



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105680813 B

(45)授权公告日 2018.12.07

(21)申请号 201610105128.3

H03H 9/17(2006.01)

(22)申请日 2016.02.25

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号

CN 105262455 A, 2016.01.20, 说明书第53-81段.

申请公布号 CN 105680813 A

CN 102025340 A, 2011.04.20, 说明书第92-95、99、129段.

(43)申请公布日 2016.06.15

(73)专利权人 锐迪科微电子(上海)有限公司

CN 1450719 A, 2003.10.22, 说明书第3页第8-26行.

地址 201203 上海市浦东新区张江高科技园区碧波路690号四号楼6F

审查员 徐俊

(72)发明人 李平 祝明国 王小茹 孙成龙

彭波华 胡念楚 贾斌

(74)专利代理机构 上海恒锐佳知识产权代理事

务所(普通合伙) 31286

代理人 殷晓雪

(51) Int. Cl.

H03H 3/02(2006.01)

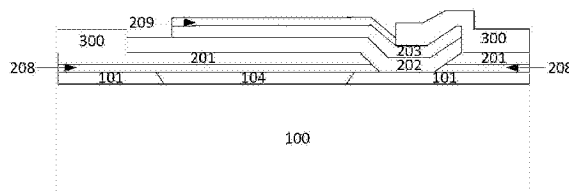
权利要求书1页 说明书6页 附图5页

(54)发明名称

一种薄膜体声波谐振器及其制造方法

(57)摘要

本申请公开了一种薄膜体声波谐振器(FBAR),是在衬底的上方具有空腔,在空腔的上方还具有下电极、上电极以及位于两者中间的压电层。所述空腔是先填充牺牲层再移除牺牲层而得到的,并且牺牲层采用能够被氧等离子体刻蚀工艺去除的材料;所述下电极、上电极和/或电极引出端采用铝、铜或铜铝合金的一种或多种。本申请还公开了FBAR的制造方法,采用铝、铜或铜铝合金作为互联金属形成电极引出端,并采用氧等离子体刻蚀(O<sub>2</sub>Plasma)工艺去除牺牲层而形成FBAR的空气隙。本申请降低了制造成本,提高了薄膜体声波谐振器的可靠性,体现环境友好性。



1. 一种薄膜体声波谐振器,是在衬底的上方具有空腔,在空腔的上方还具有下电极、上电极以及位于两者中间的压电层;其特征是:所述空腔是先填充牺牲层再移除牺牲层而得到的,并且牺牲层采用能够被氧等离子体刻蚀工艺去除的材料;所述下电极、上电极和/或电极引出端采用铝、铜或铜铝合金的一种或多种。

2. 根据权利要求1所述的薄膜体声波谐振器,其特征是,所述牺牲层采用黑金刚石、光刻胶、聚酰亚胺的一种或多种材料。

3. 根据权利要求1所述的薄膜体声波谐振器,其特征是,在衬底之上且在下电极之下具有隔离层,所述空腔位于衬底和隔离层之间;

或者,在衬底之上且在下电极之下具有支撑层和隔离层,所述空腔位于支撑层中且在衬底和隔离层之间。

4. 根据权利要求1所述的薄膜体声波谐振器,其特征是,在上电极之上具有钝化层,覆盖住上电极和下电极的所有暴露部分。

5. 一种薄膜体声波谐振器的制造方法,其特征是,在衬底上形成凸出在衬底之上的牺牲层,或者在衬底上形成上表面齐平的支撑层与牺牲层;接着在衬底和牺牲层之上、或者在衬底和支撑层和牺牲层之上分别形成下电极、压电层、上电极;最后采用铝、铜或铜铝合金作为互联金属形成电极引出端,并采用氧等离子体刻蚀工艺去除牺牲层而形成薄膜体声波谐振器的空气隙。

6. 根据权利要求5所述的薄膜体声波谐振器的制造方法,其特征是,所述在衬底上形成凸出在衬底之上的牺牲层包括如下步骤:在衬底上淀积一层牺牲层;刻蚀牺牲层,剩余的牺牲层包括准备作为空腔的部分。

7. 根据权利要求5所述的薄膜体声波谐振器的制造方法,其特征是,所述在衬底上形成上表面齐平的支撑层与牺牲层包括如下步骤:在衬底上淀积一层支撑层;刻蚀支撑层形成空腔;在衬底和支撑层之上淀积一层牺牲层,所述牺牲层将空腔填满;采用平坦化工艺将牺牲层的上表面研磨至与支撑层的上表面齐平。

8. 根据权利要求5所述的薄膜体声波谐振器的制造方法,其特征是,所述在衬底上形成上表面齐平的支撑层与牺牲层包括如下步骤:在衬底上淀积一层牺牲层;刻蚀牺牲层,剩余的牺牲层包括准备作为空腔的部分;在衬底和牺牲层之上淀积一层支撑层;采用平坦化工艺将支撑层的上表面研磨或刻蚀至与牺牲层的上表面齐平。

9. 根据权利要求8所述的薄膜体声波谐振器的制造方法,其特征是,所述平坦化工艺为化学机械研磨或选择性刻蚀,选择性刻蚀对多晶硅的刻蚀速率大于对单晶硅的刻蚀速率。

10. 根据权利要求5所述的薄膜体声波谐振器的制造方法,其特征是,氧等离子体刻蚀工艺的反应温度在200°C至650°C之间。

## 一种薄膜体声波谐振器及其制造方法

### 技术领域

[0001] 本申请涉及一种薄膜体声波谐振器 (FBAR或TFBAR, Thin-film bulk acoustic resonator), 特别是涉及一种空气隙型FBAR。

### 背景技术

[0002] 目前用于移动通信的滤波器主要有声表面波 (SAW, surface acoustic wave, 也称表面声波) 滤波器和体声波 (BAW, bulk acoustic wave) 滤波器。声表面波滤波器主要在4英寸和6英寸的铌酸锂 (LiNbO<sub>3</sub>) 或钽酸锂 (LiTaO<sub>3</sub>) 晶圆上生产, 体声波滤波器主要在6英寸和8英寸的硅晶圆上生产。通常是晶圆尺寸越大, 同一晶圆上可生产的集成电路就越多, 成本就越低。声表面波滤波器与体声波滤波器的材料成本基本相同, 但体声波滤波器的整体制造成本远远高于声表面波滤波器, 这是由于体声波滤波器的结构以及制造工艺复杂。声表面波滤波器由于成本低、制造工艺成熟, 占据了60%以上的滤波器市场。

[0003] 随着4G移动通信技术的发展, 无线通信频率越来越高, 可用频谱越来越拥挤, 对滤波器的滚降系数、插入损耗、带外抑制、功率承受能力等方面有了更高的要求。声表面波滤波器逐渐表现出无法满足这些要求。而体声波滤波器在这些方面表现优异, 逐渐成为了4G移动通信领域的首选。但体声波滤波器的高昂成本阻碍了其快速发展。

[0004] FBAR是一种体声波器件, 也是一种MEMS (micro-electro-mechanical systems, 微机电系统) 器件, 是构成体声波滤波器的基本单元。一组FBAR采用诸如半梯形 (half-ladder)、全梯形 (full-ladder)、晶格 (lattice)、堆叠 (stack) 等方式级联在一起就构成体声波滤波器。FBAR还用于制作双工器、微波振荡器、传感器、功率放大器、低噪声放大器等。如何制造出高性能、低成本的FBAR对体声波滤波器的进一步发展有着重要意义。

[0005] 目前FBAR根据不同的制造工艺主要有三种结构——背面刻蚀型、固态装配型和空气隙型。背面刻蚀型FBAR由于机械强度差而使得成品率低, 无法大规模量产。固态装配型FBAR采用布拉格反射层作为声波反射层, 一方面需要制备多层薄膜, 在各层薄膜应力控制上难度较大且工艺成本较高; 另一方面布拉格反射层的声波反射效果不如空气, Q值 (品质因子) 低于空气隙型FBAR。空气隙型FBAR的机械强度较好、Q值较高, 制造工艺复杂度适中而被广泛使用。电子科技大学2007年硕士学位论文《薄膜体声波谐振器结构分析与仿真》(作者: 吴勇) 在第二章《FBAR的原理和结构》对这方面内容进行了介绍。

[0006] 请参阅图1, 这是一种传统的空气隙型FBAR。在衬底100的上方依次向上分别具有下电极201、压电层202和上电极203。所述衬底100可以是硅、蓝宝石、砷化镓、氮化镓、碳化硅、石英、玻璃等材料。所述下电极201和上电极203可以是铝、铜、铝铜合金、铝硅合金、铝硅铜合金、金、钨、钛、钛钨化合物、钼、铂等金属材料。所述压电层202可以是氧化锌、PZT (Lead zirconate titanate, 锆钛酸铅)、氮化铝等压电薄膜材料。在衬底100和下电极201之间具有从衬底100的上表面向下凹陷的空腔104作为FBAR的空气隙。

[0007] 请参阅图2, 图1所示的传统的空气隙型FBAR的制造方法包括如下步骤:

[0008] 步骤S101, 在衬底100的上表面刻蚀出空腔104, 例如采用光刻和刻蚀工艺。在空腔

104的边缘还具有一起被刻蚀出的牺牲层释放通道。

[0009] 步骤S102,在衬底100上淀积一层牺牲层,至少将所述空腔104填充满。所述牺牲层例如为二氧化硅、磷硅玻璃(PSG)、硼磷硅玻璃(BPSG)等。

[0010] 步骤S103,采用平坦化工艺将牺牲层研磨至与衬底100的上表面齐平。所述平坦化工艺例如为化学机械研磨(CMP)。

[0011] 步骤S104,在衬底100和牺牲层之上先生长一层金属,然后将该层金属刻蚀成下电极201,例如采用溅射、光刻和刻蚀工艺。下电极201大致覆盖空腔104的位置。

[0012] 步骤S105,在衬底100、牺牲层和下电极201之上先淀积一层压电材料,然后将该层压电材料刻蚀成压电层202。压电层202也大致覆盖空腔104的位置。

[0013] 步骤S106,在衬底100、牺牲层、下电极201和压电层202之上先生长一层金属,然后将该层金属刻蚀成上电极203,例如采用淀积、光刻和刻蚀工艺。上电极203也大致覆盖空腔104的位置。

[0014] 步骤S107,刻蚀上电极203、压电层202、下电极201中的一层或多层从而暴露出牺牲层释放通道的位置,然后通过该牺牲层释放通道去除空腔104中的牺牲层,例如采用光刻、刻蚀、湿法腐蚀工艺。位于衬底100和下电极201之间的空腔104就作为FBAR的空气隙。

[0015] 传统的空气隙型FBAR在制造时,均采用二氧化硅或类似材料作为牺牲层用于填充空腔,在器件制作完成后再用氢氟酸(HF)将空腔中的二氧化硅移除形成空气隙。由于氢氟酸对大多数金属具有腐蚀性,因此传统的空气隙型FBAR必须谨慎选择电极及层间互联的金属材料。一般地,空气隙型FBAR不能采用低成本的铝(Al)、铜(Cu)作为互联金属,均采用高成本的金(Au)作为互联金属,这大大增加了其材料成本。并且,采用氢氟酸移除牺牲层的同时,FBAR器件的其他结构也会受到氢氟酸不同程度的腐蚀,导致器件的可靠性变差。

## 发明内容

[0016] 本申请所要解决的技术问题是提供一种低成本、高可靠性、无污染的FBAR以及相应的制造方法。

[0017] 为解决上述技术问题,本申请的薄膜体声波谐振器是在衬底的上方具有空腔,在空腔的上方还具有下电极、上电极以及位于两者中间的压电层;所述空腔是先填充牺牲层再移除牺牲层而得到的,并且牺牲层采用能够被氧等离子体刻蚀工艺去除的材料;所述下电极、上电极和/或电极引出端采用铝、铜或铜铝合金的一种或多种。

[0018] 本申请的薄膜体声波谐振器的制造方法之一是:在衬底上形成凸出在衬底之上的牺牲层,或者在衬底上形成上表面齐平的支撑层与牺牲层;接着在衬底和牺牲层之上、或者在衬底和支撑层和牺牲层之上分别形成下电极、压电层、上电极;最后采用铝、铜或铜铝合金作为互联金属形成电极引出端,并采用氧等离子体刻蚀工艺去除牺牲层而形成薄膜体声波谐振器的空气隙。

[0019] 本申请取得的技术效果是:一方面将薄膜体声波谐振器中的电极、电极引出端材料由贵金属改为便宜金属,降低了制造成本;另一方面避免了氢氟酸对器件的损害,提高了薄膜体声波谐振器的可靠性;再一方面舍弃了对环境有污染的氢氟酸药液,体现环境友好性。

## 附图说明

- [0020] 图1是传统的空气隙型FBAR的结构示意图。
- [0021] 图2是传统的空气隙型FBAR的制造方法示意图。
- [0022] 图3a至图3i是本申请的空气隙型FBAR制造方法实施例一各步骤示意图。
- [0023] 图4a至图4d是本申请的空气隙型FBAR制造方法实施例二部分步骤示意图。
- [0024] 图5a至图5b是本申请的空气隙型FBAR制造方法实施例三部分步骤示意图。
- [0025] 图3i还是本申请的空气隙型FBAR的实施例一的结构示意图。
- [0026] 图5c是本申请的空气隙型FBAR的实施例二的结构示意图。
- [0027] 图中附图标记说明：100为衬底；101为支撑层；102为硅（单晶硅或多晶硅）；104为空腔；105为牺牲层；201为下电极；202为压电层；203为上电极；207为沟槽；208为隔离层；209为钝化层；300为互联金属。

## 具体实施方式

- [0028] 本申请的FBAR制造方法的实施例一包括如下步骤：
- [0029] 步骤S301，请参阅图3a，在衬底100上淀积一层支撑层101。支撑层101可以是二氧化硅、氮化硅、氮氧化硅等绝缘材料。
- [0030] 步骤S302，请参阅图3b，刻蚀支撑层101形成空腔104，例如采用光刻和刻蚀工艺。空腔104还连接有一起被刻蚀出的牺牲层释放通道（未图示）。
- [0031] 步骤S303，请参阅图3c，在衬底100和支撑层101之上淀积一层牺牲层105，所述牺牲层105将空腔104和牺牲层释放通道填充满。牺牲层105例如采用黑金刚石（Black Diamond）、光刻胶（Photoresist）、聚酰亚胺（Polyimide）等能够被氧等离子体刻蚀（O<sub>2</sub> Plasma）工艺去除的无机或有机材料。
- [0032] 步骤S304，请参阅图3d，采用平坦化工艺将牺牲层105的上表面研磨至与支撑层101的上表面齐平。所述平坦化工艺例如为化学机械研磨。
- [0033] 步骤S305，请参阅图3e，先在支撑层101和牺牲层105之上淀积一层隔离层208，隔离层208例如为氧化硅、氮化硅、氮氧化硅、氮化铝等材料。然后在隔离层208之上生长一层金属，并将该层金属刻蚀成下电极201，例如采用溅射、光刻和刻蚀工艺。下电极201和隔离层208均完整覆盖空腔104的位置，但暴露出牺牲层释放通道的位置。
- [0034] 可选地，可以同时刻蚀下电极201和隔离层208。
- [0035] 可选地，在同时刻蚀下电极201和隔离层208时，还在下电极201和隔离层208中刻蚀出沟槽207，例如采用光刻和刻蚀工艺。沟槽207的底部例如为支撑层101的上表面，沟槽207与空腔104的位置相错开。沟槽207用来将FBAR与互联金属触点进行隔离。图3e中表现出了沟槽207，在其他实施例中不刻蚀沟槽207也是可以的。
- [0036] 步骤S306，请参阅图3f，在隔离层208和下电极201之上先淀积一层压电材料，然后将该层压电材料刻蚀成压电层202。压电层202完整或部分地覆盖空腔104的位置，但暴露出牺牲层释放通道以及下电极201的引出端。
- [0037] 如果在步骤S305中刻蚀出用于隔离的沟槽207，那么压电层202的一部分可以填充在该沟槽207内。

[0038] 步骤S307,请参阅图3g,先在隔离层208、下电极201和压电层202之上生长一层金属,然后在隔离层208、下电极201、压电层202、新生长的金属层之上淀积一层钝化层209。钝化层209例如为氧化硅、氮化硅、氮氧化硅、氮化铝等材料。接着先刻蚀钝化层209,再刻蚀新生长的金属层成为上电极203,例如采用光刻和刻蚀工艺。上电极203部分或全部覆盖空腔104的位置,但暴露出牺牲层释放通道的位置。钝化层209覆盖上电极203和下电极201的暴露部分,但暴露出电极的引出端。

[0039] 如果在步骤S305中刻蚀出用于隔离的沟槽207,那么上电极203的一部分、钝化层209的一部分可以填充在该沟槽207内。

[0040] 步骤S308,请参阅图3h,在下电极201的引出端和上电极203的引出端形成互联金属300。例如先生长一层金属从而在电极引出端的位置形成互联金属300,再去除其他位置的金属。下电极201、上电极203、互联金属300采用铝、铜、铜铝合金等低成本的金属材料,以及相应金属的互联工艺制造。优选地,互联金属300与空腔104的最小间距应保持在 $3\mu\text{m}$ 以上。

[0041] 如果在步骤S305中刻蚀出用于隔离的沟槽207,那么上电极203的引出端所形成的互联金属300的一部分可以填充在该沟槽207内。在图3h中,沟槽207用来对FBAR器件和上电极203的引出端所形成的互联金属300进行隔离,该沟槽207也可省略。类似地,在FBAR器件和下电极201的引出端所形成的互联金属300之间也可形成沟槽进行隔离。

[0042] 步骤S309,请参阅图3i,通过牺牲层释放通道位置采用氧等离子体刻蚀工艺去除空腔104中的牺牲层105,空腔104便形成了FBAR的空气隙。优选地,氧等离子体刻蚀的反应温度在 $200^{\circ}\text{C}$ 至 $650^{\circ}\text{C}$ 之间。如果牺牲层释放通道被任何薄膜所覆盖,该步骤一并去除牺牲层释放通道上方的薄膜而暴露出牺牲层释放通道。

[0043] 该实施例一制造出的空气隙型FBAR结构如图3i所示。

[0044] 本申请的FBAR制造方法的实施例二包括如下步骤:

[0045] 步骤S401,请参阅图4a,在衬底100上淀积一层牺牲层105。牺牲层105例如采用黑金刚石、光刻胶、聚酰亚胺等可以用氧等离子体刻蚀工艺去除的无机或有机材料。

[0046] 步骤S402,请参阅图4b,刻蚀牺牲层105,剩余的牺牲层105包括准备作为空腔104的部分以及与空腔104相连接的作为牺牲层释放通道的部分,例如采用光刻和刻蚀工艺。

[0047] 步骤S403,请参阅图4c,在衬底100和牺牲层105之上淀积一层硅102。如采用硅衬底,则衬底100之上为单晶硅102。牺牲层105之上为多晶硅102。

[0048] 步骤S404,请参阅图4d,采用平坦化工艺将硅层102的上表面研磨或刻蚀至与牺牲层105的上表面齐平。所述平坦化工艺例如为化学机械研磨。所述平坦化工艺还可以是选择性刻蚀,可以为湿法腐蚀或者干法刻蚀,要求对多晶硅的刻蚀速率大于对单晶硅的刻蚀速率。

[0049] 后续采用实施例一的步骤S305至步骤S309。该实施例二制造出的空气隙型FBAR结构也如图3i所示。

[0050] 本申请的FBAR制造方法的实施例三包括如下步骤:

[0051] 步骤S501,请参阅图5a,在衬底100上淀积一层牺牲层105。牺牲层105例如采用黑金刚石、光刻胶、聚酰亚胺等可以用氧等离子体刻蚀工艺去除的无机或有机材料。

[0052] 步骤S502,请参阅图5b,刻蚀牺牲层105,剩余的牺牲层105包括准备作为空腔104

的部分以及与所述空腔104相连接的作为牺牲层释放通道的部分,例如采用光刻和刻蚀工艺。

[0053] 后续采用实施例一的步骤S305至步骤S309。该实施例三制造出的空气隙型FBAR结构如图5c所示。

[0054] 与传统的FBAR制造方法相比,本申请提供的FBAR制造方法的三个实施例具有以下优点:

[0055] 其一,选择可被氧等离子体刻蚀工艺去除的材料作为牺牲层材料,在FBAR制造完成后采用氧等离子体刻蚀工艺去除牺牲层。氧等离子体刻蚀工艺对常规金属无腐蚀,因此可以采用铝、铜等低成本金属作为FBAR的下电极、上电极和/或层间互联的金属材料,大大降低了材料成本。

[0056] 其二,避免了采用氢氟酸药液以湿法腐蚀工艺去除二氧化硅材料的步骤,因此避免了氢氟酸对FBAR的其他结构带来了潜在损害,在一定程度上提高了器件的可靠性。

[0057] 其三,氢氟酸是一种对环境有污染的化学制剂,避免采用氢氟酸还有利于环境保护。

[0058] 请参阅图3i所示,这是本申请的FBAR的实施例一。在衬底100的上方依次向上分别具有支撑层101、隔离层208、下电极201、压电层202、上电极203和钝化层209。在支撑层101中间具有空腔104,空腔104的底部例如为衬底100的上表面,空腔104的顶部例如为隔离层208的下表面。隔离层208增加了FBAR与衬底100之间的隔离,可以降低对衬底100的电阻率要求,并防止FBAR的电极之间有漏电发生,从而为IC集成提供更好的基础。隔离层208作为FBAR与衬底100之间的过渡,还可以提高器件结构生长的一致性,从而提高器件性能与可靠性。可选地,隔离层208也可省略。隔离层208和下电极201都是完整地覆盖在空腔104的正上方。压电层202和上电极203都是部分或全部地覆盖在空腔104的正上方。在下电极201和上电极203的引出端采用铝、铜、铜铝合金等低成本的金属材料形成有互联金属300。钝化层209完整覆盖住下电极201和上电极203除互联金属300覆盖的区域以外的暴露部分,避免了上电极203和下电极201的暴露部分裸露在空气中而导致的氧化、变质等现象,有利于保持FBAR的性能长期稳定可靠。这使得器件可以应用于较为恶劣的环境中,降低了对使用环境的要求。可选地,钝化层209也可省略。

[0059] 请参阅图5c,这是本申请的FBAR的实施例二。在衬底100的上方依次向上分别具有隔离层208、下电极201、压电层202、上电极203和钝化层209。隔离层208的一部分向上凸起,隔离层208向上凸起部分与衬底100之间具有空腔104,空腔104的底部例如为衬底100的上表面,空腔104的顶部例如为隔离层208的下表面。该实施例二的其他结构与实施例一类似。

[0060] 上述FBAR的两个实施例的主要区别在于衬底100之上是否具有支撑层101。当衬底100之上具有支撑层101时,支撑层101可以与牺牲层105的上表面齐平,从而为下电极201、压电层202和上电极203提供一个平坦的表面进行生长淀积,这可以降低薄膜生长的工艺难度,有利于提高薄膜的质量与均匀性。

[0061] 可选地,上述FBAR的两个实施例中,在下电极201的引出端所形成的互联金属300与空腔104之间可以设置沟槽,用来对FBAR与下电极金属触点300进行电学隔离。在上电极203的引出端所形成的互联金属300与空腔104之间也可以设置沟槽,用来对FBAR与上电极金属触点300进行电学隔离。图3i与图5c仅表示出了一个沟槽207作为示例。当存在隔离沟槽时,下电极201的一部分、压电层202的一部分、上电极203的一部分、钝化层209的一部分、

同侧互联金属300的一部分都可落在该隔离沟槽内。

[0062] 与传统的FBAR相比,本申请提供的空气隙型FBAR在结构上具有隔离层、钝化层、隔离沟槽等可以提高器件可靠性的薄膜,在制造上采用低成本、无腐蚀、环保的工艺技术,实现了低成本与高可靠性的双重目标。

[0063] 以上仅为本申请的优选实施例,并不用于限定本申请。对于本领域的技术人员来说,本申请可以有各种更改和变化。凡在本申请的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本申请的保护范围之内。



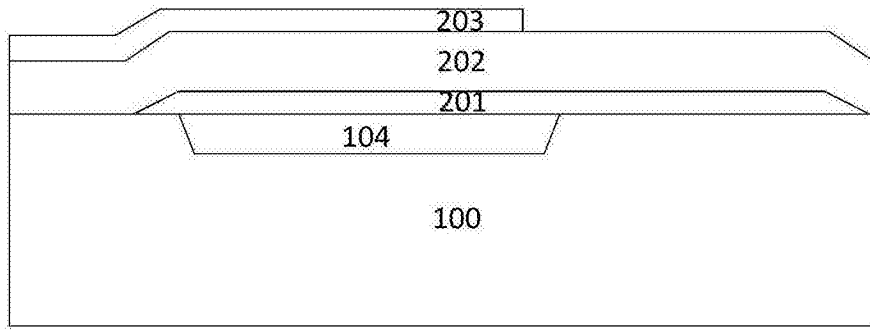


图1

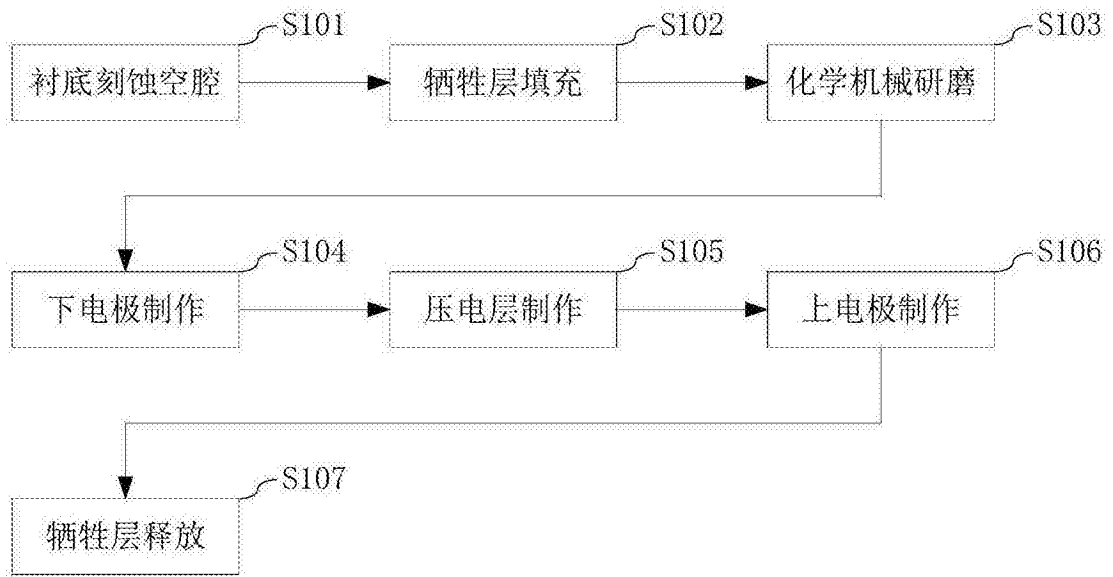


图2

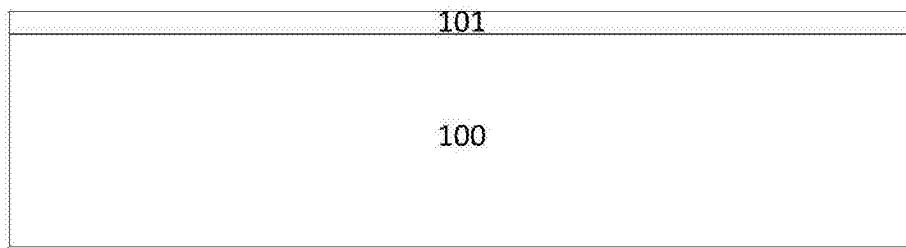


图3a

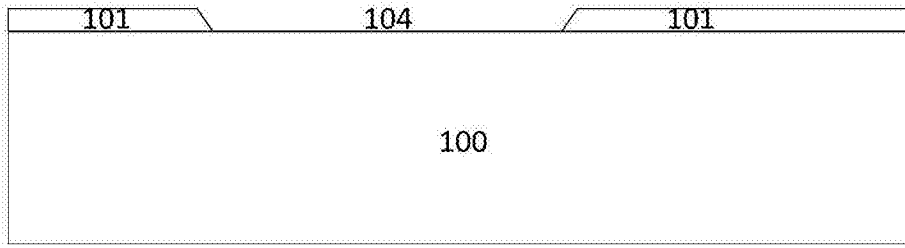


图3b

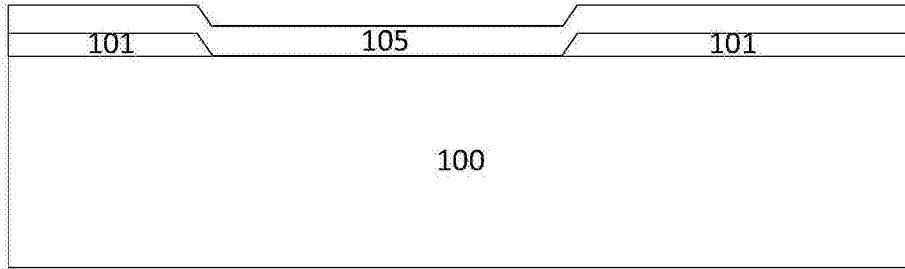


图3c

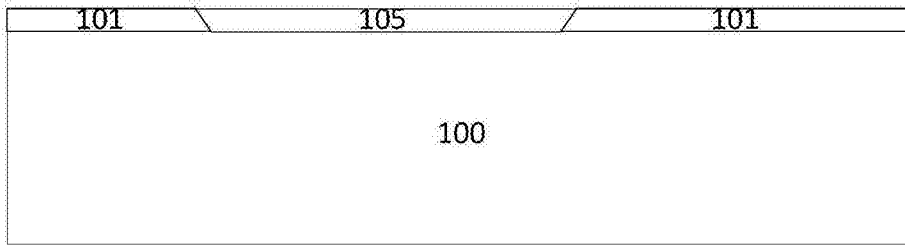


图3d

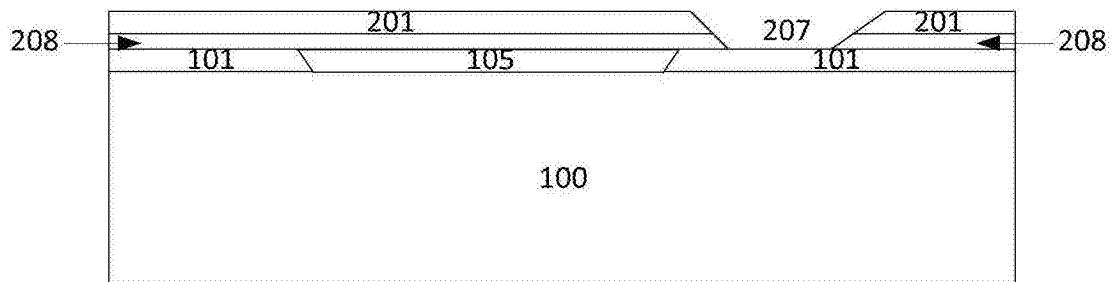


图3e

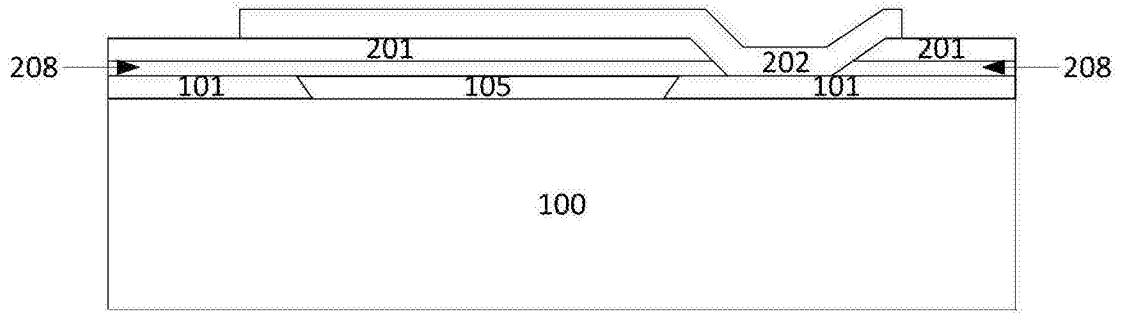


图3f

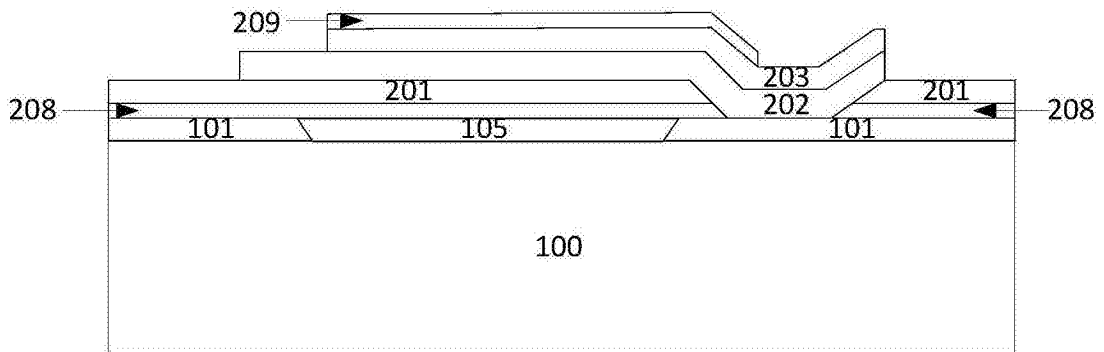


图3g

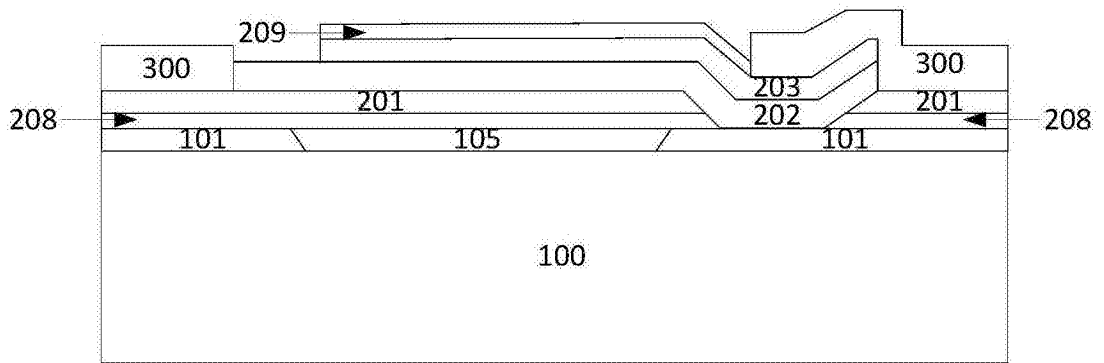


图3h

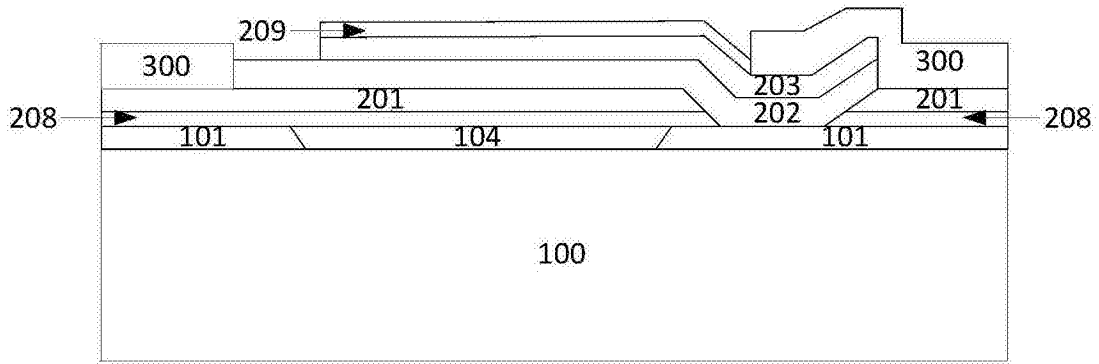


图3i

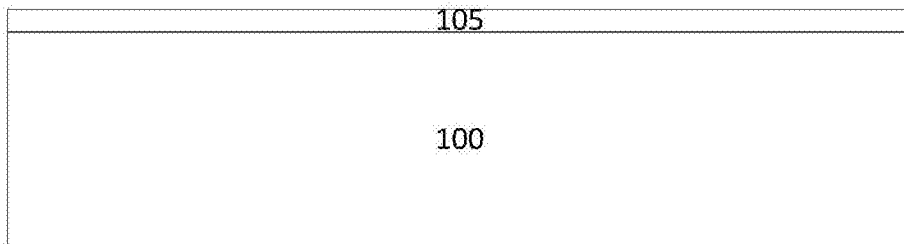


图4a

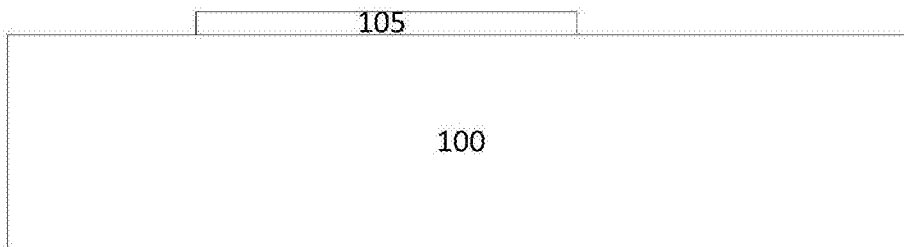


图4b

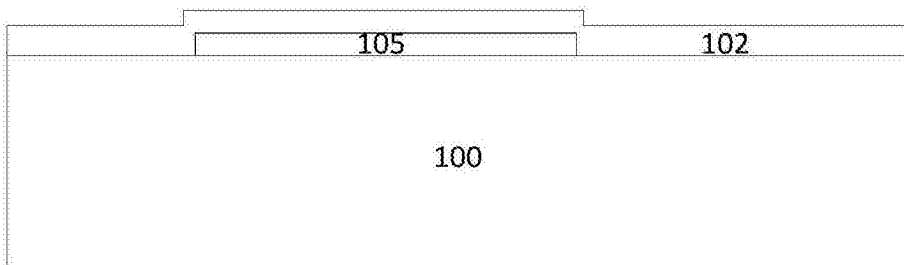


图4c

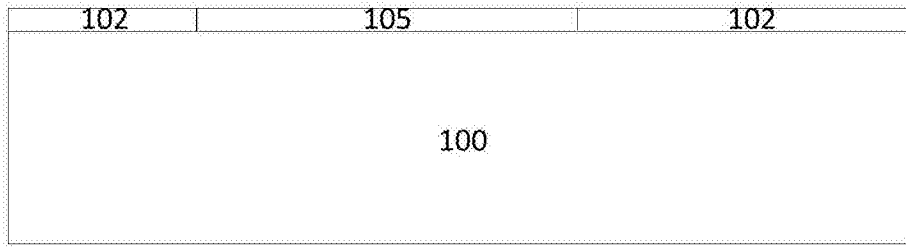


图4d

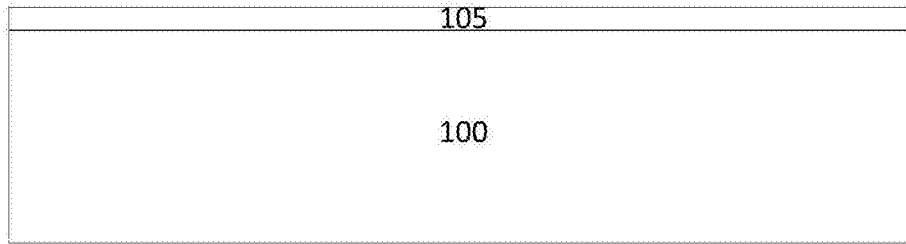


图5a

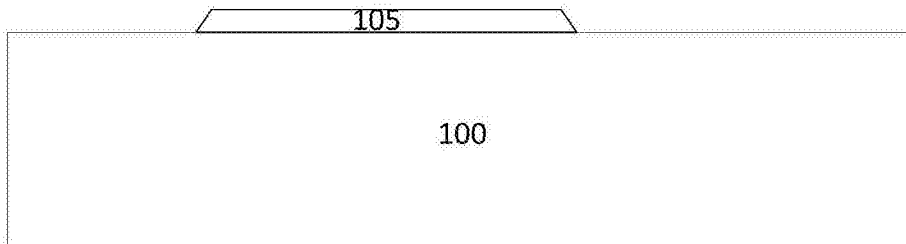


图5b

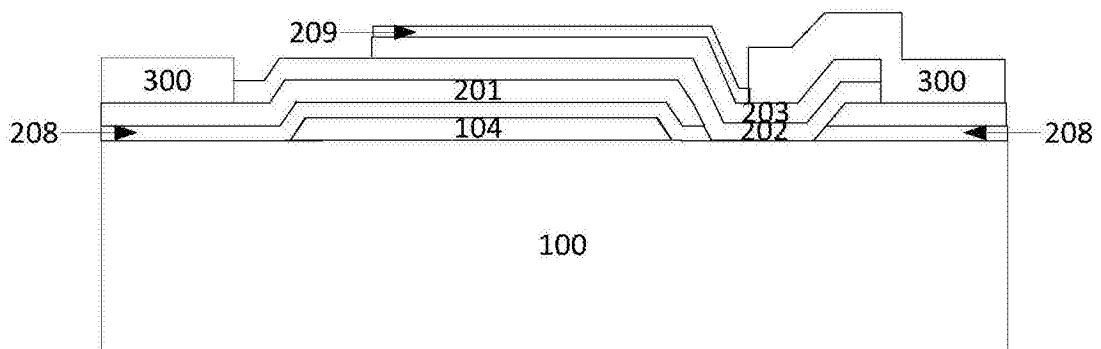


图5c