

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2010 年 4 月 22 日(22.04.2010)

(10) 国際公開番号
WO 2010/044491 A1

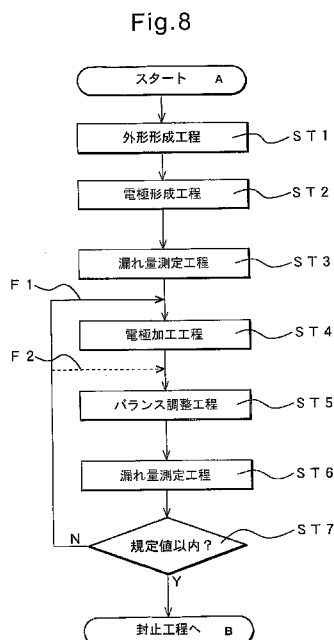
PCT

- (51) 国際特許分類:
H03H 3/02 (2006.01) H01L 41/18 (2006.01)
H01L 41/08 (2006.01) H01L 41/22 (2006.01)
H01L 41/09 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/068216
- (22) 国際出願日: 2009 年 10 月 16 日(16.10.2009)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2008-267061 2008 年 10 月 16 日(16.10.2008) JP
特願 2008-299479 2008 年 11 月 25 日(25.11.2008) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): シチズンホールディングス株式会社 (CITIZEN HOLDINGS CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1888511 東京都西東京市田無町六丁目 1 番 1 2 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 加藤 晶子 (KATOH, Akiko) [JP/JP]; 〒1888511 東京都西東京市田無町六丁目 1 番 1 2 号 シチズンホールディングス株式会社内 Tokyo (JP). 柳沢 徹 (YANAGISAWA, Tohru) [JP/JP]; 〒1888511 東京都西東京市田無町六丁目 1 番 1 2 号 シチズンホールディングス株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 青木 篤, 外 (AOKI, Atsushi et al.); 〒1058423 東京都港区虎ノ門三丁目 5 番 1 号 虎ノ門 3 7 森ビル青和特許法律事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST,

[続葉有]

(54) Title: QUARTZ OSCILLATOR MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称: 水晶振動子の製造方法



A START
B TO SEALING STEP
ST1 EXTERNAL SHAPE FORMATION STEP
ST2 ELECTRODE FORMATION STEP
ST3 AMOUNT-OF-LEAKAGE MEASUREMENT STEP
ST4 ELECTRODE PROCESSING STEP
ST5 BALANCE ADJUSTMENT STEP
ST6 AMOUNT-OF-LEAKAGE MEASUREMENT STEP
ST7 WITHIN PRESCRIBED VALUES?

(57) Abstract: Provided is a quartz oscillator manufacturing method whereby high-precision, fine adjustment can be realized without applying excessive force to a quartz oscillator, and whereby multiple quartz oscillators can be adjusted at one time. The quartz oscillator manufacturing method is characterized by comprising a first etching step to form a specified external shape, an electrode formation step to form electrodes on at least a part of the surface of the external shape, an amount-of-leakage measurement step to measure the amount of leakage due to leaked vibration from the external shape, and a second etching step to etch the external shape by an amount based on the measurement result of the amount-of-leakage measurement step in order to adjust the balance.

(57) 要約: 水晶振動子に余分な外力を加えることなく高精度な微細調整を実現し、且つ、複数の水晶振動子を一括して調整できる水晶振動子の製造方法を提供する。所定の外形形状を形成する第1エッチング工程と、前記外形形状の表面の少なくとも一部に電極を形成する電極形成工程と、前記外形形状の漏れ振動による漏れ量を測定する漏れ量測定工程と、バランスを調整する為に前記漏れ量測定工程の測定結果に基づいた量のエッチングを前記外形形状に対して行う第2のエッチング工程を有することを特徴とする水晶振動子の製造方法。



SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC,
VN, ZA, ZM, ZW.

CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,
TD, TG).

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ,

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))
- 補正された請求の範囲及び説明書 (条約第 19 条(1))

明 細 書

発明の名称

水晶振動子の製造方法

技術分野

本発明は、振動型ジャイロセンサなどに利用される水晶振動子の製造方法に関し、特に面外振動である漏れ振動発生を抑制する製造方法に関する。

背景技術

振動型ジャイロセンサなどに利用される音叉型の水晶振動子は、水晶ウェハから所定の形状の水晶振動子を切り出す工程、水晶振動子を発振させるための電極を形成する工程、電極が形成された水晶振動子を容器に実装する工程などによって製造される。特に、水晶振動子の形状が振動を決定し水晶振動子の性能に大きく影響するため、水晶ウェハから水晶振動子を切り出す外形形成工程は重要な工程である。

図1は従来 of 水晶振動子を模式的に示した斜視図である。

ここで、水晶振動子200の外形は、水晶ウェハからエッチング加工等による外形形成工程によって切り出される。この水晶振動子200は、振動型ジャイロセンサとして用いられる振動子であり、振動脚として2本の駆動脚201、202と1本の検出脚203とを有する三脚音叉型振動子である。

水晶振動子200を例えば振動型ジャイロセンサとして用いる場合、図1に示すX軸方向の屈曲振動を駆動振動、Z'軸方向の屈曲振動を角速度が印加された場合の検出振動として用いている。その

ため、角速度が印加されていない状態では Z' 軸方向の振動は発生しない。

図2は、図1の従来の水晶振動子200のA-A'断面図であり、駆動脚201、202の断面が示されている。図2において、説明に必要な部分は省略してある。図2(a)は、水晶振動子200の駆動脚の駆動振動を説明するための図であり、図2(b)は、水晶振動子200の駆動脚の斜めの駆動振動及び水晶の残渣形状を説明するための図である。

図2(a)は、水晶振動子200に角速度が印加されていない状態での理想的な駆動振動を示しており、その振動方向S1はX軸方向である。しかし、従来の製造方法で製作した水晶振動子においては、実際には角速度が印加されていない場合にも図2(b)に示すように、 Z' 軸方向の振動成分を有する斜め振動（振動方向S2）が観測される。

これは、水晶振動子の加工精度や水晶の異方性等に起因して、駆動振動（X軸方向の振動）のほかに、水晶振動子200に角速度が印加されていない状態において発生してはならない面外振動（ Z' 軸方向の振動）が発生するからである。

駆動脚201、202が斜め振動をすると、検出脚203の先端の軌跡は、 Z' 軸方向への直線的な振動、または、X-Z'面内における楕円振動となる。この Z' 軸方向の振動成分は漏れ振動と呼ばれ、この漏れ振動によって検出脚203の検出電極からはコリオリ出力と無関係な漏れ信号が発生し、ジャイロセンサのS/N比を悪化させたり、温度特性を悪化させたりするという問題があった。

また、基準周波数発生用などの通常用途の音叉型水晶振動子の場合も、振動はX軸方向の屈曲振動を利用しており、 Z' 方向成分の漏れ振動はクリスタルインピーダンス（CI値）の上昇をもたらす

、特性の悪化を招くという問題があった。

漏れ振動は、水晶振動脚断面形状の製造によるばらつきが影響を与えていると考えられる。特に、図 2 (b) に示したように、水晶振動子をエッチングで製造する際に形成される水晶の残渣形状のばらつきが影響を与えていると考えられる。即ち、水晶にはエッチング異方性があり、結晶の方向によってエッチング速度が異なるという特性を有する。そのために、エッチング後の水晶振動子における振動脚の側面は均一にエッチングされずに残渣が残る。

残渣の影響による漏れ振動の発生について考察する。

一般に、梁などの曲げについて考える場合、断面の主軸が考慮される。断面の主軸は、直交する 2 本の軸からなり、梁に主軸と同方向に曲げ力をかけると、梁は力と同方向に曲がる。一方、主軸と異なる方向に曲げ力をかけた場合には、梁は力がかけられた方向とは異なった方向に曲がる。

水晶振動子の場合、圧電効果によって曲げ力がかかるのは、X 軸方向である。よって、主軸の一方が X 軸と同じであれば、振動は X 軸方向に起こり、漏れ振動は発生しない。一方、主軸が X 軸から外れて Z' 方向に傾くと、曲げ力のかかる方向と主軸の方向が一致しないため、振動は Z' 軸成分を含んだ斜め振動となり、漏れ振動が発生する。

主軸は、その梁（振動脚）の断面形状によって決まる。単純な例では、対称軸を持つ断面に関しては、その対称軸およびそれと垂直な軸がその断面の主軸である。例えば、長方形の断面ならば、各辺の 2 等分線がそれぞれ主軸である。

漏れ振動のない水晶振動子を得ようとする場合、主軸の一方が X 軸に平行である必要がある。主軸は直交する 2 本の軸なので、X 軸か Z' 軸に平行な対称軸が断面にあれば、X 軸に平行な主軸が存在

することになる。つまり、断面形状が上下対称か、左右対称であれば漏れ振動は発生しない。

すでに説明した例のように水晶振動子を製造した場合に、そうした対称軸を持った振動子を得られるのかどうかを考えてみる。水晶振動子をウェットエッチングで製造すると、振動脚側面には必ず残渣が残る。そのため、この残渣のでき方によって断面の主軸が決定される。水晶振動子の断面の主軸を考えるには、まず残渣がどのようにできるかを考える必要がある。残渣の形状は、エッチングの時間や条件によって異なるため、一概に言うことはできないが、概ね同じような傾向をたどるので、ここでは発明者の行った実験条件から観察できた結果に基づき残渣のでき方を説明する。

図3は、図1で示した水晶振動子200の振動脚のA-A'断面を、模式的に示した拡大断面図であり、振動脚における残渣の形成状態の一例を示すものである。ここでは、説明を簡単にするために一本の駆動脚201のみを記し、水晶の結晶軸の-X側の側面を第1側面、+X側の側面を第2側面とする。

図3(a)は、比較的短時間のエッチングの場合を示している。この場合、第2側面には、振動子の主平面、即ち表面201a及び裏面201bからZ'軸に対して約2°の角度をなす部分（浅い部分）と、約22°の角度をなす部分（深い部分）から構成される残渣が形成される。

この表面201a及び裏面201bからの深さはエッチングの時間によって異なるが、表面201a側及び裏面201b側とも同じ傾向を有している。

図3(b)は、比較的長時間のエッチングの場合を示している。この場合、約22°の角度をなす部分はなくなり、約2°の角度を成した部分から構成される残渣のみが残る。

また、第1側面に形成される残渣は、ごく小さいが、図3(a)、図3(b)に示したように、詳細に観察すると残渣は形成されている。この場合、残渣は、Z'軸に対して約1°の角度を成す部分から構成される。この第1側面の残渣形状は、時間による差はあまりない。即ち、エッチングは、エッチングマスク250a、250bの端部からスタートし、貫通するまでは表面側、裏面側で互いに影響を及ぼさず、独立して進行する。

このように、エッチングによって残渣ができるため、水晶ウェハの表裏両面からエッチングをする方法で水晶振動子を製造した場合、次のようなことが言える。まず、図3(a)、図3(b)は、水晶ウェハに形成された表面のエッチングマスク250a、裏面のエッチングマスク250bの位置が正確に合っている場合を示している。この場合、図示したように、短時間エッチングであっても、長時間エッチングであっても、エッチング後の駆動脚201の断面は、X軸に略平行な対称軸をもった上下対称形となり、X軸に略平行な主軸210を持つ。この場合、曲げ力のかかる方向と主軸210の方向とが共にX軸であって、ほぼ一致しているので漏れ振動はほとんど起こらない。

図4は、エッチングマスク250a、250bの位置がX軸方向にずれて形成されてしまった場合に形成された駆動脚201の断面図の一例を示している。

図示したように、駆動脚201の断面は、上下非対称となり、X軸に平行な対称軸も、Z'軸に平行な対称軸も持たない。

この場合、主軸211はX軸に対して平行ではなく、ズレ角 θ_1 を有する。従って、曲げ力のかかる方向と主軸211の方向とが異なるので斜め振動となり、漏れ振動を発生してしまう。こうした断面の主軸と斜め振動の関係について、解析した文献が存在する(例

えば、非特許文献 1 参照）。

図 4 に示すように、エッチングマスク 250 a と 250 b との位置ずれ量 e と、主軸 211 の X 軸に対するズレ角 $\theta 1$ とは、相関関係にある。位置ずれ量 e が増加すると、ズレ角 $\theta 1$ も大きくなり、漏れ振動は増大する。

ところで、水晶振動子の外形形成の製造方法としては、エッチングマスクを水晶ウェハの片面のみにパターンニングし、もう一方の面は全面を金属耐食膜で覆っておき、片面からエッチングする方法、及びエッチングマスクの裏面パターンを表面パターンよりも幅広くし、表面パターンを基準パターンとしてエッチングする方法も知られている。

図 5 は表面パターンを基準パターンとしてエッチングする場合の一例を示した駆動脚の断面図である。

駆動脚 221 は、表面 221 a のエッチングマスク 251 a を基準パターンとして、表面より幅広く形成された裏面 221 b のエッチングマスク 251 b を利用して形成された。これにより、エッチングマスク 251 a と 251 b とが多少位置ずれしても、断面形状への影響は少ない。しかし、前述したように、水晶のエッチング異方性によって、第 1 側面には Z' 軸に対して約 1° の角度を成した残渣が形成され、第 2 側面には Z' 軸に対して約 2° の角度を成した残渣が形成される。したがって、駆動脚 221 の断面は図示するように上下非対称となり、主軸 212 は X 軸と平行にならずに、ズレ角 $\theta 2$ を有し、漏れ振動が発生してしまう。

以上のように、振動型ジャイロセンサ等に用いられる水晶振動子は、エッチングマスクの精度に起因して漏れ振動が発生し、センサの検出精度等を悪化させるという不具合があった。

上記の不具合を解消するために、エッチングマスクを高精度に形

成して、ある程度の漏れ振動を抑制することも可能であるが、高精度化には限界があり、またコスト高となる。また、残渣は無くすることができないので、漏れ振動の抑制は困難であった。

そこで、水晶振動子の外形形成後に振動脚をさらに加工する方法が提案されている。例えば、水晶振動子の振動脚の稜線を摺動させたテープによって研削して、振動脚のバランス調整によって漏れ振動を抑制する水晶振動子の特性調整方法が開示されている（例えば、特許文献 1 参照。）。

図 6 は特許文献 1 に示した水晶振動子の特性調整方法を説明するために模式的に示した構成図である。

テンションローラ 300 による重量によってテープ 301 に一定の負荷をかけ、その様なテープ 301 を基台 311 上の水晶振動子の振動脚 310 の稜線に当接させる。なお、水晶振動子は、図 2 に示したような振動脚の断面を示しているものとする。この状態で、駆動ローラ 302 を往復回転させることにより、振動脚 310 に研削部 310a を形成して、振動脚 310 の重量バランスを調整する。

特許文献 1 に示した従来技術は、テンションローラ 300 を有することで振動脚 310 の稜線にテープ 301 を一定の力で押圧させながら摺動できる。最後に、テープ巻取りリール 303 を所定の量だけ回転させてテープ 301 を巻き取るとともに、テープ送り出しリール 304 を所定の量だけ回転させて、テープ 301 を送り出す。このような動作によって、振動脚と当接するテープ 301 の部分を新しい部分に変更することが可能となる。このテープを用いた特性調整方法は、重量バランスを厳密に調整できるので正確な角速度の検出が可能となり、またテンションローラ 300 によって振動子に過大な外力が加わらないので、振動子の破損を防止することがで

きる可能性がある。

また、水晶振動子の振動脚の研削は、テープを振動脚に当接させて行うこと以外に、エッチングにより行うこともできる（例えば、特許文献 2 参照。）。

特許文献 2 には、圧電振動子の外形形成後に、電極膜等の金属膜をマスクにしてエッチングを行い、板厚を変更することによって、振動子の周波数－温度特性を調整する振動子の温度特性調整方法が開示されている。特許文献 2 に示した従来技術によれば、振動子形成後に再エッチングを行って、温度特性を調整できるので、周波数温度特性に優れた振動子を効率よく製造できる可能性がある。

特許文献 1：特開 2 0 0 2－2 4 3 4 5 1 号公報（第 7 頁、第 9 図）

特許文献 2：特開昭 5 4－5 3 8 8 9 号公報（第 3 頁、第 5 図）

非特許文献 1：藤吉基弘、他 5 名、「水晶振動式角速度センサのモデル化と振動解析」、電気情報通信学会論文誌 C、V o l . J 8 7－C、N o . 9、p . 7 1 2－7 1 9

発明の開示

しかしながら、特許文献 1 に示した水晶振動子の特性調整方法では、個々の振動子に対してひとつずつ脚を削るので、加工手番が多くなる。加工手番が多くなると、加工中の作業ミスや不良の発生の機会も増えるため、コストアップの要因ともなる。

また、バランス調整量が微細化すると、テープやリユータ等では振動脚に正確に接触できないので、微細な調整を実施することが困難である。

さらに、テンションローラを用いた研磨でも、振動子に対する外

力は、ある程度加わるので、特に小型の振動子の調整作業においては、外力により振動子にクラックなどが入りやすく、歩留まり低下するという問題があった。

特許文献 2 に示した振動子の温度特性調整方法では、振動子形成後に再びエッチングを行って板厚を変更するが、その目的は振動子の周波数－温度特性の改善であり、振動子の漏れ振動の調整や補正を目的としておらず、漏れ振動調整に関しては、開示も示唆もされていない。

本発明の目的は、上記の問題を解決することを可能とした水晶振動子の製造方法を提供することである。

また、本発明の目的は、水晶振動子の漏れ振動調整において、水晶振動子に外力を加えることなく高精度な微細調整を実現することを可能とした水晶振動子の製造方法を提供することである。

さらに、本発明の目的は、複数の水晶振動子を一括して調整することが可能な水晶振動子の製造方法を提供することである。

さらに、本発明の目的は、水晶振動子の漏れ振動調整において、水晶振動子に外力を加えることなく高精度な微細調整を実現すると共に、複数の水晶振動子を一括して調整することが可能な水晶振動子の製造方法を提供することである。

本発明に係る水晶振動子の製造方法は、所定の外形形状を形成する第 1 エッチング工程と、前記外形形状の表面の少なくとも一部に電極を形成する電極形成工程と、前記外形形状の漏れ振動による漏れ量を測定する漏れ量測定工程と、バランスを調整する為に、前記漏れ量測定工程の測定結果に基づいた量のエッチングを前記外形形状に対して行う第 2 のエッチング工程を有することを特徴とする。

さらに、本発明に係る水晶振動子の製造方法では、前記第 2 のエッチング工程は、前記電極をマスクとして行われることが好ましい

。

さらに、本発明に係る水晶振動子の製造方法では、前記漏れ量測定工程の測定結果に基づいて、前記電極を所定形状に加工する電極加工工程を更に有し、前記第2のエッチング工程は、前記電極加工工程において加工された前記電極をマスクとして行われることが好ましい。

さらに、本発明に係る水晶振動子の製造方法では、前記外形形状は、基部及び前記基部から延設された振動脚を有し、前記電極形成工程は、前記振動脚上に前記電極を形成することが好ましい。

さらに、本発明に係る水晶振動子の製造方法では、前記電極加工工程は、加工された前記電極の除去部分の前記電極の幅方向の略中心が、前記振動脚の幅方向の略中心より前記振動脚の幅方向にずれるように加工することが好ましい。

さらに、本発明に係る水晶振動子の製造方法では、前記電極形成工程と前記漏れ量測定工程との間に、前記電極形成工程により形成された前記電極をマスクとして前記振動脚をエッチングする粗調整工程を有することが好ましい。

さらに、本発明に係る水晶振動子の製造方法では、前記電極形成工程において、前記電極の幅方向の略中心と、前記電極が設けてある前記振動脚の幅の略中心とが、前記電極の幅方向に所定量ずらして形成されることが好ましい。

さらに、本発明に係る水晶振動子の製造方法では、前記電極加工工程は、前記漏れ量測定工程の測定結果に基づいて、前記電極において、前記振動脚の前記基部に近い領域である第1の領域と、前記振動脚の先端に近い領域である第2の領域とのどちらかの幅を狭くするように加工することが好ましい。

さらに、本発明に係る水晶振動子の製造方法では、前記電極加工

工程は、前記漏れ量測定工程の測定結果により、多くの調整が必要なときは、前記第 1 の領域の前記電極の幅を狭くするように加工し、少ない調整が必要なとき、前記第 2 の領域の前記電極の幅を狭くするように加工することが好ましい。

さらに、本発明に係る水晶振動子の製造方法では、前記第 2 のエッチング工程と前記電極加工工程とを複数回行うとき、前記電極加工工程により最初に加工される前記電極は、前記第 1 の領域の前記電極であることが好ましい。

さらに、本発明に係る水晶振動子の製造方法では、前記第 2 のエッチング工程は、前記漏れ量測定工程の測定結果から得られた漏れ量の情報からエッチング量を加工時間に換算して、前記振動脚のエッチング除去量を決定することが好ましい。

さらに、本発明に係る水晶振動子の製造方法では、第 2 のエッチング工程によるエッチング除去部分は、1つの振動脚に複数個あり、前記エッチング除去部分は、前記振動脚の断面の振動軸中心を原点としたとき、前記原点を通り直交する 2 つの軸で定義される第 1 象限、第 2 象限、第 3 象限、第 4 象限のうち、前記原点を挟み対称となる象限に設けられる、ことが好ましい。

さらに、本発明に係る水晶振動子の製造方法では、第 2 のエッチング工程によるエッチング除去量は、前記振動脚の断面の振動軸中心を原点としたとき、前記原点を通り直交する 2 つの軸で定義される第 1 象限、第 2 象限、第 3 象限、第 4 象限のうち、前記原点を挟み対象となる象限において等しく、隣り合う象限の前記エッチング除去量が異なる、ことが好ましい。

さらに、本発明に係る水晶振動子の製造方法では、前記第 1 のエッチング工程において、単一の水晶板上に複数の前記外形形状を形成し、前記第 2 のエッチング工程において、複数の前記外形形状を

同時にエッチングすることが好ましい。

さらに、本発明に係る水晶振動子の製造方法では、前記漏れ量測定工程は、複数の前記外形形状ごとに前記漏れ量を測定し、測定した前記漏れ量と前記外形形状との位置関係情報を記憶することが好ましい。

さらに、本発明に係る水晶振動子の製造方法では、前記電極加工工程は、前記電極にレーザ光を照射することにより行うことが好ましい。

さらに、本発明に係る水晶振動子の製造方法では、前記第1のエッチング工程において、漏れ振動の方向が見積もれる前記外形形状を形成し、前記電極形成工程において、前記第1のエッチング工程で形成した前記外形形状に応じてバランスを調整するための切欠部を有する前記電極を形成することが好ましい。

さらに、本発明に係る水晶振動子の製造方法では、前記外形形成工程は、平板形状の水晶板の両面にマスク部材を設け、両面の前記マスク部材同士の大きさを幅方向で異ならせることで、形成される前記外形形状の漏れ振動の方向が予め見積もれるように形成することが好ましい。

さらに、本発明に係る水晶振動子の製造方法では、前記外形形成工程は、平板形状の水晶板の両面にマスク部材を設け、両面の前記マスク部材同士は、互いに所定量ずれて配設されることで、形成される前記外形形状の漏れ振動の方向が予め見積もれるように形成することが好ましい。

さらに、本発明に係る水晶振動子の製造方法では、前記両面の前記マスク部材の幅方向の第1の側面のオフセット量を k_1 、第2の側面のオフセット量を k_2 、マスクの位置合わせ精度を $\pm p$ 、第1の側面のエッチング角度を α 、第2の側面のエッチング角度を β 、

前記平板形状の水晶板の厚みを t 、とすると、第 1 突出部の長さ c と第 2 突出部の長さ d は、

$$c = t \times \tan(\alpha - 90^\circ) + k_1$$

$$d = t \times \tan(\beta - 90^\circ) + k_2$$

$$k_1, k_2 > p$$

の関係を満たすことが好ましい。

本発明の水晶振動子の製造方法は、基部から延設する振動脚を備える外形形状を有し、該振動脚の主平面と側面との少なくとも一方に電極を備える水晶振動子の製造方法であって、平板形状の水晶板に所定の形状の耐エッチング用マスク部材を形成し、該マスク部材を用いて該水晶板を所定の形状にエッチングして外形形状を形成する外形形成工程と、振動脚を構成する主平面または側面のいずれかに電極を形成する電極形成工程と、水晶振動子の漏れ量を測定する漏れ量測定工程と、漏れ量測定工程の測定結果に基づいて電極を所定形状に加工する電極加工工程と、電極加工工程で所定形状に加工された電極をマスクにして振動脚をエッチングするバランス調整工程と、を有することを特徴とする。

また、基部から延設する振動脚を備える外形形状を有し、該振動脚の主平面と側面との少なくとも一方に電極を備える水晶振動子の製造方法であって、平板形状の単一の水晶板に所定の形状の耐エッチング用マスク部材を形成し、該マスク部材を用いて該水晶板を所定の形状にエッチングして複数の水晶振動子の外形形状を形成する外形形成工程と、振動脚を構成する主平面または側面のいずれかに電極を形成する電極形成工程と、各々の水晶振動子の漏れ量を測定する漏れ量測定工程と、漏れ量測定工程の測定結果に基づいて各々の水晶振動子の電極を所定形状に加工する電極加工工程と、電極加工工程で所定形状に加工された電極をマスクにして水晶板を一括エ

ツチングするバランス調整工程と、を有することを特徴とする。

また、電極加工工程は、加工された電極の除去部分の電極の幅方向の略中心が、振動脚の幅方向の略中心より振動脚の幅方向にずれるように加工することができる。

また、漏れ量測定工程は、各々の水晶振動子ごとに漏れ量を測定すると共に、測定した各々の漏れ量と各々の水晶振動子との位置関係情報を計測し、電極加工工程は、位置関係情報に基づいて、各々の水晶振動子ごとに電極加工を行うことができる。

また、電極形成工程と漏れ量測定工程との間に、電極形成工程により形成された電極をマスクとして振動脚をエッチングする粗調整工程を有することができる。

また、電極形成工程の加工部位は、電極の幅方向の略中心と、電極が設けてある主平面の幅の略中心と、が電極の幅方向に所定量ずらして形成することができる。

また、電極加工工程は、電極にレーザ光を照射することでその一部を除去するようにしてもよい。

また、電極が設けてある主平面を平面からみたとき、振動脚の基部に近い領域を第1の領域とし、それよりも振動脚の先端方向の領域を第2の領域として定義し、電極加工工程は、漏れ量測定工程の測定結果に基づいて、それら2つの領域のどちらかの電極の幅を狭くするように加工することができる。

また、電極加工工程は、漏れ量測定工程の測定結果により、多くの調整が必要なときは、第1の領域の電極の幅を狭くするように加工し、少ない調整で済むときは、第2の領域の電極の幅を狭くするように加工することができる。

また、バランス調整工程と電極加工工程とを複数回行うとき、電極加工工程により最初に加工される電極は、第1の領域の電極とす

ることができる。

また、バランス調整工程は、漏れ量測定工程の測定結果から得られた漏れ量の情報からエッチング量を加工時間に換算して、振動脚のエッチング除去量を決定することができる。

また、調整工程または粗調整工程による主平面に有するエッチング除去部分は、1つの振動脚に複数個設けてあり、振動脚の断面の振動軸中心を原点としたとき、原点を通り直交する2つの軸で定義される第1象限、第2象限、第3象限、第4象限のうち、原点を挟み対称となる象限に設けるように加工されるようにしてもよい。

また、調整工程または粗調整工程による主平面に有するエッチング除去量は、振動脚の断面の振動軸中心を原点としたとき、原点を通り直交する2つの軸で定義される第1象限、第2象限、第3象限、第4象限のうち、原点を挟み対象となる象限のエッチング除去量が等しく、隣り合う象限のエッチング除去量が異なるように加工されるようにしてもよい。

本発明の水晶振動子の製造方法によれば、振動子の外形形成後に再エッチングによって振動脚を加工して漏れ振動を調整するので、テープやリユータ等による研磨とは異なり、振動子に余分な外力を加える必要がない。したがって、振動子の歩留まり低下、信頼性低下等を来すことなく、安定して正確に漏れ振動を調整することができる。

また、本発明の水晶振動子の製造方法によれば、漏れ量の測定結果に基づいて電極が加工され、その電極をマスクにして再エッチングが行われるので、高精度で微細な漏れ振動の調整が可能であり、漏れ振動が無視できる程度に抑制された高性能な水晶振動子を製造することができる。

さらに、本発明の水晶振動子の製造方法によれば、単一の水晶ウ

エハに形成された複数の水晶振動子に対して一括してエッチングで調整できるので、調整工程が簡素化され、工数を削減できると共に、ばらつきが少なく性能が均一で安定した特性の水晶振動子を効率よく大量に製造することができる。

本発明によって製造された水晶振動子をジャイロセンサとして用いるならば、漏れ振動に影響されない高精度な振動型ジャイロセンサを実現することができる。また、本発明によって製造された水晶振動子を周波数基準用の水晶振動子として用いるならば、C I 値を低く抑えられるので、低消費電力の高性能な周波数基準用水晶振動子を実現することができる。

本発明の水晶振動子の製造方法は、基部から延設する振動脚を備える外形形状を有し、該振動脚の主平面と側面に電極を備える水晶振動子の製造方法であって、平板形状の水晶板に所定の形状の耐エッチング用マスク部材を形成し、該マスク部材を用いて該水晶板を水晶振動子の漏れ振動の方向が予め見積もれるような形状にエッチングして外形形状を形成する外形形成工程と、振動脚を構成する主平面に、見積もった漏れ振動の方向に基づいてバランス調整をするための切欠部を備える電極を形成する電極形成工程と、電極形成工程で形成された電極をマスクにして振動脚をエッチングするバランス調整工程と、を有することを特徴とする。

また、外形形成工程は、単一の水晶板に複数の外形形状を形成し、バランス調整工程は、複数の水晶板を一括エッチングすることもできる。

また、切欠部を有する電極の幅方向の略中心は、振動脚の幅方向の略中心に対して振動脚の幅方向にずれている形状であってもよい。

また、外形形成工程は、平板形状の水晶板の両面にマスク部材を

設け、両面のマスク部材同士は、その大きさを振動脚の幅方向で異ならせることで、形成される水晶振動子の漏れ振動の方向が予め見積もれるようにしてもよい。

また、両面のマスク部材の幅方向の第1の側面のオフセット量を k_1 、第2の側面のオフセット量を k_2 、マスクの位置合わせ精度を $\pm p$ 、第1の側面のエッチング角度を α 、第2の側面のエッチング角度を β 、平板形状の水晶板の厚みを t 、とするとき、第1突出部の長さ c と第2突出部の長さ d は、

$$c = t \times \tan(\alpha - 90^\circ) + k_1$$

$$d = t \times \tan(\beta - 90^\circ) + k_2$$

$$k_1, k_2 > p$$

の関係を満たすようにしてもよい。

また、外形形成工程は、平板形状の水晶板の両面にマスク部材を設け、両面のマスク部材同士は、互いに所定量ずれて配設されることで、形成される水晶振動子の漏れ振動の方向が予め見積もれるようにしてもよい。

また、バランス調整工程の前に、水晶振動子の漏れ量を測定する漏れ量測定工程を有するようにしてもよい。

また、漏れ量測定工程は、単一の水晶板に複数の外形形状を形成してある場合、各々の水晶振動子ごとに漏れ量を測定すると共に、測定した各々の漏れ量と各々の水晶振動子との位置関係情報を計測し、バランス調整工程は、各々の水晶振動子のうち、最も少ない漏れ量をバランス調整の目標値としてエッチング量を決定するようにしてもよい。

また、漏れ量測定工程は、単一の水晶板に複数の外形形状を形成してある場合、各々の水晶振動子ごとに漏れ量を測定すると共に、測定した各々の漏れ量と各々の水晶振動子との位置関係情報を計測

し、バランス調整工程は、各々の水晶振動子の漏れ量の平均値をバランス調整の目標値としてエッチング量を決定することを特徴とする。

また、漏れ量測定工程は、単一の水晶板に複数の外形形状を形成してある場合、各々の水晶振動子ごとに漏れ量を測定すると共に、測定した各々の漏れ量と各々の水晶振動子との位置関係情報を計測し、バランス調整工程は、各々の水晶振動子の漏れ量の代表値をバランス調整の目標値としてエッチング量を決定するようにしてもよい。

また、バランス調整工程は、漏れ量測定工程の測定結果から得られた漏れ量の情報からエッチング量を加工時間に換算して、振動脚のエッチング除去量を決定するようにしてもよい。

また、バランス調整工程による主平面に有するエッチング除去部分は、1つの振動脚に複数個あり、振動脚の断面の振動軸中心を原点としたとき、原点を通り直交する2つの軸で定義される第1象限、第2象限、第3象限、第4象限のうち、原点を挟み対称となる象限に設けるように加工されるようにしてもよい。

また、バランス調整工程による主平面に有するエッチング除去量は、振動脚の断面の振動軸中心を原点としたとき、原点を通り直交する2つの軸で定義される第1象限、第2象限、第3象限、第4象限のうち、原点を挟み対称となる象限のエッチング除去量が等しく、隣り合う象限のエッチング除去量が異なるように加工されるようにしてもよい。

本発明の水晶振動子の製造方法によれば、振動子の外形形成後に再エッチングによって振動脚を加工して漏れ振動を調整するので、テープやリユータ等による研削とは異なり、振動子に余分な外力を加えることなく加工でき、振動子の歩留まり低下、信頼性低下等を

来すことなく、安定して正確に漏れ振動を調整することができる。

また、外形形成工程によって水晶振動子の外形に特徴付けをすることで、水晶振動子の漏れ振動の方向が予め見積もれるので、この漏れ振動の方向に基づいた切欠部を備える電極を駆動脚に形成する。これにより、漏れ振動のバランス調整は、この切欠部を備える電極をマスクとしたエッチング加工で行うことができ、切欠部の大きさや位置、また、エッチング加工時間を調整することで、正確で微細な漏れ振動の調整が可能となり、漏れ振動が高精度に抑制された水晶振動子を製造することができる。

また、単一の水晶体ウェハに形成された複数の水晶振動子に対して一括エッチング加工でバランス調整ができるので、調整工程が簡素化されて工数が削減できると共に、ばらつきが少なく性能が均一で安定した特性の水晶体振動子を効率よく大量に製造することができる。

また、本発明によって製造された水晶振動子をジャイロセンサとして用いるならば、漏れ振動に影響されない高精度な振動型ジャイロセンサを実現できる。また、周波数基準用の水晶振動子として用いるならば、 CI 値を低く抑えられるので、低消費電力の高性能な周波数基準用水晶体振動子を実現できる。

図面の簡単な説明

図 1 は、従来の水晶体振動子の一例を示す斜視図である。

図 2 (a) 及び図 2 (b) は、図 1 で示す従来の水晶体振動子の振動脚の A-A' 断面図である。

図 3 (a) 及び図 3 (b) は、従来の水晶体振動子の振動脚の残渣を説明する拡大断面図である。

図 4 は、従来の水晶体振動子の振動脚の一例を示す拡大断面図であ

る。

図 5 は、片面マスクによって製造された従来の水晶振動子の振動脚の一例を示す拡大断面図である。

図 6 は、従来の水晶振動子の特性調整方法を説明する構成図である。

図 7 は、本発明の製造方法によって製造された水晶振動子の一例を示す斜視図である。

図 8 は、本発明の第 1 の製造方法の工程を説明するフローチャートである。

図 9 (a) ~ 図 9 (e) は、本発明の第 1 の製造方法の外形形成工程を説明する断面図である。

図 10 は、本発明の第 1 の製造方法の外形形成工程によって水晶ウェハに形成された複数の水晶振動子片の斜視図である。

図 11 (a) ~ 図 11 (d) は、本発明の第 1 の製造方法の電極形成工程を説明する断面図である。

図 12 は、本発明の第 1 の製造方法の電極形成工程によって形成された振動脚の電極を示す拡大断面図である。

図 13 は、本発明の第 1 の製造方法の漏れ量測定工程を実施する漏れ量測定システムの一部を示す説明図である。

図 14 は、本発明の第 1 の製造方法の電極加工工程によって水晶振動子片にレーザ光が照射され駆動電極の一部が除去された一例を示す上面図である。

図 15 (a) ~ 図 15 (d) は、本発明の第 1 の製造方法の電極加工工程によって漏れ量に応じて電極がどのように加工されるかの一例を示す説明図である。

図 16 は、本発明の第 1 の製造方法のバランス調整工程において、水晶振動子片の駆動脚の第 2 象限と第 4 象限がエッチング除去さ

れることを説明する拡大断面図である。

図 17 は、本発明の第 1 の製造方法のバランス調整工程において、水晶振動子片の駆動脚の第 1 象限と第 3 象限がエッチング除去されることを説明する拡大断面図である。

図 18 は、本発明の第 1 の製造方法のバランス調整工程において、エッチング量を加工時間に換算して行う調整方法を説明する拡大断面図である。

図 19 (a) ~ 図 19 (c) は、本発明の第 1 の製造方法によって製造された溝付き水晶振動子の漏れ調整を説明する断面図である。

図 20 (a) ~ 図 20 (c) は、溝付き水晶振動子の他の漏れ調整を説明するための断面図である。

図 21 は、図 8 に示すステップ S T 3 ~ S T 7 を他の工程により置き換えた水晶振動子の製造方法を示すフローチャートである。

図 22 は、図 21 に示すフローチャートの実施経過を説明するための一例を示す図である。

図 23 は、図 21 に示すフローチャートの実施経過を説明するための他の例を示す図である。

図 24 は、調整の具体例を示す図である。

図 25 は、水晶振動子片のトリミング位置を説明するための図である。

図 26 は、漏れ量単位当たりの効き量 ($\text{mV} / \mu\text{m}$) と根元位置からの距離 (μm) の関係を示す図である。

図 27 は、図 8 に示すステップ S T 3 ~ S T 7 を他の工程により置き換えた水晶振動子の他の製造方法を示すフローチャートである。

図 28 は、図 27 に示すフローチャートの実施経過を説明するた

めの一例を示す図である。

図 29 は、本発明の第 2 の水晶振動子の製造方法の工程順を説明するフローチャートである。

図 30 は、本発明の第 2 の水晶振動子の製造方法の電極形成工程によって形成された振動脚の電極を示す上面図である。

図 31 は、本発明の第 2 の水晶振動子の製造方法の粗調整工程によって水晶振動子片の駆動脚の一部がエッチング除去されることを説明する拡大断面図である。

図 32 は、本発明の第 3 の製造方法によって製造された水晶振動子の一例を示す斜視図である。

図 33 は、本発明の第 3 の製造方法の工程順を説明するフローチャートである。

図 34 (a) ～図 34 (e) は、本発明の第 3 の製造方法の外形形成工程を説明する断面図である。

図 35 (a) 及び図 35 (b) は、本発明の第 3 の製造方法の表面エッチングマスクより裏面エッチングマスクが所定量だけ大きく配設されて外形形成される水晶振動子の駆動脚の拡大断面図である。

。

図 36 は、本発明の第 3 の製造方法の外形形成工程によって水晶ウェハに形成された複数の水晶振動子片の斜視図である。

図 37 (a) ～図 37 (d) は、本発明の第 3 の製造方法の電極形成工程を説明する断面図である。

図 38 は、本発明の第 3 の製造方法の電極形成工程によって形成された振動脚の電極の接続の一例を示す拡大断面図である。

図 39 は、本発明の第 3 の製造方法の電極形成工程によって形成された電極の一例を示す上面図である。

図 40 (a) 及び図 40 (b) は、本発明の第 3 の製造方法の電

極形成工程によって形成された電極の他の例を示す上面図である。

図 4 1 は、本発明の第 3 の製造方法のバランス調整工程において、水晶振動子片の駆動脚の第 2 象限と第 4 象限がエッチング除去されることを説明する拡大断面図である。

図 4 2 は、本発明の第 4 の製造方法の工程順を説明するフローチャートである。

図 4 3 は、本発明の第 4 の製造方法の漏れ量測定工程を実施する漏れ量測定システムの一例を示す説明図である。

図 4 4 は、本発明の第 5 の製造方法の工程順を説明するフローチャートである。

図 4 5 は、本発明の第 5 の製造方法のバランス調整工程において、バランス調整のために再エッチングを複数回実施することを説明する拡大断面図である。

図 4 6 (a) 及び図 4 6 (b) は、本発明の製造方法によって製造された溝付き水晶振動子の漏れ調整を説明する断面図である。

図 4 7 (a) ～図 4 7 (e) は、本発明の第 6 の製造方法の外形形成工程を説明する断面図である。

図 4 8 は、本発明の第 6 の製造方法のバランス調整工程において、水晶振動子片の駆動脚の第 2 象限と第 4 象限がエッチング除去されることを説明する拡大断面図である。

図 4 9 は、本発明の第 6 の製造方法のバランス調整工程において、水晶振動子片の駆動脚の第 1 象限と第 3 象限がエッチング除去されることを説明する拡大断面図である。

発明を実施するための形態

以下図面に基づいて本発明に係る製造方法を詳述する。但し、本発明は以下の説明に限定されず、請求の範囲に記載された発明とそ

の均等物に及ぶ点に留意されたい。

図 7 は、本発明の製造方法で製造される水晶振動子の一例を示す図である。

図 7 は水晶振動子 10 を模式的に示した斜視図であり、説明に関係のない部分、例えば、水晶振動子をパッケージなどの封止部材に封止する際に導電性接着剤等を付着させる固定部分などは省略してある。

水晶振動子 10 は、すでに説明した例と同様に水晶ウェハからエッチング加工によって切り出されて形成されるものである。水晶振動子 10 は、振動型ジャイロセンサとして用いられる振動子であり、振動脚として 2 本の駆動脚 11、12 と 1 本の検出脚 13 とを有する三脚音叉型振動子である。なお、水晶振動子 10 は、三脚音叉型に限定されず、例えば、二脚音叉型や T 型音叉、H 型音叉などでもよい。また、水晶振動子 10 は、振動型ジャイロセンサ以外にも利用することが可能である。

駆動脚 11、12 と検出脚 13 とは、基部 14 から延設するように形成されている。駆動電極 20、21 は駆動脚 11、12 の主平面と側面に形成されており、検出電極 22 は検出脚 13 の主平面と側面とに形成されている。調整エリア 30 は水晶振動子 10 の漏れ振動を調整する領域である。調整エリア 30 において、駆動電極 20、21 がレーザ加工によってその一部が除去され、バランス調整工程では、加工された駆動電極をマスクにして駆動脚 11、12 が再エッチングされる。

本発明の大きな特徴は、駆動電極 20、21 の調整エリア 30 において、水晶を再エッチング加工し、この箇所の駆動脚 11、12 の厚みを調整することによって漏れ振動を抑制することである。なお、この水晶振動子 10 は、X 軸が幅方向に、Y 軸が長手方向に

、Z'軸が厚み方向になるように形成されている。この水晶振動子10は、後述する第1及び第2の製造方法で製造されるすべての水晶振動子に共通である。

図8は、本発明の水晶振動子の第1の製造方法の各工程順を示したフローチャートである。

以下では、単一の水晶ウェハに複数の水晶振動子を形成し、水晶振動子の集合体として一括して製造する製造方法について説明する。しかしながら、本発明の水晶振動子の第1の製造方法は、水晶振動子の集合体による一括製造に限定されるものではなく、1つの水晶ウェハや水晶板に対して1つの水晶振動子を形成する製造方法に適用することも可能である。

最初に、単一の水晶板である水晶ウェハに耐エッチング用マスク部材を形成し、複数の水晶振動子片の外形形状を形成する外形形成工程が実施される（ステップST1）。耐エッチング用マスク部材は、例えば、金（Au）を用いることができる。なお、この場合、金の下地にクロム（Cr）を形成してもよい。即ち、耐エッチング用マスク部材は、積層膜構造であってもよい。このように下地にクロム（Cr）を用いることで、水晶と金（Au）との密着性が向上する。耐エッチング用マスク部材を形成した後、これをマスクとして、所定のエッチング液を用いて水晶ウェハをエッチングし、水晶振動子片の外形を形成する。

次に、形成された水晶振動子片の振動脚を構成する主平面または側面に電極を形成する電極形成工程が実施される（ステップST2）。この工程で形成される電極は、図7に示す例では、駆動電極20、21および検出電極22である。

次に、水晶ウェハに形成された各々の水晶振動子片を駆動して、漏れ振動の漏れ量を測定する漏れ量測定工程が実施される（ステッ

プ S T 3)。漏れ量測定工程は、水晶ウェハに形成される全ての水晶振動子片の漏れ量を測定するが、漏れ量のばらつきが少ない場合などは、抜き取りで一部の水晶振動子片のみについて漏れ量の測定を行ってもよい。

次に、漏れ量測定工程で得た測定結果に基づいて、各々の水晶振動子片の電極を所定形状に加工する電極加工工程が実施される（ステップ S T 4）。この工程で加工された電極の形状とは、調整エリア 30 の部分に電極を有さない駆動電極 20、21 の形状である（図 7 参照）。

次に、電極加工工程で所定形状に加工された電極をマスクにして水晶ウェハを一括エッチングするバランス調整工程が実施される（ステップ S T 5）。図 7 に示す例では、調整エリア 30 の駆動脚 11、12 の水晶がエッチングされることとなる。

次に、バランス調整工程が実施された水晶ウェハ上の各々の水晶振動子片を駆動して、漏れ振動の漏れ量を再び測定する漏れ量測定工程が実施される（ステップ S T 6）。

次に、ステップ S T 6 の漏れ量測定工程で得た測定結果に基づいて、漏れ量が規定値以内であるかを判定する（ステップ S T 7）。ここで、肯定判定（漏れ量が規定値以内）であれば、水晶振動子の漏れ振動が無視できる程度に抑制されたので、漏れ振動調整を終了する。また、否定判定（漏れ量が規定値以上）であれば、ステップ S T 4 へ戻り（図中、実線 F 1）、漏れ量が規定値以内になるまでステップ S T 4 からステップ S T 7 を繰り返し実行する。

漏れ振動調整が終了したならば、各々の水晶振動子は水晶ウェハから切り離され、封止部材に封止されて製品として完成する。なお、漏れ振動調整後の工程は本発明に直接係わらないので、説明は省略する。

なお、1枚の水晶ウェハに形成される複数の水晶振動子片の中で、ある水晶振動子片の漏れ量が規定値以内となり、他の水晶振動子片の漏れ量が規定値以上である場合は、漏れ量が規定値以内となった時点で、その水晶振動子片を水晶ウェハから切り離して次の封止工程へ送り、規定値以上の水晶振動子片だけが付いた水晶ウェハをステップS T 4へ戻すようにしても良い。このようにすれば、ステップS T 6の漏れ量測定工程での測定回数を減らすことができるので、作業効率を向上させることができる。

また、上述の説明では、漏れ量が規定値以内になるまでステップS T 4からステップS T 7を繰り返し実行する例を説明したが、ステップS T 5からステップS T 7を繰り返し実行してもよい。つまり、ステップS T 5のバランス調整工程におけるエッチングを、少しずつ複数回に分けてエッチングするのである。

即ち、ステップS T 5のバランス調整工程での1回目のエッチングを行い、ステップS T 6の漏れ量測定工程とステップS T 7の判定とを行い、ステップS T 5のバランス調整工程に戻り（図中、破線F 2）、第2回目のエッチングを行うのである。もちろん、これらのループをさらに繰り返してもよい。そして、最終的に漏れ量が規定値以内になるようにするのである。このようにすれば、ステップS T 5のバランス調整工程において、駆動脚1 1、1 2へのエッチングのし過ぎを防止することができる。

次に、各工程の詳細を説明する。

まず、図9を用いて水晶振動子の外形形成工程（ステップS T 1）の詳細を説明する。

図9は、水晶ウェハ上に形成される水晶振動子片の振動脚の断面を模式的に示す断面図である。図9は、図7に示す水晶振動子10が2つ並んだ状態を示すものであって、駆動脚1 1、1 2と検出脚

1 3 との先端方向から基部 1 4 の方向に向かって見た図である。

図 9 (a) に示す、所定の板厚に調整された平板形状の単一の水晶板である水晶ウェハ 1 の両面に、図 9 (b) に示すように、水晶用のエッチング液に耐性のある金属耐食膜 2 a、2 b と、その上にフォトレジスト 3 a、3 b と、を形成する。図 9 (a) に示す例では、図面を見やすくするために、金属耐食膜 2 a、2 b は、単層膜として記載しているが、前述のとおり、金 (A u) とクロム (C r) との積層膜を用いることができる。これらの金属膜は、公知の蒸着技術やスパッタ技術を用いて形成することができる。また、フォトレジスト 3 a、3 b は、公知のスピンコート技術を用いて形成することができる。

次に、図 9 (c) に示すように、互いに向かい合わせたときに誤差を除いては正確に重なる振動子パターンがそれぞれ描画された 2 枚のフォトマスク 4 a、4 b を水晶ウェハ 1 の上下に配置し、フォトマスク 4 a、4 b の上から光 (矢印 B) を照射してフォトレジスト 3 a、3 b を露光する。

次に、図 9 (d) に示すように、フォトレジスト 3 a、3 b の現像を行い、形成したレジストパターンをマスクとして金属耐食膜 2 a、2 b をパターンニングし、耐エッチング用マスク部材であるエッチングマスク 5 a、5 b を形成する。金属耐食膜 2 a、2 b を金 (A u) とクロム (C r) との積層膜を用いたときは、これら 2 つの金属膜それぞれをエッチングする。例えば、ヨウ素とヨウ化カリウムとの混合溶液を用いて、金 (A u) をエッチングする。水洗後、硝酸第 2 セリウムアンモニウム溶液を用いて、クロム (C r) をエッチングする。

次に、フォトレジスト 3 a、3 b を剥離し、表裏両面にエッチングマスク 5 a、5 b の形成された水晶ウェハ 1 を水晶用エッチング

液であるフッ酸系のエッチング液に浸漬する。すると、図 9 (e) に示すように、エッチングマスク 5 a、5 b に覆われていない部分の水晶が表裏両側から溶解する。その後、エッチングマスク 5 a、5 b を除去することによって、水晶振動子片の振動脚である駆動脚 1 1、1 2 と検出脚 1 3 とが得られる。水晶用エッチング液は、例えば、フッ酸とフッ化アンモニウムとの混合溶液を用いることができる。図 9 に示す例では、振動脚の断面のみを示しているが、実際にはこの外形形成工程（ステップ S T 1）によって、図 7 に示す水晶振動子 1 0 の外形の全体が形成される。

図 1 0 は、この外形形成工程によって水晶ウェハ 1 に形成された複数の水晶振動子片 7 の様子を説明するために模式的に示す斜視図である。

この水晶振動子片 7 は、エッチングによって溶解された溶解部 8 から切り出されたように形成され、個々の水晶振動子片 7 は、水晶ウェハ 1 と連結部 7 1 によって結合されている。連結部 7 1 は、バランス調整が終了した後に切断される部分であって、いわゆる折り取り部と呼ばれる部分である。連結部 7 1 の部分を切断すると、水晶振動子片 7 は水晶ウェハ 1 から分離して図 7 に示す水晶振動子 1 0 として完成する。

なお、図 1 0 では、1 枚の水晶ウェハ 1 に 6 個の水晶振動子片 7 を形成する例を示しているが、この個数は図 1 0 の例に限定されるものではない。水晶振動子片 7 は、得たい水晶振動子の性能や特性によりそのサイズや形状が選択され、それに伴って水晶ウェハ 1 のサイズが決まるためである。もちろん、1 枚の水晶ウェハ 1 に形成する水晶振動子片 7 の数が多ければ、多数の水晶振動子を一括して製造できるため、製造コストを低減することができる。

次に、図 1 1 を用いて電極形成工程（ステップ S T 2）の詳細を

説明する。

図 1 1 は、図 1 0 に示す C - C ' 断面を模式的に示した断面図であって、駆動脚 1 1、1 2 と検出脚 1 3 との断面を示している。

図 1 1 (a) に示す、駆動脚 1 1、1 2 と検出脚 1 3 との表面に、図 1 1 (b) に示すように、金属膜 2 0 0 と、その上にフォトレジスト 3 0 0 と、を形成する。

図 1 1 (b) に示す例では、図面を見やすくするために、金属膜 9 0 は、単層膜として記載しているが、クロム (C r) を下地にしてその上に金 (A u) を設ける積層膜とすることができる。金属膜 9 0 は、公知の蒸着技術やスパッタ技術を用いて形成することができる。また、フォトレジスト 9 1 は、公知のスプレー法や電着法などを用いて形成することができる。

次に、図 1 1 (c) に示すように、駆動脚 1 1、1 2 と検出脚 1 3 とに設ける電極の形状がそれぞれ描画された 2 枚のフォトマスク 9 2 a、9 2 b を水晶ウェハ 1 の上下に配置し、フォトマスク 9 2 a、9 2 b の上から光 (矢印 B) を照射してフォトレジスト 9 1 を露光する。なお、図 1 1 (c) では、光を斜めから照射する、いわゆる斜め露光を行う例を示している。

次に、図 1 1 (d) に示すように、フォトレジスト 9 1 の現像を行い、形成したレジストパターンをマスクとして金属膜 9 0 をパターンニングし、駆動電極 2 0 a、2 0 b、2 0 c、2 0 d、2 1 a、2 1 b、2 1 c、2 1 d と検出電極 2 2 a、2 2 b、GND 電極 2 2 c とを形成する。

次に各電極の接続例を説明する。

図 1 2 は、電極形成工程によって振動脚である駆動脚 1 1、1 2 と検出脚 1 3 とに形成される電極の接続の一例を示す図である。駆動脚 1 1 の主平面である対向する 2 面に駆動電極 2 0 a、2 0 b が

形成され、駆動脚 1 2 の主平面である対向する 2 面に駆動電極 2 1 c、2 1 d が形成されている。また、駆動脚 1 1 の側面である対向する 2 面に駆動電極 2 1 a、2 1 b が形成され、駆動脚 1 2 の側面である対向する 2 面に駆動電極 2 0 c、2 0 d が形成されている。

これらの駆動電極 2 0 a、2 0 b、2 0 c、2 0 d は、それぞれ電氣的に接続されて駆動電極端子 2 0 として外部に出力している。また、駆動電極 2 1 a、2 1 b、2 1 c、2 1 d も、それぞれ電氣的に接続されて駆動電極端子 2 1 として外部に出力している。

また、検出脚 1 3 には、その角の部分に対となる検出電極 2 2 a、2 2 b が形成され、それぞれ検出電極端子 2 2、2 3 として外部に出力している。また、検出電極 2 2 a、2 2 b に対向する面の GND 電極 2 2 c は、GND 電極端子 2 4 として外部に出力しており、図示しない回路の GND (0 V) に接続している。もちろん、図 1 2 に示す電極構造または電極同士の接続構造は、これに限定されず、水晶振動子の仕様に応じて任意に決定することができる。

なお、以上の説明に用いた図 9、図 1 0、図 1 1、図 1 2 に示す例では、駆動脚 1 1、1 2 と検出脚 1 3 とのそれぞれの側面は、前述した如く、残渣によって平面ではないが、図示しやすいように残渣の形状を省略している。

次に、図 1 3 を用いて漏れ量測定工程（ステップ S T 3）を説明する。

図 1 3 は、漏れ量測定工程を実施するための漏れ量測定システムの一例を示している。図 1 3 において、7 a ~ 7 f は水晶振動子片である。

水晶振動子片 7 a ~ 7 f が形成された水晶ウェハ 1 は、X Y ステージ 6 0 に載せられ固定されている。6 1 は複数の電極端子 6 2 を有するプローブであり、X Y ステージ 6 0 の上部に配設されている

。このプローブ 6 1 の電極端子 6 2 は、水晶ウェハ 1 の水晶振動子片 7 a ~ 7 f に形成される駆動電極端子 2 0、2 1 と検出電極端子 2 2、2 3（図 1 2 参照）、GND 電極端子 2 4 に電氣的に接触する。

また、制御部 6 3 は漏れ量測定を制御し、プローブ 6 1 と接続ケーブル 6 4 とを介して接続されている。駆動部 6 5 は、制御部 6 3 からの制御信号に基づいて X Y ステージ 6 0 を駆動し、水晶ウェハ 1 を X 方向、又は Y 方向に移動して、プローブ 6 1 が全ての水晶振動子片のそれぞれの電極に接触できるように動作する。また、制御部 6 3 と接続されたメモリ 6 6 には、制御部 6 3 によって、水晶ウェハ 1 のすべての水晶振動子片 7 の漏れ量情報が、それぞれの水晶振動子片の位置情報と共に記憶される。

次に、漏れ量測定システムの動作を説明する。図 1 3 において、制御部 6 3 は駆動部 6 5 に制御信号を送って X Y ステージ 6 0 を駆動し、水晶ウェハ 1 に形成される所定の水晶振動子片 7 a ~ 7 f の電極がプローブ 6 1 の直下に位置するように水晶ウェハ 1 を移動させる。図 1 3 に示す例では、水晶振動子片 7 f がプローブ 6 1 の真下に位置している。

次に、プローブ 6 1 は図示しない昇降手段によって降下し、電極端子 6 2 が水晶振動子片 7 f の電極に接触する。

次に、制御部 6 3 は、水晶振動子片 7 f を振動させる駆動信号を接続ケーブル 6 4 を介してプローブ 6 1 に送り、水晶振動子片 7 f の駆動電極端子 2 0、2 1 に駆動信号が供給されて水晶振動子片 7 f は振動を開始する。

次に、制御部 6 3 は、水晶振動子片 7 f の検出電極端子 2 2、2 3 から検出信号をプローブ 6 1 を介して入力し、この検出信号から漏れ信号成分を検出して、その漏れ量を水晶振動子片 7 f の位置関

係情報と共にメモリ 66 に記憶する。即ち、この漏れ量測定工程の測定結果は、測定した水晶振動子片の漏れ量と、その水晶振動子片の位置関係情報と、で構成されている。なお、水晶振動子片の位置関係情報は、X Y ステージ 60 の所定の原点からの X 軸位置、Y 軸位置として計測される位置情報である。また、漏れ量測定は当然であるが角速度を印加しない状態で行われる。

次に、制御部 63 は、ひとつの水晶振動子片の漏れ量測定が終わったならば、駆動部 65 に制御信号を送って X Y ステージ 60 を駆動し、隣に位置する水晶振動子片の電極がプローブ 61 の直下に位置するように水晶ウェハ 1 を移動させる。例えば、水晶振動子片 7f の測定が終了したならば、隣の水晶振動子片 7e がプローブ 61 の真下に位置するように X Y ステージ 60 を駆動する。

以降、水晶ウェハ 1 に形成される水晶振動子片を順次駆動して漏れ量を測定し、水晶振動子片 7a ~ 7f の個々の漏れ量と位置関係情報とをメモリ 66 に記憶する。この場合、メモリ 66 には、6 つの水晶振動子片の漏れ量と、それに対応した 6 つの水晶振動子片の位置関係情報と、が記憶される。

なお、水晶ウェハ 1 に設けてある水晶振動子片の全ての漏れ量を測定しなくてもよい。例えば、水晶振動子片 7a を測定し、その漏れ量が、水晶振動子片 7b ~ 7f の漏れ量だと仮定することも可能である。このような仮定は、過去に測定した水晶ウェハや他の水晶ウェハの情報、例えば、水晶ウェハ 1 の膜厚や外形形成工程（ステップ S T 1）のエッチング条件などを用いることでなすことができる。この場合、メモリ 66 には、1 つの水晶振動子片の漏れ量と、6 つそれぞれの水晶振動子片の位置関係情報と、が記憶される。

また、水晶ウェハ 1 に設けてある水晶振動子片をグループに分けて漏れ量を測定してもよい。例えば、隣り合う水晶振動子片 7a、

7 b、7 c を測定し、これらが同じ漏れ量だったならば、水晶振動子片 7 d、7 e、7 f も同じ漏れ量だと予測し、水晶振動子片 7 d を測定した時点で水晶振動子片 7 e、7 f も同じ漏れ量だと仮定することも可能性である。つまり、水晶振動子片を、水晶振動子片 7 a、7 b、7 c と水晶振動子片 7 d、7 e、7 f との 2 つのグループに分けるのである。このような仮定やグループ分けは、上述の例と同じく、過去に測定した水晶ウェハや他の水晶ウェハの情報を用いて傾向を分析するなどしてなすことができる。この場合、メモリ 6 6 には、グループ分けされた水晶振動子片の情報と、そのグループごとの水晶振動子片の漏れ量と、水晶振動子片の位置関係情報と、が記憶される。

さらにまた、水晶ウェハ 1 に設けてある水晶振動子片を選択する、いわゆる抜き取り測定を行ってもよい。例えば、水晶ウェハ 1 に設けてあるいずれかの水晶振動子片 1 つまたは、予め決められた個数の水晶振動子片をランダムに選んで測定し、その平均値を水晶ウェハ 1 の漏れ量として記憶してもよいのである。この場合、メモリ 6 6 には、選択して測定した個数の水晶振動子片の漏れ量と、6 つの水晶振動子片の位置関係情報と、が記憶される。

次に、電極加工工程（ステップ S T 4）を説明する。

この電極加工工程は、前述の漏れ量測定工程で取得した水晶ウェハ 1 の各々の水晶振動子片 7 a ～ 7 f の漏れ量と位置関係情報に基づき、レーザ光を照射して電極の一部を除去する電極加工システムによって実施される。

この電極加工システムは、一例として基本的には図 1 3 で示した漏れ量測定システムのプローブ 6 1 の替わりにレーザ照射器が配置される構成であるので、図 1 3 を参照して説明する。この電極加工システムでは、制御部 6 3 によって駆動部 6 5 を制御して X Y ステ

ージ 60 を駆動し、XY ステージ 60 上の各々の水晶振動子片 7 の駆動脚の電極をレーザ照射器（図示せず）からのレーザ光によって加工する。レーザは、例えば、YAG レーザを用いることができる。

図 14 は、水晶振動子片 7 の上面図であり、図 13 に示す水晶振動子片 7a ~ 7f のいずれかを示すものである。なお、以後の説明で水晶振動片を説明するときは、簡略化して水晶振動子片 7 と称する。そして、上述のレーザ照射器から駆動電極にレーザ光が照射され、駆動電極の一部が除去された一例を示している。図 14 に示す例では、レーザ光をスポット状の円形状にして照射している。

駆動脚 11 の主平面に形成される駆動電極 20a と、同じく駆動脚 12 の主平面に形成される駆動電極 21c との先端付近に、スポット状のレーザ光を連続して照射し、電極の幅方向の一方の端部が、電極の長手方向に連続して除去される。この電極が除去された部分は、水晶振動子片 7 の水晶表面が露出し、略長形状の調整エリア 30 が形成される（図 14 にて破線で示すエリア）。この調整エリア 30 が形成されることによって、その部分で残された電極幅 W_2 は、図示するように調整エリア 30 が形成されていない電極幅 W_1 より狭くなる。

そして、水晶の表面が露出した調整エリア 30 は、後の工程であるバランス調整工程による再エッチングによって表面が溶解し、駆動脚 11、12 の断面形状が調整されて漏れ振動が抑制される。

なお、図 14 に示す例では、レーザ光を照射して除去する電極の部分（調整エリア 30）は、図面向かって左側の端部に設ける例を示したが、これは一例である。しかしながら、このレーザ光を照射して除去する電極の部分は、駆動脚 11、12 の幅方向にずれていなければならない。例えば、レーザ光を照射して除去する電極の部

分の平面からみた幅方向の略中心は、駆動脚 11、12 の幅方向の略中心より、この駆動脚の幅方向にずれて設けるのである。また、レーザ光を照射して除去する電極の部分の形状が平面で見たときに長方形状であったとしたならば、その部分は、図 14 に示す例のように、駆動脚 11、12 の幅方向の略中央と幅方向の端部との間に入るように設けてもよい。

即ち、この電極加工工程により形成された電極をマスクとして、ステップ S T 5 のバランス調整工程にて水晶をエッチングしてバランス調整するのであるから、調整エリア 30 は、駆動脚 11、12 がエッチングにより水晶振動子のバランスが変わるような部分に設けなくてはならない。

図 15 は、調整エリア 30 が電極加工工程によってどのように形成されるかを説明するための説明図である。

ここで、水晶振動子片 7 の基部 14 に近い領域を第 1 領域及び第 1 領域よりも振動脚の先端方向を第 2 領域として定義した。調整エリア 30 が第 1 領域に形成されると、その領域は基部 14 に近いので駆動脚 11、12 の振動に対する影響が大きい。また、調整エリア 30 が第 2 領域に形成されると、その領域は駆動脚 11、12 の先端付近であるので、駆動脚 11、12 の振動に対する影響は比較的小さい。なお、図 15 における調整エリア 30 は簡略化して長方形状として示しているが、図 14 に示す例のように、電極に対してレーザ光をスポット状の円形状にして連続して照射したときは、連続した円形状に電極が除去されたエリアとなる。

図 15 (a) は、水晶振動子片 7 の漏れ量が少ない場合に加工される調整エリア 30 を示している。即ち、水晶振動子片 7 の漏れ量が少ない場合は、水晶振動子片 7 は少しだけ調整されればよいので、調整エリア 30 は図示するように駆動脚 11、12 の主平面の第

2 領域の一部に形成されて、その部分の駆動電極 2 0 a、2 1 c の電極幅が狭くなる。このように、影響が比較的小さい第 2 領域に調整エリア 3 0 を形成することで、少ない漏れ量に対応して微細な電極加工が行えるので、高精度に漏れ量を調整することができる。

図 1 5 (b) は、水晶振動子片 7 の漏れ量が中程度である場合に加工される調整エリア 3 0 を示している。ここで、水晶振動子片 7 は中程度に調整される必要があるので、調整エリア 3 0 は図示するように駆動脚 1 1、1 2 の主平面の第 2 領域のほぼすべてに形成されて駆動電極 2 0 a、2 1 c の電極幅が狭くなる。これにより、中程度の漏れ量が調整されるので、漏れ振動を抑制することができる。

図 1 5 (c) は、水晶振動子片 7 の漏れ量がやや大きい場合に加工される調整エリア 3 0 を示している。ここで、水晶振動子片 7 は、大きく調整される必要があるので、調整エリア 3 0 は図示するように駆動脚 1 1、1 2 の主平面の第 1 領域の一部に形成されて駆動電極 2 0 a、2 1 c の電極幅が狭くなる。これにより、やや大きい漏れ量が調整されるので、漏れ振動を抑制することができる。

図 1 5 (d) は、水晶振動子片 7 の漏れ量がかなり大きい場合に加工される調整エリア 3 0 を示している。ここで、水晶振動子片 7 は、かなり大きく調整される必要があるので、調整エリア 3 0 は図示するように駆動脚 1 1、1 2 の主平面の第 1 領域と第 2 領域との両方に形成されて駆動電極 2 0 a、2 1 c の電極幅が狭くなる。これにより、かなり大きい漏れ量が調整されるので、漏れ振動を抑制することができる。

このように、電極加工工程は、漏れ量測定工程で得た各々の水晶振動子片 7 の漏れ量情報と位置関係情報とに基づいて、調整エリア 3 0 の加工領域とその加工量とを決定し、レーザ光によって駆動脚

11、12の電極を加工する工程である。

なお、調整エリア30は、図15の図面上で検出脚13に近い側の偏った領域に形成されているが、水晶振動子片7の裏面の駆動電極20b、21d（図12参照）では、反対に検出脚13から遠い側の偏った領域に形成される。この調整エリア30の偏り方向は、主軸の傾き方向に応じて決定されるが、その詳細な説明は後述する。また、図15において調整エリア30は、水晶振動子片7の主平面から側面にまたがるように、駆動脚の角部に形成する例を示したが、調整エリア30は主平面にのみ形成されてもよい。

また、水晶ウェハ1の裏面にレーザ光を照射して加工する場合は、水晶ウェハ1を電極加工システムのXYステージ60に裏返しにして載せるか、または、XYステージ60をレーザ光の妨げにならない構造にして、XYステージ60の裏側から水晶ウェハ1にレーザ光を照射すればよい。

次に、図16に基づいてバランス調整工程（ステップST5）を説明する。

このバランス調整工程は、電極加工工程で駆動脚11、12の駆動電極が所定形状に加工された後、この加工された駆動電極をマスクにして水晶ウェハ1を再び一括エッチングして水晶振動子片7の駆動脚11、12の断面形状を修正して振動のバランス調整を行い、漏れ量を調整して水晶振動子片7の漏れ振動を抑制する工程である。

図16は水晶ウェハ1に形成された水晶振動子片7の一方の駆動脚11の断面の一例であり、図12に示す方向と同一の方向から見た図である。

水晶ウェハ1をエッチング加工してできた水晶振動子片7の振動脚には残渣があり、且つ、水晶ウェハ1から水晶振動子片7を切り

出すためのエッチングマスクが上下で位置ずれ量 e だけずれた（裏面マスクが図面上右側にずれた）と仮定すると、駆動脚 11 の断面は図示するように上下非対称となり、駆動脚 11 の主軸 35（破線で示す）は X 軸に平行にならずズレ角 θ_1 を持つ。（このような駆動脚の形状については、図 4 を用いて説明した従来技術の水晶振動子の駆動脚 201 の断面と類似する。）これにより、駆動脚 11 は斜め振動となって漏れ振動が発生する。

前述した漏れ量測定工程は、この漏れ振動を検出して漏れ量を測定し、電極加工工程は駆動脚 11 の主平面の表面と裏面に形成されている駆動電極 20a、20b の一部を加工して調整エリア 30a、30b が形成される。このバランス調整工程では、水晶ウェハ 1 を再びエッチング液に浸漬して一括エッチングを行い、調整エリア 30a、30b で露出した水晶振動子片 7 の表面および裏面がエッチング除去されて（図 16 に示す破線部分）、その部分の駆動脚 11 の厚みが僅かに減少する。調整エリア 30a、30b の水晶がエッチング除去されることによって、上下非対称となった断面形状が補正され、主軸 35 は主軸 35'（実線）のように修正されて漏れ振動が抑制される。

また、駆動脚 11 の主平面の表面である駆動電極 20a 側の調整エリア 30a は、駆動電極 20a の図面上左側に偏って形成され、駆動脚 11 の主平面の裏面である駆動電極 20b 側の調整エリア 30b は、駆動電極 20b の図面上右側に偏って形成される。

ここで、調整エリア 30a、30b を、駆動脚 11 の主平面の表面と裏面とに形成する理由は、水晶振動子片 7 が Z' 方向に特異的に速い速度でエッチングされる水晶の特性を利用する為である。この特性により、主平面に形成された調整エリア 30a、30b は、バランス調整工程の再エッチングによって短時間で Z' 方向にエッ

チングが進行し、断面形状が修正される。

また図 16 では、調整エリア 30 a、30 b を駆動脚 11 の主面から側面にまたがるように、駆動脚の角部に形成する例を示したが、もちろん、調整エリア 30 a、30 b を主面のみに設けてもよい。

ここで、調整エリアによるエッチング除去部分の位置関係をまとめて述べると、図 16 において調整エリア 30 a、30 b は、駆動脚 11 の振動軸中心を原点 P とし、この原点 P を通り直交する 2 つの軸 x、y で定義される第 1 象限、第 2 象限、第 3 象限、第 4 象限のうち、原点 P を挟み対象となる象限に設けるように加工され形成される。これにより、調整エリア 30 a、30 b によるエッチング除去量は、原点 P を挟み対象となる象限のエッチング除去量が等しく、隣り合う象限のエッチング除去量が異なるように加工される。

図 16 に示す調整エリア 30 a、30 b は、一例として第 2 象限と第 4 象限とに形成されるが、表面マスクが裏面マスクに対して左方向にずれて形成されていたためであり、ずれて偏って形成された水晶部分を打ち消すように、調整エリア 30 a、30 b を第 2 象限と第 4 象限に形成することで、その主軸 35 の傾きを修正することができるからである。

図 17 はエッチングマスクが図 16 とは逆方向に、即ち、裏面側のマスクが図面上左側に位置ずれ量 e だけずれた場合を示す水晶振動子片 7 の駆動脚 11 の断面図である。

この場合は、図示するようにずれて偏って形成された水晶部分を打ち消すように、調整エリア 30 a、30 b を第 1 象限と第 3 象限とに形成すればよい。即ち、第 1 象限と第 3 象限とに形成された調整エリア 30 a、30 b の水晶がエッチング除去されることによって、上下非対称となった断面形状が補正され、依然として断面形状

は上下非対称であるが、主軸 35 は主軸 35'（実線）のように修正されて漏れ振動が抑制される。

すでに説明した例では、漏れ量の大きさに基づいて調整エリアの領域と範囲とを変えて漏れ振動の調整を行ったが、この調整方法に限定されるものではなく、例えば、調整エリアの領域と範囲とを限定し、漏れ量の大きさに基づいてエッチング量を加工時間に換算して、振動脚のエッチング除去量を決定するようにしてもよい。

図 18 はエッチング量を加工時間に換算して行う調整方法の一例を説明するための図である。

図 18 において、調整エリア 30 a、30 b の破線で示すエッチング深さ K 1、K 2 は、エッチングでの加工時間の違いによる調整エリア 30 a、30 b の深さの違いを示している。ここで、エッチング深さ K 1 は再エッチングの加工時間が短い場合であり、エッチング深さ K 2 は再エッチングの加工時間が長い場合である。

即ち、漏れ量測定工程での測定の結果、漏れ量が小さければ、再エッチングの加工時間を短く設定してエッチング深さ K 1 まで加工し、漏れ量が大きければ、再エッチングの加工時間を長く設定してエッチング深さ K 2 まで加工する。これにより、漏れ量に応じてエッチング除去量を調整でき、主軸 35 の傾きは主軸 35'（実線）のように修正されて漏れ振動を抑制することができる。なお、漏れ量に基づいた調整を、調整エリアの領域と範囲とを変える方法と、エッチング量を加工時間に換算する方法の両方を取り入れて漏れ振動の調整を行ってもよい。

以下、駆動脚に溝が形成されている水晶振動子片へ、上記の第 1 の製造方法を適用する場合について説明する。

図 19 は、水晶ウェハ 1 に形成された水晶振動子片 7 の一方の駆動脚 11 の他の例であり、主平面の表と裏に水晶振動子片 7 の長手

方向に沿って複数の溝 1 5 が形成された駆動脚 1 1 の断面図である。

溝 1 5 が形成された水晶振動子は公知であるが、この溝 1 5 の内側に形成される電極 1 5 a と側面の駆動電極 2 1 a、2 1 b の一部が対向することによって水晶振動子に加わる電界が増加し、水晶振動子の駆動力を向上させることができる。図 1 9 では複数の溝 1 5 を設けた例を示したが、単一の溝でもよい。

まず、図 1 9 (a) に示す溝 1 5 を有する駆動脚 1 1 の主平面の表面と裏面に、図 1 9 (b) に示すように、電極加工工程によって駆動電極 2 0 a、2 0 b の一部を加工して電極を除去し、調整エリア 3 0 a、3 0 b を形成する。

次に、図 1 9 (c) に示すように、バランス調整工程によって水晶ウェハ 1 を再びエッチング液に浸漬して一括エッチングを行い、調整エリア 3 0 a、3 0 b で露出した駆動脚 1 1 の表面および裏面をエッチング除去して（破線部分）、その部分の駆動脚 1 1 の厚みを僅かに減少させる。この調整エリア 3 0 a、3 0 b の水晶がエッチング除去されることによって、上下非対称となった断面形状が補正され、漏れ振動が抑制される。

調整エリア 3 0 a、3 0 b は、図示するように、溝 1 5 から駆動脚 1 1 の端部（角部）に至る領域に形成されることが好ましいが、幅方向に制限のある場合には、中央部分まで調整エリアとして利用することもできる。また、調整エリア 3 0 a、3 0 b の位置は、図 1 6 及び図 1 7 に示すように、ずれて偏って形成された水晶部分を打ち消すように主軸の傾きに応じて形成する。

図 2 0 は、複数の溝 1 5 が形成された駆動脚 1 1 の他の部分を調整エリアとした場合を示した図である。

まず、図 2 0 (a) に示す溝 1 5 を有する駆動脚 1 1 の主平面の

表面と裏面に、図 20 (b) に示すように、電極加工工程によって溝 15 の内側の駆動電極 20 a、20 b の一部を加工して電極を除去し、調整エリア 30 a、30 b を形成する。

次に、図 20 (c) に示すように、バランス調整工程によって水晶ウェハ 1 を再びエッチング液に浸漬して一括エッチングを行い、調整エリア 30 a、30 b で露出した駆動脚 11 の表面および裏面をエッチング除去して（破線部分）、その部分の駆動脚 11 の厚みを僅かに減少させる。この調整エリア 30 a、30 b の水晶がエッチング除去されることによって、上下非対称となった断面形状が補正され、漏れ振動が抑制される。

図 20 に示すように、溝 15 の内側の駆動電極 20 a、20 b の一部を加工して電極を除去し、調整エリア 30 a、30 b を形成した場合には、効き量が小さいので微調整を行うのに適している。なお、図 19 に示すように、溝 15 の外側に調整エリアを形成するのと併用して、図 20 に示すように、溝 15 の内側に調整エリアを形成するようにしても良い。

図 8 に示す水晶振動子の製造方法では、ステップ S T 6 において測定した漏れ量がステップ S T 7 で規定値以内ではない場合には、常に、所定の手順を繰り返すこととなる。そこで、図 8 のステップ S T 3 ～ S T 7 を予め定められた手順で行う製造方法について以下に説明する。

図 21 は、図 8 に示すステップ S T 3 ～ S T 7 を他の工程により置き換えた水晶振動子の製造方法を示すフローチャートである。

図 8 のステップ S T 2 の後、水晶ウェハに形成された各々の水晶振動子片を駆動して、漏れ振動の初期漏れ量を測定する初期漏れ量測定工程が実施される（ステップ S T 10）。漏れ量測定工程は、図 8 のステップ S T 3 と同様に、図 13 に示す漏れ測定システムを

利用して実施される。

次に、初期漏れ量測定工程で得た測定結果に基づいて、第 1 バランス調整工程、第 2 バランス調整工程共に完了したときに、測定された漏れ量がゼロとなることを目標として、調整エリア 30 に対して、各々の水晶振動子片の電極を所定形状に加工する第 1 電極加工工程が実施される（ステップ S T 1 1）。第 1 バランス調整工程と第 2 バランス調整工程のエッチング時間が同じ場合は、第 1 バランス調整工程終了時の漏れ量目標値は、初期漏れ測定量の $1/2$ である。第 1 電極加工工程は、目標値が異なるだけで、図 8 のステップ S T 4 と同様の方法によって実施される。

次に、第 1 電極加工工程で所定形状に加工された電極をマスクにして水晶ウェハを一括エッチングする第 1 バランス調整工程が実施される（ステップ S T 1 2）。第 1 バランス調整工程は、図 8 のステップ S T 4 と同様の方法によって実施される。

次に、水晶ウェハに形成された各々の水晶振動子片を駆動して、漏れ振動の 2 次漏れ量を測定する 2 次漏れ量測定工程が実施される（ステップ S T 1 3）。漏れ量測定工程は、図 8 のステップ S T 3 と同様に、図 1 3 に示す漏れ測定システムを利用して実施される。

次に、2 次漏れ量測定工程で得た測定結果に基づいて、漏れ量をゼロとすることを目標として、調整エリア 30 に対して、各々の水晶振動子片の電極を所定形状に加工する第 2 電極加工工程が実施される（ステップ S T 1 4）。第 2 電極加工工程は、目標値が異なるだけで、図 8 のステップ S T 4 と同様の方法によって実施される。

次に、第 2 電極加工工程で所定形状に加工された電極をマスクにして水晶ウェハを一括エッチングする第 2 バランス調整工程が実施される（ステップ S T 1 5）。第 2 バランス調整工程は、図 8 のステップ S T 4 と同様の方法によって実施される。

次に、第2バランス調整工程が実施された水晶ウェハ上の各々の水晶振動子片を駆動して、漏れ振動の漏れ量を測定する最終漏れ量測定工程が実施される（ステップS T 1 6）。

次に、ステップS T 1 6の最終漏れ量測定工程で得た測定結果に基づいて、漏れ量が規定値以内であるかを判定し（ステップS T 1 7）。肯定判定（漏れ量が規定値以内）であれば、水晶振動子の漏れ振動が無視できる程度に抑制されたので、漏れ振動調整を終了する。また、否定判定（漏れ量が規定値以上）であれば、個別処理やその振動子を利用しないようにする廃棄処理等を行う。

図22は、図21に示すフローチャートの実施経過を説明するための一例を示す図である。

ステップS T 1 0における初期漏れ量が V （mV）であった場合、第1バランス調整工程によって目標とする漏れ量を $V/2$ に設定して、時刻 T_0 ～時刻 T_1 の間エッチング処理を行う。図22の場合、時刻 T_0 ～時刻 T_1 間の間隔と時刻 T_1 ～時刻 T_2 間の間隔を、1：1に設定したため目標とする漏れ量は $V/2$ となるためである。次に、ステップS T 1 3において（時刻 T_1 ）、2次漏れ量を測定する。

図22において、折れ線40（点線）は、時刻 T_1 における2次漏れ量が誤差により $V/2$ より大きくなってしまった場合である。この場合、漏れ量調整速度が遅いので、第2バランス調整工程においてより漏れ量調整の効き量が多くなるように第2電極加工工程（S T 1 4）で第1電極加工と同方向に加工する調整を行い、最終的に漏れ量がゼロになるように調整を進める。逆に、図22において、折れ線41（一点鎖線）は、時刻 T_1 における2次漏れ量が誤差により $V/2$ より小さくなってしまった場合である。この場合、漏れ量調整速度が速いので、第2バランス調整工程において漏れ量調

整の効き量が少なくなるように第2電極加工工程（ST14）で第1電極加工と逆方向に加工する調整を行い、最終的に漏れ量がゼロになるように調整を進める。

次に、ステップST16において（時刻T2）、最終漏れ量測定を行って、最終的な漏れ量の誤差が、規定値以内か否かの判断を行うこととなる。

このように、図21及び図22に示した製造方法では、2段階で、漏れ量の調整を行うので、簡易且つ容易に、最終的な漏れ量を、規定値以内に調整し易い。なお、図21及び図22に示した例では、第1のバランス調整工程と第2のバランス調整工程におけるエッチング時間を同じに設定したが（時刻T0～T1と時刻T1～T2の間隔を同じに設定）、そのような条件以外に設定するようにしても良い。

図23は、図21に示すフローチャートの実施経過を説明するための他の例を示す図である。

ステップST10における初期漏れ量がV（mV）であった場合、第1バランス調整工程によって目標とする漏れ量を $V/4$ に設定して第1電極加工工程を行い、時刻T0～時刻T1の間第1バランス調整工程のエッチング処理を行う。図23の場合、時刻T0～時刻T1間の間隔と時刻T1～時刻T2間の間隔を、3：1に設定した。次に、ステップST13において（時刻T1）、2次漏れ量を測定する。

図23において、折れ線40（点線）は、誤差により時刻T1における2次漏れ量が $V/4$ より大きくなってしまった場合である。この場合、漏れ量調整速度が遅いので、第2バランス調整工程においてより漏れ量調整効き量が多くなるように第2電極加工工程で第1電極加工と同方向に電極加工する調整を行い、最終的に漏れ量が

ゼロになるように調整を進める。逆に、図 2 3 において、折れ線 4 1（一点鎖線）は、時刻 T 1 における 2 次漏れ量が誤差により $V/4$ より小さくなってしまった場合である。この場合、漏れ量調整速度が速いので、第 2 バランス調整工程において漏れ量調整効き量が少なくなるように第 2 電極加工で第 1 電極加工と逆方向に電極加工する調整を行い、最終的に漏れ量がゼロになるように調整を進める。

次に、ステップ S T 1 6 において（時刻 T 3）、最終漏れ量測定を行って、最終的な漏れ量の誤差が、規定値以内か否かの判断を行うこととなる。

図 2 3 の場合では、第 1 電極加工工程及び第 1 バランス調整工程において、全体の調整の内の $3/4$ を終了させており、第 2 電極加工工程及び第 2 バランス調整工程で、残りの $1/4$ の調整を完了させるように設定した。既に、多くの経験的データが蓄積され、第 1 バランス調整後の誤差（点線 4 0 や点線 4 1）が大きくない場合には、全体の調整の内の $3/4$ の終了時点（時刻 T 1）後において、大きな再調整が必要ないため、図 2 3 のように設定を行った方が、より正確に最終的な漏れ量を、規定値以内に調整し易い。第 2 バランス調整工程による誤差は第 2 バランス調整工程の長さに従い大きくなるためである。T 1 における誤差がさらに小さいと見積もられる場合には、全体の調整の $3/4$ にとどまらず、より T 2 に近いところに T 1 を設定してもよい。

図 2 4 は、調整の具体例を示す図である。

具体的な調整例を、図 2 5 に示す水晶振動子片 7 を用いて以下に説明する。なお、図 2 4 に示す 6 つの例は、全て、第 1 バランス調整工程と第 2 バランス調整工程におけるエッチング時間を 1 : 1 に設定した場合（図 2 2 参照）を示している。

例えば、素子番号 3 の水晶振動子片では、初期漏れ量測定工程（S T 1 0）における初期漏れ量が 1 5 0 0 m V であった。そこで、第 1 電極加工工程において、各振動脚 1 1 及び 1 2 の左側の調整領域（図 2 5 の 3 1 a 参照）の、根元位置（図 2 5 の 3 1 参照）から 2 6 0 μ m ~ 5 9 1 μ m の部分をトリミングして（S T 1 1）、エッチング処理を行った（S T 1 2）。

次の 2 次漏れ量測定工程（S T 1 4）における 2 次漏れ量が 1 2 0 0 m V であった。第 1 バランス調整工程と第 2 バランス調整工程におけるエッチング時間を 1 : 1 に設定していることを考慮すると、このままエッチング処理を進めると、最終漏れ量が 9 0 0 m V（図 2 2 の E 4 0 参照）となると予想される（1 / 2 目標値は 7 5 0 m V）。そこで、第 2 バランス調整における誤差分の漏れ調整量が 9 0 0 m V（漏れ調整量は 1 2 0 0 m V）となるように、第 2 電極加工工程（S T 1 4）において、各振動脚 1 1 及び 1 2 の左側の調整領域（図 2 5 の 3 1 a 参照）の、根元位置（図 2 5 の 3 1 参照）から 6 1 8 ~ 1 2 0 0 μ m の部分をトリミングして（S T 1 4）、エッチング処理を行った（S T 1 5）。

この結果、最終漏れ量は、8 5 m V となり、規定値内となった。ここで、例えば規定値は $\pm 1 5 0$ m V とし、ジャイロの特性に影響を与えない範囲である。

図 2 6 は、単位長さ当たりの効き量（m V / μ m）と根元位置からの距離（ μ m）の関係を示す図である。

図 2 6 において、例えば、左側の調整位置（図 2 5 の 3 1 a 参照）において、根元位置から 6 0 0 μ m における単位長さ当たりの効き量は 3 . 4（m V / μ m）である。この意味は、この例において、根元位置から 6 0 0 μ m の位置に直径 1 μ m ビームスポットによってトリミングを行い、所定のエッチング処理（図 2 2 や 2 3 では

T 0 ～ T 2 までのエッチング) を実施すると、+ 3. 4 m V 分だけ、漏れ量が改善されるという意味である。図 2 6 の関係グラフは、図 2 5 に示す水晶振動子片について実験により求めたものである。

第 1 電極加工工程 (S T 1 1) におけるトリミング位置は、図 2 6 に示す関係グラフの定積分値が、初期漏れ量と一致するように設定する。上述した素子番号 3 の水晶振動子片の例では、図 2 6 の斜線 4 2 の部分が初期漏れ量 1 5 0 0 m V に対応する。また、第 2 バランス調整工程で調整される誤差分 9 0 0 m V は、T 1 ～ T 2 の間に調整されるわけなので、T 0 ～ T 2 に換算すると 1 8 0 0 m V 分の電極加工が第 2 電極加工工程では必要である。斜線 4 3 の部分が調整誤差 1 8 0 0 m V に対応する。

このようにして、第 1 電極加工工程 (S T 1 1) におけるトリミング位置及び第 2 電極加工工程 (S T 1 4) におけるトリミング位置を決定することが可能となる。

図 2 7 は、図 8 に示すステップ S T 3 ～ S T 7 を他の工程により置き換えた水晶振動子の他の製造方法を示すフローチャートである。

図 8 のステップ S T 2 の後、水晶ウェハに形成された各々の水晶振動子片を駆動して、漏れ振動の初期漏れ量を測定する初期漏れ量測定工程が実施される (ステップ S T 1 0)。漏れ量測定工程は、図 8 のステップ S T 3 と同様に、図 1 3 に示す漏れ測定システムを利用して実施される。

図 2 7 における S T 1 1 ～ S T 1 5、S T 1 6 及び S T 1 7 は、図 2 1 のフローチャートと同じであるので、その説明を省略する。図 2 1 のフローチャートでは、時刻 T 2 の時点で最終漏れ量を測定して (S T 1 6)、規定値以内か否かの判断を行った (S T 1 7)。

しかしながら、図 2 7 に示す製造方法では、更に、水晶ウェハに形成された各々の水晶振動子片を駆動して、漏れ振動の 3 次漏れ量を測定する 3 次漏れ量測定工程が実施される（ステップ S T 2 0）。漏れ量測定工程は、図 8 のステップ S T 3 と同様に、図 1 3 に示す漏れ測定システムを利用して実施される。

第 1 電極加工工程のトリミング量、第 1 バランス調整工程のエッチング時間、第 2 電極加工工程のトリミング量は同じであるが、第 2 バランス調整工程のエッチング時間は図 2 1 のフローチャートに示す例に比べて図 2 7 に示す例では短い時間にして 3 次漏れ量測定工程を行う（S T 2 0）。

次に、3 次漏れ量測定工程で得た測定結果に基づいて、第 3 バランス調整工程のエッチング時間が決定される（S T 2 1）。ここでは、あとどのくらいエッチング処理を行えば、漏れ量がなくなるかのエッチング時間が決定されることとなる。ウェハ処理の場合、あとどのくらいエッチング処理を行えば漏れ量の少ない素子が数多く得られるかのエッチング時間を決定することとなる。これは、第 2 バランス調整工程における誤差の影響を低減するために行われる。

次に、第 1 電極加工工程（S T 1 1）及び第 2 電極加工工程（S T 1 4）の様なトリミングは行わずに、それ以前に加工された電極をマスクにして水晶ウェハを一括エッチングする第 3 バランス調整工程が実施される（ステップ S T 2 2）。

図 2 8 は、図 2 7 に示すフローチャートの実施経過を説明するための一例を示す図である。

ステップ S T 1 0 における初期漏れ量が V (mV) であった場合、図 2 8 の場合、時刻 T_0 ～時刻 T_1 間の間隔と時刻 T_1 ～時刻 T_2 間の間隔を、1 : 1 に設定したので、第 1 電極加工工程及び第 1 バランス調整工程によって目標とする漏れ量を $V/2$ に設定して、

時刻 T_0 ～時刻 T_1 の間エッチング処理を行う。

次に、ステップ ST_{13} において（時刻 T_1 ）、2次漏れ量を測定し、 T_2 における最終漏れ量（ E_1 ）を予測して調整誤差を算出し、それに基づいて第2電極加工工程（ ST_{14} ）及び第2バランス調整工程（ ST_{15} ）を実施する。ここで、第2バランス調整工程は、 $T_1 \sim T_2'$ （ $T_2' < T_2$ ）まで行う。

次に、ステップ 20 において（時刻 T_2' ）、3次漏れ量（ E_2 ）を測定し、そのままエッチング処理が進んだ場合に、漏れ量がゼロとなるようなエッチング時間（ $T_3 - T_2'$ ）を決定する（ ST_{21} ）。

次に、ステップ ST_{16} において（時刻 T_3 ）、最終漏れ量測定を行って、最終的な漏れ量の誤差が、規定値以内か否かの判断を行うこととなる。なお、ウェハ処理の場合には、より漏れ量の小さな素子の数が多くなるような T_3 を求めて第3バランス調整を行う。

このように、図27及び図28に示した製造方法では、3段階で、漏れ量の調整を行うので、簡易且つ容易に、最終的な漏れ量を、規定値以内に調整し易い。なお、図27及び図28に示した例では、第1のバランス調整工程と第2のバランス調整工程におけるエッチング時間を同じに設定したが（時刻 $T_0 \sim T_1$ と時刻 $T_1 \sim T_2$ の間隔を同じに設定）、そのような条件以外に設定するようにしても良い。

本発明の第1の製造方法において、調整エリアによるエッチング除去部分を主軸の傾きに依じて駆動脚の断面に対して偏らせて形成することで、駆動脚の主軸の傾きを修正して漏れ振動を抑制することができる。また、上記の説明は、駆動脚11について説明したが、駆動脚12についても同様である。

本発明の第1の製造方法において、バランス調整工程（ステップ

S T 5) は、図 8 のフローチャートで示すように、漏れ量が多い場合などにおいては、規定値以内に収まるまで繰り返し実行されるが、最初の漏れ量測定工程（ステップ S T 3）で、大きな漏れ量が測定されたならば、最初の電極加工工程（ステップ S T 4）では、駆動脚の振動に対する影響が大きい第 1 領域の電極を加工して調整エリアを形成するとよい。これにより、最初のバランス調整工程での調整量を大きくできるので、バランス調整工程の繰り返し回数を減らして、製造工数の削減を実現できる。

本発明の第 1 の製造方法において、調整エリアは、駆動脚 1 1 の表面の調整エリア 3 0 a と、裏面の調整エリア 3 0 b と、の両面に形成されているが、これに限定されず、漏れ量が少ない場合は、表面または裏面のどちらか一方に調整エリア 3 0 を形成してもよい。これにより、さらに微細な漏れ量の調整を実現することができる。

本発明の第 1 の製造方法において、漏れ量測定工程（ステップ S T 3）に基づいて電極加工工程（ステップ S T 4）とバランス調整工程（ステップ S T 5）とが実行されるが、測定された漏れ量に対して少なめの調整エリアの加工と少なめのバランス調整（エッチング加工）を行って、電極加工工程とバランス調整工程をある程度繰り返すようにしてもよい。これは、測定された漏れ量に対してバランス調整量がオーバーすると、オーバーした調整量を調整前に戻すことができないからである。

以上より、本発明の第 1 の製造方法によれば、水晶振動子の外形形成後に、再エッチングによって振動脚を加工して漏れ量を調整し、漏れ振動を抑制することができる。これにより、水晶振動子に余分な外力を加えることなく漏れ振動の調整ができるので、水晶振動子の歩留まり低下、信頼性低下等を招くことが無く、安定して正確に漏れ振動を調整する水晶振動子の製造方法を提供できる。

また、本発明の第 1 の製造方法によれば、漏れ量の測定結果に基づいて電極が加工されて調整エリアによるエッチング除去部分が形成され、その電極をマスクにして再エッチングが行われるので、高精度で微細な漏れ振動の調整が可能であり、高性能な水晶振動子の製造に大きなメリットがある。

さらに、本発明の第 1 の製造方法によれば、水晶ウェハに形成された複数の水晶振動子に対して、再エッチングによって一括して漏れ振動調整するので、調整工数を大幅に削減できると共に、ばらつきが少なく性能が均一で安定した特性の水晶振動子を効率よく製造することができる。

図 29 は、本発明に係る水晶振動子の第 2 の製造方法の工程を説明するためのフローチャートである。

図 29 に示す第 2 の製造方法の特徴は、水晶振動子の漏れ振動を予め見積もって、振動脚に形成する電極に予め特徴付けを行い、再エッチングによって漏れ振動の粗調整を行うことである。なお、図 29 に示す第 2 の製造方法は、前述した製造方法に対して一部が異なるだけであるので、同一要素には同一番号を付し、重複する説明は省略する。

図 29 に示すステップ S T 3 ～ステップ S T 7 は、図 8 に示すステップと同一であるので、ここでの説明は省略する。図 29 に示す第 2 の製造方法では、外形形成工程（ステップ S T 1'）、電極形成工程（ステップ S T 2'）、粗調整工程（ステップ S T 30）、漏れ量測定工程（ステップ S T 3）の順で工程が進み、漏れ量測定工程（ステップ S T 3）以降は、図 8 に示すステップと同様である。

図 29 に示す外形形成工程（ステップ S T 1'）は、基本的に図 8 に示す外形形成工程（ステップ S T 1）と同様であるが、水晶ウ

エハ 1 から複数の水晶振動子片 7 を形成するために用いられる耐エッチング用マスク部材が、前述した図 5 のように、片側のみのマスクであるか、又は、一方のマスクを基準パターンとして他方のマスクを幅広く形成した点が異なっている。この外形形成工程では、基準パターンとなるマスク側からのみ、水晶ウェハの溶解が進むので、上下のマスクの位置ずれに影響されない水晶振動子片の外形を形成できる。

図 5 で前述したごとく、水晶のエッチング異方性によって、振動脚の第 1 側面は Z' 軸に対して約 1° の角度を成して形成され、第 2 側面は Z' 軸に対して約 2° の角度を成して形成されるので、その断面は上下非対称となり、主軸 1 1 2 は X 軸と平行にならず、漏れ振動が発生してしまう。

しかしながら、この方法による外形形成では、エッチングマスクの位置ずれの影響がないので、主軸 1 1 2 の傾きをエッチング異方性による残渣から予め見積ることができ、これによって漏れ振動の方向も見積ることができる。このように、図 2 9 に示す第 2 の製造方法は、エッチング異方性などから主軸の傾きが見積ることができる場合に好適な製造方法である。

図 3 0 は、電極形成工程（ステップ S T 2'）を説明するための説明図である。

前述した如く、外形形成工程（ステップ S T 1'）で形成された水晶振動子片 7 は水晶のエッチング異方性によって主軸が傾き、漏れ振動の方向が予め見積ることができる。そこで、図 3 0 に示すように、駆動脚 1 1、1 2 に形成する駆動電極 2 0 a、2 1 c を、駆動脚 1 1、1 2 の幅の中心と、駆動電極 2 0 a、2 1 c の振動脚内における幅の中心を所定量ずらして形成する。

即ち、駆動電極 2 0 a、2 1 c を予めずらして形成することで、

駆動電極 20 a、21 c が駆動脚 11、12 に対して幅方向の一方に偏って形成される。これにより、駆動脚 11、12 の表面には、駆動電極 20 a、21 c に沿った細長い水晶振動子片 7 の表面が露出するエリアができる。このエリアが、漏れ振動を粗調整する粗調整エリア 31 である。

図 31 は、図 29 における粗調整工程（ステップ S T 30）を説明するための説明図である。

粗調整工程では、先の電極形成工程（ステップ S T 2'）で駆動脚 11、12 に駆動電極 20、21 の偏りによって粗調整エリア 31 が形成された後、この駆動電極 20、21 をマスクにして水晶ウェハ 1 を再び一括エッチングし、水晶振動子片 7 のバランスの粗調整を行う。

図 31 は、図 30 に示す水晶振動子片 7 の D-D' 断面を模式的に示した断面図であって、駆動脚 11 の部分のみ示すである。この断面形状は従来例として前述した図 5 の水晶振動子の駆動脚 101 の断面と類似する。即ち、駆動脚 11 の断面は水晶のエッチング異方性によって上下非対称であり、主軸 36（破線）は X 軸に対してズレ角 $\theta 2$ の傾きを持つので、漏れ振動が発生する。

図 31 に示す例では、駆動脚 11 の主平面に駆動電極 20 a、20 b が形成され、この駆動電極 20 a、20 b の略中心が駆動脚 11 の主平面の略中心とずれて形成されている。これにより、駆動脚 11 の表面は図面上左側に偏った位置に粗調整エリア 32 a が形成され、また、駆動脚 11 の裏面は図面上右側に偏った位置に粗調整エリア 32 b が形成される。

そして、この粗調整エリア 32 a、32 b で露出した水晶振動子片表面が、粗調整工程によって一括して再エッチングされてエッチング除去されるので、その部分の駆動脚 11 の厚みが僅かに減少す

る（図 3 1 に示す破線部分）。この粗調整エリア 3 2 a、3 2 b がエッチング除去されることによって、上下非対称である駆動脚 1 1 の断面形状が修正され、依然として上下非対称ではあるが、主軸 3 6 は主軸 3 6'（実線）のように傾きが修正されて漏れ振動が抑制される。

ここで、粗調整エリア 3 2 a、3 2 b によるエッチング除去部分は、図 3 1 に示す様に、駆動脚 1 1 の振動軸中心を原点 P とし、この原点 P を通り直交する 2 つの軸 x、y で定義される第 1 象限、第 2 象限、第 3 象限、第 4 象限のうち、原点 P を挟み対称となる象限に設けるように加工される。これにより、粗調整エリア 3 2 a、3 2 b によるエッチング除去量は、原点 P を挟み対象となる象限のエッチング除去量が等しく、隣り合う象限のエッチング除去量が異なるように加工される。

また、図 3 1 に示す粗調整エリア 3 2 a、3 2 b は、一例として第 2 象限と第 4 象限とに形成されるが、これは、図面右下の残渣が図面左下の残渣よりも大きく形成されており、この第 4 象限部分の水晶およびそれと同等な効果のある第 2 象限部分の水晶を削ればバランスの調整ができるような形状をしているためである。またもし、左右が逆になるような場合は、図示しないが粗調整エリア 3 2 a、3 2 b を、第 1 象限と第 3 象限とに形成すれば駆動脚 1 1 の主軸の傾きを修正することができる。

なお、図 3 1 において、粗調整エリア 3 2 a、3 2 b は、駆動脚 1 1 の主平面から側面にまたがるように、駆動脚の角部がエッチング除去されるように設けている例を示したが、エッチング除去部分は主平面にのみ設けるようにしてもよい。

また、図 3 1 においては電極形成工程（ステップ S T 2'）の後に粗調整工程（ステップ S T 3 0）を行う工程になっているが、電

極形成工程（ステップ S T 2'）と粗調整工程（ステップ S T 3 0）との間に漏れ量測定工程を導入し、この漏れ量測定工程で得られた漏れ量に合わせて粗調整工程（ステップ S T 3 0）のエッチング量を調整してもよい。

バランス調整工程におけるエッチング量は、エッチング時間、エッチング液の温度や濃度が重要であるので、これらを適切に管理することが必要である。また、バランス調整工程は、エッチング量を加工時間に換算するだけでなく、エッチング量をエッチング液の温度に換算させて温度を変化させてもよく、または、エッチング量をエッチング液の濃度に換算させてエッチング液の濃度を変化させるなどの方法でもよい。

粗調整工程が終了したならば、図 2 9 に示すように漏れ量測定工程（ステップ S T 3）へ進み、前述した第 1 の製造方法と同様に、漏れ量測定で得た漏れ量情報に基づいて調整エリア 3 0 を形成し、バランス調整工程（ステップ S T 5）で、再びエッチングを行って更に漏れ量の調整を行う。ここで、第 2 の実施形態においては、ステップ S T 3 ～ステップ S T 7 の工程は、漏れ量の微調整工程として実施される。

漏れ量測定工程（ステップ S T 3）で漏れ量を測定した結果、漏れ量が規定値以内であるならば、次の電極加工工程（ステップ S T 4）に進まず、漏れ量調整を終了する判定ステップを加えてもよい。これにより、粗調整工程だけで漏れ量が十分少なくなった場合に余分な調整をせずに済むので、製造工数を減らすことができる。また、粗調整だけで安定して漏れ量を調整できることがわかっているならば、漏れ量測定工程（ステップ S T 3）を省略してもよい。

以上のように本発明に係る第 2 の製造方法によれば、水晶振動子の漏れ振動がある程度見積もれる場合、予め電極パターンの中心を

ずらして特徴付けを行い、その電極をマスクとして再エッチングによって漏れ振動の粗調整を行うことができる。これにより、漏れ量を測定することなく漏れ振動の大部分を水晶ウェハとして一括して調整できるので、後工程の微調整工程を簡略化でき、調整工数の少ない水晶振動子の製造方法を実現することができる。この結果、コストが安く、高精度に漏れ振動が調整された水晶振動子を提供することができる。

図 3 2 は、本発明の第 3 の製造方法で製造される水晶振動子の一例を示す図である。

図 3 2 は水晶振動子 1 1 0 を模式的に示した斜視図であり、説明に関係のない部分、例えば、水晶振動子をパッケージなどの封止部に封止する際に導電性接着剤等を付着させる固定部分などは省略してある。

水晶振動子 1 1 0 は、すでに説明した例と同様に水晶ウェハからエッチング加工によって切り出されて形成されるものである。水晶振動子 1 1 0 は、振動型ジャイロセンサとして用いられる振動子であり、振動脚として 2 本の駆動脚 1 1 1、1 1 2 と 1 本の検出脚 1 1 3 とを有する三脚音叉型振動子である。なお、水晶振動子 1 1 0 は、三脚音叉型に限定されず、例えば、二脚音叉型や T 型音叉、H 型音叉などでもよい。また、水晶振動子 1 1 0 は、振動型ジャイロセンサ以外にも利用することが可能である。

駆動脚 1 1 1、1 1 2 と検出脚 1 1 3 とは、基部 1 1 4 から延設するように形成されている。駆動電極 1 2 0、1 2 1 は駆動脚 1 1 1、1 1 2 の主平面と側面に形成されており、検出電極 1 2 2 は検出脚 1 1 3 の主平面と側面とに形成されている。調整エリア 1 1 6 は水晶振動子 1 1 0 の漏れ振動を調整する領域である。調整エリア 1 1 6 において、駆動電極 1 2 0、1 2 1 がレーザ加工によってそ

の一部が除去され、バランス調整工程では、加工された駆動電極をマスクにして駆動脚 1 1 1、1 1 2 が再エッチングされる。

本発明の第 3 の製造方法における大きな特徴は、駆動電極 1 2 0、1 2 1 の調整エリア 1 1 6 において、水晶を再エッチング加工し、この箇所の駆動脚 1 1 1、1 1 2 の厚みを調整することによって漏れ振動を抑制することである。なお、この水晶振動子 1 1 0 は、X 軸が幅方向に、Y 軸が長手方向に、Z 軸が厚み方向になるように形成されている。この水晶振動子 1 1 0 は、後述する第 3 ～第 6 の製造方法で製造されるすべての水晶振動子に共通である。

図 3 3 は、本発明の第 3 の製造工程の概略を説明するフローチャートである。

説明の前提として水晶振動子の製造方法は、単一的水晶ウェハに複数の水晶振動子を形成し、水晶振動子の集合体として一括して製造する製造方法を例示する。もちろん、この集合体による一括製造に限定されるものではなく、1 つの水晶ウェハや水晶板に対して 1 つの水晶振動子を形成する製造方法でも、本発明は適応可能である。

第 3 の製造方法の特徴は、水晶振動子の外形に特徴付けを行い、水晶振動子の漏れ振動の方向が予め見積もれることに基づいて形成した切欠部を備えた電極をマスクにして、漏れ量測定無しで再エッチングを行い、漏れ振動を抑制することである。

水晶振動子の外形への特徴付けとは、水晶振動子の漏れ振動の方向を知ることができるような外形形状に水晶振動子の駆動脚の形状を作りこむということである。例えば、事前に行った実験や、水晶のエッチング異方性を鑑みて、所定の形状に駆動脚を加工するのである。ウェットエッチングで水晶を加工すると、水晶は結晶の方向によってエッチング速度が異なるから、必ず残渣が残る。残渣が生

じたとしてもその形状が正しく知りえていれば、水晶振動子の漏れ振動の方向を知ることができるのである。

図 3 3 において、まず製造工程の最初に単一の水晶板である水晶ウェハに耐エッチング用マスク部材を形成し、複数の水晶振動子片の外形形状が形成される外形形成工程が実施される（ステップ S T 4 1）。耐エッチング用マスク部材は、例えば、金（A u）を用いることができる。なお、この場合、金の下地にクロム（C r）を形成してもよい。つまり、耐エッチング用マスク部材は、積層膜構造であってもよい。このように下地にクロム（C r）を用いることで、水晶と金（A u）との密着性が向上する。このような耐エッチング用マスク部材を形成した後、これをマスクとして、所定のエッチング液を用いて水晶ウェハをエッチングし、水晶振動子片の外形を形成する。

次に、形成された水晶振動子片の振動脚を構成する主平面または側面に電極を形成する電極形成工程が実施される（ステップ S T 4 2）。この工程で形成される電極は、図 3 2 に示す例では、駆動電極 1 2 0、1 2 1 および検出電極 1 2 2 である。そして、駆動電極 1 2 0、1 2 1 には切欠部 1 3 0 がそれぞれ形成される。

次に、電極形成工程で形成された電極をマスクにして水晶ウェハを所定量だけ一括エッチングするバランス調整工程が実施される（ステップ S T 4 3）。図 3 2 に示す例では、駆動脚 1 1 1、1 1 2 の調整エリア 1 1 6 にある水晶がエッチングされる。ここで、バランス調整工程でのエッチング量は、前述のように、発明者の行った実験や外形形状等から残渣のでき方を見積もり、漏れ振動の方向と共に、漏れ量の大きさを見積もり、加工時間に換算してエッチング除去量を決定する。これにより、漏れ量測定等を行うことなく、切欠部のエッチング除去量を決定できるので、製造工程が少なく簡素

化された水晶振動子の製造方法を実現できる。

次に、漏れ振動調整が終了したならば、各々の水晶振動子は水晶ウェハから切り離され、封止部材に封止されて製品として完成するが、漏れ振動調整後の工程は本発明に直接係わないので、説明は省略する。

図34は、水晶振動子の外形形成工程（ステップST41）の詳細を説明するための説明図である。

図34は、水晶ウェハ上に形成される水晶振動子片の振動脚の断面を模式的に示す断面図である。図34は、図32に示した水晶振動子110が2つ並んだ状態を示すものであって、駆動脚111、112と検出脚113（図34（e）参照）との先端方向から基部114の方向に向かって見た図である。

図34（a）に示す、所定の板厚に調整された平板形状の単一の水晶板である水晶ウェハ101の両面に、図34（b）に示すように、水晶用のエッチング液に耐性のある金属耐食膜102a、102bと、その上にフォトレジスト103a、103bと、を形成する。図34（b）に示す例では、図面を見やすくするために、金属耐食膜102a、102bは、単層膜として記載しているが、前述のとおり、金（Au）とクロム（Cr）との積層膜を用いることができる。これらの金属膜は、知られている蒸着技術やスパッタ技術を用いて形成することができる。また、フォトレジスト103a、103bは、知られているスピコート技術を用いて形成することができる。

次に、図34（c）に示すように、振動子パターンがそれぞれ描画された2枚のフォトマスク104a、104bを水晶ウェハ101の上下に配置し、フォトマスク104a、104bの上から光（矢印B）を照射してフォトレジスト103a、103bを露光する

。ここで、一方のフォトマスク 104 a は、振動子パターンが正確に描画されたフォトマスクであり、他方のフォトマスク 104 b は、一方のフォトマスク 104 a の描画より振動脚の幅方向で所定量だけ大きな振動子パターンが描画される。

次に、図 34 (d) に示すように、フォトレジスト 103 a、103 b の現像を行い、形成したレジストパターンをマスクとして金属耐食膜 102 a、102 b をパターンニングし、耐エッチング用マスク部材であるエッチングマスク 105 a、105 b を形成する。

金属耐食膜 102 a、102 b を金 (Au) とクロム (Cr) との積層膜を用いたときは、これら 2 つの金属膜それぞれをエッチングする。例えば、ヨウ素とヨウ化カリウムとの混合溶液を用いて、金 (Au) をエッチングする。水洗後、硝酸第 2 セリウムアンモニウム溶液を用いて、クロム (Cr) をエッチングする。

前述したように、フォトマスク 104 b は、フォトマスク 104 a の描画より所定量だけ大きな (図 34 では幅が広く) 振動子パターンが描画されているので、水晶ウェハ 101 の表面のエッチングマスク 105 a は、基準パターンとして振動子パターンのマスクが正確に形成されるが、裏面のエッチングマスク 105 b は、図示するようにエッチングマスク 105 a よりも振動脚の幅方向で所定量だけ大きなマスクが形成される。なお、基準パターンを裏面のエッチングマスク 105 b として、大きなマスクを表面のエッチングマスク 105 a としてもよい。

次に、図 34 (e) に示すように、フォトレジスト 103 a、103 b を剥離後、表裏両面にエッチングマスク 105 a、105 b の形成された水晶ウェハ 101 を水晶用エッチング液であるフッ酸系のエッチング液に浸漬すると、エッチングマスク 105 a、105 b に覆われていない部分の水晶が表裏両側から溶解する。その後

、エッチングマスク 105 a、105 b を除去することによって、水晶振動子片の振動脚である駆動脚 111、112 と検出脚 113 とが得られる。水晶用エッチング液は、例えば、フッ酸とフッ化アンモニウムとの混合溶液を用いることができる。

水晶ウェハ 101 は、エッチングマスク 105 a、105 b によって表裏両面からエッチングが進行するが、前述したようにエッチングマスク 105 b は、エッチングマスク 105 a よりも大きなマスクが形成されているので、水晶振動子片の外形はエッチングマスク 105 a に沿って形成され、外形はエッチングマスク 105 b にほとんど影響されない。これにより、エッチングマスク 105 a と 105 b の位置関係が製造上の誤差で多少ずれていたとしても、水晶振動子片の外形は、ほとんど影響を受けない。

上記の製造方法により形成された水晶振動子片は、片面のエッチングマスクで外形形成されたことと等価になる。ここで、裏面のエッチングマスク 105 b は水晶ウェハ 101 の裏面を全て覆うようなベタマスクでもよいが、エッチングマスク 105 b にエッチングマスク 105 a より大きな振動子パターンを描画し、表裏両面からエッチングする理由は、エッチング液の淀みを防いで、エッチング加工を正確に、且つ、速やかで行うためである。

図 34 では、図面を見やすくするために、駆動脚 111、112 や検出脚 113 には、残渣を設けないように図示している。しかし、実際には、残渣が形成される。つまり、この片面マスクによるエッチングと等価な外形形成工程で形成した水晶振動子片の断面は、従来例の図 3 で示した駆動脚の断面と同様に水晶のエッチング異方性によって上下左右非対称となり、漏れ振動が発生する。しかし、この漏れ振動は、エッチングマスクずれによるものではなく、水晶のエッチング異方性（結晶の方向によってエッチング速度が異なる

という特性) によるものであるから、エッチング後の振動脚の断面の形状を見積もることができる。なお、図 3 4 に示す例では、振動脚の断面のみを示しているが、実際にはこの外形形成工程 (ステップ S T 4 1) によって、図 3 2 に示す水晶振動子 1 1 0 の外形の全体が形成される。

次に、水晶ウェハ 1 0 1 の両面に配設されるエッチングマスク 1 0 5 a、1 0 5 b の大きさの違いの関係を説明する。

図 3 5 は表面のエッチングマスク 1 0 5 a より、裏面のエッチングマスク 1 0 5 b が所定量だけ大きなマスクが配設されて外形形成される水晶振動子の駆動脚の一例を示す拡大断面図である。

図 3 5 (a) と図 3 5 (b) との違いは、第 2 側面に形成される残渣の形状である。図 3 5 (a) に示す例は、第 2 側面の残渣による斜面が 1 つの場合、図 3 5 (b) に示す例では、斜面が 2 つの場合である。

エッチングマスク 1 0 5 a に対するエッチングマスク 1 0 5 b の第 1 突出部の長さ c と第 2 突出部の長さ d とは、エッチングマスク 1 0 5 a とエッチングマスク 1 0 5 b との位置合わせ精度を $\pm p$ 、第 1 側面のオフセット量 k_1 、第 2 側面のオフセット量 k_2 、第 1 側面のエッチング角度を α 、第 2 側面のエッチング角度を β 、水晶ウェハ 1 0 1 の厚みを t 、とするとき、次式の関係を満たすことが好ましい。

$$c = t \times \tan(\alpha - 90^\circ) + k_1$$

$$d = t \times \tan(\beta - 90^\circ) + k_2$$

$$k_1 > p, \text{ 且つ, } k_2 > p$$

上記の構成によれば、側面のオフセット量 k_1 、 k_2 をマスクの位置合わせ精度 p より大きい値に設定しておくので、装置のアライメント誤差により表面のエッチングマスク 1 0 5 a と裏面のエッチ

ングマスク 105b とに位置ずれが起きた場合にも、第1側面には表面からエッチングされた1つの斜面が形成され、常に一定の残渣が形成される。また同様に、第2側面にも表面からエッチングされた1つの斜面が形成され常に一定の残渣が形成される。そのため外形形状は常に一定になりマスクずれの影響を受けることが無い。

このように、エッチングマスクの設定によって、水晶振動子の駆動脚の断面を所定の形状にすることができる。しかしながら、図35(b)に示すように、第2側面の残渣を2つの斜面を有するような形状にすることもできる。例えば、そのエッチング時間を変更することで、このような形状にすることができる。エッチング時間の変更とは、エッチング時間を短くすることである。一例ではあるが、図35(a)に示すような形状に加工するエッチング時間よりも、20%～30%程度短くする。

知られているように、水晶の第2の側面は、Z'軸に対して約2°および22°の2段階で残渣が形成される。22°の残渣はエッチングを長く行くとやがて消失していく。よって、エッチング時間が長い場合は図35(a)のようになるが、エッチング時間が短い場合は、図35(b)に示すような形状になるのである。

このように、水晶振動子の駆動脚の断面を所定の形状にすることは、いくつかの手法があるが、大切なことは、振動脚の断面の形状が見積もれるように加工するということである。残渣の形状を正しく知りえていれば（正しく管理していれば）、水晶振動子の漏れ振動の方向を知ることができるのである。

図36は、外形形成工程によって水晶ウェハ101に形成された複数の水晶振動子片107の様子を説明するために模式的に示す斜視図である。

水晶振動子片107は、エッチングによって溶解された溶解部8

から切り出されたように形成され、個々の水晶振動子片 1 0 7 は、水晶ウェハ 1 0 1 と連結部 1 7 1 によって結合されている。また、連結部 1 7 1 は、バランス調整が終了した後に切断される部分であって、いわゆる折り取り部と呼ばれる部分である。そして、後工程で連結部 1 7 1 の部分を切断すると、水晶振動子片 1 0 7 は水晶ウェハ 1 0 1 から分離して図 3 2 に示す水晶振動子 1 1 0 として完成する。

図 3 6 では、1 枚の水晶ウェハ 1 0 1 に 6 個の水晶振動子片 1 0 7 を形成する例を示しているが、この個数は図 3 6 の例に限定されるものではない。水晶振動子片 1 0 7 は、得たい水晶振動子の性能や特性によりそのサイズや形状が選択され、それに伴って水晶ウェハ 1 0 1 のサイズが決まるためである。もちろん、1 枚の水晶ウェハ 1 0 1 に形成する水晶振動子片 1 0 7 の数が多ければ、多数の水晶振動子を一括して製造できるため、製造コストを低減することができる。

図 3 7 は、電極形成工程（ステップ S T 4 2）の詳細を説明するための図である。

図 3 7 は、図 3 6 に示す C - C ' 断面を模式的に示した断面図であって、駆動脚 1 1 1、1 1 2 と検出脚 1 1 3 との断面を示している。なお、図 3 7 ~ 図 3 9 については、図面を見やすくするために残渣を省略している。

駆動脚 1 1 1、1 1 2 の断面形状は、図 5 を用いて説明したとおり、片面のエッチングマスクが大きいことによって、水晶のエッチング異方性によって上下左右非対称となる。このエッチング異方性による上下左右非対称は、+ X 側の側面が Z ' 軸に対して約 2 ° の角度を成し、- X 側の側面が Z ' 軸に対して約 1 ° の角度を成すので、形成される水晶振動子の外形に特徴付けを行い、漏れ振動の方

向を予め見積もることができる。つまり、駆動脚 1 1 1、1 1 2 の形状からくる漏れ振動の方向を予測できるため、それに基づいて切欠部を設けるのである。以下、順に製造工程を詳述する。

図 3 7 (a) に示す、駆動脚 1 1 1、1 1 2 と検出脚 1 1 3 との表面に、図 3 7 (b) に示すように、金属膜 1 8 0 と、その上にフォトレジスト 1 8 1 と、を形成する。

図 3 7 (b) に示す例では、図面を見やすくするために、金属膜 1 8 0 は、単層膜として記載しているが、クロム (C r) を下地にしてその上に金 (A u) を設ける積層膜とすることができる。金属膜 1 8 0 は、公知の蒸着技術やスパッタ技術を用いて形成することができる。また、フォトレジスト 1 8 1 は、公知のスプレー法や電着法などを用いて形成することができる。

次に図 3 7 (c) に示すように、駆動脚 1 1 1、1 1 2 と検出脚 1 1 3 とに設ける電極の形状がそれぞれ描画された 2 枚のフォトマスク 1 9 0 a、1 9 0 b を水晶ウェハ 1 0 1 の上下に配置し、フォトマスク 1 9 0 a、1 9 0 b の上から光 (矢印 B) を照射してフォトレジスト 1 8 1 を露光する。なお、図 3 7 (c) では、光を斜めから照射する、いわゆる斜め露光を行う例を示している。

次に、図 3 7 (d) に示すように、フォトレジスト 1 8 1 の現像を行い、形成したレジストパターンをマスクとして金属膜 1 8 0 をパターニングし、駆動電極 1 2 0 a、1 2 0 b、1 2 0 c、1 2 0 d、1 2 1 a、1 2 1 b、1 2 1 c、1 2 1 d と検出電極 1 2 2 a、1 2 2 b、G N D 電極 1 2 2 c とを形成する。

図 3 8 は、電極形成工程によって振動脚である駆動脚 1 1 1、1 1 2 と検出脚 1 1 3 とに形成される電極の接続の一例を示す図である。

駆動脚 1 1 1 の主平面である対向する 2 面に駆動電極 1 2 0 a、

1 2 0 b が形成され、駆動脚 1 1 2 の主平面である対向する 2 面に駆動電極 1 2 1 c、1 2 1 d が形成されている。また、駆動脚 1 1 1 の側面である対向する 2 面に駆動電極 1 2 1 a、1 2 1 b が形成され、駆動脚 1 1 2 の側面である対向する 2 面に駆動電極 1 2 0 c、1 2 0 d が形成されている。

これらの駆動電極 1 2 0 a、1 2 0 b、1 2 0 c、1 2 0 d は、それぞれ電氣的に接続されて駆動電極端子 2 3 として外部に出力している。また、駆動電極 1 2 1 a、1 2 1 b、1 2 1 c、1 2 1 d も、それぞれ電氣的に接続されて駆動電極端子 1 2 4 として外部に出力している。

また、検出脚 1 1 3 には、その角の部分に対となる検出電極 1 2 2 a、1 2 2 b が形成され、それぞれ検出電極端子 1 2 5、1 2 6 として外部に出力している。また、検出電極 1 2 2 a、1 2 2 b に対向する面の GND 電極 1 2 2 c は、GND 電極端子 1 2 7 として外部に出力しており、図示しない回路の GND (0 V) に接続している。もちろん、図 3 8 に示す電極構造または電極同士の接続構造は、これに限定されず、水晶振動子の仕様に応じて任意に決定することができる。

図 3 9 は、図 3 6 で示した水晶ウェハ 1 0 1 に形成される水晶振動子片 1 0 7 のひとつの上面図であり、切欠部 1 3 0 の一例を示している。

図 3 9 において、水晶振動子片 1 0 7 の駆動脚 1 1 1、1 1 2 の主平面の表面側には駆動電極 1 2 0 a、1 2 1 c が形成され、この駆動電極 1 2 0 a、1 2 1 c はバランス調整を行う調整エリア 1 1 6 を形成するための切欠部 1 3 0 を備えている。この切欠部 1 3 0 は、図 3 9 に示す例では、駆動電極 1 2 0 a、1 2 1 c の片辺全部に駆動電極 1 2 0 a、1 2 1 c の長手方向に沿って細長く形成され

る。すなわち、この切欠部 1 3 0 は、その幅方向の略中心 C 2 が駆動脚 1 1 1、1 1 2 の幅方向の略中心 C 1 に対して駆動脚 1 1 1、1 1 2 の幅方向にずれて形成される。なお、この調整エリア 1 1 6 には、電極 1 2 0 a、1 2 1 c が無く水晶面が露出している。

この水晶面が露出した調整エリア 1 1 6 は、後工程であるバランス調整工程による再エッチングによってその水晶表面が溶解し、駆動脚 1 1 1、1 1 2 の断面形状が調整されて漏れ振動が抑制される。なお、図 3 9 に示す例では、切欠部 1 3 0 は漏れ振動の方向に基づいて駆動脚 1 1 1、1 1 2 の - X 軸方向の端部（図面上、駆動脚 1 1 1、1 1 2 の左端部）に設ける例を示したが、これは一例であり、切欠部 1 3 0 は漏れ振動の方向に基づいて反対側の + X 軸方向の端部に設けることもある。

いずれにしても、切欠部 1 3 0 の略中心 C 2 は、駆動脚 1 1 1、1 1 2 の幅方向の略中心 C 1 からずれていなければならない。

これは、この電極形成工程により形成された電極をマスクとして、ステップ S T 4 のバランス調整工程にて水晶をエッチングしてバランス調整するのであるが、切欠部 1 3 0 は、駆動脚 1 1 1、1 1 2 がエッチングにより水晶振動子のバランスが変わるような部分に設けなくてはならないからである。なお、図 3 9 で示す切欠部 1 3 0 は、駆動電極 1 2 0 a、1 2 1 c の片辺全部に形成されるので、駆動脚 1 1 1、1 1 2 のエッチング除去量を大きくでき、漏れ量が比較的大きな水晶振動子の調整が可能である。

また、図 3 9 で示す切欠部 1 3 0 は、駆動電極 1 2 0 a、1 2 1 c の片側一辺の端側に形成される例を示したが、その形状は、さらに図面に向かって右側方向に広げるようにしてもかまわない。このような広い面積の切欠部を設けることで、漏れ量の調整範囲を更に拡大することができる。ただし、切欠部 1 3 0 が、振動脚の中心線

C 1 よりも右側に及ぶと、バランス調整に関して逆側の効果が生じ、調整範囲が狭くなってしまうことを考慮する必要がある。

図 4 0 は、水晶振動子片 1 0 7 の上面図の一部であり、電極に備えられる切欠部 1 3 0 の他の例を示している。

図 4 0 (a) では、駆動電極 1 2 0 a、1 2 1 c の一部に切欠部 1 3 0 が形成され、図 4 0 (b) では、駆動電極 1 2 0 a、1 2 1 c の一部をくり抜くように切欠部 1 3 0 が形成されている。これらの切欠部 1 3 0 は、図 3 9 と同様に、その幅方向の略中心 C 2 が駆動脚 1 1 1、1 1 2 の幅方向の略中心 C 1 に対して駆動脚 1 1 1、1 1 2 の幅方向にずれて形成される。

なお、図 4 0 に示す切欠部 1 3 0 の形状は略矩形であるが、この形状に限定されず、切欠部 1 3 0 の形状は円形や楕円などでもよいし、複数あってもよい。また、図 4 0 (a)、図 4 0 (b) の切欠部 1 3 0 は、電極の一部だけに形成されるので、駆動脚 1 1 1、1 1 2 のエッチング除去量は少なく、漏れ量が比較的小さい水晶振動子の調整に有利である。

図 4 0 に示すような駆動電極 1 2 0 a、1 2 1 c の一部に切欠部 1 3 0 が形成される場合、面積が同じ切欠部 1 3 0 であれば、水晶振動子片 1 0 7 の駆動脚 1 1 1、1 1 2 の先端付近に設ける切欠部 1 3 0 は調整量が小さく、駆動脚 1 1 1、1 1 2 の根本付近に設ける切欠部 1 3 0 は調整量が大きくなる。このように、切欠部 1 3 0 を設ける位置を変えることにより、調整量を変更することが可能となる。

図 4 1 は、バランス調整工程（ステップ S T 4 3）を説明するための図である。

バランス調整工程は、前工程である電極形成工程で駆動脚 1 1 1、1 1 2 の駆動電極が所定形状に形成された後、この駆動電極をマ

スクにして水晶ウェハ 101 を再び一括エッチングし、水晶振動子片 107 の駆動脚 111、112 の断面形状を修正して振動のバランス調整を行い、漏れ量を調整して水晶振動子片 107 の漏れ振動を抑制する工程である。

図 41 は、水晶ウェハ 101 に形成された水晶振動子片 107 の一方の駆動脚 111 の断面を模式的に示す断面図であり、図 39 の D-D' 断面での断面から駆動脚 111 の部分を拡大した図である。この断面形状は前述したとおり、片面のエッチングマスクが大きいことによってマスクずれの影響は受けないが水晶のエッチング異方性によって上下左右非対称となる。

このように特徴付けされた形状によって、駆動脚 111 の主軸 35（破線）は図示するように X 軸に対してズレ角 θ_3 の傾きを持ち、予め見積もれる方向の漏れ振動が発生する。

この漏れ振動の方向に基づいて図 39 や図 40 に示すように、駆動脚 111、112 の駆動電極 120a、121c に切欠部 130 を設けるのである。図 41 に示す駆動脚 111 は、その主平面の駆動電極 120a、120b の端部に切欠部 130a、130b が形成される。ここで、表面側の切欠部 130a は、その幅方向の略中心が駆動脚 111 の幅方向の略中心に対して -X 軸の幅方向にずれて形成される。また、裏面側の切欠部 130b は、その幅方向の略中心が駆動脚 111 の幅方向の略中心に対して +X 軸の幅方向にずれて形成される。

この切欠部 130a によって露出した駆動脚の水晶部分が調整エリア 116a であり、切欠部 130b によって露出した部分が調整エリア 116b である。

切欠部 130a、130b で露出した水晶振動子片の表面が、バランス調整工程によって一括して再エッチングされてエッチング除

去され、除去部分 1 1 7 a、1 1 7 b が形成される（図中破線部分）。図 4 1 に示す例では、表面側が 1 1 7 a であり、裏面側が 1 1 7 b である。これら除去部分により駆動脚 1 1 1 の厚みが減少する。

切欠部 1 3 0 a、1 3 0 b のエッチング量（除去部分 1 1 7 a、1 1 7 b）は、前述のように、発明者の行った実験や水晶振動子の外形形状から残渣のでき方を考慮して、漏れ振動の方向と共に、漏れ量の大きさを見積もり、エッチングの加工時間に換算してエッチング除去量を決定する。

例えば、実験で用いた水晶加工のエッチング液と同一のエッチング液を使い、そのエッチング液の温度なども同一にしておく。そうすると、漏れ量の大きさの見積もりができていれば、これから加工すべき水晶振動子は、エッチングの加工時間の管理だけで、エッチング除去量を管理することができるのである。

除去部分 1 1 7 a、1 1 7 b は、図 4 1 において、駆動脚 1 1 1 の断面の図心を原点 P とし、この原点 P を通り直交する 2 つの軸 x、y で定義される第 1 象限、第 2 象限、第 3 象限、第 4 象限のうち、原点 P を挟み対称となる象限に形成される。

切欠部 1 3 0 a、1 3 0 b によるエッチング除去量は、原点 P を挟み対称となる象限のエッチング除去量が等しいこともあり、隣り合う象限のエッチング除去量が異なるように加工されることもある。

図 4 1 に示す除去部分 1 1 7 a、1 1 7 b は、一例として第 2 象限と第 4 象限とに形成されるが、これは、図面右下の残渣が図面左下の残渣よりも大きく形成されており、この第 4 象限部分の水晶およびそれと同等な効果のある第 2 象限部分の水晶を削ればバランスの調整ができるような形状をしているためである。またもし、残渣

の形成が左右逆になるような場合は、図示しないが切欠部 1 3 0 a、3 0 b を、第 1 象限と第 3 象限とに形成すれば駆動脚 1 1 1 の主軸の傾きを修正することができる。

図 4 1 において、除去部分 1 1 7 a、1 1 7 b は、駆動脚 1 1 1 の主平面から側面にまたがるように、駆動脚の角部がエッチング除去されるように設けている例を示したが、エッチング除去部分は主平面にのみ設けるようにしてもよい。例えば、図 4 0 (b) に示した電極 1 2 0 a、1 2 1 c の切欠部 1 3 0 の場合は、主平面のみがエッチング除去される。

このように本発明は、切欠部によるエッチング除去部分を主軸の傾きに応じて駆動脚の断面中心に対して偏らせて形成することで、駆動脚の主軸の傾きを修正して漏れ振動を抑制することができる。また、以上の説明は、駆動脚 1 1 1 について説明したが、駆動脚 1 1 2 についても同様である。

また、すでに説明した例による切欠部 1 3 0 は、駆動脚 1 1 1 の表面の切欠部 1 3 0 a と、裏面の切欠部 1 3 0 b と、の両面に形成されているが、これに限定されず、漏れ量が少ない場合は、表面または裏面のどちらか一方に切欠部 1 3 0 を形成してもよい。これにより、さらに微細な漏れ量の調整を実現することができる。

以上のように第 3 の製造方法によれば、水晶振動子の外形形成後、電極形成後に、再エッチングによって振動脚を加工して漏れ量を調整し、漏れ振動を抑制することができる。これにより、水晶振動子に余分な外力を加えることなく漏れ振動の調整ができるので、水晶振動子の歩留まり低下や信頼性低下等を招くことが無く、安定して正確に漏れ振動を調整する水晶振動子の製造方法を提供することができる。

また、水晶ウェハの表裏両面に配設するエッチングマスク同士の

大きさを異ならせることで、片面マスクで幅が規定されるエッチングによって水晶振動子の外形に特徴付けして漏れ振動の方向を予め見積もれるので、この漏れ振動の方向に基づいた切欠部を備える電極を駆動脚に形成することができる。

また、残渣の実験結果や外形形状から特徴付けによる残渣のでき方を見積もれるので、漏れ振動の方向と共に、漏れ量の大きさを見積もることができる。この結果、漏れ量測定等を行うことなく、見積もった漏れ量の大きさを直接加工時間に換算して切欠部のエッチング除去量を決定できるので、所定値内に漏れ量を調整した水晶振動子を簡素化された製造工程によって極めて短時間に効率よく製造することができる。

また、水晶ウェハに形成された複数の水晶振動子に対して、再エッチングによって一括して漏れ振動調整するので、調整工数を大幅に削減でき、漏れ振動の少ない水晶振動子を効率よく大量に製造することができる。

なお、この第3の製造方法では、水晶ウェハごとの漏れ量のばらつきが少ない場合に、製造工程を簡素化できるので、効率よく多くの水晶振動子を製造する場合に好適である。

次に本発明の水晶振動子の第4の製造方法を説明する。

第4の製造方法の特徴は、水晶振動子に特徴付けをして外形形成を行った後、水晶振動子の漏れ量を測定し、その漏れ量に基づいてバランス調整のためのエッチング量を決定することである。なお、第4の製造方法は、第3の製造方法に対して一部が異なるだけであるので、同一要素には同一番号を付し、重複する説明は一部省略する。

図42は、本発明の第4の製造工程の概略を説明するフローチャートである。

説明の前提として本水晶振動子の製造方法は、単一の水晶ウェハに複数の水晶振動子を形成し、水晶振動子の集合体として一括して製造する製造方法を例示する。

図42において、外形形成工程（ステップST51）と電極形成工程（ステップST52）は、第3の外形形成工程（ステップST41）と電極形成工程（ステップST42）と同様であるので、説明は省略する。

次に、水晶ウェハに形成された各々の水晶振動子片を駆動して、漏れ振動の漏れ量を測定する漏れ量測定工程が実施される（ステップST53）。なお、漏れ量測定工程は、水晶ウェハに形成される全ての水晶振動子片の漏れ量を測定するとよいが、漏れ量のばらつきが少ない場合などは、抜き取りなどで漏れ量の測定を行ってもよい。

次に、電極形成工程で形成された電極をマスクにして水晶ウェハを漏れ量に応じて所定量だけ一括エッチングするバランス調整工程が実施される（ステップST54）。図32に示す例では、切欠部130の駆動脚111、112の調整エリア116にある水晶がエッチングされる。なお、バランス調整工程における一括エッチングは、第4の製造方法では、1回のみ行うものである。

次に、漏れ振動調整が終了したならば、各々の水晶振動子は水晶ウェハから切り離され、封止部材に封止されて製品として完成するが、漏れ振動調整後の工程は本発明に直接係わないので、説明は省略する。

次に、各工程の詳細説明を行うが、外形形成工程（ステップST51）と電極形成工程（ステップST52）とは、第3の製造方法と同様であるので、説明は省略する。

図43は、第4の製造方法の特徴である漏れ量測定工程（ステッ

プ S T 5 3) の詳細を説明するための図である。

図 4 3 では、漏れ量測定工程を実施するための漏れ量測定システムの一例を示している。図 4 3 において、水晶振動子片 1 0 7 a ~ 1 0 7 f が形成された水晶ウェハ 1 0 1 は、X Y ステージ 1 6 0 に載せられ固定されている。X Y ステージ 1 6 0 の上部に配設されているプローブ 1 6 1 の電極端子 1 6 2 は、水晶ウェハ 1 0 1 の水晶振動子片 1 0 7 a ~ 1 0 7 f に形成される駆動電極端子 1 2 3、1 2 4 と検出電極端子 1 2 5、1 2 6、及び G N D 電極端子 1 2 7 (図 3 8 参照) に電氣的に接触する。

また、制御部 1 6 3 は漏れ量測定を制御し、プローブ 1 6 1 と接続ケーブル 1 6 4 とを介して接続している。駆動部 1 6 5 は、制御部 1 6 3 からの制御信号に基づいて X Y ステージ 1 6 0 を駆動し、水晶ウェハ 1 0 1 を X 方向、又は Y 方向に移動して、プローブ 1 6 1 が全ての水晶振動子片のそれぞれの電極に接触できるように動作する。また、制御部 1 6 3 と接続されたメモリ 1 6 6 には、制御部 1 6 3 によって、水晶ウェハ 1 0 1 のすべての水晶振動子片 1 0 7 の漏れ量情報が、それぞれの水晶振動子片の位置情報と共に記憶される。

次に、漏れ量測定システムの動作を説明する。図 4 3 において、制御部 1 6 3 は駆動部 1 6 5 に制御信号を送って X Y ステージ 1 6 0 を駆動し、水晶ウェハ 1 0 1 に形成される所定の水晶振動子片 1 0 7 a ~ 1 0 7 f の電極がプローブ 1 6 1 の直下に位置するように水晶ウェハ 1 0 1 を移動させる。図 4 1 に示す例では、水晶振動子片 1 0 7 f がプローブ 1 6 1 の真下に位置している。

次に、プローブ 1 6 1 は図示しない昇降手段によって降下し、電極端子 1 6 2 が水晶振動子片 1 0 7 f の電極に接触する。次に、制御部 1 6 3 は、水晶振動子片 1 0 7 f を振動させる駆動信号を接続

ケーブル 164 を介してプローブ 161 に送り、水晶振動子片 107f の駆動電極端子 123、124 に駆動信号が供給されて水晶振動子片 107f は振動を開始する。

次に、制御部 163 は、水晶振動子片 107f の検出電極端子 125、126 から検出信号をプローブ 161 を介して入力し、この検出信号から漏れ信号成分を検出して、その漏れ量を水晶振動子片 107f の位置関係情報と共にメモリ 166 に記憶する。すなわち、この漏れ量測定工程の測定結果は、測定した水晶振動子片の漏れ量と、その水晶振動子片の位置関係情報と、で構成されている。水晶振動子片の位置関係情報は、XY ステージ 160 の所定の原点からの X 軸位置、Y 軸位置として計測される位置情報である。また、漏れ量測定は当然であるが角速度を印加しない状態で行われる。

次に、制御部 163 は、ひとつの水晶振動子片の漏れ量測定が終わったならば、駆動部 165 に制御信号を送って XY ステージ 160 を駆動し、隣に位置する水晶振動子片の電極がプローブ 161 の直下に位置するように水晶ウェハ 101 を移動させる。例えば、水晶振動子片 107f の測定が終了したならば、隣の水晶振動子片 107e がプローブ 161 の真下に位置するように XY ステージ 160 を駆動する。

以降、水晶ウェハ 101 に形成される水晶振動子片を順次駆動して漏れ量を測定し、水晶振動子片 107a ~ 107f の個々の漏れ量と位置関係情報とをメモリ 166 に記憶する。この場合、メモリ 166 には、6 つの水晶振動子片の漏れ量と、それに対応した 6 つの水晶振動子片の位置関係情報と、が記憶される。

水晶ウェハ 101 に設けてある水晶振動子片の全ての漏れ量を測定しなくてもよい。例えば、水晶ウェハ 101 の漏れ量のばらつきが少ないと予測できる場合は、水晶振動子片 107a を測定し、そ

の漏れ量が水晶振動子片 1 0 7 b ~ 1 0 7 f の漏れの代表値だと仮定することもできるのである。このような仮定は、過去に測定した水晶ウェハや他の水晶ウェハの情報、例えば、水晶ウェハ 1 0 1 の膜厚や外形形成工程（ステップ S T 5 1）のエッチング条件などを用いることでなすことができる。この場合、メモリ 6 6 には、1 つの水晶振動子片の漏れ量と、6 つそれぞれの水晶振動子片の位置関係情報と、が記憶される。

この漏れ量測定工程で得た各々の水晶振動子片の漏れ量情報と位置関係情報とを基にして、後工程であるバランス調整工程で再エッチングを行い漏れ量を調整する。そして、バランス調整工程でのエッチング量の目標値は、水晶ウェハの中で最も少ない値の漏れ量とする方法や、水晶ウェハの中のすべての水晶振動子片の漏れ量の平均値とする方法や、水晶ウェハの中の特定の水晶振動子片の漏れ量を代表値とするなどの方法がある。

ここで、最も少ない値の漏れ量をバランス調整の目標値とするならば、エッチングし過ぎて不良品を出すという問題を防ぐことができる。また、水晶ウェハの中の水晶振動子片の平均値をバランス調整の目標値とするならば、水晶ウェハの個々の水晶振動子片の漏れ振動を平均的に調整することができる。また、特定の水晶振動子片の漏れ量を代表値としてバランス調整の目標値とすることは、水晶ウェハ内の漏れ量のばらつきが少ないときに、漏れ量測定を簡素化できるので、有効である。

第 4 のバランス調整工程（ステップ S T 5 4）は、基本的に第 3 のバランス調整工程（ステップ S T 4 3、図 4 1）と同様である。

このバランス調整工程（ステップ S T 5 4）における切欠部 1 3 0 a、3 0 b（図 4 1 参照）のエッチング量は、前述のように、前工程である漏れ量測定工程（ステップ S T 5 3）で得た各々の水晶

振動子片の漏れ量情報に基づいてエッチング量を加工時間に換算して、振動脚のエッチング除去量を決定する。そして、エッチング除去量が決定したならば、その換算された加工時間を1回のバランス調整工程によって実施する。

以上のように、本発明の第4の製造方法によれば、水晶振動子に特徴付けをして外形形成を行った後、水晶振動子の漏れ量を測定し、その漏れ量に基づいてエッチング除去量を決定してバランス調整を行うので、1枚1枚の水晶ウェハに対して適切なバランス調整を行うことが可能となり、正確に漏れ量が調整された高性能の水晶振動子の製造方法を提供することができる。また、漏れ量測定工程とバランス調整工程は、共に1回ずつ行うだけであるので、製造工程が簡素化されて水晶振動子を短時間に製造することができる。

この第4の製造方法は、水晶ウェハの組成や加工状況等によって、水晶ウェハごとに漏れ量のばらつきが生じる場合、その水晶ウェハごとにばらつきを吸収する上で好適である。また、第3の製造方法で示したように、予め漏れ量が予見できる場合でも、ウェハ板厚のばらつきや、電界形成用の溝を形成した場合のばらつきからくる漏れが僅かに生じる場合があり、漏れ量に応じてバランス調整を行うことができるので、さらに精度よく調整できる。

次に本発明の第5の製造方法を説明する。

なお、第5の製造方法の特徴は、水晶振動子に特徴付けをして外形形成を行った後、水晶振動子の漏れ量を測定し、その漏れ量に基づいてバランス調整のためのエッチングと漏れ量測定を複数回繰り返して行い、高精度に調整された水晶振動子を製造することである。なお、第5の製造方法は、第3及び第4の製造方法に対して一部が異なるだけであるので、同一要素には同一番号を付し、重複する説明は一部省略する。

図 4 4 は、本発明の水晶振動子の第 5 の製造方法の製造工程の概略を説明するフローチャートである。

説明の前提として本実施形態の水晶振動子の製造方法は、単一の水晶ウェハに複数の水晶振動子を形成し、水晶振動子の集合体として一括して製造する製造方法を例示する。

図 4 4 において、外形形成工程（ステップ S T 6 1）と電極形成工程（ステップ S T 6 2）と漏れ量測定工程（ステップ S T 6 3）とは、第 4 の外形形成工程（ステップ S T 5 1）と電極形成工程（ステップ S T 5 2）と漏れ量測定工程（ステップ S T 5 3）と、同様であるので説明は省略する。

次に、電極形成工程で形成された電極をマスクにして水晶ウェハを漏れ量に応じて一括エッチングするバランス調整工程が実施される（ステップ S T 6 4）。ここで、バランス調整工程でのエッチング量は、第 4 の製造方法と同様に、前工程である漏れ量測定工程（ステップ S T 6 3）で得た水晶振動子片の漏れ量情報と位置関係情報に基づいて、水晶ウェハの中で最も少ない値の漏れ量、又は水晶ウェハの中の水晶振動子片の漏れ量の平均値、又は水晶ウェハの中の特定の水晶振動子片の漏れ量を代表値とするなどの方法で目標値を決定する。

そして、このバランス調整工程では、目標値とするエッチング量より少ない量を加工時間に換算してエッチングを行う。例えば、目標値とするエッチング量の 5 0 % 程度とする。

次に、バランス調整工程が実施された水晶ウェハ上の各々の水晶振動子片を駆動して、漏れ振動の漏れ量を再び測定する漏れ量測定工程が実施される（ステップ S T 6 5）。このステップ S T 6 5 の漏れ量測定工程によって、前工程であるバランス調整工程による漏れ量の調整結果を確認することができる。

次に、ステップ S T 6 5 の漏れ量測定工程で得た測定結果に基づいて、漏れ量が規定値以内であるかを判定する規定値判定工程を実施する（ステップ S T 6 6）。ここで、肯定判定（漏れ量が規定値以内）であれば、水晶振動子の漏れ振動が無視できる程度に抑制されたので、漏れ振動調整を終了する。また、否定判定（漏れ量が規定値以上）であれば、ステップ S T 6 4 へ戻り、漏れ量が規定値以内になるまでステップ S T 6 4 からステップ S T 6 6 を繰り返し実行する。

このように、漏れ量が規定値以内になるまで複数回繰り返してバランス調整工程（ステップ S T 6 4）を行うのであるが、バランス調整工程でのエッチング量は、漏れ量測定項（ステップ S T 6 5）で知りえた目標値の 5 0 % などとする。バランス調整工程を複数回繰り返す工程では、まず目標値の 5 0 % をエッチングし、次にはさらに残りの 5 0 % をエッチングし、次にはまたさらに残りの 5 0 % をエッチングし、というように少しずつエッチング加工するのである。なお、5 0 % ずつエッチングすることは一例であって、最初に 8 0 % をエッチングし、次回以降は残りの 2 0 % に対して少しずつエッチングするなど、自由に変更することができる。いずれにしても、このようにすれば、エッチングのし過ぎを防止することができるとともに、調整精度を向上させることができるのである。

次に、漏れ振動調整が終了したならば、各々の水晶振動子は水晶ウェハから切り離され、封止部材に封止されて製品として完成するが、漏れ振動調整後の工程は本発明に直接係わないので、説明は省略する。

1 枚の水晶ウェハに形成される複数の水晶振動子片の中で、ある水晶振動子片の漏れ量が規定値以内となり、他の水晶振動子片の漏れ量が規定値以上である場合は、漏れ量が規定値以内となった時点

で、その水晶振動子片を水晶ウェハから切り離して次の封止工程へ送り、規定値以上の水晶振動子片だけが付いた水晶ウェハをステップS T 6 4へ戻すようにすることもできる。このようにすれば、ウェハ内での漏れ量ばらつきが生じた場合にも、漏れ振動を低減させることができる。

第5の製造方法において、外形形成工程（ステップS T 6 1）と電極形成工程（ステップS T 6 2）と漏れ量測定工程（ステップS T 6 3）は、第4の製造方法と同様であるので、説明は省略する。

図45は、バランス調整工程（ステップS T 6 4）から規定値判定工程（ステップS T 6 6）までの詳細を説明するための説明図である。

図45は、水晶ウェハ101に形成された水晶振動子片107の一方の駆動脚111の断面を模式的に示す断面図であり、図39のD-D'断面から駆動脚111の部分を拡大した図である。この断面形状は前述したとおり、片面のエッチングマスクが大きいことによってマスクずれの影響は受けないが水晶のエッチング異方性によって上下左右非対称となる。

このエッチング異方性による上下左右非対称、及び、切欠部130a、130b、調整エリア116a、116bの説明は、第3と第4の製造方法と同様であるので説明は省略する。

切欠部130a、130bのエッチング量は、漏れ量測定工程で得た漏れ量情報に基づいて決定した目標値より少ない量、例えば、目標値の50%位のエッチング量を加工時間に換算して、最初のバランス調整工程（ステップS T 6 4）を実施し、図示するように一例としてエッチング深さK1までエッチングを行う。

図45に示すように、表面側のエッチング除去部分を除去部分17a、裏面側のエッチング除去部分を除去部分17bとすると、エ

エッチング深さK 1までエッチングされたときの水晶の除去部分は、除去部分117a1及び117b1である。

次に、漏れ量測定工程（ステップST65）で再測定を行う。ステップST66の判定で規定値以内に達していなければ、新に得た漏れ量情報からエッチング量の目標値を新に設定して加工時間に換算して、再度バランス調整工程（ステップST64）を実施し、図示するように一例としてエッチング深さK 2までエッチングを行う。つまり、エッチング深さK 2までエッチングされたときの水晶の除去部分は、除去部分117a2及び117b2である。

次に、漏れ量測定工程（ステップST65）で再測定を行う。ステップST66の判定で規定値以内に達していなければ、新に得た漏れ量情報からエッチング量の目標値を新に設定して加工時間に換算して、再度バランス調整工程（ステップST64）を実施し、図示するように一例としてエッチング深さK 3までエッチングを行う。つまり、エッチング深さK 3までエッチングされたときの水晶の除去部分は、除去部分117a3及び117b3である。

除去部分117a1、117a2、117a3の合計と、除去部分117b1、117b2、117b3の合計とが、エッチング量の規定値（規定量）となる。このように、ステップST64からステップST66を複数回繰り返し、漏れ量が規定値以内に達するまでバランス調整を実施する。

なお、電極120a、121cの調整領域130a、130bの開口幅が振動脚111、112の幅の1/2の場合、1/4の場合等について、エッチング時間と効き量との関係を予め実験等によって定めることができる。例えば、調整領域130a、130bの開口幅が振動脚111、112の幅の1/2の場合、エッチング時間120（s）の場合の効き量は3000mV、60（s）の場合の

効き量は 1 5 0 0 m V。また、調整領域 1 3 0 a、1 3 0 b の開口幅が振動脚 1 1 1、1 1 2 の幅の 1 / 4 の場合、エッチング時間 1 2 0 (s) の場合の効き量は 1 5 0 0 m V、6 0 (s) の場合の効き量は 7 5 0 m V である。効き量とは、測定による漏れ量を調整可能な量である。

以上のように、本発明の第 5 の製造方法によれば、水晶振動子に特徴付けをして外形形成を行った後、水晶振動子の漏れ量を測定し、その漏れ量に基づいてバランス調整のためのエッチング加工を少しずつ複数回繰り返して行うことで、極めて高精度に調整された水晶振動子を製造することができる。

また、バランス調整と漏れ量測定を繰り返し実施することで、漏れ量が規定値に入った水晶振動子片を水晶ウェハから取り外し、規定値外の水晶振動子片を規定値以内に収まるまで、何度でも漏れ量調整を実施することができる。これにより、個々の水晶振動子片の微細な漏れ量調整が可能となるので、漏れ量のばらつきが極めて少ない水晶振動子を製造することができる。

この第 5 の製造方法は、水晶ウェハの中の水晶振動子片が組成や加工状況等によって、漏れ量が個々にばらついている場合や、個々の水晶振動子片を特に高精度に調整する場合に好適である。

以下、溝が形成されている水晶振動子について説明する。

図 4 6 は、前述の水晶ウェハ 1 0 1 に形成された水晶振動子片 1 0 7 の一方の駆動脚 1 1 1 の他の例であり、主平面の表と裏とに水晶振動子片 1 0 7 の長手方向に沿って複数の溝 1 1 5 が形成された駆動脚 1 1 1 の断面図である。溝 1 1 5 が形成された水晶振動子は公知であるが、この溝 1 1 5 の内側に形成される溝電極 1 1 5 a と側面の駆動電極 1 2 1 a、1 2 1 b の一部が対向することによって水晶振動子に加わる電界が増加し、水晶振動子の駆動力を向上させ

ることができる。なお、図 4 6 では複数の溝 1 1 5 を設けた例を示したが、単一の溝でもよい。

図 4 6 (a) に示す溝 1 1 5 を有する駆動脚 1 1 1 の主平面の表面と裏面とに、前述の電極形成工程によって駆動電極 1 2 0 a、1 2 0 b が形成され、この駆動電極 1 2 0 a、1 2 0 b のそれぞれの端部に切欠部 1 3 0 a、1 3 0 b が形成されて、水晶面が露出する。すでに説明した例と同様に、この切欠部 1 3 0 a によって露出した駆動脚の水晶部分が調整エリア 1 1 6 a であり、切欠部 1 3 0 b によって露出した部分が調整エリア 1 1 6 b である。

図 4 6 (b) に示すように、バランス調整工程によって水晶ウェハ 1 0 1 を再びエッチング液に浸漬して一括エッチングを行い、切欠部 1 3 0 a、1 3 0 b で露出した駆動脚 1 1 1 の表面および裏面がエッチング除去され、除去部分 1 1 7 a、1 1 7 b が形成される（図中破線部分）。これら除去部分により駆動脚 1 1 1 の厚みが一部僅かに減少する。この切欠部 1 3 0 a、1 3 0 b の水晶がエッチング除去されることによって、上下左右非対称となった断面形状が補正され、漏れ振動が抑制される。

切欠部 1 3 0 a、1 3 0 b は、図示するように、溝 1 1 5 から駆動脚 1 1 1 の端部（角部）に至る領域に形成されることが好ましいが、幅方向に制限のある場合には、中央部分まで切欠部として利用することもできる。また、切欠部 1 3 0 a、1 3 0 b の位置は、上下左右非対称に偏って形成された水晶部分を打ち消すように主軸の傾きに依じて形成する。

この溝付き駆動脚を有する水晶振動子のバランス調整は、前述の第 3 ～ 第 5 の製造方法における、いずれの製造工程でも実施することができる。

次に本発明の第 6 の製造方法を説明する。

第 6 の製造方法の特徴は、水晶振動子の漏れ振動の方向が予め見積もれるように、水晶板の表裏両面に配設されるエッチング用マスク部材同士が、互いに所定量ずれて配設されることである。また、第 6 の製造方法は、第 3 ～ 第 5 の製造方法に対して一部が異なるだけであるので、同一要素には同一番号を付し、重複する説明は一部省略する。

第 6 の製造工程の順序は、本発明の第 3 ～ 第 5 の製造工程（図 3 3、図 4 2、図 4 4）のいずれにも適応できるので説明は省略する。以降、各製造工程について詳述する。

図 4 7 は、第 6 の製造方法における、水晶振動子の外形形成工程の詳細を説明するための図である。

図 4 7 は、第 3 の製造方法で示した図 3 4 と同様な水晶ウェハ上に形成される水晶振動子片の振動脚の断面を模式的に示す断面図である。図 4 7 は、図 3 2 に示した水晶振動子 1 1 0 が 2 つ並んだ状態と同じ状態を示すものであって、駆動脚 1 1 1、1 1 2 と検出脚 1 1 3 との先端方向から基部 1 1 4 の方向に向かって見た図である。

図 4 7（a）に示す、所定の板厚に調整された平板形状の単一的水晶板である水晶ウェハ 1 0 1 の両面に、図 4 7（b）に示すように、水晶用のエッチング液に耐性のある金属耐食膜 1 0 2 a、1 0 2 b と、その上にフォトレジスト 1 0 3 a、1 0 3 b と、を形成する。

図 4 7（b）に示す例では、図面を見やすくするために、金属耐食膜 1 0 2 a、1 0 2 b は、単層膜として記載しているが、前述のとおり、金（Au）とクロム（Cr）との積層膜を用いることができる。これらの金属膜は、知られている蒸着技術やスパッタ技術を用いて形成することができる。

次に、図 4 7 (c) に示すように、振動子パターンがそれぞれ描画された 2 枚のフォトマスク 1 0 4 a、1 0 4 b を水晶ウェハ 1 0 1 の上下に配置し、フォトマスク 1 0 4 a、1 0 4 b の上から光 (矢印 B) を照射してフォトレジスト 1 0 3 a、1 0 3 b を露光する。ここで、フォトマスク 1 0 4 a と 1 0 4 b は共に、振動子パターンが正確に描画されたフォトマスクであるが、このフォトマスク 1 0 4 a と 1 0 4 b は、位置関係が互いに X 軸方向に所定量だけずれて配置される。ここで、フォトマスク 1 0 4 a と 1 0 4 b のずれ量を図示するように位置ずれ量 e として定義する。

次に、図 4 7 (d) に示すように、フォトレジスト 1 0 3 a、1 0 3 b の現像を行い、形成したレジストパターンをマスクとして金属耐食膜 1 0 2 a、1 0 2 b をパターニングし、耐エッチング用マスク部材であるエッチングマスク 1 0 5 a、1 0 5 b を形成する。金属耐食膜 1 0 2 a、1 0 2 b を金 (Au) とクロム (Cr) との積層膜を用いたときは、これら 2 つの金属膜それぞれをエッチングする。

ここで、前述したように、フォトマスク 1 0 4 a と 1 0 4 b は X 軸方向に位置ずれ量 e だけずれて配置されるので、耐エッチング用マスク部材であるエッチングマスク 1 0 5 a と 1 0 5 b は、その位置関係が互いに位置ずれ量 e だけずれて形成される。

次に、図 4 7 (e) に示すように、フォトレジスト 1 0 3 a、1 0 3 b を剥離後、表裏両面にエッチングマスク 1 0 5 a、1 0 5 b の形成された水晶ウェハ 1 0 1 を水晶用エッチング液であるフッ酸系のエッチング液に浸漬すると、エッチングマスク 1 0 5 a、1 0 5 b に覆われていない部分の水晶が表裏両側から溶解する。その後、エッチングマスク 1 0 5 a、1 0 5 b を除去することによって、水晶振動子片の振動脚である駆動脚 1 1 1、1 1 2 と検出脚 1 1 3

とが得られる。

水晶ウェハ 101 は、エッチングマスク 105a、105b によって表裏両面からエッチングが進行するが、前述したようにエッチングマスク 105a と 105b は位置ずれ量 e だけずれて形成されているので、水晶振動子片の断面は、図示するように、ずれているエッチングマスク 105a と 105b に沿って略平行四辺形に形成される。このエッチングマスクの位置ずれ量 e が、従来例で述べた製造上の誤差である位置ずれ量 e （図 47 参照）より十分大きければ、製造上の誤差にほとんど影響されずに水晶振動子片の断面は略平行四辺形となる。ここでは、残渣は省略している。

これにより、水晶振動子の外形に特徴付けを行い、水晶振動子の漏れ振動の方向を予め見積もることができる。すなわち、誤差によるマスクずれは漏れ振動の方向を特定できないが、故意にエッチングマスクをずらすことで漏れ振動の方向を予め見積もることができるのである。

第 6 の電極形成工程は、前述の第 3 の電極形成工程（図 37～図 40）と同様である。すなわち、図 39 で示すように水晶振動子片 107 の駆動脚 111、112 の主平面には駆動電極 120a、121c が形成され、この駆動電極 120a、121c はバランス調整のための切欠部 130 を備える。この切欠部 130 は、駆動電極 20a、121c の片辺全部に駆動電極 120a、121c の長手方向に沿って細長く形成される。そして、この切欠部 130 は、その幅方向の略中心 C2 が駆動脚 111、112 の幅方向の略中心 C1 に対して駆動脚 111、112 の幅方向にずれて形成される。なお、すでに説明した例と同様に、駆動脚の上面側を切欠部 130a、調整エリア 116a とし、裏面側を切欠部 130b、調整エリア 116b とする。

水晶面が露出した調整エリア 1 1 6 a、1 1 6 b は、後工程であるバランス調整工程による再エッチングによって表面が溶解し、駆動脚 1 1 1、1 1 2 の断面形状が調整されて漏れ振動が抑制される。すなわち、水晶振動子は、外形形成工程で特徴付けされることで漏れ振動の方向を予め見積もることができるので、この見積もりに基づいて電極形成工程で電極に切欠部 1 3 0 を形成する。なお、切欠部 1 3 0 は、第 3 の製造方法における図 4 0 (a)、図 4 0 (b) のように、電極の一部でもよい。

図 4 8 及び図 4 9 は、第 6 のバランス調整工程を説明するための図である。

バランス調整工程は第 3 の製造方法と同様であり、前工程である電極形成工程で駆動脚 1 1 1、1 1 2 の駆動電極が所定形状に形成された後、この駆動電極をマスクにして水晶ウェハ 1 0 1 を再び一括エッチングして水晶振動子片 1 0 7 の駆動脚 1 1 1、1 1 2 の断面形状を修正して振動のバランス調整を行い、漏れ量を調整して水晶振動子片 1 0 7 の漏れ振動を抑制する工程である。

図 4 8 は、水晶ウェハ 1 0 1 に形成された水晶振動子片 1 0 7 の一方の駆動脚 1 1 1 の断面を模式的に示す断面図であり、第 3 の製造方法で示した図 3 9 の D-D' 断面から駆動脚 1 1 1 の部分を拡大した図である。この断面形状は、裏面側のエッチングマスクを +X 軸方向に位置ずれ量 e だけずらしたことで略平行四辺形となっており、水晶振動子片が特徴付けされ、漏れ振動の方向を予め見積もることができる。すなわち、駆動脚 1 1 1 の断面は特徴付けによって上下左右非対称であり、主軸 1 3 6 (破線) は X 軸に対してズレ角 $\theta 4$ の傾きを持つので、漏れ振動が発生する。そして、この特徴付けによる上下左右非対称の断面を打ち消すように切欠部を形成し、それにより生じた調整エリアの水晶をエッチング除去することで

漏れ振動を抑制する。

図 48 において、駆動脚 1 1 1 の主平面に駆動電極 1 2 0 a、1 2 0 b が形成され、この駆動電極 1 2 0 a、1 2 0 b の切欠部 1 3 0 a、1 3 0 b に対応して、駆動脚 1 1 1 に除去部分 1 1 7 a、1 1 7 b が形成される。ここで、駆動脚 1 1 1 の切欠部 1 3 0 a、1 3 0 b は、第 3 の製造方法と同様に、駆動脚 1 1 1 の振動軸中心を原点 P とし、この原点 P を通り直交する 2 つの軸 x、y で定義される第 1 象限、第 2 象限、第 3 象限、第 4 象限のうち、原点 P を挟み対称となる象限に形成される。

切欠部 1 3 0 a、1 3 0 b によるエッチング除去量は、原点 P を挟み対称となる象限のエッチング除去量が等しくなることもあり、そうでないこともある。同様に、隣り合う象限のエッチング除去量が異なることもあり、そうでないこともある。

また、図 48 に示す切欠部 1 3 0 a、1 3 0 b は、一例として第 2 象限と第 4 象限とに形成されるが、これは、裏面側のエッチングマスクを +X 軸方向にずらしたことによる上下左右非対称の断面形状を打ち消すには、第 2 象限部分と第 4 象限部分の水晶を削ればバランスが調整できるからである。

すなわち、第 2 象限と第 4 象限とに形成された切欠部 1 3 0 a、1 3 0 b の水晶がエッチング除去されることによって、上下左右非対称となった断面形状が補正され、依然として断面形状は上下左右非対称であるが、主軸 1 3 6 は主軸 1 3 6' (実線) のように修正されて漏れ振動が抑制される。

第 6 の切欠部 1 3 0 a、1 3 0 b のエッチング量は、第 3 の製造方法のように、水晶振動子の残渣のでき方を想定し、漏れ振動の方向と共に、漏れ量の大きさを見積もり、加工時間に換算してエッチング除去量を決定することができる。また、第 4 の製造方法のよう

に、水晶振動子片の漏れ量情報に基づいてエッチング量を加工時間に換算してエッチング除去量を決定することができる。また、第5の製造方法のように、水晶振動子片の漏れ量情報に基づいてバランス調整のためのエッチング加工を少しずつ複数回繰り返すようにエッチング除去量を決定してもよい。

図49はエッチングマスクが図48とは逆方向に、裏面側のエッチングマスクを-X軸方向に位置ずれ量eだけずらしたことで略平行四辺形となった断面図である。この場合、水晶振動子片は逆方向に特徴付けされ、漏れ振動の方向を予め見積もることができる。この場合は、図示するようにずれて偏って形成された水晶部分を打ち消すように、駆動脚111に切欠部130a、130bを第1象限と第3象限とに形成すればよい。すなわち、第1象限と第3象限とに形成された切欠部130a、130bの水晶がエッチング除去されることによって、上下左右非対称となった断面形状が補正され、依然として断面形状は上下左右非対称であるが、主軸136は主軸136'（実線）のように修正されて漏れ振動が抑制される。

以上のように本発明の第6の製造方法によれば、水晶ウェハの表裏両面に配設されるエッチングマスク同士が互いに所定量ずれて配設されることで、形成される水晶振動子の外形に特徴付けして水晶振動子の漏れ振動の方向が予め見積もれるので、この漏れ振動の方向に基づいた切欠部を備える電極を駆動脚に形成することができる。この結果、製造上のばらつきであるマスクの位置ずれ等に影響されずに再エッチング工程によって漏れ振動を調整できるので、高精度に漏れ振動が調整された水晶振動子を提供することができる。

以上説明した第3～第6の製造方法では、電極形成工程において、駆動脚の電極に予め切欠部を形成し、この切欠部による調整エリアを再エッチングすることで、水晶振動子の漏れ振動を調整するが

、ウェハ内で漏れ量のばらつきが大きいなどの場合は、予め形成される切欠部以外に、レーザ加工等によって電極を加工し、水晶面が露出した切欠部を更に追加して形成してもよい。この電極を追加加工する工程は、例えば、第4の製造方法の場合では、漏れ量測定工程（ステップS T 5 3）の後に追加することができる。この電極加工工程を追加することで、漏れ量の調整範囲を個々の素子ごとに拡大できるので、ウェハ内の漏れ量のばらつきが大きな場合であっても、不良品とせずに漏れ量を調整して良品にできる可能を広げることができる。

なお、漏れ振動の方向を見積もるための外形形成の特徴付けは、片面マスクやマスクずらしに限定されず、他の方法でも本発明は適応される。また、本発明の実施形態で示したフローチャートや外形図等は、これに限定されるものではなく、本発明の要旨を満たすものであれば、任意に変更してよい。

なお、上述した本発明の第1～第6の製造方法に関するフローチャートや外形図等は、一例であって、これらに限定されるものではなく、本発明の要旨を満たすものであれば、任意に変更してよい。

本発明の第1～第6の水晶振動子の製造方法は、小型で高精度に漏れ振動が調整された水晶振動子を低コストで提供することができるため、小型で高精度なジャイロセンサ用水晶振動子の製造方法として好適である。

請 求 の 範 囲

請求項 1. 水晶振動子の製造方法において、
所定の外形形状を形成する第 1 エッチング工程と、
前記外形形状の表面の少なくとも一部に電極を形成する電極形成工程と、

前記外形形状の漏れ振動による漏れ量を測定する漏れ量測定工程と、

バランスを調整する為に、前記漏れ量測定工程の測定結果に基づいた量のエッチングを前記外形形状に対して行う第 2 のエッチング工程と、

を有することを特徴とする水晶振動子の製造方法。

請求項 2. 前記第 2 のエッチング工程は、前記電極をマスクとして行われる、請求項 1 に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項 3. 前記漏れ量測定工程の測定結果に基づいて、前記電極を所定形状に加工する電極加工工程を更に有し、

前記第 2 のエッチング工程は、前記電極加工工程において加工された前記電極をマスクとして行われる、請求項 2 に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項 4. 前記外形形状は、基部及び前記基部から延設された振動脚を有し、

前記電極形成工程は、前記振動脚上に前記電極を形成する、請求項 1 ～ 3 の何れか一項に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項 5. 前記電極加工工程は、加工された前記電極の除去部分の前記電極の幅方向の略中心が、前記振動脚の幅方向の略中心より前記振動脚の幅方向にずれるように加工する、請求項 4 に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項 6 . 前記電極形成工程と前記漏れ量測定工程との間に、前記電極形成工程により形成された前記電極をマスクとして前記振動脚をエッチングする粗調整工程を有する、請求項 4 に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項 7 . 前記電極形成工程において、前記電極の幅方向の略中心と、前記電極が設けてある前記振動脚の幅の略中心とが、前記電極の幅方向に所定量ずらして形成される、請求項 6 に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項 8 . 前記電極加工工程は、前記漏れ量測定工程の測定結果に基づいて、前記電極において、前記振動脚の前記基部に近い領域である第 1 の領域と、前記振動脚の先端に近い領域である第 2 の領域とのどちらかの幅を狭くするように加工する、請求項 4 に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項 9 . 前記電極加工工程は、前記漏れ量測定工程の測定結果により、多くの調整が必要なときは、前記第 1 の領域の前記電極の幅を狭くするように加工し、少ない調整が必要なとき、前記第 2 の領域の前記電極の幅を狭くするように加工する、請求項 8 に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項 10 . 前記第 2 のエッチング工程と前記電極加工工程とを複数回行うとき、

前記電極加工工程により最初に加工される前記電極は、前記第 1 の領域の前記電極である、請求項 8 に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項 11 . 前記第 2 のエッチング工程は、前記漏れ量測定工程の測定結果から得られた漏れ量の情報からエッチング量を加工時間に換算して、前記振動脚のエッチング除去量を決定する、請求項 1 に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項 1 2 . 第 2 のエッチング工程によるエッチング除去部分は、1 つの振動脚に複数個あり、

前記エッチング除去部分は、前記振動脚の断面の振動軸中心を原点としたとき、前記原点を通り直交する 2 つの軸で定義される第 1 象限、第 2 象限、第 3 象限、第 4 象限のうち、前記原点を挟み対称となる象限に設けられる、請求項 1 ～ 1 1 の何れか一項に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項 1 3 . 第 2 のエッチング工程によるエッチング除去量は、

前記振動脚の断面の振動軸中心を原点としたとき、前記原点を通り直交する 2 つの軸で定義される第 1 象限、第 2 象限、第 3 象限、第 4 象限のうち、前記原点を挟み対象となる象限において等しく、隣り合う象限の前記エッチング除去量が異なる、請求項 1 ～ 1 1 の何れか一項に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項 1 4 . 前記第 1 のエッチング工程において、単一の水晶板上に複数の前記外形形状を形成し、

前記第 2 のエッチング工程において、複数の前記外形形状を同時にエッチングする、請求項 1 ～ 1 3 の何れか一項に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項 1 5 . 前記漏れ量測定工程は、複数の前記外形形状ごとに前記漏れ量を測定し、測定した前記漏れ量と前記外形形状との位置関係情報を記憶する、請求項 1 4 に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項 1 6 . 前記電極加工工程は、前記電極にレーザ光を照射することにより行う、請求項 3 ～ 1 5 の何れか一項に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項 1 7 . 前記第 1 のエッチング工程において、漏れ振動の方向が見積もれる前記外形形状を形成し、

前記電極形成工程において、前記第 1 のエッチング工程で形成し

た前記外形形状に応じてバランスを調整するための切欠部を有する前記電極を形成する、請求項 2 に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項 18. 前記外形形成工程は、平板形状の水晶板の両面にマスク部材を設け、両面の前記マスク部材同士の大きさを幅方向で異ならせることで、形成される前記外形形状の漏れ振動の方向が予め見積もれるように形成する、請求項 17 に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項 19. 前記外形形成工程は、平板形状の水晶板の両面にマスク部材を設け、両面の前記マスク部材同士は、互いに所定量ずれて配設されることで、形成される前記外形形状の漏れ振動の方向が予め見積もれるように形成する、請求項 17 に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項 20. 前記両面の前記マスク部材の幅方向の第 1 の側面のオフセット量を k_1 、第 2 の側面のオフセット量を k_2 、マスクの位置合わせ精度を $\pm p$ 、第 1 の側面のエッチング角度を α 、第 2 の側面のエッチング角度を β 、前記平板形状の水晶板の厚みを t 、とするとき、第 1 突出部の長さ c と第 2 突出部の長さ d は、

$$c = t \times \tan(\alpha - 90^\circ) + k_1$$

$$d = t \times \tan(\beta - 90^\circ) + k_2$$

$$k_1, k_2 > p$$

の関係を満たす、請求項 18 又は 19 に記載の水晶振動子の製造方法。

補正された請求の範囲
[2010年3月12日(12.03.2010)国際事務局受理]

請求項 1. (補正後) 水晶振動子の製造方法において、
所定の外形形状を形成する第 1 のエッチング工程と、
前記外形形状の表面の少なくとも一部に電極を形成する電極形成工程と、

前記外形形状の漏れ振動による漏れ量を測定する漏れ量測定工程と、

前記漏れ量測定工程の測定結果に基づいて、前記電極を所定形状に加工する電極加工工程と、

前記電極加工工程において加工された前記電極をマスクとして前記外形形状に対してエッチングを行う第 2 のエッチング工程と、
を有することを特徴とする水晶振動子の製造方法。

請求項 2. (削除)

請求項 3. (削除)

請求項 4. (補正後) 前記外形形状は、基部及び前記基部から延設された振動脚を有し、

前記電極形成工程は、前記振動脚上に前記電極を形成する、請求項 1に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項 5. 前記電極加工工程は、加工された前記電極の除去部分の前記電極の幅方向の略中心が、前記振動脚の幅方向の略中心より前記振動脚の幅方向にずれるように加工する、請求項 4 に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項 6. 前記電極形成工程と前記漏れ量測定工程との間に、前記電極形成工程により形成された前記電極をマスクとして前記振動脚をエッチングする粗調整工程を有する、請求項 4 に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項 7. 前記電極形成工程において、前記電極の幅方向の略中心と、前記電極が設けてある前記振動脚の幅の略中心とが、前記電極の幅方向に所定量ずらして形成される、請求項 6 に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項 8. 前記電極加工工程は、前記漏れ量測定工程の測定結果に基づいて、前記電極において、前記振動脚の前記基部に近い領域である第 1 の領域と、前記振動脚の先端に近い領域である第 2 の領域とのどちらかの幅を狭くするように加工する、請求項 4 に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項 9. 前記電極加工工程は、前記漏れ量測定工程の測定結果により、多くの調整が必要なときは、前記第 1 の領域の前記電極の幅を狭くするように加工し、少ない調整が必要なとき、前記第 2 の領域の前記電極の幅を狭くするように加工する、請求項 8 に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項 10. 前記第 2 のエッチング工程と前記電極加工工程とを複数回行うとき、

前記電極加工工程により最初に加工される前記電極は、前記第 1 の領域の前記電極である、請求項 8 に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項 11. 前記第 2 のエッチング工程は、前記漏れ量測定工程の測定結果から得られた漏れ量の情報からエッチング量を加工時間に換算して、前記振動脚のエッチング除去量を決定する、請求項 1 に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項 12. (補正後) 第 2 のエッチング工程によるエッチング除去部分は、1 つの振動脚に複数個あり、

前記エッチング除去部分は、前記振動脚の断面の振動軸中心を原点としたとき、前記原点を通り直交する 2 つの軸で定義される第 1

象限、第2象限、第3象限、第4象限のうち、前記原点を挟み対称となる象限に設けられる、請求項1、4～11の何れか一項に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項13. (補正後) 第2のエッチング工程によるエッチング除去量は、

前記振動脚の断面の振動軸中心を原点としたとき、前記原点を通り直交する2つの軸で定義される第1象限、第2象限、第3象限、第4象限のうち、前記原点を挟み対象となる象限において等しく、隣り合う象限の前記エッチング除去量が異なる、請求項1、4～11の何れか一項に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項14. (補正後) 前記第1のエッチング工程において、単一の水晶板上に複数の前記外形形状を形成し、

前記第2のエッチング工程において、複数の前記外形形状を同時にエッチングする、請求項1、4～13の何れか一項に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項15. 前記漏れ量測定工程は、複数の前記外形形状ごとに前記漏れ量を測定し、測定した前記漏れ量と前記外形形状との位置関係情報を記憶する、請求項14に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項16. (補正後) 前記電極加工工程は、前記電極にレーザー光を照射することにより行う、請求項1、4～15の何れか一項に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項17. (補正後) 前記第1のエッチング工程において、漏れ振動の方向が見積もれる前記外形形状を形成し、

前記電極形成工程において、前記第1のエッチング工程で形成した前記外形形状に応じてバランスを調整するための切欠部を有する前記電極を形成する、請求項1に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項18. 前記外形形成工程は、平板形状の水晶板の両面にマ

スク部材を設け、両面の前記マスク部材同士の大きさを幅方向で異ならせることで、形成される前記外形形状の漏れ振動の方向が予め見積もれるように形成する、請求項 17 に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項 19. 前記外形形成工程は、平板形状の水晶板の両面にマスク部材を設け、両面の前記マスク部材同士は、互いに所定量ずれて配設されることで、形成される前記外形形状の漏れ振動の方向が予め見積もれるように形成する、請求項 17 に記載の水晶振動子の製造方法。

請求項 20. 前記両面の前記マスク部材の幅方向の第 1 の側面のオフセット量を k_1 、第 2 の側面のオフセット量を k_2 、マスクの位置合わせ精度を $\pm p$ 、第 1 の側面のエッチング角度を α 、第 2 の側面のエッチング角度を β 、前記平板形状の水晶板の厚みを t 、とするとき、第 1 突出部の長さ c と第 2 突出部の長さ d は、

$$c = t \times \tan(\alpha - 90^\circ) + k_1$$

$$d = t \times \tan(\beta - 90^\circ) + k_2$$

$$k_1, k_2 > p$$

の関係を満たす、請求項 18 又は 19 に記載の水晶振動子の製造方法。

特許協力条約第19条(1)の規定に基づく説明書

差し替え用紙に記載した請求の範囲は最初に提出した請求の範囲と以下のように関連する。

- (1) 請求項 1、4、12～14、16 及び 17 を補正した。
- (2) 請求項 2 及び 3 を削除した。
- (3) 上記以外の請求項は補正していない。

Fig.1

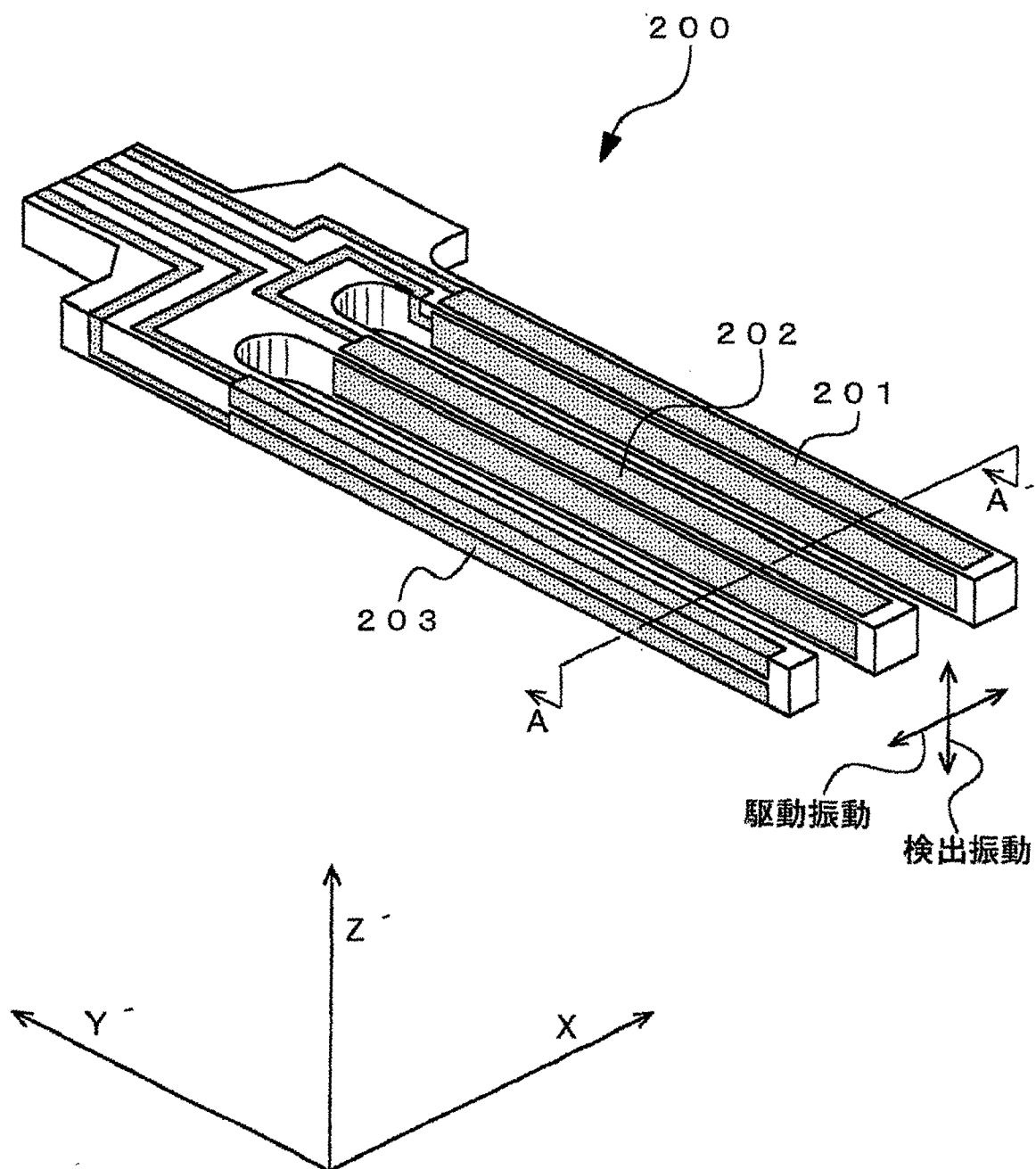


Fig.2(a)

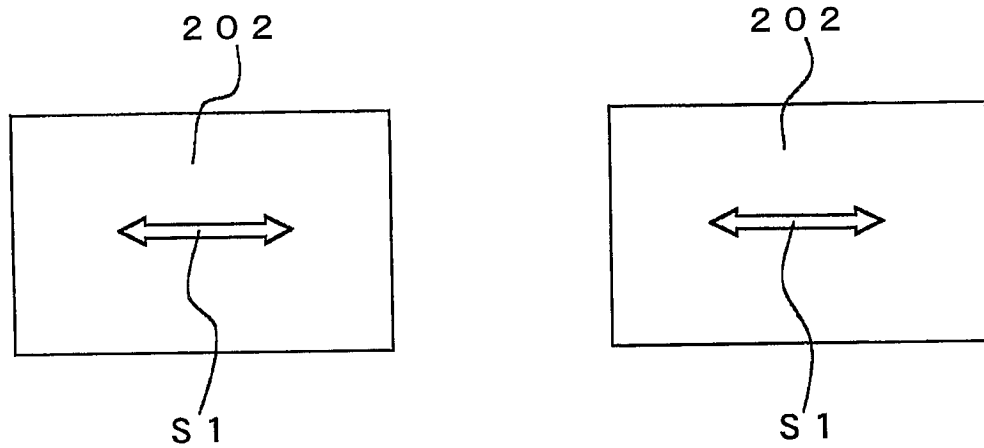


Fig.2(b)

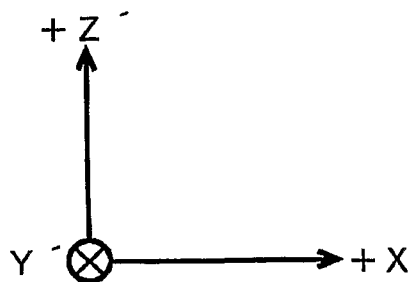
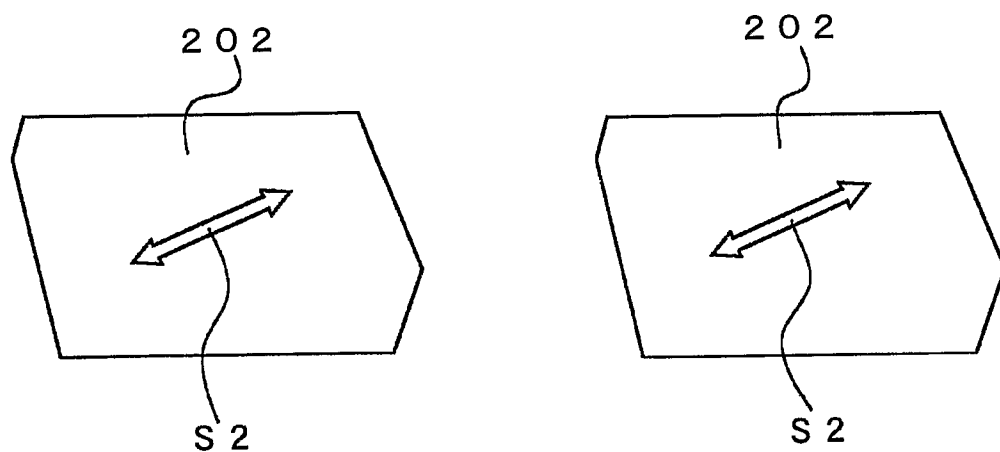


Fig.3(a)

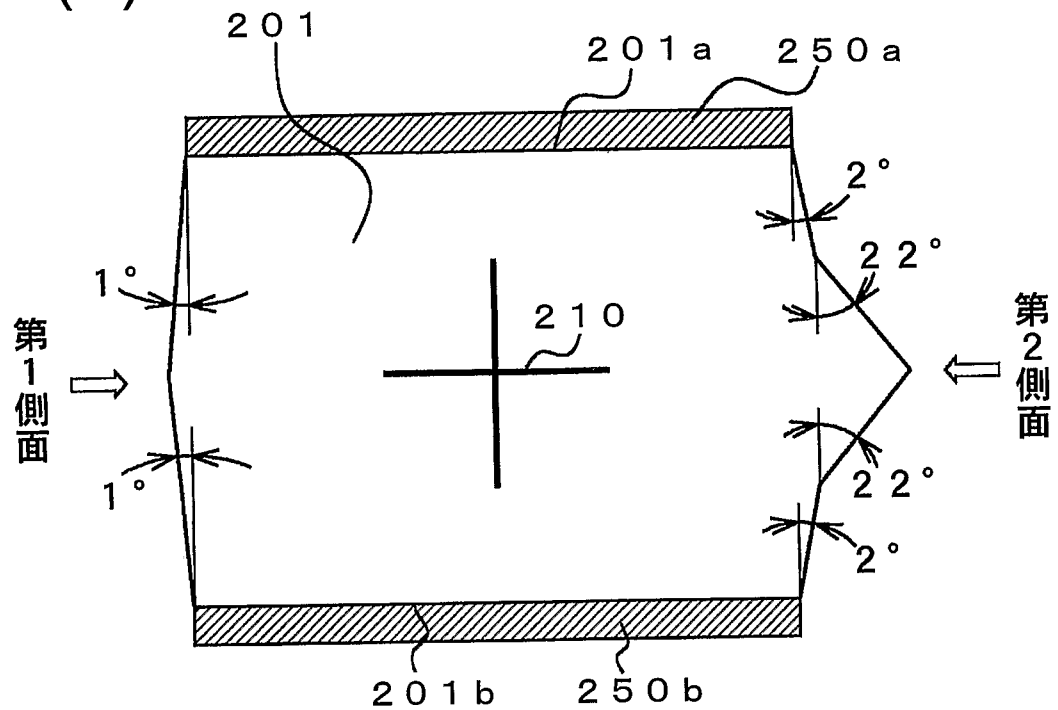


Fig.3(b)

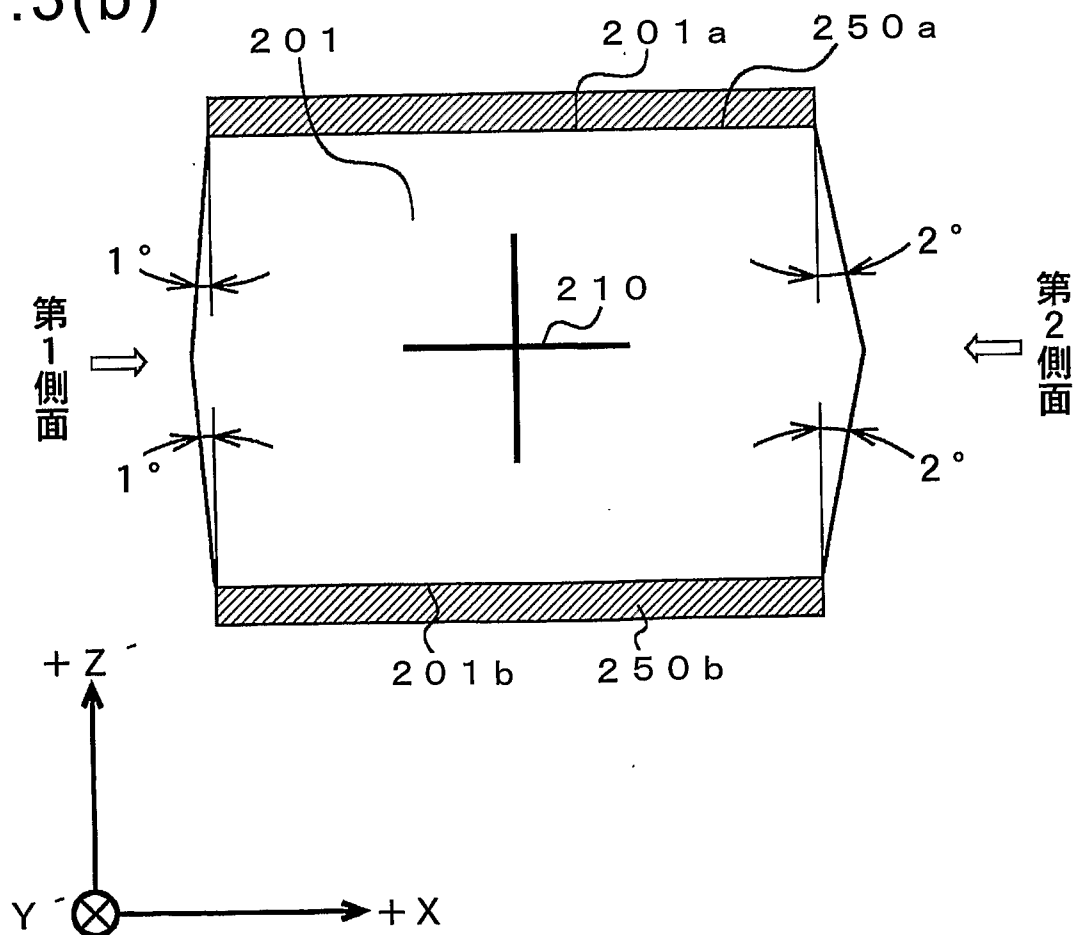


Fig.4

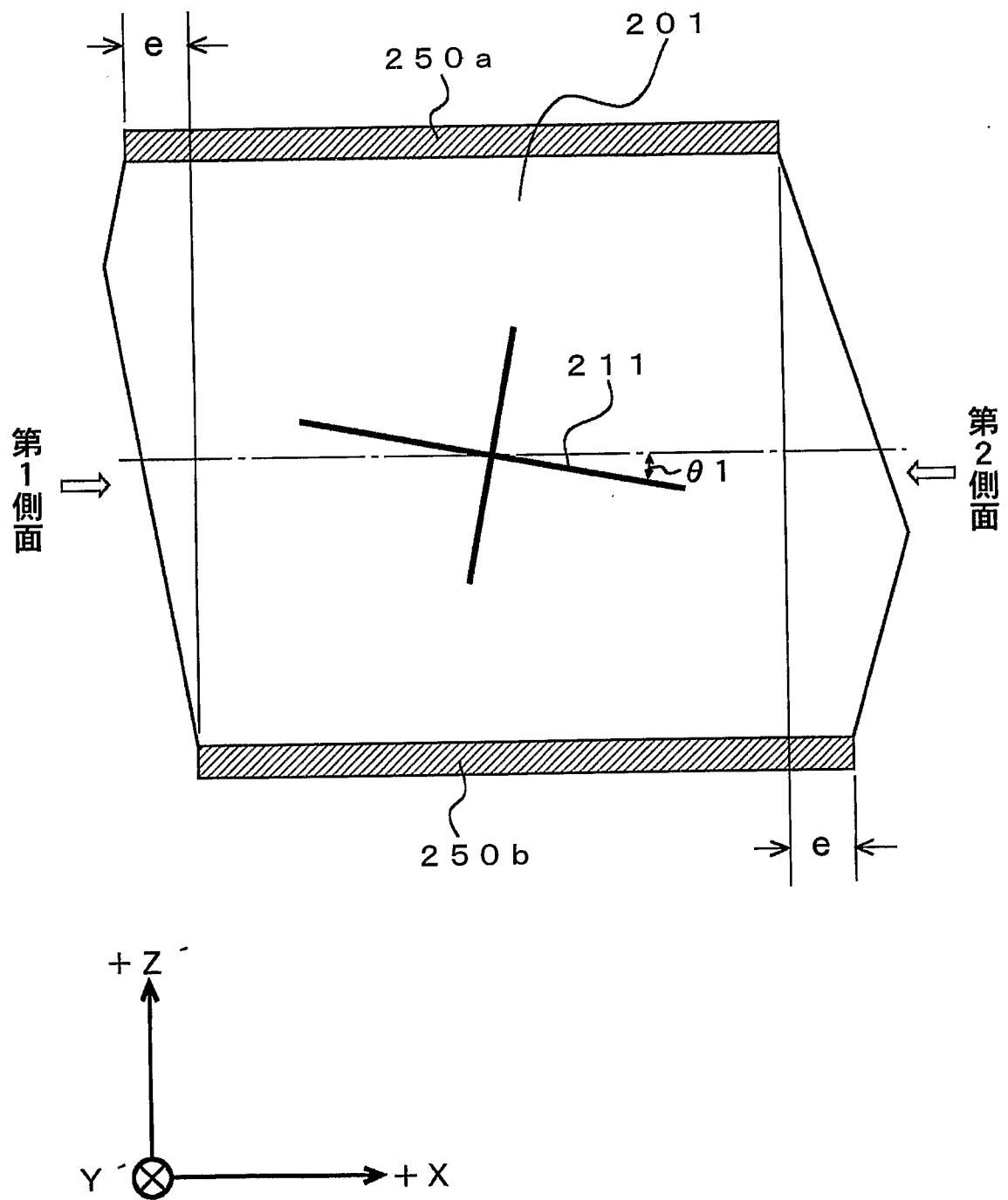


Fig.5

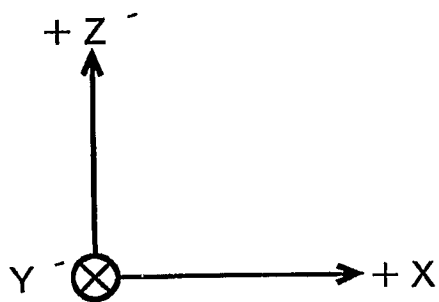
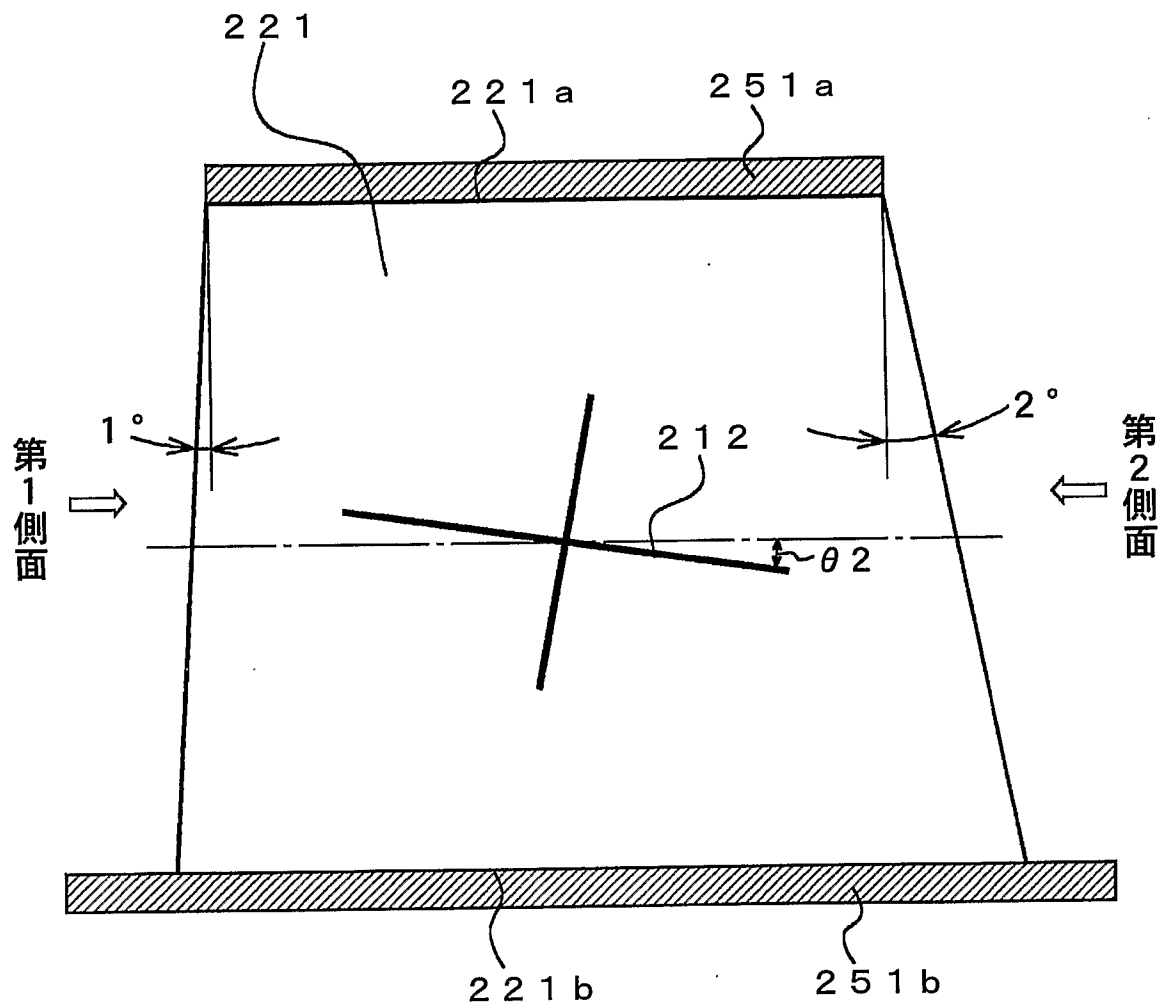


Fig. 6

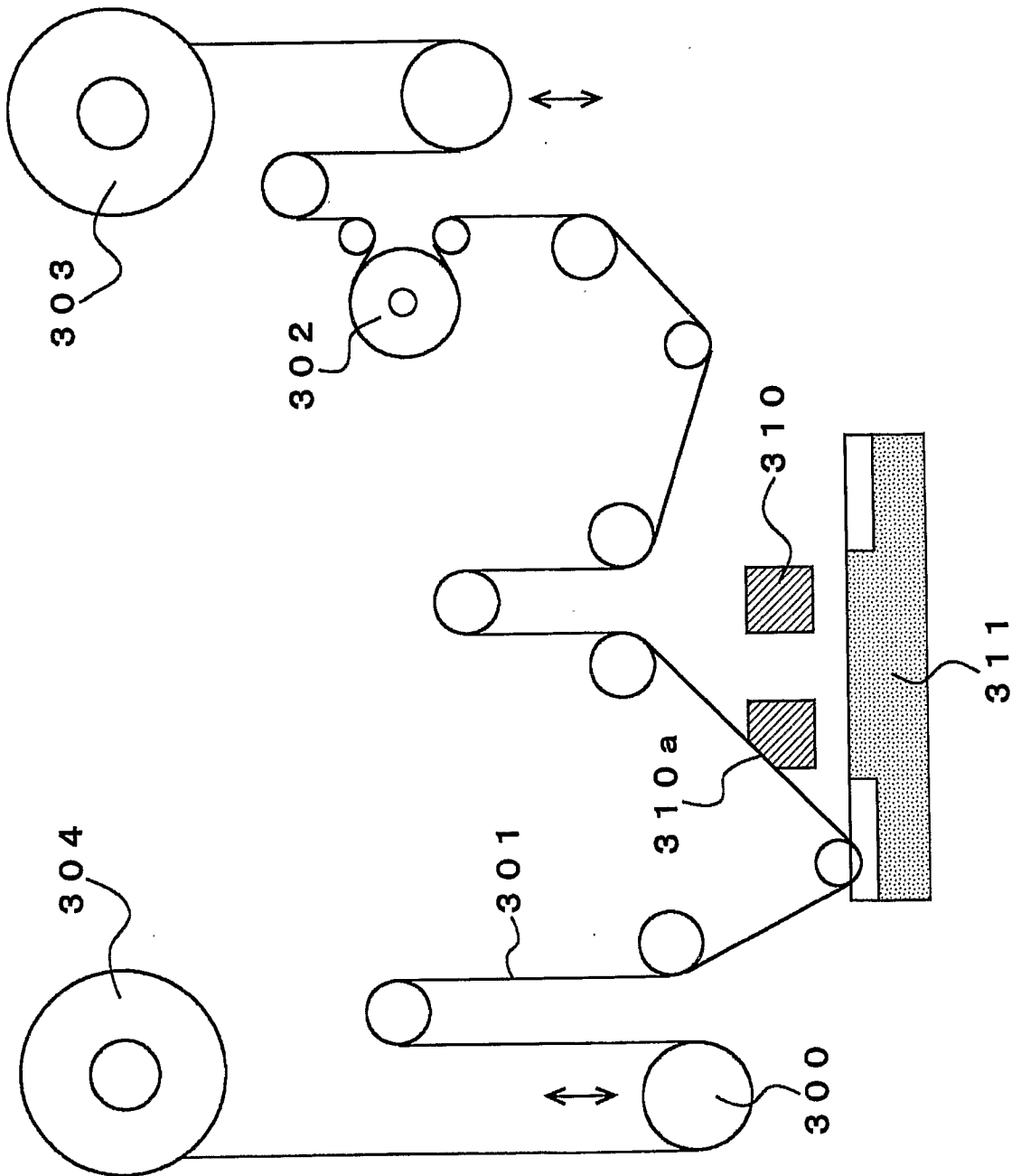


Fig.7

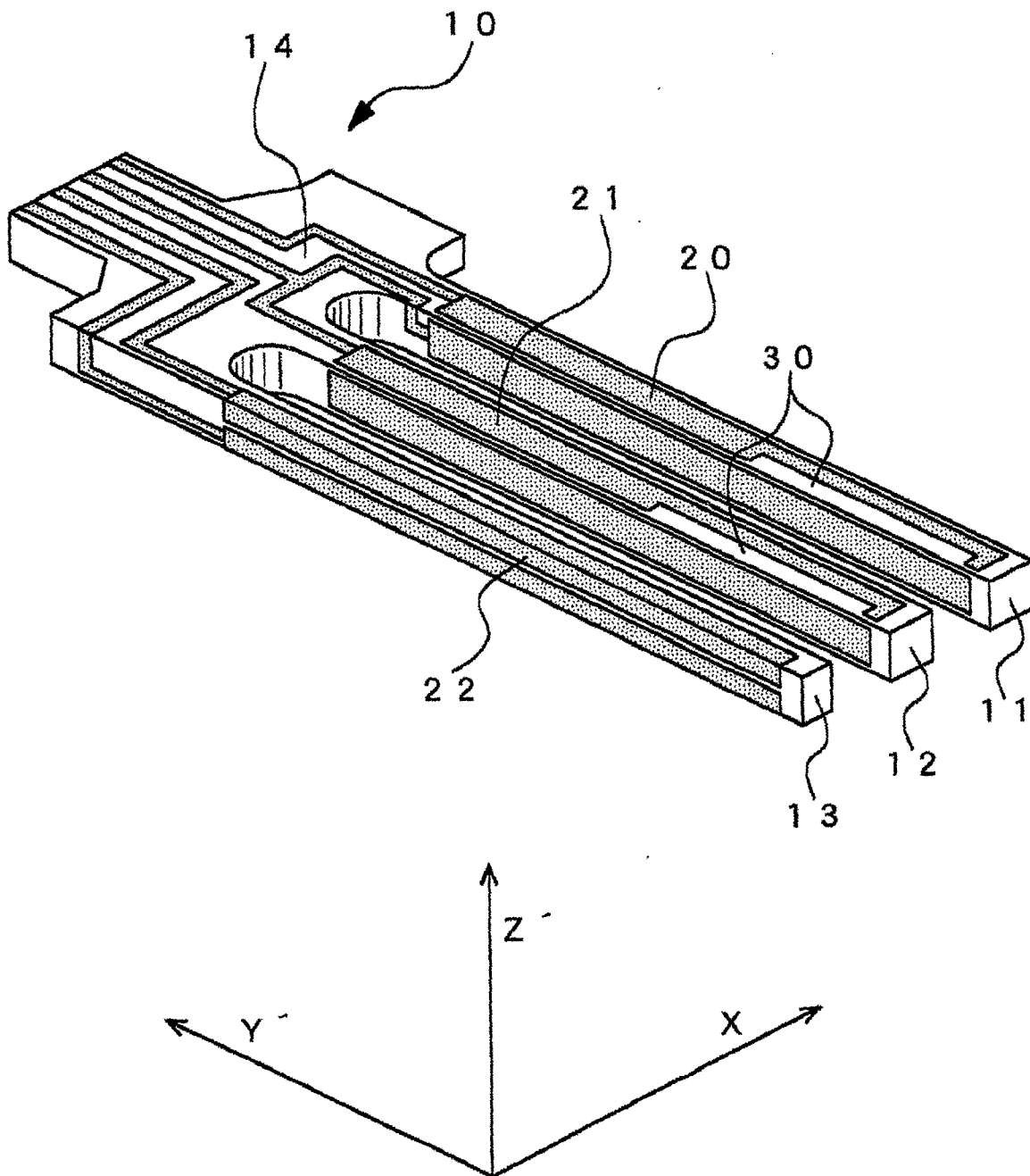


Fig.8

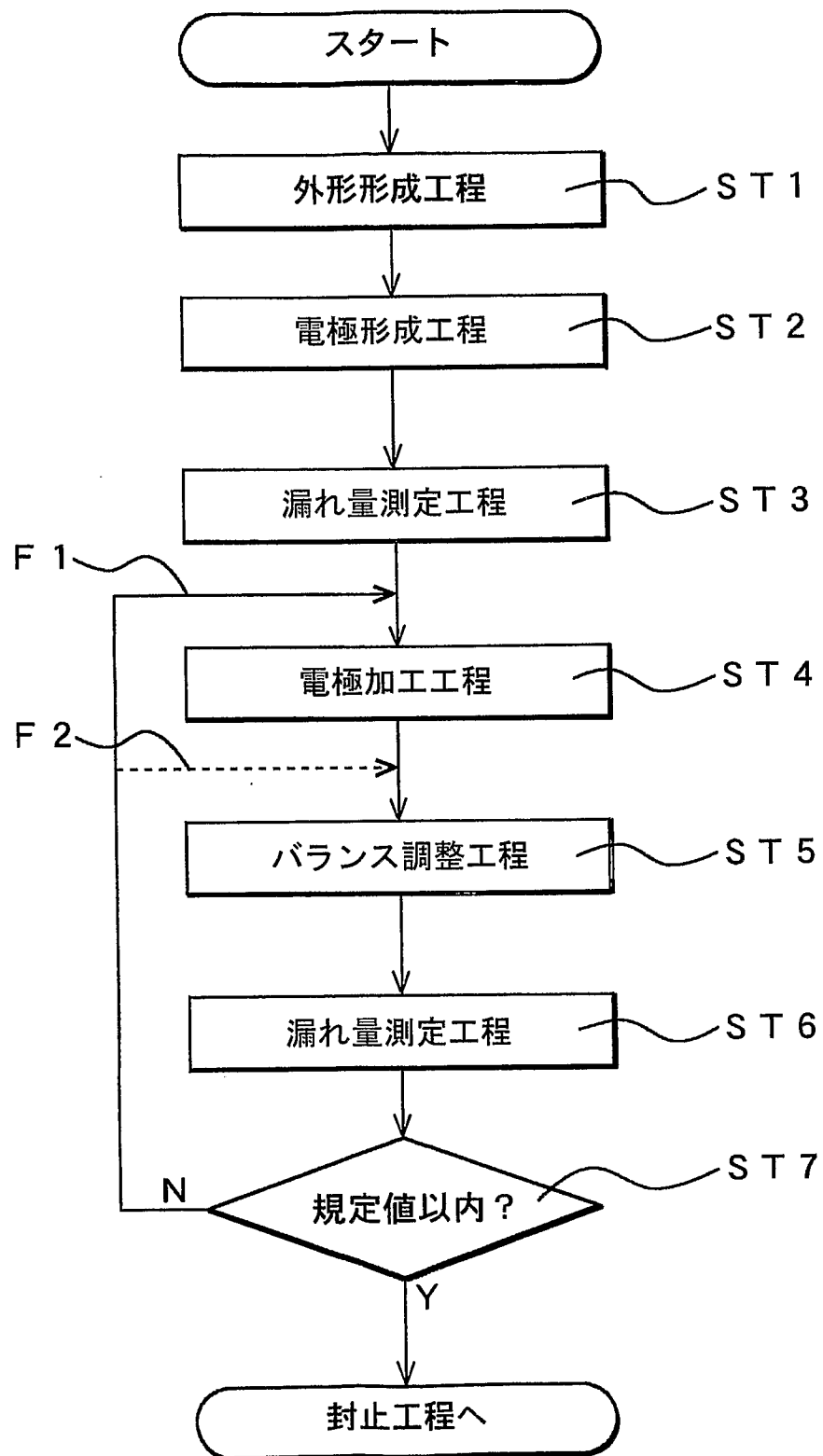


Fig.9(a)

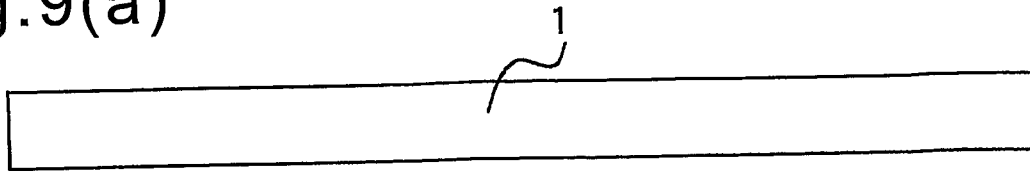


Fig.9(b)

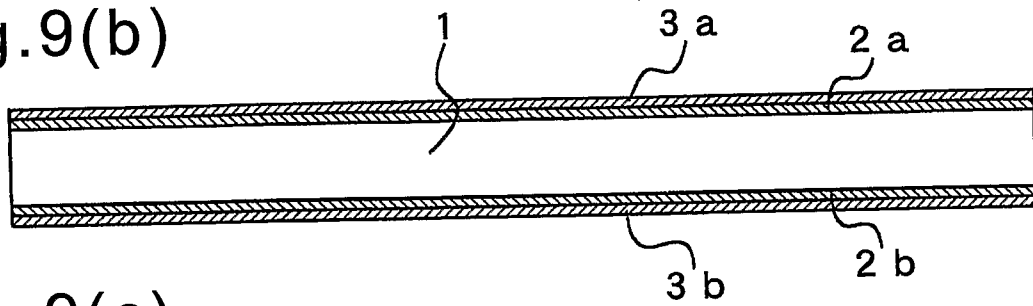


Fig.9(c)

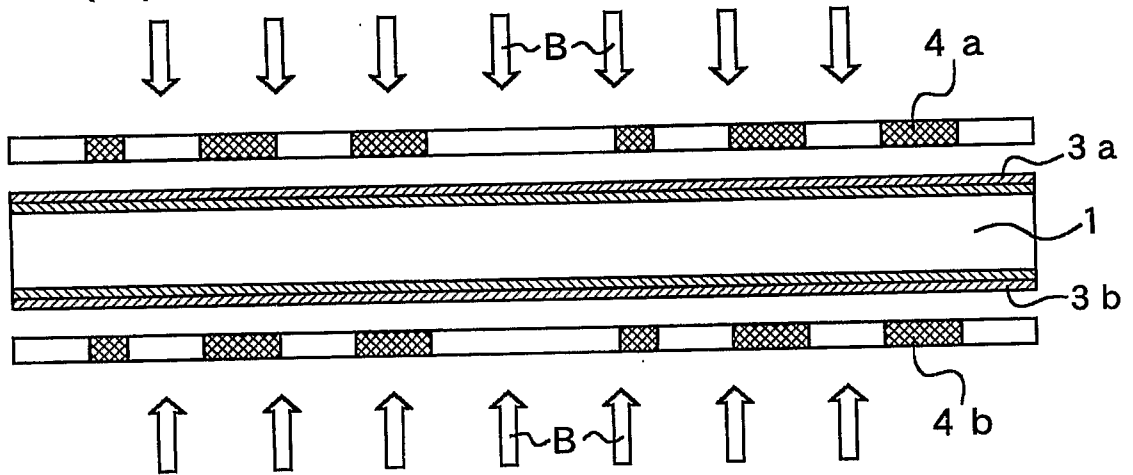


Fig.9(d)

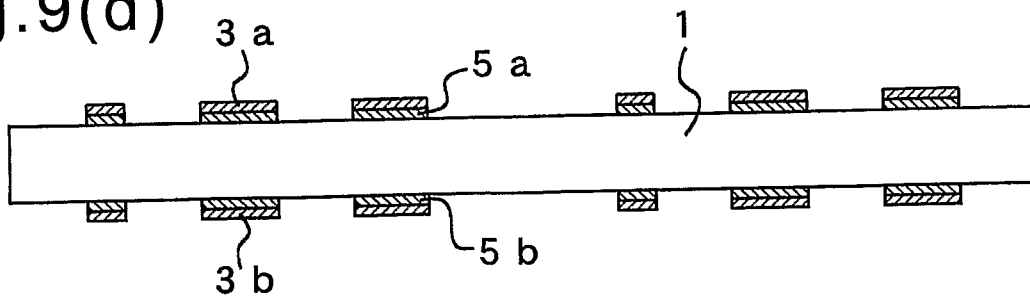


Fig.9(e)

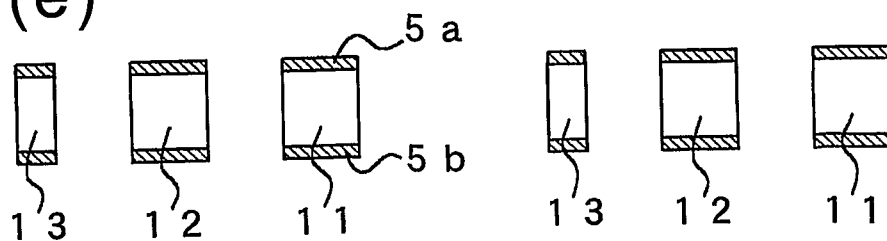


Fig.10

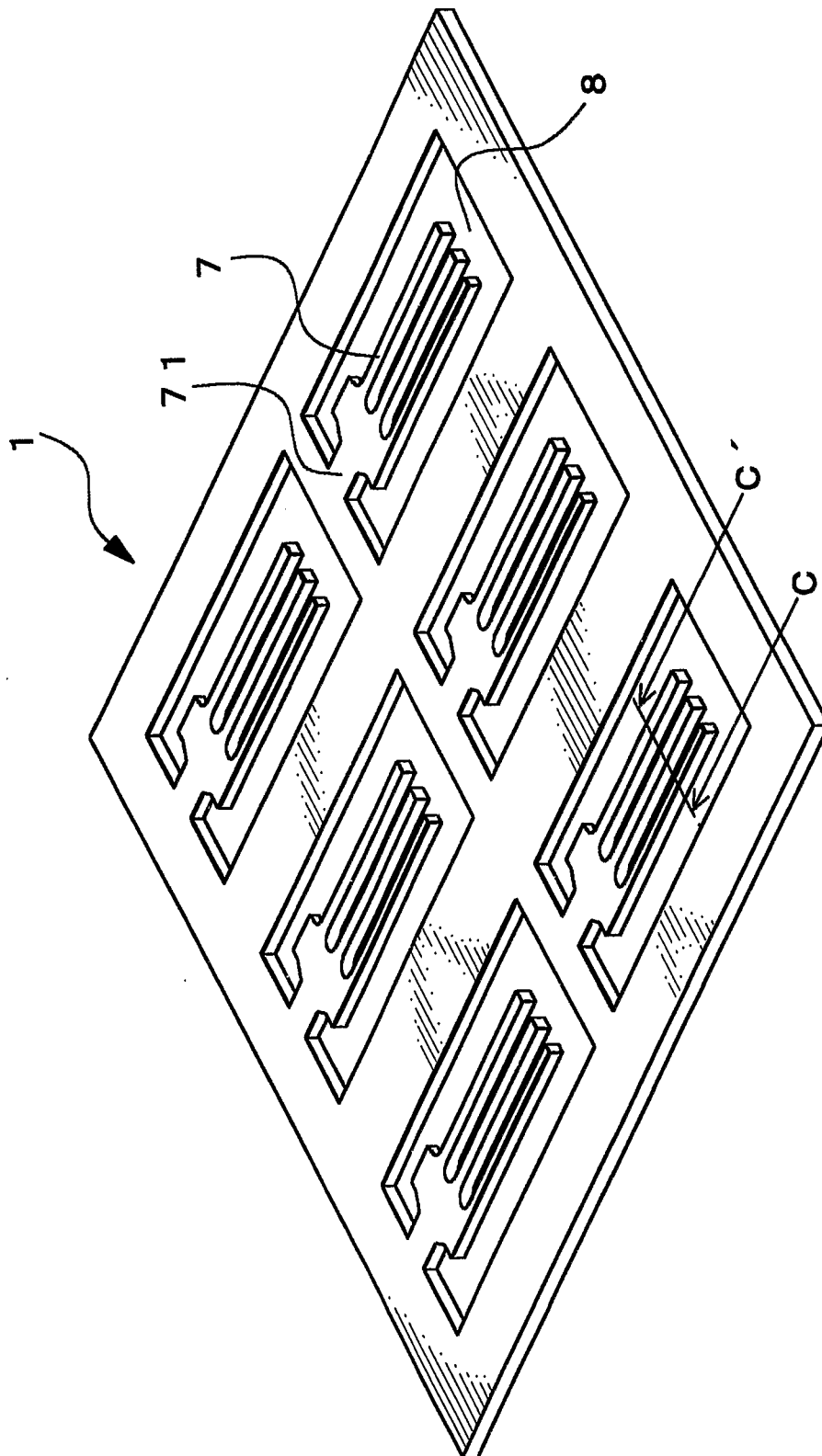


Fig.11(a)

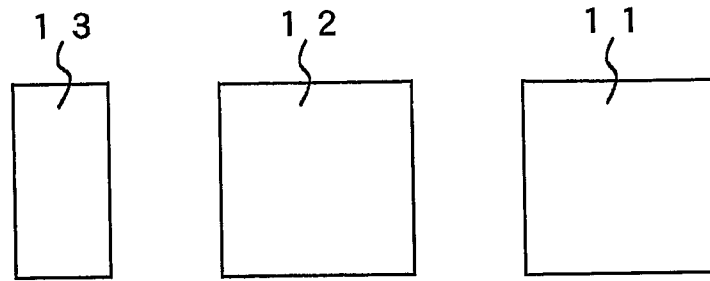


Fig.11(b)

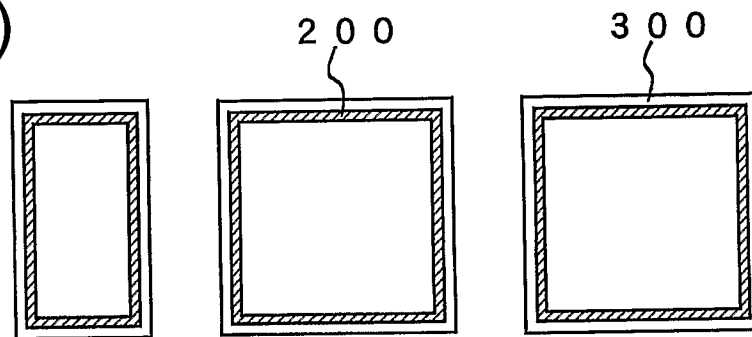


Fig.11(c)

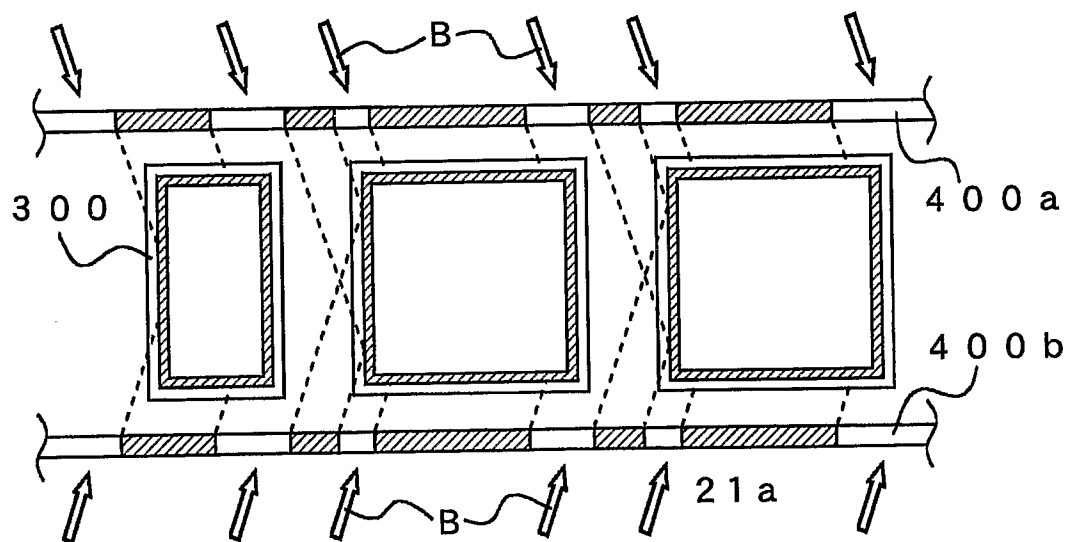


Fig.11(d)

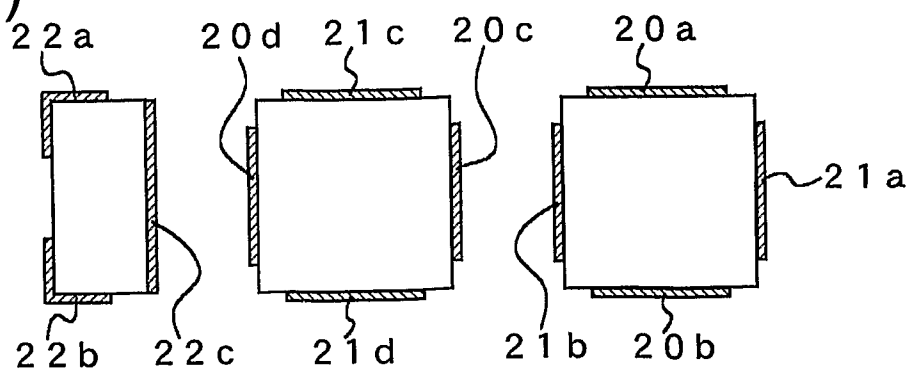


Fig.12

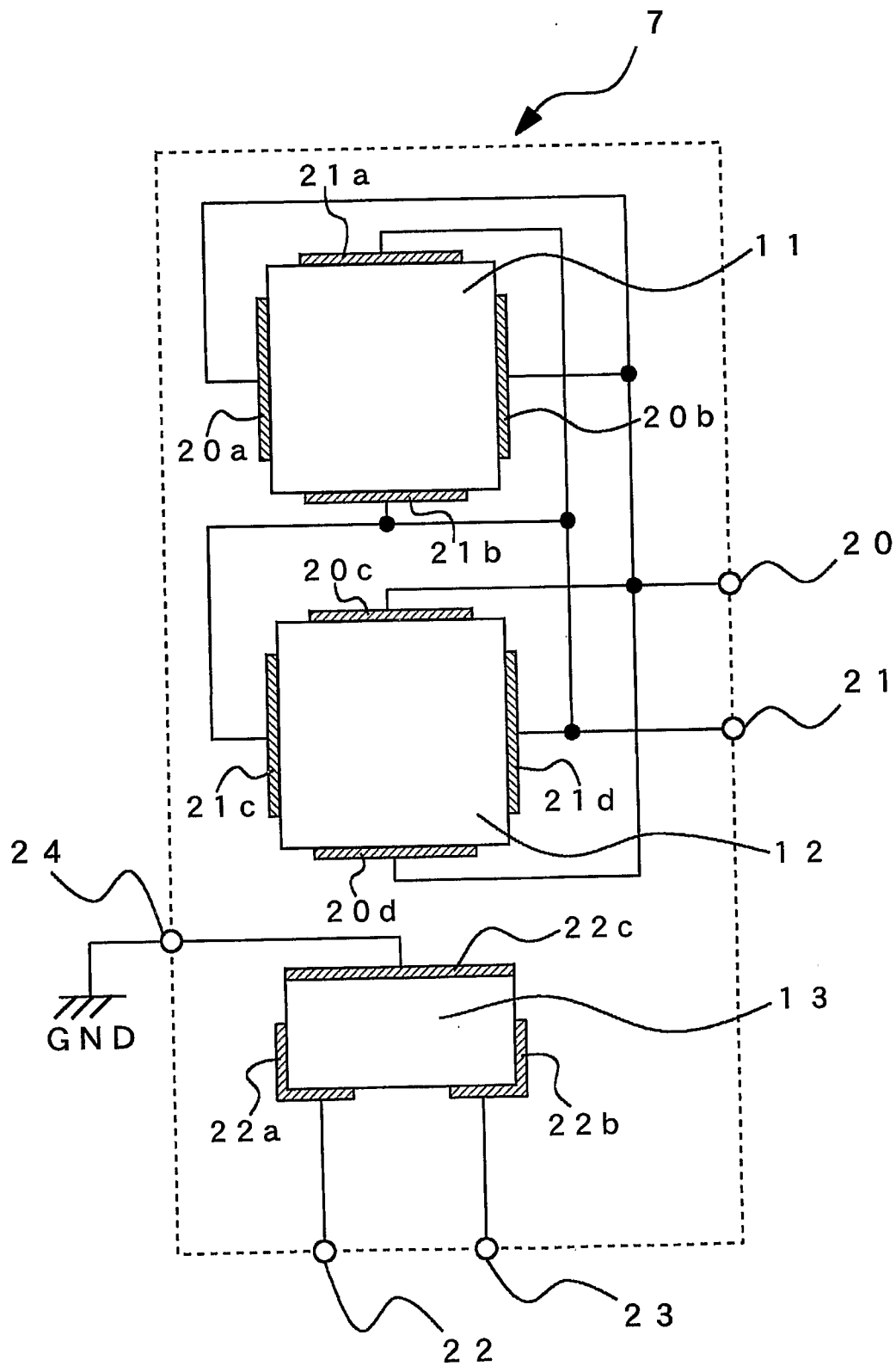


Fig.13

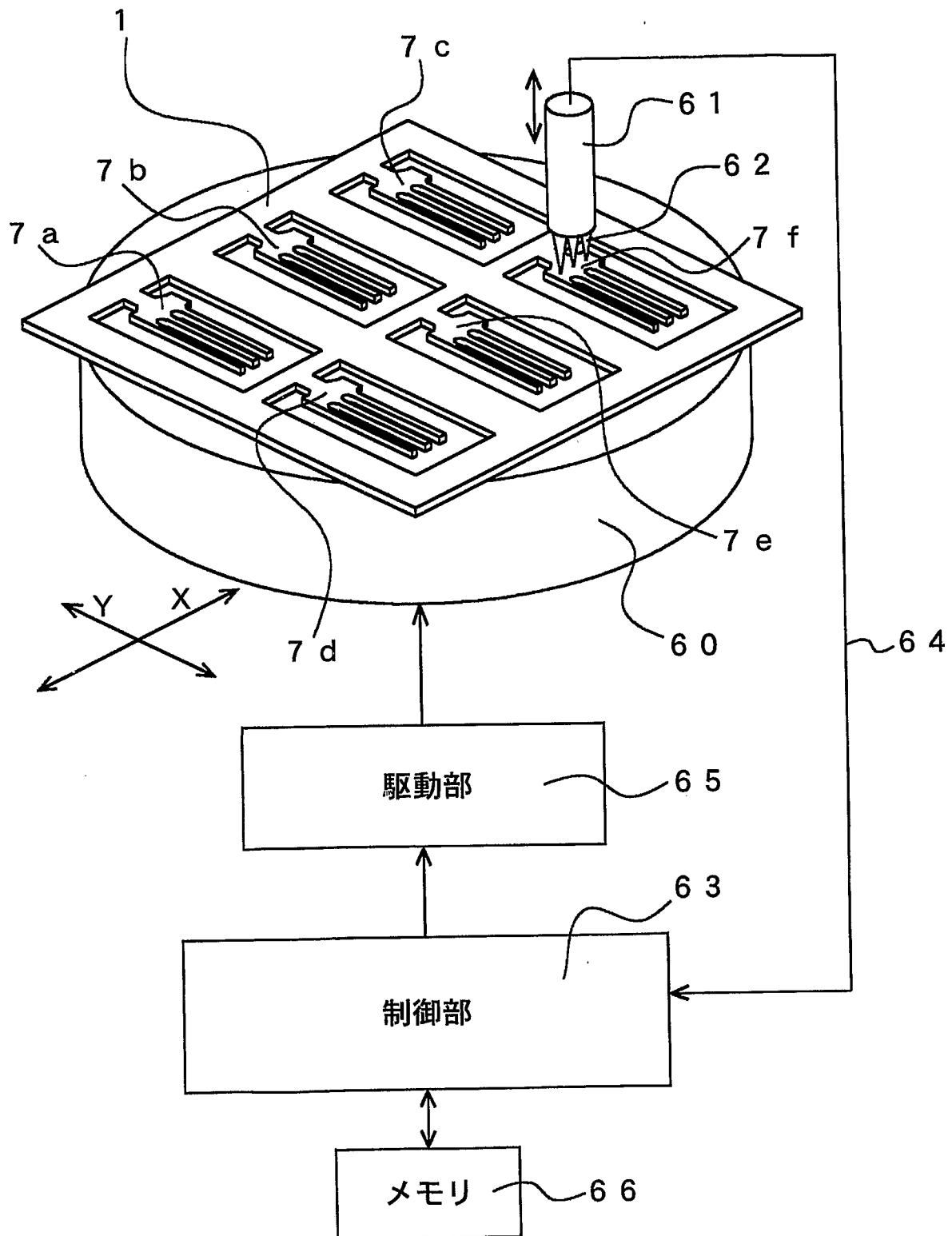


Fig.14

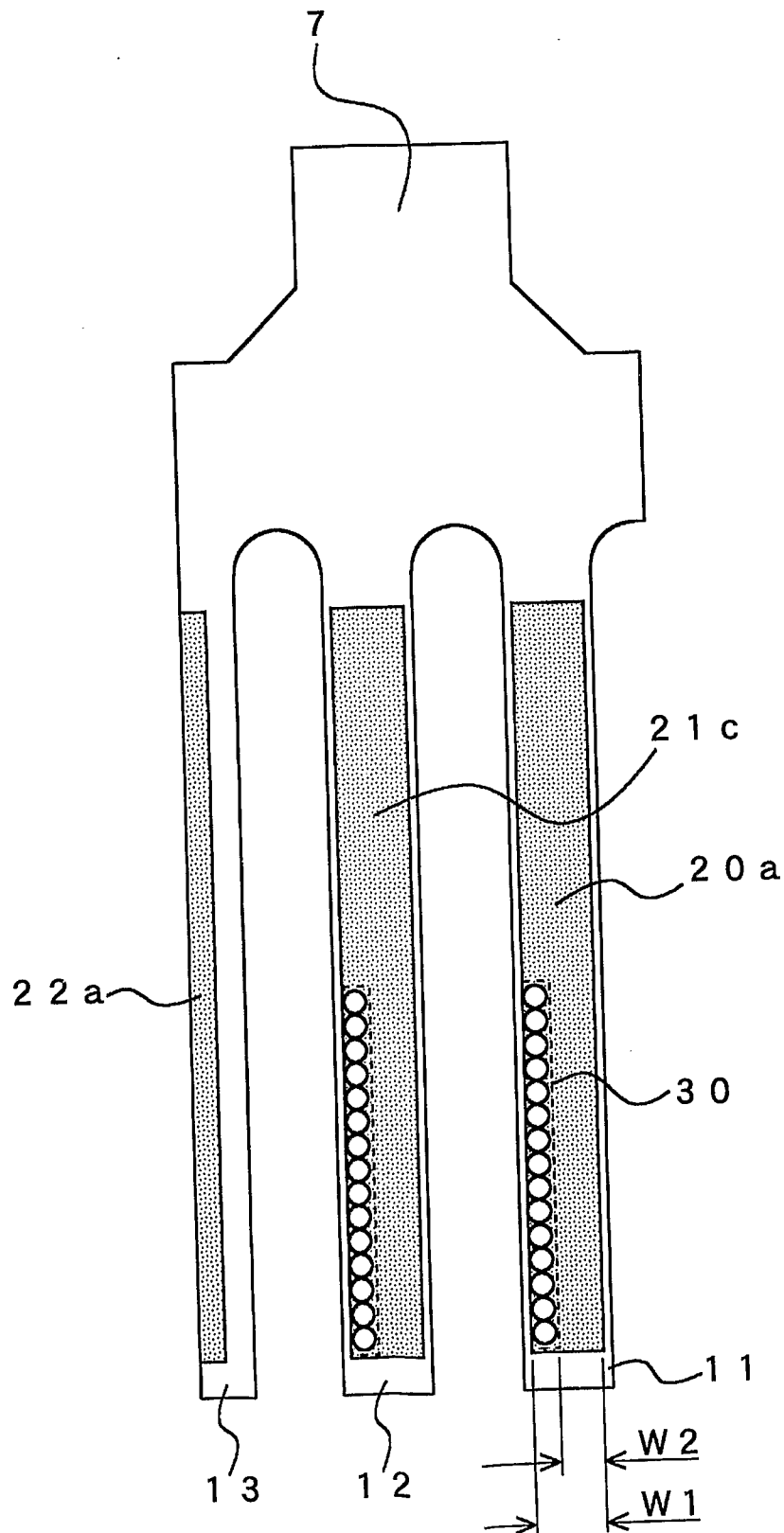


Fig.15(a)

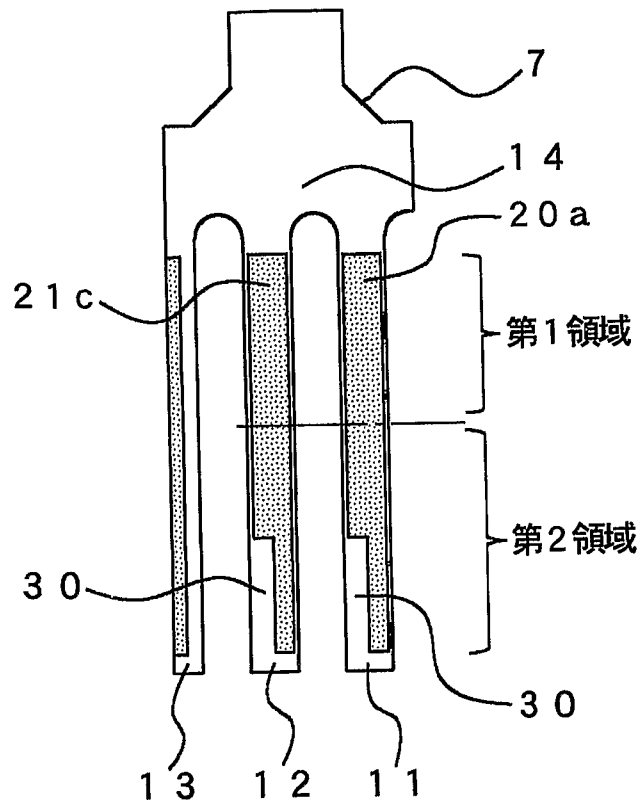


Fig.15(b)

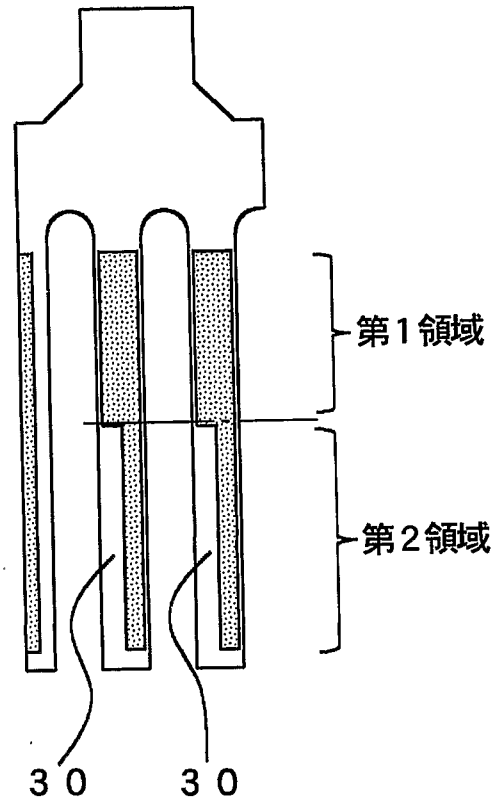


Fig.15(c)

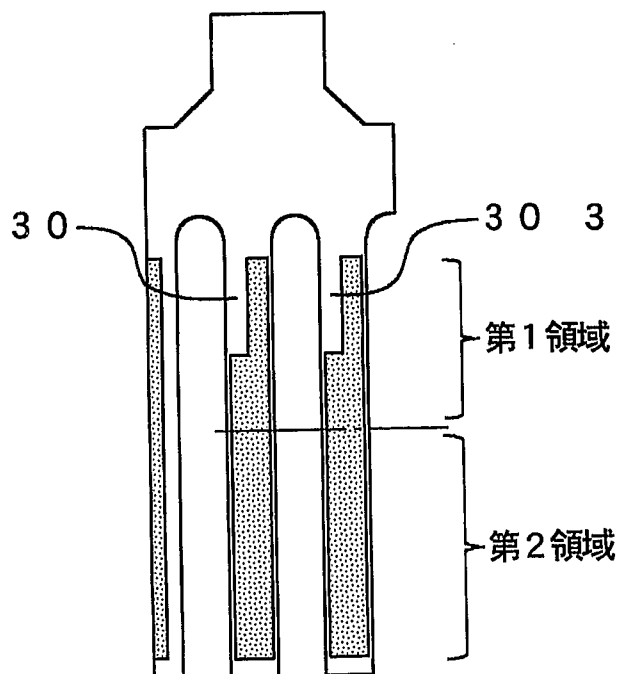


Fig.15(d)

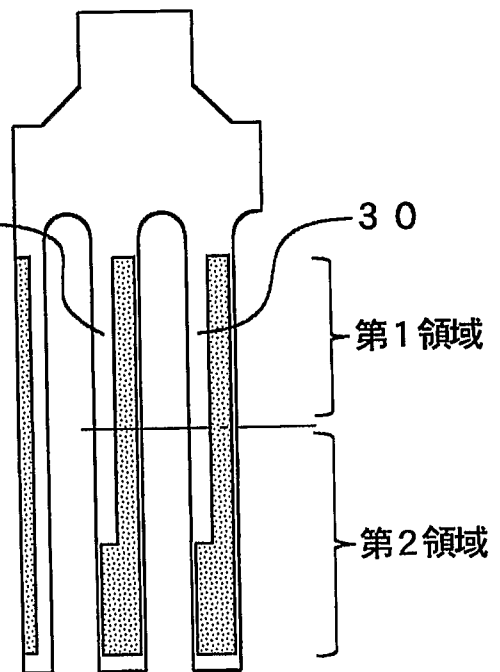


Fig.16

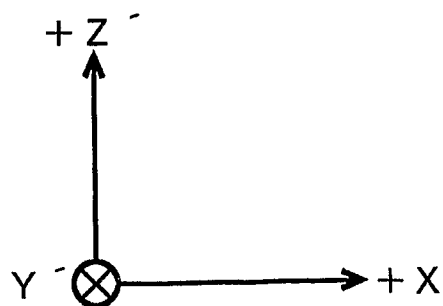
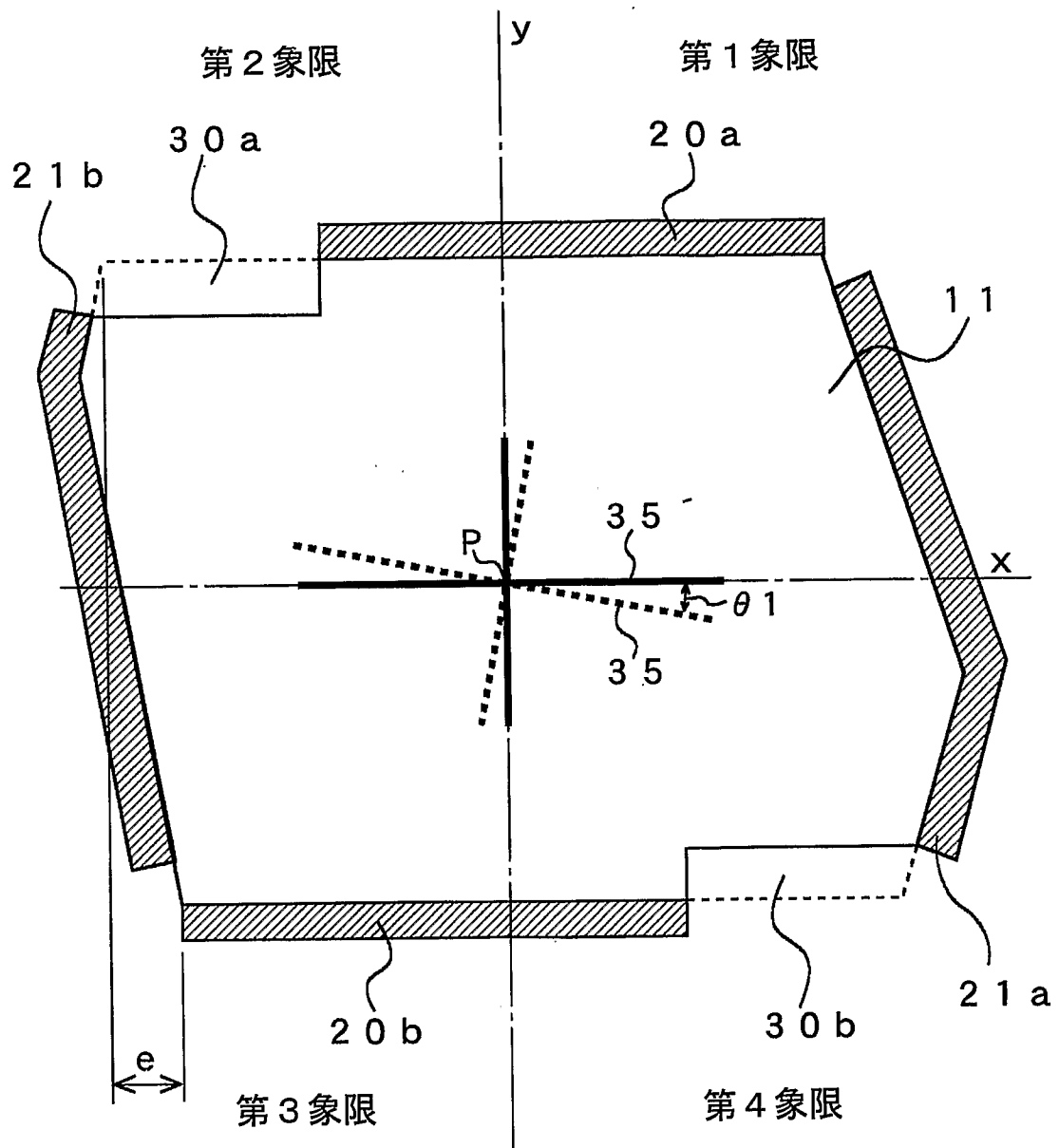


Fig.18

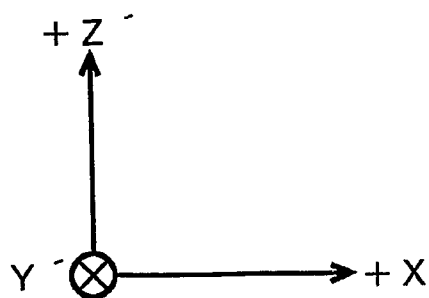
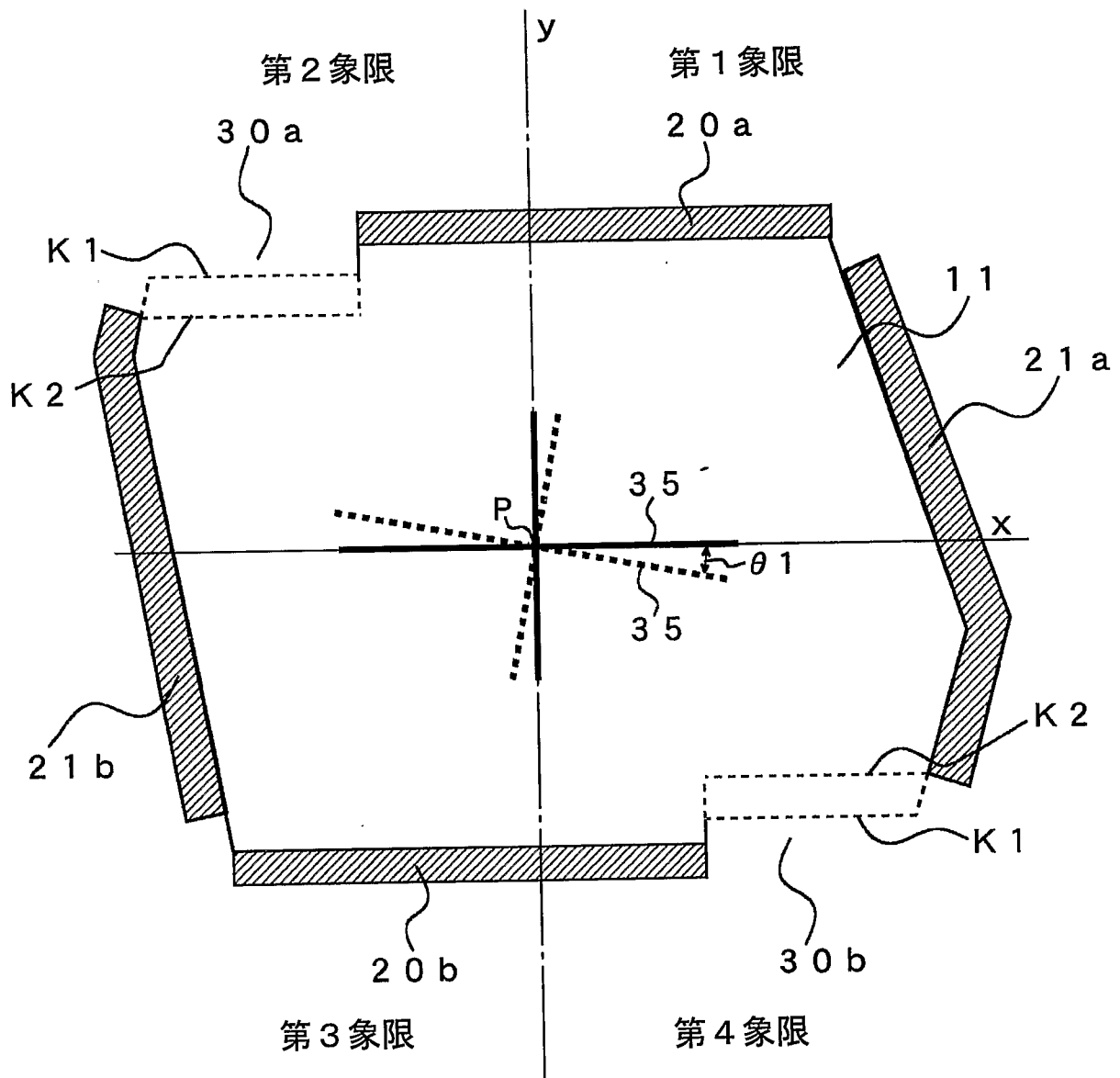


Fig.19(a)

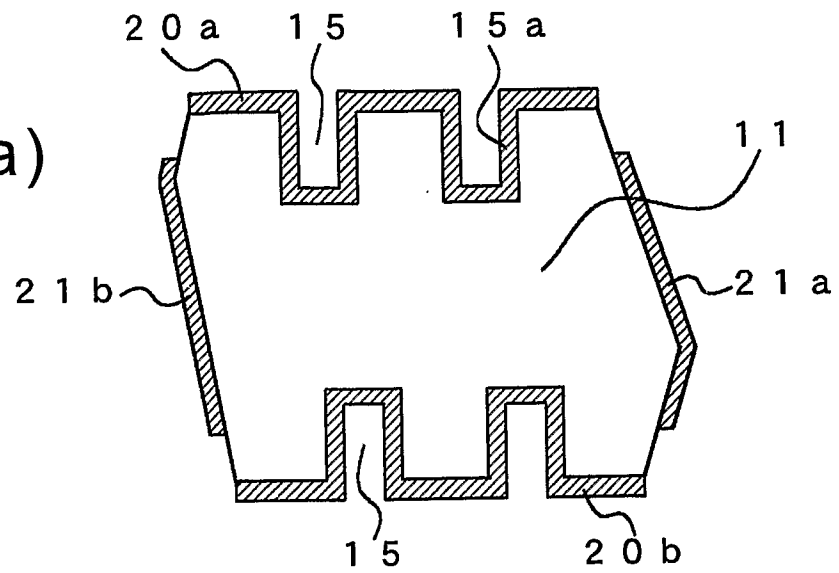


Fig.19(b)

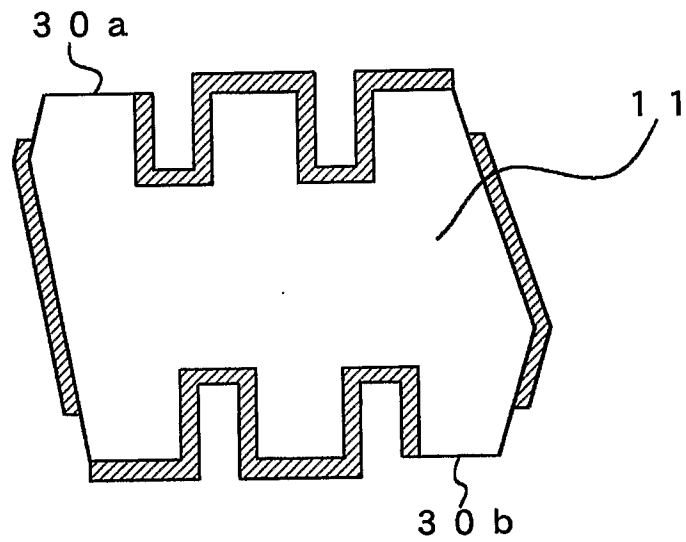


Fig.19(c)

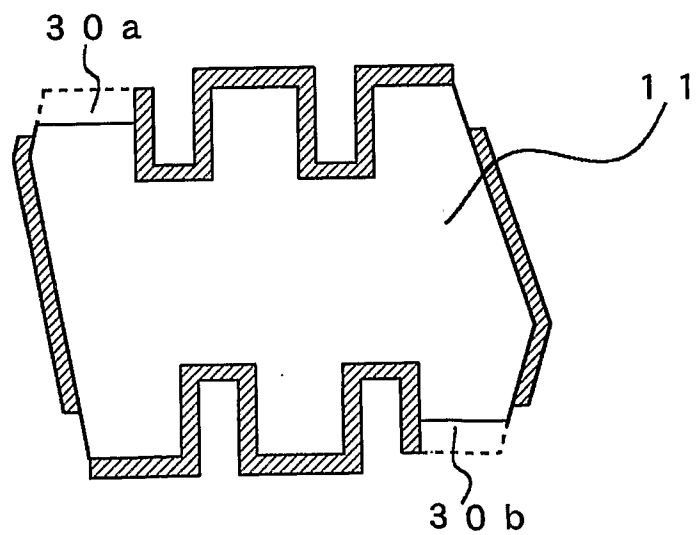


Fig.20(a)

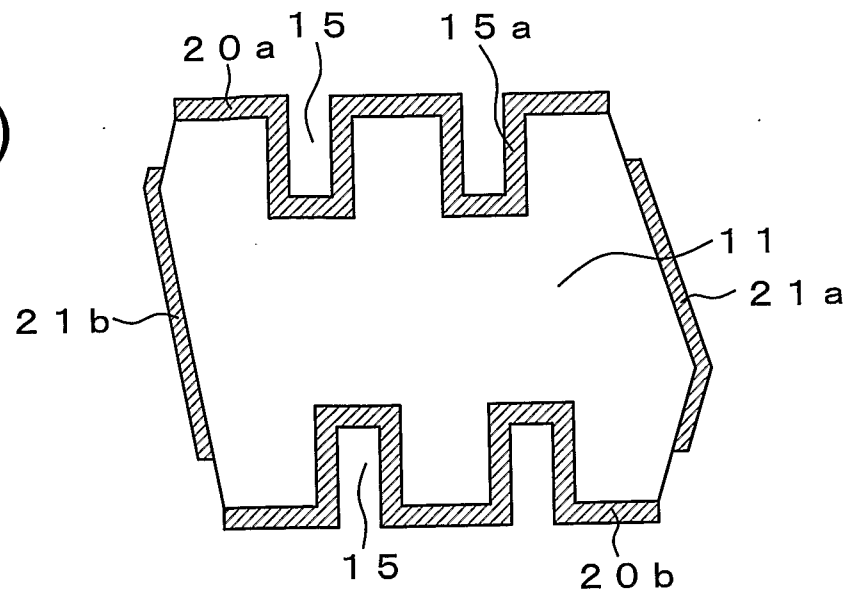


Fig.20(b)

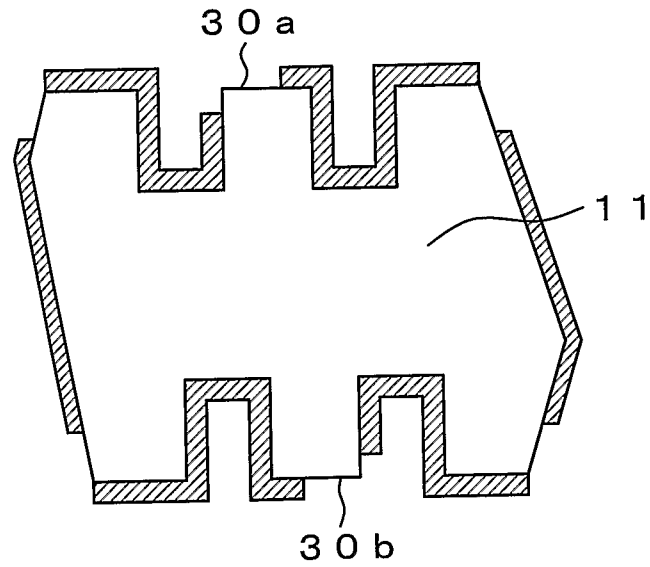


Fig.20(c)

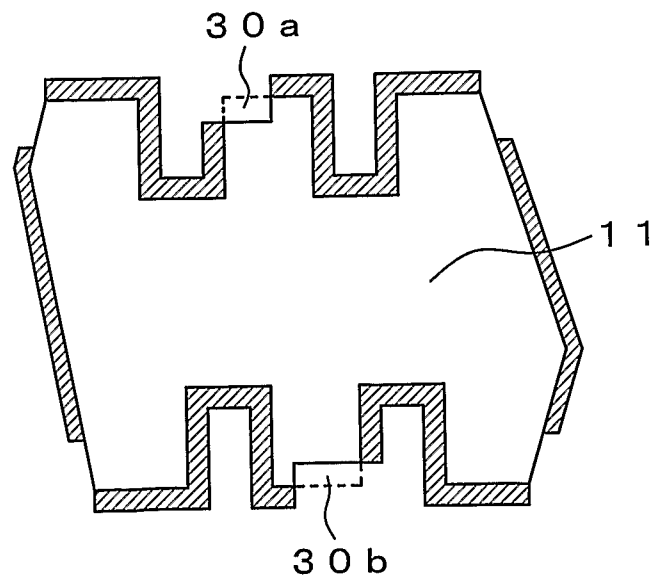


Fig.21

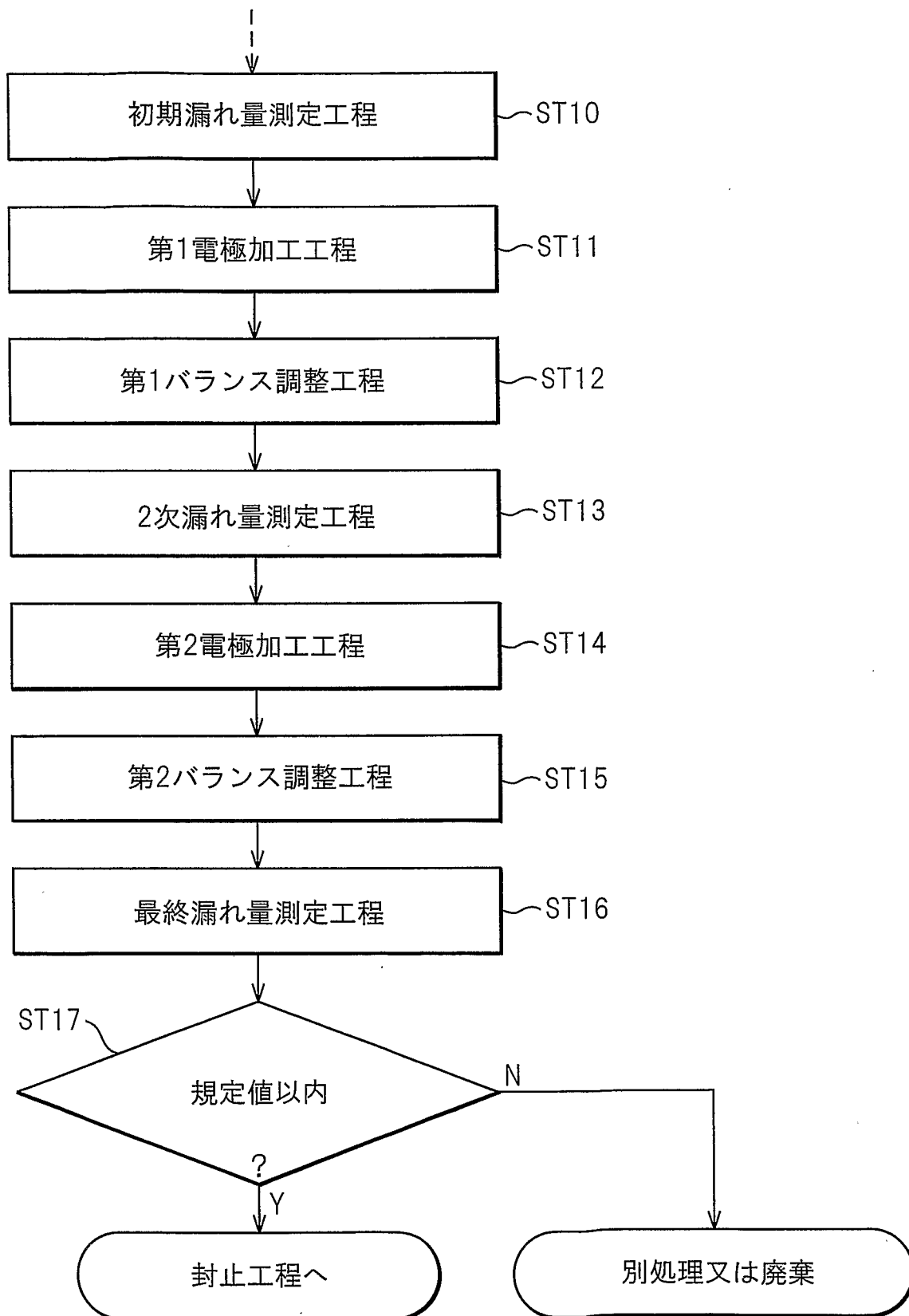


Fig.22

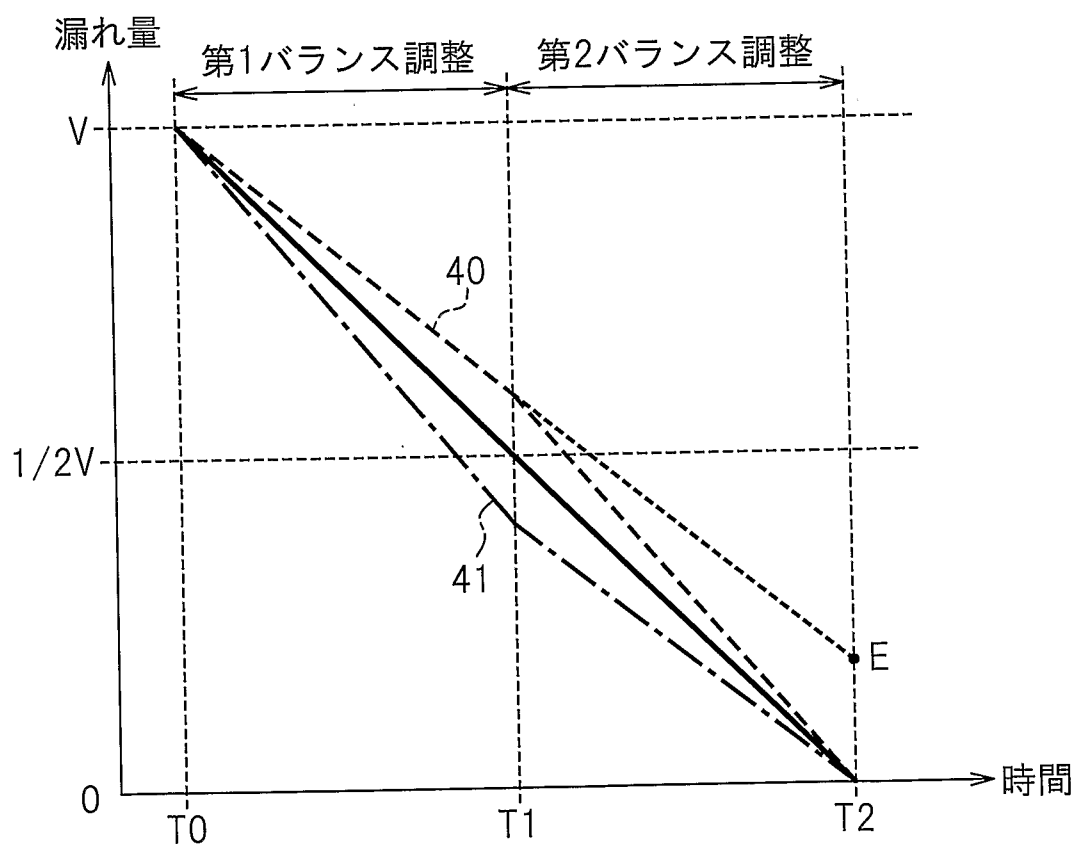


Fig.23

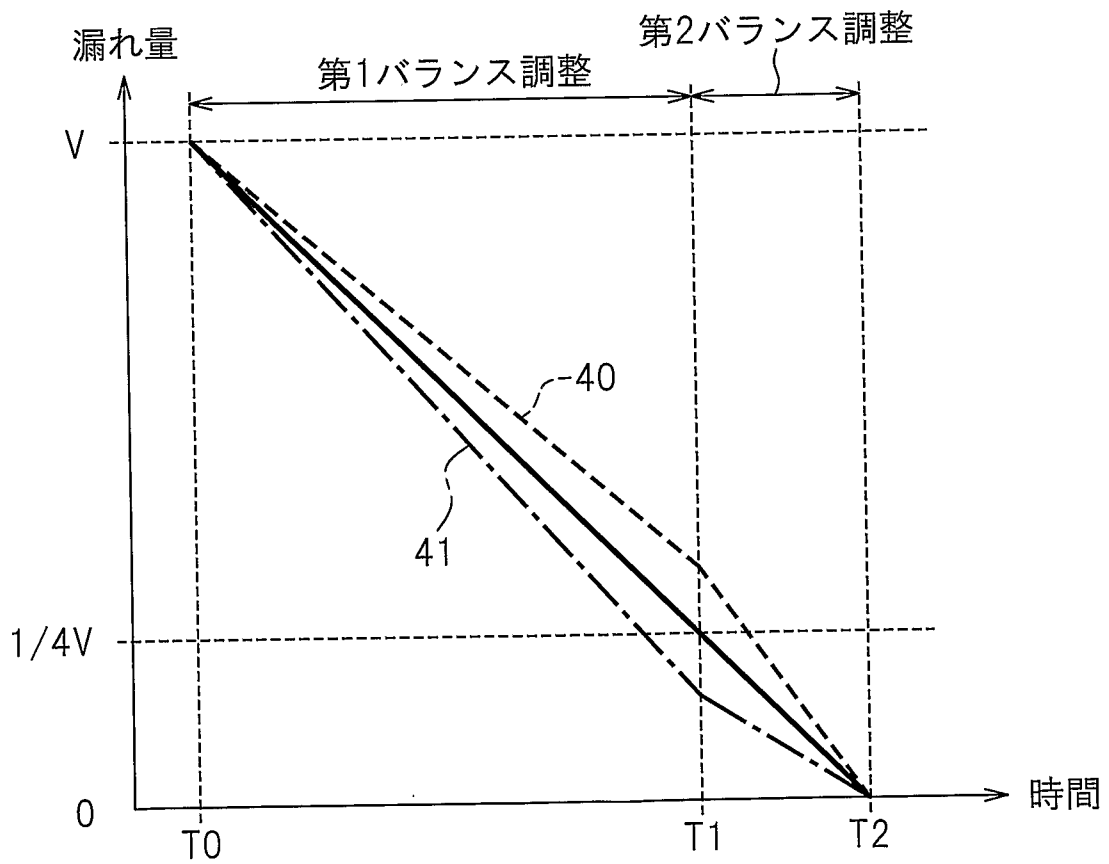


Fig. 24

素子 番号	初期 漏れ量 測定値	第1電極 加工 位置	第1電極 加工開始 位置 (根元から) (μm)	第1電極 加工終了 位置 (根元から) (μm)	2次 漏れ量 測定値	予測 漏れ量	調整 誤差	第2電極 加工 位置	第2電極 加工開始 位置 (根元から) (μm)	第2電極 加工終了 位置 (根元から) (μm)	最終 漏れ量 測定値
1	-2000	右	260	760	-600	800	1600	左	260	621	50
2	300	左	260	314	120	-60	-120	右	1112	1200	-35
3	1500	左	260	591	1200	900	1800	左	533	1200	85
4	-50	右	260	269	0	50	100	左	1126	1200	5
5	-100	右	260	278	-75	-50	-100	右	1126	1200	-80
6	800	左	260	415	600	400	800	左	756	1200	-15

Fig.25

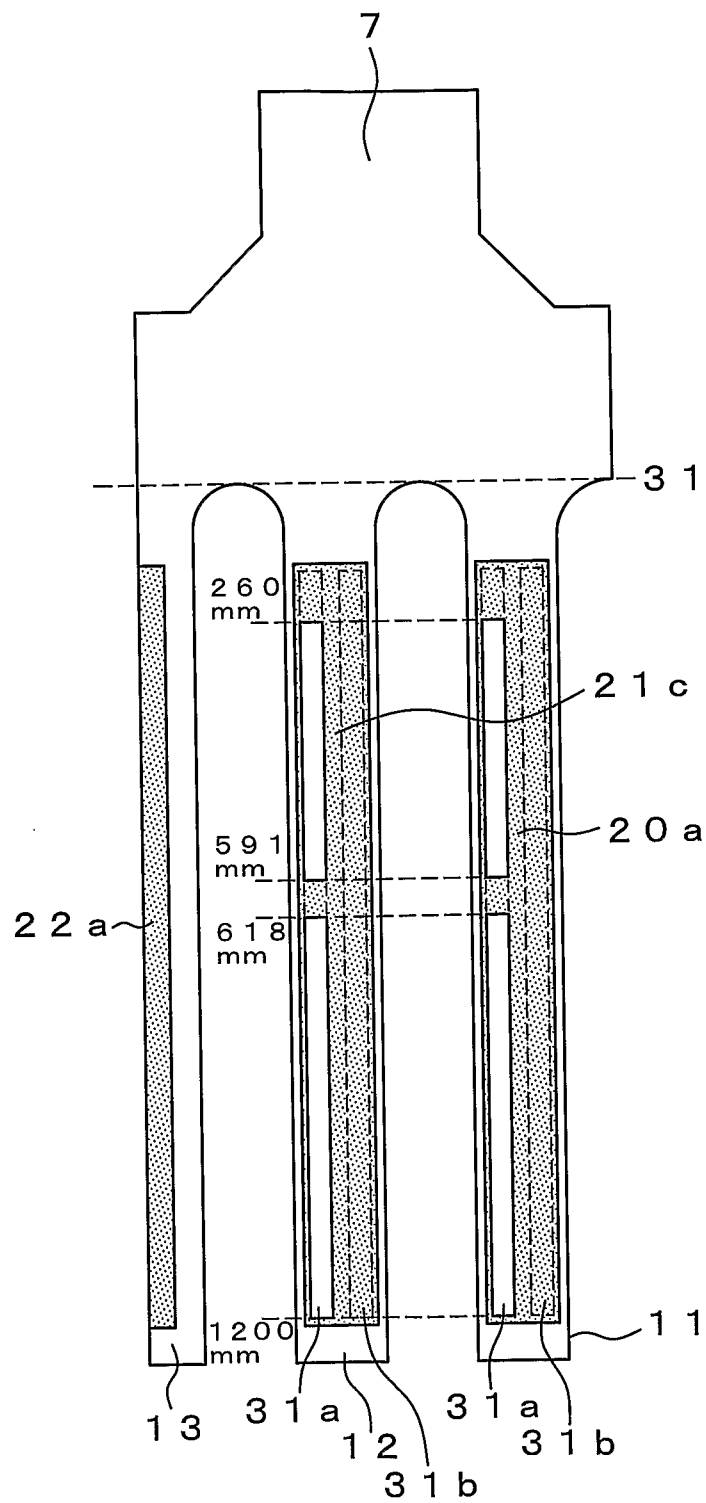


Fig.26

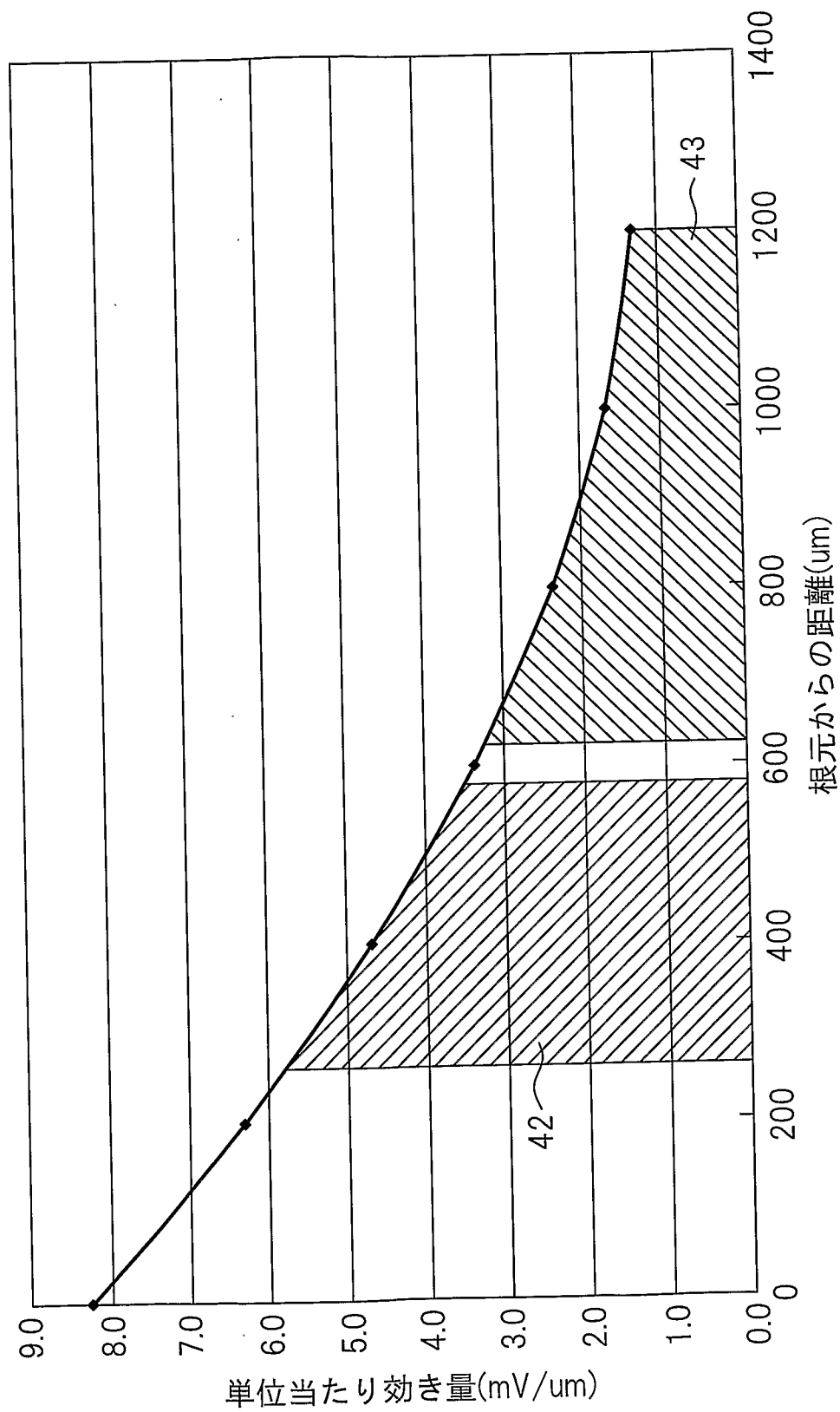


Fig.27

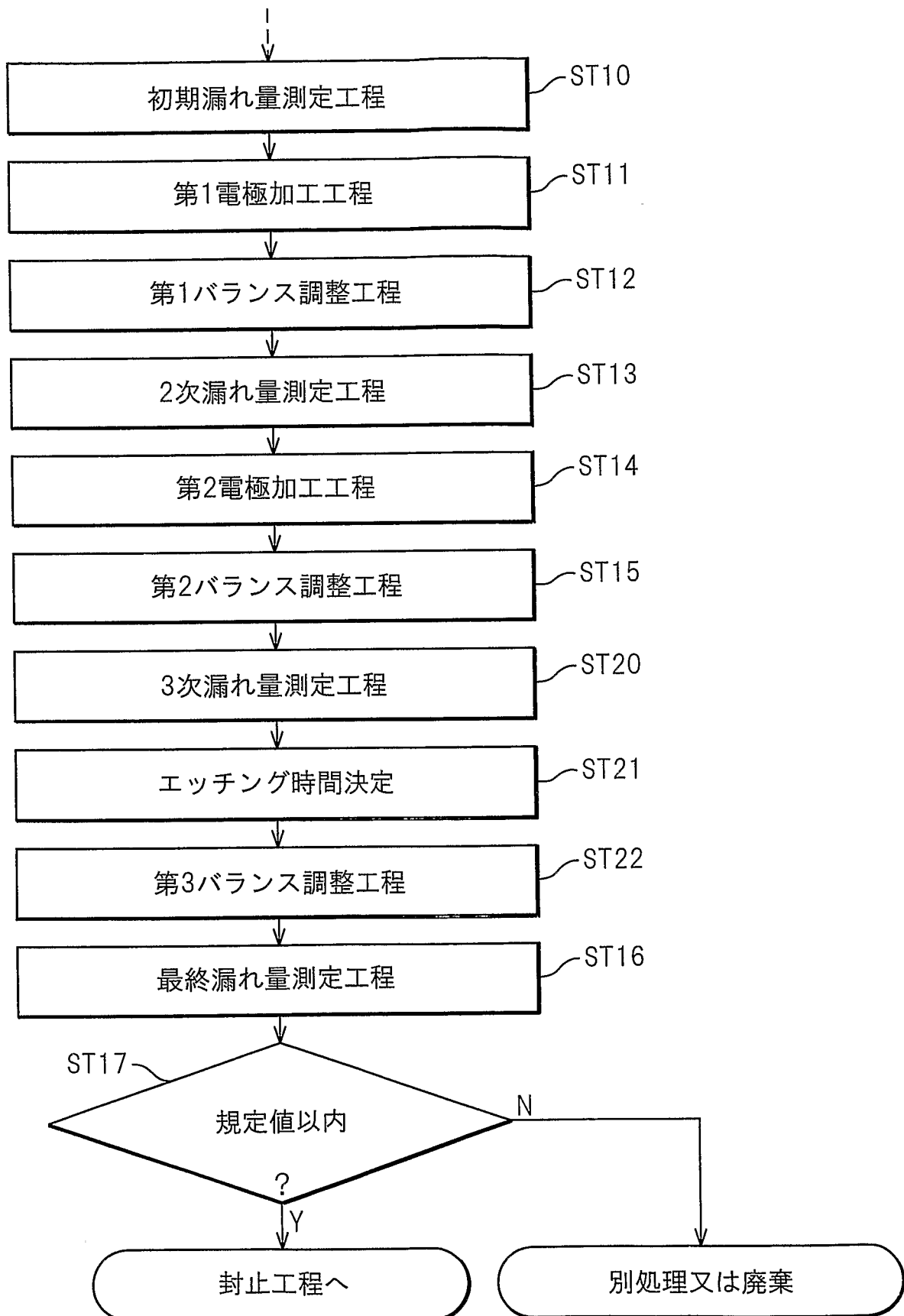


Fig.28

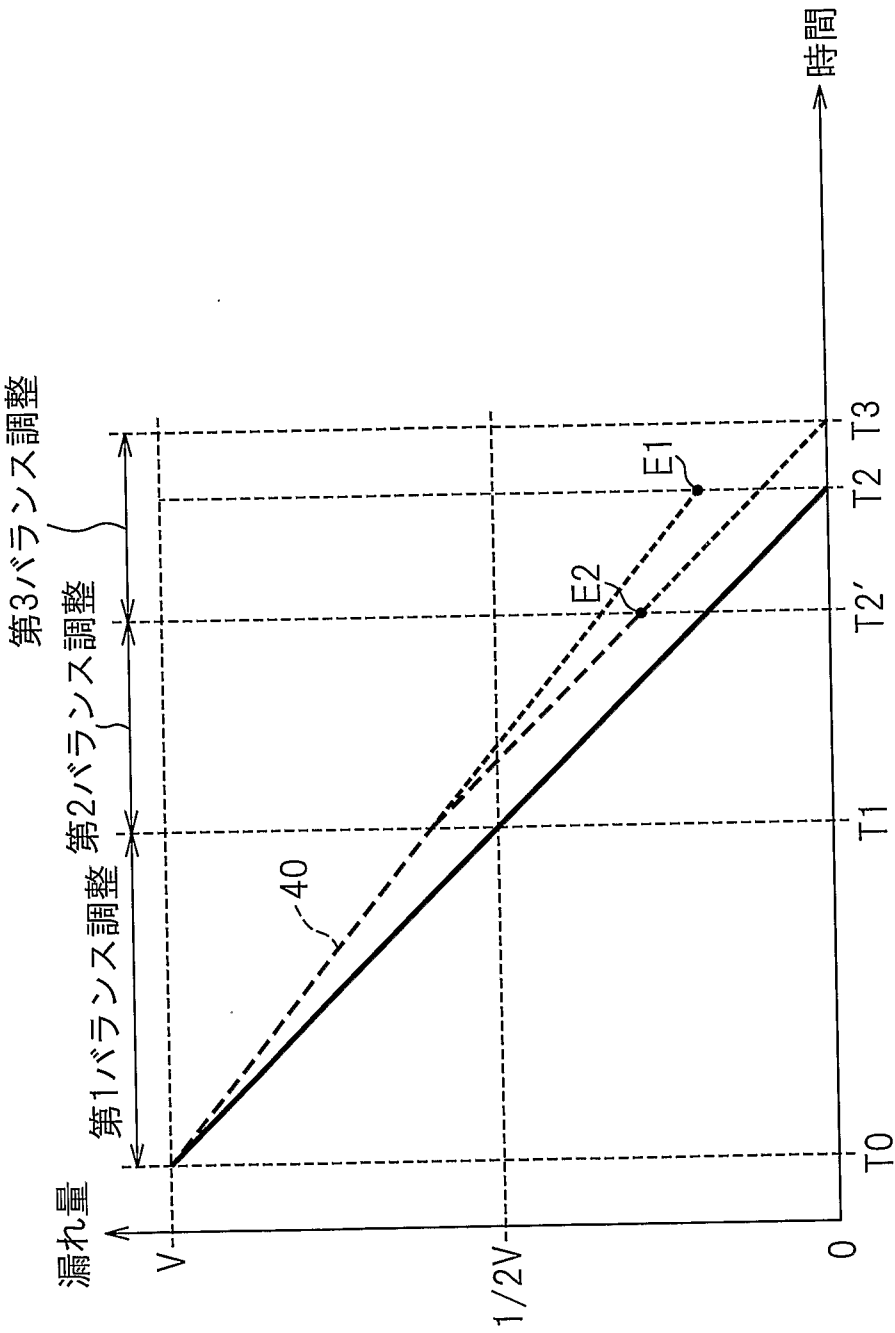


Fig.29

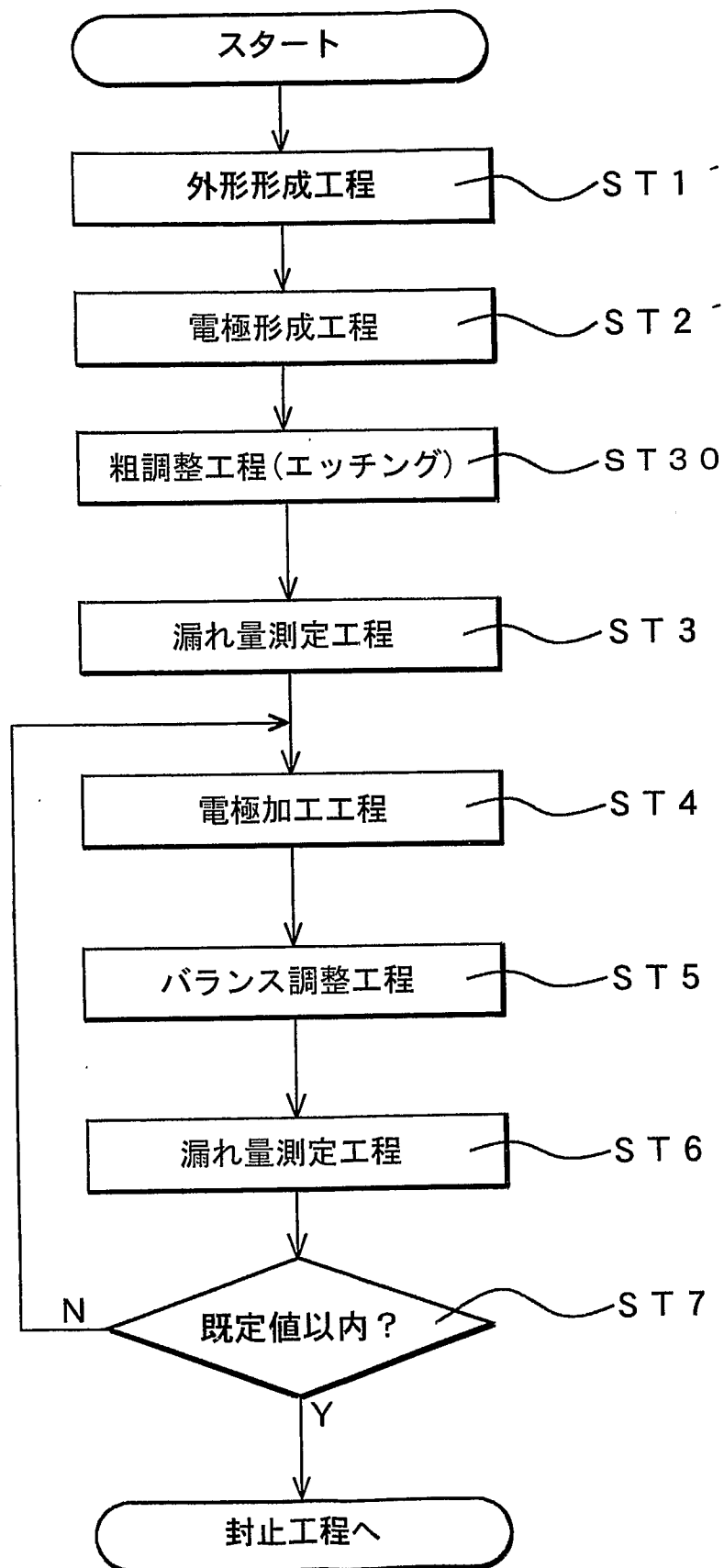


Fig.30

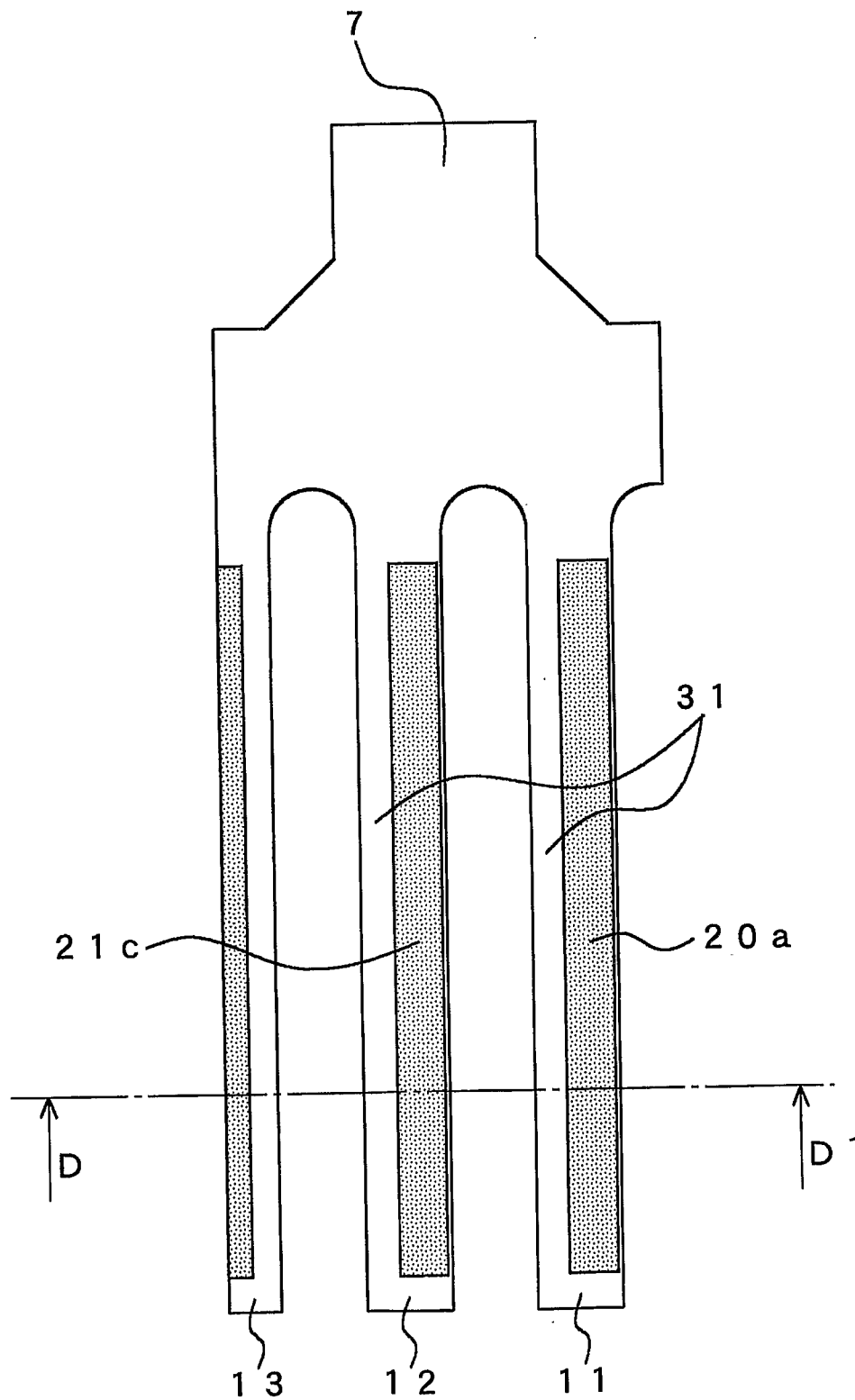


Fig.31

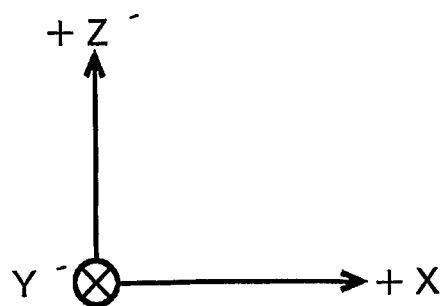
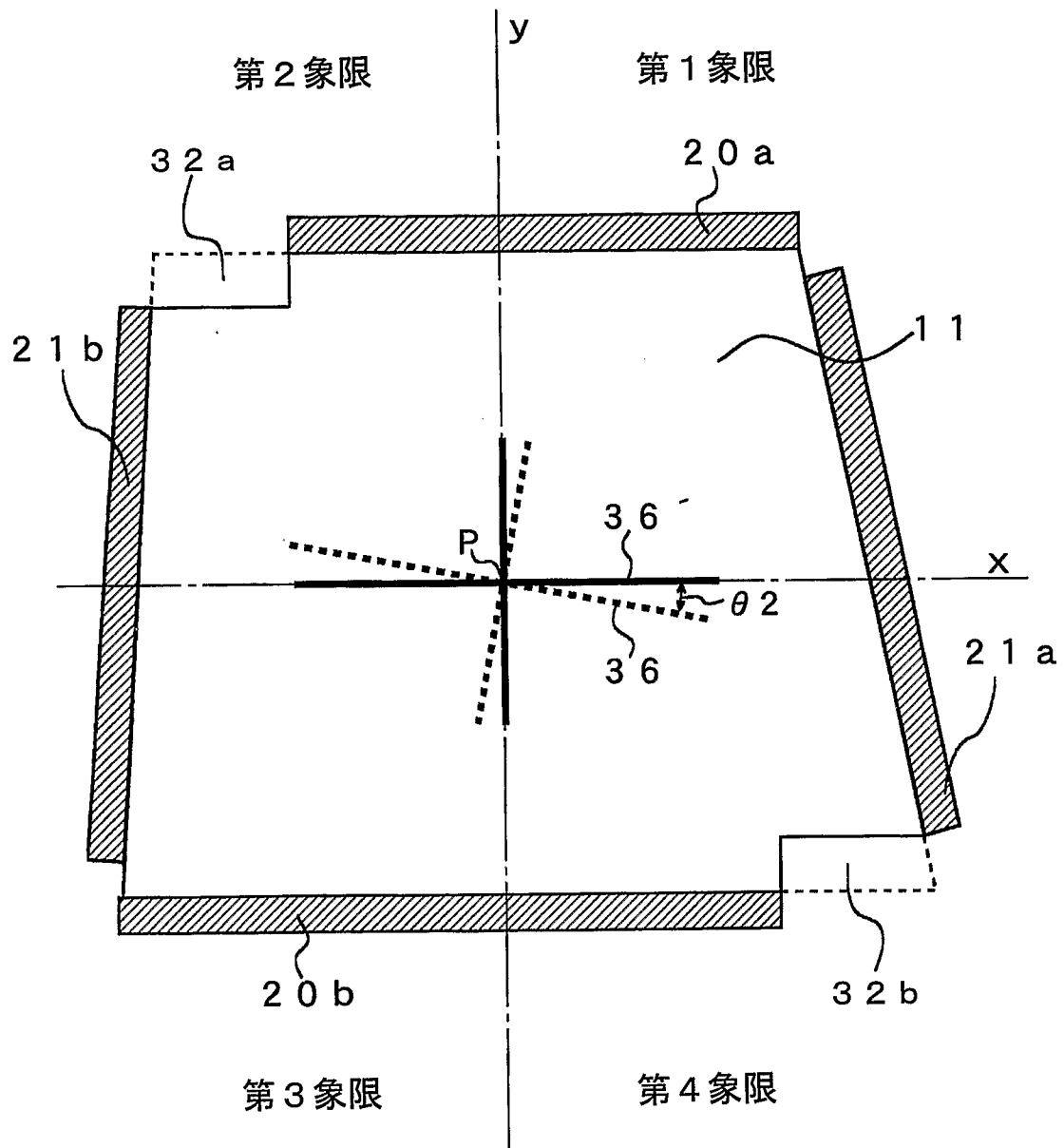


Fig.32

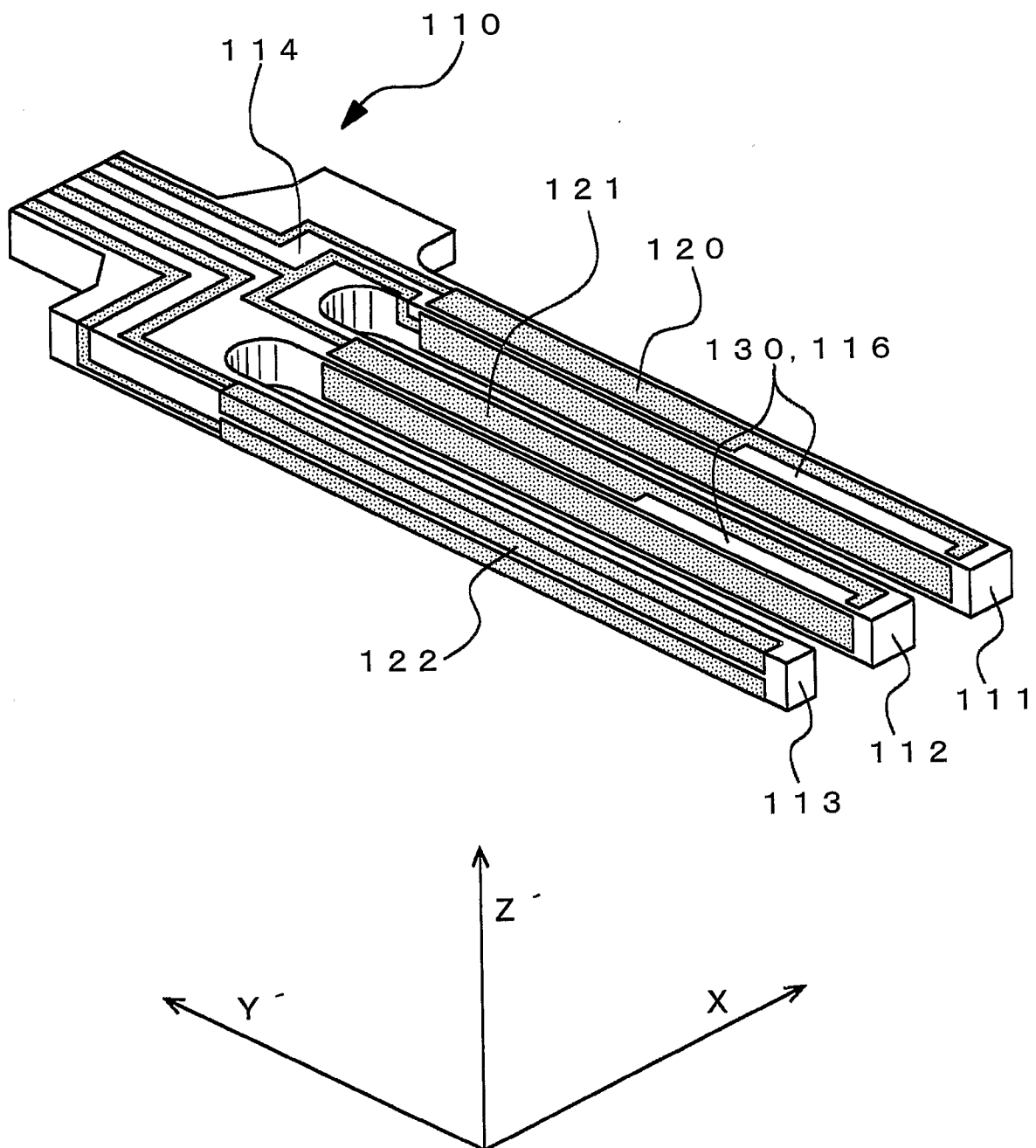


Fig.33

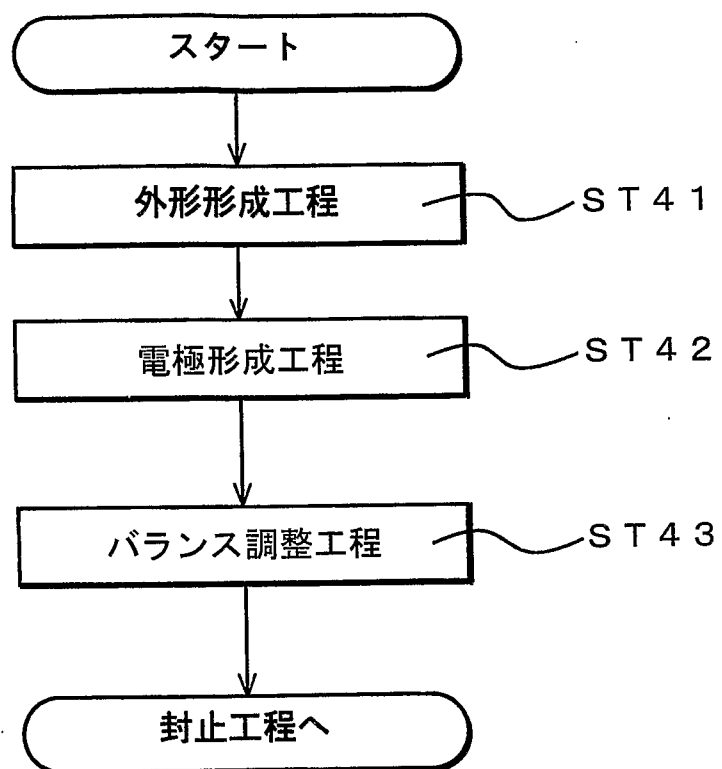


Fig.34(a)

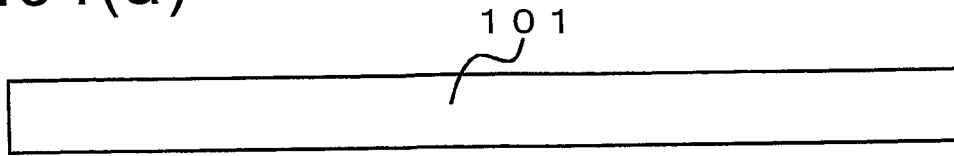


Fig.34(b)

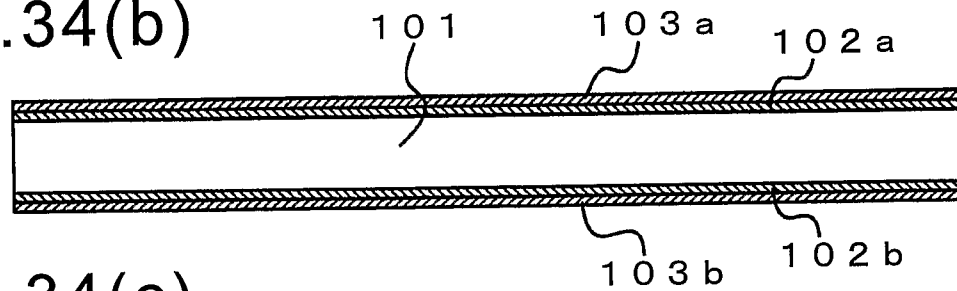


Fig.34(c)

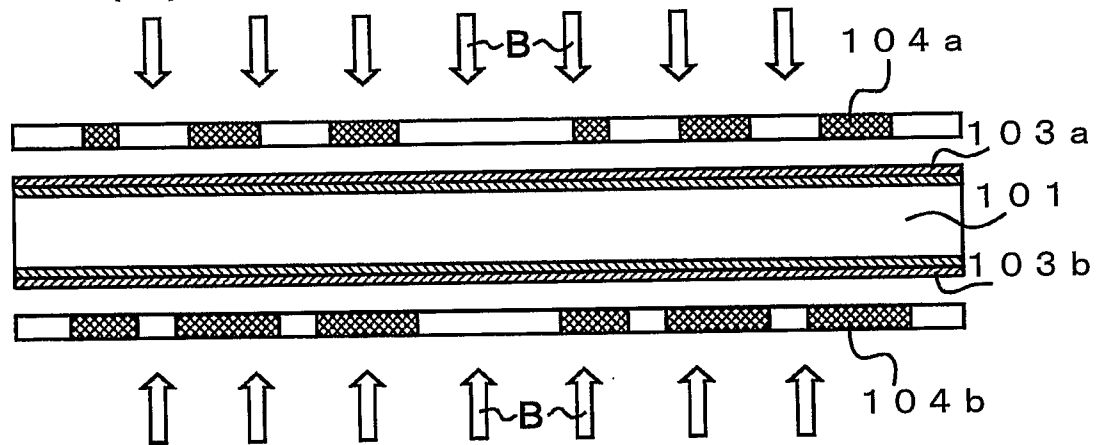


Fig.34(d)

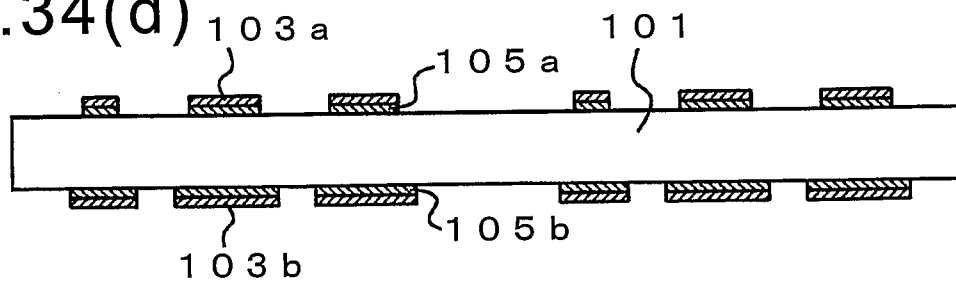


Fig.34(e)

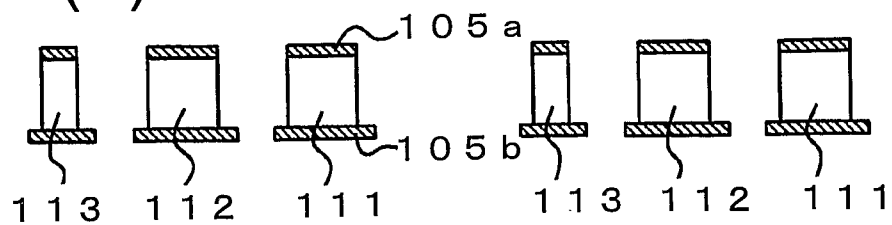


Fig.35(a)

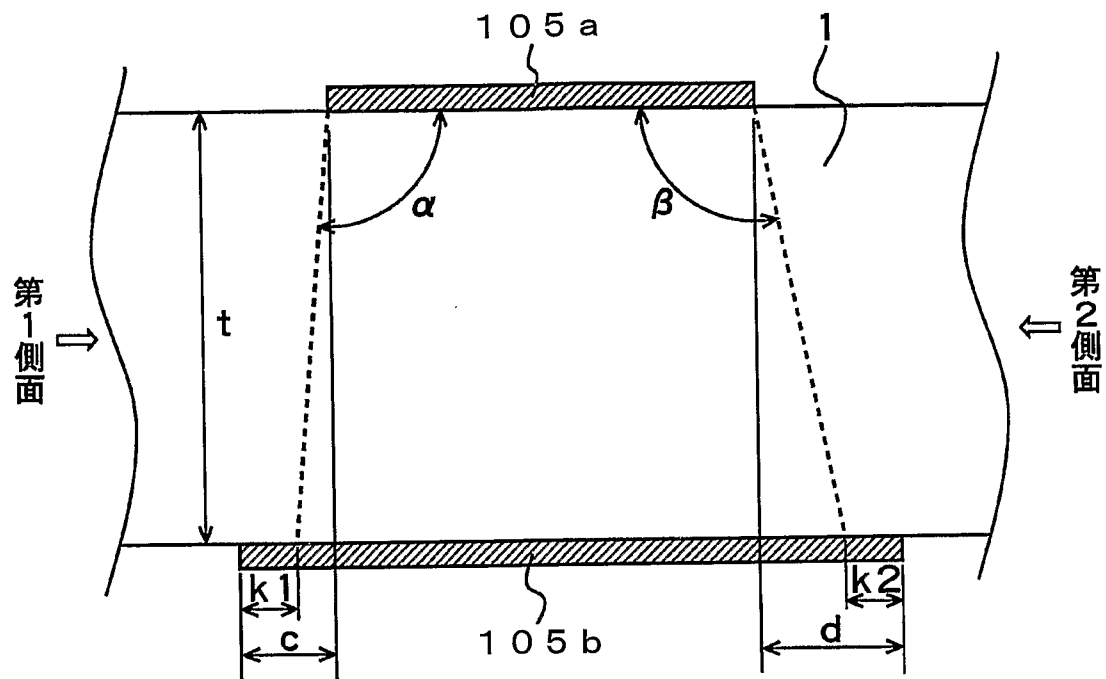


Fig.35(b)

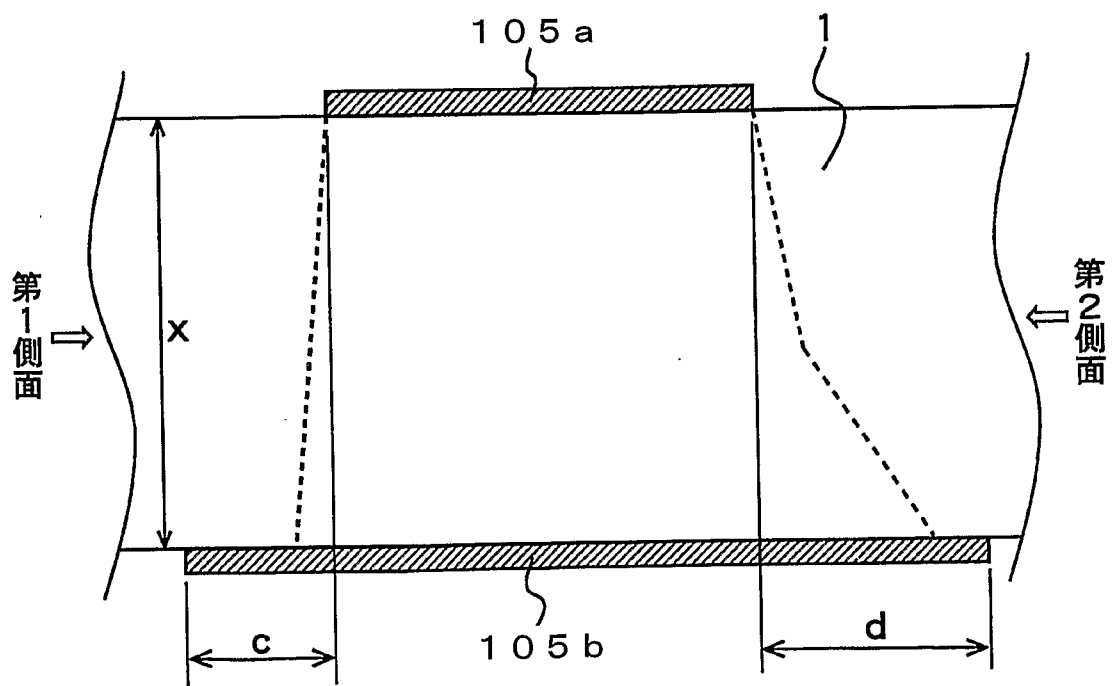


Fig.36

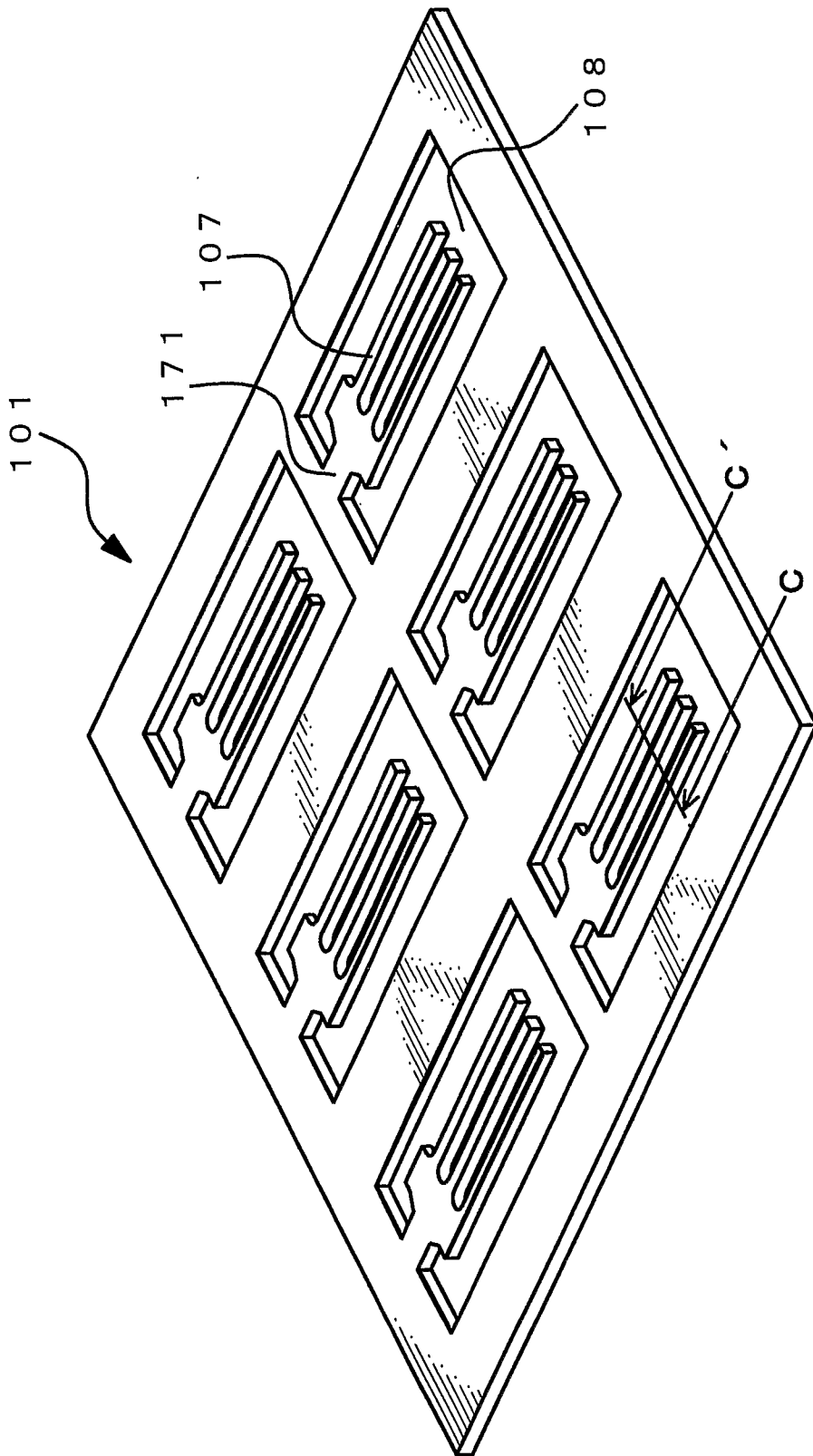


Fig.37(a)

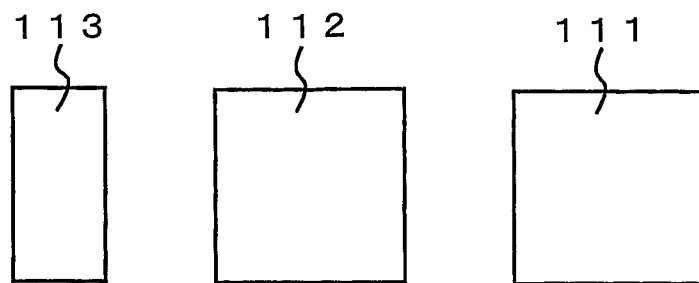


Fig.37(b)

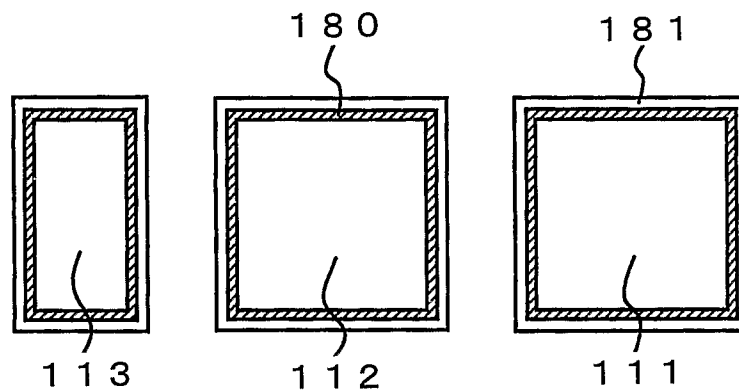


Fig.37(c)

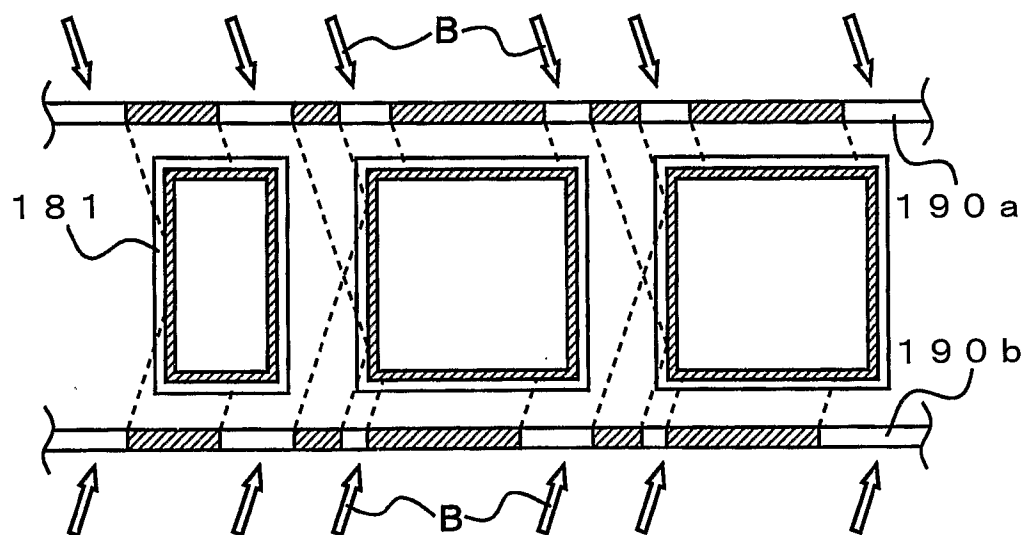


Fig.37(d)

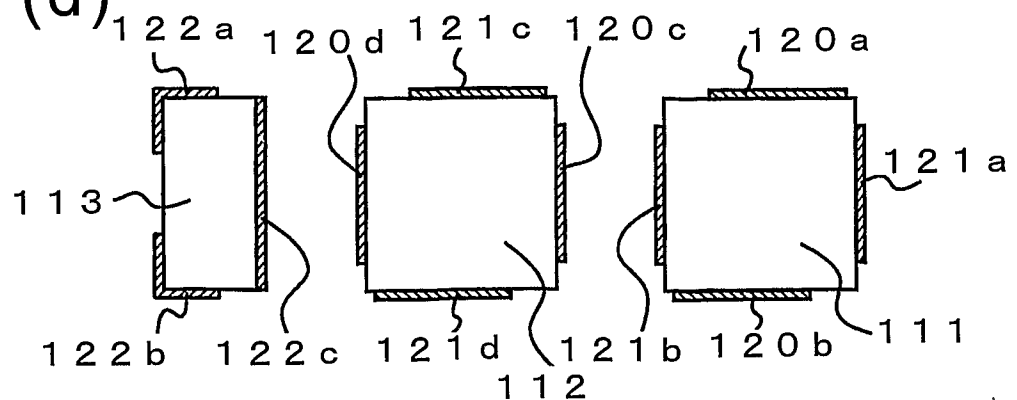


Fig.38

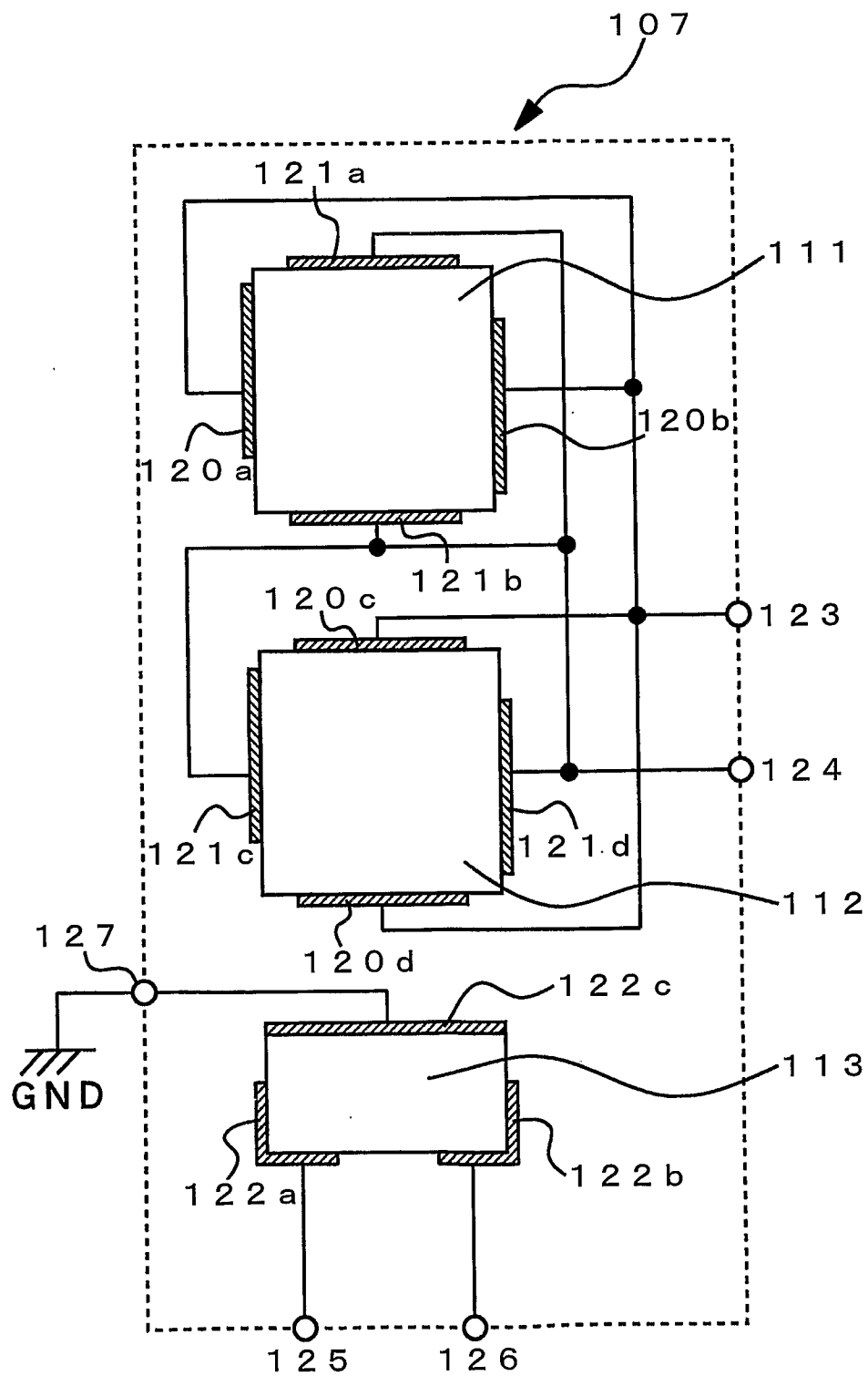


Fig.39

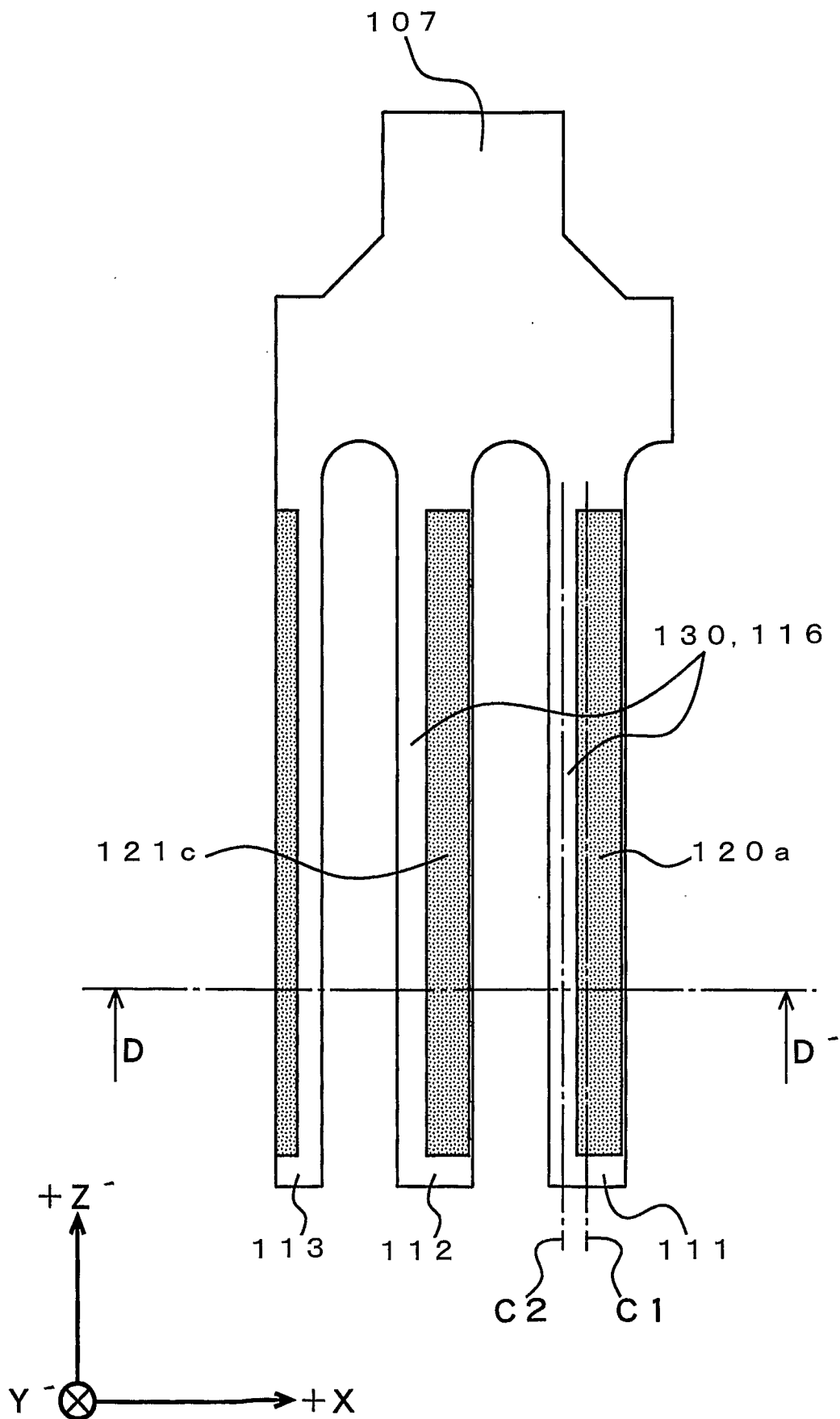


Fig.40(a)

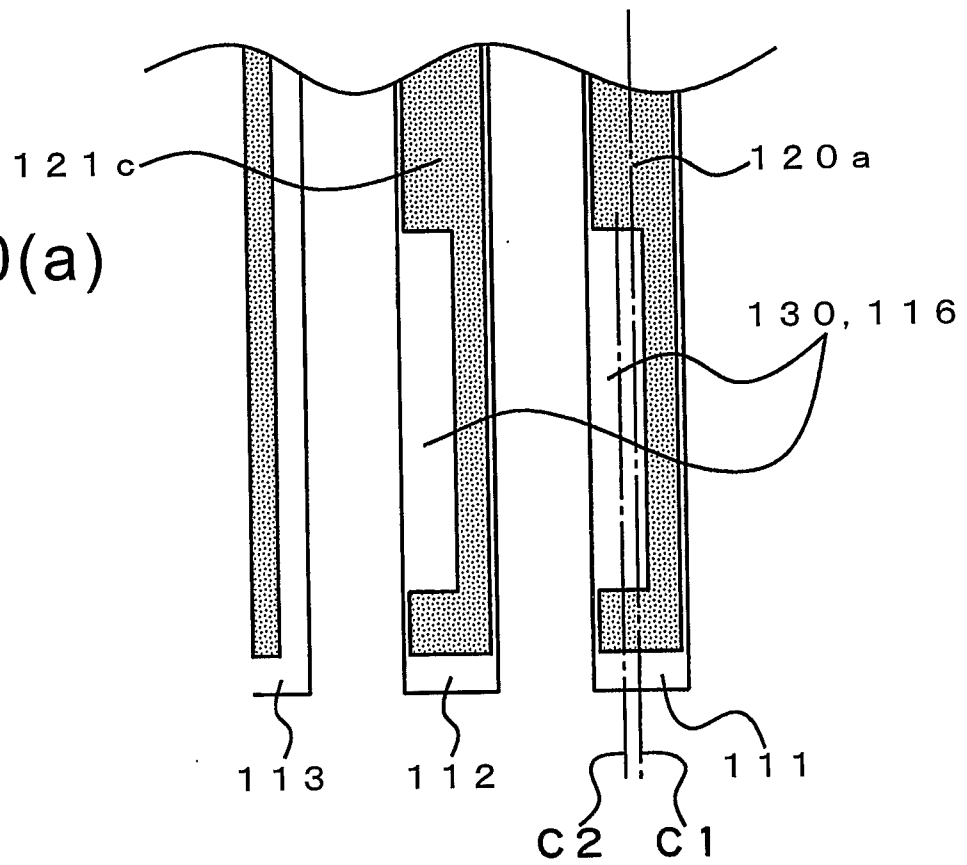


Fig.40(b)

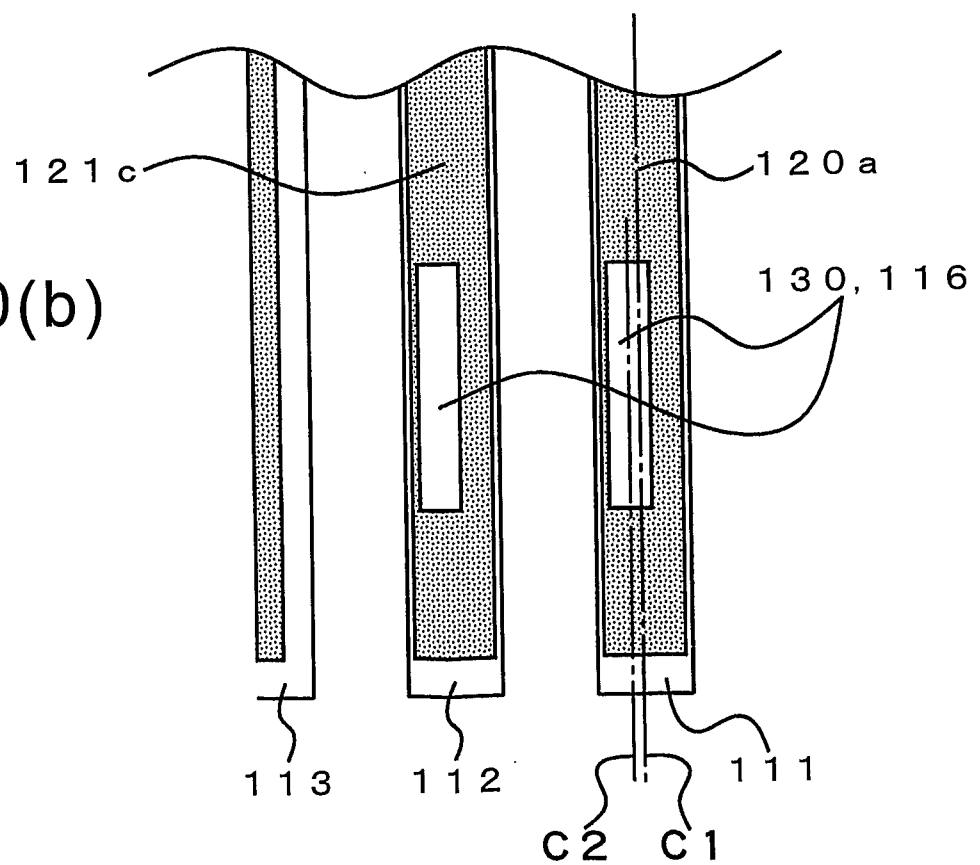


Fig.41

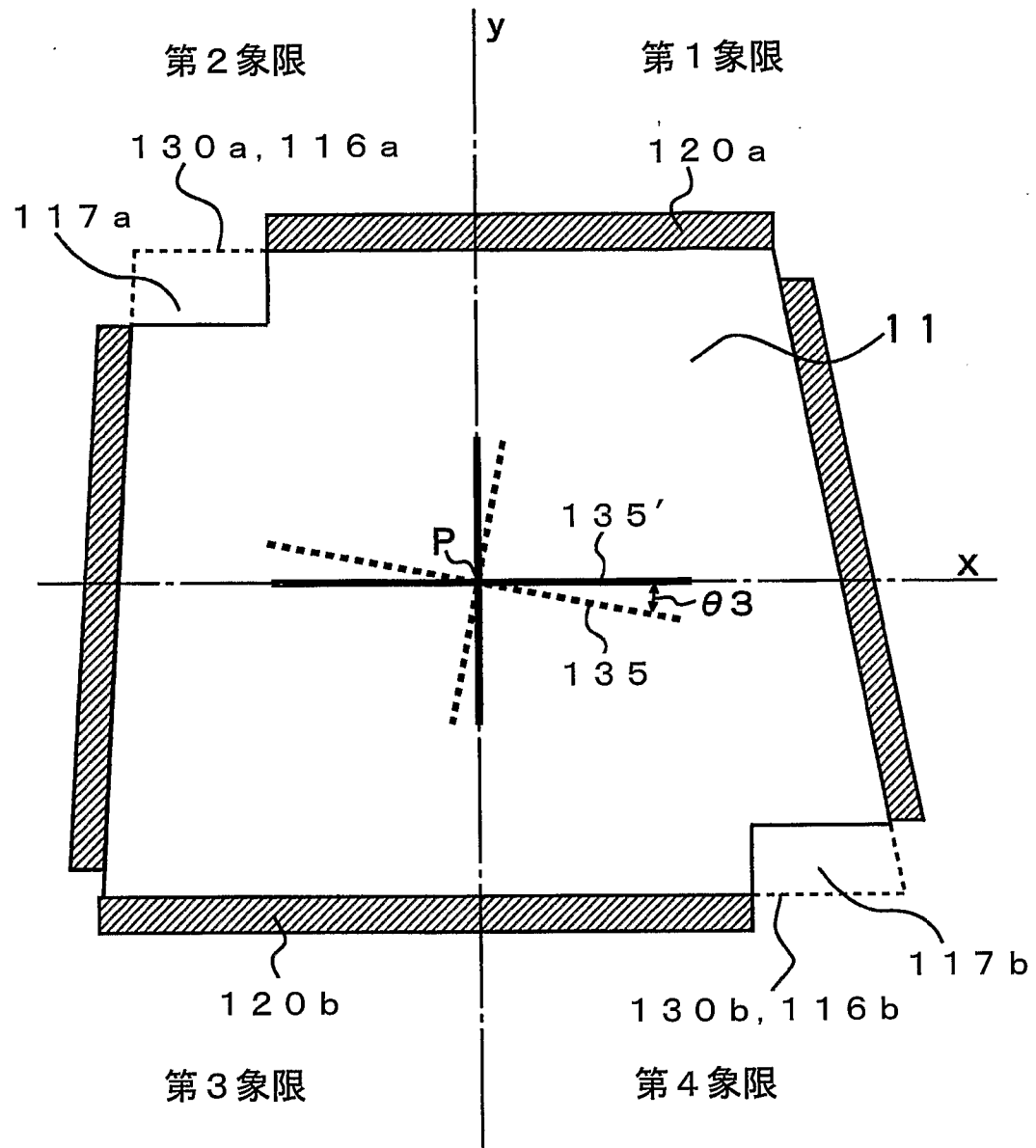


Fig.42

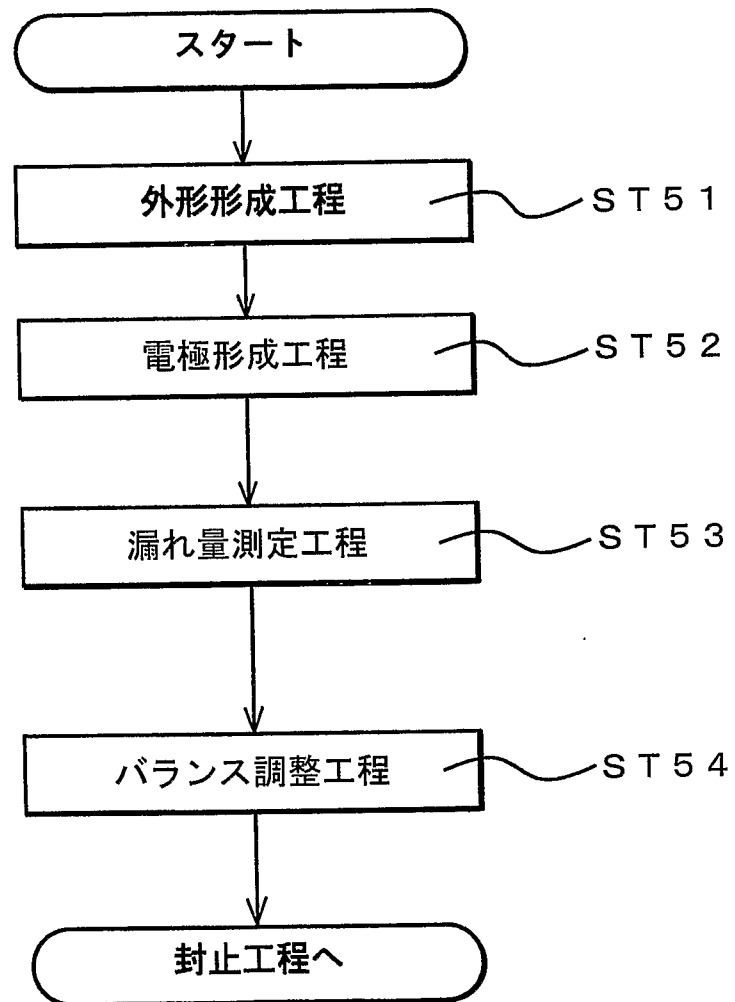


Fig.43

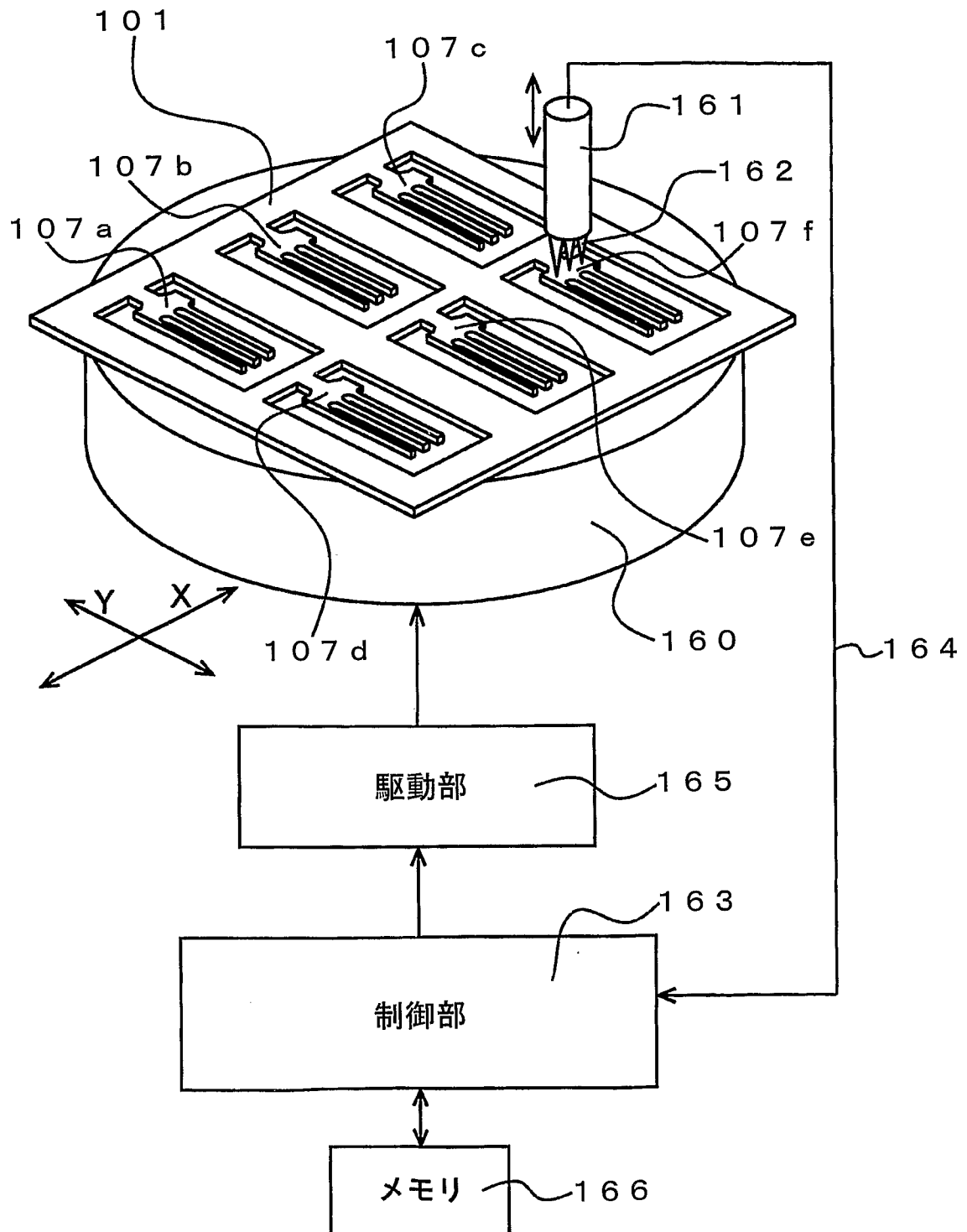


Fig.44

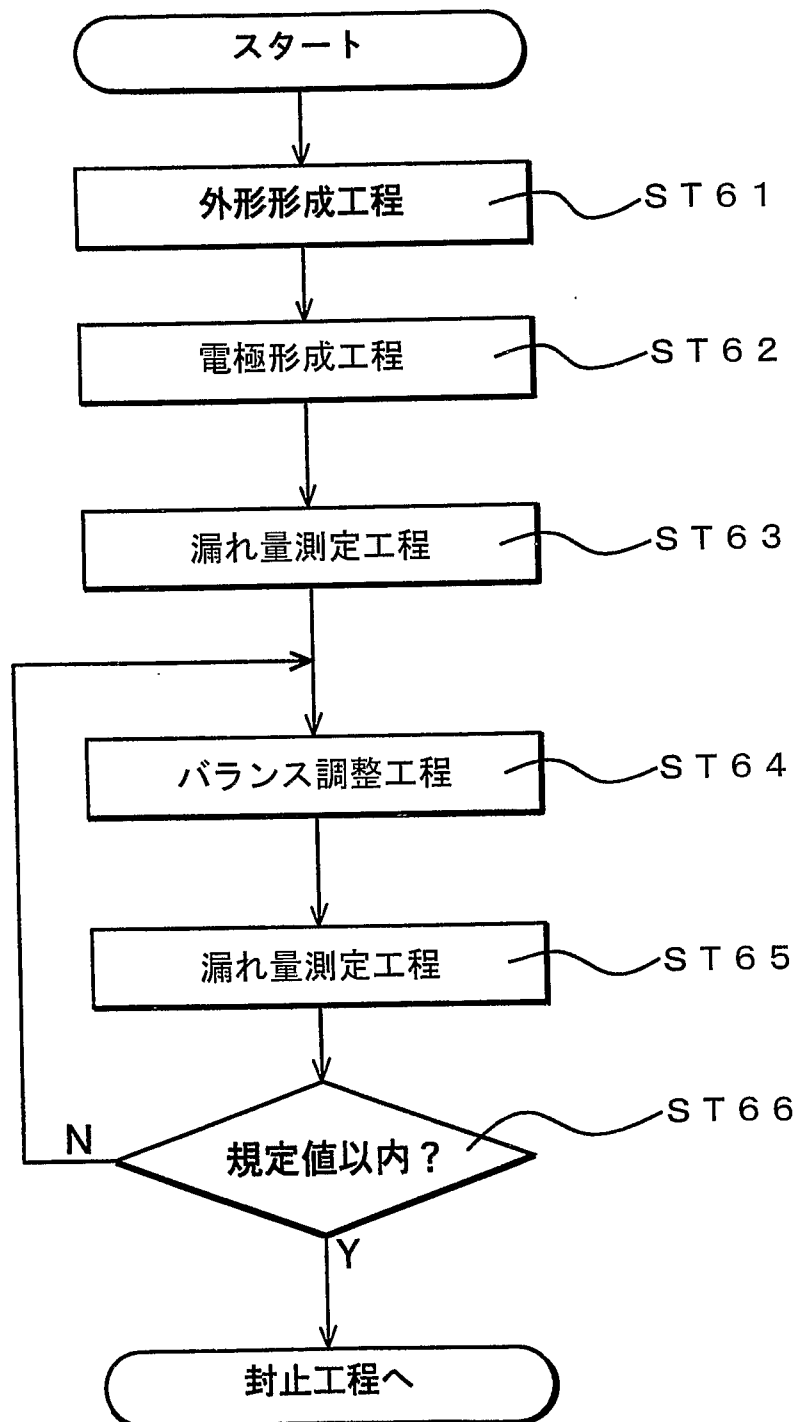


Fig.45

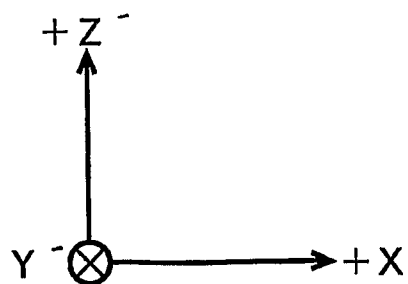
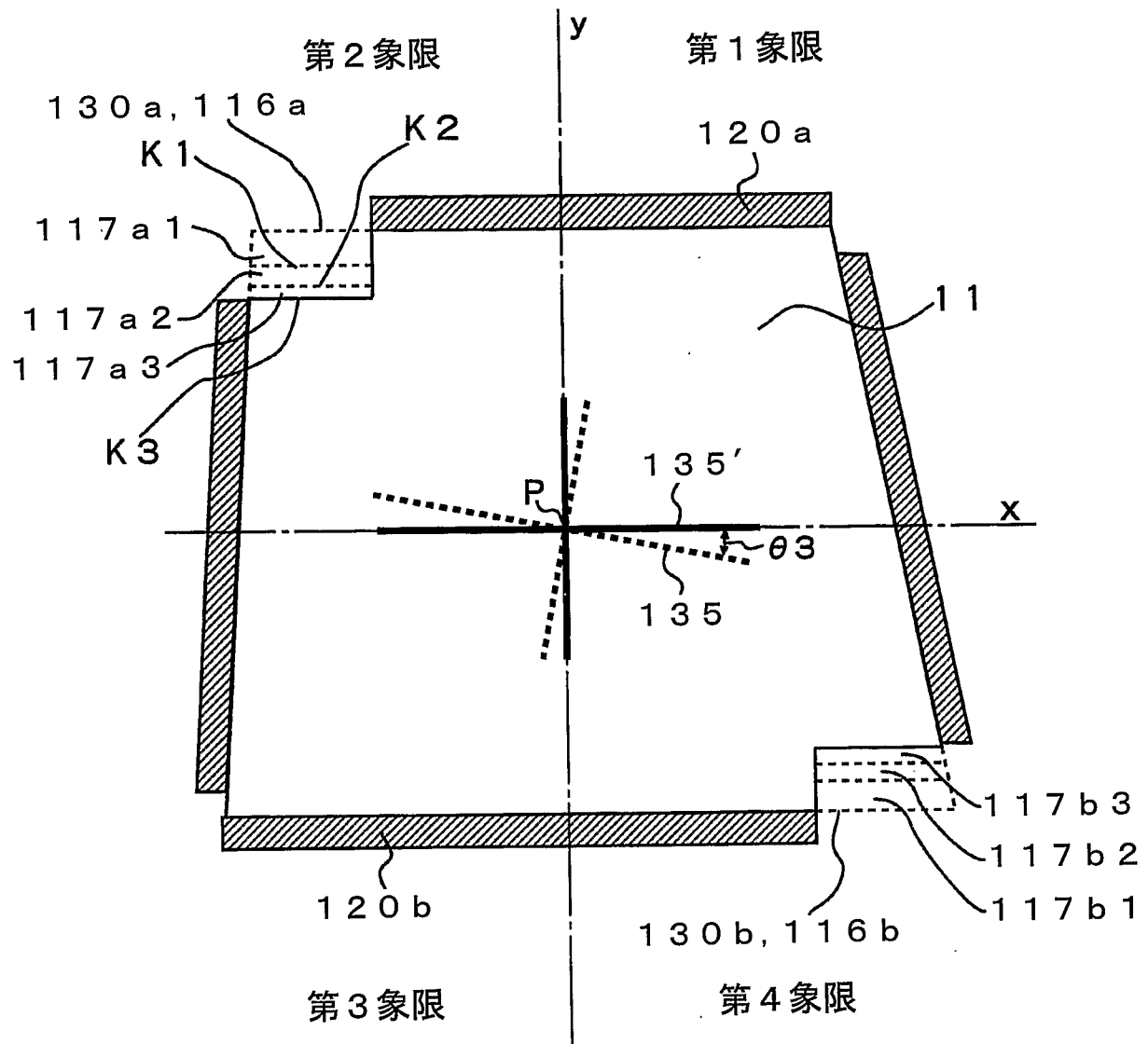


Fig.46(a)

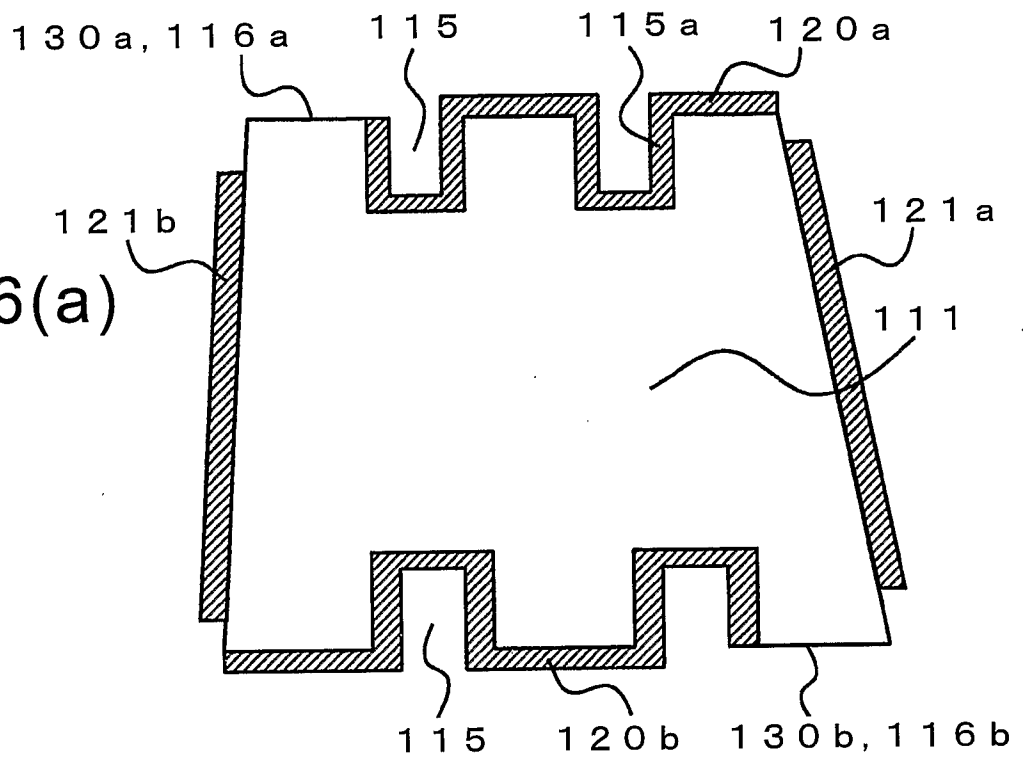


Fig.46(b)

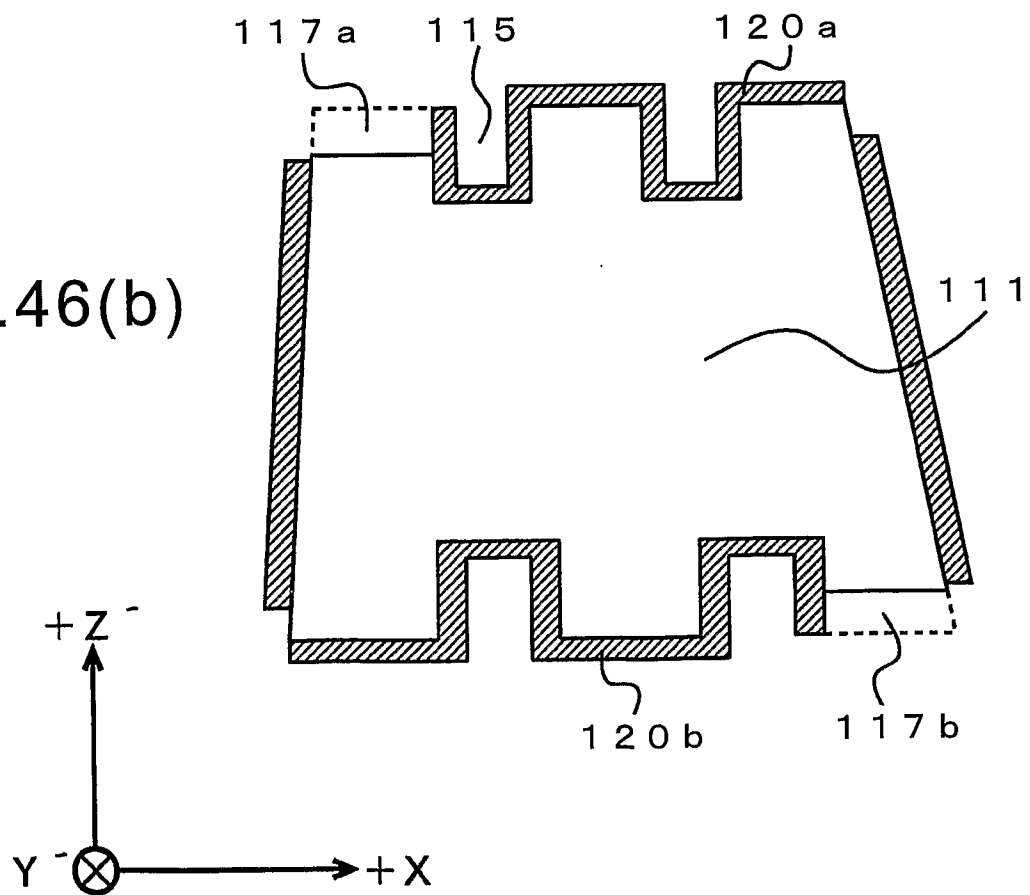


Fig.47(a)

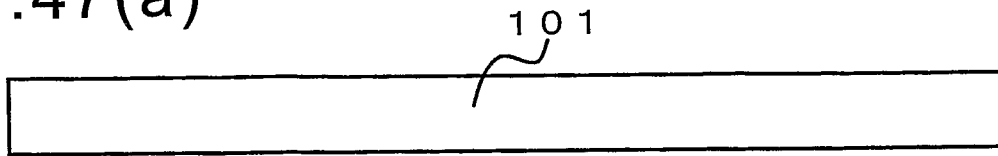


Fig.47(b)

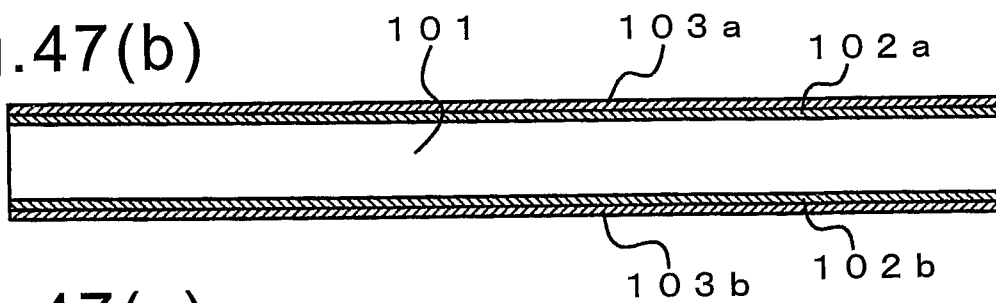


Fig.47(c)

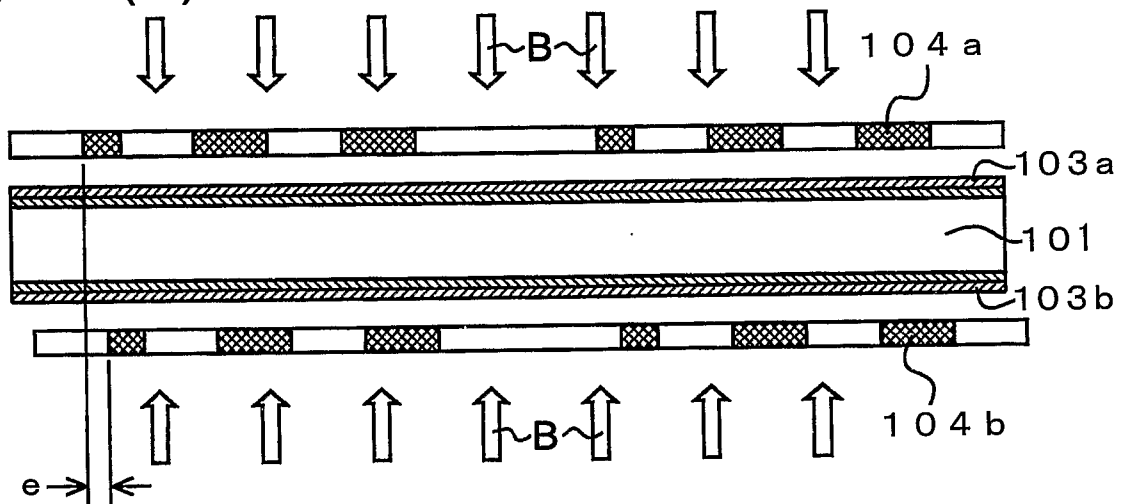


Fig.47(d)

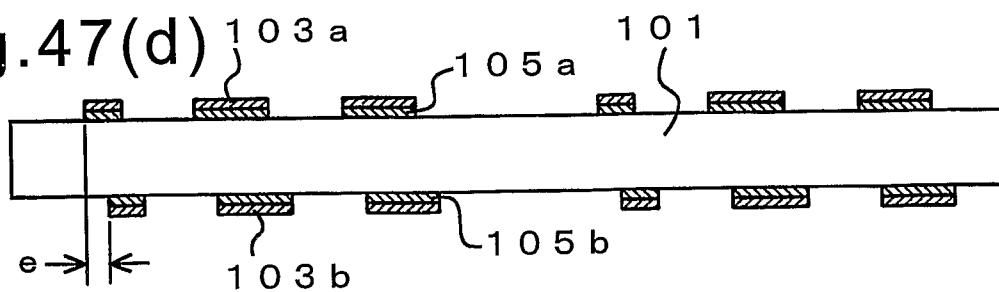


Fig.47(e)

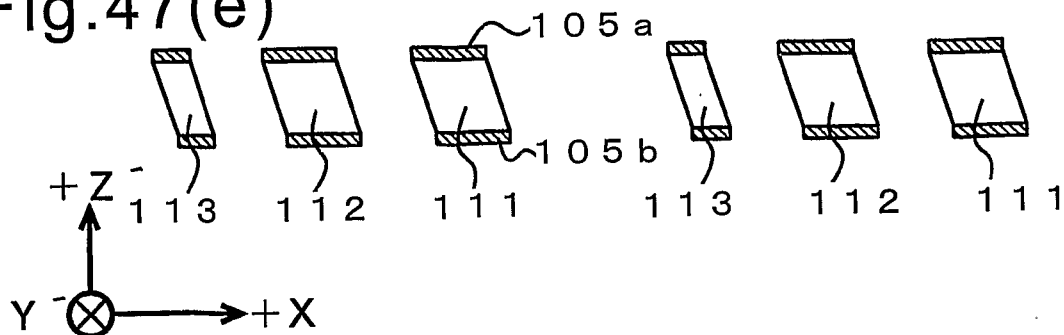


Fig.48

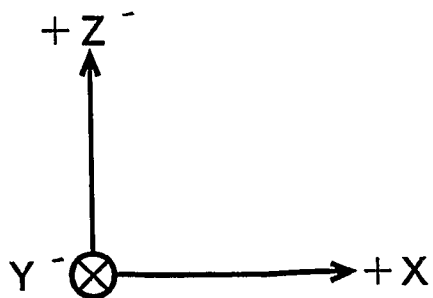
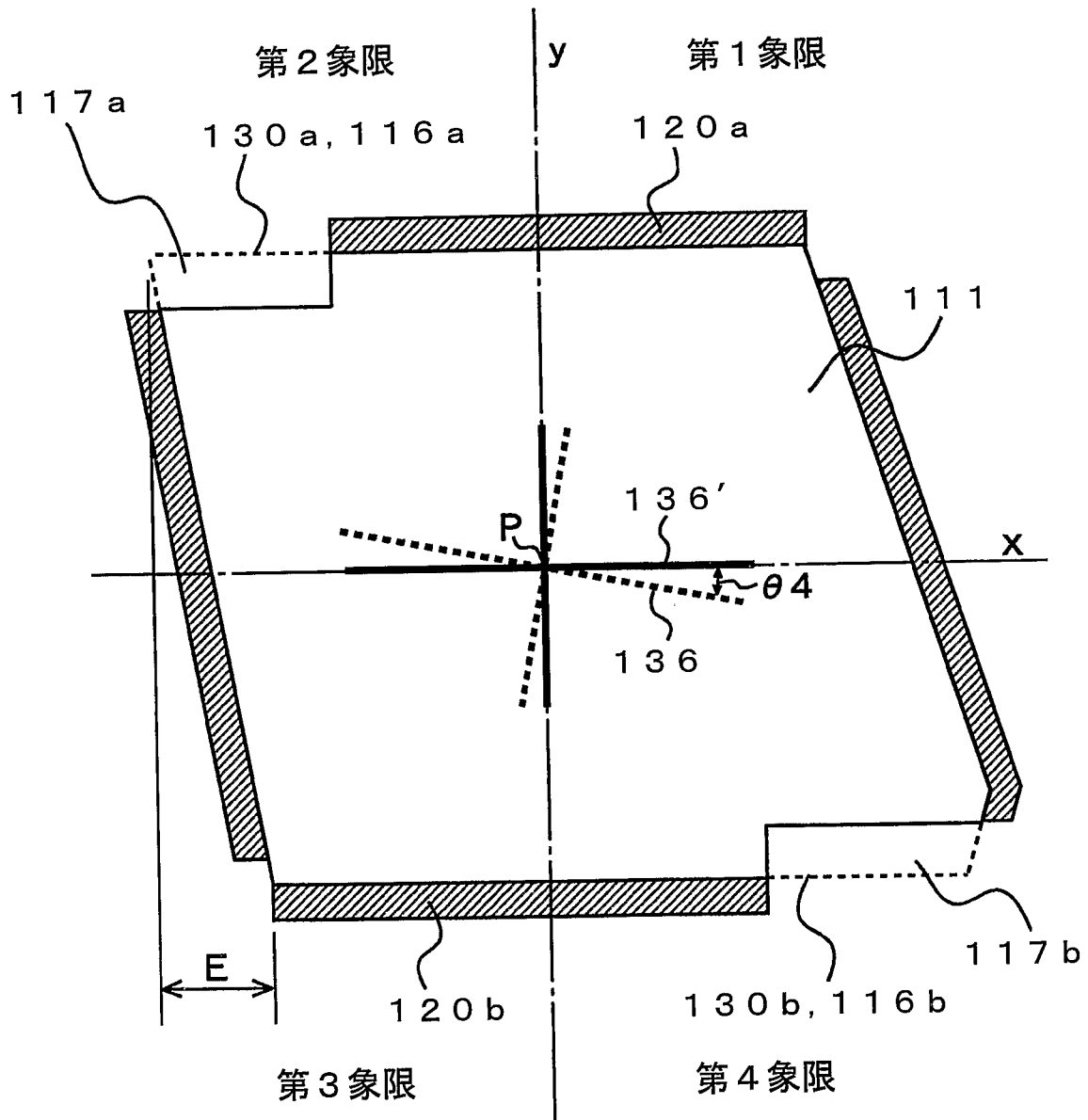
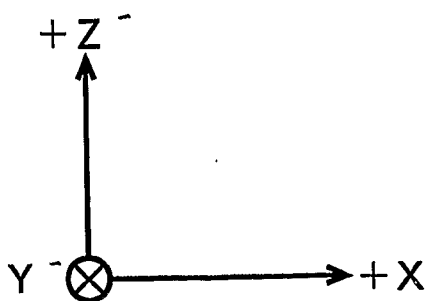
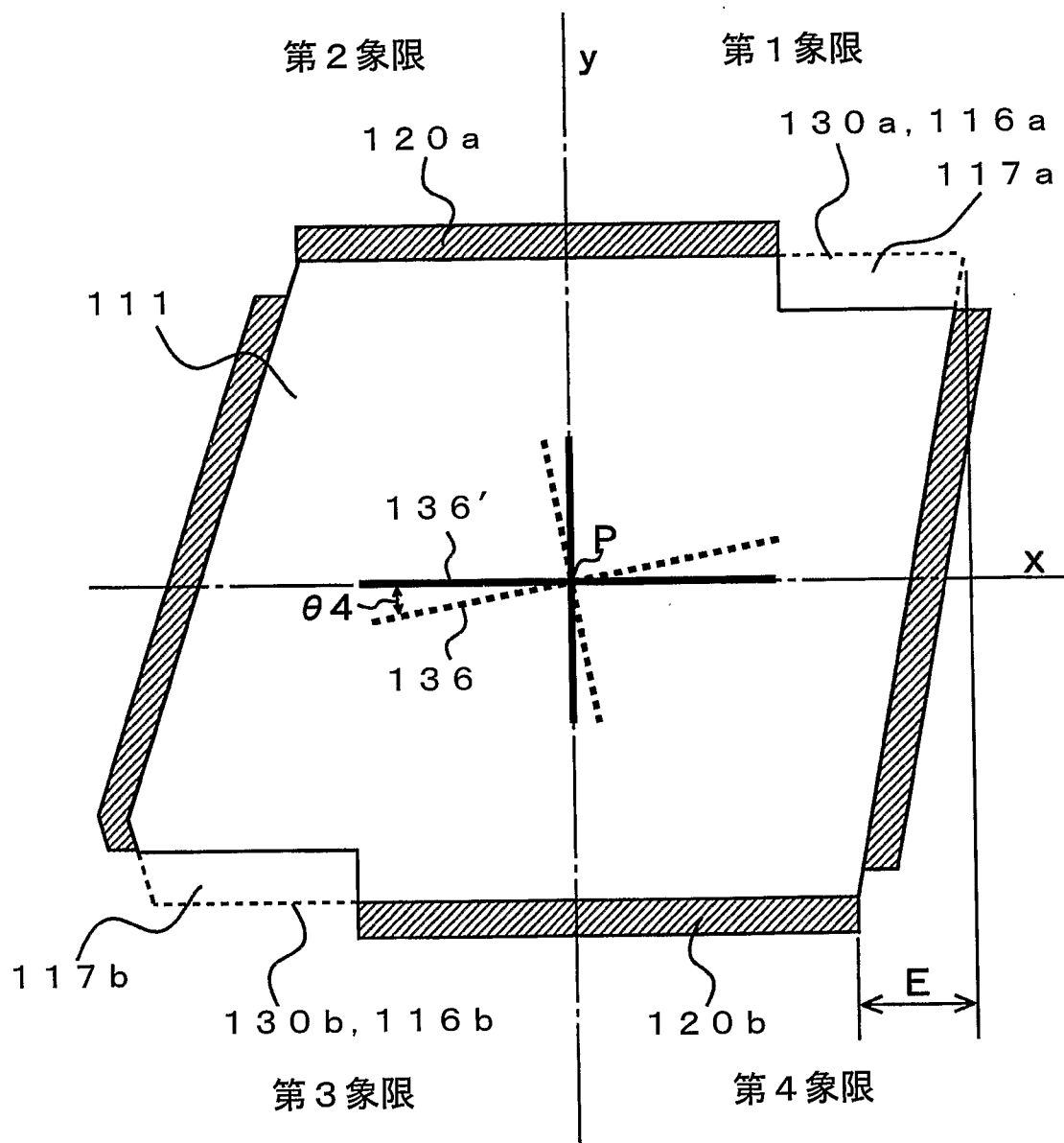


Fig.49



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/068216

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H03H3/02(2006.01)i, H01L41/08(2006.01)i, H01L41/09(2006.01)i, H01L41/18(2006.01)i, H01L41/22(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H03H3/007-H03H3/10, H03H9/00-H03H9/76, H01L41/08, H01L41/09, H01L41/18, H01L41/22, G01C19/56

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2007-93485 A (Citizen Watch Co., Ltd.), 12 April 2007 (12.04.2007), paragraphs [0088] to [0094], [0102] to [0165]; fig. 1, 5 to 6, 9 to 12, 15, 19 (Family: none)	1-2, 4, 11-12, 14-15
Y		3, 5-6, 8, 16
A		7, 9-10, 13, 17-20
Y	JP 10-206165 A (Toyota Motor Corp.), 07 August 1998 (07.08.1998), paragraph [0033]; fig. 6 (Family: none)	3, 5, 8, 16
A		7, 9-10, 17-20
Y	JP 58-29648 B1 (Matsushima Kogyo Kabushiki Kaisha), 24 June 1983 (24.06.1983), page 2, left column; fig. 4 (Family: none)	6
A		7



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
07 January, 2010 (07.01.10)

Date of mailing of the international search report
19 January, 2010 (19.01.10)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/068216

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 11-346137 A (Seiko Epson Corp.) , 14 December 1999 (14.12.1999) , paragraph [0020]; fig. 1 (Family: none)	6 7

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H03H3/02(2006.01)i, H01L41/08(2006.01)i, H01L41/09(2006.01)i, H01L41/18(2006.01)i,
H01L41/22(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H03H3/007-H03H3/10, H03H9/00-H03H9/76, H01L41/08, H01L41/09, H01L41/18, H01L41/22, G01C19/56

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 0 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2007-93485 A（シチズン時計株式会社）2007.04.12, [0088]-[0094], [0102]-[0165]、	1-2, 4, 11-12, 14-15
Y	図 1, 図 5-図 6, 図 9-図 12, 図 15, 図 19	3, 5-6, 8, 16
A	（ファミリーなし）	7, 9-10, 13, 17-20
Y	JP 10-206165 A（トヨタ自動車株式会社）	3, 5, 8, 16
A	1998.08.07, [0033]、図 6 （ファミリーなし）	7, 9-10, 17-20

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 7 . 0 1 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

1 9 . 0 1 . 2 0 1 0

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官（権限のある職員）

崎間 伸洋

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 7 6

5 W

3 5 7 0

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	JP 58-29648 B1 (松島工業株式会社) 1983. 06. 24, 第 2 頁左欄、第 4 図 (ファミリーなし)	6 7
Y A	JP 11-346137 A (セイコーエプソン株式会社) 1999. 12. 14, [0020]、図 1 (ファミリーなし)	6 7