

铜和陶瓷低温钎焊接头研究

王发¹, 刘美川¹, 陈炫如², 李佳萍², 周嘉玲², 于学勇², 戴军²

1. 锐新昌科技(常熟)有限公司 江苏常熟 215500

2. 常熟理工学院汽车工程学院 江苏常熟 215500

摘要: 通过在陶瓷表面镀铜将陶瓷表面金属化, 然后在温度227℃、压强0.04MPa、保温2min条件下, 使用Sn99Ag0.3Cu0.7焊锡膏将镀铜陶瓷与铜进行钎焊, 并通过光学显微镜、扫描电镜对钎焊接头进行观察分析。试验结果表明: 铜合金和陶瓷在低温下钎焊能够形成金属化合物层, 实现有效焊接, 钎焊接头强度可达13.2MPa。

关键词: 氧化铝陶瓷; 铜合金; 金属化; 钎焊; 无铅钎料

Research on low-temperature brazing joints of copper and ceramics

WANG Fa¹, LIU Meichuan¹, CHEN Xuanru², LI Jiaping², ZHOU Jialing², YU Xueyong², DAI Jun²

1. Ruixin Technology (Changshu) Co., Ltd., Changshu 215500, Jiangsu, China

2. School of Automotive Engineering, Changshu Institute of Technology, Changshu 215500, Jiangsu, China

Abstract: The ceramic surface was metallized by copper plating on the ceramic surface. Sn99Ag0.3Cu0.7 solder paste was used to braze the copper plated ceramic with copper under the condition of a temperature of 227℃ and insulation for 2minutes. The brazed joint was observed and analyzed using an optical microscope and a scanning electron microscope. The experimental results show that copper alloy and ceramic can form a metal compound layer through brazing at low temperatures, achieving effective welding. The strength of the brazed joint is 13.2MPa.

Keywords: aluminum oxide ceramics; copper alloys; metallization; brazing; lead-free brazing materials

1 序言

Al₂O₃陶瓷具有较小的介电常数、耐高温等性能, 广泛用于集成电路基板、绝缘件等; 铜具有非常好的导电、导热性能, 常用于散热器件等。在电子、航空等工业中陶瓷和铜连接件有着广泛应用, 因此实现二者高性能的连接具有非常重要的意义^[1-3]。

目前, 陶瓷和铜主要采用的焊接方式之一是钎焊连接。付伟等^[4]采用Sn0.3Ag0.7Cu-4%Ti金属

化涂料, 在金属化温度900℃、保温时间30min条件下, 对Al₂O₃陶瓷表面进行金属化处理, 然后在钎焊温度600℃下实现Al₂O₃陶瓷与纯铜的间接钎焊, 实现了Al₂O₃陶瓷与铜的间接连接, 钎焊接头抗剪强度为13.6MPa。李飞宾等^[5]采用Ag-Cu-Ti活性钎料直接钎焊高纯氧化铝陶瓷与无氧铜, 研究了钎焊温度和保温时间对接头组成、界面反应及接头抗剪强度的影响, 当钎焊温度为850~900℃, 保温时间为20~

基金项目: 江苏省产学研合作项目(BY2021279)。

通信作者: 戴军, 博士, 教授, 主要从事金属材料连接技术研究, E-mail: jdaijs@163.com。

60min时, 接头抗剪强度接近或达到90MPa。

还有其他陶瓷和金属钎焊的研究^[6-8], 研究者对于新型钎料及陶瓷和金属的钎焊新技术、新钎料比较关注^[9, 10]。本文首先对 Al_2O_3 陶瓷进行金属化处理, 然后采用 Sn99Ag0.3Cu0.7 作为钎料在低温下实现 Al_2O_3 陶瓷与铜合金的连接, 并对获得的钎焊接头进行了组织分析和性能测试。

2 试验材料及设备

试验用 Al_2O_3 陶瓷, 尺寸为 $10\text{mm} \times 10\text{mm} \times 4\text{mm}$ 的块状试样。纯铜块尺寸为 $10\text{mm} \times 10\text{mm} \times 4\text{mm}$ 。钎料为 Sn99Ag0.3Cu0.7 。磁控溅射靶材使用的是高纯铜块。陶瓷母材组织如图1所示。



图1 陶瓷母材组织

首先将陶瓷表面进行金属化处理, 将氧化铝陶瓷酒精擦拭后放入真空磁控溅射设备BMS500B, 选择合适样品挡板及样品台。通入氩气, 使得离子与气体分子发生碰撞, 产生等离子体, 促进铜原子或分子离开铜靶材表面并沉积到陶瓷基材表面上, 溅射10min, 使陶瓷表面获得均匀的铜层(见图2)。溅射时使用的工作参数为: 工作环境 19.3°C , 本底真空度 $4.4 \times 10^{-3}\text{Pa}$, 使用浓度为99.9%的氩气作为溅射气体, 气体流量为 28.8L/min , 靶材为99.99%Cu, 溅射电流0.1A, 溅射电压360V, 靶片距

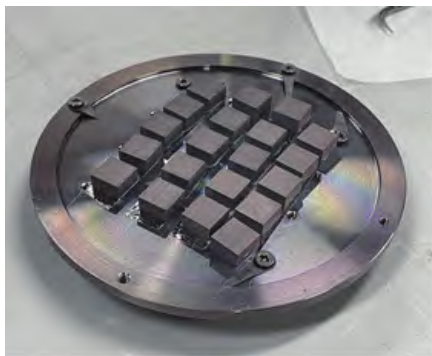


图2 陶瓷镀铜样品

10cm。

在钎焊之前将纯铜块进行打磨、抛光处理, 在使用晶键合机TWB-100之前再次将抛光后的纯铜块及表面镀铜的陶瓷用酒精进行擦拭, 保证焊接两面干净, 将 Sn99Ag0.3Cu0.7 钎料均匀涂抹在需要焊接的两面, 擦除溢出的多余钎料, 保证钎料完全覆盖需焊接的两面, 钎焊接头如图3所示。

对钎焊参数进行优化, 对比不同温度和保温时间参数下获得的接头, 在参考现有文献的基础上, 钎焊温度参数选择 207°C 、 217°C 、 227°C 、 237°C , 压强选择0、0.02MPa、0.04MPa和0.06MPa, 保温时间1min、2min、4min、8min。通过对比各参数变化下获得的陶瓷和铜合金接头可知, 大部分参数下, 钎焊没有形成良好的接头, 不能形成较好的连接。最终确定出优化的焊接参数, 压强为0.04MPa, 加热温度为 227°C , 保温时间为2min。在此参数下能获得良好的钎焊接头。

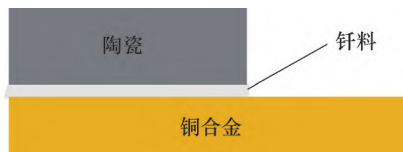


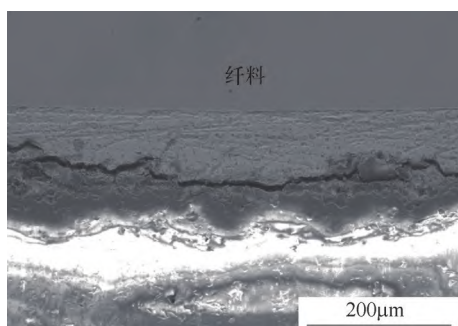
图3 钎焊接头示意

在完成钎焊后, 将试样用400#、800#、1200#和2000#的砂纸进行打磨, 在抛光机上抛光后, 用4%的硝酸酒精腐蚀2s, 冲洗干净, 放置在光学显微镜GX51下观察组织, 使用扫描电镜Regulus 8100设备对试样进行焊接接头观察。采用材料拉伸试验机UTM5305进行接头室温抗剪强度测试。压剪速率为 0.5mm/min , 对钎焊参数下的3个试样进行力学性能试验, 抗剪强度为所得数据的平均值。

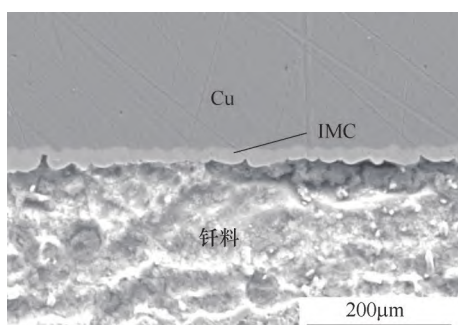
3 试验结果和分析

钎焊接头的显微组织如图4所示。由图4可看出, 接头在陶瓷侧(见图4a)结合不够紧密, 有明显缺陷。在铜侧(见图4b)结合良好, 未看到明显缺陷, 且有一层金属化合物(IMC)层产生, 厚度约 $2\mu\text{m}$ 。IMC层主要为铜锡化合物。

通过扫描电镜的面扫描分析, 可得到焊缝中各主要元素的分布情况, 如图5所示。由图5可知, 接头从上到下的主要组成元素依次为Cu、Sn、Al、O。由Cu元素的分布情况可知, Cu元素扩散至焊缝



a) 陶瓷侧接头

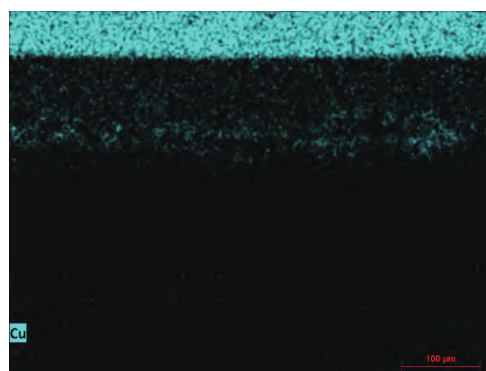


b) 铜侧接头

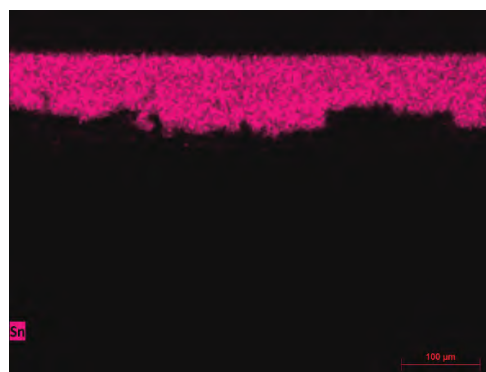
图4 钎焊接头显微组织

处,与钎料发生反应,形成了一层IMC层,同时可以得知,焊缝中主要存在Sn元素,氧化铝陶瓷中氧元素也向焊缝中扩散,Al元素因陶瓷稳定的晶体结构而难以扩散,则主要分布在陶瓷内部。由能谱分析结果可知,IMC层主要是 Cu_6Sn_5 ,另外陶瓷侧未看到明显的Cu元素分布,接头在陶瓷侧结合并不紧密,且由于表面粗糙度的影响,因此导致陶瓷侧焊缝没有铜侧平整。

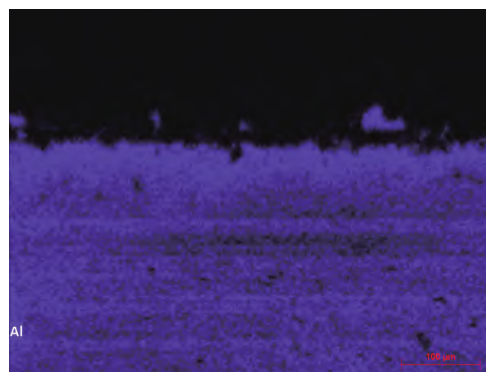
对钎焊接头进行强度测试,结果见表1。由表1可知,陶瓷和铜钎焊接头抗剪强度平均值为13.2MPa。对比文献中的数据^[4],在钎焊温度600℃、保温时间5min条件下, Al_2O_3 陶瓷和纯铜间接钎焊接头的抗剪强度为13.6MPa,低温钎焊接头强度略低,但钎焊温度远低于600℃。另外,根据文献相关数据^[5],采用Ag-Cu-Ti活性钎料直接钎焊高纯氧化铝陶瓷与无氧铜,当钎焊温度为850~900℃、保温时间为20~60min时,接头抗剪强度接近或达到90MPa。虽然接头强度高,但是钎焊温度高,钎料成本高。对于其他的低温连接方法,如胶接、机械连接陶瓷和铜合金,未见相关报道。接头压剪后的断口形貌如图6所示。由图6可知,断口表面较为平整,存在部分孔洞,断裂发生于钎缝,断



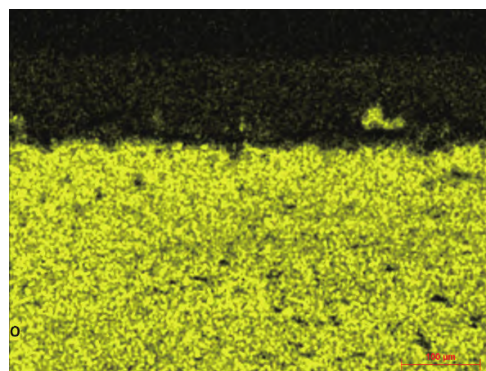
a) Cu



b) Sn



c) Al



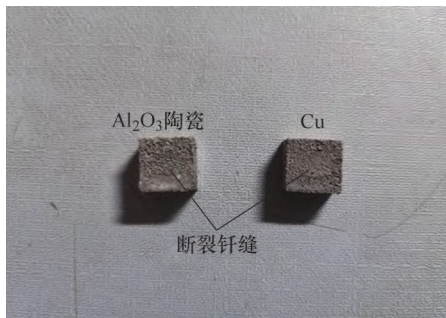
d) O

图5 接头焊缝区域元素分布

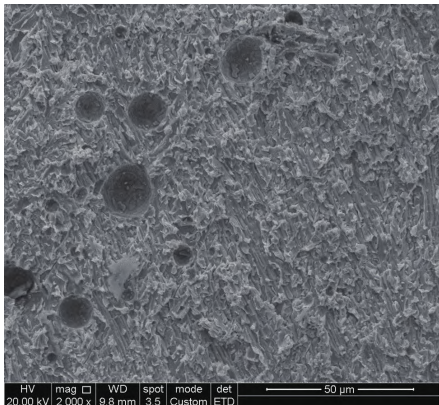
裂方式为脆性断裂。

表1 陶瓷和铜钎焊接头抗剪强度 (MPa)

接头	测试值
1	12.8
2	13.5
3	13.3



a) 宏观形貌



b) 微观形貌

图6 钎焊接头的断口形貌

4 结束语

本文通过采用Sn99Ag0.3Cu0.7钎料在低温下对铜合金和陶瓷活性钎焊工艺、接头性能进行了探讨,得到了以下结论。

1) 通过改变钎焊温度、钎焊过程中施加的压力、保温时间等工艺参数进行钎焊试验,确定了Al₂O₃陶瓷溅射铜后与铜用Sn99Ag0.3Cu0.7作为钎料钎焊的合适工艺参数为:钎焊温度227℃、保温时间2min、压强0.04MPa。

2) 在钎料的作用下,铜与钎料之间形成了IMC

层,陶瓷与钎料之间形成了结合,从而实现陶瓷与铜的连接,接头平均抗剪强度为13.2MPa。证明采用Sn99Ag0.3Cu0.7钎料对镀铜Al₂O₃陶瓷与铜进行低温钎焊的方法具有可行性。

参考文献:

- [1] 史康桥,李敏,朱冬冬,等.陶瓷与金属钎焊连接的研究进展[J].热加工工艺,2021,50(13):7-12.
- [2] 沈孝芹,李亚江,王娟,等.陶瓷基复合材料/金属焊接研究现状[J].焊接技术,2007,36(4):8-10.
- [3] 刘自豪,颜家振,李宁,等.NiTi+Ni钎料真空钎焊Si陶瓷的微观组织及性能[J].热加工工艺,2023,52(19):20-23.
- [4] 付伟,宋晓国,赵一璇,等.Al₂O₃陶瓷与纯铜的间接钎焊[J].焊接学报,2015,36(6):27-30.
- [5] 李飞宾,吴爱萍,邹贵生,等.高纯氧化铝陶瓷与无氧铜的钎焊[J].焊接学报,2008(3):53-57.
- [6] KOLEŇÁK R, KOSTOLNÝ I, DRIENOVSKÝ J, et al. Research on joining metal-ceramics composite Al/Al₂O₃ with Cu substrate using solder type Zn-In-Mg[J]. Journal of Composite Materials, 2019, 53(10):1411-1422.
- [7] 田茹玉,薛松柏,何鹏,等.SiC陶瓷及其复合材料连接的研究现状[J].焊接,2013(9):23-27.
- [8] SMITH R W. Active solder joining of metals, ceramics and composites[J]. Welding Journal, 2001, 80(10):30-35.
- [9] 李红,栗卓新,巴凌志,等.中国绿色焊接材料的现状和进展[J].金属加工(热加工),2020(10):19-23.
- [10] 李红,韩祎,曹健,等.高熵合金在钎焊和表面工程领域的应用研究进展[J].材料工程,2021,49(8):1-10.

MW 20241009