

文章编号:1673-9981(2008)01-0151-04

影响倒装芯片底部填充胶流动的因素分析

张良明

(广州大学,广东 广州 510006)

摘要: 材料特性对倒装芯片底部填充胶流动的影响因素主要有表面张力、接触角和粘度等。在考虑焊球点影响的情况下,主要影响因素有焊球点的布置密度及边缘效应。

关键词: 倒装芯片;填充胶;焊球点;表面张力;接触角

中图分类号: O35 **文献标识码:** A

在对外形尺寸要求苛刻的 MEMS 器件封装中,倒装芯片互连工艺得到了广泛应用。由于硅芯片与有机材料电路板热膨胀系数的差别较大,在温度的循环下会产生热应力差,使连接芯片与电路基板的焊球点(凸点)断裂,从而使元件的电热阻增加,甚至使整个元件失效。解决这个问题既直接又简单的办法是,在芯片与电路板之间填充密封胶(简称填充胶)。这样可以增加芯片与基板的连接面积,提高二者的结合强度,对凸点起到保护作用。底部填充是倒装芯片互连工艺的主要工序之一,对倒装芯片可靠性的影响很大,所以研究填充胶的流动性有着重要的意义。

1 主要影响因素

1.1 材料特性

许多学者^[1-3]利用 Washburn 模型^[4]来研究倒装芯片底部填充胶的流动情况。该模型假设填充胶在芯片和电路底板之间的流动为稳定的二维层流流动,填充胶为充分发展段的不可压缩的牛顿流体。在上述假设的条件下,由 Navier-stokes 方程可以得出填充胶流动时间和流动距离之间的关系式^[3]:

$$t = \frac{3\mu x_f^2}{h\sigma\cos\theta}, \quad (1)$$

式(1)中: σ 为填充胶流动前端与空气之间的表面张力, x_f 为填充胶流动前端所走过的距离, θ 为填充胶流动过程中与芯片所形成的接触角, μ 为牛顿流体的填充胶的粘度, h 为芯片与电路底板之间的缝隙高度。当填充完成时,填充胶流动的距离 L 即为方形芯片的长度。在不考虑焊球的影响和假设填充胶是牛顿流体的情况下,上述因素都会影响填充胶的流动。

1.1.1 表面张力

填充胶在流动的过程中,壁面的粘滞力是其在晶片与基板间隙间流动的唯一推动力。表面张力 σ 与压力差 V_p 和接触角 θ 之间的关系^[3]可以表示为:

$$V_p = \frac{2\sigma\cos\theta}{h}. \quad (2)$$

一般情况下,填充胶的特性及芯片与底板之间的粗糙度等因素对表面张力的影响不大。在填充温度为 80~90 °C 时, Han^[3] 测得 σ 为 20~30 dyn/cm。由式(2)可知, σ 越大,填充胶前沿界面与空气之间的压力差也越大,即填充胶所受的推力也越大,流动也就越快。

1.1.2 接触角

以往的文献多假设填充胶波前的接触角为定值,而在流动过程中接触角并非不变,接触角的大小直接影响填充胶在壁面上的粘滞力,对流动行为的影响很大。Newman^[4]用式(3)描述动态接触角随时

收稿日期:2007-11-15

作者简介:张良明(1981-),男,湖南邵阳人,硕士研究生。

间的变化。

$$\cos\theta = \cos\theta_0(1 - ae^{-ct}), \quad (3)$$

式(3)中 $a = 1 - \frac{\cos\theta_0}{\cos\theta_c}$, $c = \sigma/\eta M$; θ_0 为最初接触角, θ_c 为平衡接触角, M 为常量, η 为粘度系数. 把式(3)代入式(1)中, 整理后得到流动时间和流动距离的关系式为:

$$x_f = (\sigma h \cos\theta_c)^{\frac{1}{2}} \left[t + \frac{a}{c} (e^{-ct} - 1) \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (4)$$

1.1.3 粘度

实际生产中所用的填充胶都为非牛顿流体, 可用 Power-Law 模型描述, 即:

$$\eta = m\dot{\gamma}^{n-1}, \quad (5)$$

式(5)中: m 和 n 是粘度拟合的系数, $\dot{\gamma}$ 为剪切速率. 在一定温度下, 假定 m 和 n 的值不变, 如在 60 °C 用 FP4530 作填充胶时, $m = 0.06$, $n = 1.45$. Jinlin Wang^[4] 测得 5 种填充胶(图 1 中 a-e)的粘度随温度变化的情况, 如图 1 所示.

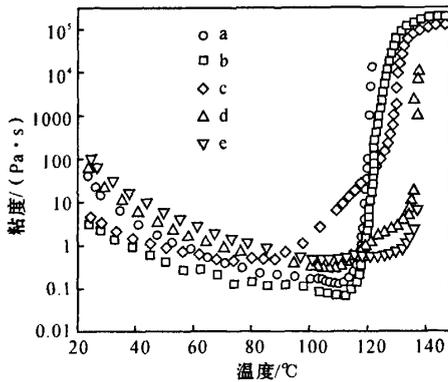


图 1 粘度与温度之间的关系曲线

Fig. 1 The relationship between the viscosity and temperature

由图 1 可知, 在一定温度范围内, 粘度随着温度的升高而降低. 但是温度超过一定值, 粘度随着温度的升高而急剧增大. 主要原因是超过一定温度后, 填充胶的硬化反应变得很明显, 使流体的粘度急剧上升.

1.1.4 硬化反应

填充胶属于热固性树脂, 在流动的过程中需要考虑其硬化反应. 台湾清华大学王永元^[6]指出, 材料 FP4510 在 80 °C 下硬化反应的转化率最高约为

1%. 在此温度下, 填充胶的硬化反应对流动的影响很小; 在 23 °C 时, 转化率更小, 填充胶的硬化反应可以忽略.

1.1.5 温度

公式(2)没有直接显示出温度项, 但表面张力、接触角和硬化反应, 尤其是粘度都与温度有很大关系. 一般随着温度升高, 填充时间缩短, 但是填充温度不能超过填充胶的硬化温度(图 1). 表 1 为不同温度下的填充时间和填充度^[3]. 由表 1 可知, 温度对填充时间的影响很大.

表 1 不同温度下的填充时间和填充度

Table 1 The filling time and filling factor at different temperatures

温度/°C	填充度/%	填充时间/min
80	0.926	1
50	0.676	3
23	0.25	3
23	0.402	10
23	0.646	45

由图 1 和表 1 可知, 在 70~90 °C 时填充胶的粘度系数小, 填充度高, 填充时间短. 在此温度下, 芯片下表面和电路底板上表面会产生向上的气流, 这种向上的气流可以减少在填充胶内部产生气泡, 从而延长整个元件的使用寿命. 在实际倒装芯片填充工艺中, 芯片和电路底板的温度一般为 70~90 °C.

1.2 焊球点的影响

在倒装芯片的封装中, 焊球点是连接芯片和印刷电路板的通道. 在芯片上分布着密密麻麻的焊球点, 焊球点的存在, 增加了填充胶流动的阻力. 针对填充胶在填充过程中的流动, Wan^[5]提出了考虑焊球点影响的模型. 填充胶属于非牛顿流体, 利用幂指数(power-law)公式, 不考虑焊球点存在的情况下, 得到模型 I:

$$t_f = \left[\frac{2n+1}{(n+1)b} \right] \left[\frac{m}{\sigma \cos\theta} \right]^{\frac{1}{n}} x^{\frac{n+1}{n}}; \quad (6)$$

考虑焊球点存在的情况下, 得到模型 II:

$$t_f = \frac{2n+1}{n+1} \left[\frac{mhw(w+d)}{2\sigma \cos\theta(w^2+dw-dh)} \right]^{\frac{1}{n}} \left(\frac{2x}{h} \right)^{\frac{n+1}{n}}. \quad (7)$$

式(7)中: w 为焊球点之间缝隙的宽度, d 为焊球点的直径, t_f 表示流体前端到达 x 处时所用的时间. Wan^[6]指出模型 II 能很好地与试验所测数据相符,具有较高的可靠性.

1.2.1 焊球点的布置密度

用 Wan 模型分析焊球点的布置密度对填充胶流动的影响,填充胶在 80 °C 的基本物性参数^[5]为: $m=1.03, n=1.09, \theta=25.5^\circ, \sigma=0.027 \text{ N/m}$. 在焊球点直径 $d=100 \mu\text{m}$, h 为 65, 100, 200 μm 时,分别用模型 I 与模型 II 计算焊球中心点之间的距离和填充时间,其关系曲线如图 2 所示.

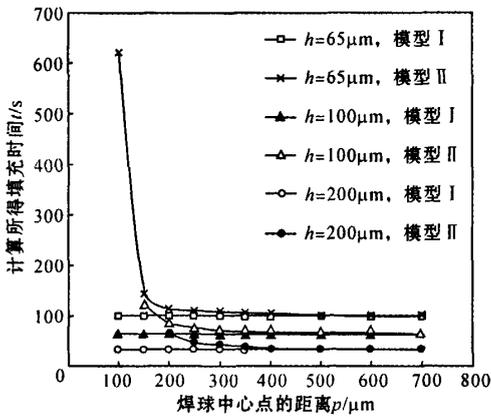


图 2 计算所得填充时间与相邻焊球中心点的距离之间的关系

Fig.2 Relationship between the measured filling time and the centre distance of adjacent solder bumps

由图 2 可知,在 $h=100 \mu\text{m}, p \leq 200 \mu\text{m}$ 或 $h=200 \mu\text{m}, p \leq 250 \mu\text{m}$ 时,流动几乎是停滞的;在 $h=65 \mu\text{m}, p \leq 200 \mu\text{m}$ 时,填充时间增加明显. 在 $p=300 \mu\text{m}$ 时,三种情况下分别用模型 I 与模型 II 所计算的填充时间相差不大,这时焊球的存在对填充时间的影响已经比较小了. $p \geq 350 \mu\text{m}$ 时,用模型 I 与模型 II 所计算的填充时间几乎相同. 由图 2 还可知,在其它条件相同的情况下,芯片与电路底板之间的缝隙高度 h 对填充胶也有一定的影响,高度越高,填充时间越短.

1.2.2 边缘效应

边缘效应是指在理想的填充过程中,填充胶的流动前端是直线的. 实际上,填充胶在流动的过程中靠近边缘的流动会比中间快,越靠近边缘此现象就

越明显. 图 3 是 L. Nguyen^[7] 在试验中观测到的现象. 由于边缘效应会使芯片的边缘产生空气泡,而空气泡的存在会使此处焊球点的热应力差增大,从而导致焊球点断裂,增加元件的电热阻,甚至使整个元件失效. Wan^[6]指出,边缘尺寸越大,边缘效应越明显,即流动前锋的形状分布越不一致. 可见,为了减小边缘效应的影响,应尽可能的缩小焊球点边缘与芯片边缘之间的距离.

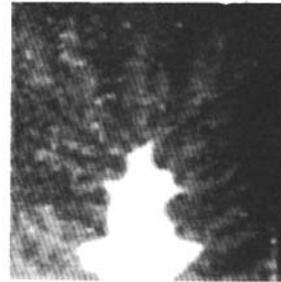


图 3 “边缘效应”对流动的影响

Fig.3 Influence of ‘edge effect’ on the fluidity

2 结 论

影响填充胶在芯片和电路底板之间流动的因素:一方面是填充胶的表面张力、接触角、粘度和硬化反应,其中粘度是主要因素,而温度又是影响填充胶粘度的主要原因;另一方面是焊球点的布置密度和边缘效应,焊球点对流动的影响取决于焊球点之间缝隙的宽度、焊球点的直径及芯片与电路底板之间的缝隙高度. 这对进一步研究倒装芯片底部填充胶的流动特性有一定的帮助.

参考文献:

[1] WANG J. Underfill of flip-chip on organic substrate: viscosity, surface tension, and contact angle[J]. Microelectronics Reliability, 2002, 42: 293-299.
 [2] GORDON M H, NI G, SCHMIDT W F, et al. A capillary-driven underfill encapsulation process[J]. Advanced Packaging, 1999, 8: 34-37.
 [3] HAN S, WANG K K. Analysis of the flow of encapsulant during underfill encapsulation of flip-chips[J]. IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology; Part B, 1997, 20 (4): 424-433.

- [4] WANG J. Underfill of flip-chip on organic substrate: viscosity, surf. tension contact angle microelectron[J]. Reliab, 2002, 42: 293-299.
- [5] WAN J W. Analysis and modeling of underfill flow driven by capillary action in flip-chip packaging[D]. Saskatoon(Canada); University of Saskatchewan, 2005.
- [6] 王永元,张荣语. 表面张力与接触角变化对封覆晶封装底部填充胶流动的影响[M]. 台湾:台湾清华大学, 1990: 85-89.
- [7] NGUYEN L, QUENTIN C, FINE P, et al. Underfill of flip chip on laminates: simulation and validation [J]. IEEE Transactions on Components and Packaging Technology, 1999, 22(2): 168-176.

Influencing factors of the fluidity of flip-chip underfill

ZHANG Liang-ming

(Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: The influencing factors of the fluidity of flip-chip underfill are discussed. It is pointed out that the surface tension, contact angle and viscosity coefficient are the primary factors if the effect of solder bumps is not taken into account. In contrary, the existent density and edge effect of solder bumps are the most important factors.

Key words: flip-chip; underfill; solder bump; surface tension; contact angle



(上接第 150 页) cause the metal corrosion and scaling of waterflood system. The mechanism and features of the corrosion and scaling are reviewed. The present situation of prevention measures to the corrosive bacteria, especially the sulfate-reducing bacteria is discussed. Finally, the research direction of corrosive bacteria is introduced.

Key words: bacteria; corrosion; scaling; waterflood system; oil field