(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第5316048号
(P5316048)

(45)発行日　平成25年10月16日(2013.10.16)　(24)登録日　平成25年7月19日(2013.7.19)

(51)Int.Cl.		F I		
H03H 3/02	(2006.01)	H03H	3/02	B
H03H 9/19	(2006.01)	H03H	9/19	K
H03H 9/215	(2006.01)	H03H	9/215	
H01L 41/09	(2006.01)	H01L	41/08	C
H01L 41/18	(2006.01)	H01L	41/18	101A

請求項の数 7　(全 13 頁)　最終頁に続く

(21)出願番号　特願2009-28237(P2009-28237)
(22)出願日　平成21年2月10日(2009.2.10)
(65)公開番号　特開2010-187063(P2010-187063A)
(43)公開日　平成22年8月26日(2010.8.26)
審査請求日　平成23年12月21日(2011.12.21)

(73)特許権者　000002369
セイコーエプソン株式会社
東京都新宿区西新宿２丁目４番１号
(74)代理人　100091292
弁理士　増田　達哉
(74)代理人　100091627
弁理士　朝比　一夫
(74)代理人　100095728
弁理士　上柳　雅誉
(74)代理人　100107261
弁理士　須澤　修
(74)代理人　100127661
弁理士　宮坂　一彦

最終頁に続く

(54)【発明の名称】水晶基板の加工方法および音叉型水晶振動片の製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

水晶Ｘ板のエッチング領域に対してレーザーを照射して水晶とは異なる組織構造を有する変質層を水晶のＹ軸方向に沿って形成する工程と、

前記変質層を起点として前記エッチング領域をエッチングする工程と、を有することを特徴とする水晶基板の加工方法。

【請求項２】

水晶のＺ軸方向に複数の前記変質層を配列させることを特徴とする請求項１に記載の水晶基板の加工方法。

【請求項３】

水晶Ｘ板の－Ｘ面側から＋Ｘ方向にエッチングすることを特徴とする請求項１または２に記載の水晶基板の加工方法。

【請求項４】

前記レーザーが、フェムト秒パルスレーザーであることを特徴とする請求項１ないし３のいずれか一項に記載の水晶基板の加工方法。

【請求項５】

前記レーザーの出力を、３００ｎＪ以上５００ｎＪ未満とすることを特徴とする請求項１ないし４のいずれか一項に記載の水晶基板の加工方法。

【請求項６】

エッチング液としてフッ酸を主成分とする溶液を用いることを特徴とする請求項１ない

し５のいずれか一項に記載の水晶基板の加工方法。
【請求項７】
第１水晶Ｘ板および第２水晶Ｘ板を、互いのＸ軸を平行にするとともに前記Ｘ軸の正負の方向が互いに逆向きとなるように貼り合わせる工程と、
前記第１水晶Ｘ板および前記第２水晶Ｘ板における各々の－Ｘ面側からレーザーを照射して各エッチング領域に変質層を形成する工程と、
前記変質層を起点としてエッチングすることによって前記各エッチング領域をエッチングする工程と、
前記振動片本体上に電極を形成する工程と、を有することを特徴とする音叉型水晶振動片の製造方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、水晶基板の加工方法および音叉型水晶振動片の製造方法に関するものである。
【背景技術】
【０００２】
従来より、水晶振動子が様々な電子機器の発振回路に周波数制御素子として採用されている。特に、小型で壊れにくく、正確に振動する省電力の水晶振動子として音叉型振動子が用いられている。このような音叉型振動子は、特にクロック源として時計を含む各種電子機器に発振回路とともに内蔵され、印加された電圧に伴って、逆電圧減少により振動する。
【０００３】
このような音叉型振動子を製造する方法として、エッチング方法が挙げられる。水晶Ｘ板（水晶Ｙ軸に回転して得られた基板を含む）をエッチングによって加工しようとした場合、Ｘ面のエッチングレートは殆どないのでエッチングすることができない。そのため、以下に示すようなレーザーで加工する方法が提案されている。
特許文献１では、レーザー波長に大きな吸収を有する液体層（例えば、色素を含有する有機溶液など）を加工対象に接触させた状態で、基板の背面方向からナノ秒紫外レーザーを照射し、液体層と基板との界面でアブレーションを起こして微細表面加工を行う方法を提案している。
また、特許文献２，３では、ガラス基板に対してレーザーを集光照射することにより内部に変質層を形成した後、変質層の一部を液相エッチングにより除去することによって溝を形成する方法を提案している。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００４】
【特許文献１】特開２０００－９４１６３号公報
【特許文献２】特開２００６－２５６９３３号公報
【特許文献３】特開２００２－２１０７３０号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
上記した加工方法は、溝の形成などのような微細加工のみに用いられ、基板の薄型化や比較的大きな面積の加工に用いられるようなものではなかった。一般的に、基板の薄型化には研削や研磨が用いられており、薄型化する基板に接着材やワックスを介してサポート基板を貼り合せた状態で処理を行っていた。このような方法は基板全体を薄型化するには適しているものの、水晶基板における広範囲な面積を部分的に加工するのは難しい。
【０００６】
本発明は、上記従来技術の問題点に鑑み成されたものであって、水晶Ｘ板に対する広範

囲な面積の加工が容易に行うことが可能な水晶基板の加工方法および音叉型水晶振動片の製造方法を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【０００７】

本発明の水晶基板の加工方法は、上記課題を解決するために、水晶Ｘ板のエッチング領域に対してレーザーを照射して水晶とは異なる組織構造を有する変質層を水晶のＹ軸方向に沿って形成する工程と、前記変質層を起点として前記エッチング領域をエッチングする工程と、を有する。

【０００８】

本発明の水晶基板の加工方法によれば、水晶Ｘ板のエッチング領域に対してレーザーを照射して変質層を形成することで、エッチング処理においてまず変質層が先にエッチングされ、その後、変質層を起点としてエッチングが周囲（±Ｚ方向）に進行し、エッチング領域全体がエッチングされる。このように、従来ウェットエッチングによる加工が困難であった水晶Ｘ板のエッチング加工が可能となる。したがって、水晶Ｘ板のエッチング領域に予め変質層を形成しておくことによって、効率よく基板加工することが可能となる。

また、本発明によれば、水晶のＹ軸方向に延びる変質層を形成することにより、Ｚ軸方向に比べてエッチングレートの遅いＹ軸方向のエッチングが可能である。また、変質層以外の領域でＺ軸方向よりも先にＹ軸方向へエッチングされることはほとんどない。

【００１０】

また、水晶のＺ軸方向に複数の前記変質層を配列させることが好ましい。

本発明によれば、複数の変質層を起点としてＺ軸方向（±Ｚ方向）にエッチングが進行するので、少ないレーザー照射で水晶Ｘ板の広範囲な加工が可能となる。

【００１１】

また、水晶Ｘ板の－Ｘ面側から＋Ｘ方向にエッチングすることが好ましい。

本発明によれば、水晶Ｘ板の－Ｘ面側から＋Ｘ方向にエッチングすることによって、水晶の異方性の影響を受けることなく底面を平坦にエッチングして残すことが可能となる。

【００１２】

また、レーザーが、フェムト秒パルスレーザーであることが好ましい。

本発明によれば、透過性を有する水晶基板に対して変質部を確実に形成することができる。また、変質部（レーザー照射領域）の周囲に損傷を及ぼすおそれがない。また、水晶とは組織構造の異なる状態の変質層を形成することができる。このような変質層は、エッチングレートが高いので、エッチング処理を短時間で行うことが可能となる。

【００１３】

また、レーザーの出力を、３００ｎＪ以上５００ｎＪ未満とすることが好ましい。

本発明によれば、変質部分を目視で確認できるので、変質部を所定領域に確実且つ容易に形成することができる。また、レーザー照射後、水晶基板に亀裂が入ることを防止できる。

【００１４】

また、エッチング液としてフッ酸を主成分とする溶液を用いることが好ましい。

本発明によれば、フッ酸が含有された溶液を用いることにより、高エッチングレートで薄型加工することが可能である。

【００１５】

本発明の音叉型水晶振動片の製造方法は、第１水晶Ｘ板および第２水晶Ｘ板を、互いのＸ軸を平行にするとともにＸ軸の正負の方向が互いに逆向きとなるように貼り合わせる工程と、第１水晶Ｘ板および第２水晶Ｘ板における各々の－Ｘ面側からレーザーを照射して各エッチング領域に変質層を形成する工程と、変質層を起点としてエッチングすることによって各エッチング領域をエッチングする工程と、振動片本体上に電極を形成する工程と、を有する。

【００１６】

本発明によれば、水晶Ｘ板の表面および裏面が第１水晶Ｘ板および第２水晶Ｘ板におけるそれぞれの－Ｘ面となるので、水晶Ｘ板の表面および裏面側からそれぞれレーザーを照射して変質層を形成することによって、第１水晶Ｘ板および第２水晶Ｘ板の変質層を同時にエッチングすることが可能となる。したがって、水晶Ｘ板のエッチング領域に予め変質層を形成しておくことによって、効率よく基板加工することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【００１７】

【図１】本実施形態の音叉型水晶振動片の製造方法によって製造される振動片本体の概略構成図。

【図２】音叉型水晶振動片の製造フロー図。

【図３】加工基板を示す斜視図。

【図４】振動片の製造方法における各工程毎における振動片の断面図。

【図５】振動片の製造方法における各工程毎における振動片の断面図。

【図６】振動片の製造方法における各工程毎における振動片の断面図。

【図７】（ａ）Ｘカット板における＋Ｘ方向のエッチング状態を示す断面図、（Ｂ）はＸカット板における－Ｘ方向のエッチング状態を示す断面図。

【図８】加工装置の概略構成図。

【図９】本実施形態の製造方法によって得られた音叉型水晶振動片の概略構成図。

【図１０】図９のＥ－Ｅ断面図。

【図１１】本発明に係る水晶基板の加工方法を示す工程図。

【図１２】本発明に係る水晶基板の加工方法を示す工程図。

【発明を実施するための形態】

【００１８】

以下、本発明の実施形態につき、図面を参照して説明する。なお、以下の説明に用いる各図面では、各部材を認識可能な大きさとするため、各部材の縮尺を適宜変更している。

【００１９】

水晶により構成される基板は、異方性を有しており、エッチングを行う際にその結晶軸の軸方向によって異なる速度でエッチングが進行する。各結晶軸のエッチング速度において、Ｙ軸方向及びＸ軸方向はＺ軸方向に比べて非常に遅くなる。Ｙ軸、Ｘ軸はほとんどエッチングされない。また、近年、音叉型水晶振動子の小型化の要望が高まっており、例えば、１枚の水晶基板からエッチングによって音叉型水晶振動片を得ようとすると、各軸方向のエッチング速度差によって高精度な加工を施すことがむずかしい。そこで、本願発明者は以下の方法を提案する。

【００２０】

（音叉型水晶振動片の製造方法）

本発明の音叉型水晶振動片の製造方法の一例について述べる。図１は、本発明の製造方法によって得られる振動片本体を示す概略構成図であって、（ａ）は斜視図、（ｂ）は（ａ）のＡ－Ａ’断面図、（ｃ）は（ａ）のＢ－Ｂ’断面図、（ｄ）は（ａ）のＣ－Ｃ’断面図、図２は音叉型水晶振動片の製造フロー図、図３は加工基板を示す斜視図、図４～図６は振動片の製造方法における各工程毎における振動片の断面図を示す。

【００２１】

まず、図１（ａ）に示すような音叉型水晶振動片の主体となる振動片本体１２０を製造する。振動片本体１２０は、図１（ｂ）～（ｄ）に示すように、基部１１０と、基部１１０から突出する３本の音叉腕３ａ，３ｂ，３ｃとを有してなり、基部１１０に対して音叉腕３ａ，３ｂ，３ｃの厚みが非常に薄く形成されている。

【００２２】

初めに、図３に示すように、主面が結晶軸（ＸＹＺ）のＸ軸に直交した２枚のＸカット水晶片（第１水晶Ｘ板）１０及びＸカット水晶片（第２水晶Ｘ板）１１を直接接合することにより加工基板３０を形成する（Ｓ１）。ここで、Ｘカット水晶片１０およびＸカット水晶片１１を切り出す水晶としては、同一結晶系であれば、右手系水晶あるいは左手系水

晶のいずれを用いても良い。各Ｘカット水晶片１０，１１の厚さは約１００μｍである。Ｘカット水晶片１０およびＸカット水晶片１１は、結晶軸（ＸＹＺ）において互いの結晶のＺ軸（Ｙ軸）が平行するとともに（ある若干の角度ずれが存在していても良い）、接合方向においてＸ軸の正負の方向が互いに反転するように重ね合わせて接合する。本実施形態では、Ｘカット水晶片１０，１１同士をフッ酸接合やプラズマ接合などを用いて直接接合している。

【００２３】

次に、図８に示すレーザー照射装置２０の多軸ステージ２８上に加工基板３０を載置する。そして、図４（ａ），（ｂ）に示すように加工基板３０の両主面１０１ａ，１１１ａにおける各エッチング領域Ａ１，Ａ２に対してフェムト秒レーザー照射を行うことによって複数の変質ライン１５０を形成し、これらを含む変質層１５１，１５２を形成する（Ｓ２）。レーザー光を照射すると、その熱エネルギーなどによって照射領域における結晶の相移転などが生じて水晶とは異なる組織構造となる。

【００２４】

本実施形態の製造方法に用いるレーザー照射装置２０は、図８に示すようにレーザー光源２３、光学系、多軸ステージ２８を基本として構成されており、レーザー光源２３から発せられたレーザー光が、ハーフミラー２６を経て対物レンズ２７に入射された加工基板３０に照射されることになる。ここで、フェムト秒レーザーとは、パルス幅がフェムト秒（ｆｓ：10^{-15}）台のパルスレーザーであって、極めて短時間に高エネルギーが照射部位に集中するため、その主意に熱伝導が生じる前に加工が進行し、集光領域のみの加工が誘起される。このため、照射部位の周囲には影響が殆ど及ばない、また、フェムト秒レーザーを使用することで、水晶のような透明部材に対しても集光照射が可能である。

【００２５】

本実施形態では、フェムト秒レーザーとして、例えば波長８００ｎｍ、パルス幅１３０ｆｓ、周波数５ｋＨｚのチタンーサファイヤレーザーを使用する。レーザー光線の集光スポット径は０．５～１μｍ程度である。

【００２６】

また、レーザー出力は１５０ｎＪ～４５０ｎＪ、好ましくは２００ｎＪ～４００ｎＪであって、本実施形態では３００ｎＪに設定する。なお、レーザー出力を１００ｎＪとした場合には変質部分を目視で確認することができず、出力を３００ｎＪにすることで変質部分を目視で確認することが可能となる。また、出力を５００ｎＪまで高めた場合には変質部分を目視で確認できるものの、加工基板３０に亀裂が入ってしまうおそれがある。

【００２７】

加工基板３０に対するレーザー光の照射位置の走査は、加工基板３０を載置した多軸ステージ２８を移動させることによって行う。この多軸ステージ２８は、Ｘ方向、Ｙ方向、Ｚ方向のいずれにも移動できるように構成されている。この多軸ステージ２８は、ドライバ９を介してコンピューター装置８によって制御されて移動する。すなわち、コンピューター装置８は、多軸ステージ２８を所定のプログラムに従って駆動させることにより、加工基板３０において、レーザー光の集光点が任意の予定された軌跡上を走査されるようにする。さらに、多軸ステージ２８の上方には、多軸ステージ２８上に載置される加工基板３０のアライメントの整合をとるためのＣＣＤカメラ２１が備えられており、このＣＣＤカメラ２１の映像に基づいて加工基板３０に対するレーザー光の照射位置等定めることとする。

【００２８】

本実施形態では、まず、Ｘカット水晶片１０側を表向きにして加工基板３０を多軸ステージ２８上に載置させ、図５（ａ）に示すように加工基板３０の所定のエッチング領域Ａ１に対してその表面、つまりＸカット水晶片１０の主面１０１ａ（－Ｘ面）側からレーザーを照射する。このとき、多軸ステージ２８を一方向に移動させることで、加工基板３０のＹ軸方向に沿った直線状の変質ライン１５０を形成する。本実施形態では、上述した多軸ステージ２８の移動速度を毎秒２．５ｍｍ、レーザー光の照射間隔を５ｋＨｚとするこ

とでスポット間隔を０．５μｍにし、変質部位同士が繋がるように加工する。さらに、板厚１００μｍの加工基板３０の厚み方向に焦点距離を５μｍずつ変えて、厚さ方向における所定範囲を変質させる。そして、Ｘカット水晶片１０の全面にＺ軸方向に配列する複数本の変質ライン１５０をストライプ状に形成する。このとき、隣り合う変質ライン１５０同士の間隔が１０μｍとなるようにレーザーを照射するとともに、Ｘカット水晶片１０の底部に厚さ２μｍ程度の単結晶層が残るように照射制御を行うことによって、所定のエッチング領域Ａ１に複数の変質ライン１５０を有する変質層１５１を形成する。

【００２９】

次に、加工基板３０を裏返してＸカット水晶片１１側を表向きにし、所定のエッチング領域Ａ２に対して主面１１１ａ（－Ｘ面）側からレーザー照射を行うことによって複数本の変質ライン１５０をストライプ状に形成し、変質層１５２を形成する。

【００３０】

次に、図５（ｂ）に示すように加工基板３０の表面全体に保護膜３１を形成する（Ｓ３）。保護膜３１としては、Ｃｒ層上にＡｕ層を積層したものからなり、例えばスパッタ法や蒸着法を用いて成膜される。この後、保護膜３１の表面にレジストを塗布し、フォトリソ工程を経て所望のレジストマスク３２Ａを形成した後（Ｓ４）、このレジストマスク３２Ａの形状に従って図５（ｃ）に示すように保護膜３１をパターン形成する。

【００３１】

次に、図５（ｄ）に示すように、加工基板３０を水晶を溶解するエッチング溶液に浸漬させ、パターン化された保護膜３１をマスクとしてウェットエッチングを行うことにより変質層１５１，１５２を除去し（Ｓ５）、加工基板３０を部分的に薄型化する。エッチング溶液としては、フッ化水素水溶液５０％とフッ化アンモニウム溶液５０％を１：１で混合したものを用いた。変質層１５１，１５２の組織構造は水晶の結晶性が変化して粗な状態となっているため常温のままでも素早く溶けるが、変質層１５１，１５２内には変質ライン１５０間に単結晶層が混在している。このため、エッチング液を２５℃程度に加熱して処理を行うことによって、まず変質層１５１，１５２を溶解除去するとともにＺ軸方向にも同じ速度でエッチングを進行させる。

【００３２】

既述の通り、加工基板３０は、Ｘカット水晶片１０，１１のＸ軸の正負の向きが互いに反転するように貼り合わせたものであるため、その表裏から厚さ方向（＋Ｘ方向）に同一の速度でエッチングが進行する。

【００３３】

また、保護膜３１に覆われた部分はエッチングされずに残る。本実施形態では、フッ酸系のエッチング液を用いることから、エッチング液のダメージを防ぐためにエッチング領域以外の残す部分を覆うようにして保護膜３１を設けたが、使用する液の温度によっては保護膜を必要としない場合もある。

【００３４】

次に、加工基板３０上からレジストマスク３２Ａおよび保護膜３１を剥離した後、図６（ｅ）に示すように再びレジストを塗布し、フォトリソグラフィーによってレジスト膜Ｒｅをパターン化することで、図６（ｆ）に示すような振動片本体の外形に対応したレジストマスク３２Ｂを形成する（Ｓ６）。

【００３５】

次に、レジストマスク３２Ｂを介して加工基板３０をエッチングすることにより、図６（ｇ）に示すような振動片本体１２０を得る（Ｓ７）。ここで、水晶のエッチングには、水晶の組織がSiO_2であるため、フッ素系のガス、CF_4ガスなどを用いたドライエッチングを行う。このようにして振動片本体１２０が形成される。

【００３６】

次に、レジストマスク３２Ｂを剥離し、加工基板３０の表面全体にスパッタ等によりＣｒ膜およびＡｕ膜をこの順で成膜して電極膜３５を形成する。例えば、Ｃｒ膜を１００Å、Ａｕ膜を５００Åで形成する。続けて、図６（ｈ）に示すようにフォトレジストを電極

膜３５上の全面に塗布した後、フォトリソグラフィーによってレジスト膜をパターン化することで、電極パターンに対応したレジストマスク３２Ｃを形成する。その後、このレジストマスク３２Ｃを介して電極膜３５のエッチングを行うことにより、図６（ｉ）に示すように振動片本体１０２上に複数の電極（駆動電極４ａ，４ｂ，４ｃ，５ｂ，５ａ，５ｃおよび電極７Ａ，７Ｂ）を形成する（Ｓ８）。

その後、振動片本体１０２上からレジストマスク３２Ｃを除去することによって音叉型水晶振動片１が得られる。

【００３７】

本実施形態の製造方法では、加工基板３０に対してフェムト秒レーザー照射を行うことによってそのエッチング領域Ａ１，Ａ２に変質層１５１，１５２を形成している。水晶にフェムト秒レーザーを照射すると、レーザーが照射された部分が溶解して再結晶化した非結晶状態、少なくともアモルファス、多結晶、水晶、空洞などが入り混じった状態となって水晶の結晶性が変化する。つまり、変質層１５１，１５２は、空隙等が含まれるなどして水晶とは異なる組織構造を有することになる。

【００３８】

このような変質層では水晶の異方性がなくなってしまうため、水晶自体をエッチングする場合に比べてエッチングレートが非常に速くなる。レーザーが照射されてエッチングレートが速くなった理由は水晶の単結晶構造が破壊されたためと思われる。例えばアモルファス構造のガラスと水晶ではエッチングレートはガラスのほうが桁違いに速いことからも推察される。

【００３９】

Ｘカット板は、Ｘ軸方向のエッチング速度が非常に遅くほとんどエッチングすることができない。例えば、上記したＨＦ水溶液５０％とNH_4F水溶液５０％の混合液からなるエッチング液を８０℃で加熱してエッチングした場合、Ｚ軸方向は１時間で８０μｍ程度エッチングできるのに対して、Ｘ軸方向は１μｍエッチングできるかどうかである。また、Ｙ軸方向もＺ軸方向に比較してエッチングレートは非常に遅い。

【００４０】

そこで、本実施形態のように、Ｘカット水晶片１０，１１における互いのＸ軸を一致させるとともに正負の向きを逆方向にして接合した加工基板３０のエッチング領域Ａ１，Ａ２に対して、予めレーザー照射による変質層１５１，１５２を形成した上でウェットエッチングを行うこととした。これにより、まず変質層１５１，１５２が溶解し、そこからＺ軸方向にエッチングが進行する。ところが、Ｘ軸方向およびＹ軸方向にはほとんどエッチングは進まない。このため、加工基板３０におけるエッチング領域Ａ１，Ａ２にレーザーを照射してその部分における水晶を部分的に変質させることによって、変質部分からエッチングレートの早いＺ軸方向にエッチングが進行して加工基板３０を薄型化することが可能となる。

【００４１】

また、Ｘカット水晶片１０，１１における互いのＸ軸の正負の向きを逆向きにして接合し、加工基板３０の両主面１０１ａ，１１１ａが－Ｘ面となるようにした。これにより、図７（ａ）に示すようにエッチングが＋Ｘ方向へと進行することとなり、平坦なエッチング面が得られる。ところが、Ｘカット水晶板に対して－Ｘ方向のエッチングを行うと水晶の異方性の影響を受けて、図７（ｂ）に示すようにエッチング面が山型となりやすい。そこで、本実施形態では、エッチング時に水晶の異方性の影響を受けにくい－Ｘ面側から＋Ｘ方向へ向かってエッチングが行えるように、Ｘカット水晶片１０，１１における互いのＸ軸の正負の向きを逆向きにして接合し、加工基板３０を構成した。

【００４２】

本実施形態の製造方法によれば、水晶Ｘ板からなる加工基板３０のエッチング領域Ａ１，Ａ２に対してレーザーを照射して複数の変質ライン１５０を形成しておくことにより、エッチング処理においてまず変質ライン１５０が先にエッチングされ、その後、変質ライン１５０を起点としてエッチングが周囲（±Ｚ方向）に進行し、変質層１５１，１５２全

体が除去されることとなる。このようにして、加工基板３０のエッチング領域Ａ１，Ａ２の全体がエッチングされる。したがって、従来ウェットエッチングによる加工が困難であった水晶Ｘ板のエッチング加工が可能となる。したがって、加工基板３０のエッチング領域Ａ１，Ａ２に予め変質層１５１，１５２を形成しておくことによって、効率よく基板加工することが可能となる。

【００４３】

このように、水晶の異方性とレーザーアシストエッチングとの組み合わせによって、従来、ウェットエッチングによる加工が困難であった水晶Ｘ板のウェットエッチング加工が可能となる。また、少ないレーザー照射によって比較的大きな面積を加工することができるため、作業に手間がかからず生産効率が良い。

また、本実施形態においてはフェムト秒レーザーを用いている。これにより、透明な水晶基板に変質層を必要な箇所に必要な数だけ確実且つ容易に形成することが可能である。

以上、本実施形態の製造方法を用いれば、発振周波数を決定する膜厚を、高い加工精度にて薄く形成することが可能であるため、小型化な音叉型水晶振動片１を容易に形成することができる。

【００４４】

なお、本実施形態においては、３本の音叉腕から構成される振動片の製造方法について示したが、２本以上の複数本で構成される振動片とすることが可能であり、その本数は限定しない。

【００４５】

上述した本実施形態の製造方法を用いて製造された音叉型水晶振動片の概略構成について図９を参照して述べる。なお、図１０は図９のＥ－Ｅ断面図である。

音叉型水晶振動片１は、基部片１０Ｂ，１１Ｂからなる基部１１０と、振動片１０ａ，１１ａからなる音叉腕３ａ、振動片１０ｂ，１１ｂからなる音叉腕３ｂ、振動片１０ｃ，１１ｃからなる音叉腕３ｃの３つの音叉腕３ａ，３ｂ，３ｃとから構成される振動片本体を有している。また、各音叉腕３ａ，３ｂ，３ｃには、Ｘ軸方向に垂直な面の上面に駆動電極４ａ，４ｂ，４ｃが形成され、下面に５ａ，５ｂ，５ｃがそれぞれ形成されている。そして、これら駆動電極４ａ，４ｂ，４ｃが基部１１０の上面１１０ａに形成された電極７Ａと電気的に接続され、駆動電極５ａ，５ｂ，５ｃが同じく基部１１０の上面１１０ａに形成された電極７Ｂと電気的に接続されている。

【００４６】

このような構成による、例えば、Ｘ軸方向に振動する場合、音叉腕３ａにおいて、駆動電極４ａに印加される電圧が駆動電極５ａより高い場合、電界の方向が駆動電極４ａから駆動電極５ａへ向かうため、振動片１０ａが伸張し、振動片１１ａが収縮することになり、図１０の下部方向に振動する。また、駆動電極４ａに印加される電圧より、駆動電極５ａに印加される電圧が低い場合、電界の方向が駆動電極５ａから駆動電極４ａへ向かうため、振動片１０ａが収縮し、振動片１１ａが伸張するため、図１０の上部方向に振動する。

【００４７】

したがって、矩形波の交番電圧が各音叉腕の駆動電極間に印加されることにより、Ｘ軸方向に音叉腕３ａが振動することになる。他の音叉腕３ｂ及び音叉腕３ｃも同様である。

また、上述したように、隣接する音叉腕間にて駆動電圧として、交番電圧の位相が互いに逆となるように接続されているため、隣接する音叉腕はＸ軸に沿って、互いに逆方向、すなわち一方が上部に振動すると他方が下部に移動して振動を行う。

【００４８】

このような音叉型水晶振動片１は、Ｘカット水晶片１０，１１を直接接合などで接合することにより、音叉腕３ａ，３ｂ，３ｃが形成されているため、Ｘ軸方向に垂直な上面および下面にそれぞれ形成した駆動電極４ａ，４ｂ，４ｃと駆動電極５ａ，５ｂ，５ｃに位相の異なる電圧を印加することにより上下振動を行わせることができる。つまり、隣接する音叉腕３ａ，３ｂ，３ｃがＸ軸に沿って各々逆方向に振動することにより、基部１１０

に伝達する振動エネルギーを打ち消し合うことにより抑制するため、振動片の固定バラツキの影響により音叉腕３ａ，３ｂ，３ｃの振動が不安定になることを抑制することができる。したがって、Ｑ値の特性値を維持させつつ小型化することができる。

【００４９】

次に、本発明に係る水晶基板の加工方法について述べる。図１１及び図１２は水晶Ｘ板に対して変質層を形成した場合の斜視図である。

水晶Ｘ板を加工する場合、図１１（ａ），図１２（ａ）に示すように、水晶Ｘ板１７１，１７２の所定のエッチング領域に対してその－Ｘ面側からＹ軸に沿う方向にレーザーを照射することによって、Ｚ軸方向にストライプ状に配列された複数の変質ライン１７０を形成する。これにより、エッチング液に浸したときに各変質ライン１７０を起点として±Ｚ方向へとエッチングが進行し、図１１（ｂ），図１２（ｂ）に示すような所望形状に加工することが可能となる。なお、水晶Ｘ板１７１，１７２に対するレーザーの焦点深度を調整することによって、水晶Ｘ板１７１，１７２の厚さ方向全体に変質ライン１７０を形成することができるので、溝等を形成するだけでなく、貫通孔も形成することが可能である。

このように、水晶Ｘ板１７１，１７２に対し、そのＹ軸方向に延びる変質ライン１７０をＺ軸方向へ複数形成することによって、広範囲な領域をウェットエッチングにより加工することができる。

【００５０】

以上、添付図面を参照しながら本発明に係る好適な実施形態について説明したが、本発明は係る例に限定されないことは言うまでもない。当業者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、それらについても当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

【００５１】

例えば、先の実施形態では、加工基板３０の両主面１０１ａ，１１１ａのそれぞれからレーザーを照射するとしたが、２ビームのレーザー集光位置等を調整するなど、条件によっては片面側からのレーザー照射によって変質層１５１，１５２を形成することも可能である。これにより、加工基板３０を裏返すなどの手間が省けるので効率が良い。

【００５２】

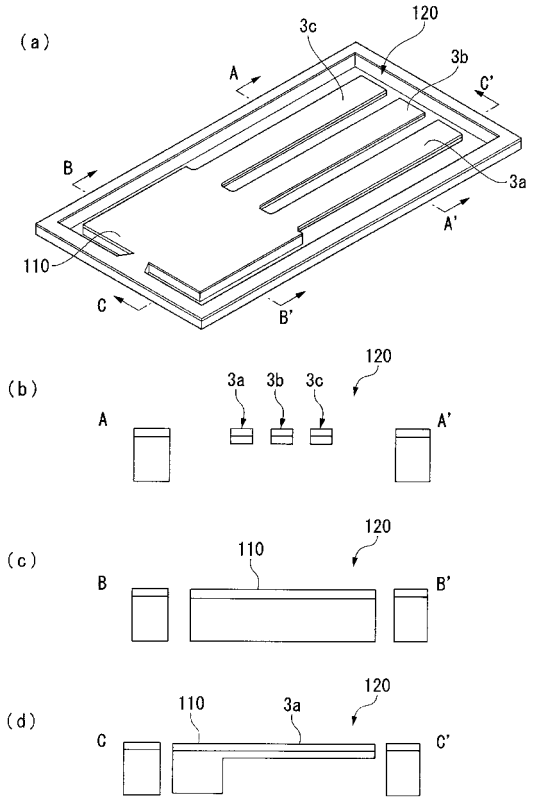
また、先の実施形態では、ドライエッチングにより振動片本体１０２を形成したが、加工基板３０における振動片の外形に沿った抜き取り部分に対してレーザーを照射して変質層を形成しておき、ウェットエッチングによりこの変質層を除去することによって振動片本体１０２を形成してもよい。

【符号の説明】

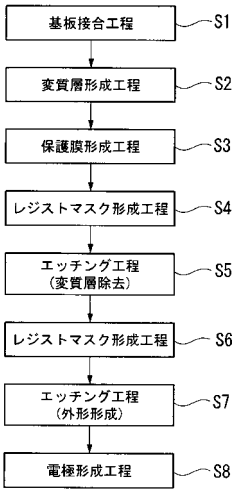
【００５３】

１…音叉型水晶振動片、１０…Ｘカット水晶片（第１水晶Ｘ板）、１１…Ｘカット水晶片（第２水晶Ｘ板）、Ａ１，Ａ２…エッチング領域、１５１，１５２…変質層、１０１ａ，１１１ａ…主面（－Ｘ面側）、１０２…振動片本体、４ａ，５ａ…駆動電極、７Ａ，７Ｂ…電極

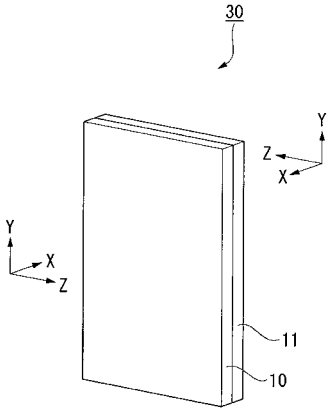
【図１】


(a)
3c
120
3b
A
C'
B
3a
A'
110
C
B'
(b)
120
3a
3b
3c
A
A'
(c)
120
110
B
B'
(d)
110
3a
120
C
C'

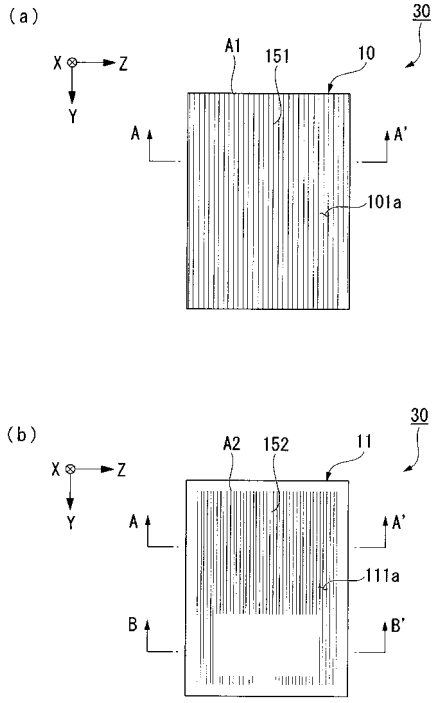
【図２】


基板接合工程
S1
変質層形成工程
S2
保護膜形成工程
S3
レジストマスク形成工程
S4
エッチング工程
（変質層除去）
S5
レジストマスク形成工程
S6
エッチング工程
（外形形成）
S7
電極形成工程
S8

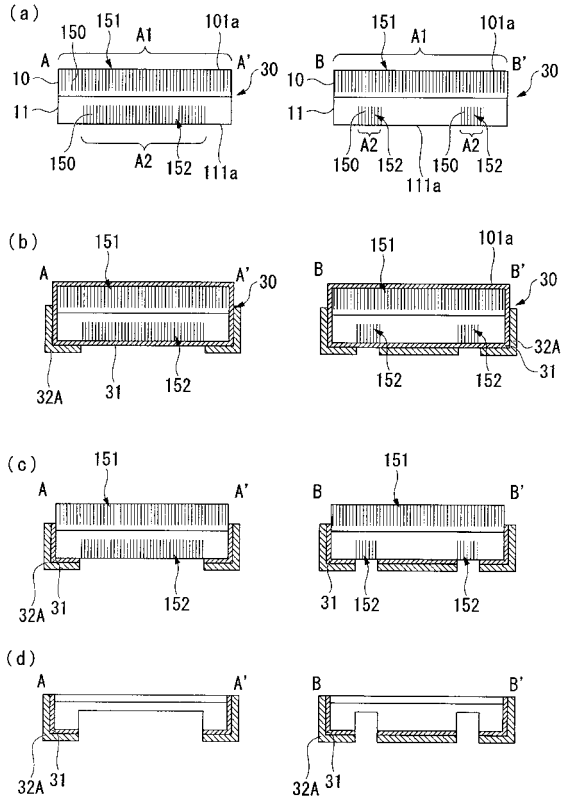
【図３】


30
Y
Z
X
Y
X
Z
11
10

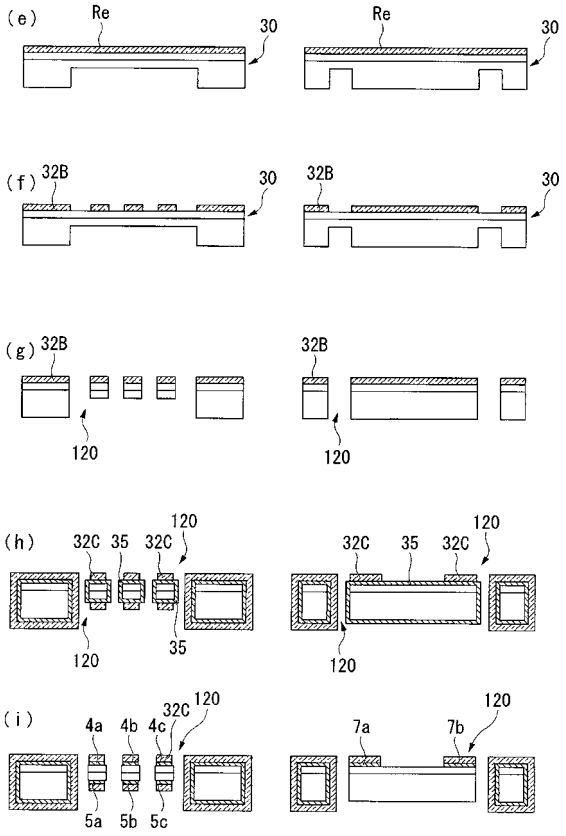
【図４】


(a)
30
X
Z
Y
A1
151
10
A
A'
101a
(b)
30
X
Z
Y
A2
152
11
A
A'
111a
B
B'

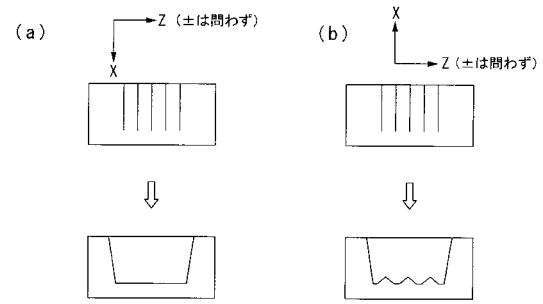
【図５】


(a)
150
151
A1
101a
A
A'
30
10
11
150
A2
152
111a
B
B'
(b)
32A
31
152
(c)
(d)

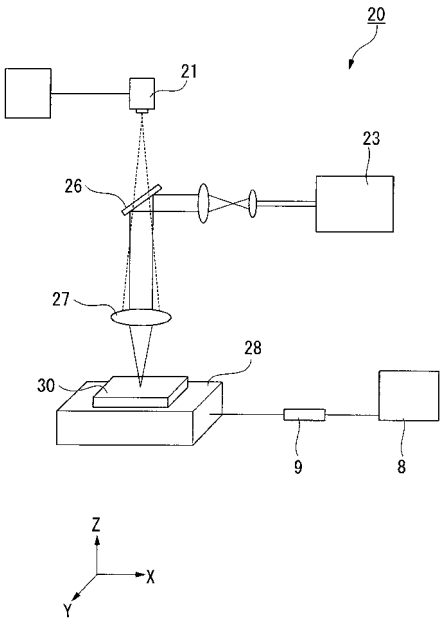
【図６】


(e)
Re
30
(f)
32B
(g)
120
(h)
32C
35
(i)
4a
4b
4c
5a
5b
5c
7a
7b

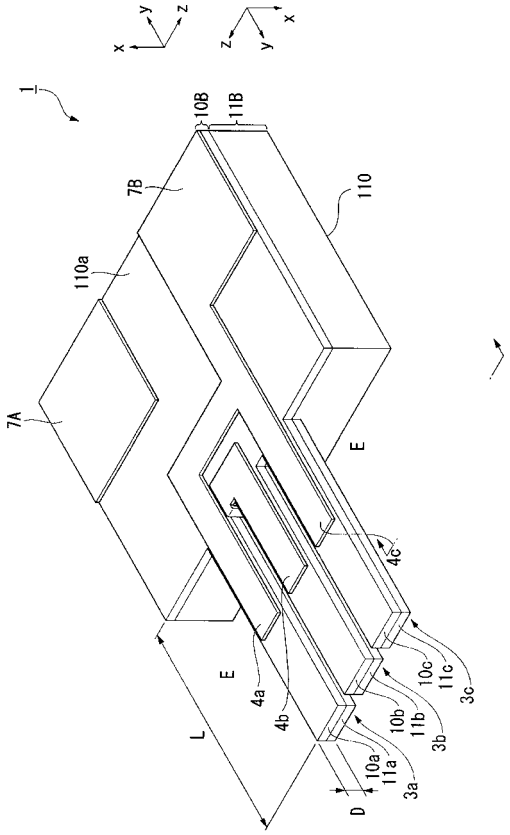
【図７】


(a)
Z（±は問わず）
X
(b)

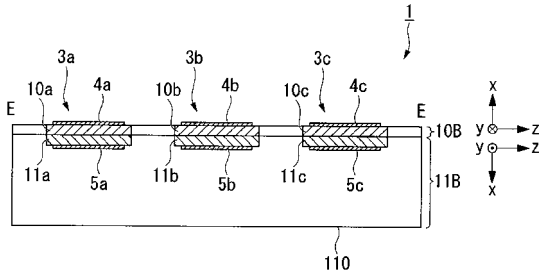
【図８】


20
21
23
26
27
28
30
9
8
Z
X
Y

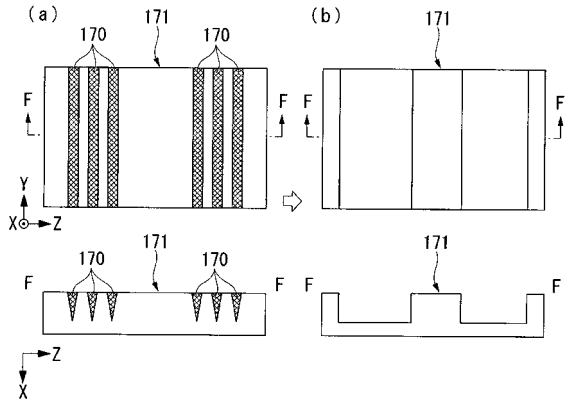
【図９】



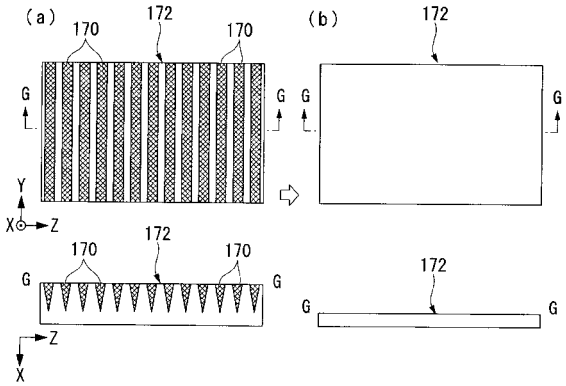
【図１０】



【図１１】



【図１２】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H01L 41/22 (2013.01) H01L 41/22

(72)発明者 北村 文孝
長野県諏訪市大和３丁目３番５号 セイコーエプソン株式会社内

審査官 橋本 和志

(56)参考文献 特開平１１－３１６１２５（ＪＰ，Ａ）
特開２００７－２８８３３１（ＪＰ，Ａ）
特開平１１－１９９４００（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０３Ｈ３／００７－３／１０
Ｈ０３Ｈ９／００－９／７６
Ｈ０１Ｌ４１／０９
Ｈ０１Ｌ４１／１８
Ｈ０１Ｌ４１／２２