

目录

1 范围	.....	1	3.3.3	设计界限	.....	22	
1.1	装配和连接技术	.....	1	3.3.4	间隙	.....	23
1.2	通孔插装技术	.....	1	3.3.5	物理支撑	.....	23
1.3	表面贴装技术	.....	1	3.4	自动组装的设计	.....	23
1.4	参考文件	.....	2	3.4.1	基准标记	.....	23
1.4.1	连接行业标准	.....	2	3.4.2	自动通孔插装的组装技术	.....	23
1.4.2	IPC—国际电子工业联接协会文档	.....	4	3.4.3	自动化表面贴装的组装技术	.....	23
1.4.3	美国政府标准	.....	10	3.4.4	自动混装技术	.....	24
1.4.4	美国机械工程师协会	.....	11	3.5	通孔插装的组装技术	.....	24
1.4.5	ASTM 国际	.....	11	3.5.1	引线结构	.....	24
1.4.6	SAE 国际	.....	12	3.5.2	引线 / 孔的关系	.....	28
1.4.7	联邦航空条例 (FAR)	.....	12	3.5.3	通孔连接盘图形	.....	28
1.4.8	保险商实验室	.....	12	3.6	表面贴装的组装	.....	29
1.4.9	IEC 标准	.....	12	3.6.1	印制板的基本要素	.....	29
1.4.10	电子协会独立批发商 (IDEA)	.....	12	3.6.2	加工补偿	.....	29
1.4.11	静电放电协会	.....	13	3.6.3	SMT 连接盘图形细节	.....	29
				3.6.4	SMT 组装工艺	.....	30
2 电子组件操作	.....	13	4 印制电路板	.....	32		
2.1	定义	.....	13	4.1	通用要求	.....	32
2.1.1	静电放电 (ESD)	.....	13	4.2	设计要素	.....	34
2.1.2	静电放电敏感元器件 (ESDS)	.....	13	4.2.1	结构	.....	34
2.1.3	电气过载 (EOS)	.....	13	4.2.2	有引线与无引线元器件的比较	.....	34
2.2	ESDS 部件 (元器件和 / 或组件) 的操作	.....	13	4.2.3	CTE 问题	.....	34
2.2.1	电气过载 (EOS) 损伤预防	.....	14	4.3	PCB 材料	.....	34
2.2.2	静电放电 (ESD) 损伤预防	.....	14	4.3.1	热固性树脂	.....	34
2.3.1	焊后操作	.....	15	4.4	非金属抑制芯的印制板	.....	36
2.4	污染	.....	15	4.5	基底导体	.....	36
2.5	潮湿敏感元器件的处理	.....	15	4.5.1	金属箔	.....	36
2.6	组装工艺中非 IC 电子元器件的分级 (ECA/IPC/JEDEC J-STD-075)	.....	16	4.5.2	电沉积铜箔	.....	37
				4.5.3	压延退火铜箔	.....	37
				4.5.4	加法电路电镀	.....	37
3 设计需要考虑的要素	.....	19	4.6	电镀及表面处理	.....	37	
3.1	背景及理论	.....	19	4.6.1	化学镀铜	.....	37
3.2	基本注意事项	.....	19	4.6.2	半导体涂覆层	.....	37
3.2.1	最终产品的应用惯例	.....	19	4.6.3	电解铜镀层	.....	37
3.2.2	性能及可靠性	.....	20	4.6.4	金镀层	.....	37
3.2.3	可制造性设计	.....	20	4.6.5	浸银层	.....	41
3.3	封装元器件组装的注意事项	.....	21	4.6.6	浸锡层	.....	42
3.3.1	元器件朝向	.....	21	4.6.7	有机可焊性保护剂 (OSP)	.....	42
3.3.2	可达性	.....	22	4.6.8	镍镀层	.....	43

4.6.9	锡 / 铅镀层	44	6.7	可焊性排故	57
4.6.10	焊料涂覆层	44	6.8	可焊性测试	57
4.6.11	适用印制板板边接触件的其他金属 涂覆层	45	6.8.1	IPC J-STD-002	57
4.7	印制板处理与贮存指南	45	6.8.2	力度测量	58
			6.9	IPC J-STD-003	59
			6.10	可焊性测试中助焊剂材料的重要性 ...	60
5	电子电路元器件	45			
5.1	引线 / 端子处理层	46	7	组装和连接材料	61
5.2	湿敏	46	7.1	简介	61
5.3	元器件	46	7.2	预焊接用的化学材料	62
5.3.1	有源与无源元器件区别	46	7.2.1	金属表面的活化溶剂	62
5.3.2	分立与集成元器件区别	46	7.2.2	阻焊膜	63
5.4	通孔插装与表面贴装元器件	46	7.2.3	保护性涂覆层	63
5.4.1	引线通孔插装元器件	47	7.3	助焊剂	64
5.4.2	表面贴装 - 无引线元器件	47	7.3.1	选择适当的助焊剂	64
5.4.3	表面贴装 - 有引线元器件	47	7.3.2	助焊剂类型	64
5.5	电子组件	47	7.3.3	松香 / 树脂助焊剂 (RO 或 RE 类型) ...	65
5.6	元器件包装	47	7.3.4	“免清洗”助焊剂	66
5.7	印制电路板连接器	47	7.3.5	有机助焊剂 (OR 类型)	66
5.7.1	印制电路板连接器的选择	47	7.3.6	无机助焊剂 (IN 类型)	67
5.8	插座	48	7.3.7	表层油	67
5.9	测试插座及测试点	49	7.4	焊料	67
5.10	BGA 设计和组装工艺 (IPC-7095) ...	49	7.4.1	焊料合金的选择	67
5.10.1	范围	50	7.4.2	经济性	68
5.10.2	目的	50	7.4.3	工艺与应用	69
5.11	底部端子元器件 (BTC) 设计及 组装工艺 (IPC-7093)	50	7.4.4	焊料规格	69
5.12	倒装芯片设计与组装工艺 (IPC-7094) ...	50	7.5	低温焊料合金	70
5.13	伪劣电子元器件和 / 或伪劣机械紧固件	50	7.5.1	应用	70
5.13.1	伪劣机械紧固件	50	7.5.2	形态与技术	72
5.13.2	伪劣电子元器件	51	7.5.3	波峰焊	72
			7.5.4	特殊应用	73
			7.6	传统焊料合金	73
6	可焊性	52	7.6.1	高温助焊剂	74
6.1	简介	52	7.6.2	高温剥离和上锡	74
6.2	固有可焊性	53	7.7	无铅焊料合金	75
6.3	表面处理层	54	7.8	焊膏	88
6.3.1	有机表面处理层	54	7.8.1	焊膏合金	88
6.3.2	可溶性处理层	54	7.8.2	评估焊膏性能的测试方法	89
6.3.3	可熔性处理层	54	7.8.3	焊膏的应用	89
6.3.4	阻挡用基底镀层	54	7.9	预成形焊料	89
6.4	可焊性退化	54	7.9.1	预成形焊料合金	90
6.5	加速处理	56	7.9.2	预成形焊料的设计	90
6.6	印制线路板弱膝现象	56	7.9.3	预成形焊料加热	91

7.10	粘合材料	91	8.6.2	径向引线分立式元器件	116
7.10.1	环氧树脂粘合剂	91	8.6.3	双列直插封装	117
7.10.2	硅脂粘合剂	92	8.6.4	单列直插封装	117
7.10.3	聚氨酯	92	8.6.5	带状引线元器件	117
7.10.4	丙烯酸粘合剂	92	8.6.6	针栅阵列	118
7.10.5	丙烯酸树脂基粘合剂	93	8.6.7	通孔连接器	119
7.10.6	导电胶	93	8.6.8	通孔插座	120
7.10.7	表面贴装用的粘合剂	94	8.7	通孔插装顺序	121
7.10.8	导热粘合剂	94	8.7.1	流程步骤	121
7.10.9	固化验证	94	8.7.2	元器件的放置	131
7.10.10	工艺验证	94	8.7.3	垂直安装	132
7.11	锡须	94	8.7.4	混合组装技术	135
7.11.1	概要	94	8.7.5	手工技术	135
7.11.2	过渡至 RoHS 认证产品的通用指南	95	8.7.6	自动化技术	135
7.11.3	电子元器件引线及端子处理层	99	8.8	临时性掩膜指南	138
7.11.4	分离式连接器	101	8.9	表面贴装	138
7.11.5	汇流条	102	8.9.1	组装层级	138
7.11.6	散热器	103	8.9.2	人工组装技术	145
7.11.7	印制电路板 (PCB)	103	8.9.3	自动组装技术	145
7.11.8	如何判断一个元器件是否包含锡 处理层?	104	9 焊接		147
7.11.9	判断元器件引线 / 端子处理层中金属 元素的测试	104	9.1	介绍	147
7.11.10	能谱仪	104	9.1.1	润湿过程	147
			9.1.2	润湿与可焊性	147
			9.1.3	焊料	148
	8 元器件的安装	107	9.2	焊料合金	148
8.1	组件分类	107	9.2.1	焊料键合面的结构	148
8.1.1	生产能力等级	107	9.2.2	金属间化合物生长速率	149
8.1.2	印制电路板组件类型	107	9.2.3	焊料合金物理特性的影响因素	149
8.2	通用指南	108	9.2.4	应变速率效应	150
8.2.1	设计选项和注意事项	108	9.2.5	“晶粒尺寸”效应	152
8.2.2	组装注意事项	109	9.2.6	无铅焊接: 工艺的注意事项	154
8.3	其他安装结构材料和注意事项	112	9.3	去金	156
8.3.1	散热器	112	9.3.1	去金原因	156
8.3.2	限位装置	112	9.4	焊料纯度	157
8.3.3	元器件 - 引线扩展装置	113	9.4.1	测试原因	157
8.3.4	导热绝缘件	113	9.4.2	测试频率	157
8.4	组装流程设计	113	9.4.3	铜	157
8.5	放置指南	114	9.4.4	金	157
8.5.1	结构形态与工艺排序	114	9.4.5	镉	157
8.5.2	自动组装	115	9.4.6	锌	158
8.6	元器件特性, 通孔	116	9.4.7	铝	158
8.6.1	轴向引线分立式元器件	116	9.4.8	锑	158

9.4.9	铁	158	9.18.4	孔阻塞	168
9.4.10	砷	158	9.19	机器焊接	169
9.4.11	铋	158	9.19.1	波峰焊	169
9.4.12	银	158	9.19.2	机器控制	169
9.4.13	镍	159	9.19.3	助焊	169
9.4.14	焊料炉污染	159	9.19.4	发泡式助焊	169
9.4.15	污染对焊接过程的影响	159	9.19.5	波峰式助焊	169
9.4.16	解决污染问题	159	9.19.6	涂刷式助焊	170
9.5	锡的损耗	159	9.19.7	喷雾式助焊	170
9.6	焊接工艺	159	9.19.8	预热	170
9.7	手动 / 手工焊接	159	9.19.9	焊料波峰	170
9.7.1	助焊剂的应用	159	9.19.10	抛物线波峰	170
9.8	焊料的应用	160	9.19.11	双向宽波峰	170
9.9	手工焊接	160	9.19.12	不对称（支撑）波峰	170
9.9.1	热传递的注意事项	161	9.19.13	特别规定	171
9.10	温度控制 - 加热元器件和板子的 注意事项	162	9.19.14	印制板传送带	171
9.10.1	散热片	162	9.19.15	托盘传送带	171
9.11	烙铁头的选择	162	9.19.16	指爪传送带	171
9.11.1	烙铁头材料	162	9.19.17	其他传送带	171
9.11.2	烙铁头的选择	162	9.19.18	传送带控制	171
9.11.3	形状 / 物理结构	162	9.19.19	惰性气体氛围	171
9.11.4	烙铁头维护	163	9.19.20	液体配制	172
9.11.5	焊接烙铁工作台的维护	163	9.19.21	系统的注意事项	172
9.11.6	延长烙铁头寿命	163	9.19.22	设计的注意事项	173
9.12	手工焊接 - 焊接工具及设备	164	9.19.23	过程控制	173
9.13	接线柱焊接	165	9.19.24	维护	173
9.13.1	喇叭口硬件	165	9.19.25	焊渣回收和再生	175
9.13.2	杆部不连续	165	9.19.26	培训	175
9.13.3	喇叭口角度	165	9.19.27	安全	175
9.13.4	接线柱安装	165	9.20	流焊井 / 小锡炉	175
9.13.5	通用要求	166	9.21	静态焊料炉	176
9.14	端子的焊接	166	9.22	选择性焊接	176
9.14.1	塔型、钩型接线柱	166	9.22.1	关键工艺要素	176
9.14.2	双叉、穿孔型接线柱	166	9.22.2	工艺期望	176
9.14.3	焊锡杯和空心圆柱接线端子焊接	167	9.22.3	工艺优化和控制	176
9.15	非支撑孔	167	9.23	再流焊接	176
9.16	支撑孔（PTH）	167	9.23.1	测试组件	177
9.17	孔的垂直填充	167	9.23.2	热电偶连接	177
9.18	PTH 安装元件 - 焊接条件	168	9.23.3	基准曲线	178
9.18.1	引线弯曲处的焊料	168	9.23.4	焊膏中插针焊接（通孔再流焊接）	183
9.18.2	焊料中弯液面	168	9.23.5	表面贴装引线的固定	183
9.18.3	无引线 - 导通孔的界面连接	168	9.24	其他再流焊方法	183
			9.24.1	热棒电阻再流焊 “热棒” / 脉冲焊接	183

9.24.2	激光再流焊	184	10.3.2	用各向异性粘合剂键合外引线	205
9.24.3	气相焊接	186	10.3.3	导热粘合剂键合	205
9.24.4	红外 (IR) 焊接	188	10.3.4	粘合剂的涂覆工艺	206
9.24.5	红外 (IR) 再流焊过程	188	10.3.5	固化	207
9.24.6	MVC 温度的测定	193	10.3.6	散热器材材料和加工	207
9.24.7	空气 / 气体质量	194	10.3.7	粘合剂测试与评价	210
9.24.8	监测和控制	194	10.4	机械加压连接	212
9.24.9	性能分析装置	194	10.4.1	无焊底板连接	212
9.24.10	温度控制	194	10.4.2	无焊 (导线) 绕接	213
9.24.11	惰性气体氛围下操作	194	10.4.3	导电弹性件压力连接	217
9.24.12	免清洗工艺	194			
9.24.13	裸铜工艺	195	11 清洁度要求		219
9.24.14	惰性气体氛围控制	195	11.1	定义	220
9.24.15	机器的选择	195	11.1.1	溶解能力	220
9.24.16	传送带类型	195	11.1.2	溶剂稳定性	220
9.24.17	波长	196	11.1.3	薄膜干燥特性	220
9.24.18	纵向工艺温度曲线	196	11.1.4	污染物容量	220
9.24.19	横向工艺温度曲线	196	11.1.5	表面张力或溶剂润湿	220
9.24.20	其他问题	197	11.2	有关清洗的历史视角	221
9.24.21	设备能完成这项工作吗?	197	11.3	毒性	221
9.24.22	红外过程控制的关键参数	197	11.4	超声波清洗	222
9.25	SMT	197	11.5	清洗方式	222
9.25.1	表面贴装组件的验收要求	197	11.5.1	水清洗	222
9.25.2	高电压或大功率应用	197	11.5.2	半水清洗	222
9.25.3	质量保证 (目视检查)	197	11.5.3	溶剂清洗	223
9.26	过程验证检验	198	11.6	清洗剂注意事项	223
9.26.1	辅助放大和照明	198	11.6.1	溶剂的类型	223
9.26.2	抽样检验 - 过程控制	198	11.6.2	清洗剂兼容性	224
9.26.3	过程控制统计 (SPC) - 参考 IPC-9191	198	11.6.3	带通气孔的元器件	224
9.27	参考文献	198	11.7	清洗剂传递的注意事项	224
			11.7.1	在线清洗	224
			11.7.2	批次清洗	224
			11.7.3	临时或局部清洗	224
10 其他组装和连接方法	199		11.7.4	蒸汽脱脂清洗	224
10.1	引线键合 (芯片与引线)	199	11.7.5	超声波清洗	224
10.1.1	热压 (TC) 键合	199	11.7.6	清洗工艺的开发	225
10.1.2	超声键合	200	11.7.7	部件底部污染物的去除	225
10.1.3	热声 (TS) 键合	202	11.8	清洁要求	225
10.1.4	引线键合方法的选择	202	11.8.1	焊接前的清洁度要求	225
10.2	载带自动键合 (TAB)	203	11.8.2	焊接后的清洗	225
10.2.1	内引线键合 (ILB)	204	11.8.3	颗粒物	225
10.2.2	外引线键合	204	11.9	清洁度的验证	226
10.3	聚合物键合	205	11.9.1	目检	226
10.3.1	用粘合剂组装元器件	205			

11.10	焊后清洁度标识	226	13.4.11	凝胶时间	241
11.11	清洁度测试	227	13.4.12	玻璃转化温度 Tg	241
11.11.1	松香残留物测试	227	13.4.13	混合包封胶	241
11.11.2	离子清洁度测试 (ROSE)	227	13.4.14	疏水 - 疏油包封材料	241
11.11.3	SIR 测试	230	13.4.15	抑制作用	241
11.11.4	表面有机污染物	230	13.4.16	起斑	241
11.11.5	其他残留物测试方法	230	13.4.17	单体	241
11.11.6	紫外可见光谱测试	230	13.4.18	多层式	241
11.11.7	基于萃取的测试方法—通常的注意事项	231	13.4.19	低聚物	241
11.11.8	其他污染物	231	13.4.20	光致抗蚀剂 (光刻胶)	241
11.11.9	其他分析测试	231	13.4.21	聚合物	241
11.11.10	免清洗工艺组件的清洁度测试	233	13.4.22	聚合作用	241
11.12	关于清洗的其他指南	234	13.4.23	聚硅氧烷	241
			13.4.24	适用期	241
12 敷形涂覆	.....	234	13.4.25	涂底层	241
12.1	敷形涂覆的功能	234	13.4.26	遮蔽	241
12.2	敷形涂覆规范	234	13.4.27	收缩	242
12.3	敷形涂覆种类	235	13.4.28	光谱学	242
12.4	寻找适宜的敷形涂覆材料	235	13.4.29	剥离	242
12.5	优缺点	235	13.4.30	表面张力	242
12.6	贮存和保存期限	236	13.4.31	转换率	242
12.7	表面预处理	236	13.4.32	润湿	242
12.8	涂覆方法	237	13.4.33	杨氏模量	242
12.9	固化方法	237	13.5	环境, 健康和安全注意事项	242
12.10	过程控制	238	13.5.1	排放	242
12.11	涂覆层缺陷	239	13.5.2	危险废弃物的处置	242
12.12	涂覆层返工	239	13.5.3	政府法规	242
			13.6	包封材料的类型	242
13 灌封与包封	.....	240	13.6.1	丙烯酸	242
13.1	介绍	240	13.6.2	环氧树脂	243
13.2	目的	240	13.6.3	硅树脂	243
13.3	范围	240	13.6.4	聚氨酯 & 聚硫化物	243
13.4	术语及定义	240	13.6.5	紫外光固化和溶剂固化	243
13.4.1	附着力增强处理	240	13.7	包封应用设计	243
13.4.2	粘合失效	240	13.7.1	设计原理	244
13.4.3	各向异性	240	13.7.2	PCB	244
13.4.4	ARUR	240	13.7.3	元器件	245
13.4.5	交联	240	13.7.4	电气	246
13.4.6	固化	241	13.7.5	包封材料的覆盖	247
13.4.7	分层	241	13.7.6	掩膜	247
13.4.8	硬度计	241	13.7.7	图纸和设计准则	247
13.4.9	EMC	241	13.7.8	可返工性 / 可维修性	247
13.4.10	填料	241	13.8	原材料特性	247

13.8.1	粘度	247	13.15	返工和维修	264
13.8.2	粘度与流变	248	13.15.1	去除方法	264
13.8.3	温度对粘度的影响	248	13.15.2	剥离后的清洗	265
13.8.4	表面特性	248	13.15.3	重新包封	266
13.9	兼容性	248	13.15.4	返工和维修在环境、健康和安全方面的注意事项	266
13.9.1	工艺兼容性	248	13.16	最终使用环境	266
13.9.2	抑制	250	13.16.1	户外环境	266
13.10	粘附	251	13.16.2	汽车制造	267
13.10.1	阻焊膜 / 基板	251	13.16.3	航空电子环境	268
13.10.2	元器件	251	13.16.4	太空环境	269
13.10.3	表面终饰层	251	13.16.5	医疗环境	269
13.10.4	清洁	251	13.16.6	地热环境	269
13.10.5	层间粘合	252	13.16.7	原子能生物化学战争环境	269
13.11	评估兼容性和性能的方法	252	13.17	长期的可靠性和试验	269
13.12	加工工艺	253	13.17.1	失效机制	269
13.12.1	清洁度	253	13.17.2	加速试验法	270
13.13	加工环境	253	13.18	参考书目	271
13.13.1	基板的准备工作	253	14 返工和维修..... 272		
13.13.2	涂底层	254	14.1	通用信息和通用程序	272
13.13.3	等离子体处理	255	14.1.1	范围	272
13.13.4	机械雕刻	255	14.1.2	目的	272
13.13.5	掩膜	255	14.1.3	背景	272
13.13.6	手动 VS. 自动掩膜	256	14.1.4	术语和定义	272
13.13.7	推荐的覆盖	257	14.1.5	适用性、可控性和可接受性	274
13.13.8	涂覆方法	257	14.1.6	基本注意事项	274
13.13.9	固化机制	257	14.1.7	工作站、工具、材料和工艺	274
13.13.10	固化工艺的注意事项	257	14.1.9	无铅工艺	279
13.13.11	涂覆过程的监测	258	14.2	电子组件的操作—参看本文件的第 2 章	280
13.13.12	检验准则	258	14.3	清洗—参看本文件的第 11 章	280
13.13.13	环境, 健康和安全操作的注意事项	259	14.4	涂覆层去除	280
13.14	包封材料的特性	259	14.4.1	涂覆层去除, 敷形涂覆层识别	280
13.14.1	外观 / 颜色	260	14.4.2	涂覆层去除, 溶剂法	281
13.14.2	介电性能	260	14.4.3	涂覆层去除, 剥离法	282
13.14.3	热性能	260	14.4.4	涂覆层去除, 加热法	282
13.14.4	易燃性	261	14.4.5	涂覆层去除, 研磨 / 刮擦法	283
13.14.5	柔韧性	261	14.4.6	涂覆层去除, 微喷砂法	283
13.14.6	耐磨性	261	14.5	更换敷形涂覆	283
13.14.7	水解稳定性	261	14.5.1	更换涂覆层, 阻焊膜	283
13.14.8	渗透性	262	14.5.2	更换涂覆层, 敷形涂覆 / 灌封胶	284
13.14.9	化学兼容性和耐化学性	262	14.6	预处理—烘烤和预热	284
13.14.10	UV 稳定性	263	14.7	环氧树脂混合及操作	284
13.14.11	抗辐射性	263			
13.14.12	排气	263			

14.8	图标 / 标记	285	图 7-1	锡铅相图	68
14.8.1	印模印花方法	285	图 7-2	锡的同素异形晶格结构; 左图为四方 β- 锡, 右图为立方 α- 锡	69
14.8.2	手写法	285	图 7-3	Sweatman 等人发现的“锡疫”转变 现象	70
14.8.3	钢网法	285	图 7-4	焊线芯中助焊剂对比图	76
14.9	烙铁头的维护和保养	285	图 7-5	焊料合金凝固范例: 蓝线 - 共晶焊料合 金, 红线 - 非共晶焊料合金	76
14.10	IPC-7711 返工流程	286	图 7-6	焊料合金断裂韧性测试结果	77
14.11	IPC-7721 修改和维修	288	图 7-7	焊料合金跌落冲击试验结果	77
图					
图 2-1	J-STD-075 分级流程图	17	图 7-8	美国国家航空航天局锡须照片	105
图 3-1	考虑边界和组装可达性的元器件朝向	22	图 7-9	锡须 - 由锡须造成的问题	105
图 3-2	无涂覆的印制板间隙	23	图 7-10	其他一些锡须问题	106
图 3-3	引线端接方法	24	图 8-1	1 类印制板组件	107
图 3-4	折弯的通孔引线	26	图 8-2	2 类印制板组件	108
图 3-5	双列直插式封装元器件 (DIP) 的引线 弯曲	26	图 8-3	交错孔图形安装的“MO”扁平封装元器件 外形图 (单位: in)	110
图 3-6	引线成形及可应力释放的引线弯曲图	27	图 8-4	为表面贴装应用改装的元器件	110
图 3-7	元器件的安装结构	27	图 8-5	为表面贴装应用改装的 DIP	110
图 3-8	扁平封装元器件在交错的镀覆通孔上 的穿孔插装	29	图 8-6	混装组件	111
图 3-9	修改后的扇出连接盘, mm[in]	30	图 8-7	夹装元器件	112
图 3-10	定制栅格的扇出连接盘图形	30	图 8-8	捆扎固定	112
图 3-11	翼形引线扁平封装的表面贴装	31	图 8-9	典型限位装置图	113
图 3-12	用于 (平行) 表面贴装的扁平封装 引线成形	31	图 8-10	用限位装置安装的晶体管图	113
图 3-13	表面贴装扁平带状引线的结构图	31	图 8-11	多引线扩展装置	113
图 3-14	扁圆引线	32	图 8-12	导热绝缘件	113
图 4-1	HASL 表面拓扑比较	45	图 8-13	仅用再流焊的单面表面贴装组装	114
图 5-1	印制电路板单件连接器	48	图 8-14	仅用浸焊的单面表面贴装组装	114
图 5-2	印制电路板的板边接触件	48	图 8-15	仅用再流焊的双面混装技术	114
图 5-3	典型的单件扁簧接触件连接器	48	图 8-16	双面混装技术: 再流焊和浸焊	115
图 5-4	典型的单件音叉接触件连接器	48	图 8-17	双面混装技术: 再流焊和手工焊	115
图 5-5	典型的单件悬臂接触件连接器	48	图 8-18	仅用浸焊的双面混装技术	115
图 5-6	典型的单件连接器输出结构图	49	图 8-19	在制板组装定位孔	116
图 5-7	典型的双件刀 - 叉接触件连接器	49	图 8-20	在制板组装定位孔	116
图 5-8	典型的零插入力 (ZIF) 针栅阵列插座	49	图 8-21	编带式轴向引线元器件	116
图 5-9	典型的印制板测试点	49	图 8-22	极性轴向引线元器件 (典型极性标识)	116
图 6-1	在锡铅焊料内元素选择性溶解图	55	图 8-23	16 根引线的 Dip	117
图 6-2	金属间化合物生长速度图	55	图 8-24	扁平封装元器件外形图	118
图 6-3	氧化和无氧化的 Sn/Pb 表面处理层 对比图	56	图 8-25	典型带状引线分立式元器件的外形图 (扁平引线)	118
图 6-4	润湿平衡测试的示意图	58	图 8-26	针栅阵列	119
图 6-5	理想化的润湿平衡曲线	59	图 8-27	I/O 密度和引线数量的关系	119
			图 8-28	压合接触件的连接器	119

图 8-29 表面贴装芯片载体插座	120	图 8-68 双列直插式封装元器件的夹取工具 ...	136
图 8-30 插座焊接接触件截面图	120	图 8-69 晶体管组装工具	136
图 8-31 元器件安装排序	122	图 8-70 编带规格说明 (单位: 英寸)	137
图 8-32 热分流器	123	图 8-71 DIP 间隙	137
图 8-33 端接方式举例	123	图 8-72 以行或列的形式对 DIP 进行布局	137
图 8-34 引线折弯图形	125	图 8-73 DIP 滑式料管	138
图 8-35 半折弯引线	125	图 8-74 无桥连	139
图 8-36 引线直径和弯曲半径关系图	126	图 8-75 用于表面贴装而成形的引线	139
图 8-37 弯曲结构图	127	图 8-76 A 型无引线的引线焊接标准 (B 型引线)	140
图 8-38 简单的偏置预成形引线	127	图 8-77 SO-16 封装典型尺寸图	140
图 8-39 凹口预成形引线	127	图 8-78 典型的 SOT 封装	141
图 8-40 复合引线成形示例	127	图 8-79 为用于表面贴装而改装的 DIP	141
图 8-41 应力释放的引线	128	图 8-80 SIP 元器件鸥翼形引线	141
图 8-42 TO 外壳引线成形	128	图 8-81 表面贴装插座	142
图 8-43 凹口预成形引线	128	图 8-82 表面贴装连接器	142
图 8-44 外壳 12 根引线元器件的典型折弯引线 安装图	128	图 8-83 D 类超小型表面贴装连接器	142
图 8-45 机械安装——引线成形	128	图 8-84 盒式接触的表面贴装连接器	142
图 8-46 单列直插式元器件	129	图 8-85 无引线栅格阵列插座	142
图 8-47 引线结构 (组装后)	129	图 8-86 表面贴装芯片载体插座	142
图 8-48 安装到散热器框架上的弹性限位装置	129	图 8-87 高速电路插座	143
图 8-49 交错孔图形安装 (扁平外形图)	130	图 8-88 螺钉紧固盖	143
图 8-50 元器件安装 - 引线成形	130	图 8-89 压装插座	143
图 8-51 用非折弯引线安装的通孔板	130	图 8-90 优选的安装方向	146
图 8-52 折弯引线和外接连接盘的通孔插装 ...	130	图 9-1 焊料键合面的结构图	148
图 8-53 用偏置连接盘的通孔插装	130	图 9-2 随温度函数变化的特性	150
图 8-54 在导体上方安装的元器件	131	图 9-3 随时间及温度的应力释放	151
图 8-55 硬件间隙	132	图 9-4 柱面变形引起的连接失效	151
图 8-56 元器件对准放置	132	图 9-5 应变速率引起的特性变化	151
图 8-57 元器件对准放置	132	图 9-6 周期性剪切应变范围 (该图由 J.P.Clech 提供)	151
图 8-58 径向引线元器件的水平安装	133	图 9-7 焊点晶粒尺寸结构 (焊接后), 由美国 ITT 汽车 Nicholas Gollmer 提供	152
图 8-59 带散热器的径向引线元器件的水平 安装	133	图 9-8 焊点的晶粒尺寸结构 (加速循环后), 由 美国 ITT 汽车 Nicholas Gollmer 提供 ...	152
图 8-60 TO 的水平安装	133	图 9-9 焊点的晶粒尺寸结构 (失效后), 由美国 ITT 汽车 Nicholas Gollmer 提供	152
图 8-61 轴向引线元器件的垂直安装	133	图 9-10 无铅焊膏 - 无铅锡球再流后的微观结构 示意图, 由天弘集团 Polina Snugovsky 博士提供	153
图 8-62 径向引线元器件的立式安装	134	图 9-11 无铅 BGA 的微观结构; 左图 - 再流后, 右图 - 热循环后, 由 Rockwell Collins	
图 8-63 带弯月面涂覆层元器件的立式安装 ...	134		
图 8-64 径向元器件的安装 (非支撑孔)	134		
图 8-65 偏置引线壳体的安装	134		
图 8-66 偏置引线壳体的安装	134		
图 8-67 在弹性间隔柱上安装的金属功率封装 晶体管	134		

		表
	提供	153
图 9-12	焊料合金微观结构的差异图：左图 - 锡铅合金，右图 -SAC 305 焊料合金，由 Rockwell Collins 提供	153
图 9-13	无铅焊料合金 / 元器件表面处理层不兼容的例子(参考：D. Hillman and R. Wilcoxon, “JCAA/JG-PP 高可靠性应用无铅焊料测试：-55° C~+125° C 热循环测试” SMTAI 会议，2006)	154
图 9-14	左图 - 不均匀焊点的微观结构，右图 - 未完全再流的焊点（枕头效应）(由 Rockwell Collins 提供)	155
图 9-15	与无铅焊接工艺不兼容导致的元器件降级 (左图由 Rockwell Collins 提供，右图由 Bob Willis Electronic Presentation Service 提供)	156
图 9-16	无铅焊料侵蚀的波峰焊接设备 (照片参考：“无铅技术和焊接工艺及机器技术必要的改变” H. Schlessmann, APEX 2002 会议论文集)	156
图 9-17	无铅焊接工艺造成的铜侵蚀 (由 Nihon Superior 提供)	156
图 9-18	无铅焊接烙铁头的损坏 (由 hakko 提供)	163
图 9-19	焊接烙铁头的温度曲线	164
图 9-20	正确的导线缠绕	166
图 9-21	端子焊接图	166
图 9-22	可接受的焊锡杯	167
图 9-23	波峰焊接的问题和解决方案参考表	174
图 9-24	锡铅再流焊接的典型温度曲线	189
图 9-25	RMA 型助焊剂的典型温度曲线	190
图 9-26	OA 型助焊剂的典型温度曲线	191
图 9-27	“免清洗” 助焊剂的典型温度曲线	191
图 9-28	气体氛围下反应助焊剂的典型温度曲线	192
图 9-29	横向温度曲线	196
图 10-1	引线键合参数 (改为：引线键合的可变参数)	200
图 10-2	引线热压键合技术 (可改为：引线键合的机械原理)	200
图 10-3	引线超声键合技术 (可改为：引线键合的机械原理)	201
图 10-4	无焊绕接	214
	表 2-1	典型的静电电荷来源
	表 2-2	典型的静电电压产生
	表 2-3	电子组件操作的通用规范
	表 2-4	波峰焊 PSL 分级表
	表 2-5	再流焊 PSL 分级表
	表 2-6	PSL 3 级特性
	表 3-1	集成电路封装技术比较
	表 4-1	PCB 典型材料特性
	表 4-2	塑性层压材料规范对照表
	表 4-3	金属箔属性
	表 4-4	表面处理和涂覆层的要求
	表 4-5	金镀层用途
	表 4-6	ENIG 表面处理层的优缺点
	表 4-7	ENIG/EG 表面处理层的优缺点
	表 4-8	ENEPIG 表面处理层的优缺点
	表 4-9	浸银表面处理层的优缺点
	表 4-10	浸锡表面处理层的优缺点
	表 4-11	OSP 表面处理层的优缺点
	表 6-1	常见表面的可焊性
	表 6-2	助焊剂成分
	表 7-1	污染物类型
	表 7-2	助焊剂识别系统
	表 7-3	焊料合金及其熔点
	表 7-4	合金性能
	表 7-5	钢基焊料合金
	表 7-6	铋合金焊料
	表 7-7	传统合金焊料
	表 7-8	无铅焊料合金
	表 7-9	无铅焊料合金及其熔点
	表 7-10	Hewlett 提出的无铅焊料合金的测试协议
	表 7-11	焊料粉末尺寸标称 (J-STD-005)
	表 7-12	锡须减缓措施
	表 7-13	元器件无铅处理层 (锡须测试要求)
	表 7-14	分离式连接器端子处理层产生晶须风险的 iNEMI 评级
	表 7-15	汇流条—关注的锡须问题
	表 7-16	散热器处理层与锡须
	表 7-17	印制电路板
	表 8-1	引线折弯长度
	表 9-1	近共晶 SnPb 焊料的金属间化合物及扩散常数

表 9-2	无铅焊料的常见物理特性值	150	表 10-6	电气绝缘的环氧和丙烯酸树脂的性能	210
表 9-3	温度对搭接剪切强度 PSI (Pa) 的影响	150	表 10-7	标准连接材料评价试验方法	210
表 9-4	焊料槽中污染物允许的最大限量	158	表 10-8	连接材料的其他测试和评价方法	210
表 9-5	焊接工艺对比	160	表 10-9	无焊 (导线) 绕接的匝数	214
表 9-6	手工焊接工具	161	表 10-10	无焊 (导线) 绕接剥离力	215
表 9-7	非支撑孔元器件引线的最小可接受条件	167	表 10-11	无焊绕接导线 / 端子尺寸关系	215
表 9-8	带元器件引线的支撑孔, 最小 可接受条件	168	表 10-12	弹性连接组件排故指南	219
表 9-9	气相焊接中的问题与解决方法	187	表 12-1	敷形涂覆材料对比表	236
表 10-1	引线键合技术	202	表 13-1	材料兼容性	251
表 10-2	常用材料 K 值 (w/m - °C)	206	表 13-2	汽车行业的温度分类	268
表 10-3	功率器件与散热器的安装方法	208	表 14-1	敷形涂覆材料特性	280
表 10-4	导热油脂及其性能	208	表 14-2	敷形涂覆去除方法表	280
表 10-5	压缩垫的物理特性	209			