

文章编号:1671-6833(2009)02-0031-04

各向异性导电胶膜损伤破坏试验与数值分析

贾宏¹, 黄刘刚¹, 孙维威², 张军¹

(1. 郑州大学 化学工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 北京交通大学 机电学院, 北京 100044)

摘要: 各向异性导电胶膜粘接结构是微电子封装中广泛应用连接形式. 粘接结构在外载荷的作用下, 粘接界面容易出现损伤与破坏从而使得结构失效. 运用内聚力模型(cohesive zone model)用有限元方法模拟了各向异性导电胶膜粘接结构在剥离测试中的粘接界面损伤与破坏的过程. 通过与相应的试验数据比较, 验证了内聚力模型对于导电胶膜粘接界面损伤破坏数值模拟的可行性. 模拟计算分析了粘接界面损伤破坏与界面张开位移的关系, 计算结果表明, 粘接界面在剥离力的作用下, 出现损伤后将很快达到破坏进而引起粘接界面的失效.

关键词: 各向异性导电胶膜; 粘接界面; 数值模拟; 内聚力模型

中图分类号: TQ 433.4 **文献标识码:** A

0 引言

近年来在微电子封装制造等行业中, 焊接连接工艺因温度较高, 容易导致较为剧烈的热应力作用, 同时电子器件集成度的不断提高对其连接的可靠性要求越来越高, 使得导电胶的使用日趋增加. 导电性能是各向异性导电胶重要的性能之一, 除了导电性能稳定以外, 力学性能也是其连接可靠性所面临的重要问题. 电子产品在生产、运输和使用过程中, 难免受到碰撞、震动等力学冲击, 这就要求导电胶具有较强的粘接能力和耐冲击性能. 随着超大规模集成电路的集成度和工作频率的增加, 对导电胶膜粘接结构的可靠性包括湿热稳定性、抗冲击性和胶接强度等方面的要求越来越高^[1].

各向异性导电胶粘接结构破坏形式主要是其粘接界面的损伤破坏, 目前对导电胶粘接可靠性的研究中, 提出了各种理论模型来评价导电胶的粘接可靠性, 并进行相应的可靠性实验, 揭示导电胶的主要失效机理, 研究温度或湿度等环境及结构参数对于导电胶粘接界面可靠性的影响^[2]. 通过试验对原有模型进行修正, 提出适合于评价各向异性导电胶可靠性的数学计算模型, 从而外推出各种状态下导电胶的实际寿命然后利用有限元

模拟法对其模型进行验证^[3-4].

通过有限元方法, 采用内聚力模型(Cohesive Zone Model)模拟计算了各向异性导电胶膜粘接结构剥离测试过程中界面的损伤破坏, 将计算结果与试验研究结果进行比较, 验证了模拟计算的准确性. 根据计算结果, 讨论了粘接结构剥离过程中导电胶粘接界面损伤的演化导致破坏开裂的过程.

1 导电胶的粘接界面研究及其数值计算模型

粘接界面失效发生在两个相互粘接材料界面上, 界面的粘接强度取决于界面的化学和机械特性. 在目前对于粘接界面的研究中, 提出了几个理论模型来计算粘接界面的损伤破坏^[5]. 对于各向异性导电胶的粘接界面研究, 目前已经有提出的计算模型, 对导电胶粘接结构试件的剥离强度进行计算^[6].

对于导电胶膜粘接界面的模拟计算, 笔者采用内聚力模型(Cohesive Zone Model)^[7]计算粘接界面的损伤和开裂. 定义相应的破坏初始准则和破坏扩展准则, 在导电胶粘接部件受载荷的过程中, 界面首先达到破坏初始条件出现界面的初始破坏与损伤, 随着粘接界面的张力与位移增加, 粘

收稿日期:2008-11-29; 修订日期:2009-01-20

基金项目:河南省重大公益性科研招标项目(081100910100)

作者简介:贾宏(1969-), 女, 黑龙江大庆人, 郑州大学讲师, 研究方向为粘接界面损伤与破坏, E-mail: jiahong@zzu.edu.cn.

接界面进一步的破坏,当粘接界面上的某处达到预定义的界面破坏扩展准则时,该处的界面完全破坏,界面发生开裂。

笔者采用内聚力模型中的双线性张力—位移本构关系对导电胶膜粘接界面损伤破坏过程进行计算。图 1 所示为双线性的张力—位移本构关系。

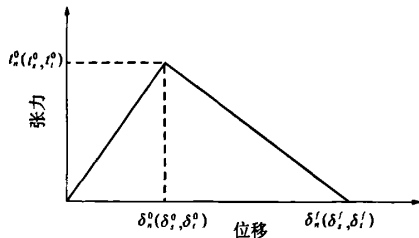


图 1 内聚力模型的张力—位移关系

Fig.1 The Traction - separation law of cohesive zone model

如上图所示, δ_n^0, δ_t^0 与 δ_c^0 分别表示粘接界面变形的法向以及两个切向上纯拉伸或者纯剪切时粘接界面能承受的最大应力值,相应的, δ_n^0, δ_t^0 与 δ_c^0 分别表示 3 个方向纯拉伸或者纯剪切时粘接界面能承受的最大位移值。

数值模拟计算模型选取软件中的内聚力单元对导电胶层计算,该单元的本构关系为双线性的内聚力模型本构关系。其法向和切向的本构方程为:

$$T_n = \begin{cases} \frac{\sigma_{\min}^n}{\delta_c^n} \delta & (\delta \leq \delta_c^n) \\ \alpha_{\max}^n \frac{\delta_{\max}^n - \delta}{\delta_{\max}^n - \delta_c^n} & (\delta > \delta_c^n) \end{cases} \quad (1)$$

$$T_t = \begin{cases} \frac{\tau_{\max}^t}{\delta_c^t} \delta & (\delta \leq \delta_c^t) \\ \tau_{\max}^t \frac{\delta_{\max}^t - \delta}{\delta_{\max}^t - \delta_c^t} & (\delta > \delta_c^t) \end{cases} \quad (2)$$

式中: δ_{\max}^n 与 τ_{\max}^t 分别表示界面法向和切向强度; δ_c^n 与 δ_c^t 为界面法向和切向内聚力所对应的法向位移和切向位移; δ_{\max}^n 与 δ_{\max}^t 为界面单元所能承受的临界位移; Γ^n 与 Γ^t 分别为界面抵抗开裂的断裂能,即张力—位移曲线与横轴所围的面积:

$$\begin{cases} \Gamma^n = \int_0^{\delta_{\max}^n} T_n d\delta \\ \Gamma^t = \int_0^{\delta_{\max}^t} T_t d\delta \end{cases} \quad (3)$$

2 剥离试验及有限元模型的建立

各向异性导电胶剥离测试试样如图 2 所示,

它是将带有驱动电路的软带(FPC)通过各向异性导电胶膜与液晶显示屏上的线路连接。其结构尺寸如图 2 中所示。测试的结果表明,导电胶膜粘接结构在不同的环境以及粘接处理工艺的条件下,其粘接强度明显不同,通过试验测试不同的参数,得到各向异性导电胶膜能达到最佳的粘接效果并具有较大的粘接强度条件如表 1 所示,剥离试验如图 3 所示。

表 1 各向异性导电胶膜剥离试样粘接工艺参数

Tab.1 The bonding parameters of the peelings amples

粘接温度/℃	粘接处理时间/s	粘接压力/MPa	平垫厚度/μm	后处理温度/℃
180	18	0.15	50	25

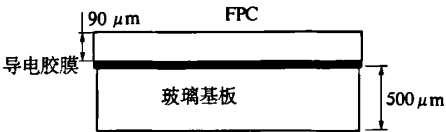


图 2 导电胶粘接结构

Fig.2 The adhesive constrcutor of conductive film

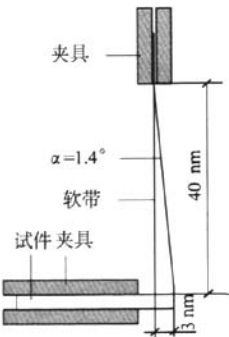


图 3 剥离试验简图

Fig.3 Schematic diagram of peel strength

在有限元软件中建立模型,并对该结构的剥离测试过程采用内聚力模型进行数值模拟计算。FPC 与玻璃基板采用四节点 CPS4R 单元划分网格,中间导电胶层赋予本构关系为内聚力模型的双线性张力—位移关系的内聚力单元并加密网格。FPC 与玻璃基板以及导电胶的材料性质参数选用导电胶剥离测试参数值,如表 2。

表 2 粘接结构主要材料参数

Tab.2 The main material parameter of the adhesive constrcuter

材料	弹性模量 E	泊松比 ν
FPC	780 MPa	0.30
玻璃基板	77 GPa	0.25

根据导电胶剥离测试试验方法,模型在模拟计算中,在 FPC 的右上角点 1 处施加 0.1 mm 竖直向上的位移,在位移的作用下,导电胶膜粘接界面开始失效,FPC 板从结构上剥离.网格划分与载荷边界如图 4 所示.玻璃基板的底边设置边界条件为其竖直方向位移为零,同时限制整个结构左边缘的位移为零.

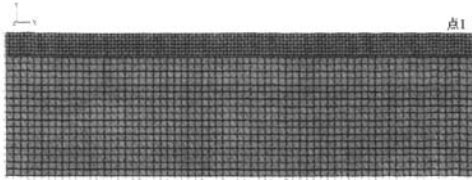


图 4 有限元模型网格划分与载荷边界条件

Fig.4 The mesh and boundary condition of the FEM model

3 结果分析

各向异性导电胶膜粘接界面在位移的作用下,随着粘接界面上的位移增加,界面上的应力值达到其能承受的最大应力值,界面上的单元开始出现损伤,并随着界面张开位移的进一步扩展,界面单元损伤逐渐累积并直至破坏,此时导电胶粘接层在该处发生失效破坏,FPC 从结构上剥离.图 5 所示为在加载结束后的结构 Mises 应力分布云图,在剥离力载荷的作用下,导电胶膜粘接界面从其右边缘开始逐渐向里出现破坏失效,粘接界面开裂并扩展.

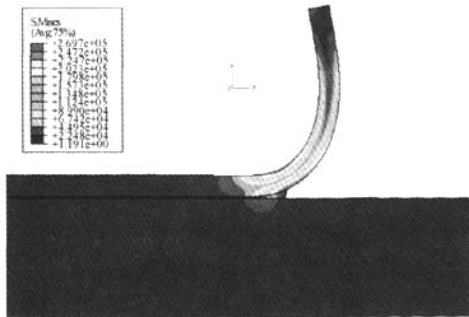


图 5 模拟剥离测试结果—Mises 应力云图

Fig.5 The distribution of Mises stress

计算得到点 1 处施加的剥离力与位移关系,并与试验数据进行比较,如图 6 所示.图中,将采用内聚力模型模拟计算得到的剥离力与位移关系曲线与试验测得的曲线进行比较,数值计算得到的曲线的斜率较试验曲线大,即模拟计算过程中剥离力在位移过程中更早达到其最大值,但剥离力的最大值数值与试验测得值很接近.剥离力的数值大小及其变化规律与试验测得值很接近.

由图 6 可以看出,剥离力随着位移的增加而增加,当达到其最大值后,剥离力迅速地减小.原因在于导电胶层在剥离力达到最大值时,胶层的应力值超过了其能承受的范围,粘接界面发生开裂并迅速扩展,粘接界面上出现更大面积的失效.在这个过程中,FPC 剥离所需的力迅速减小,此时剥离力主要是使 FPC 板弯曲,而消耗于粘接界面开裂的部分较少.位移增加过程中,剥离力的最大误差在接近其峰值处,该处位移值为 $y = 0.506 \text{ mm}$,数值计算的剥离力 $F_t = 8.634 \text{ N}$,试验测得曲线上该处应力值为 $F_0 = 7.8 \text{ N}$.误差为 $\Delta F = 0.834 \text{ N}$,小于 10%.在其他部位误差均小于该值,出现误差的原因是目前采用的内聚力模型本构关系为双线性本构关系,其简单的算法可以增强运算的能力简化计算.但是,由于导电胶膜实际结构中的界面张力一位移关系复杂,用双线性关系拟合计算难免会产生误差,如果根据导电胶粘接界面的特殊性质,使用非线性的内聚力模型本构关系为有限元子程序进而计算其破坏损伤的过程将更为准确.

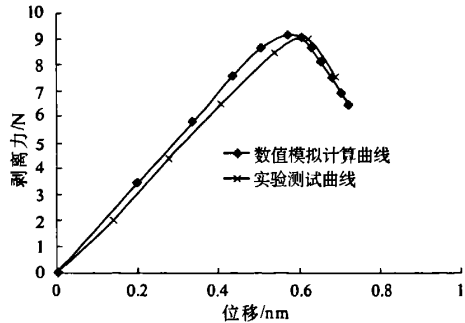


图 6 剥离力与位移的关系

Fig.6 The relationship of peel force and displacement

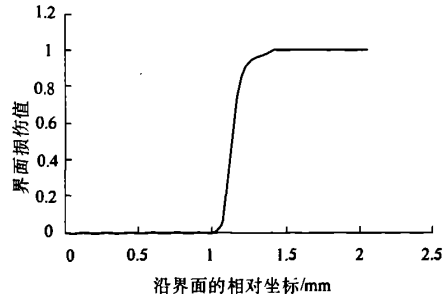


图 7 导电胶粘接单元损伤与破坏

Fig.7 The damage and failure of conductive film

由图 7 可以发现,在加载结束后,沿界面的上出现损伤的粘接单元即损伤变量大于零而小于 1 的单元数较少.根据试验研究及图 6 中的计算结果可知,导电胶膜在受剥离力作用下,胶层内的应

力增加至出现损伤后,会迅速的出现的退化而在该处粘接界面破坏失效.模拟计算得到剥离力数值大小及其随着位移增加的变化趋势与试验测试的结果很相近,说明此模拟计算方法可以较为准确的模拟导电胶粘接结构的剥离测试过程,对研究导电胶膜粘接界面的粘接强度和损伤破坏研究具有指导作用.

4 结论

在有限元中采用内聚力模型可以较为准确模拟计算导电胶粘接界面的损伤破坏过程,根据计算的结果并将计算得到的粘接结构剥离力与相应的试验测试比较可以发现,各向异性导电胶膜粘接结构在纯剥离的状态下,其剥离力随着位移逐渐增加至最大值并很快退化减小.此时,各向异性导电胶膜粘接界面开裂破坏并迅速扩展.各向异性导电胶膜粘接界面在受剥离力的作用下,随着界面上的应力值增加,粘接界面逐渐出现损伤并很快的达到破坏失效.

参考文献:

[1] 游敏,郑小玲,毛玉平.导电胶的可靠性与胶层内

应力研究[J].三峡大学学报:自然科学版,2003,25(2):108-110.

- [2] CHEN X, ZHANG J, JIAO C L, et al. Effects of different bonding parameters on the electrical performance and peeling strengths of ACF interconnection; *Microelectronics Reliability*, 2006, 46: 774-885.
- [3] 严钦云,周继承,杨丹.导电胶的粘接可靠性研究进展[J].材料导报,2005,19(5):30-33.
- [4] MOURA M F S F, GONC J P M, CHOUSAL J A G, et al. Cohesive and contincum mixed-mode damagemodels applied to the simulation of the nceehanical behaviour of bonded joints[J]. *Intemational Jound of Adhescin & Adhescies* 2008, 28: 419-426.
- [5] 张军,陈旭.粘接界面本构模型研究进展[J].科技导报,2007,(23):75-79.
- [6] 张军,陈旭,贾宏.粘接界面的损伤研究[J].郑州大学学报:工学版,2006,27(2):48-51.
- [7] MI Y, CRISFIELD M A, DAVIES G A O. Progressive delamination using interface elements[J]. *Journal of Composite Material*, 1998, 32: 1246-1272.

Numerical Simulation and Experiment on Interfacial Damage of Anisotropic Conductive Film Bonding

JIA Hong¹, HUANG Liu-gang¹, SUN Wei-wei², ZHANG Jun¹

(1. School of Chemical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. School of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: The anisotropic conductive film adhesive composite structure is wildly used in microelectronics and manufacturing industry. The reliability of the bonding interface is very important in practice. The cohesive interface is easier to be damaged and fail when the adhesives structure is under external loads. In this paper, the cohesive zone model is used to simulate the damage and failure process of conductive film bonding structure with the finite element method. The result has been compared with experimental research given by the conference literature. The feasibility of this numerical simulation has been confirmed. The relationship of cohesive interfacial damage and displacement has been analyzed. Under the peeling loads, the cohesive interface will be damaged and fail immediately.

Key words: anisotropic conductive film; cohesive interface; numerical simulation; cohesive zone model