

目录

1 范围	1	3.6.4.2	触发和同步问题.....	15
1.1 目的	1	3.6.4.3	长计数器链.....	15
1.2 文件层次结构.....	1	3.6.4.4	自我诊断.....	15
1.3 单位说明.....	1	3.6.4.5	物理测试考量.....	15
1.3.1 尺寸单位-计量单位.....	1	3.6.5	印制板组件在线测试考量.....	16
1.4 对“应当”的说明.....	2	3.6.5.1	在线测试夹具.....	16
1.5 术语的定义.....	2	3.6.5.2	在线测试电气注意事项.....	17
1.5.1 微导通孔.....	2	3.6.6	机械特性.....	18
1.5.2 背钻.....	2	3.6.6.1	连接器的一致性.....	18
1.5.3 残端.....	2	3.6.6.2	连接器电源分配和信号电平的一致性.....	18
1.6 产品分级.....	2	3.7	布设评估.....	18
1.6.1 印制板类型.....	3	3.7.1	印制板布局设计.....	18
1.6.2 性能等级.....	3	3.7.1.1	布局原理.....	18
1.6.3 可生产性等级.....	3	3.7.2	密度可行性评估.....	18
2 适用文件	3	4 材料		21
3 通用要求	6	4.1	材料选择.....	21
3.1 信息层次.....	8	4.1.1	按结构强度选择材料.....	22
3.1.1 优先顺序.....	8	4.1.2	按电气特性选择材料.....	22
3.1.2 成品性能要求.....	8	4.1.3	按环境特性选择材料.....	22
3.1.3 设计数据保护.....	8	4.1.4	按物理特性选择材料.....	22
3.2 设计考虑事项.....	8	4.2	介质基材（包括半固化片和粘合剂）.....	22
3.3 原理图 / 逻辑图.....	9	4.2.1	预浸处理的粘合层（预浸材料）.....	22
3.4 密度评估.....	9	4.2.2	粘合剂.....	22
3.5 零件清单.....	10	4.2.2.1	环氧树脂.....	23
3.6 测试要求考量.....	10	4.2.2.2	硅橡胶.....	23
3.6.1 电气特性.....	10	4.2.2.3	丙烯酸树脂.....	23
3.6.1.1 印制板裸板测试.....	10	4.2.2.4	聚氨酯.....	23
3.6.1.2 测试方法.....	11	4.2.2.5	专用的丙烯酸酯基粘合剂.....	23
3.6.1.2.1 HiPot 测试.....	11	4.2.2.6	其它粘合剂.....	23
3.6.1.2.2 阻抗考量.....	12	4.2.3	粘接膜或片.....	23
3.6.1.3 测试数据（源数据）.....	13	4.2.4	导电粘合剂.....	24
3.6.2 印制板组件可测试性.....	13	4.2.5	导热/电绝缘粘合剂.....	24
3.6.3 边界扫描测试.....	14	4.2.5.1	环氧树脂.....	24
3.6.4 印制板组件功能测试事项.....	14	4.2.5.2	硅橡胶.....	24
3.6.4.1 测试连接器.....	14	4.2.5.3	氨基甲酯.....	24
		4.2.5.4	用结构粘接材料作为导热粘合剂.....	24

4.3	层压板材料.....	24	4.5.3	埋入式电感.....	35
4.3.1	高 T _g 层压板	25	4.6	有机保护性涂层.....	35
4.3.2	着色剂	25	4.6.1	阻焊膜涂覆层.....	35
4.3.3	介质厚度 / 间距.....	25	4.6.1.1	阻焊膜的附着力和覆盖	36
4.3.4	导热层压板.....	25	4.6.1.2	阻焊膜间隙和阻焊坝	36
4.3.5	PC 卡外形因素最小基材厚度	25	4.6.2	敷形涂覆.....	36
4.4	导电材料.....	25	4.6.2.1	敷形涂覆类型及厚度	36
4.4.1	化学沉铜.....	28	4.6.3	防变色涂层.....	37
4.4.2	半导体涂层.....	28	4.7	标记和字符.....	37
4.4.3	电镀铜.....	28			
4.4.3.1	电镀方法	28	5 机械 / 物理特性.....	38	
4.4.4	镀金	28	5.1	制作事项	38
4.4.4.1	化学镀镍 / 浸金（化学镍金）	29	5.1.1	裸板制作.....	38
4.4.4.2	化学镀镍 / 浸金 / 化学镀金 （ENIG / EG）	29	5.2	产品 / 印制板构造	38
4.4.4.3	化学镀镍 / 化学钯 / 浸金（ENEPIG）	30	5.2.1	印制板类型.....	39
4.4.5	浸银.....	30	5.2.2	印制板尺寸.....	39
4.4.6	浸锡.....	31	5.2.3	印制板的尺寸和形状	39
4.4.7	有机可焊性保护剂（OSP）	31	5.2.3.1	材料尺寸.....	39
4.4.8	镀镍.....	32	5.2.4	弓曲和扭曲.....	41
4.4.9	镀锡 / 铅.....	32	5.2.4.1	PC 卡外形因素印制板的弓曲和扭曲.....	41
4.4.9.1	镀锡.....	33	5.2.5	结构强度.....	41
4.4.10	焊料涂层.....	33	5.2.6	复合（抑制芯）印制板	41
4.4.10.1	热风焊料整平（HASL）	33	5.2.7	振动设计.....	42
4.4.10.1.1	锡铅 HASL.....	33	5.3	组件要求.....	43
4.4.10.1.2	无铅 HASL.....	33	5.3.1	机械零部件连接.....	43
4.4.11	用于印制板边接触片的其它金属涂层	34	5.3.2	零件支撑.....	43
4.4.12	金属箔 / 膜.....	34	5.3.3	组装和测试.....	43
4.4.12.1	铜箔.....	34	5.3.4	用于 PC 卡外形因素印制板的工具导轨.....	43
4.4.12.2	铜箔.....	34	5.4	尺寸标注体系.....	44
4.4.12.2.1	覆树脂铜箔.....	34	5.4.1	尺寸与公差.....	44
4.4.12.2.1.1	单层覆树脂铜箔.....	34	5.4.2	元器件和要素位置	44
4.4.12.2.1.2	双层覆树脂铜箔.....	34	5.4.2.1	网格系统.....	44
4.4.12.3	其它箔或膜.....	35	5.4.2.2	无网格系统 CAD	45
4.4.12.4	金属芯基板.....	35	5.4.3	基准要素.....	45
4.5	电子元器件材料.....	35	5.4.3.1	拼板化基准要素.....	47
4.5.1	埋入式电阻.....	35	5.5	印制板厚度公差.....	50
4.5.2	埋入式电容.....	35	5.6	拼板	50
			5.7	拼版	50

5.7.1	分离条	51	6.4.1	微带	60
5.8	电镀边缘	51	6.4.2	埋入式微带	61
5.8.1	周边电镀	51	6.4.3	带状线性能	61
5.8.2	圆形部件的边缘电镀	51	6.4.4	非对称带状线性能	62
5.8.3	锚点	52	6.4.5	阻抗文件	63
6 电气特性		52	6.4.6	电容考量	63
6.1	电气考量	52	6.4.7	电感考量	65
6.1.1	电气性能	52	7 热管理		65
6.1.2	电源分配考量	52	7.1	冷却机理	66
6.1.3	电路类型考量	53	7.1.1	传导	66
6.1.3.1	数字电路	54	7.1.2	辐射	66
6.1.3.2	模拟电路	55	7.1.3	对流	66
6.2	导电材料要求	55	7.1.4	高度效应	67
6.2.1	浪涌电流	55	7.2	散热事项	67
6.3	电气间隙	56	7.2.1	印制板外壳	67
6.3.1	视线（通过空气 / 真空且无绝缘体的 直接距离）	57	7.2.1.1	封闭式外壳	67
6.3.2	介质间距（穿过介电材料的层间间隙） ..	57	7.2.1.2	通风式外壳	68
6.3.2.1	介质耐电压（DWV）	57	7.2.2	单个元器件散热	68
6.3.3	爬电距离（遵循表面轮廓的路径）	57	7.2.3	印制板散热片的热管理事项	68
6.3.3.1	最小间距类别	58	7.2.4	印制板上组装散热片	69
6.3.3.1.1	B1-内层导线	58	7.2.5	SMT 印制板散热片专用设计考量	70
6.3.3.1.2	B2-从海平面到 3050 m [10007 ft] 的 无涂层外层导体	58	7.3	传热技术	70
6.3.3.1.3	B3-超过 3050 m [10,007 feet] 或真空中 的无涂层外层导体	58	7.3.1	热膨胀系数（CTE）特性	70
6.3.3.1.4	B4-外层导体，阻焊膜（任意海拔高度） ..	58	7.3.2	传热	71
6.3.3.1.5	B5 - 外层导体，经涂覆（任何海拔或 真空中）	59	7.3.3	热匹配	71
6.3.3.1.6	A6 - 外部元器件引线，经涂覆 （任何海拔或真空中）	59	7.4	热设计可靠性	71
6.3.3.1.7	A7-从海平面到 3050 m [10007 feet] 的 无涂层外层元器件引线	59	8 元器件和组装事项		72
6.3.3.1.8	A8 - 超过 3050 m [10007 feet] 或真空中 的无涂层外层导线	59	8.1	布局要求总则	73
6.3.4	导电阳极丝（CAF）生长	59	8.1.1	自动组装	73
6.3.5	相对漏电痕指数（CTI）	59	8.1.1.1	印制板的尺寸	73
6.4	阻抗控制	60	8.1.1.2	混合组装	73
			8.1.1.3	表面贴装	73
			8.1.2	元器件布局	73
			8.1.3	方向	74
			8.1.4	可接近性	75
			8.1.5	设计包容	75

8.1.6	元器件主体居中.....	75	8.3.1	通孔安装的引线.....	87
8.1.7	导电区上的齐平安装	75	8.3.1.1	直通孔安装引线.....	87
8.1.8	间隙	76	8.3.1.2	未折弯引线.....	87
8.1.9	物理支撑	76	8.3.1.3	折弯引线.....	87
8.1.9.1	经受冲击和振动的元器件安装技术.....	76	8.3.1.4	部分折弯引线.....	87
8.1.9.1.1	填充角	76	8.3.1.5	双列直插和单列直插式封装.....	87
8.1.9.2	3 级高可靠性应用.....	77	8.3.1.6	轴向引线元器件.....	87
8.1.10	散热	78	8.3.1.7	径向引线元器件.....	88
8.1.11	应力消除	78	8.3.1.8	直立（垂直）安装	89
8.2	连接要求总则.....	79	8.3.1.9	扁平封装.....	89
8.2.1	通孔	79	8.3.1.10	金属电源封装.....	89
8.2.2	表面安装	80	8.4	标准表面安装要求	90
8.2.3	混合组装.....	80	8.4.1	表面贴装引线元器件	90
8.2.4	焊接事项.....	80	8.4.2	扁平封装元器件.....	91
8.2.4.1	热应力方法.....	80	8.4.3	带状引线端接.....	92
8.2.5	连接器和互连.....	81	8.4.4	圆形引线端接.....	92
8.2.5.1	单件式连接器.....	82	8.4.5	元器件引线插座.....	92
8.2.5.2	双列直插式连接器	82	8.5	细节距的 SMT（外围设备）	92
8.2.5.3	印制板边连接器.....	82	8.6	裸芯片	93
8.2.5.4	两件式多点连接器	82	8.6.1	金属线键合	93
8.2.5.5	两件式分立触点连接器	82	8.6.2	倒装芯片	93
8.2.5.6	印制板板边适配连接器	83	8.6.3	芯片级封装.....	93
8.2.6	紧固件	83	8.7	载带自动键合	93
8.2.7	增强板	83	8.8	栅格阵列SMT.....	93
8.2.8	扁圆引线用连接盘	84	8.9	无引线器件	93
8.2.9	焊接端子	84	8.9.1	有回拉引线的小外形和方形扁平 无引线（PQFN, PSON）	94
8.2.9.1	端子安装-机械	84	8.10	柔性针设计指南.....	94
8.2.9.2	端子的安装-电气	85			
8.2.9.3	与端子连接的导线/引线	85			
8.2.10	空心铆钉	85	9 孔 / 互连		94
8.2.11	特殊金属线.....	86	9.1	带孔连接盘的通用要求	94
8.2.11.1	跳线	86	9.1.1	连接盘要求.....	95
8.2.11.2	类型	86	9.1.2	环宽的要求.....	95
8.2.11.3	应用	86	9.1.2.1	外层环宽	96
8.2.12	热缩器件	86	9.1.2.2	内层环宽	96
8.2.13	汇流条	86	9.1.3	导体层的热释放.....	96
8.2.14	挠性线缆.....	86	9.1.4	导体层的隔离区.....	97
8.3	通孔要求.....	87	9.1.5	扁圆引线用连接盘	98

9.1.6	空心铆钉或支架端接连接盘.....	98	10.1.3	导体走线.....	107
9.1.7	导电图形要素位置公差.....	98	10.1.4	导体间距.....	108
9.2	孔.....	99	10.1.5	平衡金属化.....	108
9.2.1	非支撑孔.....	99	10.1.6	电镀补偿.....	108
9.2.1.1	定位孔.....	99	10.2	连接盘特性.....	108
9.2.1.2	安装孔.....	99	10.2.1	生产余量.....	108
9.2.2	支撑孔.....	99	10.2.2	表面贴装连接盘.....	108
9.2.2.1	镀覆孔.....	99	10.2.3	测试点.....	108
9.2.2.2	元器件镀覆孔.....	99	10.2.4	定向符号.....	108
9.2.2.3	镀覆导通孔.....	99	10.2.5	偏置连接盘.....	108
9.2.2.4	导通孔孔径.....	99	10.3	大导电区.....	108
9.2.2.5	盲孔.....	100			
9.2.2.6	埋孔.....	100	11 文件		109
9.2.2.7	导热孔.....	100	11.1	特殊工具.....	109
9.2.2.8	柔性针（压接）系统.....	100	11.2	布设.....	111
9.2.2.8.1	柔性针（压接）系统注意事项.....	100	11.2.1	视图.....	111
9.2.3	定位.....	101	11.2.2	精确度和比例.....	111
9.2.4	孔图形的变化.....	101	11.2.3	布设标注.....	111
9.2.5	位置公差.....	101	11.2.4	自动布设技术.....	111
9.2.5.1	NPTH 公差.....	102	11.3	偏差要求.....	111
9.2.5.1.1	定位孔.....	102	11.4	底片注意事项.....	111
9.2.5.1.2	安装孔.....	102	11.4.1	照相原版文件.....	112
9.2.5.2	PTH 公差.....	102	11.4.2	底片基材.....	112
9.2.5.2.1	镀覆孔公差.....	102	11.4.3	阻焊膜涂层照相底版.....	112
9.2.5.2.2	印制板安装孔.....	102			
9.2.6	数量.....	102	12 质量保证		112
9.2.7	相邻孔的间距.....	102	12.1	符合性测试附连板.....	112
9.2.8	厚径比.....	102	12.2	材料的质量保证.....	113
9.2.9	凹蚀.....	102	12.2.1	层压板.....	113
9.3	导通孔保护.....	103	12.2.2	柔性针.....	113
9.3.1	导通孔保护要求.....	103	12.3	符合性评估.....	113
9.3.2	导通孔填充.....	103	12.3.1	附连板的数量与位置.....	113
9.4	背钻指导.....	104	12.3.2	附连板标识.....	115
			12.3.3	附连板的通用要求.....	117
10 电路图形通用要求		104	12.3.3.1	公差.....	117
10.1	导体特性.....	104	12.3.3.2	蚀刻字符.....	117
10.1.1	导体宽度和厚度.....	104	12.3.3.3	内层连接孔.....	117
10.1.2	电气间隙.....	107	12.3.3.4	金属芯.....	117

12.4	专用附连板设计.....	117	图	
12.4.1	镀覆孔评估（热应力和模拟返工，重合度）附连板.....	117	图1-1	微导通孔定义..... 2
12.4.1.1	AB/R 附连板.....	117	图1-2	背钻孔的示例（未按比例）..... 2
12.4.1.2	传统附连板 A，B 或 A/B.....	117	图3-1	封装尺寸与 I/O 数..... 10
12.4.2	湿热及绝缘电阻附连板.....	117	图3-2	元器件和测试连接盘的留空区域..... 17
12.4.2.1	附连板 E.....	117	图3-3	高器件与测试连接盘的留空区域..... 17
12.4.2.2	传统附连板 E.....	118	图3-4	探测测试连接盘..... 17
12.4.3	孔可焊性附连板.....	118	图3-5	可用面积计算示例，mm[in]（可用面积的确定包括印制板边连接器，印制板导轨，印制板提取器的间隙余量。）..... 19
12.4.3.1	附连板 S.....	118	图3-6	印制板密度评估..... 21
12.4.3.2	传统附连板 S.....	118	图4-1	HASL 表面拓扑比较..... 33
12.4.4	表面贴装可焊性附连板.....	118	图5-1	印制板尺寸化标准示例、mm[in]..... 40
12.4.4.1	附连板 W.....	118	图5-2	典型的不对称抑制芯结构..... 41
12.4.4.2	传统附连板 M.....	118	图5-3A	含有两个对称铜-殷钢-铜抑制芯的多层金属芯印制板..... 41
12.4.5	互连电阻和连通性附连板.....	118	图5-3B	含有一个铜-殷钢-铜中间芯的对称抑制芯印制板..... 41
12.4.5.1	附连板 D.....	118	图5-4	定位公差对双向公差的优势，mm[in]..... 44
12.4.5.2	传统附连板 D.....	118	图5-5	基准参考框架..... 45
12.4.6	阻焊膜附着力附连板.....	118	图5-6	镀覆孔图形位置示例，mm[in]..... 46
12.4.6.1	附连板 G.....	118	图5-7	定位孔与安装孔图形示例，mm[in]..... 46
12.4.6.2	传统附连板 G.....	118	图5-8	使用基准点定位的导体图形示例，mm[in]..... 47
12.4.7	表面绝缘电阻附连板.....	118	图5-9	印制板外形位置和公差示例，mm[in]..... 48
12.4.7.1	附连板 H.....	118	图5-10	采用几何尺寸和公差标注的印制板图纸示例，mm[in]..... 48
12.4.7.2	传统附连板 H.....	118	图5-11	基准间隙要求..... 49
12.4.8	剥离强度和镀层附着力附连板.....	118	图5-12	印制板拼板/组装阵列，mm..... 49
12.4.8.1	附连板 P.....	118	图5-13	连接器键槽位置与公差示例，mm[in]..... 50
12.4.8.2	传统附连板 C.....	118	图5-14	组装阵列打叉（X-Out）基准示例..... 51
12.4.9	受控阻抗附连板.....	118	图5-15	边缘电镀间隙的示例..... 51
12.4.9.1	附连板 Z.....	118	图5-16	锚定在印制板边缘的公共网（首选）..... 52
12.4.10	可选传统重合度附连板.....	119	图6-1	电源接地层分布概念..... 53
12.4.11	传统附连板 N（剥离强度、表面贴装键合强度 - SMT 可选）.....	119	图6-2	单基准边走线..... 54
12.4.12	附连板 X（挠性印制板的可弯折性和耐弯折性）.....	119	图6-3	电路分布..... 54
附录 A		121	图6-4	最小介电间距的测量..... 57
附录 B		139	图6-5	印制板传输线结构..... 61
附录 C	可测试性设计校核清单示例	156	图6-6	微带线的电容与导体宽度及介质厚度的关系，mm[in]..... 64

图6-7	带状线的电容与导线宽度及间距的关系, mm[in]..... 64	图8-34	圆形或精压引线..... 91
图6-8	单导体交叉..... 65	图8-35	平面安装的扁平封装带状引线结构..... 92
图7-1	自动元器件插装的元器件间隙要求..... 69	图8-36	跟部安装的要求..... 92
图7-2	相对热膨胀系数 (CTE) 比较..... 71	图8-37	TSSOP封装结构..... 92
图8-1	边界和 (或) 波峰焊应用的元器件方位... 75	图8-38	SQFP封装结构..... 93
图8-2	元器件主体居中..... 75	图8-39	球栅阵列 (BGA) 封装结构示例..... 94
图8-3	安装在导体上的轴向引线元器件..... 75	图8-40	陶瓷圆柱栅阵列 (CGA) 封装结构..... 94
图8-4	未涂覆印制板的间隙..... 76	图8-41	盘栅阵列 (LGA) 封装结构..... 94
图8-5	夹具安装的轴向引线元器件..... 76	图8-42	矩形扁平无引线封装 (QFN) 结构..... 94
图8-6	粘合剂粘合的轴向引线元器件..... 76	图8-43	小外型无引线小外型封装 (SON) 结构..... 95
图8-7	填充角与粘合的比较示例..... 77	图8-44	回拉式矩形扁平无引线封装 (PQFN) 结构..... 95
图8-8	有基脚或支座的安装..... 78	图9-1	改进连接盘形状的示例..... 95
图8-9	散热的例子..... 78	图9-2	外层环宽..... 96
图8-10	引线的弯曲..... 79	图9-3	内层环宽..... 96
图8-11	典型的引线结构..... 79	图9-4	导体层的典型热释放..... 97
图8-12	典型的键锁定排列..... 82	图9-5	导体层的隔离区..... 98
图8-13	印制板边缘的公差..... 82	图10-1	导体的蚀刻特性..... 106
图8-14	引入倒角结构图..... 83	图10-2	导体瓶颈加宽或缩减示例..... 107
图8-15	两件式连接器..... 83	图10-3	连接盘间的导体优化..... 107
图8-16	印制板板边适配连接器..... 83	图10-4	交叉影线的等温导体大导电层..... 109
图8-17	圆形或扁圆 (精压) 引线的连接..... 84	图11-1	印制板设计/制造流程图..... 110
图8-18	有支架的端子安装, mm[in]..... 85	图11-2	多层印制板视图..... 111
图8-19	层间和内层端子安装的双孔结构..... 85	图11-3	群组焊窗..... 111
图8-20	部分折弯的通孔..... 87	图11-4	袋状阻焊窗..... 111
图8-21	双列直插式封装 (DIP) 引线弯度..... 88	图12-1	IPC-2221 附录 A 符合性附连板设计中的在制板利用率..... 115
图8-22	引线弯曲半径中的焊料..... 88	图12-2	IPC-2221 附录 B 传统符合性附连板设计中的在制板利用率..... 116
图8-23	双径向引线元器件..... 88	图12-3	十层印制板的堆叠示例..... 116
图8-24	径向双引线元器件安装..... 88	图12-4	施统计过程控制 (SPC) 的系统方法..... 119
图8-25	弯月面间隔, mm[in]..... 89	图A.2-1	AB/R 附连板布设, mm[in]..... 123
图8-26	“贴着”外壳的径向引线元器件, mm[in].. 89	图A.2-2	AB/R 附连板各层示例..... 123
图8-27	直立部件安装, mm [in]..... 89	图A.3-1	扩展的 B 附连板布设..... 125
图8-28	扁平封装及四方扁平封装..... 89	图A.3-2	扩展的 B 附连板各层示例..... 126
图8-29	通孔扁平封装带状引线结构的示例..... 89	图A.4-1	附连板 E 布设, mm[in]..... 126
图8-30	带柔性引线的金属电源封装..... 89	图A.4-2	附连板 E 各层示例..... 127
图8-31	带弹性垫圈金属电源封装..... 90		
图8-32	带非柔性引线的金属电源封装..... 90		
图8-33	扁平封装表面贴装示例..... 91		

表7-2	某些材料的热辐射系数.....	66	表12-2	附录 B（旧）附连板要求	114
表7-3	印制板散热片组装选择	70	表A.1-1	IPC 附连板.....	121
表7-4	元器件引线 / 终端连接的相对可靠性 矩阵表	70	表A.2-1	AB/R 附连板参数, mm [in].....	122
表9-1	环宽（最小）	96	表A.3-1	扩展的 B 附连板参数, mm [in]	125
表9-2	焊盘到层的间隙, mm[in]	97	表A.4-1	E附连板参数, mm [in].....	126
表9-3	要素位置公差（连接盘, 导体图形等） （直径真实位置）1,2,3, mm[in].....	98	表A.5-1	附连板 S 参数, mm [in].....	127
表9-4	孔的最小定位公差, DTP.....	102	表A.6-1	附连板 W 参数, mm [in].....	128
表9-5	通孔直径的最小值和最大值以及厚径 比, mm [in].....	103	表A.7-1	附连板 D 参数, mm [in]	130
表10-1	加工后内层铜箔厚度	105	表A.8-1	G 附连板参数, mm [in]	134
表10-2	电镀后成品印制板外导体厚度	105	表A.9-1	附连板 H 参数, mm [in]	135
表12-1	附录A附连板要求1.....	113	表A.10-1	附连板 P 参数, mm [in]	136
			表B.1-1	IPC-2221 旧附连板	139