

文章编号: 2095-4980(2016)05-0816-05

一种便携式 VDMOS 单粒子试验测试系统

魏亚峰¹, 滕 丽¹, 温显超¹, 俞 宙²

(1. 中国电子科技集团公司 第 24 研究所, 重庆 400060; 2. 模拟集成电路重点实验室, 重庆 400060)

摘 要: 设计了一种在线测试系统, 用于监测垂直双扩散金属-氧化物半导体场效应晶体管(VDMOS)器件在单粒子试验中的单粒子效应。简述了实验原理, 从偏置设计与波形获取及仪器控制与远程监测多个方面详细论述了测试系统的硬件结构; 给出了软件的设计流程及测试系统的操作界面。最后应用该自动测试系统开展了试验, 结果表面该系统稳定可靠, 便携易用。

关键词: 垂直双扩散金属-氧化物半导体场效应晶体管; 单粒子效应; 单粒子烧毁; 测试系统
中图分类号: TN386 **文献标识码:** A **doi:** 10.11805/TKYDA201605.0816

A portable test system of VDMOS SEE

WEI Yafeng¹, TENG Li¹, WEN Xianchao¹, YU Zhou²

(1. Sichuan Institute of Solid-State Circuits, China Electronics Technology Group Corp., Chongqing 400060, China;
2. Science Technology on Analog Integrated Circuit Laboratory, Chongqing 400060, China)

Abstract: One online test system is designed to monitor Single Event Effect(SEE) of Vertical Double-diffusion Metal Oxide Semiconductor(VDMOS) Field Effect Transistor(FET) device. The hardware structure of the test system is described in detail from the aspects of the design of the offset, the acquisition of the waveform, the control and the remote monitoring after briefly introducing the experimental principle. Then the design flow of the software and the operating interface of the test system are given. In the end, experiment is completed by using the automatic test system, and the results are obtained. It is proved that the system is stable, reliable, portable and easy to use.

Key words: Vertical Double-diffusion Metal Oxide Semiconductor; Single Event Effect; Single Event Burnout(SEB); test system

垂直双扩散金属-氧化物半导体场效应晶体管(VDMOS)具有开关速度快、输入电阻高、驱动功耗小及频率特性好等优点, 成为 DC/DC 电源变换器等功率电子系统的重要组成器件。在空间电子系统的电源开关、自动控制和高能脉冲电路中应用非常广泛^[1]。空间辐射环境中存在多种高能射线粒子, 这些粒子束源一般来自地球辐射带、太阳和银河宇宙系及次级簇射粒子, 它们对空间工作的卫星等各种航天器造成威胁, 其中高能质子和重离子对微电子器件的辐射损伤很大, 易发生单粒子效应, 导致器件失效。而功率器件(如 VDMOS)广泛应用于各种航天器, 在此发生的单粒子效应(SEE), 主要有单粒子翻转和单粒子烧毁(SEB), 都会造成航天器的内部器件产生波动甚至烧毁, 严重威胁到航天器的在轨寿命和可靠工作。国外, 以美国 IR 公司为主^[2]较早开展了大量功率器件抗单粒子辐射的技术研究及其模拟试验研究, 完整详细地介绍单粒子模拟试验的测试方法、测试结果分析及模型仿真。而国内对此的研究开展较晚, 随着我国空间技术的发展, 迫切需要解决功率器件单粒子效应问题。

本文针对 VDMOS 的单粒子效应测试系统进行了探索设计, 以中科院重离子环形加速器为辐射源, 设计了一种便携式单粒子试验在线测试系统, 成功进行了相关试验。

1 试验原理

电子元器件 SEE 根据造成的结果可以分为 2 类: 软失效和硬失效。软失效是单个高能粒子使半导体产生随机偶发失效; 硬失效是单个高能粒子引起器件的永久损伤, 不可逆转。

SEE 包括单粒子翻转, 主要效应是数字电路逻辑翻转; 单粒子闭锁, 主要效应是电路工作失效、产生闭锁电流; 单粒子烧毁, 主要表现在 VDMOS 或者 DC/DC 发生重粒子烧毁; 单粒子栅击穿, 也主要表现在 VDMOS 等功率器件。另外还有单粒子扰动、单粒子位错误等^[3]。

单粒子一般在真空室内产生高能离子, 通过调整束斑大小和注量率(flux), 使其直接射入被测器件(Device Under Test, DUT)内部。根据实验特性, 监控单粒子效应的测试系统首先具有远程控制特性, 由于实验安全性因素, 一般监测与辐照分别处于不同的厅室, 监测厅与辐照厅之间屏蔽隔离, 只有网线连接。所有操作必须远程控制完成, 不能现场手动操作。所以要远程控制测试仪器, 远程控制被测件, 远程记录数据。其次系统要具有可靠稳定特性, 单粒子实验远程控制且试验成本昂贵, 不允许出现测试系统监测中断, 所以要尽量简化测试系统复杂度, 减少仪器规模, 提高稳定性。因为外场试验, 测试系统必须便携, 易于快速搭建和恢复。

单粒子试验为保证离子能量, 一般在真空中试验, 但通过一定的改进装置(见图 1), 也可实现大气中的试验。本次试验加速器 SFC+SSC, 加速的粒子是 ^{209}Bi , 总能量为 1 985.5 MeV。经 12.5 μm 闪烁体后能量为 1 832.1 MeV, 再经 14.7 μm Ti 引出窗后能量为 1 283.3 MeV, 空气中射程为 127.9 mm。射程与线性能量传递(Linear Energy Transfer, LET)值成反比关系, 射程越大, 硅中 LET 越小。根据待测件合理选择粒子路程, 以达到预期的 LET 值。因此试验过程中待测件要开盖辐照, 且使辐照光斑对准待测件芯片中心。

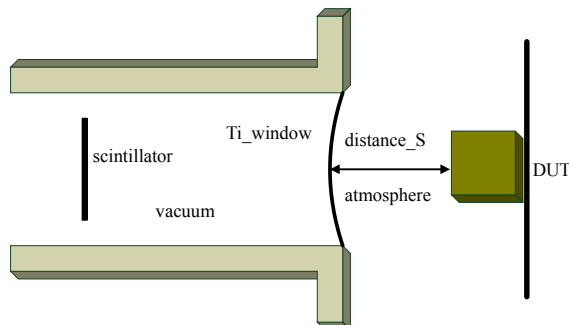


Fig.1 Test layout
图 1 试验布局示意图

2 试验自动测试系统

2.1 硬件系统

为实现可靠性和稳定性, 测试系统采用 GPIB 总线实现计算机程控测量仪器, 采用标准化的 SCPI 指令集实现不同仪器横向与纵向的最大兼容。考虑便携性, 测试系统同时采用了 USB 可插拔式板卡仪器^[4-5]。

VDMOS 作为功率器件, 单粒子效应主要表现的是 SEB 和单粒子栅击穿, 因此试验中主要监测栅极漏电和负载(漏极)工作状态(源极 S 接地)^[6], 见图 2。

由于 VDMOS 是高压器件且需正负电压/电流, 必须要四象限电源测量仪器。考虑 GPIB 总线控制, 本试验选用 Agilent SMU B2912A, 该仪器支持双通道配置, 最小电源分辨力为 10 fA/100 nV, 最小测量分辨力为 10 fA/100 nV, 最大输出为 210 V, 3 A 直流/10.5 A 脉冲, 且每一通道具有四象限隔离型电源和测量能力, 是非常理想的 VDMOS 测量仪器。仪器双通道分别施加 G 端 U_g 和 D 端 U_d , 利用其自身的测量功能即可轻松实现漏电 I_g 和 I_d 的测试。但实验中有可能发生 SEB 等, 会产生大电流, 为保证实验安全, 必须设置保护电流^[7]。

为保证实验结论的可靠性, 本测试系统开发了多片自选功能, 最多实现 8 个工位的辐照, 可以远程自动选择不同的工位进行辐照。不同工位之间切换对仪器的复用, 通过高压大电流继电器实现, 继电器的控制信号通过 USB 总线 FT2232 接口电路实现。

VDMOS 为功率器件, 主要监测 SEB 和 SEGR, SMU B2912 主要用于漏电测试, 为得到可靠的测试电压, 抓取电压出现的“塌陷”等异常, 考虑到外场试验的便携性, 本实验使用 NI 公司的 5133 USB 型示波器板卡采集输出电压, 该板卡不同于常规示波器, 采集电压不需要设置触发, 而是按照一定的采样率和采样长度连续采集。

采用 5133 USB 板卡采集, 既可以避免因不合适的触发设置丢失某些异常波形, 又可以全过程保存数据, 追溯异常发生时刻及当时的粒子注量(如果注量率保持稳定)。试验中应用了 NI 公司 LabVIEW SignalExpress 技术, 实现将采集数据快速记录到计算机磁盘, 既可以观看数据, 又可以分析结果, 并可以将数据后导入 Excel。示波器都有采样频率和存储深度。

对于 USB 型板卡采样, 考虑 VDMOS 用于 DC 电源工作时的开关频率和采样定理, 经过调试验证, 设置板卡双通道采样率为 1 MHz, 连续采样长度为 510 102, 每次从通道读取的数据长度, 其实是从通道的 Buffer 里面

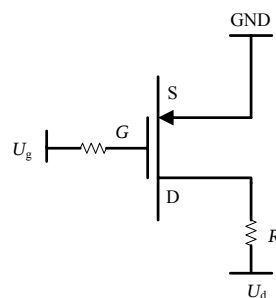


Fig.2 Schematic diagram of VDMOS bias
图 2 VDMOS 偏置原理图

读取的,如果每次读得太少,且读的间隔过长,则 Buffer 里面的数据会堆积,最后导致 Buffer 溢出。所以 Buffersize 应大于数据读取间隔乘以采样率,否则一个间隔的数据就足以把 Buffer 填满了,同时读取的长度也应该保证 Buffer 不会溢出。合适的采样频率既能保证信号不失真,又能有效利用缓存资源,以保证更大的存储深度。

测试系统的硬件构架见图 3,待测件处在辐照厅内,并与控制板及仪器互联。测试仪器由 GPIB 电缆通过 Agilent 82357GPIB 卡与计算机(受控机)连接,NI 5133 板卡通过 USB 直接与受控机连接,控制 IO 通过 FT2232 电路利用 USB 口与受控机连接。测量厅的主控机通过微软的远程登陆(mstsc)技术直接操作受控机。束流的快门开关也安装在控制测量厅。

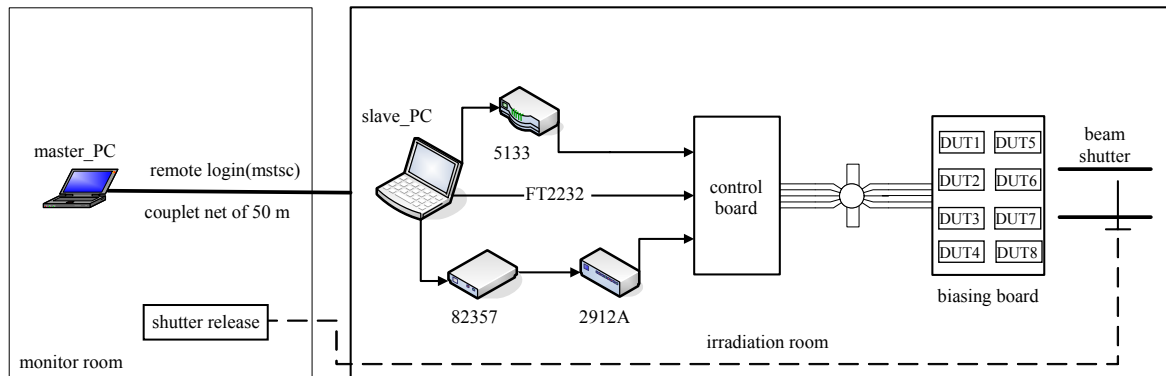


Fig.3 Hardware architecture of SEE test system

图 3 单粒子试验测试系统硬件构架

2.2 软件系统

根据硬件构架,测试系统软件分为 2 部分:一部分是基于 VB 平台开发的自动测试软件,分为激励与测试端口选择、电源设置与电流回读、开关保护等三大模块,软件操作界面见图 4。在正常监测中使用 Timer 技术定时回读,并保存数据在后台文件中;另一部分是基于 NI 的 LabVIEW SignalExpress 开发的电压采集系统,界面如图 5 所示。



Fig.4 VB software interface of automatic test system

图 4 自动测试系统软件 VB 界面

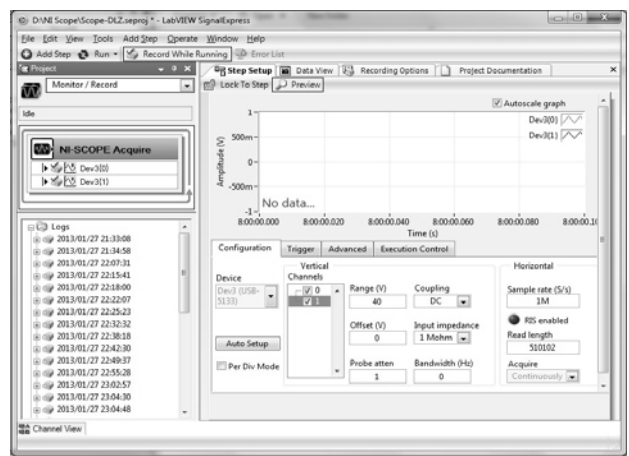


Fig.5 Software interface and settings

图 5 软件界面及设置

计算机通过 GPIB 总线和 USB 总线分别控制 2 个软件,VB 软件的主要功能是选择偏置及漏电测试;LabVIEW 软件主要用于连续波形采集和存储,各自又基于 Agilent 和 NI 的 Visa 库独立运行,互不干扰,功能互补。

试验系统操作流程如图 6 所示,首先利用远程登陆技术进入测试系统,开始系统自检,自检通过后开始给仪器初始化加电,同时设置 NI USB-5133,等待单粒子束流准备完成,选择 DUT,开始辐照测试,VB 软件和 NI 软件同时测试记录,如果出现异常,断电停束,DUT 复检,正常后继续试验,等达到预期注量,结束试验。

3 试验过程

按照图3连接系统,选择合适注量率,调整好束流,选取一只电路,在监控厅远程开始试验。试验过程如图7所示,将单粒子束斑打到选择好的器件上,仪器及板卡持续监测,随着粒子注量的升高,会逐渐出现单粒子效应,一般表现为漏电流的增加及电压的波动。待达到目标注量后,停束断电和保存数据。如果条件允许,可以选择多个工位多次试验以得到更完整可靠的试验数据。

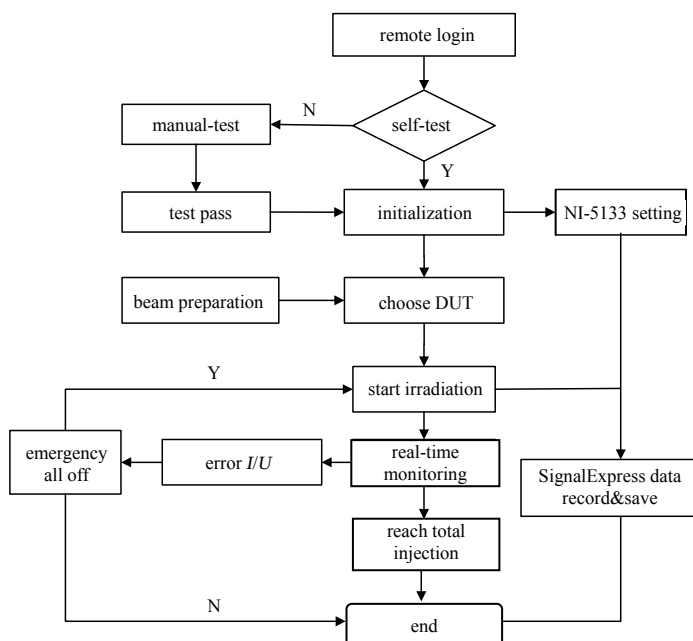


Fig.6 Flow chart of test system software
图6 测试系统软件流程图



Fig.7 Irradiation room experiment
图7 辐照厅实验过程

关于试验结果的不确定度分析时注意两点:一是在电路启动的瞬间给输入端引入了一个干扰(类似于输入阶跃),造成电路的输出有一个过冲或者跌落的异常响应,如果供电系统不稳定,在试验过程中会同样有类似的干扰,此类应该予以排除;二是总剂量效应的影响^[8],如果被试器件先前进行过总剂量试验,应评估总剂量的效应对此次试验的影响,而且当入射粒子数量达到 10^7 个离子/ cm^2 ,也要考虑总剂量效应的影响,另外还应考虑测试环境中是否存在 γ 辐射场的影响。

4 结论

本文详细介绍了VDMOS单粒子试验过程中单粒子效应的测试方法,以多只电路为例,充分验证了自动测试系统的正确性、可靠性、可行性。对于功率器件的单粒子效应都可采用同类测试系统开展试验。目前国内对于单粒子试验的研究正处在发展阶段,而各种航天器件中对抗单粒子效应的功率器件需求越来越多,所以对单粒子试验自动测试系统的研究将会有更加广泛的应用领域和经济效益。

参考文献:

- [1] BHUVA B L, BLACK J D, MASSENGILL L W. RHBD techniques for mitigating effects of single-event hits using guard-gates[J]. IEEE Transactions on Nuclear Science, 2005, 52(6): 2531-2535.
- [2] Electronic Industries Alliance. EIA JESD57-1996 Test procedures for the measurement of Single Event Effects in semiconductor devices from heavy ion irradiation[S]. 1996.
- [3] SCPI Consortium. Standard Commands for Programmable Instruments(SCPI)[S]. 1999.
- [4] 侯明东, 刘杰, 孙友梅, 等. 宇航微电子器件的单粒子效应研究及意义[C]// 中国核技术及应用研究学术研讨会. 上海: [s.n.], 2006: 52-55. (HOU Mingdong, LIU Jie, SUN Youmei, et al. Research and significance of SEE in aerospace microelectronic devices[C]// NSNTA2006. Shanghai, China: [s.n.], 2006: 52-55.)

(下转第824页)