

主 编 张 伟
副主编 金翠红 孔 辉 秦海波 余文莎
主 审 黄扬帆

重慶大學出版社

前言

随着电子工业的飞速发展,其电子产品的生产技术日新月异,生产工艺更新换代周期越来越短,如电子管、晶体管、印制电路、集成电路、SMT 技术等,这些从实践中创造出来的电子技术及工艺,将电子工艺实习课程不断推向新的高度,成为高校工程训练与实践教学的重要组成部分。电子技术本身是一门实践性非常强的学科,而“电子工艺实习”作为工科类高校学生必修的实践教学课程,也是电子技术课的后续课程,可以看作电子技术课程的延伸和补充。该课程以学生自己动手亲自制作几个实验电子产品为教学特色,让学生在制作过程中掌握基本工艺知识,了解先进制造技术,以提高学生实践能力和创新精神为最终教学目的。

重庆大学电子工艺实习课程开设始于 20 世纪 80 年代,到现在经过许多优秀教师的辛勤耕耘,积累了丰富的教学经验,传承下来了许多图文并茂的教学资料,但遗憾的是我们一直没有正式编写一本关于电子工艺实习的教材。在学校工程培训中心任亨斌主任的精心策划和大力支持下,工程培训中心组织了多位长期从事电子工艺实训的教师,经过近一年多的辛勤努力,整理和完善了旧的教学资料,添加和充实了新的技术和工艺知识,在教材内容和知识点上,力求做到推陈出新,本书重点放在培养工程意识、增强工程观念,编写时注重电子工艺基础知识的介绍,强调现代电子工艺新方法、新工艺的贯通,这样既丰富了内容,又增强了实用性。

本书共分为 6 章,第 1 章介绍了电子技术工艺的发展概况,以及电子工艺实习内容和安全操作常识;第 2 章介绍了常用元器件的基础知识,让学生在制作电子产品时具有选用元器件的能力;第 3 章介绍了印制电路板的设计方法和制作工艺;第 4 章介绍了电子工艺实习课程中经常需要应用到的工具和仪器,让学生能正确认识和掌握工具的使用方法;第 5 章重点介绍了手工焊接工艺和操作要领,同时介绍了工业上广泛使用的表面贴装技术(SMT)的知识和工艺特点;第 6 章通过多个综合实训项目的介绍,让学生经历从认识电路的组成开始,到选用电子元器件,再到安装、调试电子产品的全过程。

本书由张伟担任主编,由金翠红、孔辉、秦海波、余文莎担任副主编。全书由张伟、金翠红负责统稿和定编。第1章由张伟编写,第2、3章由秦海波编写,第4、5章由余文莎编写,第6章由金翠红、孔辉编写。吕文兵参与了书中图片及视频资料的编辑整理,李祥宏参与了2、3章的资料收集和整理,杨启帆参与了4、5、6章的资料收集和整理。

在本书的编写过程中,得到了重庆大学通信学院黄扬帆教授的精心指导并审稿。本书引用和参考了许多网络资源,有部分资料找不到出处,在此一并感谢原作者对教育工作的支持。

由于时间仓促,加之编写水平有限,书中错误和不足之处在所难免,恳请广大读者提出宝贵意见,以便今后改进。

编 者

2018年3月

目录

第1章 电子工艺实习概论	1
1.1 电子制造工艺的基本概念	1
1.2 电子工艺技术发展概述	2
1.3 电子工艺实习内容	3
1.3.1 基础训练	3
1.3.2 综合训练	3
1.3.3 创新实践训练	5
1.4 用电安全常识	6
1.4.1 触电形式	6
1.4.2 接地和接零保护	6
1.4.3 漏电保护开关	6
1.4.4 用电的安全操作和注意事项	7
第2章 电子元器件	8
2.1 概述	8
2.2 电阻	9
2.2.1 电阻的分类	10
2.2.2 电阻的主要参数	11
2.2.3 电阻标注	11
2.2.4 电阻的选用	13
2.2.5 电阻的检测	13
2.3 电位器	14
2.3.1 常用电位器分类	14

2.3.2	电位器参数	15
2.3.3	电位器型号	15
2.3.4	电位器选用原则	16
2.3.5	电位器的检测	17
2.4	电容器	17
2.4.1	电容器的种类	17
2.4.2	常见电容器	18
2.4.3	电容器的主要参数	18
2.4.4	电容器的命名	19
2.4.5	电容器的标注	19
2.4.6	电容器的选用	20
2.4.7	电容器的检测	21
2.5	电感器	21
2.5.1	电感器的分类	22
2.5.2	几种常见的电感器	22
2.5.3	电感器的主要参数	22
2.5.4	电感器的标注	23
2.5.5	电感器的检测	24
2.5.6	电感线圈使用注意事项	24
2.6	变压器	25
2.6.1	变压器的种类	25
2.6.2	变压器的型号规格	25
2.6.3	变压器的主要参数	26
2.6.4	变压器的检测	27
2.7	半导体分立器件	28
2.7.1	半导体分立器件的分类	28
2.7.2	半导体分立器件的命名	28
2.7.3	晶体二极管	28
2.7.4	晶体三极管	31
2.8	集成电路	33
2.8.1	集成电路的分类	33
2.8.2	集成电路的封装	35
2.8.3	集成电路命名	35
2.8.4	集成电路检测注意事项	35

2.9	话筒和扬声器	36
2.9.1	话筒	36
2.9.2	扬声器	37
2.10	开关	38
2.10.1	开关的种类和结构	38
2.10.2	开关的好坏判别和检修	38
2.11	表面安装元件	39
2.11.1	贴片电阻	39
2.11.2	贴片电容	41
2.11.3	其他贴片元器件	43
第3章	印制电路板	44
3.1	概述	44
3.2	印制电路板的基础知识	45
3.2.1	印制电路板的结构	45
3.2.2	印制电路板的种类	45
3.2.3	覆铜板	46
3.3	印制电路板的设计	47
3.3.1	印制电路板设计的基本概念	48
3.3.2	焊盘及印刷导线的设计	50
3.3.3	PCB 版面设计	53
3.3.4	印制电路板图的绘制	58
3.4	印制电路板的制造工艺	61
3.4.1	制造工艺简介	61
3.4.2	生产工艺流程	62
3.4.3	印制电路板的检验	64
3.5	实验室印制板制作	66
3.5.1	热转印工艺	66
3.5.2	热转印设备及耗材	66
3.5.3	热转印制板工艺流程	67
第4章	常用工具与仪器仪表	70
4.1	常用电工工具	70
4.2	常用仪器仪表	72

4.2.1	指针式万用表	72
4.2.2	数字万用表	76
4.2.3	频谱仪	80
4.2.4	通用计数器	81
4.2.5	DDS 合成标准信号发生器	82
4.2.6	示波器	83
4.2.7	函数/任意波形发生器	84
第5章 焊接工艺		85
5.1	焊接基础知识	85
5.2	手工焊接工具及材料	88
5.2.1	焊接工具	88
5.2.2	烙铁头的形状与修整	91
5.2.3	焊料	95
5.2.4	助焊剂与阻焊剂	96
5.3	手工焊接步骤	98
5.3.1	手工焊接的注意事项	98
5.3.2	手工焊接操作的基本步骤	99
5.3.3	手工焊接操作的具体手法	101
5.3.4	焊点质量及检查	103
5.4	SMT 表面贴装技术	106
5.4.1	SMT 基本工艺	107
5.4.2	SMT 组装方式	108
5.4.3	SMT 设备	109
5.4.4	贴片元器件(SMC/SMD)	110
5.4.5	SMT 工艺材料	113
5.4.6	SMT 检测与返修	114
5.5	现代电子产品的焊接技术	116
5.5.1	浸焊技术	116
5.5.2	波峰焊技术	117
5.5.3	回流焊技术	119
5.5.4	其他焊接技术	120

第6章 综合实训案例	121
6.1 超外差调幅调频收音机	121
6.1.1 超外差式收音机	121
6.1.2 调幅收音机组成框图及各部分作用	122
6.1.3 调频收音机组成框图及各部分作用	124
6.1.4 超外差式收音机工作原理	127
6.1.5 收音机的安装	129
6.1.6 超外差收音机常见故障及维修	131
6.1.7 超外差收音机的检测与调试	132
6.2 有源音箱	138
6.2.1 部件清单	138
6.2.2 有源音箱工作原理	140
6.2.3 元件插装与焊接	141
6.2.4 有源音箱的故障分析与调试	146
6.3 硬件流水灯	147
6.3.1 部件清单	147
6.3.2 硬件流水灯工作原理	148
6.3.3 软件仿真	151
6.3.4 硬件流水灯的焊接与调试	151
6.4 抢答器	153
6.4.1 部件清单	154
6.4.2 抢答器工作原理	154
6.4.3 软件仿真	160
6.4.4 抢答器的安装与调试	161
6.5 智能小车	161
6.5.1 STM32 简介	161
6.5.2 STM32 最小系统	162
6.5.3 传感器模块及电机驱动模块	164
6.5.4 控制电机简介	166
6.5.5 工程模板建立	167
6.5.6 智能小车实训项目	169
附录	176
附录1 SA1000 系列频谱分析仪	176

附录 2	EE3386 系列通用计数器	180
附录 3	EE1462 系列 DDS 合成标准信号发生器	184
附录 4	SDS1000A 系列示波器	185
附录 5	SDG1062 系列函数/任意波形发生器	187
	参考文献	189

第 1 章

电子工艺实习概论

本章摘要:自 20 世纪 90 年代以来,我国的电子信息产业高速发展,中国已经成为电子产品生产大国,并正向着电子产品制造强国迈进。拆开任意一款手机、电脑等电子产品,可以看到许许多多的电子元器件,那么,电子产品是怎样制造出来的?如何把各种元器件连接起来实现各种电路功能的?电子工艺实习课就是要回答这些问题。本章首先介绍电子工艺技术的发展历程,再让学生了解电子工艺实习课程的内容安排,最后阐述一下实习中的用电安全。

知识点:

- ①熟悉电子工艺技术的发展历程。
- ②让学生了解电子工艺实习课课程内容构成。
- ③电子工艺实习中做到安全操作。

学习目标:

了解电子产品的制造体系构成,了解电子工艺实习对培养学生工程素养的重要意义。

1.1 电子制造工艺的基本概念

工艺和制造是同步发展的一种生产应用技术。工艺即是制造产品的方法和流程。电子工艺是电子制造技术的核心,拆开任意一款电子产品,都能看到许多大小不同、形状各异的电子元器件以及印制电路板(简称 PCB 板),还有把它们连接起来实现各种产品功能的组装技术,这里面包含了许许多多的电子制造工艺。一般来讲,一个电子产品的制造大致包括以下环节:电子产品的市场分析,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,市场营销和售后服务等,其中电子制造工艺技术贯穿了从电子产品的设计到制造的全过程,如图 1.1 所示。它包括两个部分:基础电子制造工艺、电子产品制造工艺。基础

电子制造工艺又包括以半导体集成电路为代表的微电子制造工艺、无源元件制造工艺及印制电路板制造工艺。电子产品制造工艺(电子组装工艺)又包括印制电路板组件(PCBA)制造工艺、其他电子零部件制造工艺、整机组装工艺等。



图 1.1 电子产品的制造体系

1.2 电子工艺技术发展概述

19 世纪末,电报、电话的发明及应用开创了电子产品的先河,而印制电路板技术的逐渐完善和广泛应用,产生了工业生产意义上的电子组装技术。从 20 世纪初到现在大致经过了 4 代电子制造工艺技术的发展历程(表 1.1):电子管时代(以电子管收音机为代表的手工装联焊接技术)、晶体管时代(以电视机为代表的通孔插装技术 THT,伴随着单双面 PCB 的大批量生产)、集成电路时代(以电脑、数码产品为代表的表面组装技术 SMT,伴随着多层 PCB 的大批量生产)、超大规模集成电路时代(以 MEMS 为代表的微组装技术 MPT 的应用)。

表 1.1 电子工艺技术的发展历程

年 代	1950 年以前(第一代)	1950—1970 年(第二代)	1970—1990 年(第三代)	1990 年以后(第四代)
组装技术	手工装联焊接	通孔插装技术(THT)	表面组装技术(SMT)	微组装技术(MPT)
电子元器件 及特点	电子管,长引线大型电阻(电容、电感)	晶体管,中小规模 IC	大规模、微型封装 IC,片式电阻(电容、电感)	超大规模 IC,复合元件模块、三维载体
电路基板	金属底盘连接端子加导线	单、双面印制电路板	多层高密度板、陶瓷基板、挠性板等	陶瓷多层印制板、元件基板复合化
工艺特点	捆扎导线、手工电烙铁焊接	手工/机器插装、浸焊/波峰焊	两面表面贴装、再流焊、3D 封装/组装	多层、高密度、立体化、系统化组装
典型产品 实例	电子管收音机、电子管电视机	晶体管收音机、晶体管电视机	手机、电脑、数码产品、汽车电子	智能传感器、微型机器人等
制造模式	手工操作,产量低,价格高,品种少	机器制造,产量高,品种增加	自动化、规模化生产,产量大,品种多	自动化、规模化生产,应用范围和领域不断扩展

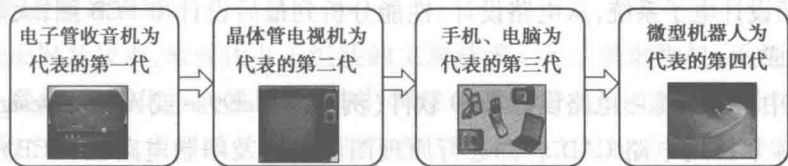


图 1.2 四代电子产品中的典型实例

电子制造工艺技术处于电子制造产业链的中间环节,对整个产业的发展具有承上启下的关键作用,先进电子组装技术的发展和运用,在一个国家的电子工业和信息化产业发展中又起到非常重要的作用。

1.3 电子工艺实习内容

电子工艺实习是一门重要的基础实践课程,是大学生工程训练的基础环节之一,为理工科类学生今后的课程设计、毕业设计准备必要工艺知识和操作技能。教学的基本目标是让学生了解电子产品制造工艺过程,同时培养学生的工程素养和工程实践能力。

电子工艺实习一般分为以下三个层次的训练:

1.3.1 基础训练

(1) 常用电子工具与仪器仪表的使用训练

让学生熟练掌握尖嘴钳、螺丝刀、斜口钳、剥线钳、镊子、电烙铁等常用电工工具的正确使用方法。熟悉万用表、示波器、频率调幅信号发生器等常用的仪器仪表的使用。

(2) 电子元器件的识别和测试训练

电阻、电容等是电子产品的基础元器件,它们的识别和测试是电子工艺实习教学内容的重要环节。让学生了解和识别有源元件和无源元件、插装元件与贴片元件等常用的电子元器件。

(3) 以手工电烙铁焊接技术为基础的组装训练

手工电烙铁焊接是电子组装的基础,将电子元器件既牢固又美观地焊接在 PCB 上是电子工艺实训的重点训练项目,它是理工科类学生必须具备的实践能力。实习产品的制作绝大部分是通过手工焊接完成的,掌握手工焊接技术,对今后工作中的技术改造、科研项目的完成等都大有益处。因此,实训学生必须学会而且要掌握手工焊接这门实用技术。

1.3.2 综合训练

(1) EDA(电子设计自动化)实训

EDA 技术是指以计算机为工作平台,融合了应用电子技术、计算机技术、信息处理及智能化技术的最新成果,进行电子产品的自动化设计。利用 EDA 工具,电子设计者可以从概念、算

法、协议等开始设计电子系统,从电路设计、性能分析到最后设计出 PCB 图,大量工作可以通过计算机来完成。

实习过程中让学生练习电路设计 CAD 软件(例如:Protel99se 或 Altium Designer)的使用方法和技巧,熟练掌握用电路 CAD 软件进行原理图的设计及印制电路板(PCB)的设计,学会 PCB 手动布线和自动化布线的简单技巧。

(2)PCB 的制作与 SMT 组装技术的训练

国内用于高校教学训练的 PCB 制作工艺,目前大致有两种方法:一种是化学腐蚀法(图 1.3),另一种是物理雕刻法(图 1.4)。化学腐蚀法制作是 PCB 制作的主流方式,它的工艺流程复杂,一般要经过 PCB 下料、钻孔、线路图形转移、化学蚀刻、清洗、丝印字符、外形铣削、检验等工艺过程。物理雕刻法是通过数控雕刻机来实现的,PCB 图形经 CAD 设计后生成雕刻机加工数据,雕刻机把 PCB 的线路、通孔等通过切削加工方式一次性加工出来。物理雕刻法制作周期短,但不适合大批量生产,一般仅适合科研教学单位的单件或者小批量的试制。

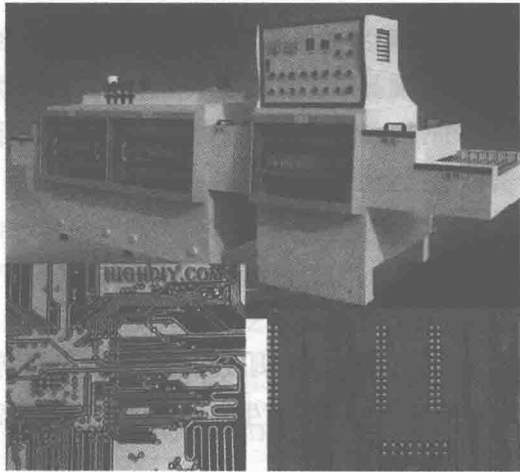


图 1.3 化学蚀刻法专用设备及 PCB 产品

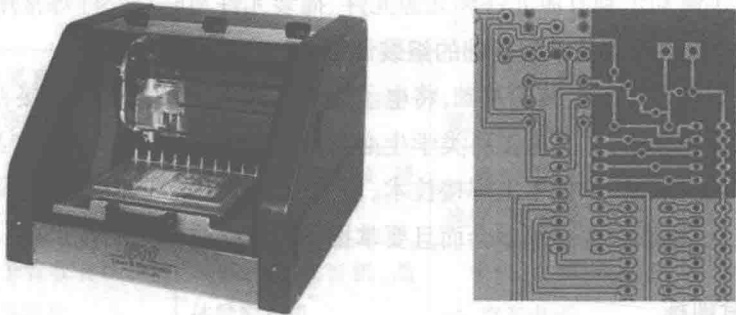


图 1.4 PCB 雕刻机及雕刻样品

(3) SMT 组装技术训练

SMT 即表面贴装技术,是现代电子组装的主流技术。无论是电视机、手机还是各种数码产品都朝着小型化、轻便化方向发展,这其中 SMT 技术起着关键性作用。让学生了解、认识 SMT 技术,并将 SMT 引入实习教学,比较 SMT 与 THT 技术之间的区别(表 1.2 和图 1.5),对于启迪学生的创新思维是非常重要的。

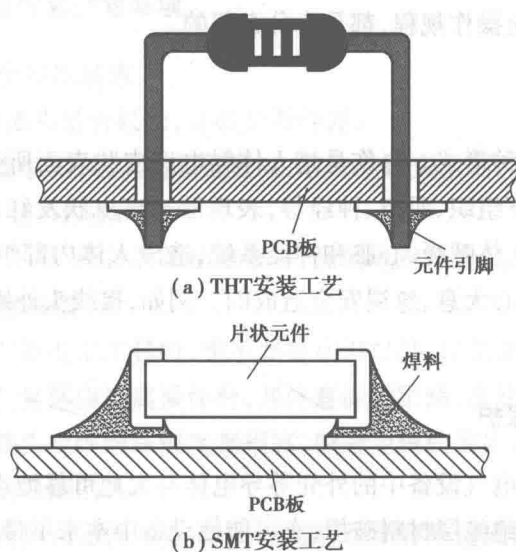


图 1.5 通孔安装工艺与贴片安装工艺比较

表 1.2 通孔安装工艺与贴片安装工艺对照表

技术名称	时 期	技术缩写	代表元器件	安装基板	安装方法	焊接技术
通孔安装	20 世纪 70 年代以前	THT	单、双列直 插 IC, 轴向引 线元器件编带	单面及多 层 PCB	手工/半自 动/全自动插装	波峰焊/手 工焊/浸焊
表面安装	20 世纪 70 年代以后	SMT	SMC、SMD 片式封装 VSI	高质量 SMB	全自动贴片机	波峰焊/再 流焊

1.3.3 创新实践训练

学生完成了基础训练和综合训练就具备了一定的电子产品的组装能力。为了满足部分同学“更上一层楼”的要求,可以选择一些小而有趣的电子产品,让他们从 CAD 设计开始了解和掌握主要电子零部件从 CAD 设计到 CAM 制造的全部工艺流程,然后开展 PCB 设计与制作、采购元器件,然后进行组装,最后完成产品的调试。通过电子产品生产体系的完整训练,使学生的创新实践能力得到进一步提高。

1.4 用电安全常识

当今社会从家庭到办公室,从学校到厂矿,电几乎无所不在。学习安全用电知识,加强安全用电观念,严格执行安全操作规程,都是十分必要的。

1.4.1 触电形式

触电分电伤和电击两种形式。电伤是指人体触电后皮肤表面所受到的伤害,主要指电的热效应烧伤人体皮肤、皮下组织、肌肉、神经等,表现形式有皮肤发红、起泡、烧焦等;电击是指电流通过人体内部,影响人体呼吸、心脏和神经系统,造成人体内部组织损伤甚至死亡等严重事故。触电往往是人们粗心大意、忽视安全造成的。例如,接线头外露金属线、带电接线操作、导线绝缘层破损等。

1.4.2 接地和接零保护

接地保护是用导线将电气设备中的外壳等导体与大地可靠地连接起来的一种保护接线方式。当该电气设备由于绝缘层材料破损,有可能使设备中本来不带电的金属体带电,若有接地保护,非正常的带电体就能将电荷引入大地(PE),从而可避免人员接触后造成触电。

接零保护是用导线将电气设备中的外壳等导体与电网的零线(N)可靠地连接起来的一种保护接线方式。当该电气设备由于绝缘层材料破损,电网中的某一相线(L)触碰到电气设备的外壳等带电体时,该相线就与电网的零线(N)形成短路,由于短路电流会很大,很快使相线中的熔断丝烧断,从而达到保护人身安全的目的,如图 1.6 所示。

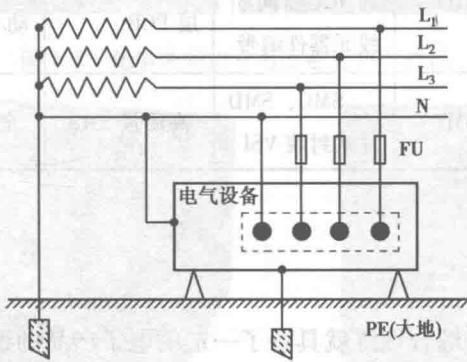


图 1.6 接地与接零的保护示意图

1.4.3 漏电保护开关

漏电保护开关,是一种保护切断型的安全技术装置,它比接地保护或接零保护更灵敏、更

可靠。漏电保护开关有两种:电压型和电流型。其工作原理基本相同,当检测到有漏电情况发生时,控制开关动作,从而切断电气设备的供电电源,这样就保障了线路及设备的正常运行和人身安全。电流型漏电保护开关在安装方面比电压型更简便,因而目前发展较快,使用更广泛。

1.4.4 用电的安全操作和注意事项

(1) 实验室的用电安全操作规范

- ①用电前先检查电源插头是否松动,导线是否外露。
- ②不要湿手开关、插拔电器,触摸电器装置时,应先进行安全测试。
- ③尽量养成单手操作电工作业的习惯。
- ④电子实验室的各种工具、设备等须摆放整齐,强弱电规范走线,不能东拉西扯电源线。

(2) 电工电子实习注意事项

- ①使用螺丝刀、工具刀等电工工具时,手不要握在刀口处,以免划伤。
- ②拆装弹性元器件时,身体应远离操作台,并注意保护眼睛、皮肤等免受飞出物的伤害。
- ③在焊接操作时,烙铁头及焊锡珠温度都很高,应避免烫伤发生。特别注意烙铁头上多余的焊锡不要乱甩,以免烫伤周围的人。
- ④通电测试时,一些发热元器件不要用手去触摸,否则容易造成烫伤。
- ⑤发现电气设备有打火、冒烟或其他不正常气味,尤其是发生有人触电时,应迅速切断实验室总电源,确保安全的情况下再查找问题。

第 2 章

电子元器件

本章摘要:电子元器件是组成电子产品的基础,电子产品的性能优劣,不但与电路的设计、结构和工艺水平有关,而且与正确地选用电子元器件有很大的关系。因此,学习和掌握常用电子元器件的性能特点、检测方法以及使用原则,对于设计、安装和调试电子产品有着十分重要的意义。

知识点:

- ①了解各元器件的分类,认识常用的电子元器件。
- ②掌握元器件的命名规则以及规格参数,能够通过元器件的命名及规格参数了解元器件的性能。
- ③学会检测元器件的好坏,掌握在不同应用场合下合理选择元器件的原则。

学习目标:

学会各种常见的分立元器件的识别检测,熟悉其性能,学会正确合理地选用电子元器件来进行电路设计。

2.1 概 述

当前电子元器件的发展十分迅速,正在朝着微型化、集成化、柔性化和系统化方向发展。

(1)小型化

各种类型的电子产品体积越来越小,功能越来越强,这都是元器件的小型化、集成化所实现的,从电子管到晶体管再到集成电路,正是元器件小型化的方向,传统的电阻、电容等分立元器件,已逐渐演变成了甚至比一粒芝麻还小的贴片元器件,大大地节约了空间,缩小了体积。但是,元器件不可能做到无限小,其中片式的 01005 封装和集成电路引线间距达到 0.3 mm 后基本已达到极限,很难再小。为了电子产品的小型化,只能从新技术、新工艺着手,比如探索新