

文章编号:1000-582X(2010)09-119-07

湿热环境下微电子互连 ACF 的导电及腐蚀行为

华 丽^{1a,1b,2}, 郭兴蓬^{1a}, 杨家宽^{1b}, 刘凤鸣^{1a}

(1. 华中科技大学 a. 化学与化工学院; b. 环境科学与工程学院, 湖北 武汉 430074;

2. 湖北第二师范学院化学与生命科学学院, 湖北 武汉 430205)

摘 要:各向异性导电胶膜(anisotropic conductive adhesive film, ACF)替代锡铅(Sn/Pb)钎料已应用于微电子封装中。以聚苯乙烯微球(Polystyrene, PSt)(3~5 μm)为导电核心体,其表面化学镀一层 Ni 粒子(1~2 μm)形成的复合微球填充在树脂中形成的各向异性导电胶膜作为研究对象,采用交流阻抗和动电位扫描等方法,探讨了湿热环境下 ACF 胶膜导电及耐蚀性能。实验表明,高温(80 ℃)和高湿(RH85%)中老化 4 h 后,各向异性导电胶膜的接触电阻有较显著的增加,所致原因是湿热环境下起导电作用的 Ni 粒子氧化阻止了电流穿越,且温度的影响大于湿度的影响,两者协同作用加速各向异性导电胶膜(ACF)互连失效。对比实验表明,ACF 耐蚀性能明显高于锡铅钎料,原因是基体胶对导电粒子的保护作用,阻碍了腐蚀介质向内部扩散。

关键词:微电子封装;各向异性导电胶;腐蚀行为;电阻变化;动电位极化;交流阻抗

中图分类号:O646.6

文献标志码:A

Electronic conductive attributes and corrosive behavior of ACF under thermal humid conditions for microelectronic interconnection

HUA Li^{1a,1b,2}, GUO Xing-peng^{1a}, YANG Jia-kuan^{1b}, LIU Feng-ming^{1a}

(1a. School of Chemistry and Chemical Engineering; 1b. School of Environmental Science and Engineering, HUST, Wuhan, Hubei 430074, P. R. China; 2. School of Chemistry and Life Science, Hubei University of Education, Wuhan, Hubei 430205, P. R. China)

Abstract: Anisotropic conductive adhesive film (ACF) is chosen to substitute for Sn/Pb solder and applied to microelectronic packaging. In this thesis, ACF is composed of polystyrene microspheres (PSt) (3~5 μm) plated with a thin Ni particles (1~2 μm) outside and a special epoxy resin. Both of them are mixed to be ACF. Electronic conductive attributes and corrosive resistance behavior of ACF are analyzed by alternating current impedance measurement and potentiodynamic polarization under highly thermal humid conditions. The results show that after aging 4 h in 80 ℃ and 85% RH condition, contact resistance of ACF increases greatly, and the main reason is the oxidation formation of Ni prevents electric current from going through. Furthermore, the effect of temperature on corrosive behavior of ACF exceeds the effect of humidity, and both of them accelerate the failure of ACF reliability in microelectronic interconnection. Corrosion resistances of ACF are better than that of Sn-37Pb solder in the same case. The possible reason is that Ni is

收稿日期:2010-04-15

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50671040,50871044);湖北省教育厅重点资助项目(D20093103);湖北省教育厅高校产学研合作重点资助项目(C2010071)

作者简介:华丽(1974-),女,华中科技大学博士,主要从事电化学腐蚀和微电子封装中可靠性问题研究。
郭兴蓬(联系人),男,华中科技大学教授,博士生导师,(E-mail) guoxp@mail.hust.edu.cn.

protected by the base epoxy resin, and dispersion of corrosive medium into adhesive interlayer is held back.

Key words: microelectronic packaging; anisotropic conductive adhesive film (ACF); corrosive behavior; resistance change; potentiodynamic polarization; alternating current impedances

随着计算机技术朝高度集成化、微型化、轻薄型^[1]方向发展及欧盟 RoHS 和 WEEE 指令颁布^[2-3],全球无铅呼声日益高涨,现有微电子封装技术采用各向异性导电胶膜 (Anisotropic Conductive Adhesive Film, ACF) 作为微电子互连材料替代无铅焊料已成趋势^[4]。ACF 胶膜具有适用于不同类型基板的细间距互连、易于返修等优点^[5-6],因此有着广泛应用前景。但其各项性能是否可与 Sn-37Pb 相当,是新的研究热点^[7]。当前关于 ACF 研究主要集中在改善导电性、提高稳定性方面^[8-10]。在改善导电性方面尚处于一个“瓶颈”阶段,因为当前没有一种材料与胶基体复合后电导率超过纯 Sn-Pb 合金的电导率。与此同时,ACF 耐冲击性能差,高湿环境下粘接强度低和易出现老化现象。Wu^[11]等人研究了单分子层保护纳米 Ag 粒子填充 ACA 胶老化实验,发现老化前后胶体积电阻率发生了显著变化,粘接率也发生了显著变化。杨颖^[12]等人采用金属粉末填充环氧树脂制备 ACA,但金属填料加入使材料导电性能增加的同时,往往也会使粘接强度降低。Li^[13]等人在异种金属上添加更为活泼的金属 Al、Mg、Zn 及其合金,将其做为导电胶填料的牺牲金属。经过高温 85 °C,相对湿度 85% 条件下导电性、接触电阻等测试证明,牺牲金属的运用显著地阻止了接触电阻的增长,增加了导电胶导电性能的稳定性。Jong^[14]等人研制了几种金属填充的 ACF 胶进行老化试验,表明在潮湿高温环境下材料的热导率和接触电阻同样出现较为显著变化,这给 ACA/ACF 工业应用提出了严峻的考验^[15]。一些研究者通过将铜与银结合起来制成镀银铜粉,可克服铜粉的缺点同时降低银粉的成本。钟莲云等人通过球磨制得粒径约 0.1 mm 的铜粉,并利用扫描电镜 (SEM) 图像得到球磨后铜表面形成银铜梯度层,提高了镀银铜粉的抗氧化性、导电性。ACF 大规模应用还需要很多的努力。根据填充粒子成分的不同,其性能也有较大的差异。金属与聚合物微球形成的复合粒子作为 ACA/ACF 导电填料是近几年发展起来的,相关的研究甚少。因此,深入探讨此类复合材料在封装互连过程中的可靠性,尤其是因环境污染所致的腐蚀失效具有重要意义。

笔者以聚苯乙烯微球 (PSt) (3~5 μm) 外表面化学镀 Ni 微粒 (1~2 μm) 作为导电粒子,采用改性

环氧树脂作为胶基体,以一定体积比混合涂布而成的 ACF 胶膜作为研究对象,研究不同湿热环境下 ACF 电阻的变化、腐蚀速率及腐蚀电流密度,从而分析 ACF 电化学腐蚀机理,为提高高密度封装中 ACF 的可靠性提供参考价值。

1 腐蚀实验

1.1 仪器与药品

CS300 Corrtest 电化学工作站 (武汉科思特仪器有限公司); HS-100 恒温恒湿试验箱 (武汉蓝锐电子技术有限公司); 腐蚀实验采用三电极体系,参比电极为饱和甘汞电极; 辅助电极为铂黑电极。E-44 环氧树脂、邻苯二甲酸二甲酯、乙二胺、氯化钠、乙醇、丙酮均为分析纯; ACF 胶膜 (日本日立公司), 主要性能参数: 膜厚 25 μm, 膜宽 2 mm, 导电粒子为粒径 3~5 μm 的聚苯乙烯微球 (PSt) 表面涂镀一层厚度为 1 μm 的 Ni 微粒 (总粒径为 5 μm) 形成; 胶基体为改性环氧树脂, 与导电粒子以 9:1 体积比混合均匀后涂布成膜状 ACF, 其粘接温度为 180 °C, 玻璃化温度为 145 °C。

1.2 电极制作

1.2.1 极化实验

用环氧树脂对铜线 ($D=2$ mm) 进行密封, SiC 砂纸打磨露出光滑铜截面, 乙醇清洗表面, 再贴上 ACF 膜, 并用另一打磨光滑的铜截面对 ACF 施压。粘连完后采用 703 硅胶进行密封, 露出 ACF 胶膜, 在真空环境中干燥 24 h, 取出将其浸入质量分数为 3.5% 的 NaCl 溶液中, 采用三电极体系进行极化实验, 并采用同一根铜电极作空白对比。

1.2.2 阻抗实验

取 8.0 cm×2.5 cm 与 8.0 cm×0.2 cm 的铝片, 将其贴在载玻片 (7.5 cm×2.5 cm) 中央, 使一端与载玻片边缘对齐, 并用力将其压平。随后, 将指甲油均匀地涂在细铝片贴在载玻片部分的两端, 留出中间 2.0 cm 的部分。将 ACF 膜剪成小段 (长大于 2.0 cm), 均匀地贴在细铝片中间的空白部分。再将两贴有铝片的载玻片扣在一起, 用桌虎钳加压, 以裸露在外的铝片为导线, 先用万用表检测是否导电, 待导电较好时再进行实验。

1.2.3 操作条件

极化: 自电位稳定后测量, 采样频率 1 Hz, 初始

电位(相对开路电位)0.2 V;终止电位(相对参比电极)0.2 V;扫描速率 0.5 mV/s。

交流阻抗测量:直流电位(相对参比电极)为 -0.75 V;交流幅值:10 mV;扫描初始频率:10 000 Hz;终止频率:0.01 Hz;对数:10 点/10 倍频。

1.3 ACF 导电机理

ACF 已经在倒装芯片技术(Flip-chip)、射频识别技术(RFID)以及平板液晶显示技术(LCD)等方面有着重要的应用^[16-18],在微电子表面安装技术

(SMT)中主要作为柔性互连材料,其导电机理为:材料受压后能实现机械电力互连,并仅在互连方向(z 方向)形成导电通路,而在互连方向的垂直面上($x-y$ 平面)绝缘。ACF 可以提供细节距、冷互连,适用于各种类型的基板,如涂覆铜锡氧化物(ITO, Indium Tin Oxide)的 COG 玻璃基板、FR-4 印刷电路板(PCB, Printed Circuit Board)以及柔性印刷电路(FPC, Flexible Printed Circuit)^[19-20]。其工作示意和实物图如图 1(a)、(b)所示^[21-22]。

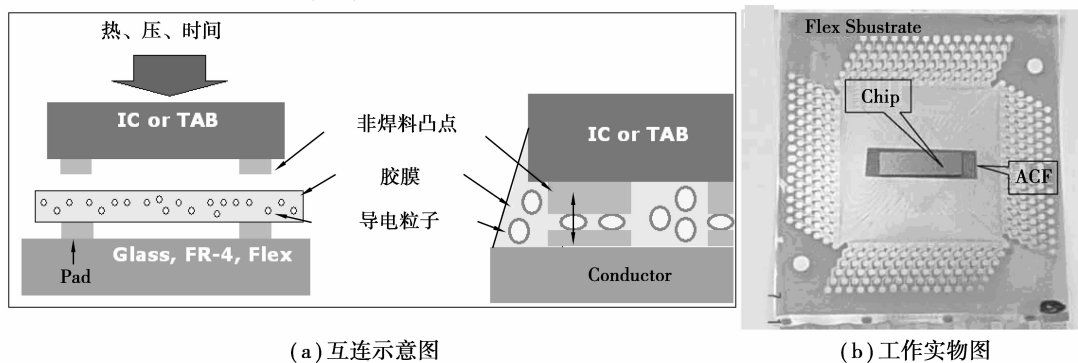


图 1 各向异性导电胶膜(ACF)在 SMT 封装中的应用

2 结果与讨论

2.1 不同实验条件下 ACF 电阻变化

2.1.1 压力对 ACF 电阻的影响

通过不断地调节压力,达到导电临界点时,采用三电极体系测量一组试样阻抗值,此压力设为加压 1。测试过程中,一端连接工作电极,另一端连接参比电极和辅助电极。测量完毕后,再大幅施压,当撤销压力而体系依然导通时测量第 2 组交流阻抗值,此压力设为加压 2。之后将压力施至最大,再测试第 3

组阻抗值,设为加压 3。图 2 是室温常态下(25 °C, 30% RH)ACF 体系在不同压力下的阻抗图谱,表 1 是不同压力下 ACF 膜的电阻值。从中可知,压力增大,ACF 电阻减小,导电性能增加。加压实现了 ACF 的导电,根据穿流理论,此压力使得填充率达到“渗滤阈值”^[23],导电填料互相接触,形成导电通道,ACF 在加压 z 方向上导电。当压力增大,导电粒子 Ni 与金属基板接触进一步增多,电阻减小,最终达到最大导电能力后,电阻稳定,而不再随着压力的增大而降低。

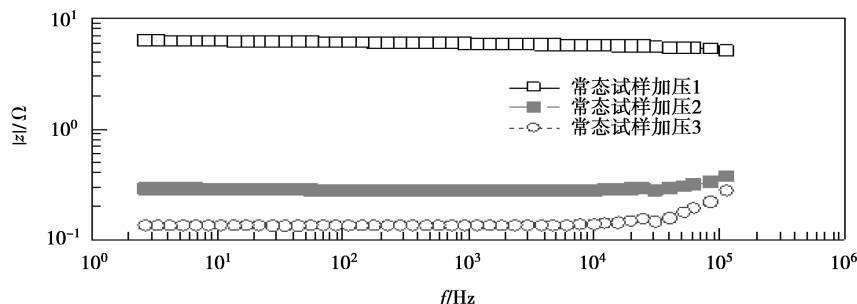


图 2 室温常态下不同压力的阻抗图谱

表1 室温常态不同压力下 ACF 的电阻值 Ω

试样	加压 1	加压 2	加压 3
电阻 R	6.235 0	0.285 2	0.133 1

通过分析室温常态下试样的电阻(默认为最大压力下的电阻值)与相同压力下未贴胶的铝片电阻进行比较,得 $R_{\text{试样}}=0.133\ 1\ \Omega$, $R_{\text{铝片}}=0.085\ 3\ \Omega$, $R_{\text{铝片}}$ 为定值。根据体系的测量回路可以知道,铝片与 ACF 串联,则 $R_{\text{ACF}}=R_{\text{试样}}-R_{\text{铝片}}=0.047\ 8\ \Omega$ 。此值设为 ACF 的常态值。

2.1.2 室温高湿环境下电阻变化

图3是试样在 $25\ ^\circ\text{C}$ 、相对湿度 85% 的环境中分别老化不同时间下的阻抗谱图,具体数据见表2。从中可知,在室温高湿的环境中,随着老化时间的增长,ACF 的电阻不断增大。高湿环境对 ACF 的导电性能有较大的影响,长期高湿环境中其导电性将会显著下降。同时,老化后 ACF 的粘接性能、机械强度大大降低。

由于 ACF 的导电粒子为 Ni 微米颗粒。在室温下,镍在潮湿空气中表面形成致密的氧化膜,不但能阻止继续被氧化,而且能耐碱、盐溶液的腐蚀。生成氧化镍(NiO, 又称氧化亚镍)不导电,致使老化后 ACF 接触电阻增大。

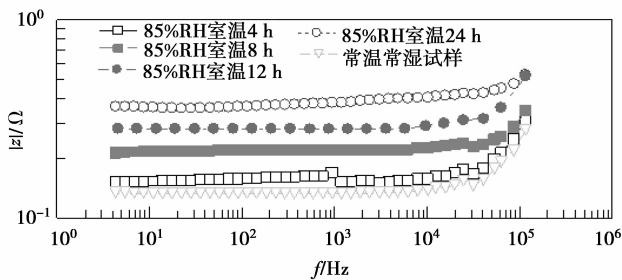


图3 室温高湿环境下不同老化时间的阻抗谱图

表2 室温高湿下不同老化时间的电阻值 Ω

试样	体系总电阻	铝片电阻	ACF 电阻
常态下	0.133 1	0.085 3	0.047 8
$25\ ^\circ\text{C}$, $85\%\text{RH}$, 4 h	0.150 4	0.085 3	0.065 1
$25\ ^\circ\text{C}$, $85\%\text{RH}$, 8 h	0.212 2	0.085 3	0.126 9
$25\ ^\circ\text{C}$, $85\%\text{RH}$, 12 h	0.281 4	0.085 3	0.196 1
$25\ ^\circ\text{C}$, $85\%\text{RH}$, 24 h	0.378 3	0.085 3	0.293 0

2.1.3 高温常态下电阻变化

图4是试样在 $80\ ^\circ\text{C}$ 、相对湿度 50% 的环境中分别老化不同时间下的阻抗图,具体数据见表3。与室温高湿的情形相似,在高温常湿环境中老化一段时间后,ACF 的电阻有较明显的增加。老化 $0\sim 4\ \text{h}$ ACF 电阻增大较缓, $4\sim 12\ \text{h}$ 增长程度较大。同样,老化后的 ACF 试样除了导电性能降低外,粘接性能和机械强度均有较大程度下降,说明温度对 ACF 的性质也有较大影响。

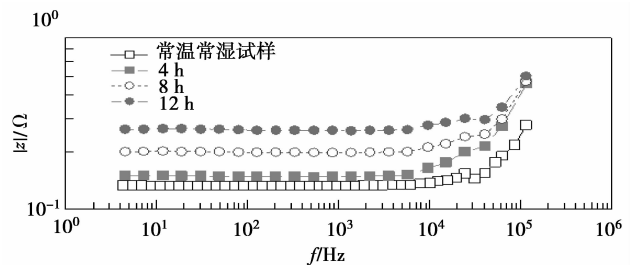


图4 高温常湿下不同老化时间的阻抗谱图

表3 高温常湿下不同老化时间的电阻值 Ω

试样	体系总电阻	铝片电阻	ACF 电阻
常态下	0.133 1	0.085 3	0.047 8
$80\ ^\circ\text{C}$, $50\%\text{RH}$, 4 h	0.150 7	0.085 3	0.065 4
$80\ ^\circ\text{C}$, $50\%\text{RH}$, 8 h	0.200 8	0.085 3	0.115 5
$80\ ^\circ\text{C}$, $50\%\text{RH}$, 12 h	0.263 4	0.085 3	0.178 1

2.1.4 高温高湿下电阻随时间变化

图5是在 $80\ ^\circ\text{C}$ 、相对湿度 85% 的环境中分别老化不同时间下的阻抗图,具体数据见表4。从中可知,高温高湿的条件下,同样会导致体系电阻增加,且增长程度比温度和湿度单独作用时均要大,这是温度和湿度共同作用结果。高温高湿条件下老化 $4\ \text{h}$, ACF 接触电阻急速增加,主要是由于 Ni 导电粒子点上有氧化物的存在,从而阻止了电流的穿越。

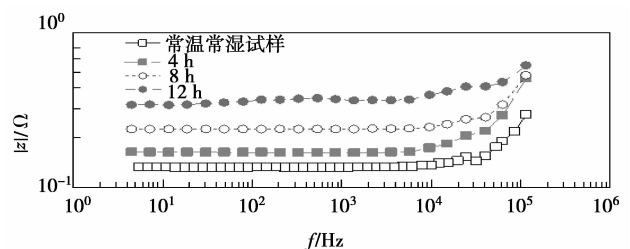
图5 高温高湿($80\ ^\circ\text{C}$ 、 $85\%\ \text{RH}$)下不同老化时间试样的阻抗谱图

表 4 高温常湿(80 °C、85% RH)下不同老化时间试样的电阻值 Ω

试样	体系总电阻	铝片电阻	ACF 电阻
常态下	0.133 1	0.085 3	0.047 8
80 °C, 85%RH, 4 h	0.164 2	0.085 3	0.078 9
80 °C, 85%RH, 8 h	0.225 1	0.085 3	0.139 8
80 °C, 85%RH, 12 h	0.316 1	0.085 3	0.230 8

2.2 不同条件下自腐蚀电位及腐蚀速率

2.2.1 常态及高湿条件下极化曲线

图 6 是常态(25 °C、30% RH)下 ACF 与空白铜

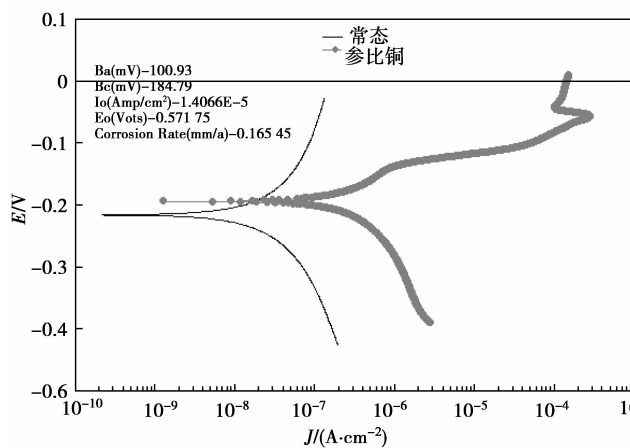


图 6 常态下试样与空白铜电极的极化曲线

电极的极化曲线对比。从中可知,试样的自腐蚀电位 E_0 为 $-0.216 63 \text{ V}$,铜导线的自腐蚀电位 E_0 为 $-0.194 92 \text{ V}$ 。对图中 2 曲线进行阴极段 Tafel 拟合,得出其腐蚀电流密度 $J_0 = 3.511 3 \text{ E}-8 (\text{A}/\text{cm}^2)$,铜导线 $J_1 = 5.506 2 \text{ E}-7 (\text{A}/\text{cm}^2)$ 。为了对比,图 7 是室温高湿(25 °C、85% RH)下分别老化了 8 h 和 12 h 的 ACF 的极化曲线,其自腐蚀电位与腐蚀速率见表 5。Tafel 斜率的拟合表明,与常态相比,高湿环境下老化后的腐蚀电流密度有所增加。

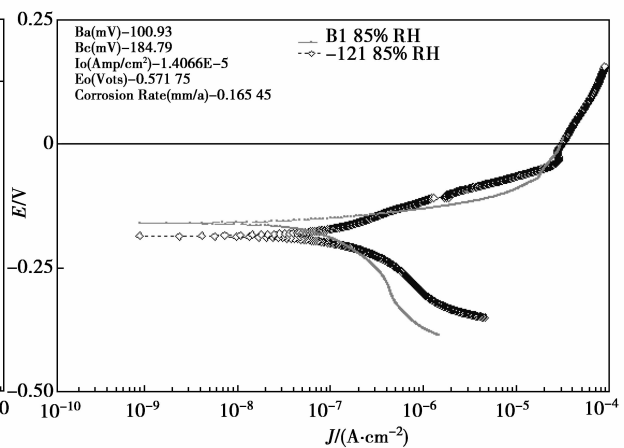


图 7 室温高湿下不同老化时间的极化曲线

表 5 室温高湿下不同老化时间自腐蚀电位与腐蚀电流密度

试样	自腐蚀电位 E/V	腐蚀电流密度 $J/(\text{A} \cdot \text{cm}^{-2})$
常态	-0.216	$3.51\text{E}-8$
8 h	-0.159	$1.85\text{E}-7$
12 h	-0.185	$1.78\text{E}-7$

2.2.2 不同温度和不同湿度下极化曲线

为了研究温度、湿度对 ACF 腐蚀影响,图 8 是在相对湿度 50%,不同温度(50 °C、70 °C、90 °C)下的极化曲线,图 9 是室温下 RH 分别为 50%、60%、80%的极化曲线,表 6 是自腐蚀电位与 Tafel 拟合后腐蚀电流密度。从中可知,湿度对 ACF 影响小于温度的影响,主要原因是高温加速 Ni 微粒在空气中形成了致密的氧化膜直接影响其导电性能,而湿度影响需先通过胶膜吸水后才起作用。老化时间段内,虽然 ACF 的电阻有所增长,但可能还不足以影响到导电胶的电阻及腐蚀速率。经过多次实验重现性较好,表明结果能准确反映 ACF 胶膜的腐蚀规

律。因此,可以认为,湿热环境下老化过程以电化学腐蚀为主,其反应过程为:阳极, $\text{Ni} - 2\text{e} = \text{Ni}^{2+}$; 阴极, $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e} = 4\text{OH}^-$ 。

表 6 不同温度下 ACF 自腐蚀电位与电流密度

第 1 组试样	自腐蚀电位 E/V	电流密度 $J/(\text{A} \cdot \text{cm}^{-2})$
常温,30% RH	-0.217	$3.51\text{E}-8$
50 °C	-0.134	$7.76\text{E}-8$
70 °C	-0.107	$5.07\text{E}-8$
90 °C	-0.109	$1.84\text{E}-7$
第 2 组试样	自腐蚀电位 E/V	电流密度 $J/(\text{A} \cdot \text{cm}^{-2})$
常温,30% RH	-0.217	$3.51\text{E}-8$
50% RH	-0.157	$6.54\text{E}-8$
60% RH	-0.128	$5.06\text{E}-8$
80% RH	-0.144	$7.82\text{E}-8$

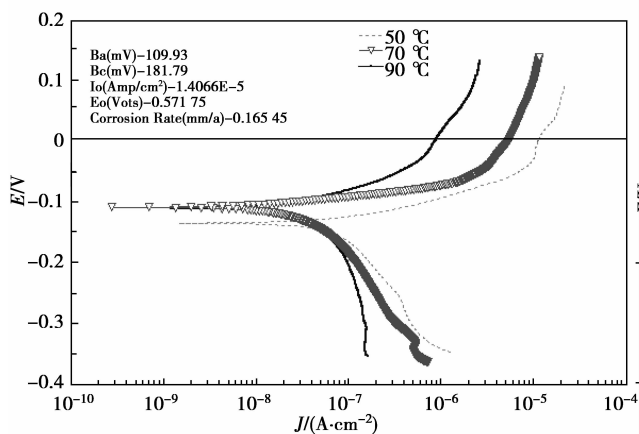


图 8 不同温度的极化曲线

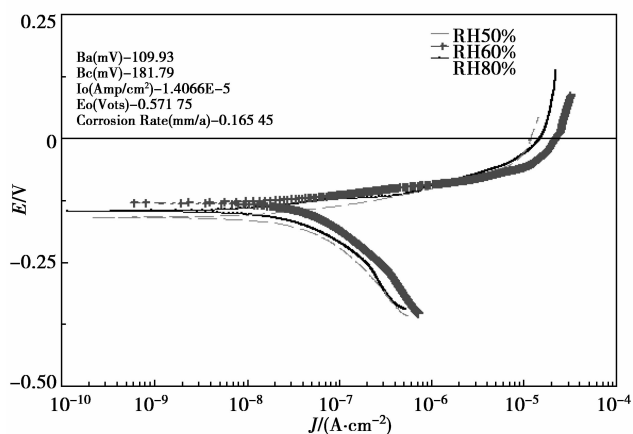


图 9 不同湿度的极化曲线

为了分析 ACF 在不同温度及湿度条件下耐腐蚀性能是否优于 Sn-37Pb 焊料,进行了一组实验,结果发现,在同一条件下 ACF 的腐蚀电流密度和腐蚀速率均小于 Sn-37Pb 焊料,说明 ACF 在相同条件下耐腐蚀性能较 Sn-37Pb 优越,原因可能与 ACF 的基体胶保护有关。腐蚀介质向内部扩散受到胶分子键的阻挡,即胶对内部 Ni 导电粒子起到一定程度的保护,从而使内部 Ni 粒子不易被腐蚀。

3 结 论

1) ACF 电阻随压力的增大而减小,当压力增大到一定程度时,ACF 电阻值不再变化,为定值。

2) 通过系列湿热试验可知,高温老化后试样,其电阻有较明显增大,导电性能有较显著降低。主要原因是导电粒子 Ni 的氧化,形成致密不导电的氧化膜 NiO,阻止了电流穿越。

3) 温度和湿度对 ACF 的独立影响规律相近,但温度影响略大。主要原因是湿度影响需先通过胶膜吸水后才起作用,两者的综合作用更加速了 ACF 的

老化,对 ACF 的导电性能影响更甚。

4) 湿热老化后,ACF 的机械强度和粘性均有下降,但其耐腐蚀性能均较相同条件下 Sn-37Pb 优越,可能原因是基体胶的保护作用。

参考文献:

- [1] 张新平,尹立孟,于传宝. 电子和光子封装无铅钎料的研究和应用进展[J]. 材料研究学报,2008,22(1):1-9. ZHANG XIN-PING, YIN LI-MENG, YU CHUAN-BAO. Advances in research and application of lead-free solders for electronic and photonic packaging [J]. Chinese Journal of Materials Research, 2008, 22(1): 1-9.
- [2] European Parliament and of the Council. Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment [J]. Official Journal of the European Union, 2003, 27(1): 19-37.
- [3] European Parliament/Council of the European Union. Directive 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council on waste electrical and electronic equipment[J]. Official Journal of the European Union, 2003, 27(1): 24-37.
- [4] 王洁静. 各向异性导电胶膜(ACF)力学性能研究[D]. 天津:天津大学,2008.
- [5] 陈莹,余凤斌,田民波. 微电子封装用各向异性导电胶膜的研究进展[J]. 绝缘材料,2009,42(5):34-37. CHENG YING, YU FENG-BIN, TIAN MIN-BO. The recent development of anisotropic conductive adhesive films for microelectronic packaging [J]. Insulating Materials, 2009, 42(5): 34-37.
- [6] 黄丽娟,曾黎明. 微电子封装用各向异性导电胶的研究进展[J]. 化学与粘合,2009,31(3): 57-77. HUANG LI-JUAN, ZHENG LI-MING. Research progress in anisotropic conductive adhesives for microelectronic packaging [J]. Chemistry and Adhesion, 2009, 31(3): 57-77.
- [7] LIU J. Life time prediction of anisotropic conductive adhesive joints during temperature cycling for electronics interconnect [C]//First International IEEE Conference on Polymers and Adhesives in Microelectronics and Photonics, Oct. 21-24, 2001, Montreux, Switzerland. [S. l.]: IEEE, 2001: 209-212.
- [8] RASUL J, OLSON W. Flip chip on paper assembly utilizing anisotropic conductive adhesive [C]// Proceedings of 52nd Electronic Components and Technology Conference, May 28-31, 2002, San Diego, USA. [S. l.]: IEEE, 2002: 90-94.

- [9] QUINN K T, DEANNA L M, GERRY F, et al. Conductive adhesive with stable contact resistance and superior impact performance [C]//2004 Electronic Components and Technology Conference, Jun. 1-4, 2004, Las Vegas, USA. [S. l.]: IEEE, 2004: 347-352.
- [10] WANG Z P. Challenges in the reliability study of chip-on-glass (COG) technology for mobile display applications [C]//Proceedings of the 5th Electronics Packaging Technology Conference, Dec. 10-12, 2003, Singapore. [S. l.]: IEEE, 2003: 595-599.
- [11] WU C M L, CHAU M L. Degradation of flip-chip-on-glass interconnection with ACF under high humidity and thermal aging [J]. *Soldering and Surface Mount Technology*, 2002, 14(2): 51-58.
- [12] 杨颖,王守绪,何为,等. 金属粉末:聚合物复合导电胶研究进展[J]. *印制电路信息*, 2009, 17(3): 65-69.
YANG YING, WANG SHOU - XUN, HE WEI, et al. Progress in research on metal fillers: polymer composite electrically conductive adhesives[J]. *Printed Circuit Information*, 2009, 17(3): 65-69.
- [13] LI H Y. A novel approach to stabilize contact resistance of electrically conductive adhesives on lead-free alloy surfaces[J]. *Journal of Electronic Materials*, 2004, 33(2): 106-113.
- [14] KIM J W, LEE Y C, JUNG S B. Reliability of conductive adhesives as a Pb-free alternative in flip-chip applications[J]. *Journal of Electronic Materials*, 2008, 37(1): 9-11.
- [15] 向昊,曾黎明,胡传群,等. 各向异性导电胶的研究与应用现状[J]. *粘接*, 2008, 29(10): 42-43.
XIANG HAO, ZENG LI-MING, HU CHUAN-QUN, et al. Current status of research and application of anisotropic conductive adhesives [J]. *Adhesion in China*, 2008, 29(10): 42-43.
- [16] FRISK L, RISTOLAINEN E. Flip chip attachment on flexible LCP substrate using an ACF [J]. *Microelectronics Reliability*, 2005, 45(3/4): 583-588.
- [17] 蔡雄辉,安兵,吴丰顺,等. 用于RFID标签封装的ACA的制备及性能研究[J]. *华中科技大学学报:自然科学版*, 2009, 37(1): 14-17.
CAI XIONG -HUI, AN BING, WU FENG -SHUN, et al. The preparation of an ACA used in RFID tag inlays packaging and its performance [J]. *Journal of Huazhong University of Science & Technology: Natural Science Edition*, 2009, 37(1): 14-17.
- [18] KANG U B, KIM Y H. A new COG technique using low temperature bumps for LCD driver IC packaging applications [J]. *IEEE Transactions on Components and Packaging Technology*, 2004, 27(2): 253-258.
- [19] 雷芝红,贺英,高利聪. 微电子封装用导电胶的研究进展[J]. *微纳电子技术*, 2007, 44(1): 46-50.
LEI ZHI-HONG, HE YING, GAO LI-CONG. Progress in conductive adhesives for microelectronic packages [J]. *Microelectronic Technology*, 2007, 44(1): 46-50.
- [20] LI Y, WONG C P. Recent advances of conductive adhesives as a lead-free alternative in electronic packaging: Materials, processing, reliability and applications [J]. *Materials Science and Engineering*, 2006, 51(1/3): 1-35.
- [21] 张绍东,傅仁利,曾俊,等. 无铅化微电子互连技术与导电胶[J]. *中国胶粘剂*, 2009, 18(7): 34-40.
ZHANG SHAO-DONG, FU REN-LI, ZENG JUN, et al. Lead-free interlinkage technique and electrically conductive adhesive in encapsulation of microelectronics [J]. *China Adhesive*, 2009, 18(7): 34-40.
- [22] MIR I, KUMAR D. Recent adhesives in isotropic conductive adhesives for electronics packaging applications [J]. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 2008, 28(7): 362-371.
- [23] YAMAGUCHI Y, TSUKAGOSHI I O. Anisotropic conductive adhesive films technical Report of IEICE [R]. [S. l.]: EMD, 1992: 29-36.

(编辑 张 苹)