

清华大学基础工业训练系列教材



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电子技术工艺基础 (第2版)

清华大学电子工艺实习教研组

王天曦 李鸿儒 王豫明 编著

清华大学出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
清华大学基础工业训练系列教材

电子工艺技术基础 (第2版)

清华大学电子工艺实习教研组
王天曦 李鸿儒 王豫明 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书以基本工艺知识和电子装联技术为基础,以 EDA 实践和现代先进组装技术为支柱,对电子产品工艺设计制造过程作了全面介绍,包括电子工艺概论、安全用电、EDA 与 DFM 简介、电子元器件、印制电路板、焊接技术、装联与检测技术、表面贴装技术等内容,是电子实践教学领域中典型的参考书。

作者有二十余年电子技术工作经验,经历了二十多年电子工艺实习教学实践,与电子制造业、学术界和媒体紧密联系,使本书视野开阔、内容充实、详略得当、可读性强、信息量大,兼有实用性、资料性和先进性。

本书既可作为电子实践类课程的参考教材,亦可作为电子科技创新实践、课程设计、毕业实践等活动的实用指导书,同时也可供职业教育、技术培训及其他有关技术人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电子技术工艺基础 / 王天曦,李鸿儒,王豫明编著. —2 版. —北京:清华大学出版社, 2009. 8

(清华大学基础工业训练系列教材)

ISBN 978-7-302-20662-0

I. 电… II. ①王… ②李… ③王… III. 电子技术—高等学校—教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 124583 号

责任编辑:庄红权

责任校对:赵丽敏

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京密云胶印厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×230

印 张:22

字 数:476 千字

版 次:2009 年 8 月第 2 版

印 次:2009 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~5000

定 价:34.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。
联系电话:010-62770177 转 3103。 产品编号:021172-01

清华大学基础工业训练系列教材编委会

主 任 傅水根

副主任 李双寿 严绍华 李鸿儒

编 委 张学政 卢达溶 张万昌 李家枢

王天曦 洪 亮 王豫明

秘 书 钟淑苹

序言

随着教育教学改革的逐渐深入,我国高等工科教育的人才培养正由知识型向能力型转化。高等学校由主要重视知识传授向重视知识、能力、素质和创新思维综合发展的培养方向迈进,以满足尽快建立国家级创新体系和社会协调发展对各层次人才的需要。

由于贯彻科学发展观和科教兴国的伟大战略方针,我国对教育的投入正逐年加大。在新的教育改革理念的支持下,我国高校的实验室建设、工程实践教学基地建设呈现着前所未有的发展局面。不仅各种实验仪器、设备等教学基础设施硬件条件有了较好的配置,而且在师资队伍建设和课程建设、教材建设、教学管理、教学手段、教学方法和教学研究等方面都取得了长足的进步。

面对发展中的大好形势,清华大学基础工业训练中心在总结长期理论教学和工程实践教学经验的基础上,参照教育部工程材料及机械制造基础课程教学指导组完成的《工程材料及机械制造基础系列课程教学基本要求》和《重点高等工科院校工程材料及机械制造基础系列课程改革指南》,组织高水平的师资队伍,博采众家之长,策划、编写(包括修订)了这套综合性的系列教材。

在教材的编写过程中,作者试图正确处理下列 6 方面的关系:理论基础与工程实践、教学实验之间的关系;常规机电技术与先进机电技术之间的关系;教师知识传授与学生能力培养之间的关系;学生综合素质提高与创新思维能力培养之间的关系;教材的内容、体系与教学方法之间的关系;常规教学手段与现代教育技术之间的关系。

由于比较正确地处理了上述关系,使该系列教材具有下列明显的特色:

(1) 重视基础性知识,精选传统内容,使传统内容与新知识之间建立起良好的知识构架,有助于学生更好地适应社会的需求,并兼顾个人的长远发展。

(2) 重视跟踪科学技术的发展,注重新理论、新材料、新技术、新工艺、新方法的引进,力求使教材内容具有科学性、先进性、时代性和前瞻性。

(3) 重视处理好教材各章节间的内部逻辑关系,力求符合学生的认识规律,使学习过程变得顺理成章。

(4) 重视工程实践与教学实验,改变原教材过于偏重知识的倾向,力图引导学生通过实

践训练,发展自己的工程实践能力。

(5) 重视综合类作业,力图培养学生综合运用知识的能力;倡导小组式的创新实践训练,引导学生发现问题、提出问题、分析问题和解决问题,培养创新思维能力和群体协作能力。

(6) 重视综合素质提高,引导学生通过系统训练建立责任意识、安全意识、质量意识、环保意识和群体意识等,为毕业后更好地适应社会不同工作的需求创造条件。

(7) 重视配套音像教材和多媒体课件的建设,引导教师在教学过程中适度采用现代教育技术,在有限的学时内提高教学效率和效益,同时方便学生预习和复习。

该系列教材还注重文字通顺,深入浅出,图文并茂,表格清晰,使之符合国家与部门最新标准。

该系列教材主要适用于大学本科和高职高专学生,也可作为教师、工程技术人员工作和进修的教科书或参考文献。

尽管作者和编辑付出了很大努力,书中仍可能存在不尽如人意之处,恳请读者提出宝贵意见,以便及时予以修订。

傅水根

2006年2月18日

于清华园

前言

《电子技术工艺基础》一书自 2000 年面世以来,不仅在电子技术实践教学领域得到广泛应用,而且成为有关企业培训和电子爱好者自学的重要参考书,9 年总印次达 18 次之多,在同类书籍中沿用这本书体系架构和引用这本书有关内容的比例很高。

2000 年以来是世界、特别是我国电子信息产业高速发展时期,中国已经成为电子制造大国,正在向电子制造强国迈进。电子工艺技术对产业的重要作用已经得到企业界的认同和教育界的广泛关注。在各方面支持和鼓励下,经过长期积累和多年准备,本书新版终于面世。

本书新版在保持原书先进性、实用性和创新性特色的基础上,结合现代工程教育理念,针对近年电子产业的发展作了较大的调整和更新,将知识传授、技能训练与素质培养自然融合,努力体现育人的最高境界——“润物细无声”。在新版教材中体现了如下特色。

(1) 在强调工程技术的同时,融合科学发展理念。电子实践不仅是学生知识能力结构的重要组成部分,也是拓展视野、了解电子科技和产业全局以及发展趋势的最好时机。这一思路 and 理念主要体现在新增的第 1、3 章中。

(2) 强调绿色环保。在第 1 章作了集中的简要介绍,并且也贯穿于其他有关章节中。

(3) 强调现代安全观念。与电和电器有关的安全问题不仅有直接的电击、电气火灾,而且还有隐性的电池污染和废弃电子产品危害,这种现代安全观念和防范集中体现在第 2 章新增补的内容中。

(4) 与产业和生产实践尽可能紧密相关。除了在改动较大的第 8 章中与现代电子产业无缝接轨外,第 1 章关于标准化、第 3 章关于 DFM 以及第 7 章关于防静电等相关内容都是这个思路的诠释。

(5) 全球化视野。当今社会没有比电子信息产业全球化程度更高的了,这一并非纯技术的特点体现在本书第 1 章和其他有关章节。

本书在编写中得到清华大学电子工艺教研组/科教仪器厂老师和同事的支持,特别是清华-伟创力 SMT 实验室以及业内许多朋友的支持和帮助,在此表示真诚感谢。

本书在编写中参考了许多文献资料,但限于篇幅未能一一列出,特别是有些图片和资料

经过多次传播已经找不到原作者与出处,在此特向本书引用的所有资料原作者表示敬意和感谢。

还要特别感谢为本书出版作了大量工作的清华大学出版社的领导和编辑人员,他们精心策划和细致的编辑工作,使本书增色不少。

由于电子工艺技术正处于高速发展和不断完善之中,资料的时效性很强,加上作者水平与经验有限,书中错误和不足之处难免,恳请读者批评指正。

作 者

2009年8月于清华园

目录

1	电子工艺概论	1
1.1	电子制造与电子工艺	1
1.1.1	制造与电子制造	1
1.1.2	工艺与电子工艺	2
1.1.3	电子制造工艺	3
1.2	电子工艺技术及其发展	5
1.2.1	电子工艺技术发展概述	5
1.2.2	电子工艺的发展历程	6
1.3	电子工艺技术的发展趋势	11
1.3.1	技术的融合与交汇	11
1.3.2	绿色化的潮流	12
1.3.3	微组装技术的发展	13
1.4	生态设计与绿色制造	14
1.4.1	电子产业发展与生态环境	14
1.4.2	绿色电子设计制造	15
1.4.3	电子产品生态设计	18
1.5	电子工艺标准化与国际化	19
1.5.1	标准化与工艺标准	19
1.5.2	电子工艺标准及国际化趋势	20
2	安全用电	24
2.1	概述	24

2.2	电气事故与防护	25
2.2.1	人身安全	26
2.2.2	设备安全	30
2.2.3	电气火灾	31
2.3	电子产品安全与电磁污染	33
2.3.1	电子产品安全	33
2.3.2	电子产品的安全标准及认证	35
2.3.3	电磁污染与防护	37
2.4	用电安全技术简介	40
2.4.1	接地和接零保护	40
2.4.2	漏电保护开关	42
2.4.3	过限保护	43
2.4.4	智能保护	44
2.5	触电急救与电气消防	45
2.5.1	触电急救	45
2.5.2	电气消防	45
3	EDA 与 DFM 简介	47
3.1	现代电子设计	47
3.2	EDA 技术	49
3.2.1	EDA 概述	49
3.2.2	芯片级设计基础——ASIC/PLD/SoPC/SoC	50
3.2.3	硬件描述语言	53
3.2.4	EDA 工具	55
3.2.5	设计流程	58
3.2.6	EDA 实验开发系统	61
3.3	DFM	62
3.3.1	DFM 及其发展	62
3.3.2	DFM 与 DFX	63
3.3.3	DFX 简介	64
3.3.4	DFM 简介与技术规范举例	65
3.3.5	DFM 软件	70
4	电子元器件	73
4.1	电子元器件的分类及特点	73

4.1.1	电子元器件概念	73
4.1.2	电子元器件的分类	74
4.1.3	电子元器件的发展趋势	76
4.2	电抗元件	77
4.2.1	电抗元件的标称值与标志	77
4.2.2	电阻器	81
4.2.3	电位器	83
4.2.4	电容器	86
4.2.5	电感器	91
4.2.6	变压器	100
4.3	机电元件	103
4.3.1	开关	103
4.3.2	连接器	106
4.3.3	继电器	111
4.4	半导体分立器件	112
4.4.1	半导体分立器件的分类与命名	112
4.4.2	常用半导体分立器件外形封装及引脚排列	113
4.5	集成电路	119
4.5.1	集成电路分类	119
4.5.2	集成电路命名与替换	121
4.5.3	集成电路封装与引脚识别	122
4.6	电子元器件选择及应用	124
4.6.1	元器件的性能及工艺性	124
4.6.2	元器件选择	125
4.6.3	元器件检测与筛选	130
4.6.4	元器件应用	133
5	印制电路板	135
5.1	印制电路板及其互连	135
5.1.1	印制电路板概述	135
5.1.2	印制电路板的类别与组成	136
5.1.3	敷铜板	138
5.1.4	无铅焊接与印制电路板	139
5.1.5	印制电路板互连	139
5.2	印制电路板设计基础	142

5.2.1	现代电子系统设计研发与 PCB 设计要求	142
5.2.2	印制板整体结构设计	145
5.2.3	印制板基材选择	148
5.2.4	印制板结构尺寸	148
5.2.5	印制板电气性能设计	151
5.2.6	设计布局布线原则	152
5.2.7	印制板加工企业能力考虑	156
5.3	PCB 设计流程与要素	157
5.3.1	设计准备与流程	157
5.3.2	元器件排列及间距	160
5.3.3	焊盘图形设计	162
5.3.4	焊盘连接布线设计	165
5.3.5	孔与大面积铜箔区设计	167
5.3.6	阻焊层与字符层设计	168
5.3.7	表面涂(镀)层选择	169
5.3.8	光绘文件与技术要求	170
5.4	印制板设计进阶	171
5.4.1	印制板热设计	171
5.4.2	电磁兼容设计	176
5.4.3	信号与电源完整性设计简介	182
5.5	PCB 制造与验收	186
5.5.1	印制电路的形成	186
5.5.2	印制板制造工艺简介	187
5.5.3	印制板检测	190
5.6	挠性印制电路板	193
5.7	印制板标准与环保	196
5.7.1	印制板标准	196
5.7.2	印制板绿色设计与制造	197
5.8	印制板技术的发展与特种电路板	198
5.8.1	印制板技术的发展趋势	199
5.8.2	环保与高性能电路板	200
5.8.3	特种电路板	202
6	焊接技术	205
6.1	焊接技术与锡焊	205

6.2	锡焊机制	206
6.2.1	扩散	206
6.2.2	润湿	207
6.2.3	结合层	210
6.2.4	锡焊机制综述	212
6.3	手工锡焊工具与材料	212
6.3.1	电烙铁	212
6.3.2	焊料	218
6.3.3	焊剂	220
6.4	锡焊基础	222
6.4.1	条件	222
6.4.2	手工焊接操作手法与卫生	224
6.5	焊接质量检测	225
6.5.1	对焊点的基本要求	225
6.5.2	焊点失效分析	225
6.5.3	焊点外观检查	226
6.5.4	焊点质量国际标准——IPC J—STD—001 与 IPC—A—610D 简介	227
6.5.5	常见焊点缺陷及分析	228
6.5.6	拆焊与维修	232
6.6	无铅焊接和免清洗焊接技术简介	237
6.6.1	无铅焊接技术	237
6.6.2	免清洗焊接技术	239
6.7	工业生产锡焊技术	240
6.7.1	浸焊与拖焊	240
6.7.2	波峰焊	241
6.7.3	选择性波峰焊与焊接机械手	242
7	装联与检测技术	244
7.1	装联与检测技术概述	244
7.1.1	装联技术	244
7.1.2	检测技术	247
7.2	安装技术	248
7.2.1	电子安装技术要求	248
7.2.2	紧固安装	249
7.2.3	典型零部件安装	254

7.3	几种常用连接技术	257
7.3.1	导线连接	257
7.3.2	导电胶条连接	261
7.3.3	插接	262
7.4	装联技术中的静电防护	264
7.4.1	静电	264
7.4.2	静电对电子装联技术的危害	265
7.4.3	电子装联静电防护	266
7.4.4	电子研发及电子制作中的静电防护	268
7.5	常用电子仪器及应用	270
7.5.1	常用电子仪器简介	270
7.5.2	仪器选择与配置	272
7.5.3	仪器的使用与安全	274
7.6	调试技术	276
7.6.1	调试概述	276
7.6.2	调试安全	278
7.6.3	样机调试	280
7.6.4	整机检测	283
7.7	现代测试系统简介	284
7.7.1	智能仪器	284
7.7.2	虚拟仪器	286
7.7.3	网络仪器	287
7.7.4	自动测试系统	289
8	表面贴装技术	294
8.1	概述	294
8.1.1	表面贴装技术	294
8.1.2	表面贴装技术的内容	296
8.1.3	表面贴装技术的特点及应用	296
8.1.4	表面贴装技术的发展	297
8.2	表面贴装元器件	298
8.2.1	元器件的表贴封装	298
8.2.2	表面贴装元件	302
8.2.3	表面贴装器件	305
8.2.4	表贴元器件包装	308

8.3 表面贴装印制板和材料	309
8.3.1 表面贴装印制电路板	309
8.3.2 表面贴装材料	311
8.4 表面贴装工艺与设备	315
8.4.1 表面贴装基本形式与工艺	315
8.4.2 涂覆工艺与设备	316
8.4.3 贴片工艺与设备	320
8.4.4 再流焊工艺与设备	323
8.4.5 测试、返修及清洗工艺与设备	328
8.4.6 表面贴装生产线	330
8.5 表面贴装设计与管理	331
8.5.1 现代电子设计与工艺特点——设计简单化与工艺复杂化	331
8.5.2 SMT 设计——复杂的设计技术群	332
8.5.3 SMT 管理——质量与效益的保证	333
参考文献	335



电子工艺概论

21 世纪,人类社会跨入信息时代。信息时代也被称为电子信息时代,这是因为信息的采集、处理、传播和应用都离不开电子信息技术和无所不在、深刻影响我们工作和生活的电子产品。可以毫不夸张地说,电子产品是我们这个时代的名片。

电子产品是怎样制造出来的? 打开任意一款电子产品,我们都可以看到五花八门的电子元器件及其“安身立命”的印制电路板,当然还有把它们连接起来实现各种电子产品功能的组装技术。正是它们的“梦幻组合”成就了现代社会无所不在的电子产品,也给我们提出了学习研究的课题:如何实现又好又快又省地制造出我们所需要的电子产品? 本章带你跨入电子信息实践的大门,为实现你的梦想指出可行的方向。

1.1 电子制造与电子工艺

电子工艺是电子制造技术的核心,而电子制造技术作为现代制造业的后起之秀,既是国家经济的支柱,又是科学技术和其他各行各业发展的基础,也是国家综合实力和国防安全的保证。因此,对电子工艺重要性的认识,需要从制造业和制造技术说起。

1.1.1 制造与电子制造

电子制造不过百年历史,而制造业则已伴随人类发展史上万年了。从古到今以至未来,作为人类文明四大物质支柱(材料、能源、信息和制造)之一的制造,在人类社会中的地位可以用永恒来概括。

1. 科学技术与制造

制造技术和制造业在人类发展中有无可取代的重要性。“人猿相揖别,只几个石头磨过”,历史学家把人类文明概括为石器时代、铜器时代、铁器时代和当前的硅片时代。一方面,无论石器、铜器、铁器,还是硅片,都离不开制造;另一方面,硅片作为时代特征,再清楚不过地阐释了电子产品作为时代的名片的原因。

如图 1.1.1 所示,科技和产业都离不开制造,科学技术只有通过制造技术才能转化成生产力,进而创造社会财富,这些都是显而易见的基本原理。



图 1.1.1 科学、技术和制造

2. 电子制造

电子制造(electronic manufacture)有广义和狭义之分。广义的电子制造包括电子产品从市场分析、经营决策、整体方案、电路原理设计、工程结构设计、工艺设计、零部件检测加工、组装、质量控制、包装运输、市场营销直至售后服务的电子产业链全过程,也称为电子制造系统或大制造观念,如图 1.1.2 所示。

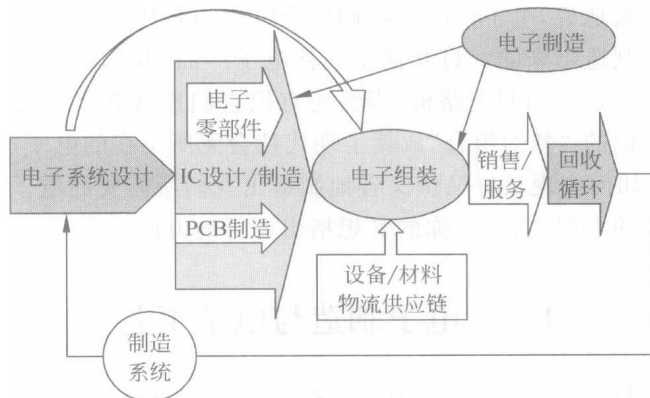


图 1.1.2 电子制造系统

由于现代电子制造中生态环境问题日益突出,从系统概念考虑电子产业链全过程成为统揽全局的必然,因此了解大制造观念十分必要。

1.1.2 工艺与电子工艺

1. 什么是工艺

工艺是伴随着制造一起出现,并同步发展的一种生产应用技术,是制造业发展的核心技术。经典的工艺定义是:劳动者利用生产工具对各种原材料、半成品进行加工和处理,改变它们的几何形状、外形尺寸、表面状态、内部组织、物理和化学性能以及相互关系,最后使之成为预期产品的方法及过程。

简单说,工艺就是制造产品的方法和流程。