

集成电路可靠性指南

邓永孝 田锡进

陕西电子编辑部

封面设计：高尚德

责任编辑：林达全

陕西电子编辑部

地址：西安市西五路16付5号

邮编：710004

电话：794344

电挂：7795

陕西省内部图书准印证

陕出批字0086号

集成电路使用可靠性 指南

邓永孝 田锡进

航空航天工业部质量可靠性管理中心
进口元器件

航空航天工业部
骊山微电子公司

**集成电路使用可靠性
指 南**

邓永孝 田锡进 编著

*

陕西电子编辑部编辑出版
西安市西五路 16 副 5 号(710004)

责任编辑 林达全

*

国营户县印刷厂印刷

开本: 787×1092 毫米 1/32 印张: 8

印数: 5, 000 定价: 4. 85

陕西省内部图书准印证: 陕出批字 0086 号

内 容 提 要

本书主要介绍各种集成电路在使用过程中容易发生的与使用有关的可靠性问题以及相应的防范措施。全书共六章：集成电路的选择、采购和管理；可靠性应用；电路布局和可靠性设计；使用注意事项；CMOS 使用可靠性；静电损伤及防护。另有附录可供读者查阅。

本书简明实用，兼具手册特点，可供集成电路使用者和可靠性工作者阅读，也适于从事整机设计、装配、调试和维护的工程技术人员参考。

序 言

根据美国军标 785B 及我国军标 GJB-450《可靠性大纲》中有关可靠性设计的九个工作项目,其中“元器件大纲”是保证产品可靠性的极其重要的工作之一。我部自六十年代初起,就十分重视抓好元器件的可靠性工作。抓“三定”,即“定元器件的规格型号、定生产厂家、定筛选条件”。在此基础上,促成了“七专”元器件的诞生。当时,我国元器件生产的技术水平不高,条件也比较落后,“七专”元器件的出现对提高可靠性起到了重要的历史作用,使电子产品的可靠性差不多提高了一个数量级,从而保证了几项国家重点任务的顺利完成。我部在国内最早出版了自己的“优选元器件手册”,该手册不仅在部内也被部外很多单位使用。总之,近二三十年内,在国防科工委的领导及支持下,我部对元器件可靠性工作抓得比较紧,也确有一定成绩。我们一直重视元器件质量的反馈,一出问题就与生产厂家紧密配合,找出失效机理,力争及时消除,并已建立了 FRACAS 系统的雏形。

近几年来,根据我部在“型号”中的实践及参考国外经验,很多“型号”已根据本身的环境剖面与任务剖面等特点,制定了“型号”所用元器件的降额准则,并把它规范化。在一定程度上提高了元器件的可靠性。

但是,在抓元器件工作方面,还存在若干值得重视的严重问题。有的单位购置了进口元器件,但对产品质量没有保证手段。已经发现这样一种严重情况:某系统进口的元器件,经我部检测中心测试,有一半以上的批次竟然是不合格

的；有的元器件买来后，甚至没有测试手段，连合格与否也无法判断，……等等。为此，我部建立了进口元器件质量可靠性管理中心，认定了一批检测中心，逐步完善并加强了进口元器件的质量控制。

在实践中，大量的故障统计表明，元器件失效在故障分布中占首位。在元器件失效中，不正确使用元器件造成的失效约占三分之一，在某些“型号”中，比率竟超过 40%。因此，“正确使用元器件”已成为所有电子技术工作人员应高度重视的问题。过去，一些不正确使用元器件的例子比较简单，例如：有的技术人员把器件能忍受的峰值电压当作能使用的电压；又如有的技术人员在使用元器件时没有充分考虑到暂态效应的影响……等等。但是，随着元器件新品种愈来愈多，有不少技术人员在元器件的使用上也存在问题，他们在还未摸透新元器件的特点时就使用，有时就给设备或系统遗留下了极其严重的隐患。例如，曾经因为对 CMOS 电路的闩锁效应没有充分了解而造成了严重故障。再如，利用熔断丝进行编程序的只读存储器，由于它存在一个主要缺点（不能再编程序），所以，紫外光擦除可编程只读存储器（EPROM）就受到不少技术人员的欢迎，因为它可以按使用者需要再编程，在设计阶段用起来特别方便。但有的使用者却不知 EPROM 的缺点：写入、擦除次数是很有限的；并且在辐射环境中，由于电离效应，它的电性能会严重劣化……等等。因此，如果将它使用在高空，因存在高能辐射粒子和强紫外光，EPROM 的工作是不可靠的。在我们的实际工作中，这类例子还很多。

要求每位从事电子技术的工作人员又是元器件专家是不现实的，同时也没必要。为此，质量司委托航空航天部进口

元器件质量可靠性管理中心及骊山微电子有限公司可靠性研究室共同编写出版了这本《电子元器件使用可靠性指南》，供有关技术人员查用。先出版集成电路分册，然后再出版分立半导体器件分册。鉴于有关原因，收集的材料可能还不全面，欢迎读者补充指正。

正确使用元器件是元器件大纲的一个重要组成部分，希望这本“指南”的出版，对提高电子设备的可靠性设计水平能起到一定促进作用。

航空航天部质量司总工程师
何国伟

1991年3月

前 言

半导体器件（分立半导体器件和集成电路）的可靠性包括固有可靠性和使用可靠性两个方面。固有可靠性由设计和制造因素决定，而使用可靠性则由器件的选择与应用因素决定。使用不当是造成器件失效的重要原因之一。

随着半导体器件制造技术的迅速发展，半导体器件不仅可靠性提高很快，而且种类越来越多，功能越来越复杂，应用范围也越来越广泛。因此，使用者对器件的某些应用特点和有关注意事项常常缺乏经验和认识，所以使用中发生的问题很多，造成的损失很大。例如：我国航天电子产品中失效的半体器件，电气和机械过应力损伤失效约占 50%~60%，可见使用问题已经成为影响器件可靠性和设备可靠性的首要问题，也是当前可靠性工程中十分突出的问题。使用可靠性中存在的问题不仅在我国突出，而且在美国也是如此。例如：美国罗姆航空研究中心公布的 1967~1971 年集成电路现场失效数据中，电过应力损伤失效占 56.8%。国内、外的统计数据表明，使用可靠性问题应引起器件使用者和可靠性工作者的高度重视。

半导体器件使用可靠性，主要包括如何正确选择、采购和管理半导体器件；如何正确应用半导体器件；在线路设计、布局和整机装配、调试、维护等过程中如何防止电和机械过应力的损伤；以及如何消除干扰和特性变化等引起的误动作。当前，在使用方面存在的问题之所以很多，其主要原因是器件使用者仅仅注意了器件的功能和性能（电参数）的选择，但对不同器件在应用方面的特殊性和有关注意事项却不甚了解，因而没有采取必要措施以扬长避短，防止不必要

的损坏。

目前,关于使用可靠性方面的资料很少而且分散,也没有专门著作。针对这一实际情况,航空航天部质量司积极组织 and 大力支持我们编写了这本《指南》,它可为器件用户提供一整套使用中应注意和考虑的问题,以便器件用户更合理、更科学地使用半导体器件,防止使用不当引起的失效,最大限度地减少人为差错造成的损失。它不仅能有效地实现保持上机器件的可靠性,而且还能提高整机可靠性,减少器件在使用现场的失效和降低设备的维修费用等。因此,本指南在提高器件使用可靠性和降低费用方面均有较大实用价值。

本书共六章,它系统地介绍了集成电路在使用可靠性方面存在的问题。前三章是使用可靠性的通用规则,由航空航天部进口元器件质量可靠性管理中心田锡进编写;后三章是使用中容易出现的问题和有关防范措施,由航空航天部骊山微电子公司邓永孝编写,全书由邓永孝统稿。在编写过程中得到航空航天部质量司总工程师何国伟研究员和北京航空航天大学杨玉华同志的大力支持与帮助,在此致以衷心感谢。

编者

1990年11月于陕西临潼

目 录

第一章 元器件的选择、采购与管理	(1)
§ 1 元器件的选择和控制	(2)
§ 2 微电路的质量、可靠性等级	(6)
§ 3 微电路的选用原则	(13)
§ 4 微电路的型号命名和采购	(17)
§ 5 元器件在使用过程中的可靠性管理	(19)
§ 6 进口半导体器件质量的鉴别	(23)
6.1 进口半导体器件存在的问题	(23)
6.2 进口半导体器件质量的鉴别方法	(24)
第二章 各类微电路的可靠性应用	(30)
§ 1 集成电路的封装类型及应用可靠性考虑	(32)
§ 2 集成电路的安装、连接及引线涂覆的应用考虑	(35)
§ 3 各类集成电路的可靠性应用考虑	(38)
3.1 数字电路的应用考虑	(38)
3.2 线性电路的应用考虑	(43)
3.3 集成电路D/A和A/D转换器的应用 可靠性考虑	(46)
3.4 集成电路存储器的可靠性应用	(51)
3.5 微处理器的应用	(55)
3.6 混合集成电路的可靠性应用	(64)
§ 4 集成电路的辐射问题和空间应用	(65)
4.1 概 述	(65)
4.2 中子辐射效应	(68)
4.3 总电离辐射剂量效应	(68)
4.4 瞬态电离性辐射剂量率	(72)

4.5	集成电路的辐射感应锁定	(72)
4.6	由电磁脉冲造成烧毁	(73)
4.7	电路设计准则	(74)
4.8	长寿命卫星的辐射特性	(74)
4.9	小 结	(75)
第三章	微电路的布局及可靠性设计	(78)
§ 1	可靠的电路设计——基本原则和方法	(78)
1.1	设计简化	(78)
1.2	瞬态和过应力保护	(79)
1.3	主要的设计限制	(80)
1.4	减少设计失误的方法	(88)
§ 2	微电路电路板安排的考虑	(92)
2.1	数字集成电路的电路板安排	(93)
2.2	线性集成电路的布局考虑	(97)
2.3	印制电路板的应用考虑	(98)
§ 3	各种微电路的应用设计准则	(101)
3.1	TTL、低功率 TTL 和 LSTTL 的应用 设计准则	(102)
3.2	CMOS 电路的应用设计准则	(104)
3.3	线性放大器的应用设计准则	(106)
3.4	线性电压调节器的应用设计准则	(107)
§ 4	微电路降额设计指南	(108)
4.1	元器件的降额等级	(109)
4.2	各种微电路的降额准则	(110)
4.3	与降额有关的其它问题	(119)
§ 5	热设计指南	(121)
5.1	集成电路通用热设计规则	(122)

5.2	热设计中的元器件的位置和布局·····	(125)
5.3	元器件安装·····	(126)
5.4	集成电路使用散热片的应用指南·····	(130)
第四章	半导体器件使用中应注意的问题·····	(134)
§ 1	噪声和浪涌电压的产生及防范措施·····	(134)
1.1	噪声的产生与消除方法·····	(135)
1.2	电浪涌的产生与防范措施·····	(140)
§ 2	机械操作过程中的损伤及防范措施·····	(144)
2.1	引线成形和切断应注意的事项·····	(144)
2.2	器件排列应注意的问题·····	(145)
2.3	在印制电路板上安装半导体器件时 应注意的问题·····	(145)
2.4	安装散热板时应注意的事项·····	(147)
2.5	焊接时应注意的事项·····	(149)
2.6	清洗处理时应注意的问题·····	(151)
§ 3	其它应注意的问题·····	(151)
3.1	半导体器件的存贮保管方法·····	(151)
3.2	运输和传递方面应注意的事项·····	(152)
3.3	测量过程应注意的事项·····	(152)
第五章	CMOS 集成电路的使用可靠性·····	(155)
§ 1	CMOS 集成电路中寄生可控硅的触发(闩锁)·····	(155)
1.1	CMOS 集成电路特有的失效机理——闩锁·····	(155)
1.2	影响闩锁灵敏度的因素·····	(160)
1.3	抑制闩锁效应的措施·····	(161)
§ 2	CMOS 集成电路的静电损伤·····	(163)
§ 3	输入缓慢变化脉冲引起的故障·····	(163)
3.1	故障的产生·····	(163)

3.2 防止振荡的方法	(163)
§ 4 意外杂波的产生及消除	(163)
§ 5 干扰信号引起的故障	(164)
§ 6 与电源有关的故障	(167)
§ 7 温度变化引起的故障	(169)
7.1 跨导 g_m 随温度的变化	(170)
7.2 最高工作频率 f_{max} 随温度的变化	(170)
7.3 阈值电压 V_{th} 随温度的变化	(170)
7.4 动态电路的 f_{min} 随温度的变化	(171)
§ 8 其它问题	(171)
8.1 不用输入端的处置	(171)
8.2 外来物造成输出端短路	(172)
8.3 输入端数的扩大方法	(172)
8.4 “线或”连接	(173)
8.5 CMOS 集成电路中的数据传输	(174)
§ 9 CMOS 集成电路的故障和使用规则	(175)
9.1 故障现象	(175)
9.2 CMOS 电路使用规则	(175)
9.3 EPROM 在使用中存在的问题	(178)
第六章 半导体器件的静电损伤及防护	(182)
§ 1 静电的产生与危害性	(182)
§ 2 静电放电敏感度(ESDS)	(183)
§ 3 静电损伤的失效模式	(184)
§ 4 静电损伤的防护措施	(184)
4.1 输入保护网络	(185)
4.2 使用过程的防静电措施	(187)

附 录	(191)
附录 A 军用(JAN)型号命名及与普通 / 工业型号 的对照	(191)
A1 辐照加固保证(RAH)标志各字母的含义	(191)
A2 引线涂覆各字母的含义	(191)
A3 封装外壳各字母的含义	(192)
A4 普通 / 工业型号与 JAN 型号的对照	(194)
附录 B 几个主要厂商的微电路命名法	(225)
B1 MOTOROLA 公司	(225)
B2 NATIONAL SEMICONDUCTOR 公司	(226)
B3 FAIRCHILD 公司	(232)
B4 INTEL 公司	(233)
B5 RCA 公司	(235)
B6 TEXAS INSTRUMENTS 公司	(237)
B7 ANALOG DEVICES 公司	(241)
参考文献	(243)

第一章 元器件的选择、 采购与管理

一个系统是由许多组件、部件组成的，而每一个组件和部件又是由许许多多元器件、零件构成。因此，元器件和零件就成为系统的基础。如果将一个系统比作一个金字塔的话，那么元器件就是这个金字塔的塔基。因此可以说，元器件的可靠性是系统可靠性的基础。由于现代设备，尤其是军用设备和系统，所包含的元器件数最大、种类多，所以它们的性能、可靠性、费用等参数对整个系统性能、可靠性、寿命期费用等有极大的影响。因此，必须充分重视和加强对元器件的选择、使用的控制和管理。

元器件的可靠性通常包括两个方面的含义：一方面是元器件本身所固有的、由设计和生产过程中所确定的质量、可靠性特性，即固有可靠性；另一方面是元器件在使用过程中实际表现出的可靠性特性，称之为使用可靠性。我们知道，元器件在实际应用中经常会由于电路设计不当、操作处理不当、环境的影响以及其它不适当的使用而发生失效，使其无法正常地发挥其固有可靠性。据估计，在半导体器件的全部失效事件中，大约有一半（国内有些情况下可达 $2/3$ ）以上的失效是由使用不当造成的。因此，必须充分重视半导体器件的使用可靠性。

综上所述，要保证系统具有高可靠性，从元器件的角度来说，一方面要选择、采用具有质量和可靠性保证的、固有可靠性高的元器件；另一方面则必须正确、适当地使用器

件。本指南着重于对微型电路（集成电路）的使用可靠性进行研究，指出各种微电路在实际应用中容易出现的问题，提出一些实用的使用可靠性指南。

本章概要叙述元器件选择和控制的基本源则、微电路的质量和可靠性等级，微电路的选用原则以及元器件使用的有关管理等。

§ 1 元器件的选择和控制

元器件的选择和控制是多学科的任务，它需要元器件工程师、失效分析人员、可靠性工程师以及设计工程师来共同完成。在军工产品研制工作中，必须制订、评审和执行大量的控制大纲，指南和要求，按需要，元器件的选择过程应当包括设计鉴定、可靠性历史审查、结构分析、失效模式和影响分析以及经济效益权衡等。控制工作应当包括编制有效的采购规范，这种规范一经编制出来，就应当反映设计要求、质量保证和可靠性要求及其恰当分配之间的平衡，这种规范包括：（1）.质量保证措施（包括进货检验）；（2）.质量一致性和鉴定试验。

表 1.1 列出了进行元器件选择和控制的基本原则及所要进行的主要活动。

为了对使用的元器件进行有效的、妥善的控制，通常需要制定和执行一项“元器件控制大纲”。GJB450-88《装备研制与生产的可靠性通用大纲》的实施指南中对元器件控制大纲的内容进行了规定和描述，其内容包括：

1) 建立元器件、零部件选用的控制机构

建立在型号总设计师领导下的元器件、零部件控制机构，该机构与研制阶段并存。