



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102856169 B

(45) 授权公告日 2015. 04. 15

(21) 申请号 201210136709. 5

(22) 申请日 2012. 05. 04

(30) 优先权数据

100115551 2011. 05. 04 TW

(73) 专利权人 高骐

地址 中国台湾台南市大学路 1 号

(72) 发明人 高骐 萧铨桦 郑百胜

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任
公司 11021

代理人 宋焰琴

(51) Int. Cl.

H01L 21/04(2006. 01)

H01L 29/786(2006. 01)

H01L 29/16(2006. 01)

B82Y 10/00(2011. 01)

(56) 对比文件

CN 101388412 A, 2009. 03. 18,

CN 101390218 A, 2009. 03. 18,

JP 特开 2009-252798 A, 2009. 10. 29,

US 2005/0145601 A1, 2005. 07. 07,

CN 101582445 A, 2009. 11. 18,

US 2010/0038628 A1, 2010. 02. 18,

CN 101124050 A, 2008. 02. 13,

CN 101351405 A, 2009. 01. 21,

审查员 罗晓雅

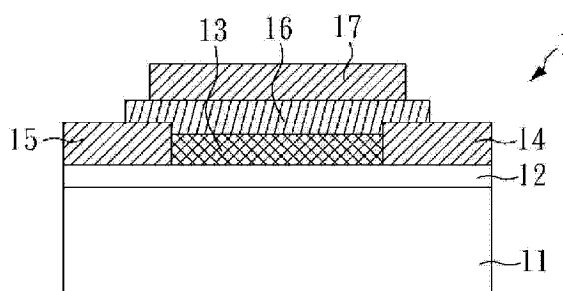
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

(54) 发明名称

薄膜晶体管的制备方法及顶栅极式薄膜晶体管

(57) 摘要

本发明公开了一种薄膜晶体管的制备方法及顶栅极式薄膜晶体管,本发明的薄膜晶体管的制备方法包括步骤:(A)提供一基板;(B)于该基板表面形成一源极电极、一漏极电极、以及一单壁纳米碳管层,该源极电极与该漏极电极相隔一距离配置,且该单壁纳米碳管层配置于该源极电极与该漏极电极之间;(C)于该单壁纳米碳管层的表面形成一栅极氧化层;(D)以氧气或氮气回火处理该栅极氧化层的表面;以及(E)形成一栅极于该栅极氧化层的表面;其中,该步骤(D)中,以氧气或氮气回火处理该栅极氧化层的温度为 500℃ 至 600℃。



1. 一种薄膜晶体管的制备方法,其特征在于,包括步骤:

(A) 提供一基板;

(B) 于该基板表面形成一源极电极、一漏极电极、以及一单壁纳米碳管层,该源极电极与该漏极电极相隔一距离配置,且该单壁纳米碳管层配置于该源极电极与该漏极电极之间;

(C) 于该单壁纳米碳管层的表面形成一栅极氧化层,该栅极氧化层的材料为氧化铪;

(D) 以氧气或氮气回火处理该栅极氧化层的表面;以及

(E) 形成一栅极于该栅极氧化层的表面;

其中,该步骤 (D) 中,以氧气或氮气回火处理该栅极氧化层的温度为 500℃ 至 600℃。

2. 如权利要求 1 所述的薄膜晶体管的制备方法,其特征在于,其中,该步骤 (C) 中,该栅极氧化层的厚度为 5nm-30nm。

3. 如权利要求 1 所述的薄膜晶体管的制备方法,其特征在于,其中,该步骤 (D) 中,以氧气或氮气回火处理该栅极氧化层的时间为 30 分钟至 1 小时。

4. 如权利要求 1 所述的薄膜晶体管的制备方法,其特征在于,其中,该步骤 (D) 中,以氧气或氮气回火处理该栅极氧化层的气体流速为 100sccm 至 500sccm。

5. 如权利要求 1 所述的薄膜晶体管的制备方法,其特征在于,其中,该步骤 (B) 中,该单壁纳米碳管层经由以下步骤形成:(B1) 将多个含金属的纳米颗粒放入于一溶剂中以形成一催化剂;(B2) 将该步骤 (A) 所提供的基板浸泡于该催化剂中;(B3) 将该经浸泡后的基板拿出,并将该基板进行煅烧处理;以及 (B4) 加热该经煅烧处理后的基板,并同时提供一醇类的成长气源,使借助该醇类的成长气源于该基板的表面形成多个单壁纳米碳管,其中,该多个单壁纳米碳管互相连接形成网状结构的该单壁纳米碳管层。

6. 如权利要求 5 所述的薄膜晶体管的制备方法,其特征在于,该步骤 (B4) 中,该醇类的成长气源选自:甲醇、乙醇、丙醇、异丙醇、正丁醇、异丁醇、正戊醇、及其混合所组成的群组。

7. 如权利要求 5 所述的薄膜晶体管的制备方法,其特征在于,该步骤 (B1) 中,该多个含金属的纳米颗粒的金属选自:钴、钼、及其混合所组成的群组。

8. 如权利要求 1 所述的薄膜晶体管的制备方法,其特征在于,其中,该步骤 (B) 中,该单壁纳米碳管层作为一通道层。

9. 如权利要求 1 所述的薄膜晶体管的制备方法,其特征在于,其中,该步骤 (B) 中,该单壁纳米碳管层的厚度为 100nm 至 400nm。

10. 一种顶栅极 (top-gate) 式薄膜晶体管,其特征在于,包括:

一基板;

一源极电极与一漏极电极,相隔一距离配置于该基板表面;

一单壁纳米碳管层,包括有互相连接形成一网状结构的多个单壁纳米碳管,该单壁纳米碳管层配置于该源极电极与该漏极电极之间,且设置于该基板表面;

一栅极氧化层,配置于该单壁纳米碳管层的表面,并覆盖部分该源极电极与部分该漏极电极,该栅极氧化层的材料为氧化铪,并以氧气或氮气回火处理该栅极氧化层的表面,温度为 500℃ 至 600℃;以及

一栅极,配置于该栅极氧化层的表面。

11. 如权利要求 10 所述的顶栅极式薄膜晶体管,其特征在于,其中,该单壁纳米碳管层

经由拉曼散射光谱 (Raman Scattering Spectrum) 分析后,所得到的 G/D 比值为 10 至 25。

12. 如权利要求 10 所述的顶栅极式薄膜晶体管,其特征在于,其中,该单壁纳米碳管层作为一通道层。

13. 如权利要求 10 所述的顶栅极式薄膜晶体管,其特征在于,其中,该单壁纳米碳管层的厚度为 100nm 至 400nm。

薄膜晶体管的制备方法及其顶栅极式薄膜晶体管

技术领域

[0001] 本发明关于一种薄膜晶体管的制备方法及其顶栅极式薄膜晶体管,尤其是一种使用单壁纳米碳管层作为通道层的薄膜晶体管的制备方法及其顶栅极式薄膜晶体管。

背景技术

[0002] 自从 1993 年发现纳米碳管以来,其合成及应用的研究有如雨后春笋般展开。其中,日本东京大学丸山团队率先利用酒精催化化学气相沉积 (ACCV) 制备出高纯度单壁纳米碳管。由于其制得的纳米碳管具有电性优良、制作工艺简易及可以利用黄光光刻技术等优点,得以运用于各种光电元件之中,因此最受到学者重视。

[0003] 另一方面,随着晶体管的制作工艺技术发展及尺寸微缩,必须寻找新的材料来取代,以期继续符合未来使用需求。曾有团队研究利用将碳管以分散方式制作出 P 型单壁纳米碳管晶体管,其开关比可达 10^6 且场效载子移动率可达 $7\text{cm}^2/\text{Vs}$ 。

[0004] 大多数纳米碳管晶体管操作时大多为 P 型特性,这被归咎于纳米碳管暴露在大气之下,会自行与氧气结合所导致,而相关研究中也有利用退火、掺杂钾元素等方法以有效控制晶体管的 N、P 型操作。

[0005] 此外, H. Dai 团队提出了碳管的半径与能隙大小及不同金属与碳管的功函数的调整会促使晶体管的特性改变的论点。IBM 研究团队发现纳米碳管与电极的接面对功函数很敏感,在接面处会吸收氧气而造成接面金属功函数上升,功函数的上升会使负电压侧电子仍然可以通过,但相反的负电压侧的电洞由于接面势垒过高而被截止。

[0006] 在过去研究中,大多是针对单根碳管,对于纳米碳管晶体管的掺杂研究很少,而纳米碳管薄膜因制作工艺简易、与 IC 制作工艺兼容,可发展大面积制备的优势,将是未来新纳米晶体管的主流材料之一。

[0007] 曾有人提到半导体单壁纳米碳管若吸附氮气将会成为 N 型半导体特性,而吸附了氧气会成为 P 型特性。然而,发明人先前曾尝试直接对纳米碳管薄膜通入氮或氧气体并进行高温回火,结果发现会使元件特性(如,场效移动率及转移电导等)下降许多,且通过拉曼分析发现其 G/D 比值下降许多,亦即,直接对碳管薄膜回火会造成碳管薄膜结构损害,因此无法直接应用于薄膜晶体管的制作。

[0008] 因此,本领域需要开发出一种新的单壁纳米碳管的薄膜晶体管的制备方法,可将单壁纳米碳管的双极性改变成单极,而可利用单壁纳米碳管作为薄膜晶体管的通道层。

发明内容

[0009] 由此,本发明提供了一种薄膜晶体管的制备方法,包括步骤:(A) 提供一基板;(B) 于该基板表面形成一源极电极、一漏极电极、以及一单壁纳米碳管层,其中源极电极与漏极电极相隔一距离配置,且单壁纳米碳管层配置于源极电极与漏极电极之间;(C) 于单壁纳米碳管层的表面形成一栅极氧化层;(D) 以氧气或氮气回火处理该栅极氧化层的表面;以及(E) 形成一栅极于栅极氧化层的表面;其中,步骤(D)中,以氧气或氮气回火处理该栅极

氧化层的温度为 500℃至 600℃。

[0010] 本发明利用氮气与氧气回火的方法,于形成栅极氧化层于单壁纳米碳管层的表面后进行回火,通过调整不同的回火参数,将单壁纳米碳管的双极性改变成单极,制备成晶体管元件。详细地说,先覆盖栅极氧化层(如, HfO_x) 后,再进行回火,一方面可使栅极氧化层的介电常数增加,另一方面氮或氧气体在回火过程中会渗透通过氧化层到达碳管使之改变特性。

[0011] 现有技术中,以氮或氧气体直接通入于纳米碳管薄膜会造成元件特性下降以及 G/D 比下降的现象,因此无法制作出具有优秀元件特性的薄膜晶体管。但相反地,本发明的技术不仅可维持纳米碳管薄膜的 G/D 比值,更可使元件特性(如转移电导、开关电流比、场效载子移动率等)增加,此为现有技术所无法达成的效果。

[0012] 本发明的薄膜晶体管的制备方法中,该栅极氧化层的材料较佳为氧化铪(HfO_x)。本发明中利用如溅射的方法沉积氧化铪,于未回火状态下,单壁纳米碳管层元件呈现双极性特性。而经由使用不同气体与不同参数针对栅极氧化层进行回火后,发现可有效抑制元件的双极性特性而变成单一极性晶体管,不仅如此,通过回火制作工艺亦使得元件的其他特性增加,如转移电导、开关电流比、场效载子移动率等。

[0013] 最常作为碳管晶体管的栅极氧化层材料是二氧化硅(SiO_2),因为材料容易取得且制作工艺简单,但二氧化硅仅可单纯作为栅极氧化层,并无法使用其他气体使之明显提高其介电常数,而利用氮气或氧气回火时,此两种气体无法再次与二氧化硅作用,氮或氧原子不会渗透至碳管,因此本发明中,较佳以氧化铪薄膜作为栅极氧化层。

[0014] 本发明的薄膜晶体管的制备方法中,栅极氧化层的厚度较佳可为 5nm-30nm。

[0015] 本发明的薄膜晶体管的制备方法的步骤(D)中,以氧气或氮气回火处理该栅极氧化层的时间较佳可为 30 分钟至 1 小时。

[0016] 本发明的薄膜晶体管的制备方法的步骤(D)中,以氧气或氮气回火处理该栅极氧化层的气体流速较佳可为 100sccm 至 500sccm。配合所使用的高温真空炉管,真空回火制作工艺时的压力皆控制在 10torr,因此流量不宜太大或太小。

[0017] 本发明的薄膜晶体管的制备方法中,利用氧气或氮气不同气体回火,对于元件极性的影响,经推测主要是由于两种气体原子分别在高温时渗透栅极氧化层而与碳管结合,使碳管半导体电性改变(变成 n 或 p),因而使得整个元件的特性也因此改变。

[0018] 本发明的薄膜晶体管的制备方法的步骤(B)中,单壁纳米碳管层较佳可经由以下步骤形成:(B1) 将多个含金属的纳米颗粒放入于一溶剂中以形成一催化剂;(B2) 将该步骤(A)所提供的基板浸泡于该催化剂中;(B3) 将该经浸泡后的基板拿出,并将该基板进行煅烧处理;以及(B4) 加热该经煅烧处理后的基板,并同时提供一醇类的成长气源,使借助该醇类的成长气源于该基板的表面形成多个单壁纳米碳管,其中,该多个单壁纳米碳管互连接形成网状结构的单壁纳米碳管层。

[0019] 上述步骤(B4)中,醇类的成长气源较佳可选自:甲醇、乙醇、丙醇、异丙醇、正丁醇、异丁醇、正戊醇、及其混合所组成的群组。上述步骤(B1)中,多个含金属的纳米颗粒的金属较佳可选自:钴、钼、及其混合所组成的群组。上述步骤(B4)中,加热该基板的温度较佳可为 600℃至 900℃。上述步骤(B3)中,煅烧处理的温度较佳可为 320℃至 480℃。此外,上述步骤(B3)与步骤(B4)之间,较佳可更包括一步骤(B3'):提供一氢气以进行还原

反应。

[0020] 另外,上述步骤(B1)中,溶剂较佳可选自:乙醇、甲醇、丙醇、异丙醇、正丁醇、异丁醇、正戊醇、及其混合溶液所组成的群组。步骤(B4)所形成的单壁纳米碳管层经由拉曼散射光谱(Raman Scattering Spectrum)分析后,所得到的G/D比值较佳可为10至25。

[0021] 本发明的薄膜晶体管的制备方法中,多个单壁纳米碳管较佳以ACCVD机台成长形成。

[0022] 本发明的薄膜晶体管的制备方法的步骤(B)中,单壁纳米碳管层较佳可作为一通道层,且单壁纳米碳管层的厚度较佳可为100nm至400nm。

[0023] 本发明的薄膜晶体管的制备方法中,栅极氧化层较佳使用溅射方式形成。

[0024] 本发明的薄膜晶体管的制备方法中,所使用的基板的材质无特殊限制,例如可为玻璃、石英、塑料、硅等。

[0025] 本发明另提供一种顶栅极(top-gate)式薄膜晶体管,包括:一基板;一源极电极与一漏极电极,相隔一距离配置于该基板表面;一单壁纳米碳管层,包括有互相连接形成一网状结构的多个单壁纳米碳管,该单壁纳米碳管层配置于该源极电极与该漏极电极之间,且设置于该基板表面;一栅极氧化层,配置于该单壁纳米碳管层的表面,并覆盖部分该源极电极与部分该漏极电极;以及一栅极,配置于该栅极氧化层的表面。

[0026] 本发明利用氮气与氧气回火的技术,于形成栅极氧化层于单壁纳米碳管层的表面后进行回火,通过调整不同的回火参数,将单壁纳米碳管的双极性改变成单极,制作出顶栅极式薄膜晶体管元件。现有技术中,以氮或氧气体直接通入于纳米碳管薄膜会造成元件特性下降以及G/D比下降的现象,因此无法得到具有单壁纳米碳管层配置于源极电极与漏极电极之间的顶栅极式薄膜晶体管。但相反地,本发明的技术所提供的顶栅极式薄膜晶体管可维持纳米碳管薄膜的G/D比值,更可使元件特性(如转移电导、开关电流比、场效载子移动率等)增加,此为现有技术所无法达成的效果。

[0027] 本发明的顶栅极式薄膜晶体管中,该栅极氧化层的材料较佳可选自:氧化铪(HfO_x)、氮氧化铪(HfO_xN_y)、及其混合所组成的群组。

[0028] 本发明的顶栅极式薄膜晶体管中,该单壁纳米碳管层经由拉曼散射光谱(Raman Scattering Spectrum)分析后,所得到的G/D比值较佳可为10至25。

[0029] 本发明的顶栅极式薄膜晶体管中,该单壁纳米碳管层较佳可作为一通道层。

[0030] 本发明的顶栅极式薄膜晶体管中,该单壁纳米碳管层的厚度较佳可为100nm至400nm。

附图说明

[0031] 图1A-图1D为本发明实施例1的顶栅极式薄膜晶体管的制备流程图。

[0032] 图2为本发明实施例1-3以及对照组1所制得的顶栅极式薄膜晶体管的元件测试结果。

[0033] 图3为本发明实施例4-6以及对照组2所制得的顶栅极式薄膜晶体管的元件测试结果。

[0034] 图4为未经回火处理的单壁纳米碳管薄膜晶体管的 $I_{ds}-V_{gs}$ 特性图。

[0035] 图5为未经回火处理的单壁纳米碳管薄膜晶体管的N型操作时的 $I_{ds}-V_{ds}$ 特性图。

【0036】 【主要元件符号说明】

- [0037] 1 顶栅极式薄膜晶体管
[0038] 11 硅基板
[0039] 12 二氧化硅层
[0040] 13 单壁纳米碳管薄膜
[0041] 14 漏极电极
[0042] 15 源极电极
[0043] 16 氧化钪层
[0044] 17 栅极

具体实施方式

[0045] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白,以下结合具体实施例,并参照附图,对本发明进一步详细说明。

[实施例 1]

[0047] 如图 1A 所示,首先提供一表面具有二氧化硅层 12 的硅基板 11 (步骤 A),并于此硅基板 11 上,以 ACCVD 仪器沉积成长厚度约 200nm 的单壁纳米碳管薄膜 13,并利用黄光光刻及干蚀刻技术图案化定义出单壁纳米碳管薄膜 13 的晶体管信道区域 (步骤 B)。接着,如图 1B 所示,以剥离 (lift-off) 光刻技术,以金属蒸镀系统沉积作为漏极 (drain) 电极 14 与源极 (source) 电极 15 的电极金属层 (20nm 的金 /300nm 的钛)。之后以溅射机沉积厚度约 10nm 的氧化钪层 (HfO_x) 16,以做为晶体管的栅极氧化层,如图 1C 所示 (步骤 C)。之后,以黄光光刻技术及干蚀刻技术蚀刻氧化钪层 16 并开出漏极电极 14 与源极电极 15 电极的接触孔 (contact hole) (图未示)。

[0048] 接着,于 550℃ 的温度,以 10torr 的压力、100sccm 的流量,氧气回火处理该氧化钪层 16 的表面 30 分钟 (步骤 D)。在此,氧化钪层 16 于经高温氧气回火时,氧原子在高温时渗透栅极氧化层而与碳管结合,使碳管半导体电性改变,因而使得整个元件的特性也因此改变,而使单壁纳米碳管薄膜 13 具有作为通道层的性质。

[0049] 最后,再次利用剥离光刻技术,沉积金属栅极 16,完成整个元件的制作工艺 (步骤 E),而得到本实施例的顶栅极式薄膜晶体管 1。

[0050] 本发明中,步骤 B 的单壁纳米碳管薄膜 13 经由以下步骤形成:(B1) 将多个含金属的纳米颗粒 (在此使用醋酸钴粉末、以及醋酸钼粉末) 放入于一溶剂中以形成一催化剂,在此溶剂使用乙醇,且醋酸钴以及醋酸钼与乙醇的比例为 [醋酸钴以及醋酸钼:乙醇] = 0.01wt%。接着,(B2) 将硅基板 11 浸泡于该催化剂中,使硅基板 11 表面附着有催化剂。而后,(B3) 将该经浸泡后的硅基板 11 拿出,并将该硅基板 11 进行煅烧处理,其中煅烧温度为 400℃。然后,(B3') 提供氨气与氩气以使经煅烧后的硅基板 11 表面进行还原反应,还原反应在氨气 / 氩气为 30/200sccm、温度为 350℃ 至 750℃、以及压力为 15-20torr 的条件下进行。接着,(B4) 加热该经煅烧与还原处理后的基板至 750℃,并同时提供一醇类的成长气源 (在此是使用纯度为 99.9% 以上的乙醇,压力为 690torr,温度为 50℃),使借助该醇类的成长气源于该基板的表面形成多个单壁纳米碳管 (成长时间为 10 分钟,使用 ACCVD 仪器),其中,该多个单壁纳米碳管互相连接形成一网状结构的薄膜,且该网状结构薄膜的厚

度约为 200nm。

[0051] 如图 1D 所示,本实施例的顶栅极式薄膜晶体管 1 包括有:硅基板 11,其表面具有一二氧化硅层 12;源极电极 15 与漏极电极 14,相隔一距离配置于硅基板 11 表面;单壁纳米碳管薄膜 13,包括有互相连接形成一网状结构的多个单壁纳米碳管(图未示),该单壁纳米碳管薄膜 13 配置于源极电极 15 与漏极电极 14 之间,且设置于硅基板 11 表面;氧化铪层 16 的栅极氧化层,配置于单壁纳米碳管薄膜 13 的表面,并覆盖部分源极电极 15 与漏极电极 14;与门极 17,配置于氧化铪层 16 的表面。

[0052] [实施例 2]

[0053] 以如同实施例 1 的相同方法制备顶栅极式薄膜晶体管,但步骤 D 中氧气回火处理所使用的氧气流量为 300sccm,而非 100sccm。

[0054] [实施例 3]

[0055] 以如同实施例 1 的相同方法制备顶栅极式薄膜晶体管,但步骤 D 中氧气回火处理所使用的氧气流量为 500sccm,而非 100sccm,且时间为 60 分钟,而非 30 分钟。

[0056] [对照组 1]

[0057] 以如同实施例 1 的相同方法制备顶栅极式薄膜晶体管,但省略步骤 D,亦即不进行氧气回火处理。

[0058] 将实施例 1-3 以及对照组 1 所制得的顶栅极式薄膜晶体管进行元件测试(P 型 FET 操作测量),所得到的结果如图 2 以及下表 1 所示。

[0059] [表 1]

[0060]

P型FET操作测量	转 移 电 导 (μS , Transconductance)	场效载子移动率 (cm^2/Vs , field-effect mobility)	开/关电流比 (On-Off Current Ratio)
对照组1 (无回火处理)	3.2	52.74	$\sim 10^5$

[0061]

实施例1 (100sccm 的氧气回 火30分钟)	5.4	96.64	10^5
实施例2 (300sccm 的氧气回 火30分钟)	9.7	172.57	$10^5 \sim 10^6$
实施例3 (500sccm 的氧气回 火60分钟)	10.6	189.03	10^6

[0062] 图2为氧化铪层经由不同参数氧气回火,作为栅极氧化层的晶体管元件特性,从图中可清楚发现经氮气回火后元件从原本双极性改变成为P型单极性元件,不仅如此,在进行P型FET操作测量时,其转移电导与开/关电流比、场效载子移动率皆有明显大幅上升的趋势,其计算数值结果如表1所示。

[0063] [实施例4]

[0064] 以如同实施例1的相同方法制备顶栅极式薄膜晶体管,但步骤D中使用氮气进行回火处理,所使用的氮气流量为100sccm,且回火时间为30分钟。

[0065] [实施例5]

[0066] 以如同实施例4的相同方法制备顶栅极式薄膜晶体管,但步骤D中所使用的氮气流量为300sccm,而非100sccm。

[0067] [实施例6]

[0068] 以如同实施例4的相同方法制备顶栅极式薄膜晶体管,但步骤D中所使用的氮气流量为500sccm,而非100sccm,且时间为60分钟,而非30分钟。

[0069] [对照组2]

[0070] 以如同实施例1的相同方法制备顶栅极式薄膜晶体管,但省略步骤D,亦即不进行氧气或氮气回火处理。

[0071] 将实施例4-6以及对照组2所制得的顶栅极式薄膜晶体管进行元件测试(N型FET操作测量),所得到的结果如图3以及下表2所示。

[0072] [表2]

[0073]

N型FET操作测量	转移电导 (μS , Transconductance)	场效载子移动率 (cm^2/Vs , field-effect mobility)	开/关电流比 (On-Off Current Ratio)
对照组2 (无回火处理)	4.3	67.08	10^5
实施例4 (100sccm 的氮气回 火30分钟)	7.2	112.32	$10^5 \sim 10^6$
实施例5 (300sccm 的氮气回 火30分钟)	12.8	199.68	$10^6 \sim 10^7$
实施例6 (500sccm 的氮气回 火60分钟)	13.7	213.72	10^7

[0074] 图3为氧化钪层进行不同参数氮气回火后成为氮氧化钪 (HfO_xN_y) 薄膜,并作为栅极氧化层的晶体管元件特性,从图中可清楚发现经氮气回火后元件从原本双极性改变成为N型单极性元件,不仅如此,在进行N型FET操作测量时,其转移电导与开/关电流比、场效载子移动率皆有明显上升的趋势,其结果如表2所示。分析在 $\text{N}_2 = 300\text{sccm}$, 550°C 与 30 分钟的条件,氧化层薄膜结构即可充分反应完毕而成为掺氮的薄膜,不仅如此,在回火过程中,温度与气体原子会通过氧化层影响其下的金属与纳米碳管界面,使得接面的功函数值与接触电阻也会因此回火造成变化,而促使元件特性改变。

[0075] [介电常数的测量 (dielectric constant)]

[0076] 取实施例2、实施例5、以及对照组1测量氧化钪薄膜的电容值(测量频率为2MHz),并以公式: $C = \epsilon_r \epsilon_o (A/t_{\text{ox}})$ 计算其介电常数 (ϵ_r),所得到的结果如下表3所示。

[0077]

	对照组1	实施例2	实施例5
介电常数 (ϵ_r)	12.08	12.73	14.19

[0078] 在经过氮气或氧气于 550°C 、压力 10torr、时间 30 分钟的条件回火后,的确会使氧化钪薄膜的介电常数升高。尤其是经氮气回火后,介电常数升高幅度为最大,推测为原本的氧化钪薄膜会成为氮氧化钪 (HfO_xN_y) 薄膜,而掺杂的氮原子促使其介电常数增加。

[0079] [单壁纳米碳管薄膜晶体管特性分析 - 未经回火处理]

[0080] 如图4及图5所示,其分别是 $W = 100\mu\text{m}$, $L = 20\mu\text{m}$ 单壁纳米碳管晶体管的 $I_{\text{ds}}-V_{\text{gs}}$ 与 N 型操作时的 $I_{\text{ds}}-V_{\text{ds}}$ 特性图。由公式: $\mu_{\text{eff}} = (dI_{\text{ds}}/dV_{\text{gs}}) (Lt_{\text{ox}}/\epsilon W V_{\text{ds}})$ 可计算出晶体管

的场效载子移动率 (field-effect mobility), 其中 dI_{ds}/dV_{gs} 为转移电导, L 与 W 各为通道的长度与宽度, t_{ox} 为通道材料薄膜厚度, ϵ 为栅极氧化层的介电常数, V_{ds} 为漏极电极 - 源极电极所施加电压。

[0081] 由图 4 中可以发现, 在使用未回火前的纳米碳管薄膜所制成的薄膜晶体管, 其特性为双极性 (ambipolar), 当作为电洞载子传输的 P 型通道测量时, $V_{ds} = 0.1V$, 其转移电导 (Transconductance) 约为 $3.2 \mu S$, 开 / 关电流比约为接近 10^5 , 经计算场效载子移动率约为 $52.74 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 。反之, 作为电子传输的 N 型信道时, 转移电导约为 $4.3 \mu S$, 电流开关比约为 10^5 , 场效载子移动率约为 $67.08 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 。

[0082] 本发明利用氮气与氧气回火的方法, 于形成栅极氧化层于单壁纳米碳管层的表面后进行回火, 通过调整不同的回火参数, 将单壁纳米碳管的双极性改变成单极, 制备成为晶体管元件。详细地说, 先覆盖栅极氧化层 (如, HfO_x) 后, 再进行回火, 一方面可使栅极氧化层的介电常数增加, 另一方面氮或氧气体在回火过程中会渗透通过氧化层到达碳管使之改变特性。

[0083] 现有技术中, 以氮或氧气体直接通入于纳米碳管薄膜会造成元件特性下降以及 G/D 比下降的现象, 因此无法制作出具有优秀元件特性的薄膜晶体管。但相反地, 本发明的技术不仅可维持纳米碳管薄膜的 G/D 比值, 更可使元件特性 (如转移电导、开关电流比、场效载子移动率等) 增加, 此为现有技术所无法达成的效果。

[0084] 以上所述的具体实施例, 对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明, 所应理解的是, 以上所述仅为本发明的具体实施例而已, 并不用于限制本发明, 凡在本发明的精神和原则之内, 所做的任何修改、等同替换、改进等, 均应包含在本发明的保护范围之内。

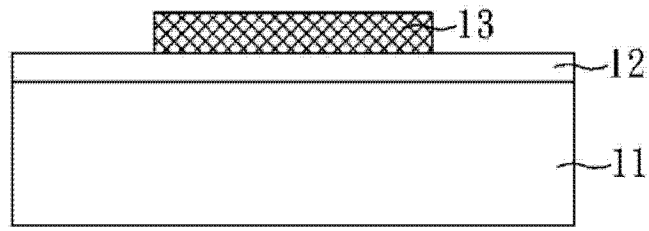


图 1A

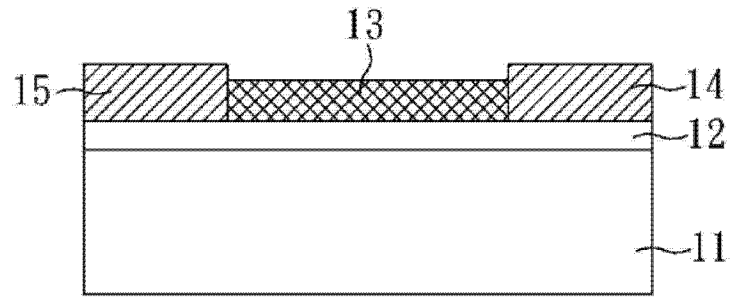


图 1B

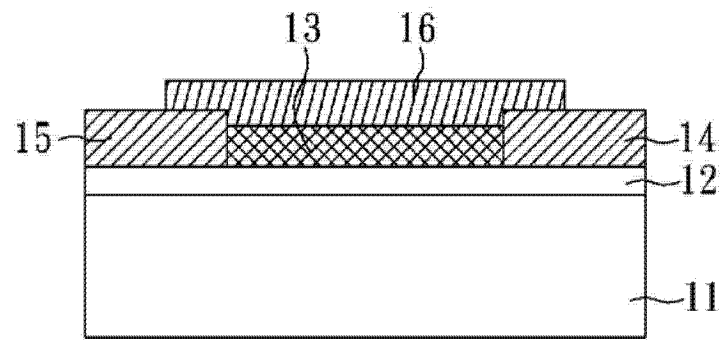


图 1C

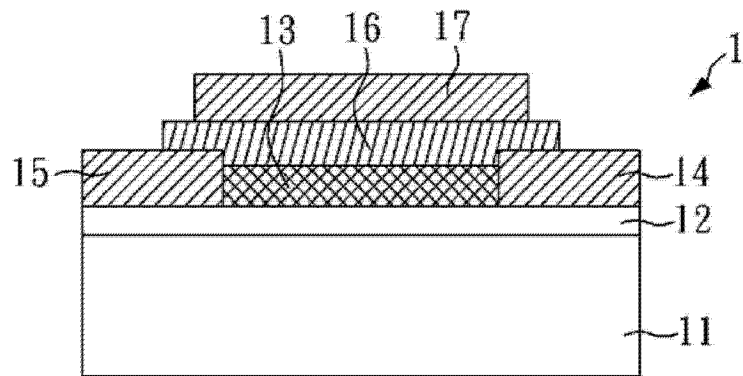


图 1D

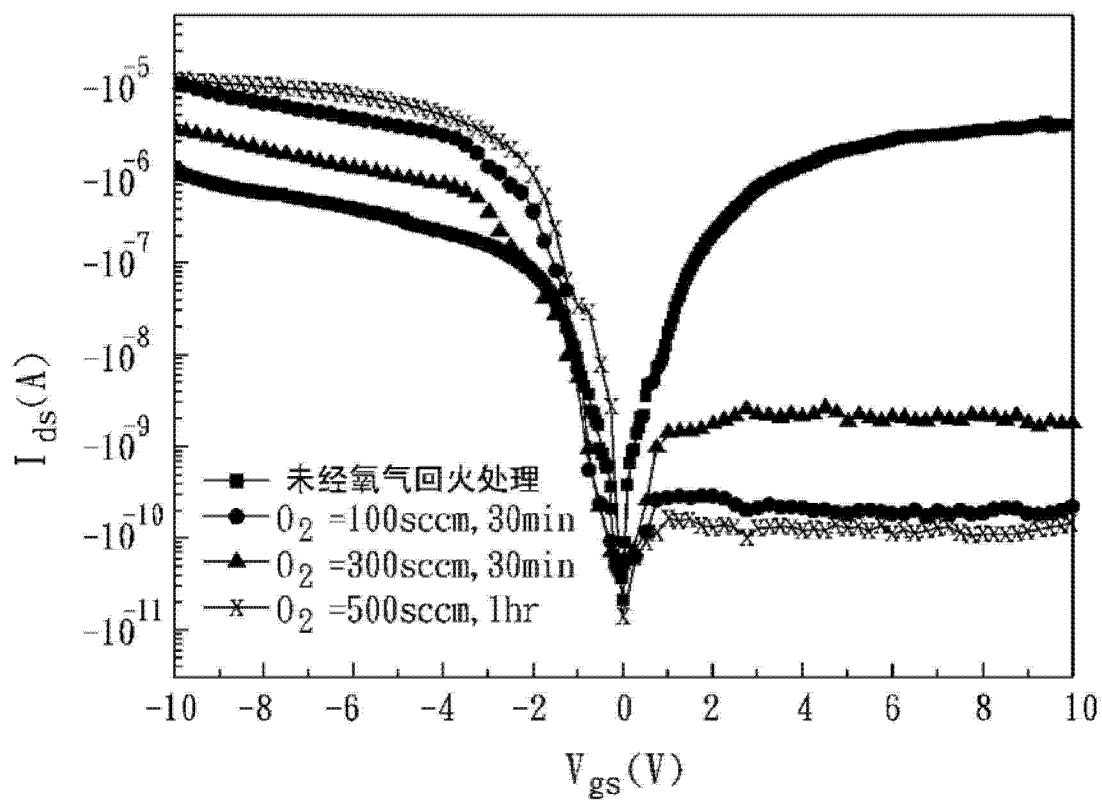


图 2

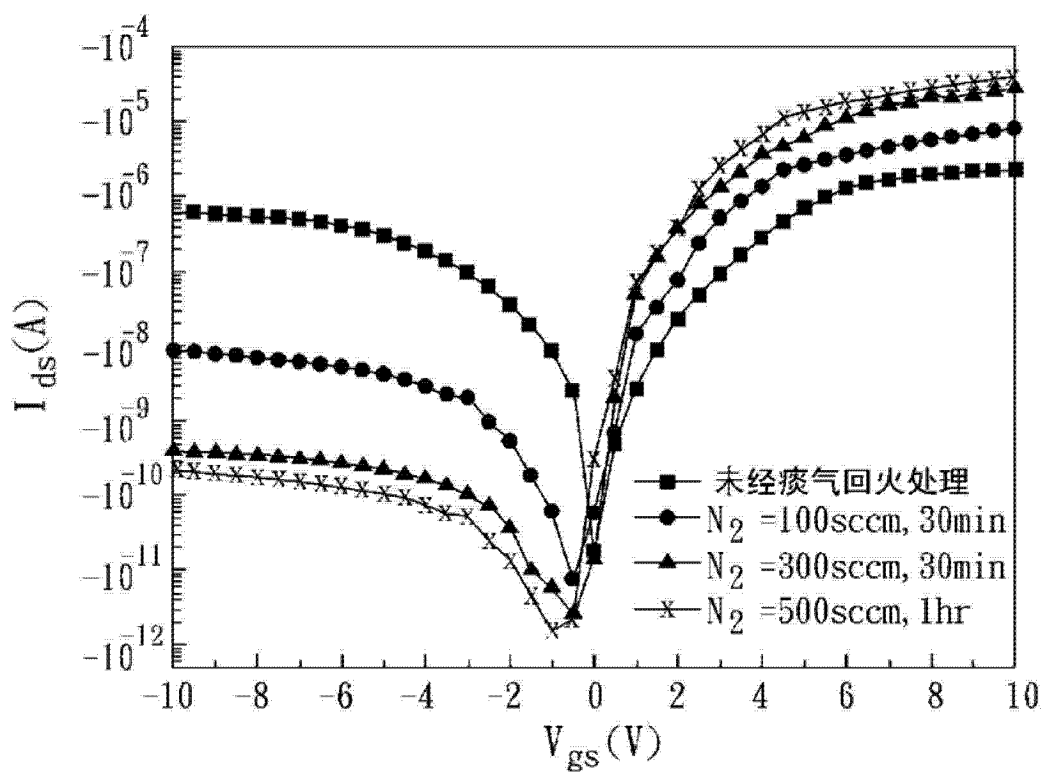


图 3

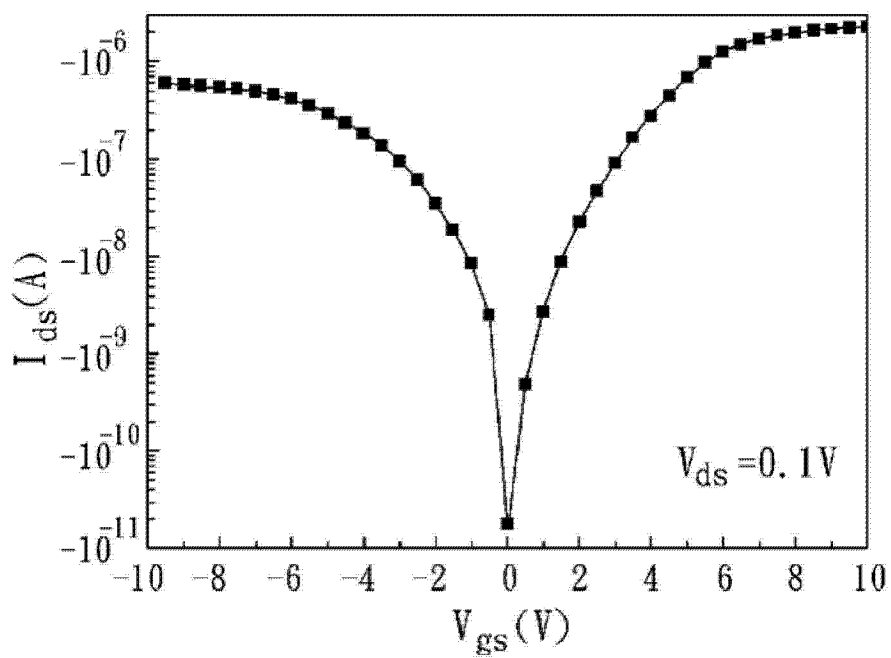


图 4

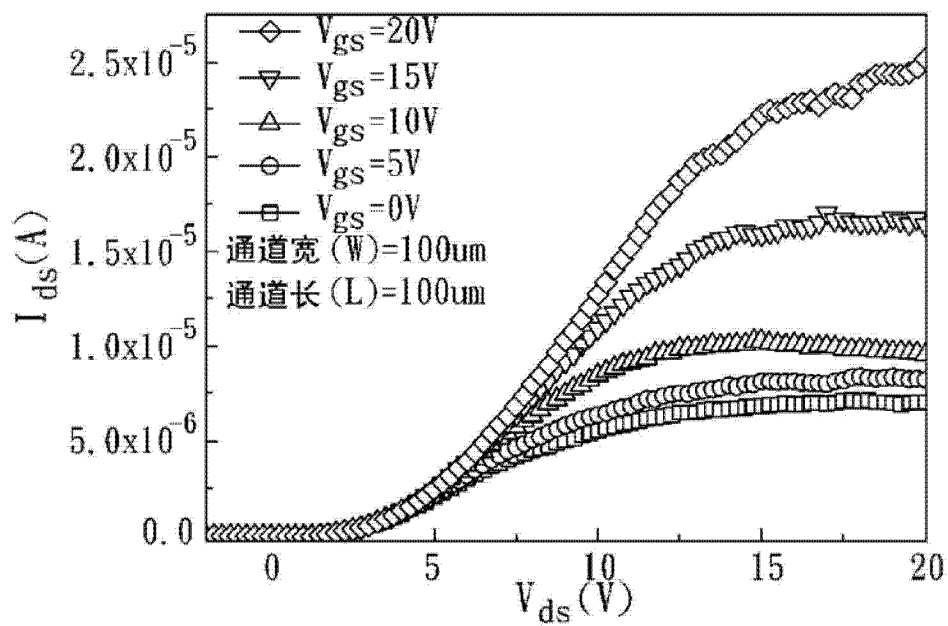


图 5