

现代电子工艺

王天曦 王豫明 编著

清华大学出版社

现代电子工艺

王天曦 王豫明 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书以电子基本工艺知识和有关设计要求为基础,以现代先进电子工艺技术为主导,对电子产品工艺设计制造过程作了全面介绍,包括现代电子工艺概论、现代电气安全、现代电子工艺与设计、电子元器件、印制电路技术、软钎焊技术、电子装联技术、表面贴装技术、调试与检测以及电子技术文件等内容,是电子工艺技术领域比较系统全面的参考书。

作者有二十余年电子技术工作经验,经历了二十多年的电子工艺实习教学实践,与电子制造企业界、学术界和媒体紧密联系。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。

本书既可供广大从事电子技术、特别是工艺制造技术的企业和研发机构的技术人员培训与自学,亦可作为电子实践类课程的参考教材,同时也可供职业教育、技术培训及其他有关技术人员以及电子爱好者参考。

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

现代电子工艺/王天曦,王豫明编著. —北京:清华大学出版社,2009.11

ISBN 978-7-302-20870-9

I. 现… II. ①王… ②王… III. 电子技术 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 159248 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:清华大学印刷厂

装 订 者:三河市李旗庄少明装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:33 字 数:798 千字

版 次:2009 年 11 月第 1 版 印 次:2009 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:49.80 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:034150-01

人类社会已经迈入信息时代,有人从人类社会发展史角度称其为硅片时代(继石器、青铜器、铁器时代之后)。当今社会已经离不开电,电技术中最具活力的电子技术的重要性和普遍性,除了基础的数理化,其他学科均无法与之相比。据资料统计,95%的行业与电子技术密切相关,98%的行业的发展是建立在电子技术之上的!可以毫不夸张说,电子信息紧密相连,不论社会如何进步,科技如何发展,都离不开电子这个坚实的基础!

电子技术是一门实践性非常强的学科,从古代人们对电现象的观察到现代电子的每一个里程碑——电子管、晶体管、集成电路、……,没有一项不是在实践中发展起来的;再复杂的电子系统,也源于一个个实践中积累起来的单元电路;再先进高效的虚拟仿真工具,最终效果检验和社会价值的实现,还是取决于物理实体的实践。学习电子技术,离开实践,只是纸上谈兵,派不上实际用场。

实践证明,不论多么优秀的电子技术人员,最初都是从认识电阻、电容、万用表,拿电烙铁制作电子电路开始的,通过一次次实践激发了理论学习的热情,在实践、理论提高、再实践、再提高的良性循环中不断学习并且积累丰富的经验。实践能力对于电子技术的学习和应用,如同健康体魄对一个运动员成功的作用一样重要。

实践能力不是天生的,中国有句古语“吃一堑长一智”,对于古人是适用的,但对于知识量和信息量爆炸的今天,最好是少吃堑、多长智。聪明而有效的办法就是借前人、借他人的堑,长自己的智。作者在机电工业生产一线摸爬滚打十几年,从事工程技术和产品研发二十多年,搞电子实践教学二十余年;近年走出校园,与业界紧密合作中扩展视野,纵观历史、审视全局,深知电子工艺内容极其广泛、内涵深不可测。随着人生体验的丰富和实践经验的不断积累,希望把自己的知识财富和经验教训与后来人共享,因此不畏写书艰辛,不计个人得失,潜心编写此书。

近年,关于电子工艺类的图书多起来了,这对长期受冷落的电子工艺技术是好事。书多了,大家以自己工作领域和经验为基础,从不同视角,按不同侧重点,用不同方式方法阐述电子工艺技术,推动这一实用技术学科的普及和发展,实在是业界幸事。当然书一定要有自己特色,本书力图在以下几方面体现。

(1) 现代电子工艺是系统集成。传统制造技术仅指产品样品试制到批量生产过程,而现代制造是一个从市场调研开始,包括经营决策、整体方案、电路原理设计、工程结构设计、虚拟仿真、实体零部件检测加工、组装制造、质量控制、包装运输、市场营销直至售后服务、回收循环利用等全过程的制造系统。显然,作为现代电子制造技术的核心和关键的现代电子工艺,不应该、也不可能再局限于传统产品加工工艺的范畴。“不谋全局者,不足谋一域”,全

局观念、系统方法肯定是现代电子工艺的灵魂,本书第1章集中体现了这一理念,并且也是其他章节的总纲。

(2) 强调绿色环保与生态。除在第1章做了集中的简要介绍外,基本观念也贯穿于其他有关章节中。

(3) 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,而且还有隐性的电磁污染和废弃电子产品危害,这种现代安全观念和防范理念集中体现在第2章。

(4) 与产业和生产实践尽可能紧密相关。除了第8章表面贴装技术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国际化程度更高的了,网络化、全球化设计制造,产品与技术“我中有你、你中有我”将成为趋势,这一现代技术理念亦贯穿全书。

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,特别是清华一伟创力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,已经很难找到原作者与出处,在此特向所有本书引用的资料原作者表示诚挚敬意和衷心感谢。

电子工艺技术是一门范围广泛,理论性和实践性都较强的新学科,并且处于快速发展和不断完善之中,而本书仅在有限的范围内作一般实用性的探讨与介绍,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9月于清华园



第 1 章 现代电子工艺概论	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 工艺与现代工艺	3
1.1.3 电子制造工艺	6
1.2 电子工艺技术及其发展	8
1.2.1 电气互连技术	8
1.2.2 电子工艺技术发展概述	10
1.2.3 电子工艺发展历程	12
1.3 电子工艺新技术	17
1.3.1 电子工艺发展趋势	17
1.3.2 正在发展的电子工艺新技术	20
1.4 生态设计与绿色制造	25
1.4.1 电子产业发展与生态环境	25
1.4.2 绿色电子设计制造	27
1.4.3 电子产品生态设计	31
1.5 电子工艺与标准化	33
1.5.1 标准化与工艺标准	33
1.5.2 电子工艺国内外标准	34
第 2 章 现代电气安全	40
2.1 概述	40
2.2 电气事故与防护	41
2.2.1 人身安全	41
2.2.2 设备安全	45
2.2.3 电气火灾	46
2.3 电子产品安全与电磁污染	48
2.3.1 电子产品安全	48
2.3.2 电子产品的安全标准及认证	50

2.3.3	电磁污染与防护	54
2.4	用电安全技术简介	58
2.4.1	接地保护和接零保护	58
2.4.2	漏电保护开关	59
2.4.3	过限保护	60
2.4.4	智能保护	62
2.5	电子装接操作安全	62
2.5.1	用电安全	62
2.5.2	机械损伤	63
2.5.3	防止烫伤	63
2.5.4	电子实习实训教学场所安全要求	64
2.6	触电急救与电气消防	65
2.6.1	触电急救	65
2.6.2	电气消防	65
第3章	现代电子工艺与设计	67
3.1	现代电子设计	67
3.1.1	电子设计与新的挑战	67
3.1.2	现代电子设计技术	68
3.1.3	EDA 与 DFM	68
3.2	EDA 技术	69
3.2.1	EDA 概述	69
3.2.2	芯片级设计基础	72
3.2.3	硬件描述语言	81
3.2.4	EDA 工具	84
3.2.5	设计流程	88
3.2.6	EDA 实验开发系统	91
3.3	DFM	92
3.3.1	DFM 及其发展	92
3.3.2	DFM 与 DFX	93
3.3.3	DFX 简介	94
3.3.4	DFM 简介与技术规范举例	95
3.3.5	DFM 软件与虚拟制造	99
3.3.6	DFM 有关标准	104
第4章	电子元器件	105
4.1	电子元器件分类及特点	105
4.1.1	电子元器件概念	105
4.1.2	电子元器件分类	106

4.1.3	电子元器件的发展	107
4.2	电抗元件	108
4.2.1	电抗元件的标称值与标志	108
4.2.2	电阻器	112
4.2.3	电位器	116
4.2.4	电容器	120
4.2.5	电感器	126
4.2.6	变压器	130
4.3	机电元件	133
4.3.1	开关	133
4.3.2	连接器	135
4.3.3	继电器	140
4.4	半导体分立器件	141
4.4.1	半导体分立器件的分类与命名	142
4.4.2	常用半导体分立器件外形封装及引脚排列	146
4.5	敏感元件与传感器	148
4.5.1	传感器与敏感元件概述	148
4.5.2	常用传感器与敏感元件简介	151
4.5.3	光电耦合器与光电开关	158
4.5.4	传感器与敏感元件的发展趋势	159
4.6	其他常用元器件	161
4.6.1	显示器件	161
4.6.2	保护元件	168
4.6.3	电声器件	173
4.6.4	频率器件	177
4.6.5	散热器	179
4.7	集成电路	183
4.7.1	集成电路分类	183
4.7.2	集成电路命名与替换	185
4.7.3	集成电路封装与引脚识别	186
4.8	电子元器件选择及应用	188
4.8.1	元器件的性能及工艺性	188
4.8.2	元器件选择	189
4.8.3	元器件检测与筛选	193
4.8.4	元器件应用	196
第5章	印制电路技术	199
5.1	印制电路及其互连	199
5.1.1	印制电路概述	199

5.1.2	印制电路板的类别与组成	200
5.1.3	敷铜板	203
5.1.4	无铅焊接与印制电路板	204
5.1.5	印制电路板互连	204
5.2	印制电路板设计基础	207
5.2.1	现代电子系统设计研发与 PCB 设计要求	207
5.2.2	印制电路板整体结构设计	210
5.2.3	印制电路板基材选择	212
5.2.4	印制电路板结构尺寸	213
5.2.5	印制电路板电气性能设计	215
5.2.6	设计布局布线原则	217
5.2.7	印制电路板加工企业能力考虑	220
5.3	PCB 设计流程与要素	221
5.3.1	设计准备与流程	221
5.3.2	元器件排列及间距	224
5.3.3	焊盘图形设计	226
5.3.4	焊盘连接布线设计	229
5.3.5	孔与大面积铜箔区设计	229
5.3.6	阻焊层与字符层设计	231
5.3.7	表面涂(镀)层选择	232
5.3.8	光绘文件与技术要求	233
5.4	印制电路板设计进阶	233
5.4.1	印制电路板热设计	234
5.4.2	电磁兼容设计	238
5.4.3	信号和电源完整性设计	243
5.5	PCB 制造与验收	247
5.5.1	印制电路的形成	247
5.5.2	印制电路板制造工艺简介	248
5.5.3	印制电路板检测	252
5.6	挠性印制电路板	254
5.6.1	挠性印制电路板简介	255
5.6.2	挠性印制电路板组装	258
5.6.3	挠性印制电路板的连接方法	260
5.6.4	挠性印制电路板设计	262
5.7	印制电路板标准与环保	264
5.7.1	印制电路板标准	264
5.7.2	印制电路板绿色设计与制造	266
5.8	印制电路板技术的发展与特种电路板	267
5.8.1	印制电路板技术的发展趋势	267

5.8.2	环保与高性能电路板	268
5.8.3	特种电路板	270
第 6 章	软钎焊技术	274
6.1	焊接技术与锡焊	274
6.2	锡焊机理	275
6.2.1	扩散	275
6.2.2	润湿	276
6.2.3	结合层	279
6.2.4	锡焊机理综述	280
6.3	手工锡焊工具与材料	281
6.3.1	电烙铁	281
6.3.2	焊料	288
6.3.3	焊剂	290
6.4	手工烙铁焊接	294
6.4.1	锡焊条件	294
6.4.2	手工焊接操作手法与卫生	295
6.4.3	五步法训练	296
6.5	焊接质量检测	297
6.5.1	对焊点的基本要求	297
6.5.2	焊点失效分析	298
6.5.3	焊点外观检查	299
6.5.4	焊点质量国际标准简介	300
6.5.5	焊点通电检查及试验	302
6.5.6	常见焊点缺陷及分析	303
6.6	手工锡焊技巧	307
6.6.1	手工锡焊操作要领	307
6.6.2	印制电路板插装焊接技术	308
6.6.3	导线焊接	311
6.6.4	几种易损元器件的焊接	313
6.6.5	几种典型焊点的焊法	314
6.6.6	拆焊与维修	316
6.7	无铅焊接和免清洗焊接技术	321
6.7.1	无铅焊接技术	321
6.7.2	免清洗焊接技术	323
6.8	工业电子焊接技术	324
6.8.1	浸焊与拖焊	324
6.8.2	其他电子焊接技术简介	325
6.8.3	焊接机械手	328

6.8.4 焊接技术的选择	329
第7章 电子装联技术	331
7.1 装联技术概述	331
7.2 安装技术	333
7.2.1 安装技术基础	333
7.2.2 紧固安装与连接	335
7.2.3 典型零部件安装	339
7.3 导线连接	342
7.3.1 安装导线及绝缘材料选用	342
7.3.2 带状电缆	344
7.3.3 线束	345
7.3.4 屏蔽线及同轴电缆	348
7.3.5 线缆端子工艺与设备	350
7.4 导电胶与导电胶条连接	356
7.4.1 导电胶	356
7.4.2 常用导电胶简介	358
7.4.3 导电胶的发展	359
7.4.4 导电胶条及其应用	360
7.5 其他连接方法	361
7.5.1 压接	361
7.5.2 绕接	363
7.5.3 黏结	364
7.5.4 铆接	366
7.5.5 插接	367
7.6 装联技术中的静电防护	370
7.6.1 静电	371
7.6.2 静电与电子装联技术	371
7.6.3 电子装联静电防护	372
7.6.4 电子研发及电子制作中的静电防护	375
7.6.5 防静电接地	377
第8章 表面贴装技术	379
8.1 概述	379
8.1.1 表面贴装技术	379
8.1.2 表面贴装技术的内容	380
8.1.3 表面贴装技术的特点及应用	381
8.1.4 表面贴装技术的发展	382
8.2 表面贴装元器件	384

8.2.1	元器件的表贴封装	384
8.2.2	表面贴装元件	388
8.2.3	表面贴装器件	391
8.2.4	表贴元器件包装	393
8.3	表面贴装印制电路板和材料	394
8.3.1	表面贴装印制电路板	394
8.3.2	表面贴装材料	396
8.4	表面贴装工艺与设备	399
8.4.1	表面贴装基本形式与工艺	399
8.4.2	涂敷工艺与设备	401
8.4.3	贴片工艺与设备	406
8.4.4	焊接工艺与设备	409
8.4.5	测试、返修及清洗工艺与设备	419
8.4.6	表面贴装生产线	422
8.5	表面贴装设计与管理	424
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	424
8.5.2	SMT 设计——复杂的设计技术群	424
8.5.3	SMT 管理——质量与效益的保证	426
8.6	小型 SMT 系统	427
8.6.1	手工 SMT 简介	427
8.6.2	小型 SMT 系统	429
8.6.3	精密组装维修平台	431
第 9 章	调试与检测	432
9.1	调试与检测仪器	432
9.1.1	调试与检测技术	432
9.1.2	调试与检测仪器	433
9.1.3	仪器选择与配置	435
9.1.4	仪器的使用	437
9.2	调试与检测安全	439
9.3	调试技术	440
9.3.1	调试概述	440
9.3.2	样机调试	442
9.3.3	产品调试	445
9.3.4	整机检测	447
9.4	故障检测方法	448
9.4.1	观察法	448
9.4.2	测量法	449
9.4.3	跟踪法	451

9.4.4	替换法	453
9.4.5	比较法	454
9.4.6	设备智能自动检测	455
9.5	现代测试系统简介	456
9.5.1	智能仪器	456
9.5.2	虚拟仪器	458
9.5.3	网络化仪器	462
9.5.4	自动测试系统	464
9.6	电子组装检测技术简介	468
9.6.1	电子组装质量检测	469
9.6.2	在线检测	471
9.6.3	AOI 与 AXI	474
9.6.4	红外与超声波检测技术	477
9.6.5	电子组装综合测试技术	479
第 10 章	电子技术文件	481
10.1	电子技术文件概述	481
10.1.1	两类不同应用领域	481
10.1.2	基本要求	482
10.1.3	分类及特点	482
10.2	产品技术文件	484
10.2.1	产品技术文件特点	484
10.2.2	设计文件	485
10.2.3	工艺文件	486
10.3	图形符号及说明	488
10.4	原理图简介	490
10.4.1	系统图	490
10.4.2	电路图	491
10.4.3	逻辑图	495
10.4.4	流程图	497
10.4.5	功能表图	498
10.4.6	图形符号灵活运用	501
10.5	工艺图简介	502
10.5.1	实物装配图	502
10.5.2	印制电路板图	502
10.5.3	印制电路板装配图	502
10.5.4	布线图	504
10.5.5	机壳底板图	505
10.5.6	面板图	506

现代电子工艺概论

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? 打开任意一个电子产品,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? 本章将带你跨入电子信息技术实践的大门,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。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

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,在人类社会发展中的地位可以用“永恒”来概括。

1. 永恒的制造

制造技术和制造业在人类发展中有不可取代的重要性。人类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名片的原因。

但是随着新世纪经济形态的发展,一段时间以来对制造业和制造技术的认识令人迷茫。“中国制造”变成落后和应该抛弃的东西,“中国创造”、“中国智造”才是发展的道路。一时间,制造业成为饱受质疑和责难的产业,制造技术与技术含量低、经济效益低连上了姻缘。

其实这是一种误区。制造作为创造人类物质财富的源泉和推动人类社会发展的第一位支柱产业,对国家高技术产业的基础作用和国家安全的重要保障作用永远不会改变。即使

在高科技高度发达的先进国家,例如美国、日本,都把先进制造技术和制造业作为立国之本,从来没有放松对先进制造技术的研究和对知识产权的保护。特别是日本抓了汽车制造和微电子制造,使日本的汽车和家用电器占领了全世界的市场,成为世界制造强国和发达的经济强国。他们转移的只是制造产业链中附加值低的那一部分,也就是劳动密集型的部分。

科学、技术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(图 1.1.1),这些都是显而易见的基本原理。

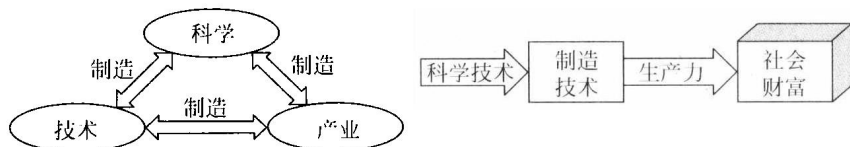


图 1.1.1 科学、技术和制造

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、组装制造、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(图 1.1.2)。

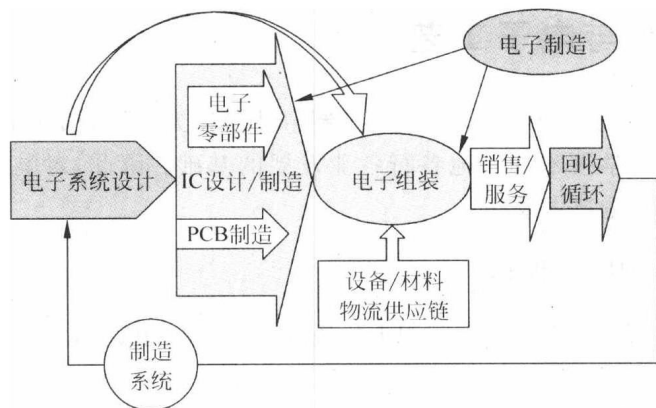


图 1.1.2 大制造观念示意图

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。

狭义的电子制造,是指电子产品从硅片开始到实际产品系统的物理实现过程,如图 1.1.3 所示,在讨论技术层面上的问题时,我们说电子制造通常指的就是狭义的电子制造概念。

在电子行业,习惯上把由单晶硅到成品 IC(非常复杂的工艺过程,经过几十道工序)的制造过程称为半导体制造(semiconductor manufacture)或微电子制造(micro-electronics manufacture),而把半导体以外的其他元器件制造称为电子零部件制造。

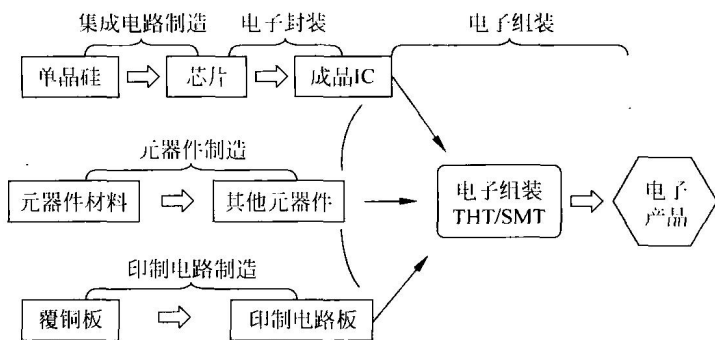


图 1.1.3 电子产品的物理实现过程

在半导体制造领域,也有人把整个电子产品的物理实现过程都称为电子封装(electronic packaging),有“0级”到“3级”甚至“4级”之分,但在整个电子制造行业和学术领域,这种多级封装的说法并没有得到认同,实际上,即使在半导体制造领域,通常电子封装也是专指裸芯片到成品IC的外封装技术,并不包括所谓“0级”封装的IC芯片的互连制造过程。另外,半导体领域以外的电子元器件及电路模块,同样存在一个封装的问题,但由于这些封装问题相比IC封装要简单得多,因而一般不单独作为一个研究领域。

3. 电子基础制造和组装制造

电子产品的物理实现过程,又可分为基础制造和组装制造(电子组装)两个大阶段。

(1) 基础制造包括作为电子信息技术核心的微电子制造(以半导体集成电路为代表、包括真空电子器件和半导体分立器件,又称为有源元件)、其他元器件(也称为无源元件)制造和印制电路板(PCB)制造。也有人把PCB归入电子元器件,但由于PCB在电子产品中的重要性 and 普遍性,习惯上在电子制造行业中把PCB单列为一个门类。

(2) 组装制造(电子组装)主要包括以印制电路板组装为代表的板卡级制造(PCB组件制造),以连接和功能结构为代表的整机装配,以及应用系统的组装。

实际上,系统级组装大部分不是在制造厂完成的,而是由应用系统集成机构根据用户需要在现场把需要的各种整机,通过接口和线缆等连接调试而组成实际应用系统,已经不属于传统的制造范畴。不过就电子技术总体而言,系统集成仍然属于电子组装制造。

在电子组装制造中,板卡级制造(PCB组件制造)是整机制造与系统集成的基础,也是保证整机与系统的性能和可靠性的关键。一般提到电子组装主要指的就是PCB组件从原材料接受检验开始、直到PCB组件测试检验出厂的整个过程。

值得注意的是,在我国尽管电子制造已经成为国民经济的支柱产业,已经有众多科技人员从事相关研究和实验,但是在学术教育领域,由于传统的惯性和认识的误区,目前尚未形成电子制造学科。有关电子工艺制造研究分散在机械制造、材料、微电子半导体、自动化等学科领域,既不利于资源的合理配置,也不利于电子工艺技术的提高。

1.1.2 工艺与现代工艺

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。下面通过一些简单比较和描述使大家更好地理解工艺。

(1) 工艺与经验 工艺与产品制造中劳动者的操作经验有关，但一般操作经验上升为工艺必须经过总结提高，使之条理化为可以保存、流传的相对固定的工艺文件。

(2) 工艺与诀窍 工艺与技术诀窍有关，但技术诀窍一般只是制造工艺中一个关键方法或步骤，而工艺更强调制造的全部方法和全过程。

(3) 工艺与规定 工艺与制造企业生产的法规、规定有关，但一般法规和规定“固化”含义较重，而工艺的“动态”和“不断优化”的含义更浓。企业组织规模化的科研生产，把许多人组织在一起，共同有计划地进行科研生产，需要设计、制定共同遵守的法规、规定，这种法规和规定往往是工艺的基础，不是工艺的全部。

(4) 工艺与方法 工艺与制造方法和过程的合理性有关，一般来说，工艺要求采用合理的手段、较低的成本完成产品制作，同时必须达到设计规定的性能和质量，其中成本包括施工时间、施工人员数量、工装设备投入、质量损失等多个方面。而合理、低成本等要求本身就是一个相对的概念。

(5) 工艺与工序 工艺与工序有关，但工序只是整个工艺流程中的一个步骤或过程，划分工序的依据是工作场地是否变化和工作是否连续，制定工艺则要考虑产品功能性能要求、制造成本、产品工期、质量保证等一系列问题。

(6) 工艺只有“更好”，没有“最好”。这是工艺的难题，也是其魅力。

2. 工艺是制造技术的核心

(1) 工艺是制造技术的灵魂、核心和关键

现代制造工艺技术是先进制造技术的重要组成部分，也是其最有活力的部分。产品从设计变为现实是必须通过加工才能完成的，工艺是设计和制造的桥梁，设计的可行性往往会受到工艺的制约，工艺(包括检测)往往会成为“瓶颈”。因此，工艺方法和水平对于产品制造至关重要。不是所有设计的产品都能加工出来，也不是所有设计的产品通过加工都能达到预定的技术性能要求。

(2) 工艺和设计是制造技术的两个基本要素

设计和工艺都是重要的，把设计和工艺对立和割裂，或者重设计轻工艺，是没有实际干过因而不懂制造的错误观念。人们往往看重产品设计师的作用，而未能正确评价工艺师的作用，这是当前影响制造技术发展的关键之一。在电子制造的核心，集成电路发展水平，就是用“工艺线”，即在半导体基片上所能制作的最小线条宽度来表示，现代集成电路在单元芯片上的电子元件数已超过 10^5 ，线宽小于 $0.1\mu\text{m}$ 。这些充分说明了制造技术问题的关键是在工艺上。

3. 工艺是生产中最活跃的因素

同样的设计可以通过不同的工艺方法来实现，工艺不同，所用的加工设备、工艺装备也