

(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 2023/216852 A1

- (51) 国际专利分类号:
H10K 10/46 (2023.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2023/089981
- (22) 国际申请日: 2023 年 4 月 23 日 (23.04.2023)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202210492569.9 2022年5月7日 (07.05.2022) 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: 赵昱达 (ZHAO, Yuda); 中国浙江省杭州市
西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。 繆

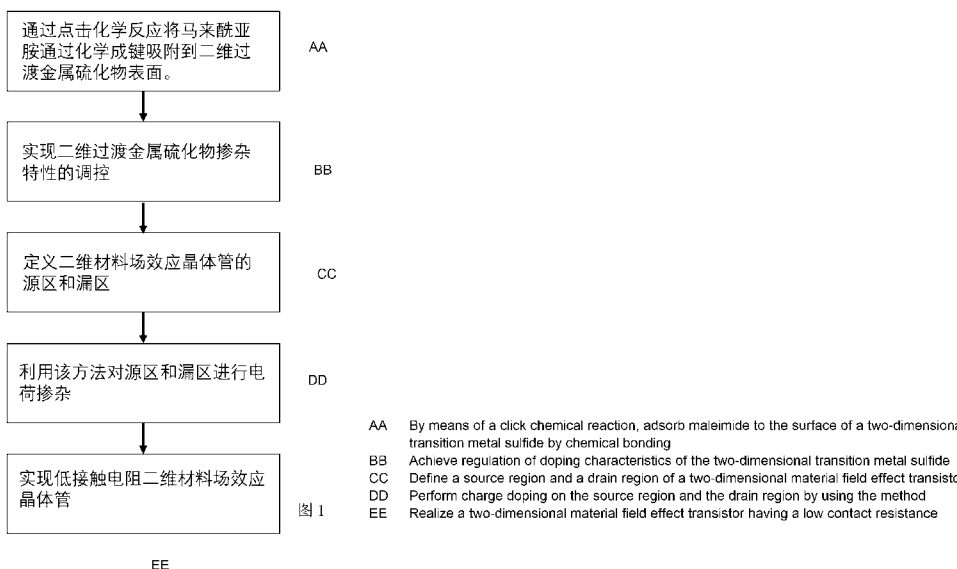
佳磊 (MIAO, Jialei); 中国浙江省杭州市西湖区余杭
塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。 徐伟 (XU, Wei);
中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang
310058 (CN)。 卞正 (BIAN, Zheng); 中国浙江省
杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058
(CN)。 张天娇 (ZHANG, Tianjiao); 中国浙江省杭州
市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。

(74) 代理人: 杭州求是专利事务所有限公司
(HANGZHOU QIUSHI PATENT OFFICE CO., LTD.);
中国浙江省杭州市西湖区古墩路701号绿城紫
金广场C座1506室, Zhejiang 310030 (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,

(54) **Title:** METHOD FOR REGULATING DOPING CHARACTERISTICS OF TWO-DIMENSIONAL MATERIAL BY CLICK
CHEMICAL REACTION, AND APPLICATION

(54) 发明名称: 一种通过点击化学反应调控二维材料掺杂特性的方法及应用



(57) **Abstract:** Disclosed in the present invention are a method for regulating doping characteristics of a two-dimensional material by a click chemical reaction and an application. According to the method, maleimide is adsorbed to the surface of a two-dimensional transition metal sulfide by means of a click chemical reaction to form a chemical bond, and charge redistribution is caused by charge transfer in the chemical bonding process for regulating doping characteristics of the two-dimensional transition metal sulfide. By using

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, 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))。

the method, charge doping is performed on a source region and a drain region of a two-dimensional material field effect transistor, so that the problems of high contact resistance and Fermi pinning of the two-dimensional material field effect transistor are solved. The two-dimensional material has relatively high thermal stability and chemical stability after being doped, and the method is compatible with an existing silicon-based processing technology, and can be applied to large-scale integrated circuit processing.

(57) 摘要: 本发明公开了一种通过点击化学反应调控二维材料掺杂特性的方法及应用, 该方法将马来酰亚胺通过点击化学反应吸附到二维过渡金属硫化物表面形成化学键, 由于化学成键过程的电荷转移导致电荷重新分布, 实现二维过渡金属硫化物掺杂特性的调控。利用该方法对二维材料场效应晶体管的源区和漏区进行电荷掺杂, 解决二维材料场效应晶体管接触电阻高和费米钉扎的问题。二维材料在掺杂后具有较高的热稳定性和化学稳定性, 可以兼容目前的硅基加工工艺, 可应用于大规模集成电路加工。

一种通过点击化学反应调控二维材料掺杂特性的方法及应用

技术领域

本发明属于新型半导体器件技术领域，涉及一种通过点击化学反应调控二维材料掺杂特性的方法及应用。

背景技术

场效应晶体管作为现代集成电路的核心电子元器件，其性能的不断提升推动着近半个世纪以来的集成电路产业的高速发展。然而，随着器件尺寸微缩至其理论极限，短沟道效应使得传统硅基场效应晶体管的器件性能急剧退化。传统的依靠减小器件尺寸、增加器件集成密度以提高集成电路性能的技术路线将面临失效。

为了应对硅基集成电路遇到的挑战，已经提出了采用新型半导体材料，如二维材料等，以减弱短沟道效应的影响，继续推进器件尺寸的小型化。二维材料种类丰富，其结构均为层内原子通过共价键结合成稳定的单层材料，而原子层间则通过范德华力相结合形成多层堆叠。二维材料表面无悬挂键，具有原子级平整度，有利于以二维材料为沟道的场效应晶体管表现出优异的电学输运性能，减弱短沟道效应对器件性能的影响。

二维过渡金属硫化物是目前研究较为成熟的半导体性二维材料，但其掺杂特性的调控还存在诸多挑战：

(1) 二维过渡金属硫化物具有纳米、亚纳米级厚度，难以像硅一样通过离子注入实现重掺杂；

(2) 目前的掺杂方式以物理吸附小分子为主，通过化学反应形成化学键实现掺杂特性调控的方法较少；但是，物理吸附存在掺杂不稳定、不可靠、不兼容微纳加工工艺等问题；

(3) 在利用二维过渡金属硫化物制备场效应晶体管时，使用传统 CMOS 工艺沉积金属电极存在破坏二维材料晶格的情况，在二维过渡金属硫化物中引入界面态，形成费米钉扎效应，导致场效应晶体管的接触电阻较大；目前的掺杂特性调控方法对于解决这一问题效果有限。

发明内容

本发明的目的在于针对现有二维过渡金属硫化物掺杂技术的不足，提供一种通过点击化学反应调控二维过渡金属硫化物掺杂特性的方法，利用该方法对二维过渡金属硫化物场效应晶体管的源区和漏区进行重掺杂，降低场效应晶体管的接触电阻。

本发明的目的可通过下列技术方案来实现：

根据本说明书的第一方面，提供一种通过点击化学反应调控二维材料掺杂特性的方法，所述二维材料选自二维过渡金属硫化物，该方法将马来酰亚胺通过点击化学反应吸附到二维过渡金属硫化物表面形成化学键，由于化学成键过程的电荷转移导致电荷重新分布，实现二维材料掺杂特性的调控。

进一步地，所述马来酰亚胺包括 N-苄基马来酰亚胺、N-甲基马来酰亚胺、N-苯基马来酰亚胺、N-(4-溴苯基)马来酰亚胺、N-(4-氨基苯基)马来酰亚胺。

进一步地，利用硫的软亲核特性通过碳-硫成键的迈克尔加成反应，实现点击化学反应，同时所述点击化学反应需要在氮气环境中进行。

根据本说明书的第二方面，提供一种场效应晶体管，所述场效应晶体管的沟道为二维过渡金属硫化物，通过掩膜层定义源区和漏区的位置，在源区和漏区分别通过如第一方面所述的方法进行沟道掺杂。

进一步地，所述掩膜层为光刻胶或六方氮化硼。

进一步地，所述场效应晶体管的栅介质层可以是氧化硅、氮化硅、或高介电系数的材料，包括氧化铝、氧化铪、氧化锆等。

根据本说明书的第三方面，提供一种如第二方面所述的场效应晶体管的制备方法，该方法包括：

- (1)制备带有栅介质层的重掺杂硅衬底；
- (2)转移二维过渡金属硫化物到硅衬底表面；
- (3)通过掩膜层定义沟道区、源区和漏区的位置；
- (4)在源区和漏区通过马来酰亚胺与二维过渡金属硫化物的点击化学反应实现二维过渡金属硫化物的掺杂；
- (5)制备源区和漏区电极。

进一步地，所述源区和漏区电极通过光刻、显影、镀膜、剥离工艺制备，或者使用聚合物辅助转移方法制备。

本发明的有益效果：与现有的物理吸附小分子掺杂技术相比，本发明将马来酰亚胺分子通过温和的点击化学反应吸附在二维过渡金属硫化物表面，由于分子与二维过渡金属硫化物形成共价键，该方法表现出高稳定性掺杂，包括热稳定性和化学稳定性，可兼容传统微纳加工工艺，适用于大规模制造技术；以二维过渡金属硫化物场效应晶体管为基础，利用该方法对晶体管源区和漏区的二维过渡金属硫化物进行重掺杂，可以有效降低接触电阻和肖特基势垒；该方法可减弱金属沉积过程对源区和漏区二维过渡金属硫化物晶格的破坏，从而减少了金属引入的界面态，降低了费米钉扎效应带来的不利影响。

附图说明

图1为二维过渡金属硫化物场效应晶体管制备流程图；

图2为二维过渡金属硫化物 MoS_2 掺杂前后光致发光光谱图；

图3为二维过渡金属硫化物场效应晶体管结构示意图；

图4为二维过渡金属硫化物 MoS_2 场效应晶体管源区和漏区掺杂前后的转移特性曲线。

具体实施方式

以下是本发明的具体实施例，进一步阐述本发明。应理解，这些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，这些等价形式落于本申请所附权利要求书所限定的范围。

本发明提供一种通过点击化学反应调控二维过渡金属硫化物掺杂特性的方法，该方法将马来酰亚胺通过点击化学反应吸附到二维过渡金属硫化物表面形成化学键，由于化学成键过程的电荷转移导致电荷重新分布，实现二维材料掺杂特性的调控。

进一步地，所述马来酰亚胺包括 N-苄基马来酰亚胺、N-甲基马来酰亚胺、N-苯基马来酰亚胺、N-(4-溴苯基)马来酰亚胺、N-(4-氨基苯基)马来酰亚胺。

进一步地，利用硫的软亲核特性通过碳-硫成键的迈克尔加成反应，实现点击化学反应，同时所述点击化学反应需要在氮气环境中进行。

本发明还提供一种场效应晶体管，所述场效应晶体管的沟道为二维过渡金属硫化物，通过掩膜层定义源区和漏区的位置，在源区和漏区分别通过马来酰亚胺与二维过渡金属硫化物的点击化学反应实现沟道掺杂。

进一步地，选择平整、没有褶皱的薄层二维过渡金属硫化物纳米薄片作为沟道材料。

进一步地，所述掩膜层为光刻胶或六方氮化硼。

进一步地，所述场效应晶体管的栅介质层为氧化硅片，氧化硅片可用氮化硅片代替，氮化硅导热率高于氧化硅，可以有效降低热量带来的晶体管性能退化，氧化硅片还可以用表面长有高介电系数绝缘层的硅片代替，高介电系数绝缘层包括氧化铝、氧化镓、氧化锆等，它们可以有效减弱带电杂质对沟道材料电学输运的不利影响。

进一步地，二维过渡金属硫化物可以选择化学气相沉积方法制备，从而使该方法适用于大规模生产。

本发明还提供一种二维过渡金属硫化物场效应晶体管的制备方法，如图 1 所示，该方法包括：

- (1)制备带有栅介质层的重掺杂硅衬底；
- (2)转移二维过渡金属硫化物到硅衬底表面；

(3)通过掩膜层定义沟道区、源区和漏区的位置；

(4)在源区和漏区通过马来酰亚胺与二维过渡金属硫化物的点击化学反应实现二维过渡金属硫化物的掺杂；

(5)制备源区和漏区电极。源区和漏区电极可以通过光刻、显影、镀膜、剥离工艺制备，或者使用聚合物辅助转移方法制备。

实施例 1

本实施例中基于上述的通过点击化学反应实现对二维过渡金属硫化物掺杂特性调控的方法包括以下步骤：

将带有少层二维过渡金属硫化物的氧化硅片放入由乙腈 20ml、三乙胺 5 滴、马来酰亚胺 100mg 所配置的溶液中，在氮气环境中反应 16 小时。将氧化硅片泡入乙腈中，清洗物理吸附在二维过渡金属硫化物表面的马来酰亚胺。其中马来酰亚胺包括 N-苄基马来酰亚胺、N-甲基马来酰亚胺、N-苯基马来酰亚胺、N-(4-溴苯基)马来酰亚胺、N-(4-氨苯基)马来酰亚胺。修饰前后二维过渡金属硫化物 MoS₂ 的光致发光光谱图发生了变化，如图 2 所示，证明了此方法可以实现对二维过渡金属硫化物掺杂特性的调控。

实施例 2

本实施例中基于上述的二维过渡金属硫化物场效应晶体管的结构如图 3 所示，衬底为氧化硅片，表面氧化硅层厚度为 285 nm，单晶硅为电阻率 0.001-0.005 $\Omega\cdot\text{cm}$ 的 p 型重掺杂硅。氧化硅上方是二维过渡金属硫化物。二维过渡金属硫化物分为沟道区、源区和漏区。二维过渡金属硫化物沟道区上方是六方氮化硼，二维过渡金属硫化物源区和漏区使用实施例 1 所述方法进行点击化学反应，即在二维过渡金属硫化物表面与马来酰亚胺形成共价键。二维过渡金属硫化物源区和漏区上方是金属电极。

实施例 3

本实施例中具体器件制备过程包括以下步骤：

(1)在氧化硅片上通过光刻、溅射等工艺制备金属标记，用于后续套刻工艺的对准。

(2)少层二维过渡金属硫化物制备：通过机械剥离方法将薄层二维过渡金属硫化物转移至带有金属标记的氧化硅片上，利用显微镜在氧化硅片上找到目标少层二维过渡金属硫化物。其中过渡金属硫化物包括 MoS_2 、 WS_2 、 PtS_2 等。

(3)切下小块 PMDS 粘在玻璃载玻片上，使用 PDMS 粘取六方氮化硼(BN)晶体，在显微镜下寻找合适大小的六方氮化硼纳米片，使用转移平台在二维过渡金属硫化物沟道区域上方转移六方氮化硼，使得源区和漏区裸露。

(4)使用实施例 1 所述方法对源区和漏区的二维过渡金属硫化物（未被六方氮化硼覆盖的区域)进行点击化学反应，实现掺杂特性调控。

(5)在带有过渡金属硫化物的氧化硅片上旋涂光刻胶，通过激光直写设备进行紫外曝光，在显影液中显影完全图案化工艺；之后利用金属镀膜仪制作金电极，通过金属剥离工艺，完成场效应晶体管源区和漏区的金属电极制备。

(6)对二维过渡金属硫化物效应晶体管进行退火，退火气体氛围为氢氩混合气（氢气含量为 10 %），退火温度 200 °C。对原始器件和源区漏区掺杂的器件进行对比测试，电学性能如图 4 所示。从转移曲线可以看出，源区和漏区掺杂的器件阈值电压降低，开态电流增大，证明接触电阻降低。

本文中所描述的具体实施例仅仅是对本发明精神作举例说明。本发明所属技术领域的技术人员可以对所描述的具体实施例做各种各样的修改或补充或采用类似的方式替代，但并不会偏离本发明的精神或者超越所附权利要求书所定义的范围。

权利要求书

1、一种通过点击化学反应调控二维材料掺杂特性的方法，其特征在于，所述二维材料选自二维过渡金属硫化物，该方法将马来酰亚胺通过点击化学反应吸附到二维过渡金属硫化物表面形成化学键，由于化学成键过程的电荷转移导致电荷重新分布，实现二维材料掺杂特性的调控。

2、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述马来酰亚胺包括 N-苄基马来酰亚胺、N-甲基马来酰亚胺、N-苯基马来酰亚胺、N-(4-溴苯基)马来酰亚胺、N-(4-氨苯基)马来酰亚胺。

3、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，利用硫的软亲核特性通过碳-硫成键的迈克尔加成反应，实现点击化学反应，同时所述点击化学反应需要在氮气环境中进行。

4、一种场效应晶体管，其特征在于，所述场效应晶体管的沟道为二维过渡金属硫化物，通过掩膜层定义源区和漏区的位置，在源区和漏区分别通过权利要求1-3中任一项所述方法进行沟道掺杂。

5、根据权利要求4所述的场效应晶体管，其特征在于，所述掩膜层为光刻胶或六方氮化硼。

6、根据权利要求4所述的场效应晶体管，其特征在于，所述场效应晶体管的栅介质层为氧化硅、氮化硅、或高介电系数的材料，包括氧化铝、氧化铪、氧化锆。

7、一种权利要求4-6中任一项所述场效应晶体管的制备方法，其特征在于，该方法包括：

- (1)制备带有栅介质层的重掺杂硅衬底；
- (2)转移二维过渡金属硫化物到硅衬底表面；
- (3)通过掩膜层定义沟道区、源区和漏区的位置；
- (4)在源区和漏区通过马来酰亚胺与二维过渡金属硫化物的点击化学反应实

现二维过渡金属硫化物的掺杂；

(5)制备源区和漏区电极。

8、根据权利要求 7 所述的制备方法，其特征在于，所述源区和漏区电极通过光刻、显影、镀膜、剥离工艺制备，或者使用聚合物辅助转移方法制备。

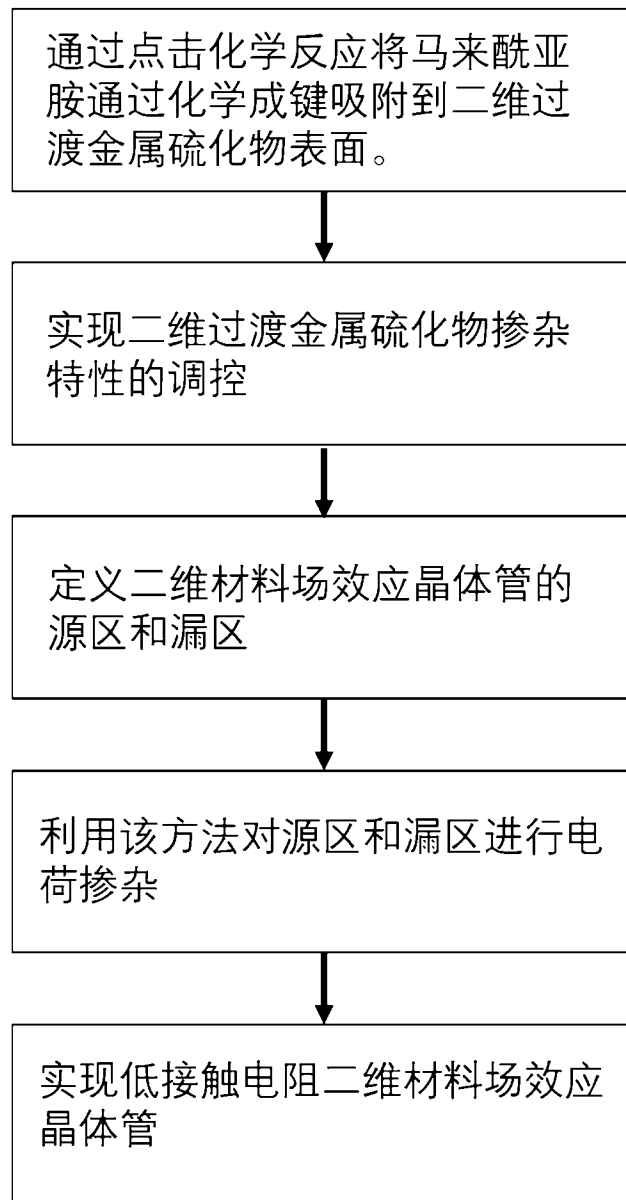


图 1

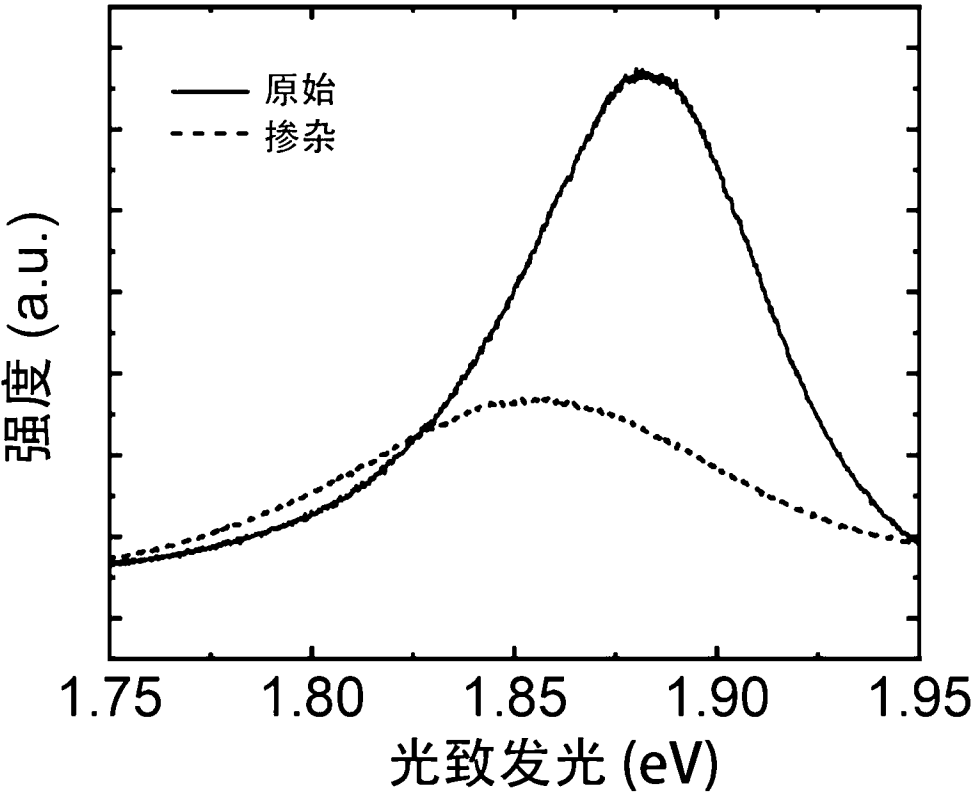


图 2

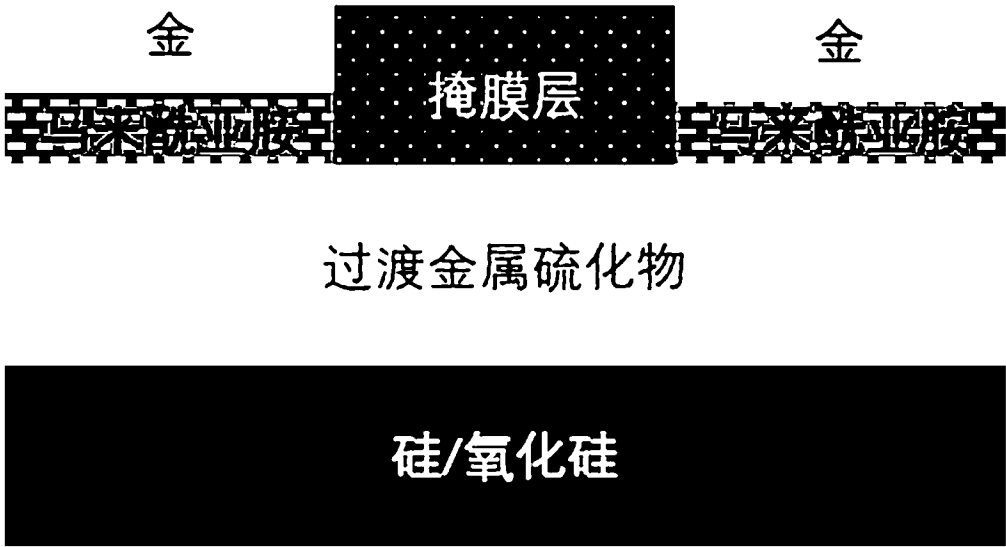


图 3

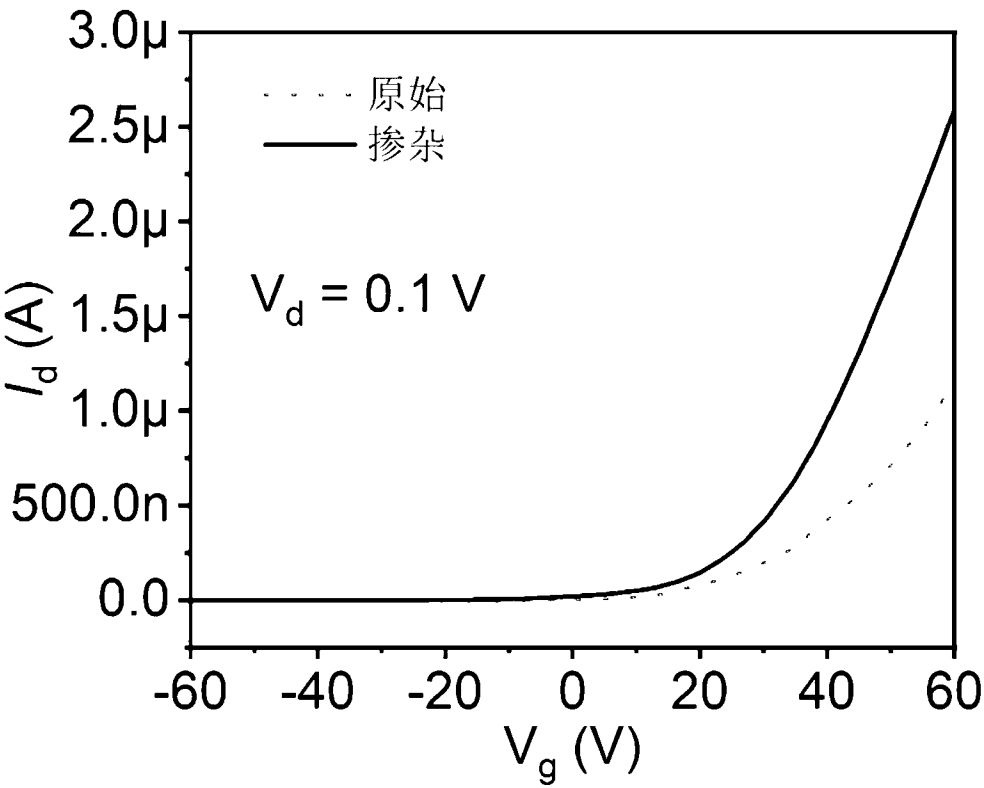


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/089981

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) 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) CNTXT, ENTXTC, ENTXT, IEEE, CNKI: 浙江大学, 赵昱达, ZHAO Yuda, 二维, 片状, 纳米片, 硫化物, 硫属化合物, 过渡金属, TMDCs, 晶体管, 源, 漏, 掺杂, 修饰, 官能化, 马来酰亚胺, 点击化学, 麦克尔加成, 链接化学, 速配接合组合式化学, 共价键, two, dimension+, 2D, flakes, transition, metal, dichalcogenides, maleimide, Michael addition, click, react+, function+, dop+, decorat+, source, drain, transistor, FET																				
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category*</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 114843403 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 02 August 2022 (2022-08-02) claims 1-8, description, paragraphs [0029]-[0055], and figures 1-4</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>MARIANO Vera-hidalgo et al. "Mild Covalent Functionalization of Transition Metal Dichalcogenides with Maleimides: A "Click" Reaction for 2H-MoS₂ and WS₂" <i>J.AM.Chem.Soc.</i>, Vol. 141, 24 January 2019 (2019-01-24), pages 3767-3771 pages 3767-3771</td> <td>1-3</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>MARIANO Vera-hidalgo et al. "Mild Covalent Functionalization of Transition Metal Dichalcogenides with Maleimides: A "Click" Reaction for 2H-MoS₂ and WS₂" <i>J.AM.Chem.Soc.</i>, Vol. 141, 24 January 2019 (2019-01-24), pages 3767-3771 pages 3767-3771</td> <td>4-8</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 109378273 A (SHANDONG UNIVERSITY) 22 February 2019 (2019-02-22) claims 1-10, description, paragraphs [0045]-[0100], and figures 1-6</td> <td>4-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104078501 A (SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY) 01 October 2014 (2014-10-01) entire document</td> <td>1-8</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	PX	CN 114843403 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 02 August 2022 (2022-08-02) claims 1-8, description, paragraphs [0029]-[0055], and figures 1-4	1-8	X	MARIANO Vera-hidalgo et al. "Mild Covalent Functionalization of Transition Metal Dichalcogenides with Maleimides: A "Click" Reaction for 2H-MoS ₂ and WS ₂ " <i>J.AM.Chem.Soc.</i> , Vol. 141, 24 January 2019 (2019-01-24), pages 3767-3771 pages 3767-3771	1-3	Y	MARIANO Vera-hidalgo et al. "Mild Covalent Functionalization of Transition Metal Dichalcogenides with Maleimides: A "Click" Reaction for 2H-MoS ₂ and WS ₂ " <i>J.AM.Chem.Soc.</i> , Vol. 141, 24 January 2019 (2019-01-24), pages 3767-3771 pages 3767-3771	4-8	Y	CN 109378273 A (SHANDONG UNIVERSITY) 22 February 2019 (2019-02-22) claims 1-10, description, paragraphs [0045]-[0100], and figures 1-6	4-8	A	CN 104078501 A (SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY) 01 October 2014 (2014-10-01) entire document	1-8
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.																		
PX	CN 114843403 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 02 August 2022 (2022-08-02) claims 1-8, description, paragraphs [0029]-[0055], and figures 1-4	1-8																		
X	MARIANO Vera-hidalgo et al. "Mild Covalent Functionalization of Transition Metal Dichalcogenides with Maleimides: A "Click" Reaction for 2H-MoS ₂ and WS ₂ " <i>J.AM.Chem.Soc.</i> , Vol. 141, 24 January 2019 (2019-01-24), pages 3767-3771 pages 3767-3771	1-3																		
Y	MARIANO Vera-hidalgo et al. "Mild Covalent Functionalization of Transition Metal Dichalcogenides with Maleimides: A "Click" Reaction for 2H-MoS ₂ and WS ₂ " <i>J.AM.Chem.Soc.</i> , Vol. 141, 24 January 2019 (2019-01-24), pages 3767-3771 pages 3767-3771	4-8																		
Y	CN 109378273 A (SHANDONG UNIVERSITY) 22 February 2019 (2019-02-22) claims 1-10, description, paragraphs [0045]-[0100], and figures 1-6	4-8																		
A	CN 104078501 A (SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY) 01 October 2014 (2014-10-01) entire document	1-8																		
☒ 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 09 June 2023		Date of mailing of the international search report 19 June 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

International application No.

PCT/CN2023/089981**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 110931563 A (TIANJIN UNIVERSITY) 27 March 2020 (2020-03-27) entire document	1-8
A	CN 106711225 A (BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY) 24 May 2017 (2017-05-24) entire document	1-8
A	CN 111463289 A (NATIONAL CENTER FOR NANOSCIENCE AND TECHNOLOGY) 28 July 2020 (2020-07-28) entire document	1-8
A	US 10446694 B2 (NATIONAL APPLIED RESEARCH LABORATORIES) 15 October 2019 (2019-10-15) entire document	1-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/089981

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	114843403	A	02 August 2022	None			
CN	109378273	A	22 February 2019	None			
CN	104078501	A	01 October 2014	None			
CN	110931563	A	27 March 2020	None			
CN	106711225	A	24 May 2017	None			
CN	111463289	A	28 July 2020	None			
US	10446694	B2	15 October 2019	US	2018358474	A1	13 December 2018

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) 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)) CNTXT, ENTXTC, ENTXT, IEEE, CNKI: 浙江大学, 赵昱达, ZHAO Yuda, 二维, 片状, 纳米片, 硫化物, 硫属化合物, 过渡金属, TMDCS, 晶体管, 源, 漏, 掺杂, 修饰, 官能化, 马来酰亚胺, 点击化学, 麦克尔加成, 链接化学, 速配接组合式化学, 共价键, two, dimension+, 2D, flakes, transition, metal, dichalcogenides, maleimide, Michael addition, click, react+, function+, dop+, decorat+, source, drain, transistor, FET		
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
PX	CN 114843403 A (浙江大学) 2022年8月2日 (2022 - 08 - 02) 权利要求1-8, 说明书第[0029]-[0055]段, 图1-4	1-8
X	MARIANO Vera-hidalgo et al. "Mild Covalent Functionalization of Transition Metal Dichalcogenides with Maleimides: A "Click" Reaction for 2H-MoS2 and WS2" J. AM. Chem. Soc., 第141卷, 2019年1月24日 (2019 - 01 - 24), 第3767-3771页 第3767-3771页	1-3
Y	MARIANO Vera-hidalgo et al. "Mild Covalent Functionalization of Transition Metal Dichalcogenides with Maleimides: A "Click" Reaction for 2H-MoS2 and WS2" J. AM. Chem. Soc., 第141卷, 2019年1月24日 (2019 - 01 - 24), 第3767-3771页 第3767-3771页	4-8
Y	CN 109378273 A (山东大学) 2019年2月22日 (2019 - 02 - 22) 权利要求1-10, 说明书第[0045]-[0100]段, 图1-6	4-8
☒ 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 2023年6月9日		国际检索报告邮寄日期 2023年6月19日
ISA/CN的名称和邮寄地址 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		授权官员 周忠堂 电话号码 (+86) 010-53961222

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
A	CN 104078501 A (上海交通大学) 2014年10月1日 (2014 - 10 - 01) 全文	1-8
A	CN 110931563 A (天津大学) 2020年3月27日 (2020 - 03 - 27) 全文	1-8
A	CN 106711225 A (北京交通大学) 2017年5月24日 (2017 - 05 - 24) 全文	1-8
A	CN 111463289 A (国家纳米科学中心) 2020年7月28日 (2020 - 07 - 28) 全文	1-8
A	US 10446694 B2 (NATIONAL APPLIED RESEARCH LABORATORIES) 2019年10月15日 (2019 - 10 - 15) 全文	1-8

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2023/089981

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	114843403	A	2022年8月2日	无	
CN	109378273	A	2019年2月22日	无	
CN	104078501	A	2014年10月1日	无	
CN	110931563	A	2020年3月27日	无	
CN	106711225	A	2017年5月24日	无	
CN	111463289	A	2020年7月28日	无	
US	10446694	B2	2019年10月15日	US 2018358474 A1	2018年12月13日