



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116584039 A

(43) 申请公布日 2023. 08. 11

(21) 申请号 202280007979.8

(22) 申请日 2022.01.31

(30) 优先权数据

2021-016820 2021.02.04 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2023.06.07

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2022/003618 2022.01.31

(87) PCT国际申请的公布数据

W02022/168798 JA 2022.08.11

(71) 申请人 株式会社村田制作所

地址 日本京都府

(72) 发明人 中村健太郎 大门克也

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司 11021

专利代理师 李国华

(51) Int.Cl.

H03H 9/25 (2006.01)

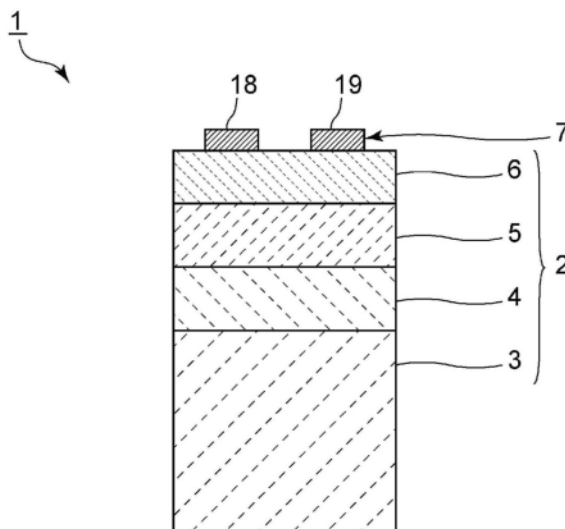
权利要求书2页 说明书11页 附图7页

(54) 发明名称

弹性波装置

(57) 摘要

提供一种弹性波装置,能够在宽频带中抑制高阶模式。本发明的弹性波装置(1)具备石英基板(3)、设置在石英基板(3)上的碳化硅层(4)、设置在碳化硅层(4)上的钽酸锂层(6)(压电体层)、以及设置在钽酸锂层(6)上且具有多个第一、第二电极指(18、19)的IDT电极(7)。



1. 一种弹性波装置,具备:
石英基板;
碳化硅层,其设置在所述石英基板上;
压电体层,其设置在所述碳化硅层上;以及
IDT电极,其设置在所述压电体层上,并且具有多个电极指。
2. 根据权利要求1所述的弹性波装置,其中,
所述压电体层是钽酸锂层或铌酸锂层。
3. 根据权利要求2所述的弹性波装置,其中,
所述压电体层的切割角为旋转Y切割 20° X传播~旋转Y切割 60° X传播。
4. 根据权利要求1至3中任一项所述的弹性波装置,其中,
所述弹性波装置还具备低声速膜,该低声速膜设置在所述碳化硅层与所述压电体层之间,
在所述低声速膜传播的体波的声速比在所述压电体层传播的体波的声速低。
5. 根据权利要求4所述的弹性波装置,其中,
所述低声速膜是氧化硅膜。
6. 根据权利要求1至5中任一项所述的弹性波装置,其中,
在所述石英基板传播的体波的声速比在所述压电体层传播的弹性波的声速低。
7. 根据权利要求6所述的弹性波装置,其中,
所述石英基板的欧拉角 (φ, θ, ψ) 为 $(0^{\circ} \pm 2.5^{\circ}$ 的范围内, $\theta, 90^{\circ} \pm 2.5^{\circ}$ 的范围内),所述石英基板的欧拉角中的 θ 为 $185^{\circ} \leq \theta \leq 240^{\circ}$ 。
8. 根据权利要求7所述的弹性波装置,其中,
所述IDT电极具有多个电极指,
在将由所述IDT电极的电极指间距规定的波长设为 λ 、将所述碳化硅层的厚度设为 t 时,
所述厚度 t 与所述石英基板的欧拉角中的 θ 的关系是表1所示的任意的组合,
[表1]

石英基板的 θ [°]	碳化硅层的厚度 t [λ]
$185 \leq \theta < 185.5$	$0.75 \leq t \leq 1.15$
$185.5 \leq \theta < 186.5$	$0.75 \leq t \leq 1.2$
	$1.7 \leq t \leq 1.9$
$186.5 \leq \theta < 187.5$	$0.6 \leq t \leq 1.2$
	$1.5 \leq t \leq 1.85$
$187.5 \leq \theta < 188.5$	$0.8 \leq t \leq 1.15$
	$1.4 \leq t \leq 1.75$
$188.5 \leq \theta < 189.5$	$0.6 \leq t \leq 1.2$
$189.5 \leq \theta < 190$	$0.6 \leq t \leq 1.7$
$190 \leq \theta < 192.5$	$0.6 \leq t \leq 1.7$
$192.5 \leq \theta < 197.5$	$0.6 \leq t \leq 1.65$
$197.5 \leq \theta < 202.5$	$0.6 \leq t \leq 1.6$
$202.5 \leq \theta < 207.5$	$0.6 \leq t \leq 1.6$
$207.5 \leq \theta < 212.5$	$0.6 \leq t \leq 1.6$
$212.5 \leq \theta < 217.5$	$0.6 \leq t \leq 1.6$
$217.5 \leq \theta < 222.5$	$0.6 \leq t \leq 1.6$
$222.5 \leq \theta < 227.5$	$0.6 \leq t \leq 1.65$
$227.5 \leq \theta < 232.5$	$0.6 \leq t \leq 1.7$
$232.5 \leq \theta < 237.5$	$0.6 \leq t \leq 1.75$
$237.5 \leq \theta \leq 240$	$0.6 \leq t \leq 1.85$

o

弹性波装置

技术领域

[0001] 本发明涉及弹性波装置。

背景技术

[0002] 以往,弹性波装置被广泛用于便携电话机的滤波器等。在下述的专利文献1中公开了弹性波装置的一例。在该弹性波装置中,支承基板、高声速膜、低声速膜及压电体层依次层叠。在压电体层上设置有IDT(Interdigital Transducer,又指换能器)电极。高声速膜包括SiNx。通过设为 $x < 0.67$ 而实现高阶模式的抑制。

[0003] 在先技术文献

[0004] 专利文献

[0005] 专利文献1:日本特开2019-145895号公报

发明内容

[0006] 发明要解决的问题

[0007] 但是,在专利文献1所记载的弹性波装置中,难以在宽频带中抑制高阶模式。

[0008] 本发明的目的在于,提供一种能够在宽频带中抑制高阶模式的弹性波装置。

[0009] 用于解决问题的手段

[0010] 本发明的弹性波装置具备石英基板、设置在所述石英基板上的碳化硅层、设置在所述碳化硅层上的压电体层、以及设置在所述压电体层上且具有多个电极指的IDT电极。

[0011] 发明效果

[0012] 根据本发明的弹性波装置,能够在宽频带中抑制高阶模式。

附图说明

[0013] 图1是示出本发明的第一实施方式的弹性波装置的一部分的主视剖视图。

[0014] 图2是本发明的第一实施方式的弹性波装置的俯视图。

[0015] 图3是示出欧拉角的坐标系的示意图。

[0016] 图4是示出本发明的第一实施方式及比较例的弹性波装置的相位特性的图。

[0017] 图5是示出本发明的第一实施方式的变形例的弹性波装置的一部分的主视剖视图。

[0018] 图6是示出石英基板的欧拉角中的 θ 及碳化硅层的厚度 t 与 Z 比之间的关系的图。

[0019] 图7是示出石英基板的欧拉角中的 θ 为 $185^\circ \sim 190^\circ$ 的情况下的 θ 及碳化硅层的厚度 t 与高阶模式的相位之间的关系的图。

[0020] 图8是将图7放大后的图,是示出 θ 为 $185^\circ \sim 188^\circ$ 的情况的图。

[0021] 图9是将图7放大后的图,是示出 θ 为 $188^\circ \sim 190^\circ$ 的情况的图。

[0022] 图10是示出石英基板的欧拉角中的 θ 为 $190^\circ \sim 240^\circ$ 的情况下的 θ 及碳化硅层的厚度 t 与高阶模式的相位之间的关系的图。

- [0023] 图11是将图10放大后的图,是示出 θ 为 $190^\circ \sim 215^\circ$ 的情况的图。
- [0024] 图12是将图10放大后的图,是示出 θ 为 $215^\circ \sim 240^\circ$ 的情况的图。
- [0025] 图13是示出石英的晶体中的弹性振动的对称性的立体投影图。
- [0026] 图14是示出本发明的第二实施方式及第三实施方式的弹性波装置的相位特性的图。

具体实施方式

- [0027] 以下,参照附图对本发明的具体的实施方式进行说明,由此,使本发明变得清楚。
- [0028] 需要说明的是,本说明书所记载的各实施方式是例示的内容,预先指出能够在不同的实施方式之间进行结构的部分置换或组合。
- [0029] 图1是示出本发明的第一实施方式的弹性波装置的一部分的主视剖视图。图2是第一实施方式的弹性波装置的俯视图。需要说明的是,图1是沿着图2中的I-I线的剖视图。
- [0030] 如图1所示,弹性波装置1具有压电性基板2。压电性基板2包括石英基板3、碳化硅层4、低声速膜5以及钽酸锂层6。更具体而言,在石英基板3上设置有碳化硅层4。在碳化硅层4上设置有低声速膜5。在低声速膜5上设置有钽酸锂层6。需要说明的是,压电性基板具有的压电体层不限于钽酸锂层,例如也可以是铌酸锂层。
- [0031] 在钽酸锂层6上设置有IDT电极7。通过向IDT电极7施加交流电压而激励弹性波。如图2所示,在钽酸锂层6上的弹性波传播方向两侧设置有一对反射器8A及反射器8B。这样,本实施方式的弹性波装置1是声表面波谐振器。不过,本发明的弹性波装置不限于弹性波谐振器,也可以是具有多个弹性波谐振器的滤波器装置、多工器。
- [0032] 图1所示的低声速膜5是声速相对低的膜。更具体而言,在低声速膜5传播的体波的声速比在钽酸锂层6传播的体波的声速低。在本实施方式中,低声速膜5是氧化硅膜。不过,低声速膜5的材料不限于上述,例如也能够使用以玻璃、氮氧化硅、氧化锂、五氧化钽、或者向氧化硅添加了氟、碳、硼的化合物为主成分的材料。
- [0033] 如上所述,压电性基板2包括石英基板3及钽酸锂层6。由此,能够减小压电性基板2中的线膨胀系数的差,能够提高频率温度特性。此外,由于低声速膜5是氧化硅膜,因此,能够减小压电性基板2中的频率温度系数(TCF)的绝对值,能够更进一步改善频率温度特性。需要说明的是,也可以未必设置低声速膜5。
- [0034] 另外,优选的是,钽酸锂层6的切割角为旋转Y切割 20° X传播~旋转Y切割 60° X传播。由此,能够得到机电耦合系数及Q值良好的弹性波元件。同样地,在压电体层为铌酸锂层的情况下,切割角也优选为旋转Y切割 20° X传播~旋转Y切割 60° X传播。
- [0035] 在本实施方式中,在石英基板3传播的体波的声速比在钽酸锂层6传播的弹性波的声速低。更具体而言,在石英基板3传播的较慢的横波的声速比在钽酸锂层6传播的声表面波的声速低。不过,石英基板3及钽酸锂层6中的声速的关系不限于上述。
- [0036] 如图2所示,IDT电极7具有第一汇流条16及第二汇流条17、以及多个第一电极指18及多个第二电极指19。第一汇流条16及第二汇流条17相互对置。在第一汇流条16分别连接有多个第一电极指18的一端。在第二汇流条17分别连接有多个第二电极指19的一端。多个第一电极指18及多个第二电极指19相互交错对插。IDT电极7、反射器8A及反射器8B可以包括层叠金属膜,或者也可以包括单层的金属膜。

[0037] 这里,将由IDT电极7的电极指间距规定的波长设为 λ 。钽酸锂层6的厚度为 1λ 以下。由此,能够适当地提高激励效率。需要说明的是,电极指间距是相邻的电极指彼此的中心间距离。

[0038] 本实施方式的特征在于,压电性基板2构成为包括石英基板3、碳化硅层4及钽酸锂层6。通过具有上述结构,例如能够将谐振频率的2.2倍附近等的模式设为泄漏模式。由此,能够在宽频带中抑制高阶模式。以下,通过比较本实施方式与比较例而示出该详细效果。

[0039] 比较例在压电性基板是硅基板、氮化硅膜、氧化硅膜及钽酸锂层的层叠体这一点与第一实施方式不同。在具有第一实施方式的结构的弹性波装置1及比较例的弹性波装置中,比较了相位特性。需要说明的是,具有第一实施方式的结构的弹性波装置1的设计参数如下所述。

[0040] 石英基板3:欧拉角(φ, θ, ψ)... ($0^\circ, 200^\circ, 90^\circ$)

[0041] 碳化硅层4:厚度... $2\mu\text{m}$

[0042] 低声速膜5:材料... SiO_2 ,厚度... 300nm

[0043] 钽酸锂层6:材料... LiTaO_3 ,厚度... 400nm

[0044] IDT电极7:层结构...从钽酸锂层6侧起为Ti层/AlCu层/Ti层,厚度...从钽酸锂层6侧起为 $12\text{nm}/100\text{nm}/4\text{nm}$,波长 λ ... $2\mu\text{m}$,占空比... 0.5

[0045] 在本说明书中,在没有特别说明的情况下,由欧拉角示出石英基板3的方位。预先指出欧拉角的坐标系是图3所示的坐标系,与极坐标系不同。需要说明的是,在图3中,由X轴、Y轴、Z轴示出初始的坐标轴,由 X_1 、 X_2 及 X_3 示出 φ° 、 θ° 及 ψ° 的旋转动作后的各向量。

[0046] 图4是示出第一实施方式及比较例的弹性波装置的相位特性的图。

[0047] 如图4中的箭头A所示,在比较例中,没有抑制谐振频率的2.2倍附近的高阶模式。与此相对,可知在第一实施方式中,包含谐振频率的2.2倍附近,在宽频带中抑制了高阶模式。

[0048] 然而,在压电性基板2中,钽酸锂层6经由低声速膜5间接地设置在碳化硅层4上。不过,压电性基板2也可以不具有低声速膜5。例如,在图5所示的第一实施方式的变形例中,压电性基板22是石英基板3、碳化硅层4及钽酸锂层6的层叠体。在压电性基板22中,在碳化硅层4上直接地设置有钽酸锂层6。即便在该情况下,也与第一实施方式同样地,能够在宽频带中抑制高阶模式。

[0049] 这里,在具有第一实施方式的结构的弹性波装置1中,在每次使碳化硅层4的厚度变化时,测定出Z比及高阶模式的相位。Z比是阻抗比。具体而言,Z比通过用反谐振频率下的阻抗除以谐振频率下的阻抗而求出。测定出的高阶模式的相位是在包含谐振频率的2.2倍附近的谐振频率的1.15倍~3倍中产生的寄生模式中的成为最大的模式的阻抗的相位分量。需要说明的是,碳化硅层4的厚度在 0.05λ 以上且 2.5λ 以下的范围内每隔 0.05λ 而变化。由此,求出碳化硅层4的厚度与Z比及高阶模式的相位之间的关系。以下,将碳化硅层4的厚度设为 t 。

[0050] 进而,使石英基板3的欧拉角(φ, θ, ψ)中的 θ 变化,求出该每个 θ 的上述各关系。需要说明的是,石英基板3的欧拉角中的 φ 为 0° , ψ 为 90° 。 θ 在 185° 以上且 190° 以下的范围内每隔 1° 而变化,在 190° 以上且 240° 以下的范围内每隔 5° 而变化。

[0051] 图6是示出石英基板的欧拉角中的 θ 及碳化硅层的厚度 t 与Z比之间的关系的图。图

6中的单点划线B1及单点划线B2示出Z比的变化相对于碳化硅层4的厚度t的变化的倾斜度。

[0052] 如图6所示,无论在石英基板3的欧拉角中的 θ 为哪个值的情况下,都是碳化硅层4的厚度t越厚,则Z比越大。如单点划线B1及单点划线B2所示,可知在 $t \geq 0.6\lambda$ 的情况下,相比于 $t < 0.6\lambda$ 的情况,Z比的变化变小。因此,碳化硅层4的厚度t优选为 $t \geq 0.6\lambda$ 。由此,能够减小Z比的偏差,并且能够增大Z比。因此,能够稳定地提高弹性波装置1的电特性。另一方面,优选为 $t \leq 2.5\lambda$ 。由此,能够适当地形成碳化硅层4,能够提高生产性。

[0053] 图7是示出石英基板的欧拉角中的 θ 为 $185^\circ \sim 190^\circ$ 的情况下的 θ 及碳化硅层的厚度t与高阶模式的相位之间的关系的图。图8是将图7放大后的图,是示出 θ 为 $185^\circ \sim 188^\circ$ 的情况的图。图9是将图7放大后的图,是示出 θ 为 $188^\circ \sim 190^\circ$ 的情况的图。图10是示出石英基板的欧拉角中的 θ 为 $190^\circ \sim 240^\circ$ 的情况下的 θ 及碳化硅层的厚度t与高阶模式的相位之间的关系的图。图11是将图10放大后的图,是示出 θ 为 $190^\circ \sim 215^\circ$ 的情况的图。图12是将图10放大后的图,是示出 θ 为 $215^\circ \sim 240^\circ$ 的情况的图。需要说明的是,图7~图12所示的相位是在包含谐振频率的2.2倍附近的谐振频率的1.15倍~3倍中产生的寄生模式中的成为最大的模式的阻抗的相位分量。

[0054] 如图7所示,在石英基板3的欧拉角中的 θ 为 $185^\circ \leq \theta < 190^\circ$ 的范围内,在碳化硅层4的厚度t为以下所示的范围内的情况下,能够将高阶模式的相位抑制为小于 -70deg. 。需要说明的是,如上所述,优选为 $0.6\lambda \leq t \leq 2.5\lambda$,因此,示出在 $0.6\lambda \leq t \leq 2.5\lambda$ 中能够抑制高阶模式的范围。需要说明的是,在 $185^\circ \leq \theta < 190^\circ$ 中,示出 $\theta \pm 0.5^\circ$ 以内的范围内的能够抑制高阶模式的厚度t的范围。

[0055] 如图8所示,在 $185^\circ \leq \theta < 185.5^\circ$ 的情况下,为 $0.75\lambda \leq t \leq 1.15\lambda$ 即可。在 $185.5^\circ \leq \theta < 186.5^\circ$ 的情况下,为 $0.75\lambda \leq t \leq 1.2\lambda$ 或 $1.7\lambda \leq t \leq 1.9\lambda$ 即可。在 $186.5^\circ \leq \theta < 187.5^\circ$ 的情况下,为 $0.6\lambda \leq t \leq 1.2\lambda$ 或 $1.5\lambda \leq t \leq 1.85\lambda$ 即可。

[0056] 如图9所示,在 $187.5^\circ \leq \theta < 188.5^\circ$ 的情况下,为 $0.8\lambda \leq t \leq 1.15\lambda$ 或 $1.4\lambda \leq t \leq 1.75\lambda$ 即可。在 $188.5^\circ \leq \theta < 189.5^\circ$ 的情况下,为 $0.6\lambda \leq t \leq 1.2\lambda$ 即可。在 $189.5^\circ \leq \theta < 190^\circ$ 的情况下,为 $0.6\lambda \leq t \leq 1.7\lambda$ 即可。

[0057] 另一方面,如图10所示,可知在 $190^\circ \leq \theta \leq 240^\circ$ 情况下,如果碳化硅层4的厚度t为 $t \leq 1.6\lambda$,则能够将高阶模式的相位抑制为小于 -70deg. 。需要说明的是,碳化硅层4的厚度t的能够将高阶模式的相位抑制为小于 -70deg. 的详细范围如下所述。在 $190^\circ \leq \theta \leq 240^\circ$ 中,示出 $\theta \pm 2.5^\circ$ 以内的范围内的能够抑制高阶模式的厚度t的范围。

[0058] 如图11所示,在 $190^\circ \leq \theta < 192.5^\circ$ 的情况下,为 $0.6\lambda \leq t \leq 1.7\lambda$ 即可。在 $192.5^\circ \leq \theta < 197.5^\circ$ 的情况下,为 $0.6\lambda \leq t \leq 1.65\lambda$ 即可。在 $197.5^\circ \leq \theta < 202.5^\circ$ 的情况下,为 $0.6\lambda \leq t \leq 1.6\lambda$ 即可。在 $202.5^\circ \leq \theta < 207.5^\circ$ 的情况下,为 $0.6\lambda \leq t \leq 1.6\lambda$ 即可。在 $207.5^\circ \leq \theta < 212.5^\circ$ 的情况下,为 $0.6\lambda \leq t \leq 1.6\lambda$ 即可。

[0059] 如图12所示,在 $212.5^\circ \leq \theta < 217.5^\circ$ 的情况下,为 $0.6\lambda \leq t \leq 1.6\lambda$ 即可。在 $217.5^\circ \leq \theta < 222.5^\circ$ 的情况下,为 $0.6\lambda \leq t \leq 1.6\lambda$ 即可。在 $222.5^\circ \leq \theta < 227.5^\circ$ 的情况下,为 $0.6\lambda \leq t \leq 1.65\lambda$ 即可。在 $227.5^\circ \leq \theta < 232.5^\circ$ 的情况下,为 $0.6\lambda \leq t \leq 1.7\lambda$ 即可。在 $232.5^\circ \leq \theta < 237.5^\circ$ 的情况下,为 $0.6\lambda \leq t \leq 1.75\lambda$ 即可。在 $237.5^\circ \leq \theta \leq 240^\circ$ 的情况下,为 $0.6\lambda \leq t \leq 1.85\lambda$ 即可。

[0060] 需要说明的是,在石英基板3的欧拉角中的 Φ 为 $0^\circ \pm 2.5^\circ$ 以内的范围的情况下以及在 ψ 为 $90^\circ \pm 2.5^\circ$ 以内的范围的情况下,可知对上述的Z比及高阶模式的影响小。根据以上,

石英基板3的欧拉角(φ, θ, ψ)为($0^\circ \pm 2.5^\circ$ 的范围内, $\theta, 90^\circ \pm 2.5^\circ$ 的范围内),石英基板3的欧拉角中的 θ 与碳化硅层4的厚度 t 的关系优选为表1所示的任意组合。由此,能够稳定地增大Z比,并且能够有效地抑制高阶模式。

[0061] [表1]

石英基板的 θ [°]	碳化硅层的厚度 t [λ]
$185 \leq \theta < 185.5$	$0.75 \leq t \leq 1.15$
$185.5 \leq \theta < 186.5$	$0.75 \leq t \leq 1.2$
	$1.7 \leq t \leq 1.9$
$186.5 \leq \theta < 187.5$	$0.6 \leq t \leq 1.2$
	$1.5 \leq t \leq 1.85$
$187.5 \leq \theta < 188.5$	$0.8 \leq t \leq 1.15$
	$1.4 \leq t \leq 1.75$
$188.5 \leq \theta < 189.5$	$0.6 \leq t \leq 1.2$
$189.5 \leq \theta < 190$	$0.6 \leq t \leq 1.7$
[0062] $190 \leq \theta < 192.5$	$0.6 \leq t \leq 1.7$
$192.5 \leq \theta < 197.5$	$0.6 \leq t \leq 1.65$
$197.5 \leq \theta < 202.5$	$0.6 \leq t \leq 1.6$
$202.5 \leq \theta < 207.5$	$0.6 \leq t \leq 1.6$
$207.5 \leq \theta < 212.5$	$0.6 \leq t \leq 1.6$
$212.5 \leq \theta < 217.5$	$0.6 \leq t \leq 1.6$
$217.5 \leq \theta < 222.5$	$0.6 \leq t \leq 1.6$
$222.5 \leq \theta < 227.5$	$0.6 \leq t \leq 1.65$
$227.5 \leq \theta < 232.5$	$0.6 \leq t \leq 1.7$
$232.5 \leq \theta < 237.5$	$0.6 \leq t \leq 1.75$
$237.5 \leq \theta \leq 240$	$0.6 \leq t \leq 1.85$

[0063] 如上所述,在第一实施方式中,在石英基板3传播的体波的声速比在钽酸锂层6传播的弹性波的声速低。由此,能够使高阶模式从石英基板3泄漏,能够有效地抑制高阶模式。需要说明的是,在图4中示出了相位特性的弹性波装置1的石英基板3的欧拉角($0^\circ, 200^\circ, 90^\circ$)是成为上述声速的关系的一例。例如,即便在石英基板3的欧拉角为表2~表14所示的(φ, θ, ψ)的范围内,在石英基板3传播的体波的声速也比在钽酸锂层6传播的

弹性波的声速低。

[0064] 需要说明的是,在表2~表14中,欧拉角(φ, θ, ψ)的各角度表示在 $\pm 2.5^\circ$ 以内的范围内。更具体而言,在表2中, φ 为 $-2.5^\circ \leq \varphi < 2.5^\circ$ 的范围内,在表3中, φ 为 $2.5^\circ \leq \varphi < 7.5^\circ$ 的范围内。这样,在表2~表14中, φ 每隔 5° 而变大。在表14中, φ 为 $57.5^\circ \leq \varphi \leq 62.5^\circ$ 的范围内。在各表中,示出将 φ 的范围设为固定并且使 ψ 的范围每隔 5° 而变化的情况下的各个 θ 的范围。更具体而言,例如在各表中,在 ψ 记载为 0° 的情况下,示出 $-2.5^\circ \leq \psi < 2.5^\circ$ 的情况下的 θ 的范围,在 ψ 记载为 5° 的情况下,示出 $2.5^\circ \leq \psi < 7.5^\circ$ 的情况下的 θ 的范围。在 ψ 记载为 175° 的情况下,示出 $172.5^\circ \leq \psi \leq 177.5^\circ$ 的情况下的 θ 的范围。各表中的 θ 的范围也示出在所记载的下限值的 -2.5° 以上且上限值的 $+2.5^\circ$ 以下的范围内。

[0065] [表2]

$(\varphi [^\circ], \theta [^\circ], \psi [^\circ])$				
(0, 0 ~ 175, 0)	(0, 0 ~ 175, 5)	(0, 0 ~ 175, 10)	(0, 0 ~ 175, 15)	(0, 0 ~ 15, 20)
(0, 65 ~ 175, 20)	(0, 85 ~ 175, 25)	(0, 90 ~ 170, 30)	(0, 90 ~ 175, 35)	(0, 0 ~ 5, 40)
(0, 85 ~ 175, 40)	(0, 0 ~ 10, 45)	(0, 80 ~ 175, 45)	(0, 0 ~ 15, 50)	(0, 75 ~ 175, 50)
(0, 0 ~ 20, 55)	(0, 65 ~ 175, 55)	(0, 0 ~ 25, 60)	(0, 55 ~ 175, 60)	(0, 0 ~ 35, 65)
(0, 45 ~ 70, 65)	(0, 110 ~ 140, 65)	(0, 150 ~ 175, 65)	(0, 0 ~ 65, 70)	(0, 115 ~ 135, 70)
(0, 165 ~ 175, 70)	(0, 0 ~ 60, 75)	(0, 120 ~ 135, 75)	(0, 170 ~ 175, 75)	(0, 0 ~ 60, 80)
(0, 120 ~ 130, 80)	(0, 5 ~ 60, 85)	(0, 120 ~ 130, 85)	(0, 5 ~ 60, 90)	(0, 120 ~ 130, 90)
(0, 5 ~ 60, 95)	(0, 120 ~ 130, 95)	(0, 0 ~ 60, 100)	(0, 120 ~ 130, 100)	(0, 0 ~ 60, 105)
(0, 120 ~ 135, 105)	(0, 170 ~ 175, 105)	(0, 0 ~ 65, 110)	(0, 115 ~ 135, 110)	(0, 165 ~ 175, 110)
(0, 0 ~ 35, 115)	(0, 45 ~ 70, 115)	(0, 110 ~ 140, 115)	(0, 150 ~ 175, 115)	(0, 0 ~ 25, 120)
(0, 55 ~ 175, 120)	(0, 0 ~ 20, 125)	(0, 65 ~ 175, 125)	(0, 0 ~ 15, 130)	(0, 75 ~ 175, 130)
(0, 0 ~ 10, 135)	(0, 80 ~ 175, 135)	(0, 0 ~ 5, 140)	(0, 85 ~ 175, 140)	(0, 90 ~ 175, 145)
(0, 90 ~ 170, 150)	(0, 85 ~ 175, 155)	(0, 0 ~ 15, 160)	(0, 65 ~ 175, 160)	(0, 0 ~ 175, 165)
(0, 0 ~ 175, 170)	(0, 0 ~ 175, 175)			

[0067] [表3]

$(\varphi [^\circ], \theta [^\circ], \psi [^\circ])$				
(5, 0 ~ 175, 0)	(5, 0 ~ 175, 5)	(5, 0 ~ 175, 10)	(5, 0 ~ 25, 15)	(5, 55 ~ 175, 15)
(5, 85 ~ 175, 20)	(5, 95 ~ 175, 25)	(5, 100 ~ 175, 30)	(5, 0 ~ 5, 35)	(5, 100 ~ 170, 35)
(5, 0 ~ 15, 40)	(5, 90 ~ 175, 40)	(5, 0 ~ 20, 45)	(5, 85 ~ 175, 45)	(5, 0 ~ 25, 50)
(5, 75 ~ 175, 50)	(5, 0 ~ 30, 55)	(5, 65 ~ 175, 55)	(5, 0 ~ 35, 60)	(5, 50 ~ 175, 60)
(5, 0 ~ 70, 65)	(5, 110 ~ 175, 65)	(5, 0 ~ 65, 70)	(5, 115 ~ 140, 70)	(5, 155 ~ 175, 70)
(5, 0 ~ 60, 75)	(5, 120 ~ 135, 75)	(5, 165 ~ 175, 75)	(5, 5 ~ 60, 80)	(5, 120 ~ 135, 80)
(5, 170 ~ 175, 80)	(5, 5 ~ 60, 85)	(5, 120 ~ 130, 85)	(5, 5 ~ 60, 90)	(5, 120 ~ 130, 90)
(5, 0 ~ 60, 95)	(5, 120 ~ 130, 95)	(5, 0 ~ 60, 100)	(5, 120 ~ 130, 100)	(5, 0 ~ 60, 105)
(5, 120 ~ 130, 105)	(5, 0 ~ 65, 110)	(5, 115 ~ 135, 110)	(5, 170 ~ 175, 110)	(5, 0 ~ 25, 115)
(5, 50 ~ 70, 115)	(5, 110 ~ 135, 115)	(5, 160 ~ 175, 115)	(5, 0 ~ 20, 120)	(5, 60 ~ 175, 120)
(5, 0 ~ 15, 125)	(5, 65 ~ 175, 125)	(5, 0 ~ 10, 130)	(5, 70 ~ 175, 130)	(5, 0 ~ 5, 135)
(5, 75 ~ 175, 135)	(5, 80 ~ 175, 140)	(5, 85 ~ 175, 145)	(5, 85 ~ 175, 150)	(5, 0 ~ 10, 155)
(5, 70 ~ 170, 155)	(5, 0 ~ 175, 160)	(5, 0 ~ 175, 165)	(5, 0 ~ 175, 170)	(5, 0 ~ 175, 175)

[0069] [表4]

$(\varphi [^\circ], \theta [^\circ], \psi [^\circ])$				
(10, 0 ~ 175, 0)	(10, 0 ~ 175, 5)	(10, 0 ~ 175, 10)	(10, 85 ~ 175, 15)	(10, 100 ~ 175, 20)
(10, 105 ~ 175, 25)	(10, 0 ~ 5, 30)	(10, 110 ~ 175, 30)	(10, 0 ~ 15, 35)	(10, 110 ~ 175, 35)
(10, 0 ~ 20, 40)	(10, 100 ~ 170, 40)	(10, 0 ~ 25, 45)	(10, 85 ~ 175, 45)	(10, 0 ~ 30, 50)
(10, 75 ~ 175, 50)	(10, 0 ~ 35, 55)	(10, 60 ~ 175, 55)	(10, 0 ~ 175, 60)	(10, 0 ~ 70, 65)
(10, 110 ~ 175, 65)	(10, 0 ~ 65, 70)	(10, 115 ~ 175, 70)	(10, 5 ~ 60, 75)	(10, 120 ~ 140, 75)
(10, 155 ~ 175, 75)	(10, 5 ~ 60, 80)	(10, 120 ~ 135, 80)	(10, 165 ~ 175, 80)	(10, 5 ~ 60, 85)
(10, 120 ~ 135, 85)	(10, 170 ~ 175, 85)	(10, 0 ~ 60, 90)	(10, 120 ~ 130, 90)	(10, 0 ~ 60, 95)
(10, 120 ~ 130, 95)	(10, 0 ~ 60, 100)	(10, 120 ~ 130, 100)	(10, 0 ~ 60, 105)	(10, 120 ~ 130, 105)
(10, 0 ~ 25, 110)	(10, 45 ~ 65, 110)	(10, 115 ~ 130, 110)	(10, 175 ~ 175, 110)	(10, 0 ~ 20, 115)
(10, 55 ~ 70, 115)	(10, 110 ~ 130, 115)	(10, 170 ~ 175, 115)	(10, 0 ~ 15, 120)	(10, 60 ~ 135, 120)
(10, 160 ~ 175, 120)	(10, 0 ~ 10, 125)	(10, 65 ~ 175, 125)	(10, 0 ~ 5, 130)	(10, 70 ~ 175, 130)
(10, 75 ~ 175, 135)	(10, 75 ~ 175, 140)	(10, 80 ~ 175, 145)	(10, 0 ~ 10, 150)	(10, 70 ~ 175, 150)
(10, 0 ~ 175, 155)	(10, 0 ~ 165, 160)	(10, 0 ~ 175, 165)	(10, 0 ~ 175, 170)	(10, 0 ~ 175, 175)

[0071] [表5]

[0072]

(φ [°] , θ [°] , ψ [°])				
(15, 0 ~ 175, 0)	(15, 0 ~ 175, 5)	(15, 90 ~ 175, 10)	(15, 105 ~ 175, 15)	(15, 110 ~ 175, 20)
(15, 0 ~ 10, 25)	(15, 115 ~ 175, 25)	(15, 0 ~ 15, 30)	(15, 115 ~ 175, 30)	(15, 0 ~ 25, 35)
(15, 115 ~ 175, 35)	(15, 0 ~ 25, 40)	(15, 105 ~ 175, 40)	(15, 0 ~ 30, 45)	(15, 90 ~ 170, 45)
(15, 0 ~ 35, 50)	(15, 75 ~ 175, 50)	(15, 0 ~ 175, 55)	(15, 0 ~ 175, 60)	(15, 0 ~ 70, 65)
(15, 110 ~ 175, 65)	(15, 5 ~ 65, 70)	(15, 115 ~ 175, 70)	(15, 5 ~ 60, 75)	(15, 120 ~ 175, 75)
(15, 5 ~ 60, 80)	(15, 120 ~ 140, 80)	(15, 160 ~ 175, 80)	(15, 0 ~ 60, 85)	(15, 120 ~ 135, 85)
(15, 165 ~ 175, 85)	(15, 0 ~ 60, 90)	(15, 120 ~ 135, 90)	(15, 170 ~ 175, 90)	(15, 0 ~ 60, 95)
(15, 120 ~ 130, 95)	(15, 0 ~ 60, 100)	(15, 120 ~ 130, 100)	(15, 0 ~ 25, 105)	(15, 45 ~ 60, 105)
(15, 120 ~ 130, 105)	(15, 0 ~ 20, 110)	(15, 50 ~ 65, 110)	(15, 115 ~ 130, 110)	(15, 0 ~ 15, 115)
(15, 55 ~ 70, 115)	(15, 110 ~ 130, 115)	(15, 175 ~ 175, 115)	(15, 0 ~ 10, 120)	(15, 60 ~ 130, 120)
(15, 170 ~ 175, 120)	(15, 0 ~ 5, 125)	(15, 65 ~ 135, 125)	(15, 155 ~ 175, 125)	(15, 65 ~ 175, 130)
(15, 70 ~ 175, 135)	(15, 70 ~ 175, 140)	(15, 0 ~ 5, 145)	(15, 70 ~ 175, 145)	(15, 0 ~ 35, 150)
(15, 50 ~ 175, 150)	(15, 0 ~ 175, 155)	(15, 0 ~ 175, 160)	(15, 0 ~ 165, 165)	(15, 0 ~ 170, 170)
(15, 0 ~ 175, 175)				

[0073] [表6]

(φ [°] , θ [°] , ψ [°])				
(20, 0 ~ 175, 0)	(20, 95 ~ 175, 5)	(20, 115 ~ 175, 10)	(20, 120 ~ 175, 15)	(20, 0 ~ 10, 20)
(20, 120 ~ 175, 20)	(20, 0 ~ 20, 25)	(20, 125 ~ 175, 25)	(20, 0 ~ 25, 30)	(20, 125 ~ 175, 30)
(20, 0 ~ 30, 35)	(20, 125 ~ 175, 35)	(20, 0 ~ 35, 40)	(20, 115 ~ 175, 40)	(20, 0 ~ 35, 45)
(20, 95 ~ 175, 45)	(20, 0 ~ 40, 50)	(20, 65 ~ 170, 50)	(20, 0 ~ 175, 55)	(20, 0 ~ 175, 60)
(20, 5 ~ 70, 65)	(20, 110 ~ 175, 65)	(20, 5 ~ 65, 70)	(20, 115 ~ 175, 70)	(20, 5 ~ 60, 75)
(20, 120 ~ 175, 75)	(20, 0 ~ 60, 80)	(20, 120 ~ 175, 80)	(20, 0 ~ 60, 85)	(20, 120 ~ 140, 85)
(20, 160 ~ 175, 85)	(20, 0 ~ 60, 90)	(20, 120 ~ 135, 90)	(20, 165 ~ 175, 90)	(20, 0 ~ 60, 95)
(20, 120 ~ 130, 95)	(20, 170 ~ 175, 95)	(20, 0 ~ 25, 100)	(20, 40 ~ 60, 100)	(20, 120 ~ 130, 100)
(20, 0 ~ 20, 105)	(20, 45 ~ 60, 105)	(20, 120 ~ 130, 105)	(20, 0 ~ 15, 110)	(20, 50 ~ 65, 110)
(20, 115 ~ 130, 110)	(20, 0 ~ 10, 115)	(20, 55 ~ 70, 115)	(20, 110 ~ 125, 115)	(20, 0 ~ 5, 120)
(20, 60 ~ 130, 120)	(20, 175 ~ 175, 120)	(20, 60 ~ 130, 125)	(20, 170 ~ 175, 125)	(20, 65 ~ 130, 130)
(20, 155 ~ 175, 130)	(20, 65 ~ 175, 135)	(20, 0 ~ 5, 140)	(20, 85 ~ 175, 140)	(20, 0 ~ 25, 145)
(20, 60 ~ 175, 145)	(20, 0 ~ 175, 150)	(20, 0 ~ 175, 155)	(20, 0 ~ 175, 160)	(20, 0 ~ 175, 165)
(20, 0 ~ 155, 170)	(20, 0 ~ 165, 175)			

[0075] [表7]

(φ [°] , θ [°] , ψ [°])				
(25, 140 ~ 175, 5)	(25, 135 ~ 175, 10)	(25, 0 ~ 15, 15)	(25, 135 ~ 175, 15)	(25, 0 ~ 25, 20)
(25, 135 ~ 175, 20)	(25, 0 ~ 30, 25)	(25, 130 ~ 175, 25)	(25, 0 ~ 35, 30)	(25, 130 ~ 175, 30)
(25, 0 ~ 35, 35)	(25, 130 ~ 175, 35)	(25, 0 ~ 40, 40)	(25, 125 ~ 175, 40)	(25, 0 ~ 45, 45)
(25, 105 ~ 175, 45)	(25, 0 ~ 175, 50)	(25, 0 ~ 175, 55)	(25, 5 ~ 175, 60)	(25, 5 ~ 70, 65)
(25, 110 ~ 175, 65)	(25, 5 ~ 65, 70)	(25, 115 ~ 175, 70)	(25, 0 ~ 60, 75)	(25, 120 ~ 175, 75)
(25, 0 ~ 60, 80)	(25, 120 ~ 175, 80)	(25, 0 ~ 60, 85)	(25, 120 ~ 175, 85)	(25, 0 ~ 60, 90)
(25, 120 ~ 140, 90)	(25, 160 ~ 175, 90)	(25, 0 ~ 25, 95)	(25, 40 ~ 60, 95)	(25, 120 ~ 135, 95)
(25, 165 ~ 175, 95)	(25, 0 ~ 20, 100)	(25, 45 ~ 60, 100)	(25, 120 ~ 130, 100)	(25, 170 ~ 175, 100)
(25, 0 ~ 15, 105)	(25, 50 ~ 60, 105)	(25, 120 ~ 130, 105)	(25, 0 ~ 10, 110)	(25, 55 ~ 65, 110)
(25, 115 ~ 125, 110)	(25, 0 ~ 5, 115)	(25, 55 ~ 70, 115)	(25, 110 ~ 125, 115)	(25, 60 ~ 125, 120)
(25, 60 ~ 125, 125)	(25, 175 ~ 175, 125)	(25, 60 ~ 125, 130)	(25, 165 ~ 175, 130)	(25, 0 ~ 5, 135)
(25, 60 ~ 130, 135)	(25, 145 ~ 175, 135)	(25, 60 ~ 175, 140)	(25, 0 ~ 20, 140)	(25, 0 ~ 175, 145)
(25, 0 ~ 175, 150)	(25, 0 ~ 175, 155)	(25, 0 ~ 175, 160)	(25, 0 ~ 175, 165)	(25, 0 ~ 170, 170)
(25, 0 ~ 130, 175)				

[0077] [表8]

(φ [°] , θ [°] , ψ [°])				
(30, 0 ~ 20, 10)	(30, 160 ~ 175, 10)	(30, 0 ~ 30, 15)	(30, 150 ~ 175, 15)	(30, 0 ~ 35, 20)
(30, 145 ~ 175, 20)	(30, 0 ~ 40, 25)	(30, 140 ~ 175, 25)	(30, 0 ~ 40, 30)	(30, 140 ~ 175, 30)
(30, 0 ~ 45, 35)	(30, 135 ~ 175, 35)	(30, 0 ~ 45, 40)	(30, 135 ~ 175, 40)	(30, 0 ~ 55, 45)
(30, 125 ~ 175, 45)	(30, 0 ~ 175, 50)	(30, 5 ~ 175, 55)	(30, 5 ~ 175, 60)	(30, 5 ~ 70, 65)
(30, 110 ~ 175, 65)	(30, 0 ~ 65, 70)	(30, 115 ~ 175, 70)	(30, 0 ~ 60, 75)	(30, 120 ~ 175, 75)
(30, 0 ~ 60, 80)	(30, 120 ~ 175, 80)	(30, 0 ~ 60, 85)	(30, 120 ~ 175, 85)	(30, 0 ~ 60, 90)
(30, 120 ~ 175, 90)	(30, 0 ~ 20, 95)	(30, 45 ~ 60, 95)	(30, 120 ~ 135, 95)	(30, 160 ~ 175, 95)
(30, 0 ~ 15, 100)	(30, 45 ~ 60, 100)	(30, 120 ~ 135, 100)	(30, 165 ~ 175, 100)	(30, 0 ~ 10, 105)
(30, 50 ~ 60, 105)	(30, 120 ~ 130, 105)	(30, 170 ~ 175, 105)	(30, 0 ~ 0, 110)	(30, 55 ~ 65, 110)
(30, 115 ~ 125, 110)	(30, 55 ~ 70, 115)	(30, 110 ~ 125, 115)	(30, 55 ~ 125, 120)	(30, 55 ~ 125, 125)
(30, 0 ~ 5, 130)	(30, 60 ~ 120, 130)	(30, 175 ~ 175, 130)	(30, 0 ~ 15, 135)	(30, 55 ~ 125, 135)
(30, 165 ~ 175, 135)	(30, 0 ~ 175, 140)	(30, 0 ~ 175, 145)	(30, 0 ~ 175, 150)	(30, 0 ~ 175, 155)
(30, 0 ~ 175, 160)	(30, 0 ~ 175, 165)	(30, 0 ~ 175, 170)	(30, 15 ~ 165, 175)	

[0079] [表9]

[0080]

(φ° , θ° , ψ°)				
(35, 0 ~ 40, 5)	(35, 0 ~ 45, 10)	(35, 0 ~ 45, 15)	(35, 165 ~ 175, 15)	(35, 0 ~ 45, 20)
(35, 155 ~ 175, 20)	(35, 0 ~ 50, 25)	(35, 150 ~ 175, 25)	(35, 0 ~ 50, 30)	(35, 145 ~ 175, 30)
(35, 0 ~ 50, 35)	(35, 145 ~ 175, 35)	(35, 0 ~ 55, 40)	(35, 140 ~ 175, 40)	(35, 0 ~ 75, 45)
(35, 135 ~ 175, 45)	(35, 5 ~ 175, 50)	(35, 5 ~ 175, 55)	(35, 5 ~ 175, 60)	(35, 0 ~ 70, 65)
(35, 110 ~ 175, 65)	(35, 0 ~ 65, 70)	(35, 115 ~ 175, 70)	(35, 0 ~ 60, 75)	(35, 120 ~ 175, 75)
(35, 0 ~ 60, 80)	(35, 120 ~ 175, 80)	(35, 0 ~ 60, 85)	(35, 120 ~ 175, 85)	(35, 0 ~ 20, 90)
(35, 40 ~ 60, 90)	(35, 120 ~ 175, 90)	(35, 0 ~ 15, 95)	(35, 45 ~ 60, 95)	(35, 120 ~ 140, 95)
(35, 155 ~ 175, 95)	(35, 0 ~ 10, 100)	(35, 50 ~ 60, 100)	(35, 120 ~ 135, 100)	(35, 160 ~ 175, 100)
(35, 0 ~ 0, 105)	(35, 50 ~ 60, 105)	(35, 120 ~ 130, 105)	(35, 165 ~ 175, 105)	(35, 55 ~ 65, 110)
(35, 115 ~ 125, 110)	(35, 170 ~ 175, 110)	(35, 55 ~ 70, 115)	(35, 110 ~ 125, 115)	(35, 175 ~ 175, 115)
(35, 55 ~ 120, 120)	(35, 0 ~ 5, 125)	(35, 55 ~ 120, 125)	(35, 0 ~ 15, 130)	(35, 55 ~ 120, 130)
(35, 0 ~ 35, 135)	(35, 50 ~ 120, 135)	(35, 175 ~ 175, 135)	(35, 0 ~ 120, 140)	(35, 160 ~ 175, 140)
(35, 0 ~ 175, 145)	(35, 0 ~ 175, 150)	(35, 0 ~ 175, 155)	(35, 0 ~ 175, 160)	(35, 0 ~ 175, 165)
(35, 10 ~ 175, 170)	(35, 50 ~ 175, 175)			

[0081] [表10]

(φ° , θ° , ψ°)				
(40, 0 ~ 175, 0)	(40, 0 ~ 85, 5)	(40, 0 ~ 65, 10)	(40, 0 ~ 60, 15)	(40, 0 ~ 60, 20)
(40, 170 ~ 175, 20)	(40, 0 ~ 55, 25)	(40, 160 ~ 175, 25)	(40, 0 ~ 55, 30)	(40, 155 ~ 175, 30)
(40, 0 ~ 55, 35)	(40, 150 ~ 175, 35)	(40, 0 ~ 65, 40)	(40, 145 ~ 175, 40)	(40, 5 ~ 85, 45)
(40, 145 ~ 175, 45)	(40, 10 ~ 115, 50)	(40, 140 ~ 175, 50)	(40, 5 ~ 175, 55)	(40, 0 ~ 175, 60)
(40, 0 ~ 70, 65)	(40, 110 ~ 175, 65)	(40, 0 ~ 65, 70)	(40, 115 ~ 175, 70)	(40, 0 ~ 60, 75)
(40, 120 ~ 175, 75)	(40, 0 ~ 60, 80)	(40, 120 ~ 175, 80)	(40, 0 ~ 20, 85)	(40, 40 ~ 60, 85)
(40, 120 ~ 175, 85)	(40, 0 ~ 15, 90)	(40, 45 ~ 60, 90)	(40, 120 ~ 175, 90)	(40, 0 ~ 10, 95)
(40, 50 ~ 60, 95)	(40, 120 ~ 175, 95)	(40, 0 ~ 0, 100)	(40, 50 ~ 60, 100)	(40, 120 ~ 140, 100)
(40, 155 ~ 175, 100)	(40, 50 ~ 60, 105)	(40, 120 ~ 135, 105)	(40, 160 ~ 175, 105)	(40, 50 ~ 65, 110)
(40, 115 ~ 130, 110)	(40, 165 ~ 175, 110)	(40, 55 ~ 70, 115)	(40, 110 ~ 125, 115)	(40, 170 ~ 175, 115)
(40, 0 ~ 5, 120)	(40, 50 ~ 120, 120)	(40, 175 ~ 175, 120)	(40, 0 ~ 10, 125)	(40, 50 ~ 120, 125)
(40, 0 ~ 25, 130)	(40, 50 ~ 115, 130)	(40, 0 ~ 115, 135)	(40, 0 ~ 115, 140)	(40, 175 ~ 175, 140)
(40, 0 ~ 120, 145)	(40, 155 ~ 175, 145)	(40, 0 ~ 175, 150)	(40, 0 ~ 175, 155)	(40, 0 ~ 175, 160)
(40, 5 ~ 175, 165)	(40, 25 ~ 175, 170)	(40, 15 ~ 175, 175)		

[0083] [表11]

(φ° , θ° , ψ°)				
(45, 0 ~ 175, 0)	(45, 0 ~ 175, 5)	(45, 0 ~ 90, 10)	(45, 0 ~ 75, 15)	(45, 0 ~ 70, 20)
(45, 0 ~ 65, 25)	(45, 170 ~ 175, 25)	(45, 0 ~ 65, 30)	(45, 165 ~ 175, 30)	(45, 0 ~ 65, 35)
(45, 155 ~ 175, 35)	(45, 5 ~ 75, 40)	(45, 155 ~ 175, 40)	(45, 10 ~ 90, 45)	(45, 150 ~ 175, 45)
(45, 5 ~ 105, 50)	(45, 145 ~ 175, 50)	(45, 0 ~ 175, 55)	(45, 0 ~ 175, 60)	(45, 0 ~ 70, 65)
(45, 110 ~ 175, 65)	(45, 0 ~ 65, 70)	(45, 115 ~ 175, 70)	(45, 0 ~ 60, 75)	(45, 120 ~ 175, 75)
(45, 0 ~ 20, 80)	(45, 40 ~ 60, 80)	(45, 120 ~ 175, 80)	(45, 0 ~ 15, 85)	(45, 45 ~ 60, 85)
(45, 120 ~ 175, 85)	(45, 0 ~ 10, 90)	(45, 45 ~ 60, 90)	(45, 120 ~ 175, 90)	(45, 0 ~ 0, 95)
(45, 50 ~ 60, 95)	(45, 120 ~ 175, 95)	(45, 50 ~ 60, 100)	(45, 120 ~ 175, 100)	(45, 50 ~ 60, 105)
(45, 120 ~ 135, 105)	(45, 155 ~ 175, 105)	(45, 50 ~ 65, 110)	(45, 115 ~ 130, 110)	(45, 160 ~ 175, 110)
(45, 0 ~ 5, 115)	(45, 50 ~ 70, 115)	(45, 110 ~ 125, 115)	(45, 165 ~ 175, 115)	(45, 0 ~ 10, 120)
(45, 50 ~ 120, 120)	(45, 170 ~ 175, 120)	(45, 0 ~ 25, 125)	(45, 45 ~ 115, 125)	(45, 175 ~ 175, 125)
(45, 0 ~ 115, 130)	(45, 0 ~ 110, 135)	(45, 0 ~ 110, 140)	(45, 0 ~ 110, 145)	(45, 175 ~ 175, 145)
(45, 0 ~ 130, 150)	(45, 145 ~ 175, 150)	(45, 0 ~ 175, 155)	(45, 5 ~ 175, 160)	(45, 15 ~ 175, 165)
(45, 10 ~ 175, 170)	(45, 0 ~ 175, 175)			

[0085] [表12]

(φ° , θ° , ψ°)				
(50, 0 ~ 175, 0)	(50, 0 ~ 175, 5)	(50, 0 ~ 175, 10)	(50, 0 ~ 95, 15)	(50, 0 ~ 80, 20)
(50, 0 ~ 75, 25)	(50, 0 ~ 70, 30)	(50, 175 ~ 175, 30)	(50, 5 ~ 70, 35)	(50, 165 ~ 175, 35)
(50, 10 ~ 80, 40)	(50, 160 ~ 175, 40)	(50, 5 ~ 95, 45)	(50, 155 ~ 175, 45)	(50, 0 ~ 105, 50)
(50, 150 ~ 175, 50)	(50, 0 ~ 120, 55)	(50, 145 ~ 175, 55)	(50, 0 ~ 175, 60)	(50, 0 ~ 70, 65)
(50, 110 ~ 175, 65)	(50, 0 ~ 65, 70)	(50, 115 ~ 175, 70)	(50, 0 ~ 25, 75)	(50, 40 ~ 60, 75)
(50, 120 ~ 175, 75)	(50, 0 ~ 15, 80)	(50, 45 ~ 60, 80)	(50, 120 ~ 175, 80)	(50, 0 ~ 10, 85)
(50, 45 ~ 60, 85)	(50, 120 ~ 175, 85)	(50, 0 ~ 0, 90)	(50, 50 ~ 60, 90)	(50, 120 ~ 175, 90)
(50, 50 ~ 60, 95)	(50, 120 ~ 175, 95)	(50, 50 ~ 60, 100)	(50, 120 ~ 175, 100)	(50, 50 ~ 60, 105)
(50, 120 ~ 175, 105)	(50, 0 ~ 5, 110)	(50, 50 ~ 65, 110)	(50, 115 ~ 135, 110)	(50, 155 ~ 175, 110)
(50, 0 ~ 10, 115)	(50, 50 ~ 70, 115)	(50, 110 ~ 125, 115)	(50, 160 ~ 175, 115)	(50, 0 ~ 20, 120)
(50, 45 ~ 120, 120)	(50, 165 ~ 175, 120)	(50, 0 ~ 115, 125)	(50, 170 ~ 175, 125)	(50, 0 ~ 110, 130)
(50, 175 ~ 175, 130)	(50, 0 ~ 105, 135)	(50, 0 ~ 105, 140)	(50, 0 ~ 100, 145)	(50, 0 ~ 110, 150)
(50, 170 ~ 175, 150)	(50, 5 ~ 175, 155)	(50, 15 ~ 175, 160)	(50, 5 ~ 175, 165)	(50, 0 ~ 175, 170)
(50, 0 ~ 175, 175)				

[0087] [表13]

[0088]

(φ°, θ°, ψ°)				
(55.0 ~ 175.0)	(55.0 ~ 175.5)	(55.0 ~ 175.10)	(55.0 ~ 125.15)	(55.155 ~ 175.15)
(55.0 ~ 95.20)	(55.0 ~ 85.25)	(55.5 ~ 80.30)	(55.10 ~ 80.35)	(55.175 ~ 175.35)
(55.5 ~ 90.40)	(55.165 ~ 175.40)	(55.0 ~ 95.45)	(55.160 ~ 175.45)	(55.0 ~ 105.90)
(55.155 ~ 175.50)	(55.0 ~ 115.55)	(55.150 ~ 175.55)	(55.0 ~ 130.60)	(55.145 ~ 175.60)
(55.0 ~ 70.65)	(55.110 ~ 175.65)	(55.0 ~ 25.70)	(55.40 ~ 65.70)	(55.115 ~ 175.70)
(55.0 ~ 15.75)	(55.45 ~ 60.75)	(55.120 ~ 175.75)	(55.0 ~ 10.80)	(55.45 ~ 60.80)
(55.120 ~ 175.80)	(55.0 ~ 0.85)	(55.50 ~ 60.85)	(55.120 ~ 175.85)	(55.50 ~ 60.90)
(55.120 ~ 175.90)	(55.50 ~ 60.95)	(55.120 ~ 175.95)	(55.50 ~ 60.100)	(55.120 ~ 175.100)
(55.0 ~ 0.105)	(55.50 ~ 60.105)	(55.120 ~ 175.105)	(55.0 ~ 10.110)	(55.45 ~ 65.110)
(55.115 ~ 175.110)	(55.0 ~ 20.115)	(55.45 ~ 70.115)	(55.110 ~ 130.115)	(55.155 ~ 175.115)
(55.0 ~ 120.120)	(55.160 ~ 175.120)	(55.0 ~ 115.125)	(55.165 ~ 175.125)	(55.0 ~ 110.130)
(55.170 ~ 175.130)	(55.0 ~ 105.135)	(55.175 ~ 175.135)	(55.0 ~ 100.140)	(55.0 ~ 95.145)
(55.5 ~ 95.150)	(55.10 ~ 110.155)	(55.170 ~ 175.155)	(55.5 ~ 175.160)	(55.0 ~ 175.165)
(55.0 ~ 175.170)	(55.0 ~ 175.175)			

[0089] [表14]

[0090]

(φ°, θ°, ψ°)				
(60.0 ~ 175.0)	(60.0 ~ 175.5)	(60.0 ~ 175.10)	(60.0 ~ 175.15)	(60.0 ~ 115.20)
(60.165 ~ 175.20)	(60.5 ~ 95.25)	(60.10 ~ 90.30)	(60.5 ~ 90.35)	(60.0 ~ 95.40)
(60.175 ~ 175.40)	(60.0 ~ 100.45)	(60.170 ~ 175.45)	(60.0 ~ 105.50)	(60.165 ~ 175.50)
(60.0 ~ 115.55)	(60.160 ~ 175.55)	(60.0 ~ 125.60)	(60.155 ~ 175.60)	(60.0 ~ 30.65)
(60.40 ~ 70.65)	(60.110 ~ 135.65)	(60.145 ~ 175.65)	(60.0 ~ 15.70)	(60.45 ~ 65.70)
(60.115 ~ 175.70)	(60.0 ~ 10.75)	(60.45 ~ 60.75)	(60.120 ~ 175.75)	(60.0 ~ 0.80)
(60.50 ~ 60.80)	(60.120 ~ 175.80)	(60.50 ~ 60.85)	(60.120 ~ 175.85)	(60.50 ~ 60.90)
(60.120 ~ 175.90)	(60.50 ~ 60.95)	(60.120 ~ 175.95)	(60.0 ~ 0.100)	(60.50 ~ 60.100)
(60.120 ~ 175.100)	(60.0 ~ 10.105)	(60.45 ~ 60.105)	(60.120 ~ 175.105)	(60.0 ~ 15.110)
(60.45 ~ 65.110)	(60.115 ~ 175.110)	(60.0 ~ 30.115)	(60.40 ~ 70.115)	(60.110 ~ 135.115)
(60.145 ~ 175.115)	(60.0 ~ 125.120)	(60.155 ~ 175.120)	(60.0 ~ 115.125)	(60.160 ~ 175.125)
(60.0 ~ 105.130)	(60.165 ~ 175.130)	(60.0 ~ 100.135)	(60.170 ~ 175.135)	(60.0 ~ 95.140)
(60.175 ~ 175.140)	(60.5 ~ 90.145)	(60.10 ~ 90.150)	(60.5 ~ 95.155)	(60.0 ~ 115.160)
(60.165 ~ 175.160)	(60.0 ~ 175.165)	(60.0 ~ 175.170)	(60.0 ~ 175.175)	

[0091] 此外,即便在石英基板3的欧拉角为与表2~表14所示的(φ, θ, ψ)的范围等效的欧拉角的范围内的情况下,在石英基板3传播的体波的声速也比在钽酸锂层6传播的弹性波的声速低。需要说明的是,石英的晶体的对称性在熊夫利(Schoenflies)符号中成为D₃⁶或D₃⁴的点云,或者在国际符号中成为32的点云。石英相对于极坐标(θ, φ)具有较高的对称性,这在文献1(Hiroshi KAMEYAMA, Symmetry of Elastic Vibration in Quartz Crystal, Japanese Journal of Applied Physics, Volume 23, Number S 1)中示出。以下,表示出声速、弹性常数、位移或者频率常数等与弹性振动相关的各种性质f(θ, φ)通过对称操作而不变。

[0092] 图13是示出石英的晶体中的弹性振动的对称性的立体投影图。需要说明的是,在图13中,向晶体点云D₃-32的对称操作施加了反转操作I,因此,变得与晶体点云D_{3d}-3m(3上横线)的立体投影图相同。在图13中,黑色的圆形标绘是上半球的等效点,白色的圆形标绘是下半球的等效点,椭圆形的标绘是二重旋转轴,三角形的标绘是三重旋转轴。

[0093] 图13中的三重旋转轴相当于欧拉角符号中的Z轴。在图13中,0°、60°(2π/6)等多个轴与Z轴垂直地延伸。如图13所示,在石英的晶体中,在每次以Z轴为中心沿φ方向旋转120°(4π/6)时,弹性振动的行为一致。而且,以60°的轴为中心,0°~60°的声速及60°~120°的声速成为对称。因此,通过如表2~表14那样示出φ为0°~60°的情况下的欧拉角的方位,能够设为其他方位与上述方位等效而表现出石英的全方位(全欧拉角)的特性。这里,等效的方位成为以下的1)及2)。1)以Z轴为中心沿φ方向旋转了0°、120°或240°时的欧拉角。2)以Z轴为中心沿φ方向旋转了60°、180°或300°并且进行了反转操作(石英基板的表背的关系)时的欧拉角。

[0094] 以下,示出通过使在石英基板3传播的体波的声速比在钽酸锂层6传播的弹性波的

声速低而能够在宽频带中有效地抑制高阶模式的详细效果。

[0095] 援引图1,示出本发明的第二实施方式及第三实施方式。第二实施方式与第一实施方式的不同之处仅在于,在石英基板3传播的体波的声速比在钽酸锂层6传播的弹性波的声速高。更具体而言,第二实施方式中的石英基板3的欧拉角(φ, θ, ψ)与第一实施方式不同。第三实施方式的石英基板3的欧拉角(φ, θ, ψ)与具有图4所示的相位特性的弹性波装置不同。不过,第三实施方式的弹性波装置实质上具有与第一实施方式的弹性波装置同样的结构。

[0096] 比较了具有第二实施方式的结构弹性波装置及具有第三实施方式的结构弹性波装置的相位特性。需要说明的是,上述各弹性波装置的设计参数如下所述。

[0097] 碳化硅层4:厚度... $2\mu\text{m}$

[0098] 低声速膜5:材料... SiO_2 ,厚度... 300nm

[0099] 钽酸锂层6:材料... LiTaO_3 ,厚度... 400nm

[0100] IDT电极7:层结构...从钽酸锂层6侧起为Ti层/AlCu层/Ti层,厚度...从钽酸锂层6侧起为 $12\text{nm}/100\text{nm}/4\text{nm}$,波长 λ ... $2\mu\text{m}$,占空比... 0.5

[0101] 在第二实施方式中,将石英基板3的欧拉角(φ, θ, ψ)设为($0^\circ, 180^\circ, 90^\circ$)。在该情况下,在石英基板3传播的较慢的横波的声速为 3915.4m/s 。在钽酸锂层6传播的声表面波的声速为 3914.2m/s 。因此,在石英基板3传播的较慢的横波的声速比在钽酸锂层6传播的声表面波的声速高。

[0102] 在第三实施方式中,将石英基板3的欧拉角(φ, θ, ψ)设为($0^\circ, 200^\circ, 60^\circ$)。在该情况下,在石英基板3传播的较慢的横波的声速为 3538.2m/s 。在钽酸锂层6传播的声表面波的声速为 3914.2m/s 。因此,在石英基板3传播的较慢的横波的声速比在钽酸锂层6传播的声表面波的声速低。

[0103] 图14是示出第二实施方式及第三实施方式的弹性波装置的相位特性的图。

[0104] 如图14所示,在第二实施方式中,在箭头C所示的频带以外,将高阶模式抑制为了小于 -78deg. 。不过,在第二实施方式中,在箭头C所示的频带中,也将高阶模式抑制为了 -75deg. 以下。另一方面,在第三实施方式中,包含箭头C所示的频带,在宽频带中将高阶模式抑制为了小于 -78deg. 。这样,在第二实施方式及第三实施方式中,能够使高阶模式从石英基板3泄漏,能够在宽频带中更进一步抑制高阶模式。

[0105] 附图标记说明

[0106] 1...弹性波装置;

[0107] 2...压电性基板;

[0108] 3...石英基板;

[0109] 4...碳化硅层;

[0110] 5...低声速膜;

[0111] 6...钽酸锂层;

[0112] 7...IDT电极;

[0113] 8A、8B...反射器;

[0114] 16、17...第一汇流条、第二汇流条;

- [0115] 18、19...第一电极指、第二电极指；
- [0116] 22...压电性基板。

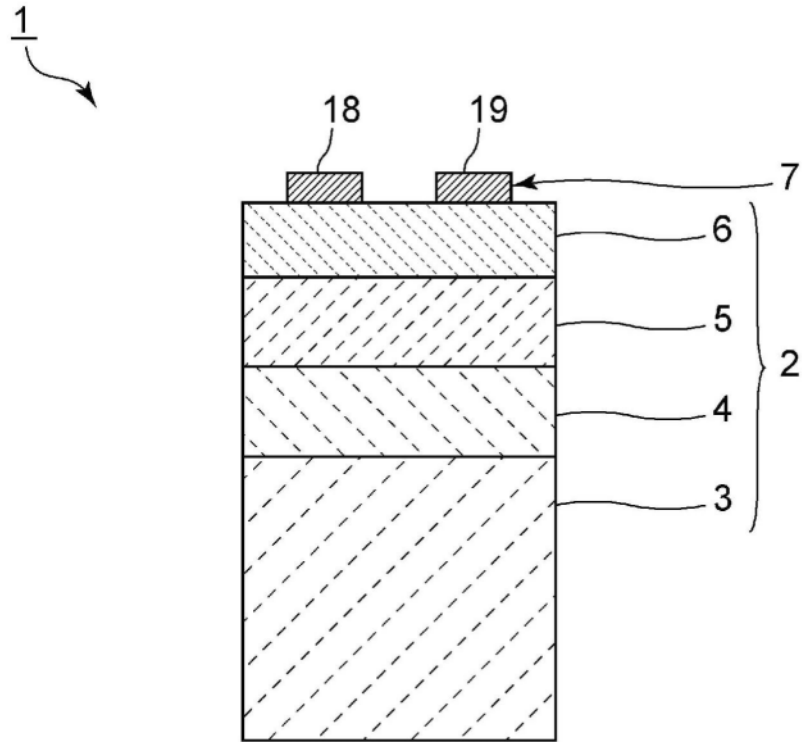


图1

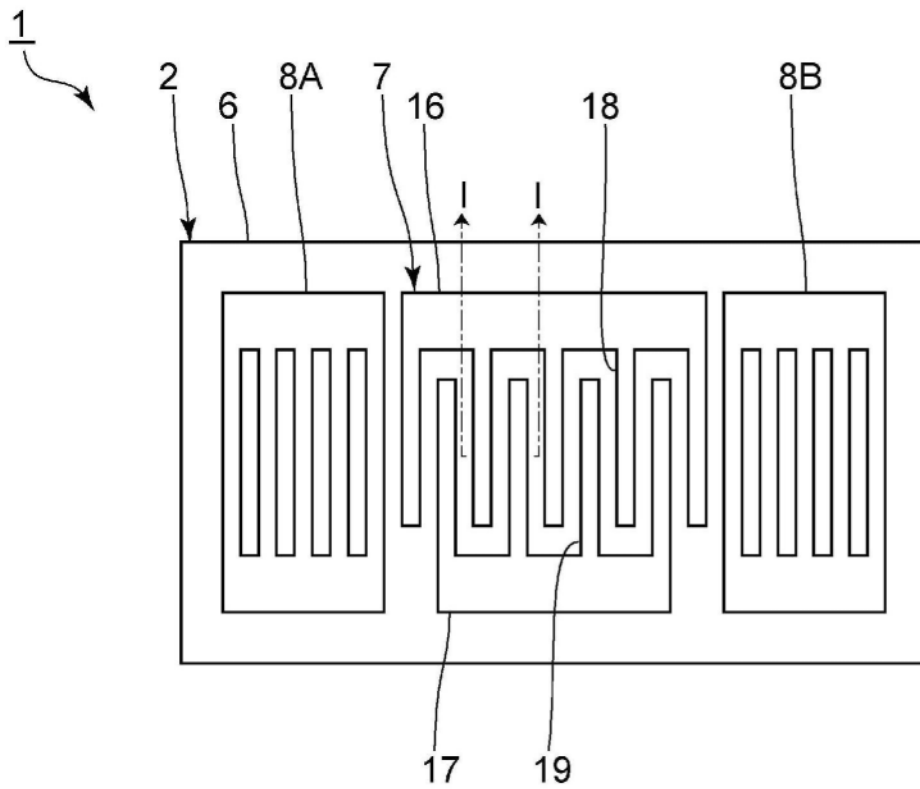


图2

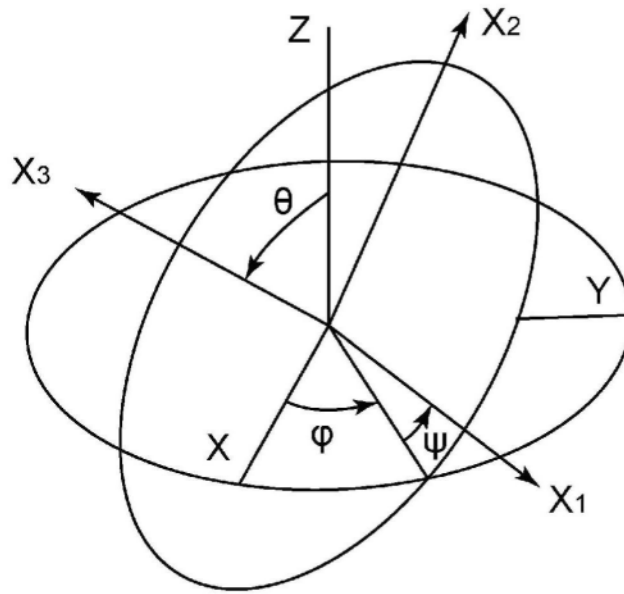


图3

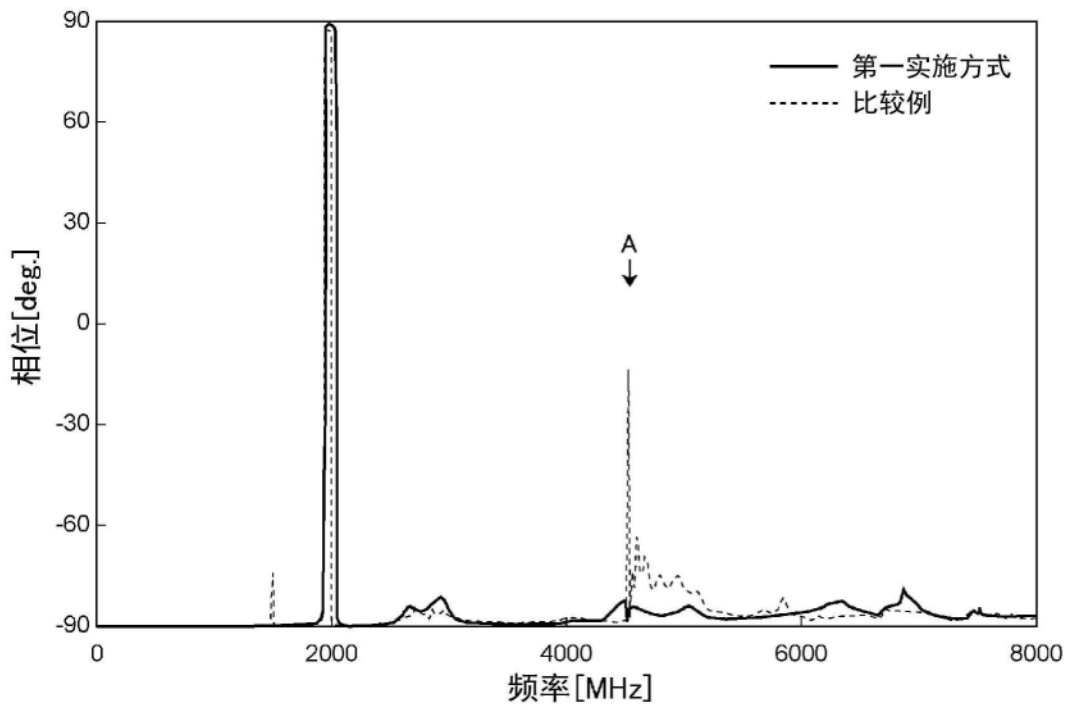


图4

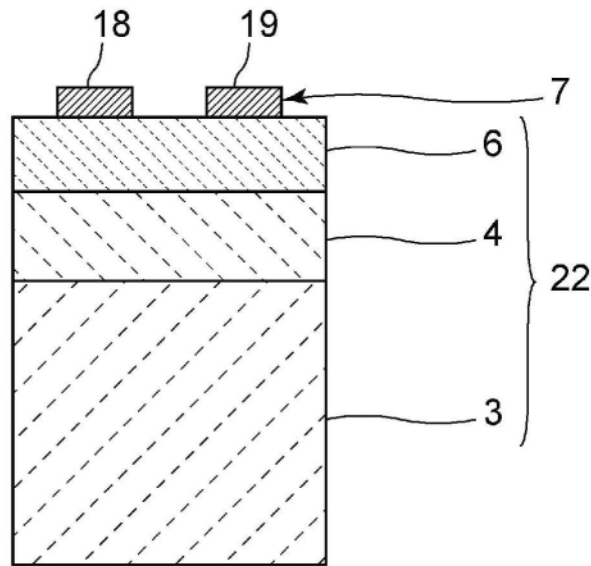


图5

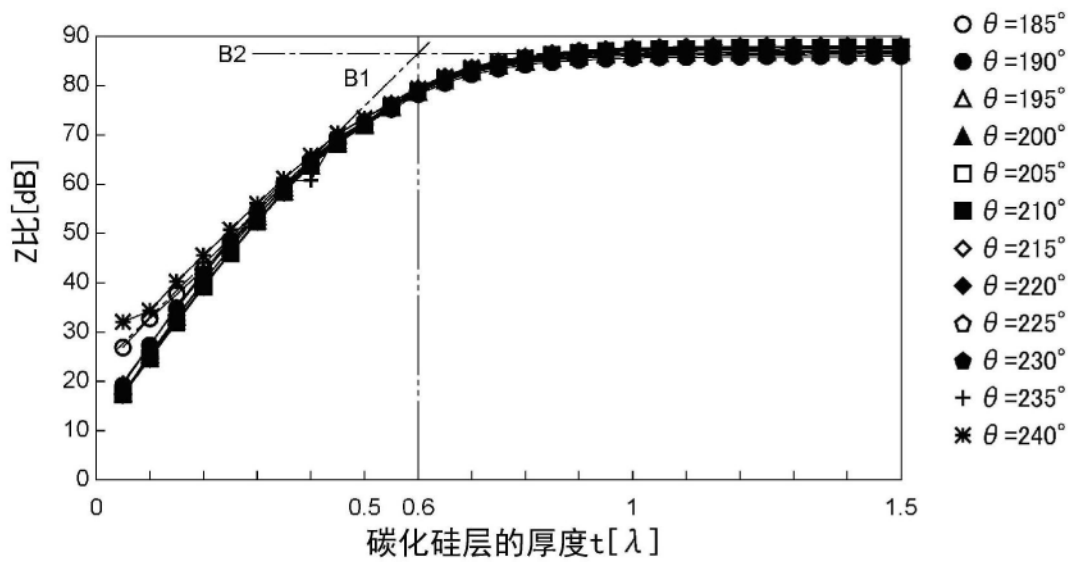


图6

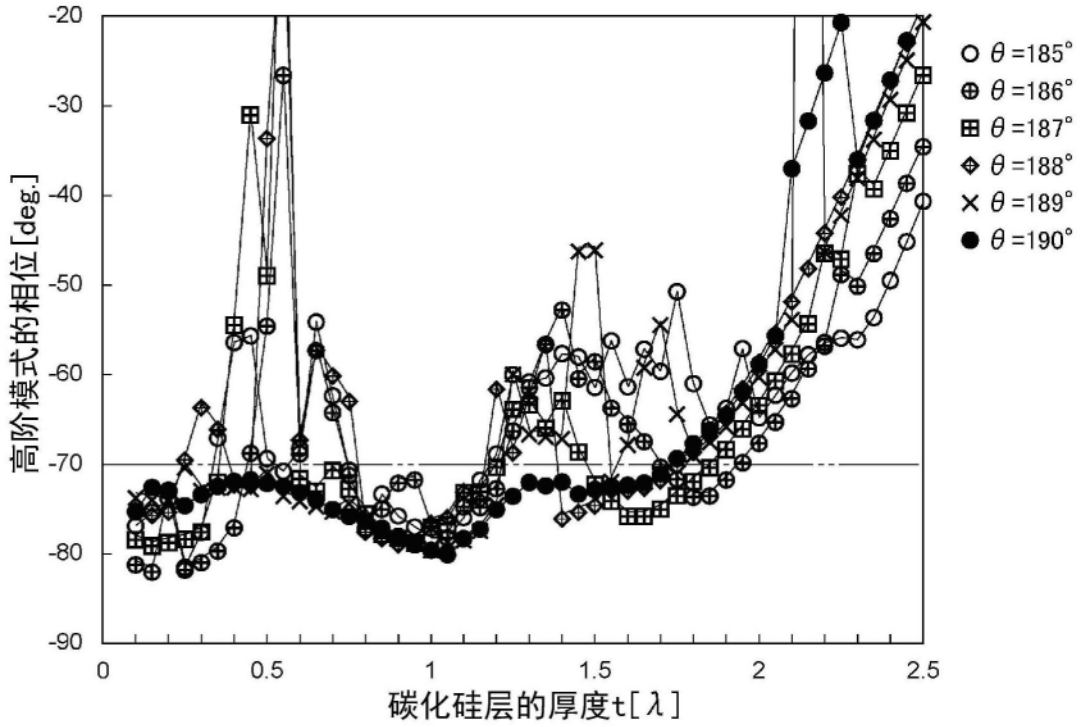


图7

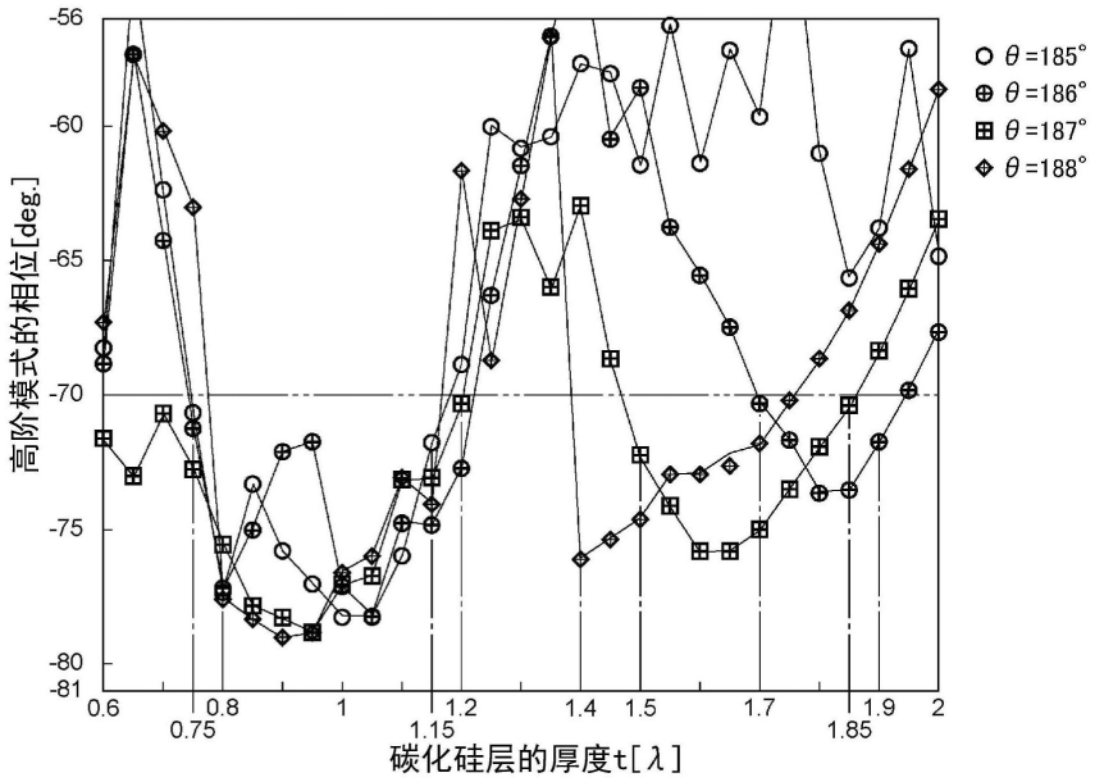


图8

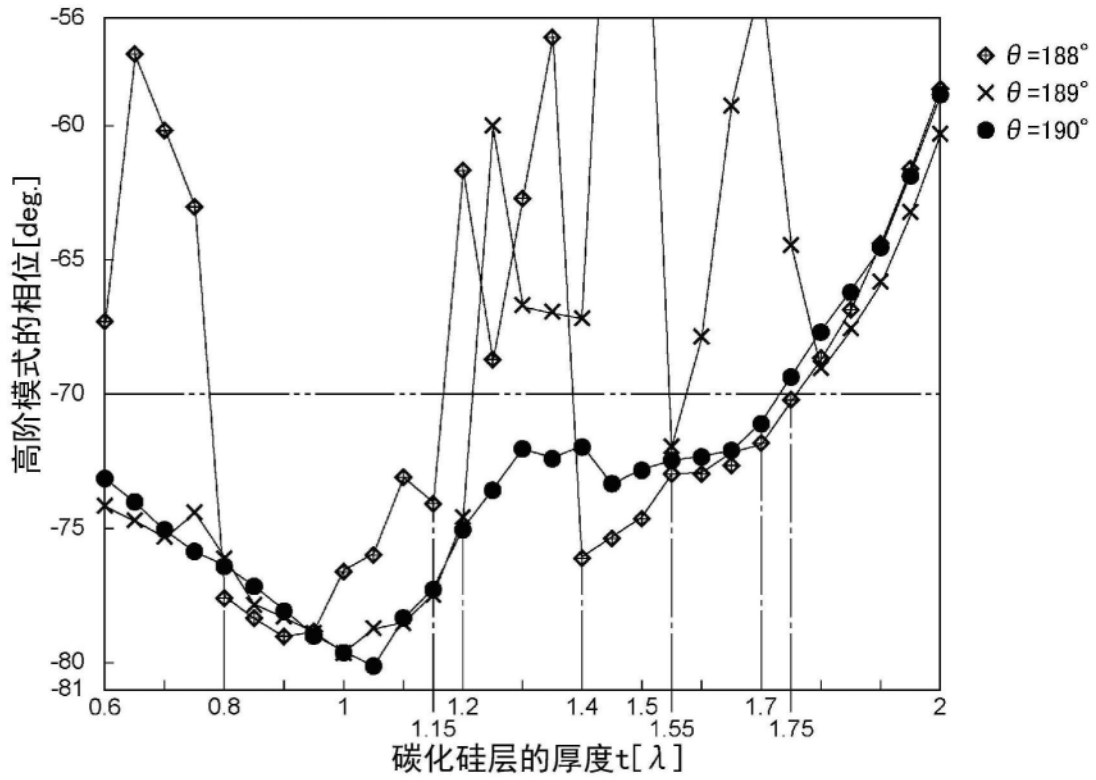


图9

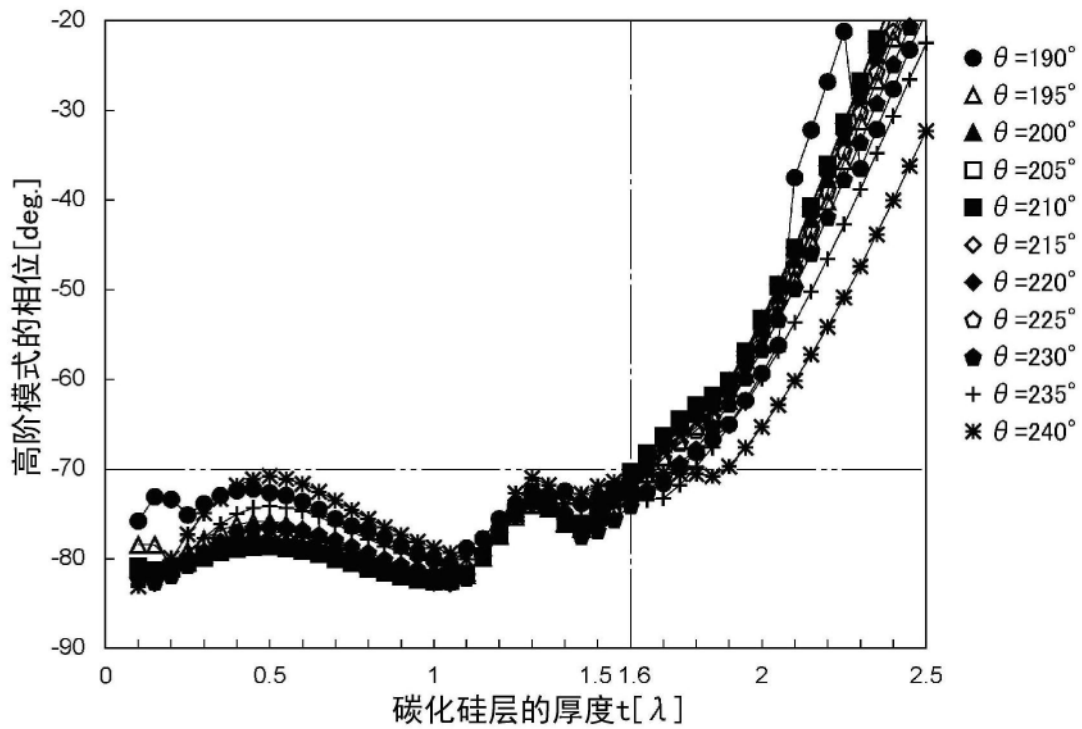


图10

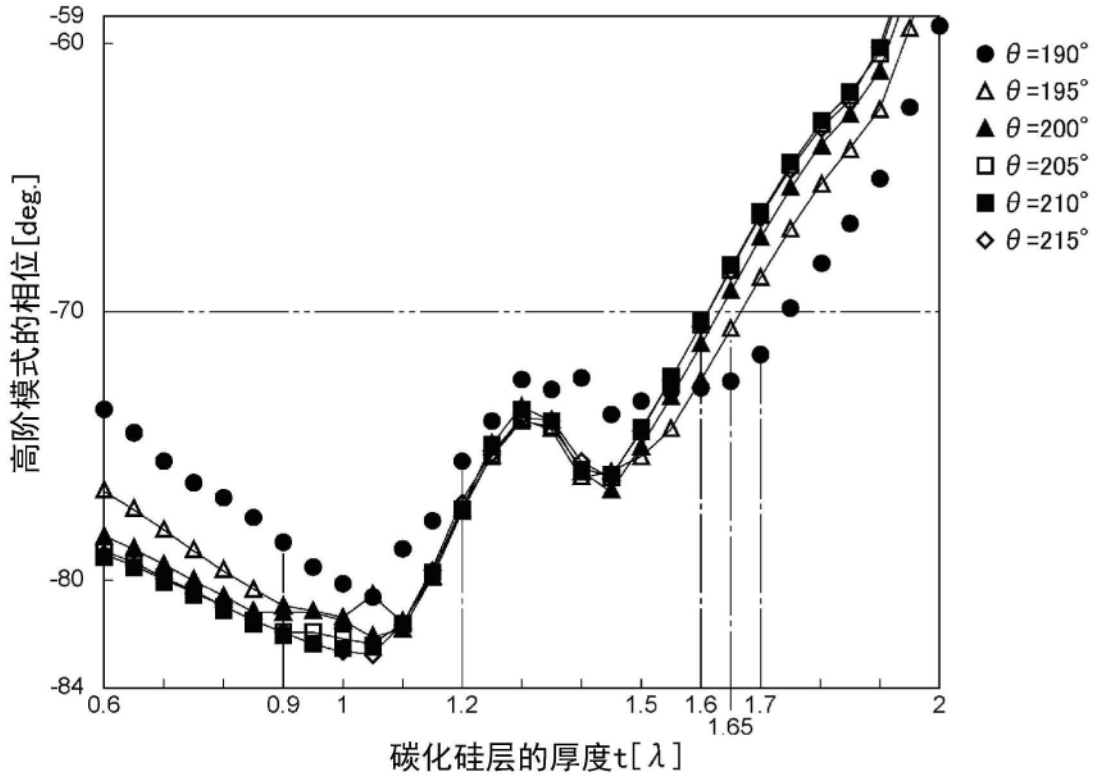


图11

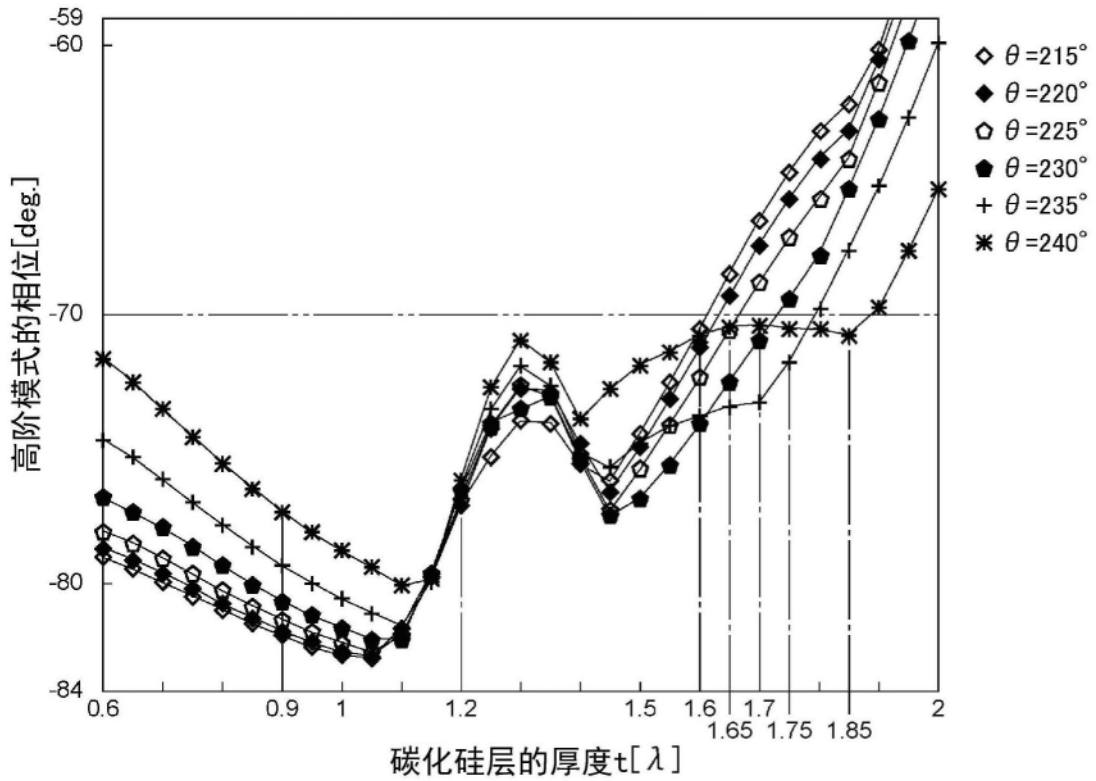


图12

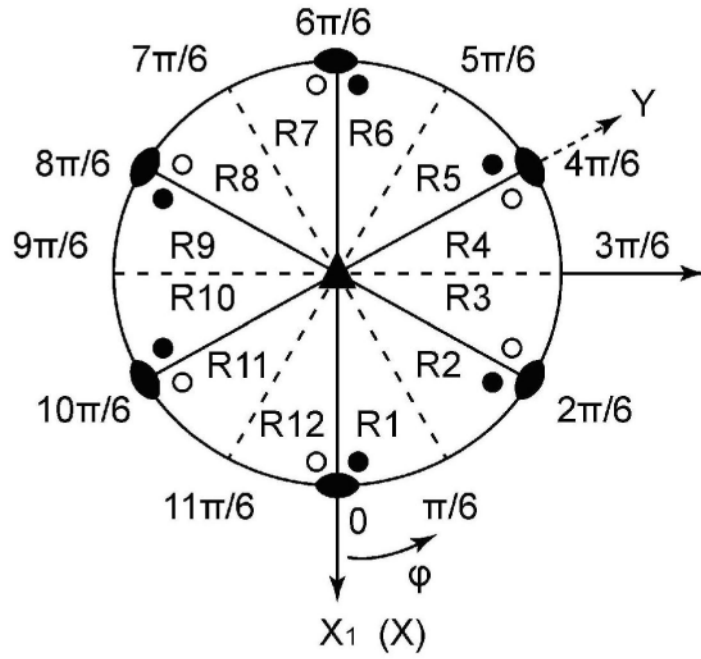


图13

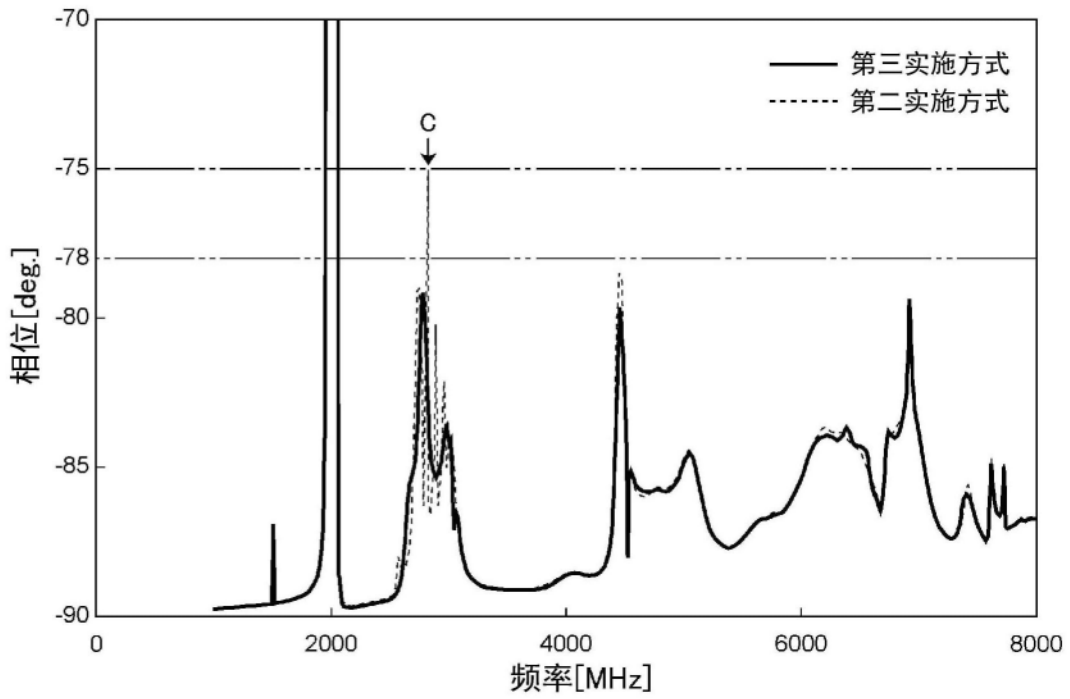


图14