

W-Cu 电子封装材料的气密性^①

王志法 刘正春 姜国圣

(中南工业大学材料科学与工程系, 长沙 410083)

摘要 分析了传统熔渗法生产的 W-Cu 材料气密性差的工艺因素, 采用加入一定数量的诱导铜的工艺方法进行压型, 通过调整成型压力, 使生坯中的 W 含量达到电子封装 W-Cu15 含钨量的标准, 其余的 Cu 在熔渗时渗入。实验表明, 加入 1%~2.5% 的诱导铜的生坯在 1350℃ 熔渗 1.5h, 其气密性可以达到满意的效果。

关键词 W-Cu 合金 电子封装材料 气密性 诱导铜

中图法分类号 TG139

W-Cu 合金有优良的热导、可设计的膨胀系数以及耐电弧烧蚀性能, 常用作电工合金的触头材料^[1]。

80 年代以来, W-Cu 合金又被选作电子封装材料^[2], 在微波元件中, 常选用 W-Cu15 (质量分数, %), 这是由于微波管的底座 BeO 陶瓷线膨胀系数为 $(6.3 \sim 8.0) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, W-Cu15 的膨胀系数为 $(6.2 \sim 7.5) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, 二者非常接近。二者钎焊在一起不仅能保证热匹配, 又是良好的导热通道 (图 1)。

1 研究背景

用于电子封装材料的 W-Cu 合金, 与用于

电工合金的 W-Cu 合金要求不同, 它除了要求高的热导 (TC 值) 外, 还要求有极高的气密性, 其原因由图 1 看出, 元件空腔为高真空, 以保证微波管工作的稳定性, W-Cu 及 BeO 的任何微量的漏气都会导致微波元件的失效。按标准规定, 其对 He 气吸附实验为 $5 \times 10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 以下。这就要求 W-Cu 合金的孔隙率必须很低。一般熔渗法制得的产品, 都存在一定的孔隙, 所以很难达到这样苛刻的要求。本研究对传统熔渗工艺进行了改革, 取得了满意的效果。

2 传统 W-Cu 生产方法剖析

钨铜两元素在高温下可以互相浸润, 但几

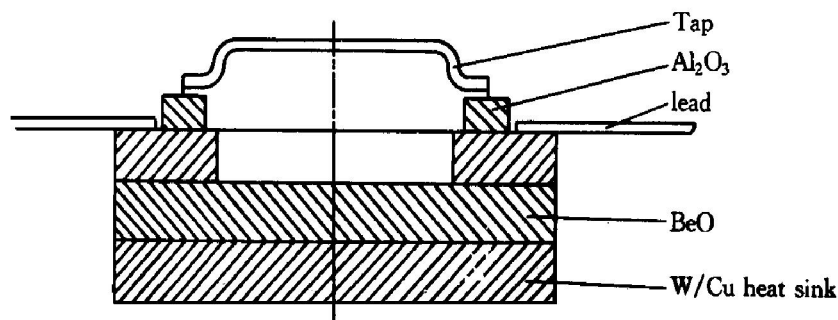


图 1 W-Cu 在微波管的安装位置

Fig. 1 Position of W-Cu alloy heat sunk in microwave module

① 湖南省科委 1998 年重点科研项目 收稿日期: 1998-10-05; 修回日期: 1999-01-12
王志法, 男, 52 岁, 高级工程师

乎没有溶解度,而且熔点相差很大(钨为 3410°C ,铜为 1084.5°C),这些特性决定了生产W-Cu合金只能用粉末冶金方法。而且最好的方法是熔渗。这种工艺是先把钨粉压成一定密度的坯块,经高温烧结收缩到一定的密度,然后在高于铜熔点温度把铜渗入(或浸入)钨骨架中,由于钨粉是很硬的粉末,在压型时,一般只能达到60%的相对密度^[3],对于电子封装W-Cu15来说,钨坯相对密度为72.46%,传统工艺是通过高温烧结使钨坯达到需要的密度,但高温烧结致密化的同时会产生一定闭孔隙,在渗铜时不能充分填充钨骨架,使产品气密性下降^[4],对于 $3\sim 4\mu\text{m}$ 的工业钨粉而言,其制品孔隙度在3%~5%^[5],而且靠高温收缩提高钨坯的密度,很难控制到准确值。即使同一炉产品,也常有1%~2%误差,这样产品的W、Cu质量比常偏离W-Cu15的要求,造成热匹配的失误。这就是一般熔渗法气密性差的主要原因。

German等人用超细钨粉加入0.36%活化剂,混入铜粉,经压型,在 1600°C 下进行液相烧结2h,使坯的相对密度达98%以上,较好地解决了气密性问题^[4],但由于活化剂镍、钴、铁能与钨和铜相互溶解,使热导下降15%~20%^[5],这样的材料用于电子封装显然也不合适。

3 实验方法

3.1 实验方案设计

为了改善钨粉的成型性能,把钨粉混入少量的铜粉,在高压条件下,把生坯直接压到所需的相对密度,其余的铜在此后的熔渗中,渗入坯料内。该方案的指导思想是避免高温烧结的闭孔隙,保留生坯的连通孔隙(混入铜粉所占的空间),以保证在熔渗时铜能充分填充钨骨架。

3.2 高致密钨骨架生坯的制取

选用 $5.3\mu\text{m}$ (Fiss粒度)的钨粉和 $< 74\mu\text{m}$ 的铜粉,用万分之一的天平称取一定量的

钨粉3份,编号为A, B, C,分别加1%, 2.5%和5%的铜粉充分混合均匀。在 $d40\text{mm}$ 的刚性模内压型,模具材料为硬质合金。采用双向浮动阴模方式,在YA32-500液压机上,直接压到W-Cu15所需的相对密度72.46%,其压制曲线如图2。

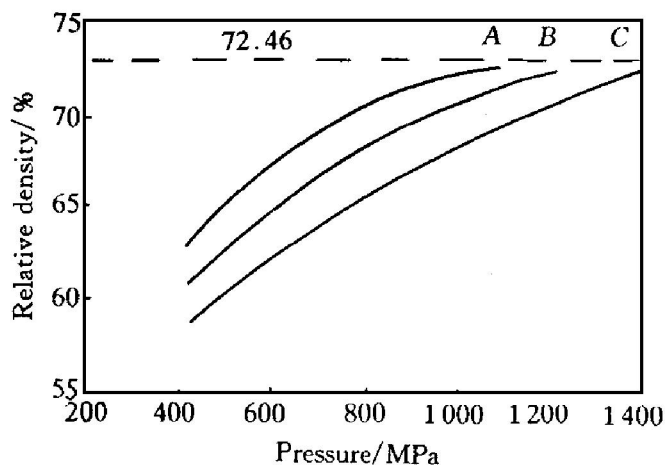


图2 含少量诱导铜的钨坯压制曲线

Fig. 2 Density-pressure curve of compact containing inducing Cu

(The content of Cu: 1% in A; 2.5% in B; 5% in C)

3.3 预烧及熔渗

压坯在 100°C 下烘烤12h,然后平放于 Al_2O_3 平板上,移入钼丝炉内在干氢保护下,以 $100^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速度升温至 1000°C ,保温2h,冷却后再移至真空感应炉内进行高温熔渗。在A, B, C园片试样上,分别加上所需铜的余量,真空度为 $2 \times 10^{-5}\text{Pa}$,发热体为钨坩埚,按 $150^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 升至 1350°C 保温1.5h,试样冷却后发现,试样平整,几何尺寸无任何变化,表面为光洁紫铜色。

4 实验结果

4.1 气密性测试

试样经机械加工和研磨,制成 $23\text{mm} \times 10\text{mm} \times 1.5\text{mm}$ 小片,进行气密性测试,测试是在日产HELIOT306S型He吸附试验机上进行,按测试程序,把试样置于密闭的容器中通 0.5MPa 的He 2h,取出后置于仪器的真空罩内抽真空,在3s内把真空度抽至 $1 \times 10^{-12}\text{Pa}$,

仪器自动关闭真空系统,罩内 He 气探头把 He 的分压回升情况传到仪器的指示系统。结果示于表 1 中。表 2 为试样其它性能。

4. 2 实际应用结果

选用 B 试样 50 件供实际实验应用,并与进口 50 片作平行对照。元件制成后,按照国家军用标准 GJB 128- 86 (半导体分离器件试验方法) 所规定的条件进行热冲击试验。本研究产品 50 件,在 2 次 He 吸附中淘汰 1 片,其余全部合格,成品率为 98%,平行实验的国外产品在 2 次 He 吸附和热冲击中各淘汰 4 片,成品率为 84%,据使用单位统计,过去大量应用国外产品的成品率一般都在这个水平上。实验说明,本研究的 W-Cu15 在性能及可靠性上,已达到和超过国外产品的水平。

5 讨论

5. 1 诱导铜对钨坯的增强作用

一般认为,钨粉为非塑性粉末,在压力作用下,粉末之间发生“拱桥效应”^[6],压力过大时,拱桥力使坯料在脱模时破裂、分层。因此钨粉只能压到 60% 左右的相对密度。铜粉有良好的塑性,它的加入能有效地在钨粉之间产生塑性变形,破坏了“拱桥效应”,使钨粉随着铜粉的变形而相互填充,从而达到较高的生坯密度,而且,变形后的铜粉与钨粉的相互啮合,增强了钨生坯的强度。

5. 2 诱导铜对熔渗的影响

用诱导铜增韧、增塑的机理,在高压下,

把钨骨架直接压到 W-Cu15 所需要的钨骨架密度,这就省去了传统熔渗法钨骨架的高温烧结工艺,不但节约了大量成本,而且从根本上消除了钨骨架的高温烧结闭孔隙,保证了以后熔渗过程铜能充分填充。从表 2 的密度可以看出,试样的相对密度已达到 99% 以上,这是其它方法很难达到的。高致密度是高气密性的前提,He 吸附检漏从本质上说,是检查材料微孔洞,由于 He 的分子半径很小,它能透过材料微小间隙吸附于孔洞的内壁上,在抽真空检漏时又从小孔内壁放出而使 He 探头探测到 He 的分压。因此,要想提高材料的气密性,必须从根本上减小或消除弥散于 W-Cu 材料中的小孔,本研究的工艺正好解决了这个问题,因此表现出良好的效果。

另一方面,由于初始的钨骨架中有均匀分布的铜粉,在 1 350 °C 熔渗时,这部分铜粉呈现液态,它和骨架外的补充铜液,在表面张力的作用下,有合为一体达到减少比表面的趋势。这就诱导外部的铜液进入钨骨架内,促使 W-Cu 材料的致密化。此外,本实验采用高真空熔渗工艺,在高温高真空条件下,铜液的流动性增强,钨骨架的孔隙中又无空气占据,对铜的填充十分有利。

5. 3 诱导铜的加入量

从实际应用结果看出,加入所需铜量的 1%~ 2. 5% 效果最好,加入 5% 的铜,虽然 TC 值和相对密度都略有提高,但气密性较差,这可能是过多的铜粉导致钨骨架孔隙过大所致。

表 1 试样 He 吸附气密性测试结果*

Table 1 Results of He absorption test (Pa•m³/s)

Sample group	Sample number	Unqualified (> 5 × 10 ⁻⁹)		1 × 10 ⁻⁹ ~ 5 × 10 ⁻⁹		10 ⁻⁹ ~ 10 ⁻¹⁰		< 10 ⁻¹⁰		Eligibility / %
		Number	Percentage / %	Number	Percentage / %	Number	Percentage / %	Number	Percentage / %	
A	50	0	0	2	4	2	4	46	92	100
B	100	0	0	1	1	1	1	98	98	100
C	50	3	6	5	10	10	20	32	64	94

Notes: The unit of He absorption is Pa•m³/s. If the test result exceeds 5 × 10⁻⁹ Pa•m³/s, the sample is identified as unqualified one.

表 2 W-Cu 性能测试结果

Table 2 Properties of W-Cu samples

Sample group	CTE/ ($10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)				TC/ ($\text{Wm}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	Relative density /%
	100 $^{\circ}\text{C}$	200 $^{\circ}\text{C}$	300 $^{\circ}\text{C}$	400 $^{\circ}\text{C}$		
A	6. 3	6. 75	7. 07	7. 2	180	99. 15
B	6. 31	6. 6	7. 10	7. 31	185	99. 17
C	6. 35	6. 62	7. 15	7. 28	186	99. 6

从图 2 的压力曲线上也看出, C 试样所需压力也较大。从经济和实用考虑, 以加入 1% ~ 2. 5% 诱导铜为宜。

6 结论

- (1) 用 Fiss 粒度为 5. 3 μm 钨粉, 加入 1% ~ 2. 5% 的诱导铜粉, 在大压力下, 可制成相对密度为 72. 46% 的高密度钨生坯。
- (2) 用上述钨坯在 1 350 $^{\circ}\text{C}$ 下真空渗铜, 可得到气密性优良的 W-Cu15 电子封装材料。

REFERENCES

- 1 Gessinger G H and Melton K N. Powder Met Int, 1997, 9: 67.
- 2 Yang Bin and German R M. In: Lall Chaman and Neupaver Albert J eds. Advances in Powder Metallurgy and Particulate Materials, Vol. 5. Princeton: NJ, MPIF-APMI, 1994: 317.
- 3 Yin Stepnen W H. Tungsten. Plenum Press, 1979: 178- 179.
- 4 German R M *et al.* Journal of Powder Metallurgy, 1997, 33 (4): 55- 63.
- 5 Johnson J L and German R M. In: Lawley Alan and Swanson Armour eds. Advances in Powder Metallurgy and Particulate Materials, Vol. 4. Princeton: NJ, MPIF-APMI, 1993. 201.
- 6 Huang Peiyun (黄培云). Principles of Powder Metallurgy (粉末冶金原理). Beijing: Metallurgical Industry Press, 1982.

HERMETICITY OF W-Cu COMPOSITES
FOR SEMICONDUCTOR PACKAGE

Wang Zhifa, Liu Zhengchun and Jiang Guoshen
*Department of Materials Science and Engineering,
Central South University of Technology, Changsha 410083, P. R. China*

ABSTRACT The factors resulting in inferior hermeticity of W-Cu composites made by conventional process were analyzed and then a new process was introduced. Firstly, a small amount of inducing copper powder was mixed with the W powder. Then the mixed powder was directly pressed into green compacts of required density. Finally the balance of the copper was added by infiltrating method. It is indicated that when the compact contains 1% ~ 2. 5% (mass fraction) inducing copper and is infiltrated at 1 350 $^{\circ}\text{C}$ for 1. 5 h, the hermeticity of the material is fairly satisfactory.

Key words W-Cu composite hermeticity inducing copper infiltration

(编辑 朱忠国)