

# SiCp / Cu 复合材料的热膨胀性和导热性<sup>†</sup>

钟涛兴 吉元 李英 李惠娥 高晓霞  
(北京工业大学材料科学与工程学院, 北京, 100022)

**摘要** 采用热等静压的方法制备了 SiCp / Cu 电子封装复合材料. 材料热膨胀系数 (CTE) 和导热率的测定表明, 增加 SiC 体积分数和减小 SiC 颗粒的尺寸有利于降低 CTE 值; SiC 质量分数超过 26% 这一临界值后, 材料导热率会明显下降. 减小残余应力有利于降低材料的 CTE 值.

**关键词** 电封装, SiCp / Cu 复合材料, 热膨胀系数, 导热率

**分类号** TB 323

## 0 引言

电子封装材料需要高的导热率和低的热膨胀系数<sup>[1, 2]</sup>. SiC 颗粒成本低, 热膨胀系数 (CTE) 为  $3.4 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ , 热导率随 SiC 纯度而变化. 铜的 CTE 为  $17.7 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ , 热导率高达  $397 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K}$ . 因此, 通过对 SiC 和 Cu 的参数的合理设计, 制备出 SiC 颗粒增强 Cu 基复合材料, 就可满足电子封装材料的导热率高和热膨胀系数低的要求.

为了得到高导热率的材料, 需要提高材料的紧实度. 本文采用热等静压方法制备 SiCp / Cu 复合材料, 测定了 SiCp / Cu 复合材料的热膨胀系数和导热率, 讨论了 SiC 的体积分数和颗粒大小对材料性能的影响, 以及退火状态的 CTE.

## 1 实验

在微粒球磨机里, 将 200 目的 Cu 粉分别与 19%, 26%, 36% 的 SiC 颗粒混合均匀. 在四柱液压机上预压成  $\phi 18 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$  的坯料. 将坯料装入金属包套中, 抽真空、封焊后, 在  $1000^\circ\text{C}$ , 220 MPa 下进行热等静压 (HIP) 烧结, 保温、保压 3 h 后, 随炉冷却.

采用日本 FUJI 公司生产的 FTM-4 型全自动变形记录仪测定了材料的热膨胀系数. 测试的实验参数为: 升温速率  $8^\circ\text{C} / \text{min}$ , 温升范围  $50 \sim 300^\circ\text{C}$ . 试样尺寸为:  $\phi 3 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ .

采用机械电子工业部第十二研究所自制的导热系数测定装置, 按国标 GB5598-85 方法, 测量了样品的导热系数, 测量温度为  $(50 \pm 1)^\circ\text{C}$ ; 试样尺寸为  $\phi 15 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$ .

## 2 结果及讨论

### 2.1 SiCp / Cu 复合材料的 HIP 烧结

当 SiC 颗粒的加入量分别为 19%, 26% 和 36% 时, 复合材料的平均密度分别为 7.05、6.4 和 5.90 g/cm<sup>3</sup>. 从扫描电镜的观察可以看出 SiC 颗粒的分布比较均匀.

### 2.2 SiC 体积分数的变化对 SiCp / Cu 复合材料性能的影响

由图 1 可以看出: 随 SiC 体积分数的增加, SiCp / Cu 复合材料的热膨胀系数呈递减趋势. 与 Cu 的 CTE  $17.7 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  相比, 加入 19% SiC 的复合材料的 CTE 值降低到  $14.12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ , 降低了 20%. 当 SiC 体积分数从 26% 增加到 36% 时, CTE 值从  $13.03 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  降低到  $11.6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ , 降低了 17.8%. 由此可以看出, 增加 SiC 体积分数可以有效地降低复合材料的热膨胀系数.

图 2 给出了 SiC 体积分数变化对 SiCp / Cu 复合材料的导热率的影响. 从图 2 看出, 当 SiC 体积分数由 19% 增加到 26% 后, 材料的导热率明显减小(即从  $111 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  减小到  $38.5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ). 此后 SiC 含量继续增加, 导热率变化却不明显. 这说明 SiC 体积分数的变化对复合材料导热率的影响存在一个临界值. 当 SiC 体积分数低于该临界值时, Cu 基体中的 SiC 颗粒是孤立分布的, 由连续的 Cu 基体提供了一个畅通的导热通道. 当 SiC 体积分数高于该临界值时, SiC 自身也开始成为连续相, 从而破坏了铜基体的连续性, 大大降低了复合材料的导热率. 因此, 为了获得较高的导热率, SiC 的体积分数应该控制在 50% 以内.

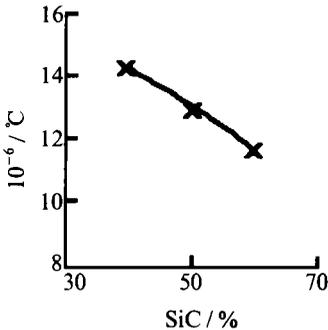


图1 SiC体积分数对热膨胀系数的影响

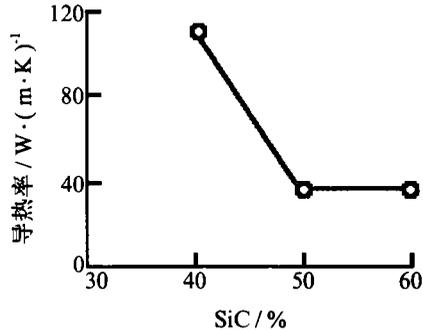


图2 SiC体积分数对导热系数的影响

### 3.3 SiC 颗粒尺寸对 SiCp / Cu 复合材料性能的影响

由图 3 看出, 在 SiC 体积分数相同的情况下, SiC 颗粒尺寸为  $5 \mu\text{m}$  的复合材料的 CTE 值小于  $10 \mu\text{m}$  的 CTE 值. 这主要是与界面应力的大小有关<sup>[3, 4]</sup>. 复合材料从成型温度冷却到常温后, 材料存在残余应力, 基体为拉应力, 而 SiC 颗粒为压应力, 应力的主要与 SiC 的体积分数有关. 当 SiC 体积分数相同时, 颗粒的界面面积与应力成反比. 因此, SiC 颗粒的大小直接影响着应力的主要. 为了获得较低的膨胀系数, 应选用粒度较小的 SiC 颗粒.

图 4 的导热率值表明, 在 SiC 体积分数大于其临界值的情况下, SiC 颗粒尺寸的大小对材料的导热率影响不大. 在 SiC 体积分数为 40% (低于临界值), 颗粒从  $5 \mu\text{m}$  变为

20  $\mu\text{m}$ , 其导热率呈递减趋势(从 172.0  $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$  变为 84.7  $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ ), 降低了 51%。因此, 为了获得较好的导热性能, 也应选用粒度较小的 SiC 颗粒。

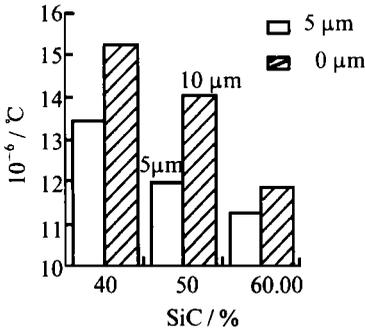


图3 SiC的粒度对热膨胀系数的影响

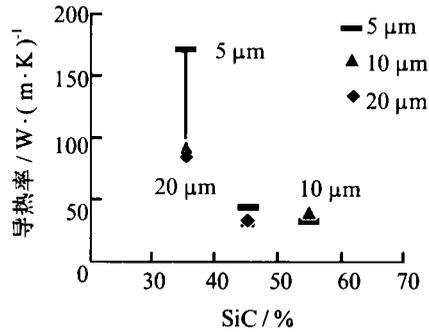


图4 SiC的粒度对导热系数的影响

### 3.4 热处理状态对 SiCp / Cu 复合材料性能的影响

图 5 给出了热处理工艺对 SiCp / Cu 复合材料热膨胀系数的影响。由图 5(a) 和 (b) 中都可以看出, 完全退火状态下的 CTE 值明显低于炉冷后的 CTE 值。这一现象还与材料的残余应力的大小有关。当存在残余应力的复合材料升温时, 两相之间产生热应力, 基体受到的热应力为压应力, 而 SiC 颗粒为拉应力, 热应力同残余应力方向相反, 热应力起了缓解残余应力的作用, 所以两相之间相互抑制的作用减弱, 复合材料较易于膨胀, CTE 值大。完全退火消除了残余应力, SiC 通过界面抑制铜基体的作用增强, CTE 值减小。

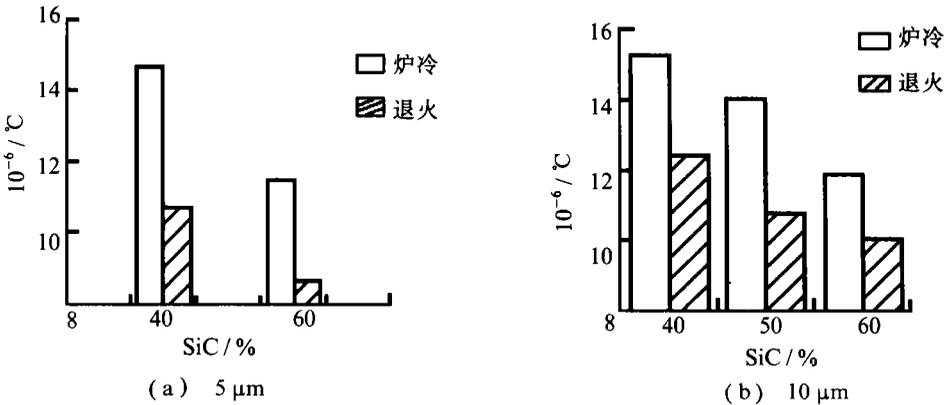


图5 热处理对复合材料热膨胀系数的影响

## 3 结论

1. 热等静压法生产的 SiCp / Cu 电子封装复合材料的压实效果较好。
2. 增加 SiC 体积分数和减小 SiC 颗粒的大小有利于降低材料的 CTE。
3. SiC 质量分数超过 26% 这一临界值后, 其导热率大大下降。
4. 材料 CTE 与材料中存在的残余应力有关, 完全退火消除残余应力有利于材料 CTE 的降低。

## 参 考 文 献

- 1 John A Hornor, Grefory E Hannon. Preform Based Metal Matrix Composite Fabrication for Electronic Carrier Applications. 6th International SAMPE Electronics Conference, 1992(6): 22~25
- 2 喻学斌. 真空压渗铸造铝基电子封装复合材料研究. 铸造, 1994(1): 1~5
- 3 姜传海. SiC<sub>w</sub> / LD2 复合材料零错配应力温度及其调整. 材料研究学报. 1997, 11 (4): 411~414
- 4 钟涛兴. 压渗 SiCp / Al 电子封装复合材料的研究. 铸造技术, 1997(6): 42~43

## The Thermal Expansion and Thermal Conductivity of SiCp/ Cu Composites

Zhong Taoxing Ji Yuan Li Ying Li Huie Gao Xiaoxia  
( Department of Materials Science and Engineering,  
Beijing Polytechnic University, Beijing, 100022 )

**Abstract** SiC particle reinforced Cu matrix composites were fabricated via hot isostatic processing for electronic packaging. The results indicate that the coefficient of the thermal expansion (CTE) of composites depends on the SiC particle size and its volume fraction. The minimal CTE value has been obtained from an annealing for releasing residual stress. The thermal conductivity is found to be higher when the volume fraction of Cu exceeds a threshold because of the matrix formed a continuous phase.

**Keywords** electronic packaging, SiCp / Cu composites, thermal expansion coefficient, thermal conductivity