

现代电子制造
系列丛书



现代电子装联 材料技术基础

◎ 黄祥彬 等编著

Modern
Electronics



Manufacturing



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

现代电子制造系列丛书

现代电子装联材料 技术基础

黄祥彬 牛甲顿 张广威



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书内容以电子装联材料工艺知识为主,内容包括现代电子装联材料工艺概论、焊料(焊膏、锡条、锡线、锡片)基础知识及应用工艺、助焊剂基础知识及应用工艺、清洗剂基础知识及应用工艺、电子胶黏剂基础知识及应用工艺、三防涂料基础知识及应用、其他电子装联材料基础知识及应用工艺。全书除介绍电子装联材料的特性、分类和化学组成外,还简单介绍了相关工艺可靠性知识和设备知识,同时结合工作实践案例,阐述了装联材料应用过程中的注意事项。

本书既可作为中兴通讯电子制造职业学院的教学用书,也可作为相关企业员工的专业技能培训教材,还可作为高等院校相关专业师生的教学参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

现代电子装联材料技术基础 / 黄祥彬等编著. —北京: 电子工业出版社, 2016.1
(现代电子制造系列丛书)

ISBN 978-7-121-27768-9

I. ①现… II. ①黄… III. ①电子装联—材料技术 IV. ①TN305.93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 295005 号

策划编辑: 宋 梅

责任编辑: 韩奇桅

印 刷: 北京京科印刷有限公司

装 订: 北京京科印刷有限公司

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: 787×1 092 1/16 印张: 10 字数: 256 千字

版 次: 2016 年 1 月第 1 版

印 次: 2016 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 29.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 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 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

总 序

当前，各种技术的日新月异，以及这个时代的各种应用和需求迅速地推动着现代电子制造技术的革命。各门学科，比如，物理学、化学、电子学、行为科学、生物学等的深度融合，给现代电子制造技术提供了广阔的发展空间，特别是移动互联网技术的不断升级换代、工业4.0技术推动着现代电子技术的高速发展。同时，现代电子制造技术将会在机遇和挑战中不断变革。比如，人们对环保、生态的需求，随着中国人口老龄化不断加剧，操作工人的短缺和生产的自动化，以及企业对生产效率提高的驱动，将会给现代电子制造技术带来深刻变革。不同的时代特征、运行环境和实现条件，使现代电子制造的发展也必须建立在一个崭新的起点上。这就意味着，在这样一个深刻的、深远的转折时期，电子制造业生态和电子生产制造体系的变革，为增强制造业竞争力提供了难得的机遇。

对于中国这个全球电子产品的生产大国，电子制造技术无疑是非常重要的。而中兴通讯作为中国最大的通信设备上市公司，30年来，其产品经历了从跟随、领先到超越的发展历程，市场经历了从国内起步扩展到国外的发展历程，目前已成为全球领先的通信产品和服务供应商，可以说是中国电子通信产品高速发展的缩影。在中兴通讯成功的因素中，技术创新是制胜法宝，而电子制造技术也是中兴通讯的核心竞争力。

无论是“中国智造”，还是“中国创造”，归根到底都依赖懂技术、肯实干的人才。中兴通讯要不断夯实自身生产制造雄厚的技术优势和特长，以更好地推动和支撑中兴通讯产品创新和技术创新。为此，2013年中兴通讯组建了电子制造职业学院，帮助工程师进修学习新知识和新技术，不断提升工程师的技术能力。为提升学习和培训效果，我们下功夫编写供工程师进修学习的精品教材。为此，公司组织了以樊融融教授为首的教材编写小组，这个小组集中了中兴通讯既有丰富理论又有实践经验的资深的专家队伍，这批专家也可以说是业界级的工程师，这无疑保证了这套教材的水准。

《现代电子制造系列丛书》共分三个系列，分别用于高级班、中级班、初级班，高级班教材有4本，中级班教材有6本，初级班教材有2本。本套丛书基本上覆盖了现代电子制造所有方面的理论、知识、实际问题及其答案，体现了教材的系统性、全面性、实用性，不仅在理论和实际操作上有一定的深度，更在新技术、新应用和新趋势方面有许多突破。

本套丛书的内容也可以说是中兴通讯的核心技术，现在与电子工业出版社联合将此丛书公开出版发行，向社会和业界传播电子制造新技术，使现在和未来从事电子制造技术研究的工程师受益，将造福于中国电子制造整个行业，对推动中国制造提升能力有深远的影响，这无疑体现了“中兴通讯，中国兴旺”的公司愿景和一贯的社会责任。

中兴通讯股份有限公司董事长

前 言

电子装联工艺可定义为：非标准电子组件（如各种专用变压器、阻流圈）的制造组装，PCBA 及独立分机、分系统的装配互连，线缆、电缆的制造，机柜安装和连接、整机总装和集成等作业的总和。电子装联过程中所使用到的电子装联材料方面的书籍较多，但大部分内容均零散分布于各门专业技术书籍中，系统性的专业著作还很少见。在我国电子工业技术的飞速发展中，SMT、波峰焊接、整机组装等技术都有丰富积累。对电子装联过程所使用到的电子材料（化工材料）进行总结归纳，利于相关技术门类的技术积累和经验传承，在此基础上强化技术创新，通过新材料新工艺的应用，增强产品竞争力，进一步推动我国电子工业事业的发展。

本书内容以电子装联材料工艺知识为主，系统而全面地介绍了材料的基础知识和应用工艺。全书包括六方面的内容：焊料（焊膏、锡条、锡线、锡片）基础知识及应用工艺、助焊剂基础知识及应用工艺、清洗剂基础知识及应用工艺、电子装联用胶黏剂基础知识及应用工艺、三防涂料基础知识及应用工艺、其他电子装联用材料基础知识及应用工艺。全书除介绍电子装联材料的特性、分类和化学组成外，还简单介绍相关的工艺可靠性知识和设备知识，同时结合工作实践案例，阐述装联材料应用过程中的注意事项。

本书适合有一定电子装联从业经验的人员使用，也可供职业院校电子装联专业的学生参考。

全书第 1、5、7 章由黄祥彬编著；第 2、3、4 章由牛甲顿编著；第 6 章由张广威编著。作者在完成这一书稿过程中得了樊融融研究员的指导并由其审稿，石一連、张加民、邱华盛、刘哲、刘述旺、张聚超、练群等同志提供了部分素材和技术支持，在此表示由衷的感谢。

作 者

2015 年 12 月于中兴通讯股份有限公司

目 录

| | |
|----------------------|----|
| 第 1 章 现代电子装联材料技术基础概论 | 1 |
| 1.1 电子装联工艺技术概述 | 2 |
| 1.2 现代电子装联常用材料 | 2 |
| 1.2.1 概述 | 2 |
| 1.2.2 电子装联用辅料的构成 | 2 |
| 1.3 现代电子装联材料的发展趋势 | 3 |
| 第 2 章 焊料基础知识及应用工艺 | 5 |
| 2.1 概述 | 6 |
| 2.1.1 钎料 | 6 |
| 2.1.2 分类 | 6 |
| 2.1.3 与焊料相关的技术标准 | 7 |
| 2.2 软钎焊用焊料的特性 | 8 |
| 2.3 焊料的分类 | 10 |
| 2.3.1 按焊料形状分类 | 10 |
| 2.3.2 按焊料的主要成分分类 | 12 |
| 2.4 焊料内合金成分的作用 | 13 |
| 2.4.1 锡铅焊料 | 13 |
| 2.4.2 锡系无铅焊料 | 14 |
| 2.5 焊料性能的评估方法 | 19 |
| 2.5.1 焊膏 | 19 |
| 2.5.2 焊料条 | 24 |
| 2.5.3 锡线 | 27 |
| 2.5.4 焊锡片 | 27 |
| 2.5.5 锡球 | 28 |
| 2.6 焊料的应用工艺及其注意事项 | 29 |
| 2.6.1 焊膏 | 29 |
| 2.6.2 焊料条 | 31 |
| 2.6.3 焊锡线 | 35 |
| 2.6.4 锡片 | 35 |
| 2.6.5 锡球 | 36 |
| 思考题 | 36 |
| 第 3 章 助焊剂基础知识及应用工艺 | 37 |
| 3.1 与助焊剂相关的技术标准 | 38 |

| | | |
|------------|--------------------------|-----------|
| 3.2 | 助焊剂的特性及作用机理 | 38 |
| 3.2.1 | 助焊剂应该具备的特性 | 38 |
| 3.2.2 | 助焊剂的特性和作用机理 | 39 |
| 3.3 | 助焊剂的分类 | 41 |
| 3.3.1 | 无机助焊剂 | 44 |
| 3.3.2 | 有机酸助焊剂 | 44 |
| 3.3.3 | 松香助焊剂 | 44 |
| 3.4 | 助焊剂主要成分的作用 | 45 |
| 3.4.1 | 基体部分(固体成分) | 45 |
| 3.4.2 | 活性物质 | 46 |
| 3.4.3 | 溶剂 | 51 |
| 3.4.4 | 各种活性物质的作用机理 | 52 |
| 3.5 | 助焊剂性能的评估方法 | 54 |
| 3.5.1 | 助焊剂的物理化学特性要求 | 54 |
| 3.5.2 | 助焊剂的工艺特性要求 | 60 |
| 3.5.3 | 助焊剂的可靠性要求 | 61 |
| 3.6 | 助焊剂的应用工艺及其注意事项 | 61 |
| | 思考题 | 62 |
| 第4章 | 清洗剂基础知识及应用工艺 | 63 |
| 4.1 | 与清洗剂相关的技术标准 | 64 |
| 4.2 | 清洗剂的分类 | 64 |
| 4.3 | 清洗剂性能的评估方法 | 66 |
| 4.4 | 清洗剂的应用工艺及其注意事项 | 68 |
| | 思考题 | 69 |
| 第5章 | 电子装联用胶黏剂基础知识及应用工艺 | 71 |
| 5.1 | 概述 | 72 |
| 5.1.1 | 黏结的定义和机理 | 72 |
| 5.1.2 | 导热的定义和机理 | 75 |
| 5.1.3 | 与电子装联用胶黏剂相关的技术标准 | 80 |
| 5.1.4 | 与电子装联用胶黏剂相关的技术术语 | 81 |
| 5.2 | 电子装联用胶黏剂的分类、组成及选用 | 84 |
| 5.2.1 | 电子装联用胶黏剂的分类 | 84 |
| 5.2.2 | 电子装联用胶黏剂的组成 | 86 |
| 5.2.3 | 电子装联用胶黏剂的选用 | 87 |
| 5.3 | 电子装联用胶黏剂性能的评估方法 | 89 |
| 5.3.1 | 电子装联用胶黏剂性能的测定 | 89 |
| 5.3.2 | 胶黏剂常见性能的测试方法 | 91 |

| | | |
|------------|----------------------|------------|
| 5.3.3 | 导热胶黏剂的测试项目 | 97 |
| 5.4 | 电子装联用胶黏剂的应用工艺及其注意事项 | 97 |
| 5.4.1 | 红胶(贴片胶) | 97 |
| 5.4.2 | 黑胶 | 103 |
| 5.4.3 | 底填胶 | 103 |
| 5.4.4 | 密封胶 | 104 |
| 5.4.5 | 瞬干胶 | 105 |
| 5.4.6 | 螺纹锁固胶 | 106 |
| 5.4.7 | 元器件固定胶 | 107 |
| 5.4.8 | 热熔胶 | 109 |
| 5.4.9 | 阻焊保护胶 | 111 |
| 5.4.10 | 导热衬垫 | 111 |
| 5.4.11 | 导热硅脂 | 112 |
| 5.4.12 | 导热胶 | 114 |
| 5.4.13 | 导热双面胶带 | 120 |
| 5.4.14 | 相变导热材料 | 122 |
| 5.4.15 | 导电胶 | 123 |
| 5.4.16 | 插件胶 | 123 |
| | 思考题 | 124 |
| 第6章 | 三防涂料基础知识及应用工艺 | 125 |
| 6.1 | 概述 | 126 |
| 6.1.1 | 三防涂覆的定义 | 126 |
| 6.1.2 | 与三防涂覆相关的技术标准 | 126 |
| 6.2 | 三防涂料的分类 | 127 |
| 6.2.1 | 按主要成分分类 | 127 |
| 6.2.2 | 按固化方法分类 | 128 |
| 6.3 | 三防涂料性能的评估方法 | 128 |
| 6.3.1 | 材料 | 129 |
| 6.3.2 | 保质期 | 129 |
| 6.3.3 | 固化 | 129 |
| 6.3.4 | 傅里叶变换红外光谱测试(FTIR) | 130 |
| 6.3.5 | 黏度 | 130 |
| 6.3.6 | 外观 | 130 |
| 6.3.7 | 荧光性 | 130 |
| 6.3.8 | 防霉菌性 | 130 |
| 6.3.9 | 柔韧性 | 131 |
| 6.3.10 | 易燃性 | 131 |
| 6.3.11 | 介质耐压(DWV) | 131 |

| | | |
|------------|--------------------------|------------|
| 6.3.12 | 潮湿环境下的绝缘电阻 | 131 |
| 6.3.13 | 冷热冲击 | 131 |
| 6.3.14 | 温度及湿度老化（水解稳定性） | 132 |
| 6.4 | 三防涂料的应用工艺及其注意事项 | 132 |
| 6.4.1 | 刷涂 | 132 |
| 6.4.2 | 喷涂 | 132 |
| 6.4.3 | 浸涂 | 133 |
| 6.4.4 | 气相沉积 | 133 |
| 6.4.5 | 固化成膜 | 134 |
| 6.4.6 | 涂覆质量的控制 | 134 |
| 6.4.7 | 三防涂料应用的注意事项 | 135 |
| | 思考题 | 135 |
| 第7章 | 其他电子装联材料基础知识及应用工艺 | 137 |
| 7.1 | 胶纸胶带 | 138 |
| 7.1.1 | 概述 | 138 |
| 7.1.2 | 与胶纸胶带相关的技术标准 | 138 |
| 7.1.3 | 胶纸胶带的应用场合及常见问题分析 | 140 |
| 7.2 | 标签纸 | 141 |
| 7.2.1 | 概述 | 141 |
| 7.2.2 | 与标签纸相关的技术标准 | 142 |
| 7.2.3 | 标签纸的应用场合及常见问题分析 | 142 |
| | 思考题 | 143 |
| | 参考文献 | 145 |
| | 跋 | 149 |

第1章 现代电子装联材料技术 基础概论



本章要点

- 📁 电子装联工艺技术概述
- 📁 现代电子装联常用材料
- 📁 现代电子装联材料的发展趋势



1.1 电子装联工艺技术概述

现代电子装联工艺包括 PCBA 的组装工艺和整机的组装工艺。其中 PCBA 的组装过程又称为板级组装,是指将元器件安装和焊接到 PCB 板规定位置上的装联技术,可分为器件预成形、波峰焊、再流焊、铣板、灌封、覆形涂覆、功能测试等多个工序。

现代电子装联工艺技术自 20 世纪 60 年代中期开发,在 20 世纪 70 年代获得大量应用,尤其是 SMT,作为一种新型的电子装联技术,由于它具有元器件组装密度高、可靠性好、生产成本低、易于自动化等特点,自 20 世纪 80 年代以来得到了飞速的发展。SMT 表面贴装技术有力地促进了现代电子工业的发展。

现代电子装联技术涉及面广,包括内容多,是一门跨学科的高新技术。它包含表面组装元器件、PCB 基板、表面组装图形设计、表面组装设备、表面组装工艺方法、表面组装工艺材料、表面组装测试和表面组装技术管理等核心过程。这几个方面相互制约、相互影响,构成了现代电子装联技术整体中不可缺少的部分。

1.2 现代电子装联常用材料

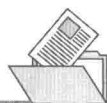
1.2.1 概述

电子工业的发展历史证明,电子材料与电子技术密切相关,是发展电子工业的前提和基础,是当代高科技领域的重要组成部分。在电子装联技术的发展过程中,电子化工材料同样起着相当重要的作用。目前,与装联工艺相关的化工材料种类繁多,其中有用于 PCB 制造的各种基材、阻焊油墨、预涂覆助焊剂、热风整平助熔剂等;还有用于元器件和集成电路生产的光刻胶、高纯试剂和气体,以及各类封装材料等;PCBA 组装过程中还用到各类焊料、助焊剂、清洗剂、结构胶水、导热胶水、胶纸胶带等。本书只涉及 PCBA 装联过程所用的化工材料,即电子装联用的工艺材料。这些材料对电子通信产品的质量起着至关重要的作用。

1.2.2 电子装联用辅料的构成

(1) 电子装联用辅料的定义

在电子产品装联过程中,起辅助操作作用的工艺性用材料,诸如:焊料、助焊剂、焊膏、贴片胶(红胶)、UNDERFILL 胶、结构胶、导热胶、清洗剂及各种溶剂(无水乙醇、工业用乙醇、异苯醇)等统称为电子装联用辅料。



(2) 电子装联用辅料的作用

在电子产品制造过程中所使用的各种辅料,都是在产品制造过程中为了满足某种工艺目的,而由工艺设计所选定的。不像产品设计时所选定的,诸如:金属的、绝缘的等各种结构用物料,他们在产品的制造成品中,几乎都可见到其保留的痕迹。而工艺设计中所选用的辅料则有不同,它们大致可以分为下述的两大类。

① 在产品的最终成品中可永久性地留下痕迹的:如焊料(包括焊膏)和各种胶黏性料等,它们在产品互连过程中,通过与基体材料间的冶金反应或者物理化学的黏附作用,构成了各种接合部中的不可缺少的极为重要的结构性材料。任何一部电子产品系统,无一不是通过焊料将各种各样、成千上万的电子元器件牢固地互连起来的。可以说:没有焊料就没有现代的各种各样的电子设备,人类社会也就没有了今天的文明。

② 在产品的最终成品中不会留下任何痕迹的:如助焊剂、清洗剂、高温胶纸等。

1.3 现代电子装联材料的发展趋势

电子装联技术的发展要求新的工艺材料与之相适应,而新工艺材料的开发又进一步推动装联技术的发展。装联工艺材料必须满足装联技术高速发展的需求。

① 从产品高性能、高质量的要求出发,现代电子工艺材料应具有良好的稳定性和可靠性。对贴装胶要求其强度既不高也不低,保证在焊接过程中不掉片,又能在维修时便于更换元器件;对焊料要求严格控制有害杂质的含量;对助焊剂和焊膏要求低残留、无腐蚀性,而有些军工产品在焊后则仍需清洗。

② 从大批量生产的要求出发,装联工艺材料要求满足高速度的需要。贴装胶的发展是最具体的例证,在20世纪80年代中后期,贴装胶大多数采用烘箱间断式固化,通常固化条件为 150°C 、20min左右,而到20世纪90年代隧道炉连续式固化占有优势,对贴装胶要求在 150°C 、5min以内固化,近期更要求在1~2min固化。

③ 随着微细间距组装的发展,要求组装密度更高。对焊膏中的合金焊料粉要求粒度更细,焊膏和贴装胶的触变性更好,塌落度更小。要严格控制助焊剂中的固含量和活性,以免出现桥接等焊接不良现象。

④ 有利于环保、有利于人体健康。随着保护大气臭氧层的呼声越来越高,免清洗及水清洗助焊剂或焊膏获得大力发展,同时还开发了多种对大气臭氧层无破坏作用的清洗剂。从保护环境和人体健康的目的出发,近期又开发出无VOC(挥发性有机化合物)的免清洗助焊剂和焊膏,为了清除铅对人体的毒害,近年来已开发了多种无铅焊料,目前仍是焊料研制和开发的主要方向。

⑤ 现代通信电子产品也在向集成化方向发展,集成芯片和大功率器件得到大批量应用,对产品的散热方式和材料方面也提出了更高的要求。新型导热材料在这期间也层出不穷,如高导热超柔型的导热垫片、高导热低黏度的导热胶、相变材料、石墨烯导热材料等的出现,也是随着装联技术的发展应运而生的。

第2章 焊料基础知识及应用工艺



本章要点

- 📁 概述
- 📁 软钎焊用焊料的特性
- 📁 焊料的分类
- 📁 焊料内合金成分的作用
- 📁 焊料性能的评估方法
- 📁 焊料的应用工艺及其注意事项



2.1 概 述

2.1.1 钎料

在焊接过程中用于填充在被连接的二基体金属之间的一种熔点低于被连接的基体金属，且在正常焊接条件下能在与其相连接的基体金属界面上发生化学反应，生成合金层的金属或合金。焊接完成后，钎料主要存在于两种金属之间的连接处，通常成为焊点。图 2.1 所示为硬钎焊焊点。

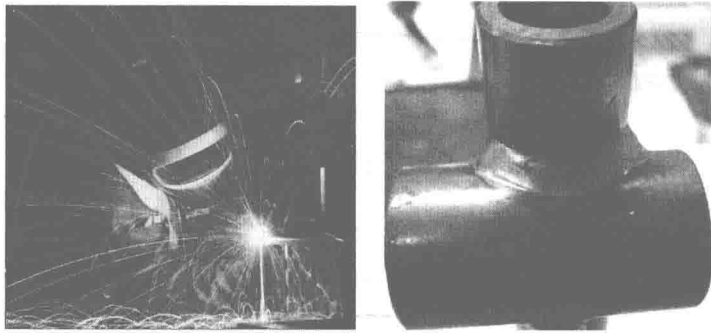


图 2.1 焊接和焊点

2.1.2 分类

根据焊接温度的不同，常分为以下两大类。

(1) 硬钎焊料

焊接温度大于 450°C 时所用的焊料，称“硬钎焊料”或“硬钎料”，如图 2.2 所示。常见的有强光伴随的焊接使用的焊料都是硬钎焊。

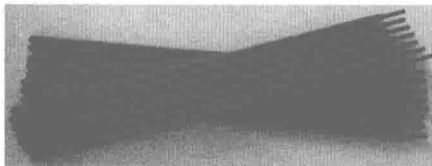
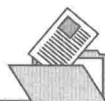


图 2.2 硬钎焊料：常见电焊用的焊条

(2) 软钎焊料

焊接温度小于 450°C 时所用的焊料，称“软钎焊料”或“软钎料”。由于该类焊料均属锡基焊料，因此，也有人将其叫成“锡焊料”，更多的人将软钎料简称为“焊料”，本书采用简称“焊料”的叫法。锡基焊料现分成有铅和无铅（成分中铅含量小于 0.1%）两大类。图



2.3 所示为常见的软钎焊料。



图 2.3 软钎焊料：焊料丝和焊膏

2.1.3 与焊料相关的技术标准

1. 国外标准

(1) IPC 标准

IPC—T—50 《电子电路互连及封装术语和定义》。

(2) 联合工业标准

- J—STD—001 《电子、电气组件焊接技术要求》。
- J—STD—004 《助焊剂技术要求》。
- J—STD—005 《焊膏技术要求》。
- J—STD—006 《电子级固态焊料技术要求》。

(3) 美国联邦标准

- QQ—S—571 《回收利用的钎料化学成分》。

(4) 美国材料与试验协会标准

- ASTM B—32—83 《回收利用材料中的允许污染水平》。

2. 国内标准

(1) 国家标准

- GB 3131—88 《锡铅焊料》。
- GB 3375—82 《焊接名词术语》。
- GB 10574.1—10574.14—89 《锡铅焊料化学分析方法》。
- GB 9491—99 《锡焊用液态焊剂（松香型）》。
- GB 4677.22—88 《印制板表面离子污染测试方法》。



(2) 行业标准

- SJ/T 10668—1995《表面组装技术术语》。

2.2 软钎焊用焊料的特性

钎料的物理特性如下所述。

1. 室温下的物理特性

钎料中由于锡和铅的组分不同，其物理特性也是不同的，如表 2.1 所示。由于锡和铅的密度不同，故钎料的熔化温度、密度、导电率及机械特性等都有所不同。如含 Sn37Pb 组分的钎料，其抗拉强度和抗剪强度均很高，机械特性很好。从电气特性来看，随着锡的成分的增加，其导电性能也就越好。

表 2.1 锡铅系钎料的物理特性

| 金属成分 (wt%) | | 熔点温度 (°C) | | 密度 (g/cm ³) | 抗拉强度 (kg/mm ²) | 抗剪强度 (kg/mm ²) | 延伸率 (%) | 布氏 硬度 | 电导 %IACS | 电阻率 μΩ·cm |
|------------|-----|-----------|-----|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|----------|-------------|-----------|
| Sn | Pb | 液相线 | 固相线 | | | | | | | |
| 100 | 0 | 232 | 232 | 7.29 | 1.49 | 2.02 | 55 | — | 13.9 | 10 |
| 70 | 30 | 183 | 186 | 8.17 | 4.48 | 3.52 | 20.0 | 17.0 | 12.5 | 13.79 |
| 63 | 37 | 183 | 183 | 8.46 | 4.41 | 3.80 | 28~30 | 17.0 | 11.5 | 14.99 |
| 60 | 40 | 183 | 188 | 8.52 | 4.34 | 3.94 | 27~40 | 14.0 | 11.5 | 14.99 |
| 50 | 50 | 183 | 214 | 8.90 | 4.36 | 3.66 | 38~98 | 14.0 | 10.9 | 14.82 |
| 40 | 60 | 183 | 238 | 9.28 | 3.80 | 3.77 | 39~15 | 12.0 | 10.1 | 17.07 |
| 20 | 80 | 183 | 277 | 10.04 | 3.37 | 2.95 | 22.0 | 11.0 | 8.7 | 20.50 |
| 0 | 100 | 327 | 327 | 11.34 | 1.39 | 39 | — | — | — | — |

表 2.2 列出了锡铅钎料的线膨胀系数和热导率，这些数据表明，随着钎料成分由纯锡向纯铅变化，热导率变化呈简单函数关系。如果需要某中间点的数据，可用外插法求得。了解这些数据，对焊接陶瓷玻璃基板和硅片很重要。

表 2.2 锡铅合金系钎料的线膨胀系数和热导率

| 元素 (%) | | 线膨胀 | | 热导率 |
|--------|-----|--------|-------------------------|---------------------------|
| 锡 | 铅 | °C | 系数 10 ⁻⁶ /°C | cal/cm ² /°C/s |
| 100 | — | 0~100 | 23.0 | 0.157 |
| 70 | 30 | 15~110 | 21.6 | — |
| 63 | 37 | 15~100 | 24.7 | 0.121 |
| 50 | 50 | 15~110 | 23.6 | 0.111 |
| 20 | 80 | 15~110 | 26.5 | 0.089 |
| 5 | 95 | 13~110 | 28.7 | 0.085 |
| — | 100 | 17~100 | 29.3 | 0.083 |