



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111355470 A

(43)申请公布日 2020.06.30

(21)申请号 201811560329.8

(22)申请日 2018.12.20

(71)申请人 天津大学

地址 300072 天津市南开区卫津路92号

申请人 诺思(天津)微系统有限责任公司

(72)发明人 杨清瑞 庞慰 张孟伦

(74)专利代理机构 北京金诚同达律师事务所
11651

代理人 汤雄军

(51) Int. Cl.

H03H 9/52(2006.01)

H03H 9/02(2006.01)

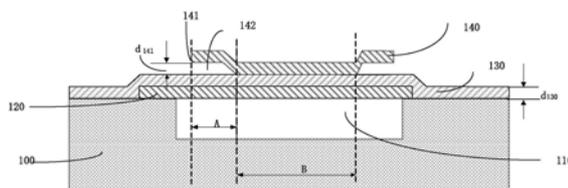
权利要求书2页 说明书6页 附图5页

(54)发明名称

基于悬檐尺寸调整有效机电耦合系数的装置

(57)摘要

基于悬檐尺寸调整有效机电耦合系数的装置。本发明涉及一种体声波谐振器,包括:基底;声学镜;底电极,设置在基底上方;顶电极;和压电层,设置在底电极上方以及底电极与顶电极之间,其中:所述声学镜、底电极、压电层和顶电极在谐振器厚度方向上的重叠区域构成谐振器的有效区域;所述顶电极的边缘形成檐结构,所述檐结构与压电层之间具有介质,所述檐结构具有高度和宽度;且所述檐结构沿谐振器的厚度方向的投影落入所述声学镜的区域。可以通过调整所述檐高度和/或所述宽度,调节所述有效机电耦合系数。本发明还涉及一种滤波器,其至少一个谐振器为上述谐振器且有效机电耦合系数不同于其他谐振器的有效机电耦合系数。本发明还涉及一种包括上述体声波谐振器或滤波器的电子设备。



1. 一种体声波谐振器,包括:

基底;

声学镜;

底电极,设置在基底上方;

顶电极;和

压电层,设置在底电极上方以及底电极与顶电极之间,

其中:

所述声学镜、底电极、压电层和顶电极在谐振器厚度方向上的重叠区域构成谐振器的有效区域;

所述顶电极的边缘形成檐结构,所述檐结构与压电层之间具有介质,所述檐结构具有高度和宽度;且

所述檐结构沿谐振器的厚度方向的投影落入所述声学镜的区域内。

2. 根据权利要求1所述的谐振器,其中:

所述介质包括氮化铝、二氧化硅、氮化硅或者空气。

3. 根据权利要求1所述的谐振器,其中:

所述檐结构的高度范围在500A到4000A。

4. 根据权利要求1-3中任一项所述的谐振器,其中:

所述檐结构的宽度范围在0.5um到7um。

5. 根据权利要求1所述的谐振器,其中:

所述谐振器的有效机电耦合系数小于无檐结构的对应谐振器的有效机电耦合系数。

6. 一种调整根据权利要求1-4中任一项的体声波谐振器的有效机电耦合系数的方法,包括步骤:

通过调整所述高度和/或所述宽度,和/或通过选择具有不同介电常数的介质,调节所述有效机电耦合系数。

7. 根据权利要求6所述的方法,其中:

在保持所述高度不变的情况下,通过提高所述宽度降低所述有效机电耦合系数,或者通过降低所述宽度提高所述有效机电耦合系数。

8. 根据权利要求6所述的方法,其中:

在保持所述宽度不变的情况下,通过提高所述高度提高所述有效机电耦合系数,或者通过降低所述高度降低所述有效机电耦合系数。

9. 一种滤波器,包括:

串联支路,包括多个串联谐振器;

多个并联支路,每个并联支路包括并联谐振器,

其中:

所述并联谐振器和所述多个串联谐振器中的至少一个谐振器的有效机电耦合系数不同于其他谐振器的有效机电耦合系数,所述至少一个谐振器为根据权利要求1-4中任一项所述的体声波谐振器。

10. 根据权利要求9所述的滤波器,其中:

所述并联谐振器和所述多个串联谐振器中的至少两个谐振器为根据权利要求1-4中任

一项所述的谐振器,且所述至少两个谐振器基于所述宽度和/或所述高度的不同,和/或所述介质的不同,而具有彼此不同的有效机电耦合系数。

11.一种电子设备,包括根据权利要求9或10所述的滤波器或者根据权利要求1-4中任一项所述的体声波谐振器。

基于悬檐尺寸调整有效机电耦合系数的装置

技术领域

[0001] 本发明的实施例涉及半导体领域,尤其涉及一种体声波谐振器,一种具有该谐振器的滤波器,以及一种具有该滤波器或谐振器的电子设备。

背景技术

[0002] 体声波滤波器具有低插入损耗、高矩形系数、高功率容量等优点,因此,被广泛应用在当代无线通讯系统中,是决定射频信号进出通讯系统质量的重要元器件。

[0003] 体声波滤波器的性能由构成它的体声波谐振器决定,如:体声波谐振器的谐振频率决定了滤波器的工作频率,有效机电耦合系数($K_{t,eff}^2$)决定了滤波器的带宽和滚降,品质因数决定滤波器插入损耗。在频带资源越来越紧俏的时代中,高品质滤波器通常需要具备大带宽或高滚降或二者兼具,而其带宽和滚降是由单个谐振器的 $K_{t,eff}^2$ 决定的,而谐振器的 $K_{t,eff}^2$ 是由其层叠厚度决定的,通常在整片硅片内所有谐振器具有相同的 $K_{t,eff}^2$,因此如何实现谐振器的 $K_{t,eff}^2$ 在一定范围内片内可调是高性能滤波器设计急需解决的一个重要问题。

发明内容

[0004] 为解决现有技术中的上述技术问题的至少一个方面,提出本发明。

[0005] 根据本发明的实施例的一个方面,提出了一种体声波谐振器,包括:基底;声学镜;底电极,设置在基底上方;顶电极;和压电层,设置在底电极上方以及底电极与顶电极之间,其中:所述声学镜、底电极、压电层和顶电极在谐振器厚度方向上的重叠区域构成谐振器的有效区域;所述顶电极的边缘形成檐结构,所述檐结构与压电层之间具有介质,所述檐结构具有高度和宽度;且所述檐结构沿谐振器的厚度方向的投影落入所述声学镜的区域内。

[0006] 可选的,所述介质包括氮化铝、二氧化硅、氮化硅或者空气。

[0007] 可选的,所述檐结构的高度范围在500Å到4000Å。

[0008] 可选的,所述檐结构的宽度范围在0.5μm到7μm。

[0009] 所述谐振器的有效机电耦合系数小于无檐结构的对应谐振器的有效机电耦合系数。

[0010] 根据本发明的实施例的另一方面,提出了一种调整上述体声波谐振器的有效机电耦合系数的方法,包括步骤:通过调整所述高度和/或所述宽度,和/或通过选择具有不同介电常数的介质,调节所述有效机电耦合系数。

[0011] 可选的,所述有效机电耦合系数小于无檐结构的对应谐振器的有效机电耦合系数。

[0012] 可选的,在保持所述高度不变的情况下,通过提高所述宽度降低所述有效机电耦合系数,或者通过降低所述宽度提高所述有效机电耦合系数。

[0013] 可选的,在保持所述宽度不变的情况下,通过提高所述高度提高所述有效机电耦合系数,或者通过降低所述高度降低所述有效机电耦合系数。

[0014] 根据本发明的实施例的再一方面,提出了一种滤波器,包括:串联支路,包括多个串联谐振器;和多个并联支路,每个并联支路包括并联谐振器,其中:所述并联谐振器和所述多个串联谐振器中的至少一个谐振器的有效机电耦合系数不同于其他谐振器的有效机电耦合系数,所述至少一个谐振器为上述的体声波谐振器。

[0015] 可选的,所述并联谐振器和所述多个串联谐振器中的至少两个谐振器为上述的谐振器,且所述至少两个谐振器基于所述宽度和/或所述高度的不同,和/或所述介质的不同,而具有彼此不同的有效机电耦合系数。

[0016] 本发明的实施例还涉及一种电子设备,包括上述的滤波器或者谐振器。

附图说明

[0017] 以下描述与附图可以更好地帮助理解本发明所公布的各种实施例中的这些和其他特点、优点,图中相同的附图标记始终表示相同的部件,其中:

[0018] 图1为现有技术中的滤波器(以4阶为例)的等效电路示意图;

[0019] 图2为根据本发明的一个示例性实施例的体声波谐振器的俯视图;

[0020] 图3为沿图2中的1A-1A向截得的示意性截面图;

[0021] 图4为图3中的谐振器的有效区域和临界区域的等效机电模型;

[0022] 图5为体声波谐振器的谐振器的阻抗频率特性曲线,其中虚线对应于具有悬檐结构的图2中的体声波谐振器,实线对应于不具有悬檐结构的体声波谐振器;

[0023] 图6为体声波谐振器的阻抗频率特性曲线,其中示出了不具有悬檐结构的谐振器对应的曲线,具有悬檐且悬檐的空隙的高度为1000A而宽度分别为1 μ m、2 μ m和3 μ m时的谐振器对应的曲线;

[0024] 图7为体声波谐振器的阻抗频率特性曲线,其中示出了不具有悬檐结构的谐振器对应的曲线,具有悬檐且悬檐的空隙的宽度为3 μ m,而高度分别为1000A、2000A和3000A时的谐振器对应的曲线;

[0025] 图8为图1中的滤波器的Band7Tx的插损频率特性仿真曲线,其中示出了谐振器的有效机电耦合系数不同的曲线,以及谐振器的有效机电耦合系数相同的曲线;

[0026] 图9为图1中的滤波器的Band7Rx的插损频率特性仿真曲线,其中示出了谐振器的有效机电耦合系数不同的曲线,以及谐振器的有效机电耦合系数相同的曲线;

[0027] 图10示出了谐振器的有效机电耦合系数不同的滤波器以及谐振器的有效机电耦合系数相同的滤波器的滚降曲线。

具体实施方式

[0028] 下面通过实施例,并结合附图,对本发明的技术方案作进一步具体的说明。在说明书中,相同或相似的附图标记指示相同或相似的部件。下述参照附图对本发明实施方式的说明旨在对本发明的总体发明构思进行解释,而不应当理解为对本发明的一种限制。

[0029] 图1为4阶滤波器的等效电路示意图,其中S1、S2、S3、S4为串联谐振器,其有效机电耦合系数为 $K_{t,eff,i}^2$ ($i=1, 2, 3, 4$);其中P1、P2、P3、P4为并联谐振器,其 $K_{t,eff}$ 值为

$K_{t,eff,i}^2$ ($i=5, 6, 7, 8$)。

[0030] 图2为体声波谐振器S1的俯视图。体声波谐振器包括底电极120、压电层130、顶电极140、檐结构141和梁结构150。需要说明的是,梁结构设置在顶电极的连接边,而檐结构设置在顶电极的非连接边,在本发明中,该梁结构也可以不设置,或者设置梁结构。

[0031] 图3为沿着图2俯视图1A-1A所取的截面图。如图3所示,体声波谐振器包括例如由高阻Si制成的基底,声学镜110,此声学镜位于基底的上表面或嵌于基底的内部,在图3中声学镜为嵌入基底中的空腔所构成,但是任何其它的声学镜结构如布拉格反射器也同样适用。体声波谐振器还包括底电极120、压电层130、顶电极140、檐141和檐下介质142。底电极120设置在声学镜的上方,并覆盖声学镜。可将底电极120边缘刻蚀成斜面,并且该斜面位于声反射镜的外边,此外底电极120的边缘还可以为阶梯状、垂直状或是其它相似的结构。介质AC可为二氧化硅、氮化硅、空气等,本发明中以空气为例进行说明。

[0032] 图3中B所示区域为谐振器的有效区域,含顶电极140、压电层130、底电极120、空腔110和高阻硅基底100,其中压电层130的厚度为 d_{130} ;图3中A所示区域为谐振器的临界区域,含顶电极140、压电层130、底电极120、空腔110、高阻硅基底100、檐141和檐下空腔142。如图3所示,檐141的横向尺寸为A,檐141距离压电层130的高度为 d_{130} 。

[0033] 如图3所示,檐141沿谐振器的厚度方向的投影落入所述声学镜的区域内。

[0034] 有效区域与临界区域的等效机电模型如图4所示, C_{eq} 为临界区域的电容。 C_{eq} 为檐下空腔142的电容 C_{air} 与压电材料130的电容 C_{130} 串联而成。各公式为:

$$[0035] \quad C_{air} = \frac{\epsilon_0 A}{d_{141}} \quad (\text{公式一})$$

$$[0036] \quad C_{130} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_{130} A}{d_{130}} \quad (\text{公式二})$$

$$[0037] \quad C_{eq} = \frac{C_{air} * C_{130}}{C_{air} + C_{130}} \quad (\text{公式三})$$

[0038] 若谐振器为15k(这里的k表示1000平方微米,下同)的正五边形,檐的宽度A为3 μm ,檐的高度 d_{130} 为1000A,经计算得:

$$[0039] \quad C_{air} = 0.124\text{pF}$$

$$[0040] \quad C_{130} = 0.169\text{pF}$$

$$[0041] \quad C_{eq} = 0.072\text{pF}$$

[0042] 若临界区域无檐伸出,则临界区域电容为零,此时为基准情况。故上述有檐的器件电容较基准电容增加了0.072pF,并联谐振频率 f_p 向左移动,如图5所示。此时计算

$K_{t,eff,基准}^2$ 为8.3%, $K_{t,eff,wing}^2$ 为8%,即有檐情况下, $K_{t,eff}^2$ 减少了0.3%,实现了 $K_{t,eff}^2$ 的调整。

[0043] 当谐振器其他条件一定,只调整檐的高度 d_{130} 和宽度A时, C_{130} 为基准定值,通过公式一可知, C_{air} 与 d_{130} 成反比,与A成正比;通过公式三可知, C_{eq} 也与 d_{130} 成反比,与A成正比。若 C_{eq} 增加,则 f_p 向左移动, $K_{t,eff}^2$ 减少。仿真结果显示:当 d_{130} 为1000A时,调整檐的宽度A分别为1 μm 、2 μm 、3 μm ,则 f_p 向左移动,逐渐远离基准A0,如所图6示,即 $K_{t,eff}^2$ 逐渐减小;当檐的宽

度A为3um时,调整檐的高度 d_{130} 分别为1000A、2000A、3000A,则 f_P 逐渐向右移动靠近基准A0,如图7所示,即其 $K_{t,eff}^2$ 逐渐增加靠近基准 $K_{t,eff}^2$ 。

[0044] 对于图1中的各谐振器,通过调整每个谐振器的檐的宽度A和/或高度 d_{130} ,可调整其 $K_{t,eff}^2$,进而对不同谐振器实现不同的 $K_{t,eff,i}^2$,相比所有谐振器 $K_{t,eff}^2$ 均相同的滤波器设计,这种 $K_{t,eff}^2$ 可调的滤波器可以实现更好的通带性能。

[0045] 虽然没有示出,但是,可以通过选择具有不同介电常数的介质,调节所述有效机电耦合系数。选择介质与调整上述的宽度和高度可以组合进行。

[0046] 针对Band7 (频段7) Tx的频段要求,对图1所示的四阶滤波器进行仿真优化,当所有谐振器的 $K_{t,eff}^2$ (6.12%) 均相同时,仿真结果如图8中实线曲线。当允许谐振器具有不同 $K_{t,eff}^2$ 时,仿真结果如图8中虚线曲线。可以看到,在不降低滤波器的通带插入损耗的条件下,滤波器的通带带宽得到了显著增大。相应的设计中所采用的最大 $K_{t,eff}^2$ 为6.5%,在串联支路上四个谐振器的面积分别为:6.01k,6k,6.5k,6.5k, $K_{t,eff}^2$ 分别为6.5%、6.0%、6.5%、6.5%;并联支路上四个谐振器的面积为:6k,10.7k,12.3k,7.7k,有效机电耦合系数分别为:6.5%、6.1%、5.8%、5.8%。当檐141距离压电层130的高度 d_{130} 为1000A时,以最大的 $K_{t,eff}^2$ (6.5%) 为原始 $K_{t,eff}^2$,对于面积为6k的谐振器,形成 $K_{t,eff}^2$ 为6.0%所需要的檐AW的宽度为3um,对于面积为10.7k的谐振器,形成 $K_{t,eff}^2$ 为6.1%所需要的檐AW的宽度为4.5um,对于面积为12.3k的谐振器,形成 $K_{t,eff}^2$ 为5.8%所需要的檐AW的宽度为6.5um,对于面积为7.7k的谐振器,形成 $K_{t,eff}^2$ 为5.8%所需要的檐AW的宽度为5.5um。

[0047] 当针对Band7 (频段7) Rx频段要求设计滤波器时,分别控制串联谐振器的 $K_{t,eff}^2$ 为6.0%、6.5%、6.5%、6.5%,面积优化为:6k,8.7k,6.4k,6.6k;控制并联谐振器的 $K_{t,eff}^2$ 分别为:6.5%、6.5%、6.5%、6.5%,面积优化为:6.5k,9.5k,7.7k,14k时,从而可以达到带宽不变的条件下滚降显著优于所有谐振器 $K_{t,eff}^2$ 均为6.5%的情况,如图9、图10所示。当檐141距离压电层130的高度 d_{130} 为1000A时,以最大的 $K_{t,eff}^2$ (6.5%) 为原始 $K_{t,eff}^2$,对于面积为6k的谐振器,形成 $K_{t,eff}^2$ 为6.0%所需要的檐141的宽度为3um。

[0048] 在本发明的示例性实施例中,所述檐结构的高度范围在500A到4000A,例如500A、2400A和3000A等。

[0049] 在本发明的示例性实施例中,所述檐结构的宽度范围在0.5um到7um,例如0.5um、0.6um和0.7um等。

[0050] 基于以上,本发明提出了一种能够实现片内滤波器有效机电耦合系数 $K_{t,eff}^2$ 可调的体声波谐振结构。在谐振器的顶电极140与压电层130之间,设置一种檐结构。改变檐结构

的宽度及距离压电层的高度以及相应区域的介电材料特性可改变谐振器的等效电容,使谐振器的并联谐振器频率改变,从而实现滤波器中单个谐振器的有效机电耦合系数 $K_{t,eff}^2$ 可调,实现更好的通带或滚降性能。

[0051] 相应的,本发明提出了一种体声波谐振器,包括:

[0052] 基底100;

[0053] 声学镜110;

[0054] 底电极120,设置在基底上方;

[0055] 顶电极140;和

[0056] 压电层130,设置在底电极上方以及底电极与顶电极之间,

[0057] 其中:

[0058] 所述声学镜、底电极、压电层和顶电极在谐振器厚度方向上的重叠区域构成谐振器的有效区域B;

[0059] 所述顶电极的边缘形成檐结构141,所述檐结构与压电层之间具有介质142,所述檐结构具有高度和宽度;且

[0060] 所述檐结构沿谐振器的厚度方向的投影落入所述声学镜的区域内。

[0061] 可选的,所述谐振器的有效机电耦合系数小于无檐结构的对应谐振器的有效机电耦合系数。这里的“对应谐振器”表示除了有无檐结构之外,两个谐振器具有相同的结构。

[0062] 相应的,本发明提出了一种调整上述体声波谐振器的有效机电耦合系数的方法,包括步骤:通过调整所述高度和/或所述宽度,和/或通过选择具有不同介电常数的介质,调节所述有效机电耦合系数。例如,可以在保持所述高度不变的情况下,通过提高所述宽度降低所述有效机电耦合系数,或者通过降低所述宽度提高所述有效机电耦合系数。再如,可以在保持所述宽度不变的情况下,通过提高所述高度提高所述有效机电耦合系数,或者通过降低所述高度降低所述有效机电耦合系数。

[0063] 相应的,本发明提出了一种滤波器,包括:串联支路,包括多个串联谐振器;多个并联支路,每个并联支路包括并联谐振器,其中:所述并联谐振器和所述多个串联谐振器中的至少一个谐振器的有效机电耦合系数不同于其他谐振器的有效机电耦合系数,所述至少一个谐振器为上述的体声波谐振器。

[0064] 进一步的,所述并联谐振器和所述多个串联谐振器中的至少两个谐振器可为上述的谐振器,且所述至少两个谐振器基于所述宽度和/或所述高度的不同,和/或所述介质的不同,而具有彼此不同的有效机电耦合系数。

[0065] 下面示例性的简单说明根据本发明的体声波谐振器的部件的材料。

[0066] 在本发明中,电极组成材料可以是金(Au)、钨(W)、钼(Mo)、铂(Pt),钌(Ru)、铱(Ir)、钛钨(TiW)、铝(Al)、钛(Ti)、锇(Os)、镁(Mg)、金(Au)、钨(W)、钼(Mo)、铂(Pt)、钌(Ru)、铱(Ir)、锗(Ge)、铜(Cu)、铝(Al)、铬(Cr)、砷掺杂金等类似金属形成。

[0067] 在本发明中,压电层材料可以为氮化铝(ALN)、掺杂氮化铝(doped ALN)氧化锌(ZnO)、锆钛酸铅(PZT)、铌酸锂(LiNbO3)、石英(Quartz)、铌酸钾(KNbO3)或钽酸锂(LiTaO3)等材料,其中掺杂ALN至少含一种稀土元素,如钪(Sc)、钇(Y)、镁(Mg)、钛(Ti)、镧(La)、铈(Ce)、镨(Pr)、钕(Nd)、钷(Pm)、钐(Sm)、铕(Eu)、钆(Gd)、铽(Tb)、镝(Dy)、钬(Ho)、铒(Er)、铥(Tm)、镱(Yb)、镱(Lu)等。

[0068] 在本发明中,基底材料包括但不限于:单晶硅(Si),砷化镓(GaAs),蓝宝石,石英等。

[0069] 在本发明中,介质包括但不限于氮化铝、二氧化硅、氮化硅或者空气,均在本发明的保护范围之内。

[0070] 本发明的实施例也涉及一种电子设备,包括上述的滤波器或者谐振器。需要指出的是,这里的电子设备,包括但不限于射频前端、滤波放大模块等中间产品,以及手机、WIFI、无人机等终端产品。

[0071] 尽管已经示出和描述了本发明的实施例,对于本领域的普通技术人员而言,可以理解在不脱离本发明的原理和精神的情况下可以对这些实施例进行变化,本发明的范围由所附权利要求及其等同物限定。

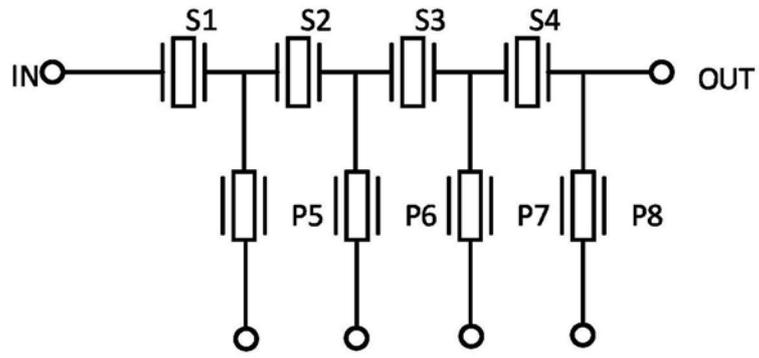


图1

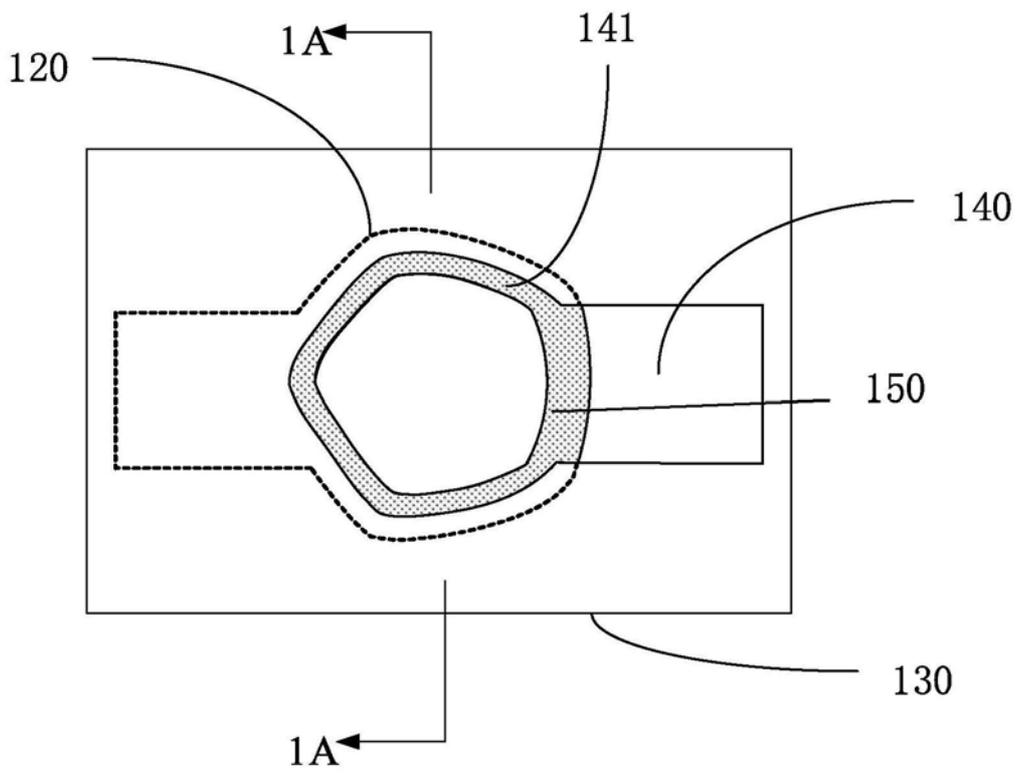


图2

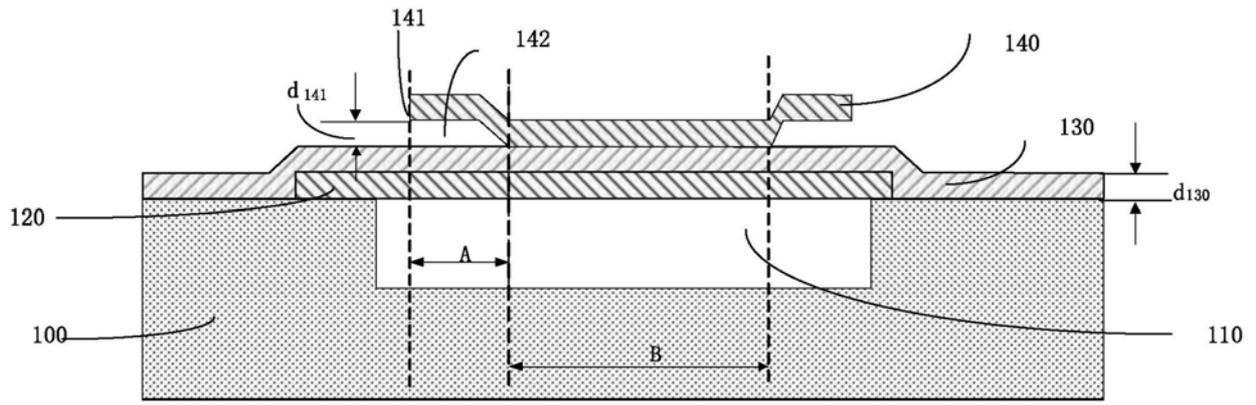


图3

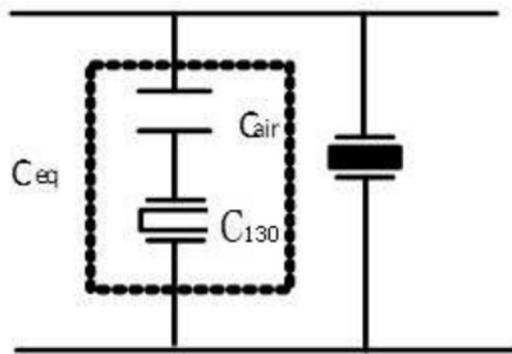


图4

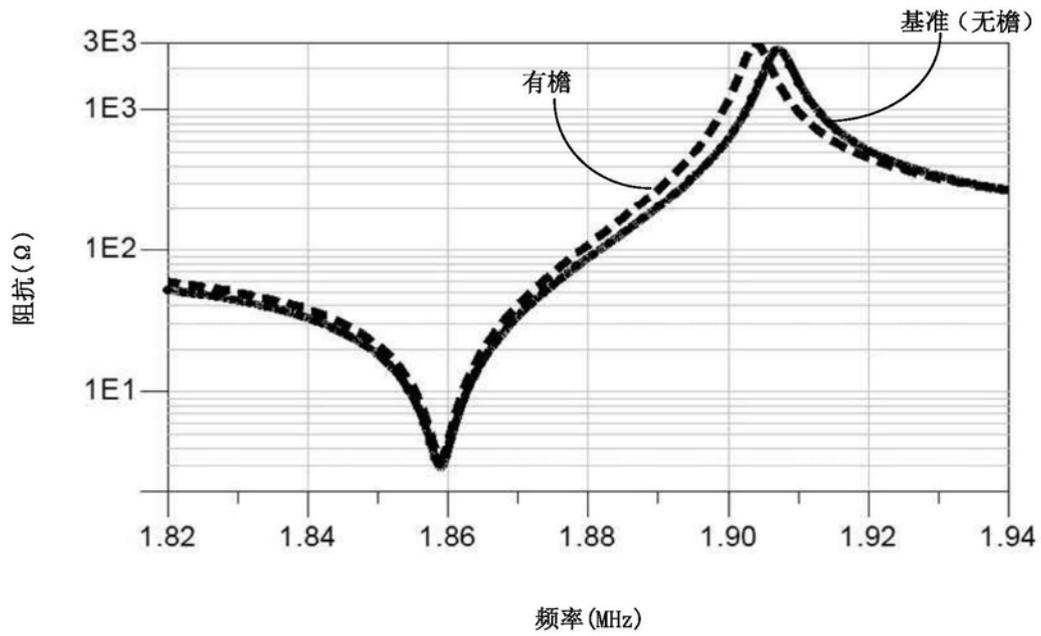


图5

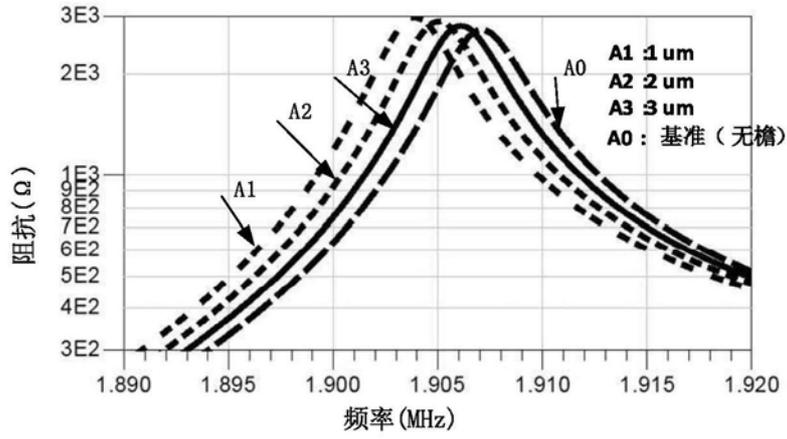


图6

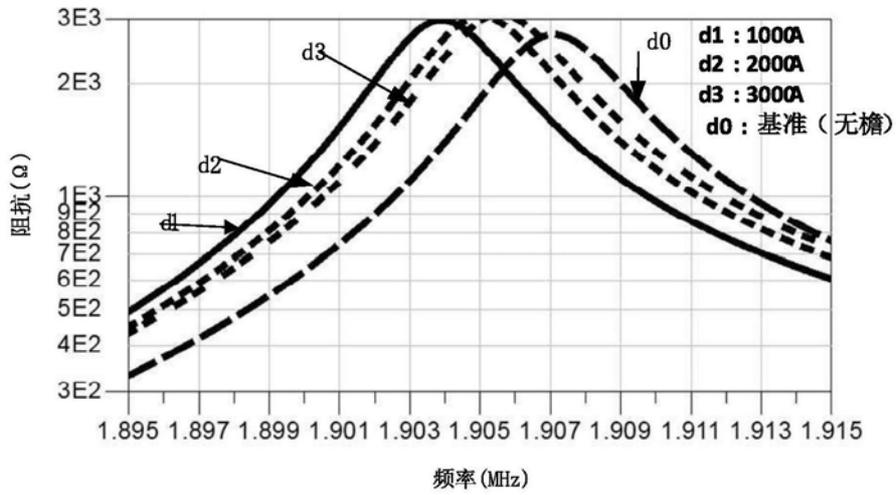


图7

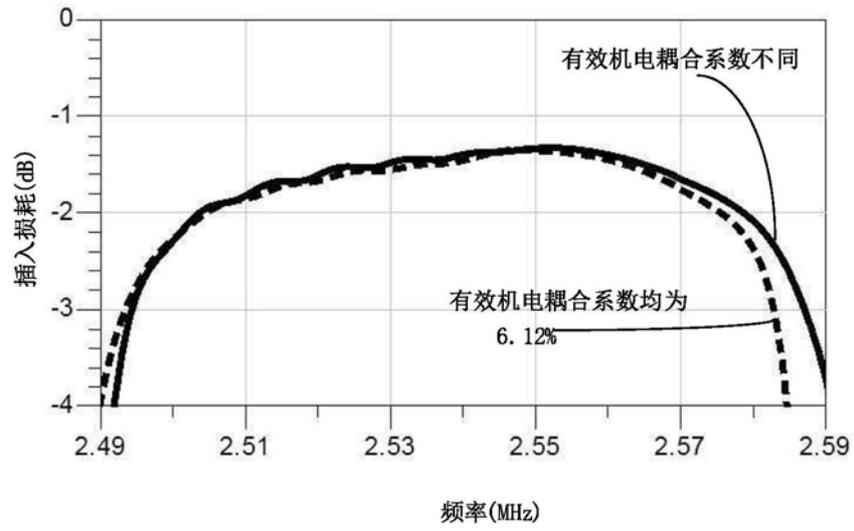


图8

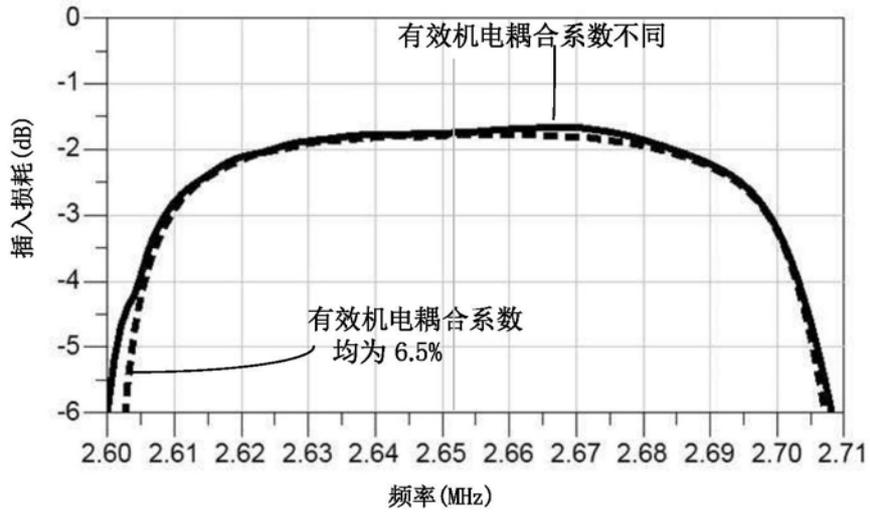


图9

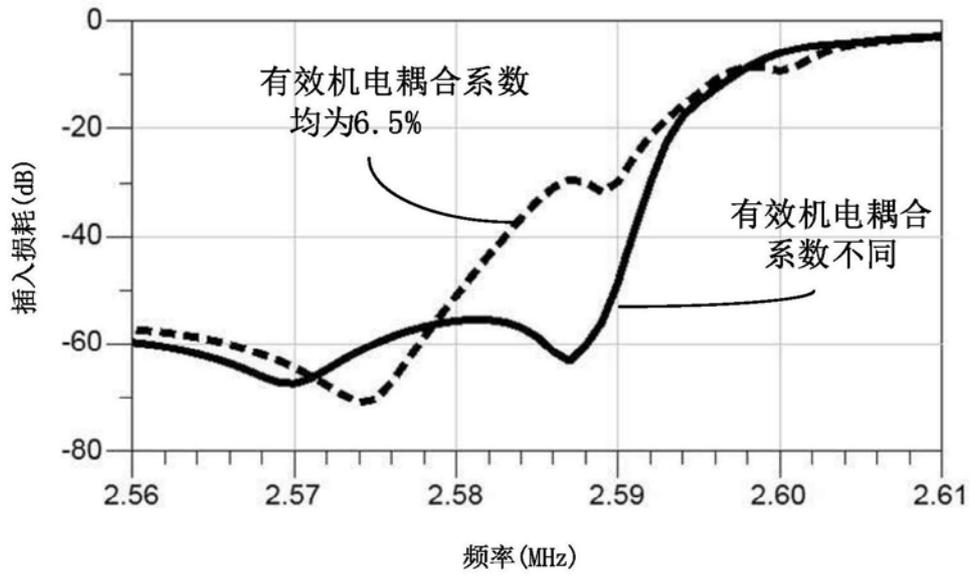


图10