

文章编号: 1004-3365(2005)06-0584-03

# 80C31 单片机电路总剂量效应研究

匡治兵<sup>1,2</sup>, 郭 旗<sup>1</sup>, 任迪远<sup>1</sup>, 李爱武<sup>1,2</sup>, 汪 东<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 新疆理化技术研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

**摘 要:** 研究了 80C31 单片机电路在  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  辐照环境中的响应特性及参数变化规律, 通过对辐照后其电离辐照敏感参数在室温和 100  $^{\circ}\text{C}$  高温条件下随时间变化关系的分析, 讨论了电路总剂量辐射损伤的机理。

**关键词:** 单片机;  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  辐照; 辐射损伤; 退火

中图分类号: TN386.1; TN307

文献标识码: A

## An Investigation into Total Dose Effects on 80C31 Microcontroller

KUANG Zhi-bing<sup>1,2</sup>, GUO Qi<sup>1</sup>, REN Di-yuan<sup>1</sup>, LI Ai-wu<sup>1,2</sup>, WANG Dong<sup>1,2</sup>

(1. *The Xinjiang Technical Institute of Physics and Chemistry, The Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, P. R. China;*  
2. *Graduate School, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, P. R. China*)

**Abstract:** Effects of ionizing radiation on 80C31 microcontroller were investigated. Its response characteristics and parameter variation under total dose irradiation were studied. Furthermore, results of post-irradiation annealing test at room- and high-temperature (100  $^{\circ}\text{C}$ ) were analyzed, and failure mechanisms caused by total dose radiation were discussed.

**Key words:** Microcontroller;  $^{60}\text{Co}$  Gamma irradiation; Radiation damage; Annealing

EEACC: 2560Z

## 1 引 言

随着半导体器件集成度的不断提高, 大规模集成电路和超大规模集成电路越来越多地应用在航天器上<sup>[1]</sup>。空间辐射环境中的带电粒子在集成电路中产生的电离辐射效应<sup>[2]</sup>对航天器工作的可靠性和安全性构成了严重威胁。过去, 国内外文献对大规模集成电路辐射效应研究的报道主要是针对单粒子效应<sup>[3]</sup>, 而大规模集成电路总剂量辐射损伤研究的文献报道相对较少<sup>[4]</sup>。对于大规模集成电路总剂量效应的测试技术、抗总剂量水平评估方法等, 目前尚无统一规范。国内对中、小规模集成电路总剂量辐射损伤方面的研究进行得较为充分, 而大规模集成电路总剂量损伤研究只见少量效应研究的报道。对总剂量辐射损伤测试技术和评估的研究还处于探索阶段<sup>[5]</sup>。

为了对大规模集成电路的辐射损伤进行研究, 我们建立了 80C31 单片机电路的辐射损伤测试系统; 通过对 80C31 电路的总剂量辐照及在室温和 100  $^{\circ}\text{C}$  高温退火试验, 获得了表征该电路辐射损伤的敏感参数; 讨论了引起参数变化和电路失效的机理, 为 80C31 电路的总剂量辐射损伤失效评估方法的建立提供依据。

## 2 试验器件及测试原理和方法

试验器件为市售 P80C31BH 单片机电路, 批号为 Y313408AD 20584 批。试验所用的辐射源是中科院新疆理化所的水存式  $1.8 \times 10^{15}$  Bq  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  辐射源。这是一个由间距 2 cm 的 12 根源棒构成的直径为 14 cm 的源盒。该辐射源最大的优点是辐照室内剂量场分布均匀, 剂量率准确, 各辐射点剂量重复性好, 能精确控制辐照剂量。

对于单个晶体管或小规模集成电路,如门电路,通过  $I-V$  测试就可以测量其阈值电压的漂移,并且可以区分氧化物陷阱电荷导致的漂移和界面态陷阱电荷导致的漂移。但是,对于成千上万只 NMOS 和 PMOS 晶体管组成的大规模集成电路,仅有几十个管脚,无法有效测量某个晶体管的阈值电压,所以,适用于小规模集成电路的总剂量效应测试方法无法适应于大规模集成电路。

因此,开发了计算机控制的 80C31 辐射损伤评估电路板。用评估板、电参数测量仪器和 PC 机及测试软件组成整个测试系统。评估板硬件由被测电路(DUT)、外围电路、参数测量接口和通讯接口组成;测试仪器包括可编程信号源、直流参数测量仪器和存储示波器;软件包括电参数测试模块和功能检验模块。进行电参数测试时,外围电路向 DUT 提供激励信号,将 DUT 置于特定参数测试所需的状态,测试仪器通过参数测量接口采集相应的电参数。功能检验时,DUT 运行存储于外围存储器中的功能检验指令,并将运行结果通过通讯接口传给 PC 机,由 PC 机对结果的正确性进行判定,如图 1 所示<sup>[5]</sup>。

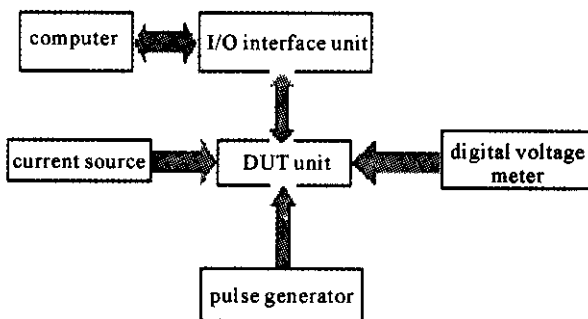


图 1 测试系统硬件简图

由于长距离信号参数的传输采集存在干扰畸变等问题,难以对单片机进行动态辐照测试。因此,我们的试验采取移位测试方式。在辐照期间,将 80C31 静态接 5 V 电压,辐照剂量率均为 0.20 Gy (Si)/s。每次辐照前后测量的参数有:工作电流 ( $I_{CC}$ ),待机电流 ( $I_{IDL}$ ),掉电电流 ( $I_{PD}$ ),高电平电压 ( $V_{OH}$ ),低电平电压 ( $V_{OL}$ ),最大工作频率 ( $f_{MAX}$ )。所有参数测试在器件辐照后 20 min 之内完成。

辐照结束后,保持与辐照时间相同的偏置状态,先进行 168 h 的室温退火,然后再进行 168 h 的 100 °C 高温退火。

### 3 试验结果

80C31 单片机电路对电离辐照相当敏感,在所测试的电参数中,绝大多数在总剂量达到 600 Gy 时都开始发生较大的变化。

图 2 是 80C31 电流随辐照总剂量及辐照后在不同退火温度下随时间的变化关系。由图 2 可见,从辐照开始到 100 Gy 时,工作电流 ( $I_{CC}$ )、待机电流 ( $I_{IDL}$ )、掉电电流 ( $I_{PD}$ ) 都有微弱下降的现象;此后,随总剂量增大而有显著增大。在 600 Gy 时,电参数开始发生较大的变化,总剂量在 700 Gy 时,各电参数发生剧变,电路开始出现错码或乱码现象。但此时如关闭电源,重新启动并置位,电路仍可以继续正常工作。而总剂量达到 800 Gy 时,电路功能发生失效。辐照后,器件进行 25 °C 室温和 100 °C 高温退火。从图 2 可以看出,在室温退火时,工作电流随退火时间出现明显的恢复现象,在  $1 \times 10^3$  min 后,电路的功能开始恢复,此后可观察到,待机电流和掉电电流也在随时间逐渐恢复;在高温退火条件下,在前 100 min 内,工作电流进一步恢复,此后,电流又开始随高温退火时间的增长而增大,在 400 min 时,电路功能发生失效,而工作电流一直随退火时间而增大,最后基本趋于饱和状态。

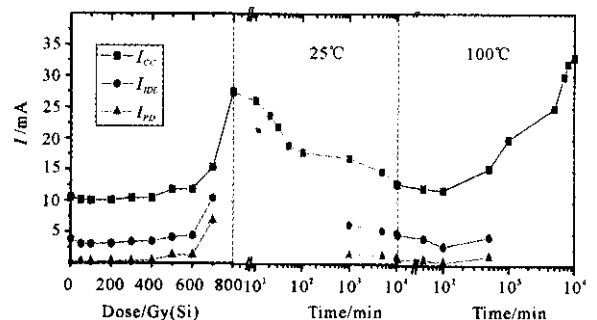


图 2 80C31 电流随辐照总剂量及辐照后在不同退火温度下随时间的变化关系

图 3 是 80C31 单片机输出高电平随总剂量变化的关系。试验是在电流分别为 10  $\mu$ A、30  $\mu$ A、60  $\mu$ A 条件下,测得输出高电平电压与总剂量变化的关系。从图中可以看出,从辐照开始到总剂量 100 Gy 以内,输出高电平电压都略有增大,但此后随总剂量的增大而减小。

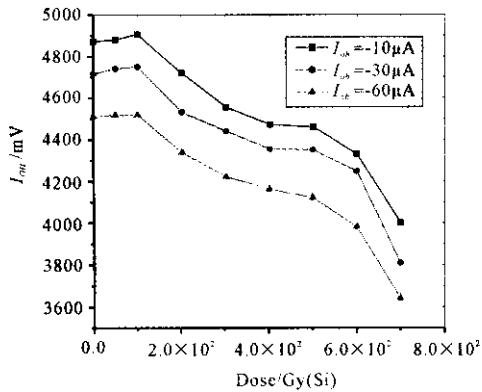


图3 80C31  $V_{OH}$  随总剂量变化的关系

图4 示出最大工作频率与辐照总剂量的关系。从图中可以看出,从辐照开始到 100 Gy,最大工作频率( $f_{MAX}$ )都略有增大,但此后随总剂量的增大而减小。此外,测得输出低电平电压  $V_{OL}$  变化不明显,其增长幅度小于 0.02 V。

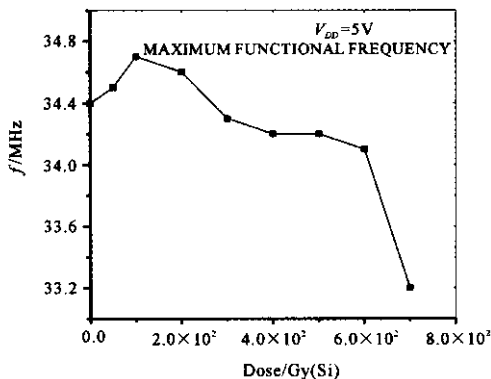


图4 80C31 最大工作频率与辐照总剂量的关系

## 4 分析与讨论

虽然总剂量效应测试方法与中小规模集成电路不同,但总剂量效应机理是相同的。因光子和带电粒子通过物体时被吸收或减速,将损失的能量传递给晶格原子,导致原子电离而产生电子空穴对。这些电子空穴发生扩散、漂移、复合、俘获、积累,产生氧化物陷阱电荷( $Q_{ox}$ )和界面陷阱电荷( $Q_{it}$ ),使器件性能下降,甚至失效。当剂量沉积到一定程度,器件便会失效,这种现象被称为电离总剂量效应。

CMOS 集成电路的电流由两部分组成,一部分为器件正常工作的电流,另一部分为漏电流。掉电电流是在单片机功能全部停止时的工作电流,它的变化可以直接反映漏电流的变化。在总剂量的辐照下,引起 CMOS 器件主要损伤的是晶体管阈值电压

向负电压方向漂移。N 沟晶体管阈值电压的这种漂移,可以是过零电压,使得 CMOS 器件一直处于导通,引起 CMOS 器件的漏电流增加。另一方面,辐照引起沟道载流子迁移率下降,使得正常工作的电流减小。从开始辐照到 100 Gy,由于漏电流增大的幅度很小,正常工作的电流减小的幅度超过了漏电流增大的幅度,所以,在 100 Gy 以内,电流参数  $I_{CC}$ 、 $I_{IDL}$ 、 $I_{PD}$  都有微弱下降的现象,在输出高电平上都有略为上升的现象。但是,随着总剂量的增大,漏电流也快速增长起来,大大超过了正常工作的电流的减小,所以,表现出的  $I_{CC}$ 、 $I_{IDL}$ 、 $I_{PD}$  都在随总剂量增大而快速增长,而 80C31 单片机输出高电平电压  $V_{OH}$  在不断减小。在 800 Gy 时,漏电流非常大,此时,80C31 功能发生失效。

从 CMOS 器件电离辐照损伤机理来看,无论 80C31 参数退化还是功能失效,都是辐照感生氧化物正电荷积累和  $SiO_2/Si$  界面态密度增加的结果。图 2 中,室温退火时电流快速恢复,说明了辐照时氧化物正电荷积累较快,辐照后氧化物陷阱电荷在退火初期快速减小,致使其引起的阈值电压分量  $V_{\alpha}$  快速回漂,而界面态产生相对较慢。因此,室温退火特性表明,电离辐照在 80C31 电路中形成了大量的氧化物电荷。

在高温退火时,氧化物陷阱电荷退火与界面态的快速产生同时发生,它们的综合作用使阈值电压迅速回漂。氧化物陷阱电荷在退火初期快速减少,其速度大于界面态的生长速度。因此,可以从试验中看到,在高温退火初期,电流进一步恢复。但是随着时间的变化,氧化物电荷大部分已经退火,而界面态在辐照产生一定数量的基础上,在高温下继续增加。界面态的累积使 NMOS 晶体管的阈值电压  $V_{th}$  经过辐照后的负向漂移后,在高温退火时正向回漂的数值远大于辐照前的值。这种正向回漂同样能使电路失效。这种现象称为“反弹”现象。

## 5 结束语

本实验通过用自制的辐射损伤评估电路板,研究了 80C31 单片机电路电离辐射效应及退火特性。通过试验,发现工作电流( $I_{CC}$ )、待机电流( $I_{IDL}$ )、掉电电流( $I_{PD}$ )、高电平电压( $V_{OH}$ )及最大工作频率( $f_{MAX}$ )都随总剂量的变化而变化。在室温和高温退火中, $I_{CC}$ 、 $I_{IDL}$ 、 $I_{PD}$  随退火时间的不同而变化显著。

(下转第 590 页)

批次产品的可靠性情况。从表 1 的数据可以看出，增加低温淀积二氧化硅层，产品成品率得到明显提高，磷扩散后增加  $\text{Si}_3\text{N}_4$  层是不可取的，而磷预扩散后高，可靠性加强，有效地消除了产品的质量隐患。

表 1 同一品种不同批次不同工艺流程产品可靠性情况

批次编号/片数	工艺流程改动描述	芯片测试 成品率	老化后失效现象	产品合格率
K50322-2/10	磷再扩光刻孔后，增加 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 前薄氧化和 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 层	50%	高低温循环时， $I_{cc}$ 变化太大，由 65 mA 变为 180 mA。	0
K50559/23	磷再扩光刻孔后，增加 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 前薄氧化和 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 层	45%	高低温循环时， $I_{cc}$ 变化太大，由 70 mA 变为 175 mA。	0
K50322-1/13	磷预扩后增加低淀二氧化硅层	70%	电路投入考核后电参数未见漂移。	90% 以上
K50622/23	磷预扩后增加低淀二氧化硅层	65%	电路投入考核后电参数未见漂移。	90% 以上
K50561/12	工艺未作优化	65%	作小样考核时，有 15% 的电路其失调电压超规范值 (5 mV)，实际为 5.3~5.5 mV。	0
K41202-1/10	工艺未作优化	75%	作小样考核时，有 5% 的电路其失调电压超规范值 (5 mV)，实际为 5.3~5.5 mV；有 10% 的电路 $I_{cc}$ 临界。	0

## 5 结 论

SPC 在线监控和 PCM 数据分析是监测小电流的有效手段。而消除小电流对器件可靠性的影响，只有通过工艺优化，有效地增加一些工序，特别是磷预扩散后增加低温淀积二氧化硅层，才能有效控制高压大功率器件小电流，增强产品可靠性，消除产品的质量隐患。

### 参 考 文 献：

[1] 卢其庆，张安康. 半导体器件可靠性与失效分析[M].

(上接第 586 页)

因此，可以用这些参数变化来表征 80C31 电离辐射效应，为单片机 80C31 电路的总剂量辐射损伤失效评判的建立提供依据。

### 参 考 文 献：

[1] Fleetwood D M, Winokur P S, Schwank J R. Using laboratory X-ray and cobalt-60 irradiations to predict CMOS devices response in strategic and space environments[J]. IEEE Trans Nucl Sci, 1988, 35(6): 1497-1505.

[2] Winokur P S, Sexton F W, Hash G L, et al. Total-dose failure mechanisms of integrated circuits in laboratory and space environments[J]. IEEE Trans Nucl

Sci, 1982, 29(6): 156-161.

[2] 陈星弼，唐茂成. 晶体管原理与设计[M]. 成都：成都电讯工程学院出版社，1987. 133-147.

[3] 王阳元，关旭东，马俊如，等. 集成电路工艺基础[M]. 北京：高等教育出版社，1991. 148-178.

[4] 王阳元，关旭东，马俊如，等. 集成电路工艺基础[M]. 北京：高等教育出版社，1991. 191-195.

作者简介：曾 莉 (1965—)，女 (汉族)，重庆永川人，1987 年 7 月于四川大学半导体物理专业获学士学位，长期从事半导体工艺技术研究。

Sci, 1987, 34(6): 1448-1454.

[3] Chaspuis T, Labrunee M, Falguere D, et al. Comparison between californium and cyclotron SEU test[J]. IEEE Trans Nucl Sci, 1986, 33(6): 2383-2387.

[4] Bhuvu B, Paulos J J, Diehl S E. Simulation of worst-case total dose radiation effects in CMOS VLSI circuits [J]. IEEE Trans Nucl Sci, 1986, 33(6): 1546-1550.

[5] 郭旗，任迪远，范隆，等. 模数转换器的  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  射线和电子辐照效应[J]. 核技术，1997, 20(1): 29-33.

作者简介：匡治兵 (1977—) 男 (汉族)，湖南湘潭人，硕士研究生，主要从事大规模集成电路总剂量辐射评估方面的研究。

作者: [匡治兵](#), [郭旗](#), [任迪远](#), [李爱武](#), [汪东](#), [KUANG Zhi-bing](#), [GUO Qi](#), [REN Di-yuan](#),  
[LI Ai-wu](#), [WANG Dong](#)

作者单位: [匡治兵, 李爱武, 汪东, KUANG Zhi-bing, LI Ai-wu, WANG Dong \(中国科学院, 新疆理化技术研究所, 新疆, 乌鲁木齐, 830011; 中国科学院, 研究生院, 北京, 100039\)](#), [郭旗, 任迪远, GUO Qi, REN Di-yuan \(中国科学院, 新疆理化技术研究所, 新疆, 乌鲁木齐, 830011\)](#)

刊名: [微电子学](#) **ISTIC** **PKU**

英文刊名: [MICROELECTRONICS](#)

年, 卷(期): 2005, 35(6)

引用次数: 0次

## 参考文献(5条)

1. [Fleetwood D M, Winokur P S, Schwank J R Using laboratory X-ray and cobalt-60 irradiations to predict CMOS devices response in strategic and space environments](#) 1988(6)
2. [Winokur P S, Sexton F W, Hash G L Total-dose failure mechanisms of integrated circuits in laboratory and space environments](#) 1987(6)
3. [Chaspuis T, Labrunee M, Falguere D Comparison between californium and cyclotron SEU test](#) 1986(6)
4. [Bhuva B, Paulos J J, Diehl S E Simulation of worst-case total dose radiation effects in CMOS VLSI circuits](#) 1986(6)
5. [郭旗, 任迪远, 范隆 模数转换器的 60Co  \$\gamma\$ 射线和电子辐照效应](#) 1997(1)

## 相似文献(0条)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wdxx200506006.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wdxx200506006.aspx)

下载时间: 2010年1月6日