



Education

微电子技术系列丛书

Electronic Packaging and
Interconnection Handbook, Fourth Edition

电子封装与 互连手册 (第四版)

[美] Charles A. Harper 主编

贾松良 蔡 坚 等译
沈卓身 杨士勇

贾松良 等审校

MEMS封装

光电封装

芯片尺寸封装、倒装芯片和
芯片直接粘结

McGraw-Hill HANDBOOKS

ELECTRONIC
PACKAGING AND
INTERCONNECTION
HANDBOOK
FOURTH EDITION

- MEMs packaging
- Optoelectronic packaging
- Chip scale, flip chip, and direct chip attachments

CHARLES A. HARPER



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

微电子技术系列丛书

电子封装与互连手册

(第四版)

Electronic Packaging and Interconnection Handbook
Fourth Edition

[美] Charles A. Harper 主编
贾松良 蔡坚 沈卓身 杨士勇 等译
贾松良 等审校

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

电子封装与互连已成为现代电子系统能否成功的关键限制因素之一,是在系统设计的开始阶段就必须进行综合设计的考虑因素。本书涉及与电子器件封装和系统组装有关的三个基本内容:第一部分包含电子封装的基本技术,即当代电子封装常用的塑料、复合材料、粘结剂、下填料与涂敷料等封装材料,热管理,连接器,电子封装与组装用的无铅焊料和焊接技术;第二部分为电子封装的互连技术,包含焊球阵列、芯片尺寸封装、倒装芯片粘结、多芯片模块、混合微电路等各类集成电路封装技术及刚性和挠性印制电路板技术;第三部分讨论了封装界的新热门课题之一——高速和微波系统封装。本书系统地反映了当前许多新的电子封装技术、封装材料和封装形式,既有许多宝贵的实践经验总结又有一定的理论分析,书中给出了许多有用的产品实例、数据、信息和指南。

本书对从事电子器件封装、电子系统组装及相关行业的科研、生产、应用及市场营销工作者都会有较高的实用价值,适用于电子组装和封装各领域的从业人员,对相关行业的管理工作者及高等院校相关专业的师生也具有较高的参考价值。

Charles A. Harper

Electronic Packaging and Interconnection Handbook, Fourth Edition,

ISBN: 0-07-143048-2, Copyright © 2005 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 in 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 Publishing House of Electronics Industry. Copyright © 2009.

本书中文简体字翻译版专有版权由美国麦格劳-希尔教育出版(亚洲)公司授予电子工业出版社。专有版权受法律保护。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。

本书封底贴有 McGraw-Hill 公司的激光防伪标贴,无标贴者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2005-0697

图书在版编目(CIP)数据

电子封装与互连手册:第4版/(美)哈珀(Harper C. A.)著;贾松良等译.一北京:电子工业出版社,2009.6

(微电子技术系列丛书)

书名原文:Electronic Packaging and Interconnection Handbook, Fourth Edition

ISBN 978-7-121-08844-5

I. 电… II. ①哈… ②贾… III. ①电子技术-封装工艺-技术手册 ②电子技术-互连工艺-技术手册 IV. TN405-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 075176 号

策划编辑:刘海艳(lhy@phei.com.cn)

责任编辑:周宏敏

印 刷:北京东光印刷厂

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 印张:47.25 字数:1240 千字

印 次:2009 年 6 月第 1 次印刷

印 数:4000 册 定价:128.00 元

凡所购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

译者序

近年来我国的电子信息产品制造业有了飞速发展，其产值已达世界第二位，仅次于美国，我国的半导体产业的年增长速率近年来也一直保持在两位数。我国集成电路产业的销售额在 2006 年首次突破 1000 亿元，而 2007 年又比 2006 年增长 24.3%，达到 1251 亿元，其增长速率远高于 2007 年全球半导体产业 3.2% 的年增长率。在集成电路设计、制造与封装测试这个产业链中，2007 年我国封装测试业是上述三业中销售额最大（627.7 亿元）、所占份额最高（占整个 IC 产业销售额的 50.2%）、年增长率最快（同比增长 26.4%）的产业，其增长速率也远高于 2007 年全球封装测试业销售额 7.4% 的增长率。

随着国际排名前十位的大半导体公司在国内大规模地设置独资或合资封装测试厂，以及江苏长电科技、天水华天等国内著名封装测试企业的崛起，它们又带动了与半导体封装测试有关的模塑料、引线框架、金丝等引线键合丝、芯片粘结剂等封装材料制造及封装设备、测试设备制造业等半导体封装支撑产业的发展。中国已成为全球最重要的半导体封装、测试基地之一。

国际上的“电子封装”概念是指各类电子元器件封装和电子组装，即包括一级封装、二级封装、三级封装、……

随着电子产品进入千家万户，甚至每人随身都会带上几个、几十个集成电路产品（如手表、手机、各类 IC 卡、U 盘、MP3、手提计算机、智能玩具、电子钥匙等），这些都要求电子产品更小、更轻、更高密度的组装、更多的性能、更快的速度、更可靠，从而驱动了集成电路封装和电子组装技术的飞速发展，促使电子组装产业向高密度、表面组装、无铅化组装发展，驱使集成电路新颖封装的大量涌现：如焊球阵列（BGA）、芯片尺寸封装（CSP）、倒装芯片（FC）、芯片直接粘结（DCA）、圆片级封装（WLP）、三维堆叠封装、系统级封装（SiP）、多芯片封装（MKP）、多芯片模块（MCM）封装以及适应各种特殊电子器件需要的光电子封装、高电压和大功率器件封装、射频和微波器件封装、微机电系统（MEMS）封装等。

电子组装和半导体封装产业的发展，迫切需要许多掌握相关电子组装和封装知识和技术的人才，即使原来长期从事电子组装和半导体器件生产或封装的技术人员也需要知识更新和扩展。而电子封装涉及封装材料、电设计、热管理、低应力设计和应力管理、可靠性、各种制造工艺技术、相关电子元器件知识等较宽的知识范围。因此，迫切需要一些较好的有关电子封装技术的参考资料，可以较快、较简洁明了地了解相关电子封装的新知识、新技术。《电子封装与互连手册》第四版可为我国广大从事与电子组装相关行业的人员提供较新、较全面的参考资料。

本书是由 C. A. 哈珀主编、McGraw-Hill 公司出版、总共约有 20 本的“电子封装与互连系列”丛书中的重要一本，至 2005 年该书已出了第四版，而且是这套丛书中唯一已出了第四版的。这一套书是作为手册和技术人员再教育培训教材使用的，因此偏重于新颖和实用，列有较多的新封装、新材料、新工艺、新技术的数据、资料、指南和实例，而没有很多深奥

的理论分析和数学推导。所以，本书不但对相关专业人员很有用，而且对于相关管理人员了解电子组装、半导体封装情况也很有用，且较易读懂。

本书共分三大部分。第一部分为第1章至第5章，主要介绍电子封装的基本技术；第二部分为第6章至第9章，介绍电子封装中的互连技术和各类集成电路封装；第三部分是第10章，专门介绍当前较为热门的高速和微波电子系统的封装技术。

本书是由来自全球不同公司和高校的14位相关专业领域的专家写成，保证了各章内容的新颖、完整和实用。但由于各人的写作风格不同及国际、国内物理量单位的变化沿革，因此，同一物理量在不同作者撰写的章节中，甚至同一作者的同一章节中在不同场合下也会使用不同的单位，如英制和米制、华氏温度和摄氏温度等。除了一些较简单的长度单位，已将原英制列出相应的公制量外，一般都照原文翻译，没有按国家标准或相应的国际标准转换，因为许多是图、表中的数据，较难转换。为了便于读者使用，我们在正文前列出了一张相关单位的换算表，以供参考。

本书的翻译是邀请国内各相关领域的专家、学者共同进行的，第1章和第2章的译者是中科院化学所的杨士勇教授及陶志强博士、李洪深博士、丁佳培博士；第3章由Cadence（北京）公司的胡涛工程师翻译；第4章由中电科技集团40所的黄正高级工程师翻译；第5章和第7章由北京科技大学的沈卓身教授、张毓秀、姚伟和清华大学的贾松良教授、聂磊翻译；第6、8、9章由清华大学的贾松良教授、蔡坚副教授（博士）及杨宇翻译；第10章由北京七星华创电子公司的王瑞庭教授翻译。参加本书审校的除贾松良教授以外还有哈尔滨工业大学的王春青教授（第5章部分），北京无线电计量测试研究所的叶德培研究员（第5章部分，第9章），中电科技集团13所的高尚通教授（第7章部分），清华大学王水弟教授（第7章部分）和蔡坚副教授（第6章）。译文经第一次审稿后，又经译者做了修改，最后由贾松良教授对全书再次进行了总校。前已指出，本书是“电子封装与互连系列”丛书中的一本，又是培训教材，故本书中的个别章节在丛书的其他书籍中也曾出现过，但因时俱进，在收入本书第四版时，各章原作者又做了许多修改和补充。

由于本书属于多人合作原著、多人合译，再加上电子封装技术的飞速发展，有些专业名词的翻译尚未统一。如underfill的下填料与底填料、底部填充，BGA的焊球阵列和球栅阵列，SMT的表面安装技术和表面贴装技术，印制电路板（PCB）和印制线路板（PWB），reflow的再流与回流，soldering的焊接与软钎焊，doposition的淀积与沉积，etching的蚀刻与刻蚀，adhesive和attach的粘接与粘结、粘附，leaching的浸入和析出，chipbond的管芯键合和黏片，等等。我们的原则是已有标准的按标准，如焊球阵列、表面安装技术等；其次是按半导体封装和电子组装行业中的习惯用词，如芯片粘结、粘片、焊接、再流焊、印制电路板等。但无论英语、汉语中都有一些词是既可作名词，又可作动词的，有时一个英文词就有不同译法，如underfill作为材料时译做下填料，而作为动词时译为底部填充；reflow作为焊接工艺时译为再流（焊），但在描述某些工艺过程时仍译为回流。由于对有些先进技术，译校者尚缺乏理解，译文不一定确切。

另外，因为原书是多人合写的培训教材，可能由于打字等多种原因，造成在文字、公式、符号等方面差错较多，对于一些明显的差错译校者已做了改正，并在相应的地方加了注解，以便于部分读者在对照原书时进行参考。

再次衷心感谢参与本书翻译、审校的各位译者和审校者，没有他们渊博的知识、忘我认

真的工作，本书是很难达到目前水平的。衷心感谢在本书翻译过程中给予我们支持和帮助过的所有人士。如果本书对读者有所帮助，那将是他们的最大欣慰。

衷心感谢电子工业出版社对我的信任，将此书委托我来组织译稿，并衷心感谢出版社刘海艳及周宏敏编辑，由于她们认真细致的工作和良好的合作共事态度，使本书得以按质按期出版。

此书虽已是我参与组织译校的 McGraw-Hill 公司出版的“电子封装与互连丛书”中的第四本书，但由于本人水平及知识面的限制，译文可能仍会有不少不足之处，热忱希望广大读者提出宝贵的意见和建议。

谨以此书献给正在走向世界的我国电子封装业和在我国从事电子封装业的各位人士，祝我国的电子封装业更加兴旺发达！

清华大学微电子学研究所教授

贾松良

2008 年 9 月 25 日

前 言

很高兴向我的读者献上这本《电子封装与互连手册》第四版。读者们可能还记得，事实上，这是原来《电子封装手册》的换代手册，原手册是这个领域的第一本手册。这些年来，电子封装领域已经有了许多专门的著作，但这仍然是唯一的一本综合性手册，它覆盖了电子封装中的所有学科和技术领域，这本手册被人们赞誉为“电子封装的圣经”。正如读者会注意到的那样，我所幸运的是聚集了一批杰出的各章作者，他们每个人都是其所在领域内的著名专家，使得本书覆盖了电子封装的众多学科技术，或许没有其他团队能够做到这样。因此，在本前言中我要把崇高的荣誉归功于这些作者。

电子封装技术常被理解为“电子互连技术”，而且是一种在不断发展的技术。而且，集成电路和集成电路封装的复杂性和多学科性，以及公司间的和国际性的制造与测试的物流，已经使电子封装更为复杂和关键。过去，适合电子封装的基本原则和策略几乎都是电子系统设计人员事后考虑的事；现在，他们必须在系统设计的开始阶段就要对其进行考虑，这一点已经被广泛接受。事实上，电子封装常常成为现代电子系统成功的关键限制因素。如果没有合适的电子封装技术，现代半导体和电子系统技术的许多巨大潜能可能被大大降低，甚至不能发挥作用。《电子封装与互连手册》的目的是使基本原则和策略成为有用，这是成功实现任何形成电子封装技术的学科所必需的。

《电子封装与互连手册》的修订和更新版反映了电子系统中几乎所有已取得的技术进步，这些电子系统需要有更好的性能、更快的电路速度和不断提高的互连密度。幸运的是，由于人们的努力、奉献和卓越的工作，在电子封装技术的所有领域中已经取得了显著的进步。这些领域的最新惊人成就以及本书中所包含的内容，使得本书的新版本成为电子封装中任何领域所有人们的必备品。读者可以强烈地感觉到，不管在电子封装和互连技术的总系统中你的作用是什么，本书不仅将提供新的知识，而且也有应用领域中有用的信息、数据和指南。

本书可以作为有关领域内的数据、信息和指南的全面来源，它们通常可作为与最重要的产品变量有关的特性和性能数据的扩展数据。章节的组织安排和覆盖的内容也适合于读者方便地获得广泛的产品种类范围。许多新的电子封装和材料技术在前一版出版时还没有研制成功，而在这一版中都被涵盖在内了。

本手册的章节安排反映了现代电子系统的三部分基本内容，第1~5章是电子封装的基本技术。这些章节涉及电子封装的材料、热管理、连接器和互连技术，最后是电子封装中的焊接技术。第6~9章覆盖了电子封装的互连技术，这些章节讨论了集成电路封装和焊球阵列、混合微电子和多芯片模块、芯片尺寸封装、倒装芯片粘结、刚性和挠性印制电路板。最

后的第 10 章讨论了高速系统封装和微波封装技术。由于存在向更先进系统功能和更高速电路发展的始终不断的驱动力，对于当今的电子封装设计者来说，对高速系统封装和微波封装技术的了解是不可缺少的。

我和各章的作者都热忱希望本书将继续很好地为所有读者服务。

CHARLES A. HARPER
Technology Seminars 公司
Lutherville, Maryland

计量单位换算表

长度	
$1\text{ m} = 10^{10}\text{ \AA}$	$1\text{ \AA} = 10^{-10}\text{ m}$
$1\text{ m} = 10^9\text{ nm}$	$1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}$
$1\text{ m} = 10^6\text{ }\mu\text{m}$	$1\text{ }\mu\text{m} = 10^{-6}\text{ m}$
$1\text{ m} = 10^3\text{ mm}$	$1\text{ mm} = 10^{-3}\text{ m}$
$1\text{ m} = 10^2\text{ cm}$	$1\text{ cm} = 10^{-2}\text{ m}$
$1\text{ mm} = 0.0394\text{ in}$	$1\text{ in} = 25.4\text{ mm}$
$1\text{ cm} = 0.394\text{ in}$	$1\text{ in} = 2.54\text{ cm}$
$1\text{ m} = 39.37\text{ in} = 3.28\text{ ft}$	$1\text{ ft} = 12\text{ in} = 0.3048\text{ m}$
$1\text{ mm} = 39.37\text{ mil}$	$1\text{ mil} = 10^{-3}\text{ in} = 0.0254\text{ mm} = 25.4\text{ }\mu\text{m}$
$1\text{ }\mu\text{m} = 39.37\text{ }\mu\text{in}$	$1\text{ }\mu\text{in} = 0.0254\text{ }\mu\text{m}$
面积	
$1\text{ m}^2 = 10^4\text{ cm}^2$	$1\text{ cm}^2 = 10^{-4}\text{ m}^2$
$1\text{ cm}^2 = 10^2\text{ mm}^2$	$1\text{ mm}^2 = 10^{-2}\text{ cm}^2$
$1\text{ m}^2 = 10.76\text{ ft}^2$	$1\text{ ft}^2 = 0.093\text{ m}^2$
$1\text{ cm}^2 = 0.1550\text{ in}^2$	$1\text{ in}^2 = 6.452\text{ cm}^2$
体积	
$1\text{ m}^3 = 10^6\text{ cm}^3$	$1\text{ cm}^3 = 10^{-6}\text{ m}^3$
$1\text{ cm}^3 = 10^3\text{ mm}^3$	$1\text{ mm}^3 = 10^{-3}\text{ cm}^3$
$1\text{ m}^3 = 35.32\text{ ft}^3$	$1\text{ ft}^3 = 0.0283\text{ m}^3$
$1\text{ cm}^3 = 0.0610\text{ in}^3$	$1\text{ in}^3 = 16.39\text{ cm}^3$
质量	
$1\text{ Mg} = 1\text{ t} = 10^3\text{ kg}$	$1\text{ kg} = 10^{-3}\text{ t} = 10^{-3}\text{ Mg}$
$1\text{ kg} = 10^3\text{ g}$	$1\text{ g} = 10^{-3}\text{ kg}$
$1\text{ kg} = 2.205\text{ lbm}$	$1\text{ lbm} = 0.4536\text{ kg}$
$1\text{ g} = 2.205 \times 10^{-3}\text{ lbm}$	$1\text{ lbm} = 453.6\text{ g}$
$1\text{ g} = 0.035\text{ oz}$	$1\text{ oz} = 28.35\text{ g}$
密度	
$1\text{ kg/m}^3 = 10^{-3}\text{ g/cm}^3$	$1\text{ g/cm}^3 = 10^3\text{ kg/m}^3$
$1\text{ Mg/m}^3 = 1\text{ t/m}^3 = 1\text{ g/cm}^3$	$1\text{ g/cm}^3 = 1\text{ t/m}^3 = 1\text{ Mg/m}^3$
$1\text{ kg/m}^3 = 0.0624\text{ lbm/ft}^3$	$1\text{ lbm/ft}^3 = 16.02\text{ kg/m}^3$
$1\text{ g/cm}^3 = 62.4\text{ lbm/ft}^3$	$1\text{ lbm/ft}^3 = 1.602 \times 10^{-2}\text{ g/cm}^3$
$1\text{ g/cm}^3 = 0.0361\text{ lbm/in}^3$	$1\text{ lbm/in}^3 = 27.7\text{ g/cm}^3$
力	
$1\text{ N} = 0.102\text{ kgf}$	$1\text{ kgf} = 9.801\text{ N}$
$1\text{ N} = 10^5\text{ dyn}$	$1\text{ dyn} = 10^{-5}\text{ N} = 10\text{ }\mu\text{N}$

计量单位换算表

续表

力	
1 N = 0.2248 lbf	1 lbf = 4.448 N
压力、应力、压强	
1 Pa = 1 N/m ² = 10 dyn/cm ²	1 dyn/cm ² = 0.10 Pa
1 MPa = 145 psi	1 psi = 1 lb/in ² = 6.90 × 10 ⁻³ MPa
1 MPa = 0.102 kgf/mm ²	1 kgf/mm ² = 9.807 MPa
1 kgf/mm ² = 1422 psi	1 psi = 7.03 × 10 ⁻⁴ kgf/mm ²
1 kPa = 0.00987 atm	1 atm = 101.325 kPa
1 kPa = 0.01 bar	1 bar = 100 kPa = 0.1 MPa
1 Pa = 0.0075 torr = 0.0075 mmHg	1 torr = 1 mmHg = 133.322 Pa
断裂韧性	
1 MPa (m) ^{1/2} = 910 psi (in) ^{1/2}	1 psi (in) ^{1/2} = 1.099 × 10 ⁻³ MPa (m) ^{1/2}
能量、功、热	
1 J = 10 ⁷ erg	1 erg = 10 ⁻⁷ J
1 J = 6.24 × 10 ¹⁸ eV	1 eV = 1.602 × 10 ⁻¹⁹ J
1 J = 0.239 cal	1 cal = 4.187 J
1 J = 9.48 × 10 ⁻⁴ Btu	1 Btu = 1054 J
1 J = 0.738 ft · lbf	1 ft · lbf = 1.356 J
1 eV = 3.82 × 10 ⁻²⁰ cal	1 cal = 2.61 × 10 ¹⁹ eV
1 cal = 3.97 × 10 ⁻³ Btu	1 Btu = 252.0 cal
功率	
1 W = 0.101 kgf · m/s	1 kgf · m/s = 9.807 W
1 W = 1.36 × 10 ⁻³ 马力	1 马力 = 735.5 W
1 W = 0.239 cal/s	1 cal/s = 4.187 W
1 W = 3.414 Btu/h	1 Btu/h = 0.293 W
1 cal/s = 14.29 Btu/h	1 Btu/h = 0.070 cal/s
1 W = 10 ⁷ erg/s = 1 J/s	1 erg/s = 10 ⁻⁷ W
黏度	
1 Pa · s = 10 P	1 P = 0.1 Pa · s
1 mPa · s = 1 cP	1 cP = 10 ⁻³ Pa · s
温度, T	
T (K) = 273.15 + T (°C)	T (°C) = T (K) - 273.15
T (K) = $\frac{5}{9}$ [T (°F) - 32] + 273.15	T (°F) = $\frac{9}{5}$ [T (K) - 273.15] + 32
T (°C) = $\frac{5}{9}$ [T (°F) - 32]	T (°F) = $\frac{9}{5}$ [T (°C) + 32]
比热容	
1 J/ (kg · K) = 2.29 × 10 ⁻⁴ cal/ (g · K)	1 cal/ (g · K) = 4184 J/ (kg · K)

计量单位换算表

续表

比热容	
1 J/ (kg · K) = 2. 29 × 10 ⁻⁴ Btu/ (lbm · °F)	1 Btu/ (lbm · °F) = 4184 J/ (kg · K)
1 cal/ (g · °C) = 1. 0 Btu/ (lbm · °F)	1 Btu/ (lbm · °F) = 1. 0 cal/ (g · K)
热导率	
1 W/ (m · K) = 2. 39 × 10 ⁻³ cal/ (cm · s · K)	1 cal/ (cm · s · K) = 418. 4 W/ (m · K)
1 W/ (m · K) = 0. 578 Btu/ (ft · h · °F)	1 Btu/ (ft · h · °F) = 0. 578 W/ (m · K)
1 cal/ (cm · s · K) = 241. 8 Btu/ (ft · h · °F)	1 Btu/ (ft · h · °F) = 241. 8 cal/ (cm · s · K)

单位符号及其中文名称

A , 安 (培)	Gb, 吉 (伯)	mm, 毫米
Å, 埃	Gy, 戈 (瑞)	nm, 纳米
bar, 巴	h, (小) 时	N, 牛 (顿)
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
°C, 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)	rad, 拉德
cP, 厘泊	kgf, 千克力	s, 秒
dB, 分贝	kpsi, 千磅每平方英寸	S, 西 (门子)
dyn, 达因	L, 升	T, 特 (斯拉)
erg, 尔格	lbf, 磅力	torr, 托
eV, 电子伏	lbm, 磅 (质量)	min, 分 (钟)
F, 法 (拉)	m, 米	V, 伏 (特)
°F, 华氏度	Mg, 兆克	W, 瓦 (特)
ft, 英尺	MPa, 兆帕	Wb, 韦 (伯)
g, 克	mil, 密耳	Ω, 欧 (姆)

国际单位制中常用词头的符号

因数	词头		
	英文名称	中文名称	符号
10 ⁹	giga	吉	G
10 ⁶	mega	兆	M
10 ³	kilo	千	k
10 ⁻²	centi	厘	c
10 ⁻³	mili	毫	m

计量单位换算表

续表

因数	词头		
	英文名称	中文名称	符号
10^{-6}	micro	微	μ
10^{-9}	nano	纳	n
10^{-12}	pico	皮	p

常用的其他符号

ppm	1×10^{-6}
ppb	1×10^{-9}

目 录

第 1 章 塑料、弹性体与复合材料	1	1.4.9 氰酸酯树脂	34
1.1 引言	1	1.4.10 苯并环丁烯	37
1.2 基础知识	1	1.5 弹性体	37
1.2.1 聚合物定义	1	1.5.1 性能	38
1.2.2 聚合物的类型	1	1.5.2 弹性体的类型	39
1.2.3 结构与性能	2	1.5.3 热塑性弹性体(TPE)	41
1.2.4 合成	4	1.6 应用	41
1.2.5 术语	5	1.6.1 层压板	41
1.3 热塑性体	10	1.6.2 模塑和挤出	42
1.3.1 丙烯酸树脂	16	1.6.3 浇铸和灌封	43
1.3.2 氟塑料	17	1.6.4 粘结剂	43
1.3.3 酮树脂	18	1.6.5 有机涂层	44
1.3.4 液晶聚合物	18	1.7 参考文献	45
1.3.5 尼龙	20	第 2 章 粘结剂、下填料与涂敷料	47
1.3.6 聚酰胺酰亚胺	20	2.1 引言	47
1.3.7 聚酰亚胺	21	2.2 流变学	47
1.3.8 聚醚酰亚胺	23	2.2.1 流变响应与行为	49
1.3.9 聚多芳基化合物和聚酯	23	2.2.2 流变的测量	51
1.3.10 聚碳酸酯	24	2.3 粘结剂体系的固化	55
1.3.11 聚烯烃	24	2.3.1 热固化	55
1.3.12 聚苯醚	25	2.3.2 紫外(UV)固化	59
1.3.13 聚苯硫醚	25	2.3.3 变频微波辐射固化	60
1.3.14 苯乙烯类聚合物	25	2.3.4 吸潮固化	61
1.3.15 聚砜	25	2.4 玻璃化转变温度	61
1.3.16 乙烯基树脂	25	2.5 热膨胀系数	63
1.3.17 热塑性混合物与共混物	26	2.6 杨氏模量	64
1.4 热固性体	27	2.7 应用	64
1.4.1 烯丙基树脂	29	2.7.1 粘结剂(贴片胶)	64
1.4.2 双马来酰亚胺	29	2.7.2 下填料	80
1.4.3 环氧树脂	30	2.7.3 导电胶	85
1.4.4 酚醛树脂	30	2.7.4 热管理	87
1.4.5 聚酯	30	2.7.5 保形涂层	88
1.4.6 聚氨酯	31	2.8 参考文献	91
1.4.7 硅氧烷(硅橡胶)	31	2.9 致谢	92
1.4.8 交联热塑性体	33		

第3章 热管理	93	3.10.4 光纤温度测试探针	160
3.1 引言	93	3.10.5 间接温度测量技术	161
3.2 为什么需要热管理	94	3.10.6 X射线成像	162
3.2.1 温度对电路工作的影响	94	3.10.7 声学显微成像	162
3.2.2 温度对物理结构的影响	95	3.10.8 热测试芯片	164
3.2.3 失效率	96	3.11 参考文献	165
3.3 热流理论	97	第4章 连接器和互连技术	168
3.3.1 热力学第二定律	97	4.1 连接器综述	168
3.3.2 传热机理	98	4.1.1 连接器功能	168
3.3.3 瞬态热流	113	4.1.2 连接器的应用:互连的级别	168
3.4 热设计	119	4.1.3 连接器类型	169
3.4.1 设计过程	119	4.1.4 连接器应用:信号和功率	170
3.4.2 选择冷却技术	119	4.1.5 连接器结构	170
3.5 热沉	120	4.2 接触件接口	172
3.5.1 热沉介绍	120	4.2.1 接触接口形态和接触电阻	172
3.5.2 热沉粘结材料	121	4.2.2 接触接口形态和机械性能	174
3.5.3 热沉选择	126	4.2.3 小结	175
3.5.4 空气冷却	129	4.3 接触镀层	175
3.6 电路卡组件冷却	133	4.3.1 接触镀层和腐蚀防护	176
3.7 高热负载的冷却	138	4.3.2 接触镀层和界面的优化	176
3.7.1 CCA 的贯通(径流)冷却	138	4.3.3 贵金属镀层综述	176
3.7.2 冷侧壁冷却	139	4.3.4 非贵金属镀层	178
3.7.3 冷板	140	4.3.5 接触镀层的选择	180
3.7.4 射流喷射冷却	141	4.3.6 小结	181
3.7.5 浸没式冷却	141	4.4 接触簧片	182
3.7.6 微沟道冷却	144	4.4.1 接触簧片和电气要求	182
3.8 特殊冷却装置	145	4.4.2 接触簧片和机械要求	183
3.8.1 热电冷却器	145	4.4.3 接触簧片材料的选择	184
3.8.2 热管	150	4.4.4 小结	185
3.9 热模拟	153	4.5 连接器外壳	185
3.9.1 有限元方法	153	4.5.1 电气功能	185
3.9.2 有限差分方法	154	4.5.2 机械功能	185
3.9.3 流动网络模型	155	4.5.3 环境屏蔽(保护)	186
3.9.4 计算流体力学	155	4.5.4 应用要求	187
3.9.5 主要软件要求	155	4.5.5 材料选择	187
3.10 热管理	156	4.5.6 小结	189
3.10.1 直接温度测量技术	156	4.6 可分离的连接	190
3.10.2 红外热成像	158	4.6.1 接触件设计	190
3.10.3 液晶显微量热计	159	4.6.2 应用问题	193

4.6.3 小结	195	5.3.6 气相钎剂	254
4.7 永久连接	195	5.3.7 免清洗钎剂	254
4.7.1 电线和电缆的综述	195	5.3.8 水溶性钎剂和免清洗钎剂 的对比	254
4.7.2 印制电路板结构的综述	198	5.3.9 流变学	255
4.7.3 电线/电缆的机械永久连接	198	5.3.10 配方	257
4.7.4 绝缘位移连接	202	5.3.11 达到系统高可靠性的焊膏设计 和使用原则	258
4.7.5 印制电路板的机械永久连接	205	5.3.12 质保检测	258
4.7.6 机械永久连接小结	206	5.4 软钎焊方法	259
4.7.7 焊接连接	206	5.4.1 分类	259
4.8 连接器应用	208	5.4.2 反应与相互作用	260
4.8.1 信号应用	208	5.4.3 工艺参数	260
4.8.2 电源应用	211	5.4.4 回流温度曲线	262
4.9 连接器的类型	213	5.4.5 回流曲线的影响	264
4.9.1 板对板连接器	213	5.4.6 优化回流曲线	265
4.9.2 线对板和线对线连接器	217	5.4.7 激光焊	266
4.9.3 同轴连接器	223	5.4.8 可控气氛钎焊	267
4.9.4 连接器类型小结	226	5.4.9 温度分布曲线的测量	273
4.10 连接器试验	226	5.5 可软钎焊性	274
4.10.1 连接器试验	226	5.5.1 定义	274
4.10.2 试验的类型	227	5.5.2 基板	274
4.10.3 估算连接器的可靠性	228	5.5.3 润湿现象	274
4.11 参考文献	232	5.5.4 元器件的可软钎焊性	274
第5章 电子封装与组装的焊接技术	235	5.5.5 PCB的表面涂镀	275
5.1 引言	235	5.6 清洗	275
5.1.1 定义	235	5.6.1 原理和选择	275
5.1.2 表面安装技术	235	5.7 窄节距应用	276
5.1.3 工业发展趋势	236	5.7.1 开口设计与模板厚度的关系	277
5.1.4 交叉学科和系统方法	239	5.7.2 焊盘图形与模板开口设计 的关系	277
5.2 软钎焊材料	240	5.7.3 模板选择	278
5.2.1 软钎焊料合金	240	5.8 有关钎焊问题	279
5.2.2 锡铅合金的冶金学	242	5.8.1 金属间化合物与焊接点形成 的关系	279
5.2.3 软钎焊料粉	244	5.8.2 镀金基板与焊点形成的关系	281
5.2.4 机械性能	246	5.8.3 焊接点气孔	282
5.3 焊膏	252	5.8.4 焊球/焊珠	283
5.3.1 定义	252	5.8.5 印制电路板(PCB)表面涂敷	284
5.3.2 特性	252	5.9 焊接点的外观形貌及显微	
5.3.3 钎剂和助焊	253		
5.3.4 钎剂活性	253		
5.3.5 水溶性钎剂	253		

结构	286	6.7.1 电设计	369
5.9.1 外观形貌	286	6.7.2 热设计	371
5.9.2 显微结构	288	6.7.3 热-力设计	372
5.10 焊接点的完整性	289	6.7.4 物理设计——芯片设计规则	375
5.10.1 基本失效过程	290	6.8 封装 IC 的组装工艺	376
5.10.2 BGA 钎焊互连的可靠性	290	6.8.1 芯片到封装的互连	377
5.10.3 周边焊点的可靠性——元器件 引线的影响	292	6.8.2 其他组装工艺	388
5.10.4 焊点寿命预测模型的挑战	293	6.9 外包代工——外包组装	391
5.10.5 蠕变和疲劳相互作用	295	6.9.1 什么是组装代工商	391
5.11 无铅钎焊料	295	6.9.2 在本厂内或外包代工组装 的决定	391
5.11.1 世界立法的现状	295	6.9.3 代工组装承包商的选择指南	392
5.11.2 研究和技术开发的背景	297	6.9.4 封装与 2 级互连	393
5.11.3 有实用前景合金的比较	300	6.9.5 总结和展望	394
5.11.4 合金的排序	311	6.10 参考资料	396
5.11.5 元素的相对成本和毒性	312		
5.11.6 回流条件	314	第 7 章 混合微电子与多芯片模块	397
5.11.7 表面安装制造性能	315	7.1 引言	397
5.11.8 高抗疲劳无 Pb 钎焊材料	317	7.2 混合电路用陶瓷基板	398
5.11.9 无铅实施方案和结论	317	7.2.1 陶瓷基板的制造	399
5.12 参考资料	320	7.3 陶瓷的表面性能	401
5.13 推荐读物	321	7.4 陶瓷材料的热性能	403
第 6 章 集成电路的封装和互连	322	7.4.1 热导率	403
6.1 引言	322	7.4.2 比热容	405
6.2 电路和系统的驱动力	323	7.4.3 热膨胀系数	406
6.2.1 电路级要求	323	7.5 陶瓷基板的机械性能	407
6.2.2 系统级要求	325	7.5.1 弹性模量	407
6.3 IC 封装	327	7.5.2 断裂模量	408
6.4 封装分类	327	7.5.3 抗拉强度和抗压强度	409
6.4.1 通孔插入式安装的封装	330	7.5.4 硬度	410
6.4.2 表面安装封装	330	7.5.5 热冲击	411
6.5 封装技术	332	7.6 陶瓷的电性能	412
6.5.1 模塑技术	333	7.6.1 电阻率	412
6.5.2 模压陶瓷(玻璃熔封陶瓷) 技术	340	7.6.2 击穿电压	414
6.5.3 共烧层压陶瓷技术	344	7.6.3 介电性能	414
6.5.4 层压塑料技术	350	7.7 基板材料的性能	416
6.6 封装技术比较	367	7.7.1 氧化铝	416
6.7 封装设计考虑	369	7.7.2 氧化铍	417
		7.7.3 氮化铝	418
		7.7.4 金刚石	420

7.7.5 氮化硼(BN)	421	7.21 厚膜与薄膜的比较	452
7.7.6 碳化硅	422	7.22 铜金属化技术	453
7.8 复合材料	423	7.22.1 直接键合铜	453
7.8.1 铝碳化硅	423	7.22.2 镀铜技术	453
7.8.2 Dymalloy®	424	7.22.3 活性金属钎焊铜技术	454
7.9 厚膜技术	425	7.23 铜金属化技术的比较	454
7.9.1 有效成分	427	7.24 基板金属化技术小结	454
7.9.2 粘结成分	427	7.25 混合电路的组装	455
7.9.3 有机粘结剂	427	7.25.1 芯片与引线技术	455
7.9.4 溶剂或稀释剂	428	7.25.2 半导体器件的直接 共晶键合	456
7.9.5 厚膜浆料的制备	428	7.25.3 有机键合材料	456
7.9.6 厚膜浆料的参数	429	7.25.4 软钎焊	457
7.10 厚膜导体材料	431	7.25.5 引线键合	460
7.10.1 金导体	431	7.26 封装和封装工艺	464
7.10.2 银导体	432	7.26.1 气密封装	465
7.10.3 铜导体	433	7.26.2 金属封装	466
7.11 厚膜电阻材料	434	7.26.3 金属封装的密封方法	467
7.11.1 厚膜电阻的电性能	437	7.26.4 陶瓷封装	468
7.11.2 零时间性能	437	7.26.5 陶瓷封装的密封方法	468
7.11.3 与时间有关的性能	441	7.26.6 非气密性封装方法	468
7.11.4 厚膜电阻的工艺考虑	442	7.26.7 插入式封装	469
7.12 厚膜介质材料	442	7.26.8 小外形封装	469
7.13 釉面材料	443	7.26.9 陶瓷片式载体	469
7.14 丝网印刷	444	7.26.10 功率混合电路的封装	470
7.14.1 印刷工艺	445	7.27 多芯片模块	471
7.15 厚膜浆料的烘干	445	7.27.1 MCM-L 技术	471
7.16 厚膜浆料的烧结	446	7.27.2 MCM-C 技术	473
7.17 厚膜技术小结	446	7.27.3 MCM-D 技术	474
7.18 薄膜技术	446	7.27.4 小结	474
7.19 淀积技术	447	7.28 参考资料	475
7.19.1 溅射	447		
7.19.2 蒸发	448		
7.19.3 溅射与蒸发的比较	449		
7.19.4 电镀	450		
7.19.5 光刻工艺	450		
7.20 薄膜材料	450		
7.20.1 薄膜电阻	450		
7.20.2 阻挡材料	451		
7.20.3 导体材料	451		
7.20.4 薄膜基板	451		

第8章 芯片尺寸封装、倒装芯片和

先进封装技术

8.1 引言	476
8.1.1 集成电路组装	476
8.1.2 集成电路组装和封装的功能要求 与设计准则	477
8.1.3 倒装芯片封装	477
8.1.4 芯片尺寸封装(CSP)	478