



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103673864 B

(45) 授权公告日 2016. 03. 23

(21) 申请号 201310609962. 2

(22) 申请日 2013. 11. 27

(73) 专利权人 东南大学

地址 211189 江苏省南京市江宁区东南大学
路 2 号

(72) 发明人 雷双瑛 李峰 陈洁 于虹
黄庆安

(74) 专利代理机构 南京瑞弘专利商标事务所
(普通合伙) 32249

代理人 杨晓玲

(51) Int. Cl.

G01B 7/16(2006. 01)

B82Y 15/00(2011. 01)

B82Y 40/00(2011. 01)

(56) 对比文件

CN 102826504 A, 2012. 12. 19,

CN 103238208 A, 2013. 08. 07,

CN 102945791 A, 2013. 02. 27,

KR 20120124121 A, 2012. 11. 13,

US 2012256242 A1, 2012. 10. 11,

审查员 贾佳

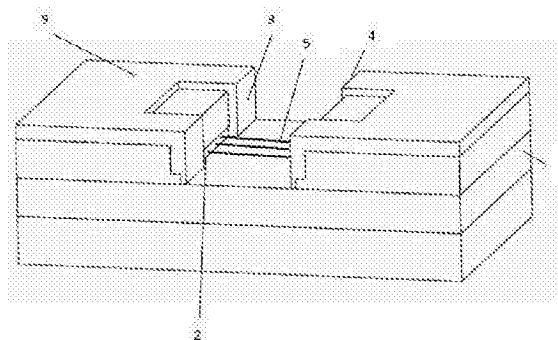
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

硅锗异质结纳米线阵列作为敏感元件的应变计及制备方法

(57) 摘要

本发明公开了一种硅锗异质结纳米线阵列作为敏感元件的应变计,该应变计包括绝缘体上硅圆片,以及覆盖在绝缘体上硅圆片上的氧化层,绝缘体上硅圆片上开有深槽,且深槽的侧壁和底面均设有氧化层,在深槽相对的两个侧壁上分别设有一个生长纳米线的窗口,该窗口上设有锡纳米颗粒催化剂层,锡纳米颗粒催化剂层上生长硅锗异质结纳米线阵列,两个生长纳米线且相对的窗口通过该硅锗异质结纳米线阵列相连接。该应变计采用硅锗异质结纳米线阵列作为敏感元件,提高敏感源灵敏度,同时,还公开该应变计的制备方法,该制备方法简单,且与现有的集成电路工艺具有兼容性。



1. 一种硅锆异质结纳米线阵列作为敏感元件的应变计,其特征在于,该应变计包括绝缘体上硅圆片(1),以及覆盖在绝缘体上硅圆片(1)上的氧化层(9),绝缘体上硅圆片(1)上开有深槽,且深槽的侧壁和底面均设有氧化层,在深槽相对的两个侧壁上分别设有一个生长纳米线的窗口(2),该窗口(2)上设有锡纳米颗粒催化剂层(6),锡纳米颗粒催化剂层(6)上生长硅锆异质结纳米线阵列(5),两个生长纳米线且相对的窗口(2)通过该硅锆异质结纳米线阵列(5)相连接。

2. 根据权利要求1所述的硅锆异质结纳米线阵列作为敏感元件的应变计,其特征在于:所述的硅锆异质结纳米线阵列(5)的阵列密度为20-70每平方微米,硅锆异质结纳米线阵列(5)中的硅锆异质结纳米线的半径为20-80纳米。

3. 一种权利要求1所述的硅锆异质结纳米线阵列作为敏感元件的应变计的制备方法,其特征在于,该制备方法包括以下步骤:

第一步,利用热氧化方法在绝缘体上硅圆片(1)上表面形成保护氧化层,制成带有氧化层的绝缘体上硅圆片;

第二步,开深槽:通过光刻和反应离子刻蚀方法,在第一步制得的带有氧化层的绝缘体上硅圆片上开深槽;

第三步,开出生长纳米线的窗口(2):利用光刻定位工艺,去除位于深槽两侧壁上的用于生长纳米线的窗口上的氧化层,形成生长纳米线的窗口(2);深槽两侧壁上,除了窗口(2)以外的其余位置都覆盖有氧化层;

第四步,利用电沉积方法,在生长纳米线的窗口(2)表面上得到锡纳米颗粒催化剂层(6);

第五步,利用溶液气相法,在锡纳米颗粒催化剂层(6)表面同步生长突变界面的硅锆异质结纳米线,制成硅锆异质结纳米线阵列(5),使得深槽两侧壁上的生长纳米线的窗口(2)之间通过硅锆异质结纳米线阵列(5)相连。

4. 根据权利要求3所述的硅锆异质结纳米线阵列作为敏感元件的应变计的制备方法,其特征在于,所述的第五步中的硅锆异质结纳米线的制备方法包括以下步骤:

步骤501) 在450-470℃,热分解苯硅烷产生硅烷气体,做为前导气体,利用前导气体在锡纳米颗粒催化剂层(6)表面生长硅纳米片段(7);

步骤502) 将温度降至420-440℃,停止硅纳米片段(7)的生长,同时向烧瓶中注入三苯基锆烷液体,热分解产生锆烷气体,作为锆纳米片段(8)的前导气体,在硅纳米片段(7)上生长锆纳米片段(8);

步骤503) 周期性重复步骤501)和步骤502),形成突变界面的硅锆异质结纳米线,直至该硅锆异质结纳米线连接深槽两侧壁上的生长纳米线的窗口(2)。

5. 根据权利要求3所述的硅锆异质结纳米线阵列作为敏感元件的应变计的制备方法,其特征在于,所述的第二步包括以下过程:步骤201) 采用反应离子刻蚀工艺,在绝缘体上硅圆片(1)上刻蚀形成深槽,使得绝缘体上硅圆片(1)中的硅层剩300-500纳米厚,步骤202) 利用热氧化工艺,使整个绝缘体上硅圆片(1)覆盖一层氧化层,步骤203) 利用反应离子刻蚀工艺,采用氢氟酸溶液,去除深槽底部的氧化层,步骤204) 对深槽底部进行一次反应离子刻蚀,去除位于深槽下方的绝缘体上硅圆片(1)硅层中的部分硅,使得深槽底部的两侧留出厚度为200-400纳米的硅,步骤205) 利用热氧化工艺,在深槽的底部和侧壁上,形

成 30-60 纳米厚度的氧化层。

6. 根据权利要求 3、4 或 5 所述的硅锗异质结纳米线阵列作为敏感元件的应变计的制备方法, 其特征在于, 所述的第四步中, 将绝缘体上硅圆片 (1) 浸没在由混合水溶液和表面活性剂溶液按照体积比为 1:6-15 组成的微乳液中, 其中, 混合水溶液由摩尔浓度为 0.01-0.05mol/L 的锡盐溶液和摩尔浓度为 0.2-0.4mol/L 的氢氟酸溶液组成, 表面活性剂溶液是由顺丁烯二酸二异辛酯磺酸盐和正庚烷溶液混合组成, 形成摩尔浓度为 0.2-0.4mol/L 的表面活性剂溶液; 在室温下, 对微乳液超声处理 20-40 分钟, 形成半径为 5-10 纳米的锡纳米颗粒催化剂层, 其密度 500-1200 每平方微米。

硅锗异质结纳米线阵列作为敏感元件的应变计及制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种纳电子机械系统(简称:NEMS)传感器敏感元件,具体来说,涉及一种硅锗异质结纳米线阵列作为敏感元件的应变计及制备方法。

背景技术

[0002] 纳米线,尤其是半导体材料的纳米线,由于硅材料、锗材料在当今集成电路领域的重要性,以及制备工艺与成熟的微电子工艺的兼容性备受科学家们的关注。目前,各种材料的纳米线在不同领域都有巨大的应用空间,如发光二极管(LED)、太阳能、传感器等领域。同时,纳机电系统(NEMS)技术的发展大大减小了压力传感器的尺寸,同时由于纳米尺度下的限制效应,作为敏感源的纳米材料拥有在微米尺度下没有的优异性能,从而大大提升了敏感源的灵敏度,为下一代的压力传感器提供了材料支持。而且,随着硅锗异质结纳米线的广泛关注,其优异的性能逐渐被研究发现。

[0003] 单一组分的半导体纳米材料,虽然也具有比体材料大的压阻效应,但是通常在制作过程中表面被钝化,因而使得引起纳米尺度下巨压阻效应的关键因素——表面态的显著减少,因而大大减小了压阻效应。通常应用过程中采用多组纳米线同时做为敏感源来提升应变计的灵敏度。硅锗异质结纳米线由于硅锗两种材料的晶格失配,加上量子限制效应往往表现出优异的性能。由于工艺上与当今主流的集成电路工艺的兼容性,采用纳米线做为应变计的敏感元件比其他光学或者磁动势的材料更易与集成,所以,是一种应变计的理想材料。

发明内容

[0004] 技术问题:本发明所要解决的技术问题是:提供一种硅锗异质结纳米线阵列作为敏感元件的应变计,该应变计采用硅锗异质结纳米线阵列作为敏感元件,提高敏感源灵敏度,同时,还提供该应变计的制备方法,该制备方法简单,且与现有的集成电路工艺具有兼容性。

[0005] 技术方案:为解决上述技术问题,本发明采用如下技术方案:

[0006] 一种硅锗异质结纳米线阵列作为敏感元件的应变计,该应变计包括绝缘体上硅圆片,以及覆盖在绝缘体上硅圆片上的氧化层,绝缘体上硅圆片上开有深槽,且深槽的侧壁和底面均设有氧化层,在深槽相对的两个侧壁上分别设有一个生长纳米线的窗口,该窗口上设有锡纳米颗粒催化剂层,锡纳米颗粒催化剂层上生长硅锗异质结纳米线阵列,两个生长纳米线且相对的窗口通过该硅锗异质结纳米线阵列相连接。

[0007] 进一步:所述的硅锗异质结纳米线阵列的阵列密度 20-70 每平方微米,硅锗异质结纳米线阵列中的硅锗异质结纳米线的半径为 20-80 纳米。

[0008] 一种上述的硅锗异质结纳米线阵列作为敏感元件的应变计的制备方法,该制备方法包括以下步骤:

[0009] 第一步,利用热氧化方法在绝缘体上硅圆片上表面形成保护氧化层,制成带有氧

化层的绝缘体上硅圆片；

[0010] 第二步,开深槽:通过光刻和反应离子刻蚀方法,在第一步制得的带有氧化层的绝缘体上硅圆片上开深槽；

[0011] 第三步,开出生长纳米线的窗口:利用光刻定位工艺,去除位于深槽两侧壁上的用于生长纳米线的窗口上的氧化层,形成生长纳米线的窗口;深槽两侧壁上,除了窗口以外的其余位置都覆盖有氧化层；

[0012] 第四步,利用电沉积方法,在生长纳米线的窗口表面上得到锡纳米颗粒催化剂层；

[0013] 第五步,利用溶液气相法,在锡纳米颗粒催化剂层表面同步生长突变界面的硅锗异质结纳米线,制成硅锗异质结纳米线阵列,使得深槽两侧壁上的生长纳米线的窗口之间通过硅锗异质结纳米线阵列相连。

[0014] 进一步,所述的第五步中的硅锗异质结纳米线的制备方法包括以下步骤：

[0015] 步骤 501) 在 450-470℃,热分解苯硅烷产生硅烷气体,做为前导气体,利用前导气体在锡纳米颗粒催化剂层表面生长硅纳米片段；

[0016] 步骤 502) 将温度降至 420-440℃,停止硅纳米片段的生长,同时向烧瓶中注入三苯基锗烷液体,热分解产生锗烷气体,作为锗纳米片段的前导气体,在硅纳米片段上生长锗纳米片段；

[0017] 步骤 503)周期性重复步骤 501)和步骤 502),形成突变界面的硅锗异质结纳米线,直至该硅锗异质结纳米线连接深槽两侧壁上的生长纳米线的窗口。

[0018] 进一步,所述的第二步包括以下过程:步骤 201) 采用反应离子刻蚀工艺,在绝缘体上硅圆片(1)上刻蚀形成深槽,使得绝缘体上硅圆片(1)中的硅层剩 300-500 纳米厚,步骤 202)利用热氧化工艺,使整个绝缘体上硅圆片(1)覆盖一层氧化层,步骤 203)利用反应离子刻蚀工艺,采用氢氟酸溶液,去除深槽底部的氧化层,步骤 204)对深槽底部进行一次反应离子刻蚀,去除位于深槽下方的绝缘体上硅圆片(1)硅层中的部分硅,使得深槽底部的两侧留出厚度为 200-400 纳米的硅,步骤 205)利用热氧化工艺,在深槽的底部和侧壁上,形成 30-60 纳米厚度的氧化层。

[0019] 进一步,所述的第四步中,将绝缘体上硅圆片浸没在由混合水溶液和表面活性剂溶液按照体积比为 1: 6-15 组成的微乳液中,其中,混合水溶液由摩尔浓度为 0.01-0.05 mol/L 的锡盐溶液和摩尔浓度为 0.2-0.4 mol/L 的氢氟酸溶液组成,表面活性剂溶液是由顺丁烯二酸二异辛酯磺酸盐和正庚烷溶液混合组成,形成摩尔浓度为 0.2-0.4mol/L 的表面活性剂溶液;在室温下,对微乳液超声处理 20-40 分钟,形成半径为 5-10 纳米的锡纳米颗粒催化剂层,其密度 500-1200 每平方微米。

[0020] 有益效果:与现有技术相比,本发明具有如下有益效果：

[0021] 1. 灵敏度和抗噪声能力提高。在 NEMS 技术领域,使用光刻、反应离子刻蚀技术可以在硅 SOI 圆片上开出深槽,并在侧墙上定位纳米线生长窗口,然后使用电沉积方法,沉积高密度的锡纳米颗粒,使用 SVG 方法生长硅锗异质结纳米线。由于在生长硅锗片段的时采用了不同的温度,这样得到的纳米线,硅锗界面突变成都高,较硅纳米线、硅 / 硅锗异质结纳米结构压阻系数大,同时,得到的纳米线阵列密度高。这有效的提高了应变计的灵敏度,抗噪声能力,并且减少了电阻。

[0022] 2. 本发明中生长硅锗异质结纳米的衬底采用(110) SOI 圆片, 该圆片拥有高掺杂的 P 型 Si (110) 器件层, 电阻率小于 $0.1 \Omega \cdot \text{cm}$ 。利用光刻和后续的反应离子刻蚀开槽, 两侧墙间的取向为 $\langle 111 \rangle$ 方向, 并且深槽的宽度能很好的控制纳米线的长度。侧墙间的宽度即为纳米线的长度, 能很好的保证纳米线阵列的一致性。

[0023] 3. 成本低廉。本发明中采用锡(Sn) 做为催化剂, 成本低廉, 而且能够同时高效的满足生长硅和锗纳米片段的要求。更为关键的是, 在反应过程中形成的合金中硅、锗元素的比例小于 1%。

[0024] 4. 本发明使用光刻定位开出纳米线的生长区域, 并采用电沉积金属催化剂, 保证了催化剂只在所规定的区域沉积, 而不会出现在氧化层区域。

附图说明

[0025] 图 1 为本发明的应变计的结构示意图。

[0026] 图 2 为本发明中窗口和硅锗异质结纳米线阵列的位置关系示意图。

[0027] 图 3 为本发明中硅锗异质结纳米线阵列的生长示意图。

[0028] 图 4 为本发明制备方法中第二步步骤 201) 的结构示意图。

[0029] 图 5 为本发明制备方法中第二步步骤 202) 的结构示意图。

[0030] 图 6 为本发明制备方法中第二步步骤 203) 的结构示意图。

[0031] 图 7 为本发明制备方法中第二步步骤 204) 的结构示意图。

[0032] 图 8 为本发明制备方法中第二步步骤 205) 的结构示意图。

[0033] 图中有: 绝缘体上硅圆片 1、窗口 2、第一侧墙 3、第二侧墙 4、硅锗异质结纳米线阵列 5、锡纳米颗粒催化剂层 6、硅纳米片段 7、锗纳米片段 8、氧化层 9。

具体实施方式

[0034] 下面结合附图, 对本发明的技术方案进行详细的说明。

[0035] 如图 1 和图 2 所示, 本发明的硅锗异质结纳米线阵列作为敏感元件的应变计, 包括绝缘体上硅圆片 1 (绝缘体上硅, Silicon on Insulator, 文中简称: SOI), 以及覆盖在绝缘体上硅圆片 1 上的氧化层 9, 绝缘体上硅圆片 1 上开有深槽, 且深槽的侧壁和底面均设有氧化层, 在深槽相对的两个侧壁上分别设有一个生长纳米线的窗口 2, 该窗口 2 上设有锡纳米颗粒催化剂层 6, 锡纳米颗粒催化剂层 6 上生长硅锗异质结纳米线阵列 5, 两个生长纳米线且相对的窗口 2 通过该硅锗异质结纳米线阵列 5 相连接。

[0036] 进一步: 所述的硅锗异质结纳米线阵列 5 的阵列密度 20-70 每平方微米, 硅锗异质结纳米线阵列 5 中的硅锗异质结纳米线的半径为 20-80 纳米。

[0037] 上述的硅锗异质结纳米线阵列作为敏感元件的应变计的制备方法, 包括以下步骤:

[0038] 第一步, 利用热氧化方法在绝缘体上硅圆片 1 上表面形成保护氧化层, 制成带有氧化层的绝缘体上硅圆片;

[0039] 第二步, 开深槽: 通过光刻和反应离子刻蚀方法, 在第一步制得的带有氧化层的绝缘体上硅圆片上开深槽。

[0040] 第二步具体包括以下过程: 步骤 201), 如图 4 所示, 采用反应离子刻蚀工艺, 在绝

绝缘体上硅圆片 1 上刻蚀形成深槽,使得绝缘体上硅圆片 1 中的硅层剩 300-500 纳米厚;步骤 202),如图 5 所示,利用热氧化工艺,使整个绝缘体上硅圆片 1 覆盖一层氧化层;步骤 203),如图 6 所示,利用反应离子刻蚀工艺,采用氢氟酸溶液,去除深槽底部的氧化层;步骤 204),如图 7 所示,对深槽底部进行一次反应离子刻蚀,去除位于深槽下方的绝缘体上硅圆片 1 硅层中的部分硅,使得深槽底部的两侧留出厚度为 200-400 纳米的硅;步骤 205),如图 8 所示,利用热氧化工艺,在深槽的底部和侧壁上,形成 30-60 纳米厚度的氧化层。

[0041] 第三步,开出生长纳米线的窗口 2:利用光刻定位工艺,去除位于深槽两侧壁上的用于生长纳米线的窗口上的氧化层,形成生长纳米线的窗口 2;深槽两侧壁上,除了窗口 2 以外的其余位置都覆盖有氧化层。

[0042] 第四步,利用电沉积方法,在生长纳米线的窗口 2 表面上得到锡纳米颗粒催化剂层 6。

[0043] 上述第四步中,将绝缘体上硅圆片 1 浸没在由混合水溶液和表面活性剂溶液按照体积比为 1: 6-15 组成的微乳液中,其中,混合水溶液由摩尔浓度为 0.01-0.05 mol/L 的锡盐溶液和摩尔浓度为 0.2-0.4 mol/L 的氢氟酸溶液组成,表面活性剂溶液是由顺丁烯二酸二异辛酯磺酸盐和正庚烷溶液混合组成,形成摩尔浓度为 0.2-0.4mol/L 的表面活性剂溶液;在室温下,对微乳液超声处理 20-40 分钟,形成半径为 5-10 纳米的锡纳米颗粒催化剂层,其密度 500-1200 每平方微米。

[0044] 第五步,利用溶液气相法,在锡纳米颗粒催化剂层 6 表面同步生长突变界面的硅锆异质结纳米线,制成硅锆异质结纳米线阵列 5,使得深槽两侧壁上的生长纳米线的窗口 2 之间通过硅锆异质结纳米线阵列 5 相连。

[0045] 如图 3 所示,上述第五步中,硅锆异质结纳米线的制备方法包括以下步骤:

[0046] 步骤 501)在 450-470℃,热分解苯硅烷(PS)产生硅烷气体,做为前导气体,利用前导气体在锡纳米颗粒催化剂层 6 表面生长硅纳米片段 7;

[0047] 步骤 502)将温度降至 420-440℃,停止硅纳米片段 7 的生长,同时向烧瓶中注入三苯基锆烷液体,热分解产生锆烷气体,作为锆纳米片段 8 的前导气体,在硅纳米片段 7 上生长锆纳米片段 8;

[0048] 步骤 503)周期性重复步骤 501)和步骤 502),形成突变界面的硅锆异质结纳米线,直至该硅锆异质结纳米线连接深槽两侧壁上的生长纳米线的窗口 2。

实施例

[0049] 利用上述制备方法制备应变计:

[0050] 1)准备 SOI 衬底:选用 P 型重掺杂器件层 SOI 衬底,其中器件层厚度为 1.6 微米,电阻率小于 $0.1 \Omega \cdot \text{cm}$,氧化埋层为 2.0 微米;

[0051] 2)热氧化:在 SOI 衬底表面获得厚度为 600 纳米的氧化层;

[0052] 3)光刻:去除第一侧墙 3 和第二侧墙 4 之间得到氧化层;

[0053] 4)反应离子刻蚀:在 SOI 衬底上开出深槽,此时,器件层还剩 400 纳米厚;SOI 衬底上的第一侧墙 3、第二侧墙 4 被深槽分隔开;

[0054] 5)第二次热氧化:获得厚度为 200 纳米的氧化层,器件层还剩 300 纳米厚;

[0055] 6)光刻:去除残留器件层上氧化层;

[0056] 7)第二次反应离子刻蚀:完全刻蚀掉两侧墙间的器件层,此时,侧墙下方 300 纳米厚区域未覆盖氧化层;

[0057] 8)第三次热氧化:在侧墙下方裸露硅局域形成 50 纳米薄氧化层;

[0058] 9)光刻:利用氢氟酸溶液去除生长纳米线区域窗口的薄氧化层;

[0059] 10)电沉积锡纳米颗粒:沉积过程中,将衬底浸没在含有锡盐溶液、氢氟酸溶液和表面活性剂的微乳液中,室温下超声处理 30 分钟,形成半径为 5-10 纳米的颗粒;

[0060] 11)溶液气相法生长硅锗异质结纳米线阵列:首先,生长硅片段 7,温度为 460℃,热分解苯硅烷产生前导气体,5-20 分钟,然后将温度降至 430℃,接着注入三苯硅烷,生长锗片段,5-20 分钟,随后周期性生长硅片段和锗片段,直至纳米线与对面侧墙组装成功。

[0061] 上述技术方案中,制备所述硅锗异质结纳米线阵列采用光刻辅助定位生长区域,并利高效的溶液气相生长(SVG)方法:在 SOI 硅圆片上刻蚀形成特定尺寸的深槽,并在生长硅锗纳米线阵列的区域开出没有覆盖氧化层的硅区域。在第三步的去氧化中,用到缓冲氢氟酸(BHF)溶液,并且良好控制刻蚀时间,使得去掉生长纳米线区域的氧化层,其他区域仍有氧化层的覆盖。利用电沉积方法镀锡纳米颗粒,用作生长纳米线催化剂,沉积过程中将衬底浸没在含有锡盐溶液、氢氟酸溶液和表面活性剂的微乳液中,室温下超声处理 30 分钟,形成半径为 5-10 纳米的颗粒。在第五步中,生长硅纳米线片段的温度在 460℃,较常规的气液固生长(VLS)方法中利用金作为催化剂生长纳米线的温度低 300℃,前导气体硅烷是在生长装置中热分解苯硅烷(PS)产生的。随着硅片段的生长,将温度降至 430℃以停止硅纳米片段的生长,防止残余的硅烷继续发生反应来保证锗纳米片段的纯度,以此获得很好的突变界面。同时向装置中注入三苯锗烷(英文全称:triphenyl germane,文中简称:TPG),在 430℃下 TPG 分解产生生长锗纳米线的锗烷。在重复以上过程,直至纳米线生长至对面的侧墙。

[0062] 本发明的基于硅锗异质结纳米线阵列的应变计包括 SOI 衬底、硅锗异质结纳米线阵列两个部分。SOI 衬底上深槽下方存在生长纳米线阵列区域,纳米线阵列为硅锗异质结纳米线阵列。通过自组装两个部分形成可靠连接。该应变计由硅锗纳米线阵列感受器件所受应力的变化,经由电极输出反映为电学参数的变化,从而实现高灵敏度的应变计。本发明采用的突变界面的硅锗异质结纳米线结构,该结构的压阻系数比硅材料的压阻系数要大,进而灵敏度得到了提升。在加上阵列结构提高了对应力变化的感应能力。由于硅锗异质结纳米线阵列是并联的,从而提高了整体电学参量变化的大小,进而使得噪声的干扰变弱。

[0063] 本发明利用硅锗异质结纳米线阵列结构作为敏感元件的应变计,以此获得高压阻系数、高抗噪声能力、高灵敏度。

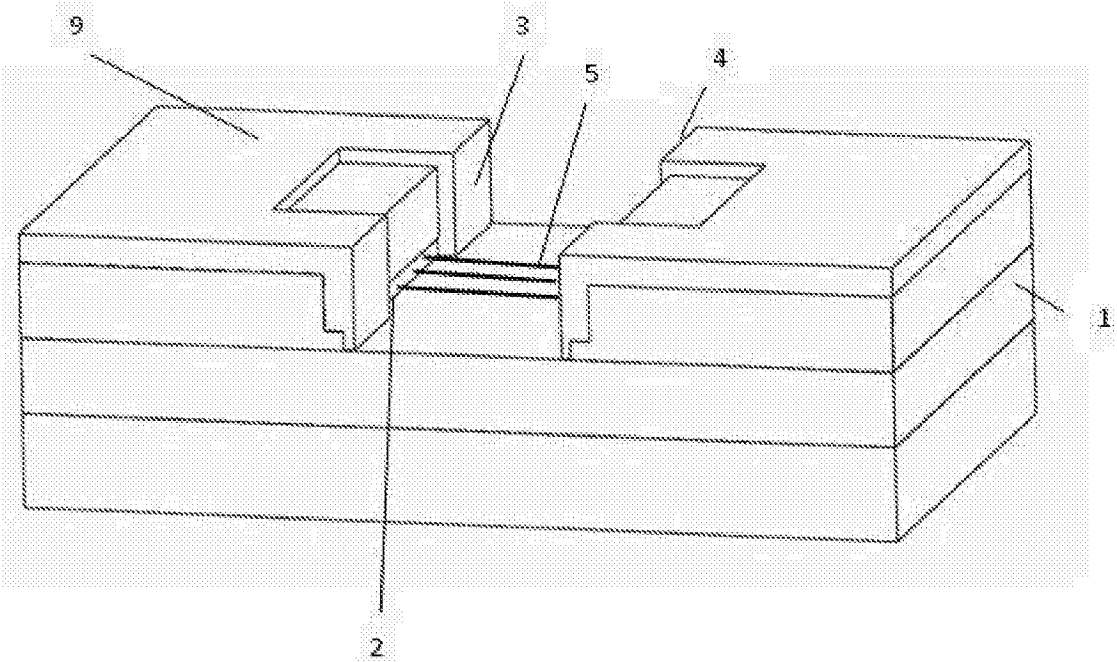


图 1

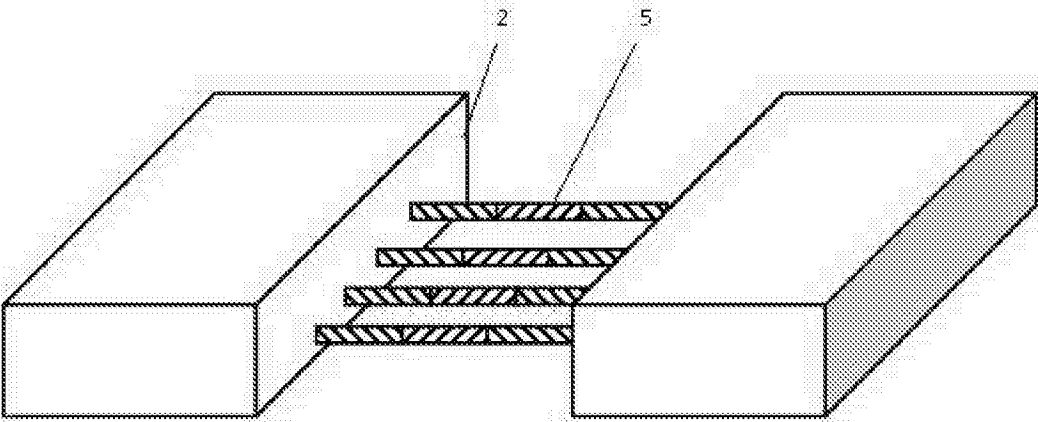


图 2

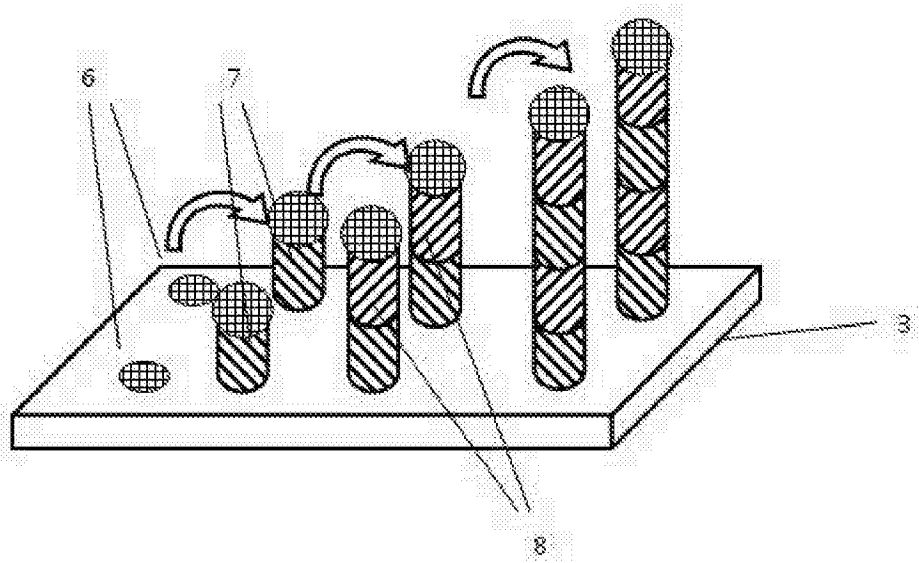


图 3

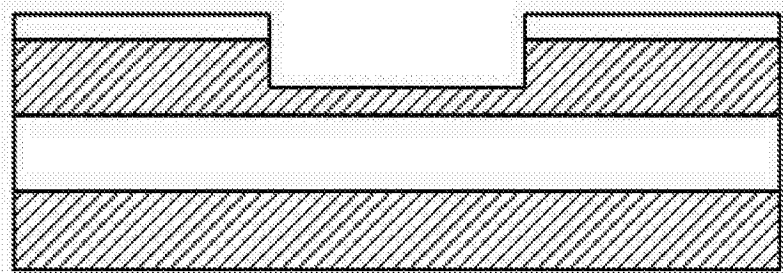


图 4

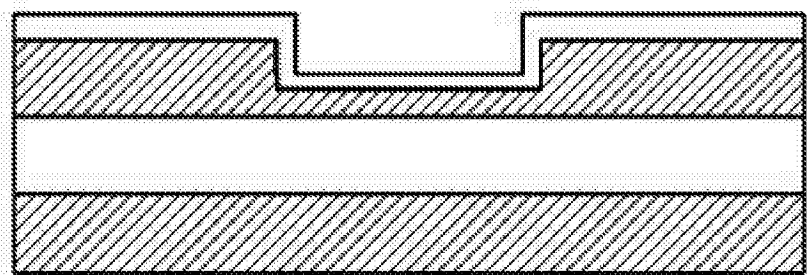


图 5

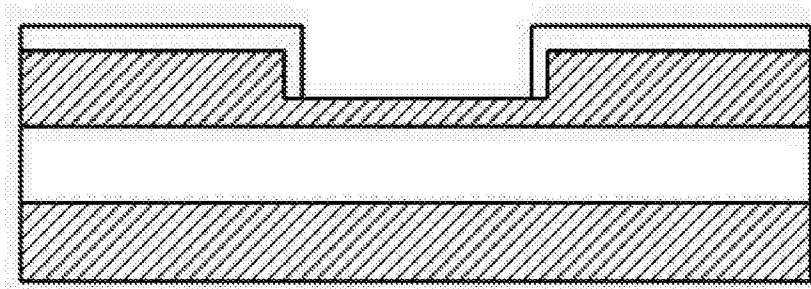


图 6

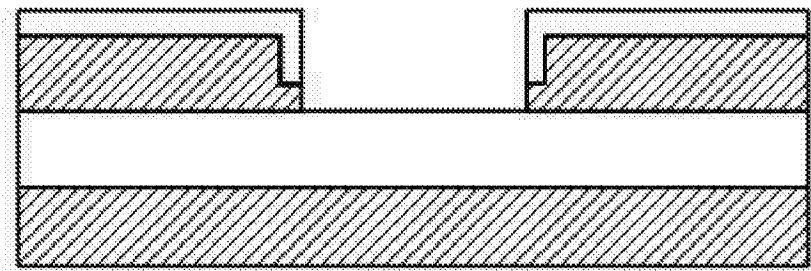


图 7

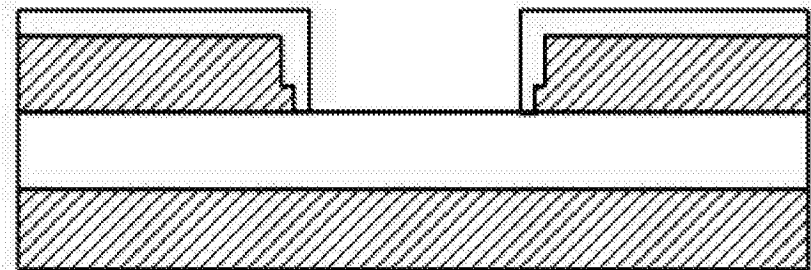


图 8