This is a preview of "IPC 7095D+Amd1-CN-20...". Click here to purchase the full version from the ANSI store.

目　录

1. 范围 …… 1
1.1 目的 …… 1
1.1.1 意图 …… 1
1.1.2 “应当”的解释 …… 1
1.1.3 表达 …… 1
1.1.4 “Lead”的用法 …… 1
1.1.5 缩写和首字母缩写词 …… 1

2 适用文件 …… 1
2.1 IPC …… 1
2.2 Joint Standards …… 2
2.3 JEDEC …… 2
2.4 EIA …… 3

3 标准选择和 BGA 实施管理 …… 3
3.1 术语和定义 …… 3
3.1.1 阻焊膜限定（SMD）BGA 焊盘 …… 3
3.1.2 非阻焊膜限定（NSMD）BGA 焊盘 …… 3
3.1.3 不润湿开路（NWO） …… 3
3.1.4 枕头效应（HoP） …… 3
3.2 概述 …… 3
3.3 组件架构说明 …… 4
3.3.1 连接盘图形和印制板的考量 …… 4
3.3.2 技术比较 …… 5
3.3.3 组装设备影响 …… 8
3.3.4 模板要求 …… 8
3.3.5 检验要求 …… 8
3.3.6 测试 …… 8
3.4 投放市场准备 …… 8
3.5 方法 …… 9
3.6 工艺步骤分析 …… 9
3.7 BGA 的局限性和问题 …… 9
3.7.1 目视检验 …… 9
3.7.2 湿敏性 …… 10
3.7.3 BGA 和印制板的共面性及翘曲 …… 10
3.7.4 返工 …… 11
3.7.5 成本 …… 11
3.7.6 BGA 中的空洞 …… 11
3.7.7 焊盘坑裂 …… 11
3.7.8 枕头效应（HoP）缺陷 …… 13
3.7.9 不润湿开路（NWO） …… 14
3.7.10 可靠性问题 …… 14

4 元器件考量 …… 15
4.1 半导体封装的比较及驱动因素 …… 15
4.1.1 封装特点比较 …… 15
4.1.2 BGA 封装影响因素 …… 16
4.1.3 成本关注 …… 16
4.1.4 元器件操作 …… 16
4.1.5 热性能 …… 18
4.1.6 空间限制 …… 18
4.1.7 电气性能 …… 18
4.1.8 机械性能 …… 18
4.2 BGA 封装中的芯片安装 …… 19
4.2.1 金属线键合 …… 19
4.2.2 倒装芯片 …… 20
4.2.3 改变 BGA 端子材料 …… 20
4.2.4 非植球 BGA 的选择 …… 21
4.3 标准 …… 22
4.3.1 BGA 行业标准 …… 22
4.3.2 BGA 封装节距 …… 24
4.3.3 BGA 封装外形 …… 25
4.3.4 焊球尺寸关系 …… 25
4.3.5 叠装（PoP）BGA …… 26
4.3.6 共面性 …… 26
4.4 关于元器件封装形式的考量 …… 26
4.4.1 焊球合金 …… 27
4.4.2 焊球连接工艺 …… 30
4.4.3 陶瓷球栅阵列（CBGA） …… 30
4.4.4 陶瓷柱栅阵列（CCGA） …… 31
4.4.5 载带球栅阵列 …… 35
4.4.6 多芯片封装 …… 35
4.4.7 系统级封装（SiP） …… 36
4.4.8 三维（3D）折叠封装技术 …… 36
4.4.9 焊球堆叠 …… 36
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

This is a preview of "IPC 7095D+Amd1-CN-20...". Click here to purchase the full version from the ANSI store.

4.5 BGA 连接器和插座 38
4.5.1 BGA 连接器材料考量 38
4.5.2 BGA 连接器的连接考量 38
4.5.3 BGA 材料和插座类型 39
4.5.4 BGA 插座连接考量 39
4.6 BGA 构造材料 40
4.6.1 BGA 基板材料类型 40
4.6.2 BGA 基板材料性质 41
4.7 BGA 封装设计考量 42
4.7.1 电源和接地层 42
4.7.2 信号完整性 43
4.7.3 封装内置散热片 43
4.8 封装的接收标准和运输方式 43
4.8.1 焊球缺失 43
4.8.2 焊球空洞 44
4.8.3 焊球连接完整性 44
4.8.4 封装和焊球共面性 44
4.8.5 湿度敏感性（烘烤、贮存、操作、再烘烤）45
4.8.6 运输媒介（载带、托盘、管） 46

5 印制板及其它安装结构 46
5.1 基板 46
5.1.1 有机基板 46
5.1.2 无机基板 46
5.1.3 高密度互连（HDI）叠构多层 46
5.2 基材考量 48
5.2.1 树脂系统 48
5.2.2 层压板材料性质 48
5.3 印制板表面处理 49
5.3.1 热风焊料整平（HASL） 50
5.3.2 有机可焊性保护（OSP）涂层 51
5.3.3 贵金属涂层 51
5.4 阻焊膜 55
5.4.1 湿膜和干膜阻焊膜 55
5.4.2 喷射式阻焊膜 55
5.4.3 阻焊膜涂覆时印制板对拼板胶片的对位 56
5.5 导通孔保护 56
5.5.1 侵入孔 56
5.5.2 导通孔掩蔽、堵塞和填塞 56

6 印制电路组件设计考量 58
6.1 元器件放置和间隙 58
6.1.1 贴片组装 58
6.1.2 维修 / 返工要求 58
6.1.3 整体布局 59
6.1.4 对准图形（丝印油墨、铜制标志、引脚 1 标识符） 59
6.2 连接位置（连接盘图形和导通孔） 60
6.2.1 连接盘直径大小及其对布线的影响 60
6.2.2 阻焊膜限定（SMD）与金属限定连接盘设计 61
6.2.3 导体宽度 62
6.2.4 导通孔尺寸和位置 62
6.2.5 影响 BGA 阻焊膜的参数 64
6.2.6 多栅格 BGA 连接盘图形阵列设计 64
6.3 出线和布线策略 65
6.3.1 出线策略 68
6.3.2 表面导体和间距宽度 68
6.3.3 连接盘至导通孔（狗骨）布线图形 69
6.3.4 减轻机械应变的设计 70
6.3.5 未遮蔽焊盘内导通孔及其对可靠性的影响 71
6.3.6 密节距 BGA（FBGA）连接盘内微导通孔策略 72
6.3.7 电源和接地连接 72
6.4 波峰焊接对正面 BGA 的影响 73
6.4.1 正面再流焊 73
6.4.2 正面再流焊的影响 73
6.4.3 避免正面再流的方法 75
6.4.4 无铅印制板的正面再流 75
6.5 可测试性和测试点的访问 75
6.5.1 元器件测试 75
6.5.2 测试和老化过程中对焊球的损伤 76
6.5.3 印制板测试 77
6.5.4 印制板组件测试 78
6.6 其它可制造性设计（DfM）问题 79
6.6.1 在制板 / 拼托板设计 80
6.6.2 中间制程 / 最终产品测试附连板 80
6.7 散热管理 82
6.7.1 传导 82
6.7.2 辐射 82
6.7.3 对流 83
6.7.4 散热界面材料 83
6.7.5 BGA 散热片连接方法 84

This is a preview of "IPC 7095D+Amd1-CN-20...". Click here to purchase the full version from the ANSI store.

7 BGA 组件 ····· 86
7.1 表面贴装工艺 ····· 86
7.1.1 焊膏及其施加 ····· 86
7.1.2 元器件贴装影响 ····· 92
7.1.3 BGA 贴装视觉系统 ····· 92
7.1.4 再流焊接及温度曲线 ····· 94
7.1.5 材料对助焊剂活化、元器件损伤及可焊性的影响 ····· 102
7.1.6 清洗与免清洗 ····· 102
7.1.7 封装间隙高度 ····· 103
7.2 组装后的工艺 ····· 104
7.2.1 敷形涂覆 ····· 104
7.2.2 底部填充和粘合剂的使用 ····· 105
7.2.3 印制板和模块的分板 ····· 111
7.3 检测技术 ····· 111
7.3.1 X 射线检验 ····· 111
7.3.2 X 射线图像采集 ····· 112
7.3.3 X 射线系统术语的定义和讨论 ····· 113
7.3.4 X 射线图像分析 ····· 117
7.3.5 声学扫描显微镜（SAM） ····· 119
7.3.6 BGA 间隙测量 ····· 121
7.3.7 光学检测（内窥镜） ····· 121
7.3.8 破坏性分析方法 ····· 122
7.4 测试和产品验证 ····· 125
7.4.1 电气测试 ····· 125
7.4.2 功能测试（FT）覆盖 ····· 125
7.4.3 老化测试 ····· 125
7.4.4 产品筛选测试 ····· 125
7.5 空洞识别 ····· 125
7.5.1 空洞的来源 ····· 126
7.5.2 空洞的分类 ····· 127
7.5.3 BGA 焊点中的空洞 ····· 127
7.6 空洞测量 ····· 128
7.6.1 X 射线探测和测量注意事项 ····· 128
7.6.2 空洞的影响 ····· 128
7.6.3 空洞协议开发 ····· 129
7.6.4 空洞评估的抽样计划 ····· 130
7.7 减少空洞的工艺控制 ····· 131
7.7.1 工艺参数对于空洞形成的影响 ····· 131
7.7.2 焊球中空洞的工艺控制标准 ····· 134
7.7.3 工艺控制标准 ····· 135
7.8 焊接缺陷 ····· 136
7.8.1 焊料桥连 ····· 136
7.8.2 冷焊 ····· 136
7.8.3 开路 ····· 136
7.8.4 受热不充分 / 不均匀 ····· 136
7.8.5 枕头效应（HoP） ····· 137
7.8.6 不润湿开路（NWO）/ 焊球悬空 ····· 139
7.8.7 元器件缺陷 ····· 139
7.9 维修工艺 ····· 140
7.9.1 返工和维修理念 ····· 140
7.9.2 BGA 的拆除 ····· 140
7.9.3 替换 ····· 141

8 可靠性 ····· 143
8.1 BGA 组件的可靠性因素 ····· 144
8.1.1 循环应变 ····· 144
8.1.2 疲劳 ····· 144
8.1.3 蠕变 ····· 145
8.1.4 蠕变和疲劳的交互作用 ····· 146
8.1.5 机械负载下的可靠性 ····· 146
8.2 焊料连接的损伤机理和失效 ····· 147
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
8.2.2 混合合金焊接 ····· 149
8.3 焊点和连接类型 ····· 150
8.3.1 整体膨胀不匹配 ····· 151
8.3.2 局部膨胀不匹配 ····· 151
8.3.3 内部膨胀不匹配 ····· 151
8.4 焊料连接失效 ····· 151
8.4.1 焊料连接失效分类 ····· 151
8.5 影响可靠性的关键因素 ····· 156
8.5.1 封装技术 ····· 156
8.5.2 间隙高度 ····· 157
8.5.3 印制板设计考量 ····· 158
8.5.4 陶瓷栅阵列（CGAs）焊接连接的可靠性 ··· 158
8.5.5 BGA 无铅焊接 ····· 159
8.6 可靠性设计（DfR）流程 ····· 165
8.7 验证和鉴定测试 ····· 165
8.8 筛选程序 ····· 166
8.8.1 焊点缺陷 ····· 166
8.8.2 筛选建议 ····· 166
8.9 加速可靠性测试 ····· 166

This is a preview of "IPC 7095D+Amd1-CN-20...". Click here to purchase the full version from the ANSI store.

9 工艺问题排查 …… 166
9.1 阻焊膜限定（SMD）BGA 状况 …… 166
9.1.1 阻焊膜限定（SMD）和非阻焊膜限定（NSMD）连接盘 …… 167
9.1.2 产品印制板上的阻焊膜限定（SMD）连接盘 …… 167
9.1.3 阻焊膜限定（SMD）BGA 失效 …… 168
9.2 BGA 焊球过度塌陷状况 …… 168
9.2.1 无散热块的 BGA 焊球形状，500μm 的间隙高度 …… 168
9.2.2 有散热块的 BGA 焊球形状，375μm 的间隙高度 …… 169
9.2.3 有散热块的 BGA 球形，300μm 的间隙高度 …… 169
9.2.4 关键的焊膏条件 …… 169
9.2.5 通过 X 射线和切片确定空洞 …… 169
9.2.6 空洞和非均匀焊球 …… 170
9.2.7 蛋壳空洞 …… 170
9.3 BGA 翘曲 …… 170
9.3.1 BGA 翘曲 …… 171
9.3.2 由于载板翘曲导致的焊点开路 …… 171
9.4 焊点状况 …… 172
9.4.1 目标焊接条件 …… 172
9.4.2 过度氧化的焊球 …… 172
9.4.3 退润湿 …… 173
9.4.4 不润湿 …… 173
9.4.5 由连接盘污染引起的不完整连接 …… 174
9.4.6 变形的焊球 …… 174
9.4.7 变形后的焊球 - 动态翘曲 …… 175
9.4.8 焊料和助焊剂不充足以形成适当的焊点 … 175
9.4.9 端子接触面积减少 …… 176
9.4.10 焊料桥连 …… 176
9.4.11 不完全焊料再流 …… 177
9.4.12 焊料缺失 …… 177
9.4.13 不润湿开路（NWO） …… 178
9.4.14 枕头效应（HoP）焊点 …… 178

附录 A 减少空洞发生的工艺控制特性描述 …… 179

附录 B 词汇表及首字母缩写词 …… 185

图

图 3-1 BGA 封装制造工艺 …… 4
图 3-2 多芯片模块 (MCM) 类型 2S-L-WB …… 5
图 3-3 导体宽度与节距关系 …… 7
图 3-4 金属线键合球栅阵列 (BGA) …… 7
图 3-5 倒装芯片键合球栅阵列（BGA） …… 8
图 3-6 BGA 翘曲 …… 10
图 3-7 焊盘坑裂示例 …… 12
图 3-8 BGA 焊点各种可能的失效模式 …… 12
图 3-9 枕头效应（HoP）焊点缺陷的角视图（左）和切片图（右） …… 13
图 3-10 枕头效应（HoP）开路缺陷的切片图 …… 13
图 3-11 不润湿开路（NWO）缺陷的侧视和切片视图示例 …… 14
图 4-1 面阵列封装的端子类型 …… 17
图 4-2 芯片上基板（BOC）BGA 结构 …… 19
图 4-3 BOC 类 BGA 模封后的顶部 …… 20
图 4-4 BGA 基板上的倒装芯片（带凸点芯片） … 20
图 4-5 采用锡铅的 BGA 焊点 …… 22
图 4-6 JEDEC 叠装元器件标准结构 …… 26
图 4-7 Dynamic Warpage Plot with Temperature for a Flip Chip BGA Package …… 28
图 4-8 具有液相线温度 100 ℃到 200 ℃且不含有 Pb,Cd 或 Au 的低温合金 …… 28
图 4-9 锡铋相图 …… 29
图 4-10 典型的锡铋焊料合金微观结构 …… 29
图 4-11 塑封球栅阵列（PBGA） …… 30
图 4-12 热增强型陶瓷球栅阵列（CBGA）封装的横截面 …… 30
图 4-13 模压聚合物灌封的陶瓷球栅阵列（CBGA）封装 …… 31
图 4-14 典型铜带缠绕的陶瓷柱栅阵列（CCGA） … 31
图 4-15 各种焊料柱的塑封 BGA（PBGA） …… 32
图 4-16 典型具有铜带缠绕的焊料柱 …… 32
图 4-17 覆盖有 SnPb40 外层、具有电镀铜层的 PbSn10 焊料柱剖视图 …… 32
图 4-18 电镀 SnPb 微线圈（左）和镀金微线圈（右） …… 33
图 4-19 柱栅阵列（CGA1152）陶瓷 IC 封装上的镀金微线圈弹簧 …… 33
图 4-20 柱栅阵列（CGA）封装上带有 SAC305 填充的微线圈弹簧 …… 33

This is a preview of "IPC 7095D+Amd1-CN-20...". Click here to purchase the full version from the ANSI store.

图 4-21 带 SnPb37 填充的微线圈弹簧（镀 SnPb40）柱栅阵列（CGA1152） …… 33
图 4-22 聚酰亚胺膜基引线键合 uBGA 封装基板 … 35
图 4-23 单一双金属层载带基板封装内电路布线比较 …… 35
图 4-24 单封装芯片叠加 BGA…… 36
图 4-25 定制八芯片（倒装芯片及金属线键合）SiP 组件 …… 36
图 4-26 折叠式多芯片 BGA 封装 …… 36
图 4-27 八层焊球堆叠封装 …… 36
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 4-29 折叠以及堆叠的多芯片 BGA 封装 …… 37
图 4-30 叠装封装（PoP）组件 …… 37
图 4-31 BGA 连接器…… 38
图 4-32 带真空帽的 BGA 连接器 …… 38
图 4-33 针栅阵列（PGA）插座引脚 …… 39
图 4-34 带有和不带有贴装盖的针栅阵列（PGA）插座 …… 39
图 4-35 盘栅阵列（LGA）接触引脚 …… 39
图 4-36 带有和不带有贴装盖的盘栅阵列（LGA）插座 …… 39
图 4-37 BGA 焊球缺失的示例…… 43
图 4-38 进料检验时共晶焊球中的空洞示例 …… 44
图 4-39 焊球和连接盘表面状况示例 …… 44
图 4-40 建立 BGA 共面性要求 …… 45
图 4-41 焊球触点位置公差 …… 45
图 5-1 采用激光打孔生成的 HDI 可能叠构…… 47
图 5-2 采用蚀刻和机械工艺生成的 HDI 可能叠构 …… 47
图 5-3 温度超过 Tg 的膨胀率 …… 48
图 5-4 热风焊料整平（HASL）表面拓扑结构比较 …… 51
图 5-5 化学镀镍 / 浸金（ENIG）结构说明 …… 52
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 5-7 黑焊盘表面典型的龟裂外貌 …… 52
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 5-9 金脆 …… 53
图 5-10 化学镍 / 化学钯 / 浸金（ENEPIG）结构说明 …… 53
图 5-11 直接浸金（DIG）的图形描述 …… 54
图 5-12 微空洞示例 …… 55
图 5-13 导通孔堵塞方法 …… 57
图 6-1 BGA 对准标记…… 59
图 6-2 BGA 器件的连接盘…… 61
图 6-3 金属限定连接盘连接外形 …… 62
图 6-4 阻焊膜应力集中 …… 62
图 6-5 焊点形状对比 …… 62
图 6-6 好 / 差的阻焊膜设计 …… 63
图 6-7 金属限定连接盘示例 …… 63
图 6-8 差的阻焊膜定位 …… 64
图 6-9 好的阻焊膜定位 …… 64
图 6-10 焊球随布 BGA 器件的焊球随布连接盘图形设计 …… 65
图 6-11 均匀网格 BGA 连接盘图形 …… 65
图 6-12 BGA 象限图形…… 66
图 6-13 方形阵列 …… 66
图 6-14 矩形阵列 …… 66
图 6-15 有空缺的矩形阵列 …… 66
图 6-16 焊球缺失的方形阵列 …… 67
图 6-17 散布阵列 …… 67
图 6-18 导体布线策略 …… 68
图 6-19 不同阵列节距的导体和间距宽度 …… 69
图 6-20 单根和两根导体布线 …… 69
图 6-21 典型的连接盘至导通孔（狗骨）布局 …… 69
图 6-22 连接盘至导通孔（狗骨）布线选项 …… 69
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 6-24 螺钉和支撑的优先布局 …… 70
图 6-25 连接器螺钉支撑布局 …… 70
图 6-26 具有焊盘内导通孔结构的 0.75mm 焊球切片图 …… 71
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 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

This is a preview of "IPC 7095D+Amd1-CN-20...". Click here to purchase the full version from the ANSI store.

图 6-34 波峰焊接时，到达 BGA 焊点的热通道 … 74
图 6-35 避免 BGA 正面焊点在波峰焊时再流的方法 …… 75
图 6-36 镊子类工具接触焊球侧面后案例 …… 76
图 6-37 弹簧探针与焊球底部电气接触后的压痕 … 76
图 6-38 面阵列连接盘图形测试 …… 77
图 6-39 板拼联 …… 81
图 6-40 梳形电路示例 …… 81
图 6-41 使用粘合剂连接 BGA 的散热片 …… 84
图 6-42 使用卡构连接 BGA 的散热片 …… 85
图 6-43 用勾住印制板孔的卡钩，连接 BGA 的散热片 …… 85
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 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 7-1 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 7-2 焊膏浸渍后的 BGA 焊球 …… 90
图 7-3 腔体板和 3D 模板 …… 90
图 7-4 带两个空腔的 3D 模板 …… 90
图 7-5 狭缝金属刮刀 …… 91
图 7-6 腔体隔离区 …… 91
图 7-7 高铅和共晶焊球及其焊点比较 …… 91
图 7-8 用于离线教学的焊球随布图像捕获 …… 93
图 7-9 BGA 或其附近各位置的峰值再流温度示例 …… 94
图 7-10 锡铅组件再流焊温度曲线原理图 …… 96
图 7-11 无铅组件再流焊温度曲线原理图 …… 96
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 7-13 热电偶在 BGA 上的建议位置 …… 97
图 7-14 热电偶在 BGA 连接器上的适当位置 …… 97
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 7-16 SAC、BiSnAg 以及 JRP 焊膏的再流温度曲线的比较 …… 99
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 7-18 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 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 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 7-21 印制板 BGA 连接盘周围阻焊膜去除后的影响 …… 104
图 7-22 敷形涂覆使用不当的影响 …… 105
图 7-23 BGA 和其它封装的底部填充粘合剂使用方法图 …… 106
图 7-24 不完全底部填充覆盖的 BGA 封装 …… 107
图 7-25 两个平行表面之间的底部填充剂的流动 …… 107
图 7-26 底部填充中空洞的示例 …… 108
图 7-27 部分底部填充示例 …… 108
图 7-28 角落施加粘合剂的 BGA 显微剖切图 …… 109
图 7-29 角落施加粘合剂的 BGA 顶视图 …… 109
图 7-30 再流前角落施加粘合剂的关键尺寸 …… 109
图 7-31 角落施加粘合剂典型的失效模式 …… 109
图 7-32 BGA 焊点聚合物增强四种方法的示例…… 110
图 7-33 焊点密封材料（SJEM）…… 110
图 7-34 X 射线技术基本原理 …… 112
图 7-35 枕头效应（HoP）焊点的 X 射线示例 …… 112
图 7-36 焊球触点空洞的三个 X 射线图示例 …… 112
图 7-37 手动 X- 射线系统图像质量的两个示例 … 113
图 7-38 枕形失真和电压过曝的 X- 射线例子 …… 113
图 7-39 透射图像（2D）…… 114
图 7-40 断层合成图像（3D）…… 114
图 7-41 分层成像 3D 自动 X 射线检验（AXI）截面图像 …… 114
图 7-42 高质量的 2D 透射 X 射线图像示例 …… 115
图 7-43 印制板倾斜的斜视观察 …… 115
图 7-44 探测器倾斜的斜视观察 …… 115
图 7-45 自上向下观看 FBGA 焊点 …… 116
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

This is a preview of "IPC 7095D+Amd1-CN-20...". Click here to purchase the full version from the ANSI store.

图 7-50 断层合成成像 …… 117
图 7-51 扫描束 X- 射线分层成像 …… 118
图 7-52 采用加热台观察到的 QFN 器件空洞形成动态 …… 119
图 7-53 典型的声学扫描显微镜配置 …… 120
图 7-54 同一 BGA 的 C- 扫描图像（左）和 T 扫描（右）图像 …… 120
图 7-55 内窥镜示例 1 …… 121
图 7-56 内窥镜示例 2 …… 121
图 7-57 内窥镜示例 3 …… 121
图 7-58 工程裂纹评估技术 …… 122
图 7-59 穿过焊球中空洞的焊球切片 …… 122
图 7-60 焊球 / 连接盘界面处裂纹始发的切片 …… 123
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 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 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 7-64 焊球至连接盘界面成群聚集的小空洞 …… 126
图 7-65 BGA 焊点内各种类型空洞的典型尺寸和位置 …… 127
图 7-66 带有空洞的焊球 X 射线图像 …… 128
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 7-68 真空辅助对流再流炉 …… 133
图 7-69 真空辅助气相再流炉 …… 134
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 7-71 连接盘和印制板界面空洞区域示例 …… 135
图 7-72 显示为不均匀受热的 X 射线图像 …… 136
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 7-74 显示焊球与焊膏没有熔融的枕头效应（HoP）示例 …… 137
图 7-75 枕头效应（HoP）产生的演变过程 …… 137
图 7-76 封装严重翘曲造成的枕头效应（HoP）…… 138
图 7-77 液相时间延时（LTD）示例 …… 138
图 7-78 再流后印制板上未熔融的焊料颗粒 …… 138
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 7-81 显示 BGA 的翘曲的 X 射线图像 …… 140
图 7-82 BGA/ 组件热屏蔽示例 …… 141
图 8-1 由于热机械疲劳导致的焊点裂纹示例 …… 148
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 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 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 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 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 8-7 呈现颗粒状外观的冷焊点 …… 152
图 8-8 连接盘污染（阻焊膜残留） …… 152
图 8-9 焊球脱落 …… 152
图 8-10 焊球缺失 …… 153
图 8-11 倒装芯片 BGA 和印制板的动态翘曲 …… 153
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 8-13 可接受凸形焊点示例 …… 154
图 8-14 可接受柱状焊点示例 …… 155
图 8-15 焊盘坑裂的两个示例（位于 BGA 角落）… 155
图 8-16 节距 1mm 以下的无铅焊球的焊盘坑裂 … 155
图 8-17 切面图示再流过程中不充分熔融的焊点 … 156
图 8-18 阻焊膜影响 …… 158
图 8-19 非常大的空洞导致的可靠性测试失效 …… 158
图 8-20 SnAgCu（SAC）BGA 焊球的内窥镜照片 …… 161
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 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 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 8-24 混合冶金（SAC/ 锡铅）BGA 焊点替代选项 …… 164
图 9-1 阻焊膜限定（SMD）连接盘引起的裂纹 … 167
图 9-2 阻焊膜在连接盘上侵入过多 …… 167
图 9-3 阻焊膜限定（SMD）BGA 焊点失效 …… 168

This is a preview of "IPC 7095D+Amd1-CN-20...". Click here to purchase the full version from the ANSI store.

图 9-4 无散热块的 BGA 焊球形状，500μm 的间隙高度 …… 168
图 9-5 有散热块的 BGA 焊球形状，375μm 的间隙高度 …… 169
图 9-6 有散热块的 BGA 焊球形状，300μm 的间隙高度 …… 169
图 9-7 空洞和非均匀焊球 …… 170
图 9-8 蛋壳空洞 …… 170
图 9-9 角落发生桥连的内凹（哭脸）BGA …… 171
图 9-10 由于载板翘曲导致的焊点开路 …… 171
图 9-11 目标焊接条件 …… 172
图 9-12 过度氧化的焊球 …… 172
图 9-13 焊料在界面退润湿 …… 173
图 9-14 不润湿 …… 173
图 9-15 由连接盘污染引起的不完整连接 …… 174
图 9-16 焊球变形 …… 174
图 9-17 柱状变形焊球 …… 175
图 9-18 焊球悬空 …… 175
图 9-19 同一个 BGA 上出现拉伸后的和正常的焊料连接 …… 176
图 9-20 焊料桥连 …… 176
图 9-21 不完全的焊料再流 …… 177
图 9-22 焊膏沉积缺失 …… 177
图 9-23 不润湿开路（NWO） …… 178
图 9-24 枕头效应（HoP）…… 178
图 A-1 典型空洞评估流程图 …… 179
图 A-2 起始于角落引脚，带有裂纹的 BGA 中空洞 …… 183
图 A-3 与连接盘大小相关的空洞直径 …… 184

表

表 3-1 多芯片模块（MCM）定义 …… 5
表 3-2 双层电路出线数 vs. 阵列尺寸 …… 6
表 3-3 焊盘坑裂相关的 IPC 标准清单 …… 13
表 4-1 JEDEC 标准 JEP95-1/5 允许的 FBGA 的焊球直径变化 …… 23
表 4-2 塑封 BGA（PBGA）的焊球直径 …… 24
表 4-3 芯片尺寸 BGAs（DSBGAs）焊球直径大小 …… 24
表 4-4 连接盘图形设计 …… 24
表 4-5 BGA 封装连接盘至焊球间尺寸计算（mm） …… 25
表 4-6 JEDEC 已登记的 BGA 外形示例 …… 26
表 4-7 无铅合金变化 …… 27
表 4-8 柱栅阵列（CGA）连接盘尺寸近似值 …… 34
表 4-9 柱栅阵列（CGA）合金和构造类型 …… 34
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
表 4-11 BGA 封装基板常用介电材料的典型性质 … 42
表 4-12 按照焊球尺寸的受控共面性 …… 45
表 4-13 湿敏等级和车间寿命 …… 46
表 5-1 各种印制板表面处理的关键属性 …… 50
表 5-2 基于表面处理工艺对导通孔填塞 / 侵入的评估 …… 56
表 5-3 导通孔填塞选项 …… 58
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
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
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
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
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
表 6-6 最大连接盘与节距（mm）的关系 …… 61
表 6-7 全阵列出线策略 …… 68
表 6-8 不同阵列节距的导体和间距宽度 …… 68
表 6-9 材料类型对传导的影响 …… 82
表 6-10 特定材料辐射系数额定值 …… 83
表 7-1 按类型和网目的焊球尺寸分布 …… 87
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
表 7-3 不同 BGA 节距的模板厚度 …… 87
表 7-4 常见模板技术和选择的优缺点 …… 89
表 7-5 密节距 BGA（FBGA）印刷选项 …… 90
表 7-6 陶瓷阵列封装焊膏体积要求示例 …… 92
表 7-7 锡铅和锡银铜合金温度曲线比较 …… 95
表 7-8 检测方法应用建议 …… 111
表 7-9 检测的视野 …… 118
表 7-10 空洞分类 …… 127
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

This is a preview of "IPC 7095D+Amd1-CN-20...". Click here to purchase the full version from the ANSI store.

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