

Mc
Graw
Hill

Education

电子封装技术丛书

ELECTRONIC MATERIALS AND PROCESSES HANDBOOK

THIRD EDITION

【原著第三版】

电子封装材料 与工艺

[美] 查尔斯 A. 哈珀 (CHARLES A. HARPER) 主编

中国电子学会电子封装专业委员会
电子封装技术丛书编辑委员会

组织译校



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心



Mc
Graw
Hill

电子封装技术丛书

Series of Electronic Packaging Technology

ELECTRONIC MATERIALS AND PROCESSES HANDBOOK

THIRD EDITION

电子封装材料 与工艺

【原著第三版】

[美] 查尔斯 A. 哈珀 (CHARLES A. HARPER) 主编

中国电子学会电子封装专业委员会
电子封装技术丛书编辑委员会 组织译校

沈卓身 贾松良 主译

高尚通 杨士勇 主校



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

·北 京·

图书在版编目 (CIP) 数据

电子封装材料与工艺: 第3版/[美] 哈珀 (Harper, C. A.) 主编; 沈卓身, 贾松良主译: —北京: 化学工业出版社, 2006.2

(电子封装技术丛书)

书名原文: Electronic Materials and Processes Handbook

ISBN 7-5025-7979-6

I. 电… II. ①哈…②沈…③贾… III. ①电子技术-封装工艺-电子材料②电子技术-封装工艺 IV. ①TN04②TN05

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 145961 号

Electronic Materials and Processes Handbook, 3rd Edition/Edited by Charles A. Harper

ISBN 0071402144

Copyright©2004 by the McGraw-Hill Companies, Inc.

Original language published by the McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) Co. and Chemical Industry Press.

本书中文简体字版由化学工业出版社和美国麦格劳-希尔教育(亚洲)出版公司合作出版。未经出版者预先书面许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司防伪标签, 无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2004-6109

电子封装技术丛书 电子封装材料与工艺 (原著第三版)

[美] 查尔斯 A. 哈珀 主编

中国电子学会电子封装专业委员会 组织译校

电子封装技术丛书编辑委员会

沈卓身 贾松良 主译

高尚通 杨士勇 主校

责任编辑: 吴刚 宋向雁

文字编辑: 颜克俭

责任校对: 凌亚男

封面设计: 潘峰

*

化学工业出版社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 41¼ 字数 778 千字

2006年3月第1版 2006年3月北京第1次印刷

ISBN 7-5025-7979-6

定 价: 98.00 元

版权所有 违者必究

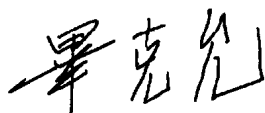
该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

中文版序

现代电子信息技术飞速发展,对电子产品的小型化、便携化、多功能、高可靠和低成本等提出了越来越高的要求。电子封装为满足各种电子产品的要求,已发展了多种多样的封装技术,涌现出大量的新理论、新材料、新工艺和新产品。电子封装正在与电子设计和制造一起,共同推动着信息化社会的发展。

为了适应我国电子封装产业的发展,满足广大电子封装工作者对电子封装技术方面书籍的迫切需求,中国电子学会生产技术学分会电子封装专委会成立了电子封装技术丛书编委会。近几年来,丛书编委会已先后组织编写、翻译出版了《集成电路封装试验手册》(1998年电子工业出版社出版)、《微电子封装手册》(2001年电子工业出版社出版)、《微电子封装技术》(2003年中国科学技术大学出版社出版)。《电子封装材料与工艺》作为电子封装技术系列丛书之四正式出版后,今后几年还将陆续出版丛书之五《光电子封装技术》、之六《微纳电子封装技术》、之七《电子封装工艺设备》等以飨读者。

《电子封装材料与工艺》译自美国 McGraw-Hill 公司 2004 年正式出版的《Electronic Materials and Processes Handbook (电子材料与工艺手册)》(第 3 版),该书是由 Charles A. Harper 组织有关专家编写的,并列入在该公司出版的电子封装与互连丛书中。该书的内容涉及了电子封装及相关领域的材料与工艺,包括半导体、塑料、橡胶、复合材料、陶瓷和玻璃以及金属等各种材料,也包括电子封装和组装的软钎焊、电镀与沉积金属涂层、电路板制造工艺、混合微电子材料和制造工艺、电子封装和组装用粘接剂、下填料和涂层以及热管理材料和系统等各种工艺技术。该书对从事电子封装及相关行业的科研、生产、应用工作者都会有较高的使用价值,对高等院校相关专业的师生也具有一定的参考价值。中国电子学会生产技术学分会电子封装专委会电子封装技术丛书编委会及时组织翻译并委托化学工业出版社出版了此书的中译本。我相信本书中译本的出版发行将对我国电子封装行业的发展一定会起到积极的推动作用,并在此向参与本书译校的所有人员和支持本书出版的有关单位及出版社工作人员表示由衷的感谢!



译者序

近年来,随着现代电子信息技术飞速发展,电子封装的新理论、新技术、新材料、新工艺和新产品不断涌现。一级封装(集成电路等电子器件的封装)正在向高密度、轻量化、窄节距、低分布、多功能、适于表面安装的方向发展;各类BGA(球栅阵列)、CSP(芯片尺寸封装)、多芯片叠式封装、多芯片单一封装、MEMS(微电子机械系统)封装、光电集成封装等新颖封装层出不穷。而二级封装(板级封装)已从通孔插装为主转变为表面安装为主,并向基板类型的多样化、软焊料无铅化、模塑料和印制板的无卤素化等绿色封装推进。而电子元器件的高密度、多功能、大功率等则要求电子封装具有更高水平的热管理。因此,不仅是从事电子封装的人员需要掌握或更新有关电子封装的知识,而且最终产品与此相关的所有生产技术人员也需要了解当前电子封装的发展,否则,他们的产品就有可能在激烈的竞争中落后。面对人们对有关电子封装知识的强烈需求,美国McGraw-Hill公司陆续出版了“Electronic Packaging and Interconnection Series”(电子封装与互连丛书),该丛书由工作在电子封装第一线的各方面专家编写,书的内容不仅较充分反映了当前电子封装各方面的先进技术,而且既有理论分析,又有较多的实践经验总结。因此,该丛书的出版充分满足了当前处于技术转变期的电子封装业界的需要,受到了广大读者的欢迎,有的甚至已出了第四版。Charles A. Harper主编的“Electronic Materials and Processes Handbook”(电子材料与工艺手册)便是其中之一。该书2004年出版了第三版,与前两版相比,内容更为新颖,资料更为丰富,信息量更大,更为接近当前国际电子封装技术的潮流。鉴于该书内容主要是涉及电子封装的材料与工艺问题,经McGraw-Hill公司同意,将该书中文版的书名定为《电子封装材料与工艺》。

众所周知,电子封装材料与工艺是各类新颖电子封装的基础,可以肯定地说,没有新颖的电子封装材料和工艺,就不可能有新颖的电子封装。现今中国已成为世界第三大电子信息产品的制造国,世界著名电子公司大量的一级、二级封装制造业正在转入我国生产。而目前国内尚无系统、全面介绍电子封装材料与工艺的专著,因此本书的出版将为我国从事一级、二级电子封装以及与此相关的其他电子信息产品的制造、设计、管理人员和高校有关专业师生提供一本较有价值的参考书。

中国电子学会生产技术学分会电子封装专委会电子封装技术丛书编委会组织

了对《电子封装材料与工艺》一书的译校工作。北京科技大学材料科学与工程学院沈卓身教授和他的电子封装材料与工艺科研团队（童震松、张毓隽、姚伟、高琳、吴茂、罗大为、陈丹）承担了本书的初译。清华大学微电子学研究所贾松良教授对部分初译稿进行了复译。各章译稿再分别由中电科技集团电子 13 所李松法教授、高尚通教授、刘治平高工，电子 15 所陈长生教授，电子 43 所朱颂春高工，中国科学院化学研究所杨士勇教授，中国科学院电子学研究所许维源高工，哈尔滨工业大学王春青教授，华中科技大学吴懿平教授等相关领域的专家进行了校阅。最后由沈卓身教授对全书进行了汇总整理。

为了使读者查阅方便和了解某些术语的原文，中文版保留并翻译了原书的“索引”部分，并按照汉语拼音顺序重新进行了排列。应该指出，术语的翻译是比较困难的，一方面由于原书作者较多，用语本身就存在差异，如 PCB 和 PWB、CTE 和 TCE 等，不少符号的表示也不统一，如铅锡合金，有的表示成 Pb/Sn，有的表示成 Pb-Sn，还有的表示成 PbSn。为忠于原作，在中文版中凡原书使用缩略语的就尽量保留原文和原书使用的符号；不使用缩略语时则统一译名，如印制电路板、热膨胀系数、铅锡合金等。另一方面，某些词汇在不同专业、行业中有不同的译法，本书中把 welding、brazing、soldering 分别译作焊接、硬钎焊、软钎焊，把 surface mount technology、reflow 译作表面安装技术、再流，deposition、etching 在集成电路制造中分别译作淀积、蚀刻，而在其他部分中分别译作沉积、蚀刻。此外，考虑行业的习惯把 adhesive、attach 统一译作粘接。另外，由于本书涉及的新材料、新工艺、新技术较多，受国内技术发展水平、译校者水平及知识面的限制，某些译文或名词可能会有欠妥之处，敬请读者指正。

由于原书是由不同作者写成，因此原书中的一些参数新旧单位混用，不同作者甚至同一作者表示同一参数的单位也有差异。例如，热导率的单位，有的用 $W/(m \cdot K)$ ，而有的用 $Btu/(ft \cdot h \cdot ^\circ F)$ ，如果换算成国际法定计量单位，就要对原书中所用图表进行较大的改动，因此，中文版中保留了图表中的单位；而且在正文中出现的一些物理量单位，如 in、mil、psi 等，则予以保留，只在括号中换算成相应的 mm、 μm 、MPa 等或注明换算关系。为了读者阅读方便，正文前还附有相关计量单位的换算表。另外，原书中由于印刷或其他的原因，差错较多。在译校过程中，译者对一些明显差错作了改正，并用译者注的方式作出标识。

在本书出版之际，我们特别感谢中国电子学会生产技术学会电子封装专委会电子封装技术丛书编委会的毕克允主任，他在组织领导本书译校、联系出版等方面做了大量工作，还在百忙中为本书写了序言；高尚通副主任为本书的译校也做了大量工作。我们也十分感谢其他译校者所做的贡献，他们为译校本书付出了

巨大的心血。最后，我们衷心感谢化学工业出版社的编辑，她认真细致的工作态度和良好的合作精神对本书按期出版起到了重要作用。

我们谨以此书献给正在蓬勃发展的我国电子封装业，希望它能为我国正在茁壮成长的电子封装业有所补益，并由衷地希望广大读者对本书译文中存在的不足之处提出宝贵的改进意见。

译者

2005 年 10 月

英文版前言

在本手册第二版出版并得到广泛使用的这十年里，电子工业以超出人们想像的速度迅猛发展，电子工业已成为工业史上最为重要和最为宏大的领域。由于材料创新、封装理念、制造技术以及创新思维的不断涌现，这项技术对产品的更新和改进的冲击是显而易见的。本手册第三版把这些年电子材料和工艺技术所发生的变化汇编在一起，它提供了有关实用材料的数据、指南、信息以及制造方法的最新的原始资料，包括加工技术、设计和应用判据，以及性能局限。

为了使这本手册适应上述发展，我有幸获得各章作者的支持，他们都是该技术领域著名的专家。由于他们的通力合作，本手册清晰而全面地涵盖了电子工业这一广阔领域的材料和工艺技术。我非常高兴认识这些科学家、工程师和技术人员，并高度赞赏他们对《电子材料与工艺手册》一书的贡献。他们的名字在最后一页上分别列出，排序不分先后。

为了方便读者阅读，我们对手册的各章结构进行了编排。本书前几章介绍了在电子工业中起重要作用的几种基本材料，包括半导体、塑料、橡胶、复合材料、陶瓷和玻璃以及各种金属；中间几章介绍了用于电子元器件互连和组装的工艺与材料，它们包括电镀和沉积金属涂层，电路板和制造工艺，混合微电子材料与工艺，电子组件中的粘接剂、下填料和涂层；最后一章也是最值得注意的一章，它包含了非常关键的热管理材料和系统领域的所有方面。本书的另一个特点是在每章的末尾都列出了全面的参考文献，并附有一个详尽的索引。

我为与这些专家的合作而感到自豪，我也确信本手册的第三版要比之前的两版更有实用价值。《电子材料与工艺手册》与其他手册一样将列入目前由 McGraw-Hill 公司出版的电子封装与互连系列丛书内。

注：《电子材料与工艺手册》一书，经原著作者同意，中文版书名改为《电子封装材料与工艺》。

Charles A. Harper
Technology Seminars 公司
Lutherville, Maryland

原著编写人员

Alex Bailey, Northrop Grumman 公司, Linthicum, Maryland (第 3 章)

Barry Burns, Henkel Loctite 公司, Industry, California (第 9 章)

Mike Carano, Electrochemicals 责任有限公司, Maple Plain, Minnesota (第 7 章)

Charles Cohn, Agere Systems 公司, Allentown, Pennsylvania (第 1 章)

Joe Fjelstad, Silicon Pipe 责任有限公司, San Jose, California (第 7 章)

J. Donald Gardner, Northrop Grumman 公司, Linthicum, Maryland (第 4 章)

Jennie S. Hwang, H-Technologies Group 责任有限公司, Cleveland, Ohio (第 5 章)

Al Krum, Industry Consultant 公司, Huntington, Beach, California (第 10 章)

Christy Marinelli, Henkel Loctite 公司, Industry, California (第 9 章)

Mike McChesney, McChesney 责任有限公司, Annandale, Minnesota (第 6 章)

K. F. Schoch, Jr., Northrop Grumman 公司, Linthicum, Maryland (第 2 章)

Jerry E. Sergeant, Fairfield 大学, 电气工程系, Fairfield, Connecticut (第 8 章)

Brian J. Toleno, Henkel Loctite 公司, Industry, California (第 9 章)

计 量 单 位 换 算 表

长度	
1m=10 ¹⁰ Å	1Å=10 ⁻¹⁰ m
1m=10 ⁹ nm	1nm=10 ⁻⁹ m
1m=10 ⁶ μm	1μm=10 ⁻⁶ m
1m=10 ³ mm	1mm=10 ⁻³ m
1m=10 ² cm	1cm=10 ⁻² m
1mm=0.0394in	1in=25.4mm
1cm=0.394in	1in=2.54cm
1m=39.37in=3.28ft	1ft=12in=0.3048m
1mm=39.37mil	1mil=10 ⁻³ in=0.0254mm
1μm=39.37μin	1μin=0.0254μm
面积	
1m ² =10 ⁴ cm ²	1cm ² =10 ⁻⁴ m ²
1cm ² =10 ² mm ²	1mm ² =10 ⁻² cm ²
1m ² =10.76ft ²	1ft ² =0.093m ²
1cm ² =0.1550in ²	1in ² =6.452cm ²
体积	
1m ³ =10 ⁶ cm ³	1cm ³ =10 ⁻⁶ m ³
1cm ³ =10 ³ mm ³	1mm ³ =10 ⁻³ cm ³
1m ³ =35.32ft ³	1ft ³ =0.0283m ³
1cm ³ =0.0610in ³	1in ³ =16.39cm ³
质量	
1t=10 ³ kg	1kg=10 ⁻³ t
1kg=10 ³ g	1g=10 ⁻³ kg
1kg=2.205lb _m	1lb _m =0.4536kg
1g=2.205×10 ⁻³ lb _m	1lb _m =453.6g
1g=0.035oz	1oz=28.35g
密度	
1kg/m ³ =10 ⁻³ g/cm ³	1g/cm ³ =10 ³ kg/m ³

续表

$1\text{Mg}/\text{m}^3 = 1\text{g}/\text{cm}^3$	$1\text{g}/\text{cm}^3 = 1\text{Mg}/\text{m}^3$
$1\text{kg}/\text{m}^3 = 0.0624\text{lb}_\text{m}/\text{ft}^3$	$1\text{lb}_\text{m}/\text{ft}^3 = 16.02\text{kg}/\text{m}^3$
$1\text{g}/\text{cm}^3 = 62.4\text{lb}_\text{m}/\text{ft}^3$	$1\text{lb}_\text{m}/\text{ft}^3 = 1.602 \times 10^{-2}\text{g}/\text{cm}^3$
$1\text{g}/\text{cm}^3 = 0.0361\text{lb}_\text{m}/\text{in}^3$	$1\text{lb}_\text{m}/\text{in}^3 = 27.7\text{g}/\text{cm}^3$
力	
$1\text{N} = 10^5\text{dyn}$	$1\text{dyn} = 10^{-5}\text{N}$
$1\text{N} = 0.2248\text{lb}_\text{f}$	$1\text{lb}_\text{f} = 4.448\text{N}$
应力、压强	
$1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2 = 10\text{dyn}/\text{cm}^2$	$1\text{dyn}/\text{cm}^2 = 0.10\text{Pa}$
$1\text{MPa} = 145\text{psi}$	$1\text{psi} = 1\text{lb}/\text{in}^2 = 6.90 \times 10^{-3}\text{MPa}$
$1\text{MPa} = 0.102\text{kg}/\text{mm}^2$	$1\text{kg}/\text{mm}^2 = 9.806\text{MPa}$
$1\text{kg}/\text{mm}^2 = 1422\text{psi}$	$1\text{psi} = 7.03 \times 10^{-4}\text{kg}/\text{mm}^2$
$1\text{kPa} = 0.00987\text{atm}$	$1\text{atm} = 101.325\text{kPa}$
$1\text{kPa} = 0.01\text{bar}$	$1\text{bar} = 100\text{kPa}$
$1\text{Pa} = 0.0075\text{torr} = 0.0075\text{mmHg}$	$1\text{torr} = 1\text{mmHg} = 133.322\text{Pa}$
断裂韧性	
$1\text{MPa}(\text{m})^{1/2} = 910\text{psi}(\text{in})^{1/2}$	$1\text{psi}(\text{in})^{1/2} = 1.099 \times 10^{-3}\text{MPa}(\text{m})^{1/2}$
能量, 功, 热	
$1\text{J} = 10^7\text{erg}$	$1\text{erg} = 10^{-7}\text{J}$
$1\text{J} = 6.24 \times 10^{18}\text{eV}$	$1\text{eV} = 1.602 \times 10^{-19}\text{J}$
$1\text{J} = 0.239\text{cal}$	$1\text{cal} = 4.184\text{J}$
$1\text{J} = 9.48 \times 10^{-4}\text{Btu}$	$1\text{Btu} = 1054\text{J}$
$1\text{J} = 0.738\text{ft} \cdot \text{lb}_\text{f}$	$1\text{ft} \cdot \text{lb}_\text{f} = 1.356\text{J}$
$1\text{eV} = 3.83 \times 10^{-20}\text{cal}$	$1\text{cal} = 2.61 \times 10^{19}\text{eV}$
$1\text{cal} = 3.97 \times 10^{-3}\text{Btu}$	$1\text{Btu} = 252.0\text{cal}$
功率	
$1\text{W} = 0.239\text{cal}/\text{s}$	$1\text{cal}/\text{s} = 4.184\text{W}$
$1\text{W} = 3.414\text{Btu}/\text{h}$	$1\text{Btu}/\text{h} = 0.293\text{W}$
$1\text{cal}/\text{s} = 14.29\text{Btu}/\text{h}$	$1\text{Btu}/\text{h} = 0.070\text{cal}/\text{s}$
黏度	
$1\text{Pa} \cdot \text{s} = 10\text{P}$	$1\text{P} = 0.1\text{Pa} \cdot \text{s}$
$1\text{mPa} \cdot \text{s} = 1\text{cP}$	$1\text{cP} = 10^{-3}\text{Pa} \cdot \text{s}$
温度, T	
$T(\text{K}) = 273 + T(^{\circ}\text{C})$	$T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273$

续表

$T(K) = \frac{5}{9}[T(^{\circ}F) - 32] + 273$	$T(^{\circ}F) = \frac{9}{5}[T(K) - 273] + 32$
$T(^{\circ}C) = \frac{5}{9}[T(^{\circ}F) - 32]$	$T(^{\circ}F) = \frac{9}{5}T(^{\circ}C) + 32$

比热容

$1J/(kg \cdot K) = 2.39 \times 10^{-4} cal/(g \cdot K)$	$1cal/(g \cdot K) = 4184J/(kg \cdot K)$
$1J/(kg \cdot K) = 2.39 \times 10^{-4} Btu/(lb_m \cdot ^{\circ}F)$	$1Btu/(lb_m \cdot ^{\circ}F) = 4184J/(kg \cdot K)$
$1cal/(g \cdot ^{\circ}C) = 1.0Btu/(lb_m \cdot ^{\circ}F)$	$1Btu/(lb_m \cdot ^{\circ}F) = 1.0cal/(g \cdot K)$

热导率

$1W/(m \cdot K) = 2.39 \times 10^{-3} cal/(cm \cdot s \cdot K)$	$1cal/(cm \cdot s \cdot K) = 418.4W/(m \cdot K)$
$1W/(m \cdot K) = 0.578Btu/(ft \cdot h \cdot ^{\circ}F)$	$1Btu/(ft \cdot h \cdot ^{\circ}F) = 1.730W/(m \cdot K)$
$1cal/(cm \cdot s \cdot K) = 241.8Btu/(ft \cdot h \cdot ^{\circ}F)$	$1Btu/(ft \cdot h \cdot ^{\circ}F) = 4.136 \times 10^{-3} cal/(cm \cdot s \cdot K)$

电磁学

SI 单位制	CGS 单位制
$1A = \frac{4\pi}{10} Gb$	$1Gb(\text{Gilbert 吉伯}) = \frac{10}{4\pi} A$
$1A/m = \frac{4\pi}{10^3} Oe$	$1Oe(\text{Oersted 奥斯特}) = \frac{10^3}{4\pi} A/m$
$1Wb(\text{Weber 韦伯}) = 10^8 Mx$	$1Mx(\text{Maxwell 麦克斯韦}) = 10^{-8} Wb$
$1T(\text{Tesla 特斯拉}) = 1Wb/m^2 = 10^4 G$	$1G(\text{Gauss 高斯}) = 10^{-4} Wb/m^2 = 10^{-4} T$
$1H(\text{Henry 亨利})/m = \frac{10^7}{4\pi} G/Oe$	$1G/Oe = \frac{4\pi}{10^7} H/m$

其他

$1Gy = 1J/kg = 10^2 rad$	$1rad = 10^2 erg/g = 10^{-2} Gy$
--------------------------	----------------------------------

单位符号

A=安(培)	Gb=吉(伯)	mm=毫米
Å=埃	Gy=戈(瑞)	N=牛(顿)
bar=巴	h=小时	nm=纳米
Btu=英热量单位	H=亨(利)	Oe=奥(斯特)
C=库仑	Hz=赫兹	psi=磅每平方英寸
℃=摄氏度	in=英寸	P=泊
cal=卡(路里)	J=焦耳	Pa=帕(斯卡)
cm=厘米	K=开尔文度	rad=拉德
cP=厘泊	kg=千克	s=秒
dB=分贝	ksi=千磅每平方英寸	S=西(门子)
dyn=达因	L=升	T=特(斯拉)
erg=尔格	lb _f =磅力	Torr=托

续表

eV=电子伏	lb _m =磅(质量)	μm=微米
F=法(拉)	m=米	V=伏(特)
°F=华氏度	Mg=兆(百万)克	W=瓦(特)
ft=英尺	mil=密耳	Wb=韦(伯)
g=克	min=分(钟)	Ω=欧(姆)

国际单位制中词头的符号

因数	词头		符号
	英文	中文	
10 ⁹	giga	吉	G
10 ⁶	mega	兆	M
10 ³	kilo	千	k
10 ⁻²	centi	厘	c
10 ⁻³	milli	毫	m
10 ⁻⁶	micro	微	μ
10 ⁻⁹	nano	纳	n
10 ⁻¹²	pico	皮	p

目 录

第 1 章 集成电路芯片的发展与制造

.....	1
1.1 简介	2
1.2 原子结构	2
1.3 真空管	5
1.4 半导体理论	7
1.4.1 二极管	10
1.4.2 结型双极晶体管	11
1.4.3 场效应晶体管	13
1.4.4 结型场效应晶体管	13
1.4.5 金属氧化物半导体场效应 晶体管	15
1.4.6 互补型金属氧化物半导体 场效应晶体管	16
1.5 集成电路基础	16
1.6 集成电路芯片制造	21
1.6.1 晶锭的生长与晶圆片的 制备	22
1.6.2 洁净度	25
1.6.3 集成电路制造	26
参考文献	35

第 2 章 塑料、橡胶和复合材料

.....	37
2.1 简介	38
2.2 基础	38
2.2.1 聚合物定义	38
2.2.2 聚合物的类型	38
2.2.3 结构和性能	39
2.2.4 合成	41
2.2.5 术语	42

2.3 热塑性塑料	47
2.3.1 丙烯酸树脂	52
2.3.2 氟塑料	53
2.3.3 酮树脂	54
2.3.4 液晶聚合物	54
2.3.5 尼龙	55
2.3.6 聚酰胺-酰亚胺	57
2.3.7 聚酰亚胺	57
2.3.8 聚醚酰亚胺	59
2.3.9 聚芳酯和聚酯	59
2.3.10 聚碳酸酯	60
2.3.11 聚烯烃	61
2.3.12 聚苯醚	61
2.3.13 聚苯硫醚	61
2.3.14 苯乙烯类聚合物	61
2.3.15 聚砜	62
2.3.16 乙烯基树脂	62
2.3.17 热塑性聚合物合金和 共混物	62
2.4 热固性塑料	64
2.4.1 烯丙基树脂	65
2.4.2 双马来酰亚胺	66
2.4.3 环氧树脂	66
2.4.4 酚醛树脂	67
2.4.5 聚酯	67
2.4.6 聚氨酯	68
2.4.7 硅橡胶	68
2.4.8 交联热塑性塑料	70
2.4.9 氰酸酯树脂	71
2.4.10 苯并环丁烯	74

2.5 橡胶	74	3.6.5 应用	142
2.5.1 橡胶的性能	75	3.7 超导陶瓷	143
2.5.2 橡胶的类型	76	3.8 光纤	149
2.5.3 热塑性橡胶	79	参考文献	151
2.6 应用	79	第4章 金属	153
2.6.1 层压板	79	4.1 金属和合金的选择	154
2.6.2 模塑和挤压	80	4.1.1 简介	154
2.6.3 注塑和灌注	81	4.1.2 选材判据	154
2.6.4 粘接剂	82	4.1.3 成分	154
2.6.5 有机涂层	82	4.1.4 产品形式	154
参考文献	84	4.1.5 强化机理	157
第3章 陶瓷和玻璃	85	4.1.6 力学性能	158
3.1 简介	86	4.1.7 物理性能	159
3.2 用于微电子的陶瓷互连	86	4.1.8 制造考虑	160
3.2.1 薄膜	88	4.2 金属及其数据比较	161
3.2.2 厚膜	89	4.2.1 屈服强度	162
3.2.3 多层封装	92	4.2.2 弹性模量(杨氏模量) 和刚度	162
3.2.4 高温共烧陶瓷	93	4.2.3 比强度	163
3.2.5 低温共烧陶瓷	94	4.2.4 热导率	165
3.3 电容器	99	4.2.5 电阻率	165
3.3.1 电容器材料的分类	103	4.2.6 吸热能力	165
3.3.2 添加物的作用	109	4.2.7 铁基合金	166
3.4 机电陶瓷	112	4.2.8 常用铁基合金	167
3.4.1 压电材料	112	4.2.9 铁基合金的磁学性能	170
3.4.2 铁电材料	113	4.2.10 铁基合金的热膨胀性能	183
3.4.3 电致伸缩材料	115	4.2.11 铁基合金的加工性能	189
3.4.4 机电材料	117	4.2.12 铁基合金的电阻性能	189
3.4.5 机电材料的应用	119	4.2.13 铝和铝合金	190
3.5 电光材料	122	4.2.14 铍和铍合金	196
3.5.1 材料	126	4.2.15 铍合金的加工	198
3.5.2 应用	128	4.2.16 铜和铜合金	199
3.6 磁性陶瓷	130		
3.6.1 尖晶石	135		
3.6.2 石榴石	141		
3.6.3 钙钛矿	142		
3.6.4 六方晶系铁氧体	142		

4.2.17	镁合金	203	5.4.1	分类	246
4.2.18	镍和镍合金	206	5.4.2	反应与相互作用	246
4.2.19	钛与钛合金	208	5.4.3	工艺参数	247
4.2.20	高密度材料	212	5.4.4	再流温度曲线	249
4.2.21	难熔金属	213	5.4.5	再流曲线的影响	250
4.2.22	贵金属	215	5.4.6	优化曲线	253
参考文献		216	5.4.7	激光软钎焊	253
第5章 电子封装与组装的软			5.4.8	可控气氛钎焊	255
钎焊技术			219	5.4.9	可控气氛钎焊的工艺参数
5.1	简介	220		258	
5.1.1	领域	220	5.4.10	温度分布曲线的测量	262
5.1.2	表面安装技术	220	5.5	可钎焊性	262
5.1.3	工业趋势	221	5.5.1	定义	262
5.1.4	交叉学科和系统方法	225	5.5.2	基板	263
5.2	软钎焊材料	225	5.5.3	润湿现象	263
5.2.1	软钎料合金	225	5.5.4	元器件的可钎焊性	263
5.2.2	冶金学	226	5.5.5	印制电路板的表面镀涂层	264
5.2.3	软钎料粉	230	5.6	清洗	264
5.2.4	力学性能	232	5.7	窄节距器件的应用	266
5.3	焊膏	238	5.7.1	开口设计与模版厚度的关系	266
5.3.1	定义	238	5.7.2	焊盘图形与模版开口设计的关系	266
5.3.2	特性	238	5.7.3	模版选择	268
5.3.3	钎剂和助焊	239	5.8	有关钎焊问题	268
5.3.4	钎剂活性	239	5.8.1	金属间化合物与焊点形成	268
5.3.5	水溶性钎剂	240	5.8.2	镀金基板与焊点形成	270
5.3.6	气相钎剂	240	5.8.3	焊点气孔	272
5.3.7	免清洗钎剂	240	5.8.4	焊球/焊珠	272
5.3.8	水溶性钎剂和免清洗钎剂之间的比较	241	5.8.5	印制电路板 (PCB) 表面镀涂层	274
5.3.9	流变学	242	5.9	焊点的外观形貌及显微结构	
5.3.10	配方	243			
5.3.11	设计和使用焊膏以增加系统可靠性	244			
5.3.12	质保检测	245			
5.4	软钎焊方法	246			

.....	277	6.3.3 焦磷酸盐镀铜	314
5.9.1 外观形貌	277	6.3.4 其他镀铜工艺	315
5.9.2 显微结构	280	6.4 镀镍	315
5.10 焊点的完整性	282	6.5 贵金属镀层	317
5.10.1 基本失效过程	282	6.5.1 银	318
5.10.2 球栅阵列封装钎焊互 连的可靠性	283	6.5.2 铑	319
5.10.3 周边焊点的可靠性—— 元器件引线的影响 ...	285	6.5.3 钯	319
5.10.4 焊点寿命预测模型的 挑战	286	6.5.4 金	319
5.10.5 蠕变和疲劳相互作用	288	6.6 镀层硬度	321
5.11 无铅钎料	289	6.7 镀层性质	323
5.11.1 世界立法的现状	289	6.8 脉冲镀	324
5.11.2 技术和方法	292	6.9 化学镀	324
5.11.3 无铅钎料和含铅钎料	295	6.10 锡和锡合金镀层	326
5.11.4 钎料合金的选择—— 一般准则	295	6.11 储存的环境因素	330
5.11.5 无铅钎料的选择	295	6.11.1 锡晶须	330
5.11.6 无铅钎料推荐	300	6.11.2 无铅镀层	333
参考文献	301	参考文献	334
推荐阅读材料	302	第7章 印制电路板的制造	337
第6章 电镀和沉积金属涂层 ...	305	7.1 简介	338
6.1 电子应用中的电镀	306	7.2 印制电路层压板用材料	341
6.2 电镀槽	306	7.2.1 增强层	342
6.2.1 阴极反应	307	7.2.2 有机树脂	344
6.2.2 阳极反应	307	7.2.3 挠性(未增强)板用材料	345
6.2.3 清洗	307	7.2.4 金属箔	345
6.2.4 电流分布	309	7.3 印制电路层压板类型	347
6.2.5 沉积质量	310	7.3.1 单面覆铜箔层压板	348
6.2.6 刷镀	311	7.3.2 双面覆铜箔层压板	348
6.3 镀铜	311	7.4 层压板的选择	348
6.3.1 酸性镀铜	311	7.5 层压板的制备	349
6.3.2 氰化物镀铜	313	7.5.1 层压方法	350
		7.5.2 分批层压	350
		7.5.3 连续层压	351
		7.5.4 真空辅助层压	351