

# 吴懿平



## 金锡合金焊料的性能

吴懿平博士, 武汉光电国家实验室研究员, 华中科技大学教授/博导, ypwu@public.wh.hb.cn

### 摘要

金锡合金焊料具有强度高, 抗氧化性能好, 抗热疲劳和蠕变性能优良, 熔点低, 流动性好等特点, 使得其成为光电子封装的最佳焊料。随着光电子器件的快速发展, 对金锡合金焊料的需求也越来越大。由于金锡合金焊料的脆性较大, 不易制备和成本过高等因素而制约了金锡合金的应用。本文将向读者介绍金锡合金焊料的一些基本性能, 以后还会另稿介绍金锡合金焊料的一些应用实例。

### 关键词:

金锡合金; 光电子封装; 焊片; 成形

### 前言

电子封装材料是电子封装技术的重要支撑, 其中焊料是钎焊工件时用来填充连接处间隙使工件牢固结合的填充材料。焊料的可焊性、熔点、强度、杨氏模量、热膨胀系数、热疲劳、蠕变性能等均可影响焊料连接的质量, 所以选择合适的焊料是获得可靠封装和连接的关键。本文介绍的金锡焊料是一种广泛应用于光电子封装和高可靠性军用电子器件焊接的贵金属低熔点的硬焊料。这种焊料的性能优良, 可靠性高, 无污染, 已逐渐被越来越多的人认识和应用, 成为光电子封装中必不可少的焊料。虽然金锡焊料中含有大量的金, 价格昂贵, 但对于它的优良品质, 可以说是物有所值。其唯一的缺点则是合金极脆, 制备加工相当困难, 这也是制约其发展的重要原因。

### 金与锡的物理性能

金是一种贵金属, 自然资源比较贫乏, 其表面具有黄色光泽, 原子有很大的原子间力和最大的堆

积密度, 由此决定了其特殊的物理性能。金的抗氧化性能优良, 延展性非常好, 可以压延成  $0.1 \mu\text{m}$  的金箔,  $1 \text{g}$  的金能拉成  $1 \text{km}$  的金丝。金对焊料润湿也十分出色, 所以常用于电子产品的表面镀层。

锡是银白色金属, 锡锭表面因生成氧化物薄膜而成珍珠色。锡相对较软, 具有良好的展性, 但延性很差。锡条弯曲时, 由于塑性变形而形成孪晶, 发出断裂般响声而称为“锡鸣”。锡有三个同素异形体, 在  $13.2 \text{ }^\circ\text{C}$  以下的锡称为灰锡 ( $\alpha\text{-Sn}$ ), 等轴晶系, 密度为  $5.85 \text{ g/cm}^3$ , 粉状; 在  $13.2 \text{ }^\circ\text{C} \sim 160 \text{ }^\circ\text{C}$  时的锡称为白锡 ( $\beta\text{-Sn}$ ), 正方晶系, 密度为  $7.30 \text{ g/cm}^3$ , 成块状, 具有很好的展性; 人们常见到的锡是白锡 ( $\beta\text{-Sn}$ ), 白锡在  $160 \text{ }^\circ\text{C}$  时会发生相变生成脆锡 ( $\gamma\text{-Sn}$ ), 斜方晶系, 密度为  $6.55 \text{ g/cm}^3$ , 块状易碎。当温度低于  $13.2 \text{ }^\circ\text{C}$  时开始转变为灰锡, 转变速度很慢, 当过冷到  $-30 \text{ }^\circ\text{C}$  时, 转变速度达到最大值。灰锡先以分散的小斑点出现在白锡表面, 温度降低, 斑点逐渐扩大布满整个表面。随之

表 1 金和锡的物理性能

元素	原子序数	晶体结构	密度 ( $\text{g/cm}^3$ )	维氏硬度 (Mpa)	弹性模量 (Mpa)	抗拉强度 (Mpa)	延伸率 (%)	电阻率 ( $10^{-6}\Omega\cdot\text{cm}$ )	熔点 ( $^\circ\text{C}$ )	沸点 ( $^\circ\text{C}$ )
金	79	面心立方	19.3	330-350	78 740	230	4	2.2	1 065	2 877
锡	50	正方晶系	7.30	1.5 (莫氏)	11.5	232	2 270		232	

块状锡脆成粉末,该现象称为“锡疫”。锡在金属表面很容易润湿,所以常作为焊料的组成部分或者直接制成锡丝,锡片等纯锡焊料。表1为金与锡的基本物理性能。

### 金锡共晶合金的组成

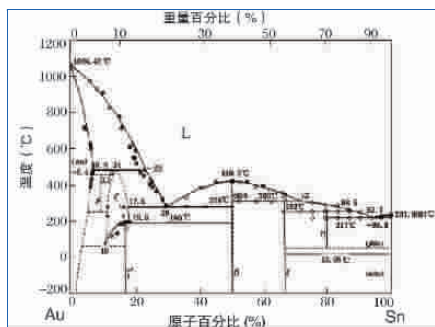
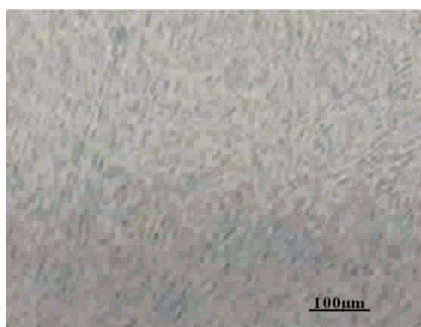


图1 金锡相图

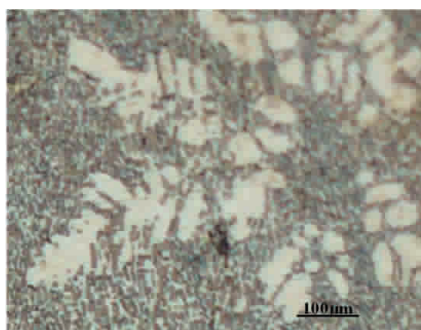
Au是IB族元素,Sn是IVA族元素,Au和Sn的扩散机制是间隙机制,所以扩散速度很快。图1是Au-Sn二元合金相图。金锡二元合金相图很复杂,存在许多中间相,它们分别是: $\beta$ (Au<sub>10</sub>Sn), $\zeta'$ , $\zeta$ (Au<sub>5</sub>Sn), $\delta$ (AuSn), $\varepsilon$ (AuSn<sub>2</sub>), $\eta$ (AuSn<sub>4</sub>),其性质列于表2中。这些金锡中间相都是硬脆相,金锡所有成分的合金的都是由这些金锡中间相组成的。

80%Au:20%Sn(质量比)是金锡共晶合金。共晶金锡合金的熔点最低,为280℃,是金锡中间相 $\delta$ (AuSn)和密排六方相 $\zeta$ (Au<sub>5</sub>Sn)组成,它具有优良的焊接工艺性能和焊接接头强度。金锡共晶合金焊料中锡的质量分数为20%,焊料的

熔点是280℃,处于共晶点位置,当温度大于280℃时,该合金为液态,当温度慢慢下降时,发生共晶反应,生成不稳定的 $\zeta'$ 相和 $\delta$ 相AuSn,即 $L \rightarrow \zeta' + AuSn$ 。通过杠杆原理可以求出此时 $\zeta'$ 相和AuSn各自占的百分数。当温度继续下降时, $\zeta'$ 相部分溶解在AuSn里,直到190℃时候发生共析反应,生成 $\zeta$ 相Au<sub>5</sub>Sn。在室温下Au<sub>80</sub>Sn<sub>20</sub>的组织是AuSn相和Au<sub>5</sub>Sn相,经过杠杆原理计算知道Au<sub>5</sub>Sn相占63.6%(质量百分数),AuSn相占36.4%。Au<sub>80</sub>Sn<sub>20</sub>焊料在常温下的微观组织为AuSn和Au<sub>5</sub>Sn的



(a)原始组织



(b)260℃时效3h的组织

图2 金锡共晶合金显微组织

表2 金锡中间相的结构和性质

相	Sn含量%	结构	熔点(℃)	密度(g/cm <sup>3</sup> )
$\alpha$ (Au)	0~6.81	Cu	1064.4~532.0	19.3~18.6
$\beta$ (Au <sub>10</sub> Sn)	8.0~9.1	Ni <sub>3</sub> Ti	532.0	-
$\zeta'$	10.0~17.6	Mg	521.0	-
$\zeta$ (Au <sub>5</sub> Sn)	16.0	Hcp	190.0	17.08
$\delta$ (AuSn)	50.0~50.5	NiAs	419.3	11.74
$\varepsilon$ (AuSn <sub>2</sub> )	66.7	正交	309.0	10.07
$\eta$ (AuSn <sub>4</sub> )	80.0	PtSn <sub>4</sub>	257.0	9.20
$\beta$ Sn	99.8~100.0	$\beta$ Sn	232.0	7.28

共晶组织(如图2所示),且AuSn和Au<sub>5</sub>Sn都是硬脆相,所以该焊料脆性大。金锡共晶合金的密度为14.52 g/cm<sup>3</sup>。

### 金锡共晶合金的性能

金锡共晶合金焊料具有许多优越的性能,包括低的熔点却又较高的强度,可以保证焊接可靠性;良好的抗

热疲劳性能,可防止因为温度循环产生疲劳断裂,可以在气候变化恶劣的条件下使用;良好的抗氧化性能,优秀的漫流性能,以及较高的热导率等。金锡共晶合金常温下(20℃)的一些物理性能为:密度14.7 g·cm<sup>-3</sup>、热膨胀系数1.6×10<sup>-7</sup>/℃、热导率57 W·m<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>、拉伸强度275 MPa、剪切模量25 GPa、泊松比0.405、延伸率2%。

### 焊接工艺性能

金锡共晶焊料处于共晶点位置,熔点为280℃,焊接温度只需300℃~310℃,仅比熔点高出20℃~30℃,图3是AuSn<sub>20</sub>合金焊料的熔化特征曲线。在焊接过程中,基于合金的共晶成分,很小的过热度就能使合金熔化并润湿器件;另外,金锡共晶合金的凝固过程进行得也很快。因此,金锡共晶合金的使用能够大大缩短整个焊接过程周期。金锡共晶合金的焊接温度范围适用于对稳定性要求很高的元器件组装。同时,这些元器件也能够承受随后在相对低一些的温度利用无铅焊料的组装。这些焊料的组装温度大约在260℃,当这些焊料完成熔化、焊接时,金锡共晶合金焊接头不会失效。

### 焊接强度高

虽然金锡共晶合金焊料的熔点温度较低,但其仍属于硬焊料。焊接接头的强度是评判焊接质量的首要指标,该强度越高,说明可

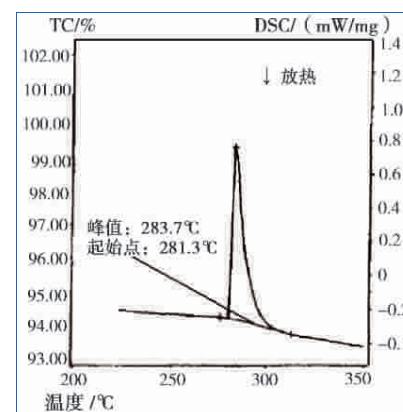


图3 AuSn<sub>20</sub>合金焊料熔化特性

靠性越高,反之则越差。金锡共晶焊料在室温下的屈服强度很高,即使在 250 ℃~260 ℃的温度下,它的强度也能够胜任器件气密性要求。用 AuSn20 焊料焊接的接头,除具有高的接头强度外,且其接头强度不受热冲击的影响,这也是金锡焊料比其他焊料优越的一个显著特点之一。不同焊料焊接 7 μm~10 μm 镀金层工件的剪切强度对比如表 3 所示。在所列的焊料中,Au80Sn20 的焊接接头剪切强度最高,为 47.5 MPa,比共晶铅锡焊料接头的剪切强度要高出近一倍。所以选择用 Au80Sn20 做封装焊料的电子产品具有很好的寿命和性能可靠性。

表 3 低温焊料接头温度

焊料成分 wt%	接头剪切强度 MPa
SnPb37	26.7
InPb15Ag5	13.9
PbAg1.5Sn1.0	21
InBi3.5	40
SnCd32	17.8
InAg10	7.7
AuSn20	47.5
BiPb43.5	11.9

### 高热导率

焊料在电子产品中不仅仅是起到连接的作用,还要导热、导电和良好的支撑。所以对焊料合金的要求不仅要求强度高,其导热导电性能也是必需考虑的。金锡共晶合金焊料的热导系数很高,比常用的某些 Sn 基合金、Pb 基合金及 Au 基合金低温焊料具有更为优良的热导性,表 4 给出了几种常见焊料

表 4 常用焊料的热导率

焊料的牌号(Wt%)	热导率(W/m.K)
63Sn37Pb	51
99Sn1Sb	29
88Pb10Sn2Ag	27
90Pb5Sn5Ag	26
80Au20Sn	57
AuSi	27
AuGe	44

的热导率。可以看到,80Au20Sn 的热导率为 57 W/m·K,是以下所列焊料中最高,比铅锡共晶焊料的热导还高。所以金锡共晶焊料可以广泛用在芯片焊接领域中,尤其是大功率的芯片,光电子器件等。热流可通过金锡焊料传导给热沉,从而形成快速传热通道。

### 低粘滞性

金锡共晶合金焊料处于共晶点成分,所以熔化后流动性能很好,粘滞力小。焊接熔化后很容易铺展,且能填充一些较小的空隙。特别是焊接光纤头时,采用金锡共晶合金制备的焊环在焊接温度下,快速熔化并充满待焊间隙,完成焊接。但这种过高的流动性在一些情况下也会给一些应用带来问题,比如,过高流动性的金锡焊料无法完全挂在器件引脚上导致焊接焊不足,所以往往在金锡焊料加入金属 Pd 或 Pt 可以降低其流动性,有效改善这种情况。

### 抗蠕变性能和抗疲劳性能

由于金锡共晶合金的具有较高的杨氏模量,所以合金的抗蠕变性能和抗疲劳性能也很优良。一些电子产品的应用环境可能十分恶劣,如军用电子产品,这些产品往往要经受温度的循环变化和应力的循环变化,为了保证器件工作的正常运行,采用金锡焊料,可以有效的防止蠕变和疲劳引起的焊点失效。

### 免助焊剂

空气中的金属表面很容易生成氧化膜,这种氧化膜能阻止焊锡对焊接金属的浸润作用。使用助焊剂可以去除氧化膜,使焊接更可靠,焊点表面更光滑、圆润。但是助焊剂对金属具有腐蚀作用。其中无机焊剂活性最强,腐蚀作用也最强,电子元器件的焊接中不允许使用这类助焊剂。有些焊剂的腐蚀作用小,但用后清洗工序也很复杂。金锡共晶合金焊料中含金 80%,所以焊料金属的抗氧化性能优良,在

空气中焊接时,材料表面的氧化程度较低,可以得到可靠的焊接接头。对于高可靠性电子器件特别是军用电子器件,在焊接过程中采用真空,或还原性气体如氮气和氢气的混合气,氧化程度则更低,焊接头的质量更可靠。所以使用金锡共晶合金焊料不需采用化学助焊剂,是一种清洁环保的焊接材料。

### 对镀金层无铅锡焊料的侵蚀现象

金锡合金与镀金层的成分接近,因而通过扩散对很薄镀层的浸溶程度很低,同时也没有像银那样的迁徙现象。

金锡焊料除了具有上述优良性能以外,由于焊料中含有大量的金,所以还具有好的抗腐蚀性能,和导电性能。但金锡合金焊接时应注意一点的是器件表面的镀金层不宜太厚,因为金锡共晶合金的熔点随成分变化很大,镀金层过厚会升高与器件接触的合金的熔点,导致焊接时合金不能很好熔化与润湿。

### 结语

金锡焊料是一种广泛应用于光电子封装和高可靠性军用电子器件焊接的贵金属焊料。随着光电子器件的快速发展,金锡合金焊料的需求也越来越大。本文向读者介绍了金锡合金焊片的一些基本性能,其中金锡共晶焊料的熔点最低(280 ℃),含金量为 80%,金相组织由 δ 相(AuSn)和 ζ 相(Au5Sn)组成,具有优良的焊接工艺性能和焊接接头强度。金锡焊料的这些优异的性能,使得其成为光电子器件封装的最佳焊料。但是,金锡合金焊料的脆性较大,不易成形与制备焊片,还由于材料成本与制造成本过高等因素,严重制约了金锡合金的应用。关于焊片的最新的成形技术,本文将另稿介绍,同时也会介绍金锡合金焊片的一些应用实例。

本文原稿由熊杰然执笔

(参考文献略)



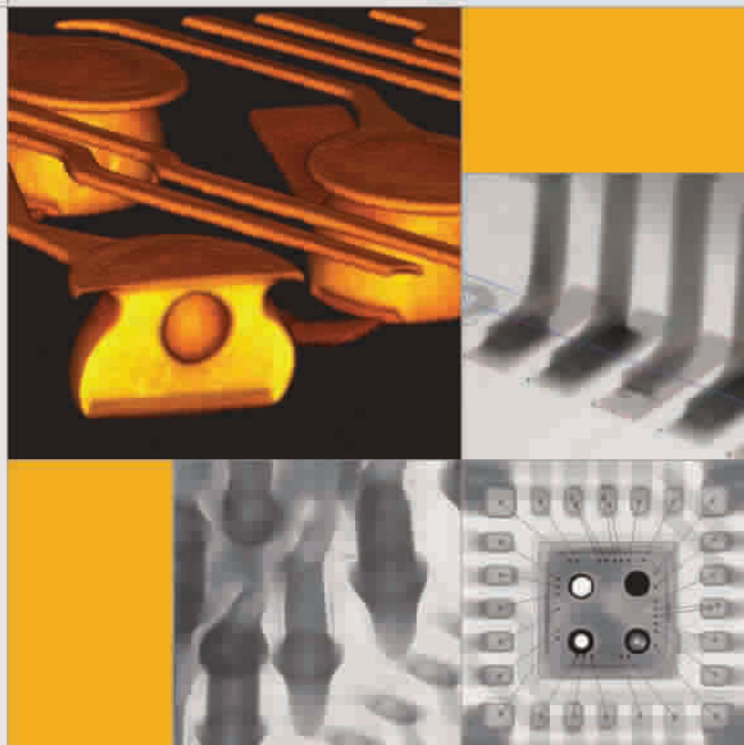
phoenix|x-ray

Part of GE's Sensing & Inspection Technologies business

敬请光临深圳NEPCON / EMT华南电子展  
WKK王氏港建展位 2C01!

大大提高产品质量及可靠性

高分辨率X-射线及全3D CT 检测系统



全自动 X-射线检测 (μAXII)

- ▶ 最高放大率
- ▶ 最大缺陷探测范围
- ▶ 最低成本
- ▶ 方便及快速的CAD 程序软件
- ▶ 三维自动数据参照系统
- ▶ 三维图像编辑处理
- ▶ 自动检测 BGA, CSP, PTH, QFN, QFP, 及更多其它封装元器件



荣获 Euro Asia 工业大奖

集 2D 及 3D CT 功能于一体操作的检测系统

- ▶ 操作极容易
- ▶ 高分辨率细节检测能力 <1 μm
- ▶ 没有图像放大软件处理下, 总放大率高达 23,320倍
- ▶ 斜向图像探测角度在0-70度之间

最新标准功能提升

- ▶ 180 kV / 20 W高能量, 超高分辨率 X-射线光管
- ▶ 2- Megapixel 超高分辨率数码图像 处理
- ▶ 24 英寸高分辨率液晶屏幕



phoenix|x-ray - 电子工业最终的X-射线检测解决方案



GE imagination at work

phoenix|x-ray  
Tel: +49 5031 172-0  
Fax: +49 5031 172-299  
asia@phoenix-xray.com  
www.phoenix-xray.com

WKK

www.wkkdistribution.com

香港集团总部

香港九龙湾  
宏达街1号  
「一号九室」23楼  
电话: (852) 2357 8888  
传真: (852) 2341 9339  
电邮: wkk\_hongkong@wkk.com.hk

北京办事处

北京市朝阳门外大街22号  
泛利大厦1811室  
邮编: 100020  
电话: (10) 6588 6571  
传真: (10) 6588 6576  
电邮: wkk\_beijing@wkk.com.hk

上海办事处

上海普陀区金沙江路1340弄172室第  
14号1号楼  
邮编: 200333  
电话: (21) 5283 3303  
传真: (21) 5283 3028  
电邮: wkk\_shanghai@wkk.com.hk

深圳办事处

深圳市福田区新洲南路  
鹏洲花园大厦裙楼3楼  
邮编: 518048  
电话: (755) 8348 8866  
传真: (755) 8348 8899  
电邮: wkk\_shenzhen@wkk.com.hk

成都办事处

四川省成都市锦江区399号  
富临大厦12楼A1室  
邮编: 610051  
电话: (28) 8432 3383  
传真: (28) 8432 3263  
电邮: wkk\_chengdu@wkk.com.hk

西安代表处

陕西省西安市东大街78号  
康泰大厦A座2503室  
邮编: 710008  
电话: (29) 8525 1000  
传真: (29) 8525 1005  
电邮: wkk\_xian@wkk.com.hk

重庆办事处

重庆市南岸区新街二巷7号  
新街5楼5楼5室  
邮编: 400033  
电话: (23) 6879 8778  
传真: (23) 6879 8778  
电邮: wkk\_chongqing@wkk.com.hk

苏州办事处

苏州高新区竹园路200号  
苏州留学人员创业园4028室  
邮编: 215011  
电话: (512) 6807 8785  
传真: (512) 6807 8795  
电邮: wkk\_suzhou@wkk.com.hk