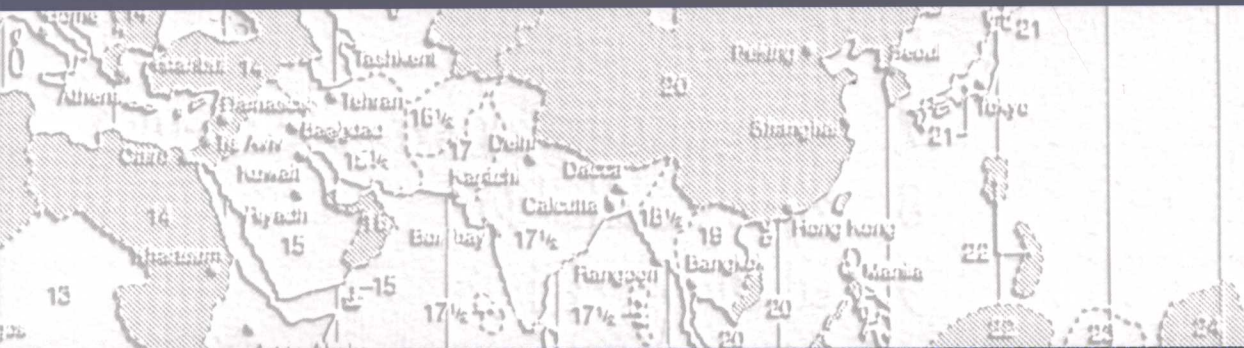




21世纪高等教育精品规划教材



电路CAD

—— Protel DXP 2004电路设计与实践

CIRCUIT CAD

—— CIRCUIT DESIGN AND PRACTICE

BY PROTEL DXP 2004

王利强 杨旭 李成 胡建明 编著



配书出版学生专用版光盘
另免费赠送教师专用版光盘



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

21 世纪高等教育精品规划教材

电 路 CAD

——Protel DXP 2004 电路设计与实践

CIRCUIT CAD

— CIRCUIT DESIGN AND PRACTICE BY PROTEL DXP 2004

王利强 杨 旭 李 成 胡建明 编著



天津大学出版社

TIANJIN UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书基于 Protel DXP 2004 电路设计自动化软件,以电路板的制作过程为主线,结合大量具体实例,详细阐述了印刷电路板、原理图和 PCB 设计技术。本书主要包括印刷电路板的组成与制作流程,元器件封装,电路原理图的绘制,原理图库文件的管理,层次式原理图设计,PCB 板的布局与布线、设计规则,PCB 库文件的管理等内容。作者结合自己在实际设计中积累的大量实践经验,总结了诸多实际应用中的注意事项。为了方便读者学习,本书还配有光盘,分为教师专用版和学生专用版,可用于理论知识的学习和上机练习。

本书是理论与实践的结合,适合作为本科院校和高职高专院校相关专业教材,也可以供电子类专业的技术人员和电路设计爱好者自学使用。

图书在版编目(CIP)数据

电 路 CAD——Protel DXP 2004 电路设计与实践/王利强等编著. —天津:天津大学出版社,2008. 8

21 世纪高等教育精品规划教材

ISBN 978-7-5618-2736-9

I. 电… II. 王… III. 印刷电路—计算机辅助设计—应用软件, Protel DXP 2004
IV. TN410. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 116715 号

出版发行 天津大学出版社
出 版 人 杨欢
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742
网 址 www. tjup. com
短信网址 发送“天大”至 916088
印 刷 廊坊市长虹印刷有限公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 169mm × 239mm
印 张 18. 5
字 数 395 千
版 次 2008 年 8 月第 1 版
印 次 2008 年 8 月第 1 次
印 数 1—3 000
定 价 34. 00 元(附赠光盘)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

序

Protel DXP 2004 是 Altium 公司推出的优秀的电子设计自动化 EDA (Electronic Design Automation) 设计工具软件,可以实现绘制电路原理图、设计 PCB 板、FPGA 设计输入、完全兼容 SPICE 的混合信号仿真、信号完整性分析等多种功能,在国内拥有广泛的用户。

天津工程师范学院是一所以工学、教育学为主,理学、文学、经济学、管理学兼有的教学型普通高等学校,具有硕士学位授予权,面向全国培养职业教育师资和应用型高级专门人才,是我国首批建立的职业技术师范院校。学校已成为一所在国内同类院校中领先、在世界上有一定影响的职业技术师范院校,被誉为“中国培养职教师资的摇篮”。

作为一名青年教师,王利强从事 EDA 的教学与科研工作,积累了很多的 EDA 设计和实践经验,并且在成书之前,通过深入思考,制定了缜密的写作框架,为本书的顺利出版奠定了良好的写作基础。

本书已获准作为 21 世纪高等教育精品规划教材。该书秉承“强化应用,增加实践,形式多元化”的编写理念,将 PCB 的制作和 Protel DXP 2004 的讲解有机地结合在一起,体现了实用性、系统性和科学性,同时融入了教学改革和课程建设的丰富成果和作者的实战经验,将成为教师和学生学习 EDA 工具的首选教材,同时也为电子工程技术人员和电路设计爱好者提供了一本好书。新书的出版,将在高校的电子工程教学中引导教学方向、创新教学内容等方面发挥重要作用。

相信此书的出版不仅将成为高教教材改革的典范,也将为中国的电子工程教育注入新鲜活力。深圳市亿道信息技术有限公司作为 Altium 公司的中国区一级总代理,是 Altium 公司在国内的唯一指定大学合作伙伴,我们将一如既往地全力支持 Altium Design 6 (原 Protel) 软件在全国各高等院校的推广和应用,和国内各高校共建 Protel 实验室,建立联合培训中心,为培养更多的科技化人才做出应有的贡献。

石庆

深圳市亿道信息技术有限公司总经理

2008 年 4 月 28 日

前 言

Altium 公司(其前身是 Protel Technology 公司)从 1997 年就开始致力于把所有的核心 EDA 软件工具集成到一个软件包中,以实现从设计概念到生产的无缝集成。2002 年,Altium 公司重新设计了设计浏览器(DXP)平台,并推出第一个在新 DXP 平台上使用的产品 Protel DXP。Protel DXP 是 EDA 行业内第一个可以在单个应用程序中完成整个板设计处理的工具。2004 年 2 月,Altium 公司正式推出 Protel DXP 2004 电子电路设计软件,该软件进一步完善了 Protel DXP。它不仅继承了 Protel 系列产品的优点,更重要的是将所有设计工具集成于一身,通过把设计输入仿真、PCB 绘制编辑、拓扑自动布线、信号完整性分析和设计输出等技术完美融合,为用户提供了全方位的设计解决方案,使用户可以轻松进行各种复杂的电子电路设计。

本书抓住电路板的制作过程这一主线,结合具体的应用实例,由浅入深地讲解软件的功能与作用;按照软件的功能模块全面阐述印刷电路板制作基础、原理图设计、PCB 板设计、电路仿真、电路板的电磁兼容设计等内容。

全书共包括 12 章和 1 个附录,它们是:

- 第 1 章 印刷电路板与 Protel DXP 2004 概述;
- 第 2 章 电路原理图设计基础;
- 第 3 章 原理图设计;
- 第 4 章 原理图库文件的管理;
- 第 5 章 层次式原理图设计;
- 第 6 章 PCB 板制作基础;
- 第 7 章 PCB 板的布局与布线;
- 第 8 章 PCB 板设计规则;
- 第 9 章 PCB 元器件封装库文件的管理;
- 第 10 章 电路板的后期处理;
- 第 11 章 电路仿真与信号完整性分析;
- 第 12 章 电路板与电磁兼容设计导论;
- 附录 常见问题总结。

本书的前 10 章纸质书内容是基础部分,属读者应知应会的内容;第 11 章和第 12 章内容属于提高部分,读者可根据个人情况做进一步了解;第 11 章、第 12 章和附录内容放于本书配套光盘。

本书配套光盘分为学生专用版和教师专用版两种。其中,学生专用版光盘随书发行,内容包括操作题题目、实验安排、提高部分(第 11 章和第 12 章)、附录。为了帮助任课教师更好地备课,按照教学计划顺利完成教学任务,我们将对选用本教材的

授课教师免费提供一套包括教学大纲与授课计划、多媒体课件、书中例子的工程文件、习题答案等(其余部分与学生版相同)在内的完整的教学解决方案,从而为读者提供全方位的、细致周到的教学资源增值服务。(索取教师专用版光盘的联系电话:022-85977234。电子邮箱:zhaohongzhi1958@126.com)

本书所用软件版本为 Protel DXP 2004 Build 8.4(Includes Service Pack 4),由于读者使用的软件版本不同,书中相应内容会略有不同。本书的网络资源可以访问网址:<http://www.tute.edu.cn/>,或通过 E-mail:tute-pcb@126.com 交流、探讨。

天津工程师范学院王利强担任本书的主编。清华大学李成编写了第1章和第12章的内容;北京工业大学彭月祥和北京交通大学宁可庆编写了第2章和第4章的内容;王利强编写了第3章、第5章和附录的内容;天津工程师范学院胡建明编写了第6章和第8章的内容;天津工程师范学院杨旭编写了第7章的内容;天津市南开职业中等专业学校张媛和广东省揭阳综合中等专业学校臧斌编写了第9章和第10章的内容;河北工业大学郭欣和天津市南开职业中等专业学校张媛编写了第11章内容;其他参编人员还有房金雅、武建军、侯丽娟、尚超和张斐。全书由王利强、杨旭和张媛负责统稿并编写本书的配套光盘;王利强和张媛编写了本书的配套光盘并校对全部书稿及光盘内容。

本书得到了天津市应用基础及前沿技术研究计划项目(No.07JCYBJC16800)、河北省科技攻关计划项目(No.07213572)、天津工程师范学院科研发展基金项目(No.KYQD06006 和 No.KJ-JH2007001)和天津工程师范学院教学改革与质量建设研究项目(No.2007-03-02)的资助。

本书的编写得到了天津大学出版社赵宏志和董瑶编辑的支持和帮助,对他们卓有成效的工作表示诚挚感谢;同时,在编写过程中,天津工程师范学院郑宏兴教授、李耀辉老师和刘赛军老师给予了很多鼓励和帮助,在此表示感谢。

由于作者水平有限,疏漏之处在所难免,敬请专家、同行和广大读者批评指正。

编者

2008年6月

目 录

1 印刷电路板与 Protel DXP 2004 概述	(1)
1.1 印刷电路板的发展历程	(1)
1.2 印刷电路板的组成	(5)
1.3 印刷电路板的分类	(9)
1.4 印刷电路板设计基础	(12)
1.5 Protel DXP 2004 简介	(19)
1.6 本课程学习要求	(30)
习题	(30)
2 电路原理图设计基础	(31)
2.1 原理图设计概述	(31)
2.2 创建原理图文件	(33)
2.3 管理器	(36)
2.4 设计环境设置	(42)
2.5 Protel DXP 2004 系统参数设置	(46)
习题	(56)
3 原理图设计	(57)
3.1 原理图连线工具	(58)
3.2 原理图绘图工具	(71)
3.3 原理图视图工具	(81)
3.4 原理图编辑工具	(86)
3.5 元件的自动标注	(94)
3.6 ERC 检查	(97)
3.7 原理图的高级编辑	(103)
3.8 原理图各种报表	(104)
3.9 原理图的输出打印	(109)
习题	(110)
4 原理图库文件的管理	(111)
4.1 元件库编辑器	(111)
4.2 元件库的管理	(112)
4.3 元件绘图工具	(117)
4.4 绘制新元件	(120)
4.5 生成项目的元件库	(125)
4.6 元件库编辑器的报表	(125)

习题	(131)
5 层次式原理图设计	(132)
5.1 层次式原理图的概念	(132)
5.2 层次式电路图设计	(134)
5.3 多通道电路设计	(143)
习题	(150)
6 PCB 板制作基础	(151)
6.1 PCB 板设计流程	(151)
6.2 PCB 板概述	(152)
6.3 设置环境参数	(154)
6.4 设置系统参数	(161)
6.5 设计工具栏	(167)
习题	(170)
7 PCB 板布局与布线	(171)
7.1 PCB 文件的建立	(171)
7.2 绘制 PCB 实体	(177)
7.3 元件的布局	(192)
7.4 网络密度分析	(200)
7.5 PCB 板的布线	(200)
7.6 PCB 板的 Edit 编辑菜单命令	(208)
7.7 PCB 板视图	(214)
7.8 原理图与 PCB 板同步更新	(218)
习题	(226)
8 PCB 板设计规则	(227)
8.1 PCB 板设计规则概述	(227)
8.2 设计规则检查(DRC)	(250)
习题	(254)
9 PCB 元器件封装库文件的管理	(255)
9.1 元器件封装编辑环境	(255)
9.2 创建新的元器件封装	(259)
9.3 元器件封装管理	(266)
习题	(268)
10 电路板的后期处理	(270)
10.1 PCB 图的三维立体效果图	(270)
10.2 PCB 报表	(273)
10.3 PCB 图的打印输出	(277)
习题	(285)
参考文献	(286)

1

印刷电路板与 Protel DXP 2004 概述

本章提要

1.1 印刷电路板的发展历程

印刷电路板一般以电路板上的线宽、孔径、板厚/孔径比值作为衡量印刷电路的技术发展水平的指标。印刷电路板的发展主要体现在基板材料、制造工艺及生产等方面。

1.1.1 印刷电路基板材料的发展

印刷电路板的基板材料在很大程度上决定了印刷电路板的性能、质量、制造的加工性、制造水平及制造成本等。印刷电路板的发展首先体现在所采用的基板材料的快速发展上。低密度的印刷电路板的基板材料主要是敷铜箔层压板(CCL, Copper Clad Laminates)材料,这种材料发展很快,主要有酚醛纸基敷铜箔层压板、环氧玻璃布基敷铜箔层压板、环氧玻璃布基敷铜箔板、聚酯玻璃布基和聚四氟乙烯玻璃布基敷铜箔层压板等。

超大规模集成电路(VLSI)的迅速发展与应用,要求提高印刷电路板的布线密度、印制导线精度、印刷电路板的层数及可靠性。人们相应地研究并开发出了一些高性能的基板,这种基板材料具有优良的电气性能、良好的几何尺寸稳定性、长期的耐热性、耐燃性及耐湿性等,可分为高耐热性敷铜箔层压板和超薄铜的敷铜箔层压板两类。

1) 高耐热性敷铜箔层压板

高耐热性敷铜箔层压板,如聚酰亚胺系及三嗪系的敷铜箔层压板,其主要性能是耐高温、有优良的基板尺寸稳定性(特别是厚度方向热膨胀系数较小);优点是用这类材料制造多层板时,钻孔后孔壁树脂玷污特别少。

2) 超薄铜的敷铜箔层压板

高密度印刷电路板的基板材料一般以内芯薄型敷铜箔板为底基,将导电图形层与半固化片交替地经一次性层压黏合在一起。这种基板材料由于铜箔很薄,大大缩短了蚀刻时间,明显减少了腐蚀现象,印制图形的精度得到明显提高。它所允许的印制导线的宽度与间距很小,提高了布线密度。它的钻孔加工性能优良,提高了钻头及蚀刻液的使用寿命,大大降低了产品成本。

1.1.2 印刷电路板制造工艺的发展

印刷电路板制造工艺的发展主要体现在3个方面:①印刷电路板的布线密度、布线精度及可靠性的提高;②生产过程的自动化、机械化程度提高,以简化生产工序;③生产成本降低,浪费减少及对环境污染的减少。

目前,已基本定型并在生产上得到应用的新工艺主要包括减成法工艺、加成法工艺、多层布线法、金属基印刷电路板、陶瓷印刷电路板、单面多层印刷电路板、平面电阻印刷电路板等。

1. 减成法工艺

减成法工艺是通过有选择性地去除不需要的铜箔部分来获得所需导电图形的方法。减成法是当今印刷电路制造的主要工艺,这是一种最成熟的印刷电路板制造工艺,其稳定性与可靠性都很高。减成法工艺有光化学蚀刻工艺、丝网漏印蚀刻工艺、图形电镀蚀刻工艺、全板电镀掩蔽工艺和超薄铜箔快速蚀刻工艺等。

1) 光化学蚀刻工艺

该工艺是在洁净的敷铜板上均匀地涂布一层感光胶或粘贴光致抗蚀干膜,通过

照像底版曝光、显影、固膜、蚀刻获得电路图形;将膜去掉后,经过必要的机械加工,最后进行表面涂敷,印刷文字符号成为正品。该工艺的特点是图形精度高、生产周期短,适于小批量、多品种生产。

2) 丝网漏印蚀刻工艺

该工艺是将事先制备的具有所需电路图形的膜板置于洁净的敷铜板的铜表面上,用刮刀将抗蚀材料漏印在铜箔表面,获得印料图形;待干燥后,通过化学蚀刻去除无印料掩盖的裸铜部分后再去除印料,即为所需电路图形。该工艺可进行大规模机械化生产,产量大、成本低,但精度不如光化学蚀刻工艺。

3) 图形电镀蚀刻工艺

其工艺流程为下料→钻孔→孔金属化→预电镀铜→图形转移→图形电镀→去膜→蚀刻→电镀插头→热熔→外形加工→检测→网印阻焊剂→网印文字符号。该工艺现已成为双面板或多面板制造的典型工艺。

4) 全板电镀掩蔽工艺

该方法使用特殊的掩蔽干膜(性软而厚)将孔和图形掩盖起来,蚀刻时作抗蚀膜用。其工艺流程为下料→钻孔→孔金属化→全板电镀铜→贴光敏掩蔽干膜→图形转移→蚀刻→去膜→电镀插头→外形加工→检测→网印阻焊剂→焊料涂敷→网印文字符号。

5) 超薄铜箔快速蚀刻工艺

其主要工艺与图形电镀蚀刻工艺相似,不同的是该工艺在图形电镀后,电路图形部分和孔壁金属铜的厚度约 $30\text{ }\mu\text{m}$,而非电路图形部分的铜箔仍为超薄铜箔,厚度 $5\text{ }\mu\text{m}$ 。这种工艺可获得高精度、高密度的印制板。

2. 加成法工艺

加成法工艺是在减成法工艺的基础上发展起来的一种新的印刷电路板的制造工艺。加成法工艺是指在未敷铜箔的绝缘层压板的基材表面上,有选择性地淀积导电金属而形成导电图形的方法。加成法可分为全加成法、半加成法、NT法、光成形法。

1) 全加成法

全加成法是指只用化学沉铜方法形成导电图形的工艺,又称 CC-4 法,其工艺流程如下:催化性层压板下料→涂催化性黏结剂→钻孔→清洗→负相图形转移→粗化→化学镀铜→去膜→电镀插头→外形加工→检测→网印阻焊剂→焊料涂敷→网印文字符号。

2) 半加成法

半加成法是指在绝缘基材表面上,采用化学沉积金属,同时采用电镀蚀刻形成导电图形的加成法工艺。这种方法将电镀加成和快速蚀刻相结合。

3) NT 法

该方法使用具有催化性敷铜箔层压板,首先蚀刻出导体图形,然后将整块板面涂

环氧树脂膜,进行钻孔、孔金属化,再用 CC-4 法沉积所需厚度的铜,得到孔金属化的印制板。

4) 光成形成法

在事先涂有黏结剂的层压板上钻孔并粗化处理,浸一层光敏性化剂,干燥后用负相底片曝光,再用 CC-4 法进行沉铜。这种方法不需印制图形,只需用光化学反应产生电路图形,具有简单经济的优势。

与减成法工艺相比,加成法工艺具有的优势有:能实现齐平导线和齐平表面,有利于制作细导线高密度的印刷电路板(线宽和线间距可以达到 $25 \sim 50 \mu\text{m}$);提高了金属化孔的可靠性,精简了生产工序(一般只有减成法工序的 $2/3$),易于实现生产自动化;避免了大量蚀刻铜,使产品成本大大降低。

3. 多层布线法

多层布线法是指将金属导线直接分层布设在绝缘基板上而制成印刷电路板。采用数控布线设备,根据一定的工序,把涂有绝缘金属的导线布设在绝缘基板上,热压其导线,并使黏合剂固化,然后通过钻孔、孔金属化形成层间的电气连接。目前,多层板的层数可以达到 24 层以上。

多层布线法的优点是把平面设计转化成立体设计,其线路密度高,减小了印刷电路板及其产品的体积,提高了印刷电路板布线的自由度。

4. 金属基印刷电路板

金属基印刷电路板是在 20 世纪 60 年代由美国工程师研制成功的。金属基印刷电路板包括金属基底印刷电路板和金属芯印刷电路板。金属基印刷电路板具有基板强度高、弯曲性能好、散热性能好、几何尺寸精度高、电磁屏蔽的特性好及价格低廉等优点。它主要用于模拟与数字集成混合电路及功率系统。金属基印刷电路板中的金属板一般为铝合金板、钢板等,金属板和铜箔间的绝缘层为环氧树脂、聚酰亚胺等。金属芯印刷电路板的制造工艺主要有金属芯敷铜箔法、金属芯表面涂覆绝缘树脂法、金属芯表面陶瓷化 3 种。

5. 陶瓷印刷电路板

陶瓷印刷电路板是指用陶瓷材料作绝缘基材的印刷电路板。陶瓷基材主要分为玻璃类与玻璃加填料类(主要以 Al_2O_3 为填料)。陶瓷印刷电路板大多用于制作厚膜和薄膜电路及混合电路板,也可作为多片电路封装和电调谐器板,具有热传导率大、散热性好、耐热性极好、机械强度高和高频性好等特点。

6. 单面多层印刷电路板

单面多层印刷电路板是在单面印刷电路板上制造多层线路板,能够较好地抑制内部的电磁波向外辐射,并防止外界电磁波对它的干扰。由于不需孔金属化,所以其具有成本低、质量轻等特点。

7. 平面电阻印刷电路板

平面电阻印刷电路板是在特别的阻抗敷铜箔层压板上,用减成法制造工艺将电

阻和线路同时印制在绝缘基材上,形成带有电阻功能的印刷电路板。这种印刷电路板可以消除信号传输中的反射现象,提高线路和元器件装配密度,减少装配错误,进而提高了电子系统与设备的可靠性与电性能。

1.2 印刷电路板的组成

印刷电路板主要由基板、导线、过孔、焊盘和涂层等组成。图 1.1 示出了印刷电路板的主要组成部分。

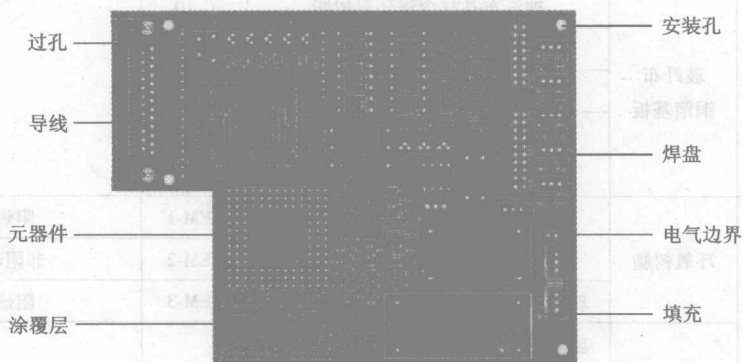


图 1.1 印刷电路板的主要组成部分

1.2.1 基板材料

基板材料的选择与元器件的电气性能、供应及成本以及印刷电路板的寿命和可制造性有关,但主要需考虑其机械强度及电气性能。基板材料由树脂、辅材和金属箔组成。最普通的基材就是各种类型的敷铜箔层压板。铜箔基板根据材料可分为纸质、复合基板和 FR-4,综合考虑成本和性能质量等方面因素,最适合一般电子产品批量生产应用的基板材料是 FR-4。

目前,我国一般采用以环氧玻璃布板的敷铜箔板制作印刷电路板,这种基板材料的好坏直接取决于该材料的介电系数和损耗常数。介电系数和损耗常数参数越小,基板材料越好,但实际上选择印刷电路板材必须考虑设计需求、可生产性及成本,现阶段所使用的高频基板材料主要有环氧树脂、PPO 树脂和氟系树脂。其中环氧树脂成本最便宜,而氟系树脂最昂贵;而从介电常数、介质损耗、吸水率和频率特性考虑,氟系树脂最佳,环氧树脂较差;当产品应用的频率大于 10 GHz 时,只有氟系树脂印制板才能适用。

表 1.1 所示为 PCB 基板材料的分类。

表 1.1 PCB 基板材料分类表

分类	基板材料	电路板基板材料详细分类	代码	特征
刚性敷铜箔板	纸基材铜箔基板	纸基材酚醛树脂基板	XPC	经济性、冷冲、非耐燃板
			XXXPC	高电性、冷冲
			FR-1	经济性、阻燃
			FR-2	高电性、阻燃、冷冲
		纸基材聚酯类铜箔基板		
		纸基材环氧树脂铜箔基板	FR-3	高电性、阻燃
	玻纤布铜箔基板	玻纤布基材含浸环氧树脂	G-10	
		玻纤布基材含浸耐燃环氧树脂	FR-4	
		高耐热性基材环氧树脂	FR-5	
		玻纤布基材含浸聚酰胺树脂		
		玻纤布基材含浸聚四氟乙烯树脂	PTFE	
复合材料	环氧树脂	纸(芯)-玻璃布(面)-环氧树脂	CEM-1	阻燃
			CEM-2	非阻燃
		玻璃毡(芯)-玻璃布(面)-环氧树脂	CEM-3	阻燃
	聚酯树脂	玻璃毡(芯)-玻璃布(面)-聚酯树脂		
		玻璃纤维(芯)-玻璃布(面)-聚酯树脂敷铜板		
特殊基板	软/硬板	聚酯基底铜箔基板		软板
		聚酰亚胺基底铜箔基板		软板
		聚脂或聚酰亚胺基底铜箔基板		软硬板
	陶瓷基板	氧化铝基板		
		氮化铝基板	AlN	
		碳化硅铝基板	SIC	
		低温烧结基板		
	金属基板	金属基底基板		
		金属基芯基板		
	热塑性基板	耐热性热可塑性树脂铜箔基板		
		石英聚酰亚胺树脂系铜箔基板		
		芳纶聚酰亚胺系铜箔基板		

1.2.2 结构尺寸

在进行印刷电路设计之前,首先要根据印刷电路板的应用场合确定其尺寸,主要包括外形尺寸及厚度等。原则上印刷电路板的外形可以为任意形状,但为便于生产

和满足经济性,应尽量设计成长、宽比例不太悬殊的长方形。一般根据元器件的布局情况确定印刷电路板最佳尺寸,从而节省空间和基材。

印刷电路板的厚度主要取决于所选用基材的厚度。根据印刷电路板的功能及所连接元器件的重量、插座的规格、印刷电路板外形尺寸和所承受的载荷,选择不同厚度的基材。GB/T4723~4725—1992 规定了覆箔板标称厚度和单点偏差。多层印刷电路板的总厚度(包括铜箔及金属镀层)及各导电层间的厚度主要根据电气性能和力学性能的要求确定。多层印刷板的厚度公差一般不超过标称厚度的 $\pm 10\%$ 。

1.2.3 导线

印制导线的质量体现在其宽度(Width)和导线之间的间距(Clearance)2个方面。

导线宽度的主要度量参数有导线设计宽度及其允许偏差、最小线宽等。导线宽度主要取决于印刷电路板的生产底板精度、生产工艺(印制法、蚀刻质量等)、导线厚度的均匀性和导线上所需承受的电流负荷的大小。导线宽度的选择原则是在不违背所设计的电气间距的前提下,尽量设计成较宽的导线。

导线间距主要由电气安全要求、生产工艺的精度和导线间所承受的电压大小确定。该电压大小与正常工作电压、波动电压、过电压及异常操作时产生的峰值电压有关。一般而言,导线间距等于导线宽度,但不小于 1 mm;对于微型设备,不小于 0.4 mm。

1.2.4 过孔

过孔(Via)是用来实现双面板或多层板中相邻两层之间的电气连接的,是多层 PCB 的重要组成部分之一。从工艺制作流程而言,过孔一般可分为 3 类:盲孔(Blind Via)、埋孔(Buried Via)和通孔(Through Via),如图 1.2 所示。

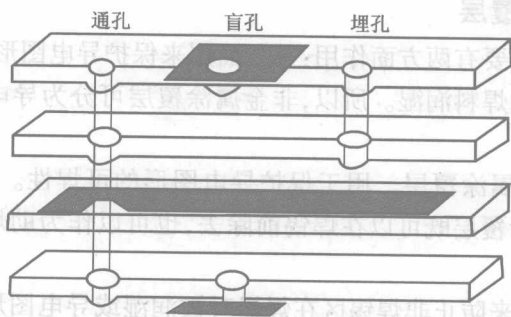


图 1.2 过孔的分类

(1)盲孔 位于印刷电路板的顶层和底层表面,具有一定深度,用于表层线路和下面的内层线路的连接,孔的深度通常不超过一定的比率(孔径)。

(2)埋孔 位于印刷电路板内层的连接孔,它不会延伸到电路板的表面。

上述 2 类孔都位于电路板的内层,层压前利用通孔成型工艺完成,在过孔形成过

程中可能还会重叠几个内层。

(3) 通孔 这种孔穿过整个电路板,可用于实现内部互连或作为元件的安装定位孔。由于通孔在工艺上更易于实现,成本较低,所以绝大部分印刷电路板均使用它,而不用另外两种过孔。

1.2.5 焊盘

焊盘用于绘制元器件管脚、焊锡和连接导线。

印刷电路板上所有元器件的电气连接都是通过焊盘来实现的。由于焊接工艺不同,焊盘一般可分为两种类型:一种是非过孔焊盘(单面板、SMT 工艺);另一种是过孔焊盘(双面板及多层板、接插件)。为了保证可靠的焊接,通常非过孔比过孔所要求的焊盘大。

对于有过孔的焊盘,其尺寸主要体现在过孔的直径及焊盘的直径。过孔的直径与印刷电路板的制造精度和所需焊接的元器件的管脚直径直接相关,一般情况下孔的直径稍大于管脚直径即可,而焊盘的直径则应在保证焊接质量及电气性能的基础上取其最小尺寸。

有过孔的焊盘又可分为如下 3 种典型的类型。

(1) 圆形焊盘:一般为印刷电路板的设计中带过孔安装元件的焊盘,焊盘的直径为孔径的两倍,双面板最小为 1.5 mm,单面板最小为 2.0 mm。

(2) 方形焊盘:主要用于标志出印刷电路板上安装元器件的第一个引脚,其焊盘大小与圆形焊盘要求相同。

(3) 腰圆形焊盘:主要用于同时满足印刷电路板的布线要求和焊盘的焊接性能要求。

1.2.6 非金属涂覆层

非金属涂覆层主要有两方面作用:一方面用来保护导电图形的可焊性,另一方面防止非焊接区导体的焊料润湿。所以,非金属涂覆层可分为导电区的可焊性非金属涂覆层与阻焊剂。

(1) 可焊性非金属涂覆层。用于保护导电图形的可焊性。根据所选用的材料,这些暂时性的保护涂覆层既可以在焊锡前除去,也可以作为助焊剂使用。通常在裸铜情况下应用。

(2) 阻焊剂。用来防止非焊锡区在焊锡时被润湿或导电图形之间产生桥接的涂覆层。阻焊剂除了在焊锡时起阻焊作用外,还对印刷电路板的电性能起永久性保护作用。常用的阻焊剂有两种基本类型:一种是印制型,一般使用网印,把阻焊剂印制在规定的印刷电路板图形上;另一种是光成像型,在印刷电路板上涂覆一层专用的湿膜或干膜,经过曝光(通常为紫外光)和显影产生相应的图形。通常网印的成本较低,但使用光成像阻焊剂可获得较小公差。阻焊层余隙和焊盘之间的错位、焊盘和阻焊余隙窗口的直径偏差会使焊盘局部被覆盖,从而减小了焊接区域,因此必要时应规

定适当的尺寸和重合度。

1.2.7 敷形涂层

为防止印刷电路板受环境中有害物质的影响,如潮气、灰尘和污物、空气中的杂质、导电颗粒、跌落的工具、紧固件造成的偶然短路、磨损破坏、指纹、震动和冲击、霉菌增长等,在印刷电路板上或印刷电路板组装件上涂覆一种电绝缘材料,即称之为敷形涂层。敷形涂层还必须满足透明度(以方便辨认元器件的标称)和挠性(以防止元器件在高低温循环中被破坏)等要求。敷形涂层一般不具有防水性,且热膨胀系数大,而且会显著改变印刷电路板的寄生参数。

用作敷形涂层的材料很多,常用的主要有以下几种。

(1)油漆。这是最常见的一种敷形涂层,可用于无任何特殊要求的印刷电路板。

(2)丙烯酸漆。它可满足很高的电气性能,可用溶剂去除,易于修补,具有好的光亮外观。

(3)环氧树脂涂层。它亦可满足很高的电气性能,可用焊接方法使薄的涂层透锡,能够修补,但涂覆工艺较差。

(4)聚氨酯漆。它具有良好的防潮性和耐磨性,可用焊接方法使薄的涂层透锡,能够修补,但外观较暗淡且涂覆工艺较差。

(5)硅树脂漆。它具有良好的介电性能和耐电弧性,可在较高的温度下使用,能够修补,具有较好的外观,且涂覆工艺较好。

(6)硅橡胶涂层。其耐磨损性好,可在高温下使用,能够满足最佳黏结力的要求,但不易修补,须用机械方法去除,且涂覆工艺较差。

(7)聚苯乙烯。其适用于低介电损耗要求的条件。

1.3 印刷电路板的分类

1.3.1 根据 PCB 板的基材分类

根据印刷电路板基材的性质可把印刷电路板分为有机印刷电路板与无机印刷电路板两大类。常规的印刷电路板都是有机印刷电路板,主要由树脂、增强材料以及铜箔等材料构成,而其中的树脂材料又可主要分为酚醛树脂、环氧树脂、聚酰亚胺等。通常所说的厚薄膜电路为无机印刷电路板,主要由陶瓷、铝等材料构成,这类印刷电路板广泛用于高频电子仪器中。

1.3.2 根据 PCB 板的导电结构分类

1. 刚性印刷电路板

1) 单面印刷电路板(Single-sided Board)

这是最基本的 PCB 板,元件都集中在一面,而导线则集中在另一面。在厚度为 1~2 mm 的绝缘基板的一个表面敷有铜箔,并通过印制与腐蚀工艺将其制成印刷电