

# 微 电 子 学 焊 接

[苏] Г.В.那扎洛夫 H.В.格列伏采夫 著

浙江大学《新技术译丛》编译组 译

国防工业出版社

## 内 容 简 介

书中介绍了制造微电子器件和微型电路时所采用的一些主要熔焊和钎焊方法;列举出熔焊、钎焊工艺设备的技术数据;探讨了导线与金属薄膜和印制电路的焊接规范选择原则。对外壳内装配半导体器件和集成电路、薄膜混合电路和印制电路的装配,以及微型电路外壳气密封装等工艺过程的特点也有所叙述。还扼要地讨论了微型电路中焊接接点缺陷生成的原因及其检验方法。

本书对象为从事微电子电路设计和制造工艺的技术工人和工程技术人员,也可供大专院校的学生阅读。

СВАРКА И ПАЙКА В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ

Г. В. Назаров Н. В. Гревцев

«Советское радио» 1969

•  
**微 电 子 学 焊 接**

浙江大学《新技术译丛》编译组 译

•  
**国防工业出版社出版**

北京市书刊出版业营业许可登记证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

•  
787×1092 1/32 印张 4 3/4 99千字

1976年6月第一版 1976年6月第一次印刷 印数: 00,001—15,000册

统一书号: 15034·1462 定价: 0.52元

## 译 序

焊接在微电子器件的制造装配工艺中占有相当重要的地位,对各种微型电路的工作可靠性关系很大。当前,我国电子工业飞速发展,许多新的焊接方法已成功地运用在各种微电子器件的生产上。为更快更好地满足各方面对微电子器件的需要,有必要继续增加产品数量,提高产品质量,其中改进焊接质量也是应予注意的问题。

本书介绍了国外制造印制电路和集成电路中所采用的各种焊接方法、装配工艺和焊接设备,具有一定的参考价值。不足的是,只反映了七十年代以前国外微电子器件焊接领域内的成就,且对焊接方法和设备的叙述显得不够具体。译文中的焊接术语采用我国目前通用的;对一些数据过于保守的图表,进行了删改。



# 目 录

<b>第一章</b>	<b>微电子电路的焊接方法</b> .....	<b>7</b>
1.1	热压焊 .....	8
1.2	机械热脉冲焊 .....	12
1.3	电阻焊 .....	14
1.4	超声焊 .....	18
1.5	钎焊的基本过程 .....	21
1.6	激光焊 .....	31
1.7	电子束焊 .....	35
1.8	其他焊接法 .....	36
<b>第二章</b>	<b>印制电路板和微型组件的焊接</b> .....	<b>40</b>
2.1	印制电路板和微型组件装配的工艺特点 .....	41
2.2	印制电路板上分立元件的钎焊法装配 .....	44
2.3	印制电路板和微型组件的熔焊 .....	48
<b>第三章</b>	<b>混合电路内引线与薄膜的焊接</b> .....	<b>54</b>
3.1	引线和薄膜连接的特点 .....	54
3.2	引线和薄膜的熔焊 .....	55
3.3	引线和薄膜的钎焊 .....	67
<b>第四章</b>	<b>半导体器件和微型电路的气密封装及在外壳 内的装配</b> .....	<b>70</b>
4.1	管芯与外壳的粘接 .....	70
4.2	器件及微型电路在外壳内的装配 .....	72
4.3	半导体器件及微型电路的气密封装 .....	82
<b>第五章</b>	<b>微电子电路中连接质量检验</b> .....	<b>91</b>

5.1	连接和微型电路组件的失效类型及其起因, 查明失效原因的方法 .....	92
5.2	微型电路的机械试验和金相分析 .....	98
5.3	非破坏条件下连接质量和器件成品质量的鉴定 .....	101
<b>第六章</b>	<b>微型电路的焊接工艺设备 .....</b>	<b>108</b>
6.1	半导体器件管芯与外壳粘接的设备 .....	109
6.2	热压焊设备 .....	111
6.3	机械热脉冲焊设备 .....	118
6.4	电阻焊设备 .....	121
6.5	超声焊设备 .....	126
6.6	钎焊设备 .....	134
6.7	外壳气密封装用装置 .....	138
6.8	激光焊装置 .....	139
6.9	电子束焊设备 .....	145
	参考资料 .....	147

## 第一章 微电子电路的焊接方法

微电子电路中元件的连接,其最大特点是:引线细(直径 $10\sim 200$ 微米)和膜薄(厚度 $0.05\sim 1.0$ 微米);被连接材料多样化;连接质量优良;装配生产效率高。

微电子电路的连接方法须满足以下要求:(1)连接强度应不低于被连接元件的强度;(2)连接应有最小的欧姆电阻;(3)连接过程的主要参数(加热温度、单位压力和持续时间)应尽可能小,保证电路元件不致损坏;(4)应能连接不同材料及各种类型材料的组合(例如金属细丝或金属带同脆性介质衬底上薄膜的连接);(5)连接过程结束后不应留下能引起腐蚀的物质;(6)连接质量的检验方法应当简便可靠。

微电子电路生产上已经采用下列几种焊接方法:电阻焊、超声焊、电子束焊、激光焊、电烙铁和电阻钎焊,以及在熔化焊料内的浸焊。

为微电子电路的连接专门研究并付诸实现的焊接方法,名目繁多,计有:热压焊、机械热脉冲焊、低共熔点压焊、机械热脉冲超声焊、平行缝焊、脉冲加热劈刀钎焊、热风焊、焊料波峰焊、焊料波纹焊、选点焊、光学法钎焊、利用镓合金连接、涂敷焊等等。

微电子学中,正经历着钎焊不断为熔压焊所替代的过程。这在集成电路和混合薄膜电路的生产上尤其如此。印制电路板上的装配和组件结构的生产,在很大程度上仍采用钎焊法。

用平面工艺生产半导体器件时,柔软引线和焊点的连接

以热压焊用得最广。但近来已开始采用超声焊（及其不同形式）及平行缝焊。

在混合电路内，将金属丝引线的分立元件和扁平引线的分立元件装于有薄膜焊点的衬底上时，普遍采用平行缝焊或机械热脉冲焊，以及脉冲加热劈刀钎焊；在印制电路板上装配时则用浸焊和平行缝焊。此外，印制电路板上的装配现已开始采用电阻焊及激光焊。

微型组件的装配，除钎焊外还成功地使用电阻焊；对某些组件则应用电子束焊。

制订各种焊接规范时必须照顾到：

- (1) 被焊材料的组合、形状和厚度；
- (2) 对连接质量和性能的要求；
- (3) 所用设备的工艺可能性。

## 1.1 热 压 焊

热压焊是用加热和加压的方法，使金属和金属或金属和非金属在固态接合的一种焊接方法，即对被连接材料加热到低于低共熔点的温度，同时施以不大的单位压力，使之互连。

按照资料[1]作者的意见，热压焊就是通过可控制的有限扩散对固态材料实施连接。

“热压焊”这一术语，由Christensen 和 Anderson 在他们的微型零件连接法专利内最早提出<sup>[2]</sup>，首先是指金属同半导体的连接。按焊接术语规定，把热压焊称作加热压熔焊将更确切些。

热压焊时，为了避免残余应力造成连接的破坏，被连接材料之一（通常是引线）应具有大的塑性。热压焊的温度不得高于被连接材料低共熔点的温度，通常约相当于其中可塑性较



高的金属的回火或退火温度。

热压焊的连接材料可分成三类:

(1) 在固态可形成一系列固溶体因而相互扩散作用良好的金属(银-金, 金-铜), 它们在热压焊时可焊性最好。

(2) 相互间可形成低温共熔体的材料(铝-硅, 金-硅), 它们有较好的可焊性。

(3) 通过互扩散作用能形成金属互化物和低共熔点的金属(金-铝, 金-锡), 它们的可焊性尚佳, 但连接时要求严格遵照一定的焊接条件。

热压焊时, 要求连接区域内产生一定的变形, 才能形成牢固的连接结构。变形应保证从连接区域排除吸附的气体、薄的油脂膜和氧化膜; 这些物质在金属和非金属表面上是经常存在着的。两种金属(或金属与非金属)的清洁“原始”表面接触时, 会发生“粘连”现象。“粘连”区域出现在两种异类原子的自由电子可能发生相互作用以及原子键合的地方。要想有这一相互作用, 必须克服表面原子的位垒, 即要求原子的能量提高到会产生相互作用的一定能级。塑性变形和加热均可使原子获得这一必要的能量。

表面的氧化会严重影响热压焊连接的效率和质量, 这在引线与淀积薄膜连接时特别明显。例如引线 with 刚淀积好的镍、铜或银膜熔焊, 用不很高的焊接参数, 便可得到优质的连接。但如果这些薄膜在空气中放一段时间, 那么即使在同样熔焊(热压焊)条件下, 就无法获得优质的连接。

热压焊经常是在保护性气氛(干燥氮、氩、“合成的”气体——含 10% 氢的氮)内进行的。氢不能用作还原气体, 因为热压焊的温度较低。

热压焊的主要优点是: 能够将柔软的圆形和扁平形导电

性良好的引线同淀积于脆性介质衬底上的导电薄膜进行熔焊；焊接劈刀稳定耐用；规范可适当调整（参数改变 $\pm 10\%$ 一般不致影响连接质量）；焊接过程的基本参数（压力、温度和持续时间）易于控制并调节；焊接设备简单；可按引线的变形和焊点的形状控制连接质量；可在低于连接材料低共熔点的温度下焊接；无须采用焊料和焊剂，从而能防止沾污和气体饱和现象。

热压焊的缺点是：被焊接材料的组合种类有限（热压焊很难焊柯伐合金、镍和铁合金）；衬底要用对热冲击不灵敏的且易于同淀积膜粘附的材料（玻璃、氧化铝、氧化铍或其他陶瓷）制做；被焊零件几何尺寸受到限制（引线的直径或厚度不得超出 $0.1\sim 0.13$ 毫米，淀积膜的厚度不小于500埃）；待连接材料须经十分仔细的预处理（酸洗、清洗、去油、氧化防护）。

各种热压焊可按下列几个特征加以分类：

- (1) 加热方法(图 1.1)；
- (2) 连接方法,其中包括:

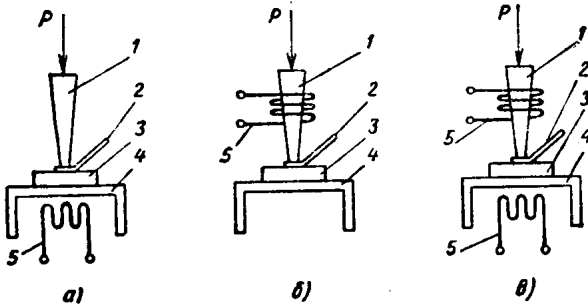


图 1.1 热压焊的几种形式(按加热方法分)

a—工作台加热； b—劈刀加热； c—工作台和劈刀同时加热。  
 1—劈刀(冲头)； 2—被连接的引线； 3—衬底或半导体器件管芯； 4—工作台； 5—加热用电阻丝。

热压焊(搭接热压焊●) 从侧面经过专门的小孔往劈刀下面送丝,或直接经过劈刀(空芯劈刀、有分岔的“鸟喙”型空芯劈刀、有送丝侧孔的劈刀)往下送丝。

金丝球焊(对接热压焊●) 经过空芯劈刀送丝,焊接前丝端烧熔成一小球。

(3) 依劈刀形状而定的连接类型(图 1.2)。

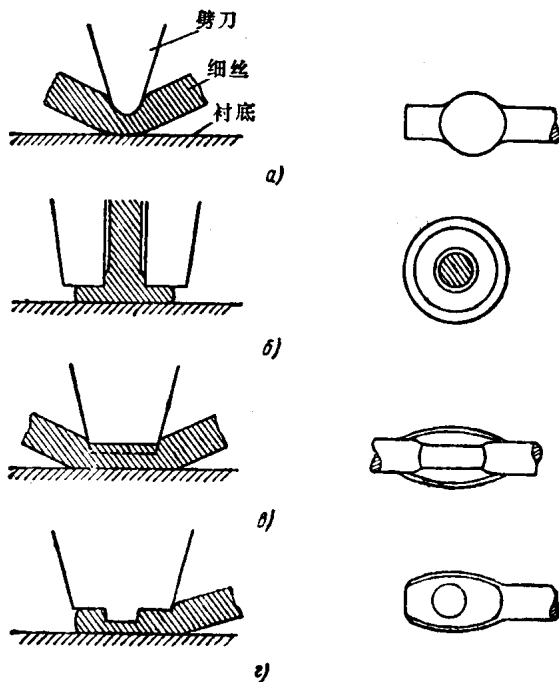


图 1.2 热压焊连接的基本类型

a—扁平焊点形连接(楔形热压焊); b—钉帽形连接(借助空芯劈刀形成小球的金丝球焊); c—有加强棱的连接(用带槽的劈刀热压); d—“鱼眼”型连接(用带凸缘的劈刀热压)。

● 国内把搭接热压焊普遍称为热压焊,而对接热压焊称为金丝球焊。译文均按国内通用名称。——校者

加热方法的优缺点列于表 1.1。

表 1.1

加 热 方 法	优 点	缺 点
用电热器加热整个器件或电路	由于加热器的热容量大且可作精确调节,故温度稳定	整个装配过程中均须对器件加热
用电热器连续加热劈刀	可采用较紧凑的加热器,使设备的结构简化	很难测量连接区内的温度
用电热器同时加热器件和劈刀	温度调节比较精确,能在较高的劈刀温度下实现连接,可用最短的焊接时间获得较牢固的连接	设备和劈刀的结构复杂,整个装配过程中均须对器件加热

热压焊及金丝球焊用的劈刀材料应具备以下一些特性: 导热率低; 在周期性脉冲加热和冷却及各种工作条件下均能保持足够的强度; 500°C 下不氧化和磨损; 与被焊材料粘连的倾向小。

用钼(尤其是单晶体钼)、刚玉、氧化镁、硬质合金(合金 BK-15 最好)、氧化铍制成的劈刀焊接金丝最不易粘连, 用氧化铍、铁氧体、钼和硬质合金制的劈刀焊铝丝则粘连最小。刚玉、氧化镁和氧化铝最容易同铝粘连, 因此不宜用作劈刀材料。

热压焊和金丝球焊连接是目前平面工艺半导体器件装配及用柔软细金属丝把集成电路封装在外壳内的通用方法。

## 1.2 机械热脉冲焊

机械热脉冲焊是加热压焊的另一种型式, 这种方法和热压焊的不同之处在于劈刀(冲头)靠流过的电流作脉冲加热。由于加热过程时间短, 故细引线在焊接处的加热温度可比热

压焊时的高。这样也就允许可塑性小的金属丝与半导体，特别是薄膜焊合。

机械热脉冲焊有时也叫“扩散”熔焊<sup>[3]</sup>。

图 1.3 是 V 型电极机械热脉冲焊<sup>[4]</sup>的示意图。

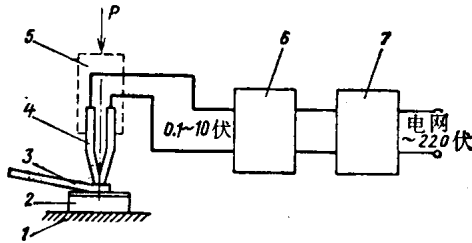


图 1.3 V 型劈刀机械热脉冲焊示意图

- 1—工作台； 2—衬底或半导体管芯； 3—引线； 4—V 型劈刀(冲头)；  
5—固定劈刀并加压用的焊头； 6—电源； 7—时间继电器。

V 型劈刀进行熔焊的过程可归结如下。先在一定压力下使劈刀、细引线和微型电路的衬底或半导体管芯紧密接触，然后将一定宽度(从 0.01 秒到几秒)的脉冲电流通过劈刀，劈刀端部加热至所需温度，通过传热而实现引线和衬底的局部加热。当引线一达到抗变形强度显著减小的温度，就在所加压力的作用下被压扁，并形成连接。

最佳焊接条件下，铝丝与铝膜熔焊时焊接区的温度约  $400^{\circ}\text{C}$ ，与银膜熔焊时约  $460^{\circ}\text{C}$ ，与金膜熔焊约  $490^{\circ}\text{C}$ ，与铜膜熔焊约  $560^{\circ}\text{C}$ <sup>[5]</sup>。

选择压力要考虑引线的塑性、被焊材料的组合、引线的直径和劈刀的端面形状。铝丝熔焊时的单位压力为  $4\sim 8$  公斤/毫米<sup>2</sup>，焊金丝则为  $10\sim 14$  公斤/毫米<sup>2</sup>。

V 型劈刀可用铌耐热合金、耐热钢或硬质合金制造。劈刀既可由电力变压器的交流电脉冲加热，也可由直流脉冲加

热。劈刀的尺寸要选得仅使与被焊元件焊接部分达到所需的温度。劈刀的端面形状可与热压焊的相同。钨合金制的平端面劈刀对直径 50 微米引线的耐用度可达 6000 个焊点，硬质合金劈刀超出 10000 个焊点。

机械热脉冲焊的 V 型劈刀可用于直径 20~100 微米的金丝、铝丝、铜丝与淀积在介质或半导体衬底上各种薄膜的连接。正确地选定焊接条件，就能保证高质量连接和相当好的稳定性。

以 V 型劈刀焊接对热冲击敏感的材料，为了减小连接区内的应力，宜对被焊零件作整体加热。

此种焊接方法可成功地用于集成电路和混合微型电路的装配，它也广泛地用在不许可整体加热的电路装配上。混合电路的内部电路借细引线进行连接，以及有柔软引线的分立元件的装配，采用这种方法尤为普遍。

### 1.3 电 阻 焊

电阻焊的原理是在金属最大电阻部位通过电流使其加热，并同时对被焊元件施以压力。电阻焊既可在固相也可在形成铸造核的同时实施。

决定电阻焊过程的主要参数为：熔焊电流量（首先是电流的增长速度和最大幅值）、电流流过的时间、电极的压力。

对引线作电阻焊时，可根据不同的焊接条件，把所形成的连接分为两类：铸造核连接和固相连接。固相熔焊时，依靠再结晶形成连接，此时沿界面会发生晶粒的相互生长；或者通过低于再结晶温度下的塑性变形而形成连接，此时沿两种材料的界面产生分子的内聚现象。

电阻焊是连接各种微电子元件的一种应用广泛的方法。

这种方法有许多优点：保证元件的高密度装配；与钎焊相比，能做到局部加热；连接强度和电导率很高；不象手工钎焊那样多半要依赖于操作技巧。

电阻焊适用于不同类型和结构的微型电路。装配和封装微型电路，可采用三种基本的电阻焊方法(图 1.4)。

普通的电阻焊法(图 1.4a)是在被焊件的上下两面各置一电极，以一定的压力将零件压紧。

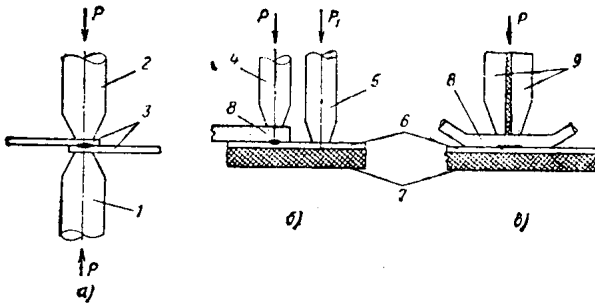


图 1.4 电阻焊连接的基本方法

a—电极在两面的焊接；b—单面焊接；c—平行微缝焊(带有平行间隙)。  
1—下电极；2—上电极；3—被焊零件；4—压紧被焊零件并供电给细丝的电极；5—供电给印制电路板导电条的电极；6—焊点或印制电路板导电条；7—印制电路板的介质衬底；8—被焊细丝或细带；9—双电极。

单面接触焊(图 1.4b)靠一个电极把丝状或带状引线压紧在焊点上，另一电极则放置于焊点上，或在上面一个被焊零件附近，或者离开焊接位置稍远处。

对于带圆形或扁平引线的分立元件和脆性衬底上薄膜的连接，以及这种元件与印制件的焊接，单面平行缝焊(图 1.4c)是一种比较有发展前途的方法。这种方法也称单面双电极电阻焊或“分岔”电极焊。用此种方法时，电极或为相互间以电介质绝缘的整体结构，或者均固定在可调节电极间隙的专门

焊头上。焊接时先把两个电极放在上面的被焊零件(细丝、细带)上,对底下的零件压紧。电流流过时,主要使上面的零件受热,而焊接既可在电极下,也可在间隙中实现。两电极的间隙,可按被焊细丝的不同尺寸和对连接提的不同要求,调节范围为 10 微米~1.0 毫米。

外引线的焊接,宜用钼和铜-铬合金制的电极;而混合电路中的内部连接,常用钨或钼电极。平行微缝焊接对直径为 20 到 150~200 微米引线同各种薄膜的连接是很成功的。

绝缘导线与各种元件的连接,最好采用电极辅助加热的电阻焊。电极可由嵌在电极腔内的专门加热器加热,并靠有温度调节器的热电偶来控制 and 调节温度。引线焊接时不必去除绝缘层,因为热的电极会穿透绝缘层,在焊接点将其熔化并挤掉。接通电源即可进行焊接(用电容器放电或交流脉冲)。

绝缘导线和印制电路板的连接,采用三电极组合电阻焊法(图 1.5)<sup>[6]</sup>也颇有效。焊接时,先在上面两个电极之间通以交流电。加热后的上电极将导线压紧在金属板上,熔去绝缘层,使上下电极间能通过直流脉冲。通交流电的时间长短,决定于去除绝缘层所需的时间。连接圆形和扁平导线时,焊接脉冲的宽度可在 4~100 毫秒范围内调节。这样交直流电的配合有利于更好地选取焊接条件,例如,从导线上除去绝缘层,用交流最合适;而直流脉冲焊接,则能保证较好的焊接质量。

上述两种方法,只能用来焊接有易熔绝缘层的导线,但不能焊接有耐热绝缘层的导线或同时焊接两根绝缘导线。

推荐电阻焊规范时,一般要选定电极压力的大小和与之相适应的脉冲能量,以保证连接的最佳强度。但是,能够保证必要连接强度的最佳规范的范围是很大的(图 1.6)<sup>[7]</sup>。例如,



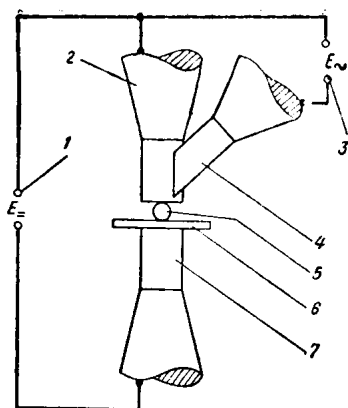


图 1.5 组合电阻焊接法

1—直流电源； 2—上面的主电极； 3—交流电源；  
4—辅助电极； 5—绝缘导线； 6—金属箱或较厚的  
无绝缘层的金属； 7—下面的主电极。

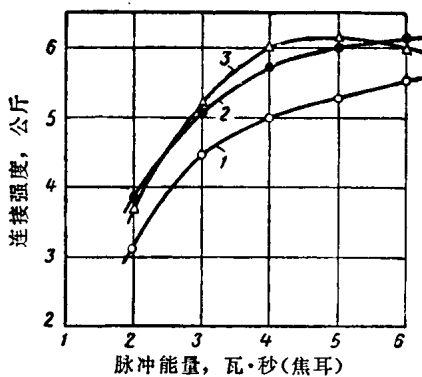


图 1.6 电阻焊脉冲能量对截面为  $0.25 \times 0.75$  毫米的  
镍带和直径为 0.45 毫米的柯伐丝连接强度的影响  
(曲线 1 指电极压力为 1.35 公斤；曲线 2  
为 1.8 公斤；曲线 3 为 2.3 公斤)