



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112929004 B

(45) 授权公告日 2024.07.12

(21) 申请号 202011400523.7

(51) Int.CI.

(22) 申请日 2020.12.04

H03H 9/25 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

H03H 9/64 (2006.01)

申请公布号 CN 112929004 A

H03H 9/72 (2006.01)

(43) 申请公布日 2021.06.08

H03H 9/145 (2006.01)

(30) 优先权数据

H03H 9/05 (2006.01)

2019-221476 2019.12.06 JP

H03H 9/02 (2006.01)

(73) 专利权人 太阳诱电株式会社

H03H 3/10 (2006.01)

地址 日本东京都

(56) 对比文件

(72) 发明人 小宫山凌平

WO 2019163842 A1, 2019.08.29

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

CN 110504941 A, 2019.11.26

专利代理人 赵彤 刘久亮

审查员 冯涛

权利要求书1页 说明书9页 附图14页

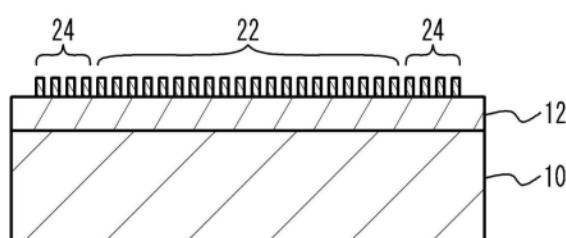
(54) 发明名称

声波谐振器、滤波器、多路复用器和晶片

(57) 摘要

声波谐振器、滤波器、多路复用器和晶片。一种声波谐振器，该声波谐振器包括：支撑基板；压电层，该压电层设置在支撑基板上，并且是切割角在大于 $50^{\circ}$ 且小于 $150^{\circ}$ 的范围内的旋转的Y切割X传播的钽酸锂；以及设置在压电层上的一对梳状电极，梳状电极中的每一个包括多个电极指，梳状电极中的一个的电极指的平均节距等于或大于压电层的厚度的 $1/2$ 。

200



1.一种声波谐振器,该声波谐振器包括:

支撑基板;

压电层,所述压电层设置在所述支撑基板上,并且是切割角在70°以上且90°以下的范围内的旋转的Y切割X传播的钽酸锂;

绝缘层,所述绝缘层插置在所述支撑基板与所述压电层之间,所述绝缘层包含氧化硅,并且所述绝缘层具有与所述压电层的弹性常数的温度系数符号相反的弹性常数的温度系数;以及

一对梳状电极,所述一对梳状电极设置在所述压电层上,所述梳状电极中的每一个包括多个电极指,所述梳状电极中的一个的电极指的平均节距等于或大于所述压电层的上表面和所述绝缘层的下表面之间的距离的1/2,

其中,所述绝缘层的厚度等于或大于所述梳状电极中的一个的所述电极指的平均节距的0.3倍并且等于或小于所述梳状电极中的一个的所述电极指的平均节距的0.7倍,并且

其中,所述压电层的厚度等于或大于所述梳状电极中的一个的所述电极指的平均节距的0.3倍并且等于或小于所述梳状电极中的一个的所述电极指的平均节距的0.5倍。

2.根据权利要求1所述的声波谐振器,其中,所述压电层是切割角在大于70°且90°以下的范围内的旋转的Y切割X传播的钽酸锂。

3.根据权利要求1或2所述的声波谐振器,其中,所述绝缘层是二氧化硅层。

4.根据权利要求1或2所述的声波谐振器,其中,所述梳状电极中的一个的所述电极指的平均节距是通过将所述梳状电极中的一个在所述电极指布置的方向上的长度除以所述电极指的数量而计算得到的值。

5.根据权利要求1或2所述的声波谐振器,其中,所述支撑基板是蓝宝石基板、氧化铝基板、硅基板、尖晶石基板、晶体基板、石英基板或碳化硅基板。

6.一种滤波器,该滤波器包括:

根据权利要求1或2所述的声波谐振器。

7.一种多路复用器,该多路复用器包括:

根据权利要求6所述的滤波器。

## 声波谐振器、滤波器、多路复用器和晶片

### 技术领域

[0001] 本实施方式的一些方面涉及声波谐振器、滤波器、多路复用器和晶片。

### 背景技术

[0002] 表面声波谐振器作为在诸如智能电话的通信装置中使用的声波谐振器已经被了解。如在日本专利申请公开第2017-34363号中所公开的，已知形成表面声波谐振器的压电层被接合到支撑基板，并且压电层的厚度被调整为等于或小于表面声波的波长。如在日本专利申请公开第2015-73331号中所公开的，已知在支撑基板和压电层之间插入氧化硅层。如在日本专利申请公开第2017-152868号中所公开的，已知谐振频率的温度系数与表面声波谐振器中的反谐振频率的温度系数不同。

### 发明内容

[0003] 为了使由声波谐振器构成的滤波器具有所需的特性，期望减小声波谐振器中谐振频率的温度系数和反谐振频率的温度系数之差。

[0004] 本发明的目的是减小谐振频率的温度系数与反谐振频率的温度系数之差。

[0005] 根据本发明方式的第一方面，提供了一种声波谐振器，该声波谐振器包括：支撑基板；压电层，该压电层设置在支撑基板上，并且是切割角在大于50°且小于150°的范围内的旋转的Y切割X传播的钽酸锂(rotate Y-cut X-propagation lithium tantalate)；以及设置在压电层上的一对梳状电极，梳状电极中的每一个包括多个电极指，梳状电极中的一个的电极指的平均节距等于或大于压电层的厚度的1/2。

[0006] 根据本实施方式的第二方面，提供了一种包括上述声波谐振器的滤波器。

[0007] 根据本实施方式的第三方面，提供了一种包括上述滤波器的多路复用器。

[0008] 根据本实施方式的第四方面，提供了一种晶片，该晶片包括：支撑基板；以及压电层，该压电层被设置在支撑基板上，并且是切割角在大于50°且小于150°的范围内的旋转的Y切割X传播的钽酸锂。

### 附图说明

[0009] 图1A是根据第一实施方式的声波谐振器的平面图，并且图1B是沿图1A中的线A-A截取的截面图；

[0010] 图2是用于描述声波的截面图；

[0011] 图3A和图3B分别是仿真A和仿真B中的声波谐振器的截面图；

[0012] 图4A和图4B分别是仿真A和仿真B中的总位移分布相对于位置Z的曲线图；

[0013] 图5A至图5C是用于描述体波的截面图；

[0014] 图6是频率的温度系数相对于压电层的切割角的曲线图；

[0015] 图7是谐振频率的温度系数和反谐振频率的温度系数之差以及机电耦合系数相对于压电层的切割角的曲线图；

[0016] 图8A表示在设置绝缘层的情况与不设置绝缘层的情况之间,谐振频率的温度系数和反谐振频率的温度系数之差相对于压电层的切割角的比较,并且图8B表示设置绝缘层的情况与不设置绝缘层的情况之间,机电耦合系数相对于压电层的切割角的比较;

[0017] 图9A和图9B是当绝缘层的厚度变化时谐振频率的温度系数和反谐振频率的温度系数之差相对于压电层的切割角的曲线图;

[0018] 图10A和图10B是当绝缘层的厚度变化时机电耦合系数相对于压电层的切割角的曲线图;

[0019] 图11是根据第二实施方式的声波谐振器的截面图;

[0020] 图12是根据第三实施方式的声波谐振器的截面图;

[0021] 图13A至图13C分别是根据第四实施方式、第四实施方式的第一变型例和第四实施方式的第二变型例的声波谐振器的截面图;

[0022] 图14是根据第五实施方式的滤波器的电路图;以及

[0023] 图15是根据第六实施方式的双工器的电路图。

## 具体实施方式

[0024] 在下文中,将参照附图给出本发明的实施方式的描述。

### 第一实施方式

[0026] 图1A是根据第一实施方式的声波谐振器的平面图,并且图1B是沿图1A中的线A-A截取的截面图。电极指排列的方向(排列方向)被定义为X方向,电极指延伸的方向(延伸方向)被定义为Y方向,并且支撑基板和压电层层叠的方向(层叠方向)被定义为Z方向。X方向、Y方向和Z方向不必与压电层的晶体取向的X轴取向和Y轴取向相对应。当压电层是旋转的Y切割X传播层时,X方向是晶体取向的X轴取向。

[0027] 如图1A和图1B所示,在第一实施方式的声波谐振器100中,绝缘层11接合在支撑基板10上。压电层12接合在绝缘层11上。绝缘层11可以直接接合在支撑基板10上,或者可以利用接合层或插置在其间的其它层间接接合在支撑基板10上。压电层12可以直接接合在绝缘层11上,或者可以利用接合层或插置在其间的其它层间接接合在绝缘层11上。声波元件20设置在压电层12上。声波元件20包括叉指式换能器(IDT)22和反射器24。反射器24在X方向上设置在IDT 22的两侧。IDT 22和反射器24由压电层12上的金属膜14形成。

[0028] IDT 22包括彼此面对的一对梳状电极18。每个梳状电极18包括多个电极指15和与电极指15连接的汇流条16。梳状电极18中的一个的电极指15与梳状电极18中的另一个的电极指15交叠的区域是交叠区域25。交叠区域25的长度是开口长度。一对梳状电极18以彼此面对的方式布置,以使得梳状电极18中的一个的电极指15和梳状电极18中的另一个的电极指15在交叠区域25的至少一部分中基本交替(substantially alternated)。在交叠区域25中由电极指15激发的声波主要在X方向上传播。梳状电极18中的一个的电极指15的节距基本上等于声波的波长 $\lambda$ 。也就是说,声波的波长 $\lambda$ 基本上等于一对梳状电极18的电极指15的节距(pitch)的两倍。反射器24反射由IDT 22的电极指15激发的声波(表面声波)。因此,声波被限制在IDT 22的交叠区域25中。

[0029] 压电层12是单晶的钽酸锂(LiTaO<sub>3</sub>)层,并且是旋转的Y切割X传播的钽酸锂层。绝缘层11是包含氧化硅(SiO)的绝缘层。绝缘层11可以是二氧化硅(SiO<sub>2</sub>)层,或者可以主要由

氧化硅构成并且包含诸如氟或氮的杂质(例如,SiOF层或SiON层)。绝缘层11的弹性常数的温度系数的符号与压电层12的弹性常数的温度系数的符号相反。当将绝缘层11的弹性常数的温度系数的符号调整为与压电层12的弹性常数的温度系数的符号相同时,实现了声波谐振器的小的频率温度的系数(TCF)。

[0030] 支撑基板10的线性膨胀系数小于压电层12在X方向上的线性膨胀系数。使用具有比压电层12的线性膨胀系数小的线性膨胀系数的材料作为支撑基板10,减小由于温度的变化而引起的电极指15的节距的变化,从而可以减小声波谐振器的TCF。支撑基板10是例如蓝宝石基板、氧化铝基板、硅基板、尖晶石基板、晶体基板、石英基板或碳化硅基板。蓝宝石基板是包含单晶 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 作为主要成分的基板。氧化铝基板是包含多晶 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 作为主要成分的基板。硅基板是包含单晶Si或多晶Si作为主要成分的基板。尖晶石基板是包含单晶 $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ 或多晶 $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ 作为主要成分的基板。晶体基板是包含单晶 $\text{SiO}_2$ 作为主要成分的基板。石英基板是包含无定形 $\text{SiO}_2$ 作为主要成分的基板。碳化硅基板是包含单晶 $\text{SiC}$ 或多晶 $\text{SiC}$ 作为主要成分的基板。主要成分是基板中原子的总浓度为50原子%或更大的成分,或者原子总浓度为80原子%或更大的成分。

[0031] 金属膜14是包含例如铝、铜或钼作为主要成分的膜,并且是例如铝膜、铜膜或钼膜。可以在电极指15和压电层12之间插入诸如钛膜或铬膜的粘合膜。该粘合膜比电极指15薄。可以提供绝缘膜以覆盖电极指15。绝缘膜可以用作保护膜或温度补偿膜。

[0032] 支撑基板10具有例如50 $\mu\text{m}$ 至500 $\mu\text{m}$ 的厚度。绝缘层11的厚度T1例如为0.1 $\mu\text{m}$ 至10 $\mu\text{m}$ ,并且等于或小于例如声波的波长 $\lambda$ 。压电层12的厚度T2例如为0.1 $\mu\text{m}$ 至10 $\mu\text{m}$ ,并且等于或小于例如声波的波长 $\lambda$ 。声波的波长 $\lambda$ 为例如1 $\mu\text{m}$ 至6 $\mu\text{m}$ 。当将两个电极指15被定义为一对电极指15时,电极指15的对数为20对至300对。通过将电极指15的宽度除以电极指15的节距来计算IDT 22的占空比,并且例如为30%至80%。IDT 22的孔径长度例如是10 $\lambda$ 至50 $\lambda$ 。

[0033] 制造方法

[0034] 将给出声波谐振器100的制造方法的描述。绝缘层11使用化学气相沉积(CVD)方法形成在支撑基板10上。在使用表面活化方法将压电基板接合在绝缘层11上之后,通过化学机械抛光(CMP)使压电基板变薄以形成压电层12。IDT 22和反射器24形成在压电层12上。

[0035] 绝缘层11和压电层12的厚度的描述

[0036] 将给出对绝缘层11的厚度T1和压电层12的厚度T2的描述。图2是用于描述声波的截面图。如图2所示, IDT 22的电极指15激发声波50。图中的声波50示出了位移的图像,并且与声波的实际位移不同。当压电层12是旋转的Y切割X传播的钽酸锂层时, IDT 22主要激发水平剪切(SH)波。SH波是在与压电层12的表面平行且与SH波的传播方向正交的方向上发生位移的波。为了减小声波谐振器的TCF,需要在绝缘层11中分布表面声波的位移。

[0037] 因此,对谐振频率下的总位移分布进行了仿真。图3A和图3B分别是仿真A和仿真B中的声波谐振器的截面图。如图3A中所示,在仿真A中,使用了由42°旋转的Y切割X传播的钽酸锂制成的压电基板12'。如图3B所示,在仿真B中,使用在由蓝宝石制成的支撑基板10上设置有由42°旋转的Y切割X传播的钽酸锂构成的压电层12的基板。压电层12的厚度T1被设定为约0.7 $\lambda$ 。在仿真A和仿真B二者中,压电基板12'和压电层12的与电极指15接触的表面被定义为0,并且在基板的深度方向上的位置被定义为位置Z。

[0038] 图4A和图4B分别是仿真A和仿真B中的总位移分布相对于位置Z的曲线图。在图4A

和图4B的顶部中,示出了指示压电基板12'、支撑基板10和压电层12的区域的箭头。如图4A所示,在仿真A中,大多数位移分布在 $Z/\lambda$ 为2或更小的范围内。具体地,大多数位移在 $Z/\lambda$ 为1.5或更小的范围内。这指示表面声波传播通过(propagate through)从压电基板12'的表面到深度为 $2\lambda$ (具体地, $1.5\lambda$ )的区域。如图4B所示,在仿真B中,大多数位移分布在 $Z/\lambda$ 为1或更小的范围内。具体地,位移在支撑基板10内几乎没有分布。这是因为支撑基板10的相速度(phase velocity)大。

[0039] 从上述仿真结果清楚可见,表面声波传播通过从压电基板12'的表面到深度为 $2\lambda$ (具体地, $1.5\lambda$ )的区域。这表明在第一实施方式中,要求绝缘层11存在于从压电层12的上表面至深度为 $2\lambda$ (具体地, $1.5\lambda$ )的范围内,以允许绝缘层11具有减小TCF的能力。

[0040] 接下来,将描述体波。图5A至图5C是用于描述体波的截面图。如图5A所示,当使用压电基板12'时, IDT 22在压电基板12'的表面上激发诸如SH波的表面声波52。表面声波52的位移存在的厚度T4近似为 $2\lambda$ 。当IDT 22激发表面声波52时, IDT 22在压电基板12'内发射体波54。体波54的幅度近似为初级模式中的表面声波52的幅度的1/10。体波54存在的区域的厚度T5近似为 $10\lambda$ 。当体波54传播通过压电基板12'时,表面声波52的能量作为体波54而损失。因此,声波谐振器的损耗增加。

[0041] 如图5B所示,弹性常数的温度系数的符号与压电层12的弹性常数的温度系数的符号相反的绝缘层11设置在支撑基板10上,并且压电层12设置在绝缘层11上。压电层12的厚度T1小于厚度T4。因此,表面声波52的位移分布在压电层12和绝缘层11二者中。因此,减小了频率的温度系数。当绝缘层11的厚度T2较大时,体波54传播通过绝缘层11。因此,表面声波52的能量作为体波54而损失。因此,声波谐振器的损耗增加。如箭头56所示,没有体波传播通过支撑基板10。

[0042] 如图5C所示,在第一实施方式中,绝缘层11变薄,并且厚度T1和T2之和(即,压电层12的上表面与绝缘层11的下表面之间的距离)减小到T4或更小。支撑基板10具有大于绝缘层11和压电层12的相速度的相速度(声速)。例如,钽酸锂的较快侧向波的相速度近似为4211m/s,二氧化硅的较快侧向波的相速度近似为5840m/s,并且蓝宝石的较快侧向波的相速度近似为6761m/s。因此,如箭头56所示,体波难以传播通过支撑基板10。表面声波52和体波54二者均被限制在压电层12和绝缘层11中。因此,减小了声波谐振器的损耗。另外,减少了由于体波引起的杂散发射。

[0043] 压电层12的切割角的描述

[0044] 将给出其中压电层12的切割角变化并且计算谐振频率fr的温度系数和反谐振频率fa的温度系数以及机电耦合系数(k2)的仿真的描述。使用图1A和图1B所示的结构在以下条件下进行仿真。

[0045] 支撑基板10:蓝宝石基板

[0046] 绝缘层11:厚度为600nm( $0.4\lambda$ )的二氧化硅层

[0047] 压电层12:厚度为600nm( $0.4\lambda$ )的旋转的Y切割X传播的钽酸锂层

[0048] 金属膜14:厚度为150nm的铝膜

[0049] 电极指的节距15×2:1500nm(声波的波长λ)

[0050] 电极指的宽度15:375nm

[0051] 图6是TCF相对于压电层的切割角的曲线图。横轴表示压电层12的切割角,并且纵

轴表示TCF。点表示仿真点，并且曲线是近似曲线（以下类似图适用于此）。谐振频率fr的仿真结果用粗线表示，并且反谐振频率fa的仿真结果用细线表示。根据声波谐振器的温度为25°C时的频率与声波谐振器的温度为85°C时的频率之差获得TCF。

[0052] 如图6所示，在压电层12的切割角为0°至80°的范围内，反谐振频率fa的温度系数小于谐振频率fr的温度系数。谐振频率fr的温度系数和反谐振频率fa的温度系数之差随着压电层12的切割角从0°增加而减小，并且在80°处非常小。在压电层12的切割角在80°至120°之间的范围内，谐振频率fr的温度系数和反谐振频率fa的温度系数遵循相似的轨迹同时保持基本没有差异。当压电层12的切割角超过120°时，谐振频率fr的温度系数与反谐振频率fa的温度系数之差开始增大，并且反谐振频率fa的温度系数小于谐振频率fr的温度系数。

[0053] 图7是谐振频率的温度系数和反谐振频率的温度系数以及机电耦合系数相对于压电层的切割角之差的曲线图。横轴表示压电层12的切割角，左侧的纵轴表示谐振频率fr的温度系数与反谐振频率fa的温度系数之差( $fr-fa$ )，并且右侧的纵轴表示机电耦合系数。TCF之差用粗线表示，并且机电耦合系数用细线表示。

[0054] 如图7所示，在压电层12的切割角在大于等于50°且小于等于150°的范围内，谐振频率fr的温度系数和反谐振频率fa的温度系数之差的绝对值保持在10ppm/K或更低。具体地，在压电层12的切割角在大于等于80°且小于等于120°的范围内，谐振频率fr的温度系数和反谐振频率fa的温度系数之差近似为零。另一方面，机电耦合系数在压电层12的切割角为20°时最大，在切割角为120°时近似为零，在切割角在20°至120°之间时随切割角的增加而减小。

[0055] 如上所见，当绝缘层11和压电层12的总厚度为 $2\lambda$ 或更小（例如， $0.8\lambda$ ）（即，压电层12的上表面与绝缘层11的下表面之间的距离为 $2\lambda$ 或更小）时，通过将压电层12的切割角调整为大于等于50°且小于等于150°，将TCF之差的绝对值维持在10ppm/K或更小。具体地，当将压电层12的切割角调整为大于等于80°且小于等于120°时，TCF之差近似为零。

[0056] 接下来，在设置绝缘层11的情况和不设置绝缘层11的情况下，对谐振频率的温度系数fr和反谐振频率的温度系数fa之差以及机电耦合系数相对于压电层12的切割角进行比较。在与图6和图7相同的条件下进行设置绝缘层11的情况的仿真。除了不设置绝缘层11以外，在与图6和图7相同的条件下进行不设置绝缘层11的情况的模拟。

[0057] 图8A示出了在设置绝缘层的情况与不设置绝缘层的情况之间的谐振频率的温度系数和反谐振频率的温度系数之差相对于压电层的切割角的比较，并且图8B示出了在设置绝缘层的情况与不设置绝缘层的情况之间的机电耦合系数相对于压电层的切割角的比较。在图8A和图8B中，横轴表示压电层12的切割角。图8A中的纵轴表示谐振频率fr的温度系数和反谐振频率fa的温度系数之差( $fr-fa$ )，并且图8B的纵轴表示机电耦合系数。用粗线表示设置有绝缘层11的情况，用细线表示不设置绝缘层11的情况。

[0058] 如图8A所示，在压电层12的切割角的整个范围内，设置绝缘层11时的TCF之差的绝对值小于不设置绝缘层11时的TCF之差的绝对值。在压电层12的切割角在大于等于80°且小于等于120°的范围内，在设置绝缘层11的情况下，TCF之差近似为零，同时在不设置绝缘层11的情况下TCF之差不为零而是近似为2ppm/Ka至5ppm/Ka。

[0059] 如图8B所示，在压电层12的整个切割角范围内，设置绝缘层11时的机电耦合系数

小于不设置绝缘层11时的机电耦合系数,但是在压电层12的切割角在大于等于 $30^\circ$ 且小于等于 $90^\circ$ 的范围内,机电耦合系数的差较小。

[0060] 如上所述,在第一实施方式中,为了实现小的TCF之差并且减少损耗和杂散发射,将压电层12的上表面与绝缘层11的下表面之间的距离调整为 $2\lambda$ 或更小。换句话说,调整梳状电极18中的一个的电极指15的平均节距,使其等于或大于压电层12的上表面与绝缘层11的下表面之间的距离的 $1/2$ 。梳状电极18中的一个的电极指15的平均节距可以通过将梳状电极18中的一个在X方向上的长度除以梳状电极18中的一个的电极指15的数量来计算。梳状电极18中的一个的电极指15的平均节距可以是通过将IDT 22在X方向上的长度除以电极指15的对数(电极指15数的 $1/2$ )而计算出的值。在这种情况下,如图7所示,将压电层12的切割角调整为大于 $50^\circ$ 且小于 $150^\circ$ 的范围。这减小了声波谐振器的谐振频率fr的温度系数和反谐振频率fa的温度系数之差的绝对值。如图8A所示,通过设置绝缘层11,将TCF之差的绝对值调整为小于不设置绝缘层11时的TCF之差的绝对值。为了使表面声波传播通过压电层12和绝缘层11,梳状电极18中的一个的电极指15的平均节距优选为等于或小于绝缘层11和压电层12的总厚度的1倍/0.1倍,更优选为等于或小于绝缘层11和压电层12的总厚度的1倍/0.5倍,进一步优选为等于或小于绝缘层11和压电层12的总厚度的1倍。

[0061] 以欧拉角表示的压电层12的切割角为 $(\phi, \theta, \psi) = (0^\circ, 140^\circ \text{至} 240^\circ, 0^\circ)$ ,并且考虑到生产误差可以为 $(\phi, \theta, \psi) = (0^\circ \pm 5^\circ, 140^\circ \text{至} 240^\circ, 0^\circ \pm 10^\circ)$ 。

[0062] 如图7所示,为了确保机电耦合系数并且减小TCF之差,压电层12的切割角优选为大于 $50^\circ$ 且小于等于 $90^\circ$ ,更优选为大于 $50^\circ$ 且小于等于 $70^\circ$ ,进一步优选为大于 $55^\circ$ 且小于等于 $70^\circ$ 。另外,为了确保机电耦合系数并进一步减小TCF之差,压电层12的切割角可以为大于等于 $60^\circ$ 且小于等于 $90^\circ$ ,可以为大于等于 $60^\circ$ 且小于等于 $80^\circ$ ,或者可以为大于等于 $70^\circ$ 且小于等于 $90^\circ$ 。

[0063] 图9A和图9B是当绝缘层的厚度变化时谐振频率的温度系数和反谐振频率的温度系数之差相对于压电层的切割角的曲线图。横轴表示压电层12的切割角,并且纵轴表示谐振频率fr的温度系数与反谐振频率fa的温度系数之差( $fr-fa$ )。图9A示出了在除了将压电层12的厚度固定为 $0.3\lambda$ 并且将绝缘层11的厚度改变为 $0.3\lambda$ 、 $0.5\lambda$ 、 $0.7\lambda$ 和 $0.9\lambda$ 之外与图6和图7的条件相同的条件下进行的仿真结果。图9B表示在除了将压电层12的厚度固定为 $0.5\lambda$ 并且将绝缘层11的厚度改变为 $0.3\lambda$ 、 $0.5\lambda$ 、 $0.7\lambda$ 和 $0.9\lambda$ 之外与图6和图7的条件相同的条件下进行的仿真结果。

[0064] 图9A和图9B表明了压电层12的切割角存在的适当范围,在该范围内,无论绝缘层11的厚度如何,TCF之差的绝对值都很小。为了在压电层12的切割角大于 $50^\circ$ 时减小TCF之差的绝对值,绝缘层11的厚度优选为大于等于 $0.1\lambda$ 且小于等于 $0.7\lambda$ ,更优选为大于等于 $0.3\lambda$ 且小于等于 $0.7\lambda$ ,进一步优选为大于等于 $0.5\lambda$ 且小于等于 $0.7\lambda$ 。另外,由于图9A示出了当压电层12的厚度为 $0.3\lambda$ 时的仿真结果,并且图9B示出了当压电层12的厚度为 $0.5\lambda$ 时的仿真结果,所以压电层12的厚度优选为大于等于 $0.2\lambda$ 且小于等于 $0.6\lambda$ ,更优选为大于等于 $0.3\lambda$ 且小于等于 $0.5\lambda$ 。

[0065] 图10A和图10B是当绝缘层的厚度变化时机电耦合系数相对于压电层的切割角的曲线图。横轴表示压电层12的切割角,并且纵轴表示机电耦合系数。图10A表示在除了将压电层12的厚度固定为 $0.3\lambda$ 并且将绝缘层11的厚度改变为 $0.3\lambda$ 、 $0.5\lambda$ 、 $0.7\lambda$ 和 $0.9\lambda$ 之外与图6

和图7的条件下进行的仿真结果。图10B表示在除了将压电层12的厚度固定为 $0.5\lambda$ 并且将绝缘层11的厚度改变为 $0.3\lambda$ 、 $0.5\lambda$ 、 $0.7\lambda$ 和 $0.9\lambda$ 之外与图6和图7的条件相同的条件下进行的仿真结果。

[0066] 图10A和图10B表明了随着绝缘层11的厚度增大,机电耦合系数减小。因此,为了抑制机电耦合系数的减小,绝缘层11的厚度优选为小于等于 $0.7\lambda$ ,更优选为小于等于 $0.5\lambda$ ,进一步优选为小于等于 $0.4\lambda$ 。

[0067] 图6至图10B所示的仿真结果表明,绝缘层11的厚度优选为大于等于 $0.1\lambda$ 且小于等于 $0.7\lambda$ ,并且压电层12的厚度优选为大于等于 $0.2\lambda$ 且小于等于 $0.6\lambda$ ,以确保机电耦合系数并减小TCF之差。绝缘层11的厚度更优选为大于等于 $0.3\lambda$ 且小于等于 $0.7\lambda$ ,并且压电层12的厚度更优选为大于等于 $0.3\lambda$ 且小于等于 $0.5\lambda$ 。换句话说,绝缘层11的厚度优选为等于或大于梳状电极18中的一个的电极指15的平均节距的0.1倍并且等于或小于梳状电极18中的一个的电极指15的平均节距的0.7倍,同时压电层12的厚度优选为等于或大于梳状电极18中的一个的电极指15的平均节距的0.2倍并且等于或小于梳状电极18中的一个的电极指15的平均节距的0.6倍。绝缘层11的厚度更优选为等于或大于梳状电极18中的一个的电极指15的平均节距的0.3倍并且等于或小于梳状电极18中的一个的电极指15的平均节距的0.7倍,同时压电层12的厚度更优选为等于或大于梳状电极18中的一个的电极指15的平均节距的0.3倍并且等于或小于梳状电极18中的一个的电极指15的平均节距的0.5倍。

[0068] 为了确保机电耦合系数并减小TCF之差,绝缘层11的厚度可以为大于等于 $0.3\lambda$ 且小于等于 $0.5\lambda$ ,可以为大于等于 $0.4\lambda$ 且小于等于 $0.7\lambda$ ,或者可以为大于等于 $0.5\lambda$ 且小于等于 $0.7\lambda$ 。压电层12的厚度可以为大于等于 $0.3\lambda$ 且小于等于 $0.4\lambda$ 。

[0069] 图6至图10B所示的仿真结果是绝缘层11为二氧化硅( $\text{SiO}_2$ )层的情况下的结果,但是,当绝缘层11是添加了氟的氧化硅( $\text{SiOF}$ )层或包含氧化硅( $\text{SiO}$ )的添加了氮的氧化硅( $\text{SiON}$ )层时,认为获得相同的结果。因此,绝缘层11不限于二氧化硅层,并且可以是任何包含氧化硅的绝缘层。包含氧化硅的层是指包含Si和O的总浓度为50原子%或更高的层,优选包含Si和O的总浓度为80原子%或更高的层。

#### [0070] 第二实施方式

[0071] 图11是根据第二实施方式的声波谐振器的截面图。如图11所示,在根据第二实施方式的声波谐振器200中,不设置绝缘层11,并且压电层12接合在支撑基板10上。压电层12可以直接接合在支撑基板10上,也可以通过接合层或插置其间的其它层间接地接合在支撑基板10上。其余结构与第一实施方式相同,因此省略其描述。除了使用表面活化方法将压电基板接合在支撑基板10上以外,使用与形成第一实施方式的声波谐振器100的方法相同的方法形成第二实施方式的声波谐振器200。

[0072] 如在第一实施方式中所述的,表面声波传播通过从压电层12的表面到深度为 $2\lambda$ 的区域。也就是说,当压电层12的厚度大于 $2\lambda$ 时,距压电层12的表面比 $2\lambda$ 深的区域是表面声波不传播通过的区域。因此,当在支撑基板10与压电层12之间未插入绝缘层11时,将压电层12的厚度调整为 $2\lambda$ 或更小以减小声波谐振器的尺寸。换句话说,梳状电极18中的一个的电极指15的平均节距被调整为等于或大于压电层12的厚度的 $1/2$ 。在这种情况下,如图8A所示,通过将压电层12的切割角调整到大于 $50^\circ$ 且小于 $150^\circ$ 的范围内,可以减小声波谐振器的谐振频率fr的温度系数和反谐振频率fa的温度系数之差的绝对值。

[0073] 即使在不设置绝缘层11的情况下(如在第一实施方式中那样),为了确保机电耦合系数并减小TCF之差,压电层12的切割角优选为大于 $50^\circ$ 且小于 $90^\circ$ ,更优选为大于等于 $55^\circ$ 且小于等于 $90^\circ$ ,进一步优选为大于 $50^\circ$ 且小于等于 $70^\circ$ ,又进一步优选为大于等于 $55^\circ$ 且小于等于 $70^\circ$ 。另外,为了确保机电耦合系数并进一步减小TCF之差,压电层12的切割角可以为大于等于 $60^\circ$ 且小于等于 $90^\circ$ ,可以为大于等于 $60^\circ$ 且小于等于 $80^\circ$ ,或者可以为大于等于 $70^\circ$ 且小于等于 $90^\circ$ 。

[0074] 为了减小声波谐振器的尺寸,压电层12的厚度可以为 $1.8\lambda$ 或更小,可以为 $1.5\lambda$ 或更小,或者可以为 $1.0\lambda$ 或更小。

#### [0075] 第三实施方式

[0076] 图12是根据第三实施方式的声波谐振器的截面图。如图12所示,在根据第三实施方式的声波谐振器300中,接合层26插置在绝缘层11与压电层12之间。接合层26由例如氧化铝、硅或氮化铝形成,并且具有例如1nm至100nm的厚度。在支撑基板10与绝缘层11之间的边界面60上形成有凹入和凸出。凹入和凸出可以规则地形成或不规则地形成。边界面60的算术平均粗糙度Ra为例如大于等于10nm且小于等于1000nm,更优选为大于等于50nm且小于等于500nm,进一步优选为大于等于100nm且小于等于300nm。通过使用形成在支撑基板10上的掩模层作为掩模蚀刻或喷砂(sandblasting)去除支撑基板10的上部并且然后在支撑基板10上形成绝缘层11来形成本边界面60上的凹入和凸出。例如,当支撑基板10是蓝宝石基板时,可以通过使用氯基气体的干蚀刻来去除支撑基板10的上部。根据支撑基板10的材料适当地选择蚀刻液和蚀刻气体。其余结构与第一实施方式相同,因此省略其描述。

[0077] 如在第三实施方式中那样,通过在绝缘层11与压电层12之间设置接合层26来增强绝缘层11与压电层12之间的接合强度。在支撑基板10和绝缘层11之间的边界面60上的凹入和凸出的形成使得由IDT 22激发的声波被容易地限制在压电层12和绝缘层11中。另外,减少了由于体波引起的杂散发射。

#### [0078] 第四实施方式

[0079] 图13A至图13C分别是根据第四实施方式、第四实施方式的第一变型例和第四实施方式的第二变型例的声波谐振器的截面图。如图13A所示,在第四实施方式的声波谐振器400中,接合层26插置在绝缘层11与压电层12之间,并且边界层27插置在支撑基板10与绝缘层11之间。边界层27中的体波的声速大于压电层12和绝缘层11中的体波的声速。边界层27由例如氧化铝、氮化铝、硅、氮化硅或碳化硅形成。边界层27的厚度例如为 $0.5\lambda$ 或更大,进一步优选为 $1.5\lambda$ 或更大。其余结构与第一实施方式相同,因此省略其描述。

[0080] 如在第四实施方式中那样,当作为高声速层的边界层27插置在支撑基板10和绝缘层11之间时,由IDT 22激发的声波被容易地限制在压电层12和绝缘层11内。

[0081] 如图13B所示,在第四实施方式的第一变型例的声波谐振器410中,在支撑基板10与边界层27之间的边界面62上形成有凹入和凸出。凹入和凸出可以规则地形成或可以不规则地形成。边界面62的算术平均粗糙度Ra为例如大于等于10nm且小于等于1000nm,优选为大于等于50nm且小于等于500nm,进一步优选为大于等于100nm且小于等于300nm。其余结构与第四实施方式相同,因此省略其描述。在支撑基板10和边界层27之间的边界面62上的凹入和凸出的形成减少了由于体波引起的杂散发射。

[0082] 如图13C所示,在根据第四实施方式的第二变型例的声波谐振器420中,在支撑基

板10与边界层27之间的边界面62上形成凹入和凸出，并且，在边界层27与绝缘层11之间的边界面64上形成凹入和凸出。凹入和凸出可以规则地形成或可以不规则地形成。边界面62和边界面64中的每一个的算术平均粗糙度Ra为例如大于等于10nm且小于等于1000nm，优选为大于等于50nm且小于等于500nm，进一步优选为大于等于100nm且小于等于300nm。其余结构与第四实施方式相同，因此省略其描述。在边界层27与绝缘层11之间的边界面64上的凹入和凸出的形成允许由IDT 22激发的声波被容易地限制在压电层12和绝缘层11中。另外，减少了由于体波引起的杂散发射。

[0083] 第五实施方式

[0084] 图14是根据第五实施方式的滤波器的电路图。如图14所示，第五实施方式的滤波器500包括一个或更多个串联在输入端子Tin和输出端子Tout之间的串联谐振器S1至S3。一个或更多个并联谐振器P1和P2并联连接在输入端子Tin和输出端子Tout之间。第一实施方式至第四实施方式的第二变型例的声波谐振器中的任何一个可以用于一个或更多个串联谐振器S1至S3以及一个或更多个并联谐振器P1和P2中的至少一个。可以适当地选择梯型滤波器的谐振器的数量。

[0085] 第六实施方式

[0086] 图15是根据第六实施方式的双工器的电路图。如图15所示，在第六实施方式的双工器600中，发送滤波器70的第一端连接到公共端子Ant，并且发送滤波器70的第二端连接到发送端子Tx。接收滤波器72的第一端连接到公共端子Ant，并且接收滤波器72的第二端连接到接收端子Rx。发送滤波器70将发送频带中的信号作为从发送端子Tx输入的高频信号当中的发送信号发送到公共端子Ant，并抑制其它频率的信号。接收滤波器72将接收频带中的信号作为从公共端子Ant输入的高频信号当中的接收信号发送到接收端子Rx，并抑制其它频率的信号。发送滤波器70和接收滤波器72中的至少一个可以是第五实施方式的滤波器。描述了双工器作为多路复用器的示例，但是多路复用器可以是三工器或四工器。

[0087] 尽管已经详细描述了本发明的实施方式，但是本发明不限于这种特定的实施方式，并且应当理解，可以做出各种改变、替换和变更而不脱离本发明的精神和范围。

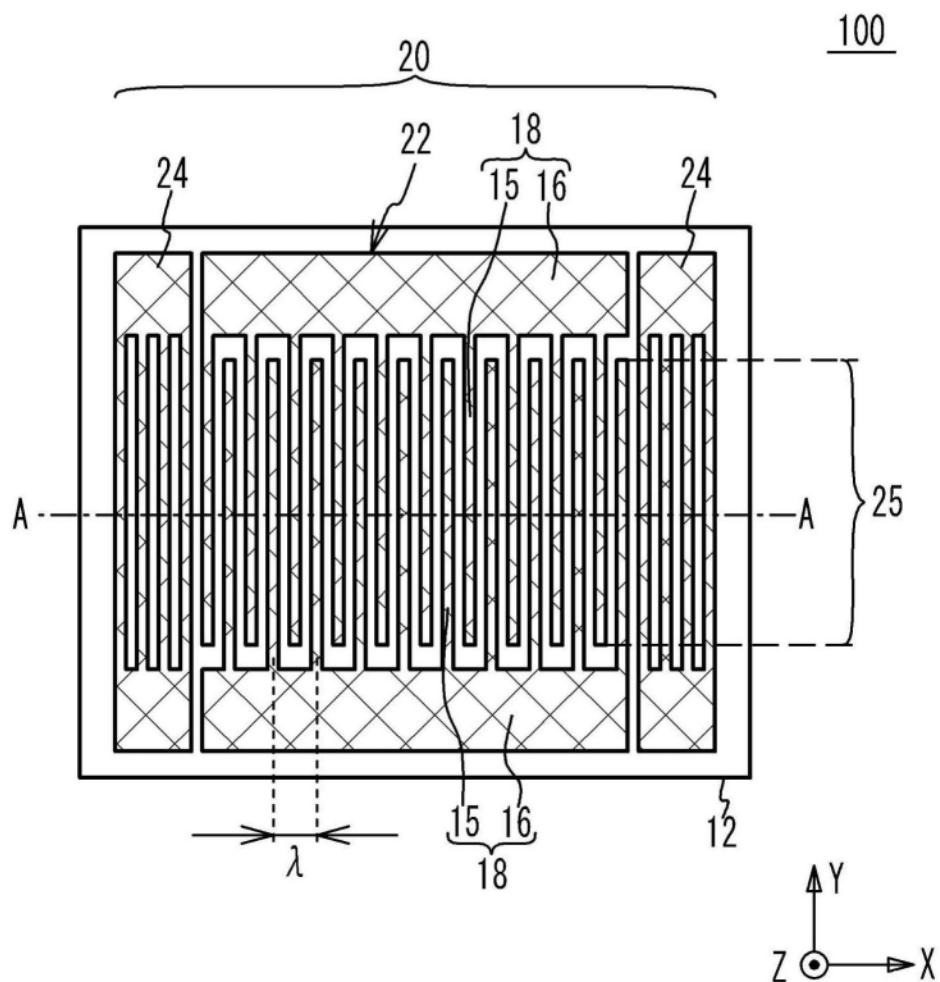


图1A

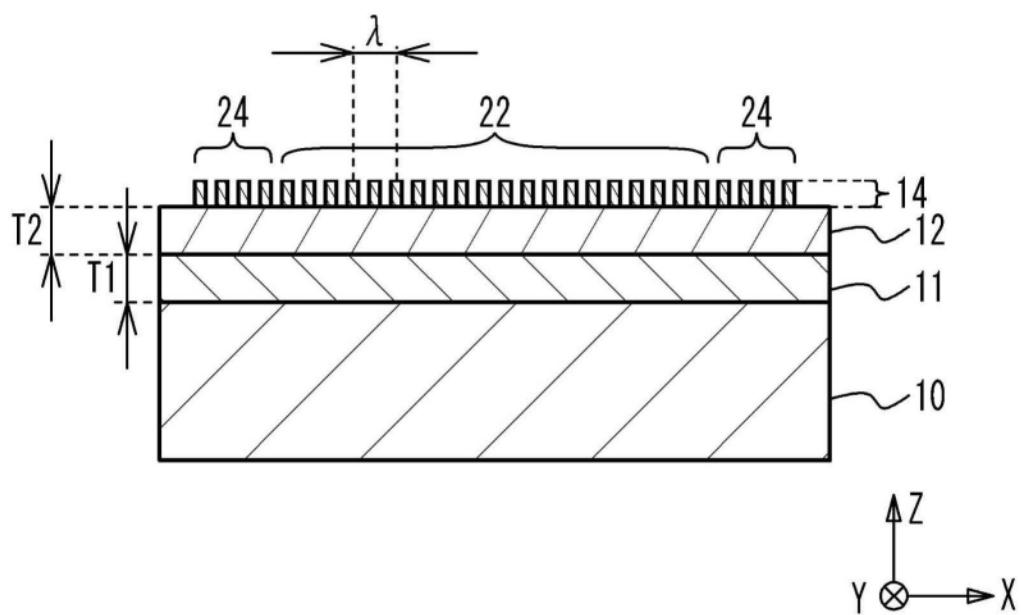


图1B

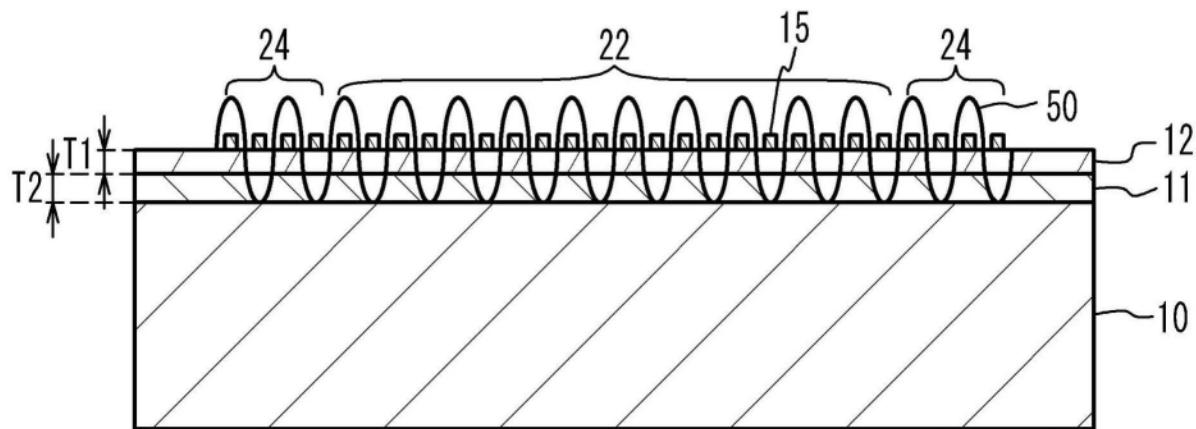


图2

仿真A

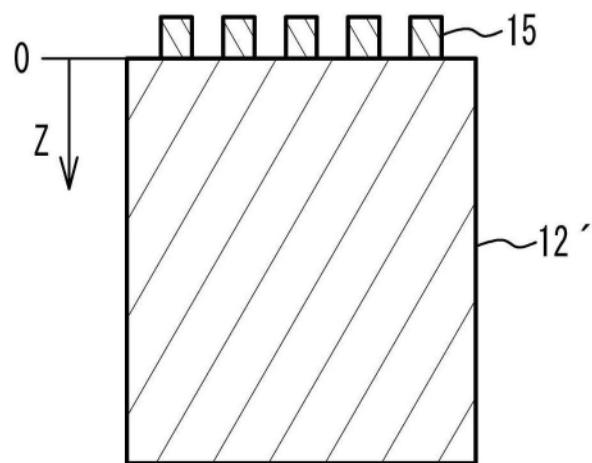


图3A

仿真B

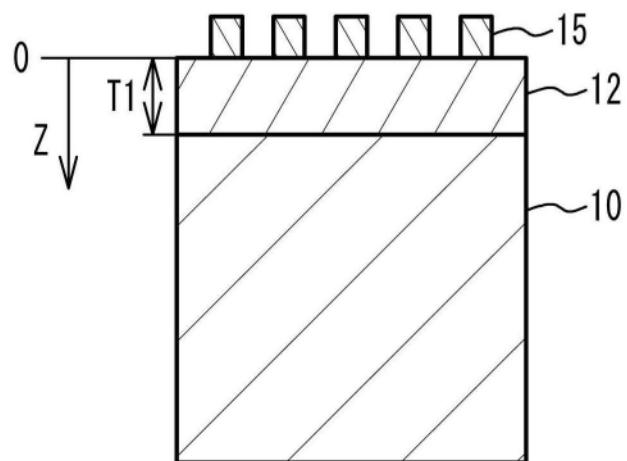


图3B

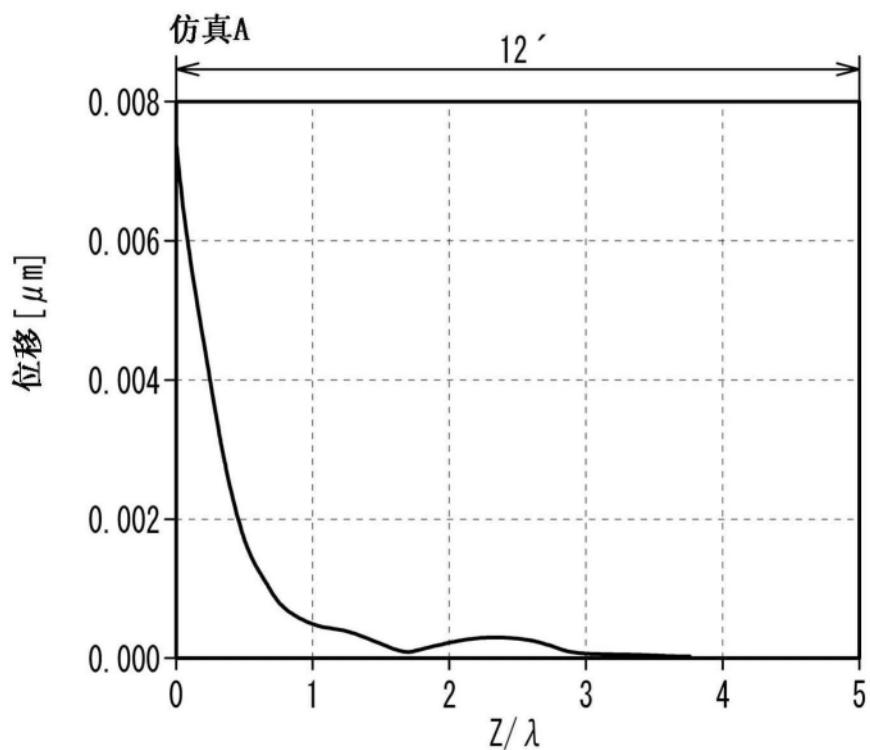


图4A

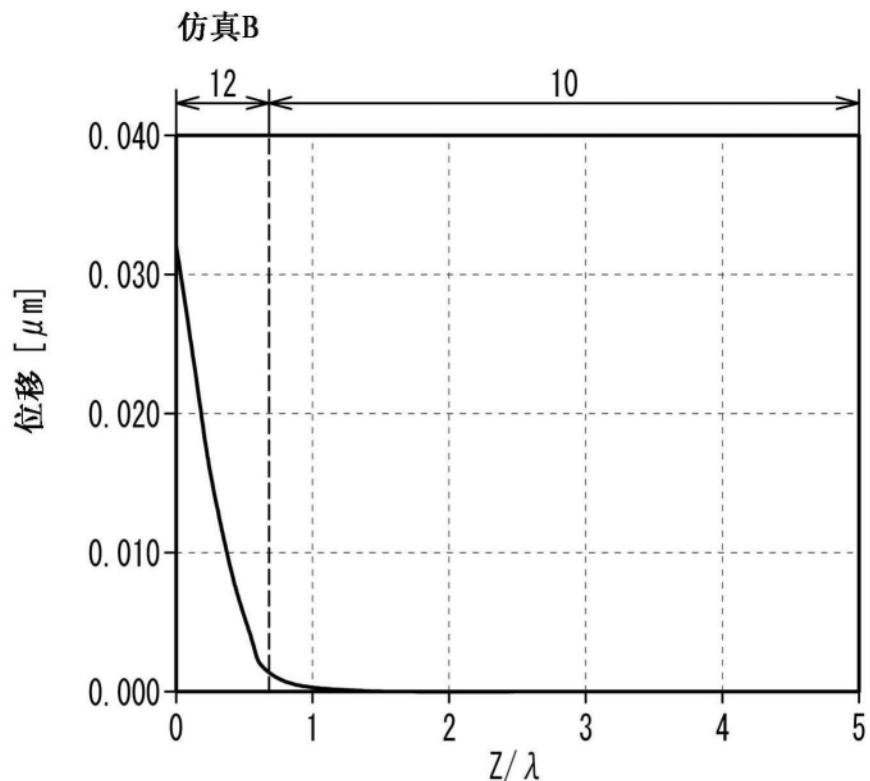


图4B

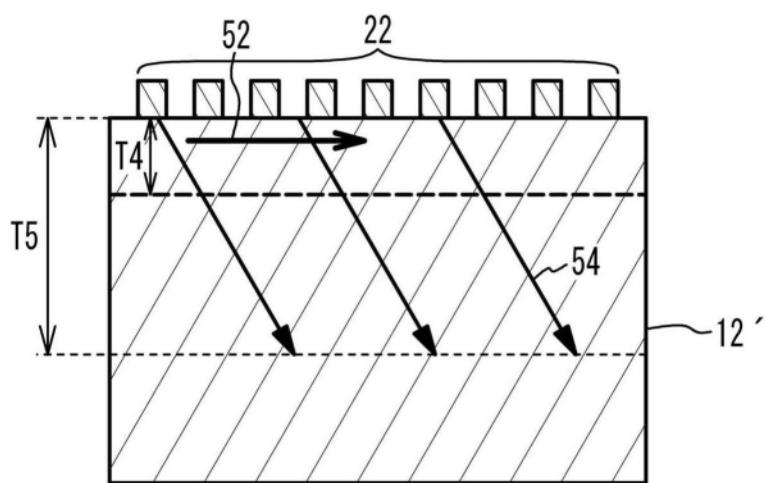


图5A

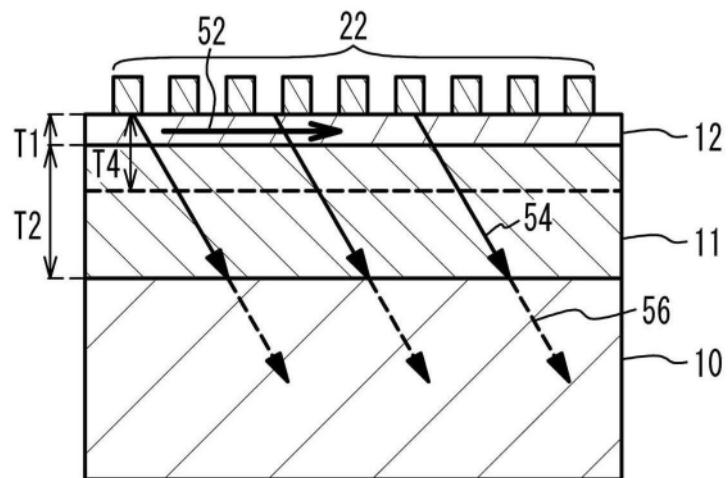


图5B

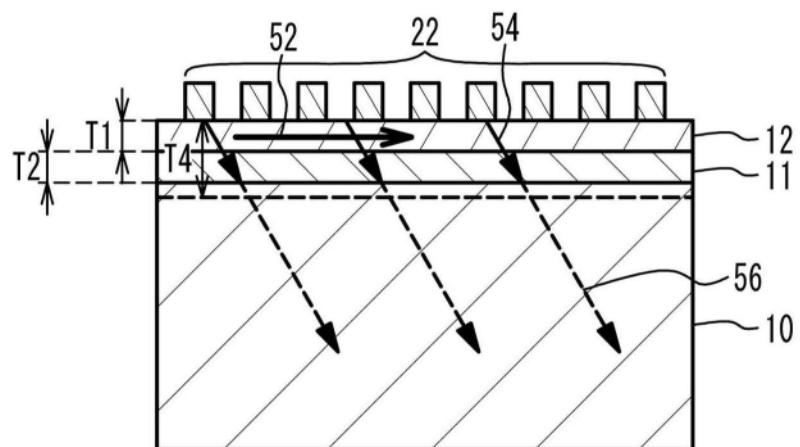


图5C

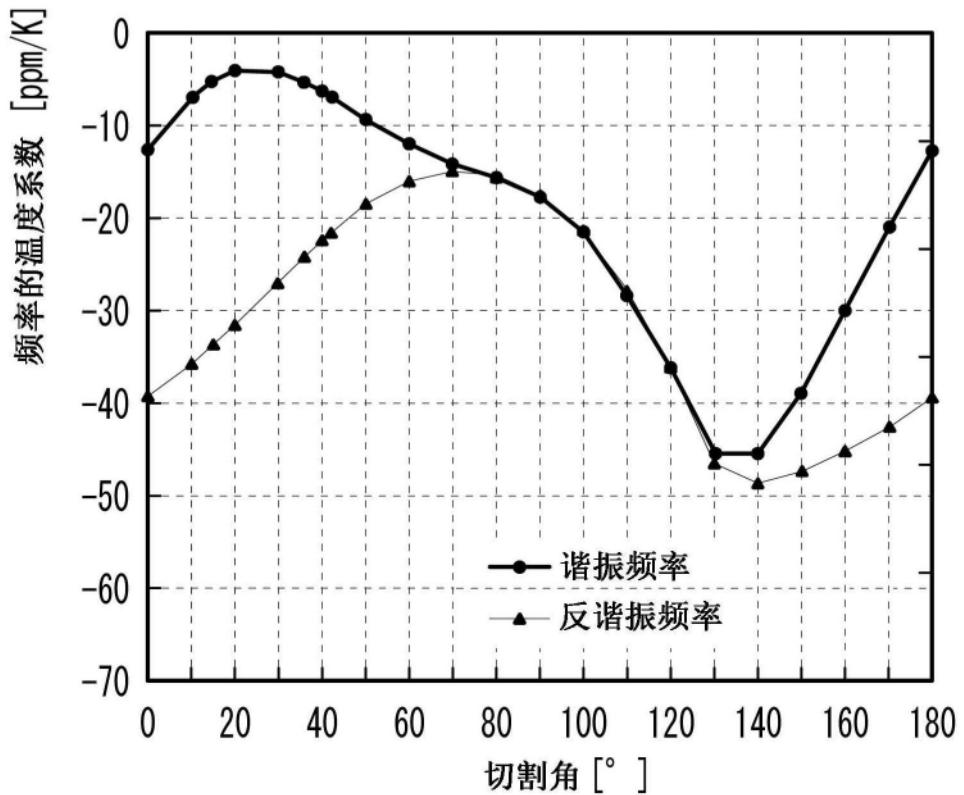


图6

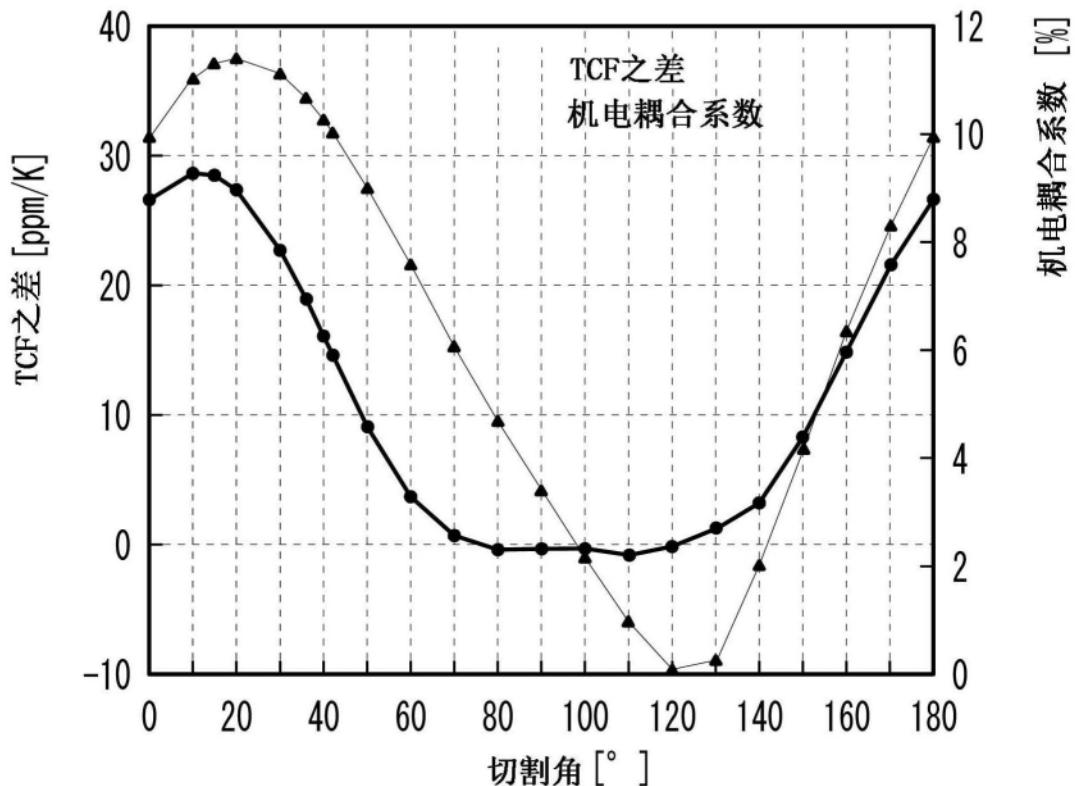


图7

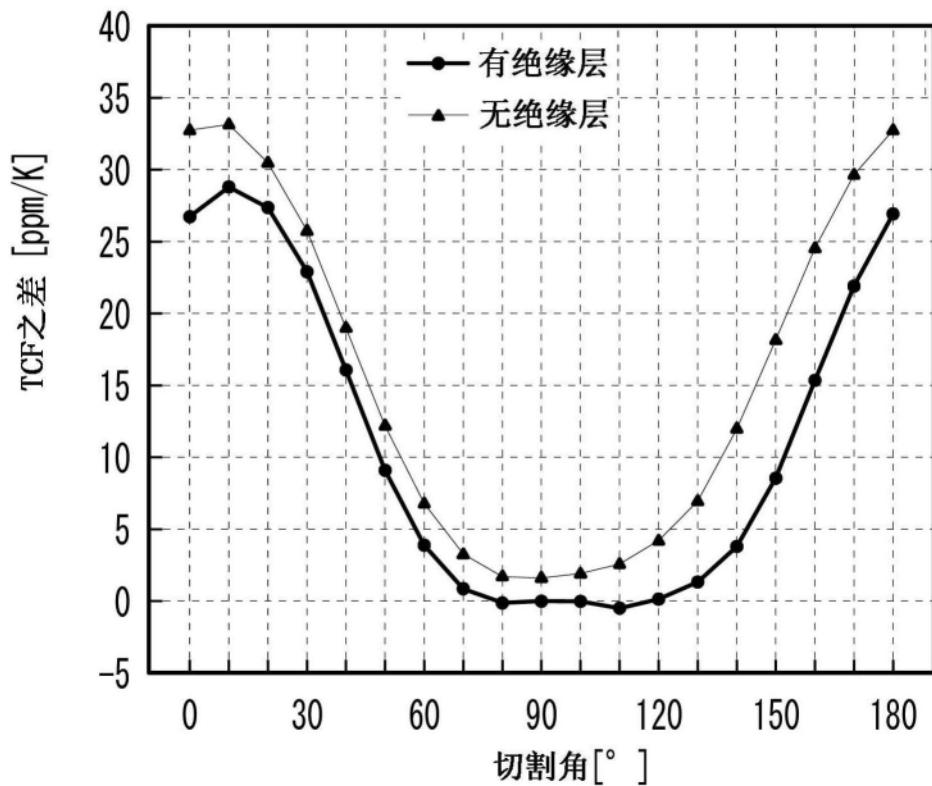


图8A

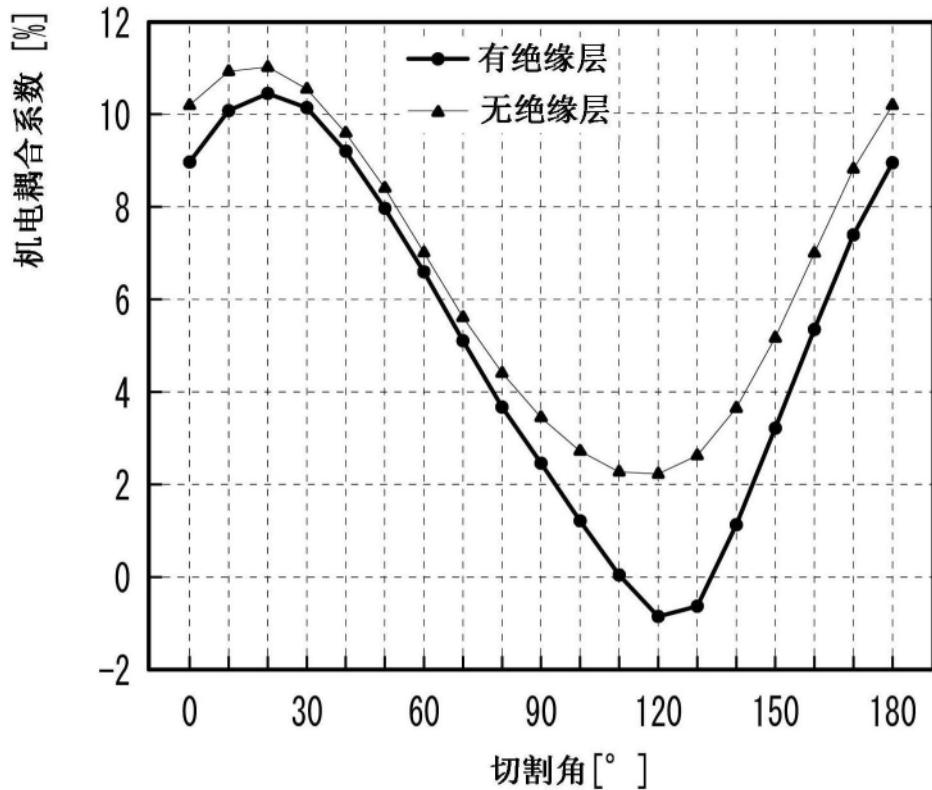


图8B

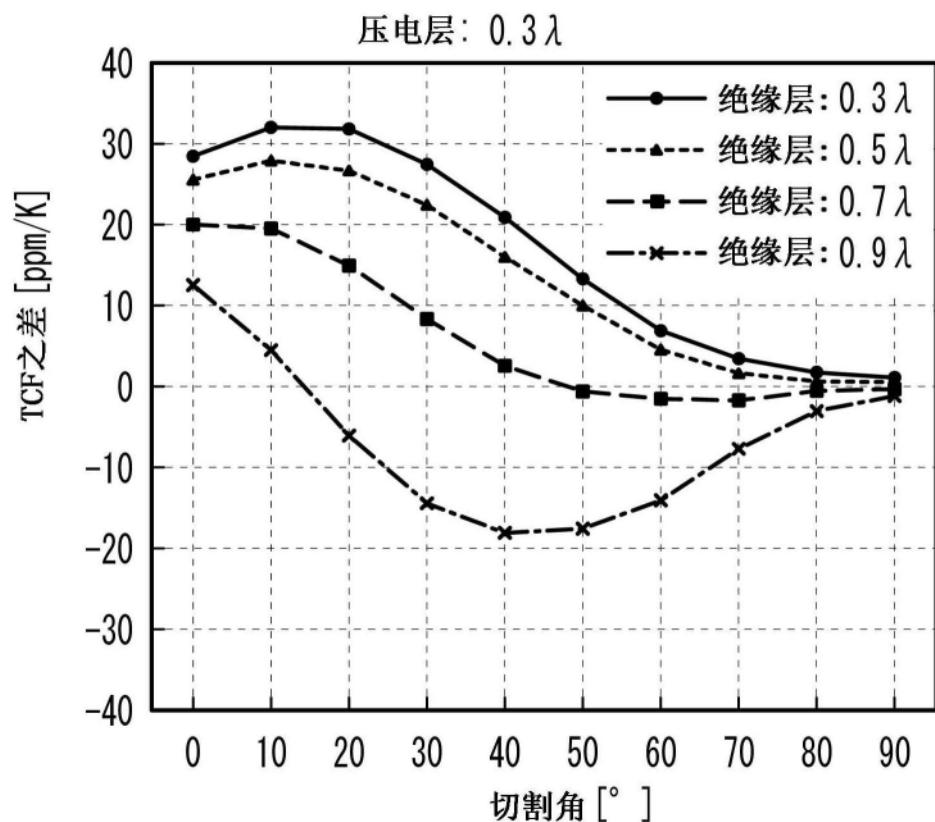


图9A

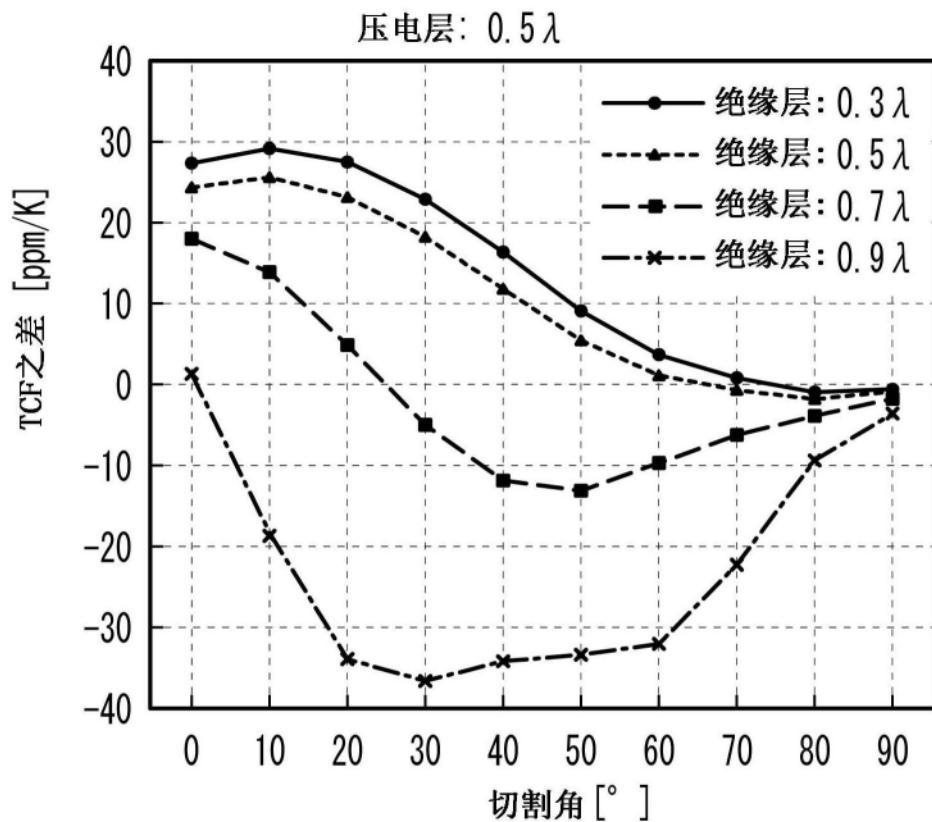


图9B

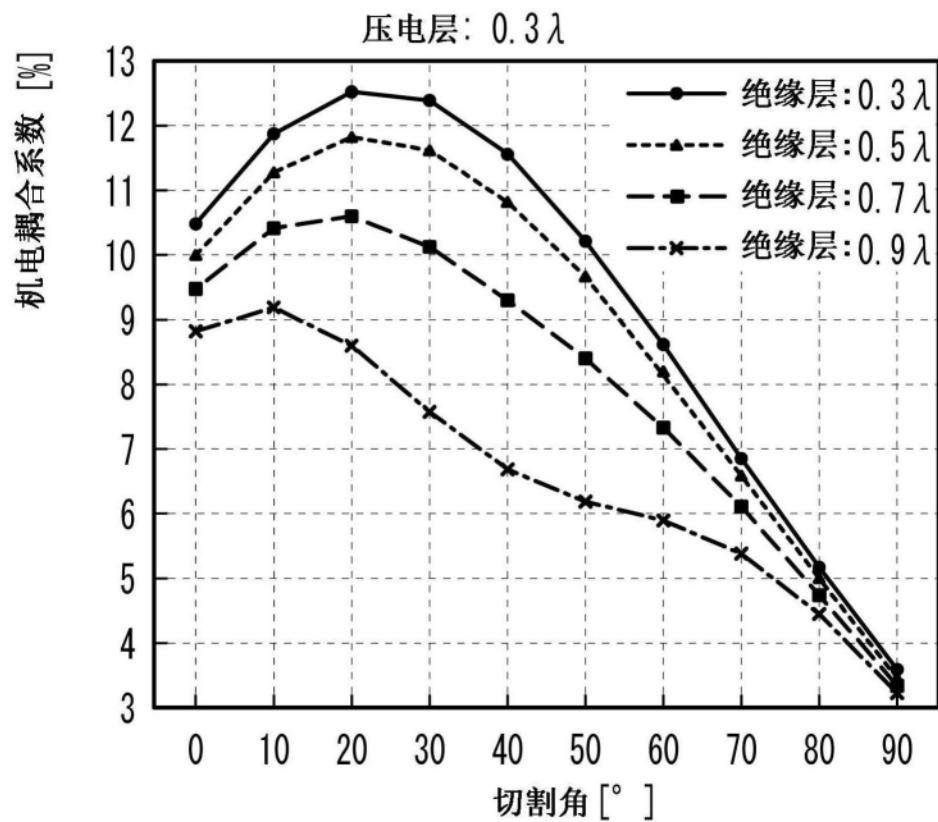


图10A

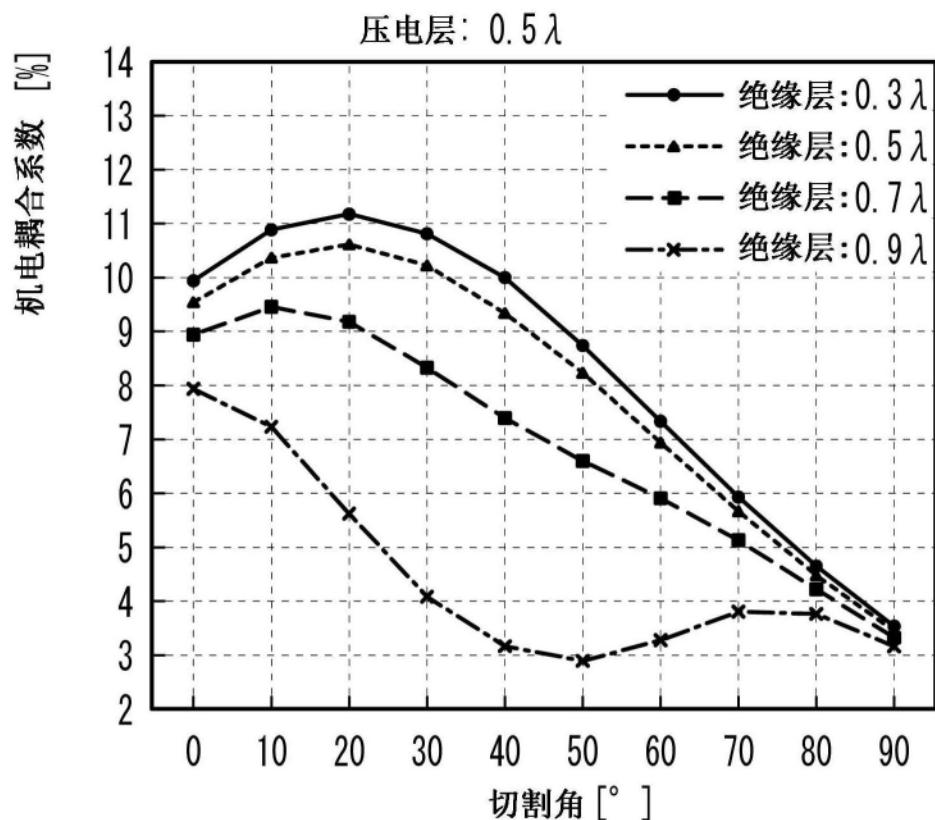


图10B

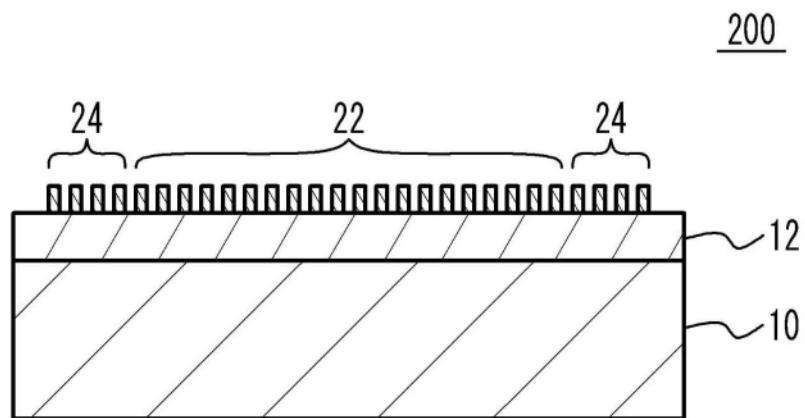


图11

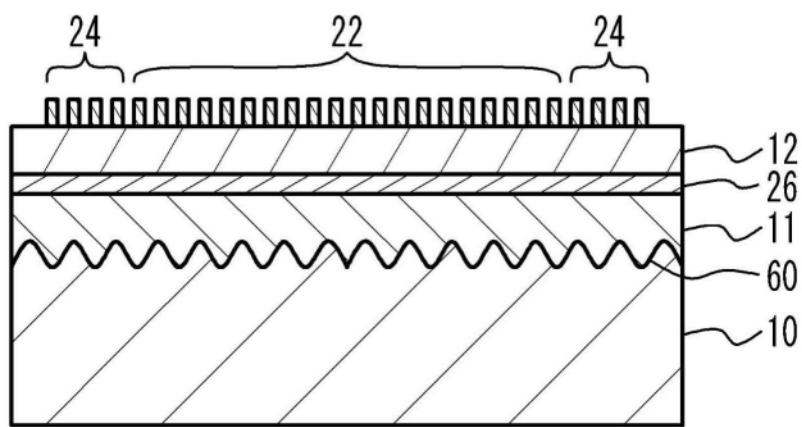
300

图12

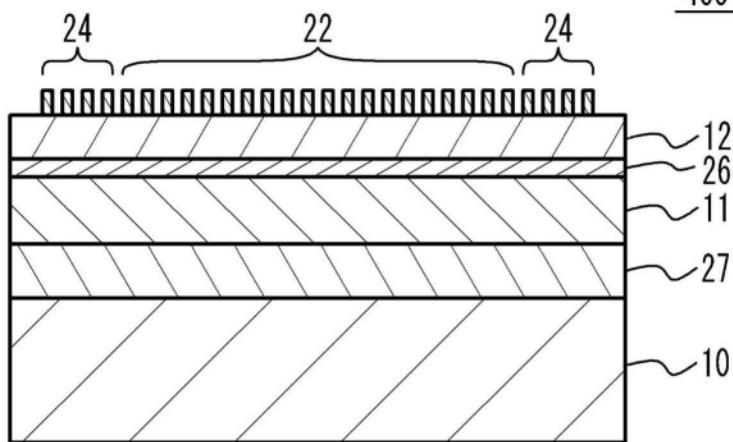
400

图13A

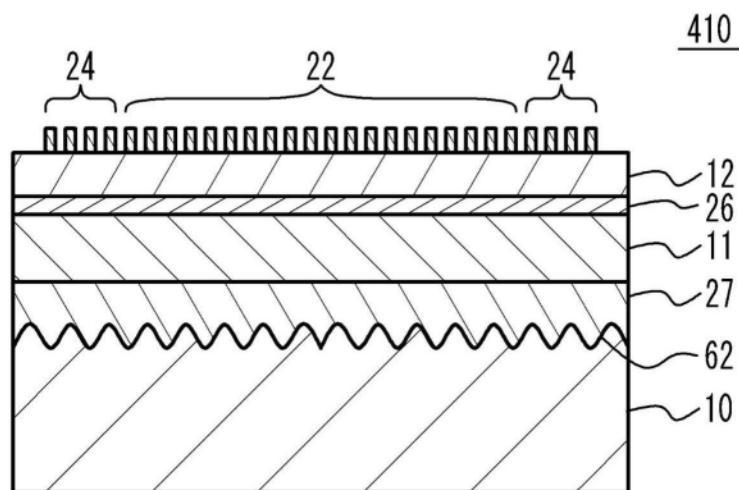


图13B

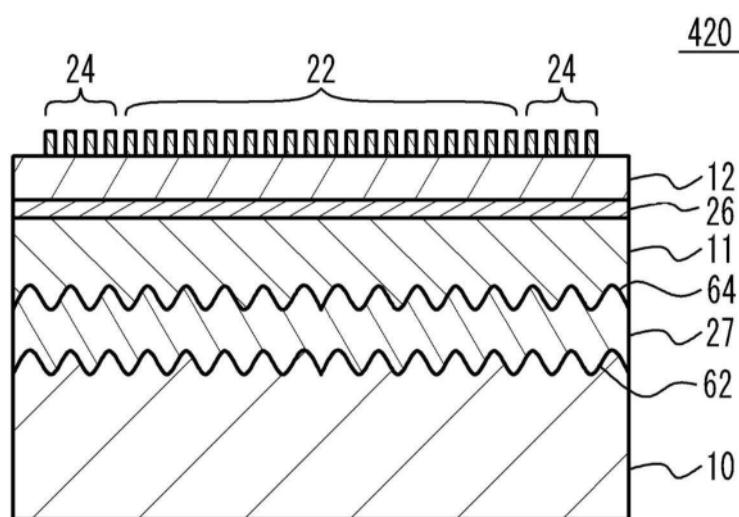


图13C

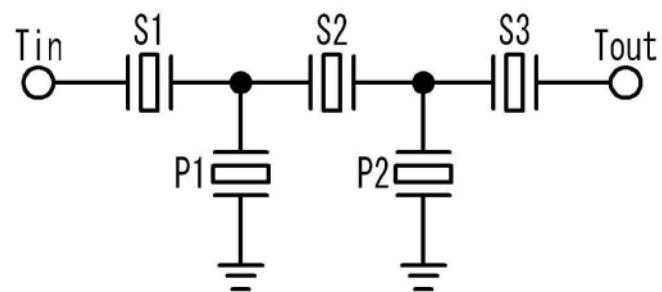
500

图14

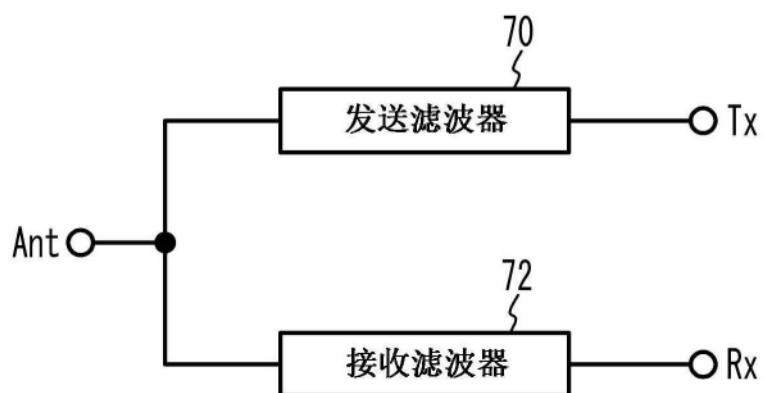
600

图15