

一种平行缝焊盖板背压形变建模仿真方法

刘俊夫^{1,2} 刘云鹏² 秦智晗¹

1. 中国电子科技集团公司第四十三研究所 安徽 合肥 230088

2. 微系统安徽省重点实验室 安徽 合肥 230088

摘要: 平行缝焊气密封装外壳的盖板在背压过程中易产生形变并可能导致内部元器件挤压受损。本文针对这种典型失效模式,建立了一套平行缝焊盖板在背压情况下产生凹陷形变量的实体建模及有限元仿真方法,通过一种“碳针”结构实现对盖板背压过程形变量的精确测量并对仿真模型进行迭代修订。本文建立的平行缝焊盖板背压形变建模仿真方法能够帮助微电子封装工艺工程师准确判断平行缝焊盖板在不同工况下产生形变后与内部电子元器件的间隙,从而提高封装结构设计的合理性。

关键词: 平行缝焊;“碳针”;有限元分析

引言: 平行缝焊是一种常见的电子元器件气密封装工艺,该工艺可以在苛刻的服役环境中保护内部裸芯片等元器件安全、稳定地工作^[1],尤其在高可靠混合集成电路行业应用广泛。相比于外壳侧壁而言,平行缝焊盖板厚度较薄(通常为0.1mm-0.4mm)^[2],在受到比较复杂的环境应力影响(例如:背压,低温,振动,Y方向加速度等等)时,会向内产生一定的凹陷变形。凹陷的盖板可能与内部元器件产生接触,导致器件挤压受损失效或者与互连结构发生短路失效

引起平行缝焊盖板形变较为显著的工况是对气密封装进行背压^[3](例如密封试验涉及的背压过程)并导致盖板产生凹陷,但这一过程通常是在密封的加压容器中完成,背压过程中无法对凹陷程度进行测量,被压结束后盖板回复原状^[1],亦无法对内部器件是否存在被挤压的风险进行追溯和评估。本文针建立了一套平行缝焊盖板在背压情况下产生凹陷形变量的实体建模及有限元仿真方法,在行业中首次提出使用一种“碳针”结构实现对盖板背压过程形变量的精确测量并对仿真模型进行迭代修订。

1 有限元仿真模型的建立

1.1 理论基础

气密封装工艺结构建模仿真研究理论基础主要涉及材料力学和有限元分析技术。材料力学提供气密封装工艺结构的受力形变可靠性分析的理论基础。有限元分析技术提供了通过建模仿真代替解析计算的理论方法^[2]。

气密封装外壳在环境试验中受力为均匀力。背压过程中,外部形成的压力差将会施加给外壳的底座和盖板,由于平行缝焊底座的强度远远大于顶部盖板,气密封装外壳的受力问题可近似等效为平板蒙皮的翘曲问题。

因此,盖板形变量问题可等效为求解盖板中心的挠

度。根据挠度公式:

$$f_{\max} = C_1 \frac{qb^4}{Eh^3} \quad (1)$$

C_1 为平板系数,与平板长宽比有关;

q 为均匀载荷, kg/mm^2 ;

E 为弹性模量, kg/mm^2 ;

b 为盖板短边长度, mm ;

h 为板截面厚度, mm 。

由公式(1)可知,盖板在背压环境中最大形变量与盖板材质本身弹性模量和厚度反相关、与盖板短边长度和受力大小正相关。且挠度与板厚度与长度是幂的关系,因此板厚与长度对盖板最大形变量影响较大。

泊松比 ν 表示材料在单向受拉或受压时,横向正应变与轴向正应变的绝对值的比值, $\epsilon_x = -\nu\epsilon_y$,泊松比越大,则材料受力未发生塑性变形之前,横向形变量较轴向形变量要大。

1.2 有限元模型建立关键信息

(1) 材料属性

在本文平行缝焊模型中,相关材料属性的设置如表1所示。

表1 气密封装工艺结构涉及的主要材料属性参数表

材料名称	密度/ g/cm^3	弹性模量/GPa	泊松比	热膨胀系数/ 10^{-6}
优质碳素钢	7.87	205	0.29	12.2
4J42	8.1	130-150	0.25-0.3	11-15
4J29	8.1	138	0.25-0.3	11-15

(2) 部件约束

将盖板与外壳封口面焊道区域设置为绑定约束,由于平行缝焊的焊道宽度比实际盖板与外壳侧壁接触面窄,应将实际盖板焊道宽度的面与外壳侧壁进行绑定约束。

根据实际加载条件,此例采用GJB548B,方法1014.2条件A1最常用的背压条件:310kPa±15kPa,条件进行载荷定。选取压强载荷,将绝对压强210kPa压强载荷施加到外壳所有外表面。

(3) 网格划分

不同网格类型的盖板在相同加压压力的载荷下,盖板形变量与最大应力值差异性较大,四面体网格盖板应力云图与实际受力情况较符合,加压情况下盖板撕裂一般发生在盖板边沿的中部位置,如图1所示。

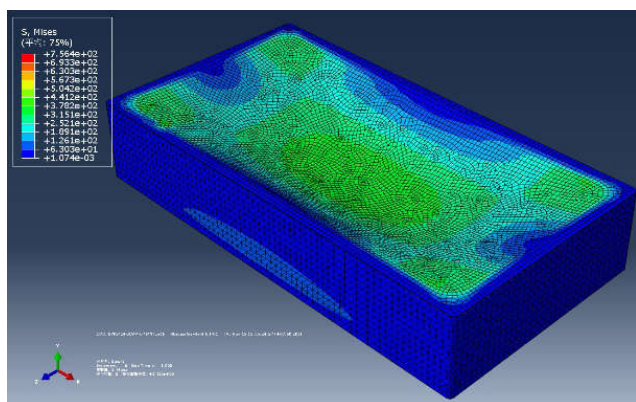


图1 六面体网格盖板加压试验应力云图

为了减少座外壳的网格类型对仿真结果的影响并且兼顾计算压力,可以考虑底座外壳采用六面体。

2 模型准确修订方法

盖板测量

考虑到位移传感器在感知盖板位移的过程中应该几乎只产生塑性形变,同时几乎不产生弹性形变,因此,可以利用作者在2017年授权的专利“用于检测气密封装结构形变量的碳针及其检测方法”进行盖板形变测量。而且传感器在感知高板形变的过程中对盖板的反作用力应尽量低或可以做到忽略不计^[3]。因此,位移传感器设计为探针状,植入外壳后形貌如图2示。

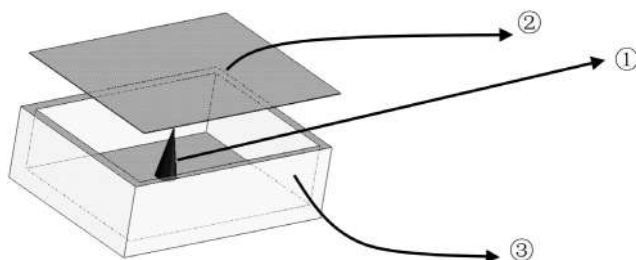


图2 植入碳针后的封装体结构

①: 探针, ②: 盖板, ③: 外壳

碳针是一种非常适合的探针结构。因为较薄的盖板结构在环境应力条件过程中产生下陷后会导导致碳针顶端被向下压出形变,由于盖板的下陷过程属于弹性形变,

试验结束后盖板会回复试验前的形貌,而碳针在被压后产生的是塑性形变,试验结束后这种塑性形变仍会保持。探针顶部压缩后形貌如图3所示。

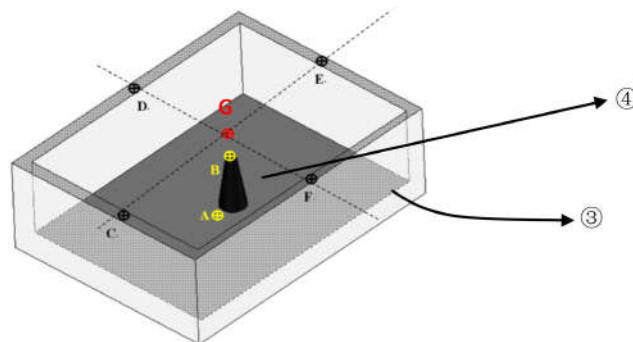


图3 探针顶部压缩后形貌示意图

③: 外壳, ④: 探针压缩后

为降低封装体底面不平带来的测量误差,取 H_C 、 H_D 、 H_E 、 H_F 的平均值近似等于为封口面的距离A点的高度 H_G 。即: $H_G = (H_C + H_D + H_E + H_F) / 4$ 。因此,我们希望获得的碳芯形变量 ΔH 为B点距离G点的距离,即为 $\Delta H = H_G - H_B$ 。由于测量显微镜导轨双向移动时也会产生微小的测量误差。若期望获得最为精确的测量结果,可以分别单项移动显微镜导轨,分别测量A→B, A→C, A→D, A→E, A→F的距离,每次将A点垂直高度清零。精确测量 ΔH 后可用于验证有限元仿真模型中盖板形变量的准确性,必要时予以修订。

3 模型的修订及形变算法拟合

根据初期仿真计算数据以及理论分析,排除影响盖板形变量的非主要仿真材料因素,最终确定对盖板形变量产生主要作用的材料属性为:盖板材质的弹性模量、泊松比、密度(影响振动)。根据实际试验测试得到的数据如表2所示

以计算25mm×20mm规格盖板在310kPa绝对压力情况下的形变为例,有限元仿真模型计算结果如图4所示。

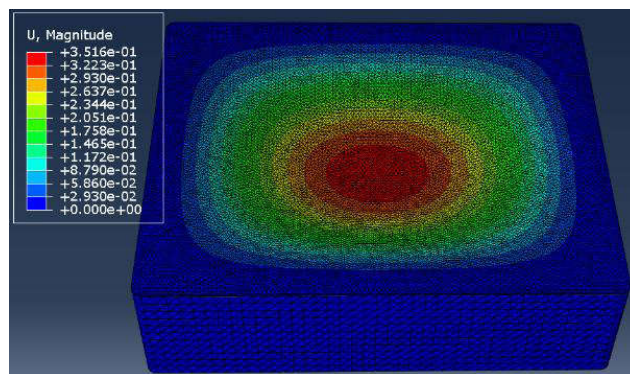


图4 25mm×20mm在310kPa绝对压力情况下的形变计算结果

抽取25mm×20mm和64mm×38mm两款盖板的最大盖 的外壳仿真模型中，对比仿真计算值与实测值误差值 < 板形变量对仿真模型进行修正，并应用到其他其他尺寸 10%，对比偏差如表3所示。由此可知模型准确性较好。

表2 不同盖板尺寸在加压条件下的盖板最大形变量

盖板尺寸 (mm×mm)		25×20	27×27	37×28	54×29	64×38
加压310kPa	实测值 (mm)	0.33	0.86	0.61	0.83	1.55

表3 不同盖板尺寸在加压条件下的盖板最大形变量

盖板尺寸 (mm×mm)		25×20	27×27	37×28	54×29	64×38
加压310kPa	实测值 (mm)	0.33	0.86	0.61	0.83	1.55
	模拟值 (mm)	0.3629	0.84	0.603	0.842	1.572
	偏离度	9.9%	0.2%	1.1%	1.4%	1.4%

由实测数据与模拟计算数据，结合公式 (1)。最终 整理出最大形变量 f_{max} 关系方程 (2) 为：

$$f_{max} = (-1.3559 - 0.05309a + 0.048b + 0.000345ab + 1.259a/b) * \frac{qb^4}{Eh^3w} \quad (2)$$

其中，a为盖板长边长度 (mm)，其余同公式 (1)。

公式 (2) 可为工程技术人员快速计算平行缝焊气密封装结构盖板在310kPa绝对压力情况下的形变值提供极大便利。

结束语

(1) 在平行缝焊气密封装结构建模过程中，不同网格类型的盖板在相同加压压力的载荷下，盖板形变量与最大应力值差异性较大，四面体网格盖板应力云图与实际受力情况较符合。

(2) 使用本文所述的“碳针”法可用于精确测量平行缝焊气密封装结构在环境试验过程中的盖板下陷形变，该结果可用于验证有限元仿真模型中盖板形变量的

准确性，必要时予以修订。

(3) 25mm×20mm至64mm×38mm范围的平行缝焊气密封装结构盖板仿真模型进行修正后，对比仿真计算值与实测值误差值 < 10%，模型准确性较好。

参考文献

[1]侯正军,宋备刚,丁鹏.平行缝焊与盖板[J].电子与封装,2008,8(8):1-4,8.
 [2]GJB548C-2021.微电子器件试验方法[S].北京:装备发展部.2021.
 [3]中国电子科技集团公司第四十三研究所.用于检测气密封装结构形变量的碳针及其检测方法:中国,ZL201510952206.9[P],2017-12-15.