

新型载流子积累的逆导型横向绝缘栅双极晶体管

段宝兴[†] 王佳森 唐春萍 杨银堂

(西安电子科技大学微电子学院, 宽禁带半导体材料与器件教育部重点实验室, 西安 710071)

(2024年4月25日收到; 2024年5月27日收到修改稿)

通过引入 n^+ 阳极在体内集成续流二极管的逆导型横向绝缘栅双极晶体管 (reverse-conducting lateral insulated gate bipolar transistor, RC-LIGBT) 可以实现反向导通, 并且优化器件的关断特性, 是功率集成电路中一个有竞争力的器件. 本文提出了一种新型载流子积累的 RC-LIGBT, 它具有电子控制栅 (electron-controlled gate, EG) 和分离短路阳极 (separated short-anode, SSA), 可以同时实现较低的导通压降和关断损耗. 在正向导通状态, 漂移区上方的 EG 结构可以在漂移区的表面积累一个高密度的电子层, 从而大大地降低器件的导通压降. 同时, SSA 结构的使用还极大优化了器件的关断损耗. 另外, 低掺杂 p 型漂移区与 SSA 结构配合, 可以简单地实现反向导通并且消除回吸电压. 仿真结果表明, 所提出的器件具有优秀的导通压降与关断损耗之间的折衷关系, 其导通压降为 1.16 V, 比 SSA LIGBT 低 55%, 其关断损耗为 0.099 mJ/cm², 比 SSA LIGBT 和常规 LIGBT 分别低 38.5% 和 94.7%.

关键词: 载流子积累, 逆导型横向绝缘栅双极晶体管, 导通压降, 回吸电压**PACS:** 73.40.Ty, 85.30.Pq, 85.30.De**DOI:** 10.7498/aps.73.20240572

1 引言

横向绝缘栅双极晶体管 (lateral insulated gate bipolar transistor, LIGBT) 具有电流密度大、易于集成等优点, 是功率集成电路中的重要器件^[1,2]. 此外, 采用绝缘体上硅 (silicon on insulator, SOI) 衬底不仅可以避免电荷注入衬底, 减少对其他器件的串扰, 还可以提高关断速度, 因此被广泛应用^[2-5]. 然而, 由于传统的 LIGBT 是一种单向器件, 在大多数应用中还需要一个反向平行的续流二极管, 这会导致额外的成本、器件的适配问题以及其他寄生效应^[4,5]. 因此, 内部集成续流二极管的逆导型 (reverse-conducting, RC) LIGBT 是功率集成电路中颇具竞争力的候选器件.

短路阳极结构通过引入 n^+ 阳极实现了反向导通, 同时形成了电子抽取通道, 降低了关断损耗 (E_{off})^[6-8]. 然而, 同样由于短路阳极结构, 在正向导

过程中, 器件会从单极的金属-氧化物-半导体场效应晶体管模式转变为双极的 LIGBT 模式, 从而引入不良的回吸效应, 严重影响电路系统的稳定性^[9,10]. 为了解决这一问题, 有许多新颖的器件结构被提出^[11-19]. 一些结构通过增加 n^+ 阳极和 p^+ 阳极之间的电阻来缓解回吸电压^[11-14]. 例如, 具有沟槽阻挡和短路阳极的 LIGBT (trench barrier and shorted anode LIGBT, TBSA LIGBT) 通过在沟槽阻挡结构之间形成一个小间距作为电流通道来增大阳极区域电阻^[11]. 一些结构通过在阳极侧集成肖特基二极管或 NPN 结构来消除回吸电压^[15-18]. 此外, 在氧化物沟槽中集成 p-p-n 二极管的 RC-LIGBT (embedded p-p-n diode in oxide trench LIGBT, EDOT LIGBT) 通过使用氧化沟槽将其分为 EDOT 部分和 LIGBT 部分, 使正反导通不相互影响, 同时消除了回吸电压^[19]. 这些器件可以抑制回吸电压, 但是要么会导致器件性能的降低, 要么需要更困难的制作工艺.

[†] 通信作者. E-mail: bxduan@163.com

本文提出了一种具有电子控制栅 (electron-controlled gate, EG) 和分离短路阳极 (separated short-anode, SSA) 的新型 RC-LIGBT, 该器件具有低正向导通电压 (on-state voltage drop, V_{on}) 和低 E_{off} . 首先, 在正向导通状态, EG 结构可以在器件表面形成高密度的电子积累层, 极大地优化 V_{on} . 同时, 基于 EG 结构, 低掺杂的 p 型漂移区能够被使用, 因此在实现反向导通的同时, 利用很小的额外面积便可消除回吸电压. 此外, SSA 结构的应用可以引入额外的电子抽取通道, 大大降低器件的 E_{off} . 仿真结果表明, 提出的 ES LIGBT 在消除回吸电压的同时, 实现了优异的 $E_{off} - V_{on}$ 折衷关系.

2 器件结构

图 1 是提出的 ES LIGBT 和 SSA LIGBT 的结构示意图. 与 SSA LIGBT 相比, ES LIGBT 采用了 p-n-n⁺-p 结构的扩展栅极 (p⁺区/ n 型硅区/ n 型势垒层/ p⁺区), 栅极和阳极电极由 EG 结构连接. 此外, 使用了低掺杂浓度的 p 型漂移区代替传统的 n 型漂移区. 由于新漂移区域的使用, ES LIGBT 在体内形成了 p-p-n 二极管, 这使得提出的器件能够实现反向导通, 并且只需要很小的额外面积便可以解决回吸电压的问题.

图 1(c) 为 EG 结构示意图. 在正向导通状态, 栅极电压施加到了 J2 结上, 并形成空间电荷区来承受电压. 此外, 如图 1(d) 所示, 由于采用了 p-n-n⁺-p

的 EG 结构, 栅极的高电位被箝位在栅极的大部分区域, 保证了较均匀的高密度电子积累层的形成以及载流子注入的开启. 在阻断状态下, 正向阻断电压 (breakdown voltage, BV) 加到了 J1 结上, 栅极内有大面积的 n 型硅区来支撑电压. 另外, 高掺杂浓度的 n 型势垒区可以防止 EG 结构电场提前击穿. 此外, EG 结构还可以调制器件表面电场分布, 从而保证器件的 BV.

EG 结构和 SSA 结构的应用实现了较为完美的优势互补. 首先, EG 结构积累的大量电子补偿了导通状态下 SSA 结构对电导调制效应的减弱, 从而实现了低 V_{on} . 同时, SSA 结构增强的电子提取能力补偿了 EG 结构在导通状态下积累的大量电子, 从而实现了低 E_{off} . 此外, 由于 EG 结构和 p 型漂移区的配合, 只需要一个小的 L_A 就可以消除 SSA 结构引起的回吸电压问题.

图 2 为所提出的 ES LIGBT 的关键工艺流程. 图 2(a) 通过注氧隔离技术或直接键合技术 (smart cut) 形成双层 SOI 硅晶圆 [20,21]; 图 2(b) 对顶层硅区及二氧化硅薄层进行刻蚀, 刻蚀出阳极和阴极的位置; 图 2(c) 利用扩散分别形成 P-base 区和 N-buffer 区; 图 2(d) 通过离子注入分别形成阳极结构和阴极结构, 其中阴极的 P⁺区主要为了抑制器件的闩锁效应; 图 2(e) 对顶层硅的两侧末端进行离子注入以便后期形成欧姆接触, 对顶层硅靠近阳极区域的部分进行离子注入形成 N⁺区来防止器件穿透; 图 2(f) 在阳极、阴极和栅极分别淀积金属, 形成电极.

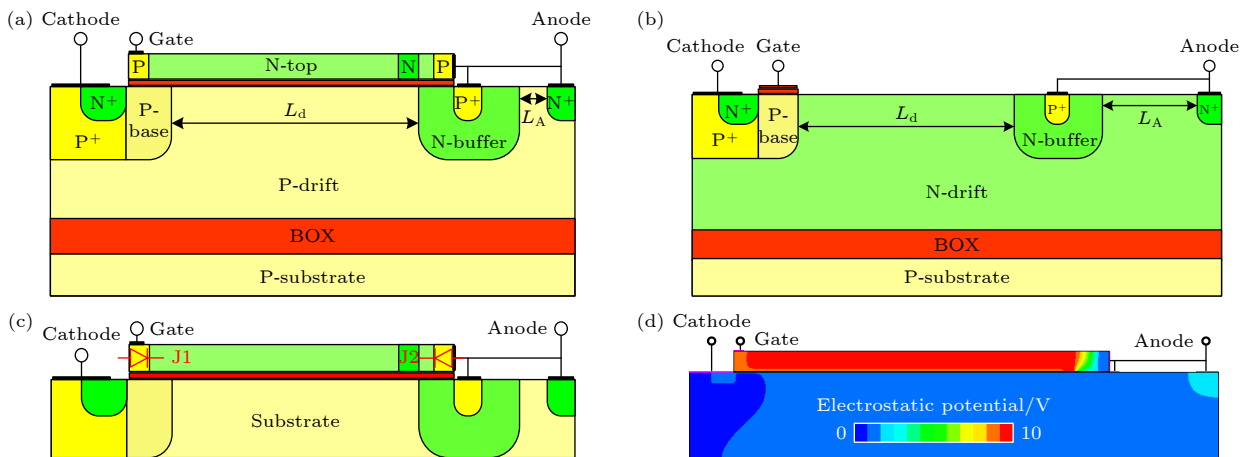


图 1 (a) ES LIGBT 的横截面示意图; (b) SSA LIGBT 的横截面示意图; (c) EG 结构示意图; (d) EG 结构电势分布图 (在正向导通状态下)

Fig. 1. Schematic cross-section of (a) ES LIGBT and (b) SSA LIGBT; (c) schematic diagram of EG structure; (d) potential distribution of EG structure (in the forward conduction state).

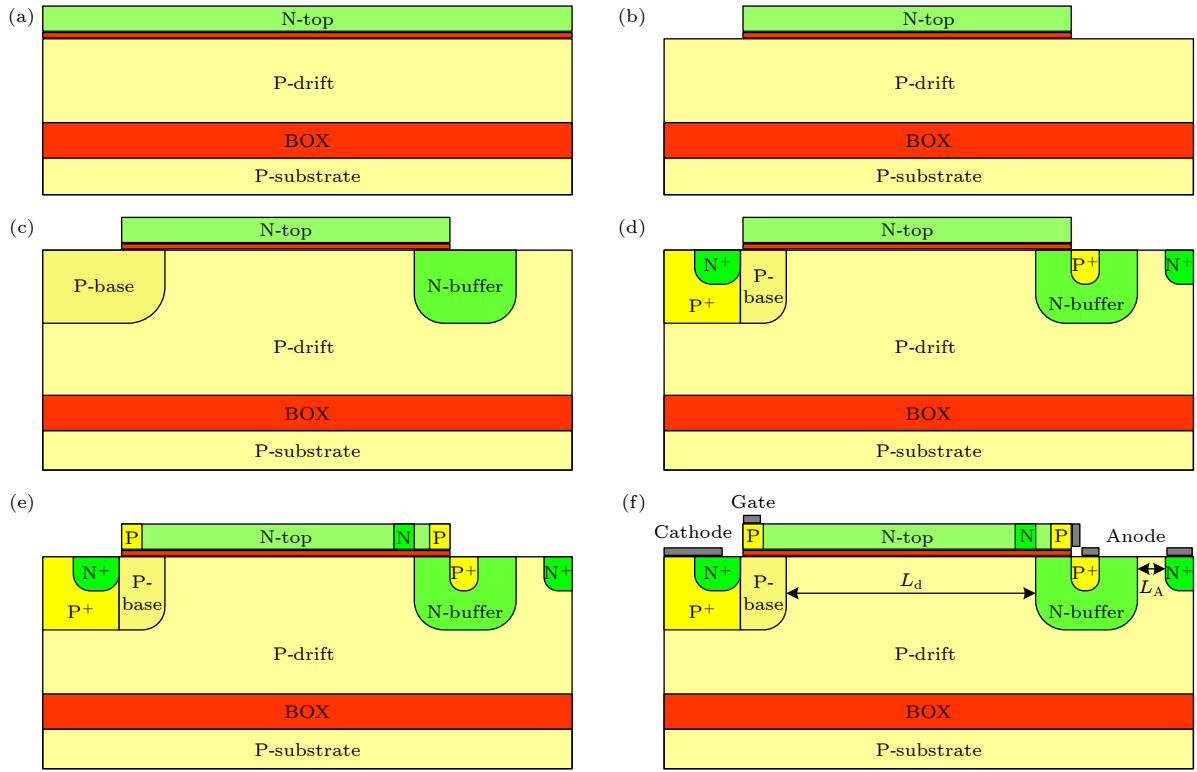


图 2 ES LIGBT 的关键工艺流程图 (a) 准备双层 SOI 晶圆; (b) 刻蚀; (c) 扩散形成 P-base 和 N-buffer; (d) 离子注入形成阳极结构和阴极结构; (e) 对顶层硅进行离子注入; (f) 金属化, 形成电极

Fig. 2. Key process flow to fabricate ES LIGBT: (a) Preparing the double SOI wafer; (b) etching; (c) diffusion to form P-base and N-buffer; (d) ion implantation to form an anode structure and a cathode structure; (e) ion implantation of the top layer silicon; (f) metallization to form electrodes.

TCAD 软件可以通过建立半导体器件的物理模型并利用数值方法求解, 从而模拟器件的各种电学特性. 本文采用 Sentaurus TCAD 软件对器件进行仿真并研究其特性, 仿真模拟过程中使用的物理模型主要包括: 复合模型 (SRH recombination,

Auger recombination), 迁移率模型 (doping dependence mobility, high field saturation mobility, Enormal mobility) 以及雪崩击穿模型 (Okuto avalanche generation). 优化后器件的关键参数如表 1 所列.

表 1 仿真中的关键参数
Table 1. Key parameters used in simulation.

参数符号	参数含义	常规LIGBT	SSA LIGBT	ES LIGBT
$L_d/\mu\text{m}$	漂移区长度	15	15	15
$T_{\text{box}}/\mu\text{m}$	埋氧层厚度	3	3	3
$T_{\text{ox}}/\mu\text{m}$	栅氧化层厚度	50	50	50
$T_n/\mu\text{m}$	漂移区厚度	4	4	4
$L_A/\mu\text{m}$	P+阳极和N+阳极间长度	—	15	2
$T_{\text{top}}/\mu\text{m}$	顶层硅栅厚度	—	—	1
$N_{\text{drift}}/(10^{14} \text{ cm}^{-3})$	漂移区掺杂浓度	18	18	1
$N_{\text{substrate}}/(10^{14} \text{ cm}^{-3})$	P型衬底掺杂浓度	1	1	1
$N_{\text{buffer}}/(10^{17} \text{ cm}^{-3})$	N型缓冲层掺杂浓度	2	2	2
$N_{\text{p-anode}}/(10^{19} \text{ cm}^{-3})$	P+阳极掺杂浓度	5	5	5
$N_{\text{top}}/(10^{15} \text{ cm}^{-3})$	顶层N型硅区掺杂浓度	—	—	9.1
$N_{\text{barrier}}/(10^{18} \text{ cm}^{-3})$	顶层N型势垒层掺杂浓度	—	—	5

3 仿真结构与分析

图 3(a) 显示了这 3 种 LIGBT 的击穿特性. 在相同的漂移区长度下, ES LIGBT 的 BV 与常规 LIGBT 相似, 而 SSA LIGBT 的 BV 略高. 此外, 如图 3(a) 所示, 击穿时 ES LIGBT 的漏电流主要来自漂移区. 这说明击穿发生在器件的底部区域, 且没有发生顶层硅栅的提前击穿. 另外, EG 结构可以调制器件表面电场, 使得 ES LIGBT 的 BV 不低于优化后的常规 LIGBT. 此外, 可以通过改变 N_{top} 来控制电场调制水平, 从而使漂移区掺杂浓度不受传统“RESURF”条件的限制. 如图 3(b) 所示, 随着 N_{top} 的增大, ES LIGBT 的 BV 呈现先增大后减小的趋势.

图 4(a) 显示了这些器件的正向导通特性. EG

LIGBT 的 V_{on} 比常规 LIGBT 低 17.8%, ES LIGBT 的 V_{on} 比 SSA LIGBT 低 55%. 这是在正向导通过程中, EG 结构在漂移区表面积累了大量的电子, 形成了通向阳极的高密度电子通道, 大大降低了 V_{on} . 如图 4(b) 所示, 在正向导通状态 ($J_{AC} = 100 \text{ A/cm}^2$), ES LIGBT 在漂移区表面形成了一个较均匀的电子积累层, 电子密度最高可达 10^{18} cm^{-3} . 此外, 由于 p 型漂移区对电子的阻挡, L_A 为 $2 \mu\text{m}$ 的 ES LIGBT 就可消除回吸电压. 而 SSA LIGBT 的 L_A 为 $15 \mu\text{m}$ 时, 仍有明显的回吸电压. 此外, 分离的短路阳极降低了 p⁺ 阳极的空穴注入效率, 使得 ES LIGBT 的 V_{on} 高于 EG LIGBT 的.

在仿真中, 采用图 5(a) 所示的电感负载电路研究 LIGBTs 的反向恢复特性. 图 5(b) 显示了 ES LIGBT 和 SSA LIGBTs 的反向导通特性和反向

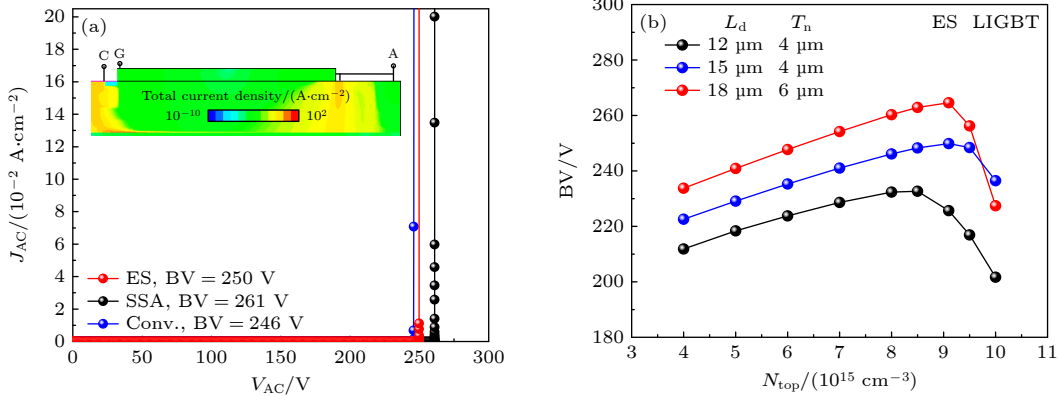


图 3 (a) LIGBT 的击穿特性, 插图为击穿时所提出的 ES LIGBT 的总电流密度, 其中 J_{AC} 是阳极电流密度, V_{AC} 是阳极和阴极之间的电压; (b) N_{top} 对 ES LIGBT 击穿电压的影响

Fig. 3. (a) Breakdown characteristics for LIGBTs. The inset is the total current density of the proposed ES LIGBT at the time of breakdown, J_{AC} is the anode current density and V_{AC} is the voltage between the anode and cathode. (b) Impact of N_{top} on BV for the ES LIGBT.

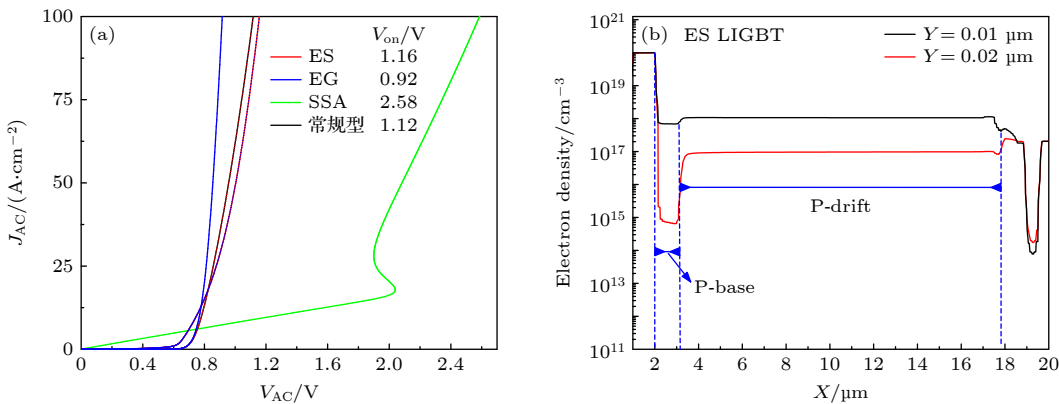


图 4 (a) 器件的正向导通特性; (b) ES LIGBT 在正向导通状态 ($J_{AC} = 100 \text{ A/cm}^2$) 下的电子密度分布

Fig. 4. (a) Forward conduction characteristics of these devices; (b) electron density distribution of ES LIGBT in the forward conduction state (at $J_{AC} = 100 \text{ A/cm}^2$).

恢复特性, ES LIGBT 的反向导通压降 (V_R) 最小, 为 0.89 V; ES LIGBT 的反向恢复电荷 (Q_{rr}) 最低, 为 $3.58 \mu\text{C}/\text{cm}^2$. 与 L_A 为 15 μm 和 30 μm 的 SSA LIGBT 相比, ES LIGBT 的 V_R 分别降低了 11% 和 19%, Q_{rr} 分别降低了 9.8% 和 42.9%. 图 5(c) 为 ES LIGBT 和 SSA LIGBT ($L_A=15 \mu\text{m}$) 反向恢复

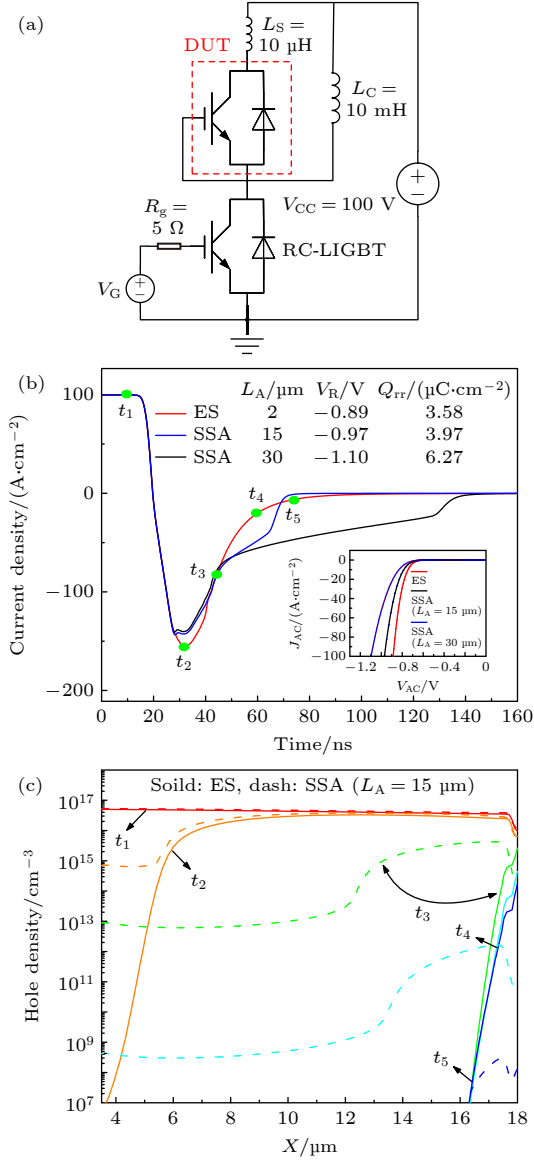


图 5 (a) 反向恢复特性的仿真测试, 其中 V_G 是栅极电压, 栅极电阻 $R_G = 10 \Omega$, 杂散电感 $L_s = 10 \mu\text{H}$, 负载电感 $L_C = 10 \text{mH}$, 直流电源电压 $V_{CC} = 100 \text{V}$; (b) ES LIGBT 和 SSA LIGBTs 的反向导通特性和反向恢复特性; (c) 反向恢复过程中不同时刻 t_1 — t_5 的空穴密度分布

Fig. 5. (a) Simulation test circuit for reverse recovery characteristics, where V_G is the gate voltage, gate resistance $R_G = 10 \Omega$, stray inductance $L_s = 10 \mu\text{H}$, load inductance $L_C = 10 \text{mH}$, and dc power supply voltage $V_{CC} = 100 \text{V}$; (b) RC and reverse recovery characteristics of ES LIGBT and SSA LIGBTs; (c) hole density distribution at different moment (t_1 — t_5) of reverse recovery process.

过程中漂移区的空穴分布情况. 在 t_2 — t_3 期间, ES LIGBT 漂移区的空穴被快速移除. 这是因为在 t_2 — t_3 期间, ES LIGBT 的反向恢复电流比 SSA LIGBT 大, 可以更快地抽取空穴, 减少反向恢复时间, 并且 SSA LIGBT 在两个阳极之间存在的大量额外空穴, 严重影响了漂移区空穴的移除. 此外, EG 结构也可以辅助耗尽 ES LIGBT 的漂移区.

器件关断特性的测试电路与图 5(a) 所示的电感负载电路相同. 图 6(a) 为 LIGBTs 的关断波形, ES LIGBT 获得了极小的 E_{off} , 为 $0.099 \text{mJ}/\text{cm}^2$, 比 SSA LIGBT 和常规 LIGBT 分别低 38.5% 和 94.7%. 与常规 LIGBT 相比, ES LIGBT 和 SSA LIGBT 的关断时间更短, 关断损耗更低. 这是由于短路阳极结构的采用, 在关断时形成了一条电子抽取通道, 避免了严重的电流拖尾现象. 此外, 如图 6(b) 所示, ES LIGBT 漂移区空穴密度的下降速度远快于 SSA LIGBT. 这主要是因为 SSA LIGBT 两个阳极之间的额外空穴减缓了其漂移区空穴的抽取以及耗尽区的扩展.

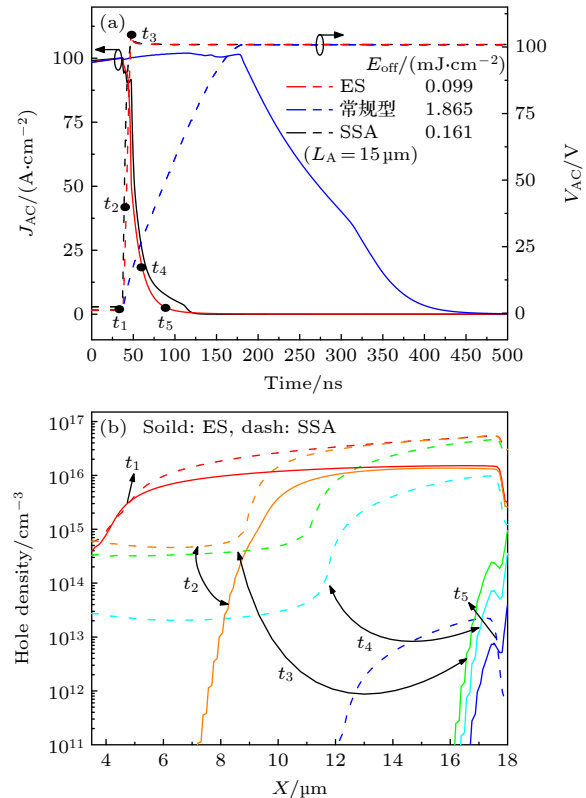


图 6 (a) LIGBTs 的关断特性; (b) 关断过程中不同时刻 (t_1 — t_5) 的空穴密度分布

Fig. 6. (a) Turn-off characteristics of LIGBTs; (b) hole density distribution at different moment (t_1 — t_5) of turn-off process.

图7为ES LIGBT和SSA LIGBT关断时的阳极电流成分组成. 在 V_{AC} 上升阶段, ES LIGBT的阳极电子电流迅速减小, 这也意味着漂移区的电子被迅速移除. 这一方面, 因为p型漂移区的存在使电子更容易被复合; 另一方面, ES LIGBT的电子主要集中在漂移区的顶部, 而体内电子密度较小, 有利于快速抽取电子. 另外, 由于感性负载的作用, 当阳极电子电流迅速下降时, 空穴电流会相应增大以维持总电流不变. 因此, p^+ 阳极也会向漂移区注入空穴, 略微增加 E_{off} . 但对于SSA LIGBT来说, 在两个阳极之间存在大量的额外载流子, 这不可避免地影响了电子的抽取, 从而出现了一定的电流拖尾现象.

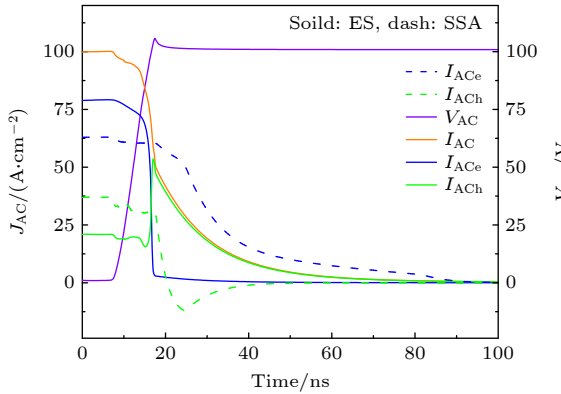


图7 在关断过程中, ES LIGBT和SSA LIGBT的阳极电流成分, 其中 I_{ACe} 是阳极的电子电流, I_{ACh} 是阳极的空穴电流, I_{AC} 是阳极总电流

Fig. 7. Anode current components of ES LIGBT and SSA LIGBT during the turn-off, I_{ACe} is the electron current of the anode, I_{ACh} is the hole current of the anode, and I_{AC} is the total current of the anode.

图8显示了 L_A 对提出的ES LIGBT性能的影响. 首先, L_A 影响器件的电场分布, 因此 BV 随 L_A 的增大而略有下降. 而 L_A 越长, 在两个阳极区域之间产生的额外载流子越多, 使得 E_{off} 越大. 另外, 一方面 L_A 影响电导调制水平, L_A 越小, 电导调制越弱, V_{on} 越小; 另一方面, 当 L_A 较大时, L_A 引起的元胞宽度增大对电流密度影响较大, L_A 越大, V_{on} 越大. 因此, 随着 L_A 的增大, V_{on} 呈现先减小后增大的趋势. 总之, 为了在 E_{off} 和 V_{on} 之间实现良好的折衷关系, 需要一个较小的 L_A .

图9显示了这些LIGBT的 E_{off} 和 V_{on} 折衷关系. 显然, ES LIGBT有着最好的 E_{off} - V_{on} 折衷关系. 在相同的 E_{off} 下, ES LIGBT的 V_{on} 比常规LIGBT

和SSA LIGBT ($L_A = 15 \mu\text{m}$) 分别降低了42%和65%. 且与EDOT LIGBT和TBSA LIGBT相比, ES LIGBT也获得了更低的 V_{on} . 这是因为SSA LIGBT和TBSA LIGBT在消除回吸电压的同时增大了器件导通的电阻. 另外, ES LIGBT的高密度电子积累层提供了一条通往器件阳极的低电阻通道, 大大降低了 V_{on} . 在相同的 V_{on} 下, ES LIGBT的 E_{off} 比常规LIGBT低96%, 这主要由于短路阳极结构的应用以及EG结构形成的独特的载流子分布. 与SSA LIGBT相比, 两者都采用了短路阳极结构, 但ES LIGBT由于两个阳极间的距离大幅减小, 其中存在的额外载流子数量也大幅降低, 使得影响器件耗尽区扩展更快, 因此获得了更低的 E_{off} .

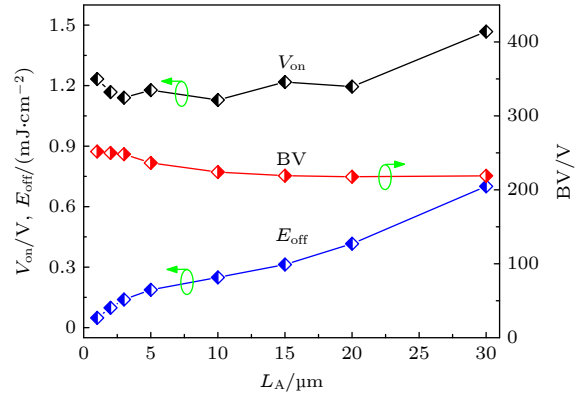


图8 L_A 对提出的ES LIGBT性能的影响

Fig. 8. Influence of L_A on the performance of the proposed ES LIGBT.

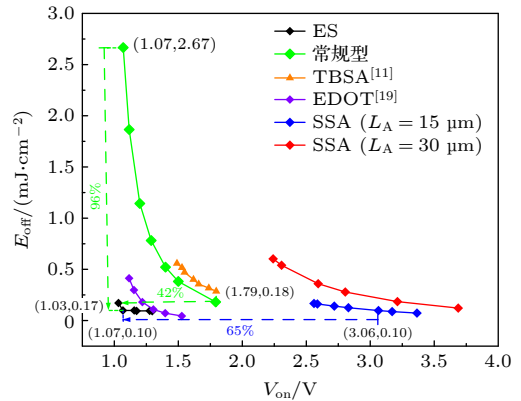


图9 LIGBTs的 E_{off} 和 V_{on} 折衷关系

Fig. 9. E_{off} and V_{on} tradeoff relationship for these LIGBTs.

4 结论

本文提出并研究了一种具有新型电子控制栅的、低 V_{on} 和低 E_{off} 的RC-LIGBT. 在正向导通状

态, 一个高密度电子层被 EG 结构积累, 形成了低电阻导通通道. 在相同结构参数下, EG LIGBT 的 V_{on} (0.92 V) 比常规 LIGBT 低 17.8%, ES LIGBT 的 V_{on} (1.16 V) 比 SSA LIGBT 低 55%. 在关断过程中, 由于采用了短路阳极结构, ES LIGBT 获得了极小的 E_{off} , 为 0.099 mJ/cm^2 , 比 SSA LIGBT 和常规 LIGBT 分别低 38.5% 和 94.7%. 此外, 与 SSA LIGBT 相比, ES LIGBT 由于采用 p 型漂移区, 较小的额外面积就可消除回吸电压, 这提高了芯片面积利用率, 且利于获得更低的 E_{off} . 总之, 新提出的 ES LIGBT 在消除回吸电压的前提下实现了反向导通, 并可以获得优秀的 E_{off} 和 V_{on} 折衷关系.

参考文献

- [1] Sakurai N, Mori M, Yatsuo T 1990 *Proceedings of the 2nd International Symposium on Power Semiconductor Devices and ICs* Tokyo, Japan, April 4-6, 1990 p66
- [2] Disney D, Letavic T, Trajkovic T, Terashima T, Nakagawa A 2017 *IEEE T. Electron Dev.* **64** 659
- [3] Letavic T, Petruzzello J, Claes J, Eggenkamp P, Janssen E, van der Wal A 2006 *IEEE International Symposium on Power Semiconductor Devices and IC's* Naples, Italy, June 4-8, 2006 p1
- [4] Gu Y, Ma J, Zhang L, Wei J X, Li S, Liu S Y, Zhang S, Zhu J, Sun W F 2024 *IEEE T. Electron Dev.* **71** 381
- [5] Hara K, Wada S, Sakano J, Oda T, Sakurai K, Yamashita H, Utsumi T 2014 *IEEE 26th International Symposium on Power Semiconductor Devices & IC's* Waikoloa, Hawaii, USA, June 15-19, 2014 p418
- [6] Gough P A, Simpson M R, Rumennik V 1986 *International Electron Devices Meeting* Los Angeles, CA, USA, December 7-10, 1986 p218
- [7] Sin J K O, Mukherjee S 1991 *IEEE Electron Dev. Lett.* **12** 45
- [8] Duan S, Qiao M, Mao K, Zhong B, Jiang L, Zhang B 2010 *IEEE International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology* Shanghai, China, November 1-4, 2010 p897
- [9] Simpson M R 1991 *IEEE T. Electron Dev.* **38** 1633
- [10] Chen W S, Zhang B, Li Z J 2010 *IEEE Electron Dev. Lett.* **31** 467
- [11] Sun L C, Duan B X, Yang Y T 2021 *IEEE T. Electron Dev.* **68** 2408
- [12] Chul J H, Byeon D S, Oh J K, Han M K, Choi Proc Y I 2002 *12th International Symposium on Power Semiconductor Devices & ICs* Toulouse, France, May 22-25, 2002 p149
- [13] Zhu J, Zhang L, Sun W F, Chen M, Zhou F, Zhao M N, Shi L X, Gu Y, Zhang S 2016 *IEEE T. Electron Dev.* **63** 2003
- [14] Huang L H, Luo X R, Wei J, Zhou K, Deng G Q, Sun T, Ouyang D F, Fan D, Zhang B 2017 *IEEE T. Electron Dev.* **64** 3961
- [15] Hardikar S, Tadikonda R, Sweet M, Vershinin K, Narayanan E M S 2003 *IEEE Electron Dev. Lett.* **24** 701
- [16] Sun L C, Duan B X, Wang Y D, Yang Y T 2019 *IEEE T. Electron Dev.* **66** 2675
- [17] Duan B X, Sun L C, Yang Y T 2019 *IEEE Electron Dev. Lett.* **40** 63
- [18] Liu S Y, Zhang Y, Zhang Z J, Inuishi M 2022 *6th IEEE Electron Devices Technology & Manufacturing Conference* Oita, Japan, March 6-9, 2022 p204
- [19] Xia Y, Chen W J, Liu C, Sun R Z, Li Z J, Zhang B Zhang 2022 *IEEE T. Electron Dev.* **69** 6956
- [20] Xia Q F 2007 *M. S. Thesis* (Hangzhou: Zhejiang University) (in Chinese) [夏庆锋 2007 硕士学位论文 (杭州: 浙江大学)]
- [21] Bruel M, Aspar B, Charlet B, Maleville C, Poumeyrol T, Soubie A, Auberton-Herve A J, Lamure J M, Barge T, Metral F, Trucchi S 1995 *IEEE International SOI Conference Proceedings* Tucson, AZ, USA, October 3-5, 1995 p178

Noval carrier accumulation reverse-conducting lateral insulated gate bipolar transistor

Duan Bao-Xing[†] Wang Jia-Sen Tang Chun-Ping Yang Yin-Tang

(Key Laboratory of the Ministry of Education for Wide Band-Gap Semiconductor Materials and Devices,

School of Microelectronics, Xidian University, Xi'an 710071, China)

(Received 25 April 2024; revised manuscript received 27 May 2024)

Abstract

Reverse-conducting lateral insulated gate bipolar transistor (RC-LIGBT) with freewheeling diode integrated in the body by introducing n^+ anode can realize the reverse conduction and optimize the turn-off characteristics of the device, which is a promising device in a power integrated circuit. In this work, a novel RC-LIGBT with electron-controlled gate (EG) and separated short-anode (SSA) is proposed and investigated by TCAD simulation, which can achieve low on-state voltage drop (V_{on}) and low turn-off loss (E_{off}) at the same time. The EG structure of p-n-n⁺-p (p⁺ region/n-type silicon region/n-type barrier layer/p⁺ region) is adopted, the gate electrode and anode electrode are connected by the EG structure. In the forward conduction state, a high-density electron accumulation layer is formed on the surface of the drift region by EG structure, which greatly reduces the V_{on} of the device. At the same time, the use of the SSA structure can also optimize the E_{off} of the device by forming an additional electron extraction channel. In addition, based on the EG structure, a low-doping p-drift can be combined with the SSA structure to simply achieve reverse-conduction and snapback-free characteristics. Furthermore, the EG structure and the SSA structure can complement each other. On the one hand, the high-density electron accumulation layer formed by EG structure compensates for the weakened conductance modulation effect caused by the SSA structure. On the other hand, the electron extraction channel of the SSA structure enables a large number of accumulated electrons to be removed quickly. The simulation results show that the proposed device has an excellent trade-off relationship between V_{on} and E_{off} , specifically, V_{on} is 1.16V, which is 55% lower than that of SSA LIGBT, and E_{off} is 0.099 mJ/cm², which is 38.5% and 94.7% lower than that of SSA LIGBT and conventional LIGBT, respectively.

Keywords: carrier accumulation, reverse-conducting lateral insulated gate bipolar transistor, on-state voltage drop, snapback voltage

PACS: 73.40.Ty, 85.30.Pq, 85.30.De

DOI: 10.7498/aps.73.20240572

[†] Corresponding author. E-mail: bxduan@163.com

新型载流子积累的逆导型横向绝缘栅双极晶体管

段宝兴 王佳森 唐春萍 杨银堂

Noval carrier accumulation reverse-conducting lateral insulated gate bipolar transistor

Duan Bao-Xing Wang Jia-Sen Tang Chun-Ping Yang Yin-Tang

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 73, 157301 (2024) DOI: 10.7498/aps.73.20240572

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7498/aps.73.20240572>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

肖特基结多数载流子积累新型绝缘栅双极晶体管

Novel majority carrier accumulation insulated gate bipolar transistor with Schottky junction

物理学报. 2024, 73(7): 078501 <https://doi.org/10.7498/aps.73.20231768>

基于栅控横向PNP双极晶体管的氢氛围中辐照损伤机制

Radiation mechanism of gate-controlled lateral PNP bipolar transistors in the hydrogen environment

物理学报. 2021, 70(15): 156101 <https://doi.org/10.7498/aps.70.20210351>

内嵌横向PNP晶体管的新型静电放电双向防护器件

Novel dual-direction electrostatic discharge device with lateral PNP transistor

物理学报. 2022, 71(23): 238501 <https://doi.org/10.7498/aps.71.20220824>

纳米体硅鳍形场效应晶体管单粒子瞬态中的源漏导通现象

Effect of source-drain conduction in single-event transient on nanoscaled bulk fin field effect transistor

物理学报. 2020, 69(8): 086101 <https://doi.org/10.7498/aps.69.20191896>

一个圆柱形双栅场效应晶体管的物理模型

A physical model of cylindrical surrounding double-gate metal-oxide-semiconductor field-effect transistor

物理学报. 2021, 70(15): 157302 <https://doi.org/10.7498/aps.70.20202156>

预加温处理对双极晶体管过剩基极电流理想因子的影响机制

Effects of pre-irradiated thermal treatment on ideal factor of excess base current in bipolar transistors

物理学报. 2020, 69(1): 018502 <https://doi.org/10.7498/aps.69.20191151>