

二次封装 CMOS 器件电子辐照实验研究^{*}

卫 宁¹ 郭红霞² 于伦正¹ 周 辉²
何宝平² 陈雨生² 党 军¹

¹(骊山微电子公司 西安 710075)

²(西北核技术研究所)

摘 要

对 CMOS 器件 54HCT00 进行了复合材料的二次封装, 研制了试验电路板, 在器件加电工作下进行电子辐照试验的动态测试. 结果表明, 二次封装的器件抗总剂量的能力提高了1—2个数量级, 得到了预期的数据和结果. 这些工作为商用器件的空间开拓使用提供了很好的途径.

关键词 二次封装; 电离辐射; 电子辐照; 屏蔽

1 引言

天然空间辐射, 如范·艾伦辐射带(电子和质子)对半导体器件产生累积剂量电离辐射损伤. 特别是 CMOS 工艺器件, 由于电子、质子在其内部沉积能量, 产生大量电子-空穴对, 其后在器件内部不同位置产生一系列物理过程, 如产生、复合和输运等, 最终在 SiO₂ 绝缘层产生正的氧化物陷阱电荷, 在 Si/SiO₂ 界面产生界面陷阱电荷, 导致器件电特性参数明显退化, 甚至功能失效^[1], 导致航天器的飞行寿命缩短. 在过去几十年中, 研究了大量的抗辐射工艺, 生产出很多抗辐射加固器件. 采用加固器件可以解决部分问题, 但要花很多的经费. 扩展器件寿命的一种简单直接的途径是屏蔽电离辐射环境. 对于高能离子和 γ 射线屏蔽较困难, 但对范·艾伦辐射带的电子和质子来说, 屏蔽相对有效得多.

SEI 公司制造的 RAD-PAK 工艺和 RAD-CDAT 工艺等产品, 其抗辐射总剂量的指标为 100 krad(Si). 这类工艺就是特殊的涂敷和封装工艺, 意在提供半导体器件在空间环境的辐射防护. 他们对这类工艺的产品进行了地面辐射试验和空间飞行试验^[3]. 但在 RAD-PAK 的电子辐射和质子辐射的性能评价时, 只做了 RAD-PAK 产品常规器件的抗辐射结果的直接对比, 而没有论及 RAD-PAK 工艺的产品结构成分^[3].

受国外 RAD-PAK 工艺和 RAD-COAT 工艺的启发, 我们对 CMOS 器件 54HCT00 进行了复合材料的二次封装. 复合结构材料为以含铅的树脂为基体树脂, 选用几种典型纯金属材料, 包括 Al, Ti, Ta 等, 材料的面密度在 0.6—1.2 g/cm². 研制了试验电路板, 在器件加电运行的条件下进行电子辐射试验的动态测试, 得到了预期的数据和结果. 使用非金属材料 and 金属材料的多元组合配置, 进行复合材料配方和工艺参数的设计和复合材料的

^{*} 航天创新基金项目资助

2003-02-12 收到原稿, 2003-07-22 收到修定稿

合成. 通过黏接、涂敷等工艺方法, 对 CMOS 器件进行二次包封, 利用包封材料对辐射的阻止和吸收作用, 器件抗辐射总剂量的能力能够得到 1—2 个数量级的增加. 实验结果表明, 对工作于范·艾伦辐射带的卫星内部电子器件二次封装是非常有效的, 相信我们的工作为以后 COTS (Commercial Off-The-Shelf) 器件的空间开拓使用也提供了一种方法.

2 试验设备和试验样品

辐射试验在西北核技术研究所电子加速器实验室进行, 使用设备为 ELV-8 型电子加速器, 其辐射电子能量为 2 MeV, 选用最大辐射剂量为 271 kGy. 用 PTW-UNIDOS 标准剂量测试仪标定电子剂量, HP54501A 示波器、XD 22 型低频信号发生器、DH1718-4 电源联成测试系统, 对我们研制的试验电路板在线动态检测器件随辐照剂量的变化, 试验电路板的原理为串并联结构. 电路原理图如图 1 所示.

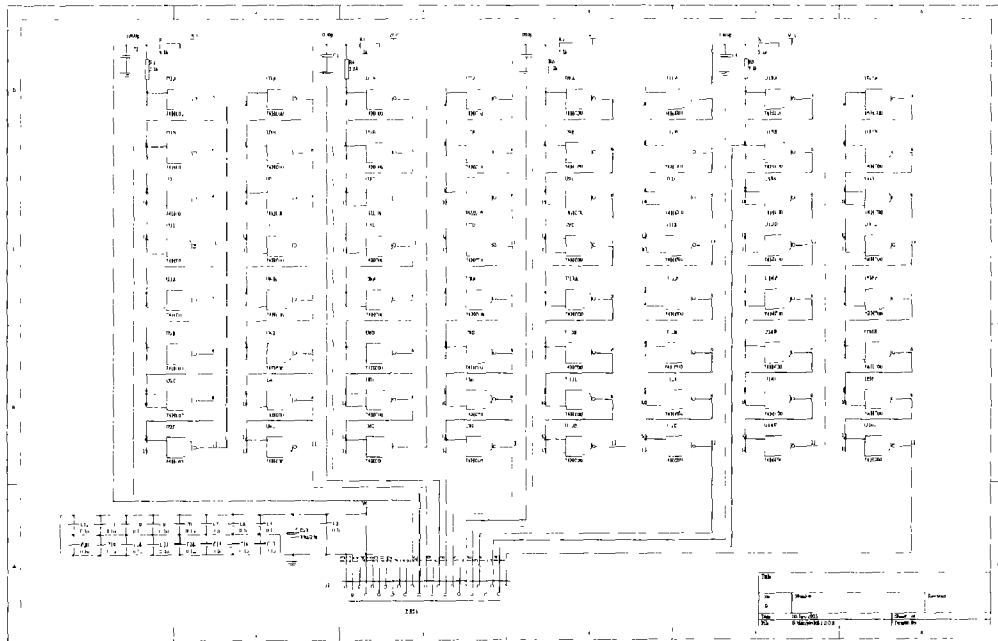


图 1 实验电路原理图

Fig.1 Schematic diagram of experimental

选 54HCT00 器件采用不同材料进行二次包封处理, 制做试验样件 23 个品种, 每个品种为一组, 每组串联 4 个器件, 按顺序从 1.1, 1.2, 1.3, 1.4—23.1, 23.2, 23.3, 23.4 编号, 未包封防护的器件按组编号, 一组串联 4 个, 共 9 组, 编号为 01—09. 每个试验电路板上可并联插装 4 组器件共 16 个, 其中 3 组为二次包封处理的, 1 组为未包封的器件, 便于试验对比.

3 试验方法

试验设备的试验布置如图 2 所示, 放置试验电路板在电子引出窗正下方的吸热靶上, 剂量测试仪的收集传感器也靠近试验电路板放置, 采用单一电子能量垂直入射方式, 电子加速器输出束流 0.1 mA, 辐射剂量从零开始, 逐步增大, 剂量率也是由小到大, 逐步增加,

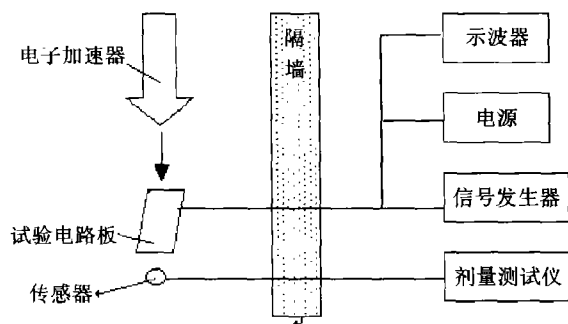


图 2 辐射效应实验示意图

Fig.2 Schematic diagram of test of radiation effects

平均剂量率为 50 Gy/s. 电子能量设定为 1 MeV, 如果器件在 100 kGy 剂量条件下尚未损坏, 则加大能量到 1.5 MeV. 试验样件处于加电工作状态, 随着辐射剂量的增大, 示波器上可观察到试验样件的输出波形发生变化, 出现方波幅值减小, 或波形翻转或波形变成一条直线, 说明试验样件在不同辐射剂量的条件下, 发生参数失效或功能失效, 表 1 给出试验样件的失效数据和剂量耐量.

4 试验结果与分析

1. 01—09 器件, 即未二次包封防护的 54HCT00 CMOS 器件的损坏剂量普遍在 3.5 kGy 左右, 这一批器件的抗辐射总剂量的数据一致性良好.

2. 辐射试验中, 从示波器可以看到大多数二次包封的 CMOS 器件在不同剂量下都发生了闩锁, 或者叫输出波形翻转现象. 马上关掉电源, 再重新加电它们都能够立即恢复正确的输出波形, 并保持一段时间, 随着辐射剂量的增大, 有的器件还再次发生闩锁现象, 有的器件则不再发生闩锁而直至损坏或关机.

3. 少数几种二次包封的器件在辐射剂量和能量不断增大的条件下, 始终未发生闩锁现象, 直到剂量达到 200 kGy 以上, 器件发生损坏, 如复合材料第 12、13 种器件.

4. 第 2、3 块电路板在辐射试验中, 由于电子加速器本身的故障原因, 导致试验数据失去意义, 故未列入表 1 中.

5. 这批器件的辐射试验完成后, 在室温条件下放置 1 个月时间, 再进行器件的参数和功能测试, 测试设备为我公司的“S80 集成电路测试系统”. 试验发现, 由于室温退火效应, 使得少数二次包封的器件能够恢复到参数正常、功能正常. 在表 1 中的功能和参数测试数据的统计中, 失效判据为: 如果一组器件中有 3 个合格、1 个失效, 我们也视为数据失效, 归纳结论为失效. 如果一组器件中 4 个均合格, 归纳结论为合格.

5 结论

1. 从表 1 可以看出, 这一批次的未二次包封的 CMOS 54HCT00 器件在电子辐射条

件下, 损坏剂量约为 3.5 kGy, 数据的一致性良好.

表 1 试验样件的失效数据和辐照剂量

Table 1 Failure data and irradiation dose of experimental device

电路板号	样件号	辐射剂量 /kGy			能量 /MeV	退火后测试		备注
		开锁	损坏	关机		功能	参数	
1		53		100	1	√	√	
	2.1—2.4	48		100	1	√	√	
	3.1—3.4	48		100	1	√	√	
	01		3.6	100	1	×	×	
4	7.3—7.4	3.8		100	1—1.5	×	×	
	8.3—8.4	3.8		100	1—1.5	×	×	
	9.3—9.4	3.8		100	1—1.5	×	×	
	04		3.9	100	1—1.5	×	×	
5	14.1—14.4	3.8		271	1	√	√	
	15.1—15.4	18		271	1	√	√	
	21.5—21.8	18	271	271	1	×	×	UNIDOS 出现饱和
	05		3.8	271	1	×	×	
6	20.1—20.4	10	140	166	1—1.5	×	×	140 kGy 出现严重自激
	21.1—21.4	10	152	166	1—1.5	×	×	
	22.1—22.4	10	90	166	1—1.5	×	×	
	06		3.5	166	1—1.5	×	×	
7	10.1—10.4	3.6		268	1—1.5	√	×	
	11.1—11.4	6.5		268	1—1.5	√	×	
	12.1—12.4	未	268	268	1—1.5	√	×	
	07		2.9	268	1—1.5	×	×	
8	16.1—16.4	3.6		100	1	×	×	
	17.1—17.4	6.5		100	1	×	×	
	18.1—18.4	6.5		100	1	×	×	
	08		3.6	100	1	×	×	
9	19.1—19.4	60		200	1—1.5	×	×	6.5 kGy 幅值降低
	23.1—23.4	63		200	1—1.5	×	×	130 kGy 自动恢复波形
	13.1—13.4	未	200	200	1—1.5	×	×	
	09		4	200	1—1.5	×	×	

注: × 表示器件失效, √ 表示器件合格.

2. 二次封装的 CMOS 54HCT00 器件的防护电子辐射的能力非常明显, 复合材料和金属材料的不同配置表现出了不同的抗辐射效果, 可以提高器件的抗辐射总剂量能力 1—2 个数量级, 如复合材料第 1, 2, 3, 23 种可达到 48, 53 和 63 kGy, 复合材料第 12, 13 种可达到 200 kGy 以上.

结果表明, 二次封装的器件抗总剂量的能力提高了 1—2 个数量级, 这些工作为商用器件的空间开拓使用提供了很好的途径. 针对不同的空间辐射环境, 对不同的电子器件, 采用粒子输运 Monte-Carlo 方法, 优化设计器件的二次封装是我们下一步开展的工作, 陆

续将会有新的结果提供出来. 我们期待着与更多的航天专家、学者开展交流, 以利于工作的下一步开展.

参 考 文 献

- [1] Devine R A B. The structure of SiO_2 its defects and radiation hardness. *IEEE Trans. Nuc. Sci.*, 1994, **41**(6):452—459
- [2] Yang H M. Shielding and protection technology for total dose radiation of electronic equipment. *Ref. Ele. Tech.*, 2000, (4):12—24. in Chinese (杨怀民. 电子设备总剂量辐射屏蔽和防护技术. 电子技术参考, 2000, (4):12—24)
- [3] Admams L, Nickson R *et al.* A dosimeter evaluation of the RAD-PAK using mono-energetic electrons and protons. *IEEE Trans. Nuc. Sci.*, 1996, **43**(3):1014—1017

EXPERIMENTAL STUDY OF CMOS DEVICE OF SECONDARY PACKAGE WITH ELECTRON IRRADIATION

WEI Ning¹ GUO Hongxia² YU Lunzheng¹ ZHOU Hui²

HE Baoping¹ CHEN Yusheng DANG Jun¹

¹(Lishan Microelectronics Corporation, Xian 710075)

²(Northwest Institute of Nuclear Technology)

Abstract

Natural space radiation such as that found in the Van Allen belts (electrons and protons) inflicts ionizing dose damage on semiconductor devices. This damage degrades the performance of many types of semiconductor. Consequently, the life of important military and commercial missions is shortened. A simple and direct way to lengthen the life of semiconductor is to shield them against the energetic radiation particle environment. Electrons and protons can be shielded effectively, while energetic heavy ions and gamma radiation are difficult to shield.

The secondary package technique of compositing material of 54HCT00 CMOS device is adopted and experimental circuit of device is designed in this paper. Devices on bias are irradiated by electron source and results are obtained with the help of measurement on line. The level of ionizing dose is increased by 1—2 order of magnitude using secondary package. The anticipated data and results are achieved. An approach is provided to exploit space application for commercial semiconductor device.

Key words Secondary package, Ionization radiation, Electron irradiation, Shielding