

S.W. 欣奇 著

表面安装技术手册

32

微电子学系列

科学出版社

表面安装技术手册

S. W. 欣奇 著

李春发 苏世敏

吴桂山 等 译

罗英花 孟金玉

梁春广等 校

科学出版社

1993

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书系统地介绍了表面安装技术 (SMT), 是一本微电子技术和电子设备研制领域的工具书。全书共十五章, 可分为四部分。第一部分讲述 SMT 的选择、工艺分类等; 第二部分讲述 SMT 元件, 包括有源元件、半导体器件、接插件及机电元件等; 第三部分讲述 SMT 的设计, 包括组件设计及其可靠性, 设计和布线规则; 第四部分为有关生产技术。

本书可作为微电子领域的科研人员, 工程技术人员的参考书, 也可作为大专院校师生的教学参考书。

S. W. Hinch

HAND BOOK OF SURFACE MOUNT TECHNOLOGY

© Longman Group UK Limited 1988

This translation of Handbook of Surface Mount Technology

First Edition is published by arrangement with

Longman Group UK Limited, London

表面安装技术手册

S. W. 欣奇 著

李春发 苏世雄 等 译

梁春广 等 校

责任编辑: 魏玲 马长芳

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100707

北京市怀柔县黄坎印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1993 年 6 月第 一 版 开本: 850×1168 1/32

1993 年 6 月第一次印刷 印张: 15 1/2 插页: 0

印数: 1—3000 字数: 404 000

ISBN 7-03-00357-4/TN·137

定价: 13.90 元

中文版序言

在《表面安装技术手册》英文版首次出版时，表面安装技术（SMT）就已打入电子市场。当今的消费类和自动化类产品几乎全部都采用了 SMT，它在工业中的应用已迎头赶了上来。甚至连通常十分保守的高可靠产品市场也迅速转向了 SMT。

PC 机的发展趋势可能是最好的实例了。五年前，插装技术主宰着 PC 机制造业，只有几家大公司着手探索这项新技术。但近几年发生了巨大变化，为了降低成本，提高性能，许多制造商迅速地转向了 SMT。今天，不仅所有大的生产厂家采用了 SMT，而且无数生产部件或电路板的小公司也都采用了 SMT。现在如果在一台 PC 机内发现一块插装电路板倒十分希罕了。

当然，自本书出版以来该技术已有了进一步的发展。今天，微细节距部件已得到了广泛应用，而多芯片模块成了最热门的课题。但是，尽管技术不断发展，基本原理仍保持不变。焊料浸润性依旧十分重要（由于目前趋向于使用非清洗助焊剂，或许会更重要），它同许多因素，如：元器件设计、可制造性及可靠性一样重要。本书意在说明基础原理，而不是暂时的规范说明，因此在许多方面本书仍保持了同首稿一样的适用性。

电子技术正在变成一项真正的世界范围的工业。马来西亚的集成电路可装在中国的 PC 板上，送到美国进行组装，最后售与欧洲共同体。一个国家采用的设计和生产工艺必须满足其它国家的要求。在这种情况下，世界范围的信息沟通就显得至关重要。

书是传递信息的重要媒介，因此我很高兴《表面安装技术手册》被翻译成中文。如果它阐述的知识能对我的中国同行们有所帮助，我将感到莫大的荣幸，因为这样做的目的是为了从事这项世界性工业的人们能从中受益。

S.W. 欣奇

1993 年 3 月于美国，加利福尼亚州

译者序

半导体技术一代一代地发展，集成度越来越高，功能越来越多，电路技术必然、而且也必须作出响应。表面安装技术（SMT）就是这种电子电路组装技术的最重要的发展。因此，可以这样认为，半导体技术和表面安装技术两者推动着当前电子学的重大变革。尤其是作为SMT的延伸，多芯片模块（MCM）正在飞速发展，它把不同功能、不同制造工艺的各种芯片组装在一个多引线的封装里，实际成了原电子系统中的一个子系统，从而更有利于各种复杂电子系统的设计和实现。因此，MCM在整个90年代以及2000年后将是十分重要的，必须引起半导体界和电子学界的充分重视。

正如本书前言所述，SMT已经成为普遍采用的技术，但直到现在仍无一本专著对此作出全面透彻的论述。但我认为，这本书虽然名为“手册”，但本身就不失为一本专著，它不仅内容丰富，论述了SMT的设计方法、必备的元器件、工艺流程和设备以及可靠性技术等等，具有非常高的实用价值，而且把SMT的方方面面的技术基础也阐述得清清楚楚。所以，这本书除了可作为从事电子技术的工程师们的参考书外，亦可作为半导体和电子学专业的本科大学生和研究生的辅助教材。

我们研究所的李春发高级工程师及其研究小组，凭着敏锐的技术触觉、丰富的电子封装和组装的实践经验，从1984年起，就在这个诱人的研究领域探索和耕耘，终于在1989年，在多层陶瓷基板上SMT的微组装技术方面有了丰硕的成果。但当他们看到这本书时，仍然如获至宝，努力吸取其中之养分，并且萌发出翻译成中文以飨中国读者的愿望。征得了原著编者和科学出版社的同意，并得到了他们的支持，本书终于可与读者见面了。我们概

信，本书将对我国的半导体界和电子学界有所帮助。

本书翻译分工如下：李春发翻译第三、九、十一章，苏世敏翻译前言和第一、六、八、十五章，罗英花翻译第十二、十三、十四章和附录，孟金玉翻译第四、七、十章，吴桂山翻译第二、五章；梁春广校订前言和第一、三、十一章，李春发校订第二、五、六、七、八、十、十二、十四、十五章和附录，苏世敏校订第四、九、十三章；最后全书由梁春广和李春发统校。在此，我谨代表译校同志，向《微电子学丛书》编委会，编委会主编王阳元教授，电子科学研究院肖安倩同志以及科学出版社给予的帮助表示衷心感谢。在他们的热情帮助下，此书才得以顺利出版。

机电部13所 梁春广

1992年8月1日于石家庄

前 言

自从印制线路板问世以来，人们就把表面安装技术(SMT)看作是电子组装领域中一个最重要的发展。不论这种看法是否正确，但人们所说的SMT正在使电子组件的制造技术发生巨大的变化。尽管SMT与传统的插装工艺有关，但它需要不同的元件、组装设备和设计方法。熟悉插装技术的工程师们已经发现，他们必须全面掌握新技术，才能适应日益发展的需要。

SMT所带来的重要变化可见之于大量的研讨会、学术会议、科技文献、咨询机构以及热心于表面安装的各种组织。由此看来，这将为有志学习SMT的工程师们提供各种各样的机会。遗憾的是，现有的许多资料尚不完整或专业性很强，目前还没有一本专著对整个学科做透彻而全面的论述。

本书是为从事实际工作的工程技术人员(要求兴建一个表面安装工厂或领导现有机构的人员)而撰写的。虽然本书侧重于研究解决实际问题的方法，但也提供了解决这些实际问题的理论基础。根据本书的技术资料，不难找到解决某些新问题或疑难问题的方法。

本书分四个部分。第一部分是SMT的技术概论，它论述了该项技术的优点和局限性，并讨论了作为本书其余部分基础的一些问题。第二部分论述了表面安装元件的特性，侧重于合理选择元件的技术资料。第三部分讨论了设计方法，着重讨论影响最终组装产品的可靠性和生产能力的一些因素。最后，第四部分介绍表面安装制造工艺，分析了可供选用的各种工艺流程，并探讨了选择每步工艺所要考虑的各种因素。

在撰写本书的过程中，若没有众多人士的支持，作者本人是难以胜任的。我衷心感谢在Hewlett-Packard公司从事SMT的各

位同行，从他们那里学习了许多有关该项技术的知识。如果没有他们的支持和鼓励，完成此项任务是不可能的。特别要感谢Don Rice，他对全书进行了认真的审阅，并提出了一些宝贵意见。Seith Stracchino和Tom Chang也对某些主要章节作了评论。我对他们提出的许多宝贵意见表示由衷的感谢。Mai Chow和Yousef Heidari在许多方面提出了富有远见卓识的建设性意见，Jody Hug为本书做了大量的说明，还有许多人士也对我们的工作给予了帮助，在此一并致以谢意。

不少工业界人士也对此书提供了许多帮助。尤其要感谢IPC的Dieter Bergman和Tony Hilvers，Universal Instruments公司的Joseph Ranieri和Jack Vestal，Henry Mann公司的Tom Beck，Dynapert/Precima公司的Norman Hodson，Dynapert/HTC公司的Harald Hyman，Signetics公司的Mark Kastner，National Semiconductor公司的Jim Walker和Automation Technology公司的Jim Austin。

最后，我还要对Longman Scientific and Technical部门全体职工的巨大支持表示感谢，对本书的编辑Richard Krajewski在长达数月的准备工作中的通力合作和鼓励致以谢意。

目 录

前言

第一部分 概论

第一章 绪论	1
1.1 表面安装技术的选择	3
1.2 工艺分类	17
1.3 标准及技术规范	24

第二部分 元件

第二章 无源元件	31
2.1 固定电阻器	32
2.2 电位器和可变电阻器	40
2.3 电阻网络	44
2.4 固定电容器	46
2.5 电感器	59
第三章 半导体器件	62
3.1 表面安装半导体器件的设计考虑	62
3.2 分立半导体器件的封装形式	77
3.3 通用集成电路的设计考虑	84
3.4 IC封装类型	89
3.5 集成电路封装规范选择	105
第四章 接插件及机电元件	107
4.1 接插件	107
4.2 IC插座	112
4.3 测试夹	115
4.4 开关和继电器	116
第五章 焊接材料和可焊性	118

5.1	锡-铅相图	118
5.2	焊料合金	119
5.3	可焊性	122
5.4	焊剂	123
5.5	可焊性问题的起因	128
5.6	可焊性的技术规范	131
5.7	可焊性试验	132
5.8	老化	144
5.9	元件端电极的专用材料	147

第三部分 设计

第六章	组件设计及可靠性	151
6.1	表面安装的焊接	151
6.2	封装和互连结构	158
6.3	有机材料	160
6.4	夹芯增强材料	167
6.5	陶瓷基板	169
6.6	柔性层材料	169
6.7	组装工艺对可靠性的影响	171
第七章	设计和布线规则	176
7.1	印制线路板	176
7.2	全电路板布线	183
7.3	元器件焊盘图形	185
7.4	其它设计考虑	197

第四部分 生产技术

第八章	SMT工厂及其工艺流程	199
8.1	工艺流程的选择	201
8.2	混装技术	205
8.3	双面表面安装	208
8.4	工厂的设计	214
8.5	工厂成本的分析	221
8.6	工厂设计的介绍	224

第九章 焊膏和应用技术	226
9.1 流变学	226
9.2 粘度测量	229
9.3 焊膏	232
9.4 焊膏的规格和试验	238
9.5 丝网印刷	244
9.6 注射器涂膏	254
9.7 可选择的焊膏涂敷工艺	257
附录	259
第十章 元件贴装	260
10.1 通用的机器结构	260
10.2 设备特性	262
10.3 设备分类	278
10.4 设备设计考虑	287
10.5 元器件进料系统	301
第十一章 回流焊	313
11.1 回流理论	313
11.2 有关回流的零件的移动	317
11.3 回流方法	322
11.4 热传导回流	323
11.5 气相回流焊	325
11.6 红外回流	334
11.7 激光回流	343
11.8 热对流回流	346
11.9 回流技术的比较	347
第十二章 波峰焊	349
12.1 波峰焊概述	349
12.2 涂敷焊剂	350
12.3 电路板预热	353
12.4 波峰焊	354
12.5 掺油波峰焊	364
12.6 胶粘剂	365
第十三章 焊后清洗	375

13.1	污染物的类型	376
13.2	清洗工艺的选择	379
13.3	溶剂系统	382
13.4	选择清洗工艺	394
13.5	含水清洗	400
13.6	洁净度的测量	405
13.7	清洗规则：何时需要清洗	407
第十四章	检验和测试	409
14.1	检验的基本原理：检验还是不检验	410
14.2	在线检验点	414
14.3	检验技术	418
14.4	电气测试	428
第十五章	表面安装组件的修理	440
15.1	可修理性设计	441
15.2	修理工艺	444
15.3	设计改进	455
15.4	现场修理对策	459
参考文献		462
附录A	表面安装组件目检的验收规范	470
附录B	术语	475

第一部分 概论

第一章 绪论

印制线路技术虽然在第二次世界大战期间就发展起来了，但直到60年代才被人们广泛接受。那时，只用一些分立元件来组装电路，而且很少与电路板相连接。早期的一些集成电路很少采用16条以上的引线，而且插装技术（元件引线插入并焊接到电路板的通孔内）很容易满足当时的要求。随着微处理机的出现和计算机技术的发展，电路的复杂性已增加到元件插装技术不再适应的程度。例如，有些类型的数字集成电路必须作到与电路板有100个以上的接点。引线中心间距为 $0.100\text{in}^*(2.54\text{mm})$ 的插装型封装对于这么多的引线数就变得无能为力了。

表面安装技术（SMT）的开发在某种程度上是为了克服插装技术的局限性。与图1.1(a)所示的插装元件不同，表面安装元件直接焊到电路板的表面上（图1.1(b)）。虽然乍看起来这里没有明显差别，但这种变化具有许多优点，如尺寸小、重量轻、电性能好、成本低等。

从原理上说，表面安装技术并不是新东西。就在印制线路概念兴起之初，人们就用过许多方法把电子元件安装到电路板的表面上。例如，集成电路（IC）的扁平封装（图1.2）就是第一代专为封装IC而设计的，而且是一种名符其实的表面安装产品。早期的一些产品是适用于分立半导体器件的插装型封装。

* $1\text{in}=25.4\text{mm}$ 。——译者注

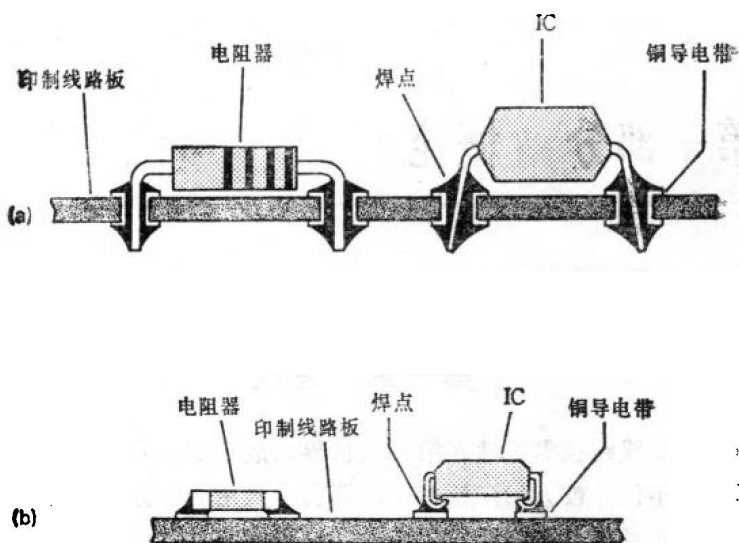


图 1.1 插装技术和表面安装技术的比较。
(a) 插装型；(b) 表面安装型

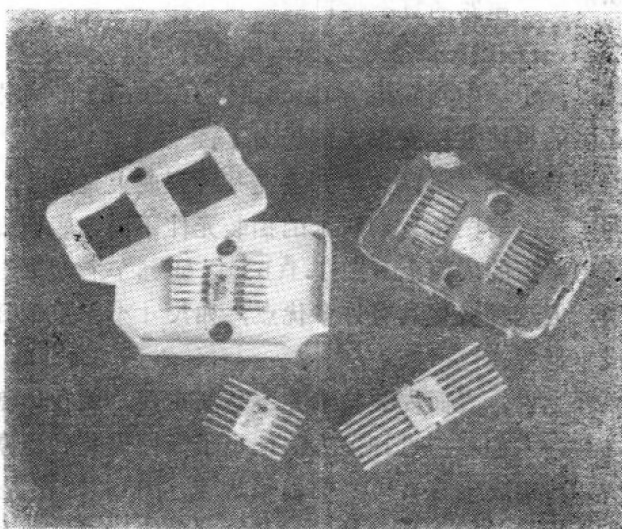


图 1.2 IC 扁平封装和芯片载体插座。
这类封装的引线节距为 0.100in (2.54mm)，是 60 年代中期所常用的类型

由于表面安装技术能减小几何尺寸，改善电路性能，所以多年来一直是陶瓷混合电路生产的一种主要组装方法。该项技术也已普遍用于高频电路，在这种情况下，较低的寄生电抗使表面安装技术比插装技术具有明显的优势。

但是，这些早期的方法仅限于专用电路，加工技术还缺乏标准化，而且仅限于手工组装。因此，其成本始终不能与插装印制线路技术相竞争。

虽然SMT是在这样的历史背景下发展起来的，但它并不单纯地是“旧技术的新应用”。在电子工业界，“表面安装技术”已成为众所周知的一个术语，它是指把电子元件以自动化的形式安装在印制线路板（PWB）或陶瓷基板上的一种低成本的组装技术。它的特点是利用焊料在电子元件和电路板之间形成电气和机械连接，因此，它区别于芯片内引线键合或用导电环氧树脂粘结芯片的组装。

1.1 表面安装技术的选择

表面安装技术通常是满足复杂封装要求的一种较经济的方法，但事实上并非总是如此，所以关心其应用的设计者们应当了解各种可能的折衷方案。只有客观地评价它们的优缺点，才能帮助设计者确定SMT是否适用于某一种特定的设计。

1.1.1 优点

在产品设计中应用SMT，可得到许多好处，它们是：

尺寸/重量

表面安装组件与等效的插装型电路相比，尺寸小、重量轻。通常报道的是，尺寸减小25—90%^[1-3]。从插装转变到SMT这种改变的实例示于图1.3。

利于减小尺寸的因素有下述几个方面：

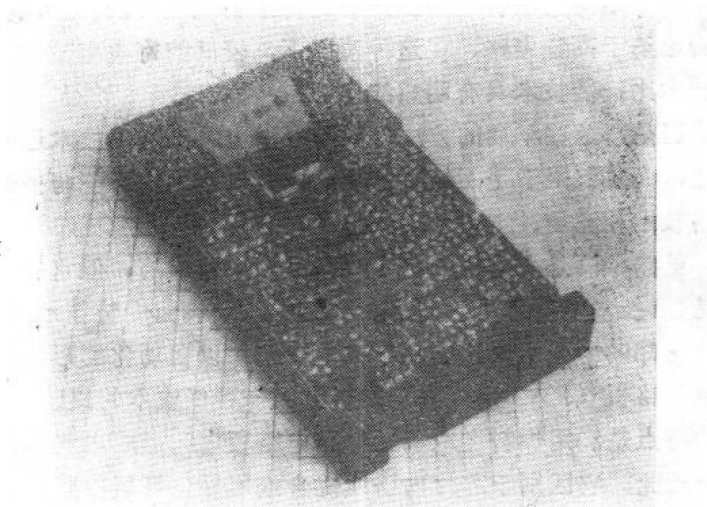


图 1.3 警用雷达探测器，这是商业上成功地采用SMT的一个例子，表面安装设计优于以前的插装型，其外形稍大于香烟盒

1. 元件尺寸

元件尺寸通常受封装要求的限制，而不受功能器件本身的限制。对于插装型元件来说，引线要有足够的强度，以免在插装过程中受损。典型的引线直径为 $0.020-0.035\text{in}$ ($0.5-0.9\text{mm}$)，很少小于 0.015in (0.4mm)。印制线路板上钻孔和图形公差限制了这些引线的密集程度。插装型引线的标准节距为 0.100in (2.54mm)，这是限制元件封装尺寸的又一个因素。

相反，许多SMT型器件根本没有引线，元件本身的金属化端头用于同电路板相连接。即使使用引线，它们的间距也很窄。标准表面安装IC的引线间距为 0.050in (1.27mm)，但有些器件的引线间距只有 0.020in (0.5mm)。所以，元件的封装要比相应的插装型封装小2—5倍，如图1.4所示。表1.1比较了几种表面安装元件和相应的插装型元件所要求的印制线路板的面积。

2. 互连性

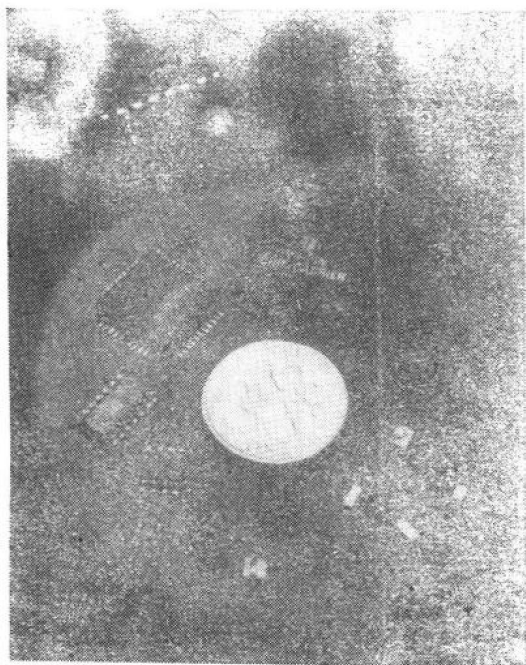


图 1.4 典型的表面安装元件。从右上方
顺时针数起,各元件分别为:44引线和22引线PLCC、钽电
容器、陶瓷电容器、SOT-23晶体管、各种电
感器、8引线和14引线SOIC、44线翼形方形封装,
其大小都是与照片背景处的16引线DIP封装相比而言

**表 1.1 各种元件所要求的印制
线路板面积的近似值**

元件的类型	元件的外形面积 (mm ²)	
	表面安装型	插 装 型
1/4W电阻器	5.1	23.5
100pF陶瓷电容器(COG介质)	2.4	7.5
0.1μF陶瓷电容器(X7R介质)	9.3	16.2
小信号晶体管	6.7	16.4
1W功率晶体管	62	217
16引线 IC	62	146
68引线 IC	640	1875*

* 64引线DIP.