



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105978524 A

(43)申请公布日 2016.09.28

(21)申请号 201610137318.3

(22)申请日 2016.03.11

(30)优先权数据

62/132,046 2015.03.12 US

(71)申请人 天工松下滤波方案日本有限公司

地址 日本大阪府

(72)发明人 小松禎也 清水英仁 藤原城二

鹤成哲也 中村弘幸

(74)专利代理机构 北京市正见永申律师事务所

11497

代理人 黄小临

(51)Int.Cl.

H03H 9/02(2006.01)

H03H 9/145(2006.01)

H03H 9/64(2006.01)

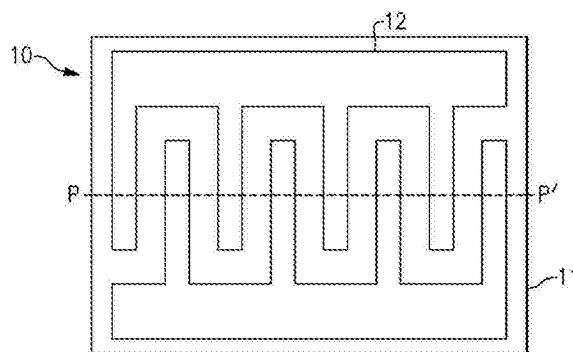
权利要求书2页 说明书10页 附图15页

(54)发明名称

声波元件、天线双工器和电子设备

(57)摘要

一种声波元件、天线双工器和电子设备。一种声波元件,包括:钽酸锂衬底,具有欧拉角( $\Phi$ ,  $\theta$ ,  $\psi$ ),第一分量 $\Phi$ 满足 $10^\circ \leq \Phi \leq 50^\circ$ ;以及电极,设置在所述钽酸锂衬底上并且配置为激发波长 $\lambda$ 的主声波,所述电极的密度 $\rho_M$ 满足 $\rho_M \geq \rho_{Ti}$ ,其中 $\rho_{Ti}$ 表示钛(Ti)的密度,并且所述电极的厚度 $h_M$ 满足 $0.141 \times \exp(-0.075\rho_M)\lambda \leq h_M \leq 0.134\lambda$ 。本申请的实施例最小化了电极的厚度并且抑制了瑞利波杂散信号。



1. 一种声波元件,包括:  
钽酸锂衬底,具有欧拉角 $(\Phi, \theta, \psi)$ ,第一分量 $\Phi$ 满足 $10^\circ \leq \Phi \leq 50^\circ$ ;以及  
电极,设置在所述钽酸锂衬底上并且配置为激发波长 $\lambda$ 的主声波,所述电极的密度 $\rho_M$ 满足 $\rho_M \geq \rho_{Ti}$ ,其中 $\rho_{Ti}$ 表示钛Ti的密度,并且所述电极的厚度 $h_M$ 满足 $0.141 \times \exp(-0.075\rho_M)\lambda \leq h_M \leq 0.134\lambda$ 。
2. 如权利要求1所述的声波元件,其中,第二分量 $\theta$ 满足 $-90^\circ - 0.5 \times (-0.2234\rho_M^2 + 6.9119\rho_M - 8.928)^\circ \leq \theta \leq -90^\circ + 0.5 \times (-0.2234\rho_M^2 + 6.9119\rho_M - 8.928)^\circ$ 。
3. 如权利要求1所述的声波元件,其中,第三分量 $\psi$ 满足 $-16^\circ \leq \psi \leq -2.5^\circ$ 。
4. 如权利要求1所述的声波元件,还包括温度系数与所述钽酸锂衬底的温度系统相反的绝缘层,所述绝缘层覆盖所述钽酸锂衬底和所述电极。
5. 如权利要求4所述的声波元件,其中,所述绝缘层由二氧化硅制成。
6. 如权利要求5所述的声波元件,其中,所述绝缘层的厚度 $h_s$ 满足 $0.08\lambda \leq h_s \leq 0.55\lambda$ 。
7. 如权利要求4所述的声波元件,其中,所述绝缘层包括在沿与所述电极的电极指的延伸方向垂直的方向上取得的横截面中设置在所述电极上方的突起。
8. 如权利要求7所述的声波元件,其中,所述突起的高度 $h_T$ 和所述电极的厚度 $h_M$ 满足 $0 \leq h_T \leq h_M$ 。
9. 如权利要求4所述的声波元件,其中,第三分量 $\psi$ 满足 $(-371.81h_s^2 + 36.92h_s + 3.53)^\circ \leq \psi \leq (-371.81h_s^2 + 36.92h_s + 13.53)^\circ$ 。
10. 如权利要求1-9中的任一项所述的声波元件,其中,所述电极是具有相互交叉的电极指的叉指换能器IDT电极。
11. 如权利要求10所述的声波元件,其中,所述IDT电极包括选自由钛、钼、钨和铂构成的组的一种金属。
12. 如权利要求11所述的声波元件,其中,在所述IDT电极上沉积有铝层。
13. 如权利要求12所述的声波元件,其中,所述IDT电极的厚度 $h_M$ 包括所述IDT电极的厚度和所述铝层的厚度。
14. 如权利要求11所述的声波元件,其中,第二分量 $\theta$ 满足 $-111^\circ \leq \theta \leq -69^\circ$ 。
15. 如权利要求14所述的声波元件,其中,所述IDT电极包括钨。
16. 一种天线双工器,包括:  
接收滤波器,配置为通过第一频率;以及  
发射滤波器,配置为通过第二频率,所述接收滤波器和所述发射滤波器中的至少一个包括如权利要求1所述的声波元件。
17. 一种双信器,包括:  
第一接收滤波器,配置为接收第一频率带;以及  
第二接收滤波器,配置为接收与所述第一频率带不同的第二频率带,所述第一接收滤波器和所述第二接收滤波器中的至少一个包括如权利要求1所述的声波元件。
18. 一种通信设备,包括如权利要求16所述的天线双工器和如权利要求17所述的双信器之一。
19. 如权利要求18所述的通信设备,其中,所述通信设备是移动电话。
20. 一种电子设备,包括:

如权利要求1所述的声波元件；  
半导体元件，连接到所述声波元件；以及  
再现器件，连接到所述半导体元件。

## 声波元件、天线双工器和电子设备

### 技术领域

[0001] 本申请的多个方面和实施例总体上涉及声波元件(acoustic wave element),包括该声波元件的天线双工器(duplexer)或双信器(diplexer),以及包括该声波元件、该天线双工器或该双信器的电子设备。

### 背景技术

[0002] 传统上,其中非漏水平剪切(SH,non-leaky shear horizontal)波沿钽酸锂衬底传播的声波元件已经用作移动通信设备等的滤波器和天线双工器。在这样的声波元件中,通过将SH波的速度配置为小于慢剪切波(SSW)的速度而激发SH波;例如参见US2007/0090898(A1)。

### 发明内容

[0003] 然而,其中非漏SH波沿钽酸锂衬底传播的声波元件需要增大厚度的叉指换能器(IDT,interdigitated transducer)电极。具体而言,该IDT电极的厚度超过允许漏SH波传播的声波元件的IDT电极厚度的两倍。例如,当钼(Mo)用于IDT电极的材料时,IDT电极的厚度 $h_M$ 对SH波的波长 $\lambda$ 的比值 $h_M/\lambda$ 可能为大于9.5%。这样增大厚度的IDT电极将引起光刻和其它工艺中的工艺限制,并且导致制造困难。此外,钽酸锂的旋转Y轴的切割角应被抑制为小于一般的 $42^\circ$ ,以确保特定的机电耦合系数 $k^2$ 。这样较小的切割角将导致由于瑞利波而引起的杂散信号。

[0004] 考虑到前述情况,本申请的实施例提供一种如下的声波元件、以及天线双工器或双信器、和使用该声波元件、该天线双工器或双信器的电子设备,在所述声波元件中,非漏SH波沿钽酸锂衬底传播,但是IDT电极的厚度可被最小化并且瑞利波杂散信号可被抑制。

[0005] 根据本申请的一实施例,所述声波元件包括:具有欧拉角 $(\varphi, \theta, \psi)$ 的钽酸锂衬底,第一分量 $\varphi$ 满足 $10^\circ \leq \varphi \leq 50^\circ$ ;以及设置在所述钽酸锂衬底上并且配置为激发具有波长 $\lambda$ 的主声波的电极,所述电极的密度 $\rho_M$ 满足 $\rho_M \geq \rho_{Ti}$ ,其中 $\rho_{Ti}$ 表示钛的密度,并且所述电极的厚度 $h_M$ 满足 $0.141 \times \exp(-0.075\rho_M)\lambda \leq h_M \leq 0.134\lambda$ 。

[0006] 在一个实施例中,角度 $\theta$ 可满足 $-90^\circ - 0.5 \times (-0.2234\rho_M^2 + 6.9119\rho_M - 8.928)^\circ \leq \theta \leq -90^\circ + 0.5 \times (-0.2234\rho_M^2 + 6.9119\rho_M - 8.928)^\circ$ 。角度 $\psi$ 可满足 $-16^\circ \leq \psi \leq -2.5^\circ$ 。

[0007] 根据本申请的实施例,所述钽酸锂衬底和所述电极其上可覆盖有温度系数与所述钽酸锂衬底的温度系数相反的绝缘层。所述绝缘层可由二氧化硅构成。所述绝缘层的厚度 $h_S$ 可满足 $0.08\lambda \leq h_S \leq 0.55\lambda$ 。

[0008] 根据一些实施例,所述绝缘层其上在沿与所述电极的电极指的延伸方向垂直的方向上取得的横截面中,可具有突起。所述绝缘层中的突起的高度 $h_T$ 还可满足 $0 \leq h_T \leq h_M$ ,其中 $h_M$ 是所述电极的厚度。根据一些实施例,角度 $\psi$ 可满足 $(-371.81h_S^2 + 36.92h_S + 3.53)^\circ \leq \psi \leq (-371.81h_S^2 + 36.92h_S + 13.53)^\circ$ 。

[0009] 根据本申请的实施例的一种天线双工器包括接收滤波器和发射滤波器,其至少一

个包括所述声波元件。第一频率和第二频率可分别通过所述接收滤波器和所述发射滤波器。根据本申请的实施例的一种双信器包括第一接收滤波器和第二接收滤波器,其至少一个包括所述声波元件。所述第一接收滤波器可配置为接收第一频率带,而所述第二接收滤波器可配置为接收与所述第一频率带不同的第二频率带。根据本申请的实施例的一种电子设备包括所述声波元件、连接到所述声波元件的半导体元件、以及连接到所述半导体元件的再现器件。

[0010] 根据本申请的实施例,可以最小化IDT电极的厚度并且还可以抑制瑞利波杂散信号。此外,可以改善频率特性和使所述设备小型化。

[0011] 将在下面详细论述其它方面、实施例以及这些示例性方面和实施例的优点。这里公开的实施例可以以与这里公开的原理中的至少一种原理相符合的任何方式与其它实施例组合,并且对于“一实施例”、“一些实施例”、“一替代实施例”、“各种实施例”、“一个实施例”等的引用不一定互斥,而是旨在表明所描述的特定特征、结构或特性可被包括在至少一个实施例中。这里,这种术语的出现不一定全部都涉及同一实施例。

## 附图说明

[0012] 下面参照附图论述至少一实施例的各方面,附图无意是按比例绘制的。包括附图以提供对各方面和实施例的图示和进一步理解,且其并入在说明书中并构成说明书的一部分,但是无意作为对本发明的界限的限定。在附图中,各个附图所示的每个相同或几乎相同的部件由相似的数字来表示。为了清楚,可能不是在每幅图中都标注了每个部件。

[0013] 图1A和1B示出根据本申请一实施例的声波元件的示意结构。

[0014] 图2是示出IDT电极的规范化(normalized)厚度的下限与密度之间的关系的曲线图。

[0015] 图3A是示出慢剪切波(SSW)和水平剪切(SH)波的相速度和角度 $\Phi$ 之间的关系的曲线图,而图3B和3C是示出根据图1A和1B的实施例的声波元件的频率特性的曲线图。

[0016] 图4示出规范化机电耦合系数 $k^2$ 和角度 $\theta$ 之间的关系。

[0017] 图5是示出IDT电极的角度差 $\theta_{\text{high}}-\theta_{\text{low}}$ 和密度之间的关系的曲线图。

[0018] 图6A和6B是分别示出当谐振和反谐振能流角(power flow angle)为零时角度 $\psi$ 对角度 $\theta$ 的依赖关系的曲线图。

[0019] 图7A是示意性示出天线双工器配置的框图,所述天线双工器包括诸如关于图1A和1B描述的之类的声波元件;而图7B是示意性示出双信器配置的框图,所述双信器包括诸如关于图1A和1B描述的之类的声波元件。

[0020] 图8是示意性示出电子设备的配置的框图,所述电子设备包括诸如关于图1A和1B描述的之类的声波元件。

[0021] 图9A和9B示出根据本申请另一实施例的声波元件的示意结构。

[0022] 图10A是示出根据图9A和9B的实施例的声波元件与现有技术的声波元件之间的、二氧化硅膜的规范化厚度和频率热系数之间的关系的比较结果的曲线图,而图10B和10C示出根据图9A和9B的实施例的两种变型的声波元件的示意结构。

[0023] 图11是示出根据图9A和9B的实施例的声波元件的频率特性的曲线图。

[0024] 图12是示出瑞利波杂散信号(spurious Rayleigh wave signal)的频率和二氧化

硅膜的厚度之间的关系的关系的曲线图。

[0025] 图13A是示出角度 $\psi$ 和瑞利波杂散信号的强度之间的关系的关系的曲线图,而图13B是示出根据图9A和9B的实施例的声波元件的频率特性的曲线图。

[0026] 图14是示出二氧化硅膜的厚度与瑞利波杂散信号被抑制的角度 $\psi$ 的特定范围的中间值之间的关系的关系的曲线图。

[0027] 图15A是包括根据本申请的各方面的声波元件实施例的模块的一个示例的框图,图15B是包括根据本申请的各方面的双工器实施例的模块的一个示例的框图,而图15C是包括根据本申请的各方面的双信器实施例的模块的一个示例的框图。

[0028] 图16是包括根据本申请的各方面的声波元件实施例的电子设备的示例的框图。

[0029] 图17是包括根据本申请的各方面的图7A的天线双工器实施例的电子设备的另一示例的框图。

### 具体实施方式

[0030] 下面参照附图描述声波元件的各方面和实施例。将理解,这里论述的方法和装置的实施例在应用中不限于在下面的说明中阐述的或在附图中示出的构造和部件设置的细节。所述方法和装置能实施在其它实施例中并且能以各种方式实践或实施。这里提供特定实施方式的示例以仅用于示范,而无意成为限制。同样,这里使用的措辞和术语是用于说明,而不应视为限制。这里使用的“包括”、“包含”、“具有”、“含有”、“涉及”及其变型意味着涵盖其后所列项及其等价物以及附加项。对“或”的引用可理解为包括性的,从而使用“或”描述的任何术语可指示所述术语的单个、超过一个和全部中的任何一种。对前和后、左和右、顶和底、上和下、以及竖直和水平的任何引用旨在为了说明的便利,而非要将本系统和方法或其组元限制到任何一种位置或空间取向上。

[0031] 图1A和1B大致示出根据本申请一实施例的声波元件10的示意结构。图1A示出声波元件10的俯视图,而图1B示出沿图1A中的线PP'取得的声波元件10的横截面视图。

[0032] 声波元件10包括衬底11,其通过沿由欧拉角(Euler angle)( $\psi, \theta, \phi$ )限定的平面切割钽酸锂(LiTaO<sub>3</sub>)的单晶而制成。非漏SH波可作为主声波在衬底11的切割表面上传播。衬底11的表面其上提供有叉指换能器(IDT)电极12。每个IDT电极12包括电极指,其由特定金属材料制成并且在特定方向上延伸以用于激发具有波长 $\lambda$ 的水平剪切(SH)波。

[0033] 图1A和1B所示的实施例使用金属材料用于IDT电极12,所述金属材料的金属密度 $\rho_M$ 大于钛的密度 $\rho_{Ti}$ 。因此, IDT电极12的金属密度 $\rho_M$ 可相对于钛的密度 $\rho_{Ti}$ 由下面的公式(1)定义:

$$[0034] \quad \rho_M \geq \rho_{Ti} \quad (1)。$$

[0035] IDT电极12由密度与钛密度 $\rho_{Ti}$ 相等或比其更大的金属制成使得能够减小其厚度 $h_M$ 。因此, IDT电极12可通过光刻(lithography)和其它工艺形成。

[0036] 根据图1A和1B所示的实施例, IDT电极12的厚度 $h_M$ 可相对于IDT电极12激发的SH波的波长 $\lambda$ 由下面的公式(2)定义:

$$[0037] \quad 0.141 \times \exp(-0.075\rho_M)\lambda \leq h_M \leq 0.134\lambda \quad (2)。$$

[0038] 如果IDT电极12的厚度 $h_M$ 用SH波的波长 $\lambda$ 规范化,则如下面的公式(3)那样引入规

范化厚度 $h$ :

$$[0039] \quad h = h_M / \lambda \quad (3).$$

[0040] 利用规范化厚度 $h$ , 前述公式(2)将表示为下面的公式(4):

$$[0041] \quad 0.141 \times \exp(-0.075\rho_M) \leq h \leq 0.134 \quad (4).$$

[0042] 公式(4)是如下得到的。

[0043] 图1A和1B所示的实施例可设置公式(4)定义的规范化厚度 $h$ 的上限, 即,  $h \leq 0.134$ 。该上限设置可确保形成IDT电极12的工艺。因此, 在形成工艺中将防止诸如不充分蚀刻(etching)之类的工艺缺陷。

[0044] 图2是示出针对相应的金属材料, 激发SH波所需的IDT电极12的规范化厚度 $h$ 的下限与构成IDT电极12的金属的密度 $\rho_M$ 之间的关系的曲线图。这里, 因为慢剪切波(SSW)传播得最快, 所以当要激发的水平剪切(SH)波的速度上限最大化时, IDT电极12的厚度将最小。为了实现前述最小厚度, 可获得SH波的激发条件, 其中欧拉角的第二分量的角度 $\theta$ 为 $-90^\circ$ , 而第三分量的角度 $\Phi$ 为 $30^\circ$ 。

[0045] 在图2中, 当在所述激发条件下将金属材料钛(Ti)、钼(Mo)、钨(W)和铂(Pt)用于IDT电极12时, 分别针对钛(Ti)、钼(Mo)、钨(W)和铂(Pt)绘示了规范化厚度 $h$ 的值。可以从相应材料的值获得IDT电极12的金属密度 $\rho_M$ 与IDT电极12要激发SH波所需的规范化厚度 $h$ 的下限之间的关系, 如下面的公式(5)所示:

$$[0046] \quad y = 14.102 \times \exp(-0.075x) \quad (5), \text{其中变量} x \text{和} y \text{分别对应于图2所示的水平轴和垂直轴。}$$

[0047] 关于图1A和1B描述的实施例根据公式(4)设置了IDT电极12的规范化厚度 $h$ 的下限, 即 $0.141 \times \exp(-0.075\rho_M) \leq h$ , 从而可以确保规范化厚度 $h$ 作为公式(5)定义的下限或者更大。将理解, 公式(5)中指示的系数以百分数表示, 相应地是公式(4)的系数的100倍。因此, 不论IDT电极12的金属密度 $\rho_M$ 为多少, 当根据公式(4)、规范化厚度 $h$ 是下限或更大时, 都可以激发SH波。例如, 在由钼(Mo)制成的IDT电极12中, 规范化厚度 $h$ 的下限将是1.5%。将理解, 可以在IDT电极12上进一步沉积铝(Al)层, 只要包括Al层的IDT电极12的总厚度满足前述公式(4)即可。

[0048] 用于定义根据上面关于图1A和1B描述的实施例的切割角度的欧拉角 $(\varphi, \theta, \psi)$ 的第一分量的角度 $\Phi$ 由下面的公式(6)定义:

$$[0049] \quad 10^\circ \leq \varphi \leq 50^\circ \quad (6).$$

[0050] 公式(6)是如下获得的。

[0051] 图3A是示出SSW和SH波的相速度和角度 $\Phi$ 之间的关系的曲线图, 其中IDT电极12的厚度在钛(Ti)用作其材料时设置为上限。在图3A中, 标注“a”的曲线表示SSW的相速度, 而标注“b”的曲线表示SH波的相速度。将理解, 下面将相速度仅称为速度。

[0052] 当速度小于慢剪切波(SSW)的速度时, 激发非漏SH波。当在角度 $\Phi$ 满足公式(6)的范围中SH波的速度是SSW的速度或更小时, 激发非漏SH波。换言之, 根据激发非漏SH波的条件获得公式(6)。

[0053] 图3B示出当角度 $\varphi=10^\circ$ 时的频率特性, 而图3C示出当角度 $\varphi=30^\circ$ 时的频率特性。图3B和3C中的垂直轴表示正向导纳(admittance) $Y_{21}$ 。当 $\varphi=10^\circ$ 时, 归因于SH波泄漏到体波

(bulk wave)中,可将反谐振特性视为劣化。此外,在谐振频率附近可以看到瑞利波杂散信号。

[0054] 另一方面,当 $\varphi=30^\circ$ 时,归因于主模SH波的激发,对于SH波可以看到锐利的谐振和反谐振特性。 $\varphi=10^\circ$ 时的瑞利波杂散信号被抑制并且偏移 to 通带外的低频侧。

[0055] 根据上述图1A和1B的实施例的欧拉角( $\varphi, \theta, \psi$ )的第二分量的角度 $\theta$ 由下面的公式(7)定义:

[0056]  $-90^\circ - 0.5 \times (-0.2234\rho_M^2 + 6.9119\rho_M - 8.928)^\circ \leq \theta \leq -90^\circ + 0.5 \times (-0.2234\rho_M^2 + 6.9119\rho_M - 8.928)^\circ$  (7),其中 $\rho_M$ 是用于IDT电极12的材料的金属的密度。

[0057] 公式(7)是如下获得的。

[0058] 例如,当IDT电极12的材料是钨(W)时,欧拉角第二分量的角度 $\theta$ 定义为下面的公式(8):

[0059]  $-111^\circ \leq \theta \leq -69^\circ$  (8)。

[0060] 图4示出规范化机电耦合系数 $k^2$ 和角度 $\theta$ 之间的关系。所述规范化机电耦合系数 $k^2$ 是利用如下的常规钽酸锂衬底的机电耦合系数通过规范化得到的,所述常规钽酸锂衬底在 $42^\circ$ 旋转Y轴上被切割并且使用铝(Al)用于IDT电极。

[0061] 在图4中,标注“a”、“b”、“c”和“d”的曲线遵循分别与钛(Ti)、钼(Mo)、钨(W)和铂(Pt)对应的多项式。在图4中,每条曲线的其上机电耦合系数为1或更大的部分,即,从下限 $\theta_{low}$ 到上限 $\theta_{high}$ 的部分,是用于获得可与常规钽酸锂衬底实现的机电耦合系数相等或比之更大的机电耦合系数的区域。该区域由下面的公式(9)定义:

[0062]  $\theta_{low} \leq \theta \leq \theta_{high}$  (9)。

[0063] 图5是示出IDT电极12的角度差 $\theta_{high} - \theta_{low}$ 与金属密度 $\rho_M$ 之间的关系的曲线图。具体而言,在图5中针对钛(Ti)、钼(Mo)、钨(W)和铂(Pt),相对于对应的IDT电极12的金属密度 $\rho_M$ 绘示了角度差 $\theta_{high} - \theta_{low}$ 。

[0064] 角度差 $\theta_{high} - \theta_{low}$ 与IDT电极12的金属密度 $\rho_M$ 之间的关系可沿根据下面的公式(10)的大致拟合到相应材料的值的曲线而存在:

[0065]  $y = -0.2234x^2 + 6.9119x - 8.928$  (10),其中变量 $x$ 和 $y$ 分别对应于图5所示的水平轴和垂直轴。

[0066] 考虑到角度差 $\theta_{high} - \theta_{low}$ 的范围相对于角度 $\theta = -90^\circ$ 对称,从公式(10)与公式(9)的组合得到前述公式(7)。当角度 $\theta$ 由公式(7)定义时,确保了机电耦合系数等于或大于在 $42^\circ$ 旋转Y轴上切割并且使用铝(Al)用于IDT电极的常规钽酸锂衬底的机电耦合系数。

[0067] 根据上述图1A和1B的实施例的欧拉角( $\varphi, \theta, \psi$ )的第三分量的角度 $\psi$ 由下面的公式(11)定义:

[0068]  $-16^\circ \leq \psi \leq -2.5^\circ$  (11)。

[0069] 公式(11)是如下获得的。

[0070] 图6A和6B是分别示出针对由钨(W)制成的IDT电极12,当谐振和反谐振能流角为零时角度 $\psi$ 对角度 $\theta$ 的依赖关系的曲线图。

[0071] 图6A示出谐振能流角为零时的角度 $\psi$ 。角度 $\varphi$ 在根据前述公式(6)的范围内,从而角度 $\varphi$ 的范围可以相对于角度 $\varphi=30^\circ$ 对称,如图3A的标注“a”和“b”的曲线所清楚示出的那

样。因此,图6A示出沿分别与角度 $\varphi=10^\circ$ 、 $20^\circ$ 和 $30^\circ$ 对应的曲线a、b和c,谐振能流角为零时的角度 $\psi$ 。

[0072] 图6B示出反谐振能流角为零时的角度 $\psi$ 。类似于图6A,图6B也示出沿分别与角度 $\varphi=10^\circ$ 、 $20^\circ$ 和 $30^\circ$ 对应的曲线a、b和c,反谐振能流角为零时的角度 $\psi$ 。当IDT电极12由钨(W)制成时,根据前述公式(8)定义角度 $\theta$ 的范围。在角度 $\theta$ 的范围内,如图6A和6B所示,谐振或反谐振能流角可以为零的角度 $\psi$ 的范围包括图6A中 $\theta=111^\circ$ 时的下限角度 $\psi=-16^\circ$ 和图6B中 $\theta=-90^\circ$ 时的上限角度 $\psi=-2.5^\circ$ 。因此,获得了公式(11)。

[0073] 因此,当IDT电极12由钨(W)制成时,通过公式(11)定义角度 $\psi$ 使得谐振能流角和反谐振能流角中的至少一个能够为零。这可减小声波元件10的源自能流角的能量损失。这里,能流角为零的角度 $\psi$ 的范围下限由在图6A所示的角度 $\theta$ 的下限处的角度 $\psi$ 的值来表示。因此,考虑到如前述公式(7)所示地角度 $\theta$ 取决于金属密度 $\rho_M$ ,如公式(11)所示的角度 $\psi$ 的范围下限将取决于IDT电极12的密度。

[0074] 图7A示出包括诸如上面关于图1A和1B描述的之类的声波元件的天线双工器配置。天线双工器60可配置为包括接收滤波器61和发射滤波器62,其每个可包括如上所述的声波元件10,从而第一频率和第二频率可分别通过所述接收滤波器和所述发射滤波器。如图7A所示,双工器60可包括公共端子67、第一端子65和第二端子63,公共端子67可用作可耦接到天线68的天线端子,第一端子65可用作可耦接到发射电路系统(circuitry)66的发射端子,第二端子63可用作可耦接到接收电路系统64的接收端子。发射电路系统66和接收电路系统可设置在同一模块中,或者设置在作为天线双工器60的同一封装中,或者它们可设置在天线双工器60外部的模块或封装中。

[0075] 根据另一实施例,声波元件10可并入到诸如用于分离具有两个频率带的接收信号的双信器之类的滤波器器件中。合并声波元件10的示例的双信器70的示例示意性示于图7B中。在该示例中,双信器70可包括公共端子77,其可连接到天线78以接收具有不同频率的信号。双信器70包括第一接收滤波器71a和第二接收滤波器71b,其每个连接到公共端子77。根据本申请的一方面,上述声波元件10可用在第一接收滤波器71a和/或第二接收滤波器71b中。双信器70还包括可用作第一接收端子的第一端子73a和可用作第二接收端子的第二端子73b。第一端子73a可耦接到配置为接收第一频率带的第一接收电路系统74a,而第二端子73b可耦接到配置为接收第二频率带的第二接收电路系统74b,第二频率带不同于第一频率带。

[0076] 图8示出包括诸如上面关于图1A和1B描述的之类的声波元件的电子设备的配置。如所示的,电子设备100包括上面关于图1A和1B描述的声波元件10、连接到声波元件10的半导体元件80、以及连接到半导体元件80的再现(reproduction)器件90。

[0077] 如上所述,根据上面关于图1A和1B描述的实施例,可以激发非漏SH波并且同时最小化IDT电极12的厚度 $h_M$ ,厚度 $h_M$ 的范围由前述公式(2)定义。因此,可以确保利用常规的光刻和其它半导体工艺技术来形成IDT电极12。此外,因为角度 $\Phi$ 由前述公式(6)定义,所以可以抑制瑞利波杂散信号并且将其偏移通带之外。因此,可以在声波元件10、天线双工器60的接收滤波器61和/或发射滤波器62、双信器70的第一接收滤波器71a或第二接收滤波器71b、或者电子设备100中实现改善的滤波功能。

[0078] 根据本申请的又一方面,现在描述根据另一实施例的声波元件、天线双工器、双信

器和电子设备。

[0079] 图9A和9B大致示出根据本申请另一实施例的声波元件20的示意结构。具体而言，图9A示出声波元件20的俯视图，而图9B示出沿图9A中的线PP'取得的声波元件20的横截面视图。

[0080] 与上面关于图1A和1B描述的声波元件10类似地配置声波元件20，其中通过沿由欧拉角( $\varphi, \theta, \psi$ )定义的平面切割单晶钽酸锂的单晶来制造衬底21，并且其每个可激发具有波长 $\lambda$ 的声波的IDT电极22设置在衬底21的表面上。然而，与上述声波元件10相对比，实施例2的声波元件20还包括具有厚度 $h_s$ 的二氧化硅( $\text{SiO}_2$ )膜25，二氧化硅( $\text{SiO}_2$ )膜25形成在其上形成IDT电极22的衬底21的表面上。将理解，因为二氧化硅膜25可以是透明的，所以在图9A的俯视图中未示出二氧化硅膜25，而其示出于图9B的横截面视图中。

[0081] 从衬底21的表面起，二氧化硅膜25具有通常比IDT电极22的厚度 $h_M$ 更大的厚度 $h_s$ 。此外，二氧化硅膜25包括形成在其表面26上的突起(protrusion)27。突起27具有高度 $h_T$ 并且设置在具有厚度 $h_s$ 的IDT电极22的电极指的紧上方。突起27突出在IDT电极22的电极指上方。如图9B所示，突起27在横截面中出现在与IDT电极22的电极指延伸的方向垂直的方向上。

[0082] 根据本申请的一方面，二氧化硅膜25的厚度 $h_s$ 利用IDT电极22的波长 $\lambda$ 由下面的公式(12)来定义：

$$[0083] \quad 0.08\lambda \leq h_s \leq 0.55\lambda \quad (12)。$$

[0084] 公式(12)是如下得到的。

[0085] 图10A是示出根据图9A和9B所示实施例的声波元件与现有技术的声波元件之间的、规范化厚度 $h_s/\lambda$ 与频率温度系数(TCF)之间的关系比较结果的曲线图，规范化厚度 $h_s/\lambda$ 是用波长 $\lambda$ 规范化二氧化硅膜25的厚度 $h_s$ 而得到的。在图10A中，标注“a”的曲线示出如图10B所示地突起27的厚度 $h_T$ 配置为零时的TCF。标注“b”的曲线示出如图10C所示地突起27的厚度 $h_T$ 配置为IDT电极22的厚度 $h_M$ 时的TCF。标注“c”的线条示出当IDT电极22由铝(Al)制成时TCF的常规典型值，即 $-33\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 。

[0086] 如图10A清楚所示的，TCF在从8%的 $h_s/\lambda$ 处的 $-33\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 到55%的 $h_s/\lambda$ 处的 $0\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 的范围，从而二氧化硅膜25的厚度 $h_s$ 可以由公式(12)定义。因此，根据公式(12)，可以实现比现有技术的频率温度特性更好的频率温度特性。

[0087] 根据该实施例，二氧化硅膜25的突起27的高度 $h_T$ 利用IDT电极22的厚度 $h_M$ 由下面的公式(13)定义：

$$[0088] \quad 0 \leq h_T \leq h_M \quad (13)。$$

[0089] 当二氧化硅膜25的表面26配置为平坦时，突起27的厚度 $h_T$ 最小化为零。此外，突起27的高度 $h_T$ 最大化为IDT电极22的厚度 $h_M$ 。因此，二氧化硅膜25的突起27的高度 $h_T$ 被限制到公式(13)限定的范围。

[0090] 根据关于图9A和9B描述的实施例，欧拉角的第三分量的角度 $\psi$ 由下面的公式(14)定义：

$$[0091] \quad (-371.81h_s^2 + 36.92h_s + 3.53)^\circ \leq \psi \leq (-371.81h_s^2 + 36.92h_s + 13.53)^\circ \quad (14)。$$

[0092] 公式(14)是如下获得的。

[0093] 图11是示出根据关于图9A和9B描述的实施例的声波元件20的频率特性的曲线图。

图12是示出瑞利波杂散信号的频率和二氧化硅膜25的厚度之间的关系关系的曲线图。如图12所示,随着二氧化硅膜25的厚度 $h_s$ 变得更大,瑞利波杂散信号的规范化频率变得更大。因此,从图11和12可以看出,图11中由字母“a”指示的瑞利波杂散信号随着二氧化硅膜25的厚度 $h_s$ 变得更大而逼近主模SH波的谐振频率和反谐振频率。

[0094] 图13A是示出角度 $\psi$ 与瑞利波杂散信号的强度之间的关系关系的曲线图,而图13B是示出根据图9A和9B的实施例的声波元件20的频率特性的曲线图。如图13A所示,在由字母“a”指示的角度 $\psi$ 的特定范围内,规范化杂散信号强度 $(I/I_{\min})^{-1}$ 可被抑制为零或接近于零。在图13A所示的特定范围内,在图13B的频率特性所示的谐振和反谐振频率附近没有瑞利波杂散信号,在图13B中垂直轴指示基于谐振频率的导纳特性。

[0095] 图14是示出二氧化硅膜25的厚度 $h_s$ 与瑞利波杂散信号被抑制的角度 $\psi$ 的特定范围的中间值之间的关系关系的曲线图。该特定范围对应于图13A中由字母“a”指示的特定范围,其中规范化杂散信号的强度可被抑制为零或接近于零。落在该特定范围内的二氧化硅膜25的厚度 $h_s$ 的一些中间值绘示在图14中。可以从所述值获得下面的公式(15)以表示二氧化硅膜25的厚度 $h_s$ 与该特定范围内的中间值之间的关系:

[0096]  $\psi = -371.81x^2 + 36.92x + 3.5256$  (15), 其中变量 $x$ 和 $y$ 分别对应于如图14所示的水平轴和垂直轴。

[0097] 设置到公式(15)定义的特定范围内的中间值的特定宽度可以定义用于角度 $\psi$ 的特定角度范围。例如,如果该特定宽度设置为 $\pm 5^\circ$ ,那么可以如前述公式(14)定义的那样获得用于角度 $\psi$ 的角度范围。应理解,该宽度不限于 $\pm 5^\circ$ ,而是可以基于诸如图13A中由字母“a”指示的范围之类的特定范围来适当地确定。因此,根据公式(14),可以实现对谐振和反谐振频率附近的瑞利波杂散信号的抑制,从而频率特性得到改善。

[0098] 应理解,可以以与上面关于图1A和1B的声波元件10论述的方式相同的方式,使用上面关于图9A和9B的实施例论述的声波元件20来配置天线双工器、双信器和/或电子设备。该天线双工器、双信器和电子设备类似于上面关于图7A、7B和8论述的那些,除了使用声波元件20代替声波元件10之外。此外,虽然如图9A和9B所示地二氧化硅膜25形成在衬底21和IDT电极22上,但是可行的是使用另一适当的材料代替二氧化硅来形成绝缘层。用于这样的绝缘层的合适的材料可选自频率温度系数与钽酸锂衬底的频率温度系数相反的那些材料。

[0099] 应理解,本申请的实施例可应用到移动通信设备等。例如,声波元件10或20、包括声波元件10、20的双工器60或双信器70的实施例可以被例如并入到和封装为最终可用在诸如无线通信设备之类的电子设备100中的模块。图15A是示出包括声波元件10、20的模块200的一个示例的框图。模块200还包括提供信号互连的连通性(connectivity)202、用于封装电路系统的诸如例如封装衬底之类的封装204、以及诸如例如放大器、前置滤波器、调制器、解调器、下变频器等之类的其它电路系统晶片(die)206,如半导体制造领域中的技术人员在这里的公开的启示下将知晓的那样。图15B和15C是示出分别包括双工器60或双信器70的实施例的模块210、220的其它示例的框图,双工器60或双信器70中任一个可包含声波元件10、20的实施例,如上面关于图7A和7B论述的那样。

[0100] 根据这里公开的示例和实施例的声波元件10、20、双工器60、双信器70或任何模块200、210、220可用在诸如通信或无线设备(例如,蜂窝电话、平板电脑(tablet)等)之类的各种电子设备中。

[0101] 图16是示出可包括具有一个或多个这里论述的特征的声波元件10、20的电子设备300的示例的框图。例如,示例电子设备300可包括与上面关于图1A-14中的任何附图论述的任何原理和优点相一致的声波元件10、20、双工器60或双信器70。示例电子设备300可以是诸如智能电话之类的移动电话。电子设备300可包括图16未示出的元件和/或所示元件的子组合。图16所绘示的电子设备300可表示多频和/或多模设备,诸如多频/多模移动电话。以示例的方式,电子设备300可以是根据长期演进(LTE)通信的无线设备。在该示例中,电子设备300可配置为以由LTE标准定义的一个或多个频率带进行操作。电子设备300可以替代地或附加地配置为根据一个或多个其它通信标准来通信,所述其它通信标准包括但不限于Wi-Fi标准、蓝牙标准、3G标准、4G标准或高级LTE标准中的一个或多个。

[0102] 在某些实施例中,电子设备300可包括滤波模块310,滤波模块310包括声波元件10、20的一个或多个实施例并且通过端子65和63分别连接到电路320和330。电子设备还可包括通过公共端子67连接到滤波模块310的天线340。滤波模块310可包括上面参照图15A-C论述的模块200、210或220中的任何模块。电路320和330可以是接收或发射电路,其可以生成用于通过天线340发射的RF信号或者接收来自天线340的传入信号。

[0103] 参照图17,在一个特定示例中,图16的滤波模块310包括天线双工器模块210。在该示例中,电子设备300可包括天线双工器60、通过输入端子65连接到天线双工器的发射电路系统66、通过输出端子63连接到天线双工器的接收电路系统64、以及通过天线端子67连接到天线双工器的天线340。发射电路系统66和接收电路系统64可以是收发机的一部分,收发机可生成用于通过天线340发射的RF信号并且可接收来自天线340的传入RF信号。

[0104] 如图16和17所示,通信设备300还可包括控制器350、至少一个计算机可读介质360、至少一个处理器370、以及电池380。

[0105] 将理解,与RF信号的发射和接收相关联的各种功能可以由在图17中表示为发射电路系统66和接收电路系统64的一个或多个部件来实现。例如,单个部件可配置为提供发射和接收功能两者。在另一示例中,发射和接收功能可由单独的部件提供。类似地将理解,与RF信号的发射和接收相关联的各种天线功能可以由在图16和17中集体表示为天线340的一个或多个部件来实现。例如,单个天线可配置为提供发射和接收功能两者。在另一示例中,发射和接收功能可由单独的天线来提供。在其中通信设备是多频带设备的又另一示例中,与通信设备300相关联的不同频带可以被提供有不同的天线。

[0106] 为了便于接收和发射路径之间的切换,天线双工器60可配置为将天线340电连接到选定的发射或接收路径。因此,天线双工器60可提供与通信设备300的操作相关联的多种切换功能。另外,如上所述,天线双工器60包括发射滤波器62和接收滤波器61(见图7A),其配置为提供对RF信号的滤波。

[0107] 如图16和17所示,在某些实施例中,可提供控制器350以用于控制与滤波模块310(例如,天线双工器模块210)和/或其它操作部件的操作相关联的各种功能。在某些实施例中,至少一个处理器370可配置为便于实施用于通信设备300的操作的各种处理。由至少一个处理器370执行的处理可由计算机程序指令来实施。这些计算机程序指令可被提供给至少一个处理器370,其可以是通用计算机、专用计算机、或用于制造机器的另一可编程数据处理装置,从而通过计算机或其它可编程数据处理装置的至少一个处理器运行的指令创建用于操作通信设备300的机制。在某些实施例中,这些计算机程序指令也可储存在计算机可

读介质360中。电池380可以是任何合适的用在通信设备300中的电池,例如包括锂离子电池。

[0108] 上面已经描述了至少一个实施例的若干方面,将领会,各种替代、修改和改进对本领域技术人员而言将是容易发生的。这样的替代、修改和改进旨在作为本申请的一部分并且旨在落在本发明的范围内。因此,前面的说明和附图仅是示例性的,并且本发明的范围应根据对所附权利要求及其等价物的适当理解来确定。

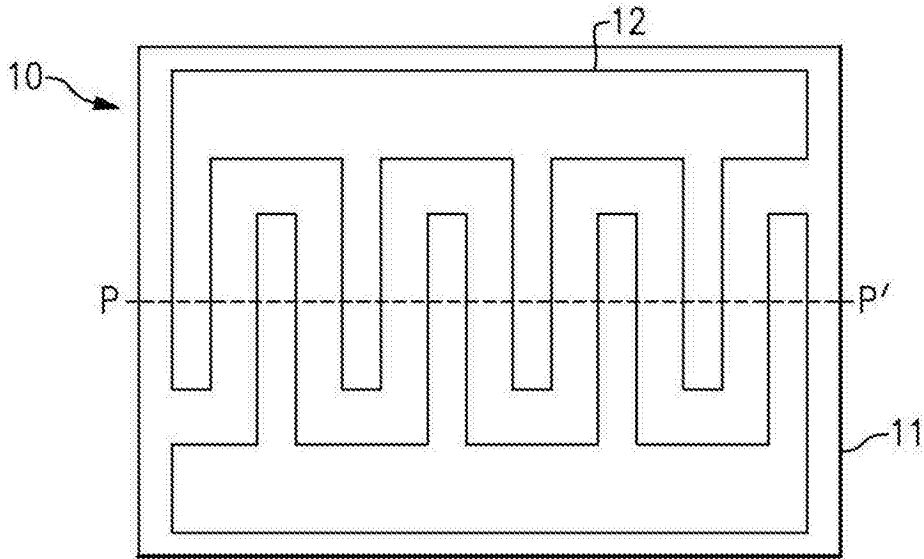


图1A

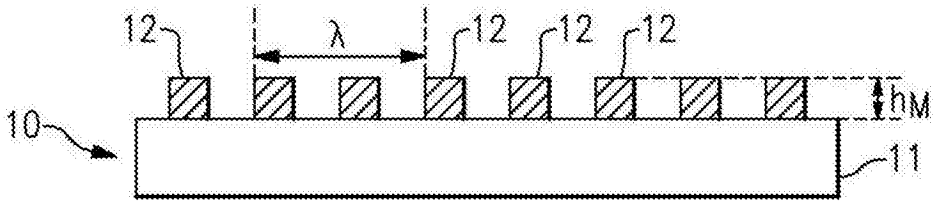


图1B

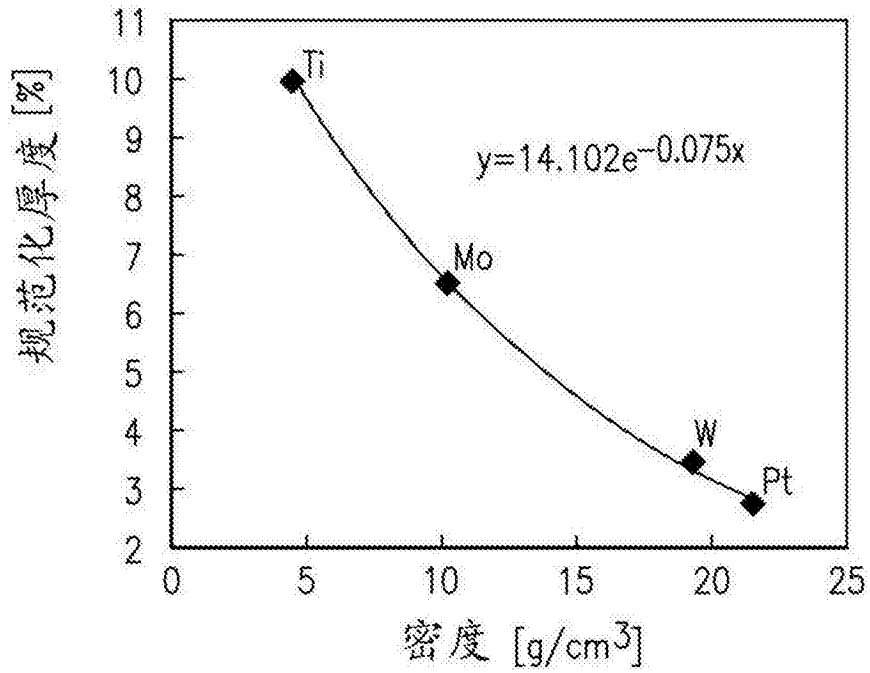


图2

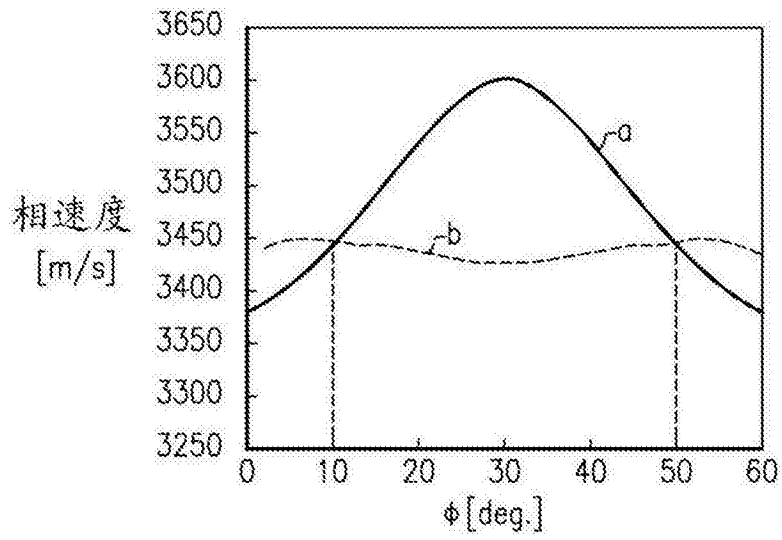


图3A

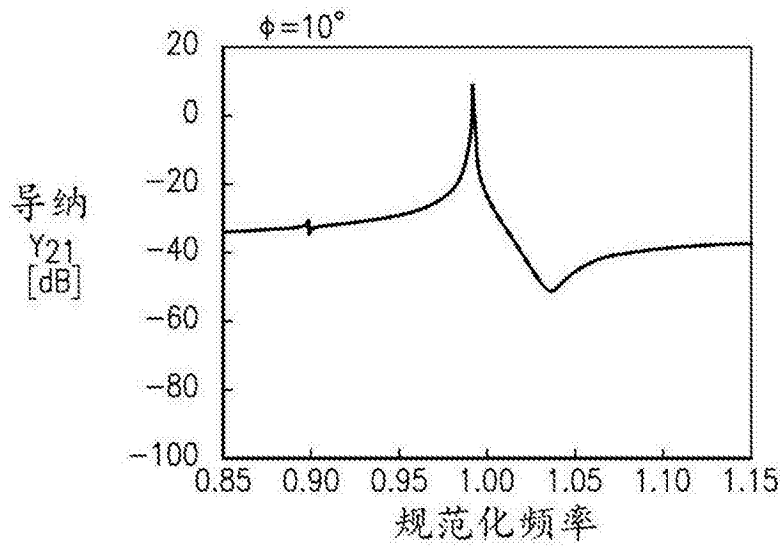


图3B

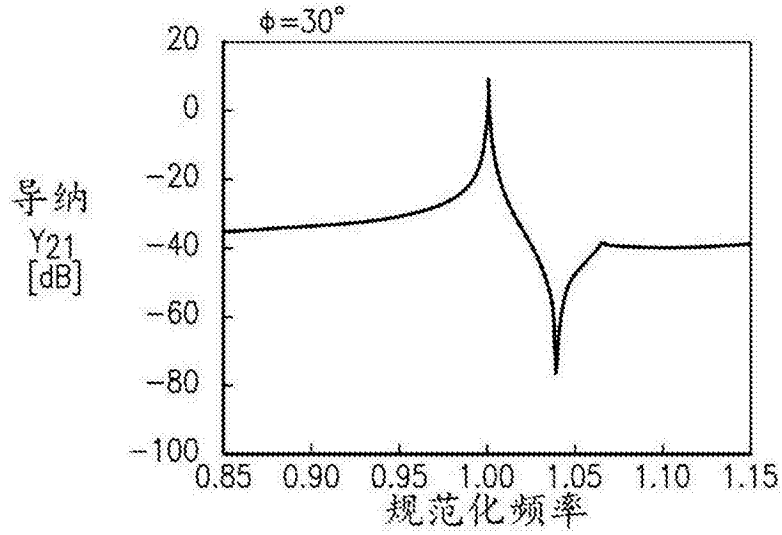


图3C

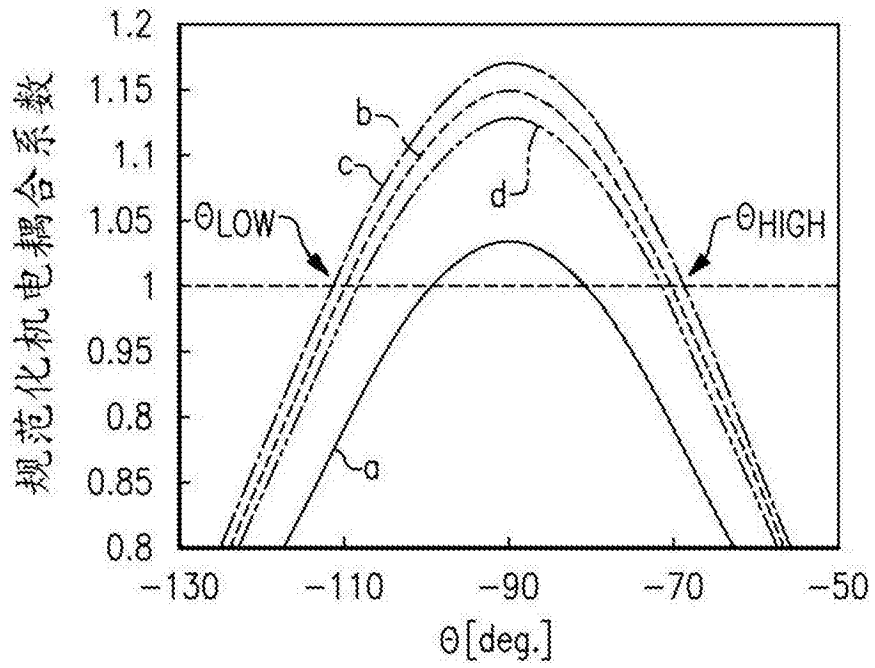


图4

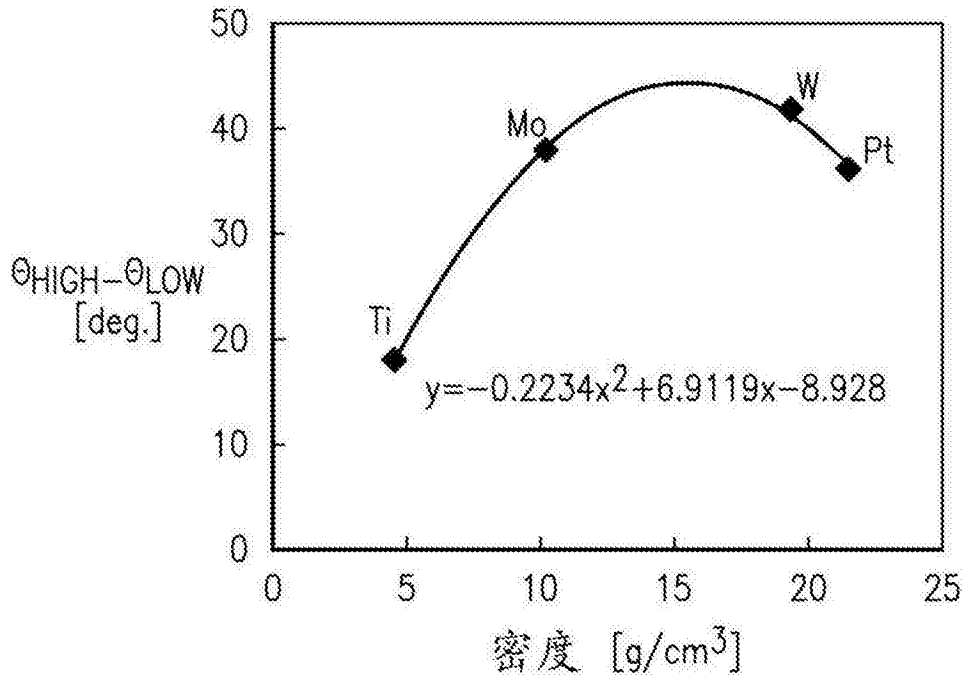


图5

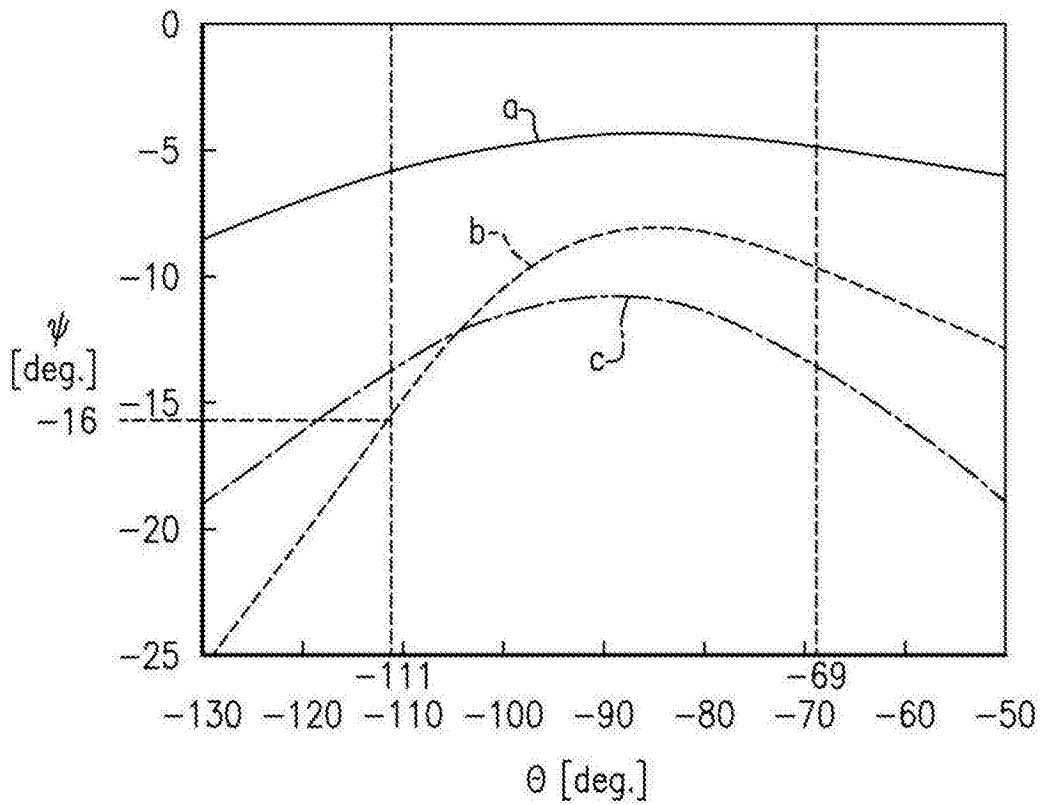


图6A

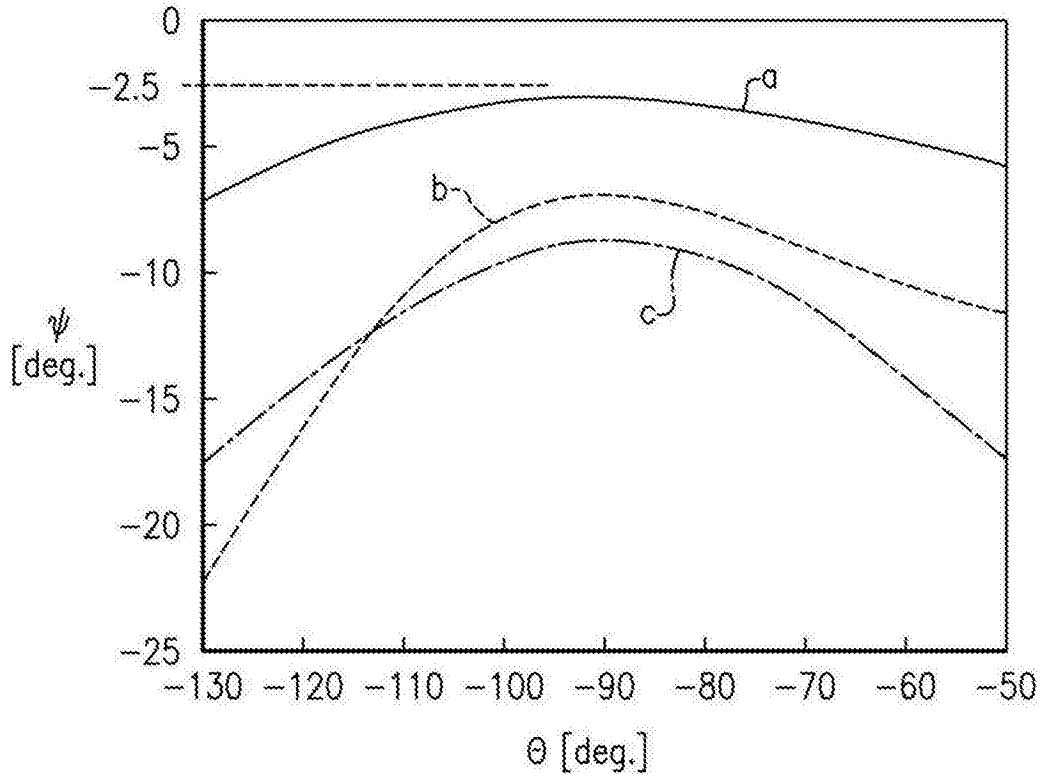


图6B

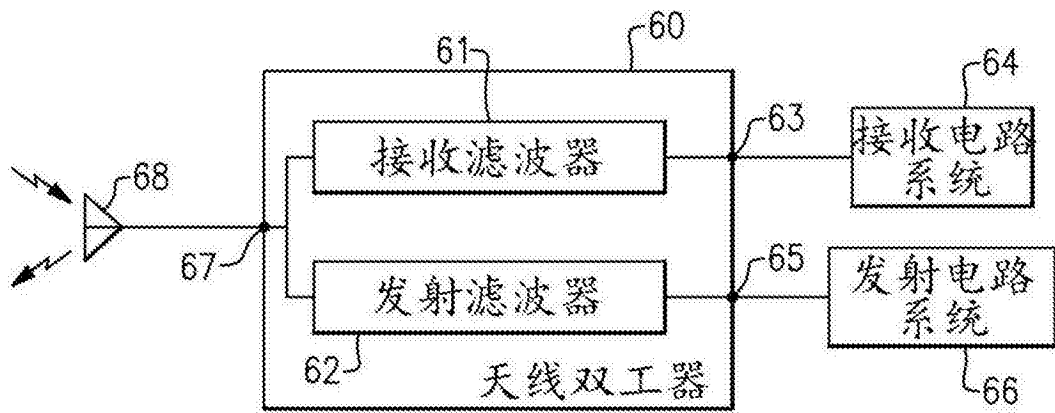


图7A

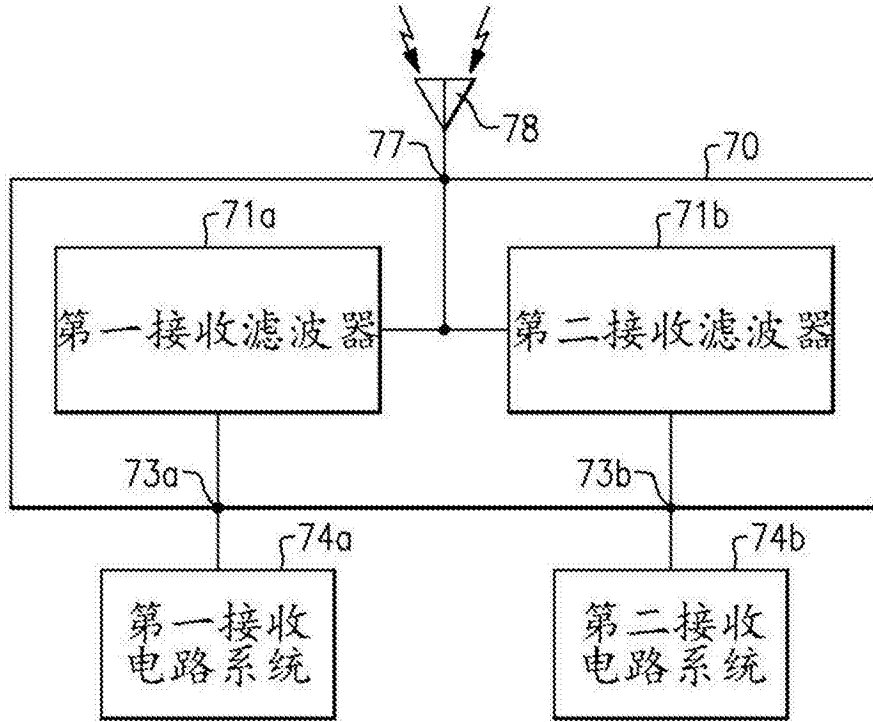


图7B

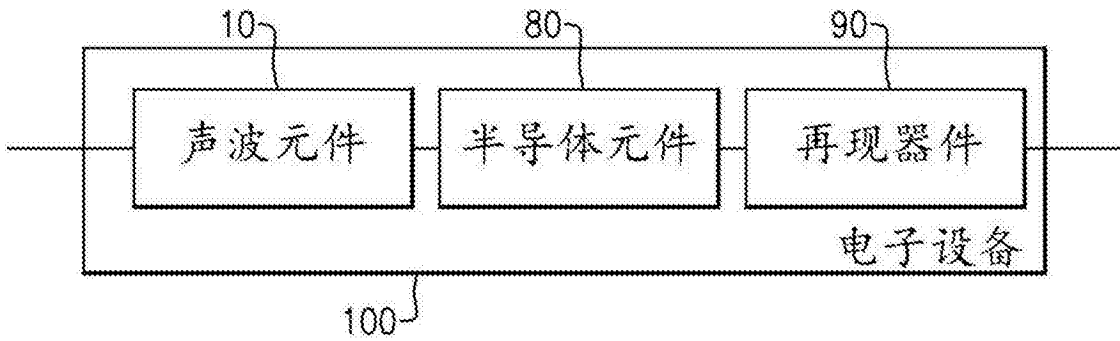


图8

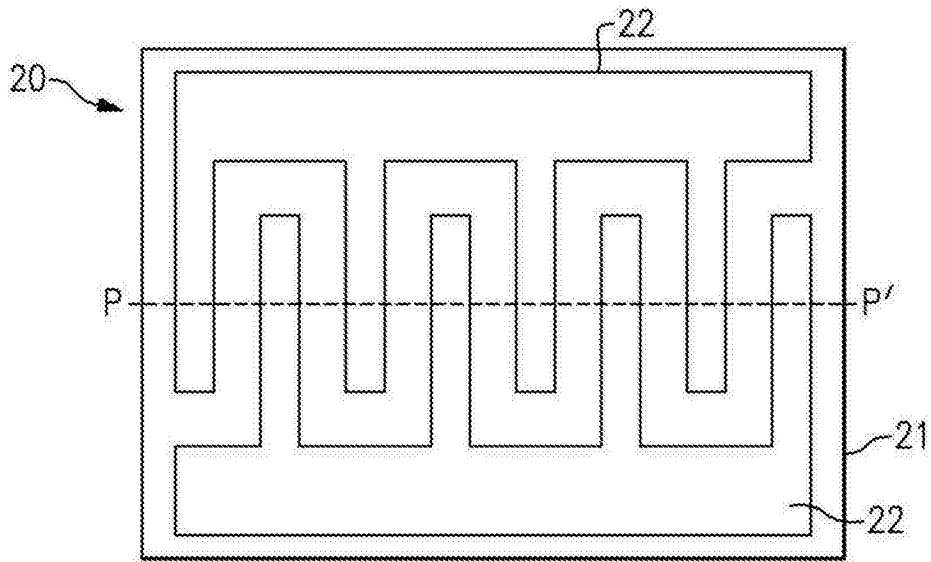


图9A

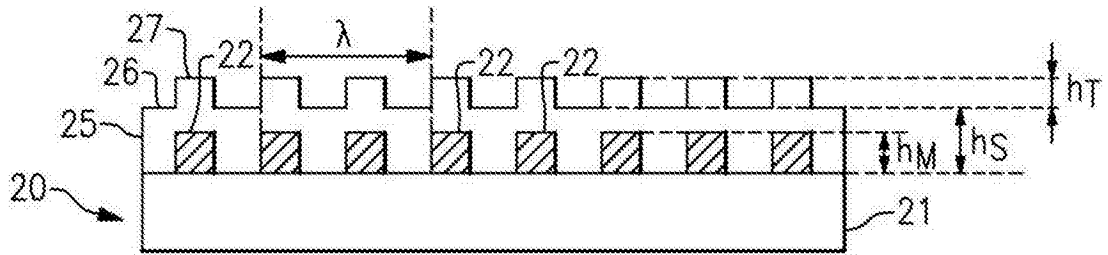


图9B

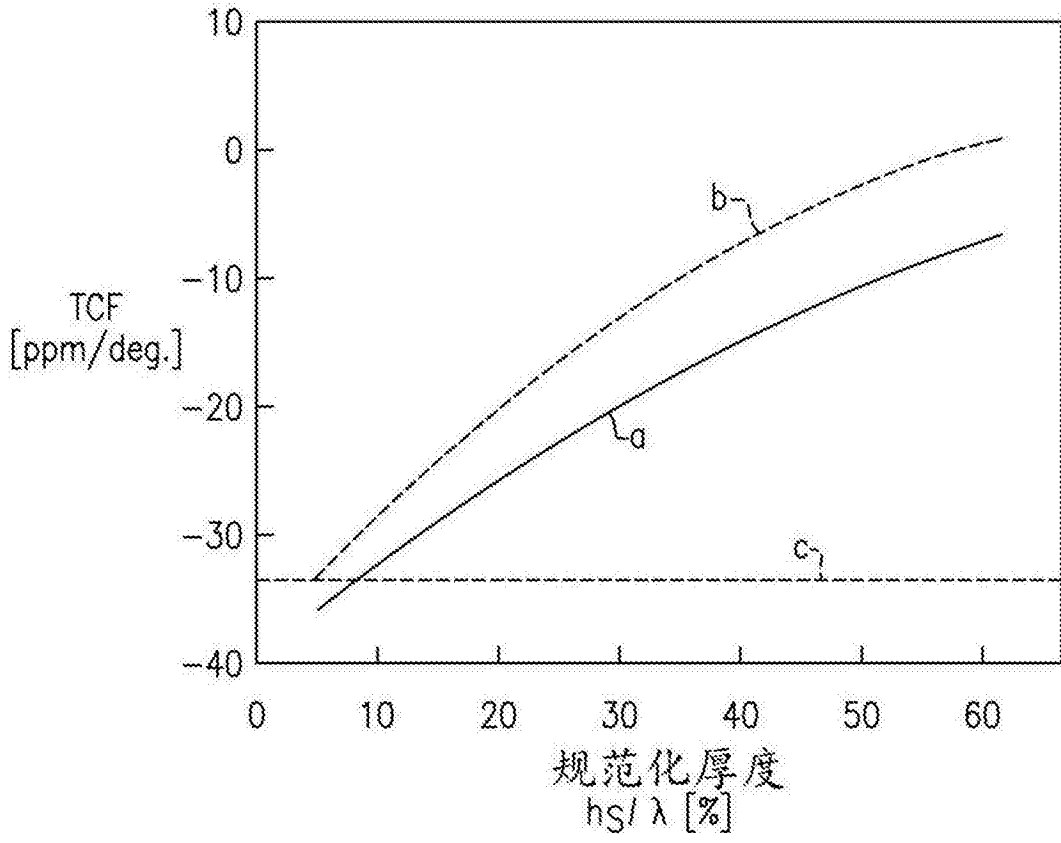


图10A

$h_T=0$



图10B

$h_T=h_M$

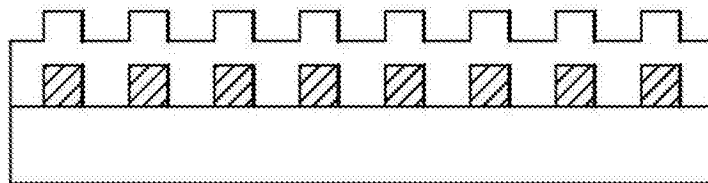


图10C

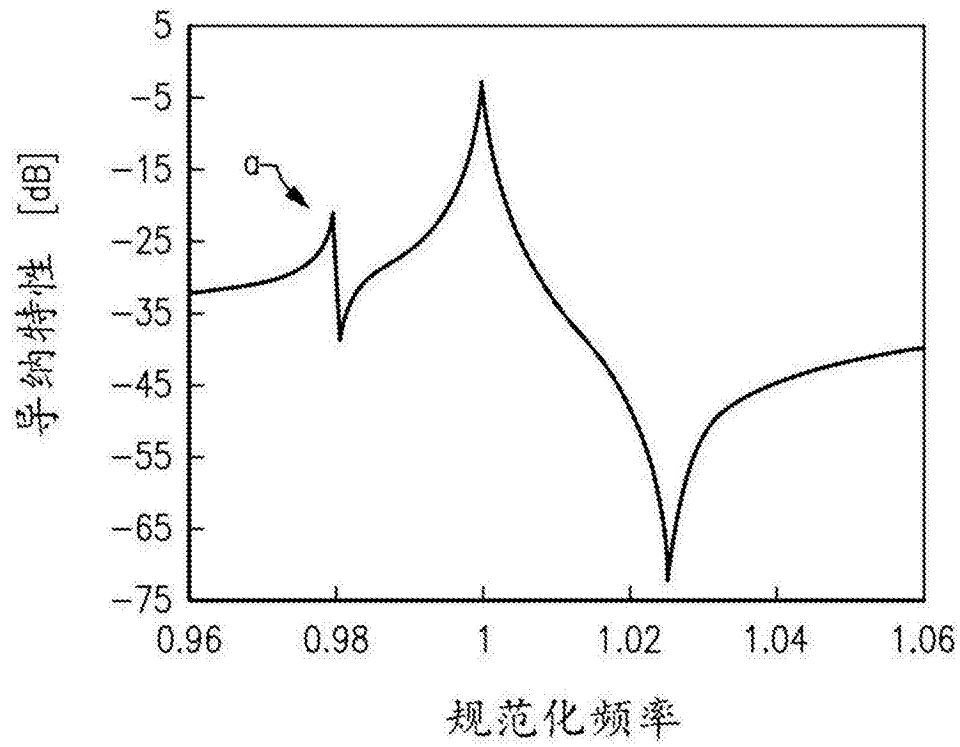


图11

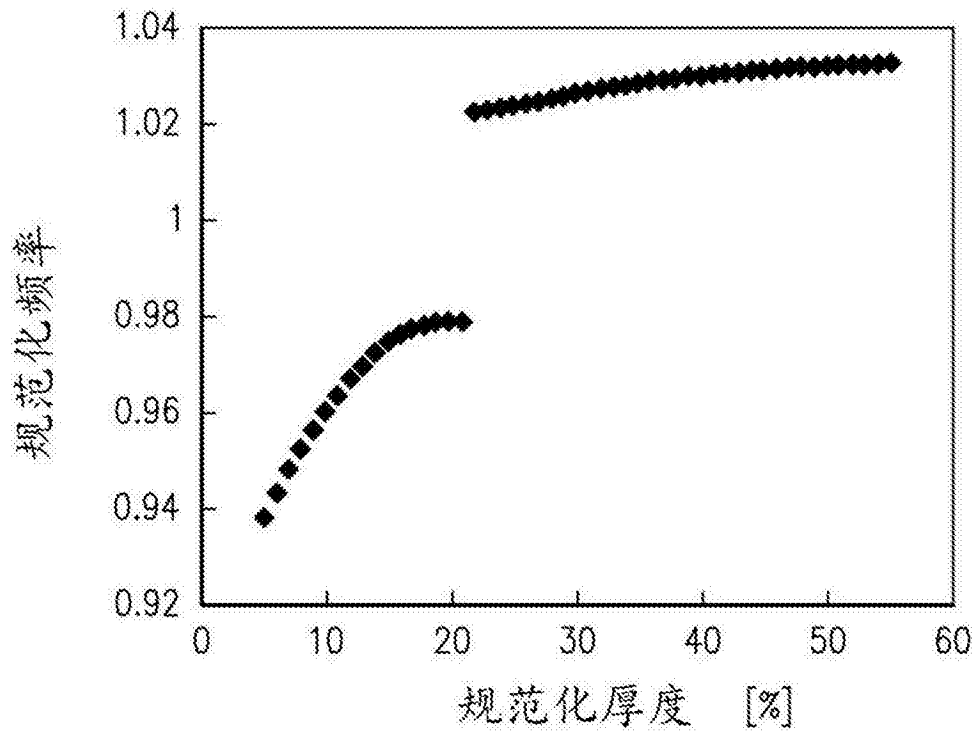


图12

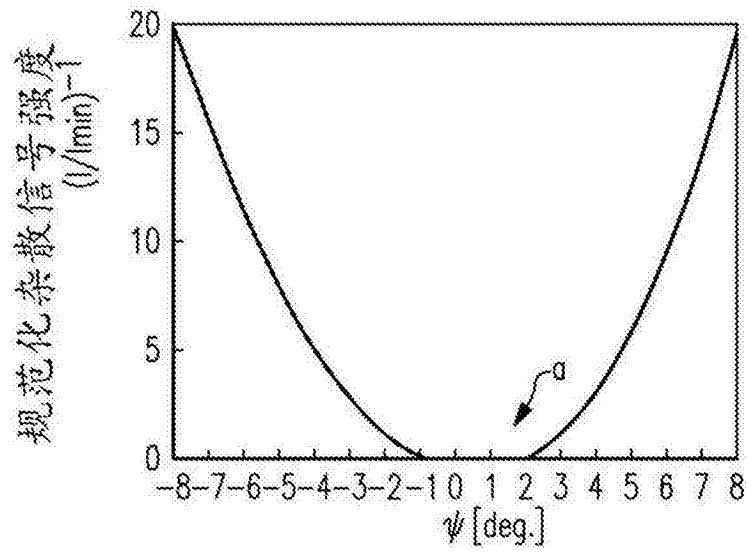


图13A

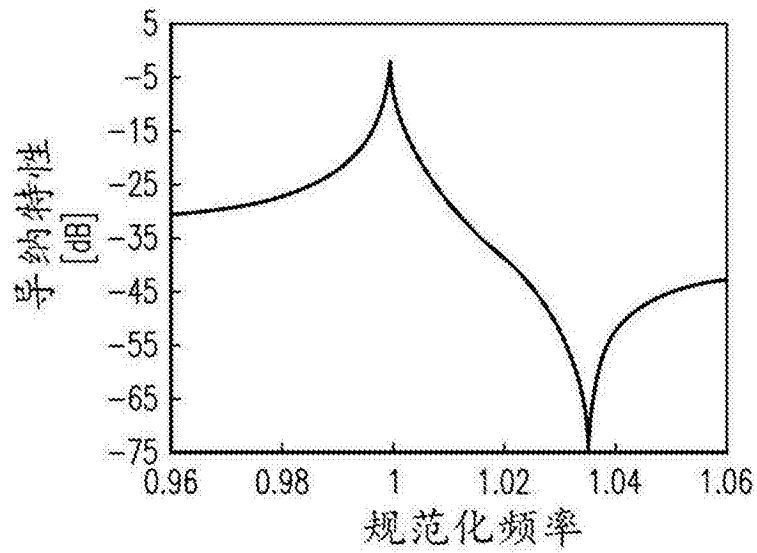


图13B

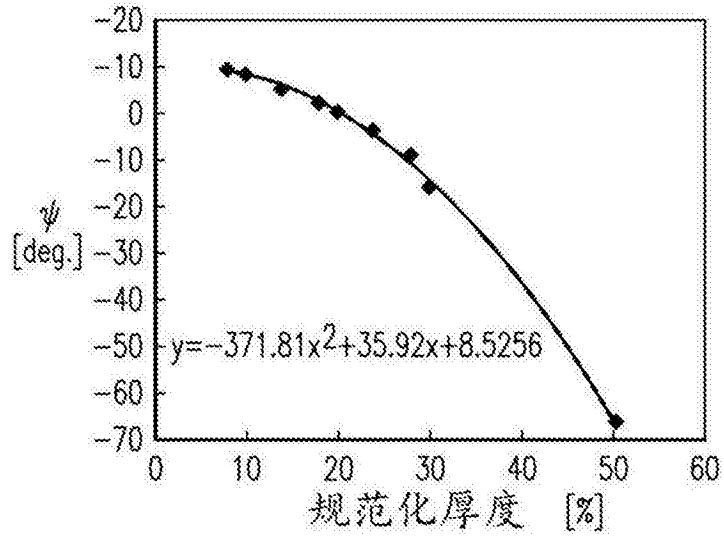


图14

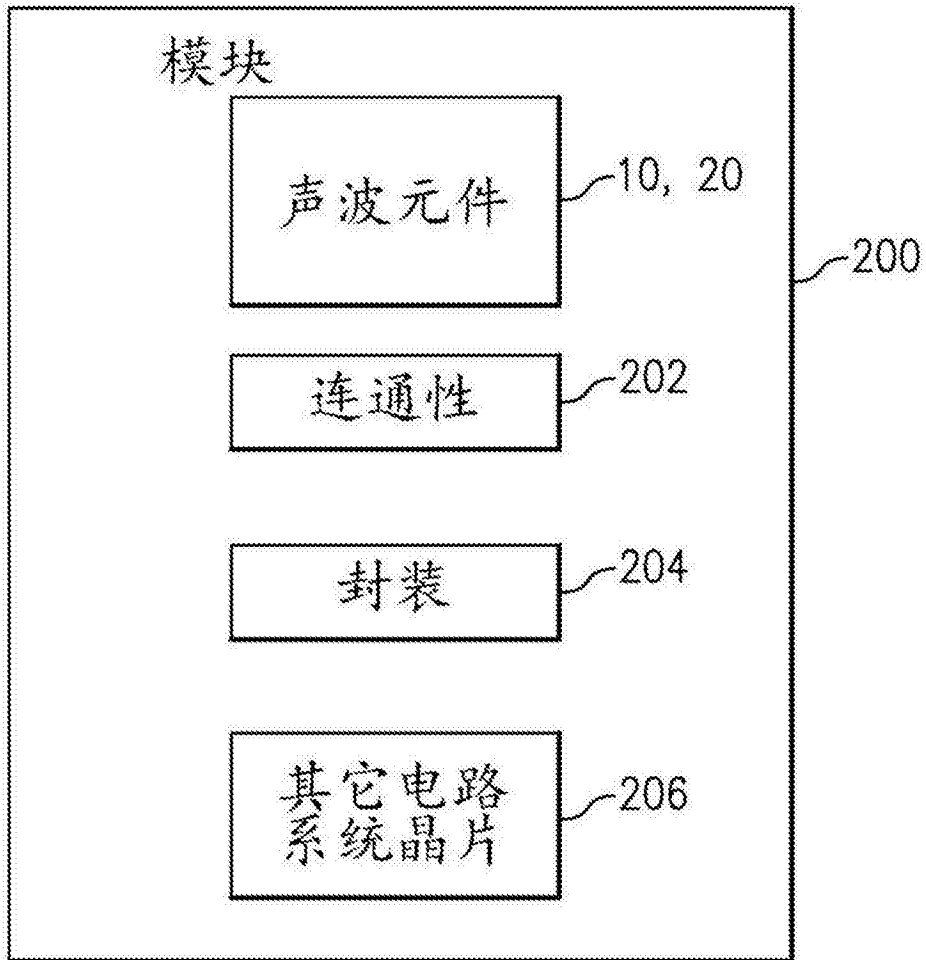


图15A

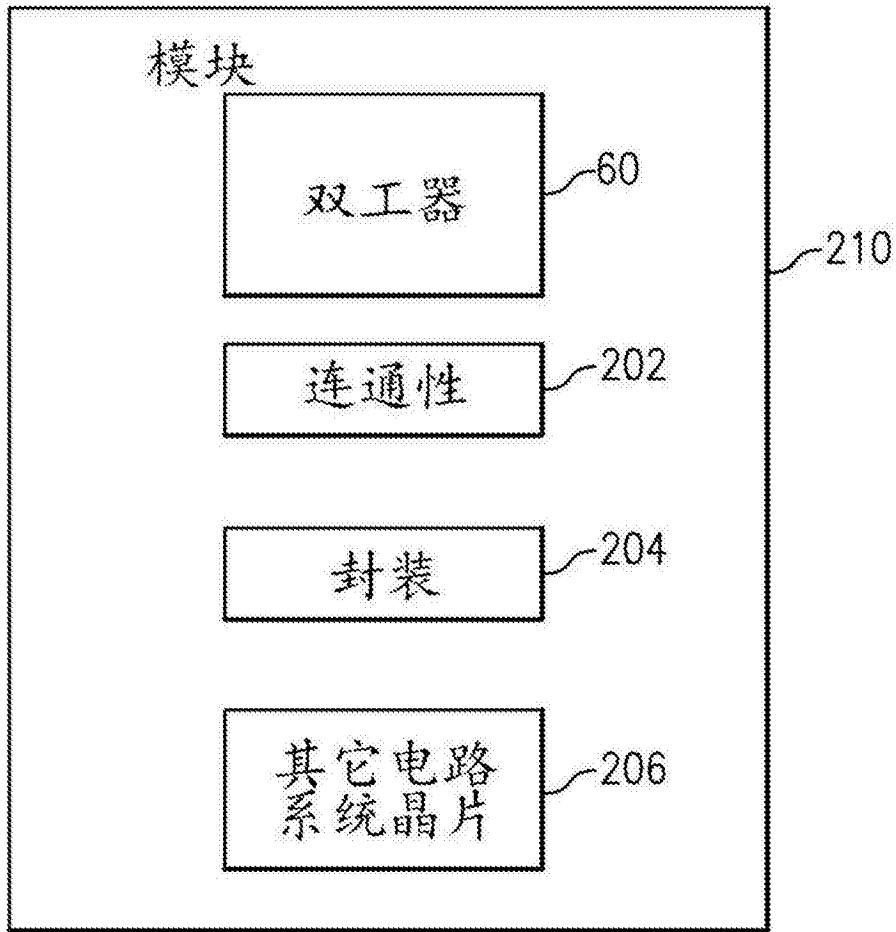


图15B

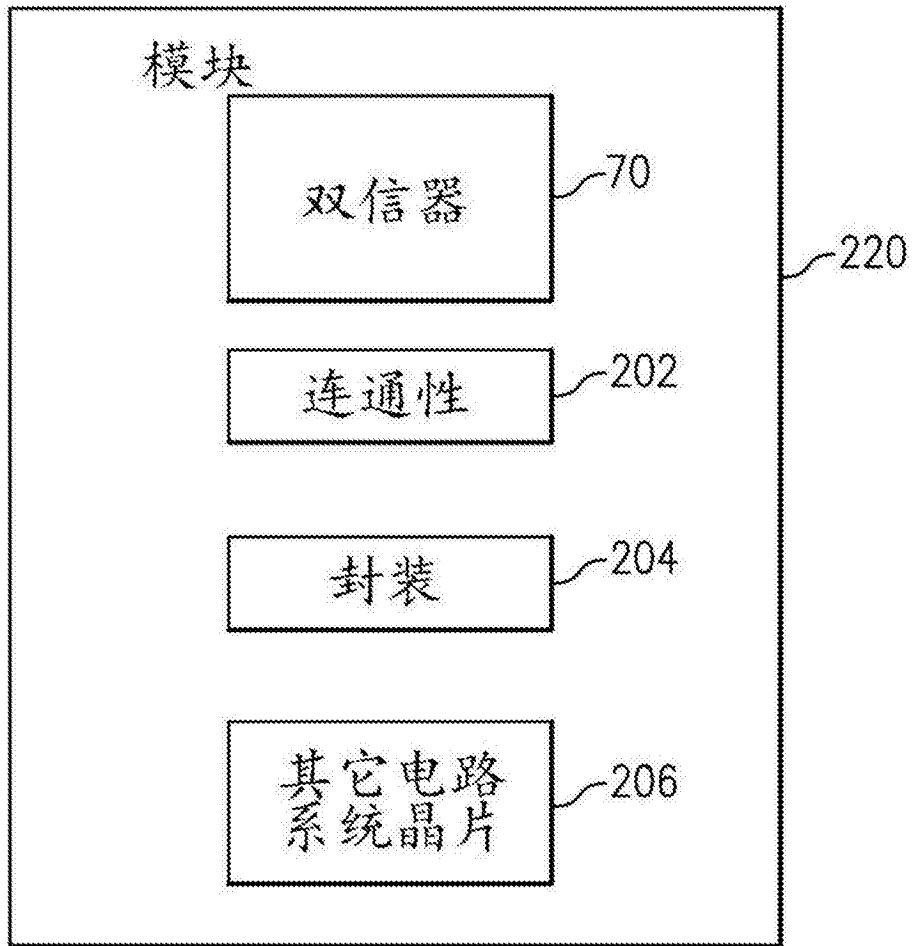


图15C

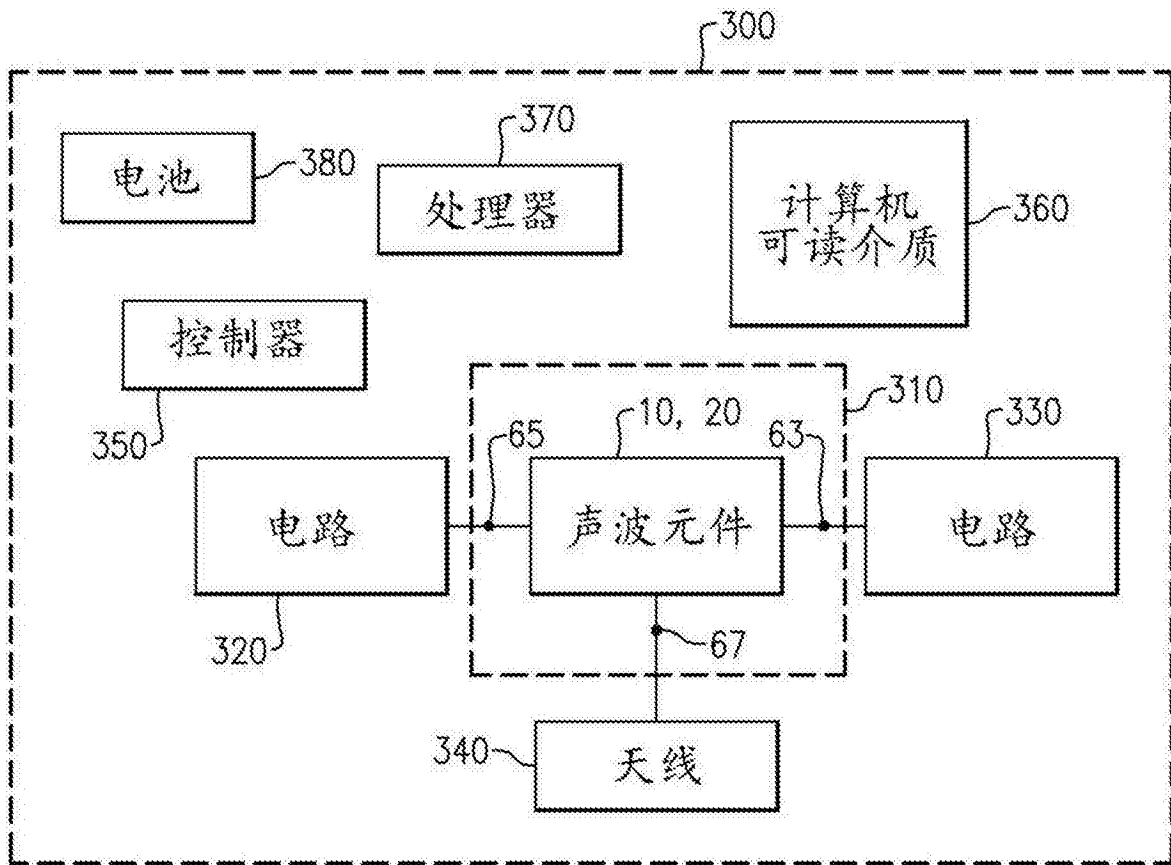


图16

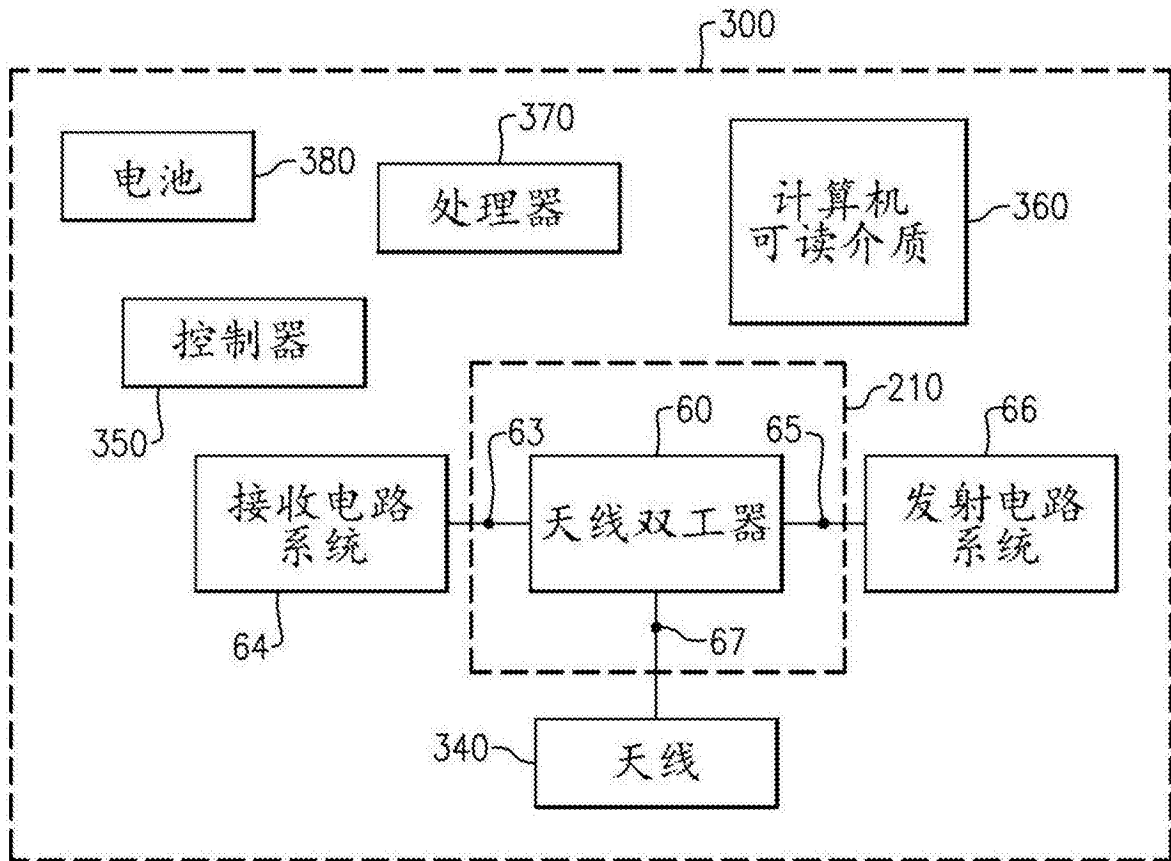


图17