

球栅阵列倒装焊封装中的热应变值的测试

李 禾 傅艳军 李仁增 严超华

(南昌航空工业学院实验力学研究室, 南昌 330034)

摘要: 利用高温云纹实验方法测试球栅阵列(BGA)封装焊点的热应变, 采用硅橡胶试件光栅复制技术, 使测试环境温度提高到 200℃。通过实时热应变测量, 得到各焊点的热应变关系以及封装材料、电路板各部分的热应变分布状况, 为研究集成电路封装组件焊点的建模和热疲劳破坏机理提供了可靠的实验依据。

关键词: 高温云纹; 光栅; 倒装焊; 热疲劳

EEACC: 0170J; 0170N; 4285; 4630R

中图分类号: O348; TN307 **文献标识码:** A

文章编号: 0253-4177(2002)06-0655-05

1 引言

近几年来, 由于电子工业和通讯技术的发展, 不断推出功能新颖的大规模集成电路, 同时, 对新产品的封装提出了更高的要求, 如采用倒装焊技术的球栅阵列(BGA)封装。这种封装器件是在基板底面以阵列方式制出的球形触点为引脚, 其优点在于引脚短、引线寄生电感和电容小、封装密度高、信号处理速度快, 而且在组装过程中成品率也高, 已被许多计算机、电子仪器等设备采用^[1]。在大规模集成电路芯片里有着上万个元件, 采用 BGA 技术封装, 通电使用时, 会产生一定的功耗, 以至使集成电路芯片发热, 有的芯片温度可达到一百多度。由于芯片使用过程中受交变温度条件的影响, 倒装焊 SnPb 基合金焊点内将产生周期性的应力应变过程, 导致裂纹的产生和扩展, SnPb 焊点接触电阻增大, 引起电路故障。为了提高倒装焊 SnPb 焊点的热循环可靠性, 对 SnPb 焊点的热疲劳破坏机理的研究已成为世界一些半导体制造商研究的热门课题。国内外一些研究单位采用实验方法确定倒装焊 SnPb 焊点的热循环寿命, 用有限元方法模拟 SnPb 焊点的热循环条件下的应力应变过程, 建立倒装焊 SnPb 焊点热循环失效的寿命模式^[2]。清华大学、美国 Motorola 公司、IBM 公司等均采用密栅云纹干涉法测试倒装焊

SnPb 焊点剖面热应变以及焊点的热应变场分布, 利用实验得到的边界条件, 结合有限元法对焊点进行理论分析与数字计算, 并在国际上发表了研究论文^[3], 受到半导体制造商们的关注。他们用云纹干涉法测试时采用高温复制光栅(在测试温度环境下冻结试件的膨胀信息), 室温分析的方法。对同一种集成电路芯片测试不同温度点的热应变时, 需制作相应数量的试件, 使测试复杂化, 不能直接观察到连续变化的规律。于是一些半导体制造商提出了对焊点热应变进行实时测试的要求。我们通过对云纹干涉法实时测试的研究, 整理出一套倒装焊 SnPb 焊点热应变的实时测试方法(测试温度范围: 室温~200℃)、硅橡胶复制高密光栅的制作工艺, 并得到中国船舶总公司上海 711 研究所和台湾一些半导体制造商的充分肯定。

2 实验方法

密栅云纹干涉法是一种非接触位移测试方法, 具有精度高、分辨率和对比度高, 能测出全场各点的精确位移, 尤其是微小区域的位移。光路原理如图 1 所示, 平面准直光经 U、V 场分离装置可分出四束准直光, 可取纵向或横向的各两束, 由摄像机摄取两入射光的±1 级衍射光所产生的波前干涉条纹图像, 其横向位移函数为:

李 禾 男, 副教授, 1956 年出生, 从事光测力学研究。

2001-09-23 收到, 2001-12-17 定稿

©2002 中国电子学会

$$U(x, y) = \frac{N_u}{2f} \quad (1)$$

纵向位移函数为:

$$V(x, y) = \frac{N_v}{2f} \quad (2)$$

其中 N_u 为 U 场等位移条纹级数; N_v 为 V 场等位移条纹级数; f 为光栅频率.

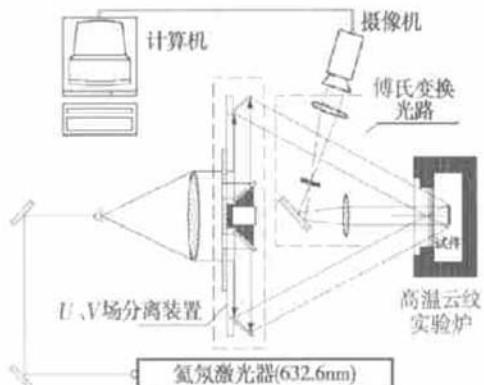


图 1 云纹干涉法实验光路图

Fig. 1 Optical paths for moiré interferometry testing

对应的全场应变为 ϵ_x, ϵ_y , 有:

$$\begin{aligned} \epsilon_x &= \frac{\partial U}{\partial x} \cong \frac{\Delta N_u}{2f \Delta x} \\ \epsilon_y &= \frac{\partial V}{\partial y} \cong \frac{\Delta N_v}{2f \Delta y} \end{aligned} \quad (3)$$

其中 ΔN_u 为横向位移场 $U(x, y)$ 内对应 Δx 的干涉条纹数; ΔN_v 为纵向位移场 $V(x, y)$ 对应 Δy 的干涉条纹数^[4].

在测试之前, 将 BGA 封装芯片连同电路板一起沿依次排列的 PBGA 焊点切割, 研磨出 SnPb 球的最大截面, 如图 2 所示, 然后在截面上转移高密度光栅. 根据测试的要求, 光栅可选用 600 线/mm、1200 线/mm 的正交光栅. 通常转移光栅的胶粘剂常用树脂胶, 而一般的树脂胶到 120℃时便开始软化变形, 不适应高温使用. 为了寻求一种既能在高温

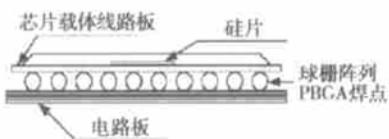


图 2 BGA 组件截面示意图

Fig. 2 Typical section of BGA package

环境下工作又能够可靠地转移高密度光栅的材料, 我们采用了市面上易于购置的 106、107 硅橡胶(硅橡胶可在 350℃以下的环境温度中使用). 用零厚度金属光栅压铸硅橡胶于试件被测试表面, 在表面形成极薄的硅橡胶光栅膜. 由于转移后的硅橡胶光栅膜透明, 衍射效率较低, 云纹干涉条纹图的对比度差, 为了提高衍射效率, 在制成的硅橡胶光栅表面蒸镀一层很薄的银膜层. BGA 封装芯片制备硅橡胶光栅的工艺过程如下:

切割 BGA 封装芯片 → 研磨、抛光测试面 → 用偶联剂处理测试面 → 制作硅橡胶光栅 → 蒸镀银膜

通常 106、107 硅橡胶固化后很容易脱落, 需通过偶联剂的作用才能牢固地粘在试件上. 偶联剂为水剂(PC 底胶), 干燥后形成的厚度影响可忽略. 但是, 硅橡胶是一种很稠的物质, 压铸光栅时会形成一定的厚度, 厚度直接影响测量的准确性. 我们用稀释剂将硅橡胶稀释, 使复制的光栅膜层厚度减少到最低限度.

3 实验结果与分析

将复制好试件光栅的 BGA 封装芯片放在图 3 所示的高温云纹实验炉的平台上, 调节摄像机至试件成像清晰; 接着调节 U, V 装置的四个全反镜, 使摄像机采集到的条纹最少或整个图像呈均匀灰度(调零场); 然后进一步调节 U, V 装置的四个全反镜, 使 U 场的条纹垂直、 V 场的条纹水平, 并使焊点锡球上有两条干涉条纹. 由于采用的光栅密度为 1200 线/mm, 1/2400mm 的位移量产生一条干涉条纹, 不影响测试结果^[5]. 在升温过程中, 每隔 10℃ 设定一个控温点, 让实验炉保温 5~10min, 使试件受热均匀, 采集一次 U, V 两场的云纹图. 图 4 为 TC529860 芯片在不同温度下的云纹图, 图 5 为 D24223-99 芯片在不同温度下的云纹图. 实验中使用了摄像机采集图像, 便于计算机数据处理. 由于受到摄像机 CCD 阵面像素的限制(580×520), 图像采集限于 BGA 封装芯片的中段, 作为实时方法的研究. 采集各温度下的条纹图, 确定 U 场各焊点内 Δx 间的干涉条纹数和 V 场 Δy 间的干涉条纹数, 由(3)式计算每个温度点对应的应变值 ϵ_x, ϵ_y . (3) 式中:

$$\Delta x = (x_2 - x_1)/m_x$$

$$\Delta y = (y_2 - y_1)/m_y$$



图 3 (a) 高温云纹实验炉;(b) 真空高温实验炉

Fig. 3 (a) Heating furnace for moiré interferometry testing; (b) Vacuum furnace

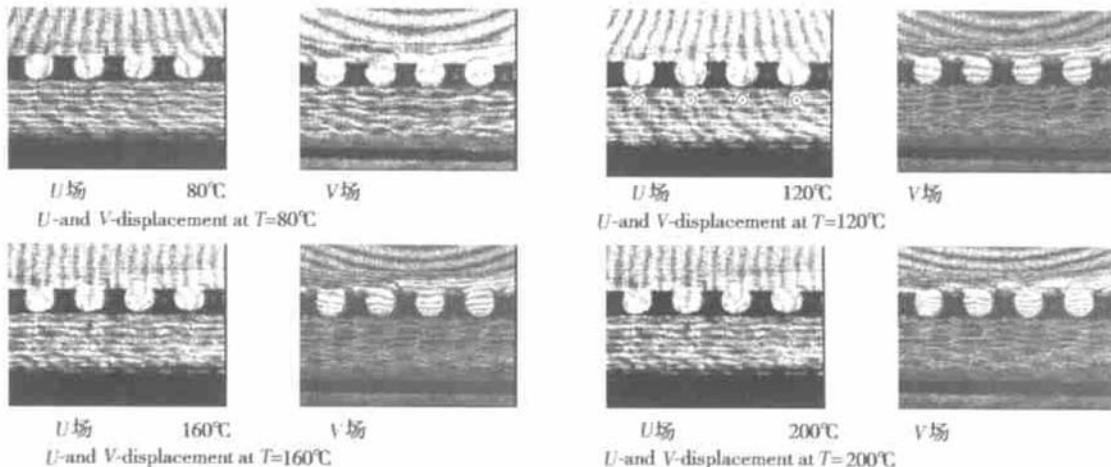


图 4 试件 1(TC529860 芯片)的云纹图

Fig. 4 U -and V -displacements of No. 1 specimen (chip TC529860)

实际上 x_1, x_2 是被测焊锡球直径处首尾条纹的横向坐标, m_x 是横向每毫米像素点数; y_1, y_2 是被测焊锡球直径处首尾条纹的纵向坐标, m_y 是纵向每毫米像素点数。将这些对应点描出应变-温度曲线, 图 6、7 分别是芯片 GTBGA 与 D24223-99 芯片各点不同温度的应变曲线, 左起均为第 1 个焊点, 至右排序。由于图像采集在封装组件中心, 从云纹图中可以看到, 塑封板与芯片载体上的云纹随温度升高渐弯曲, TC529860 芯片向上, D24223-99 芯片向下, 这表明封装材料产生弯曲变形。对未与电路板焊接的 D24223-99 芯片来说, 两边焊点产生转动, 出现转角云纹现象, 这是由于封装材料与硅片材料的热膨胀系数不同造成的。TC529860 芯片已焊接在线路板上, 虽然上封装材料和下电路板有着不同的热膨胀系数, 但是这两种材料热膨胀系数较接近时, 转角现象不明显, 各点 V 场条纹基本水平。如果上封

装材料和下电路板的热膨胀系数差别较大时, 各焊点是这两部分之间唯一的机械支撑, 起着约束作用(从云纹线条转向来确定), 还需要考虑剪切变形的影响, 周期性的剪切应变将导致焊点裂纹的产生:

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \cong \frac{\Delta N_{Uy}}{2f \Delta y} + \frac{\Delta N_{Vx}}{2f \Delta x} \quad (4)$$

计算(4)式时, 需确定 Δx 间的 V 场方向上的干涉条纹数 ΔN_{Vx} , Δy 间的 U 场方向上的干涉条纹数 ΔN_{Uy} 。另外, 在制作试件光栅的过程中, 对 BGA 封装芯片断面研磨一定要平整, 避免硅橡胶光栅厚度不均匀。稀释后的硅橡胶, 只需轻压试件至固化, 既不使试件产生变形, 又能确保光栅厚度为最低。试件光栅制作的质量可在图 1 的干涉光路中判断, 全场中的 U, V 场能调至零场(因模板光栅可调零场), 才能保证测量的可靠性。

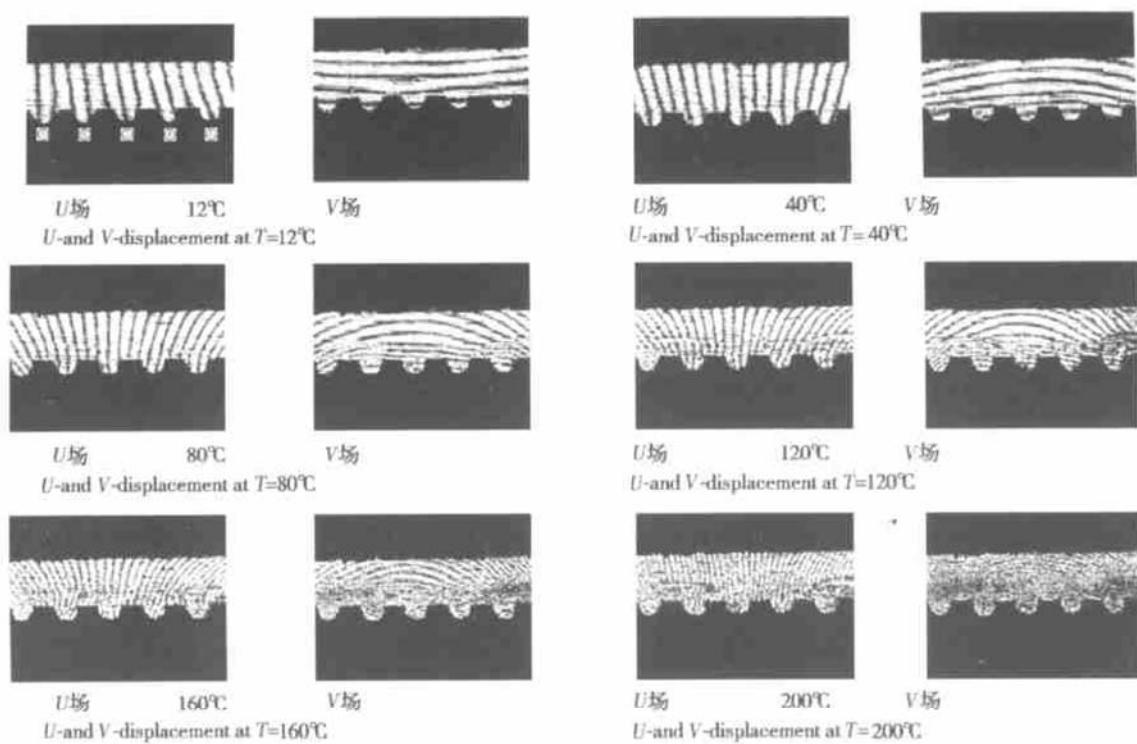


图 5 试件 2(D24223-99 芯片)的云纹图

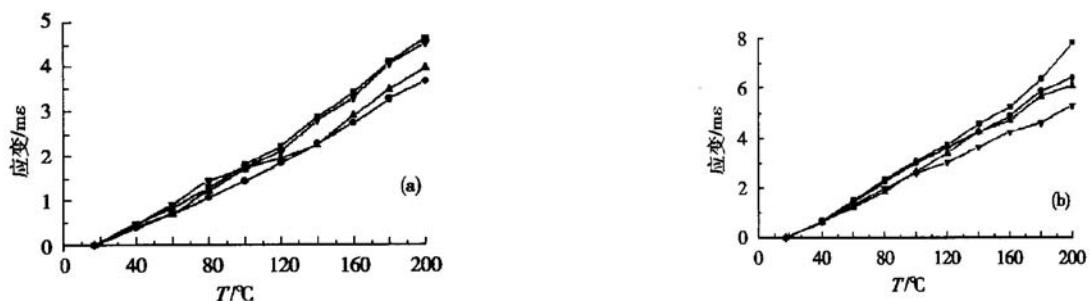
Fig. 5 U - and V -displacements of No. 2 specimen (chip D24223-99)

图 6 TC29860 芯片的应变-温度曲线 (a) 横向; (b) 纵向

Fig. 6 Strain-temperature curve of TC29860 chip

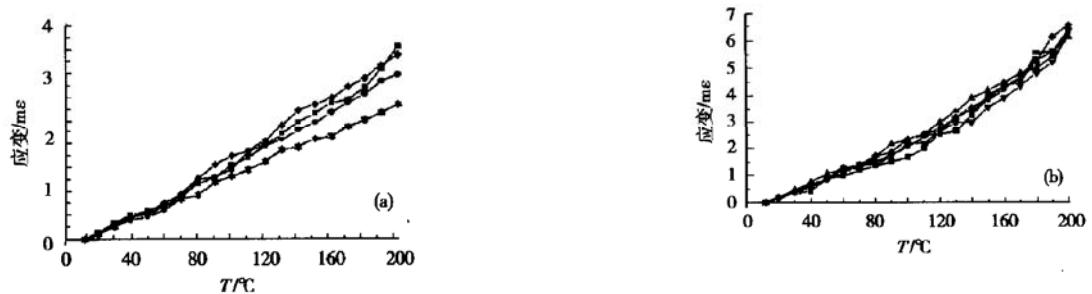


图 7 D24223-99 芯片的应变-温度曲线 (a) 横向; (b) 纵向

Fig. 7 Strain-temperature curve of D24223-99 chip

4 结论

由于云纹干涉法能测量微小区域内的应变,使直径小于1mm的PBGA焊点热应变测试成为可能,使用带观察窗口的实验炉,如图3(a)、(b)所示,又将热应变测试实时化。通过上述的高温应变实时测试,我们能很方便地得出BGA封装集成电路芯片PBGA焊点不同温度的U-V场热应变,尤其采用了硅橡胶试件光栅,提高了被测环境温度,在140~200℃需要测试的范围内得到清晰的云纹图。若将采样温度点间隔减小,就可以测得更详细的应变-温度对应值。在BGA封装集成电路芯片进行整体热循环理论分析时,采集芯片全场U、V方向的云纹干涉条纹图,对封装材料部分、电路板和PBGA焊点进行整体应变测试,可确定不同温度的边界条件,同时也为理论分析提供了重要的实验依据。

参考文献

- [1] Zhou Dejian, Pan Kailin, Wu Zhaohua, et al. Modeling and predicting solder joint shapes of ball grid array. Chinese Journal of Semiconductors, 1999, 20(1): 47(in Chinese) [周德俭,潘开林,吴兆华,等.球栅阵列(BGA)器件焊点形态成形建模与预测.半导体学报,1999,20(1):47]
- [2] Chen Liu, Zhang Qun, Wang Guozhong, et al. Thermal cycle failure of SnPb solder joint for flip chip package and effects of under fill material. Chinese Journal of Semiconductors, 2001, 22(1): 107(in Chinese) [陈柳,张群,王国忠,等.倒装焊SnPb焊点热循环失效和底充胶的影响.半导体学报,2001,22(1):107]
- [3] Zhu Jiansen, Zou Daqing, Liu Sheng. High temperature deformation of area array packages by moiré interferometry/FEM hybrid method. 1997 Electronic Components and Technology Conference, 1997
- [4] Wang Fengxiang, Li He, Yu Caixi, et al. Experimental investigation of fracture toughness for superalloy LDZ-125. Journal of Nanchang Institute of Aeronautical Technology, 1995, 1: 1 (in Chinese) [王凤翔,李禾,喻才喜,等.LDZ-125高温合金断裂韧性实验研究.南昌航空工业学院学报,1995,1:1]
- [5] Li Renzeng, Yan Chaohua, Li He, et al. Development of measuring linear expansion coefficient for high-temperature material by moiré interferometry. Proceedings of 5th AVIC Symposium on Mechanical Properties of Aeronautical Metal Materials, 2000(in Chinese) [李仁增,严超华,李禾,等.激光云纹法测定高温材料热膨胀系数的研究.第五届航空金属材料力学性能与测试技术研讨会论文集,2000]

Measuring Method in Thermal Strain of Flip Chip Package with Solder Joints

Li He, Fu Yanjun, Li Renzeng and Yan Chaohua

(Nanchang Institute of Aeronautical Technology, Nanchang 330034, China)

Abstract: A replicating technology with silica gel is studied by testing the advanced BGA package of the thermal strain through the moiré interferometry experiment in a high temperature and the thermal strain can be tested from room temperature to 200℃. By measuring the thermal strain in real time, the situation of all the soldering sections, and the packing materials are obtained. At the same time, the circuit board distribution of every thermal can be obtained, too. This research provides significant experimental data for studying the packing subassembly of soldering points of integrated circuit of modeling and the thermal fatigue destroying mechanism.

Key words: high temperature moiré; grating; flip chip package; thermal fatigue

EEACC: 0170J; 0170N; 4285; 4630R

Article ID: 0253-4177(2002)06-0655-05

Li He male, was born in 1956. Now he is an associate professor and engaged in optical mechanics.

Received 23 September 2001, revised manuscript received 17 December 2001

© 2002 The Chinese Institute of Electronics