



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101582445 B

(45) 授权公告日 2012. 05. 16

(21) 申请号 200810067160. 2

(22) 申请日 2008. 05. 14

(73) 专利权人 清华大学

地址 100084 北京市海淀区清华园 1 号清华大学清华 - 富士康纳米科技研究中心 401 室

专利权人 鸿富锦精密工业(深圳)有限公司

(72) 发明人 姜开利 李群庆 范守善

(51) Int. Cl.

H01L 29/786(2006. 01)

H01L 29/06(2006. 01)

(56) 对比文件

DE 102005018533 A1, 2006. 10. 26, 全文.

连季春等. 纳米电子学的最新进展. 《前沿进展》. 2005, 第 34 卷(第 2 期), 131 - 136.

审查员 智月

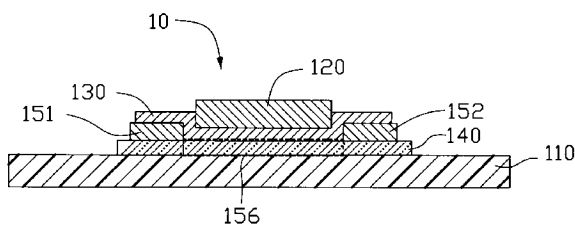
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 2 页

(54) 发明名称

薄膜晶体管

(57) 摘要

本发明涉及一种薄膜晶体管,其包括:一源极;一漏极,该漏极与该源极间隔设置;一半导体层,该半导体层与该源极和漏极电连接;以及一栅极,该栅极通过一绝缘层与该半导体层、源极及漏极及绝缘设置;其中,所述半导体层包括一碳纳米管薄膜,该碳纳米管薄膜包含多个首尾相连且择优取向排列的碳纳米管,至少部分碳纳米管的排列方向沿源极向漏极延伸。



1. 一种薄膜晶体管,包括:
 - 源极;
 - 漏极,该漏极与该源极间隔设置;
 - 半导体层,该半导体层与该源极和漏极电连接;以及
 - 栅极,该栅极通过一绝缘层与该半导体层、源极及漏极绝缘设置;其特征在于,所述半导体层包括一碳纳米管薄膜,该碳纳米管薄膜包含多个首尾相连且择优取向排列的碳纳米管,至少部分碳纳米管的排列方向沿源极到漏极延伸。
2. 如权利要求 1 所述的薄膜晶体管,其特征在于,所述碳纳米管为半导体性的碳纳米管。
3. 如权利要求 1 所述的薄膜晶体管,其特征在于,所述碳纳米管为单壁或双壁碳纳米管,且该碳纳米管的直径小于 10 纳米。
4. 如权利要求 1 所述的薄膜晶体管,其特征在于,所述碳纳米管薄膜进一步包括多个首尾相连的碳纳米管束片段,每个碳纳米管束片段具有大致相等的长度且每个碳纳米管束片段由多个相互平行的碳纳米管束构成,碳纳米管束片段两端通过范德华力相互连接。
5. 如权利要求 1 所述的薄膜晶体管,其特征在于,所述碳纳米管薄膜的厚度为 0.5 纳米~100 微米。
6. 如权利要求 1 所述的薄膜晶体管,其特征在于,所述绝缘层的材料为氮化硅、氧化硅、苯并环丁烯、聚酯或丙烯酸树脂。
7. 如权利要求 1 所述的薄膜晶体管,其特征在于,所述薄膜晶体管的栅极、源极及漏极的材料为金属、合金、导电聚合物或导电性碳纳米管。
8. 如权利要求 7 所述的薄膜晶体管,其特征在于,所述薄膜晶体管的栅极、源极及漏极的材料为铝、铜、钨、钼、金、铯、钇或其任意组合的合金。
9. 如权利要求 1 所述的薄膜晶体管,其特征在于,所述绝缘层设置于栅极与半导体层之间。
10. 如权利要求 1 所述的薄膜晶体管,其特征在于,所述源极及漏极间隔设置于所述半导体层表面。
11. 如权利要求 1 所述的薄膜晶体管,其特征在于,所述薄膜晶体管设置于一绝缘基板表面,其中,所述半导体层设置于该绝缘基板表面,所述源极及漏极间隔设置于所述半导体层表面,所述绝缘层设置于该半导体层表面,所述栅极设置于绝缘层表面,并通过该绝缘层与源极、漏极及半导体层电绝缘。
12. 如权利要求 1 所述的薄膜晶体管,其特征在于,所述薄膜晶体管设置于一绝缘基板表面,其中,所述栅极设置于该绝缘基板表面,所述绝缘层设置于栅极表面,所述半导体层设置于该绝缘层表面,并通过所述绝缘层与栅极电绝缘,所述源极、漏极间隔设置于该半导体层表面,并通过该绝缘层与栅极电绝缘。
13. 如权利要求 11 或 12 所述的薄膜晶体管,其特征在于,所述绝缘基板的材料为玻璃、石英、陶瓷、金刚石、塑料或树脂。
14. 如权利要求 11 或 12 所述的薄膜晶体管,其特征在于,所述源极、漏极与栅极设置于半导体层的同一面。
15. 如权利要求 11 或 12 所述的薄膜晶体管,其特征在于,所述源极、漏极与栅极设置于

半导体层的不同面,半导体层设置于源极、漏极与栅极之间。

16. 如权利要求 1 所述的薄膜晶体管,其特征在于,所述薄膜晶体管的半导体层进一步包括一沟道区域,该沟道区域为所述半导体层位于所述源极和漏极之间的区域,该沟道区域的长度为 1 微米~100 微米,宽度为 1 微米~1 毫米,厚度为 0.5 纳米~100 微米。

17. 如权利要求 1 所述的薄膜晶体管,其特征在于,所述薄膜晶体管的载流子迁移率为 $10 \sim 1500\text{cm}^2/\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$,开关电流比为 100 ~ 100 万。

薄膜晶体管

技术领域

[0001] 本发明涉及一种薄膜晶体管,尤其涉及一种基于碳纳米管的薄膜晶体管。

背景技术

[0002] 薄膜晶体管 (Thin Film Transistor, TFT) 是现代微电子技术中的一种关键性电子元件,目前已经被广泛的应用于平板显示器等领域。薄膜晶体管主要包括基板,以及设置在基板上的栅极、绝缘层、半导体层、源极和漏极。其中,栅极通过绝缘层与半导体层间隔设置,源极和漏极间隔设置并与半导体层电连接。薄膜晶体管中的栅极、源极、漏极均为导电材料构成,该导电材料一般为金属或合金。当在栅极上施加电压时,与栅极通过绝缘层间隔设置的半导体层中会积累载流子,当载流子积累到一定程度,与半导体层电连接的源极漏极之间将导通,从而有电流从源极流向漏极。

[0003] 现有技术中,薄膜晶体管中形成半导体层的材料为非晶硅、多晶硅或有机半导体聚合物等 (R. E. I. Schropp, B. Stannowski, J. K. Rath, New challenges in thin film transistor research, Journal of Non-Crystalline Solids, 299-302, 1304-1310 (2002))。以非晶硅作为半导体层的非晶硅薄膜晶体管的制造技术较为成熟,但非晶硅薄膜晶体管中,由于半导体层中通常含有大量的悬挂键,使得载流子的迁移率很低 (一般小于 $1\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$),从而使薄膜晶体管的响应速度也较慢。以多晶硅作为半导体层的薄膜晶体管相对于以非晶硅作为半导体层的薄膜晶体管,具有较高的载流子迁移率 (一般约为 $10\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$),因此响应速度也较快。但多晶硅薄膜晶体管低温制造成本较高,方法较复杂,大面积制造困难,且多晶硅薄膜晶体管的关态电流较大。相较于传统的无机薄膜晶体管,采用有机半导体做半导体层的有机薄膜晶体管具有成本低、制造温度低的优点,且有机薄膜晶体管具有较高的柔韧性。但由于有机半导体在常温下多为跳跃式传导,表现出较高的电阻率、较低的载流子迁移率,使得有机薄膜晶体管的响应速度较慢。

[0004] 碳纳米管具有优异的力学及电学性能。并且,随着碳纳米管螺旋方式的变化,碳纳米管可呈现出金属性或半导体性。半导体性的碳纳米管具有较高的载流子迁移率 (一般可达 $1000 \sim 1500\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$),是制造晶体管的理想材料。现有技术中一般采用喷墨法形成无序的碳纳米管层作为半导体层,或采用直接生长碳纳米管阵列形成半导体层。

[0005] 现有技术中采用直接生长碳纳米管阵列作为半导体层的薄膜晶体管,具有以下缺点:第一,在半导体层中碳纳米管的排列方向垂直于基底,碳纳米管的排列方向不是沿源极到漏极的方向,从而无法有效应用碳纳米管轴向导电的优势;第二,采用直接生长碳纳米管阵列作为半导体层,由于碳纳米管垂直生长于基底表面,碳纳米管阵列中的碳纳米管管壁之间靠结合不够紧密,这种半导体层的柔韧性较差,不利于制造柔性薄膜晶体管。

[0006] 现有技术中采用喷墨形成的无序碳纳米管层的半导体层的薄膜晶体管,其半导体层中碳纳米管随机分布,仅有少量碳纳米管沿源极到漏极排列,半导体层中碳纳米管沿源极到漏极的有效路径较长,载流子迁移率较低;另外,所述无序的碳纳米管层中碳纳米管之间通过粘结剂相互结合,因此,该碳纳米管层为一较为松散结构,柔韧性较差,不利于制造

柔性薄膜晶体管。

[0007] 总之,现有技术中采用碳纳米管作为半导体层的薄膜晶体管,由于其半导体层中的碳纳米管排列方向限制了由源极到漏极方向的载流子迁移率,无法充分发挥碳纳米管载流子迁移率高的优势,使得现有技术中采用碳纳米管作为半导体层的薄膜晶体管响应速度低;另外,现有技术中采用碳纳米管作为半导体层的薄膜晶体管,由于其半导体层中的碳纳米管之间的结合性不好导致该半导体层柔韧性差,不利于制造柔性薄膜晶体管。

[0008] 综上所述,确有必要提供一种薄膜晶体管,该薄膜晶体管即具有较高的载流子迁移率,较高的响应速度,又具有较好的柔韧性。

发明内容

[0009] 一种薄膜晶体管,其包括:一源极;一与该源极间隔设置的漏极;一半导体层,该半导体层与该源极和漏极电连接;以及一栅极,该栅极通过一绝缘层与该半导体层、源极及漏极及绝缘设置;其中,所述半导体层包括一碳纳米管薄膜,该碳纳米管薄膜包含多个首尾相连且择优取向排列的碳纳米管,至少部分碳纳米管的排列方向沿源极向漏极延伸。

[0010] 本技术方案实施例提供的采用一个碳纳米管薄膜作为半导体层的薄膜晶体管具有以下优点:其一,由于碳纳米管具有优异的半导体性,则由择优取向排列的碳纳米管组成的碳纳米管薄膜具有均匀的半导体性。并且,由于该半导体层中碳纳米管首尾相连,且至少部分碳纳米管沿源极到漏极方向排列,因而,采用该碳纳米管薄膜作为半导体层,可以发挥碳纳米管轴向导电的优势,使得沿源极到漏极具有较短的导电路径,使得该薄膜晶体管具有较大的载流子迁移率和较快响应速度。其二,由首尾相连且择优取向排列的碳纳米管组成的碳纳米管薄膜具有较好的韧性及机械强度,故采用该纳米管薄膜作为半导体层,可以应用于柔性的薄膜晶体管。

附图说明

[0011] 图 1 是本技术方案第一实施例薄膜晶体管的剖视结构示意图。

[0012] 图 2 是本技术方案第一实施例薄膜晶体管中碳纳米管薄膜的扫描电镜照片。

[0013] 图 3 是本技术方案第一实施例薄膜晶体管工作时的结构示意图。

[0014] 图 4 是本技术方案第二实施例薄膜晶体管的剖视结构示意图。

具体实施方式

[0015] 以下将结合附图详细说明本技术方案实施例提供的薄膜晶体管。

[0016] 请参阅图 1,本技术方案第一实施例提供一种薄膜晶体管 10,该薄膜晶体管 10 为顶栅型,其包括一栅极 120、一绝缘层 130、一半导体层 140、一源极 151 以及一漏极 152,并且,该薄膜晶体管 10 设置于一绝缘基板 110 上。

[0017] 所述半导体层 140 设置于该绝缘基板 110 表面;所述源极 151 及漏极 152 间隔设置于所述半导体层 140 表面并与该半导体层 140 电连接,且位于该源极 151 及漏极 152 之间的半导体层形成一沟道区域 156;所述绝缘层 130 设置于该半导体层 140 表面;所述栅极 120 设置于绝缘层 130 表面,并通过该绝缘层 130 与源极 151、漏极 152 及半导体层 140 电绝缘,所述绝缘层 130 设置于栅极 120 与半导体层 140 之间。优选地,该栅极 120 可以对应

沟道区域 156 设置于所述绝缘层 130 表面。

[0018] 可以理解,所述源极 151 及漏极 152 可以间隔设置于该半导体层 140 的上表面位于绝缘层 130 与半导体层 140 之间,此时,源极 151、漏极 152 与栅极 120 设置于半导体层 140 的同一面,形成一平面型薄膜晶体管。或者,所述源极 151 及漏极 152 可以间隔设置于该半导体层 140 的下表面,位于绝缘基板 110 与半导体层 140 之间,此时,源极 151、漏极 152 与栅极 120 设置于半导体层 140 的不同面,半导体层 140 设置于源极 151、漏极 152 与栅极 120 之间,形成一交错型薄膜晶体管。

[0019] 可以理解,根据具体的形成工艺不同,所述绝缘层 130 不必完全覆盖所述源极 151、漏极 152 及半导体层 140,只要能确保半导体层 140 与相对设置的栅极 120 与半导体层 140、源极 151、漏极 152 绝缘即可。如,当所述源极 151 及漏极 152 设置于半导体层 140 上表面时,所述绝缘层 130 可仅设置于源极 151 及漏极 152 之间,只覆盖于半导体层 140 之上。

[0020] 所述绝缘基板 110 起支撑作用,该绝缘基板 110 材料不限,可选择为玻璃、石英、陶瓷、金刚石等硬性材料或塑料、树脂等柔性材料。本实施例中,所述绝缘基板 110 的材料为玻璃。所述绝缘基板 110 用于对薄膜晶体管 10 提供支撑,且多个薄膜晶体管 10 可按照预定规律或图形集成于同一绝缘基板 110 上,形成薄膜晶体管面板,或其它薄膜晶体管半导体器件。

[0021] 该半导体层 140 包括一个碳纳米管薄膜,该碳纳米管薄膜包含多个首尾相连且择优取向排列的半导体性的碳纳米管,至少部分碳纳米管的排列方向沿源极 151 向漏极 152 延伸。优选地,该碳纳米管薄膜中的碳纳米管均沿从源极 151 指向漏极 152 的方向排列。

[0022] 请参阅图 2,该碳纳米管薄膜为从超顺排碳纳米管阵列中直接拉取获得,该碳纳米管薄膜进一步包括多个首尾相连的碳纳米管束片段,每个碳纳米管束片段具有大致相等的长度且每个碳纳米管束片段由多个相互平行的碳纳米管束构成,碳纳米管束片段两端通过范德华力相互连接。由于碳纳米管具有轴向导电特性,该直接拉伸获得的择优取向排列的碳纳米管薄膜在碳纳米管的排列方向比无序的碳纳米管薄膜具有更高的载流子迁移率。该碳纳米管薄膜的厚度为 0.5 纳米~100 微米。碳纳米管薄膜中的碳纳米管可以是单壁碳纳米管或双壁碳纳米管。所述单壁碳纳米管的直径为 0.5 纳米~50 纳米;所述双壁碳纳米管的直径为 1.0 纳米~50 纳米。优选地,所述碳纳米管的直径小于 10 纳米。

[0023] 所述半导体层 140 的长度为 1 微米~100 微米,宽度为 1 微米~1 毫米,厚度为 0.5 纳米~100 微米。所述沟道 156 的长度为 1 微米~100 微米,宽度为 1 微米~1 毫米。本技术方案实施例中,所述半导体层 140 的长度为 50 微米,宽度为 300 微米,厚度为 5 纳米。所述沟道的长度为 40 微米,宽度为 300 微米。该半导体层 140 包括沿源极 151 至漏极 152 方向设置的 1 层碳纳米管薄膜。该碳纳米管薄膜的厚度为 5 纳米。

[0024] 本实施例中,源极 151、漏极 152 及栅极 120 为一导电薄膜。该导电薄膜的材料可以为金属、合金、铟锡氧化物 (ITO)、铟锡氧化物 (ATO)、导电银胶、导电聚合物以及导电碳纳米管等。该金属或合金材料可以为铝、铜、钨、钼、金、铯、钡或其任意组合的合金。优选地,该栅极 120 的面积与所述沟道区域 156 的面积相当,使用时有利于沟道区域 156 积累载流子,栅极 120 的厚度为 0.5 纳米~100 微米。本实施例中,所述栅极 120 的材料为金属铝,厚度为 5 纳米。所述源极 151、漏极 152 的材料为金属铯,所述金属铯与碳纳米管具有较好

的润湿效果,厚度为 5 纳米。

[0025] 所述绝缘层 130 材料为氮化硅、氧化硅等硬性材料或苯并环丁烯 (BCB)、聚酯或丙烯酸树脂等柔性材料。该绝缘层 130 的厚度为 0.5 纳米~100 微米。本实施例中,所述绝缘层 130 的材料为氮化硅。

[0026] 请参见图 3,本技术方案第一实施例的薄膜晶体管 10 在使用时,在栅极 120 上施一电压 V_g ,将源极 151 接地,并在漏极 152 上施加一电压 V_{ds} ,栅极电压 V_g 在半导体层 140 的沟道区域 156 中产生电场,并在沟道区域 156 表面处产生载流子。随着栅极电压 V_g 的增加,沟道区域 156 转变为载流子积累层,当 V_g 达到源极 151 和漏极 152 之间的开启电压时,源极 151 与漏极 152 之间的沟道区域 156 导通,从而会在源极 151 和漏极 152 之间产生电流,电流由源极 151 通过沟道区域 156 流向 154,从而使得该薄膜晶体管 10 处于开启状态。由于所述碳纳米管薄膜中仅包括半导体性的碳纳米管,而半导体性的碳纳米管具有较高的载流子迁移率,且该半导体层 140 中的碳纳米管首尾相连沿源极 151 到漏极 152 的方向排列,而碳纳米管轴向的导电性较径向强,故载流子由源极经半导体层至漏极方向传输具有较短的传输路径,所以由所述碳纳米管组成的碳纳米管薄膜作为半导体层 140,可以使所述薄膜晶体管 10 具有较大的载流子迁移率,进而提高薄膜晶体管 10 的响应速度。

[0027] 由于本技术方案实施例半导体层 140 中的碳纳米管具有较好的半导体性,碳纳米管薄膜中的碳纳米管的沿从源极 151 至漏极 152 的方向排列,故载流子在具有较好轴向传输性能的碳纳米管中具有较高的迁移率,故由所述碳纳米管组成的碳纳米管薄膜作为半导体层 140,可以使所述薄膜晶体管 10 具有较大的载流子迁移率,进而提高薄膜晶体管 10 的响应速度。本技术方案实施例中,所述薄膜晶体管 10 的载流子迁移率高于 $10\text{cm}^2/\text{V}^1\text{s}^{-1}$ 。开关电流比为 100~100 万。优选地,所述薄膜晶体管 10 的载流子迁移率为 $10\sim 1500\text{cm}^2/\text{V}^1\text{s}^{-1}$ 。

[0028] 请参阅图 4,本技术方案第二实施例采用与第一实施例相似的方法提供一种薄膜晶体管 20,该薄膜晶体管 20 为底栅型,该薄膜晶体管 20 包括一栅极 220、绝缘层 230 一半导体层 240、一源极 252 及一漏极 252,并且,该薄膜晶体管 20 设置于一绝缘基板 210 表面。本技术方案第二实施例薄膜晶体管 20 的结构与薄膜晶体管 10 基本相同,其区别在于第二实施例薄膜晶体管 20 为底栅型。

[0029] 所述栅极 220 设置于该绝缘基板 210 表面,所述绝缘层 230 设置于栅极 220 表面,所述半导体层 240 设置于该绝缘层 230 表面,所述绝缘层 230 设置于栅极 220 与半导体层 240 之间;所述源极 252、漏极 252 间隔设置于该半导体层 240 表面,并通过该半导体层 240 电连接;所述半导体层 240 位于所述源极 251 和漏极 252 之间的区域形成一沟道 256。优选地,该栅极 220 可以与源极 252、漏极 252 之间的沟道区域 256 对应设置于绝缘基板 210 表面,且该栅极 220 通过该绝缘层 230 与源极 252、漏极 252 及半导体层 240 电绝缘。本技术方案第二实施例提供的薄膜晶体管 20 中,栅极 220、源极 252、漏极 252 及绝缘层 230 的材料与第一实施例中薄膜晶体管 10 的栅极 120、源极 151、漏极 152 及绝缘层 130 的材料相同。第二实施例提供的薄膜晶体管 20 中,沟道区域 256、半导体层 240 的形状、面积与第一实施例中薄膜晶体管 10 的沟道区域 156、半导体层 240 的形状、面积相同。

[0030] 所述源极 252 及漏极 252 可以设置于该半导体层 240 上表面,此时,源极 252、漏极 252 与栅极 220 设置于半导体层 240 的不同面,半导体层 240 设置于源极 252、漏极 252 与

栅极 220 之间,形成一逆交错结构的薄膜晶体管。或者,所述源极 252 及漏极 252 也可以设置于该半导体层 240 下表面与绝缘层 130 之间,此时,源极 252、漏极 252 与栅极 220 设置于半导体层 140 的同一面,形成一逆共面结构的薄膜晶体管。

[0031] 本技术方案实施例提供的采用一碳纳米管薄膜作为半导体层的薄膜晶体管具有以下优点:其一,由于碳纳米管具有优异的半导体性,则由定向排列的碳纳米管组成的碳纳米管薄膜具有均匀的半导体性。并且,由于碳纳米管首尾相连,且从源极连接至漏极,载流子沿碳纳米管轴向运动,从源极向漏极运动具有较短的路径,因而,采用碳纳米管薄膜作为半导体层,可以使薄膜晶体管具有较大的载流子迁移率较快响应速度。其二,由于碳纳米管具有优异的力学性能,则由定向排列的碳纳米管组成的碳纳米管薄膜具有较好的韧性及机械强度,故采用该碳纳米管薄膜作为半导体层,可以应用于柔性薄膜晶体管。其三,由于碳纳米管薄膜组成的半导体层较其它半导体材料更耐高温,因此,该薄膜晶体管可以在较高温度下工作。

[0032] 另外,本领域技术人员还可在本发明精神内作其它变化,当然这些依据本发明精神所作的变化,都应包含在本发明所要求保护的范围内。

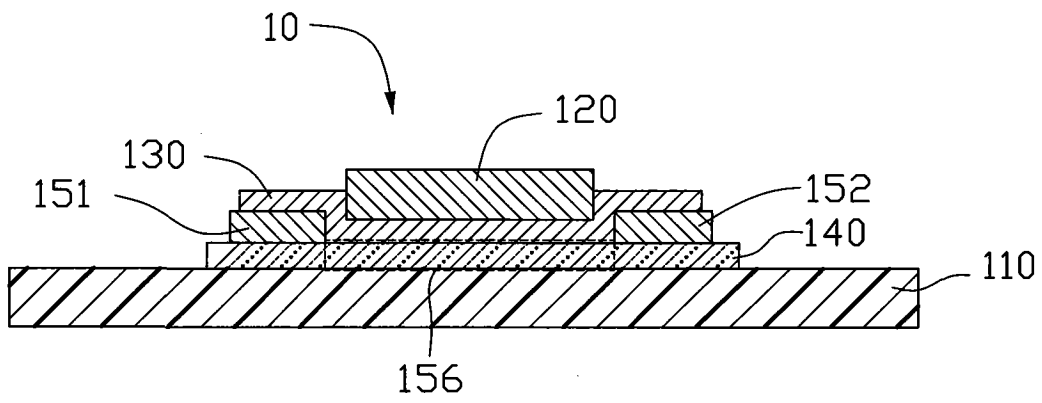


图 1

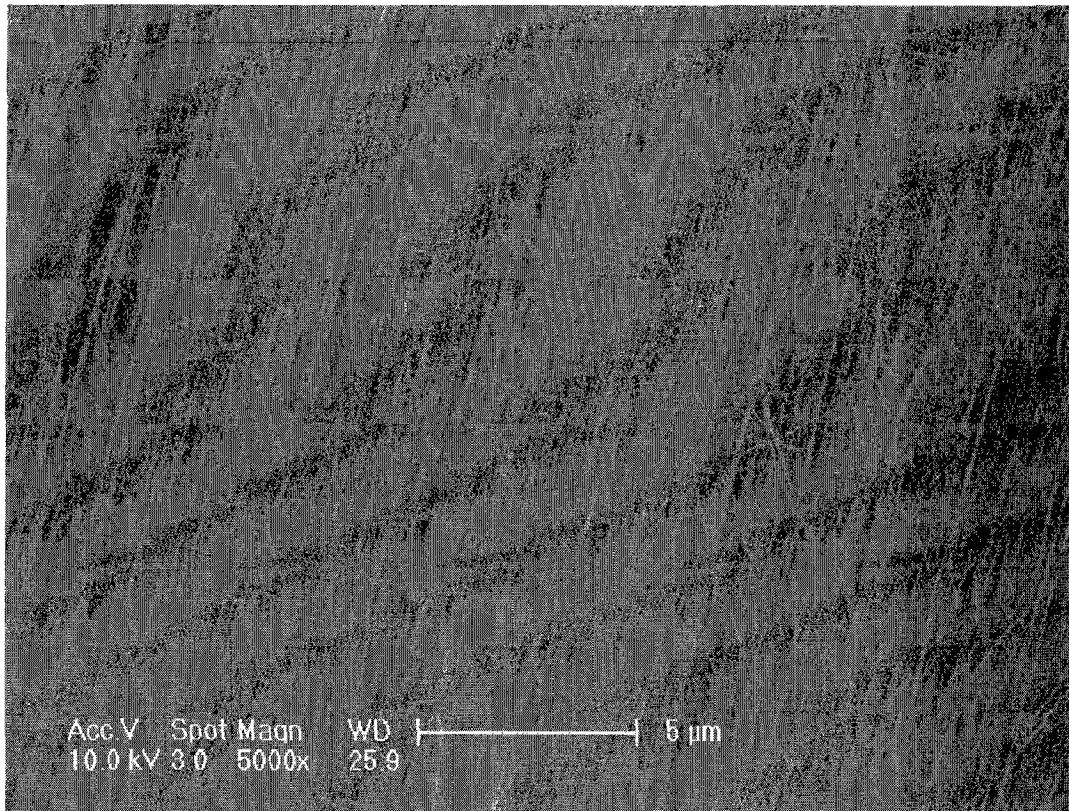


图 2

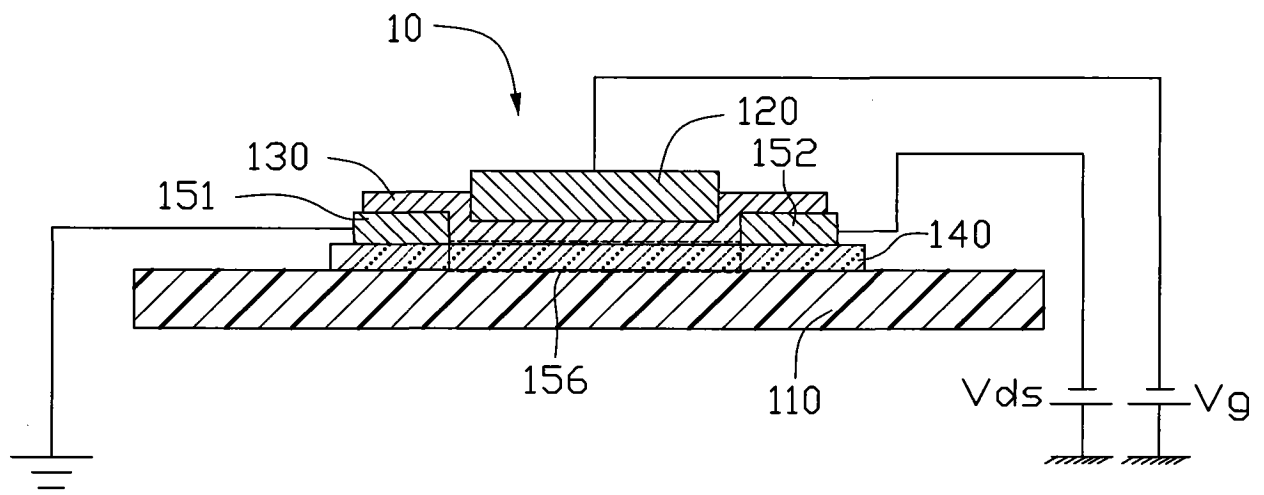


图 3

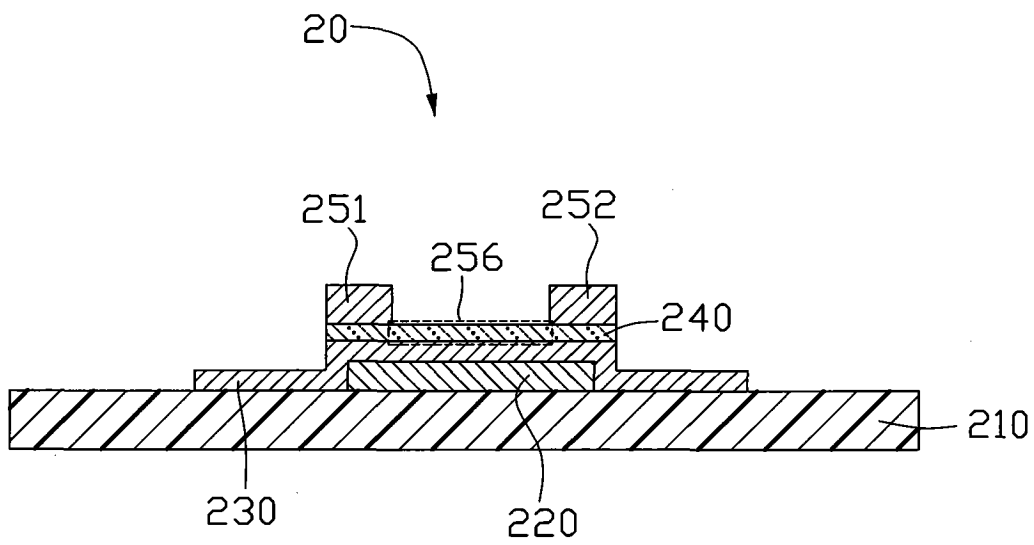


图 4