

文章编号: 1007-1627(2002)01-0070-03

微处理器 80C86 及其外围芯片协合效应实验研究

张庆祥, 杨兆铭

(兰州物理研究所真空低温技术与物理国家实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 研究了总剂量辐照对微处理器 80C86 及其外围芯片 82C85 单粒子效应敏感度的影响。 ^{55}Co 轰击 80C86 获得的单粒子效应截面在 0—120 Gy(Si) 剂量范围内没有明显的变化; 外围芯片 82C85 中发生的单粒子脉冲可能引起系统故障。

关键词: 单粒子效应; 总剂量效应; 微处理器; 外围芯片

中图分类号: P351.2 **文献标识码:** A

1 引言

空间辐射环境能够以不同的作用机制引起星载电子系统发生多种辐射效应, 例如总剂量效应、单粒子效应(SEE)以及充放电效应等。两种或两种以上的作用叠加产生的效应不同于这些作用分别产生的效应。本文所研究的总剂量辐照和单粒子辐照产生的协合效应, 特指总剂量辐照对 SEE 的影响, 这对评估卫星寿命末期 SEE 敏感度具有重要意义。协合效应的评估实验设备复杂, 实验技术难度大, 国际上一直在探讨协合效应与单一效应之间的关系, 以求得以单一效应实验替代协合效应实验。为了节省经费, 空间电子学系统越来越多地使用商用器件, 而商用器件对总剂量辐照的响应具有很大的离散性, 因此总剂量效应再度成为国际上研究的热点, 商用器件的协合效应也值得特别关注。16 位微处理器 80C86 在空间电子学系统中得到了广泛的应用, 其 SEE 在国内外进行了深入的研究^[1-3]。本文研究了 80C86 及其外围芯片 82C85 的协合效应, 尝试在两种偏置下对 80C86 进行总剂量辐照, 并考虑外围芯片的 SEE 对微处理器的影响。

2 实验条件

样品型号及功能如表 1, 82C85 是 80C86 的外围芯片。测试样品由陶瓷封装芯片去盖得到。

测试系统硬件是与微机相连的 80C86 单板机。单板机接通交流电即可工作, 其输入输出由微机控

制。80C86 的 SEE 的检测采用单机自检测法, 检测程序占用了 AX16 位、DX 8 位和 FL16 位, 检测其余 11 个寄存器, 共 152 位。每次将寄存器的正确值和取出值都显示在屏幕上, 可以直观的观察寄存器的出错情况, 对于程序执行过程中出现的死机情

表 1 样品型号及功能

器件标号	器件功能	厂家
CF80C86/28411 1538	微处理器	Harris
CF82C85 H 3437	时钟发生器和控制器	Harris

况, 也可以根据其具体表现进行一些初步的分析。系统有错误注入措施以验证系统的可靠性, 经过长时间的开机, 未发现由系统本身产生的错误记录。

用标称强度为 $1 \mu\text{Ci}$ ($1 \mu\text{Ci} = 3.7 \times 10^4 \text{ Bq}$) 的 ^{55}Co 源轰击待测器件, ^{55}Co 裂变碎片在 Si 中的平均线性能量传输(LET)值为 $43 \text{ MeV}/(\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2})$, 远大于只有 $27 \text{ MeV}/(\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2})$ 的 ^{56}Fe 离子, 而后者代表了空间辐射环境中最重的离子。总剂量辐照采用兰州辐射研究中心的 ^{60}Co γ 源, 采用静态辐照和准动态辐照两种方法。静态辐照法是指在总剂量辐照时对 80C86 加固定偏置和时钟, 准动态辐照是指在样品处于与 SEE 实验相同的电路环境下进行辐照。对 82C85 的辐照采用了准动态辐照。3 块 80C86 样品中, 1# 和 3# 采用准动态辐照, 2# 采用静态辐照, 剂量率约为 $0.01 \text{ Gy(Si)}/\text{s}$ 。 ^{60}Co γ 源辐照后立即进行 SEE 测试, 然后继续总剂量辐照, 再进

收稿日期: 2001-03-27; 修改日期: 2001-05-11

作者简介: 张庆祥(1971—), 男, 汉族, 甘肃通渭人, 在读博士, 从事宇航器件单粒子效应研究。

行 SEE 检测, 直到器件不能正常工作为止。80C86 最高照到 100 Gy (Si) 左右, 功能就不正常, 但经过退火, 又能恢复正常功能。所有实验均在室温下进行。

3 实验结果和讨论

截面用检测到的事件数除以离子注量得到, 其中单粒子翻转 (SEU) 截面是寄存器位翻转的截面, SEE 截面指发生的所有错误的截面。离子注量根据 ^{252}Cf 源的半衰期及源与芯片表面的距离计算。

每个检测的寄存器均发生了 SEU, 除了寄存器的位翻转, 还有相当一部分其它错误, 例如内部数据传输不同步、寄存器中出现乱码以及死机等现象。80C86 中的算术逻辑单元、控制和时钟电路以及输入输出电路属于组合逻辑电路。研究表明组合逻辑电路中的 SEE 表现为单粒子瞬时脉冲 (SET), 80C86 中的 SET 可能干扰指令控制时序, 从而引起系统工作不正常, 甚至 SET 也能引起寄存器的翻转。80C86 内部地址寄存器或指令寄存器发生翻转, 导致程序被“打飞”, 也出现乱码和死机现象, 但这种死机可以通过复位来恢复。实验中还发现一种危害很大的死机现象, 复位和重新上电都不能使之恢复。由于系统没有电流监测手段, 所以不能断定该故障发生时偏置电流的变化。关机让其自行恢复需要较长时间, 如果将芯片从管座拔下, 再装上则立即恢复正常。

实验获得的 3 个 80C86 样品的 SEU 及 SEE 截面 (σ) 与总剂量 (D) 的关系如图 1 所示。从图中可以看出, 在 0—120 Gy (Si) 范围内, 考虑到 SEU 实验数据的统计误差, 翻转截面没有明显的变化。由于准动态法在辐照的同时系统没有工作, 仅处于加电状态, 所以与静态辐照没有太大区别。以上结果与 Sanderson 等^[4]报道的 HM1-6504-9 的结果一致。该文作者认为, 要观察到总剂量辐照引起的明显的 SEE 截面的变化需要满足以下两个条件: 一是用于 SEE 测试的离子的 LET 值在阈值附近; 二是器件能够在失效前承受足够高的剂量。在总剂量辐照下, 带电离子在器件氧化层 (SiO_2) 中通过电离辐射产生电子-空穴对, 大部分电子很快迁移出 SiO_2 , 而大部分的空穴被俘获, 一部分空穴积累在 Si/SiO₂ 界面上, 会造成金属-氧化物-半导体 (MOS) 电容平带电压的漂移, 使 MOS 晶体管的阈值电压漂移,

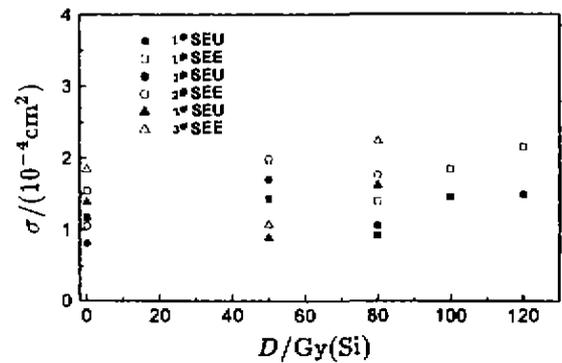


图1 80C86 SEE 及 SEU 截面与总剂量的关系

跨导降低、亚阈电流增大和 1/f 噪声增大等。总之, 改变产生 SEE 的临界电荷, 即改变了引起 SEE 的 LET 阈值, 相当于将表征器件 SEE 敏感度的截面 (σ)-LET 曲线沿 LET 轴平移, 平移的方向取决于器件单元的工艺以及单元中写入的内容^[5,6]。所以总剂量辐照对 LET 阈值附近的离子截面的影响更大, 而 LET 值较大时, 截面已经接近饱和, 因此影响较小。80C86 的 LET 阈值小于等于 3 MeV/(mg·cm⁻²)^[2], 而 ^{252}Cf 裂变碎片的平均 LET 值为 43 MeV/(mg·cm⁻²), 因此不难理解以上的实验结果。

80C86 SEU 中“0→1”所占的比例 ($R_{0\rightarrow1}$) 与总剂量 (D) 的关系见图 2, 没有看出明显的变化。总的来说, “0→1”的比例除个别点外均超过 0.5, 与文献 [2] 中的结果一致。

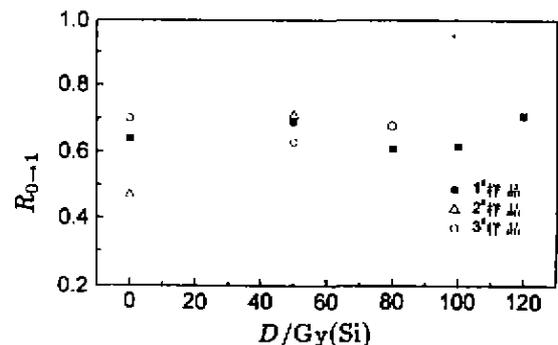


图2 80C86 SEU 中“0→1”的比例与总剂量的关系

82C85 SEE 测试中发现了位翻转、乱码以及系统死机现象。82C85 检测时, 其时钟信号送入可编程间隔计时器 82C54, 然后由系统读出, 而 ^{252}Cf 只轰击 82C85, 保证了检测到的位翻转是由 82C85 中产生的单粒子脉冲 (SET) 引起的, 因为 82C85 同时提供系统的时钟和复位信号, SET 通过这些输出信号作用于微处理器, 使系统出现乱码和死机现象。

国外也有时钟处理电路的 SET 导致微处理器工作不正常的报道^[1], 由此看来外围芯片的 SET 也能造成微处理器故障, 从而影响系统的正常工作。

4 个剂量点 82C85 的 SEE 截面没有明显变化, 该样品在 150 Gy(Si) 的总剂量下仍可正常工作, 因此 82C85 具有比 80C86 更强的抗总剂量能力。

4 结论

在 0—120 Gy(Si) 范围内, 总剂量辐照没有对 80C86 的单粒子敏感度产生明显的影响, 包括剂量

率和偏置条件在内的总剂量辐照条件以及退火条件对实验结果的影响很大, 因此协合效应的研究需要制定一个规范的实验条件, 才能使实验数据之间具有可比性。另外, 无论是在复杂器件(例如微处理器)内部发生的 SET, 还是器件之间 SET 的传递都会对系统造成影响, 尤其是微处理器外围芯片的 SET 可能对系统的正常工作造成危害。

致谢 衷心感谢中科院近代物理研究所王树金副研究员及其研究组对本工作的大力协助。

参 考 文 献:

- [1] Harboe-Sorensen R, Adams L, Daly E J, *et al.* The SEU Risk Assessment of Z80, 8086 and 80C86 Microprocessors Intended for Use in a Low Altitude Polar Orbit [J]. IEEE Tran Nucl Sci, 1986, **33**(6): 1 626—1 631.
- [2] Harboe-Sorensen R, Adams L. A Summary of SEU Results Using Californium-252 [J]. IEEE Tran Nucl Sci, 1988, **35**(6): 1 622—1 628.
- [3] Nichols D K, Smith L S, Soli G A. Latest Trends in Parts SEP Susceptibility from Heavy Ions [J]. IEEE Tran Nucl Sci, 1989, **36**(6): 2 388—2 395.
- [4] Sanderson I K, Mapper D, Stephen J H, *et al.* SEU Measurements using ²⁵²Cf Fission Particles, on CMOS Static RAMs, Subjected to a Continuous Period of Low Dose Rate ⁶⁰Co Irradiation [J]. IEEE Tran Nucl Sci, 1987, **34**(6): 1 287—1 291.
- [5] Stassinopoulos E G, Brucker G J, Gunten O Van, *et al.* Variation in SEU Sensitivity of Dose-imprinted CMOS SRAM [J]. IEEE Tran Nucl Sci, 1989, **36**(6): 2 330—2 338.
- [6] Axness C L, Schwank J R, Winkur P S, *et al.* Single Event Upset in Irradiated 16k CMOS SRAMs [J]. IEEE Tran Nucl Sci, 1988, **35**(6): 1 602—1 607.
- [7] Leavy J F, Hoffmann L F, Shovan R W, *et al.* Upset Due to Single Particle Caused Propagated Transient in a Bulk CMOS Microprocessor [J]. IEEE Tran Nucl Sci, 1991, **38**(6): 1 493—1 499.

Total Dose Dependence of SEE Sensitivities for Microprocessor 80C86 and Its Peripheral Chip 82C85

ZHANG Qing-xiang, YANG Zhao-ming

(National Laboratory of Vacuum and Cryogenics Technology and Physics,
Lanzhou Institute of Physics, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Total dose dependence of the single event effect (SEE) sensitivity for microprocessor 80C86 and its peripheral chip 82C85 are reported. In this study, 1 μ Ci ²⁵²Cf was used as a heavy ion simulator and the samples were tested by a patent 8086 test system following exposure to ⁶⁰Co γ rays. It is found that SEE cross section of 80C86 does not show significant change with increasing total dose from 0—120 Gy(Si). SEE test also shows that single event transient (SET) in 82C85 could cause system failure.

Key words: single event effect; total dose effect; microprocessor; peripheral chip