

目 录

1. 范围	1	3.7.8 枕头效应 (HoP) 缺陷	13
1.1 目的	1	3.7.9 不润湿开路 (NWO)	14
1.1.1 意图	1	3.7.10 可靠性问题	14
1.1.2 “应当”的解释	1		
1.1.3 表达	1	4 元器件考量	15
1.1.4 “Lead”的用法	1	4.1 半导体封装的比较及驱动因素	15
1.1.5 缩写和首字母缩写词	1	4.1.1 封装特点比较	15
2 适用文件	1	4.1.2 BGA 封装影响因素	16
2.1 IPC	1	4.1.3 成本关注	16
2.2 Joint Standards	2	4.1.4 元器件操作	16
2.3 JEDEC	2	4.1.5 热性能	18
2.4 EIA	3	4.1.6 空间限制	18
3 标准选择和 BGA 实施管理	3	4.1.7 电气性能	18
3.1 术语和定义	3	4.1.8 机械性能	18
3.1.1 阻焊膜限定 (SMD) BGA 焊盘	3	4.2 BGA 封装中的芯片安装	19
3.1.2 非阻焊膜限定 (NSMD) BGA 焊盘	3	4.2.1 金属线键合	19
3.1.3 不润湿开路 (NWO)	3	4.2.2 倒装芯片	20
3.1.4 枕头效应 (HoP)	3	4.2.3 改变 BGA 端子材料	20
3.2 概述	3	4.2.4 非植球 BGA 的选择	21
3.3 组件架构说明	4	4.3 标准	22
3.3.1 连接盘图形和印制板的考量	4	4.3.1 BGA 行业标准	22
3.3.2 技术比较	5	4.3.2 BGA 封装节距	24
3.3.3 组装设备影响	8	4.3.3 BGA 封装外形	25
3.3.4 模板要求	8	4.3.4 焊球尺寸关系	25
3.3.5 检验要求	8	4.3.5 叠装 (PoP) BGA	26
3.3.6 测试	8	4.3.6 共面性	26
3.4 投放市场准备	8	4.4 关于元器件封装形式的考量	26
3.5 方法	9	4.4.1 焊球合金	27
3.6 工艺步骤分析	9	4.4.2 焊球连接工艺	30
3.7 BGA 的局限性和问题	9	4.4.3 陶瓷球栅阵列 (CBGA)	30
3.7.1 目视检验	9	4.4.4 陶瓷柱栅阵列 (CCGA)	31
3.7.2 湿敏性	10	4.4.5 载带球栅阵列	35
3.7.3 BGA 和印制板的共面性及翘曲	10	4.4.6 多芯片封装	35
3.7.4 返工	11	4.4.7 系统级封装 (SiP)	36
3.7.5 成本	11	4.4.8 三维 (3D) 折叠封装技术	36
3.7.6 BGA 中的空洞	11	4.4.9 焊球堆叠	36
3.7.7 焊盘坑裂	11	4.4.10 折叠和堆叠的封装组合	37
		4.4.11 叠装封装 (PoP)	37
		4.4.12 多芯片封装的优势	37

4.5	BGA 连接器和插座	38	6.1.1	贴片组装	58
4.5.1	BGA 连接器材料考量	38	6.1.2	维修 / 返工要求	58
4.5.2	BGA 连接器的连接考量	38	6.1.3	整体布局	59
4.5.3	BGA 材料和插座类型	39	6.1.4	对准图形 (丝印油墨、铜制标志、引脚 1 标识符)	59
4.5.4	BGA 插座连接考量	39	6.2	连接位置 (连接盘图形和导通孔)	60
4.6	BGA 构造材料	40	6.2.1	连接盘直径大小及其对布线的影响	60
4.6.1	BGA 基板材料类型	40	6.2.2	阻焊膜限定 (SMD) 与金属限定连接盘设计	61
4.6.2	BGA 基板材料性质	41	6.2.3	导体宽度	62
4.7	BGA 封装设计考量	42	6.2.4	导通孔尺寸和位置	62
4.7.1	电源和接地层	42	6.2.5	影响 BGA 阻焊膜的参数	64
4.7.2	信号完整性	43	6.2.6	多栅格 BGA 连接盘图形阵列设计	64
4.7.3	封装内置散热片	43	6.3	出线和布线策略	65
4.8	封装的接收标准和运输方式	43	6.3.1	出线策略	68
4.8.1	焊球缺失	43	6.3.2	表面导体和间距宽度	68
4.8.2	焊球空洞	44	6.3.3	连接盘至导通孔 (狗骨) 布线图形	69
4.8.3	焊球连接完整性	44	6.3.4	减轻机械应变的设计	70
4.8.4	封装和焊球共面性	44	6.3.5	未遮蔽焊盘内导通孔及其对可靠性的影响	71
4.8.5	湿度敏感性 (烘烤、贮存、操作、再烘烤)	45	6.3.6	密节距 BGA (FBGA) 连接盘内微导通孔策略	72
4.8.6	运输媒介 (载带、托盘、管)	46	6.3.7	电源和接地连接	72
5	印制板及其它安装结构	46	6.4	波峰焊接对正面 BGA 的影响	73
5.1	基板	46	6.4.1	正面再流焊	73
5.1.1	有机基板	46	6.4.2	正面再流焊的影响	73
5.1.2	无机基板	46	6.4.3	避免正面再流的方法	75
5.1.3	高密度互连 (HDI) 叠构多层	46	6.4.4	无铅印制板的正面再流	75
5.2	基材考量	48	6.5	可测试性和测试点的访问	75
5.2.1	树脂系统	48	6.5.1	元器件测试	75
5.2.2	层压板材料性质	48	6.5.2	测试和老化过程中对焊球的损伤	76
5.3	印制板表面处理	49	6.5.3	印制板测试	77
5.3.1	热风焊料整平 (HASL)	50	6.5.4	印制板组件测试	78
5.3.2	有机可焊性保护 (OSP) 涂层	51	6.6	其它可制造性设计 (DfM) 问题	79
5.3.3	贵金属涂层	51	6.6.1	在制板 / 拼托板设计	80
5.4	阻焊膜	55	6.6.2	中间制程 / 最终产品测试附连板	80
5.4.1	湿膜和干膜阻焊膜	55	6.7	散热管理	82
5.4.2	喷射式阻焊膜	55	6.7.1	传导	82
5.4.3	阻焊膜涂覆时印制板对拼板胶片的对位	56	6.7.2	辐射	82
5.5	导通孔保护	56	6.7.3	对流	83
5.5.1	侵入孔	56	6.7.4	散热界面材料	83
5.5.2	导通孔掩蔽、堵塞和填塞	56	6.7.5	BGA 散热片连接方法	84
6	印制电路组件设计考量	58			
6.1	元器件放置和间隙	58			

7 BGA 组件	86	7.8.1 焊料桥连	136
7.1 表面贴装工艺	86	7.8.2 冷焊	136
7.1.1 焊膏及其施加	86	7.8.3 开路	136
7.1.2 元器件贴装影响	92	7.8.4 受热不充分 / 不均匀	136
7.1.3 BGA 贴装视觉系统.....	92	7.8.5 枕头效应 (HoP).....	137
7.1.4 再流焊接及温度曲线	94	7.8.6 不润湿开路 (NWO) / 焊球悬空	139
7.1.5 材料对助焊剂活化、元器件损伤及可焊性 的影响	102	7.8.7 元器件缺陷	139
7.1.6 清洗与免清洗	102	7.9 维修工艺	140
7.1.7 封装间隙高度	103	7.9.1 返工和维修理念	140
7.2 组装后的工艺	104	7.9.2 BGA 的拆除.....	140
7.2.1 敷形涂覆	104	7.9.3 替换	141
7.2.2 底部填充和粘合剂的使用	105	8 可靠性	143
7.2.3 印制板和模块的分板	111	8.1 BGA 组件的可靠性因素.....	144
7.3 检测技术	111	8.1.1 循环应变	144
7.3.1 X 射线检验	111	8.1.2 疲劳	144
7.3.2 X 射线图像采集	112	8.1.3 蠕变	145
7.3.3 X 射线系统术语的定义和讨论	113	8.1.4 蠕变和疲劳的交互作用	146
7.3.4 X 射线图像分析	117	8.1.5 机械负载下的可靠性	146
7.3.5 声学扫描显微镜 (SAM)	119	8.2 焊料连接的损伤机理和失效	147
7.3.6 BGA 间隙测量.....	121	8.2.1 锡银铜 (SAC) 对锡铅 BGA 焊点的热疲劳 裂纹生长机理的比较	148
7.3.7 光学检测 (内窥镜)	121	8.2.2 混合合金焊接	149
7.3.8 破坏性分析方法	122	8.3 焊点和连接类型	150
7.4 测试和产品验证	125	8.3.1 整体膨胀不匹配	151
7.4.1 电气测试	125	8.3.2 局部膨胀不匹配	151
7.4.2 功能测试 (FT) 覆盖	125	8.3.3 内部膨胀不匹配	151
7.4.3 老化测试	125	8.4 焊料连接失效	151
7.4.4 产品筛选测试	125	8.4.1 焊料连接失效分类	151
7.5 空洞识别	125	8.5 影响可靠性的关键因素	156
7.5.1 空洞的来源	126	8.5.1 封装技术	156
7.5.2 空洞的分类	127	8.5.2 间隙高度	157
7.5.3 BGA 焊点中的空洞.....	127	8.5.3 印制板设计考量	158
7.6 空洞测量	128	8.5.4 陶瓷栅阵列 (CGAs) 焊接连接的可靠性	158
7.6.1 X 射线探测和测量注意事项	128	8.5.5 BGA 无铅焊接.....	159
7.6.2 空洞的影响	128	8.6 可靠性设计 (DfR) 流程	165
7.6.3 空洞协议开发	129	8.7 验证和鉴定测试	165
7.6.4 空洞评估的抽样计划	130	8.8 筛选程序	166
7.7 减少空洞的工艺控制	131	8.8.1 焊点缺陷	166
7.7.1 工艺参数对于空洞形成的影响	131	8.8.2 筛选建议	166
7.7.2 焊球中空洞的工艺控制标准	134	8.9 加速可靠性测试	166
7.7.3 工艺控制标准	135		
7.8 焊接缺陷	136		

9 工艺问题排查	166	图	
9.1 阻焊膜限定 (SMD) BGA 状况	166	图 3-1	BGA 封装制造工艺
9.1.1 阻焊膜限定 (SMD) 和非阻焊膜限定 (NSMD) 连接盘	167	图 3-2	多芯片模块 (MCM) 类型 2S-L-WB
9.1.2 产品印制板上的阻焊膜限定 (SMD) 连接盘	167	图 3-3	导体宽度与节距关系
9.1.3 阻焊膜限定 (SMD) BGA 失效	168	图 3-4	金属线键合球栅阵列 (BGA)
9.2 BGA 焊球过度塌陷状况	168	图 3-5	倒装芯片键合球栅阵列 (BGA)
9.2.1 无散热块的 BGA 焊球形状, 500 μ m 的间隙高度	168	图 3-6	BGA 翘曲
9.2.2 有散热块的 BGA 焊球形状, 375 μ m 的间隙高度	169	图 3-7	焊盘坑裂示例
9.2.3 有散热块的 BGA 球形, 300 μ m 的间隙高度	169	图 3-8	BGA 焊点各种可能的失效模式
9.2.4 关键的焊膏条件	169	图 3-9	枕头效应 (HoP) 焊点缺陷的角视图 (左) 和切片图 (右)
9.2.5 通过 X 射线和切片确定空洞	169	图 3-10	枕头效应 (HoP) 开路缺陷的切片图
9.2.6 空洞和非均匀焊球	170	图 3-11	不润湿开路 (NWO) 缺陷的侧视和切片视图示例
9.2.7 蛋壳空洞	170	图 4-1	面阵列封装的端子类型
9.3 BGA 翘曲	170	图 4-2	芯片上基板 (BOC) BGA 结构
9.3.1 BGA 翘曲	171	图 4-3	BOC 类 BGA 模封后的顶部
9.3.2 由于载板翘曲导致的焊点开路	171	图 4-4	BGA 基板上的倒装芯片 (带凸点芯片)
9.4 焊点状况	172	图 4-5	采用锡铅的 BGA 焊点
9.4.1 目标焊接条件	172	图 4-6	JEDEC 叠装元器件标准结构
9.4.2 过度氧化的焊球	172	图 4-7	Dynamic Warpage Plot with Temperature for a Flip Chip BGA Package
9.4.3 退润湿	173	图 4-8	具有液相线温度 100 $^{\circ}$ C 到 200 $^{\circ}$ C 且不含有 Pb,Cd 或 Au 的低温合金
9.4.4 不润湿	173	图 4-9	锡铋相图
9.4.5 由连接盘污染引起的不完整连接	174	图 4-10	典型的锡铋焊料合金微观结构
9.4.6 变形的焊球	174	图 4-11	塑封球栅阵列 (PBGA)
9.4.7 变形后的焊球 - 动态翘曲	175	图 4-12	热增强型陶瓷球栅阵列 (CBGA) 封装的横截面
9.4.8 焊料和助焊剂不充足以形成适当的焊点	175	图 4-13	模压聚合物灌封的陶瓷球栅阵列 (CBGA) 封装
9.4.9 端子接触面积减少	176	图 4-14	典型铜带缠绕的陶瓷柱栅阵列 (CCGA)
9.4.10 焊料桥连	176	图 4-15	各种焊料柱的塑封 BGA (PBGA)
9.4.11 不完全焊料再流	177	图 4-16	典型具有铜带缠绕的焊料柱
9.4.12 焊料缺失	177	图 4-17	覆盖有 SnPb40 外层、具有电镀铜层的 PbSn10 焊料柱剖视图
9.4.13 不润湿开路 (NWO)	178	图 4-18	电镀 SnPb 微线圈 (左) 和镀金微线圈 (右)
9.4.14 枕头效应 (HoP) 焊点	178	图 4-19	柱栅阵列 (CGA1152) 陶瓷 IC 封装上的镀金微线圈弹簧
附录 A 减少空洞发生的工艺控制特性描述	179	图 4-20	柱栅阵列 (CGA) 封装上带有 SAC305 填充的微线圈弹簧
附录 B 词汇表及首字母缩写词	185		

图 4-21 带 SnPb37 填充的微线圈弹簧（镀 SnPb40）柱栅阵列（CGA1152）	33	图 5-11 直接浸金（DIG）的图形描述	54
图 4-22 聚酰亚胺膜基引线键合 uBGA 封装基板	35	图 5-12 微空洞示例	55
图 4-23 单一双金属层载带基板封装内电路布线比较	35	图 5-13 导通孔堵塞方法	57
图 4-24 单封装芯片叠加 BGA	36	图 6-1 BGA 对准标记	59
图 4-25 定制八芯片（倒装芯片及金属线键合）SiP 组件	36	图 6-2 BGA 器件的连接盘	61
图 4-26 折叠式多芯片 BGA 封装	36	图 6-3 金属限定连接盘连接外形	62
图 4-27 八层焊球堆叠封装	36	图 6-4 阻焊膜应力集中	62
图 4-28 单面小外形双排直列存储器模组（SO-DIMM）存储卡组件	37	图 6-5 焊点形状对比	62
图 4-29 折叠以及堆叠的多芯片 BGA 封装	37	图 6-6 好 / 差的阻焊膜设计	63
图 4-30 叠装封装（PoP）组件	37	图 6-7 金属限定连接盘示例	63
图 4-31 BGA 连接器	38	图 6-8 差的阻焊膜定位	64
图 4-32 带真空帽的 BGA 连接器	38	图 6-9 好的阻焊膜定位	64
图 4-33 针栅阵列（PGA）插座引脚	39	图 6-10 焊球随布 BGA 器件的焊球随布连接盘图形设计	65
图 4-34 带有和不带有贴装盖的针栅阵列（PGA）插座	39	图 6-11 均匀网格 BGA 连接盘图形	65
图 4-35 盘栅阵列（LGA）接触引脚	39	图 6-12 BGA 象限图形	66
图 4-36 带有和不带有贴装盖的盘栅阵列（LGA）插座	39	图 6-13 方形阵列	66
图 4-37 BGA 焊球缺失的示例	43	图 6-14 矩形阵列	66
图 4-38 进料检验时共晶焊球中的空洞示例	44	图 6-15 有空缺的矩形阵列	66
图 4-39 焊球和连接盘表面状况示例	44	图 6-16 焊球缺失的方形阵列	67
图 4-40 建立 BGA 共面性要求	45	图 6-17 散布阵列	67
图 4-41 焊球触点位置公差	45	图 6-18 导体布线策略	68
图 5-1 采用激光打孔生成的 HDI 可能叠构	47	图 6-19 不同阵列节距的导体和间距宽度	69
图 5-2 采用蚀刻和机械工艺生成的 HDI 可能叠构	47	图 6-20 单根和两根导体布线	69
图 5-3 温度超过 T _g 的膨胀率	48	图 6-21 典型的连接盘至导通孔（狗骨）布局	69
图 5-4 热风焊料整平（HASL）表面拓扑结构比较	51	图 6-22 连接盘至导通孔（狗骨）布线选项	69
图 5-5 化学镀镍 / 浸金（ENIG）结构说明	52	图 6-23 BGA 连接盘至导通孔（狗骨）连接盘图形的优先导体布线方向	70
图 5-6 镍与镍锡金属间化合物层之间的显示有裂纹黑焊盘断裂	52	图 6-24 螺钉和支撑的优先布局	70
图 5-7 黑焊盘表面典型的龟裂外貌	52	图 6-25 连接器螺钉支撑布局	70
图 5-8 浸金表面下大面积区域的黑焊盘，其严重的腐蚀刺穿富磷层进入富镍层	53	图 6-26 具有焊盘内导通孔结构的 0.75mm 焊球切片图	71
图 5-9 金脆	53	图 6-27 显示导通孔遮蔽与焊球的焊盘内导通孔设计的切片图示	71
图 5-10 化学镍 / 化学钯 / 浸金（ENEPIG）结构说明	53	图 6-28 焊盘内导通孔工艺描述（BGA 在顶部）	72
		图 6-29 微导通孔示例（剖面图）	72
		图 6-30 微导通孔内的空洞	72
		图 6-31 BGA 接地或电源连接	73
		图 6-32 正面再流焊点退润湿和焊球变形案例	73
		图 6-33 正面元器件混装板组件，波峰焊温度曲线	74

图 6-34 波峰焊接时, 到达 BGA 焊点的热通道 ...	74	图 7-18 由 SAC 焊球和铋锡焊点增强焊膏 (JRP) 形成的混合合金 BGA 焊点	100
图 6-35 避免 BGA 正面焊点在波峰焊时再流的方法	75	图 7-19 对于混合合金 SAC-BiSnBGA 焊点, 焊膏量对铋混合区域的影响	101
图 6-36 镊子类工具接触焊球侧面后案例	76	图 7-20 对于桨叶触点式 BGA 插座, 焊球和焊膏的三种组合的焊点形状及微观结构	101
图 6-37 弹簧探针与焊球底部电气接触后的压痕 ...	76	图 7-21 印制板 BGA 连接盘周围阻焊膜去除后的影响	104
图 6-38 面阵列连接盘图形测试	77	图 7-22 敷形涂覆使用不当的影响	105
图 6-39 板并联	81	图 7-23 BGA 和其它封装的底部填充粘合剂使用方法图	106
图 6-40 梳形电路示例	81	图 7-24 不完全底部填充覆盖的 BGA 封装	107
图 6-41 使用粘合剂连接 BGA 的散热片	84	图 7-25 两个平行表面之间的底部填充剂的流动	107
图 6-42 使用卡钩连接 BGA 的散热片	85	图 7-26 底部填充中空洞的示例	108
图 6-43 用勾住印制板孔的卡钩, 连接 BGA 的散热片	85	图 7-27 部分底部填充示例	108
图 6-44 用勾住焊接在印制板上柱子的卡钩, 连接 BGA 的散热片	85	图 7-28 角落施加粘合剂的 BGA 显微剖切图	109
图 6-45 将散热片引脚通过波峰焊焊接在通孔中, 连接 BGA 的散热片	86	图 7-29 角落施加粘合剂的 BGA 顶视图	109
图 7-1 用于宽厚比和面积比计算的模板开孔标识 (焊料模板特征尺寸)	88	图 7-30 再流前角落施加粘合剂的关键尺寸	109
图 7-2 焊膏浸渍后的 BGA 焊球	90	图 7-31 角落施加粘合剂典型的失效模式	109
图 7-3 腔体板和 3D 模板	90	图 7-32 BGA 焊点聚合物增强四种方法的示例	110
图 7-4 带两个空腔的 3D 模板	90	图 7-33 焊点密封材料 (SJEM)	110
图 7-5 狭缝金属刮刀	91	图 7-34 X 射线技术基本原理	112
图 7-6 腔体隔离区	91	图 7-35 枕头效应 (HoP) 焊点的 X 射线示例	112
图 7-7 高铅和共晶焊球及其焊点比较	91	图 7-36 焊球触点空洞的三个 X 射线图示例	112
图 7-8 用于离线教学的焊球随布图像捕获	93	图 7-37 手动 X- 射线系统图像质量的两个示例 ...	113
图 7-9 BGA 或其附近各位置的峰值再流温度示例	94	图 7-38 枕形失真和电压过曝的 X- 射线例子	113
图 7-10 锡铅组件再流焊温度曲线原理图	96	图 7-39 透射图像 (2D)	114
图 7-11 无铅组件再流焊温度曲线原理图	96	图 7-40 断层合成图像 (3D)	114
图 7-12 具有大型和小型元器件的印制板组件上的热电偶位置	97	图 7-41 分层成像 3D 自动 X 射线检验 (AXI) 截面图像	114
图 7-13 热电偶在 BGA 上的建议位置	97	图 7-42 高质量的 2D 透射 X 射线图像示例	115
图 7-14 热电偶在 BGA 连接器上的适当位置	97	图 7-43 印制板倾斜的斜视观察	115
图 7-15 采用 SAC 焊膏 (上图), BiSn 基型或韧性冶金焊膏 (中图) 和含有树脂焊点增强型焊膏 (JRP) (下图) 的 SAC BGA 器件组装工艺比较	98	图 7-44 探测器倾斜的斜视观察	115
图 7-16 SAC、BiSnAg 以及 JRP 焊膏的再流温度曲线的比较	99	图 7-45 自上向下观看 FBGA 焊点	116
图 7-17 由 SAC 焊球和韧性合金铋锡焊膏焊接形成的混合合金 BGA 焊点	100	图 7-46 FBGA 焊点的斜视图	116
		图 7-47 大物台计算机断层扫描 (CT) / 部分 CT 原理	116
		图 7-48 大物台计算机断层扫描 (CT) (左侧) 和 3D 渲染 (右侧), 显示枕头效应 (HoP) ...	117
		图 7-49 大物台计算机断层扫描 (CT)	117

图 7-50 断层合成成像	117	图 7-81 显示 BGA 的翘曲的 X 射线图像	140
图 7-51 扫描束 X- 射线分层成像	118	图 7-82 BGA/ 组件热屏蔽示例	141
图 7-52 采用加热台观察到的 QFN 器件空洞形成 动态	119	图 8-1 由于热机械疲劳导致的焊点裂纹示例	148
图 7-53 典型的声学扫描显微镜配置	120	图 8-2 热循环后的 BGA 显示有疲劳裂纹的 裂纹 (A) 和粗化 (B)	148
图 7-54 同一 BGA 的 C- 扫描图像 (左) 和 T 扫描 (右) 图像	120	图 8-3 陶瓷球栅阵列 (CBGA) 模块中共晶锡铅 焊点的热疲劳裂纹扩张	149
图 7-55 内窥镜示例 1	121	图 8-4 陶瓷球栅阵列 (CBGA) 模块中 SnAg3.8Cu0.7 焊点的热疲劳裂纹扩张	149
图 7-56 内窥镜示例 2	121	图 8-5 用典型工艺窗口的下限温度组装 1% 银焊 球合金, 形成不完整的焊点	150
图 7-57 内窥镜示例 3	121	图 8-6 由于硅芯片与印制板热膨胀系数 (CTE) 不匹配引起的焊点失效	151
图 7-58 工程裂纹评估技术	122	图 8-7 呈现颗粒状外观的冷焊点	152
图 7-59 穿过焊球中空洞的焊球切片	122	图 8-8 连接盘污染 (阻焊膜残留)	152
图 7-60 焊球 / 连接盘界面处裂纹始发的切片	123	图 8-9 焊球脱落	152
图 7-61 染色和拉拔 (撬动) 显示 BGA 焊盘或 印制板表面没有染色迹象	123	图 8-10 焊球缺失	153
图 7-62 染色和拉拔 (撬动) 显示印制板和 BGA 焊盘都有染色迹象	124	图 8-11 倒装芯片 BGA 和印制板的动态翘曲	153
图 7-63 染色和拉拔 (撬动) 显示层压板断裂 (焊盘坑裂), BGA 侧和印制板侧有染色 迹象	124	图 8-12 再流焊后严重翘曲的 BGA 和印制板导致的 焊点缺陷	154
图 7-64 焊球至连接盘界面成群聚集的小空洞	126	图 8-13 可接受凸形焊点示例	154
图 7-65 BGA 焊点内各种类型空洞的典型尺寸和 位置	127	图 8-14 可接受柱状焊点示例	155
图 7-66 带有空洞的焊球 X 射线图像	128	图 8-15 焊盘坑裂的两个示例 (位于 BGA 角落)	155
图 7-67 采用标准再流焊接 (上) 和真空辅助 再流焊接 (下) BGA 焊点的比较	133	图 8-16 节距 1mm 以下的无铅焊球的焊盘坑裂	155
图 7-68 真空辅助对流再流炉	133	图 8-17 切面图示再流过程中不充分熔融的焊点	156
图 7-69 真空辅助气相再流炉	134	图 8-18 阻焊膜影响	158
图 7-70 时间与压力关系图显示了真空辅助和 高压焊接工艺的差别	134	图 8-19 非常大的空洞导致的可靠性测试失效	158
图 7-71 连接盘和印制板界面空洞区域示例	135	图 8-20 SnAgCu (SAC) BGA 焊点的内窥镜 照片	161
图 7-72 显示为不均匀受热的 X 射线图像	136	图 8-21 锡铅且向后兼容与无铅印制板组装再流焊 曲线比较	162
图 7-73 45° 角的 X 射线图像, 显示 BGA 的一个 角落受热不足	136	图 8-22 用 SnPb 焊膏采用标准 SnPb 再流曲线组装 至印制板上的 BGA SAC 焊球切片的显微 照片	162
图 7-74 显示焊球与焊膏没有熔融的枕头效应 (HoP) 示例	137	图 8-23 用锡铅焊膏采用向后兼容再流曲线组装至 印制板上的 BGA SAC 焊球切片的显微 照片	163
图 7-75 枕头效应 (HoP) 产生的演变过程	137	图 8-24 混合合金 (SAC/ 锡铅) BGA 焊点替代 选项	164
图 7-76 封装严重翘曲造成的枕头效应 (HoP)	138	图 9-1 阻焊膜限定 (SMD) 连接盘引起的裂纹	167
图 7-77 液相时间延时 (LTD) 示例	138	图 9-2 阻焊膜在连接盘上侵入过多	167
图 7-78 再流后印制板上未熔融的焊料颗粒	138	图 9-3 阻焊膜限定 (SMD) BGA 焊点失效	168
图 7-79 焊球悬空缺陷示例	139		
图 7-80 爆米花 X 射线图像	139		

图 9-4 无散热块的 BGA 焊球形状, 500 μ m 的间隙高度	168	表 4-6 JEDEC 已登记的 BGA 外形示例	26
图 9-5 有散热块的 BGA 焊球形状, 375 μ m 的间隙高度	169	表 4-7 无铅合金变化	27
图 9-6 有散热块的 BGA 焊球形状, 300 μ m 的间隙高度	169	表 4-8 柱栅阵列 (CGA) 连接盘尺寸近似值	34
图 9-7 空洞和非均匀焊球	170	表 4-9 柱栅阵列 (CGA) 合金和构造类型	34
图 9-8 蛋壳空洞	170	表 4-10 IPC-4101 FR-4 性能汇总 - 材料规格单说明, 为更好承受无铅组装配方	41
图 9-9 角落发生桥连的内凹 (哭脸) BGA	171	表 4-11 BGA 封装基板常用介电材料的典型性质	42
图 9-10 由于载板翘曲导致的焊点开路	171	表 4-12 按照焊球尺寸的受控共面性	45
图 9-11 目标焊接条件	172	表 4-13 湿敏等级和车间寿命	46
图 9-12 过度氧化的焊球	172	表 5-1 各种印制板表面处理的关键属性	50
图 9-13 焊料在界面退润湿	173	表 5-2 基于表面处理工艺对导通孔堵塞 / 侵入的评估	56
图 9-14 不润湿	173	表 5-3 导通孔堵塞选项	58
图 9-15 由连接盘污染引起的不完整连接	174	表 6-1 节距为 1.27mm 的 BGA (焊球直径 0.75mm) 连接盘之间的导体数量	60
图 9-16 焊球变形	174	表 6-2 节距为 1mm 的 BGA (焊球直径 0.60mm) 连接盘之间的导体数量	60
图 9-17 柱状变形焊球	175	表 6-3 节距为 0.80mm 的 BGA (焊球直径 0.50mm) 连接盘之间的导体数量	60
图 9-18 焊球悬空	175	表 6-4 节距为 0.65mm 的 BGA (焊球直径 0.40mm) 连接盘之间的导体数量	60
图 9-19 同一个 BGA 上出现拉伸后的和正常的焊料连接	176	表 6-5 节距为 0.50mm 的 BGA (焊球直径 0.30mm) 连接盘之间的导体数量	61
图 9-20 焊料桥连	176	表 6-6 最大连接盘与节距 (mm) 的关系	61
图 9-21 不完全的焊料再流	177	表 6-7 全阵列出线策略	68
图 9-22 焊膏沉积缺失	177	表 6-8 不同阵列节距的导体和间距宽度	68
图 9-23 不润湿开路 (NWO)	178	表 6-9 材料类型对传导的影响	82
图 9-24 枕头效应 (HoP)	178	表 6-10 特定材料辐射系数额定值	83
图 A-1 典型空洞评估流程图	179	表 7-1 按类型和网目的焊球尺寸分布	87
图 A-2 起始于角落引脚, 带有裂纹的 BGA 中空洞	183	表 7-2 不同节距器件获得良好焊膏释放的焊粉类型的建议 (S/P 比例 > 4.2)	87
图 A-3 与连接盘大小相关的空洞直径	184	表 7-3 不同 BGA 节距的模板厚度	87
表			
表 3-1 多芯片模块 (MCM) 定义	5	表 7-4 常见模板技术和选择的优缺点	89
表 3-2 双层电路出线数 vs. 阵列尺寸	6	表 7-5 密节距 BGA (FBGA) 印刷选项	90
表 3-3 焊盘坑裂相关的 IPC 标准清单	13	表 7-6 陶瓷阵列封装焊膏体积要求示例	92
表 4-1 JEDEC 标准 JEP95-1/5 允许的 FBGA 的焊球直径变化	23	表 7-7 锡铅和锡银铜合金温度曲线比较	95
表 4-2 塑封 BGA (PBGA) 的焊球直径	24	表 7-8 检测方法应用建议	111
表 4-3 芯片尺寸 BGAs (DSBGAs) 焊球直径大小	24	表 7-9 检测的视野	118
表 4-4 连接盘图形设计	24	表 7-10 空洞分类	127
表 4-5 BGA 封装连接盘至焊球间尺寸计算 (mm)	25	表 7-11 建议的空洞协议示例	129
		表 7-12 各种焊球直径下焊球与空洞大小图像对比	130

表 7-13	锡铅组件的维修工艺温度曲线	143
表 7-14	无铅组件的维修工艺温度曲线	143
表 8-1	BGA 典型间隙高度	157
表 8-2	常用焊料合金的熔点, 优点和缺点	159
表 8-3	无铅组装的类型	161
表 A-1	采用 1mm、1.27mm 和 1.5mm 节距的连接盘 纠正措施指标	181
表 A-2	采用 0.5mm、0.65mm 或 0.8mm 节距的连接盘 纠正措施指标	182
表 A-3	采用 0.3mm、0.4mm 或 0.5mm 节距的盘内 微导通孔连接盘纠正措施指标	183