(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2018 年 6 月 14 日 (14.06.2018)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2018/103161 A1

(51) 国际专利分类号:
H01L 51/50 (2006.01) *H01L 51/56* (2006.01)
H01L 51/52 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2016/113013

(22) 国际申请日: 2016 年 12 月 29 日 (29.12.2016)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201611129977.9 2016年12月9日 (09.12.2016) CN

(71) 申请人: 武汉华星光电技术有限公司(WUHAN CHINA STAR OPTOELECTRONICS TECHNOLOGY CO., LTD.) [CN/CN]; 中国湖北省武汉市东湖开发区高新大道666号生物城C5栋, Hubei 430070 (CN)。

(72) 发明人: 卜呈浩 (BU, Chenghao); 中国湖北省武汉市东湖开发区高新大道666号生物城C5栋, Hubei 430070 (CN)。 胡国仁(HU, Guoren); 中国湖北省武汉市东湖开发区高新大道666号生物城C5栋, Hubei 430070 (CN)。

(74) 代理人: 深圳市德力知识产权代理事务所(COMIPS INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE); 中国广东省深圳市福田区上步中路深勘大厦15E, Guangdong 518028 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,

(54) **Title:** FLEXIBLE VERTICAL-TRENCH ORGANIC THIN-FILM TRANSISTOR AND METHOD FOR FABRICATION THEREOF

(54) **发明名称:** 柔性垂直沟道有机薄膜晶体管及其制作方法

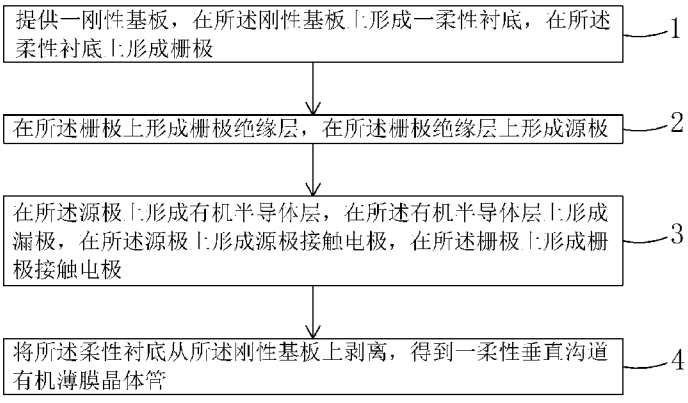


图1

1 PROVIDE RIGID BASE PLATE, FORM FLEXIBLE SUBSTRATE ON RIGID BASE PLATE, AND FORM GATE ON FLEXIBLE SUBSTRATE
2 FORM GATE INSULATING LAYER ON GATE AND FORM SOURCE ON GATE INSULATING LAYER
3 FORM ORGANIC SEMICONDUCTOR LAYER ON SOURCE, FORM DRAIN ON ORGANIC SEMICONDUCTOR LAYER, FORM SOURCE CONTACT ELECTRODE ON SOURCE, AND FORM GATE CONTACT ELECTRODE ON GATE
4 LIFT OFF FLEXIBLE SUBSTRATE FROM RIGID BASE PLATE TO OBTAIN FLEXIBLE VERTICAL-TRENCH ORGANIC THIN-FILM TRANSISTOR

(57) **Abstract:** The present invention provides a flexible vertical-trench organic thin-film transistor and method for fabrication thereof; the conventional configuration of a flat-trench organic thin-film transistor is altered, and a vertical-trench configuration is used to significantly shorten the length of the trench, such that the thin-film transistor obtains a larger leakage current at a lower drive voltage; a defect-free graphene material having high electrical conductivity and high transparency is used to fabricate a gate, thus improving the electrical properties of the thin-film transistor; hexagonal boron nitride material is used to fabricate a gate insulating layer, having

WO 2018/103161 A1

[见续页]

GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护)：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

a collective function with the gate fabricated from graphene material, improving the electrical properties of the thin-film transistor; furthermore, the graphene material and the hexagonal boron nitride material both are two-dimensional atomic layer structures having better bending performance, and an organic semiconductor material that is flexible is used for the trench layer such that the bending performance of the entire organic thin-film transistor is significantly improved, which is advantageous to applications of the organic thin-film transistor in flexible OLED display screens.

(57) 摘要：本发明提供一种柔性垂直沟道有机薄膜晶体管及其制作方法，改变了传统的平面沟道有机薄膜晶体管的构型，使用垂直沟道构型极大的缩短了沟道长度，使得薄膜晶体管可以在较低的驱动电压下获得较大的源漏电流；使用无缺陷、具有高导电性及高透明度的石墨烯材料制备栅极，使得薄膜晶体管的电学性能更好；使用六方氮化硼材料制备栅极绝缘层，与石墨烯材料制备的栅极共同作用，提高了薄膜晶体管的电学性能，并且由于石墨烯材料与六方氮化硼材料均为弯折性能较好的二维原子层结构材料，同时沟道层采用具有柔性的有机半导体材料，使得整个有机薄膜晶体管的弯折性能得到大幅度提高，有利于有机薄膜晶体管在柔性OLED显示屏中的应用。

柔性垂直沟道有机薄膜晶体管及其制作方法

技术领域

本发明涉及显示技术领域，尤其涉及一种柔性垂直沟道有机薄膜晶体管及其制作方法。

背景技术

随着显示技术的发展，液晶显示器（Liquid Crystal Display，LCD）等平面显示装置因具有高画质、省电、机身薄及应用范围广等优点，而被广泛的应用于手机、电视、个人数字助理、数字相机、笔记本电脑、台式计算机等各种消费性电子产品，成为显示装置中的主流。

有机发光二极管（Organic Light-Emitting Diode，OLED）显示器，也称为有机电致发光显示器，是一种新兴的平板显示装置，由于其具有自发光、驱动电压低、发光效率高、响应时间短、清晰度与对比度高、近180° 视角、使用温度范围宽，可实现柔性显示与大面积全色显示等诸多优点，被业界公认为是最有发展潜力的显示装置。

相比于LCD显示屏，OLED显示屏以其亮度更高，视角更宽，响应速度更快，对比度更大，更为轻薄等优势在目前的显示屏市场中受到了更为广泛的关注。OLED 显示屏属于电流驱动器件，从而对含有主动阵列的背板技术提出了更高的要求。目前，小尺寸的 OLED 显示屏多用以低温多晶硅（LTPS）为主动层的薄膜晶体管阵列（TFT array）。然而 LTPS 背板技术增加了制程时间、能耗及成本，同时多晶硅存在着大量的晶界，其制备技术难以保证获得均一的大面积薄膜，这些都会影响 TFT 元件的电性参数如阈值电压和漏电流等，从而使其驱动的像素出现发光不稳定的问题。为了稳定 LTPS-TFT 的阈值电压，面板厂商通常会设计 7T1C 的像素补偿电路，然而这样降低了 OLED 器件的像素开口率，使得发光性能受到影响，同时其制程也比较复杂。此外，低温多晶硅属于无机半导体材料，杨氏模量较大，不利于柔性 OLED 显示屏中柔性 TFT 背板的制备。有机薄膜晶体管（OTFT）制备简单，且易于弯折，适合制备柔性OLED显示屏，但其载流子迁移率较低，为获得能够驱动 OLED 像素的电流，在传统平面结构的OTFT中需要尽量缩短沟道长度，这需要高分辨率的曝光技术，极大增加了曝光成本。美国 nVerpix 公司提出了基于垂直沟道结构的有机薄膜晶体管器件，获得了较高的开态电流和较低的驱动电压，但其使用的栅极材料和绝

缘层材料难以使器件真正意义上做到弯折，限制了垂直沟道结构的 OTFT 在柔性 OLED 显示屏中的应用。

发明内容

本发明的目的在于提供一种柔性垂直沟道有机薄膜晶体管的制作方法，制得的柔性垂直沟道有机薄膜晶体管具有较短的沟道长度，可以在较低的驱动电压下获得较大的源漏电流，有利于在低电压下驱动 OLED 像素发光，同时具有较好的弯折性能。

本发明的目的还在于提供一种柔性垂直沟道有机薄膜晶体管，具有较短的沟道长度，可以在较低的驱动电压下获得较大的源漏电流，有利于在低电压下驱动 OLED 像素发光，同时具有较好的弯折性能。

为实现上述目的，本发明首先提供一种柔性垂直沟道有机薄膜晶体管的制作方法，包括如下步骤：

步骤 1、提供一刚性基板，在所述刚性基板上形成一柔性衬底，在所述柔性衬底上形成栅极；

步骤 2、在所述栅极上形成栅极绝缘层，所述栅极绝缘层的尺寸小于所述栅极的尺寸；

在所述栅极绝缘层上形成源极，所述源极的尺寸小于或等于所述栅极绝缘层的尺寸；

步骤 3、在所述源极上形成有机半导体层，所述有机半导体层的尺寸小于所述源极的尺寸；

在所述有机半导体层上形成漏极，所述漏极的尺寸小于或等于所述有机半导体层的尺寸；

在所述源极上形成与所述有机半导体层间隔设置的源极接触电极；

在所述栅极上形成与所述栅极绝缘层间隔设置的栅极接触电极；

步骤 4、将所述柔性衬底从所述刚性基板上剥离，得到一柔性垂直沟道有机薄膜晶体管。

所述栅极的材料为石墨烯；所述栅极绝缘层的材料为六方氮化硼。

所述源极的材料为碳纳米管；所述有机半导体层的材料为 P 型有机半导体材料；所述有机半导体层的厚度为 80nm~120nm。

所述步骤 3 中，采用一道掩膜板通过蒸镀的方法同时形成所述漏极、源极接触电极、及栅极接触电极，从而所述漏极、源极接触电极、及栅极接触电极的材料相同；所述漏极、源极接触电极、及栅极接触电极的材料为金属。

所述步骤 3 还包括将 OLED 显示单元制作于所述有机半导体层与漏极上的步骤，所述 OLED 显示单元包括在所述有机半导体层与漏极上从下到上依次层叠设置的空穴注入层、有机发光层、电子注入层、及阴极，所述漏极充当 OLED 阳极。

本发明还提供一种柔性垂直沟道有机薄膜晶体管，包括：柔性衬底、设于所述柔性衬底上的栅极、设于所述栅极上且间隔设置的栅极绝缘层与栅极接触电极、设于所述栅极绝缘层上的源极、设于所述源极上且间隔设置的有机半导体层与源极接触电极、以及设于所述有机半导体层上的漏极。

所述栅极的材料为石墨烯；所述栅极绝缘层的材料为六方氮化硼。

所述源极的材料为碳纳米管；所述有机半导体层的材料为 P 型有机半导体材料；所述有机半导体层的厚度为 80nm~120nm。

所述漏极、源极接触电极、及栅极接触电极在同一蒸镀制程中形成，从而材料相同；所述漏极、源极接触电极、及栅极接触电极的材料为金属。

所述柔性垂直沟道有机薄膜晶体管还包括设于所述有机半导体层与漏极上的 OLED 显示单元，所述 OLED 显示单元包括在所述有机半导体层与漏极上从下到上依次层叠设置的空穴注入层、有机发光层、电子注入层、及阴极，所述漏极充当 OLED 阳极。

本发明还提供一种柔性垂直沟道有机薄膜晶体管，包括：柔性衬底、设于所述柔性衬底上的栅极、设于所述栅极上且间隔设置的栅极绝缘层与栅极接触电极、设于所述栅极绝缘层上的源极、设于所述源极上且间隔设置的有机半导体层与源极接触电极、以及设于所述有机半导体层上的漏极；

其中，所述栅极的材料为石墨烯；所述栅极绝缘层的材料为六方氮化硼；

其中，所述源极的材料为碳纳米管；所述有机半导体层的材料为 P 型有机半导体材料；所述有机半导体层的厚度为 80nm~120nm。

本发明的有益效果：本发明提供的一种柔性垂直沟道有机薄膜晶体管及其制作方法，改变了传统的平面沟道有机薄膜晶体管的构型，使用垂直沟道构型极大的缩短了沟道长度，使得薄膜晶体管可以在较低的驱动电压下获得较大的源漏电流，有利于在低电压下驱动 OLED 像素发光，且不需要采用高分辨率的曝光技术，节约生产成本；使用无缺陷、具有高导电性及高透明度的石墨烯材料制备栅极，使得薄膜晶体管的电学性能更好；使用六方氮化硼材料制备栅极绝缘层，与石墨烯材料制备的栅极共同作用，提高了薄膜晶体管的电学性能，并且由于石墨烯材料与六方氮化硼材料均为弯折性能较好的二维原子层结构材料，同时沟道层采用具有柔性的有机

半导体材料，使得整个有机薄膜晶体管的弯折性能得到大幅度提高，有利于有机薄膜晶体管在柔性 OLED 显示屏中的应用。

为了能更进一步了解本发明的特征以及技术内容，请参阅以下有关本发明的详细说明与附图，然而附图仅提供参考与说明用，并非用来对本发明加以限制。

附图说明

为更进一步阐述本发明所采取的技术手段及其效果，以下结合本发明的优选实施例及其附图进行详细描述。

附图中，

图 1 为本发明的柔性垂直沟道有机薄膜晶体管的制作方法的流程图；

图 2 为本发明的柔性垂直沟道有机薄膜晶体管的制作方法的步骤 1 的示意图；

图 3 为本发明的柔性垂直沟道有机薄膜晶体管的制作方法的步骤 2 的示意图；

图 4A 为本发明的柔性垂直沟道有机薄膜晶体管的制作方法的步骤 3 的第一实施例的示意图；

图 4B 为本发明的柔性垂直沟道有机薄膜晶体管的制作方法的步骤 3 的第二实施例的示意图；

图 5A 为本发明的柔性垂直沟道有机薄膜晶体管的制作方法的步骤 4 的第一实施例的示意图；

图 5B 为本发明的柔性垂直沟道有机薄膜晶体管的制作方法的步骤 4 的第二实施例的示意图；

图 6 为本发明的柔性垂直沟道有机薄膜晶体管的第一实施例的侧视示意图；

图 7 为图 6 的柔性垂直沟道有机薄膜晶体管弯曲时的侧视示意图；

图 8 为图 6 的柔性垂直沟道有机薄膜晶体管的立体示意图；

图 9 为图 6 的柔性垂直沟道有机薄膜晶体管弯曲时的立体示意图；

图 10 为本发明的柔性垂直沟道有机薄膜晶体管的第二实施例的侧视示意图；

图 11 为本发明的柔性垂直沟道有机薄膜晶体管采用的石墨烯的原子结构示意图；

图 12 为本发明的柔性垂直沟道有机薄膜晶体管采用的六方氮化硼的原子结构示意图。

具体实施方式

为更进一步阐述本发明所采取的技术手段及其效果，以下结合本发明的优选实施例进行详细描述。

请参阅图 1，本发明首先提供一种柔性垂直沟道有机薄膜晶体管的制作方法，包括如下步骤：

步骤 1、如图 2 所示，提供一刚性基板 10，在所述刚性基板 10 上形成一柔性衬底 11，在所述柔性衬底 11 上形成栅极 20。

具体的，所述刚性基板 10 为玻璃基板。

优选的，所述柔性衬底 11 为聚酰亚胺（PI）薄膜。

具体的，所述栅极 20 的材料为石墨烯，优选为无缺陷石墨烯。

具体的，所述步骤 1 中，所述栅极 20 的制备方法为：采用化学气相沉积（CVD）的方法在所述柔性衬底 11 上沉积石墨烯层，之后对所述石墨烯层进行图案化处理，得到栅极 20。

步骤 2、如图 3 所示，在所述栅极 20 上形成栅极绝缘层 30，所述栅极绝缘层 30 的尺寸小于所述栅极 20 的尺寸；

在所述栅极绝缘层 30 上形成源极 40，所述源极 40 的尺寸小于或等于所述栅极绝缘层 30 的尺寸。

具体的，所述栅极绝缘层 30 的材料为六方氮化硼（h-BN）。

优选的，所述栅极绝缘层 30 为两层单原子层的六方氮化硼薄膜。

具体的，所述步骤 2 中，所述栅极绝缘层 30 的制备方法为：采用化学气相沉积（CVD）的方法在铜箔上生长六方氮化硼薄膜，并将在铜箔上生长的六方氮化硼薄膜转移到所述步骤 1 制备的栅极 20 上，之后对所述六方氮化硼薄膜进行图案化处理，得到所述栅极绝缘层 30。

具体的，所述源极 40 的材料为碳纳米管。

优选的，所述源极 40 包括稀疏排列的多个单壁碳纳米管，所述稀疏排列定义为多个单壁碳纳米管之间具有缝隙的排列方式。具体的，所述稀疏排列的单壁碳纳米管采用真空过滤的方法制备。

步骤 3、如图 4A 所示，在所述源极 40 上形成有机半导体层 50，所述有机半导体层 50 的尺寸小于所述源极 40 的尺寸；

在所述有机半导体层 50 上形成漏极 60，所述漏极 60 的尺寸小于或等于所述有机半导体层 50 的尺寸；

在所述源极 40 上形成与所述有机半导体层 50 间隔设置的源极接触电极 41；

在所述栅极 20 上形成与所述栅极绝缘层 30 间隔设置的栅极接触电极 21。

具体的，所述步骤 3 中，采用蒸镀的方法形成所述有机半导体层 50。优选的，所述有机半导体层 50 的材料为 P 型（空穴型）有机半导体材料。

具体的，所述 P 型有机半导体材料包括烷基取代的聚噻吩、噻吩及其衍生物、并五苯、酚菁类化合物、芘、及红荧烯中的一种或多种。

优选的，所述步骤 3 中，采用一道掩膜板通过蒸镀的方法同时形成所述漏极 60、源极接触电极 41、及栅极接触电极 21，从而所述漏极 60、源极接触电极 41、及栅极接触电极 21 的材料相同。

具体的，所述漏极 60、源极接触电极 41、及栅极接触电极 21 的材料为金属。优选的，所述漏极 60、源极接触电极 41、及栅极接触电极 21 的材料为金（Au）。

具体的，所述栅极接触电极 21 用于实现栅极 20 与相关联信号线路（如扫描线）之间的连接。所述源极接触电极 41 用于接地，从而实现所述源极 40 接地。

具体的，所述有机半导体层 50 的厚度为 80nm~120nm，优选的，所述有机半导体层 50 的厚度为 100nm。

具体的，本发明制备的柔性垂直沟道有机薄膜晶体管中，由于源极 40 与漏极 60 分别设于有机半导体层 50 的上方与下方，即相当于沟道的方向（从源极 40 到漏极 60 的方向）垂直于有机半导体层 50 等水平结构层，因此所述沟道的长度等于所述有机半导体层 50 的厚度，与传统的平面沟道有机薄膜晶体管相比，本发明制备的柔性垂直沟道有机薄膜晶体管的沟道长度大大缩减，可以在较低的驱动电压下获得较大的源漏电流。

进一步的，如图 4B 所示，所述步骤 3 还可以包括将 OLED 显示单元 90 制作于所述有机半导体层 50 与漏极 60 上的步骤，所述 OLED 显示单元 90 包括在所述有机半导体层 50 与漏极 60 上从下到上依次层叠设置的空穴注入层 91、有机发光层 92、电子注入层 93、及阴极 94 等结构层，所述漏极 60 直接充当 OLED 阳极，通过将 OLED 显示单元 90 原位集成在所述有机半导体层 50 与漏极 60 上制备一体化的垂直沟道型有机发光二极管，与传统的有机发光二极管相比，不需要在 TFT 上制备像素定义层与 OLED 阳极，大大降低了传统 OLED 有源矩阵的制备成本，提高 OLED 发光器件的像素开口率。

步骤 4、如图 5A 与图 5B 所示，将所述柔性衬底 11 从所述刚性基板 10 上剥离，得到一柔性垂直沟道有机薄膜晶体管 80。

具体的，所述步骤 4 中，采用激光剥离技术（LLO）将所述柔性衬底 11 从所述刚性基板 10 上剥离。

上述柔性垂直沟道有机薄膜晶体管的制作方法，改变了传统的平面沟道有机薄膜晶体管的构型，使用垂直沟道构型极大的缩短了沟道长度，使得薄膜晶体管可以在较低的驱动电压下获得较大的源漏电流，有利于在低电压下驱动 OLED 像素发光，且不需要采用高分辨率的曝光技术，节约生产成本；使用无缺陷、具有高导电性及高透明度的石墨烯材料制备栅极 20，使得薄膜晶体管的电学性能更好；使用六方氮化硼材料制备栅极绝缘层 30，与石墨烯材料制备的石墨烯栅极 20 共同作用，提高了薄膜晶体管的电学性能，并且由于石墨烯材料与六方氮化硼材料均为弯折性能较好的二维原子层结构材料，同时沟道层采用具有柔性的有机半导体材料，使得整个有机薄膜晶体管的弯折性能得到大幅度提高，有利于有机薄膜晶体管在柔性 OLED 显示屏中的应用。

请参阅图 6 至图 9，基于上述柔性垂直沟道有机薄膜晶体管的制作方法，本发明还提供一种柔性垂直沟道有机薄膜晶体管 80，包括：柔性衬底 11、设于所述柔性衬底 11 上的栅极 20、设于所述栅极 20 上且间隔设置的栅极绝缘层 30 与栅极接触电极 21、设于所述栅极绝缘层 30 上的源极 40、设于所述源极 40 上且间隔设置的有机半导体层 50 与源极接触电极 41、以及设于所述有机半导体层 50 上的漏极 60。

优选的，所述柔性衬底 11 为聚酰亚胺（PI）薄膜。

具体的，所述栅极 20 的材料为石墨烯，优选为无缺陷石墨烯。具体的，所述石墨烯的原子结构如图 11 所示，其具有很高的载流子迁移率、导电性和透明度，且弹性和可弯折性能非常好，有利于电子的传输与柔性底发光型 OLED 显示器件的制备。

具体的，所述栅极绝缘层 30 的材料为六方氮化硼（h-BN）。优选的，所述栅极绝缘层 30 为两层单原子层的六方氮化硼薄膜。

具体的，所述六方氮化硼的原子结构如图 12 所示，采用六方氮化硼制备的绝缘层具有非常平整和光滑的表面，表面缺陷态密度很少，介电击穿强度很高，已经被证实为是石墨烯基电子器件理想的绝缘层，将石墨烯材料制备的栅极 20 与六方氮化硼材料制备的栅极绝缘层 30 共同使用，可以获得较好的电学性能，并且由于石墨烯与六方氮化硼均为二维原子层结构材料，相比于基于金属电极和无机材料绝缘层的有机薄膜晶体管，本发明的有机薄膜晶体管可以获得更好的弯折性能，可用于制备基于有机薄膜晶体管的柔性 OLED 显示设备，增大有机薄膜晶体管在柔性 OLED 显示领域

应用的潜能。

具体的，所述源极 40 的材料为碳纳米管，优选的，所述源极 40 包括稀疏排列的多个单壁碳纳米管，所述稀疏排列定义为多个单壁碳纳米管之间具有缝隙的排列方式。具体的，所述稀疏排列的单壁碳纳米管结构一方面可以起到导电的作用，另一方面其稀疏的网状结构不会完全屏蔽栅极电场线。

优选的，所述有机半导体层 50 的材料为 P 型有机半导体材料，所述 P 型有机半导体材料具有较高的载流子迁移率，能够提升有机薄膜晶体管的开态电流。具体的，所述 P 型有机半导体材料包括烷基取代的聚噻吩、噻吩及其衍生物、并五苯、酚菁类化合物、芘、及红荧烯中的一种或多种。

具体的，所述漏极 60、源极接触电极 41、及栅极接触电极 21 在同一蒸镀制程中形成，从而材料相同。

具体的，所述漏极 60、源极接触电极 41、及栅极接触电极 21 的材料为金属。优选的，所述漏极 60、源极接触电极 41、及栅极接触电极 21 的材料为金（Au）。

具体的，所述栅极接触电极 21 用于实现栅极 20 与相关联信号线路（如扫描线）之间的连接。所述源极接触电极 41 用于接地，从而实现所述源极 40 接地。

具体的，本发明的柔性垂直沟道有机薄膜晶体管的工作原理是：利用碳纳米管材料制备的源极 40 与有机半导体层 50 之间形成肖特基接触的特性，在工作过程中，通过调控施加于栅极 20 上的电压来调节源极 40 与有机半导体层 50 之间的肖特基势垒的大小，进而达到控制薄膜晶体管开关性能的目的，以有机半导体层 50 采用 P 型有机半导体材料制作为例：

在栅极 20 上施加负电压（栅源电压 $Vgs<0$）时，由于源极 40 包括稀疏排列的多个单壁碳纳米管，因此不会完全屏蔽栅极电场线，栅极电场线可以穿过源极 40，降低源极 40 与有机半导体层 50 之间的肖特基势垒，使得源极 40 向有机半导体层 50 中注入的空穴数目增加，形成从源极 40 流向有机半导体层 50 的正向电流（开态电流/源漏电流），薄膜晶体管视为打开状态，并且，随着在栅极 20 上施加的负电压（栅源电压）的绝对值越大，肖特基势垒降低越多，正向电流（开态电流/源漏电流）越大；

在栅极 20 上施加正电压（栅源电压 $Vgs>0$）时，栅极电场线同样可以穿过源极 40，增加源极 40 与有机半导体层 50 之间的肖特基势垒，有机半导体层 50 中的空穴需要越过很高的势垒才能注入到源极 40 中，因此从有机半导体层 50 流向源极 40 的反向电流非常非常小，薄膜晶体管视为关闭

状态。

进一步的，如图 10 所示，所述柔性垂直沟道有机薄膜晶体管 80 还可以包括设于所述有机半导体层 50 与漏极 60 上的 OLED 显示单元 90，所述 OLED 显示单元 90 包括在所述有机半导体层 50 与漏极 60 上从下到上依次层叠设置的空穴注入层 91、有机发光层 92、电子注入层 93、及阴极 94 等结构层，所述漏极 60 直接充当 OLED 阳极，通过将 OLED 显示单元 90 原位集成在所述有机半导体层 50 与漏极 60 上制得一体化的垂直沟道型有机发光二极管，与传统的有机发光二极管相比，不需要在 TFT 上制备像素定义层与 OLED 阳极，大大降低了传统 OLED 有源矩阵的制备成本，提高 OLED 发光器件的像素开口率。

上述柔性垂直沟道有机薄膜晶体管，通过采用垂直沟道构型获得较高的开态电流，有利于在低电压下驱动 OLED 像素发光，且不需要采用高分辨率的曝光技术，节约生产成本；采用石墨烯材料制备的栅极 20 与采用六方氮化硼材料制备的栅极绝缘层 30 共同使用，保证了薄膜晶体管具有良好的电学性能与弯折性能，有利于原位制备柔性 OLED 发光器件。

综上所述，本发明提供一种柔性垂直沟道有机薄膜晶体管及其制作方法，改变了传统的平面沟道有机薄膜晶体管的构型，使用垂直沟道构型极大的缩短了沟道长度，使得薄膜晶体管可以在较低的驱动电压下获得较大的源漏电流，有利于在低电压下驱动 OLED 像素发光，且不需要采用高分辨率的曝光技术，节约生产成本；使用无缺陷、具有高导电性及高透明度的石墨烯材料制备栅极，使得薄膜晶体管的电学性能更好；使用六方氮化硼材料制备栅极绝缘层，与石墨烯材料制备的栅极共同作用，提高了薄膜晶体管的电学性能，并且由于石墨烯材料与六方氮化硼材料均为弯折性能较好的二维原子层结构材料，同时沟道层采用具有柔性的有机半导体材料，使得整个有机薄膜晶体管的弯折性能得到大幅度提高，有利于有机薄膜晶体管在柔性 OLED 显示屏中的应用。

以上所述，对于本领域的普通技术人员来说，可以根据本发明的技术方案和技术构思作出其他各种相应的改变和变形，而所有这些改变和变形都应属于本发明权利要求的保护范围。

权 利 要 求

1、一种柔性垂直沟道有机薄膜晶体管的制作方法，包括如下步骤：

步骤 1、提供一刚性基板，在所述刚性基板上形成一柔性衬底，在所述柔性衬底上形成栅极；

步骤 2、在所述栅极上形成栅极绝缘层，所述栅极绝缘层的尺寸小于所述栅极的尺寸；

在所述栅极绝缘层上形成源极，所述源极的尺寸小于或等于所述栅极绝缘层的尺寸；

步骤 3、在所述源极上形成有机半导体层，所述有机半导体层的尺寸小于所述源极的尺寸；

在所述有机半导体层上形成漏极，所述漏极的尺寸小于或等于所述有机半导体层的尺寸；

在所述源极上形成与所述有机半导体层间隔设置的源极接触电极；

在所述栅极上形成与所述栅极绝缘层间隔设置的栅极接触电极；

步骤 4、将所述柔性衬底从所述刚性基板上剥离，得到一柔性垂直沟道有机薄膜晶体管。

2、如权利要求 1 所述的柔性垂直沟道有机薄膜晶体管的制作方法，其中，所述栅极的材料为石墨烯；所述栅极绝缘层的材料为六方氮化硼。

3、如权利要求 1 所述的柔性垂直沟道有机薄膜晶体管的制作方法，其中，所述源极的材料为碳纳米管；所述有机半导体层的材料为 P 型有机半导体材料；所述有机半导体层的厚度为 80nm~120nm。

4、如权利要求 1 所述的柔性垂直沟道有机薄膜晶体管的制作方法，其中，所述步骤 3 中，采用一道掩膜板通过蒸镀的方法同时形成所述漏极、源极接触电极、及栅极接触电极，从而所述漏极、源极接触电极、及栅极接触电极的材料相同；所述漏极、源极接触电极、及栅极接触电极的材料为金属。

5、如权利要求 1 所述的柔性垂直沟道有机薄膜晶体管的制作方法，其中，所述步骤 3 还包括将 OLED 显示单元制作于所述有机半导体层与漏极上的步骤，所述 OLED 显示单元包括在所述有机半导体层与漏极上从下到上依次层叠设置的空穴注入层、有机发光层、电子注入层、及阴极，所述漏极充当 OLED 阳极。

6、一种柔性垂直沟道有机薄膜晶体管，包括：柔性衬底、设于所述柔

性衬底上的栅极、设于所述栅极上且间隔设置的栅极绝缘层与栅极接触电极、设于所述栅极绝缘层上的源极、设于所述源极上且间隔设置的有机半导体层与源极接触电极、以及设于所述有机半导体层上的漏极。

7、如权利要求 6 所述的柔性垂直沟道有机薄膜晶体管，其中，所述栅极的材料为石墨烯；所述栅极绝缘层的材料为六方氮化硼。

8、如权利要求 6 所述的柔性垂直沟道有机薄膜晶体管，其中，所述源极的材料为碳纳米管；所述有机半导体层的材料为 P 型有机半导体材料；所述有机半导体层的厚度为 80nm~120nm。

9、如权利要求 6 所述的柔性垂直沟道有机薄膜晶体管，其中，所述漏极、源极接触电极、及栅极接触电极在同一蒸镀制程中形成，从而材料相同；所述漏极、源极接触电极、及栅极接触电极的材料为金属。

10、如权利要求 6 所述的柔性垂直沟道有机薄膜晶体管，还包括设于所述有机半导体层与漏极上的 OLED 显示单元，所述 OLED 显示单元包括在所述有机半导体层与漏极上从下到上依次层叠设置的空穴注入层、有机发光层、电子注入层、及阴极，所述漏极充当 OLED 阳极。

11、一种柔性垂直沟道有机薄膜晶体管，包括：柔性衬底、设于所述柔性衬底上的栅极、设于所述栅极上且间隔设置的栅极绝缘层与栅极接触电极、设于所述栅极绝缘层上的源极、设于所述源极上且间隔设置的有机半导体层与源极接触电极、以及设于所述有机半导体层上的漏极；

其中，所述栅极的材料为石墨烯；所述栅极绝缘层的材料为六方氮化硼；

其中，所述源极的材料为碳纳米管；所述有机半导体层的材料为 P 型有机半导体材料；所述有机半导体层的厚度为 80nm~120nm。

12、如权利要求 11 所述的柔性垂直沟道有机薄膜晶体管，其中，所述漏极、源极接触电极、及栅极接触电极在同一蒸镀制程中形成，从而材料相同；所述漏极、源极接触电极、及栅极接触电极的材料为金属。

13、如权利要求 11 所述的柔性垂直沟道有机薄膜晶体管，还包括设于所述有机半导体层与漏极上的 OLED 显示单元，所述 OLED 显示单元包括在所述有机半导体层与漏极上从下到上依次层叠设置的空穴注入层、有机发光层、电子注入层、及阴极，所述漏极充当 OLED 阳极。

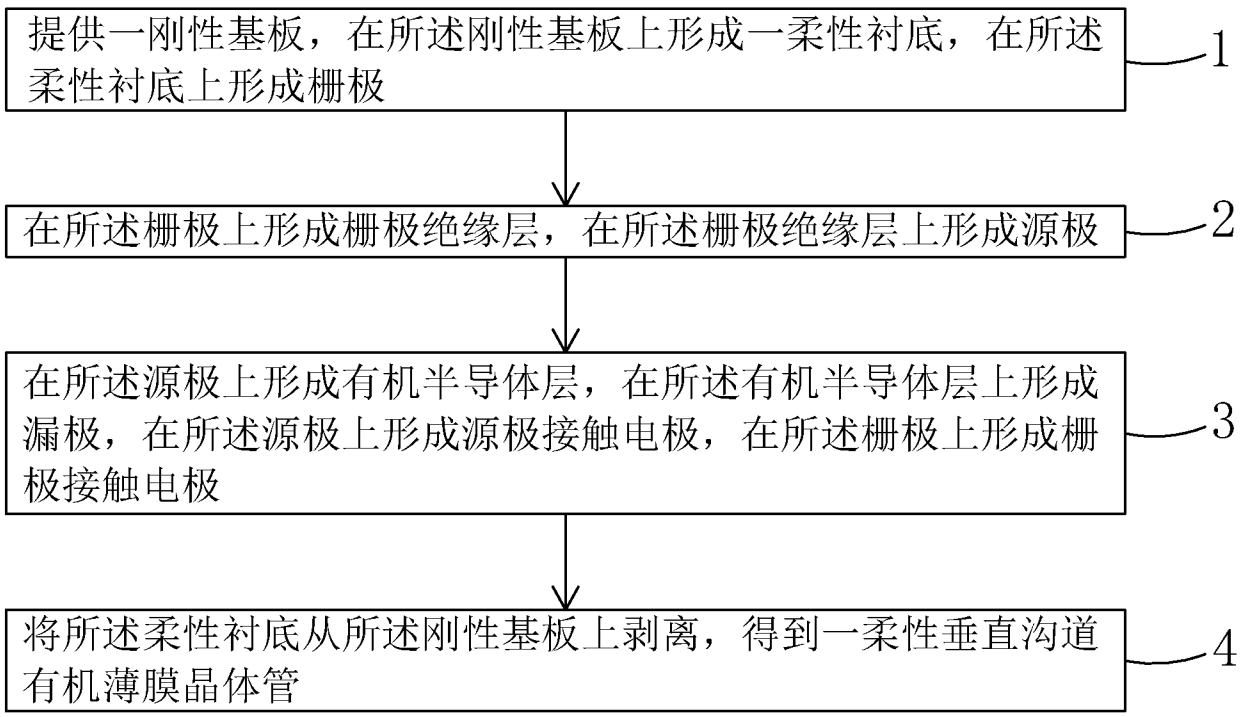

提供一刚性基板，在所述刚性基板上形成一柔性衬底，在所述柔性衬底上形成栅极
1
在所述栅极上形成栅极绝缘层，在所述栅极绝缘层上形成源极
2
在所述源极上形成有机半导体层，在所述有机半导体层上形成漏极，在所述源极上形成源极接触电极，在所述栅极上形成栅极接触电极
3
将所述柔性衬底从所述刚性基板上剥离，得到一柔性垂直沟道有机薄膜晶体管
4

图1

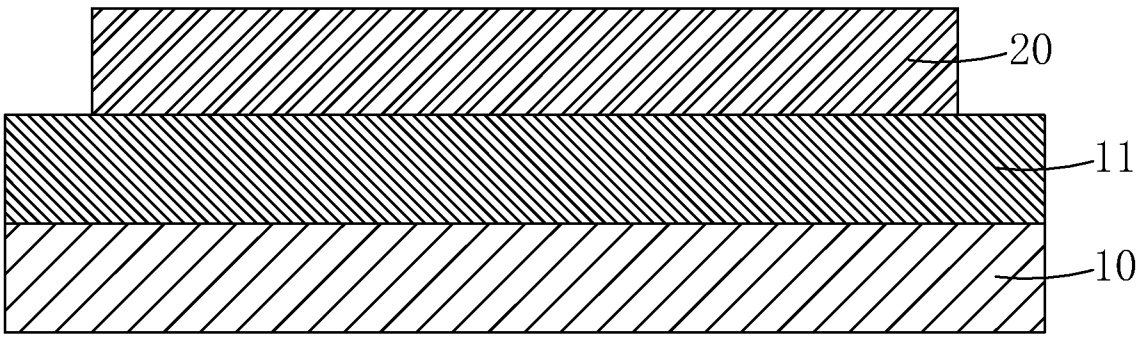


图2

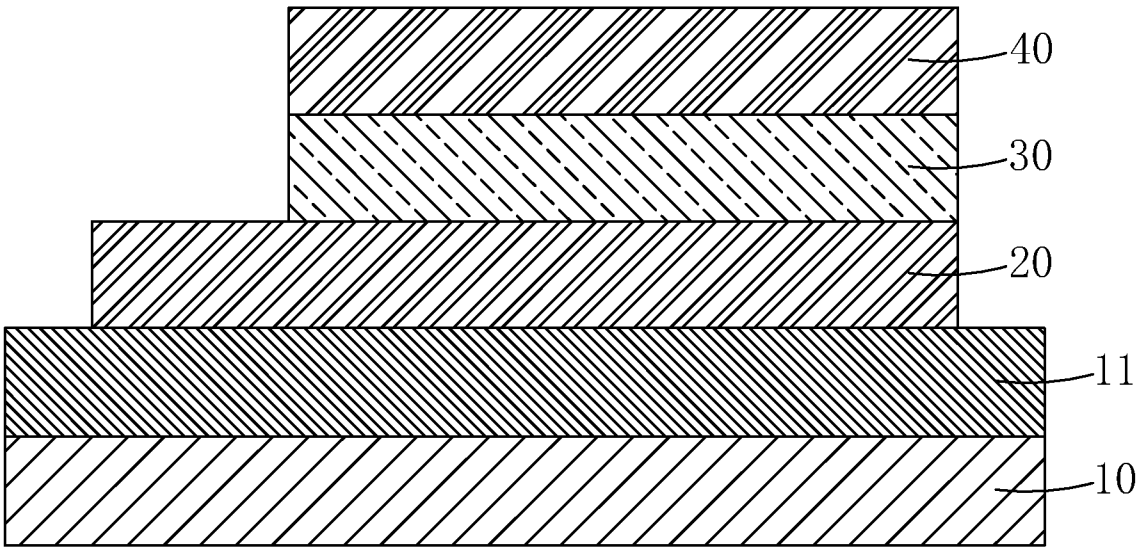


图3

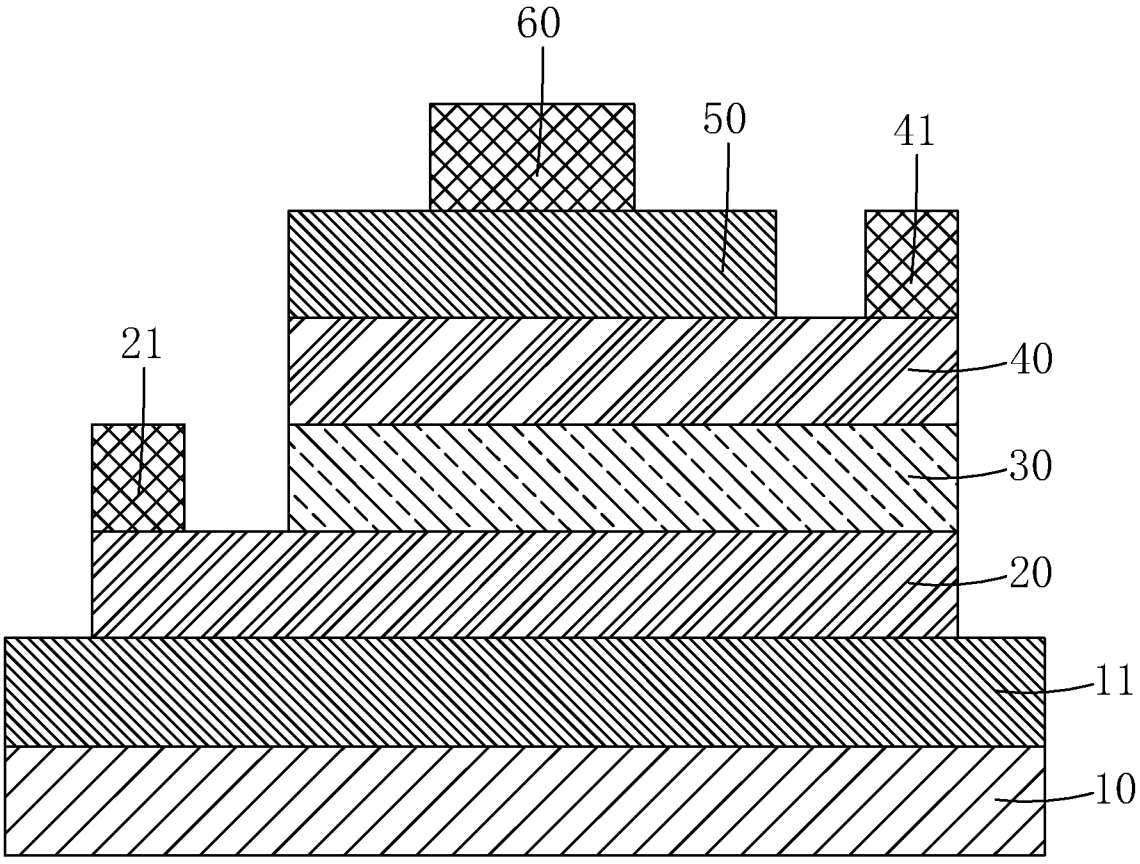


图4A

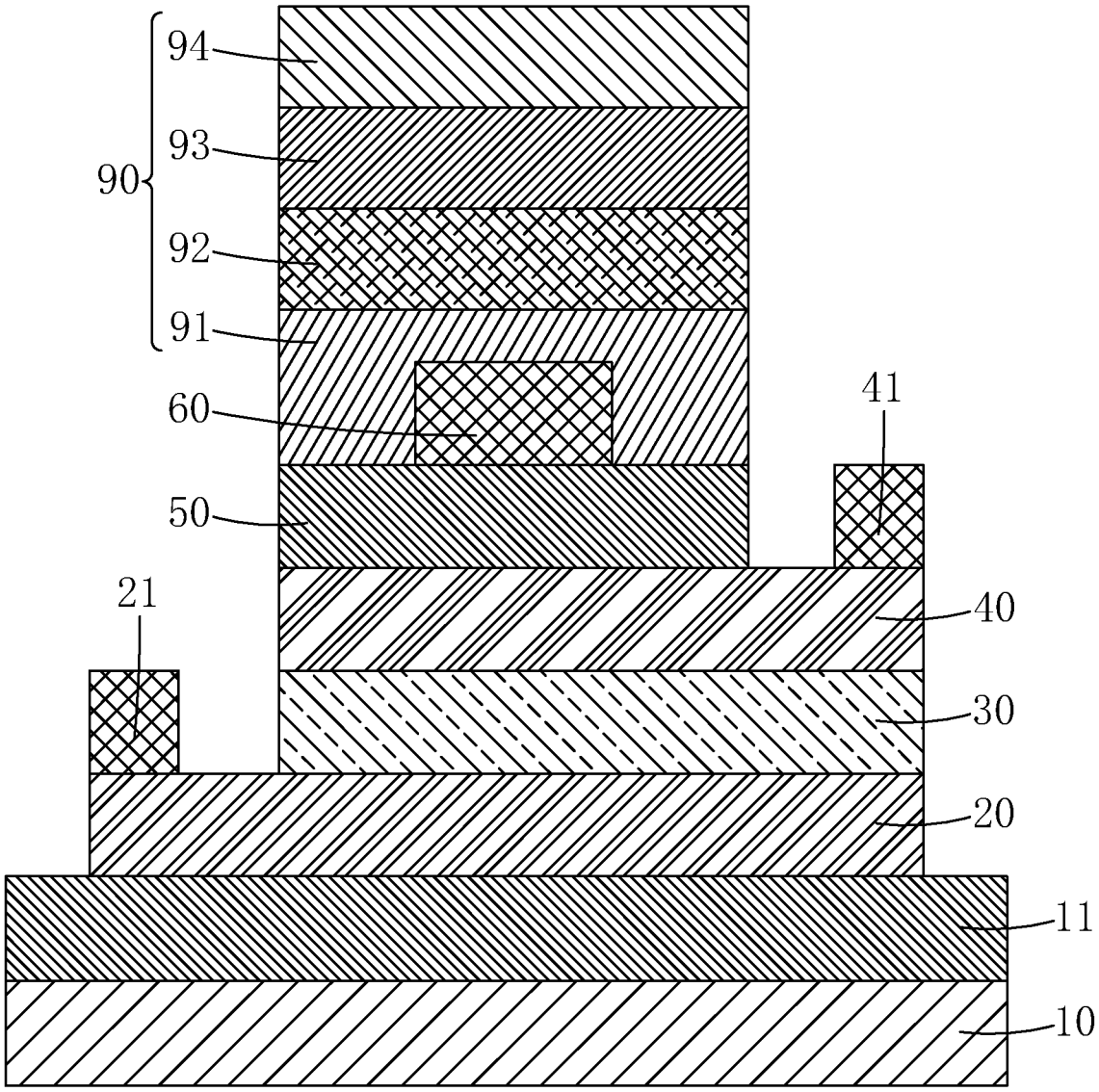


图4B

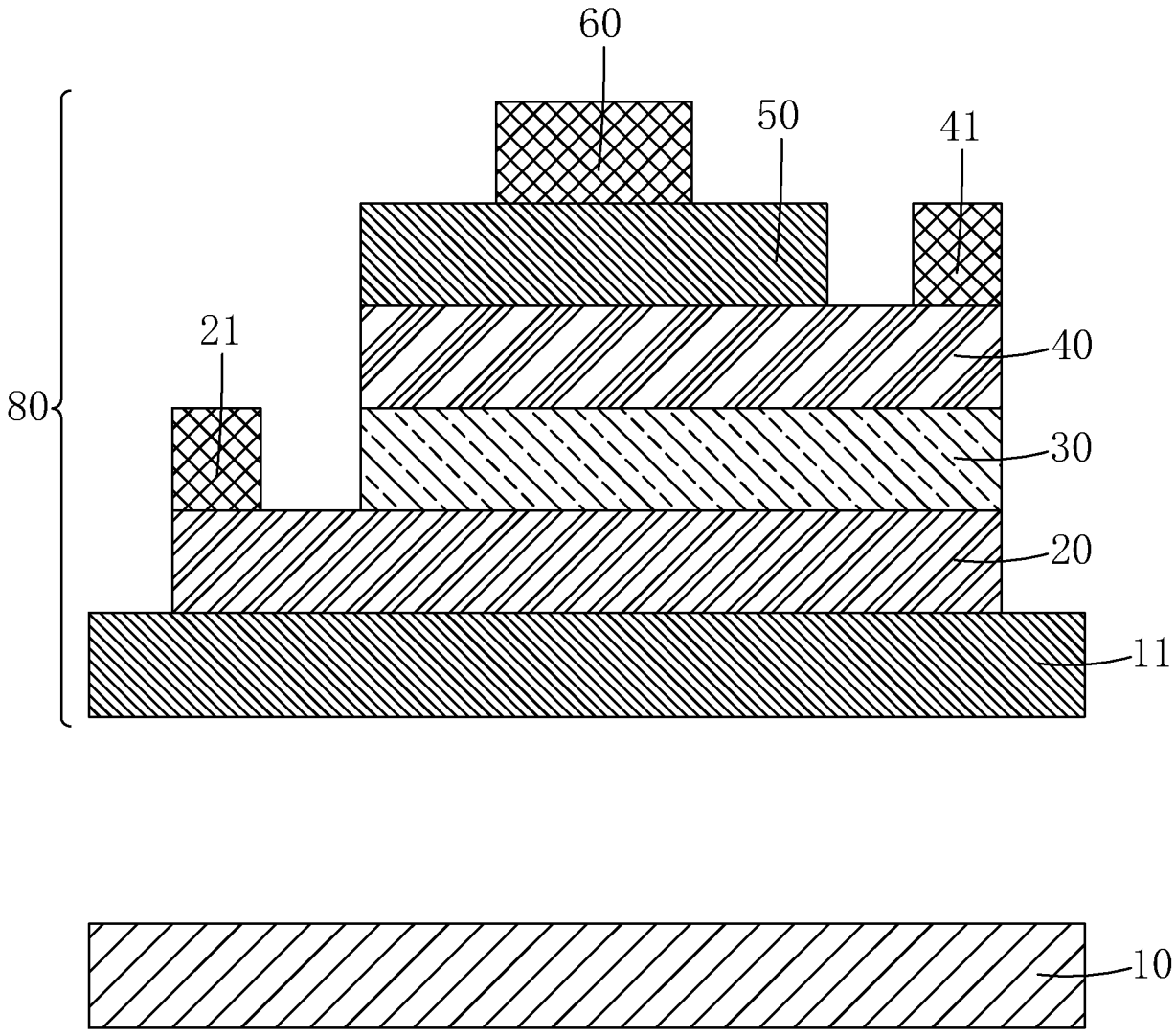


图5A

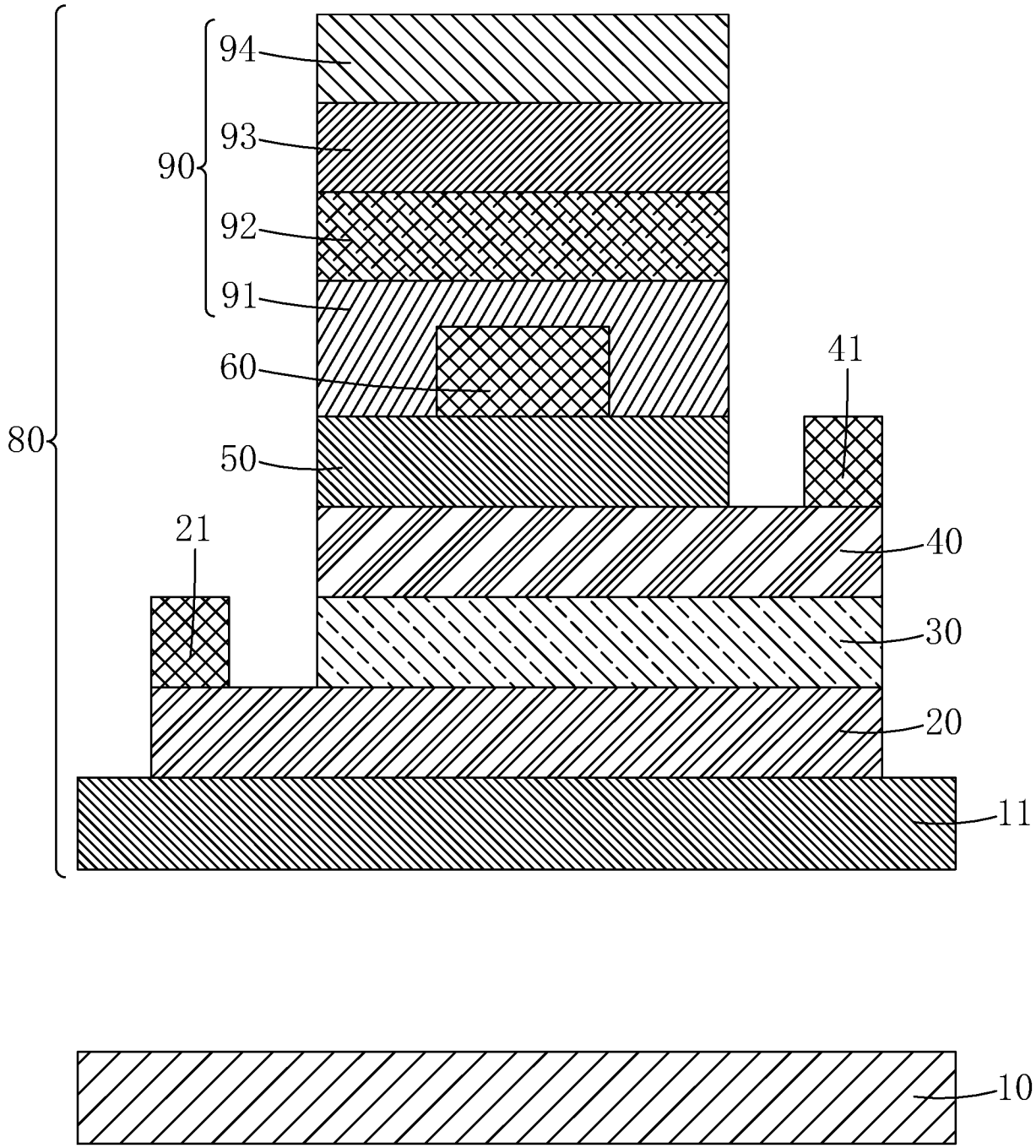


图5B

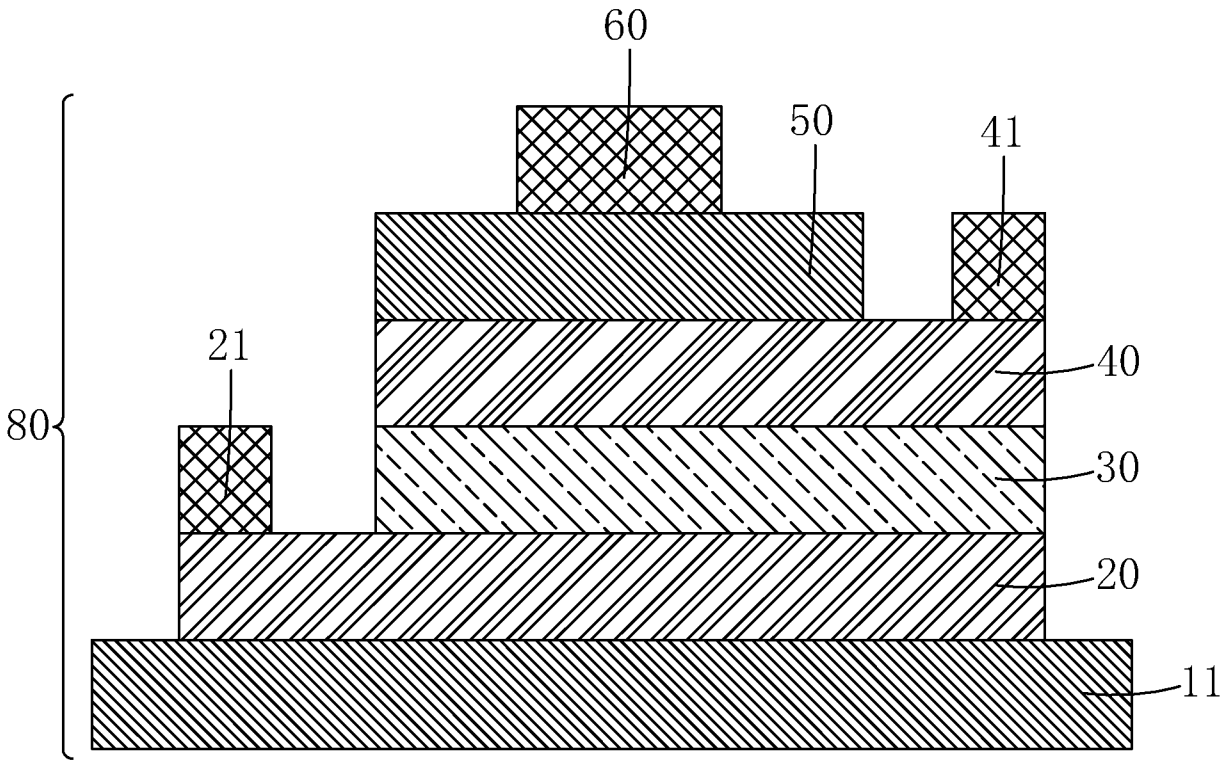


图6

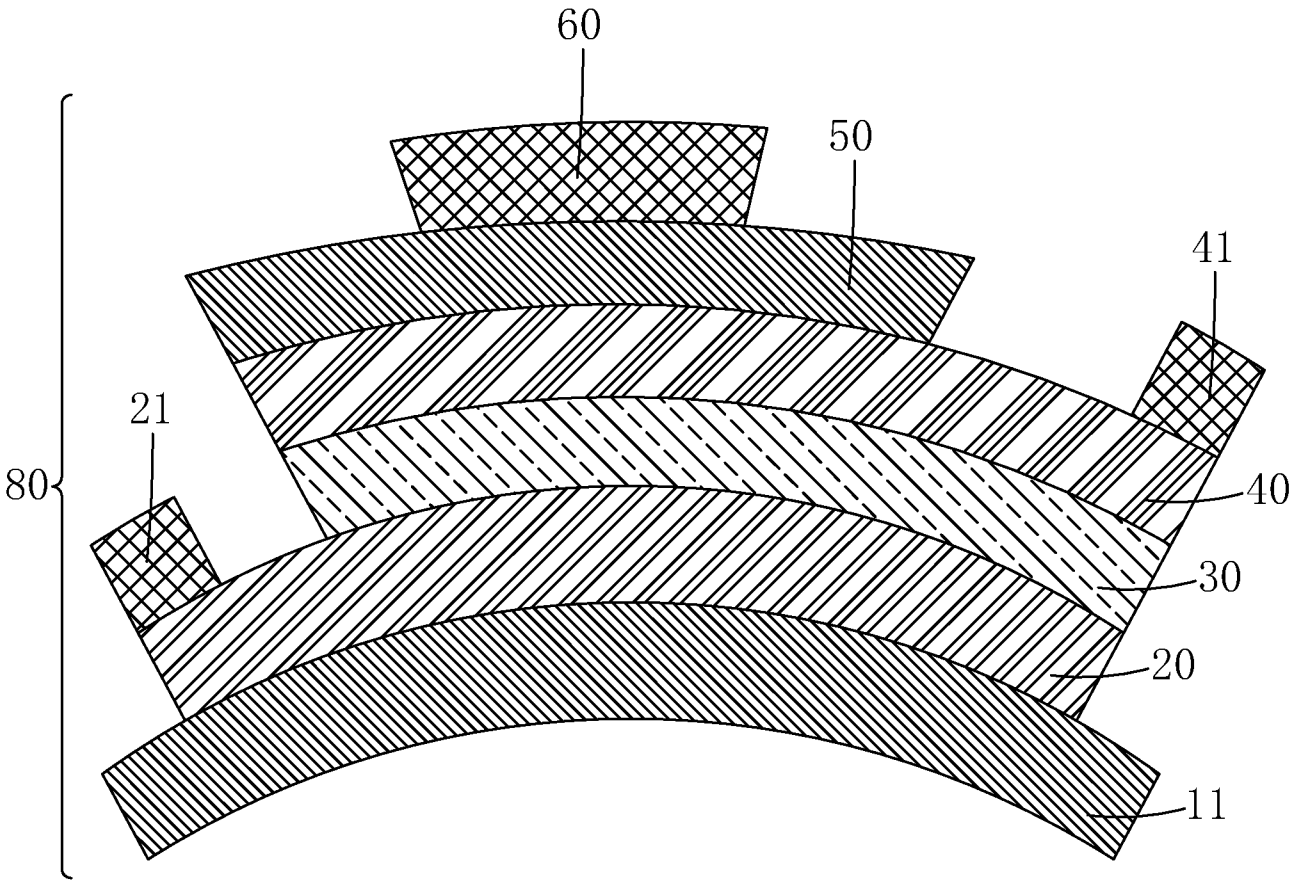


图7

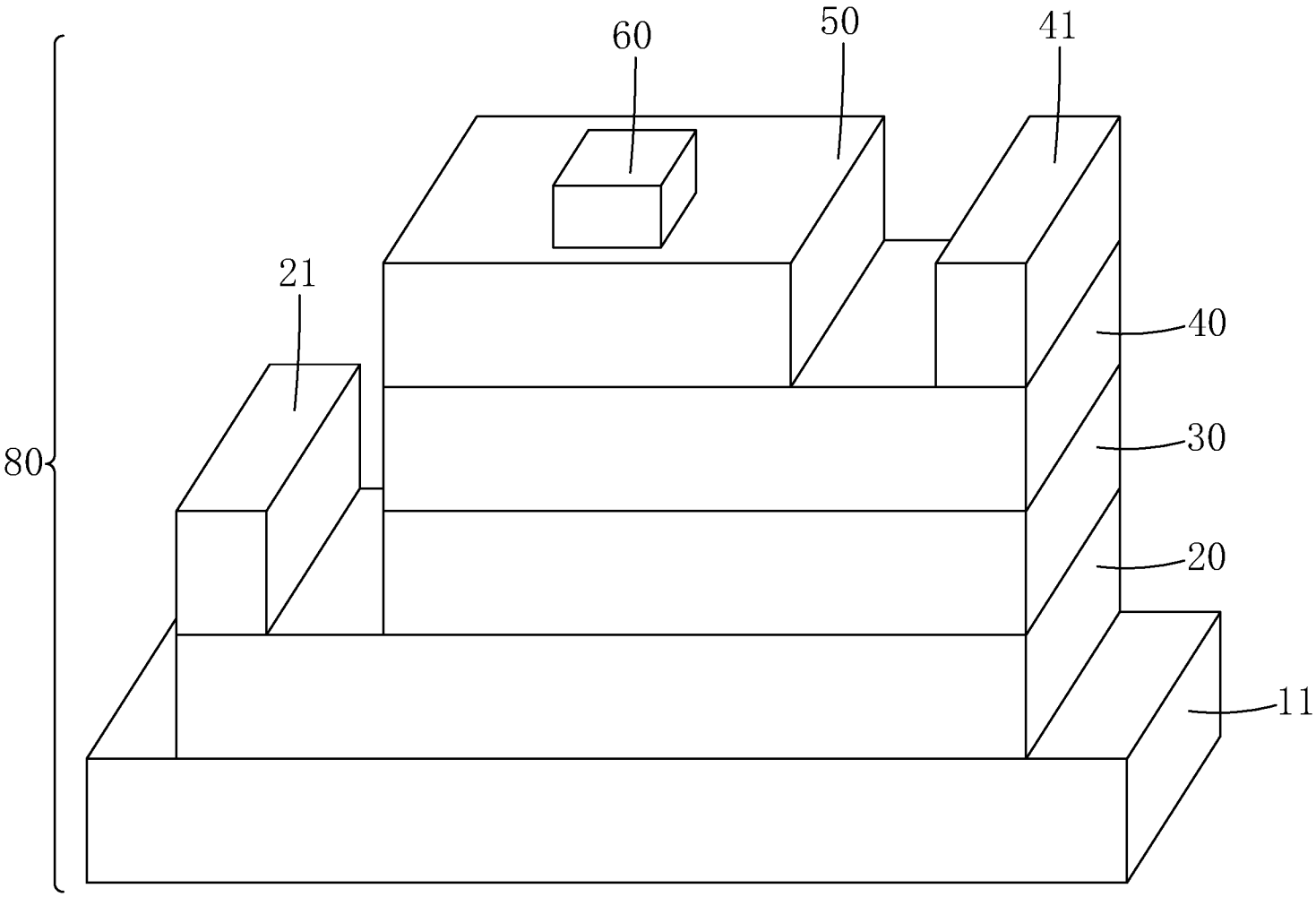


图8

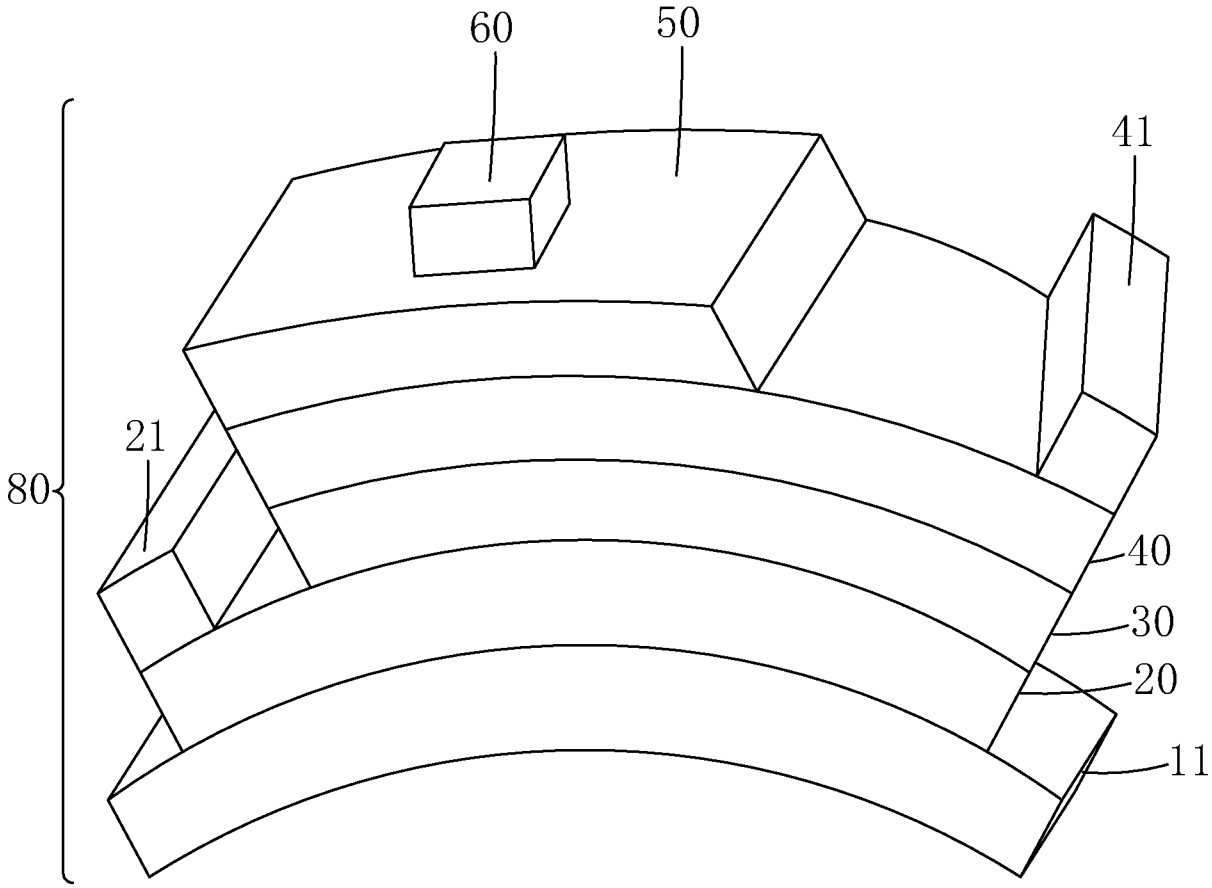


图9

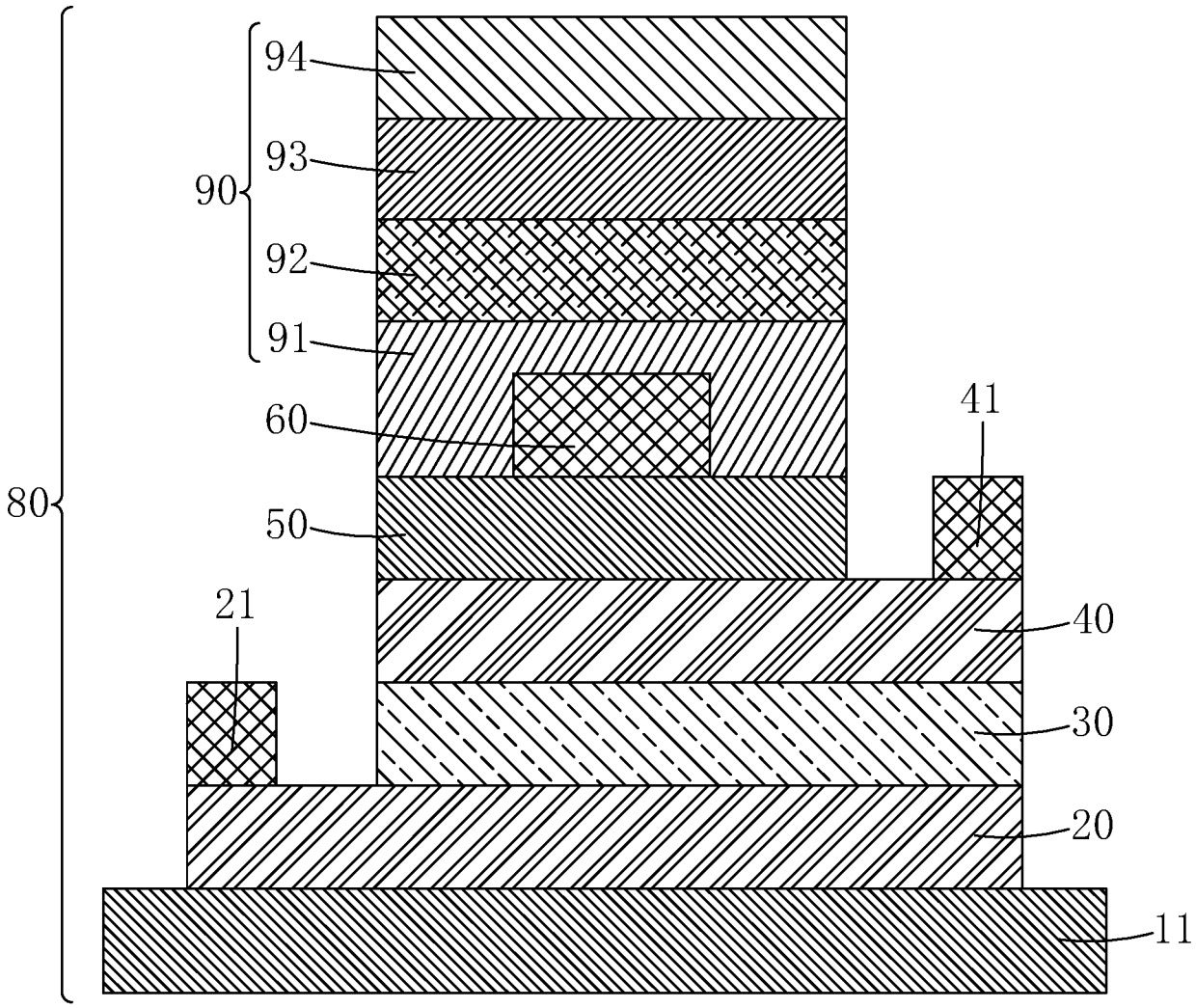


图10

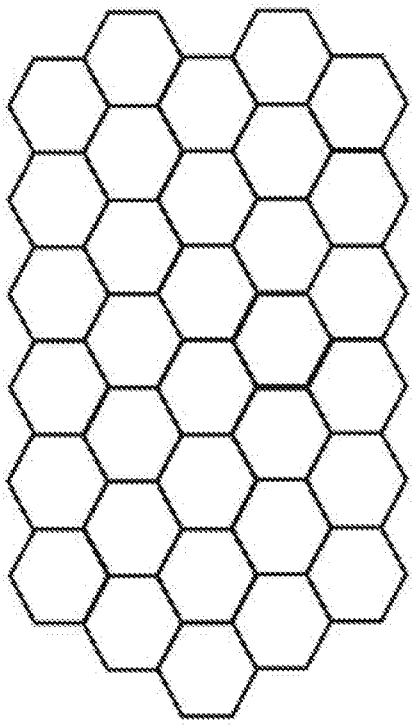


图11

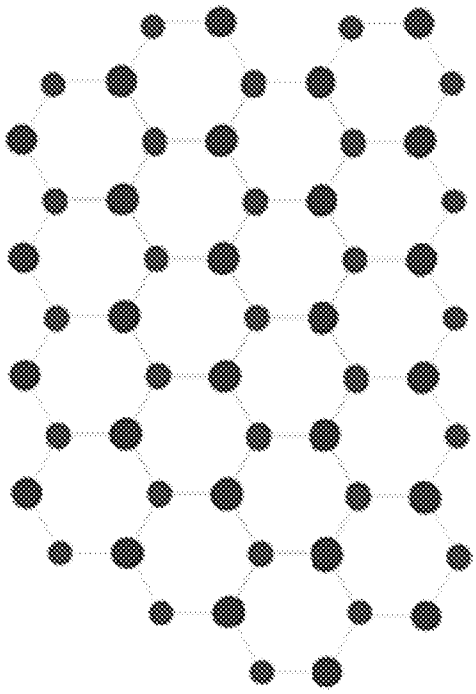


图12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2016/113013

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L 51/50 (2006.01) i; H01L 51/52 (2006.01) i; H01L 51/56 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS; DWPI; SIPOABS; CNTXT: substrate, 晶体管, display, transistor, 基板, 栅, 沟道, 堆叠, 介电, gate, electrode, graphene, 漏, 源, 有机, 基底, source, 半导体, 衬底, organic, 电极, 电介质, 垂直, insulat+, drain, semiconductor, 石墨烯, 显示, channel, vertical

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 1875496 A (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA), 06 December 2006 (06.12.2006), description, page 2, line 22 to page 10, line 8, and figures 1-10	1-13
X	CN 105473990 A (DENSO CORPORATION), 06 April 2016 (06.04.2016), description, paragraphs [0028]-[0064], and figures 1-8	1-13
X	CN 105470389 A (CHINA JILIANG UNIVERSITY), 06 April 2016 (06.04.2016), description, paragraphs [0006]-[0033], and figures 1-2	1-13
A	CN 101546813 A (TIANJIN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY), 30 September 2009 (30.09.2009), entire document	1-13
A	CN 104919596 A (UNIVERSITY OF FLORIDA RESEARCH FOUNDATION, INC.), 16 September 2015 (16.09.2015), entire document	1-13
A	CN 102709310 A (WUXI GRAPHENE FILM CO., LTD.), 03 October 2012 (03.10.2012), entire document	1-13

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
08 September 2017	14 September 2017

Name and mailing address of the ISA	Authorized officer
State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	HUANG, Jinwei Telephone No. (86-10) 62411017

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2016/113013

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 1875496 A	06 December 2006	US 7476893 A	06 December 2006
		EP 1668716 A4	14 May 2008
		EP 1668716 A2	14 June 2006
		KR 20070019634 A	15 February 2007
		US 2006284230 A1	21 December 2006
		IN 200600488 P2	01 June 2007
		WO 2005024907 A3	15 September 2005
		JP 2007504650 A	01 March 2007
		WO 2005024907 A2	17 March 2005
CN 105473990 A	06 April 2016	KR 20160033176 A	25 March 2016
		WO 2015025480 A1	26 February 2015
		JP 2015040778 A	02 March 2015
		US 2016202132 A1	14 July 2016
		JP 5928420 B2	01 June 2016
		US 9658121 B2	23 May 2017
CN 105470389 A	06 April 2016	None	
CN 101546813 A	30 September 2009	None	
CN 104919596 A	16 September 2015	JP 2016506068 A	25 February 2016
		WO 2014085410 A1	05 June 2014
		EP 2926376 A1	07 October 2015
		EP 2926376 A4	12 October 2016
		US 2015340631 A1	26 November 2015
		WO 2014085410 A8	31 July 2014
		KR 20150090187 A	05 August 2015
		US 9601707 B2	21 March 2017
CN 102709310 A	03 October 2012	CN 102709310 B	20 April 2016

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2016/113013

A. 主题的分类

H01L 51/50(2006.01)i; H01L 51/52(2006.01)i; H01L 51/56(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

H01L

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用）)

CNABS;DWPI;SIPOABS;CNTXT:substrate，晶体管，display，transistor，基板，栅，沟道，堆叠，介电，gate，electrode，graphene，漏，源，有机，基底，source，半导体，衬底，organic，电极，电介质，垂直，insulat+，drain，semiconductor，石墨烯，显示，channel,vertical

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
X	CN 1875496 A (加利福尼亚大学董事会) 2006年 12月 6日 (2006-12-06) 说明书第2页第22行至第10页第8行，图1-10	1-13
X	CN 105473990 A (株式会社电装) 2016年 4月 6日 (2016-04-06) 说明书第[0028]-[0064]段，图1-8	1-13
X	CN 105470389 A (中国计量学院) 2016年 4月 6日 (2016-04-06) 说明书第[0006]-[0033]段，图1-2	1-13
A	CN 101546813 A (天津理工大学) 2009年 9月 30日 (2009-09-30) 全文	1-13
A	CN 104919596 A (佛罗里达大学研究基金会有限公司) 2015年 9月 16日 (2015-09-16) 全文	1-13
A	CN 102709310 A (无锡格菲电子薄膜科技有限公司) 2012年 10月 3日 (2012-10-03) 全文	1-13

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

"A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

"E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

"L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

"O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

"P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

"T" 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

"X" 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

"Y" 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

"&" 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2017年 9月 8日	2017年 9月 14日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451	受权官员 黄金卫 电话号码 (86-10)62411017

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2016/113013

检索报告引用的专利文件			公布日（年/月/日）	同族专利			公布日（年/月/日）
CN	1875496	A	2006年 12月 6日	US	7476893	A	2006年 12月 6日
				EP	1668716	A4	2008年 5月 14日
				EP	1668716	A2	2006年 6月 14日
				KR	20070019634	A	2007年 2月 15日
				US	2006284230	A1	2006年 12月 21日
				IN	200600488	P2	2007年 6月 1日
				WO	2005024907	A3	2005年 9月 15日
				JP	2007504650	A	2007年 3月 1日
				WO	2005024907	A2	2005年 3月 17日
CN	105473990	A	2016年 4月 6日	KR	20160033176	A	2016年 3月 25日
				WO	2015025480	A1	2015年 2月 26日
				JP	2015040778	A	2015年 3月 2日
				US	2016202132	A1	2016年 7月 14日
				JP	5928420	B2	2016年 6月 1日
				US	9658121	B2	2017年 5月 23日
CN	105470389	A	2016年 4月 6日		无		
CN	101546813	A	2009年 9月 30日		无		
CN	104919596	A	2015年 9月 16日	JP	2016506068	A	2016年 2月 25日
				WO	2014085410	A1	2014年 6月 5日
				EP	2926376	A1	2015年 10月 7日
				EP	2926376	A4	2016年 10月 12日
				US	2015340631	A1	2015年 11月 26日
				WO	2014085410	A8	2014年 7月 31日
				KR	20150090187	A	2015年 8月 5日
				US	9601707	B2	2017年 3月 21日
CN	102709310	A	2012年 10月 3日	CN	102709310	B	2016年 4月 20日