材料、结构及工艺

DOI：10.16818/j.issn1001－5868.2022112202

非破坏性键合拉力拉钩位置偏离对键合可靠性影响分析

鲍 江*，刘必晨，张佳宁，赵瑞莲，李 冰
（重庆光电技术研究所，重庆 400060）

摘 要： 针对非破坏性键合拉力试验拉钩位置偏离情况，分析了键合丝受力大小的影响因素，讨论了拉钩位置偏离对键合丝状态的影响情况，并设计了可靠性验证方案，通过试验对比，表明非破坏性键合拉力试验拉钩位置偏离对键合可靠性影响有限。

关键词： 非破坏性键合拉力；拉钩位置；键合可靠性

中图分类号： TN306 **文章编号：** 1001－5868(2023)03－0404－04

The Influence of Hook Position Deviation of Nondestructive Bond Pulling on Bonding Reliability

BAO Jiang, LIU Bichen, ZHANG Jianing, ZHAO Ruilian, LI Bing
(Chongqing Optoelectronics Research Institute, Chongqing 400060, CHN)

Abstract: As for the hook position deviation of nondestructive bond pulling test, the influence factors of the force of bonding wire was analyzed, and the influence of the hook position deviation on the state of the bonding wire was discussed. Further, a reliability verification scheme was proposed. Through experimental comparison, the results show that hook position deviation of the nondestructive bond pulling test has limited influence on bonding reliability.

Key words: nondestructive bond pulling; hook position; bonding reliability

0 引言

在微组装制造中，键合作为关键工序，对产品的可靠性有着重要影响，而键合拉力试验作为检验键合质量的重要手段，在保障产品质量方面能够发挥巨大作用。键合拉力试验分为破坏性和非破坏性键合拉力试验，破坏性键合拉力试验是通过对引线进行破坏性拉力操作，以便确认键合的极限状态，是一种不可逆的检验，而非破坏性键合拉力试验则是期望在不损伤引线的情况下，通过进行拉力试验验证键合可靠性。试验拉钩位置作为试验条件的重要部分，可对试验结果造成明显影响，前期针对破坏性键合拉力试验不同拉钩位置下的研究较充分[1-2]，但对非破坏性键合拉力拉钩位置偏离影响的研究极少，因此本文对此展开研究，以便分析对键合可靠性的影响情况。

1 键合丝受力分析

键合通常采用双键合点球焊的方式，焊点一位于芯片，焊点二位于导带，焊点二采用打球的方式进行加固，如图 1 所示。

根据 GJB 548B-2005 方法 2023.2 的要求，在进行非破坏性键合拉力试验时，使实验设备拉钩在引线中点和引线弯曲最高点之间与引线接触，拉力方向近似垂直于芯片或近似与键合点之间直线垂直，以避免引起对引线有害的形变，拉力过程中，需避免只让一个键合点受力。但在实际操作过程中，因引线有效长度较短，且拉钩的作用位置都由人眼目测后选定，不同操作人员和操作习惯，使得拉钩作用位置在焊点一、二间动态变化，造成拉力试验时引线受

收稿日期：2022－11－22.

* 通信作者：鲍 江 E-mail：407257081@qq.com

力状态不一样。

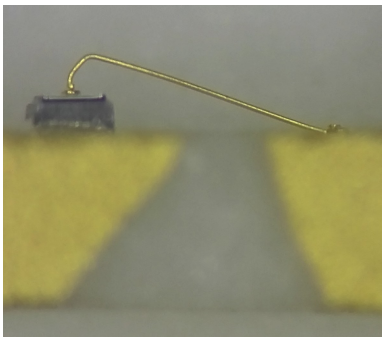


图 1　键合效果图

1.1　键合丝受力大小影响因素分析

在进行非破坏性键合拉力试验时，键合丝受力的力学示意如图 2 所示。

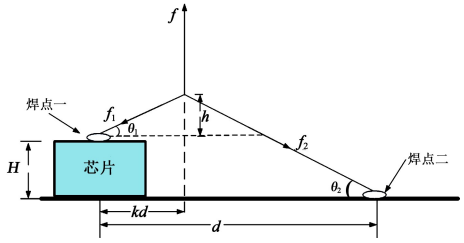


图 2　键合丝受力示意图

在作用点处，拉钩对键合丝有一个垂直向上的拉力 f，根据力的相互作用，分解为沿键合丝两侧的两个拉力 f_1 和 f_2，其中，d 表示键合丝焊点一、二间距，kd 表示焊点一与拉钩位置水平间距，H 表示芯片厚度，h 表示键合丝最高点与芯片间高度差。

进一步地，可推算出拉力 f_1 和 f_2 与 f 的关系如下：

$$f_1=f\left(\frac{\sqrt{h^2+k^2d^2}}{h+kH}(1-k)\right) \tag{1}$$

$$f_2=f\left(\sqrt{1+\frac{(1-k^2)d^2}{(h+H)^2}}\frac{(h+H)k}{h+kH}\right) \tag{2}$$

从式(1)和(2)可以看出，拉力 f_1 和 f_2 是一个与焊点一、二间距 d、芯片厚度 H、键合丝最高点与芯片间高度差 h 以及焊点一与拉钩位置水平间距 kd 相关的多元函数。

其中，对同一产品同一芯片，因工艺水平较稳定，可认为芯片高度 H、焊点一、二间距 d 大小固定，键合丝弧线形态一致，则对于拉力 f_1、f_2 可认为是和焊点一与拉钩位置水平间距比例系数 k 相关的函数，不同拉钩位置，k 大小不一样，会导致作用点两侧键合丝受力不同。

1.2　不同拉钩位置对键合丝影响分析

非破坏性键合拉力试验的主要目的是在不损伤键合丝的情况下验证键合可靠性，为了保证试验结果准确，应使拉钩位置两端键合丝受力相当[2]。

根据图 2，拉力 f_1、f_2 与 f 可分解为以下方程组：

$$\begin{cases}f=f_1\sin\theta_1+f_2\sin\theta_2\\ f_1\cos\theta_1=f_2\cos\theta_2\end{cases} \tag{3}$$

要使 $f_1=f_2$，则 $\theta_1=\theta_2$，则可得出下式：

$$kd=\frac{h(d-kd)}{h+H} \tag{4}$$

从而可得 $k=h/(2h+H)$，即当 $k=h/(2h+H)$ 时，拉钩位置两侧键合丝及焊点受力相等，此作用点是非破坏性键合拉力试验的较理想作用点。

当 $k<h/(2h+H)$ 时，$\theta_1>\theta_2$，$\cos\theta_1<\cos\theta_2$，则 $f_1>f_2$，拉钩位置左侧键合丝及焊点一受到较大的拉力，极限状态下，$k=0$，即作用点位于焊点一处，$f_1=f$，$f_2=0$，拉力全部作用于焊点一处；

当 $k>h/(2h+H)$ 时，$\theta_1<\theta_2$，$\cos\theta_1>\cos\theta_2$，则 $f_1<f_2$，拉钩位置右侧键合丝及焊点二受到较大的拉力，极限状态下，$k=1$，即作用点位于焊点二处，$f_2=f$，$f_1=0$，拉力全部作用于焊点二处。

上述两种状态，一方面会导致一侧键合丝及焊点受力较正常值偏大，存在可靠性隐患，另一方面，另一侧键合丝及焊点受力较正常值偏小，可能造成无法检测出缺陷键合。其中，前者是试验过程带来的不确定影响因素，本文重点对其可靠性影响进行研究。

2　可靠性影响验证

2.1　可靠性验证方案

根据分析，拉钩位置偏离会造成键合丝拉钩位置一侧受力大于规定值，可能导致键合丝及键合点存在潜在影响，主要表现在以下三个方面：

1)外观形态。试验后的键合丝因局部受力偏大，造成键合丝有害形变、键合丝划伤等外观形态变化；

2)键合丝强度大小。受异常拉力后键合丝除键合点外强度下降；

3)键合点可靠性。受异常拉力后键合点(焊点一、二)存在损伤，可靠性降低。

因此，可靠性验证基于上述三个方面开展。选取 A 型电路作为验证对象，该电路采用 30 μm 金丝

球焊工艺，金丝焊点一、二间距约 1.2 mm，焊点大小 90 μm，芯片厚度 0.2 mm，焊盘材质为铝。因电路金丝较短，操作时拉钩位置有限，选取了如图 3 所示三个常见极限位置进行拉力试验，包括偏离点 1、3 和标准点 2，其中，标准点 2 为 GJB 548B-2005 方法 2023.2 中规定位置。

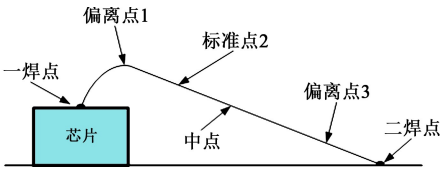


图 3 A 型电路拉钩位置示意图

对完成非破坏性键合拉力试验后的样品，开展如下可靠性验证：

1）键合丝外观目检。在 30～50 倍显微镜下确认不同拉钩位置下键合丝是否发生键分离、键合丝损伤、开裂；

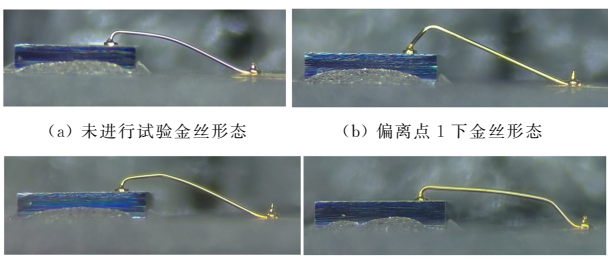
2）破坏性键合拉力验证。对试验后样品按照 GJB 548B-2005 方法 1010.1 条件 C 的要求进行温度循环 50 次，使金丝反复热胀冷缩，产生应力[3]，再对不同拉钩位置试验后键合丝（含未进行试验键合丝）进行破坏性键合拉力试验，判断拉钩位置偏离试验后键合丝强度是否下降；

3）高温贮存寿命验证。在高温下贮存，会造成键合点可靠性不断降低，因此将试验后样品放入 300 ℃高温条件下贮存[4-5]，每隔一段时间取出 5 只样品进行破坏性键合拉力试验，出现金丝焊点球起时结束，通过对比不同拉钩位置下试验前后键合点高温贮存寿命长短，评估键合点的可靠性。

2.2 验证结果

2.2.1 键合丝外观目检

根据 GJB 548B-2005 方法 2017.1，对不同拉钩位置下金丝外观形态进行镜检，并与未进行非破坏性键合拉力试验的金丝进行对比，具体情况如图 4 所示。



（a）未进行试验金丝形态　（b）偏离点 1 下金丝形态

（c）标准点 2 下金丝形态　（d）偏离点 3 下金丝形态

图 4 不同拉钩位置下金丝形态显微照片

通过对比金丝外观形态，发现以下特点：

（1）金丝外观在拉钩位置处发生了一定程度的形变；

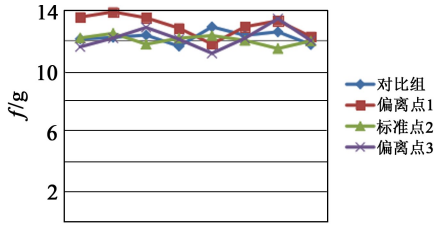
（2）金丝外观未见划痕、裂纹等损伤；

（3）金丝在焊点一、二处未见球起、断裂等损伤。

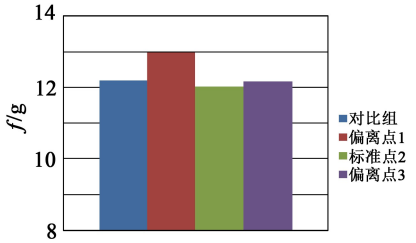
从试验前后金丝外观形态可以看出，金丝在受到一定程度的异常拉力后，虽然发生一定程度的变形，但未见有害形变，满足金丝外观目检的要求。

2.2.2 破坏性键合拉力验证

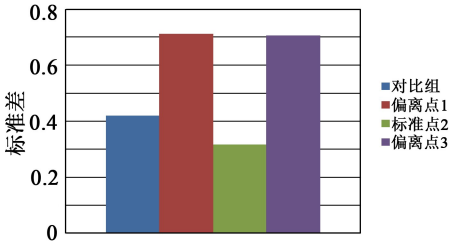
根据 GJB 548B-2005 方法 2011.1 破坏性键合拉力试验的要求，对不同拉钩位置下的金丝（含未进行非破坏性键合拉力试验样品对比组）进行破坏性键合拉力试验，统计结果如图 5。



（a）破坏性键合拉力值统计图



（b）破坏性键合拉力均值统计图



（c）破坏性键合拉力标准方差统计图

图 5 破坏性键合拉力统计图

（1）从图 5(a)可以看出，不同拉钩位置下，非破坏性键合拉力试验金丝拉力值与未进行非破坏性键合拉力试验金丝拉力值分布基本一致，均位于 11～14 g 之间，且都满足 $f>4$ g 的国军标要求；

（2）从图 5(b)可以看出，不同拉钩位置下，非破坏性键合拉力试验后金丝拉力均值都分布在 11～13 g 之间，且与未进行非破坏性键合拉力试验金丝拉力均值相比，未见明显降低的情况；

(3)从图5(c)可以看出，未进行非破坏性键合拉力试验金丝和标准点2下金丝破坏性拉力值标准方差较小，而偏离点1和偏离点3下金丝破坏性拉力值标准方差相对较大，标准方差大小反映了拉力值波动情况，拉钩位置1和拉钩位置3下标准方差偏大，表明在金丝两端受力偏差较大时，金丝进行非破坏性拉力后破坏性拉力值有扰动，但结合图5(a)、(b)看，键合丝强度无明显降低。

2.2.3　高温贮存寿命验证

将不同拉钩位置下试验样品(含未进行非破坏性键合拉力试验样品对比组)进行300 ℃高温贮存试验，键合点球起情况如表1所示。

表1　不同拉钩位置下键合点高温贮存试验结果

拉钩位置	球起时间/h	球起位置
对比组	16	焊点一
偏离点1	17	焊点一
标准点2	16	焊点一
偏离点3	16	焊点一

从表1可以看出，高温贮存一段时间后，不同拉钩位置下，非破坏性键合拉力试验样品的键合点球起结果与未进行试验的样品相比，没有明显差异，时间分布在16～17 h，球起位置均为焊点一。不同拉钩位置下金丝两侧及焊点受力虽然不同，但球起时间相当、球起位置相同，表明不同拉钩位置下，非破坏性键合拉力对金丝焊点的影响有限。

通过键合丝外观目检、破坏性键合拉力验证、高温贮存寿命验证，发现拉钩位置偏离状态下，非破坏性键合拉力试验后键合丝可靠性无明显变化，表明不同拉钩位置下试验对键合可靠性影响有限。

3　结束语

本文通过进行非破坏性键合拉力试验拉钩位置偏离状态下的键合丝受力分析，以及键合可靠性分析，给出了金丝受影响情况，并通过可靠性验证，表明不同拉钩位置下，拉力试验对键合可靠性影响有限，对工艺可靠性评估起到一定的指导和参考意义。

参考文献：

[1] 刘媛萍，任联锋. 高度落差对引线键合拉力的影响分析[J]. 电子工艺技术，2016，37(1)：40-42.
Liu Yuanping，Ren Lianfeng. Analysis of influence of bond pads at different height to wire bond pull[J]. Electronics Process Technology，2016，37(1)：40-42.

[2] 刘春芝，贺　玲，刘　笛. 键合拉力测试点对键合拉力的影响分析[J]. 电子与封装，2008，8(5)：9-11.
Liu Chunzhi，He Ling，Liu Di. Analysis of the influence of test point to wire bond pulling test[J]. Electronics & Packaging，2008，8(5)：9-11.

[3] 张　锋，谭骁洪. 温度循环对键合及芯片烧结性能的影响分析[J]. 环境适应性和可靠性，2014，32(5)：41-43.
Zhang Feng，Tan Xiaohong. Analysis on the influence of characters of bonding and adhesive in temperature cycle test[J]. Environmental Adaptability & Reliability，2014，32(5)：41-43.

[4] 刘　建，严钦云，恩云飞，等. 金铝键合寿命评价方法研究[J]. 电子产品可靠性与环境试验，2007，25(3)：4-6.
Liu Jian，Yan Qinyun，En Yunfei，et al. Evaluation technique for life of gold-aluminum bonding[J]. Electronic Product Reliability and Environmental Testing，2007，25(3)：4-6.

[5] 胡立雪，秦　岭. 高温对金-铝系统电阻和强度的影响研究[J]. 微电子学，2010，40(3)：436-439.
Hu Lixue，Qin Ling. Study on influence of high temperature on resistance and strength of Au-Al system[J]. Microelectronics，2010，40(3)：436-439.

作者简介：

鲍　江(1990－)，男，硕士，工程师，主要从事光电子器件工艺研究。