



(12)实用新型专利

(10)授权公告号 CN 209747517 U

(45)授权公告日 2019.12.06

(21)申请号 201920491617.6

H01L 21/34(2006.01)

(22)申请日 2019.04.12

H01L 21/445(2006.01)

(73)专利权人 西交利物浦大学

B82Y 30/00(2011.01)

地址 215000 江苏省苏州市工业园区仁爱路111号

B82Y 40/00(2011.01)

(ESM)同样的发明创造已同日申请发明专利

(72)发明人 赵天石 赵春 赵策洲 杨莉  
于水长

(74)专利代理机构 苏州创元专利商标事务所有  
限公司 32103

代理人 范晴

(51)Int.Cl.

H01L 29/24(2006.01)

H01L 29/423(2006.01)

H01L 29/51(2006.01)

H01L 29/786(2006.01)

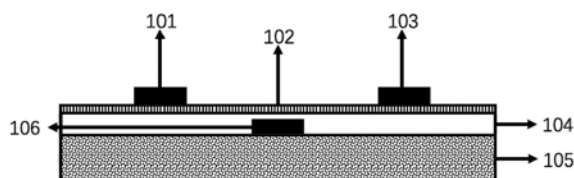
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54)实用新型名称

一种基于二维半导体材料薄膜晶体管

(57)摘要

本实用新型属于微电子器件领域,公开了一种利用溶液法制备的可应用于大规模柔性集成电路的高性能薄膜晶体管。该薄膜晶体管器件以柔性材料(如PI、PET等等)为基底,在上面设置有利用电子束蒸发制备的电极以及基于溶液法制备的绝缘层与二维材料半导体层。其中电极分为栅、源、漏三电极,材料为氮化钛与钛金属结合(TiN/Ti),并且利用光刻剥离工艺将栅极图案化。绝缘层成份为水溶液法制备的氧化铝(A12O3)纳米簇材料,并且在制备中通过双氧水处理来减少氧空位缺陷,起到提高整个器件性能的作用。半导体层为二硫化钨(WS<sub>2</sub>)二维材料,其结构为原子级纳米薄层结构,这种结构可以为电子传输提供优异的通道,从而提高器件的电学性能。



1. 基于二维半导体材料的薄膜晶体管,其特征在于,包括由下至上的六个部分:柔性衬底、栅电极、绝缘层、半导体层以及源、漏电极,所述栅电极位于柔性衬底上,且只覆盖了部分的柔性衬底,所述半导体层为二维结构WS<sub>2</sub>层;源电极和漏电极分别位于半导体层上且位于薄膜晶体管的最顶层。

2. 根据权利要求1所述的薄膜晶体管,其特征在于,所述绝缘层为Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>纳米簇材料。

3. 根据权利要求1所述的薄膜晶体管,其特征在于,栅电极为TiN/Ti叠层图案化栅电极。

4. 根据权利要求1所述的薄膜晶体管,其特征在于,所述二维结构WS<sub>2</sub>半导体层厚度为5nm。

5. 根据权利要求1所述的薄膜晶体管,其特征在于,所述源电极和漏电极为TiN/Ti叠层源、漏电极。

## 一种基于二维半导体材料薄膜晶体管

### 技术领域

[0001] 本实用新型涉及微电子技术领域,具体是一种基于二维半导体材料的薄膜晶体管及其制备方法。

### 背景技术

[0002] 近些年来,包括有源矩阵液晶显示器(AMLCD)与有源矩阵有机发光二极管(AMOLED)的平板显示器(FPD)在提高分辨率、屏幕面积与降低功耗方面的需求与日俱增。薄膜晶体管(TFT)是FPD在生产应用中的关键器件。传统半导体的载流子迁移率受材料本身特性所限,往往比较低(如非晶硅, $a\text{-Si}$ ,的迁移率约为 $1\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ),不利于电子在器件工作时的传输。作为改进器件性能的半导体材料,近些年来,具有原子级厚度的二维层状纳米材料(下简称二维材料)如石墨烯、二硫化钼( $\text{MoS}_2$ )如二硫化钨( $\text{WS}_2$ )等等由于其超高的载流子迁移率、高电子饱和速度和高热导率等优点吸引了大量研究人员的关注。而在其中 $\text{WS}_2$ 除了拥有较好的电学性能外,其价格相比于其它材料也显著降低,因此 $\text{WS}_2$ 在TFT制备领域具有很好的应用前景。

[0003] 目前,二维材料半导体层的制备工艺主要为光刻和金线掩膜两种。光刻工艺较为复杂,成本较高;金线掩膜技术虽然工艺简单,但是当一块衬底上同时有多片二维材料时,采用金线掩膜技术则只能选择其中一片二维材料来制备器件,因此成品率不高,不适宜大规模生产。

### 实用新型内容

[0004] 本实用新型的目的是提供一种薄膜晶体管,能满足大批量低成本的工业化生产需求。

[0005] 本实用新型是通过以下技术方案实现的:

[0006] 本实用新型第一方面提供基于二维半导体材料的薄膜晶体管,结构为底栅顶接触型,包括由下至上的六个部分:柔性衬底、栅电极、绝缘层、半导体层以及源、漏电极,所述栅电极位于柔性衬底上,且只覆盖了部分的柔性衬底,所述半导体层为二维结构 $\text{WS}_2$ 层;源电极和漏电极分别位于半导体层上且位于薄膜晶体管的最顶层。

[0007] 本实用新型优选技术方案中,所述柔性衬底为柔性透明绝缘材料,选自PI、PET或PEN,厚度为 $100\mu\text{m}$ 。

[0008] 本实用新型优选技术方案中,栅电极为TiN/Ti叠层图案化栅电极,优选为电子束蒸发工艺制备得到。

[0009] 本实用新型优选技术方案中,所述绝缘层为 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 纳米簇结构,优选为水溶液法制备,并在制备过程中添加过氧化氢进行处理,该层厚度为 $30\text{nm}$ 左右。 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 纳米簇结构薄膜相比于传统的溶液法 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 薄膜具有更质密的结构,可提高绝缘层的均匀性以及减少其中的缺陷能级。

[0010] 所述半导体层优选为以溶液法制备的二维结构 $\text{WS}_2$ 半导体层;厚度为 $5\text{nm}$ 。

[0011] 其中,所述绝缘层和半导体层均为溶液旋涂后,再用紫外照射处理后,退火成膜得到,具体为:在波长为253.7nm(90%)与184.9nm(10%)的紫外线灯照射下,以110℃的温度退火一个小时成膜制备得到。

[0012] 所述薄膜晶体管衬底以及绝缘层皆为疏水材料,旋涂上层溶液时皆需要利用紫外灯照射工艺来改善亲水性。

[0013] 所述栅电极以及绝缘层、半导体层可用光刻剥离工艺进行图案化,从而制作简单的逻辑电路。

[0014] 所述源电极和漏电极为TiN/Ti叠层源、漏电极。在柔性衬底上利用光刻剥离工艺以及电子束蒸发技术生长TiN/Ti叠层电极,电子束蒸发生长速率为1~2 Å/s。其中Ti金属单质直接生长在衬底或者半导体上,目的是增加电极粘合度,厚度为5nm;TiN生长在Ti上,厚度为50nm。

[0015] 所述源电极和漏电极的TiN材料厚度为50nm,Ti材料厚度为5nm,作用是提高电极与下层衬底的黏度。

[0016] 所述二维结构WS<sub>2</sub>半导体层的制备方法为:半导体层为WS<sub>2</sub>固体嵌入四庚基溴化铵(THAB)后,浸入聚乙烯基吡咯烷酮(PVP)/二甲基甲酰胺(DMF)溶液经超声、旋涂和退火工艺制备,厚度为5nm左右。在WS<sub>2</sub>中利用双电极电化学池嵌入THAB,电解液为四丁基溴化铵(TBAB)/去离子水溶液,电化学池两端施加电压为10V。

[0017] 本实用新型第二方面提供上述薄膜晶体管的制备方法,包括如下步骤:

[0018] (1) 清洗衬底,

[0019] (2) 生长栅电极及栅电极图案化:在清洗后的衬底上,利用正胶光刻工艺匀胶、图案化显影后,用电子束蒸发工艺在PI衬底上生长Ti金属单质,随后生长TiN作为栅电极,将生长电极后的器件置入丙酮溶液中超声,再置入无水乙醇溶液中浸泡,随后用去胶液浸泡、超声清洗,去掉非保留部分的栅电极;

[0020] (3) 制备薄膜绝缘层:包括如下步骤:

[0021] 3A. 制备Al-13纳米簇盐:将硝酸铟九水合物溶解于去离子水中,得到溶液①;将纳米锌粉加入溶液①中,搅拌得到溶液②;将溶液②进行过滤,得到沉积物③;将沉积物③以异丙醇冲洗,得到Al-13纳米簇盐;

[0022] 3B. 生长Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>纳米簇绝缘层:将所得的Al-13纳米簇盐溶于添加过氧化氢的去离子水中,超声得到Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>纳米簇前驱体溶液④;将溶液④在PI衬底上旋涂,在紫外线灯照射下,退火后得到Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>纳米簇结构薄膜绝缘层;

[0023] (4) 制备半导体层,包括如下步骤:

[0024] 4A. 在WS<sub>2</sub>中嵌入THAB分子:以WS<sub>2</sub>固体为阴极,石墨烯为阳极,置入电化学池中,电解液为四丁基溴化铵(TBAB)的去离子水溶液,电化学池两端施加电压,通电得到固体⑤,

[0025] 4B. 生长WS<sub>2</sub>二维结构半导体层:将固体⑤浸入聚乙烯基吡咯烷酮/二甲基甲酰胺(PVP/DMF)溶液超声得到溶液⑥;将溶液⑥于衬底之上旋涂,并在紫外线灯照射下,退火后得到WS<sub>2</sub>半导体层;

[0026] (5) 生长源、漏电极:电子束蒸发工艺在半导体上生长5nm厚的Ti金属单质,随后生长的TiN作为源漏电极。

[0027] 本实用新型优选技术方案中,在所述步骤(2)中,将生长栅电极后的器件置入丙酮

溶液中超声,再置入无水乙醇溶液中浸泡,随后用去胶液浸泡、超声清洗,去掉非保留部分的栅电极。

[0028] 本实用新型优选技术方案中,在所述步骤(2)后,对衬底进行亲水性处理,具体为将生长了图案化栅电极后的衬底置入紫外灯下,以283nm波长在室温下照射1小时。

[0029] 本实用新型优选技术方案中,所述薄膜晶体管绝缘层以及半导体层成膜方式均为旋涂然后在波长为253.7nm(90%)与184.9nm(10%)的紫外线灯照射下,以110°C的温度退火一个小时。

[0030] 本实用新型优选技术方案中,步骤(5)中,在半导体上以1 Å/s的速率生长5nm厚的Ti金属单质,随后以2 Å/s的速率生长50nm厚的TiN作为源漏电极,宽长比为15,得到TiN/Ti叠层源、漏电极,电子束蒸发生长速率为1~2 Å/s。

[0031] 本实用新型整个工艺流程中最高温度为100°C,在所选柔性衬底可承受范围内。

[0032] 与现有技术方法相比,本实用新型的制备方法中使用溶液旋涂法,不仅工艺简单、生产成本较低,而且可以具有很高的器件成品率。所述器件由于沟道层为二维层状结构,由于电子仅可在两个维度的非纳米尺度上进行自由运动,因此具有较高的电子迁移率( $>100\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ )。本实用新型工作时形成的导电沟道为n型,开启电压为0-1V,属于增强型器件。

[0033] 本实用新型薄膜晶体管的绝缘层成份为水溶液法制备的氧化铝( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )纳米簇材料,并且在制备中通过双氧水处理来减少氧空位缺陷,起到提高整个器件性能的作用。半导体层为二硫化钨( $\text{WS}_2$ )二维材料,其结构为原子级纳米薄层结构,这种结构可以为电子传输提供优异的通道,从而提高器件的电学性能。整个制备工艺可在温度不超过110度的条件先进行,生产成本较低,同时由于有源层具有良好的光吸收特性,可在光学领域中有重要应用。

[0034] 本实用新型的图案化工艺与电极生长工艺比较简单,无需传统意义上的光刻与真空下镀膜,可大幅减少生产时间与经济成本。

## 附图说明

[0035] 图1为本实用新型实施例1的薄膜晶体管器件结构图。其中,105柔性衬底,106栅电极,104绝缘层,102半导体层,101源电极,103漏电极。

[0036] 图2为本实用新型实施例1的转移特性曲线图。

## 具体实施方式

[0037] 以下结合附图描述本实用新型具体实施方式。

[0038] 实施例1

[0039] 一种薄膜晶体管的制备工艺流程,其步骤为(柔性衬底以PI为例):

[0040] 1.清洗PI衬底:具体清洗流程为丙酮超声20min,乙醇超声20min,去离子水冲洗,氮气吹干;

[0041] 2.生长栅电极:在PI衬底上利用正胶光刻工艺匀胶、图案化显影后,用电子束蒸发工艺现在PI衬底上以1 Å/s的速率生长5nm厚的Ti金属单质,随后以2 Å/s的速率生长50nm

厚的TiN作为栅电极；

[0042] 3. 栅电极图案化：将生长电极后的器件置入丙酮溶液中超声30s后，置入无水乙醇溶液中浸泡5分钟，随后用去胶液浸泡5分钟、超声清洗2分钟，去掉非保留部分的栅电极；

[0043] 4. 衬底亲水性处理：将生长了图案化栅电极后的PI衬底置入紫外灯下，以283nm波长在室温下照射1小时；

[0044] 5. 制备Al-13纳米簇盐：将12.00g硝酸铟九水合物溶解于20mL去离子水中，得到溶液①；将1.13g纳米锌粉加入溶液①中，并搅拌24小时，得到溶液②；将溶液②通过滤纸过滤至培养皿中，并放在通风处内进行沉淀，得到沉积物③；将沉积物③以异丙醇冲洗，洗去表面残余的硝酸铝以及硝酸锌，得到Al-13纳米簇盐；

[0045] 6. 生长Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>纳米簇绝缘层：将所得的Al-13纳米簇盐以0.06M的浓度溶于添加7.5M过氧化氢的去离子水中，并在阴暗处超声15分钟，得到Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>纳米簇前驱体溶液④；将溶液以3500转每分钟的速度于PI衬底之上旋涂40秒，并在253.7nm(90%)与184.9nm(10%)的紫外线灯照射下，以110℃的温度退火一个小时；

[0046] 7. 在WS<sub>2</sub>中嵌入四庚基溴化铵THAB分子：以WS<sub>2</sub>固体为阴极，石墨烯为阳极，置入电化学池中，电解液为四丁基溴化铵(TBAB)的去离子水溶液，电化学池两端施加10V电压，通电一个小时，得到固体⑤；

[0047] 8. 生长WS<sub>2</sub>二维结构半导体层：将固体⑤浸入聚乙烯基吡咯烷酮PVP/DMF溶液超声20分钟得到溶液⑥；将溶液⑥以3000转每分钟的速度于PI衬底之上旋涂20秒，并在253.7nm(90%)与184.9nm(10%)的紫外线灯照射下，以110℃的温度退火一个小时；

[0048] 9. 生长源、漏电极：在半导体层上以1 Å/s的速率生长5nm厚的Ti金属单质，随后以2 Å/s的速率生长50nm厚的TiN作为源漏电极，宽长比为15，得到如图1所示的薄膜晶体管。如图1所示，薄膜晶体管包括衬底105、栅电极106、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>纳米簇层104、In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>层107、WS<sub>2</sub>二维结构层102以及源、漏电极101、103。

[0049] 实施例1的薄膜晶体管的电学转移特性曲线如图2所示。显示了阈值电压较小(0-1V)、开关电流比较大(10<sup>8</sup>)以及较高电子迁移率(>50cm<sup>2</sup>/V<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>)。

[0050] 以上显示和描述了本实用新型的基本原理、主要特征和本实用新型的优点。本行业的技术人员应该了解，本实用新型不受上述实例的限制，上述实例和说明书中描述的只是说明本实用新型的原理，在不脱离本实用新型精神和范围的前提下本实用新型还会有各种变化和改进，这些变化和改进都落入要求保护的本实用新型范围内。本实用新型要求保护范围由所附的权利要求书及其等同物界定。

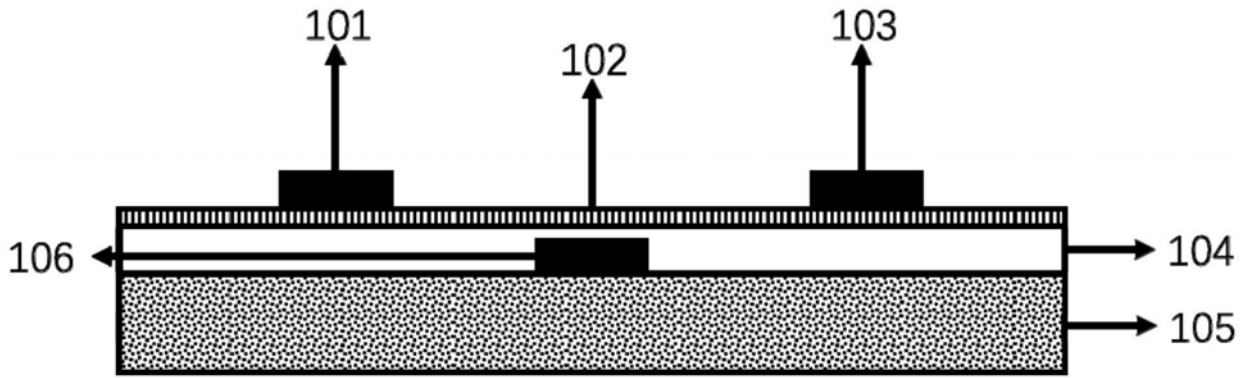


图1

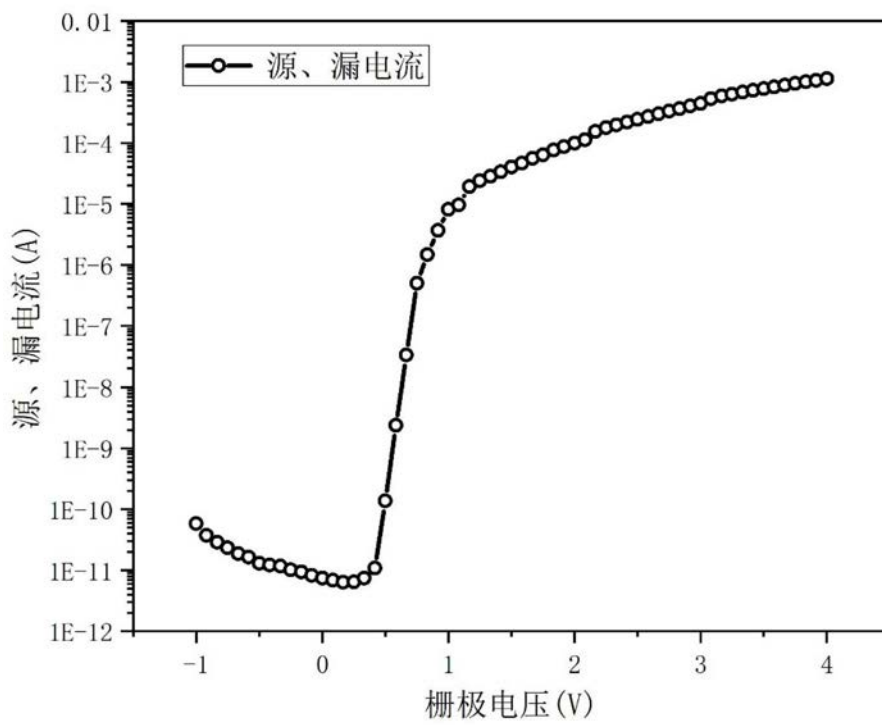


图2