



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102403975 B

(45) 授权公告日 2015. 04. 01

(21) 申请号 201110261764. 2

CN 1336036 A, 2002. 02. 13,

(22) 申请日 2011. 08. 29

CN 1619956 A, 2005. 05. 25,

CN 101820265 A, 2010. 09. 01,

(30) 优先权数据

2010-201753 2010. 09. 09 JP

审查员 董泽华

(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 9/02(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1434568 A, 2003. 08. 06,

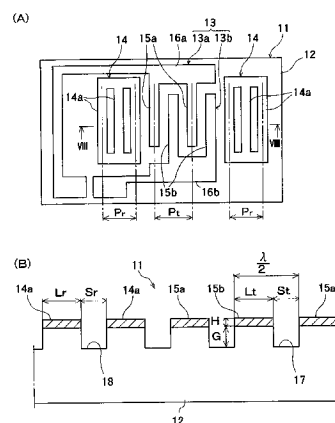
权利要求书2页 说明书17页 附图11页

(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器件、电子设备以及传感器装置。该声表面波(SAW)器件在工作温度范围内同时实现了优异的频率温度特性和较高的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,其中,SAW的波长 λ 与电极指间槽的深度G之间满足 $0.01\lambda \leq G$,IDT的线占有率 η 与电极指间槽的深度G满足预定的关系式,IDT的线占有率 η 与反射器的线占有率 η_r 具有 $\eta < \eta_r$ 的关系。



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,且激振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在叉指换能器两侧配置,并分别由多个导体条构成,且对由所述叉指换能器激振的声表面波进行反射;

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间的、所述水晶基板的表面上,所述声表面波的波长 λ 与所述电极指间槽的深度 G 满足 $0.01\lambda \leq G$ 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, $0.0100\lambda \leq G \leq 0.0500\lambda$;

式 9

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

所述叉指换能器的线占有率 η 与所述反射器的线占有率 η_r 之间满足 $\eta < \eta_r$ 的关系。

2. 如权利要求 1 所述的声表面波器件,其特征在于,

所述反射器的线占有率 η_r 满足 $0.70 \leq \eta_r \leq 0.95$ 。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的声表面波器件,其特征在于,

所述叉指换能器的所述电极指的间距 P_t 与所述反射器的所述导体条的间距 P_r 之间,满足 $0.995 \leq P_t/P_r \leq 1.010$ 的关系。

4. 如权利要求 3 所述的声表面波器件,其特征在于,

所述叉指换能器的所述电极指的间距 P_t 与所述反射器的所述导体条的间距 P_r 之间,满足 $0.997 \leq P_t/P_r \leq 1.0075$ 的关系。

5. 如权利要求 1 或 2 所述的声表面波器件,其特征在于,

当将所述电极指的膜厚设为 H 时,所述叉指换能器的线占有率 η 满足下述式 10,即,式 10

$$\eta = -1963.05 \times (G/\lambda)^3 + 196.28 \times (G/\lambda)^2 - 6.53 \times (G/\lambda) - 135.99 \times (H/\lambda)^2 + 5.817 \times (H/\lambda) + 0.732 - 99.99 \times (G/\lambda) \times (H/\lambda)。$$

6. 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 $0.0407\lambda \leq G+H$ 。

7. 如权利要求 1 或 2 所述的声表面波器件,其特征在于,

与所述电极指以及所述导体条正交的第 1 方向和所述水晶基板的电轴所成的角度,为所述欧拉角 ψ ,

所述叉指换能器以及所述反射器中的至少一部分被配置在,以与所述第 1 方向成角度 δ 而交叉的第 2 方向上,

所述角度 δ 在所述水晶基板的能流角 $\pm 1^\circ$ 的范围内。

8. 如权利要求 1 或 2 所述的声表面波器件,其特征在于,
还具有用于对所述叉指换能器进行驱动的振荡电路。

9. 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。

10. 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、及具有该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:能够激振阻带的上端的谐振,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 2 根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振瑞利波,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振瑞利波。

[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振瑞利波,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 $(\phi, \theta, \psi) = (0^\circ, 123^\circ, 43.2^\circ)$ 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振瑞利波。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 所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,且在与构成 IDT 的电极指之间、以及构成反射器的导体条(电极指)之间相对应的区域的、水晶基板上形成槽,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,记载了采用了 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)将其振动能量封入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] 而且,在ST切割水晶SAW谐振子等中,已知一种倾斜型IDT,其为了在不使其优良的频率温度特性劣化的条件下提高Q值,从而在水晶基板的表面上,使IDT和反射器沿着相对于SAW的相位速度的方向而倾斜能流角 $PFA \pm 3^\circ$ 的方向配置(例如,参照专利文献18、19)。这种由倾斜型IDT构成的SAW器件通过以覆盖SAW的相位的行进方向和其振动能量的行进方向的方式配置IDT及反射器,从而能够通过反射器而有效地反射SAW,因而能够有效地封住能量,从而进一步提高Q值。

[0021] 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。

[0022] 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。

- [0023] 在先技术文献
- [0024] 专利文献
- [0025] 专利文献 1 :日本专利第 3266846 号公报
- [0026] 专利文献 2 :日本特开 2002-100959 号公报
- [0027] 专利文献 3 :日本特开 2006-148622 号公报
- [0028] 专利文献 4 :日本特开 2007-208871 号公报
- [0029] 专利文献 5 :日本特开 2007-267033 号公报
- [0030] 专利文献 6 :日本特开 2007-300287 号公报
- [0031] 专利文献 7 :日本特公平 2-7207 号 (特开昭 57-5418 号) 公报
- [0032] 专利文献 8 :日本特开平 2-189011 号公报
- [0033] 专利文献 9 :日本特开平 5-90865 号公报
- [0034] 专利文献 10 :日本特开平 1-231412 号公报
- [0035] 专利文献 11 :日本特开昭 61-92011 号公报
- [0036] 专利文献 12 :日本特开平 10-270974 号公报
- [0037] 专利文献 13 :日本特公平 1-34411 号公报
- [0038] 专利文献 14 :日本再公表 W02005/099089A1 公报
- [0039] 专利文献 15 :日本特开 2006-203408 号公报
- [0040] 专利文献 16 :日本特开 2009-225420 号公报
- [0041] 专利文献 17 :日本专利第 3851336 号公报
- [0042] 专利文献 18 :日本专利第 3216137 号公报
- [0043] 专利文献 19 :日本特开 2005-204275 号公报
- [0044] 非专利文献
- [0045] 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

[0046] 因此,本发明是鉴于上述的现有的问题点所实施的,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。

[0047] 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 、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。

[0048] 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,且激振阻带上限模式的

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，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：

[0049] 式 1

[0050] $-2.0000 \times G/\lambda + 0.7200 \leq \eta \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775$ 但是 $0.0100\lambda \leq G \leq 0.0500\lambda$

[0051] (1)

[0052] 式 2

[0053] $-3.5898 \times G/\lambda + 0.7995 \leq \eta \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775$ 但是 $0.0500\lambda < G \leq 0.0695\lambda$

[0054] (2)

[0055] 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内。

[0056] 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。

[0057] 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。

[0058] 式 3

[0059] $\eta = -1963.05 \times (G/\lambda)^3 + 196.28 \times (G/\lambda)^2 - 6.53 \times (G/\lambda)$

[0060] $-135.99 \times (H/\lambda)^2 + 5.817 \times (H/\lambda) + 0.732$

[0061] $-99.99 \times (G/\lambda) \times (H/\lambda)$

[0062] (3)

[0063] 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。

[0064] 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。

[0065] 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。

[0066] 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。

[0067] 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。

[0068] 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一对梳齿状电极 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。

[0069] 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。

[0070] 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,可以总称为电极指。电极指间槽 8 和导体条间槽 9 被形成成为相同的深度 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,同样通过削除水晶基板表面而凹设有与所述导体条间槽深度相同的槽。

[0071] 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。

[0072] 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。

$$[0073] \quad \Delta f = \alpha \times (T - T_0) + \beta \times (T - T_0)^2$$

[0074] 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 $0.01(\text{ppm}/^{\circ}\text{C}^2)$ 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。

[0075] 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 $43^{\circ} < \psi < 45^{\circ}$ 。

[0076] 接下来,将水晶基板 2 设为,切割角及 SAW 传播方向通过欧拉角表示为 $(0, \theta, \psi)$,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。

[0077] 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。

[0078] 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 以在上述的欧拉角 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。

[0079] 式 4

$$[0080] \quad \psi = 1.19024 \times 10^{-3} \times \theta^3 - 4.48775 \times 10^{-1} \times \theta^2 + 5.64362 \times 10^1 \times \theta - 2.32327 \times 10^3 \pm 1.0$$

[0081] 由此,欧拉角 ψ 在欧拉角 θ 的下限值 $\theta = 117^{\circ}$ 处,成为 $\psi = 42.79^{\circ}$,在上限值 $\theta = 142^{\circ}$ 处,成为 $\psi = 49.57^{\circ}$ 。因此,欧拉角 ψ 在 $117^{\circ} \leq \theta \leq 142^{\circ}$ 的范围内,可以设定为 $42.79^{\circ} \leq \psi \leq 49.57^{\circ}$ 。

[0082] 通过上述方式设定水晶基板 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 $0.01(\text{ppm}/^{\circ}\text{C}^2)$ 以下的优良的频率温度特性。

[0083] 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。

[0084] - 本实施方式的 SAW 谐振子 1 的基本数据

[0085] $H: 0.02\lambda$

[0086] G : 变化

[0087] IDT 线占有率 $\eta: 0.6$

[0088] 反射器线占有率 $\eta_r: 0.8$

[0089] 欧拉角: $(0^{\circ}, 123^{\circ}, 43.5^{\circ})$

[0090] IDT 对数 :120

[0091] 电极指交叉宽度 : 40λ ($\lambda = 10\mu\text{m}$)

[0092] 反射器条数 (每单侧) :60

[0093] 电极指的倾斜角度 :无

[0094] 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 ($-40\sim+85^{\circ}\text{C}$) 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。

[0095] 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。

[0096] 表 1

[0097]

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

[0098] 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)。

[0099] 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 激振的阻带上限模式的 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。

[0100] 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。

[0101] - 现有的 SAW 谐振子的基本数据

[0102] H :变化

[0103] G :零 (无)

[0104] IDT 线占有率 η :0.4

[0105] 反射器线占有率 η_r :0.3

[0106] 欧拉角 (0° , 123° , 43.5°)

[0107] IDT 对数 :120

[0108] 电极指交叉宽度 : 40λ ($\lambda = 10\mu\text{m}$)

[0109] 反射器条数 (每单侧) :60

[0110] 电极指的倾斜角度 :无

[0111] 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。

[0112] 另外,关于本实施方式的 SAW 谐振子 1,本申请的发明人通过进行模拟,对 Q 值与 IDT 以及反射器的线占有率 η 、 η_r 之间的关系进行了验证。另外, IDT3 的线占有率 η 如图 1(C)、(D) 所示,为电极指宽度 L 除以电极指间距 $\lambda/2 (= L+S)$ 所得的值。此外,反射器 4 的线占有率 η_r 被设为了与 IDT3 的线占有率相同的值。

[0113] 另外,图 1(D) 为,用于对下述方法进行说明的图,该方法为,在通过光刻技术和蚀刻技术制造出 IDT3 的电极指 6a、6b 以及电极指间槽 8 时所形成的梯形形状的截面中,对 IDT3 的线占有率 η 进行确定的方法。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。

[0114] 在该模拟中,将水晶基板 2 的欧拉角设为了 (0° , 123° , ψ)。IDT3 的电极指 6a、6b 以及反射器 4 的导体条 4a、4a 使用了铝,将它们的膜厚 H 设为了 SAW 的波长 λ 的 2%、即 $H = 0.02\lambda$ (2% λ)。将电极指间槽 8 以及导体条间槽 9 的深度 G 设为了 SAW 的波长 λ 的 4.5%、即 $G = 0.045\lambda$ (4.5% λ)。因此,相邻电极指 6a、6b 以及导体条 4a、4a 之间的高低差、即 SAW 的波长 λ 的 6.5% ($G+H = 0.065\lambda$ (6.5% λ)),成为了所述电极指以及导体条的有效膜厚。

[0115] 将 IDT3 的线占有率 η 设定为 0.625、0.80、0.725,并对每个值进行了频率温度特性的计算。图 6(A) 图示了 $\eta = 0.625$ 时的频率温度特性。此时,在工作温度范围 ($-40^\circ\text{C} \sim +85^\circ\text{C}$) 内,获得了三次曲线的极其优异的频率温度特性,且将频率变动量抑制在了非常小的 $\pm 8\text{ppm}$ 的程度。

[0116] 图 6(B) 图示了 $\eta = 0.80$ 时的频率温度特性。图 6(C) 图示了 $\eta = 0.725$ 时的频率温度特性。可以看出,上述任意一种情况下,在工作温度范围 ($-40^\circ\text{C} \sim +85^\circ\text{C}$) 内,频率温度特性均表示为二次曲线,且频率变动量非常大,达到大约 40ppm 或大约 35ppm,与图 6(A) 的情况劣化了。其原因被认为是,图 6(B) 和 (C) 的线占有率 $\eta = 0.80$ 、0.725 时,在与电极指间槽的深度 G 以及 SAW 的波长 λ 之间的关系中,不满足上述式 (1) 和式 (2)。

[0117] 因此,本申请的发明人对与 IDT (以及反射器) 的线占有率 η (η_r) 相关的 Q 值的变化进行了模拟。图 7 图示了该模拟的结果。从该图中可以看出,随着线占有率 η 的增大, Q 值增大。然而,如上所述,在发挥优异的频率温度特性的 $\eta = 0.625$ 的情况下, Q 值极小仅为 2000,从而无法期待其作为振荡器而实施稳定的振荡动作。另一方面,当 $\eta = 0.725$ 时, Q 值达到最大值 13500,虽然作为振荡器而能够进行稳定的振荡动作,但无法如上述那样获得良好的频率温度特性。

[0118] 这种实施方式的 SAW 谐振子不能同时实现优异的频率温度特性和较高的 Q 值,从而难以作为振荡器使用。为了解决这个新问题,本申请的发明人进一步深入地研究了 IDT 以及反射器的线占有率与频率温度特性以及 Q 值之间的关系,最终找出了能够同时实现优异的频率温度特性和较高的 Q 值的方法,从而想到了本发明。

[0119] 本发明的 SAW 器件的特征在于,具有:

[0120] 水晶基板,其欧拉角为 ($-1.5^\circ \leq \Phi \leq 1.5^\circ$, $117^\circ \leq \theta \leq 142^\circ$, $42.79^\circ \leq |\psi| \leq 49.57^\circ$);

[0121] IDT,其由被设置于该水晶基板的主面上的多个电极指构成,且激振阻带上限模式的声表面波;

[0122] 一对反射器,其沿着声表面波的传播方向并以夹着 IDT 的方式而在 IDT 两侧配置,并分别由多个导体条构成;

[0123] 电极指间槽,其凹设在 IDT 的相邻的电极指之间的、水晶基板的表面上;

[0124] 导体条间槽,其凹设在反射器的相邻的导体条之间的、水晶基板的表面上,

[0125] 声表面波的波长 λ 与电极指间槽的深度 G 满足 $0.01\lambda \leq G$ 的关系,

[0126] IDT 的线占有率 η 与所述电极指间槽的深度 G 满足下述式 5 以及式 6 的关系,即,

[0127] 式 5

[0128] $-2.0000 \times G/\lambda + 0.7200 \leq \eta \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775$, 但是, $0.0100\lambda \leq G \leq 0.0500\lambda$

[0129] 式 6

[0130] $-3.5898 \times G/\lambda + 0.7995 \leq \eta \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775$, 但是, $0.0500\lambda < G \leq 0.0695\lambda$

[0131] IDT 的线占有率 η 与反射器的线占有率 η_r 之间满足 $\eta < \eta_r$ 的关系。

[0132] 通过以此方式设定 IDT 以及反射器的线占有率,从而能够在反射器上配置反射效率较高的导体条,进而高效地将 SAW 的振动能量封入于被夹持在反射器间的 IDT 中。其结果为,能够实现如下的 SAW 器件,其能够在较宽的工作温度范围内,在确保并维持频率变动量极小的优异的频率温度特性和低阻抗化的同时,具有高 Q 值及优异的振荡稳定性。

[0133] 在某一实施例中,通过使反射器的线占有率 η_r 满足 $0.70 \leq \eta_r \leq 0.95$,从而能够获得如后述这种使 Q 值达到 10000 以上的良好的 SAW 器件。

[0134] 在其他实施例中,通过使 IDT 的电极指的间距 P_t 与反射器的导体条的间距 P_r 之间满足 $0.995 \leq P_t/P_r \leq 1.010$ 的关系,从而能够将由两间距的不同而引起的杂散辐射抑制于最小限度,进而能够获得较高的 Q 值。

[0135] 此时,由于通过进一步使 IDT 的电极指的间距 P_t 与反射器的导体条的间距 P_r 之间满足 $0.997 \leq P_t/P_r \leq 1.0075$ 的关系,能够使两间距的差更小,因而能够获得更高的 Q 值。

[0136] 此外,在某个实施例中,由于通过使 IDT 的线占有率 η 满足下述式 7 的关系,能够将频率温度特性的二次温度系数抑制得更小,因此,能够使频率变动量进一步减小且获得更优异的三次曲线的频率温度特性。

[0137] 式 7

[0138] $\eta = -1963.05 \times (G/\lambda)^3 + 196.28 \times (G/\lambda)^2 - 6.53 \times (G/\lambda)$

[0139] $-135.99 \times (H/\lambda)^2 + 5.817 \times (H/\lambda) + 0.732$

[0140] $-99.99 \times (G/\lambda) \times (H/\lambda)$

[0141] 在另一个实施例中,通过使电极指间槽的深度 G 与电极指的膜厚 H 之和满足 $0.0407\lambda \leq G+H$,从而在使用了阻带上限模式的谐振时,与没有在 IDT 的电极指间设置槽而使用阻带下限模式的谐振的、现有的 SAW 谐振子相比,能够获得较高的 Q 值。

[0142] 而且,在另一个实施例中,还通过使与电极指以及导体条正交的第 1 方向和水晶基板的电机轴所成的角度为水晶基板的欧拉角 ψ ,并使 IDT 以及反射器中的至少一部分被配置在以与第 1 方向成角度 δ 而交叉的第 2 方向上,且使角度 δ 在水晶基板的能流角 $\pm 1^\circ$ 的范围内,从而能够进一步实现 Q 值的提高。

[0143] 此外,在另一个实施例中,通过进一步具有用于对 IDT 进行驱动的振荡电路,从而能够获得在较宽的工作温度范围内频率变动量极小、CI 值较低、且振荡稳定性优异的 SAW 振荡器。

[0144] 根据本发明的另一个侧面,提供了一种具备上述的本发明的 SAW 器件的电子设备以及传感器装置。

附图说明

[0145] 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) 图中的槽部的截面形状的图。

[0146] 图 2 为模式化地表示图 1 中的 SAW 谐振子的水晶基板的说明图。

[0147] 图 3 为表示图 1 中的 SAW 谐振子的频率温度特性的线图。

[0148] 图 4 为表示图 1 中的 SAW 谐振子的 IDT 以及反射器的 SAW 反射特性的线图。

[0149] 图 5 为表示图 1 的 SAW 谐振子的电极指间的高低差与 Q 值之间的关系的线图。

[0150] 图 6 中, (A) ~ (C) 图为分别表示图 1 中的 SAW 谐振子的 IDT 的线占有率 $\eta = 0.625、0.80、0.725$ 时的频率温度特性的线图。

[0151] 图 7 为表示图 1 中的 SAW 谐振子的 IDT 的线占有率 η 与 Q 值之间的关系的线图。

[0152] 图 8 中, (A) 图为表示本发明的 SAW 器件的第 1 实施例的俯视图, (B) 图为沿着该 VIII-VIII 线的部分放大纵剖视图。

[0153] 图 9 为表示第 1 实施例的 IDT 的线占有率 η 与机电耦合系数之间的关系的线图。

[0154] 图 10 为表示第 1 实施例的 IDT 的线占有率 η 与频率漂移量之间的关系的线图。

[0155] 图 11 为表示第 1 实施例的反射器的线占有率 η_r 与 Q 值之间的关系的线图。

[0156] 图 12 为表示第 1 实施例的频率温度特性的线图。

[0157] 图 13 为表示与第 2 实施例的 SAW 器件的电极指和导体条的间距比 P_t/P_r 相关的 Q 值的变化的线图。

[0158] 图 14 中, (A)、(B) 图为分别表示具有倾斜性 IDT 的第 3 实施例的 SAW 器件的俯视图。

[0159] 图 15 中, (A) 图为表示本发明所涉及的 SAW 振荡器的俯视图, (B) 图为沿着 XV-XV 线的纵剖视图。

[0160] 符号说明

[0161] 1、11、21₁、21₂、32 SAW 谐振子

[0162] 2、12、22₁、22₂、35 水晶基板

[0163] 3、13、23₁、23₂ IDT

[0164] 3a、3b、13a、13b、23a₁、23b₁、23a₂、23b₂、36a、36b 梳齿状电极

[0165] 4、14、24₁、24₂、37 反射器

[0166] 4a、4a、24a₁、24a₂ 导体条

[0167] 5 晶片

[0168] 5a 面

[0169] 6a、6b、15a、15b、25a₁、25b₁、25a₂、25b₂ 电极指

- [0170] 7a、7b、16a、16b、26a₁、26b₁、26a₂、26b₂ 母线
[0171] 8、17 电极指间槽
[0172] 9、18 导体条间槽
[0173] 31 SAW 振荡器
[0174] 33 IC
[0175] 34 封装件
[0176] 34a 底板
[0177] 38a ~ 38f 电极衬垫
[0178] 39a ~ 39g 电极布线
[0179] 40、41 接合线
[0180] 42 盖

具体实施方式

[0181] 下面,参照说明书附图,对本发明的优选实施例进行详细说明。另外,在说明书附图中,对相同或类似的构成要件,通过标注相同或类似的参照符号来表示。

[0182] 图 8(A)、(B) 图示了本发明的 SAW 谐振子的第 1 实施例。本实施例的 SAW 谐振子 11 具有:矩形的水晶基板 12;分别形成于该水晶基板的主面上的 IDT13 和一对反射器 14、14。联系图 1,水晶基板 12 使用了与上述 SAW 谐振子 1 的水晶基板 2 相同欧拉角 ($-1^{\circ} \leq \Phi \leq 1^{\circ}$, $117^{\circ} \leq \theta \leq 142^{\circ}$, $42.79^{\circ} \leq |\psi| \leq 49.57^{\circ}$) 的水晶基板。

[0183] IDT13 具有分别由多个电极指 15a、15b 构成,且通过母线 16a、16b 将它们的基础端部连接起来的一对梳齿状电极 13a、13b。各个电极指 15a、15b 以其延长方向与被所述 IDT 所激振的 SAW 的传播方向正交的朝向而配置。一个梳齿状电极 13a 的电极指 15a 与另一个梳齿状电极 13b 的电极指 15b 交替且隔开预定的距离而以固定的间距被排列。在露出于电极指 15a、15b 之间的水晶基板 12 的表面上,通过利用蚀刻等对该表面进行削除,从而凹设了分别具有固定深度的电极指间槽 17。

[0184] 一对反射器 14、14 以沿着 SAW 的传播方向且在 IDT3 的两侧夹着该 IDT 的方式而配置。各个反射器 14 分别具有,在 SAW 的传播方向上以固定的间距而排列的多个导体条(电极指)14a、14a。所述各个导体条与 IDT13 的所述各个电极指同样,以其延长方向与 SAW 的传播方向正交的朝向而配置。在露出于导体条 14a、14a 之间的水晶基板 12 的表面上,通过利用蚀刻等进行削除,从而凹设了各自具有固定深度的导体条间槽 18。

[0185] 电极指 15a、15b 以及导体条 14a、14a 通过使用了例如铝或者以铝为主体的合金的金属膜,从而被形成为相同的膜厚 H。电极指间槽 17 与导体间槽 18 被形成为相同的深度 G。各个反射器 14、14 的最内侧的所述导体条和与其相邻的 IDT13 的最外侧的电极指 15a(或 15b) 之间,也同样通过对水晶基板表面进行削除,而凹设了与所述导体条间槽深度相同的槽。

[0186] 通过采用这种结构,从而使 SAW 谐振子 11 激励在水晶基板 12 的 X' 轴方向以及 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。由于通过采用上述欧拉角的水晶基板 12,从而 SAW 的传播方向从作为水晶的晶轴的 X 轴上偏移,因此能够激励阻带上限模式的 SAW。

[0187] 如图 8(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 S_t ,则 IDT13 的线占有率 η 被表示为 $\eta = L_t / (L_t + S_t)$ 。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 η_r 被表示为 $\eta_r = L_r / (L_r + S_r)$ 。

[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。当设 $L_t + S_t = d_t$ 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,电极指间槽的 SAW 传播方向上的宽度) S_t 之间的关系为 $P_t = 2 \times d_t = 2 \times (L_t + S_t)$ 。即,从 SAW 传播方向上观察时,相邻的电极指 13a 和电极指 13b 的中心之间的距离(所谓的行间隔)为 $d_t = L_t + S_t$ 。从而,电极指间距 $P_t = 2 \times d_t = \lambda$ 。

[0189] 在反射器 14 中,从 SAW 的传播方向上观察时,相邻的导体条 14a 的中心之间的距离为 $d_r = L_r + S_r$ 。该中心间距离 d_r 为,在反射器 14 中传播的 SAW 的波长 λ 的 $1/2$,即, $d_r = \lambda / 2$ 。因此,导体条 14a 的间距 P_r 为, $P_r = 2 \times d_r = 2 \times (L_r + S_r)$ 。

[0190] IDT13 的线占有率 η 与反射器 14 的线占有率 η_r 被设定为 $\eta < \eta_r$ 的关系。由此,SAW 谐振子 11 能够在工作温度范围内,同时实现频率变动量极小的优异的频率温度特性、和较高的 Q 值。

[0191] 实施例 1

[0192] 以如下方式对 SAW 谐振子 11 的规格进行设定。

[0193] 水晶基板尺寸 : 5.0×1.5 (mm)

[0194] 欧拉角 : $(0^\circ, 123^\circ, \psi)$

[0195] IDT 对数 : 180

[0196] 反射器条数(每单侧) : 78

[0197] IDT13 以如下的方式进行了设计。

[0198] SAW 波长 λ : 7.9 (μm)

[0199] 电极材料 : 铝

[0200] 电极指膜厚 H : 0.02λ ($2\% \lambda$) = 0.1580 (μm)

[0201] 电极指间距 P_t : $\lambda / 2 = 3.95$ (μm),

[0202] 电极指线宽 L_t : $0.625P_t = 2.4688$ (μm)

[0203] (线占有率 η : 0.625)

[0204] 反射器 14 以如下的方式进行了设计。

[0205] 电极材料 : 铝

[0206] 导体条膜厚 H : $2\% \lambda$ (0.02λ) = 0.1580 (μm)

[0207] 导体条间距 P_r : $\lambda / 2 = 3.95$ (μm)

[0208] 导体条线宽 : $0.725P_r = 2.8638$ (μm)

[0209] (线占有率 η_r : 0.725)

[0210] 电极指间槽 17 以如下的方式进行了设计。

[0211] 深度 : 0.045λ ($4.5\% \lambda$) = 0.3555 (μm)

[0212] 电极指有效膜厚 : 0.065λ ($6.5\% \lambda$) = 0.5135 (μm)

[0213] 关于以此方式进行了设计的 SAW 谐振子 11,对与 IDT13 的线占有率 η 相关的机电耦合系数 $K2(\%)$ 的变化进行了模拟。其结果如图 9 所示。从该图中可以确认, IDT13 在线占有率 $\eta = 0.60 \sim 0.66$ 时,获得了较高的机电耦合系数。尤其是在 $\eta = 0.625$ 时,由于

机电耦合系数成为最大,因而还能够实现 SAW 谐振子的低阻抗化、即低 CI 化。因此,当将其应用于振荡器时,有助于电力消耗的降低。

[0214] 此外,还对与 IDT13 的线占有率 η 相关的频率变动量 (ppm) 进行了模拟。其结果如图 10 所示。从该图中可以确认, IDT13 在线占有率 $\eta = 0.60 \sim 0.66$ 时,获得了频率变动量为 25ppm 以下的优异的频率温度特性。该图还图示了如下的状况,即,当 IDT13 的线占有率 η 偏离到 0.60 ~ 0.66 的范围之外时,频率变动量将超过 25ppm,从而频率温度特性较大程度地劣化。

[0215] 接下来,对与反射器 14 的线占有率 η_r 相关的 Q 值的变化进行了模拟。其结果如图 11 所示。从该图中可以确认, I 反射器 14 在线占有率 η_r 在 $0.70 \leq \eta_r \leq 0.95$ 的范围内时, Q 值达到 10000 以上。因此,如果将该 SAW 振子 11 使用于振荡器中,则能够进行稳定的振荡工作。此外在该图中还图示了如下的状况,即,当反射器 14 的线占有率 η_r 小于 0.70 时, Q 值将急剧下降至 10000 以下。

[0216] 另外,关于 IDT13 的线占有率 $\eta = 0.625$ 、且反射器 14 的线占有率 $\eta_r = 0.725$ 的 SAW 谐振子 11,通过进行模拟而对其工作温度范围内的频率温度特性进行了验证。其结果如图 12 所示。从该图中可以看出,在本实施例中,确认了具有在 $-40^\circ \sim +85^\circ$ 的工作温度范围内频率变动幅度极小且达到 10ppm 程度的优异的频率温度特性。

[0217] 如此,在本实施例的 SAW 谐振子 11 中,在 $\eta = 0.625$ 、 $\eta_r = 0.725$ 时,谐振频率为 400MHz, Q 值为 14000, CI 值为 14Ω ,均为良好的值。因此,当将其用作振荡器时,可以确认能够获得优异的振荡稳定性。

[0218] 综合上述实施例 1 的验证结果,本发明的 SAW 谐振子 11 优选为,采用频率温度特性以及机电耦合系数优良的 $\eta = 0.60 \sim 0.66$ 作为 IDT 的线占有率,并与之相配合,采用 Q 值优良的 $0.70 \leq \eta_r \leq 0.95$ 作为反射器的线占有率。如此,能够通过配置在反射器 14 上配置高反射效率的电极、即导体条 14a,从而将 SAW 的振动能量高效地封入被夹在反射器之间的 IDT13 中。由此,能够获得在实现优异的频率温度特性以及低阻抗化的同时,具有高 Q 值及优异的振荡稳定性的 SAW 谐振子。

[0219] 本发明所涉及的 SAW 谐振子 11 的第 2 实施例为,在将 IDT13 的线占有率 η 以及反射器 14 的线占有率 η_r 分别设定于上述范围内的第 1 实施例中,获得更高 Q 值的实施例。因此,在本实施例中,将 IDT13 与反射器 14 的电极间距比、即用 IDT13 的电极指间距 P_t 除以反射器 14 的导体条的间距 P_r 后得到的值 (P_t/P_r) 设定为 $P_t/P_r \cong 1.0$ 。由此,能够使 SAW 谐振子 11 的 Q 值更高、更良好。

[0220] 关于图 1 的 SAW 谐振子 11,通过在如下的条件下进行仿真,从而对与 P_t/P_r 相关的 Q 值的变化进行了验证。

[0221] 欧拉角 ($0^\circ, 123^\circ, 43.80^\circ$)

[0222] IDT 对数:180

[0223] 反射器条数 (每单侧):78

[0224] 电极指膜厚 H: 0.02λ ($2\%\lambda$)

[0225] 电极指间槽深度 G: 0.045λ ($4.5\%\lambda$)

[0226] IDT 线占有率 η :0.625

[0227] 反射器线占有率 η_r :0.725

[0228] 此模拟结果如图 13 所示。从该图中可以看出,在 $P_t/P_r = 0.9950 \sim 1.010$ 的范围内,获得了 $Q > 10000$ 的较高的 Q 值,在 $P_t/P_r = 0.9975 \sim 1.0075$ 的范围内,获得了 $Q > 12000$ 的更高的 Q 值,而且在 $P_t/P_r = 0.999 \sim 1.005$ 的范围内,获得了 $Q \approx 14000$ 的 Q 值最大值。

[0229] 如上所述,相对于将 IDT 对数设为 180 并将反射器条数设为 78 时,在 $\eta = \eta_r = 0.625$ 的情况下 Q 值只获得了 4000 的程度的状况,在 $\eta = \eta_r = 0.725$ 的情况下, Q 值被改善为 13500。另一方面,在 $\eta = 0.625$ 、且 $\eta_r = 0.725$ 的情况下,通过使 $P_t/P_r \approx 1.00$,从而获得了 13500 的较高的 Q 值。其原因被认为是,由于当通过反射器的线占有率 η_r 而确定的反射频带、与通过 IDT 的线占有率 $\eta = 0.625$ 而确定的谐振频率大致一致时,其线占有率 $\eta_r \approx 0.725$,此时,如果使 $P_t/P_r \approx 1.0$,以使 IDT 的电极指间距与反射器的导电条的间距大致相同,则能够将由于两间距不同而导致的体波辐射抑制于最小限度,因此获得到较高的 Q 值。

[0230] 另外,本申请的发明人还以电极指膜厚 H 、电极之间槽的深度 G 、以及欧拉角 θ 为参数,计算出了能够实现频率变动量较少的三次曲线的优异的频率温度特性和较高 Q 值的 IDT 线占有率 η 、反射器线占有率 η_r 、以及 IDT/ 反射器间距的比 P_t/P_r 、和这种情况下所能够获得的 Q 值。其结果如以下的表 2 所示。

[0231] 表 2

[0232]

H	G	θ	η	η_r	P_t/P_r	Q
$2\% \lambda$	$4\% \lambda$	117	0.625	0.70	1.00	10700
		117	0.625	0.95	1.00	10400
		123	0.625	0.70	1.00	10850
		123	0.625	0.95	1.00	10600
		142	0.625	0.70	1.00	10950
		142	0.625	0.95	1.00	10650
$0.1\% \lambda$	$6\% \lambda$	117	0.625	0.70	1.00	10150
		117	0.625	0.95	1.00	10000
		123	0.625	0.70	1.00	10300
		123	0.625	0.95	1.00	10050
		142	0.625	0.70	1.00	10400
		142	0.625	0.95	1.00	10100
$3.5\% \lambda$	$2.5\% \lambda$	117	0.625	0.70	1.00	11350
		117	0.625	0.95	1.00	11000
		123	0.625	0.70	1.00	11500
		123	0.625	0.95	1.00	11250
		142	0.625	0.70	1.00	11600
		142	0.625	0.95	1.00	11300

[0233] 通常, Q 值通过 SAW 能量的封入效果而大致确定,换句话说,通过反射器的反射效率、即反射器的结构(反射器个数、有效膜厚、电极线宽、密度等)而确定。因此,即便使水晶基板的切割角、例如欧拉角 θ 少许变化,也应当几乎不会影响 Q 值。从表 2 中可以看出,虽然使欧拉角 θ 在上述能够获得优异的频率温度特性的角度范围内变化成了 117° 、 123° 、 142° ,但当 $\eta < \eta_r$ 、且 $P_t/P_r = 1.00$ 时,在所有的情况下, Q 值均为 10000 以上,从而可以确认对 Q 值的影响较小。

[0234] 此外,虽然反射器的反射功率通常受到反射器的密度、即构成反射器的水晶的厚度(G)与电极膜厚(H)的比例的较强的影响,但表 2 证实了,水晶与铝的比重的差较小,即

使改变它们的比例也不会对反射效率造成较大的影响。如此便证明了,本发明的 SAW 器件能够通过设定为满足 $\eta < \eta_r$ 的关系,从而在几乎不受除 η 及 η_r 以外的诸多条件的影响的情况下,飞跃性地改善 Q 值。

[0235] 图 14(A)、(B) 分别图示了,具有倾斜型 IDT 的、本发明的 SAW 谐振子的第 3 实施例。在图 14(A) 的 SAW 谐振子 21₁ 中,与第 1 实施例同样地,在用欧拉角 ($-1.5^\circ \leq \Phi \leq 1.5^\circ$, $117^\circ \leq \theta \leq 142^\circ$, $42.79^\circ \leq |\psi| \leq 49.57^\circ$) 表示的水晶基板 22₁ 的主面上,具有倾斜型 IDT23₁ 和一对反射器 24₁、24₁。水晶基板 22₁ 的长度方向沿着如下方向被取向,即,相对于作为被 IDT23₁ 激振的 SAW 的相位速度的传播方向的 X' 轴,仅倾斜了能流角 (PFA) δ° 的作为能量的传播方向的方向。

[0236] IDT23₁ 具有分别由多个电极指 25a₁、25b₁ 构成,且通过母线 26a₁、26b₁ 而将它们的基础端部连接起来的一对梳齿状电极 23a₁、23b₁。一对反射器 24₁、24₁ 以沿着 SAW 的传播方向且在 IDT23₁ 的两侧夹着该 IDT 的方式而配置,并且各自具有在 SAW 的传播方向上排列的多个导体条 24a₁、24a₁。电极指 25a₁、25b₁ 以及导体条 24a₁ 以其延长方向与仅倾斜了能流角 (PFA) δ° 的 X' 轴正交的朝向而配置。

[0237] 在水晶基板 22₁ 的露出于电极指 25a₁、25b₁ 之间的表面上,与第 1 实施例同样地凹设有电极指间槽。在导体条 24a₁、24a₁ 之间的水晶基板 22₁ 的表面上,也同样凹设有导体条间槽。

[0238] 如此,通过使 IDT 以及反射器中的至少一部分配置在,以与 X' 轴方向成能流角 δ 而交叉的方向上,从而能够在使 SAW 器件 21₁ 发挥与第 1 实施例相同的作用效果的同时,进一步提高 Q 值。由此,实现了更加低损耗的 SAW 谐振子。

[0239] 图 14(B) 的 SAW 谐振子 21₂ 在水晶基板 22₂ 的主面上具有与图 14(A) 不同结构的倾斜型 IDT23₂ 和一对反射器 24₂、24₂。水晶基板 22₂ 的长度方向沿着作为被 IDT23₂ 激振的 SAW 的相位速度的传播方向的 X' 轴而被取向。

[0240] IDT23₂ 具有分别由多个电极指 25a₂、25b₂ 构成,且通过母线 26a₂、26b₂ 而将它们的基础端部连接起来的一对梳齿状电极 23a₂、23b₂。一对反射器 24₂、24₂ 以沿着 SAW 的传播方向且在 IDT23₂ 的两侧夹着该 IDT 的方式而配置,并且分别具有在 SAW 的传播方向上排列的多个导体条 24a₂、24a₂。电极指 25a₂、25b₂ 以及导体条 24a₂ 以其延长方向与 X' 轴正交的朝向而配置,并且母线 26a₂、26b₂ 以从 X' 轴起倾斜了能流角 (PFA) δ° 的朝向而被取向。

[0241] 在水晶基板 22₂ 的露出于电极指 25a₂、25b₂ 之间的表面上,与第 1 实施例同样地凹设有电极指间槽。在导体条 24a₂、24a₂ 之间的水晶基板 22₂ 的表面上,也同样凹设有导体条间槽。

[0242] 本实施例的 SAW 谐振子 21₂ 也通过以此方式,使 IDT 以及反射器中的至少一部分被配置在以与 X' 轴方向成能流角 δ 而交叉的方向上,从而能够在发挥实现良好的频率温度特性以及较高 Q 值的作用效果的同时,进一步提高 Q 值。由此,实现了更加低损耗的 SAW 谐振子。

[0243] 本发明也能够应用于,将本发明的上述 SAW 谐振子和振荡电路组合而构成的振荡器中。图 15(A)、(B) 图示了这种根据本发明而获得的 SAW 振荡器的一个实施例的结构。本实施例的 SAW 振荡器 31 具备:本发明的 SAW 谐振子 32;IC(integrated circuit,集成电路)33,其作为对该 SAW 谐振子进行驱动控制的振荡电路;封装件 34,其收容上述部件。SAW

谐振子 32 及 IC33 被表面安装在封装件 34 的底板 34a 上。

[0244] SAW 谐振子 32 具有与第 1 实施例中的 SAW 谐振子 11 相同的结构,并具有:通过与第 1 实施例相同的欧拉角来表示的水晶基板 35;形成于其表面的、由一对梳齿状电极 36a、36b 构成的 IDT 和一对反射器 37、37。在 IC33 的上表面上设置有电极衬垫 38a ~ 38f。在封装件 34 的底板 34a 上形成有电极布线 39a ~ 39g。SAW 谐振子 32 的梳齿状电极 36a、36b 以及 IC33 的电极衬垫 38a ~ 38f 分别通过接合线 40、41 而与对应的电极布线 39a ~ 39g 电连接。以这种方式搭载了 SAW 谐振子 32 以及 IC33 的封装件 34,通过接合在其上部的盖 42 而被气密性地封闭。

[0245] 本实施例的 SAW 振荡器 31 由于具备本发明的 SAW 谐振子,从而在较宽的工作温度范围内具有频率变化量极小的、优异的频率温度特性,且具有较高的 Q 值,因而能够进行稳定的振荡工作,而且,能够实现由低阻抗化带来的电力消耗的降低。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以及高精度化的要求,获得了具备在从低温至高温的温度变动较大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。

[0246] 本发明并不限于上述实施例,其可以在该技术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,可以采用公知的多种结构。此外,本发明同样能够适用于除上述的 SAW 谐振子及 SAW 振荡器之外的多种 SAW 器件上。而且,本发明的 SAW 器件也可以广泛适用于如下装置上,例如,移动电话、硬盘、个人电脑、BS 及 CS 广播用接收调谐器、在同轴电缆或光缆中传播的高频信号或光信号用的各种处理装置、在较宽温度范围内需要高频或高精度时钟脉冲(低抖动、低相位噪声)的服务器或网络设备、无线通信用设备等多种电子设备、各种模块装置、或者压力传感器、加速度传感器、旋转速度传感器等各种传感器装置。

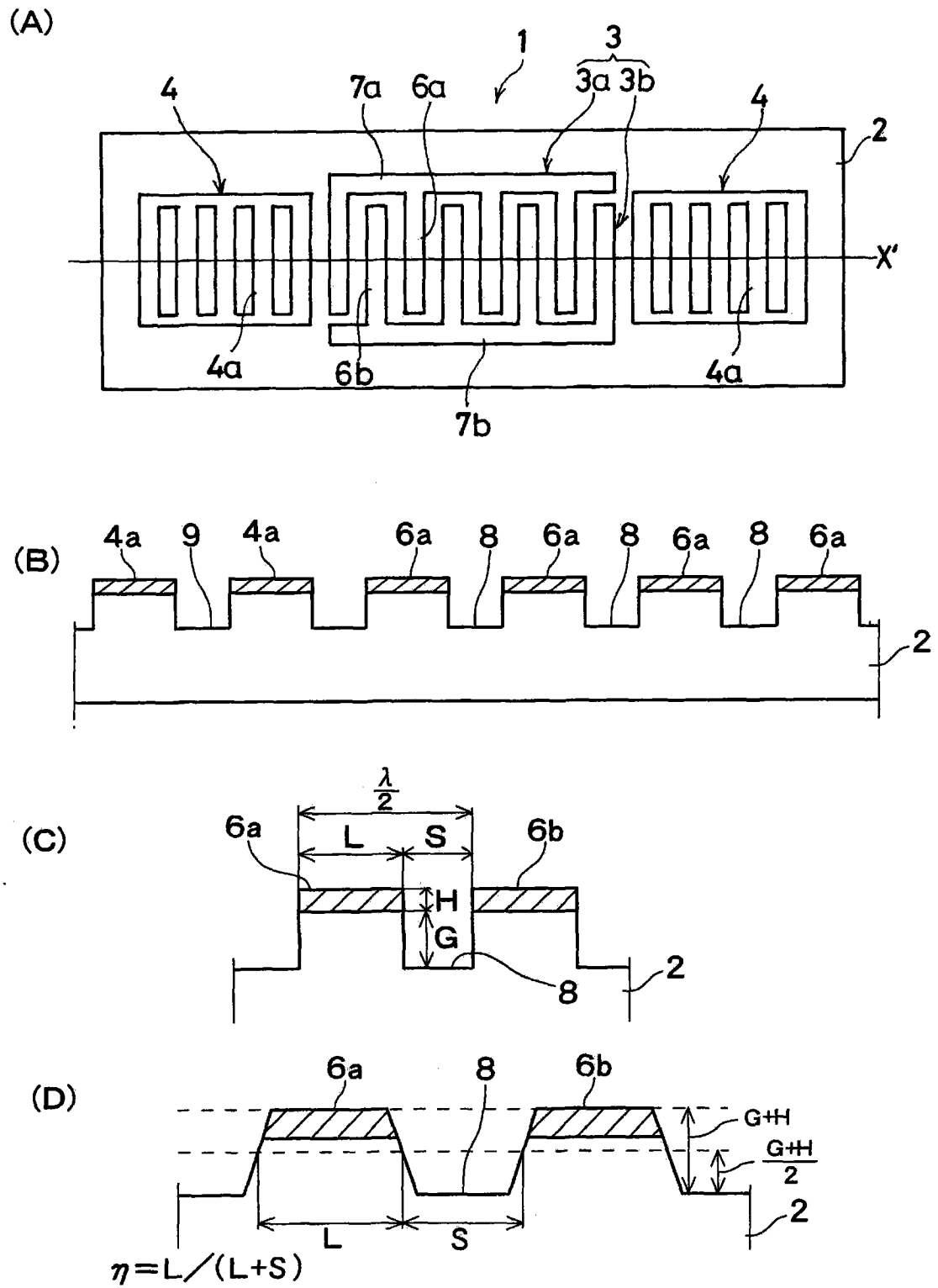


图 1

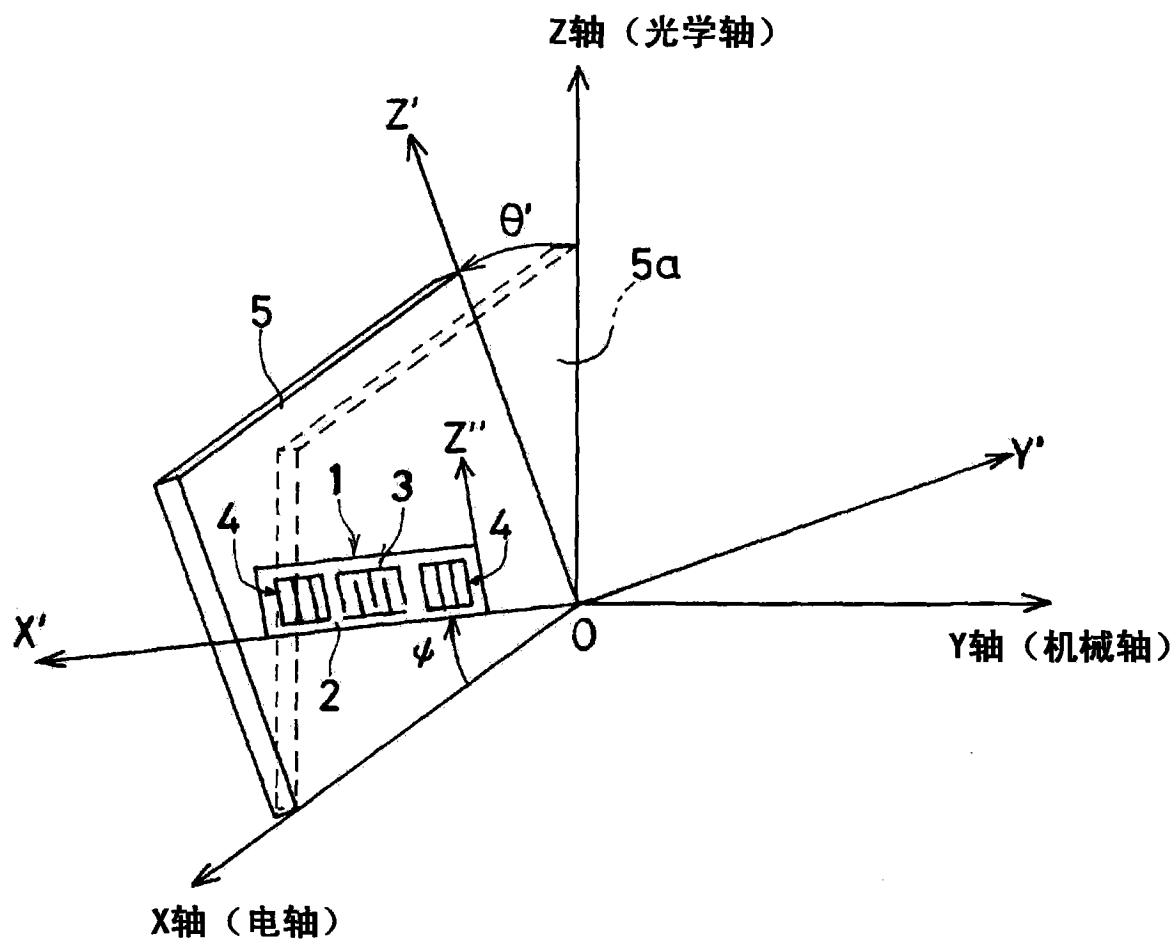


图 2

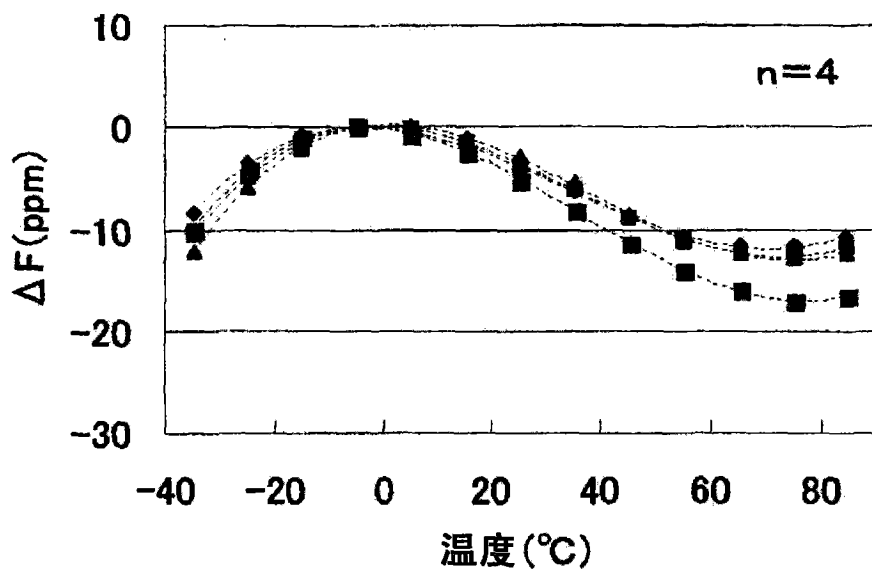


图 3

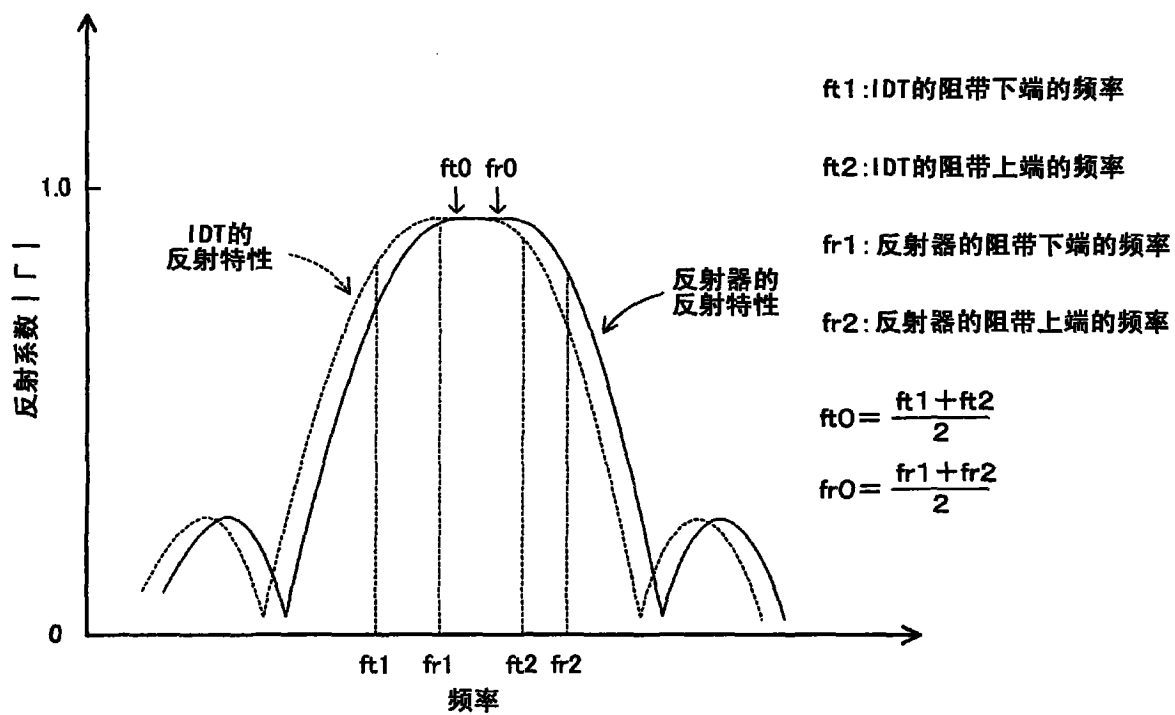


图 4

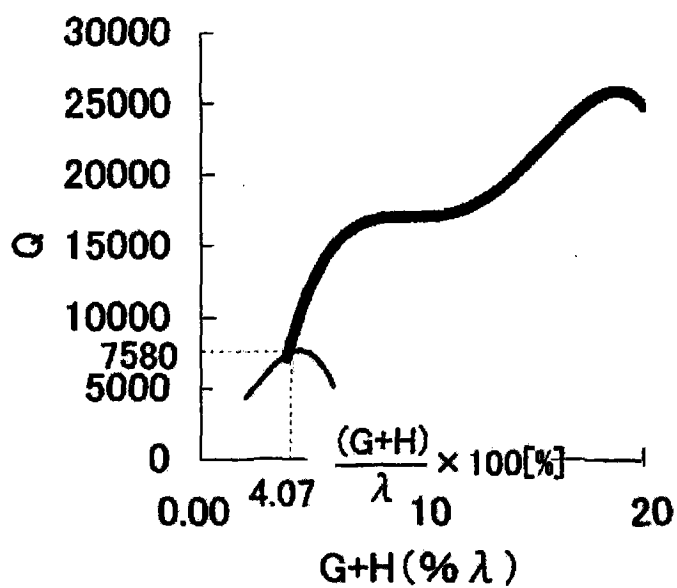


图 5

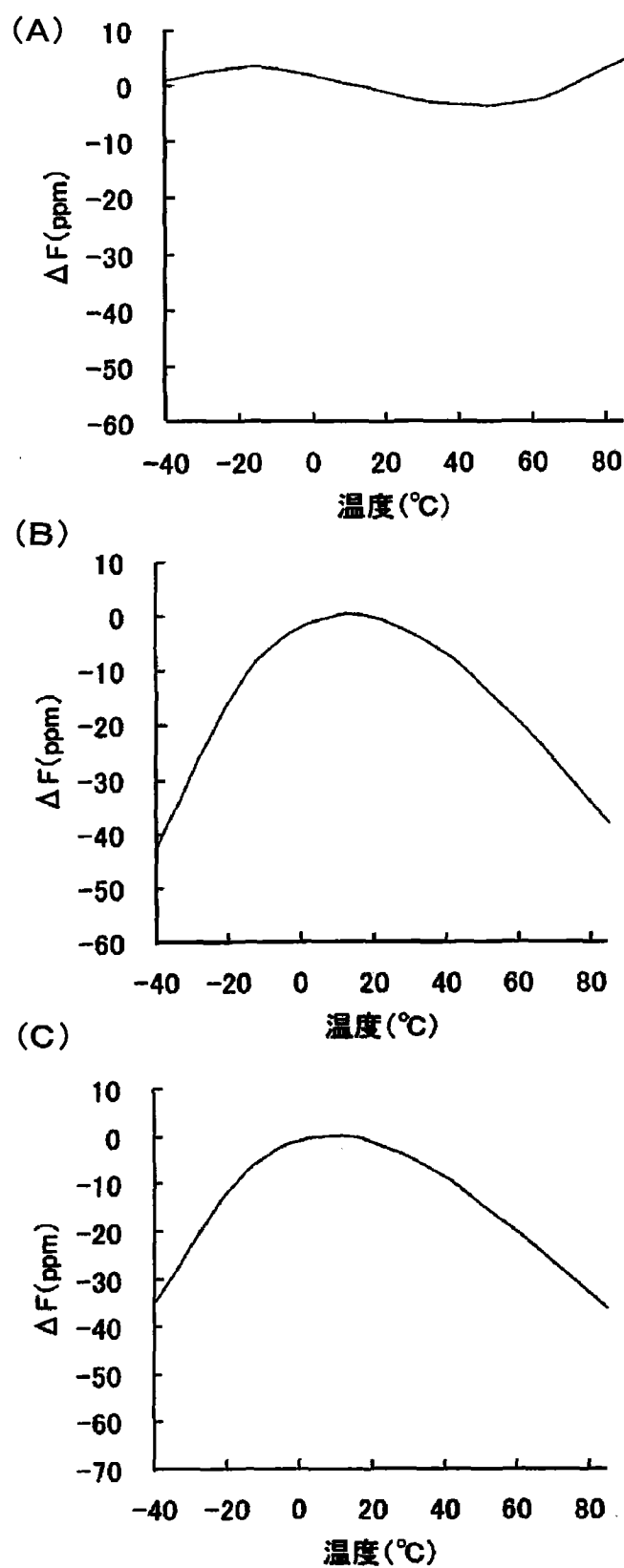


图 6

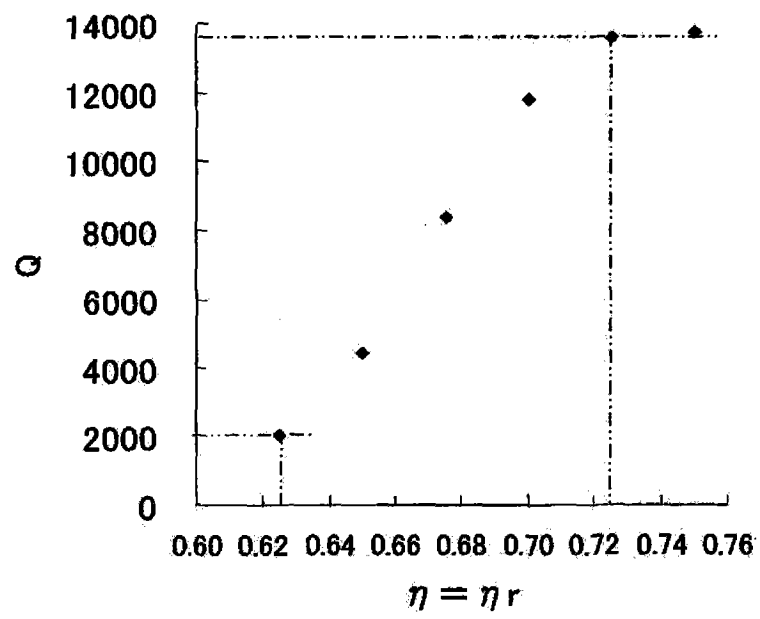


图 7

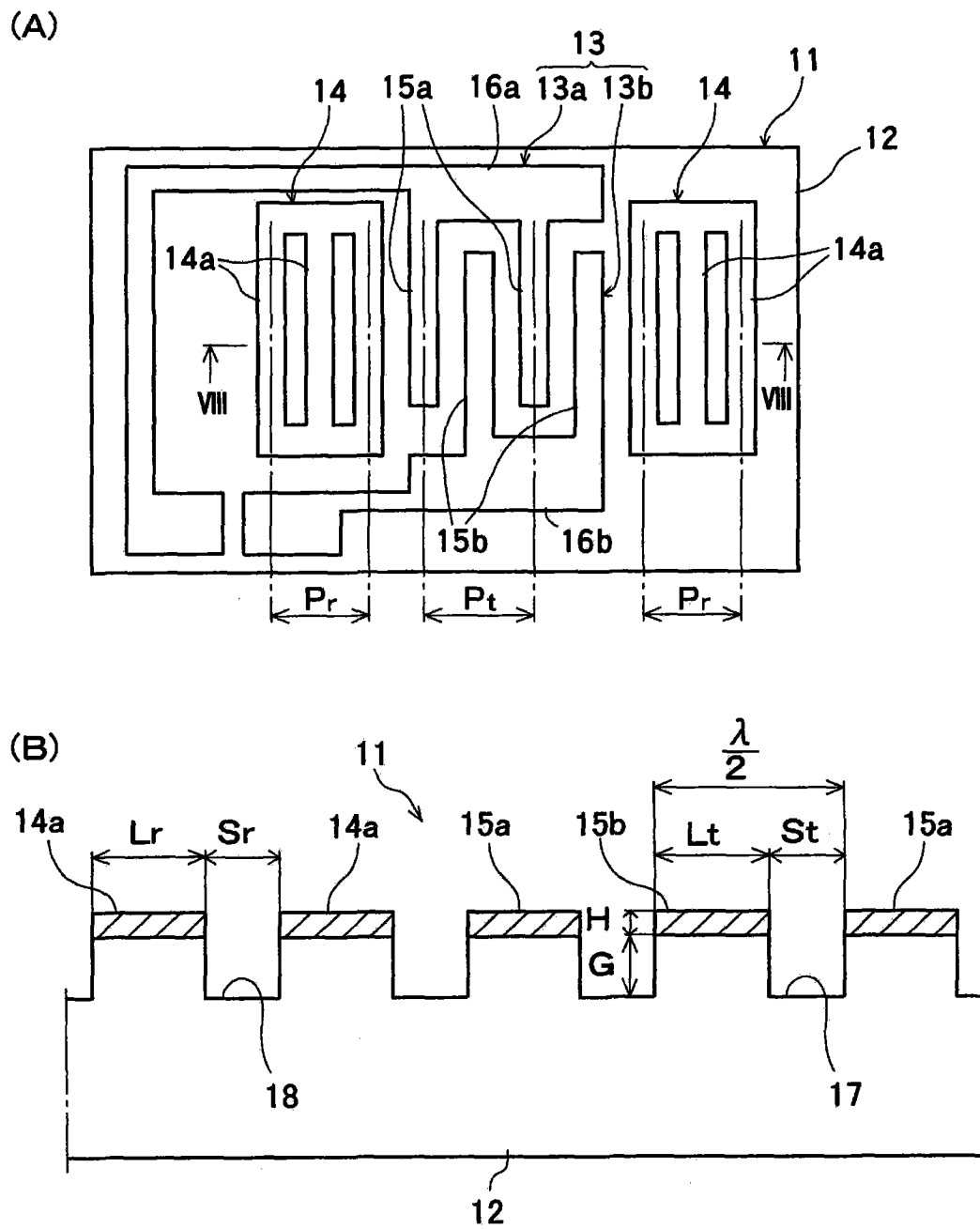


图 8

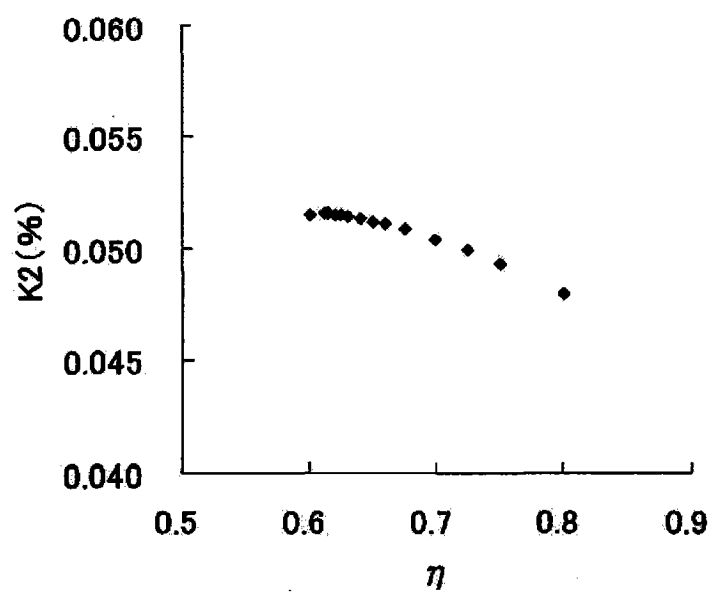


图 9

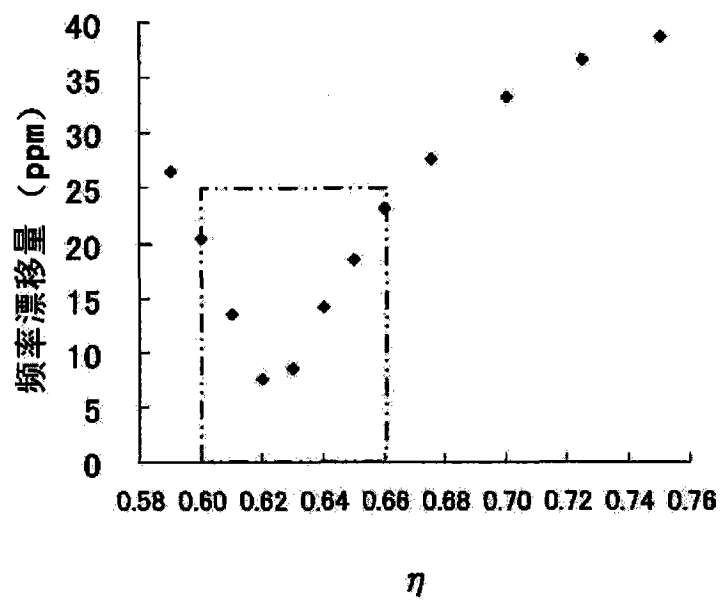


图 10

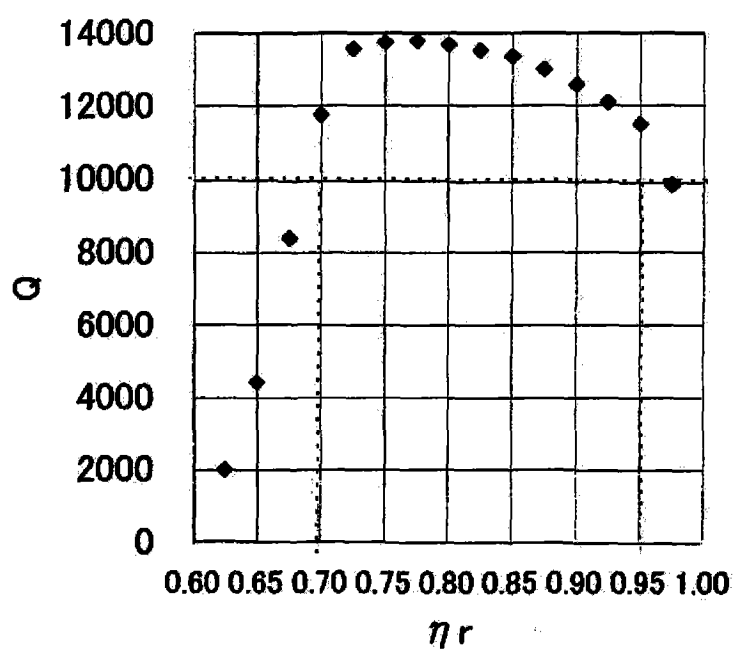


图 11

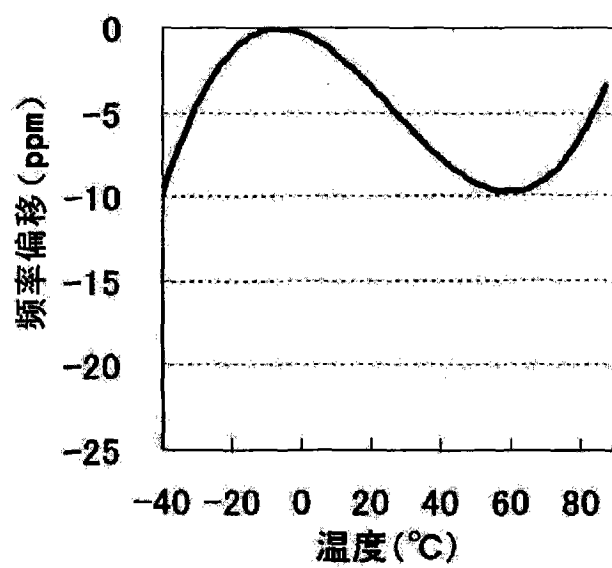


图 12

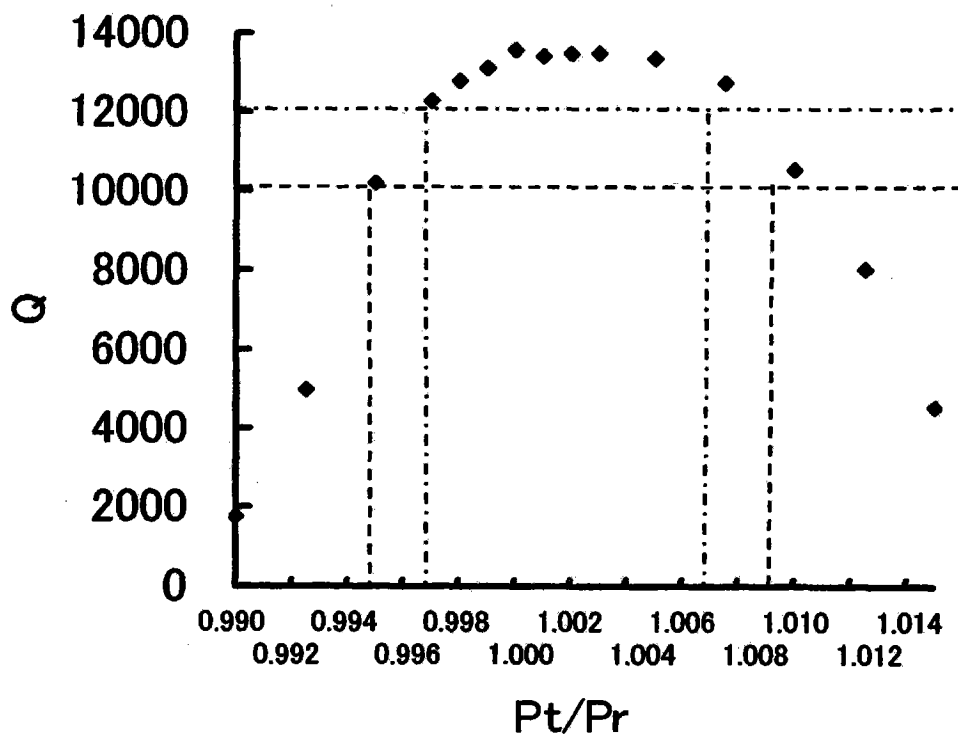


图 13

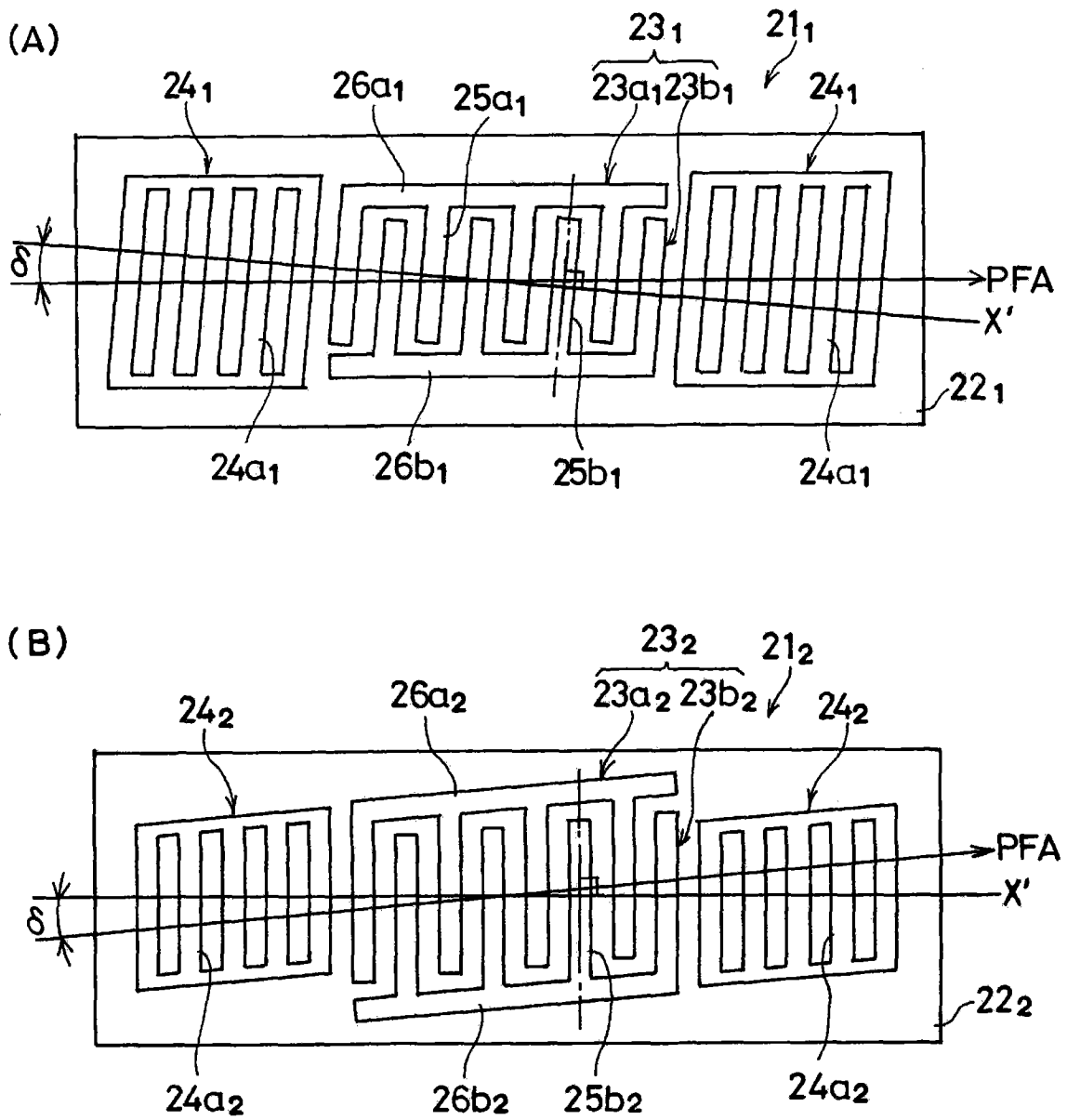


图 14

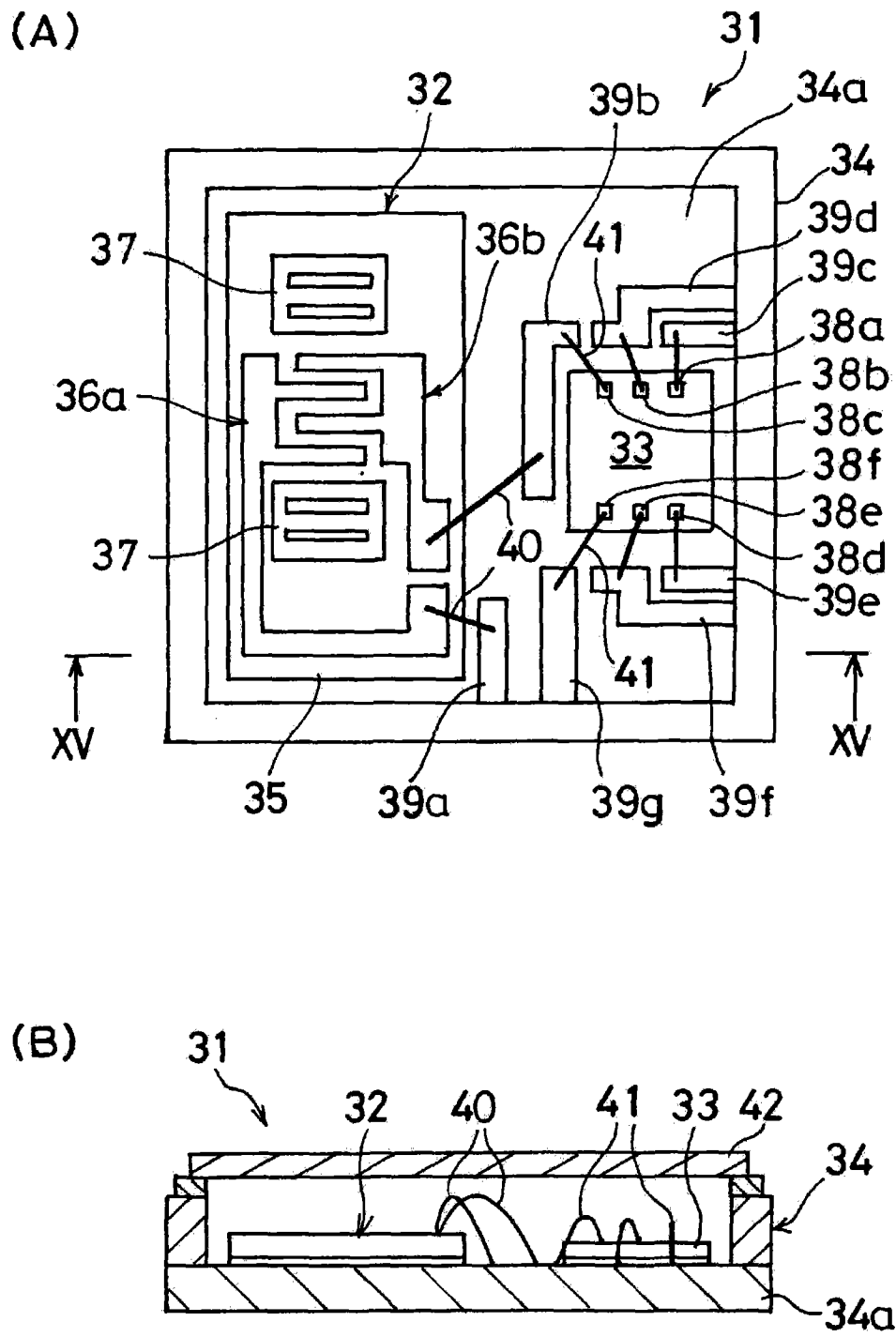


图 15