

# 空穴注入控制型 LIGBT 的研究

杨 健, 朱小安, 方 健, 李肇基

(电子科技大学微电子所, 成都 610054)

**摘 要:** 本文提出空穴注入控制型横向绝缘栅双极晶体管(CFLIGBT), 可有效控制高压下阳极区空穴注入, 提高器件的抗门锁性能. 数值模拟与实验表明, 通过对阳极区结深、反偏  $p^+n^+$  结击穿电压和取样电阻的优化, 可实现其导通压降与抗门锁性能的折衷.

**关键词:** 智能功率集成电路; 横向绝缘栅双极晶体管; 门锁

**中图分类号:** TN492 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2000)05-0119-03

## Study of Controlled Hole Injection LIGBT

YANG Jian, ZHU Xiao an, FANG Jian, LI Zhao ji

(The Institute of Microelectronics, The University of Electronics Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

**Abstract:** Controlled hole injection LIGBT (CFLIGBT) is proposed in the paper, which can effectively control the hole injection with high anode voltage, and its latch up free characteristics can be improved. Numerical simulation and experiment indicate that its trade off between on state voltage and latch up free characteristics can be realized by the optimization of the anode junction depth, the breakdown voltage of the  $p^+n^+$  junction and the sampling resistance.

**Key words:** smart power integrated circuit (SPIC); LIGBT; latch up

## 1 引言

LIGBT 已广泛用于智能功率集成电路(Smart Power IC, SPIC)中, 但其内部寄生的晶闸管结构使器件易于门锁, 导致栅控失败, 甚至使器件失效. 为此, SPIC 中必须加入精确的电流检测和过流保护单元, 使 SPIC 的电路复杂且设计与生产成本高<sup>[1]</sup>. 具有自保护功能的 LIGBT 是当前 SPIC 研究的主要内容之一, 本文提出空穴注入控制型横向绝缘栅双极晶体管(CFLIGBT)结构, 并通过数值模拟与实验分析了该结构的抗门锁性能以及阳极区结深、反偏  $p^+n^+$  结击穿电压  $BV_Z$  和取样电阻  $R_A$  对器件导通压降与门锁性能折衷关系的影响.

## 2 器件结构与性能分析

CFLIGBT 结构如图 1 所示, 该结构的  $p^+$  和  $n^+$  阳极区分别串联了电阻  $R_A$  和反偏的  $p^+n^+$  结, 且被分为如图所示的单元结构. 图中  $R_S$  为  $n^+$  源区下寄生的  $p$  体区薄层电阻,  $A$ 、 $B$  两点对应于  $p^+$  和  $n^+$  阳极区电极, 电流分别为  $I_A$  和  $I_B$ .

为分析该结构的性能, 我们用数值模拟软件 MEDICI<sup>[2]</sup> 对 1100V 的 CFLIGBT 进行了电路与器件的二维混合模拟. 模拟时考虑了雪崩电离模型, 载流子寿命取  $10\mu s$ . 因模拟隧道结时收敛性极差且需大量网格, 图 1 中的  $p^+n^+$  结被等效为一击穿电压为  $BV_Z$  的二极管  $Z_A$ . 按  $2.0\mu m$  规则设计的主要结构参数为: 衬底浓度  $1.2E14cm^{-3}$ , 外延层浓度  $1.0E15cm^{-3}$ , 外延层厚

度  $20.0\mu m$ , 漂移区长度  $100.0\mu m$ , 场氧化层厚度  $1.4\mu m$ , 栅氧化层厚度  $0.1\mu m$ .

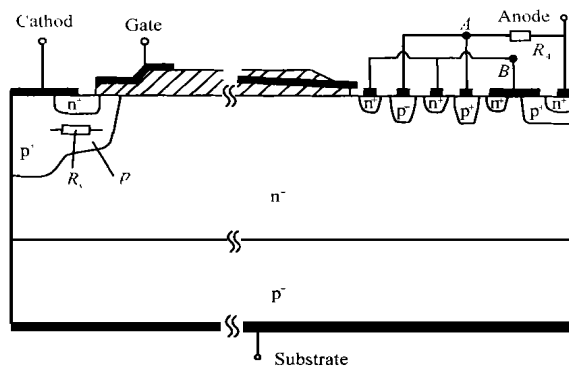


图 1 CFLIGBT 结构示意图

图 2 为 CFLIGBT 导通特性的模拟结果, 图中  $I$ 、 $I_A$ 、 $I_B$  分别为器件的阳极电流和  $p^+$ 、 $n^+$  阳极区电流. 如图 2(a) 所示, CFLIGBT 导通时, 若  $V_A$  较低,  $Z_A$  反向截止,  $n^+$  阳极区处于断路状态( $I_B = 0$ ),  $p^+$  阳极区向  $n^-$  漂移区注入的大量空穴与沟道注入的电子共同使漂移区产生电导调制. 随着  $V_A$  的上升, 电阻  $R_A$  上的压降  $V_A$  也随  $I_A$  的增大而增大, 当  $I_A R_A + V_j = \Delta V_A + V_j \geq BV_Z$  ( $V_j$  为阳极区  $p^+n$  结的结压降), 反偏的  $Z_A$  被

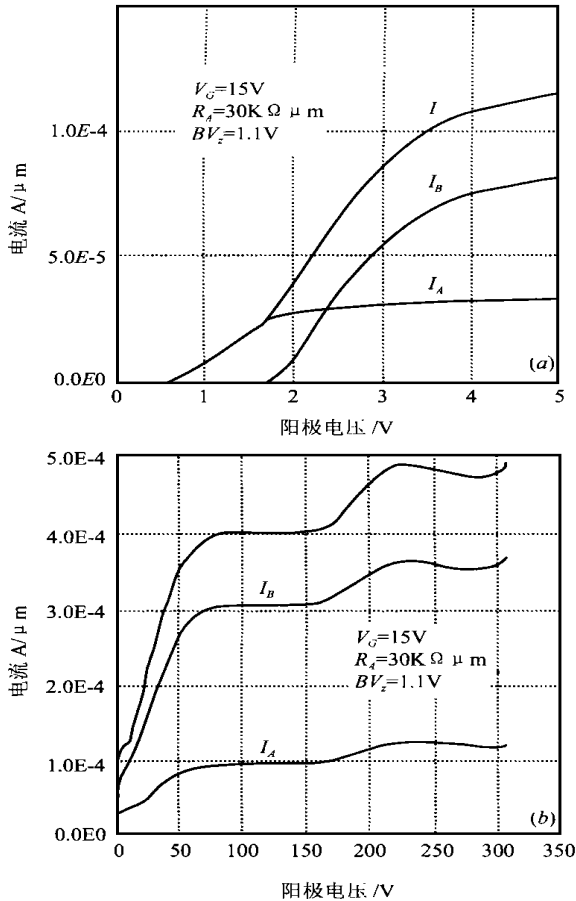


图2 CF LIGBT 的导通特性, (a) 为 (b) 的局部

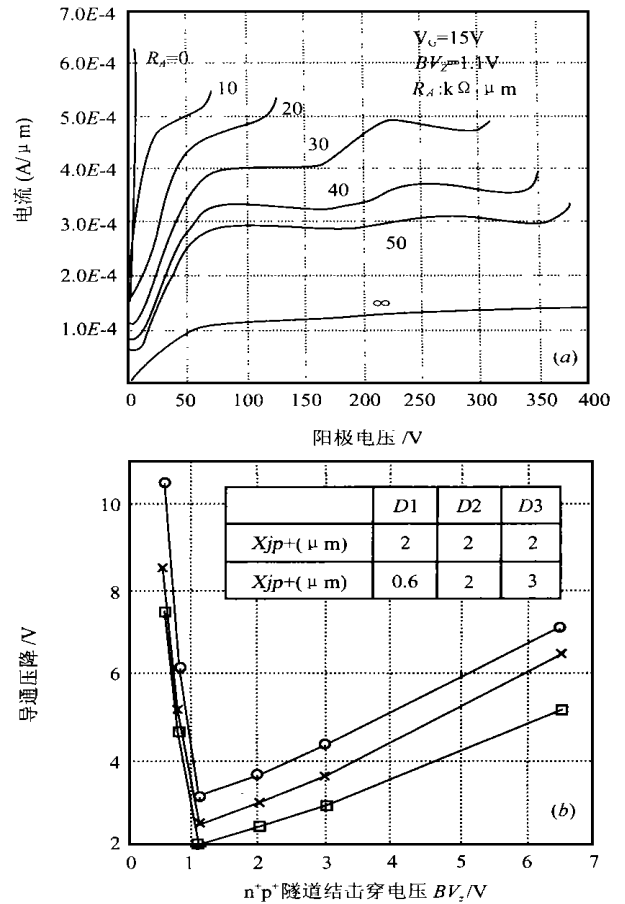
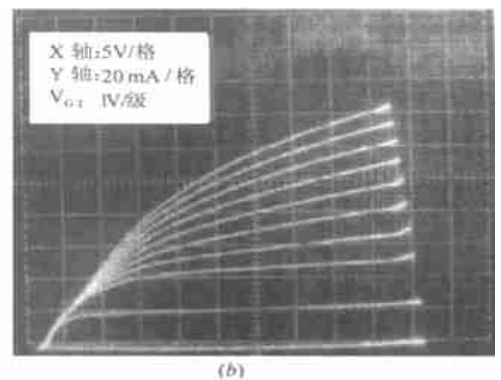
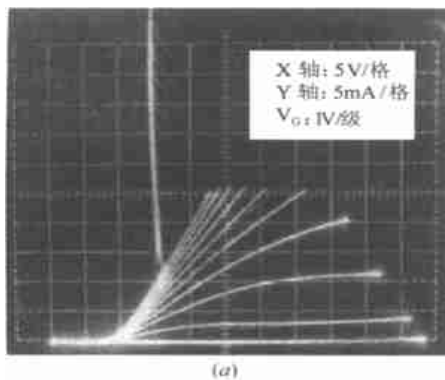
图3 CF LIGBT 在不同  $R_A$  时的导通特性(a) 及其导通压降的优化(b)

图4 (a) 普通 LIGBT 和 (b) CF LIGBT 的正向特性

击穿,  $p^+$  和  $n^+$  阳极区均有电流流过. 由于  $Z_A$  击穿后压降维持在  $BV_Z$ , 而  $\Delta V_A$  随  $I_A$  的增大而增大, 导致  $V_j$  降低, 在较高  $V_A$  下局部阳极区  $p^+n$  结甚至会被反偏,  $p^+$  阳极区注入空穴的能力受到抑制. 所以, 图2中  $I_A$  以及阳极电流  $I$  在上升到一定值后即逐步趋于饱和, 该器件直至高压下才因雪崩效应而击穿.

图3(a)为 CF LIGBT 的导通特性曲线.  $R_A=0$  和  $R_A=\infty$  分别代表了普通 LIGBT 和 LDMOS, 除  $R_A=\infty$  外, 每条曲线的末端为门坎点(为叙述方便, 将 CF LIGBT 在高压大电流下的

雪崩击穿也统称为门坎). 普通 LIGBT 在 5.6V 时即发生门坎, 而  $R_A=10k\Omega \cdot \mu m \sim 50k\Omega \cdot \mu m$  时 CF LIGBT 的门坎电压分别为 67V、125V、305V、350V 和 375V, 也即随着  $R_A$  的增大,  $Z_A$  击穿时  $p^+$  阳极区空穴电流越小, 愈能有效地抑制  $p^+$  阳极区空穴的注入, 器件越不易门坎. 由于阳极区串联电阻  $R_A$  的存在, CF LIGBT 的导通压降高于普通 LIGBT, 且随  $R_A$  的增大而增大, 其正向特性逐步趋向于 LDMOS. 因  $Z_A$  被击穿的条件是  $I_A R_A + V_j \geq BV_Z$ , 在保证 CF LIGBT 抗门坎能力前提下降低其导通压降的关键是  $BV_Z$  应尽可能低, 但过低的  $BV_Z$  使器件过早

开始抑制空穴的注入,也会导致压降上升. 图 3(b) 为针对不同  $BV_Z$ , 通过调整  $R_A$ , 以器件恰好在高压下(350V 左右)才雪崩击穿为比较条件, 在电流均为  $1.3E-4A/\mu m$  ( $100A \cdot cm^{-2}$ ) 时的导通压降模拟结果. 显然,  $BV_Z$  在 1.1V 时器件压降与门锁性能间的折衷可达到最优, 并且  $n^+$  阳极区结深  $x_{jn^+}$  相对于  $p^+$  阳极区结深  $x_{jp^+}$  越大, 越可削弱阳极区附近  $n^-$  外延层分布电阻的影响, 器件的压降可进一步降低. 如图 3(b) 所示, 结构 D3 的压降为 2.1V, 比普通 LIGBT 的 1.5V (见图 3(a)) 仅高 0.6V, 而 Sunkavalli 等人提出的同样具有限流能力的 LIGBT 将器件的压降至少增大了  $1.3V^{[3]}$ . 由于与 SPIC 工艺相兼容, 用于提高普通 LIGBT 门锁性能的自对准槽形源区接触孔<sup>[1]</sup>或更小的设计规则等措施同时也可改进 CFLIGBT 的导通压降与门锁性能间的折衷, 进一步降低它的导通压降.

图 4 为 1100V 普通 LIGBT 和 CFLIGBT 的正向特性测试结果. 所测器件的沟道宽度为  $500.0\mu m$ ,  $BV_Z = 5V$ ,  $R_A = 200\Omega$ . 为与其它实验兼容, 采用了非自对准结构, 沟道长度  $L_{ch} = 10.0\mu m$ . 如图所示, 普通 LIGBT 的测试门锁电压为 2.3V, 门锁电流仅有 25mA, 而 CFLIGBT 在  $V_A = 5.8V$  时  $Z_A$  被击穿, 并且阳极电压达 48V, 阳极电流为 125mA 时仍未发生门锁. 由于该器件阳极区结构及结深等参数未优化, 导致它的限流能力较弱, 未能观察到明显的电流饱和现象, 但与普通 LIGBT 相比较, 该结构仍改进了器件的抗门锁性能. 因  $R_A$ 、 $BV_Z$  和  $L_{ch}$  过大, 器件的导通压降偏大(导通电流为 50mA 时, 器件的孔穴电流早已受到抑制, 正向压降为 10V), 需进一步减小  $BV_Z$ , 优化各参数.

### 3 结论

本文提出的 CFLIGBT 利用一取样电阻和反偏  $p^+n^+$  结有效地抑制高压下阳极区空穴的注入, 提高了器件的门锁性能.  $n^+$  阳极区结深  $x_{jn^+}$  相对于  $p^+$  阳极区结深  $x_{jp^+}$  越大, CFLIGBT 的限流能力越强,  $BV_Z$  在 1.1V 时器件的导通压降最低.

### 参考文献

- [1] P. K. T. Mok, A. Nezar and C. A. T. Salama, IEEE Tran., 1995, ED-42: 2236
- [2] MEDICI USER'S MANUAL, TMA Inc., 1997
- [3] R. Sunkavalli, A. Tamba and B. J. Baliga, Proc. ISPSD, 1996: 271



杨 健 1970 年生, 于 1992 年和 1995 年获西安理工大学半导体器件与微电子技术专业学士、硕士学位, 现为电子科技大学微电子所博士生. 主要从事新型 MOS 功率器件和智能功率集成电路方面的研究工作.

(上接第 118 页)

- [4] Mulan Liu, Zhanfei Zhou. Ideal homomorphic secret sharing scheme over cyclic groups. Science in China, Ser. E, 1998, 41(6): 650~660
- [5] J. C. Benaloh. Secret sharing homomorphisms: keeping shares of a secret. Advances in Cryptology-CRYPTO'86, LNCS263, Berlin: Springer Verlag, 1987: 251~260

- [6] D. J. A. Welsh. Matroid Theory. London: Academic, 1976
- [7] M. Van Dijk. A Linear construction of perfect secret sharing schemes. Advances in Cryptology EUROCRYPT'94, LNCS950, Berlin: Springer-Verlag, 1994, 23~36