

# 用 $^{252}\text{Cf}$ 裂片源研究单粒子烧毁 和栅穿效应的方法

唐本奇,王燕萍,耿 斌,陈晓华,贺朝会,杨海亮

(西北核技术研究所, 陕西 西安 710024)

**摘要:**建立了 $^{252}\text{Cf}$ 裂片源模拟空间重离子的单粒子烧毁(SEB)和单粒子栅穿(SEGR)效应的实验方法和测试装置,并利用该装置进行了功率 MOS 场效应晶体管的 SEB、SEGR 效应研究,给出了被测试器件 SEB、SEGR 效应的损伤阈值。结果表明,该测试系统和实验方法是可行、可靠的。

**关键词:**功率 MOS 器件;单粒子烧毁;单粒子栅穿

**中图分类号:** TN99      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-6931(2000)04-0339-05

单粒子烧毁(SEB, single event burnout)和单粒子栅穿(SEGR, single event gate rupture)效应研究<sup>[1,2]</sup>始于 80 年代末。迄今为止,在国外进行的一系列空间和地面加速器实验中,已观察到了大量的 SEB、SEGR 现象。1994 年发射的 APEX 卫星(椭圆轨道,2 544 km,362 km,70° 倾角)专门进行了功率 MOS 器件 SEB 效应的搭载实验,在 12 个月内监测到了 208 次 SEB 事件<sup>[3]</sup>。功率器件的 SEB、SEGR 效应造成电源电压或功耗的剧烈波动,严重威胁着航天电子系统的安全,因而备受关注。

国内在 SEB、SEGR 效应研究方面尚处于起步阶段,无论在理论方法还是实验技术方面均存在着众多问题亟待探索。

## 1 测试原理

SEB 效应是由离子入射到功率 MOS 器件的  $n^+$  源区或  $p$  沟道区,在  $pp^+$  区沉积能量,产生大量的电子-空穴对,在漂移和扩散效应的双重作用下,形成瞬发电流。当瞬发电流在  $pp^+$  体硅片电阻上的压降增加到一定值时,使  $n^+pnn^+$  构成的寄生晶体管导通,负反馈作用使源-漏短路(即漏极和源极之间形成短路通道),导致器件烧毁<sup>[4]</sup>。

SEGR 效应是在入射离子穿透器件栅极时,在  $n^-$  漂移区产生电子空穴对。对于  $n^-$  沟道器件,栅极接地,漏极正偏,在漂移区电场的作用下,电子沿入射离子径迹向漏极移动,空穴向栅极漂移,累积在  $\text{Si}/\text{SiO}_2$  界面的空穴使氧化层上的电场瞬时增大,当该电场增量足够大、持续时间足够长时,将引起入射径迹的氧化层介质击穿<sup>[5]</sup>。功率 MOS 器件发生 SEB 或 SEGR

收稿日期:1999-08-19;修回日期:1999-10-11

作者简介:唐本奇(1966—),男,湖南津市人,副研究员,半导体器件抗核加固专业

效应,与器件的工作模式、粒子入射角和能量、器件的偏置电压及温度有关。

器件的电压偏置和电流测试电路原理图示于图 1。控制电路通过控制 MOS 管  $T_1$  的通断来控制电容  $C_2$  上的电压,由漏极(或栅极)电压表读出输出漏极(或栅极),用漏极(或栅极)电流表读出漏极(或栅极)电流。如果漏(或栅)极电流超过设定值, $T_2$  导通,输出短路,以保护 DUT(被测试器件)。

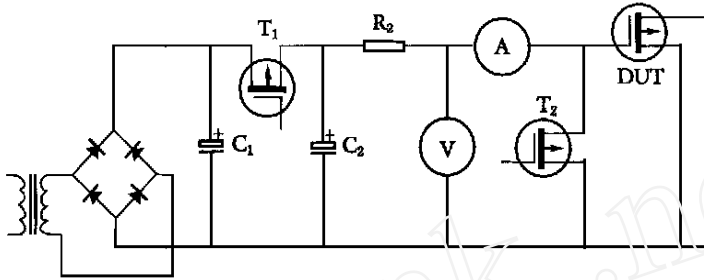


图 1 漏(或栅)极电源电路基本原理图

Fig. 1 Schematic diagram of drain(or gate) voltage supply circuits

## 2 实验装置

$^{252}\text{Cf}$  源单粒子烧毁、栅穿效应的测量装置示于图 2。利用  $^{252}\text{Cf}$  源的自发裂变碎片模拟空间重离子,其 LET(linear energy transfer,线性能量传输)值为  $43 \text{ MeV}/(\text{mg cm}^{-2})$ 。用电离室或金硅面垒半导体谱仪进行测量,经计算可得到入射到器件的粒子注量。考虑到裂变碎片在介质中极易损失能量,实验在真空中进行,DUT 开盖。

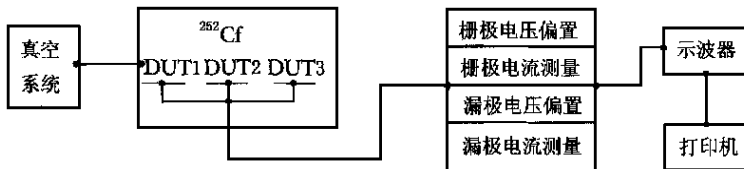


图 2  $^{252}\text{Cf}$  源 SEB、SEGR 效应测试系统示意图

Fig. 2 Block diagram of SEB and SEGR measurement circuits with  $^{252}\text{Cf}$  source

根据 DUT 选择开关的位置,栅或漏偏置电路对被测器件提供偏置电压,栅极电压为  $\pm(0 \sim 100) \text{ V}$ ;漏极电压范围为  $\pm(0 \sim 500) \text{ V}$ 。由栅或漏测量单元对栅、漏电流进行动态或静态的实时监测。测试范围为: $I_{\text{DS}}$ (静态), $0.01 \sim 1.0 \text{ mA}$ ;  $I_{\text{GS}}$ (静态), $0.01 \sim 10 \mu\text{A}$ 。动态辐照电流由示波器监测,结果输出到打印机上。在栅或漏电流测试单元中,增加了过电流保护电路,电流保护范围: $I_{\text{GS}}$ , $0.1 \sim 10 \mu\text{A}$ ;  $I_{\text{DS}}$ , $0.1 \sim 1.0 \text{ mA}$ ;  $I_{\text{DS}}$ (瞬态), $1.0 \sim 50.0 \text{ A}$ 。

## 3 实验结果

利用上述测试系统,对 4 种商用功率 MOS 器件 IRF130、IRF220、IRF450、MTM8P16 进行 SEB、SEGR 效应研究。辐照前,对器件进行静态电参数测试和筛选,以保证器件的静态漏电流  $I_{\text{DS}} < 10^{-5} \text{ A}$ (测试条件为: $V_{\text{GS}} = 0 \text{ V}$ ,  $V_{\text{DS}} = V_{\text{DSS}}$ ,其中, $V_{\text{DSS}}$ 为漏-源击穿电压), $I_{\text{GS}} <$

$10^{-8}$  A(测试条件为  $V_{GS} = 20.0$  V)。试验中,<sup>252</sup>Cf源的裂片注量率为  $4.0 \times 10^2 \text{ s}^{-1}$ ,注入深度为  $14 \sim 16 \mu\text{m}$ 。首先对器件进行预辐照,然后边辐照边调整器件的偏置电压。部分器件的SEB、SEGR效应实验结果列于表1、2。器件IRF130和IRF220产生SEB效应的瞬态电流波形示于图3,其中,R为限流电阻,C为储能电容。

表1 功率MOS器件SEB效应的试验结果

Table 1 Power MOSFET burnout test results

器件类型	沟道	额定电压/V	实际耐压/V	源-漏电压 $V_{Fth}/V$		$V_{Fth}/V_{DSS}$	试验器件数目
				最小值	最大值		
IRF130	n	100	125	80	92	0.64 ~ 0.74	5
IRF220	n	200	250	130	180	0.52 ~ 0.72	5
IRF450	n	500	540	280	350	0.52 ~ 0.65	4

表2 功率MOS器件SEGR效应的试验结果

Table 2 Power MOSFET SEGR test results

器件类型	沟道	栅-源电压 $V_{GS}/V$		试验器件数目
		最小值	最大值	
IRF130	n	55	80	5
IRF220	n	24	56	5
IRF450	n	56	70	5
MTM8P16	p	75	80	2

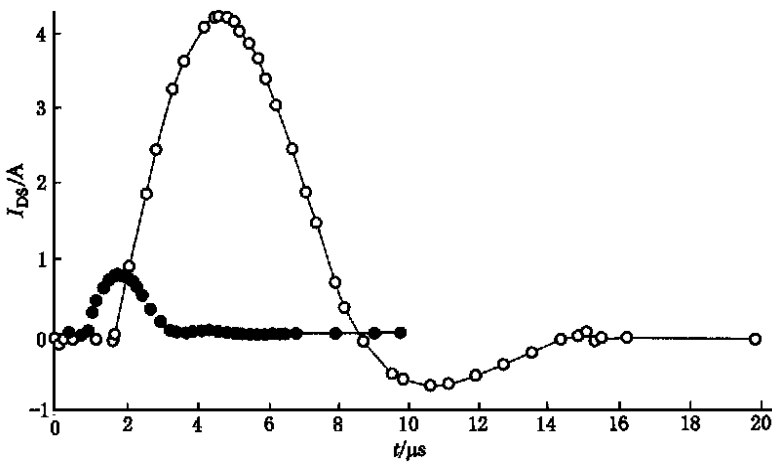


图3 SEB效应的瞬态电流波形

Fig. 3 Burnout current waveforms

—  $C = 1.0 \mu\text{F}, R = 0$  (IRF130); —  $C = 1.0 \mu\text{F}, R = 0$  (IRF220)

外接电容  $C_{ext}$ 、限流电阻  $R$  对SEB效应瞬态电流峰值和持续时间的影响示于图4、5。由图4、5可见: $C_{ext}$ 越大,瞬态电流的峰值越大,持续时间越长,器件容易被烧毁;选择大的限流电阻可降低瞬态电流的峰值强度。试验中还观测到:累积剂量效应对器件的SEGR阈值电压存在着严重的影响,在累积辐照剂量达到一定值后,器件的栅穿电压大幅度降低。

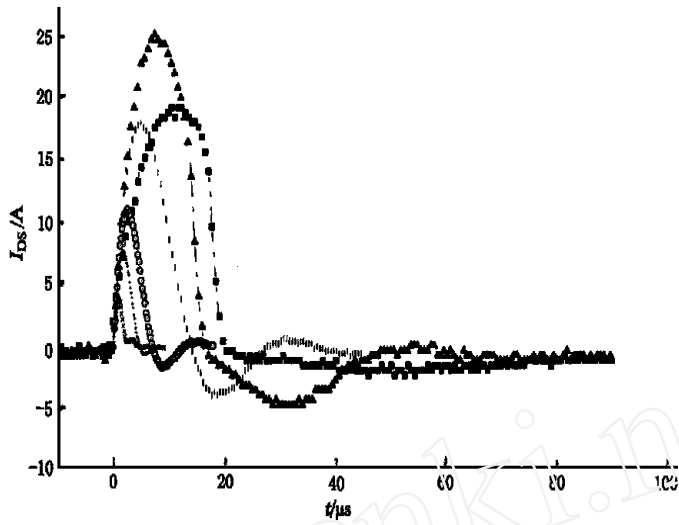


图 4 外接电容  $C_{ext}$  对器件进行 SEB 效应研究瞬态电流波形的影响 (IRF450,  $R_0 = 0$ )

Fig. 4 Burnout current waveforms at various external capacitors  $C_{ext}$  for an IRF450

x--- $C_1 = 0.1 \mu\text{F}$ ; +--- $C_2 = 0.47 \mu\text{F}$ ; --- $C_3 = 1.0 \mu\text{F}$ ;  
|--- $C_4 = 4.7 \mu\text{F}$ ; — $C_5 = 10 \mu\text{F}$ ; — $C_6 = 20 \mu\text{F}$

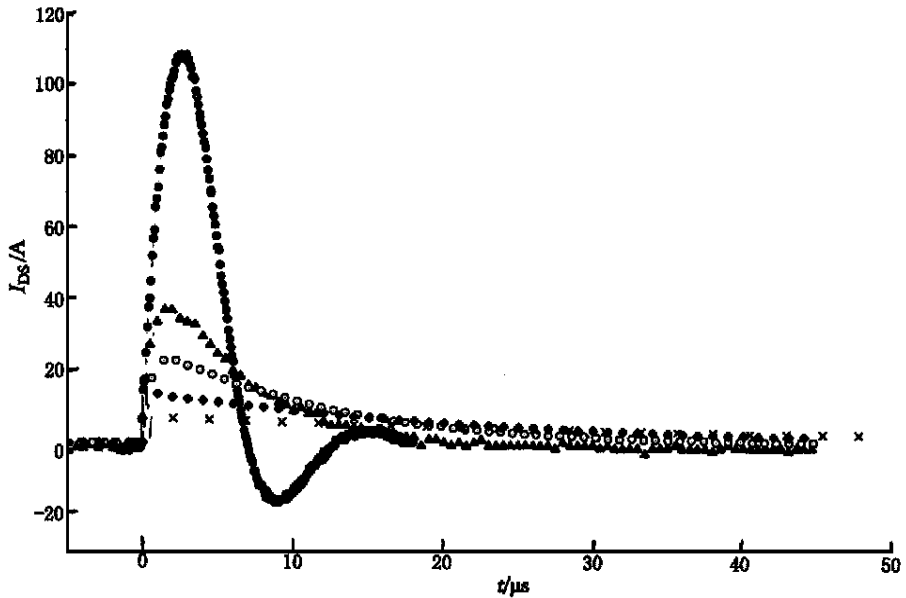


图 5 限流电阻  $R$  对器件 SEB 效应瞬态电流波形的影响 (IRF450,  $C_3 = 1.0 \mu\text{F}$ )

Fig. 5 Burnout current waveform at various limited resistor  $R$  for an IRF450

— $R_0 = 0$  ; — $R_1 = 5.1$  ; — $R_2 = 10$  ;  
— $R_3 = 20$  ; x— $R_4 = 40$

## 4 结论

基本解决了利用<sup>252</sup>Cf 裂片源对功率 MOS 器件进行 SEB、SEGR 效应研究的有关实验及测量技术,建立了实验方法和测量手段,为深入开展单粒子烧毁、栅穿效应的实验规律研究提供了技术支持。

### 参考文献:

- [1] Waskiewicz AE, Groninger JW. Burnout of Power MOS Transistors With Heavy Ions of <sup>252</sup>Cf [J]. IEEE Trans Nucl Sci, 1986, NS33(6):1 710~1 713.
- [2] Fischer TA. Heavy-ion-induced, Gate-rupture in Power MOSFETS[J]. IEEE Trans Nucl Sci, 1987, NS34(6):1 786~1 791.
- [3] Adophsen JW,Barth JL. First Observation of Proton Induced Power MOSFET Burnout in Space: The Rux Experiment on Apex[J]. IEEE Trans Nucl Sci, 1996, NS43(6):2 921~2 930.
- [4] 唐本奇,王燕萍,耿斌,等.功率 MOS 器件单粒子烧毁效应的 PSPICE 模拟[J].核电子学与探测技术, 1999,19(6):422~427.
- [5] 唐本奇,王燕萍,耿斌,等.功率 MOS 器件单粒子栅穿效应的 PSPICE 模拟[J].原子能科学技术, 2000,34(2):161~165.

## Burnout and Gate Rupture of Power MOS Transistors With Fission Fragments of <sup>252</sup>Cf

TANG Ben-qi, WANG Yan-ping, GENG Bin, CHEN Xiao-hua, HE Chao-hui, YANG Hai-liang

(Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, China)

**Abstract:** A study to determine the single event burnout (SEB) and single event gate rupture (SEGR) sensitivities of power MOSFET devices is carried out by exposure to fission fragments from <sup>252</sup>Cf source. Presented are, the test method, test results, a description of observed burnout current waveforms and a discussion of a possible failure mechanism. The test results include the observed dependence upon applied drain or gate to source bias and effect of external capacitors and limited resistors.

**Key words:** power MOS transistor; single event burnout; single event gate rupture