



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103762078 B

(45)授权公告日 2017.02.01

(21)申请号 201410026262.5

(22)申请日 2014.01.20

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 103762078 A

(43)申请公布日 2014.04.30

(73)专利权人 中国科学院物理研究所
地址 100190 北京市海淀区中关村南三街8号

(72)发明人 袁洁 金魁 孙亮 何豫生

(74)专利代理机构 北京成创同维知识产权代理有限公司 11449
代理人 蔡纯 冯丽欣

(51)Int.Cl.
H01G 4/33(2006.01)
H01G 4/06(2006.01)

(56)对比文件

CN 102751094 A,2012.10.24,
CN 103489750 A,2014.01.01,
CN 1880275 A,2006.12.20,
CN 1347577 A,2002.05.01,
WO 02098818 A1,2002.12.12,
WO 2006126375 A1,2006.11.30,

审查员 宋伟峰

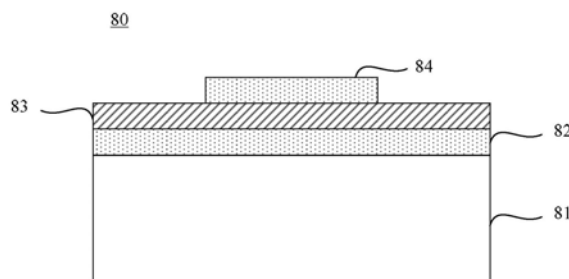
权利要求书1页 说明书9页 附图8页

(54)发明名称

基于组合薄膜的宽温区可调谐微波器件

(57)摘要

提供了一种基于组合薄膜的宽温区可调谐微波器件,所述可调谐微波器件包括介质衬底、铁电组合薄膜、第一电极和至少一个第二电极;所述铁电组合薄膜设置于所述介质衬底上,在所述铁电组合薄膜中,铁电材料中预定掺杂离子的成分含量沿梯度方向连续梯度变化,所述梯度方向在所述铁电组合薄膜所在平面上;所述第一电极和第二电极用于形成调谐所述铁电组合薄膜介电常数的调谐电场,所述电极被设置为使所述调谐电场方向与所述梯度方向不同。所述可调谐微波器件的介电常数可调温度范围宽,具有较好的温度稳定性。



1. 一种可调谐微波器件, 包括介质衬底、铁电组合薄膜、第一电极和至少一个第二电极;

所述铁电组合薄膜设置于所述介质衬底上, 在所述铁电组合薄膜中, 铁电材料中预定掺杂离子的成分含量沿梯度方向连续梯度变化, 所述梯度方向在所述铁电组合薄膜所在平面上;

所述第一电极和第二电极用于形成调谐所述铁电组合薄膜介电常数的调谐电场, 所述电极被设置为使所述调谐电场方向与所述梯度方向不同; 所述铁电组合薄膜包括至少一层铁电材料原胞, 每个铁电材料原胞中的掺杂离子的成分含量沿梯度方向连续梯度变化;

所述电极包括与铁电组合薄膜接触的超导体材料层。

2. 根据权利要求1所述的可调谐微波器件, 其特征在于, 所述第一电极设置于铁电组合薄膜和介质衬底之间, 所述至少一个第二电极设置于所述铁电组合薄膜的上方。

3. 根据权利要求1所述的可调谐微波器件, 其特征在于, 所述第一电极设置于所述介质衬底的下方, 所述至少一个第二电极设置于所述铁电组合薄膜的上方。

4. 根据权利要求1所述的可调谐微波器件, 其特征在于, 所述第一电极和所述第二电极均设置于所述铁电组合薄膜的上方。

5. 根据权利要求1所述的可调谐微波器件, 其特征在于, 所述第一电极和所述第二电极均设置于所述铁电组合薄膜和所述介质衬底之间。

6. 根据权利要求1所述的可调谐微波器件, 其特征在于, 所述第一电极和所述第二电极均设置于所述介质衬底的上方, 所述第一电极与第二电极之间具有间隙, 所述铁电组合薄膜形成于所述间隙中。

7. 根据权利要求1所述的可调谐微波器件, 其特征在于, 所述铁电组合薄膜采用铁电特性随掺杂离子成分含量变化的铁电材料制备。

8. 根据权利要求5所述的可调谐微波器件, 其特征在于, 所述铁电组合薄膜为 $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$ 、 $BaZr_{1-x}Ti_xO_3$ 、 $Pb_{1-x}Sr_xTiO_3$ 、 $PbZr_{1-x}Ti_xO_3$ 、 $Sr_{1-x}Ba_x(NbO_3)_2$ 或 $Ba_{1-x}Na_{2x}(NbO_3)_2$, 其中, x 沿所述梯度方向在第一值和第二值之间连续梯度变化。

$x\text{Ti}_x\text{O}_3$ 、 $\text{Sr}_{1-x}\text{Ba}_x(\text{NbO}_3)_2$ 或 $\text{Ba}_{1-x}\text{Na}_{2x}(\text{NbO}_3)_2$,其中,x沿所述梯度方向在第一值和第二值之间连续梯度变化。

[0017] 优选地,所述铁电组合薄膜包括至少一层铁电材料原胞,每个铁电材料原胞中的掺杂离子的成分含量沿梯度方向连续梯度变化。

[0018] 优选地,所述微波器件为电容、谐振器、移相器或带通滤波器。

[0019] 本发明通过利用材料组分连续梯度变化的铁电组合薄膜作为可调微波器件的介电常数可调材料,使得铁电组合薄膜具有拓宽的介电常数可调温度范围,从而提高了微波器件的温度稳定性。

附图说明

[0020] 通过以下参照附图对本发明实施例的描述,本发明的上述以及其它目的、特征和优点将更为清楚,在附图中:

[0021] 图1是铁电材料 SrTiO_3 在不同温度下介电常数随外加电场变化的曲线图;

[0022] 图2是利用掺杂离子Ba取代Sr获得的铁电材料 $\text{Ba}_{0.65}\text{Sr}_{0.35}\text{TiO}_3$ 在预定温度下介电常数随外加电场变化的曲线图;

[0023] 图3是以 A_{1-x}B_x 为组分的组合薄膜成分示意图;

[0024] 图4是优选的组合薄膜制备方法中掩模板、介质衬底和前驱靶材的相对位置关系图;

[0025] 图5是优选的组合薄膜制备方法中掩模板的俯视图;

[0026] 图6是优选的组合薄膜制备方法中一个周期生长的薄膜的截面图;

[0027] 图7是优选的组合薄膜制备方法中在精确控制各层以形成原胞的前提下,通过四个周期形成的组合薄膜的截面图;

[0028] 图8是本发明第一实施例的可调谐微波器件的截面示意图;

[0029] 图9是本发明第一实施例一个优选实施方式的可调谐微波器件的截面示意图;

[0030] 图10a-10c是本发明第二实施例的可调谐微波器件的截面示意图;

[0031] 图11是本发明第二实施例一个优选实施方式的可调谐微波器件的截面示意图;

[0032] 图12是本发明第二实施例中调谐电场与铁电组合薄膜的梯度方向的关系示意图;

[0033] 图13是本发明第三实施例的可调谐微波器件的截面示意图。

具体实施方式

[0034] 以下将参照附图更详细地描述本发明。在各个附图中,相同的元件采用类似的附图标记来表示。为了清楚起见,附图中的各个部分没有按比例绘制。此外,可能未示出某些公知的部分。为了简明起见,可以在一幅图中描述经过数个步骤后获得的结构。

[0035] 应当理解,在描述器件的结构时,当将一层、一个区域称为位于另一层、另一个区域“上面”或“上方”时,可以指直接位于另一层、另一个区域上面,或者在其与另一层、另一个区域之间还包含其它的层或区域。并且,如果将器件翻转,该一层、一个区域将位于另一层、另一个区域“下面”或“下方”。

[0036] 如果为了描述直接位于另一层、另一个区域上面的情形,本文将采用“直接在……上面”或“在……上面并与之邻接”的表述方式。

[0037] 在本发明的描述中,需要理解的是,术语“第一”、“第二”等仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性。此外,在本发明的描述中,除非另有说明,“多个”的含义是两个或两个以上。

[0038] 在本发明的描述中,术语“微波器件”指在制造器件的各个步骤中形成的整个微波传导/滤波结构的统称,包括已经形成的所有层或区域。在下文中描述了本发明的许多特定的细节,例如器件的结构、材料、尺寸、处理工艺和技术,以便更清楚地理解本发明。但正如本领域的技术人员能够理解的那样,可以不按照这些特定的细节来实现本发明。

[0039] 除非在下文中特别指出,微波器件的各个部分可以由本领域的技术人员公知的材料构成。

[0040] 在本发明的描述中,术语“薄膜”是相对于“厚膜”而言,“厚膜”厚膜是指在衬底上用印刷烧结等技术所形成的厚度为10微米到数十微米的膜层,“薄膜”是指厚度小于10微米的膜层。

[0041] 在本发明的描述中,术语“梯度变化”是指沿着预定的方向递增或者递减。术语“梯度方向”是指“梯度变化”所沿的方向。

[0042] 本发明可以各种形式呈现,以下将描述其中一些示例。

[0043] 铁电材料是一类重要的电子信息功能材料,随着电子元器件集成化、片式化的发展,铁电材料薄膜化已成为必然趋势。介电非线性增强是铁电薄膜的重要特性之一,同时,铁电材料的电压非线性是指材料的极化强度随外加电场非线性变化,因而材料的介电常数随外加电场强度而变化的性质。

[0044] 但是,由于铁电材料本身的限制,特定的铁电材料仅在一个较窄的温度区间内具有介电常数可调性质。图1示出了铁电材料 SrTiO_3 在不同温度下介电常数随外加电场变化的曲线,根据图1可知,铁电材料 SrTiO_3 在温度为4.2K(开尔文)条件下介电常数随外加电场的变化而变化,体现出较好的介电常数可调性,而在温度60K以上时,则低电场已经对铁电材料的介电常数失去了明显的调节作用。

[0045] 对应地,图2示出了利用掺杂例子Ba取代Sr获得的铁电材料 $\text{Ba}_{0.65}\text{Sr}_{0.35}\text{TiO}_3$ 在预定温度下介电常数随外加电场变化的曲线,根据图2可知,与铁电材料 SrTiO_3 不同,铁电材料 $\text{Ba}_{0.65}\text{Sr}_{0.35}\text{TiO}_3$ 在温度为230K的条件下仍然呈现出较强的介电常数可调性,其介电常数根据外加电场呈现出明显的变化。

[0046] 通过类似的比较实验可知,通过调节 $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ 中Ba离子的组分含量在0-1之间变化可以获得介电常数可调性温度区间不同的铁电材料。

[0047] 类似地,通过研究发现,存在较多种类的铁电特性随掺杂离子成分含量变化的铁电材料,也即,其具有介电常数可调性的温度区间随掺杂离子成分含量的变化而变化。作为示例而非限定,这类材料包括 $\text{BaZr}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$ 、 $\text{Pb}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ 、 $\text{PbZr}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$ 、 $\text{Sr}_{1-x}\text{Ba}_x(\text{NbO}_3)_2$ 及 $\text{Ba}_{1-x}\text{Na}_{2x}(\text{NbO}_3)_2$ 等,对于这些铁电材料,通过调节Ba离子、Pb离子、Zr离子或Sr离子的含量也可以获得介电常数可调性温度区间不同的铁电材料。

[0048] 组合薄膜是由不同组分(或材料)构成的薄膜,通过对前驱材料的选取可获得具有各种功能的薄膜。图3是以 A_{1-x}B_x 为组分的薄膜成分示意图,白色代表材料A而黑色代表材料B,灰色代表 A_{1-x}B_x , $0 < x < 1$,由图3可知,途中的薄膜中A或B的成分沿着薄膜所在表面的特定方向连续变化。当然,组合薄膜并不限于成分连续变化的薄膜,但是,成分离散变化的薄膜

的制备过程难以控制。

[0049] 为了制备图3所示的组合薄膜,可以采用组合激光分子束外延技术,组合激光分子束外延技术采用不同材料制成的靶材,通过准分子激光轰击相应材料的靶材,溅射出相应的前驱组分,从而使前驱组分沉积在衬底上。通过依次对不同材料的靶材进行周期性溅射,使衬底上形成组合薄膜。

[0050] 优选地,通过如下的组合薄膜制备方法可以克服操作复杂、工艺精度控制困难的缺点实现对于组合薄膜简单、高工艺精度的制备。所述组合薄膜制备方法包括:

[0051] 步骤1000、提供介质衬底42及对应于组合薄膜中的各个组分的多个不同组分的前驱靶材43;提供具有掩模图案窗口411的掩模板41。

[0052] 其中,掩模板41设置在前驱靶材43与介质衬底42之间。

[0053] 在制备 $A_{1-x}B_x$ 二元组合薄膜时,A和B分别为两种不同组分的前驱靶材,例如,在制备 $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$ 时,将 $BaTiO_3$ 和 $SrTiO_3$ 作为前驱靶材。

[0054] 具体地,如图4-5中所示,其示出制备组合薄膜过程中的掩模板41、介质衬底42和前驱靶材43的相对位置关系。在图5中,掩模板41被设置为圆环形,但本领域技术人员可以理解上述形状仅为示例,掩模板41不限于上述形状,掩模板41上具有设置在不同位置的两个方形的第一窗口411a和第二窗口411b,上述第一和第二窗口411a和411b的形状对应于介质衬底42的形状。优选地,窗口411和412与介质衬底42具有相同的尺寸。上述窗口以及衬底的形状及尺寸仅是示例性的,其可以不限于上述形状,而本领域技术人员可根据实际需要进行各种形状和尺寸的修改。

[0055] 图5中,掩模板41可沿其轴心方向进行匀速地顺时针或逆时针旋转,且掩模板41的转动频率可根据工艺要求进行设定,前驱靶材43的转换与掩模板41的转动周期匹配,其可由计算机进行自动化控制。

[0056] 步骤2000、将前驱靶材A置于介质衬底42对面,按照预定方向移动掩模板41并在介质衬底42完全暴露于掩模图案窗口411中时,控制激光开始轰击前驱靶材A以溅射前驱靶材A,从而在介质衬底上沉积A成分,同时继续移动掩模板41使得介质衬底42暴露于掩模图案窗口411中的区域逐渐减小,直至衬底暴露于掩模图案窗口411中的区域为零,停止前驱靶材A的溅射。

[0057] 优选地,在掩模板41为图5所示的环形掩模板41时,其通过沿轴心匀速顺时针旋转,使得介质衬底42暴露于用于溅射组分A的第一窗口411a中并且暴露区域随着掩模板41的转动而逐渐减小。

[0058] 步骤3000、将前驱靶材B置于衬底对面,按照预定方向(与步骤2000的预定方向相同)移动掩模板41并在介质衬底42开始暴露于掩模图案窗口411中时,控制激光开始轰击前驱靶材B以溅射前驱靶材B,从而在衬底上沉积B组分,同时继续移动掩模板41使得介质衬底42暴露于掩模图案窗口411中的区域逐渐增大,直至介质衬底42完全暴露于掩模图案窗口411中,停止前驱靶材B的溅射。

[0059] 优选地,在掩模板41为图5所示的环形掩模板41时,其通过沿轴心匀速顺时针旋转,使得介质衬底42开始暴露于用于溅射组分B的第二窗口411b中并且暴露区域随着掩模板41的转动而逐渐增大。

[0060] 采用两个窗口以及将掩模板41设计为环形可以提高制备的连续性,是较为优选的

方案。当然,本领域技术人员可以理解,掩模板41以及掩模图案窗口411的设置以及移动方式可以根据需要做出各种变形,只需要通过移动掩模板41使得掩模图案窗口411与介质衬底42相对运动,实现介质衬底42在掩模图案窗口411中的区域面积随掩模板41的移动而变化即可。

[0061] 而且,本领域技术人员也可以理解,步骤2000和步骤3000中控制激光对前驱靶材进行轰击的时机可以互换,也即,可以在步骤2000中,在介质衬底42开始暴露于掩模图案窗口411中时,控制激光开始轰击前驱靶材A以溅射前驱靶材A,到介质衬底42完全暴露时,停止溅射;同时在步骤3000中,在介质衬底42完全暴露于掩模图案窗口411中时,控制激光开始轰击前驱靶材B以溅射前驱靶材B,到介质衬底42暴露于掩模图案窗口411中的区域为零,停止前驱靶材B的溅射。

[0062] 步骤2000和步骤3000完成一个周期的溅射过程,此时在衬底上形成了具有二元组分连续梯度变化分布的薄膜。每个周期形成如图6截面图所示的薄膜,所述组合薄膜61形成于介质衬底62上,包括沿一个方向厚度逐渐递减的A材料层611和覆盖于A材料层611上方沿上述方向厚度逐渐递增的B材料层612。通过控制激光溅射的功率和/或掩模板41移动的速度,以及其它制备条件,可以控制每一周期生长的薄膜的厚度。当然,本领域技术人员可以理解,图6所示的薄膜结构仅为示例,通过其它工艺形成的组合材料薄膜的结构可能不同,但同样可以适用于本发明实施例。

[0063] 步骤4000、按照预定周期重复上述步骤2000和步骤3000,执行多个周期的溅射过程。通过控制周期数也可以较好地控制薄膜的厚度。

[0064] 图7示出了在精确控制各层以形成原胞的前提下,通过四个周期形成的组合薄膜的截面图。每个铁电材料原胞中的掺杂离子的组分含量沿梯度方向连续梯度变化。

[0065] 以上仅为优选的组合薄膜的制备方法,本领域技术人员可以了解,现有的其它的制备方法也可以用于制备本发明实施例涉及到组分含量沿薄膜共面方向连续梯度变化的铁电组合薄膜。

[0066] 组分连续梯度变化的铁电组合薄膜在梯度方向上(也即,组分连续变化所沿方向)具有连续变化的组分,而每一个点的组分均具有不同的介电常数可调温度范围。

[0067] 微波器件中,利用铁电材料介电常数在外加直流电场的非线性响应,实现期间的频率可调谐性。而铁电材料的介电常数同时也是随温度变化的,一般在其居里温度附近达到最大值。因此以单一组分铁电材料构建的微波器件其性能受温度影响较大。而当器件的电解质层铁电材料不再是单一组分而是连续梯度组分的话,器件特性可通过如下的理论模型进行分析。

[0068] 在存在与所述梯度方向垂直的电场分量时,可以将组分连续梯度变化的铁电组合薄膜电容等效为所述梯度方向垂直的方向上趋近于无穷多个单一组分铁电材料构建的子电容的并联。根据电磁学理论,在并联电路中,总电容等于个并联支路的电容的和, $c = \sum c_i$ 。因此铁电组合薄膜的总电容由并联的电容中电容值最大的并联子电容确定,而在其它参数不变的情况下,电容值与电介质层介电常数成正比,因此,铁电组合薄膜的整体等效介电常数由组合薄膜中介电常数最大的组分确定,而由于铁电材料通常在居里温度附近介电常数会达到最大值,因此,居里温度在当前温度附近的组分的介电常数对铁电组合薄膜的等效介电常数起决定性作用。同样通过改变直流电场调节器件的等效电容时,满足上述条

件的铁电组合薄膜器件的电容绝对值的可调节范围 $\Delta c = \Sigma \Delta c_i$, 也是由组合薄膜中介电可调性最佳的区域决定的。

[0069] 连续变化的组分赋予了这样的铁电组合薄膜器件的等效电容较大可调温度区间的平滑连接, 从而形成一个较宽的且连续的稳定温度范围(也即在该温度范围内保持较大的等效电容可调性)。

[0070] 由此, 组分连续梯度变化的铁电组合薄膜可以在较宽的温度范围内实现介电常数可调, 为制备可调谐微波器件提供了温度稳定性好的介质材料。

[0071] 本发明实施例将组分连续梯度变化的铁电组合薄膜应用于可调谐微波器件中, 该可调谐微波器件包括介质衬底、铁电组合薄膜、第一电极和至少一个第二电极。

[0072] 铁电组合薄膜设置于所述介质衬底上, 在所述铁电组合薄膜中, 铁电材料中预定掺杂离子的成分含量沿梯度方向连续梯度变化, 所述梯度方向在所述铁电组合薄膜所在平面上。

[0073] 所述电极用于形成调谐所述铁电组合薄膜介电常数的调谐电场, 所述电极被设置为使所述调谐电场方向与所述梯度方向不同。

[0074] 具体地, 利用多个实施例来描述本发明的可调谐微波器件。

[0075] 图8示出了本发明第一实施例的可调谐微波器件的截面示意图。如图8所示, 可调谐微波器件80包括介质衬底81、形成第一电极的第一导电层82、铁电组合薄膜83和形成第二电极的第二导电层84, 其中, 第一导电层82设置于铁电组合薄膜83和介质衬底81之间, 也即, 设置于所述铁电组合薄膜83的下方。而第二导电层84设置于所述铁电组合薄膜83的上方。

[0076] 在铁电组合薄膜83中, 铁电材料中预定掺杂离子的成分含量沿梯度方向连续梯度变化。所述梯度方向在铁电组合薄膜83所在平面上, 也即, 梯度方向所在直线与铁电组合薄膜83所在平面平行或在所述平面上。

[0077] 优选地, 铁电组合薄膜为 $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$ 、 $BaZr_{1-x}Ti_xO_3$ 、 $Pb_{1-x}Sr_xTiO_3$ 、 $PbZr_{1-x}Ti_xO_3$ 、 $Sr_{1-x}Ba_x(NbO_3)_2$ 或 $Ba_{1-x}Na_{2x}(NbO_3)_2$, 其中, x 沿所述梯度方向在第一值和第二值之间连续梯度变化。第一值小于第二值, 且第一值和第二值为大于等于0、小于等于1的数值。本领域技术人员容易理解, 第一值和第二值可以根据需要进行设定, 当第一值为0, 第二值为1时, 铁电组合薄膜的组分变化区域最大, 对应地, 其介电常数可调的温度范围也最大。

[0078] 优选地, 铁电组合薄膜包括至少一层铁电材料原胞(如图7所示), 每个铁电材料原胞中的掺杂离子的组分含量沿梯度方向连续梯度变化。

[0079] 当然, 本领域技术人员可以理解, 列举以上优选的铁电材料仅为示例, 而非为了限制本发明, 采用铁电特性随掺杂离子成分含量变化的铁电材料制备的铁电组合薄膜均可适用于本实施例。

[0080] 第一导电层82和第二导电层84可以根据微波器件80所要实现的功能而被图案化以形成对应的第一电极和第二电极。在第一导电层82和第二导电层84上施加调谐电压即可以实现对可调谐微波器件80的调谐。

[0081] 在一个优选实施方式中, 第一导电层82和/或第二导电层84可以包括与铁电组合薄膜接触的超导体材料层。现有铁电薄膜电容的微波损耗主要包括来自铁电薄膜的介电损耗和来自金属电极的欧姆损耗。降低铁电薄膜的介电损耗的关键在于降低薄膜缺陷密度,

这一方面要优化铁电薄膜最佳生长条件,另一方面要消除铁电薄膜与衬底、电极薄膜之间的界面应力。如果采用普通金属导体做电极材料,由于晶格失配,界面应力会带来很高的缺陷密度,而高温超导薄膜与铁电薄膜同属钙钛矿结构,晶格匹配近于完美,有利于降低铁电组合薄膜的缺陷密度。高温超导与铁电薄膜的制备工艺也相互兼容,有利于制备高质量的超导/铁电异质外延多层薄膜。更重要的是,采用高温超导材料做电极也恰可以发挥超导电性的优势,消除来自金属导体的欧姆损耗,进一步降低器件的损耗。

[0082] 在另一个优选实施方式中,第一导电层82和第二导电层84可以设置为金属材料,例如,金、银、铝或合金,可以在第一导电层82和铁电组合薄膜83之间设置非铁电体缓冲层83b,在铁电组合薄膜83和第二导电层84之间设置非铁电体缓冲层83a(如图9所示)。非铁电体缓冲层可以通过激光沉积、溅射、物理汽相沉积、化学汽相沉积、溶胶或任何其它适宜的技术来沉积在铁电组合薄膜外。该非铁电体缓冲层应该是定向的和具有与铁电体层的晶体结构相匹配的晶格,从而降低铁电薄膜的缺陷密度。此外,它应具有低微波损耗。在下面所述的或没有明确公开的所有实施例中,非铁电体层结构可以是单层结构或可以包括多层结构。所述非铁电体缓冲层可以例如包括任何下列材料:CeO₂,MgO,YSZ(钇稳化锆),LaAlO₃或其他具有适合的晶体结构的非导电材料。

[0083] 在一个优选实施方式中,第二导电层84未进行图形化,以使得可调谐微波器件80被形成为可调谐电容器。

[0084] 在另一个优选实施方式中,第二导电层84可被图形化为至少一个导电图案,每个导电图案对应于一个第二电极,同时,每个导电图案与第一导电层82部分重叠,由此使得可调谐微波器件80被形成为多个可调谐电容器。

[0085] 在另一个优选实施方式中,第二导电层84适当地以本领域技术人员熟知的方式图形化,使得可调谐微波器件80被形成为可调谐微波谐振器。当然,可调谐微波器件80也可以被形成为移相器或带通滤波器。

[0086] 在一个优选实施例中,基于设计需要或其它考虑,也可以对第一导电层82进行图形化以使得可调谐微波器件80被形成为所需要的形式。

[0087] 本实施例通过利用材料组分连续梯度变化的铁电组合薄膜作为可调微波器件的介电常数可调介质,使得铁电组合薄膜具有拓宽的介电常数可调温度范围,从而提高了微波器件的温度稳定性。

[0088] 图10a-10c示出了本发明第二实施例的可调谐微波器件的截面示意图。如图10a-10c所示,可调谐微波器件100包括介质衬底101、形成第一电极102a和至少一个第二电极102b的图形化导电层102以及铁电组合薄膜103,其中,第一电极102a与每个第二电极102b之间具有间隙以形成绝缘。与第一实施例不同,本实施例中的第一电极102a和第二电极102b通过图形化的导电层102共面形成。

[0089] 图形化导电层102的工艺可以基于任何现有的适合的图形化工艺来进行。

[0090] 在铁电组合薄膜103中,铁电材料中预定掺杂离子的组分含量沿梯度方向连续梯度变化。所述梯度方向在铁电组合薄膜103所在平面上,也即,梯度方向所在直线与铁电组合薄膜103所在平面平行或在所述平面上。

[0091] 优选地,铁电组合薄膜为Ba_{1-x}Sr_xTiO₃、BaZr_{1-x}Ti_xO₃、Pb_{1-x}Sr_xTiO₃、Pb(Zr_{1-x}Ti_x)O₃、Sr_{1-x}Ba_x(NbO₃)₂或Ba_{1-x}Na_{2x}(NbO₃)₂,其中,x沿所述梯度方向在第一值和第二值之间连续梯

度变化。第一值小于第二值,且第一值和第二值为大于等于零、小于等于1的数值。当然,本领域技术人员可以理解,列举以上优选的铁电材料仅为示例,而非为了限制本发明,采用铁电特性随掺杂离子组分含量变化的铁电材料制备的铁电组合薄膜均可适用于本实施例。

[0092] 在一个优选实施方式中,如图10a所示,导电层102形成于铁电组合薄膜103的上方,也即,铁电组合薄膜103远离介质衬底101的一侧。

[0093] 作为上述优选实施方式的一个变形,如图10b所示,导电层102形成于铁电组合薄膜103的下方,也即,铁电组合薄膜103与介质衬底101之间。

[0094] 上述两种优选实施方式中,导电层102可以优选包括与铁电组合薄膜103接触的超导体材料层,以降低薄膜缺陷密度,同时降低器件的损耗。

[0095] 当然,与第一实施例类似,也可以优选在导电层102和铁电组合薄膜103之间设置非铁电缓冲层104以改善薄膜缺陷密度(如图11所示)。

[0096] 在另一个优选实施方式中,如图10c所示,导电层102形成于介质衬底101上表面,第一电极102a与第二电极102b之间具有间隙,铁电组合薄膜103形成于所述间隙。由此,形成导电层102与铁电组合薄膜103共面的结构。可以通过现有的图形化工艺对铁电组合薄膜103图形化后再生成图形化的导电层以形成图10c所示的结构。

[0097] 当然,与第一实施例类似,本领域技术人员可以理解,根据需要,通过将共面的第一电极102a和第二电极102b图形化为合适的形状可以使得所述可调谐微波器件形成共面电容、谐振器、移相器或带通滤波器。

[0098] 本实施例中三种不同的实施方式中,第一电极102a与第二电极102b形成在相同的平面上,其施加直流偏压时,第一电极102a与第二电极102b之间的调谐电场方向垂直于两者相对的边。这时,如图12所示,铁电组合薄膜组分梯度变化的梯度方向所在直线与所述调谐电场方向所在直线具有夹角 θ (0至90度之间),在其它条件相同的前提下, θ 越大所得到微波器件可调的温度范围越大。因此在电场方向与梯度方向垂直的时候可调温度范围是最大的。在电场方向与梯度方向所在直线夹角为0时,由于在与梯度方向垂直的电场分量为0,不同位置的电场经过的铁电组合薄膜的组分分布相同,使得铁电组合薄膜沿与电场垂直的方向呈现出的相同的介电特性,此时,其介电常数可调的温度范围不能得到扩展。因此,在本实施例中,要使得介电常数可调的温度范围能够扩展,除引入铁电组合薄膜外,还需要保证图形化获得的第一电极102a与第二电极102b之间所形成的调谐电场方向与铁电组合薄膜组分变化的梯度方向不同,也即,调谐电场方向与梯度方向所在直线夹角不为零。

[0099] 本实施例通过以共面形式形成第一电极和第二电极,可以简化可调谐微波器件的制造流程,同时进一步减小器件的厚度。

[0100] 图13是本发明第三实施例的可调谐微波器件的截面示意图。如图13所示,可调谐微波器件130包括介质衬底131、形成第一电极的第一导电层132、铁电组合薄膜133和形成第二电极的第二导电层134,其中,第一导电层132设置于介质衬底131的下方,也即,介质衬底131远离铁电组合薄膜132的一侧,而第二导电层134设置于所述铁电组合薄膜133的上方,也即,铁电组合薄膜132远离介质衬底131的一侧。

[0101] 在铁电组合薄膜133中,铁电材料中预定掺杂离子的组分含量沿梯度方向连续梯度变化。所述梯度方向在铁电组合薄膜133所在平面上,也即,梯度方向所在直线与铁电组合薄膜133所在平面平行或在所述平面上。

[0102] 优选地,铁电组合薄膜为 $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$ 、 $BaZr_{1-x}Ti_xO_3$ 、 $Pb_{1-x}Sr_xTiO_3$ 、 $PbZr_{1-x}Ti_xO_3$ 、 $Sr_{1-x}Ba_x(NbO_3)_2$ 或 $Ba_{1-x}Na_{2x}(NbO_3)_2$,其中,x沿所述梯度方向在第一值和第二值之间连续梯度变化。第一值小于第二值,且第一值和第二值为大于等于零、小于等于1的数值。当然,本领域技术人员可以理解,列举以上优选的铁电材料仅为示例,而非为了限制本发明,采用铁电特性(介质常数可调的温度范围)随掺杂离子组分含量变化的铁电材料制备的铁电组合薄膜均可适用于本实施例。

[0103] 在一个优选实施方式中,器件本身为独立的无支撑的(free-standing)。同时,介质衬底为电路的一部分,且本身为导电性材料。由此,可以提高该该结构下器件的等效电容,从而一定程度提高器件的可调谐性。

[0104] 在一个优选实施方式中,第一导电层132可以包括与铁电组合薄膜接触的超导体材料层,以降低薄膜缺陷密度,同时,进一步降低器件的损耗。

[0105] 在一个优选实施方式中,可以在第一导电层132和铁电组合薄膜133之间设置非铁电体缓冲层,非铁电体缓冲层可以通过激光沉积、溅射、物理汽相沉积、化学汽相沉积、溶胶或任何其它适宜的技术来沉积在铁电组合薄膜外。该非铁电体缓冲层应该是定向的和具有与铁电体层的晶体结构相匹配的晶格,从而降低铁电薄膜的缺陷密度。

[0106] 当然,与第一实施例类似,本领域技术人员可以理解,根据需要,通过将第一电极132和/或第二电极134图形化为合适的形状可以使得所述可调谐微波器件形成为共面电容、谐振器、移相器或带通滤波器。

[0107] 本实施例通过将形成电极的导电层分别设置在介质衬底和铁电组合薄膜的复合体的两侧,增大了电极之间的距离,减小了电极间的电场,这对于某些对于需要降低调谐电场的场合是有益的。

[0108] 应当理解本部分仅仅选取部分实施例对于本发明进行示例性说明,而非用于限制本发明。凡在本发明精神和原则之内所做的任何修改、等同替换和改进等,均包含于本发明的保护范围之内。

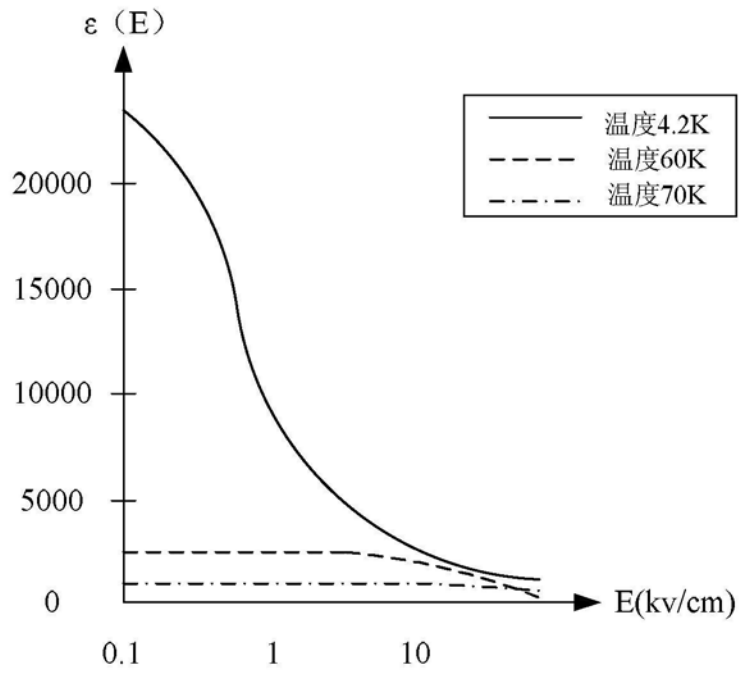


图1

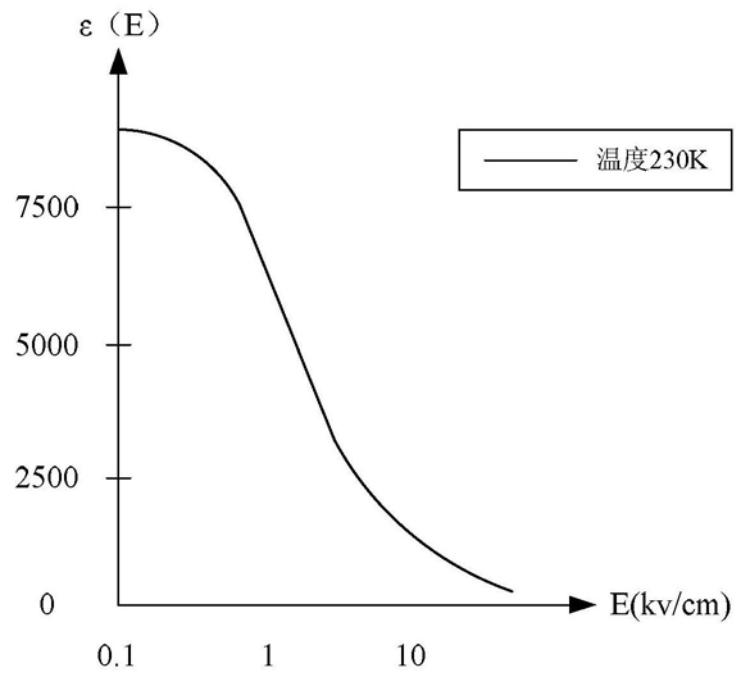


图2

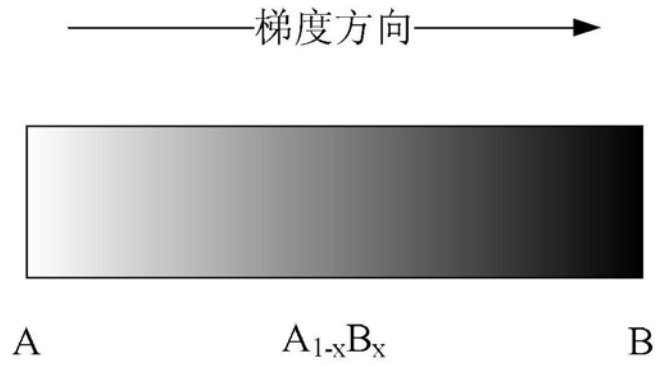


图3

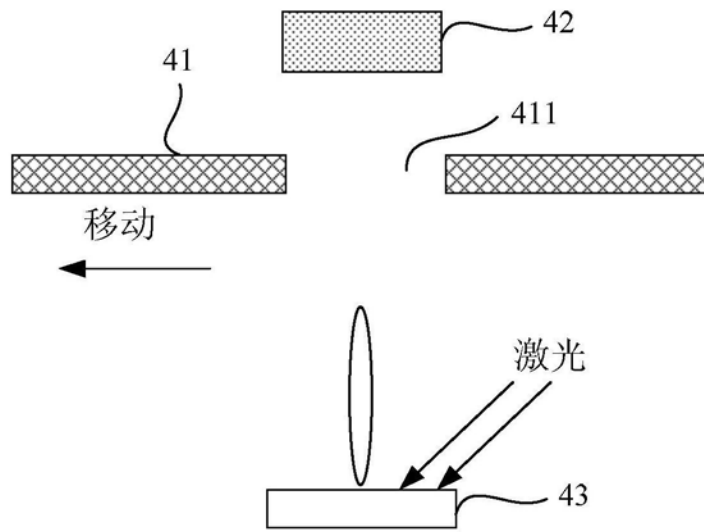


图4

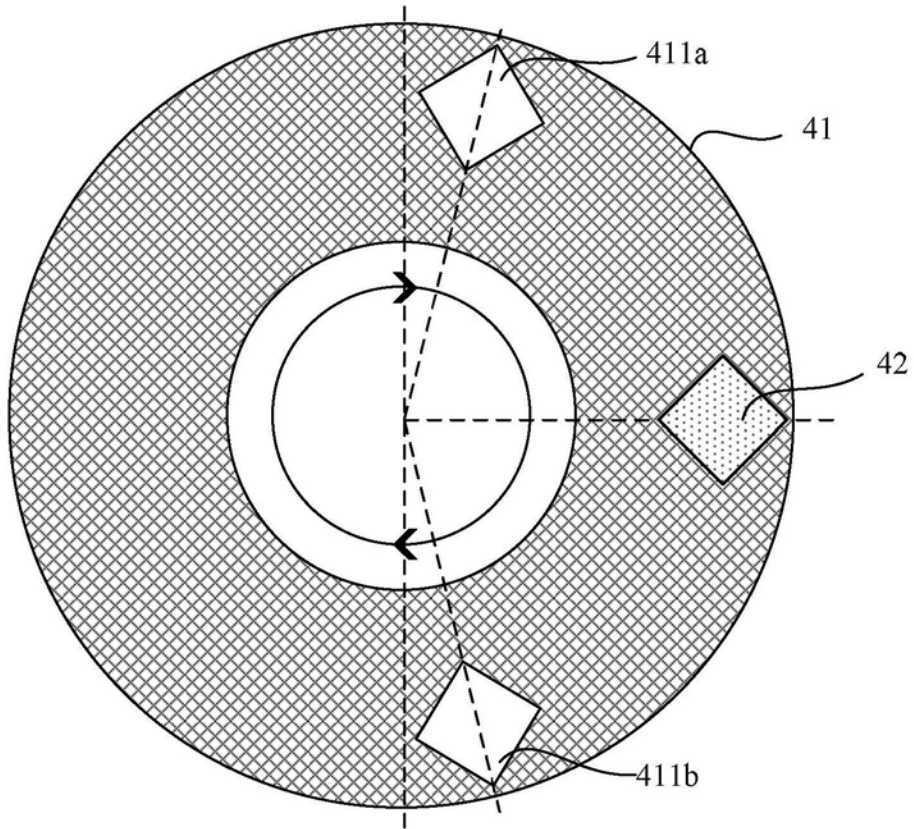


图5

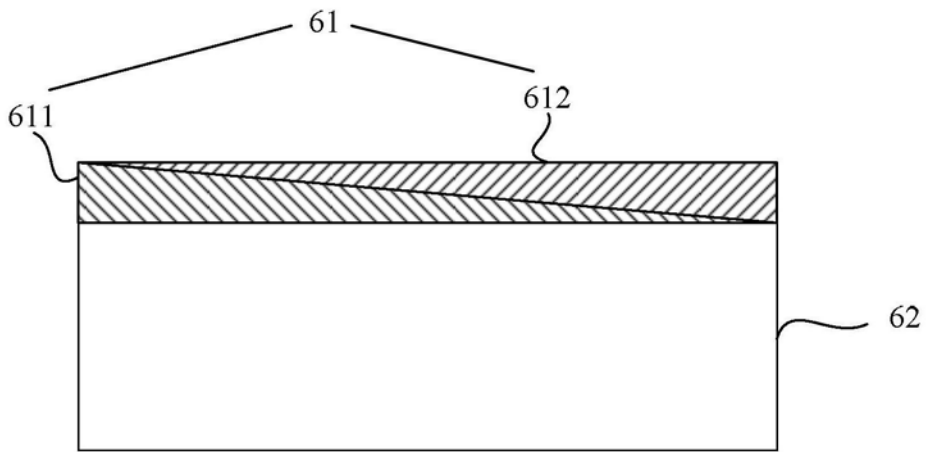


图6

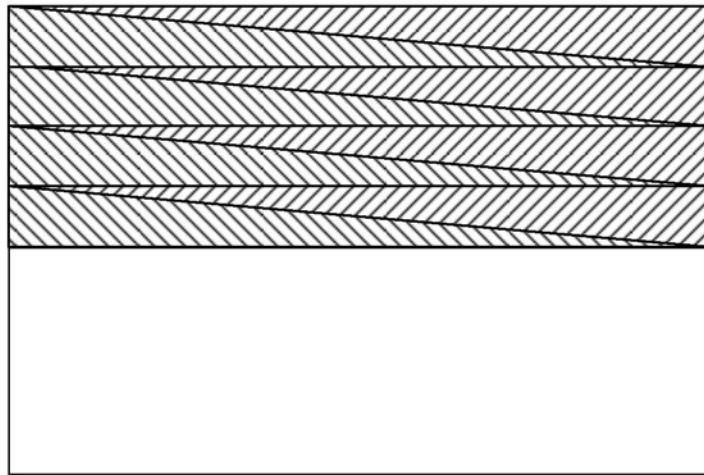


图7

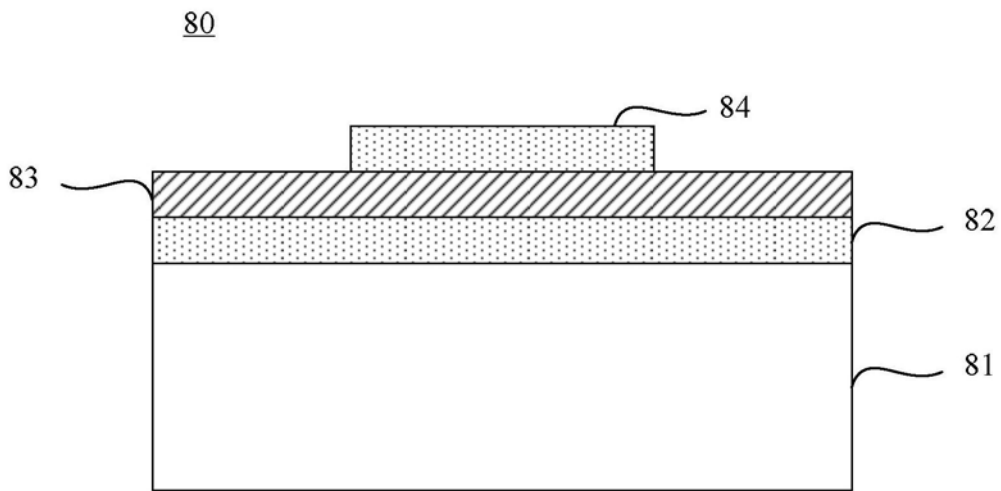


图8

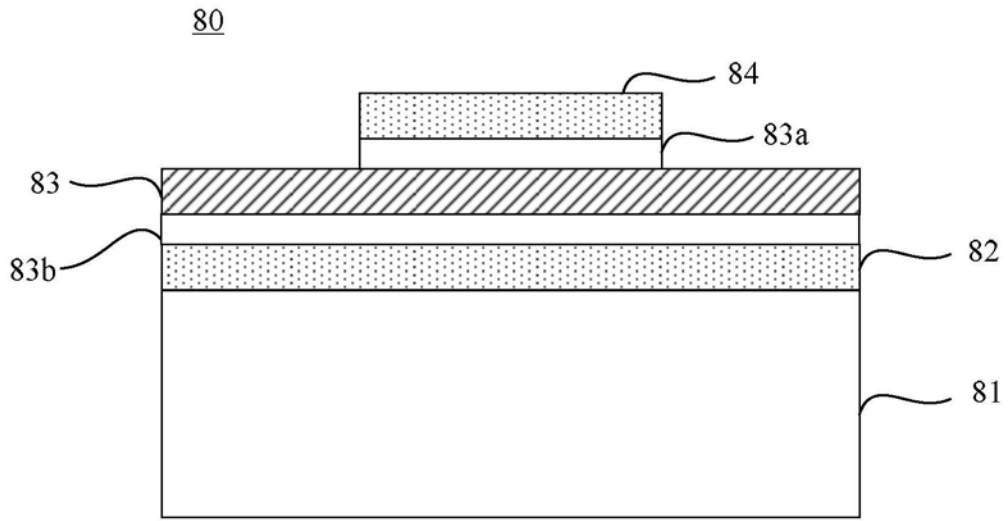


图9

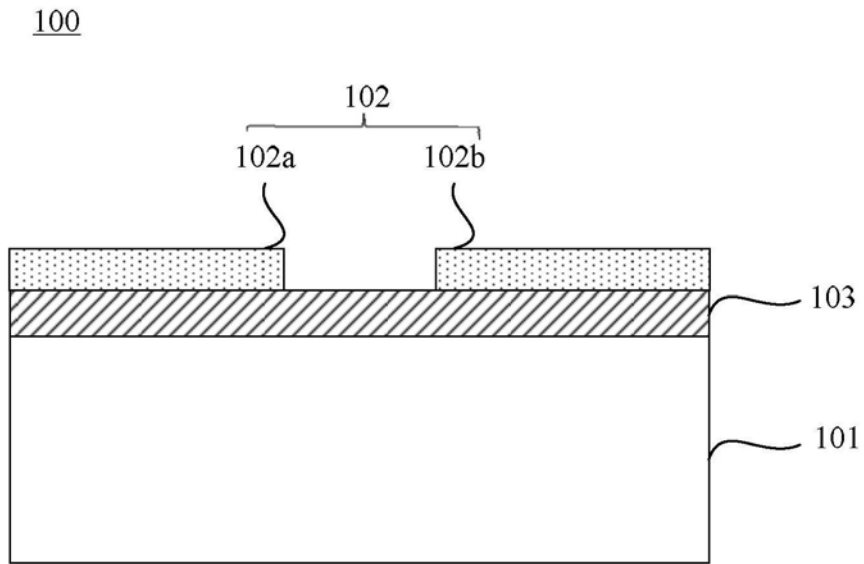


图10a

100

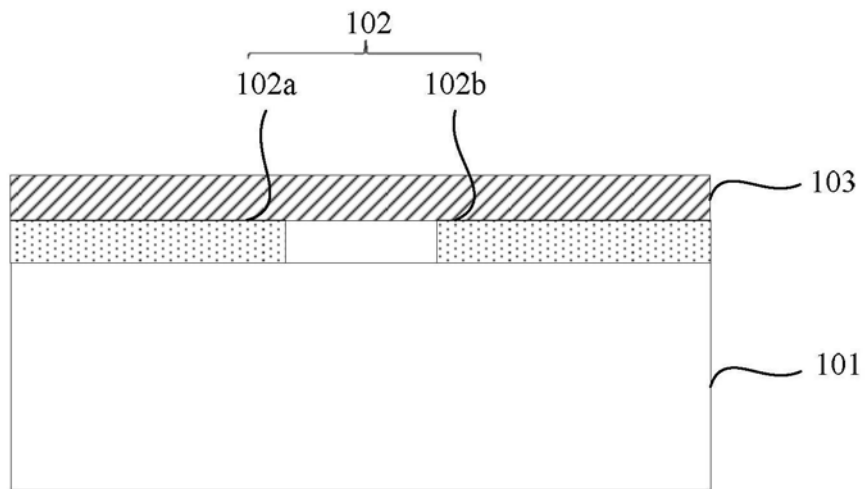


图10b

100

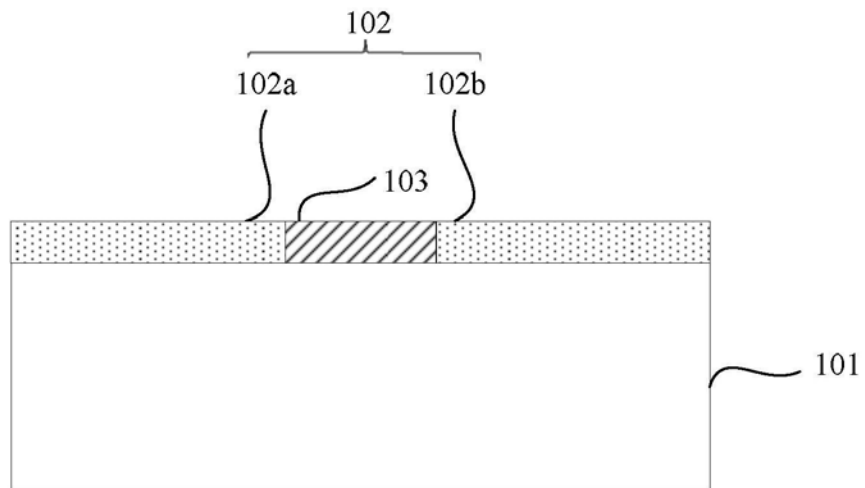


图10c

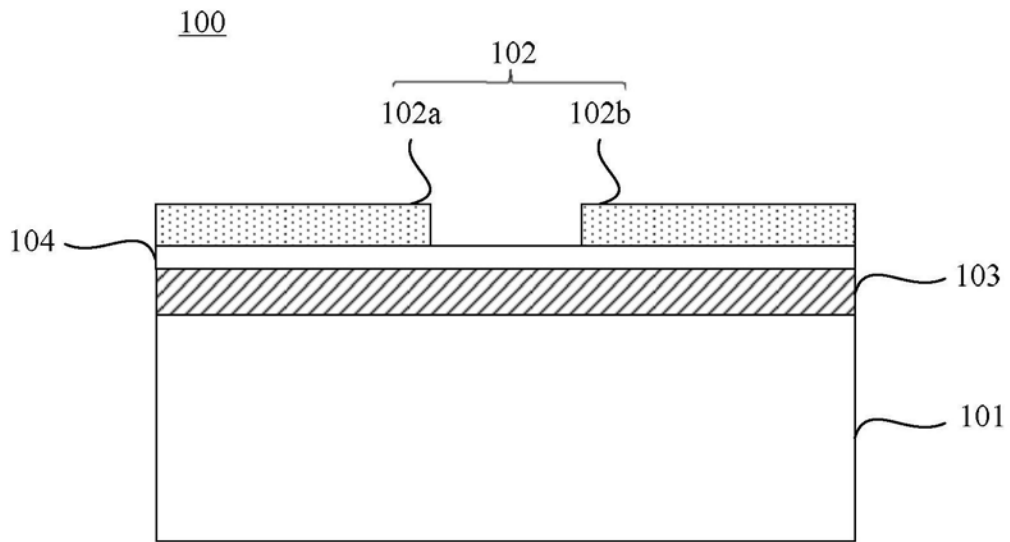


图11

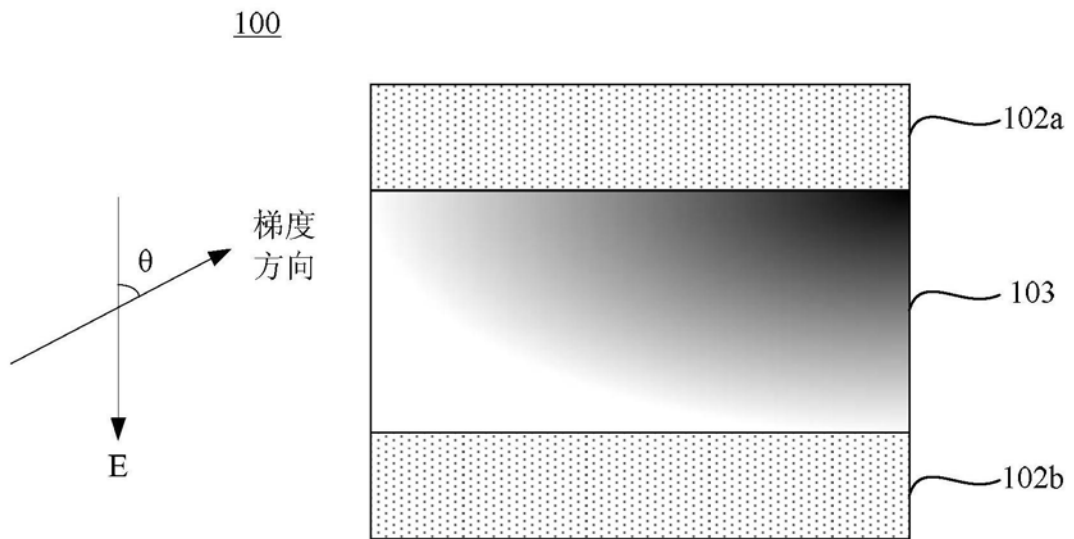


图12

130

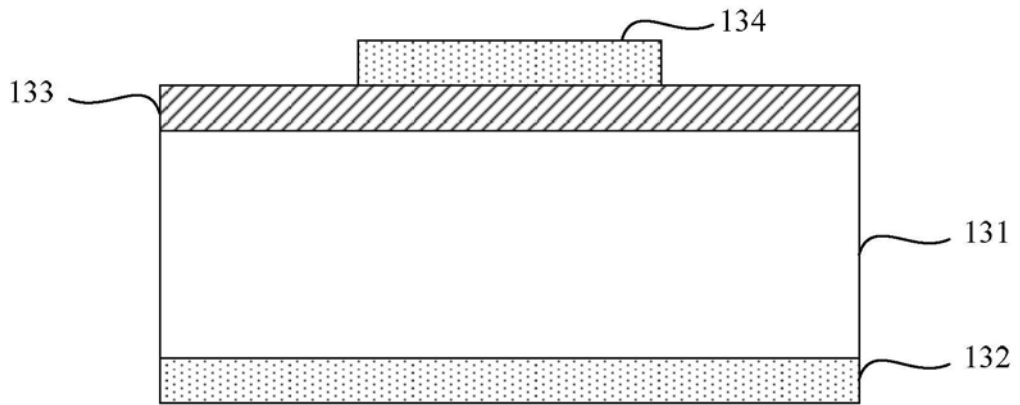


图13