

# 静态随机存储器总剂量辐射损伤的 在线与离线测试方法

从忠超<sup>1)2)</sup> 余学峰<sup>1)†</sup> 崔江维<sup>1)</sup> 郑齐文<sup>1)2)</sup> 郭旗<sup>1)</sup> 孙静<sup>1)</sup>  
汪波<sup>1)2)</sup> 马武英<sup>1)2)</sup> 玛丽娅<sup>1)2)</sup> 周航<sup>1)2)</sup>

1)(新疆理化技术研究所, 中国科学院特殊环境功能材料与器件重点实验室, 新疆电子信息材料与器件重点实验室,  
乌鲁木齐 830011)

2)(中国科学院大学, 北京 100049)

(2013年12月17日收到; 2014年1月6日收到修改稿)

以静态随机存储器为研究对象, 对其在线和离线测试下的总剂量辐射损伤规律进行了研究. 探寻了两种测试条件下总剂量损伤的差异并对造成差异的物理机制进行了分析和讨论. 研究表明: 由于静态随机存储器存在多种总剂量失效模式, 相对于在线测试只能覆盖存储单元固定错误的一种失效模式, 离线测试可覆盖多种功能失效模式; 由于信号完整性对测试频率的限制, 使得在线测试得到的动态功耗电流值要明显小于离线测试得到的动态功耗电流值; 由于“印记效应”的存在, 在线测试静态功耗电流小于离线测试中器件存储与辐照相反数据时的静态功耗电流值; 在线无法测量的一些电参数, 有可能先于在线可测参数而失效. 这些研究结果对于静态随机存储器在星用辐射环境下的总剂量辐射损伤规律的研究和实验评估具有重要意义.

**关键词:** 在线测试, 离线测试, 静态随机存储器, 功能测试

**PACS:** 61.80.Ed, 61.82.Fk, 85.30.Tv, 07.85.-m

**DOI:** 10.7498/aps.63.086101

## 1 引言

静态随机存储器 (SRAM) 是数字处理、信息处理、自动控制设备中的重要组成部件, 被广泛应用于航天器的控制系统中. 空间辐射环境中的带电粒子(如电子、质子与带电重粒子)和宇宙射线会改变半导体材料及器件的电学特性<sup>[1-3]</sup>, 从而对 SRAM 器件造成辐射损伤<sup>[4-7]</sup>, 严重威胁着航天器工作的可靠性和安全性. 因此, 器件在空间应用前需要进行地面模拟评估试验来确定是否满足抗辐射性能要求.

自 20 世纪 70 年代初以来, 国内外开展了大量有关 SRAM 总剂量辐射效应和评估方法的研究<sup>[8-14]</sup>, 目前在辐照试验中通常采用两种方法对 SRAM 器件的总剂量辐射损伤进行测试, 即离线测

试与在线测试.

离线测试是指利用大规模集成电路自动测试设备 (ATE), 在不同的累积剂量点对器件进行工业标准的全参数测试, 根据参数测试结果是否在器件正常工作范围内来判定器件能否承受相应剂量的总剂量辐照. 离线测试可以准确全面地测试器件的总剂量辐射损伤, 但其存在测试参数多且测试方法复杂的问题, 测试程序开发及调试周期较长, 所以目前在 SRAM 器件的总剂量辐射评估试验中仍多采用在线测试方法.

在线测试是指在器件辐照期间对器件进行功能及电流参数的测试, 实时监测器件的功能是否正常以及电流参数是否在可承受范围内. SRAM 器件在线测试多在以现场可编程门阵列 (FPGA) 器件为核心的测试板上完成, 该测试方法具有开发成本低、开发周期短以及测试系统便于携带

† 通讯作者. E-mail: yuxf@ms.xjb.ac.cn

的优点. 但是, 在线测试系统存在测试参数少的问题.

为了明确大规模 SRAM 器件辐射损伤不同测试方法的优劣, 特别是不同测试结果对 SRAM 器件辐射损伤评估的全面性和可靠性的影响, 本文对目前常用的 SRAM 器件总剂量辐射损伤的两种试验测试方法, 即在线与离线测试方法进行了比较, 对产生测试结果差异的物理机理进行了研究, 并对测试方法、测试结果差异对最终辐射损伤评估的影响进行了分析. 研究结果对于进一步提高、保障应用于空间等辐射环境的大规模 SRAM 器件的可靠性

具有十分重要的意义.

## 2 测试系统及辐照试验

### 2.1 离线测试系统

本次试验中, 通过 Advantest 93000 大规模集成电路测试机台对 SRAM 器件进行离线测试. 在不同累积剂量点, 对器件分别进行功能测试和直流、交流参数测试, 测试参数及测试方法如表 1 所示.

表 1 离线测试参数及测试方法

| 测试参数                               | 测试方法   |
|------------------------------------|--|
| 功能测试 (Function)                    | 进行覆盖不同功能失效模式测试图形的功能测试, 如 Solid, Checkerboard, March_6N, Galcol, Galrow         |
| 输入漏电流 ( $I_{LI}$ )                 | 置输入端口电平为 GND, $V_{dd}$ , 分别测试流经各端口的电流  |
| 输出漏电流 ( $I_{LO}$ )                 | 在输出高阻态条件下, 置输出端口电平为 GND, $V_{dd}$ , 分别测试流经各端口的电流                               |
| 输入低电平阈值 ( $V_{IL}$ )               | 在功能测试下, 扫描输入低电平, 找到器件功能失效、通过的临界点, 该临界电压即为 $V_{IL}$                             |
| 输入高电平阈值 ( $V_{IH}$ )               | 在功能测试下, 扫描输入高电平, 找到器件功能失效、通过的临界点, 该临界电压即为 $V_{IH}$                             |
| 输出低电平 ( $V_{OL}$ )                 | 在功能测试下, 扫描输出低电平阈值, 找到器件功能失效、通过的临界点, 该临界电压即为 $V_{OL}$                           |
| 输出高电平 ( $V_{OH}$ )                 | 在功能测试下, 扫描输出高电平阈值, 找到器件功能失效、通过的临界点, 该临界电压即为 $V_{OH}$                           |
| 静态功耗电流 ( $I_{standby}$ )           | 分别测试器件存储与辐照期间相同及相反数据时的静态功耗电流   |
| 动态功耗电流 ( $I_{function}$ )          | 测试器件处于读操作时流经器件的电流  |
| 读数据延迟 ( $T_{read\ delay}$ )        | 在功能测试下, 扫描读取数据位置, 找到器件功能失效、通过的临界点, 该临界点与地址跳变沿的距离即 $T_{read\ delay}$            |
| 写脉冲时间 ( $T_{write\ plus\ width}$ ) | 在功能测试下, 扫描 WE 端口跳变位置, 找到器件功能失效、通过的临界点, 该临界点与地址跳变沿的距离即 $T_{write\ plus\ width}$ |

### 2.2 在线测试系统

图 1 是在线测试系统的结构简图, 它由计算机、控制板、辐照板、数字万用表、电源组成. 图中实线表示信号路径, 虚线表示电源路径, 箭头表示信号的流动方向. 在线测试系统的测试参数及测试方法如表 2 所示.

### 2.3 试验方法及样品信息

辐照试验在中国科学院新疆理化技术研究所  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  射线源上进行, 辐照剂量率为  $0.51\text{ Gy}(\text{Si})/\text{s}$ . 辐照前, 利用在线测试系统对 SRAM 写入十六进制数“AA”, 即每个存储单元中存入 8 位二进制数“10101010”. 辐照中, 对器件进行在线测试, 并且在累积到一定剂量时, 将器件取出

并进行离线测试.

试验样品采用互补金属氧化物半导体 (CMOS) 工艺 SRAM, 样品信息如表 3 所示.

### 3 试验结果与讨论

#### 3.1 功能测试

在线测试中, 器件 K6R4008V1D 至累积剂量 5000 Gy 仍可以通过功能测试, 未发现存储单元发生翻转. 然而在离线测试中, 该器件在累积到 4000 Gy 时功能失效, 无法通过功能测试图形行简化奔跳 (Galrow)、列简化奔跳 (Galcol)、行进

(March\_6N)、棋盘格 (Checkerboard) 的功能测试, 但可以通过固定数据 (Solid) 的测试, 如表 4 所示. 其中 Solid 测试图形即为对器件遍历地址写入读取固定数据, 该测试方法与在线测试中的功能测试方法一致.

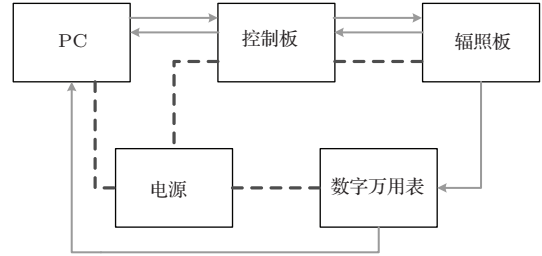


图 1 在线测试系统结构图

表 2 在线测试的测试参数及测试方法

| 测试参数                      | 测试方法                                  |
|---------------------------|---------------------------------------|
| 功能测试 (Function)           | 辐照期间反复读取器件存储数据, 并记录出错存储单元数目、翻转方向及翻转地址 |
| 静态功耗电流 ( $I_{standby}$ )  | 在两次读操作之间置器件于静态一定时间, 测试流经器件的电流         |
| 动态功耗电流 ( $I_{function}$ ) | 在器件处于读操作时, 测试流经器件的电流                  |

表 3 试验样品信息

| 样品型号       | 制造厂商 | 工艺尺寸               | 存储单元结构 | 存储容量 |
|------------|------|--------------------|--------|------|
| IDT1V124SA | IDT  | 0.18 $\mu\text{m}$ | 6T     | 1 M  |
| K6R4008V1D | 三星   | 0.18 $\mu\text{m}$ | 6T     | 4 M  |

表 4 三星 K6R4008V1D 在不同剂量点的功能测试的结果

| 测试图形         | 辐照前 | 2000 Gy | 4000 Gy |
|--------------|-----|---------|---------|
| Galrow       | 通过  | 通过      | 失败      |
| Galcol       | 通过  | 通过      | 失败      |
| March_6N     | 通过  | 通过      | 失败      |
| Checkerboard | 通过  | 通过      | 失败      |
| Solid        | 通过  | 通过      | 通过      |

在线测试中写入读取固定数据功能测试方法覆盖的 SRAM 功能失效模式为存储单元固定错误, 即存储单元只能单一存储数据“0”或“1”. 事实上, SRAM 器件的功能失效可分为存储单元失效和外围电路失效, 且表现为多种失效模式, 如存储单元固定错误、存储单元转移错误、存储单元耦合错误、译码器错误等, 而写入读取固定数据的功能测试方

法只能覆盖存储单元固定错误一种失效模式, 所以在在线测试中的功能测试方法存在高估器件抗辐射能力的风险.

在离线测试中, 我们对器件进行了覆盖多种失效模式的不同测试图形的功能测试, 在累积剂量 4000 Gy 时, 器件发生功能失效, 但仍可以通过 Solid 测试图形的功能测试, 表明该器件并未发生存储单元固定错误. 在失效测试图形的测试中, 几乎所有存储单元都出现错误, 如图 2 所示, 在 Checkerboard 测试图形中失效存储单元一致表现为输出相反数据. 同时, 测试结果表明, 通过降低测试频率可以减少出错存储单元数目. 如图 3 所示, 测试频率为 50 MHz 时, Checkerboard 中失效存储单元所占比例为 99.9%; 而当测试频率降为 10 MHz 时, 失效存储单元比例下降为 1%; 进一步降低测试频率为 0.1 MHz 时, 器件则可通过 Checkerboard 测试. 以上试验结果进一步表明器件未出现具有永久失效特点的存储单元固定错误, 而是表现为外围电路失效, 但由于 SRAM 器件电路结构复杂且商用器件无法获知其内部电路结构及工艺信息, 使得我们很难由宏观电参数的测试结果来分析获得器件的具体功能失效模式及功能失效机制.

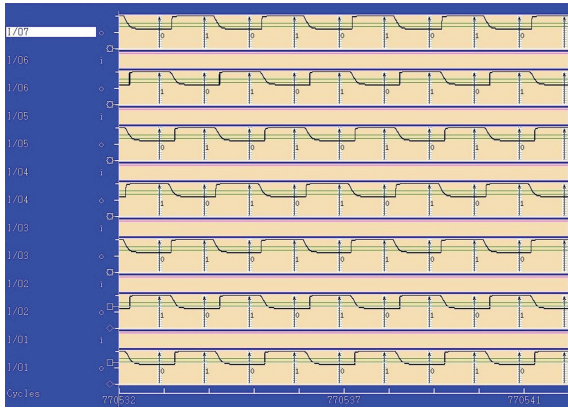


图2 数据端口在棋盘格测试图形中的输出波形图

以上分析表明, 由于SRAM器件复杂的电路结构, 使得其总剂量辐照功能失效模式同样表现出复杂的形式, 器件K6R4008V1D功能失效为外围电路失效且写入读取固定数据的功能测试无法检测出该功能失效, 进而给器件的总剂量辐射测试的功能测试方法提出了更高的要求.

### 3.2 功耗电流测试

图4为静态功耗电流随总剂量的变化关系. 如图所示, 在线测试的静态功耗电流与离线测试中写入数据“AA”时的静态功耗电流表现出同样的变化趋势, 且静态功耗电流值一致, 但离线测试中写入数据“55”时的静态功耗电流值大于在线测试的静态功耗电流.

由图4可知, 测试数据为AA时, 在线测试与离线测试所得到的静态功耗电流值相同. 由于在线测试静态功耗电流的方法是使器件在两次读取操作间隔内, 使器件处于一定时间的静态状态进行电流测试, 此时器件存储的数据为辐照期间器件存储的数据, 该测试条件与离线测试中写入与辐照相同数据静态功耗电流的测试条件一致, 所以两者得到相同的试验结果.

SRAM器件的静态功耗电流主要来源于存储单元中晶体管的关态漏电流, 总剂量辐射在氧化物中产生的陷阱电荷改变晶体管的关断特性, 进而使得器件的静态功耗电流上升. 图5是6T结构SRAM存储单元的结构图, 其中M<sub>5</sub>和M<sub>6</sub>为数据传输晶体管, 两端分别与位线和存储节点“Q”相连. 而M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>和M<sub>4</sub>分别为下拉N型金属氧化物半导体(NMOS)晶体管和上拉P型金属氧化物半导体(PMOS)晶体管, 它们组成了最基本的

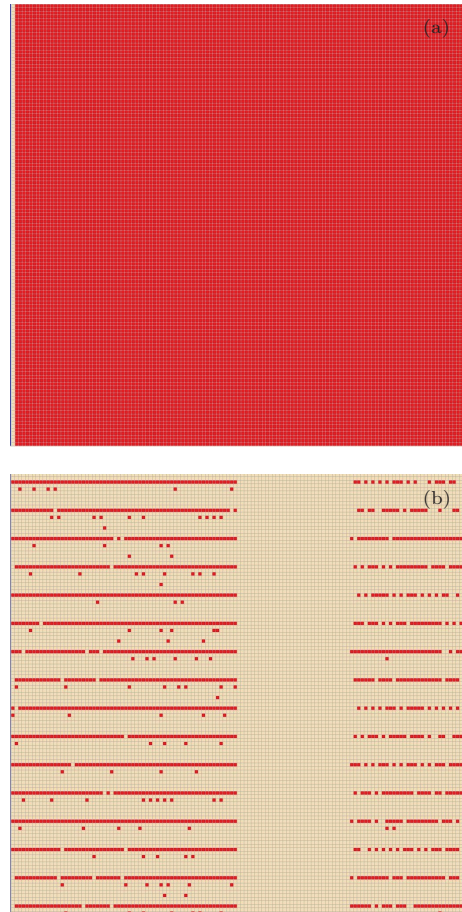


图3 功能测试图形棋盘格在不同测试频率下的位图 (a) 50 MHz; (b) 10 MHz

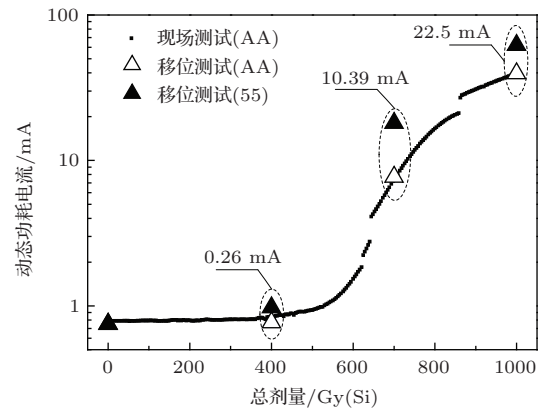


图4 静态功耗电流随总剂量的变化曲线 (AA与55分别表示写入与辐照相同和相反的数据)

数据存储单元. 我们假设该存储单元在辐照过程中存入数据“1”, 即存储节点Q的电位为高、Q电位为低, 这时M<sub>1</sub>和M<sub>4</sub>晶体管导通, 而晶体管M<sub>2</sub>和M<sub>3</sub>截止. 当存储单元存储与辐照相同数据“1”时, 总剂量辐照引起的静态功耗电流上升来源于漏电路径2, 即晶体管M<sub>2</sub>的关态漏电流. 然而, 当存储单元存储与辐照相反数据“0”时, 静态功耗电流上升

来源于漏电途径1, 即晶体管  $M_1$  的关态漏电流<sup>[15]</sup>. 辐照期间处于开启状态的N型金属氧化层-半导体场效晶体管 (NMOSFET) 产生的关态漏电流大于处于关闭状态的NMOSFET, 辐照期间晶体管  $M_1$  处于开启状态,  $M_2$  处于关闭状态, 所以  $M_1$  中辐照引起的关态漏电流大于  $M_2$ , 因此器件存储与辐照相反数据时的静态功耗电流要大于存储相同数据时的静态功耗电流, 这就是所谓的“印记效应”的物理机理.

以上试验数据表明, 在线测试中以器件中存储与辐照相同数据的静态功耗电流值来判断器件是否正常工作, 存在高估器件抗总剂量辐照能力的风险.

图6为器件动态功耗电流随总剂量的变化关系, 在线测试与离线测试得到的动态功耗电流随总剂量有同样的变化趋势, 但离线测试得到的电流值要大于在线测试所得到的结果, 这可能与器件的工作频率有关.

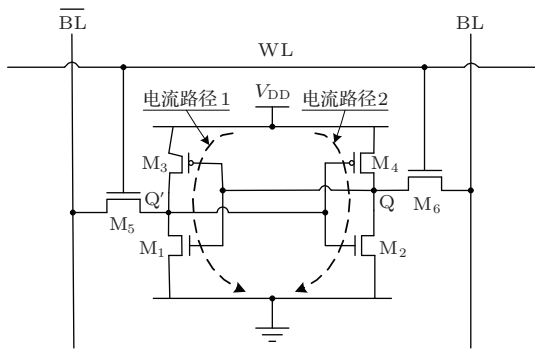


图5 6T 存储单元结构示意图

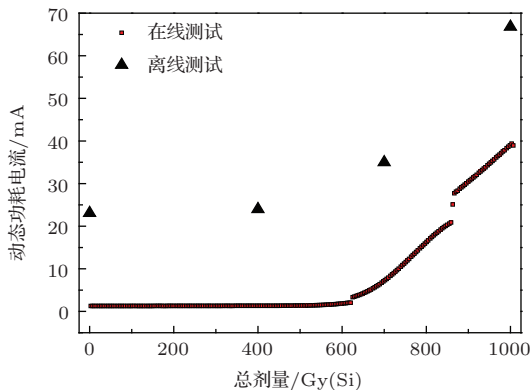


图6 在线测试与离线测试得到的动态功耗电流随总剂量的变化关系

(1) 式为存储阵列列为  $m$  列  $n$  行的SRAM 功耗电流  $I_{DD}$  统一近似表达式, 它由三部分构成, 存储单

元阵列电流 ( $I_{array}$ )、译码器电流 ( $I_{decode}$ ) 和外围电路电流 ( $I_{periphery}$ ). 其中  $i_{act}$  为工作中的存储单元的等效电流,  $i_{hld}$  为存储单元处于数据保存状态的漏电流,  $C_{DE}$  为译码器输出节点电容,  $C_{PT}$  为逻辑电路和外围电路的总电容,  $V_{int}$  为内部电源电压,  $I_{DCP}$  为外围电路的静态电流,  $f$  为工作频率<sup>[16]</sup>.

$$\begin{aligned}
 I_{DD} &= I_{array} + I_{decode} + I_{periphery} \\
 &= [mi_{act} + m(n-1)i_{hld}] \\
 &\quad + [(n+m)C_{DE}V_{int}f] \\
 &\quad + [C_{PT}V_{int}f + I_{DCP}]. \tag{1}
 \end{aligned}$$

在线测试与离线测试中动态功耗电流的测试都是在器件处于遍历地址读取与辐照相同数据时进行的, 但是由于长线传输带来的信号完整性问题, 使得在线测试的测试频率为 1 MHz, 而离线测试的测试频率为 50 MHz. 由 (1) 式可知, 器件动态功耗电流中的  $I_{decode}$  及  $I_{periphery}$  部分与器件的工作频率直接相关.

综合以上分析, 工作频率越大, 动态功耗电流就越大. 由于在线测试系统工作频率的限制, 测到的动态功耗电流要小于离线测试系统得到的结果. 因此, 我们认为以在线测试得到的动态功耗电流去判断器件的功耗是否满足正常工作要求, 会高估器件的抗总剂量辐射能力.

### 3.3 其他参数

在线测试中, 选取SRAM直流及交流参数中的静态及动态功耗电流进行实时监测, 利用功耗电流随总剂量的变化来表征器件的总剂量辐照损伤程度, 并判定器件是否发生参数失效. 总剂量辐射对集成电路的损伤主要表现为增加器件的静态功耗电流, 器件的静态功耗电流随总剂量辐照剧烈增长. 如图7所示, 器件K6R4008V1D的静态功耗电流随累积剂量指数增长, 在5000 Gy处, 静态功耗电流上升了180倍, 而其他直流及交流参数同样受总剂量辐照的影响发生变化, 但改变幅度远小于静态功耗电流. 试验数据表明静态功耗电流受总剂量影响最大, 可以很好地表征器件的总剂量辐照损伤程度.

如图8所示, 器件IDT71V124直流参数输入低电平阈值 ( $V_{IL}$ ) 的变化幅度远小于静态功耗电流 ( $I_{standby}$ ), 但在累积剂量360 Gy处, 总剂量

辐照使  $V_{IL}$  下降至 0.79 V, 小于器件手册中 0.8 V 的要求, 发生参数失效, 而此时  $I_{standby}$  为 1.12 mA, 仍在器件手册的正常值范围内.

虽然静态功耗电流随总剂量变化最为剧烈, 但不能说明在 SRAM 的总剂量辐照评估中可以只对静态功耗电流这一直流参数进行测试, 其他电参数虽然随总剂量的变化幅度较小, 但仍有先于静态功耗电流参数失效的可能性. 因此, 在测试时间允许的条件下, 应该对 SRAM 进行更全面的参数测试, 以保证我们对 SRAM 的抗总剂量辐射能力的准确认识.

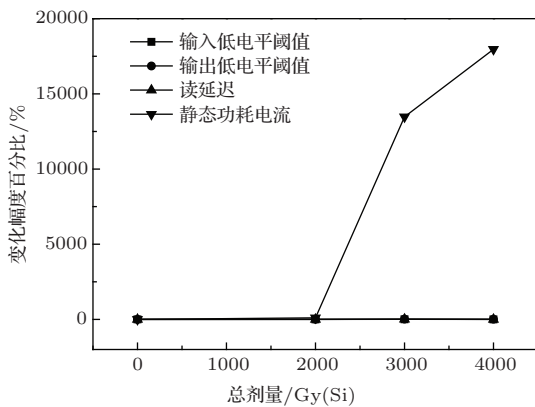


图7 器件 K6R4008V1D 直流及交流参数变化幅度与总剂量的关系

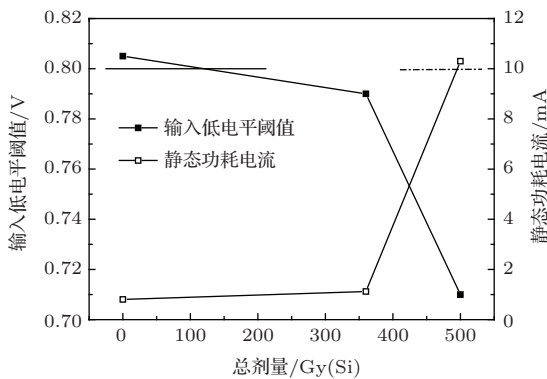


图8 器件 IDT71V124 输入低电平阈值及静态功耗电流随总剂量的变化关系

## 4 结 论

本文对 SRAM 总剂量辐射损伤的在线和离线测试结果进行了对比试验, 研究了二者的差异及产生差异的物理机制. 结果表明, 由于 SRAM 的总剂量辐射损伤存在“印记效应”, 在离线测试时, 写入与辐照相反的数据所测到的静态功耗电流值大于写入与辐照相同数据所测得的静态功耗电流值. 离

线测试所得到的动态功耗电流值要明显大于在线测试得到的结果. 这是由于信号完整性对测试频率的限制, 导致在线测试得到的动态功耗电流值明显小于 SRAM 正常工作频率下的动态功耗电流值.

在功能测试方面, 通过离线测试系统对 SRAM 进行多种测试图形的功能测试, 同时还通过在线测试系统对 SRAM 的错误数进行实时监测. 结果表明, 早在在线测试检测到存储单元翻转之前, 离线测试系统已经检测出部分功能失效. 这说明在功能测试方面, 离线测试系统相比于在线测试系统对器件辐射损伤的测试更加全面.

通过离线测试系统对 SRAM 的其他电流参数测试得到的结果表明, 虽然静态功耗电流随总剂量变化最明显, 但是在静态功耗电流超出器件手册上的参数指标之前, 输入低电平参数  $V_{IL}$  就已经失效. 这说明在总剂量辐射环境下, 静态功耗电流并不是 SRAM 惟一的失效判据.

以上结论明确了在测试要求严格的情况下离线测试的必要性, 为 SRAM 的总剂量辐射损伤及可靠性评估提供了有力的参考, 为卫星及航天器控制系统的正常运行提供了前提保障.

## 参考文献

- [1] Li D M, Wang Z H, Huang P L Y, Gou Q J 2007 *Chin. Phys.* **16** 3760
- [2] Gao B, Liu G, Wang L X, Han Z S, Song L M, Zhang Y F, Teng R, Wu H Z 2013 *Chin. Phys. B* **22** 036103
- [3] Jin X M, Fan R Y, Chen W, Lin D S, Yang S C, Bai X Y, Liu Y, Guo X Q, Wang G Z 2010 *Chin. Phys. B* **19** 066104
- [4] Gao B, Yu X F, Ren D Y, Li Y D, Cui J W, Li M S, Li M, Wang Y Y 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 036106 (in Chinese) [高博, 余学峰, 任迪远, 李豫东, 崔江维, 李茂顺, 李明, 王义元 2011 物理学报 **60** 036106]
- [5] Schwank J R, Shaneyfelt M R, Fleetwood D M, Felix J A, Dodd P E, Paillet P, Cavrois V F 2008 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **55** 1833
- [6] Doucin B, Poivey C, Carlotti C, Space M M, Salminen A, Ojasalo K, Ahonen R, Poirot P, Baudry L, Harboe Sorensen R 1997 *Radiation and its Effects on Components and Systems Cannes, France September 15–19, 1997* p50
- [7] Schott J T, Zugich M H 1987 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **34** 1403
- [8] Zheng Q W, Yu X F, Cui J W, Guo Q, Ren D Y, Cong Z C 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 116101 (in Chinese) [郑齐文, 余学峰, 崔江维, 郭旗, 任迪远, 丛忠超 2013 物理学报 **62** 116101]

- [9] He C H, Geng B, He B P, Yao Y J, Li Y H, Peng H L, Lin D S, Zhou H, Chen Y S 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 199 (in Chinese) [贺朝会, 耿斌, 何宝平, 姚玉娟, 李永宏, 彭宏论, 林东生, 周辉, 陈雨生 2004 物理学报 **53** 199]
- [10] Li M, Yu X F, Xue Y G, Lu J, Cui J W, Gao B 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 106103 (in Chinese) [李明, 余学峰, 薛耀国, 卢建, 崔江维, 高博 2012 物理学报 **61** 106103]
- [11] Li M, Yu X F, Xu F Y, Li M S, Gao B, Cui J W, Zhou D, Xi S B, Wang F 2012 *Atomic Energy Sci. Technology* **46** 507 (in Chinese) [李明, 余学峰, 许发月, 李茂顺, 高博, 崔江维, 周东, 席善斌, 王飞 2012 原子能科学技术 **46** 507]
- [12] Lelis A J, Murrill S R, Oldham T R, Robertson D N 1996 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **43** 3103
- [13] Yao X Y, Hindman N, Clark L T, Holbert K E, Alexander D R, Shedd W M 2008 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **55** 3280
- [14] Cui J W, Yu X F, Ren D Y, Lu J 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 026102 (in Chinese) [崔江维, 余学峰, 任迪远, 卢建 2012 物理学报 **61** 026102]
- [15] Yu X F, Ren D Y 1997 *Nucl. Tech.* **20** 24 (in Chinese) [余学峰, 任迪远 1997 核技术 **20** 24]
- [16] Rabaey J M (translated by Zhou R D, *et al.*) 2004 *Digital Integrated Circuits* (Beijing: Publishing House of Electronics Industry) pp518–523 (in Chinese) [拉贝艾 J M 著 (周润德等译) 2004 数字集成电路 (北京: 电子工业出版社) 第 518—523 页]

## Online and offline test method of total dose radiation damage on static random access memory

Cong Zhong-Chao<sup>1)2)</sup> Yu Xue-Feng<sup>1)†</sup> Cui Jiang-Wei<sup>1)</sup> Zheng Qi-Wen<sup>1)2)</sup> Guo Qi<sup>1)2)</sup>  
Sun Jing<sup>1)</sup> Wang Bo<sup>1)2)</sup> Ma Wu-Ying<sup>1)2)</sup> Ma Li-Ya<sup>1)2)</sup> Zhou Hang<sup>1)2)</sup>

1) (Xinjiang Key Laboratory of Electronic Information Materials and Devices CAS Key Laboratory of Special Materials and Devices, Xinjiang Technical Institute of Physics and Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

2) (University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

( Received 17 December 2013; revised manuscript received 6 January 2014 )

### Abstract

In this paper, for the study of static random access memory (SRAM), the online-test and offline-test are carried out on the total dose radiation damages. The differences between the two kinds of test methods and physical mechanisms are investigated. The results show that SRAM present multiple failure mode, the online-test only includes one fixed failure mode and the offline-test includes multiple failure mode. Due to the restrictions on signal integrity at test frequency, the online dynamic current test value is significantly less than offline test value. Since the existence of imprinting effect, the online-test static current is significantly less than offline-test value when the device-stored data are opposite to irradiation data. The parameters that cannot be detected online, may lapse prior to the data that could be detected online. The results are significantly important for studying the total dose radiation effect and the experimental evaluation of SRAM under radiation environment.

**Keywords:** online-test, offline-test, static random access memory, functional test

**PACS:** 61.80.Ed, 61.82.Fk, 85.30.Tv, 07.85.-m

**DOI:** 10.7498/aps.63.086101

† Corresponding author. E-mail: yuxf@ms.xjb.ac.cn