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

特許第3701994号

(P3701994)

(45)発行日　平成17年10月5日(2005.10.5)　(24)登録日　平成17年7月22日(2005.7.22)

(51)Int.Cl.[7]	F I		
H03H 3/04	H03H	3/04	B
H03H 9/19	H03H	3/04	A
	H03H	9/19	C

請求項の数 15　(全 17 頁)

(21)出願番号　特願平6-318928
(22)出願日　平成6年12月21日(1994.12.21)
(65)公開番号　特開平8-181558
(43)公開日　平成8年7月12日(1996.7.12)
審査請求日　平成10年10月15日(1998.10.15)
審判番号　不服2001-14500(P2001-14500/J1)
審判請求日　平成13年8月16日(2001.8.16)

(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　100096208
弁理士　石井　康夫
(72)発明者　五味　武
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
(72)発明者　遠藤　幸弘
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

最終頁に続く

(54)【発明の名称】圧電素子、圧電振動子、その製造方法および加工装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

圧電素子の表面の少なくとも一部に形成された電極の少なくとも一部にイオン化された粒子を照射する手段と、

前記圧電素子の周波数を測定可能な測定手段と、

前記圧電素子の電極に対し低周波数成分を除去して前記測定手段を接続する接続手段を有する圧電素子の加工装置において、

前記接続手段は、前記電極と接地を短絡するように、一方が前記電極側に接続され、他方が接地側に接続されたコイルを備えていることを特徴とする圧電素子の加工装置。

【請求項２】

前記接続手段は、前記コイルの一方の側と直列に繋がった抵抗を備えていることを特徴とする請求項１に記載の圧電素子の加工装置。

【請求項３】

前記接続手段は、前記一方の側と前記測定手段との間に挿入された容量を備えていることを特徴とする請求項１または２に記載の圧電素子の加工装置。

【請求項４】

圧電素子の表面の少なくとも一部に形成された電極の少なくとも一部にイオン化された粒子を照射する第１の照射手段と、

前記電極の少なくとも一部に、前記第１の照射手段より前記電極を減厚する能力の低いイオン化された粒子を照射する第２の照射手段と、

前記電極の少なくとも一部に対し前記第１および第２の照射手段をこの順番に適用する手段と、
前記圧電素子の周波数を測定可能な測定手段と、
前記圧電素子の電極に対し低周波数成分を除去して前記測定手段を接続する接続手段を有する圧電素子の加工装置において、
前記接続手段は、前記電極と接地を短絡するように、一方が前記電極側に接続され、他方が接地側に接続されたコイルを備えていることを特徴とする圧電素子の加工装置。
【請求項５】
前記接続手段は、前記コイルの一方の側と直列に繋がった抵抗を備えていることを特徴とする請求項４に記載の圧電素子の加工装置。
【請求項６】
前記接続手段は、前記一方の側と前記測定手段との間に挿入された容量を備えていることを特徴とする請求項４または５に記載の圧電素子の加工装置。
【請求項７】
前記第１の照射手段およびこの第１の照射手段と対峙した前記電極との距離を制御可能な第１の制御手段と、前記第２の照射手段およびこの第２の照射手段と対峙した前記電極との距離を制御可能な第２の制御手段を有することを特徴とする請求項４ないし６のいずれか１項に記載の圧電素子の加工装置。
【請求項８】
前記第１および第２の照射手段は、前記測定手段の測定結果に基づいて前記距離を制御することを特徴とする請求項７に記載の圧電素子の加工装置。
【請求項９】
圧電素子の表面の少なくとも一部に金属製の電極を形成する工程と、
前記電極の少なくとも一部に対しイオン化された粒子を照射し周波数を調整する加工工程を有し、
前記加工工程において、前記圧電素子の電極に流れる電流の低周波数成分を除去する接続手段を介して前記圧電素子の周波数をモニターする圧電素子の製造方法において、
前記接続手段は、前記電極と接地を短絡するように、一方が前記電極側に接続され、他方が接地側に接続されたコイルを備えていることを特徴とする圧電素子の製造方法。
【請求項１０】
前記接続手段は、前記コイルの一方の側と直列に繋がった抵抗を備えていることを特徴とする請求項９に記載の圧電素子の製造方法。
【請求項１１】
前記接続手段は、前記一方の側と前記測定手段との間に挿入された容量を備えていることを特徴とする請求項９または１０に記載の圧電素子の製造方法。
【請求項１２】
圧電素子の表面の少なくとも一部に金属製の電極を形成する工程と、
前記電極の少なくとも一部に対しイオン化された粒子を照射し周波数を調整する第１の加工工程と、
前記電極の少なくとも一部に対し前記第１の加工工程より前記電極を減厚する能力の低いイオン化された粒子を照射し周波数を調整する第２の加工工程とを有するとともに、
前記第１の加工工程および前記第２の加工工程において、前記圧電素子の電極に流れる電流の低周波数成分を除去する接続手段を介して前記圧電素子の周波数をモニターする圧電素子の製造方法において、
前記第２の加工工程は前記第１の加工工程の後に適用されるものであり、
前記接続手段は、前記電極と接地を短絡するように、一方が前記電極側に接続され、他方が接地側に接続されたコイルを備えていることを特徴とする圧電素子の製造方法。
【請求項１３】
前記接続手段は、前記コイルの一方の側と直列に繋がった抵抗を備えていることを特徴とする請求項１２に記載の圧電素子の製造方法。

【請求項１４】
前記接続手段は、前記一方の側と前記測定手段との間に挿入された容量を備えていることを特徴とする請求項１２または１３に記載の圧電素子の製造方法。
【請求項１５】
前記第１の加工工程において、前記電極に流れる電流の低周波数成分を除去しながら前記圧電素子の周波数をモニターし、このモニターされた周波数に基づき前記粒子の照射源とこの照射源と対峙する前記電極との距離を制御し、前記モニターされた周波数がターゲットとする周波数に達すると前記第２の加工工程に移行することを特徴とする請求項１２ないし１４のいずれか１項に記載の圧電素子の製造方法。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【産業上の利用分野】
本発明は水晶振動子等の圧電素子の製造過程において共振周波数の周波数調整を行う方法、そのための装置、およびこれらによって製造された圧電素子、振動子に関するものである。
【０００２】
【従来の技術】
従来の水晶振動子に代表される圧電素子の周波数の調整は質量を付加して所望の周波数を得る蒸着を用いた周波数調整方法が一般的であった。これに対し、近年、スパッタエッチングを行ったり、あるいはイオンガンを用いてイオンビームを照射して電極の質量を軽減し、所望の周波数を得る、いわゆるプラズマを用いた周波数調整方法が提唱されている。
【０００３】
現状のプラズマを用いた周波数調整方法では、まず、圧電母材を所定の切り出し角度と形状に切断し、その後、研磨して圧電体を仕上げる。そして、この圧電体の表裏に電極形状を模したマスクを密着させた後、真空中で銀等の金属膜を蒸着してベース電極を形成する。この際、従来の蒸着による周波数調整と異なり、膜厚モニタで蒸着中の周波数を管理し、共振周波数を所望値に対して５００～２０００ｐｐｍ低く設定する。すなわち、所望の周波数が得られる電極膜厚に対し、膜厚が増した状態の素子を製造する。
【０００４】
このような電極の形成された圧電素子を適当なホルダーに装着し、スパッタエッチングあるいはイオンビームを照射することにより、電極を減厚して周波数を高め、所望の共振周波数を得る。このような周波数の調整を行う際は、まず、調整を行おうとする圧電素子（ワーク）の共振周波数を測定して合わせ込み周波数との周波数差を求める。圧電素子の周波数調整を行う加工レートを、予め測定されたスパッタエッチングあるいはイオンビームの強度を基に定め、個々のワークの周波数差とこの加工レートからスパッタエッチングまたはイオンビームを照射する時間を割り出す。
【０００５】
次に、この照射時間を基に照射を開始する。照射する際は、ワークに直流電流が流れるので、測定系を電気的に切り離す。そして、計算された照射時間に達する前に、照射を中断し、測定系を再び接続し、再度ワークの共振周波数を測定し、合わせ込み周波数との差を検出する。これらの作業を数回繰り返えすことにより、合わせ込み周波数との差が所定の範囲に（ほぼ零）になるよう合わせ込みを行なう。
【０００６】
蒸着を用いた周波数調整方法では、周波数調整を行う際には蒸着速度を極端に遅くする必要があり、さらに、蒸着する部分を制限するためのマスクも精度の高いものが必要となるなど、設備、作業時間などの面で非常にコスト高であった。また、調整後の周波数精度もそれほど高い値は望めなかった。これに対し、プラズマを用いた周波数調整方法は、作業時間は短くて済み、調整後の周波数精度も高くなるという利点を備えている。
【０００７】
【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、提唱されているプラズマを用いた周波数調整方法も解決すべき幾つかの問題を含んでいる。まず、蒸着の場合と異なり、プラズマを印加することによってワークに直流電流が流れるので周波数調整中の共振周波数をモニターできないことである。このため、加工レートから照射時間を決定し、この時間を管理することによって周波数調整を行わざるを得ない。照射時間を決める加工レートは、電極の大きさ、種類など様々なファクターを考慮して計算できるが、同じ周波数帯であっても各々の圧電素子で製造工程上の固体差があり、またはスパッタガンやイオンビームガンのソース側の安定性や加工装置の雰囲気など、加工レートに影響を与える要素は様々である。そして、これらを一括して管理することは非常に難しい。このように、単に照射時間を管理するだけでは、周波数調整後の共振周波数が合わせ込み周波数からずれてしまうので、照射時間を分割し、調整状況に合わせて照射時間を調整している。従って、実際には、照射、周波数測定、照射といったステップを何度も繰り返す必要があるために加工時間を短縮できる効果はそれほど得られていない。また、照射時間を管理するだけなので、最終的に周波数を合わせ込み高い精度を確保するためには高度な経験が必要となり、自動化することには困難が伴う。

【０００８】

次に、加工レートの問題がある。スパッタリングやイオンガンに印加されている電圧・電流を一定に保つと、略一定の安定したエネルギーの照射が得られ、加工レートも略一定に保てる。しかし、ワークの共振周波数と合わせ込む周波数との差が大きいときは、大きな加工レートが得られないと加工時間が長くなり製造効率が悪化する。一方、周波数の微調整を行うときは加工レートが小さくないと精度の高い調整はできない。加工レートを大きくしておき、シャッター等の機構によってある程度の精度は確保できるが、加工装置が複雑になり、これらの制御および動作の安定性などの考慮すべき問題がある。また、このような機構を用いても最終的な周波数の精度の向上はあまり期待できない。

【０００９】

イオンガンなどの周波数調整源に供給する電流を制御することによって加工レートを調整することも可能である。しかし、加工レートが変動すると加工時間も変わり、イオン化された粒子のエネルギーの変動を精度良く把握できないと、精度の高い加工時間を設定できない。従って、上述した共振周波数をモニターできないこともあって、加工レートを変動させ加工時間が短縮できても最終的な周波数の精度を確保することは困難である。さらに、周波数調整源を定常状態で維持させるためにはある一定以上の電力を供給する必要があり、電力の変動に起因する周波数調整源の不安定さも解決する必要がある。

【００１０】

このようにプラズマを用いて電極を減厚する周波数調整方法は、精度の向上および加工時間の短縮といった面で非常にメリットがあると予想されるが、安定した性能の製品を安価に提供するには至っていない。そこで、本発明においては、上記のような問題を解決し、プラズマによって周波数の調整された圧電素子を実際に市場に供給できる製造方法、それに適した加工装置を提供することを目的としている。さらに、プラズマによる周波数調整を製造工程の中にインライン化して、効率良く周波数調整できる製造方法および加工装置を提供することも目的としている。そして、このような製造方法および加工装置を用いてプラズマ加工によって精度良く周波数調整され、性能の安定した圧電素子、および振動子を安価に提供することを目的としている。

【００１１】

【課題を解決するための手段】

本発明においては、まず、周波数を合わせ込む精度を向上させるために、周波数を測定するネットワークアナライザーなどの測定手段を、直流、脈流などの低周波数成分を除去する接続手段を介して圧電素子の電極に接続し、照射中の共振周波数の変化をモニターできるようにしている。低周波数成分を除去可能な接続手段としては、接地側と繋がったコイルを用いることができ、これによって照射によって流れる直流成分などの共振周波数をモニターするのに必要のない成分を除去し、測定系のダメージを回避できる。共振周波数をモニターしながら周波数調整を行うことにより、連続的な加工が可能となり、さらに、自

動化も容易となるので、周波数を調整する工程も自動化された製造工程の中に組入れ、効率的な運用を行える。さらに、コイルに加えて負荷容量を接続することによってフィルター機能に加えて、圧電振動子ユーザーの回路系とのマッチングを図ることができ、また、コイルと直列に抵抗を接続することによって、照射初期の電流を低減することができる。

【００１２】

本発明においては、さらに、イオンガンなどのイオン化したガスの照射源が安定した状態で照射強度が制御できるように、照射する手段と照射対象となる電極との距離を制御する手段を設けてある。照射する手段と電極との距離を変えることによって照射源の稼働状態を変動させずに電極に照射されるイオン化されたガスのエネルギーを制御できる。従って、安定した照射条件下で精度の高い周波数調整が可能となる。

【００１３】

さらに、本発明においては複数のステップに分けて照射を行うことにより、加工作業にかかる時間を短縮し、精度の高い共振周波数を得るようにしている。すなわち、加工レートの比較的大きな工程と、加工レートの比較的小さな工程を組み合わせることによって、加工時間の短縮と共振周波数の微調整を可能としている。また、このように工程を分割することによって１つの工程におけるターンダウンレシオ（加工レートの最大値と最小値との比）を小さくできるので、装置の安定性は増し、装置の簡略化も図れ、信頼性も向上できる。

【００１４】

【実施例】

図１に、本発明の実施例に係る圧電素子の周波数を調整する加工装置の例を示してある。本例の装置３０は、圧電素子を搬送するコンベアーなどの搬送機構１８の移動方向（矢印Ａ）に沿って３つのブロックに主に分かれている。圧電素子が導入される側の第１のブロック３１ａは、圧電素子の大まかな周波数調整を行う粗調用のブロックである。次の第２のブロック３１ｂは、中間的な周波数調整を行う粗微調用のブロックであり、これに続いて最終の周波数の合わせ込みを行う第３のブロック３１ｃが配置されている。

【００１５】

各々のブロック３１ａ～３１ｃでは、照射エネルギーの異なる周波数調整源９ａ～９ｃからイオン化されたガスが搬送機構１８によって運ばれる圧電素子（ワーク）３に照射されるようになっている。本例では、周波数調整源９ａ～９ｃとしてイオンガンを採用しており、また、ガスとしてアルゴンガスを採用している。これらイオンガン９ａ～９ｃ、ワーク３および搬送機構１８、および後述するこれらの位置を調整する機構は、真空容器１０に格納されている。この真空容器１０の内部はメカニカルブースターポンプ１１を介してロータリーポンプ１２で10^{-3}Ｔｏｒｒ程度まで真空排気された後、アルゴンガス供給源８から10^{-1}～10^{-2}Ｔｏｒｒ程度までアルゴンガスが満たされている。さらに、真空容器１０の搬入側および搬出側にはロードロック室１０ａおよび１０ｂが設けられており、搬送機構１８を用いてワーク３が連続的に真空容器１０の内部に運び込まれるようになっている。

【００１６】

搬送機構１８で搬入されたワーク３は、第１のブロック３１ａから第２、第３のブロック３１ｂおよび３１ｃと順番に照射され、周波数の調整が自動的に行われる。ワーク３は、この加工装置１０に搬入される前に、圧電体の表面に、例えば銀、アルミニウムなどの金属製の電極が蒸着などによって形成されており、これらの電極は所望の共振周波数ｆ０となる電極に対し若干厚く仕上げてある。従って、搬入されたワーク３の共振周波数ｆ１は、所望の共振周波数ｆ０に対し２０００ｐｐｍ程度低い値となっており、このようなワークに対しイオンガスを照射して電極の厚みを減らし、共振周波数ｆ１をｆ０まで上げる加工が本例の装置３０で行われる。

【００１７】

ベースとなる電極が仕上がった状態のワーク３は、周波数ｆ１が２０００ｐｐｍ程度のばらつきを持っているので、まず、粗調を行う第１のブロック３１ａでは、所望の共振周波

数ｆ０に対し２００ｐｐｍまでの合わせ込みを受け持つ。このため、ワーク３と周波数調整源９ａとの距離は５ｍｍ程度と他のブロックの周波数調整源に比べ近い距離に設定されており、これにより加工レートは約８００ｐｐｍ／秒と速い加工レートが得られる。

【００１８】

第２のブロック３１ｂでは粗微調を行い、粗調上がりのワーク３の周波数ｆ１が共振周波数ｆ０に対し５０ｐｐｍ程度となるまでの合わせ込みを受け持つ。このため、ワーク３と周波数調整源９ｂとの距離は１０ｍｍ程度に設定されており、加工レートは約１００ｐｐｍ／秒が得られるようになっている。

【００１９】

第３のブロック３１ｃは、最終的な調整である微調を行うブロックであり、粗微調上がりのワーク３の周波数ｆ１が所望の共振周波数ｆ０に対し０ｐｐｍとなるまでの合わせ込みを受け持つ。このため、ワーク３と周波数調整源９ｃとの距離は２０ｍｍ程度に設定されており、さらに、加工レートは約２０ｐｐｍ／秒の遅い加工レートが得られようにして微妙な調整を可能にしてある。

【００２０】

本例の加工装置３０は、このような加工レートの異なる３つのステップで周波数調整を行うことによって、短時間に２０００ｐｐｍから０ｐｐｍまでの調整を行え、さらに、最終的な微妙な調整も無理なくできるようになっている。そして、これらのブロック３１ａ～３１ｃの間をワークは自動的に搬送されるので、ワーク３を連続的に処理でき、製造工程の流れの中に周波数を調整する工程を容易に導入できる。

【００２１】

また、周波数調整源９ａ～９ｃは、個々に圧電素子３の共振周波数ｆ１をフィクスチャ２を介して連続的にネットワークアナライザ１で測定できる。さらに、個々のブロックの周波数調整源（イオンガン）９ａ～９ｃとワーク３との距離は駆動機構１４ａ～１４ｃによって調整でき、これによって個々のブロックの加工レートを変えることができる。従って、ワークの周波数ｆ１と合わせ込み周波数ｆ０との周波数差Δｆを個々のブロック毎に外部演算装置１５で管理し、そのブロックの最適加工レートとなるよう個々の駆動装置１４へ制御信号を送り、各ブロック毎にワーク３と周波数調整源９ａ～９ｃとの距離を変えることができる。この結果、各ブロックでは、ワーク３の周波数ｆ１をターゲットとする周波数に達するまでまで容易に、また確実に安定して調整できる。さらに、本例の装置３０は、加工スピードを低下させずに過大な照射による周波数の合わせ込みが失敗するといった事態を未然に防止できる。

【００２２】

図２に、第１～第３の各ブロックの構成を示してある。これらのブロック３１ａ～３１ｃの構成はワークとイオンガンとの距離や、イオンガンの照射エネルギーなどを除けば同じであるので、１つのブロックを代表して示してある。

【００２３】

真空容器１０の内部に設置されている周波数調整手段すなわち周波数調整源として本例ではイオンガン９を用いている。イオンガン９は、例えば、内部に直流電源１３の接続されたステンレス製のφ１０ｍｍの電極棒を備えており、外周部を構成するφ１００ｍｍの円筒状をしたステンレスとは絶縁され、さらに、外周部はアースシールドされている。上述したように、真空容器１０を10^{-3}Ｔｏｒｒレベルに真空排気された後、アルゴンガスが10^{-1}～10^{-2}Ｔｏｒｒ程度流入された状態であり、イオンガン９の電極棒に直流電源１３から直流電圧を印加すると、アースシールドされた外周部との間でアルゴンプラズマが発生する。発生したプラズマによりアルゴンガスはラジカルおよびイオンとなり、イオン化されたアルゴンガスは、電極棒の先端方向に当たるイオンガン９のφ３ｍｍの噴き出し口５から飛び出す。

【００２４】

この噴き出し口５と対向した位置に搬送機構１８によって搬送されたワーク３が位置しており、水晶振動子等のワーク３の表面にイオン化されたガス粒子が衝突する。アルゴンイ

オンがワーク３に衝突することでワーク３の表面に形成された電極膜４（本例では、ワーク３の両面に電極膜４ａおよび４ｂが形成されており、アルゴンイオンは図示された電極膜４ａの反対側の面の電極膜４ｂに照射される）の銀を弾き飛ばす。このため、電極の質量は減少し、その結果ワーク３の周波数ｆ１は低い周波数から高い周波数へ変化する。

【００２５】

イオンガン９とワーク３との間には、シャッター１６が設置されており、このシャッター１６を駆動機構１７で開閉制御することによってアルゴンイオンの照射を遮断できる。さらに、シャッター１６とワーク３との間にはマスク２５が挿入されており、このマスク２５によってアルゴンイオンの方向性を規定している。本例の装置に用いられているマスク２５は、連続的に搬送される複数のワーク３に対し、周波数調整が行われているワーク以外にはアルゴンイオンが照射されないようにするためのものである。従って、蒸着に用いられるマスクのように精度の高いものは不要であり、また、このマスクに対するワークの位置合わせにもそれほどの精度は要求されない。

【００２６】

さらに、イオンガン９をワーク３に対し前後方向に移動させる駆動機構１４が設けられており、イオンガン９とワーク３との間の距離を変えることによって、ワークに照射されるアルゴンイオンのエネルギーおよび量を制御できるようになっている。このように距離を変えることによってアルゴンイオンのエネルギーや量を制御すれば、イオンガン９は所定の電力を印加したままの安定した状態で保持できるので、安定した性能および加工レートがえられる。このため、加工レートの制御は容易であり、大きな電力を印加したまま高いレートでの制御もでき、また、微調を行うような低いレートでの良好な応答性も得られる。

【００２７】

アルゴンイオンが衝突することにより変化するワーク３の周波数ｆ１は、フィクスチャ２を介して、周波数測定手段すなわちネットワークアナライザ１を用いて連続的に測定している。ネットワークアナライザ１とフィクスチャ２の接続は、５０Ω系の同軸ケーブルが用いられる。フィクスチャ２とワークとの接続は、ワーク３に接続されたリードに対し、駆動機構２４によって着脱可能なプローブ２３を介して行われ、連続的に搬送されたワーク３の照射中の周波数を測定するようになっている。

【００２８】

図３に、本例の装置に採用されている測定系の構成を示してある。本例の測定系で採用しているフィクスチャ２の回路構成（インピーダンス整合回路）では、ワーク３に設けられた２つの電極４ａおよび４ｂのそれぞれに、抵抗１９，２０，２１がπ型に配置された標準的なπ回路が接続され、さらに、これらのπ回路の上流（ワーク３の側）にコイル２２が抵抗２１と並列になるように接続されている。これらのコイル２２はワーク３の電極４ａおよび４ｂと、アースを短絡するように回路に接続されている。このため、照射によって電極４ａおよび４ｂに帯電したプラス電荷は直流成分、あるいは低周波数成分として、プローブ２３とこれらのコイル２２を介してアースに流れ、ネットワークアナライザー側には流れない。従って、ネットワークアナライザ１には共振周波数に起因する交流分だけが流れ込む。このため、照射によってワーク３に大きな低周波数成分の電流が流れても、故障の原因となるこの低周波数成分はネットワークアナライザ側には流れ込まず、照射中であっても継続して周波数のモニターが可能となる。

【００２９】

図４ないし図６に、フィクスチャの異なった回路例を示してある。図４に示した例は、簡易型の整合回路を用いたものであり、低周波数成分をバイパスさせるコイル２２と、これと並列に接続されたインピーダンス整合用の抵抗２１とから構成されている。抵抗２１は、コイル２２のインピーダンスより高い値のものが選定されており、低周波数成分がコイル２２に流れ、高周波成分のみがネットワークアナライザー側に供給されるようになっている。

【００３０】

図５に示した例は、標準的なπ回路にコイル２２に加え負荷容量２６を追加した回路である。この負荷容量２６の値としてユーザー側が発振回路に実際に組み込む値を採用することができ、供給先で計測されるのと同じ条件で共振周波数を測定することができる。さらに、この負荷容量２６は高周波成分のみをネットワークアナライザー側に通過させるフィルターとしての機能も果たすので、コイル２２と共にネットワークアナライザー側に直流などの低周波数成分を流さずにアース側に落とす機能を持っている。図４に示した簡易型の整合回路に負荷容量を追加することも可能である。

【００３１】

図６に示した例は、図４に示した簡易型の整合回路に負荷容量２６に加え、さらにコイル２２と直列に抵抗２７を接続してある。コイル２２と直列に抵抗２７を接続することによってコイル２２を流れる電流を制限することができる。照射開始時には急激に大きな直流電流が電極を介して流れるが、抵抗２７を挿入することによってこの突入電流の値を制限し、圧電素子を介して流れる電流を調整することが可能となる。フィクスチャ２を構成する回路として、これらのいずれの回路も採用でき、圧電素子の形状、種類、および照射状況などの要素を考慮して適当な回路を選択すれば良い。

【００３２】

図３に戻って、本例において共振周波数をモニターするために採用しているネットワークアナライザー１の概略を説明する。ネットワークアナライザー１は、高周波の発生源４１を備えており、発生された高周波信号が信号分離部４２で２つに分離され、その一方がフィクスチャ２の入力側を介してワーク３の電極の一方に印加される。ワーク３の電極の他方の側はフィクスチャ２の出力側を介してネットワークアナライザー１の受信部４３に入力され、この受信部４３には信号分離部４２で分離された残りの信号も同時に入力される。そして、受信部４３でこれらの高周波信号の位相と振幅比が求められ、表示部４４に表示され周波数を調整している途上のワーク３の共振周波数がモニターされる。同時に、これらの情報が外部演算装置１５に供給され、モニターされた共振周波数ｆ１と、予め設定された合わせ込む周波数ｆ０あるいは第１あるいは第２のブロックにおいてターゲットとされる周波数ｆ０''、ｆ０’とが比較される。

【００３３】

外部演算処理装置１５では、これらの比較に基づき各ブロックにおいてそのワークを加工するために最適な加工レートを算出する。さらに、この算出された加工レートを得るためにワーク３とイオンガン９の噴き出し口５の距離を割り出して、駆動装置１４へ信号を送る。この結果、周波数調整源９が前後に移動し、噴き出し口５とワーク３との距離が適当に調整される。

【００３４】

このようなネットワークアナライザーに替わり、図７に示す発振器４５と周波数カウンター４６を用いても照射中のワーク３の共振周波数ｆ１をモニターできる。そして、周波数カウンター４５の出力を外部演算処理装置１５に供給することによって、上記と同様に加工レートの制御が可能である。

【００３５】

これらの装置によってモニターされた共振周波数ｆ１を用いて各ブロックのワーク３と噴き出し口５の距離が調整される。本例の装置では、各ブロック毎にこの距離が５～２０ｍｍまで可変できる機構になっており、周波数調整加工を開始する前は５ｍｍの距離にプリセットされる。加工が始まるとイオンガン９は、測定された周波数の差、プログラムされた周波数の差、および加工レートの設定値に基づき制御される。そしてイオンガン９はイオンを照射して周波数の調整加工しながら徐々に後方へ移動させられ、加工レートは速い状態から徐々に遅い状態になるように制御される。この間、イオンガン９に供給されている電力は一定に保たれ、安定した照射能力が確保できる。従って、加工レートの計算および調整は簡単であり、精度の高い周波数調整が行える。さらに、照射が中断してしまったり、過大に照射して周波数が合わせ込み周波数ｆ０以上となって調整が出来なくなったりするトラブルも排除できる。そして、ワーク３のモニターされた共振周波数ｆ０が各ブロ

ックのターゲットの周波数に達するとプラズマを遮断し、ワーク３を搬送機構１８によって次のブロックに移行させる。

【００３６】

アルゴンイオンの照射開始および遮断は直流電源１３を直接オン、オフすることによって制御しても良い。あるいはプラズマを連続発生させた状態でシャッタ１６をシャッタ駆動機構１７で制御して開閉しても良い。イオンガンによって安定した照射を行うには、イオンガンを定常状態で稼働させることが望ましく、その面ではシャッター１６を用いてオン・オフすることが有効である。シャッター１６を用いてオフする場合は、本例の加工装置においては、イオンガン９とワーク３との距離は十分に確保されており、加工レートは低下した状態である。従って、シャッタースピードや制御に対する応答性にはそれほど高い値が要求されず、公知の信頼性の確立された機構を用いることができる。本例の装置では、さらに、３つのブロックを用いて最終的に合わせ込む際の加工スピードを低くできるようにしてあるので、この点でもシャッターおよびその制御機構に過大な要求は必要とされない。

【００３７】

図８に、本例の装置を用いて周波数調整を行う過程の圧電素子の周波数変化の状態を示してある。時刻ｔ１に照射を開始するとワーク３の近傍に位置する噴き出し口５からアルゴンイオンが電極に照射され、急激に周波数は上昇する。その後、上記の過程に従って、噴き出し口５とワーク３との距離は徐々に広げられ、ワークの周波数変化量は抑制され、合わせ込み周波数へ徐々に近づく。そして、ブロック毎の合わせ込み周波数近傍になったところでイオンガン９をワーク３からさらに遠ざけることによって、調整に適した加工レートを得ている。時刻ｔ２に周波数ｆ１が合わせ込み周波数ｆ０等と略一致すると照射を中止する。照射を中止するタイミングは、上流の加工工程では、ターゲットの周波数に対しある程度の幅を持たしておいてももちろん良い。

【００３８】

図９に、本例の装置を用いた圧電素子の製造過程の概略フローチャートを示してある。先ず、ステップ５１で圧電素子の表面に金属製の電極を蒸着等で形成する。次に、ステップ５２で本例の加工装置に電極の形成された圧電素子（ワーク）をセットする。そして、ステップ５３で第１のブロックに入り、粗調用の照射が行われる。この過程でのワークの周波数ｆ１をステップ５４でモニターし、第１のブロックのターゲットとする周波数ｆ０''に達するまで照射を継続する。この際、ステップ５５でモニターされた周波数に基づき、適当な加工レートが得られるようにワークとイオンガンとの距離を調整する。

【００３９】

ステップ５４でモニターされた周波数ｆ１がターゲットの周波数ｆ０''に達すると、ワーク３は搬送機構によって次の第２のブロックに移動し、ステップ５６において粗微調用の照射が行われる。このブロックにおいてもステップ５７で周波数ｆ１がモニターされ、ターゲットの周波数ｆ０’と比較される。ターゲット周波数ｆ０’に達するまでステップ５８において加工レートを調整しながら照射が継続される。

【００４０】

ステップ５７においてターゲットの周波数ｆ０’に達したと判断されると、ワーク３はさらに第３のブロックに搬送され、微調用の照射がステップ６０で行われる。ステップ６１で周波数ｆ１がモニターされ、合わせ込み用の周波数ｆ０と一致するまで加工レートをステップ６２で調整しながら照射が継続して行われる。合わせ込み周波数とモニターされた周波数が一致すると、加工装置が搬出される。そして、共振周波数が精度良く調整された圧電素子は、この素子を表面実装デバイスなどの市販される状態に加工する下流の工程に供給される。

【００４１】

このような加工工程を採用すると、個々のワークに対し、そのワークの持つ固有の条件に対応して共振周波数をモニターしながら調整できる。従って、これらの工程によって得られたワーク、すなわち圧電素子の周波数は非常に精度が高く、得られた圧電素子の共振周

波数のばらつきも非常に小さい。さらに、周波数の合わせ込みが失敗する恐れも殆どなく、無駄を省いて効率的な製造が可能となる。このように、本発明に係る製造方法および加工装置を採用することによって、プラズマを用いた周波数調整方法を実際に適用して、安価に、また短時間に高性能の圧電素子を製造し、提供できる。

【００４２】

図１０に、本例の加工装置によって周波数調整された圧電素子の例を示してある。図示した圧電素子３は、矩形状のＡＴカット水晶片を圧電体３ａとして用い、その両面に銀を蒸着させて２枚の電極４ａおよび４ｂが形成されている。そして、それらの一方の電極４ｂにアルゴンイオンを照射して一点鎖線４ｃで図示してある厚みから減厚している。減厚時の加工レートは、照射されたイオンが電極に衝突するときのエネルギーによって変化する。従って、上記の加工装置のように３段階のブロックのそれぞれにおいて、予めワークとイオンガンとの距離を粗調、粗微調、微調を行うのに適したエネルギーが得られる距離に設定しておき、その距離を前後させることで微細なチューニングを行うことが望ましい。これに替わり１台のイオンガンを粗調、粗微調、微調に用いることも可能である。この場合は、それぞれの工程に適したエネルギーの距離に荒く調整する駆動機構と、それらの距離の前後で微細に距離を調整する駆動機構の２つを用いると、上記と同様の工程でもって周波数調整を行うことができる。なお、距離の調整は本例のようにイオンガン側に限らず、ワーク側を動かしてももちろん良く、両方を動かすことも可能である。

【００４３】

また、ワークとイオンガンとの距離と同様に、イオンガンからワークに流れるイオン電流、イオンガンに印加されるフローティング電位、あるいはその両方を調整してワークに衝突するエネルギーを調整することも可能である。この他に、イオン化するガスの種類を変えたり、磁場などを用いて距離を等価的に変動させることも可能である。さらに、マスクの面積を変えて電極への照射量を制御するなど、電極を減厚する能力を調整するためには種々の手段を用いることが可能であり、これらのいずれの手段を用いても本発明を構成できることはもちろんである。

【００４４】

さらに、上述した加工装置では、２枚の電極４ａおよび４ｂのうち、一方の電極のみを減厚してある。これに替わり、対向するイオンガンを設けて両方の電極を減厚してもよいことはもちろんである。また、ワークとしても図示したようなＡＴカットされた水晶振動片に限らず、音叉形の振動片や、圧電体としてセラミックを用いた素子など、電極の厚みを調整することによって周波数を調整できる素子であれば本発明を適用できることはもちろんである。

【００４５】

さらに、上述した加工装置では、複数のワークを、並列に配置された３つのブロックに順々に搬送しているが、これらのブロックを放射状に配置し、ワークを各々のブロックに対し旋回させて粗調、粗微調、微調の各ステップを行ってももちろん良い。周波数調整を行う複数のブロックの配置は、このように製造工程のレイアウトや、製造する素子の特性などを考慮して様々にアレンジできる。さらに、上記の加工装置では粗調、粗微調、微調の３段階に分けて周波数調整を行っているが、これらの区分けも１段階から４段階以上の多段階まで、イオンガンの能力や、ワークの特性などを考慮して自由に設定できる。また、スパッタエッチングのようにワークをプラズマを形成する一方の電極として照射を行っても同様の効果を得られる。

【００４６】

図１１に、本例のプラズマを用いた加工方法で周波数調整された２６ＭＨｚの基本波のＡＴカット水晶振動子の８５°Ｃにおけるエージング特性（図１１（ａ））と、従来の蒸着によって周波数調整された同種のＡＴカット水晶振動子のエージング特性（図１１（ｂ））を示してある。本図にて判るように、蒸着により周波数調整を行った振動子では１００時間程度で周波数変化が表れ、１０００時間を経過すると２ｐｐｍ以上の周波数変動が見られる。これに対し、本発明にかかるプラズマを用いて周波数調整を行ったＡＴカット水

晶振動子では、１００時間程度では周波数変化は見られず、１０００時間を経過した段階でも、蒸着による振動子の１／３程度の周波数変化が見られるだけである。また、図１１には所定時間経過したのちの周波数のばらつき（３σ）を示してある。本図から判るように本発明の加工方法で周波数調整されたＡＴカット水晶振動子は、１０００時間後における周波数のばらつきも小さい。このように、本発明に係る電極を減厚して周波数調整を行った振動子では、電極上にさらに金属を蒸着して周波数調整を行った従来の振動子と比較し、非常に性能が安定しており、耐久能力の高い振動子が得られる。

【００４７】

このように本発明に係る製造方法および加工装置によって量産が容易となったプラズマを用いて周波数調整された圧電素子は、共振周波数の精度が高く、共振周波数のばらつきも小さく、さらに、エージング特性も非常に良いことが判明した。

【００４８】

図１２に、水晶を用いて周波数調整された水晶振動体を封止した水晶振動子の概要を示し、図１３および図１４に、この水晶振動子の断面を示してある。本例の水晶振動子７０は、シリンダー状のケース７９を備えており、その直径は２．０±０．２ｍｍ、長さは６．０±０．５ｍｍ程度である。このケース７９の内部に水晶振動体３が封止されており、各電極４の各々にリード７２が接続されている。リード７２は、ベース７１を介してケース７９の外側に導かれており、リード７２を介して水晶振動体３に電力を供給し発振できるようになっている。

【００４９】

図１５に、本例の水晶振動子７０を樹脂によってモールドし、表面実装化した水晶振動子８０を示してある。この水晶振動子８０は、水晶振動子７０のシリンダー状のケース７９から突出したリード７２を金属リード８１に溶接し樹脂８２にてモールドしたものである。本例の水晶振動子８０は、ケース７９を樹脂８２によってモールドしてあるので、このままの状態で基板の表面に実装できる素子である。

【００５０】

図１６は、本例の水晶振動子７０とＩＣ集積回路９１とを組み合わせて樹脂によってモールドした水晶発振器９０を示してある。この水晶発振器９０においては、水晶振動子７０、および水晶振動子７０を発振させる発振回路が少なくとも内蔵されたＩＣ集積回路９１が金属フレーム９２の上に樹脂８２によってモールドされた状態で搭載されている。そして、本装置９０を基板に実装することによって基板上に搭載された各回路の動作を規定する基準周波数を供給することができる。本例の水晶振動子１０の直径は２～３ｍｍ程度と小型にできるので、発振器の厚みも２．５～３．７ｍｍ程度にでき、非常に小型、軽量化できる。さらに、本例の水晶振動子を用いることにより、精度の高い高周波を安定して供給できるので、動作の高速化した電子装置に適した発振器である。

【００５１】

このように、本発明の製造方法、加工装置を用いて水晶振動子などの圧電素子の周波数調整を行うことによって、ＩＣ等と同様にＳＭＤ（サーフィス・マウント・ディバイス）として採用できる程度に小型化、軽量化され、さらに、精度の高い高周波を安定して発振可能な振動子および発振器を提供することが可能となる。さらに、このような優れた特性を持つ圧電素子を歩留り良く提供できるので、本発明によって、今後、軽量化、小型化、さらに、高速化が進む通信機器、情報処理装置をはじめ様々な電子機器分野に好適な圧電素子、これを用いた振動子、および、発振器を提供することができる。

【００５２】

【発明の効果】

以上に説明したように、本発明に係る製造方法、加工装置を用いることによって、従来から提唱されていたプラズマを用いた周波数調整方法を実際に用いて精度の高い圧電素子を効率良く製造し、提供することが可能となる。そのために、本発明においては、周波数調整中の共振周波数をモニター可能とし、照射源が安定した状態で加工レートを自由に設定できるようにしてある。従って、圧電素子各々の固有の状態にも柔軟に対応でき、共振周

波数のばらつきの少ない圧電素子を提供することが可能である。そして、本発明によって製造された圧電素子はエージング特性も良好であり、非常に安定した性能が得られる。

【００５３】

さらに、共振周波数をモニターしながら周波数調整を行うことができるので、経験やカンといったファクターを加えなくても精度の高い調整が可能であり、さらに、過大に周波数を調整しすぎると言った問題もない。従って、本発明に係る製造方法、加工装置は自動化の進んだ圧電素子の製造工程に適したものであり、圧電素子を効率的に製造できる。さらに、複数の段階に分割した周波数調整も行っており、これらによって周波数調整のスピードアップとファインチューニングという２つの要求を同時に満足させ、プラズマを用いた周波数調整方法を実際に採用できるようにしている。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の周波数調整を行う加工装置の概略を示すブロック図である。

【図２】図１に示した加工装置のブロックの１つの概略構成を示す斜視図である。

【図３】図１に示した加工装置の周波数測定系の構成を示すブロック図である。

【図４】図３に示したフィクスチャーを構成する異なった回路構成を示す図である。

【図５】図３に示したフィクスチャーを構成する異なった回路構成を示す図である。

【図６】図３に示したフィクスチャーを構成する異なった回路構成を示す図である。

【図７】図３に示す測定系の異なった構成を示すブロック図である。

【図８】周波数を調整する工程において加工レートが変化している様子を示すグラフである。

【図９】本発明の製造工程を示すフローチャートである。

【図１０】図１に示した加工装置によって周波数調整された圧電素子を示す正面図（ａ）および側面図（ｂ）である。

【図１１】図１０に示す圧電素子のエージング特性を、従来の圧電素子と比較して示す図である。

【図１２】図１０に示した圧電素子を封止した振動子の概要を示す斜視図である。

【図１３】図１２に示した振動子の構成を示す断面図であり、圧電素子の正面で切断した状態を示す図である。

【図１４】図１２に示した振動子の構成を示す断面図であり、圧電素子の側面で切断した状態を示す図である。

【図１５】図１２に示した振動子をモールドしたＳＭＤタイプの振動子の構成を一部切り欠いて示す図である。

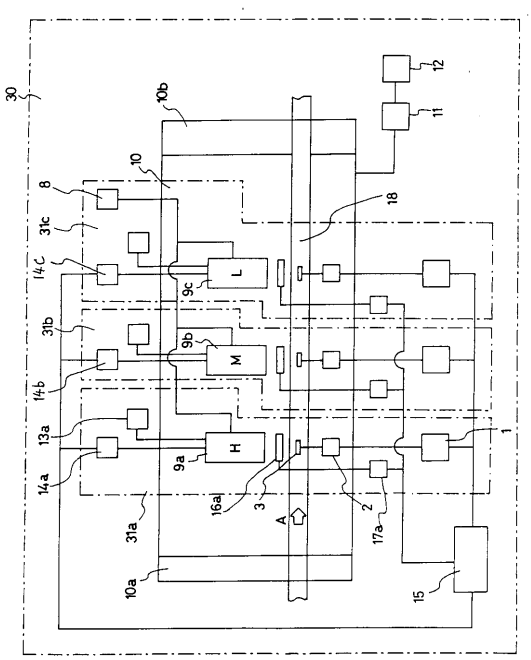
【図１６】図１２に示した振動子と発振用のＩＣをパッケージングした発振器の構成を示す断面図である。

【符号の説明】

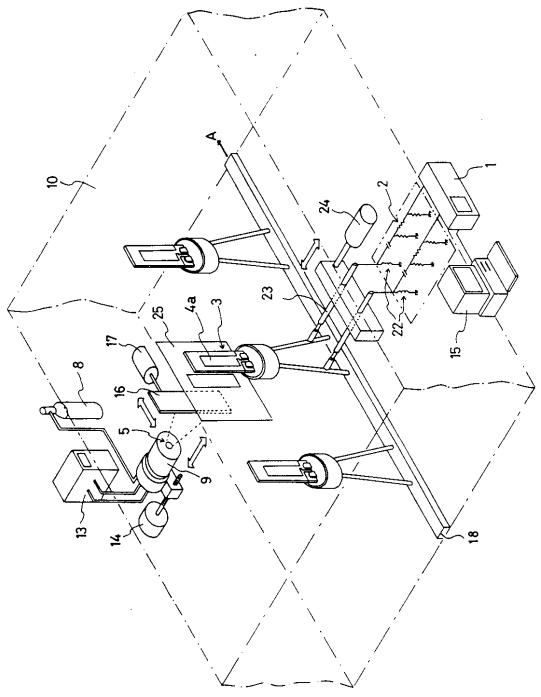
１・・ネットワークアナライザ
２・・フィクスチャ
３・・圧電素子
４・・電極膜
５・・噴き出し口
８・・ガスボンベ
９・・周波数調整源（イオンガン）
１０・・真空容器
１１・・メカニカルブースタポンプ
１２・・ロータリポンプ
１３・・直流電源
１４・・駆動装置
１５・・外部演算装置
１６・・シャッタ
１７・・シャッタ駆動機構

２０・・圧電素子搬送機構
１９・・抵抗
２０・・抵抗
２１・・抵抗
２２・・コイル

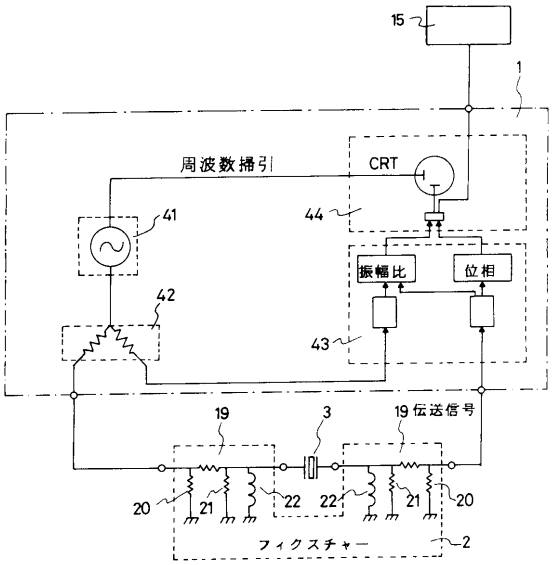
【図１】



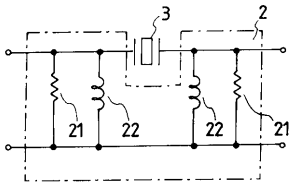
【図２】



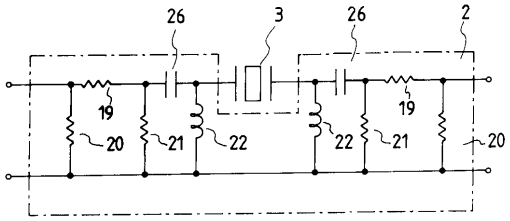
【図３】


15
1
周波数掃引
CRT
41
44
振幅比
位相
42
43
19
3
19 伝送信号
20
21
22
22
21
20
フィクスチャー
2

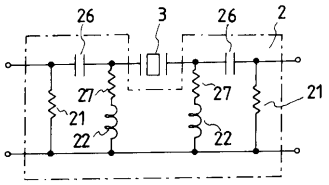
【図４】


3
2
21
22
22
21

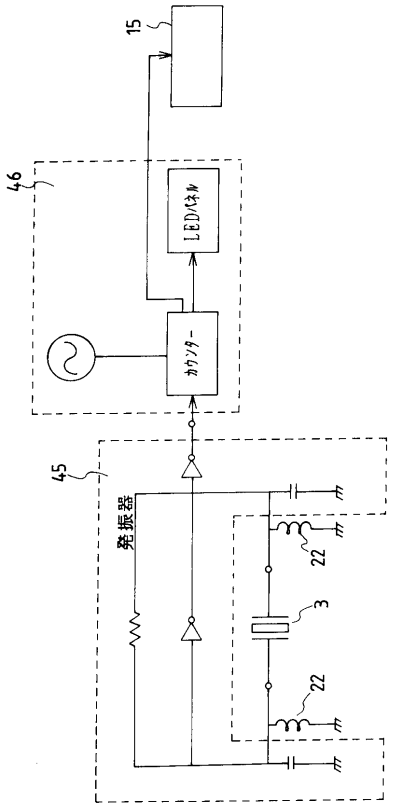
【図５】


26
3
26
2
19
19
20
21
22
22
21
20

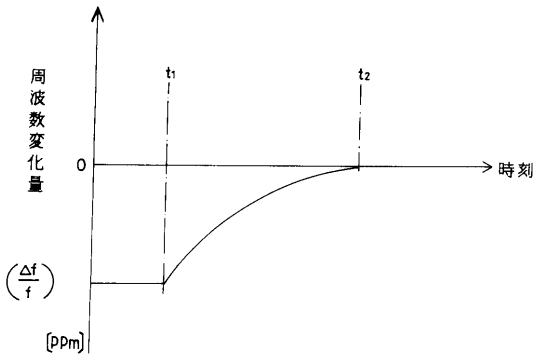
【図６】


26
3
26
2
27
27
21
21
22
22

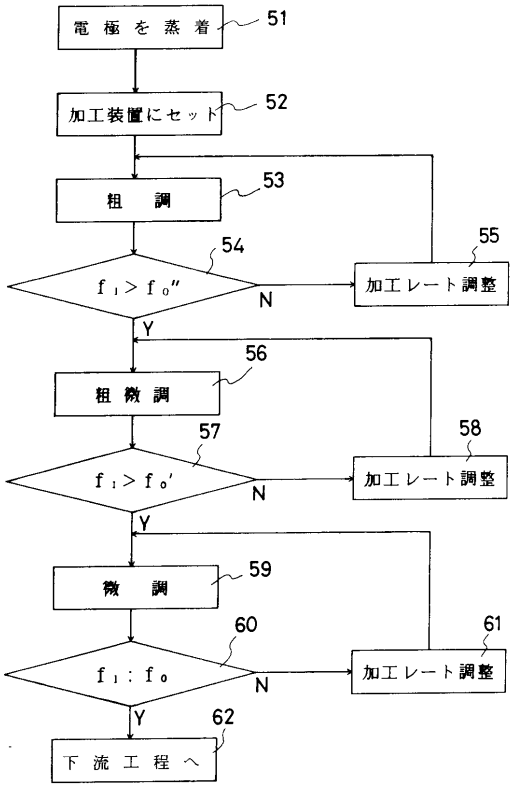
【図７】


15
46
LEDパネル
カウンター
45
発振器
22
3
22

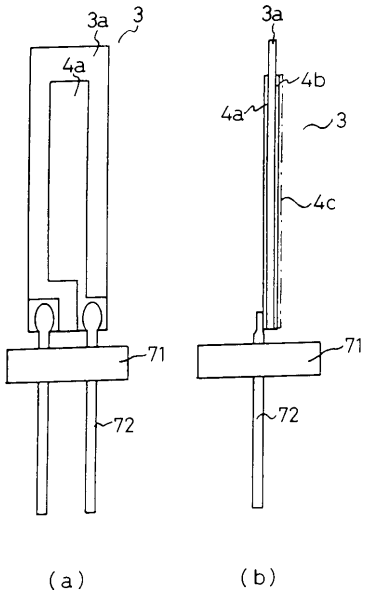
【図８】


周波数変化量
t1
t2
0
時刻
(Δf/f)
[ppm]

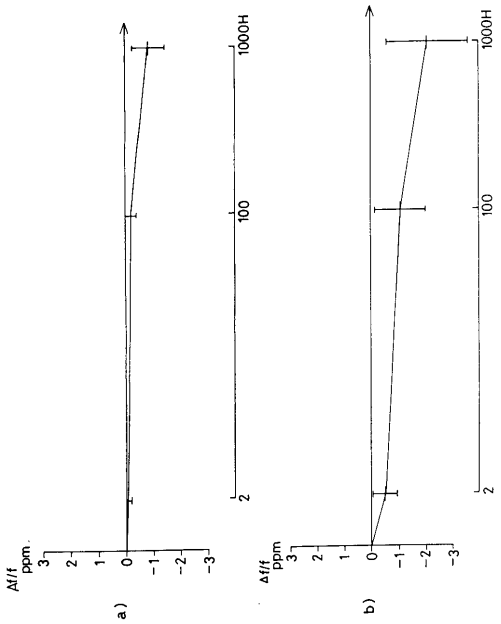
【図９】


電極を蒸着
51
加工装置にセット
52
粗調
53
54
f1 > f0"
N
55
加工レート調整
Y
56
粗微調
57
f1 > f0'
N
58
加工レート調整
Y
59
微調
60
f1 : f0
N
61
加工レート調整
Y
62
下流工程へ

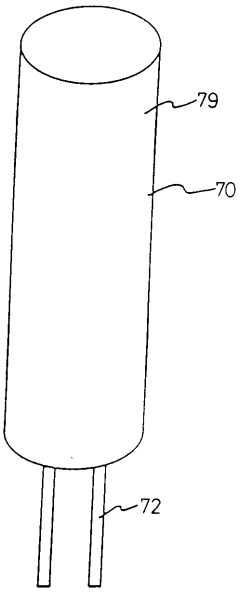
【図１０】


3a
3
4a
71
72
3a
4b
4a
3
4c
71
72
(a)
(b)

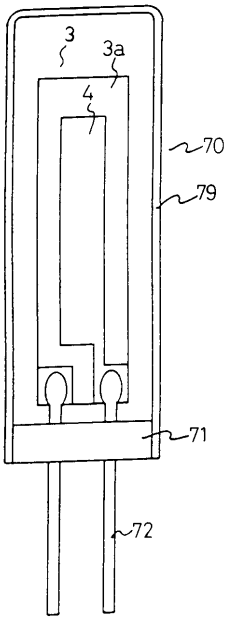
【図１１】


1000H
100
2
Δf/f
ppm
3
2
1
0
−1
−2
−3
a)
b)

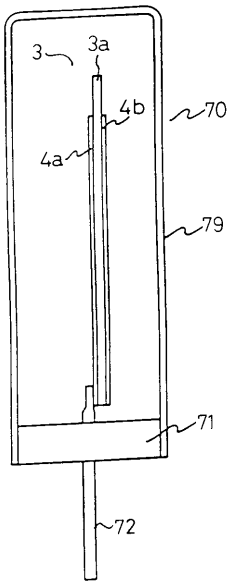
【図１２】



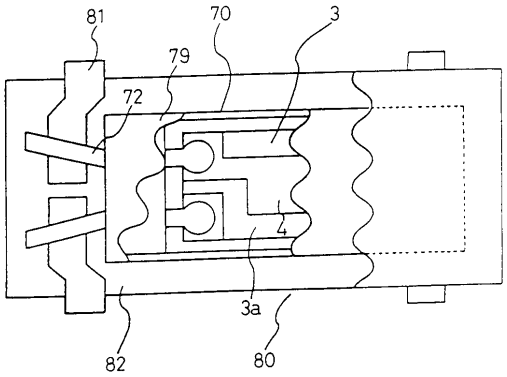
【図１３】



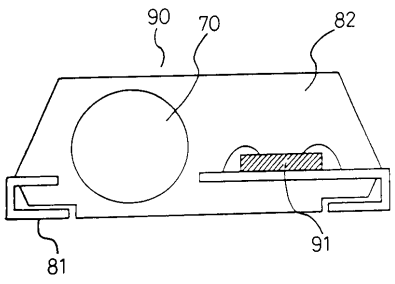
【図１４】



【図１５】



【図１６】



フロントページの続き

合議体
審判長　大野　克人
審判官　治田　義孝
審判官　内田　正和

(56)参考文献　特開平６－３０３０７１（ＪＰ，Ａ）
特開平５－２４３８８５（ＪＰ，Ａ）
特開平５－４８３６３（ＪＰ，Ａ）
特開平１－２３４５６１（ＪＰ，Ａ）
特開平３－１５０９０７（ＪＰ，Ａ）
特開昭５３－１１２４９７（ＪＰ，Ａ）
特開平２－１６６８１２（ＪＰ，Ａ）
ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА, СЕР. РАДИОДЕТАЛИ И РАДИО КОМПОНЕНТЫ, ２［４７］（１９８２）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
H03H 3/04 B,
H03H 3/04 A,
H03H 3/04 C,
H03H 3/04 C
C23F 4/00