

喷射沉积制备新型电子封装材料 70%Si-Al 的研究 *

王晓峰 赵九洲 田冲

(中国科学院金属研究所, 沈阳 110016)

摘要 采用喷射沉积技术制备了新型电子封装材料 70%Si-Al 合金, 对其进行热等静压致密化处理后, 测试了合金的主要性能。结果表明: 喷射沉积 70%Si-Al 合金的密度低, 组织细小均匀, 各向同性, Si 相粒子尺寸在 10—20 μm 之间且弥散分布。新型 70%Si-Al 合金具有与 Si 和 GaAs 等半导体材料相近的热膨胀系数, 热稳定性好, 经热等静压后合金的性能进一步提高。喷射沉积 70%Si-Al 合金具有良好的机械加工性能, 可以用作功率芯片、微波电子器件、集成电路块等的封装材料。

关键词 70%Si-Al 合金, 电子封装材料, 喷射沉积, 热等静压, 热膨胀

中图分类号 TG132.11

文献标识码 A

文章编号 0412-1961(2005)12-1277-03

STUDY OF NOVEL ELECTRONIC PACKAGING MATERIAL 70%Si-Al PREPARED BY THE SPRAY DEPOSITION

WANG Xiaofeng, ZHAO Jiuzhou, TIAN Chong

Institute of Metal Research, The Chinese Academy Sciences, Shenyang 110016

Correspondent: ZHAO Jiuzhou, professor, Tel: (024)23971918, E-mail: Jzzhao@imr.ac.cn

Supported by National Natural Science Foundation of China (No.50395104)

Manuscript received 2005-05-31, in revised form 2005-08-10

ABSTRACT 70%Si-Al alloy as a novel electronics package material was prepared by spray deposition. HIP technique was adopted in order to density the billet. The prepared 70%Si-Al alloy has a microstructure with fine silicon particles (10-20 μm in diameter) well dispersed in the matrix. The alloy shows excellent comprehensive properties, especially a lower thermal expansion coefficient and a lower density compared with the traditional electronics packaging materials. After HIP, The comprehensive properties of the 70%Si-Al alloy can be further enhanced. The alloy can be machined with the traditional cutting tools and applied as the packaging materials for the power IC, microwave electronic parts and integrate circuit blocks.

KEY WORDS 70%Si-Al alloy, electronics package material, spray deposition, hot isostatic pressing (HIP), thermal expansion

封装作为微电路的一个组成部分,起着电路支撑、密封、内外电连接、散热和屏蔽等作用,对电路的性能和可靠性具有重要影响^[1-5]。在微电子技术高速发展的今天,芯片(IC)的集成度、频率以及微电路的组装密度不断提高,电路重量和体积日益趋于微型化,因此对电子封装材料提出了新的要求。

新一代封装材料必须具有与 Si 和 GaAs 等半导体材料接近的热膨胀系数,同时还应具有强度高、密度小、导热性良好以及低成本等特性,但现有的封装材料无一能满

足所有这些要求^[6]。作为低膨胀材料的 Kovar 合金(一种 Fe-Co-Ni 合金)虽然具有与半导体 Si 和 GaAs 相近的热膨胀系数(CTE),但是它的热传导性能差、密度大,不适于作为航空用电子封装材料^[6,7]。Be 作为一种轻型合金,其热膨胀系数与 GaAs 接近,而且有着良好的导热性能,但是由于氧化铍的剧毒性,不适合用于电子封装。采用压力或无压渗透技术虽然能够制备出 SiC 体积分数大于 50% 的铝基复合材料,但是制备工艺复杂,不易控制,得到的材料难以加工,这些已经成为该类材料在电子封装方面应用的阻碍^[8]。又如一些新型电子封装材料 AlN 和 W/10%Cu (体积分数),尽管有良好的物理和力学性能,但是相对昂贵的价格以及不易加工成复杂形状的缺点限制了其应用^[9]。

Si-Al 合金密度小 ($<3 \text{ g/cm}^3$)、热膨胀系数低,通

* 国家自然科学基金资助项目 50395104

收到初稿日期: 2005-05-31, 收到修改稿日期: 2005-08-10

作者简介: 王晓峰, 男, 1976 年生, 博士生

过合理的成分设计,可获得一种新型高 Si(50%—70%,质量分数)Si-Al 合金. 这种材料密度小,热传导率高,热膨胀系数与半导体材料 Si 和 GaAs 相近,能够满足现代封装技术的要求^[10]. 粉末冶金和搅拌熔铸法是制备高合金化材料的常规工艺,用粉末冶金法制备的材料 Si 分布均匀,不易出现偏析,但工艺繁杂,且加入 Si 含量有限(低于 50%)^[11]. 铸造法生产成本低,但材料的性能差. 喷射沉积作为一种新型材料制备技术,能够在不改变材料成分的前提下,大幅度提高材料的使用性能^[12,13].

目前,国内关于喷射沉积 70%Si-Al 合金的研究尚未见报道. 本工作采用喷射沉积工艺,制备了 Si 含量(质量分数,下同)为 70% 的 Si-Al 合金,对其进行了热等静压致密化处理,同时测试了其性能.

1 实验方法

实验所用合金成分为 70%Si-Al(质量分数,下同),原料为工业纯铝和工业纯硅. 采用真空感应熔炼技术熔合金(真空度为 10^{-3} Pa). 待形成均一的具有一定过热度的熔体后,合金熔体经耐高温材料导流管流出,被高压氩气雾化破碎成为细小熔滴,在雾化喷射气体的作用下这些雾化液滴被快速冷却,当雾化锥具有一定的固相体积分数时,被沉积在沉积基板上,形成沉积坯. 实验采用非限制性雾化喷嘴,喷射沉积 70%Si-Al 合金的具体工艺参数如下:雾化气体为氩气,雾化压力为 1.8—2.5 MPa,熔化温度为 1400 °C,沉积距离为 400 mm,导流管尺寸为 4.5 mm.

采用中国科学院金属研究所 SL-1 型热等静压机对沉积坯进行致密化处理,具体工艺为:在 520 °C 保压 4 h,整个过程在氩气保护气氛下进行. 材料组织观察在 Leica MEF-4 光学显微镜上进行,分析了材料的致密情况. 采用中国科学院金属研究所研制的 KJ-1 型膨胀仪测定材料在 20—550 °C 的热膨胀系数.

2 实验结果与讨论

2.1 喷射沉积材料的微观结构

图 1a 为喷射沉积 70%Si-Al 合金的微观组织. 从图可见,合金的组织由白色的 Al 基体与灰色的 Si 相组成. Si 相粒子尺寸在 10—20 μm 之间,均匀地分布在 Al 基体中. 同时,在沉积坯内部存在着一些形状不规则的小孔隙,孔隙率在 2%—5% 之间. 图 1b 为合金的铸态组织. 从图可见组织很不均匀,其中 Si 相十分粗大,导致合金脆性增强,难以进行机械加工. 由此可见,采用喷射沉积工艺能够解决传统铸造 Si-Al 合金的不良组织的问题.

在雾化过程中,70%Si-Al 合金熔体被高压气体破碎成微米级的熔滴. 这些熔滴在雾化气体的作用下快速冷却,当沉积到距喷嘴一定距离的沉积坯表面(或基板)时,会形成一薄层半固态液膜,由于气流和基板的强制冷却使之快速凝固,形成了如图 1a 所示的细小、均匀且各向同

性的组织. 整个过程冷却速度非常快, Si 相的粗化过程明显被抑制,因而形成的 Si 相粒子尺寸细小. 合金中的微观孔隙可能是由于沉积过程中沉积坯表面的半固态液膜不够连续,固相体积分数偏高,从而产生了堆积孔隙. 同时,凝固时产生的收缩也能形成一定数量的孔隙.

为了消除沉积合金中的微观孔隙,提高合金的致密度,对喷射沉积 70%Si-Al 合金进行热等静压. 图 2 为喷射沉积 70%Si-Al 合金在 520 °C 经热等静压后的的金相组织. 可以看出,热等静压后合金中 Si 相颗粒的尺寸基本保持不变. 其中较大的孔隙消除较为困难,但是相对细小的孔隙已被弥合. 分析表明,热等静压后合金的密度已

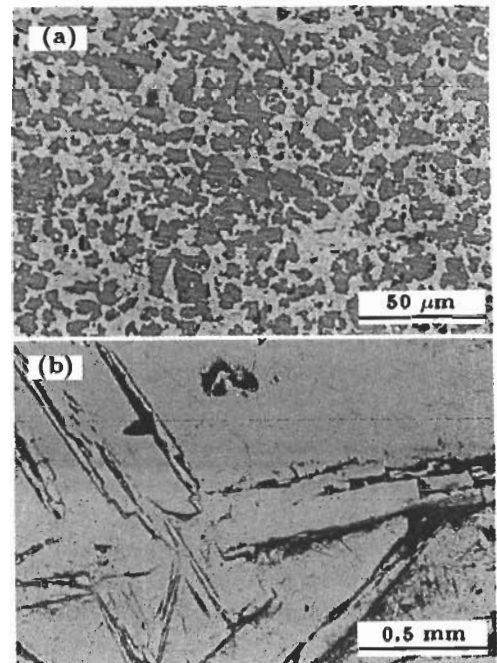


图 1 70%Si-Al 合金的沉积态组织与铸态组织
Fig.1 Microstructures of the 70%Si-Al alloys
(a) as-deposited, porosity of 2%—5%
(b) as-cast, coarse Si phase grains

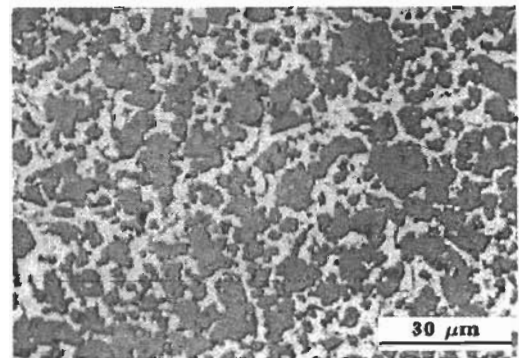


图 2 70%Si-Al 热等静压后合金的组织
Fig.2 Microstructure of the as-deposited 70%Si-Al alloy after hot isostatic pressing (HIP) at 520 °C, 99.5% of theoretical density

达到理论密度的 99.5% (理论密度 $\rho=2.44 \text{ g/cm}^3$).

2.2 材料的热膨胀系数

经测试, 喷射沉积 70%Si-Al 合金在热等静压前、后的平均热膨胀系数 ($10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$) 的变化为: 7.1→7.0 (20—100 $^\circ\text{C}$), 7.6→7.5 (20—200 $^\circ\text{C}$), 8.1→7.8 (20—300 $^\circ\text{C}$), 8.6→8.1 (20—400 $^\circ\text{C}$), 9.1→8.2 (20—500 $^\circ\text{C}$), 9.4→8.3 (20—550 $^\circ\text{C}$). 可以看出, 新型 70%Si-Al 合金具有很低的热膨胀系数. 与现有的电子封装材料相比, 其热膨胀系数与半导体材料 Si 和 GaAs 的热膨胀系数 (分别为 4.1×10^{-6} 和 $5.8 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$) 更为接近. 同时, 其热膨胀系数随温度的变化幅度很小, 对于封装电子器件非常有利, 因其不会由于温度的变化产生应力造成半导体元件的损坏.

图 3 为沉积态合金和经热等静压后合金的热膨胀曲线. 从图可以看出, 热等静压后材料的热膨胀率与温度之间成近线形关系; 在较高的温度区域, 热等静压后的热膨胀率小于沉积态的合金. 这主要是因为热等静压后材料中大部分的孔隙已经被消除, 在测量过程中消除了孔隙对热膨胀的作用; 同时, 由于喷射沉积过程是典型的快速凝固过程, 在沉积态材料中存在着较大的应力, 在测量加热时将导致应力释放, 因此沉积态合金的热膨胀率必然大于经热等静压消除应力后合金的热膨胀率.

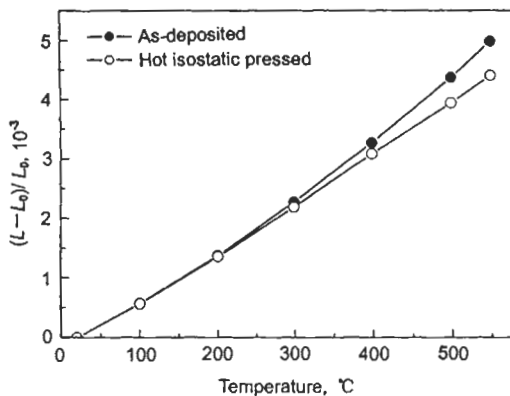


图 3 沉积态和经热等静压后 70%Si-Al 合金的热膨胀曲线

Fig.3 The CET curves of the 70%Si-Al alloy

2.3 材料的机械加工性能

实验结果表明, 喷射沉积新型 70%Si-Al 合金可以用普通刀具进行车、铣、刨、钻孔加工, 而且加工后表面光洁度良好, 可加工成所需的形状. 图 4 为机械加工所得的

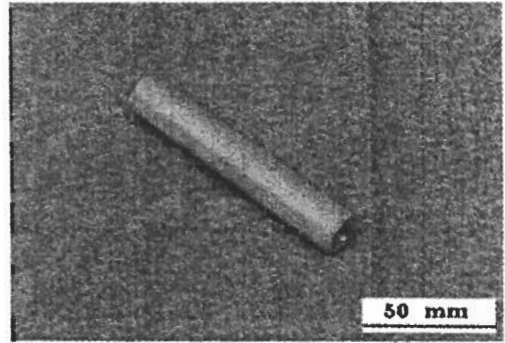


图 4 机械加工 70%Si-Al 合金试样的宏观照片

Fig.4 Appearance of the machined 70%Si-Al sample

70%Si-Al 合金试样的宏观照片.

3 结论

采用喷射沉积技术制备的 70%Si-Al 合金密度小, 组织均匀, Si 相粒子细小、弥散分布于基体; 经热等静压后, 合金的致密度, 热胀性能进一步提高. 喷射沉积 70%Si-Al 合金的热膨胀系数低, 热稳定性好, 能与现有的半导体材料相匹配; 其机械加工性能亦良好, 可以用作功率 IC、微波电子器件、集成电路块等的封装材料, 具有很高的研究与应用价值.

参考文献

- [1] White D, Keck S, Smith I. *Hybrid Circuits Technol*, 1990; 12: 14
- [2] Moores K A, Joshi Y K. *Future Circuits Int*, 2001; 7: 45
- [3] Warren H, Hunt W H, Prekumar M K. *J Met*, 1992; 44: 8
- [4] Bocking C, Jacobson D, Bennett G. *Trans Inst Met Finish*, 2002; 78: 243
- [5] Ibrahim I A, Mohamed F A, Lavernia E J. *J Mater Sci*, 1991; 26: 1137
- [6] Rennie A E W, Bocking C E, Bennett G R. *J Mater Process Technol*, 2001; 110: 186
- [7] Jacobson D M, Sangha S P S. *IEEE Trans Compon Packag Manufac Technol*, 1998; 21A: 515
- [8] Leatham A. *Mater World*, 1996; 4: 317
- [9] Zhang Y A, Liu H W, Zhu B H. *Chin J Nonferrous Met*, 2004; 14(1): 23
- [10] Jacobson D M, Sangha S P S. *Future Microelectron Int*, 1998; 15: 17
- [11] Sangha S P S, Jacobson D M, Ogilvy A J W. *J Eng Sci Educ*, 1997; 11: 195
- [12] Jacobson D M. *Powder Metall*, 2000; 43: 200
- [13] Baffett J. *Microelectron Reliab*, 1998; 38: 1277