

一种高温单粒子效应测试系统的设计与实现

董 攀, 范 隆, 岳素格, 杜守刚, 郑宏超
(北京微电子技术研究所, 北京 100076)

摘 要: 航天器件在空间环境中存在着单粒子效应, 根据研究可知高温会提升单粒子效应的敏感性, 因此为了更好地评估器件的抗辐射性能, 有必要建立一套高温单粒子效应测试系统. 通过建立高温单粒子效应测试系统, 选择 ASIC 和 SRAM 进行高温测试实验, 完成了电路高温下的单粒子效应检测, 证明了温度提升单粒子效应敏感性的事实.

关键词: 单粒子效应; 线性能量传输; 可编程逻辑; 大规模集成电路

中图分类号: TN4

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)12-0017-04

A High Temperature Single Event Effects Test System Design and Implementation

DONG Pan, FAN Long, YUE Su-ge, DU Shou-gang, ZHENG Hong-chao

(Beijing Microelectronics Technology Institute, Beijing 10076, China)

Abstract: There are Single event effects in the Aerospace devices working in the space environment. It shows that the high temperature could improve the sensitivity of the Aerospace devices according to the study. In order to better evaluate the radiation tolerance property of the device, it is necessary to establish a set of high-temperature single event effects test system. In this paper we establish a high-temperature single event effects test system and select ASIC device and SRAM device to perform single event effects test under high temperature, finally we find that high-temperature could improve the SEE sensitivity.

Key words: SEE; LET; FPGA; VLSI

1 引言

随着半导体技术的迅猛发展, 航天器用微电子器件的集成度不断提高, 超大规模集成电路(VLSI)越来越多地应用在航天器中. 航天器在空间中飞行, 一直处于带电粒子构成的辐射环境中, 空间辐射环境中的高能粒子可能导致航天器电子系统中的半导体器件发生单粒子效应. 由于器件的特征尺寸和工作电压越来越小, 相应的临界电荷也越来越小, 单粒子效应的作用也越来越明显, 辐射严重影响航天器的工作精度及工作寿命, 因此评估航天器件的抗辐射性能非常重要^[1].

温度和工作电压会影响半导体中载流子的迁移率, 也会影响半导体的电阻率, 因此温度和工作电压的变化可能对航天器件的单粒子效应有影响, 根据

调研可知高温会提升单粒子效应的敏感性.

目前大量的器件抗辐射实验验证工作是在地面进行, 地面实验的模拟条件应尽可能地与真实环境条件相同. 随着我国空间单粒子效应地面模拟专用终端装置的出现, 利用现有辐照设备开展单粒子效应与温度的关系的实验研究成为可能. 目前国内单粒子辐照实验通常在常温下进行, 还没有高温下的单粒子辐照实验的相关研究, 因此有必要建立一套高温的单粒子效应测试系统, 对电路的抗辐射性能进行良好评估^[2-3].

2 测试系统方案设计

2.1 测试系统硬件设计

图 1 所示为高温测试系统硬件的结构原理图,

GA 内部分为 SRAM 控制器,FLASH 控制器,通信模块、锁相环、电源配置以及 DFT 测试模块几个部分. FLASH 和 SRAM 控制器用来控制外部的 SRAM 和 FLASH, FPGA 在工作时通过这两个控制器从 SRAM 和 FLASH 中读取程序进行电路的测试. 测试模块是用来进行单粒子效应(主要是 SEU、SEL、SEFI)所用的模块. 它分为测试模式选择模块、测试向量生成模块、翻转检测模块和错误统计模块. 测试模式选择模块用来选择测试电路时需要在多高的频率下进行测试,选择工作所需的测试向量,测试采用静态或者动态. 当选择好测试模式,测试模式模块会将测试的信息传送给 DUT、向量生成模块、错误统计模块. 向量生成模块在接收到信息后,生成相应的测试向量传送给 DUT,同时传送给检测模块. 检测模块开始检测 DUT 的输出,同时将信息传送给测试错误统计模块,最后由错误统计模块统计数据传送给 PC,通过上位机交互界面显示出来^[4-5].

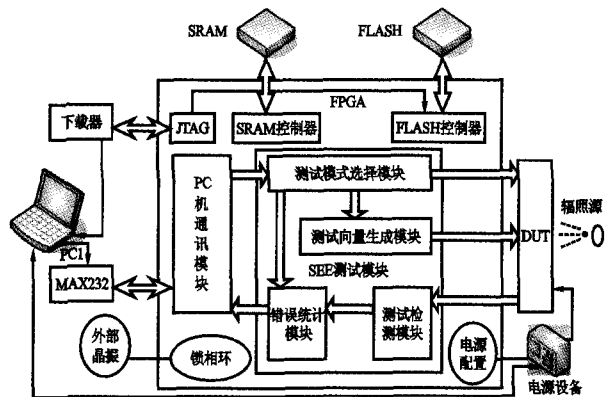


图 5 测试板硬件原理图

2.1.4 远程控制

远程控制中心主要由两台计算机构成,通过网线连接在服务器上,将实验室内的电脑与实验室外的电脑连接起来,同过远程桌面链接形成一个远程监控中心. 辐射实验室内的电源控制设备、温度控制系统通过串口与室内电脑相连接,由室外电脑对室内电脑操作,从而达到远程控制的目的.

2.2 测试系统软件设计

上位机主要实现和下位机的通信功能,上位机具有良好的人机交互界面,能够根据不同的芯片管脚功能配置不同类型的实验方案,实现对不同电路的单粒子效应的检测. 上位机界面是使用 Visual Studio 2008 开发,使用 C# 语言,上位机界面如图 6 所示.

上位机界面主要包括电源控制、视频监控、温度

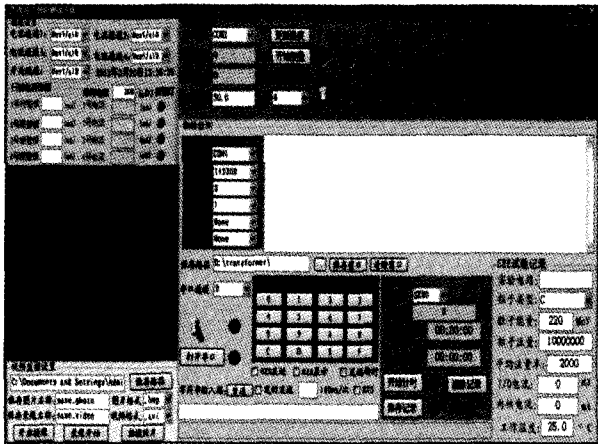


图 6 测试系统人机交互界面

监控、门锁监测、翻转监测、功能中断. 实验记录下面几个部分,电源控制部分用来连接程控电源,方便工作人员随时可以控制电路工作电压;视频监控部分用来观察和记录电路的工作状态,以便实时观察实验和后续实验结果分析;温度控制用来监控电路工作时的温度;门锁监测和翻转监测用来观测电路的单粒子效应实验结果,在实验完成之后将实验结果记录保存下来方便后期的实验结果分析.

3 系统验证

这个温控系统已经在中国原子能科学研究院单粒子辐射实验终端和中科院近代物理研究所辐射实验终端进行了现场验证,在实验室里分别进行了 25℃、100℃和 125℃的恒温控制,并且取得了良好的结果,实现了预期目标. 测试系统完成了多频率多温度的单粒子效应测试,系统稳定. 实验选取国产电路分别为 0.18 μm 的 ASIC 和 90 nm SRAM 芯片.

3.1 0.18 μmASIC 的高温实验

选择 ASIC 进行高温和常温下的单粒子实验,实验粒子和所得结果如表 1 和表 2 所示. 实验中所有的粒子总量均为 1×10⁷ 个.

表 1 ASIC 实验使用的粒子

粒子	粒子能量/MeV	有效 LET/(MeV-cm ² /mg)
Kr	504	39.6
I	240	58
Au	300	72.13
Bi	1 985	101

由表中的实验结果可知,当系统工作在工作电压、电压拉高 10%、电压拉低 10%三种情况下,当温度升高时,饱和截面都有增长. 当电路工作在正常电压下,高温使得饱和截面增长了约 1.5 倍(图 7、图

8、图 9)。高温低压下的饱和截面约是常温高压的 2 倍。在高温下,ASIC 的单粒子翻转数增多,这说明温度提升了单粒子翻转的敏感性。

表 2 ASIC 的闩锁和翻转测试结果

SEE	温度/ ℃	内核电压/ V	I/O 电压/V	饱和截面/ cm ²
SEU	25	1.8	3.3	$\geq 2.3 \times 10^{-6}$
SEU	25	1.62	2.97	$\geq 3.0 \times 10^{-6}$
SEU	25	1.98	3.63	$\geq 1.9 \times 10^{-6}$
SEU	125	1.8	3.3	$\geq 3.1 \times 10^{-6}$
SEU	125	1.62	2.97	$\geq 3.6 \times 10^{-6}$
SEU	125	1.98	3.63	$\geq 2.0 \times 10^{-6}$
SEL	125	1.98	3.63	0

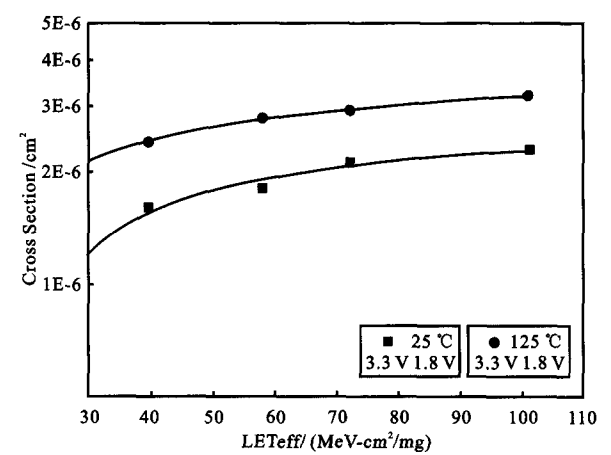


图 7 正常工作电压

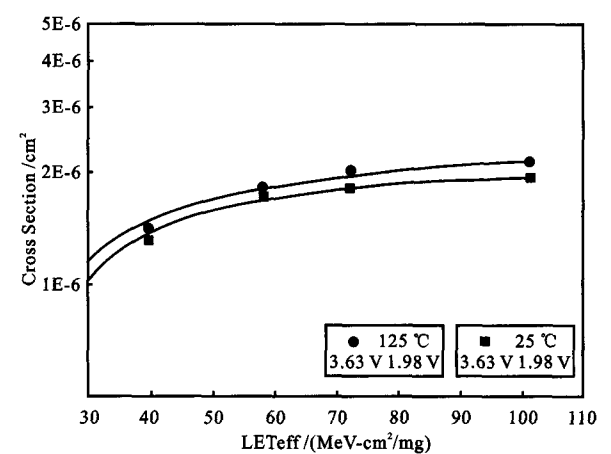


图 8 拉高 10%工作电压

图 7、图 8、图 9 也表明了三种工作电压下温度对单粒子翻转的影响。经过数据对比可以看出,工作电压对器件单粒子效应是有影响的,电压越高单粒子翻转截面越小,在考察器件的抗辐射性能时,需

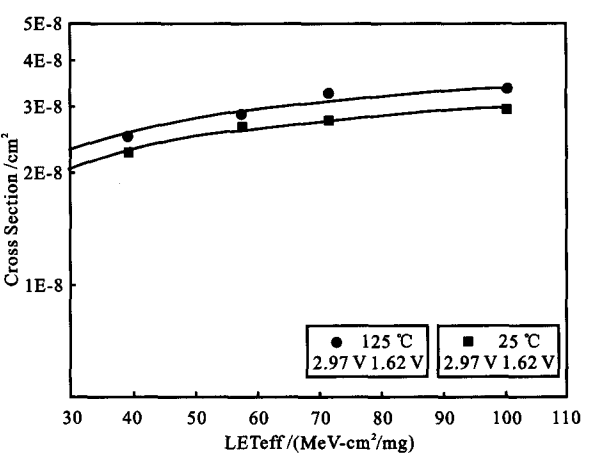


图 9 拉低 10%工作电压

要考虑工作电压的影响。

3.2 90 nmSRAM 的高温实验

选择 90 nm 工艺的 SRAM 8 位存储电路进行实验,实验选取的粒子为 Bi,能量 1 985 MeV,有效 LET 值为 101 MeV-cm²/mg,粒子总量为 1×10⁷ 个。实验结果如表 3 所示。

表 3 SRAM 的闩锁实验结果

SEE	温度/ ℃	内核电压/ V	I/O 电压/ V	闩锁截面/ cm ²
SEL	25	1.0	3.3	0
SEL	25	1.1	3.6	0
SEL	100	1.0	3.3	0
SEL	100	1.1	3.6	9.60E-6

由表 3 可知,器件在常温常压、常温高压、高温常压下没有发生闩锁,而在高温高压下,器件发生了闩锁,说明温度提升了器件单粒子闩锁的敏感性。当器件工作在恶劣条件下,闩锁发生的概率升高了。

上述两个实验结果表明高温提升了单粒子效应的敏感性。在高温情况下,器件发生单粒子效应的概率增加,因此有必要对宇航器件进行高温下抗辐射性能评估。

4 结束语

文中提出了一种高温下的单粒子效应测试系统,并在中国原子能科学研究院和中科院近代物理研究所辐照靶室上进行了就地验证,达得了预期的效果。实验结果表明,温度提升了半导体器件单粒子效应的敏感性。在考察器件的抗辐射性能时应当考虑温度的影响,弥补当前单粒子效应测试的不足。

(下转第 24 页)

将电子商务用户分层为新用户、高端用户和普通用户,提出了基于用户分层的电子商务智能信息推荐策略。初步的实验结果表明,提出的推荐策略和推荐方法是有效的。下一步工作是对三种推荐方法进行进一步对比实验,并将该推荐策略应用到实际的智能信息推荐系统。

参考文献:

- [1] 许海玲,吴潇,李晓东,等. 互联网推荐系统比较研究[J]. 软件学报,2009,20(2):350-362.
- [2] 郭悦红,齐莉丽. 基于 WS-Security 的电子商务安全支付系统[J]. 微电子学与计算机,2010,27(3):151-153.
- [3] 张梅,文静华,张焕国. 基于 ATL 的电子商务协议建模与形式化分析[J]. 微电子学与计算机,2009,26(8):193-195.
- [4] Xu M, Qiu Y H, Qiu J, et al. Segmenting your users in recommender system[C]// Proceeding of the IASTED International Conference: Modeling and Simulation' 2003. Palm Springs, CA, USA. ACTA Press, 2003:584-588.
- [5] 何波,杨武,张建勋,等. 基于用户模式聚类的智能信息推荐算法[J]. 计算机工程与设计,2006,27(13):2360-2361.
- [6] 何波. 基于协作过滤的 Web 智能信息推荐方法[J]. 图书情报工作,2010,54(19):115-118.
- [7] Guy Shani, David Heckerman, Ronen I Brafman. An MDP-based recommendation system[J]. Journal of Machine Learning Research, 2005(6):1265-1295.
- [8] 田晓珍,尚东娟. Web 的个性化服务[J]. 重庆理工大学学报:自然科学版,2008,22(7):76-80.

作者简介:

何波男,(1978-),硕士,副教授.研究方向为智能信息推荐、数据挖掘.

(上接第 20 页)

参考文献:

- [1] 郑宏超,范隆,岳素格,等. 基于库替换技术的单粒子效应故障注入仿真[J]. 微电子学与计算机,2009,26(7):60-64.
- [2] 侯明东,刘杰,马峰,等. 宇航器件中的单粒子效应及其加速器地面模拟[J]. 核物理动态,1996,13(1):32-35.
- [3] Woods J P, Nichols D K, Price W E. Investigation for single-event-upset in MSI devices IEEE trans[J]. Nucl. Sci.,1981,NS-28(6):4022.
- [4] 董代洁,郭怀里. 基于 FPGA 的可编程 SOC 设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2006.
- [5] 王磊. 基于 MicroBlaze 软核的 FPGA 片上系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2004(7):52-54.

作者简介:

董攀男,(1986-),硕士研究生.研究方向为抗辐照加固验证技术、嵌入式测试技术.

范隆男,研究员,硕士生导师.研究方向为抗辐照加固验证技术.

岳素格女,研究员,硕士生导师.研究方向为抗辐照加固设计和验证技术.

杜守刚男,(1983-),工程师.研究方向为抗辐照加固验证技术、嵌入式测试技术.

郑宏超男,(1983-),工程师.研究方向为抗辐照加固验证技术、嵌入式测试技术.