



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110034176 B

(45) 授权公告日 2022.02.11

(21) 申请号 201910327603.5

H01L 29/08 (2006.01)

(22) 申请日 2019.04.22

H01L 29/739 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110034176 A

(56) 对比文件

US 5654561 A, 1997.08.05

CN 109065609 A, 2018.12.21

(43) 申请公布日 2019.07.19

CN 107293585 A, 2017.10.24

(73) 专利权人 东南大学
地址 214135 江苏省无锡市新区菱湖大道
99号

CN 103633087 A, 2014.03.12

US 2004110353 A1, 2004.06.10

审查员 刘立平

(72) 发明人 祝靖 朱桂闯 李少红 张龙
孙伟锋 陆生礼 时龙兴

(74) 专利代理机构 南京苏高专利商标事务所
(普通合伙) 32204
代理人 柏尚春

(51) Int. Cl.

H01L 29/06 (2006.01)

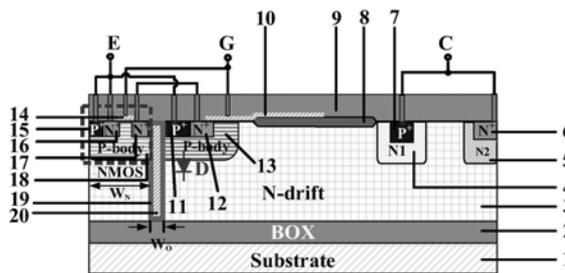
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54) 发明名称

解决反向恢复失效的逆导型横向绝缘栅双极型晶体管

(57) 摘要

一种解决反向恢复失效的逆导型横向绝缘栅双极型晶体管,包括P型衬底,氧化层埋层,N型漂移区,N型漂移区被内部填充多晶硅的氧化层沟槽分成两个区域,其中一个区域内设有横向绝缘栅双极型晶体管,另一个区域内设有NMOS,横向绝缘栅双极型晶体管的集电极作为逆导型横向绝缘栅双极型晶体管的集电极,横向绝缘栅双极型晶体管的栅极与NMOS的栅极相连并作为逆导型横向绝缘栅双极型晶体管的栅极,横向绝缘栅双极型晶体管的P型重掺杂发射区、NMOS的P型重掺杂源区及NMOS的P型重掺杂源区相连并作为逆导型横向绝缘栅双极型晶体管的发射极,横向绝缘栅双极型晶体管的N型重掺杂发射区与NMOS的N型重掺杂漏区相连。



1. 一种解决反向恢复失效的逆导型横向绝缘栅双极型晶体管,包括P型衬底(1),在P型衬底(1)上设有氧化层埋层(2),在氧化层埋层(2)上设有N型漂移区(3),其特征在于,在N型漂移区(3)内设有内部填充多晶硅(20)的氧化层沟槽(19),且所述N型漂移区(3)被所述氧化层沟槽(19)分隔成两个N型漂移区域,在其中一个N型漂移区域上设有横向绝缘栅双极型晶体管,在其中另一个N型漂移区域上设有N型金属氧化物半导体场效应晶体管,横向绝缘栅双极型晶体管的集电极作为所述逆导型横向绝缘栅双极型晶体管的集电极(C),横向绝缘栅双极型晶体管的栅极与N型金属氧化物半导体场效应晶体管的栅极相连并作为所述逆导型横向绝缘栅双极型晶体管的栅极(G),横向绝缘栅双极型晶体管的P型重掺杂发射区(11)、N型金属氧化物半导体场效应晶体管的P型重掺杂源区(15)及N型金属氧化物半导体场效应晶体管的N型重掺杂源区(16)相连并作为所述逆导型横向绝缘栅双极型晶体管的发射极(E),横向绝缘栅双极型晶体管的N型重掺杂发射区(12)与N型金属氧化物半导体场效应晶体管的N型重掺杂漏区(17)相连,所述横向绝缘栅双极型晶体管包括设在N型漂移区(3)内的第一N型轻掺杂区(4)、第二N型轻掺杂区(5)及P型体区(13),在第一N型轻掺杂区(4)内设有P型重掺杂集电区(7),在第二N型轻掺杂区(5)内设有N型重掺杂集电区(6),并且,所述P型重掺杂集电区(7)与N型重掺杂集电区(6)相连并作为所述横向绝缘栅双极型晶体管的集电极,在P型体区(13)内设有P型重掺杂发射区(11)和N型重掺杂发射区(12),在P型体区(13)与第一N型轻掺杂区(4)之间的N型漂移区上方设有场氧化层(8),在P型体区(13)的上方设有作为横向绝缘栅双极型晶体管栅极的多晶硅栅(10),并且,所述多晶硅栅(10)的一端延伸至N型重掺杂发射区(12)的上方,所述多晶硅栅(10)的另一端延伸至场氧化层(8)的上方,在P型重掺杂发射区(11)、N型重掺杂发射区(12)、P型体区(13)、N型漂移区(3)、场氧化层(8)、第一N型轻掺杂区(4)、P型重掺杂集电区(7)、第二N型轻掺杂区(5)及N型重掺杂集电区(6)上覆盖有二氧化硅氧化层(9)。

2. 根据权利要求1所述的解决反向恢复失效的逆导型横向绝缘栅双极型晶体管,其特征在于,所述N型金属氧化物半导体场效应晶体管设在N型漂移区(3)内的P型体区(18),在P型体区(18)中设有P型重掺杂源区(15)、N型重掺杂源区(16)和N型重掺杂漏区(17),在P型体区(18)的上方设有作为N型金属氧化物半导体场效应晶体管栅极的多晶硅栅(14),并且,多晶硅栅(14)的一端位于N型重掺杂源区(16)的上方,另一端位于N型重掺杂漏区(17)的上方,所述二氧化硅氧化层(9)延伸并覆盖在P型重掺杂源区(15)、N型重掺杂源区(16)、P型体区(18)和N型重掺杂漏区(17)上。

3. 如权利要求1所述的解决反向恢复失效的逆导型横向绝缘栅双极型晶体管,其特征在于,所述N型金属氧化物半导体场效应晶体管区域宽度 W_N 为 $7.8\sim 8.2\mu\text{m}$ 。

4. 如权利要求3所述的解决反向恢复失效的逆导型横向绝缘栅双极型晶体管,其特征在于,所述N型金属氧化物半导体场效应晶体管的多晶硅栅(14)的厚度为 $0.18\sim 0.22\mu\text{m}$,长度为 $1.8\sim 2.2\mu\text{m}$ 。

5. 如权利要求1所述的解决反向恢复失效的逆导型横向绝缘栅双极型晶体管,其特征在于,氧化层沟槽(19)的宽度 W_0 为 $1.8\sim 2.2\mu\text{m}$ 。

解决反向恢复失效的逆导型横向绝缘栅双极型晶体管

技术领域

[0001] 本发明主要涉及功率半导体器件技术领域,具体涉及解决反向恢复失效的逆导型横向绝缘栅双极型晶体管。

背景技术

[0002] 横向绝缘栅双极型晶体管(LIGBT)是在各种电力电子设备中广泛运用的一种功率半导体器件。一直以来,由于LIGBT其具有较大的正向电流密度,高输入阻抗,驱动方式简单,工作状态易于控制,易于集成的特点,在功率集成电路中得到广泛的应用,是功率电路中的核心开关器件。

[0003] 传统LIGBT因存在严重的拖尾电流现象,使其关断速度较慢。分离的短路阳极绝缘栅双极型晶体管(SSA-LIGBT)在阳极右侧增加了N型重掺杂集电区6(如图1),这样在关断期间提供了电子抽取路径,快速地抽取漂移区电子,从而具有较快的关断速度,同时具有反向导通能力。SSA-LIGBT可以用作半桥拓补电路(如图6)的电源开关,因为SSA-LIGBT由发射区P型体区13和N型漂移区3构成的体二极管(下简称体二极管,如图1中标示)可以用作续流二极管,所以不需要并联额外的二极管,这样整个电路的体积就会减小。传统LIGBT不存在体二极管,没有逆向导通的能力,因此SSA-LIGBT也可叫逆导型LIGBT。

[0004] 对于SSA-LIGBT,当栅压控制沟道开启时,在集电极接高电位,发射极接低电位实现正向导通功能,电流由集电极流到发射极。将发射极和栅极短接接高电位,集电极接低电位,此时体二极管导通,电流由发射极流到集电极,电流方向和上述正向导通状态相反,器件工作在逆向导通状态,简称逆导状态,也叫体二极管续流工作状态。若工作在逆导状态的SSA-LIGBT的栅极和发射极由高电位变为低电位,集电极由低电位变为高电位时,器件工作状态由逆导变为正向阻断,此时SSA-LIGBT的体二极管在耐压,体二极管在这一期间会经历反向恢复过程,在漂移区空穴被抽取流出P型重掺杂发射区11这一过程中,当N型重掺杂发射区12和其下方P型体区13之间的电势差达到该PN结开启电压时,SSA-LIGBT内部由N型重掺杂发射区12,P型体区13和N型漂移区3构成的寄生NPN三极管(以下简称寄生NPN,如图5(a)中标示)会开启,SSA-LIGBT的体二极管在反向恢复期间就容易带来如图4所示的反向恢复失效问题(T_0 表示未发生反向恢复失效的时刻, T_1 表示开始发生反向恢复发生失效的时刻),当电流变化率 $di/dt=10A/\mu s$ 时反向恢复正常,但当 $di/dt=20A/\mu s$ 时,反向电流急剧增加,反向恢复失效。图5(a)所示为SSA-LIGBT在 T_1 时刻的电子电流路径图,图5(b)表示不同时刻沿器件表面(取 $Y=30\mu m$)所截的电子电流密度曲线图(T_0 表示未发生反向恢复失效的时刻, T_1 表示开始发生反向恢复发生失效的时刻)。由图可以清晰地看出,器件发生反向恢复失效时,在寄生NPN位置($X=6\mu m$ 附近)电子电流密度很大,这充分证明了反向恢复失效问题正是器件内部寄生NPN触发开启导致。

[0005] 继SSA-LIGBT后续研究所提到的结构,并没有解决反向恢复期间寄生NPN开启的问题,如STA-LIGBT,MSA-LIGBT,PRTC-LIGBT等,电流变化率 di/dt 较大时,它们均存在反向恢复失效的风险。当在高频电路中去应用这些器件时,就有可能产生很大的尖峰电流,器件可

能发生热失效,同时也可能会击穿或损坏电路中的其他器件,严重影响了器件的稳定性和可靠性。因此,解决RC-LIGBT器件的反向恢复失效问题迫在眉睫。

发明内容

[0006] 本发明针对上述问题,提出了一种解决反向恢复失效的逆导型横向绝缘栅双极型晶体管(RC-LIGBT)器件。该器件在保持驱动方式简单、关断速度快、高电流密度和低生产成本等优点的同时,创造性地消除了RC-LIGBT器件在反向恢复期间内部寄生NPN的开启,解决了RC-LIGBT的体二极管在反向恢复期间带来的反向恢复失效问题,使得器件可以更安全地运用在高频电路中,进一步增强了器件的稳定性,提高了器件的可靠性。

[0007] 本发明的技术方案如下:

[0008] 一种解决反向恢复失效的逆导型横向绝缘栅双极型晶体管,包括P型衬底,在P型衬底上设有氧化层埋层,在氧化层埋层上设有N型漂移区,在N型漂移区内设有内部填充多晶硅的氧化层沟槽,且所述N型漂移区被所述氧化层沟槽分隔成两个N型漂移区域,在其中一个N型漂移区域上设有横向绝缘栅双极型晶体管,在其中另一个N型漂移区域上设有N型金属氧化物半导体场效应晶体管。横向绝缘栅双极型晶体管的集电极作为所述逆导型横向绝缘栅双极型晶体管的集电极C,横向绝缘栅双极型晶体管的栅极与N型金属氧化物半导体场效应晶体管的栅极相连并作为所述逆导型横向绝缘栅双极型晶体管的栅极G,横向绝缘栅双极型晶体管的P型重掺杂发射区、N型金属氧化物半导体场效应晶体管的P型重掺杂源区及N型金属氧化物半导体场效应晶体管的N型重掺杂源区相连并作为所述逆导型横向绝缘栅双极型晶体管的发射极E,横向绝缘栅双极型晶体管的N型重掺杂发射区与N型金属氧化物半导体场效应晶体管的N型重掺杂漏区相连。

[0009] 与现有技术相比,本发明结构具有如下优点:

[0010] 1、本发明结构可以创造性地解决RC-LIGBT体二极管在反向恢复期间,因寄生NPN开启带来的反向恢复失效的问题。如图1和图3(a),对于SSA-LIGBT,寄生NPN和发射极直接相连,发射极和N型重掺杂发射区12间形成了回路。在器件由逆导状态变为正向阻断期间,体二极管会经历反向恢复,漂移区空穴通过P型重掺杂发射区11被抽取到发射极,一旦N型重掺杂发射区12和其下方P型体区13之间的电势差达到该PN结开启电压时,由于发射极和N型重掺杂发射区12间形成了回路,电子可以注入到漂移区,寄生NPN就会开启。而对于本发明结构,如图2和图3(b),在由发射区P型体区13和N型漂移区3构成的体二极管反向恢复期间,由于左边NMOS沟道未开启,发射极与N型重掺杂发射区12断开,无法形成电子电流回路,所以寄生NPN不会开启。除NMOS的作用之外,因本发明结构存在隔离沟槽,由于沟槽内的多晶硅始终接低电位,于是在沟槽外侧就会形成空穴反型层作为空穴的低阻区,在反向恢复期间,漂移区部分空穴会沿着沟槽侧壁流动到P型重掺杂发射区11。从而改变了空穴电流的抽取路径,同样也抑制了寄生NPN的开启,反向恢复期间空穴电流抽取路径如图9所示。从图8可以看到,即使在电流变化率 $di/dt=440A/\mu s$ 下,反向恢复依旧没有出现失效的现象,对于SSA-LIGBT,仅仅在 $di/dt=30A/\mu s$ 条件下,就出现了反向恢复失效的情形。这进一步说明了本发明结构可以完全有效地抑制寄生NPN的开启,使得RC-LIGBT反向恢复性能大幅提升。

[0011] 2、本发明结构与SSA-LIGBT相比具有更低的正向导通压降。集电极接高电位,发射极接低电位,给栅极接高电位,多晶硅栅10和多晶硅栅14下方沟道均开启,本发明结构就可

以实现正向导通功能。在正向导通期间,由于NMOS的存在,相同条件下本发明结构可以提供更多的电子注入到漂移区,发生电导调制效应,使得本发明结构较SSA-LIGBT具有更低的导通压降,如图7所示。

[0012] 3、对于沟槽隔离氧化层的制备已有现有的沟槽挖取隔离技术,沟槽的形成通常采用先侧壁氧化再用多晶硅填充的办法。沟槽左边的NMOS和右边的SSA-LIGBT可以同时制备,工艺兼容性好,简单易控,制备成本低,具有可行性。

附图说明

[0013] 图1所示为SSA-LIGBT结构图。

[0014] 图2所示为本发明结构图。

[0015] 图3(a)所示为SSA-LIGBT电路原理图。

[0016] 图3(b)所示为本发明结构的电路原理图。

[0017] 图4所示为SSA-LIGBT体二极管的反向恢复波形图。

[0018] 图5(a)所示为 $di/dt=20A/\mu s$ 时,SSA-LIGBT在T1时刻电子电流路径图。

[0019] 图5(b)所示为不同时刻沿SSA-LIGBT器件表面 $Y=30\mu m$ 所截的电子电流密度对比图

[0020] 图6所示为半桥拓补电路示意图。

[0021] 图7所示为本发明结构和SSA-LIGBT正向导通特性图。

[0022] 图8所示为不同 di/dt 下本发明结构和SSA-LIGBT体二极管反向恢复波形图。

[0023] 图9所示为本发明结构在反向恢复电流达到最大值时的空穴电流路径图。

具体实施方式

[0024] 下面结合附图,对本发明做详细说明:

[0025] 一种解决反向恢复失效的逆导型横向绝缘栅双极型晶体管,包括P型衬底1,在P型衬底1上设有氧化层埋层2,在氧化层埋层2上设有N型漂移区3,其特征在于,在N型漂移区3内设有内部填充多晶硅20的氧化层沟槽19且所述N型漂移区3被所述氧化层沟槽19分隔成两个N型漂移区域,在其中一个N型漂移区域上设有横向绝缘栅双极型晶体管,在其中另一个N型漂移区域上设有N型金属氧化物半导体场效应晶体管,横向绝缘栅双极型晶体管的集电极作为所述逆导型横向绝缘栅双极型晶体管的集电极C,横向绝缘栅双极型晶体管的栅极与N型金属氧化物半导体场效应晶体管的栅极相连并作为所述逆导型横向绝缘栅双极型晶体管的栅极G,横向绝缘栅双极型晶体管的P型重掺杂发射区11、N型金属氧化物半导体场效应晶体管的P型重掺杂源区15及N型金属氧化物半导体场效应晶体管的N型重掺杂源区16相连并作为所述逆导型横向绝缘栅双极型晶体管的发射极E,横向绝缘栅双极型晶体管的N型重掺杂发射区12与N型金属氧化物半导体场效应晶体管的N型重掺杂漏区17。

[0026] 所述横向绝缘栅双极型晶体管包括设在N型漂移区3内的第一N型轻掺杂区4、第二N型轻掺杂区5及P型体区13,在第一N型轻掺杂区4内设有P型重掺杂集电区7,在第二N型轻掺杂区5内设有N型重掺杂集电区6,并且,所述P型重掺杂集电区7与N型重掺杂集电区6相连并作为所述横向绝缘栅双极型晶体管的集电极,在P型体区13内设有P型重掺杂发射区11和N型重掺杂发射区12,在P型体区13与第一N型轻掺杂区4之间的N型漂移区上方设有场氧化

层8,在P型体区13的上方设有作为横向绝缘栅双极型晶体管栅极的多晶硅栅10,并且,所述多晶硅栅10的一端延伸至N型重掺杂发射区12的上方,所述多晶硅栅10的另一端延伸至场氧化层8的上方,在P型重掺杂发射区11、N型重掺杂发射区12、P型体区13、N型漂移区3、场氧化层8、第一N型轻掺杂区4、P型重掺杂集电区7、第二N型轻掺杂区5及N型重掺杂集电区6上覆盖有二氧化硅氧化层9。

[0027] 所述N型金属氧化物半导体场效应晶体管设在N型漂移区3内的P型体区18,在P型体区18中设有P型重掺杂源区15、N型重掺杂源区16和N型重掺杂漏区17,在P型体区18的上方设有作为N型金属氧化物半导体场效应晶体管栅极的多晶硅栅14,并且,多晶硅栅14的一端位于N型重掺杂源区16的上方,另一端位于N型重掺杂漏区17的上方,所述二氧化硅氧化层9延伸并覆盖在P型重掺杂源区15、N型重掺杂源区16、P型体区18和N型重掺杂漏区17上。

[0028] 所述N型金属氧化物半导体场效应晶体管区域宽度 W_N 为7.8~8.2 μm 。

[0029] 所述N型金属氧化物半导体场效应晶体管的多晶硅栅14的厚度为0.18~0.22 μm ,长度为1.8~2.2 μm 。

[0030] 所述氧化层沟槽19的宽度 W_0 为1.8~2.2 μm 。

[0031] 下面结合附图对本发明做进一步说明。

[0032] 本发明的工作原理:

[0033] 正向导通:栅极接高电位,发射极接低电位,集电极接高电位时,多晶硅栅10和多晶硅栅14下方的沟道均开启,电子由NMOS的N型重掺杂源区16,通过多晶硅栅14下方的沟道流入NMOS的N型重掺杂漏区17,再经导线流入N型重掺杂发射区12,然后通过多晶硅栅10下方的沟道注入到N型漂移区3,并通过N型重掺杂集电区6流出到集电极。当P型重掺杂集电区7和N型轻掺杂N1区4之间的电势差达到该PN结开启电压时,P型重掺杂集电区7的空穴就会注入到N型漂移区3,再由P型重掺杂发射区11直接经导线流到发射极,实现正向导通。

[0034] 逆向导通:栅极和发射极短接在一起接高电位,集电极接低电位,多晶硅栅10和多晶硅栅14下方的沟道均关断,此时器件由发射区P型体区13和N型漂移区3构成的体二极管导通,空穴由P型重掺杂发射区11注入到N型漂移区3,并通过N型重掺杂集电区6流出到集电极。电流流向和上述正向导通相反,这一状态称为逆向导通,简称逆导。

[0035] 正向阻断:栅极和发射极短接在一起接低电位,集电极接高电位,多晶硅栅10和多晶硅栅14下方的沟道均关断,漂移区耗尽层展宽,此时器件由发射区P型体区13和N型漂移区3构成的体二极管在耐压。

[0036] 反向恢复过程:器件的工作状态由逆向导通逐渐变为正向阻断时,多晶硅栅10和多晶硅栅14下方的沟道均关断,在集电极逐渐由低电位变为高电位,发射极逐渐由高电位变为低电位过程中,之前由P型重掺杂发射区11注入到N型漂移区3中的空穴被抽取流出P型重掺杂发射区11,由N型重掺杂集电区6注入到N型漂移区3的电子也被抽取流出N型重掺杂集电区6,耗尽层伴随抽取过程逐渐展宽。当漂移区内存储的载流子被抽取完时,此时耗尽层完全展宽,体二极管进行耐压。在空穴由漂移区往P型重掺杂发射区11抽取时,即使N型重掺杂发射区12和其下方P型体区13之间的电势差达到该PN结开启电压,由于左边的NMOS沟道不开启,发射极和N型重掺杂发射区12处于断开状态,因此N型重掺杂发射区12中的电子无法注入到P型体区13,寄生NPN不会开启,从而由寄生NPN开启引起的体二极管反向恢复失效问题可以完全有效地避免。另外,当器件的工作状态由逆向导通变为正向阻断时,器件存

在隔离沟槽,由于沟槽内的多晶硅始终接低电位,于是在沟槽外侧就会形成空穴反型层,作为空穴的低阻区,部分空穴会沿着沟槽侧壁流到P型重掺杂发射区11。这样就改变了空穴电流的抽取通道,同样也抑制了寄生NPN的开启,反向恢复期间空穴电流抽取路径图如图9。如图8,通过大量仿真测试发现,即使在电流变化率 $di/dt=440A/\mu s$ 下,本发明结构的反向恢复依旧正常,而SSA-LIGBT在 $di/dt=30A/\mu s$ 的情况下反向电流急剧增大,就已经发生了反向恢复失效,所以本发明结构可以真正地解决寄生NPN开启导致的反向恢复失效问题。

[0037] RC-LIGBT通常用在如图6所示的半桥拓补电路中,V1始终接高电位。当V2为高电位,下管正向导通,上管正向阻断,电感充电。当V2由高电位变为低电位,下管正向阻断,电感放电,电流经由上管的体二极管进行续流,此时上管工作在逆导状态。V2由低电位变为高电位时,下管正向导通,上管正向阻断,此时上管工作状态由逆导变为正向阻断,上管体二极管经历反向恢复过程。在反向恢复期间,若上管是传统结构,就会有反向恢复失效的风险,若上管采用本发明结构,就可以消除寄生NPN的开启,从而避免器件在反向恢复期间出现的失效问题,增强电路的安全性与可靠性。

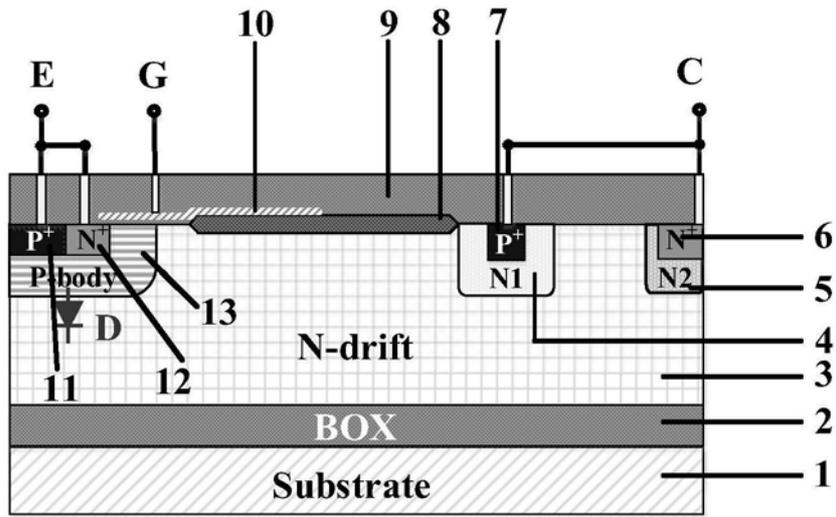


图1

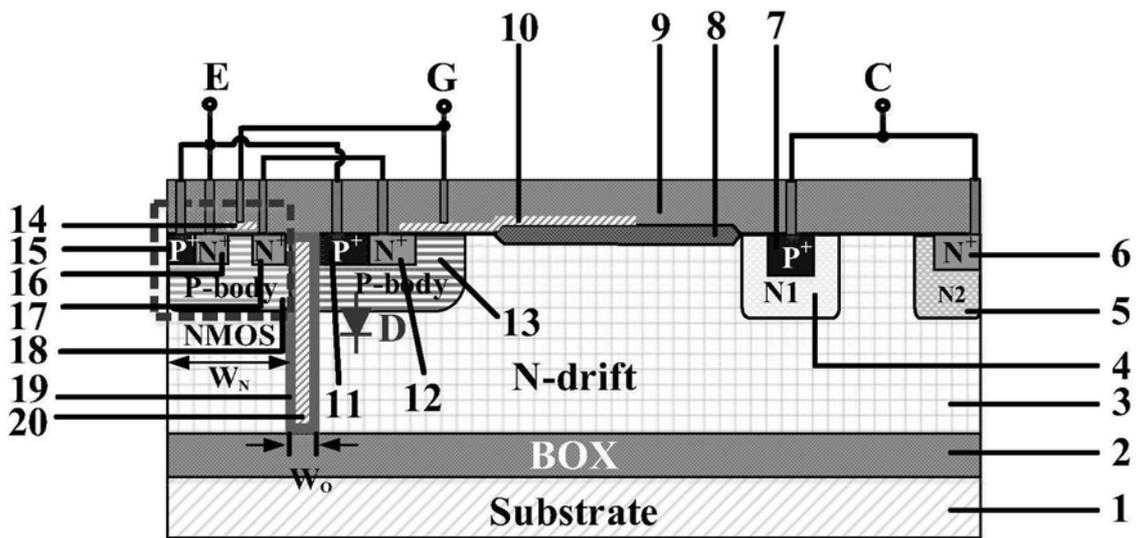


图2

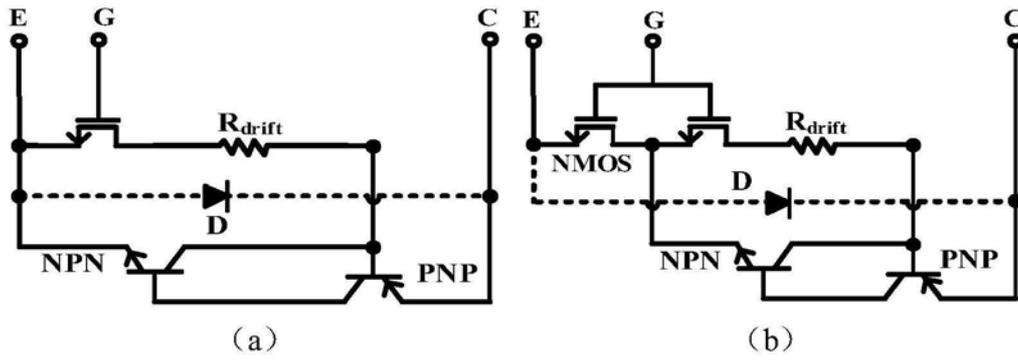


图3

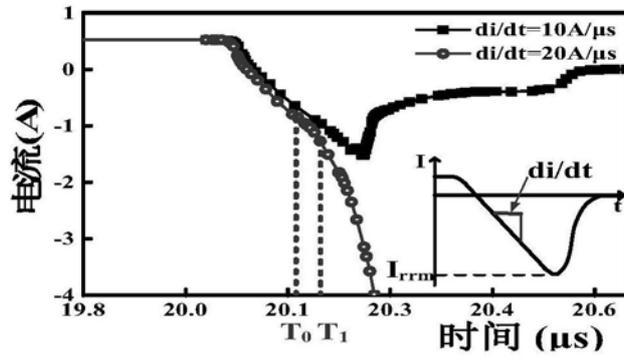


图4

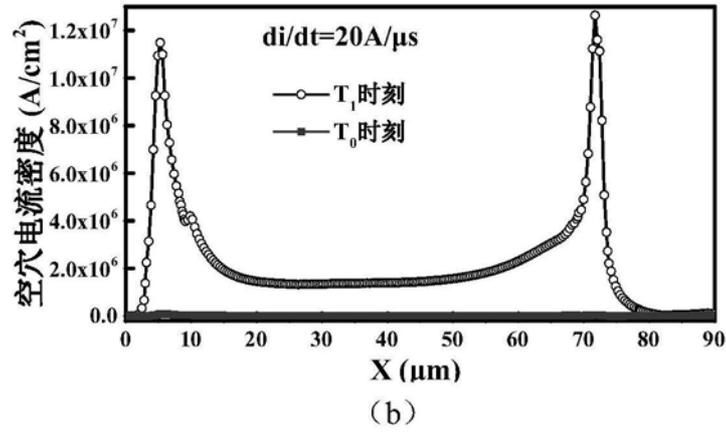
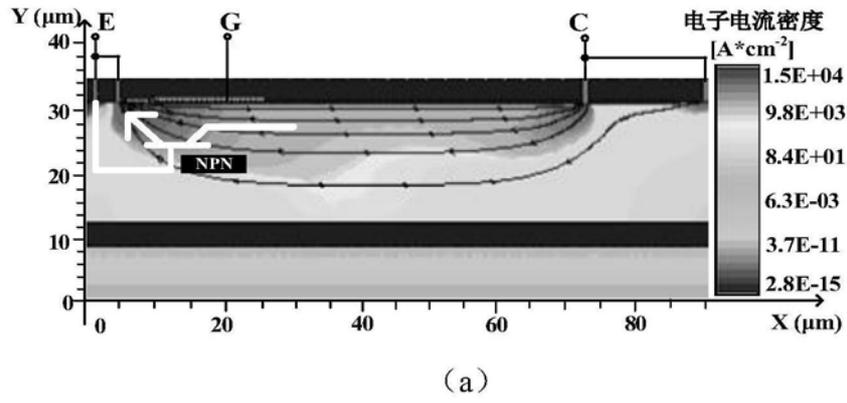


图5

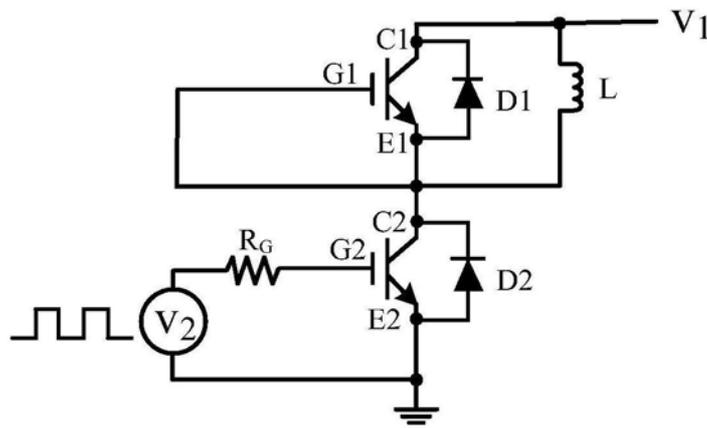


图6

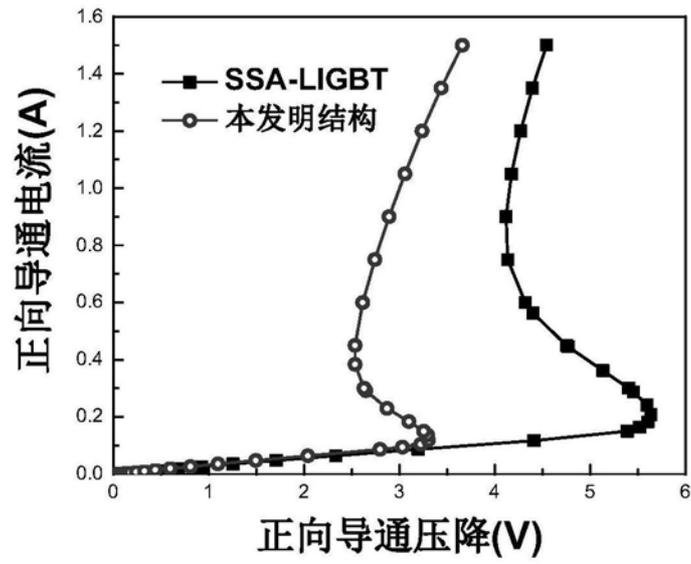


图7

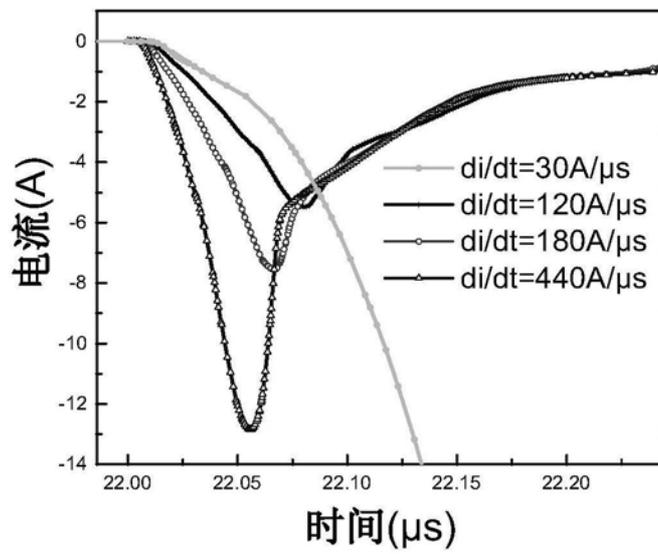


图8

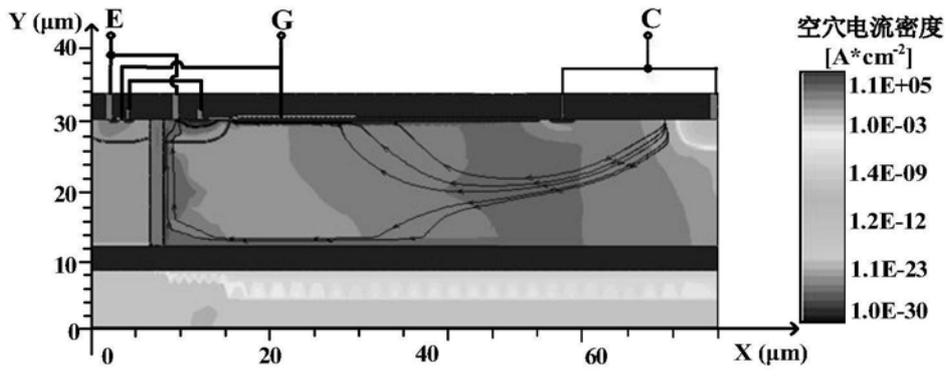


图9