

高密度多重埋孔印制板的设计与制造

李元山, 金 杰

(国防科技大学计算机学院, 湖南 长沙 410073)

摘 要:采用新材料及多重埋孔方式,研制出高密度及高可靠性印制电路板(PCB),其孔径、线宽/线间距以及厚径比分别为 0.2 mm、0.08 mm/0.08 mm 和 15:1。综合性能达到和超过国家军标 GJB362 的有关条款要求。

关键词:PCB; MLB; 高密度; 多重埋孔

中图分类号: TN41

文献标识码: A

文章编号: 1001 - 3474(2001)03 - 0116 - 04

Design and Manufacture of High Density and Multi - buried Via PCBs

LI Yuan - shan, JIN Jie

(College of Computer Science, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: New material and multi - buried via technologies are used to manufacture high performance PCBs whose hole diameter, line width/spacing and aspect ratio respectively approach 0.2 mm, 0.08 mm/0.08 mm and 15:1. The comprehensive specifications completely meet or exceed the requirements of certain items of the National Military Standard GJB 362.

key words: PCB; MLB; High density; Multi - buried via

Document Code: A

Article ID: 1001 - 3474(2001)03 - 0116 - 04

当今及未来的巨型计算机,由于所要求的运算速度越来越快,所采用的 IC 集成度越来越高,芯片的 I/O 引脚数也就迅猛增加。这种 SMT 芯片的典型代表就是引脚间距小到 0.4 ~ 0.3 mm 的 QFP 以及球间距小于 1.0 mm 的 BGA。当芯片上的 I/O 数增加以后,与芯片互连所需要的导线数亦随之增加,要求在 625 mm² 的多层板(MLB)上布线密度达到 1016 mm 以上,孔密度为 400 个以上。此外,由于 SMT 芯片引脚数增加,所占空间增大,间距变小,又要求 MLB 有极平坦的表面和极小的翘曲度,以保证焊接的可靠性。传统的工艺显然已不能满足上述要求,必须采用能成倍提高组装密度的小孔、细线、多重埋孔和具有较高玻璃转化温度基材的 MLB 技术。

1 设计方案

要达到上述组装密度,在 MLB 的制作上,主要有以下几条途径。

1.1 小孔

孔径减小,焊盘所占的空间随之减小,因而可大大增加布线密度。目前国际上所谓“小孔”,是以小于 0.3 mm 为标志的,如果孔径从 0.6 mm 降为 0.3 mm,以同样的环宽(0.2 mm)为准计算,布线密度将增加 30 %。

1.2 细线及小间距

这是增加布线密度的最直接方式,线宽降低 1 倍,密度布线将增大 1 倍。

1.3 增加层次

作者简介: 李元山(1964 -),男,副研究员,硕士,毕业于厦门大学,从事计算机组装工程技术及 PCB 与 SMT 工艺技术研究。

每增加一个布线层,布线密度约增加 $1/N$ (N 为总布线层)。

1.4 采用多重埋孔形式

叠层的单片埋孔可使布线密度增加 50 %。多种形式的埋孔所增加的密度虽不如单片埋孔,但能增加布线的灵活性,提高布通率。

1.5 涂覆预焊剂

既有良好的可焊性,又可以大大提高精细间距 SMT 焊盘的表面平整度,避免焊接时的桥接和虚焊。

1.6 采用新材料

基材的玻璃转化温度 (T_g) 高,MLB 受热冲击形变就小,既可以增大层间对位的精确度,又可减小对金属化孔 (PTH) 的损坏,还可以降低 MLB 的翘曲度,有利于精细间距 QFP 的装焊。

以上六条途径,在工艺实现上都具有很高的难度,将导致 MLB 生产成本的大幅度增长。在不增加设备投资的情况下,选择以下方案来达到高密度组装的要求。

(1) 孔径 0.2 mm,焊盘 0.6 mm。

(2) 线宽线间距均为 0.075 mm,1.27 mm 的网格走三根线。

(3) 层数 12 层,厚度 2.5 ~ 3 mm。

(4) 单片 (二层)、四层和八层混合埋孔形式。

(5) 涂覆预焊剂。日本 MEC 公司预焊剂,有机酸—双氧水微蚀刻体系。

(6) 采用改进型 FR-4 基材, T_g 为 175 °C。

这种多层板孔密度可达 62 孔/cm²,布线密度 15 cm/cm²,完全可以满足当今高密度组装技术的要求。此外,由于线宽大幅度减少,传输线的特性阻抗 Z_0 有了明显的提高。以微带线为例,特性阻抗计算公式为:

$$Z_0 = \frac{87}{\sqrt{\epsilon_r + 1.41}} \ln \frac{5.98 H}{0.8 \omega + t}$$

式中: ϵ_r —介质的介电常数;

h —微带线到地层的距离 mm;

ω —导线的宽度 mm;

t —导线的厚度 mm。

本方案中, $\epsilon_r = 4.3$, $h = 0.2$ mm, $t = 0.035$ mm, $\omega = 0.075$ mm,由上式可以算出, $Z_0 = 92 \Omega$,足已保证巨型机对信号传输速度的要求。

全板布线为两根平行的细线,每根线总长 10 m (不包括金属化孔),可测试线路的短路和断路情况,

并能准确测出每根导线的电阻值。全板导线占有率为 25 %。

2 高密度 MLB 的制作工艺

要实现以上设计方案,必须解决以下难题:

2.1 高厚径比小孔工艺

1) 小孔的钻孔。当孔径小于 0.3 mm 以后,钻孔的难度便成倍增加。首先是钻头本身的问题。国内外商品化的钻头 ($\phi \leq 0.3$ mm) 钻刃的标准长度为 3.2 mm,而本方案中印制板厚 2.5 ~ 3 mm,再加上上下垫板的厚度,钻头在 Z 方向的位置调整几乎没有余地,必须精确定位,否则不是孔未钻透,就是孔壁上端被钻柄磨坏。加长的钻刃在强度上又不能满足要求,极易造成断钻。其次是钻床的问题。要钻出合格的小孔,既要有极高的钻速 (≥ 10 万 r/min),钻床本身又不能有大的颤抖,否则极易造成断钻。此外还特别要求钻床有极高的定位精度及重复精度,保证钻孔的准确。

2) 小孔的金属化。孔径 0.2 mm,板厚 2.5 ~ 3 mm,最大厚径比达 15:1,在金属化过程中,必须解决如下关键技术难点。

(1) 要保证孔金属化系列溶液能充分浸润如此小孔的孔壁,并使孔内溶液能频繁更新,反应后产生的气泡能迅速排走,以免造成孔金属化的空洞。

(2) 要严格控制树脂的凹蚀以及内层铜环弱蚀的程度,保证孔壁铜层和内层铜环有足够的接触面积,但又不造成玻璃纤维毛头处的渗镀而使内层图形短路或绝缘下降。

(3) 孔壁铜层厚度 $\geq 25 \mu\text{m}$,镀层厚度均匀,结晶细致,有足够的延展性。为此,采取如下措施:

(a) 优化去钻污 (凹蚀) 和弱腐蚀工艺;

(b) 将孔金属化时的垂直振动方式改为水平振动方式,保证溶液在孔内充分交换,并及时排除化学反应时产生的气泡;

(c) 选择最佳沉铜溶液和工艺,保证 PTH 一次成功;

(d) 采用全板电镀与图形电镀相结合的工艺,即沉铜完后,先全板电镀,基本达到所要求的孔壁铜层厚度,然后再图形电镀一层很薄的铜层及铅锡保护层,这样既保证了铜层厚度的均一,又降低了板面精密图形制作的难度;

(e) 采用高酸底铜,添加剂浓度最佳化,小电流、长时间的电镀工艺等措施,提高镀液均镀能力,保证

孔壁铜层质量可靠。

经过以上措施所镀出的金属化孔,金相解剖后发现,孔壁铜层均一平整,厚度合格,与基材及内层铜环结合完好,完全满足 GJB362 有关条款的要求。

2.2 细线工艺

1.27 mm 网格走三根线,线宽及线间距均为 0.08 mm,这在当今国际上亦属于特高密度印制板,尤其对表面图形,其制作难度更大,主要体现在:

(1)设备的精度。从照相底版的制作到印制图形转移,不能有任何虚光和过曝光现象,原版图形必须反差分明,线宽及线间距尺寸准确;

(2)环境因素。图形转移过程中,任何细小的固体颗粒或尘埃,轻微的机械划伤,都可能造成细线的短路或缺损;

(3)传统的图形制作工艺的缺陷。目前所使用的抗蚀剂主要有干膜和湿膜两种,它们的分辨率分别为 0.10 mm 和 0.08 mm,要制作 0.08 mm 的细线条,只能采用湿膜—电镀工艺,但湿膜厚度仅 8~15 μm ,电镀加厚时易造成镀层增宽,腐蚀时极易产生短路。因此必须采用一种新的工艺,即板镀—图形电镀法;

(4)细线条的侧蚀。在腐蚀的过程中,除了无抗蚀剂地方的铜层被腐蚀掉以外,抗蚀剂底下的铜也会被部分腐蚀。通常情况下,侧蚀系数为 2:1,若控制不好,极易造成断线。

为解决上述问题,特采取如下措施:

严格控制照相、曝光及显影的工艺参数,谨慎操作,不允许出现任何小的疵瑕。

采用板镀与图形电镀相结合的工艺。

采用湿膜作抗蚀剂。

电镀铅锡后,先不退膜,马上用一种多用途抗蚀钝化剂浸泡印制板,使其吸附于铅锡镀层的针孔和缺陷处,实行“双保险”,避免腐蚀时断线。

采用 18 μm 或更薄的铜箔,减少侧蚀。

优化碱性腐蚀工艺参数。

采用上述措施制作的细线,平均宽度 0.07 mm,平均误差小于 0.01 mm。长线的孔线电阻总平均值为 200 Ω ($L=10\text{ m}$),平均误差小于 1.5%,说明线宽和镀层厚度控制非常均匀一致。实测线间绝缘电阻为 $1.0 \times 10^{10} \Omega$,远大于 GJB362 所要求的 $5 \times 10^6 \Omega$ 的指标。

2.3 多重埋孔分步层压工艺

将 MLB 设计成单片、四层及八层混合埋孔形式,一来可以增加布线密度,二可增加布线灵活性,提高布通率,此工艺的主要难点在于:

(1)线条太细,铜层与基材的附着力很小,在层压过程中易漂移或断裂;

(2)芯板的金属化孔须被树脂填满,勿留气泡;

(3)二层芯板在孔金属化及后续工序中极易撕裂、卷曲、变形,应力变化与其它芯板不一致,会导致层压时错位。

采用真空层压机,优化压制参数,压出的板子厚度均匀(整板平均误差小于 5%),内层孔内流胶充分无空洞,导线及金属化孔无损伤、无变形,层间图形对位良好。

2.4 预焊剂工艺

预焊剂是 90 年代发展起来的一种表面涂覆方法,其特点是膜层薄而均匀,与铜层结合良好,是一种抗氧化耐刮伤的可焊性涂层,完全可以代替铅锡合金,尤其适应于精细间距 SMT 焊盘,可避免其焊接时的短路、桥接或虚焊故障。

我们采用一种进口预焊剂及一种有机酸—双氧水蚀刻体系,按优化工艺处理板面,所生成的膜层用可焊性测试仪测试并采用波峰焊进行焊接,可焊性良好,与镀铅锡板无异。

2.5 基材选择

采用改进型的 FR-4 板材,其介电常数 4.3,玻璃转化温度 175 $^{\circ}\text{C}$ 。其最大特点是价格适宜,制作工艺与传统的 FR-4 兼容,用此板材做出的印制板尺寸变化小,翘曲度小于 0.7%。

2.6 MLB-TEST 系列试验板主要技术指标

经国内权威机构按 GB4677.1, GB4588.4 和 GJB362 之相关条款对 MLB-TEST 进行全面检测,其性能完全符合设计要求。其主要技术指标如下:

(1)12 层板,多重埋孔,埋孔及通孔孔径均为 0.20 mm,板厚 2.5~3 mm,最大厚径比为 15:1;

(2)1.27 mm 网格走三条线,线宽及线间距均为 0.08 mm,线间绝缘电阻(常态)为 $1.0 \times 10^{10} \Omega$;

(3)孔壁铜层厚度 25~34 μm ,板面铜层厚度 40~72 μm ,均满足 GJB362 的规定;

(4)表面可焊性及孔内可焊性均满足 GB4677.10 之规定。涂覆预焊剂的板用可焊性测试仪测试,其可焊性满足要求;

(5)高低温冲击(高温 125 $^{\circ}\text{C}$,低温 -65 $^{\circ}\text{C}$ 各 30

min,共100个循环)前后,埋孔及明孔孔线电阻变化均小于1%,远远超过GJB362所规定的“变化不大于10%”;

(6)经四次215℃×30s汽相焊冲击和288℃×10s漂锡冲击后,孔壁无缝隙和断裂,无焊盘起翘,无树脂腻子,无电镀空洞和层压空洞,完全满足GJB362之规定;

(7)翘曲度 ≤ 0.007 mm/mm。

3 结束语

高密度印制板工艺,由于采取了一系列新技术,圆满地实现了设计目标,取得了如下成绩:

(1)采用多重埋孔研制出小孔、细线、高厚径比的MLB,其性能参数属国内领先水平;

(2)首次将预焊剂技术应用于精细间距表面安装图形,解决了精细间距QFP组件所需表面平坦度问题;

(3)在未增加设备投资的情况下,研制出小孔、细线、多重埋孔的MLB,工艺上有独到之处。

参考文献:

- [1] 李元山.高难度PCB的生产与设计[J].印制电路信息,1995(6):27-30.
- [2] 李元山.制作高性能PCB的捷径[J].印制电路信息,1995(12):13-16.
- [3] 葛瑞.表面安装和高密度印制线路板[J].印制电路与贴装,1999(7):43-49.

收稿日期:2001-02-02

中国电子学会生产技术学分会 2001 年活动计划

序号	学术活动名称	时间	地点	主办专委及联系地址	序号	学术活动名称	时间	地点	主办专委及联系地址
1	2001 年全国电子电镀学术年会	2001 年 5 月 24 日 ~ 27 日	苏州	电镀专业委员会 学术秘书:顾文荣 上海市田林新村 12 栋 2 号 301 室 邮编:200233 电话:(021)64705248	8	印制电路专委工作会暨青年二届学术年会筹备会	2001 年 10 月	汕头或北京	印制电路专业委员会 北京 619 信箱 18 分箱 学术秘书:陈长生 邮编:100083
2	第八届工装学术年会	2001 年 三季度	南京	工装设计与制造专业委员会 学术秘书:胡小芬 邮编:210002 电话:(025)4824016 南京 201 信箱模具公司	9	化学工艺三防技术培训班	2001 年 三季度	广州	化学工艺专业委员会 西安市 92 信箱 66 分箱 学术秘书:苗 枫 邮编:710068
3	第十一届三束学术年会	2001 年 10 月下旬	成都	生产技术学分会和半导体与集成技术分会联合主办 联系单位:生产技术学分会三束专委会 长沙市 96 信箱科技处 联系人:王俊朝 邮编:410111	10	焊接学术研讨会	2001 年 10 月	待定	联系人:李明雨 哈尔滨工业大学 95 教研室
4	第四届电子封装国际研讨会	2001 年 8 月	北京	电子封装专委 北京万寿路 27 号电科院 学术秘书:武 祥 邮编:100846 电话:(010)68207341	11	计算机在电子行业中应用专题学术研讨会	2001 年 7 月~8 月	待定	计算机应用和自动化专业委员会 联系人:李 奇 邮编:210018 电话:(025)3792723
5	全国第六届 SMT/SMD 学术年会	2001 年 9 月下旬	上海	中国电子学会主办 承办单位 联系人:朱景林 高 宏 太原市 115 信箱 邮编:030024 电话:(0351)6521991	12	电加工专题学术研讨会	2001 年 7 月	泰州	电加工专业委员会 联系人:丁锦滔 成都花牌坊街 2 号 邮编:610031
6	机械加工学术年会	2001 年 9 月下旬	待定	机械加工专委 南京 1316 信箱 33 分箱 学术秘书:包训华 邮编:210013 电话:(025)3344000 - 3705	13	印制电路工艺技术培训班(第八期)	2001 年 4 月	北京	印制电路专委会 联系人:陈长生 北京 619 信箱 18 分箱 邮编:100083 电话:(010)68207341
7	热处理学术交流与专委会工作会	2001 年 4 月	石家庄	金属材料及热处理专委会 北京工业大学 联系人:谭家俊 邮编:100022	14	印制电路工艺技术培训班(第九期)	2001 年 10 月	深圳	印制电路专委会 联系人:陈长生 北京 619 信箱 18 分箱 邮编:100083 电话:(010)68207341