



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119769028 A

(43) 申请公布日 2025. 04. 04

(21) 申请号 202480003774.1

(22) 申请日 2024.03.18

(30) 优先权数据

2023-124943 2023.07.31 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2025.02.24

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2024/010616 2024.03.18

(87) PCT国际申请的公布数据

W02025/027927 JA 2025.02.06

(71) 申请人 株式会社村田制作所

地址 日本

(72) 发明人 西村俊雄

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

专利代理师 金雪梅

(51) Int.Cl.

H03H 9/19 (2006.01)

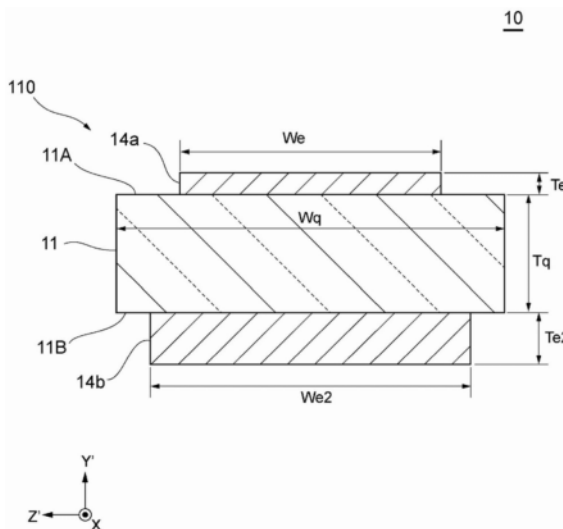
权利要求书3页 说明书33页 附图26页

(54) 发明名称

压电振动元件

(57) 摘要

压电振动元件(10)具备:压电片(11),具有第一主面(11A)以及与第一主面(11A)对置的第二主面(11B);第一激励电极(14a),设置于第一主面(11A);以及第二激励电极(14b),设置于第二主面(11B),在第一主面(11A)与第二主面(11B)相互对置的对置方向上的俯视时,第二激励电极(14b)的面积大于第一激励电极(14a)的面积,并且,第二激励电极(14b)的一部分与第一激励电极(14a)的全部重叠,沿着对置方向的第二激励电极(14b)的厚度(Te2)大于沿着对置方向的第一激励电极(14a)的厚度(Te)。



1. 一种压电振动元件,具备:

压电片,具有第一主面以及与上述第一主面对置的第二主面;

第一激励电极,设置于上述第一主面;以及

第二激励电极,设置于上述第二主面,

在上述第一主面与上述第二主面相互对置的对置方向上俯视时,上述第二激励电极的面积大于上述第一激励电极的面积,并且上述第二激励电极的一部分与上述第一激励电极的全部重叠,

沿着上述对置方向的上述第二激励电极的厚度大于沿着上述对置方向的上述第一激励电极的厚度。

2. 根据权利要求1所述的压电振动元件,其中,

在上述对置方向上俯视时,上述第一激励电极的外缘部全部位于比上述第二激励电极的外缘部靠内侧。

3. 根据权利要求1或者2所述的压电振动元件,其中,

当将沿着上述对置方向的上述第一激励电极的厚度设为 $T_e(\mu\text{m})$,将沿着上述对置方向的上述第二激励电极的厚度设为 $T_{e2}(\mu\text{m})$,将沿着上述对置方向的上述压电片的厚度设为 $T_q(\mu\text{m})$,

将上述第一激励电极以及上述第二激励电极的平均密度设为 $\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$ 时,以下的关系成立:

$$T_{e2}/T_q = 0.00001 \times \rho + 0.39 \times T_e/T_q + 0.16 \pm 0.01。$$

4. 一种压电振动元件,具备:

压电片,具有第一主面以及与上述第一主面对置的第二主面;

第一激励电极,设置于上述第一主面;

第二激励电极,设置于上述第二主面;以及

绝缘膜,层叠于上述第二激励电极,

在上述第一主面与上述第二主面相互对置的对置方向上俯视时,由上述第二激励电极以及上述绝缘膜构成的层叠体的面积大于上述第一激励电极的面积,并且上述层叠体的一部分与上述第一激励电极的全部重叠,

沿着上述对置方向的上述第二激励电极的厚度以及上述绝缘膜的厚度之和大于沿着上述对置方向的上述第一激励电极的厚度。

5. 根据权利要求4所述的压电振动元件,其中,

上述绝缘膜层叠于上述第二激励电极中的与上述压电片相反的一侧的面。

6. 根据权利要求4或者5所述的压电振动元件,其中,

在上述对置方向上俯视时,

上述第二激励电极的外缘部全部设置于比上述第一激励电极的外缘部靠内侧,

上述绝缘膜的外缘部全部设置于比上述第一激励电极的外缘部靠外侧。

7. 根据权利要求4~6的任一项所述的压电振动元件,其中,

沿着上述对置方向的上述第二激励电极的厚度小于沿着上述对置方向的上述第一激励电极的厚度。

8. 根据权利要求4~7的任一项所述的压电振动元件,其中,

当将沿着上述对置方向的上述第一激励电极的厚度设为 T_e (μm), 将沿着上述对置方向的上述第二激励电极的厚度设为 T_{e2} (μm), 将沿着上述对置方向的上述绝缘膜的厚度设为 T_{e3} (μm), 将沿着上述对置方向的上述压电片的厚度设为 T_q (μm),

将上述第一激励电极、上述第二激励电极以及上述绝缘膜的平均密度设为 ρ' (kg/m^3) 时, 以下的关系成立:

$$(T_{e2}+T_{e3})/T_q=0.00001\times\rho'+0.39\times T_e/T_q+0.16\pm0.01。$$

9. 根据权利要求8所述的压电振动元件, 其中,

上述第一激励电极以及上述第二激励电极的材质是铝,

上述绝缘膜的材质是氧化硅。

10. 根据权利要求1~9的任一项所述的压电振动元件, 其中, 还具备:

第一引出电极, 设置于上述第一主面, 且与上述第一激励电极电连接; 以及

第二引出电极, 设置于上述第二主面, 且与上述第二激励电极电连接,

在上述第一激励电极以及上述第二激励电极中的上述对置方向上俯视时面积大的一方的激励电极, 在与上述第一引出电极以及上述第二引出电极中的与上述对置方向上俯视时面积小的一方的激励电极电连接的一方的引出电极对置的区域形成有切口部。

11. 根据权利要求1~10的任一项所述的压电振动元件, 其中, 还具备:

第一引出电极, 设置于上述第一主面, 且与上述第一激励电极电连接; 以及

第二引出电极, 设置于上述第二主面, 且与上述第二激励电极电连接,

上述第一激励电极以及上述第二激励电极中的上述对置方向上俯视时面积大的一方的激励电极的中心相对于上述对置方向上俯视时面积小的一方的激励电极的中心, 向与上述第一引出电极以及上述第二引出电极中的与上述面积小的一方的激励电极电连接的一方的引出电极分离的方向偏移。

12. 根据权利要求1~11的任一项所述的压电振动元件, 其中,

在上述对置方向上俯视时, 上述第一激励电极与上述第二激励电极对置的区域具有设置于中央部的高音速区域和设置于上述高音速区域的外侧的低音速区域。

13. 根据权利要求1~12的任一项所述的压电振动元件, 其中,

在上述对置方向上俯视时, 上述第一激励电极以及上述第二激励电极被设置为彼此的

中心重叠的矩形状, 上述第一激励电极以及上述第二激励电极具有沿第一方向延伸的相互平行的边、和沿与上述第一方向交叉的第二方向延伸的相互平行的边,

当在上述对置方向上俯视时, 将上述第一激励电极以及上述第二激励电极的某一方向上相邻的边彼此之间的距离设为 D_e (μm),

将沿着上述对置方向的上述压电片的厚度设为 T_q (μm) 时, 以下的关系成立:

$$5.22\times T_q-0.45\leq D_e。$$

14. 根据权利要求1~13的任一项所述的压电振动元件, 其中,

主要的振动模式是厚度切变振动。

15. 根据权利要求1~14的任一项所述的压电振动元件, 其中,

上述压电片是晶体片。

16. 根据权利要求15所述的压电振动元件, 其中,

上述晶体片的切割角是AT切割、BT切割或者ST切割。

压电振动元件

技术领域

[0001] 本发明涉及压电振动元件。

背景技术

[0002] 在移动通信终端、通信基站、家电等各种电子设备中,使用压电振动元件用于计时设备、传感器或者振荡器等。压电振动元件具备具有一对主面的压电片和设置于压电片的一对主面的一对激励电极。

[0003] 例如,专利文献1中公开了一种振动元件,包括:基板,通过厚度切变振动而振动,且包含处于表背面关系的第一主面以及第二主面;第一激励电极,设置于第一主面;以及第二激励电极,设置于第二主面且俯视时大于第一激励电极,第一激励电极在俯视时配置为收纳在第二激励电极的外缘内。

[0004] 专利文献1:日本特开2014—154994号公报

[0005] 然而,随着电子设备的高性能化,需要具有高机电耦合系数的压电振动元件。

发明内容

[0006] 本发明是鉴于这样的事情而完成的,其目的在于,提供能够实现机电耦合系数的提高的压电振动元件。

[0007] 本发明的一方式所涉及的压电振动元件具备:压电片,具有第一主面以及与第一主面对置的第二主面;第一激励电极,设置于第一主面;以及第二激励电极,设置于第二主面,在第一主面与第二主面相互对置的对置方向上的俯视时,第二激励电极的面积大于第一激励电极的面积,并且,第二激励电极的一部分与第一激励电极的全部重叠,沿着对置方向的第二激励电极的厚度大于沿着对置方向的第一激励电极的厚度。

[0008] 本发明的另一方式所涉及的压电振动元件具备:压电片,具有第一主面以及与第一主面对置的第二主面;第一激励电极,设置于第一主面;第二激励电极,设置于第二主面;以及绝缘膜,层叠于第二激励电极,在第一主面与第二主面相互对置的对置方向上的俯视时,由第二激励电极以及绝缘膜构成的层叠体的面积大于第一激励电极的面积,并且,层叠体的一部分与第一激励电极的全部重叠,沿着对置方向的第二激励电极的厚度以及绝缘膜的厚度之和大于沿着对置方向的第一激励电极的厚度。

[0009] 发明效果

[0010] 根据本发明,能够提供能够实现机电耦合系数的提高的压电振动元件。

附图说明

[0011] 图1是第一实施方式所涉及的晶体振子的分解立体图。

[0012] 图2是第一实施方式所涉及的振动部的俯视图。

[0013] 图3是第一实施方式所涉及的振动部的剖视图。

[0014] 图4是表示基于第一实施方式的模拟结果的图表。

- [0015] 图5是在第一激励电极产生位置偏移时的剖视图。
- [0016] 图6是表示基于第一实施方式的模拟结果的图表。
- [0017] 图7是表示基于第一实施方式的模拟结果的图表。
- [0018] 图8是表示基于第一实施方式的模拟结果的图表。
- [0019] 图9是表示基于第一实施方式的模拟结果的图表。
- [0020] 图10是表示基于第一实施方式的模拟结果的图表。
- [0021] 图11是表示基于第一实施方式的模拟结果的图表。
- [0022] 图12是表示基于第一实施方式的模拟结果的图表。
- [0023] 图13是表示基于第一实施方式的模拟结果的图表。
- [0024] 图14是表示基于第一实施方式的模拟结果的图表。
- [0025] 图15是表示基于第一实施方式的模拟结果的图表。
- [0026] 图16是表示基于第一实施方式的模拟结果的图表。
- [0027] 图17是表示基于第一实施方式的模拟结果的图表。
- [0028] 图18是第二实施方式所涉及的振动部的俯视图。
- [0029] 图19是第二实施方式所涉及的振动部的剖视图。
- [0030] 图20是表示基于第二实施方式的模拟结果的图表。
- [0031] 图21是表示基于第二实施方式的模拟结果的图表。
- [0032] 图22是表示基于第二实施方式的模拟结果的图表。
- [0033] 图23是表示基于第二实施方式的模拟结果的图表。
- [0034] 图24是表示基于第二实施方式的模拟结果的图表。
- [0035] 图25是表示基于第一实施方式的模拟结果的图表。
- [0036] 图26是表示第三实施方式所涉及的振动部的构成的立体图。
- [0037] 图27是表示第三实施方式所涉及的振动部的振动分布的图。
- [0038] 图28是表示基于第三实施方式的模拟结果的图表。
- [0039] 图29是表示基于第三实施方式的模拟结果的图表。
- [0040] 图30是表示第四实施方式所涉及的振动部的构成的立体图。
- [0041] 图31是表示第四实施方式所涉及的振动部的振动分布的图。
- [0042] 图32是第五实施方式所涉及的振动部的剖视图。
- [0043] 图33是第六实施方式所涉及的振动部的剖视图。
- [0044] 图34是第七实施方式所涉及的振动部的剖视图。
- [0045] 图35是第八实施方式所涉及的振动部的剖视图。

具体实施方式

[0046] 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由相同或者类似的附图标记表示。附图是例示,各部的尺寸、形状是示意性的内容,不应将本发明的技术范围解释为限定于该实施方式。

[0047] 在各附图中,为了方便起见,标注由X轴、Y' 轴以及Z' 轴构成的正交坐标系,以使各附图的相互的关系明确,并帮助理解各部件的位置关系。X轴、Y' 轴以及Z' 轴在各附图中相互对应。X轴、Y' 轴以及Z' 轴分别对应于后述的晶体片11的结晶轴(Crystallographic

Axes)。X轴相当于晶体的电轴(极轴),Y轴相当于晶体的机械轴,Z轴相当于晶体的光学轴。Y'轴以及Z'轴分别是X轴的正方向观察时使Y轴以及Z轴绕X轴逆时针旋转 θ 度后的轴。

[0048] 在以下的说明中,将与X轴平行的方向称为“X轴向”,将与Y'轴平行的方向称为“Y'轴向”,将与Z'轴平行的方向称为“Z'轴向”。另外,将X轴、Y'轴以及Z'轴的箭头的前端方向称为“正”或者“+ (正)”,将与箭头相反的方向称为“负”或者“- (负)”。此外,为了方便起见,将+Y'轴向作为上方向,将-Y'轴向作为下方向进行说明,但晶体振动元件10以及晶体振子1的上下方向不被限定。另外,将由X轴以及Z'轴确定的面称为Z'X面,对于由其他的轴确定的面也相同。

[0049] <第一实施方式>

[0050] 首先,参照图1至图3,对根据第一实施方式的晶体振子的构成进行说明。图1是第一实施方式所涉及的晶体振子的分解立体图。图2是第一实施方式所涉及的振动部的俯视图。图3是第一实施方式所涉及的振动部的剖视图。此外,图3是图2所示的振动部的沿着III-III线的剖视图。

[0051] 晶体振子1具备晶体振动元件10、下盖20、上盖30、下接合部40、以及上接合部50。下盖20、晶体振动元件10以及上盖30按该顺序沿Y'轴向隔着间隔排列。以下,将下盖20、晶体振动元件10以及上盖30层叠的Y'轴向称为“厚度方向”。Y'轴向相当于“对置方向”的一个例子。

[0052] 晶体振子1例如被用作温度补偿晶体振荡器(TCX0:Temperature Compensated Crystal Oscillator)、压控晶体振荡器(VCX0:Voltage Controlled Crystal Oscillator)或者带恒温槽晶体振荡器(OCX0:Oven Controlled Crystal Oscillator)的部件。

[0053] 晶体振动元件10是通过压电效应将电能和机械能相互地转换的机电能量转换元件。如图1所示,晶体振动元件10具有振动部110、保持部120、以及支承臂130。

[0054] 振动部110基于施加的交流电压以规定的频率被激励。振动部110被保持为能够在设置于下盖20与上盖30之间的振动空间中振动。振动部110的主要振动是厚度切变振动模式(Thickness Shear Vibration Mode)。如图2所示,俯视XZ'面(以下,仅称为“俯视”。)时的振动部110的形状(以下,称为“俯视形状”。)是具有一对短边111、112、一对长边113、114的长方形。一对短边111、112沿Z'轴向延伸,在X轴向上相互对置。一对长边113、114沿X轴向延伸,在Z'轴向上对外对置。

[0055] 此外,振动部的主要振动并不局限于厚度切变振动模式,例如,也可以是厚度纵向振动模式、扩展振动模式、长度振动模式或者弯曲振动模式。另外,振动部的俯视形状并不局限于长方形,例如,也可以是正方形、多边形、圆形、椭圆形或者这些形状的组合。

[0056] 保持部120是用于保持振动部110的部分。保持部120与下盖20、上盖30、下接合部40以及上接合部50一起形成振动部110的振动空间。在俯视时,保持部120被设置为框状,与振动部110隔开间隔地包围振动部110。保持部120具有框部121A、121B、121C、121D。

[0057] 框部121A、121B、121C、121D分别是包围振动部110的大致矩形状的框体的一部分。如图1以及图2所示,框部121A被设置为在X轴向上与振动部110的短边111隔开间隔,并沿Z'轴向与短边111平行地延伸。框部121B被设置为在X轴向上与振动部110的短边112隔开间隔,并沿Z'轴向与短边112平行地延伸。框部121C被设置为在Z'轴向上与振动部110的长边

113隔开间隔,并沿X轴向与长边113平行地延伸。框部121D被设置为在Z'轴向上与振动部110的长边114隔开间隔,并沿X轴向与长边114平行地延伸。

[0058] 框部121C的两端分别与框部121A的一端以及框部121B的一端。框部121D的两端分别与框部121A的另一端以及框部121B的另一端连接。框部121A和框部121B隔着振动部110在X轴向上相互对置。框部121C与框部121D隔着振动部110在Z'轴向上相互对置。

[0059] 此外,保持部设置于振动部的周围的至少一部分即可,不限于框状的形状。保持部也可以设置为例如具有2根平行的框部的导轨状。

[0060] 支承臂130支承振动部110,使保持部120保持振动部110。支承臂130将振动部110与保持部120连接。如图1以及图2所示,支承臂130连接振动部110的短边112侧的端部与保持部120的框部121B。支承臂130沿X轴延伸。

[0061] 下盖20与晶体振动元件10的振动部110、保持部120以及支承臂130在Y'轴向上隔着间隔地对置。下盖20被设置为平板状。如图1所示,在俯视时,下盖20具有沿X轴向延伸且在Z'轴向上相互对置的一对长边和沿Z'轴向延伸且在Z轴向上相互对置的一对短边。另外,下盖20的一对长边与一对短边通过相对于一对长边以及一对短边倾斜的边连接。换句话说,在俯视时的下盖20的四角形成有切口。

[0062] 上盖30在与下盖20相反的一侧,与晶体振动元件10的振动部110、保持部120以及支承臂130在Y'轴向上隔着间隔地对置。上盖30被设置为平板状。如图1所示,在俯视时,上盖30具有沿X轴向延伸且在Z'轴向上相互对置的一对长边、沿Z'轴向延伸且在Z轴向上相互对置的一对短边。上盖30的俯视形状是长方形。

[0063] 下接合部40以及上接合部50沿着晶体振动元件10的保持部120被设置为框状。下接合部40将晶体振动元件10的保持部120与下盖20的端部接合。上接合部50将晶体振动元件10的保持部120与上盖30的端部接合。下接合部40以及上接合部50例如通过包含环氧系、乙烯基系、丙烯酸系、聚氨酯系或者硅酮系树脂的有机粘合剂设置。

[0064] 下接合部以及上接合部的材质不限于有机粘合剂,也可以通过包含水玻璃等的硅系粘合剂、包含水泥等的钙系粘合剂等无机粘合剂设置。下接合部以及上接合部的材质也可以是低熔点玻璃(例如硼酸铅系、磷酸锡系等)。下接合部以及上接合部的材质也可以是金(Au)、锡(Sn)、铜(Cu)、钛(Ti)、铝(Al)、锗(Ge)、硅(Si)或者包含这些材料中的至少1种的共晶合金。

[0065] 接下来,对晶体振动元件10、下盖20以及上盖30的详细构成进行说明。

[0066] 晶体振动元件10具备晶体片11、第一激励电极14a、第二激励电极14b、第一引出电极15a、第二引出电极15b、第一连接电极16a、以及第二连接电极16b。

[0067] 晶体片11是由根据施加电压而振动的压电体构成的压电片的一种。晶体片11遍及振动部110、保持部120以及支承臂130连续地设置。在XZ'面方向上,晶体片11在振动部110、保持部120以及支承臂130各自的大致整个区域延伸。晶体片11是以XZ'面为主面的薄片状的晶体结晶。

[0068] 晶体片11例如是AT切割的晶体片。即,从X轴正方向侧观察时Z'轴以及Y'轴的从Z轴以及Y轴的逆时针的旋转角 θ 是35度15分 $\pm$ 1分30秒。使用AT切割的晶体片11的晶体振动元件10在大温度范围具有高频率稳定性。

[0069] 此外,晶体片的切割角不局限于上述。AT切割型的晶体片11中的Y'轴以及Z'轴的

旋转角也可以从35度15分在-5度以上或者+15度以下的范围倾斜。另外,晶体片的切割角也可以应用AT切割以外的不同切割,例如BT切割、GT切割、SC切割等。

[0070] 振动部110中的晶体片11的俯视形状是具有沿X轴向的长边和沿Z' 轴向的短边的长方形。如图3所示,在振动部110中,晶体片11具有设置于上盖30侧的上表面11A和设置于下盖20侧的下表面11B。上表面11A以及下表面11B相当于在晶体片11的Y' 轴向上相互对置的一对主面的一个例子。

[0071] 此外,晶体片的振动部的俯视形状并不局限于上述。例如,晶体片的振动部的俯视形状也可以是具有沿Z' 轴向延伸的长边和沿X轴向延伸的短边的长方形,也可以是具有沿Z' 轴向延伸的短边和沿X轴向延伸的长边的长方形。晶体片的振动部的俯视形状也可以是多边形、圆形、椭圆形、或者它们的组合。另外,晶体片的振动部并不局限于平板状。晶体片的振动部也可以是在上表面以及下表面的至少一方具有凹凸的台面型结构或者倒台面型结构。晶体片的振动部也可以是厚度的变化量连续地变化的凸状结构,也可以是厚度的变化量不连续地变化的斜面结构。

[0072] 第一激励电极14a以及第二激励电极14b对振动部110的晶体片11施加交流电压,激励振动部110。如图3所示,第一激励电极14a设置于振动部110中的晶体片11的上表面11A,第二激励电极14b设置于振动部110中的晶体片11的下表面11b。第一激励电极14a以及第二激励电极14b隔着晶体片11在Y' 轴向上相互对置。

[0073] 如图2所示,在俯视时,第二激励电极14b的面积大于第一激励电极14a的面积,并且,第二激励电极14b的一部分与第一激励电极14a的全部重叠。第一激励电极14a以及第二激励电极14b设置于振动部110的中央部,第一激励电极14a的中心与第二激励电极14b的中心重叠。

[0074] 此外,第一激励电极以及第二激励电极的位置并不局限于振动部的中央部。在俯视时,第一激励电极以及第二激励电极也可以从振动部的中央部偏向外侧设置。另外,第一激励电极以及第二激励电极的中心的位置并不局限于相互重叠的位置。也可以在俯视时,第一激励电极的中心远离第二激励电极的中心。

[0075] 第一激励电极14a的俯视形状是具有沿Z' 轴向延伸的短边和沿X轴向延伸的长边的长方形。第二激励电极14b的俯视形状与第一激励电极14a的俯视形状相同。换句话说,第一激励电极14a以及第二激励电极14b具有与振动部110的短边平行的短边,并具有与振动部110的长边平行的长边。另外,第一激励电极14a以及第二激励电极14b在Y' 轴向上具有厚度,第二激励电极14b的厚度大于第一激励电极14a的厚度。

[0076] 此外,第一激励电极以及第二激励电极的俯视形状并不局限于上述。第一激励电极以及第二激励电极的俯视形状也可以是具有沿X轴方向延伸的短边的长方形。第一激励电极以及第二激励电极的俯视形状也可以是正方形、多边形、圆形、椭圆形或者它们的组合。另外,第一激励电极的俯视形状并不局限于与第二激励电极的俯视形状相同,也可以第一激励电极以及第二激励电极的相互的俯视形状不同。

[0077] 第一引出电极15a将第一激励电极14a与第一连接电极16a电连接。如图1所示,从第一激励电极14a引出的第一引出电极15a遍及振动部110、支承臂130以及保持部120的框部121B的上表面、和保持部120的侧面延伸,与设置于保持部120的下表面的第一连接电极16a电连接。从第二激励电极14b引出的第二引出电极15b遍及振动部110、支承臂130的下表

面、侧面以及上表面、保持部120的框部121B以及121D的上表面、和保持部120的侧面延伸，并与设置于保持部120的下表面的第二连接电极16b电连接。

[0078] 第一连接电极16a将第一激励电极14a与外部端子电连接，第二连接电极16b将第二激励电极14b与外部端子电连接。如图1所示，第一连接电极16a设置于框部121B和框部121C连接的保持部120的角部处的晶体片11的下表面（下盖20侧的面）。第二连接电极16b设置于框部121A与框部121D连接的保持部120的角部处的晶体片11的下表面。

[0079] 第一激励电极14a、第一引出电极15a以及第一连接电极16a被一体地设置。第二激励电极14b、第二引出电极15b以及第二连接电极16b也相同。这些晶体振动元件10的电极例如是由铝层构成的单层结构。晶体振动元件10的电极也可以是将基底层和表面层依次层叠设置的多层结构。例如，基底层是与晶体片11的紧贴性良好的铬（Cr）层，表面层是化学稳定性良好的金（Au）层。晶体振动元件10的电极也可以包含银（Ag）、铜（Cu）、钛（Ti）、钼（Mo）或者铝铜合金（AlCu）。

[0080] 下盖20具有晶体片21、电源端子ST1、ST2、虚设端子DT1、DT2。晶体片21是在俯视时与晶体振动元件10的大致整体重叠的平板状的基板。晶体片21通过与晶体振动元件10的晶体片11相同的切割角的晶体结晶形成。由此，能够减少由晶体振动元件10与下盖20之间的热膨胀系数的差异、热伸缩的方向的差异引起的热应力。由此，能够抑制晶体振动元件10的频率的变动。晶体片21具有设置于晶体振动元件10侧的上表面21A和设置于与上表面21A相反的一侧的下表面21B。在俯视时，晶体片21具有沿X轴向延伸的长边和沿Z'轴向延伸的短边。另外，在俯视时，连接晶体片21的上表面21A与下表面21B的侧面与晶体振动元件10中的保持部120的外侧面重叠。在晶体片21的短边与长边连接的角部形成有切口。晶体片21的俯视时的面积比后述的晶体片31的俯视时的面积小与该切口对应的量。在晶体片21的角部通过切口形成的侧面的形状例如是平面状。其中，在晶体片21的角部通过切口形成的侧面的形状并不局限于此，也可以是作为圆柱、棱柱的一部分的弯曲面状。

[0081] 电源端子ST1、ST2以及虚设端子DT1、DT2设置于晶体片21的下表面21B。电源端子ST1、ST2以及虚设端子DT1、DT2相当于晶体振子1的外部端子的一个例子。电源端子ST1、ST2用于对晶体振子1给予驱动信号（驱动电压）。电源端子ST1经由设置于晶体片21的角部的切口以及下接合部40的外侧面的侧面电极，与第一连接电极16a电连接。电源端子ST2经由设置于晶体片21的角部的切口以及下接合部40的外侧面的侧面电极，与第二连接电极16b电连接。虚设端子DT1、DT2用于在与电源端子ST1、ST2之间，取得静电电容等电特性的平衡以及机械强度的平衡。虚设端子DT1、DT2是不与晶体振动元件10电连接的所谓的浮动电极。

[0082] 此外，虚设端子DT1、DT2的至少一方也可以是将晶体振子1的一部分电接地的接地电极。

[0083] 上盖30具有晶体片31。晶体片31是在俯视时与晶体振动元件10的大致整体重叠的平板状的基板。晶体片31通过与晶体振动元件10的晶体片11相同的切割角的晶体结晶形成。由此，能够减少由晶体振动元件10与上盖30之间的热膨胀系数的差异、热伸缩的方向的差异引起的热应力。由此，能够抑制晶体振动元件10的频率的变动。晶体片31具有设置于晶体振动元件10侧的下表面31B和设置于与下表面31B相反的一侧的上表面31A。在俯视时，晶体片31是具有沿X轴向延伸的长边和沿Z'轴向延伸的短边的长方形。另外，在俯视时，连接晶体片31的上表面31A和下表面31B的侧面与晶体振动元件10中的保持部120的外侧面重

叠。

[0084] 此外,下盖以及上盖具有的晶体片的切割角并不特别限定,也可以与晶体振动元件具有的晶体片的切割角不同。另外,下盖以及上盖也可以代替晶体片而具有玻璃基板、硅基板、陶瓷基板或者金属基板等。

[0085] 接下来,参照图2以及图3,对振动部110的详细构成进行说明。

[0086] 第一激励电极14a具有外缘部71、72、73、74。外缘部71是俯视时的第一激励电极14a的四边的边缘部中的在X轴负方向侧沿Z'轴延伸的一边的边缘部。外缘部72是在X轴正方向侧沿Z'轴延伸的一边的边缘部,外缘部73是在Z'轴正方向侧沿X轴延伸的一边的边缘部,外缘部74是在Z'轴负方向侧沿X轴延伸的一边的边缘部。换句话说,相对于俯视时的第一激励电极14a的中央部,外缘部71位于框部121A侧,外缘部72位于框部121B侧,外缘部73位于框部121C侧,外缘部74位于框部121D侧。

[0087] 第二激励电极14b具有外缘部81、82、83、84。外缘部81是俯视时的第二激励电极14b的四边的边缘部中的在X轴负方向侧沿Z'轴延伸的一边的边缘部。外缘部82是在X轴正方向侧沿Z'轴延伸的一边的边缘部,外缘部83是在Z'轴正方向侧沿X轴延伸的一边的边缘部,外缘部84是在Z'轴负方向侧沿X轴延伸的一边的边缘部。换句话说,相对于俯视时的第二激励电极14b的中央部,外缘部81位于框部121A侧,外缘部82位于框部121B侧,外缘部83位于框部121C侧,外缘部84位于框部121D侧。

[0088] 如图2所示,在俯视时,第一激励电极14a的外缘部71、72、73、74全部位于比第二激励电极14b的外缘部81、82、83、84靠内侧。外缘部81与外缘部71、72、73、74中的外缘部71邻接,外缘部82与外缘部71、72、73、74中的外缘部72邻接,外缘部83与外缘部71、72、73、74中的外缘部73邻接,外缘部84与外缘部71、72、73、74中的外缘部74邻接。在俯视时,外缘部71以及外缘部81被平行设置,外缘部72以及外缘部82被平行设置,外缘部73以及外缘部83被平行设置,外缘部74以及外缘部84被平行设置。

[0089] 如图2所示,在俯视时,将振动部110的沿X轴向的尺寸设为长度 L_q ,将振动部110的沿Z'轴向的尺寸设为长度 W_q 。将第一激励电极14a的沿X轴向的尺寸设为长度 L_e ,将第一激励电极14a的沿Z'轴向的尺寸设为长度 W_e 。将第二激励电极14b的沿X轴向的尺寸设为长度 L_{e2} ,将第二激励电极14b的沿Z'轴向的尺寸设为长度 W_{e2} 。

[0090] 长度 L_q 例如被确定为规定的位置处的短边111与短边112之间的沿X轴向的距离。该规定的位置例如在俯视时的通过振动部110的中心且沿X轴向延伸的直线上。长度 L_q 也可以被确定为短边111与短边112之间的沿X轴向的距离的平均值或者最大值。长度 W_q 例如被确定为规定的位置处的长边113与长边114之间的沿Z'轴向的距离。该规定的位置例如在俯视时的通过振动部110的中心且沿Z'轴向延伸的直线上。长度 W_q 也可以被确定为长边113与长边114之间的沿Z'轴向的距离的平均值或者最大值。

[0091] 相同地,长度 L_e 被确定为规定的位置(例如,通过第一激励电极14a的中心且沿X轴向延伸的直线上)的外缘部71与外缘部72之间的沿X轴向的距离、或者外缘部71与外缘部72之间的沿X轴向的距离的平均值或者最大值。长度 W_e 被确定为规定的位置(例如,通过第一激励电极14a的中心且沿Z'轴向延伸的直线上)的外缘部73与外缘部74之间的沿Z'轴向的距离、或者外缘部73与外缘部74之间的沿Z'轴向的距离的平均值或者最大值。长度 L_{e2} 被确定为规定的位置(例如,通过第二激励电极14b的中心且沿X轴向延伸的直线上)的外缘部81

与外缘部82之间的沿X轴向的距离、或者外缘部81与外缘部82之间的沿X轴向的距离的平均值或者最大值。长度We2被确定为规定的位置(例如,通过第二激励电极14b的中心且沿Z'轴向延伸的直线上)的外缘部83与外缘部84之间的沿Z'轴向的距离、或者外缘部83与外缘部84之间的沿Z'轴向的距离的平均值或者最大值。

[0092] 此外,在对长度Le和长度Le2进行比较等的情况下,长度Le以及长度Le2通过相同的确定方法确定。即,若长度Le被确定为规定的位置处的外缘部71与外缘部72之间的沿X轴向的距离,则长度Le2被确定为规定的位置处的外缘部81与外缘部82之间的沿X轴向的距离。若长度Le被确定为外缘部71与外缘部72之间的沿X轴向的距离的平均值,则长度Le2被确定为外缘部81与外缘部82之间的沿X轴向的距离的平均值。若长度Le被确定为外缘部71与外缘部72之间的沿X轴向的距离的最大值,则长度Le2被确定为外缘部81与外缘部82之间的沿X轴向的距离的最大值。在比较其他的长度、厚度的情况下,也相同地统一确定方法。

[0093] 振动部110的俯视形状是以X轴向为长边方向的长方形,所以长度Lq大于长度Wq ($Wq < Lq$)。第一激励电极14a以及第二激励电极14b的俯视形状也是相同的长方形,所以长度Le大于长度We ($We < Le$),长度Le2大于长度We2 ($We2 < Le2$)。第二激励电极14b的外缘部81、82、83、84全部位于比振动部110的短边111、112以及长边113、114靠内侧,所以长度Lq大于长度Le2 ($Le2 < Lq$),长度Wq大于长度We2 ($We2 < Wq$)。第一激励电极14a的外缘部71、72、73、74全部位于比第二激励电极14b的外缘部81、82、83、84靠内侧,所以长度Le2大于长度Le ($Le < Le2$),长度We2大于长度We ($We < We2$)。总之, $Le < Le2 < Lq$ 以及 $We < We2 < Wq$ 的关系成立。

[0094] 如图2所示,将在俯视时,第一激励电极14a以及第二激励电极14b的外缘部之间的距离中,外缘部71与外缘部81之间的沿X轴向的距离设为长度dLe1,将外缘部72与外缘部82之间的沿X轴向的距离设为长度dLe2,将外缘部73与外缘部83之间的沿Z'轴向的距离设为长度dWe1,将外缘部74与外缘部84之间的沿Z'轴向的距离设为长度dWe2。将长度dLe1以及长度dLe2之和设为dLe ($dLe = dLe1 + dLe2$),将长度dWe1以及长度dWe2之和设为dWe ($dWe = dWe1 + dWe2$)。

[0095] 长度dLe1例如被确定为规定的位置处的外缘部71与外缘部81之间的沿X轴向的距离。该规定的位置例如在俯视时通过第一激励电极14a或者第二激励电极14b的中心且沿X轴向延伸的直线上。长度dLe1也可以确定为外缘部71与外缘部81之间的沿X轴向的距离的平均值或者最大值。长度dWe1被确定为例如规定的位置处的外缘部73与外缘部83之间的沿Z'轴向的距离。该规定的位置例如在俯视时通过第一激励电极14a或者第二激励电极14b的中心且沿Z'轴向延伸的直线上。长度dWe1也可以被确定为外缘部73与外缘部83之间的沿Z'轴向的距离的平均值或者最大值。

[0096] 相同地,长度dLe2被确定为规定的位置(例如,通过第一激励电极14a或者第二激励电极14b的中心且沿X轴向延伸的直线上)的外缘部72与外缘部82之间的沿X轴向的距离、或者外缘部72与外缘部82之间的沿X轴向的距离的平均值或者最大值。长度dWe2被确定为规定的位置(例如,通过第一激励电极14a或者第二激励电极14b的中心且沿Z'轴向延伸的直线上)的外缘部74与外缘部84之间的沿Z'轴向的距离、或者外缘部74与外缘部84之间的沿Z'轴向的距离的平均值或者最大值。

[0097] 长度dLe被确定为长度Le与长度Le2之差。换句话说,基于长度Le2、Le使用式 $dLe =$

$Le_2 - Le$ 计算,但也可以基于长度 dLe_1 、 dLe_2 使用式 $dLe = dLe_1 + dLe_2$ 计算。长度 dWe 被确定为长度 We 与长度 We_2 之差。换句话说,基于长度 We_2 、 We 使用式 $dWe = We_2 - We$ 计算,但也可以基于长度 dWe_1 、 dWe_2 使用式 $dWe = dWe_1 + dWe_2$ 计算。

[0098] 第一激励电极14a以及第二激励电极14b的相互的中心的位置重叠,所以长度 dLe_1 与长度 dLe_2 相等,是长度 Le_2 与长度 Le 之差的一半的大小。换句话说,满足 $0 < dLe_1 = dLe_2 = dLe/2 = (Le_2 - Le)/2$ 的关系。相同地,长度 dWe_1 与长度 dWe_2 相等,是长度 We_2 与长度 We 之差的一半的大小。换句话说,满足 $0 < dWe_1 = dWe_2 = dWe/2 = (We_2 - We)/2$ 的关系。

[0099] 此外,长度 dLe_1 与长度 dLe_2 的大小关系并不局限于上述,也可以满足 $0 < dLe_1 < dLe_2$ 或者 $0 < dLe_2 < dLe_1$ 的关系。长度 dWe_1 与长度 dWe_2 的大小关系也并不局限于上述,也可以满足 $0 < dWe_1 < dWe_2$ 或者 $0 < dWe_2 < dWe_1$ 的关系。此外,若长度 dLe_1 、 dLe_2 、 dWe_1 、 dWe_2 中的至少一个大于0,则其他也可以是0。例如,可以满足 $0 = dLe_1 = dLe_2$ 、 $0 < dWe_1$ 并且 $0 < dWe_2$ 的关系,也可以满足 $0 < dLe_1$ 、 $0 < dLe_2$ 并且 $0 = dWe_1 = dWe_2$ 的关系。另外,例如,可以满足 $0 = dLe_2$ 、 $0 < dLe_1$ 、 $0 < dWe_1$ 并且 $0 < dWe_2$ 的关系。其中,优选长度 dLe_1 、 dLe_2 、 dWe_1 、 dWe_2 全部大于0。换句话说,优选 $0 < dLe_1$ 、 $0 < dLe_2$ 、 $0 < dWe_1$ 、 $0 < dWe_2$ 的关系成立。

[0100] 如图3所示,将振动部110中的晶体片11的厚度设为 Tq ,将第一激励电极14a的厚度设为 Te ,将第二激励电极14b的厚度设为 Te_2 。

[0101] 厚度 Tq 例如被确定为规定的位置处的上表面11A与下表面11B之间的沿 Y' 轴向的距离。该规定的位置例如在通过第一激励电极14a与第二激励电极14b对置的区域中心且沿 Y' 轴向延伸的直线上。厚度 Tq 也可以被确定为第一激励电极14a与第二激励电极14b对置的区域中的上表面11A与下表面11B之间的沿 Y' 轴向的距离的平均值或者最大值。

[0102] 相同地,厚度 Te 被确定为规定的位置(例如,通过第一激励电极14a与第二激励电极14b对置的区域中心且沿 Y' 轴向延伸的直线上)的第一激励电极14a的上表面与下表面之间的沿 Y' 轴向的距离、或者第一激励电极14a与第二激励电极14b对置的区域中的第一激励电极14a的上表面与下表面之间的沿 Y' 轴向的距离的平均值或者最大值。厚度 Te_2 被确定为规定的位置(例如,通过第一激励电极14a与第二激励电极14b对置的区域中心且沿 Y' 轴向延伸的直线上)的第二激励电极14b的上表面与下表面之间的沿 Y' 轴向的距离、或者第一激励电极14a与第二激励电极14b对置的区域中的第二激励电极14b的上表面与下表面之间的沿 Y' 轴向的距离的平均值或者最大值。

[0103] 厚度 Tq 大于厚度 Te_2 ,厚度 Te_2 大于厚度 Te 。换句话说, $Te < Te_2 < Tq$ 的关系成立。另外,晶体片11的厚度大于第一激励电极14a以及第二激励电极14b的厚度之和,所以 $Te + Te_2 < Tq$ 的关系成立。

[0104] 接下来,参照图4至图17,对基于第一实施方式的模拟结果进行说明。

[0105] 图4是表示基于第一实施方式的模拟结果的图表。在图4的图表中,横轴表示 dLe 或者 dWe (μm),纵轴表示机电耦合系数 k (%)。

[0106] 在图4中,图表的横轴大于0时,即 $Le_2 > Le$ 或者 $We_2 > We$ 时,模拟条件如下所示。

[0107] $Tq = 1.0 \mu m$

[0108] $Te = 0.05 \mu m$

[0109] $Te_2 = 0.12 \mu m$

[0110] $Lq = Wq = 120 \mu m$

[0111] $Le=55\mu\text{m}$,

[0112] $We=50\mu\text{m}$,

[0113] $dLe=Le2-Le=2\times dLe1=2\times dLe2$:变量

[0114] $dWe=We2-We=2\times dWe1=2\times dWe2$:变量

[0115] 在图4中,图表的横轴为0以下时,即 $Le2\leq Le$ 或者 $We2\leq We$ 时,模拟条件如下所示。

[0116] $Tq=1.0\mu\text{m}$

[0117] $Te=0.05\mu\text{m}$

[0118] $Te2=0.12\mu\text{m}$

[0119] $Lq=Wq=120\mu\text{m}$

[0120] $Le2=55\mu\text{m}$

[0121] $We2=50\mu\text{m}$

[0122] $dLe=Le2-Le=2\times dLe1=2\times dLe2$:变量

[0123] $dWe=We2-We=2\times dWe1=2\times dWe2$:变量

[0124] 图4的图表中的绘图分别示出设为 $dLe=dWe$ 且将 dLe 以及 dWe 双方作为变量的情况下的模拟结果、设为 $dLe=0$ (常量)且使 dWe 作为变量的情况下的模拟结果、以及将 dLe 设为变量且设为 $dWe=0$ (常量)的情况下的模拟结果。作为图4的图表中的横轴的 dLe 、 dWe 的值示出各个情况下的变量的值。换句话说,横轴 dLe 、 dWe 的值示出 $dLe=dWe$ 为变量的情况下 dLe 以及 dWe 双方的值、 dLe 为常量且 dWe 为变量的情况下 dWe 的值、 dLe 为变量且 dWe 为常量的情况下 dLe 的值。以下,将图表的横轴所示的变量的值表述为“(dLe,dWe)”。

[0125] 在 $dLe=dWe$ 为变量的情况、 dLe 为变量且 $dWe=0$ (常量)的情况以及 $dLe=0$ (常量)且 dWe 为变量的情况的任一个情况中,当 $0<(dLe,dWe)$ 时,即,第一激励电极14a以及第二激励电极14b中的较厚的第二激励电极14b的面积大于较薄的第一激励电极14a的面积时,机电耦合系数 k 提高。在 $0\mu\text{m}$ 至 $10\mu\text{m}$ (dLe,dWe)越大,机电耦合系数 k 越高。在 $10\mu\text{m}<(dLe,dWe)<25\mu\text{m}$ 的区域中,即使(dLe,dWe)变化,机电耦合系数 k 也大致恒定。此外,在 $-25\mu\text{m}\leq(dLe,dWe)\leq 0$ 的区域中, $dLe=dWe$ 为变量时的机电耦合系数 k 、 dLe 为变量时的机电耦合系数 k 、以及 dWe 为变量时的机电耦合系数 k 大致相同。

[0126] 如 dLe 是变量且 $dWe=0$ (常量)的情况下的绘图、以及 $dLe=0$ (常量)且 dWe 为变量的情况下的绘图所示,即使将 dLe 以及 dWe 的一方设为0并使另一方大于0的情况下,与将 dLe 以及 dWe 的一方设为0且使另一方为0以下的情况相比,机电耦合系数 k (%)提高。另外,如 $dLe=dWe$ 为变量的情况下的绘图所示,使 dLe 以及 dWe 双方大于0的情况下的机电耦合系数 k (%)与将 dLe 以及 dWe 的一方设为0且使另一方大于0的情况下的机电耦合系数 k (%)相比,进一步提高。

[0127] 图5是在第一激励电极产生位置偏移时的剖视图。图6是表示基于第一实施方式的模拟结果的图表。

[0128] 图6的图表示出如图5所示,在俯视时,第一激励电极14a的中心从第二激励电极14b的中心向X轴向以及Z'轴向位移了 $\Delta\mu\text{m}$ 的情况下的机电耦合系数 k 的变化。在图6的图表中,横轴表示 dLe 以及 dWe (μm),纵轴表示机电耦合系数 k (%)。图6的图表中的“位置偏移”的大小相当于图5所示的“ Δ ”。将图表的横轴 dLe 、 dWe 的值表述为“(dLe,dWe)”。

[0129] 在图5中,模拟条件如以下所示。

[0130] $T_q = 1.0\mu\text{m}$

[0131] $T_e = 0.05\mu\text{m}$

[0132] $T_{e2} = 0.12\mu\text{m}$

[0133] $L_q = W_q = 120\mu\text{m}$

[0134] $L_e = 55\mu\text{m}$

[0135] $W_e = 50\mu\text{m}$

[0136] $dL_e = L_{e2} - L_e$: 变量

[0137] $dW_e = W_{e2} - W_e$: 变量

[0138] $dL_e = dW_e$

[0139] $dL_{e1} = dL_e/2 - \Delta$

[0140] $dL_{e2} = dL_e/2 + \Delta$

[0141] $dW_{e1} = dW_e/2 - \Delta$

[0142] $dW_{e2} = dW_e/2 + \Delta$

[0143] 在 $dL_{e1} = dL_e/2 - \Delta < 0$ 以及 $dW_{e1} = dW_e/2 - \Delta < 0$,即 $dL_e/2 < \Delta$ 以及 $dW_e/2 < \Delta$ 的关系成立时,在俯视时,第一激励电极14a向第二激励电极14b的外侧突出。在 $\Delta \leq dL_e/2$ 以及 $\Delta \leq dW_e/2$ 的关系成立时,即使 $0\mu\text{m} < \Delta$,在俯视时,第一激励电极14a也不从第二激励电极14b突出,第一激励电极14a的全部与第二激励电极14b的一部分重叠。

[0144] 图6的图表中的绘图分别表示 $\Delta = 0\mu\text{m}$ 、 $1\mu\text{m}$ 、 $5\mu\text{m}$ 的情况下的模拟结果。在 $\Delta = 0\mu\text{m}$ 的情况下,在 dL_e 以及 dW_e 是 $10\mu\text{m}$ 以上且 $25\mu\text{m}$ 以下的区域($10\mu\text{m} \leq (dL_e, dW_e) \leq 25$)中,机电耦合系数 k 不管 dL_e 或者 dW_e 均大致恒定。在 $\Delta = 0\mu\text{m}$ 的情况下,在 dL_e 以及 dW_e 小于 $10\mu\text{m}$ 且 $0\mu\text{m}$ 以上的区域($0\mu\text{m} \leq (dL_e, dW_e) < 10\mu\text{m}$)中, dL_e 以及 dW_e 越小,机电耦合系数 k 降低。在 $\Delta = 1\mu\text{m}$ 的情况下,示出与 $\Delta = 0\mu\text{m}$ 的情况大致相同的趋势。

[0145] 在 $\Delta = 5\mu\text{m}$ 的情况下,在 dL_e 以及 dW_e 小于 $10\mu\text{m}$ 且为0以上的区域($0\mu\text{m} \leq (dL_e, dW_e) < 10\mu\text{m}$)中,机电耦合系数 k 比 $\Delta = 0\mu\text{m}$ 的情况降低。此时,由于 $\Delta = 5\mu\text{m}$ 以及 $0\mu\text{m} \leq (dL_e, dW_e) < 10\mu\text{m}$,所以 $dL_e/2 < \Delta$ 以及 $dW_e/2 < \Delta$ 的关系成立,在俯视时,第一激励电极14a向第二激励电极14b的外侧突出。即,在俯视时,第一激励电极14a向第二激励电极14b的外侧突出时,机电耦合系数 k 比 $\Delta = 0\mu\text{m}$ 的情况降低。另一方面,即使 $\Delta = 5\mu\text{m}$ 的情况,在 dL_e 以及 dW_e 为 $10\mu\text{m}$ 以上且 $25\mu\text{m}$ 以下的区域($10\mu\text{m} \leq (dL_e, dW_e) \leq 25$)中,示出与 $\Delta = 0\mu\text{m}$ 的情况大致相同的趋势。此时,由于 $\Delta = 5\mu\text{m}$ 及 $10\mu\text{m} \leq (dL_e, dW_e) \leq 25$,所以 $\Delta \leq dL_e/2$ 以及 $\Delta \leq dW_e/2 < \Delta$ 的关系成立,第一激励电极14a的全部与第二激励电极14b的一部分重叠。

[0146] 换句话说,即使第一激励电极14a的中心相对于第二激励电极14b的中心发生位置偏移,只要第一激励电极14a的全部与第二激励电极14b重叠,就可以维持机电耦合系数 k 的提高效果。然而,在第一激励电极14a向第二激励电极14b的外侧突出的情况下,失去了机电耦合系数 k 的提高效果。因此,为了即使第一激励电极14a的中心相对于第二激励电极14b的中心稍微发生位置偏移,也维持机电耦合系数 k 的提高效果,而优选 dL_e 以及 dW_e 较大。具体而言,第一激励电极14a相对于第二激励电极14b的位置偏移的允许范围为 dL_e 以及 dW_e 的1/2以下。例如,在第一激励电极14a相对于第二激励电极14b的位置偏移最大假定为 $5\mu\text{m}$ 的情况下,优选 dL_e 以及 dW_e 为 $10\mu\text{m}$ 以上。在第一激励电极14a相对于第二激励电极14b的位置偏

移最大假定为 $2.5\mu\text{m}$ 的情况下,优选 dLe 以及 dWe 为 $5\mu\text{m}$ 以上。

[0147] 图7是表示基于第一实施方式的模拟结果的图表。图8是表示基于第一实施方式的模拟结果的图表。在图7的图表中,横轴表示 $Te_2(\mu\text{m})$,纵轴表示以 $Te_2=0.05\mu\text{m}$ 时的频率为基准的频率变化 $dF(\text{ppm})$ 。在图8的图表中,横轴表示 $Te_2(\mu\text{m})$,纵轴表示机电耦合系数 $k(\%)$ 。

[0148] 在图7以及图8中, $0\mu\text{m}<dLe=dWe$ 时的模拟条件如下所示。

[0149] $Tq=1.0\mu\text{m}$

[0150] $Te=0.05\mu\text{m}$

[0151] Te_2 :变量

[0152] $Lq=Wq=120\mu\text{m}$

[0153] $Le=55\mu\text{m}$

[0154] $We=50\mu\text{m}$

[0155] $dLe=Le_2-Le=2\times dLe_1=2\times dLe_2$:变量

[0156] $dWe=We_2-We=2\times dWe_1=2\times dWe_2$:变量

[0157] 在图7以及图8中, $dLe=dWe\leq 0\mu\text{m}$ 时的模拟条件如下所示。

[0158] $Tq=1.0\mu\text{m}$

[0159] $Te=0.05\mu\text{m}$

[0160] Te_2 :变量

[0161] $Lq=Wq=120\mu\text{m}$

[0162] $Le_2=55\mu\text{m}$

[0163] $We_2=50\mu\text{m}$

[0164] $dLe=Le_2-Le=2\times dLe_1=2\times dLe_2$:变量

[0165] $dWe=We_2-We=2\times dWe_1=2\times dWe_2$:变量

[0166] 如图7所示,不管 dLe 以及 dWe 的值, Te_2 越大, dF 越小。换句话说,第一激励电极14a以及第二激励电极14b的面积对频率造成的影响轻微。

[0167] 如图8所示,当 $dLe=dWe=0\mu\text{m}$ 时,在 $0\mu\text{m}<Te_2<0.10\mu\text{m}$ ($0<Te_2/Te<2$) 的范围内, $Te_2(\mu\text{m})$ 越小,机电耦合系数 $k(\%)$ 越降低。在 $0.10\mu\text{m}\leq Te_2\leq 0.20\mu\text{m}$ ($2\leq Te_2/Te\leq 4$) 的范围内, $Te_2(\mu\text{m})$ 越大,机电耦合系数 $k(\%)$ 越降低。

[0168] 如图8所示,当 $dLe<0\mu\text{m}$ 并且 $dWe<0\mu\text{m}$ 时,在 $0.05\mu\text{m}<Te_2\leq 0.20\mu\text{m}$ ($1<Te_2/Te\leq 4$) 的范围内, $Te_2(\mu\text{m})$ 越大,机电耦合系数 $k(\%)$ 越降低。在 $0.12\mu\text{m}<Te_2\leq 0.20\mu\text{m}$ ($2.4<Te_2/Te\leq 4$) 的范围内, $dLe<0\mu\text{m}$ 并且 $dWe<0\mu\text{m}$ 时的机电耦合系数 $k(\%)$ 比 $dLe=dWe=0\mu\text{m}$ 时的机电耦合系数 $k(\%)$ 降低。

[0169] 如图8所示,当 $0\mu\text{m}<dLe$ 并且 $0\mu\text{m}<dWe$ 时,在 $0.05\mu\text{m}<Te_2\leq 0.15\mu\text{m}$ ($1\leq Te_2/Te\leq 3$) 的范围内, $Te_2(\mu\text{m})$ 越大,机电耦合系数 $k(\%)$ 越提高。在 $0.15\mu\text{m}<Te_2\leq 0.20\mu\text{m}$ ($3\leq Te_2/Te\leq 4$) 的范围内, $Te_2(\mu\text{m})$ 越大,机电耦合系数 $k(\%)$ 越降低。换句话说,当 Te_2 为 $0.15\mu\text{m}$ ($Te_2/Te=3$) 程度时,机电耦合系数 $k(\%)$ 最大。另外,在 $0.10\mu\text{m}\leq Te_2\leq 0.20\mu\text{m}$ ($2\leq Te_2/Te\leq 4$) 的范围内,相对于 Te_2 的变化的机电耦合系数 k 的变化小,机电耦合系数 k 大致恒定。在 $0.05\mu\text{m}\leq Te_2\leq 0.20\mu\text{m}$ ($1\leq Te_2/Te\leq 4$) 的范围内, $0\mu\text{m}<dLe$ 并且 $0\mu\text{m}<dWe$ 时的机电耦合系数 $k(\%)$ 比 $dLe=dWe=0\mu\text{m}$ 时的机电耦合系数 $k(\%)$ 提高。

[0170] 因此,当第一激励电极14a以及第二激励电极14b中的较厚的第二激励电极14b的面积大于较薄的第一激励电极14a的面积时,机电耦合系数 $k(\%)$ 提高。另外,在机电耦合系数 $k(\%)$ 稳定的 $0.10\mu\text{m} \leq \text{Te}2 \leq 0.20\mu\text{m}$ ($2 \leq \text{Te}2/\text{Te} \leq 4$) 的范围内,即使为了调整频率而使 $\text{Te}2(\mu\text{m})$ 变动,也能够抑制机电耦合系数 $k(\%)$ 的变动。

[0171] 图9是表示基于第一实施方式的模拟结果的图表。在图9的图表中,横轴表示第二激励电极14b的厚度 $\text{Te}2$ 相对于晶体片11的厚度 Tq 的比率 $\text{Te}2/\text{Tq}$,纵轴表示机电耦合系数 $k(\%)$ 。

[0172] 在图9中,模拟条件如以下所示。

[0173] $\text{Tq} = 1.0\mu\text{m}$

[0174] $\text{Te} : 0.05$

[0175] $\text{Te}2$: 变量

[0176] $\text{Lq} = \text{Wq} = 120\mu\text{m}$

[0177] $\text{Le} = 55\mu\text{m}$

[0178] $\text{We} = 50\mu\text{m}$

[0179] $d\text{Le} = \text{Le}2 - \text{Le} = 2 \times d\text{Le}1 = 2 \times d\text{Le}2 = 25\mu\text{m}$

[0180] $d\text{We} = \text{We}2 - \text{We} = 2 \times d\text{We}1 = 2 \times d\text{We}2 = 25\mu\text{m}$

[0181] $\rho = 2,699(\text{kg}/\text{m}^3)$

[0182] $\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$ 是第一激励电极14a以及第二激励电极14b的平均密度。当将第一激励电极14a的密度设为 $\rho1$,将第二激励电极14b的密度设为 $\rho2$,将第一激励电极14a的与第二激励电极14b对置的部分的体积设为 $V1$,将第二激励电极14b的与第一激励电极14a对置的部分的体积设为 $V2$ 时,通过下式计算。

[0183] $\rho = (\rho1 \times V1 + \rho2 \times V2) / (V1 + V2)$

[0184] 此外,若第一激励电极14a以及第二激励电极14b的材质相同,则将该材质的密度设为 ρ 。在本模拟中,由于第一激励电极14a以及第二激励电极14b的材质是铝,所以 ρ 设为铝的密度亦即 $2.699(\text{kg}/\text{m}^3)$ 。

[0185] 在 $0.05 \leq \text{Te}2/\text{Tq} \leq 0.20$ 的范围内,机电耦合系数 $k(\%)$ 在 $\text{Te}2/\text{Tq} = 0.13$ 附近成为最大。这里,将机电耦合系数 $k(\%)$ 最大的 $\text{Te}2/\text{Tq}$ 设为“最佳 $\text{Te}2/\text{Tq}$ ”。

[0186] 图10是表示基于第一实施方式的模拟结果的图表。在图10的图表中,以 Te 以及 ρ 为变量绘制图9所示的最佳 $\text{Te}2/\text{Tq}$ 。在图10的图表中,横轴表示 $\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$,纵轴表示最佳 $\text{Te}2/\text{Tq}$ 。

[0187] 随着第一激励电极14a的厚度 Te 相对于晶体片11的厚度 Tq 的比率 Te/Tq 变大,最佳 $\text{Te}2/\text{Tq}$ 上升。另外,在使 Te/Tq 恒定的情况下,随着 $\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$ 变大,最佳 $\text{Te}2/\text{Tq}$ 降低。通过图10所示的图表的拟合,如下式那样求出机电耦合系数 $k(\%)$ 最大的条件式。

[0188] $\text{Te}2/\text{Tq} = 0.00001 \times \rho + b \pm 0.01$

[0189] 当 $\text{Te}/\text{Tq} = 0.02$ 时, $b = 0.16369$ 。当 $\text{Te}/\text{Tq} = 0.05$ 时, $b = 0.17572$ 。当 $\text{Te}/\text{Tq} = 0.10$ 时, $b = 0.19861$ 。当 $\text{Te}/\text{Tq} = 0.15$ 时, $b = 0.21293$ 。

[0190] 图11是表示基于第一实施方式的模拟结果的图表。在图11的图表中,以 Te/Tq 为变量绘制图10所示的 b 。在图11的图表中,横轴表示 Te/Tq ,纵轴表示 b 。

[0191] 在 $0.02 \leq \text{Te}/\text{Tq} \leq 0.15$ 的范围中, Te/Tq 越大, b 越大。通过图11所示的图表的拟合,

如以下那样求出b与Te/Tq的关系式。

[0192] $b=0.39Te/Tq+0.16$

[0193] 通过将通过图11求出的式代入通过图10求出的式,如以下那样求出机电耦合系数k(%)最大的条件式。

[0194] $Te_2/Tq=0.00001 \times \rho + 0.39Te/Tq + 0.16 \pm 0.01$

[0195] 图12是表示基于第一实施方式的模拟结果的图表。在图12的图表中,横轴表示Te2(μm),纵轴表示机电耦合系数k(%)。

[0196] 在图12中, $0\mu\text{m} < dLe = dWe$ 时的模拟条件如以下所示。

[0197] $Tq = 1.0\mu\text{m}$

[0198] $Te = 0.05\mu\text{m}$

[0199] Te2:变量

[0200] $Lq = Wq = 120\mu\text{m}$

[0201] $Le = 55\mu\text{m}$

[0202] $We = 50\mu\text{m}$

[0203] $dLe = Le_2 - Le = 2 \times dLe_1 = 2 \times dLe_2$:变量

[0204] $dWe = We_2 - We = 2 \times dWe_1 = 2 \times dWe_2$:变量

[0205] 在图12中, $dLe = dWe \leq 0\mu\text{m}$ 时的模拟条件如以下所示。

[0206] $Tq = 1.0\mu\text{m}$

[0207] $Te = 0.05\mu\text{m}$

[0208] Te2:变量

[0209] $Lq = Wq = 120\mu\text{m}$

[0210] $Le_2 = 55\mu\text{m}$

[0211] $We_2 = 50\mu\text{m}$

[0212] $dLe = Le_2 - Le = 2 \times dLe_1 = 2 \times dLe_2$:变量

[0213] $dWe = We_2 - We = 2 \times dWe_1 = 2 \times dWe_2$:变量

[0214] 在将dLe以及dWe的一方设为0并使另一方大于0的情况下,在 $0.05\mu\text{m} \leq Te_2 \leq 0.20\mu\text{m}$ ($1 \leq Te_2/Te \leq 4$) 的范围内机电耦合系数k(%)最大是Te2为 $0.10\mu\text{m}$ 以上 $0.15\mu\text{m}$ 以下 ($2 \leq Te_2/Te \leq 3$) 时。另外,在 $0.10\mu\text{m} \leq Te_2 \leq 0.20\mu\text{m}$ ($2 \leq Te_2/Te \leq 4$) 的范围内,相对于Te2的变化机电耦合系数k的变化小,机电耦合系数k(%)大致恒定。换句话说,机电耦合系数k(%)相对于Te2的变化即使在dLe以及dWe的一方为0且另一方大于0的情况下,也示出与dLe以及dWe双方大于0的情况相同的趋势。但是,若在 $0.05\mu\text{m} \leq Te_2 \leq 0.20\mu\text{m}$ ($1 \leq Te_2/Te \leq 4$) 的范围内Te2相同,则dLe以及dWe双方大于0的情况下的机电耦合系数k(%)比dLe以及dWe的一方是0且另一方大于0的情况下的机电耦合系数k(%)提高。

[0215] 图13是表示基于第一实施方式的模拟结果的图表。在图13中,横轴表示dLe以及dWe(μm),纵轴表示机电耦合系数k(%)。将图表的横轴dLe、dWe的值表述为“(dLe,dWe)”。

[0216] 在图13中,当图表的横轴大于0时,即 $Le < Le_2$ 以及 $We < We_2$ 时,模拟条件如以下所示。

[0217] $Tq = 1.5\mu\text{m}$

[0218] $Te = 0.08\mu\text{m}$

[0219] $Te_2 = 0.20\mu m$

[0220] $L_q = W_q = 120\mu m$

[0221] $Le = 70\mu m$,

[0222] $We = 70\mu m$,

[0223] $dLe = Le_2 - Le = 2 \times dLe_1 = 2 \times dLe_2$: 变量

[0224] $dWe = We_2 - We = 2 \times dWe_1 = 2 \times dWe_2$: 变量

[0225] $dLe = dWe$

[0226] 在图13中,当图表的横轴为0以下时,即 $Le_2 \leq Le$ 以及 $We_2 \leq We$ 时,模拟条件如以下所示。

[0227] $T_q = 1.5\mu m$

[0228] $Te = 0.08\mu m$

[0229] $Te_2 = 0.20\mu m$

[0230] $L_q = W_q = 120\mu m$

[0231] $Le_2 = 70\mu m$

[0232] $We_2 = 70\mu m$

[0233] $dLe = Le_2 - Le = 2 \times dLe_1 = 2 \times dLe_2$: 变量

[0234] $dWe = We_2 - We = 2 \times dWe_1 = 2 \times dWe_2$: 变量

[0235] $dLe = dWe$

[0236] 图13中的绘图表示与图4中的 $dLe = dWe$ 的绘图相同的趋势。换句话说,一对激励电极中的一方的激励电极比另一方的激励电极厚,若较厚的激励电极的面积大于较薄的激励电极的面积,则即使一对激励电极以及晶体片各自的尺寸不同,相对于 dLe 、 dWe 的变化的机电耦合系数 k (%)的变化也示出相同的趋势。

[0237] 图14是表示基于第一实施方式的模拟结果的图表。在图14的图表中,横轴表示 Te_2 (μm),纵轴表示机电耦合系数 k (%)。

[0238] 在图14中, $0\mu m < dLe = dWe$ 时的模拟条件如以下所示。

[0239] $T_q = 1.5\mu m$

[0240] $Te = 0.08\mu m$

[0241] Te_2 : 变量

[0242] $L_q = W_q = 120\mu m$

[0243] $Le = 70\mu m$

[0244] $We = 70\mu m$

[0245] $dLe = Le_2 - Le = 2 \times dLe_1 = 2 \times dLe_2$: 变量

[0246] $dWe = We_2 - We = 2 \times dWe_1 = 2 \times dWe_2$: 变量

[0247] 在图14中, $dLe = dWe \leq 0\mu m$ 时的模拟条件如以下所示。

[0248] $T_q = 1.5\mu m$

[0249] $Te = 0.08\mu m$

[0250] Te_2 : 变量

[0251] $L_q = W_q = 120\mu m$

[0252] $Le_2 = 70\mu m$

[0253] $We_2 = 70\mu\text{m}$

[0254] $dLe = Le_2 - Le = 2 \times dLe_1 = 2 \times dLe_2$: 变量

[0255] $dWe = We_2 - We = 2 \times dWe_1 = 2 \times dWe_2$: 变量

[0256] 图14中的 $dLe = dWe = 15\mu\text{m}$ 的绘图示出与图8中的 $dLe = dWe = 5\mu\text{m}$ 、 $15\mu\text{m}$ 、 $25\mu\text{m}$ 的绘图相同的趋势。换句话说,一对激励电极中的一方的激励电极比另一方的激励电极厚,若较厚的激励电极的面积大于较薄的激励电极的面积,则即使一对激励电极以及晶体片各自的尺寸不同,相对于 Te_2 的变化的机电耦合系数 $k(\%)$ 的变化也示出相同的趋势。

[0257] 图15是表示基于第一实施方式的模拟结果的图表。在图15中,横轴表示 $dLe(\mu\text{m})$,纵轴表示机电耦合系数 $k(\%)$ 。

[0258] 在图15中,对第一激励电极以及第二激励电极的重叠的部分的形状以及面积相同,且第一激励电极以及第二激励电极的形状不同的2个构成例进行模拟。

[0259] 在第一个构成例中,第一激励电极14a以及第二激励电极14b的俯视形状是面积相等的正方形。第一激励电极14a的各边沿X轴向以及 Z' 轴向延伸。第二激励电极14b相对于第一激励电极14a以中心重叠的状态倾斜45度配置,对角线沿X轴向以及 Z' 轴向延伸。第一激励电极14a以及第二激励电极14b的相互对置的部分的形状为正八边形。将第一激励电极14a的沿X轴向的长度设为 Le ,将第二激励电极14b的沿X轴向的长度设为 Le_2 。

[0260] 在第二个构成例中,第一激励电极14a以及第二激励电极14b的俯视形状是正八边形,相互的中心重叠。将第一激励电极14a的相互对置的边彼此之间的长度设为 Le ,将第二激励电极14b的相互对置的边彼此之间的长度设为 Le_2 。

[0261] 在图15中,模拟条件如以下所示。

[0262] $Tq = 1.5\mu\text{m}$

[0263] $Te = 0.08\mu\text{m}$

[0264] $Te_2 = 0.20\mu\text{m}$

[0265] $Lq = Wq = 120\mu\text{m}$

[0266] $Le = 70\mu\text{m}$

[0267] $dLe = Le_2 - Le$: 变量

[0268] 基于图15中的第二个构成例的绘图示出与图4中的 $dLe = dWe$ 的曲线相同的趋势。换句话说,若第一激励电极14a以及第二激励电极14b中的较厚的激励电极的面积大于较薄的激励电极的面积,并且,较厚的激励电极的一部分与较薄的激励电极的全部重叠,则不管第一激励电极14a以及第二激励电极14b的俯视形状,机电耦合系数 $k(\%)$ 均提高。

[0269] 另外,在第一个构成例中,例如,在第二激励电极14b的沿X轴向延伸的对角线上为 $dLe = Le_2 - Le = Le \times 2^{(1/2)} - Le \approx 28.99 > 0$ 。但是,第一个构成例中的机电耦合系数 $k(\%)$ 与在 $0\mu\text{m} < dLe < 5\mu\text{m}$ 的范围内的第二个构成例中的机电耦合系数 $k(\%)$ 相同程度,且比相同的 dLe 下的第二个构成例中的机电耦合系数 $k(\%)$ 小。换句话说,第一个构成例中的一对激励电极的对置面积与第二个构成例中的一对激励电极的对置面积相同,在第一个构成例中一部分为 $dLe > 0$,但第一个构成例中的机电耦合系数 $k(\%)$ 没有像 dLe 相同的第二个构成例中的机电耦合系数 $k(\%)$ 那样提高。换句话说,对于提高机电耦合系数 $k(\%)$ 而言重要的不是第一激励电极14a以及第二激励电极14b的一部分的长度的大小关系,而是面积的大小关系。

[0270] 图16是表示基于第一实施方式的模拟结果的图表。在图16的图表中,横轴表示dLe以及dWe (μm),纵轴表示标准化的机电耦合系数k(%)。将图表的横轴dLe、dWe的值表述为“(dLe,dWe)”。

[0271] 在图16中, $T_q=0.5\mu\text{m}$ 时的模拟条件如下所示。

[0272] $T_q=0.5\mu\text{m}$

[0273] $T_e=0.05\mu\text{m}$

[0274] $T_{e2}=0.12\mu\text{m}$

[0275] $L_q=W_q=120\mu\text{m}$

[0276] $L_e=30\mu\text{m}$

[0277] $W_e=30\mu\text{m}$

[0278] $dLe=Le2-Le=2\times dLe1=2\times dLe2$:变量

[0279] $dWe=We2-We=2\times dWe1=2\times dWe2$:变量

[0280] $dLe=dWe$

[0281] 在图16中, $T_q=1.0\mu\text{m}$ 时的模拟条件如下所示。

[0282] $T_q=1.0\mu\text{m}$

[0283] $T_e=0.05\mu\text{m}$

[0284] $T_{e2}=0.12\mu\text{m}$

[0285] $L_q=W_q=120\mu\text{m}$

[0286] $L_e=55\mu\text{m}$

[0287] $W_e=50\mu\text{m}$

[0288] $dLe=Le2-Le=2\times dLe1=2\times dLe2$:变量

[0289] $dWe=We2-We=2\times dWe1=2\times dWe2$:变量

[0290] $dLe=dWe$

[0291] 在图16中, $T_q=1.5\mu\text{m}$ 时的模拟条件如下所示。

[0292] $T_q=1.5\mu\text{m}$

[0293] $T_e=0.05\mu\text{m}$

[0294] $T_{e2}=0.12\mu\text{m}$

[0295] $L_q=W_q=120\mu\text{m}$

[0296] $L_e=70\mu\text{m}$

[0297] $W_e=70\mu\text{m}$
 $dLe=Le2-Le=2\times dLe1=2\times dLe2$:变量
 $dWe=We2-We=2\times dWe1=2\times dWe2$:变量
 $dLe=dWe$

[0298] 在图16中, $T_q=2.0\mu\text{m}$ 时的模拟条件如下所示。

[0299] $T_q=2.0\mu\text{m}$

[0300] $T_e=0.05\mu\text{m}$

[0301] $T_{e2}=0.12\mu\text{m}$

[0302] $L_q=W_q=120\mu\text{m}$

[0303] $L_e=55\mu\text{m}$

[0304] $W_e=50\mu\text{m}$
 $dLe=Le2-Le=2\times dLe1=2\times dLe2$:变量
 $dWe=We2-We=2\times dWe1=2\times dWe2$:变量
 $dLe=dWe$

[0305] 在图16中, $T_q=3.0\mu\text{m}$ 时的模拟条件如以下所示。

[0306] $T_q=3.0\mu\text{m}$

[0307] $T_e=0.05\mu\text{m}$

[0308] $T_{e2}=0.12\mu\text{m}$

[0309] $L_q=W_q=120\mu\text{m}$

[0310] $L_e=55\mu\text{m}$

[0311] $W_e=50\mu\text{m}$

[0312] $dL_e=L_{e2}-L_e=2\times dL_{e1}=2\times dL_{e2}$:变量

[0313] $dW_e=W_{e2}-W_e=2\times dW_{e1}=2\times dW_{e2}$:变量

[0314] $dL_e=dW_e$

[0315] 如图16所示, T_q 越大,用于机电耦合系数 $k(\%)$ 提高的 dL_e 以及 dW_e 越大。以下,将使机电耦合系数 $k(\%)$ 最大所需要的最小的 dL_e 以及 dW_e 记为“最小(dL_e, dW_e)”。

[0316] 图17是表示基于第一实施方式的模拟结果的图表。图17的图表绘制了基于图16的图表求出的 T_q 与最小(dL_e, dW_e)的关系。在图17的图表中,横轴表示 $T_q(\mu\text{m})$,纵轴表示最小(dL_e, dW_e)(μm)。

[0317] 随着 T_q 变大,最小(dL_e, dW_e)上升。通过图17所示的图表的拟合,机电耦合系数 $k(\%)$ 最大的条件式如下式那样求出。此外,下式的右边(dL_e, dW_e)相当于在第一激励电极以及第二激励电极的某一方向上相邻的边彼此之间的距离 D_e 的一个例子。

[0318] $5.22\times T_q-0.45\leq(dL_e, dW_e)$

[0319] 如以上说明那样,根据本实施方式,第二激励电极14b的面积大于第一激励电极14a的面积,第二激励电极14b的一部分与第一激励电极14a的全部重叠,第二激励电极14b的厚度 T_{e2} 大于第一激励电极14a的厚度 T_e 。

[0320] 由此,能够提高机电耦合系数 $k(\%)$ 。

[0321] 另外,在本实施方式中,第一激励电极14a例如是在制造工序中为了调整频率而被修整处理的一侧。

[0322] 由此,通过该修整处理,能够使厚度 T_e 比厚度 T_{e2} 小。因此,由于即使在成膜时不将第一激励电极14a以及第二激励电极14b设置为不同的厚度也能够使 $T_e<T_{e2}$,所以能够简化制造工序。

[0323] 另外,在本实施方式中,第二激励电极14b也可以是为了调整频率而被修整处理的一侧。

[0324] 由此,因为第二激励电极14b的面积大于第一激励电极14a的面积,所以与对第一激励电极14a进行修整处理的情况相比,能够提高基于修整处理的频率的调整效率。另外,在厚度 T_{e2} 与厚度 T_e 相比充分大的情况下,例如在 $2\times T_e\leq T_{e2}\leq 4\times T_e$ 的范围内,机电耦合系数 $k(\%)$ 的变化相对于厚度 T_{e2} 的变化较小,所以即使厚度 T_{e2} 通过修整处理变动,也能够抑制机电耦合系数 $k(\%)$ 的降低。

[0325] 另外,在本实施方式中,第一激励电极14a的外缘部71~74全部位于比第二激励电极14b的外缘部81~84靠内侧。

[0326] 由此,与第一激励电极14a的外缘部71~74的一部分与第二激励电极14b的外缘部81~84的一部分重叠构成相比,能够进一步提高机电耦合系数 $k(\%)$ 。另外,能够使机电耦

合系数 k (%)的变化相对于第二激励电极14b的厚度 Te_2 的变化小,所以在为了调整频率而对第二激励电极14b实施修整处理时,能够抑制机电耦合系数 k (%)的降低。另外,因为即使第一激励电极14a相对于第二激励电极14b发生位置偏移,也维持了第一激励电极14a的全部与第二激励电极14b重叠的状态,所以能够抑制机电耦合系数 k (%)的降低。

[0327] 另外,在本实施方式中, $Te_2/T_q=0.00001\times\rho+0.39\times Te/T_q+0.16\pm0.01$ 的关系成立。

[0328] 由此,厚度 T_q 、 Te 、 Te_2 满足上述式的条件时,机电耦合系数 k (%)最大。

[0329] 另外,在本实施方式中, $5.22\times T_q-0.45\leq dLe$ 以及 $5.22\times T_q-0.45\leq dWe$ 的至少一方的关系成立,优选两个关系成立。

[0330] 由此,能够抑制由 T_q 、 dLe 以及 dWe 的关系引起的机电耦合系数 k (%)的降低。换句话说,能够使机电耦合系数 k (%)充分地提高。

[0331] 以下,对其他的实施方式进行说明。此外,对与第一实施方式所示的构成相同或者类似的构成标记同一或者类似的附图标记,适当地省略其说明。另外,对于相同的构成所起到的相同的作用效果不依次提及。

[0332] <第二实施方式>

[0333] 接下来,参照图18以及图19对第二实施方式所涉及的晶体振动元件200的构成进行说明。

[0334] 第一激励电极214a的面积大于第二激励电极214b的面积,第一激励电极214a的长度 Le 大于第二激励电极214b的长度 Le_2 ,第一激励电极214a的长度 We 大于第二激励电极214b的长度 We_2 。第一激励电极214a的厚度 Te 大于第二激励电极214b的厚度 Te_2 。

[0335] 晶体振动元件200还具备层叠于第二激励电极214b的绝缘膜241。绝缘膜241的材质例如是 SiO_2 等氧化硅。其中,绝缘膜241的材质并不局限于此,也可以是氮化硅、氧氮化硅以及氧化铝等无机绝缘体、和聚乙烯苯酚、聚乙烯醇、醚聚合物、聚酰亚胺、丙烯酸树脂等有机绝缘体的任一个。

[0336] 如图18所示,绝缘膜241遍及振动部210的大致全域延伸。绝缘膜241的面积大于第一激励电极214a的面积以及第二激励电极214b的面积,与振动部210的面积大致相等。因此,当在俯视时,将绝缘膜241的沿X轴向的长度设为 Le_3 ,将绝缘膜241的沿Z'轴向的长度设为 We_3 时, $Le_2<Le<Le_3=Lq$ 以及 $We_2<We<We_3=Wq$ 的关系成立。在俯视时,绝缘膜241的中心与第一激励电极214a的中心以及第二激励电极214b的中心重叠。因此,第二激励电极214b的外缘部全部设置于比第一激励电极214a的外缘部靠内侧,绝缘膜241的外缘部全部设置于比第一激励电极214a的外缘部靠外侧。

[0337] 如图19所示,绝缘膜241例如层叠于第二激励电极214b的与晶体片11相反的一侧的面。当将绝缘膜241的厚度设为 Te_3 时, $Te_2<Te<Te_3$ 的关系以及 $Te<Te_2+Te_3$ 的关系成立。

[0338] 厚度 Te_3 例如被确定为规定的位置(例如,通过第一激励电极214a、第二激励电极214b以及绝缘膜241重叠的区域的中心沿Y'轴向延伸的直线上)的绝缘膜241的上表面与下表面之间的沿Y'轴向的距离。厚度 Te_3 也可以被确定为第一激励电极214a、第二激励电极214b以及绝缘膜241重叠的区域中的绝缘膜241的上表面与下表面之间的沿Y'轴向的距离的平均值、最大值或者最小值。

[0339] 此外,绝缘膜241、第一激励电极214a以及第二激励电极214b的位置、大小关系若满足以下的全部条件,则并不局限于上述的构成。第一个条件是绝缘膜241层叠于一对激励电极中的俯视时的面积较小的一方的激励电极。第二个条件是一对激励电极中的俯视时的面积较小的一方的激励电极的厚度与绝缘膜241的厚度之和大于一对激励电极中的俯视时的面积较大的一方的激励电极的厚度。第三个条件是一对激励电极中的俯视时的面积较小的一方的激励电极以及绝缘膜241构成的层叠体240的面积大于一对激励电极中的俯视时的面积较大的一方的激励电极的面积。这里,“层叠体240的面积”不仅包含一对激励电极中的俯视时的面积较小的一方的激励电极与绝缘膜241双方重叠延伸的部分的面积,还包含仅一方延伸的部分的面积。第四个条件是在俯视时,层叠体240的一部分与一对激励电极中的俯视时的面积较大的一方的激励电极的全部重叠。

[0340] 例如,图18所示的构成例也可以变形为 $Le_2 < Le < Le_3 < L_q$ 的关系成立。相同地,也可以变形为 $We_2 < We < We_3 < W_q$ 的关系成立。

[0341] 另外,例如,图18所示的构成例也可以变形为俯视时的绝缘膜241的中心相对于俯视时的第一激励电极214a以及第二激励电极214b的至少一方的中心位于X轴正方向侧、X轴负方向侧、Z'轴正方向侧或者Z'轴负方向侧。

[0342] 另外,例如,图19所示的构成例也可以变形为 $Te_2 < Te_3 \leq Te < Te_2 + Te_3$ 成立,也可以变形为 $Te_3 \leq Te_2 \leq Te < Te_2 + Te_3$ 的关系成立。相同地,也可以变形为 $Te \leq Te_2 < Te_3 < Te_2 + Te_3$ 的关系成立,也可以变形为 $Te \leq Te_3 \leq Te_2 < Te_2 + Te_3$ 的关系成立,也可以变形为 $Te < Te_3 \leq Te_2 < Te_2 + Te_3$ 的关系成立。

[0343] 另外,例如,图19所示的构成例也可以变形为绝缘膜241设置于晶体片11与第二激励电极214b之间。晶体振动元件200也可以还具备层叠于第一激励电极214a的绝缘膜。换句话说,也可以在一对激励电极中的俯视时的面积较小的一方的激励电极层叠第一绝缘膜,在一对激励电极中的俯视时的面积较大的一方的激励电极层叠第二绝缘膜。此外,从抑制机电耦合系数k的降低的观点来看,优选面积较小的一方的激励电极的厚度与第一绝缘膜的厚度之和大于面积较大的一方的激励电极的厚度与第二绝缘膜的厚度之和。

[0344] 接下来,参照图20至图24,对基于第二实施方式的模拟结果进行说明。

[0345] 图20是表示基于第二实施方式的模拟结果的图表。在图20的图表中,横轴表示 dLe 以及 dWe (μm),纵轴表示机电耦合系数k (%)。将图表的横轴 dLe 、 dWe 的值表述为“(dLe , dWe)”。图20的“ SiO_2 ”是指绝缘膜241。其他的附图也相同。

[0346] 在图20中,当 $Te_2 < Te$ 的情况下, (dLe , dWe) 大于0时,即 $Le_2 < Le$ 以及 $We < We_2$ 时,模拟条件如以下所示。

[0347] $T_q = 1.0 \mu m$

[0348] Te : 变量

[0349] Te_2 : 变量

[0350] $Te_3 = 0.12 \mu m$

[0351] $L_q = W_q = 120 \mu m$

[0352] $Le = 55 \mu m$,

[0353] $We = 50 \mu m$,

[0354] $dLe = Le - Le_2 = 2 \times dLe_1 = 2 \times dLe_2$: 变量

[0355] $dWe = We - We2 = 2 \times dWe1 = 2 \times dWe2$: 变量

[0356] $dLe = dWe$

[0357] 在图20中, 当 $Te2 < Te$ 的情况下, (dLe, dWe) 为0以下时, 即 $Le \leq Le2$ 以及 $We \leq We2$ 时, 模拟条件如以下所示。

[0358] $Tq = 1.0\mu m$

[0359] Te : 变量

[0360] $Te2$: 变量

[0361] $Te3 = 0.12\mu m$

[0362] $Lq = Wq = 120\mu m$

[0363] $Le2 = 55\mu m$

[0364] $We2 = 50\mu m$

[0365] $dLe = Le - Le2 = 2 \times dLe1 = 2 \times dLe2$: 变量

[0366] $dWe = We - We2 = 2 \times dWe1 = 2 \times dWe2$: 变量

[0367] $dLe = dWe$

[0368] 在图20中, $Te < Te2$ 的情况下的模拟条件除了 $dLe = Le2 - Le$ 并且 $dWe = We2 - We$ 以外, 与 $Te2 < Te$ 的情况下的模拟条件相同。在图20中, 记载为“有 SiO_2 ”的情况下, $Le3 = Lq$ 、 $We3 = Wq$ 。

[0369] 在 $-25\mu m \leq (dLe, dWe) \leq 25\mu m$ 的范围内的任意的 (dLe, dWe) 中, $Te < Te2$ 并且设置有绝缘膜241的情况下的机电耦合系数 $k(\%)$ 均比未设置绝缘膜241的情况下的机电耦合系数 $k(\%)$ 提高。在 $-25\mu m \leq (dLe, dWe) \leq 25\mu m$ 的范围内的任意的 (dLe, dWe) 中, $Te2 < Te$ 并且设置有绝缘膜241的情况下的机电耦合系数 $k(\%)$ 均比 $Te < Te2$ 并且设置有绝缘膜241的情况下的机电耦合系数 $k(\%)$ 进一步提高。换句话说, 在一对激励电极中的较薄的激励电极层叠绝缘膜241的情况下的机电耦合系数 $k(\%)$ 比在一对激励电极中的较厚的激励电极层叠绝缘膜241的情况下的机电耦合系数 $k(\%)$ 提高。

[0370] 在 $Te2 < Te$ 的情况下, $0 < (dLe, dWe)$ 的范围内的机电耦合系数 $k(\%)$ 比 $(dLe, dWe) \leq 0$ 的范围内的机电耦合系数 $k(\%)$ 提高。换句话说, 在 $Te2 < Te$ 的情况下, 当 $Le2 < Le$ 以及 $We2 < We$ 时机电耦合系数 $k(\%)$ 提高。另外, 在 $Te < Te2$ 的情况下, $0 < (dLe, dWe)$ 的范围内的机电耦合系数 $k(\%)$ 也比 $(dLe, dWe) \leq 0$ 的范围内的机电耦合系数 $k(\%)$ 提高。换句话说, 在 $Te < Te2$ 的情况下, 当 $Le < Le2$ 以及 $We < We2$ 时机电耦合系数 $k(\%)$ 提高。总之, 一对激励电极中的层叠绝缘膜的一方的激励电极的厚度比一对激励电极中的未层叠绝缘膜的一方的激励电极的厚度小的情况以及大的情况的任意情况中, 一对激励电极中的较厚的激励电极的面积大于较薄的激励电极的面积的情况下的机电耦合系数 $k(\%)$ 均比一对激励电极中的较厚的激励电极的面积小于较薄的激励电极的面积的情况下的机电耦合系数 $k(\%)$ 提高。

[0371] 图21是表示基于第二实施方式的模拟结果的图表。在图21的图表中, 横轴表示 dLe 以及 $dWe (\mu m)$, 纵轴表示机电耦合系数 $k(\%)$ 。将图表的横轴 dLe 、 dWe 的值表述为“ (dLe, dWe) ”。

[0372] 在图21中, 当 (dLe, dWe) 大于0时, 即 $Le2 < Le$ 以及 $We2 < We$ 时, 模拟条件如以下所示。

[0373] $Tq = 1.0\mu m$

[0374] $Te=0.10\mu m$

[0375] $Te2=0.05\mu m$

[0376] $Te3=0.12\mu m$

[0377] $Lq=Wq=120\mu m$

[0378] $Le=55\mu m$,

[0379] $We=50\mu m$,

[0380] $dLe=Le-Le2=2\times dLe1=2\times dLe2$:变量

[0381] $dWe=We-We2=2\times dWe1=2\times dWe2$:变量

[0382] $dLe=dWe$

[0383] $Le3$:变量

[0384] $We3$:变量

[0385] 在图21中,当 (dLe, dWe) 为0以下时,即 $Le\leq Le2$ 以及 $We\leq We2$ 时,模拟条件如以下所示。

[0386] $Tq=1.0\mu m$

[0387] $Te=0.10\mu m$

[0388] $Te2=0.05\mu m$

[0389] $Te3=0.12\mu m$

[0390] $Lq=Wq=120\mu m$

[0391] $Le2=55\mu m$

[0392] $We2=50\mu m$

[0393] $dLe=Le-Le2=2\times dLe1=2\times dLe2$:变量

[0394] $dWe=We-We2=2\times dWe1=2\times dWe2$:变量

[0395] $dLe=dWe$

[0396] $Le3$:变量

[0397] $We3$:变量

[0398] 图21绘制了在振动部210的下表面整体设置绝缘膜241的情况、仅在第二激励电极214b的下表面设置绝缘膜241的情况、未设置绝缘膜241的情况下的模拟结果。在振动部210的下表面整体设置绝缘膜241的情况是指 $Le3=Lq$ 并且 $We3=Wq$ 的关系成立。仅在第二激励电极214b的下表面设置绝缘膜241的情况是指 $Le3=Le2$ 并且 $We3=We2$ 的关系成立。未设置绝缘膜241的情况是指 $Le3=We3=0$ 的关系成立。

[0399] $-25\mu m\leq (dLe, dWe)\leq 25\mu m$ 的范围内的任一个 (dLe, dWe) 中,在振动部210的下表面整体设置绝缘膜241的情况下的机电耦合系数 $k(\%)$ 均比未设置绝缘膜241的情况下的机电耦合系数 $k(\%)$ 提高。但是,在 $-25\mu m\leq (dLe, dWe)\leq 25\mu m$ 的范围内的任一个 (dLe, dWe) ,仅在第二激励电极214b的下表面设置绝缘膜241的情况下的机电耦合系数 $k(\%)$ 均比未设置绝缘膜241的情况下的机电耦合系数 $k(\%)$ 降低。

[0400] 根据以上所述,示出了仅在俯视时与一对激励电极中的面积较小的一方的激励电极重叠的区域设置绝缘膜241的情况下,不能得到机电耦合系数 $k(\%)$ 的提高效果。另外,示出了在俯视时,第二激励电极214b的外缘部全部设置于比第一激励电极214a的外缘部靠内侧,绝缘膜241的外缘部全部设置于比第一激励电极214a的外缘部靠外侧的情况下,能够得

到机电耦合系数 k (%)的提高效果。

[0401] 图22是表示基于第二实施方式的模拟结果的图表。在图22的图表中,横轴表示 Te_3 (μm),纵轴表示机电耦合系数 k (%)。

[0402] 在图22中,模拟条件如以下所述。

[0403] $T_q = 1.0\mu\text{m}$

[0404] Te :变量

[0405] Te_2 :变量

[0406] Te_3 :变量

[0407] $L_q = W_q = 120\mu\text{m}$

[0408] $Le_2 = 55\mu\text{m}$

[0409] $We_2 = 50\mu\text{m}$

[0410] $Le_3 = L_q$

[0411] $We_3 = W_q$

[0412] $dLe = Le_2 - Le = 2 \times dLe_1 = 2 \times dLe_2$:变量

[0413] $dWe = We_2 - We = 2 \times dWe_1 = 2 \times dWe_2$:变量

[0414] $dLe = dWe$

[0415] 如图22所示,在 $0.06\mu\text{m} \leq Te_3 \leq 0.20\mu\text{m}$ 的范围内, $Te = 0.05\mu\text{m}$ 、 $Te_2 = 0.10\mu\text{m}$ 、 $dLe = dWe = 25\mu\text{m}$ 的情况下的机电耦合系数 k (%)比 $Te = 0.05\mu\text{m}$ 、 $Te_2 = 0.05\mu\text{m}$ 、 $dLe = dWe = 0\mu\text{m}$ 的情况下的机电耦合系数 k (%)提高。在 $Te = 0.10\mu\text{m}$ 、 $Te_2 = 0.05\mu\text{m}$ 、 $dLe = dWe = -25\mu\text{m}$ 的情况下的机电耦合系数 k (%)比 $Te = 0.05\mu\text{m}$ 、 $Te_2 = 0.10\mu\text{m}$ 、 $dLe = dWe = 25\mu\text{m}$ 的情况下的机电耦合系数 k (%)进一步提高。换句话说,在俯视时,一对激励电极中的较薄的激励电极的全部与较厚的激励电极的一部分重叠的情况下,无论绝缘膜设置于哪个激励电极侧,机电耦合系数 k (%)均提高。但是,在较薄的激励电极的一侧设置有绝缘膜的情况下,与在较厚的激励电极的一侧设置有绝缘膜的情况相比,机电耦合系数 k (%)提高。

[0416] 另外,在 $Te = 0.10\mu\text{m}$ 、 $Te_2 = 0.05\mu\text{m}$ 、 $dLe = dWe = -25\mu\text{m}$ 的情况下,相对于 Te_3 的变化的机电耦合系数 k (%)的变化较小。换句话说,在俯视时,一对激励电极中的较薄的激励电极的全部与较厚的激励电极的一部分重叠,并且,在较薄的激励电极的一侧设置有绝缘膜的情况下,机电耦合系数 k (%)相对于绝缘膜的膜厚稳定。换句话说,即使在制造工序中对于绝缘膜进行用于调整频率的修整处理,也能够抑制机电耦合系数 k (%)的降低。

[0417] 图23是表示基于第二实施方式的模拟结果的图表。在图23的图表中,横轴表示 dLe 以及 dWe (μm),纵轴表示机电耦合系数 k (%)。将图表的横轴 dLe 、 dWe 的值表述为“(dLe , dWe)”。

[0418] 在图23中,当 $Te_2 < Te$ 的情况下,(dLe , dWe)大于0时,即 $Le_2 > Le$ 以及 $We_2 > We$ 时,模拟条件如以下所述。

[0419] $T_q = 1.5\mu\text{m}$

[0420] Te :变量

[0421] Te_2 :变量

[0422] $Te_3 = 0.20\mu\text{m}$

[0423] $L_q = W_q = 120\mu\text{m}$

[0424] $Le = 70\mu\text{m}$,

[0425] $We = 70\mu\text{m}$,

[0426] $Le3 = Lq$

[0427] $We3 = Wq$

[0428] $dLe = Le - Le2 = 2 \times dLe1 = 2 \times dLe2$: 变量

[0429] $dWe = We - We2 = 2 \times dWe1 = 2 \times dWe2$: 变量

[0430] $dLe = dWe$

[0431] 在图23中, 当 $Te2 < Te$ 的情况下, (dLe, dWe) 为0以下时, 即 $Le2 \leq Le$ 以及 $We2 \leq We$ 时, 模拟条件如以下所述。

[0432] $Tq = 1.5\mu\text{m}$

[0433] Te : 变量

[0434] $Te2$: 变量

[0435] $Te3 = 0.20\mu\text{m}$

[0436] $Lq = Wq = 120\mu\text{m}$

[0437] $Le2 = 70\mu\text{m}$

[0438] $We2 = 70\mu\text{m}$

[0439] $Le3 = Lq$

[0440] $We3 = Wq$

[0441] $dLe = Le - Le2 = 2 \times dLe1 = 2 \times dLe2$: 变量

[0442] $dWe = We - We2 = 2 \times dWe1 = 2 \times dWe2$: 变量

[0443] $dLe = dWe$

[0444] 在图23中, $Te < Te2$ 的情况下的模拟条件除了 $dLe = Le2 - Le$, 并且, $dWe = We2 - We$ 以外, 与 $Te2 < Te$ 的情况下的模拟条件相同。

[0445] 图23中的绘图示出与图20中的“有SiO₂”的绘图相同的趋势。换句话说, 若一对激励电极以及绝缘膜各自的尺寸的大小关系相同, 则即使一对激励电极以及绝缘膜各自的尺寸不同, 相对于 (dLe, dWe) 的变化的机电耦合系数 $k(\%)$ 的变化也示出相同的趋势。

[0446] 图24是表示基于第二实施方式的模拟结果的图表。在图24的图表中, 横轴表示 $Te3(\mu\text{m})$, 纵轴表示机电耦合系数 $k(\%)$ 。

[0447] 在图24中, 模拟条件如以下所示。

[0448] $Tq = 1.5\mu\text{m}$

[0449] Te : 变量

[0450] $Te2 = 0.08\mu\text{m}$

[0451] $Te3$: 变量

[0452] $Lq = Wq = 120\mu\text{m}$

[0453] $Le2 = 70\mu\text{m}$

[0454] $We2 = 70\mu\text{m}$

[0455] $Le3 = Lq$

[0456] $We3 = Wq$

[0457] $dLe = Le2 - Le = 2 \times dLe1 = 2 \times dLe2$: 变量

[0458] $dWe = We2 - We = 2 \times dWe1 = 2 \times dWe2$: 变量

[0459] $dLe = dWe$

[0460] 图24中的 $Te = 0.16\mu m$ 、 $Te2 = 0.08\mu m$ 、 $dLe = dWe = -20\mu m$ 的绘图示出与图22中的 $Te = 0.10\mu m$ 、 $Te2 = 0.05\mu m$ 、 $dLe = dWe = -25\mu m$ 的绘图相同的趋势。换句话说,若一对激励电极以及绝缘膜各自的尺寸的大小关系相同,则即使一对激励电极以及绝缘膜各自的尺寸不同,相对于 $Te3$ 的变化的机电耦合系数 $k(\%)$ 的变化也示出相同的趋势。

[0461] 如以上说明那样,根据本实施方式,在俯视时,由第二激励电极214b以及绝缘膜241构成的层叠体240的面积大于第一激励电极214a,层叠体240的一部分与第一激励电极214a的全部重叠。第二激励电极214b的厚度 $Te2$ 以及绝缘膜241的厚度 $Te3$ 之和大于第一激励电极214a的厚度 Te 。

[0462] 由此,能够提高机电耦合系数 $k(\%)$ 。

[0463] 另外,在本实施方式中,绝缘膜241层叠于第二激励电极214b中的与晶体片11相反的一侧的面。

[0464] 由此,与在第一激励电极214a与第二激励电极214b之间存在绝缘膜241的构成相比,能够减小第一激励电极214a与第二激励电极214b之间的距离。由此,能够使通过压电效应振动的部分变薄,所以,能够使晶体振动元件200高频化。

[0465] 另外,在本实施方式中,第二激励电极214b的外缘部全部设置于比第一激励电极214a的外缘部靠内侧,绝缘膜241的外缘部全部设置于比第一激励电极214a的外缘部靠外侧。

[0466] 由此,能够使机电耦合系数 $k(\%)$ 的变化相对于绝缘膜241的厚度 $Te3$ 的变化较小,所以为了调整频率而对绝缘膜241实施修整处理时,能够抑制机电耦合系数 $k(\%)$ 的降低。

[0467] 另外,在本实施方式中,第二激励电极214b的厚度 $Te2$ 小于第一激励电极214a的厚度 Te 。

[0468] 由此,能够进一步提高机电耦合系数 $k(\%)$ 。

[0469] 另外,在本实施方式中, $(Te2 + Te3) / Tq = 0.00001 \times \rho' + 0.39 \times Te / Tq + 0.16 \pm 0.01$ 的关系成立。 ρ' 是第一激励电极214a、第二激励电极214b以及绝缘膜241的平均密度。当将第一激励电极214a的密度设为 $\rho1$,将第二激励电极214b的密度设为 $\rho2$,将绝缘膜241的密度设为 $\rho3$,将第一激励电极214a的与第二激励电极214b以及绝缘膜241对置的部分的体积设为 $V1$,将第二激励电极214b的与第一激励电极214a以及绝缘膜241对置的部分的体积设为 $V2$,将绝缘膜241的与第一激励电极214a以及第二激励电极214b对置的部分的体积设为 $V3$ 时,通过下式计算。

[0470] $\rho' = (\rho1 \times V1 + \rho2 \times V2 + \rho3 \times V3) / (V1 + V2 + V3)$

[0471] 由此,当厚度 Tq 、 Te 、 $Te2$ 、 $Te3$ 满足上述式的条件时,与第一实施方式相同,机电耦合系数 $k(\%)$ 最大。

[0472] 另外,在本实施方式中,第一激励电极214a以及第二激励电极214b的材质是铝,绝缘膜241的材质是氧化硅。

[0473] 由此,铝的密度与氧化硅的密度是接近的数值,所以能够简化平均密度 ρ' 的计算。另外,晶体片11与绝缘膜241的紧贴性良好,晶体片11与第二激励电极214b的紧贴性能够与第二激励电极214b与绝缘膜241的紧贴性大致同等。因此,能够抑制绝缘膜241的从晶体片

11或者第二激励电极214b的剥离、第二激励电极214b的从晶体片11的剥离。

[0474] <第三实施方式>

[0475] 接下来,参照图25至图29,对第三实施方式所涉及的晶体振动元件300的构成进行说明。

[0476] 图25是表示基于第一实施方式的模拟结果的图表。具体而言,示出考虑第二引出电极15b的影响计算出的机电耦合系数 $k(\%)$ 的模拟结果。在图25的图表中,横轴是引出电极的布线宽度 $W_{\text{wire}}(\mu\text{m})$,纵轴表示机电耦合系数 $k(\%)$ 。引出电极的布线宽度是指沿X轴向延伸的第一引出电极15a中的沿 Z' 轴向上的尺寸。

[0477] 在图25中,模拟条件如以下所述。此外,第一引出电极15a被从第一激励电极14a的X轴正方向侧的外缘部的 Z' 轴向上的中央部引出。

[0478] $T_q = 1.0\mu\text{m}$

[0479] $T_e = 0.05\mu\text{m}$

[0480] $T_{e2} = 0.05\mu\text{m}$

[0481] $L_q = W_q = 120\mu\text{m}$

[0482] $L_e = 55\mu\text{m}$

[0483] $W_e = 50\mu\text{m}$

[0484] $L_{e2} = 70\mu\text{m}$

[0485] $W_{e2} = 60\mu\text{m}$

[0486] $dL_e = L_{e2} - L_e = 2 \times dL_{e1} = 2 \times dL_{e2} = 15\mu\text{m}$

[0487] $dW_e = W_{e2} - W_e = 2 \times dW_{e1} = 2 \times dW_{e2} = 10\mu\text{m}$

[0488] W_{wire} :变量

[0489] 在 $W_{\text{wire}} = 0\mu\text{m}$ 的情况下,即,不设置第一引出电极15a而仅通过第一激励电极14a以及第二激励电极14b进行激励的模拟的情况下,第一激励电极14a与第二激励电极14b重叠的区域被激励。但是,在设定为 $0\mu\text{m} < W_{\text{wire}}$ 的情况下,第二激励电极14b与第一引出电极15a重叠的区域也被激励。因此,如图25所示, $0\mu\text{m} < W_{\text{wire}}$ 时的机电耦合系数 $k(\%)$ 比 $W_{\text{wire}} = 0\mu\text{m}$ 时的机电耦合系数 $k(\%)$ 降低。此外, $0\mu\text{m} < W_{\text{wire}}$ 的情况下, Q 值也降低。

[0490] 如图25所示,随着 W_{wire} 从 $0\mu\text{m}$ 变大,机电耦合系数 $k(\%)$ 降低,且在 $W_{\text{wire}} = 10\mu\text{m}$ 附近,机电耦合系数 $k(\%)$ 极小。随着 W_{wire} 从 $10\mu\text{m}$ 变大,机电耦合系数 $k(\%)$ 提高,且在 $W_{\text{wire}} = 40\mu\text{m}$ 附近机电耦合系数 $k(\%)$ 极大。认为在 $10\mu\text{m} < W_{\text{wire}} < 40\mu\text{m}$ 的范围内,随着 W_{wire} 的增大而机电耦合系数 $k(\%)$ 增大是因为变宽的第一引出电极15a好像第一激励电极14a的一部分一样。

[0491] 从抑制振动泄漏等观点来看,优选 W_{wire} 较小,但若 W_{wire} 较小则如图25所示那样机电耦合系数 $k(\%)$ 降低。因此,为了抑制机电耦合系数 $k(\%)$ 以及 Q 值的降低,需要在减小 W_{wire} 的基础上,抑制第一引出电极15a对第二激励电极14b的影响。第三实施方式以及第四实施方式是鉴于这样的事情完成的发明的一种方式。

[0492] 图26是第三实施方式所涉及的振动部的立体图。图27是表示第三实施方式所涉及的振动部的振动分布的图。通过明暗表示振幅的大小,亮部是振幅大的区域,暗部是振幅小的区域。此外,在图27中,省略了第二激励电极314b的图示。

[0493] 如图26所示,第三实施方式在第二激励电极314b中的与第一引出电极315a对置的

区域形成有切口部314N的点上与第一实施方式不同,上述的点以外与第一实施方式相同。第一引出电极315a从第一激励电极314a的X轴正方向侧的外缘部沿X轴正方向延伸突出,所以切口部314N设置于第二激励电极314b的X轴正方向侧的外缘部。在俯视时,切口部314N是矩形状的凹部。将切口部314N中的第二激励电极314b的外缘部与第一激励电极314a之间的沿X轴向的距离设为 L_n ,将切口部314N中的第二激励电极314b的外缘部与第一引出电极315a之间的沿Z'轴向的距离设为 W_n 。

[0494] 如图27所示,在第三实施方式中,振动的区域被限定在与第一激励电极314a重叠的区域,抑制了与第一引出电极315a重叠的区域的振动。例如,若在从第三实施方式省略第一引出电极315a以及切口部314N的构成中进行模拟则 $k=6.86\%$, $Q=8.720$,但若在对该构成追加了 $W_{wire}=10\mu m$ 的第一引出电极315a的构成中进行模拟则 $k=6.77\%$, $Q=8.540$ 。然而,若在其中进一步形成有切口部314N的第三实施方式所涉及的构成中进行模拟,则 $k=6.82\%$, $Q=8.730$ 。换句话说,通过形成切口部314N,抑制了第一引出电极315a对第二激励电极314b的影响,抑制了机电耦合系数 $k(\%)$ 以及 Q 值的降低。

[0495] 如以上说明所述,根据本实施方式,在第二激励电极314b中的与第一引出电极315a对置的区域形成有切口部314N。

[0496] 由此,抑制了第一引出电极315a对第二激励电极314b的影响,抑制了机电耦合系数 $k(\%)$ 以及 Q 值的降低。

[0497] 此外,第三实施方式是在第一实施方式中的一对激励电极中面积较大的激励电极的与引出电极对置的区域形成有切口部的构成,但也可以在第二实施方式中的绝缘膜的与引出电极对置的区域形成有切口部。在这样的构成中,也能够得到与第三实施方式相同的效果。但是,因为绝缘膜比激励电极的材料轻,所以第二实施方式中的第一激励电极与第二激励电极对置的区域中的振动封闭性良好。因此,第二实施方式中的由引出电极的影响引起的机电耦合系数 $k(\%)$ 以及 Q 值的降低不像第一实施方式中的由引出电极的影响引起的机电耦合系数 $k(\%)$ 以及 Q 值的降低那么大。因此,有即使在第二实施方式的绝缘膜形成切口部,也得不到如在第一实施方式形成切口部时的程度的效果的情况。

[0498] 接下来,参照图28以及图29,图28以及图29是表示基于第三实施方式的模拟结果的图表。在图28以及图29的图表中,横轴表示 $W_n(\mu m)$,纵轴表示机电耦合系数 $k(\%)$ 。

[0499] 在图28以及图29中,模拟条件如以下所述。图28示出 $W_{wire}=10\mu m$ 时的模拟结果,图29示出 $W_{wire}=20\mu m$ 时的模拟结果。

[0500] $T_q=1.0\mu m$

[0501] $T_e=0.05\mu m$

[0502] $T_{e2}=0.05\mu m$

[0503] $L_q=W_q=120\mu m$

[0504] $L_e=55\mu m$

[0505] $W_e=50\mu m$

[0506] $L_{e2}=70\mu m$

[0507] $W_{e2}=60\mu m$

[0508] $dL_e=L_{e2}-L_e=2\times dL_{e1}=2\times dL_{e2}=15\mu m$

[0509] $dW_e=W_{e2}-W_e=2\times dW_{e1}=2\times dW_{e2}=10\mu m$

[0510] Ln:变量

[0511] Wn:变量

[0512] 如图28以及图29所示,优选Ln以及Wn为 $2\mu\text{m}$ 以上 $6\mu\text{m}$ 以下。由此,能够不管Wwire的大小,都抑制机电耦合系数k(%)的降低。

[0513] <第四实施方式>

[0514] 接下来,参照图30以及图31,对第四实施方式所涉及的晶体振动元件400的构成进行说明。图30是第四实施方式所涉及的振动部的立体图。图31是表示第四实施方式所涉及的振动部的振动分布的图。通过明暗表示振幅的大小,亮部是振幅大的区域,暗部是振幅小的区域。此外,在图31中,省略了第二激励电极414b的图示。

[0515] 如图30所示,第四实施方式在俯视时第二激励电极414b的中心相对于第一激励电极414a的中心位于X轴负方向侧的点上与第一实施方式不同,上述的点以外与第一实施方式相同。第一引出电极315a从第一激励电极314a的X轴正方向侧的外缘部向X轴正方向延伸突出,所以第二激励电极414b的中心相对于第一激励电极414a的中心,位于与第一引出电极415a分离的方向。换句话说,在俯视时,一对激励电极中的面积较大的激励电极的中心相对于一对激励电极中的面积较小的激励电极的中心,向远离与面积较小的激励电极电连接的引出电极的方向偏移。

[0516] 将第一激励电极414a的X轴负方向侧的外缘部471与第二激励电极414b的X轴负方向侧的外缘部481之间的沿X轴向的间隔设为G1。将第一激励电极414a的X轴正方向侧的外缘部472与第二激励电极414b的X轴正方向侧的外缘部481之间的沿X轴向的间隔设为G2。在晶体振动元件400中, $0 \leq G2 < G1$ 的关系成立。

[0517] 如图31所示,在第四实施方式中,振动的区域被限定为与第一激励电极414a重叠的区域,抑制了与第一引出电极415a重叠的区域的振动。例如,若在从第四实施方式省略第一引出电极415a并且 $G1 = G2$ 的构成中进行模拟则 $k = 6.86\%$, $Q = 8,720$,但若在对该构成追加了 $W_{\text{wire}} = 10\mu\text{m}$ 的第一引出电极415a的构成中进行模拟则 $k = 6.77\%$, $Q = 8,540$ 。然而,若在从此进一步变形为 $G1 = 0\mu\text{m}$ 的第四实施方式的构成中进行模拟,则 $k = 6.84\%$, $Q = 8,770$ 。换句话说,通过 $0\mu\text{m} \leq G1 < G2$,从而抑制了第一引出电极415a对第二激励电极414b的影响,抑制了机电耦合系数k(%)以及Q值的降低。

[0518] 如以上说明,根据本实施方式,第二激励电极414b的中心相对于第一激励电极414a的中心,向与第一引出电极415a分离的方向偏移, $0 \leq G2 < G1$ 的关系成立。

[0519] 由此,抑制了第一引出电极415a的对第二激励电极414b的影响,抑制了机电耦合系数k(%)以及Q值的降低。

[0520] <第五实施方式>

[0521] 接下来,参照图32对第五实施方式所涉及的晶体振动元件500的构成进行说明。图32是第五实施方式所涉及的振动部的剖视图。

[0522] 第五实施方式在还具备质量附加膜542的点上与第一实施方式不同,上述的点以外与第一实施方式相同。质量附加膜542设置于第一激励电极14a中的与晶体片11相反的一侧的面。在俯视时,质量附加膜542在比第一激励电极14a的中央部靠外侧,沿着第一激励电极14a的外缘部设置。另外,在俯视时,质量附加膜542设置于与第一激励电极14a的外缘部重叠的区域、或者比第一激励电极14a的外缘部靠内侧的区域。质量附加膜542的材质是电

导体,例如与第一激励电极14a的材质相同。

[0523] 此外,质量附加膜542的位置以及材质不限于上述。质量附加膜542也可以设置于第一激励电极14a与晶体片11之间、第二激励电极14b中的与晶体片11相反的一侧的面、以及第二激励电极14b与晶体片11之间的任意位置。质量附加膜542的材质也可以是与第一激励电极14a不同的金属。

[0524] 质量附加膜542由于质量附加效果使音速降低。因此,设置有质量附加膜542的区域的音速小于未设置质量附加膜542的区域的音速。换句话说,在俯视时,第一激励电极14a与第二激励电极14b对置的区域具有设置于中央部的高音速区域517和设置于高音速区域517的外侧的低音速区域518。低音速区域518设置为例如在周方向上连续的框状,但也可以设置为在周方向上非连续的框状。例如,低音速区域518也可以设置为从外缘部71遍及外缘部72延伸的带状、或者从外缘部73遍及外缘部74延伸的带状。

[0525] 由此,能够抑制杂散模式的机电耦合系数 $k(\%)$,使主模式的机电耦合系数 $k(\%)$ 提高。

[0526] 此外,在本实施方式中,在将质量附加膜542视为第一激励电极14a的一部分的情况下,厚度 T_e 是由质量附加膜542以及第一激励电极14a构成的层叠体的平均厚度。

[0527] <第六实施方式>

[0528] 接下来,参照图33,对第六实施方式所涉及的晶体振动元件600的构成进行说明。图33是第六实施方式所涉及的振动部的剖视图。

[0529] 第六实施方式在第一激励电极614a的俯视时的中央部形成有多个孔部H的点上与第一实施方式不同,上述的点以外与第一实施方式相同。

[0530] 孔部H在Y'轴向上贯穿第一激励电极614a。多个孔部H由于质量减少效果使音速上升。因此,形成有多个孔部H的区域的音速大于未形成多个孔部H的区域的音速。换句话说,在俯视时,第一激励电极14a与第二激励电极14b对置的区域具有设置于中央部的高音速区域617和设置于高音速区域617的外侧的低音速区域618。

[0531] 由此,能够抑制杂散模式的机电耦合系数 $k(\%)$,使主模式的机电耦合系数 $k(\%)$ 提高。

[0532] 在本实施方式中,俯视时的第一激励电极614a的面积是被第一激励电极614a的外缘部围起的区域的面积,多个孔部H的内部也作为第一激励电极614a的面积的一部分来计算。当将低音速区域618中的第一激励电极614a的厚度设为 T_{e1} ,将多个孔部H的开口率设为 Har 时,厚度 T_e 通过下式计算。

[0533] $T_e = T_{e1} \times (1 - Har)$

[0534] 为了使高音速区域617中的孔部H的内部作为第一激励电极614a的一部分发挥功能,而优选在将孔部H的内径设为 H_r 时, $0 < H_r/T_q \leq 2.0$ 的关系成立。此时,由于孔部H所引起的静电电容的降低率被抑制为1%以下,所以孔部H的内部也能够充分地作为激励电极发挥功能。另外,进一步优选 $0 < H_r/T_q \leq 1.5$ 的关系成立,进一步优选 $0 < H_r/T_q \leq 1.0$ 的关系成立。若是 $0 < H_r/T_q \leq 1.5$,则能够将静电电容的降低率抑制为0.5%以下,若是 $0 < H_r/T_q \leq 1.0$,则能够将静电电容的降低率抑制为0.1%以下。此外,为了以足够的加工精度形成孔部H,而优选 $0.1 \leq H_r/T_q$,进一步优选 $0.5 \leq H_r/T_q$ 。

[0535] 此外,孔部H也可以形成于第二激励电极,也可以形成于第一激励电极以及第二激

励电极双方。

[0536] <第七实施方式>

[0537] 接下来,参照图34,对第七实施方式所涉及的晶体振动元件700的构成进行说明。图34是第七实施方式所涉及的振动部的剖视图。

[0538] 第七实施方式在还具备质量附加膜542的点上与第二实施方式不同,上述的点以外与第二实施方式相同。换句话说,在俯视时,第一激励电极214a与第二激励电极214b对置的区域具有设置于中央部的高音速区域717和设置于高音速区域717的外侧的低音速区域718。质量附加膜542从与第二激励电极214b的外缘部重叠的区域遍及其内侧设置。因此,在俯视时,低音速区域718位于比第一激励电极214a的外缘部靠内侧。

[0539] 由此,能够抑制杂散模式的机电耦合系数k(%),使主模式的机电耦合系数k(%)提高。

[0540] <第八实施方式>

[0541] 接下来,参照图35,对第八实施方式所涉及的晶体振动元件800的构成进行说明。图35是第八实施方式所涉及的振动部的剖视图。

[0542] 第八实施方式在第一激励电极814a的俯视时的中央部形成有多个孔部H的点上与第二实施方式不同,上述的点以外与第二实施方式相同。

[0543] 由此,能够抑制杂散模式的机电耦合系数k(%),提高主模式的机电耦合系数k(%)。

[0544] 以下,对本发明的实施方式的一部或者全部进行附记。此外,本发明并不局限于以下的附记。

[0545] <1>

[0546] 一种压电振动元件,具备:

[0547] 压电片,具有第一主面以及与第一主面对置的第二主面;

[0548] 第一激励电极,设置于第一主面;以及

[0549] 第二激励电极,设置于第二主面;

[0550] 在第一主面与第二主面相互对置的对置方向上的俯视时,第二激励电极的面积大于第一激励电极的面积,并且,第二激励电极的一部分与第一激励电极的全部重叠,

[0551] 沿着对置方向的第二激励电极的厚度大于沿着对置方向的第一激励电极的厚度。

[0552] <2>

[0553] 根据<1>所述的压电振动元件,其中,

[0554] 在对置方向上的俯视时,第一激励电极的外缘部全部位于比第二激励电极的外缘部靠内侧。

[0555] <3>

[0556] 根据<1>或者<2>所述的压电振动元件,其中,

[0557] 将沿着对置方向的第一激励电极的厚度设为 $T_e(\mu\text{m})$,将沿着对置方向的第二激励电极的厚度设为 $T_{e2}(\mu\text{m})$,将沿着对置方向的压电片的厚度设为 $T_q(\mu\text{m})$,

[0558] 将第一激励电极以及第二激励电极的平均密度设为 $\rho(\text{kg/m}^3)$ 时,以下的关系成立:

[0559] $T_{e2}/T_q = 0.00001 \times \rho + 0.39 \times T_e/T_q + 0.16 \pm 0.01$ 。

[0560] <4>

[0561] 一种压电振动元件,具备:

[0562] 压电片,具有第一主面以及与第一主面对置的第二主面;

[0563] 第一激励电极,设置于第一主面;

[0564] 第二激励电极,设置于第二主面;以及

[0565] 绝缘膜,层叠于第二激励电极,

[0566] 在第一主面与第二主面相互对置的对置方向上的俯视时,由第二激励电极以及绝缘膜构成的层叠体的面积大于第一激励电极的面积,并且,层叠体的一部分与第一激励电极的全部重叠,

[0567] 沿着对置方向的第二激励电极的厚度以及绝缘膜的厚度之和大于沿着对置方向的第一激励电极的厚度。

[0568] <5>

[0569] 根据<4>所述的压电振动元件,其中,

[0570] 绝缘膜层叠于第二激励电极中的与压电片相反的一侧的面。

[0571] <6>

[0572] 根据<4>或者<5>所述的压电振动元件,其中,

[0573] 在对置方向上的俯视时,

[0574] 第二激励电极的外缘部全部设置于比第一激励电极的外缘部靠内侧,

[0575] 绝缘膜的外缘部全部设置于比第一激励电极的外缘部靠外侧。

[0576] <7>

[0577] 根据<4>~<6>的任一项所述的压电振动元件,其中,

[0578] 沿着对置方向的第二激励电极的厚度小于沿着对置方向的第一激励电极的厚度。

[0579] <8>

[0580] 根据<4>~<7>的任一项所述的压电振动元件,其中,

[0581] 当将沿着对置方向的第一激励电极的厚度设为 $T_e(\mu\text{m})$,将沿着对置方向的第二激励电极的厚度设为 $T_{e2}(\mu\text{m})$,将沿着对置方向的绝缘膜的厚度设为 $T_{e3}(\mu\text{m})$,将沿着对置方向的压电片的厚度设为 $T_q(\mu\text{m})$,

[0582] 将第一激励电极、第二激励电极以及绝缘膜的平均密度设为 ρ' (kg/m^3)时,以下的关系成立:

[0583] $(T_{e2}+T_{e3})/T_q=0.00001\times\rho'+0.39\times T_e/T_q+0.16\pm0.01$ 。

[0584] <9>

[0585] 根据<8>所述的压电振动元件,其中,

[0586] 第一激励电极以及第二激励电极的材质是铝,

[0587] 绝缘膜的材质是氧化硅。

[0588] <10>

[0589] 根据<1>~<9>的任一项所述的压电振动元件,其中,还具备:

[0590] 第一引出电极,设置于第一主面,且与第一激励电极电连接;以及

[0591] 第二引出电极,设置于第二主面,且与第二激励电极电连接,

[0592] 在第一激励电极以及第二激励电极中的对置方向上的俯视时面积大的一方的激

励电极,在与第一引出电极以及第二引出电极中的与对置方向上的俯视时面积小的一方的激励电极电连接的一方的引出电极对置的区域形成有切口部。

[0593] <11>

[0594] 根据<1>~<10>的任一项所述的压电振动元件,其中,还具备:

[0595] 第一引出电极,设置于第一主面,且与第一激励电极电连接;以及

[0596] 第二引出电极,设置于第二主面,且与第二激励电极电连接,

[0597] 第一激励电极以及第二激励电极中的对置方向上的俯视时面积大的一方的激励电极的中心相对于对置方向上的俯视时面积小的一方的激励电极的中心,向与第一引出电极以及第二引出电极中的与面积小的一方的激励电极电连接的一方的引出电极分离的方向偏移。

[0598] <12>

[0599] 根据<1>~<11>的任一项所述的压电振动元件,其中,

[0600] 在对置方向上的俯视时,第一激励电极与第二激励电极对置的区域具有设置于中央部的高音速区域、和设置于高音速区域的外侧的低音速区域。

[0601] <13>

[0602] 根据<1>~<12>的任一项所述的压电振动元件,其中,

[0603] 在对置方向上的俯视时,第一激励电极以及第二激励电极被设置为彼此的相互重叠的矩形状,具有沿第一方向延伸的相互平行的边和沿与第一方向交叉的第二方向延伸的相互平行的边,

[0604] 当将在对置方向上的俯视时,第一激励电极以及第二激励电极的某一方向上相邻的边彼此之间的距离设为 D_e (μm),

[0605] 将沿着对置方向的压电片的厚度设为 T_q (μm)时,以下的关系成立:

[0606] $5.22 \times T_q - 0.45 \leq D_e$ 。

[0607] <14>

[0608] 根据<1>~<13>的任一项所述的压电振动元件,其中,

[0609] 主要的振动模式是厚度切变振动。

[0610] <15>

[0611] 根据<1>~<14>的任一项所述的压电振动元件,其中,

[0612] 压电片是晶体片。

[0613] <16>

[0614] 根据<15>所述的压电振动元件,其中,

[0615] 晶体片的切割角是AT切割、BT切割或者ST切割。

[0616] 此外,在本说明书中,举出具备晶体片(Quartz Crystal Element:石英晶体元件)作为压电片(Piezoelectric Element:压电元件)的晶体振动元件(Quartz Crystal Resonator:石英晶体谐振器)为例进行了说明,但压电振动元件(Piezoelectric Resonator:压电谐振器)并不局限于此。作为适合用于本实施方式所涉及的压电振子的压电片,例如能够举出锆钛酸铅(PZT)、氮化铝等压电陶瓷、铌酸锂、钽酸锂等压电单晶,但并不局限于这些能够适当地选择。

[0617] 本发明所涉及的实施方式若是计时设备、发音器、振荡器、载荷传感器等通过压电

效应进行机电能量转换的设备,则并不特别限定能够适当地应用。

[0618] 如以上说明那样,根据本发明的一种方式,能够提供能够实现机电耦合系数的提高的压电振动元件。

[0619] 此外,以上说明的实施方式是用于容易理解本发明的内容,并不是用于解释为限定本发明的内容。本发明可以不脱离其主旨进行变更/改进,并且本发明也包含有其等同物。即,本领域技术人员对于实施方式以及/或者变形例适当地实施设计变更所得的方案只要具备本发明的特征,则包含于本发明的范围。例如,实施方式以及/或者变形例具备的各要素以及其配置、材料、条件、形状、尺寸等并不局限于例示的内容能够适当地变更。另外,实施方式以及变形例是例示,当然能够进行不同的实施方式以及/或者变形例所示的构成的部分的置换或者组合,只要这些包含本发明的特征则包含于本发明的范围。

[0620] 附图标记说明

[0621] 1…晶体振子;10…晶体振动元件;11…晶体片;11A…上表面;11B…下表面;14a…第一激励电极;14b…第二激励电极;15a…第一引出电极;15b…第二引出电极;16a…第一连接电极;16b…第二连接电极;Lq…晶体片的沿X轴向的长度;Wq…晶体片的沿Z'轴向的长度;Tq…晶体片的厚度;Le…第一激励电极的沿X轴向的长度;We…第一激励电极的沿Z'轴向的长度;Te…第一激励电极的厚度;Le2…第二激励电极的沿X轴向的长度;We2…第二激励电极的沿Z'轴向的长度;Te2…第二激励电极的厚度。

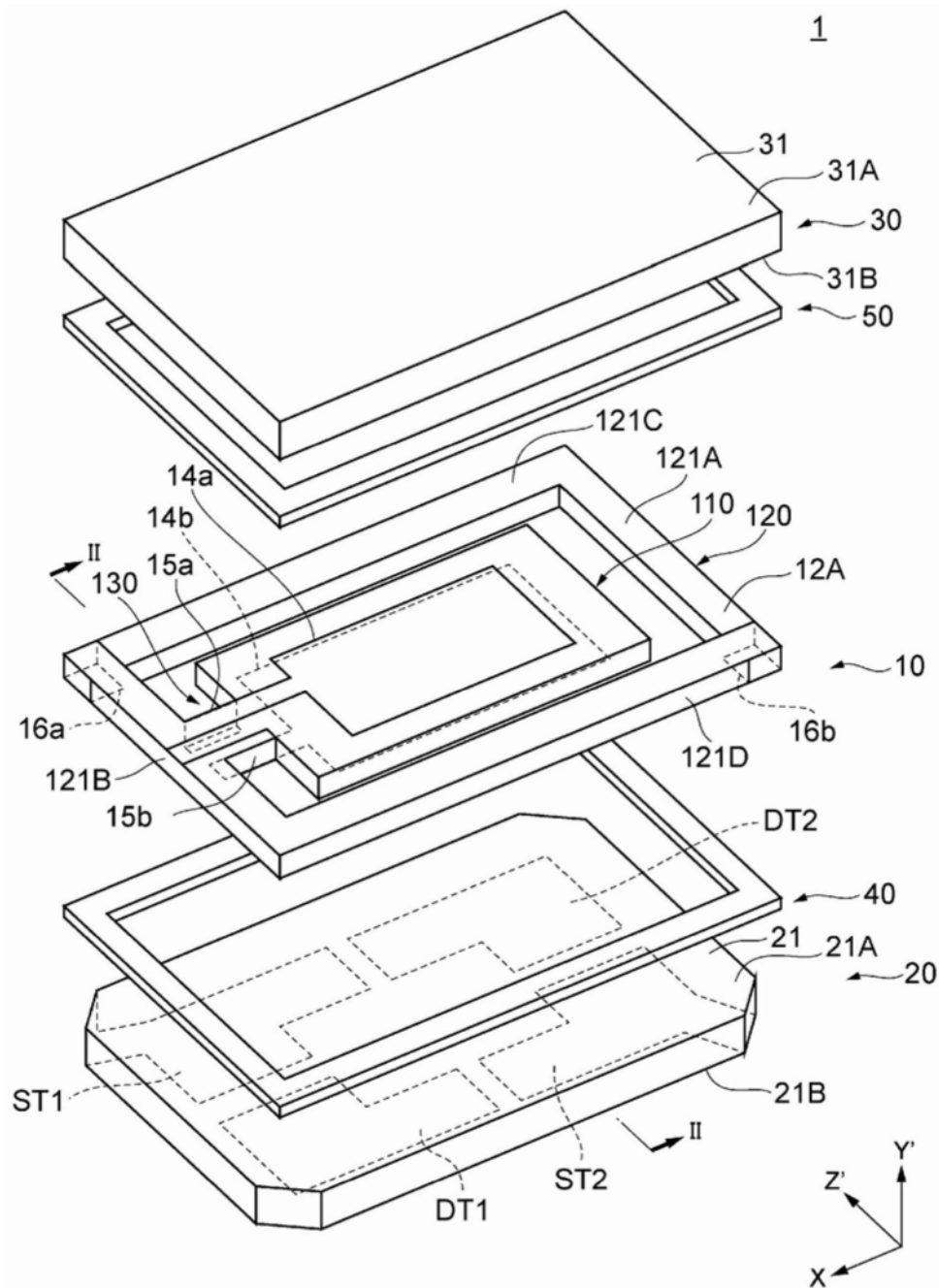


图1

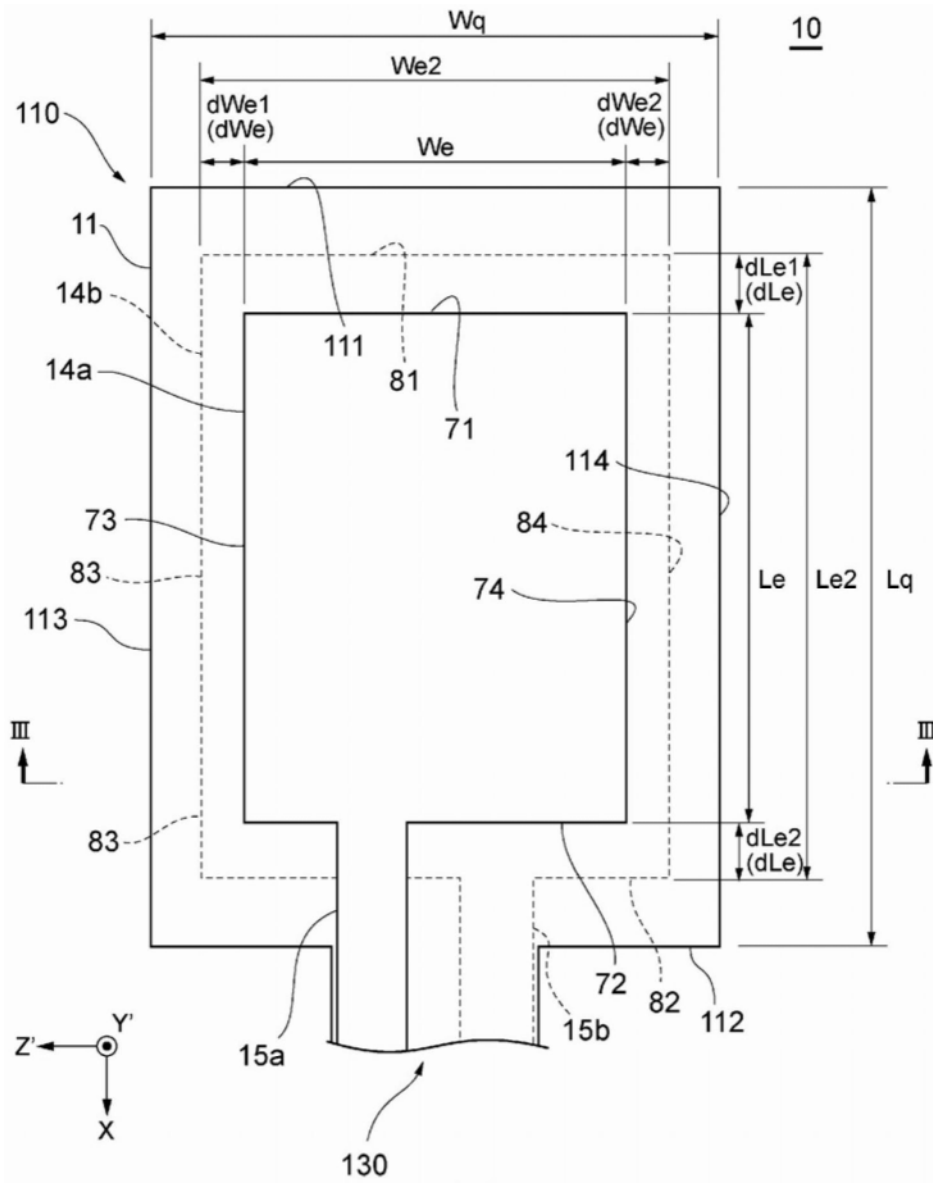


图2

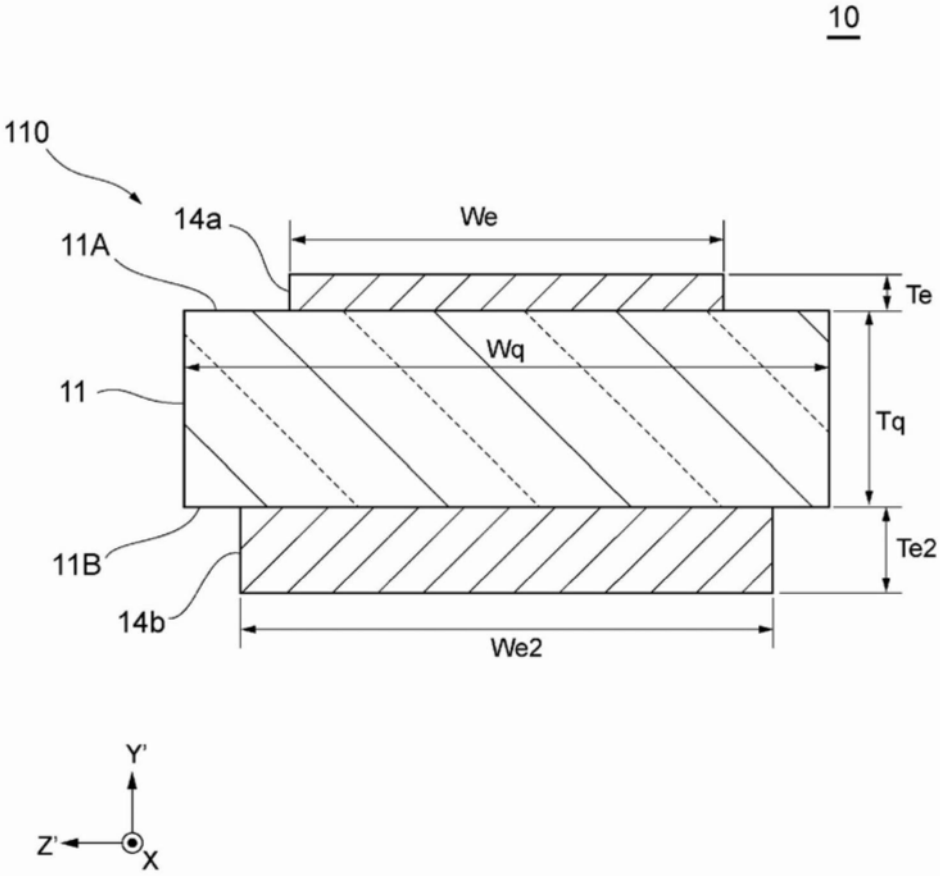


图3

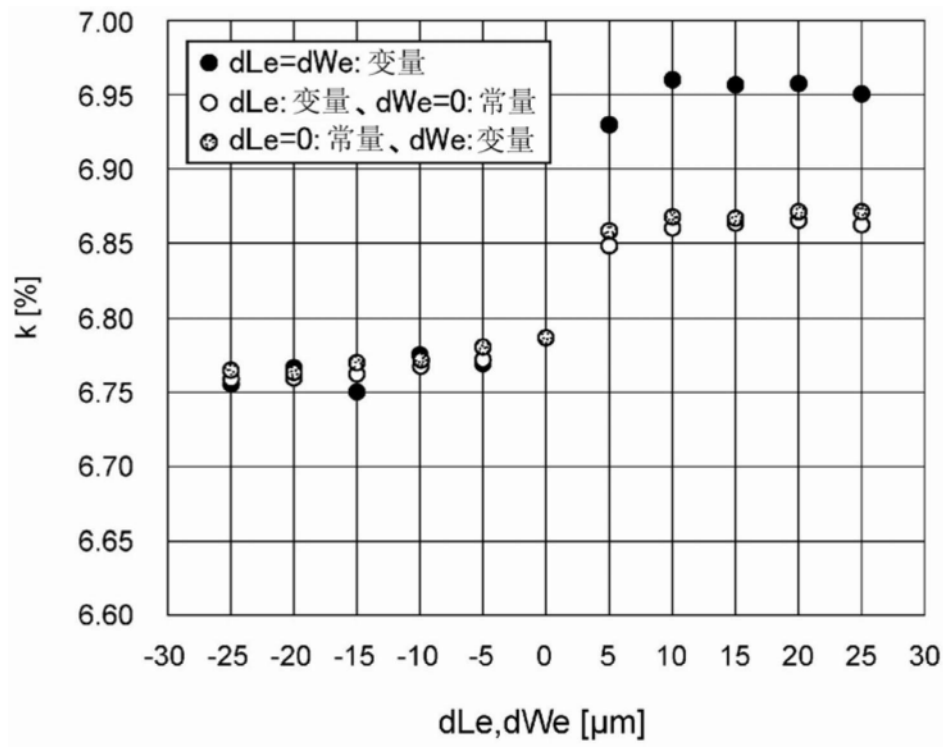


图4

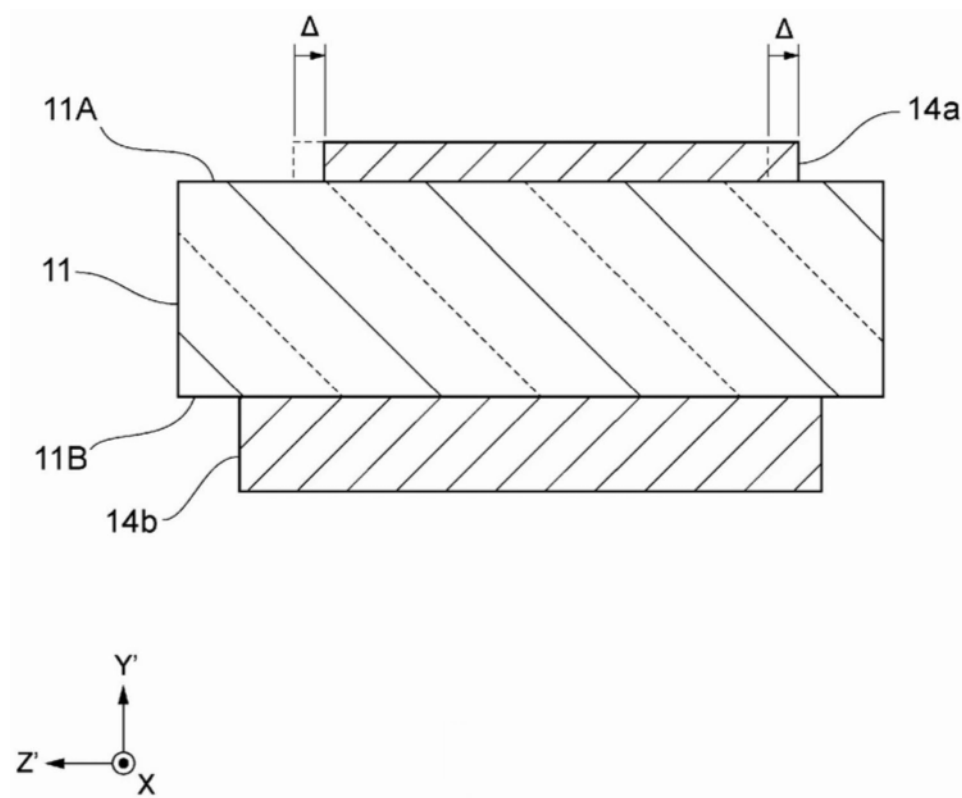


图5

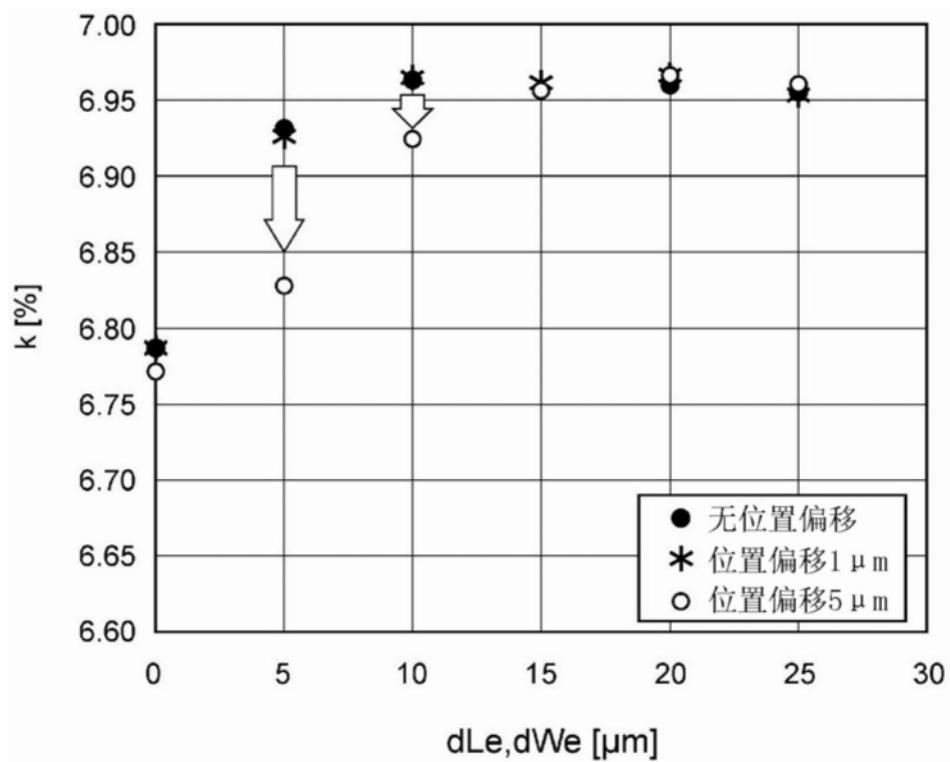


图6

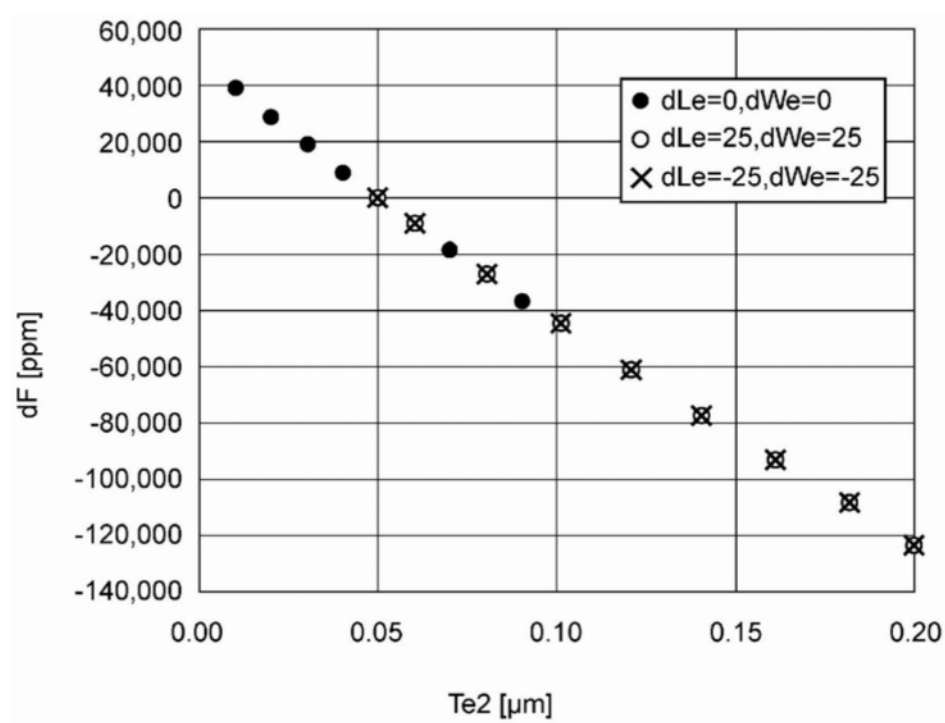


图7

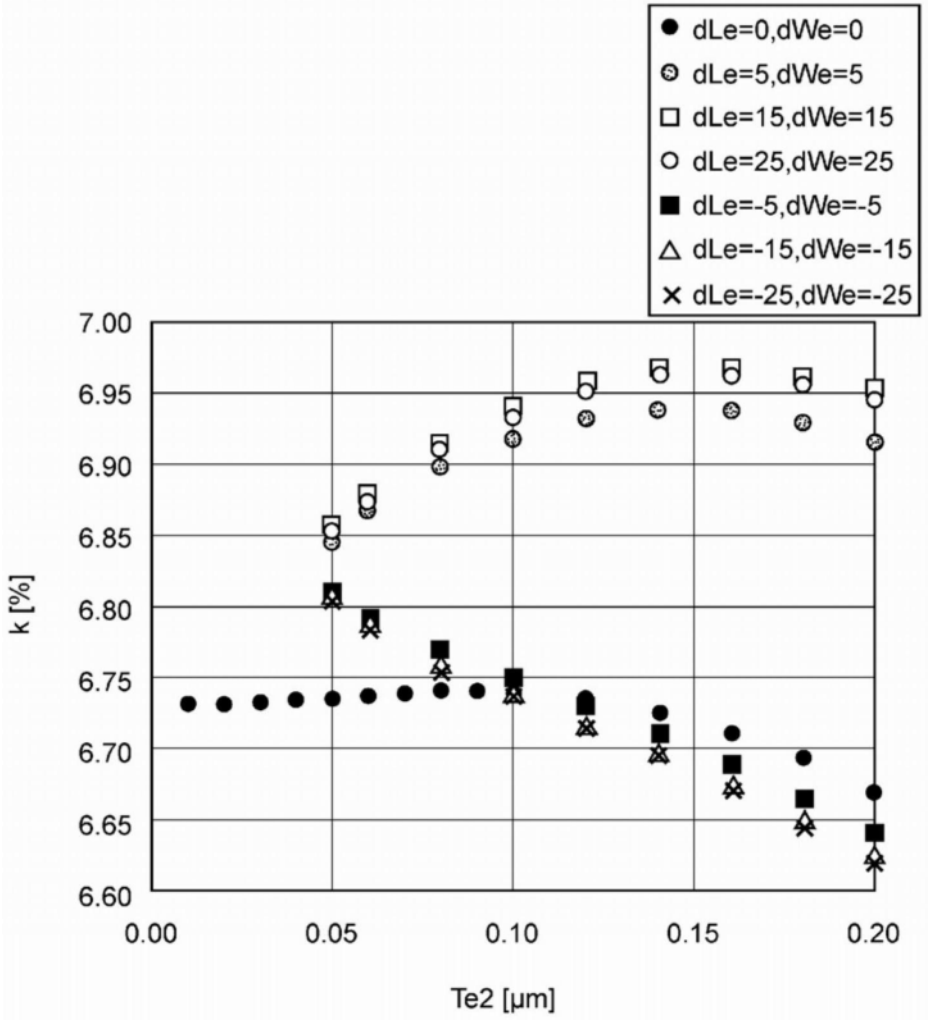


图8

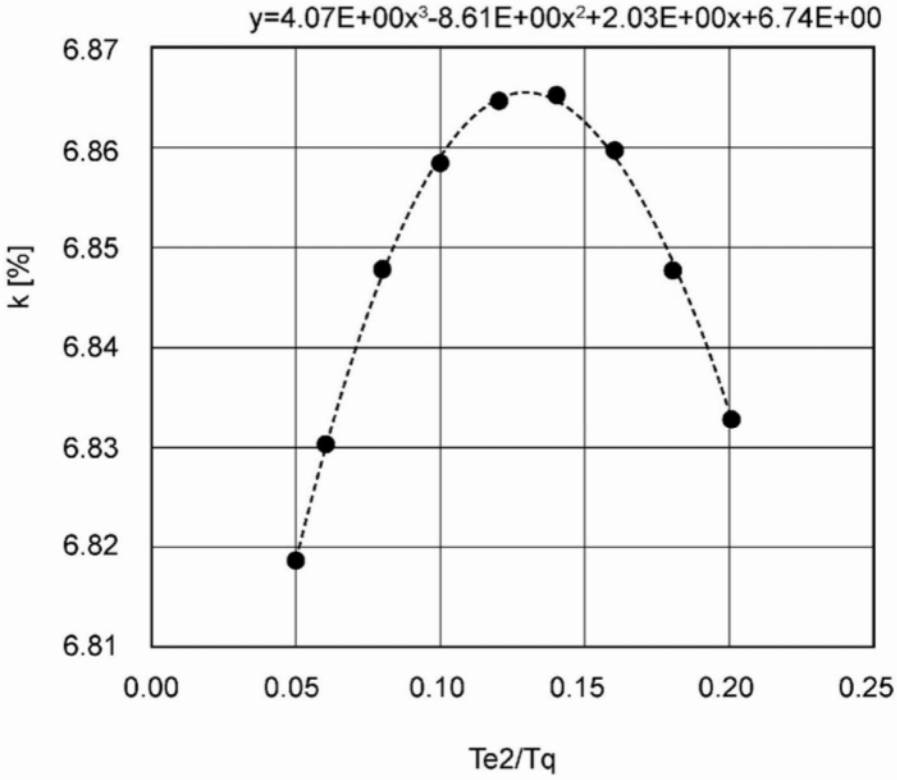


图9

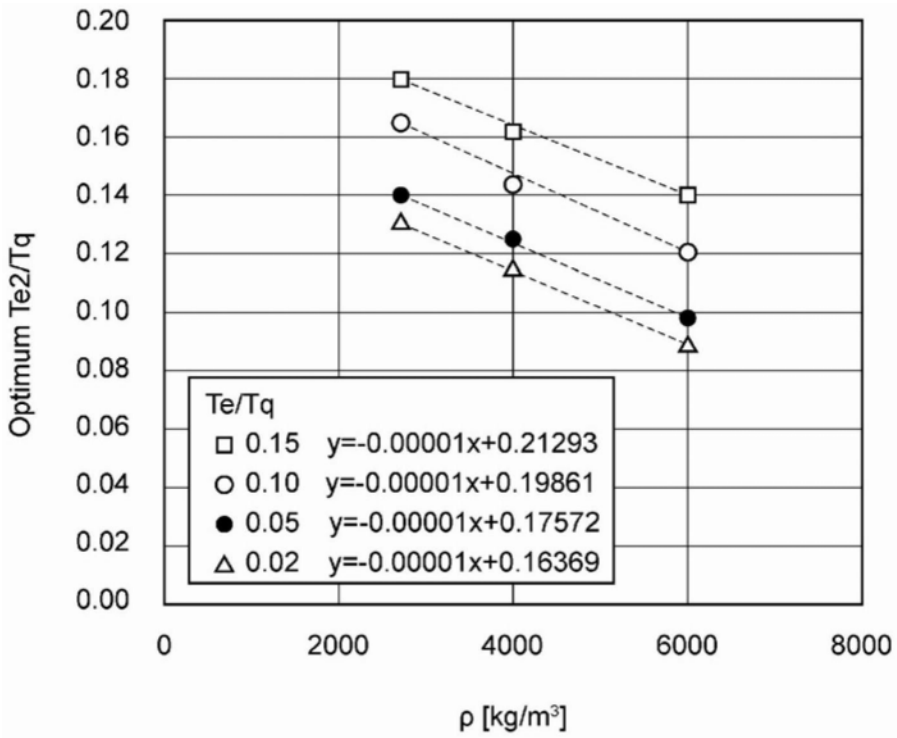


图10

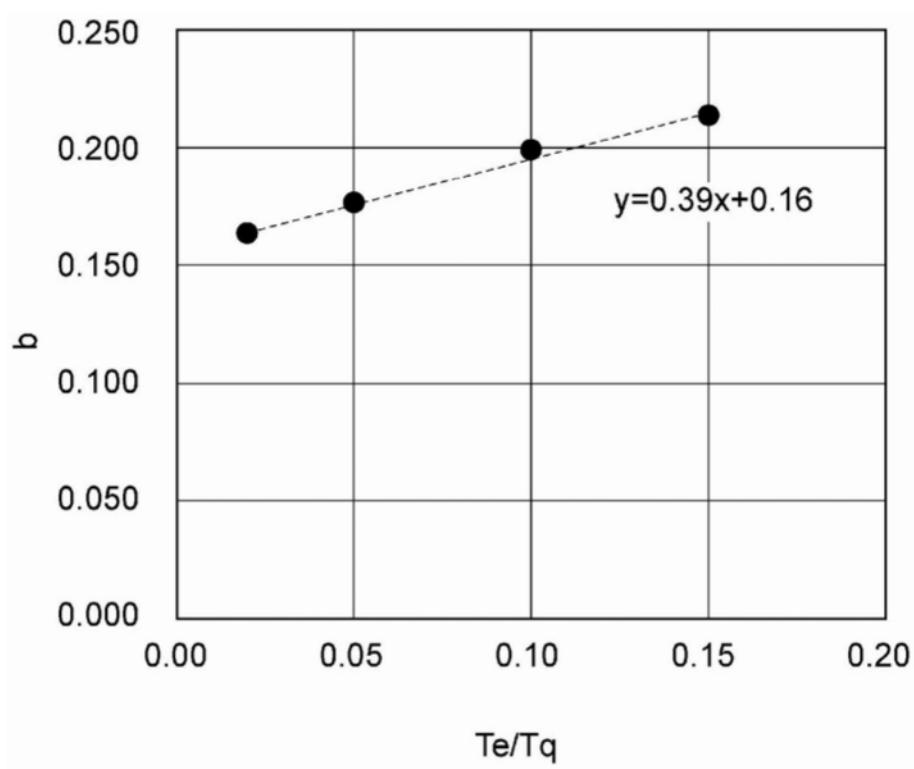


图11

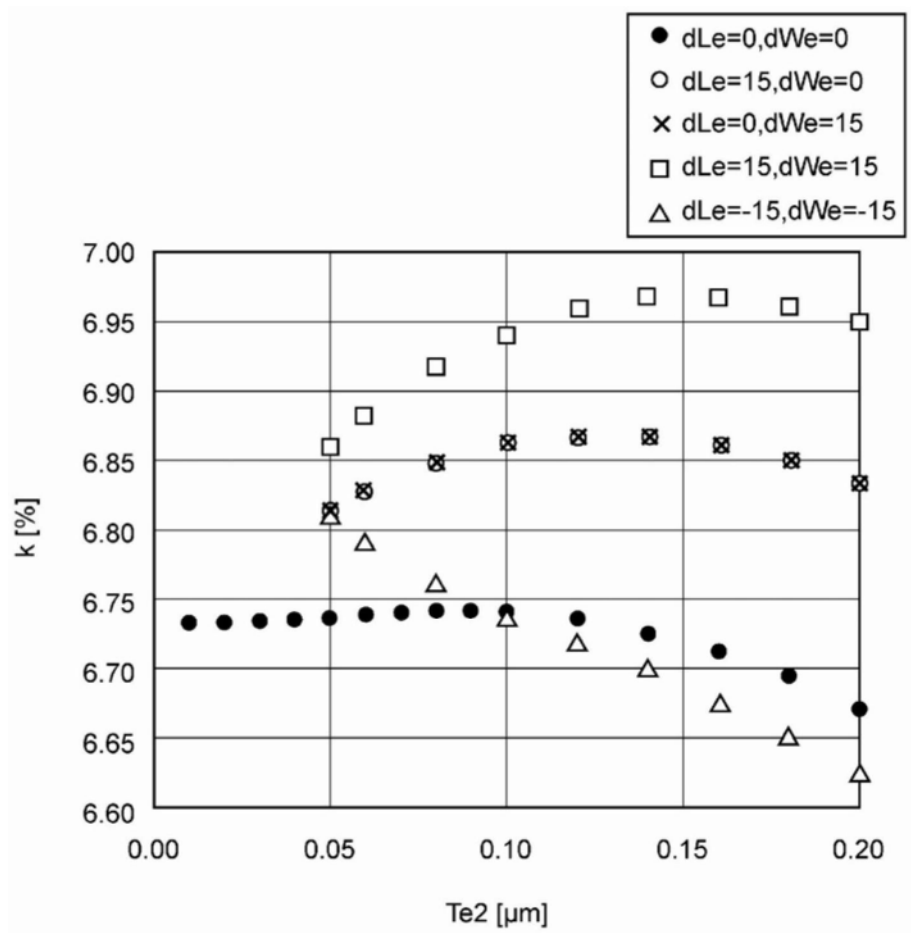


图12

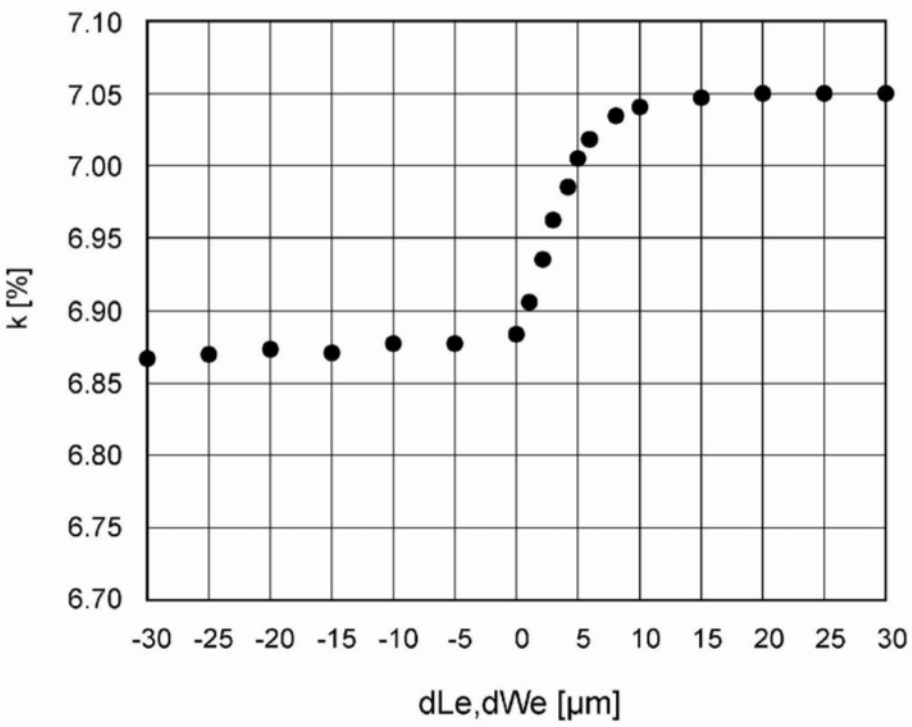


图13

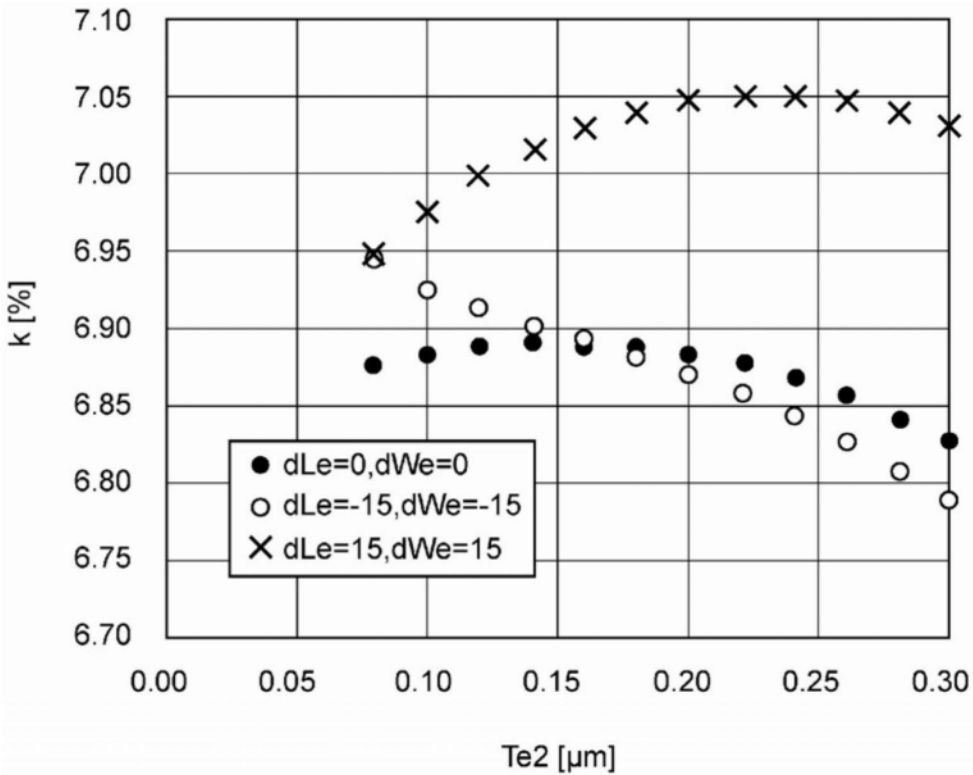


图14

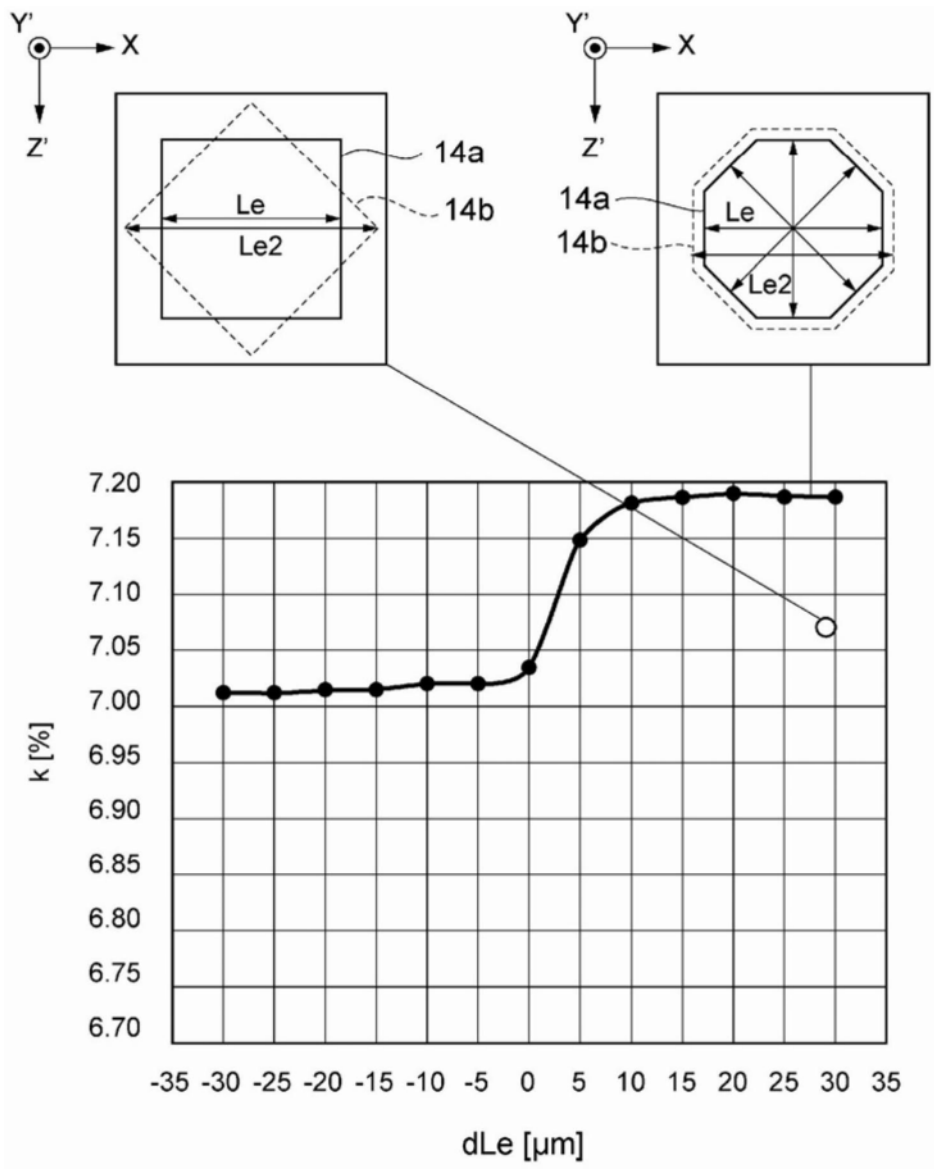


图15

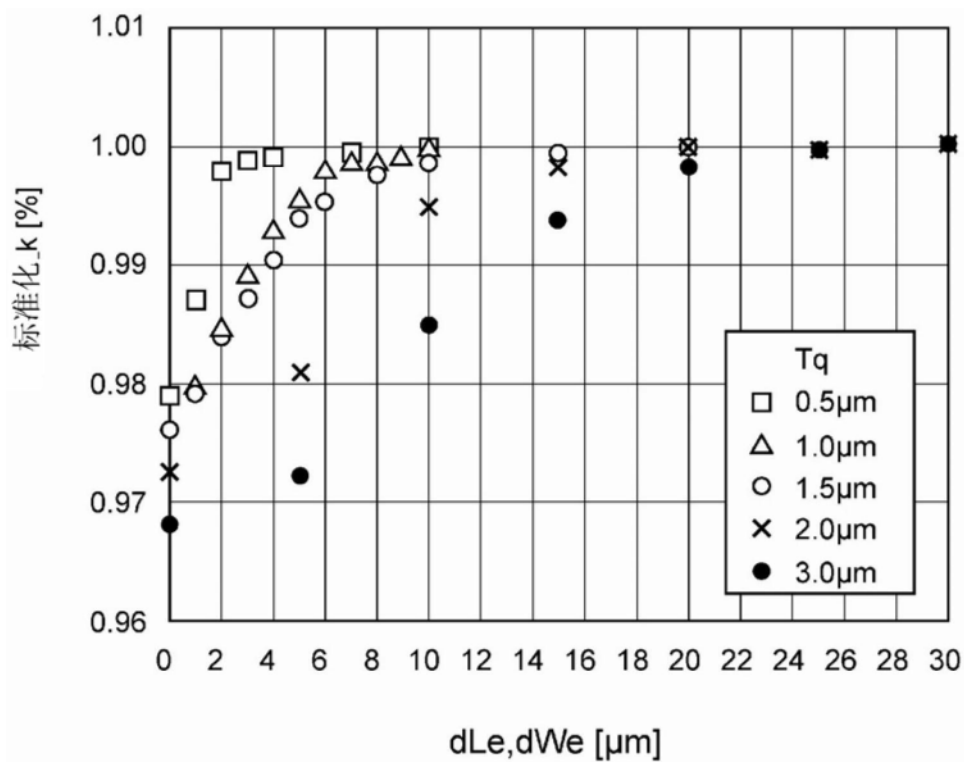


图16

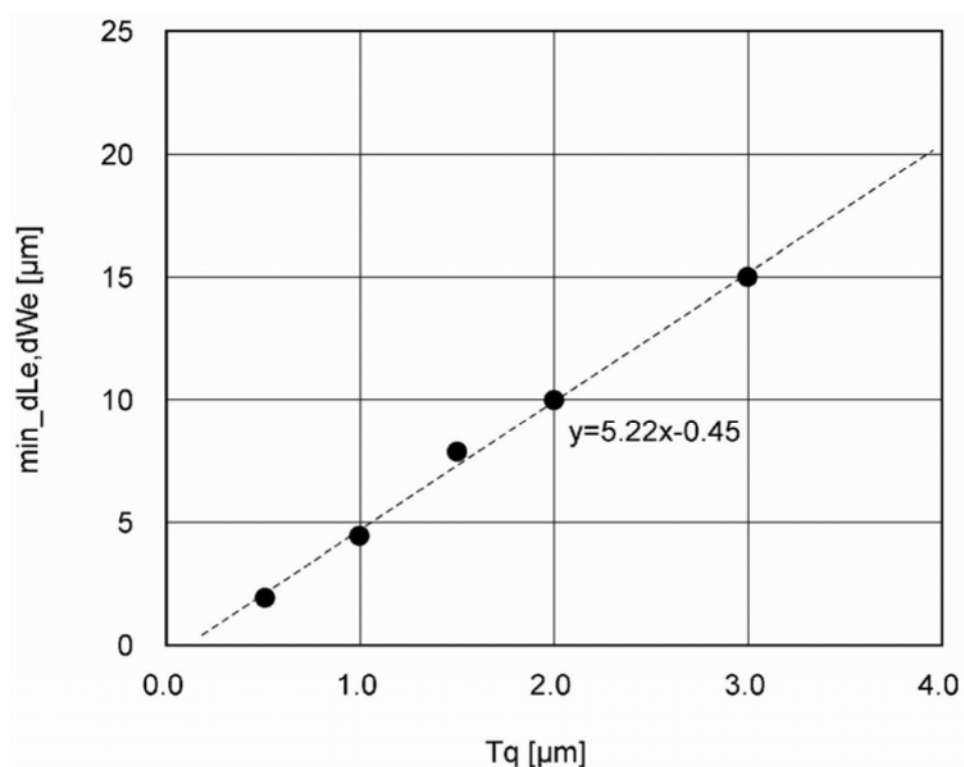


图17

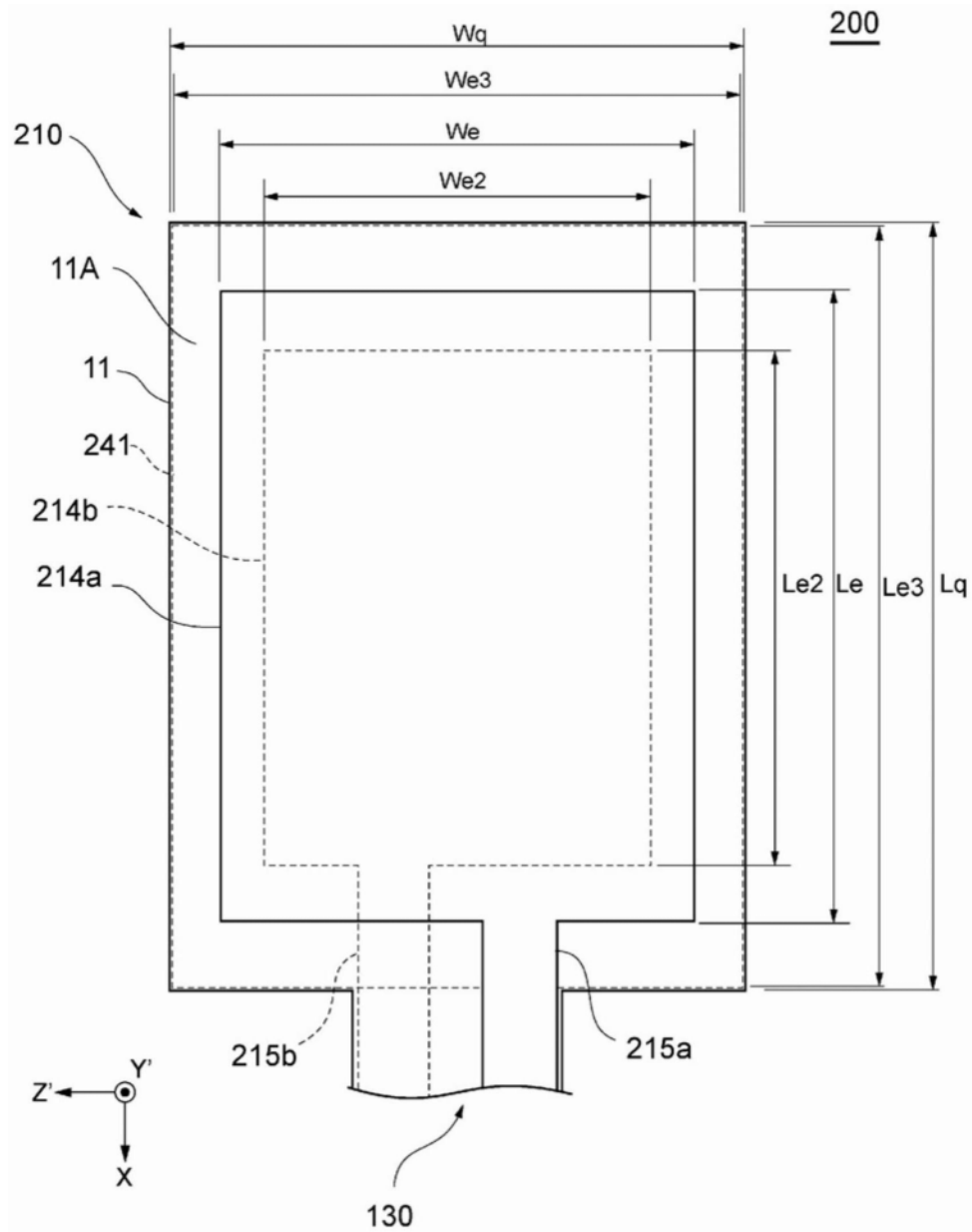


图18

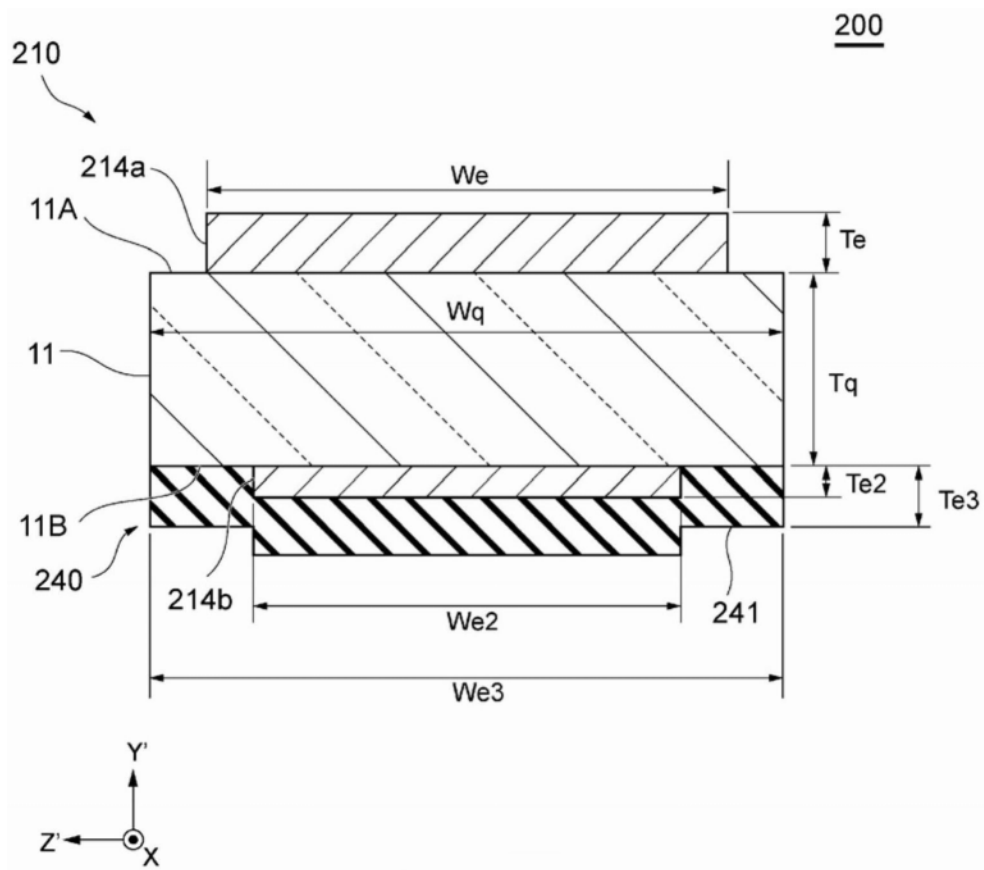


图19

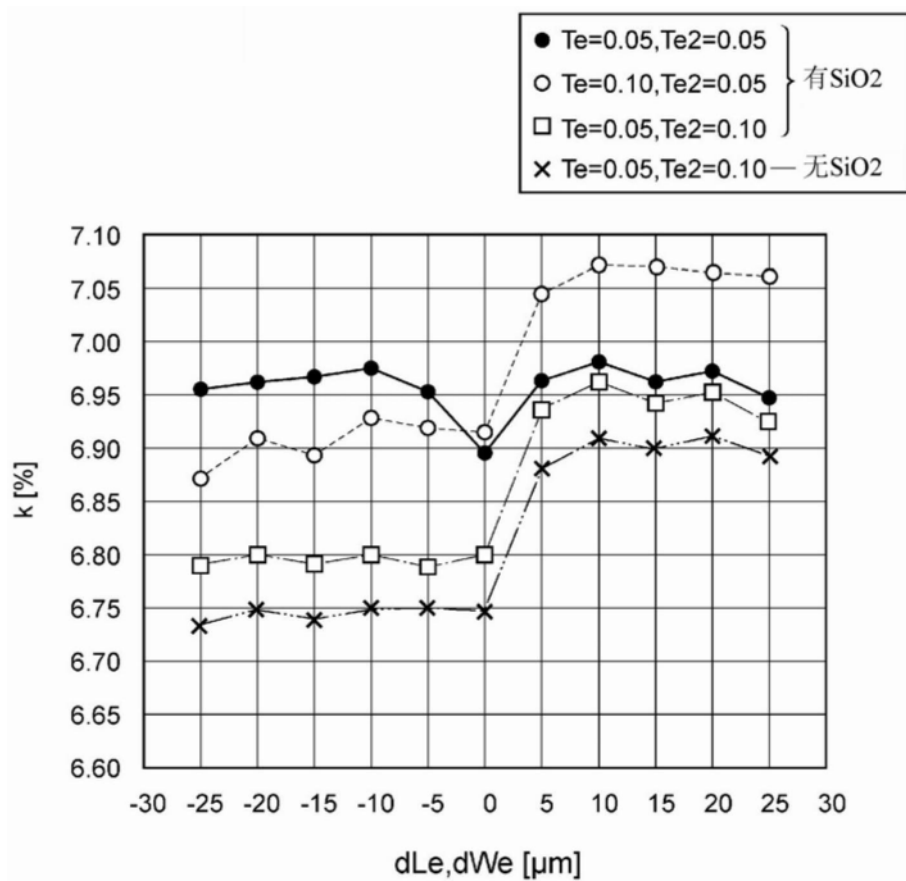


图20

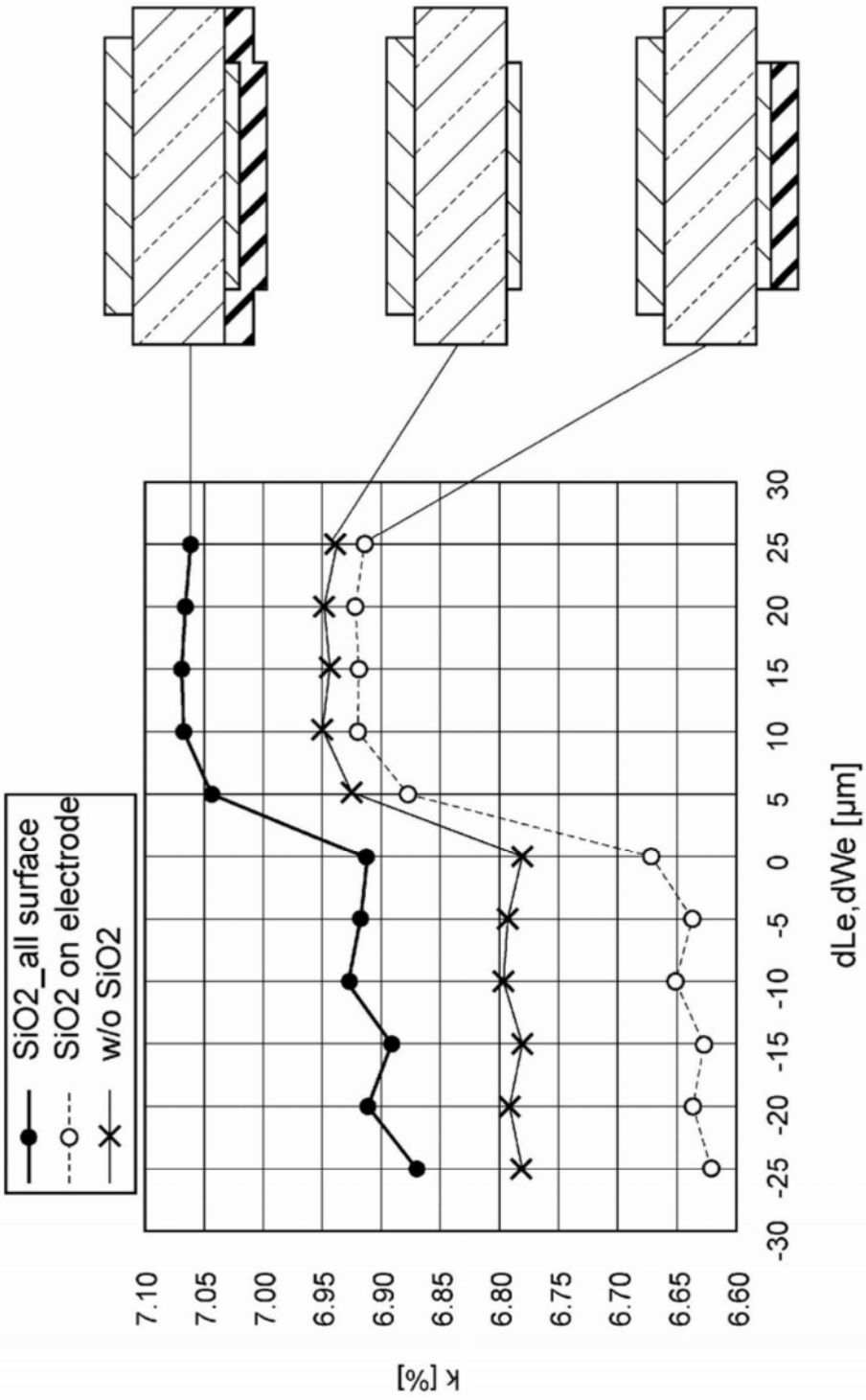


图21

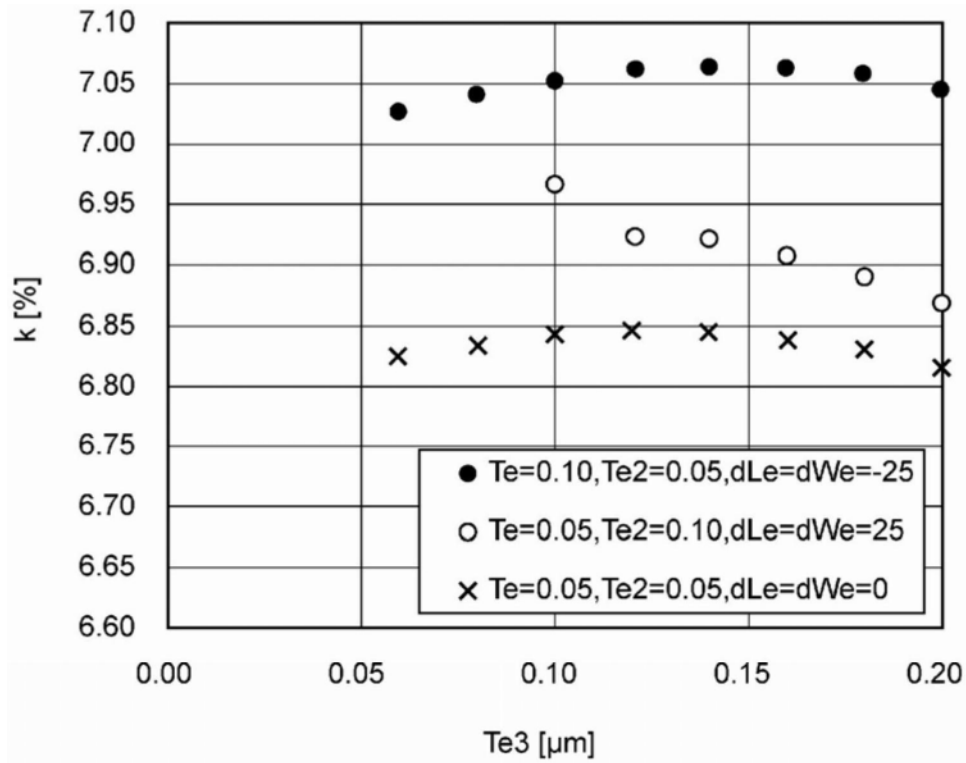


图22

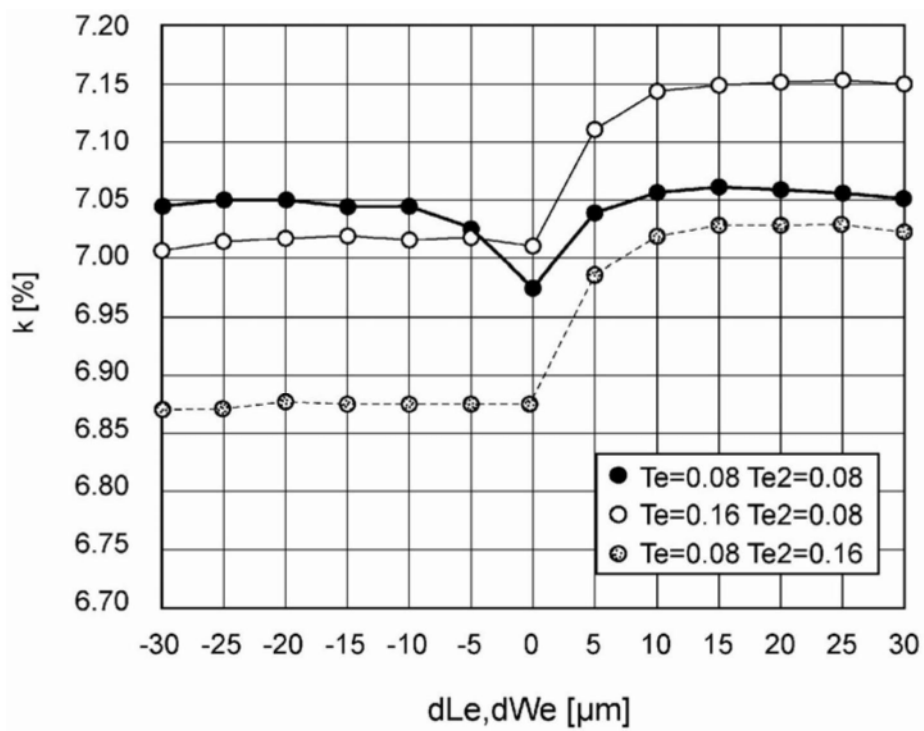


图23

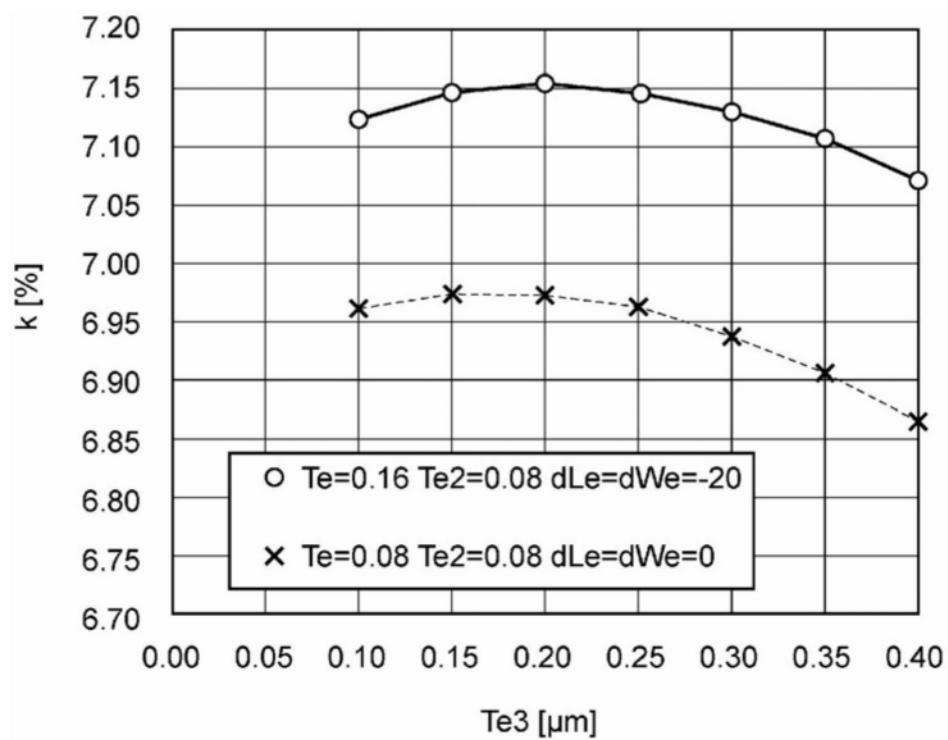


图24

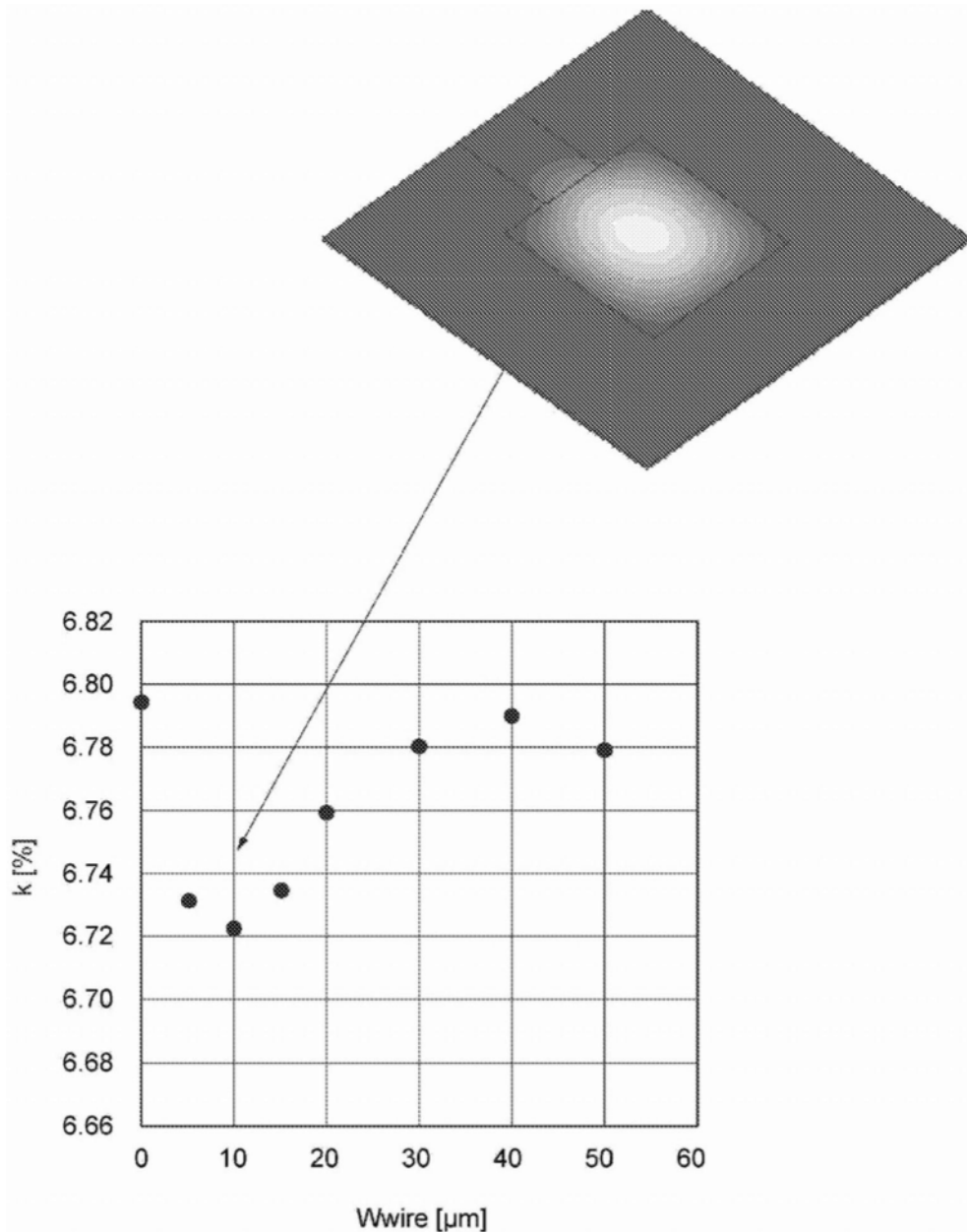


图25

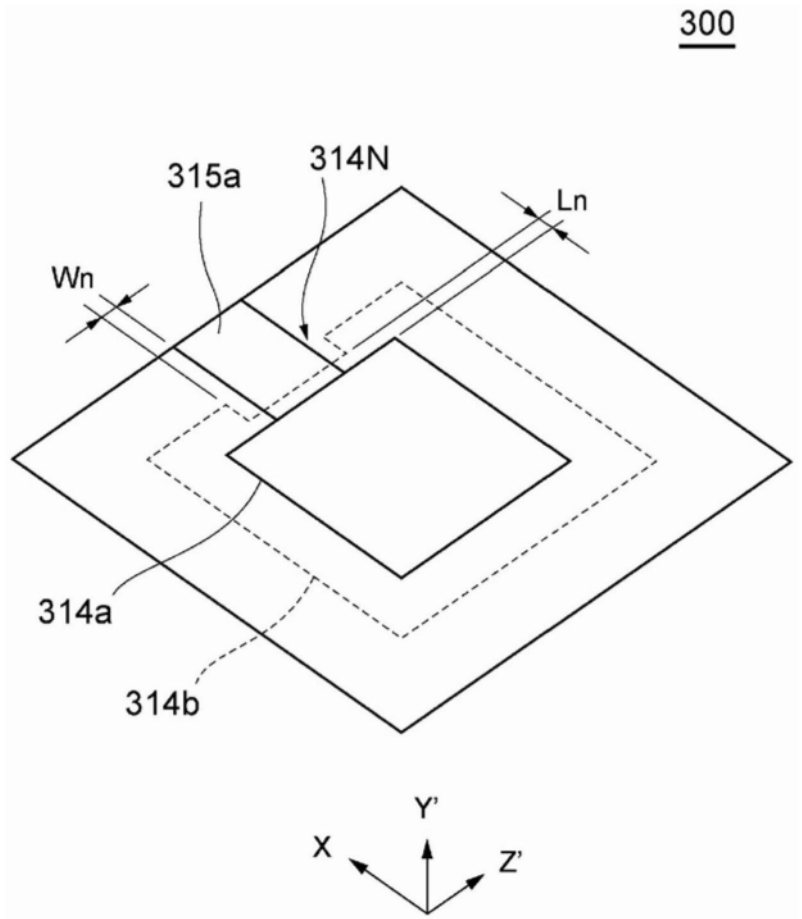


图26

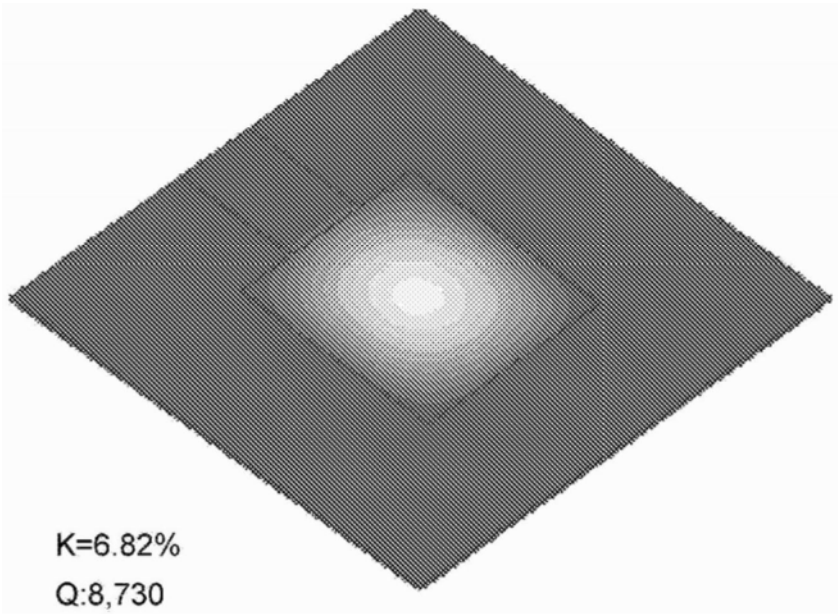


图27

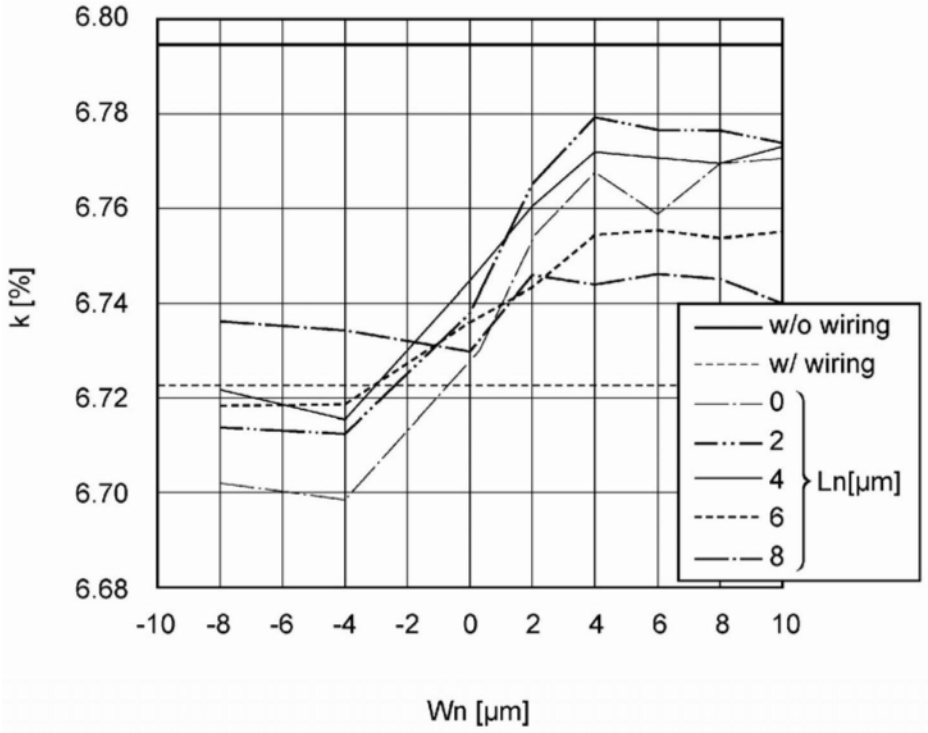


图28

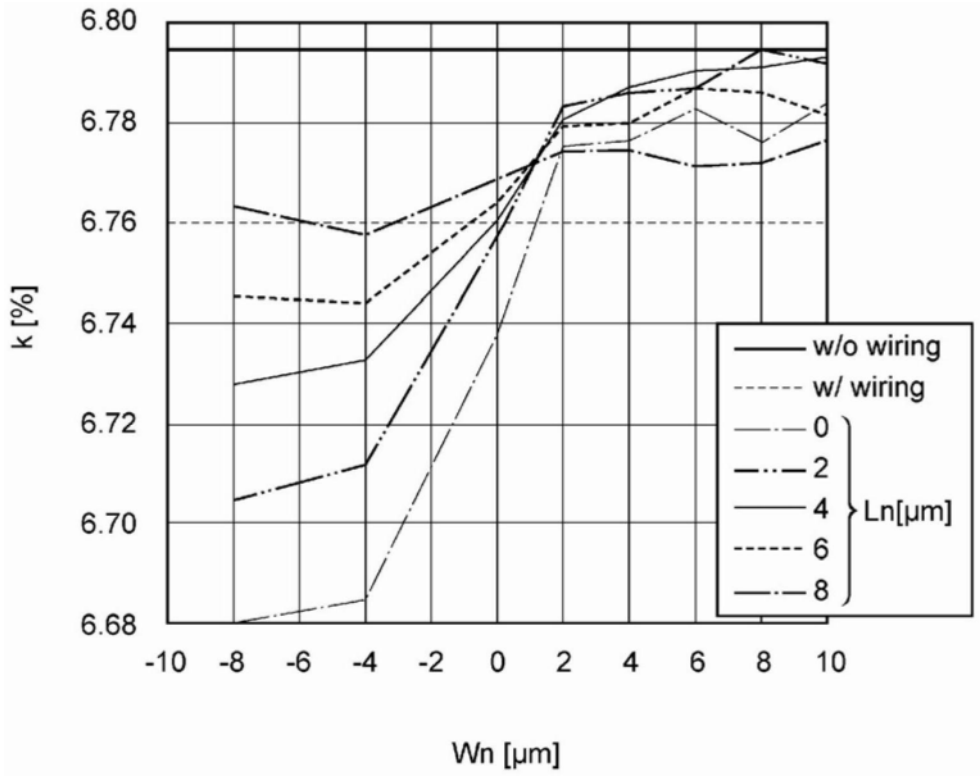


图29

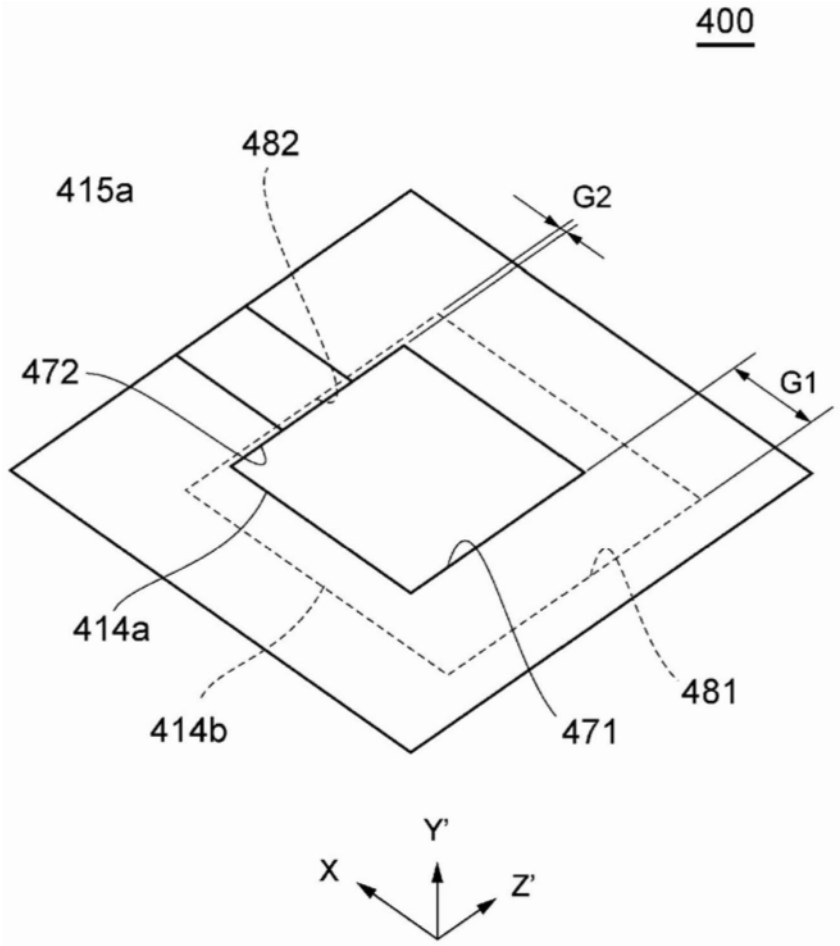


图30

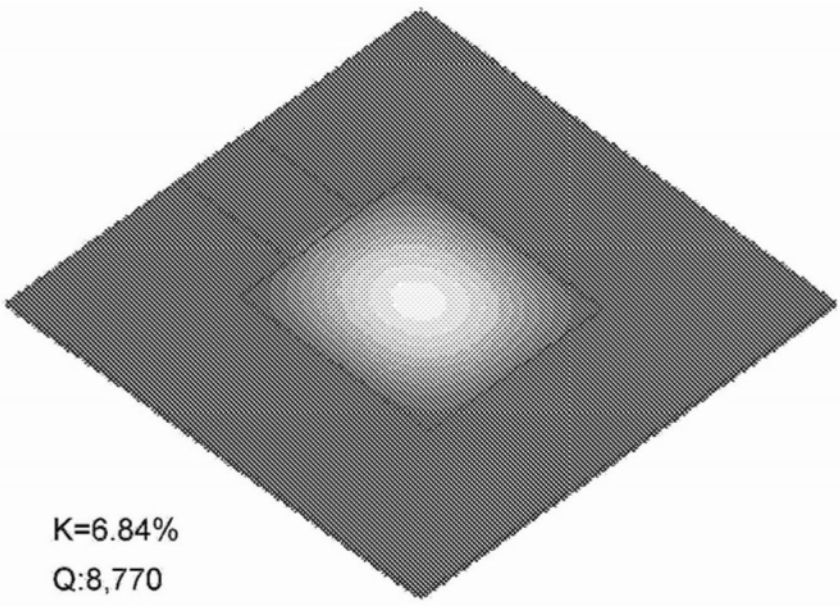


图31

500

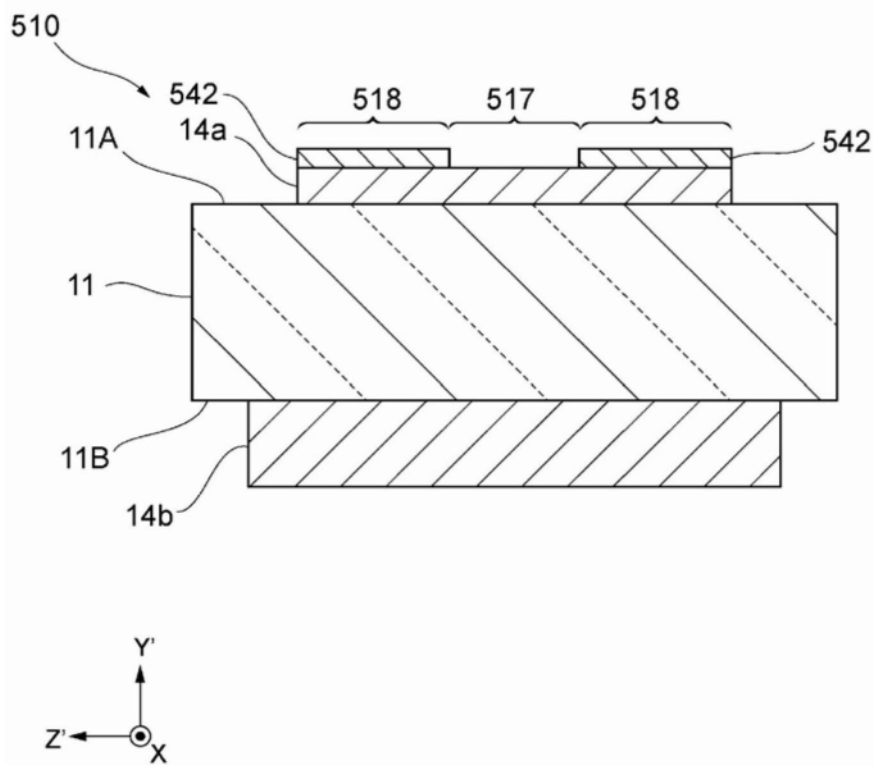


图32

600

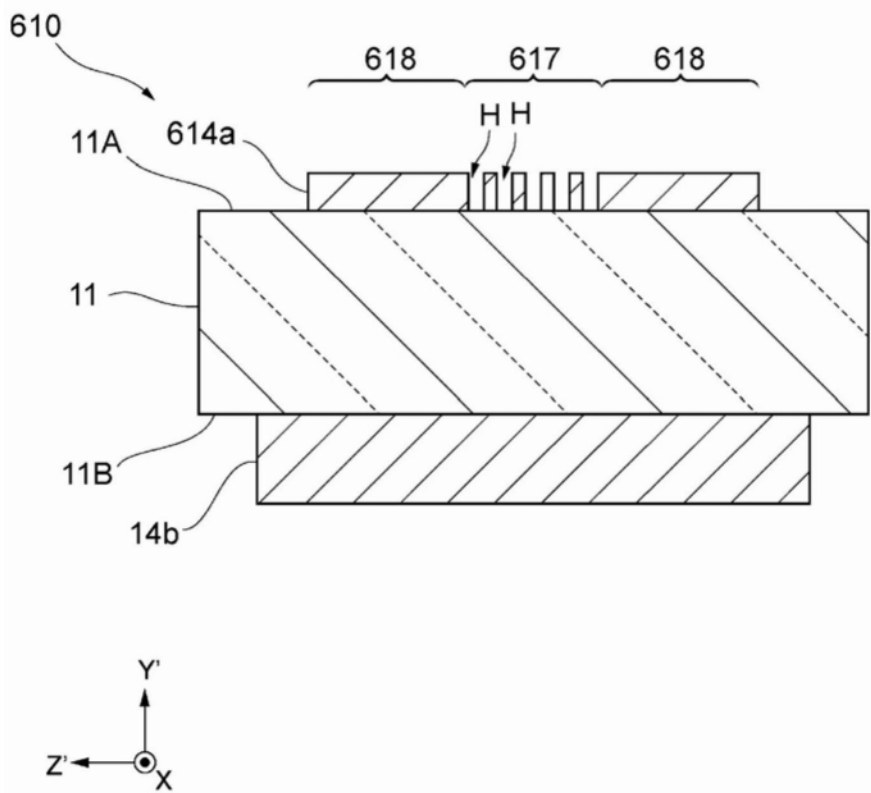


图33

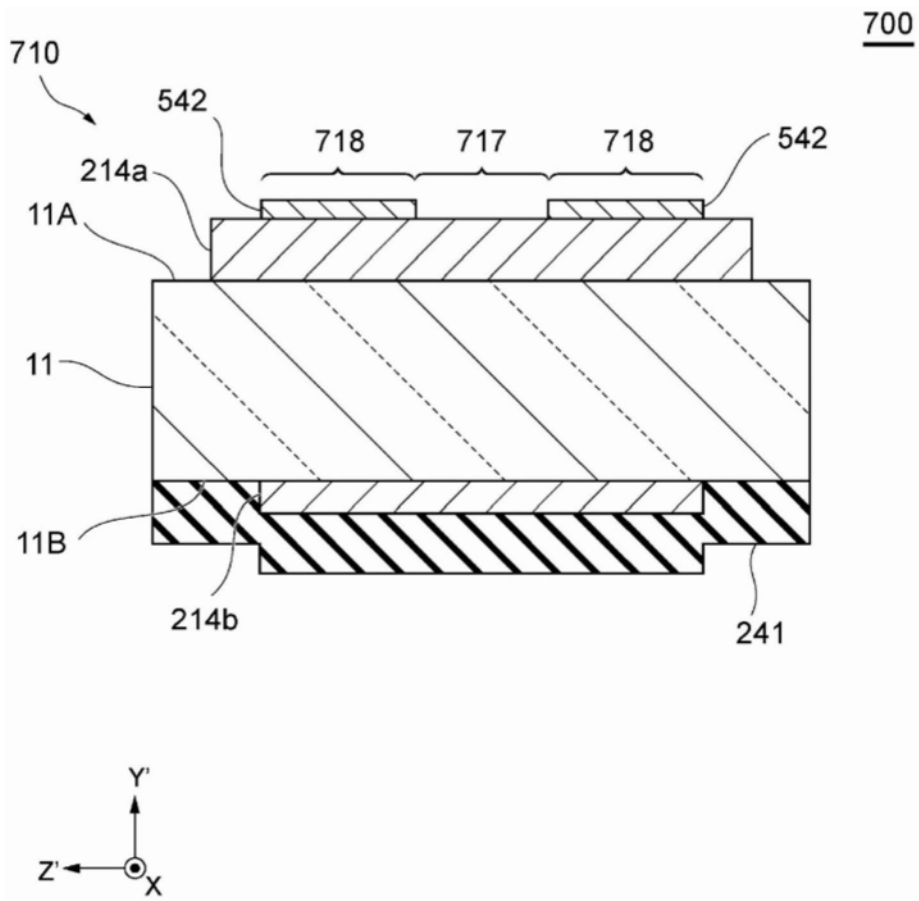


图34

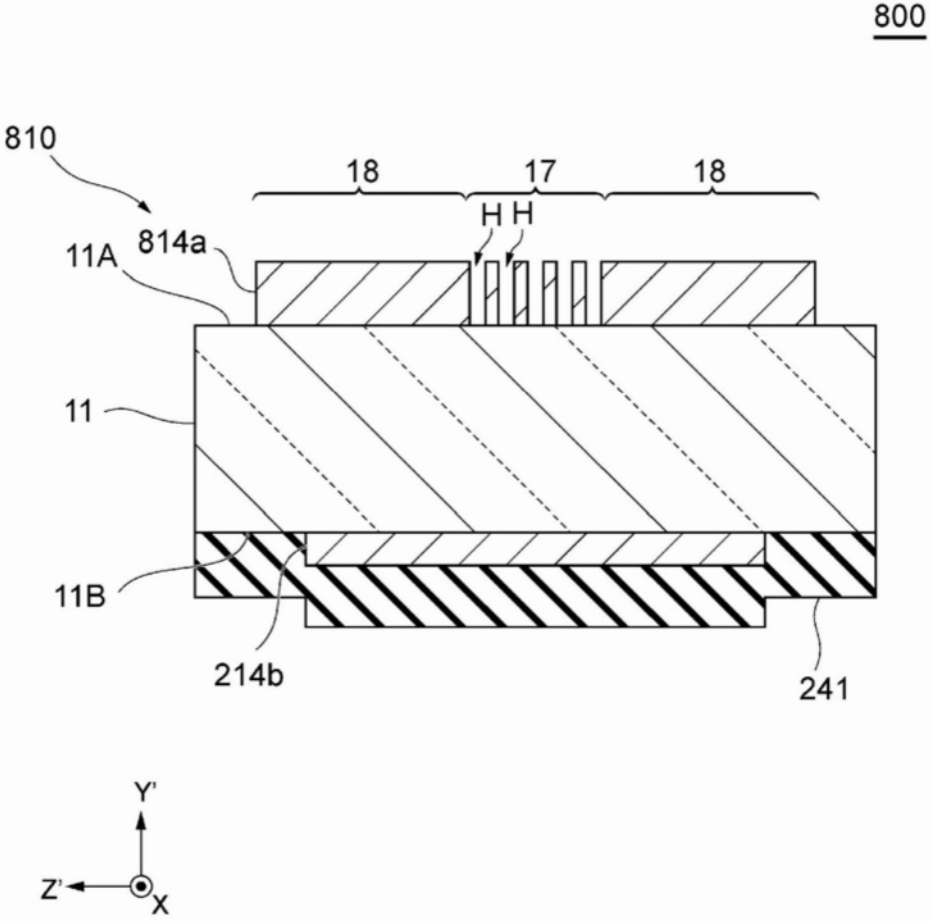


图35