛 (ZnO) である。FBAR 20 に使用される電極 21, 23 は、好適にはモリブデンから作られるが、他の材料を使用することも可能である。

【0028】

この素子は、薄膜 PZ 材料内のバルク弾性音響波の作用を利用している。印加電圧により二つの電極 21, 23 の間に電界が生ずると、PZ 材料は電気エネルギーの一部を音波の形の機械的エネルギーに変換する。音波は電界と同じ方向に伝播し、電極/空気境界面で反射される。

【0029】

10

20

30

40

50

機械的に共振している時、素子は電気共振器として機能し、したがって、素子は、ノッチフィルタとして動作することができる。素子の機械的共振は、音波が伝播する材料の厚さが当該音波の半波長と等しくなる周波数で発生する。音波の周波数は電極 21, 23 間に印加される電気信号の周波数である。音の速度は光の速度より多数桁小さいから、得られる共振器を極めてコンパクトにすることができる。GHz 帯の用途に対する共振器を、平面寸法が約 100 μm および厚さが数 μm のオーダーで構成することができる。

【0030】

次に、図 2 を参照して SBAR について説明する。SBAR 40 は、帯域フィルタと類似の電氣的機能を与える。SBAR 40 は、基本的には機械的に結合されている二つの FBAR フィルタである。圧電体層 41 の共振周波数で電極 43 および 44 を横断する信号は、音響エネルギーを圧電体層 42 に伝える。圧電体層 42 内の機械的振動は、電極 44 および 45 を横断する電気信号に変換される。

10

【0031】

図 3～図 8 は、本発明による音響共振器である FBAR の製造方法及びそれにより得られた FBAR の実施形態を説明するための模式的断面図（図 3～図 6, 図 8）及び模式的平面図（図 7）である。

【0032】

先ず、図 3 に示されているように、集積回路製作に利用されている通常のシリコンウェーハ 51 に、エッチングにより窪みを形成する。窪みの深さは好適には 3～30 μm である。FBAR の挟み込み構造の下の空洞の深さは圧電体層により生ずる変位を許容すればよいことに注目すべきである。したがって、空洞の深さは数 μm あれば十分である。

20

【0033】

ウェーハ 51 の表面に熱酸化により酸化シリコンの薄層 53 を形成し、これにより、その上に以後の工程で形成される犠牲層の PSG からウェーハ 51 内に磷が拡散しないようにする。このようにウェーハ内への磷の拡散を抑制することにより、シリコンウェーハが導体に変換されることが阻止され、作製された素子の電氣的動作に対する悪影響をなくすることができる。以上のようにしてウェーハ 51 の表面に酸化シリコン薄層 53 を形成したものを、基板として用いる。即ち、図 3 は、基板の表面に深さが好適には 3～30 μm の窪み 52 を形成した状態を示す。

【0034】

次に、図 4 に示されているように、基板の酸化シリコンの薄層 53 上に磷酸石英ガラス（PSG）層 55 を堆積させる。PSG は、シランおよび P_2O_5 を使用して約 450℃ までの温度で堆積され、磷含有量約 8% の軟ガラス様物質を形成する。この低温プロセスは、当業者に周知である。PSG は、比較的低温で堆積させることができ、且つ、希釈 H_2O : HF 溶液で非常に高いエッチング速度でエッチングされる非常にクリーンな不活性材料であるから、犠牲層の材料として好適である。以後の工程で実行されるエッチングにおいて 10 : 1 の希釈割合で毎分約 3 μm のエッチング速度が得られる。

30

【0035】

堆積したままの PSG 犠牲層 55 の表面は、原子レベルでみると非常に粗い。したがって、堆積したままの PSG 犠牲層 55 は、音響共振器を形成する基体としては不十分である。FBAR / SBAR 形式の音響共振器は、結晶が電極面に垂直な円柱をなして成長する圧電材料を必要とする。微細な研磨粒子を含む研磨スラリーを用いて PSG 犠牲層 55 の表面を磨いて滑らかにすることにより、優れた結晶の圧電材料の薄膜を形成する。

40

【0036】

即ち、図 5 に示されているように、PSG 層 55 の表面を粗仕上げスラリーで磨くことにより全体的に平面化して、窪み 52 の外側の PSG 層の部分除去する。次に、残っている PSG 層 55 を更に微細な研磨粒子を含むスラリーで磨く。代替方法として、磨き時間がかかってもよければ一つの更に微細なスラリーを用いて上記二つの磨きステップを実行してもよい。目標は、鏡面仕上げである。

【0037】

50

以上のようにして窪み52に対応する位置にPSG層55を残留させた基板のクリーニングも重要である。スラリーはウェーハ上に少量のシリカ粗粉を残す。この粗粉を除去せねばならない。本発明の好適な実施形態では、この粗粉除去をポリテックス(Polytex(商標):ロデル・ニッタ社)のような堅いパッドの付いた第2の研磨具を使用して行う。その際の潤滑剤として、脱イオン水を使用し、磨いてから最終クリーニングステップの準備が完了するまでウェーハを脱イオン水中に入れておく。基板を、最後の磨きステップと最後のクリーニングステップとの間で乾燥させないように注意する。最後のクリーニングステップは、基板を色々な化学薬品の入っている一連のタンクに漬けることから成る。各タンクに超音波攪拌を加える。このようなクリーニング手段は当業者に周知である。

10

【0038】

研磨剤は、シリカ微粒子から構成されている。本発明の好適な実施形態では、シリカ微粒子のアンモニア主体スラリー(Rodel Klebosol #30N:ローデル・ニッタ社)を利用する。

【0039】

以上の説明では特定の研磨およびクリーニングの様式を示したが、必要な滑らかさの表面を与えるどんな研磨およびクリーニングの様式をも利用することができる。本発明の好適な実施形態では、最終表面は、原子間力顕微鏡プローブで測った高さのRMS変動が50nm以下(好ましくは20nm以下)である。

【0040】

以上のようにして表面をきれいにしてから、図6に示されているように、挟み込み構造体60の下方電極61を堆積させる。下方電極61の好適な材料は、モリブデン(Mo)である。しかし、下方電極61を他の材料たとえばAl、W、Au、PtまたはTiから構成することもできる。その低い熱弾性損失のためモリブデン(Mo)が好適である。たとえば、Moの熱弾性損失は、Alの約1/56である。

20

【0041】

下方電極61の厚さも重要である。厚い層は、薄い層より表面が粗くなる。圧電体層62の堆積のための滑らかな表面を維持することは、得られる共振器の性能にとって非常に重要である。したがって、下方電極の厚さは、好適には150nm以下である。Moは好適にはスパッタリングにより堆積される。これにより、表面の高さのRMS変動が50nm以下(好ましくは20nm以下)のMo層が得られる。

30

【0042】

下方電極61を堆積し終わってから、圧電体層62を堆積する。圧電体層62の好適な材料は、AlNまたはZnOであり、これもスパッタリングにより堆積される。本発明の好適な実施形態では、圧電体層62の厚さは、0.1μmから10μmの間(好ましくは0.5μm~2μm)にある。圧電体層62の上面は、高さのRMS変動が圧電体層厚さ(平均値)の5%以下であるのが好ましい。

【0043】

最後に、上方電極63を堆積させる。上方電極63は、下方電極61と同様な材料から構成され、好適にはMoから構成される。

40

【0044】

以上のようにして、下方電極61、圧電体層62及び上方電極63からなり、所要の形状にパターンニングされた挟み込み構造体60を形成してから、図7に示されているように、挟み込み構造体60の端部または挟み込み構造体60により覆われずに露出している犠牲層55の部分から、希釈H₂O:Hf溶液でエッチングすることにより、挟み込み構造体60の下方のPSGをも除去する。これにより、図8に示されているように、窪み52の上に橋架けされた挟み込み構造体60が残る。即ち、挟み込み構造体60は、基板の表面に形成された窪み52をまたぐように基板により縁部が支持されている。

【0045】

以上のようにして得られたFBARにおいては、犠牲層55の表面(高さのRMS変動が

50

50 nm以下（好ましくは20 nm以下）に従って、その上に形成された下方電極61の下面の高さのRMS変動が50 nm以下（好ましくは20 nm以下）であり、更に該下方電極61は厚さが薄いので上面も高さのRMS変動が50 nm以下（好ましくは20 nm以下）である。そして、この下方電極61の上面に従って、その上に形成された圧電体層62の下面の高さのRMS変動が50 nm以下（好ましくは20 nm以下）である。下方電極61の滑らかな上面は、圧電体層62の成長核となる結晶構造を備えていないにもかかわらず、形成される圧電体層62に非常に規則正しい構造のc軸配向を形成し優れた圧電特性を与える。

【0046】

図9～図10は、本発明による音響共振器であるFBARの製造方法及びそれにより得られたFBARの更に別の実施形態を説明するための模式的断面図である。この実施形態では、上記図3～5に関し説明したような工程の後に、図9に示されているように、絶縁体層54を形成する。絶縁体層54は、たとえばSiO₂膜であり、CVD法により堆積することができる。その上に、上記図6に関し説明したような工程を行って挟み込み構造体60を形成する。次いで、図10に示されているように、上記図7及び図8に関し説明したような工程を行って、FBARを得る。その際に、犠牲層55をエッチング除去するために、挟み込み構造体60の端部または挟み込み構造体60により覆われていない絶縁体層54の部分であって犠牲層55の上方の部分に適宜の大きさの開口を形成し、該開口からエッチング液を供給する。

10

【0047】

本実施形態のFBARは、挟み込み構造体60と空洞52との間に絶縁体層54が配置されており、挟み込み構造体60に加えて絶縁体層54をも含んで振動部が構成されるので、該振動部の強度が向上し、更に振動部の振動における周波数温度特性が改善される。

20

【0048】

絶縁体層54の厚さ t' は、好ましくは50～1000 nmの範囲内の値である。これは、圧電体層62の厚さ t に対する絶縁体層54の厚さ t' の比 t'/t が0.1以上0.5以下の範囲内にあることが好ましく、圧電体層62の厚さ t は上記のように500 nm～2000 nmの範囲内にあるのが好ましいからである。比 t'/t が0.1以上0.5以下の範囲内にあることが好ましい理由としては、 t'/t を0.1以上とすることで絶縁体層54を含む振動部の振動における周波数温度特性を改善する効果が高められ、 t'/t を0.5以下とすることで絶縁体層54を含む振動部の振動における電気機械結合係数及び音響的品質係数（Q値）の低下を阻止し得るからである。絶縁体層54の上面は、高さのRMS変動が例えば50 nm以下（好ましくは20 nm以下）である。

30

【0049】

以上の実施形態において、一層高い音響的品質係数（Q値）を得るには、絶縁体層54や、下方電極61、圧電体層62及び上方電極63の各層における厚さの均一性が一層良好であることが必要である。この厚さの均一性は、上方電極63の表面のうねり高さに反映される（即ち、上方電極63の表面のうねり高さが大きい場合には、少なくとも1つの層の厚さ均一性が低い）。そこで、一層高い音響的品質係数（Q値）を得るために、上方電極63の表面のうねり高さは、圧電体層62の厚さの25%以下となるようにするのが好ましい。また、別の観点からは、上方電極63の表面のうねり高さは、測定長の0.5%以下となるようにする（測定長が150 μ mの場合には、うねり高さ0.75 μ m以下）のが好ましい。

40

【0050】

以上の実施形態は、FBARに関するものである。しかし、当業者には、以上の説明から、同様なプロセスを用いてSBARを作製することが可能であることが明らかであろう。SBARの場合には、もう一つの圧電体層（第2の圧電体層）およびその上の電極（第2の上方電極）を堆積しなければならない。第2の圧電体層は上記実施形態で示されているような「FBAR」の上方電極の上に形成されているから、この上方電極の厚さをも150 nm以下に維持して第2の圧電体層を堆積するための適切な表面（第1の圧電体層の下

50

方電極の表面と同様)を与えなければならない。

【0051】

図11は、本発明による音響共振器であるFBARの製造方法及びそれにより得られたFBARの更に別の実施形態を説明するための模式的断面図であり、図12はその上方電極の平面図である。この実施形態では、上方電極63の形状のみ、上記図3～8に関し説明した実施形態と異なる。

【0052】

本実施形態では、上方電極63が中央部631と該中央部の周囲に枠状に位置し且つ中央部631より肉厚の外周部632とを有する。中央部631と外周部632との境界は段差により形成されている。

【0053】

外周部632の厚さは、中央部631の厚さの1.1倍以上であるのが好ましい。また、中央部631の厚変動は、該中央部の厚さ(平均値)の1%以下であるのが好ましい。上方電極63の寸法aは、例えば100 μ mである。外周部632は上方電極63の外縁から距離bまでの範囲内に位置しており、距離bは例えば40 μ mまでの値である。

【0054】

このような上方電極構造とすることで、上方電極外周部での横方向の振動発生を抑制し、音響共振器の振動に余分なスプリング振動が重なることを防止することができる。その結果、音響共振器およびフィルタの共振特性や品質係数が改善される。

【0055】

本実施形態では、一層高い音響的品質係数(Q値)を得るために、上方電極63の中央部631の表面のうねり高さは、圧電体層62の厚さの25%以下となるようにするのが好ましい。また、別の観点からは、上方電極63の中央部631の表面のうねり高さは、測定長の0.5%以下となるようにするのが好ましい。

【0056】

本発明の上述の実施形態では、PSGから構成された犠牲層を利用しているが、犠牲層には他の材料をも使用することができる。たとえば、BPSG(Boron-Phosphor-Silicate-Glass:ボロン-リン-シリコン-ガラス)または、スピニング・ガラスのような他の形態のガラスを利用することもできる。これ以外にも、スピニングにより材料上に堆積できるポリビニール、ポリプロピレン、およびポリスチレンのような、プラスチックがある。堆積したこれら材料の表面は原子的には滑らかでないので、これら材料から犠牲層を構成する場合にも、PSG犠牲層の場合のように、研磨による表面平滑化が重要である。これらの犠牲層は、有機除去材あるいはO₂プラズマエッチングによって取り去ることもできる。

【0057】

【実施例】

以下、実施例により本発明を更に詳細に説明する。

【0058】

[実施例1]

図3～図8に記載されているようにして、薄膜音響共振器を形成した。

【0059】

まず、Siウェーハ51の表面をPt/Ti保護膜により被覆し、エッチングにより該保護膜を窪み形成のための所定のパターン状に形成して、Siウェーハ51のエッチングのためのマスクを形成した。その後、Pt/Tiパターンマスクを用いて湿式エッチングを行い、図3に示されているように、深さ20 μ mで幅150 μ mの窪みを形成した。このエッチングは、5重量%のKOH水溶液を用い、液温70℃で実施した。

【0060】

その後、Pt/Tiパターンマスクを除去し、図3に示されているように、熱酸化によりSiウェーハ51の表面に厚さ1 μ mのSiO₂層53を形成し、Siウェーハ51及びSiO₂層53からなる基板上に窪み52の形成されている構造を得た。

【0061】

次いで、図4に示されているように、窪み52の形成されているSiO₂層53上に、厚さ30μmのPSG犠牲層55を堆積させた。この堆積は、450℃で、シラン及びP₂O₅を原料として用いた熱CVD法により行った。

【0062】

次いで、図5に示されているようにして、PSG犠牲層55の表面を研磨し、窪み52以外の領域のPSG犠牲層55を除去した。続いて、窪み52内に残留するPSG犠牲層55の表面を微細な研磨粒子を含むスラリーを用いて研磨し、その表面粗さを高さのRMS変動が10nmとなるようにした。

【0063】

次いで、図6に示されているように、PSG犠牲層55上に厚さ100nmで寸法200×200μmのMo膜からなる下部電極61を形成した。Mo膜の形成は、スパッタガスとしてArを用い、室温でDCマグネトロンスパッタ法により行った。そして、リフトオフ法によりMo膜のパターニングを行った。形成されたMo膜の表面粗さを測定したところ、高さのRMS変動は15nmであった。

【0064】

次いで、下部電極61上にZnO膜からなる1.0μm厚の圧電体層62を形成した。ZnO膜の形成は、スパッタリングターゲットとしてZnOを用い、スパッタガスとしてArとO₂との混合ガスを用い、スパッタガス圧を5mTorrとし、基板温度400℃でRFマグネトロンスパッタ法により行った。形成されたZnO膜の表面粗さを測定したところ、高さのRMS変動は膜厚の5%以下の11nmであった。湿式エッチングによりZnO膜を所定形状にパターニングして圧電体層62を得た。

【0065】

次いで、圧電体層62上に、厚さ100nmのMo膜からなる上部電極63を形成した。Mo膜の形成及びパターニングは、下部電極61の形成の際と同様にした。上部電極63の表面について、測定長さ150μmでうねり高さを調べたところ、圧電体層62の膜厚の25%以下で且つ測定長の0.5%以下の0.2μmであった。

【0066】

次いで、希釈H₂O：HF溶液でエッチングすることによりPSG犠牲層55を除去した。これにより、図8に示されているように、窪み52の上にMo/ZnO/Moの挟み込み構造体60が橋架けされた形態を形成した。

【0067】

得られた圧電体層62の薄膜XRD分析を行ったところ、膜のc軸は膜面に対して88.5度の方向であり、ロッキングカーブにより配向度を調べた結果、ピークの半値幅は2.5度であり、良好な配向性を示していた。

【0068】

以上のようにして得られた音響共振器について、マイクロ波プローバを使用して上部電極63と下部電極61との間のインピーダンス特性を測定するとともに、共振周波数f_r及び反共振周波数f_aを測定し、これらの測定値に基づき電気機械結合係数k_t²を算出した。電気機械結合係数k_t²は5.5%で、音響的品質係数は700であった。

【0069】

[比較例1]

PSG犠牲層55の表面粗さを高さのRMS変動が70nmとなるように研磨を行ったこと以外は、実施例1と同様にして音響共振器を作製した。

【0070】

下部電極61のMo膜の表面粗さを測定したところ、高さのRMS変動は80nmであった。また、ZnO膜の表面粗さを測定したところ、高さのRMS変動は膜厚の5%を越える75nmであった。上部電極63の表面について、測定長さ150μmでうねり高さを調べたところ、測定長の0.5%を越える1.0μmであった。

【0071】

10

20

30

40

50

得られた圧電体層 6 2 の薄膜 X R D 分析を行ったところ、膜の c 軸は膜面に対して 8 5 . 0 度と大きく傾いており、ロッキングカーブにより配向度を調べた結果、ピークの半値幅は 7 . 0 度であった。

【0072】

以上のようにして得られた音響共振器の電気機械結合係数 k_t^2 は 3 . 0 % で、音響的品質係数は 4 0 0 であった。

【0073】

[実施例 2]

圧電体層 6 2 として Z n O 膜に代えて A l N 膜からなるものを用いたこと以外は、実施例 1 と同様にして音響共振器を作製した。即ち、下部電極 6 1 上に A l N 膜からなる 1 . 2 μ m 厚の圧電体層 6 2 を形成した。A l N 膜の形成は、スパッタリングターゲットとして A l を用い、スパッタガスとして A r と N₂ との混合ガスを用い、基板温度 4 0 0 °C で R F マグネトロンスパッタ法により行った。形成された A l N 膜の表面粗さを測定したところ、高さの R M S 変動は膜厚の 5 % 以下の 1 4 n m であった。上部電極 6 3 の表面について、測定長さ 1 5 0 μ m でうねり高さを調べたところ、圧電体層 6 2 の膜厚の 2 5 % 以下で且つ測定長の 0 . 5 % 以下の 0 . 2 μ m であった。

【0074】

得られた圧電体層 6 2 の薄膜 X R D 分析を行ったところ、膜の c 軸は膜面に対して 8 8 . 5 度の方向であり、ロッキングカーブにより配向度を調べた結果、ピークの半値幅は 2 . 8 度であり、良好な配向性を示していた。

【0075】

以上のようにして得られた音響共振器の電気機械結合係数 k_t^2 は 6 . 5 % で、音響的品質係数は 9 0 0 であった。

【0076】

[比較例 2]

P S G 犠牲層 5 5 の表面粗さを高さの R M S 変動が 7 0 n m となるように研磨を行ったこと以外は、実施例 2 と同様にして音響共振器を作製した。

【0077】

下部電極 6 1 の M o 膜の表面粗さを測定したところ、高さの R M S 変動は 8 5 n m であった。また、A l N 膜の表面粗さを測定したところ、高さの R M S 変動は膜厚の 5 % を越える 8 0 n m であった。上部電極 6 3 の表面について、測定長さ 1 5 0 μ m でうねり高さを調べたところ、測定長の 0 . 5 % を越える 1 . 2 5 μ m であった。

【0078】

得られた圧電体層 6 2 の薄膜 X R D 分析を行ったところ、膜の c 軸は膜面に対して 8 3 . 0 度と大きく傾いており、ロッキングカーブにより配向度を調べた結果、ピークの半値幅は 8 . 5 度であった。

【0079】

以上のようにして得られた音響共振器の電気機械結合係数 k_t^2 は 3 . 5 % で、音響的品質係数は 4 5 0 であった。

【0080】

[実施例 3]

図 3 ~ 図 5 , 図 9 ~ 図 1 0 に記載されているようにして、薄膜音響共振器を形成した。

【0081】

先ず、実施例 1 と同様にして、図 5 に示される構造体を得た。但し、窪み 5 2 内に残留する P S G 犠牲層 5 5 の表面を微細な研磨粒子を含むスラリーを用いて研磨し、その表面粗さを高さの R M S 変動が 5 n m となるようにした。

【0082】

次いで、図 9 に示されているように、P S G 犠牲層 5 5 の表面をも覆うように基板上に C V D 法により厚さ 5 0 0 n m の S i O₂ 膜からなる絶縁体層 5 4 を形成した。形成された絶縁体層 5 4 の表面粗さを測定したところ、高さの R M S 変動は 1 0 n m であった。

【0083】

次いで、絶縁体層54上に、実施例1と同様にして、図10に示されているように、Mo膜からなる下部電極61を形成した。形成されたMo膜の表面粗さを測定したところ、高さのRMS変動は15nmであった。

【0084】

次いで、実施例1と同様にして、下部電極61上にZnO膜からなる圧電体層62を形成した。形成されたZnO膜の表面粗さを測定したところ、高さのRMS変動は膜厚の5%以下の10nmであった。湿式エッチングによりZnO膜を所定形状にパターンニングして圧電体層62を得た。

【0085】

次いで、実施例1と同様にして、圧電体層62上にMo膜からなる上部電極63を形成した。上部電極63の表面について、測定長さ150μmでうねり高さを調べたところ、圧電体層62の膜厚の25%以下で且つ測定長の0.5%以下の0.2μmであった。

【0086】

次いで、絶縁体層54の露出している部分にPSG犠牲層55に達するバイアホールを開口し、該開口を介して希釈H₂O：HF溶液でエッチングすることによりPSG犠牲層55を除去した。これにより、図10に示されているように、窪み52の上に絶縁体層54とMo/ZnO/Moの挟み込み構造体60との積層体が橋架けされた形態を形成した。

【0087】

得られた圧電体層62の薄膜XRD分析を行ったところ、膜のc軸は膜面に対して88.5度の方向であり、ロッキングカーブにより配向度を調べた結果、ピークの半値幅は2.3度であり、良好な配向性を示していた。

【0088】

以上のようにして得られた音響共振器について、マイクロ波プローバを使用して上部電極63と下部電極61との間のインピーダンス特性を測定するとともに、共振周波数 f_r 及び反共振周波数 f_a を測定し、これらの測定値に基づき電気機械結合係数 k_t^2 を算出した。電気機械結合係数 k_t^2 は4.5%で、音響的品質係数は650であった。

【0089】

[比較例3]

PSG犠牲層55の表面粗さを高さのRMS変動が70nmとなるように研磨を行ったこと以外は、実施例3と同様にして音響共振器を作製した。

【0090】

絶縁体層54のSiO₂膜の表面粗さを測定したところ、高さのRMS変動は85nmであった。また、下部電極61のMo膜の表面粗さを測定したところ、高さのRMS変動は90nmであった。また、ZnO膜の表面粗さを測定したところ、高さのRMS変動は膜厚の5%を越える85nmであった。上部電極63の表面について、測定長さ150μmでうねり高さを調べたところ、測定長の0.5%を越える1.0μmであった。

【0091】

得られた圧電体層62の薄膜XRD分析を行ったところ、膜のc軸は膜面に対して83.0度と大きく傾いており、ロッキングカーブにより配向度を調べた結果、ピークの半値幅は9.5度であった。

【0092】

以上のようにして得られた音響共振器の電気機械結合係数 k_t^2 は2.8%で、音響的品質係数は360であった。

【0093】

[実施例4]

上部電極63の形成以外は、実施例2と同様にして音響共振器を作製した。即ち、実施例2と同様にして圧電体層62上に厚さ100nmのMo膜を形成した後に、その外縁から30μmの幅の領域において、更にリフトオフ法により厚さ20nmのMo膜を形成して、図11に示されているような上部電極63を形成した。

10

20

30

40

50

【0094】

上部電極63の中央部631の表面について、測定長さ100 μ mでうねり高さを調べたところ、圧電体層62の膜厚の25%以下で且つ測定長の0.5%以下の0.15 μ mであった。

【0095】

以上のようにして得られた音響共振器の電気機械結合係数 k_t^2 は7.5%で、音響的品質係数は950であった。

【0096】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、高さのRMS変動が50nm以下という原子レベル10
 で見て平滑な犠牲層表面上に直接または絶縁体層を介して第1の電極を形成し、該第1
 の電極の表面を高さのRMS変動が50nm以下となるようにし、その上に圧電体層を形
 成するので、第1の電極の結晶性が向上し、これに従って圧電体層の配向性及び結晶品質
 が著しく改善され、これにより、電気機械結合係数及び音響的品質係数に優れた高性能な
 薄膜音響共振器が提供される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による薄膜音響共振器であるFBARの基本構成を説明するための模式的
 断面図である。

【図2】本発明による薄膜音響共振器であるSBARの基本構成を説明するための模式的
 断面図である。20

【図3】本発明による音響共振器であるFBARの製造方法及びそれにより得られたFB
 ARの実施形態を説明するための模式的断面図である。

【図4】本発明による音響共振器であるFBARの製造方法及びそれにより得られたFB
 ARの実施形態を説明するための模式的断面図である。

【図5】本発明による音響共振器であるFBARの製造方法及びそれにより得られたFB
 ARの実施形態を説明するための模式的断面図である。

【図6】本発明による音響共振器であるFBARの製造方法及びそれにより得られたFB
 ARの実施形態を説明するための模式的断面図である。

【図7】本発明による音響共振器であるFBARの製造方法及びそれにより得られたFB
 ARの実施形態を説明するための模式的平面図である。30

【図8】本発明による音響共振器であるFBARの製造方法及びそれにより得られたFB
 ARの実施形態を説明するための模式的断面図である。

【図9】本発明による音響共振器であるFBARの製造方法及びそれにより得られたFB
 ARの実施形態を説明するための模式的断面図である。

【図10】本発明による音響共振器であるFBARの製造方法及びそれにより得られたFB
 ARの実施形態を説明するための模式的断面図である。

【図11】本発明による音響共振器であるFBARの製造方法及びそれにより得られたFB
 ARの実施形態を説明するための模式的断面図である。

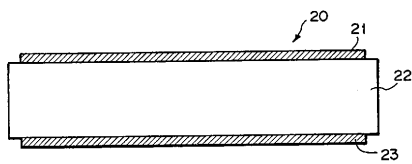
【図12】本発明による音響共振器であるFBARの製造方法及びそれにより得られたFB
 ARの上方電極の平面図である。40

【符号の説明】

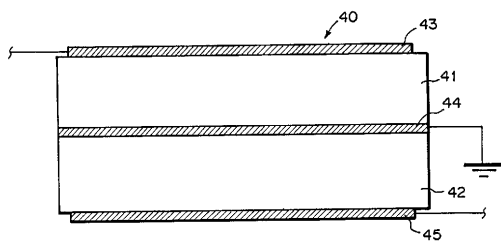
- 20 FBAR
- 21 上方電極
- 22 圧電体層
- 23 下方電極
- 40 SBAR
- 41, 42 圧電体層
- 43, 44, 45 電極
- 51 シリコンウェーハ
- 52 窪み

- 5 3 酸化シリコン薄層
- 5 4 絶縁体層
- 5 5 P S G 犠牲層
- 6 0 挟み込み構造体
- 6 1 下方電極
- 6 2 圧電体層
- 6 3 上方電極
- 6 3 1 上方電極中央部
- 6 3 2 上方電極外周部

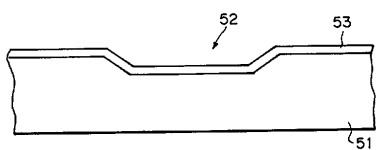
【図 1】



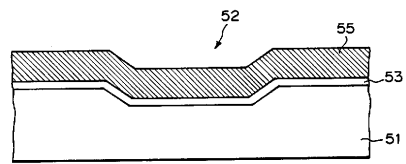
【図 2】



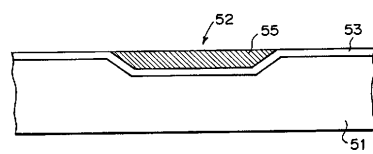
【図 3】



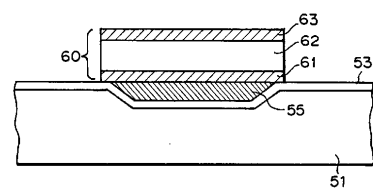
【図 4】



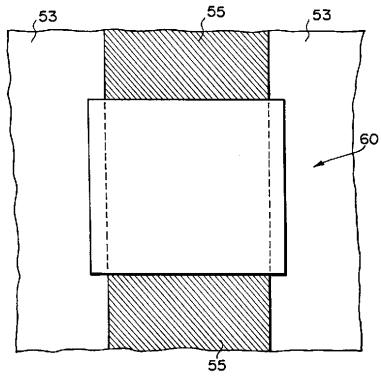
【図 5】



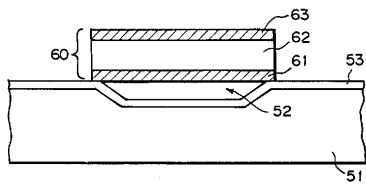
【図 6】



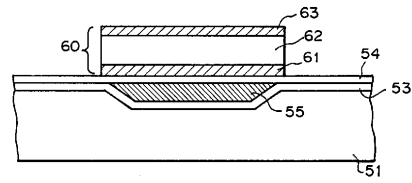
【図 7】



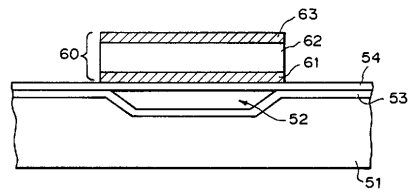
【図 8】



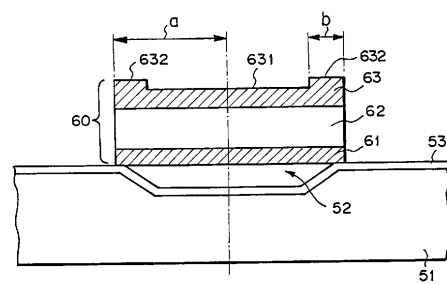
【図 9】



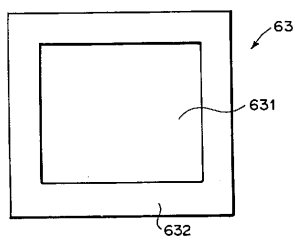
【図 10】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
H O 4 R 31/00	H O 1 L 41/22	Z

Fターム(参考) 5J108 AA07 BB07 BB08 CC04 EE07 GG03 MM11