

Technology  
实用技术

表面组装与贴片式元器件技术

# 挠性印制电路

梁瑞林 编著



科学出版社  
www.sciencep.com

表面组装与贴片式元器件技术

# 挠性印制电路

梁瑞林 编著



科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书是“表面组装与贴片式元器件技术”丛书之一。书中介绍了挠性印制电路的种类、材料、连接、设计、制作、组装和检查以及对未来的展望。在内容上,力图尽可能地向读者传递国际上先进的挠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。

本书可以作为电子电路、印制电路行业、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的参考书,也可以作为工科院校学生、研究生的辅助教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

挠性印制电路/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 978-7-03-021873-5

I. 挠… II. 梁… III. 挠性-印制电路-基本知识  
IV. TN41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 063660 号

责任编辑:刘红梅 杨 凯/责任制作:魏 谨  
责任印制:赵德静/封面设计:李 力

北京东方科龙图文有限公司 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>

源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2008 年 6 月第 一 版 开本: A5(890×1240)

2008 年 6 月第一次印刷 印张: 6 3/4

印数: 1—5 000 字数: 185 000

定 价: 24.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈明辉〉)

# 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,如通信、广播、电视、电脑、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多层印制电路以及表面组装(SMT)技术应运而生。

大规模集成电路集成度的大幅度提高,贴片式电子元器件的小型化,刚性印制电路的多层化,使得电子产品快速小型化、轻量化。不过,仅仅依靠提高大规模集成电路集成度、小型化贴片式电子元器件、多层化刚性印制电路,是制作不出上述小型化、便携式电子产品的。因为在这些小型化电子产品之中,还必不可少地大量使用着挠性印制电路。目前,全世界挠性印制电路的四大供应地分别为日本、韩国、中国台湾地区和中國大陸地区。挠性印制电路市场曾经几乎全部为日本厂商所占有。韩国挠性印制电路的发展得益于手机产业的带动,我国台湾地区的挠性印制电路的发展得益于笔记本电脑产业,两者基本上一直在同步发展,其特点都是数量多、规模小、历史短。我国大陆的挠性印制电路的起步与发展首先要归功于改革开放,其发展速度在世界上为最快。2006年,我国大陆包括刚性印制电路和挠性印制电路在内的总印制电路销售额达到14.56亿美元,占世界印制电路总销售额的21.4%。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,我国与世界先进水平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。我们编写出版这套“表面组装与贴片式元器件技术”丛书的目的,就是试图在为扭转我国这一落后局面的诸多努力中,作出自己的些微贡献。

纵观我国在大规模集成电路以及表面组装与贴片式元器件技术落后于先进国家和地区的原因,主要不在所谓的理论上,而是在材料与工艺上,因此本丛书主要着墨于它们材料与工艺。

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。本丛书采用图文并茂的图解方式,其目的就是让读者或学生在没有条件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丛书企图向他们传递的知识与信息。

# 目 录

## 第1章 概 述

- 1.1 挠性印制电路的概念 ..... 1
- 1.2 挠性印制电路的发展历程 ..... 2
- 1.3 电子产品小型化离不开挠性印制电路 ..... 3
- 1.4 挠性印制电路的优缺点 ..... 5
- 1.5 挠性印制电路的性能价格比 ..... 6

## 第2章 挠性印制电路的种类

- 2.1 单面挠性印制电路 ..... 11
- 2.2 双面挠性印制电路 ..... 12
- 2.3 多层挠性印制电路 ..... 14
- 2.4 双面裸露挠性印制电路 ..... 15

## 第3章 挠性印制电路的材料

- 3.1 基 材 ..... 17
  - 3.1.1 几种常见的基材 ..... 17
  - 3.1.2 聚酰亚胺薄膜 ..... 18
  - 3.1.3 聚酯薄膜 ..... 20
  - 3.1.4 环氧树脂玻璃布薄膜 ..... 24

3.2 导体材料与挠性敷铜板 .....	24
3.2.1 导电材料 .....	24
3.2.2 粘贴型挠性敷铜板 .....	26
3.2.3 非粘贴型挠性敷铜板 .....	29
3.3 覆盖材料 .....	35
3.3.1 薄膜型覆盖材料 .....	36
3.3.2 采用印刷法制作的覆盖层材料 .....	37
3.3.3 干式光敏性覆盖膜 .....	38
3.4 粘胶带 .....	40
3.5 增强板材料 .....	41

## 第4章

# 挠性印制电路的连接(组装)方式

4.1 连接(组装)方式的选择及其特点 .....	43
4.1.1 连接(组装)方式的选择 .....	43
4.1.2 根据连接(组装)对象确定连接(组装)方式 .....	44
4.1.3 各种连接的概念 .....	46
4.1.4 组装密度与占用的空间 .....	47
4.1.5 可靠性 .....	50
4.1.6 工艺条件方面的因素 .....	50
4.1.7 设备与工模夹具 .....	51
4.1.8 产量与成本 .....	51
4.2 永久性连接 .....	51
4.2.1 有引线电子元器件的锡焊 .....	51
4.2.2 贴片式电子元器件的锡焊 .....	54
4.2.3 导电胶连接 .....	56
4.2.4 裸片搭载 .....	58
4.2.5 引线键合法 .....	59
4.2.6 倒装焊 .....	60
4.2.7 微凸点焊 .....	62

4.2.8	各向异性导电胶连接 .....	63
4.2.9	挠性印制电路的跨线直接键合法 .....	66
4.2.10	焊料熔融法 .....	67
4.2.11	NCP 绝缘浆料 .....	69
4.3	半永久性连接与非永久性连接 .....	71
4.3.1	螺丝固定连接 .....	71
4.3.2	挠性印制电路与连接器 .....	74
4.3.3	插卡式连接器 .....	74
4.3.4	挠性扁平电缆(FFC)连接器 .....	77
4.3.5	接插件 .....	79
4.3.6	跨线连接器 .....	81
4.3.7	圆形连接器 .....	82
4.3.8	本来是组装到刚性印制线路板上的连接器 .....	83
4.3.9	凹槽连接 .....	84
4.3.10	微凸点连接 .....	85

## 第5章 挠性印制电路的设计

5.1	挠性印制电路设计的工艺流程 .....	87
5.2	电路分割 .....	88
5.2.1	电路分割的必要性 .....	88
5.2.2	不进行电路分割时存在的问题 .....	90
5.2.3	普通民用产品的电子电路的分割 .....	91
5.3	外形设计 .....	92
5.4	平面图形设计 .....	94
5.5	耐多次弯曲的挠性印制电路的设计 .....	96
5.6	双面挠性印制电路中需要弯曲部分的设计 .....	99
5.7	刚挠结合电路中需要弯曲部分的设计 .....	101
5.8	电子元器件组装部分的设计 .....	102



5.9 带有屏蔽层的挠性印制电路的设计 ..... 104

5.10 设计时应将尺寸的工艺补偿计算在内 ..... 106

## 第6章 挠性印制电路的制作

6.1 制作挠性印制电路的工艺流程 ..... 109

6.2 制作挠性印制电路的前工序 ..... 111

    6.2.1 制作挠性印制电路的前工序详细工艺流程 ..... 111

    6.2.2 剪切挠性敷铜板 ..... 112

    6.2.3 打贯通孔 ..... 113

    6.2.4 镀覆贯通孔 ..... 117

    6.2.5 工件的周转与装框 ..... 118

    6.2.6 表面清洗与被覆抗蚀剂 ..... 120

    6.2.7 曝光与显影 ..... 122

    6.2.8 腐蚀导体图形与除掉抗蚀层 ..... 124

6.3 制作挠性印制电路的后工序 ..... 127

    6.3.1 后工序的详细工作流程 ..... 127

    6.3.2 覆盖膜 ..... 128

    6.3.3 阻焊膜 ..... 135

    6.3.4 光敏性覆盖膜 ..... 136

    6.3.5 镀覆引出端 ..... 139

    6.3.6 标记符号 ..... 142

    6.3.7 外形加工 ..... 142

6.4 制作挠性印制电路的辅助加工工序 ..... 144

    6.4.1 制作增强板 ..... 144

    6.4.2 整形 ..... 148

    6.4.3 加工凸棱 ..... 149

    6.4.4 制作跨线 ..... 149

    6.4.5 加工微凸点 ..... 152

6.5 多层刚挠结合印制电路的制作工艺 ..... 153

6.5.1	制作多层刚挠结合印制电路的整个工艺流程	155
6.5.2	内层(挠性部分)的加工	155
6.5.3	夹持层(刚性部分)的加工	157
6.5.4	制作粘胶带与夹持层窗口处的回填垫块	160
6.5.5	叠层热压固化	162
6.5.6	打孔、孔壁清理与镀铜	163
6.5.7	外层加工	165
6.5.8	外形加工	167
6.6	挠性印制电路的卷到卷式自动化加工	168
6.6.1	卷到卷的连续自动化加工方式	169
6.6.2	打 孔	171
6.6.3	镀 铜	174
6.6.4	被覆抗蚀层	175
6.6.5	曝光或抗蚀图形印刷	177
6.6.6	显影、腐蚀与抗蚀膜剥离	177
6.6.7	被覆覆盖层	178
6.6.8	冲压固定孔、外形加工与裁切	180

## 第7章 挠性印制电路的组装与检查

7.1	挠性印制电路的组装	183
7.1.1	将挠性印制电路固定到夹具上	183
7.1.2	焊接前的预干燥	184
7.1.3	搭载贴片式电子元器件与非贴片式电子元器件	185
7.1.4	焊 接	187
7.1.5	非直接组装方式	188
7.1.6	检查与修理	188
7.1.7	包 装	189
7.1.8	挠性印制电路与其他电路之间的连接	189
7.1.9	挠性印制电路的固定	190

7.2	挠性印制电路的成品检查 .....	190
7.2.1	尺寸检查 .....	193
7.2.2	耐弯曲性检查 .....	194
7.2.3	导体黏合强度检查 .....	197
7.2.4	耐热冲击性试验 .....	198
7.2.5	电学性能检查 .....	198
7.2.6	外观检查 .....	199

## 第8章 挠性印制电路的发展与展望

8.1	进一步改善聚酰亚胺薄膜 .....	201
8.2	开发聚酰亚胺的替代材料 .....	201
8.3	开发性能比聚酰亚胺更优异的新材料 .....	202
8.4	超高密度的挠性印制电路 .....	202
参考文献	.....	203

# 第1章 概述

## 1.1

### 挠性印制电路的概念

挠性印制电路(FPC:Flexible Printed Circuit),又称为柔性印制电路,或称为软性印制电路、挠性印刷电路、柔性印刷电路、软性印刷电路。挠性印制电路作为电子互连的基础材料,在对电子电路承担着机械支撑作用和电气连接作用的同时,还有着厚度薄、重量轻、结构灵活、既可以静态弯曲、又可以动态弯曲、卷曲和折叠的突出特点。图1.1的照片是多种规格的挠性印制电路中的两种。

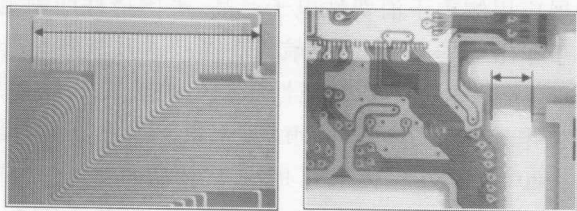


图 1.1 两种不同规格的挠性印制电路

挠性印制电路一般以聚酰亚胺薄膜或者聚酯薄膜为基材,表面敷以能够挠曲的薄铜箔导体,可以做成单面挠性印制电路、双面挠性印制线路或者多层挠性印制线路。近年来,由于它迎合了电子信息产品对于薄、轻、短、小化的需求,因此迅速地 from 军用电子产品推广到了民用电子产品,由航天、航空等高科技电子领域很快地普及到了千家万户的家用电器中,实现了大众化。目前,挠性印制电路行业已经成为电子元件制造业的一大支柱性产业,其技术含量高,市场广阔、前景诱人。

## 1.2

# 挠性印制电路的发展历程

挠性印制电路技术的发展史可以追溯到很早以前,1898年英国人在石蜡纸基板上制作平面导体,实现了电路之间的挠性互连,并获得了专利授权。不久以后,托马斯·爱迪生在实验室中,又采用类似于当今厚膜技术的方法,实现了电路之间的挠性互连。20世纪的前半叶,人们探讨了多种新的挠性电子互连技术,其中最为满意、最接近于现在的挠性印制电路的挠性连接是用于汽车仪表盘与仪器线路之间的连接方法,并由此开始了这种挠性连接方式的批量生产,从而推动了挠性印制电路的发展。早期挠性印制电路主要应用在汽车仪表、小型或薄型电子产品及刚性印制电路之间的连接等领域。20世纪70年代末,挠性印制电路由汽车仪表盘与仪器线路间的连接逐渐扩展到了计算机、照相机、打印机、汽车音响等电子资讯产品之中。日本挠性印制电路的发展应用侧重于消费性电子产品,美国挠性印制电路的发展应用则侧重于军用电子产品、航空航天等高新技术领域内的电子产品。

20世纪80年代电子产品对挠性印制电路的需求量急剧增加,从而为挠性印制电路提供了广阔的市场,积累了大量资金,提高了研制和生产水平。20世纪80年代末到90年代初期间,许多挠性印制电路生产厂都开发出了新的产品,提高了生产效率、降低了成本、节约了能源,实现了挠性印制电路技术的高速发展。目前日本挠性印制电路应用市场仍以消费性电子产品为主,而美国则由以往的军事用途逐渐转向消费性民生用途。挠性印制电路的下游应用极为广泛,信息产品包括笔记本电脑(NB)、硬盘驱动器(HDD)、掌上电脑(PDA),通信产品有手机、无线通信,视讯产品有摄录放映机,消费性电子产品有数字照相机,显示器有液晶显示器(LCD)、等离子体显示器(PDP)等。其中,挠性印刷电路在笔记本电脑、手机及液晶显示器领域中的应用发展最快。

我国大陆的挠性印制电路的技术水平落后于世界先进水平,产品

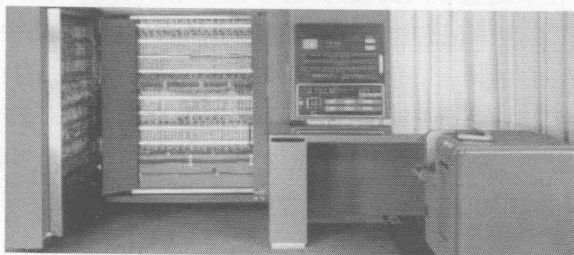
主要集中在单面板和双面板,而且多集中于来料加工阶段。近年来随着美国、日本和中国台湾等地的公司的涌入,对内地挠性印制电路市场产生了一定的冲击,同时也刺激了内地挠性印制电路技术的提升与迅速发展。目前挠性印制电路的产值占整个印制电路产值的比例超过了10%。挠性印制电路产量从1998年的25万平发展到2003年的587.43万平,产值也从1998年的0.50亿元发展到2003年的51.49亿元。

## 1.3

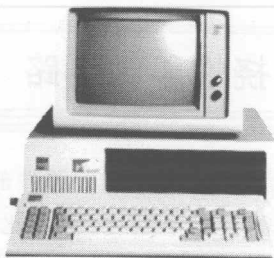
### 电子产品小型化离不开挠性印制电路

由于大规模集成电路集成度的大幅度提高,贴片式电子元器件的小型化,刚性印制电路的多层化,使得电子产品快速小型化、轻量化。于是,促成个人电脑、手机、数字照相机、卫星地面定位系统等电子产品缩小体积,功能却增加了,价格也一降再降,迅速地实现了便携化、普及化。图1.2示出的IBM公司生产的计算机的发展历程就是这种变化趋势的一个典型代表,图1.2(a)是它1953年生产的晶体管计算机,图1.2(b)是1980年生产的IBM PC个人电脑,图1.2(c)则是目前市场上正在出售的IBM笔记本电脑。

然而,当打开这些小型化了的电子产品(如果没有专门工具、你又不是专门的维修人员,最好还是不要私自打开)时就会发现,仅仅依靠提高大规模集成电路的集成度、小型化贴片式电子元器件、多层化刚性印制电路,是制作不出上述小型化、便携式电子产品的。因为在这些小型化电子产品之中,还有一个重要的不可或缺的产品,那就是挠性印制电路。图1.3是一款翻盖式手机。图1.4是一款打开了外盖的计算机硬盘驱动器。图1.5是笔记本电脑内部的照片。在它们内部的活动部位的连接处,不同部件的连接处或者不同刚性印制电路板之间的连接处,大量使用挠性印制电路。



(a) 1953年IBM推出的第一台晶体管计算机IBM701



(b) 1983年IBM推出的台式个人电脑IBM PC



(c) 目前市场上正在出售的IBM笔记本电脑

图 1.2 IBM 公司生产的计算机

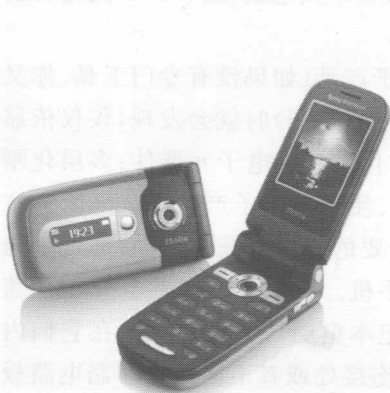


图 1.3 翻盖手机中的一种

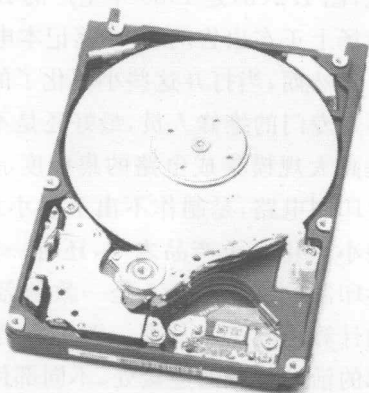


图 1.4 打开了外盖的硬盘驱动器

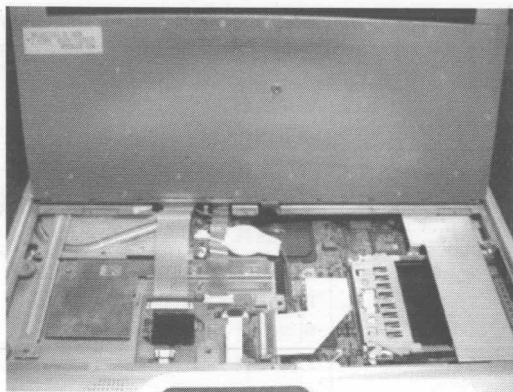


图 1.5 笔记本电脑中的挠性印制电路

## 1.4

## 挠性印制电路的优缺点

与刚性印制线路板相比,挠性印制电路的两大最突出特点是薄、可以弯曲。按照目前的挠性印制电路工业化生产水平,要制作一个间隔宽度为  $50\mu\text{m}$  的挠性印制电路,可以说是一件轻而易举的事情。因此,如果要制作一个排列 200 条布线的挠性印制电路,如果不考虑电流容量,其宽度充其量也不超过 10mm,厚度却只有一张纸那么薄。正是由于挠性印制电路所具有的薄和可以弯曲这两大特点,派生出了它与刚性印制电路相比所具有的诸多优缺点,如表 1.1 所示。

挠性印制电路可以做得很薄,因而重量轻,能够有效地利用狭窄的空间进行高密度的布线;又由于它可以弯曲,因此弯曲寿命长,有的允许弯曲的次数高达上亿次,加工制作过程中基材带可以实现整卷输入、不经裁剪直接加工完成、最后整卷打包出售的所谓全自动化卷到卷(RTR)连续加工,能够完成开关、位移器等场合的特殊功能,能够三维立体布线,省却了连接器,减少了焊接点,降低了因为焊接错误而造成的废品。而且,因为挠性印制电路的厚度既薄又可以弯曲,所以大幅度地提高了设计的自由度。这些优点都是采用其他方法难以得到的。



表 1.1 挠性印制电路与刚性印制电路相比的优缺点

优点	缺点
可以做得薄	不能做厚
能够弯曲	没有刚性,难于单独作为电子元器件的支撑体
弯曲寿命长	导体连接强度低
可以三维立体布线	无法使用传统的组装设备,组装效率差,成品率低
可以省去连接器	容易脱离
可以省去连接工艺	一旦连接难于变更
设计自由度高	设计难度大,至今还无法标准化
可以防止布线错误	组装后难于维修
可以在狭窄空间内高密度布线	恶劣环境中故障率高
综合成本低	单体价格高

和其他所有事物一样,有一利也会有一弊,关键是如何趋利避弊。作为挠性印制电路弊的一面,或者说它的缺点,也是由于它的薄和可以弯曲造成的。因为薄,所以机械强度低,不能承载较重的部件,容易损伤,成品率低,成本高;因为可以弯曲,所以难于设计,组装起来有些不方便,目前还无法实现组装自动化,技术含量虽然高却属于劳动力密集型产业,容易出错,难于维修,组装成本高。不过,这种由于可以弯曲而带来的劳动密集型的弊端,正好适合于我国现阶段电子基础工业的发展。

应当说,目前几乎所有刚性印制电路能够完成的功能,采用挠性印制电路都能够实现,两者之所以都在生产都在发展,目的在于扬长避短,各司其职。

## 1.5

### 挠性印制电路的性能价格比

如果单纯地将一块以聚酰亚胺为基材的单面挠性印制电路、双面挠性印制电路或多层挠性印制电路的成本,与一块以环氧玻璃布板为基材的同样大小的单面刚性印制电路、双面印制电路或相同层数多层刚性印制电路的成本相比较,会高出 2~3 倍,极端的情况下会高出 1