



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102403978 B

(45) 授权公告日 2015. 04. 01

(21) 申请号 201110247975. 0

(22) 申请日 2011. 08. 26

(30) 优先权数据

2010-201749 2010. 09. 09 JP

(73) 专利权人 精工爱普生株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 山中国人

(74) 专利代理机构 北京金信知识产权代理有限公司

公司 11225

代理人 黄威 张彬

(51) Int. Cl.

H03H 9/145(2006. 01)

H03H 9/25(2006. 01)

(56) 对比文件

US 2006/0145568 A1, 2006. 07. 06, 全文.

US 2007/0182278 A1, 2007. 08. 09, 全文.

JP 特开 2007-300174 A, 2007. 11. 15, 全文.

审查员 梁静

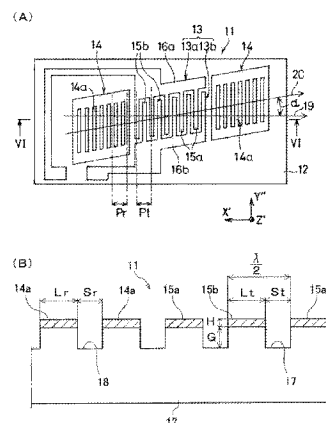
权利要求书2页 说明书17页 附图13页

(54) 发明名称

声表面波器件、电子设备及传感器装置

(57) 摘要

本发明提供一种声表面波 (SAW) 器件、电子设备以及传感器装置。该 SAW 器件能够在动作温度范围内同时实现优异的频率温度特性和较高 Q 值。SAW 器件 (11) 具有 :IDT(13), 其在欧拉角 ($-1.5^{\circ} \leq \phi \leq 1.5^{\circ}$, $117^{\circ} \leq \theta \leq 142^{\circ}$, $42.79^{\circ} \leq |\psi| \leq 49.57^{\circ}$) 的水晶基板 12 的主面上, 激振阻带上限模式的 SAW; 一对反射器 (14), 其被配置在 IDT(13) 的两侧; 电极指间槽 (17), 其凹设在 IDT 的电极指 (15a、15b) 之间; 导体条间槽 (18), 其凹设在反射器的导体条 (14a) 之间。与电极指以及导体条正交的第 1 方向 (X' 轴) 和水晶基板的电轴 (X 轴) 以角度 ψ 交叉, 并且 IDT 以及反射器的至少一部分被配置在, 以 $1.0^{\circ} \leq \alpha \leq 2.75^{\circ}$ 的角度 α 与第 1 方向交叉的第 2 方向上。



1. 一种声表面波器件,其特征在于,
具有:

水晶基板,其欧拉角为 $-1.5^{\circ} \leq \phi \leq 1.5^{\circ}$, $117^{\circ} \leq \theta \leq 142^{\circ}$, $42.79^{\circ} \leq |\psi| \leq 49.57^{\circ}$;

叉指换能器,其由被设置于所述水晶基板的主面上的多个电极指构成,且激励阻带上限模式的声表面波;

一对反射器,其沿着所述声表面波的传播方向并以夹着所述叉指换能器的方式而配置在叉指换能器的两侧,并分别由多个导体条构成;

电极指间槽,其凹设在所述叉指换能器的相邻的所述电极指之间的、所述水晶基板的表面上;

导体条间槽,其凹设在所述反射器的相邻的所述导体条之间的、所述水晶基板的表面上,

所述声表面波的波长 λ 和所述电极指间槽的深度 G 满足 $0.01 \times \lambda \leq G$ 的关系,

所述叉指换能器的线占有率 η 与所述电极指间槽的深度 G 满足下述式 8 以及式 9 的关系,即,

式 8

$-2.0000 \times G/\lambda + 0.7200 \leq \eta \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775$, 但是, $0.0100 \times \lambda \leq G \leq 0.0500 \times \lambda$

式 9

$-3.5898 \times G/\lambda + 0.7995 \leq \eta \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775$, 但是, $0.0500 \times \lambda < G \leq 0.0695 \times \lambda$

第 1 方向与所述水晶基板的电轴之间所成的角度为所述欧拉角 ψ ,其中,所述第一方向为所述电极指以及所述导体条正交的方向,

所述叉指换能器以及反射器的至少一部分被配置在,以与所述第 1 方向成角度 α 而交叉的第 2 方向上,且所述角度 α 在 $1.0^{\circ} \leq \alpha \leq 2.75^{\circ}$ 的范围内。

2. 如权利要求 1 所述的声表面波器件,其特征在于,

所述角度 α 与所述欧拉角 ψ 之间,满足 $\psi = 1.06 \times \alpha + 43.69^{\circ} + 0.05^{\circ}$ 的关系。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的声表面波器件,其特征在于,

所述叉指换能器的线占有率 η 满足下式 7,即,

式 7

$$\begin{aligned} \eta = & -1963.05 \times (G/\lambda)^3 + 196.28 \times (G/\lambda)^2 - 6.53 \times (G/\lambda) \\ & - 135.99 \times (H/\lambda)^2 + 5.817 \times (H/\lambda) + 0.732 \\ & - 99.99 \times (G/\lambda) \times (H/\lambda) \end{aligned}$$

其中, H 为所述电极指的膜厚。

4. 如权利要求 1 或 2 所述的声表面波器件,其特征在于,

所述电极指间槽的深度 G 与所述电极指的膜厚 H 之和,满足 $0.0407 \times \lambda \leq G+H$ 。

5. 如权利要求 1 或 2 所述的声表面波器件,其特征在于,

还具有用于驱动所述叉指换能器的集成电路。

6. 一种电子设备,其特征在于,

具有权利要求 1 或 2 所述的声表面波器件。

7. 一种传感器装置,其特征在于,
具有权利要求 1 或 2 所述的声表面波器件。

声表面波器件、电子设备及传感器装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种利用了声表面波 (surface acoustic wave :SAW) 的谐振子、振荡器等的声表面波器件、以及具有 SAW 器件的电子设备及传感器装置。

背景技术

[0002] SAW 器件被广泛应用于,例如移动电话、硬盘、个人计算机、BS 及 CS 广播的接收调谐器、在同轴电缆或光缆中传播的高频信号或光信号的处理设备、在较宽的温度范围内需要高频、高精度时钟脉冲 (低抖动、低相位噪声) 的服务器和网络设备、无线通信用设备等的电子设备、以及压力传感器、加速度传感器、旋转速度传感器等的各种传感器装置中。在这些设备和装置中,特别是随着最近的信息通信的高速化所带来的基准时钟脉冲的高频化和装置框架的小型化,使得装置内的发热的影响变大。因此,安装于装置内部的电子器件需要工作温度范围的扩大及高精度化,例如,如设置于屋外的无线基站这样,需要在温度由低温到高温发生剧烈变化的环境下,进行长期稳定的工作。

[0003] 一般在 SAW 谐振子等的 SAW 器件中,SAW 的阻带和所使用的水晶基板的切割角、形成于基板上的 IDT (interdigital transducer :叉指换能器) 的形态等,会给频率温度特性的变化带来很大影响。例如,已经提出了一种反射反转型 SAW 转换器,其具有将 SAW 的每 1 波长由 3 根电极指构成的单位区间、在压电基板上重复排列而成的 IDT,并分别用于激励 SAW 的阻带的上限模式、下限模式 (例如,参照专利文献 1)。如果通过该反射反转型 SAW 转换器构成 SAW 滤波器,则能够在通频带附近的高频侧抑制区实现高衰减量。

[0004] 另外,已知一种采用了欧拉角 $(\phi, \theta, \psi) = (0^\circ, 123^\circ, 0^\circ)$ 的所谓 ST 切割水晶基板的反射反转型 SAW 转换器 (例如,参照专利文献 2)。在该专利文献中记载有:能够激励阻带的上端的谐振,且与采用阻带的下端的谐振的情况相比,提高了频率温度特性。而且,还报告有如下内容,即,SAW 的阻带的上限模式与阻带的下限模式相比,频率温度特性更加良好 (例如,参照专利文献 3 ~ 6)。

[0005] 特别是,在专利文献 3、4 中记载有:为了在利用了瑞利波的 SAW 装置中获得良好的频率温度特性,对水晶基板的切割角进行调整,并且将 IDT 电极的标准化膜厚 (H/λ) 增厚到 0.1 左右。专利文献 3 所记载的 SAW 谐振子具有单型 IDT 电极,所述单型 IDT 电极在欧拉角 $(\phi, \theta, \psi) = (\phi = 0^\circ, 0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ, 0^\circ < |\psi| < 90^\circ)$ 的水晶基板上,将 SAW 的每 1 波长由两条的电极指构成的单位区间重复排列。由此,能够通过阻带的上限模式激励瑞利波,并用此来实现 SAW 谐振子的高频化和良好的频率温度特性。

[0006] 专利文献 4 所公开的内容为,在具有所述单型 IDT 电极的 SAW 装置中,将水晶基板设定为欧拉角 $(\phi, \theta, \psi) = (\phi = 0^\circ, 110^\circ \leq \theta \leq 140^\circ, 38^\circ \leq |\psi| \leq 44^\circ)$,将由 IDT 电极的厚度 H 、IDT 电极中的电极指的宽度 d 、IDT 电极中的电极指之间的间距 P 及 SAW 的波长 λ 所规定的标准化电极膜厚 (H/λ) 和标准化电极宽度 $\eta (= d/P)$ 之间的关系设定为

[0007] $H/\lambda \geq 0.1796 \eta^3 - 0.4303 \eta^2 + 0.2071 \eta + 0.0682$ 。

[0008] 由此,能够通过阻带的上限模式较强地激励瑞利波。

[0009] 专利文献 5 公开了一种 SAW 元件,所述 SAW 元件在欧拉角 $(\phi, \theta, \psi) = (0^\circ, \theta, 9^\circ < |\psi| < 46^\circ)$ 、优选为 $(0^\circ, 95^\circ < \theta < 155^\circ, 33^\circ < \psi < 46^\circ)$ 的水晶基板上,配置单型 IDT 电极,将标准化电极膜厚 (H/λ) 设为 $0.045 \leq H/\lambda \leq 0.085$ 。由此,能够通过阻带的上限模式来激励瑞利波,从而实现良好的频率温度特性。

[0010] 专利文献 6 公开了一种 SAW 元件,所述 SAW 元件在欧拉角 $(\phi, \theta, \psi) = (0^\circ \sim 123^\circ, 43.2^\circ)$ 的面内旋转 ST 切割水晶基板上,配置所述单型 IDT 电极,通过将该标准化电极膜厚 (H/λ) 设为 $H/\lambda = 0.06$ 、即所谓的 $6\% \lambda$,从而用阻带的上限模式激励瑞利波。而且该 SAW 元件通过将由 IDT 电极的电极指宽度 L_t 和电极指间距 P_t 锁规定的标准化电极宽度 $\eta (= L_t/P_t)$ 设定为 $0.5 \leq \eta \leq 0.7$,从而在常温 (25°C) 下实现最大 830ppm 的频率偏差。

[0011] 另一方面,已知一种 SAW 谐振器,其在构成 IDT 的电极指之间及构成反射器的导体条之间的水晶基板表面上形成沟槽、即槽(例如,参照专利文献 7 及非专利文献 1)。在专利文献 7 中公开了如下内容,即,通过在 ST 切割 X 传播水晶基板上用铝电极构成 IDT 及反射器,且在水晶基板中的、从构成 IDT 的电极指之间、以及构成反射器的导体条(电极指)之间露出的区域上形成槽,从而使 Q 值变高且电容比变低,由此能够实现谐振电阻较低的 SAW 谐振器。而且在该专利文献中,记载了将 IDT 的槽与反射器的槽设为相同深度的结构、以及使反射器的槽深于 IDT 的槽的结构。

[0012] 在非专利文献 1 中,记载了使用 ST 切割水晶基板的组合型 SAW 谐振器的特性。其中报告了如下内容,即,该频率温度特性根据在未被 SAW 传播基板的电极覆盖的水晶表面上形成的槽的深度而发生变化,以及随着槽的加深,朝上凸起的二次曲线的顶点温度 T_p 将降低。

[0013] 本领域技术人员已经熟知这种通过在水晶等的压电基板上形成槽以对有效膜厚进行调节,从而对频率进行调节的方法(例如,参照专利文献 8 至 11)。专利文献 8 所记载的 SAW 器件为,在 IDT 的压电基板的蚀刻率大于 IDT 的蚀刻率的条件下对形成 IDT 的压电基板的表面进行蚀刻,从而以使其频率下降的方式对其频率进行微调。在专利文献 9 至 11 中,也同样通过以在压电基板表面上形成的 IDT 为掩模,对压电基板表面进行干法蚀刻,从而使 SAW 器件的频率向低频侧偏移。

[0014] 而且,已知在横向型 SAW 滤波器中,通过对 IDT 电极的电极指之间的压电基板表面进行蚀刻加工来形成槽,从而减小表观上的传播速度(例如,参照专利文献 12)。由此,能够在无需变更 SAW 滤波器的基本设计的条件下减小 IDT 电极的电极指间距,从而能够实现芯片的小型化。

[0015] 另外,已知在激振被称为 SSBW(Surface Skimming Bulk Wave) 的滑移波的 SAW 谐振器中,在旋转 Y 切割、切割角 -43° 至 -52° 、滑移波传播方向为 Z' 轴方向(欧拉角 $(\phi, \theta, \psi) = (0^\circ, 38^\circ \leq \theta \leq 47^\circ, 90^\circ)$) 的水晶基板上,通过铝形成标准化电极膜厚 (H/λ) 为 $2.0 \leq H/\lambda \leq 4.0\%$ 的 IDT 电极,从而能够实现三次曲线的频率温度特性(例如,参照专利文献 13)。由于滑移波(SH 波)将其振动能量封闭在电极正下方并在压电基板的表面正下方传播,因而 SAW 与沿着基板表面传播的 ST 切割水晶 SAW 器件相比,存在来自反射器的 SAW 的反射效率较差且难以实现小型化及较高的 Q 值的问题。

[0016] 为了解决上述问题,已经提出一种在欧拉角 $(\phi, \theta, \psi) = (0^\circ, -64^\circ < \theta < -49.3^\circ, 85^\circ \leq \psi \leq 95^\circ)$ 的旋转Y切割水晶基板的表面上形成IDT和光栅反射器,并激振SH波的SAW器件(例如,参照专利文献14)。该SAW器件通过将用SAW的波长 λ 标准化了的电极膜厚 H/λ 设定为 $0.04 < H/\lambda < 0.12$,从而实现了小型化、较高的Q值及优异的频率稳定性。

[0017] 而且,在所涉及的SAW器件中,为了解决由因电极膜厚较厚而产生的应力迁移所导致的、Q值和频率稳定性劣化的问题,提出了一种在IDT的电极指之间的水晶基板上形成槽的方案(例如,参照专利文献15)。当将该槽的深度设为 H_p 、将IDT的金属膜的膜厚设为 H_m 时,由于通过将用SAW的波长 λ 标准化了的电极膜厚 H/λ 设定为 $0.04 < H/\lambda < 0.12$ (但是, $H = H_p + H_m$)的范围,从而能够使金属膜的表现上的膜厚变薄,因而能够抑制由通电时的应力迁移所导致的频率变动,进而实现Q值较高、频率稳定性优异的SAW器件。

[0018] 在SAW器件的批量生产过程中,当通过蚀刻在水晶基板的表面上形成IDT的电极指时,如果电极指的膜厚较厚,则通过由此而引起的侧向蚀刻,在IDT的线占有率(行间隔比) η 上将容易产生误差。其结果为,当由SAW器件的温度变化引起的频率的变动量产生误差时,产品的可靠性、质量将受到损害。已知一种SAW器件,其为了消除这个问题,采用欧拉角 $(\phi, \theta, \psi) = (0^\circ, 95^\circ \leq \theta \leq 155^\circ, 33^\circ \leq |\psi| \leq 46^\circ)$ 的面内旋转ST切割水晶基板,激振SAW的阻带的上限模式,从而在IDT的电极指之间的水晶基板表面上形成电极指间槽(例如,参照专利文献16)。

[0019] 另外,在SAW器件的频率温度特性在工作温度范围内为二次曲线的情况下,实现频率变动宽度的极小化和拐点较为困难。因此,为了获得三次曲线的频率温度特性,提出了一种SAW装置,其通过空隙层和介质膜而在LST切割的水晶基板上形成IDT电极,并激振泄漏型SAW(例如,参照专利文献17)。在该专利文献中记载有:在采用了瑞利波的SAW装置中,未能发现用于实现如三次曲线所示的频率温度特性的切割角的水晶基板。

[0020] 另一方面,在压电基板中使用ST切割水晶板、且将水晶的结晶轴的电轴(X轴)方向作为SAW的传播方向的高频滤波器用的SAW谐振子,其频率温度特性的二次温度系数比较大,且当将动作温度范围扩大时,频率变化将变大。因此,为了在不使频率温度特性劣化的条件下提高Q值,提出了一种将IDT和反射器沿着相对于SAW的相位速度的方向而倾斜的方向配置的、倾斜型IDT结构的SAW谐振子(例如,参照专利文献18)。

[0021] 该倾斜型IDT结构通过以覆盖SAW的相位速度的方向和SAW能量的传输方向的方式而配置IDT和反射器,从而提高了SAW能量的封入效果。而且,专利文献18所记载的SAW谐振子,通过使用欧拉角表示为 $(0^\circ, 122^\circ \leq \theta \leq 127^\circ, 40^\circ \leq |\psi| \leq 44^\circ)$ 的面内旋转ST切割水晶板,从而大幅度地改善了频率温度特性。

[0022] 图15图示了该倾斜型IDT结构的SAW谐振子的典型例。该图的SAW谐振子51具有:矩形的水晶基板52,其由上述的面内旋转ST切割水晶基板形成;IDT53和一对反射器54、54,其分别形成在该主面上。IDT53具有分别由多个电极指55a、55b构成、且通过母线而将这些电极指的基端部连接起来的一对梳齿状电极53a、53b。反射器54、54沿着SAW的传输方向并以夹着IDT53的方式配置在IDT53的两侧,且分别具有以固定的间距排列的多个导体条54a、54a。

[0023] 电极指55a、55b以及导体条54a、54a,以使其延长方向与作为SAW的相位传输方

向的水晶基板 52 的 X' 轴 56 正交的朝向而配置。而且,所述电极指以及导体条沿着从 X' 轴 56 起倾斜了角度 δ 的方向 57 而配置。该角度 δ 被设定为,与作为 SAW 能量的传输方向的能流角 (PFA) 一致,或者被设定在大约 $PFA \pm 1^\circ$ 以内。由此,从 IDT53 起沿着 PFA 的方向传输的 SAW 的能量,将被反射器 54、54 所反射从而被高效地封入,进而能够到较高 Q 值。

[0024] 尤其是,如图 15 所示,通过将导体条 54a、54a 的、与 PFA 正交的方向的宽度 W_r ,和电极指 55a、55b 的、与 PFA 正交的方向的宽度 W_t 设为相同,从而能够进一步减少 SAW 能量从所述反射器的泄露。在另一个的实施例中,通过使所述导体条的宽度 W_r 宽于所述电极指的宽度 W_t ,从而能够使沿着 PFA 的方向传输的大部分的 SAW 能量由所述反射器反射,进而使封入效果得到提高。

[0025] 而且,根据 SAW 的相位速度和水晶板的面内旋转角来计算面内旋转 ST 切割水晶基板的 PFA 是众所周知的。但是,由于在专利文献 18 所记载的 SAW 谐振子中,产生的 SAW 的正确的相位速度未被求出,因此实际上,能否将 IDT 和反射器沿着作为 SAW 的能量的传输方向的群速度方向、即波群(波束)传输的方向配置是不确定的。因此,本申请申请人发现,面内旋转 ST 切割水晶基板的 PFA 依赖于围绕作为水晶的电轴的 X 轴的旋转角 θ ,从而提出了一种能够将 IDT 和反射器沿着 SAW 的群速度方向可靠地配置的倾斜型 IDT 结构的 SAW 元件片(例如,参照专利文献 19)。

[0026] 图 16 图示了该 SAW 元件片的典型例。该图的 SAW 元件片 61 具有:矩形的水晶基板 62,其由欧拉角 ($0^\circ, 113^\circ \leq \theta \leq 135^\circ, 40^\circ \leq |\psi| \leq 49^\circ$) 的面内旋转 ST 切割水晶基板构成;IDT53 和一对反射器 64、64,其分别形成在该主面上。与图 15 的 SAW 谐振子 51 同样地,IDT63 具有分别由多个电极指 65a、65b 构成、且通过母线而将这些电极指的基端部连接的一对梳齿状电极 63a、63b。反射器 64、64 沿着 SAW 的传输方向以隔着 IDT63 的方式而配置在 IDT63 的两侧,且分别具有以固定的间距排列的多个导体条 64a、64a。

[0027] 电极指 65a、65b 以及导体条 64a、64a,以使其延长方向与 SAW 的相位速度的方向 66、即 X' 轴正交的朝向而形成。SAW 的相位速度的方向 66 与 SAW 的群速度的方向 67 所成的能流角 (PFA) 为欧拉角 θ 的一次函数,并且通过 $PFA = 0.374(\theta - 90^\circ) - 10.0^\circ$ 的关系式而求出。所述电极指以及导体条沿着相对于 SAW 的相位速度的方向 66 而倾斜了 $PFA \pm 3^\circ$ 的方向被配置。通过以此方式将 IDT63 以及反射器 64、64 切实地沿着 SAW 的群速度的方向配置,从而能够利用所述反射器有效地反射 SAW 的波群,进而能够提高 Q 值。

[0028] 如上所述,许多元件都与 SAW 器件的频率温度特性相关,为了实现对这些元件的改进而进行了各种各样的研究。尤其认为,在采用了瑞利波的 SAW 器件中,构成 IDT 的电极指的膜厚的增加将有助于提高频率温度特性。在仅仅增加 IDT 的电极膜厚时,将产生因通电时的应力迁移以及 IDT 形成时的侧向蚀刻而引起的线占有率的变动所导致的、频率稳定性的劣化等问题。作为其对策,通过在水晶基板表面的 IDT 的电极指之间形成槽,从而在使电极膜厚变薄的同时,增大其有效膜厚,进而抑制频率的变动是有效的。

[0029] 但是,上述的 SAW 器件除了激振泄漏型 SAW 的专利文献 13 的 SAW 装置之外,工作温度范围内的频率温度特性均由二次曲线表示,因而未达到可使频率变动宽度充分减小或可实现拐点的程度。因此,无法充分应对对于最近的 SAW 器件的工作温度范围的扩大、高精度化、在温度剧烈变化的环境下的长期的工作稳定性等的要求。

[0030] 在先技术文献

- [0031] 专利文献
- [0032] 专利文献 1 :日本专利第 3266846 号公报
- [0033] 专利文献 2 :日本特开 2002-100959 号公报
- [0034] 专利文献 3 :日本特开 2006-148622 号公报
- [0035] 专利文献 4 :日本特开 2007-208871 号公报
- [0036] 专利文献 5 :日本特开 2007-267033 号公报
- [0037] 专利文献 6 :日本特开 2007-300287 号公报
- [0038] 专利文献 7 :日本特公平 2-7207 号 (特开昭 57-5418 号) 公报
- [0039] 专利文献 8 :日本特开平 2-189011 号公报
- [0040] 专利文献 9 :日本特开平 5-90865 号公报
- [0041] 专利文献 10 :日本特开平 1-231412 号公报
- [0042] 专利文献 11 :日本特开昭 61-92011 号公报
- [0043] 专利文献 12 :日本特开平 10-270974 号公报
- [0044] 专利文献 13 :日本特公平 1-34411 号公报
- [0045] 专利文献 14 :日本再公表 W02005/099089A1 公报
- [0046] 专利文献 15 :日本特开 2006-203408 号公报
- [0047] 专利文献 16 :日本特开 2009-225420 号公报
- [0048] 专利文献 17 :日本专利第 3851336 号公报
- [0049] 专利文献 18 :日本专利第 3216137 号公报
- [0050] 专利文献 19 :日本特开 2005-204275 号公报
- [0051] 非专利文献
- [0052] 非专利文献 1 :沟槽形 SAW 谐振器的制造条件和特性 (电子通信学会技术研究报告 MW82-59 (1982))

发明内容

[0053] 因此,本发明是鉴于上述的现有的问题点而实施的,其目的在于,提供一种谐振子、振荡器等的 SAW 器件,所述 SAW 器件在工作温度范围内发挥频率变动量极小的优良的频率温度特性,且具有即使在温度较大变动的环境下也能够稳定工作的优异的耐环境特性,从而可实现较高的 Q 值。

[0054] 本申请的发明人为了实现上述目的,在 SAW 谐振子中,验证了 SAW 的波长 λ 、沟槽的深度 G、IDT 的电极膜厚 H、其电极指的线占有率 η 等的参数与频率温度特性之间的关系,所述 SAW 谐振子为,采用面内旋转 ST 切割水晶基板,在其表面上形成通过阻带的上限模式激振 SAW 的 IDT,且对构成 IDT 的电极指之间的水晶基板表面进行凹设以形成沟槽的谐振子。其结果为,研究出了一种在工作温度范围内可实现频率变动宽度的极小化及拐点的新的 SAW 谐振子。

[0055] 在该新的实施方式的 SAW 谐振子 (以下,称为本实施方式的 SAW 谐振子) 的第 1 形式中,其特征在于,具有:IDT,其被设置在欧拉角 ($-1.5^{\circ} \leq \phi \leq 1.5^{\circ}$, $117^{\circ} \leq \theta \leq 142^{\circ}$, $42.79^{\circ} \leq |\psi| \leq 49.57^{\circ}$) 的水晶基板上,且激振阻带上端模式的 SAW;电极指间槽,其使位于构成该 IDT 的电极指之间的水晶基板凹陷而形成,当将 SAW 的波

长设为 λ 、将电极指间槽的深度设为 G 时,满足 $0.01\lambda \leq G$ 的关系,并且,当将 IDT 的线占有率设为 η 时,电极指间槽的深度 G 和线占有率 η 满足下述式 1 以及式 2 的关系:

[0056] 式 1

[0057] $-2.0000 \times G/\lambda + 0.7200 \leq \eta \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775$, 但是, $0.0100\lambda \leq G \leq 0.0500\lambda \cdots (1)$

[0058] 以及、

[0059] 式 2

[0060] $-3.5898 \times G/\lambda + 0.7995 \leq \eta \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775$, 但是, $0.0500\lambda < G \leq 0.0695\lambda \cdots (2)$

[0061] 本实施方式的 SAW 谐振子在第 2 形式中,其特征在于,在所述第 1 形式的基础上,电极指间槽的深度 G 满足 $0.01\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda$ 的关系。通过将电极指间槽的深度 G 设定于此范围内,从而能够将工作温度范围内(例如, $-40^\circ\text{C} \sim +85^\circ\text{C}$)的频率变动量抑制于较小程度,且即使在电极指间槽的深度上出现制造上的误差,也能够将各个 SAW 谐振子之间的谐振频率的偏移量控制在能够补正的范围。

[0062] 而且,本实施方式的 SAW 谐振子在第 3 形式中,其特征在于,在所述第 1 或第 2 形式的基础上,当将 IDT 的电极膜厚设为 H 时,满足 $0 < H \leq 0.035\lambda$ 的关系。由此,在工作温度范围内实现了良好的频率温度特性,且预先防止了在增大电极膜厚时可能产生的耐环境特性的劣化。

[0063] 另外,本实施方式的 SAW 谐振子在第 4 形式中,其特征在于,在所述第 3 形式的基础上,线占有率 η 满足下述式 3 的关系。

[0064] 式 3

[0065] $\eta = -1963.05 \times (G/\lambda)^3 + 196.28 \times (G/\lambda)^2 - 6.53 \times (G/\lambda)$

[0066] $-135.99 \times (H/\lambda)^2 + 5.817 \times (H/\lambda) + 0.732$

[0067] $-99.99 \times (G/\lambda) \times (H/\lambda) \cdots (3)$

[0068] 由此,能够将频率温度特性的二次温度系数抑制于较小程度。

[0069] 另外,本实施方式的 SAW 谐振子在第 5 形式中,其特征在于,在所述第 3 或第 4 形式的基础上,电极指间槽的深度 G 与电极膜厚 H 之和满足 $0.0407\lambda \leq G+H$ 的关系。由此,与没有在电极指之间设置槽而利用了阻带的下限模式的谐振的现有的情况相比,能够获得较高的 Q 值。

[0070] 图 1 图示了本实施方式的 SAW 谐振子的典型示例。如图 1(A) 所示,本实施方式的 SAW 谐振子 1 具有:矩形的水晶基板 2、以及分别形成在该水晶基板的主面上的 IDT3 和一对反射器 4、4。

[0071] 在水晶基板 2 中,使用由欧拉角 ($-1.5^\circ \leq \phi \leq 1.5^\circ$, $117^\circ \leq \theta \leq 142^\circ$, $42.79^\circ \leq |\psi| \leq 49.57^\circ$) 表示的面内旋转 ST 切割水晶基板。在此,对欧拉角进行说明。由欧拉角 (0° , 0° , 0°) 表示的基板成为,具有与 Z 轴垂直的主面的 Z 切割基板。在此,欧拉角 (ϕ , θ , ψ) 的 ϕ 是涉及 Z 切割基板的第 1 旋转的参数,其为以 Z 轴为旋转轴,以从 $+X$ 轴向 $+Y$ 轴侧旋转的方向为正旋转角度的第 1 旋转角度。欧拉角的 θ 是涉及在 Z 切割基板的第 1 旋转之后进行的第 2 旋转的参数,其为以第 1 旋转后的 X 轴为旋转轴,以从第 1 旋转后的 $+Y$ 轴向 $+Z$ 轴旋转的方向为正旋转角度的第 2 旋转角度。压电基板的切割面由

第 1 旋转角度 ϕ 和第 2 旋转角度 θ 所决定。欧拉角的 ψ 是涉及在 Z 切割基板的第 2 旋转之后进行的第 3 旋转的参数,其为以第 2 旋转之后的 Z 轴为旋转轴,以从第 2 旋转之后的 +X 轴向第 2 旋转后的 +Y 轴侧旋转的方向为正旋转角度的第 3 旋转角度。SAW 的传播方向用相对于第 2 旋转后的 X 轴的第 3 旋转角度 ψ 表示。

[0072] 如图 2 所示,面内旋转 ST 切割水晶基板在通过 X 轴、Y 轴及 Z 轴分别表示水晶的正交的 3 个结晶轴、即电轴、机械轴及光学轴时,从如下的晶片 5 中被切割出,所述晶片 5 具有:将与 Y 轴垂直的 XZ 面 5a 以 X 轴为旋转轴而从 +Z 轴向 -Y 轴方向旋转了角度 θ' ($^\circ$) 的、与坐标轴 (X, Y', Z') 的 Y' 轴垂直的 XZ' 面。水晶基板 2 进而沿着以 Y' 轴为旋转轴、以从 +X 轴向 +Z' 轴方向为正而旋转了角度 $+\psi$ (或 $-\psi$) ($^\circ$) 的新坐标轴 (X', Y', Z''), 从晶片 5 中被切割出,以形成单片化。此时,水晶基板 2 可以以其长边 (或短边) 沿着 X' 轴方向或 Z'' 轴方向中的任意一个方向的方式而配置。并且,角度 θ' 和欧拉角中的 θ 存在 $\theta' = \theta - 90^\circ$ 的关系。

[0073] IDT3 具有分别由多个电极指 6a、6b 构成、且通过母线 7a、7b 将这些电极指的基端部连接起来的 1 对梳齿状电极 3a、3b。各电极指 6a、6b 以使其延长方向与由所述 IDT 激振的 SAW 的传播方向 X' 正交的朝向而配置。一个梳齿状电极 3a 的电极指 6a 与另一个梳齿状电极 3b 的电极指 6b 交替且隔开预定的间隔而以固定的间距排列配置。如图 1(B) 所示,在电极指 6a、6b 之间露出的水晶基板 2 的表面上,通过以蚀刻等方式对该表面进行削除,从而分别凹设有固定深度的电极指间槽 8。

[0074] 一对反射器 4、4 被配置成,沿着 SAW 的传播方向 X' 而在 IDT3 的外侧从两侧夹持该 IDT。各反射器 4 分别具有在 SAW 的传播方向 X' 上以固定的间距排列配置的多个导体条 4a、4a。所述各导体条与 IDT3 的所述各电极指同样地,以使其延长方向与 SAW 的传播方向 X' 正交的朝向而配置。如图 1(B) 所示,在导体条 4a、4a 之间露出的水晶基板 2 的表面上,通过以蚀刻等方式而对该表面进行削除,从而分别凹设有固定深度的导体条间槽 9。

[0075] 在本实施方式中,电极指 6a、6b 及导体条 4a、4a 通过采用例如铝或以铝为主体的合金的金属膜而形成相同的膜厚 H,也可以总称为电极指。电极指间槽 8 和导体条间槽 9 被形成为相同的深度 G。在 IDT3 的最外侧的电极指 6a (或 6b)、和与其相邻的反射器 4、4 的所述导体条之间,同样通过对水晶基板表面进行削除而凹设有与所述导体条间槽深度相同的槽。

[0076] 以这种方式构成的 SAW 谐振子 1,激励在水晶基板 2 的 X' 轴方向及 Y' 轴方向的两个方向上具有振动位移分量的 Rayleigh 型 (瑞利型) 的 SAW。上述的欧拉角的水晶基板 2 由于 SAW 的传播方向从作为水晶的结晶轴的 X 轴偏离,因而能够激励阻带上限模式的 SAW。

[0077] 并且,上述的水晶基板 2 的欧拉角 (ϕ, θ, ψ) 以如下方式进行了选择。SAW 谐振子的频率温度特性一般以下式表示。

$$[0078] \quad \Delta f = \alpha \times (T - T_0) + \beta \times (T - T_0)^2$$

[0079] 在此, Δf 为温度 T 和顶点温度 T_0 之间的频率变化量 (ppm), α 为一次温度系数 (ppm/ $^\circ\text{C}$), β 为二次温度系数 (ppm/ $^\circ\text{C}^2$), T 为温度, T_0 为频率最大时的温度 (顶点温度)。将二次温度系数 β 的绝对值设定为最小,优选设定为 0.01 (ppm/ $^\circ\text{C}^2$) 以下,更优选设定为大致为零,如果频率温度特性表示三次曲线,则即使在较宽的工作温度范围内,也可以减小

频率变动量,从而获得较高的频率稳定性。

[0080] 首先,将水晶基板 2 的欧拉角设为 $(0^\circ, 123^\circ, \psi)$, 并对能够获得 $\beta = \pm 0.01 (\text{ppm}/^\circ\text{C}^2)$ 的线占有率 η 时的、欧拉角 ψ 与电极指间槽的深度 G 之间的关系进行了模拟。在此,适当选择欧拉角 ψ , 以使二次温度系数 β 的绝对值为 $0.01 (\text{ppm}/^\circ\text{C}^2)$ 。其结果为,能够将在上述条件下可将二次温度系数 β 设为 $-0.01 \leq \beta \leq +0.01$ 的欧拉角 ψ 的范围,确定为 $43^\circ < \psi < 45^\circ$ 。

[0081] 并且,如图 1(C) 所示, IDT3 的线占有率 η 为电极指宽度 L 除以电极指间距 $\lambda/2 (= L+S)$ 的值。另外,图 1(D) 为,用于对在通过光刻法和蚀刻法制造 IDT3 的电极指 6a、6b 及电极指间槽 8 时将会形成的梯形形状的剖面中,确定 IDT3 的线占有率 η 的方法进行说明的图。此时,线占有率 η 根据在如下高度处测定出的电极指宽度 L 和电极指间槽宽度 S 来计算,所述高度为,距电极指间槽 8 的底部的距离为该电极指间槽的深度 G 和电极膜厚 H 的合计值 $(G+H)$ 的二分之一的高度。

[0082] 接下来,将水晶基板 2 设为,将其切割角及 SAW 传播方向用欧拉角表示为 $(0, \theta, \psi)$, 将电极指间槽的深度 G 设为 0.04λ , 将电极指的膜厚 H 设为 0.02λ , 根据上述式 (3) 将线占有率 η 设为 0.6383, 从而对与欧拉角 θ 相关的二次温度系数 β 的变化进行了模拟。在此,欧拉角 ψ 在上述的 $43^\circ < \psi < 45^\circ$ 的范围内进行适当的选择,以根据角度 θ 的设定角度而使二次温度系数 β 的绝对值成为最小。其结果为,确认到如果欧拉角 θ 在 $117^\circ \leq \theta \leq 142^\circ$ 的范围内,则即使改变电极指的膜厚 H 、电极指间槽的深度 G 及线占有率 η , 二次温度系数 β 的绝对值也会在 $0.01 (\text{ppm}/^\circ\text{C}^2)$ 的范围内。

[0083] 接下来,通过欧拉角表示而将水晶基板 2 设为 $(\phi, 123^\circ, 43.77^\circ)$, 将电极指间槽的深度 G 设为 0.04λ , 将电极指的膜厚 H 设为 0.02λ , 将线占有率 η 设为 0.65, 并对与欧拉角 ϕ 相关的二次温度系数 β 的变化进行了模拟。其结果为,确认到如果欧拉角 ϕ 在 $-1.5^\circ \leq \phi \leq +1.5^\circ$ 的范围内,则二次温度系数 β 的绝对值在 $0.01 (\text{ppm}/^\circ\text{C}^2)$ 的范围内。

[0084] 而且,通过进行模拟,求出了工作温度范围 $(-40^\circ\text{C} \sim +85^\circ\text{C})$ 内的频率变动量为最小时的、非常理想的欧拉角 θ 和 ψ 之间的关系。此时,电极指间槽的深度 G 及电极指的膜厚 H 也分别被设为 $G = 0.04\lambda$ 、 $H = 0.02\lambda$ 。其结果为,欧拉角 ψ 在上述的欧拉角 θ 的范围内随着其增加而描绘出三次曲线的方式增加。这种关系可以通过下式来进行近似。

[0085] 式 4

[0086] $\psi = 1.19024 \times 10^{-3} \times \theta^3 - 4.48775 \times 10^{-1} \times \theta^2 + 5.64362 \times 10^1 \times \theta - 2.32327 \times 10^3 \pm 1.0$ 由此,欧拉角 ψ 在欧拉角 θ 的下限值 $\theta = 117^\circ$ 处,形成 $\psi = 42.79^\circ$, 在上限值 $\theta = 142^\circ$ 处,形成 $\psi = 49.57^\circ$ 。因此,欧拉角 ψ 在 $117^\circ \leq \theta \leq 142^\circ$ 的范围内,可以设定为 $42.79^\circ \leq \psi \leq 49.57^\circ$ 。

[0087] 通过以上方式设定水晶基板 2 的欧拉角,从而本实施方式的 SAW 谐振子 1 能够实现二次温度系数 β 的绝对值在 $0.01 (\text{ppm}/^\circ\text{C}^2)$ 以下的优异的频率温度特性。

[0088] 对于本实施方式的 SAW 谐振子 1, 在以下的条件下对频率温度特性进行了模拟。

[0089] - 本实施方式的 SAW 谐振子 1 的基本数据

[0090] $H: 0.02\lambda$

[0091] $G: \text{变化}$

[0092] IDT 线占有率 η :0.6

[0093] 反射器线占有率 η_r :0.8

[0094] 欧拉角 : (0° , 123° , 43.5°)

[0095] IDT 对数 :120

[0096] 电极指交叉宽度 :40 λ ($\lambda = 10 \mu\text{m}$)

[0097] 反射器条数 (每单侧) :60

[0098] 电极指的倾斜角度 :无

[0099] 此模拟结果如图 3 所示。由该图可以看出,频率温度特性在工作温度范围 (-40 ~ +85℃) 内大致表示三次曲线,从而能够将频率变动宽度抑制为极小的变动量、即 20ppm 以内。

[0100] 关于表现出图 3 的频率温度特性的 SAW 谐振子 1,对其频率、等效电路常数及静态特性进行汇总,结果如以下的表 1 所示。

[0101] 表 1

[0102]

	F(MHz)	Q	γ	CI(Ω)	M
AVG	318.25	13285	2476	21.8	5.4

[0103] 在此,F 为频率,Q 为 Q 值, γ 为电容比,CI 为 CI (晶体阻抗 :Crystal Impedance) 值,M 为性能指数 (品质因数 :Figure of Merit)。

[0104] SAW 谐振子 1 优选设定为, IDT3 的阻带上端的频率 f_{t2} 和反射器 4 的阻带下端的频率 f_{r1} 及阻带上端的频率 f_{r2} 满足 $f_{r1} < f_{t2} < f_{r2}$ 的关系。图 4 图示了与频率相关的 IDT3 及反射器 4 的 SAW 反射特性。如该图所示,在将频率 f_{t2} 设定在频率 f_{r1} 和频率 f_{r2} 之间时,在频率 f_{t2} 处,反射器 4 的反射系数大于 IDT3 的反射系数。其结果为,从 IDT3 激励的阻带上端模式的 SAW 从反射器 4 以更高的反射系数而被反射到 IDT3 侧。因此,能够有效地封住 SAW 的振动能量,从而能够实现低损耗的 SAW 谐振子 1。

[0105] 另外,关于 SAW 谐振子 1 的 Q 值,通过进行模拟,从而验证了其由电极指 6a、6b 的高度、即膜厚 H 和电极指间槽 8 的深度 G 而形成的高低差的大小 (G+H) 之间的关系。为了进行比较,对于在电极指之间未设槽、且采用阻带上限模式的谐振的现有的 SAW 谐振子,在以下的条件下,对 Q 值与电极指的高度、即膜厚之间的关系进行了模拟。

[0106] - 现有的 SAW 谐振子的基本数据

[0107] H :变化

[0108] G :零 (无)

[0109] IDT 线占有率 η :0.4

[0110] 反射器线占有率 η_r :0.3

[0111] 欧拉角 (0° , 123° , 43.5°)

[0112] IDT 对数 :120

[0113] 电极指交叉宽度 :40 λ ($\lambda = 10 \mu\text{m}$)

[0114] 反射器条数 (每单侧) :60

[0115] 电极指的倾斜角度 :无

[0116] 此模拟结果如图 5 所示。在该图中,粗线表示本实施方式的 SAW 谐振子 1,细线表示现有的 SAW 谐振子。由该图可知,本实施方式的 SAW 谐振子 1 在高低差 (G+H) 在 0.0407λ ($4.07\%\lambda$) 以上的区域中,能够获得高于现有的 SAW 谐振子的 Q 值。

[0117] 而且,在本实施方式的 SAW 谐振子中,通过采用上述的倾斜型 IDT 结构,从而也有望实现在良好的频率温度特性之外,还能够提高 Q 值、CI 值等的电子特性。因此,本申请发明者在本实施方式的 SAW 谐振子中采用了倾斜型 IDT 结构,并且对于在将 IDT 以及反射器配置在相对于与电极指以及导体条正交的第 1 方向而以角度 α 倾斜了的第 2 方向上时,该倾斜角度 α 和欧拉角 ψ 之间的关系,进行了进一步的讨论。其结果为,发现了即使在倾斜型 IDT 结构中,也能够较广的动作温度范围内同时实现优异的频率温度特性和良好的电子特性,即 Q 值以及 CI 值,且想到了本发明。

[0118] 本发明的 SAW 器件的特征在于,具有:水晶基板,其欧拉角为 ($-1.5^\circ \leq \phi \leq 1.5^\circ$, $117^\circ \leq \theta \leq 142^\circ$, $42.79^\circ \leq |\psi| \leq 49.57^\circ$);叉指换能器,其由被设置在该水晶基板的主面上的多个电极指构成,且用于激振阻带上限模式的声表面波;一对反射器,其沿着声表面波的传播方向以隔着叉指换能器的方式而配置在叉指换能器的两侧,且分别由多个导体条构成;电极指间槽,其凹设在叉指换能器的相邻电极指之间的、水晶基板的表面上;导体条间槽,其凹设在反射器的相邻导体条之间的、水晶基板的表面上,声表面波的波长 λ 和电极指间槽的深度 G 满足 $0.01\lambda \leq G$ 的关系, IDT 的线占有率 η 和电极指间槽的深度 G 满足下式 5 以及式 6 的关系,即

[0119] 式 5

[0120] $-2.0000 \times G/\lambda + 0.7200 \leq \eta \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775$, 但是, $0.0100\lambda \leq G \leq 0.0500\lambda$

[0121] 式 6

[0122] $-3.5898 \times G/\lambda + 0.7995 \leq \eta \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775$, 但是, $0.0500\lambda < G \leq 0.0695\lambda$

[0123] 和电极指以及导体条正交的第 1 方向、与水晶基板的电轴之间所成的角度为欧拉角 ψ ,叉指换能器以及反射器的至少一部分被配置在以角度 α 与第 1 方向交叉的第 2 方向上,且该角度 α 在 $1.0^\circ \leq \alpha \leq 2.75^\circ$ 的范围内。

[0124] 通过以此方式配置 IDT 和反射器,从而能够高效地封住 SAW 的振动能量。其结果为,能够获得如下的 SAW 器件,该 SAW 器件能够在如后文所述的较广的动作温度范围内,维持通过由上述欧拉角的面内旋转 ST 切割水晶板构成的水晶基板和电极指间槽而得到的、良好的频率温度特性,与此同时实现了较高 Q 值以及低 CI 值的良好电子特性,且振荡稳定性优异。

[0125] 在某一实施例中,通过使角度 α 和欧拉角 ψ 满足 $\psi = 1.06\alpha + 43.69^\circ + 0.05^\circ$ 的关系,从而能够实现一种在较广的动作温度范围内具有较高 Q 值以及低 CI 值的同时、还具有频率变动量极小的优异的频率温度特性的 SAW 器件。

[0126] 在另一实施例中,由于通过使 IDT 的线占有率 η 满足如下的式 7,从而能够将频率温度特性的二次温度系数抑制得更小,因此,能够获得使频率变动量更小且更加优异的三次曲线的频率温度特性。

[0127] 式 7

[0128] $\eta = -1963.05 \times (G/\lambda)^3 + 196.28 \times (G/\lambda)^2 - 6.53 \times (G/\lambda)$

[0129] $-135.99 \times (H/\lambda)^2 + 5.817 \times (H/\lambda) + 0.732$

[0130] $-99.99 \times (G/\lambda) \times (H/\lambda)$

[0131] 另外,在另一实施例中,由于电极指间槽的深度 G 与电极指的膜厚 H 之和满足 $0.0407\lambda \leq G+H$,因此,当使用了阻带上限模式的谐振时,无需在 IDT 的电极指之间设置槽,就能够获得与使用阻带下限模式的谐振的现有的 SAW 谐振子相比更高的 Q 值。

[0132] 另外,在另一实施例中,通过还具有用于驱动 IDT 的振荡电路,从而能够在较宽的工作温度范围内,获得频率变动量极小、 CI 值较低、且振荡稳定性优异的 SAW 振荡器。

[0133] 根据本发明的另一个侧面,通过具有上述的本发明的 SAW 器件,从而提供了一种能够在较宽的工作温度范围内稳定地发挥良好性能的电子设备、传感器装置。

附图说明

[0134] 在图 1 中,(A) 图为表示本实施方式的 SAW 谐振子的结构的俯视图,(B) 图为其部分放大纵剖视图,(C) 图为 (B) 图的部分放大图,(D) 图为表示通过光刻以及蚀刻技术而形成的、(C) 图中的槽部的剖面形状的图。

[0135] 图 2 为模式化表示图 1 的 SAW 谐振子的水晶基板的说明图。

[0136] 图 3 为表示图 1 中的 SAW 谐振子的频率温度特性的线图。

[0137] 图 4 为表示图 1 中的 SAW 谐振子的 IDT 及反射器的 SAW 反射特性的线图。

[0138] 图 5 为表示图 1 中的 SAW 谐振子的电极指之间的高低差与 Q 值之间的关系的线图。

[0139] 在图 6 中,(A) 图表示本发明的 SAW 器件的第 1 实施例的俯视图,(B) 图为其沿着 VI-VI 线的部分放大纵剖视图。

[0140] 图 7 为表示使实施例 1 的频率温度特性最佳时的 IDT 的倾斜角 α 与欧拉角 ψ 之间的关系的线图。

[0141] 图 8 为表示实施例 2 的 IDT 的倾斜角 $\alpha = 2^\circ$ 时的频率温度特性的线图。

[0142] 图 9 为表示比较例的 IDT 的倾斜角 $\alpha = 2^\circ$ 时的频率温度特性的线图。

[0143] 图 10 为表示实施例 1 的 IDT 的倾斜角 α 与 Q 值之间的关系的线图。

[0144] 图 11-1 为表示实施例 2 的 IDT 的倾斜角 $\alpha = 0^\circ$ 时在动作温度范围内的 Q 值的变化变化的线图。

[0145] 图 11-2 为表示实施例 2 的 IDT 的倾斜角 $\alpha = 1.0^\circ$ 时在动作温度范围内的 Q 值的变化变化的线图。

[0146] 图 11-3 为表示实施例 2 的 IDT 的倾斜角 $\alpha = 1.5^\circ$ 时在动作温度范围内的 Q 值的变化变化的线图。

[0147] 图 11-4 为表示实施例 2 的 IDT 的倾斜角 $\alpha = 2.0^\circ$ 时在动作温度范围内的 Q 值的变化变化的线图。

[0148] 图 11-5 为表示实施例 2 的 IDT 的倾斜角 $\alpha = 2.5^\circ$ 时在动作温度范围内的 Q 值的变化变化的线图。

[0149] 图 11-6 为表示实施例 2 的 IDT 的倾斜角 $\alpha = 3.0^\circ$ 时在动作温度范围内的 Q 值的变化变化的线图。

[0150] 图 12 为表示实施例 2 的 IDT 的倾斜角 α 与 Q 值之间的关系的线图。

- [0151] 图 13 为表示实施例 1 的 IDT 的倾斜角 α 与 CI 值之间的关系的线图。
- [0152] 在图 14 中, (A) 图为表示本发明的第 2 实施例的 SAW 振荡器俯视图, (B) 图为其沿着 XIV-XIV 线的纵剖视图。
- [0153] 图 15 为表示倾斜型 IDT 结构的现有例的俯视图。
- [0154] 图 16 为表示倾斜型 IDT 结构的其他的现有例的俯视图。
- [0155] 符号说明
- [0156] 1、11、32、51 SAW 谐振子 ;
- [0157] 2、12、35、52、62 水晶基板 ;
- [0158] 3、13、53、63 IDT ;
- [0159] 3a、3b、13a、13b、36a、36b、53a、53b、63a、63b 梳齿状电极 ;
- [0160] 4、14、37、54、64 反射器 ;
- [0161] 4a、14a、54a、64a 导体条 ;
- [0162] 5 晶片 ;
- [0163] 5a 面 ;
- [0164] 6a、6b、15a、15b、55a、55b、65a、65b 电极指 ;
- [0165] 7a、7b、16a、16b 母线 ;
- [0166] 8、17 电极指间槽 ;
- [0167] 18 导体条间槽 ;
- [0168] 31 SAW 振荡器 ;
- [0169] 33 IC ;
- [0170] 34 封装件 ;
- [0171] 34a 底板 ;
- [0172] 38a ~ 38f 电极衬垫 ;
- [0173] 39a ~ 39g 电极布线 ;
- [0174] 40、41 接合线 ;
- [0175] 42 盖。

具体实施方式

[0176] 以下, 参照附图对本发明的优选实施例进行详细说明。而且, 在附图中, 对相同或者类似的结构要素标记相同或者类似的参照符号来进行表示。

[0177] 图 6(A)、(B) 图示了作为本发明的 SAW 器件的第 1 实施例的 SAW 谐振子的结构。本实施例的 SAW 谐振子 11 具有 : 矩形的水晶基板 12 ; 在该水晶基板的主面上分别形成的 IDT 13 和一对反射器 14、14。与图 1 相关联, 水晶基板 12 使用与上述的 SAW 谐振子 1 的水晶基板 2 相同的欧拉角 ($-1.5^{\circ} \leq \phi \leq 1.5^{\circ}$, $117^{\circ} \leq \theta \leq 142^{\circ}$, $42.79^{\circ} \leq |\psi| \leq 49.57^{\circ}$) 的面内旋转 ST 切割水晶板。

[0178] IDT 13 具有, 各自由多个电极指 15a、15b 组成、且通过母线 16a、16b 而将这些电极指的基端部连接起来的一对梳齿状电极 13a、13b。在水晶基板 12 于电极指 15a、15b 之间露出的表面上, 如图 6(B) 所示, 通过蚀刻等而对该表面进行削除, 从而分别凹设有固定深度的电极指间槽 17。一方的梳齿状电极 13a 的电极指 15a 和另一方的梳齿状电极 13b 的电极

指 15b, 沿着与这些电极指的延长方向正交的方向, 交替且隔开预定的间隔而以固定的间距 P_t 进行排列。

[0179] 一对反射器 14、14 以夹着 IDT13 的方式而沿着 SAW 的传输方向被配置在该 IDT13 的两侧。各个反射器 14 分别具有多个导体条 14a、14a。在水晶基板 12 于导体条 (电极指) 14a、14a 之间露出的表面上, 如图 6(B) 所示, 通过蚀刻等而对该表面进行削除, 从而分别凹设有固定深度的导体条间槽 18。所述各个导体条和 IDT13 的所述各个电极指同样地, 沿着与这些导体条的延长方向正交的方向以固定的间距 P_r 进行排列配置。

[0180] 所述电极指以及导体条, 由使用了例如铝或以铝为主体的合金的金属膜, 而形成为相同膜厚 H 。电极指间槽 17 和导体条间槽 18 形成为相同深度 G 。在各个反射器 14、14 最内侧的所述导体条和与其相邻的 IDT13 最外侧的电极指 15a (或者 15b) 之间, 也同样地对水晶基板表面进行削除, 从而凹设有与所述导体条间槽相同深度的槽。

[0181] 在由上述的欧拉角的面内旋转 ST 切割水晶板形成的水晶基板 12 中, 由于水晶的结晶异向性, 因而当通过 IDT13 而使 SAW 激振时, 作为水晶基板 12 的 X' 轴方向的、SAW 的相位速度的方向 19, 和作为 SAW 能量的传输方向的、群速度的方向 20 不同。SAW 的相位速度的方向 19 (X' 轴) 与水晶的电轴 (X 轴) 之间所成的角度为欧拉角 ψ 。群速度的方向 20 以倾斜角 α 而与相位速度的方向 19 交叉。

[0182] 电极指 15a、15b 以及导体条 14a、14a 被形成为, 其延长方向与水晶基板 12 的 X' 轴、即 SAW 的相位速度的方向 19 正交。而且, 所述电极指以及导体条沿着群速度方向 20 而配置在从相位速度的方向 19 起倾斜了角度 α 的方向上。此时, 通过将导体条 14a、14a 的、与群速度的方向 20 正交的方向的宽度 W_r 设定为, 与电极指 15a、15b 的、与群速度的方向 20 正交的方向的宽度 W_t 相同, 从而能够减少 SAW 能量从反射器 14、14 中的泄露, 而高效地将该能量封住。

[0183] 在另一个实施例中, 如果至少使 IDT13 的电极指以及反射器 14、14 的导体条中的一部分沿着群速度方向 20 被配置, 则能够减少 SAW 能量从反射器 14、14 中的泄露。而且, 在另一个实施例中, 将所述导体条的宽度 W_r 设定为宽于所述电极指的宽度 W_t 的宽度。由此, 沿着群速度的方向 20 而传输的几乎全部的 SAW 能量均由反射器 14、14 反射, 从而使封入效果得到提高。

[0184] 在本实施例的倾斜型 IDT 结构中, 设定群速度的方向 20 与相位速度的方向 19 之间所成的角度 α 在 $1.0^\circ \leq \alpha \leq 2.75^\circ$ 的范围内。由此, 能够在维持通过由上述的欧拉角的面内旋转 ST 切割水晶板形成的水晶基板 12 以及电极指间槽 17 而得到的、良好的频率温度特性的同时, 实现高 Q 值以及低阻抗化 (低 CI 值)。

[0185] 而且在本实施例中, 设定角度 α 和水晶基板 12 的欧拉角 ψ 满足 $\psi = 1.06\alpha + 43.69^\circ \pm 0.05^\circ$ 的关系。由此, 能够实现在较广的动作温度范围内具有高 Q 值以及低 CI 值、且发挥出频率变动量极小的优异的频率温度特性的 SAW 谐振子。

[0186] 通过采用这种结构, 从而使 SAW 谐振子 11 激励了, 在从水晶基板 12 的 X' 轴方向起倾斜了角度 α 的群速度的方向 20、以及 Y' 轴方向的双方上均具有振动位移分量的 Rayleigh 型 (瑞利型) 的 SAW。由于通过使用上述的欧拉角的水晶基板 12, 从而使 SAW 的传输方向偏离出作为水晶的结晶轴的 X 轴, 因此能够激励阻带上限模式的 SAW。

[0187] 如图 6(B) 所示, 将电极指 15a、15b 的线宽设为 L_t , 将电极指间槽 17 的宽度设为

St, 则 IDT13 的线占有率由 $\eta = L_t / (L_t + S_t)$ 来表示。将导体条 14a 的线宽设为 L_r , 将导体条间槽 18 的宽度设为 S_r , 则反射器 14 的线占有率由 $\eta_r = L_r / (L_r + S_r)$ 来表示。

[0188] 在此, 对 IDT13 的电极指的间距 P_t 以及反射器 14 的导体条的间距 P_r 进行说明。当 $L_t + S_t = d_t$ 时, 交叉的一对梳齿状电极 13a、13b 的各个电极指间距 P_t 与电极指的线宽 L_t 以及电极指间的宽度 (即, 电极指间槽在 SAW 传输方向上的宽度) S_t 之间的关系为, $P_t = 2 \times d_t = 2 \times (L_t + S_t)$ 。即, 在 SAW 传输方向上观察时, 相邻的电极指 13a 与电极指 13b 之间的中心间距离 d_t (所谓的行间隔) 为, $d_t = L_t + S_t$ 。因此, 电极指间距满足 $P_t = 2 \times d_t = \lambda$ 。

[0189] 在从 SAW 传输方向观察时, 在反射器 14 中, 相邻的导体条 14a 之间的中心间距离 d_r 满足 $d_r = L_r + S_r$ 。将该中心间距离 d_r 设为, 在反射器 14 中传输的 SAW 的波长 λ 的二分之一、即 $d_r = \lambda / 2$ 。因此, 导体条 14a 的间距 P_r 满足, $P_r = 2 \times d_r = 2 \times (L_r + S_r)$ 。

[0190] 实施例 1

[0191] 将 SAW 谐振子 11 的规格设定如下。

[0192] 水晶基板尺寸 : 5.0×1.5 (mm)

[0193] 欧拉角 : (0° , 123° , 45.8°)

[0194] IDT 对数 : 180

[0195] 反射器个数 (每单侧) : 78

[0196] 将 IDT13 设计如下。

[0197] SAW 波长 λ : 7.9 (μm)

[0198] 电极材料 : 铝

[0199] 电极指膜厚 H : 0.02λ ($2\% \lambda$) = 0.1580 (μm)

[0200] 电极指间距 P_t : $\lambda / 2 = 3.95$ (μm)

[0201] 电极指线宽 L_t : $0.625 P_t = 2.4688$ (μm)

[0202] (线占有率 η : 0.625)

[0203] 将反射器 14 设计如下。

[0204] 电极材料 : 铝

[0205] 导体条膜厚 H : $2\% \lambda$ (0.02λ) = 0.1580 (μm)

[0206] 导体条间距 P_t : $\lambda / 2 = 3.95$ (μm)

[0207] 导体条线宽 L_t : $0.625 P_t = 2.4688$ (μm)

[0208] (线占有率 η : 0.625)

[0209] 电极指间槽 17 设计如下。

[0210] 深度 : 0.045λ ($4.5\% \lambda$) = 0.3555 (μm)

[0211] 电极指有效膜厚 : 0.065λ ($6.5\% \lambda$) = 0.5135 (μm)

[0212] 关于以此方式设计的 SAW 谐振子 11, 对倾斜角 α 在 $1.0 \leq \alpha \leq 3.0$ 的范围内、频率温度特性的二次温度系数 β 最佳时的、倾斜角 α 与欧拉角 ψ 之间的关系进行了模拟。其结果如图 7 所示。在该图中, 连接所绘的黑圆点的实线表示 $\beta = 0$ 时的情况。而且, 在该图中, 连接所绘的黑圆点的虚线表示 $|\beta| \leq 0.01$ 时的上限值, 连接所绘的三角形黑点的虚线表示其下限值。

[0213] 从该图中能够确认, 在表示所述上限值的虚线与表示下限值的虚线之间, 存在对

于实施例 1 的 SAW 谐振子 11 而言能够发挥二次温度系数 $|\beta| \leq 0.01$ 的良好的频率温度特性的、倾斜角 α 以及欧拉角 ψ 的范围。在该图中,对 $\beta = 0$ 时的倾斜角 α 和欧拉角 ψ 之间的关系进行了验证,结果判明满足下面的条件式 (4)。

$$[0214] \quad \psi = 1.06\alpha + 43.69^\circ \cdots (4)$$

[0215] 而且,对 $|\beta| \leq 0.01$ 时的倾斜角 α 和欧拉角 ψ 之间的关系进行了验证,结果判明满足下面的条件式 (5)。

$$[0216] \quad \psi = 1.06\alpha + 43.69^\circ \pm 0.05^\circ \cdots (5)$$

[0217] 接下来,对于实施例 1 的 SAW 谐振子 11,设倾斜角 $\alpha = 2^\circ$ 并对频率温度特性进行了模拟。此时,水晶基板 12 的欧拉角 $\psi = 45.8^\circ$ 在倾斜角 $\alpha = 2^\circ$ 时满足上述条件式 (4)。其结果如图 8 所示。如该图所示,确认了具有在 $-40^\circ\text{C} \sim +85^\circ\text{C}$ 的较广的动作温度范围内、频率变动量被用三次曲线来表示的良好的频率温度特性。

[0218] 作为比较例,关于使水晶基板 12 的欧拉角 ψ 仅旋转了与 IDT 的倾斜角 α 相同的角度 2° 的、 $\psi = 45.69^\circ$ 时的情况,对频率温度特性进行了模拟。其结果如图 9 所示。如该图所示,在 $-40^\circ\text{C} \sim +85^\circ\text{C}$ 的较广的动作温度范围内,频率温度特性与倾斜角为 0° 时的情况相比,即与 IDT13 相对于水晶基板的 X' 轴未发生倾斜的、现有的 IDT 结构相比劣化了。如此,根据本发明,通过将水晶基板 12 的欧拉角 ψ 设定为上述条件式 (4)、(5),从而得到了良好的频率温度特性。

[0219] 而且,关于实施例 1 的 SAW 谐振子 11,对倾斜角 α 和在 $-40^\circ\text{C} \sim +85^\circ\text{C}$ 的较广的动作温度范围内成为最低值的 Q 值之间的关系进行了模拟。其结果如图 10 所示。。在该图中,在倾斜角为 0° 时,即在 IDT13 相对于水晶基板的 X' 轴未发生倾斜的、现有的 IDT 结构中, Q 值小于 1500。相对于此,可以确认,当倾斜角 α 在 $1.0 \leq \alpha \leq 2.75$ 的范围内时, Q 值超过 1800,从而与现有结构相比被大幅度地改善。

[0220] 实施例 2

[0221] 在上述的实施例 1 中,将反射器 14 的导体条线宽变更为了 $0.725Pr (= 2.8638 \mu\text{m})$,将线占有率变更为了 $\eta_r = 0.725$ 。关于实施例 2,在将 IDT 的倾斜角 α 设为了 $\alpha = 0^\circ$ 、 1.0° 、 1.5° 、 2.0° 、 2.5° 、 3.0° 的情况下,对在 $-40^\circ\text{C} \sim +85^\circ\text{C}$ 的较广的动作温度范围内的 Q 值的变化进行了模拟。其结果如图 11-1 至图 11-6 所示。

[0222] 从图 11-2 至图 11-5 中可以看出,当倾斜角 $\alpha = 1.0^\circ$ 、 1.5° 、 2.0° 、 2.5° 时, Q 值在整个动作温度范围内比较稳定且表现为较高值。相对于此,当倾斜角 $\alpha = 0^\circ$ 时,如图 11-1 所示,在低温侧 Q 值降低。当倾斜角 $\alpha = 3.0^\circ$ 时,如图 11-6 所示,在低温侧 Q 值明显劣化。根据实施例 2 的结果而判明了,从 Q 值的温度特性的观点出发, $1.0 \leq \alpha \leq 2.5$ 为倾斜角 α 的最佳范围。

[0223] 接下来,关于实施例 2,对倾斜角 α 和在 $-40^\circ\text{C} \sim +85^\circ\text{C}$ 的较广的动作温度范围内成为最低值的 Q 值之间的关系进行了模拟。其结果如图 12 所示。如该图所示,在作为倾斜角 α 为 0° 的现有的 IDT 结构中, Q 值小于 10000。相对于此,可确认,当倾斜角 α 在 $1.0 \leq \alpha \leq 2.75$ 的范围内时, Q 值超过了 12800,从而与现有结构相比被大幅度地改善。此外,当倾斜角 α 在 $\alpha \geq 3.0$ 的范围内时, Q 值降低至小于 10000。如此,本发明的 SAW 谐振子能够在较广的动作温度范围内被用作振荡器。

[0224] 而且,对倾斜角 α 和在 $-40^\circ\text{C} \sim +85^\circ\text{C}$ 的较广的动作温度范围内成为最大值的 CI

值之间的关系进行了模拟。其结果如图 13 所示。图 13 图示了如下的状况,即,虽然在作为倾斜角为 0° 的现有的 IDT 结构中,CI 值超过了 25Ω ,但是当倾斜角 α 在 $1.0 \leq \alpha \leq 2.5$ 的范围内时,得到了较低的 CI 值。虽然已知通常情况下 CI 值与 Q 值成反比,但是该模拟结果显示,通过本发明,能够在实现高 Q 值化的同时、实现低 CI 值化。

[0225] 而且,本申请发明者在倾斜角 $\alpha = 2.0^\circ$ 时将电极指膜厚 H、电极指间槽的深度 G、以及欧拉角 θ 作为参数,计算出了可实现频率变动量较少的三次曲线的优异频率温度特性和高 Q 值的 IDT 线占有率 η 、反射器线占有率 η_r 、二次温度系数、和此时所得到的 Q 值。其结果如下面的表 2 中所示。

[0226] 表 2

[0227]

H/ λ	G/ λ	θ	η	η_r	倾斜角 α	二次温度系数: β	Q
%	%	$^\circ$			$^\circ$	ppm/ $^\circ\text{C}^2$	
2	4	117	0.625	0.725	2.0	-0.01	14910
		123	0.625	0.725	2.0	0.00	15030
		142	0.625	0.725	2.0	-0.01	14690

[0228] 一般情况下, Q 值根据 SAW 能量的封入效果而被大致决定,换言之根据反射器的反射效率即反射器的结构(反射器个数、有效膜厚、电极线宽、密度等)来决定。因此,即使使水晶基板的切割角、例如欧拉角 θ 少许变化,也应当几乎不会对 Q 值造成影响。从表 2 中可以看出,虽然使欧拉角 θ 在可得到优异的频率温度特性的角度范围内改变为了 117° , 123° , 142° ,但是在 $\eta < \eta_r$ 的全部情况下,均获得了二次温度系数为 $-0.01 \sim +0.01\text{ppm}/^\circ\text{C}^2$ 的良好的频率温度特性,且获得了 Q 值为大概 15000 的较高值。

[0229] 因此可知,根据本发明,能够在欧拉角 $\theta = 117^\circ \sim 142^\circ$ 的范围内,同时实现良好的频率温度特性和较高的 Q 值。而且,通过将倾斜角 α 设定在上述的最佳范围内,从而保证了 Q 值在不受电极指膜厚 H、电极指间槽的深度 G、欧拉角 θ 以及线占有率的影响的条件下被改善。

[0230] 本发明还能够应用于将上述的本发明的 SAW 谐振子和振荡电路组合起来构成的振荡器上。图 14(A)、(B) 表示作为这种本发明的 SAW 器件的第 2 实施例的 SAW 振荡器的典型示例的结构。本实施例的 SAW 振荡器 31 具有,本发明的 SAW 谐振子 32、作为对该 SAW 谐振子进行驱动控制的振荡电路的 IC(integrated circuit:集成电路)33、将 SAW 谐振子 32 和 IC33 收纳在内的封装件 34。SAW 谐振子 32 及 IC33 被表面安装在封装件 34 的底板 34a 上。

[0231] SAW 谐振子 32 具有与第 1 实施例的 SAW 谐振子 11 同样的结构,并具有:用与第 1 实施例相同的欧拉角来表示的水晶基板 35;和在其表面形成的、由 1 对梳齿状电极 36a、36b 构成的 IDT 和 1 对反射器 37、37。在 IC33 的上表面上,设置有电极衬垫 38a $\sim$ 38f。在封装件 34 的底板 34a 上,形成有电极布线 39a $\sim$ 39g。SAW 谐振子 32 的梳齿状电极 36a、36b 及 IC33 的电极衬垫 38a $\sim$ 38f,分别通过接合线 40、41 而与相应的电极布线 39a $\sim$ 39g 电连接。以上述方式安装了 SAW 谐振子 32 及 IC33 的封装件 34 通过与其上部相接合的盖 42 而被气密密封。

[0232] 本实施例的 SAW 振荡器 31 通过具有本发明的 SAW 谐振子,从而具有在较广的工作

温度范围内频率变动量极小的优异的频率温度特性,并具有较高的 Q 值,因而能够进行稳定的振荡动作,且能够进一步实现由低阻抗化所带来的消耗电力的降低。其结果为,对应于近年来基于信息通信的高速化而提出的高频化及高精度化的要求,获得了具有在从低温到高温的温度剧烈变动的环境下也能够长期稳定工作的优异的耐环境特性的 SAW 振荡器。

[0233] 本发明并不限于上述实施例,可以在其技术的范围内加以各种变形或变更来实施。例如, IDT 的电极结构除了上述实施例之外,可以采用公知的各种各样的结构。另外,本发明同样能够适用于除上述的 SAW 谐振子、SAW 振荡器以外的各种各样 SAW 器件。而且本发明的 SAW 器件还能够广泛应用于如下的装置中,例如,移动电话、硬盘、个人计算机、BS 及 CS 广播用的接收调谐器、在同轴电缆或光缆中传播的高频信号和光信号用的各种处理设备、在较宽的温度范围内需要高频、高精度时钟(低抖动、低相位噪声)的服务器和网络设备、无线通信用设备等的各种电子设备、各种模块装置、以及压力传感器、加速度传感器、旋转速度传感器等的各种传感器装置。

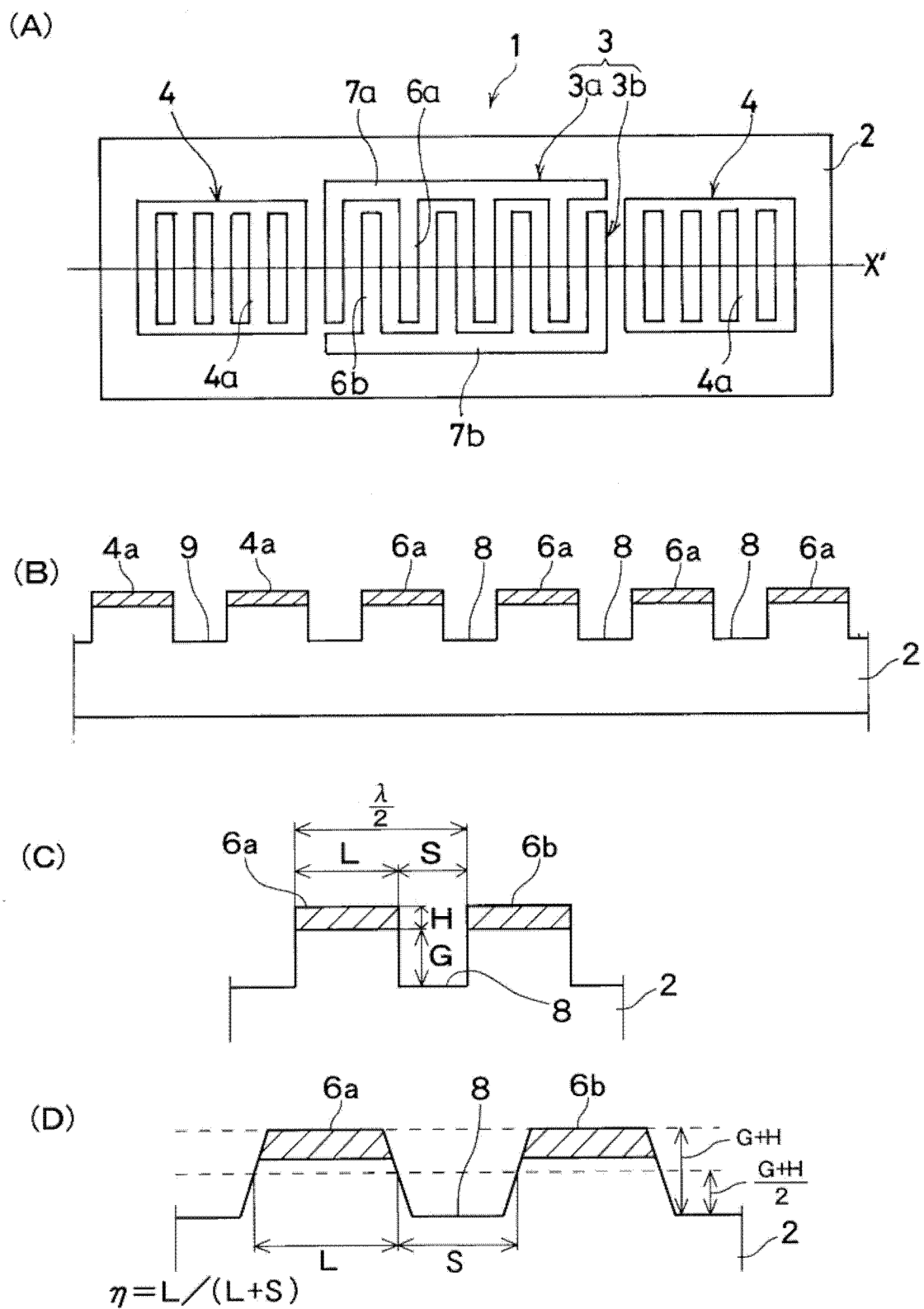


图 1

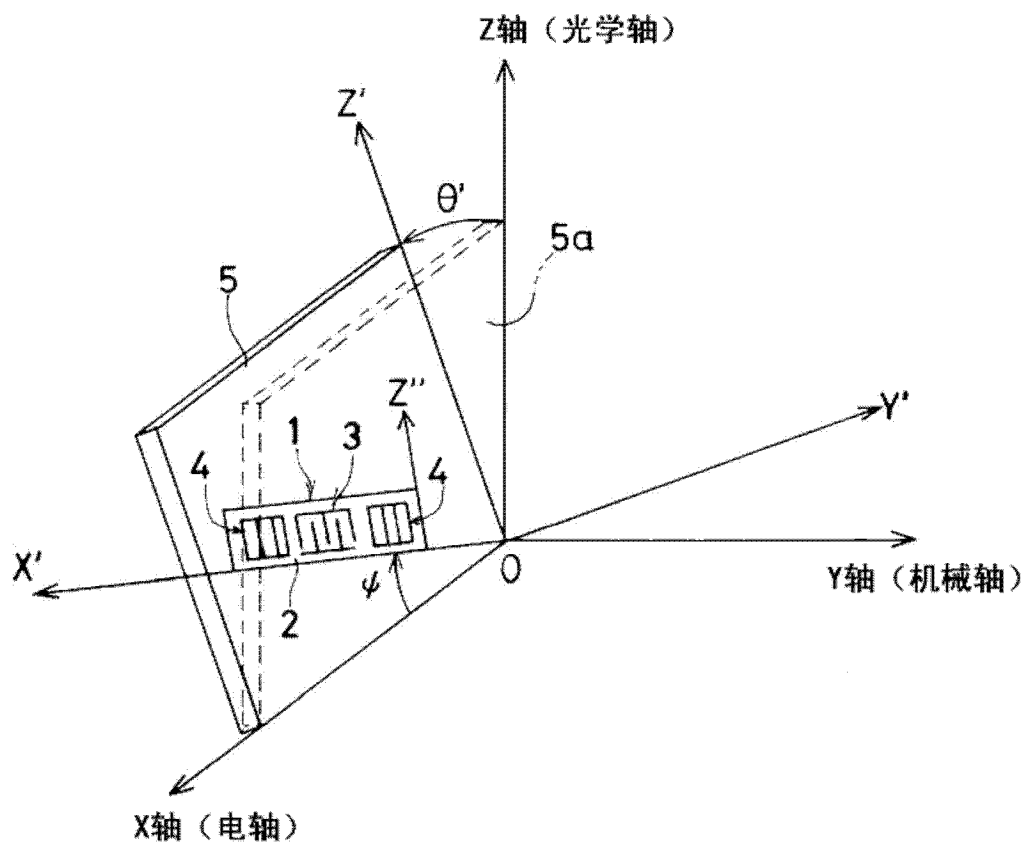


图 2

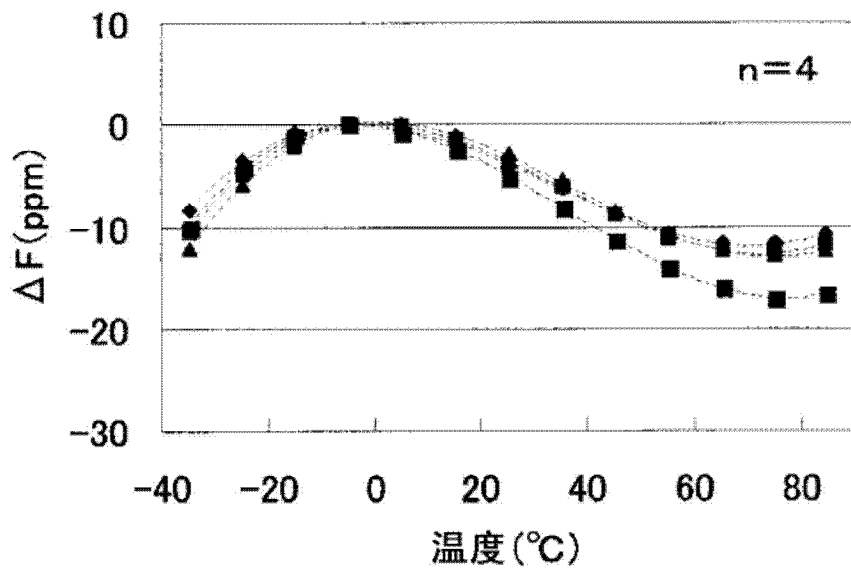


图 3

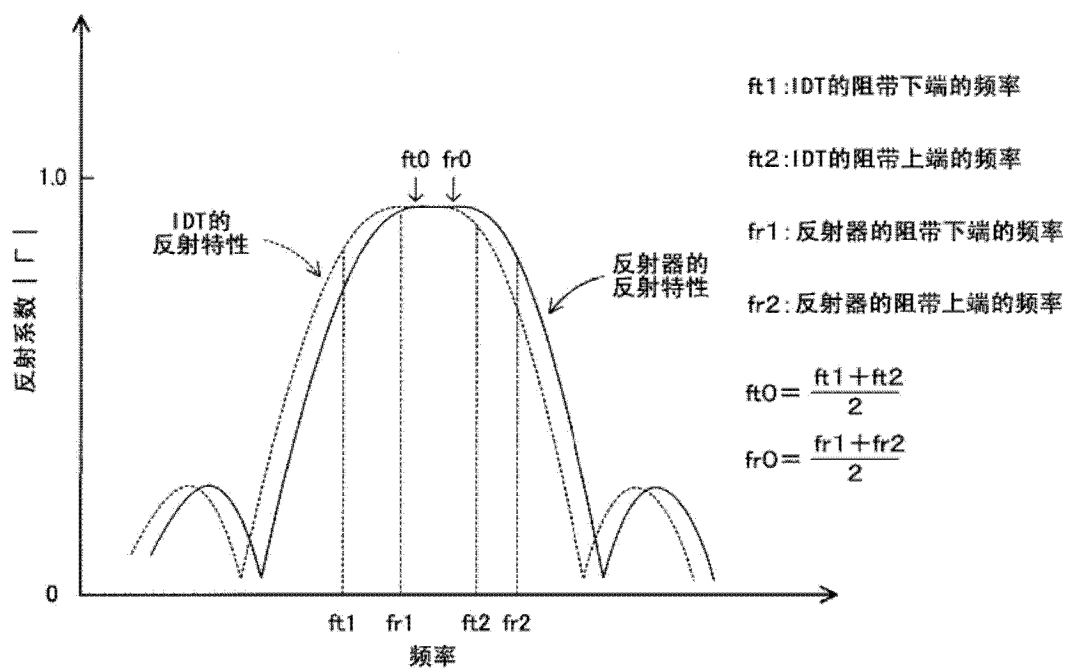


图 4

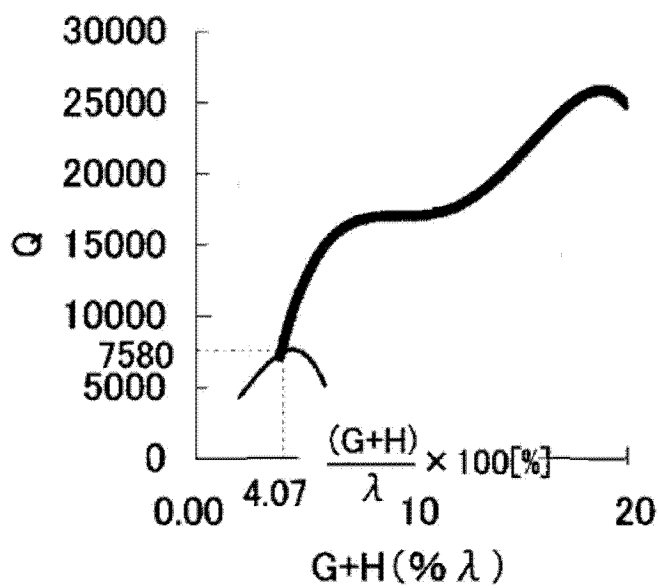


图 5

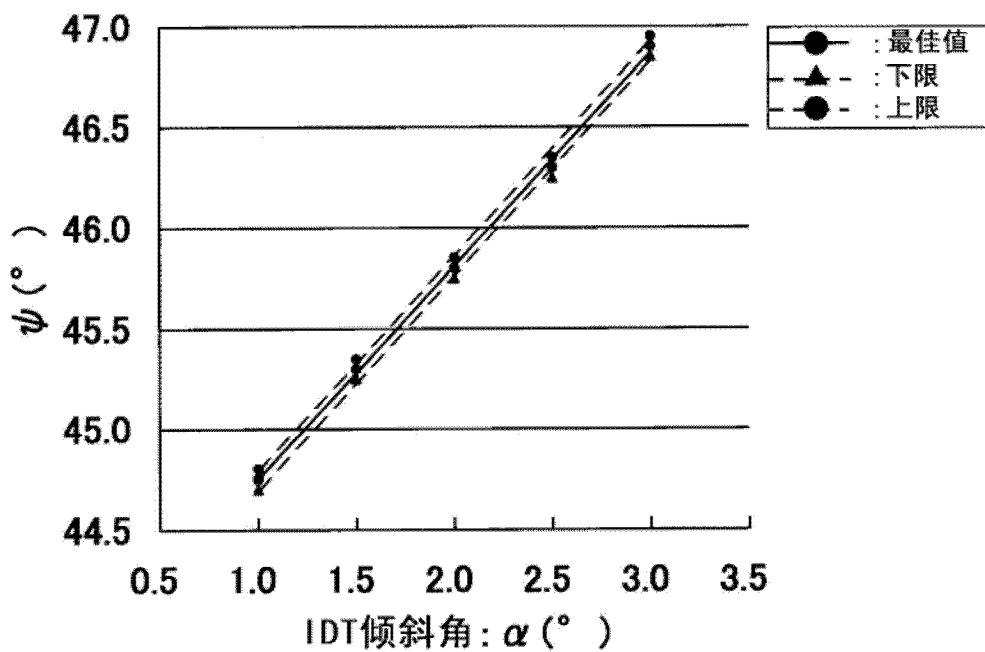


图 7

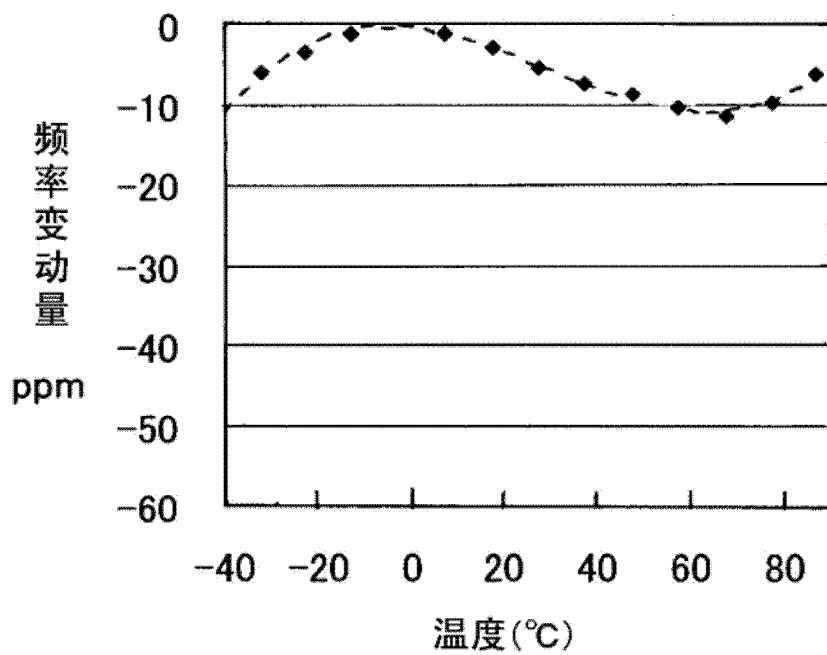


图 8

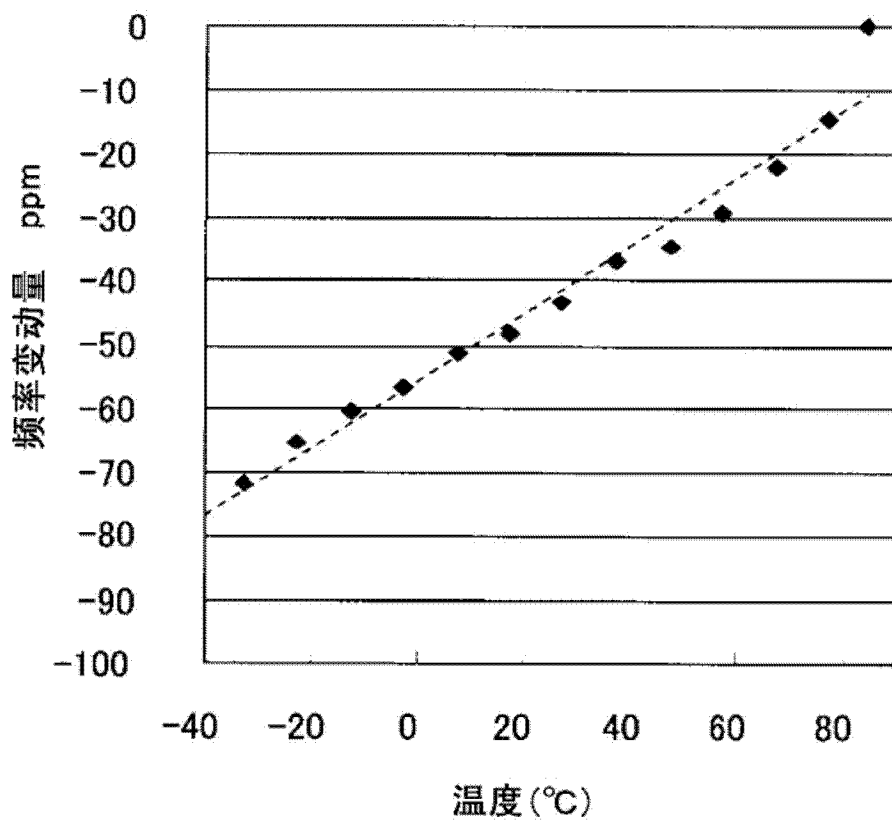


图 9

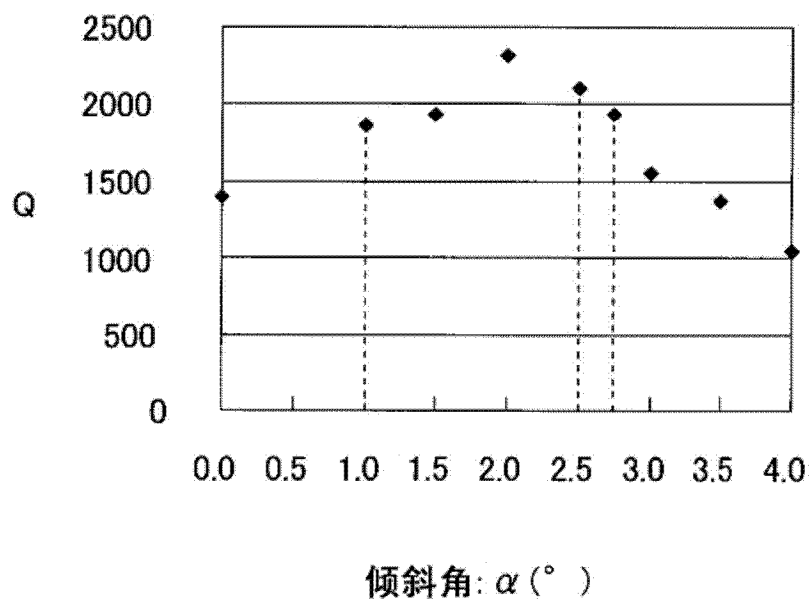


图 10

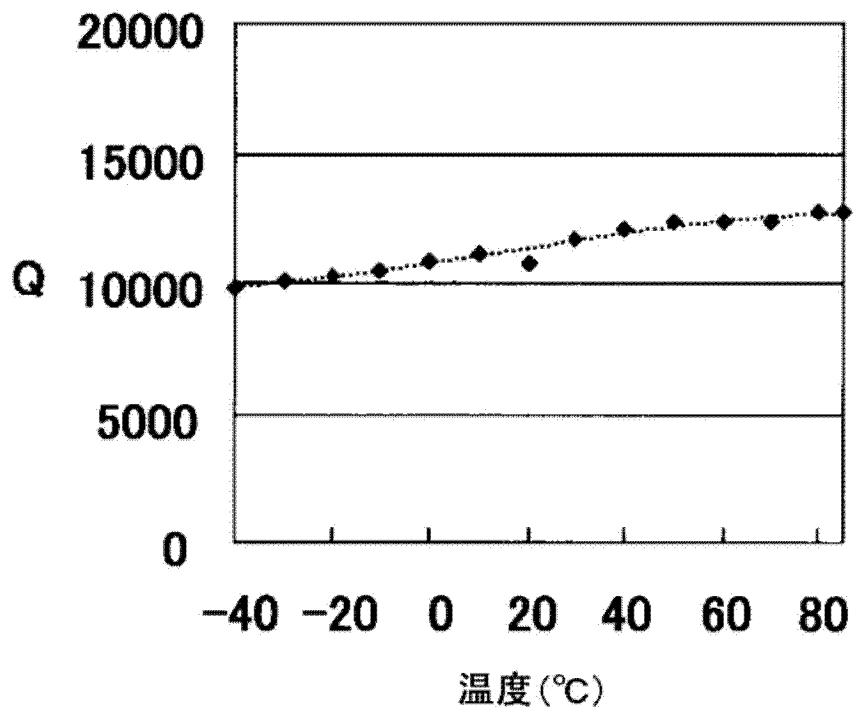


图 11-1

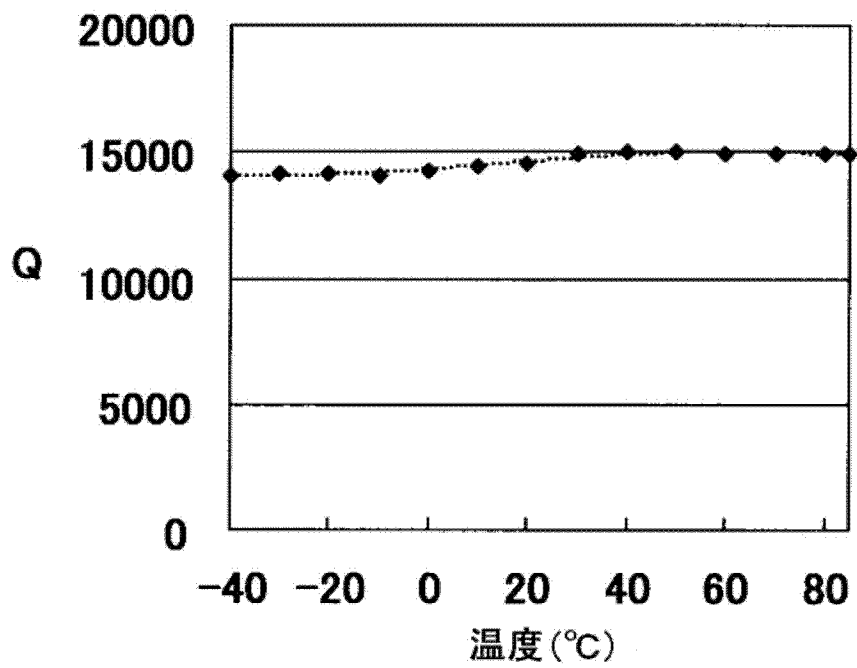


图 11-2

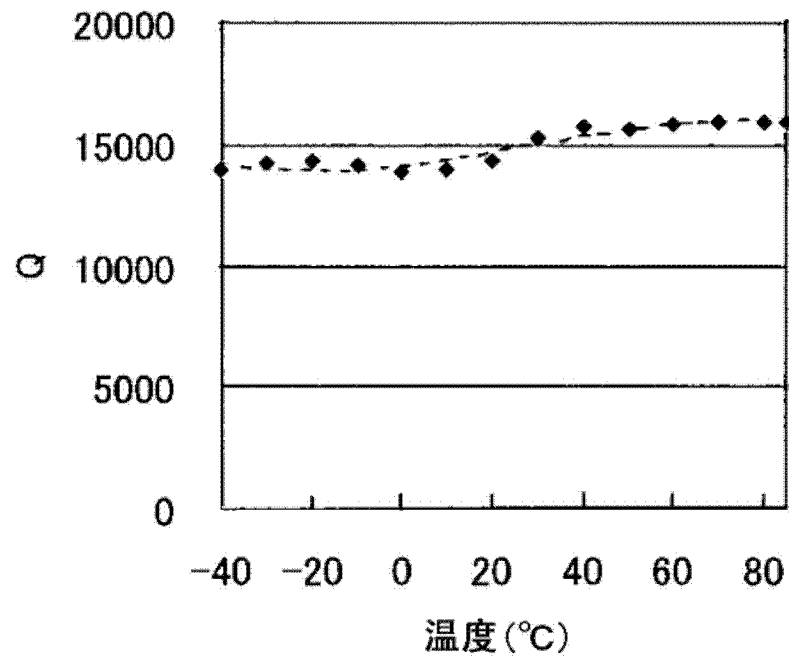


图 11-3

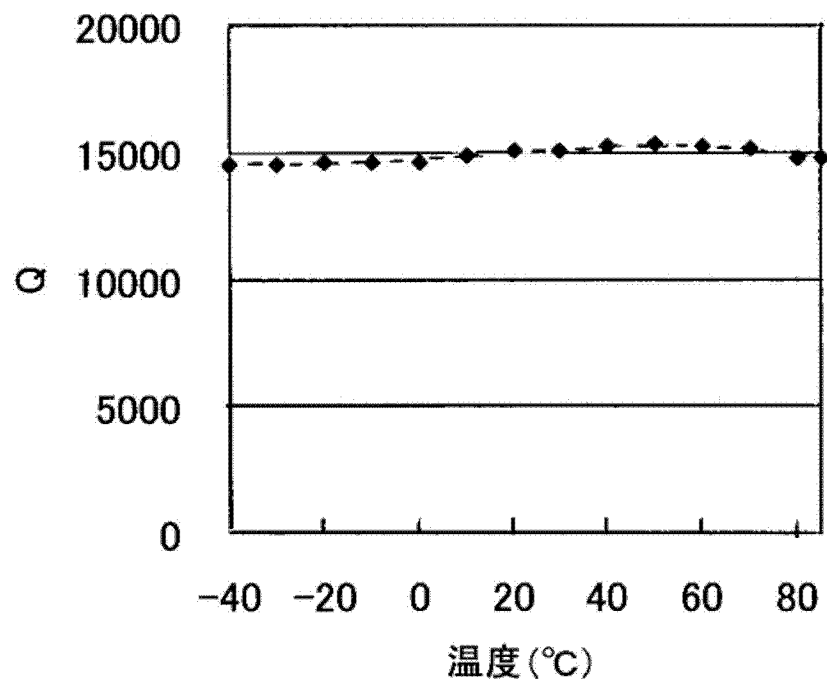


图 11-4

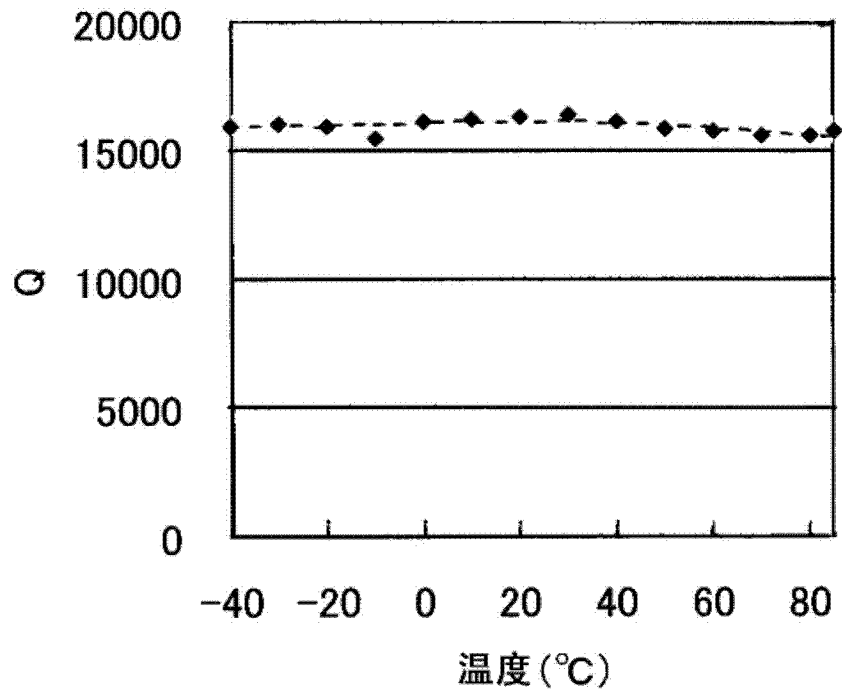


图 11-5

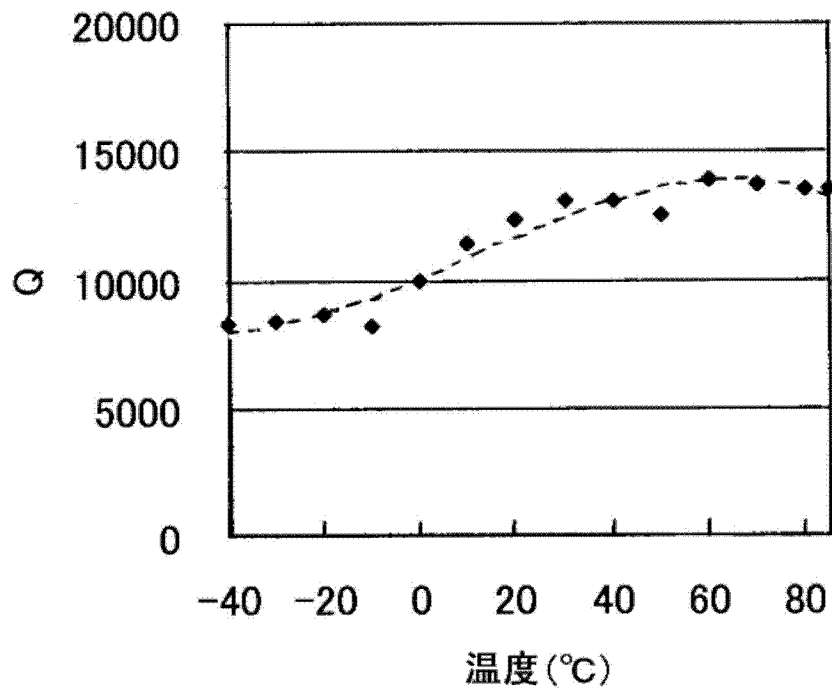


图 11-6

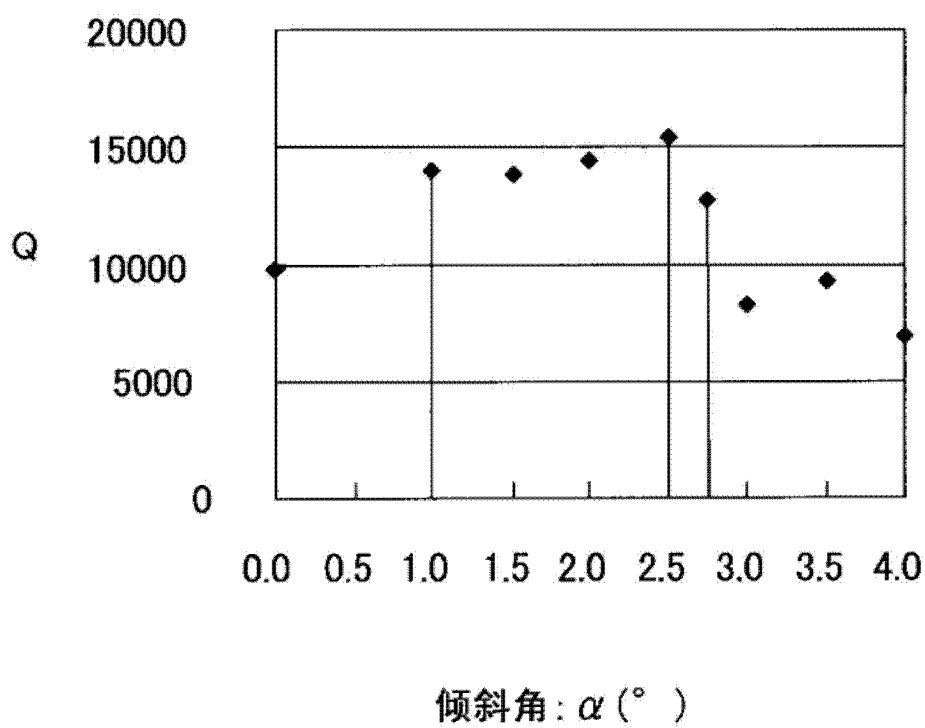


图 12

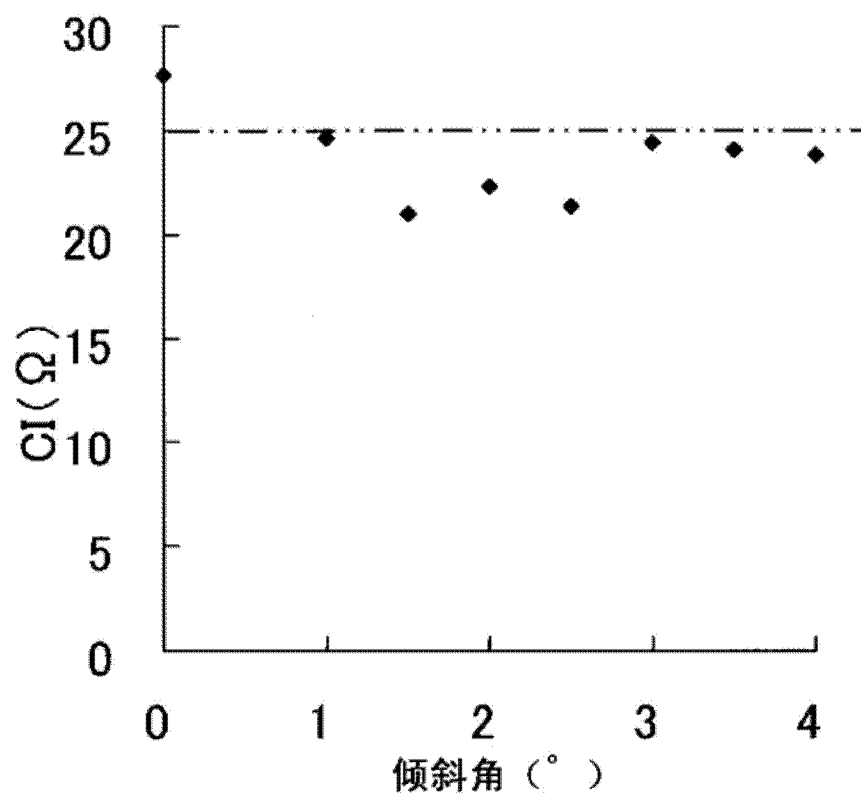


图 13

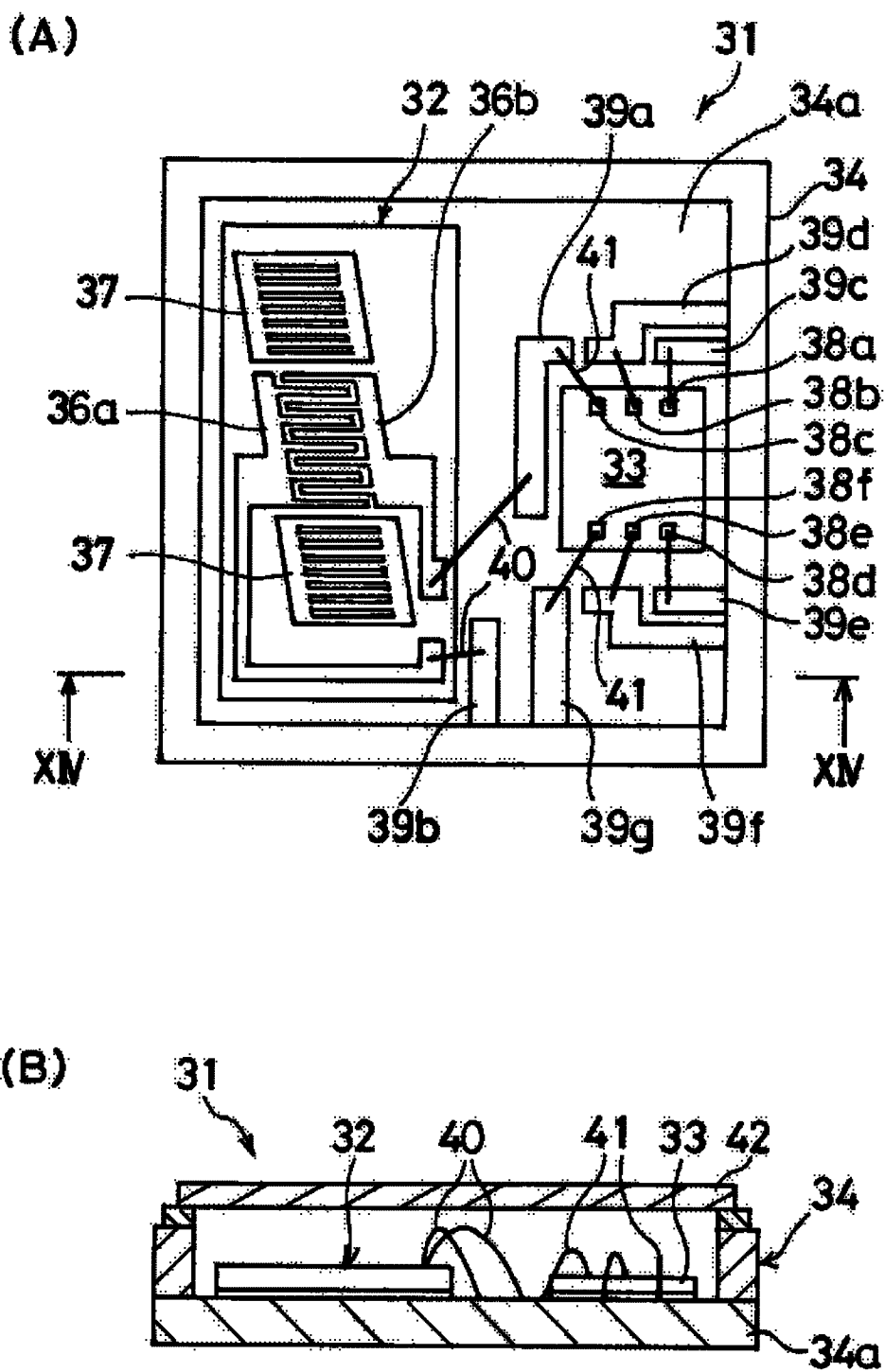


图 14

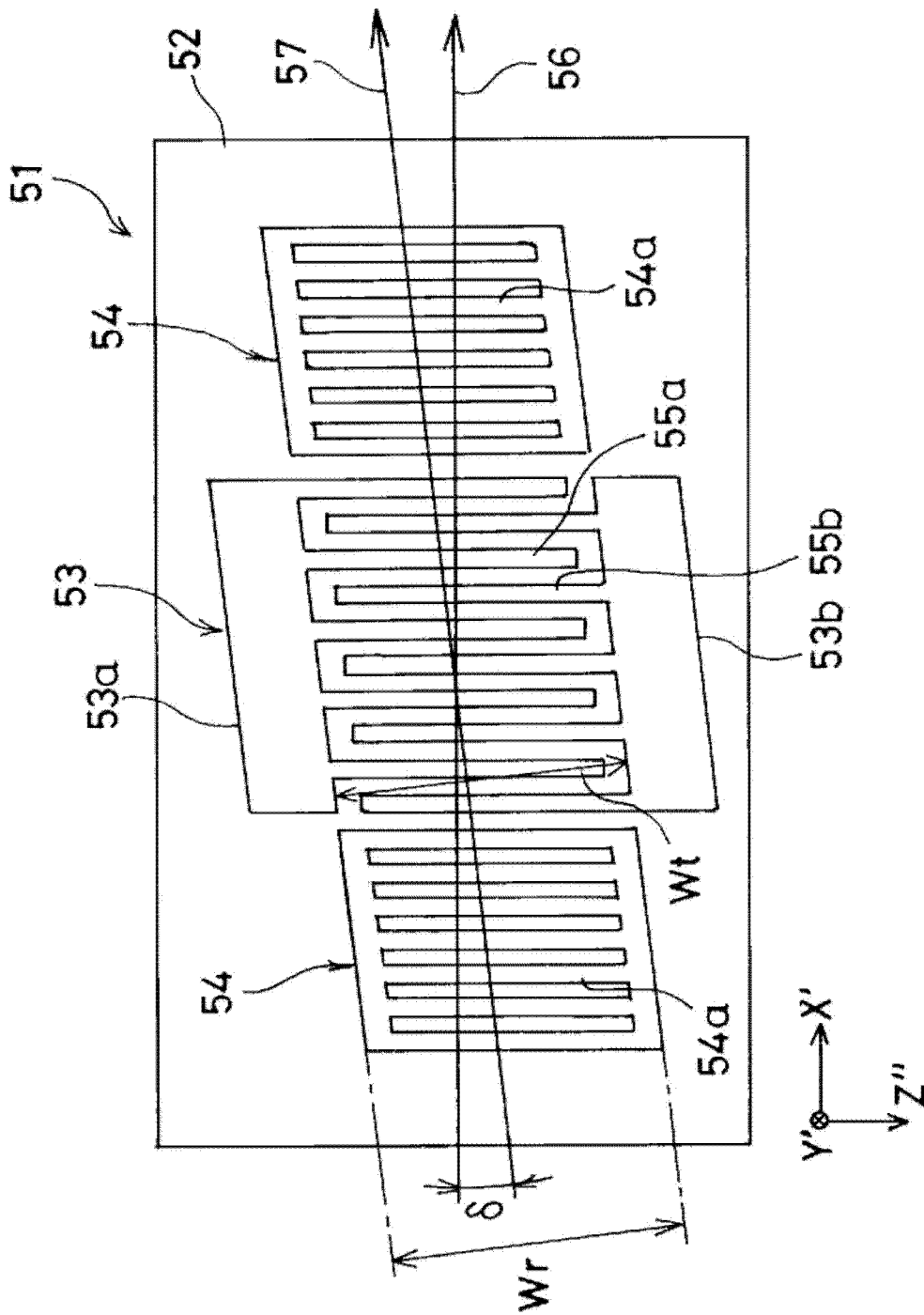


图 15

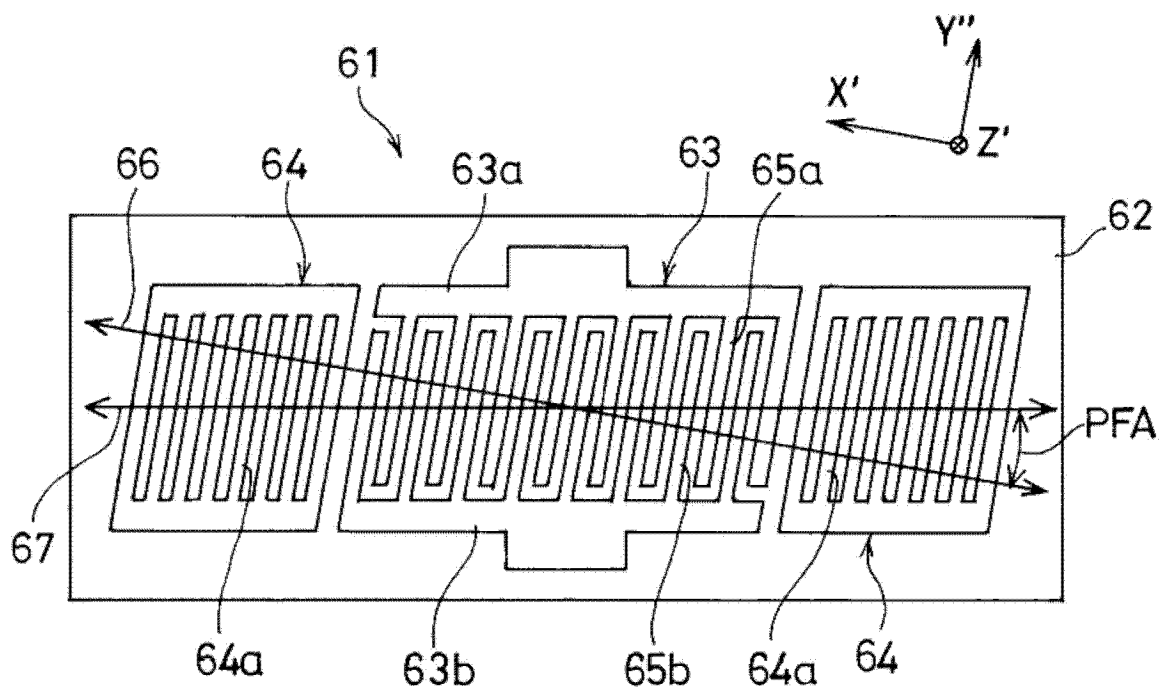


图 16