

TURING

图灵电子与电气工程丛书

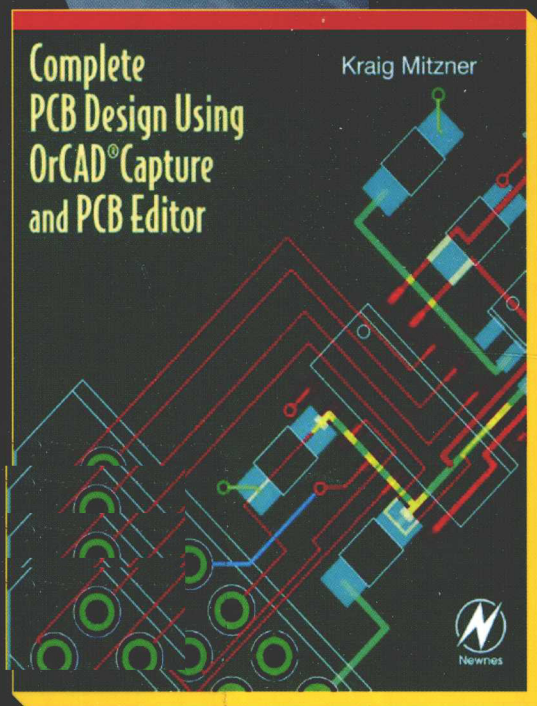
ELSEVIER
爱思唯尔

PCB设计大全

使用OrCAD Capture与PCB Editor

Complete PCB Design Using OrCAD Capture and PCB Editor

[美] Kraig Mitzner 著
李屹 宿立升 李岩 译



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

TURING

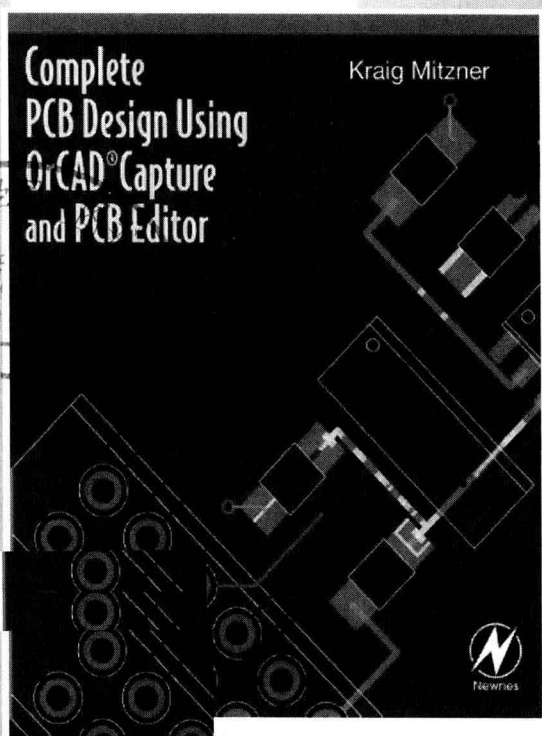
图灵电子与电气工程丛书

PCB设计大全

使用OrCAD Capture与PCB Editor

Complete PCB Design Using OrCAD Capture and PCB Editor

[美] Kraig Mitzner 著
李屹 宿立升 李岩 译



人民邮电出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

PCB设计大全：使用OrCAD Capture与PCB Editor /
(美)米茨纳(Mitzner, K.)著；李屹，宿立升，李岩译。
—北京：人民邮电出版社，2011.4
(图灵电子与电气工程丛书)
ISBN 978-7-115-24926-5

I. ①P… II. ①米… ②李… ③宿… ④李… III. ①
印刷电路—计算机辅助设计—应用软件, OrCAD
Capture、PCB Editor IV. ①TN410.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第028286号

内 容 提 要

本书介绍了如何应用OrCAD软件包来设计和生产印制电路板。书中大量的示例展示了如何用Capture绘制电路的原理图，如何用PCB Editor设计可投产的电路板。同时，还讲述了印制电路板设计的相关知识，包括印制电路板的生产流程、参考标准、可生产性设计、信号完整性设计等。

本书既可以作为大专院校学生和工程师深入学习该软件的参考书，也可以作为了解印制电路板设计过程的参考用书。

图灵电子与电气工程丛书

PCB设计大全：使用OrCAD Capture与PCB Editor

- ◆ 著 [美] Kraig Mitzner
译 李 屹 宿立升 李 岩
责任编辑 马晓燕
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本：787×1092 1/16
印张：22.25 彩插：4
字数：555千字 2011年4月第1版
印数：1-3 000册 2011年4月北京第1次印刷
- 著作权合同登记号 图字：01-2009-6904号
ISBN 978-7-115-24926-5

定价：59.00元

读者服务热线：(010)51095186 印装质量热线：(010)67129223

反盗版热线：(010)67171154

版 权 声 明

Complete PCB Design Using OrCAD Capture and PCB Editor by Kraig Mitzner, ISBN: 978-0-7506-8971-7.

Copyright © 2009 by Elsevier Inc. All rights reserved.

Authorized Simplified Chinese translation edition published by the Proprietor.

ISBN: 978-981-272-444-1.

Copyright © 2011 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd. All rights reserved.

Elsevier (Singapore) Pte Ltd.

3 Killiney Road

#08-01 Winsland House I

Singapore 239519

Tel: (65)6349-0200

Fax: (65)6733-1817

First Published 2011

2011年初版

Printed in China by POSTS & TELECOM PRESS under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书简体中文版由Elsevier (Singapore) Pte Ltd.授权人民邮电出版社在中华人民共和国境内(不包括香港特别行政区和台湾地区)出版与销售。未经许可之出口,视为违反著作权法,将受法律之制裁。

前 言

OrCAD PCB Editor 是可以替代 OrCAD Layout 的、相对比较新颖的 PCB (Printed Circuit Board, 印制电路板) 设计工具。本书旨在向该软件的初学者介绍 OrCAD PCB Editor 以及 PCB 的设计知识。

OrCAD PCB Editor 源于 Allegro PCB Editor, 因此本书也适用于 Allegro PCB Editor 的初学者。Allegro PCB Editor 是功能强大、特性齐全的设计工具, OrCAD PCB Editor 继承了它的多数特点, 但未包含其全部的工具和功能。因此, 本书只介绍了大部分的基础工具及特性, 提到的高级工具很少。

第 1 章介绍了 PCB 设计的基础知识。首先介绍了 CAE (计算机辅助工程, Computer-Aided Engineering)、CAD (计算机辅助设计, computer-aided design) 和 CAM (计算机辅助制造, Computer-Aided Manufacturing) 的概念。然后, 解释了如何用这些工具来设计和制造多层 PCB。在这部分中, 使用了大量三维图片来说明 PCB 的结构, 并介绍了 PCB 的芯层和叠层、孔缝、D 编码、显像、板层对准、镀覆孔和光绘 (Gerber) 文件等。

第 2 章为初学者介绍了一个非常简单的设计实例, 目的是呈现出设计流程的“全貌”。该实例从空白原理图开始, 到光绘文件结束。这个电路非常简单, 绝不会影响读者对流程本身的理解。同时, 作为第 3 章的入门知识, 简要介绍了 PCB Editor 布线和其他工具。

第 3 章概述了 OrCAD 的工程文件及结构, 并详细介绍了 PCB Editor 的工具集。该章再次介绍了第 2 章的实例所用的操作和工具, 并详细介绍了光绘文件。

第 4 章介绍了 PCB 设计和制造相关的工业标准化组织 (如 IPC 和 JEDEC)。除了标准生产联合会 (SFA) 的基本观点, 还介绍了 PCB 的性能等级和制造水平。该处的论述, 有助于读者实现可生产性设计, 尽量降低制板损耗, 同时介绍了 PCB 设计指南和标准资源。

第 5 章介绍了 PCB 图的结构部分——可制造性设计 (DFM)。该章介绍了印制板的元件布局、间距以及基于制造考虑的放置方向。然后, 介绍了 OrCAD PCB Editor 的设计规则检查器, 它根据可制造性以及 IPC 委员会的相关要求设定。为了更好地理解设计重点, 讨论了制造流程, 例如回流焊、波峰焊、拾取和放置装配以及热处理。然后, 通常利用这些信息来指导设计镀覆孔、表面贴装焊盘和 PCB Editor 封装。再将这些资料汇总成表格, 作为封装设计和 PCB 布设的指南。

第 6 章介绍了 PCB 设计的电气部分, 是信号完整性、电磁干扰和电磁兼容等方面的实用参考资料。该章概述了一些问题, 可以直接用于 PCB 设计。讨论的问题包括回路电感、地弹、接地层、特性阻抗、反射和振铃。介绍了“看不见的原理图”(PCB 布设) 的概念及其在 PCB 上的电路工作时的作用。通过查询表格和公式, 可以确定工作电流和阻抗所需的走线宽度, 以及

高压和高频电路所需的走线间距。同时,介绍了应用于模拟、数字和混合信号的各种叠层策略。第9章的设计实例介绍了如何应用这里讲述的叠层。第6章还介绍了如何应用 PSpice 仿真传输线来更好地进行电路设计和 PCB 布线。

第7章介绍了如何应用 Capture 元件库管理器 (Capture Library Manager)、元件编辑器 (Part Editor) 和 PSpice 模型编辑器 (PSpice Model Editor) 来创建 Capture 器件。实例应用了4种不同方法,介绍了异构元件与同构元件的制作。所选择的方法取决于元件是用于单纯的原理图输入、PCB 布设工程、PSpice 仿真,还是上述所有应用。该章还介绍了如何应用 Internet 下载的 PSpice 模块以及功能性 Capture 工程制作的基础的 PSpice 模块,并将它们绑定到 Capture 原理图元件上。类似第9章的介绍,这个 Capture 元件就可以同时用于 PSpice 仿真和 PCB 布设。

第8章详细介绍了焊盘和封装。该章首先概述了 PCB Editor 的符号库,介绍了不同类型的符号,并剖析了封装。然后,详细介绍了焊盘(与第1章和第5章中提到的 PCB 制造有关),它是封装设计和 PCB 布线的基础。通过设计实例,介绍了如何设计分立的通孔和表面贴装元件,以及如何使用引脚设计向导。该章还介绍了 IPC 连接盘图形浏览器。

第9章介绍了4个 PCB 设计实例,涵盖了前面各章讲述的内容。第1个例子是应用单运算放大器设计简单的模拟电路。该设计介绍了如何为正负供电电源和地建立多平面层,还介绍了 Capture 的几个关键步骤,比如如何连接全局网络,如何指定封装,如何执行设计规则检查(DRC),如何使用 Capture 元件库,如何生成材料报表(BOM),以及如何在 Capture 和 PCB Editor 的设计过程中使用材料报表。该设计还介绍了如何执行 PCB Editor 的重要操作,例如如何设置印制板外框,如何放置元件和修改焊盘;还介绍了 Capture 与 PCB Editor 间的交互(例如自动编号和反自动编号)。第2个设计是数字/模拟混合电路。除了第1个例子介绍的步骤,该设计还介绍了如何创建和使用不同平面来分割模拟和数字电源以及地。其他的工作包括给布线层覆铜以形成局部接地层,建立分割的电源层和接地层,以及在平面层和布线层中定义反覆铜区。第3个例子采用与第2个例子相同的混合数字/模拟电路,介绍了如何在一个工程中,应用多页面原理图和分页图纸接口为用于 PCB 布设的 Capture 工程增加 PSpice 仿真。它还介绍了如何创建多个隔离电源和接地层,以及用来彻底隔离模拟和数字电路的屏蔽层,介绍了保护环和保护导线的应用。

第4个实例是高速数字电路设计,介绍了如何设计传输线,连接多个接地层,执行引脚/逻辑门互换,为时钟电路放置隔离接地区,以及设计散热器。

第9章的最后部分简要介绍了 PCB 设计中使用的正负平面层的区别。

第10章介绍了 PCB 设计图从 CAD 阶段到制造的过程。通过一个简单的例子,介绍了如何从 PCB 设计图输出光绘文件。在将光绘文件交给制造商前,通常用 PCB Editor 进行再次检查。PCB Editor 还可以输出制图文件(dfx),它能用许多制图软件打开和编辑,形成三维模型以检查结构、装配和功能。该章还介绍了如何创建用户报告,供装配过程的贴片机使用。

本书的配套网址 www.elsevierdirect.com/companions/9780750689717 提供了包括软件的演示版以及编写本书所用的设计文件在内的补充材料。这些设计文件包括第2章的设计流程实例,第7章的 Capture 元件库,第8章的引脚和焊盘符号,第9章的印制电路板布设文件,以及第10章的生产文件。最新的演示版软件也可以从 Cadence 网站下载。

在本书的写作过程中,作者得到了 Cadence 公司的技术帮助,很多实例和概念来自于积累

的经验或 Cadence 的反馈。尽管付出了很大努力以保证材料的技术准确性，但是设计实例介绍的一些步骤也可能有更高效或者另外的实现方法。在采购和制造过程中，请密切配合印制电路板制造商，以保证最后的产品符合要求。

致 谢

首先要感谢 Cadence 公司在本书写作过程中提供的软件和技术支持。
还要感谢家人和朋友的支持与鼓励，没有他们的帮助，本书将无法完成。
最后，特别感谢第一版的读者，他们的热情和反馈促成了本书的写作。

目 录

第 1 章 印制电路板设计和 CAD 简介	1	3.2.5 可隐藏窗口的控制面板	32
1.1 CAD 和 OrCAD 设计套件	1	3.2.6 Command 窗口	33
1.2 印制电路板的生产	2	3.2.7 WorldView 窗口	34
1.2.1 PCB 芯层和叠层	2	3.2.8 状态栏	34
1.2.2 PCB 的生产流程	4	3.2.9 颜色和可视性对话框	35
1.2.3 显像和化学蚀刻	4	3.2.10 Layout Cross Section 对话框	36
1.2.4 机械研磨	6	3.2.11 Constraint Manager	36
1.2.5 叠层对准	6	3.2.12 生成底片和钻孔文件	37
1.3 OrCAD PCB Editor 在 PCB 设计过程 中的功能	7	3.2.13 文本文件介绍	38
1.4 PCB Editor 输出的设计文件	9	第 4 章 工业标准介绍	40
1.4.1 PCB Editor 的格式文件	9	4.1 标准化组织	40
1.4.2 Gerber 文件	9	4.1.1 印制电路协会 (IPC——印刷电路 学协会, Institute for Printed Circuits)	41
1.4.3 PCB 装配层和文件	10	4.1.2 电子工业协会 (EIA, Electronic Industries Alliance)	41
第 2 章 举例介绍 PCB 的设计流程	11	4.1.3 电子工程设计发展联合协会 (JEDEC, Joint Electron Device Engineering Council)	41
2.1 设计流程概述	11	4.1.4 国际工程协会 (IEC, International Engineering Consortium)	41
2.2 使用 PCB Editor 设计印制电路板	17	4.1.5 军用标准 (Military Standards)	41
2.2.1 PCB Editor 窗口	17	4.1.6 美国国家标准协会 (ANSI, American National Standards Institute)	42
2.2.2 绘制印制板外框	18	4.1.7 电气电子工程协会 (IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers)	42
2.2.3 放置元件	18	4.2 印制板的类型	42
2.2.4 移动和旋转元件	19	4.2.1 性能等级	42
2.2.5 印制电路板布线	21	4.2.2 制造水平	43
2.2.6 生成制造用底片	23	4.2.3 生产类型和装配子类	43
第 3 章 工程结构和 PCB Editor 工具集	24	4.2.4 IPC 连接盘密度等级	43
3.1 工程建立和原理图输入详解	24	4.3 标准生产公差	44
3.1.1 Capture 工程介绍	24		
3.1.2 Capture 元件库介绍	26		
3.2 PCB Editor 环境和工具集介绍	27		
3.2.1 术语	27		
3.2.2 PCB Editor 窗口和工具	28		
3.2.3 设计窗口	28		
3.2.4 工具栏组	28		

4.3.1	对准公差	44	6.3.2	地(返回)平面	78
4.3.2	破孔和孔环控制	44	6.3.3	地弹和轨塌陷	79
4.4	PCB的尺寸和公差	44	6.3.4	隔离电源和地平线	81
4.4.1	标准板材尺寸	45	6.4	PCB的电气特性	82
4.4.2	工具区公差及印制板的有效利用	45	6.4.1	特性阻抗	82
4.4.3	标准成品印制板厚度	45	6.4.2	反射	86
4.4.4	芯层厚度	46	6.4.3	振铃	89
4.4.5	预浸层厚度	46	6.4.4	电长导线	90
4.4.6	镀覆孔和通孔的覆铜厚度	47	6.4.5	临界长度	92
4.4.7	覆铜厚度	47	6.4.6	传输线终端	93
4.5	导线和蚀刻公差	48	6.5	PCB布线问题	94
4.6	标准孔尺寸	48	6.5.1	基于电性能考虑的元件放置	95
4.7	阻焊层公差	49	6.5.2	PCB叠层	95
4.8	参考文献	49	6.5.3	旁路电容和扇出	99
4.9	推荐阅读	50	6.5.4	导线宽度和载流能力	99
4.10	其他相关资料	50	6.5.5	导线宽度和阻抗控制	100
第5章	可生产性设计	51	6.5.6	导线间距和抗电强度	105
5.1	印制板装配和焊接过程	51	6.5.7	导线间距和降低串扰(3w原则)	105
5.1.1	装配过程	51	6.5.8	锐角和90°角导线	106
5.1.2	焊接过程	52	6.6	应用PSpice仿真传输线	107
5.2	元件放置和导向	55	6.6.1	仿真数字传输线	108
5.2.1	插装元件的间距	56	6.6.2	仿真模拟信号	110
5.2.2	表面贴装元件的间距	58	6.7	参考文献	111
5.2.3	混合插装与表面贴装的间距要求	60	6.8	按序号排列的参考文献	111
5.3	适应印制板生产的封装和焊盘设计	60	第7章	建立和编辑Capture元件	112
5.3.1	表面贴装元件的焊盘	60	7.1	Capture元件库	112
5.3.2	插装元件的焊盘图形	65	7.2	复合元件类型	113
5.4	参考文献	69	7.2.1	同构元件	113
第6章	PCB设计和信号完整性	70	7.2.2	异构元件	113
6.1	与PCB布设无关的电路设计问题	70	7.2.3	引脚	113
6.1.1	噪声	70	7.3	元件编辑工具	114
6.1.2	失真	71	7.3.1	选择工具和设置	114
6.1.3	频率响应	71	7.3.2	引脚工具	115
6.2	与PCB布设有关的问题	71	7.3.3	图形工具	115
6.2.1	电磁干扰和串扰	71	7.3.4	缩放工具	115
6.2.2	电磁场和电感耦合	72	7.4	创建Capture元件的方法	116
6.2.3	环路电感	74	7.4.1	方法1:应用New Part选项创建元件	116
6.2.4	电场和电容耦合	75	7.4.2	方法2:应用Capture电子表格(Spreadsheet)创建元件	125
6.3	地平面和地弹	76	7.4.3	方法3:从工具菜单中选择Generate Part创建元件	127
6.3.1	地是什么以及不是什么	76			

7.4.4 方法4: 应用 PSpice Model Editor 生成元件	128
7.5 建立 Capture 符号	139
第8章 建立和编辑封装	140
8.1 PCB Editor 的符号库	140
8.2 封装组成	141
8.2.1 焊盘	142
8.2.2 图形对象	143
8.2.3 文本	143
8.2.4 最小规定封装	144
8.2.5 可选封装对象	144
8.3 Padstack Designer	144
8.3.1 焊盘编辑器的 Parameters 标签页	146
8.3.2 焊盘编辑器的 Layers 标签页	146
8.4 封装设计实例	147
8.4.1 实例1: 从零开始的插装元件设计	147
8.4.2 实例2: 从已有符号开始的表面贴装元件设计	153
8.4.3 实例3: 应用符号向导的 PGA 设计	155
8.5 散热焊盘的曝光符号	159
8.6 机械符号	162
8.6.1 安装孔	162
8.6.2 生成机械绘图	163
8.6.3 在印制板图上放置机械符号	165
8.7 盲孔、埋孔和微孔	166
8.8 应用 IPC-7351 连接盘图形浏览器 (Land Pattern Viewer)	168
8.9 参考文献	170
第9章 PCB 设计实例	171
9.1 简介	171
9.2 设计流程概述	171
9.3 实例1: 双电源供电的模拟电路设计	173
9.3.1 原始设计思想及准备	174
9.3.2 建立 Capture 工程	175
9.3.3 PCB Editor 设计准备	180
9.3.4 印制板设置	186
9.3.5 设计规则检测与状态	203
9.3.6 定义板层	205
9.3.7 覆铜	207
9.3.8 检查引脚与平面层的连通性	210
9.3.9 定义布线宽度与间距规则	213
9.3.10 印制板预布线	215
9.3.11 手动布线	218
9.3.12 结束设计	220
9.4 实例2: 使用分割电源层与接地层的模拟/数字混合设计	225
9.4.1 Capture 中的混合信号电路设计	225
9.4.2 为分割平面层定义叠层	229
9.4.3 设置布线约束	233
9.4.4 添加布线层的地平面	238
9.5 实例3: 多页面、多电源及多参考地的混合 A/D 印制板设计与 PSpice 仿真	241
9.5.1 介绍	241
9.5.2 多平面层策略	241
9.5.3 Capture 工程的 PSpice 仿真设置及印制板设计	244
9.5.4 使用 PCB Editor 设计印制板	251
9.5.5 设置网络的过孔	257
9.5.6 连接不同接地层的其他方法	262
9.6 例4 高速数字电路设计	265
9.6.1 微带传输线的叠层设置	267
9.6.2 应用覆铜和过孔建立散热器	268
9.6.3 确定传输线的临界长度	273
9.6.4 时钟电路的隔离地平面	275
9.6.5 门电路和引脚互换	277
9.6.6 应用互换选项	279
9.6.7 应用自动互换选项	281
9.7 正性平面层	283
9.7.1 正性平面层的底片制作	286
9.7.2 正性和负性平面文件大小的比较	287
9.7.3 应用正性和负性平面层的利弊	288
9.8 设计模板	288
9.8.1 自定义 Capture 模板	288
9.8.2 自定义 PCB Editor 印制板模板	288
9.8.3 自定义 PCB Editor 技术模板	290
9.9 应用印制板向导 (Board Wizard)	290
9.10 投入生产	293
9.11 参考文献	293

第 10 章 底片制作和印制板生产	294	模型	311
10.1 Capture 原理图设计	294	10.4 生产印制板	313
10.2 PCB Editor 印制板设计	295	10.5 生成拾取与放置文件	313
10.2.1 印制板布线	295	10.6 参考文献	316
10.2.2 放置机械符号	296	附录 A 设计标准系列	317
10.2.3 生成加工数据	298	附录 B 封装的部分列表以及 OrCAD Layout 中的部分封装	319
10.2.4 生成底片文件	299	附录 C 各种逻辑元件序列的上升和 下降时间	326
10.2.5 生成钻孔文件	306	附录 D 钻孔与螺纹尺寸	328
10.2.6 生成布线路径 (Route Path) 文件	307	附录 E 按主题参考	329
10.2.7 生成布线文件	309		
10.2.8 检查底片	310		
10.3 应用 CAD 工具建立 PCB 图的三维			

第 1 章 印制电路板设计和 CAD 简介

1.1 CAD 和 OrCAD 设计套件

深入介绍 PCB Editor 之前，先简要讨论一下 CAE。CAE 工具覆盖了工程设计中从绘图、分析到制造的所有方面。CAD 是 CAE 的一个分支，它涉及系统设计中的物理布设和绘图。专门用于电子工业的 CAD 软件称为电子 CAD (ECAD) 或 EDA (Electronic Design Automation, 电子设计自动化)。在购买和制造硬件前，EDA 工具可以仿真设计和分析，减少开发时间和费用。电路设计经绘图、仿真、分析等验证后，该系统就可以生产了。生产中应用的软件称为 CAM 工具。CAM 工具应用软件和设计数据（由 CAE 工具产生的）来控制自动化生产设备，将设计理念变为现实。

那么，OrCAD/Cadence 是如何适应所有这些要求的呢？Cadence 拥有并管理着许多种与电子工业相关的 CAD/CAM 产品，包括 OrCAD 设计套件。OrCAD 设计套件可以从分销商处购买，比如 EMA 自动化设计公司，他们将不同组合的 CAD/CAM 软件打包，包括 Capture、PSpice 和 PCB Editor，以满足顾客的需要。这些软件可以单独应用，但将各个工具捆绑成组件可以实现软件间的交互。

Capture 是软件包的核心，是最主要的 EDA 工具。Capture 拥有丰富的元件库，它们用于生成原理图。而原理图可以单独应用，也可以与 PSpice、PCB Editor 甚至二者同时应用。典型的 Capture 元件如图 1-1 所示。

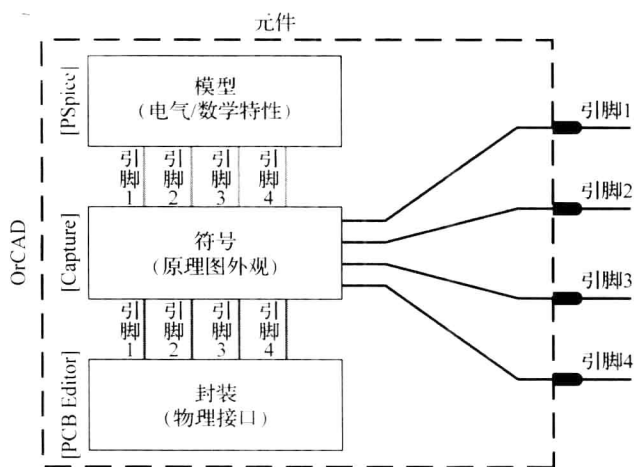


图 1-1 “元件”的组成

Capture 元件的引脚可以画成 PSpice 模型引脚或 PCB Editor 的物理封装引脚。PSpice 作为 CAE 工具, 包含用于仿真的数学模型, 而 PCB Editor 作为 CAD 工具, 可以将符号原理图转化成设计图的物理实现。网络表用于设计图中元件的互联, 以及每个元件及其模型和封装的联接。除了作为 CAD 工具, PCB Editor 还是前置的 CAM 工具, 生成其他 CAM 工具制作 PCB 所需要的数据。将 3 个应用软件组成工具包, 形成了有效设计、测试和制作电子电路的强有力工具集。工程设计和生产成功的关键是理解 PCB 本身, 以及懂得如何应用工具来实现 PCB。

1.2 印制电路板的生产

现在来看一看 PCB 是如何生产的, 以便于更好地理解应用 PCB Editor 所完成的工作及其原因。PCB 包括两个基本部分: 基板(板材)和印制线(铜线)。基板作为结构件, 是电路元件和布设的印制线的物理支撑, 并实现了传导元件间的电气隔离。最常用的基板类型是 FR4, 它是一种玻璃纤维/环氧树脂层压板。它同老式的玻璃纤维板很相似, 但涂了阻燃剂。基板也可以采用聚四氟乙烯、陶瓷和特殊聚合物制成。

1.2.1 PCB 芯层和叠层

PCB 的生产过程从覆铜箔基板开始, 如图 1-2 所示。

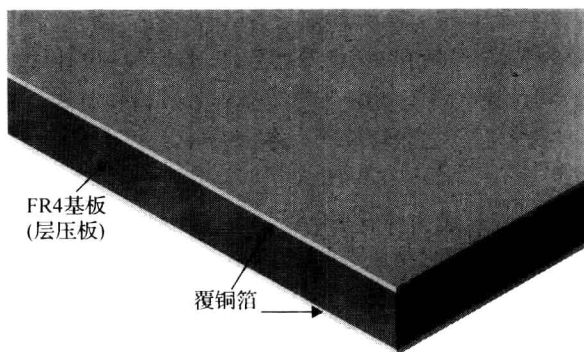


图 1-2 双面覆铜的 FR4 基板

刚性基板是 C 阶层压板(完全固化的环氧树脂)。可以在基板上覆铜或者将铜箔粘在基板上。铜箔厚度由每平方英尺(ft^2)^①铜的盎司(oz)数量来衡量, $1.0\text{oz}/\text{ft}^2$ 的铜箔大约是 1.2~1.4mil 厚。通常情况下去掉“/ ft^2 ”, 仅用 oz 表示厚度。例如, 可以规定在 1/8in 厚的 FR4 基板上镀覆 1oz 铜。

基板可以一面或双面覆铜。多层板是由一个或多个单面或双面被称为芯层的基板组成。芯层是覆铜环氧树脂层压板。如图 1-3 所示, 可以用一张或多张部分固化的环氧树脂薄片将芯层粘结起来。

^① 本书提到的非国际标准单位与国际标准单位间的转换关系如下: $1\text{ft}=30.48\text{cm}$, $1\text{oz}=28.35\text{g}$, $1\text{in}=2.54\text{cm}$, $1\text{mil}=0.0254\text{mm}$ 。——编者注

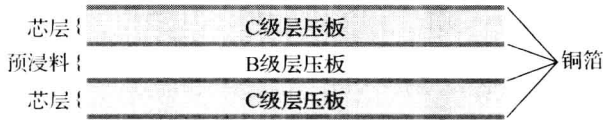


图 1-3 芯层和预浸料

薄片也称为预浸料或 B 级层压板。所有芯层成型（如下所述）并对准后，整个组件在高温高压下完全固化。

将芯层装配成多层板有 3 种方法。图 1-4 为一个包括 4 个布线层和 2 个平面层的例子，它展示了前 2 种方法。图 1-4a 表示 3 个（双面）芯层通过 2 个预浸层粘结起来；而图 1-4b 表示由 1 个预浸层将 2 个芯层粘结在一起组成类似的六层结构，芯层形成了 4 个内层。该在制板的外层是用预浸层粘结到组件上的铜箔片。



图 1-4 适用于六层板的 2 个叠层方法

图 1-4 的布线层由分段铜线表示，平面层用实线表示。内层的绘图要在芯层粘结之前。外层绘图在生产过程的后期，在芯层粘结和固化以及大多数孔钻完之后进行。因为外层蚀刻较晚，而且铜箔通常比覆铜便宜，所以图 1-4b 显示的叠层应用更广泛。

第 3 种方法如图 1-5 所示，它应用了数种制造技术，用于制造非常复杂的印制板。该电路板的核心是典型的四层芯堆叠，但顶部和底部的附属层是采用顺序层压技术一层层制成的。该技术可以用来制作盲孔、埋孔、典型镀覆孔、非镀覆孔和后钻镀覆孔。电阻和电容也能嵌在基板里。后续章节（第 8 章和第 9 章）有更多关于盲孔的讨论。

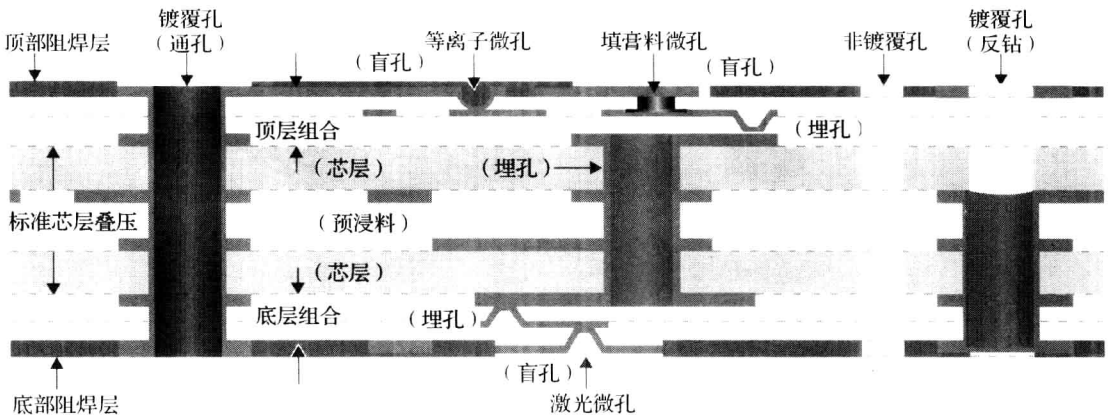


图 1-5 多技术组合式 PCB 叠层

1.2.2 PCB 的生产流程

通过选择性地去除覆铜和铜箔,制成 PCB 上的铜线和焊盘。通常用两种方法去除多余的铜:湿法酸性蚀刻和机械研磨。当大量生产印制板时,酸性蚀刻法应用更广泛,因为可以同时制作这些印制板。酸性蚀刻法的缺点是化学物品有危险性而且必须不定期添加,用过的化学物品必须回收或丢弃。研磨法常用于小批量工期短的产品和模板。研磨时,通过旋转钻头将基板上多余的铜研磨掉,形成走线和焊盘。无论何种方法,均用数字图形生产覆铜图形。CAD 软件,比如 OrCAD PCB Editor,就是用于生成数字图形。

注意 下述生产过程的介绍仅仅考虑了一层。

1.2.3 显像和化学蚀刻

用蚀刻法选择性地去除铜,需要蚀刻掉多余的铜,同时保护需要的铜免受蚀刻。将一种聚合物(称为光致抗蚀剂)沉淀到铜箔表面就形成了保护层,如图 1-6 所示。

将光致抗蚀剂绘成所需印制电路的过程称为显像。抗蚀剂图形保护所选的覆铜区免受蚀刻剂影响,并曝光需要蚀刻的铜。

显像的两个步骤是绘制光致抗蚀剂图形和显影。绘图是通过曝光抗蚀剂(通常用紫外线)实现的,显影是将它放在化学槽中清洗实现的。光致抗蚀剂有两种:正性抗蚀剂和负性抗蚀剂。当正性抗蚀剂曝光到紫外线中时,聚合物分解并被从铜箔上除去。而使用负性抗蚀剂时,未受紫外线照射的负性抗蚀剂将被除去。

掩模用来曝光光致抗蚀剂的期望部分。掩模是专用的黑色或白色光绘胶片或玻璃底片,其上用激光光绘机印制走线和焊盘。如图 1-7 所示为两种掩模。

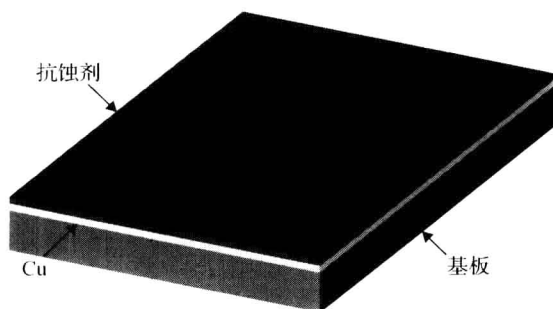


图 1-6 涂覆光致抗蚀剂的覆铜板

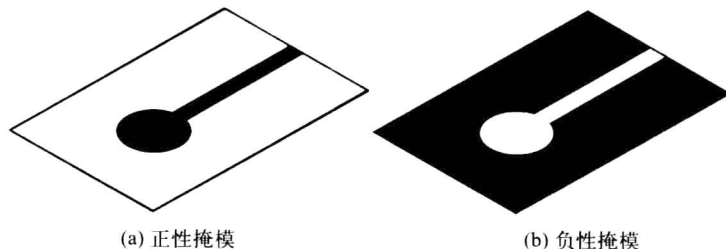


图 1-7 照相掩模

掩模表示了连接到焊盘的走线。图 1-7a 为用于曝光正性光致抗蚀剂的正性掩模,而图 1-7b 为用来曝光负性光致抗蚀剂的负性掩模。重复使用的掩模多用玻璃底片而不是胶片制成。

如图 1-8 所示,掩模放在光致抗蚀剂上面,将装配件用紫外线曝光。黑色区域阻挡紫外线,

白色（透明）区域允许紫外线分解光致抗蚀剂，从而将电路图印制到光致抗蚀剂上。不同的掩模用于电路板的不同层。OrCAD PCB Editor 会输出光绘机制作掩模所需的数据。

另一种曝光光致抗蚀剂的方法是用可编程激光器直接在光致抗蚀剂上“绘制”图形。这是一种称为激光直接绘图（LDI）的新技术。LDI 方法的优点是它使用与光绘机相同的数据，但不需要掩模。

光致抗蚀剂被曝光后（用掩模和紫外线或激光器），放到称为显像剂的化学溶液中清洗。如果是正性抗蚀剂，则抗蚀剂在曝光时分解，由显像剂去除。如果是负性抗蚀剂，则紫外线固化抗蚀剂，只有未曝光的抗蚀剂被显像剂去除。正性抗蚀剂常用的显像剂是氢氧化钠（NaOH），而负性抗蚀剂常用的显像剂是碳酸氢钠（ Na_2CO_3 ）。如图 1-9 所示，抗蚀剂被曝光和显像后，铜箔上留下了光致抗蚀剂组成的电路图。

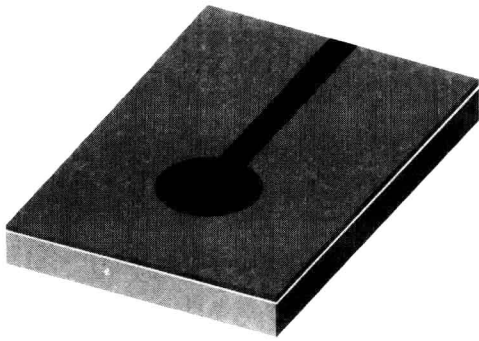


图 1-8 光致抗蚀剂涂覆板的正性掩模

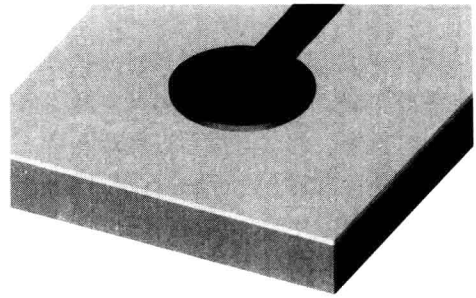


图 1-9 铜箔上显像后的光致抗蚀剂

随后，印制板在腐蚀性溶液中蚀刻，比如碱性氨水和氯化铜。蚀刻溶液不会明显影响光致抗蚀剂，但会溶解裸露的铜箔，并将它从基板上除去，然后留下抗蚀剂保护的铜，如图 1-10 所示。

有些方法用镀锡合金作为蚀刻抗蚀剂。对于蚀刻剂，镀锡合金有更强的抗蚀性，并为焊接过程预先准备了铜箔表面。在这种情况下，显像过程是在蚀刻之前，在铜箔表面选择性地镀覆电路图形。

当使用聚合蚀刻抗蚀剂时，用抗蚀剂清除器将光致抗蚀剂从铜箔上清除，留下铜走线。如图 1-11 所示为最后的覆铜图形。当使用金属蚀刻抗蚀剂时，镀覆层常留在原处。至此，焊盘中并没有蚀刻引线孔，因为为保证印制板层间孔的正确对准，它们是在所有芯层被粘结在一起（流程的后期）后钻孔形成的。

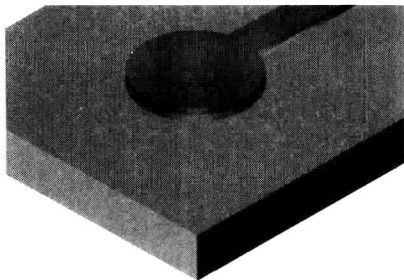


图 1-10 蚀刻去除多余的铜

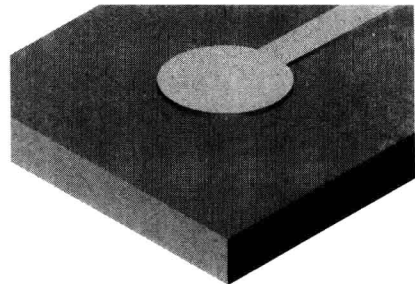


图 1-11 蚀刻后的覆铜盘和导线以及抗蚀剂带