



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113472310 B

(45) 授权公告日 2025.03.11

(21) 申请号 202110685427.X

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

(22) 申请日 2016.10.07

专利代理人 舒艳君 金雪梅

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113472310 A

(51) Int.CI.

H03H 9/02 (2006.01)

(43) 申请公布日 2021.10.01

H03H 9/05 (2006.01)

(30) 优先权数据

H03H 9/10 (2006.01)

2015-200232 2015.10.08 JP

H03H 9/13 (2006.01)

2016-059077 2016.03.23 JP

H03H 9/19 (2006.01)

2016-089765 2016.04.27 JP

H10N 30/853 (2023.01)

(62) 分案原申请数据

H10N 30/20 (2023.01)

201680058556.3 2016.10.07

(56) 对比文件

(73) 专利权人 株式会社村田制作所

JP S542092 A, 1979.01.09

地址 日本京都府

JP S61147613 A, 1986.07.05

(72) 发明人 木津彻 长谷贵志 镰田威

CN 108352821 B, 2018.07.31

开田弘明 杉村茂昭

审查员 樊振铎

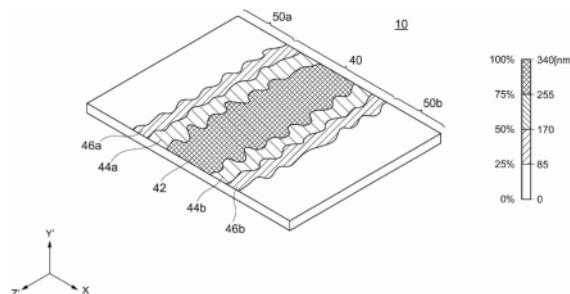
权利要求书2页 说明书25页 附图33页

(54) 发明名称

水晶振动元件、以及具备该水晶振动元件的水晶振子

(57) 摘要

本发明涉及水晶振动元件、以及具备该水晶振动元件的水晶振子。具备：水晶片(11)，其具有规定的结晶方位且在俯视时具有第一方向以及第二方向；以及激励电极(14a、14b)，其分别设置在水晶片(11)的表背面以便在施加交变电场时对水晶片(11)激励厚度剪切振动，水晶片(11)中的以厚度剪切振动为主要振动的振动分布具有在水晶片(11)的第二方向上呈带状地延伸的振动区域(40)、和在水晶片(11)的第一方向上分别与振动区域(40)的两侧邻接的非振动区域(50)。



1.一种水晶振动元件,具备:

水晶片,具有规定的结晶方位且在俯视时具有第一方向以及第二方向;以及
激励电极,分别设置在上述水晶片的表面以及背面以便在施加交变电场时对上述水晶
片激励在上述第一方向上具有主要振动的厚度剪切振动,

上述水晶片中的以厚度剪切振动为主要振动的振动分布具有在上述水晶片的上述第
二方向上带状地延伸的振动区域、和在上述水晶片的上述第一方向上分别与上述振动区域
的两侧邻接的非振动区域,

上述激励电极从上述水晶片的上述第二方向的两端分别具有距离G的缝隙而设置,
若将上述水晶片中的各上述激励电极之间的厚度设为T,则具有 $0 \leq G/T \leq 0.5$ 的关系,

上述振动区域中的强振动区域具有相互相反相位的第一分布,该第一分布位于上述表
面的沿上述第一方向延伸的一边、以及在上述第二方向上与上述一边相隔对置的上述背面
的沿上述第一方向延伸的另一边,

上述第一分布具有将在上述第一方向上较长的椭圆纵向对半分割而成的半椭圆状的
分布,

上述水晶片具有与压电陶瓷那样的立方晶系不同的三方晶系的结晶结构。

2.根据权利要求1所述的水晶振动元件,其中,

上述振动区域中的强振动区域相对于上述第一分布还具有在上述第二方向上排列配
置的分别位于上述表面以及上述背面的第二分布。

3.根据权利要求2所述的水晶振动元件,其中,

上述第二分布是在上述第一方向上较长的椭圆状的分布。

4.根据权利要求1~3中的任意一项所述的水晶振动元件,其中,

上述振动区域中的上述表面的法线的方向亦即第三方向的位移成分的强振动区域还
具有第三分布,该第三分布以在上述水晶片的上述第一方向的中点沿上述第二方向延伸的
中间线为基准,包括处于上述中间线的上述第一方向的一侧且沿上述第一方向排列的多个
一种分布、和处于上述中间线的上述第一方向的另一侧并沿着上述第一方向排列、且与上
述一种分布相互相反相位的多个另一种分布。

5.根据权利要求1~3中的任意一项所述的水晶振动元件,其中,

上述激励电极从上述水晶片的上述第二方向的两端具有缝隙而设置。

6.根据权利要求1所述的水晶振动元件,其中,

还具有 $G/T \leq 0.2$ 的关系。

7.根据权利要求1所述的水晶振动元件,其中,

还具有 $0.0002 \leq G/T$ 的关系。

8.根据权利要求1所述的水晶振动元件,其中,

若将上述水晶片的上述第二方向的宽度设为W,则还具有 $W/T \leq 10.2$ 的关系。

9.根据权利要求1~3中的任意一项所述的水晶振动元件,其中,

上述振动区域分布至到达上述水晶片的上述第二方向上的上述激励电极的两端。

10.根据权利要求1~3中的任意一项所述的水晶振动元件,其中,

上述振动区域具有一个或者多个强振动区域。

11.根据权利要求1~3中的任意一项所述的水晶振动元件,其中,

在俯视上述水晶片时,是具有与上述第一方向和上述第二方向正交的边的长方形。

12.根据权利要求1~3中的任意一项所述的水晶振动元件,其中,

上述第一方向是上述水晶片的结晶方位的X轴方向。

13.根据权利要求1~3中的任意一项所述的水晶振动元件,其中,还具备:

框体,包围上述水晶片的外周;以及

连结部件,将上述水晶片和上述框体连结。

14.一种水晶振子,具备:

权利要求1~13中的任意一项所述的水晶振动元件;以及

将上述水晶片支承为能够激励的基板,

上述水晶片经由导电性保持部件能够激励地支承于上述基板上。

15.根据权利要求14所述的水晶振子,其中,

还具备经由接合材料与上述基板接合的盖部件,

上述水晶片被设置在上述基板和上述盖部件的内部空间。

16.一种水晶振子,具备:

权利要求13所述的水晶振动元件;以及

以将上述水晶片能够激励地收容于内部空间的方式在上述水晶片的表面背面侧中分别与上述框体接合的第一以及第二基板。

水晶振动元件、以及具备该水晶振动元件的水晶振子

[0001] 本申请是申请号为201680058556.3、申请日为2016年10月7日、发明名称为“水晶振动元件、以及具备该水晶振动元件的水晶振子”的申请的分案申请。

技术领域

[0002] 本发明涉及水晶振动元件以及水晶振子。

背景技术

[0003] 使用于振荡装置、带通滤波器等的基准信号的信号源广泛使用以厚度剪切振动为主振动的水晶振子。

[0004] 例如在专利文献1中公开了被保持在保持器的密封空间内部并在压电板的中央部附近设置有激励电极的压电振动元件。这种压电振动元件中的厚度剪切振动的振动分布从压电板的中央部向外侧大致同心圆状地扩散，越往压电板的外侧，振动的位移越小。在专利文献2中公开了通过成为使台面型压电振动片的尺寸满足规定的关系式的结构，抑制因伴随着粘合剂等固定部件的流出的振动部的振动受到阻碍所造成的晶体阻抗(Crystal Impedance,以下称为“CI”。)值等的特性恶化的结构。并且，在专利文献3以及4公开了在具有细长的形状的水晶片的主面形成激励电极至到达该水晶片的长边侧的边缘为止的结构。

[0005] 专利文献1:日本专利第4458203号公报

[0006] 专利文献2:日本特开2013—102472号公报

[0007] 专利文献3:日本特公昭56—36814号公报

[0008] 专利文献4:日本特开2001—7677号公报

[0009] 然而，在如专利文献1那样的具有大致同心圆状的振动分布的压电振动元件的情况下，存在由于在压电板的大致同心圆状的外侧邻接由振动产生的位移较小或者完全没有位移的区域，所以激励电平相关性(DriveLevel Dependence,以下称为“DLD”。)特性恶化，另外，由于振动区域的宽度比水晶片的宽度窄，所以CI值较高、电容比 γ 的值变大等，无法获得良好的振动特性的情况。

[0010] 另外，在专利文献3以及4那样的结构中，存在无法充分地防止向主振动的振动泄漏的情况。

发明内容

[0011] 本发明是鉴于这样的情况而完成的，目的在于提供能够获得良好的振动特性的水晶振子。

[0012] 本发明的一个方式所涉及的水晶振动元件具备：水晶片，具有规定的结晶方位且在俯视时具有第一方向以及第二方向；以及激励电极，分别设置在水晶片的表面以及背面以便在施加交变电场时对水晶片激励在第一方向上具有主要振动的厚度剪切振动，水晶片中的以厚度剪切振动为主要振动的振动分布具有在水晶片的第二方向上呈带状地延伸的

振动区域、和在水晶片的第一方向上分别与振动区域的两侧邻接的非振动区域。

[0013] 本发明的另一方式所涉及的水晶振动元件具备:水晶片,经AT切割而成,并在俯视时具有第一方向以及第二方向;以及激励电极,与水晶片的表面以及背面对置地设置,水晶片中的被激励电极激励的第一方向上具有主要振动的厚度剪切振动的振动分布具有以横穿在第二方向上对置的水晶片的两个边的方式延伸且在第一方向上隔开距离而对置地设置的两个振幅波节、和被设置在由两个波节夹着的位置的振动区域的振幅的波腹。

[0014] 本发明的另一方式所涉及的水晶振动元件具备:水晶片,具有规定的结晶方位、且在俯视时具有第一方向以及第二方向;以及激励电极,分别设置在水晶片的表面以及背面以便具有位于第一方向的中央部且至少利用厚度剪切振动进行振动的振动区域、和在第一方向上夹着振动区域的两侧的非振动区域,振动区域与非振动区域的边界将在水晶片的第二方向上对置的沿第一方向延伸的两个边连结,在第二方向上呈波状地延伸。

[0015] 本发明的另一方式所涉及的水晶振动元件是以厚度剪切振动为主振动的水晶振动元件,具备:水晶片,在表背面具有长方形的主面;以及长方形的激励电极,分别形成在水晶片的各主面,激励电极的长边缘与对应的水晶片的长边缘平行,若将激励电极的长边缘与对应的水晶片的长边缘之间的距离设为G、将水晶片中的各激励电极之间的厚度设为T,则具有 $0 < G/T \leq 0.5$ 的关系。

[0016] 根据本发明,能够提供能够获得良好的振动特性的水晶振动元件、以及水晶振子。

附图说明

[0017] 图1是本发明的第一实施方式所涉及的水晶振子的分解立体图。

[0018] 图2是图1的II—I线剖视图。

[0019] 图3是图1的水晶振子中的水晶振动元件的立体图。

[0020] 图4A是表示图3的水晶振动元件的厚度剪切振动的振动分布的图。

[0021] 图4B是表示图3的水晶振动元件中的振动分布的模拟结果的图。

[0022] 图4C是表示第一变形例所涉及的水晶振动元件中的振动分布的X方向成分(相当于结晶方位的X方向成分)的模拟结果的图。

[0023] 图4D是表示第一变形例所涉及的水晶振动元件中的振动分布的Z方向成分(相当于结晶方位的Y'方向成分)的模拟结果的图。

[0024] 图4E是表示第一变形例所涉及的水晶振动元件中的振动分布的Y方向成分(相当于结晶方位的Z'方向成分)的模拟结果的图。

[0025] 图5是第二变形例所涉及的水晶振动元件的侧视图。

[0026] 图6是表示图5所示的水晶振动元件以在第一方向上具有主要振动的厚度剪切振动进行振动的情况下,波数n=4的本发明的实施方式所涉及的水晶振动元件的振动状态的侧视图。

[0027] 图7是表示图5所示的水晶振动元件以在第一方向上具有主要振动的厚度剪切振动进行振动的情况下,波数n=5的本发明的实施方式所涉及的水晶振动元件的振动状态的侧视图。

[0028] 图8是表示图5所示的水晶振动元件以在第一方向上具有主要振动的厚度剪切振动进行振动的情况下,波数n=4.5的与本发明的比较方式所涉及的水晶振动元件的振动状

态的侧视图。

[0029] 图9A是表示第三变形例所涉及的水晶振动元件中的振动分布的X方向成分(相当于结晶方位的X方向成分)的模拟结果的图。

[0030] 图9B是表示第三变形例所涉及的水晶振动元件中的振动分布的Z方向成分(相当于结晶方位的Y'方向成分)的模拟结果的图。

[0031] 图10是表示第四变形例所涉及的水晶振动元件的图。

[0032] 图11A是表示第四变形例所涉及的水晶振动元件中的振动分布的厚度方向表面侧的模拟结果的图。

[0033] 图11B是表示第四变形例所涉及的水晶振动元件中的振动分布的厚度方向背面侧的模拟结果的图。

[0034] 图11C是表示第四变形例所涉及的水晶振动元件中的振动分布的厚度方向表面侧的X方向成分(相当于结晶方位的X方向成分)的模拟结果的图。

[0035] 图11D是表示第四变形例所涉及的水晶振动元件中的振动分布的厚度方向背面侧的X方向成分(相当于结晶方位的X方向成分)的模拟结果的图。

[0036] 图11E是表示第四变形例所涉及的水晶振动元件中的振动分布的厚度方向表面侧的Z方向成分(相当于结晶方位的Y'方向成分)的模拟结果的图。

[0037] 图11F是表示第四变形例所涉及的水晶振动元件中的振动分布的厚度方向背面侧的Z方向成分(相当于结晶方位的Y'方向成分)的模拟结果的图。

[0038] 图11G是表示第四变形例所涉及的水晶振动元件中的振动分布的厚度方向表面侧的Y方向成分(相当于结晶方位的Z'方向成分)的模拟结果示图。

[0039] 图11H是表示第四变形例所涉及的水晶振动元件中的振动分布的厚度方向背面侧的Y方向成分(相当于结晶方位的Z'方向成分)的模拟结果的图。

[0040] 图11I是第四变形例所涉及的水晶振动元件中的振动分布的厚度方向表面侧的模拟结果,即相位为0°的情况下的图。

[0041] 图11J是第四变形例所涉及的水晶振动元件中的振动分布的厚度方向表面侧的模拟结果,即相位设为大约45°的情况下图。

[0042] 图11K是第四变形例所涉及的水晶振动元件中的振动分布的厚度方向表面侧的模拟结果,即相位设为大致90°的情况下图。

[0043] 图11L是第四变形例所涉及的水晶振动元件中的振动分布的厚度方向表面侧的模拟结果即相位设为大致135°的情况下图。

[0044] 图11M是第四变形例所涉及的水晶振动元件中的振动分布的厚度方向表面侧的模拟结果,即相位设为大致180°的情况下图。

[0045] 图11N是第四变形例所涉及的水晶振动元件中的振动分布的厚度方向表面侧的模拟结果,即相位设为大致225°的情况下图。

[0046] 图11O是第四变形例所涉及的水晶振动元件中的振动分布的厚度方向表面侧的模拟结果,即相位设为大致270°的情况下图。

[0047] 图12A是表示比较例所涉及的水晶振动元件中的振动分布的厚度方向表面侧的模拟结果的图。

[0048] 图12B是表示比较例所涉及的水晶振动元件中的振动分布的厚度方向背面侧的模

拟结果的图。

[0049] 图12C是表示比较例所涉及的水晶振动元件中的振动分布的厚度方向表面侧的Z方向成分(相当于结晶方位的Y'方向成分)的模拟结果的图。

[0050] 图12D是表示比较例所涉及的水晶振动元件中的振动分布的厚度方向表面侧的Y方向成分(相当于结晶方位的Z'方向成分)的模拟结果的图。

[0051] 图13是针对第一变形例、第三变形例、第四变形例以及比较例比较了振动状态的图表。

[0052] 图14是表示本发明的第五变形例所涉及的水晶振动元件的图。

[0053] 图15是本发明的第二实施方式所涉及的水晶振子的分解立体图。

[0054] 图16是图15的XVI—XVI线剖视图。

[0055] 图17是本发明的第三实施方式所涉及的水晶振子的分解立体图。

[0056] 图18是图17的XVIII—XVIII线剖视图。

[0057] 图19是图14所示的水晶振动元件的立体图。

[0058] 图20A是用于说明本发明的第三实施方式所涉及的水晶振动元件的特性的图表。

[0059] 图20B是用于说明本发明的第三实施方式所涉及的水晶振动元件的特性的图表。

[0060] 图21是表示水晶振动元件的等效电路的图。

[0061] 图22A是用于说明本发明的第三实施方式所涉及的水晶振动元件的特性的图表，示出水晶振动元件的短边的宽度W小的情况。

[0062] 图22B是用于说明本发明的第三实施方式所涉及的水晶振动元件的特性的图表，示出水晶振动元件的短边的宽度W大的情况。

[0063] 图23是用于说明本发明的第三实施方式所涉及的水晶振动元件的特性的图表。

[0064] 图24是本发明的第三实施方式的第一变形例所涉及的水晶振动元件的立体图。

[0065] 图25是本发明的第三实施方式的第二变形例所涉及的水晶振动元件的立体图。

[0066] 图26是本发明的第三实施方式的第三变形例所涉及的水晶振动元件的立体图。

[0067] 图27是以往技术的水晶振子中的水晶振动元件的立体图。

[0068] 图28是表示图27的以往技术的水晶振动元件的厚度剪切振动的振动分布的图。

具体实施方式

[0069] 以下对本发明的实施方式进行说明。在以下的附图的记载中，相同或者类似的构成要素用相同或者类似的符号表示。附图是例示的，各部的尺寸、形状是示意性的，不应理解为将本申请发明的技术范围限定于该实施方式。

[0070] <第一实施方式>

[0071] 参照图1以及图2，对本发明的第一实施方式所涉及的水晶振子1进行说明。此处，图1是水晶振子的分解立体图，图2是图1的II—II线剖视图。此外，在图2中省略水晶振动元件10的各种电极的图示。

[0072] 如图1所示，本实施方式所涉及的水晶振子1具备水晶振动元件10、作为盖部件的一个例子的盖20、和作为支承水晶振动元件10的支承体的一个例子的基板30。盖20以及基板30是用于收容水晶振动元件10的保持器(壳体或者封装)。

[0073] 水晶振动元件10包括水晶片11、和分别被设置在水晶片11的表面以及背面的激励

电极14a、14b(以下也称为“第一激励电极14a以及第二激励电极14b”。)。第一激励电极14a被设置在水晶片11的正面亦即第一面12a(表面)上,另外,第二激励电极14b被设置在与水晶片11的第一面12a对置的正面亦即第二面12b(背面)上。

[0074] 水晶片11具有与压电陶瓷那样的立方晶系不同的三方晶系的结晶结构,并由具有规定的结晶方位的水晶材料形成。水晶振动元件10例如具有AT切割的水晶片11。AT切割的水晶片11是在将使人工水晶的晶轴亦即X轴、Y轴、Z轴中的Y轴以及Z轴绕X轴从Y轴向Z轴的方向旋转了35度15分±1分30秒而得到的轴分别设为Y'轴以及Z'轴的情况下,将与由X轴以及Z'轴所确定的面平行的面(以下称为“XZ'面”。对于由其它轴确定的面也相同。)作为正面切取而成的。在图1所示的例子中,AT切割水晶片亦即水晶片11具有与X轴平行的长边作为第一方向,具有与Z'轴平行的短边作为与第一方向正交的第二方向,还具有与Y'轴平行的厚度作为与第一方向和第二方向正交的第三方向。此外,以下,也有时将沿着长边的方向称为长边方向,将沿着短边的方向称为短边方向,以及将厚度称为厚度方向。在俯视XZ'面时,水晶片11形成为长方形。使用了AT切割水晶片的水晶振动元件在较宽的温度范围内具有极高的频率稳定性,另外,随时间变化特性也优异。另外,AT切割水晶振动元件将厚度剪切振动模式(Thickness Shear Mode)作为主要振动。以下,以AT切割的轴方向为基准对水晶振子1的各结构进行说明。

[0075] 本实施方式所涉及的水晶片11并不限于上述结构,例如可以应用具有与Z'轴平行的长边、和与X轴平行的短边的AT切割水晶片。或者,如果主要振动是厚度剪切振动模式,则例如可以是BT切割等AT切割以外的不同的切割的水晶片。但是,最优先在较宽的温度范围内获得极高的频率稳定性的AT切割水晶片。

[0076] 第一激励电极14a形成在水晶片11的第一面12a,另外,第二激励电极14b形成在水晶片11的第二面12b。第一以及第二激励电极14a、14b被配置为经由水晶片11作为一对电极在俯视XZ'面的情况下大致整体重合。在俯视XZ'面的情况下,第一以及第二激励电极14a、14b呈矩形形状。例如如图1所示,被设置为激励电极的长边与水晶片11的短边平行,并且激励电极的短边与水晶片11的长边平行。

[0077] 此外,水晶振动元件的方式并不限于上述,作为后述的第一变形例,利用图4C~图4E所示那样的在结晶方位的X方向上细长的板状的水晶素振动元件的结构能够实施。即,也能够设置为激励电极的长边与水晶片11的长边平行,并且激励电极的短边与水晶片11的短边平行。

[0078] 在水晶片11形成有经由引出电极15a与第一激励电极14a电连接的连接电极16a、和经由引出电极15b与第二激励电极14b电连接的连接电极16b形成。具体而言,引出电极15a在第一面12a上从第一激励电极14a朝向X轴负方向侧短边引出,再通过水晶片11的Z'轴正方向侧的侧面与形成在第二面12b的连接电极16a连接。另一方面,引出电极15b在第二面12b上从第二激励电极14b朝向X轴负方向侧短边引出,与形成在第二面12b的连接电极16b连接。连接电极16a、16b沿着X轴负方向侧的短边配置,这些连接电极16a、16b经由涂布导电性粘合剂而固化的导电性保持部件36a、36b实现与基板30电导通,并且被机械地保持于基板30。此外,没有对连接电极16a、16b以及引出电极15a、15b的配置、图案形状进行限定,能够考虑与其它部件的电连接而适当地变更。此外,在俯视时,第一激励电极14a和第二激励电极14b重叠的电极重叠区域距水晶片11的短边具有规定的距离而设置。从水晶片11的短

边到电极重叠区域的距离大于从水晶片11的长边到电极重叠区域的距离。

[0079] 第一以及第二激励电极14a、14b、引出电极15a、15b、连接电极16a、16b例如在水晶片11的表面形成铬(Cr)层以提高接合力,在铬层的基底的表面上形成有金(Au)层。此外,并不对其材料进行限定。

[0080] 如图2所示,盖20具有与基板30的第一面32a对置并开口的凹部24。在凹部24中,遍及开口的整周而设置有以从凹部24的底面立起的方式形成的侧壁部22。另外,盖20具有从侧壁部22进而向开口外侧向突出的凸缘部28。该情况下,凸缘部28具有与基板30的第一面32a对置的对置面26。对置面26的横宽度的长度大于盖20的侧壁部22的厚度。据此,通过使凸缘部28和基板30接合,能够增大两者的接合面积,所以能够实现两者的接合强度的提高。

[0081] 此外,在本实施方式中并不对盖20的形状进行特别限定,例如可以不具有凸缘部28,而从凹部24的底面大致成直角竖立所形成的侧壁部22的前端与基板30接合。

[0082] 并不对盖20的材质进行特别限定,但例如可以由金属等导电材料构成。据此,通过使盖20与接地电位电连接,能够附加屏蔽功能。或者盖20也可以是绝缘材料或者导电材料、绝缘材料的复合结构。

[0083] 基板30将水晶振动元件10支承为能够激励。在图1所示的例子中,水晶振动元件10经由导电性保持部件36a、36b能够激励地支承于基板30的第一面32a。

[0084] 在图1所示的例子中,基板30具有与X轴方向平行的长边、与Z'轴方向平行的短边、和与Y'轴方向平行的厚度,并在XZ'面中呈长方形。基板30例如可以由绝缘性陶瓷形成,例如可以通过将多个绝缘性陶瓷片层叠并烧制来形成。或者,基板30可以由玻璃材料(例如硅酸盐玻璃,或者以硅酸盐以外为主成分的材料,根据升温而具有玻璃化转变现象的材料)、水晶材料(例如AT切割水晶)或者玻璃环氧树脂等形成。优选基板30由耐热性材料构成。基板30可以是单层,也可以是多层,在多层的情况下,可以在第一面32a的最表层形成绝缘层。另外,基板30可以呈平板的板状,或者呈在与盖20对置的方向上开口的凹状。如图2所示,通过盖20以及基板30的两者经由接合材料70接合,水晶振动元件10被密封封闭于由盖20的凹部24和基板30围起的内部空间(腔)23。该情况下,优选内部空间的压力是比大气压力低压的真空状态,由此因第一以及第二激励电极14a、14b的氧化所造成的随时间变化等能够减少,所以优选。

[0085] 接合材料70遍及盖20以及基板30的各整周而设置,并夹设在盖20的侧壁部22的对置面26与基板30的第一面32a之间。接合材料70由绝缘性材料构成。作为绝缘性材料,可以是低熔点玻璃(例如铅硼酸系、磷酸锡系等)等玻璃粘合材料,或者也可以使用树脂粘合剂。根据这些绝缘性材料,与金属接合相比,是低成本,还能够抑制加热温度,并能够实现制造工序的简单化。此外,如果使用金属接合,则能够获得比利用树脂粘合剂的接合高的接合强度。

[0086] 在图2所示的例子中,水晶振动元件10其一端通过导电性保持部件36a、36b进行固定,其另一端自由。此外,作为变形例,水晶振动元件10可以在长边以及短边的任一方向的两端被固定于基板30。

[0087] 如图1所示,基板30包括形成在第一面32a的连接电极33a、33b、和从连接电极33a、33b朝向第一面32a的外缘引出的引出电极34a、34b。

[0088] 水晶振动元件10的连接电极16a经由导电性保持部件36a与连接电极33a连接,另

一方面,水晶振动元件10的连接电极16b经由导电性保持部件36b与连接电极33b连接。

[0089] 引出电极34a从连接电极33a朝向基板30的任意一个角部引出,而引出电极34b从连接电极33b朝向基板30的另一个角部引出。另外,在基板30的各角部中形成有多个外部电极35a、35b、35c、35d。在图1所示的例子中,引出电极34a与形成在Z'轴正方向以及X轴负方向侧的角部的外部电极35a连接,而引出电极34b与形成在Z'轴负方向以及X轴正方向侧的角部的外部电极35b连接。另外如图1所示,在剩余的角部中也可以形成外部电极35c、35d,这些外部电极可以是不与水晶振动元件10电连接的虚设电极。即,虚设电极可以与第一以及第二激励电极14a、14b都不电连接。另外,虚设电极可以与被设置在安装水晶振子1的安装基板(未图示)的端子(不与其它的任何电子元件连接的端子)连接。通过形成这样的虚设电极,用于形成外部电极的导电材料的赋予变得容易,另外,由于能够在全部的角部形成外部电极,所以使水晶振子与其它部件电连接的处理工序也变得容易。并且,代替虚设电极,外部电极35c、35d可以是供给接地电位的接地用电极。在盖20由导电性材料构成的情况下,通过使盖20与作为接地用电极的外部电极35c、35d连接,能够对盖20附加屏蔽功能。

[0090] 在图1所示的例子中,基板30的角部具有其一部分切断为圆筒曲面状(也被称为圆拱形状。)而形成的切口侧面,外部电极35a ~ 35d在第一面32a、切口侧面以及第二面32b连续地形成。此外,基板30的角部的形状并不限于此,切口的形状可以是平面状,也可以是没有切口而在俯视时四角为直角的矩形形状。

[0091] 此外,基板30的连接电极33a、33b、引出电极34a、34b以及外部电极35a ~ d的各构成并不限于上述的例子,而能够进行各种变形来加以应用。例如连接电极33a、33b也可以一方形成在X轴正方向侧而另一方形成在X轴负方向侧等在基板30的第一面32a上被配置在相互不同的一侧。在这样的结构中,水晶振动元件10在长边的一端以及另一端双方被基板30支承。另外,外部电极的个数并不限于4个,例如可以是被配置在对角上的两个。另外,外部电极并不限于被配置在角部,也可以形成在除了角部之外的基板30的任一个侧面。该情况下,如已经说明那样,形成将侧面的一部分切断为圆筒曲面状的切口侧面,并在除了角部之外的该侧面形成外部电极。并且,可以不形成作为虚设电极的其它外部电极35c、35d。另外,可以在基板30形成从第一面32a向第二面32b贯通的贯通孔,设置在该贯通孔内并通过导通孔导体实现从形成在第一面32a的连接电极向第二面32b的电导通。

[0092] 在图1所示那样的水晶振子1中,经由基板30的外部电极35a、35b对水晶振动元件10中的一对第一以及第二激励电极14a、14b之间施加交变电场。由此,水晶片11以厚度剪切为主振动模式进行振动,获得伴随着该振动所产生的谐振特性。

[0093] 接下来,参照图3 ~ 图14,进一步对水晶振动元件进行详述。图3是水晶振动元件10的立体图,图4A以及图4B是表示水晶振动元件10的厚度剪切振动的振动分布的图,具体而言,图4A是示意图,图4B是表示模拟结果的图。此处,在图4A以及图4B中,为了便于说明,仅示出与第一激励电极14a以及第二激励电极14b对应的振动分布。此外,图4C ~ 图14是用于说明本实施方式的变形例以及比较例所涉及的水晶振动元件的图。

[0094] 图3是表示本实施方式所涉及的水晶振动元件10中的水晶片11和第一激励电极14a以及第二激励电极14b的一个例子的图。在该例子中,在俯视XZ'面时,Z'轴正方向侧的激励电极14a的短边与Z'轴正方向侧的水晶片11的长边重叠,Z'轴负方向侧的激励电极14a的短边与Z'轴负方向侧的水晶片11的长边重叠。另外,激励电极14b也同样地,在俯视XZ'面

时,Z'轴正方向侧的激励电极14b的短边与Z'轴正方向侧的水晶片11的长边重叠,Z'轴负方向侧的激励电极14b的短边与Z'轴负方向侧的水晶片11的长边重叠。即,激励电极14a在水晶片11的第一面12a上被设置至到达Z'轴方向上的水晶片11的主面的两端,而激励电极14b在水晶片11的第二面12b上形成至到达Z'轴方向上的水晶片11的主面的两端。

[0095] 另外,若将水晶片11的长边的长度设为L、将水晶片11的短边的长度设为W、将水晶片11的Y'轴方向的厚度T以及激励电极14a的X轴方向的短边的长度设为EL,则水晶振动元件10例如由 $L=1.322\text{mm}$ 、 $W=0.895\text{mm}$ 、 $T=0.0426\text{mm}$ 、 $EL=0.640\text{mm}$, $G=0$ 的尺寸构成。 $G/T=0$, $W/T=21.0$, $L/T=31.0$ 。此处, G 为激励电极的短边与水晶片的长边的距离,在图3中两者一致,所以 $G=0$ 。此外,上述尺寸只是一个例子,本实施方式所涉及的水晶振动元件包括以下说明的具有振动分布的方式(包括水晶片以及激励电极的各个的形状以及尺寸以及两者的位置关系。)。

[0096] 图4B是使用有关对图3的水晶振动元件10施加规定的振荡频率例如AT切割基本振荡频率的交变电场时的有关厚度剪切振动的村田制作所制的软件Femtet(注册商标),在网眼尺寸 0.02mm 的条件下,通过压电分析求解实施所得模拟结果,图4A是其示意图。材料常数从化学便览基础编II修订4版日本化学学会编丸善(1993),理科年表1996年国立天文台编丸善(1996),弹性波元件技术手册日本学术振兴会弹性波元件技术第150委员会编Ohmsha,Ltd.、以及表面弹性波元件材料资料册日本电子工业振兴会引用。此外,上述说明对表示其它模拟结果的附图也同样地适合。

[0097] 此外,如图4B所示,振动分布的振动方向的X方向相当于结晶方位的X方向,振动分布的振动方向的Y方向相当于结晶方位的Z'方向,振动分布的振动方向的Z方向相当于结晶方位的Y'方向。这样的振动方向与结晶方位的关系在其它的表示模拟结果的图中也同样地适合。以下,只要没有特别明确记载,就以结晶方位的方向为基准来进行说明。

[0098] 如图4A以及图4B所示,将在水晶振动元件10的X方向上主要振动的厚度剪切振动作为主要振动的振动分布具有在水晶片11的Z'轴方向(短边方向)上呈带状地延伸的振动区域40、和在水晶片11的X轴方向(长边方向)上分别与振动区域40的两侧邻接的非振动区域50a、50b。即,非振动区域50a和50b相互不邻接。此处,在本发明中,振动区域是指在施加规定的振荡频率(例如AT切割基本振荡频率)的交变电场时通过厚度剪切振动亦即主要振动在水晶片产生实际的位移的区域。另外,在本发明中,非振动区域是指通过该主要振动而水晶片的振动区域振动时,水晶片没有产生实际的位移的区域,并不限于完全不存在由振动所产生的位移的区域,也包括与振动区域相比由振动所产生的位移较小的区域。此外,作为非振动区域,优选是位移量小于最大位移量的 $20\sim25\%$ 的区域。另外,在俯视XZ'面时,振动区域40具有从与水晶片11的X轴平行的一个长边至同样地与X轴平行的另一边为止连续的带状的形状。此外,该振动区域40不到达与水晶片11的Z'轴平行的两个短边的任何一个。而且,在俯视XZ'面时,振动区域40和非振动区域50a、50b邻接的边界不是直线而具有山和谷交替的反复的波形状。该波状的边界具有例如山的高度和谷的深度大致相等且为大致固定了周期的大致正弦波状。此时,在以山与谷的中央部为基准时,优选谷的深度的大小相对于山的高度的大小的差为 $\pm25\%$ 以内。振动区域40呈带状地延伸是指只要以某个宽度沿某个方向延伸即可,并不限于在延伸方向上为细长的形状,例如也包括延伸方向的长度小于其宽度的形态。

[0099] 此处,振动区域40的区域可以在俯视XZ'面时与图3的激励电极14a、14b的区域实质上一致。该情况下,振动区域40具有从与激励电极14a、14b的X轴平行的一个短边至同样地与X轴平行的另一短边为止连续的带状的形状。另外,振动区域40和非振动区域50a、50b邻接的边界如上述那样具有波形状,但大体同与激励电极14a、14b的Z'轴平行的长边一致。

[0100] 图4A是表示在图3的结构中,主面的振动显示出最大位移的瞬间位移分布。对于振动区域40,以最大位移的值为基准等分割为4个,划分为3个振动区域和一个非振动区域,针对振动区域,使用不同的阴影线来表示。即,振动区域40具有第一振动强度区域42、振动的位移量比第一振动强度区域42小的第二振动强度区域44a、44b、和振动的位移量比第二振动强度区域44a、44b小的第三振动强度区域46a、46b。在俯视XZ'面时,第二振动强度区域44a、44b在水晶片11的X轴方向(长边方向)上分别与第一振动强度区域42的两侧邻接。另外,第三振动强度区域46a、46b在水晶片11的X轴方向(长边方向)上分别和第二振动强度区域44a、44b的不与第一振动强度区域42邻接的一侧邻接。换言之,振动区域40在第一振动强度区域42的中央画出与Z'轴平行的中央线时,以该中央线为基准具有线对称的振动分布。而且,图4A所示的最大位移量的0% ~ 25%且0nm ~ 85nm的非振动区域50在水晶片11的X轴方向(长边方向)上分别和第三振动强度区域46a、46b的不与第二振动强度区域44a、44b邻接的一侧邻接。在图4所示的例子中,第一振动强度区域42的位移量为最大位移量的75% ~ 100%,约为255nm ~ 340nm,第二振动强度区域44a、44b的位移量为最大位移量的50% ~ 75%,为170nm ~ 255nm,第三振动强度区域46a、46b为最大位移量的25% ~ 50%,为85nm ~ 170nm。在俯视XZ'面时,各振动强度区域均具有从与水晶片11的X轴平行的一个长边至同样地与X轴平行的另一长边为止连续的带状的形状。此外,各振动强度区域没有到达与水晶片11的Z'轴平行的两条短边的任何一个。另外,各振动强度区域相互邻接的边界不是直线而呈波状地蜿蜒。波状的边界例如大致呈正弦波状。

[0101] 并且,振动区域40具有显示出最大位移量的90%以上的位移量的强振动区域(包括振动的顶点)。例如如图4A以及图4B所示,振动区域40中的第一振动强度区域42具有强振动区域。如图4B所示,强振动区域具有位于水晶片11的表面(第一主面12a)中的沿X轴方向延伸的一长边、和从该长边在Z'轴方向上相隔且对置的水晶片11的背面(第二主面12b)的沿X轴方向上延伸的另一长边的相互相反相位亦即第一分布。该第一分布是将具有沿着水晶片11的X轴方向(长边方向)的长轴的椭圆纵向对半分割而成的半椭圆状的分布。并且,强振动区域具有分别位于水晶片11的表面(第一主面12a)以及背面(第二主面12b)的沿着Z'轴方向排列配置的第二分布。该第二分布如图4B所示是具有沿着水晶片11的X轴方向的长轴的大致椭圆状的分布。这样,图4A的第一振动强度区域42沿着Z'轴方向(短边方向)具有多个强振动区域。此外,在图4A中图示出包括多个强振动区域的第一振动强度区域42的外缘。

[0102] 并且,如图4D所示,基于模拟模型的Z轴方向(结晶方位的Y'轴方向)的位移成分的强振动区域具有结晶方位的X轴方向的一侧一半和另一侧一半是相互相反相位的第三分布。更具体而言,该强振动区域还具有第三分布,该第三分布以在水晶片的结晶方位的X轴方向的中点向结晶方位的Z'轴方向延伸的中间线为基准,包括处于该中间线的X轴方向的一侧并沿着X轴方向排列的多个一种分布、和处于该中间线的X轴方向的另一侧并沿着X轴方向排列且与上述一种分布相互相反相位的多个另一种分布。

[0103] 此处,在本实施方式中,在将作为具有规定的结晶方位的三方晶系的压电结晶亦即水晶材料进行AT切割而成的水晶片中,产生以厚度剪切为主振动模式的图4A以及图4B所示的与本发明中获得的非振动区域的边界成为波状的沿第二方向呈带状地分布的新的厚度剪切振动模式、且具有在表背面的对角位置的边上振动相互成为相反相位的强振动区域(包括振动的顶点或者中心)的厚度剪切振动模式。以下,将本发明包含的这样的厚度剪切振动模式称为全宽度厚度剪切振动模式。在全宽度厚度剪切振动模式中,优选表背面的对角位置的边上振动成为相互相反相位的强振动区域是将X方向上较长地延长的椭圆纵向对半分割而成的半椭圆状的分布(参照图4A~图4E)。

[0104] 此处参照图27以及图28,对与以往例的对比进行说明。图27是以往的在水晶片的中央部封闭厚度剪切振动的水晶振动元件。该以往例与图4A的不同之处在于:短边方向的激励电极的长度EW为0.554mm,长度EW被设置为小于图4A、以及距水晶片的端面的间隙G/T=4。即,图27所示的水晶振动元件具备呈环状地被设置在水晶片的外周的激励电极的非形成区域、和处于设置在环状的激励电极的非形成区域的内侧并被设置在水晶片的中央部的激励电极的形成区域。图28是图27所示的以往的水晶振动元件的厚度剪切振动模式中的振动分布的示意图。图28示出具备存在于水晶片的中央部的振幅的波腹、和包围振幅的波腹的整周的连续地延伸的振幅波节的振动分布。另外,在俯视水晶片的表面时,存在于表背面的振幅的波腹处于相互重叠的位置。如图28所示,在以往例的水晶振动元件中,在俯视XZ'面时,从水晶片的中央部朝向外侧大致同心圆状地存在由振动所产生的位移最大的第一振动强度区域、和在第一振动强度区域的周围由振动所产生的位移比第一振动强度区域小的第二振动强度区域、以及在第二振动强度区域的周围中由振动所产生的位移比第二振动强度区域小的第三振动强度区域。

[0105] 与此相对,本实施方式所涉及的全宽度厚度剪切振动模式不存在图27所示的以往的厚度剪切振动模式那样的呈环状地包围水晶片的中央部那样的厚度剪切振幅波节,或非振动区域。并且,如图4A所示,在横穿第二方向上对置的水晶片的两端部间并呈带状地分布的振动区域内存在至少一个振幅的波腹。另外,在俯视水晶片的表面时,存在于表背面的振幅的波腹处于相互不重叠的位置。因此,在本实施方式中,与图28所示的以往的在中央部的表背重叠的位置上有一个波腹的厚度剪切振动模式相比,由于具有图4A所示的振动分布,所以能够沿着水晶片的Z'轴方向确保更大的振动区域。并且,在取决于被激励电极夹着的水晶片的厚度T的厚度剪切振动中,通过使水晶片的X轴方向的长度L比激励电极的X轴方向的长度EL大规定的比率,不仅图4A所示的第一方向上存在的全宽度厚度剪切振动模式,也能够使包括第一方向上振动区域内向第三方向位移的振动以多个波数分布的振动状态的全宽度厚度剪切振动模式激发。另外,如果在规定的范围内设定水晶片的第一方向的长度L相对于长度EL的比率,则能够将在全宽度厚度剪切振动模式的Z'轴方向上连续地延伸的振幅波节配置于第一方向的水晶片的端部。因此,如果在全宽度厚度剪切振动模式中的振幅波节的位置处通过保持部件支承水晶片,则能够减小振动的泄漏以及振动的阻碍等因支承所造成的对全宽度剪切振动模式的影响。

[0106] 如以上那样,在本实施方式中,遍及水晶振动元件10的Z'轴方向(短边方向),厚度剪切振动的振动分布中选择产生特定的本发明中所称的全宽度厚度剪切振动,所以能够获得均匀的振动。因此,能够提高DLD特性,另外,通过较宽地确保振动区域40,能够降低CI值

且减小电容比 γ 的值,所以能够获得良好的振动特性。

[0107] 接下来,参照图4C~图4E对第一变形例进行说明。在以下的说明中对与上述内容不同点进行说明。在该变形例中,水晶振动元件呈X方向上细长的板状这一点上是与图3相同的结构,但在激励电极的长边方向与水晶片11的长边方向一致并且激励电极的短边方向与水晶片11的短边方向一致这个点上与图3不同。具体而言,在该变形例中,设为W=0.277mm,T=0.033mm,L=0.77mm,EL=0.44mm,Tex=0.267μm,G/T=0,W/T=8.39,L/T=23.7,EL/T=12.8。图4C是以模拟求出振动分布的X方向成分(相当于结晶方位的X方向成分)的位移分布的图,图4D是以模拟求出振动分布的Z方向成分(相当于结晶方位的Y'方向成分)的位移分布的图,图4E以模拟求出振动分布的Y方向成分(结晶方位的Z'方向成分相当)的位移分布的图。从图4C可知,表示振动的主要振动的X方向成分的位移分布表示具有夹在位于水晶振动元件的X方向的两端的非振动区域且连结对置的长边的振动区域的全宽度厚度剪切振动的位移分布。另外,在划分为正的最大值与负的最小值之间的位移的10个阶段时,表示显示出最大的位移的负的位移的最大绝对值的80%以上的负的位移侧的强振动区域的分布状态为沿X方向较长地延伸的两个椭圆状的分布和将椭圆纵向对半分割而成的半椭圆状的分布在宽度方向上排列。半椭圆状的分布以中心位于长边上并沿长边较长地延伸的方式分布。此时,X方向成分的位移的最大值为5.668μm,振动分布的Z(厚度)方向成分的位移的最大值为0.603μm,振动分布的Y方向(宽度)成分的位移的最大值为0.966μm。

[0108] 接下来,参照图5~图8对第二变形例进行说明。

[0109] 该水晶振动元件210具备具有第一部分240以及第二部分250的台面形状的水晶片。第一部分240与图3~图4B所说明的振动区域相同地具有沿着Z'轴方向呈带状地延伸的振动区域。在俯视XZ'面时,第二部分250被设置在与作为振动区域的第一部分240的与Z'轴平行的一边、以及同样地与Z'轴平行的另一边的各个相接的位置。水晶振动元件210在从XY'面观察水晶振动元件的侧面中具有被厚度为Tex1的第一激励电极214a和厚度为Tex2的第二激励电极214b夹着的水晶片的第一部分240。在俯视XY'面时,第一部分240具有厚度为T的振动区域。另外,第二部分250的厚度Tpe比第一部分240的厚度T薄。如图5所示,一对激励电极214a、214b分别以覆盖位于水晶片的X轴方向的中央部的第一部分240的振动区域的X轴方向的长度L1的全部的方式在X轴方向上以长度EL设置,规定L1=EL。

[0110] 图6示出针对具有以厚度剪切振动为主振动的振动模式的图5所示的水晶振动元件210,满足下式1、下式2、且在X轴方向的长度L1的振动区域中使波数n=4的振动模式激励的情况下的振动的位移分布。

[0111] 此外,将振动区域的水晶片的厚度设为T、将第一部分的X轴方向上的长度设为L1、将第一激励电极的厚度Tex1以及第二激励电极的厚度Tex2的合计的厚度设为Tex、将激励电极的材料的比重设为 γ_{ex} 、将水晶片的材料的比重设为 γ_{xt} 。根据下式1,给出水晶振动元件的振动区域的有效厚度Te,该有效厚度Te通过在水晶片的厚度T的值加上激励电极的厚度Tex乘以激励电极的材料的比重 γ_{ex} 相对于水晶片的材料的比重 γ_{xt} 的比率所得的值来计算。将X轴方向的振动区域中的波数设为n(n为自然数)。此外,在下式1、下式2中,激励电极214a和激励电极214b为相同的材料,并以相同的厚度设置。

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

$$L1/Te = 1.603 \cdot n - 0.292 \quad \cdots \text{式2}$$

[0114] 从图6的振动的位移分布可知,在水晶振动元件210中,振动的位移被封闭于第一部分240的振动区域内,第二部分250的振动的位移与第一部分240相比足够小。

[0115] 图7示出n=5时,以满足式1以及式2的方式形成的水晶振动元件212中的振动的位移分布。从图7的振动的位移分布可知,n=5时,振动的位移也被封闭于第一部分241的振动区域内,第二部分251的振动的位移与第一部分241相比足够小。

[0116] 图8是比较例,示出n=4.5时(即n不是自然数时),以满足式1以及式2的方式形成的水晶振动元件214中的振动的位移分布。从图8的振动的位移分布可知,在水晶振动元件中,振动的位移没有被封闭于第一部分242的振动区域内,所以第二部分252的振动的位移比图6的第二部分250或者图7的第二部分251大。

[0117] 此处,水晶振动元件被保持在保持器的密封空间内部中而使用(例如参照图2)。一般水晶振动元件由被设置在作为保持器的构成要素的基板上的导电性保持部件来保持。因此,水晶振动元件的振动能量经由导电性保持部件容易产生向基板的振动泄漏。因此,如果能够在振动的位移实际较小的部分通过导电性保持部件支承水晶振动元件,则能够减少振动向基板泄漏。另外,如果振动的位移实际较小的部分的面积小则不能够确保导电性保持部件的保持面积,水晶振动元件的保持强度降低。结果因落下冲击或者随时间变化而在水晶振动元件与导电性保持部件之间产生应力,容易产生龟裂、剥离。对于这一点,图6以及图7所示的本发明的实施方式与图8所示的比较例相比,能够在第二部分的几乎全部区域配置非振动区域。因此,图6以及图7所示的本发明的实施方式具有减少振动泄漏,并且减少在水晶振动元件与导电性保持部件之间产生的龟裂、剥离的效果。

[0118] 图5示出第二部分250的全部区域的厚度比振动区域的第一部分240的厚度薄的例子。

[0119] 此外,水晶振动元件的形态并不限于上述,作为后述的第四变形例,可以应用图10所示的结构,即,具有具有厚度T的第一部分243、在X轴方向上的第一部分243的两端与第一部分243邻接的第二部分253以及与第二部分253中的与第一部分243相反侧邻接的第三部分263,且第二部分253的厚度T_{pe}比第一部分243的厚度T薄的结构。该情况下,第一部分243的厚度T和第三部分263的厚度T_{rm}可以相同。换言之,也可以应用如下的结构,即,从侧面观察,在与振动区域的X轴方向的两端相接的部分具有与其它部分相比厚度薄的沿第二方向延伸的槽部(第二部分253)的结构。在该情况下,也能够将第二部分253设为非振动区域。此外,在图10中,为了容易理解水晶片的尺寸,省略显示作为以厚度T_{ex}被设置在水晶片的振动区域的一对激励电极的一方的被设置在Y'轴正侧的主面的激励电极。

[0120] 在专利文献2中公开了若使台面形状的周边部的厚度相对于振动区域的厚度变薄,则除了厚度剪切振动之外还容易激励弯曲振动,结果能量封闭效果降低,难以小型化这些问题。具体而言,在周边部的厚度T_{pe}与振动区域的厚度T的比率为0.9的情况下,以与图8的比较例相同的方式振动能量从振动区域泄漏到第二部分。然而,通过使用本发明的实施方式的变形例所涉及的结构,即使周边部与振动区域的各厚度的比率T_{pe}/T为0.9以上,也能够防止能量封闭效果的降低。

[0121] 作为又一变形例,在图5中示出水晶片的形状为台面形状的结构,也可以采用具备具有振动区域的第一部分、和与X轴方向上的第一部分的两端邻接的与第一部分大致相同的厚度的第二部分的结构。换言之,如图3所示,也能够以水晶片的形状为长方体形状的结

构实施。在该结构的情况下,只要规定为满足上式1且产生振动区域的激励电极的X轴方向的长度EL和有效厚度Te满足下式3即可。

[0122] $EL/Te = 1.603 \cdot n - 0.292$ … 式3

[0123] 认为根据该情况下的结构,获得与图5所示的结构相当的效果。

[0124] 图9A以及图9B是表示第三变形例的图,示出与图5同样的台面形状模拟结果。第三变形例中的条件是W=0.277mm、T=0.033mm、L=0.77mm、EL=0.44mm、D=0.0012mm、Lt=0.165mm、Tex=0.267μm、G/T=0、W/T=8.39、L/T=23.7、EL/T=12.8、Tpe/T=0.927。

[0125] 图10~图110是表示第四变形例的图。图10所示的水晶振动元件216具备具有厚度T的第一部分243、在X轴方向上的第一部分243的两端与第一部分243邻接的第二部分253、和第二部分253中的与第一部分243相反侧邻接的第三部分263,且第二部分253比第一部分243薄。另外,第一部分243和第三部分263的厚度相同。这样的水晶振动元件216例如在一侧的第三部分263中通过导电性保持部件保持于基板上。第四变形例中的条件为W=0.277mm、T=0.033mm、L=0.77mm、EL=0.44mm、D=0.0012mm、Lt=0.11mm、Lh=约0.055mm、Tex=0.267μm、G/T=0、W/T=8.39、L/T=23.7、EL/T=12.8。此外,Lh通过 $Lh = (L - EL - 2Lt) / 2$ 的关系式来计算。

[0126] 此处,参照图11I~图110,对第四变形例所涉及的水晶振动元件的振动状态进行说明。图11I~图110是振动分布的厚度方向表面侧的模拟结果,且是表示使相位以大致45°为单位从相位0°偏移至大致225°时的振动状态的图。在各图中,与图11A同样地将位移的大小划分为10个阶段来表示,灰色标度越亮的颜色,表示位移量越大。各图的相位为近似值。此外,模型的各点的位置与振动分布的位移成比例地位移。

[0127] 图11I是将模拟结果的X方向的负侧(画面左侧)位移为最大的情况下的振动状态设为相位0°来表示的图。如图11I所示,位移最大区域(图11I的灰色标度最亮的区域)存在三个,具体而言,存在位于X方向的大致中央部的第一区域、第二区域以及第三区域。第一区域处于Y方向的负侧的长边的位置,第二区域处于从第一区域向Y方向的正侧离开的位置,第三区域处于从第二区域向Y方向的正侧离开的位置。第一区域呈将在X轴方向上具有长轴的椭圆纵向对半分割而成的半椭圆状。另外,第二区域以及第三区域呈在X轴方向上具有长轴的椭圆状。图11I所示的位移最大区域是显示出最大位移量90%以上的位移量的强振动区域。

[0128] 图11J是表示相位大致45°的模拟结果的图。在图11J中,位移的最大值减少,对应于该减少,位移最大区域的位置向X方向的正侧移动,但模型的点(网眼)与相位0°相同。振动的分布趋势与相位0°类似。另外,振动区域与非振动区域的边界的位置与相位0°大致相同。

[0129] 图11K是表示相位大致90°的模拟结果的图。随着相位前进,进而位移的最大值减少,并且位移最大区域的位置向X方向的正侧移动。另外,振动区域中的X方向的长度随着相位从相位0°前进而逐渐变小,在相位大致90°时不再出现表面整体的位移。

[0130] 图11L是表示相位大致135°的模拟结果的图。若相位从相位大致90°前进,则再次出现振动区域,随着相位前进,振动区域的X方向长度变大。在相位大致135°时,位移最大区域的位置出现在与相位45°的X方向相反方向。

[0131] 图11M是表示相位大致180°的模拟结果的图。若相位从相位大致135°前进,则位移

的最大值增加,在相位大致 180° 时,位移最大区域的位置出现在与相位 0° 的X方向相反方向。图11M中的位移最大区域为显示出最大位移量90%以上的位移量的强振动区域。

[0132] 图11N是表示相位大致 225° 的模拟结果的图。若相位从相位大致 180° 前进,则位移的最大值减少,并且位移最大区域的位置向X方向负侧移动。此外,位移最大区域的位置在相位 0° 、相位大致 45° 、相位大致 135° 、相位大致 180° 、相位大致 225° 时大致相同。

[0133] 图11O是表示相位大致 270° 的模拟结果的图。随着相位前进,进而位移的最大值减少,并且位移最大区域的位置向X方向的负侧移动。另外,振动区域中的X方向的长度随着相位从相位大致 180° 前进而逐渐地变小,在相位大致 270° 时,不再出现表面整体的位移。

[0134] 如以上那样,从振动的位移分布的推移可知,本实施例的振动具有特定的位置始终为位移极大点的波腹、波腹附近的位移成为半椭圆状或者椭圆状的振动分布、在X方向的两端始终成为最小位移点的波节,且具有驻波而使水晶振动元件振动。此外,最大位移点的位置在相位 0° 和大致 180° 看上去波腹的位置不同是因为产生的各方向的位移根据正负而使模型的各部的位置进行各方向的正负位移。

[0135] 图12A~图12D是表示比较例的图。该比较例相对于第四变形例变更了水晶片的短边的长度W的数值。即,比较例中的条件为 $W=0.260\text{mm}$ 、 $T=0.033\text{mm}$ 、 $L=0.77\text{mm}$ 、 $EL=0.44\text{mm}$ 、 $D=0.0012\text{mm}$ 、 $L_t=0.11\text{mm}$ 、 $L_h=\text{约}0.055\text{mm}$ 、 $Tex=0.267\mu\text{m}$ 、 $G/T=0$ 、 $W/T=7.88$ 、 $L/T=23.7$ 、 $EL/T=12.8$ 。

[0136] <评价>

[0137] 接下来,对第一变形例、第三变形例、第四变形例以及比较例进行评价。图13是针对第一变形例、第三变形例、第四变形例以及比较例比较振动状态的图表。在以下的评价的说明中,以模拟模型的XYZ轴(相当于结晶方位的XZ'Y'轴)为基准。

[0138] 图13是以作为第一变形例的平板(没有台面)的X方向成分(厚度剪切的主振动方向)的最大振幅强度为基准,以比率表示Z方向成分的成分,又以百分比表示Z成分相对于X成分的比率的图。在图13中,表示平板中的全宽度厚度剪切振动模式的振动分布(第一变形例)、台面中的全宽度厚度剪切振动模式的振动分布(第三变形例)、附支承的台面中的全宽度厚度剪切振动模式的振动分布(第四变形例)、附支承的台面中的非全宽度厚度剪切振动模式的振动分布。在第一变形例、第三变形例以及第四变形例的水晶振动元件中,表示X方向成分的振幅成分的最大强度的绝对值的80%以上的强度的强振动区域呈沿Y方向(结晶方位的Z'方向)排列且在X方向上较长的椭圆状的分布,在俯视水晶片的正面时,强振动区域在表背的正面不重叠,相位反转。

[0139] 根据图13,通过作为第三变形例的台面形状,振动区域(台面凸部)的封闭状态改善,与平板相比X方向成分的振幅强度增加9%。另一方面,Z(厚度)方向成分从0.11增加到0.14。作为其重要因素,认为模拟的模型假设对水晶片进行蚀刻加工,使台阶部不为直角,考虑由结晶方位产生的蚀刻的各向异性来使倾斜在正正面的阶梯差的X方向的正侧为55度、在负侧为33度,成为在X方向上不对称形状的形状,所以通过振动的非对称性,作为X方向的厚度剪切振动的副振动而激发Z(厚度)方向的振动。

[0140] 另外,通过作为第四变形例的附支承的台面,振动区域(台面凸部)的封闭状态改善,与平板相比X方向成分的振幅强度增加8%。另外,认为通过增厚作为第三部分263(参照图10)的支承部(非振动部)的厚度来提高台阶部的形状的对称性,从而Z方向成分的振动强

度减少。另一方面,虽然使支承部的厚度变厚,质量增加,但X方向成分的振动强度为1.08,与平板相比增加8%,从质量小的台面的X方向成分的振动强度1.09稍微减少0.01。

[0141] 另外,在作为比较例的附支承的台面中,振动区域(台面凸部)的封闭状态降低,与平板相比X方向成分的振幅强度减少6%。并且,作为X方向的厚度剪切振动的副振动而激发Z(厚度)方向成分的振动,另外,Z(厚度)方向成分的振动强度大幅度地增加为0.45,Z(厚度)方向成分相对于X方向成分的比率增加为47.6%。这认为原因是X方向的弯曲振动未被封闭于厚度剪切的振动区域,除了X方向成分具有主要振动的厚度剪切振动之外,Z方向(厚度)成分具有主要振动的弯曲振动未被封闭于台面突起部,能量向厚度剪切振动的集中度降低。

[0142] 并且,为了对附支承的台面评价向支承部的振动泄漏,求出被设置在水晶片的第一方向的两端的厚壁部支承部(凸缘部)的最大位移相对于振动区域内的最大位移的比率(未图示)。第四变形例的情况下成为0.03,作为比较例的不是全宽度厚度剪切振动的单纯的厚度剪切振动($W/T=7.88$)的情况下成为0.17。由此,通过实施全宽度厚度剪切振动,与单纯的厚度剪切振动相比,不在水晶片的激励电极的宽度方向的两侧设置非振动区域,且获得从振动区域的振动泄漏减少的效果。

[0143] 接下来,参照图14对水晶振动元件60的第五变形例进行说明。以下,对与上述内容不同的点进行说明。

[0144] 该水晶振动元件60具有水晶片61、被设置在水晶片61的正面亦即第一面62a(表面)的第一激励电极64a、和被设置在与水晶片61的第一面62a对置的正面亦即第二面62b(背面)的第二激励电极64b。

[0145] 在该例子中,在俯视XZ'面时,Z'轴正方向侧的第一激励电极64a的短边从Z'轴正方向侧的水晶片61的长边具有缝隙而设置。另外,Z'轴负方向侧的第一激励电极64a的短边从Z'轴负方向侧的水晶片61的长边具有缝隙而设置。

[0146] 另外,第二激励电极64b也同样地,在俯视XZ'面时,Z'轴正方向侧的第二激励电极64b的短边从Z'轴正方向侧的水晶片61的长边具有缝隙而设置。另外,Z'轴负方向侧的第二激励电极64b的短边从Z'轴负方向侧的水晶片61的长边具有缝隙而设置。

[0147] 即,第一激励电极64a的两侧的短边在水晶片61的第一面62a上从水晶片61的两侧的长边分别具有缝隙而设置。而且,另一方面,第二激励电极64b的两侧的短边在水晶片61的第二面62b上从水晶片61的两侧的长边分别具有缝隙而设置。这些缝隙的大小G例如为 $0 < G \leq 20\mu\text{m}$ 。此外,优选距X方向的侧面的稜线的缝隙的大小G为通过第一激励电极64a与第二激励电极64b间的交变电场对水晶片61的Z'轴方向的侧面施加电场的范围内。

[0148] 优选缝隙的大小G在激励电极的一边中大致一样。另外,优选在第一激励电极64a的一边和另一边中,缝隙的大小G大致相同,对于第二激励电极64b,也优选在一边和另一边中,缝隙的大小G大致相同。此外,作为变形例,缝隙的大小G可以在激励电极的一边中局部地不同。另外,也可以在第一激励电极64a以及第二激励电极64b的任意一个激励电极的一边和另一边中相互不同。

[0149] 在本变形例中,产生以施加规定的振荡频率例如AT切割基本振荡频率的交变电场时的厚度剪切振动为主要振动的振动模式,其振动分布与基于图4A所说明的内容本质上相同。另外,在本变形例中,也以与图4A所示的振动区域40相同的方式,在俯视XZ'面时,沿着

水晶片61的Z'轴方向呈带状地延伸,延伸到比图14所示的第一激励电极64a以及第二激励电极64b的两侧的短边更外侧。即,由图14的第一激励电极64a以及第二激励电极64b产生的振动区域具有从与水晶片61的X轴方向平行的一长边到同样地与X轴方向平行的另一长边为止连续的带状的形状。但是,在本变形例中,也沿着水晶片61的X轴方向在振动区域的两侧邻接图4A所示的非振动区域50a、50b。

[0150] 此外,在水晶片61中形成有经由引出电极65a与第一激励电极64a电连接的连接电极66a、经由引出电极65b与第二激励电极64b电连接的连接电极66b如已经说明那样。

[0151] 如以上那样,在本实施方式所涉及的变形例中,由于沿着水晶片61的Z'轴方向产生全宽度厚度剪切振动模式,所以能够获得良好的振动特性。

[0152] <第二实施方式>

[0153] 接下来,参照图15以及图16,对本发明的第二实施方式所涉及的水晶振子2进行说明。此处,图15是水晶振子2的分解立体图,图16是图15的XVI—XVI线剖视图。在本实施方式中,水晶振子2的封装的形态与第一实施方式不同,水晶振动元件110中的水晶片102、第一激励电极114a以及第二激励电极114b的形状、尺寸以及两者的位置关系能够采用与第一实施方式相同的结构。以下,对与第一实施方式的内容不同的点进行说明。

[0154] 如图15所示,本实施方式的水晶振子2具备水晶振动元件110、第一基板120和第二基板130。

[0155] 在本变形例中,第一以及第二基板120、130是用于收容水晶振动元件110的水晶片102的壳体或者封装。水晶振动元件110、第一基板120以及第二基板130在XZ'平面分别具有大致相同的尺寸以及形状(矩形形状)。在采用晶圆级芯片尺寸封装(Wafer Level Chip Size Package,以下称为“WLCSP”。)等直接以晶圆状态进行至水晶片的封装为止的制法的情况下,对由相当于第一基板120的晶圆、相当于水晶振动元件110的晶圆以及相当于第二基板130的晶圆构成的3层结构一并进行加工,使用切割机分割成各个水晶振子2来制造。因此,水晶振动元件110、第一基板120以及第二基板130具有实际上相同的尺寸以及形状。

[0156] 水晶振动元件110具备水晶片102、包围水晶片102的外周的框体104、以及将水晶片102和框体104连结的连结部件118a、118b。框体104是用于支承水晶片102的支承体的一个例子。水晶片102、框体104以及连结部件118a、118b均由具有规定的结晶方位的水晶材料形成,例如由AT切割的水晶材料形成。

[0157] 虽然未对水晶振动元件110的Y'轴方向上的厚度进行特别限定,但例如如图16所示,水晶片102、框体104以及连结部件118a、118b的厚度全部可以相同。或者,作为与台面结构类似的结构,为了实现振动能量的封闭性的提高,可以使连结部件118a、118b的厚度比水晶片102薄。

[0158] 水晶振动元件110具有X轴方向的长边、Z'轴方向的短边和Y'轴方向的厚度。在图15所示的例子中,连结部件118a、118b均被配置在水晶片102的X轴方向侧的长边的一端。水晶片102与框体104相隔而设置,两者通过连结部件118a、118b来连结。此外,在图15所示的例子中示出被配置在长边的一端侧的两个连结部件,但未对连结部件的个数、其配置等进行特别限定。例如连结部件可以应用被配置在长边的一端侧的一个连结部件,或者将两个连结部件的一方配置于长边的一端侧,将另一方配置于长边的另一端侧。

[0159] 水晶振动元件110具有角的一部分切断为圆筒曲面状而形成的切口侧面108a、

108b、108c、108d。另外,同样地,在第一基板120中也形成切口侧面122a、122b、122c、122d,在第二基板130中也形成切口侧面132a、132b、132c、132d。这样的切口侧面伴随着采用WLCSP等直接以晶圆状态进行至封装为止的制法而形成。该情况下,水晶振动元件110、第一基板120以及第二基板130的切口侧面中,例如切口侧面108a、122a、132a分别与Y'轴方向一致地形成。此外,切口侧面的形状可以是圆筒曲面状以外的形状,或者没有这样的切口。

[0160] 在水晶片102的表背面分别形成有第一以及第二激励电极114a、114b。第一激励电极114a被设置在水晶片102的第一面112a(表面),而第二激励电极114b被设置在与水晶片102的第一面112a对置的第二面112b(背面)。第一以及第二激励电极114a、114b作为一对电极在俯视XZ'平面的情况下以经由水晶片102大致整体重叠的方式配置。各激励电极114a、114b在XZ'平面中呈矩形形状,例如如图15所示,以激励电极的长边与水晶片102的短边平行,并且激励电极的短边与水晶片102的长边平行的方式设置。

[0161] 在框体104的第一面111a形成有与第一激励电极114a电连接的引出电极115a。引出电极115a从第一激励电极114a通过一方的连结部件118a引出后,通过框体104的第一面111a上,朝向切口侧面108a被引出,并与形成在框体104的第二面111b的连接电极116a电连接。另一方面,在框体104的第二面111b形成有与第二激励电极114b电连接的引出电极115b。引出电极115b从第二激励电极114b通过另一方的连结部件118b引出后,通过框体104的第二面111b,朝向角中的切口侧面108b延伸突出,并与形成在框体104的第二面111b的连接电极116b电连接。这样,在图15所示的例子中,与第一以及第二激励电极114a、114b电连接的连接电极116a、116b被配置在框体104的对置的角。

[0162] 此外,并未对与第一以及第二激励电极114a、114b电连接的连接电极116a、116b的配置进行特别限定,例如可以配置在框体104的X轴负方向侧的两个角,即切口侧面108d、108b。

[0163] 第一以及第二激励电极114a、114b、引出电极115a、115b、连接电极116a、116b例如可以由铬(Cr)层形成基底,并在铬层的表面形成金(Au)层,不对其材料进行限定。

[0164] 第一基板120被配置于水晶片102的第一面112a侧。另外,第二基板130被配置于水晶片102的第二面112b侧。即,第一基板120、水晶振动元件110以及第二基板130依次层叠,形成3层结构。第二基板130具有搭载水晶振动元件110的搭载面、和与搭载面对置并与外部电连接的安装面。

[0165] 在第二基板130的安装面,在各角形成有外部电极134a、134b、134c、134d。若将水晶振动元件110搭载于第二基板130,则外部电极134a经由连接电极116a以及引出电极115a与第一激励电极114a电连接。由此,外部电极134b经由连接电极116b以及引出电极115b与第二激励电极114b电连接。剩余的外部电极134c、134d可以是与第一以及第二激励电极114a、114b的任何一个都不电连接的虚设电极。虚设电极的详细如已经说明那样。

[0166] 此外,在图15所示的例子中,与第一以及第二激励电极114a、114b电连接的外部电极134a、134b被配置在第二基板130中的对置的角,但并不限于此,也可以配置在其它角。另外,在第二基板130的各角形成圆筒曲面状的切口侧面的情况下,各外部电极也可以在对应的各角中,以从第二基板130的安装面到达切口侧面的方式延伸突出。

[0167] 外部电极134a~134d例如由铬(Cr)、金(Au)等形成。其形成方法使用了溅射法或者镀覆法。此外,在本实施方式中示出由4个外部电极构成的4端子结构,但未对外部电极的

数量进行特别限定,例如可以应用由两个外部电极构成的2端子结构。

[0168] 第一以及第二基板120、130为平板的基板。另外,第一以及第二基板120、130的材质可以由玻璃(例如硅酸盐玻璃,或者以硅酸盐以外为主成分的材料,通过升温而具有玻璃化转变现象的材料)构成,或者可以由与水晶振动元件110相同的材质亦即水晶(例如AT切割水晶)构成。

[0169] 如图15以及图16所示,第一基板120经由第一接合材料140与框体104的第一面111a的整周接合,而第二基板130经由第二接合材料142与框体104的第二面111b的整周接合。通过将第一以及第二接合材料140、142设置于框体104的各面的整周,水晶片102被密封密封于内部空间(腔)123。第一以及第二接合材料140、142只要能够使各部件的接合面彼此接合并且以形成内部空间的方式密封即可,并不对其材料进行限定。第一以及第二接合材料140、142例如可以是低熔点玻璃(例如铅硼酸系、磷酸锡系等)等玻璃粘合材料,或者可以使用树脂粘合剂。

[0170] 本实施方式所涉及的水晶振动元件110中的水晶片102和第一激励电极114a以及第二激励电极114b的结构能够应用上述第一实施方式中所说明的内容(参照图1~图14)。根据本实施方式所涉及的水晶振子2,由于沿着水晶片102的Z'轴方向产生全宽度厚度剪切振动模式,所以能够获得良好的振动特性。

[0171] <第三实施方式>

[0172] 参照图17以及图18,对本发明的一个实施方式所涉及的水晶振子进行说明。此处,图17是水晶振子的分解立体图,图18是图17的XVIII—XVIII线剖视图。此外,在图18中省略水晶振动元件的各种电极的图示。

[0173] 以下,对本实施方式所涉及的水晶振子的结构进行说明。以下,只要不与第一以及第二实施方式中所说明的内容矛盾,则能够适当地选择性地应用这些中所说明的内容。

[0174] 如图17所示,本实施方式所涉及的水晶振子1001具备水晶振动元件1100、盖1200和基板1300。盖1200以及基板1300是用于收容水晶振动元件1100的保持器(壳体或者封装)。

[0175] 水晶振动元件1100包括水晶片1110、和分别设置在水晶片1110的表背面的激励电极1120、1130(以下也称为“第一以及第二激励电极1120、1130”。)。第一激励电极1120被设置在水晶片1110的正面亦即第一面1112(表面)。第二激励电极1130被设置在与水晶片1110的第一面1112对置的正面亦即第二面1114(背面)。

[0176] 对于水晶片1110的晶体结构、切角等结构,能够应用在第一实施方式中所说明的水晶片11的内容。在图17所示的例子中,水晶片1110为AT切割的水晶片。AT切割的水晶片1110具有与X轴平行的长边、与Z'轴平行的短边和与Y'轴平行的厚度。此外,以下,也有时将长边称为长边方向、将短边称为短边方向、以及将厚度称为厚度方向。另外,AT切割的水晶片1110在俯视XZ'面时呈长方形。

[0177] 本实施方式所涉及的水晶片并不限于上述结构,例如可以应用具有与Z'轴平行的长边、和与X轴方向平行的短边的AT切割水晶片。或者,只要主要振动为厚度剪切振动模式,例如可以是BT切割等AT切割以外的不同的切割的水晶片。

[0178] 第一激励电极1120形成在水晶片1110的第一面1112(Y'轴正方向侧的XZ'面),另外,第二激励电极1130形成在水晶片1110的与第一面1112相反的第二面1114(Y'轴负方向

侧的XZ'面)。第一以及第二激励电极1120、1130作为一对电极在俯视XZ'面的情况下以经由水晶片1110而大致整体重叠的方式配置。第一以及第二激励电极1120、1130在XZ'面中呈长方形。另外,以激励电极的长边与水晶片1110的长边平行,并且激励电极的短边与水晶片1110的短边平行的方式设置。此外,水晶片1110以及各激励电极1120、1130的各结构的详细后述。

[0179] 在水晶片1110形成有经由引出电极1122与第一激励电极1120电连接的连接电极1124、和经由引出电极1132与第二激励电极1130电连接的连接电极1134。具体而言,引出电极1122在第一面1112中从第一激励电极1120朝向X轴负方向侧短边引出,再通过水晶片1110的X轴负方向侧的侧面与形成在第二面1114的连接电极1124连接。另一方面,引出电极1132在第二面1114中从第二激励电极1130朝向X轴负方向侧短边引出,与形成在第二面1114的连接电极1134连接。连接电极1124、1134沿着X轴负方向侧的短边而配置,这些连接电极1124、1134经由后述的导电性保持部件1340、1342实现与基板1300电导通,并且机械式保持于基板1300。此外,在本实施方式中,并未对连接电极1124、1134以及引出电极1122、1132的配置、图案形状进行限定,能够考虑与其它部件的电连接而适当地变更。

[0180] 第一以及第二激励电极1120、1130、引出电极1122、1132、连接电极1124、1134例如可以由铬(Cr)层形成基底,并在铬层的表面形成金(Au)层,并未对其材料进行限定。

[0181] 如图18所示,盖1200具有与基板1300的第一面1302对置地开口的凹部1204。在凹部1204中,遍及开口的整周设置有以从凹部1204的底面立起的方式所形成的侧壁部1202,侧壁部1202具有与基板1300的第一面1302对置的端面1205。

[0182] 虽然未对盖1200的材质进行特别限定,但例如可以由金属构成。据此,通过使盖1200与接地电位电连接,能够附加屏蔽功能。或者,盖1200也可以是绝缘材料或者金属、绝缘材料的复合结构。

[0183] 此外,作为变形例,盖1200可以具有从侧壁部1202进而向开口外侧向突出的凸缘部。据此,通过使凸缘部和基板1300接合,能够增大两者的接合面积,所以能够实现两者的接合强度的提高。

[0184] 在基板1300的第一面1302(上面)搭载水晶振动元件1100。在图17所示的例子中,基板1300具有与X轴平行的长边、与Z'轴平行的短边、和与Y'轴平行的厚度,并在XZ'面中呈长方形。基板1300例如可以由绝缘性陶瓷形成,例如可以通过将多个绝缘性陶瓷片层叠并烧制来形成。或者,基板1300可以由玻璃材料、水晶材料或者玻璃环氧树脂等形成。优选基板1300由耐热性材料构成。基板1300可以是单层,也可以是多层,在多层的情况下,可以在第一面1302的最表层形成绝缘层。另外,基板1300可以呈平板状,或者可以呈在与盖1200对置的方向开口的凹状。如图17所示,通过盖1200以及基板1300的两者经由接合材料1350接合,水晶振动元件1100被密封于由盖1200的凹部1204和基板1300围起的内部空间(腔)1206内。

[0185] 接合材料1350遍及盖1200以及基板1300的各整周而设置,并夹设在盖1200的侧壁部1202的端面1205与基板1300的第一面1302之间。接合材料1350由绝缘性材料构成。作为绝缘性材料,例如可以是玻璃材料(例如低熔点玻璃),或者可以是树脂材料(例如环氧类树脂)。这些绝缘性材料与金属材料相比,熔点低,还低成本。因此,通过对接合材料1350使用这些绝缘性材料,能够抑制盖1200与基板1300的接合工序中的加热温度,还能够实现水晶

振子的低成本化。

[0186] 在图18所示的例子中,水晶振动元件1100其一端(导电性保持部件1340、1342侧的端部)为固定端,其另一端成为自由端。此外,作为变形例,水晶振动元件1100可以在长边方向的两端被固定在基板1300。

[0187] 如图17所示,基板1300包括形成在第一面1302的连接电极1320、1322、和从连接电极1320、1322朝向第一面1302的外缘引出的引出电极1320a、1322a。连接电极1320、1322以水晶振动元件1100能够配置于基板1300的第一面1302的大致中央的方式被配置在比基板1300的外缘靠内侧配置。

[0188] 水晶振动元件1100的连接电极1124经由导电性保持部件1340与连接电极1320连接,而水晶振动元件1100的连接电极1134经由导电性保持部件1342与连接电极1322连接。

[0189] 引出电极1320a从连接电极1320朝向基板1300的任意一个角部引出,而引出电极1322a从连接电极1322朝向基板1300的另一个角部引出。另外,在基板1300的各角部形成偶多个外部电极1330、1332、1334、1336。在图17所示的例子中,引出电极1320a与形成在Z'轴正方向以及X轴负方向侧的角部的外部电极1330连接,而引出电极1322a与形成在Z'轴负方向以及X轴正方向侧的角部的外部电极1332连接。另外如图17所示,可以在剩余的角部中也形成外部电极1334、1336。这些外部电极可以作为已经说明的虚设电极来使用。该情况下,通过在作为虚设电极的外部电极1334、1336电连接导电性材料构成的盖1200,可以对盖1200附加屏蔽功能。

[0190] 在图17所示的例子中,基板1300的角部具有其一部分切断为圆筒曲面状而形成的切口侧面,外部电极1330、1332、1334、1336在第一面1302、切口侧面以及第二面1304连续地形成。此外,基板1300的角部的形状并不限于此,切口的形状可以是平面状,也可以是没有切口,俯视时,四角为直角的矩形形状。

[0191] 此外,基板1300的连接电极、引出电极以及外部电极的各结构并不限于上述的例子,能够各种变形而应用。例如连接电极1320、1322也可以一方形成在X轴正方向侧、另一方形成在X轴负方向侧等在基板1300的第一面1302上被配置在相互不同的侧。在这样的结构中,水晶振动元件1100在长边方向的一方端以及另一端双方被基板1300支承。另外,外部电极的个数、配置、虚设电极的有无、外部电极与连接电极的电连接形态能够应用已经说明的内容。

[0192] 在图17所示的水晶振子1001中,经由外部电极1330、1332对水晶振动元件1100中的一对第一以及第二激励电极1120、1130之间施加交流电压,从而水晶片1110以厚度剪切为主振动模式进行振动,获得伴随该振动所产生的谐振特性。

[0193] 接下来,参照图19~图21,进一步详述图17所示的水晶振动元件。图19是表示图17所示的水晶振动元件中水晶片以及其第一面上的激励电极的图(为了便于说明,省略引出电极以及连接电极的图示)。图20A以及图20B是用于说明水晶振动元件的特性的图表。图21是表示水晶振动元件的等效电路的图。

[0194] 如图19所示,在Z'轴正方向侧中,激励电极1120的长边缘1120a与水晶片1110的Z'轴正方向侧的长边缘1112a平行,另外,在将激励电极1120的长边缘1120a与水晶片1110的长边缘1112a之间的距离设为G、将水晶片1110中的各激励电极1120、1130之间的厚度设为T的情况下,具有 $0.0002 \leq G/T \leq 0.5$ 的关系。换言之,激励电极1120的长边缘1120a比水晶片

1110的长边缘1112a向内侧隔开距离G,该距离G相对于水晶片1110的厚度T具备上述关系式。

[0195] 据此,水晶片1110的各主要的边缘有可能在制造工序中容易受到损伤而导致材质变化,通过设定上述关系式的下限,能够抑制由这样的损伤所引起的振动特性的恶化。另一方面,若使距离G过大,则会扩大无助于振动的不必要的面积,所以通过设定上述关系式的上限,实现水晶振动元件的小型化,并实现激励电极的有效面积的确保。

[0196] 另外,可知如果水晶振动元件其等效电路的电容比较小,则会获得良好的振动特性。即,已知如图21所示,在使等价串联电阻R1、等价串联电容C1、等价电感L1串联连接、且并联连接等价并联电容C0的水晶振动元件的等效电路中,如果该电容比 $C_0/C_1 = \gamma$ 较小,则能够增大水晶振动元件的频率灵敏度。

[0197] 对于这一点,若尝试使用图20A以及图20B来观察 G/T 与电容比 γ 的关系,则可知如图20A所示那样,在 $G/T=0.5$ 附近有电容比 γ 的增加率变大的临界点,另一方面可知如图20B(示出图20A中 G/T 为零附近的范围的图)所示那样,在 G/T 小于0.0002且接近0.0001的附近,也以电容比 γ 变大的方式变动。即,可知通过 G/T 具有上述关系式,能够减小电容比 γ 。而且,通过减小电容比 γ ,能够增大水晶振动元件的频率灵敏度,这样能够提高水晶振动元件的频率控制性以获得良好的振动特性。并且,如果从水晶片的端面起在 G/T 小于0.0002的范围内设置激励电极,则除了电容比 γ 的变动的影响之外,还受到水晶片的端面形状不稳定的影响。因此,优选以 G/T 成为0.0002以上的方式将激励电极设置于水晶片。

[0198] 另外,如图20A所示那样,由于在 $G/T=0.2$ 附近(0.2与0.3之间)也有电容比 γ 的增加率变大的临界点,所以更优选具有 $G/T \leq 0.2$ 的关系。

[0199] 另外,而且若具有 $0.0002 \leq G/T \leq 0.2$ 的关系,则电容比 γ 小、且能够稳定地设定,所以最优先。

[0200] 此外,以上说明的有关 G/T 的关系式对于Z'轴负方向侧中的激励电极1120的长边缘1120b与水晶片1110的Z'轴负方向侧的长边缘1112b的关系也同样地适合。另外,在上述中,对水晶片1110的第一面1112的激励电极1120进行了说明,但对于水晶片1110的第二面1114侧的长边,也同样地适合。此外,对水晶片1110的长边侧应用上述关系式是因为距离相对地越长的长边,与短边相比给水晶振动元件的振动特性带来的影响越大。

[0201] 另外,若将水晶片1110的短边的宽度设为W,则还可以具有 $W/T \leq 10.2$ 的关系。以下,对该关系式的技术意义进行说明。

[0202] 在水晶振动元件中,除了主振动之外,还产生起因于由形状、尺寸的寄生(无用振动)所引起的共振。由该寄生所引起的共振在阻抗曲线中作为或大或小的凹陷(凹处)而出现。若主振动附近有凹陷,则有可能振荡频率偏移,共振电阻增加而导致相对于振荡的裕度降低等给水晶振动元件带来负面影响。此处,在本实施方式那样的矩形状的水晶振动元件中,在将短边的宽度设为W、将水晶片的厚度设为T的情况下,寄生是与W/T相关的宽度振动,作为多次模式而大量存在。将这样的寄生称为宽度寄生。若尝试在主振动附近观察宽度寄生,则在W较小的情况下,如图22A那样,宽度寄生的频率间隔变大,而在W较大的情况下,如图22B那样,宽度寄生的频率间隔变小。并且,若尝试观察相对于温度变化的变动,则在AT切割的水晶片中,主振动例如伴随着0°C至50°C的温度变化而呈3次函数地变化,更具体而言在10ppm左右的范围内变动,另一方面,宽度寄生以值变小的方式呈1次函数地变化,更具体

而言约变动1.0%。若这样从相对于温度变化的宽度寄生观察，则主振动的变动能够相对地忽略。

[0203] 参照图23，对相对于温度变化的寄生振动的影响较少的W/T进行说明。此处，图23是将横轴设为W/T、将纵轴设为 $\Delta F / \Delta P$ (寄生密度)的图表。此外，温度变化的条件设为电子设备的主要的使用温度的0°C至50°C。

[0204] 具体地对图23进行说明。首先，通过有限要素法解析，在常温下使W/T变动来调查主振动前后的频率下的宽度寄生的产生频率以及个数，并计算邻接的寄生间的平均频率间隔 ΔP (MHz)。另外，作为一个条件，在频率37.4MHz下，提取 $W=430$ (W/T=10.35)，进行使温度从0°C变化到50°C的解析。根据该解析结果，对于主振动前后的宽度寄生10个，计算从0°C至50°C变化时的寄生的变动量，计算其平均值 ΔF (MHz)。即，在各W/T中，宽度寄生的频率根据温度变化而具有 ΔF 的变动宽度。而且，若夹着主振动的两个宽度寄生的频率间隔 ΔP 小于 ΔF ，则相对于温度变化，邻接的宽度寄生的至少一方有可能横穿主振动。这样，在各W/T中，若邻接的宽度寄生的频率间隔 ΔP 相对于 ΔF 较小，则无法避免横穿主振动的宽度寄生的可能性变大，根据情况，有可能宽度寄生横穿多个而使特性急剧地恶化。因此，如图23所示， $\Delta F / \Delta P \leq 1$ ，换句话说与主振动邻接的两个宽度寄生的间隔小于与从0°C至50°C变化的变动宽度一致的W/T的区域(即，如图23所示那样，W/T≤10.2)中，能够为宽度寄生不横穿主振动的设计，详细而言主振动的激励频率和宽度寄生的频率不一致的设计的可能性变高，更小的一方横穿的风险变少。此外，宽度寄生的位置也能够通过对水晶片实施斜面或者凸面加工而稍微变动。因此，在W/T≤10.2时，通过进而实施斜面或者凸面加工而模拟性地减小宽度尺寸，由此，也能够进一步减少宽度寄生横穿主振动的风险。

[0205] 此外，水晶片1110的各长边的长度L鉴于所希望的振动特性等适当地选择即可。

[0206] 根据本实施方式，由于水晶片1110的长边缘1112a与激励电极1120的长边缘1120a之间的距离G和水晶片1110中的各激励电极1120、1130之间的厚度T的关系满足上述关系式，所以如已经说明那样，能够获得良好的振动特性。

[0207] 本发明并不限于上述实施方式而能够各种变形来应用。此外，在以下的说明中对与上述内容不同的点进行说明，与上述内容相同的结构在图中中附加同一符号。

[0208] 参照图24～图26，对本实施方式的变形例所涉及的水晶振动元件进行说明。在以下的各变形例中，水晶片的结构均与上述内容不同。

[0209] 图24是用于说明第一变形例所涉及的水晶振动元件的图，在该例子子，具备所谓的长边方向采用了台面结构的水晶片。

[0210] 本变形例所涉及的水晶振动元件1400的水晶片1410具有激励电极1420、1430相互重叠的振动部1402、和与振动部1402连接并比振动部1402薄地形成的薄壁端部1404、1406。水晶片1410与图17所示的例子同样地具有与X轴平行的长边和与Z'轴平行的短边，薄壁端部1404、1406被设置在水晶片1410的长边延伸的方向的两端。另外，激励电极1420形成在振动部1402的一个主面亦即第一面1412，而激励电极1430形成在振动部1402的另一主面亦即第二面1414。振动部1402的第一以及第二面1412、1414均形成为在与X轴方向平行的方向上较长的长方形。

[0211] 在本变形例中，在Z'轴正方向侧中，激励电极1420的长边缘1420a与水晶片1410的Z'轴正方向侧的长边缘1412a平行，另外，在将激励电极1420的长边缘1420a与水晶片1410

的长边缘1412a之间的距离设为G、将水晶片1410中的各激励电极1420、1430之间的厚度设为T的情况下,具有已经说明的G/T的关系式。此外,有关G/T的关系式对于Z'轴负方向侧中的激励电极1420的长边缘1420b与水晶片1410的X轴负方向侧的长边缘1412b的关系也同样地适合。另外,G/T的关系式对于水晶片1410的激励电极1430侧的长边也同样地适合。

[0212] 根据本变形例,由于水晶片1410在长边方向的两端具有与振动部1402相比厚度薄地形成的薄壁端部1404、1406,所以除了如已经说明那样能够获得良好的振动特性之外,也具有振动能量封闭性优异的等台面型结构特有的作用效果。

[0213] 图25是用于说明第二变形例所涉及的水晶振动元件的图,在该例子中具备在所谓的短边方向采用了台面结构的水晶片。

[0214] 本变形例所涉及的水晶振动元件1500的水晶片1510具有激励电极1520和未图示的Y'轴负方向侧的激励电极相互重叠的振动部1502、以及与振动部1502连接并比振动部1502薄地形成的薄壁端部1504、1506。水晶片1510与图17所示的例子同样地具有与X轴平行的长边和与Z'轴平行的短边,薄壁端部1504、1506被设置在水晶片1510的短边延伸的方向的两端。另外,激励电极1520形成在振动部1502的一个主面亦即第一面1512,而未图示的Y'轴负方向侧的激励电极形成在振动部1502的另一主面亦即第二面1514。振动部1502的第一以及第二面1512,1514均形成为在与X轴方向平行的方向上较长的长方形。

[0215] 在本变形例中,也在Z'轴正方向侧中,激励电极1520的长边缘1520a与水晶片1510的Z'轴正方向侧的长边缘1512a平行,另外,在将激励电极1520的长边缘1520a与水晶片1510的长边缘1512a之间的距离设为G、将水晶片1510中的各激励电极的间的厚度设为T的情况下,具有已经说明的G/T的关系式。此外,G/T的关系式对于Z'轴负方向侧中的激励电极1520的长边缘1520b与水晶片1510的Z'轴负方向侧的长边缘1512b的关系也同样地适合。另外,G/T的关系式对于水晶片1510的激励电极1530侧的长边也同样地适合。

[0216] 根据本变形例,由于水晶片1510在短边方向的两端具有与振动部1502相比厚度薄地形成的薄壁端部1504、1506,所以除了如已经说明那好能够获得良好的振动特性之外,也具有振动能量封闭性优异等台面型结构特有的作用效果。

[0217] 此外,上述台面结构的形态并不限于图24以及图25,例如可以采用组合了图24以及图25所示的各结构的台面结构。据此,水晶片在长边方向以及短边方向的各个上具有薄壁端部,能够具备对图24以及图25的各方式所说明的作用效果。

[0218] 图26是用于说明第三变形例所涉及的水晶振动元件的图,在该例子中,在水晶片的端部与振动部之间形成有槽。

[0219] 本变形例所涉及的水晶振动元件1600的水晶片1610在第一面1612设置激励电极1620,在第二面1614设置激励电极1630。第一以及第二激励电极1620、1630隔着水晶片1610而相互重叠地设置。水晶片1610具有第一以及第二激励电极1620、1630相互重叠的振动部1602。水晶片1610与图17所示的例子同样地具有与X轴平行的长边和与Z'轴平行的短边。而且,在水晶片1610的长边延伸的方向的X轴正方向侧设置有第一端部1604,在相反的X轴负方向侧设置有第二端部1606。即,振动部1602被设置在这些第一端部1604以及第二端部1606之间。

[0220] 而且,在图26所示的例子中,在第一端部1604与振动部1602之间、以及第二端部1606与振动部1602之间分别形成有槽1608、1609。这些槽1608、1609从水晶片1610的一个长

边缘1612a向另一个长边缘1612b延伸。各槽1608、1609形成在水晶片1610的Y'正方向侧。此外,如图26所示,也可以在水晶片1610的Y'负方向侧同样地分别形成槽。并未对槽1608、1609的深度进行特别限定,以获得所希望的振动特性的方式适当地设定即可。并未对与槽1608、1609的延伸方向正交的剖面形状进行特别限定,可以如图26所示设置有底面的凹状,或者可以是由倾斜的两个侧面构成的V字状。另外,如图26所示,槽1608、1609可以分别在延伸方向具有同一剖面形状,例如也可以具有槽宽度不同等不同的剖面形状。

[0221] 激励电极1620形成在振动部1602的一个主面亦即第一面1612,而激励电极1630形成在振动部1602的另一主面亦即第二面1614。振动部1602的第一以及第二面1612、1614均形成为具有与X轴平行的长边和与Z'轴平行的短边的长方形。

[0222] 在本变形例中,在Z'轴正方向侧,激励电极1620的长边缘1620a与水晶片1610的Z'轴正方向侧的长边缘1612a平行,另外,在将激励电极1620的长边缘1620a与水晶片1610的长边缘1612a之间的距离设为G、将水晶片1610中的各激励电极1620、1630之间的厚度设为T的情况下,具有已经说明的G/T的关系式。此外,G/T的关系式对于Z'轴负方向侧上的激励电极1620的长边缘1620b与水晶片1610的Z'轴负方向侧的长边缘1612b的关系也同样地适合。另外,G/T的关系式对于水晶片1610的激励电极1630侧的长边也同样地适合。

[0223] 根据本变形例,由于在第一端部1604与振动部1602之间、以及第二端部1606与振动部1602之间分别形成有槽1608、1609,所以具备所谓的台面型结构特有的作用效果。即,除了如已经说明那样能够获得良好的振动特性之外,也具有振动能量封闭性优异等台面型结构特有的作用效果。

[0224] 此外,在图26所示的例子中,例如对在Y'轴正方向侧形成2列槽的结构进行了说明。然而槽的形态并不限于此,槽可以是沿水晶片的短边的方向延伸的一个。或者沿水晶片的短边的方向延伸的槽可以在水晶片的长边的方向上排列3列以上。作为又一方式,例如可以在水晶片的第一端部以及第二端部之间形成一个宽度宽的槽,并在该槽的底面形成激励电极。该情况下,形成激励电极的槽的底面成为振动部的主面。

[0225] 本实施方式所涉及的结构可以具有第一实施方式中所说明的全宽度厚度剪切振动模式的振动特性。该情况下,除了本实施方式中所说明的作用效果之外,如第一实施方式中所说明那样,通过产生全宽度厚度剪切振动,能够获得均匀的振动。因此,能够进而获得良好的振动特性。

[0226] 在以上的说明中,对水晶片的整体或者各结构为大致长方体的方式进行了说明,但本发明并不限于此,例如也能够应用于斜面结构或者凸面结构那样的从中央部朝向端部逐渐地减小厚度的形状。该情况下,上述厚度T能够应用于各激励电极之间中最厚的部分(例如激励电极的中央部)。

[0227] 在各实施方式中,水晶片中的全宽度厚度剪切振动模式的振动分布在水晶片的表背双方产生。

[0228] 上述的各部的尺寸、形状以及方向等无需严格,包括对本领域技术人员来说可理解为同等的。

[0229] 此外,以上说明的各实施方式是用于使本发明的理解变得容易的实施方式,并不是对本发明进行限定解释的实施方式。本发明能够不脱离其主旨地进行变更/改进,并且其等效方式也包含于本发明。即,只要具备本发明的特征,则本领域技术人员对各实施方式适

当地加入设计变更后的实施方式也包含于本发明的范围。例如，各实施方式所具备的各要素及其配置、材料、条件、形状、尺寸等并不限于例示的而能够适当地变更。另外，各实施方式所具备的各要素只要在技术上可行则能够进行组合，将它们组合后的实施方式只要包含本发明的特征则包含于本发明的范围内。

- [0230] 符号说明
- [0231] 1…水晶振子
- [0232] 2…水晶振子
- [0233] 10…水晶振动元件
- [0234] 11…水晶片
- [0235] 14a…激励电极
- [0236] 14b…激励电极
- [0237] 20…盖部件
- [0238] 23…内部空间
- [0239] 30…基板
- [0240] 36a…导电性保持部件
- [0241] 36b…导电性保持部件
- [0242] 40…振动区域
- [0243] 50…非振动区域

1

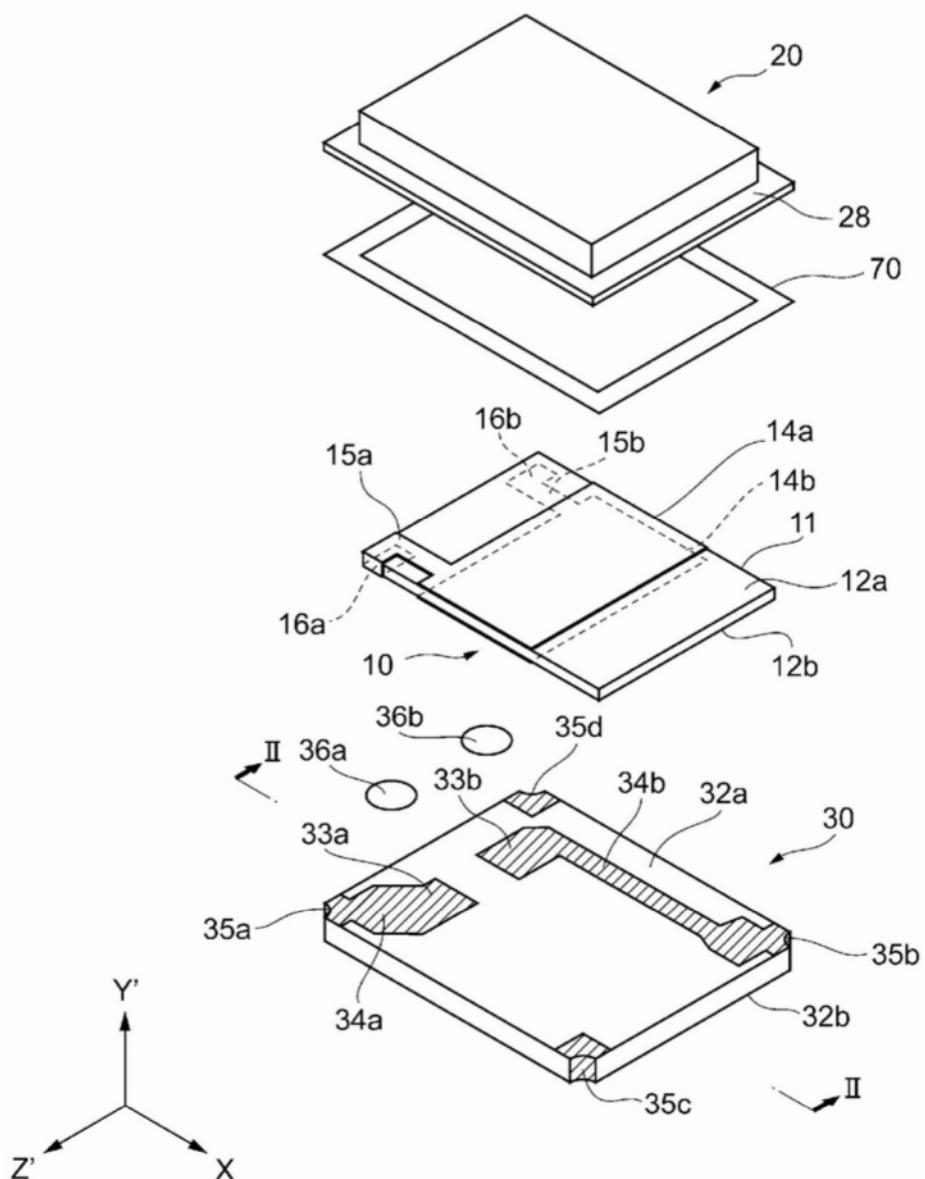


图1

1

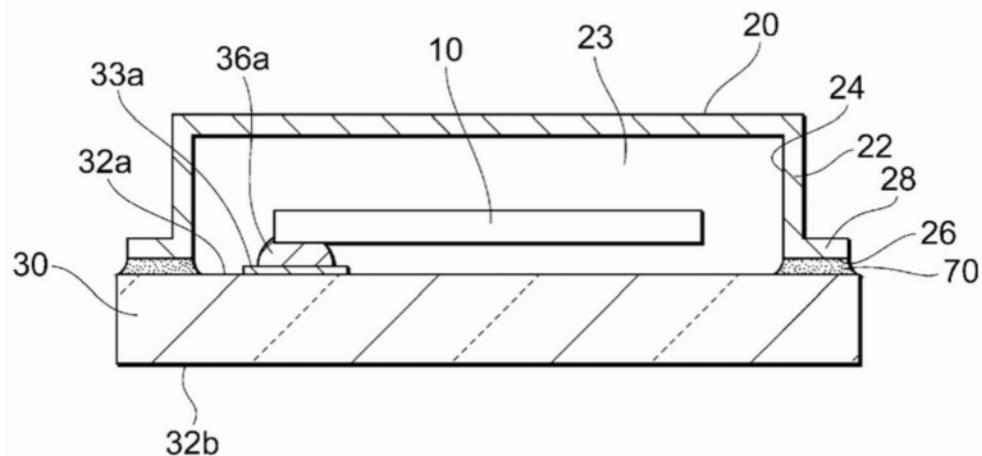


图2

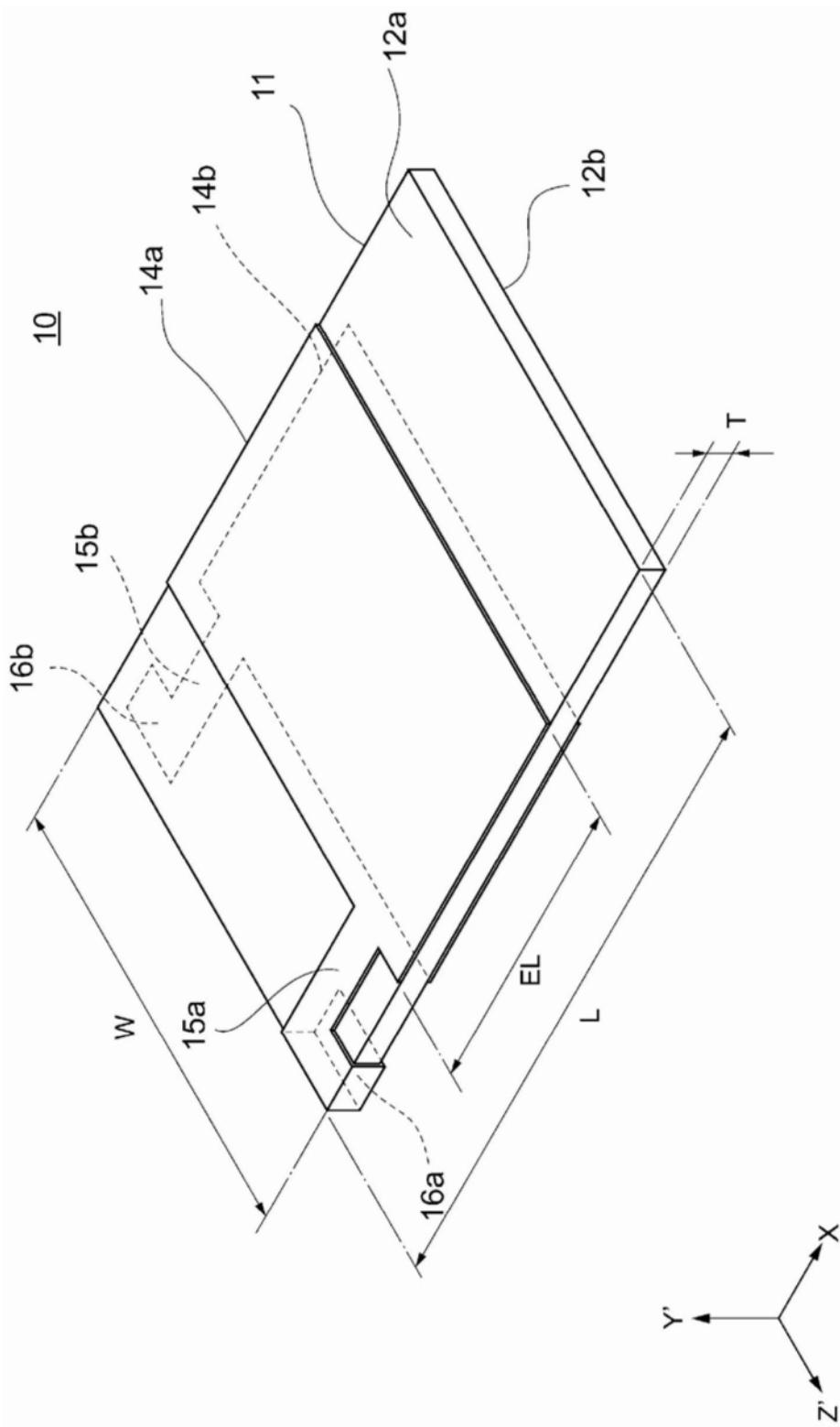


图3

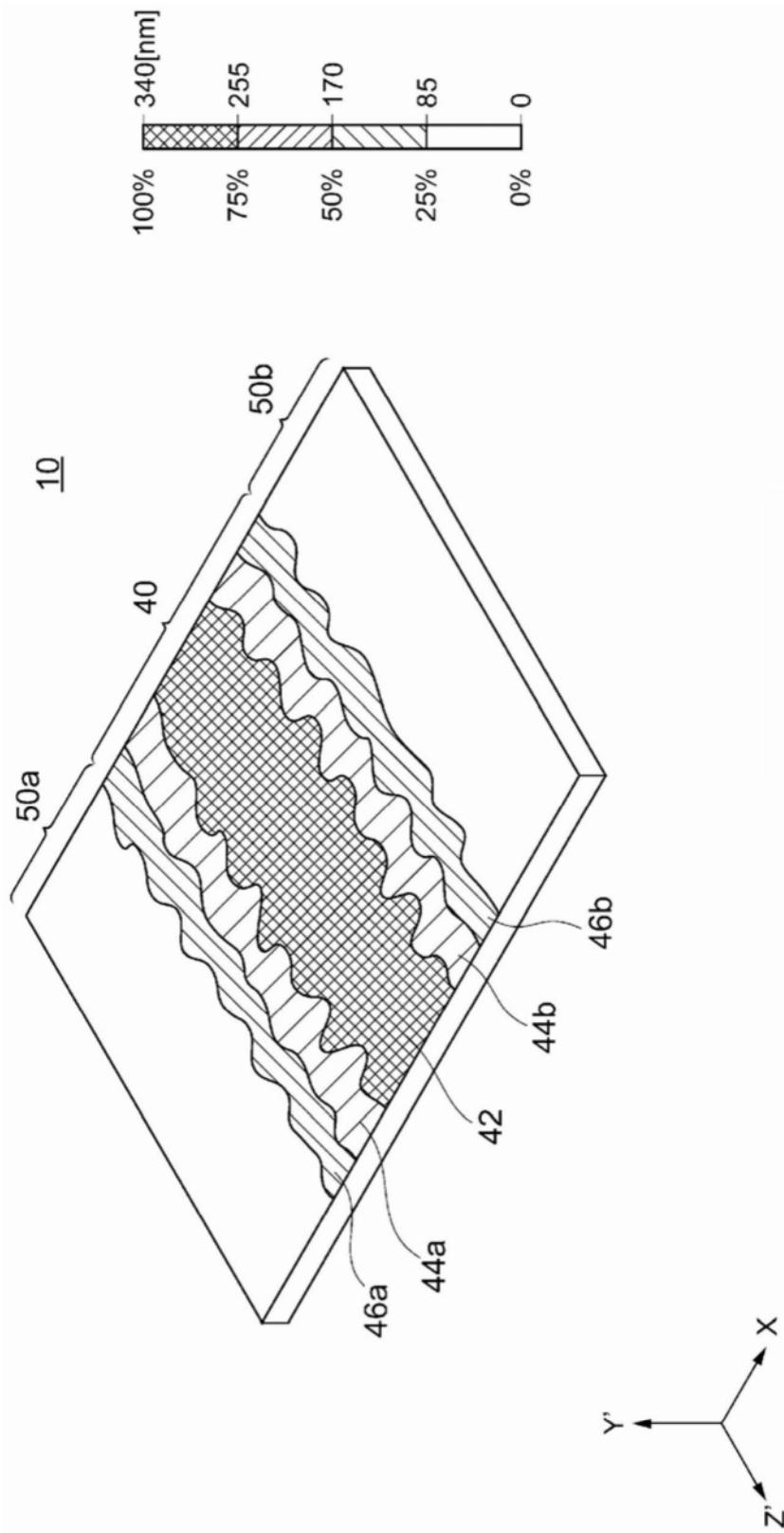
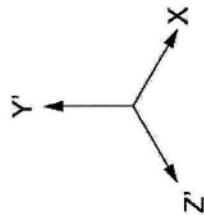
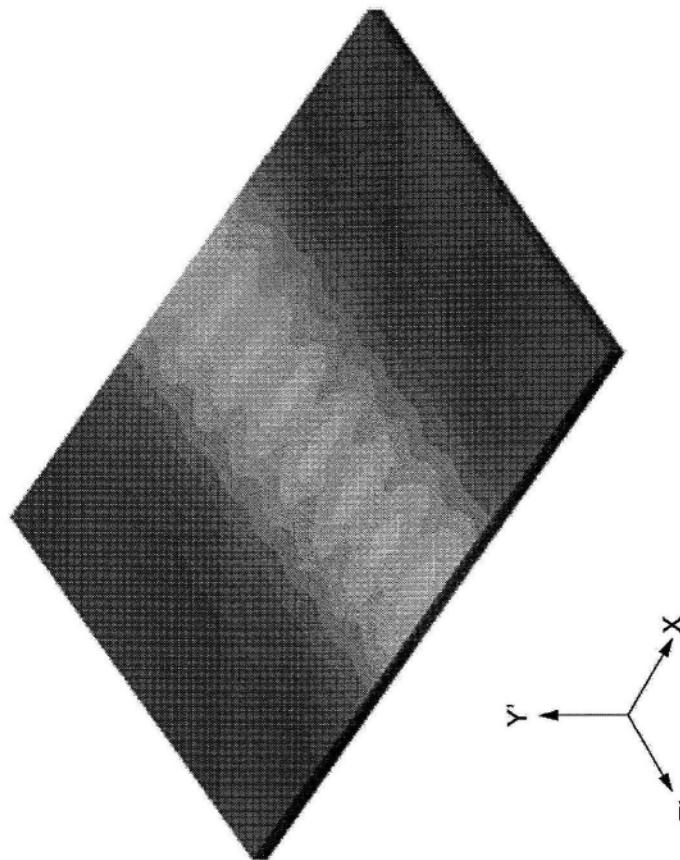
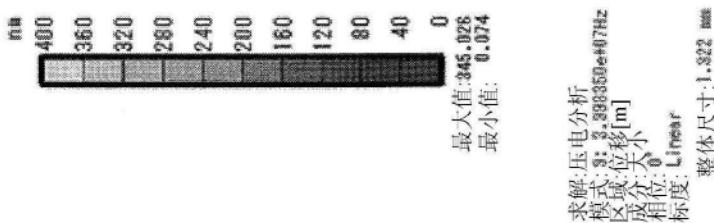
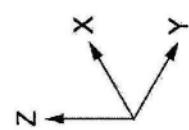


图4A



(基于模拟模型的轴方向)



(基于结晶方位的轴方向)

图4B

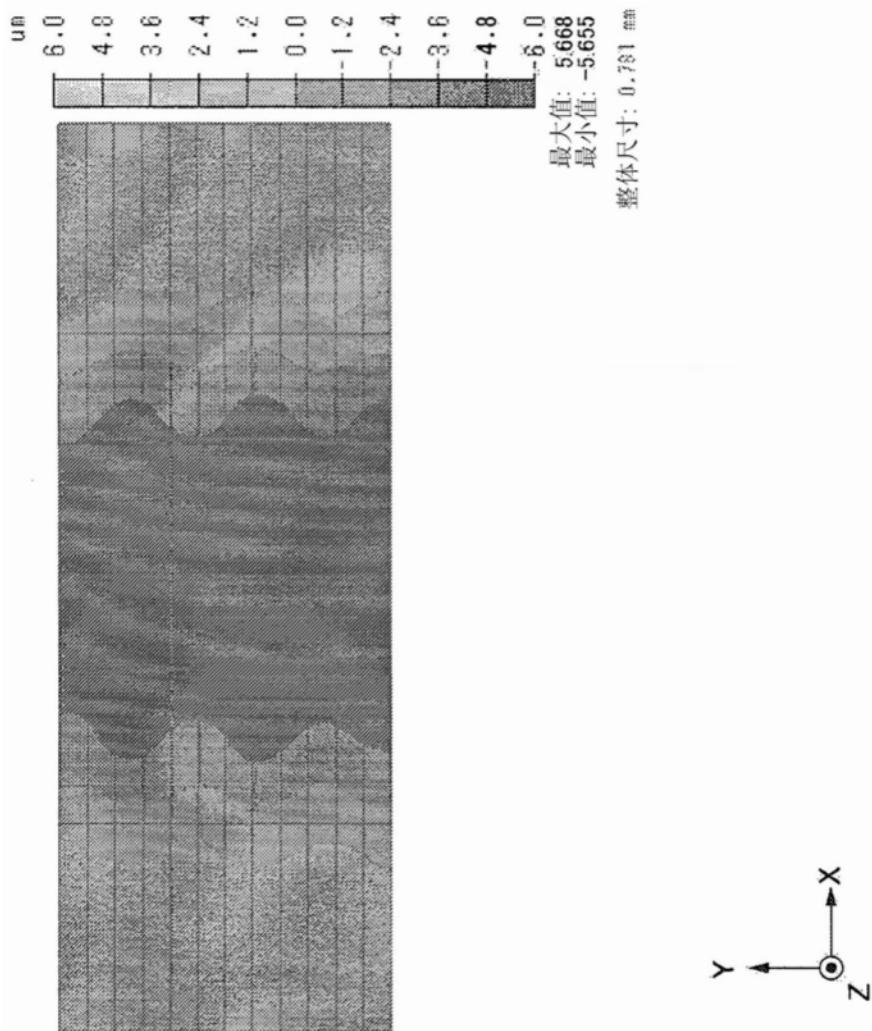


图4C

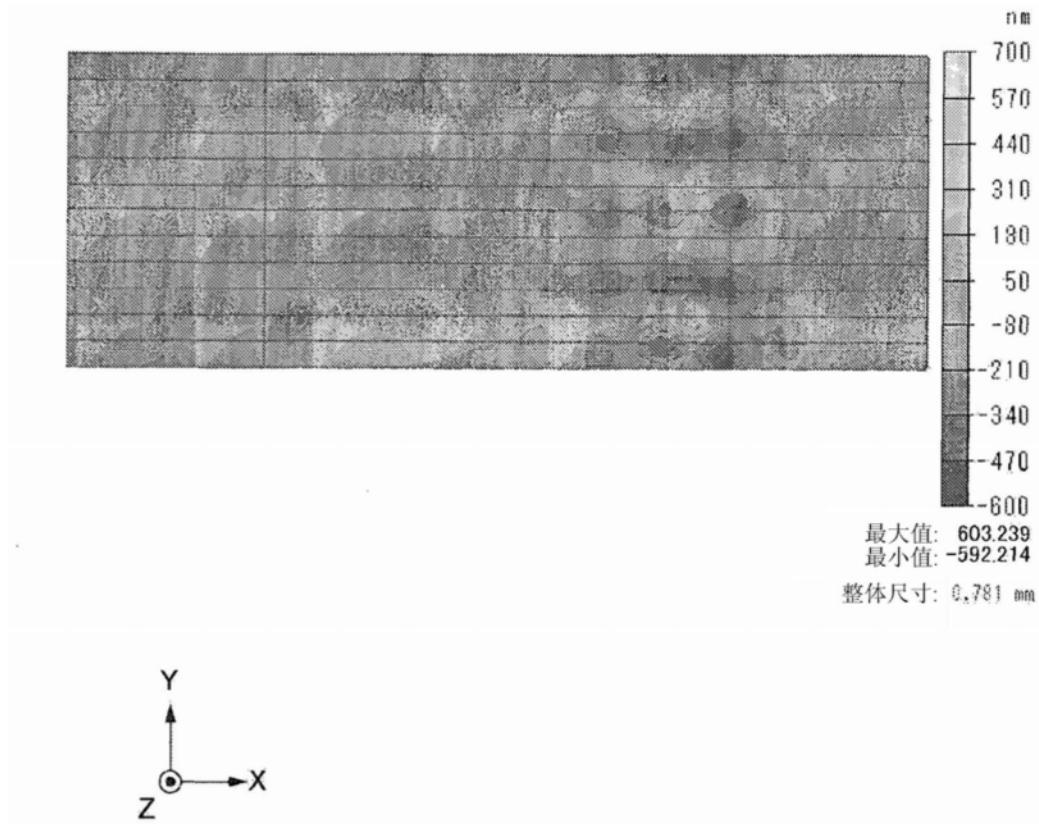


图4D

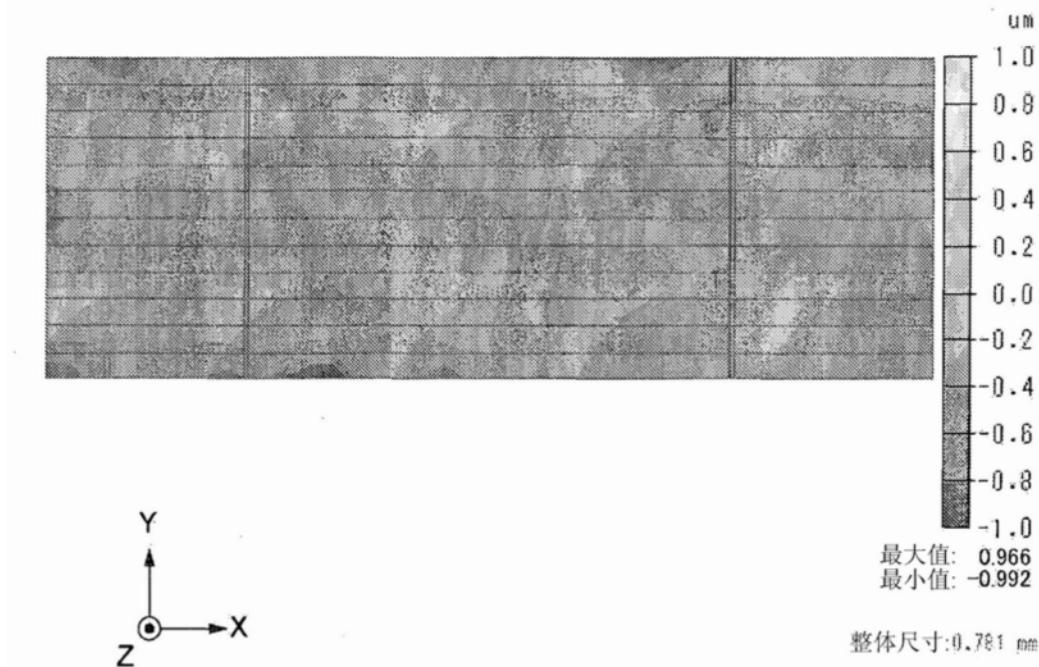


图4E

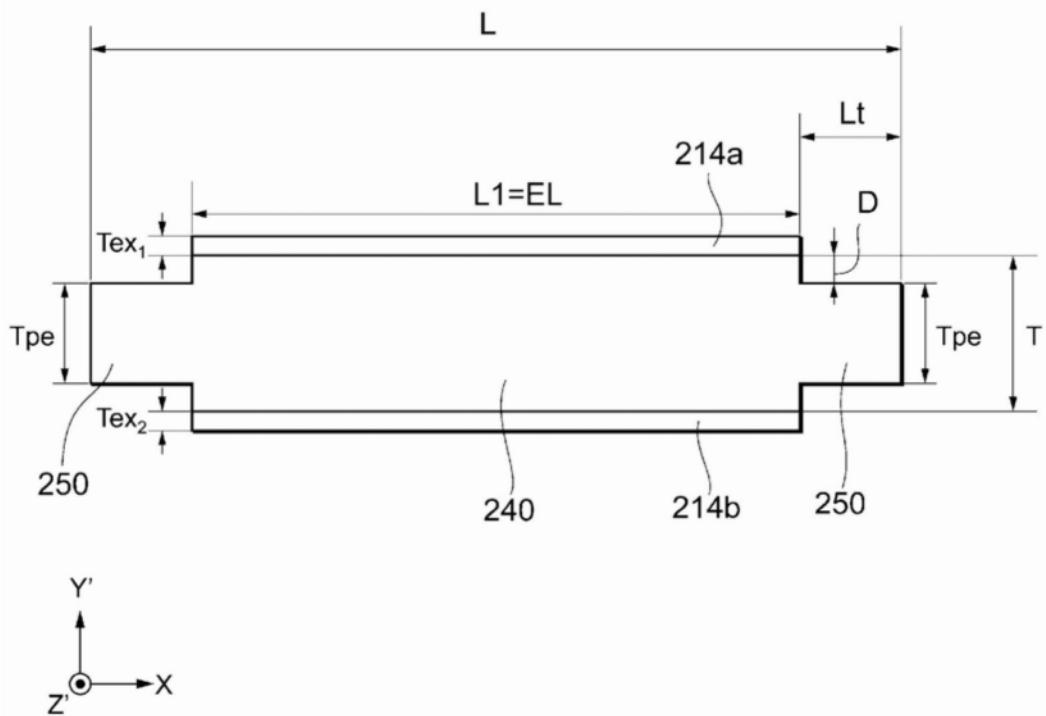
210

图5

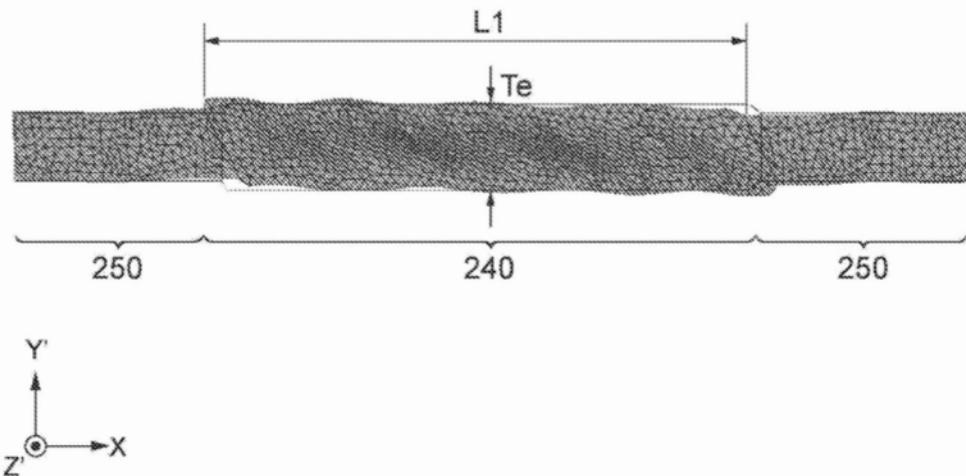
210

图6

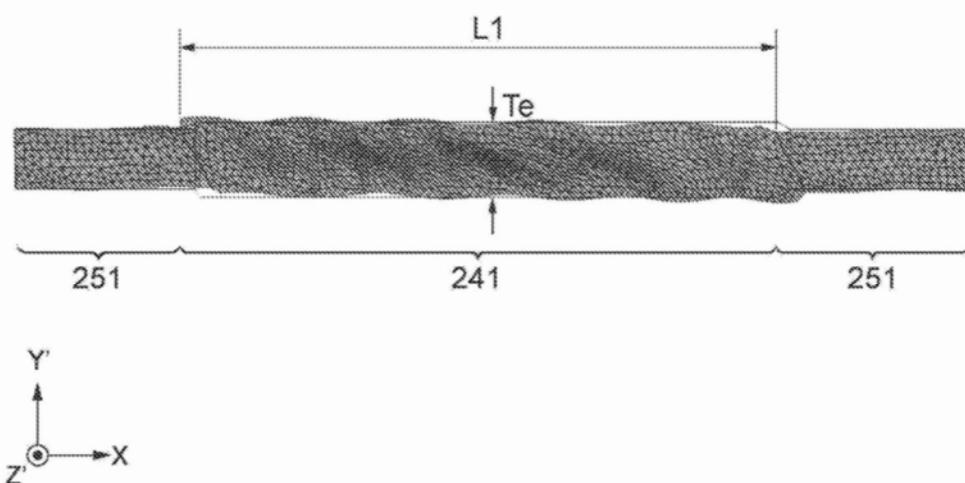
212

图7

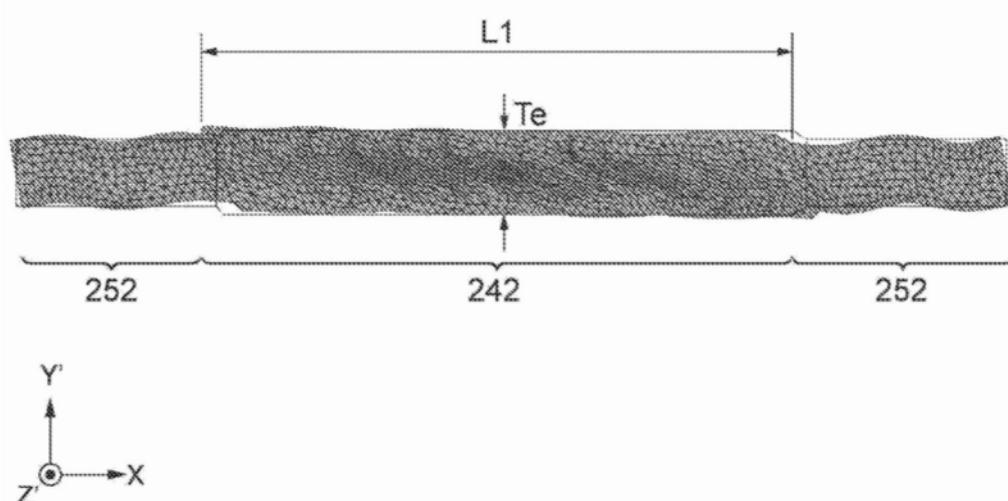
214

图8

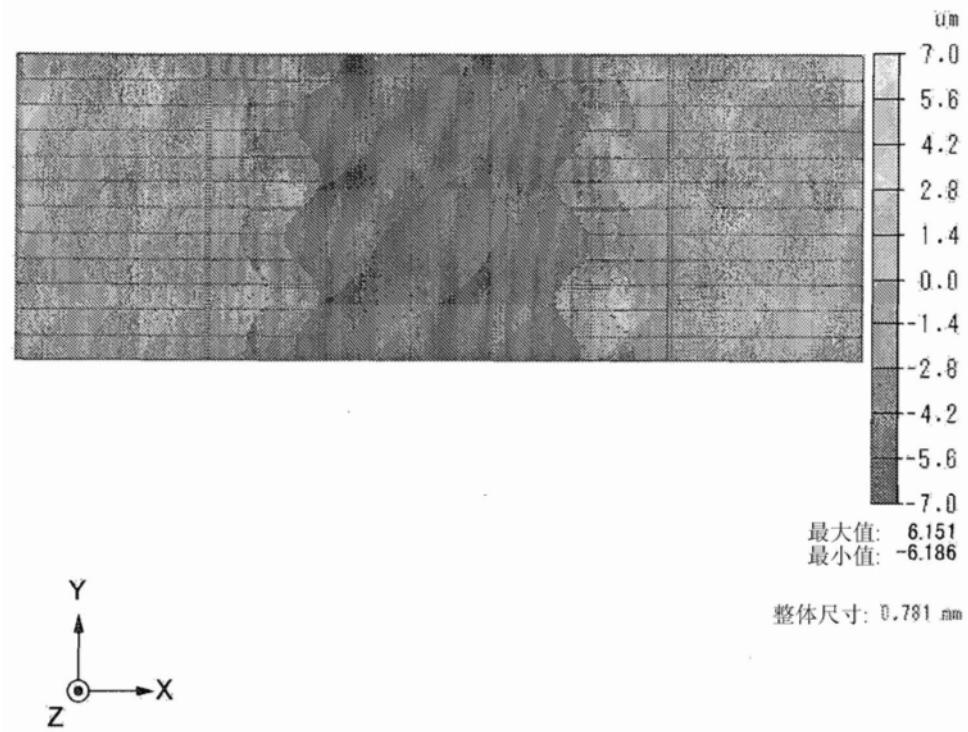


图9A

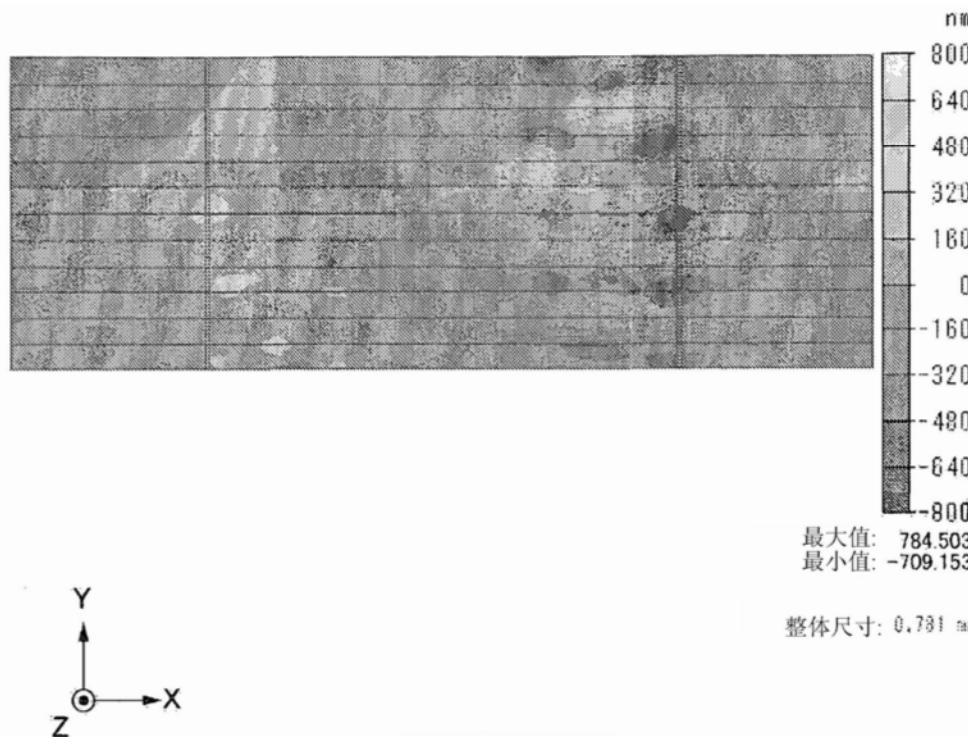


图9B

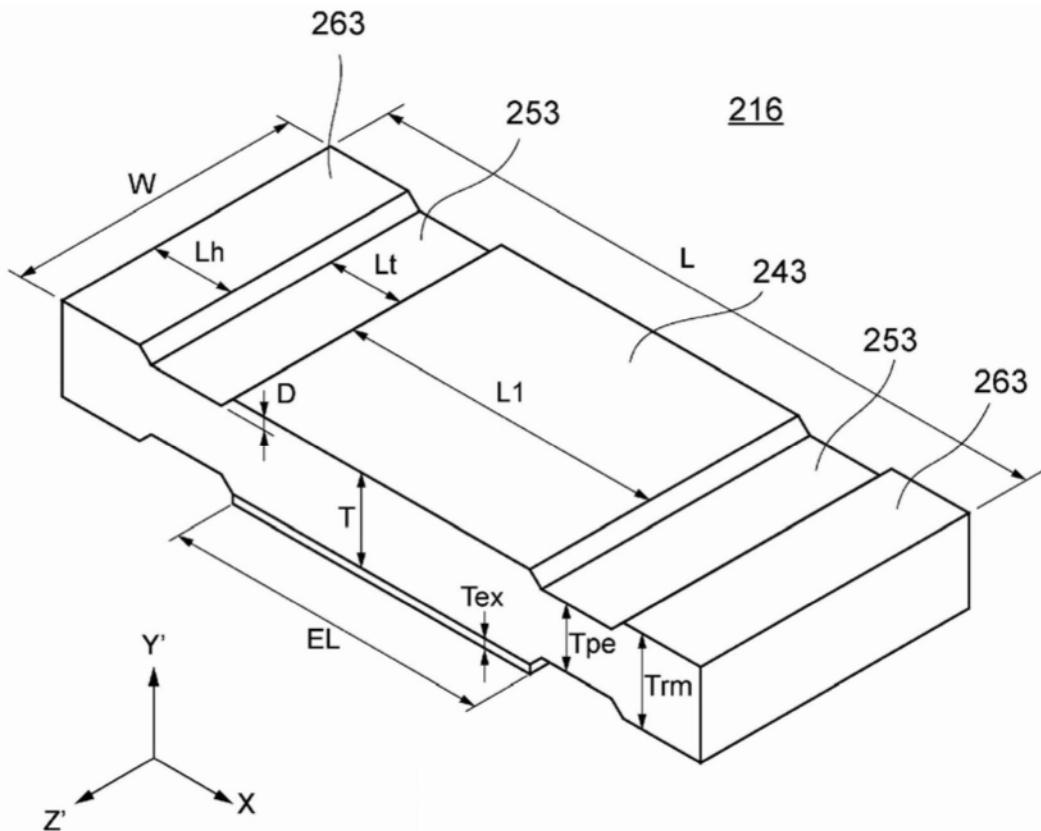


图10

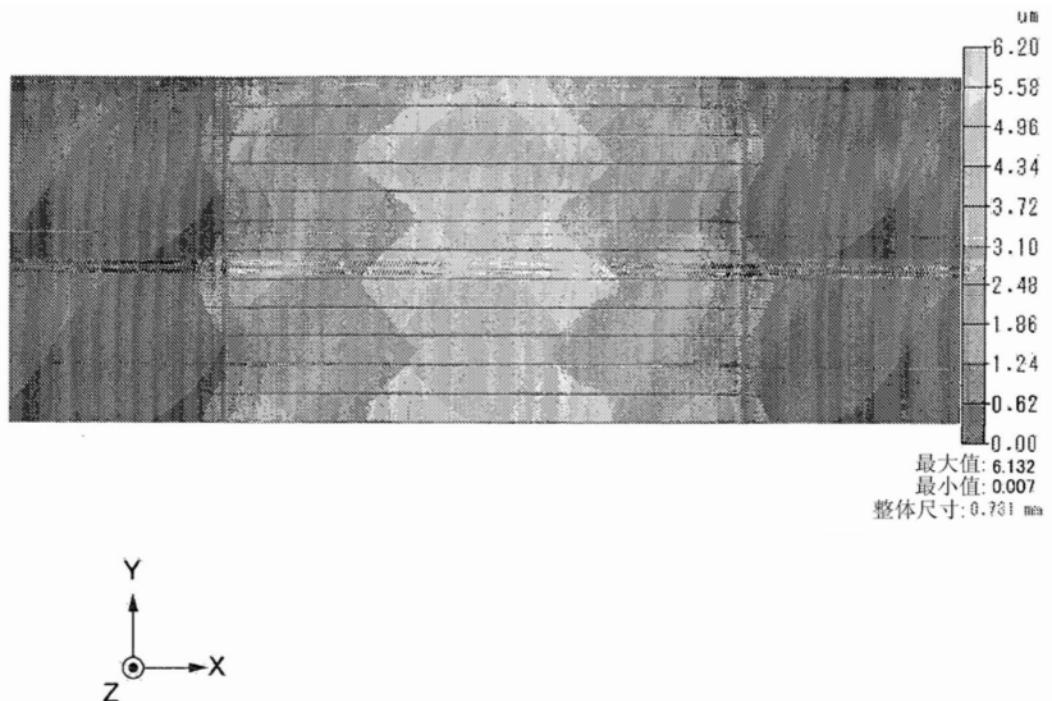


图11A

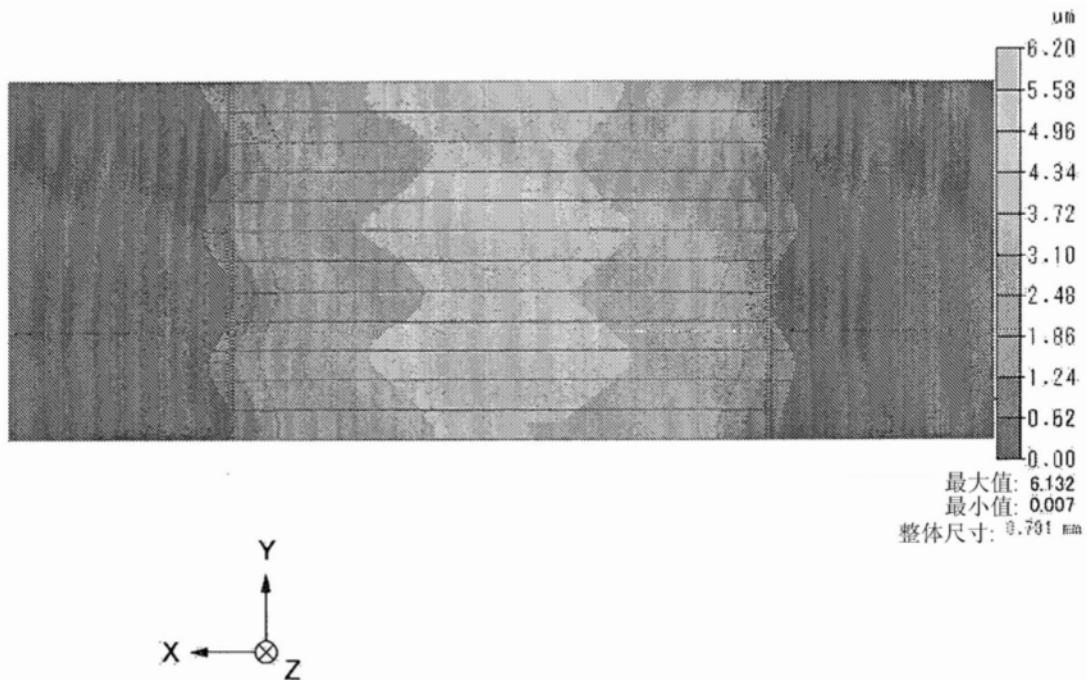


图11B

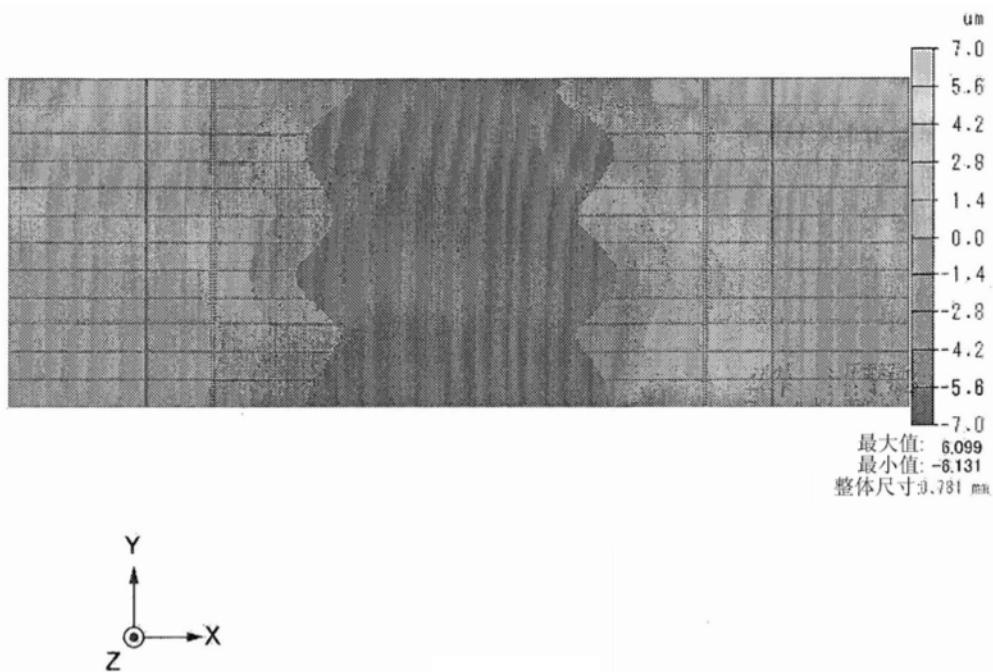


图11C

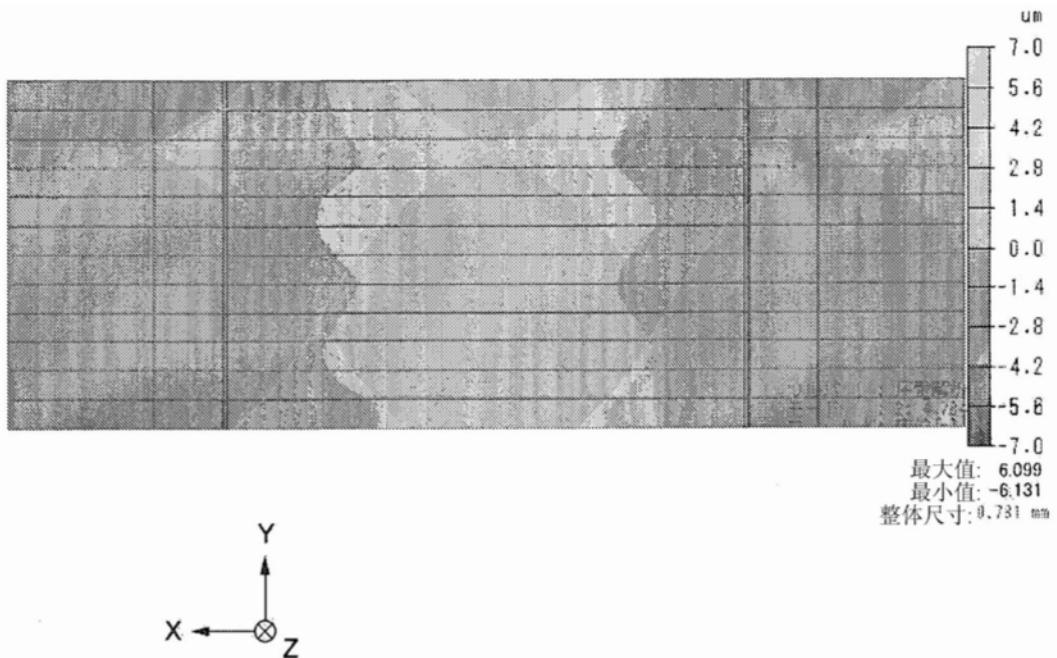


图11D

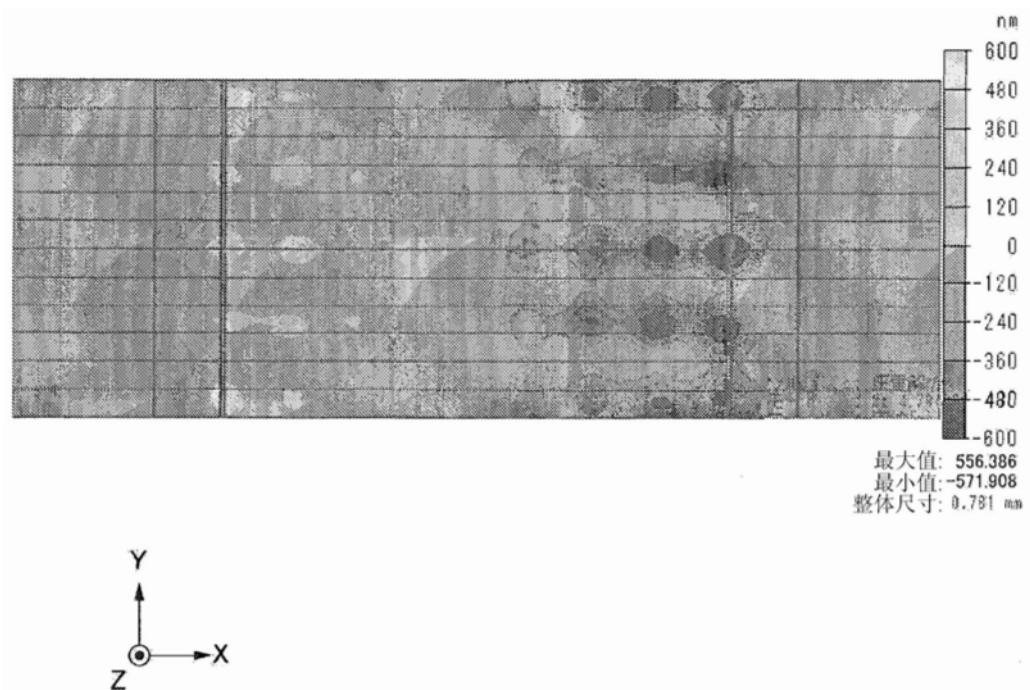


图11E

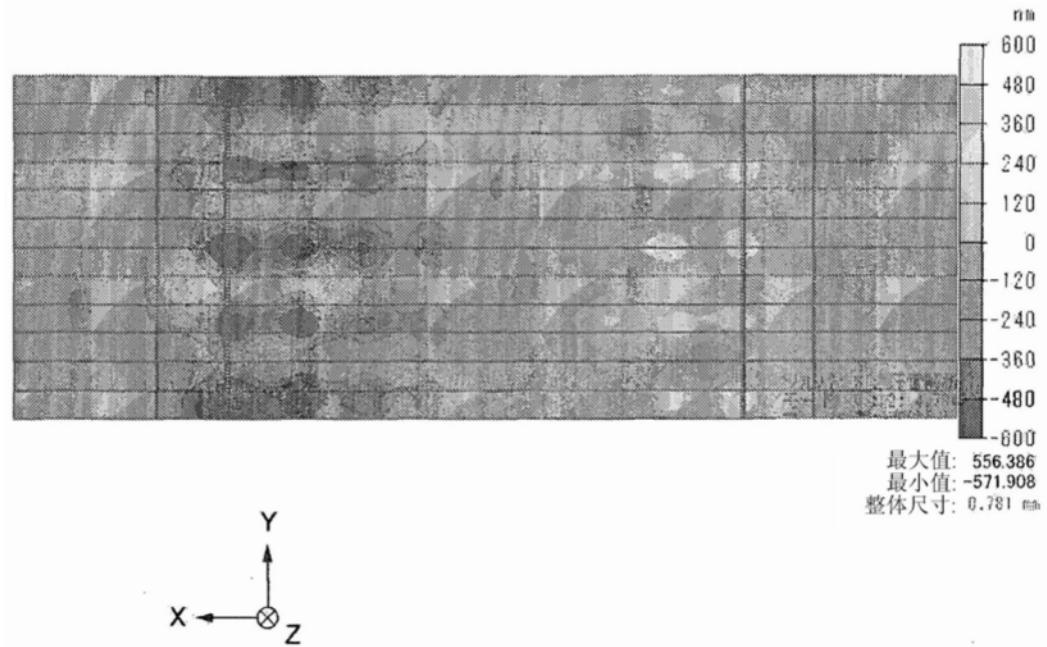


图11F

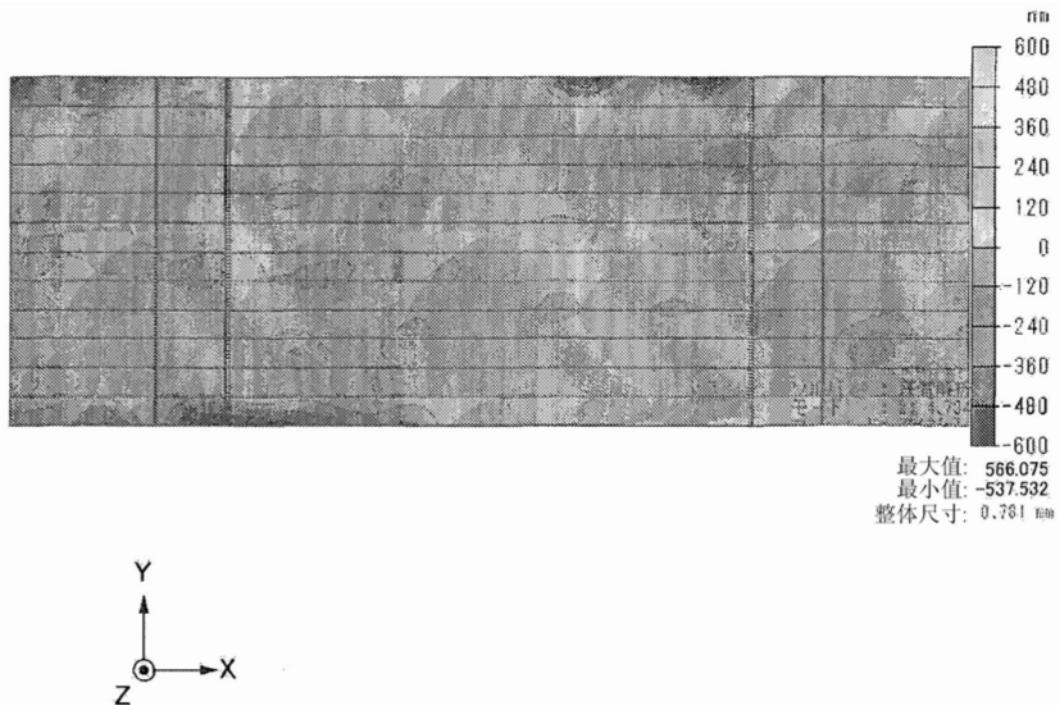


图11G

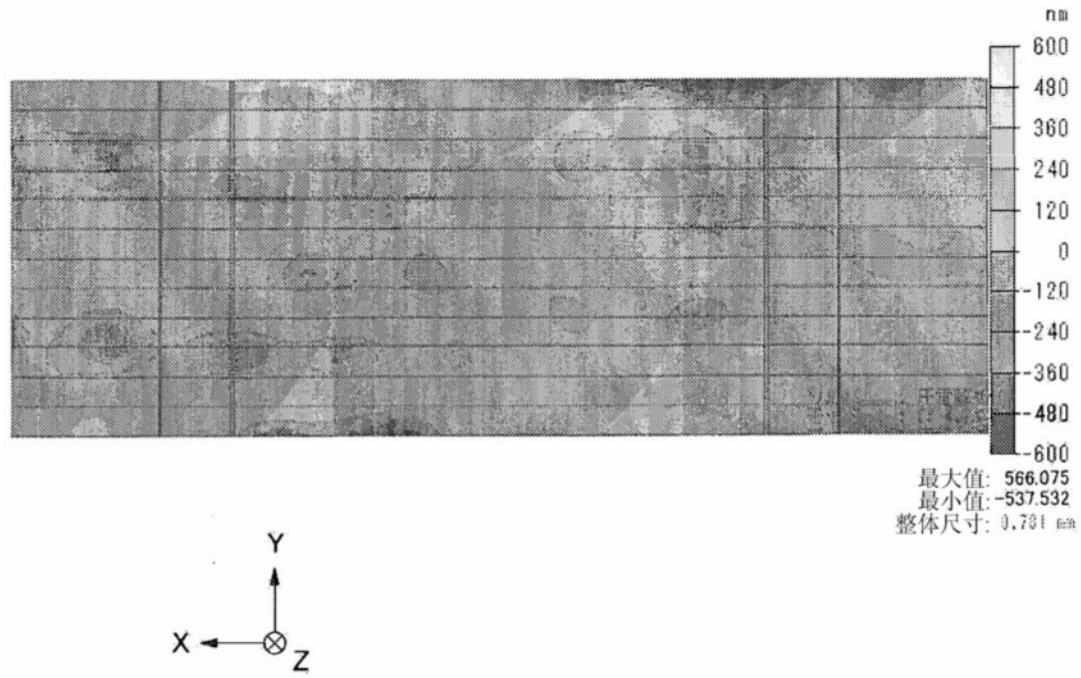


图11H

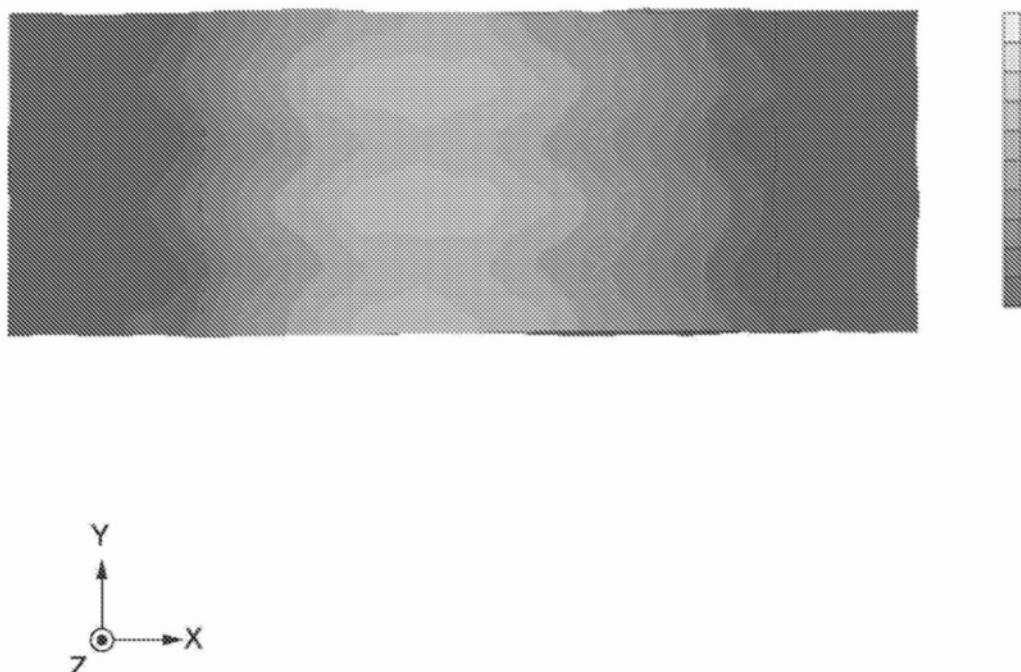


图11I

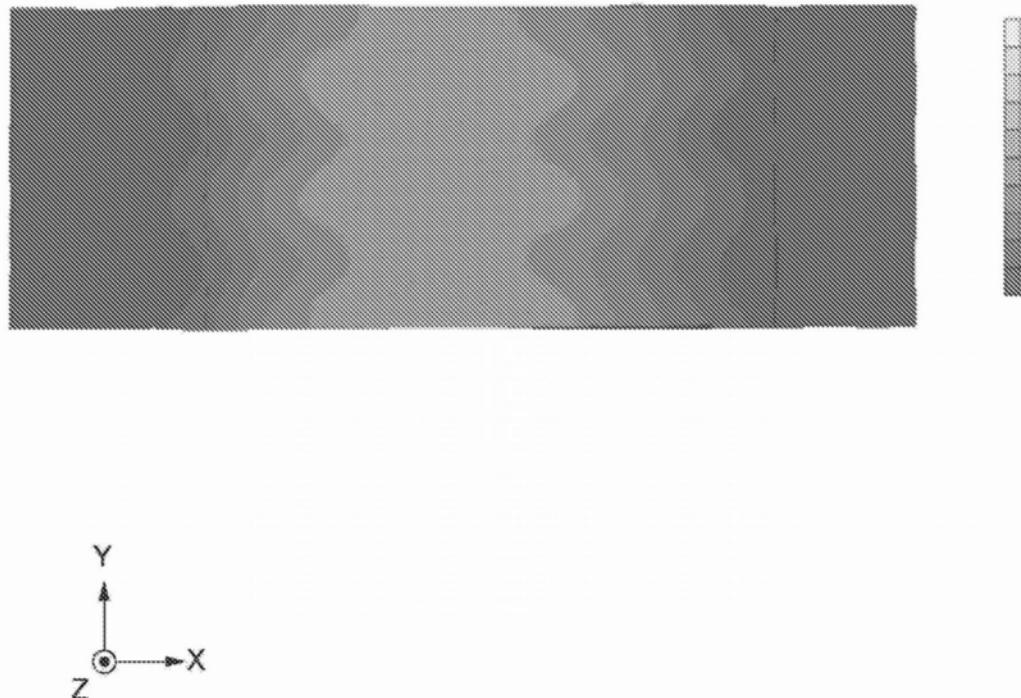


图11J



图11K

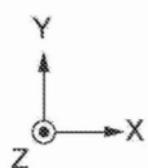
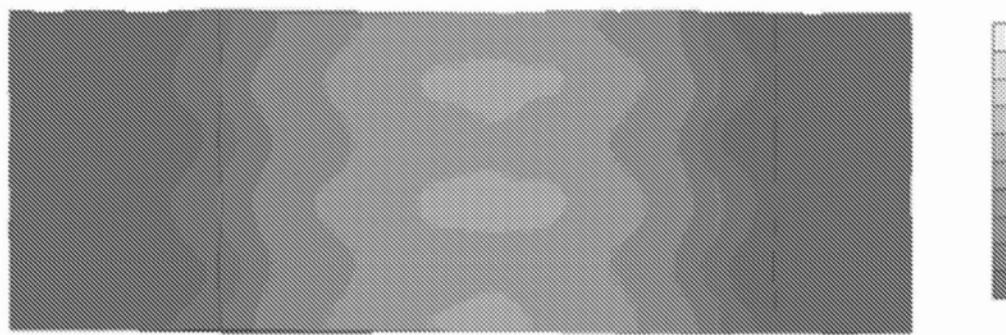


图11L

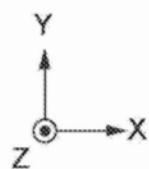
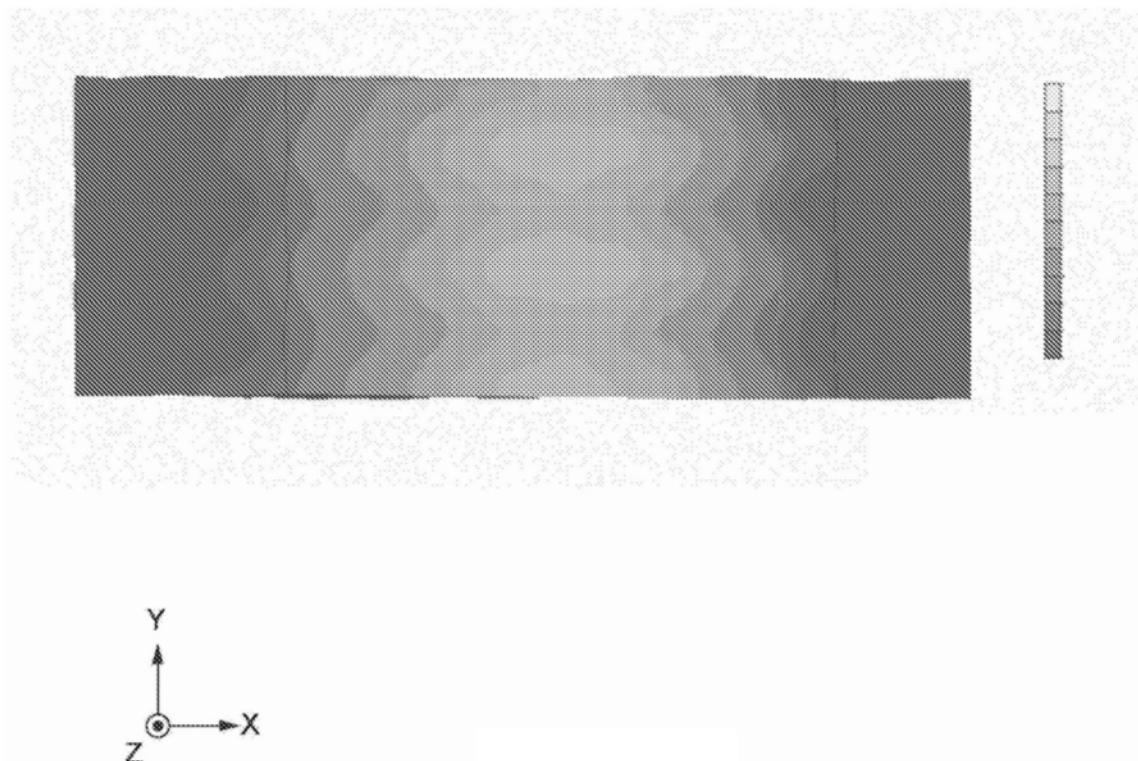


图11M

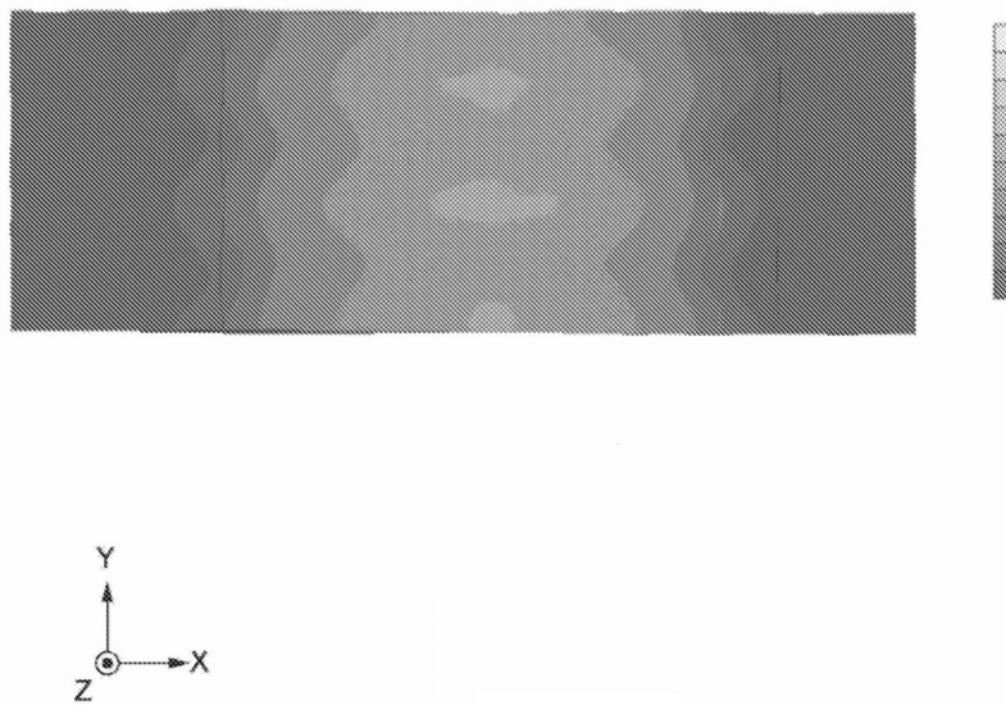


图11N



图110

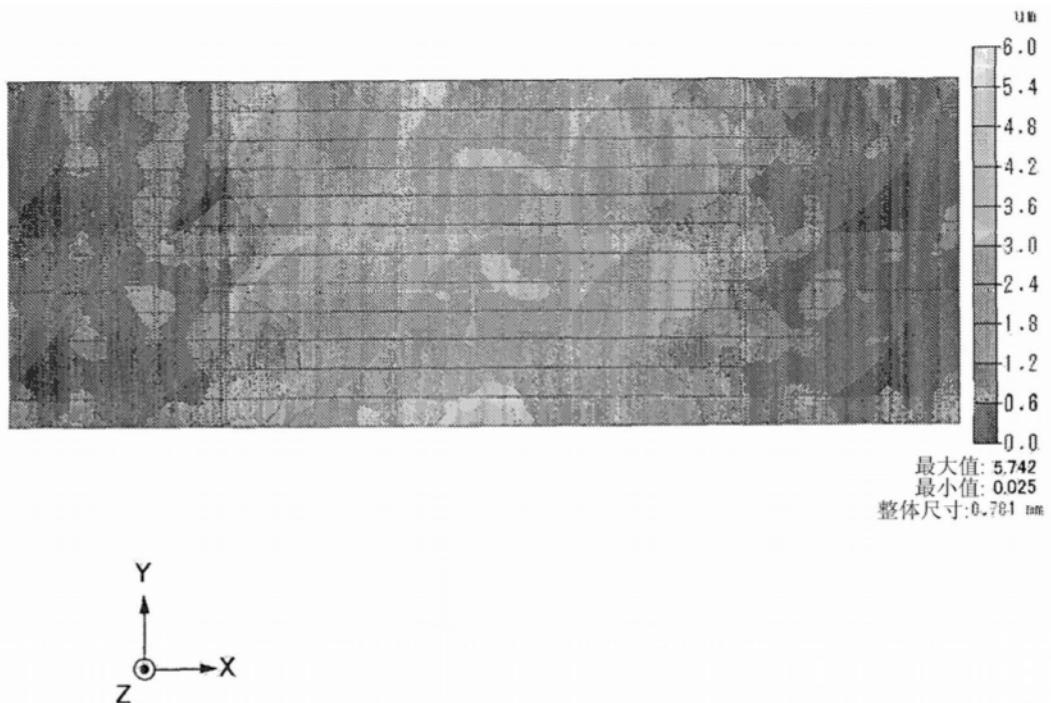


图12A

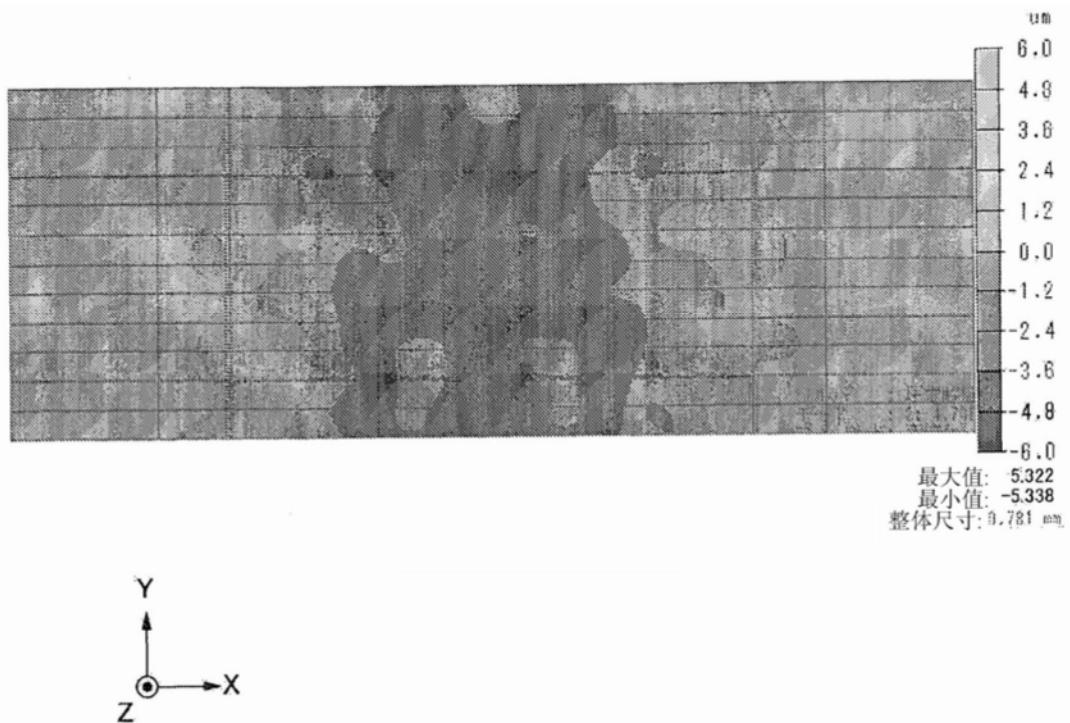


图12B

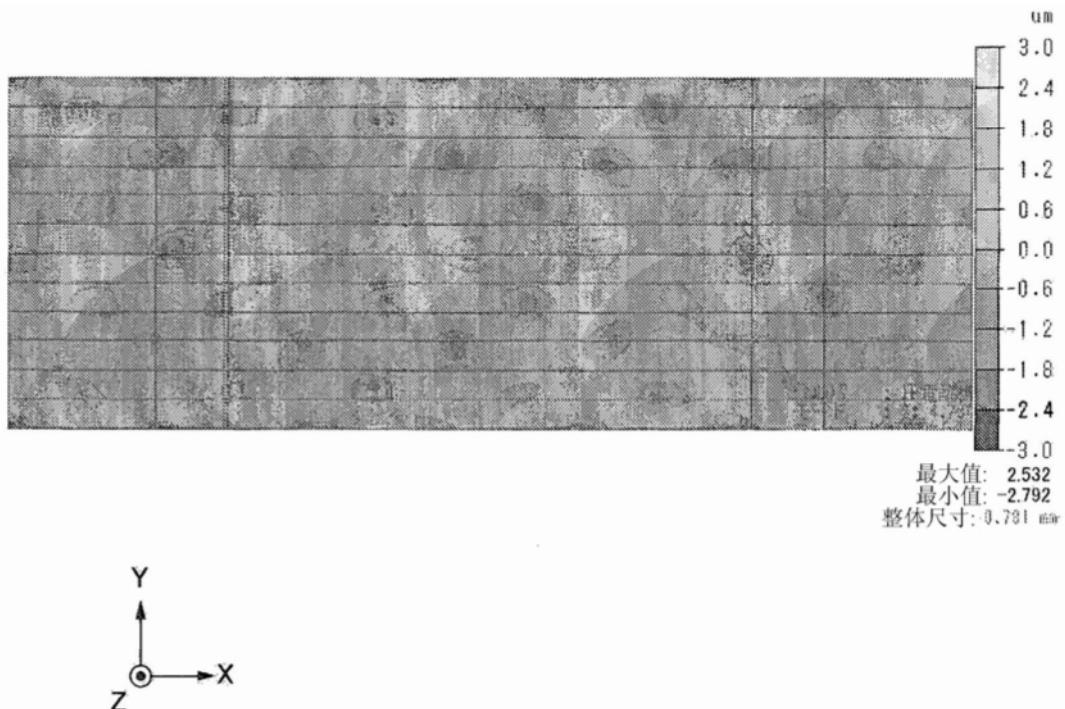


图12C

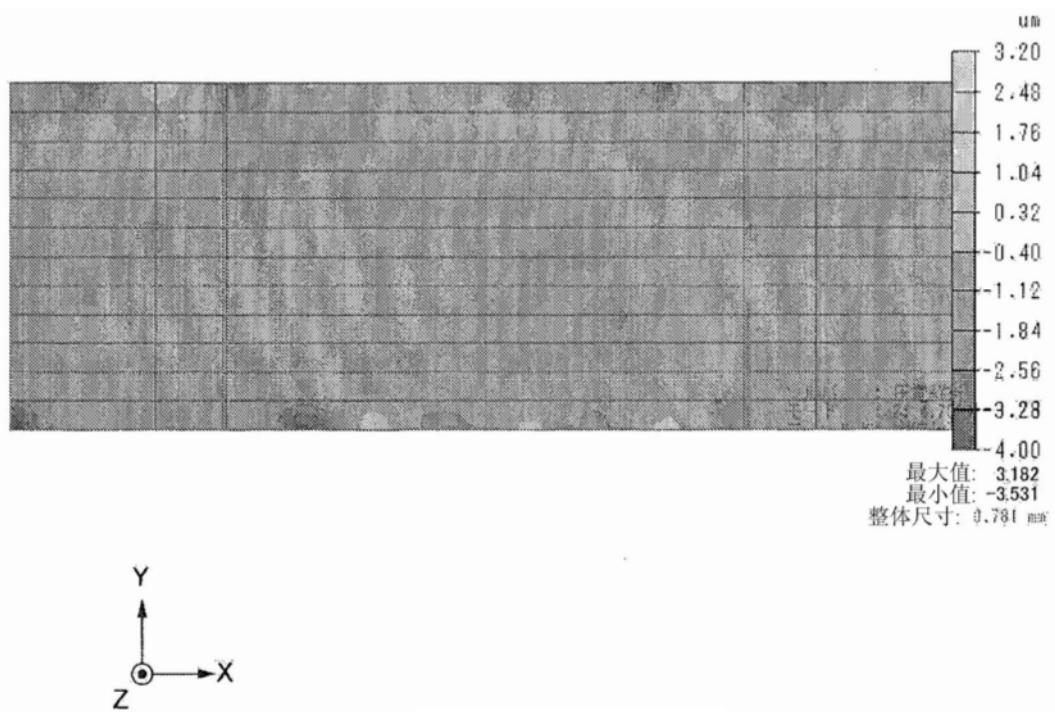


图12D

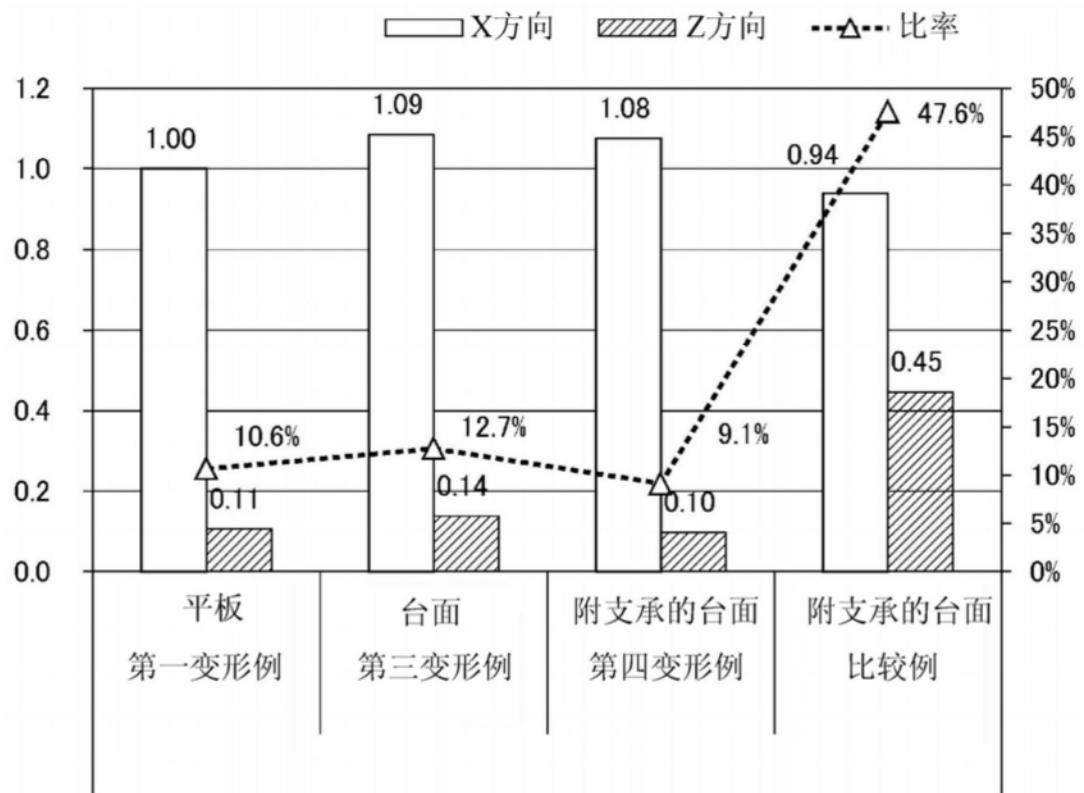


图13

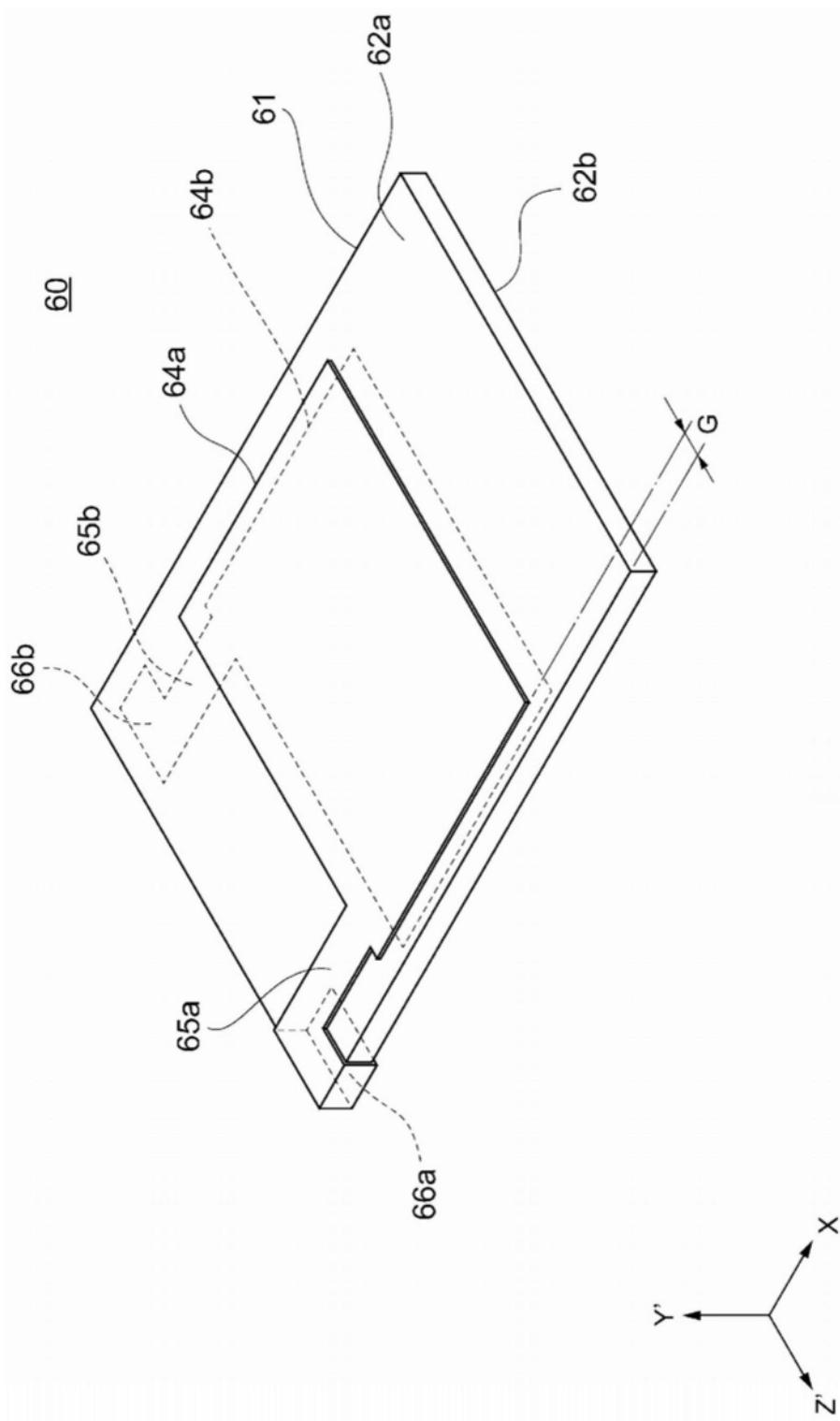


图14

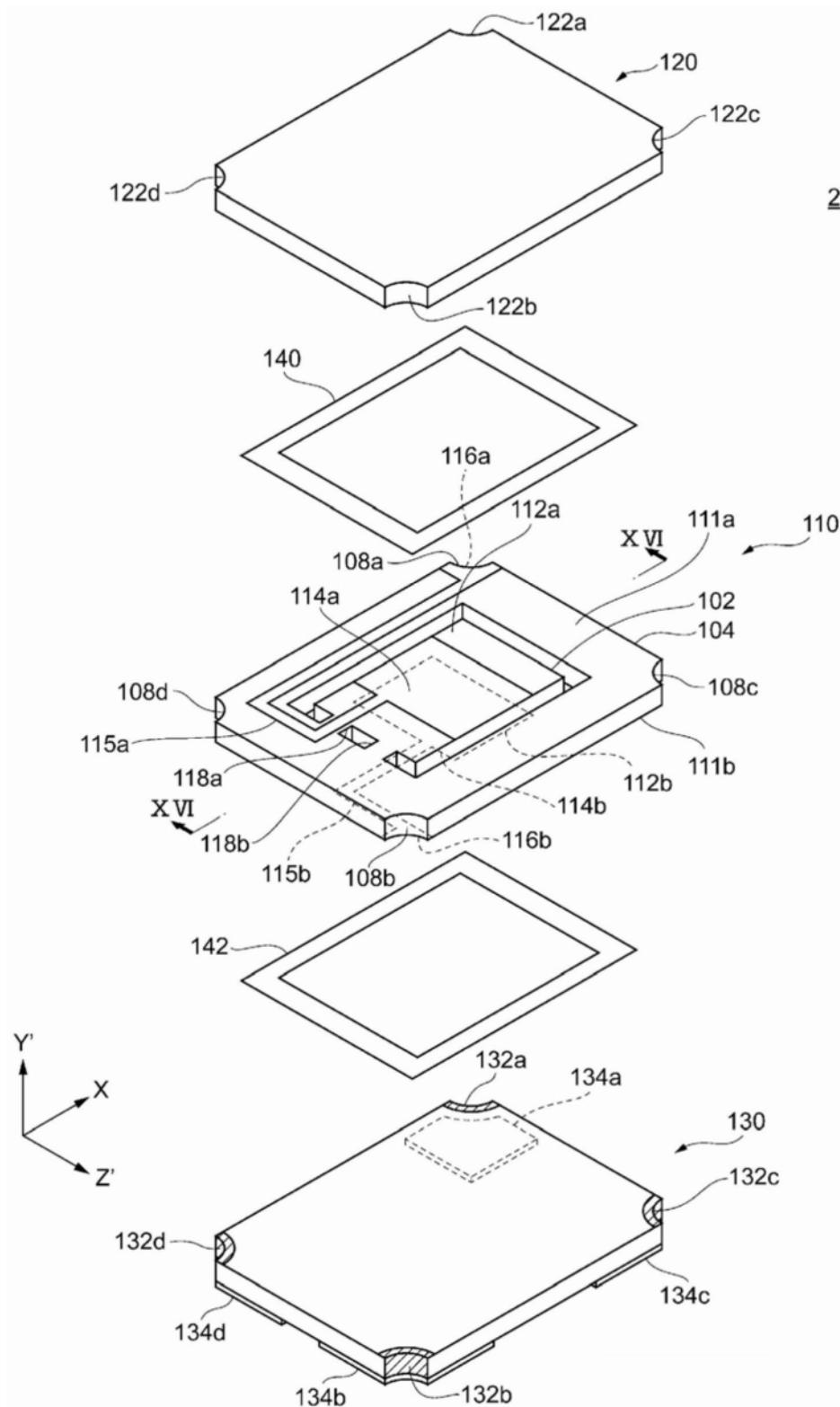


图15

2

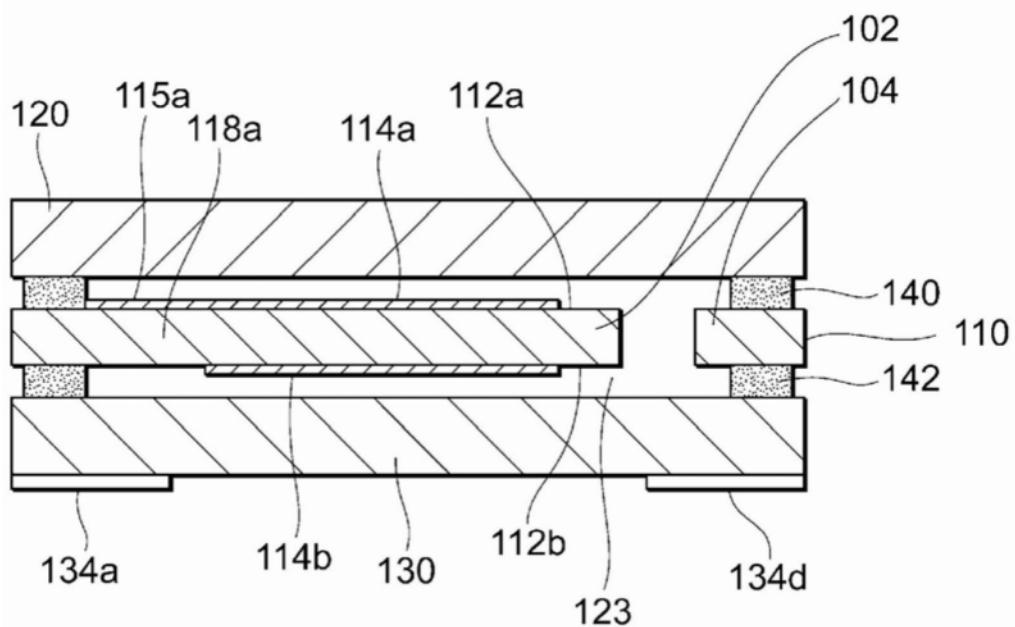


图16

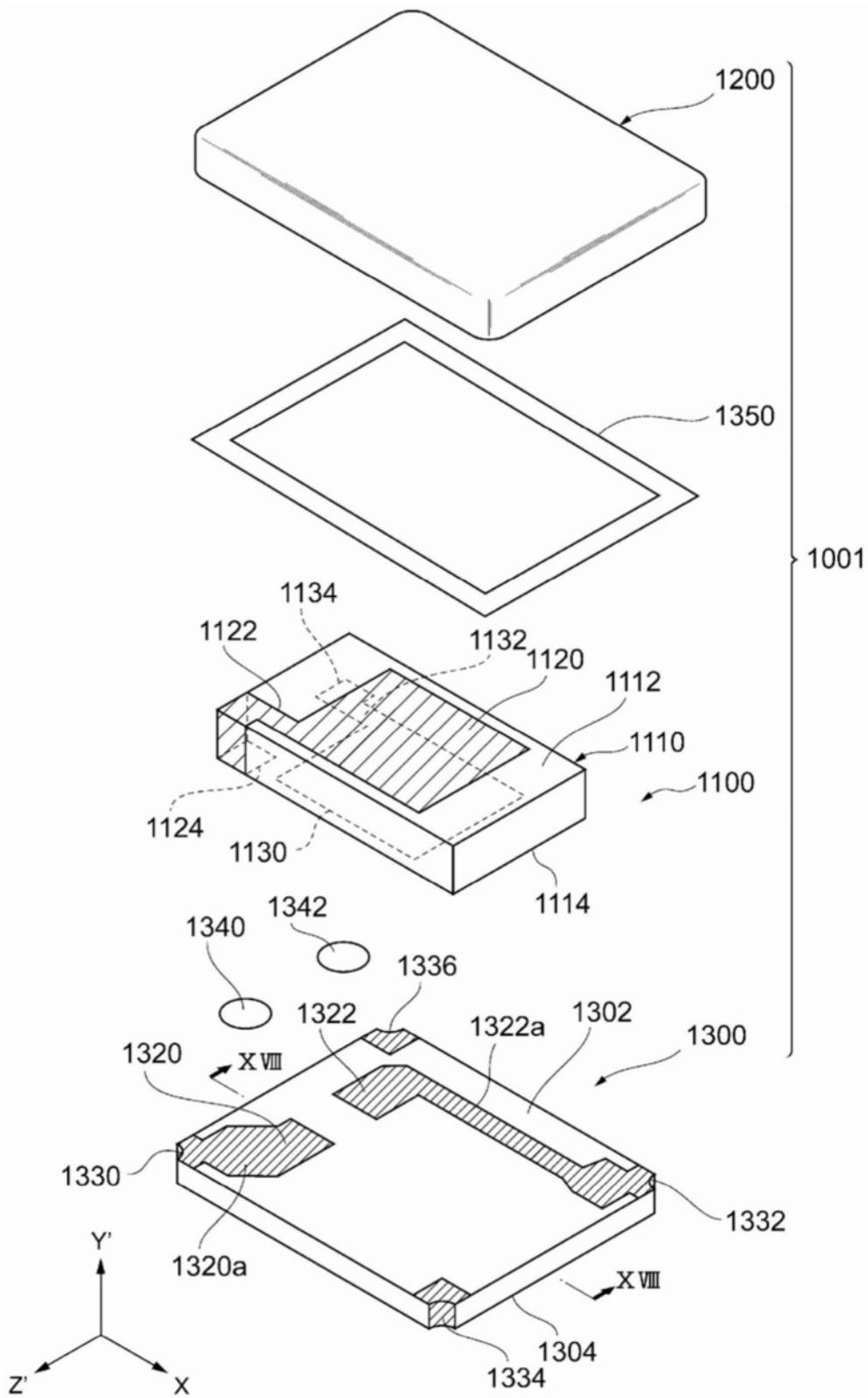


图17

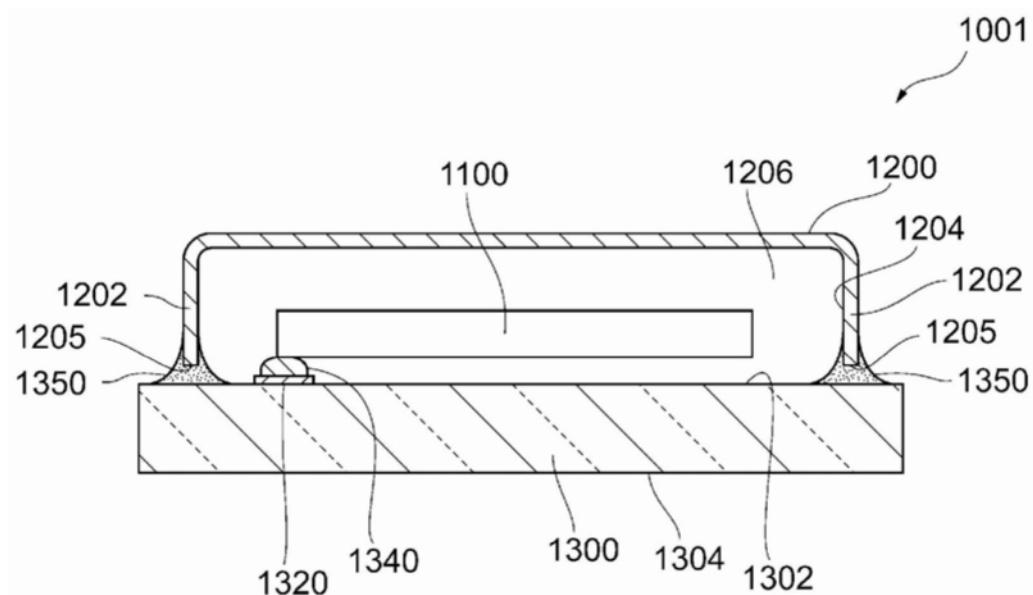


图18

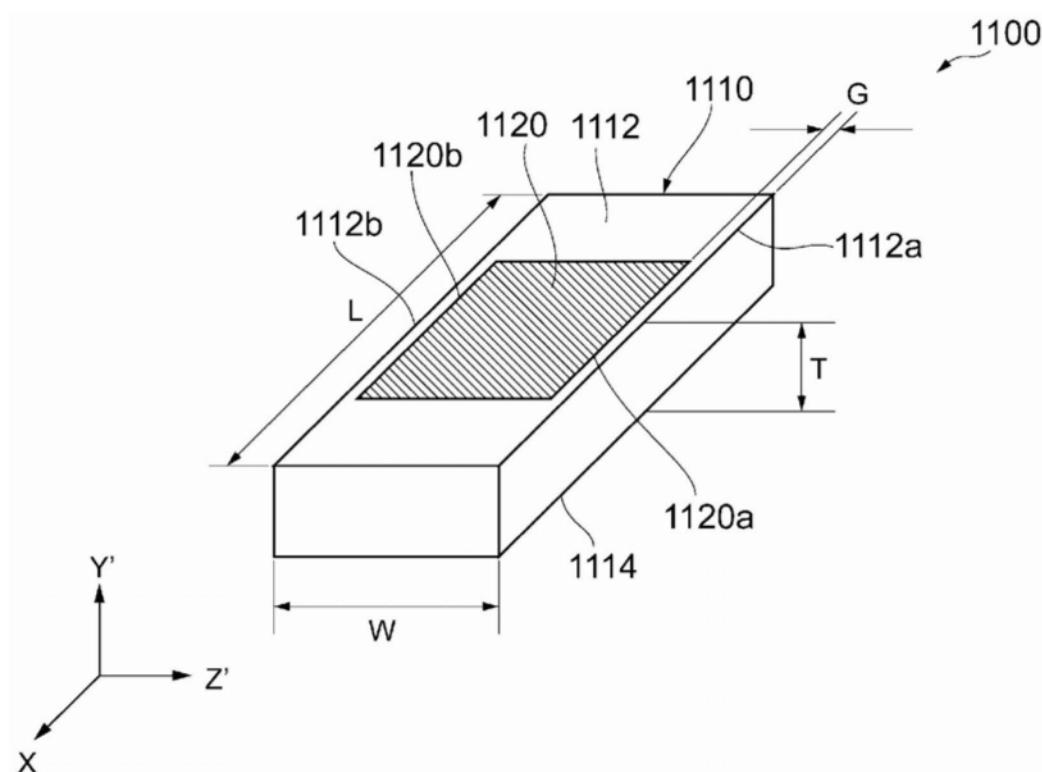


图19

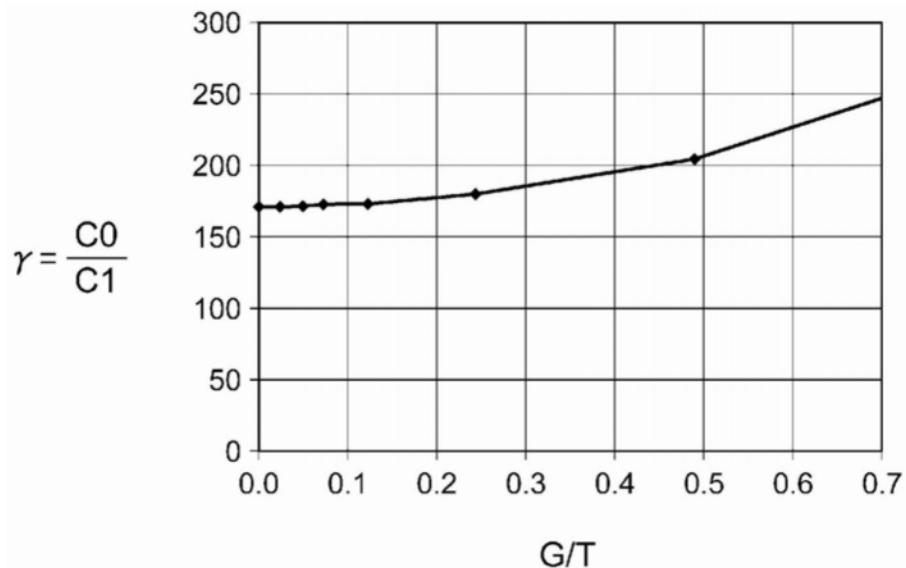


图20A

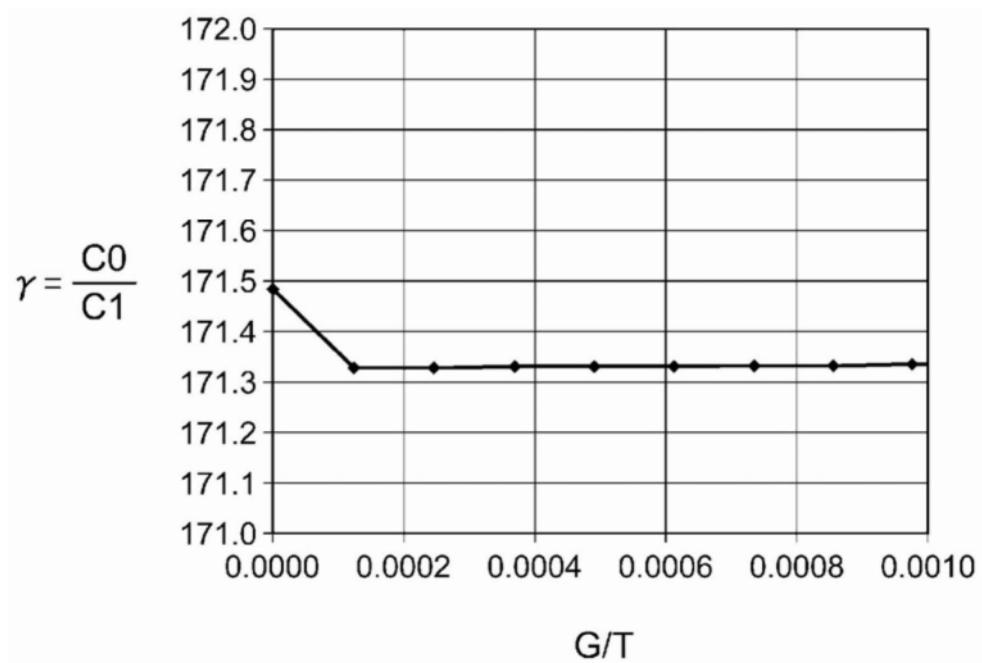


图20B

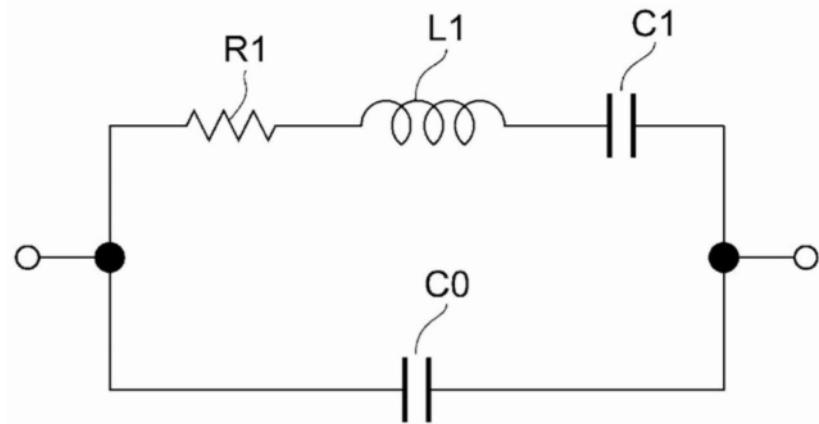


图21

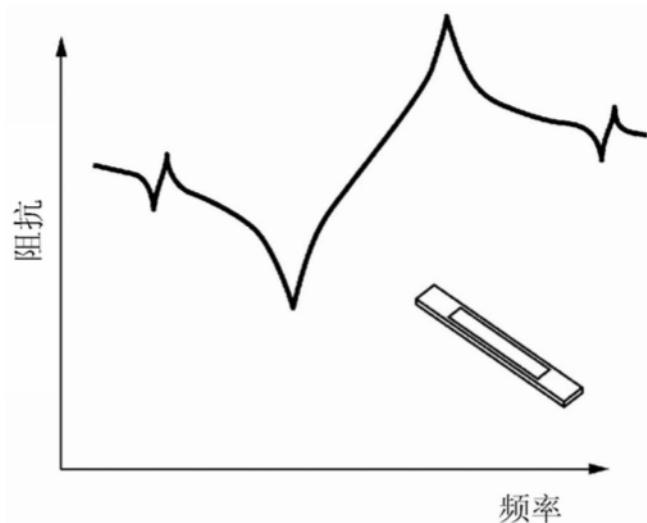


图22A

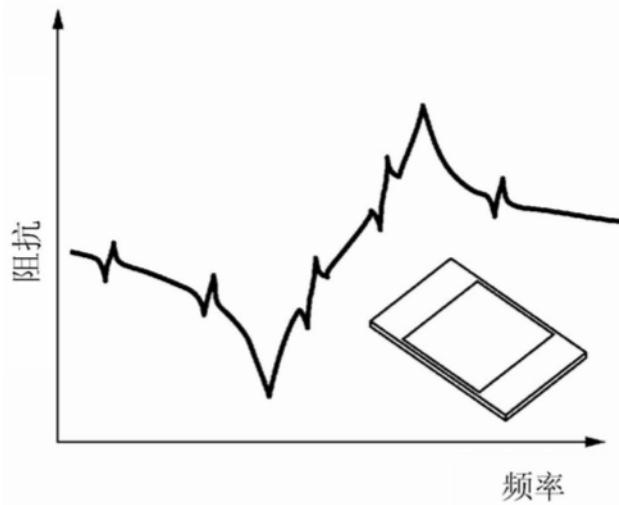


图22B

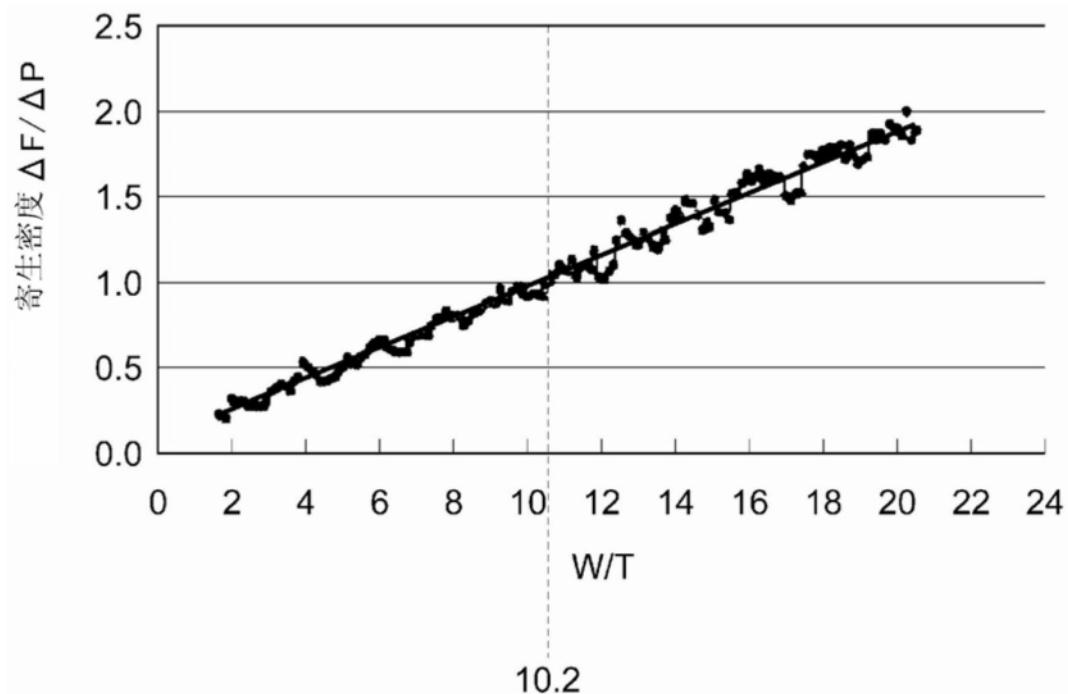


图23

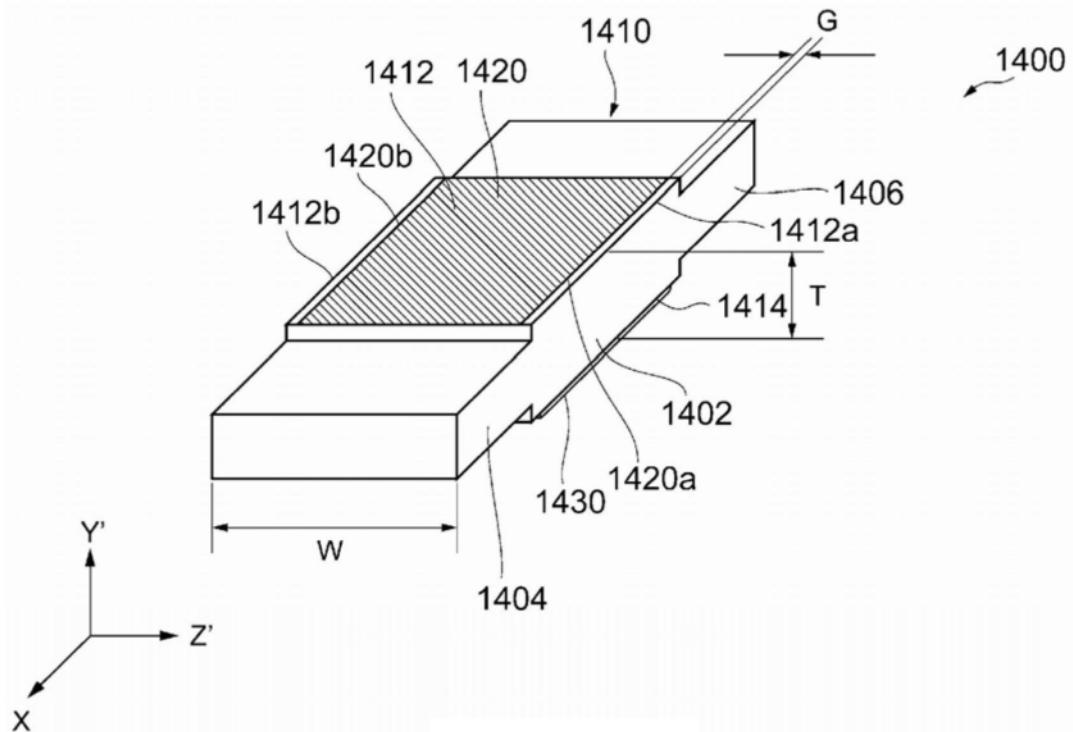


图24

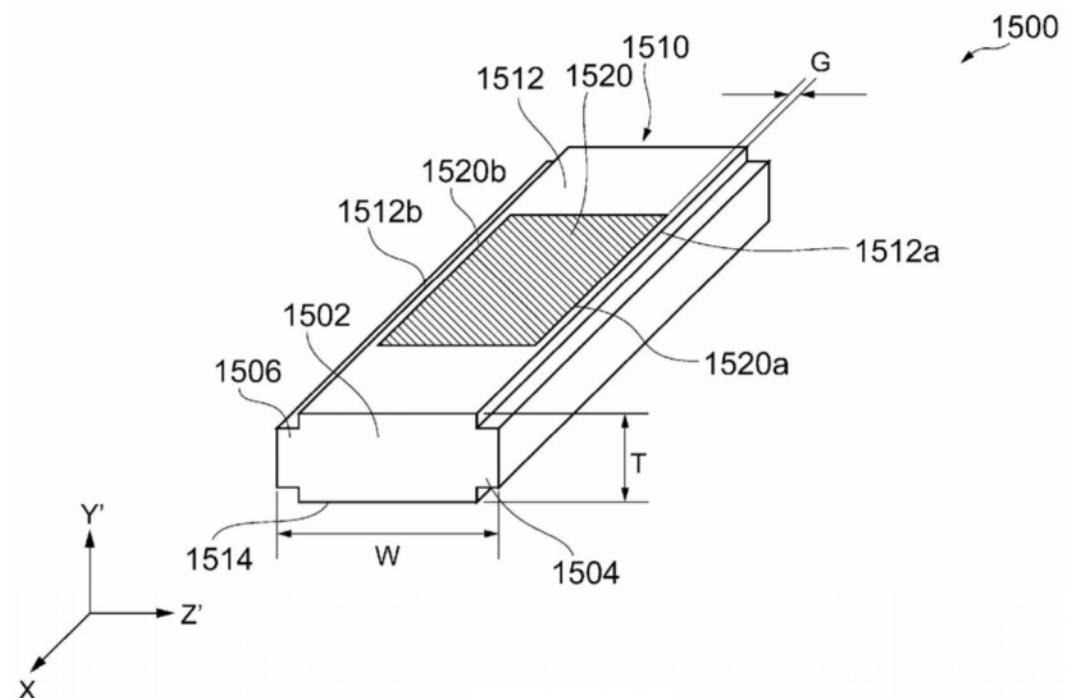


图25

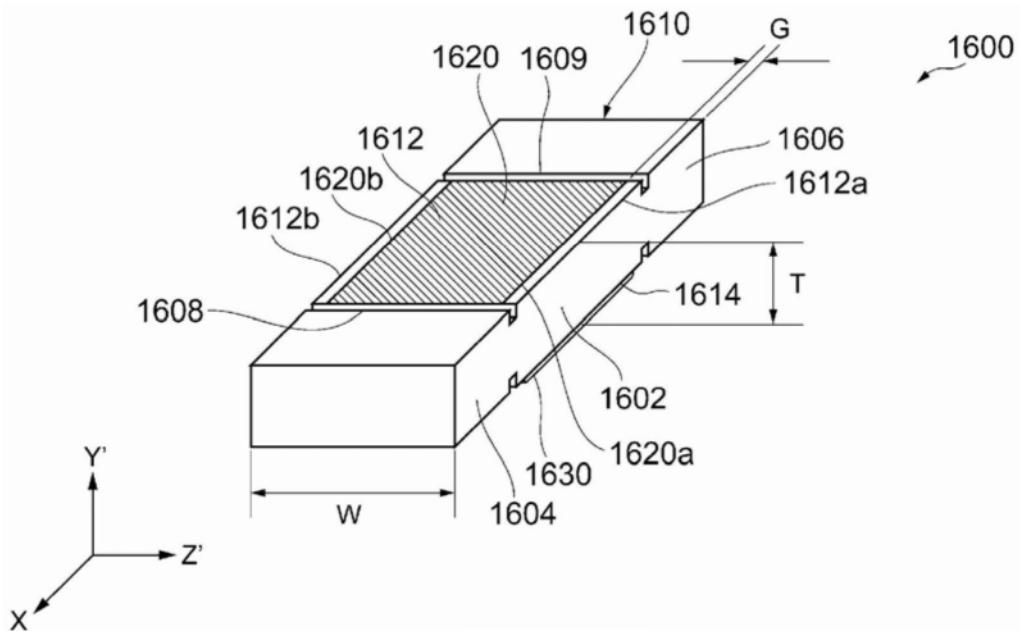


图26

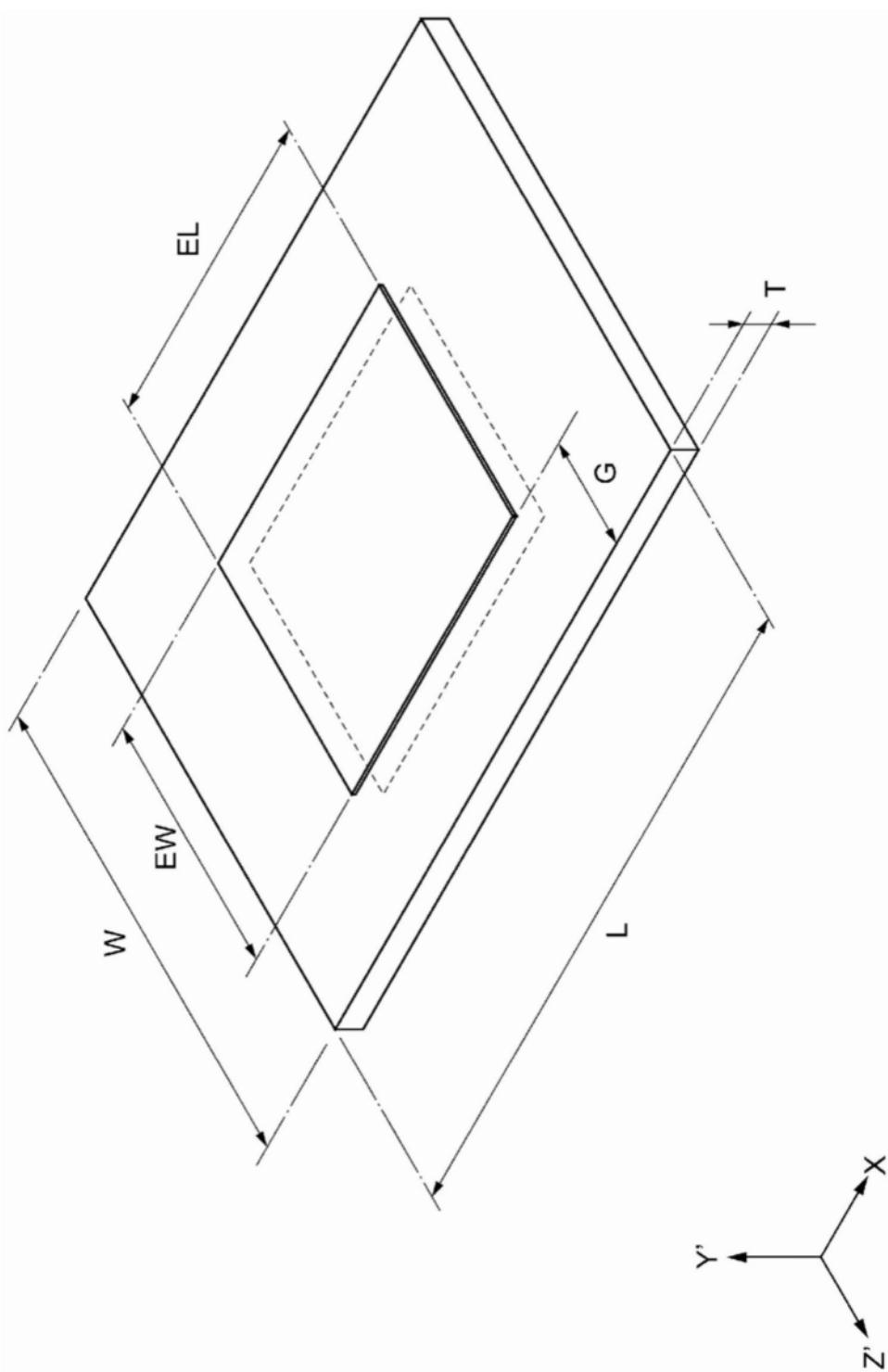


图27

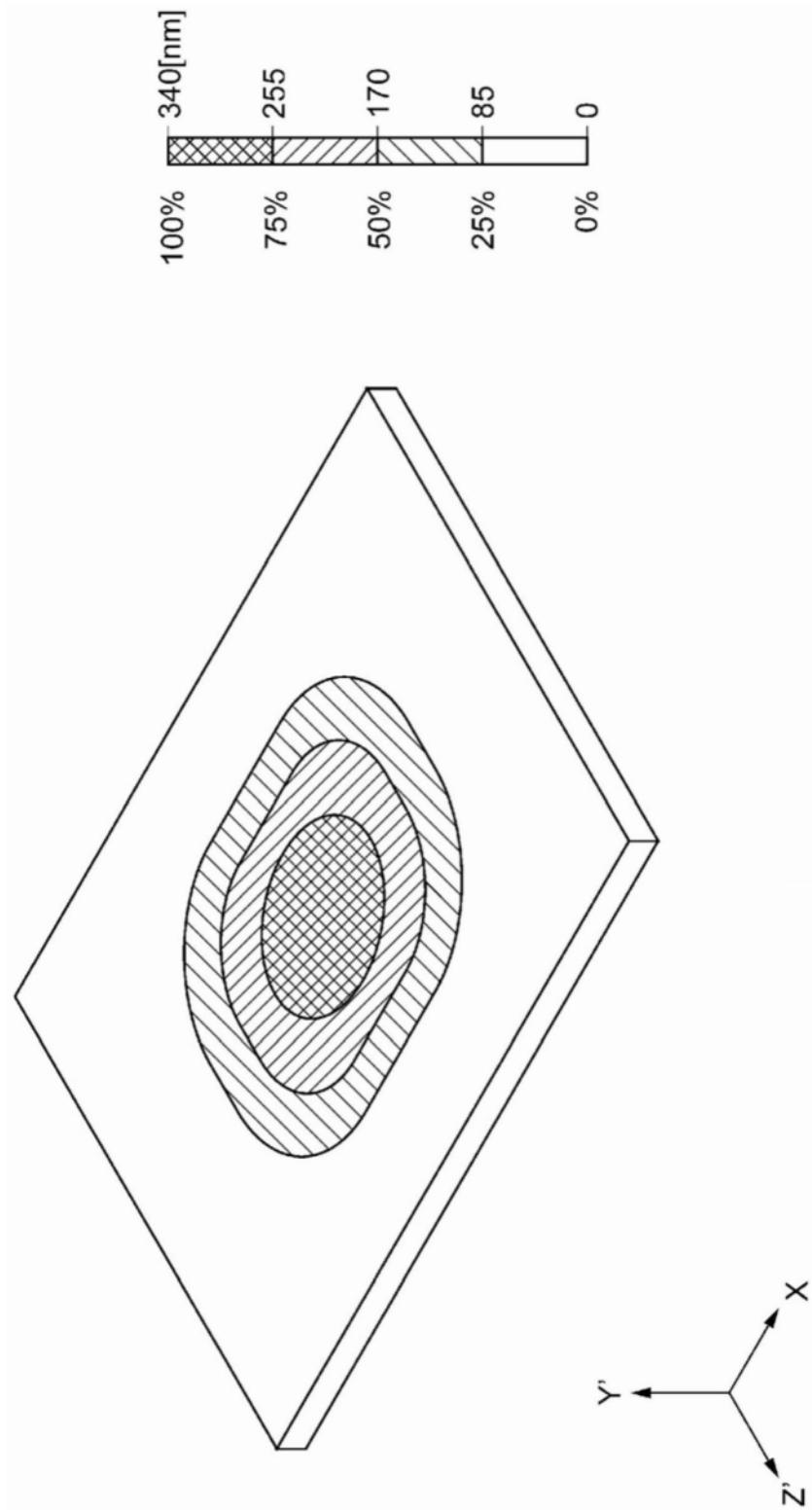


图28