



高等学校电子信息类规划教材

微电子器件 可靠性

研究生系列教材

■ 史保华
贾新章 编著
张德胜

西安电子科技大学出版社

[http:// www.xduph.com](http://www.xduph.com)

高等学校电子信息类规划教材

微电子器件可靠性

史保华 贾新章 张德胜 编著

西安电子科技大学出版社

1999

内 容 简 介

本书主要讨论硅基器件(分立与集成)的可靠性。全书共分9章,内容包括概述、可靠性的数学基础、失效物理、失效分析、可靠性设计、工艺可靠性、使用可靠性、可靠性试验、可靠性管理等。部分章末给出了复习思考题,以便于教学。

本书为高等学校电子信息类微电子技术专业硕士研究生教材,也可作为相应专业高年级学生及从事微电子器件可靠性工作的工程技术人员的阅读参考书。

图书在版编目(CIP)数据

微电子器件可靠性/史保华等编著. —西安:西安电子科技大学出版社

ISBN 7-5606-0719-5

I. 微… II. ①史… ②! III. 微电子技术-电子器件-可靠性理论 IV. TN103

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第08706号

责任编辑 戚文艳 李恩科

出版发行 西安电子科技大学出版社

(西安市太白南路2号)

邮 编 710071

电 话 (029)8227828

经 销 新华书店

印 刷 西安电子科技大学印刷厂

版 次 1999年4月第1版

1999年11月第2次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 12.25

字 数 276千字

印 数 1 001~3 000册

定 价 13.00元

ISBN 7-5606-0719-5/TN·0131

*** 如有印制问题可调换 ***

前 言

本教材系按原电子工业部制订的《1996年~2000年全国电子信息类专业教材编审出版规划》，由微电子技术专业教学指导委员会编审、推荐出版。本教材由西安电子科技大学微电子研究所史保华教授任主编，主审为西安交通大学电信学院邵志标教授，责任编委为朱秉升教授。

本教材的参考学时数为45学时。全书共9章，其主要内容为：概述；可靠性数学基础，可靠性的定量表征，常用概率分布，可靠性框图及数学模型；半导体体内及各界面间可能发生的各种失效的物理过程，如热载流子效应，栅氧击穿，电迁移，静电损伤，CMOS电路的闩锁及水汽等的危害；失效模式，失效物理模型，失效分析程序和方法，特别是对常用的微分析技术的原理和特点作了必要的介绍；随后介绍了可靠性设计和内建可靠性；工艺监测与监控；抽样检验；各种可靠性试验及试验结果的统计处理等；其中特别反映了最新的技术进展，如计算机辅助可靠性，统计过程控制技术(SPC)及PPM质量管理；最后介绍微电路的使用可靠性，可靠性管理及质量认证等内容。

使用本教材时学生应具备一定的概率论与数理统计基础。本书内容只涉及硅器件，讲授中着重说明了有关的物理概念，涉及的数学知识只是作为一种工具使用。

本教材由史保华编写第1~4章，贾新章编写第5~6章，张德胜编写第7~9章。此教材是在本校硕士研究生三届教学实践讲义的基础上进行了修改、补充和完善后形成的。

由于编者水平有限，书中难免存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

编 者

1999年1月20日

主要外文符号注释表

(同一参数表示不同意义时用分号分开)

A	面积; 电迁移中与线宽有关的一个常数; 随机试验中表示成功或正品
\bar{A}	随机试验中表示失败或次品
a	在描述栅氧化层击穿时间分布时的一个模型参数, 表示氧化层中陷阱的俘获截面
C_p	工序能力指数
$D(\xi)$	随机变量 ξ 的方差
D	表示由样本所得的经验分布与总体分布间的偏差, 是一个随机变量; 不合格品总数
d_c	随机变量 D 的某个临界值
\overline{D}_n	Si/SiO ₂ 界面间的界面态密度 ($\text{cm}^{-2} \cdot \text{eV}^{-1}$)
E	电场强度 (MV/cm)
$E(\xi)$	随机变量 ξ 的数学期望
E_{ox}	氧化层电场强度 (MV/cm)
E_a	激活能 (eV)
F	描述金属互连线中发生电迁移时金属离子所受到的力; 高电场下流经氧化层的电子流量; 作用应力
f	频率
$F(t)$	失效概率 (分布)
$f(t)$	失效概率密度 (分布)
F_s	金属互连线中发生电迁移时金属离子所受到的摩擦力
F_q	金属互连线中发生电迁移时金属离子所受到的电场力
F_v	空位流量
I	电流
i	电流; 作下标用时表示第 i 个单元或部件
I_d	MOS 器件的漏源电流
I_{sub}	衬底电流
I_{cp}	电荷泵电流
J	电流密度
j	电流密度
k	Boltzmann 常数 8.62×10^{-5} (eV/K); 导热率
l	长度
L	MOS 器件中的沟道长度; 接收概率
m	威布尔分布中的形状参数; 电迁移公式中的一个常数 (1~3)

DAD 3/10

N	样品总数; 面电荷密度的电荷数
n	试验次数; 样本数; 浓度
$N(t)$	到时刻 t 仍在正常工作的样品数
$n(t)$	到时刻 t 失效的样品总数
n_i	本征载流子浓度 (cm^{-3})
p	随机试验中失败(或取得次品)的概率
$P(\xi)$	随机变量 ξ 的概率
P_0	可接受质量水平
P_1	极限水平
Q	面电荷密度 (C/cm^2); 热量
q	随机试验中成功(或取得正品)的概率; 电子电荷
Q_{BD}	MOS 电容发生击穿时注入氧化层中的总电荷面密度 (C/cm^2)
Q_{crit}	电路产生软误差所需的最小电荷量(临界电荷)
Q_f	固定氧化层电荷面密度 (C/cm^2)
Q_{it}	界面陷阱电荷面密度 (C/cm^2)
Q_m	可动电荷面密度 (C/cm^2)
Q_{ot}	氧化层陷阱电荷面密度 (C/cm^2)
Q_p	研究 Fowler-Nordheim 隧穿注入时, 陷入氧化层中的空穴密度 (C/cm^2)
Q_{SD}	表面耗尽层电荷密度
R	电阻
$R(t)$	可靠度
R_c	接触电阻
R_T	热阻
$R(T)$	温度 T 时的反应速率
S	器件热稳定因子; 标准差; 降额系数; 灵敏度
s	作下标用时表示系统
S_N	相对灵敏度
T	温度; 可靠性试验的总试验时间
t	时间
t_0	威布尔分布中的尺度参数
t_{BD}	电应力下 MOS 电容发生电击穿所经历的时间
T_c	器件外壳温度
T_j	器件结温
T_k	可靠性试验中出现第 k 次故障时的总试验时间
T_p	脉冲周期
t_f	脉冲的下降时间
t_r	可靠寿命; 脉冲的上升时间
t_{TTF}	失效时间
t_{MTF}	中位寿命
t_{MTBF}	平均无故障工作时间

t_{MTTF}	平均寿命
U	电压
U_{B}	偏置电压
U_{FB}	平带电压
U_{T}	MOS 器件的阈值电压
V_{th}	载流子热速度(cm/s)
W	宽度
X_{eff}	考虑缺陷后 MOS 器件中栅氧化层的等效厚度
x_i	样本值
X_{ox}	MOS 器件中栅氧化层厚度
α	显著性水平; 电离碰撞空穴产生系数; 材料线热膨胀系数; 生产方风险
β	使用方风险; 材料二阶线热膨胀系数
γ	威布尔分布中的位置参数
η	威布尔分布中的可靠寿命
δ	金属互连线中空洞的体积
ϵ	介电常数; 比辐射率
ϵ_0	真空介电常数
ϵ_s	半导体材料的介电常数
θ	平均寿命
λ	瞬时失效率; 电子(或辐射)波长
μ	均值
μ_{eff}	MOS 器件中沟道内载流子有效迁移率
ξ	随机变量
ρ	MOS 器件(电容)氧化层中的陷阱密度; 材料电阻率
ρ_c	接触电阻率
σ	正态分布中的标准差; 载流子俘获截面(cm^2); Stefan-Boltzmann 常数
σ_n	电子俘获截面(cm^2)
σ_p	空穴俘获截面(cm^2)
τ	施加应力时间; 寿命; 热(或放电)时间常数; 温度加速因子
τ_0	在电应力下研究 MOS 电容击穿时间分布的一个常数
τ_d	二次击穿延迟时间
$\Phi(x)$	标准正态分布函数
$\varphi(x)$	标准正态分布密度函数
φ_{F}	半导体衬底的费米势
φ_i	电离碰撞离化能
φ_t	产生界面陷阱所需能量(eV)
φ_{ms}	金属-半导体接触电位差

欢迎选购西安电子科技大学出版社各类图书

中文 Windows 98 上网指南	17.00	全国计算机等级考试(三级 A 类)	
常用 Internet 网上工具详解	10.00	模拟试题与解答	19.50
Internet/ Intranet 实用安全技术	13.00	计算机最新实用技术教程	29.00
电子商务基础及应用	24.00	微机操作实用教程 (Windows 95 版)	16.50
网络集成实例集粹	27.50	计算机等级考试培训教程(一级) (修订版)	17.00
LON 网络控制技术与应用	22.00	21 世纪小学电脑课本	10.00
Internet 中文网站地址簿		计算机应用基础	17.00
——精彩中文网址终极推荐	25.00	计算机应用基础教程	21.00
Internet Explorer 5.0 用户伴侣	19.00	计算机应用办公技能培训教程	12.80
中文版 Internet Explorer 4.0 套件		会计电算化实用教程(初级)	28.00
使用大全	33.00	看图学用金蝶财务软件 for Windows	17.50
Intranet Ware 中文版精解	20.50	Windows 入门及其文字处理(修订版)	15.50
Intranet 技术及其应用	19.00	计算机原理、操作与文字处理(第三版)	12.80
MODEM 通信编程技术	20.00	微机操作与文字处理(修订版)	18.80
计算机网络技术	36.00	计算机键盘练习与汉字录入技术	5.50
实用网络编程技术	20.50	微机常用软件英文提示信息速查手册	16.50
Windows NT4.0 环境下 Intranet 组建技术	22.00	Internet 直通车	9.00
轻松使用 Microsoft FrontPage 98	9.00	中文 Windows 98 直通车	14.00
互联网 Internet 和用户软件 Netscape	16.50	中文 Windows 95 直通车	18.50
电子邮件、Internet 及 WWW 实用技巧	17.60	中文 Word 97 直通车	12.00
跟我进入 Internet	22.80	BASIC/ QBASIC 直通车	17.00
Internet 资源与使用	15.80	WPS 97 直通车	9.50
Novell 实用网络工程方法	17.50	UNIX 直通车	16.50
计算机网络(新版)	18.00	中文 Excel 97 直通车	9.00
中文视窗 98 简明图解教程	22.60	C++ 语言直通车	11.50
中文版 Windows 98 使用指南	26.50	中文版 Word 2000 操作向导	25.00
Windows NT Server 4.0(中文版)组网技术	30.00	中文版 Excel 2000 操作向导	23.00
UCDOS 6.0/7.0 实用操作教程	23.00	Office 2000 中文版快学通	40.00
中英文 Windows 95 快速通	24.80	Office 97 中文版快学通	39.00
中文版 Windows 95 使用大全	36.50	WPS 2000 实用培训教程	23.00
Windows 95 使用教程	19.80	WPS 2000 图解速成	20.00
Windows 95 使用指南	22.00	WPS 97 实用操作教程	20.00
UNIX 系统初级教程	23.00	中英文 Word 97 速成教程	20.50
操作系统教程	16.00	Power Builder 5.6/6.0 从入门到精通	30.00
计算机操作与应用 (中专)	18.00	中文 Word 6.0、7.0 高级技巧	28.00
FoxBASE+ 管理系统及其程序设计 (中专)	20.00	中文 Word 7.0 使用与提高	29.00
新版五笔字型速查手册	5.00	中文 Power Point 95 快学通	31.50
全国计算机等级考试复习测试题	24.00	Microsoft Project 98 中文版使用教程	28.00
全国计算机等级考试(一级)试题分析与		FoxPro 应用基础	22.00
应试指南	22.50	Visual FoxPro 6.0 入门与实践	21.00
全国计算机等级考试二级教程		Visual FoxPro 5.0 中文版实用指南	22.00
数据库语言 FoxBASE+ 程序设计	17.50	图解 Visual Foxpro 5.0	23.00
全国计算机等级考试(二级)试题分析与		FoxPro 2.6 快速入门	16.00
应试指南 --FoxBASE 语言程序设计	27.00	FoxPro 2.6 实用教程	22.60
全国计算机等级考试(二级 FoxBASE+)		FoxPro 2.5、2.6 及其程序设计	28.00
上机考试试题分析与应试指南	20.00	FoxPro 2.5 实用程序设计与技巧	22.00
全国计算机等级考试(二级)试题分析与应试指南		汉字 FOXBASE+ 及其程序设计	14.80
——基础部分和 C 语言程序设计	25.00	汉字 FOXBASE+ 及其程序设计	
全国计算机等级考试(一级)模拟试题与解答	17.00	——习题解答与上机指导	13.40
全国计算机等级考试(二级-- FoxBASE)		汉字 FOXBASE+ 高级程序设计技术	
模拟试题与解答	18.00	——方法、技巧与实例	15.00
全国计算机等级考试(二级--Quick BASIC)		关系数据库 Sybase SQL Server 应用指南	29.00
模拟试题与解答	25.00	ORACLE 7 关系数据库实用技术	
全国计算机等级考试(二级--C 语言)		——编程与应用	27.00
模拟试题与解答	19.00	3DS 4.0 实例精讲	17.00

3DS 4.0 详解	21.60	多媒体技术览要	12.00
3D Studio MAX 从入门到精通	33.00	跨世纪的数字技术与数字产品	21.00
3D Studio MAX 动画场景制作实例	14.00	智能卡技术及应用	9.50
3D Studio VIZ R2 全面技术手册	60.00	计算机通信技术及其程序设计	22.00
3D Studio 从入门到精通	24.50	PCI 局部总线开发者指南	8.50
中文 CorelDRAW 8 易学易用	28.60	计算机系统安全技术与方法	31.00
中英文 CorelDRAW 8 入门教程	17.50	MD110 程控数字交换机	
Photoshop 5.0 实战与技巧手册	36.00	——操作维护教程	20.60
Photoshop 5.0 案头实用手册	45.00	打印机疑难故障诊断与排除	17.00
Photoshop 5.0 初级教程	18.50	计算机通信网原理	16.50
Photo shop 图像处理软件实用技术	16.00	微型计算机原理与应用	
学用 Photoshop 5.0——命令与实例	32.00	——以 IBM PC 系列机为例	22.00
学用 3DS MAX 2.5——命令与实例	35.00	微型计算机原理与应用(大专)(16 位)	19.00
学用 Cake Walk 6.0——命令与实例	33.00	微型机系统故障分析与实用维修	24.50
学用 Author ware 5.0——命令与实例	31.00	Motorola 单片机原理及应用技术	20.50
Microsoft Fortran Power Station V 4.0 入门		IBM PC 微机应用系统设计	14.50
	19.00	十六位微型计算机原理及接口技术	15.00
C 语言及应用(中专)	18.00	CPLD 技术及其应用	25.00
Visual C++ 5.0 编程指南	23.50	可编程控制器原理及应用 (中专)	14.50
Visual C++ 5.0 使用指南	19.50	可编程序控制器原理及应用	23.50
C++ 面向对象程序设计简明教程	11.00	计算机控制原理及其应用	23.50
Borland C++ Builder 使用指南	22.50	Protel 98 使用指南	31.00
Borland C++ Builder 编程技巧与实例	22.00	PROTEL 2.X for Windows 操作指南	21.50
QBASIC 程序设计教程	18.00	PROTEL 3.31 实用精解	32.50
跟我学 Quick BASIC	10.50	Auto CAD R14 快易通	16.50
学用 Visual Basic 6.0 编程	28.00	Auto CAD 学与练 (修订版)	19.50
中文版 Visual Basic 6.0 实用编程	25.00	Auto CAD 高效机械绘图技术	29.00
Visual Basic 5.0 中文版实用指南	17.00	VHDL 硬件描述语言与	
Delphi 4 编程指南——入门与实践	27.00	数字逻辑电路设计(修订版)	20.80
Delphi 程序设计实例详解	33.80	电子 CAD 技术基础	9.50
Delphi 多媒体程序设计	25.00	电子电路 CAD 技术	17.80
Delphi(1.0/2.0)实用编程技术	22.50	电子系统及专用集成电路 CAD 技术	21.50
Borlound C++ 5.0 OWL 5.0		机械 CAD/CAM 技术概论	11.50
编程技术与实例	35.50	机械 CAD 技术基础	13.20
利用 Visual C++ 2.0/4.0 编制 Windows95		机械 CAD 应用与开发技术	20.50
应用程序	29.50	孤立子理论及其应用	
图形用户界面设计与技术		——光孤子理论及光孤子通信	32.80
——以 Borland C++为工具(含盘)	35.00	数据融合理论与应用	20.00
Visual C++ for Windows 面向对象		神经网络计算	27.00
程序设计	27.50	神经网络应用与实现	29.00
最新开发平台 Visual InterDev6.0 技术内幕	36.00	神经网络系统理论	18.50
微机科学可视化系统设计(含盘)	29.80	实用小波分析	12.00
C 程序设计实用教程	14.50	小波分析及其应用	7.00
基于 MATLAB 系统分析与设计——信号处理	24.00	按键式脉冲 / 双音频电话机原理与维修	29.00
基于 MATLAB 系统分析与设计——控制系统	18.50	有线电视——实用技术与新技术	21.00
基于 MATLAB 系统分析与设计——神经网络	17.50	国内外大屏幕彩色电视机检修捷径	30.00
MATLAB 程序设计语言	16.80	激光影碟机 (VCD · 超级 VCD · DVD)	
Java 语言基础教程	21.50	与家庭影院	13.00
JAVA 类库及其实例大全	43.80	流行 VCD 影碟机故障诊断技术与维修实例	23.50
Java 语言及其程序设计	41.00	数码相机的使用	9.80
PASCAL 程序设计及其应用	18.00	录像技术及其多媒体光盘	
FORTTRAN 语言程序设计(第二版)	16.50	——原理、使用与维修	26.50
数据结构	12.00	CD · VCD · DVD ——原理、选购与维修	26.00
计算方法	8.80	VCD · DVD 家庭影院	7.50
Windows 95 多媒体应用程序设计技术	27.00	视听音响设备——原理 · 使用 · 搭配	25.00
微机多媒体技术及应用	18.80	家庭影院——组建, 使用, 维护	18.20
多媒体电脑原理、使用与维护	22.50	现代家庭视听指南	35.00
多媒体电脑安装与测试实用技术	22.80	现代家用电器——选购、使用与维修大全	26.00

家用微波炉实用技巧	6.00	TOEFL 听力密笈	
万能表检修电视机实践指南	13.50	《TOEFL 听力密笈》随书磁带 5 盒	
实用电视机维修技巧与方法	21.00	新编 TOEFL 阅读高分技巧与训练	21.00
彩电遥控系统、画中画、有线电视加装 与维修指南	22.50	TOEFL 语法满分技巧	26.70
电冰箱和冷柜的原理、选用与维修	14.00	TOEFL 阅读制胜方略	20.00
空调器及其微电脑控制器的原理与维修	24.80	英语词汇无师通	7.00
智能传感器系统	27.00	大学英语一、二级阅读理解训练与指导	16.00
现代通信百事通	9.00	大学英语常见同义词辨析	8.60
数字光纤通信设备(上)	19.00	大学英语四级听力突破(含新题型)	8.00
数字光纤通信设备(下)	23.50	大学英语四级统考题型大全	12.00
电力传动自动控制系统	30.50	大学英语四级结构要点总汇	4.80
新型集成电路使用指南与典型应用	43.50	大学英语四级阅读综合训练	7.80
集成电路速查大全	24.00	大学英语四、六级写作指导	5.00
常用办公通信设备的原理、使用与维护		大学英语六级模拟试题新题型精编	11.00
电话机、传真机、传印机、BB 机、大哥大	17.50	新编大学英语四级考试模拟题集	10.00
ATM 理论及应用	18.50	《大学核心英语词汇练习册》疑难解析	10.00
A/D、D/A 转换器接口技术实用线路	23.50	大学英语五、六级研究生英语词汇手册	13.50
开关稳压电源——原理、设计与实用电路	25.00	大学英语四级考试词汇手册	7.50
高性能数字信号处理器与 高速实时信号处理	28.00	新编大学英语四级考试固定词组手册	4.00
自动控制原理(大专)	10.50	大学英语精读(修订版)同步训练第一册	12.50
电子线路基础	17.50	大学英语精读(修订版)同步训练第二册	12.50
录音录像技术	14.80	大学英语精读(修订版)同步训练第三册	12.50
通讯电子线路	14.00	大学英语精读(修订版)同步训练第四册	12.50
通信系统原理	22.00	初级英语图解词典	19.00
通信基础电源	15.50	当今英美时文阅读丛书(1~6)	
纠错码——原理与方法	28.00	咫尺世界	12.00
电子测量技术基础	17.30	世界之巅	12.00
电器原理与技术(电视、录像及家用制冷)	20.00	应有尽有	12.00
模拟电子技术	13.40	一醉方休	12.00
数字电子技术	14.90	凡人琐事	12.00
电路分析基础(第二版)	18.00	人间万香	12.00
《电路分析基础》实验与题解(第二版)	17.00	当代英语阅读进阶(Book I~VI)	
网络、信号与系统	14.50	玫瑰花与苹果树	10.20
电路基础	21.00	车轮上的学校	10.00
高频电路原理与分析(第二版)	17.80	初雪	9.00
电视原理与接收技术	12.80	月亮谷	12.00
基础英语考试词汇手册		最后一片叶子	12.00
——高等教育学历文凭考试必备	16.50	树·石·云	10.80
高等教育学历文凭基础英语考试指南	15.00	新英语故事丛书(1~10)	
基础英语固定词组手册		蓝眼睛朱蒂	10.00
——高等教育学历文凭考试必备	6.50	干 门	10.00
全国职称英语等级考试(理工类)		樱 桃	10.00
——模拟测试与阅读辅导	20.00	公路猎物	10.00
全国职称英语等级考试(综合类)		呵护天使	10.00
——模拟测试与阅读辅导	21.00	甜蜜的拒绝	10.00
全国职称英语等级考试(财经类)		午夜快餐	10.00
——模拟测试与阅读辅导	21.00	牛仔回忆	10.00
全国职称英语等级考试(卫生类)		爱你邻居	10.00
——模拟测试与阅读辅导	22.00	绯色惊雷	10.00
全国职称英语等级考试(人文类)		了解美国	9.50
——模拟测试与阅读辅导	24.00	了解欧州	15.00
最新 GRE 词汇注释与训练	26.00	求职应聘中英文必读	5.00
大学英语六级新题型应试训练 I		新编计算机英语	20.00
——听力技能提高	5.50	英汉电脑软件词汇手册	16.80
大学英语六级新题型应试训练 II		英汉计算机词汇手册	15.00
——阅读、翻译、简答题	11.00	电脑英语五周通教程	24.50
		大学英语基础语法新编	10.80
		专业英语(第一分册) 中专	16.50

专业英语(第二分册) 中专	16.50	通信系统	24.00
科技英语语法高级教程	33.50	短波通信	14.80
新编《高等数学》学习辅导(上)	12.00	卫星通信(新版)	12.00
新编《高等数学》学习辅导(下)	14.00	图像通信	12.00
有趣的智能训练 ——趣味数学 108 例	5.00	扩频通信	9.80
《线性代数》学习指导与例题分析	11.00	移动通信(新版)	15.00
随机过程	13.00	锁相技术(新版)	14.80
科技英语(电子类)(第二版)(大专)	23.00	高频电子线路(中专)(第三版)	17.50
并行处理技术	14.00	高频电子线路(大专)	13.00
高级操作系统	13.80	电路分析(大专)	16.50
计算机操作系统(第二版)	19.60	电工基础(中专)	15.50
计算机操作系统(第三版)	27.00	数字信号处理	15.00
操作系统教程——UNIX 实例分析(第二版)	18.50	音响技术	11.80
UNIX 操作系统教程	16.20	电视原理与现代电视系统	16.80
操作系统(修订版)(大专)	14.80	电视机原理与技术	17.50
操作系统(中专)(第二版)	10.80	电视接收技术(大专)	11.80
汇编语言程序设计(修订版)	21.50	电视原理与接收机(中专)	15.00
《汇编语言程序设计》习题解答及实验指导	9.20	控制电机(第二版)	15.00
单片微型计算机原理及应用	22.00	天线结构分析、优化与测量	33.00
单片微机原理与应用(8098)	10.80	雷达原理	16.80
单片机原理及应用(51 系列)(中专)	15.50	天线与电波	17.50
《单片机原理及应用》学习指导	8.00	线天线的宽频带技术	9.70
微型计算机原理及应用	22.00	微波技术基础	15.00
微型计算机原理(中专)	18.50	电磁场有限元方法	26.80
微型计算机原理(16 位机)	24.50	电磁场理论基础	17.00
《微型计算机原理》学习指导书	6.50	电磁场微波技术与天线	14.80
微型计算机系统设备与维修(中专)	22.75	几何绕射理论(新版)	9.65
计算机系统结构(第二版)	19.00	电子机械设计与工艺简明手册(中专)	27.00
软件系统开发技术(第二版)	12.30	机构精确度	7.90
数据库原理及应用(大专)	12.00	电子设备机械设计	8.10
数据库原理及应用(中专)(修订版)	16.80	电子机械计算机辅助设计	9.50
《数据库原理及应用》实习与实验指导	11.80	电子机械制造工艺学(中专)	10.90
PASCAL 程序设计(大专)	12.80	电子工程制图(含习题集)(中专)	24.00
PASCAL 程序设计(中专)	11.00	工程制图(含习题集)	33.20
计算机绘图	24.50	机械设计基础(统编)	19.00
计算机通信网(修订版)	13.50	机械基础(中专)	8.90
编译方法(大专)(修订版)	17.00	机械制造——实习教材(中专)	14.50
计算方法(大专)(修订版)	8.30	机械原理与机械零件习题册(中专)	14.75
离散数学(修订版)	17.80	塑料模设计(中专)	16.00
《离散数学》习题解答	16.00	模具设计与制造	16.00
离散数学(大专)	12.00	工模具制造工艺学(中专)	16.80
管理信息系统概论(大专)	5.60	工业企业经济活动分析(中专)	12.40
管理信息系统分析与设计	10.80	工业企业管理原理(中专)	8.00
自动控制基础(修订版)	14.50	工业企业管理(中专)(修订版)	9.50
工业自动化设备概论	14.00	管理数学(中专)(修订版)	14.80
办公自动化技术与设备	12.00	冲压塑压设备概论(中专)	8.00
微机工业控制	12.00	公共关系学(中专)	8.20

欢迎来函索取本社最新书目和教材介绍, 欢迎投稿!

从邮局或银行汇款邮购者, 款到后五天内我社将挂号发书, 加收 15% 的包装邮费。

通信地址: 西安市太白南路 2 号 西安电子科技大学出版社发行部 邮编: 710071

电 话: (029)8227828、8202945 传 真: (029)8213675

主 页: <http://www.xduph.com> E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

研究生系列教材

西安电子科技大学
研究生教材建设基金资助

目 录

第 1 章 概述	1	3.2.1 热载流子效应对器件性能的影响	29
1.1 可靠性工作的意义与内容	1	3.2.2 电荷泵(CP)技术 ^[7,8,9]	30
1.2 质量、可靠性、经济性之间的关系	2	3.2.3 退化量的表征	32
1.3 可靠性工作的内容	3	3.2.4 影响因素	33
1.3.1 基础	3	3.2.5 改进措施	33
1.3.2 技术	3	3.3 栅氧击穿	34
1.3.3 管理	3	3.3.1 击穿情况	34
1.3.4 教育交流	4	3.3.2 击穿机理	35
1.4 本教材的对象、内容与重点	4	3.3.3 击穿的数学模型与模拟 ^[11,12]	36
第 2 章 可靠性的数学基础	5	3.3.4 薄栅氧化层与高场有关的物理/统计模型 ^[13~16]	36
2.1 可靠性的定量表征 ^[1,2,4]	5	3.3.5 改进措施	38
2.2 常用的概率分布 ^[1,3,4]	9	3.4 电迁移 ^[1]	38
2.2.1 二项分布 $b(n, p)$	9	3.4.1 电迁移原理	38
2.2.2 泊松分布	10	3.4.2 影响因素	40
2.2.3 指数分布	10	3.4.3 失效模式	41
2.2.4 正态分布	11	3.4.4 抗电迁移措施	41
2.2.5 对数正态分布	12	3.4.5 铝膜的再构	42
2.2.6 威布尔分布	13	3.4.6 应力迁移 ^[3]	42
2.3 可靠性框图和数学模型 ^[4,5]	15	3.5 与铝有关的界面效应 ^[1]	42
2.3.1 基本概念及其意义	15	3.5.1 铝与二氧化硅	42
2.3.2 串联系统	17	3.5.2 铝与硅	43
2.3.3 并联系统	18	3.5.3 金与铝	45
2.3.4 混联系统	22	3.6 热电效应	45
2.3.5 冷贮备系统	23	3.6.1 热阻	45
2.4 分布的检验 ^[3]	24	3.6.2 热应力	46
思考题与习题	25	3.6.3 热稳定因子 ^[1]	46
参考文献	25	3.6.4 二次击穿 ^[4]	48
第 3 章 失效物理	26	3.7 CMOS 电路的闩锁效应 ^[4]	49
3.1 氧化层中的电荷 ^[1,2,6]	26	3.7.1 物理过程	49
3.1.1 电荷的性质与来源	26	3.7.2 检测方法	50
3.1.2 对可靠性的影响	27	3.7.3 抑制闩锁效应的方法	51
3.1.3 降低氧化层电荷的措施	28	3.8 静电放电损伤 ^[3,4,6]	52
3.2 热载流子效应 ^[3,6]	29	3.8.1 静电的来源	52

3.8.2 损伤机理与部位	52	4.5.3 电子探针 X 射线显微分析	76
3.8.3 静电损伤模式	53	4.6 电子能谱及质谱 ^[5,7]	76
3.8.4 静电损伤模型及静电损伤 灵敏度	53	4.6.1 俄歇电子能谱	76
3.8.5 防护措施	53	4.6.2 X 射线光电子能谱	78
3.9 辐射损伤 ^[4]	54	4.6.3 二次离子质谱	79
3.9.1 辐射来源	54	4.6.4 管内残气分析 ^[1]	81
3.9.2 辐照效应	55	4.7 红外分析 ^[5]	81
3.9.3 核电磁脉冲损伤	56	4.7.1 物体的辐射与红外光	81
3.9.4 抗核加固	56	4.7.2 红外热分析	82
3.10 软误差 ^[3,5,6]	56	4.7.3 红外光谱分析	82
3.10.1 产生机理	56	4.8 破坏性物理分析 ^[6]	83
3.10.2 临界电荷	57	4.9 失效分析实例	84
3.10.3 改进措施	58	4.9.1 漏电流过大	84
3.11 水汽的危害	58	4.9.2 管内水汽 ^[10]	84
3.11.1 水汽的来源与作用	59	4.9.3 钝化层过薄(航天工业总公司半导 体器件失效分析中心提供)	85
3.11.2 铝布线的腐蚀	59	4.9.4 氧化层缺陷(航天工业总公司半导 体器件失效分析中心提供)	85
3.11.3 外引线的锈蚀	59	思考题与习题	87
3.11.4 电特性退化	60	参考文献	87
3.11.5 改进措施	60		
思考题与习题	60		
参考文献	61		
第 4 章 失效分析	63	第 5 章 可靠性设计	88
4.1 失效模式与失效机理 ^[1]	63	5.1 可靠性设计的基本概念	88
4.1.1 失效分析的目的和意义	63	5.1.1 微电路可靠性设计的必要性	88
4.1.2 失效模式与模式分布	63	5.1.2 微电路可靠性设计的基本含义	89
4.1.3 主要失效机理	64	5.1.3 微电路可靠性设计技术的分类	89
4.2 失效模型	64	5.1.4 微电路可靠性设计的特点	89
4.2.1 应力-强度模型	65	5.2 针对主要失效模式的工艺技术 和器件结构设计(例)	91
4.2.2 Arrhenius 模型	65	5.3 常规可靠性设计技术	92
4.2.3 Eyring 模型	66	5.3.1 降额设计	92
4.2.4 最弱环模型	67	5.3.2 冗余设计	93
4.2.5 累积损伤模型	67	5.3.3 灵敏度分析	95
4.3 失效分析的内容与程序 ^[1,2,8]	67	5.3.4 最坏情况分析	96
4.3.1 开封前	68	5.4 可靠性模拟	97
4.3.2 开封	68	5.4.1 基本概念	97
4.3.3 开封后	69	5.4.2 电迁移模拟技术路线	98
4.3.4 总结	69	5.4.3 用于可靠性模拟的电迁移模型	99
4.4 微分析技术的物理基础 ^[5]	69	5.4.4 电迁移可靠性模型参数提取	101
4.5 电子显微镜 ^[3,5,7]	71	5.4.5 微电路版图信息的提取	104
4.5.1 透射电镜	71	5.4.6 电迁移模拟分析	104
4.5.2 扫描电镜	73	5.4.7 设计规则指导意见	105
		5.5 内建可靠性	106

5.5.1 内建可靠性的提出背景	106	思考题与习题	147
5.5.2 内建可靠性技术的特点	107	参考文献	147
5.5.3 微电路可靠性的表征	109		
思考题与习题	109		
参考文献	110		
第 6 章 工艺可靠性	111	第 7 章 可靠性试验	149
6.1 “工艺可靠性技术”概述	111	7.1 可靠性试验的分类及内涵 ^[1,6,9]	149
6.1.1 “工艺可靠性”的基本概念	111	7.1.1 可靠性试验的分类	149
6.1.2 “工艺可靠性”的技术思路	112	7.1.2 可靠性增长试验和失效分析 试验	150
6.1.3 未来的“工艺可靠性”技术	115	7.1.3 老炼试验和筛选试验	150
6.2 工艺参数监测技术	115	7.1.4 模拟试验和现场试验	150
6.2.1 概述	115	7.1.5 例行试验、质量一致性检验和 可靠性验收试验	150
6.2.2 方块电阻测试中的微电子测 试图技术	117	7.1.6 可靠性鉴定试验、可靠性定级 试验和可靠性维持试验	151
6.2.3 测量金属-半导体接触电阻和 接触电阻率的微电子测试图	121	7.2 环境试验、机械试验和电磁试验 的主要内容与目的 ^[9]	151
6.2.4 光刻套刻误差测试结构	125	7.2.1 环境试验	151
6.3 PPM 技术	126	7.2.2 机械试验	154
6.3.1 PPM 的概念	126	7.2.3 静电放电敏感度试验	156
6.3.2 PPM 应用之一——IC 原材料质 量水平的表征	126	7.3 抽样理论 ^[6,8]	157
6.3.3 PPM 应用之二——电子元器件 出厂平均质量水平的评定	127	7.3.1 概述	157
6.3.4 PPM 应用之三——工艺质量 水平的表征	128	7.3.2 计数抽样试验/检验方案原理	157
6.4 工序能力分析和 6 σ 设计	129	7.3.3 计数抽样方案的制定	159
6.4.1 工序能力的定量表征	129	7.4 试验数据的处理方法 ^[2~6]	161
6.4.2 6 σ 设计	131	7.4.1 最佳线性无偏估计	161
6.5 SPC 技术	132	7.4.2 极大似然估计	163
6.5.1 概述	132	7.4.3 图估计方法	163
6.5.2 SPC 技术流程	134	7.5 试验方案的制定方法	165
6.5.3 关键过程节点和关键工艺 参数	135	7.5.1 项目的选择	165
6.5.4 用于工艺受控状态定量分析 的常规控制图技术	135	7.5.2 试验条件	166
6.5.5 适用于微电路生产的控制 图技术	140	7.5.3 试验顺序	166
6.6 工艺控制技术	142	7.5.4 试验判据	166
6.6.1 概述	143	7.5.5 抽样	166
6.6.2 逐批反馈控制	143	思考题与习题	167
6.6.3 实时反馈控制	145	参考文献	167
6.6.4 前馈控制	146		
		第 8 章 使用可靠性	168
		8.1 器件的合理选用 ^[1,2,4]	168
		8.1.1 关于器件的质量等级	168
		8.1.2 关于合格产品清单和优选 元器件清单	169
		8.1.3 器件的选择	169
		8.2 微电路的额定值和降额使用 ^[5]	169

8.2.1 微电路的额定值	169	8.6.3 粘接(焊接)	176
8.2.2 降额使用	169	8.6.4 清洗	176
8.3 浪涌引起的使用失效	170	思考题与习题	177
8.3.1 浪涌的产生	170	参考文献	177
8.3.2 减小或消除电浪涌的措施	172		
8.4 防止元器件使用中的静电损伤 ^[3]	172	第9章 可靠性管理	178
8.4.1 防静电环境	172	9.1 组织与人员管理 ^[1~4]	178
8.4.2 工作人员的防静电措施	173	9.1.1 组织管理	178
8.4.3 包装、运送和存放过程中的 防静电措施	173	9.1.2 人员管理	178
8.5 防护元器件	173	9.2 材料及外协加工件管理	179
8.5.1 瞬变电压抑制二极管	173	9.2.1 材料的采购	179
8.5.2 压敏电阻	174	9.2.2 外协加工件管理	179
8.5.3 铁氧体磁珠	174	9.3 仪器设备管理	180
8.5.4 正温系数热敏电阻和负温系数 热敏电阻	175	9.4 设计、工艺及工艺控制管理	180
8.6 电子元器件的可靠性安装	176	9.5 文件、记录与信息管理	181
8.6.1 引线整形	176	9.6 试验评价与失效分析管理	182
8.6.2 安装结构	176	思考题与习题	182
		参考文献	182

第 1 章 概 述

1.1 可靠性工作的意义与内容

在人们的日常生产和技术活动中，经常会涉及到产品的可靠性问题。按照一般的理解，产品的可靠性是指产品在使用过程中会不会出现问题或发生故障，从而引起各种损失或危害，这种说法不够严格。按照国家标准的定义，可靠性是指产品在规定的条件下和规定的时间内，完成规定功能的能力。这里规定的条件所指内容很广，可以是产品的各种外部气候环境，也可以是产品承受的一定的热、电工作应力。进一步详细叙述时，可能会涉及其标准条件、最坏条件等。规定时间一般指所保证的时间，有时也表示次数、循环数或距离等。至于功能则随产品种类而异，重要的是要明确确定出其功能故障的判断标准。但从这里可知，可靠性是与工作时间有关的。

随着技术的进步，半导体器件从分立走向集成，从 SSI 发展到 ULSI。现在已可将近 1 亿个器件集成在一块芯片上，由于器件尺寸不断缩小使器件数量不断增加，改进了电路功能，使电路日趋复杂，而可靠性问题也日益显得重要。IC 的应用已渗入到国民经济各部门，相应的 IC 的可靠性也日益显得迫切与重要。现在一块电路的失效，不仅能影响到人民的生命财产安全，有时还会涉及到国家的政治声誉。例如 1957 年美国先锋号卫星因一个价值 2 美元的器件失效，造成价值数百万美元的卫星原地坠毁。国内外有许多这样的由可靠性引起事故的严重事例。因此，在微电路发展的同时，其可靠性也逐步为人们所认识，并得到密切关注与重视。从事科学技术工作的人员，就应提高认识，重视可靠性工作，采取各种措施，提高所开发的产品的可靠性，防止事故的发生。

可靠性工作涉及的面很广。一方面，它包括产品的开发研究、设计、制造、包装、贮存、运输和使用维修等各个环节；另一方面，从电路结构到材料、设备、仪器、工具、加工制造、工艺控制、质量管理等方面，都与其有关系。从学科上讲，它涉及失效物理、数理统计、数学模型、化学反应、机械应力、环境工程、实验方法、生产管理等方面，有基础理论，也有实用技术与经验。其战线长、内容多、范围广，涉及到产品的方方面面。它不仅带有科学研究，工程应用的性质，还必须统筹安排，科学管理。要由研制开发、生产及使用方的工程技术人员、工人、管理干部和产品有关的原材料、元器件、仪器设备供应商共同协作，方