



微电子焊接技术

薛松柏 何鹏 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

微电子焊接技术

薛松柏 何 鹏 编著



机械工业出版社

本书主要从微电子焊接的基本概念、焊接用材料及性能、焊接工艺和应用等方面阐述了微电子焊接技术的发展以及无铅带来的影响。着重阐述了微电子焊接的基础理论和实际应用,包括芯片焊接技术、表面组装(贴装)技术和焊点可靠性等内容。

本书可以作为高等院校电子封装专业本科生、研究生的微电子焊接技术课程教材,也可以作为材料、机械、微电子类专业学生及广大相关工作者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

微电子焊接技术/薛松柏,何鹏编著. —北京:机械工业出版社,2012.1
ISBN 978-7-111-37218-9

I. ①微… II. ①薛…②何 III. ①微电子技术—焊接工艺 IV. ①TG456.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 013534 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:吕德齐 责任编辑:吕德齐 李建秀

版式设计:霍永明 责任校对:张晓蓉

封面设计:陈 沛 责任印制:乔 宇

北京瑞德印刷有限公司印刷(三河市胜利装订厂装订)

2012 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·15 印张·307 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-37218-9

定价:35.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

策划编辑:(010) 88379772

社服 务 中 心:(010)88361066 网络服务

销 售 一 部:(010)68326294 门户网:<http://www.cmpbook.com>

销 售 二 部:(010)88379649 教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前

言

PREFACE

随着半导体微电子工业的发展,世界各国的电子工业技术已获得空前的发展。同时世界各大半导体电子公司纷纷来中国投资建厂,尤以“长三角”和“珠三角”为代表的产业区域更为突出,电子封装技术、半导体回路设计和制造一起被称为半导体微电子产业的三大支柱,它作为半导体生产的后工程极为重要,是现代信息社会不可缺少的产业基石。微电子封装技术不但涉及众多的新工艺、新技术,还涉及大量的新型功能材料,给材料科学与工程提出了不少新的课题和发展创新的机遇,为其他科研创新也提供了许多新方法、新途径。这无疑也直接拉动了中国半导体和电子封装产业规模的迅速扩大。

微电子焊接技术是电子产品先进制造技术中的关键,是电子产品制造中电气互连的主体技术,是电子封装与组装技术发展到目前阶段的代表技术,是电路模块微间距组装互连、微组件或微系统组装互连的主要技术手段,还是传统芯片互连技术、器件封装技术与表面组装技术、立体组装技术等技术融合而发展起来的一项新兴跨学科综合性高新技术。

随着我国电子封装产业的快速发展,行业对微电子焊接技术的人才需求也非常迫切,因此急需微电子焊接技术方面的书籍。南京航空航天大学联合哈尔滨工业大学编写的《微电子焊接技术》一书,着重阐述了微电子焊接技术的发展、新型焊接工艺和材料的基础应用、相关缺陷问题的解决方法等。本书则侧重微电子焊接的基础理论和实际应用,对电子封装相关专业的本科生和研究生作为专业课程书籍具有实用价值,对相关领域的技术工作者也具有很好的参考价值。

微电子焊接技术突飞猛进的发展直接影响了与之相关的产业链,例如新材料的研发、新技术的突破等。相信本书的出版会对微电子焊接技术行业有积极的意义,并会对我国电子封装相关专业的发展起到明显的推动作用。

本书引用了大量的国内外的最新研究成果,尽可能地 toward 读者展示国内外相关领域的最新发展。对书中相应的参考文献都做了标注,在此对原作者表示感谢。本书还引用了很多英文缩略语,为便于读者阅读,我们在书后附录中编写了“缩略语中英文对照”,供读者参考。

在本书的编著和出版过程中,博士研究生曾广、叶焕、皋利利、张亮、姬峰、

戴玮等为本书做了大量的资料收集和文字编写工作，对于他们付出的劳动，在此表示感谢。

由于作者水平有限，不妥或谬误之处在所难免，期望同行和读者批评指正。

编 者

目 录 CONTENTS

前言

第 1 章 微电子焊接技术	1
1.1 微电子焊接技术概述	1
1.1.1 微电子焊接技术的概念	1
1.1.2 微电子封装与组装技术概述	1
1.2 微电子焊接技术的发展	3
1.2.1 微电子封装的发展	4
1.2.2 芯片焊接技术	5
1.2.3 软钎焊技术	6
1.3 微电子焊接材料的发展	11
1.3.1 无铅化的提出及进程	11
1.3.2 无铅钎料的定义与性能要求	13
1.3.3 无铅钎料的研究现状及发展趋势	14
1.4 电子组装无铅化存在的问题	15
1.4.1 无铅材料的要求	15
1.4.2 无铅工艺对电子组装设备的要求	16
思考题	17
参考文献	18
第 2 章 芯片焊接技术	19
2.1 引线键合技术	19
2.1.1 键合原理	19
2.1.2 键合工艺	20
2.2 载带自动键合技术	22
2.2.1 键合原理	22
2.2.2 芯片凸点的制作	23
2.2.3 内引线和外引线键合技术	24
2.3 倒装芯片键合技术	26
2.3.1 键合原理	26
2.3.2 键合技术实现过程	27

思考题	30
参考文献	30
第3章 软钎焊的基本原理	32
3.1 软钎焊的基本原理及特点	32
3.2 钎料与基板的氧化	33
3.2.1 氧化机理	33
3.2.2 液态钎料表面的氧化	39
3.2.3 去氧化机制	40
3.3 钎料的润湿与铺展	43
3.3.1 润湿的概念	43
3.3.2 影响钎料润湿作用的因素	45
3.3.3 焊接性评定方法	50
3.4 微电子焊接的界面反应	56
3.4.1 界面反应的基本过程	56
3.4.2 界面反应和组织	66
思考题	74
参考文献	74
第4章 微电子焊接用材料	75
4.1 钎料合金	75
4.1.1 电子产品对微电子焊接钎料的要求	75
4.1.2 锡铅钎料	76
4.1.3 无铅钎料	81
4.2 钎剂	94
4.2.1 钎剂的要求	94
4.2.2 钎剂的分类	95
4.2.3 常见的钎剂	96
4.2.4 助焊剂的使用原则	100
4.3 印制电路板的表面涂覆	101
4.3.1 PCB 的表面涂覆体系	102
4.3.2 几种典型的 PCB 表面涂覆工艺比较	103
4.4 电子元器件的无铅化表面镀层	108
4.4.1 纯 Sn 镀层	109
4.4.2 Sn-Cu 合金镀层	109
4.4.3 Sn-Bi 合金镀层	109
4.4.4 Ni/Pd 和 Ni/Pd/Au 合金镀层	110
思考题	110
参考文献	110
第5章 微电子表面组装技术	112

5.1 SMT 概述	112
5.1.1 SMT 涉及的内容	112
5.1.2 SMT 的主要特点	112
5.1.3 SMT 与 THT 的比较	113
5.1.4 SMT 的工艺要求和发展方向	114
5.2 SMT 组装用软钎料、粘结剂及清洗剂	115
5.2.1 软钎料	115
5.2.2 粘结剂	115
5.2.3 清洗剂	117
5.3 SMC/SMD 贴装工艺技术	119
5.3.1 SMC/SMD 贴装方法	119
5.3.2 影响准确贴装的主要因素	119
5.4 微电子焊接方法与特点	126
5.4.1 微电子焊接简介	126
5.4.2 波峰焊接	127
5.4.3 再流焊接	133
5.5 清洗工艺技术	141
5.5.1 污染物类型与来源	141
5.5.2 清洗原理	143
5.5.3 影响清洗的主要因素	145
5.5.4 清洗工艺及设备	146
5.6 SMT 检测与返修技术	151
5.6.1 SMT 检测技术概述	151
5.6.2 SMT 来料检测	154
5.6.3 SMT 组件的返修技术	159
思考题	163
参考文献	163
第 6 章 微电子焊接中的工艺缺陷	166
6.1 钎焊过程中的熔化和凝固现象	166
6.1.1 焊点凝固的特点	167
6.1.2 焊点凝固状态的检测手段	167
6.2 焊点剥离和焊盘起翘	168
6.2.1 焊点剥离的定义	168
6.2.2 焊点剥离的发生机理	169
6.2.3 焊点剥离的防止措施	174
6.3 黑盘	174
6.3.1 化学镍金的原理	174
6.3.2 黑盘形成的影响因素及控制措施	175

6.4 虚焊及冷焊	178
6.4.1 虚焊	179
6.4.2 冷焊	181
6.5 不润湿及反润湿	183
6.5.1 定义	183
6.5.2 形成原理	184
6.5.3 解决对策	184
6.6 爆板和分层	185
6.6.1 爆板的原因	186
6.6.2 PCB 失效分析技术概述	188
6.6.3 热分析技术在 PCB 失效分析中的应用	191
6.7 空洞	192
6.7.1 空洞的形成与分类	192
6.7.2 空洞的成因与改善	194
6.7.3 球窝缺陷	196
6.7.4 抑制球窝缺陷的措施	198
思考题	198
参考文献	198
第7章 微电子焊接中焊点的可靠性问题	202
7.1 可靠性概念及影响因素	202
7.1.1 可靠性概念	202
7.1.2 可靠性研究的范围	204
7.2 焊点的热机械可靠性	205
7.2.1 加速试验方法	205
7.2.2 可靠性设计的数值模拟	207
7.3 电迁移特性	216
7.3.1 电迁移的定义	216
7.3.2 不同钎料的电迁移特性	217
7.4 锡晶须	220
7.4.1 无铅钎料表面锡晶须的形貌	220
7.4.2 生长过程驱动力及动力学过程	221
7.4.3 锡晶须生长的抑制	224
7.4.4 锡晶须生长的加速实验	224
思考题	225
参考文献	226
附录 缩略语中英文对照	229

第 1 章

微电子焊接技术

1.1 微电子焊接技术概述

1.1.1 微电子焊接技术的概念

现代电子技术的飞速发展也推动着电子产品向小型化、便携式、多功能、高可靠性以及低成本等方向发展，而集成电路（IC）及其互连技术是满足上述要求的基础与核心。IC 芯片要经过合适的封装与组装才能达到电子产品所要求的电、热、光、机械等性能。

微电子焊接技术主要是指电子元器件和电路的微小型化设计和制造工艺中的连接技术。微电子焊接技术是电子设备制造中的关键工艺技术，主要是针对微型对象的焊接方法，并不是区别于传统焊接技术之外的焊接方法。微电子焊接侧重于连接对象的细微特征，必须考虑连接尺寸的精密性。该技术是一项复杂的系统工程，其原理涉及物理、化学、金属工艺学、冶金、材料学，以及电子、机械等相关知识。被连接对象具有尺寸小、间距小、密度高、厚度薄等主要特征。

由于连接对象的尺寸极其微小，已经达到了微米或纳米级别，由此产生尺寸效应，使溶解控制、扩散层厚度、表面张力、微应变变量等传统焊接技术中可以忽略的因素，却成为决定微电子焊接的质量和可靠性的关键因素。微电子焊接是一种必须考虑接合部位尺寸效应的精密焊接技术，在工艺、材料、设备等方面与传统焊接技术有着显著的不同。

1.1.2 微电子封装与组装技术概述

1. 微电子封装的分级

封装工程始于集成电路芯片制成之后，包括集成电路芯片的粘贴固定、互连、封装、密封保护、与电路板的连接、系统组合，直到最终产品完成之前的所有过程。图 1-1 为封装分级示意图。

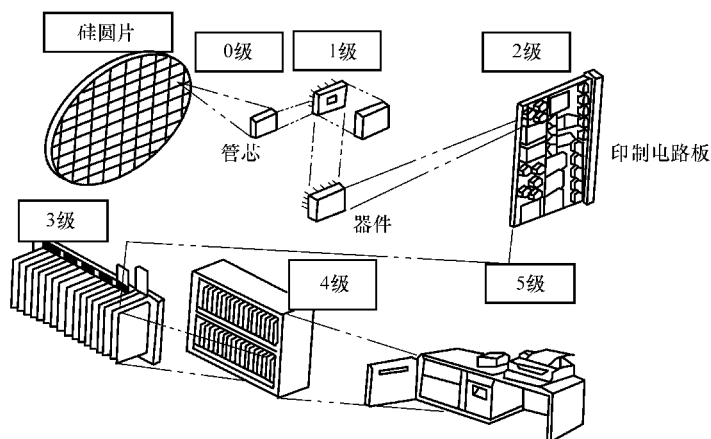


图 1-1 封装分级

(1) 第一层次 (Level 1 或 First Level) 该层次又称为芯片层次的封装 (Chip Level Packaging), 是指把集成电路芯片与封装基板或引脚架 (Lead Frame) 之间的粘贴固定、电路连线与封装保护的工艺, 使之成为易于取放输送, 并可与下一层次组装进行连接的模块 (组件 Module) 元件。

(2) 第二层次 (Level 2 或 Second Level) 将数个第一层次完成的封装与其他电子元器件组成一个电路卡 (Card) 的工艺。

(3) 第三层次 (Level 3 或 Third Level) 将数个第二层次完成的封装组装成的电路卡组合在一个主电路板 (Board) 上, 使之成为一个部件或子系统 (Subsystem) 的工艺。

(4) 第四层次 (Level 4 或 Fourth Level) 将数个子系统组装成为一个完整电子产品的工艺过程。

在芯片上的集成电路元器件间的连线工艺也成为零级层次 (Level 0) 的封装, 因此封装工程也可以用五个层次区分。

因此封装工程是跨学科及最佳化的工程技术, 因此知识技术与材料的运用有相当大的选择性。例如, 混合电子电路 (Hybrid Microelectronic, HM) 是连接第一层次与第二层次技术的封装方法。芯片直接组装 (Chip-On-Board, COB) 与研发中直接将芯片粘贴封装 (Direct Chip Attach, DCA) 省略了第一层封装, 直接将集成电路晶片粘贴、互连到属于第二层次封装的印制电路板上, 以使产品更能符合“轻、薄、短、小”的目标, 随着新型工艺技术和材料不断的进步, 封装工程的形态也呈现多样化, 因此, 封装技术的层次区分并没有统一的、一成不变的标准。

2. 一级微电子封装技术

一级封装是从晶圆片上制作的集成电路 (Integrated Circuit, IC) 芯片开始,

并随着时间的推移,不断跟随着 IC 芯片技术的发展由低级向高级发展。在每个不同的发展时期,都出现了与该时期 IC 芯片发展相配套的封装形式,成为各个封装时代的代表与标志。在 20 世纪五六十年代是晶体管外形封装(TO)的时代,20 世纪 70 年代是双排直插式封装(DIP)的时代,20 世纪 80 年代则是方形扁平式封装(QFP)的时代,20 世纪 90 年代封装向着更高层次的球栅阵列封装/芯片尺寸封装(BGA/CSP)迈进。到了 21 世纪,其不仅迎来了 CSP/FC 的时代,并继续向系统级封装(SIP)发展。这种一级封装是针对芯片的,目的是为了使 IC 芯片在使用过程中能更好地起到电源及信号分配的功能,并且起到散热、机械支撑和自身保护等作用。伴随着微电子产品向小型化、便携式、多功能化、高可靠性以及低成本化的发展,一级封装形式已成为微电子研究领域最活跃的一环。一级封装技术涉及了从硅圆片制作的半导体芯片(俗称前道工艺)开始到后道封装工艺完成的整个过程。

3. 二级微电子封装技术

二级微电子封装技术也称板级封装,是指将一级封装产品、各种类型的表面组装元件或表面组装器件(SMC 或 SMD)及芯片安装到基板上,构成一个完整的功能部件或整机的过程。二级封装一般包括通孔插装技术(Through Hole Technology, THT)、表面组装技术(Surface Mounted Technology, SMT)和芯片直接安装技术三种形式。二级封装涉及到各类印制电路板(PCB)基板、柔性印制电路板及其设计、制作与检测技术、印制模板的制作、各种 IC 芯片的粘接互连材料与技术等。在二级封装中,THT 的比重越来越少,取而代之的是使用 SMT 和 DCA 技术。

4. 三级微电子封装技术

三级微电子封装技术又称系统级封装,是将二级封装的各个插板(卡)或柔性印制电路板通过互连插座与母板材料连接起来,从而形成密度更高、功能更多、结构更加复杂的三维立体封装形式。一般完成的是一个完整整机系统的功能。涉及到母板的设计、制作与测试,连接器和柔性印制电路板材料,与各种二级封装插板的安装及整个系统的测试技术等。

1.2 微电子焊接技术的发展

在微电子器件制造与电子设备组装中,焊接技术是决定产品最终质量的关键因素。在一个大规模集成电路中,有多达几十到几百个焊点,而在巨型计算机的印制电路板上焊点数目甚至达到上万个。在这些焊点中,只要有一个焊点失效就可能导致整个器件或整机的失效。研究表明,在电子器件或整机的所有故障原因中,有 60% 以上是焊点失效造成的。可见微电子焊接技术又是电子工业生产技术中较为薄弱的环节。

1.2.1 微电子封装的发展

微电子焊接技术作为微电子封装技术的核心组成部分,随着电子技术的发展,微电子焊接技术也不断进步,自动化程度越来越高。考虑到微电子封装的微细特征,加工过程也越来越精细。

1. 微电子封装发展历程

回顾集成电路封装的历史,其发展主要划分为以下几个阶段:

1) 第一阶段,在 20 世纪 70 年代之前,以插装型封装为主。包括金属圆形(TO 型)封装、陶瓷双列直插封装(Ceramic Dual-in-Line Package, CDIP)、陶瓷-玻璃双列直插封装(CerDIP)和塑料双列直插封装(Plastic Dual In-Line Package, PDIP)。其中由于 PDIP 封装性能优良、成本低廉又能批量生产而成为当时的主流产品,但因为其在组装工艺中需要较高的对准精度,导致生产效率较低,从而器件的封装密度也较低,所以难以满足高效自动化生产的需求。

2) 第二阶段,在 20 世纪 80 年代以后,以表面贴装类型的四边引线封装为主的表面组装技术迅速发展。它改变了传统的插装形式,使器件通过再流焊技术进行焊接。由于再流焊接过程中钎料熔化时产生的表面张力有自对准效应,降低了对贴片精度的要求。同时再流焊技术的发展提高了组装良品率。此阶段的封装类型有带引线的塑料片式载体封装(Plastic Leaded Chip Carrier, PLCC)、塑料四边引线扁平封装(Plastic Quad Flat Pack, PQFP)、塑料小外形封装(Plastic Small Outline Package, PSOP)以及无引线四边扁平封装(Plastic Quad Flat No-lead Package, PQFNP)等。由于采用了四面引脚,引线短而细、间距小,因此,在很大程度上提高了封装密度。封装体的电性能也大大提高,并且体积减小,质量减轻,满足了自动化生产的需求。表面组装技术是电子封装技术的一大突破。

3) 第三阶段,在 20 世纪 90 年代中前期,集成电路发展到了超大规模阶段,要求封装技术向更高速度和更高密度发展,因此集成电路封装从四边引线型向平面阵列型发展。应运而生的球栅阵列封装(Ball Grid Array, BGA),堪称封装技术领域的第二次重大突破,很快成为主流产品。到了 20 世纪 90 年代后期,电子封装技术进入超发展时期,新的封装形式不断涌现并获得应用,相继又开发出了封装体积更小的芯片尺寸封装(Chip Scale Package, CSP)。几乎是在同一时期,多芯片组件(Multi-Chip Module, MCM)也蓬勃发展起来。MCM 将多个集成电路芯片和其他片式元器件组装在一块高密度多层互连基板上,然后封装在外壳内,它是电路组件功能实现系统化的基础。可见,微电子封装技术的发展越来越趋向于小型化、多功能化、高密度化,目前典型的封装技术主要是 BGA 技术和 CSP 技术。

2. 球栅阵列封装

20 世纪 90 年代,随着集成技术的发展、设备的改进和深亚微米技术的应用,硅单芯片集成度不断提高,对封装技术的要求也更加严苛,1/O 引脚数急剧增加,

功耗随之增大。在这一背景下,球栅阵列封装逐渐成为流行的封装形式。它采用小焊球作为元件和基板之间的引线连接。这种 BGA 突出的优点有:①电性能更好: BGA 用焊球代替引线,引出路径短,减少了引脚寄生效应;②封装密度更高:由于焊球是整个平面排列,因此相同面积下引脚数更多;③BGA 的节距与现有的表面组装工艺和设备完全相容,使得安装更可靠;④钎料熔化时的表面张力具有“自对准”效应,其避免了传统封装引线变形的损失,大大提高了组装成品率;⑤BGA 引脚牢固;⑥焊球引出形式同样适用于多芯片组件和系统封装。

3. 芯片尺寸封装

1994 年 9 月,日本三菱电气公司研究出一种芯片面积与封装面积比 = 1:1.1 的封装结构,其封装外形尺寸只比裸芯片大一点。也就是说,单个 IC 芯片有多大,封装尺寸就有多大,从而诞生了一种新的封装形式,将其命名为芯片尺寸封装,简称 CSP。CSP 是整机小型化、便携化的结果。它规定封装后尺寸不超过原芯片的 1.2 倍或封装后面积不超过裸片面积的 1.5 倍。倒装焊和引线键合技术都可以用来对 CSP 封装器件进行引线键合。它具有如下突出的优点:①近似芯片尺寸的超小型封装;②保护裸芯片;③便于焊接、安装、测试和修整更换;④电、热性能优良。

1.2.2 芯片焊接技术

1. 引线键合技术

引线键合 (Wire Bonding, WB) 技术是将芯片 I/O 焊盘和对应的封装体上的焊盘用细金属丝逐一连接起来,每次只连接一根。引线键合时,采用超声波焊将一根一般直径为 $25\mu\text{m}$ 的金属丝的两端分别键合到 IC 键合区和对应的封装或基板键合区上。这种点到点工艺的突出优点是具有很强的灵活性。该技术通常采用热压、热超声波和超声波法进行。热压键合和热超声波键合都是先用高压电火花使金属丝端部形成球形,然后在 IC 芯片上球焊,再在管壳基板上楔焊,因此又称作球楔键合。其工作原理是:对金属丝和压焊点加热的同时加超声波,接触面产生塑性变形,破坏了界面的氧化膜,使其表面活性化,在接触面上通过两金属元素之间的相互扩散而完成连接。球焊条件一般为:毛细管键合力小于 0.98N ,温度 $150\sim 200^{\circ}\text{C}$,毛细管和引线上施加的超声波频率在 $60\sim 120\text{kHz}$ 。球楔键合在 IC 封装中是应用最广泛的键合方法。

超声波键合是利用超声波的能量使金属丝与铝电极在常温下直接键合。由于键合工具头呈楔形,故又称楔压焊。其工作原理是:当劈刀加超声波功率时,劈刀产生机械运动,在负载的作用下,超声波能量被金属丝吸收,使金属丝发生流变,破坏工件表面氧化层,暴露出洁净的表面,在压力作用下很容易相互粘合而完成冷焊。楔压焊常用的材料是掺硅铝丝。在高密度封装中,焊盘的中心间距较小,当中心间距小于 $120\mu\text{m}$ 时,球焊难以实现,此时需要采用超声波楔焊方法。目前,

$\phi 25\mu\text{m}$ 金属丝、 $\phi 90\mu\text{m}$ 焊盘中心间距的超声波楔焊机已成功地进入应用领域。

2. 载带自动键合技术

载带自动键合 (Tape Automated Bonding, TAB) 是一种 IC 组装技术, 它将 IC 安装和互连到柔性金属化聚合物载带上。载带内引线键合到 IC 上, 外引线键合到常规封装或印制电路板上, 整个过程均自动完成。为适应超窄引线间距、多引脚和轻薄外形封装的要求, TAB 技术应用越来越普遍。虽然载带价格较贵, 但引线间距最小可达到 $150\mu\text{m}$, 并且 TAB 技术比较成熟, 自动化程度相对较高, 是一种具有高生产效率的内引线键合技术。

3. 倒装芯片键合技术

倒装芯片键合 (Flip Chip Bonding, FCB) 技术是目前半导体封装的主流技术, 是将芯片的有源区面对基板键合。在芯片和基板上分别制备了焊盘, 然后对其进行面对面的键合。键合材料可以是金属引线或载带, 也可以是合金钎料或有机导电聚合物制作的凸点。由于倒装芯片键合引线短, 凸点直接与印制电路板或其他基板焊接, 因此引线电感小、信号间窜扰小、信号传输延时短、电性能好, 它是互连中延时最短、寄生效应最小的一种互连方法。

倒装芯片键合技术一般有两个较为关键的工艺, 一是芯片的凸点制作, 二是凸点焊点下金属层 (UBM) 的制作。凸点的制作方法有多种, 较为常用的方法有: 电镀法、模板印刷法、蒸发法、化学镀法和钉头法。其中化学镀法的成本最低, 蒸发法的成本最高。但是, 化学镀法制作的凸焊点存在一个很大的问题: 镀层的均匀性较差, 特别是对于 Au 凸焊点, 化学镀镀层的均匀性有可能不能满足凸焊点高度容差的要求。而钉头法制作 Au 凸焊点时, 凸焊点下不需要有一多层金属薄膜——焊点下金属, 即 UBM, 因而可以大大降低成本。但是, 由于钉头法是逐个制作凸点, 并且凸点尺寸较大, 它仅适用于较少输入/输出 (I/O) 端数的 IC 封装 (目前只占市场的 0.3%)。因此, 电镀法是目前凸点大批量使用的普遍方法, 其次是蒸发法和模板印刷法, 除了部分钉头法和化学镀法制作的凸焊点外, 凸焊点下都需要有 UBM。UBM 处于凸焊点与铝压焊块之间, 主要起粘附和扩散阻挡的作用。它通常由粘附层、扩散阻挡层和浸润层等多层金属膜组成。UBM 的制作是凸焊点制作的一个关键工艺, 其质量的好坏将直接影响到凸焊点的质量、倒装焊接的成功率和封装后凸焊点的可靠性。UBM 通常采用电子束蒸发或溅射工艺, 使其布满整个圆片。需要制作厚金属膜时, 则采用电镀或化学镀工艺。

与引线键合和载带自动键合相比, 倒装芯片键合技术更适合于轻、薄、短、小型和多 I/O 端数 IC 的封装, 因此其将会成为微电子封装技术发展的主流。

1.2.3 软钎焊技术

电子组装中的焊接一般采用以锡基钎料为连接材料的软钎焊技术, 软钎焊方法有许多种, 但适合自动化、大批量生产的主要是波峰焊和再流焊技术。

1. 波峰焊

波峰焊（Wave Soldering）是通孔插装最常用的焊接方法。组装板一般被放在一夹具上，该夹具夹着组装板通过波峰焊接机，要经历助焊剂的供给、预热区域、焊峰焊接以及与助焊剂类型有关的清洗过程。在进行波峰焊接时，板的底部刚好碰到钎料，所有元件的引脚同时被焊接。钎料和板的整个底面接触，但只是没有阻焊剂的板上金属表面才被钎料润湿。波峰焊有时采用氮气等惰性气体来提高钎料的润湿性能。

波峰焊技术适合于插装型电子线路的规模化生产，在当前的电子工业中具有重要地位。但随着 IC 电路向高密度、小型化的发展，体积更小的表面贴装型电路所占的比例越来越大。在焊接形状变化多样、管脚间距极小的元件时，波峰焊技术则有着一定的局限性。与此相对应的再流焊技术越来越显示出其重要性。目前波峰焊技术的主要发展方向是适应无铅焊接的耐高温波峰焊。

2. 再流焊

再流焊（Reflow Soldering）就是通过加热使预置的钎料膏或钎料凸点重新熔化（即再次流动）来润湿金属焊盘表面，从而形成牢固连接的过程。常用的再流焊热源有热风、红外辐射、热板传导和激光等。

再流焊温度曲线的建立是再流焊技术中一个非常关键的环节。按照焊接过程各区段的作用，一般将其分为预热区、保温区、再流区和冷却区四个阶段。预热过程是为了用一个可控制的速度来提高温度，以减少元件和板的热损坏。保温主要是为了平衡焊接表面温度，使表面组装组件（Surface Mount Assembly, SMA）上所有元件在这一段结束时具有相同的温度。再流区域里加热器的温度设置得最高，使组件的温度快速上升至峰值温度，一般推荐为钎料膏（焊膏）的熔点温度再加 20 ~ 40℃。而冷却过程使得钎料在退出加热炉前固化，使得到的焊点明亮、具有好的外形和低的接触角度。

目前，再流焊工艺中比较成熟的是热风再流焊和红外再流焊。随着免清洗和无铅焊接的要求，出现了氮气焊接技术。再流焊成为适应无铅焊接耐高温技术的重要发展方向。

3. 连接对象

(1) 元器件

1) 电阻器。电阻是表面组装组件之一，属于表面组装无源组件，主要供给薄膜、薄膜电路作为外贴组件用。按照特性及电阻材料分类可分为厚膜电阻、薄膜电阻及大功率线绕电阻器；按照外形结构分类可分为矩形片式电阻、圆柱形片式电阻、异形电阻器、片式微调电位器等。常见的片式电阻焊点如图 1-2 所示。

根据国家标准的规定，电阻器的型号由以下四部分组成：

第一部分：主称，用字母表示，表示产品的名字。如 R 表示电阻，W 表示电位器。

第二部分：材料，用字母表示，表示电阻体用什么材料组成，T 为碳膜、H 为合成碳膜、S 为有机实心、N 为无机实心、J 为金属膜、Y 为氮化膜、C 为沉积膜、I 为玻璃釉膜、X 为线绕。

第三部分：分类，一般用数字表示，个别类型用字母表示，表示产品属于什么类型。1 为普通、2 为普通、3 为超高频、4 为高阻、5 为高温、6 为精密、7 为精密、8 为高压、9 为特殊、G 为高功率、T 为可调。

第四部分：序号，用数字表示，表示同类产品中不同品种，以区分产品的外形尺寸和性能指标等。

2) 电容器。电容器是一种能储存电能的元件。表面组装电容器目前使用较多的主要有陶瓷系列（瓷介）的电容器和钽电解电容器两种。

3) 电感器。表面组装电感器是继表面组装电阻器、表面组装电容器之后迅速发展起来的一种新型无源元件。它不仅是表面组装技术的重要基础元件之一，而且在“微组装技术”中也将发挥重要作用。但其由于受线圈制约，片式化进度慢于电阻器和电容器，片式化率也相对较低。尽管如此，电感器的片式化仍取得了很大的进展，不仅种类繁多，而且相当多的产品已经系列化、标准化，并已批量生产。

4) 集成电路。随着微电子技术的继续发展，器件的速度和延迟时间等性能对器件之间的互连提出了更高的要求，由于互连信号延迟、串扰噪声、电感电容耦合以及电磁辐射等影响越来越大，高密度封装的 IC 和其他电路元件构成的功能电路已不能满足高性能的要求。目前，电子元器件日益向片式化、微小化、复合化、模块化和基板的内置化方向发展，IC 的封装由单一芯片的 QFP、BGA 向 CSP（Chip Size Package）、晶圆级封装（Wafer Level Package, WLP）和系统级封装（System In a Package, SIP）发展，无源器件由表面单个器件的贴装发展到由相同的若干个无源元件集成（Integrated Product Development, IPD），实现封装由 2D 的平面设计到 3D 的立体空间设计的飞跃，从而使得器件封装体积更小型化，产品 PCB 设计更简单化，实现更高速度、更高密度和更低成本的目标。

(2) 印制电路板 印制电路板又称印刷电路板，是电子元器件电气连接的提供者。它的发展已有 100 多年的历史了，它的设计主要是电子元器件布局版图设计。在形形色色的现代电子产品中，无论是家用电器、计算机、手机，还是军事武器、航空航天设备，都是由各种各样的电子元器件组合起来的。采用印制电路板的主要优点是大大减少布线和装配的差错，提高了自动化水平和生产劳动率。印制电路板是由绝缘基板、连接导线和装配电子元器件的焊盘组成的。在印制电路板的绝缘基板上，有序地分布着大量的导电路径。这些路径代替了复杂的布线而方便地实

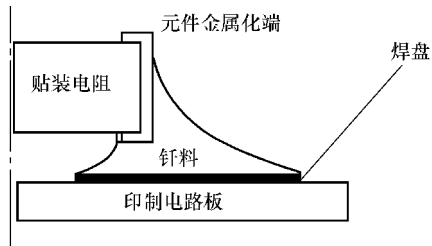


图 1-2 常见的片式电阻焊点