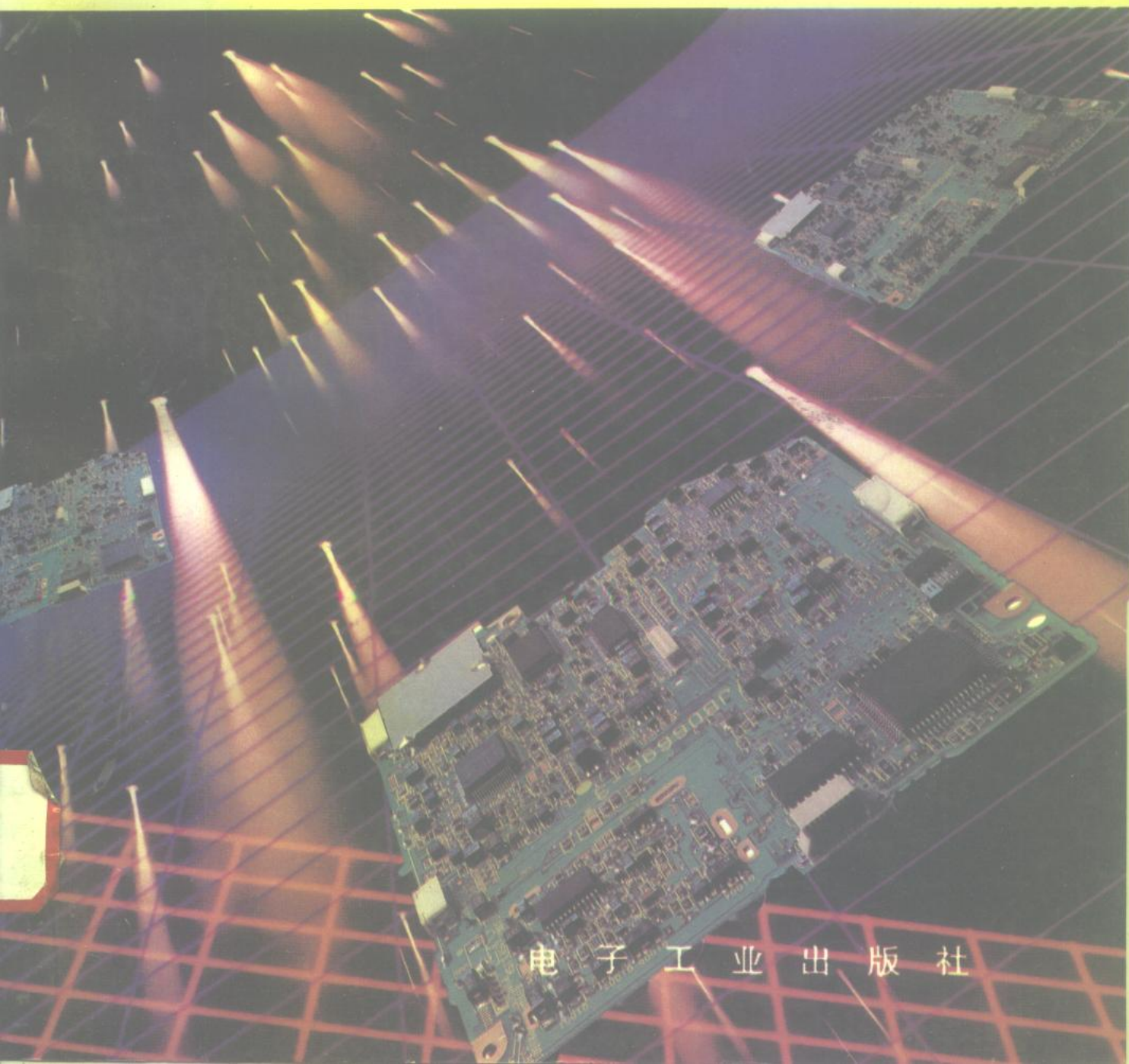


中国电子学会继续教育教材 CIE-8

表面组装技术

宣大荣 韦文兰 王德贵 编著



电子工业出版社

BIAOMIAN ZUZHUANG JISHU

表面组装技术

宣大荣 韦文兰 王德贵 编著

电子工业出版社

(京)新登字 055 号

内 容 提 要

本书对在现代电子技术飞速发展中出现的 80 年代四大技术之一的表面组装技术(SMT)从理论和实际应用上作了详尽的阐述。全书共有 14 章,介绍了表面组装用电子元器件、材料、电子电路组装的电与热设计、表面组装件设计、表面组装工艺概要、表面组装工艺技术和设备以及组装件的检测和缺欠分析。

本书可做为从事电子元器件和整机设计制造工作的工程技术人员继续教育课本和参考资料。

表面组装技术

宣大荣 韦文兰 王德贵 编著

特约编辑:申世璋 赵光云 责任编辑:孙延真

*

电子工业出版社出版(北京万寿路)

电子工业出版社发行 各地新华书店经售

天津市武清县瑞华印刷厂印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:24.25 字数:620 千字

1994 年 8 月第 1 版 1994 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:23.00 元

ISBN 7-5053-2073-4/TN·622

前 言

随着电子工业迅速发展,整机朝着小型化、多功能、高可靠性发展。适应电子整机的发展,国际上组装技术也正迅速地由传统的通孔插装方式,向高密度表面组装技术发展。与之相适应,电子元器件也由传统的插装元器件,向表面组装元器件发展。

我国自改革开放以来,首先在电子调谐器生产线上引进了表面组装技术,随后又相继引进了片式电阻、多层片式瓷介电容和片式二极管等表面组装元器件生产线,表面组装技术也逐步在其它电子产品中得到推广应用。“八五”期间,表面组装技术和表面组装元器件将以较快的速度发展。为了适应形势发展的需要,使有关科技人员能熟悉掌握这门新技术,中国电子学会教育工作部特组织编写这本继续教育的教科书。

本书的第一至四章由宣大荣同志执笔;第五至七章由韦文兰同志执笔;第八章至第十四章由王德贵同志执笔。在编写过程中,周铮、宋永祥、王志长、卓昌明和田春祺等同志提供了许多宝贵意见和资料,协助审定有关章节。电子工业部工艺研究所、公安部一所、苏州胜利无线电厂、中国电子学会元件分会和中国电子学会生产技术分会等单位给予了热情帮助和大力支持,在此谨向他们表示感谢,全书由董贻中和卜寿彭同志审定。

由于表面组装技术和表面组装元器件在国际上发展迅速,新技术和元器件不断出现,加之编著者水平有限,疏漏差错和不当之处在所难免,尚望读者批评指正。

编著者

中国电子学会继续教育教材 CIE-8

表面组装技术

组编策划：赵光云 许泽源

编 著：宣大荣 韦文兰 王德贵

终 审：董贻中 卜寿彭

特约编辑：申世璋 赵光云

责任编辑：孙延真

编务、校对：郭文有 王秀英

目 录

第一章 概论	1
第一节 表面组装技术的发展简况	1
第二节 表面组装技术的组成	3
第三节 表面组装技术的优点和尚待改进的问题	5
第二章 表面组装元件	10
第一节 电阻器	12
一、矩形片式电阻器	12
二、圆柱形片式电阻器	17
三、电阻网络	19
四、片式微调电位器	25
第二节 电容器	32
一、多层片式瓷介电容器(MLC)	32
二、管形瓷介电容器	39
三、片式铝电解电容器	43
四、片式钽电解电容器	47
五、片式薄膜电容器	53
六、片式云母电容器	57
七、片式微调电容器	60
第三节 电感器	64
一、绕线型片式电感器	64
二、多层型片式电感器	67
三、卷绕型片式电感器	72
第四节 机电元件	73
一、片式轻触开关	73
二、片式旋转开关	75
三、片式滑动接触开关(SSSS 系列)	77
四、钮子开关	80
五、表面组装继电器	82
六、连接器	87
第五节 其他元件	89
一、片式磁珠	89
二、片式抗电磁干扰滤波器	92
三、片式 LC 滤波器	96
四、片式表面波滤波器	99
五、片式陶瓷振子	101
六、片式延迟线	104
七、片式压敏电阻	108
八、片式热敏电阻	111
第六节 片式元件对表面组装技术的适应性	113
一、对片式元件本体结构设计方面的要求	113
二、对片式元件外形尺寸方面的要求	113

三、对电极(引出线)的要求	113
第三章 表面组装半导体器件	114
第一节 封装型半导体器件	114
一、塑封器件	114
二、陶瓷封装器件	123
三、塑封器件的可靠性要求	124
第二节 芯片组装器件	125
一、倒装焊器件	125
二、载带自动键合(TAB)	125
三、凸点载带自动键合(BTAB)	126
四、微凸点连接(MBB)	128
第四章 表面组装元器件的包装	131
第一节 编带包装	131
一、编带包装特征	131
二、编带和带盘的分类及尺寸	133
第二节 其他包装形式	136
一、棒式包装	136
二、托盘式包装	137
三、散装	137
第三节 包装形式的选择及发展趋势	139
一、包装形式的选择	139
二、表面组装元器件包装的发展趋势	141
第五章 SMT 电路基板	143
第一节 电路基板材料	143
一、无机材料	143
二、有机材料	144
第二节 SMT 电路基板的 T_g 和 CTE	145
一、电路基板的玻璃转变温度 T_g	145
二、电路基板材料的热膨胀系数 CTE	146
第三节 组合结构的电路基板	147
一、瓷釉覆盖的钢基板	147
二、金属板支撑的薄电路基板	147
三、柔性层结构的电路基板	148
四、约束芯板结构的电路基板	148
五、分立线结构的电路基板	150
第四节 环氧玻璃纤维电路基板	151
一、G-10 和 G-11 层板	151
二、FR-2、FR-3、FR-4、FR-5 和 FR-6 层板	151
三、非环氧树脂的层板	152
第五节 多层印制电路板的制造工艺	152
一、原材料制备	152
二、内层板工艺	153

三、多层板工艺	154
第六节 电镀工艺	156
一、镀铜	157
二、镀金	157
三、镀镍	157
四、镀锡铅焊料	157
第七节 阻焊膜	158
一、非永久性的阻焊膜	158
二、永久性的阻焊膜	158
第六章 电子电路组装件的电和热设计	160
第一节 高频传输线的应用	160
第二节 SMD 和 SMT 用于高频电路	160
第三节 高频传输线	162
一、微带线	163
二、带状线	164
第四节 传输线的特性阻抗和其它参数	164
一、特性阻抗	164
二、特性阻抗有关的因素	165
三、传输线的其它电参数	170
第五节 热参数	172
一、最高结温	172
二、最大耗散功率 P_{cm}	172
三、热阻 R_T	173
第六节 散热方式	173
第七节 表面组装件的热分析	174
一、针对 SMD 散热面积小采取的措施	175
二、减小组装件热阻的措施	175
第八节 多芯片模块的散热	176
一、强迫风冷	177
二、液体冷却	179
第九节 热膨胀系数的考虑	180
一、采用有引线的器件	180
二、采用柔性层	181
三、采用和陶瓷 CTE 接近的基板材料	181
第七章 表面组装件的设计	182
第一节 表面组装件的设计步骤	182
一、元件选择	183
二、基板选择	183
三、工艺选择	184
四、电路板的布线	185
第二节 设计指南	185

一、电路块划分	185
二、印制电路板的尺寸和形状	186
三、元器件的方向和位置	186
四、元器件间的间距	189
五、通孔	193
六、布线的线宽和线距	195
第三节 SMD 的焊盘图形设计	203
一、矩形无源元件	203
二、圆柱形 MELF 元器件	205
三、晶体管	206
四、塑封有引线芯片载体 (PLCC)	207
五、无引线陶瓷芯片载体 (LCCC)	208
六、小外形集成电路和电阻网络	208
七、SOJ 器件	209
八、鸥翼形细中心距引线器件	210
第八章 表面组装工艺概要	212
第一节 表面组装和通孔插装的比较	212
第二节 表面组装方式及其组装工艺流程	214
一、表面组装方式	214
二、表面组装工艺流程	215
第九章 表面组装材料	220
第一节 焊料	220
一、焊料合金	220
二、SMT 用焊料的形式	224
第二节 焊剂	225
一、焊剂的种类和组成	225
二、焊剂的物理化学作用	227
三、新型焊剂的开发研究	228
第三节 焊膏	228
一、焊膏的分类和组成	229
二、焊膏特性	229
三、焊膏的发展方向	236
第四节 粘接剂	237
一、粘接理论	237
二、粘接剂的种类	237
三、SMT 用的粘接剂	238
四、SMT 对粘接剂的性能要求	238
第五节 清洗剂	239
一、清洗剂的种类	239
二、溶剂的稳定性	244
三、SMA 清洗对溶剂的要求	244
四、清洗剂的发展和替代	245

第十章 焊膏和粘接剂的涂敷技术和设备	249
第一节 焊膏涂敷技术和设备	249
一、丝网印刷技术	249
二、焊膏印刷中存在的问题和解决办法	257
第二节 粘接剂涂敷技术和设备	258
一、粘接剂涂敷原理	258
二、粘接剂的涂敷方法和设备	258
第十一章 贴装技术和设备	260
第一节 贴装机的结构和特性	260
一、贴装机的一般组成	260
二、贴装机的特性	262
三、元器件供料系统	271
四、视觉系统	272
第二节 贴装机的类型	276
一、顺序式贴装机	277
二、同时式贴装机	285
三、在线式贴装系统	285
第三节 影响贴装机功能的主要因素	285
一、贴装机的总体机械结构	286
二、X-Y 传送机构	286
三、座标读数	286
四、元器件供料器	289
五、计算机控制	289
六、元器件检测	290
第四节 表面组装组件的返修	291
一、热空气对流加热返修技术	291
二、传导加热返修工具	292
第十二章 焊接技术和设备	293
第一节 概述	293
第二节 波峰焊接技术和设备	294
一、波峰焊接工艺和焊接原理	295
二、双波峰焊接系统	296
三、喷射式波峰焊接系统	297
四、波峰焊接系统的改进	298
五、波峰焊接工艺的有关问题	299
第三节 再流焊接技术和设备	301
一、再流焊接技术概述	301
二、汽相再流焊接技术和设备	302
三、红外再流焊接技术和设备	315
四、工具再流焊接技术和设备	321
五、激光再流焊接技术和设备	323
六、免洗焊接技术	326

第十三章 清洗技术和设备	331
第一节 清洗理论	331
一、影响清洗的因素	331
二、污染的基本原理	333
三、清洗理论	336
第二节 清洗系统和设备	342
一、批量式溶剂清洗机	342
二、连续式溶剂清洗机	345
三、溶剂清洗机采用的可调加热致冷系统	347
四、溶剂清洗机的维护	347
五、替代 CFC 的清洗工艺和设备	348
六、污染物的测量	351
第十四章 表面组装组件的检测	353
第一节 组件故障和测试类型	353
一、组件故障分析	353
二、组件检测类型	354
第二节 来料检测	354
一、元器件的来料检测	354
二、PCB 的来料检测	356
三、组装用材料的来料检测	358
第三节 组件检查	361
一、裸板外观检测技术和设备	361
二、SMA 的外观检测技术和设备	362
三、激光/红外焊点自动检测技术和设备	363
四、3DX 射线分层照相焊点检测技术	363
第四节 组件测试	364
一、在线测试技术	364
二、功能测试技术	369
三、自动测试设备(ATE)	371
四、测试探针和测试夹具	371
参考文献	373
附录	374
1. 英文缩写字汇编	374
2. 片式元件国外标准汇总	377

第一章 概论

表面组装技术(SMT)是 80 年代国际上最热门的新一代电子组装技术,被誉为电子组装技术的一次革命。它与传统的穿孔插入式组装技术相比,其生产的产品,具有体积小、重量轻、信号处理速度快、可靠性高、成本低等优点。它的出现动摇了传统插装技术的统治地位。当前,发达国家在计算机、通信、军事、工业自动化、消费类电子等领域的新一代电子产品中,几乎都采用了 SMT 技术。据预测,到 1997 年全世界电子设备的 SMT 百分率达到 66%。也就是说,SMT 已经成为 90 年代电子工业的支柱技术。

第一节 表面组装技术的发展简况

SMT 并不是凭空出现的,实际上它是混合集成电路技术的延伸和发展。为混合电路所开发的片式电容器和电阻器至今仍沿用 SMT 中。

五十年代研制成的扁平封装器件,组装时直接把引线焊接在基板表面上,可视为表面组装器件的最初模式。混合电路中厚膜印刷和焊接工艺为 SMT 的自动化奠定了基础。混合电路由于其陶瓷基板加工问题,难于制备大面积平整的基板。因此一个复杂的电路必须由多块混合电路互连组成。这就使混合电路的体积、成本、可靠性和生产效率受到很大限制,影响到混合电路的发展和广泛使用。这便很自然地促使电子工程师们探索用有机基板代替陶瓷基板的问题,开始走向 SMT 的研究。

表面组装技术的重要基础之一是表面组装元器件(SMD)。现在就回顾一下它的发展过程。六十年代欧洲飞利浦公司研制出可表面组装的钮扣状微型器件供手表工业使用,这种器件就发展成现在表面组装用的小外形集成电路(SOIC)。它的引线分布在器件两侧,呈鸥翼形,引线的中心距为 50mil(1.27mm),引线数最多可达 28 针。

七十年代初期日本开始使用方形扁平塑封装的集成电路(QFP)制造计算器。QFP 的引线是分布在器件的四边呈鸥翼形,引线的中心距仅为 40mil(1mm);33mil(0.8mm)和 25mil(0.65mm),而引线数可达 160 针或更多。

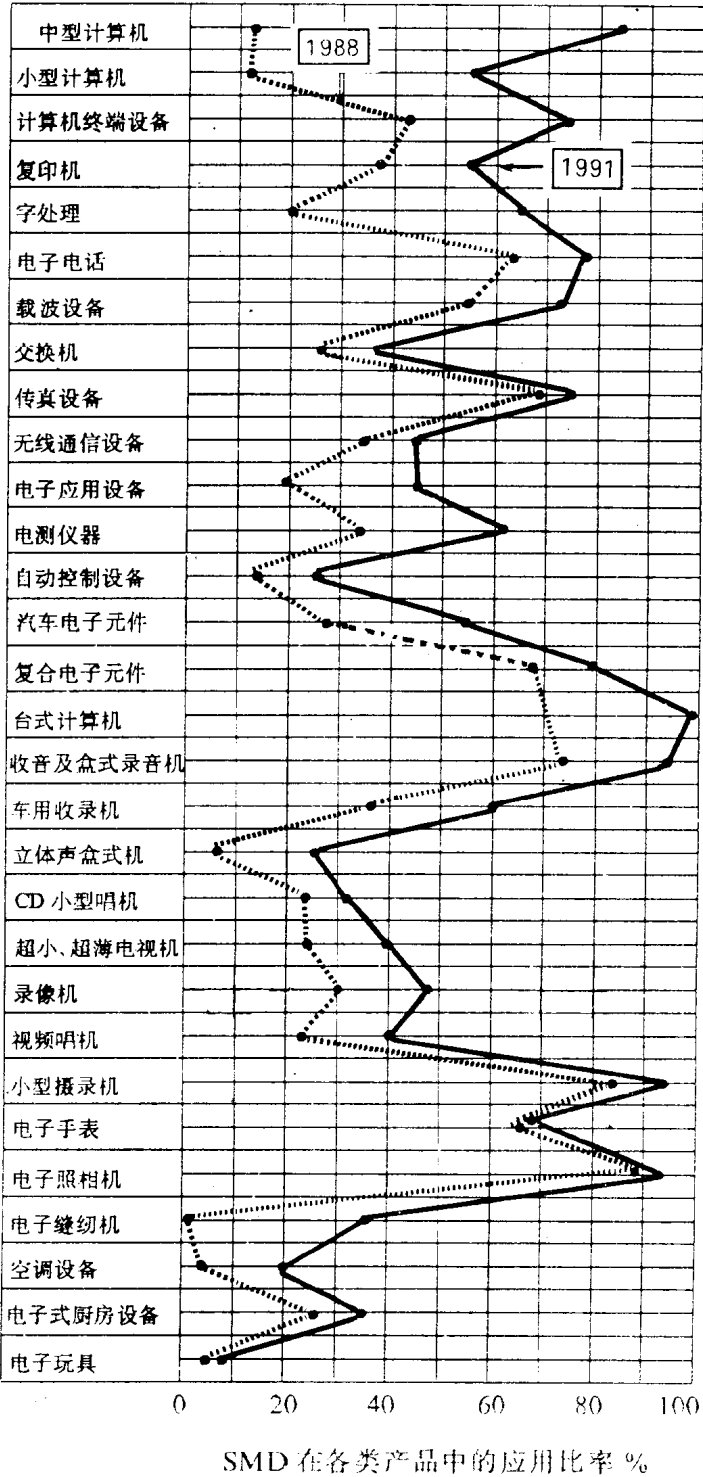
美国所研制的塑封有引线芯片载体(PLCC)器件,引线分布在器件的四边,引线中心距为 50mil(1.27mm),而引线呈“J”形。PLCC 占用组装面积小,引线不易变形。

SOIC、QFP 和 PLCC 都是塑料外壳,不是全密封器件。由于军事需要,美国于七十年代研制出无引线陶瓷芯片载体(LCCC)全密封器件。它以分布在器件四边的金属化焊盘代替引线。由于 LCCC 无引线地组装在电路中,引进的寄生参数小,噪声和延时特性有明显改善。另外,陶瓷外壳的热阻也比塑料的小,它适用于高频、高性能和高可靠的电路。但因为它是直接组装在基板表面,没有引线来帮助吸收应力,在使用过程中易造成焊点开裂。由于使用陶瓷金属化封装,所以 LCCC 比其他类型的器件价格高,使应用受到一定限制。

在六十年代就有矩形片式电阻器和多层片式瓷介电容器应用于混合集成电路。随着混合集成电路的发展以及表面组装技术的扩大应用,片式元件的品种、结构、数量也迅速发展。尤其到八十年代,各种片式钽、铝电解电容器、薄膜电容器、可调电容器和电位器均相继成系列地投入市场,同时各种机电元件、敏感元件和复合元件也陆续研制成功。

表 1-1 示出了 1988 和 1991 年表面组装元器件在各类电子产品中的应用情况。

表 1-1 1988 和 1991 年 SMD 在各类电子产品中的应用



电路组装技术是把各种元器件按电路要求以最小体积、最有效、最经济、最能发挥电路功能的方式组装起来,是随着电子元器件的发展而不断改进的。如随着有源器件从电子管、晶体管、集成电路,直至大规模集成电路和超大规模集成电路的发展,无源元件也相应地不断小型化、微型化,组装技术也经历了手工联装、半自动插装、自动插装直至表面组装的演变过程。

电子元器件和组装技术的发展概况参见表 1—2。

表 1—2 电子元器件和组装技术的发展

年 代		60 年代	70 年代	80 年代
代表产品	电子管收音机	黑白电视机	彩色电视机	录像机 电子照相机
器件	电子管	晶体管	集成电路	大规模集成电路, SMD
元件	带引线的大型元件	轴向引线小型化元件	整形引线的小型插装元件	表面组装元件, SMC
组装技术	扎线,配线,手工焊接	半自动插装浸焊接	自动插装波峰焊接	表面组装自动贴装和自动焊接(再流焊接或波峰焊接)

由此可见,元器件的不断缩小,促进了组装技术的不断发展,而组装技术在提高组装密度的同时又向元器件提出了新的技术要求和齐套性要求。可以说二者是相互依存,相互促进的。

日本是开发 SMT 最早的国家之一,至今经历了三个阶段。第一阶段(1970~1975 年)小型化是主要目标,表面组装元器件主要用于混合集成电路石英表和计算器。第二阶段(1976~1980 年)主要目标是减小电子产品单位体积,提高电路功能,主要用于摄像机、录像机、电子照相机等。这段时期内对表面组装技术进行了大量的研制工作。元器件和组装工艺和支撑材料渐臻成熟,为下一步的 SMT 大发展奠定了基础。第三阶段(1980 年~)主要目标是降低成本,大力发展组装设备,提高电子产品的性能—价格比。

日本的片式电阻器、电容器的价格、数量与时间(年份)的变化情况见图 1—1。

第二节 表面组装技术的组成

表面组装技术是采用新型片式化、微型化的无引线或短引线的元器件,通过自动贴装设备将其贴装在单面或双面印制电路板(PCB)的表面上,再经过自动焊接、检测等工序完成产品的组装。

表面组装技术与通孔插装技术相比,区别似乎仅在于采用的元器件的形状不同以及用平面贴装代替通孔插装,但实际上这一变革包含大量内容。例如 SMT 和 THT 的 PCB 设计规范就大不一样。SMT 的 PCB 设计规范和它所采用的具体工艺与 PCB 的工艺密切相关。确定 SMT 的焊盘图形,应考虑其组装类型、贴片方式、贴片精度和焊接工艺等。因此要制定出合理的设计规范必须先做大量的研究和试验。表面组装用的元器件种类繁多,结构多样。仅就片式电容器而言,它绝不只是瓷质独石电容器去掉引线,要在如此小的体积中实现容量系列必须进行大量的瓷料研究。电容器金

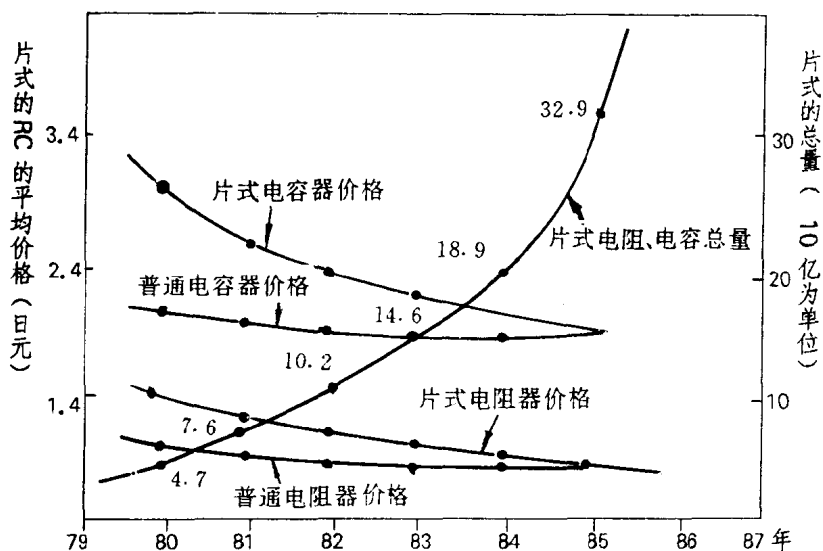


图 1-1 日本片式电阻器、电容器的价格、数量与时间(年份)的变化

属化端头的可焊性又是一个技术关键。又如 SMT 半导体器件的封装结构和封装材料也是一个需要深入研究的课题。为使基板和器件的热膨胀系数相匹配,围绕基板材料和结构正在做大量的探索。SMT 的工艺规程需要一批有经验的工程技术人员去研究。SMT 设备的开发和制造涉及众多学科,既需巨额投资,又需雄厚的技术力量。总之 SMT 的采用牵涉到新型组装元器件、基板和材料的设计与制造,组装工艺、组装设计、检测技术和相应设备等一系列的变革,因而被称之为“组装革命”。它是一项复杂的系统工程。

下面列出 SMT 的主要组成部分。

- | | | |
|----------------------------------|---|---------------------------------|
| 1、表面组装元器件 | [| 设计——结构尺寸、端子形式、耐焊接热等 |
| | | 各种元器件的制造技术 |
| | | 包装——编带式、棒式、散装等 |
| 2、电路基板——单(多)层 PCB、陶瓷、瓷釉金属板等 | | |
| 3、组装设计——电设计、热设计、元器件布局、基板图形布线设计等。 | | |
| 4、组装工艺 | [| 组装材料——粘接剂、焊料、焊剂、清洗剂等 |
| | | 组装技术——涂敷技术、贴装技术、焊接技术、清洗技术、检测技术等 |
| | | 组装设备——涂敷设备、贴装机、焊接机、清洗机、测试设备等。 |

目前表面组装用的元器件品种规格尚不齐全,因此在表面组装件(SMA)中有时仍需要采用部分通孔插装元器件,所以组装件往往是插装件和贴装件兼有的,全部采用 SMD 的只是一小部分。按照组装件中是否采用通孔插装元器件和它在 PCB 两面的分布情况分成三种类型的表面组装件。

第一类:单面混合组装件。如图 1-2a 所示采用表面组装元器件和通孔插装元器件混合组装。在 PCB 的 A 面装通孔插装元器件,而在 PCB 的 B 面装表面组装元器件。

第二类:双面混合组装件。如图 1-2b 所示。采用表面组装元器件和通孔插装元器件混合组装。在 PCB 的 A 面装表面组装元器件和通孔插装元器件,而在 PCB 的 B 面还可装表面组装元器件。

第三类:全表面组装件。如图 1-2c 所示全部采用表面组装元器件,可组装在 PCB 的单面或双面。分别称为一面或两面表面组装件。

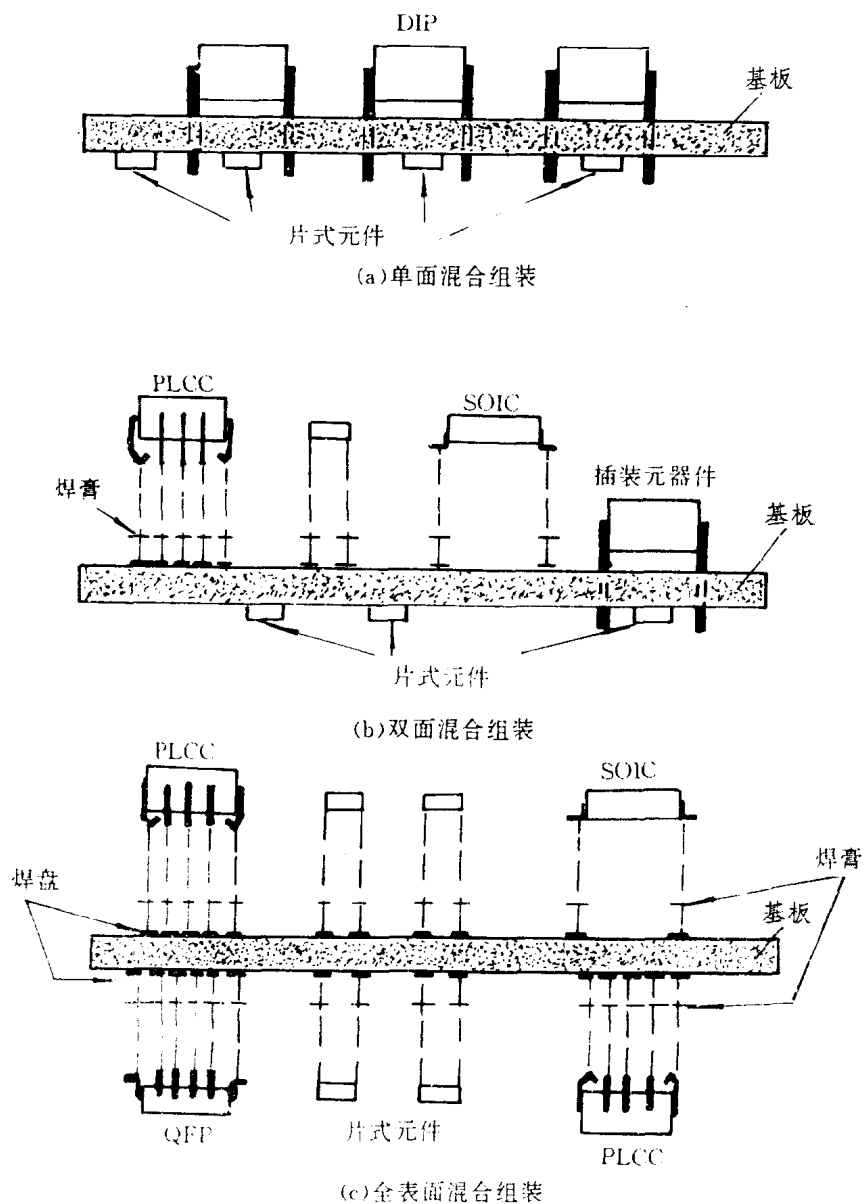


图 1-2 三种表面组装件示意图

第三节 表面组装技术的优点和尚待改进的问题

用表面组装技术组装的电子产品的主要优点可归纳为以下几个方面：

1. 组装密度高,体积小,重量轻。

表面组装元器件的体积小,重量轻。贴装时不受引线间距、通孔间距的限制,并可在基板的两面

进行贴装或与有引线元器件混合组装,从而可大大提高电子产品的组装密度,见表 1-3。

表 1-3 组装密度的比较

组装形式		组装密度(只/cm ²)
通孔组装		2~4
表面 组 装	单面表面组装	3~6
	单面混合组装	4~8
	双面混合组装	5~9
	双面表面组装	6~12

图 1-3 中的曲线表明双列直插封装(DIP)的通孔插装器件和SOIC, PLCC 在各种不同针数时的面积比。SOIC, PLCC 的面积约为 DIP 的 25~40%。而 SOIC 和 PLCC 对 DIP 的高度比约为 40~85%。图 1-4 示出 DIP 通孔插装器件和 PLCC 有引线芯片载体在各种不同针数时的重量比。PLCC 约为 DIP 重量的 4.5~13.5%。

若要比 较 同 样 电 路 的 SMT 组 装 件 和 THT 组 装 件 需 用 的 PCB 面 积, 首 先 要 看 采 用 何 种 类 型 的 表 面 组 装 件, 在 组 装 件 中 表 面 组 装 元 器 件 占 总 元 器 件 的 百 分 数。例 如, 单 面 表 面 组 装 件 中, 仅 采 用 表 面 组 装 元 件 代 替 通 孔 插 装 元 件, 节 省 面 积 约 为 5~10%。在 双 面 表 面 组 装 件 中 全 部 采 用 表 面 组 装 元 器 件, 节 约 PCB 面 积 则 很 可 观, 约 为 50%。用 通 孔 插 装 器 件 DIP256K 的 存 贮 器 (DRAM) 组 装 0.5MB 容 量 的 电 路 板 需 要 4"×4" 的 PCB (1"=2.54cm)。若 在 4"×4" 的 PCB 上 采 用 单 面 表 面 组 装 方 式 则 可 容 纳 1MB。若 用 双 面 表 面 组 装 方 式 则 可 容 纳 2MB 的 容 量。

INTELSBC286/10 的 电 路 板 采 用 混 合 组 装 件, 1984 年 组 装 件 中 采 用 了 50% 表 面 组 装 元 器 件, 所 用 PCB 面 积 为 通 孔 插 装 元 器 件 组 装 时 的 80%。1986 年 组 装 件 中 的 表 面 组 装 元 器 件 上 升 至 80%, PCB 面 积 节 省 35%。可 见 SMT 可 使 电 子 产 品 体 积 大 大 缩 小, 重 量 显 著 减 轻, 这 对 航 天 技 术 的 产 品 具 有 特 别 重 大 的 意 义。

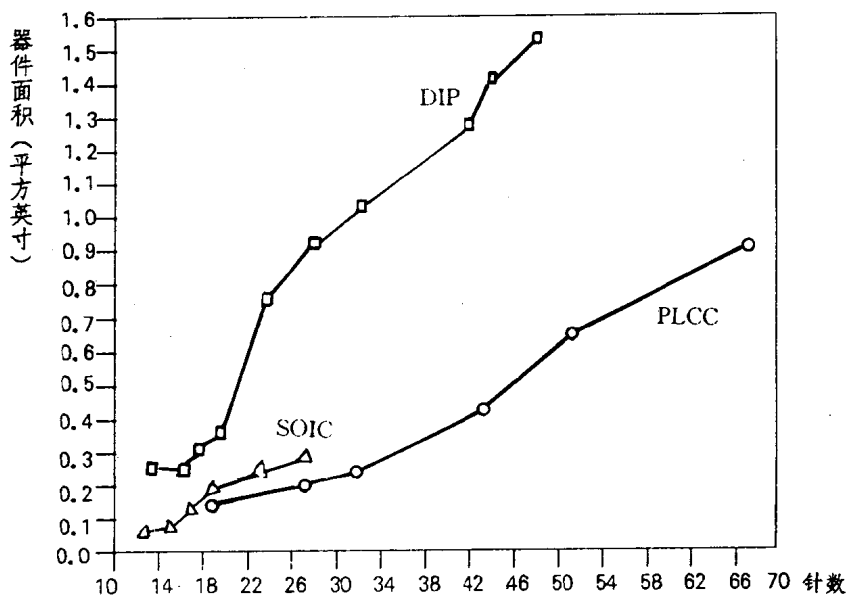


图 1-3 通孔器件 DIP 和表面组装器件 SOIC, PLCC 的面积对比