

(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



(10) 国际公布号
WO 2024/060740 A1

(43) 国际公布日
2024年3月28日 (28.03.2024)

- (51) 国际专利分类号:
H01L 29/06 (2006.01) *H01L 29/739* (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2023/102567
- (22) 国际申请日: 2023年6月27日 (27.06.2023)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202211166946.6 2022年9月23日 (23.09.2022) CN
- (71) 申请人: 苏州华太电子技术股份有限公司(SUZHOU WATECH ELECTRONICS CO., LTD) [CN/CN]; 中国江苏省苏州市苏州工业园区星湖街328号创意产业园10栋1层, Jiangsu 215000 (CN)。
- (72) 发明人: 祁金伟(QI, Jinwei); 中国江苏省苏州市苏州工业园区星湖街328号创意产业园10栋1层, Jiangsu 215000 (CN)。 刘倩(LIU, Qian); 中国江苏

省苏州市苏州工业园区星湖街328号创意产业园10栋1层, Jiangsu 215000 (CN)。 张耀辉(ZHANG, Yaohui); 中国江苏省苏州市苏州工业园区星湖街328号创意产业园10栋1层, Jiangsu 215000 (CN)。

(74) 代理人: 北京科慧致远知识产权代理有限公司(IPFUTURE INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE); 中国北京市海淀区花园路2号牡丹创业楼310, Beijing 100095 (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: IGBT DEVICE

(54) 发明名称: 一种IGBT器件

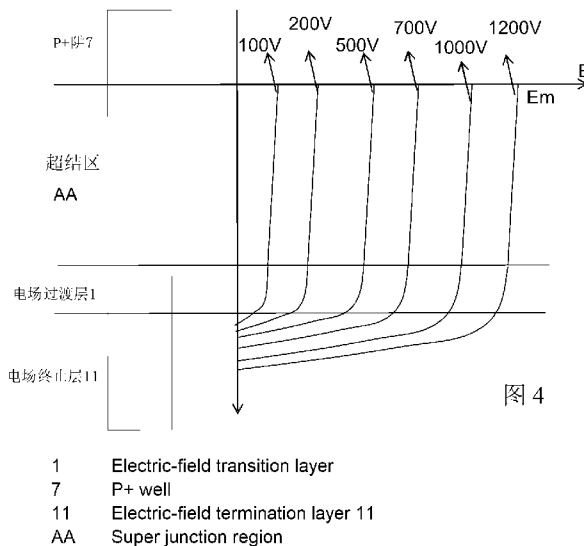


图 4

(57) Abstract: Provided in the embodiments of the present application is an IGBT device. The IGBT device comprises a collector electrode; an electric-field termination layer formed on the collector electrode; an electric-field transition layer formed on the electric-field termination layer; a drift region formed on the electric-field transition layer; a plurality of column regions formed in the drift region; and a well region formed above the drift region, wherein the doping concentration of the electric-field transition layer is less than the doping concentration of the electric-field termination layer, and the drift region and the electric-field transition layer can be subjected to an electrical conductivity modulation effect to accumulate few charge carriers. When the IGBT device is turned off, the electric-field transition layer is completely exhausted, an electric field is reduced at the electric-field transition layer and is reduced to 0 at the electric-field termination layer, and the electric field is smoothly reduced from top to bottom at the junction of the electric-field transition layer and the electric-field termination layer. The embodiments of the present application solve the technical problems of conventional



WO 2024/060740 A1

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))。

SJ-IGBT devices having relatively great turn-off loss in the turn-off process and the stability of the devices being insufficient due to the abrupt change in electric fields.

(57) 摘要: 本申请实施例提供一种IGBT器件, 包括集电极; 形成在集电极之上的电场终止层; 形成在电场终止层之上的电场过渡层; 形成在电场过渡层之上的漂移区, 以及形成在漂移区内的多个的柱区; 形成在漂移区上方的阱区; 其中, 电场过渡层的掺杂浓度<电场终止层的掺杂浓度, 漂移区和电场过渡层分别能够发生电导调制效应积累少数载流子; IGBT器件关断, 所述电场过渡层被完全耗尽, 电场在所述电场过渡层降低且在所述电场终止层减小至0, 电场在电场过渡层和电场终止层的交界位置自上而下平滑降低。本申请实施例解决了传统的SJ-IGBT器件在关断过程中关断损耗较大以及电场突变导致器件稳定性不足的技术问题。

一种 IGBT 器件

技术领域

本申请涉及功率器件技术领域，具体地，涉及一种 IGBT 器件。

背景技术

绝缘栅双极型晶体管（Insulated Gate Bipolar Transistor, IGBT）作为全控型电压驱动式功率半导体器件，广泛应用于大功率电力变换领域。IGBT 器件由双极型三极管（Bipolar Junction Transistor, BJT）和绝缘栅型场效应管（Metal Oxide Semiconductor, MOS）复合构成，兼有金属-氧化物-半导体场效晶体管（Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor, MOSFET）的高输入阻抗和电力晶体管（Giant Transistor, GTR）的低导通压降两方面的优点，适合应用于直流电压为 600V 及以上的变流系统如交流电机、变频器、开关电源、照明电路、牵引传动等领域。

超级结（Super Junction）技术为功率器件性能提升提供新的技术手段。利用交错排布的 N 型区和 P 型区，超级结结构能够将漂移区电场进行平坦化调控，有效降低功率器件漂移区厚度，以达到提升器件的击穿电压的目的。

传统的 SJ-IGBT 器件，如图 1 所示，1 是 P-集电区，2 是 N-漂移区，3 是 P 型超级结区域，4 是 N 型第二次外延，5 是栅氧化层，6 是栅极，7 是 Pwell，8 是 N+发射极，9 是介质层，10 是发射极金属，11 是 P+集电极，12 是集电极金属。传统的超级结 IGBT 器件，N-漂移区 2 中位于 P 型超级结区域以下的部分会存储大量的空穴导致拖尾电流，拖尾电流导致关断损耗较大。

图2为图1所示的同一个传统的SJ-IGBT器件关断时发射极和集电极施加不同的电压形成的电场变化示意图，竖轴为图1中从Pwell7到N-漂移区2的距离，横轴为传统的SJ-IGBT器件在关断时发射极和集电极施加不同的电压形成的实

际电场的强度。传统的SJ-IGBT器件关断时，在发射极和集电极施加较低电压如200V时，电场终止在N-漂移区2内，虚线位置为电场终止的位置，这样，N-漂移区2虚线以上的部分空穴都被耗尽，但是N-漂移区2虚线以下的部分仍然存在空穴，因此产生拖尾电流，图2中，圆圈为空穴。由此可以看出，传统的SJ-IGBT器件关断时，在发射极和集电极施加的电压越小，拖尾电流越大，关断损耗越大。

相较于传统高压IGBT，SJ-IGBT器件作为新一代高速IGBT器件，具有更佳的器件优值。更低的导通压降、更低的开关损耗、更高的开关速度使得器件具备极大的应用价值，其优异的电学性能已经获得实验验证。

尽管SJ-IGBT器件性能已有很大提升，但受制于双极性器件电导调制效应，器件在关断过程依然存在拖尾电流问题，导致器件具有较大的关断能量损耗。

因此，传统的SJ-IGBT器件在关断过程中电场突变导致器件稳定性不足，是本领域技术人员急需要解决的技术问题。

在背景技术中公开的上述信息仅用于加强对本申请的背景的理解，因此其可能包含没有形成本领域普通技术人员所知晓的现有技术的信息。

发明内容

本申请实施例提供了一种IGBT器件，以解决传统的SJ-IGBT器件在关断过程中关断损耗较大以及电场突变导致器件稳定性不足的技术问题。

本申请实施例的提供了一种IGBT器件，包括：

第一掺杂类型的集电极；

形成在所述集电极之上的第二掺杂类型的电场终止层；

形成在所述电场终止层之上的第二掺杂类型的电场过渡层；

形成在所述电场过渡层之上的第二掺杂类型的漂移区，以及形成在漂移区内且沿垂直耐压方向间隔排列的多个第一掺杂类型的柱区；

形成在所述漂移区上方的第一掺杂类型的阱区；

其中，电场过渡层的掺杂浓度 $<$ 电场终止层的掺杂浓度，漂移区和电场过渡层分别能够发生电导调制效应积累少数载流子；IGBT 器件关断，所述电场过渡层被完全耗尽，电场在所述电场过渡层降低且在所述电场终止层减小至 0，电场在电场过渡层和电场终止层的交界位置自上而下平滑降低。

本申请实施例由于采用以上技术方案，具有以下技术效果：

电场过渡层的掺杂浓度 $<$ 电场终止层的掺杂浓度，且漂移区、电场过渡层、电场终止层三层中仅有两层漂移区和电场过渡层分别能够发生电导调制效应积累少数载流子，但是电场终止层不能发生电导调制效应不能积累少数载流子；即电场过渡层的掺杂浓度较低，且掺杂浓度低到能够发生电导调制效应积累少数载流子；电场终止层的掺杂浓度较高，且掺杂浓度高到几乎不会发生电导调制效应不会积累少数载流子。当 IGBT 器件的沟道形成后，从集电极注入到漂移区和电场过渡层的少数载流子，漂移区和电场过渡层发生电导调制效应，减小漂移区和电场过渡层的电阻，使 IGBT 器件在导通时，具有低的通态电压。即通过电导调制效应降低漂移区和电场过渡层的电阻。由于电导调制效应的存在，使得 IGBT 器件在导通时，集电极将少数载流子大量注入到漂移区和电场过渡层内进行积累。IGBT 器件在关断时，电场迅速向下展宽，漂移区和电场过渡层中存储的少数载流子很快被耗尽，即电场过渡层被完全耗尽；而电场终止层由于掺杂浓度较高，几乎不存储少数载流子，因此拖尾电流变得很小。为了尽快实现将电场过渡层积累的少数载流子完全耗尽，需要将电场过渡层的厚度设置的小一些。因为电场过渡层的厚度较小，那么电场过渡层积累的少数载流子的数量就会较少，能够在电场过渡层内经较短的时间内耗尽。因此不会产生拖尾电流，从而使得 IGBT 器件的关断能量损耗较小。同时，电场在电场过渡层和电场终止层的交界位置自上而下平滑降低，防止了电场在电场过渡层和电场终止层的交界位置的突变，使得 IGBT 器件的稳定性较高。

附图说明

此处所说明的附图用来提供对本申请的进一步理解，构成本申请的一部

分，本申请的示意性实施例及其说明用于解释本申请，并不构成对本申请的不当限定。在附图中：

图 1 为背景技术中传统的 SJ-IGBT 器件的结构示意图；

图 2 为图 1 所示的同一个传统的 SJ-IGBT 器件在关断时发射极和集电极的不同的电压形成的电场变化示意图；

图 3 为本申请实施例的 IGBT 器件的结构示意图；

图 4 为图 3 所示的电场在电场过渡层和电场终止层的交界位置自上而下平滑降低的 IGBT 器件在关断时发射极和集电极的不同电压形成的电场变化示意图。

附图标记：

背景技术中：

P-集电区 1，N-漂移区 2，P 型超级结区域 3，第二次外延 4，栅氧化层 5，栅极 6，Pwell7，N+发射极 8，介质层 9，发射极金属 10，P+集电极 11，集电极金属 12；

本申请具体实施方式中：

电场过渡层 1，漂移区 2，柱区 3，第二掺杂类型的外延层 4，栅氧化层 5，栅极 6，阱区 7，发射极 8，介质层 9，发射极金属 10，电场终止层 11，集电极 12，集电极金属 13。

具体实施方式

为了使本申请实施例中的技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图对本申请的示例性实施例进行进一步详细的说明，显然，所描述的实施例仅是本申请的一部分实施例，而不是所有实施例的穷举。需要说明的是，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。

实施例一

如图 3 所示，本申请实施例的 IGBT 器件，包括：

第一掺杂类型的集电极 12；

形成在所述集电极之上的第二掺杂类型的电场终止层 11；

形成在所述电场终止层之上的第二掺杂类型的电场过渡层 1；

形成在所述电场过渡层之上的第二掺杂类型的漂移区 2，以及形成在漂移区内且沿垂直耐压方向间隔排列的多个第一掺杂类型的柱区 3；

形成在所述漂移区上方的第一掺杂类型的阱区 7；

其中，电场过渡层的掺杂浓度 $<$ 电场终止层的掺杂浓度，漂移区和电场过渡层分别能够发生电导调制效应积累少数载流子；IGBT 器件关断，所述电场过渡层被完全耗尽，电场在所述电场过渡层降低且在所述电场终止层减小至 0，电场在电场过渡层和电场终止层的交界位置自上而下平滑降低。

本申请实施例的 IGBT 器件，电场过渡层的掺杂浓度 $<$ 电场终止层的掺杂浓度，且漂移区、电场过渡层、电场终止层三层中仅有两层漂移区和电场过渡层分别能够发生电导调制效应积累少数载流子，但是电场终止层不能发生电导调制效应不能积累少数载流子；即电场过渡层的掺杂浓度较低，且掺杂浓度低到能够发生电导调制效应积累少数载流子；电场终止层的掺杂浓度较高，且掺杂浓度高到几乎不会发生电导调制效应不会积累少数载流子。当 IGBT 器件的沟道形成后，从集电极注入到漂移区和电场过渡层的少数载流子，漂移区和电场过渡层发生电导调制效应，减小漂移区和电场过渡层的电阻，使 IGBT 器件在导通时，具有低的通态电压。即通过电导调制效应降低漂移区和电场过渡层的电阻。由于电导调制效应的存在，使得 IGBT 器件在导通时，集电极将少数载流子大量注入到漂移区和电场过渡层内进行积累。IGBT 器件在关断时，电场迅速向下展宽，漂移区和电场过渡层中存储的少数载流子很快被耗尽，即电场过渡层被完全耗尽；而电场终止层由于掺杂浓度较高，几乎不存储少数载流子，因此拖尾电流变得很小。为了尽快实现将电场过渡层积累的少数载流子完全耗尽，需要将电场过渡层的厚度设置的小一些。因为电场过渡层的厚度较小，那么电场过渡层积累的少数载流子的数量就会较少，能够在电场过渡层内经较短的时间内耗尽。因此不会产生拖尾电流，从而使得 IGBT 器件的关断能量损

耗较小。同时，电场在电场过渡层和电场终止层的交界位置自上而下平滑降低，防止了电场在电场过渡层和电场终止层的交界位置的突变，使得 IGBT 器件的稳定性较高。电场下降的速率对应 IGBT 器件关断时电流的变化速率，电场下降越快，电流变化速率越大，即电流的变化速率 di/dt 越大，导致器件的过冲电压较大，可能导致器件损坏。

电场在电场过渡层和电场终止层的交界位置自上而下平滑降低，平滑降低进行量化表达如下：

电场在电场过渡层的下表面的斜率 $T_{\text{过渡层下表面}}$ 与电场在电场终止层的上表面的斜率 $T_{\text{终止层上表面}}$ 满足如下关系式：

$$(T_{\text{终止层上表面}} - T_{\text{过渡层下表面}}) / T_{\text{终止层上表面}} \leq 10\%。$$

电场在电场过渡层缓慢降低，在电场终止层快速降低，因此，在电场过渡层和电场终止层的交界位置是电场发生较大变化的位置。因此，通过控制电场在电场过渡层和电场终止层的交界位置的电场变化，使得电场在电场过渡层和电场终止层的交界位置不会发生突变，而是平滑降低。

为了实现电场在电场过渡层和电场终止层的交界位置自上而下平滑降低，实现的方式为对电场过渡层和电场终止层的交界位置的掺杂浓度进行控制。电场过渡层下表面的掺杂浓度 $R_{\text{过渡层下表面}}$ 与电场终止层上表面的掺杂浓度 $R_{\text{终止层上表面}}$ 的满足如下关系式：

$$(R_{\text{终止层上表面}} - R_{\text{过渡层下表面}}) / R_{\text{终止层上表面}} \leq 10\%。$$

这样，电场过渡层下表面和电场终止层下表面的掺杂浓度的差值较小。

实施中，电场过渡层的掺杂浓度自电场过渡层的上表面到下表面逐渐增大。

这样，电场过渡层的掺杂浓度越接近电场过渡层的下表面越大，与电场终止层的上表面的掺杂浓度的差值越小。

作为一种可实施的方式，电场过渡层的掺杂浓度自电场过渡层的上表面到下表面逐渐增大，且电场过渡层的掺杂为线性变化掺杂。

作为另一种可实施的方式，电场过渡层的掺杂浓度自电场过渡层的上表面到下表面逐渐增大，且电场过渡层的掺杂为半正态分布。正态分布的曲线呈钟型，两头低，中间高，左右对称。半正态分布的曲线是正态分布的一半。这样，电场过渡层的掺杂浓度从电场过渡层的上表面向下表面，斜率越来越大，在电场过渡层的下表面斜率达到最大。电场过渡层本层内的掺杂浓度是平滑增大，电场过渡层的下表面和电场终止层的上表面的交界位置掺杂浓度也是平滑增大。

实施中，电场过渡层的电荷总量 $Q_{\text{总}}$ 小于等于 $k\% \times E_c / \epsilon_s$;

其中， $k\%$ 为 IGBT 器件的最小预设工作电压条件下电场强度占临界击穿电场强度的百分比， E_c 为 IGBT 器件 Si 衬底的临界击穿场强， ϵ_s 为 IGBT 器件 Si 衬底的介电常数。

为了尽快实现将电场过渡层积累的少数载流子完全耗尽，电场过渡层的电荷总量 $Q_{\text{总}}$ 需要满足预设条件 $Q_{\text{总}}$ 小于 $k\% \times E_c / \epsilon_s$ ，能够在电场过渡层内经较短的时间内耗尽。因此不会产生拖尾电流，从而使得 IGBT 器件的关断能量损耗较小。

实施中， $k\%$ 的取值范围为大于等于 10% 小于等于 80%。

作为一种可选的方式，所述第一掺杂类型为 N 型掺杂，所述第二掺杂类型为 P 型掺杂。在此情况下，少数载流子为电子。

作为另一种可选的方式，所述第一掺杂类型为 P 型掺杂；所述第二掺杂类型为 N 型掺杂。在此情况下，少数载流子为空穴。本申请实施例的 IGBT 器件尤其适用于第一掺杂类型为 P 型掺杂、所述第二掺杂类型为 N 型掺杂的情况。具体的，电场过渡层 1 为 N 型轻掺杂，电场终止层 11 为 N 型重掺杂，漂移区

2 为 N 型轻掺杂，外延层 4 为 N 型轻掺杂，发射极 8 为 N 型重掺杂，集电极 12 为 P 型重掺杂。

实施中，电场过渡层的掺杂为线性变化掺杂时，电场过渡层的电荷总量 $Q_{\text{总}}$ 和电场过渡层厚度 W_p 满足以下关系：

$$Q_{\text{总}} = q \times G \times W_p^2 / 2;$$

其中， q 为单个电子的电荷量， G 为线性变化掺杂的斜率。

这样，在 $Q_{\text{总}} < k\% \times E_c / \epsilon_s$ 的条件下，可以先确定一个 $Q_{\text{总}}$ 的具体数值，之后就能够根据 $Q_{\text{总}} = q \times G \times W_p^2 / 2$ 找出线性变化掺杂的斜率 G 和电场过渡层厚度 W_p 满足的关系。最后通过选择多个电场过渡层厚度值进行仿真的方法，选择出效果最佳 IGBT 器件。

下面从物理原理上对电场过渡层的电荷总量 $Q_{\text{总}}$ 满足的预设条件进行说明：

电场过渡层电场强度 $E(x)$ 和电荷总量 $Q(x)$ 满足以下关系式：

$$-dE/dx = -Q(x) / \epsilon_s$$

$$\text{即 } E(x) = \int Q(x) / \epsilon_s \times d(x); \quad \text{公式一}$$

其中， ϵ_s 为 Si 的介电常数， $d(x)$ 为电场过渡层的上表面和下表面沿电场强度方向的距离。公式一是电场过渡层电场强度和电荷总量的普适性公式。

本申请想要实现在 IGBT 器件在不同电压条件下关断，电流拖尾都很小甚至不存在电流拖尾。假定 IGBT 器件的最小预设工作电压为 $k\% \times BV$ ， BV 为 IGBT 器件的击穿电压，对应的 IGBT 器件最小预设工作电压对应的最大场强 E_m 近似为 $k\% \times E_c$ ， $k\%$ 为 IGBT 器件的最小预设工作电压条件下电场强度占临界击穿电场强度的百分比，即过渡层上表面的电场强度为 $k\% \times E_c$ ， E_c 为 Si 的临界击穿场强， ϵ_s 为 Si 的介电常数。临界条件为电场过渡层的下表面电场强度等于 0，对应的，临界条件下电场过渡层的电荷总量 $Q_{\text{临界}}$ 。对于临界条件为电场过渡层的下表面电场强度等于 0 这种特定的情况，公式一可以简化为：

$k\% \times Ec = Q_{\text{临界}} / \epsilon_s$, 公式二;

即能推出: $Q_{\text{临界}} = k\% \times Ec / \epsilon_s$; 其中, ϵ_s 为 Si 的介电常数。

因此, 电场过渡层的电荷总量 $Q_{\text{总}}$ 应小于 $Q_{\text{临界}}$, 即 $Q_{\text{总}} < k\% \times Ec / \epsilon_s$ 。

$Q_{\text{总}} < k\% \times Ec / \epsilon_s$ 是 IGBT 器件的最小预设工作电压为 $k\% \times BV$ 且临界条件为电场过渡层的下表面电场强度等于 0 这种特定情况下, 电场过渡层电场强度和电荷总量的适用的关系式, 在这种特定情况下, 不仅适用于电场过渡层的掺杂为均匀掺杂的情况下, 而且也适用于电场过渡层的掺杂为不均匀掺杂的情况下。至此, 在 IGBT 器件的最小预设工作电压为 $k\% \times BV$ 且临界条件为电场过渡层的下表面电场强度等于 0 这种特定情况下, 电场过渡层的电荷总量 $Q_{\text{总}}$ 的要求已经确定。

实施中, 如图 3 所示, 所述柱区 3 的下端和漂移区 2 的下端平齐, 所述柱区 3 的下端和漂移区 2 的下端分别与电场过渡层 1 的上表面连接。

实施中, 如图 3 所示, IGBT 器件还包括:

第二掺杂类型的外延层 4, 形成在所述漂移区 2 之上且位于阱区 7 之下;

其中, 所述柱区 3 的上端和漂移区 2 的上端平齐, 且所述柱区 3 的上端和漂移区 2 的上端分别与所述外延层 4 的下表面连接。

通过设置外延层 4, 实现了柱区 3 的上端、下端、左端和右端, 都是第二掺杂类型区, 即实现了柱区 3 的浮空设置。柱区浮空, 集电极注入柱区的少数载流子会存储的更多, 使得导通状态下的通态压降更低。

实施中, 如图 3 所示, IGBT 器件还包括:

集电极金属 13, 形成在集电极 12 之下;

栅极沟槽, 自所述阱区 7 的上表面向下伸入到所述外延层 4 内;

栅氧化层 5, 形成在所述栅极沟槽内;

栅极 6, 形成在所述栅氧化层 5 之上, 且所述栅极与所述阱区 7 的上表面

平齐；

第二掺杂类型的发射极 8，自所述阱区 7 的上表面向下，且发射极 8 的深度比阱区 7 浅；

介质层 9，覆盖在所述栅极和栅氧化层之上且部分覆盖发射极 8；

发射极金属 10，形成在所述发射极 8 和介质层 9 之上；其中，所述介质层 9 用于将所述栅极和所述发射极金属 10 绝缘。

即 IGBT 器件为沟槽栅极的超级结 IGBT 器件。

图 4 为图 3 所示的电场在电场过渡层和电场终止层的交界位置自上而下平滑降低的 IGBT 器件在关断时发射极和集电极的不同电压形成的电场变化示意图，竖轴为图 3 中从阱区 7 到漂移区 2 的距离，横轴为图 3 所示的 IGBT 器件在关断时发射极和集电极随着电压增加时实际电场的分布情况。

如图 3 和图 4 所示，在 IGBT 器件关断时，电场迅速向下展宽，漂移区与过渡层中存储的少数载流子很快被消耗，而电场终止层由于掺杂浓度较高，几乎不存储少数载流子，因此拖尾电流变得很小。

本申请中，电场过渡层较薄，从电场分布可以看出同一器件在不同电压条件下电场最终都在电场终止层终止，如图 4。因此不论在哪个电压条件下将 IGBT 器件关断，电流拖尾都很小甚至不存在电流拖尾。

而传统超级结器件在不同电压条件下电场截止在漂移区的不同位置如图 2，当电压较小时未耗尽的漂移区较宽，因此关断时未耗尽的漂移区会导致电流拖尾，电压越高电流拖尾越小。因此与传统超级结结构相比，本申请实施例的 IGBT 器件，既能在高压使用，又能在低压使用，且即使在低压条件下，也没有拖尾电流，关断损耗较小。

本申请中，电场终止层的掺杂浓度为 $10^{17}/\text{cm}^3$ 到 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ ，即电场终止层的掺杂浓度足够高，电场终止层不会发电导调制效应，即电场终止层内不会

积累少数载流子，电场终止层所起的作用仅仅是电场在电场终止层线性降低至零，实现电场的终止。即电场终止层仅起到快速将电场终止的作用。

本申请中，电场过渡层的掺杂浓度的量级 $10^{13}/\text{cm}^3$ 到 $10^{15}/\text{cm}^3$ ，因此电场过渡层会发生电导调制效应，同时也能起到承受部分击穿电压的作用。

具体的，电场终止在电场终止层内，且电场终止在电场终止层内的位置和电场终止层的下表面之间具有预设距离，以防止击穿。

电场经电场过渡层降低后，在电场终止层内线性快速降低实现电场的终止。

具体的，电场过渡层的厚度<电场终止层的厚度。

这样，IGBT 器件关断，所述电场过渡层被完全耗尽，因此要求电场过渡层的厚度较薄。而电场终止层的厚度需要防止击穿，需要的厚度较大。因此，电场过渡层的厚度<电场终止层的厚度。

具体的，电场过渡层的掺杂浓度至少低于电场终止层的掺杂浓度的 1-1.5 个数量级。

具体的，外延层的掺杂浓度<漂移区的掺杂浓度，外延层的掺杂浓度略低于漂移区。

具体的，漂移区的掺杂浓度的量级为 $10^{14}/\text{cm}^3$ 到 $10^{15}/\text{cm}^3$ ，柱区的掺杂浓度和漂移区的掺杂浓度位于同一数量级上，漂移区与柱区的电荷量要相等。

即漂移区和柱区要达到电荷平衡。

IGBT 器件的制备工艺如下：

步骤 S11：在硅基片上长第一次外延；

步骤 S12：挖柱区对应的深槽，填充柱区对应的深槽；

步骤 S13：长第二次外延；

步骤 S14：挖栅极对应的沟槽，在栅极对应的沟槽内长栅氧化层，在栅氧

化层之上垫多晶硅并磨平，至此栅极做完；

步骤 S15：在第二次外延的上表面进行离子注入或者热扩散形成阱区 7，阱区 7 的深度比栅极对应的沟槽浅；

步骤 S16：在第二次外延的上表面进行离子注入或者热扩散形成发射极 8，发射极 8 的深度比阱区 7 浅；

步骤 S17：形成介质层 9；

步骤 S18：形成发射极金属 10。

至此，完成 IGBT 器件的正面工艺。

之后，把器件翻过来，在背面进行离子注入，形成集电极 12 和集电极金属 13。

实施例二

实施例二的 IGBT 器件，在实施例一的基础之上，还具有如下特点。

实施中，IGBT 器件的预设工作电压为大于等于 $10\% \times BV$ 小于等于 $80\% \times BV$ ， BV 为 IGBT 器件的击穿电压。

IGBT 器件的预设工作电压为大于等于 $10\% \times BV$ 小于等于 $80\% \times BV$ ，即 IGBT 器件的预设工作电压的范围很宽。本申请实施例的 IGBT 器件的预设工作电压的范围很宽能够实现的原因在于，IGBT 器件的实际工作电压在预设工作电压范围内时，不论是高压还是低压，在关断时，电场都能迅速向下展宽，漂移区和电场过渡层中存储的少数载流子很快被耗尽，即电场过渡层都能被完全耗尽；而电场终止层由于掺杂浓度较高，几乎不存储少数载流子，因此拖尾电流变得很小或接近零。这样，本申请实施例的 IGBT 器件，实现了将拖尾电流不再与实际工作电压有关。传统的超级结器件，拖尾电流的大小与超级结器件的实际工作电压有关，实际工作电压越小，拖尾电流越大。因此与传统超级结结构相比，本申请实施例的 IGBT 器件，既能在预设工作电压范围内的高压使用，又能在预设工作电压范围内的低压使用，且即使在低压条件下，也

没有拖尾电流，关断损耗较小。

具体的，IGBT 器件的预设工作电压为大于等于 $10\% \times BV$ 小于等于 $80\% \times BV$ ，即 IGBT 器件的最小预设工作电压为 $10\% \times BV$ ，IGBT 器件的最大预设工作电压为 $80\% \times BV$ 。

具体的，IGBT 器件的预设工作电压的优选取值范围为大于等于 $60\% \times BV$ 小于等于 $70\% \times BV$ 。

IGBT 器件的实际工作电压取值在大于等于 $60\% \times BV$ 小于等于 $70\% \times BV$ ，IGBT 器件的工作状态较为稳定。

在本申请的描述中，需要理解的是，术语“前”、“后”、“首”、“尾”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本申请和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本申请的限制。

此外，术语“第一”、“第二”仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此，限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括一个或者更多个该特征。在本申请的描述中，“多个”的含义是至少两个，例如两个，三个等，除非另有明确具体的限定。

在本申请中，除非另有明确的规定和限定，术语“安装”、“连接”等术语应做广义理解；以连接为例，可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连，可以是两个元件内部的连通或两个元件的相互作用关系。对于本领域的普通技术人员而言，可以根据具体情况理解上述术语在本申请中的具体含义。

尽管已描述了本申请一些可选的实施例，但本领域内的技术人员一旦得知了基本创造性概念，则可对这些实施例作出另外的变更和修改。所以，所附权利要求意欲解释为包括一些可选的实施例以及落入本申请范围的所有变更和修改。

显然，本领域的技术人员可以对本申请进行各种改动和变型而不脱离本申

请的精神和范围。这样，倘若本申请的这些修改和变型属于本申请权利要求及其等同技术的范围之内，则本申请也意图包含这些改动和变型在内。

权利要求书

1. 一种 IGBT 器件，其特征在于，包括：

第一掺杂类型的集电极（12）；

形成在所述集电极之上的第二掺杂类型的电场终止层（11）；

形成在所述电场终止层之上的第二掺杂类型的电场过渡层（1）；

形成在所述电场过渡层之上的第二掺杂类型的漂移区（2），以及形成在漂移区内且沿垂直耐压方向间隔排列的多个第一掺杂类型的柱区（3）；

形成在所述漂移区上方的第一掺杂类型的阱区（7）；

其中，电场过渡层的掺杂浓度<电场终止层的掺杂浓度，漂移区和电场过渡层分别能够发生电导调制效应积累少数载流子；IGBT 器件关断，所述电场过渡层被完全耗尽，电场在所述电场过渡层降低且在所述电场终止层减小至 0，电场在电场过渡层和电场终止层的交界位置自上而下平滑降低。

2. 根据权利要求 1 所述的 IGBT 器件，其特征在于，电场在电场过渡层的下表面的斜率 $T_{\text{过渡层下表面}}$ 与电场在电场终止层的上表面的斜率 $T_{\text{终止层上表面}}$ 满足如下关系式：

$$(T_{\text{终止层上表面}} - T_{\text{过渡层下表面}}) / T_{\text{终止层上表面}} \leq 10\%。$$

3. 根据权利要求 1 所述的 IGBT 器件，其特征在于，电场过渡层下表面的掺杂浓度 $R_{\text{过渡层下表面}}$ 与电场终止层上表面的掺杂浓度 $R_{\text{终止层上表面}}$ 的满足如下关系式：

$$(R_{\text{终止层上表面}} - R_{\text{过渡层下表面}}) / R_{\text{终止层上表面}} \leq 10\%。$$

4. 根据权利要求 3 所述的 IGBT 器件，其特征在于，电场过渡层的掺杂浓度自电场过渡层的上表面到下表面逐渐增大。

5. 根据权利要求 4 所述的 IGBT 器件，其特征在于，电场过渡层的掺杂为线性变化掺杂或者电场过渡层的掺杂为半正态分布。

6. 根据权利要求 1 至 5 任一所述的 IGBT 器件，其特征在于，电场过渡层的电荷总量 $Q_{\text{总}}$ 小于等于 $k\% \times E_c / \epsilon_s$ ；

其中, $k\%$ 为 IGBT 器件的最小预设工作电压条件下电场强度占临界击穿电场强度的百分比, E_c 为 IGBT 器件 Si 衬底的临界击穿场强, ϵ_s 为 IGBT 器件 Si 衬底的介电常数。

7. 根据权利要求 6 所述的 IGBT 器件, 其特征在于, 电场过渡层的掺杂为线性变化掺杂时, 电场过渡层的电荷总量 $Q_{\text{总}}$ 和电场过渡层厚度 W_p 满足以下关系:

$$Q_{\text{总}} = q \times G \times W_p^2 / 2;$$

其中, q 为单个电子的电荷量, G 为线性变化掺杂的斜率。

8. 根据权利要求 6 所述的 IGBT 器件, 其特征在于, 所述柱区 (3) 的下端和漂移区 (2) 的下端平齐, 且所述柱区 (3) 的下端和漂移区 (2) 的下端分别与电场过渡层 (1) 的上表面连接。

9. 根据权利要求 8 所述的 IGBT 器件, 其特征在于, 还包括:

第二掺杂类型的外延层 (4), 形成在所述漂移区 (2) 之上且位于阱区 (7) 之下;

其中, 所述柱区 (3) 的上端和漂移区 (2) 的上端平齐, 且所述柱区 (3) 的上端和漂移区 (2) 的上端分别与所述外延层的下表面连接。

10. 根据权利要求 9 所述的 IGBT 器件, 其特征在于, 还包括:

集电极金属 (13), 形成在集电极 (12) 之下;

栅极沟槽, 自所述阱区 (7) 的上表面向下伸入到所述外延层 (4) 内;

栅氧化层 (5), 形成在所述栅极沟槽内;

栅极 (6), 形成在所述栅氧化层 (5) 之上, 且所述栅极与所述阱区 (7) 的上表面平齐;

第二掺杂类型的发射极 (8), 自所述阱区 (7) 的上表面向下, 且发射极 (8) 的深度比阱区 (7) 浅;

介质层 (9), 覆盖在所述栅极和栅氧化层之上且部分覆盖发射极 (8);

发射极金属 (10), 形成在所述发射极 (8) 和介质层 (9) 之上; 其中,

所述介质层（9）用于将所述栅极和所述发射极金属绝缘。

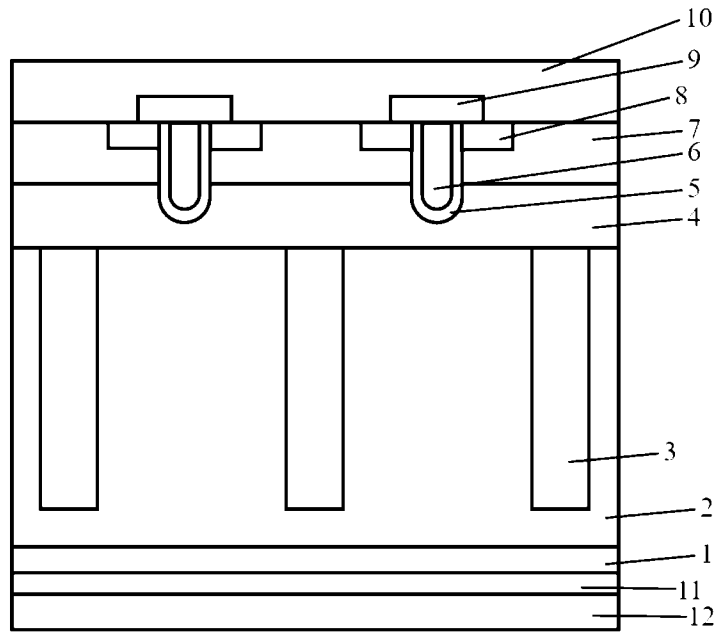


图 1

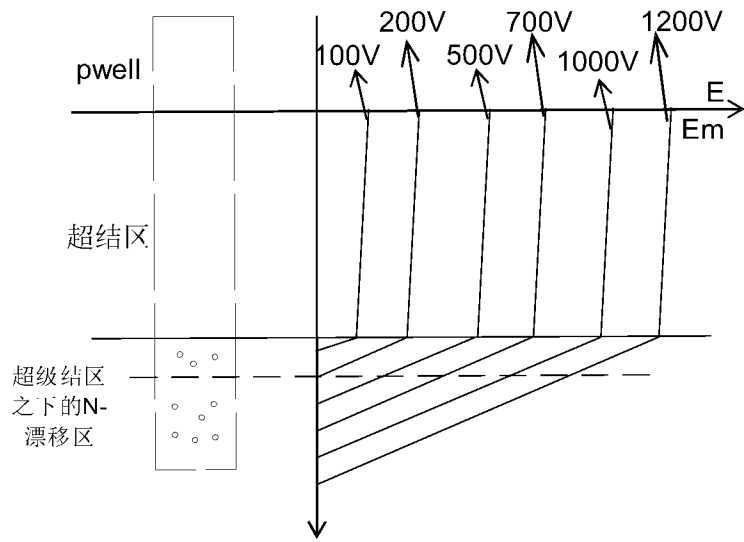


图 2

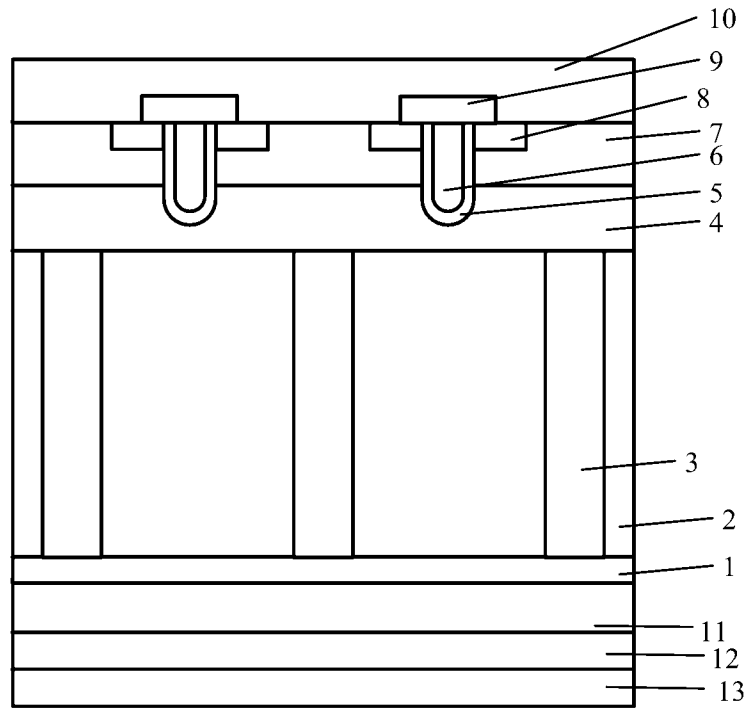


图 3

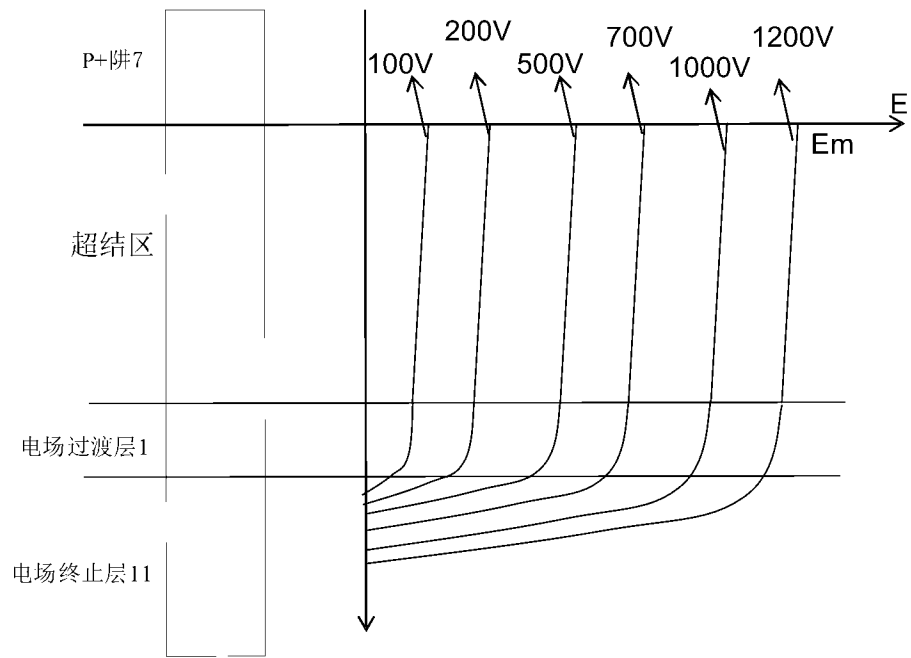


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/102567

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
H01L29/06(2006.01)i; H01L29/739(2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
H01L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
CNTXT, ENTXTC, ENTXT, IEEE, CNKI: 华太电子, 千屹芯科技, 祁金伟, 刘倩, 张耀辉, IGBT, 双极, 晶体管, 绝缘栅, 超结, 场, 截止, 阻止, 停止, 终止, 过渡, 亚层, 子层, 电导调制, 零, 0, 电力线, 平滑, 斜率, bipolar, transistor, insulat+, gate, super, junction, electric, field, stop+, sub, terminat+, conduct, modulat+, zero, end+, smooth+, slope		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 113644123 A (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.) 12 November 2021 (2021-11-12) description, paragraphs [0060]-[0138], and figures 2-8	1
Y	CN 114300528 A (SHENZHEN QIANYIXIN TECHNOLOGY CO., LTD.) 08 April 2022 (2022-04-08) description, paragraphs [0046]-[0089], and figures 2-13	1
A	CN 104637994 A (SHANGHAI HUAHONG GRACE SEMICONDUCTOR MANUFACTURING CORP.) 20 May 2015 (2015-05-20) entire document	1-10
A	CN 106298898 A (SEMICONDUCTOR MANUFACTURING INTERNATIONAL (SHANGHAI) CORP.) 04 January 2017 (2017-01-04) entire document	1-10
A	CN 113471273 A (BYD SEMICONDUCTOR CO., LTD.) 01 October 2021 (2021-10-01) entire document	1-10
A	US 2022254877 A1 (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.) 11 August 2022 (2022-08-11) entire document	1-10
<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
06 September 2023		12 September 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/CN2023/102567

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	113644123	A	12 November 2021	US	2022416063	A1	29 December 2022
				EP	4113624	A1	04 January 2023
				JP	2023007491	A	18 January 2023

CN	114300528	A	08 April 2022	None			

CN	104637994	A	20 May 2015	None			

CN	106298898	A	04 January 2017	None			

CN	113471273	A	01 October 2021	WO	2021197194	A1	07 October 2021
				US	2023015515	A1	19 January 2023
				EP	4131420	A1	08 February 2023

US	2022254877	A1	11 August 2022	JP	2022121395	A	19 August 2022
				EP	4040501	A1	10 August 2022
				CN	113054010	A	29 June 2021

<p>A. 主题的分类</p> <p>H01L29/06 (2006.01) i; H01L29/739 (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>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>CNXTX, ENTXTX, ENTXT, IEEE, CNKI: 华太电子, 千屹芯科技, 祁金伟, 刘倩, 张耀辉, IGBT, 双极, 晶体管, 绝缘栅, 超结, 场, 截止, 阻止, 停止, 终止, 过渡, 亚层, 子层, 电导调制, 零, 0, 电力线, 平滑, 斜率, bipolar, transistor, insulat+, gate, super, junction, electric, field, stop+, sub, terminat+, conduct, modulat+, zero, end+, smooth+, slope</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>Y</td> <td>CN 113644123 A (华为技术有限公司) 2021年11月12日 (2021 - 11 - 12) 说明书第[0060]-[0138]段, 图2-8</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 114300528 A (深圳市千屹芯科技有限公司) 2022年4月8日 (2022 - 04 - 08) 说明书第[0046]-[0089]段, 图2-13</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104637994 A (上海华虹宏力半导体制造有限公司) 2015年5月20日 (2015 - 05 - 20) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 106298898 A (中芯国际集成电路制造(上海)有限公司) 2017年1月4日 (2017 - 01 - 04) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 113471273 A (比亚迪半导体股份有限公司) 2021年10月1日 (2021 - 10 - 01) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2022254877 A1 (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.) 2022年8月11日 (2022 - 08 - 11) 全文</td> <td>1-10</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	Y	CN 113644123 A (华为技术有限公司) 2021年11月12日 (2021 - 11 - 12) 说明书第[0060]-[0138]段, 图2-8	1	Y	CN 114300528 A (深圳市千屹芯科技有限公司) 2022年4月8日 (2022 - 04 - 08) 说明书第[0046]-[0089]段, 图2-13	1	A	CN 104637994 A (上海华虹宏力半导体制造有限公司) 2015年5月20日 (2015 - 05 - 20) 全文	1-10	A	CN 106298898 A (中芯国际集成电路制造(上海)有限公司) 2017年1月4日 (2017 - 01 - 04) 全文	1-10	A	CN 113471273 A (比亚迪半导体股份有限公司) 2021年10月1日 (2021 - 10 - 01) 全文	1-10	A	US 2022254877 A1 (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.) 2022年8月11日 (2022 - 08 - 11) 全文	1-10
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																					
Y	CN 113644123 A (华为技术有限公司) 2021年11月12日 (2021 - 11 - 12) 说明书第[0060]-[0138]段, 图2-8	1																					
Y	CN 114300528 A (深圳市千屹芯科技有限公司) 2022年4月8日 (2022 - 04 - 08) 说明书第[0046]-[0089]段, 图2-13	1																					
A	CN 104637994 A (上海华虹宏力半导体制造有限公司) 2015年5月20日 (2015 - 05 - 20) 全文	1-10																					
A	CN 106298898 A (中芯国际集成电路制造(上海)有限公司) 2017年1月4日 (2017 - 01 - 04) 全文	1-10																					
A	CN 113471273 A (比亚迪半导体股份有限公司) 2021年10月1日 (2021 - 10 - 01) 全文	1-10																					
A	US 2022254877 A1 (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.) 2022年8月11日 (2022 - 08 - 11) 全文	1-10																					
国际检索实际完成的日期	2023年9月6日	国际检索报告邮寄日期	2023年9月12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																				

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2023/102567

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	113644123	A	2021年11月12日	US	2022416063	A1	2022年12月29日
				EP	4113624	A1	2023年1月4日
				JP	2023007491	A	2023年1月18日
CN	114300528	A	2022年4月8日	无			
CN	104637994	A	2015年5月20日	无			
CN	106298898	A	2017年1月4日	无			
CN	113471273	A	2021年10月1日	WO	2021197194	A1	2021年10月7日
				US	2023015515	A1	2023年1月19日
				EP	4131420	A1	2023年2月8日
US	2022254877	A1	2022年8月11日	JP	2022121395	A	2022年8月19日
				EP	4040501	A1	2022年8月10日
				CN	113054010	A	2021年6月29日