

(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2007-181185

(P2007-181185A)

(43) 公開日 平成19年7月12日(2007.7.12)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO3H 9/17 (2006.01)	HO3H 9/17 F	5J108
HO3H 3/02 (2006.01)	HO3H 3/02 B	
HO1L 41/09 (2006.01)	HO1L 41/08 U	
HO1L 41/22 (2006.01)	HO1L 41/22 Z	
HO1L 41/18 (2006.01)	HO1L 41/08 L	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 15 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2006-311113 (P2006-311113)
 (22) 出願日 平成18年11月17日 (2006.11.17)
 (31) 優先権主張番号 特願2005-347450 (P2005-347450)
 (32) 優先日 平成17年12月1日 (2005.12.1)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 000002185
 ソニー株式会社
 東京都港区港南1丁目7番1号
 (74) 代理人 100086298
 弁理士 船橋 國則
 (72) 発明者 佐藤 圭
 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソ
 ニー株式会社内
 Fターム(参考) 5J108 AA07 BB08 CC04 CC10 CC11
 EE03 EE04 EE07 EE13 KK01
 KK02 MM11 MM14

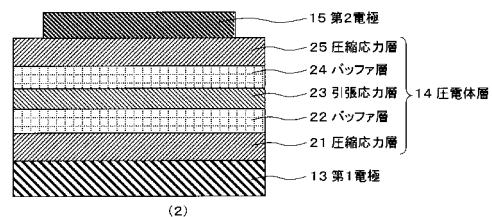
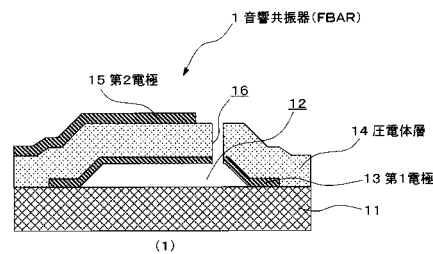
(54) 【発明の名称】 音響共振器およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 圧電体を引張応力層と圧縮応力層とを有する積層構造にして、圧電体の機械的強度を高めてクラックの発生を防止するとともに高い電気機械結合係数を実現することを可能とする。

【解決手段】 少なくとも1層の導電層から成る第1電極13と、前記第1電極13の上面に隣接して形成された複数層から成る圧電体層14と、前記圧電体層14の上面に隣接して形成された少なくとも1層の導電層から成る第2電極15とを有する音響共振器1において、前記圧電体層14が引張応力を内在する引張応力層23と圧縮応力を内在する圧縮応力層21、25とを有し、かつ前記引張応力層23の引張応力と前記圧縮応力層21、25の圧縮応力が相殺されるように調整されているものである。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも 1 層の導電層から成る第 1 電極と、前記第 1 電極の上面に隣接して形成された複数層から成る圧電体層と、前記圧電体層の上面に隣接して形成された少なくとも 1 層の導電層から成る第 2 電極とを有する音響共振器において、

前記圧電体層が引張応力を内在する引張応力層と圧縮応力を内在する圧縮応力層とを有し、

かつ前記引張応力層の引張応力と前記圧縮応力層の圧縮応力とが相殺されるように調整されている

ことを特徴とする音響共振器。

10

【請求項 2】

前記圧縮応力層と前記引張応力層との間に、前記圧縮応力層の圧縮応力および前記引張応力層の引張応力を緩和するバッファ層が形成されている

ことを特徴とする請求項 1 記載の音響共振器。

【請求項 3】

前記第 1 電極は基板上に空気層を一部に介して形成され、

前記圧縮応力層の一層は前記第 1 電極に隣接して形成されている

ことを特徴とする請求項 1 記載の音響共振器。

【請求項 4】

前記圧電体層は窒化アルミニウムまたは酸化亜鉛で形成されている

ことを特徴とする請求項 1 記載の音響共振器。

20

【請求項 5】

少なくとも 1 層の導電層から成る第 1 電極と、該電極の上面に隣接して形成された複数層から成る圧電体層と、該圧電体層の上面に隣接して形成された少なくとも 1 層の導電層から成る第 2 電極とを有する音響共振器の製造方法において、

前記圧電体層を形成する工程が、

引張応力を内在する引張応力層を形成する工程と、

圧縮応力を内在する圧縮応力層を形成する工程とを有し、

前記引張応力層の引張応力と前記圧縮応力層の圧縮応力とが相殺されるように前記引張応力層と前記圧縮応力層とを形成する

ことを特徴とする音響共振器の製造方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、圧電体層の損傷を防止した音響共振器およびその製造方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、携帯電話や個人用携帯情報端末（PDA：Personal Digital Assistance）機器の高機能化・高速化に伴い、これら通信機器に内蔵される数 100MHz - 数 GHz 動作の高周波フィルタにはこれまでに増して小型化・低コスト化の要求がある。この要求を満たす高周波フィルタの有力候補が、半導体製造技術を用いて形成できる薄膜バルク音響共振器（Thin Film Bulk Acoustic Resonator、以下 FBAR と記す）を用いたフィルタである。

40

【0003】

この FBAR の代表例として空気ブリッジ型と呼ばれる構造がある（例えば、非特許文献 1 参照。）。この構造を図 6 によって説明する。なお、図 6 の（1）は平面レイアウト図を示し、図 6 の（2）は（1）図中の A - A' 線断面の概略構成断面図を示す。

【0004】

図 6 に示すように、高抵抗シリコンや高抵抗ガリウム砒素から成る支持基板 120 上に

50

、厚さ $0.5 \mu\text{m} - 3 \mu\text{m}$ 程度の空気層 121 を包含するように、厚さ $0.1 \mu\text{m} - 0.5 \mu\text{m}$ 程度の下部電極 122 が形成され、その上部に厚さ $1 \mu\text{m} - 2 \mu\text{m}$ 程度の圧電体層 123、厚さ $0.1 \mu\text{m} - 0.5 \mu\text{m}$ 程度の上部電極 124 が形成されて、薄膜バルク音響共振器 (FBAR) 100 が構成されている。上記下部電極 122、圧電体層 123、上部電極 124 は、半導体製造分野で周知のスパッタ堆積技術やレジストをマスクとした各種エッチング技術を用いて順次に形成される。

【0005】

上記各電極材料には、例えば、モリブテン、タングステン、タンタル、チタン、白金、ルテニウム、金、アルミニウム、銅などの金属材料が用いられ、圧電体材料には、例えば、窒化アルミニウム (AlN)、酸化亜鉛 (ZnO)、硫化カドニウム、チタン酸ジルコン酸鉛 [Pb(Zr, Ti)O₃: PZT] などが用いられる。

10

【0006】

上記上部電極 124 と下部電極 122 とが空間的に重なり合った領域 (すなわち FBAR として動作する領域) の直下には上記空気層 121 が形成されているので、上部電極 124 と同様に下部電極 122 も空気と接する境界面を持っている。この空気層 121 は、支持基板 120 の上面に空気層 121 の形状に形成されたシリコン酸化膜、リンシリケートガラス (PSG) 膜、ホウ素リンシリケートガラス (BPSG) 膜、SOG (Spin on glass) 膜などをピアホール 126 を通してフッ酸 (HF) 水溶液でエッチング除去することで形成される。

【0007】

次に、FBAR の動作を概説する。上部電極 124 と下部電極 122 との間に交流電圧を印加して時間的に変化する電界を圧電体層 123 の内部に生じさせると、圧電体層 123 は電気的エネルギーの一部を弾性波 (以下、音波と記す) という形の機械的エネルギーへ変換する。この機械的エネルギーは、電極面の垂直方向である圧電体層 123 の膜厚方向に伝搬され、再び電気的エネルギーへと変換される。

20

【0008】

この電気 / 機械のエネルギー変換過程でその効率が優れる特定の周波数が存在し、この周波数を持つ交流電圧を印加したとき、音響共振器 (以下、FBAR という、FBAR: Film Bulk Acoustic Resonator) は極めて低いインピーダンスを示す。この特定の周波数は一般に共振周波数 () と呼ばれ、その値は、一次近似として上部電極 124 と下部電極 122 の存在を無視したとき、 $f = v / (2t)$ で与えられる。ここで、 v は圧電体層 112 中の音波の速度、 t は圧電体層 112 の厚さである。音波の波長を λ とすると、 $v = \lambda f$ の関係式が成立することから、 $t = \lambda / 2$ となる。これは圧電体層 123 中で誘起された音波が圧電体層 / 電極の境界面で上下に反射を繰り返し、丁度その半波長に対応した定在波が形成されていることを意味する。換言すれば、半波長の定在波が立っている音波の周波数と交流電圧の周波数が一致したときが共振周波数 となる。

30

【0009】

上記共振周波数で FBAR のインピーダンスが極めて小さくなることを利用した電子機器として、複数の FBAR をラダー構成に組み、所望の周波数帯域にある電気信号のみを低損失で通過させるバンドパスフィルタが非特許文献 1 で開示されている。

40

【0010】

このフィルタで通過周波数帯域を広く設定するには、FBAR の共振周波数と半共振周波数との差を大きく取る、換言すれば電気機械結合係数を高くする必要があり、この手段として圧電体層の全体に一樣に引張応力を内在させる方法が経験的に知られている。また引張応力とは逆向きの圧縮応力でも、電気機械結合係数を高くできることが開示されている (例えば、特許文献 1 参照。)。

【0011】

しかしながら、図 7 に示すように、支持基板 211 上に空気層 212 を介して、下部電極層 213 および一樣に引張り応力または圧縮応力を内在させた状態で圧電体層 214 を形成した FBAR 210 では、圧電体層 214 が凹状 (または凸状) に湾曲し、その結果

50

、図 8 に示すように、圧電体層 2 1 4 が曲がる箇所 C を起点として圧電体層 2 1 4 にクラック 2 1 6 が発生する。または、図 9 に示すように、ビアホール 2 3 1 の周囲端を起点として圧電体層 2 1 4 にクラック 2 1 7 が発生する。このため、F B A R 2 1 0 の機械的強度が著しく劣化するとともに、このクラック 2 1 6、2 1 7 の先端が、上部電極 2 1 5 の直下の領域まで、または隣に形成した F B A R (図示せず) まで到達し、F B A R を用いたフィルタの電気特性が著しく劣化するという問題があった。

【 0 0 1 2 】

本発明者の実験結果によると、引張応力が 2 0 0 M P a で、膜厚が 1 μ m の窒化アルミニウム (A l N) 膜を採用した場合、ビアホールの平面形状に依存せず、クラックが生じた F B A R の発生率は 7 0 % と高い値を示した。また、圧縮応力 - 3 5 0 M P a で、膜厚が 1 μ m の窒化アルミニウム (A l N) 膜を採用した場合、ビアホールの平面形状に依存せず、クラックが生じた F B A R の発生率は 6 0 % と、こちらも高い値を示した。

10

【 0 0 1 3 】

しかしながら、バンドパスフィルタを構成する F B A R では、その電気機械結合係数として 5 % 以上が要求されており、これを満足する応力値として 3 0 0 M P a 以上の引張り応力もしくは 3 0 0 M P a 以上の圧縮応力が必要との実験事実を本願発明者は見出した。

【 0 0 1 4 】

このように、いわゆる空気ブリッジ型構造を有する F B A R では、圧電体層で発生するクラックという課題に直面しているものの、空気層が支持基板の上面に位置することから、モノリシックマイクロ波集積回路 (M M I C) やシリコン集積回路 (S i I C) との混載が容易であり、この特徴は市場の小型化・高機能化要求に応えるのに魅力的である。したがって、上記空気ブリッジ型構造を有するもので、しかもクラックの発生を防止でき、かつ通過周波数帯域を広く取れる、つまり電気機械結合係数が大きな F B A R が強く望まれていた。

20

【 0 0 1 5 】

【特許文献 1】特開 2 0 0 5 - 1 2 4 1 0 7 号公報

【非特許文献 1】K. M. Lakin 著「Thin Film Resonators and Filters」Proceedings of the 1999 IEEE Ultrasonics Symposium, Vol.2, p.895-906 1 9 9 9 年 1 0 月

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

30

【 0 0 1 6 】

解決しようとする問題点は、空気ブリッジ型構造の音響共振器において、圧電体層にクラックを発生させることなく高い電気機械結合係数を実現できない点である。

【 0 0 1 7 】

本発明は、圧電体層を引張応力層と圧縮応力層とを有する積層構造にして、圧電体層の機械的強度を高めてクラックの発生を防止するとともに高い電気機械結合係数を実現することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 8 】

本発明の音響共振器は、少なくとも 1 層の導電層から成る第 1 電極と、前記第 1 電極の上面に隣接して形成された複数層から成る圧電体層と、前記圧電体層の上面に隣接して形成された少なくとも 1 層の導電層から成る第 2 電極とを有する音響共振器において、前記圧電体層が引張応力を内在する引張応力層と圧縮応力を内在する圧縮応力層とを有し、かつ前記引張応力層の引張応力と前記圧縮応力層の圧縮応力とが相殺されるように調整されていることを特徴とする。

40

【 0 0 1 9 】

本発明の音響共振器では、圧電体層が引張応力を内在する引張応力層と圧縮応力を内在する圧縮応力層とを有し、かつ引張応力層の引張応力と圧縮応力層の圧縮応力とが相殺されるように調整されていることから、引張応力または圧縮応力のみを内在する圧電体層で発生する大きな湾曲を防止するとともに、電気機械結合係数が高められる。

50

【0020】

本発明の音響共振器の製造方法は、少なくとも1層の導電層から成る第1電極と、該電極の上面に隣接して形成された複数層から成る圧電体層と、該圧電体層の上面に隣接して形成された少なくとも1層の導電層から成る第2電極とを有する音響共振器の製造方法において、前記圧電体層を形成する工程が引張応力を内在する引張応力層を形成する工程と圧縮応力を内在する圧縮応力層を形成する工程とを有し、前記引張応力層の引張応力と前記圧縮応力層の圧縮応力とが相殺されるように前記引張応力層と前記圧縮応力層とを形成することを特徴とする。

【0021】

本発明の音響共振器の製造方法では、圧電体層を形成する工程が引張応力を内在する引張応力層を形成する工程と圧縮応力を内在する圧縮応力層を形成する工程とを有し、引張応力層の引張応力と圧縮応力層の圧縮応力とが相殺されるように引張応力層と圧縮応力層とを形成することから、引張応力または圧縮応力のみを内在する圧電体層で発生する大きな湾曲を防止するとともに、電気機械結合係数が高められる。

10

【発明の効果】

【0022】

本発明の音響共振器は、圧電体層が引張応力を内在する引張応力層と圧縮応力を内在する圧縮応力層とを有し、かつ引張応力層の引張応力と圧縮応力層の圧縮応力とが相殺されるように調整されているため、引張応力または圧縮応力のみを内在する圧電体層で発生していた大きな湾曲の発生を防止できるとともに、電気機械結合係数が高めることができるので、高Q値を確保した音響共振器を実現できるという利点がある。これによって、通過周波数帯域が広く、かつ挿入損失が小さい高品質のバンドパスフィルタを提供できる。

20

【0023】

本発明の音響共振器の製造方法は、引張応力を内在する引張応力層と圧縮応力を内在する圧縮応力層とを形成するとともに、引張応力層の引張応力と圧縮応力層の圧縮応力とが相殺されるように引張応力層と圧縮応力層とを形成するため、引張応力または圧縮応力のみを内在する圧電体層で発生していた大きな湾曲が発生するのを防止することができるので、高Q値を確保した音響共振器を実現できるという利点がある。これによって、通過周波数帯域が広く、かつ挿入損失が小さい高品質のバンドパスフィルタを高歩留まりで製造することができるようになるという利点がある。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0024】

本発明の音響共振器に係る一実施の形態の第1実施例を、図1によって説明する。図1の(1)は音響共振器の概略構成断面図であり、図1の(2)は圧電体層の拡大断面図である。

【0025】

図1に示すように、支持基板11の上面に空気層12を覆うように第1電極(下部電極)13が形成されている。すなわち、第1電極13によって上記空気層12が包み込まれている。この第1電極13は、例えばモリブデン(Mo)からなり、例えば230nmの厚さに形成されている。上記第1電極13には、モリブデンの他に、タングステン、タンタル、チタン、白金、ルテニウム、金、アルミニウム、銅などの金属材料を用いることができる。また、上記第1電極13は複数層の電極材料で形成することもできる。

40

【0026】

上記第1電極13上には圧電体層14が形成されている。この圧電体層14は、内部応力を代えた複数層の窒化アルミニウム(AlN)膜で、例えば1.0 μ mの厚さに形成されている。なお、音響共振器(FBAR)の共振周波数は上記圧電体層14の膜厚でほぼ決定されるので、音響共振器の共振周波数に応じて上記圧電体層14の膜厚が決定されている。

【0027】

50

上記圧電体層 1 4 は、例えば、下層（第 1 電極 1 3 側）より、圧縮応力層 2 1、バッファ層 2 2、引張応力層 2 3、バッファ層 2 4、圧縮応力層 2 5 を順に積層して形成されている。上記バッファ層 2 2 は、圧縮応力層 2 1 と引張応力層 2 3 との間に設けられて圧縮応力層 2 1 の圧縮応力および引張応力層 2 3 の引張応力を緩和するもので、例えば応力が 0 もしくは例えば 1 0 0 M P a 未満の引張応力もしくは圧縮応力を有する窒化アルミニウム層で形成されている。同様に、上記バッファ層 2 4 は、引張応力層 2 3 と圧縮応力層 2 5 との間に設けられ、引張応力層 2 3 の引張応力および圧縮応力層 2 5 の圧縮応力を緩和するもので、例えば応力が 0 もしくは例えば 1 0 0 M P a 未満の引張応力もしくは圧縮応力を有する窒化アルミニウム層で形成されている。また、上記圧縮応力層 2 1、2 5 は例えば 3 0 0 M P a 以上、好ましくは 1 G P a 以上の圧縮応力を有するように、また上記引張応力層 2 3 は 3 0 0 M P a 以上、好ましくは 8 0 0 M P a 以上の引張応力を有するように形成されている。

10

【 0 0 2 8 】

上記各層の膜厚は、一例として、圧縮応力層 2 1、2 5 が 1 0 0 n m、バッファ層 2 2、2 4 が 2 0 0 n m、引張応力層 2 3 が 4 0 0 n m とした。したがって、圧電体層 1 4 全体の膜厚は上記したように 1 μ m となっている。

【 0 0 2 9 】

上記圧電体層 1 4 は、上記圧縮応力層 2 1、2 5 に生じる圧縮応力と上記引張応力層 2 3 に生じる引張応力が互いに相殺した状態となっている。したがって、圧電体層 1 4 全体において圧縮応力および引張応力が相殺されるように形成されている。このように、圧縮応力および引張応力が相殺されるように、各圧縮応力層 2 1、2 5、および引張応力層 2 3 の膜厚および応力が調整されている。

20

【 0 0 3 0 】

また、上記圧電体層 1 4 が十分な圧電特性を得るようにするため、窒化アルミニウム（A 1 N）層を可能な限り c 軸方向に配向させてある。その許容値は、例えば c 軸方向の半値幅としては 1 . 5 度以内が望ましい。

【 0 0 3 1 】

上記圧電体層 1 4 上には上部電極 1 5 が形成されている。この上部電極 1 5 は、例えばモリブデン（M o）からなり、例えば 3 3 4 n m の厚さに形成されている。上記上部電極層には、モリブデンの他に、タングステン、タンタル、チタン、白金、ルテニウム、金、アルミニウム、銅などの金属材料を用いることができる。また、上記上部電極層は複数層の電極材料で形成することもできる。

30

【 0 0 3 2 】

さらに、上記圧電体層 1 4 および下部電極 1 3 を貫通して空間層 1 2 に達するビアホール 3 2 が形成されている。このビアホール 3 2 は、後の製造方法の説明で詳述するが、空間層 1 2 を形成するための犠牲層をエッチングする際に用いるものである。

【 0 0 3 3 】

上記説明したように、いわゆる空気ブリッジ型構造の音響共振器（F B A R）1 が構成されている。

【 0 0 3 4 】

上記音響共振器 1 では、圧電体層 1 4 が引張応力を内在する引張応力層 2 3 と圧縮応力を内在する圧縮応力層 2 1、2 5 とを有し、かつ引張応力層 2 3 の引張応力と圧縮応力層 2 1、2 5 の圧縮応力が相殺されるように調整されているため、引張応力または圧縮応力のみが内在する圧電体層で発生していた大きな湾曲の発生を防止することができる。また、電気機械結合係数が高めることができるので、高 Q 値を確保した音響共振器 1 を実現できるという利点がある。これによって、通過周波数帯域が広く、かつ挿入損失が小さい高品質のバンドパスフィルタを提供できる。ちなみに、本発明の音響共振器 1 を用いたバンドパスフィルタでは、中心周波数が 2 G H z 帯で 1 0 M H z の帯域幅の拡大が可能となった。

40

【 0 0 3 5 】

50

本発明の音響共振器に係る一実施の形態の第2、第3実施例を、図2の概略構成断面図によって説明する。図2の(1)に第2実施例の圧電体層を示し、図2の(2)に第3実施例の圧電体層を示す。

【0036】

図2の(1)に示すように、第2実施例の音響共振器は、前記音響共振器1において、圧電体層14の構成が異なる他は、同様な構成である。したがって、ここでは、圧電体層14の構成について説明する。上記圧電体層14は、前記図1によって説明した支持基板11上に空気層12を被覆するようにして形成される第1電極13側に、圧縮応力を有する圧縮応力層26とその上部に形成される引張応力を有する引張応力層27とを積層して形成されている。さらに、引張応力層27上に第2電極15が形成されている。

10

【0037】

上記各層の膜厚は、一例として、圧縮応力層26を500nm、引張応力層27を500nmとした。したがって、圧電体層14全体の膜厚は1μmとなっている。

【0038】

また、上記圧電体層14は、上記圧縮応力層26に生じる圧縮応力と上記引張応力層27に生じる引張応力とが互いに相殺した状態となっている。したがって、圧電体層14全体において圧縮応力および引張応力が相殺されるように形成されている。このように、圧縮応力および引張応力が相殺されるように、各圧縮応力層26、および引張応力層27の膜厚および応力が調整されている。

【0039】

上記図2の(1)に示した圧電体層14の構成を有する音響共振器であっても、前記音響共振器1と同様な作用効果が得られる。

20

【0040】

図2の(2)に示すように、第3実施例の音響共振器は、上記音響共振器1において、圧電体層14の構成が異なる他は、同様な構成である。したがって、ここでは、圧電体層14の構成について説明する。上記圧電体層14は、前記図1によって説明した支持基板11上に空気層12を被覆するようにして形成される第1電極13側に、引張応力層28、バッファ層22、圧縮応力層29、バッファ層24、引張応力層30を順に積層して形成されている。上記バッファ層22は、引張応力層28と圧縮応力層29との間に設けられて引張応力層28の引張応力および圧縮応力層29の圧縮応力を緩和するもので、例えば応力が0もしくは例えば100MPa以内の引張応力もしくは圧縮応力を有する窒化アルミニウム層で形成されている。同様に、上記バッファ層24は、圧縮応力層29と引張応力層30との間に設けられ、圧縮応力層29の圧縮応力および引張応力層30の引張応力を緩和するもので、例えば応力が0もしくは例えば100MPa未満の引張応力もしくは圧縮応力を有する窒化アルミニウム層で形成されている。また、上記圧縮応力層29は例えば300MPa以上、好ましくは600MPa以上の圧縮応力を有するように、また上記引張応力層28、30は300MPa以上、好ましくは800MPa以上の引張応力を有するように形成されている。

30

【0041】

上記各層の膜厚は、一例として、引張応力層28、30を100nm、バッファ層22、24を200nm、圧縮応力層29を400nmとした。したがって、圧電体層14全体の膜厚は1μmとなっている。

40

【0042】

上記圧電体層14は、上記引張応力層28、30に生じる引張応力と上記圧縮応力層29に生じる圧縮応力とが互いに相殺した状態となっている。したがって、圧電体層14全体において引張応力および圧縮応力が相殺されるように形成されている。このように、引張応力および圧縮応力が相殺されるように、各引張応力層28、30、および圧縮応力層29の膜厚および応力が調整されている。

【0043】

上記図2の(2)に示した圧電体層14の構成を有する音響共振器であっても、前記音

50

響共振器 1 と同様な作用効果が得られる。

【0044】

また、上記説明した音響共振器の圧電体層 14 では、第 1 実施例、第 2 実施例のように、第 1 電極（下部電極）13 側に圧縮応力 21、26 を設けることが好ましい。このように、圧縮応力層 21、26 から圧電体層 14 の結晶成長を始めることにより、圧電体層 14 全体の結晶配向性が良くなる。例えば、窒化アルミニウム（AlN）の場合、配向性良く結晶成長させるには、c 軸方向に配向させることが求められている。それには、結晶成長を始める膜として、c 軸方向に優先配向しやすい圧縮応力膜を最初に成膜することが必要になる。もし、引張応力層 28 を最初に成膜した場合、c 軸方向に配向しづらくなるので、前記第 3 実施例のように音響共振器の電気機械結合係数がやや低下することになる。この点については次に説明する。

10

【0045】

次に、上記第 1～第 3 実施例の各音響共振器の特性と、従来の構成の圧電体層を有する音響共振器の特性を比較する。その結果を、図 3 によって説明する。

【0046】

図 3 の（1）に示すように、Type A の音響共振器は、圧電体層 14 が、第 1 電極（下部電極）13 側より、圧縮応力層 21、バッファ層 22、引張応力層 23、バッファ層 24、圧縮応力層 25 を順に積層して形成されていて、圧縮応力層 25 上に第 2 電極（上部電極）15 が形成されている。この詳細については、前記図 1 によって説明した通りである。

20

【0047】

図 3 の（2）に示すように、Type B の音響共振器は、圧電体層 14 が、第 1 電極（下部電極）13 側より、圧縮応力層 26、引張応力層 27 を順に積層して形成されていて、引張応力層 27 上に第 2 電極（上部電極）15 が形成されている。この詳細については、前記図 2（1）によって説明した通りである。

【0048】

図 3 の（3）に示すように、Type C の音響共振器は、圧電体層 14 が、第 1 電極（下部電極）13 側より、引張応力層 28、バッファ層 22、圧縮応力層 29、バッファ層 24、引張応力層 30 を順に積層して形成されていて、引張応力層 30 上に第 2 電極（上部電極）15 が形成されている。この詳細については、前記図 2 の（2）によって説明した通りである。

30

【0049】

図 3 の（4）に示すように、Type D の音響共振器は、従来構成の音響共振器であり、その圧電体層 114 は、第 1 電極（下部電極）13 上に、上記バッファ層と同様な材質からなる、例えば応力が 0 もしくは例えば 100 MPa 未満の引張応力もしくは圧縮応力を一様に有する窒化アルミニウム層で形成されているものであり、この圧電体層 114 上に第 2 電極（上部電極）15 が形成されているものである。

【0050】

次に、上記説明したように、Type A、B、C、D に示したような内部応力の構成を有する圧電体層 14 を有する音響共振器の電気機械結合係数との関係を、図 3 の（5）によって説明する。測定値は、上記各圧電体層を有する FBAR での実測値である。各圧電体層の内部応力の種類とその値は、基板に窒化アルミニウム（AlN）層を堆積した際に生じる基板の反りの向きとその量を調べることにより、また電気機械結合係数は第 1 電極 13 と第 2 電極 15 とのオーバーラップ領域の電気容量が 1.1 pF となるようにした FBAR で測定した。

40

【0051】

図 3 の（5）に示すように、本発明の圧電体層 14 が引張応力を内在する引張応力層と圧縮応力を内在する圧縮応力層とを有し、かつ引張応力層の引張応力と圧縮応力層の圧縮応力とが相殺されるように調整されているという構成を有する音響共振器は、従来の圧電体層 114 の構成を有する音響共振器よりも電気機械結合係数（ K_{eff}^2 ）が大きくなっ

50

ている。この電気機械結合係数の値が大きいほど音響共振器（例えばFBAR）の共振周波数と反共振周波数の差が大きくなり、バンドパスフィルタを構成したとき、通過周波数帯域を広く取れる利点がある。そこで電気機械結合係数は、通常、5.0以上を確保することが求められている。したがって、本発明の圧電体層14の構成を有するType A（第1実施例の構成）、Type B（第2実施例の構成）、Type C（第3実施例の構成）のいずれも、電気機械結合係数が5.0以上となっており、従来の圧電体層114の構成を有する音響共振器よりも電気機械結合係数（ K_{eff}^2 ）が顕著に向上している。

【0052】

また、Type A、Type B、Type Cのいずれもクラックの発生が抑えられておりフィルタ特性と歩留りを両立している。

10

【0053】

さらに、第3実施例のType Cは、最初に成膜した引張応力層26の結晶配向性がc軸方向に配向していないため、電気機械結合係数が第1実施例、第2実施例の音響共振器よりも低くなっている。したがって、第1電極13上に最初に成膜される膜は圧縮応力を有する膜がより好ましい。そして、第1電極（下部電極）13上面に隣接する圧電体層14の最下層の内部応力が圧縮応力に調整された時の配向性は1.5度以内であり、結晶性の良さが電気機械結合係数に反映されている。

【0054】

上記説明したように、圧電体層14の内部には、圧縮応力と引張応力とが同時に存在し、かつその圧縮応力と引張応力とが互いに相殺された状態となっていることが望ましい。

20

【0055】

次に、本発明の音響共振器の製造方法に係る一実施の形態の実施例を、図4～図5の製造工程断面図によって説明する。

【0056】

図4の(1)に示すように、支持基板11の上面に後の工程で空気層を形成するための犠牲層を成膜した後、通常のリソグラフィ技術によるレジストマスクの形成とこのレジストマスクを用いたエッチング技術により上記犠牲層をパターンニングして、犠牲層パターン31を形成する。この犠牲層パターン31は、例えば角錐台状に形成される。上記犠牲層パターン31は、例えばフッ酸でエッチングが可能な、例えば酸化シリコン系の膜で形成する。例えば、SOG（Spin on glass）膜を1 μ mの厚さに成膜して形成する。その他、CVD法によるシリコン酸化膜、リンシリケートガラス（PSG）膜、ホウ素リンシリケートガラス（BPSG）膜等で形成することもできる。

30

【0057】

次に、図4の(2)に示すように、上記犠牲層パターン31を被覆するように、上記支持基板11上に第1電極（下部電極）13を形成する。この第1電極13は、例えばDCマグネトロンスパッタリング法等により、例えばモリブデン（Mo）を、例えば230nmの厚さに堆積して形成する。上記第1電極13には、モリブデンの他に、タングステン、タンタル、チタン、白金、ルテニウム、金、アルミニウム、銅などの金属材料を用いることができる。また、上記第1電極13は複数層の電極材料で形成することもできる。

【0058】

次に、図4の(3)に示すように、上記第1電極13上に圧電体層14を形成する。この圧電体層14は、例えば、DCパルススパッタリング法等により、内部応力を代えた複数層の窒化アルミニウム（AlN）膜で、例えば1.0 μ mの厚さに形成する。なお、音響共振器（FBAR）の共振周波数は上記圧電体層14の膜厚でほぼ決定されるので、音響共振器の共振周波数に応じて上記圧電体層14の膜厚を決定する。

40

【0059】

例えば図4の(4)に示すように、下層より、圧縮応力層21、バッファ層22、引張応力層23、バッファ層24、圧縮応力層25を順に形成する。上記バッファ層22は、圧縮応力層21と引張応力層23との間に設けられて圧縮応力層21の圧縮応力および引張応力層23の引張応力を緩和するもので、例えば応力が0もしくは例えば100MPa

50

未満の引張応力もしくは圧縮応力を有する窒化アルミニウム層で形成される。同様に、上記バッファ層 2 4 は、引張応力層 2 3 と圧縮応力層 2 5 との間に設けられ、引張応力層 2 3 の引張応力および圧縮応力層 2 5 の圧縮応力を緩和するもので、例えば応力が 0 もしくは例えば 1 0 0 M P a 未満の引張応力もしくは圧縮応力を有する窒化アルミニウム層で形成される。また、上記圧縮応力層 2 1、2 5 は例えば 3 0 0 M P a 以上、好ましくは 1 G P a 以上の圧縮応力を有するように、また上記引張応力層 2 3 は 3 0 0 M P a 以上、好ましくは 8 0 0 M P a 以上の引張応力を有するように形成される。

【0060】

上記各層の膜厚は、一例として、圧縮応力層 2 1、2 5 が 1 0 0 n m、バッファ層 2 2、2 4 が 2 0 0 n m、引張応力層 2 3 が 4 0 0 n m とした。したがって、圧電体層 1 4 全体の膜厚は上記したように 1 . 0 μ m となる。

10

【0061】

上記圧縮応力層 2 1、バッファ層 2 2、引張応力層 2 3、バッファ層 2 4、圧縮応力層 2 5 は、D C パルススパッタリング装置の同一チャンパ内で連続的に成膜することができ、成膜条件は、成膜圧力を例えば 0 . 2 7 P a、アルゴンガスと窒素ガスの流量比を例えば 1 : 7、スパッタパワーを例えば 5 k W ~ 1 0 k W、基板バイアス電圧を例えば 2 5 V ~ 4 8 V とする。この基板バイアス電圧を変えることで成膜された膜の応力が決定される。圧縮応力層 2 1、2 5 を成膜するときは、基板バイアス電圧を例えば 4 2 V ~ 4 8 V (例えば 4 5 V) に設定する。例えば 4 5 V に設定して 8 0 0 M P a の圧縮応力を得るようにした。また、バッファ層 2 2、2 4 を形成するときは、基板バイアス電圧を例えば 3 1 V ~ 3 5 V に設定する。引張応力層 2 3 を形成するときは、基板バイアス電圧を例えば 2 2 V ~ 2 6 V に設定する。例えば 2 6 V に設定して 5 5 0 M P a の引張応力を得るようにした。このように基板バイアス電圧を調整することで、圧縮応力層 2 1、2 5 と、応力が 0 もしくはほとんど生じていないバッファ層 2 2、2 4 と、引張応力層 2 3 とを、上記説明したように積層状に構成することができ、しかも、上記圧縮応力層 2 1、2 5 に生じる圧縮応力と上記引張応力層 2 3 に生じる引張応力とが互いに相殺した状態とすることができる。このように、圧電体層 1 4 全体において圧縮応力および引張応力が相殺されるように形成するには、各圧縮応力層 2 1、2 5、および引張応力層 2 3 の膜厚および応力を調整して成膜を行うことが重要である。

20

【0062】

または、上記圧電体層 1 4 を前記図 2 の (1) によって説明した圧縮応力層 2 6 と引張応力層 2 7 とを積層させた構成とする場合には、基板バイアス電圧を変化させて圧縮応力層 2 6 と引張応力層 2 7 とを順に積層させて形成すればよい。同様に、上記圧電体層 1 4 を前記図 2 の (2) によって説明した引張応力層 2 8、バッファ層 2 2、圧縮応力層 2 9、バッファ層 2 4、引張応力層 3 0 とを積層させた構成とする場合には、基板バイアス電圧を変化させて引張応力層 2 8、バッファ層 2 2、圧縮応力層 2 9、バッファ層 2 4、引張応力層 3 0 とを順に積層させて形成すればよい。

30

【0063】

また、上記成膜においては、圧電体層 1 4 が十分な圧電特性を得るようにするため、窒化アルミニウム (A l N) 層を可能な限り c 軸方向に配向させることが必要である。その許容値は、例えば c 軸方向の半値幅としては 1 . 5 度以内が望ましい。

40

【0064】

次に、図 5 の (5) に示すように、上記圧電体層 1 4 上に上部電極を形成するための上部電極層を形成する。この上部電極層は、例えば D C マグネトロンスパッタリング法により、例えばモリブデン (M o) を、例えば 3 3 4 n m の厚さに堆積して形成する。上記上部電極層には、モリブデンの他に、タングステン、タンタル、チタン、白金、ルテニウム、金、アルミニウム、銅などの金属材料を用いることができる。また、上記上部電極層は複数層の電極材料で形成することもできる。その後、レジスト塗布およびリソグラフィ技術によって、上部電極を形成するためのレジストマスク (図示せず) を形成した後、このレジストマスク用いたエッチング技術により、上記上部電極層をパターンニングして上部

50

電極 15 を形成する。このエッチングは、一例として、エッチングガスにハロゲン系ガスを用いた反応性イオンエッチング (RIE) で行う。その後、上記レジストマスクを除去する。

【0065】

次に、図 5 の (6) に示すように、レジスト塗布およびリソグラフィ技術によって、犠牲層パターン 31 を除去する際に必要となるピアホールを形成するためのレジストマスク (図示せず) を形成した後、このレジストマスクを用いたエッチング技術により、上記圧電体層 14 および下部電極 13 を貫通して犠牲層パターン 31 に達するピアホール 32 を形成する。このエッチングは、一例として、エッチングガスにハロゲン系ガスを用いた反応性イオンエッチング (RIE) で行う。

10

【0066】

次に、図 5 の (7) に示すように、上記レジストマスクを除去する。その後、ピアホール 32 を通して犠牲層パターン 31 [前記図 4 の (6) 参照] を除去する。この犠牲層パターン 31 の除去加工は、例えばフッ酸 (HF) 水溶液によるウエットエッチングによる。このエッチングにより犠牲層パターン 31 を完全に除去し、この除去した部分に空間 12 を形成する。すなわち、上記支持基板 11 と第 1 電極 13 との間に上記空間 12 を形成する。このようにして、いわゆる空気ブリッジ型構造の音響共振器 (FBAR) 1 が完成する。

【0067】

上記音響共振器の製造方法は、引張応力を内在する引張応力層 23 と圧縮応力を内在する圧縮応力層 21、25 とを形成するとともに、引張応力層 23 の引張応力と圧縮応力層 21、25 の圧縮応力が相殺されるように引張応力層 23 と圧縮応力層 21、25 とを形成するため、引張応力または圧縮応力のみを内在する圧電体層で発生していた大きな湾曲が発生するのを防止することができるとともに、電気機械結合係数が高めることができるので、高 Q 値を確保した音響共振器 1 を実現できるという利点がある。これによって、通過周波数帯域が広く、かつ挿入損失が小さい高品質のバンドパスフィルタを高歩留まりで製造することができるようになるという利点がある。

20

【0068】

さらに、本実施例では、一例として、空気ブリッジ型の音響共振器 (例えば FBAR) を説明したが、本願発明は圧電体層 14 が圧縮応力層および引張応力層を有し、その圧縮応力および引張応力が相殺されるように応力調整されているものであれば、本発明の効果を得ることができるものであり、FBAR を支持基板上に形成する位置や構造に依存しない。このため、前記非特許文献 1 に記載されているメンブレン構造の FBAR や音響反射ミラーを有する構造の FBAR に対しても同様の効果が期待できる。

30

【図面の簡単な説明】

【0069】

【図 1】本発明の音響共振器に係る一実施の形態の第 1 実施例を示した図面であり、図 1 の (1) は音響共振器の概略構成断面図であり、図 1 の (2) は圧電体層の拡大断面図である。

【図 2】本発明の音響共振器に係る一実施の形態の第 2、第 3 実施例の圧電体層を示した概略構成断面図である。

40

【図 3】第 1 ~ 第 3 実施例の各音響共振器の特性と、従来の構成の圧電体層を有する音響共振器の特性とを比較する図面である。

【図 4】本発明の音響共振器の製造方法に係る一実施の形態の実施例を示した製造工程断面図である。

【図 5】本発明の音響共振器の製造方法に係る一実施の形態の実施例を示した製造工程断面図である。

【図 6】従来の空気ブリッジ型の FBAR の一例を示した図面であり、図 6 の (1) は FBAR の平面レイアウト図であり、図 6 の (2) は FBAR の概略構成断面図である。

【図 7】従来の空気ブリッジ型の FBAR を示す概略構成断面図である。

50

【図8】従来の空気ブリッジ型のFBARの問題点を示す概略構成断面図である。

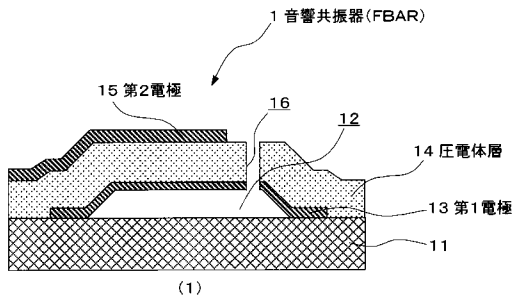
【図9】従来の空気ブリッジ型のFBARの問題点を示す平面レイアウト図である。

【符号の説明】

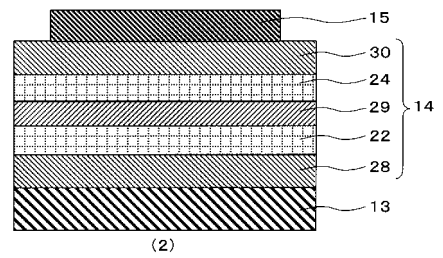
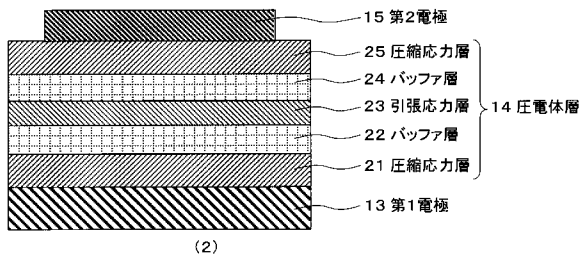
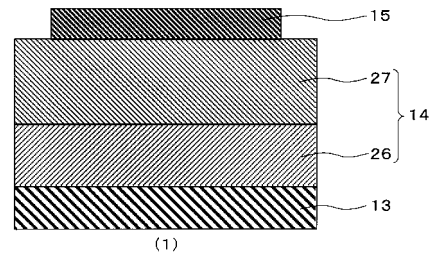
【0070】

1 ... 音響共振器、13 ... 第1電極、14 ... 圧電体層、15 ... 第2電極、21, 25 ... 圧縮応力層、23 ... 引張応力層

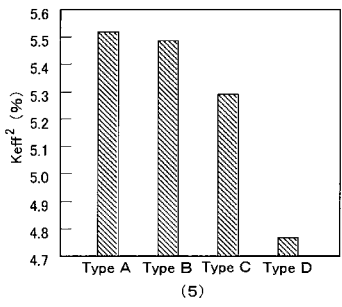
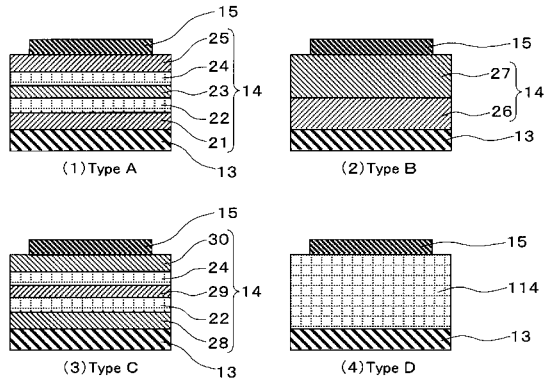
【図1】



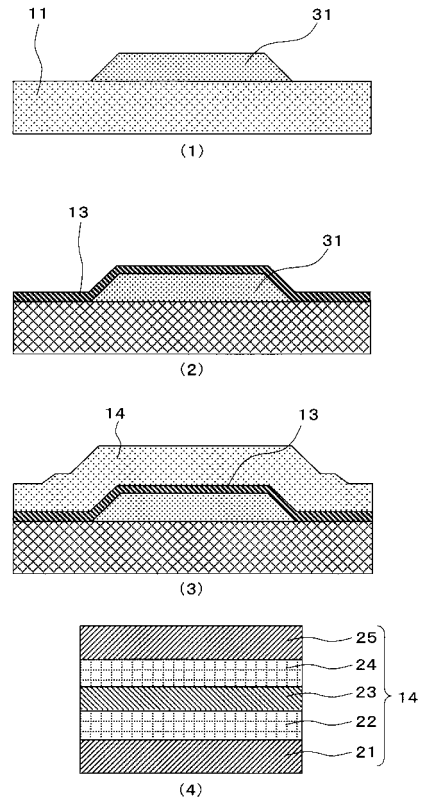
【図2】



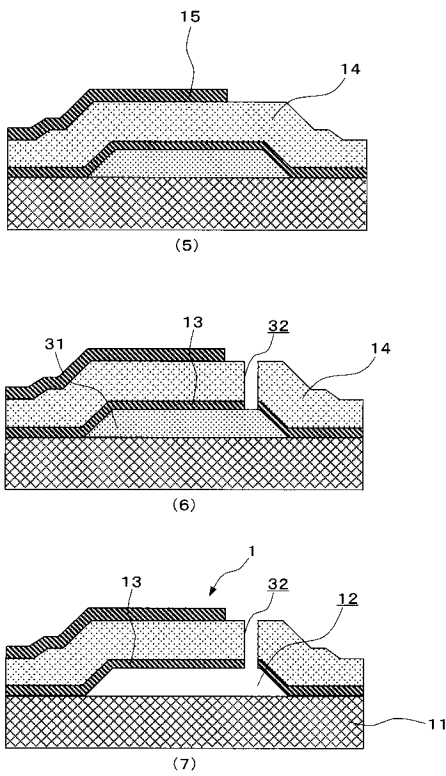
【 図 3 】



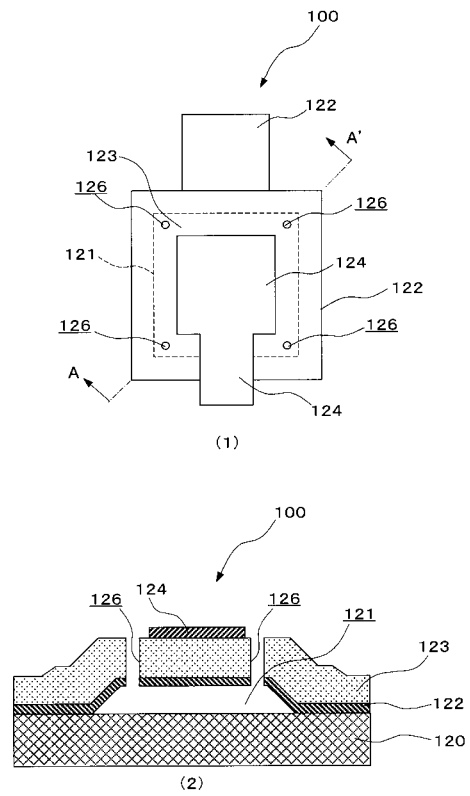
【 図 4 】



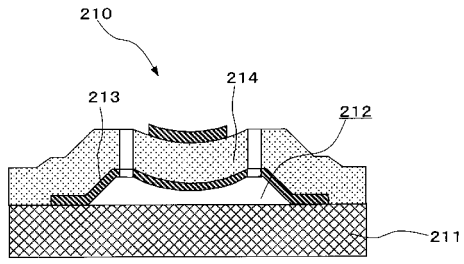
【 図 5 】



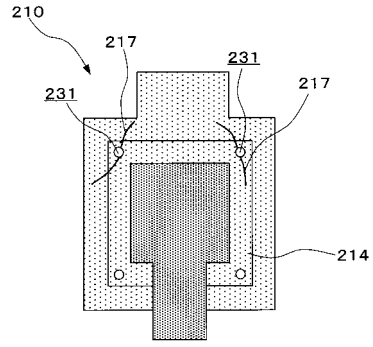
【 図 6 】



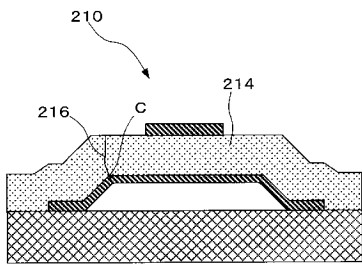
【 図 7 】



【 図 9 】



【 図 8 】



フロントページの続き

(51) Int.Cl.

F I

テーマコード(参考)

H 0 1 L 41/18 1 0 1 Z