

表面组装与贴片式元器件技术

刚性印制电路

梁瑞林 编著



 科学出版社
www.sciencep.com

内 容 简 介

本书是“表面组装与贴片式元器件技术”丛书之一。书中介绍了刚性印制电路设计者必备的电路基础知识、刚性印制电路设计、刚性印制线路板的原材料与制作工艺、刚性多层印制线路板制作新工艺等方面的技术知识。全书在内容上,尽可能地以图文并茂的形式向读者传递国际上先进的刚性印制电路制造技术方面的前沿知识,而避免冗长的理论探讨,以体现本书的实用性。

本书可供电子电路、印制电路、电子材料与元器件、电子科学与技术、通信技术、电子工程、自动控制、计算机工程等领域的工程技术人员以及科研单位研究人员阅读,也可以作为工科院校师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

刚性印制电路/梁瑞林编著. —北京:科学出版社,2008

(表面组装与贴片式元器件技术)

ISBN 978-7-03-021580-2

I. 刚… II. 梁… III. 印刷电路-基本知识 IV. TN41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 047347 号

责任编辑:岳亚东 杨 凯/责任制作:魏 谨

责任印制:赵德静/封面制作:李 力

北京东方科苑图文有限公司 制作

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

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京天时彩色印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008年5月第 一 版 开本:A5(890×1240)

2008年5月第一次印刷 印张:7

印数:1—5 000 字数:200 000

定 价:25.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

前 言

1800年前后开始的以蒸汽机为代表的第一次工业革命,给人类社会的发展带来了机械动力。1900年前后开始的以电气化为代表的第二次工业革命,给人类奉献了优裕的生活环境,我们的生活中充满了前人闻所未闻的新词汇,通信、广播、电视、计算机、卫星遥感、手机、汽车电子、机器人、游戏机等;同时也孕育了2000年前后开始的以信息技术(IT)为代表的第三次工业革命。新时代的信息技术要求上述的各种电子产品,具有更小的体积、更轻的重量、更多更好的功能、更高的可靠性、更小的能耗、更低的成本。于是,用于实现上述目标的集成电路(IC)与大规模集成电路(LSI),贴片式电子元器件与刚性印制电路和挠性印制电路以及表面组装(SMT)技术应运而生。

有关大规模集成电路以及表面组装与贴片式电子元器件技术的书籍,国内已多有出版,有的甚至已经作为教材开始使用。但是,许多书籍都回避了作为表面组装技术载体的印制电路。而印制电路却恰恰是表面组装技术的重要物质基础,它在充当表面组装的整块电路支撑件的同时,又为表面组装提供了电子元器件之间的电气连接、焊接区、甚至包括某些可以采用印制方法制作的电子元器件的部分材料。事实上,2005年我国已有超过1800家的印制电路相关产业(包括印制电路设备制造厂),具有相当强的生产加工能力,产量产值居世界第三位,仅次于日本和美国。2006年我国内地的印制电路销售额就已经达到14.56亿美元,占世界印制电路总销售额的21.4%。从发展势头看,该数值将很快超越美国与日本,而占据世界第一的位置。然而,这也仅限于生产加工而已;至于在设计、研发以及高精度印制电路设备

的制造方面,我国与日本和美国之间仍然存在着相当大的差距。可以说,我国在该领域还仅处于来料加工的水平。为此,我们借鉴以表面组装技术作为 21 世纪技术立国支柱之一的日本,以及结合我们国内在这方面的发展现状,编写出版这套表面组装与贴片式电子元器件技术丛书,目的就是试图为扭转我国这一落后局面作出些许贡献。

我国在表面组装技术方面还落后于先进国家,其表现不在所谓的理论上,而是在材料与工艺上的差距。因此,本套丛书主要着眼于表面组装技术的材料与工艺。

国内已有的相关书籍,多以文字叙述为主,在没有条件体验实物的场合下,纵有洋洋千言,也容易使读者或者学生不知言为何物。本套丛书采用图文并茂的图解方式,其目的就是要让读者或学生在没有条件一一目睹和体验各类表面组装实物以及各种贴片式电子元器件的情况下,通过图(有些是照片)文对照的方式,更好地读懂与理解本套丛书试图向他们传递的知识与信息。

目 录

第 1 章

刚性印制电路概述

- 1.1 印制电路的基础知识 1
- 1.2 印制电路的发展历史与现状 6
- 1.3 印制电路是电子组装基板的唯一选择 7
- 1.4 印制电路行业名词术语的说明 9

第 2 章

印制电路设计者必备的电路基础知识

- 2.1 信号电平与工作频率 12
- 2.2 模拟电路与数字电路 14
- 2.3 信号在微处理器与存储器之间的传递 16
- 2.4 影响信号延迟时间的其他因素 20
- 2.5 升高时钟脉冲频率带来的影响 22
- 2.6 电磁兼容 23
 - 2.6.1 电磁场理论基础知识 23
 - 2.6.2 高频电流的特性 24
 - 2.6.3 差分模(差模)与共模 25
 - 2.6.4 数字信号中的频谱展开 26
 - 2.6.5 误动作与电磁干扰 27

2.6.6	误动作与电磁干扰的解析工具	28
2.6.7	信号完整性分析法	30
2.6.8	建 模	30
2.6.9	预解析(前解析)	31
2.6.10	一字形传输线的预解析	33
2.6.11	发散形传输线的预解析	33
2.6.12	验证解析(后解析)	34
2.6.13	电路频率限制	35
2.6.14	电源完整性分析法	35
2.6.15	设计规则检查	37
2.6.16	按照高频电流特性进行的设计规则检查	37
2.6.17	检查容易产生共模电流的地方	38
2.6.18	检查去耦电容的配置	38
2.6.19	确认电路原理图中记载的限制条件	39
2.6.20	经验体系	39
2.7	同步开关产生的噪声干扰	40
2.7.1	产生同步开关噪声的电流	40
2.7.2	同步开关噪声	41
2.7.3	同步开关噪声的危害	42
2.8	去耦电容	42
2.9	产生高效率电磁辐射的电路形状	44

第3章

刚性印制电路设计

3.1	我国印制电路行业的发展方向	46
3.2	印制电路一次性试制及其与相关部门间的 协调	48
3.3	印制电路的电磁兼容设计	54
3.4	印制电路计算机辅助设计(CAD)	58

3.4.1	印制电路板计算机辅助设计软件	58
3.4.2	CAD 输出的多层印制线路板的层结构	58
3.4.3	多层印制线路板 CAD 软件的文件结构	60
3.4.4	电路原理图 CAD 软件	64
3.5	印制线路板设计工艺流程	67
3.5.1	电子元器件数据库登录	67
3.5.2	设计准备	70
3.5.3	区块划分	71
3.5.4	电子元器件配置	72
3.5.5	配置确认	73
3.5.6	布线	74
3.5.7	印制线路板设计的最终检验	76
3.6	印制线路板设计的可制造性分析	77
3.6.1	印制线路板设计的可生产性分析	77
3.6.2	印制线路板设计的可组装性分析	78

第 4 章

刚性印制线路板的原材料与制作工艺

4.1	刚性印制线路板的原材料	87
4.1.1	铜箔	87
4.1.2	基材	88
4.1.3	树脂	89
4.1.4	感光胶片	89
4.2	刚性印制线路板制作工艺的基本类型	90
4.2.1	减成法(subtractive process)	91
4.2.2	加成法(additive process)	92

目 录

4.2.3	半加成法(semi-additive process)	93
4.3	单面刚性印制线路板	94
4.4	双面刚性印制线路板	97
4.5	原图工艺	101
4.6	多层印制线路板的内层制作	103
4.6.1	预处理	104
4.6.2	形成光致抗蚀层	105
4.6.3	紫外线曝光	107
4.6.4	显影	109
4.6.5	腐蚀	109
4.6.6	去掉腐蚀保护层	112
4.6.7	内层检查(外观检查与布线检查)	112
4.6.8	直接绘图装置	113
4.7	多层印制线路板的叠层工艺	114
4.7.1	定位与叠层编队	114
4.7.2	叠层前的预处理	117
4.7.3	叠层编队	118
4.7.4	半固化树脂料片的性能与作用	119
4.7.5	热压叠层	119
4.7.6	叠层模具拆除、表面修整与外观检查	121
4.8	打孔加工工艺	122
4.8.1	打定位孔	122
4.8.2	将工件固定到数控打孔机的工作台上	123
4.8.3	数控钻床与钻孔	124
4.8.4	钻孔的质量	127
4.8.5	激光打孔	128
4.9	孔内壁的清洁处理与化学镀铜	129
4.9.1	孔内壁的清洁处理	129



4.9.2	化学镀铜	132
4.10	电镀铜与表层导体图形形成	136
4.10.1	电镀铜的原理	136
4.10.2	电镀铜的工艺流程	137
4.10.3	减成法与外层导体图形制作工艺	138
4.10.4	加成法与外层导体图形制作工艺	145
4.10.5	不同的孔连接方式	148
4.10.6	镀后检查	150
4.11	制作阻焊保护层	150
4.12	表面处理与外形加工	154
4.12.1	贴片式元器件焊盘的处理	154
4.12.2	镍、金镀覆工艺	157
4.12.3	外形加工工艺	158
4.13	印制线路板的成品检查	159
4.13.1	电导通检查与电性能检查	160
4.13.2	外观检查、尺寸检查与机械检查	161
4.13.3	抽样检查、破坏性检查	164
4.14	印制电路的组装	167
4.15	降低印制电路制作成本的措施	170

第5章

刚性多层印制线路板制作新工艺

5.1	铜箔上被覆树脂法	176
5.2	热固化树脂法	178
5.3	光敏性树脂法	179
5.4	柱状镀覆叠层法	180
5.5	复印法	182

目 录

5.6	全层间隙孔法	183
5.7	无源元件埋入法	185
5.8	柱状镀(凸点镀)与镀锡相结合法	185
5.9	可塑性树脂和柱状镀与镀锡相结合法	188
5.10	半固化树脂料片和导电浆料与图形复印 相结合法	189
5.11	聚酰亚胺薄膜与导电浆料相结合法	190
5.12	导电树脂填充贯通孔法	191
5.13	双面镀覆层法	192
5.14	耐热性热塑型树脂薄膜法	193
5.15	刚挠结合型多层印制线路板	194
5.15.1	制作多层刚挠结合印制电路的整个 工艺流程	196
5.15.2	内层(挠性部分)的加工	197
5.15.3	夹持层(刚性部分)的加工	199
5.15.4	制作黏胶带与夹持层窗口处的回填垫块	202
5.15.5	叠层热压固化	205
5.15.6	打孔、孔壁清理与镀铜	207
5.15.7	外层加工	208
5.15.8	外形加工	212
	参考文献	213

第1章

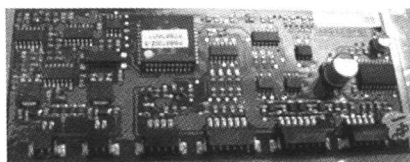
刚性印制电路概述

1.1

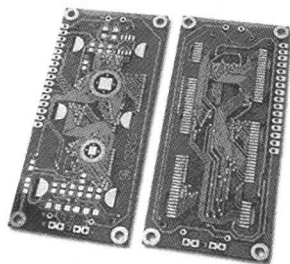
印制电路的基础知识

印制电路,又称为印刷电路、印制电路板、印刷电路板,缩写为PCB(Printing Circuit Board),它是以板状或者片状、薄膜状的绝缘材料敷以导体配线,并在其表面焊接有集成电路、电阻、电容、接插件等其他电子元器件,构成的电路元件。尚未安装电子元器件的印制电路,称为印制线路,或者印刷线路、印制线路板、印刷线路板,缩写为PWB(Printing Wire Board)。印制线路板在充当整块电路支撑件的同时,又为整块电路提供电子元器件之间的电气连接、焊接区,甚至充当包括某些电容器之类可以采用印制方法制作的电子元器件的电介质。关于印制电路板与印制线路板的直观关系与差异,参见图1.1。

印制电路板按照制造方法的差异,可以大致分类如图1.2所示。从中可以看到,微型组件基板与印制电路合称为电路基板。其中,微型组件基板的叫法,是国际上自1999年以来对于可以直接搭载半导体裸片基板的称谓。微型组件基板也有单层微型组件基板、多层微型组件基板、组合式微型组件基板、陶瓷微型组件基板等多种类型。也有人将微型组件基板的组装方式合并到厚膜(混合集成)电路的范畴。



(a) 印制电路板



(b) 印制线路板

图 1.1 印制电路板与印制线路板

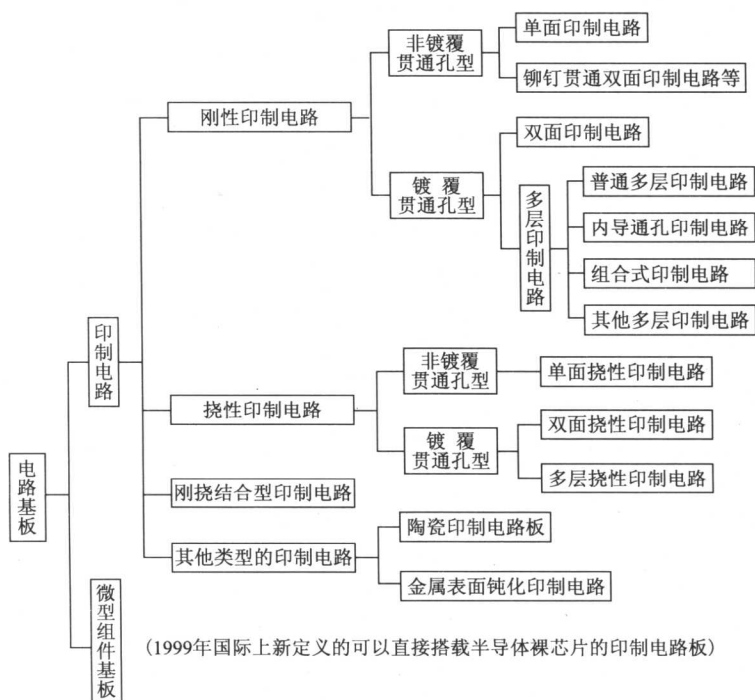
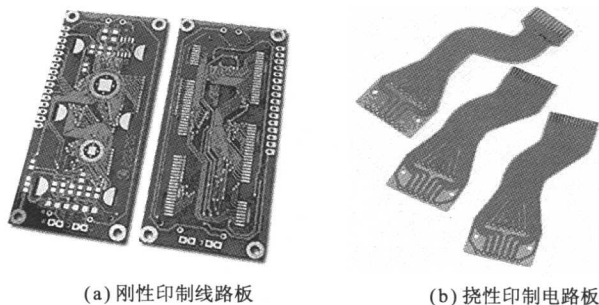


图 1.2 印制电路的种类

图 1.3 是刚性印制线路板与挠性印制线路的比较。传统的印制线路板一般都是刚性的,因此通常所说的印制线路板,多指刚性印制线路板。挠性印制线路,又称为柔性印制线路,是近期高速发展起来的一种印制线路。有关挠性印制线路板的内容,将在本套丛书的另一本书中介绍。

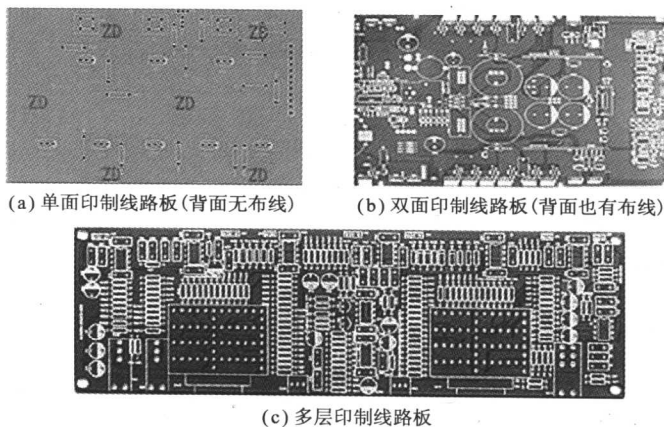


(a) 刚性印制线路板

(b) 挠性印制电路板

图 1.3 刚性印制线路与挠性印制线路

刚性印制线路板在结构上,根据层数的不同,有单面印制线路板、双面印制线路板和多层印制线路板之别,参见图 1.4 中的照片或者图 1.5 中的示意图。对于印制线路板层数,一般以导体的层数作为计



(a) 单面印制线路板(背面无布线)

(b) 双面印制线路板(背面也有布线)

(c) 多层印制线路板

图 1.4 刚性单面印制线路板、双面印制线路板与多层印制线路板的比较(深圳国旭电路科技)

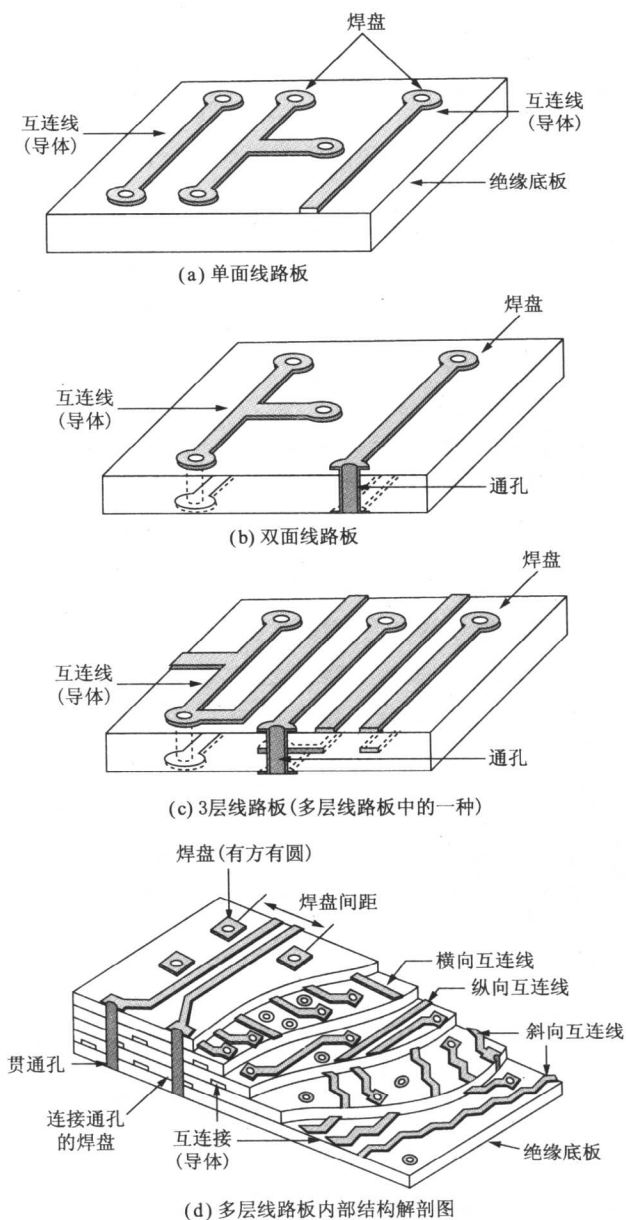


图 1.5 单面印制线路板、双面印制线路板与多层印制线路板结构示意图

数的依据,不过也有人采用把导体层数与绝缘材料层数都计算在内的计数方法;本书中采用较为常用的前一种计数方法,即仅以导体的层数作为计数的依据。

在刚性多层印制线路板中,又分为用传统的通孔镀敷法制作的刚性多层印制线路板与采用新工艺制作的刚性多层印制线路板。它们各自包含的种类参见图 1.6。

作为传统的通孔镀敷法制作的刚性多层印制线路板将在第 4 章刚性印制线路板的制作中进行详细介绍,虽然名为传统制作方法,但其中也不乏新材料、新工艺。至于本图中归类为采用新工艺制作的刚性多层印制线路板的内容,则放在了本书的最后一章,即第 5 章中介绍。

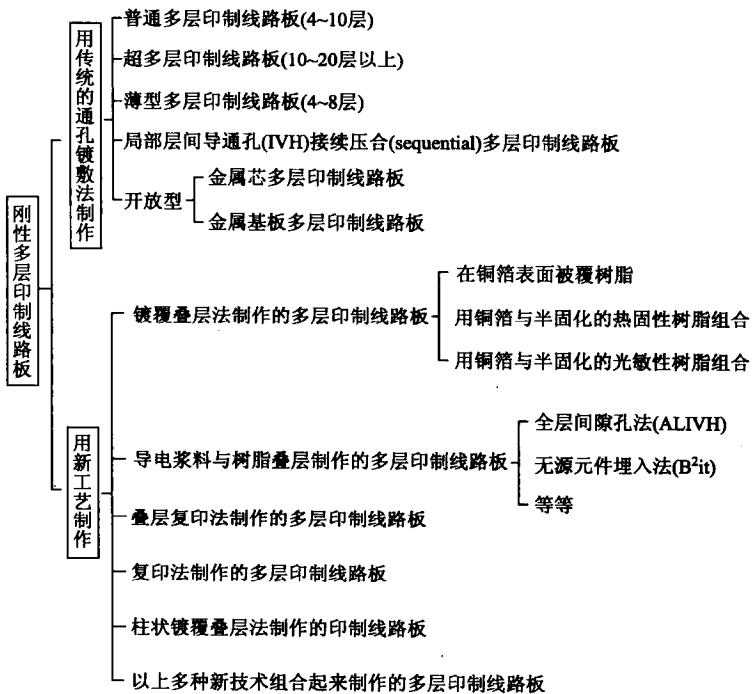


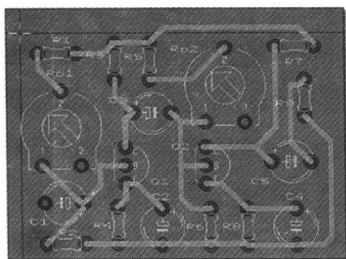
图 1.6 刚性多层印制线路板的种类

1.2

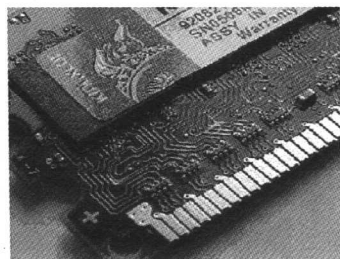
印制电路的发展历史与现状

20 世纪 40 年代,英国人 Eisler 首先用铜箔蚀刻法,制成互连线不悬浮于空间的电路,因而成为了“印制电路之父”。这种电路的开始大出风头是因为美国成功地将其应用于第二次世界大战的军事电子装备中。1953 年通过电镀工艺,使得制作于同一块印制线路板两面的导线能够相互连接起来,即首次制作出了双面印制线路板。1960 年人们制作出了多层印制线路板。以上这些印制线路板全都是刚性的,20 世纪 60 年代出现了柔软的挠性印制线路板。

早期的印制线路板的布线图形靠手工描绘;目前工业化生产的印制线路板几乎已经无人再用手工描绘法制作,而是采用机械绘图,近期更是采用计算机控制绘图法,从而提高了印制线路的精度、增加了产品的一致性、缩小了尺寸、适合于大批量工业化生产,尤其是提高了印制线路板的性能。图 1.7 是手工绘制的印制电路板与计算机绘图印制电路板的比较。



(a) 手工绘制的印制电路板



(b) 计算机绘制的印制电路板

图 1.7 手工绘制印制电路板与计算机绘制印制电路板的比较
(二者不是同一个电路)

我国 1956 年制作出了用于晶体管收音机的第一块单面印制线路板,20 世纪 60 年代我国开始大批量生产单面板,小批量生产双面孔金

属化印制板,并开始研制多层板。20世纪80年代我国实施改革开放以来,港台地区和外国印制线路(电路)板商纷纷来大陆合资、独资办厂,使我国印制电路产量迅猛增加,发展很快。1994年开始,中国印制电路出口量占世界第4位。目前我国已有超过1800家的印制电路相关产业(包括印制电路设备制造厂),具有相当强的生产加工能力,产量和产值稳居世界第三位,仅次于日本和美国。从发展势头看,在产量和产值方面将很快超越美国与日本,而占据世界的第一位。不过,这仅仅是在生产加工方面的统计,目前,我国在该领域还仅处于来料加工的水平;至于在设计、研发以及高精度设备制造方面,我国与日本和美国之间仍然存在着相当大的差距。要扭转这一落后局面,还需要该行同仁的诸多努力。

现在小到儿童掌中的电子玩具,中到工矿企业的电器电子设备与深入千家万户的家用电器,大到各种高新科技领域中的尖端电器电子仪器设备,几乎无一可以离开印制电路。印制电路因为适应了电器电子产品缩小体积、减轻重量、提高性能、降低成本、增加可靠性的愿望,因而需求量与日俱增。



1.3

印制电路是电子组装基板的唯一选择

正如作者在本套丛书的《半导体器件新工艺》一书中所述,电子技术的发展始终以有源器件的发展为核心,以有源器件的发展水平为标志,除了电子元件随着半导体器件的发展而变化之外,电路的封装技术、组装技术也都围绕着大规模集成电路的出现,而发生着重大的变化。目前印制电路已经成了电子组装基板的唯一选择;否则,将会使集成电路减轻重量、缩小体积、提高功能、增加可靠性的初衷,全部化为乌有。图1.8与图1.9分别是真空管(又称为电子管)时期电子组