

(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
2024年4月25日 (25.04.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/082636 A1

(51) 国际专利分类号:
H01L 29/872 (2006.01) *H01L 21/329* (2006.01)
H01L 29/861 (2006.01) *H01L 29/06* (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2023/096765

(22) 国际申请日: 2023年5月29日 (29.05.2023)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202211280618.9 2022年10月19日 (19.10.2022) CN

(71) 申请人: 广州华瑞升阳投资有限公司 (GUANGZHOU HUARUI SHENGYANG INVESTMENT CO., LTD.) [CN/CN]; 中国广东省广州市黄埔区科学城科学大道科汇一街5号901房, Guangdong 510663 (CN)。

(72) 发明人: 尹向阳(YIN, Xiangyang); 中国广东省广州市黄埔区科学城科学大道科汇一街5号901房, Guangdong 510663 (CN)。谢弟银(XIE, Diyin); 中国广东省广州市黄埔区科学城科学大道科汇一街5号901房, Guangdong 510663 (CN)。李静(LI,

Jing); 中国广东省广州市黄埔区科学城科学大道科汇一街5号901房, Guangdong 510663 (CN)。

(74) 代理人: 广州知友专利商标代理有限公司 (GUANGZHOU ZHIYOU PATENT & TRADEMARK AGENCY CO., LTD.); 中国广东省广州市越秀区东风东路555号粤海集团大厦2305-06室, Guangdong 510050 (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, 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

(54) Title: SCHOTTKY BARRIER DIODE

(54) 发明名称: 一种肖特基势垒二极管

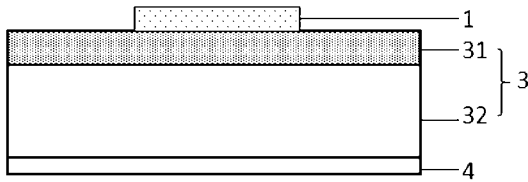


图1

(57) Abstract: The present invention provides a Schottky barrier diode, comprising: an ohmic electrode layer 4; a second semiconductor layer 32, wherein the lower surface of the second semiconductor layer 32 forms an ohmic contact with the upper surface of the ohmic electrode layer 4, and the second semiconductor layer 32 is an n-type semiconductor layer and comprises an SnO₂ compound semiconductor material; a first semiconductor layer 31 which is an n-type semiconductor layer and comprises an SnO₂ compound semiconductor material, wherein the electron carrier concentration of the first semiconductor layer 31 is less than or equal to $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$, and when a set reverse withstand voltage of the Schottky barrier diode is 10-10,000 V, the thickness is greater than or equal to 0.18 μm and is less than or equal to 112 μm , and the electron carrier concentration is lower than the electron carrier concentration of the second semiconductor layer 32; and a Schottky electrode layer 1, wherein the lower surface of the Schottky electrode layer 1 forms a Schottky contact with the upper surface of the second semiconductor layer 31. Compared with a Schottky diode made of an Si-based semiconductor material, the present invention can be applied to a higher reverse withstand voltage scenario and can suppress the increase of a forward voltage; and compared with a Schottky diode made of a SiC-based semiconductor material, the present invention can have lower costs while maintaining comparable device performance.

(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))。

(57) 摘要: 本发明提供了一种肖特基势垒二极管, 具有: 欧姆电极层4; 第二半导体层32, 下表面与欧姆电极层4上表面形成欧姆接触, 为n型半导体层, 包括SnO₂类化合物半导体材料; 第一半导体层31, 为n型半导体层, 包括SnO₂类化合物半导体材料, 其电子载流子浓度 $\leq 5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$, 当肖特基势垒二极管设定的反向耐压为10-10000V时, 厚度为 $\geq 0.18\mu\text{m}$ 且 $\leq 112\mu\text{m}$, 电子载流子浓度低于第二半导体层32的电子载流子浓度; 肖特基电极层1, 下表面与第二半导体层31的上表面形成肖特基接触。本发明相较于Si基半导体材料的肖特基二极管, 可以应用于更高的反向耐压场景且能够抑制正向电压的增大; 相较于SiC基半导体材料的肖特基二极管, 可以在器件性能相当的前提下有着更低的成本。

一种肖特基势垒二极管

技术领域

本发明涉及半导体器件技术领域，具体涉及一种肖特基势垒二极管。

背景技术

5 半导体材料经过几十年的发展，从第一代的半导体材料锗和硅，到第二代的半导体材料砷化镓和磷化铟，再到第三代的半导体材料如碳化硅、氮化镓、氮化硼等，以及氧化物半导体材料包括氧化镓、氧化锌、氧化锡等。材料的发展迭代，使得半导体的性能越来越优，半导体的尺寸越来越小。

10 硅是目前最常用的用于半导体器件和功率器件的材料。其原材料储量丰富，晶体生长工艺成熟且高效；然而硅材料的禁带宽度为 1.1eV，且击穿场强仅为 40V/ μm ，在一些高电压、高温度的领域，其应用存在较大的局限性。

15 当下如火如荼的第三代半导体材料例如碳化硅、氮化镓，其材料特性相对于硅而言，有较大幅度的提升。例如碳化硅的禁带宽度约为 3.3eV，是硅的 3 倍；击穿场强约为 300V/ μm ，是硅的 7 倍有余。例如氮化镓的禁带宽度约为 3.44eV，是硅的 3 倍有余；击穿场强约为 500V/ μm ，是硅的 10 倍有余。这些材料特性的提升，使得碳化硅和氮化镓能够使用于更高压、更高温度的应用场景，扩宽半导体材料的应用边界。

20 然而，不论是碳化硅，亦或是氮化镓，它们的晶体制备都十分困难。例如碳化硅单晶的主流制备工艺采用物理气相输运法【PVT】，其长晶效率相对较慢，且由于碳化硅有超过 200 种的同分异构体，使得其长晶良率很低，这两部分因素，使得碳化硅单晶的成本居高不下。例如氮化镓单晶的主流制备工艺采用卤化物气相外延法【HVPE】，采用外延的方式来长晶，使得其长晶效率相对碳化硅更慢，且加之较为昂贵的源料，使得氮化镓单晶的成本，更是碳化硅单晶成本的 3 倍以上。这些因素，在很大程度上影响了碳化硅和氮化镓在更大范围内的应用。

发明内容

25 有鉴如此，本发明要解决的技术问题是提供一种肖特基势垒二极管，其可以应用于更高的反向耐压场景且能够抑制正向电压的增大。

为实现上述目的，本发明所提供的肖特基势垒二极管实施例如下：

一种肖特基势垒二极管，包括自下至上依次堆叠的：

欧姆电极层；

第二半导体层，所述第二半导体层的下表面与所述欧姆电极层的上表面形成欧姆接触，所述第二半导体层为 n 型半导体层，所述第二半导体层包括 SnO₂ 类化合物半导体材料；

第一半导体层，为 n 型半导体层，包括 SnO₂ 类化合物半导体材料，其电子载流子的浓度小于或等于 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ ，当所述肖特基势垒二极管设定的反向耐压为 10-10000V 时，所述第一半导体层的厚度为大于或等于 $0.18 \mu\text{m}$ 且小于或等于 $112 \mu\text{m}$ ，所述第一半导体层的电子载流子的浓度低于所述第二半导体层的电子载流子的浓度；

肖特基电极层，所述肖特基电极层的下表面与所述第一半导体层的上表面形成肖特基接触。

进一步地，在所述第一半导体层上表面堆叠有介质层，所述介质层上设置有一窗口，从而部分漏出所述第一半导体层的上表面，所述肖特基电极层填充在所述窗口之中，并沿所述窗口的侧壁延伸至所述介质层的上表面。

所述第二半导体层的电子载流子的浓度比所述第一半导体层的电子载流子的浓度高 10 倍以上。

进一步地，所述第一半导体层的厚度 \geq 反向耐压对应的耗尽层的宽度。

进一步地，所述第一半导体层的电子载流子的浓度为小于或等于 $5 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ ；或者所述第一半导体层的电子载流子的浓度为 $5 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ 。

基于上述第一半导体层的电子载流子的浓度的取值范围，进一步地，所述第二半导体层的电子载流子的浓度大于或等于 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 。

未基于上述第一半导体层的电子载流子的浓度的取值范围，进一步地，所述第二半导体层的电子载流子的浓度大于或等于 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 。

本发明提供的基于 SnO₂ 类半导体材料的肖特基二极管，其发明效果体现在如下两点：

第一，相对于硅基肖特基二极管而言，基于 SnO₂ 类半导体材料的肖特基二极管，既能够应用于更高的反向耐压场景，其耐压能力可以高达数千伏。同时

又能够抑制正向电压的增大，降低器件损耗，减少器件发热。

第二，相对于碳化硅基肖特基二极管而言，基于 SnO_2 半导体材料的肖特基二极管，其单晶制备采用物理气相输运法【PVT】，然在长晶条件下，其稳定存在的同分异构体仅有一种【四方金红石相】，因此其长晶良率可大幅提升。使得其单晶成本相对于碳化硅单晶有大幅度的下降。相对于氮化镓基肖特基二极管而言， SnO_2 单晶的制备效率高于氮化镓单晶的制备效率， SnO_2 单晶的源料成本低于氮化镓单晶的源料成本，这都使得 SnO_2 单晶成本相对于氮化镓单晶有大幅度的下降。单晶成本的下降，使得 SnO_2 基肖特基二极管，可以在更大的范围内得到应用。

10 附图说明

图 1 是本发明第一实施例的肖特基势垒二极管的剖面结构图；

图 2A 是表示针对使用 Si 作为半导体材料的情况与本发明使用 SnO_2 作为半导体材料的情况，在将反向耐压设定为 100V 的情况下，n-半导体层以及 n+半导体层的电子载流子浓度、电阻率、厚度与电压降的关系的比较表；

15 图 2B 是表示针对使用 SiC 作为半导体材料的情况与本发明使用 SnO_2 作为半导体材料的情况，在将反向耐压设定为 600V 的情况下，n-半导体层以及 n+半导体层的电子载流子浓度、电阻率、厚度与电压降的关系的比较表；

图 2C 是表示针对使用 SiC 作为半导体材料的情况与本发明使用 SnO_2 作为半导体材料的情况，在将反向耐压设定为 1000V 的情况下，n-半导体层以及 n+半导体层的电子载流子浓度、电阻率、厚度与电压降的关系的比较表；

20 图 2D 是表示针对使用 SiC 作为半导体材料的情况与本发明使用 SnO_2 作为半导体材料的情况，在将反向耐压设定为 10000V 的情况下，n-半导体层以及 n+半导体层的电子载流子浓度、电阻率、厚度与电压降的关系的比较表；

图 3 是本发明第二实施例的肖特基势垒二极管的剖面结构图。

25 其中，上述附图包括以下附图标记：

1. 肖特基电极层，2. 介质层，3. n 型半导体层，31. 第一半导体层，32. 第二半导体层，4. 欧姆电极层。

具体实施方式

为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂，下面结合附图对本发明的具体实施方式做详细的说明，显然，所描述的实施例是本发明一部分实施例，而不是全部实施例。基于本申请中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都应当属于本申请保护的5 范围。

需要说明的是，本申请的说明书和权利要求书中描述的术语“包括”和“具有”以及他们的任何变形，意图在于覆盖不排他的包含，例如，包含了一系列层、区或工艺步骤不必限于清楚地列出的那些层、区或工艺步骤，而是可包括没有清楚地列出的或对于这些结构固有的层、区或工艺步骤。

10 另外，在不冲突的情况下，本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。

应该理解的是，在说明书以及权利要求书中，当描述有层/区“设置/堆叠”于另一层/区时，该层/区可“直接设置/堆叠”至该另一层/区，或者通过第三层/区“设置/堆叠”于该另一层/区；当描述有工艺步骤接续至另一工艺步骤时，15 该工艺步骤可直接接续至该另一工艺步骤，或者通过第三工艺步骤接续至该另一工艺步骤。

图 1 是本发明第一实施例方式的肖特基势垒二极管的剖面结构图，其中，肖特基势垒二极管具有：欧姆电极层 4；第二半导体层 32，第二半导体层 32 的下表面与欧姆电极层 4 的上表面形成欧姆接触，第二半导体层 32 为 n 型半导体层，第二半导体层 32 包括 SnO_2 类化合物半导体材料；第一半导体层 31，为 n 20 型半导体层，包括 SnO_2 类化合物半导体材料，其电子载流子的浓度小于或等于 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ ，当肖特基势垒二极管设定的反向耐压为 10-10000V 时，第一半导体层 31 的厚度为大于或等于 $0.18 \mu\text{m}$ 且小于或等于 $112 \mu\text{m}$ ，第一半导体层 31 的电子载流子的浓度低于第二半导体层 32 的电子载流子浓度；肖特基电极层 1，25 肖特基电极层 1 的下表面与第一半导体层 31 的上表面形成肖特基接触。

在图 1 的示例中，第二半导体层 32 相当于 n 型重掺杂【n+】的 SnO_2 衬底层，其含有 Nb 或 Sb 等导电性杂质； SnO_2 衬底层是采用物理气相输运法【PVT】培育的 SnO_2 单晶的体单晶进行切片并对其进行减薄和研磨形成。

第一半导体层 31 相当于 n 型轻掺杂的【n-】 SnO_2 外延层，其含有 Nb 或 Sb

等导电性杂质；SnO₂外延层是采用MOCVD法【金属有机化学气相外延法】等气相外延法，在SnO₂衬底层的一面上，外延生长具有n型轻掺杂的SnO₂半导体层。

不同的半导体材料有着不同的击穿电场强度 E_c ，Si的击穿场强约为40V/ μm ，SiC的击穿场强约为300V/ μm ，与其相比，SnO₂的击穿场强约为430V/ μm ，
5 比Si和SiC都要高。

一般地，肖特基二极管的反向耐压与击穿电场强度的平方成正相关，与电子载流子浓度成反相关。因此，若击穿电场强度增大，在电子载流子浓度相同的情况下，反向耐压也增加。若要求相同的反向耐压，则能够通过增大击穿电场强度，进而提高电子载流子浓度，则正向导通电阻会随之变小，正向导通电压降【 V_F 】随之变小。
10

图2A~图2D是表示针对使用Si或者SiC作为半导体材料的情况与本发明使用SnO₂作为半导体材料的情况，第一半导体层(31)【外延层】以及第二半导体层(32)【衬底】的电子载流子浓度、电阻率、厚度与将电流密度设定为200A/cm²的情况下的电压降的关系的比较表。其中，图2A是使用Si以及SnO₂并将反向耐压设定为100V的情况下的比较表，图2B是使用SiC以及SnO₂并将反向耐压设定为600V的情况下的比较表，图2C是使用SiC以及SnO₂并将反向耐压设定为1000V【1kV】的情况下的比较表，图2D是使用SiC以及SnO₂并将反向耐压设定为10000V【10kV】的情况下的比较表。
15

如图2A所示，在将反向耐压设定为100V的情况下，n-半导体层的电子载流子浓度以及厚度在Si中为 $2.47 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ 、7.5 μm ，与此相对，在第一实施方式的SnO₂中为 $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、0.923 μm 。由此，在n-半导体层中的电压降在Si的情况下为0.1955V，与此相对，在SnO₂的情况下为0.0026V。其结果是，包括n-半导体层以及n+半导体层在内的总电压降在Si的情况下为0.2226V，在SnO₂的情况下为0.0919V，能够降电压降低约59%。
20

另外，如图2B所示，在将反向耐压设定为600V的情况下，n-半导体层的电子载流子浓度以及厚度在SiC中为 $2.16 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 、5.46 μm ，与此相对，在第一实施方式的SnO₂中为 $4 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 、3.07 μm 。由此，在n-半导体层中的电压降在SiC的情况下为0.0345V，与此相对，在SnO₂的情况下为0.0369V。其结果是，包括n-半导体层以及n+半导体层在内的总电压降在SiC的情况下为
25

0.0546V, 在 SnO₂ 的情况下为 0.0667V, 压降有一定程度的升高, 约 22%。然而, 因为数值本身很小, 压降的绝对值提高仅为 0.0121V。此时, 需考虑到 SiC 单晶和 SnO₂ 单晶, 同样采用的是物理气相输运法【PVT】长晶, 由于 SnO₂ 在长晶环境条件下仅有一种相【四方金红石相】稳定存在, 而 SiC 在长晶条件下存在多种同分异构体并存, 因此, SnO₂ 单晶的长晶良率会远高于 SiC 单晶。从而使得 SnO₂ 单晶的成本远低于 SiC 单晶, 基于它们为衬底制作的肖特基二极管, SnO₂ 基肖特基二极管的成本也会远低于 SiC 基肖特基二极管。在器件性能相当的情况下, SnO₂ 基肖特基二极管, 成本更低, 则能够有着更大的使用范围。

另外, 如图 2C 所示, 在将反向耐压设定为 1000V 的情况下, n-半导体层的电子载流子浓度以及厚度在 SiC 中为 $1.3 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 、 $9.1 \mu\text{m}$, 与此相对, 在第一实施方式的 SnO₂ 中为 $2.7 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 、 $5.12 \mu\text{m}$ 。由此, 在 n-半导体层中的电压降在 SiC 的情况下为 0.0914V, 与此相对, 在 SnO₂ 的情况下为 0.0911V。其结果是, 包括 n-半导体层以及 n+半导体层在内的总电压降在 SiC 的情况下为 0.1115V, 在 SnO₂ 的情况下为 0.1209V, 压降有一定程度的升高, 约 8%。然而, 因为数值本身很小, 压降的绝对值提高仅为 0.0094V。此时, 需考虑到 SiC 单晶和 SnO₂ 单晶, 同样采用的是物理气相输运法【PVT】长晶, 由于 SnO₂ 在长晶环境条件下仅有一种相【四方金红石相】稳定存在, 而 SiC 在长晶条件下存在多种同分异构体并存, 因此, SnO₂ 单晶的长晶良率会远高于 SiC 单晶。从而使得 SnO₂ 单晶的成本远低于 SiC 单晶, 基于它们为衬底制作的肖特基二极管, SnO₂ 基肖特基二极管的成本也会远低于 SiC 基肖特基二极管。在器件性能相当的情况下, SnO₂ 基肖特基二极管, 成本更低, 则能够有着更大的使用范围。

另外, 如图 2D 所示, 在将反向耐压设定为 1000V 的情况下, n-半导体层的电子载流子浓度以及厚度在 SiC 中为 $1.3 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ 、 $90.9 \mu\text{m}$, 与此相对, 在第一实施方式的 SnO₂ 中为 $2.7 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ 、 $51.2 \mu\text{m}$ 。由此, 在 n-半导体层中的电压降在 SiC 的情况下为 8.1118V, 与此相对, 在 SnO₂ 的情况下为 9.1168V。其结果是, 包括 n-半导体层以及 n+半导体层在内的总电压降在 SiC 的情况下为 8.1319V, 在 SnO₂ 的情况下为 9.1466V, 压降有一定程度的升高, 约 12%, 压降的绝对值提高仅为 1.0147V。此时, 需考虑到 SiC 单晶和 SnO₂ 单晶, 同样采用的是物理气相输运法【PVT】长晶, 由于 SnO₂ 在长晶环境条件下仅有一种相【四

方金红石相】稳定存在，而 SiC 在长晶条件下存在多种同分异构体并存，因此，SnO₂ 单晶的长晶良率会远高于 SiC 单晶。从而使得 SnO₂ 单晶的成本远低于 SiC 单晶，基于它们为衬底制作的肖特基二极管，SnO₂ 基肖特基二极管的成本也会远低于 SiC 基肖特基二极管。在器件性能相当的情况下，SnO₂ 基肖特基二极管，
5 成本更低，则能够有着更大的使用范围。

一般地，为了能够实现在半导体与金属之间产生整流作用的肖特基接触，半导体的电子亲和势需小于成为电极的金属的功函数。作为满足该关系的金属，包括 Pt、Pd、Ni 等。

欧姆电极层是通过真空蒸镀法或者溅射法形成在第二半导体层 32 的表面。
10 作为欧姆电极的材料，例如选择 Ti。此外，只要是功函数比 SnO₂ 的电子亲和势小的金属，使用其它元素作为欧姆电极层的材料也可。

图 3 是第二实施例肖特基势垒二极管的剖面结构图，本实施例中的肖特基势垒二极管与图 1 中的肖特基势垒二极管不同之处在于：在第一半导体层 31 上表面堆叠有介质层 2，介质层 2 上设置有一窗口，从而部分漏出第一半导体层
15 31 的上表面，肖特基电极层 1 填充在窗口之中，并沿窗口的侧壁延伸至介质层 2 的上表面。

实施例二相比于实施例一，其可以有效缓解实施例一中的电场集中效应，实施例一中电场线在肖特基电极与第一半导体层 31 接触的边、角处的分布密集，使得二极管在反向偏置时，在以上区域电场分布不均匀，存在被提前击穿的可能，同时漏电流会增加，实施例二通过肖特基电极与介质层的相对作用，使得
20 电场在上述区域中的分布相对均匀，提高二极管的反向特性和耐压能力，使氧化锡二极管器件的巴利加优值 BFOM 趋于理想值。

以上，对本发明优选的实施方式进行说明，但本发明不限于上述的实施方式，可在不脱离本发明主旨的范围进行各种变更，当然这些也包含于本发明的范围内。例如基于 SnO₂ 材料的肖特基二极管除了上述实施方式的结构【纵型】
25 以外，也可以是在 n 型半导体层（3）的相同面侧蒸镀有肖特基电极层（1）以及欧姆电极层（4）的横型结构。

为了获得较好的器件特征，本申请的发明人经过设计验证，获得如下优选的参数特性：

(1) 第二半导体层 32 的电子载流子的浓度比第一半导体层 31 的电子载流子浓度高 10 倍以上, 此时 n 型半导体层 3 的整体电阻变小;

(2) 第一半导体层 31 的厚度 \geq 反向耐压对应的耗尽层的宽度, 考虑到反向耐压和第一半导体层 31 的电子载流子浓度决定了 SnO_2 半导体耗尽层的宽度, 因此对于需求耐压, 第一半导体层 31 的厚度需要形成为比对应反向耐压的耗尽层宽度宽;

(3) 第一半导体层 31 的电子载流子浓度根据肖特基势垒二极管所要求的反向耐压和 SnO_2 的击穿电场强度来设定, 本发明第一半导体层 31 的电子载流子浓度可以设定在比 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 低的范围内, 进一步地, 第一半导体层 31 的电子载流子浓度可以设定为小于或等于 $5 \times 10^{16}/\text{cm}^3$, 进一步地, 第一半导体层 31 的电子载流子浓度可以设定为小于或等于 $5 \times 10^{15}/\text{cm}^3$;

(4) 第二半导体层 32 的电子载流子浓度大于或等于 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$, 其设定值取决于需求的肖特基势垒二极管的正向电压的大小, 第二半导体层 32 的电子载流子浓度高, n 型半导体层 3 的整体电阻小, 正向电压小。

根据本发明, 可提供一种基于 SnO_2 半导体材料的肖特基二极管, 相较于 Si 基半导体材料的肖特基二极管, 其可以应用于更高的反向耐压场景且能够抑制正向电压的增大; 相较于 SiC 基半导体材料的肖特基二极管, 其可以在器件性能相当的前提下, 有着更低的器件成本。

权利要求书

1、一种肖特基势垒二极管，其特征在于，包括自下至上依次堆叠的：

欧姆电极层（4）；

第二半导体层（32），所述第二半导体层（32）的下表面与所述欧姆电极层（4）的上表面形成欧姆接触，所述第二半导体层（32）为 n 型半导体层，所述第二半导体层（32）包括 SnO₂ 类化合物半导体材料；

第一半导体层（31），为 n 型半导体层，包括 SnO₂ 类化合物半导体材料，其电子载流子的浓度小于或等于 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ ，当所述肖特基势垒二极管设定的反向耐压为 10-10000V 时，所述第一半导体层（31）的厚度为大于或等于 0.18 μm 且小于或等于 112 μm ，所述第一半导体层（31）的电子载流子的浓度低于所述第二半导体层（32）的电子载流子的浓度；

肖特基电极层（1），所述肖特基电极层（1）的下表面与所述第一半导体层（31）的上表面形成肖特基接触。

2、根据权利要求 1 所述肖特基势垒二极管，其特征在于：在所述第一半导体层（31）上表面堆叠有介质层（2），所述介质层（2）上设置有一窗口，从而部分漏出所述第一半导体层（31）的上表面，所述肖特基电极层（1）填充在所述窗口之中，并沿所述窗口的侧壁延伸至所述介质层（2）的上表面。

3、根据权利要求 1 所述肖特基势垒二极管，其特征在于：所述第二半导体层（32）的电子载流子的浓度比所述第一半导体层（31）的电子载流子的浓度高 10 倍以上。

4、根据权利要求 1 所述的肖特基势垒二极管，其特征在于，所述第一半导体层（31）的厚度 \geq 反向耐压对应的耗尽层的宽度。

5、根据权利要求 1 至 4 任一项所述的肖特基势垒二极管，其特征在于，所述第一半导体层（31）的电子载流子的浓度为小于或等于 $5 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ ；或者所述第一半导体层（31）的电子载流子的浓度为 $5 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ 。

6、根据权利要求 5 所述的肖特基势垒二极管，其特征在于，所述第二半导体层（32）的电子载流子的浓度大于或等于 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 。

7、根据权利要求 1 至 4 任一项所述肖特基势垒二极管，其特征在于，所述第二半导体层（32）的电子载流子的浓度大于或等于 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 。

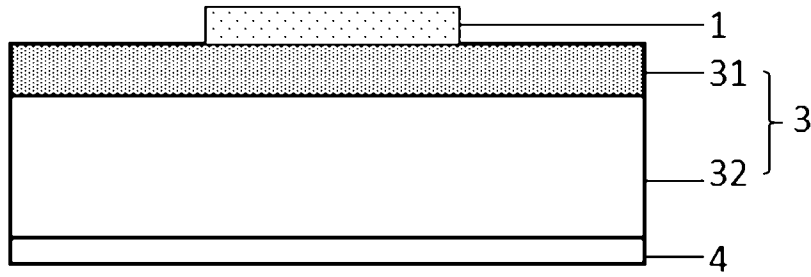


图 1

材料	半导体层	电子载流子浓度 (cm^{-3})	电阻率 ($\Omega\cdot\text{cm}$)	厚度 (μm)	电压降 (V)	总电压降 (V)	反向耐压 (V)
Si	n-半导体层	2.47×10^{15}	1.3	7.5	0.1955	0.2226	100
	n+半导体层	1.40×10^{19}	0.0045	300	0.0271		
SnO ₂	n-半导体层	2×10^{17}	0.142	0.923	0.0026	0.0919	100
	n+半导体层	3.5×10^{18}	0.0149	300	0.0893		

图 2A

材料	半导体层	电子载流子浓度 (cm^{-3})	电阻率 ($\Omega\cdot\text{cm}$)	厚度 (μm)	电压降 (V)	总电压降 (V)	反向耐压 (V)
Si	n-半导体层	2.16×10^{16}	0.315	5.46	0.0345	0.0546	600
	n+半导体层	3.47×10^{18}	0.01	100	0.0201		
SnO ₂	n-半导体层	4×10^{16}	0.601	3.07	0.0369	0.0667	600
	n+半导体层	3.5×10^{18}	0.0149	100	0.0298		

图 2B

材料	半导体层	电子载流子浓度 (cm^{-3})	电阻率 ($\Omega\cdot\text{cm}$)	厚度 (μm)	电压降 (V)	总电压降 (V)	反向耐压 (V)
Si	n-半导体层	1.30×10^{16}	0.501	9.1	0.0914	0.1115	1000
	n+半导体层	3.47×10^{18}	0.01	100	0.0201		
SnO ₂	n-半导体层	2.7×10^{16}	0.89	5.12	0.0911	0.1209	1000
	n+半导体层	3.5×10^{18}	0.0149	100	0.0298		

图 2C

材料	半导体层	电子载流子浓度 (cm^{-3})	电阻率 ($\Omega\cdot\text{cm}$)	厚度 (μm)	电压降 (V)	总电压降 (V)	反向耐压 (V)
Si	n-半导体层	1.30×10^{15}	4.45	90.9	8.1118	8.1319	10000
	n+半导体层	3.47×10^{18}	0.01	100	0.0201		
SnO ₂	n-半导体层	2.7×10^{15}	8.9	51.2	9.1168	9.1466	10000
	n+半导体层	3.5×10^{18}	0.0149	100	0.0298		

图 2D

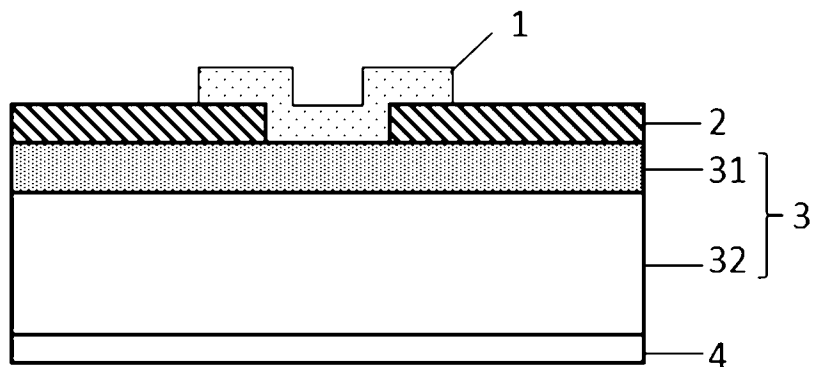


图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/096765

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
H01L 29/872(2006.01)i; H01L29/861(2006.01)i; H01L21/329(2006.01)i; H01L29/06(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)		
IPC: 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)		
CNTXT, ENTXT, ENTXTC, DWPI, WPABS, CNKI, IEEE: 肖特基, 肖脱基, 萧特基, 整流, 二极管, 二级体, 二级管, 氧化锡, 锡氧化物, 有源, 活性, 半导体, 载流子, 空穴, 电子, 浓度, 耐 1W 压, 抗 1W 压, 击穿电压, 穿通电压, 正向, 导通, 工作, 通态, schottky, SBD?, SBJ?, diode+, stannic 1W oxide, tin 1D ash, tin 1D oxide, jewellers 1W putty, active, semiconduct+, electron?, hole?, carrier?, concentrat+, withstand, breakdown, punch+ 1W through, voltage, potential, electric+, drop, on, direct, forward		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 103918082 A (TAMURA CORPORATION) 09 July 2014 (2014-07-09) description, paragraphs [0002]-[0087], and figures 1-8B	1-7
A	CN 105453272 A (IDEMITSU KOSAN CO., LTD.) 30 March 2016 (2016-03-30) entire document	1-7
A	CN 105474397 A (IDEMITSU KOSAN CO., LTD.) 06 April 2016 (2016-04-06) entire document	1-7
A	US 2011156020 A1 (JEON, S. H. et al.) 30 June 2011 (2011-06-30) entire document	1-7
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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		Date of mailing of the international search report
15 August 2023		21 August 2023
Name and mailing address of the ISA/CN		Authorized officer
China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/096765

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	103918082	A	09 July 2014	US	2020194560	A1	18 June 2020
				US	11264466	B2	01 March 2022
				US	2016322467	A1	03 November 2016
				US	9595586	B2	14 March 2017
				WO	2013069728	A1	16 May 2013
				US	2017162655	A1	08 June 2017
				US	10600874	B2	24 March 2020
				US	2022149158	A1	12 May 2022
				EP	2779242	A1	17 September 2014
				EP	2779242	A4	25 March 2015
				KR	20190094249	A	12 August 2019
				KR	102070847	B1	30 January 2020
				US	2016043238	A1	11 February 2016
				US	9412882	B2	09 August 2016
				TW	201338155	A	16 September 2013
				US	2014332823	A1	13 November 2014
				US	9171967	B2	27 October 2015
				KR	20200011561	A	03 February 2020
				KR	102191283	B1	15 December 2020
				KR	20140095080	A	31 July 2014
				KR	102025449	B1	25 September 2019
				TW	201703255	A	16 January 2017
				JP	2013102081	A	23 May 2013
				JP	2016029735	A	03 March 2016
				TW	585973	B1	01 June 2017
				JP	6204436	B2	27 September 2017
				JP	2017199928	A	02 November 2017
				JP	6367436	B2	01 August 2018
				JP	2018182333	A	15 November 2018
				CN	103918082	B	20 August 2019
CN	110233178	A	13 September 2019				
JP	6673984	B2	01 April 2020				
JP	2020096197	A	18 June 2020				
JP	7142047	B2	26 September 2022				
TW	627748	B1	21 June 2018				
CN	105453272	A	30 March 2016	KR	20160043967	A	22 April 2016
				KR	102226985	B1	11 March 2021
				JP	2021052203	A	01 April 2021
				JP	7084465	B2	14 June 2022
				JPWO	2015025499	A1	02 March 2017
				US	2017263786	A1	14 September 2017
				TW	201515242	A	16 April 2015
				US	2016197202	A1	07 July 2016
				US	9691910	B2	27 June 2017
				WO	2015025499	A1	26 February 2015
				JP	2019080084	A	23 May 2019
				JP	6989545	B2	05 January 2022
				TW	615984	B1	21 February 2018
				CN	105453272	B	21 August 2020
				CN	111668315	A	15 September 2020

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/096765

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	105474397	A	06 April 2016	US	2017141240	A1	18 May 2017
				TW	201515243	A	16 April 2015
				KR	20160043968	A	22 April 2016
				KR	102267094	B1	18 June 2021
				JPWO	2015025500	A1	02 March 2017
				JP	6283364	B2	21 February 2018
				WO	2015025500	A1	26 February 2015
				US	2016211386	A1	21 July 2016
				US	9570631	B2	14 February 2017
				TW	629799	B1	11 July 2018
				CN	105474397	B	18 June 2019

US	2011156020	A1	30 June 2011	EP	2339584	A2	29 June 2011
				EP	2339584	A3	07 December 2011
				US	2011161605	A1	30 June 2011
				US	8456900	B2	04 June 2013
				JP	2011135071	A	07 July 2011
				KR	20110074354	A	30 June 2011

<p>A. 主题的分类</p> <p>H01L 29/872(2006.01)i; H01L29/861(2006.01)i; H01L21/329(2006.01)i; H01L29/06(2006.01)i</p> <p>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</p>																	
<p>B. 检索领域</p> <p>检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)</p> <p>IPC: H01L</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>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))</p> <p>CNXT, ENTXT, ENTXC, DWPI, WPABS, CNKI, IEEE; 肖特基, 肖脱基, 萧特基, 整流, 二极管, 二极体, 二级管, 氧化锡, 锡氧化物, 有源, 活性, 半导体, 载流子, 空穴, 电子, 浓度, 耐 1W 压, 抗 1W 压, 击穿电压, 穿通电压, 正向, 导通, 工作, 通态, schottky, SBD?, SBJ?, diode+, stannic 1W oxide, tin 1D ash, tin 1D oxide, jewellers 1W putty, active, semiconduct+, electron?, hole?, carrier?, concentrat+, withstand, breakdo-wn, punch+ 1W through, voltage, potential, electric+, drop, on, direct, forward</p>																	
<p>C. 相关文件</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>CN 103918082 A (株式会社田村制作所) 2014年7月9日 (2014 - 07 - 09) 说明书第[0002]-[0087]段、附图1-8B</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 105453272 A (出光兴产株式会社) 2016年3月30日 (2016 - 03 - 30) 全文</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 105474397 A (出光兴产株式会社) 2016年4月6日 (2016 - 04 - 06) 全文</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2011156020 A1 (Sang-hun Jeon et al.) 2011年6月30日 (2011 - 06 - 30) 全文</td> <td>1-7</td> </tr> </tbody> </table> <p><input type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。</p> <p>* 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</p>			类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	X	CN 103918082 A (株式会社田村制作所) 2014年7月9日 (2014 - 07 - 09) 说明书第[0002]-[0087]段、附图1-8B	1-7	A	CN 105453272 A (出光兴产株式会社) 2016年3月30日 (2016 - 03 - 30) 全文	1-7	A	CN 105474397 A (出光兴产株式会社) 2016年4月6日 (2016 - 04 - 06) 全文	1-7	A	US 2011156020 A1 (Sang-hun Jeon et al.) 2011年6月30日 (2011 - 06 - 30) 全文	1-7
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求															
X	CN 103918082 A (株式会社田村制作所) 2014年7月9日 (2014 - 07 - 09) 说明书第[0002]-[0087]段、附图1-8B	1-7															
A	CN 105453272 A (出光兴产株式会社) 2016年3月30日 (2016 - 03 - 30) 全文	1-7															
A	CN 105474397 A (出光兴产株式会社) 2016年4月6日 (2016 - 04 - 06) 全文	1-7															
A	US 2011156020 A1 (Sang-hun Jeon et al.) 2011年6月30日 (2011 - 06 - 30) 全文	1-7															
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15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	杨贺																
	电话号码 (+86) 62411370																

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2023/096765

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	103918082	A	2014年7月9日	US	2020194560	A1	2020年6月18日
				US	11264466	B2	2022年3月1日
				US	2016322467	A1	2016年11月3日
				US	9595586	B2	2017年3月14日
				WO	2013069728	A1	2013年5月16日
				US	2017162655	A1	2017年6月8日
				US	10600874	B2	2020年3月24日
				US	2022149158	A1	2022年5月12日
				EP	2779242	A1	2014年9月17日
				EP	2779242	A4	2015年3月25日
				KR	20190094249	A	2019年8月12日
				KR	102070847	B1	2020年1月30日
				US	2016043238	A1	2016年2月11日
				US	9412882	B2	2016年8月9日
				TW	201338155	A	2013年9月16日
				US	2014332823	A1	2014年11月13日
				US	9171967	B2	2015年10月27日
				KR	20200011561	A	2020年2月3日
				KR	102191283	B1	2020年12月15日
				KR	20140095080	A	2014年7月31日
				KR	102025449	B1	2019年9月25日
				TW	201703255	A	2017年1月16日
				JP	2013102081	A	2013年5月23日
				JP	2016029735	A	2016年3月3日
				TW	585973	B1	2017年6月1日
				JP	6204436	B2	2017年9月27日
				JP	2017199928	A	2017年11月2日
				JP	6367436	B2	2018年8月1日
				JP	2018182333	A	2018年11月15日
				CN	103918082	B	2019年8月20日
CN	110233178	A	2019年9月13日				
JP	6673984	B2	2020年4月1日				
JP	2020096197	A	2020年6月18日				
JP	7142047	B2	2022年9月26日				
TW	627748	B1	2018年6月21日				
CN	105453272	A	2016年3月30日	KR	20160043967	A	2016年4月22日
				KR	102226985	B1	2021年3月11日
				JP	2021052203	A	2021年4月1日
				JP	7084465	B2	2022年6月14日
				JPWO	2015025499	A1	2017年3月2日
				US	2017263786	A1	2017年9月14日
				TW	201515242	A	2015年4月16日
				US	2016197202	A1	2016年7月7日
				US	9691910	B2	2017年6月27日
				WO	2015025499	A1	2015年2月26日
				JP	2019080084	A	2019年5月23日
				JP	6989545	B2	2022年1月5日
				TW	615984	B1	2018年2月21日
				CN	105453272	B	2020年8月21日
				CN	111668315	A	2020年9月15日

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2023/096765

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	105474397	A	2016年4月6日	US	2017141240	A1	2017年5月18日
				TW	201515243	A	2015年4月16日
				KR	20160043968	A	2016年4月22日
				KR	102267094	B1	2021年6月18日
				JPWO	2015025500	A1	2017年3月2日
				JP	6283364	B2	2018年2月21日
				WO	2015025500	A1	2015年2月26日
				US	2016211386	A1	2016年7月21日
				US	9570631	B2	2017年2月14日
				TW	629799	B1	2018年7月11日
				CN	105474397	B	2019年6月18日

US	2011156020	A1	2011年6月30日	EP	2339584	A2	2011年6月29日
				EP	2339584	A3	2011年12月7日
				US	2011161605	A1	2011年6月30日
				US	8456900	B2	2013年6月4日
				JP	2011135071	A	2011年7月7日
				KR	20110074354	A	2011年6月30日
