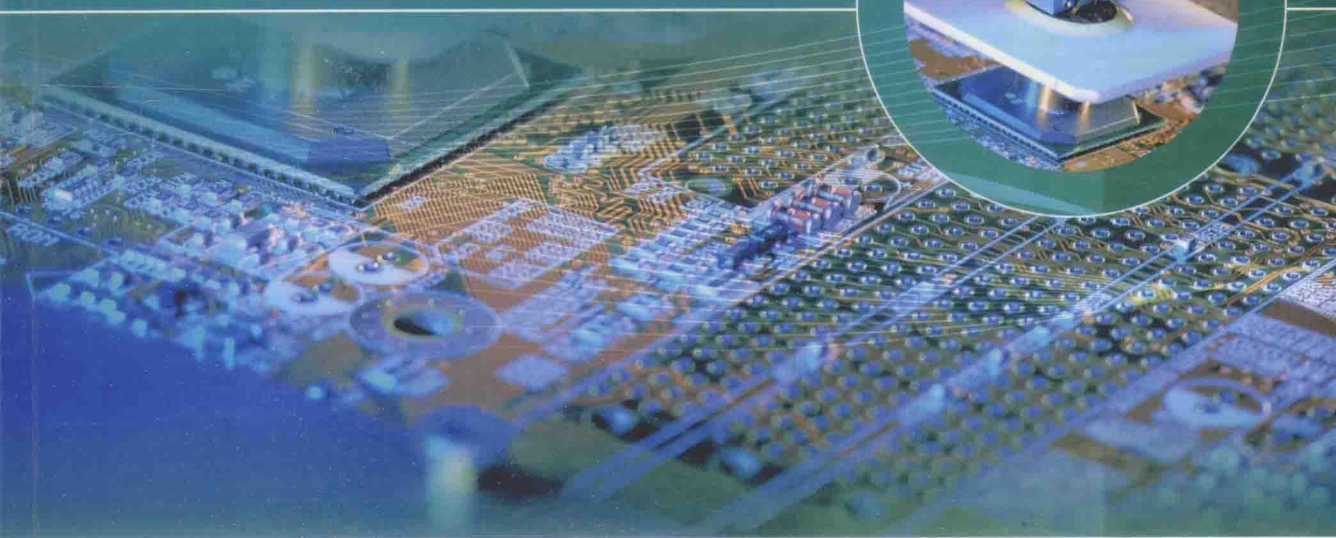
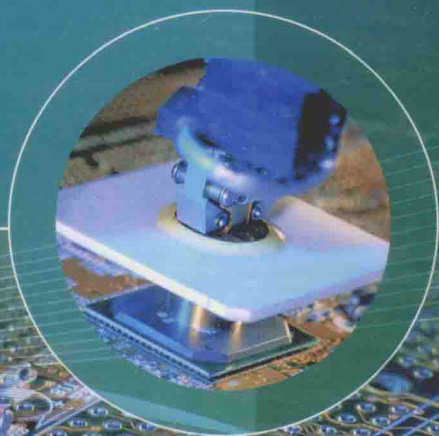


创新型人才培养“十三五”规划教材

微电子IC制造技术与技能实训

◆ 龙绪明 主编



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

创新型人才培养“十三五”规划教材

微电子 IC 制造技术与技能实训

龙绪明 主编



電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书首先介绍集成电路制造技术,包括 IC 工艺、晶圆制程、芯片制程、封装制程;其次论述微电子封装技术,包括引线键合式芯片叠层、硅通孔(TSV)芯片叠层、晶圆级芯片封装、载体叠层、MEMS(微电子机械系统)、板级立体组装;接着系统介绍实用表面组装技术(SMT),包括 PCB 设计仿真和检测、SMT 工艺、SMT 产品制造、SMT 微组装设备;最后论述微电子组装技术,包括 BGA、FC、MCM、PoP、光电子。

本书内容翔实,论述深入浅出,结合“微电子 IC 制造虚拟仿真培训平台”,配有大量实例和实训,各章均备有较多的习题。

本书可作为职业院校和高等院校的微电子技术相关专业的专科、本科和研究生的教材,也可作为电子制造工程师的参考书和电子企业教育培训的教材。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

微电子 IC 制造技术与技能实训 / 龙绪明主编. —北京:电子工业出版社, 2016.8

创新型人才培养“十三五”规划教材

ISBN 978-7-121-29709-0

I. ①微… II. ①龙… III. ①微电子元件-集成电路工艺-高等学校-教材 IV. ①TN405

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 196547 号

责任编辑:刘海艳

印 刷:三河市良远印务有限公司

装 订:三河市良远印务有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:18.75 字数:480 千字

版 次:2016 年 8 月第 1 版

印 次:2016 年 8 月第 1 次印刷

印 数:3 000 册

定 价:49.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: lhy@phei.com.cn。

序 言

国际电子制造技术正向微电子制造技术方向高速发展,已成为电子产品的核心技术。微电子制造技术包括集成电路制造技术、微电子组装技术和微电子封装技术,是集当今世界最先进科技成果于一体的综合性交叉性边缘学科,是庞大和复杂的系统工程和综合技术。微电子制造技术已成为电子产品的核心技术。因此,培养一大批满足科技和制造业发展需要的、掌握先进电子制造技术的、具有创新意识和实践能力的高素质专业人才已变得极为迫切。

微电子制造技术包括集成电路制造技术、微电子封装技术和微电子组装技术。微电子封装技术的基础是集成电路制造技术,重点发展方向是三维立体封装技术和微机电系统。微电子组装技术的基础是 SMT,实现了 IC 器件封装和板级电路组装这两个电路组装阶层之间技术上的融合,重点发展方向是器件封装与 SMT 自动化设备的紧密结合。

本书首先介绍集成电路制造技术,包括 IC 工艺、晶圆制程、芯片制程、封装制程;其次论述微电子封装技术,包括引线键合式芯片叠层、硅通孔(TSV)芯片叠层、晶圆级芯片封装、载体叠层、MEMS(微电子机械系统)、板级立体组装;接着系统介绍实用表面组装技术(SMT),包括 PCB 设计仿真和检测、SMT 工艺、SMT 产品制造、SMT 微组装设备;最后论述微电子组装技术,包括 BGA、FC、MCM、PoP、光电子。读者学习完本书希望能对现代微电子制造技术的产品设计、制造工艺及装备等相关理论、方法、技术和最新发展有一个全面而系统的认识。

本书内容翔实,论述深入浅出,结合“微电子 IC 制造虚拟仿真培训平台”,配有大量实例和实训,各章均备有较多的习题。本书可作为职业院校和高等院校的微电子技术相关专业的专科、本科和研究生的教材,也可作为电子制造工程师的参考书和电子企业教育培训的教材。

本书由西南交通大学龙绪明主编,参加编写的还有闰明、黄昊、顾晓清、李巍俊、詹明涛、董健腾、曹宏耀、崔晓璐、胡少华、吕文强、朱舜文、曾弛鹤、李文韬、龙震。全书由四川省电子协会 SMT 专委会审定。由于微电子制造技术发展迅速,加上编写资料有限,差错和不足之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

四川省电子协会 SMT 专委会
广东省电子协会 SMT 专委会
秘书长 苏曼波

2016 年 6 月

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 先进电子制造技术体系	1
1.2 微电子制造技术	3
1.3 微电子 IC 制造虚拟仿真培训平台	5
第 2 章 经典集成电路制造工艺	8
2.1 集成电路的类别和封装	8
2.1.1 集成电路的类别	8
2.1.2 集成电路的封装	10
2.2 经典 IC 制造工艺	17
2.2.1 硅外延平面晶体管工艺流程	17
2.2.2 TTL 晶体管工艺流程	19
2.2.3 MOS 晶体管工艺流程	20
2.2.4 LED 芯片制造	22
2.2.5 太阳能电池组件制造	26
2.3 经典 IC 制造工艺实训	28
习题	30
第 3 章 IC 晶圆制程	32
3.1 晶圆制造过程	32
3.2 直拉单晶工艺	32
3.3 单晶硅的加工	35
3.4 晶圆制造实训	38
习题	41
第 4 章 IC 芯片电路制造技术	43
4.1 IC 芯片电路制造方法比较	43
4.2 氧化扩散	49
4.2.1 二氧化硅膜	49
4.2.2 氧化工艺	50
4.2.3 扩散工艺	55
4.3 光刻	60
4.3.1 光刻基本原理	60
4.3.2 光刻工艺	62
4.3.3 曝光	67

4.4 薄膜气相沉积工艺	75
4.4.1 化学气相沉积	75
4.4.2 物理气相沉积	77
4.4.3 外延	81
4.5 金属化、平坦化和清洗	85
4.5.1 金属化	85
4.5.2 平坦化	86
4.5.3 化学湿法清洗 (RCA)	87
4.6 掩模版	89
4.6.1 计算机辅助制版设计 CAD	90
4.6.2 掩模版制造	93
4.7 IC 芯片制程实训	96
4.7.1 IC 芯片电路制造方法和芯片制程工艺流程	96
4.7.2 芯片制造设备	97
习题	101
第 5 章 IC 封装制程	106
5.1 电子封装分级	106
5.2 集成电路封装制程	107
5.2.1 晶圆减薄和切割 (划片) 技术	108
5.2.2 芯片的贴装与引线键合	114
5.2.3 IC 外壳封装	114
5.2.4 测试	118
5.2.5 物料转换	121
5.3 芯片的安装与互联技术	122
5.3.1 芯片键合技术	123
5.3.2 芯片贴装	135
5.4 IC 封装制程实训	140
5.4.1 IC 封装方法和工艺流程	140
5.4.2 IC 封装设备	142
习题	144
第 6 章 微电子封装技术	147
6.1 微电子封装类型	147
6.2 器件级三维立体封装技术	149
6.2.1 器件级封装类型	149
6.2.2 引线键合式叠层技术	152
6.2.3 穿透硅通孔 (TSV) 封装	157

6.2.4	晶圆级芯片封装	161
6.3	系统级立体封装技术	166
6.3.1	系统级立体封装	166
6.3.2	MEMS 微电子机械系统	171
6.4	微电子封装制程实训	179
6.4.1	器件三维叠层封装	179
6.4.2	系统立体封装技术	183
	习题	186
第 7 章	表面组装技术 (SMT)	188
7.1	印制电路板 (PCB) 设计	188
7.1.1	PCB 设计基本原则	188
7.1.2	PCB 设计实训	190
7.2	SMT 工艺	194
7.2.1	组装方式和工艺流程	194
7.2.2	SMT 工艺设计和产品制造	198
7.3	微组装 SMT 设备	204
7.3.1	丝印机	204
7.3.2	点胶机	210
7.3.3	贴片机	216
7.3.4	回流焊	232
7.3.5	AOI 检测技术	238
	习题	241
第 8 章	微电子组装技术	247
8.1	微组装技术的发展	247
8.2	BGA、CSP 制造和组装技术	248
8.2.1	BGA 制造技术	248
8.2.2	BGA 组装工艺	253
8.2.3	CSP 组装技术	255
8.3	倒装芯片 (FC) 技术	258
8.3.1	倒装芯片制造技术	258
8.3.2	倒装芯片组装技术	261
8.4	MCM 技术	265
8.4.1	MCM 的特点、类型和结构	265
8.4.2	MCM 制造技术	267
8.5	PoP 叠层封装	273
8.5.1	PoP 封装结构	273

8.5.2 堆叠封装 (PoP) 工艺	275
8.6 光电路组装技术	279
8.6.1 光电子组装的类型和阶层	279
8.6.2 光 SMT 器件封装基本结构和装配	281
8.7 微电子组装实训	283
8.7.1 微电子组装工艺	283
8.7.2 SMT 组装技术	288
习题	289
参考文献	291

第1章 概 论

中国电子信息产业规模连续多年保持 20% 左右增长率，自 2006 年起产业规模跃居世界第二，其中主要部分是由电子制造实现的。作为电子制造支柱的表面组装技术（Surface Mounting Technology, SMT）产业，已经具备雄厚的发展基础，到 2014 年年底中国拥有自动贴片机超过 120 000 台，拥有 SMT 生产线超过 30 000 条，保有量已位居世界前列。如今中国已成为世界电子制造的中心，全球 60% 电子制造产业在中国。

1.1 先进电子制造技术体系

1. 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、工程设计、加工装配、质量控制、销售运输直至售后服务的全过程。狭义的电子制造则是指电子产品从硅片开始到产品系统的物理实现过程。一个电子产品的制造过程大致如图 1.1 所示。图 1.1 中被椭圆形包含的部分被称为电子组装，而晶片的制造则被称为集成电路制造。

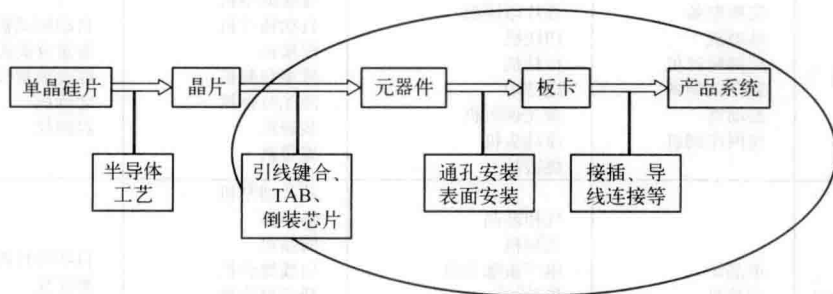


图 1.1 电子产品的制造过程

电子组装指的是从电路设计的完成开始，将裸芯片（Chip）、陶瓷、金属、有机物等物质制造（封装）成芯片、元件、板卡、电路板，最终组装成电子产品的整个过程。

集成电路制造指的是利用微细加工技术将各单元器件按一定的规律制作在一块微小的半导体片上进而形成半导体芯片的过程，也被称为半导体制造（Semiconductor Manufacturing）。

电子制造技术与众多的科学技术领域相关联，其中最主要的有应用物理学、化学工程、光学、电气电子工程学、机械工程、金属学、焊接、工程热力学、材料科学、微电子学、计算机科学、工业设计、人机工程学等。除此之外，还涉及数理统计学、运筹学、系统工程学、会计学等与企业管理有关的众多学科。这是一门综合性很强的技术学科。电子制造技术的技术信息分散在广阔的领域中，与其他学科的知识相互交叉、相辅相成，成为技术关键（Know How）密集的学科。所以，对电子工程技术人员的知识面、实践能力的要求比较高，应该是通常所说的复合型人才。



2. 电子制造工程

电子信息制造产业链是由原材料供应、研制、生产，直到最终产品的市场销售和服务等相继环节所构成的复杂链条，大致可分为以下几个层次环节：电子材料制造业→电子元器件制造业→集成电路制造业→电子最终产品制造业→电子服务业。电子制造技术体系如图 1.2 所示。

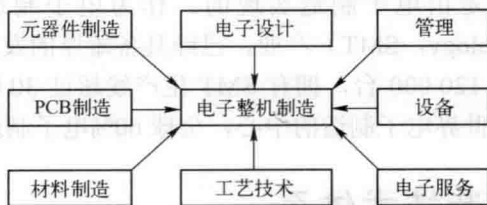


图 1.2 电子制造技术体系

电子制造工程从工艺和设备角度来看，具有一定的共性。本书将电子制造工程分为材料工程、基体工程、装配工程、测试工程，见表 1.1。目前我国已打破主要电子制造设备全部依赖进口的局面。

表 1.1 电子制造工程的关键设备

电子制造	材料工程	基体工程	装配工程	测试工程
电子元件制造	浆料制备 球磨机 超细粉碎机 黏合剂制备 振动筛 丝网印刷机	挤制设备 叠片印刷机 切块机 排粘机 烧结炉 激光调阻机 涂端头机 烧银炉	导线成型机 自动插片机 焊接机 模塑封装机 激光打标机 装袋机 编带机	自动测试机 容量分类机 综合测量仪 老炼机 温测仪
集成电路（IC）制造	单晶炉 划片机 研磨机 等离子清洗机	气相磊晶 光刻机 电子束曝光机 扩散炉 等离子体硅刻蚀 反应离子刻蚀 晶圆挂/喷镀设备 引线框架电镀线	芯片切割机 贴膜机 固晶机 引线键合机 载带键合机 倒装焊接键合机 平行封焊机 真空液晶灌注机 整平封口设备 激光打标机	自动探针测试 测厚仪 可焊性测试仪 老炼机
电子整机 SMT 制造	与电子元件制造中的材料工程相似	PCB 曝光机 贴膜机 热压机 PCB 钻孔机 电镀系统 热风整平机 裁板机	印刷机 自动插件机 贴片机 波峰焊 选择性波峰焊 再流焊（也叫回流焊） 通孔回流焊	ICT 飞针 ICT AOI 激光系统 AXI 测厚仪 可焊性测试仪
厚膜混合集成电路制造	与电子元件制造相似		采用 SMT 组装	同电子整机 SMT 制造的测试工程
微电子组装技术	与电子整机 SMT 制造相似		采用 SMT 组装	同电子整机 SMT 制造的测试工程
微电子封装技术	与集成电路制造相似		采用 SMT 和 IC 封装	同集成电路 IC 制造的测试工程





电子制造工程中的装配工程也可从电子封装技术专业角度来分类。封装技术(Packaging)就是如何将一个或多个晶片有效和可靠地封装和组装起来。电子封装可分为晶片级封装(零级封装)、器件封装(一级封装)、板卡组装(二级封装)和整机的组装(三级封装)。通常把零级和一级封装称为电子封装(技术),而把二级和三级封装称为电子组装(技术)。

1.2 微电子制造技术

国际电子制造技术正向微电子制造技术方向高速发展。微电子制造技术包括集成电路(IC)制造技术、微电子组装技术和微电子封装技术见图 1.3,是集当今世界最先进科技成果于一体的综合性交叉式边缘学科,是庞大和复杂的系统工程和综合技术。微电子制造技术在手机等电子产品中的应用如图 1.4 所示,已成为电子产品的核心技术。

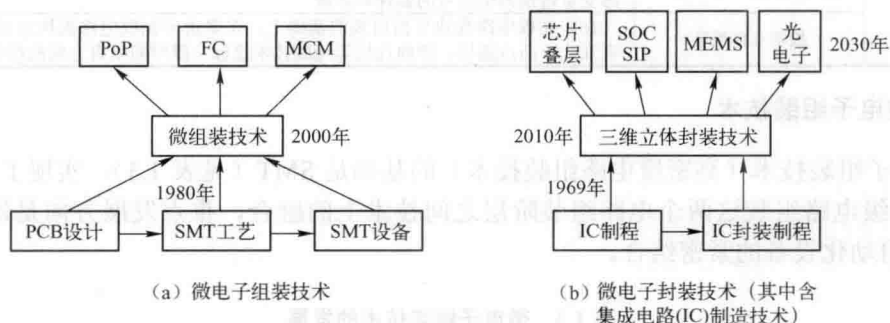


图 1.3 微电子制造技术

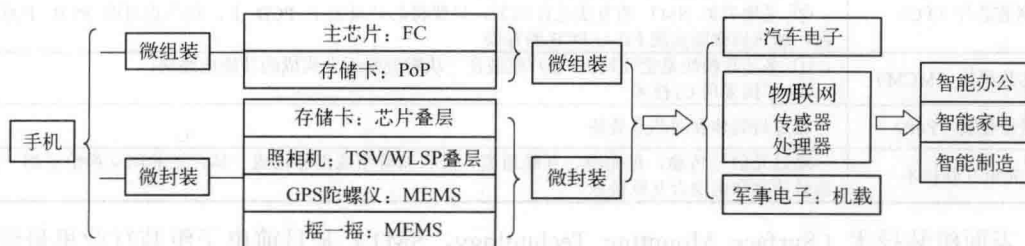


图 1.4 微电子制造技术在手机等中的应用

1. 集成电路(IC)制造技术

集成电路制程包括晶圆制程、芯片制程、封装制程。中国集成电路制造产业基础很弱,严重制约了中国从电子制造大国向电子制造强国的飞跃。国家“十二五”规划重点发展集成电路制造,新一届政府 2014 年 4 月推出了《集成电路发展纲要》,未来二三十年国家将大力发展集成电路制造产业。

2. 微电子封装技术

微电子封装技术的基础是集成电路制造技术,重点发展方向是三维立体封装技术和微



机电系统，见表 1.2。

表 1.2 微电子封装技术的发展

种 类	类 型	特 点
器件级三维封装技术	晶圆级三维封装	对尚未划分成芯片的晶圆进行层叠组装。在设计方面具有很高的灵活性，最适合高速电路
	芯片级三维封装	对已从晶圆上划分好的芯片进行层叠组装，比晶圆级三维组装方法更容易把不同功能的 LSI 堆叠起来。三维封装主要有叠层芯片封装、埋置型三维封装和有源基板型三维封装三种基本类型
	载体三维封装	层叠式薄片（树脂）封装。面向同一功能 LSI 的三维组装方法，主要应用于存储器芯片叠装，具有封装尺寸小、高密度、通过不同制造工艺芯片实现立体组合、互联线短、高可靠性等特点
系统级立体封装技术	系统级芯片（SOC）	在单一的芯片上实现电子整机系统的功能，将数字、模拟及射频（RF）功能整合到单一硅片上，并为各种工艺技术优化，此类功能难度很大
	系统级封装（SIP）	通过封装来实现整机系统功能
	微机电系统（MEMS）	采用微电子和微机械加工技术制造出来的、特征尺寸至微米/纳米级、具有将感受量转换为电信号的器件和系统
	板级立体组装	在印制板电路模块平面组装的基础上，在多块印制板电路模块之间，采用垂直互联、凸点连接、侧向连接等互联技术进行三维空间垂直方向的组装

3. 微电子组装技术

微电子组装技术（高密度电路组装技术）的基础是 SMT（见表 1.3），实现了 IC 器件封装和板级电路组装这两个电路组装阶层之间技术上的融合，重点发展方向是器件封装与 SMT 自动化设备的紧密结合。

表 1.3 微电子组装技术的发展

类 型	特 点
倒装芯片（FC）	① 高密度组装，不需要键合引脚和封装。 ② 采用类似 SMT 的方法进行加工。只要将芯片反置于 PCB 上，使凸点对准 PCB 上的焊盘，加热后就能实现 FC 与 PCB 的互联
多芯片模块（MCM）	① 多芯片模块是把几块 IC 芯片组装在一块陶瓷基板上构成的功能电路块； ② 焊接采用 C ₄ 技术
封装叠装（PoP）	通过封装体表面凸点叠装
光电互联技术	通过光信号传输，把光源、互联通道、接收器等组成部分连成一体，彼此间交换信息的一种高效的光和电混合互联技术

表面组装技术（Surface Mounting Technology, SMT）是目前电子组装行业里最流行的一种技术和工艺。表面组装技术是一种无须在印制板上钻插装孔，直接将表面组装元器件贴焊到印制电路板表面规定位置上的电路装联技术。SMT 表面组装技术向着敏捷、柔性、集成、智能、环保的方向发展。SMT 设备已打破国外垄断，国产品牌见表 1.4。

表 1.4 国产 SMT 设备品牌

设备名称	波峰焊和再流焊	印刷机	贴片机	AOI	AXI	点胶机	插件机	SPI	返修站
国产品牌	日东、劲拓、安达、和西	凯格、德森、日东	泰姆瑞、路远、木几、腾世	神州、振华兴	日联	安达、腾盛	新泽谷、凯泰	思泰克、劲拓	卓茂、福斯托
市场占有率	60%	50%	5%	60%	40%	30%	40%	50%	70%





1.3 微电子 IC 制造虚拟仿真培训平台

微电子制造技术是一项集当今世界最先进科技成果于一体的综合性交叉式边缘学科。因此,培养一大批满足科技和制造业发展需要的、掌握先进电子制造技术的、具有创新意识和实践能力的高素质职业人才已变得极为迫切。但受高校职校条件所限,实验装备差,微电子制造设备投资大,学生不可能进行较高水平的实训,形成电子制造技术教学的困境。

“微电子 IC 制造虚拟仿真培训平台”将学生培训与考试、教师教学与管理有机集成到一个平台上,将 IC 工艺、集成电路 IC 制程(晶圆、芯片、封装)、SMT 技术、微电子组装技术(BGA、PoP、FC、MCM、光电子)、微电子封装技术(器件三维叠层、系统立体封装)和考评系统集成,提供一个全新的教学平台,可应用于技术员、助理工程师、工程师、高级工程师 4 个级别的培训与考试,彻底解决了当今中国微电子组(封)装技术的教学困境。

1. 培训系统

微电子 IC 制造技术虚拟培训平台的界面如图 1.5 所示,可进行技术员、助理工程师、工程师、高级工程师 4 个级别的培训。培训系统包括 IC 工艺、集成电路 IC 制程(晶圆、芯片、封装)、SMT 技术、微电子组装技术(BGA、PoP、FC、MCM、光电子)、微电子封装技术(器件三维叠层、系统立体封装),构建微电子虚拟制造工厂,提供一个全新的教学平台,填补国内微电子虚拟制造技术方面的空白。



图 1.5 培训系统界面

2. 考试系统

考试分专业理论知识和实际操作两部分,在微电子 IC 制造技术虚拟培训平台上完成。专业理论知识考试着重考查考生微电子制造的基础知识能力、综合运用能力以及解决问题的能力。实际操作考试着重考查考生微电子制造实践动手能力。专业理论知识选择题 30 题,共 30 分。实际操作 9 题,共 90 分。专业理论知识题直接在试卷上输入答





案；实践技能题单击进入相应培训模块，按题目要求完成操作；全部题目完成后必须返回主界面，单击“完成提交”按钮，系统自动批卷。

3. 教学与管理系统

- ① 学员管理：按规定格式的文本，可自动输入学生姓名和学号。
- ② 微电子技术课程考试、设备实训和资格认证考试管理，系统自动出题、批卷和统分，支持教师对理论考题进行修改，如图 1.6 所示。



图 1.6 教师系统界面

课程考试出题根据级别（高级工程师、工程师、助理工程师和技术员）和平均分（考试的难易程度，平均分越高越容易，越低越难）。设备实训出题用于课堂练习。根据设备自动生成两道实训题。

- ③ 微电子理论与实验电子教程。
- ④ 微电子教学碎片化资源和视频。
- ⑤ 教学培训大纲见表 1.5。

表 1.5 教学培训大纲

章 节		重点要求	技术员	助理 工程师	工程师	高级 工程师
第 1 章 集成电路 经典工艺	理论	① 集成电路的类别和封装 ② 三极管工艺：TTL、MOS、Bi-CMOS ③ 二极管工艺：LED、阳能电池	4	4	6	6
	实训	实验 1：TTL 工艺流程、CMOS 工艺流程 实验 2：LED 制作方法和 LED 制造工艺流程	2	2	2	2
第 2 章 晶圆制程	理论	① 晶圆制造工艺 ② 晶圆制造设备技术原理	2	2	2	2
	实训	实验 3：常用晶圆制造工艺方法 实验 4：单晶炉参数设置和设备操作 实验 5：划片机参数设置、设备操作和质量控制 实验 6：抛光机参数设置和设备操作	2	2	2	2



续表

章 节	重点要求	技术员	助理工程师	工程师	高级工程师
第3章 芯片制程	理论 ① 芯片制造工艺 ② 芯片制造设备技术原理	4	6	8	10
	实训 实验 7: 芯片电路制造方法和工艺选择 实验 8: 热氧化炉参数设置、设备操作和质量检验 实验 9: 扩散炉参数设置、设备操作和质量控制 实验 10: 离子注入机设备操作 实验 11: 等离子化学沉积机设备操作 实验 12: 外延炉参数设置和设备操作 实验 13: 电子束蒸发参数设置和设备操作 实验 14: 涂胶机和前烘炉设备操作 实验 15: 光学曝光机参数设置、设备操作和质量控制, 极紫外光刻机设备操作 实验 16: 离子刻蚀机设备操作	4	6	8	8
第4章 封装制程	理论 ① IC 封装工艺 ② IC 封装设备技术原理	2	4	6	8
	实训 实验 17: IC 封装制造方法和工艺选择 实验 18: 激光切割机参数设置和设备操作 实验 19: 粘晶机参数设置和设备操作 实验 20: 金丝球焊机参数设置和设备操作 实验 21: 倒装焊接机参数设置和设备操作 实验 22: 粘贴焊接机参数设置和设备操作 实验 23: 封胶机参数设置和设备操作	2	4	6	6
第5章 微电子 封装技术	理论 ① 器件三维叠层封装技术 ② 系统立体封装技术	2	4	6	8
	实训 实验 24: 引线键合式芯片叠层工艺操作 实验 25: 引线叠层的减薄切片、贴装键合和塑封植球的设备操作 实验 26: 硅通孔 (TSV) 芯片叠层工艺操作 实验 27: TSV 叠层的打孔和键合工艺选择 实验 28: 晶圆级芯片叠层和手机相机的工艺操作 实验 29: MEMS 微电子机械系统工艺选择 实验 30: 手机传感器 MEMS 工艺操作	2	4	6	6
第6章 SMT 技术	理论 ① PCB 设计 ② SMT 组装工艺 ③ SMT 组装设备技术原理	6	8	10	12
	实训 实验 31: PCB 设计可制造性可视化检测 实验 32: SMT 工艺设计和管理 实验 33: SMT 产品制造 (生产准备、生产操作、生产故障处理和产品质量分析) 实验 34: MPM 丝印机程序编程和设备操作 实验 35: GKG 丝印机程序编程和设备操作 实验 36: Yamaha 贴片机程序编程和设备操作 实验 37: Fuji 贴片机程序编程和设备操作 实验 38: 点胶机程序编程 (HDF) 和设备操作 实验 39: Heller 回流炉程序编程和设备操作 实验 40: JLT 回流炉程序编程和设备操作 实验 41: AOI 程序编程 (Aleader) 和设备操作	8	10	12	12
第7章 微电子 组装技术	理论 ① 微组装技术 ② 微组装设备技术原理	2	4	6	6
	实训 实验 42: BGA 芯片制造和基板制造工艺操作 实验 43: BGA 组装工艺参数设置 实验 44: PoP 组装工艺操作 实验 45: C4 倒装片 (FC) 组装工艺参数设置 实验 46: MCM C ₄ 组装工艺操作	2	4	6	8
学时数 (h)		44	64	80	96
考试要求: 理论 30%, 实训 70%		理论 22 实训 22	理论 32 实训 32	理论 38 实训 42	理论 52 实训 44



第2章 经典集成电路制造工艺

集成电路(IC)是利用半导体工艺或厚膜、薄膜工艺,将电阻、电容、二极管、双极型三极管、场效应晶体管等元器件按照设计要求连接起来,制作在同一硅片上,成为具有特定功能的电路。集成电路制造可分成芯片的制造和芯片的封装及测试前后两道工序。

2.1 集成电路的类别和封装

2.1.1 集成电路的类别

对集成电路分类,是一个很复杂的问题,分类方法有很多种:按制造工艺分类、按基本单元核心器件分类、按集成度分类、按电气功能分类、按应用环境条件分类、按通用或专用的程度分类等。

1. 集成电路的分类

(1) 按照制造工艺分类

① 半导体集成电路:用平面工艺(氧化、光刻、扩散、外延工艺)在半导体晶片上制成的电路,一般所说的集成电路就是指半导体集成电路。

② 混合集成电路:包括薄膜集成电路和厚膜集成电路。用厚膜工艺(真空蒸发、溅射)或薄膜工艺(丝网印刷、烧结)将电阻、电容等无源元件连接制作在同一片绝缘衬底上,再焊接上晶体管管芯,使其具有特定的功能,叫作厚膜或薄膜集成电路。如果再连接上单片集成电路,则称为混合集成电路。

(2) 按照基本单元核心器件分类

按照基本单元核心器件的分类,分为双极型集成电路、MOS型集成电路、双极-MOS型(BIMOS)集成电路。

(3) 按照集成度分类

按照集成分类,分为小规模、中规模、大规模、超大规模。

(4) 按照通用或专用的程度分类

按照通用或专用的程度分类,分为通用型、半专用、专用等几个类型。

(5) 按照应用环境条件分类

按照应用环境条件分类,分为军用级集成电路、商业级集成电路、工业级集成电路。一般来说,对于相同功能的集成电路,工业级芯片的单价是商业级芯片单价的两倍以上,而军用级芯片的单价则可能达到商业级芯片单价的4~10倍。

(6) 按照电气功能分类

按照电气功能分类,一般可以把集成电路分成数字集成电路和模拟集成电路两大类,



见表 2.1。这种分类方法可以算是一种传统的方法。由于近年来的技术进步，新的集成电路层出不穷，已经有越来越多的品种难以简单地照此归类。

表 2.1 半导体集成电路的分类

数字集成电路	逻辑电路	门电路、触发器、计数器、加法器、延时器、锁存器等
		算术逻辑单元、编码器、译码器、脉冲发生器、多谐振荡器
		可编程逻辑器件（PAL、GAL、FPGA、ISP）
		特殊数字电路
	微处理器	通用微处理器、单片机电路
		数字信号处理器（DSP）
		通用/专用支持电路
		特殊微处理器
	存储器	动态/静态 RAM
		ROM、PROM、EPROM、E ₂ PROM
		特殊存储器件
		缓冲器、驱动器
模拟集成电路	接口电路	ADC、DAC、电平转换器
		模拟开关、模拟多路器、数字多路/选择器
		采样/保持电路
		特殊接口电路
	光电器件	光电传输器件
		光发送/接收器件
		光电耦合器、光电开关
		特殊光电器件
	音频/视频电路	音频放大器、音频/射频信号处理器
		视频电路、电视机电路
		音频/视频数字处理电路
		特殊音频/视频电路
	线性电路	线性放大器、模拟信号处理器
		运算放大器、电压比较器、乘法器
		电压调整器、基准电压电路
		特殊线性电路

2. 集成电路的型号与命名

近年来，集成电路的发展十分迅速，使具有各种性能的通用、专用集成电路大量涌现，类别之广、型号之多令人眼花缭乱。国外各大公司生产的集成电路在推出时已经自成系列，但除了表示公司标志的电路型号字头有所不同以外，一般来说在数字序号上基本是一致的。大部分数字序号相同的器件，功能差别不大而可以代换。因此，在使用国

