

(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
2017 年 4 月 13 日(13.04.2017)



(10) 国際公開番号

WO 2017/061591 A1

- (51) 国際特許分類:
H03H 9/19 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/079920
- (22) 国際出願日: 2016 年 10 月 7 日(07.10.2016)
- (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 2015-200232 2015 年 10 月 8 日(08.10.2015) JP
特願 2016-059077 2016 年 3 月 23 日(23.03.2016) JP
特願 2016-089765 2016 年 4 月 27 日(27.04.2016) JP
- (71) 出願人: 株式会社村田製作所 (MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) [JP/JP]; 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 1 〇 番 1 号 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: 木津 徹(KIDU, Toru); 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 1 〇 番 1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP). 長谷 貴志(HASE, Takashi); 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 1 〇 番 1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP). 鎌田 威(KAMADA, Takeshi); 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 1 〇 番 1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP). 開田 弘明(KAIDA, Hiroaki); 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 1 〇 番

1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP). 杉村 茂昭(SUGIMURA, Shigeaki); 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 1 〇 番 1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP).

(74) 代理人: 稲葉 良幸, 外(INABA, Yoshiyuki et al.); 〒1066123 東京都港区六本木 6-1 〇-1 六本木ヒルズ森タワー 23 階 TMI 総合法律事務所 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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,

[続葉有]

(54) Title: CRYSTAL OSCILLATING ELEMENT AND CRYSTAL OSCILLATOR INCLUDING CRYSTAL OSCILLATING ELEMENT

(54) 発明の名称: 水晶振動素子、及びこの水晶振動素子を備える水晶振動子

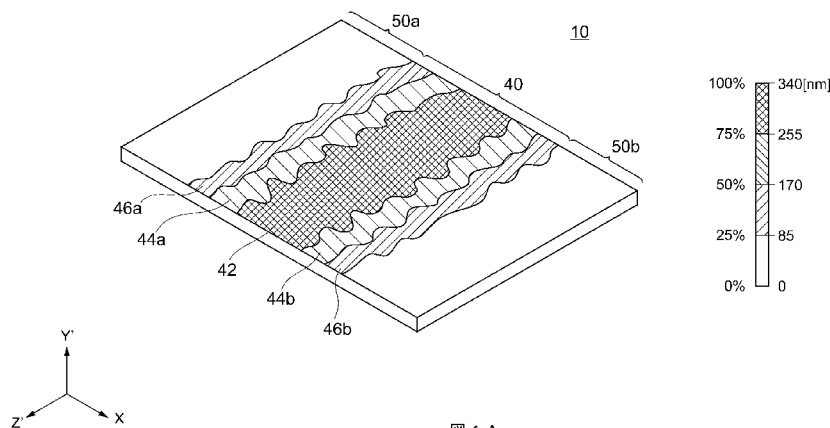


図 4 A

(57) Abstract: The present invention includes: a crystal piece 11 having a predetermined crystal orientation and having a first direction and a second direction in a plan view; and excitation electrodes 14a, 14b provided to the front and back surfaces of the crystal piece 11 so as to induce thickness-shear vibrations in the crystal piece 11 when an alternating electric field is applied. A vibration distribution in which the thickness-shear vibrations in the crystal piece 11 are the main vibrations includes a vibration region 40 that extends in a strip-like shape in the second direction of the crystal piece 11, and non-vibration regions 50 that are adjacent to both sides of the vibration region 40 in the first direction of the crystal piece 11.

(57) 要約: 所定の結晶方位を有しかつ平面視において第 1 方向及び第 2 方向を有する水晶片 11 と、交番電界を印加したとき水晶片 11 に厚みすべり振動を励振するように水晶片 11 の表裏面にそれぞれ設けられた励振電極 14 a, 14 b とを備え、水晶片 11 における厚みすべり振動を主要振動とする振動分布が、水晶片 11 の第 2 方向に帯状に延在する振動領域 4 〇 と、水晶片 11 の第 1 方向に振動領域 4 〇 の両側にそれぞれ隣接する非振動領域 5 〇 とを有する。

WO 2017/061591 A1



ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, 添付公開書類:

MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,

SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,

GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：

水晶振動素子、及びこの水晶振動素子を備える水晶振動子

技術分野

[0001] 本発明は、水晶振動素子、及び水晶振動子に関する。

背景技術

[0002] 発振装置や帯域フィルタなどに用いられる基準信号の信号源に、厚みすべり振動を主振動とする水晶振動子が広く用いられている。

[0003] 例えば特許文献1には、保持器の封止空間内部に保持され、圧電板の中央部付近に励振電極が設けられた圧電振動素子が開示されている。このような圧電振動素子における厚みすべり振動の振動分布は、圧電板の中央部から外側へ略同心円状に広がり、圧電板の外側にいくほど振動の変位が小さくなる。特許文献2には、メサ型圧電振動片の寸法を所定の関係式を満たす構成とすることによって、接着剤などの固定部材の流出に伴う振動部の振動が阻害されることによるクリスタルインピーダンス（Crystal Impedance、以下「CI」と呼ぶ。）値などの特性劣化を抑制する構成が開示されている。さらに、特許文献3及び4には、細長い形状を有する水晶片の主面において、当該水晶片の長辺側の縁に至るまで励振電極が形成される構成が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特許第4458203号公報

特許文献2：特開2013-102472号公報

特許文献3：特公昭56-36814号公報

特許文献4：特開2001-7677号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、特許文献1のような略同心円状の振動分布を有する圧電振動素子の場合、圧電板の略同心円状の外側には振動による変位が小さい又は全くない領域が隣接することになるため、励振レベル依存性（Drive Level Dependence、以下「DL D」と呼ぶ。）特性が悪化したり、また、振動領域の幅が水晶片の幅に比べて狭いためC I値が高いことや容量比 γ の値が大きくなったりなど、良好な振動特性が得られない場合があった。

[0006] また、特許文献3及び4のような構成において、主振動へ振動漏れの防止が十分でないことがあった。

[0007] 本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであり、良好な振動特性を得ることができる水晶振動子を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明の一態様に係る水晶振動素子は、所定の結晶方位を有しかつ平面視において第1方向及び第2方向を有する水晶片と、交番電界を印加したとき水晶片に第1方向に主要振動を有する厚みすべり振動を励振するように水晶片の表面及び裏面にそれぞれ設けられた励振電極とを備え、水晶片における厚みすべり振動を主要振動とする振動分布が、水晶片の第2方向に帯状に延在する振動領域と、水晶片の第1方向において振動領域の両側にそれぞれ隣接する非振動領域とを有する。

[0009] 本発明の他の態様に係る水晶振動素子は、平面視において第1方向及び第2方向を有するA Tカットされた水晶片と、水晶片の表面及び裏面に対向して設けられた励振電極と、を備え、水晶片における励振電極で励振された第1方向に主要振動を有する厚みすべり振動の振動分布が、第2方向で対向する水晶片の2つの辺を横切るように延在しかつ第1方向に距離をあけて対向して設けられた2つの振幅の節と、2つの節で挟まれた位置に設けられた振動領域の振幅の腹とを有する。

[0010] 本発明の他の態様に係る水晶振動素子は、所定の結晶方位を有しかつ平面視において第1方向及び第2方向を有する水晶片と、第1方向の中央部に位

置し少なくとも厚みすべり振動で振動する振動領域と、第1方向において振動領域の両側を挟む非振動領域とを有するように水晶片の表面及び裏面にそれぞれ設けられた励振電極と、を有し、振動領域と非振動領域との境界が、水晶片の第2方向で対向する第1方向に延びる2つ辺を結び、第2方向に波状に延びる。

[0011] 本発明の他の態様に係る水晶振動素子は、厚みすべり振動を主振動とする水晶振動素子であって、長方形の主面を表裏に有する水晶片と、水晶片の各主面にそれぞれ形成された長方形の励振電極とを備え、励振電極の長辺縁は、対応する水晶片の長辺縁と平行であり、励振電極の長辺縁と、対応する水晶片の長辺縁との間の距離をGとし、水晶片におけるそれぞれの励振電極の間の厚さをTとすると、 $0 < G/T \leq 0.5$ の関係を有する。

発明の効果

[0012] 本発明によれば、良好な振動特性を得ることができる水晶振動素子、及び水晶振動子を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]図1は、本発明の第1実施形態に係る水晶振動子の分解斜視図である。

[図2]図2は、図1のI-I線断面図である。

[図3]図3は、図1の水晶振動子における水晶振動素子の斜視図である。

[図4A]図4Aは、図3の水晶振動素子の厚みすべり振動の振動分布を示す図である。

[図4B]図4Bは、図3の水晶振動素子における振動分布のシミュレーション結果を示す図である。

[図4C]図4Cは、第1変形例に係る水晶振動素子における振動分布のX方向成分（結晶方位のX方向成分に相当）のシミュレーション結果を示す図である。

[図4D]図4Dは、第1変形例に係る水晶振動素子における振動分布のZ方向成分（結晶方位のY'方向成分に相当）のシミュレーション結果を示す図である。

[図4E]図4 Eは、第1変形例に係る水晶振動子における振動分布のY方向成分（結晶方位のZ'方向成分に相当）のシミュレーション結果を示す図である。

[図5]図5は、第2変形例に係る水晶振動素子の側面図である。

[図6]図6は、図5で示した水晶振動素子が、第1方向に主要振動を有する厚みすべり振動で振動した場合であって、波数 $n=4$ とした本発明の実施形態に係る水晶振動素子の振動状態を示す側面図である。

[図7]図7は、図5で示した水晶振動素子が、第1方向に主要振動を有する厚みすべり振動で振動した場合であって、波数 $n=5$ とした本発明の実施形態に係る水晶振動素子の振動状態を示す側面図である。

[図8]図8は、図5で示した水晶振動素子が、第1方向に主要振動を有する厚みすべり振動で振動した場合であって、波数 $n=4, 5$ とした本発明との比較形態に係る水晶振動素子の振動状態を示す側面図である。

[図9A]図9 Aは、第3変形例に係る水晶振動素子における振動分布のX方向成分（結晶方位のX方向成分に相当）のシミュレーション結果を示す図である。

[図9B]図9 Bは、第3変形例に係る水晶振動素子における振動分布のZ方向成分（結晶方位のY'方向成分に相当）のシミュレーション結果を示す図である。

[図10]図10は、第4変形例に係る水晶振動素子を示す図である。

[図11A]図11 Aは、第4変形例に係る水晶振動素子における振動分布の厚さ方向表面側のシミュレーション結果を示す図である。

[図11B]図11 Bは、第4変形例に係る水晶振動素子における振動分布の厚さ方向裏面側のシミュレーション結果を示す図である。

[図11C]図11 Cは、第4変形例に係る水晶振動素子における振動分布の厚さ方向表面側のX方向成分（結晶方位のX方向成分に相当）のシミュレーション結果を示す図である。

[図11D]図11 Dは、第4変形例に係る水晶振動素子における振動分布の厚さ

方向裏面側のX方向成分（結晶方位のX方向成分に相当）のシミュレーション結果を示す図である。

[図11E]図11Eは、第4変形例に係る水晶振動素子における振動分布の厚さ方向表面側のZ方向成分（結晶方位のY'方向成分に相当）のシミュレーション結果を示す図である。

[図11F]図11Fは、第4変形例に係る水晶振動素子における振動分布の厚さ方向裏面側のZ方向成分（結晶方位のY'方向成分に相当）のシミュレーション結果を示す図である。

[図11G]図11Gは、第4変形例に係る水晶振動素子における振動分布の厚さ方向表面側のY方向成分（結晶方位のZ'方向成分に相当）のシミュレーション結果を示す図である。

[図11H]図11Hは、第4変形例に係る水晶振動素子における振動分布の厚さ方向裏面側のY方向成分（結晶方位のZ'方向成分に相当）のシミュレーション結果を示す図である。

[図11I]図11Iは、第4変形例に係る水晶振動素子における振動分布の厚さ方向表面側のシミュレーション結果であって位相 0° である場合の図である。

[図11J]図11Jは、第4変形例に係る水晶振動素子における振動分布の厚さ方向表面側のシミュレーション結果であって位相略 45° とした場合の図である。

[図11K]図11Kは、第4変形例に係る水晶振動素子における振動分布の厚さ方向表面側のシミュレーション結果であって位相略 90° とした場合の図である。

[図11L]図11Lは、第4変形例に係る水晶振動素子における振動分布の厚さ方向表面側のシミュレーション結果であって位相略 135° とした場合の図である。

[図11M]図11Mは、第4変形例に係る水晶振動素子における振動分布の厚さ方向表面側のシミュレーション結果であって位相略 180° とした場合の図

である。

[図11N]図11Nは、第4変形例に係る水晶振動素子における振動分布の厚さ方向表面側のシミュレーション結果であって位相略 225° とした場合の図である。

[図11O]図11Oは、第4変形例に係る水晶振動素子における振動分布の厚さ方向表面側のシミュレーション結果であって位相略 270° とした場合の図である。

[図12A]図12Aは、比較例に係る水晶振動素子における振動分布の厚さ方向表面側のシミュレーション結果を示す図である。

[図12B]図12Bは、比較例に係る水晶振動素子における振動分布の厚さ方向裏面側のシミュレーション結果を示す図である。

[図12C]図12Cは、比較例に係る水晶振動素子における振動分布の厚さ方向表面側のZ方向成分（結晶方位のY'方向成分に相当）のシミュレーション結果を示す図である。

[図12D]図12Dは、比較例に係る水晶振動素子における振動分布の厚さ方向表面側のY方向成分（結晶方位のZ'方向成分に相当）のシミュレーション結果を示す図である。

[図13]図13は、第1変形例、第3変形例、第4変形例及び比較例について振動状態を比較したグラフである。

[図14]図14は、本発明の第5変形例に係る水晶振動素子を示す図である。

[図15]図15は、本発明の第2実施形態に係る水晶振動子の分解斜視図である。

[図16]図16は、図15のXVⅠーXVⅠ線断面図である。

[図17]図17は、本発明の第3実施形態に係る水晶振動子の分解斜視図である。

[図18]図18は、図17のXVⅠⅠⅠーXⅠVⅠⅠⅠ線断面図である。

[図19]図19は、図14に示した水晶振動素子の斜視図である。

[図20A]図20Aは、本発明の第3実施形態に係る水晶振動素子の特性を説明

するためのグラフである。

[図20B]図20Bは、本発明の第3実施形態に係る水晶振動素子の特性を説明するためのグラフである。

[図21]図21は、水晶振動素子の等価回路を示す図である。

[図22A]図22Aは、本発明の第3実施形態に係る水晶振動素子の特性を説明するためのグラフであり、水晶振動素子の短辺の幅Wが小さい場合を示したものである。

[図22B]図22Bは、本発明の第3実施形態に係る水晶振動素子の特性を説明するためのグラフであり、水晶振動素子の短辺の幅Wが大きい場合を示したものである。

[図23]図23は、本発明の第3実施形態に係る水晶振動素子の特性を説明するためのグラフである。

[図24]図24は、本発明の第3実施形態の第1変形例に係る水晶振動素子の斜視図である。

[図25]図25は、本発明の第3実施形態の第2変形例に係る水晶振動素子の斜視図である。

[図26]図26は、本発明の第3実施形態の第3変形例に係る水晶振動素子の斜視図である。

[図27]図28は、従来技術の水晶振動子における水晶振動素子の斜視図である。

[図28]図29は、図27の従来技術の水晶振動素子の厚みすべり振動の振動分布を示す図である。

発明を実施するための形態

[0014] 以下に本発明の実施形態を説明する。以下の図面の記載において、同一又は類似の構成要素は同一又は類似の符号で表している。図面は例示であり、各部の寸法や形状は模式的なものであり、本願発明の技術的範囲を当該実施形態に限定して解すべきではない。

[0015] <第1実施形態>

図１及び図２を参照しつつ、本発明の第１実施形態に係る水晶振動子１を説明する。ここで、図１は、水晶振動子の分解斜視図であり、図２は図１のⅠ－Ⅰ線断面図である。なお、図２において、水晶振動素子１０の各種電極の図示は省略されている。

[0016] 図１に示すように、本実施形態に係る水晶振動子１は、水晶振動素子１０と、蓋部材の一例であるキャップ２０と、水晶振動素子１０を支持する支持体の一例である基板３０とを備える。キャップ２０及び基板３０は、水晶振動素子１０を収容するための保持器（ケース又はパッケージ）である。

[0017] 水晶振動素子１０は、水晶片１１と、水晶片１１の表面及び裏面にそれぞれ設けられた励振電極１４ａ、１４ｂ（以下では、「第１励振電極１４ａ及び第２励振電極１４ｂ」ともいう。）を含む。第１励振電極１４ａは、水晶片１１の主面である第１面１２ａ（表面）に設けられ、また、第２励振電極１４ｂは、水晶片１１の第１面１２ａと対向する主面である第２面１２ｂ（裏面）に設けられている。

[0018] 水晶片１１は、圧電セラミックのような立方晶系と異なる三方晶系の結晶構造を有し、所定の結晶方位を有する水晶材料から形成されている。水晶振動素子１０は、例えば、ＡＴカットの水晶片１１を有する。ＡＴカットの水晶片１１は、人工水晶の結晶軸であるＸ軸、Ｙ軸、Ｚ軸のうち、Ｙ軸及びＺ軸をＸ軸の周りにＹ軸からＺ軸の方向に３５度１５分±１分３０秒回転させた軸をそれぞれＹ'軸及びＺ'軸とした場合、Ｘ軸及びＺ'軸によって特定される面と平行な面（以下、「ＸＺ'面」と呼ぶ。他の軸によって特定される面についても同様である。）を主面として切り出されたものである。図１に示す例では、ＡＴカット水晶片である水晶片１１は、第１方向としてＸ軸と平行な長辺と、第１方向と直交する第２方向としてＺ'軸と平行な短辺とを有し、さらに、第１方向と第２方向と直交する第３方向としてＹ'軸と平行な厚さを有している。なお、以下においては、長辺に沿う方向を長手方向、短辺に沿う方向を短手方向及び厚さを厚さ方向と呼ぶこともある。水晶片１１は、ＸＺ'面を平面視したとき長形状に形成されている。ＡＴカット

水晶片を用いた水晶振動素子は、広い温度範囲で極めて高い周波数安定性を有し、また、経時変化特性にも優れている。また、ATカット水晶振動素子は、厚みすべり振動モード（Thickness Shear Mode）を主要振動とする。以下、ATカットの軸方向を基準として水晶振動子1の各構成を説明する。

[0019] 本実施形態に係る水晶片11は上記構成に限定されるものではなく、例えば、Z'軸と平行な長辺と、X軸と平行な短辺とを有するATカット水晶片を適用してもよい。あるいは、主要振動が厚みすべり振動モードであれば、例えばBTカットなどのATカット以外の異なるカットの水晶片であってもよい。ただし、広い温度範囲で極めて高い周波数安定性が得られるATカット水晶片が最も好ましい。

[0020] 第1励振電極14aは、水晶片11の第1面12aに形成され、また、第2励振電極14bは、水晶片11の第2面12bに形成されている。第1及び第2励振電極14a、14bは、水晶片11を介して一对の電極としてXZ'面を平面視した場合に略全体が重なり合うように配置されている。第1及び第2励振電極14a、14bはXZ'面を平面視した場合に矩形形状をなしている。例えば、図1に示すように、励振電極の長辺が水晶片11の短辺と平行になるとともに、励振電極の短辺が水晶片11の長辺と平行になるように設けられている。

[0021] なお、水晶振動素子の態様は上記に限定されるものではなく、後述する第1変形例として、図4C～図4Eに示すような結晶方位のX方向に細長い板状の水晶素振動素子の構成で実施できる。すなわち、励振電極の長辺が水晶片11の長辺と平行になるとともに、励振電極の短辺が水晶片11の短辺と平行になるように設けられることもできる。

[0022] 水晶片11には、第1励振電極14aに引出電極15aを介して電氣的に接続された接続電極16aと、第2励振電極14bに引出電極15bを介して電氣的に接続された接続電極16bとが形成されている。具体的には、引出電極15aは、第1面12aにおいて第1励振電極14aからX軸負方向

側短辺に向かって引き出され、さらに水晶片 11 の X 軸負方向側の側面を通して、第 2 面 12 b に形成された接続電極 16 a に接続されている。他方、引出電極 15 b は、第 2 面 12 b において第 2 励振電極 14 b から X 軸負方向側短辺に向かって引き出され、第 2 面 12 b に形成された接続電極 16 b に接続されている。接続電極 16 a, 16 b は、X 軸負方向側の短辺に沿って配置され、これらの接続電極 16 a, 16 b は、導電性接着剤を塗布して硬化した導電性保持部材 36 a, 36 b を介して基板 30 に電氣的導通を図るとともに機械的に保持される。なお、接続電極 16 a, 16 b 及び引出電極 15 a, 15 b の配置やパターン形状は限定されるものではなく、他の部材との電氣的接続を考慮して適宜変更することができる。なお、平面視して第 1 励振電極 14 a と第 2 励振電極 14 b とが重なる電極重なり領域は、水晶片 11 の短辺から所定の距離を有して設けられている。水晶片 11 の短辺から電極重なり領域までの距離は、水晶片 11 の長辺から電極重なり領域までの距離よりも大きい。

[0023] 第 1 及び第 2 励振電極 14 a, 14 b、引出電極 15 a, 15 b、接続電極 16 a, 16 b は、例えば、水晶片 11 の表面に接合力を高めるためクロム (Cr) 層が形成されており、クロム層の下地の表面上に金 (Au) 層が形成されている。なお、その材料は限定されるものではない。

[0024] 図 2 に示すように、キャップ 20 は、基板 30 の第 1 面 32 a に対向して開口した凹部 24 を有する。凹部 24 には、開口の全周に亘って、凹部 24 の底面から立ち上がるように形成された側壁部 22 が設けられている。また、キャップ 20 は、側壁部 22 からさらに開口外方向へ突出するフランジ部 28 を有している。この場合、フランジ部 28 は基板 30 の第 1 面 32 a に対向する対向面 26 を有している。対向面 26 の横幅の長さは、キャップ 20 の側壁部 22 の厚さよりも大きい。これによれば、フランジ部 28 と基板 30 を接合することによって、両者の接合面積を大きくできるため、両者の接合強度の向上を図ることができる。

[0025] なお、本実施形態においてキャップ 20 の形状は特に限定されるものでは

なく、例えば、フランジ部 28 を有しておらず、凹部 24 の底面から略直角に立ち上げて形成された側壁部 22 の先端が基板 30 と接合されてもよい。

[0026] キャップ 20 の材質は特に限定されるものではないが、例えば金属などの導電材料で構成されていてもよい。これによれば、キャップ 20 を接地電位に電氣的に接続させることによりシールド機能を付加することができる。あるいは、キャップ 20 は、絶縁材料又は導電材料・絶縁材料の複合構造であってもよい。

[0027] 基板 30 は水晶振動素子 10 を励振可能に支持するものである。図 1 に示す例では、水晶振動素子 10 が導電性保持部材 36 a, 36 b を介して基板 30 の第 1 面 32 a に励振可能に支持されている。

[0028] 図 1 に示す例では、基板 30 は、X 軸方向に平行な長辺と、Z' 軸方向に平行な短辺と、Y' 軸方向に平行な厚さを有しており、XZ' 面において長方形をなしている。基板 30 は、例えば絶縁性セラミックで形成されてもよく、例えば複数の絶縁性セラミックシートを積層して焼成することによって形成されてもよい。あるいは、基板 30 は、ガラス材料（例えばケイ酸塩ガラス、又はケイ酸塩以外を主成分とする材料であって、昇温によりガラス転移現象を有する材料）、水晶材料（例えば AT カット水晶）又はガラスエポキシ樹脂などで形成してもよい。基板 30 は耐熱性材料から構成されることが好ましい。基板 30 は、単層であっても複数層であってもよく、複数層である場合、第 1 面 32 a の最表層に絶縁層を形成してもよい。また、基板 30 は、平板な板状をなしてもよいし、あるいは、キャップ 20 に対向する向きに開口した凹状をなしてもよい。図 2 に示すように、キャップ 20 及び基板 30 の両者が接合材 70 を介して接合されることによって、水晶振動素子 10 が、キャップ 20 の凹部 24 と基板 30 とによって囲まれた内部空間（キャビティ）23 に密封封止される。この場合、内部空間の圧力は大気圧力よりも低圧な真空状態であることが好ましく、これにより第 1 及び第 2 励振電極 14 a, 14 b の酸化による経時変化などが低減できるため好ましい。

- [0029] 接合材 70 は、キャップ 20 及び基板 30 の各全周に亘って設けられており、キャップ 20 の側壁部 22 の対向面 26 と、基板 30 の第 1 面 32 a との間に介在している。接合材 70 は絶縁性材料からなる。絶縁性材料としては、低融点ガラス（例えば鉛ホウ酸系や錫リン酸系等）などのガラス接着材料であってもよいし、あるいは、樹脂接着剤を用いてもよい。これらの絶縁性材料によれば、金属接合に比べて低コストであり、また加熱温度を抑えることができ、製造プロセスの簡易化を図ることができる。なお、金属接合を用いれば、樹脂接着剤による接合に比べ高い接合強度が得ることができる。
- [0030] 図 2 に示す例では、水晶振動素子 10 は、その一方端が導電性保持部材 36 a, 36 b により固定されており、その他方端が自由となっている。なお、変形例として、水晶振動素子 10 は、長辺及び短辺のいずれかの方向の両端において基板 30 に固定されていてもよい。
- [0031] 図 1 に示すように、基板 30 は、第 1 面 32 a に形成された接続電極 33 a, 33 b と、接続電極 33 a, 33 b から第 1 面 32 a の外縁に向かって引き出される引出電極 34 a, 34 b とを含む。
- [0032] 接続電極 33 a には、導電性保持部材 36 a を介して、水晶振動素子 10 の接続電極 16 a が接続され、他方、接続電極 33 b には、導電性保持部材 36 b を介して、水晶振動素子 10 の接続電極 16 b が接続される。
- [0033] 引出電極 34 a は、接続電極 33 a から基板 30 のいずれか 1 つのコーナー部に向かって引き出され、他方、引出電極 34 b は、接続電極 33 b から基板 30 の他の 1 つのコーナー部に向かって引き出されている。また、基板 30 の各コーナー部には、複数の外部電極 35 a, 35 b, 35 c, 35 d が形成されている。図 1 に示す例では、引出電極 34 a が Z' 軸正方向及び X 軸負方向側のコーナー部に形成された外部電極 35 a に接続され、他方、引出電極 34 b が Z' 軸負方向及び X 軸正方向側のコーナー部に形成された外部電極 35 b に接続されている。また図 1 に示すように、残りのコーナー部にも、外部電極 35 c, 35 d が形成されていてもよく、これらの外部電極は水晶振動素子 10 とは電氣的に接続されないダミー電極であってもよい。

。すなわち、ダミー電極は、第1及び第2励振電極14a, 14bのいずれとも電氣的に接続されていなくてもよい。またダミー電極は、水晶振動子1が実装される実装基板（図示しない）に設けられた端子（他のいずれの電子素子とも接続されない端子）に接続されてもよい。このようなダミー電極を形成することにより、外部電極を形成するための導電材料の付与が容易になり、また、全てのコーナー部に外部電極を形成することができるため、水晶振動子を他の部材に電氣的に接続する処理工程も容易となる。さらに、ダミー電極に代えて外部電極35c, 35dは、接地電位が供給される接地用電極であってもよい。キャップ20が導電性材料からなる場合、キャップ20を接地用電極である外部電極35c, 35dに接続することによって、キャップ20にシールド機能を付加することができる。

[0034] 図1に示す例では、基板30のコーナー部は、その一部が円筒曲面状（キャストレーション形状とも呼ばれる。）に切断して形成された切り欠き側面を有しており、外部電極35a～35dは、第1面32a、切り欠き側面及び第2面32bにかけて連続的に形成されている。なお、基板30のコーナー部の形状はこれに限定されるものではなく、切り欠きの形状は平面状であってもよいし、切り欠きがなく、平面視して、四隅が直角な矩形形状であってもよい。

[0035] なお、基板30の接続電極33a, 33b、引出電極34a, 34b及び外部電極35a～dの各構成は上記の例に限定されるものではなく、様々に変形して適用することができる。例えば、接続電極33a, 33bは、一方がX軸正方向側に形成され、他方がX軸負方向側に形成されるなど、基板30の第1面32a上において互いに異なる側に配置されていてもよい。このような構成においては、水晶振動素子10が、長辺の一方端及び他方端の両方において基板30に支持されることになる。また、外部電極の個数は4つに限るものではなく、例えば対角上に配置された2つであってもよい。また、外部電極はコーナー部に配置されたものに限らず、コーナー部を除く基板30のいずれかの側面に形成されてもよい。この場合、既に説明したとおり

、側面の一部を円筒曲面状に切断した切り欠き側面を形成し、コーナ一部を除く当該側面に外部電極を形成してもよい。さらに、ダミー電極である他の外部電極 35 c, 35 d は形成しなくてもよい。また、基板 30 に第 1 面 32 a から第 2 面 32 b へ貫通する貫通孔を形成し、この貫通孔内に設けてビア導体によって第 1 面 32 a に形成した接続電極から第 2 面 32 b へ電氣的導通を図ってもよい。

[0036] 図 1 に示すような水晶振動子 1 においては、基板 30 の外部電極 35 a, 35 b を介して、水晶振動素子 10 における一对の第 1 及び第 2 励振電極 14 a, 14 b の間に交番電界を印加する。これにより、厚みすべりを主振動モードとして水晶片 11 が振動し、該振動に伴う共振特性が得られる。

[0037] 次に、図 3～図 14 を参照しつつ、水晶振動素子についてさらに詳述する。図 3 は水晶振動素子 10 の斜視図であり、図 4 A 及び図 4 B は水晶振動素子 10 の厚みすべり振動の振動分布を示したものであり、具体的には、図 4 A が模式図であり、図 4 B がシミュレーション結果を示す図である。ここで、図 4 A 及び図 4 B においては説明の便宜上、第 1 励振電極 14 a 及び第 2 励振電極 14 b に対応する振動分布のみを示している。なお、図 4 C～図 14 は本実施形態の変形例及び比較例に係る水晶振動素子を説明するための図である。

[0038] 図 3 は、本実施形態に係る水晶振動素子 10 における水晶片 11 と第 1 励振電極 14 a 及び第 2 励振電極 14 b の一例を示したものである。この例では、XZ'面を平面視したとき、Z'軸正方向側の励振電極 14 a の短辺は、Z'軸正方向側の水晶片 11 の長辺と重なり、Z'軸負方向側の励振電極 14 a の短辺は、Z'軸負方向側の水晶片 11 の長辺と重なっている。また、励振電極 14 b も同様に、XZ'面を平面視したとき、Z'軸正方向側の励振電極 14 b の短辺は、Z'軸正方向側の水晶片 11 の長辺と重なり、Z'軸負方向側の励振電極 14 b の短辺は、Z'軸負方向側の水晶片 11 の長辺と重なっている。すなわち、励振電極 14 a が水晶片 11 の第 1 面 12 a 上で、Z'軸方向における水晶片 11 の主面の両端に至るまで設けられ、他

方、励振電極 1 4 b が水晶片 1 1 の第 2 面 1 2 b 上で、Z' 軸方向における水晶片 1 1 の主面の両端に至るまで形成されている。

[0039] また、水晶片 1 1 の長辺の長さ L、水晶片 1 1 の短辺の長さ W、水晶片 1 1 の Y' 軸方向の厚さ T、及び、励振電極 1 4 a の X 軸方向の短辺の長さ E L とすると、水晶振動素子 1 0 は例えば $L = 1.322 \text{ mm}$ 、 $W = 0.895 \text{ mm}$ 、 $T = 0.0426 \text{ mm}$ 、 $EL = 0.640 \text{ mm}$ 、 $G = 0$ の寸法から構成されている。 $G/T = 0$ 、 $W/T = 21.0$ 、 $L/T = 31.0$ である。ここで、G は、励振電極の短辺と水晶片の長辺との距離であり、図 3 では両者は一致しているため $G = 0$ である。なお、上記寸法は一例にすぎず、本実施形態に係る水晶振動素子は、以下に説明する振動分布を有する形態（水晶片及び励振電極のそれぞれの形状及び寸法並びに両者の位置関係を含む。）を含む。

[0040] 図 4 B は、図 3 の水晶振動素子 1 0 に、所定の発振周波数、例えば A T カット基本発振周波数の交番電界を印加したときの厚みすべり振動についての村田製作所製のソフトウェア F e m t e t（登録商標）を使用し、メッシュサイズ 0.02 mm の条件で、圧電解析ソルバにて実施したシミュレーション結果であり、図 4 A はその模式図である。材料定数は、化学便覧 基礎編 I I 改訂 4 版 日本化学学会編 丸善（1993）、理科年表 平成 8 年国立天文台編 丸善（1996）、弾性波素子技術ハンドブック 日本学術振興会 弾性波素子技術 第 150 委員会編 オーム社、および表面弾性波素子材料データブック 日本電子工業振興会から引用した。なお、上記説明は他のシミュレーション結果を示す図面についても同様に当てはまる。

[0041] なお、図 4 B に示すように、振動分布の振動方向の X 方向は結晶方位の X 方向に相当し、振動分布の振動方向の Y 方向は結晶方位の Z' 方向に相当し、振動分布の振動方向の Z 方向は結晶方位の Y' 方向に相当する。このような振動方向と結晶方位との関係は他のシミュレーション結果を示す図も同様に当てはまる。以下においては、特に明記しない限り、結晶方位の方向を基準に説明する。

[0042] 図4 A及び図4 Bに示すように、水晶振動素子10のX方向に主に振動する厚みすべり振動を主要振動とする振動分布は、水晶片11のZ'軸方向（短手方向）に帯状に延在する振動領域40と、水晶片11のX軸方向（長手方向）において振動領域40の両側にそれぞれ隣接する非振動領域50a, 50bとを有する。すなわち、非振動領域50aと50bは、互いに隣接していない。ここで、本発明において、振動領域とは、所定の発振周波数（例えばATカット基本発振周波数）の交番電界を印加したときに厚みすべり振動である主要振動により水晶片に実質的な変位が生じる領域を指す。また、本発明において、非振動領域とは、当該主要振動により水晶片の振動領域が振動しているときに、水晶片に実質的な変位が生じない領域を指し、振動による変位が全くない領域に限らず、振動領域よりも振動による変位が小さい領域も含むものとする。なお、非振動領域として、変位量が最大変位量の20~25%未満の領域であることが好ましい。また、XZ'面を平面視したとき、振動領域40は、水晶片11のX軸と平行な一方の長辺から、同じくX軸と平行な他方の辺まで連続する帯状の形状を有している。なお、この振動領域40は、水晶片11のZ'軸と平行な二つの短辺のいずれにも至っていない。そして、XZ'面を平面視したとき、振動領域40と非振動領域50a, 50bが隣接する境界は、直線ではなく、山と谷が交互に繰り返す波形状を有している。この波状の境界は例えば山の高さと谷の深さが略等しく、略一定の周期である略正弦波状を有している。このとき、山と谷との中央部を基準にしたとき、山の高さの大きさに対する谷の深さの大きさの差は±25%以内であることが好ましい。振動領域40が帯状に延在するとはある幅をもってある方向に延在していればよく、延在方向に細長いものに限定されず、例えば延在方向の長さがその幅よりも小さい態様も含む。

[0043] ここで、振動領域40の領域は、XZ'面を平面視したとき、図3の励振電極14a, 14bの領域と実質的に一致していてもよい。この場合は、振動領域40は、励振電極14a, 14bのX軸と平行な一方の短辺から、同じくX軸と平行な他方の短辺まで連続する帯状の形状を有することになる。

また、振動領域40と非振動領域50a, 50bが隣接する境界は、上記の通り波形状を有しているが、励振電極14a, 14bのZ'軸と平行な長辺と概ね一致することになる。

[0044] 図4Aは、図3の構成において、主面の振動が最大変位を示した瞬間の変位分布を示す。振動領域40は、最大変位の値を基準に、4つに等分割して、3つの振動領域と1つの非振動領域に区分し、振動領域について異なるハッチングを用いて示す。すなわち、振動領域40は、第1振動強度領域42と、第1振動強度領域42よりも振動の変位量が小さい第2振動強度領域44a, 44bと、第2振動強度領域44a, 44bよりも振動の変位量が小さい第3振動強度領域46a, 46bとを有する。XZ'面を平面視したとき、第2振動強度領域44a, 44bは、水晶片11のX軸方向（長手方向）において第1振動強度領域42の両側にそれぞれ隣接している。また、第3振動強度領域46a, 46bは、水晶片11のX軸方向（長手方向）において第2振動強度領域44a, 44bの第1振動強度領域42とは隣接していない側にそれぞれ隣接している。言い換えれば、振動領域40は、第1振動強度領域42の中央にZ'軸に平行な中央線を引いたときに、この中央線を基準として線対称な振動分布を有している。そして、図4Aで示す最大変位量の0%~25%であって0nm~85nmである非振動領域50は、水晶片11のX軸方向（長手方向）において第3振動強度領域46a, 46bの第2振動強度領域44a, 44bとは隣接していない側にそれぞれ隣接している。図4に示す例では、第1振動強度領域42の変位量は最大変位量の75%~100%であって約255nm~340nmであり、第2振動強度領域44a, 44bの変位量は最大変位量の50%~75%であって170nm~255nmであり、第3振動強度領域46a, 46bは最大変位量の25%~50%であって85nm~170nmである。各振動強度領域は、XZ'面を平面視したとき、いずれも水晶片11のX軸と平行な一方の長辺から、同じくX軸と平行な他方の長辺まで連続する帯状の形状を有している。なお、各振動強度領域は、水晶片11のZ'軸と平行な二つの短辺のい

れにも至っていない。また、各振動強度領域が互いに隣接する境界は、直線ではなく、波状に蛇行している。波状の境界は例えば略正弦波状をなしている。

[0045] さらに、振動領域40は、最大変位量の90%以上の変位量を示す強振動領域（振動の頂点を含む）を有している。例えば、図4A及び図4Bに示すように、振動領域40における第1振動強度領域42は強振動領域を有する。図4Bに示すように、強振動領域は、水晶片11の表面（第1主面12a）におけるX軸方向に延びる一方の長辺と、当該長辺からZ'軸方向に離れて対向する水晶片11の裏面（第2主面12b）のX軸方向に延びる他方の長辺とに位置する互いに逆位相である第1分布を有している。この第1分布は、水晶片11のX軸方向（長手方向）に沿った長軸を有する楕円を縦半分に割った半楕円状の分布である。さらに、強振動領域は、水晶片11の表面（第1主面12a）及び裏面（第2主面12b）にそれぞれ位置するZ'軸方向に並んで配置されている第2分布を有している。この第2分布は、図4Bに示すように水晶片11のX軸方向に沿った長軸を有する略楕円状の分布である。このように、図4Aの第1振動強度領域42は、Z'軸方向（短手方向）に沿って複数の強振動領域を有している。なお、図4Aでは、複数の強振動領域を含む第1振動強度領域42の外縁を図示している。

[0046] さらに、図4Dに示すように、シミュレーションモデルに基づくZ軸方向（結晶方位のY'軸方向）の変位成分の強振動領域は、結晶方位のX軸方向の一方側半分と他方側半分とが互いに逆位相である第3分布を有している。より具体的には、この強振動領域は、水晶片の結晶方位のX軸方向の midpoint で結晶方位のZ'軸方向に延びる中間線を基準に、当該中間線のX軸方向の一方側においてX軸方向に沿って並ぶ複数の一方の分布と、当該中間線のX軸方向の他方側においてX軸方向に沿って並び、かつ前記一方の分布と互いに逆位相である複数の他方の分布とを含む第3分布をさらに有している。

[0047] ここで、本実施形態では、所定の結晶方位を有する三方晶系の圧電結晶である水晶材料をATカットした水晶片において、厚みすべりを主振動モード

とする図4 A及び図4 Bで示した本発明で得られる非振動領域との境界が波状となる第2方向に帯状に分布する新たな厚みすべり振動モードであって、表裏面の対角位置の辺上に振動が互いに逆位相となる強振動領域（振動の頂点または腹を含む）を有する厚みすべり振動モードを発生させる。以下、本発明が包含するこのような厚みすべり振動モードを全幅厚みすべり振動モードという。全幅厚みすべり振動モードにおいて、裏面の対角位置の辺上に振動が互いに逆位相となる強振動領域が、X方向に長く延びた楕円を縦半分に割った半楕円状の分布であることが好ましい（図4 A～図4 E参照）。

[0048] ここで図2 7及び図2 8を参照しつつ、従来例との対比について説明する。図2 7は、従来の水晶片の中央部に厚みすべり振動が閉じ込められた水晶振動素子である。この従来例は、図4 Aとは短手方向の励振電極を長さEWが0.554mmであり、図4 Aとは長さEWが小さく設けられている点、及び、水晶片の端面からのギャップが $G/T=4$ となるよう設けられている点が相違する。すなわち、図2 7に示す水晶振動素子は、水晶片の外周に環状に設けられた励振電極の非形成領域と、環状に設けられた励振電極の非形成領域の内側にあって水晶片の中央部に設けられた励振電極の形成領域とを備えている。図2 8は、図2 7で示した従来の水晶振動素子の厚みすべり振動モードにおける振動分布を模式図である。図2 7は、水晶片の中央部に存在する振幅の腹と、振幅の腹の全周を囲う連続してのびる振幅の節とを備える振動分布を示している。また、水晶片の表面を平面視したとき、表裏面に存在する振幅の腹が互いに重なる位置ある。図2 8に示すように、従来例の水晶振動素子においては、XZ'面を平面視したとき、水晶片の中央部から外側に向かって略同心円状に、振動による変位が最も大きい第1振動強度領域と、第1振動強度領域の周囲に第1振動強度領域よりも振動による変位が小さい第2振動強度領域、さらに第2振動強度領域の周囲に第1振動強度領域よりも振動による変位が小さい第3振動強度領域とがある。

[0049] これに対して、本実施形態に係る全幅厚みすべり振動モードは、図2 7に示す従来の厚みすべり振動モードのような水晶片の中央部を環状に囲うよう

な厚みすべり振幅の節、あるいは非振動領域が存在しない。さらに、図4 Aに示すように、第2方向で対向する水晶片の両端部間を横切って帯状に分布する振動領域内に少なくとも1つの振幅の腹が存在する。また、水晶片の表面を平面視したとき、表裏面に存在する振幅の腹が互いに重ならない位置にある。このため、本実施形態では、図28に示す従来の中央部の表裏で重なる位置に1つの腹がある厚みすべり振動モードに比べて、図4 Aで示した振動分布を有するため、水晶片のZ'軸方向に沿ってより大きな振動領域を確保することができる。さらに、励振電極で挟まれた水晶片の厚みTに依存する厚みすべり振動において、水晶片のX軸方向の長さLを励振電極のX軸方向の長さELより所定の比率で大きくすることで、図4 Aに示した第1方向に存在する全幅厚みすべり振動モードだけでなく、第1方向において振動領域内に第3方向に変位する振動が複数の波数で分布している振動状態を含むような全幅厚みすべり振動モードも励起させることができる。またさらに、長さELに対する水晶片の第1方向の長さLの比率が所定の範囲に設定されれば、全幅厚みすべり振動モードのZ'軸方向に連続して延びる振幅の節を第1方向の水晶片の端部に配置できる。そのため、全幅厚みすべり振動モードにおける振幅の節の位置で水晶片が保持部材によって支持されれば、振動の漏れおよび振動の阻害などの支持による全幅すべり振動モードへの影響が小さくできる。

[0050] 以上のとおり、本実施形態においては、水晶振動素子10のZ'軸方向（短手方向）にわたって、厚みすべり振動の振動分布のなかで特定の本発明で呼ぶ全幅厚みすべり振動が選択して発生できるため、均一な振動を得ることができる。したがって、DL D特性を向上させることができ、また、振動領域40を広く確保することによってC1値を低くかつ容量比 γ の値を小さくできることから、良好な振動特性を得ることができる。

[0051] 次に、図4 C～図4 Eを参照しつつ第1変形例について説明する。以下の説明では上記内容と異なる点について説明する。この変形例では、水晶振動素子は、X方向に細長い板状をなしている点で図3と同じ構成であるが、励振

電極の長手方向が水晶片 11 の長手方向と一致するとともに、励振電極の短手方向が水晶片 11 の短手方向と一致する点で図 3 とは異なっている。具体的には、この変形例では、 $W = 0.277 \text{ mm}$ 、 $T = 0.033 \text{ mm}$ 、 $L = 0.77 \text{ mm}$ 、 $EL = 0.44 \text{ mm}$ 、 $Tex = 0.267 \mu\text{m}$ であって、 $G/T = 0$ 、 $W/T = 8.39$ 、 $L/T = 23.7$ 、 $EL/T = 12.8$ とした。図 4 C は、振動分布の X 方向成分（結晶方位の X 方向成分に相当）の変位分布、図 4 D は、振動分布の Z 方向成分（結晶方位の Y' 方向成分に相当）の変位分布、図 4 E は、振動分布の Y 方向成分（結晶方位の Z' 方向成分に相当）の変位分布をそれぞれシミュレーションで求めたものである。図 4 C から、振動の主要振動を示す X 方向成分の変位分布は、水晶振動素子の X 方向の両端に位置する非振動領域に挟まれ、対向する長辺を結ぶ振動領域を有する全幅厚みすべり振動の変位分布を示すことがわかる。また、正の最大値と負の最小値との間の変位の 10 段階に区分したとき、最も大きな変位を示す負の変位の最大絶対値の 80% 以上を示す負の変位側の強振動領域の分布状態は、X 方向に長く延びる 2 つの楕円状の分布と楕円を縦半分に割った半楕円状の分布とが幅方向に並んでいる。半楕円状の分布は、長辺上に中心が位置して、長辺に沿って長く延びるように分布している。このとき、X 方向成分の変位の最大値は $5.668 \mu\text{m}$ であり、振動分布の Z（厚み）方向成分の変位の最大値は $0.603 \mu\text{m}$ であり、振動分布の Y 方向（幅）成分の変位の最大値は $0.966 \mu\text{m}$ である。

[0052] 次に、図 5 ～図 8 を参照しつつ第 2 変形例について説明する。

[0053] この水晶振動素子 210 は、第 1 部分 240 及び第 2 部分 250 を有するメサ形状の水晶片を備えている。第 1 部分 240 は、図 3 ～図 4 B で説明した振動領域と同じように、Z' 軸方向に沿って帯状に延在する振動領域を有している。第 2 部分 250 は、XZ' 面を平面視したとき、振動領域である第 1 部分 240 の Z' 軸と平行な一方の辺と、同じく Z' 軸と平行な他方の辺のそれぞれに接する位置に設けられている。水晶振動素子 210 は、XY' 面から水晶振動素子を見た側面において、厚さ $Tex1$ である第 1 励振電極

214aと厚み T_{ex2} である第2励振電極214bとに挟まれた水晶片の第1部分240を有している。第1部分240は、 XY' 面の平面視において厚さ T である振動領域を有している。また、第2部分250の厚さ T_{pe} は、第1部分240の厚さ T よりも薄い。図5に示されるように一对の励振電極214a、214bは、それぞれ、水晶片の X 軸方向の中央部に位置する第1部分240の振動領域の X 軸方向の長さ L_1 の全て覆うように X 軸方向に長さ EL で設けられ、 $L_1 = EL$ と定めている。

[0054] 図6は、厚みすべり振動を主振動とする振動モードを有する図5に示す水晶振動素子210について、下式1、下式2を満足し、かつ、 X 軸方向の長さ L_1 の振動領域に、波数 $n=4$ となる振動モードを励振させた場合の振動の変位分布を示している。

[0055] なお、振動領域の水晶片の厚さ T 、第1部分の X 軸方向における長さ L_1 、第1励振電極の厚さ T_{ex1} 及び第2励振電極の厚さ T_{ex2} の合計の厚さ T_{ex} 、励振電極の材料の比重 γ_{ex} 、水晶片の材料の比重 γ_{xt} とする。下式1により、水晶片の厚さ T の値に加えて、励振電極の厚さ T_e に励振電極の材料の比重 γ_{ex} の水晶片の材料の比重 γ_{xt} に対する比率を乗じた値で算出される水晶振動素子の振動領域の実効厚さ T_e が与えられる。 X 軸方向の振動領域における波数を n （ n は自然数）とする。なお、下式1、下式2では、励振電極214aと励振電極214bとが、同じ材料で、同じ厚さで設けられているとした。

$$T_e = T + T_{ex} \cdot \gamma_{ex} / \gamma_{xt} \quad \cdots \text{式1}$$

$$L_1 / T_e = 1.603 \cdot n - 0.292 \quad \cdots \text{式2}$$

図6の振動の変位分布から、水晶振動素子210において、振動の変位は第1部分240の振動領域内で閉じ込められており、第2部分250の振動の変位は、第1部分240に比べて十分に小さいことが分かる。

[0056] 図7は、 $n=5$ のとき、式1及び式2を満足するように形成した水晶振動素子212における振動の変位分布を示している。図7の振動の変位分布から、 $n=5$ においても、振動の変位は第1部分241の振動領域内で閉じ込

められており、第２部分２５１の振動の変位は、第１部分２４１に比べて十分に小さいことが分かる。

[0057] 図８は、比較例であって、 $n = 4, 5$ のとき（すなわち n が自然数ではないとき）、式１及び式２を満足するように形成した水晶振動素子２１４における振動の変位分布を示している。図８の振動の変位分布から、水晶振動素子において、振動の変位は第１部分２４２の振動領域内で閉じ込められていないため、第２部分２５２の振動の変位は、図６の第２部分２５０又は図７の第２部分２５１に比べて大きいことが分かる。

[0058] ここで、水晶振動素子は保持器の封止空間内部に保持されて用いられている（例えば図２参照）。一般的に、水晶振動素子は、保持器の構成要素である基板上に設けられた導電性保持部材によって保持されている。したがって、水晶振動素子の振動エネルギーが導電性保持部材を介して基板への振動漏れが発生しやすくなる。そのため、振動の変位が実質的に小さい部分で導電性保持部材によって水晶振動素子を支持することができれば、基板への振動の漏れを低減できる。また、振動の変位が実質的に小さい部分の面積が小さければ導電性保持部材の保持面積に確保できなくなり、水晶振動素子の保持強度が低下する。その結果、落下衝撃又は経時変化によって水晶振動素子と導電性保持部材との間に応力が生じて亀裂や剥離が発生しやすくなる。この点について、図６及び図７に示した本発明の実施形態は、図８に示す比較例と比べ、第２部分のほぼ全域に非振動領域を配置することができる。よって、図６及び図７に示した本発明の実施形態は、振動漏れを低減し、かつ水晶振動素子と導電性保持部材との間に発生する亀裂、剥離を低減する効果を有する。

[0059] 図５には、第２部分２５０の全域の厚さが、振動領域の第１部分２４０の厚さより薄い例を示した。

[0060] なお、水晶振動素子の態様は上記に限定されるものではなく、後述する第４変形例として、図１０に示すような、厚さ T を有する第１部分２４３と、 X 軸方向における第１部分２４３の両端において第１部分２４３に隣接した

第2部分253と、第2部分253における第1部分243とは反対側に隣接した第3部分263とを有し、第2部分253の厚さ T_{pe} が第1部分243の厚さ T よりも薄い構成を適用してもよい。この場合、第1部分243の厚さ T と第3部分263の厚さ T_{rm} は同じであってもよい。言い換えれば、側面からみて、振動領域の X 軸方向の両端に接する部分に他の部分よりも厚さが薄い第2方向に延びる溝部（第2部分253）を有する構成を適用してもよい。この場合であっても、第2部分253を非振動領域とすることができる。なお、図10では、水晶片の寸法を理解しやすくするため、水晶片の振動領域に厚み T_{ex} で設けられた一对の励振電極の一方である Y' 軸正側の主面に設けられた励振電極の表示が省略されている。

[0061] 特許文献2には、メサ形状の周辺部の厚さを、振動領域の厚さに対して薄くすると、厚みすべり振動に加え屈曲振動が励振されやすくなり、その結果、エネルギー閉じ込め効果が低下し小型化が困難であるという問題が開示されている。具体的には、周辺部の厚さ T_{pe} と振動領域の厚さ T の比率が0.9である場合、図8の比較例と同じように、振動エネルギーが振動領域から第2部分に漏洩する。しかしながら、本発明の実施形態の変形例に係る構成を用いることにより、周辺部と振動領域の各厚さの比率 T_{pe}/T が0.9以上であっても、エネルギー閉じ込め効果の低下を防ぐことができる。

[0062] さらに別の変形例として、図5では水晶片の形状がメサ形状である構成を示したが、振動領域を有する第1部分と、 X 軸方向における第1部分の両端に隣接する、第1部分と略同じ厚さの第2部分とを備える構成を採用してもよい。言い換えれば、図3に示したように、水晶片の形状が直方体形状の構成でも実施することができる。この構成の場合、上式1を満たした上で、振動領域を発生させる励振電極の X 軸方向の長さ EL と実効厚み T_e とが、下式3を満足するように定められればよい。

$$EL/T_e = 1.603 \cdot n - 0.292 \quad \dots \text{式3}$$

この場合の構成によっても、図5で示す構成に相当する効果が得られると考えられる。

[0063] 図9 A及び図9 Bは、第3変形例を示した図であり、図5と同様のメサ形状についてシミュレーション結果を示したものである。第3変形例における条件は、 $W=0.277\text{ mm}$ 、 $T=0.033\text{ mm}$ 、 $L=0.77\text{ mm}$ 、 $EL=0.44\text{ mm}$ 、 $D=0.0012\text{ mm}$ 、 $Lt=0.165\text{ mm}$ 、 $Tex=0.267\text{ }\mu\text{m}$ であって、 $G/T=0$ 、 $W/T=8.39$ 、 $L/T=23.7$ 、 $EL/T=12.8$ 、 $Tpe/T=0.927$ である。

[0064] 図10～図11 Oは、第4変形例を示した図である。図10に示す水晶振動素子216は、厚さ T を有する第1部分243と、 X 軸方向における第1部分243の両端において第1部分243に隣接した第2部分253と、第2部分253における第1部分243とは反対側に隣接した第3部分263とを有し、第2部分253が第1部分243よりも薄い。また、第1部分243と第3部分263の厚さは同じである。このような水晶振動素子216は、例えば一方側の第3部分263において導電性保持部材によって基板上に保持される。第4変形例における条件は、 $W=0.277\text{ mm}$ 、 $T=0.033\text{ mm}$ 、 $L=0.77\text{ mm}$ 、 $EL=0.44\text{ mm}$ 、 $D=0.0012\text{ mm}$ 、 $Lt=0.11\text{ mm}$ 、 $Lh\approx 0.055\text{ mm}$ 、 $Tex=0.267\text{ }\mu\text{m}$ であって、 $G/T=0$ 、 $W/T=8.39$ 、 $L/T=23.7$ 、 $EL/T=12.8$ である。なお、 Lh は、 $Lh\div (L-EL-2Lt)/2$ の関係式により算出した。

[0065] ここで、図11 I～図11 Oを参照しつつ、第4変形例に係る水晶振動素子の振動状態を説明する。図11 I～図11 Oは、振動分布の厚さ方向表面側のシミュレーション結果であって、位相 0° から略 225° まで略 45° 単位で位相をずらしたときの振動状態を示したものである。各図では、図11 Aと同様に、変位の大きさを10段階に区分して示しており、グレースケールの明るい色ほど変位量大きいことを示している。各図の位相は近似値である。なお、モデルの各点の位置は振動分布の変位に比例して変位させている。

[0066] 図11 Iは、シミュレーション結果の X 方向の負側（画面左側）に変位が

最大となる場合の振動状態を位相 0° として示した図である。図11Iに示すように、変位最大領域（図11Iのグレースケールが最も明るい領域）は3つ存在し、具体的には、X方向の略中央部に位置する第1領域、第2領域及び第3領域が存在する。第1領域は、Y方向の負側の長辺の位置にあり、第2領域は、第1領域からY方向の正側に離れた位置にあり、第3領域は、第2領域からY方向の正側に離れた位置にある。第1領域は、X軸方向に長軸を有する楕円を縦半分に割った半楕円状をなしている。また、第2領域及び第3領域は、X軸方向に長軸を有する楕円状をなしている。図11Iに示す変位最大領域は、最大変位量90%以上の変位量を示す強振動領域である。

[0067] 図11Jは、位相略 45° のシミュレーション結果を示す図である。図11Jでは、変位の最大値が減少しており、この減少に応じて変位最大領域の位置がX方向の正側に移動しているが、モデルの点（メッシュ）は位相 0° と同じである。振動の分布傾向は位相 0° と類似している。また、振動領域と非振動領域との境界の位置は位相 0° と略同じである。

[0068] 図11Kは、位相略 90° のシミュレーション結果を示す図である。位相が進むにつれて、さらに、変位の最大値が減少するとともに変位最大領域の位置がX方向の正側に移動する。また、振動領域におけるX方向の長さは、位相 0° から位相が進むにつれて徐々に小さくなり、位相略 90° では表面全体の変位が現れなくなる。

[0069] 図11Lは、位相略 135° のシミュレーション結果を示す図である。位相略 90° から位相が進むと、再び振動領域が現れ、位相が進むにつれて振動領域のX方向長さが大きくなる。位相略 135° では、変位最大領域の位置は位相 45° のX方向とは逆向きに現れる。

[0070] 図11Mは、位相略 180° のシミュレーション結果を示す図である。位相略 135° から位相が進むと、変位の最大値が増加し、位相略 180° では、変位最大領域の位置は位相 0° のX方向とは逆向きに現れる。図11Mにおける変位最大領域は、最大変位量90%以上の変位量を示す強振動領域

である。

[0071] 図11Nは、位相略225°のシミュレーション結果を示す図である。位相略180°から位相が進むと、変位の最大値が減少するとともに変位最大領域の位置がX方向負側に移動する。なお、変位最大領域の位置は、位相0°、位相略45°、位相略135°、位相略180°、位相略225°のそれぞれにおいて略同じである。

[0072] 図11Oは、位相略270°のシミュレーション結果を示す図である。位相が進むにつれて、さらに、変位の最大値が減少するとともに変位最大領域の位置がX方向の負側に移動する。また、振動領域におけるX方向の長さは、位相略180°から位相が進むにつれて徐々に小さくなり、位相略270°では表面全体の変位が現れなくなる。

[0073] 以上のとおり、振動の変位分布の推移から、本実施例の振動は、特定の位置が常に変位極大点となる腹と、腹近傍の変位が半楕円状または楕円状となる振動分布と、X方向の両端に常に最小変位点となる節とを持つ、定常波を有して水晶振動素子が振動していることが分かる。なお、最大変位点の位置が、位相0°と略180°とで、腹の位置が異なるように見えるのは、発生した各方向の変位に正負応じてモデルの各部の位置を各方向の正負変位させたためである。

[0074] 図12A～図12Dは、比較例を示した図である。この比較例は、第4変形例に対して水晶片の短辺の長さWの数値を変更したものである。すなわち、比較例における条件は、 $W=0.260\text{ mm}$ 、 $T=0.033\text{ mm}$ 、 $L=0.77\text{ mm}$ 、 $EL=0.44\text{ mm}$ 、 $D=0.0012\text{ mm}$ 、 $L_t=0.11\text{ mm}$ 、 $L_h=\text{約}0.055\text{ mm}$ 、 $T_{ex}=0.267\text{ }\mu\text{m}$ であって、 $G/T=0$ 、 $W/T=7.88$ 、 $L/T=23.7$ 、 $EL/T=12.8$ である。

[0075] <評価>

次に、第1変形例、第3変形例、第4変形例及び比較例を評価する。図13は、第1変形例、第3変形例、第4変形例及び比較例について振動状態を

比較したグラフである。以下の評価の説明では、シミュレーションモデルのX Y Z軸（結晶方位のX Z' Y' 軸に相当する。）を基準とする。

[0076] 図13は、第1変形例である平板（メサなし）のX方向成分（厚みすべりの主振動方向）の最大振幅強度を基準として、Z方向成分の成分を比率で表し、また、X成分に対するZ成分の比率をパーセントで示したものである。図13では、平板での全幅厚みすべり振動モードの振動分布（第1変形例）、メサでの全幅厚みすべり振動モードの振動分布（第3変形例）、支持付きメサでの全幅厚みすべり振動モードの振動分布（第4変形例）、支持付きメサでの非全幅厚みすべり振動モードの振動分布を表している。第1変形例、第3変形例及び第4変形例に係る水晶振動素子においては、X方向成分の振幅成分の最大強度の絶対値の80%以上の強度を示す強振動領域が、Y方向（結晶方位のZ' 方向）に並び、かつX方向に長い楕円状の分布しており、水晶片の主面を平面視したとき、強振動領域が表裏の主面とで重ならず、位相が反転している。

[0077] 図13によれば、第3変形例であるメサ形状により、振動領域（メサ凸部）の閉じ込め状態が改善し、平板に比べてX方向成分の振幅強度が9%増加した。一方で、Z（厚み）方向成分が、0.11から0.14に増加した。この要因としては、シミュレーションのモデルが、水晶片をエッチング加工することを想定して、段差部を直角でなく、結晶方位によるエッチングの異方性を考慮して、傾斜を、表の主面の段差のX方向の正側で55度、負側で33度とX方向において対称形状でない形状したため、振動の非対称性により、X方向の厚みすべり振動の副振動としてZ（厚み）方向の振動を励起したと考えられる。

[0078] また、第4変形例である支持付きメサにより、振動領域（メサ凸部）の閉じ込め状態が改善し、平板に比べてX方向成分の振幅強度が8%増加した。また、第3部分263（図10参照）である支持部（非振動部）の厚みを厚くして、段差部の形状の対称性の高めることで、Z方向成分の振動強度が減少したと考えられる。その一方で、支持部の厚みを厚くなり質量が増加したが、X

方向成分の振動強度は、平板に比べて 1.08 と 8% 増加し、質量の小さいメサの X 方向成分の振動強度、1.09 から、わずかに 0.01 減少にとどまった。

[0079] また、比較例である支持付きメサでは、振動領域（メサ凸部）の閉じ込め状態が低下し、平板に比べて X 方向成分の振幅強度が 6% 低減した。さらに、X 方向の厚みすべり振動の副振動として Z（厚み）方向成分の振動を励起し、また、Z（厚み）方向成分の振動強度は、0.45 と大幅に増加し、X 方向成分に対する Z（厚み）方向成分の比率が、47.6% と増加した。これは、X 方向の屈曲振動が厚みすべりの振動領域に閉じ込められず、X 方向成分に主要振動を有する厚みすべり振動の他に、Z 方向（厚み）成分に主要振動を有する屈曲振動がメサ突起部に閉じ込められず、厚みすべり振動へのエネルギーの集中度が低下したためと考えられる。

[0080] さらに、支持付きメサについて支持部への振動漏れを評価するため、水晶片の第 1 方向の両端に設けた厚肉部支持部（つば部）の最大変位の振動領域内の最大変位に対する比率を求めた（図示しない）。第 4 変形例の場合 0.03 となり、比較例である全幅厚みすべり振動でない単なる厚みすべり振動（ $W/T = 7.88$ ）の場合 0.17 となった。これより、全幅厚みすべり振動を実施することで、単なる厚みすべり振動に比べて、水晶片の励振電極の幅方向の両側に非振動領域を設けず、かつ振動領域からの振動漏れが低減できる効果が得られる。

[0081] 次に、図 14 を参照して水晶振動素子 60 の第 5 変形例について説明する。以下、上記内容と異なる点について説明する。

[0082] この水晶振動素子 60 は、水晶片 61 と、水晶片 61 の主面である第 1 面 62 a（表面）に設けられた第 1 励振電極 64 a と、水晶片 61 の第 1 面 62 a と対向する主面である第 2 面 62 b（裏面）に設けられた第 2 励振電極 64 b とを有する。

[0083] この例では、XZ' 面を平面視したとき、Z' 軸正方向側の第 1 励振電極 64 a の短辺は、Z' 軸正方向側の水晶片 61 の長辺から隙間を有して設け

られている。また、 Z' 軸負方向側の第1励振電極64aの短辺は、 Z' 軸負方向側の水晶片61の長辺から隙間を有して設けられている。

[0084] また、第2励振電極64bも同様に、 XZ' 面を平面視したとき、 Z' 軸正方向側の第2励振電極64bの短辺は、 Z' 軸正方向側の水晶片61の長辺から隙間を有して設けられている。また、 Z' 軸負方向側の第2励振電極64bの短辺は、 Z' 軸負方向側の水晶片61の長辺から隙間を有して設けられている。

[0085] すなわち、第1励振電極64aの両側の短辺が、水晶片61の第1面62a上で、水晶片61の両側の長辺からそれぞれ隙間を有して設けられている。そして、他方で、第2励振電極64bの両側の短辺が、水晶片61の第2面62b上で、水晶片61の両側の長辺からそれぞれ隙間を有して設けられている。これらの隙間の大きさGは、例えば $0 < G \leq 20 \mu m$ である。なお、X方向の側面の稜線からの隙間の大きさGは、第1励振電極64aと第2励振電極64b間の交番電界によって水晶片61の Z' 軸方向の側面に電界が印加される範囲内であることが好ましい。

[0086] 隙間の大きさGは、励振電極の一边において略一様あることが好ましい。また、第1励振電極64aの一方の辺と他方の辺とで、隙間の大きさGは略同じであることが好ましく、第2励振電極64bについても一方の辺と他方の辺とで、隙間の大きさGは略同じであることが好ましい。なお、変形例として、隙間の大きさGは、励振電極の一边において部分的に異なってもよい。また、第1励振電極64a及び第2励振電極64bのいずれかの励振電極の一方の辺と他方の辺とで互いに異なってもよい。

[0087] 本変形例においても、所定の発振周波数、例えばATカット基本発振周波数の交番電界を印加したときの厚みすべり振動を主要振動とする振動モードが発生し、その振動分布は、図4Aに基づいて説明した内容と本質的に同様である。また、本変形例においても、図4Aで示した振動領域40と同じように、 XZ' 面を平面視したとき、水晶片61の Z' 軸方向に沿って帯状に延在しており、図14で示した第1励振電極64a及び第2励振電極64b

の両側の短辺よりもさらに外側まで延在する。すなわち、図14の第1励振電極64a及び第2励振電極64bによる振動領域は、水晶片61のX軸方向と平行な一方の長辺から、同じくX軸方向と平行な他方の長辺にまで連続する帯状の形状を有している。ただし、本変形例においても、水晶片61のX軸方向に沿って振動領域の両側には、図4Aで示した非振動領域50a, 50bが隣接している

[0088] なお、水晶片61において、第1励振電極64aに引出電極65aを介して電氣的に接続された接続電極66aと、第2励振電極64bに引出電極65bを介して電氣的に接続された接続電極66bとが形成されていることは既に説明したとおりである。

[0089] 以上のとおり、本実施形態に係る変形例においても、水晶片61のZ'軸方向に沿って全幅厚みすべり振動モードが発生することから良好な振動特性を得ることができる。

[0090] <第2実施形態>

次に、図15及び図16を参照しつつ、本発明の第2実施形態に係る水晶振動子2を説明する。ここで、図15は、水晶振動子2の分解斜視図であり、図16は図15のXVⅠ-XVⅠ線断面図である。本実施形態においては、水晶振動子2のパッケージングの態様が第1実施形態と異なっており、水晶振動素子110における水晶片102、第1励振電極114a及び第2励振電極114bの形状、寸法及び両者の位置関係は第1実施形態と同様の構成を適用することができる。以下、第1実施形態の内容と異なる点を説明する。

[0091] 図15に示すように、本実施形態に係る水晶振動子2は、水晶振動素子110と、第1基板120と、第2基板130とを備える。

[0092] 本変形例では、第1及び第2基板120, 130が水晶振動素子110の水晶片102を収容するためのケース又はパッケージである。水晶振動素子110、第1基板120及び第2基板130は、XZ'平面においてそれぞれ略同一の寸法及び形状（矩形形状）を有している。ウエハレベルチップサ

イズパッケージ (Wafer Level Chip Size Package、以下「WLCSP」と呼ぶ。)などのウエハ状態のまま水晶片のパッケージングまでを行う製法を採用した場合は、第1基板120に相当するウエハ、水晶振動素子110に相当するウエハ及び第2基板130に相当するウエハからなる3層構造を一括して加工し、ダイシングソーを用いて個々の水晶振動子1に分割して製造する。したがって、水晶振動素子110、第1基板120及び第2基板130は、実質的に同一の寸法及び形状を有する。

[0093] 水晶振動素子110は、水晶片102と、水晶片102の外周を囲む枠体104と、水晶片102と枠体104を連結する連結部材118a, 118bとを備える。枠体104は水晶片102を支持するための支持体の一例である。水晶片102、枠体104及び連結部材118a, 118bはいずれも所定の結晶方位を有する水晶材料から形成されており、例えばATカットの水晶材料から形成される。

[0094] 水晶振動素子110のY'軸方向における厚さは特に限定されるものではないが、例えば図16に示すように、水晶片102、枠体104及び連結部材118a, 118bの厚さは全て同じであってもよい。あるいは、メサ構造に類似の構成として、振動エネルギーの閉じ込め性の向上を図るために、連結部材118a, 118bの厚さを水晶片102よりも薄くしてもよい。

[0095] 水晶振動素子110は、X軸方向の長辺と、Z'軸方向の短辺と、Y'軸方向の厚さとを有している。図15に示す例においては、連結部材118a, 118bは、いずれも、水晶片102のX軸方向側の長辺の一方端に配置されている。水晶片102は、枠体104から離れて設けられており、両者は連結部材118a, 118bによって連結されている。なお、図1に示す例では長辺の一方端側に配置された2個の連結部材が示されているが、連結部材の個数やその配置等は特に限定されない。例えば、連結部材は、長辺の一方端側に配置された1個の連結部材を適用してもよいし、あるいは、2個の連結部材の一方を長辺の一方端側に配置し、他方を長辺の他方端側に配置してもよい。

[0096] 水晶振動素子 110 は、コーナーの一部が円筒曲面状に切断して形成された切り欠き側面 108 a, 108 b, 108 c, 108 d を有する。また、同様に、第 1 基板 120 においても切り欠き側面 122 a, 122 b, 122 c, 122 d が形成され、第 2 基板 130 においても切り欠き側面 132 a, 132 b, 132 c, 132 d が形成されている。このような切り欠き側面は、WLCSP などのウエハ状態のままパッケージングまでを行う製法を採用したことに伴って形成される。この場合、水晶振動素子 110、第 1 基板 120 及び第 2 基板 130 の切り欠き側面のうち、例えば切り欠き側面 108 a, 122 a, 132 a はそれぞれ Y' 軸方向に一致して形成されている。なお、切り欠き側面の形状は円筒曲面状以外の形状であってもよいし、あるいはこのような切り欠きはなくてもよい。

[0097] 水晶片 102 の表裏面にはそれぞれ第 1 及び第 2 励振電極 114 a, 114 b が形成されている。第 1 励振電極 114 a は、水晶片 102 の第 1 面 112 a (表面) に設けられ、他方、第 2 励振電極 114 b は、水晶片 102 の第 1 面 112 a に対向する第 2 面 112 b (裏面) に設けられている。第 1 及び第 2 励振電極 114 a, 114 b は一対の電極として XZ' 平面を平面視した場合に水晶片 102 を介して略全体が重なり合うように配置されている。各励振電極 114 a, 114 b は XZ' 平面において矩形形状をなし、例えば、図 15 に示すように、励振電極の長辺が水晶片 102 の短辺と平行であるとともに、励振電極の短辺が水晶片 102 の長辺と平行であるように設けられていてもよい。

[0098] 枠体 104 の第 1 面 111 a には、第 1 励振電極 114 a に電氣的に接続された引出電極 115 a が形成されている。引出電極 115 a は、第 1 励振電極 114 a から一方の連結部材 118 a を通って引き出された後、枠体 104 の第 1 面 111 a 上を通過して、切り欠き側面 108 a に向かって引き出され、枠体 104 の第 2 面 111 b に形成された接続電極 116 a に電氣的に接続されている。他方、枠体 104 の第 2 面 111 b には、第 2 励振電極 114 b に電氣的に接続された引出電極 115 b が形成されている。引出電

極 1 1 5 b は、第 2 励振電極 1 1 4 b から他方の連結部材 1 1 8 b を通って引き出された後、枠体 1 0 4 の第 2 面 1 1 1 b を通って、コーナーにおける切り欠き側面 1 0 8 b に向かって延出され、枠体 1 0 4 の第 2 面 1 1 1 b に形成された接続電極 1 1 6 b に電氣的に接続されている。このように、図 1 0 に示す例では、第 1 及び第 2 励振電極 1 1 4 a, 1 1 4 b に電氣的に接続された接続電極 1 1 6 a, 1 1 6 b が、枠体 1 0 4 の対向するコーナーに配置されている。

[0099] なお、第 1 及び第 2 励振電極 1 1 4 a, 1 1 4 b に電氣的に接続される接続電極 1 1 6 a, 1 1 6 b の配置は特に限定されるものではなく、例えば、枠体 1 0 4 の X 軸負方向側の 2 つのコーナー、すなわち切り欠き側面 1 0 8 d, 1 0 8 b に配置されてもよい。

[0100] 第 1 及び第 2 励振電極 1 1 4 a, 1 1 4 b、引出電極 1 1 5 a, 1 1 5 b、接続電極 1 1 6 a, 1 1 6 b は、例えば、下地をクロム (C r) 層で形成し、クロム層の表面に金 (A u) 層を形成してもよく、その材料は限定されるものではない。

[0101] 第 1 基板 1 2 0 は、水晶片 1 0 2 の第 1 面 1 1 2 a 側に配置される。また、第 2 基板 1 3 0 は、水晶片 1 0 2 の第 2 面 1 1 2 b 側に配置される。すなわち、第 1 基板 1 2 0、水晶振動素子 1 1 0 及び第 2 基板 1 3 0 はこの順番で積層され、3 層構造をなしている。第 2 基板 1 3 0 は、水晶振動素子 1 1 0 が搭載される搭載面と、搭載面に対向し、外部と電氣的に接続される実装面を有する。

[0102] 第 2 基板 1 3 0 の実装面には、各コーナーに外部電極 1 3 4 a, 1 3 4 b, 1 3 4 c, 1 3 4 d が形成されている。水晶振動素子 1 1 0 が第 2 基板 1 3 0 に搭載されると、外部電極 1 3 4 a が接続電極 1 1 6 a 及び引出電極 1 1 5 a を介して第 1 励振電極 1 1 4 a に電氣的に接続される。これにより、外部電極 1 3 4 b が接続電極 1 1 6 b 及び引出電極 1 1 5 b を介して第 2 励振電極 1 1 4 b に電氣的に接続されることになる。残りの外部電極 1 3 4 c, 1 3 4 d は、第 1 及び第 2 励振電極 1 1 4 a, 1 1 4 b のいずれとも電気

的に接続されないダミー電極であってもよい。ダミー電極の詳細は既に説明したとおりである。

[0103] なお、図15に示す例では、第1及び第2励振電極114a, 114bに電氣的に接続される外部電極134a, 134bは、第2基板130における対向するコーナーに配置されているが、これに限定されるものではなく他のコーナーに配置してもよい。また、第2基板130の各コーナーに円筒曲面状の切り欠き側面が形成される場合、各外部電極は対応する各コーナーにおいて、第2基板130の実装面から切り欠き側面に至るように延出されていてもよい。

[0104] 外部電極134a~134dは、例えば、クロム(Cr)や金(Au)などで形成される。その形成方法はスパッタ法又はメッキ法を用いた。なお、本実施形態においては4つの外部電極からなる4端子構造を示すが、外部電極の数は特に限定されるものではなく、例えば2つの外部電極からなる2端子構造を適用してもよい。

[0105] 第1及び第2基板120, 130は、平板な基板である。また、第1及び第2基板120, 130の材質は、ガラス（例えばケイ酸塩ガラス、又はケイ酸塩以外を主成分とする材料であって、昇温によりガラス転移現象を有する材料）から構成されていてもよいし、あるいは水晶振動素子110と同一材質である水晶（例えばATカット水晶）から構成されていてもよい。

[0106] 図15及び図16に示すように、第1基板120は枠体104の第1面111aの全周に第1接合材140を介して接合され、他方、第2基板130は、枠体104の111bの全周に第2接合材142を介して接合される。第1及び第2接合材140, 142が枠体104の各面の全周に設けられることにより、水晶片102が内部空間（キャビティ）123に密封封止される。第1及び第2接合材140, 142は、各部材の接合面同士を接合するとともに内部空間を形成するように密封封止できればよく、その材料は限定されるものではない。第1及び第2接合材140, 142は、例えば、低融点ガラス（例えば鉛ホウ酸系や錫リン酸系等）などのガラス接着材料であつ

てもよいし、あるいは、樹脂接着剤を用いてもよい。

[0107] 本実施形態に係る水晶振動素子 110 における水晶片 102 と第 1 励振電極 114 a 及び第 2 励振電極 114 b の構成は上記第 1 実施形態で説明した内容を適用することができる（図 1 ～図 14 参照）。本実施形態に係る水晶振動子 2 によれば、水晶片 102 の Z' 軸方向に沿って全幅厚みすべり振動モードが発生することから良好な振動特性を得ることができる。

[0108] <第 3 実施形態>

図 17 及び図 18 を参照しつつ、本発明の一実施形態に係る水晶振動子を説明する。ここで、図 17 は、水晶振動子の分解斜視図であり、図 18 は図 17 の XV' - XV' 線断面図である。なお、図 18 において、水晶振動素子の各種電極の図示は省略されている。

[0109] 以下、本実施形態に係る水晶振動子の構成について説明する。以下においては、第 1 及び第 2 実施形態において説明した内容と矛盾しない限り、これらで説明した内容を適宜選択的に適用することができる。

[0110] 図 17 に示すように、本実施形態に係る水晶振動子 1001 は、水晶振動素子 1100 と、キャップ 1200 と、基板 1300 とを備える。キャップ 1200 及び基板 1300 は、水晶振動素子 1100 を収容するための保持器（ケース又はパッケージ）である。

[0111] 水晶振動素子 1100 は、水晶片 1110 と、水晶片 1110 の表裏面にそれぞれ設けられた励振電極 1120, 1130（以下では、「第 1 及び第 2 励振電極 1120, 1130」ともいう。）とを含む。第 1 励振電極 1120 は、水晶片 1110 の主面である第 1 面 1112（表面）に設けられている。第 2 励振電極 1130 は、水晶片 1110 の第 1 面 1112 と対向する主面である第 2 面 1114（裏面）に設けられている。

[0112] 水晶片 1110 の結晶構造やカット角等の構成については、第 1 実施形態において説明した水晶片 11 の内容を適用することができる。図 17 に示す例では、水晶片 1110 は AT カットの水晶片である。AT カットの水晶片 1110 は、X 軸と平行な長辺と、Z' 軸と平行な短辺と、Y' 軸と平行な

厚さを有する。なお、以下においては、長辺を長手方向、短辺を短手方向及び厚さを厚さ方向と呼ぶこともある。また、ATカットの水晶片1110は、XZ'面における平面視において長形状をなしている。

[0113] 本実施形態に係る水晶片は上記構成に限定されるものではなく、例えば、Z'軸と平行な長辺と、X軸方向と平行な短辺とを有するATカット水晶片を適用してもよい。あるいは、主要振動が厚みすべり振動モードであれば、例えばBTカットなどのATカット以外の異なるカットの水晶片であってもよい。

[0114] 第1励振電極1120は、水晶片1110の第1面1112（Y'軸正方向側のXZ'面）に形成され、また、第2励振電極1130は、水晶片1110の第1面1112とは反対の第2面1114（Y'軸負方向側のXZ'面）に形成されている。第1及び第2励振電極1120，1130は、水晶片1110を介して一对の電極としてXZ'面を平面視した場合に略全体が重なり合うように配置されている。第1及び第2励振電極1120，1130はXZ'面において長形状をなしている。また、励振電極の長辺は水晶片1110の長辺と平行になるとともに、励振電極の短辺は水晶片1110の短辺と平行になりように設けられている。なお、水晶片1110及び各励振電極1120，1130の各構成の詳細は後述する。

[0115] 水晶片1110には、第1励振電極1120に引出電極1122を介して電氣的に接続された接続電極1124と、第2励振電極1130に引出電極1132を介して電氣的に接続された接続電極1134とが形成されている。具体的には、引出電極1122は、第1面1112において第1励振電極1120からX軸負方向側短辺に向かって引き出され、さらに水晶片1110のX軸負方向側の側面を通して、第2面1114に形成された接続電極1124に接続されている。他方、引出電極1132は、第2面1114において第2励振電極1130からX軸負方向側短辺に向かって引き出され、第2面1114に形成された接続電極1134に接続されている。接続電極1124，1134は、X軸負方向側の短辺に沿って配置され、これらの接続

電極 1124, 1134 は、後述する導電性保持部材 1340, 1342 を介して基板 1300 に電氣的導通を図るとともに機械的に保持される。なお、本実施形態において、接続電極 1124, 1134 及び引出電極 1122, 1132 の配置やパターン形状は限定されるものではなく、他の部材との電氣的接続を考慮して適宜変更することができる。

[0116] 第 1 及び第 2 励振電極 1120, 1130、引出電極 1122, 1132、接続電極 1124, 1134 は、例えば、下地をクロム (Cr) 層で形成し、クロム層の表面に金 (Au) 層を形成してもよく、その材料は限定されるものではない。

[0117] 図 18 に示すように、キャップ 1200 は、基板 1300 の第 1 面 1302 に対向して開口した凹部 1204 を有する。凹部 1204 には、開口の全周に亘って、凹部 1204 の底面から立ち上がるように形成された側壁部 1202 が設けられており、側壁部 1202 は、基板 1300 の第 1 面 1302 に対向する端面 1205 を有する。

[0118] キャップ 1200 の材質は特に限定されるものではないが、例えば金属で構成されていてもよい。これによれば、キャップ 1200 を接地電位に電氣的に接続させることによりシールド機能を付加することができる。あるいは、キャップ 1200 は、絶縁材料又は金属・絶縁材料の複合構造であってもよい。

[0119] なお、変形例として、キャップ 1200 は、側壁部 1202 からさらに開口外方向へ突出するフランジ部を有してもよい。これによれば、フランジ部と基板 1300 を接合することによって、両者の接合面積を大きくすることができるため、両者の接合強度の向上を図ることができる。

[0120] 基板 1300 の第 1 面 1302 (上面) には、水晶振動素子 1100 が搭載される。図 17 に示す例では、基板 1300 は、X 軸と平行な長辺と、Z 軸と平行な短辺と、Y 軸と平行な厚さを有しており、XZ 面において長方形状をなしている。基板 1300 は、例えば絶縁性セラミックで形成されてもよく、例えば複数の絶縁性セラミックシートを積層して焼成すること

によって形成されてもよい。あるいは、基板 1300 は、ガラス材料、水晶材料又はガラスエポキシ樹脂などで形成してもよい。基板 1300 は耐熱性材料から構成されることが好ましい。基板 1300 は、単層であっても複数層であってもよく、複数層である場合、第 1 面 1302 の最表層に絶縁層が形成されてもよい。また、基板 1300 は、平板状をなしてもよいし、あるいは、キャップ 1200 に対向する向きに開口した凹状をなしてもよい。図 15 に示すように、キャップ 1200 及び基板 1300 の両者が接合材 1350 を介して接合されることによって、水晶振動素子 1100 が、キャップ 1200 の凹部 1204 と基板 1300 とによって囲まれた内部空間（キャビティ）1206 内に封止される。

[0121] 接合材 1350 は、キャップ 1200 及び基板 1300 の各全周に亘って設けられており、キャップ 1200 の側壁部 1202 の端面 1205 と、基板 1300 の第 1 面 1302 との間に介在している。接合材 1350 は絶縁性材料からなる。絶縁性材料としては、例えばガラス材料（例えば低融点ガラス）であってもよく、あるいは、樹脂材料（例えばエポキシ系樹脂）であってもよい。これらの絶縁性材料は、金属材料に比べて融点が低く、また低コストである。そのため、これらの絶縁性材料を接合材 1350 に用いることによりキャップ 1200 と基板 1300 との接合工程における加熱温度を抑えることができ、また水晶振動子の低コスト化を図ることができる。

[0122] 図 18 に示す例では、水晶振動素子 1100 は、その一方端（導電性保持部材 1340, 1342 側の端部）が固定端であり、その他方端が自由端となっている。なお、変形例として、水晶振動素子 1100 は、長手方向の両端において基板 1300 に固定されていてもよい。

[0123] 図 17 に示すように、基板 1300 は、第 1 面 1302 に形成された接続電極 1320, 1322 と、接続電極 1320, 1322 から第 1 面 1302 の外縁に向かって引き出される引出電極 1320a, 1322a とを含む。接続電極 1320, 1322 は、水晶振動素子 1100 が基板 1300 の第 1 面 1302 の略中央に配置することができるよう、基板 1300 の外

縁よりも内側に配置されている。

[0124] 接続電極 1 3 2 0 には、導電性保持部材 1 3 4 0 を介して、水晶振動素子 1 1 0 0 の接続電極 1 1 2 4 が接続され、他方、接続電極 1 3 2 2 には、導電性保持部材 1 3 4 2 を介して、水晶振動素子 1 1 0 0 の接続電極 1 1 3 4 が接続される。

[0125] 引出電極 1 3 2 0 a は、接続電極 1 3 2 0 から基板 1 3 0 0 のいずれか 1 つのコーナー部に向かって引き出され、他方、引出電極 1 3 2 2 a は、接続電極 1 3 2 2 から基板 1 3 0 0 の他の 1 つのコーナー部に向かって引き出されている。また、基板 1 3 0 0 の各コーナー部には、複数の外部電極 1 3 3 0, 1 3 3 2, 1 3 3 4, 1 3 3 6 が形成されている。図 1 7 に示す例では、引出電極 1 3 2 0 a が Z' 軸負方向及び X 軸負方向側のコーナー部に形成された外部電極 1 3 3 0 に接続され、他方、引出電極 1 3 2 2 a が Z' 軸正方向及び X 軸正方向側のコーナー部に形成された外部電極 1 3 3 2 に接続されている。また図 1 7 に示すように、残りのコーナー部にも、外部電極 1 3 3 4, 1 3 3 6 が形成されていてもよい。これらの外部電極は、既に説明したダミー電極として用いてもよい。この場合、ダミー電極としての外部電極 1 3 3 4, 1 3 3 6 に、導電性材料からなるキャップ 1 2 0 0 を電氣的に接続することによって、キャップ 1 2 0 0 にシールド機能を付加してもよい。

[0126] 図 1 7 に示す例では、基板 1 3 0 0 のコーナー部は、その一部が円筒曲面状に切断して形成された切り欠き側面を有しており、外部電極 1 3 3 0, 1 3 3 2, 1 3 3 4, 1 3 3 6 は、第 1 面 1 3 0 2、切り欠き側面及び第 2 面 1 3 0 4 にかけて連続的に形成されている。なお、基板 1 3 0 0 のコーナー部の形状はこれに限定されるものではなく、切り欠きの形状は平面状であってもよいし、切り欠きがなく、平面視して、四隅が直角な矩形形状であってもよい。

[0127] なお、基板 1 3 0 0 の接続電極、引出電極及び外部電極の各構成は上述の例に限定されるものではなく、様々に変形して適用することができる。例えば、接続電極 1 3 2 0, 1 3 2 2 は、一方が X 軸正方向側に形成され、他方

がX軸負方向側に形成されるなど、基板1300の第1面1302上において互いに異なる側に配置されていてもよい。このような構成においては、水晶振動素子1100が、長手方向の一方端及び他方端の両方において基板1300に支持されることになる。また、外部電極の個数や配置、ダミー電極の有無、外部電極と接続電極との電氣的な接続態様については既に説明した内容を適用することができる。

[0128] 図17に示すような水晶振動子1001においては、外部電極1330、1332を介して、水晶振動素子1100における一对の第1及び第2励振電極1120、1130の間に交流電圧を印加することにより、厚みすべりを主振動モードとして水晶片1110が振動し、該振動に伴う共振特性が得られる。

[0129] 次に、図19～図21を参照しつつ、図17に示される水晶振動素子についてさらに詳述する。図19は、図17に示される水晶振動素子のうち、水晶片及びその第1面上の励振電極を示したものである（説明の便宜上、引出電極及び接続電極の図示を省略している）。図20A及び図20Bは、水晶振動素子の特性を説明するためのグラフである。図21は、水晶振動素子の等価回路を示す図である。

[0130] 図19に示すように、Z'軸正方向側において、励振電極1120の長辺縁1120aは、水晶片1110のZ'軸正方向側の長辺縁1112aと平行となっており、また、励振電極1120の長辺縁1120aと水晶片1110の長辺縁1112aとの間の距離をGとし、水晶片1110におけるそれぞれの励振電極1120、1130の間の厚さTとした場合、

$$0.0002 \leq G/T \leq 0.5$$

の関係性を有している。言い換えれば、励振電極1120の長辺縁1120aは、水晶片1110の長辺縁1112aよりも距離Gだけ内側に離間しており、その距離Gは水晶片1110の厚さTに対して上記関係式を備えている。

[0131] これによれば、水晶片1110の各主面の縁は、製造プロセスにおいてダ

メージを受けやすく材質が変化するおそれがあるため、上記関係式の下限を設定することによって、このようなダメージに起因する振動特性の劣化を抑制することができる。他方、距離 G を大きくし過ぎると、振動に寄与しない無駄な面積を拡げることになるため、上記関係式の上限を設定することによって、水晶振動素子の小型化を図りつつ、励振電極の実効面積の確保が図れる。

[0132] また、水晶振動素子は、その等価回路の容量比が小さければ、良好な振動特性が得られることがわかっている。すなわち、図21に示すように、等価直列抵抗 R_1 、等価直列容量 C_1 、等価インダクタンス L_1 が直列に接続され、かつ、等価並列容量 C_0 が並列に接続された、水晶振動素子の等価回路において、この容量比 $C_0/C_1 = \gamma$ が小さければ、水晶振動素子の周波数感度を大きくすることができることが知られている。

[0133] この点について、図20A及び図20Bを用いて G/T と容量比 γ との関係を見てみると、図20Aに示されるとおり、 $G/T = 0.5$ 付近において容量比 γ の増加率が大きくなる臨界点があることがわかり、他方、図20B（図20Aのうち G/T がゼロ付近のレンジを示した図である。）に示されるとおり、 G/T が 0.0002 未満となり 0.0001 に近づいた付近でも、容量比 γ が大きくなるように変動していることがわかる。すなわち、 G/T が上記関係式を有することによって、容量比 γ を小さくすることができることがわかる。そして、容量比 γ を小さくすることによって、水晶振動素子の周波数感度を大きくすることができ、こうして水晶振動素子の周波数制御性を向上して良好な振動特性を得ることができ、さらに、水晶片の端面から G/T が 0.0002 未満の範囲に励振電極が設けられれば、容量比 γ の変動の影響に加えて、水晶片の端面形状が不安定である影響を受ける。そのため、 G/T が 0.0002 以上となるように励振電極を水晶片に設けることが好ましい。

[0134] また、図20Aに示されるとおり、 $G/T = 0.2$ 付近（ 0.2 と 0.3 の間）にも容量比 γ の増加率が大きくなる臨界点があることから、さらに、

$$G/T \leq 0.2$$

の関係を有するとより好ましい。

またさらに、 $0.0002 \leq G/T \leq 0.2$ の関係を有すると、容量比 γ が小さく、かつ安定に設定できるため、最も好ましい。

[0135] なお、以上に説明した G/T についての関係式は、 Z' 軸負方向側における、励振電極 1120 の長辺縁 $1120b$ と水晶片 1110 の Z' 軸負方向側の長辺縁 $1112b$ との関係についても同様に当てはまるものである。また、上記においては、水晶片 1110 の第1面 1112 の励振電極 1120 について説明したが、水晶片 1110 の第2面 1114 側の長辺についても、同様に当てはまるものである。なお、水晶片 1110 の長辺側に上記関係式を適用するのは、相対的に距離が長い長辺のほうが短辺に比べて水晶振動素子の振動特性に及ぼす影響が大きいためである。

[0136] また、水晶片 1110 の短辺の幅 W とすると、

$$W/T \leq 10.2$$

の関係をさらに有していてもよい。以下、この関係式の技術的意義について説明する。

[0137] 水晶振動素子では、主振動の他に、形状、寸法に起因するスプリアス（不要振動）による共振が発生する。このスプリアスによる共振は、インピーダンスカーブに大なり小なりのディップ（くぼみ）として現れる。主振動付近にディップがあると、発振周波数がズレたり、共振抵抗が増えることによって発振に対する余裕度が低下したりなど、水晶振動素子に悪影響を及ぼす可能性がある。ここで、本実施形態のような矩形状の水晶振動素子では、短辺の幅 W 、水晶片の厚さ T とした場合、スプリアスは W/T に関連した幅振動であり、複数次モードとして多数存在する。このようなスプリアスを幅スプリアスと呼ぶ。幅スプリアスを主振動付近について見てみると、 W が小さい場合は、図22Aのように、幅スプリアスの周波数間隔が大きくなり、他方、 W が大きい場合は、図22Bのように、幅スプリアスの周波数間隔が小さくなる。さらに、温度変化に対する変動を見てみると、ATカットの水晶片

において、主振動は例えば、 0°C から 50°C の温度変化に伴い3次関数的に変化し、より具体的には 10 ppm 程度のレンジで変動するが、他方、幅スプリアスは、値が小さくなるように1次関数的に変化し、より具体的には約 1.0% 変動する。このように温度変化に対する幅スプリアスから見ると、主振動の変動は相対的に無視できる。

[0138] 図23を参照して、温度変化に対するスプリアス振動の影響が少ない W/T について説明する。ここで、図23は、横軸を W/T とし、縦軸を $\Delta F/\Delta P$ （スプリアス密度）としたグラフである。なお、温度変化の条件は、電子機器の主要な使用温度である 0°C から 50°C とする。

[0139] 図23について具体的に説明する。まず、有限要素法解析により、常温において、 W/T を変動させて、主振動前後の周波数での幅スプリアスの発生周波数及び個数を調査し、隣接するスプリアス間の平均周波数間隔 ΔP （MHz）を算出した。また、一つの条件として、周波数 37.4 MHz で、 $W=430$ （ $W/T=10.35$ ）のものを抜き出して周波数温度を 0°C から 50°C に変化させた解析を行った。この解析結果から、主振動前後の幅スプリアス10個について、 0°C から 50°C 変化したときのスプリアスの変動量を計算し、その平均値 ΔF （MHz）を算出した。すなわち、各 W/T において、幅スプリアスの周波数は、温度変化により、 ΔF の変動幅を持つ。そして、主振動を挟む2つの幅スプリアスの周波数間隔 ΔP が、 ΔF より小さいと、温度変化に対し、隣接する幅スプリアスの少なくとも一方が主振動を横切る可能性があることになる。このように、各 W/T において、隣接する幅スプリアスの周波数間隔 ΔP が ΔF に対して小さいと、主振動を横切る幅スプリアスが避けられない可能性が大きくなり、場合によっては、幅スプリアスが複数横切ることになり、急激に特性を劣化させる可能性がある。そこで、図23に示すように、 $\Delta F/\Delta P \leq 1$ 、つまり主振動に隣接する2つ幅スプリアスの間隔が、 0°C から 50°C 変化した変動幅と一致する W/T よりも小さい領域（すなわち、図23に示されるとおり、 $W/T \leq 10.2$ ）では、幅スプリアスが主振動を横切らない設計、詳細には主振動の励振周波数

と幅スプリアスの周波数とが一致しない設計とできる可能性が高くなり、より小さいほうが横切るリスクが少なくなる。なお、幅スプリアスの位置は、水晶片にベベル又はコンベックス加工を施すことによっても多少変動可能である。そこで、 $W/T \leq 10.2$ において、さらにベベル又はコンベックス加工を施すことによって幅寸法を疑似的に小さくし、これによって幅スプリアスが主振動を横切るリスクをさらに少なくすることもできる。

[0140] なお、水晶片 1110 の各長辺の長さ L は、所望の振動特性などに鑑みて適宜選択すればよい。

[0141] 本実施形態によれば、水晶片 1110 の長辺縁 1112a と励振電極 1120 の長辺縁 1120a との間の距離 G と、水晶片 1110 におけるそれぞれの励振電極 1120, 1130 の間の厚さ T との関係が上記関係式を満たしているので、既に説明したとおり、良好な振動特性を得ることができる。

[0142] 本発明は、上記実施形態に限定されることなく種々に変形して適用することが可能である。なお、以下の説明においては上記内容と異なる点を説明することとし、上記内容と同じ構成については図中において同一の符号を付している。

[0143] 図 24～図 26 を参照しつつ、本実施形態の変形例に係る水晶振動素子について説明する。以下の各変形例ではいずれも水晶片の構成が上記内容と異なっている。

[0144] 図 24 は、第 1 変形例に係る水晶振動素子を説明するための図であり、この例ではいわゆる長手方向にメサ構造を採用した水晶片を備えている。

[0145] 本変形例に係る水晶振動素子 1400 の水晶片 1410 は、励振電極 1420, 1430 が互いに重なる振動部 1402 と、振動部 1402 に接続されており振動部 1402 よりも薄く形成された薄肉端部 1404, 1406 とを有している。水晶片 1410 は、図 17 に示す例と同様に、 X 軸と平行な長辺と Z' 軸と平行な短辺とを有し、薄肉端部 1404, 1406 は、水晶片 1410 の長辺が延在する方向の両端に設けられている。また、励振電極 1420 は、振動部 1402 の一方の主面である第 1 面 1412 に形成さ

れ、他方、励振電極 1430 は、振動部 1402 の他方の主面である第 2 面 1414 に形成されている。振動部 1402 の第 1 及び第 2 面 1412, 1414 はいずれも X 軸方向に平行方向に長い長方形に形成されている。

[0146] 本変形例においても、Z' 軸正方向側において、励振電極 1420 の長辺縁 1420a は、水晶片 1410 の Z' 軸正方向側の長辺縁 1412a と平行となっており、また、励振電極 1420 の長辺縁 1420a と水晶片 1410 の長辺縁 1412a との間の距離を G とし、水晶片 1410 におけるそれぞれの励振電極 1420, 1430 の間の厚さ T とした場合、既に説明した G/T の関係式を有している。なお、 G/T についての関係式は、Z' 軸負方向側における、励振電極 1420 の長辺縁 1420b と水晶片 1410 の X 軸負方向側の長辺縁 1412b との関係についても同様に当てはまるものである。また、 G/T の関係式は、水晶片 1410 の励振電極 1430 側の長辺についても、同様に当てはまるものである。

[0147] 本変形例によれば、水晶片 1410 が長手方向の両端に振動部 1402 よりも厚さが薄く形成された薄肉端部 1404, 1406 を有しているので、既に説明したとおり良好な振動特性を得ることができることに加えて、振動エネルギー閉じ込め性に優れるなどメサ型構造特有の作用効果も有する。

[0148] 図 25 は、第 2 変形例に係る水晶振動素子を説明するための図であり、この例ではいわゆる短手方向にメサ構造を採用した水晶片を備えている。

[0149] 本変形例に係る水晶振動素子 1500 の水晶片 1510 は、励振電極 1520 と図示しない Y' 軸負方向側の励振電極とが互いに重なる振動部 1502 と、振動部 1502 に接続されており振動部 1502 よりも薄く形成された薄肉端部 1504, 1506 とを有している。水晶片 1510 は、図 17 に示す例と同様に、X 軸と平行な長辺と Z' 軸と平行な短辺とを有し、薄肉端部 1504, 1506 は、水晶片 1510 の短辺が延在する方向の両端に設けられている。また、励振電極 1520 は、振動部 1502 の一方の主面である第 1 面 1512 に形成され、他方、図示されていない Y' 軸負方向側の励振電極は、振動部 1502 の他方の主面である第 2 面 1514 に形成さ

れている。振動部 1502 の第 1 及び第 2 面 1512, 1514 はいずれも X 軸方向に平行な方向に長い長方形状に形成されている。

[0150] 本変形例においても、Z' 軸正方向側において、励振電極 1520 の長辺縁 1520a は、水晶片 1510 の Z' 軸正方向側の長辺縁 1512a と平行となっており、また、励振電極 1520 の長辺縁 1520a と水晶片 1510 の長辺縁 1512a との間の距離を G とし、水晶片 1510 におけるそれぞれの励振電極の間の厚さ T とした場合、既に説明した G/T の関係式を有している。なお、 G/T についての関係式は、Z' 軸負方向側における、励振電極 1520 の長辺縁 1520b と水晶片 1510 の Z' 軸負方向側の長辺縁 1512b との関係についても同様に当てはまるものである。また、 G/T の関係式は、水晶片 1510 の励振電極 1530 側の長辺についても、同様に当てはまるものである。

[0151] 本変形例によれば、水晶片 1510 が短手方向の両端に振動部 1502 よりも厚さが薄く形成された薄肉端部 1504, 1506 を有しているので、既に説明したとおり良好な振動特性を得ることができることに加えて、振動エネルギー閉じ込め性に優れるなどメサ型構造特有の作用効果も有する。

[0152] なお、上記メサ構造の態様は図 24 及び図 25 に限定されるものではなく、例えば図 24 及び図 25 に示す各構成を組み合わせたメサ構造を採用してもよい。これによれば、水晶片が長手方向及び短手方向のそれぞれにおいて薄肉端部を有し、図 24 及び図 25 の各態様について説明した作用効果を備えることができる。

[0153] 図 26 は、第 3 変形例に係る水晶振動素子を説明するための図であり、この例では水晶片の端部と振動部との間に溝が形成されている。

[0154] 本変形例に係る水晶振動素子 1600 の水晶片 1610 は、第 1 面 1612 に励振電極 1620 が設けられ、第 2 面 1614 に励振電極 1630 が設けられている。第 1 及び第 2 励振電極 1620, 1630 は、水晶片 1610 を挟んで互いに重なって設けられている。水晶片 1610 は、第 1 及び第 2 励振電極 1620, 1630 が互いに重なる振動部 1602 を有する。水

晶片 1610 は、図 17 に示す例と同様に X 軸と平行な長辺と Z' 軸と平行な短辺とを有する。そして、水晶片 1610 の長辺が延在する方向の X 軸正方向側に第 1 端部 1604 が設けられ、反対の X 軸負方向側に第 2 端部 1606 が設けられている。すなわち、振動部 1602 は、これらの第 1 端部 1604 及び第 2 端部 1606 の間に設けられている。

[0155] そして、図 26 に示す例では、第 1 端部 1604 と振動部 1602 との間、及び、第 2 端部 1606 と振動部 1602 との間に、それぞれ溝 1608, 1609 が形成されている。これらの溝 1608, 1609 は、水晶片 1610 の一方の長辺縁 1612a から他方の長辺縁 1612b に延在している。各溝 1608, 1609 は、水晶片 1610 の Y' 正方向側に形成されている。なお、図 26 に示すように、水晶片 1610 の Y' 負方向側にも同様に溝がそれぞれ形成されていてもよい。溝 1608, 1609 の深さは特に限定されるものではなく、所望の振動特性が得られるよう適宜設定すればよい。溝 1608, 1609 の延在方向に直交する断面形状は特に限定されるものではなく、図 26 に示すように底面が設けられた凹状であってもよいし、あるいは傾斜した 2 つの側面によって構成される V 字状であってもよい。また、溝 1608, 1609 は図 26 に示すようにそれぞれ延在方向に同一の断面形状を有していてもよいし、例えば溝幅が異なるなど、異なる断面形状を有していてもよい。

[0156] 励振電極 1620 は、振動部 1602 の一方の主面である第 1 面 1612 に形成され、他方、励振電極 1630 は、振動部 1602 の他方の主面である第 2 面 1614 に形成されている。振動部 1602 の第 1 及び第 2 面 1612, 1614 はいずれも X 軸と平行な長辺と、Z' 軸と平行な短辺とを有する長方形に形成されている。

[0157] 本変形例においても、Z' 軸正方向側において、励振電極 1620 の長辺縁 1620a は、水晶片 1610 の Z' 軸正方向側の長辺縁 1612a と平行となっており、また、励振電極 1620 の長辺縁 1620a と水晶片 1610 の長辺縁 1612a との間の距離を G とし、水晶片 1610 におけるそ

れぞれの励振電極 1620, 1630 の間の厚さ T とした場合、既に説明した G/T の関係式を有している。なお、 G/T についての関係式は、 Z' 軸負方向側における、励振電極 1620 の長辺縁 1620b と水晶片 1610 の Z' 軸負方向側の長辺縁 1612b との関係についても同様に当てはまるものである。また、 G/T の関係式は、水晶片 1610 の励振電極 1630 側の長辺についても、同様に当てはまるものである。

[0158] 本変形例によれば、第 1 端部 1604 と振動部 1602 との間、及び、第 2 端部 1606 と振動部 1602 との間に、それぞれ溝 1608, 1609 が形成されているため、いわゆるメサ型構造特有の作用効果を備えている。すなわち、既に説明したとおり良好な振動特性を得ることができることに加えて、振動エネルギー閉じ込め性に優れるなどメサ型構造特有の作用効果も有する。

[0159] なお、図 26 に示す例では、例えば Y' 軸正方向側において溝が 2 列形成された構成を説明した。しかしながら溝の態様はこれに限定されるものではなく、溝は、水晶片の短辺の方向に延在する 1 つであってもよい。あるいは、水晶片の短辺の方向に延在する溝が、水晶片の長辺の方向に 3 列以上配列されていてもよい。さらに別の態様として、例えば、水晶片の第 1 端部及び第 2 端部との間に、一つの幅広の溝が形成され、当該溝の底面に励振電極が形成されていてもよい。この場合、励振電極が形成される溝の底面は、振動部の主面となる。

[0160] 本実施形態に係る構成は、第 1 実施形態で説明した全幅厚みすべり振動モードによる振動特性を備えていてもよい。この場合、本実施形態で説明した作用効果に加え、第 1 実施形態において説明したとおり、全幅厚みすべり振動が発生によって、均一な振動を得ることができる。したがって、さらに良好な振動特性を得ることができる。

[0161] 以上の説明においては、水晶片の全体又は各構成が略直方体の態様について説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、例えばベベル構造又はコンベックス構造のような、中央部から端部に向かって徐々に厚さを小

さくした形状に適用することも可能である。この場合、上記厚さTは、それぞれの励振電極の間のうち最も厚い部分（例えば励振電極の中央部）に適用することができる。

[0162] 各実施形態において水晶片における全幅厚みすべり振動モードの振動分布は、水晶片の表裏面の両方に発生する。

[0163] 上記した各部の寸法、形状及び方向等は厳密である必要はなく、当業者にとって同等であると理解し得るものを含む。

[0164] なお、以上説明した各実施形態は、本発明の理解を容易にするためのものであり、本発明を限定して解釈するためのものではない。本発明は、その趣旨を逸脱することなく、変更／改良され得るととともに、本発明にはその等価物も含まれる。即ち、各実施形態に当業者が適宜設計変更を加えたものも、本発明の特徴を備えている限り、本発明の範囲に包含される。例えば、各実施形態が備える各要素及びその配置、材料、条件、形状、サイズなどは、例示したものに限定されるわけではなく適宜変更することができる。また、各実施形態が備える各要素は、技術的に可能な限りにおいて組み合わせることができ、これらを組み合わせたものも本発明の特徴を含む限り本発明の範囲に包含される。

符号の説明

- [0165]
- | | |
|-------|---------|
| 1 | 水晶振動子 |
| 2 | 水晶振動子 |
| 1 0 | 水晶振動素子 |
| 1 1 | 水晶片 |
| 1 4 a | 励振電極 |
| 1 4 b | 励振電極 |
| 2 0 | 蓋部材 |
| 2 3 | 内部空間 |
| 3 0 | 基板 |
| 3 6 a | 導電性保持部材 |

3 6 b 導電性保持部材

4 0 振動領域

5 0 非振動領域

請求の範囲

- [請求項1] 所定の結晶方位を有しかつ平面視において第1方向及び第2方向を有する水晶片と、
- 交番電界を印加したとき前記水晶片に前記第1方向に主要振動を有する厚みすべり振動を励振するように前記水晶片の表面及び裏面にそれぞれ設けられた励振電極と、
- を備え、
- 前記水晶片における厚みすべり振動を主要振動とする振動分布が、前記水晶片の前記第2方向に帯状に延在する振動領域と、前記水晶片の前記第1方向において前記振動領域の両側にそれぞれ隣接する非振動領域とを有する、水晶振動素子。
- [請求項2] 平面視において第1方向及び第2方向を有するA Tカットされた水晶片と、
- 前記水晶片の表面及び裏面に対向して設けられた励振電極と、
- を備え、
- 前記水晶片における前記励振電極で励振された前記第1方向に主要振動を有する厚みすべり振動の振動分布が、前記第2方向で対向する前記水晶片の2つの辺を横切るように延在しかつ前記第1方向に距離をあけて対向して設けられた2つの振幅の節と、前記2つの節で挟まれた位置に設けられた振動領域の振幅の腹とを有する、水晶振動素子。
- [請求項3] 所定の結晶方位を有しかつ平面視において第1方向及び第2方向を有する水晶片と、
- 前記第1方向の中央部に位置し少なくとも厚みすべり振動で振動する振動領域と、前記第1方向において前記振動領域の両側を挟む非振動領域とを有するように前記水晶片の表面及び裏面にそれぞれ設けられた励振電極と、
- を有し、

前記振動領域と前記非振動領域との境界が、前記水晶片の前記第 2 方向で対向する前記第 1 方向に延びる 2 つ辺を結び、前記第 2 方向に波状に延びる、水晶振動素子。

[請求項4] 前記振動領域における強振動領域が、前記表面の前記第 1 方向に延びる一方の辺と、前記一方の辺と前記第 2 方向に離れて対向する前記裏面の前記第 1 方向に延びる他方の辺とに位置する互いに逆位相の第 1 分布を有している、請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の水晶振動素子。

[請求項5] 前記第 1 分布が、前記第 1 方向に長い楕円を縦半分に割った半楕円状の分布を有している、請求項 4 に記載の水晶振動素子。

[請求項6] 前記振動領域における強振動領域が、前記第 1 分布に対して、前記第 2 方向に並んで配置される前記表面及び前記裏面のそれぞれに位置する第 2 分布をさらに有している、請求項 4 又は 5 に記載の水晶振動素子。

[請求項7] 前記第 2 分布が、前記第 1 方向に長い楕円状の分布である、請求項 6 に記載の水晶振動素子。

[請求項8] 前記振動領域における前記表面の法線方向である第 3 方向の変位成分の強振動領域が、前記水晶片の前記第 1 方向の midpoint で前記第 2 方向に延びる中間線を基準に、前記中間線の前記第 1 方向の一方側において前記第 1 方向に沿って並ぶ複数の一方の分布と、前記中間線の前記第 1 方向の他方側において前記第 1 方向に沿って並び、かつ前記一方の分布と互いに逆位相である複数の他方の分布とを含む第 3 分布をさらに有している、請求項 4 から 7 のいずれか一項に記載の水晶振動素子。

[請求項9] 前記振動領域が、前記水晶片の前記第 2 方向における前記励振電極の両端に至るまで分布している、請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の水晶振動素子。

[請求項10] 前記振動領域が、前記水晶片の前記第 2 方向における前記励振電極

の両端よりもさらに外側まで分布している、請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の水晶振動素子。

[請求項11] 前記励振電極が、前記水晶片の前記第 2 方向の両端から隙間を有して設けられた、請求項 10 に記載の水晶振動素子。

[請求項12] 前記励振電極が、前記水晶片の前記第 2 方向の両端からそれぞれ距離 G の隙間を有して設けられ、

前記水晶片におけるそれぞれの前記励振電極の間の厚さ T とすると

、

$$0 < G / T \leq 0.5$$

の関係の有する、請求項 1 から 11 のいずれか一項に記載の水晶振動素子。

[請求項13] $G / T \leq 0.2$

の関係をさらに有する、請求項 12 に記載の水晶振動素子。

[請求項14] $0.0002 \leq G / T$

の関係をさらに有する、請求項 12 又は 13 に記載の水晶振動素子。

[請求項15] 前記水晶片の前記第 2 方向の幅 W とすると、

$W / T \leq 10.2$ の関係をさらに有する、請求項 12 から 14 のいずれか一項に記載の水晶振動素子。

[請求項16] 前記振動領域が、一つ又は複数の強振動領域を有する、請求項 1 から 15 のいずれか一項に記載の水晶振動素子。

[請求項17] 前記水晶片は、前記振動領域を有する第 1 部分と、前記第 1 方向における前記第 1 部分の両端に隣接する第 2 部分とを備え、

前記励振電極は、前記第 1 方向において、前記振動領域の前記第 1 方向に複数の波数を有するように設けられ、

前記水晶片の前記表面及び前記裏面の前記励振電極の厚さ T_{ex} 、前記励振電極で挟まれた前記水晶片の厚さ T 、前記第 1 部分の前記第 1 方向における長さ L_1 、前記励振電極の材料の比重 γ_{ex} 、前記水晶片の材料の比重 γ_{xt} としたとき、式 1 から求められる実効厚さ T_e が、

波数 n (n は自然数) としたとき、式 2 の関係を満足する、請求項 1 から 16 のいずれか一項に記載の水晶振動素子。

$$T_e = T + T_{ex} \cdot \gamma_{ex} / \gamma_{xt} \quad \dots \text{式 1}$$

$$L_1 / T_e = 1.603 \cdot n - 0.292 \quad \dots \text{式 2}$$

[請求項18] 前記第 2 部分の厚さは前記第 1 部分の厚さより薄い、請求項 17 記載の水晶振動素子。

[請求項19] 前記水晶片は、前記第 1 方向における前記第 2 部分の両端に隣接する第 3 部分をさらに備え、前記第 3 部分は前記第 2 部分の厚さよりも厚い、請求項 18 記載の水晶振動素子。

[請求項20] 前記水晶片の前記第 3 部分は、前記第 1 部分と同じ厚さである、請求項 19 記載の水晶振動素子。

[請求項21] 前記第 1 方向において、前記振動領域の長さ L_1 の全域を覆うように前記励振電極が設けられている、請求項 17 から 20 のいずれか一項に記載の水晶振動素子。

[請求項22] 前記水晶片を平面視したとき、前記第 1 方向と前記第 2 方向とに直交する辺を有する長形状である、請求項 1 から 21 のいずれか一項に記載の水晶振動素子。

[請求項23] 前記第 1 方向は、前記水晶片の結晶方位の X 軸方向である、請求項 1 から 22 のいずれか一項に記載の水晶振動素子。

[請求項24] 前記水晶片の外周を囲む枠体と、
前記水晶片と前記枠体とを連結する連結部材と
をさらに備えた、請求項 1 から 23 のいずれか一項に記載の水晶振動素子。

[請求項25] 請求項 1 から 24 のいずれか一項に記載の水晶振動素子と、
前記水晶片を励振可能に支持する基板と、
を備え、
前記水晶片が、前記基板上に導電性保持部材を介して励振可能に支持された、水晶振動子。

- [請求項26] 前記基板に接合材を介して接合された蓋部材をさらに備え、
前記水晶片が前記基板と前記蓋部材との内部空間に設けられた、請求項25に記載の水晶振動子。
- [請求項27] 請求項24に記載の水晶振動素子と、
前記水晶片を励振可能に内部空間に収容するように前記水晶片の表裏側においてそれぞれ前記枠体に接合された第1及び第2基板と、
を備えた、水晶振動子。
- [請求項28] 厚みすべり振動を主振動とする水晶振動素子であって、
長方形形状の主面を表裏に有する水晶片と、
前記水晶片の各主面にそれぞれ形成された長方形形状の励振電極と
を備え、
前記励振電極の長辺縁は、対応する前記水晶片の長辺縁と平行であり、
前記励振電極の長辺縁と、対応する前記水晶片の長辺縁との間の距離をGとし、
前記水晶片におけるそれぞれの前記励振電極の間の厚さをTとすると、
$$0 < G / T \leq 0.5$$

の関係を有する、水晶振動素子。
- [請求項29]
$$G / T \leq 0.2$$

の関係をさらに有する、請求項28記載の水晶振動素子。
- [請求項30]
$$0.0002 \leq G / T$$

の関係をさらに有する、請求項28又は29に記載の水晶振動素子。
- [請求項31] 前記水晶片の短辺の幅をWとすると、
$$W / T \leq 10.2$$

の関係をさらに有する、請求項28から30のいずれか一項に記載の水晶振動素子。
- [請求項32] 前記水晶片は、

前記励振電極が互いに重なる振動部と、

前記振動部に接続されており、当該振動部の厚さよりも薄く形成された薄肉端部と

を含み、

前記水晶片の長辺縁は、前記薄肉端部の長辺縁である、請求項 28 から 31 のいずれか一項に記載の水晶振動素子。

[請求項33] 前記薄肉端部は、前記水晶片における長手方向の両端に位置する、請求項 32 記載の水晶振動素子。

[請求項34] 前記薄肉端部は、前記水晶片における短手方向の両端に位置する、請求項 32 又は 33 に記載の水晶振動素子。

[請求項35] 前記水晶片は、
前記水晶片における長手方向の一方端に位置する第 1 端部と、
前記水晶片における長手方向の他方端に位置する第 2 端部と、
前記第 1 端部と前記第 2 端部との間に設けられ、前記励振電極が互いに重なる振動部と

を含み、

前記水晶片には、前記第 1 及び第 2 端部の少なくとも一方と前記振動部との間に、前記水晶片の一方の長辺縁から他方の長辺縁に延在する溝が形成された、請求項 28 から 31 のいずれか一項に記載の水晶振動素子。

[請求項36] 前記水晶片は、A T カット水晶片である、請求項 28 から 35 のいずれか一項に記載の水晶振動素子。

[請求項37] 基板と、
内部空間を構成するように前記基板に接続された蓋部材と、
前記内部空間に収容された、請求項 28 から 36 のいずれか一項に記載の水晶振動素子と
を備える水晶振動子。

[図1]

1

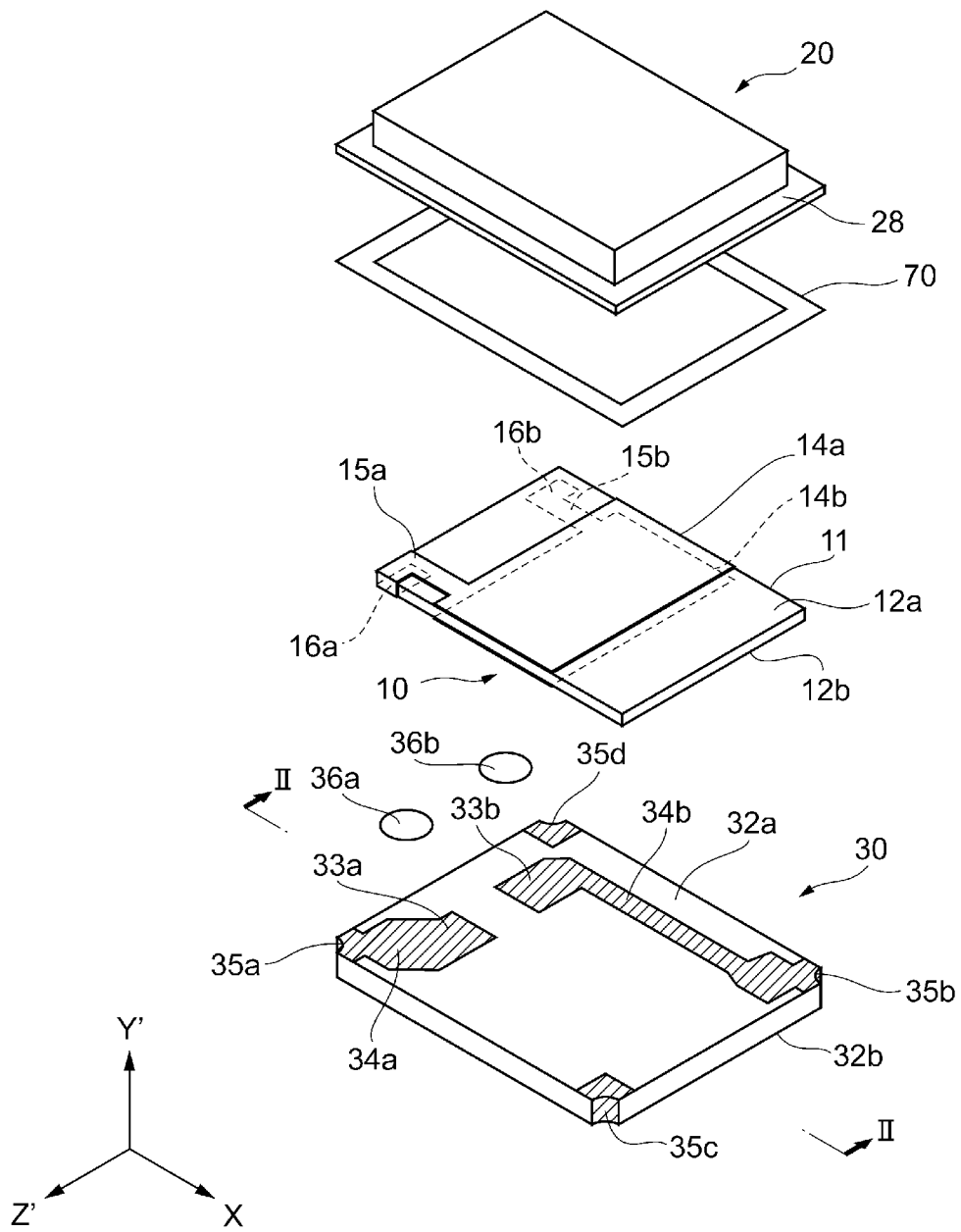


图 1

[図2]

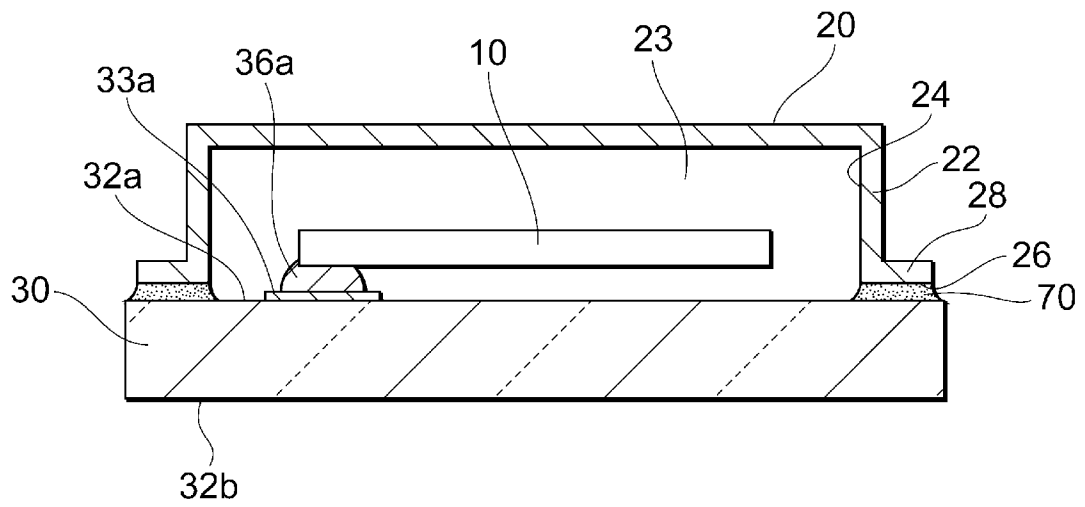
1

図 2

[図3]

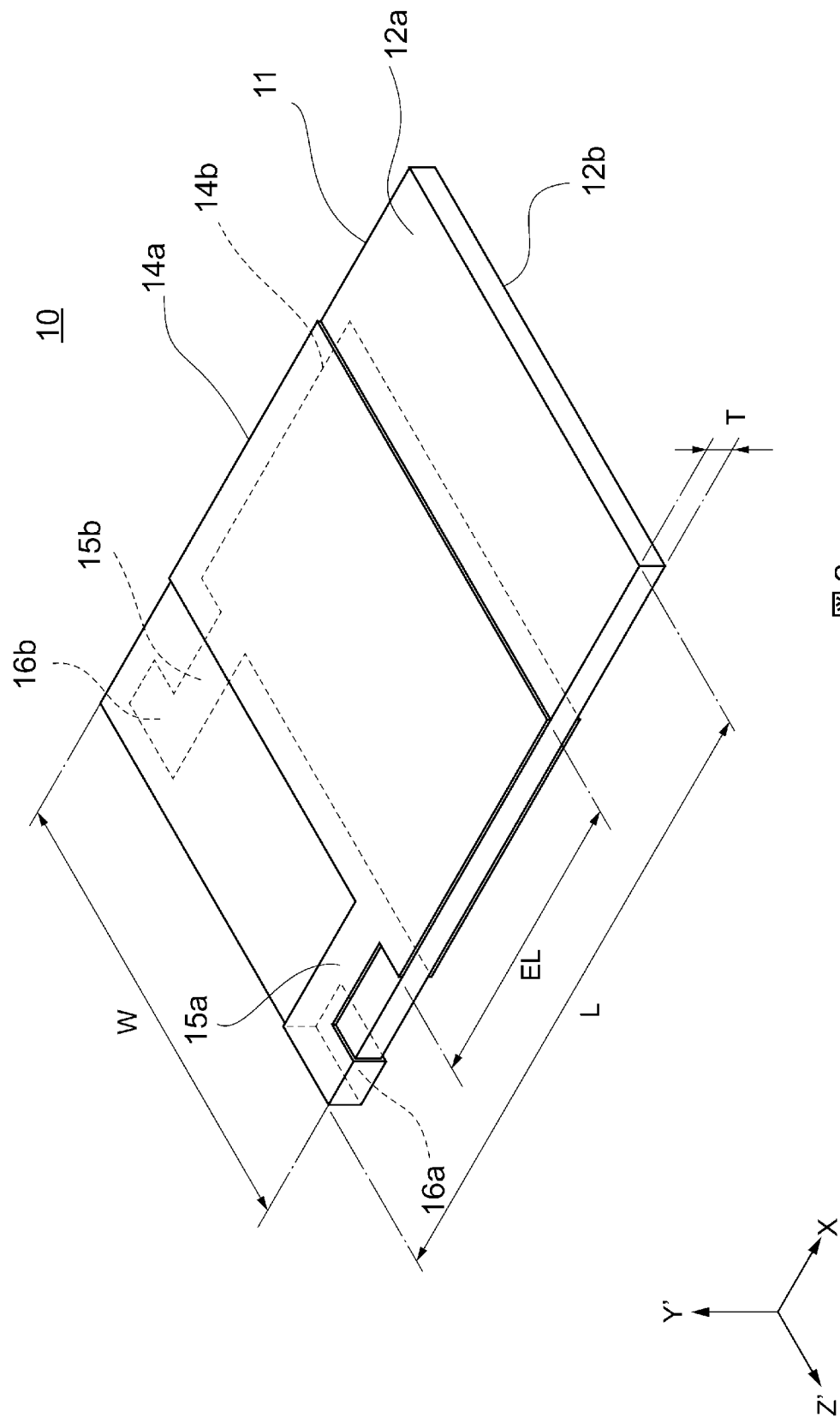


図3

[図4A]

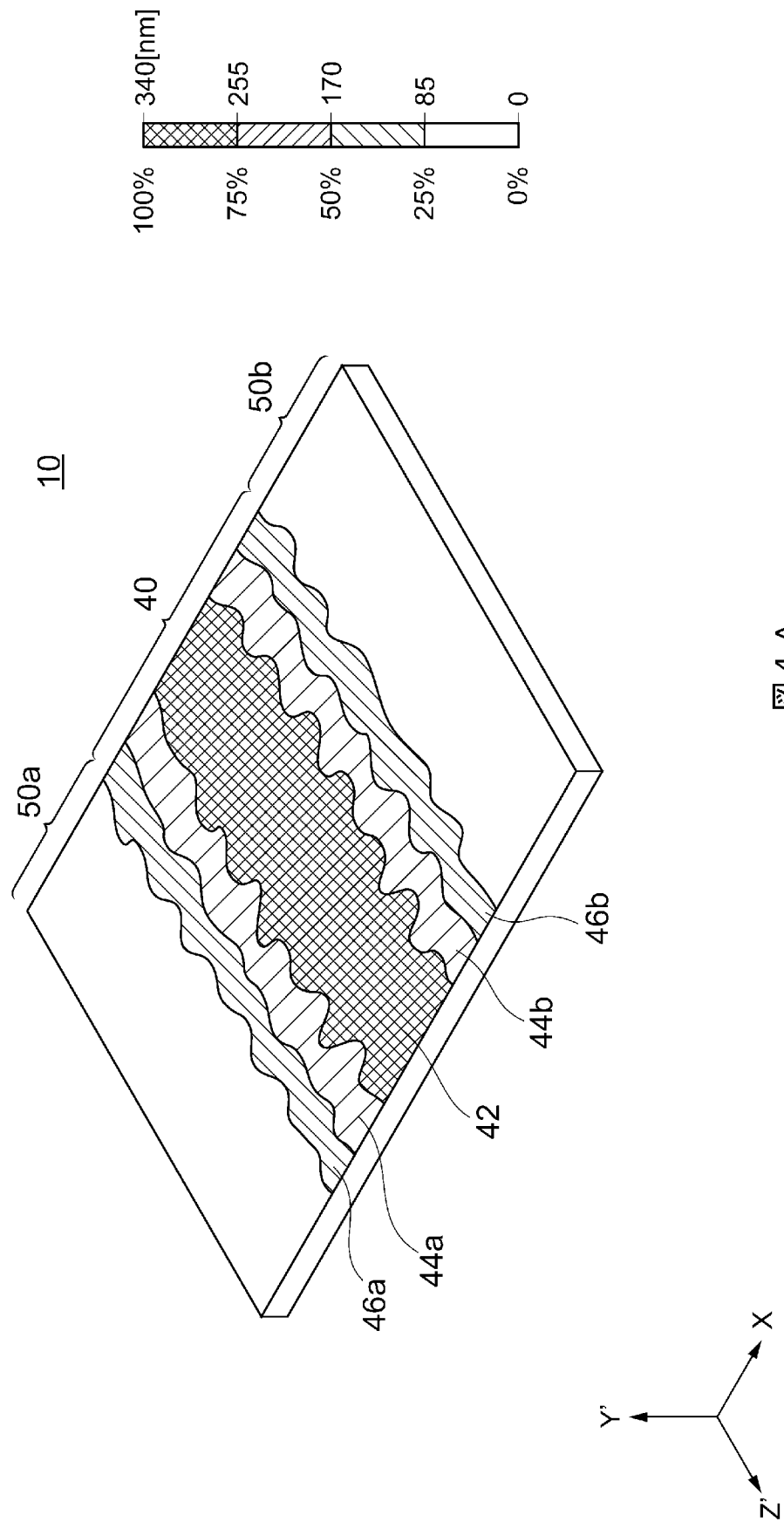
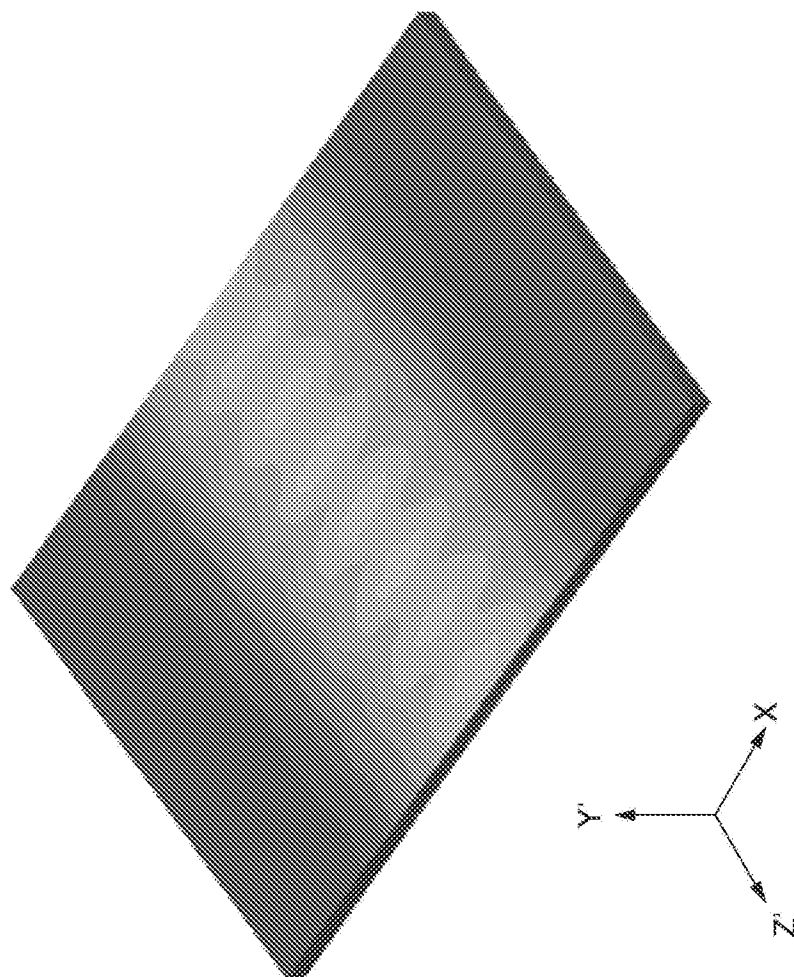


図 4 A

最大値 : 345.026
 最小値 : 0.074

種別
 400
360
320
280
240
200
160
120
80
40
0

最大値 : 345.026
 最小値 : 0.074



(シミュレーションモデル (結晶方位に基づく軸方向) に基づく軸方向)

[図4C]

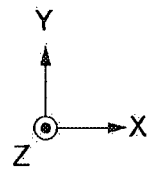
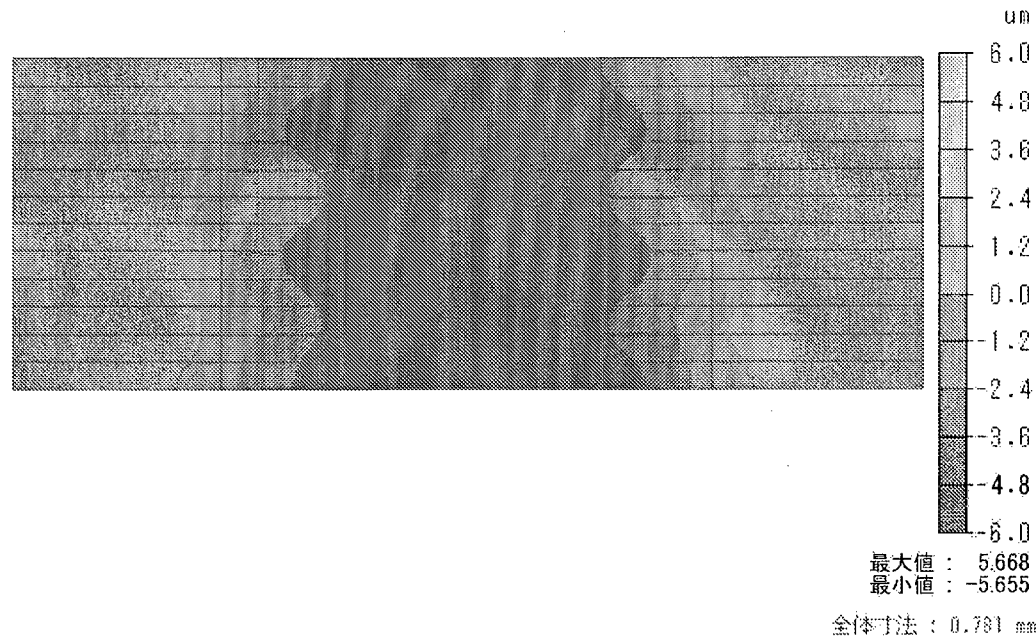


図 4 C

[図4D]

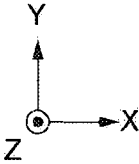
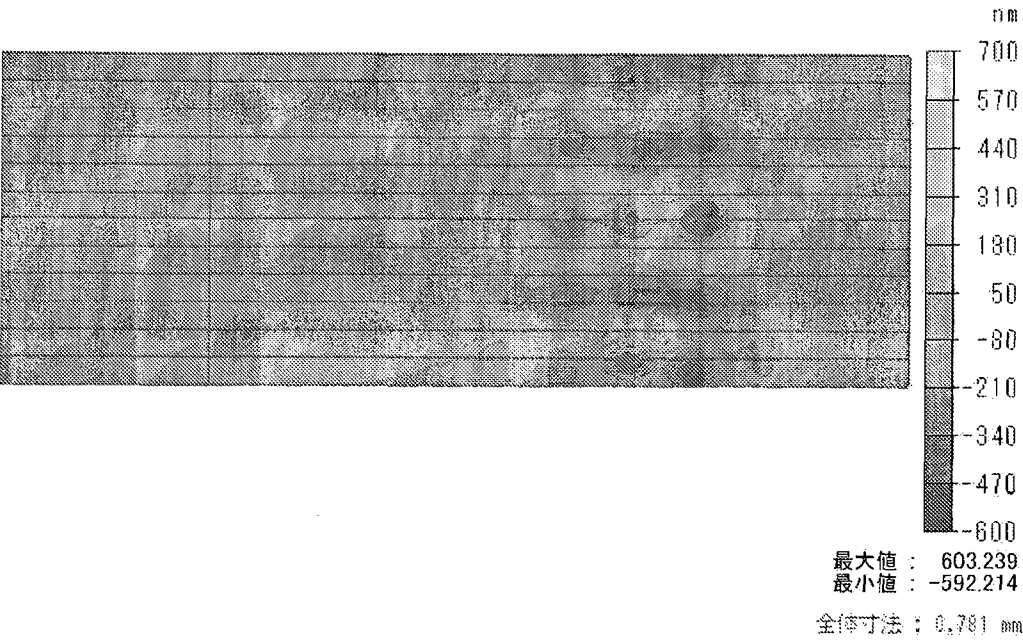


図 4 D

[図4E]

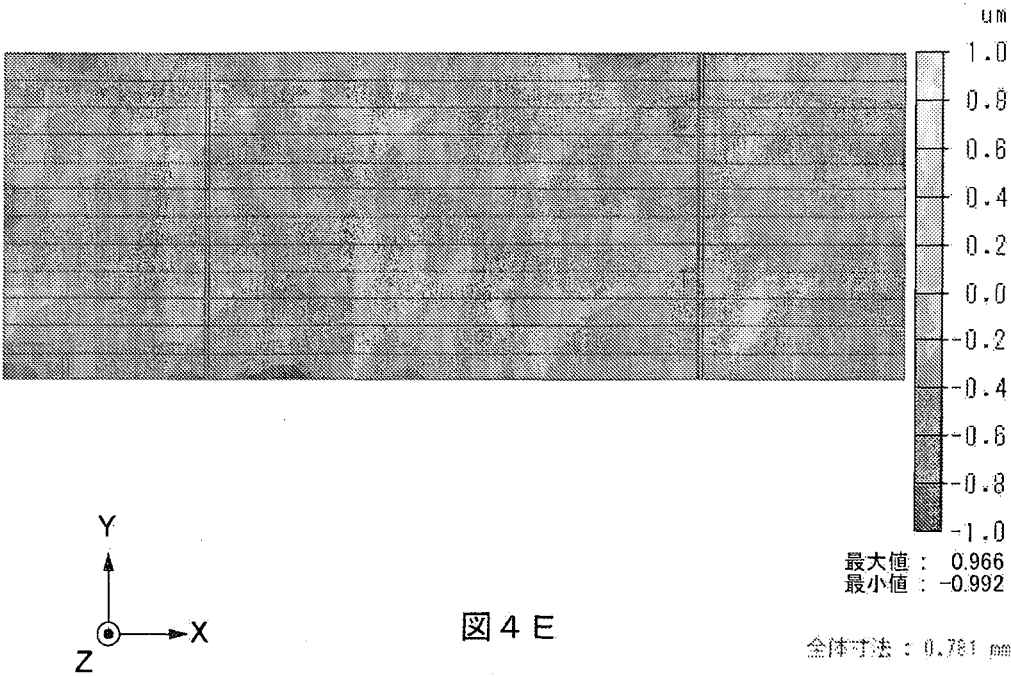


図 4 E

210

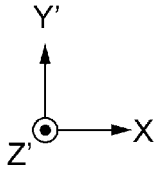
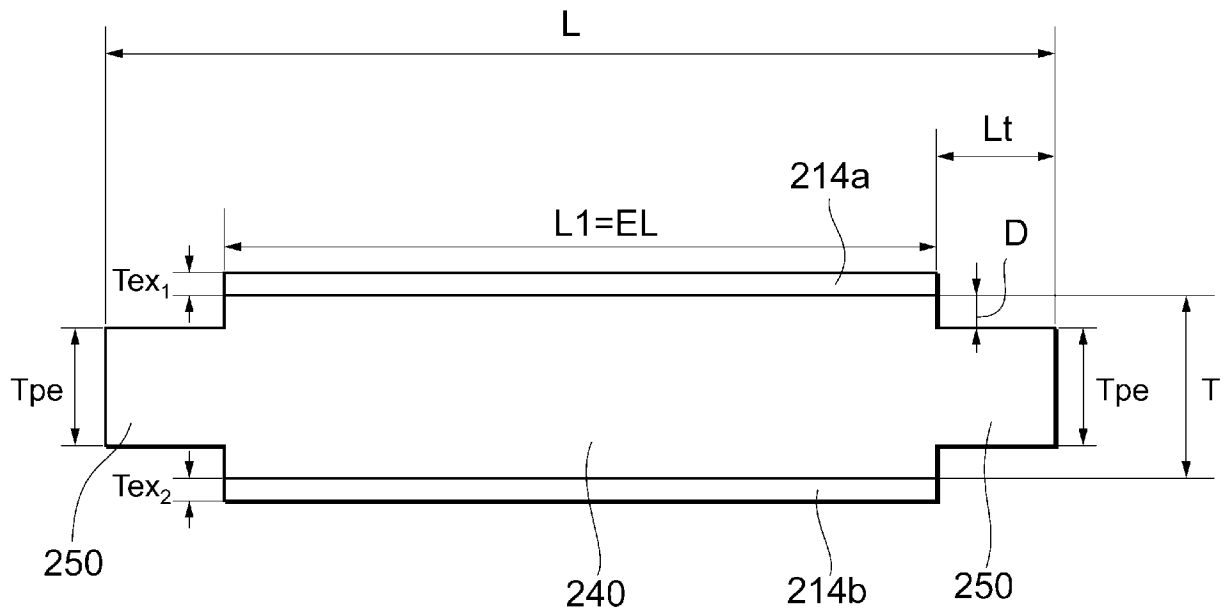


图 5

[図6]

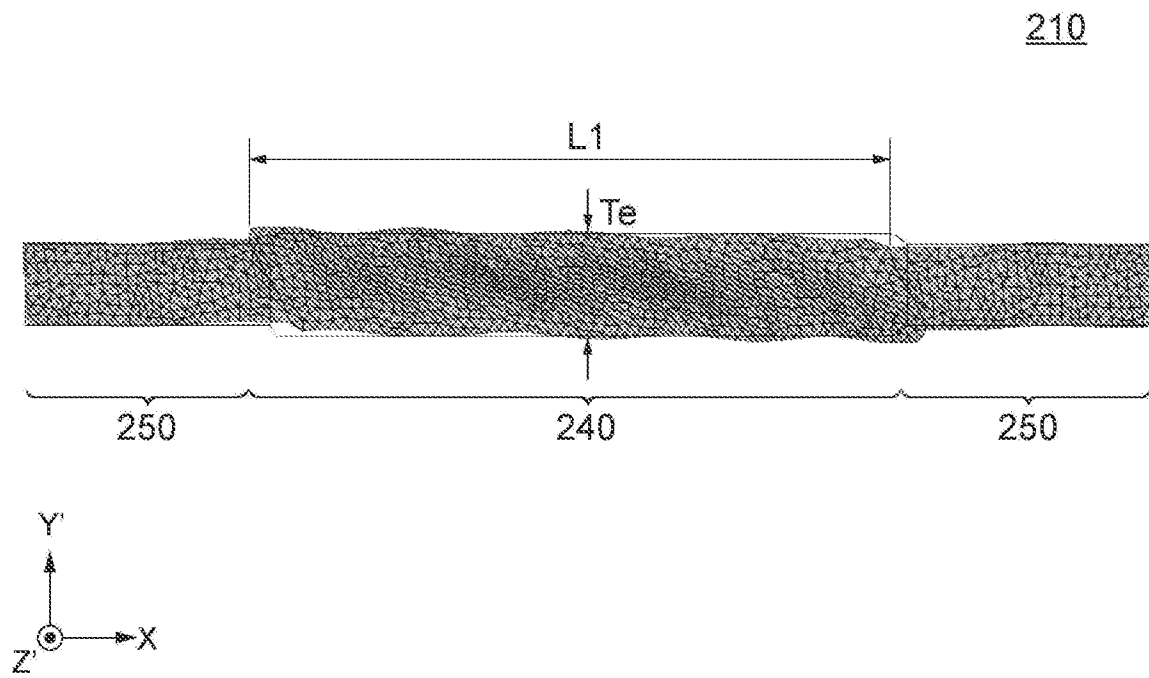


図 6

[図7]

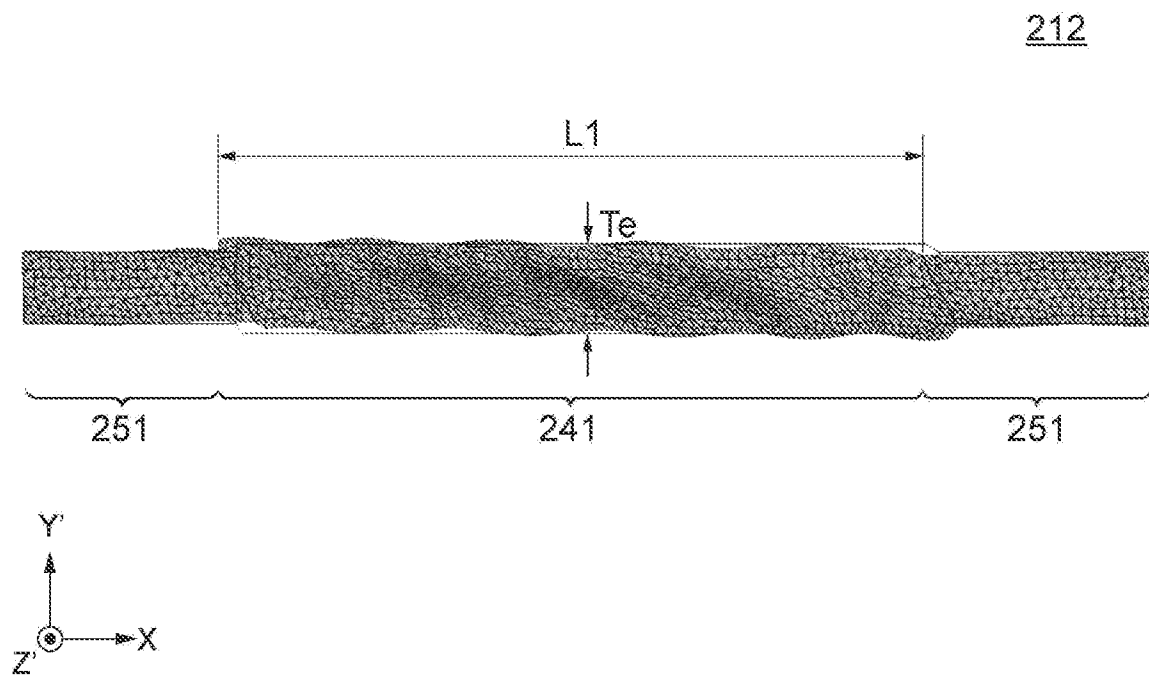


図 7

[図8]

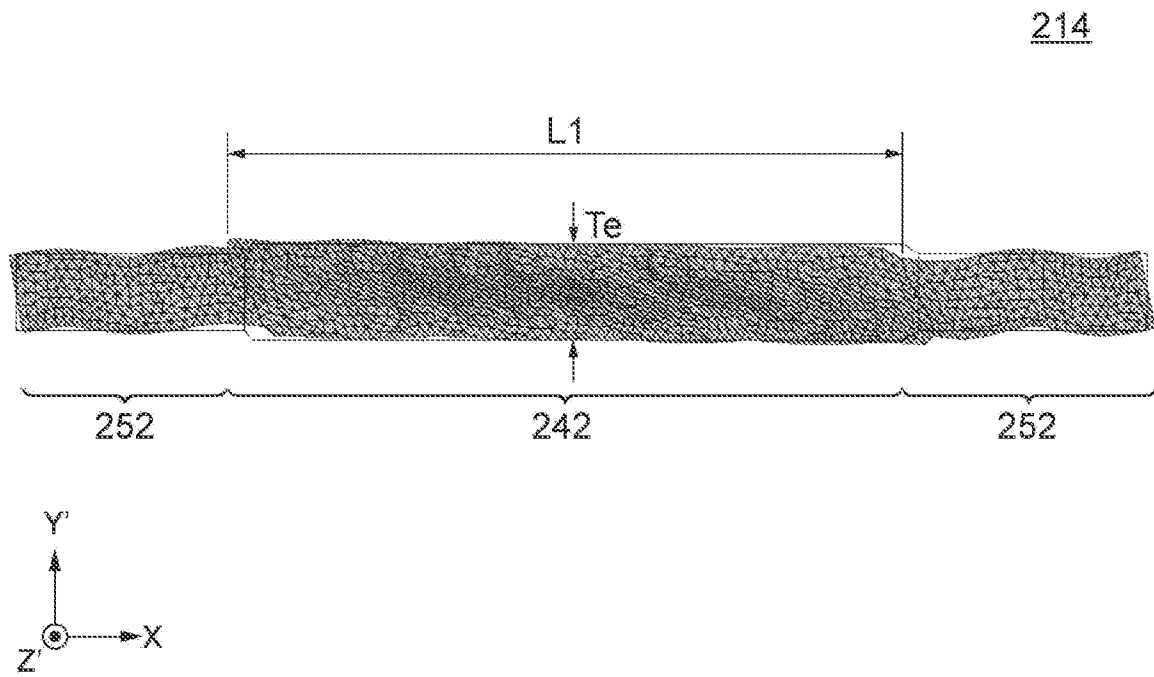


図 8

[図9A]

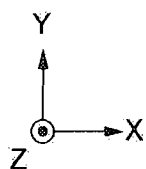
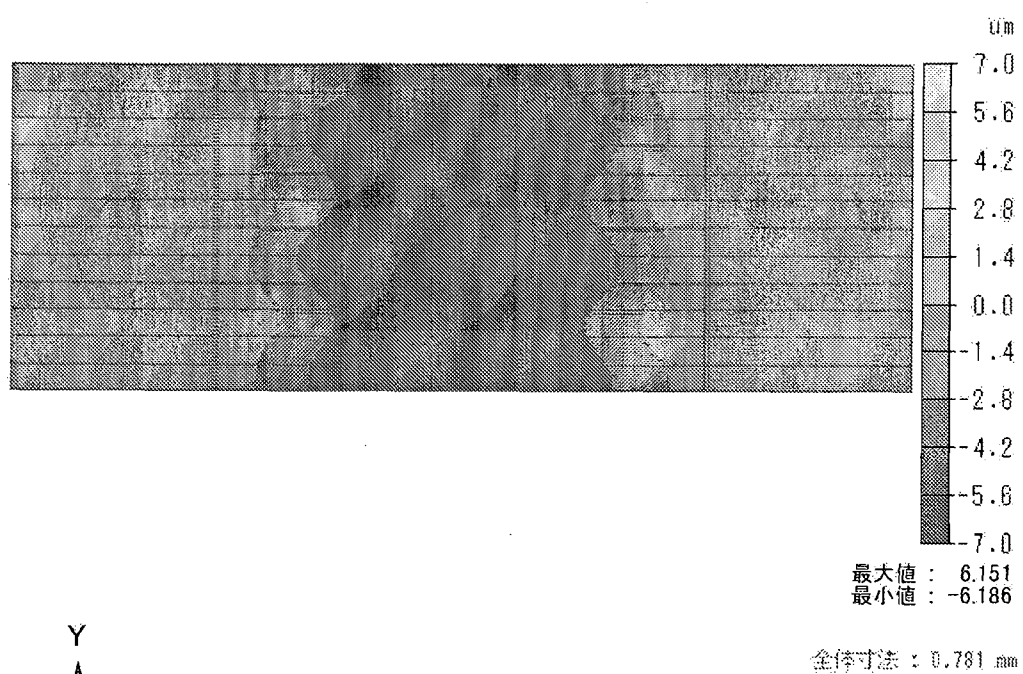


図 9 A

[図9B]

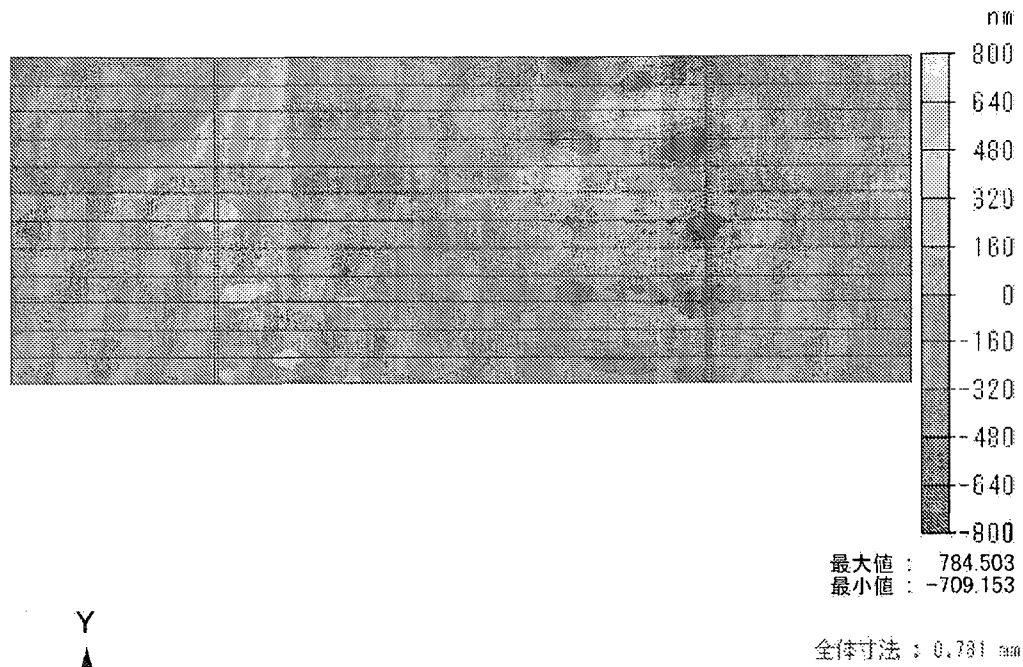


図 9 B

[図11A]

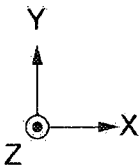
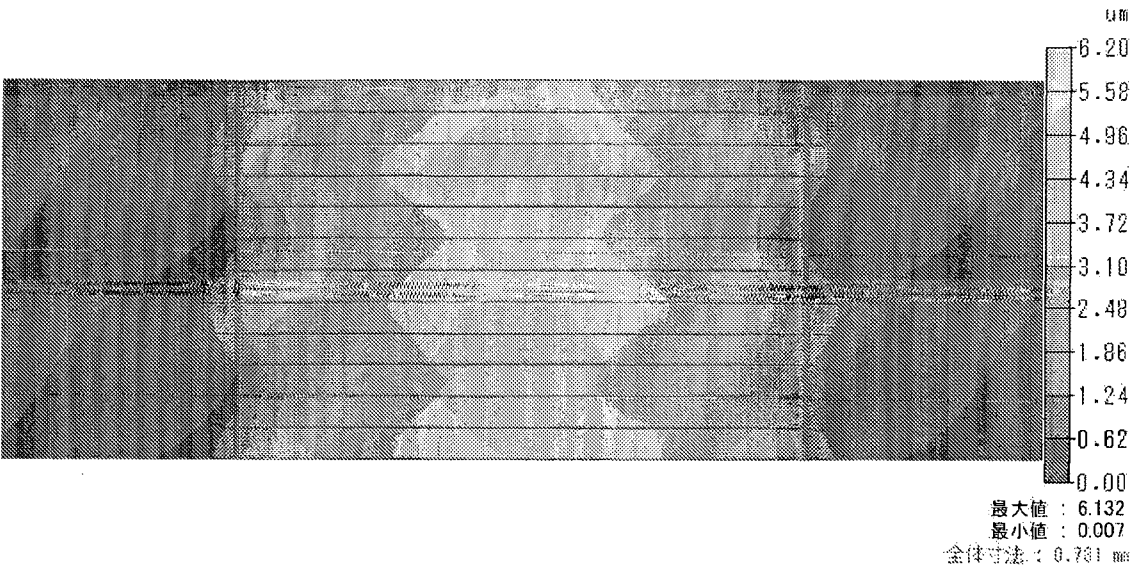


図 1 1 A

[図11B]

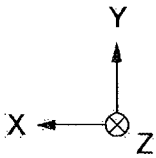
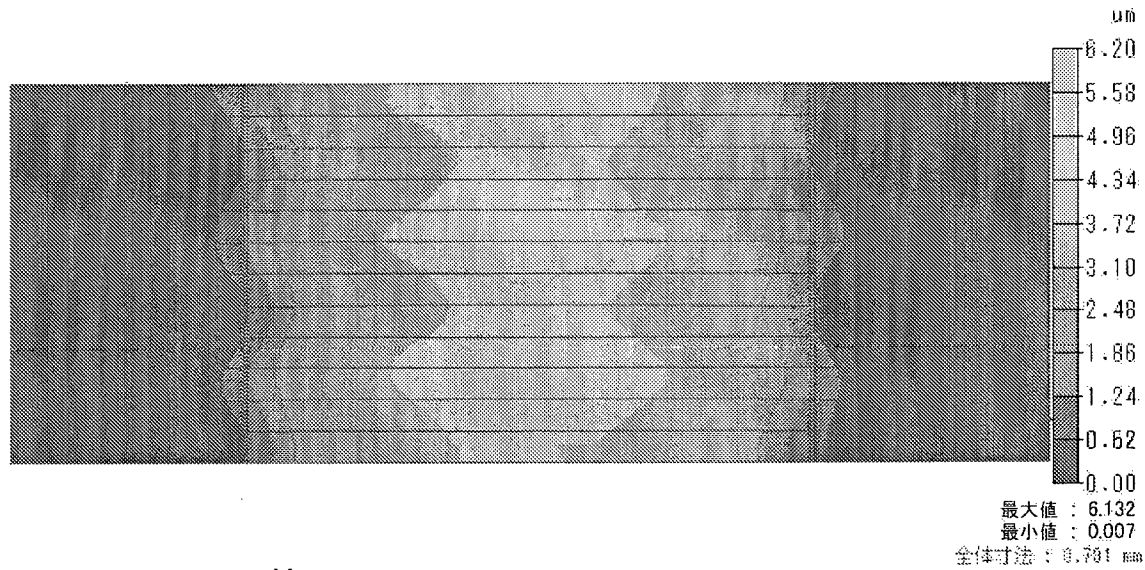


図 1 1 B

[図11C]

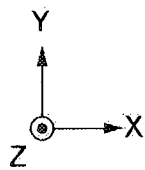
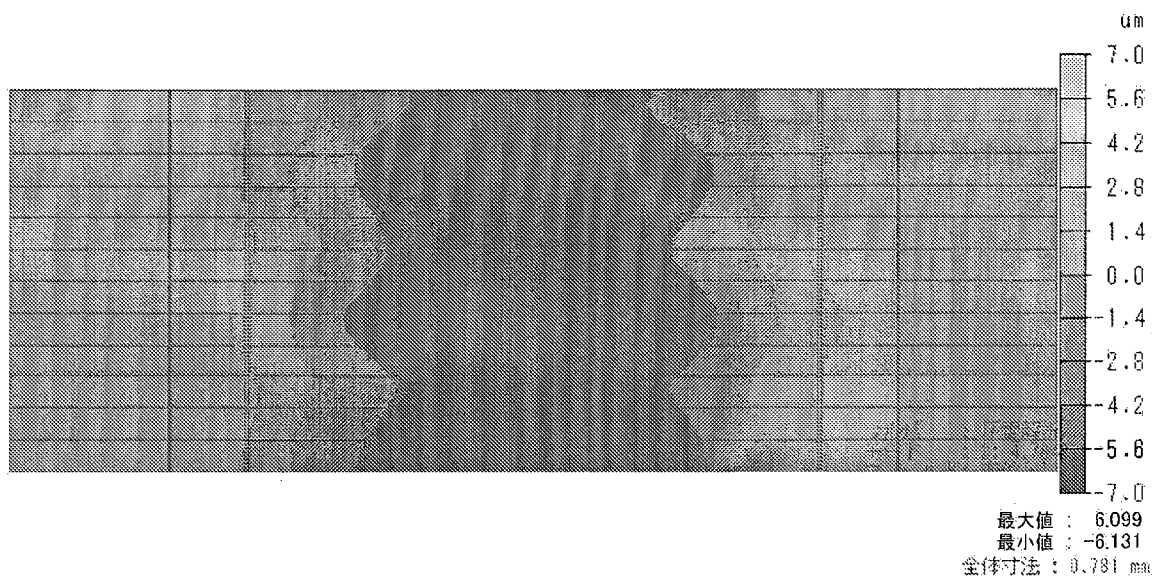
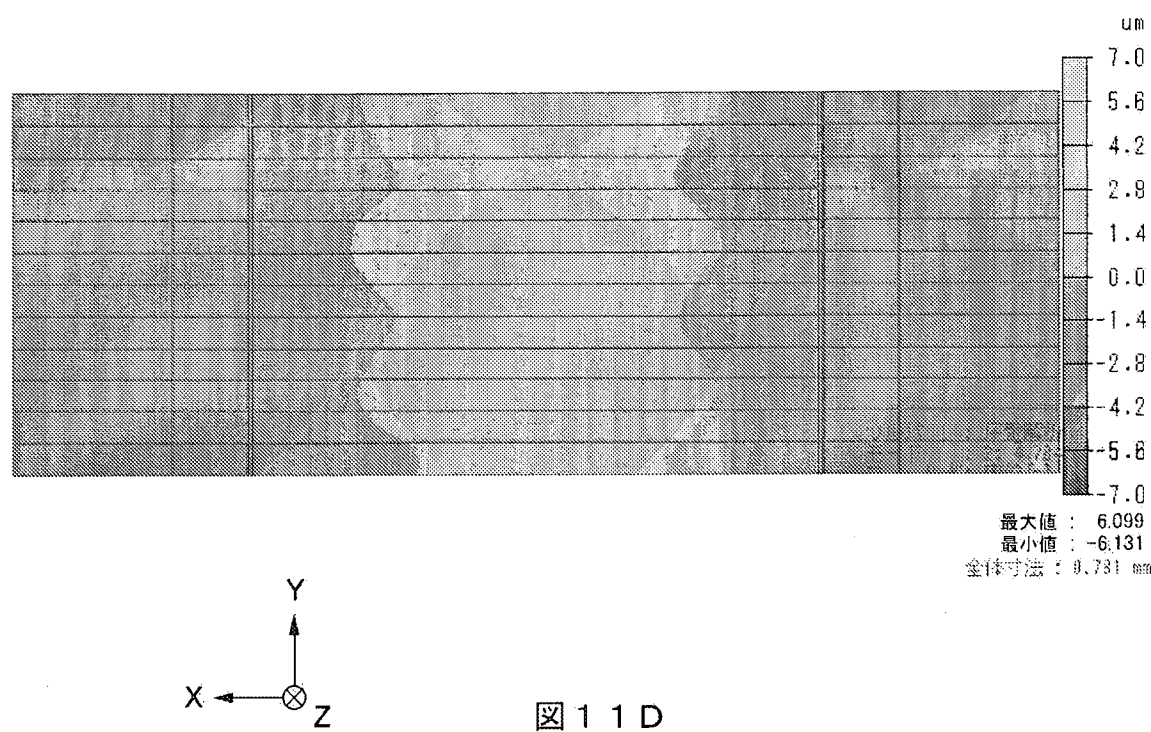


図 1 1 C

[図11D]



[図11E]

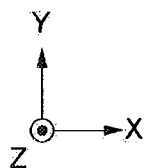
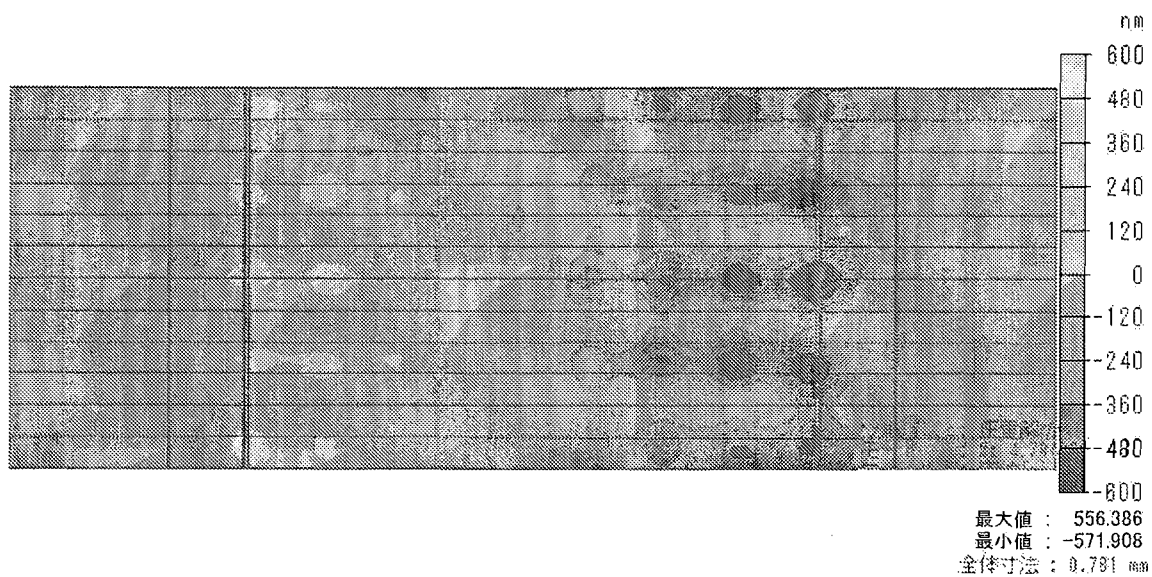


図 1 1 E

[図11F]

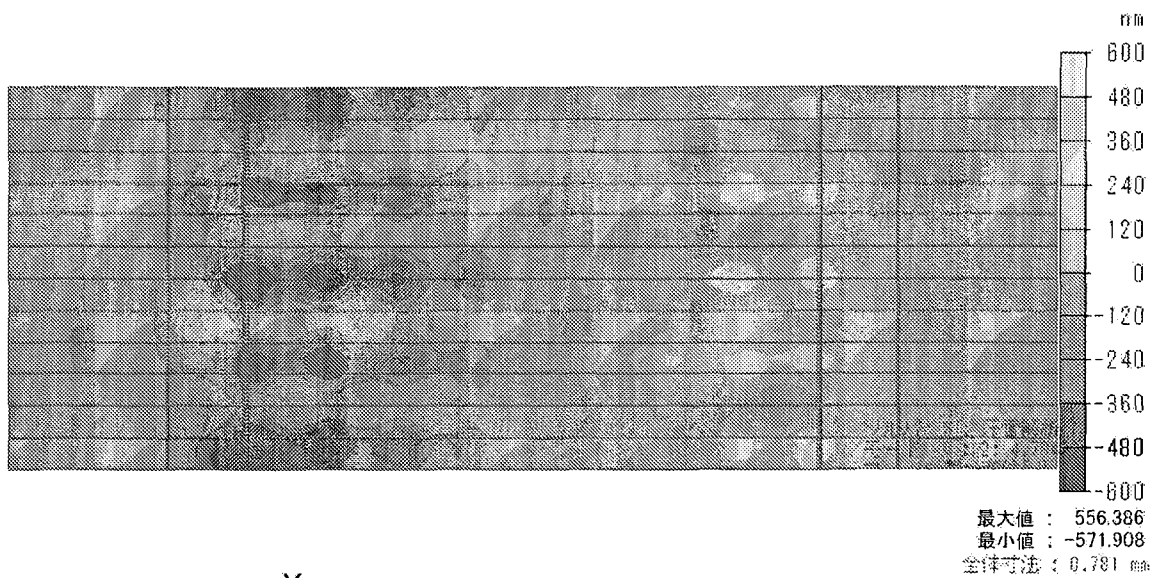


図 1 1 F

[図11G]

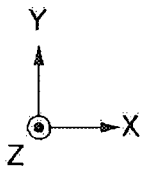
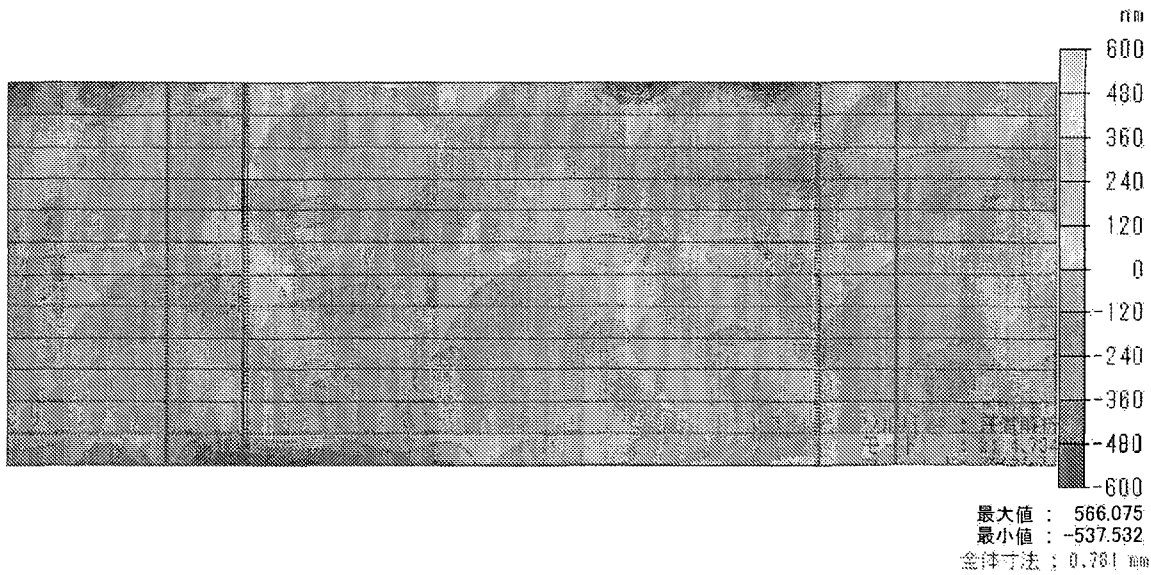
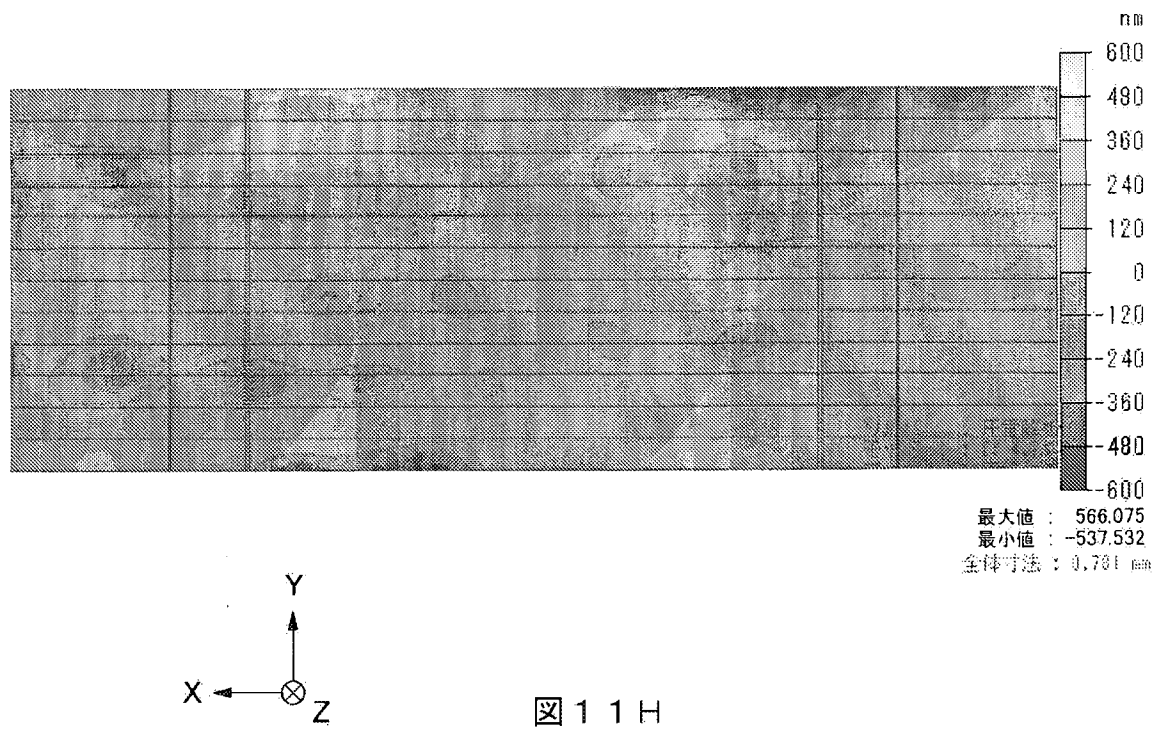
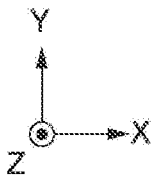
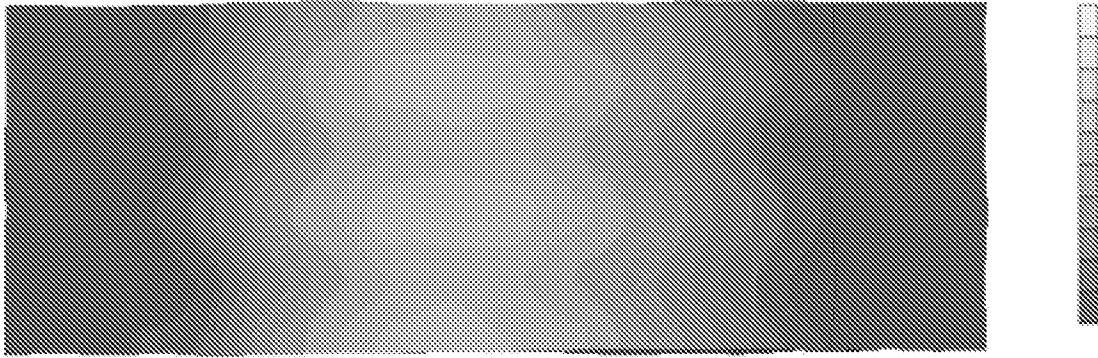


図 1 1 G

[図11H]

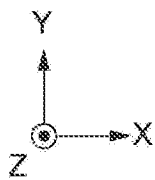
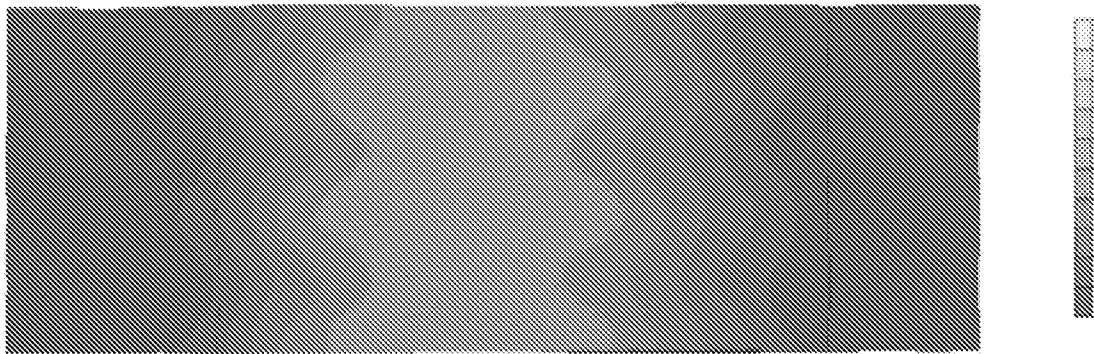


[図11I]



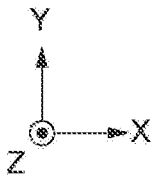
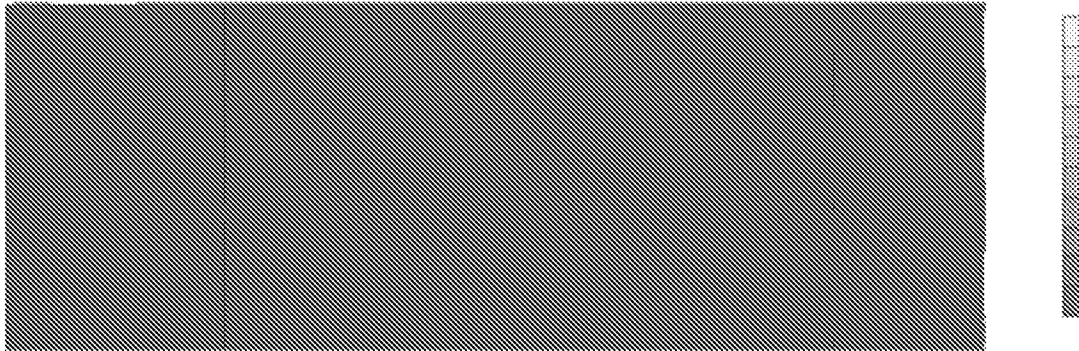
[図11I]

[図11J]



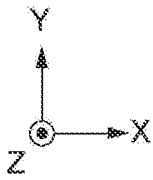
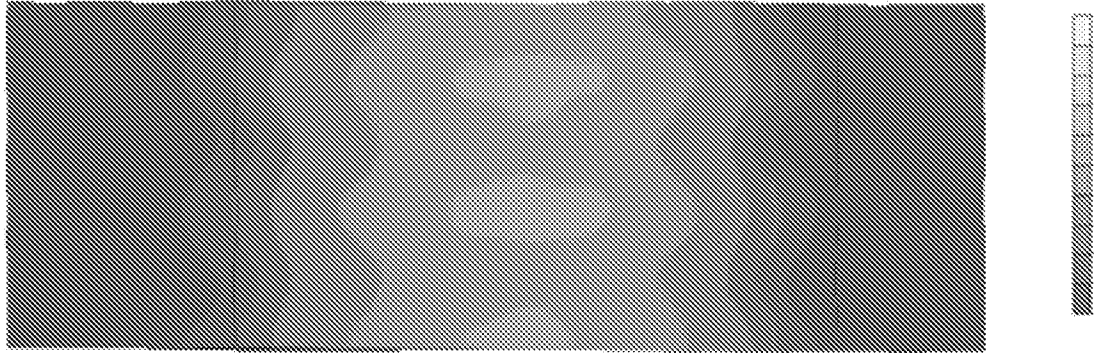
[図11J]

[図11K]



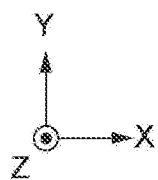
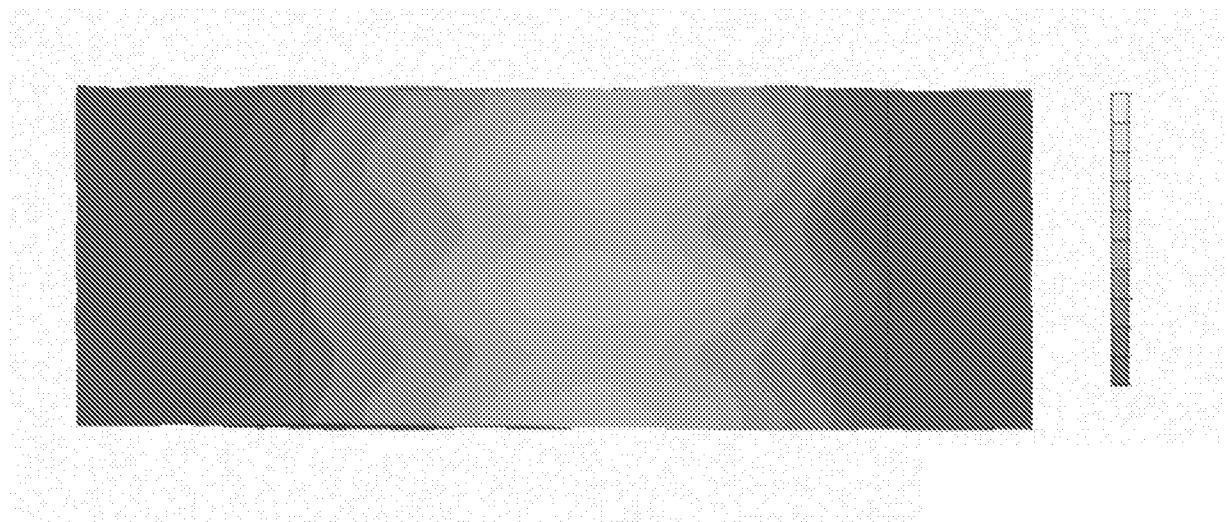
[図11K]

[図11L]



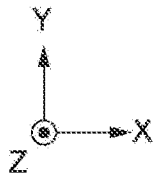
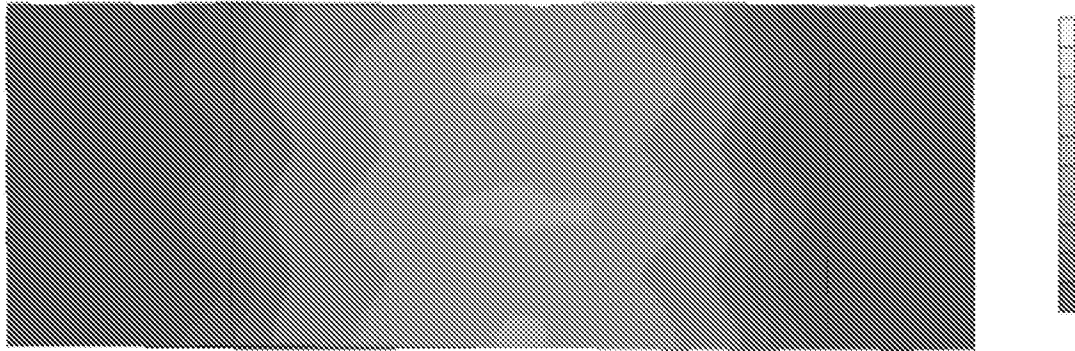
[図11L]

[図11M]



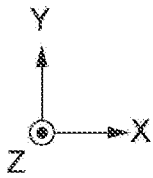
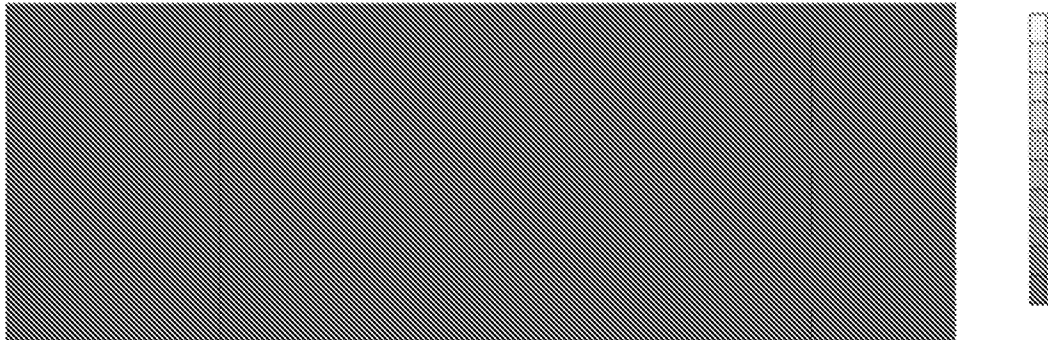
[図11M]

[図11N]



[図11N]

[図110]



[図110]

[図12A]

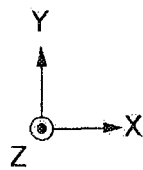
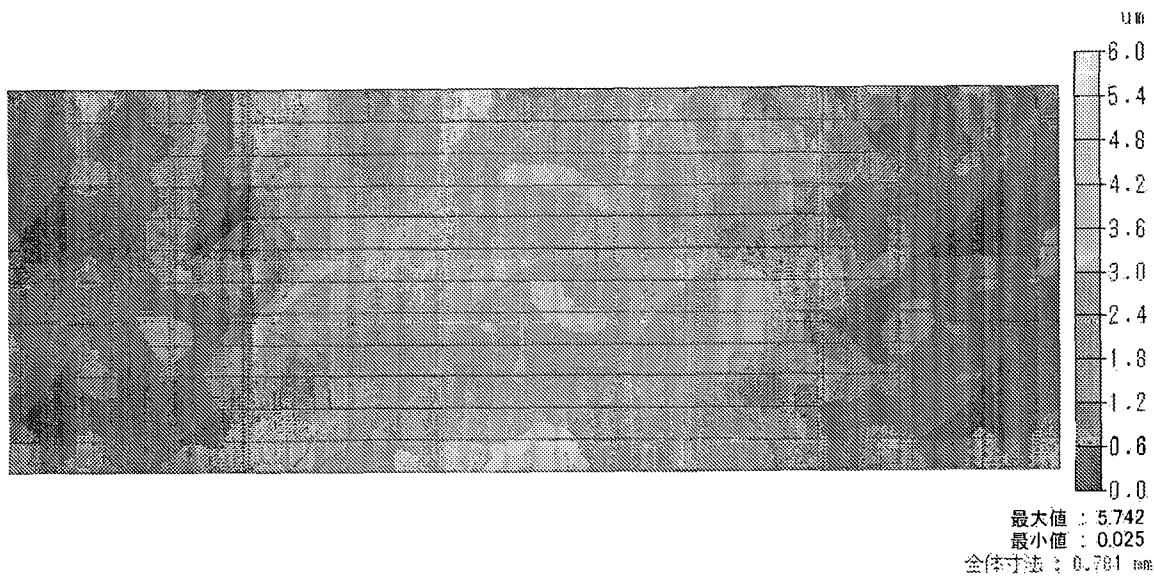


図 1 2 A

[図12B]

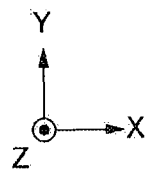
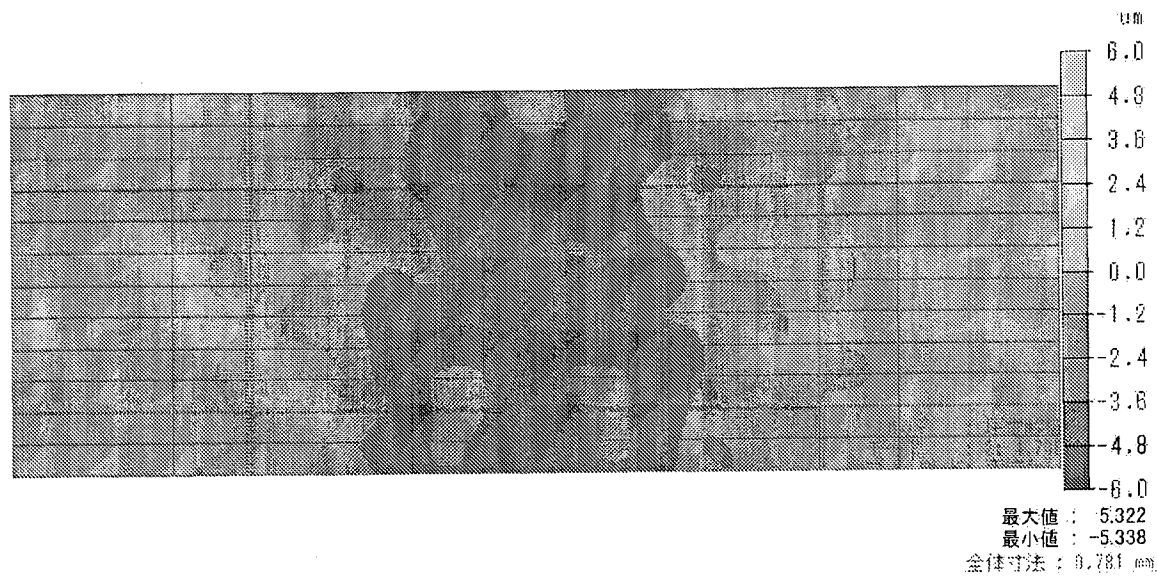


図 1 2 B

[図12C]

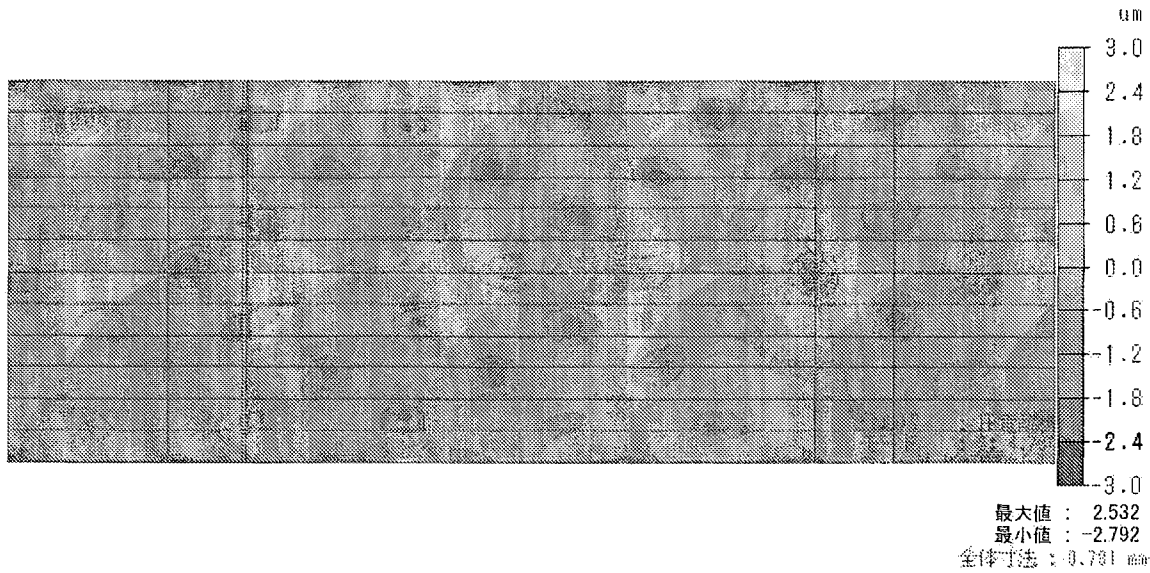


図 1 2 C

[図12D]

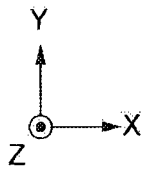
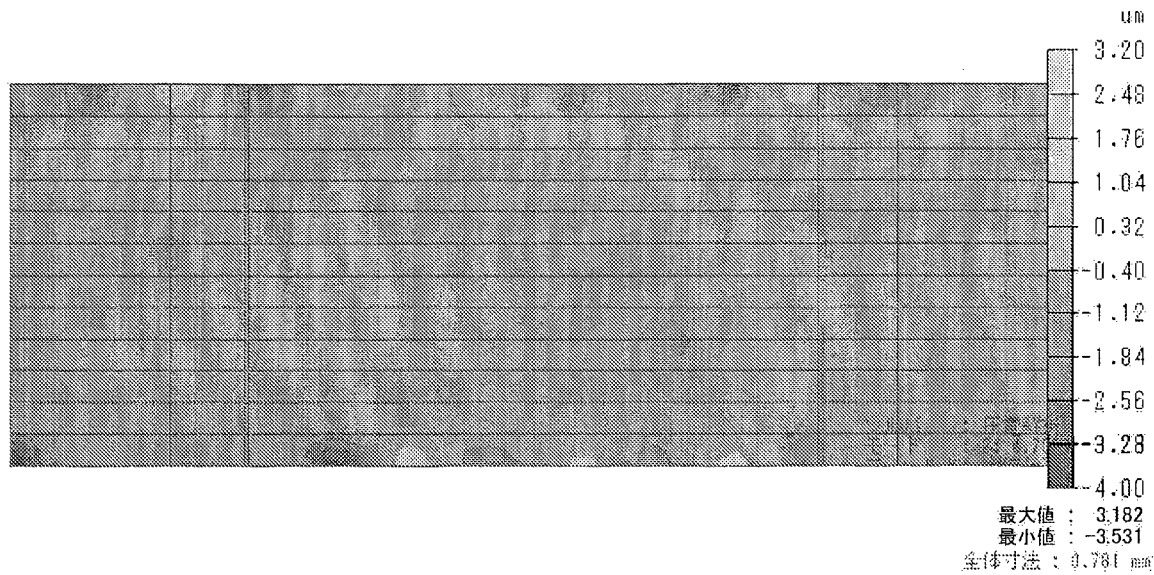


図 1 2 D

[図13]

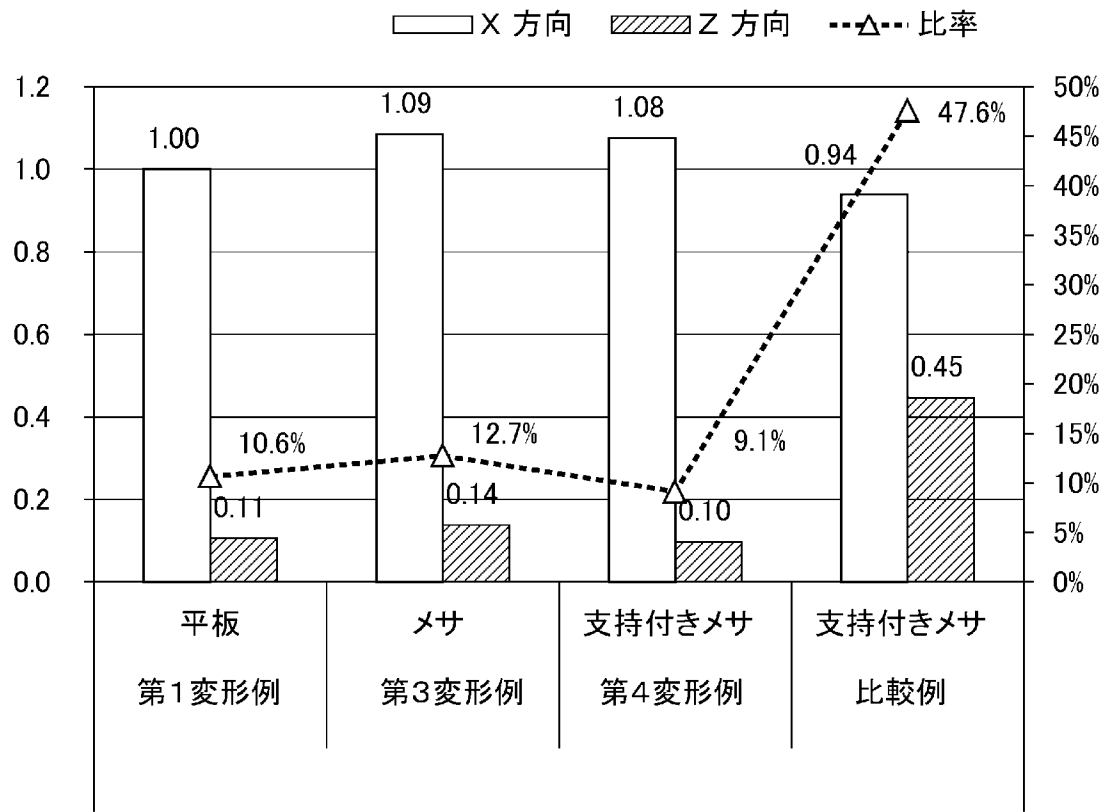


図 1 3

[図14]

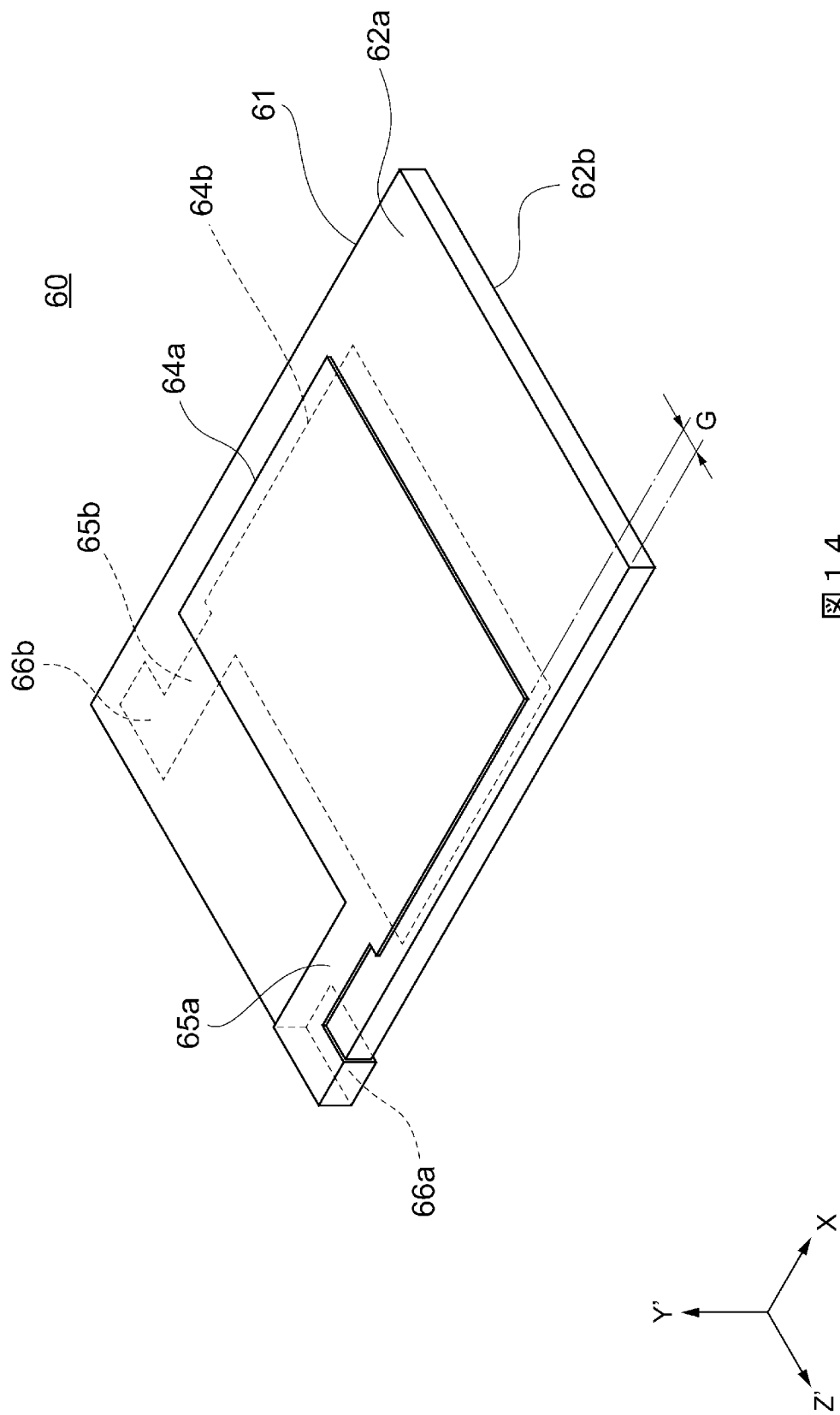


図 14

[図16]

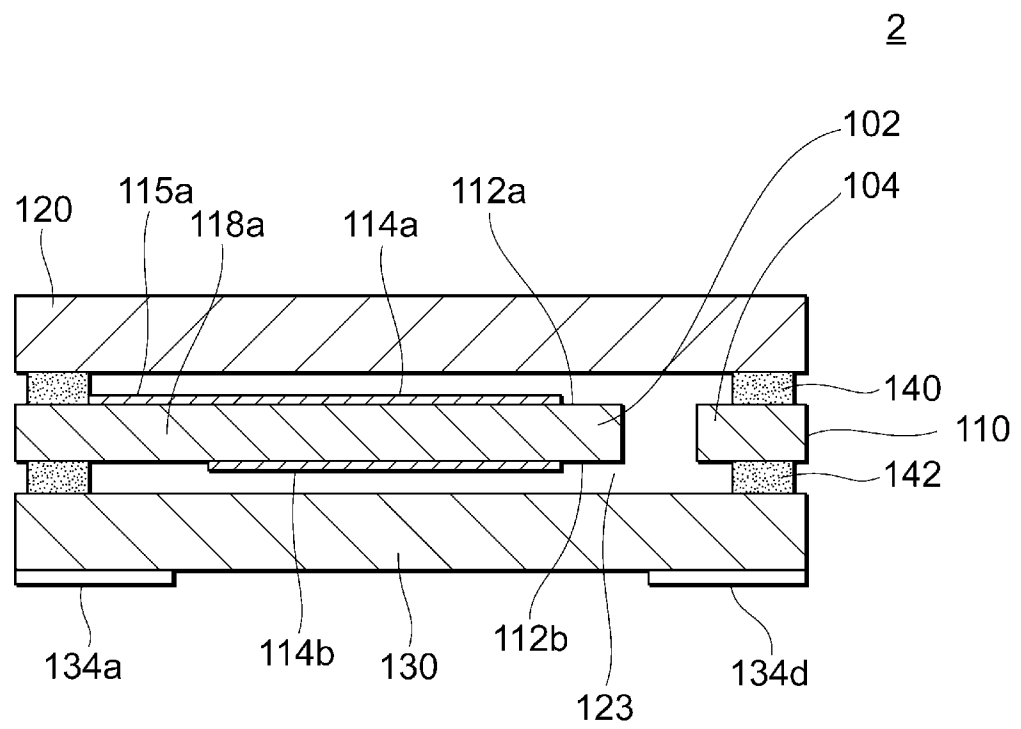


図 1 6

[図17]

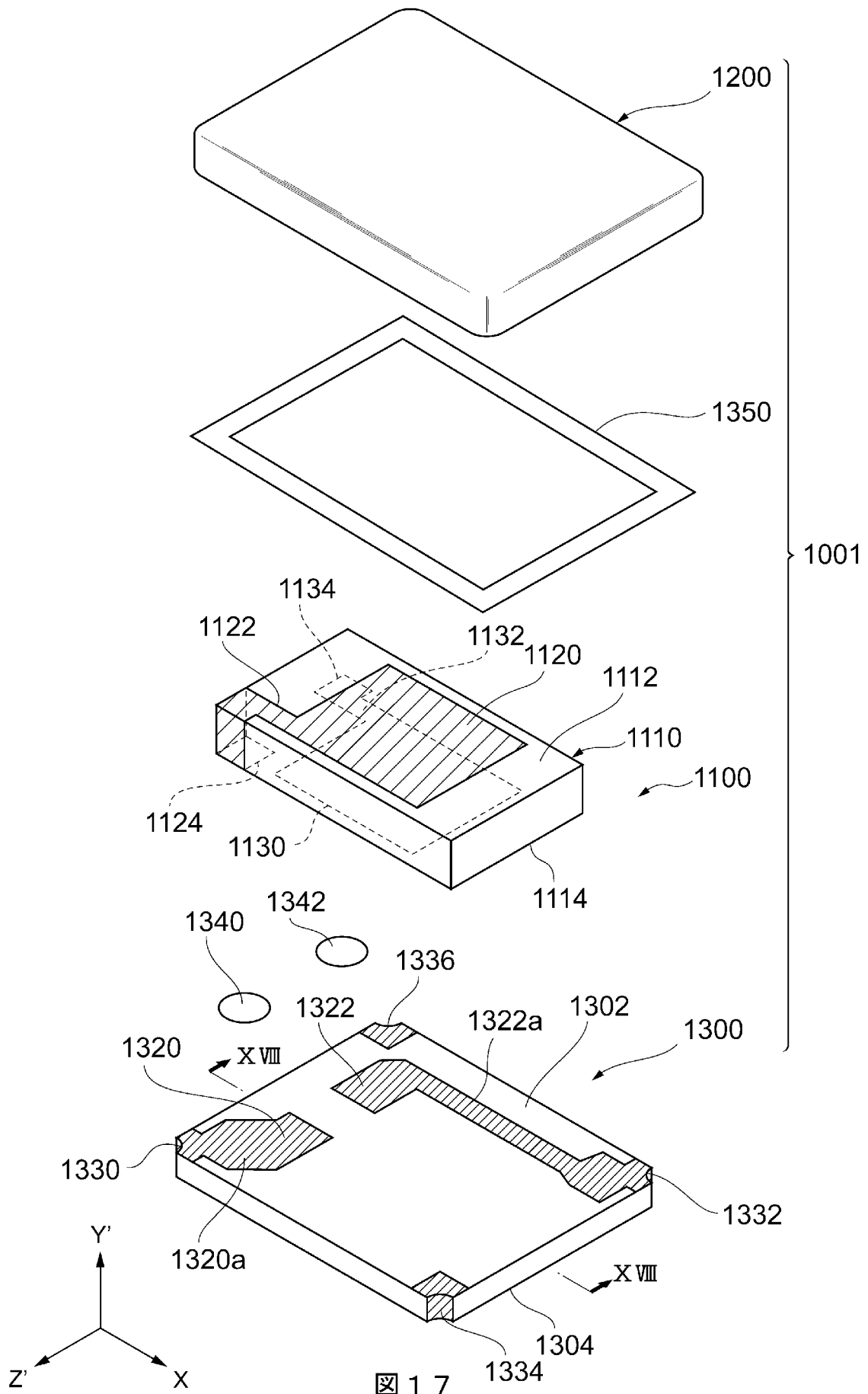


図 17

[図18]

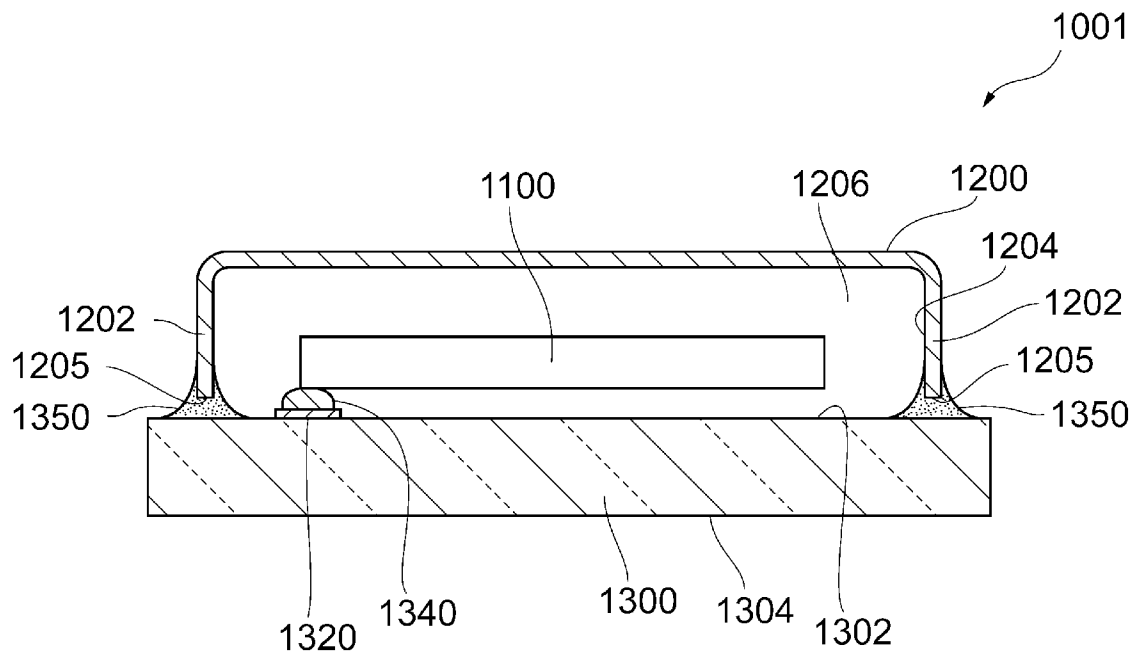


図 18

[図19]

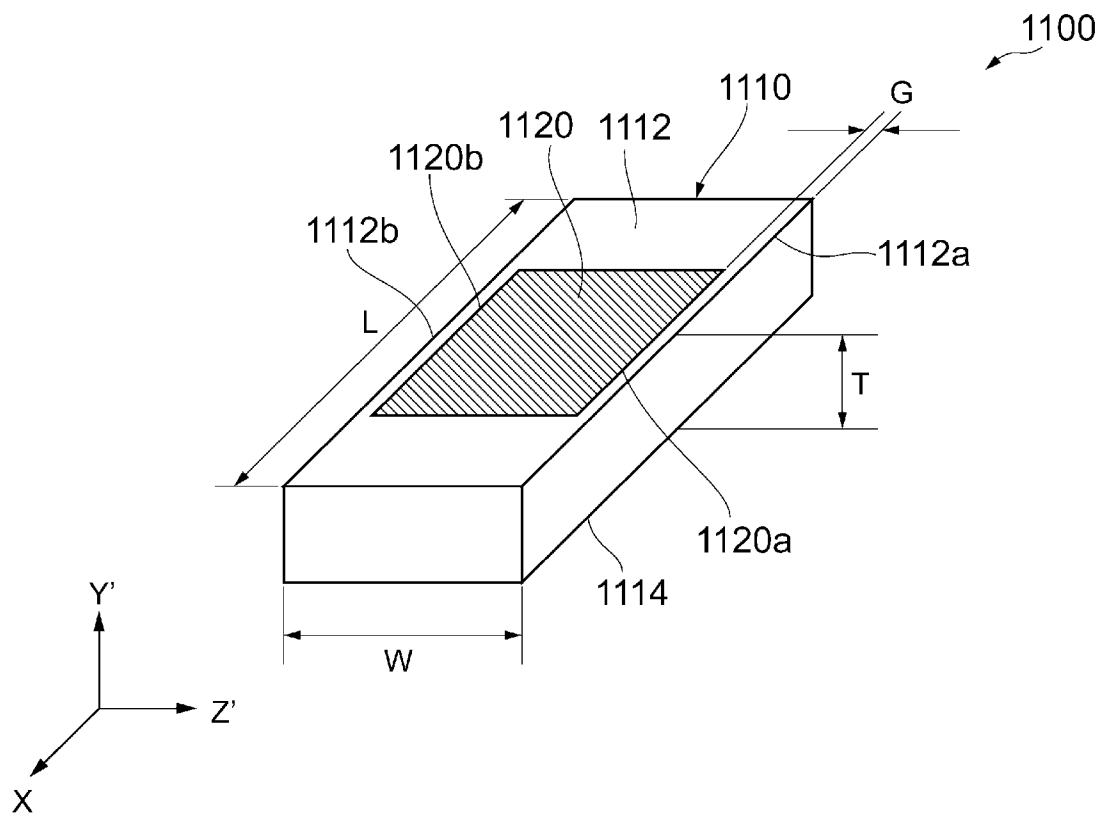


図 1 9

[図20A]

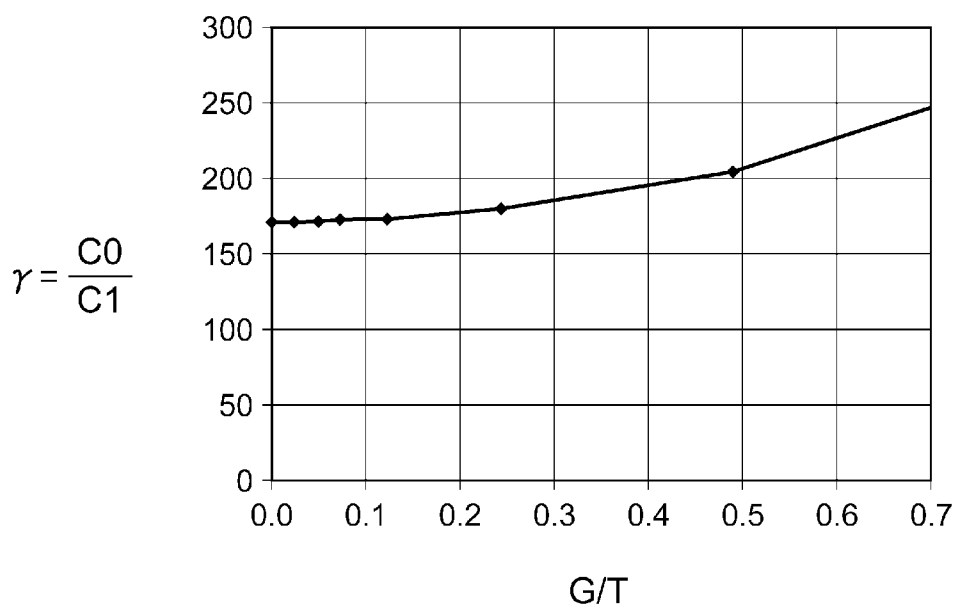
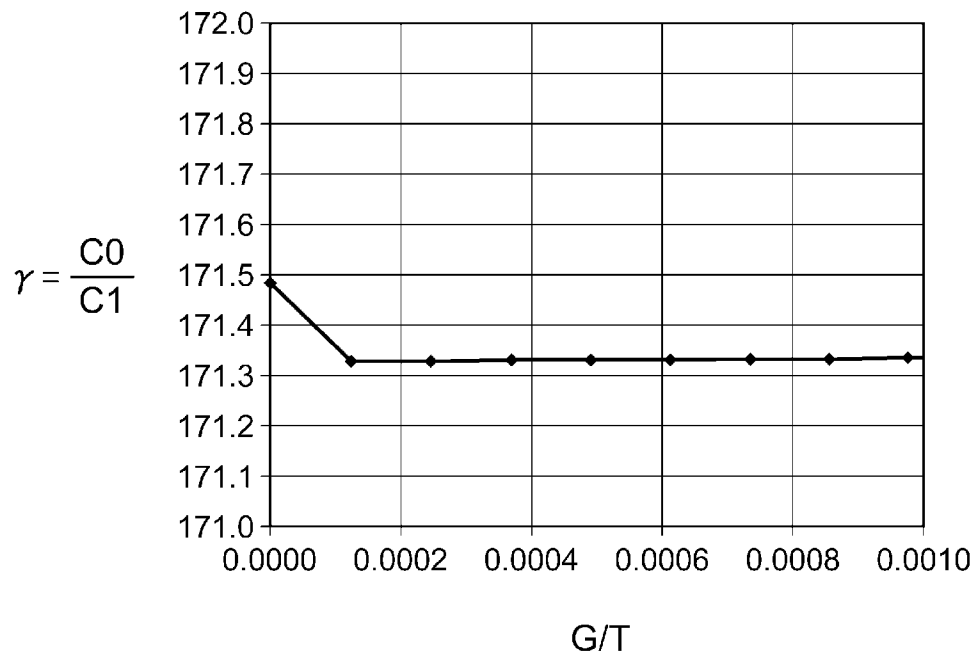


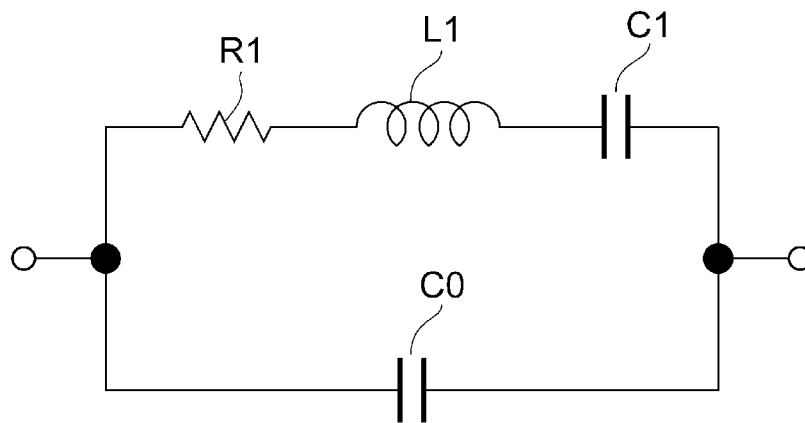
図 2 0 A

[図20B]



[図20B]

[図21]



[図21]

[図22A]

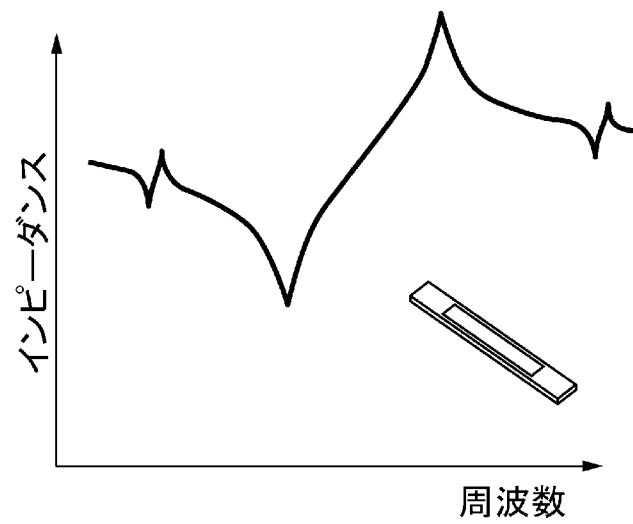


図 2 2 A

[図22B]

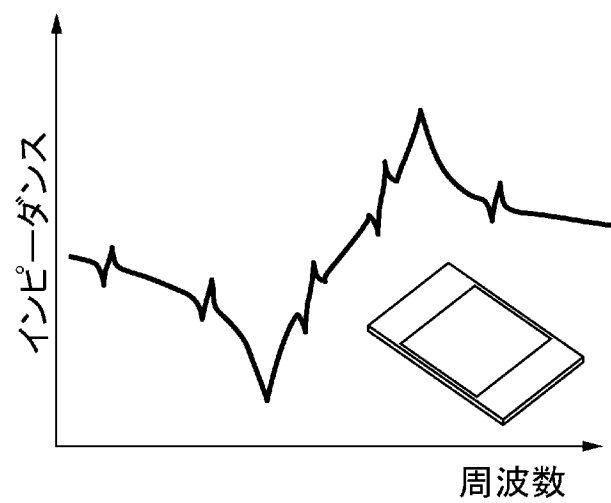


図 2 2 B

[図23]

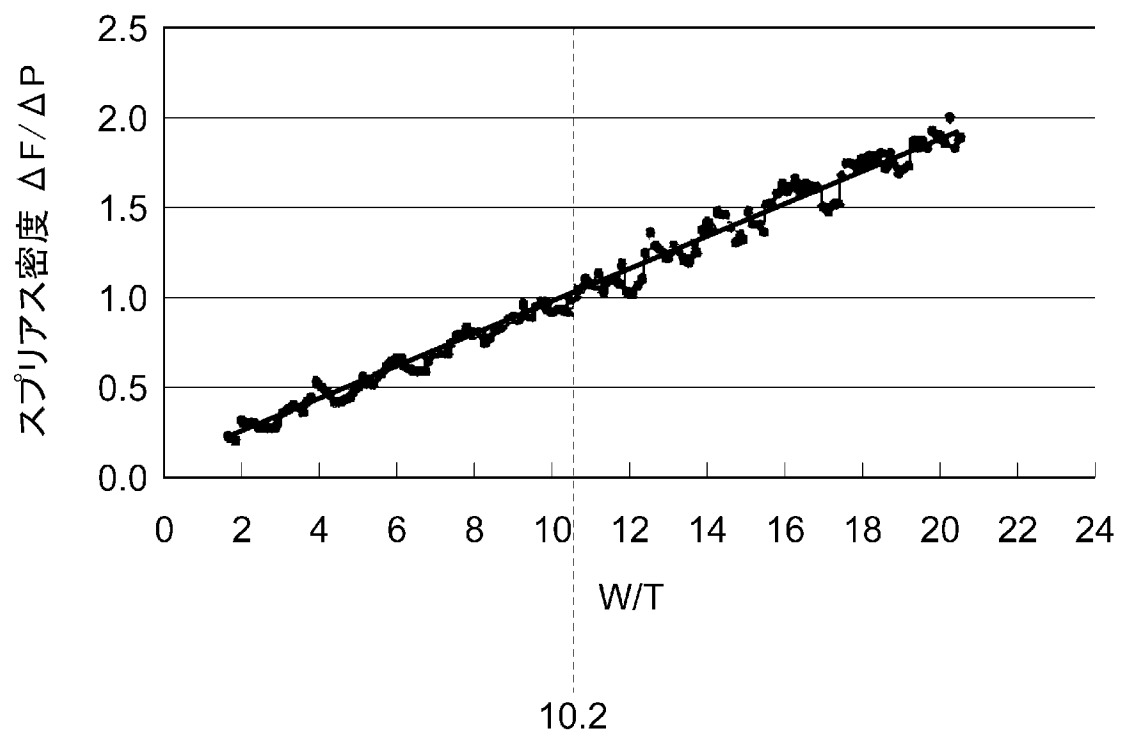


図 2 3

[図24]

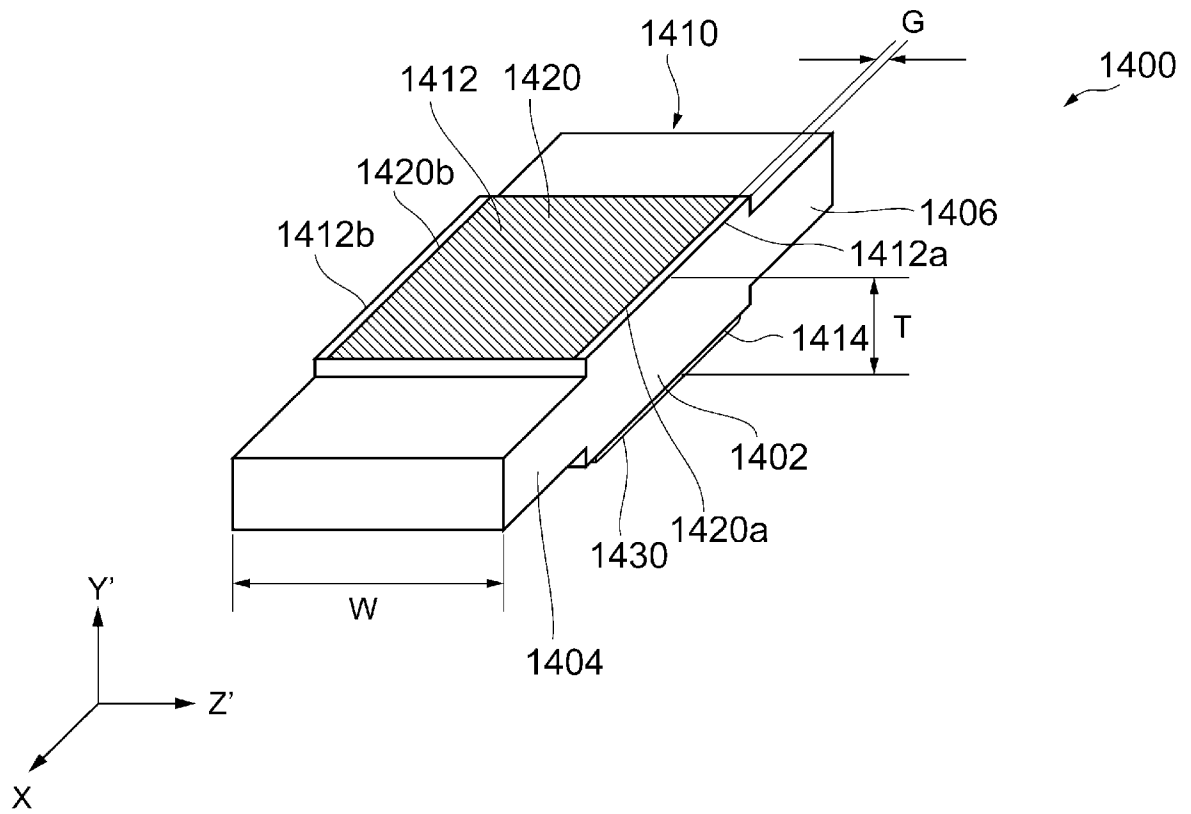


图 24

[図25]

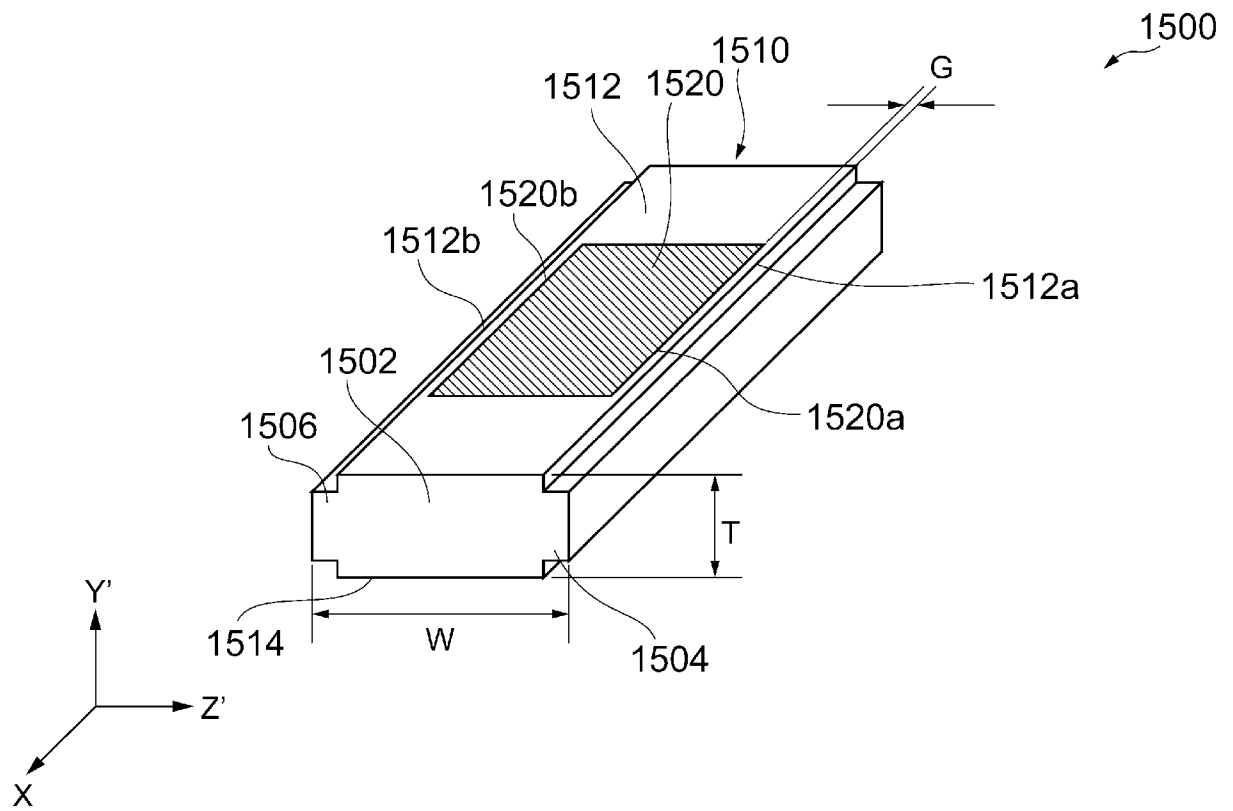
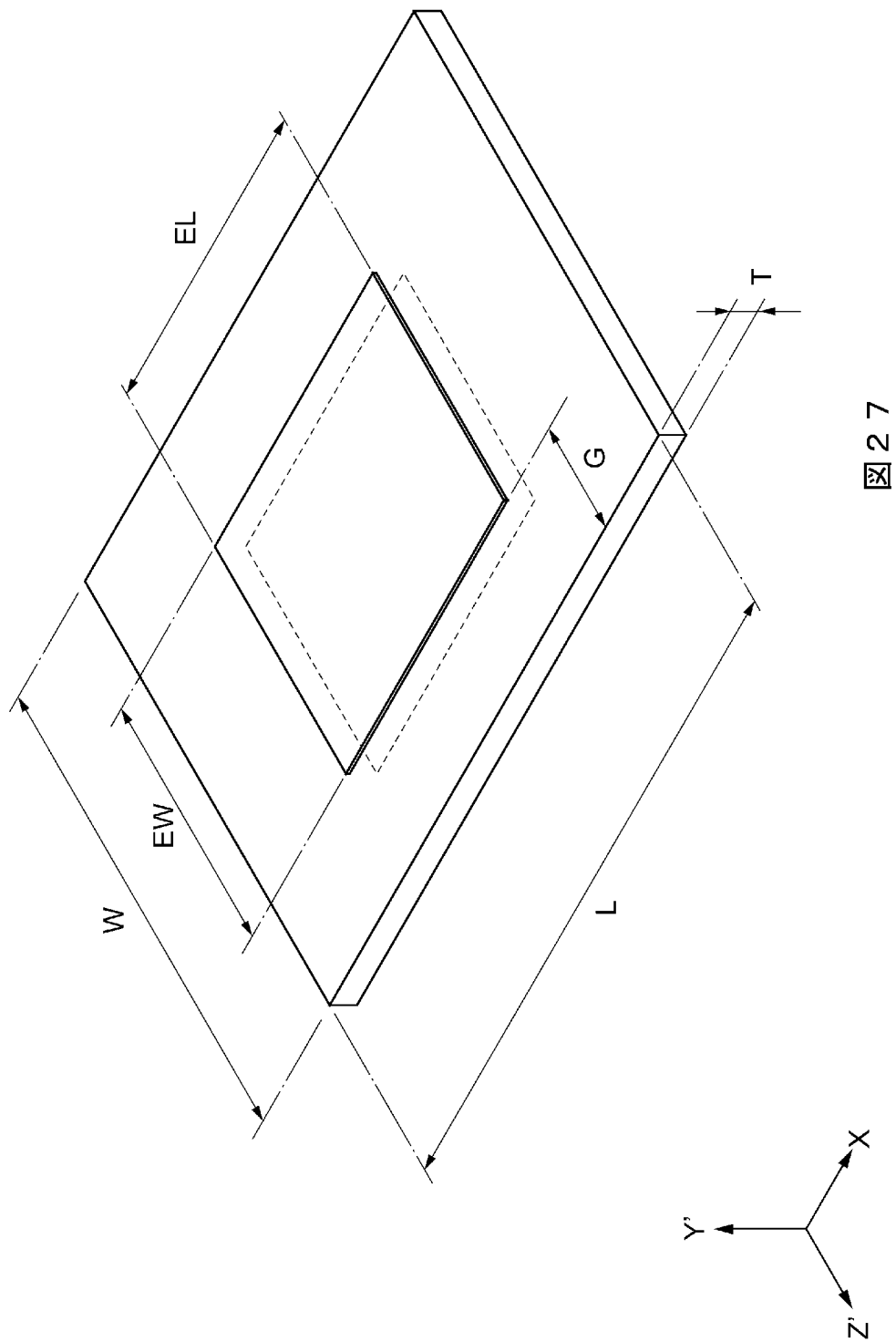


図 2 5

[図27]



[図28]

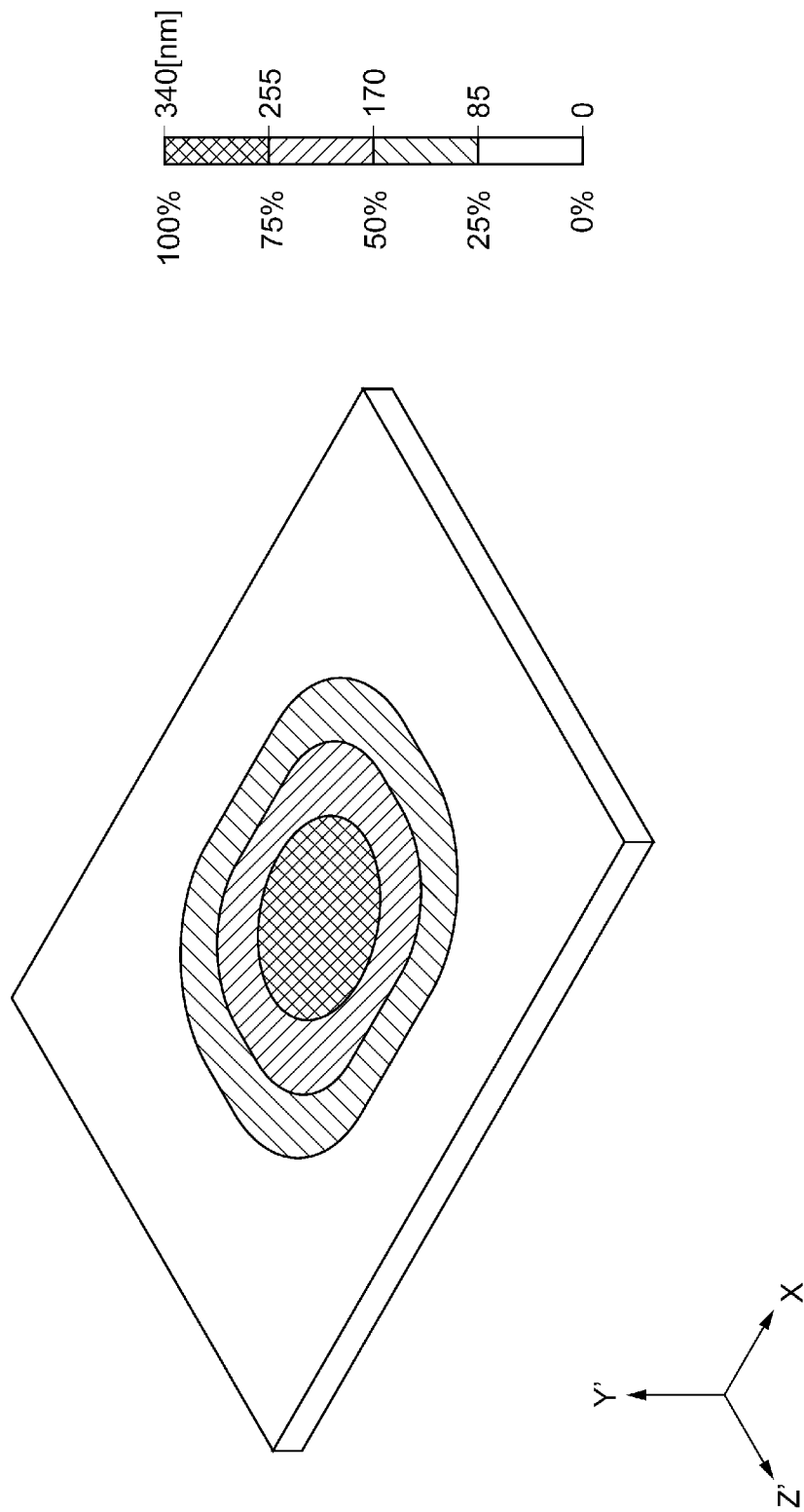


図 28

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/079920

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H03H9/19(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)

H03H9/19

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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.
Y A	JP 61-147613 A (Nihon Dempa Kogyo Co., Ltd.), 05 July 1986 (05.07.1986), page 2, upper left column, line 5 to page 2, lower left column, line 12; fig. 5 to 10 (Family: none)	1, 3, 16, 22-27 2, 4-15, 17-21, 28-37
X Y A	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 002263/1975 (Laid-open No. 86977/1976) (Daini Seikosha Co., Ltd.), 12 July 1976 (12.07.1976), page 1, line 17 to page 3, line 5; fig. 1, 2 (Family: none)	2, 4-9, 16, 22, 23 1, 3, 16, 22-27 10-15, 17-21, 28-37

☒ 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

"I" 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
20 December 2016 (20.12.16)

Date of mailing of the international search report
27 December 2016 (27.12.16)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/079920

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2013-192052 A (Nihon Dempa Kogyo Co., Ltd.), 26 September 2013 (26.09.2013), paragraphs [0021], [0025], [0057], [0060]; fig. 1, 2, 12, 13 & US 2013/0241358 A1 paragraphs [0045], [0049], [0081], [0084]; fig. 1, 2, 12, 13 & CN 103312289 A & TW 201338408 A	24-27, 37
X Y A	JP 63-221706 A (Matsushita Kogyo Kabushiki Kaisha), 14 September 1988 (14.09.1988), page 2, upper left column, line 4 to page 3, upper left column, line 6; fig. 1 (Family: none)	28, 30, 31, 36 32-35, 37 1-27, 29
X Y A	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 47498/1984(Laid-open No. 160633/1985) (Miyota Seimitsu Kabushiki Kaisha), 25 October 1985 (25.10.1985), page 1, line 11 to page 1, line 12; page 3, line 3 to page 4, line 19; fig. 1 to 3 (Family: none)	28.36 32-35, 37 1-27, 29-31
X Y A	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 159390/1979(Laid-open No. 77129/1981) (Daini Seikosha Co., Ltd.), 23 June 1981 (23.06.1981), page 3, line 6 to page 5, line 16; fig. 1, 3 (Family: none)	28-31, 36 32-35, 37 1-27
Y	JP 2009-44237 A (Epson Toyocom Corp.), 26 February 2009 (26.02.2009), paragraphs [0027] to [0032]; fig. 1 (Family: none)	32-34, 37
Y	JP 2011-151667 A (Murata Mfg. Co., Ltd.), 04 August 2011 (04.08.2011), paragraphs [0026] to [0034], [0050]; fig. 1 to 3 (Family: none)	35, 37

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/079920

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:
See extra sheet.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/079920

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

Document 1: JP 61-147613 A (Nihon Dempa Kogyo Co., Ltd.), 05 July 1986 (05.07.1986), page 2, upper left column, line 5 to page 2, lower left column, line 12; fig. 5 to 10 (Family: none)

Document 2: Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 002263/1975 (Laid-open No. 86977/1976) (Daini Seikosha Co., Ltd.), 12 July 1976 (12.07.1976), page 1, line 17 to page 3, line 5; fig. 1, 2 (Family: none)

(Invention 1) claims 1, 4-27

Claim 1 has a special technical feature of "a crystal vibration element provided with: a crystal blank having a predetermined crystal orientation and having a first direction and a second direction in plan view; and an excitation electrode provided so as to excite thickness-shear vibration having principal vibration in the first direction, wherein vibrational distribution in which the thickness-shear vibration in the crystal blank is the principal vibration thereof has a vibration region extending in a belt shape in the second direction, and non-vibration regions, respectively, adjacent to both sides of the vibration region in the first direction".

Claims 4-27 have a same special technical feature, since these claims are dependent on claim 1.

Consequently, claims 1, 4-27 are classified into Invention 1.

(Invention 2) claim 2

Claim 2 shares with claims 1, 4-27 classified as Invention 1 a common technical feature of "a crystal vibration element provided with: a crystal blank having a predetermined crystal orientation and having a first direction and a second direction in plan view; and an excitation electrode, wherein thickness-shear vibration having principal vibration in the first direction is performed".

Consequently, it is not considered that the above-said technical feature is a special technical feature in the light of the contents disclosed in the document 2.

Further, there is no other same or corresponding special technical feature between these inventions.

Further, claim 2 is not a claim dependent on claims 1, 4-27 and has no relationship such that said claim 2 is substantially same as or equivalent to any claim classified into Invention 1.

Consequently, claim 2 is classified into Invention 2.

(Invention 3) claim 3

Claim 3 shares with claims 1, 4-27 classified as Invention 1 a common technical feature of "a crystal vibration element comprising: a crystal blank having a predetermined crystal orientation and having a first direction and a second direction in plan view; and excitation electrodes, respectively, provided on the front surface and the back surface of the crystal blank so as to have a vibration region that vibrates by thickness-shear vibration, and non-vibration regions on both sides of the vibration region in the first direction".

However, the above-said technical feature cannot be considered to be a special technical feature in the light of the contents disclosed in the document 2 (fig. 2).

Further, there is no other same or corresponding special technical feature between these inventions.

(Continued to next extra sheet)

Claim 3 shares with claim 2 classified as Invention 2 a common technical feature of "a crystal vibration element provided with: a crystal blank having a predetermined crystal orientation and having a first direction and a second direction in plan view; and an excitation electrode, wherein thickness-shear vibration having principal vibration in the first direction is performed".

However, the above-said technical feature cannot be considered to be a special technical feature in the light of the contents disclosed in the document 2.

Further, there is no other same or corresponding special technical feature between these inventions.

In addition, claim 3 is not dependent on claims 1, 2, 4-27 and has no relationship such that said claim 3 is substantially same as or equivalent to any claim classified into Inventions 1, 2.

Consequently, claim 3 is classified into Invention 3.

(Invention 4) claims 28-37

Claims 28-37 share, with claims 1, 4-27 classified as Invention 1, claim 2 classified as Invention 2, and claim 3 classified as Invention 3, a common technical feature of "a crystal vibration element the principal vibration of which is thickness-shear vibration is provided with an excitation electrode formed on each principal surface of a crystal blank".

However, the above-said technical feature cannot be considered to be a special technical feature in the light of the contents disclosed in the document 2.

Further, there is no other same or corresponding special technical feature between these inventions.

In addition, claims 28-37 are not dependent on claims 1-27, and have no relationship such that these claims are substantially same as or equivalent to any claim classified into Inventions 1-3.

Consequently, claims 28-37 are classified into Invention 4.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H03H9/19(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 (IPC))

Int.Cl. H03H9/19

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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016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
Y A	JP 61-147613 A (日本電波工業株式会社) 1986. 07. 05, 第2頁左上欄第5行-第2頁左下欄第12行, 第5-10図 (ファミリーなし)	1, 3, 16, 22-27 2, 4-15, 17-21 , 28-37
X	日本国実用新案登録出願50-002263号(日本国実用新案登録出願公開 51-86977号)の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマ イクロフィルム (株式会社第二精工舎) 1976. 07. 12,	2, 4-9, 16, 22, 23
Y A	第1頁第17行-第3頁第5行, 第1, 2図 (ファミリーなし)	1, 3, 16, 22-27 10-15, 17-21, 28-37

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

20. 12. 2016

国際調査報告の発送日

27. 12. 2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

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)

鬼塚 由佳

5W

5288

電話番号 03-3581-1101 内線 3576

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	JP 2013-192052 A (日本電波工業株式会社) 2013. 09. 26, 段落[0021], [0025], [0057], [0060], 図 1, 2, 12, 13 & US 2013/0241358 A1, [0045], [0049], [0081], [0084], 図 1, 2, 12, 13 & CN 103312289 A & TW 201338408 A	24-27, 37
X Y A	JP 63-221706 A (松島工業株式会社) 1988. 09. 14, 第 2 頁左上欄第 4 行-第 3 頁左上欄第 6 行, 第 1 図 (ファミリーなし)	28, 30, 31, 36 32-35, 37 1-27, 29
X Y A	日本国実用新案登録出願 59-47498 号(日本国実用新案登録出願公開 60-160633 号)の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマ イクロフィルム (御代田精密株式会社) 1985. 10. 25, 第 1 頁第 11 行-第 1 頁第 12 行, 第 3 頁第 3 行-第 4 頁第 19 行, 第 1-3 図(ファミリーなし)	28. 36 32-35, 37 1-27, 29-31
X Y A	日本国実用新案登録出願 54-159390 号(日本国実用新案登録出願公開 56-77129 号)の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマ イクロフィルム (株式会社第二精工舎) 1981. 06. 23, 第 3 頁第 6 行-第 5 頁第 16 行, 第 1, 3 図 (ファミリーなし)	28-31, 36 32-35, 37 1-27
Y	JP 2009-44237 A (エプソントヨコム株式会社) 2009. 02. 26, 段落[0027]-[0032], 図 1 (ファミリーなし)	32-34, 37
Y	JP 2011-151667 A (株式会社村田製作所) 2011. 08. 04, 段落[0026]-[0034], [0050], 図 1-3 (ファミリーなし)	35, 37

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（P C T 17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☐ 請求項 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってP C T 規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。
特別ページを参照。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. ☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。

文献 1 : JP 61-147613 A (日本電波工業株式会社) 1986.07.05, 第 2 頁左上欄第 5 行
-第 2 頁左下欄第 12 行, 第 5-10 図 (ファミリーなし)

文献 2 : 日本国実用新案登録出願 50-002263 号 (日本国実用新案登録出願公開 51-86977 号) の
願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマイクロフィルム (株式会社第二
精工舎) 1976.07.12, 第 1 頁第 17 行-第 3 頁第 5 行, 第 1, 2 図 (ファミリーなし)

(発明 1) 請求項 1、4-27

請求項 1 には、「所定の結晶方位を有しかつ平面視において第 1 方向及び第 2 方向を有する水晶片と、前記第 1 方向に主要振動を有する厚みすべり振動を励振するように設けられた励振電極と、を備え、水晶片における厚みすべり振動を主要振動とする振動分布が、前記第 2 方向に帯状に延在する振動領域と、前記第 1 方向において前記振動領域の両側にそれぞれ隣接する非振動領域とを有する水晶振動素子」という特別な技術的特徴を有している。そして、請求項 4-27 は、請求項 1 の従属請求項であるから、同じ特別な技術的特徴を有している。

したがって、請求項 1、4-27 を発明 1 に区分する。

(発明 2) 請求項 2

請求項 2 は、発明 1 に区分された請求項 1、4-27 と、[所定の結晶方位を有し、平面視において第 1 方向及び第 2 方向を有する水晶片と、励振電極と、を備え、前記第 1 方向に主要振動を有する厚みすべり振動する水晶振動素子] という共通の技術的特徴を有している。しかし、文献 2 の開示内容に照らせば、当該技術的特徴は特別な技術的特徴であるとはいえない。また、これらの発明の間には、他に同一の又は対応する特別な技術的特徴は存在しない。また、請求項 2 は、請求項 1、4-27 の従属請求項でもなく、発明 1 に区分されたいずれの請求項に対しても実質同一又はそれに準ずる関係にはない。

したがって、請求項 2 は、発明 2 に区分する。

(発明 3) 請求項 3

請求項 3 は、発明 1 に区分された請求項 1、4-27 と、[所定の結晶方位を有しかつ平面視において第 1 方向及び第 2 方向を有する水晶片と、厚みすべり振動で振動する振動領域と、前記第 1 方向において前記振動領域の両側を挟む非振動領域とを有するように前記水晶片の表面及び裏面にそれぞれ設けられた励振電極とを有する水晶振動素子] という共通の技術的特徴を有している。しかし、文献 2 (第 2 図) の開示内容に照らせば、当該技術的特徴は特別な技術的特徴であるとはいえない。また、これらの発明の間には、他に同一の又は対応する特別な技術的特徴は存在しない。

請求項 3 は、発明 2 に区分された請求項 2 と、[所定の結晶方位を有し、平面視において第 1 方向及び第 2 方向を有する水晶片と、励振電極と、を備え、前記第 1 方向に主要振動を有する厚みすべり振動する水晶振動素子] という共通の技術的特徴を有している。しかし、文献 2 の開示内容に照らせば、当該技術的特徴は特別な技術的特徴であるとはいえない。また、これらの発明の間には、他に同一の又は対応する特別な技術的特徴は存在しない。

さらに、請求項 3 は、請求項 1、2、4-27 の従属請求項でもなく、発明 1、2 に区分されたいずれの請求項に対しても実質同一又はそれに準ずる関係にはない。

したがって、請求項 3 は、発明 3 に区分する。

(次の特別のページを参照。)

(発明 4) 請求項 28-37

請求項 28-37 は、発明 1 に区分された請求項 1、4-27、発明 2 に区分された請求項 2、発明 3 に区分された請求項 3 のそれぞれと、[厚みすべり振動を主振動とする水晶振動素子であって、水晶片の各主面に形成された励振電極とを備えた水晶振動素子] という共通の技術的特徴を有している。しかし、文献 2 の開示内容に照らせば、当該技術的特徴は特別な技術的特徴であるとはいえない。また、これらの発明の間には、他に同一の又は対応する特別な技術的特徴は存在しない。

さらに、請求項 28-37 は、請求項 1-27 の従属請求項でもなく、発明 1-3 に区分されたいずれの請求項に対しても実質同一又はそれに準ずる関係にはない。

したがって、請求項 28-37 は、発明 4 に区分する。