

电子可靠性工程技术实践丛书

电子元器件可靠性设计

王蕴辉 于宗光 孙再吉 主编

重点研制单位专家执笔

密切结合我国实际情况

涵盖可靠性设计和控制所必需的技术与方法

提供有关技术参数、工艺要求、材料特性等数据信息

附加可靠性设计评审内容，更具系统性和完整配套性



科学出版社
www.sciencepress.com

电子可靠性工程技术实践丛书

电子元器件可靠性设计

王蕴辉 于宗光 孙再吉 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

为使我国电子元器件可靠性技术的研究和应用迈向一个新台阶,促进元器件固有可靠性水平的提高,我们组织国内重点元器件研制生产单位长期从事元器件设计的专家,在总结多年可靠性工作经验的基础上,密切结合我国元器件的实际情况,编写此书,呈现给读者。

本书共分9章,内容涉及电子元器件可靠性设计的一般要求;单片集成电路可靠性设计;混合集成电路可靠性设计与控制;半导体分立器件可靠性设计;连接器可靠性设计;继电器可靠性设计;电容器可靠性设计;微特电机可靠性设计;声表面波器件可靠性设计等。本书内容全面,翔实,涵盖电子元器件可靠性设计和控制所必需的基本技术与方法。另外,对各类元器件均给出了应用实例。

本书既可作为电子元器件研制、生产单位的培训教材,也可作为高等院校研究生、本科生的参考教材,同时也可供广大工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子元器件可靠性设计/王蕴辉,于宗光,孙再吉主编. —北京:科学出版社,2007

(电子可靠性工程技术实践丛书)

ISBN 987-7-03-019638-5

I. 电… II. ①王…②于…③孙… III. 电子元件-可靠性设计
IV. TN602

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 126170 号

责任编辑:杨凯 崔炳哲 / 责任制作:魏谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:李力

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年9月第一版 开本:B5(720×1000)

2007年9月第一次印刷 印张:33 1/2

印数:1—4 000 字数:643 000

定 价:49.90 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

《电子元器件可靠性设计》编委会

主 编：王蕴辉 于宗光 孙再吉

副主编：彭苏娥 雷 剑 李传龙 王建国
冯建华 何松波 胡 璞 王晓晗

编 委：谢 杰 胡朝春 李祖华 王 凤
陈新军 杨立明 郭中醒 彭 亮
陈堂胜 彭永燃 鲁 华 张 键
陶有迁 王成兴 陈世琪 施传贵
杨国江 陈 杰(21所) 陈 杰(4326厂)
王子荣 马腾双 李俊伟 陈德舜

前 言

电子元器件是电子设备的基础,是保证电子设备高可靠的基本资源,其可靠性直接影响设备的工作效能和优良性能的充分发挥。随着电子技术的迅速发展和电子元器件在设备中应用数量的增多及作用的突现,对电子元器件的可靠性提出了越来越高的要求。

随着电子元器件技术的发展,提高可靠性要“早期投入、预防为主”的观念也逐步形成,可靠性设计技术已在一些单位的产品设计中得到了应用,并取得了长足的进步。为了适应形势的发展和满足读者需要,我们组织了国内有可靠性工作经验的专家,在整合、提升、优化的基础上,密切结合我国电子元器件的实际情况,编著了此书。该书的编写,将使我国电子元器件可靠性技术的研究和应用推向一个新台阶,对促进电子元器件固有可靠性水平的提高将起到积极作用。

众所周知,高可靠的电子元器件不是靠事后的试验和检验得到的,而是设计进去、制造出来的。要保证电子元器件的高可靠,必须要进行可靠性设计,并在制造过程中严格按设计要求进行可靠性控制。本书围绕可靠性设计这个主题,介绍了电子元器件可靠性设计的一般要求和单片集成电路、混合集成电路、半导体分立器件、连接器、继电器、电容器、微特电机、声表面波器件等的可靠性设计技术及其应用实例。

本书共分9章,基本覆盖了进行各类电子元器件可靠性设计的主要内容和基本技术。本书的基本结构和各章的内容安排如下:

第1章 电子元器件可靠性设计的一般要求(王蕴辉、彭苏娥编写)。本章叙述了进行电子元器件可靠性设计的基本概念、基本要求;提出了电子元器件可靠性设计指标;分析了影响元器件可靠性的主要因素;介绍了电子元器件失效信息的研究方法、进行电子元器件可靠性设计的主要内容与通用技术等。读者对各类电子元器件进行可靠性设计时可参考本章。

第2章 单片集成电路可靠性设计(于宗光、谢杰、彭亮、张键编写)。本章主要介绍了单片集成电路可靠性设计的基本技术,包括电性能稳定性设计、输出输入保护电路、版图的可靠性设计、工艺可靠性设计、抗ESD设计、可靠性模拟设计、防止CMOS晶闸管(闭锁)效应设计等,并为读者提供了可靠性设计技术应用实例。

第3章 混合集成电路可靠性设计与控制(雷剑、胡朝春编写)。本章主要介绍了混合电路的可靠性设计技术,包括降额设计、热设计、耐环境设计、简化设计、电磁兼容设计、健壮设计、针对产品失效模式和失效机理的相应改进措施;可靠性设计的控制要求等,并为读者提供了混合集成电路可靠性设计实例。

第4章 半导体分立器件可靠性设计(孙再吉、李祖华、陈堂胜、陶有迁、施传贵等编写)。本章主要介绍了半导体分立器件可靠性设计的基本要求;可靠性设计的主要技术,包括裕度和容限的可靠性设计、性能稳定性设计、合格晶体的工艺设计、抗力学应力设计、耐高低温、高湿度环境设计、抗辐射环境设计、极限条件下的可靠性设计、长寿命设计和冗余设计;可靠性设计技术应用实例和老产品设计改进后实现可靠性增长的应用实例。还从用户的角度介绍了半导体分立器件的应用可靠性设计技术等。

第5章 连接器可靠性设计(李传龙、王凤编写)。本章主要介绍了进行连接器可靠性设计的基本内容,包括性能可靠性设计、结构可靠性设计、工艺可靠性设计、可靠性评价试验设计;可靠性设计的主要技术,包括消除失效模式的可靠性设计、耐环境可靠性设计、耐高温设计、热设计、长寿命设计、降额设计、优化设计、防误操作设计、安全设计;原材料的选择与质量控制要求;连接器可靠性预计等,还为读者提供了可靠性设计应用实例。

第6章 继电器可靠性设计(王建国、陈新军编写)。本章主要介绍了继电器可靠性设计总体要求;可靠性设计的基本内容,包括性能可靠性设计、结构可靠性设计、工艺可靠性设计和可靠性评价试验设计;可靠性设计的主要技术,包括失效分析技术、继电器的耐热设计、耐冲击振动设计、参数稳定性设计、继电器耐负载寿命设计、熔封继电器气密性设计等,还为读者提供了可靠性设计技术应用实例。

第7章 电容器可靠性设计(冯建华、杨立明、彭永燃、王成兴、杨国江、陈杰、马腾双、李俊伟、陈德舜编写)。本章主要介绍了电容器可靠性设计的总体要求;可靠性设计的基本内容,包括总体可靠性设计内容、性能可靠性设计、结构可靠性设计、可靠性评价试验设计;可靠性设计的主要技术,包括消除失效模式的可靠性设计、耐环境设计、耐高温设计、性能稳定性设计、长寿命设计、降额设计、优化设计、防误操作设计等,并将可靠性设计技术的应用实例贯穿于其中。

第8章 微特电机可靠性设计(何松波、郭中醒、鲁华、陈世琪、陈杰、王子荣编写)。本章主要介绍了微特电机故障模式及可靠性分析方法;可靠性设计的基本要求和内容,包括电性能可靠性设计、结构可靠性设计、工艺可靠性设计、接触可靠性设计、电气绝缘可靠性设计、评价试验设计;可靠性设计技术和可靠性设计应用实例,并提出了设计阶段、制造阶段的可靠性控制要求。

第9章 声表面波器件可靠性设计(胡瑛编写)。本章介绍了声表面波器件可靠性设计的基本要求;可靠性设计技术,包括性能稳定性设计、结构可靠性设计、工艺可靠性设计、消除失效模式的可靠性设计、耐环境设计、耐电应力失效设计、防误操作设计;可靠性评价试验设计和可靠性控制要求等,还为读者提供了可靠性设计和控制应用实例。

全书由彭苏娥、王蕴辉审校、统稿和安排。本书在编写出版中得到了编写单位各级领导的关心和支持,得到了可靠性领域中有关专家的大力帮助,值此本书出版之际,特表示诚挚的谢意。

本书能为电子元器件研制、生产单位的产品设计、工艺技术人员和可靠性工作者提供有效的帮助,它可作为电子元器件研制、生产单位的可靠性技术培训和广大工程技术人员设计的自学教材。

由于可靠性设计技术在我国尚在发展中,且又由于电子元器件类别太多,受篇幅的局限性不能将每类电子元器件都编入,故本书有可能不能完全满足读者的要求。由于编者水平有限,书中难免有不足或差错,希望读者对本书存在的问题和不足提出改进建议。

科学出版社

科龙图书读者意见反馈表

书 名 _____

感谢您关注本书！您的建议和意见将成为我们进一步提高工作的重要参考。我社承诺对读者信息给予保密，只用于图书质量改进和向读者快递新书信息工作。对于已经购买我社图书并回执本“科龙图书读者意见反馈表”的读者，我们将为您建立服务档案，并给予直接从我社邮购图书 95 折免邮费的优惠，同时将定期给您发送我社的出版资讯或目录。如果您发现本书的内容有个别错误或纰漏，烦请另附勘误表。

个人资料

姓 名：_____ 年 龄：_____ 联系电话：_____

专 业：_____ 学 历：_____ 所从事行业：_____

通信地址：_____ 邮 编：_____

E-mail: _____

本书评价

◆ 您对本书的各方面感觉如何？

	非常好	好	一般	差	备注
书 名					
封面设计					
版式设计					
图书内容					
作者水平					
图书定价					

◆ 您对本书中最不满意的章节是：_____，最满意的章节是：_____。

◆ 期望和要求 _____。

购书状况

◆ 您获得图书信息的途径一般为(可多选)

广告宣传 图书馆 书店 熟人介绍 网络 报刊书评 其他 _____

◆ 您购书的途径有(可多选)

书店 网络书店 从出版社邮购 其他 _____

◆ 您购本书的主要原因有(可多选)

学习参考 教材 其他 _____

◆ 影响您购买一本图书的因素有(可多选)

图书内容 作者 书名 熟人推荐 图书排行榜 打折促销 图书设计与制作 出版社 其他 _____

回执地址：北京市朝阳区华严北里 11 号楼 3 层

科学出版社东方科龙图文有限公司电工电子编辑部(收)

邮编：100029



目 录

第 1 章 电子元器件可靠性设计的一般要求	1
1.1 电子元器件可靠性的基本概念	1
1.1.1 电子元器件及分类	1
1.1.2 电子元器件可靠性的基本概念	5
1.1.3 影响电子元器件可靠性的因素分析	7
1.2 电子元器件可靠性设计的基本概念与基本要求	19
1.2.1 基本概念	19
1.2.2 重要性	21
1.2.3 基本要求	22
1.2.4 可靠性设计程序	25
1.3 电子元器件可靠性设计指标	28
1.3.1 稳定性设计指标	28
1.3.2 极限性设计指标	29
1.3.3 产品的失效率、寿命或质量等级指标	30
1.3.4 必须消除或控制的失效模式指标	34
1.4 电子元器件可靠性设计的基本内容	37
1.4.1 功能方面的可靠性设计	37
1.4.2 结构方面的可靠性设计	38
1.4.3 工艺方面的可靠性设计	39
1.4.4 可靠性评价试验设计	41
1.5 电子元器件失效分析的基本技术	46
1.5.1 失效分析基础技术	47
1.5.2 失效信息统计分析的基本方法	48
1.6 电子元器件可靠性设计技术	59
1.6.1 耐高、低温设计技术	59

1.6.2	耐热设计技术	63
1.6.3	耐电应力设计	65
1.6.4	抗机械应力设计技术	71
1.6.5	稳定性设计	73
1.6.6	三防设计技术	83
1.6.7	抗辐射环境设计技术	87
1.6.8	控制低气压失效的可靠性设计	90
1.6.9	防误操作设计技术	90
1.6.10	消除寄生元器件和潜在通路设计	91
1.6.11	最坏情况设计技术	91
1.6.12	优化设计技术	91
1.7	电子元器件可靠性设计阶段的可靠性控制技术	92
1.7.1	基本概念	93
1.7.2	控制的作用	93
1.7.3	控制内容与方法	93
1.8	小 结	100
	参考文献	102
第 2 章	单片集成电路可靠性设计	104
2.1	单片集成电路的类别和设计特点	104
2.1.1	类 别	104
2.1.2	设计特点	109
2.2	单片集成电路可靠性设计的基本要求和主要内容	112
2.2.1	基本要求	112
2.2.2	主要内容	113
2.3	单片集成电路可靠性设计的基本技术	114
2.3.1	电性能稳定性设计	114
2.3.2	输出保护电路	116
2.3.3	输入保护电路	119
2.4	单片集成电路版图的可靠性设计技术	121
2.4.1	对称性设计方法	121

2.4.2	消除寄生效应的版图设计技术	122
2.4.3	元件的可靠性设计	123
2.5	单片集成电路工艺可靠性设计技术	124
2.6	单片集成电路的 ESD 设计技术	126
2.6.1	ESD 测试模型	126
2.6.2	ESD 保护器件	130
2.6.3	ESD 保护电路解决方案	133
2.6.4	模拟管脚的 ESD 保护设计	138
2.6.5	版图设计技术	141
2.6.6	ESD 失效分析	144
2.6.7	版图和工艺的考虑	144
2.6.8	ESD 失效模拟	146
2.6.9	基于模拟的 ESD 设计	146
2.6.10	ESD 与电路的相互影响	148
2.6.11	未来的 ESD 工作	149
2.6.12	小 结	150
2.7	单片集成电路的可靠性模拟设计	151
2.7.1	可靠性模型	153
2.7.2	可靠性模拟	158
2.7.3	小 结	164
2.8	防止 CMOS 晶闸管(闭锁)效应	165
2.8.1	产生闭锁效应的机理	165
2.8.2	寄生晶闸管效应触发的条件	167
2.8.3	防止晶闸管(闭锁)效应的措施	170
2.8.4	CMOS 中 P 阱和 N 阱抗闭锁能力的比较	175
2.9	单片集成电路可靠性设计技术应用实例	175
2.9.1	高可靠性 EEPROM 单元设计	175
2.9.2	一种正负输入的保护电路设计	177
2.9.3	ESD 附加掩模	180
2.9.4	EEPROM 的误差矫正技术	181

参考文献	184
第 3 章 混合集成电路可靠性设计与控制	186
3.1 混合集成电路的特点及可靠性要求	186
3.1.1 分类及特点	186
3.1.2 设计特点及可靠性要求	189
3.2 混合集成电路可靠性设计和控制的基本思想	190
3.2.1 基本思想	190
3.2.2 可靠性设计准则	191
3.2.3 基本要求	192
3.3 混合集成电路的可靠性设计方法	192
3.3.1 降额设计	192
3.3.2 热设计	196
3.3.3 耐环境设计	201
3.3.4 简化设计	205
3.3.5 电磁兼容设计	205
3.3.6 健壮设计	205
3.4 混合集成电路的可靠性控制要求	207
3.4.1 电子元器件、原材料控制	207
3.4.2 详细可检查的设计评审细则	209
3.4.3 生产过程控制要求	211
3.5 混合集成电路的失效模式与失效机理	212
3.5.1 概 述	212
3.5.2 混合集成电路的主要失效模式	213
3.5.3 电子元器件常规失效	215
3.5.4 电子元器件粘接/焊接失效	215
3.5.5 引线键合失效	217
3.5.6 基板失效	218
3.5.7 封装外壳失效	218
3.5.8 沾污及多余物失效	219
3.5.9 内部水汽含量及残余气氛失效	221

3.6 混合集成电路可靠性设计与控制应用实例	223
3.6.1 电路的简化设计与电子元器件的选择、控制	223
3.6.2 降额设计	224
3.6.3 参数优化设计	224
3.6.4 热设计	224
参考文献	224
第4章 半导体分立器件可靠性设计	225
4.1 半导体分立器件的特点和可靠性要求	225
4.1.1 种类和特点	225
4.1.2 在电子整机系统中的作用	232
4.2 半导体分立器件可靠性设计基本要求	232
4.2.1 可靠性设计方案的考虑	233
4.2.2 可靠性设计指标	233
4.2.3 可靠性评价试验设计	234
4.3 半导体分立器件可靠性设计的主要技术	235
4.3.1 裕度和容限的可靠性设计	235
4.3.2 性能稳定性设计	235
4.3.3 合格晶体的工艺设计	235
4.3.4 抗力学应力设计	235
4.3.5 耐高低温、高湿度环境设计	236
4.3.6 热学设计	236
4.3.7 抗辐射环境设计	237
4.3.8 极限条件下的可靠性设计	237
4.3.9 长寿命设计	237
4.3.10 冗余设计	238
4.4 半导体分立器件可靠性设计技术的应用	238
4.4.1 可靠性设计程序及可靠性控制要求	238
4.4.2 针对主要失效模式开展可靠性设计	241
4.4.3 失效模式与工艺的相关性分析及工艺控制要求	258
4.5 半导体分立器件可靠性设计中的控制要求	268

4.5.1	原材料质量控制要求	268
4.5.2	生产工艺环境控制要求	272
4.5.3	工艺可靠性控制要求	275
4.5.4	工艺检测可靠性控制要求	276
4.5.5	设备、仪器能力的控制要求	276
4.6	GaAs FET 器件的可靠性设计实例	276
4.6.1	针对 GaAs FET 器件的失效模式,采取相应的设计措施	276
4.6.2	GaAs FET 的抗辐照特性	279
4.6.3	进行可靠性设计	281
4.7	半导体分立器件可靠性控制方法应用示例	284
4.7.1	变容二极管频率稳定性控制方法	284
4.7.2	硅微波 PIN 二极管可靠性增长设计实例	286
4.8	半导体分立器件的应用可靠性设计技术	289
4.8.1	降额设计技术	290
4.8.2	容差设计技术	290
4.8.3	防过热设计技术	291
4.8.4	防瞬间过载设计技术	292
4.8.5	防寄生耦合设计技术	292
4.8.6	防静电设计技术	294
4.8.7	抗辐射加固电子系统的设计技术	294
	参考文献	296
第 5 章	连接器可靠性设计	297
5.1	特点和可靠性要求	297
5.1.1	种类和特点	297
5.1.2	在电子设备中的作用及可靠性要求	301
5.2	连接器可靠性设计的基本含义	301
5.3	连接器可靠性设计的基本条件和基本要求	302
5.3.1	基本条件	302
5.3.2	基本要求	303

5.4	连接器可靠性设计的基本内容	306
5.4.1	性能可靠性设计	306
5.4.2	结构可靠性设计	312
5.4.3	工艺可靠性设计	317
5.4.4	可靠性评价试验设计	319
5.5	连接器可靠性设计的主要技术	320
5.5.1	消除失效模式的可靠性设计	320
5.5.2	耐环境可靠性设计	323
5.5.3	耐高温设计	326
5.5.4	耐热设计	327
5.5.5	长寿命设计	328
5.5.6	降额设计	329
5.5.7	优化设计	330
5.5.8	防误操作设计	332
5.5.9	安全设计	332
5.6	连接器可靠性设计应用实例	332
5.7	连接器的原材料选择与质量控制要求	334
5.7.1	金属材料的选择与质量控制要求	334
5.7.2	非金属材料的选择与质量控制要求	338
5.7.3	表面防护方法与要求	340
5.8	连接器可靠性预计	341
	参考文献	348
第 6 章	继电器可靠性设计	349
6.1	继电器的特点和可靠性要求	349
6.1.1	种类和特点	349
6.1.2	在电子设备中的应用和可靠性要求	350
6.2	继电器可靠性设计的基本含义及总体要求	351
6.2.1	基本含义	351
6.2.2	基本条件	351
6.2.3	总体要求	352

6.3	继电器可靠性设计的基本内容	355
6.3.1	性能可靠性设计	355
6.3.2	结构可靠性设计	357
6.3.3	工艺可靠性设计	358
6.3.4	可靠性评价试验设计	359
6.4	继电器可靠性设计的主要技术	360
6.4.1	失效分析技术	360
6.4.2	耐热设计	363
6.4.3	耐冲击振动设计	364
6.4.4	参数稳定性设计	364
6.4.5	耐负载、寿命设计	365
6.4.6	熔封继电器气密性设计	366
6.5	继电器原材料、零部件的选用和生产环境控制要求	366
6.5.1	原材料的选用与质量控制要求	367
6.5.2	零部件的质量控制要求	367
6.5.3	生产环境的控制要求	368
6.6	继电器可靠性设计实例	369
6.6.1	接触系统的可靠性设计	371
6.6.2	磁路系统的可靠性设计	372
6.6.3	其他方面的综合设计方法	373
6.6.4	工序控制要求	373
	参考文献	376
第 7 章	电容器可靠性设计	377
7.1	电容器的特点和可靠性要求	377
7.1.1	种类和特点	377
7.1.2	在电子设备中的应用和可靠性要求	377
7.2	电容器可靠性设计的基本概念和总体要求	378
7.2.1	目 的	378
7.2.2	必要性	378
7.2.3	总体要求	379

7.2.4	基本准则	380
7.2.5	新产品研制过程中的可靠性控制流程	380
7.3	电容器可靠性设计的基本内容	383
7.3.1	总体可靠性设计内容	383
7.3.2	性能可靠性设计	384
7.3.3	结构可靠性设计	386
7.3.4	工艺可靠性设计	386
7.3.5	可靠性评价试验设计	389
7.4	电容器可靠性设计的主要技术	390
7.4.1	消除失效模式的可靠性设计技术	390
7.4.2	耐环境设计的总体要求	395
7.4.3	耐高温设计	396
7.4.4	性能稳定性设计	397
7.4.5	长寿命设计	398
7.4.6	降额设计	399
7.4.7	优化设计	399
7.4.8	防误操作设计	399
7.5	原材料零部件的选择与质量控制要求	400
第 8 章	微特电机可靠性设计	401
8.1	微特电机的特点和可靠性工作要求	401
8.1.1	作用及特点	401
8.1.2	可靠性研究的特点及工作要点	406
8.2	微特电机的故障模式及可靠性分析	408
8.2.1	故障模式及故障树分析	408
8.2.2	薄弱环节分析	416
8.3	微特电机可靠性设计的基本要求	432
8.3.1	基本原则与依据	432
8.3.2	可靠性设计程序	433
8.3.3	可靠性设计指标要求及论证	435
8.4	微特电机可靠性设计的主要内容	435