



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1977452 B

(45) 授权公告日 2011. 12. 14

(21) 申请号 200580021492. 1
 (22) 申请日 2005. 07. 22
 (30) 优先权数据
 229666/2004 2004. 08. 05 JP
 (85) PCT申请进入国家阶段日
 2006. 12. 27
 (86) PCT申请的申请数据
 PCT/JP2005/013502 2005. 07. 22
 (87) PCT申请的公布数据
 W02006/013741 JA 2006. 02. 09
 (73) 专利权人 松下电器产业株式会社
 地址 日本大阪府
 专利权人 川胜英树
 (72) 发明人 川胜英树 中村邦彦
 (74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所
 11105
 代理人 陶凤波

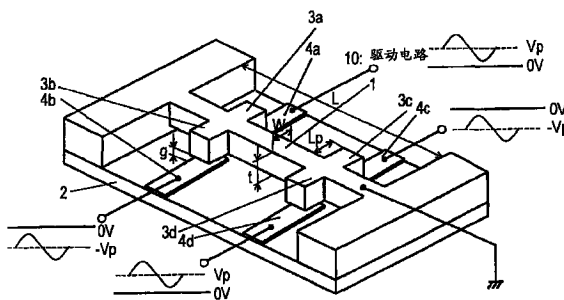
(51) Int. Cl.
H03H 9/24 (2006. 01)
B81B 3/00 (2006. 01)
 (56) 对比文件
 US 20020105393 A1, 2002. 08. 08, 全文.
 US 6424074 B2, 2002. 07. 23, 全文.
 US 4137511, 1979. 01. 30, 全文.
 CN 1345480 A, 2002. 04. 17, 全文.
 审查员 苏丹

权利要求书 1 页 说明书 9 页 附图 14 页

(54) 发明名称
 扭转谐振器和采用其的滤波器

(57) 摘要

一种扭转谐振器,其防止产生不必要的偏转振动,具有良好的谐振特性。一种振动器,其具有横梁结构或者向其上添加了桨状突起的横梁结构,将所述振动器设计为,由电极和振动器之间的电势差产生的静电力围绕所述振动器的横梁的轴施加力矩,但是不向所述横梁施加用于产生偏转振动的力。一种设计方法提供了这样一种配置,即向电极对上施加相同的 AC 信号和极性不同的 DC 偏置电压,所述电极对由在所述振动器的偏振振动的作用下加大了与所述振动器之间的距离的电极和在其作用下降低了其距离的电极构成,由此只激发了扭转振动。



1. 一种扭转谐振器,包括用于执行机械振动的振动器和靠近所述振动器设置的电极,并具有将所述振动器和所述电极之间的电压变化转化为振动器的振动的机电转换功能,

其中,所述振动器包括横梁结构,该横梁结构具有处于轴对称位置的突起,

其中,所述电极面对所述突起而设置在衬底上,并且

其中,所述扭转谐振器包括驱动机构,将所述驱动机构配置为在所述电极和所述振动器之间的电势差的作用下产生静电力,所述静电力以所述横梁结构的轴为中心轴产生力矩,并且将所述驱动机构配置为向电极对施加极性不同的 DC 偏置电压,同时向其施加相同的 AC 信号,所述电极对包括由于所述振动器的扭转振动而远离所述振动器的电极和由于所述振动器的扭转振动而接近所述振动器的电极。

2. 根据权利要求 1 所述的扭转谐振器,其中,所述突起是桨状突起。

3. 根据权利要求 1 所述的扭转谐振器,其中,该扭转谐振器包括两个或更多的电极对,并且,所述驱动机构切换施加到所述电极对中的相应电极上的 DC 偏置电压的极性,由此在较低阶模式和较高阶模式之间切换扭振谐振。

4. 根据权利要求 1 到 3 中的任何一项所述的扭转谐振器,其中,设置有多个所述扭转谐振器,所述多个扭转谐振器具有不同的扭转谐振频率,并且,提供开关元件,用于选择所述多个扭转谐振器中的至少一个。

5. 根据权利要求 1 到 3 中的任何一项所述的扭转谐振器,其中,多个所述扭转谐振器电并联设置。

6. 根据权利要求 1 到 3 中的任何一项所述的扭转谐振器,其中,将所述扭转谐振器容纳在外壳中,对所述外壳内的气氛进行真空密封。

7. 一种扭转谐振器,包括用于执行机械振动的振动器和靠近所述振动器设置的电极,并具有将所述振动器和所述电极之间的电压变化转化为振动器的振动的机电转换功能,

其中,所述振动器包括横梁结构,该横梁结构形成为杆状主体,

其中,相对于所述振动器沿扭转方向设置所述电极,使其借助所述振动器的扭转振动而变为与所述振动器具有等间距,由此形成电极对,

其中,所述扭转谐振器包括驱动机构,将所述驱动机构配置为在所述电极和所述振动器之间的电势差的作用下产生静电力,所述静电力以所述横梁结构的轴为中心轴产生力矩,并且将所述驱动机构配置为向电极对施加极性相同的 DC 偏置电压,同时向其施加相同的 AC 信号,所述 DC 偏置电压施加到所述电极,从而沿横梁结构的扭转方向施加静电力。

8. 根据权利要求 7 所述的扭转谐振器,其中,设置有多个所述扭转谐振器,所述多个扭转谐振器具有不同的扭转谐振频率,并且,提供开关元件,用于选择所述多个扭转谐振器中的至少一个。

9. 根据权利要求 7 所述的扭转谐振器,其中,多个所述扭转谐振器电并联设置。

10. 根据权利要求 7 所述的扭转谐振器,其中,将所述扭转谐振器容纳在外壳中,对所述外壳内的气氛进行真空密封。

11. 一种采用根据权利要求 1 到 10 中的任何一项的扭转谐振器的滤波器。

扭转谐振器和采用其的滤波器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种扭转谐振器和采用其的滤波器,具体而言,涉及在高密度集成电路中利用扭转谐振实现高性能滤波电路的方法。

背景技术

[0002] 将参考图 18 讨论相关技术中的机械谐振器。图 18 是示出了非专利文献 1 中介绍的“采用弯曲振动的机械振动滤波器”的构造的示意图。

[0003] 所述过滤器是通过采用薄膜工艺在硅衬底上形成图案而形成的,所述过滤器包括:输入线 104、输出线 105、固支-固支(clamped-clamped)横梁 101 和 102 以及耦合横梁 103,固支-固支横梁 101 和 102 的位置相对于所述线具有小于等于 1 微米的缝隙,所述耦合横梁 103 用于耦合横梁 101 和 102。从输入线 104 输入的信号与横梁 101 发生电容耦合,从而在横梁 101 上产生静电力。只有当所述信号的频率与接近由横梁 101 和 102 以及耦合横梁 103 构成的弹性结构的谐振频率的频率相匹配时,才能激发机械振动,进而以输出线 105 和横梁 102 之间的静电电容变化探测所述机械震动,由此能够获得输入信号的滤波输出。

[0004] 对于具有矩形截面的固支-固支横梁而言,令弹性模量为 E ,密度为 ρ ,厚度为 h ,长度为 L ,那么弯曲振动的谐振频率 f 将由下述表达式表示:

[0005] [表达式 1]

$$[0006] \quad f = 1.03 \frac{h}{L^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

[0007] 令所述材料为多晶硅, $E = 160\text{Gpa}$, $\rho = 2.2 \times 10^3 \text{kg/m}^3$,令尺寸为 $L = 40 \mu\text{m}$, $h = 1.5 \mu\text{m}$,那么 $f = 8.2\text{MHz}$,由此能够形成具有大约 8MHz 的带宽的滤波器。与由电容器、线圈等组成的无源电路构成的滤波器相比,由于采用了机械谐振,因而能够提供具有高 Q 值的陡峭的频率选择特性。

[0008] 但是,在所描述的构造当中,要想形成具有更高频带滤波器,存在下述限制:

[0009] 从(表达式 1)显然可以看出,首先希望通过改变材料提高 E/ρ ,但是如果增大 E ,则在相同的横梁偏转力的作用下,横梁位移量将变小,因而变得难以探测横梁位移。令表示弯曲难易度的指标为在向固支-固支横梁的横梁表面施加静载荷时横梁中心部分的弯曲量 d 与横梁长度 L 的比率 d/L ,通过下述表达式中的比例关系表示 d/L :

[0010] [表达式 2]

$$[0011] \quad \frac{d}{L} \propto \frac{L^3}{h^3} \cdot \frac{1}{E}$$

[0012] 因此,要想在保持 d/L 的值的的同时提高谐振频率,则至少不能改变 E ,那么必须寻找一种具有低密度 ρ 的材料;必须采用由 CFRP(碳纤维增强塑料)等构成的复合材料作为具有低密度并且具有与多晶硅相等的杨氏模量的材料。在这种情况下,变得难以在半导体工艺中形成微小的机械振动滤波器。

[0013] 于是,作为不采用复合材料的第二种方法,可以改变横梁尺寸以提高(表达式 1)中的 $h \cdot L^2$ 。但是,提高横梁厚度 h 以及降低横梁长度 L 将导致(表达式 2)中的弯曲难易度指标 d/L 的降低,从而变得难以探测横梁弯曲。

[0014] 就(表达式 1)和(表达式 2)而言,图 19 示出了 $\log(L)$ 与 $\log(h)$ 之间的关系。线 191 是从(表达式 1)得到的关系,线 192 是从(表达式 2)得到的关系。在图 19 中,如果选择处于具有斜率“2”的线的上方的范围内(区域 A)的 L 和 h ,那么 f 将增大,其中具有斜率“2”的线以当前尺寸 A 点作为原点;如果选择处于具有斜率“1”的线的下方的范围内(区域 B)的 L 和 h ,那么 d/L 将增大。因此,在图中的阴影部分(区域 C)所表示的 L 和 h 的范围内,可以在确保横梁弯曲量的同时提高谐振频率。

[0015] 从图 19 中显然可以看出,横梁长度 L 和横梁厚度 h 二者尺寸的微缩化是将机械振动滤波器设置为高频的必要条件,以及 L 和 h 按相同比例的微型化,即按具有斜率 1 的线变化同时减小 L 和 h 是图 19 中的阴影部分的充分条件。

[0016] 因此,在相关技术中的机械谐振器中,使机械振动器微缩化,由此使谐振频率设置为高频。但是,通常随着尺寸的微缩化,弯曲振动的机械 Q 值降低,这是一个问题。关于这一现象,例如,非专利文献 2 示出了采用单晶硅悬臂时横梁长度、横梁厚度和弯曲谐振的 Q 值之间的关系的测量结果。非专利文献 2 表明,随着横梁长度的缩短以及横梁厚度的降低, Q 值也随之降低。因此,如果使相关技术中的采用弯曲振动的谐振器小型化,并将其用于滤波器当中,那么将无法获得提供预期的频率选择特性所需的 Q 值。

[0017] 于是,考虑采用扭转振动器作为谐振器的具有极佳 Q 值的扭转谐振器。该扭转谐振器采用在固支-固支横梁的中央具有桨 202 的振动器 201 通过输入线 204 和桨 202 之间的静电力激励振动器,并将输出线 205 和桨 202 之间的静电电容的变化转化为电信号,例如,如图 21 所示。在该扭转谐振器中,受激模式根据桨和输入线之间的电压 V_i 以及桨 202 和输出线 205 之间的电压 V_o 每者的幅度以及相差而发生变化。现在,假设 $|V_i| > |V_o|$,并且 V_o 的静电力在横梁振动中的参与非常小,那么在振动器中将激发弯曲振动和扭转振动。

[0018] 因此,除了扭转振动之外,在采用扭转振动器的扭转谐振器中,还在激发扭转振动的电极中激发了弯曲振动,如果将这样的扭转谐振器用于滤波器,那么除了通带以外还将使所述滤波器具有无意当中产生的通带。

[0019] 专利文献 1 中描述的差分信号传输是一种可以采用的有选择地激发特定振动模式的方法。这是一种针对具有多个波腹的更高阶的弯曲振动的激励方法;将 AC 信号 v 和与 AC 信号 v 存在 180 度的相位差的信号 $-v$ 中的一个施加到接近波腹的电极上,将其中的另一个施加到远离波腹的电极上。为了由 AC 信号 v 生成 AC 信号 $-v$,通常的做法是对 v 分路,并使其通过 180 度相移器。

[0020] 非专利文献 1:Frank D.Bannon III, John R.Clark, and Clark T.-C.Nguyen, “High-QHF Microelectromechanical Filters,”IEEE Journal of Solid-StateCircuits, Vol. 35, No. 4, pp. 512-526, April 2000.

[0021] 非专利文献 2:K.Y.Yasumura et al., “Quality Factors in Micron-andSubmicron-Thick Cantilevers,”IEEE Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 9, No. 1, March 2000.

[0022] 专利文献 1:JP-A-2002-535865 (p20-p21, FIG. 8)

[0023] 发明内容

[0024] 本发明所要解决的技术问题

[0025] 但是,在专利文献 1 公开的方法中,移相器通常需要波长量级的线长度,因而制约了滤波器的微型化。精确的 180 度相位调整变得有必要。此外,在目标相移点以外从目标相移量发生偏移,因此如果尝试采用 AC 信号激励谐振频率可以发生适应性变化的谐振器,则可以在某一频率处以 v 和 $-v$ 激励所述谐振器,但是,如果使所述谐振频率变为不同的谐振频率,则将变得难以确保 $-v$ 信号。

[0026] 因此,本发明的目的在于提供一种扭转谐振器,其能够根据简单的方法尽可能地抑制除扭转谐振器的扭转振动以外的任何其他振动模式,并且能够以高频工作。

[0027] 具体地,本发明的目的还在于提供一种扭转谐振器,即使对于谐振频率能够受到适应性切换的谐振器,其也能够根据简单的方法尽可能地抑制除扭转振动以外的任何其他振动模式。

[0028] 解决技术问题的技术方案

[0029] 为了解决上述问题,本发明的扭转谐振器的特征在于,所述振动器为横梁结构,并向所述横梁结构上添加桨状突起,以及由电极和振动器之间的电势差产生的静电力以振动器的横梁的轴作为中心轴增加力矩,并且不向所述横梁添加产生弯曲的力。

[0030] 根据所述构造,可以根据简单的方法尽可能地抑制除扭转谐振器的扭转振动之外的任何其他振动模式。

[0031] 也就是说,本发明的扭转谐振器的特征在于,作为一种扭转谐振器,其包括用于执行机械振动的振动器和靠近所述振动器设置的电极,并具有将所述振动器和所述电极之间的电压变化转化为振动器的振动的机电转换功能,其中,所述振动器包括横梁结构,所述扭转谐振器包括驱动机构,将所述驱动机构配置为在所述电极和所述振动器之间的电势差的作用下产生静电力,所述静电力以所述横梁结构的轴为中心轴产生力矩,并且将所述驱动机构配置为向电极对施加极性不同的 DC 偏置电压,同时向其施加相同的 AC 信号,所述电极对包括由于所述振动器的扭转振动远离所述振动器的电极和由于所述振动器的扭转振动接近所述振动器的电极。

[0032] 根据所述构造,能够根据简单的构造产生扭转振动,并且能够获得具有预期 Q 值的谐振特性。根据所述构造,能够根据简单的构造仅产生扭转振动。

[0033] 本发明的扭转谐振器包括一种扭转谐振器,其中,所述横梁结构包括具有处于轴对称位置处的突起的横梁。

[0034] 根据所述构造,易于在所述电极和所述横梁结构之间产生静电力,并且能够有效地产生振动。所述横梁优选为更为稳定的固支-固支横梁,但是所述横梁也可以是悬臂。

[0035] 本发明的扭转谐振器包括一种扭转谐振器,其中,所述横梁结构包括桨状突起。

[0036] 本发明的扭转谐振器包括一种扭转谐振器,所述扭转谐振器包括两个或更多的电极对,其中,所述驱动机构切换施加到所述电极对中的至少一些电极上的 DC 偏置电压的极性,由此在较低阶模式和较高阶模式之间切换扭振谐振。

[0037] 本发明的扭转谐振器的特征在于,相对于所述振动器沿扭转方向设置所述电极,使之借助所述振动器的扭转振动而变得与所述振动器具有等间距,以形成电极对,以及将所述驱动机构配置为,借助所述振动器的扭转振动向所述电极施加相同的 AC 信号和相同

的 DC 偏置电压。

[0038] 根据所述构造,向所述电极施加相同的电压,从而能够简化所述驱动机构。

[0039] 本发明的扭转谐振器包括一种扭转谐振器,所述扭转谐振器包括多个具有不同扭转谐振频率的扭转谐振器和用于选择所述扭转谐振器中的至少一个的开关元件。

[0040] 本发明的扭转谐振器包括一种扭转谐振器,所述扭转谐振器包括多个电并联设置的扭转谐振器。

[0041] 本发明的扭转谐振器包括一种扭转谐振器,其中,将所述扭转谐振器容纳在外壳中,对外壳内的气氛进行真空密封。

[0042] 本发明的滤波器包括采用上述扭转谐振器的滤波器。

[0043] 本发明的有益效果

[0044] 依照根据本发明的扭转谐振器的这种构造,能够提供一种滤波器,具有高 Q 值并且可以应用于几百 MHz 到几 GHz 的频带内。

附图说明

[0045] 图 1 是本发明的第一实施例的扭转谐振器的透视图。

[0046] 图 2 是本发明的第一实施例的扭转谐振器的振幅频谱。

[0047] 图 3 是示出了在本发明的第一实施例中二阶扭转谐振波形的图示。

[0048] 图 4 是在其内还激发了弯曲振动的扭转谐振器的透视图。

[0049] 图 5 是具有图 4 所示的构造的扭转谐振器的振幅频谱。

[0050] 图 6 是在其内还激发了弯曲振动的扭转谐振器的透视图。

[0051] 图 7 是具有图 6 所示的构造的扭转谐振器的振幅频谱。

[0052] 图 8 是本发明的第一实施例中的扭转谐振器激励电路的方框图。

[0053] 图 9 是示出了本发明的第一实施例中的配有输出电压信号终端的扭转谐振器激励电路的方框图。

[0054] 图 10 是示出了本发明的第一实施例中的配有输出电压信号终端的扭转谐振器激励电路的器件图示。

[0055] 图 11 是本发明的第一实施例中的扭转谐振器的制造方法的图示。

[0056] 图 12 是示出了本发明的第一实施例中的扭转谐振器的修改实例的图示。

[0057] 图 13 是本发明的第二实施例中的扭转谐振器激励电路的方框图。

[0058] 图 14 是当在本发明的第二实施例中仅激励一阶扭转振动时振动器的振幅频谱图。

[0059] 图 15 是示出了在本发明的第二实施例中将 N 个扭转谐振器平行放置所得到的构造的图示和振幅频谱图。

[0060] 图 16 是示出了本发明的第三实施例的扭转谐振器的图示;(a)为透视图,(b)为沿(a)中的 A-A 线得到的截面图。

[0061] 图 17 是示出了本发明的第四实施例的扭转谐振器的图示;(a)为透视图,(b)为示出了(a)中的修改实例的图示。

[0062] 图 18 是示出了相关技术中采用机械谐振器的滤波器的示意图。

[0063] 图 19 是示出了在相关技术实例中机械谐振器的尺寸与向高频的转化之间的关系

的特征图。

[0064] 图 20 是示出了在弯曲振动和扭转振动的 Q 值之间进行比较的试验结果的图示。

[0065] 图 21 是示出了其内既激发了弯曲振动又激发了扭转振动的谐振器的图示。

[0066] 附图标记说明

[0067] 1 振动器

[0068] 2 衬底

[0069] 3 桨

[0070] 4 电极

[0071] 11 功率分配器

[0072] 12a, 12b 电容器

[0073] 13a, 13b 电感

[0074] 14 扭转谐振器

[0075] 15 电流 - 电压转换电路

[0076] 31 氧化硅层

[0077] 32 单晶硅层

[0078] R 抗蚀剂

[0079] 101, 102 固支 - 固支横梁型振动器

[0080] 103 耦合横梁

[0081] 104 输入线

[0082] 105 输出线

[0083] 191 表示具有相同频率的长度 L 和厚度 h 之间的关系的线

[0084] 192 表示具有相同的弯曲难易度指标的长度 L 和厚度 h 之间的关系的线

[0085] 201 振动器

[0086] 202 桨

[0087] 204 输入线

[0088] 205 输出线

具体实施方式

[0089] 现在将参考详细示出了本发明的优选实施例的附图。

[0090] (第一实施例)

[0091] 图 1 是本发明的第一实施例的扭转谐振器的透视图。第一实施例的扭转谐振器为的机电谐振器,其具有:具有处于轴对称位置的用于执行机械振动的桨状突起 3a、3b、3c 和 3d 的谐振器 1,以及靠近桨状突起 3a、3b、3c 和 3d 设置的电极 4a、4b、4c 和 4d,并且该机电谐振器具有机电转换功能,用于将桨状突起 3a、3b、3c、3d 和与之对应的电极 4a、4b、4c 和 4d 之间的电压变化转化为振动器的振动,其特征在于,驱动器配置来使得由于电极 4a、4b、4c 和 4d 和振动器之间的电势差的作用下所产生的静电力以振动器 1 的横梁结构的轴为中心轴产生力矩。

[0092] 振动器 1 是两端固定的固支 - 固支横梁。振动器 1 设有四个桨 3a 到 3d。将电极 4a 到 4d 放置到衬底 2 上,以缝隙 g 面对桨 3。横梁的材料是杨氏模量大约为 160GPa 的单

晶硅,长度 L 为 $1.0\ \mu\text{m}$,厚度 t 为 100nm ,宽度 W 为 100nm ,桨长度 L_p 为 100nm 。

[0093] 振动器 1 电接地,驱动机构 10 按照下述说明控制电极 4a 到 4d 的通电:电极 4a 和 4d 施加偏置电压 V_p ,向电极 4b 和 4c 施加偏置电压 $-V_p$,向电极 4a 到 4d 施加 AC 信号。在 AC 电压的电势峰值处,向桨 3a 和 3d 施加朝向衬底方向的最大静电力。这时,向桨 3b 和 3c 施加朝向衬底方向的最小静电力。其等同于这样的事实:在从操作点观察时(当 AC 电压的电势为 0 时),朝向衬底方向的力作用于桨 3a 和 3d 上,朝向衬底 2 之上的力作用于桨 3b 和 3c 上。因此,振动器 1 接收到了轴向力矩,并激发了扭转振动。图 2 沿频率轴示出了在图 1 所示的状态下激励振动器 1 时桨末端的位移量的结果。实现了谱峰为 1.8GHz 的二阶扭转谐振并且具有图 3 所示波形的谐振器。这里,谐振波形是指“振动器轴的扭转形式”,随着轴的扭转,桨产生位移,但是桨不发生形变。

[0094] 在如图 4 所示仅向处于对角线上的电极 4a 和 4d 施加偏置电压 V_p 和 AC 信号时,位移量频谱如图 5 所示。除了 1.8GHz 的二阶扭转谐振之外,还激发了 0.70-GHz 一阶弯曲谐振(衬底的垂直方向)和 2.9-GHz 三阶弯曲谐振(衬底的垂直方向),如果将所述扭转谐振器应用于滤波器电路,那么所述滤波器电路除了在目标频带中具有通带区域外,在任何其他的频带内也具有通带区域;这是我们不希望看到的。

[0095] 此外,在如图 6 所示,仅向一个电极 4a 施加偏置电压 V_p 和 AC 信号时,位移量频谱如图 7 所示,这时还进一步激发了 1.2GHz 一阶扭转谐振和 1.5GHz 二阶弯曲谐振(衬底的垂直方向)。

[0096] 从图 2、图 5 和图 7 之间的比较显然可以看出,实施激发的方式为,根据图 1 所示的配置,向对应于桨 3a 到 3d 的电极 4a 到 4d 提供电能,从而向这些桨上施加方向相互扭转的力,由此能够提供最佳滤波器特性。

[0097] 例如,可以通过图 8 所示的构造提供用于实现图 1 中的激励所采用的驱动机构 10 的驱动电路,其中,采用功率分配器 11 分配 AC 信号,并通过电容器 12a 和 12b 阻断功率分配器 11 的 DC 输出,之后将通过电感 13a 和 13b 以偏置电压 V_p 上拉的一路 AC 信号和以偏置电压 $-V_p$ 上拉的另一路 AC 信号提供给图 1 所示的扭转谐振器的电极 4a 和 4d 以及电极 4b 和 4c。

[0098] 电改变相位的普通相移器需要波长量级的线长度,因而难以实现谐振器的激励电路的微型化,而精确的 180 度相移调整是必需的。在本实施例中,采用极性不同的偏置电压和电感器上拉相同的 AC 信号,因此能够获得具有精确的 180 度相位差的横梁激振力。

[0099] 在图 1 所示的扭转谐振器中,电抗在振动器 1 的谐振点附近变为最低,并且最大电流流入到了扭转谐振器当中。例如,如图 9 所示,以偏置电压 V_p 上拉的端子,例如电极 4d,其设有电流-电压转换电路 15,并将电流-电压转换电路 15 的输出用作输出端子,由此能够形成包括输入/输出电压端子的滤波器。

[0100] 可以按照图 10 中的晶体管电路实施图 9 所示的滤波器的电流-电压转换电路。这里,在两条施加了不同极性的偏置电压 V_p 和 $-V_p$ 的 AC 信号线上设置互补晶体管对,形成共基极放大器。在基极和接地之间插入扭转谐振器。从晶体管的集电极获得两个相位不同的信道的滤波器输出。

[0101] 接下来,将讨论本发明的第一实施例中的扭转谐振器的制造方法。图 11(a) 到图 11(c) 以放大比例示出了横梁的一部分,并示出了其制造过程。

[0102] 在这一过程中,采用 SOI(绝缘体上硅)衬底。在这种情况下,SOI 衬底的上部的单晶硅层变为了横梁结构。

[0103] 在图中,未示出作为基底层的硅衬底;所采用的 SOI(绝缘体上硅)衬底具有作为器件形成层的具有任何预期的载流子浓度的单晶硅层 32,单晶硅层 32 通过由氧化硅膜构成的氧化物膜 31 设置于硅衬底的表面上。

[0104] 首先,向单晶硅层 32 上涂覆用于构图的抗蚀剂(图 11(a))。以该抗蚀剂作为掩模,采用 RIE(反应离子刻蚀)沿垂直方向对硅进行处理(图 11(b))。使(100)面暴露为单晶硅层 32 的壁。接下来,采用 KOH 实施对单晶硅层 32 的各向异性刻蚀,形成比掩模图案窄的硅结构(图 11(c))。

[0105] 根据所述构造,能够提供一种与含有弯曲振动的谐振器相比具有高 Q 值的扭转谐振器。

[0106] 为了证明弯曲振动和扭转振动之间的 Q 值差异,发明人等对采用铝溅射薄膜形成的固支-固支横梁进行激振,并测量其 Q 值,所述铝溅射薄膜的厚度约为 $2\mu\text{m}$,长度约为 10、20、 $30\mu\text{m}$ 。在图 20 中,水平轴表示真空度,垂直轴表示 Q 值。长度约为 $30\mu\text{m}$ 的三阶弯曲谐振、长度约为 $20\mu\text{m}$ 的二阶弯曲谐振以及长度约为 $10\mu\text{m}$ 的一阶弯曲谐振的 Q 值为 200 到 400;而长度为 $20\mu\text{m}$ 的一阶扭转共振的 Q 值为 2000,因此扭转振动在 Q 值方面优于弯曲振动。

[0107] 因此,要想使谐振器微型化,并使谐振进入高频,可以考虑采用利用扭转振动的谐振器形成与弯曲振动相比具有高 Q 值的谐振器。

[0108] 在非专利文献 3 中,由静电力激励固支-固支横梁,观察到了同一谐振器的弯曲谐振和扭转谐振。根据非专利文献 3,示出了弯曲谐振谱和扭转谐振谱,从弯曲谐振谱观察到了非线性。所述非线性是显著的,其取决于激励横梁的静电力的幅度,非线性是我们在用于滤波器电路的谐振器的使用当中不希望看到的。但是,从扭转谐振谱中没有观察到非线性环节,由此可知将扭转谐振器用于滤波器电路能够提供良好的特性。

[0109] 非专利文献 3:S.Evoy et al.,“Nanofabrication and electrostatic operation of single-crystal silicon paddle oscillators,”*Journal of Applied Physics*, Vol. 86, No. 11, 1 December 1999, pp. 6072-6077.

[0110] 接下来,可以采用非专利文献 4 中介绍的量子线生成方法作为利用硅的各向异性刻蚀的另一种方法。图 12 是基本过程图。首先在 SOI 衬底上形成氮化硅膜 33,并对其构图(图 12(a)),所述 SOI 衬底以单晶硅衬底 30 作为基底层,并通过氧化硅层 31 在其上设置了硅层 32。形成来使得图案的边缘沿着硅层 32 的(110)面。

[0111] 接下来,采用 KOH 实施硅层 32 的各向异性刻蚀。由于与任何其他面相比,(111)面的蚀刻速度极慢,因此随着蚀刻的进行,暴露了所述(111)面,如图 12(b)所示。

[0112] 在以氮化硅膜 33 覆盖顶面的情况下执行氧化,由氧化硅膜 35 对(111)面进行局部保护,并再次对作为掩模的氮化硅膜 33 构图。

[0113] 再次采用 KOH 对硅层 32 进行各向异性刻蚀,由此能够提供截面为三角形的硅横梁结构,如图 12(c)所示。随着采用氢氟酸去除了局部 SiO_2 保护膜和作为 SOI 衬底的中间层的氧化硅层 31,所述结构变成了移动体。

[0114] 最后,对扭转谐振器的振动器进行成形处理,从而形成具有轴对称结构的振动器,

如图 12(d) 所示。

[0115] 非专利文献 4 :G Hashiguchi and H.Mimura,“Fabrication of SiliconQuantum Wires Using Separation by Implanted Oxygen Wafer,”Jpn.J.Appl. Phys. Vol. 33(1994), pp. L1649-1650.

[0116] 图 11 和图 12 中的工艺能够形成超越半导体工艺的构图宽度限制的精细结构,因此是制造几百 MHz 到几 GHz 的微小谐振器的有用工艺。

[0117] (第二实施例)

[0118] 接下来,将讨论本发明的第二实施例。

[0119] 图 13 是本发明的第二实施例中的扭转谐振器激励电路的方框图。振动器和电极的布置与图 1 所示的第一实施例类似,但是通过功率分配器 11 将输入信号划分为四个信号,可以将施加到电极 4a 到 4d 上的偏置电压设置为处于 $-V_p$ 到 V_p 的范围内。在将偏置电压 V_p 施加到电极 4a 和 4d 上,将偏置电压 $-V_p$ 施加到电极 4b 和 4c 上时,振动器的振幅频谱如图 2 所示仅具有二阶扭转谐振。但是,在将施加到电极 4a 和 4c 上的偏置电压切换为 V_p ,将施加到电极 4b 和 4d 上的偏置电压切换为 $-V_p$ 后,能够将振动器 1 的振幅频谱改为如图 14 所示仅具有一阶扭转谐振。也就是说,随着偏置电压的切换,能够形成具有不同扭转谐振频率的扭转谐振器。

[0120] 在图 15(a) 示出的构造中,并行设置 N 个具有不同谐振频率的第二实施例的扭转谐振器,通过开关元件 30 选择其中之一。通过切换偏置电压和进行开关选择能够构造出具有 $2 \times N$ 个不同谐振频率的扭转谐振器 24。假设能够在 f_{i1} 和 f_{i2} 之间切换第 i 个谐振器的扭转谐振频率,那么如图 15(b) 所示可以在频率轴上等间隔布置 $2N$ 个谱,因而有可能将其用作频率选择型滤波器。

[0121] 电改变相位的普通移相器中,可以在特定频率点处设置相移量,但是在其他频带内相移量是变化的。然而,在本实施例中采用不同极性的偏置电压和电感器上拉相同的 AC 信号,因而虽然在较高阶和较低阶之间适应性地切换谐振激发模式,但是如果能够假设所述电感在可切换的频带内具有充分高的阻抗,则也能够获得具有精确的 180 度相位差的横梁激振力。

[0122] 根据所述构造,由电极和振动器之间的电势差导致的静电力以振动器横梁的轴作为中心轴增加力矩,但是未向横梁添加产生弯曲振动的力,因此,根据这种简单的方法可以尽可能抑制除扭转谐振器的扭转振动以外的任何振动模式,并且能够提供一种采用扭转谐振器的滤波器,所述滤波器具有高 Q 值,并且能够用于几百 MHz 到几 GHz 的频带内。

[0123] 在本发明的第一和第二实施例中,采用正电压 V_p 和负电压 $-V_p$ 的两个信道作为偏置电压,但是也可以采用 0V 和 V_p 的两个信道。这时,可以向图 1 中的振动器 1 添加 $V_p/2$ 的偏置电压。

[0124] (第三实施例)

[0125] 接下来,将讨论本发明的第三实施例。

[0126] 在上述第一实施例和第二实施例中,采用功率分配器进行调整,从而实现施加到每一电极上的电压的相位偏移;第三实施例的特征在于,将施加到电极 4a 到 4d 上的 DC 偏置电压设置为相同的幅度,并相对于横梁 1 沿轴对称方向设置所述电极,从而沿振动器的横梁 1 的扭转方向施加静电力,如图 16(a) 和图 16(b) 所示。也就是说,相对于振动器沿扭

转方向设置所述电极,使其借助振动器的横梁 1 的扭转振动而变为与振动器具有等间距,由此形成电极对。驱动机构借助振动器的扭转振动向所述电极对施加相同的 AC 信号和相同的 DC 偏置电压。其他点与上述第一实施例中类似。采用相同的参考数字表示与第一实施例中相同的部分。

[0127] 在第三实施例中,将横梁 1 形成为具有矩形截面的杆状主体,而不是形成为桨。图 16(b) 是沿图 16(a) 的 A-A 线得到的截面图。

[0128] 由于本实施例中的谐振器不具有突起,因此降低了加到振动器上的质量,从而有可能使谐振频率转化为高频。向所述电极施加相同相位的 AC 信号和相同的 DC 偏置电压,因而极度简化了用于实现驱动机构的驱动电路。

[0129] (第四实施例)

[0130] 接下来,将讨论本发明的第四实施例。

[0131] 在上述第三实施例中,横梁 1 为杆状体;在第四实施例中,如图 17(a) 所示,在与电极 4a 到 4d 中的每一个相对的部分内形成缺口 1S。而且,在第四实施例中,可以使所施加的 AC 信号相位和 DC 偏置电压幅度相同,并使所述电极相对于横梁 1 沿轴对称方向设置,从而与第三实施例中一样沿横梁的扭转方向施加静电力。其他点与上述第一实施例中类似。采用相同的参考数字表示与第一实施例中相同的部分。

[0132] 尽管成形处理变得稍微复杂一些,但是能够采用 MEMS 技术容易地形成所述谐振器。

[0133] 图 17(b) 示出了修改实例,其中电极 4a 到 4d 和谐振器可以彼此相对。

[0134] 本发明的实施例中的谐振器是真空密封的,因此能够提供一种具有高 Q 值的谐振器,其中,振动器的振动不受空气粘滞度的影响。

[0135] 在本实施例中,采用固支-固支横梁作为扭转振动器,但是也可以采用悬臂替代固支-固支横梁。

[0136] 由于本实施例所示的谐振器具有高容抗,因此可以将适当数量的谐振器并行电连接,以降低阻抗,从而将输入的电能有目的地传送到谐振器。

[0137] 工业实用性

[0138] 根据本发明的扭转谐振器是针对静电力设计的,主要用于激励能够根据半导体工艺制造的极微小结构,根据本发明的扭转谐振器采用了具有高 Q 值的扭振谐振,实现了激发弯曲振动而非扭转振动的谐振频率的简化。因此,可以将所述扭转谐振器用作以高密度集成的高频滤波器,可以将其安装在移动无线终端等当中。还可以将其应用于工业或环境领域,包括话音频带和超声频带的频谱分析、利用机械谐振的质量分析等。

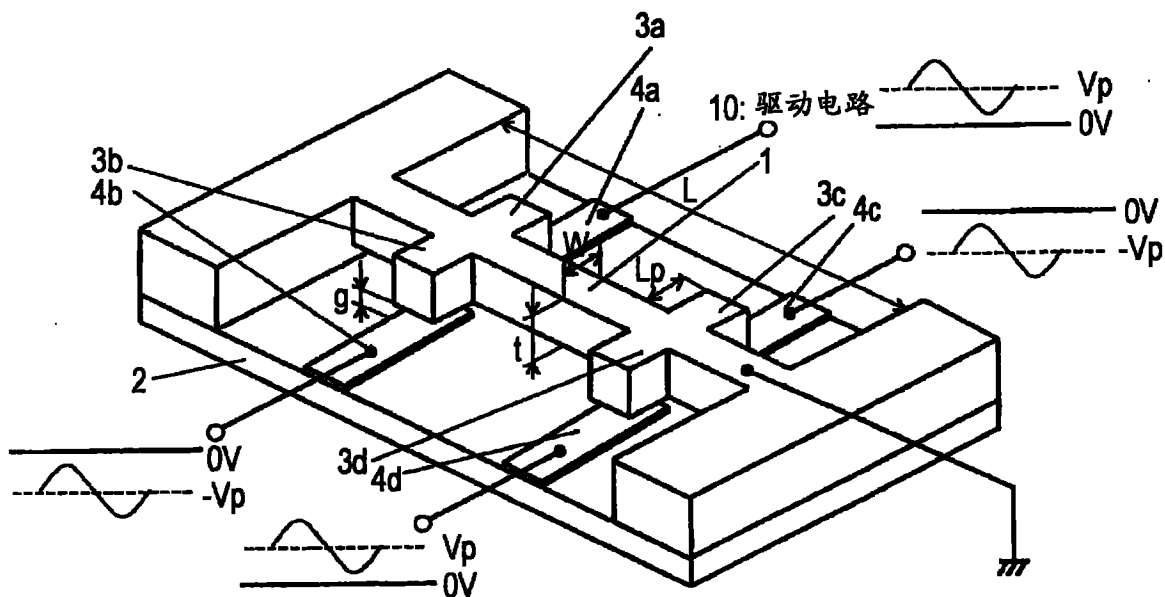


图 1

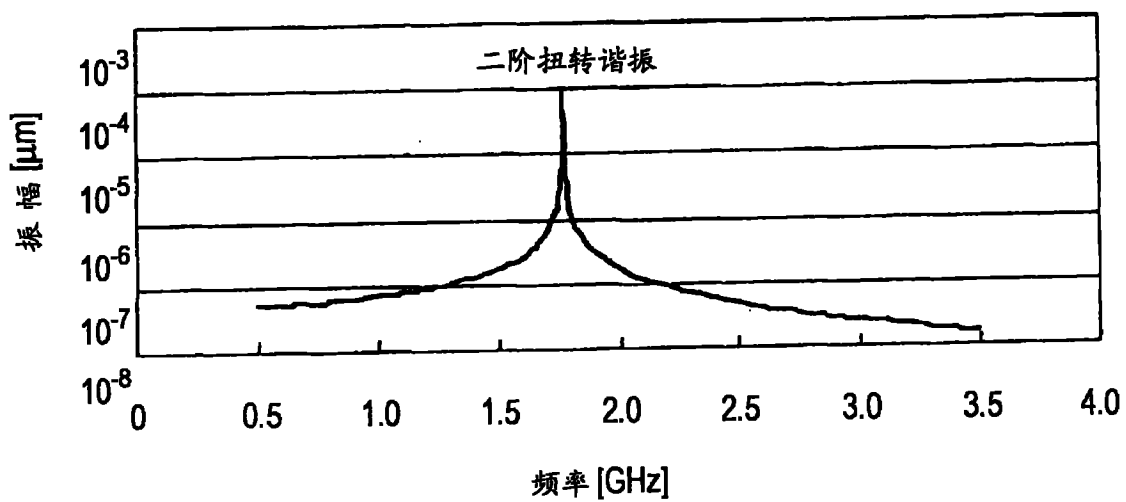


图 2

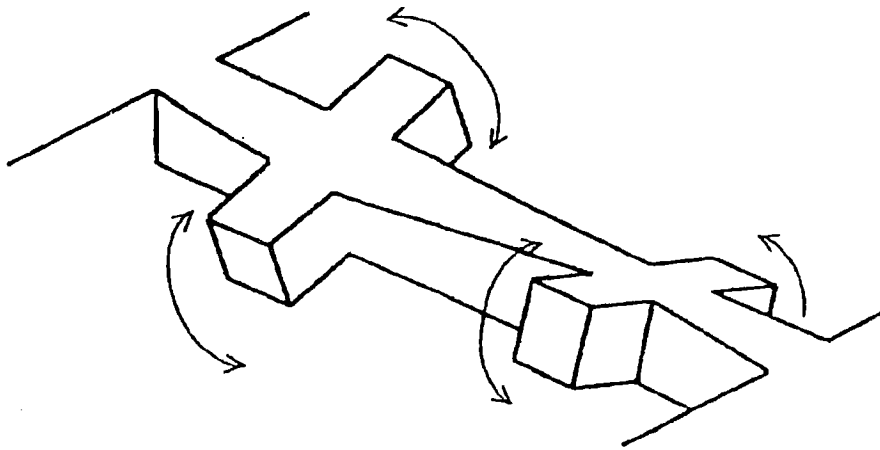


图 3

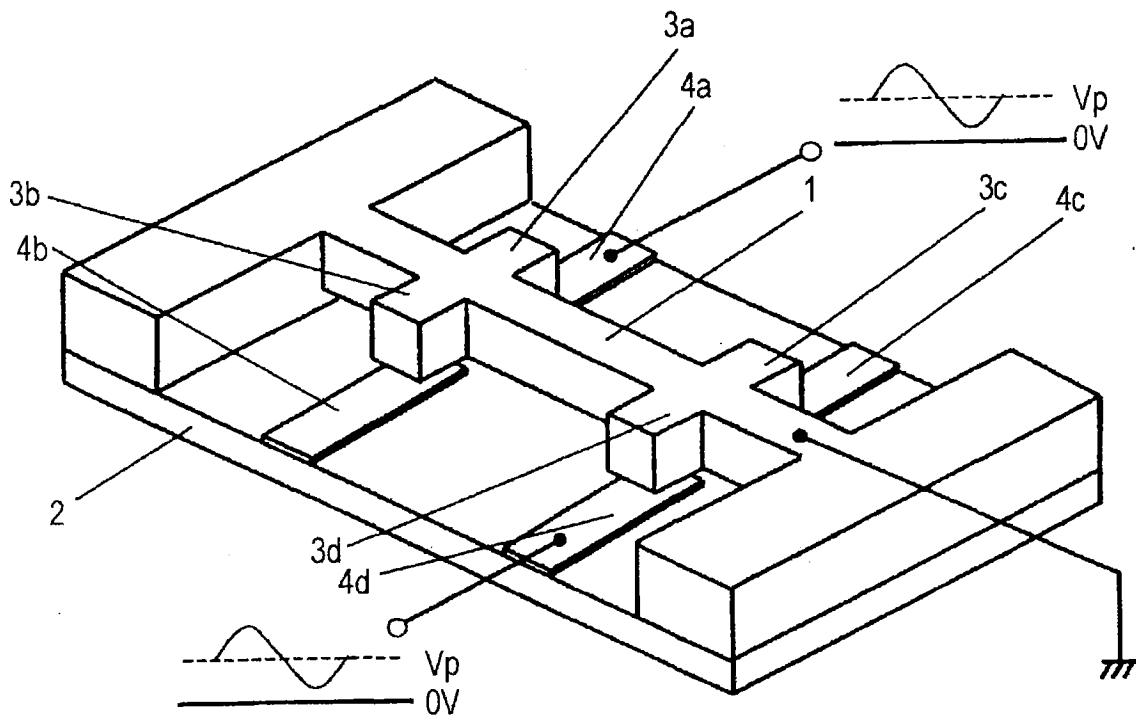


图 4

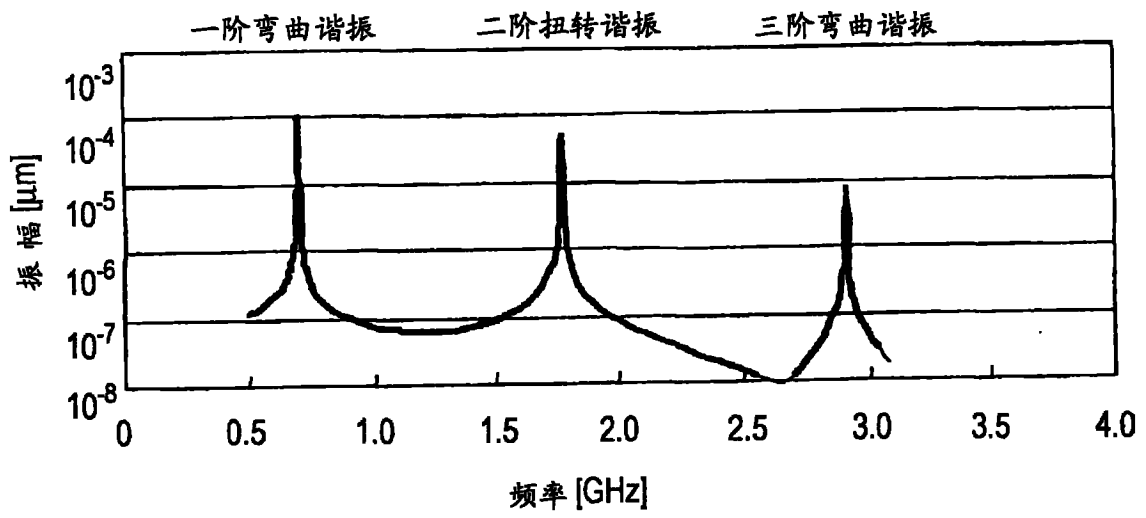


图 5

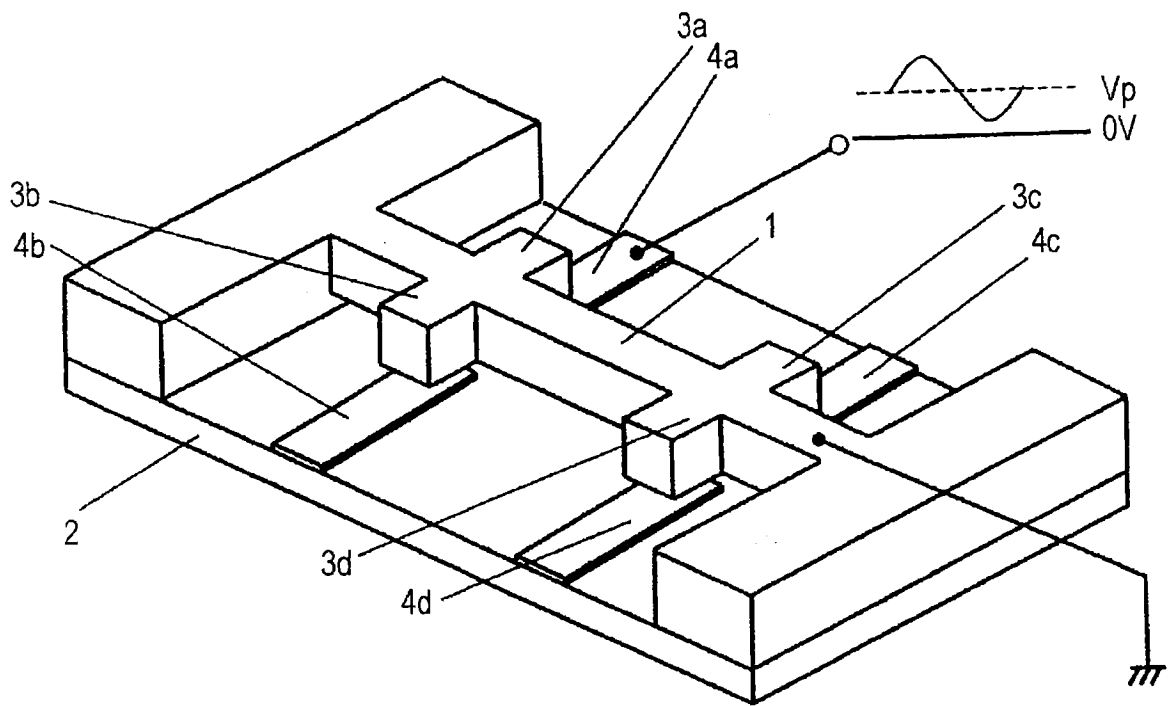


图 6

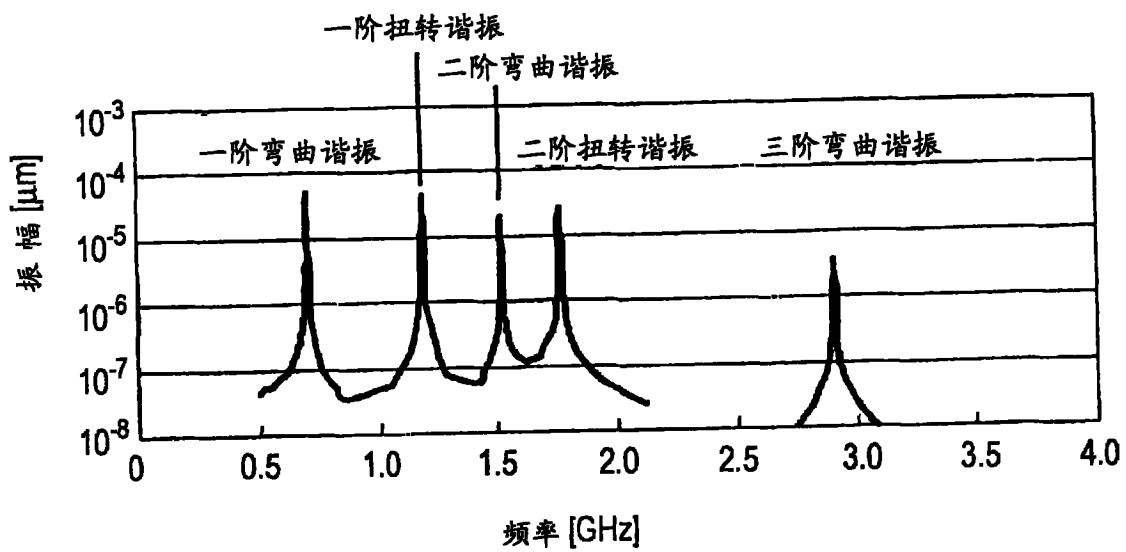


图 7

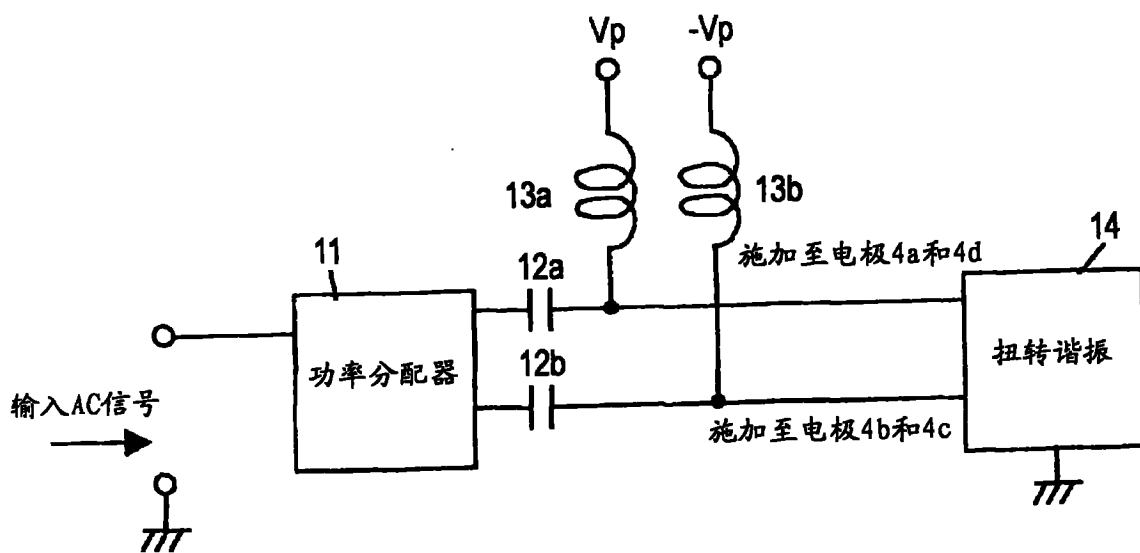


图 8

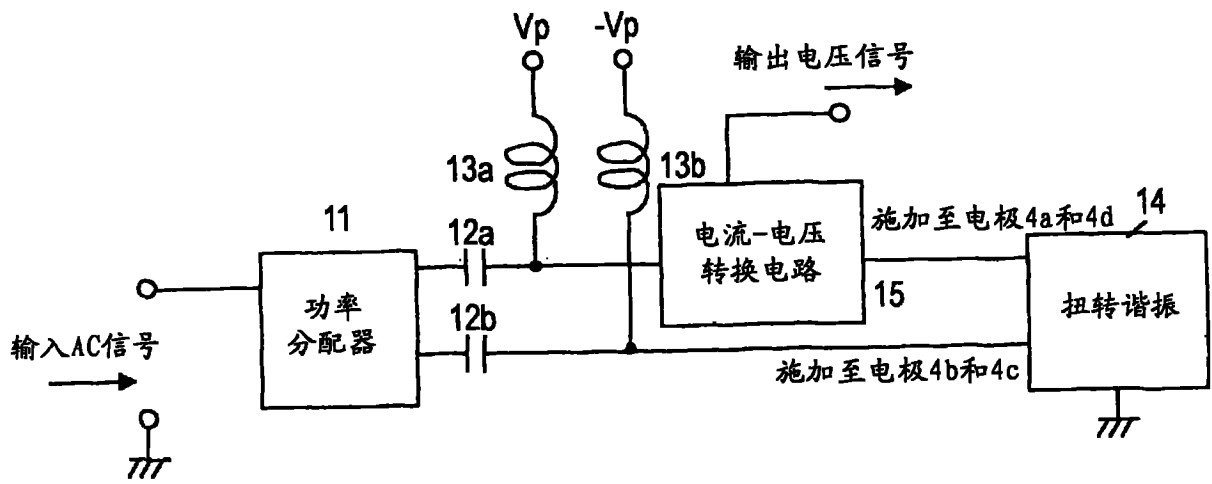


图 9

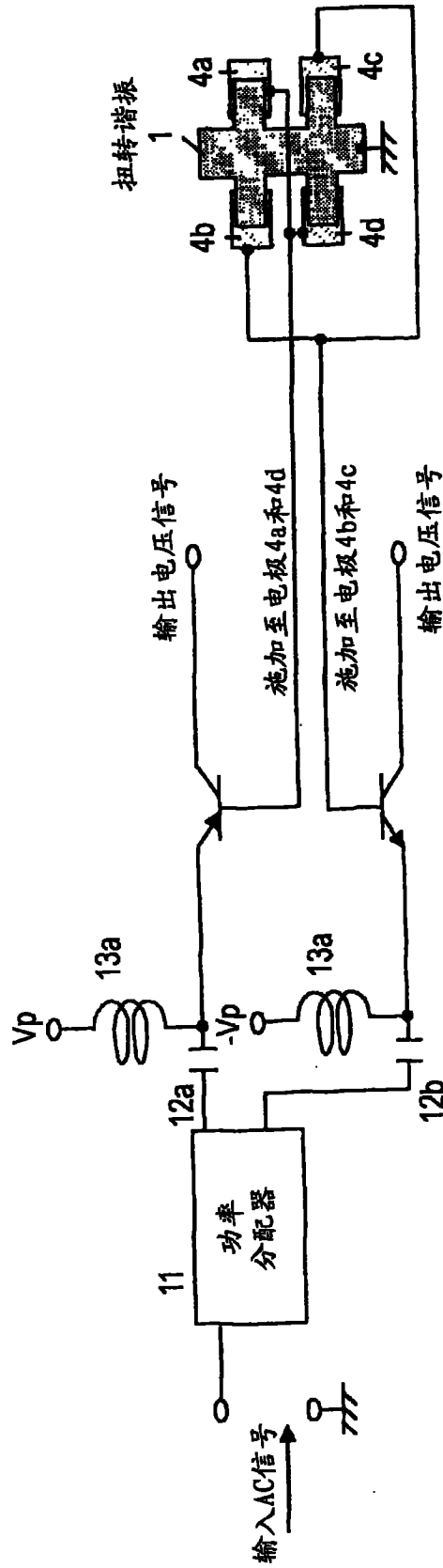


图 10

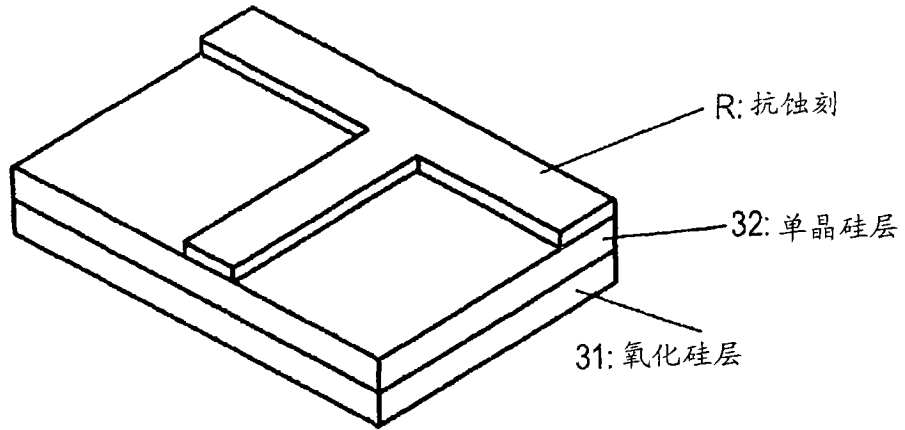


图 11A

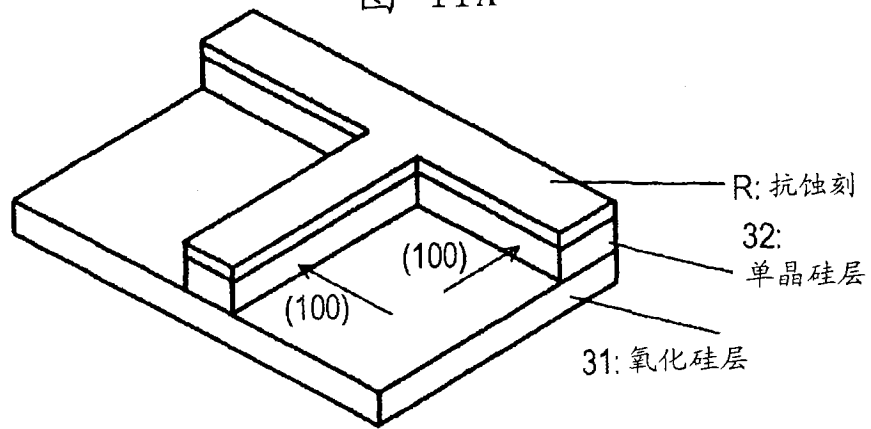


图 11B

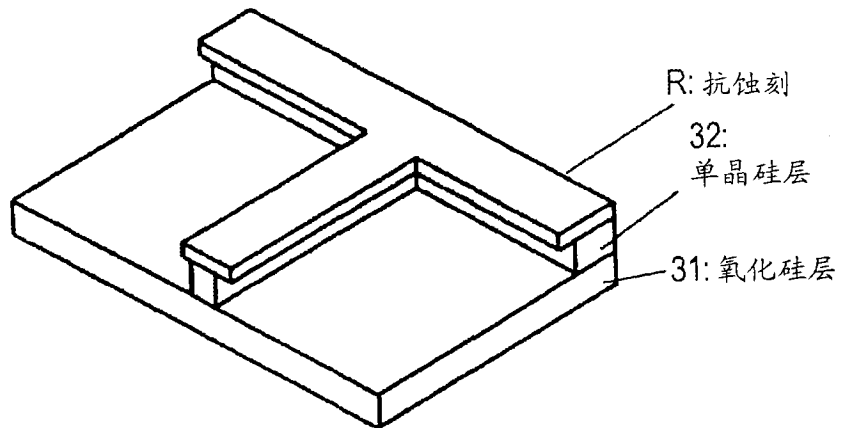
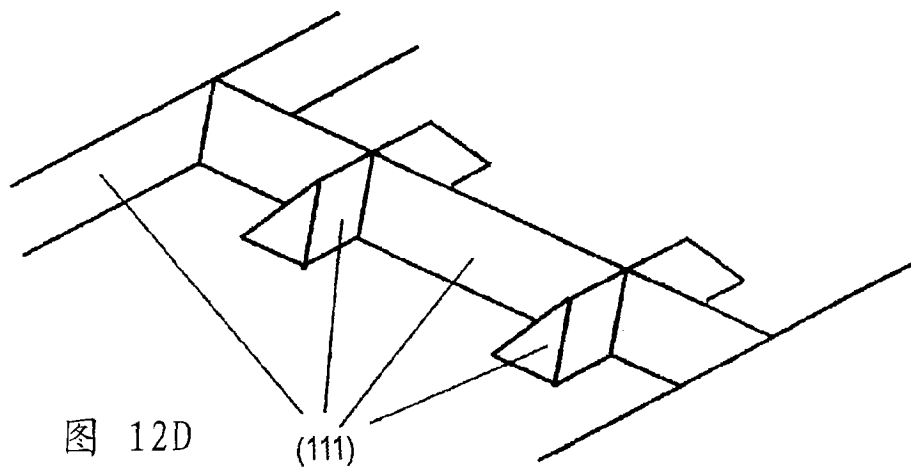
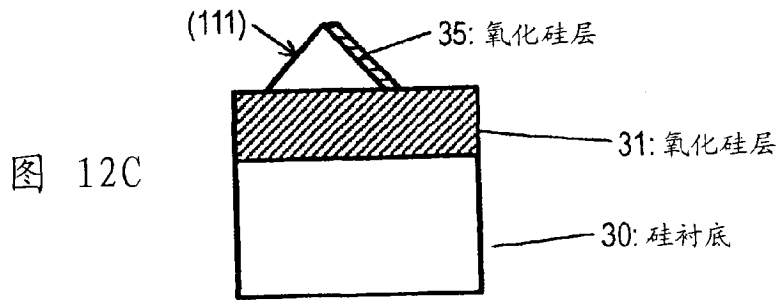
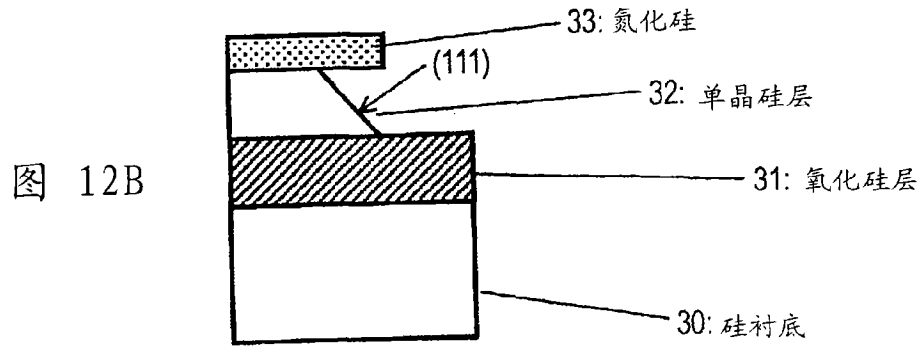
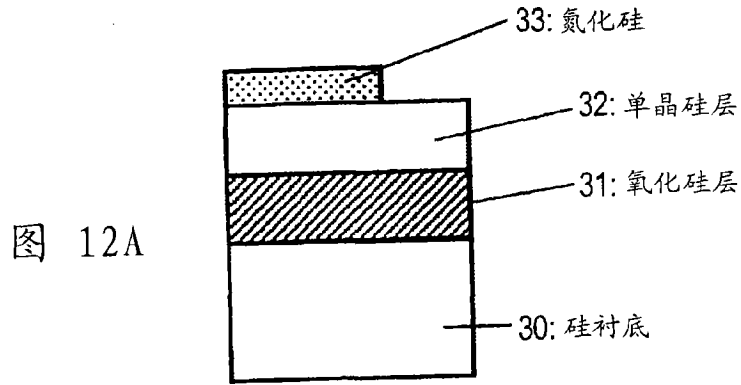


图 11C



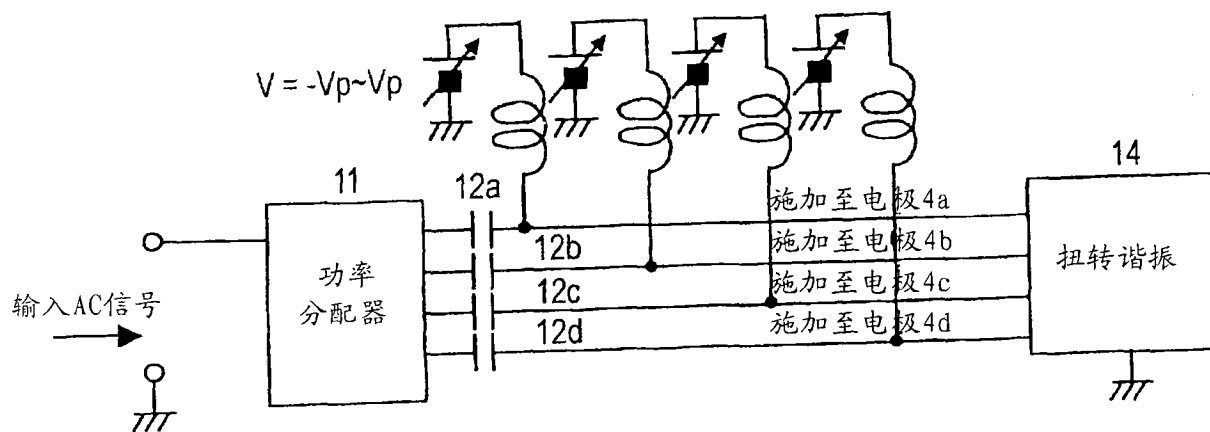


图 13

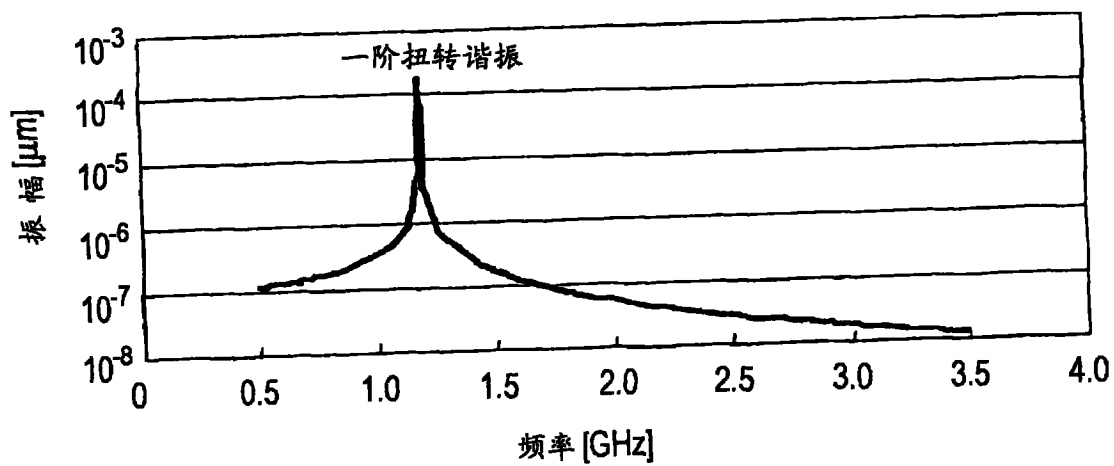


图 14

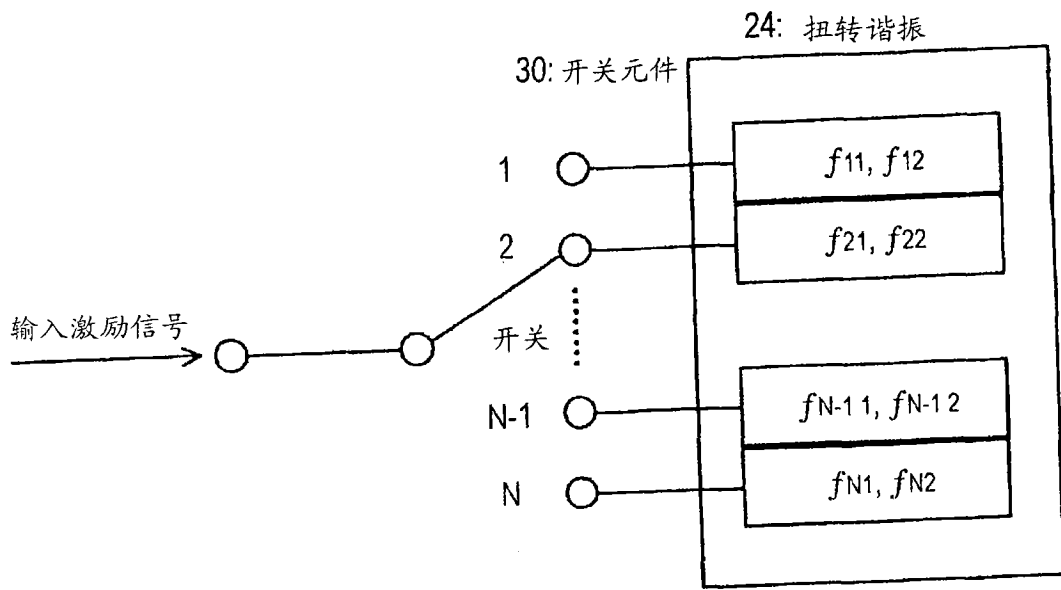


图 15A

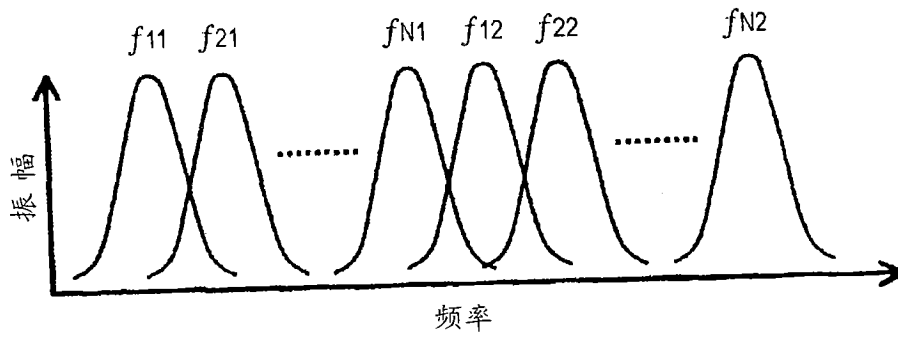


图 15B

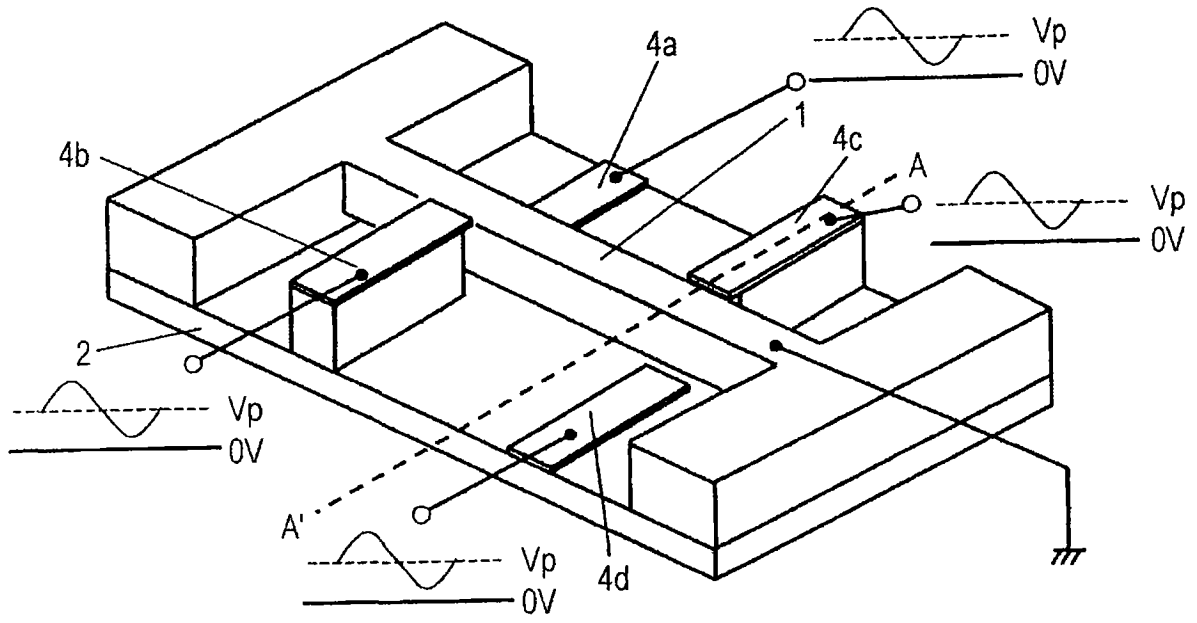


图 16A

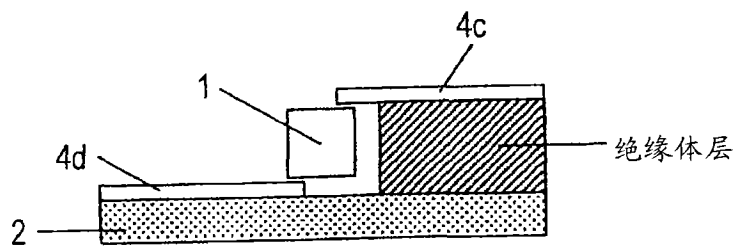


图 16B

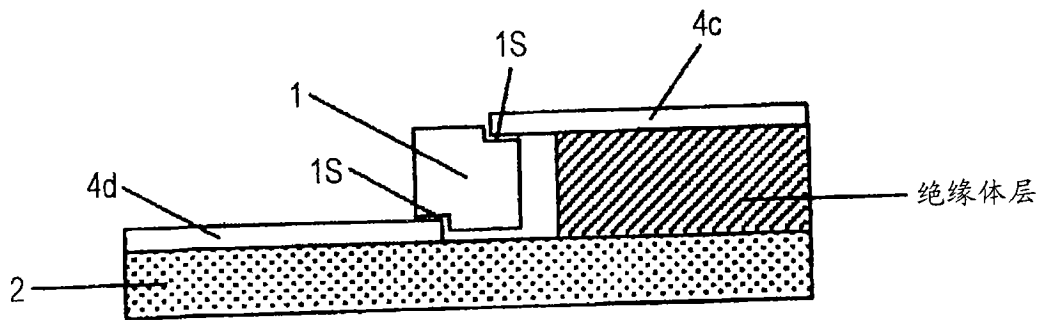


图 17A

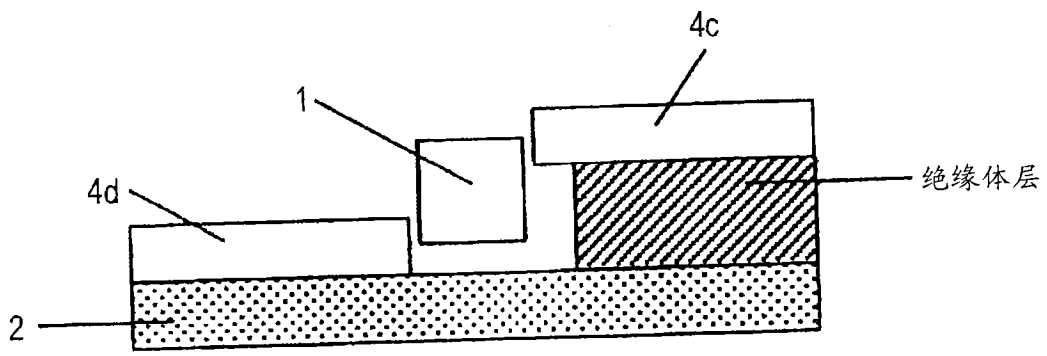


图 17B

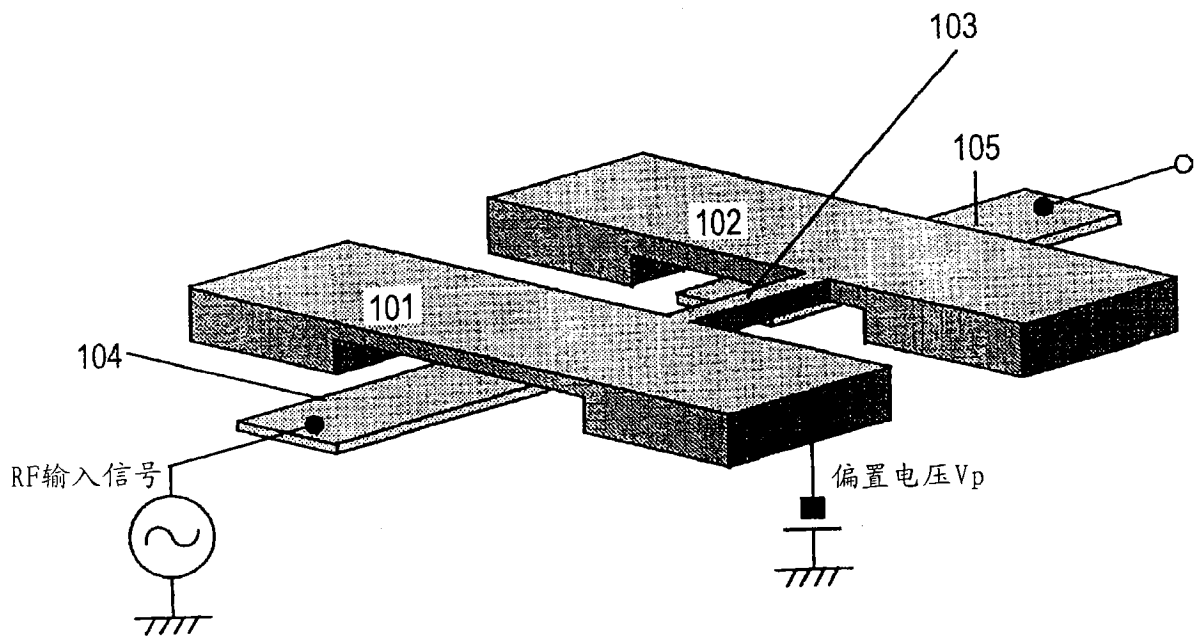


图 18

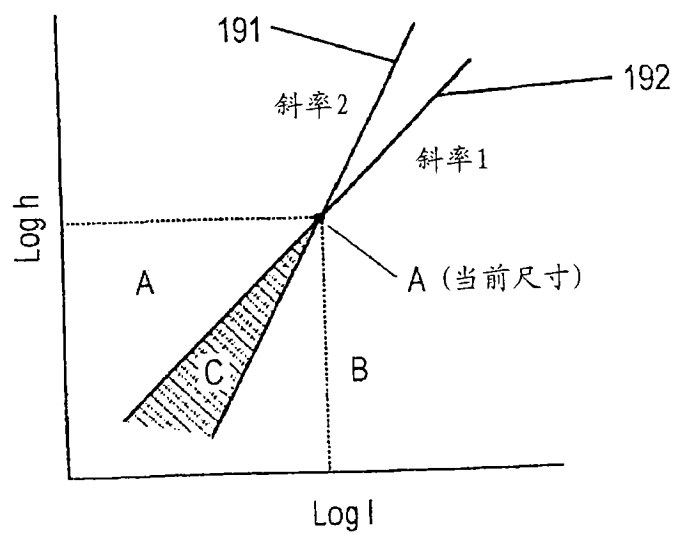


图 19

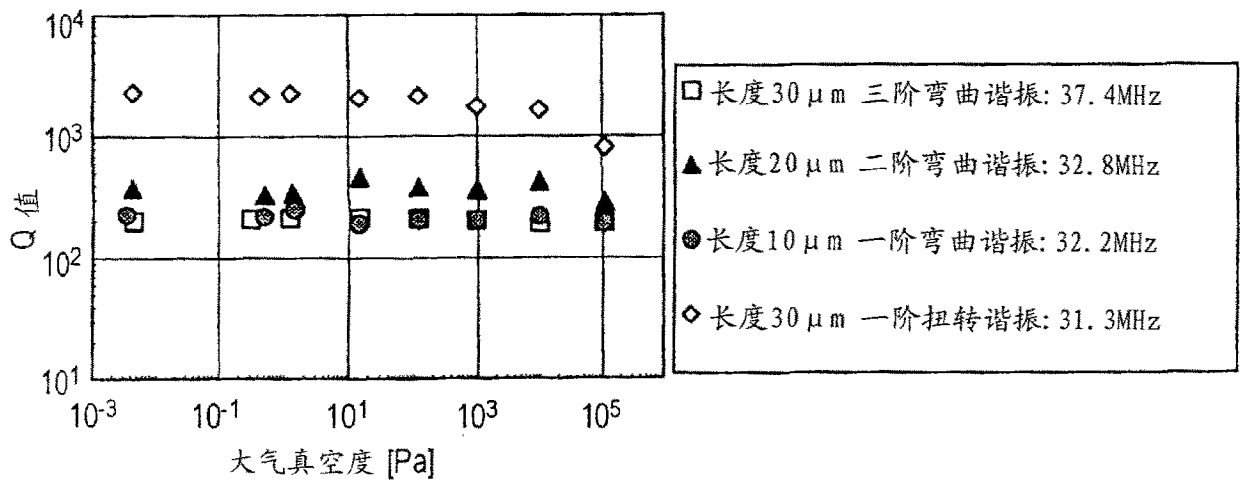


图 20

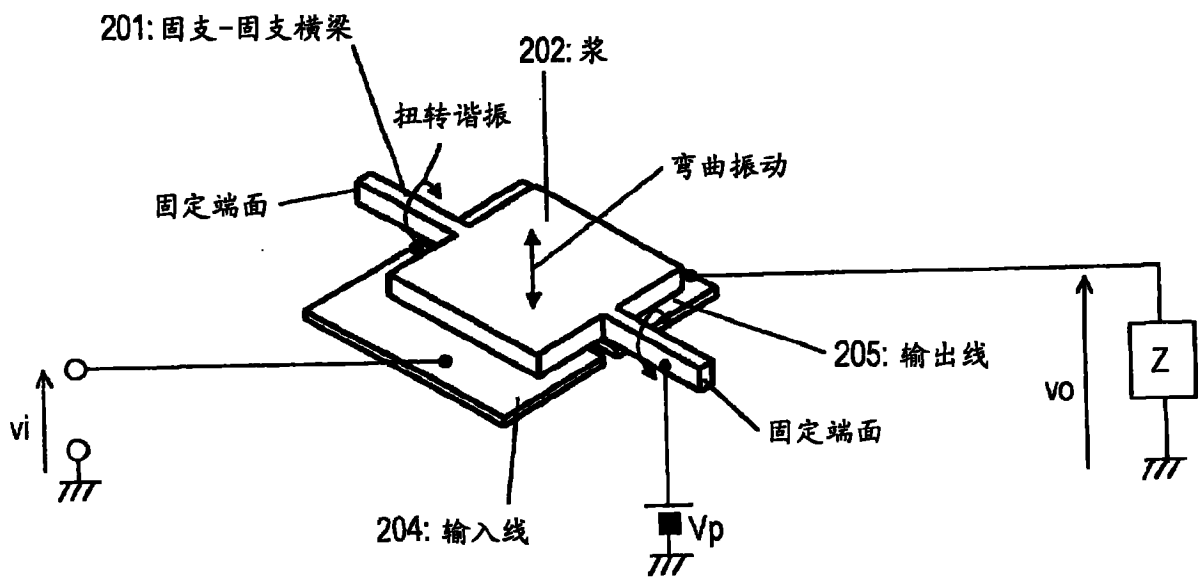


图 21