

(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
2023 年 11 月 16 日 (16.11.2023)



(10) 国际公布号
WO 2023/217034 A1

(51) 国际专利分类号:
H10K 10/46 (2023.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2023/092511

(22) 国际申请日: 2023 年 5 月 6 日 (06.05.2023)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202210493757.3 2022年5月7日 (07.05.2022) CN
202310477096.X 2023年4月28日 (28.04.2023) CN

(71) 申请人: 浙江大学 (ZHEJIANG UNIVERSITY) [CN/
CN]; 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路
866号, Zhejiang 310058 (CN)。

(72) 发明人: 李寒莹 (LI, Hanying); 中国浙江省杭州市
西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。
林城策 (LIN, Chengce); 中国浙江省杭州市西湖

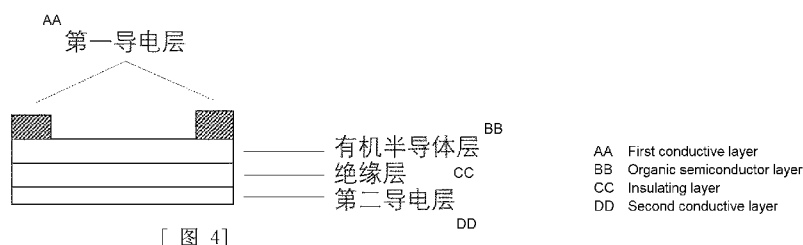
区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。伍瑞
菡 (WU, Ruihan); 中国浙江省杭州市西湖区余
杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。

(74) 代理人: 杭州坚果知识产权代理事务所 (普
通合伙) (HANGZHOU JOYGO INTELLECTUAL
PROPERTY FIRM); 中国浙江省杭州市钱塘
区杭州东部国际商务中心1幢1307-1室
刘晓, Zhejiang 310018 (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,
CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,
GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ,
IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ,
LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN,
MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA,
PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD,

(54) Title: ORGANIC FIELD-EFFECT TRANSISTOR AND PREPARATION METHOD THEREFOR

(54) 发明名称: 一种有机场效应晶体管及其制备方法



(57) Abstract: Provided in the present invention are an organic field-effect transistor and a preparation method therefor. The organic field-effect transistor sequentially comprises a first conductive layer, an organic semiconductor layer, an insulating layer and a second conductive layer. The first conductive layer is made of a conductive material having a work function of 4.5 eV or above; the organic semiconductor layer is made of a p-type organic semiconductor single crystal; the insulating layer is made of an insulating material; and the second conductive layer is made of a material having a conductivity greater than 1 S/m. Furthermore, the organic field-effect transistor simultaneously satisfies: a hole mobility $\mu_p \geq 0.5 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ and an electron mobility $\mu_n \geq 0.5 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$, and also satisfies: a balance coefficient $B \leq 1$, and a calculation formula of the balance coefficient B is: $B = |\lg(\mu_p/\mu_n)|$. The organic field-effect transistor exhibits a high and balanced hole mobility and electron mobility, and has good application prospects in organic complementary circuits, light-emitting transistors, etc.

(57) 摘要: 本发明提供一种有机场效应晶体管及其制备方法, 所述的有机场效应晶体管依次包括第一导电层、有机半导体层、绝缘层、第二导电层; 所述的第一导电层由功函数4.5eV以上的导电材料构成; 所述的有机半导体层由p型有机半导体单晶构成; 所述的绝缘层由绝缘材料构成; 所述的第二导电层由电导率大于1S/m的材料构成; 进一步的, 所述的有机场效应晶体管同时满足: 空穴迁移率 $\mu_p \geq 0.5 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$, 电子迁移率 $\mu_n \geq 0.5 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$, 且满足平衡系数 $B \leq 1$, 所述平衡系数B的计算公式为: $B = |\lg(\mu_p/\mu_n)|$, 所述的有机场效应晶体管表现出高且平衡的空穴迁移率和电子迁移率, 在有机互补电路和发光晶体管等中具有很好的应用前景。

[见续页]

SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SC, 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, ME, 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))。

说明书

发明名称: 一种有机场效应晶体管及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及有机半导体器件技术领域，具体涉及一种有机场效应晶体管及其制备方法。

背景技术

[0002] 有机半导体器件具有制备成本低、柔性、质轻、可大面积制备的优点，在柔性显示、柔性可穿戴设备、物联网、生物医疗领域具有很好的应用前景，受到了人们的广泛关注。高性能有机半导体器件的制备是实现有机半导体器件实用化的重要过程。在有机半导体器件中，有机场效应晶体管(Organic field-effect transistor, OFET)是一类常见且重要的基本元件，是有机集成电路中最重要的组成单元。

[0003] 载流子作为电子器件中电流的载体，是指可以在电场作用下自由移动的电荷微粒。在半导体材料中，载流子类型分为两种：电子(electron)和空穴(hole)，其中，电子带负电荷，空穴带正电荷。在OFET的应用中，空穴和电子的传输均很重要。

[0004] 载流子迁移率(简称迁移率，用 μ 表示，单位为 $\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$)是指载流子在单位电场强度下的迁移速率。对于OFET，迁移率是表示其性能的关键参数，决定了其开启或关闭速度的快慢。迁移率越高，意味着OFET的开启或关闭速度越快，应用于逻辑电路时，得到的电路逻辑运算速度也就越快。根据载流子类型的不同，载流子迁移率 μ 可分别用空穴迁移率(μ_p)和电子迁移率(μ_n)来表征。 μ_p 和 μ_n 可以通过下列公式获得：

$$\mu_p = \frac{2L}{WC_i} \left(\frac{\partial \sqrt{I_{DS}}}{\partial V_G} \right)^2 ;$$

$$\mu_n = \frac{2L}{WC_i} \left(\frac{\partial \sqrt{I_{DS}}}{\partial V_G} \right)^2;$$

[0005] 通过半导体分析仪测得OFET的p型转移特性曲线和n型转移特性曲线，其中，L为OFET沟道的长度，W为OFET沟道宽度，C_i为栅极绝缘层电容，可通过带有电容分析功能的半导体参数分析仪测得，I_{DS}为OFET工作时，经过源漏级之间的电流，V_G为施加在栅极上的电压， $\left(\frac{\partial \sqrt{I_{DS}}}{\partial V_G} \right)^2$ 可通过测试在饱和区工作的场效应晶

体管的转移特性曲线得到。图1中的(a)和(b)分别为常见的OFET结构的截面图和俯视图，W和L可以在光学显微镜拍摄的OFET的俯视图中通过标尺量得；图1中的(c)和(d)分别为可通过半导体分析仪测得的p型OFET和n型OFET的转移特性曲线以及转移特性曲线处理后的I_{DS}^{1/2}-V_G曲线，通过计算曲线I_{DS}^{1/2}-V_G的斜率即可得到 $\left(\frac{\partial \sqrt{I_{DS}}}{\partial V_G} \right)^2$ 。

[0006] 对于OFET而言，载流子迁移率越高越好。OFET的迁移率普遍低于1cm²V⁻¹s⁻¹。为了实现OFET的实用化，OFET中电子和空穴的迁移率均不低于0.1cm²V⁻¹s⁻¹是基本要求。

[0007] 在互补电路、发光晶体管等常见应用中，不仅需要OFET的空穴和电子的传输同时存在，还需要μ_p和μ_n足够高，且两种载流子传输之间的平衡性较好。单独使用只能传输空穴的p型OFET，或者单独使用只能传输电子的n型OFET，均无法得到互补电路。

[0008] 此外在互补电路中，电路的性能受电子和空穴传输平衡的影响很大，传输性能较差的一方将成为严重限制电路工作的瓶颈。即使在其他方面做很多的优化，使空穴迁移率(μ_p)和电子迁移率(μ_n)分别都很高，但如果空穴迁移率和电子迁移率之间的平衡性较差，电路性能也无法得到进一步提升。因此，提高半导体器件中空穴和电子传输的平衡性对于提高器件性能有着非常重大的意义。

[0009] 半导体器件中空穴和电子传输的平衡性可以用μ_p和μ_n之间的接近程度来表示，两者越接近，则空穴和电子传输之间的平衡性越好。这种平衡性可以用平衡系数B衡量，B的计算公式为B=|lg(μ_p/μ_n)|，B越小，表示空穴迁移率和电子

迁移率之间越接近，空穴和电子传输之间平衡性越好；10倍以内的迁移率差距属于可接受的平衡范围，即在 $0.1 \mu_p \leq \mu_n \leq 10 \mu_p$ 的范围内，认为空穴和电子传输的达到平衡的标准，此时，平衡系数 $B \leq 1$ 。因此平衡系数 $B \leq 1$ 为空穴和电子传输平衡的条件。

[0010] 按照在场效应晶体管中传输载流子能力的不同，可以将有机半导体材料分为三类：p型半导体材料(简称p型材料)，n型半导体材料(简称n型材料)和双极型(ambipolar)半导体材料(简称双极型材料)。p型半导体材料在OFET中主要传输空穴($\mu_p > 100 \mu_n$)；n型半导体材料在FET中主要传输电子($\mu_n > 100 \mu_p$)；双极型半导体材料在FET中既可以传输空穴，也可以传输电子，且 μ_p 与 μ_n 接近($0.01 \leq \mu_p / \mu_n \leq 100$)。p型半导体材料和n型半导体材料统称为单极型(unipolar)半导体材料(简称单极型材料)。为了方便区分，此处关于有机半导体材料分类的判断标准仅依据该种材料被首次制备成OFET后测得的性能，而不是经过各种改性或优化后测得的性能。若在首次报道中仅测得 μ_p 或 μ_n 中的一种，则说明该种材料易表现出单一的载流子传输性能，认为该种材料为单极型半导体材料，而不是双极型半导体材料。例如，常用的红荧烯、并五苯，以及并五苯衍生物(例如，TIPS-pentacene)均为常见的p型材料。

[0011] 有机半导体的聚集态结构对于有机电子器件的性能有很大的影响。按照分子排列的有序性，有机半导体的聚集态结构可分为单晶(single crystal)、多晶和无定型。有机半导体单晶简称为有机单晶(organic single crystal)，在三种形态中具有最高的有序性。对于同一有机半导体材料而言，单晶聚集态具有最高的有序性、最少的缺陷，并且没有晶界，传输载流子时散射作用最小，载流子的传输性能最高。已被证明，有机单晶的长程有序性非常有利于提高载流子的迁移率(carrier mobility)和激子扩散长度(excitations diffusion length)，从而有利于有机电子性能的提高。

[0012] 单独使用仅由p型材料构成的p型OFET或仅由n型材料构成的n型OFET无法得到互补电路。使用双极型材料可以得到既能传输空穴，也能传输电子的双极型OFET。但是与单极型材料相比，双极型材料分子结构更为复杂，常需要在单极型材料分子的基础上进行复杂的修饰、化学连接及筛选才能得到，增加了材

料合成与生产的步骤与难度，不利于产业应用。因此，双极型半导体材料相比于单极型半导体材料而言，可选择材料更少。例如，(Z.Cai, et al. Chem.-Asian J. 9(2014)1068 - 1075.) DPP(diketopyrrolopyrrole)是一种p型材料(结构见该图2中的(a))，通过对DPP分子进行复杂的修饰后，才得到了具有双极型材料DPP-F2(含E-(1,2-difluoro-vinyl)基团的diketopyrrolopyrrole衍生物)(结构见该图2中的(b))。DPP-F2分子相比DPP分子更加复杂，更难合成且结构更加不对称，不利于获得单晶结构。不当的修饰甚至无法得到双极型材料。因此，双极型材料比单极型材料更难获得，材料选择性更小，因而更难以应用于产业化中。相较于双极型半导体材料，单极型半导体材料(p型或n型)的分子结构更为简单。简单的分子结构一方面降低了单极型半导体材料的合成成本，可供选择的材料种类更多，使其更适合产业化应用，另一方面也使得单极型半导体材料更容易结晶，制得高性能的OFET。

[0013] 而在单极型半导体材料中，p型材料相较于n型半导体材料也具有更大的产业化应用优势。这是因为p型材料在用于OFET时，在迁移率大小、空气稳定性、材料选择丰富性方面普遍优于n型材料(Zhao Y, Guo Y, Liu Y. 25th Anniversary Article: Recent Advances in n-Type and Ambipolar Organic Field-Effect Transistors[J]. Advanced Materials, 2013.

[0014] 综上所述，在p型材料、n型材料和双极型材料三类有机半导体材料中，p型材料的种类最丰富、研究最充分、最有望首先实现大规模的产业化应用。

[0015] 高功函数金属用于有机场效应晶体管时存在以下的优势和问题：

[0016] 功函数(workfunction，缩写为WF，简称功函)是电极材料的一个重要物理参数。材料的功函数是指材料真空能级(VL)与费米能级(E_F)之间的能量差($WF = VL - E_F$)。根据材料功函数的高低，可以将电极材料分为高功函数电极材料和低功函数电极材料。当材料的功函数 $\geq 4.5\text{eV}$ 时，认为其是高功函数电极材料，如金(Au, 5.1eV)、铂(Pt, 5.65eV)、铜(Cu, 4.65eV)、铬(Cr, 4.6eV)、氧化铟锡(ITO, 4.8eV)等；当材料的功函数 $< 4.5\text{eV}$ 时，认为其是低功函数电极材料，如钙(Ca, 2.87eV)、铯(Cs, 2.14eV)、钡(Ba, 2.7eV)、镁(Mg, 3.66eV)、铝(Al, 4.28eV)、银(Ag, 4.26eV)等。材料的功函数可通过紫外光电子能谱仪(UPS)或开尔文探针显微镜(KPFM)测得。

- [0017] 电极材料的功函和有机半导体材料的能级之间的匹配程度会对OFET中载流子的传输产生较大影响。高功函电极材料用作OFET的源漏电极时，有利于OFET表现出空穴传输性质，但不利于OFET表现出电子传输性质；相反，低功函电极材料用作OFET的源漏电极时，有利于OFET表现出电子传输的性质，但不利于OFET表现出空穴传输的性质(J.Fidyk, et al. Polymers(Basel).12(2020)1 – 14.N.B.Kotadiya, et al. Nat. Mater.17(2018)329 – 334; Y.Zhou, et al. Science(80–).336(2012)327 – 332.
- [0018] 另一方面，电极材料，特别是金属材料的功函与材料失去电子的能力，即被氧化的能力有关。功函越高，材料越不容易被氧化，用作电极时化学稳定性就越强。从这一方面看，电极材料的功函越高越好。
- [0019] 综上所述，高功函电极材料空气稳定性好，用作电极时能延长使用寿命，在产业化应用中具有优势，但是由于高功函电极材料不利于OFET中电子的传输，目前普遍存在如下技术问题：在由p型材料构成的OFET中，使用高功函电极材料作为电极，无法得到较高的 μ_p 和 μ_n ；同时，无法使 μ_n 与 μ_p 相当。
- [0020] 综上所述，要实现互补电路及发光晶体管的良好应用，必须要实现OFET中高空穴迁移率和高电子迁移率的共存，以及空穴迁移率与电子迁移率的平衡性较好。目前有如下三种实现方式：
- [0021] 1.分别使用p型材料和n型材料来传输空穴和电子。但是n型材料相较于p型材料普遍存在迁移率较低、空气稳定性较差，研究滞后，选择更少，因而限制了互补电路和发光晶体管等应用的发展。
- [0022] 2.使用能同时传输空穴和电子的双极型材料。但是双极型材料的分子结构复杂，合成步骤繁琐，可供选择的材料种类少，提高了产业化应用的成本；且复杂的分子结构不利于双极型材料分子的结晶，难以得到高性能的单晶来提高OFET的迁移率。
- [0023] 3.在仅使用p型材料的OFET中，使用有利于电子传输的低功函电极材料作为源漏电极，来提高其中的电子迁移率。但是低功函电极材料的空气稳定性差，在空气中容易被氧化而影响性能。

- [0024] 使用高功函电极材料作为源漏电极，同时仅使用单晶结构的p型材料来获得OFET(这类OFET简称为HM-p-OSC-FET)，在应用上具有很大的优势，HM-p-OSC-FET取材丰富(p型半导体材料研究成熟，种类丰富)、性能优异(单晶结构有利于高性能的载流子传输)且电极性能稳定,具有广阔的应用前景。但是由于p型材料传输电子的能力较弱，且高功函电极材料不利于OFET中电子的传输，因此普遍存在HM-p-OSC-FET的电子迁移率低，且 μ_p 和 μ_n 平衡性差的技术问题。在HM-p-OSC-FET中实现高的 μ_n ，可以进一步扩大其应用范围，减少有机集成电路中需要利用的OFET的种类，从而简化电路设计和制备的工艺，提高电路集成度，对于实现有机集成电路的高度集成化、高性能化和产业化具有重大的意义。
- [0025] 针对HM-p-OSC-FET难以获得高电子迁移率以及平衡的 μ_p 和 μ_n 的问题，现有技术主要有以下2种：
- [0026] 现有技术1：在p型有机半导体单晶的基础上另外沉积可以传输电子的n型半导体材料，形成双层异质结的结构。(参见参考文献1：Y.Zhang,et al.Journal of the American Chemical Society.132(2010)11580 - 11584和参考文献2：Fan C,et al.Advanced Materials,2013,25(40).)但是该类方案存在以下问题：，1)需要分别沉积两种材料，工艺复杂，不好控制；2)上层材料中的载流子传输发生在异质结界面处，该界面难以调控，容易因为材料之间结合不好而产生各种缺陷，影响载流子传输的性能，使空穴和电子迁移率下降；3)另外，该方法中依旧用到了n型半导体材料，因此仍需研究n型半导体的性质，而无法充分利用p型半导体种类多，性能好的优势。(X.Zhu,et al.Small.15(2019)1 - 8.
- [0027] 现有技术2：使用带有反应基团的长链烷烃(自组装分子单层，SAM)修饰电极来改变电极材料的功函数。(Cheng X,et al.Advanced Functional Materials,19.15(2009):2407-2415.)但这种方法存在以下问题：1)必须通过反应基团和电极的反应来实现，仅适用于先沉积电极后沉积半导体的情况；2)先沉积电极的方案会影响半导体单晶的生长，难以得到高质量的有机单晶和高迁移率的OFET。上述案例中的FET的空穴和电子迁移率仅为 $10^{-3}\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ 的水平。3)自组装分子层的反应复杂，难以控制，容易因为产生多层修饰层、或修饰不完全等原

因影响效果；4)目前仅被用于由双极型材料构成的OFET中改善载流子传输的平衡性，未被用于p型材料构成的OFET中来提高电子迁移率。

[0028] 综上所述，现有技术未见仅采用p型有机半导体材料和使用高功函电极材料而获得高空穴迁移率和电子迁移率，且空穴迁移率和电子迁移率平衡，使得平衡系数 $B \leq 1$ 的有机场效应晶体管。

[0029] 发明内容

[0030] 针对现有技术的不足，本发明提供了一种有机场效应晶体管及其制备方法，所述有机场效应晶体管结构简单、制备方便、成本低廉，仅使用了发展较为充分的p型有机半导体材料，以及在空气中稳定的高功函电极材料，而避免了使用发展较为滞后的n型材料，以及容易被空气氧化的低功函电极材料，所述有机场效应晶体管可以表现出高空穴迁移率和电子迁移率，且空穴迁移率和电子迁移率平衡，使得平衡系数 $B \leq 1$ ，克服了p型有机半导体材料不利于传输电子、难以获得高电子迁移率的技术偏见，使用高功函电极材料在保证高电子迁移率的前提下延长了电极在空气环境中使用寿命，克服了高功函导电材料用作OFET电极时不利于电子迁移率提高的技术偏见，在有机互补电路和发光晶体管等中具有很好的应用前景。

[0031] 为了解决本发明的现有问题，本发明采用以下技术方案：

[0032] 本发明提供了一种有机场效应晶体管，所述的有机场效应晶体管依次包括第一导电层、有机半导体层、绝缘层、第二导电层；

[0033] 所述的第一导电层由功函数4.5eV以上的导电材料构成；

[0034] 所述的有机半导体层由p型有机半导体单晶构成；

[0035] 所述的绝缘层由绝缘材料构成；

[0036] 所述的第二导电层由电导率 1S/m 以上的材料构成；

[0037] 本发明的有机场效应晶体管是由特定的材料和制备方法组成了特定结构，必须严格满足以下的所有条件才能制得具有本发明技术效果的有机场效应晶体管：依次包括第一导电层、有机半导体层、绝缘层、第二导电层，且所述的第一导电层由功函数4.5eV以上的导电材料构成；所述的有机半导体层由p型有机半导体单晶构成；所述的绝缘层由绝缘材料构成；所述的第二导电层由电导率 1S/m 以

上的材料构成，以上条件缺一不可；通过对比例1-11可知，改变第一导电层材料使得空穴迁移率低、空气稳定性差，缺少第一导电层器件无法工作，改变半导体层的材料使得器件性能变差，缺少有机半导体层器件无法工作，缺少绝缘层或者改变第一导电层厚度等参数器件发生短路，因此可知本发明只有同时满足以上条件，才能发挥整体协同作用制得本发明的使用单一p型有机半导体材料构成的有机场效应晶体管，达到第一导电层具有良好的空气稳定性，进一步的能达到空穴迁移率 μ_p 和电子迁移率 μ_n 同时 $\geq 0.5\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ，且平衡系数 $B \leq 1$ 的性能。

[0038] 进一步的，所述的第一导电层、绝缘层、第二导电层分别独立选自单层或多层薄膜。

[0039] 优选的，所述的有机场效应晶体管同时满足：空穴迁移率 $\mu_p \geq 0.5\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ，电子迁移率 $\mu_n \geq 0.5\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ，且满足平衡系数 $B \leq 1$ ，所述平衡系数B的计算公式为： $B = |\lg(\mu_p / \mu_n)|$ ；

[0040] 其中，所述第一导电层作为OFET的电极存在，一般包含源极和漏极两个相互分离的电极，起到连接外部电路、承担电压、向有机半导体层内注入空穴和电子的作用。构成第一导电层的电极材料的功函数，与电极材料的抗氧化性有很大的关系：功函数越大，电极材料的抗氧化性越强，电极材料在空气中工作的稳定性就越好。为了保证空气稳定性，要求构成第一导电层的电极材料功函在4.5eV以上。电极材料的功函可以根据材料的紫外光电子能谱(UPS)数据计算得到。计算公式为： $\Phi = h\nu - (E_{\text{cutoff}} - E_F)$ 。其中 Φ 即为导电材料的功函数； $h\nu$ 为仪器提供的光子能量，为21.22eV； E_{cutoff} 为从UPS谱图中得到的材料的二次电子截止边数据； E_F 为从UPS谱图中得到的材料的费米边数据，对于与仪器具有良好接触的导电样品，费米边数据为0。因此，电极材料的功函数为 $21.22 - E_{\text{cutoff}}$ 。优选的，所述的第一导电层为高功函导电材料(功函数4.5eV以上)构成的单层或多层薄膜。

[0041] 所述有机半导体层是OFET中的核心结构，是电子和空穴传输的通道，起到传输载流子、导通电流的作用。p型有机半导体材料在性能、稳定性和取材丰富性方面普遍优于n型半导体材料，因此选用p型有机半导体材料构建有机半导体

层。对于同一有机半导体材料而言，单晶聚集态具有最高的有序性、最少的缺陷和晶界，传输载流子时散射作用最小，载流子的传输性能最高。已被证明，有机单晶的长程有序性非常有利于提高载流子的迁移率(carrier mobility)和激子扩散长度(excitations diffusion length)，从而有利于有机电子性能的提高。因此选择p型有机半导体单晶作为有机半导体层。

[0042] 所述绝缘层在OFET中起到将作为栅极的第二导电层和用于传输电荷的第一导电层、有机半导体层隔绝开，防止第一导电层、有机半导体层形成的复合结构，和第二导电层之间形成导电通路，以保证OFET能正常工作(结构见图4)。因此，用于绝缘层的材料需要具有较好的绝缘性质，即要求绝缘层由绝缘材料构成。

[0043] 所述第二导电层构成了OFET的栅极，起到提供栅极电压、控制OFET开启或关闭的功能。为了保证第二导电层较好的导电性，要求构成第二导电层的材料的电导率在1S/m以上。OFET的迁移率是表征OFET开启或关闭速度的重要参数，在其他条件相同的情况下，迁移率越高，表示OFET的开启或关闭的速度越快，OFET的性能越好。迁移率 μ 可分别用空穴迁移率 μ_p 和电子迁移率 μ_n 来表征。为了保证OFET的性能，要求OFET的 μ_p 和 μ_n 均 $\geq 0.5\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ 。平衡系数B是表征OFET中 μ_p 和 μ_n 接近程度的参数。平衡系数的计算公式为： $B = |\lg(\mu_p/\mu_n)|$ 。B越小，表示空穴迁移率和电子迁移率之间越接近，空穴和电子传输之间平衡性越好；理想情况下， $B=0$ 时， $\mu_p = \mu_n$ ，空穴传输和电子传输之间完全平衡。为了保证OFET在互补电路、发光晶体管等常见应用中能充分发挥性能，要求OFET的 $B \leq 1$ 。

[0044] 进一步的，所述的有机半导体层为HOMO能级 $\geq -5.5\text{eV}$ ，带隙宽度 $\geq 1.8\text{eV}$ 的有机材料构成的单晶薄膜。HOMO能级是“最高占据分子轨道”的简称，是有机半导体材料中的一个重要参数。空穴在有机半导体的HOMO能级传输，HOMO能级过低的有机半导体材料用于OFET时不利于空穴的传输，因此要求选择的有机材料HOMO能级 $\geq -5.5\text{eV}$ 。带隙宽度是指导带底与价带顶之间的能量差，也称为禁带宽度。合适的带隙宽度，保证了其有机半导体的本征特性，可以实现场效应调控。单晶薄膜是由单晶或者单晶阵列构成的薄膜，可

以由一片连续的厚度较小的单晶构成，也可以是由多个单晶组成的单晶阵列构成。

[0045] 进一步的，所述的第一导电层和有机半导体层中存在偶极矩大于1德拜(D)的极性有机小分子；优选的，所述的第一导电层和有机半导体层之间存在偶极矩大于1德拜(D)的极性有机小分子层；优选的，所述的极性有机小分子层可以使第一导电层和有机半导体层之间的电子注入势垒降低0.05eV以上。

[0046] 在OFET中，空穴和电子从第一导电层注入到有机半导体层中。空穴和电子注入效果的好坏将直接影响OFET中测得的空穴迁移率和电子迁移率。空穴和电子的注入效果受第一导电层的材料和有机半导体的材料能级匹配程度的影响。其他条件相同的情况下，能级越匹配，空穴或电子注入的效果越好，越有利于OFET迁移率的提高。对于由p型有机半导体材料和高功函导电材料构成的OFET而言，空穴注入效果较好，而电子注入效果很差，因此，OFET一般表现出空穴迁移率远高于电子迁移率，甚至无法测得电子迁移率的情况。极性有机小分子起到了调节第一导电层和有机半导体层界面处能级结构，降低电子从第一导电层注入有机半导体层的势垒，从而使电子和空穴能够更加平衡地从第一导电层注入到有机半导体层的作用。极性有机小分子引入的偶极矩是实现能级调控的重要因素，为了实现有效的能级调控，要求极性有机小分子的偶极矩大于1德拜(D)。偶极矩的单位为[德拜，D]， $1D=3.33 \times 10^{-30}$ 库伦·米。

[0047] 优选的，在第一导电层和有机半导体层之间形成极性有机小分子层则意味着引入更多的极性有机小分子，更加有利于实现极性有机小分子调节第一导电层和有机半导体层之间能级结构的效果。所述的第一导电层和有机半导体层之间是指位置上位于第一导电层和有机半导体相互接触的界面处。

[0048] 极性有机小分子的作用是降低电子从第一导电层进入有机半导体层的注入势垒，使电子更容易从第一导电层进入有机半导体层，从而实现平衡的空穴和电子传输。优选的，所述的极性有机小分子层可以使第一导电层和有机半导体层之间的电子注入势垒降低0.05eV以上。

[0049] 电子注入势垒的降低可以通过开尔文探针显微镜(KPFM)测得。具体测试方法如下：首先使用第一导电层材料和有机半导体层材料分别制备导电层薄膜和有

机半导体层薄膜，使用KPFM分别测试导电层薄膜和有机半导体层薄膜表面的费米能级EF1和EF2；再用极性有机小分子分别处理导电层薄膜和有机半导体层薄膜的表面(处理方法与向OFET中引入极性有机小分子的方法相同)，随后再次用KPFM测试导电层薄膜和有机半导体层薄膜表面的费米能级EF1'和EF2'。注入势垒降低量 Δ 通过公式 $\Delta = (EF1' - EF1) + (EF2 - EF2')$ 进行计算。

[0050] 进一步的，所述的偶极矩大于1D的极性有机小分子的分子量小于50Da。极性有机小分子的分子量可以用构成极性小分子的原子个数表示。50Da表示构成1个极性有机小分子的所有原子的个数为50个。

[0051] 进一步的，所述的极性有机小分子在一个大气压下凝固点小于25℃。凝固点表示物质凝固成为固体所需的最高温度：温度低于凝固点，物质为固体；温度高于凝固点，物质为液体。物质的凝固点与物质所处环境的压强有关。极性有机小分子在一个大气压下凝固点小于25℃，表示这种极性有机小分子在正常的大气压强环境中，在环境温度高于25℃以上时，必定为液体状态。

[0052] 进一步的，所述的极性有机小分子选自含有羟基、氰基、羧基、巯基、胺基、酰胺基的极性有机小分子中的至少一种；作为更优选，极性有机小分子选自甲醇、乙醇、丙醇、异丙醇、丁醇、乙二醇、甲酸、乙酸、丙酸、乙腈、乙醛、乙硫醇、丙硫醇、丙酮、四氢呋喃、N' N-二甲基甲酰胺中的至少一种。

[0053] 进一步的，所述的有机场效应晶体管还可以包括：绝缘衬底和/或封装层；

[0054] 本发明还提供一种有机场效应晶体管的制备方法，包括如下步骤：

[0055] 1)在绝缘衬底表面依次沉积第二导电层和绝缘层，在绝缘层上沉积有机半导体层；所述第二导电层的沉积方法选自气相沉积法、溶液法的一种或多种；所述绝缘层的沉积方法选自气相沉积法、溶液法、原子层沉积法、原位氧化法的一种或多种；

[0056] 2)将所述沉积有第二导电层、绝缘层和有机半导体层的绝缘衬底置于极性有机小分子氛围中处理10s~2h，使极性有机小分子液体或蒸气与有机半导体层表面充分接触，随后将沉积有第二导电层、绝缘层和有机半导体层的绝缘衬底与极性有机小分子氛围分离；

- [0057] 3)在有机半导体层表面沉积厚度为30 ~ 1000nm的第一导电层作为电极，得到所述有机场效应晶体管；
- [0058] 所述的第一导电层由功函数4.5eV以上的导电材料构成；
- [0059] 所述的有机半导体层由p型有机半导体单晶构成；
- [0060] 所述的绝缘层由绝缘材料构成；
- [0061] 所述的第二导电层由电导率1S/m以上的材料构成；
- [0062] 由于p型材料不利于传输电子，且高功函电极材料不利于OFET中电子的注入，使得p型有机场效应晶体管的电子迁移率低、 μ_p 和 μ_n 平衡性差，本发明对第一导电层、有机半导体层、绝缘层、第二导电层的沉积顺序，选择高功函材料作为第一导电层、p型有机半导体单晶作为半导体层、绝缘材料构成绝缘层、电导率1S/m以上的材料构成第二导电层、控制第一导电层的沉积厚度这些制备条件进行整体性的精确调控，配合极性有机小分子处理及精确控制处理时间对p型有机半导体单晶的调控作用，形成整体协同作用，才能制备得到本发明所述高空穴迁移率和高电子迁移率，且平衡系数 ≤ 1 的有机场效应晶体管。
- [0063] 进一步的，所述的第一导电层、绝缘层、第二导电层分别独立选自单层或多层薄膜；
- [0064] 优选的，步骤3)中，所述沉积厚度为30 ~ 100nm；更优选的，所述沉积厚度为100nm。
- [0065] 所述步骤1)中，所述第二导电层可以通过气相沉积法沉积的金属、合金、导电金属氧化物、无机非金属，也可以是通过溶液法沉积的金属纳米粒子、导电聚合物，还可以是高掺杂的硅，以及上述材料的叠加。绝缘层可以通过化学气相沉积法、原子层沉积法、原位氧化法的绝缘金属氧化物、非金属氧化物或氮化物，也可以是通过溶液法、气相沉积法沉积得到的聚合物，还可以是通过溶液法或气相沉积法得到的自组装小分子，以及上述材料的叠加。所述绝缘衬底表面是指绝缘衬底上，具有绝缘性质，且光滑平整的一面。对于两个表面(因为所用的绝缘衬底一般厚度较小，所以只考虑两个主要表面，而不考虑侧面)相同的绝缘衬底，可选任何一表面用于材料沉积和器件制备；对于两个表面不同的绝缘衬底，应当选择绝缘性更好、粗糙度更小的表面用于材料沉积和器件制

备。在同一个完整的OFET结构中，第二导电层、绝缘层、有机半导体层和第一导电层均沉积在绝缘衬底的同一侧表面上；而制备多个OFET时，不同的OFET可以分别制备在同一绝缘衬底的不同表面上。

[0066] 第二导电层和绝缘层均可以为单层或多层结构。当使用表面含有氧化层的重掺杂硅时，可以不使用绝缘衬底，而直接使用重掺杂硅的导电部分作为第二导电层，使用重掺杂硅表面的氧化层(二氧化硅)作为绝缘层，在二氧化硅表面还可以修饰聚合物、自组装小分子层形成多层结构的绝缘层。p型有机半导体单晶可以通过原位生长的方式直接沉积在衬底表面，也可以先在其他地方生长，再通过转移的方法转移到衬底表面。p型有机半导体单晶可通过溶液法、气相法生长得到。

[0067] 所述步骤2)中，为了使p型有机半导体单晶表面存在极性有机小分子，需要先使极性有机小分子先与有机半导体单晶表面接触，再除去有机半导体单晶表面的极性有机小分子液体。使极性有机小分子与有机半导体单晶表面接触的方法有液滴接触法和蒸气接触法。液滴接触法是指将极性有机小分子液体通过滴加、喷雾、打印、浸泡、冲洗等方法添加到有机半导体单晶的表面，并且使有机半导体单晶表面完全被极性有机小分子液体覆盖，以达到两者充分接触的目的；蒸气接触法是指将极性有机小分子液体通过蒸发的方式成为蒸气，将有机半导体单晶放置在极性有机小分子的蒸气氛围中，使有机半导体单晶表面与极性有机小分子充分接触的方法。对于液滴接触法，可通过旋涂、自然干燥、气体吹扫等方式使有机半导体单晶和极性有机小分子氛围分离；对于蒸气接触法，可通过将有机半导体单晶移出蒸气氛围，再自然干燥的方法使有机半导体单晶和极性有机小分子氛围分离。

[0068] 所述步骤3)中，第一导电层可以通过物理气相沉积法(包括真空蒸镀、溅射、离子镀)、化学气相沉积、溶液打印法等方法直接沉积在有机半导体单晶表面，也可以通过将现有的导电材料膜转移到有机半导体单晶表面的方式进行间接沉积。

[0069] 由于p型材料不利于传输电子，且高功函电极材料不利于OFET中电子的注入，使得p型有机场效应晶体管的电子迁移率低、 μ_p 和 μ_n 平衡性差，本发明对第

一导电层、有机半导体层、绝缘层、第二导电层的沉积顺序，选择高功函材料作为第一导电层、p型有机半导体单晶作为半导体层、绝缘材料构成绝缘层、电导率 1S/m 以上的材料构成第二导电层、控制第一导电层的沉积厚度这些条件进行整体性的精细调控，配合极性有机小分子处理及精确控制处理时间对p型有机半导体单晶的调控作用，才能制备得到本发明所述高空穴迁移率和高电子迁移率，且平衡系数 ≤ 1 的有机场效应晶体管。

[0070] 本发明还提供一种光电器件：所述的光电器件包括如前所述的有机场效应晶体管，所述的光电器件选自发光晶体管、存储器、传感器、显示器。

[0071] 本发明还提供一种有机电路：所述的有机电路包括如前所述的有机场效应晶体管，所述的有机电路选自门电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路、放大电路中的至少一种电路组合而成的电路。

[0072] 本发明还提供一种光电集成阵列，所述的光电集成阵列包含一个或多个如前所述的光电器件和如前所述的有机电路。(如图3所示)。

[0073] 进一步的，如前所述的有机场效应晶体管、如前所述的有机场效应晶体管制备方法、如前所述的光电器件、如前述的有机电路以及如前所述的光电集成阵列在半导体器件、交通物流、采矿冶金、环境、医疗器械、防爆检测、食品、水处理、制药、生物领域的用途。

[0074] 与现有技术相比，本发明的有益效果在于：

[0075] 1)克服技术偏见，首次利用p型有机半导体单晶和高功导电材料获得了高空穴迁移率和电子迁移率，且空穴迁移率和电子迁移率平衡的有机场效应晶体管，使得空穴迁移率 $\mu_p \geq 0.5\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ，电子迁移率 $\mu_n \geq 0.5\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ，且满足平衡系数 $B \leq 1$ ，；

[0076] 2)使用了研究成熟、种类丰富、性能优异的p型有机半导体单晶材料，使有机场效应晶体管能在方便取材的情况下获得高空穴迁移率和高电子迁移率，并且空穴和电子传输的达到平衡，克服了p型有机半导体材料不利于传输电子、难以获得高电子迁移率的技术偏见；

[0077] 3)使用了在空气中稳定性好的高功函导电材料作为电极，在延长电极在空气中使用寿命的前提下获得了高的电子迁移率，克服了高功函导电材料用作OFET电极时，不利于电子迁移率提高的技术偏见。

附图说明

- [0078] 图1为OFET结构以及转移特性曲线图，图1中的(a)为表示OFET结构的截面图；图1中的(b)为OFET的俯视图，从俯视图中可以测量得到沟道长度 L 和沟道宽度 W ；图1中的(c)为n型转移特性曲线图，可用于计算电子迁移率 μ_n ；图1中的(d)为p型转移特性曲线图，可用于计算空穴迁移率 μ_p ；
- [0079] 图2为有机半导体分子DPP(a)和DPP-F2(b)的结构示意图(Cai,Z.,Luo,H.,Chen,X.,Zhang,G.,Liu,Z.,&Zhang,D.Chemistry - An Asian Journal,2014, 9(4),1068-1075.)，可以看出DPP-F2分子是经过对DPP进行复杂的修饰后得到的；
- [0080] 图3为本发明的光电集成阵列效果示意图；
- [0081] 图4为有机场效应晶体管的结构示意图，依次包含第一导电层、有机半导体层、绝缘层和第二导电层；
- [0082] 图5为测得的金的紫外光电子能谱图；
- [0083] 图6为实施例1的TIPS-pentacene单晶阵列的(a)光学显微镜照片和(b)正交偏振光下的显微镜照片图；
- [0084] 图7中的(a)为实施例1的OFET的光学显微镜照片图，可用于计算沟道长度 L 和沟道宽度 W ；图7中的(b)为半导体层未完全覆盖电极限制区域时的情况图，此时的 W 应该以实际的半导体范围为准；
- [0085] 图8为实施例1的转移特性曲线图，图8中的(a)为p型转移特性曲线图，可用于计算空穴迁移率，图8中的(b)为n沟道下的转移特性曲线图，可用于计算电子迁移率；
- [0086] 图9为实施例2的TIPS-pentacene单晶光学显微镜照片图；
- [0087] 图10为对比例1和实施例1中的第一导电层材料在经过空气暴露前后的电阻变化图，图10中的(a)为对比例1暴露在空气中之前第一导电层(钙)的电阻，为 22Ω ，图10中的(b)为对比例1暴露在空气中5分钟后第一导电层的电阻，为 8810Ω ，图

10中的(c)为实施例1暴露在空气中之前第一导电层(金)的电阻,为 15Ω ,图10中的(d)为实施例1暴露在空气中5分钟后第一导电层的电阻,为 17Ω ;

[0088] 图11为对比例2中有机半导体单晶的光学显微镜照片图,图11中的(a)为TIPS-pentacene单晶和C60单晶,图11中的(b)为未接触过TIPS-pentacene溶液的C60单晶;

[0089] 图12中的(a)为对比例3中的TIPS-pentacene多晶薄膜光学显微镜照片图,图12中的(b)为对比例3中OFET的转移特性曲线图;

[0090] 图13中的(a)为对比例4中的OFET的p型转移特性曲线图;图13中的(b)为对比例4中的OFET的n型转移特性曲线图。

具体实施方式

[0091] 下面结合实施例和附图详细说明本发明。需要说明的是,以下实施例仅用于说明本发明而不适用于限制本发明的范围。此外应理解,在阅读了本发明讲授的内容之后,本领域技术人员可以对本发明作各种改动或修改,这些等价形式同样落于本申请所附权利要求书所限定的范围。

[0092] 需要说明的是,以下实施例中所用材料的厚度为经过优化后选定的厚度,或商业上可获得的材料规格,并非唯一选择,亦不适用于限制本发明的范围。

[0093] 如图4所示,本发明提供了一种有机场效应晶体管,依次包括第一导电层、有机半导体层、绝缘层、第二导电层,所述的第一导电层由功函数 4.5eV 以上的导电材料构成,所述的有机半导体层由p型有机半导体单晶构成,所述的绝缘层由绝缘材料构成,所述的第二导电层由电导率 1S/m 以上的材料构成,进一步的能达到所述的有机场效应晶体管同时满足:空穴迁移率 $\mu_p \geq 0.5\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$,电子迁移 $\mu_n \geq 0.5\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$,且满足平衡系数 $B \leq 1$,所述平衡系数B的计算公式为: $B = |\lg(\mu_p/\mu_n)|$ 。

[0094] 进一步的,在本发明的一个实施例中,所述有机半导体层可以选自稠环芳烃、含硫杂稠环、含氮杂稠环及其各自的衍生物中的任意一种;更优选的,所述稠环芳烃选自并苯、二萘嵌苯、二苯基蒽、红荧烯中的任意一种;所述含硫杂稠环选自寡聚噻吩、苯并噻吩、四硫富瓦烯中的任意一种;所述含氮杂稠环选自金

属酞菁、金属卟啉中的任意一种；更优选的，所述的有机半导体层为HOMO能级 $\geq -5.5\text{eV}$ ，带隙宽度 $\geq 1.8\text{eV}$ 的有机单晶材料构成的薄膜。

[0095] 进一步的，在本发明的一个实施例中，所述第一导电层的电导率大于 1S/m ；优选的，所述第一导电层选自第一金属、第一导电金属氧化物、第一导电聚合物中的至少一种；更优选的，所述第一金属选自第一金属单质、第一金属合金中的至少一种；更优选的，所述第一金属单质选自金、铜、铂、铬、钴、钯中的至少一种；更优选的，所述第一金属合金选自金、铜、铂、铬、钴、钯中的至少两种的合金；更优选的，所述第一导电金属氧化物选自氧化铟锡、氧化钨、氧化钼、氧化钨中的至少一种；更优选的，所述第一导电聚合物选自聚(3,4-乙烯二氧噻吩)：聚苯乙烯磺酸盐；

[0096] 进一步的，在本发明的一个实施例中，所述绝缘层可以选自绝缘聚合物、绝缘金属氧化物、绝缘非金属氧化物或氮化物、自组装小分子中的至少一种；更优选的，所述的绝缘聚合物选自聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)、聚乙烯醇(PVA)、聚乙酸乙烯酯、聚酰亚胺(PI)、聚偏氟乙烯、聚偏氟乙烯共聚物、聚偏氟乙烯-三氟乙烯-氯氟乙烯、聚苯乙烯、聚- α -甲基苯乙烯、聚乙烯吡咯烷酮、聚乙烯基苯酚、聚对二甲苯(派瑞林)、聚苯并环丁烯、全氟(1-丁烯基乙烯基醚)聚合物、氟乙基普鲁烷中的至少一种；更优选的，所述绝缘金属氧化物选自氧化铝、氧化钛、氧化钽、氧化铪中的至少一种；更优选的，所述的绝缘非金属氧化物或氮化物选自二氧化硅、氮化硅中的至少一种；更优选的，所述自组装小分子选自含硅烷基的自组装小分子、含磷酸基的自组装小分子、含硫醇基的自组装小分子中的至少一种；优选的，所述绝缘层为单层或多层薄膜。

[0097] 其中，所述的聚合物是指交联或者非交联的绝缘聚合物，所述绝缘金属氧化物是指具有绝缘性质的金属氧化物，所述的非金属氧化物或氮化物是指具有绝缘性质的非金属氧化物或氮化物。需要说明的是，在绝缘层、第一导电层以及第二导电层中，均可使用金属氧化物材料，但是用于绝缘层的金属氧化物为具有绝缘性质的绝缘金属氧化物，如氧化铝、氧化钛、氧化钽、氧化铪，而用于第一导电层或第二导电层的金属氧化物为具有导电性质的导电金属氧化物，如氧化铟锡、氧化钨，应当注意区分。

[0098] 进一步的,在本发明的一个实施例中,所述第二导电层可以选自第二金属、第二导电金属氧化物、第二导电聚合物、导电无机非金属中的至少一种;优选的,所述第二金属选自第二金属单质或第二金属合金;优选的,所述第二金属单质选自金、银、铜、铁、铝、锌、锡、钛、铂、铬、钴、钼、锰、镍、镁、铅、镓中的至少一种;更优选的,所述第二金属合金选自金、银、铜、铁、铝、锌、锡、钛、铂、铬、钴、钼、锰、镍、镁、铅、镓中的至少两种的合金;更优选的,所述第二导电金属氧化物选自氧化铟锡、氧化钨、氧化钒、氧化钽、氧化铁、氧化镍、氧化锌、氧化银中的至少一种;更优选的,所述第二导电聚合物选自聚(3,4-乙烯二氧噻吩):聚苯乙烯磺酸;更优选的,所述导电无机非金属选自硅、石墨、碳纤维、碳纳米管中的至少一种。更优选的,所述第二导电层为单层或多层薄膜。

[0099] 在本发明的一个实施例中,所述的极性有机小分子选自含有羟基、氰基、羧基、巯基、羰基、酰胺基的极性有机小分子中的至少一种;更优选的,所述极性有机小分子选自甲醇、乙醇、丙醇、异丙醇、丁醇、乙二醇、甲酸、乙酸、丙酸、乙腈、乙醛、乙硫醇、丙硫醇、丙酮、四氢呋喃、N',N'-二甲基甲酰胺中的至少一种;更优选的,所述的第一导电层和有机半导体层之间存在偶极矩大于1D的极性有机小分子层;更优选的,所述的极性有机小分子层可以使第一导电层和有机半导体层之间的电子注入势垒降低0.05eV以上。

[0100] 进一步的,所述的有机场效应晶体管还可以包括:绝缘衬底和/或封装层;进一步的,所述的绝缘衬底为表面绝缘的衬底,在OFET的制备和使用过程中作为支撑结构存在,可以是刚性或者柔性的结构。为了避免多个OFET制备在同一衬底上产生相互干扰,衬底表面需要绝缘。在一些特殊情况下,当第二导电层本身具有一定的力学强度,可以起到支撑作用时,可以不含有绝缘衬底。例如使用重掺杂的硅片或者较厚的铜箔(可以导电)作为第二导电层时,由于第二导电层本身为刚性,可以起到支撑作用,因此可以不额外使用绝缘衬底。需要注意的是,当使用表面含有绝缘的氧化层(氧化层成分为二氧化硅)的重掺杂硅片时,存在两种情况。第一种情况为,重掺杂硅片的导电部分作为第二导电层,其表面的氧化层作为绝缘层,作为OFET的电学功能组成部分(区别于仅用作支撑的

力学功能部分)使用。第二种情况为, 仅将含有氧化层的重掺杂硅片作为绝缘衬底使用, 在绝缘衬底上另外沉积导电材料、绝缘材料来形成第二导电层和绝缘层。上述两种情况均为常见情况。所述的绝缘衬底选自含有氧化层的硅片、玻璃、陶瓷、绝缘金属氧化物、纸张或聚合物中的至少一种; 优选的, 所述的聚合物可以选自聚萘二甲酸乙二醇酯、聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚醚醚酮、聚酰亚胺、聚碳酸酯、聚醚砜树脂、聚芳脂、聚环烯烃中的至少一种。所述封装层可以起到保护OFET的作用, 为聚合物材料。

[0101] 可以通过带有正交偏振片的光学显微镜、原子力显微镜、扫描电子显微镜、透射电子显微镜、激光共聚焦拉曼光谱仪、单晶衍射仪等分析精细结构的仪器检测有机单晶薄膜, 可以通过开尔文探针显微镜、紫外光电子能谱仪、角分辨光电子能谱仪、紫外吸收光谱、电导率法、泛函数计算等分析导电材料和有机半导体材料的能级结构, 可以通过光学显微镜、原子力显微镜、扫描电子显微镜、透射电子显微镜等检测半导体器件结构, 可以通过半导体参数分析仪、霍尔效应测试仪、扫描探针显微镜、铁电测试仪、量子效率测试仪、瞬态谱仪、太阳能电池测试仪、光电探测系统、显微荧光光谱仪、光谱测试仪、电导测量系统等可以分析光电性能的仪器检测半导体器件的相关性能。

[0102] 为了表征第一导电层的功函数, 使用紫外光电子能谱仪进行表征。为了表征有机半导体单晶的形貌, 使用光学显微镜进行观测。为了表征制得的OFET的空穴迁移率、电子迁移率和平衡系数, 使用半导体参数分析仪获取OFET的特性曲线, 并利用迁移率计算公式和平衡系数计算公式进行计算。

[0103] 实施例1

[0104] 一种基于p型有机半导体单晶6,13-双(三异丙基硅烷基乙炔基)并五苯(TIPS-pentacene)单晶和金的有机场效应晶体管及其制备方法, 包括以下步骤:

[0105] (1)取厚度为525 μm 的p型重掺杂<100>硅片(硅片上有300nm厚的二氧化硅)。在二氧化硅表面旋涂PMMA溶液得到10nm的PMMA聚合物膜; 在沉积有PMMA聚合物膜的硅片表面通过溶液法沉积TIPS-pentacene单晶。

[0106] (2)向沉积有TIPS-pentacene单晶的硅片滴加乙醇, 使乙醇铺满晶体表面; 旋涂除去乙醇液体。

[0107] (3)利用真空蒸镀的方法在晶体表面沉积100nm的金作为第一导电层。制得基于TIPS-pentacene单晶为半导体层，金为源漏电极的OFET。

[0108] 本实施例中，重掺杂的硅可直接作为第二导电层，硅片表面的300nm厚的二氧化硅层(SiO₂)和旋涂得到的PMMA聚合物膜构成的双层结构(SiO₂-PMMA)作为绝缘层。TIPS-pentacene单晶作为有机半导体层，真空蒸镀得到的100nm厚的金作为第一导电层。

[0109] 利用紫外光电子能谱对用作第一导电层的金的功函进行测试。先将金薄膜沉积在导电性能良好的基底上，放入紫外光电子能谱仪中测得紫外光电子能谱。从谱图上可以得到截止边能量 E_{cutoff} 和费米边能量 E_F ，如图5所示。金属的功函 Φ 可用下列公式计算得到： $\Phi = h\nu - (E_{\text{cutoff}} - E_F)$ 。其中 $h\nu$ 为仪器发射的紫外光能量，为21.22eV，对于与仪器电接触良好的金属样品而言， $E_F = 0$ 。从图5中得到的紫外光电子能谱图结合公式可以计算得到，金的功函为 $\Phi = 21.22 - 16.14 = 5.08\text{eV}$ 。利用KPFM测试注入势垒变化，用乙醇处理有机半导体单晶及金表面前后，电子注入势垒降低了0.1eV。

[0110] 有机半导体单晶的判定和单晶形貌可以通过带有正交偏振片的光学显微镜进行表征。有机半导体单晶中高度有序的分子排列使得有机单晶在外观上表现出规整的边缘、规则的几何形貌，并且常表现出光学等性质上的各向异性，可在正交偏振光下观察到均匀颜色变化。图6中的(a)是由多根TIPS-pentacene单晶构成的单晶阵列，具有规整的边缘和规则的几何形貌，且在正交偏振光下表现出了图6中的(b)所示的均匀颜色变化，因此可简单判定为有机单晶阵列。

[0111] 所使用的极性有机小分子的偶极矩为极性有机小分子构成的基本物体参数，可通过文献或溶剂手册简单地查询得到。结果见表1所示。

[0112] OFET的迁移率 μ 可通过下列公式计算得到：

$$\mu = \frac{2L}{WC_i} \left(\frac{\partial \sqrt{I_{DS}}}{\partial V_G} \right)^2;$$

[0113] 其中，L为OFET沟道的长度，W为OFET沟道宽度，可通过光学显微镜得到的OFET照片获得(如图7中的(a)所示)。当半导体层未完全覆盖电极之间的区域时，W应取半导体层的实际宽度(如图7中的(b)所示)。C_i为栅极绝缘层电容，可

通过带有电容分析功能的半导体参数分析仪测得, $\left(\frac{\partial \sqrt{I_{DS}}}{\partial V_G}\right)^2$ 可通过测试在饱和区工作的场效应晶体管的转移特性曲线得到。通过半导体分析仪测得的实施例1中OFET的p型转移特性曲线和n型转移特性曲线分别如图8中的(a)和(b)所示。利用转移特性曲线获得 $\sqrt{I_{DS}} - V_G$ 曲线, 再根据 $\sqrt{I_{DS}} - V_G$ 曲线的斜率可以得到p型和n型下的 $\left(\frac{\partial \sqrt{I_{DS}}}{\partial V_G}\right)^2$, 最后结合OFET的相关参数, 可以计算得到 $\mu_p = 0.85 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$, $\mu_n = 1.05 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$;

[0114] 根据 μ_p 和 μ_n , 可以用 $B = |\lg(\mu_p / \mu_n)|$ 计算得到该OFET的平衡参数 $B = 0.09$ 。

另外需要注意的是, 图8所示的转移特性曲线表现出明显的V形, V型曲线的出现是OFET既能表现出空穴传输, 又能表现出电子传输的一个标志。当曲线无V型特征时, 可判断得到的OFET仅能传输一种类型的载流子。

[0115] 实施例2

[0116] 一种基于p型有机半导体单晶6,13-双(三异丙基硅烷基乙炔基)并五苯(TIPS-pentacene)单晶和金的有机场效应晶体管及其制备方法, 包括以下步骤:

[0117] (1)取厚度为 $525 \mu\text{m}$ 的p重掺杂<100>硅片(硅片上有300nm厚的二氧化硅)。在硅片表面沉积50nm铝作为第二导电层; 随后利用气相沉积法在衬底表面沉积300nm聚对二甲苯(派瑞林)薄膜; 在派瑞林表面通过溶液法沉积TIPS-pentacene单晶。

[0118] (2)向沉积有TIPS-pentacene单晶的硅片滴加甲醇, 使甲醇铺满晶体表面; 用氮气吹扫衬底表面除去残留的甲醇液体。

[0119] (3)利用真空蒸镀的方法在晶体表面沉积100nm的金作为第一导电层。制得基于TIPS-pentacene单晶为半导体层, 金为源漏电极的OFET。

[0120] 实施例2中展示了利用不同于实施例1中形貌的TIPS-pentacene单晶, 其形貌如图9所示。从规整的边缘和规则的几何形貌可以简单判断为单晶。需要注意的是, 不论是图6中的由多根有机半导体单晶构成的单晶阵列, 还是图9中的单个有机半导体单晶, 都属于有机半导体单晶的范围。由TIPS-pentacene单晶构成的

OFET的结构与性能的表征方法与实施例1的方法相同。获得的器件相关参数及性能如表1所示。

[0121] 实施例3

[0122] 一种基于p型有机半导体单晶并五苯单晶和铂的有机场效应晶体管及其制备方法，包括以下步骤：

[0123] (1)在表面平整的玻璃绝缘衬底表面沉积50nm铝作为第二导电层；随后利用原子层沉积法在沉积了铝的绝缘衬底表面沉积30nm氧化铝薄膜；将衬底放入磷酸基的自组装小分子溶液中，使自组装小分子与氧化铝表面反应，形成自组装层。将通过物理气相传输法生长得到的并五苯单晶通过显微探针操作转移到衬底表面。

[0124] (2)将表面沉积有并五苯单晶的玻璃放置在充满丙酮蒸气氛围的密闭容器中，放置2h，使丙酮分子和并五苯单晶表面充分接触。取出衬底，在空气中静置2分钟干燥。

[0125] (3)利用真空溅射的方法在晶体表面沉积100nm的铂作为第一导电层。制得基于并五苯单晶为半导体层，铂为源漏电极的OFET。

[0126] 结构与性能的表征方法与实施例1的方法相同。获得的器件相关参数及性能如表1所示。

[0127] 实施例4

[0128] 一种基于p型有机半导体单晶红荧烯单晶和铂的有机场效应晶体管及其制备方法，包括以下步骤：

[0129] (1)取厚度为525 μm 的p型重掺杂<100>硅片(硅片上有300nm厚的二氧化硅)。在硅片表面沉积2nm钛和50nm金作为第二导电层；随后利用溶液法在沉积有钛和金的硅片表面沉积200nm含有交联聚苯乙烯单体，再通过热交联的方式使单晶交联，得到交联聚苯乙烯绝缘层；利用物理气相传输法生长得到红荧烯单晶，通过显微探针操作将单晶转移到绝缘层表面。

[0130] (2)将沉积有红荧烯单晶的衬底浸泡在乙硫醇中，浸泡10s后迅速取出。自然干燥衬底。

- [0131] (3)利用真空溅射的方法在晶体表面沉积100nm的铂作为第一导电层。制得基于红荧烯单晶为半导体层，铂为源漏电极的OFET。
- [0132] 结构与性能的表征方法与实施例1的方法相同。获得的器件相关参数及性能如表1所示。
- [0133] 实施例5
- [0134] 一种基于p型有机半导体单晶四硫富瓦烯单晶和金的有机场效应晶体管及其制备方法，包括以下步骤：
- [0135] (1)以表面平整的聚酰亚胺柔性薄膜为绝缘衬底，在衬底表面沉积30nm金作为第二导电层；随后利用溶液法在衬底表面沉积300nm聚乙烯醇薄膜，利用溶液法再沉积20nm PMMA薄膜。利用物理气相传输法生长得到四硫富瓦烯单晶，通过显微探针操作将单晶转移到沉积了第二导电层和绝缘层的衬底表面。
- [0136] (2)通过喷雾的方法将乙醛液滴喷在四硫富瓦烯单晶表面，在喷雾的同时进行旋涂，使喷雾液滴能够均匀地分布在单晶表面，与单晶表面充分接触，并能迅速干燥。
- [0137] (3)利用真空蒸镀的方法在晶体表面沉积100nm的金作为第一导电层。制得基于四硫富瓦烯单晶为半导体层，金为源漏电极的OFET。
- [0138] 结构与性能的表征方法与实施例1的方法相同。获得的器件相关参数及性能如表1所示。
- [0139] 实施例6
- [0140] 一种基于p型有机半导体单晶酞菁铜单晶和金的有机场效应晶体管及其制备方法，包括以下步骤：
- [0141] (1)以玻璃为绝缘衬底，在玻璃上沉积氧化铟锡作为第二导电层利用溶液热交联法在衬底表面沉积500nm聚酰亚胺薄膜。利用物理气相传输法生长得到酞菁铜单晶，通过显微探针操作将单晶转移到聚酰亚胺薄膜表面。
- [0142] (2)将甲酸滴在酞菁铜单晶表面，使液体铺满单晶表面，旋涂使甲酸液滴干燥。
- [0143] (3)利用真空蒸镀的方法在晶体表面沉积30nm的金作为第一导电层。制得基于酞菁铜单晶为半导体层，金为源漏电极的OFET。

[0144] 结构与性能的表征方法与实施例1的方法相同。获得的器件相关参数及性能如表1所示。

[0145] 实施例7

[0146] 一种基于p型有机半导体单晶2,7-二辛基[1]苯并噻吩[3,2-b][1]苯并噻吩(C8-BTBT)单晶和金的有机场效应晶体管及其制备方法，包括以下步骤：

[0147] (1)在玻璃表面沉积50nm银，在沉积了银的玻璃表面旋涂分散有氧化钛纳米粒子的PMMA溶液得到500nm的氧化钛/PMMA混合绝缘层。通过溶液法在衬底表面直接生长C8-BTBT单晶阵列。

[0148] (2)将丙醇液滴滴加在C8-BTBT单晶上，使液体铺满单晶表面，旋涂使丙醇液滴干燥。

[0149] (3)利用真空蒸镀的方法在晶体表面沉积100nm的金作为第一导电层。制得基于C8-BTBT单晶为半导体层，金为源漏电极的OFET。

[0150] 结构与性能的表征方法与实施例1的方法相同。获得的器件相关参数及性能如表1所示。

[0151] 实施例8

[0152] 一种基于p型有机半导体单晶茈单晶和铜的有机场效应晶体管及其制备方法，包括以下步骤：

[0153] (1)取厚度为525 μm 的p型重掺杂<100>硅片，(硅片上有300nm厚的二氧化硅)。在二氧化硅表面旋涂含有交联剂的聚乙烯基吡咯烷酮溶液，热交联后得到50nm交联聚乙烯基吡咯烷酮薄膜；在交联聚乙烯基吡咯烷酮薄膜上通过溶液法生长茈单晶阵列。

[0154] (2)向沉积有茈单晶的硅片滴加四氢呋喃，使四氢呋喃铺满晶体表面；旋涂除去二甲亚砜液体。

[0155] (3)利用真空蒸镀的方法在晶体表面沉积100nm的铜作为第一导电层。制得基于茈单晶为半导体层，金为源漏电极的OFET。

[0156] 结构与性能的表征方法与实施例1的方法相同。获得的器件相关参数及性能如表1所示。

[0157] 实施例9

[0158] 一种基于p型有机半导体单晶TIPS-pentacene单晶和PEDOT:PSS的有机场效应晶体管及其制备方法，包括以下步骤：

[0159] (1)取表面平整的柔性聚酯薄膜作为绝缘衬底，在聚酯薄膜表面通过溶液打印的方法沉积PEDOT:PSS薄膜。在衬底通过溶液旋涂法沉积厚度为200nm的聚乙烯基苯酚薄膜，随后再旋涂含有交联剂的PMMA溶液，通过热交联的方法得到厚度为100nm的交联PMMA薄膜。在PMMA薄膜表面通过溶液法生长TIPS-pentacene单晶阵列。

[0160] (2)向沉积有TIPS-pentacene单晶的衬底滴加乙腈，使乙腈铺满晶体表面；旋涂除去乙腈液体。

[0161] (3)利用溶液打印的方法在晶体表面沉积PEDOT:PSS作为第一导电层。制得基于TIPS-pentacene为半导体层，PEDOT:PSS为源漏电极的OFET

[0162] 结构与性能的表征方法与实施例1的方法相同。获得的器件相关参数及性能如表1所示。

[0163] 实施例10

[0164] 一种基于p型有机半导体单晶2,9-二癸基二萸-[2,3-b:2,3-f]噻吩[3,2-b]噻吩(C10-DNTT)单晶和金的有机场效应晶体管及其制备方法，包括以下步骤：

[0165] (1)取玻璃作为绝缘衬底，在衬底表面通过真空蒸镀的方法沉积金作为第二导电层。通过溶液旋涂的方法在金表面沉积200nm的聚偏氟乙烯共聚物作为绝缘层。通过溶液法生长得到C10-DNTT单晶阵列，再通过模板转印的方法将C10-DNTT单晶阵列转移到沉积有金和聚偏氟乙烯共聚物的绝缘衬底表面。

[0166] (2)向沉积有C10-DNTT单晶阵列的衬底滴加甲醇，使甲醇铺满晶体表面；旋涂除去甲醇液体。

[0167] (3)利用真空沉积的方法在晶体表面沉积1000nm金作为第一导电层。制得基于C10-DNTT单晶为半导体层，金为源漏电极的OFET。

[0168] 结构与性能的表征方法与实施例1的方法相同。获得的器件相关参数及性能如表1所示。

[0169] 实施例11

- [0170] 一种基于p型有机半导体单晶茈萘单晶和金/氧化钨的有机场效应晶体管及其制备方法。
- [0171] 实施例11的有机场效应晶体管制备方法参照实施例3。结构和性能表征方法与实施例1的方法相同。材料选择配方如表2所示，得到的OFET性能如表3所示。金/氧化钨通过真空蒸镀的方法沉积。
- [0172] 实施例12
- [0173] 一种基于p型有机半导体单晶TIPS-pentacene单晶和铂/氧化钒的有机场效应晶体管及其制备方法。
- [0174] 实施例12的有机场效应晶体管制备方法参照实施例3。结构和性能表征方法与实施例1的方法相同。材料选择配方如表2所示，得到的OFET性能如表3所示。
- [0175] 实施例13
- [0176] 一种基于p型有机半导体单晶并四苯单晶和氧化铟锡的有机场效应晶体管及其制备方法。
- [0177] 实施例13的有机场效应晶体管制备方法参照实施例6。结构和性能表征方法与实施例1的方法相同。材料选择配方如表2所示，得到的OFET性能如表3所示。氧化铟锡通过转移的方法沉积。
- [0178] 实施例14
- [0179] 一种基于p型有机半导体单晶2,8-二氟-5,11-双[2-(三乙基硅基)乙炔基]-蒽并二噻吩单晶和钴的有机场效应晶体管及其制备方法。
- [0180] 实施例14的有机场效应晶体管制备方法参照实施例8。结构和性能表征方法与实施例1的方法相同。材料选择配方如表2所示，得到的OFET性能如表3所示。
- [0181] 实施例15
- [0182] 一种基于p型有机半导体单晶红荧烯单晶和钯的有机场效应晶体管及其制备方法。
- [0183] 实施例15的有机场效应晶体管制备方法参照实施例6。结构和性能表征方法与实施例1的方法相同。材料选择配方如表2所示，得到的OFET性能如表3所示。
- [0184] 实施例16

[0185] 一种基于p型有机半导体单晶酞菁铜单晶和铬金合金的有机场效应晶体管及其制备方法。

[0186] 实施例16的有机场效应晶体管制备方法参照实施例8。结构和性能表征方法与实施例1的方法相同。材料选择配方如表2所示，得到的OFET性能如表3所示。

[0187] 实施例17-实施例30

[0188] 一种有机场效应晶体管及其制备方法。

[0189] 实施例17-30的有机场效应晶体管制备方法参照实施例8。结构和性能表征方法与实施例5的方法相同。材料选择配方如表2所示，得到的OFET性能如表3所示。

[0190] 实施例31-实施例33

[0191] 一种有机场效应晶体管及其制备方法。

[0192] 实施例31-33的有机场效应晶体管制备方法参照实施例8。结构和性能表征方法与实施例9的方法相同。材料选择配方如表2所示，得到的OFET性能如表3所示。

[0193] 实施例34-实施例36

[0194] 一种有机场效应晶体管及其制备方法。

[0195] 实施例34-36的有机场效应晶体管制备方法参照实施例8。结构和性能表征方法与实施例5的方法相同。材料选择配方如表2所示，得到的OFET性能如表3所示。

[0196] 对比例1

[0197] 一种基于p型有机半导体单晶TIPS-pentacene单晶和钙的有机场效应晶体管及其制备方法，包括以下步骤：

[0198] (1)取厚度为525 μm 的p型重掺杂<100>硅片(硅片上有300nm厚的二氧化硅)。在二氧化硅表面旋涂PMMA溶液得到10nm的PMMA聚合物膜修饰衬底；通过溶液法沉积TIPS-pentacene单晶。

[0199] (2)向沉积有TIPS-pentacene单晶的衬底滴加乙醇，使乙醇铺满晶体表面；旋涂除去乙醇液体。

[0200] (3)利用真空蒸镀的方法在晶体表面沉积100nm的钙作为第一导电层。制得基于TIPS-pentacene单晶为半导体层，金为源漏电极的OFET。

[0201] 为了说明使用高功函材料作为第一导电层的优点，对比例1使用了低功函材料钙作为第一导电层。将OFET转移至空气中放置5分钟后，第一导电层的电阻从原来的 22Ω 增加至 8810Ω (如图10中的(a)和(b)所示)，电阻增加了400倍，说明钙作为第一导电层时，容易被空气氧化造成导电性下降，即空气稳定性差。电极的氧化将严重影响半导体器件的性能。作为对比，将实施例1中的OFET转移至空气中放置5分钟后，第一导电层的电阻从 15Ω 变为 17Ω ，基本不发生变化(如图10中的(c)和(d)所示)，说明金作为第一导电层时具有良好的空气稳定性。当在空气中的放置时间延长至2h，对比例1的第一导电层电阻增加至 $50K\Omega$ ，实施例1中的第一导电层电阻变为 18Ω ，基本不发生变化，进一步说明高功函材料作为第一导电层具有良好的空气稳定性，能够延长电极在空气环境中使用寿命。

[0202] 对比例2

[0203] 一种基于p型有机半导体单晶TIPS-pentacene单晶和n型有机半导体单晶富勒烯(C60)单晶和金的有机场效应晶体管及其制备方法，包括以下步骤：

[0204] (1)取厚度为 $525\mu m$ 的p型重掺杂<100>硅片(硅片上有300nm厚的二氧化硅)。在硅片表面沉积50nm铝作为第二导电层；随后利用气相沉积法在沉积了铝的硅片表面沉积300nm聚对二甲苯(派瑞林)薄膜；在派瑞林薄膜表面通过溶液法沉积C60单晶，再通过溶液法沉积TIPS-pentacene单晶。

[0205] (3)利用真空蒸镀的方法在晶体表面沉积100nm的金作为第一导电层。制得C60和TIPS-pentacene单晶为半导体层，金为源漏电极的OFET。

[0206] 为了说明仅使用一种p型半导体单晶作为半导体层构建OFET的优势，对比例2分别使用TIPS-pentacene单晶(p型)和C₆₀单晶(n型)构建OFET。首先，当用溶液法沉积两种单晶时，对单晶沉积的顺序有要求，因为可溶解C60的苯类溶剂对TIPS-pentacene都有较高的溶解度，若先沉积TIPS-pentacene单晶，则生长C60单晶的过程会严重破坏下层的TIPS-pentacene单晶，因此只能选择先沉积C60单晶，再沉积TIPS-pentacene单晶的过程。生长得到的双层单晶结构如图11中的(a)所示，下层为C60单晶，上层为TIPS-pentacene单晶。可以看出，虽然TIPS-

pentacene的溶液没有完全溶解C60，但是仍然对C₆₀单晶的表面产生了明显的破坏。图11中的(b)为完整的C60单晶表面，可以看出，表面非常光滑平整。而经历过TIPS-pentacene生长后的C60单晶表面变得粗糙。这将严重影响两种半导体之间的界面，使最终得到的OFET性能较差。

[0207] 结构与性能的表征方法与实施例1的方法相同。获得的器件相关参数及性能如表1所示。

[0208] 对比例3

[0209] 一种基于p型有机半导体6,13-双(三异丙基硅烷基乙炔基)并五苯(TIPS-pentacene)多晶薄膜和金的有机场效应晶体管及其制备方法，包括以下步骤：

[0210] (1)取厚度为525 μm的p型重掺杂<100>硅片(硅片上有300nm厚的二氧化硅)。在硅片表面沉积50nm铝作为第二导电层；随后利用气相沉积法在沉积了铝的硅片表面沉积300nm聚对二甲苯(派瑞林)薄膜；通过溶液旋涂的方法沉积TIPS-pentacene多晶薄膜。

[0211] (2)向沉积有TIPS-pentacene多晶薄膜的衬底滴加甲醇，使甲醇铺满多晶薄膜表面；用氮气吹扫衬底表面除去残留的甲醇液体。

[0212] (3)利用真空蒸镀的方法在多晶薄膜表面沉积100nm的金作为第一导电层。制得基于

[0213] TIPS-pentacene多晶薄膜为半导体层，金为源漏电极的OFET。

[0214] 为了说明使用有机单晶作为有机半导体层的优势，对比例3使用了旋涂得到的TIPS-pentacene多晶薄膜作为有机半导体层构建TIPS-pentacene。从图12中的(a)可以看出，与有机单晶规则平整的外观不同，多晶薄膜表面粗糙，由很多晶粒构成。晶粒之间的晶界将严重阻碍载流子的传输。从图12中的(b)为得到的OFET的p型转移特性曲线，可以看出，由TIPS-pentacene多晶薄膜构成的OFET的空穴迁移率较低，仅为 $0.367\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ，且转移特性曲线与实施例1中有明显区别，无法看到V型的转折，由此可判断得到的OFET无电子传输性能(电子迁移率为0)。因此平衡系数B为无穷大，无法达到B到1的要求。

[0215] 对比例4

[0216] 一种基于p型有机半导体单晶6,13-双(三异丙基硅烷基乙炔基)并五苯(TIPS-pentacene)单晶和金的有机场效应晶体管及其制备方法, 包括以下步骤:

[0217] (1)取厚度为525 μm 的p型重掺杂<100>硅片(硅片上有300nm厚的二氧化硅)。在二氧化硅表面旋涂PMMA溶液得到10nm的PMMA聚合物膜; 在PMMA薄膜表面通过溶液法沉积TIPS-pentacene单晶。

[0218] (2)利用真空蒸镀的方法在晶体表面沉积100nm的金作为第一导电层。制得基于TIPS-pentacene单晶为半导体层, 金为源漏电极的OFET。

[0219] 为了说明极性有机小分子的存在对于实现高电子迁移率和空穴、电子迁移率平衡的重要性, 对比例4使用了未经过极性有机小分子处理的TIPS-pentacene单晶制备OFET, 图13为对比例4中OFET的p型转移特性曲线和n型转移特性曲线, 从中可得到的OFET虽然仍具有较高的空穴迁移率($1.93\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$), 但电子迁移率 μ 电较低, 仅为 $1.08 \times 10^{-2}\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$, 计算得到平衡系数 $B=2.25$, 未达到B到1的要求。说明极性有机小分子的存在对于提高以p型有机半导体单晶为半导体层, 高功函导电材料为第一导电层的OFET的电子迁移率具有重要的作用。

[0220] 对比例5

[0221] 一种基于p型有机半导体单晶6,13-双(三异丙基硅烷基乙炔基)并五苯(TIPS-pentacene)单晶和金的有机场效应晶体管及其制备方法, 包括以下步骤:

[0222] (1)取厚度为525 μm 的p型重掺杂<100>硅片(硅片上有300nm厚的二氧化硅)。在硅片上沉积50nm铝作为第二导电层; 随后利用气相沉积法在沉积了铝的硅片表面沉积300nm金; 通过溶液法沉积TIPS-pentacene单晶。

[0223] (2)向沉积有TIPS-pentacene单晶的衬底滴加乙醇, 使乙醇铺满晶体表面; 用氮气吹扫衬底表面除去残留的乙醇液体。

[0224] (3)利用真空蒸镀的方法在晶体表面沉积100nm的金作为第一导电层。制得基于TIPS-pentacene单晶为半导体层, 金为源漏电极的OFET。

[0225] 为了说明使用绝缘材料的绝缘层是所述有机场效应晶体管的必要结构, 对比例5与实施例2相比, 将300nm的派瑞林绝缘层(绝缘材料)替换成了300nm的金(导电材料)。由于不具有绝缘层, 制得的器件一直处于短路状态, 无法正常工作。说明由绝缘材料构成的绝缘层, 是所述有机场效应晶体管的必要结构。

[0226] 对比例6

[0227] 一种基于p型有机半导体单晶6,13-双(三异丙基硅烷基乙炔基)并五苯(TIPS-pentacene)单晶和金的有机场效应晶体管及其制备方法, 包括以下步骤:

[0228] (1)取厚度为525 μm 的p型重掺杂<100>硅片(硅片上有300nm厚的二氧化硅)。在硅片表面沉积50nm氧化铝; 随后利用气相沉积法在衬底表面沉积300nm派瑞林绝缘层; 在派瑞林绝缘层上通过溶液法沉积TIPS-pentacene单晶。

[0229] (2)向沉积有TIPS-pentacene单晶的衬底滴加乙醇, 使乙醇铺满晶体表面; 用氮气吹扫衬底表面除去残留的乙醇液体。

[0230] (3)利用真空蒸镀的方法在晶体表面沉积100nm的金作为第一导电层。制得基于TIPS-pentacene单晶为半导体层, 金为源漏电极的OFET。

[0231] 为了说明使用由导电材料构成的第二导电层是所述有机场效应晶体管的必要结构, 对比例6与实施例2相比, 将50nm的铝(导电材料)替换成了50nm的氧化铝(绝缘材料, 电阻率约为0.004S/m, [1]白晓萍, 陈燕. 氧化铝填料电导率对浇注体性能影响的研究[J]. 电气制造, 2014(11): 62-65.)。由于不具有可以导电的第二导电层, 制得的器件无法提供栅压用于控制有机场效应晶体管的开启和关闭, 无法正常工作。说明由导电材料构成的第二导电层, 是所述有机场效应晶体管的必要结构。

[0232] 对比例7

[0233] 对比例7的有机场效应晶体管制备方法参照实施例1, 唯一不同的是沉积的第一导电层厚度为15nm。结构和性能表征方法与实施例1的方法相同。

[0234] 对比例8

[0235] 对比例8的有机场效应晶体管制备方法参照实施例1, 唯一不同的是沉积的第一导电层厚度为1500nm。结构和性能表征方法与实施例1的方法相同。

[0236] 为了说明第一导电层厚度对所述有机场效应晶体管性能的影响, 对比例7和对比例8分别选择了厚度小于30nm和大于1000nm的金属作为第一导电层。对比例7中, 由于第一导电层厚度太小, 且下方有机半导体层形貌的影响, 第一导电层不连续, 无法起到电极的作用, 器件无法正常工作。对比例8中, 由于第一导电

层厚度太大，电极之间相互接触发生短路，器件同样无法正常工作。说明第一导电层的厚度需控制在30–1000nm范围之内。

- [0237] 对比例9
- [0238] 对比例9的有机场效应晶体管制备方法参照实施例1，唯一不同的是没有第一导电层。结构和性能表征方法与实施例1的方法相同。
- [0239] 对比例10
- [0240] 对比例10的有机场效应晶体管制备方法参照实施例1，唯一不同的是没有有机半导体层。结构和性能表征方法与实施例1的方法相同。
- [0241] 对比例11
- [0242] 对比例11的有机场效应晶体管制备方法参照实施例1，唯一不同的是有机半导体层为n型有机半导体单晶。结构和性能表征方法与实施例1的方法相同。
- [0243] 表1.实施例1–10、对比例1–8相关参数及性能

序号	第一导电层材料 及材料功函 (eV)	极性有机小分子及其偶极矩 (D)	空穴迁移率 μ_p ($\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$)	电子迁移率 μ_n ($\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$)	平衡系数 (B)
实施例 1	金, 5.08	乙醇, 1.69	0.85	1.05	0.09
实施例 2	金, 5.08	甲醇, 1.7	1.32	0.95	0.14
实施例 3	铂, 5.65	丙酮, 2.88	1.21	0.75	0.21
实施例 4	铂, 5.65	乙硫醇, 1.72	2.15	1.13	0.28
实施例 5	金, 5.08	乙醛, 2.5	0.73	0.69	0.02
实施例 6	金, 5.08	甲酸, 1.41	0.82	0.65	0.10
实施例 7	金, 5.08	丙醇, 1.7	2.31	0.81	0.46
实施例 8	铜, 4.65	四氢呋喃, 1.63	1.02	0.73	0.15
实施例 9	PEDOT:PSS, 5.0	乙腈, 3.5	0.82	0.59	0.14
实施例 10	金, 5.08	甲醇, 1.7	1.23	0.81	0.18
对比例 1	钙, 2.9	乙醇, 1.69	0.29	1.32	0.35
对比例 2	金, 5.08	未使用	0.21	0.53	0.40
对比例 3	金, 5.08	甲醇, 1.7	0.37	0	$+\infty$

对比例 4	金, 5.08	未使用	1.93	0.01	2.25
对比例 5	金, 5.08	乙醇, 1.69	无法工作	无法工作	/
对比例 6	金, 5.08	乙醇, 1.69	无法工作	无法工作	/
对比例 7	金, 5.08	乙醇, 1.69	无法工作	无法工作	/
对比例 8	金, 5.08	乙醇, 1.69	无法工作	无法工作	/
对比例 9	金, 5.08	乙醇, 1.69	无法工作	无法工作	/
对比例 10	金, 5.08	乙醇, 1.69	无法工作	无法工作	/
对比例 11	金, 5.08	乙醇, 1.69	0	2.1	$-\infty$

[0244] 表2.实施例11-36材料选择

序号	绝缘衬底	第二导电层	绝缘层	有机半导体层	极性有机小分子	第一导电层
实施例 11	陶瓷	钛/金合金	氧化钛	茱	异丙醇	氧化钨, 金
实施例 12	氧化铝	铝	氧化铝、含磷酸基自组装小分子	6,13-双(三异丙基硅烷基乙炔基)并五苯	乙二醇	氧化钒, 铂
实施例 13	玻璃	氧化铟锡	聚偏氯乙烯	并四苯	乙酸	氧化铟锡
实施例 14	纸张	石墨	PVA/PMM A 双层	2,8-二氟-5,11-双[2-(三乙基硅基)乙炔基]-蒽并二噻吩	乙醇	钴
实施例 15	聚酰亚胺	银	聚酰亚胺	红荧烯	N,N'-二甲基甲酰胺	钪
实施例 16	无	重掺杂硅	氮化硅	酞菁铜	四氢呋喃	铬金合金
实施例 17	聚萘二甲酸乙二醇酯	铜	聚乙酸乙烯酯	二苯基蒽	丙酸	铬
实施例 18	聚醚砜树脂	铁	聚苯乙烯	二萘嵌苯	丙硫醇	金铜合金
实施例 19	聚环烯烃	锌	聚- α -甲基苯乙烯	三聚噻吩	甲醇	金铂合金
实施例 20	聚对苯二甲酸乙二醇酯	锡	聚苯并环丁烯	酞菁铁	乙醇	钴
实施例 21	聚芳脂	镁	全氟(1-丁烯基乙烯基醚)聚合物/派瑞林双层	四硫富瓦烯	异丙醇	钪
实施例	聚醚醚酮	铂	氰乙基普鲁	并五苯	丙酮	金钴合金

22			烷			
实施例 23	玻璃/聚 酰亚胺双 层	金/铂合 金	氧化钽	红荧烯	乙醇	金/氧化 钨双层
实施例 24	纸张/聚 对苯二甲 酸乙二醇 酯复合	铁/锰合 金	聚乙烯醇/ 聚苯乙烯双 层	并五苯	乙醇	金
实施例 25	聚碳酸酯 /聚芳脂	钛	聚甲基丙烯 酸甲酯	6,13-双(三异 丙基硅烷基 乙炔基)并五 苯	甲醇	铂
实施例 26	陶瓷	钴	氧化钪	花	N,N-二甲 基甲酰胺	金
实施例 27	玻璃	钪	含硅烷基自 组装小分子	二苯基蒽	乙醛	钪
实施例 28	聚酰亚胺	铁/镍合 金	聚偏氟乙烯 -三氟乙烯- 氯氟乙烯	卟啉铜	乙醇	铜
实施例 29	聚环烯烃	氧化钨	聚乙烯吡咯 烷酮	并五苯	乙醇/甲 醇混合	氧化钨
实施例 30	氧化铝/ 聚酰亚胺 双层	氧化银	含硫醇基自 组装小分子	红荧烯	乙二醇/ 乙醇混合	金
实施例 31	玻璃/聚 碳酸酯双 层	PEDOT : PSS	氧化铝/含 硅烷基的自 组装小分子 双层	红荧烯	乙醇	铜
实施例 32	纸张/聚 酰亚胺复 合	碳纤维	聚酰亚胺	红荧烯	乙醇	铜/氧化 钒双层
实施例 33	聚酰亚胺	碳纳米 管	氧化钛	6,13-双(三异 丙基硅烷基 乙炔基)并五 苯	甲醇	PEDOT: PSS
实施例 34	玻璃	氧化铁	聚偏氟乙烯	并五苯	异丙醇	铂
实施例 35	玻璃	氧化钒	氧化态/聚 酰亚胺复合	并四苯	甲醇	铜
实施例 36	玻璃	铅	聚偏氟乙 烯共聚物	酞菁铜	丁醇	金

[0245] 表3.实施例11-36性能测试

序号	空穴迁移率 μ_p	电子迁移率 μ_n	平衡系数 (B)
	($\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$)	($\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$)	
实施例 11	1.35	0.68	0.30
实施例 12	1.48	0.74	0.30
实施例 13	1.58	1.27	0.09
实施例 14	0.73	0.63	0.06
实施例 15	0.83	0.55	0.18
实施例 16	1.03	0.75	0.14
实施例 17	1.35	0.98	0.14
实施例 18	1.24	0.65	0.28
实施例 19	2.76	0.56	0.69
实施例 20	1.28	0.78	0.22
实施例 21	3.21	1.21	0.42
实施例 22	1.25	0.96	0.11
实施例 23	0.89	0.78	0.06
实施例 24	1.36	0.56	0.39
实施例 25	2.12	1.32	0.21
实施例 26	1.68	1.75	0.02
实施例 27	1.75	1.62	0.03
实施例 28	1.36	0.95	0.16
实施例 29	1.25	1.26	0.00
实施例 30	0.98	0.72	0.13
实施例 31	0.76	0.70	0.04
实施例 32	0.65	0.59	0.04
实施例 33	1.82	1.63	0.05
实施例 34	3.20	2.10	0.18
实施例 35	1.78	1.33	0.13
实施例 36	2.10	1.86	0.05

[0246] 通过实施例和对比例的分析，本发明的有机场效应晶体管是由特定的材料和制备方法组成了特定结构，必须严格满足以下的所有条件才能制得具有本发明技术效果的有机场效应晶体管：依次包括第一导电层、有机半导体层、绝缘层、第二导电层，且所述的第一导电层由功函数4.5eV以上的导电材料构成；所述的有机半导体层由p型有机半导体单晶构成；所述的绝缘层由绝缘材料构成；所述的第二导电层由电导率1S/m以上的材料构成，以上条件缺一不可；通过对比例1-11可知，改变第一导电层材料使得空穴迁移率低、空气稳定性差，缺少

第一导电层器件无法工作，改变半导体层的材料使得器件性能变差，缺少有机半导体层器件无法工作，缺少绝缘层或者改变第一导电层厚度等参数器件发生短路，因此可知本发明只有同时满足以上条件，才能发挥整体协同作用制得本发明的使用单一p型有机半导体材料构成的有机场效应晶体管，达到第一导电层具有良好的空气稳定性，进一步的达到空穴迁移率 μ_p 和电子迁移率 μ_n 同时 $\geq 0.5\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ，且平衡系数 $B \leq 1$ 的性能。对比例中无法工作是指由于改变材料种类和参数、缺少某一层而制得的器件发生短路、无法控制晶体管的开启和关闭、无法传输电子等异常情况，使得器件无法正常工作。

权利要求书

- [权利要求 1] 一种有机场效应晶体管，其特征在于，所述的有机场效应晶体管依次包括第一导电层、有机半导体层、绝缘层、第二导电层；
所述的第一导电层由功函数4.5eV以上的导电材料构成；
所述的有机半导体层由p型有机半导体单晶构成；
所述的绝缘层由绝缘材料构成；
所述的第二导电层由电导率1S/m以上的材料构成。
- [权利要求 2] 根据权利要求1所述的有机场效应晶体管，其特征在于，所述的有机场效应晶体管同时满足：空穴迁移率 $\mu_p \geq 0.5 \text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ ，电子迁移率 $\mu_n \geq 0.5 \text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ ，且满足平衡系数 $B \leq 1$ ，所述平衡系数B的计算公式为： $B = |\lg(\mu_p / \mu_n)|$ 。
- [权利要求 3] 根据权利要求1所述的有机场效应晶体管，其特征在于，所述的有机半导体层为HOMO能级 $\geq -5.5 \text{eV}$ ，带隙宽度 $\geq 1.8 \text{eV}$ 的有机单晶材料构成的薄膜。
- [权利要求 4] 根据权利要求1所述的有机场效应晶体管，其特征在于，所述第一导电层的电导率大于1S/m。
- [权利要求 5] 根据权利要求1所述的有机场效应晶体管，其特征在于，所述绝缘层选自绝缘聚合物、绝缘金属氧化物、绝缘非金属氧化物或氮化物、自组装小分子中的至少一种。
- [权利要求 6] 根据权利要求1所述的有机场效应晶体管，其特征在于，所述第二导电层选自第二金属、第二导电金属氧化物、第二导电聚合物、导电无机非金属中的至少一种。
- [权利要求 7] 根据权利要求1所述的有机场效应晶体管，其特征在于，所述有机半导体层选自稠环芳烃、含硫杂稠环、含氮杂稠环及其各自的衍生物的任意一种。

- [权利要求 8] 根据权利要求1所述的有机场效应晶体管，其特征在于，所述的第一导电层和有机半导体层中存在偶极矩大于1D的极性有机小分子；所述的极性有机小分子的分子量小于50Da。
- [权利要求 9] 根据权利要求8所述的有机场效应晶体管，其特征在于，所述的极性有机小分子在一个大气压下凝固点小于25℃。
- [权利要求 10] 根据权利要求8所述的有机场效应晶体管，其特征在于，所述的极性有机小分子选自含有羟基、氰基、羧基、巯基、胺基、酰胺基的极性有机小分子中的至少一种。
- [权利要求 11] 根据权利要求8所述的有机场效应晶体管，其特征在于，所述极性有机小分子选自甲醇、乙醇、丙醇、异丙醇、丁醇、乙二醇、甲酸、乙酸、丙酸、乙腈、乙醛、乙硫醇、丙硫醇、丙酮、四氢呋喃、N'-N-二甲基甲酰胺中的至少一种。
- [权利要求 12] 根据权利要求1所述的有机场效应晶体管，其特征在于，所述的第一导电层和有机半导体层之间存在偶极矩大于1D的极性有机小分子层。
- [权利要求 13] 根据权利要求12所述的有机场效应晶体管，其特征在于，所述的极性有机小分子层可以使第一导电层和有机半导体层之间的电子注入势垒降低0.05eV以上。
- [权利要求 14] 根据权利要求1所述的有机场效应晶体管，其特征在于，还包括：绝缘衬底和/或封装层。
- [权利要求 15] 一种有机场效应晶体管的制备方法，其特征在于，包括如下步骤：
1)在绝缘衬底表面依次沉积第二导电层和绝缘层，在绝缘层上沉积有机半导体层；所述第二导电层的沉积方法选自气相沉积法、溶液法的一种或多种；所述绝缘层的沉积方法选自气相沉积法、溶液法、原子层沉积法、原位氧化法的一种或多种；
2)将所述沉积有第二导电层、绝缘层和有机半导体层的绝缘衬底置于极性有机小分子氛围中处理10s~2h，使极性有机小分子液体或

蒸气与有机半导体层表面充分接触，随后将沉积有第二导电层、绝缘层和有机半导体层的绝缘衬底与极性有机小分子氛围分离；

3)在有机半导体层表面沉积厚度为30 ~ 1000nm的第一导电层作为电极，得到所述有机场效应晶体管；

所述的第一导电层由功函数4.5eV以上的导电材料构成；

所述的有机半导体层由p型有机半导体单晶构成；

所述的绝缘层由绝缘材料构成；

所述的第二导电层由电导率1S/m以上的材料构成。

[权利要求 16] 一种光电器件，其特征在于，所述的光电器件包含如权利要求1-14任一项所述的有机场效应晶体管或如权利要求15所述的制备方法制备的有机场效应晶体管。

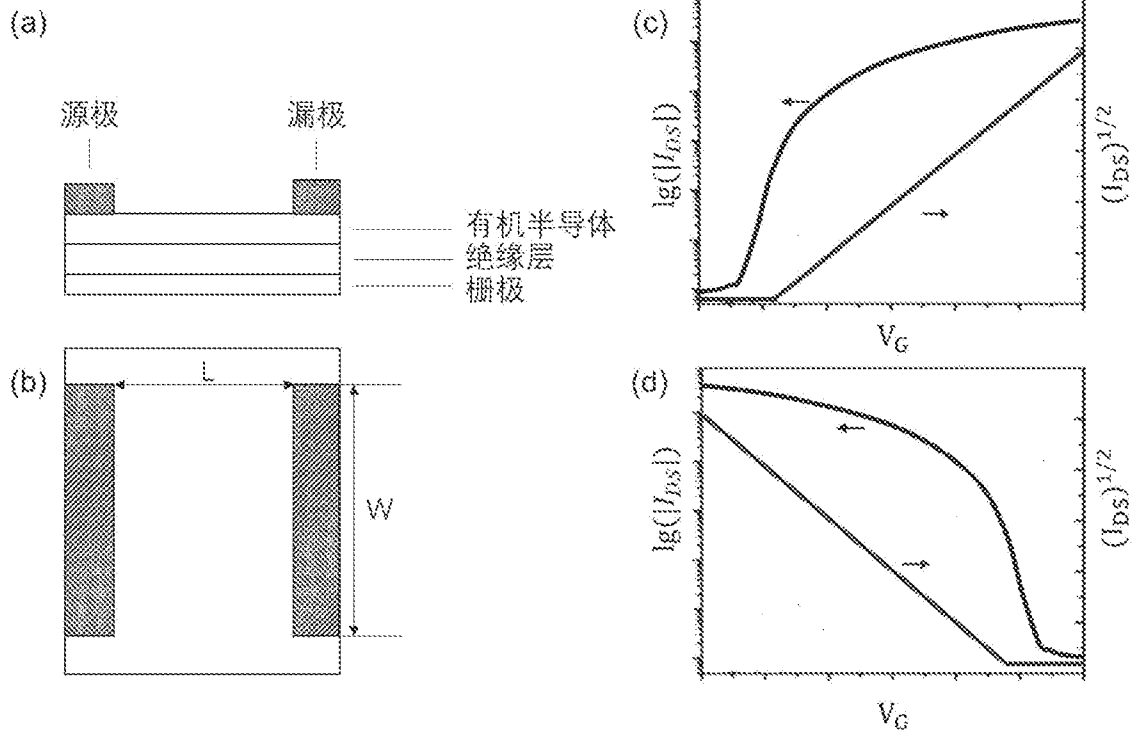
[权利要求 17] 根据权利要求16所述的光电器件，其特征在于，所述的光电器件选自发光晶体管、存储器、传感器、显示器。

[权利要求 18] 一种有机电路，其特征在于，所述的有机电路包含权利要求1-14任一项所述的有机场效应晶体管或如权利要求15所述的制备方法制备的有机场效应晶体管。

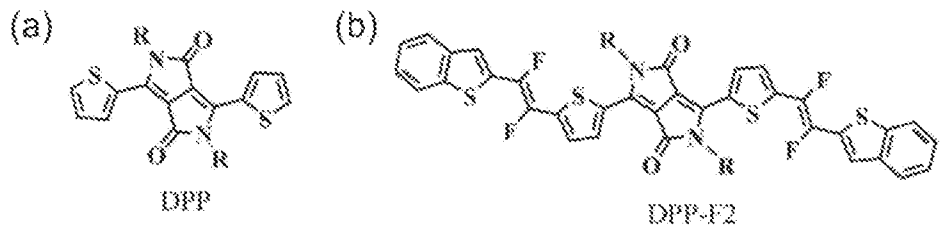
[权利要求 19] 一种光电集成阵列，其特征在于，所述的光电集成阵列包含一个或多个如权利要求16-17所述的光电器件和如权利要求18所述的有机电路。

[权利要求 20] 如权利要求1-14任一项所述的有机场效应晶体管、权利要求15所述的制备方法制得的有机场效应晶体管、权利要求16-17所述的光电器件、权利要求18所述的有机电路、权利要求19所述的光电集成阵列在半导体器件、交通物流、采矿冶金、环境、医疗器械、防爆检测、食品、水处理、制药、生物领域的用途。

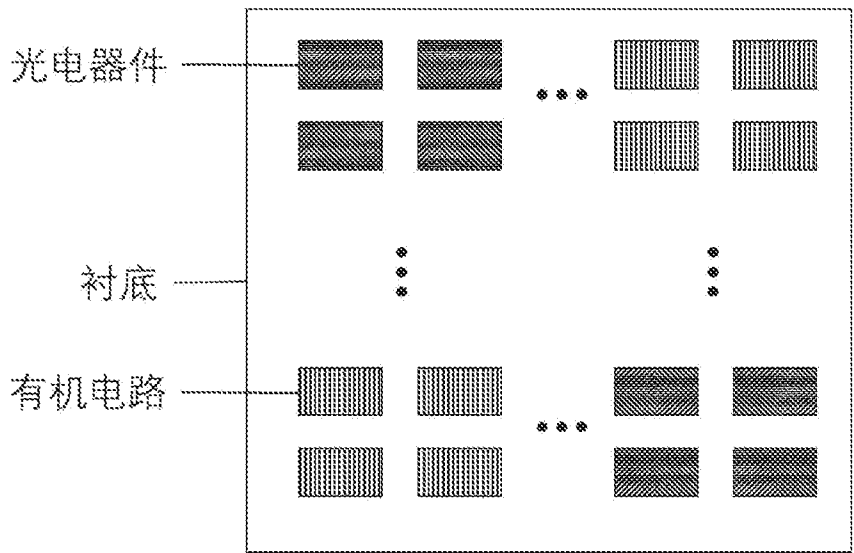
[图 1]



[图 2]



[图 3]

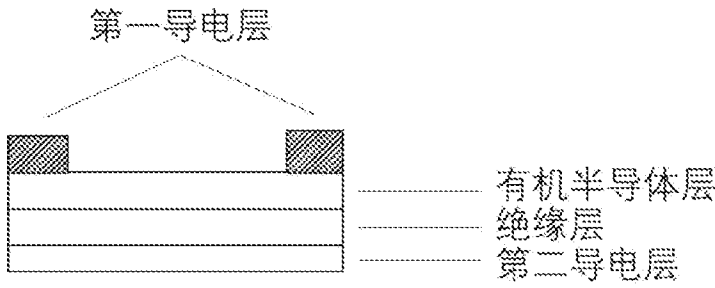


细则 26,
25.05.2023

细则 26,
25.05.2023

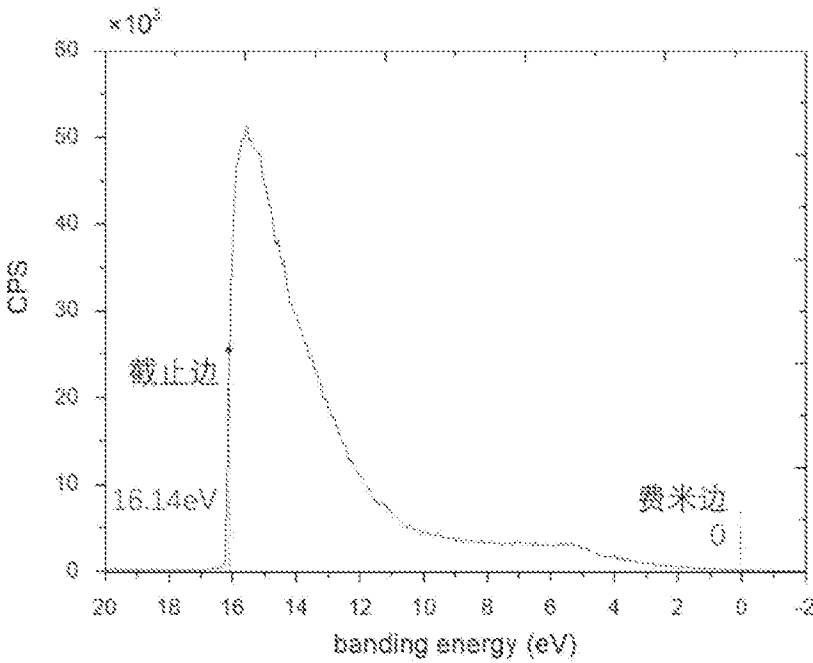
细则 26,
25.05.2023

[图 4]



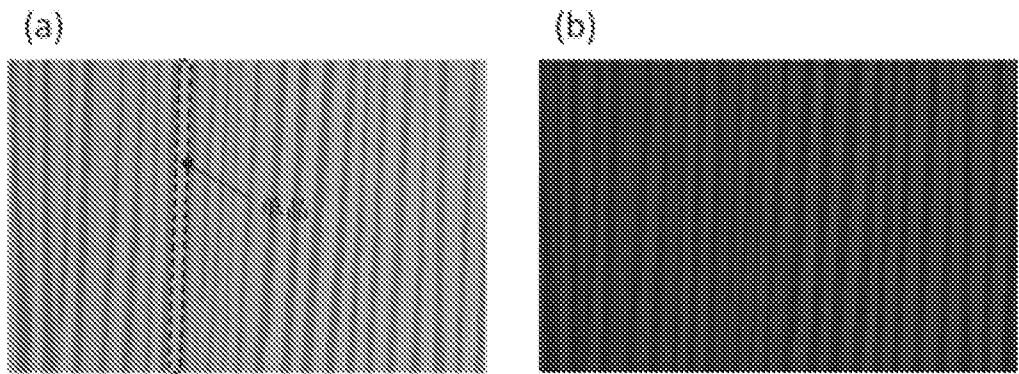
细则 26,
25.05.2023

[图 5]



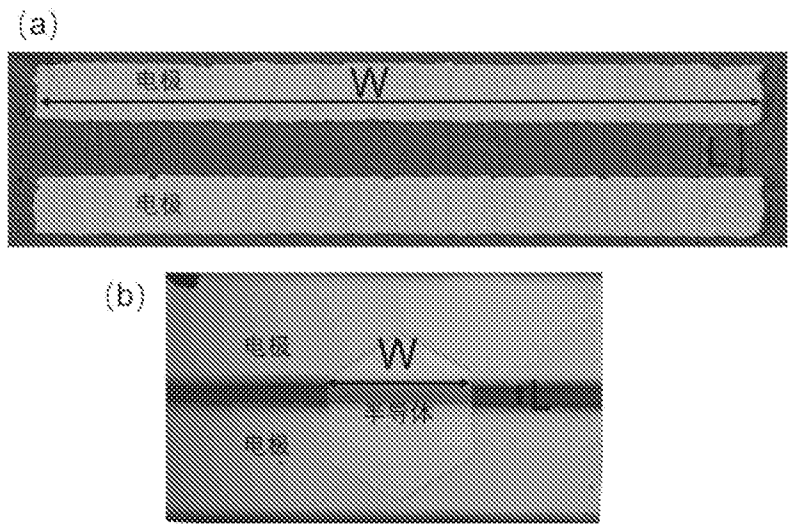
细则 26,
25.05.2023

[图 6]



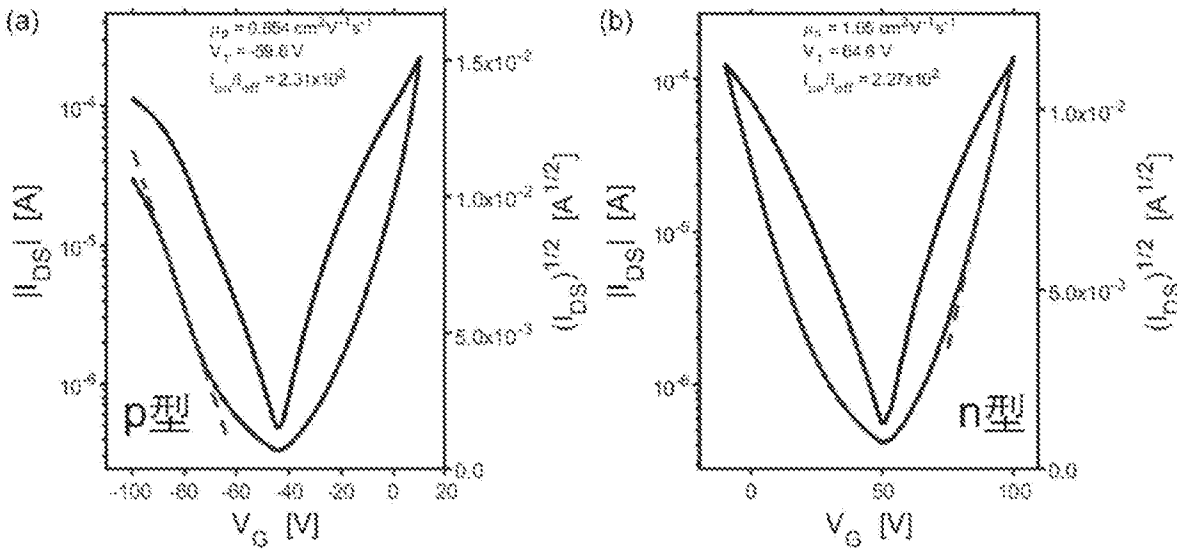
细则 26,
25.05.2023

[图 7]



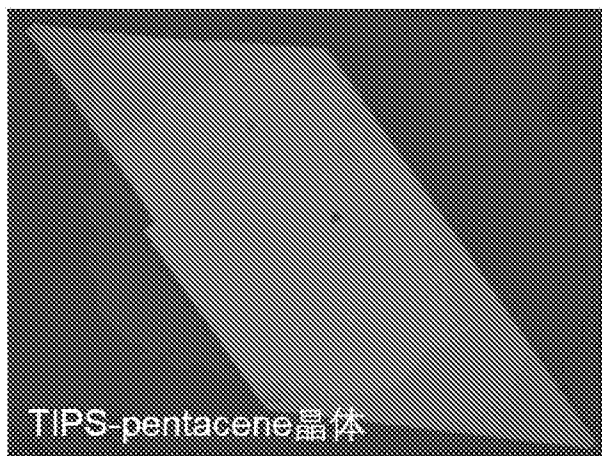
细则 26,
25.05.2023

[图 8]



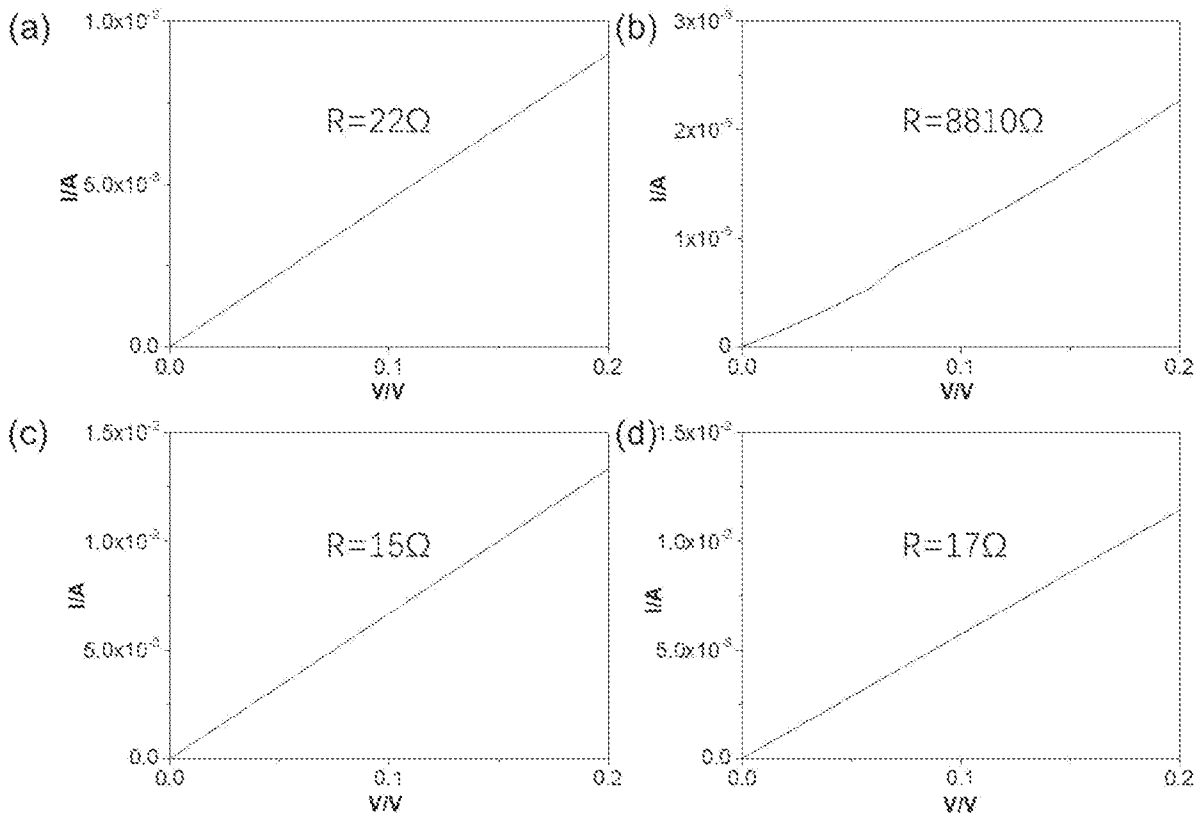
细则 26,
25.05.2023

[图 9]



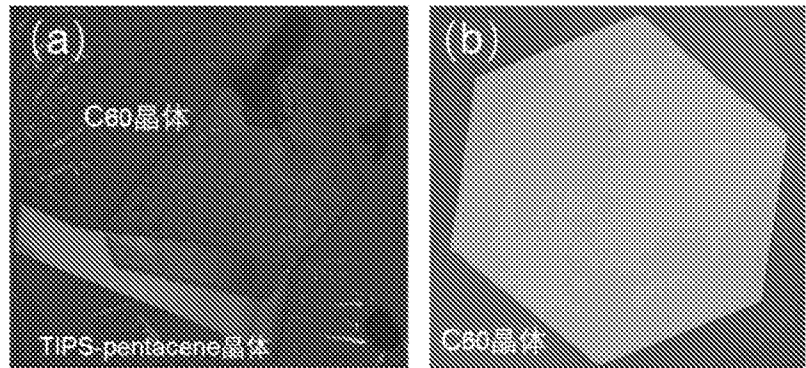
细则 26,
25.05.2023

[图 10]



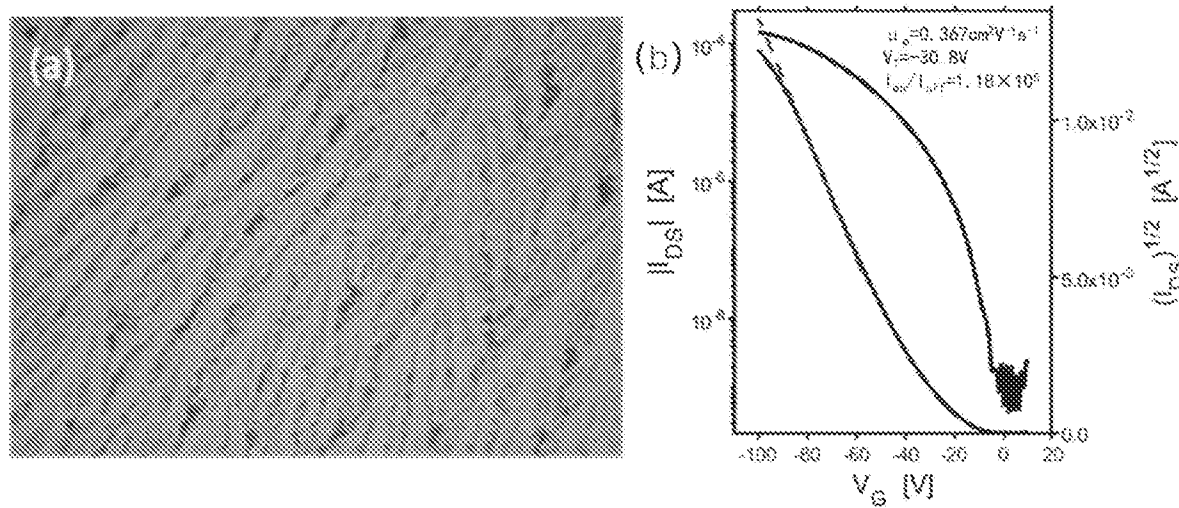
细则 26,
25.05.2023

[图 11]



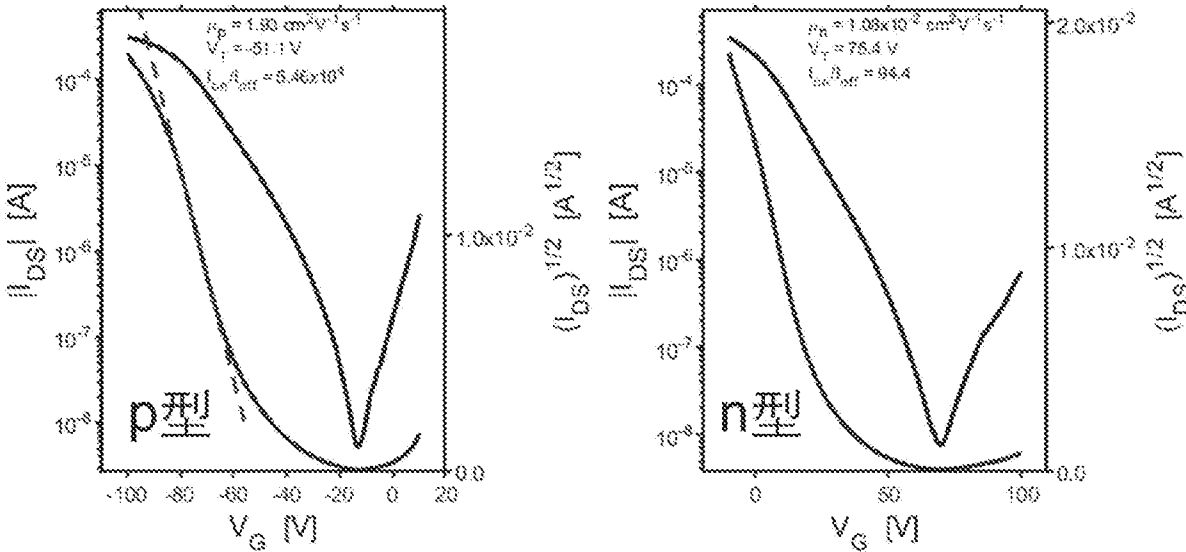
细则 26,
25.05.2023

[图 12]



细则 26,
25.05.2023

[图 13]



细则 26,
25.05.2023

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/092511

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H10K10/46(2023.01)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)

IPC:H01L,H10K

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, CNTXT, CNKI, DWPI, ENTXT, ENTXTC: 有机, 场效应, 晶体管, 极性, 分子, organic, field-effect, transistor, dipole, molecule

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 101101967 A (INSTITUTE OF CHEMISTRY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 09 January 2008 (2008-01-09) description, page 3 line 1 to page 9 line 15, and figure 2a	1-20
X	CN 101339975 A (INSTITUTE OF CHEMISTRY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 07 January 2009 (2009-01-07) description, page 2 line 1 to page 7 line 19, and figure 2	1-20



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

“D” document cited by the applicant in the international application

“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

17 August 2023

Date of mailing of the international search report

21 August 2023

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District,
Beijing 100088

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/092511

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)
CN	101101967	A	09 January 2008	None		
CN	101339975	A	07 January 2009	CN	100593871	C 10 March 2010

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2023/092511

A. 主题的分类		
H10K10/46(2023.01)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)		
IPC:H01L, H10K		
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, CNTXT, CNKI, DWPI, ENTXT, ENTXTC:有机, 场效应, 晶体管, 极性, 分子, organic, field-effect, transistor, dipole, molecule		
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 101101967 A (中国科学院化学研究所) 2008年1月9日 (2008 - 01 - 09) 说明书第3页第1行至第9页第15行、附图2a	1-20
X	CN 101339975 A (中国科学院化学研究所) 2009年1月7日 (2009 - 01 - 07) 说明书第2页第1行至第7页第19行、附图2	1-20
☐ 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 “D” 申请人在国际申请中引证的文件 “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
2023年8月17日		2023年8月21日
ISA/CN的名称和邮寄地址		授权官员
中国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088		赵颖
		电话号码 (+86) 62412108

国际申请号
PCT/CN2023/092511

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	101101967	A	2008年1月9日	无		
CN	101339975	A	2009年1月7日	CN	100593871	C 2010年3月10日