

文章编号: 2095-4980(2015)06-1005-04

## 塑封铜引线集成电路开封方法

龚国虎, 梁栋程, 梁倩

(中国工程物理研究院 计量测试中心, 四川 绵阳 621999)

**摘要:** 在集成电路高速发展的时代, 内引线为铜的集成电路因为低廉的价格和性能方面的优势, 将越来越多地被制造和改进, 破坏性物理分析(DPA)中也将会遇到大量的塑封铜引线集成电路, 这类器件开封容易引起铜引线、键合点的腐蚀等问题。对这类器件研究后的开封方法是: 激光开封后一定比例的混酸腐蚀能使铜线和键合点完好保留, 芯片表面无塑封料残留。本文提供了一种对塑封铜引线集成电路进行开封的可靠方法。

**关键词:** 铜线; 集成电路; 开封; 破坏性物理分析

**中图分类号:** TN386.1

**文献标识码:** A

**doi:** 10.11805/TKYDA201506.1005

## Decapsulation method with plastic encapsulated integrated circuit of copper wire

GONG Guohu, LIANG Dongcheng, LIANG Qian

(Metrology and Testing Center, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621999, China)

**Abstract:** Plastic encapsulated integrated circuit of copper wire will be made and improved more popularly in the development of high speed integrated circuit for its low price and performance advantages. In the Destructive Physical Analysis(DPA), a lot of this type of integrated circuit will be encountered, which will lead to corrosion problems on copper wire and bonding points during decapsulation. The proper decapsulation method is as follows: after laser decapsulation, using mixed acid to erode plastic can keep the copper wire and bonding points well without plastic residual on the surface of chip. The experiments provide a reliable way to decapsulate integrated circuit of copper wire.

**Key words:** copper wire; integrated circuit; decapsulation; Destructive Physical Analysis

金线键合工艺的成熟使得如今大部分塑料封装集成电路内部引线依然采用金线。打开封装时无论采用手工湿法刻蚀还是化学喷射刻蚀的方法都能很好地达到开封效果, 开封后芯片表面干净无塑封料残余物; 无外来杂质引入; 全部引线露出达到键合要求; 键合点、芯片无外来损伤。由于铜线低廉的价格及性能方面的优势, 如今内引线为铜的塑封集成电路已经得到广泛的应用。在现阶段的破坏性物理分析(DPA)试验中常遇到客户送检的塑封铜引线集成电路, 可以预想在以后塑料封装集成电路生产中会更多地采用铜线键合工艺。

塑封铜引线集成电路的开封方法相对于塑封金引线集成电路大不相同, 金元素化学性质稳定, 很难与酸发生化学反应; 铜却容易与酸发生化学反应, 造成铜引线、键合点腐蚀。怎样能够使塑料封装铜引线集成电路打开封装后引线和键合点不被腐蚀, 是DPA开封亟待解决的问题。本文通过试验后确定了激光开封后混酸腐蚀的方法, 解决了塑封铜引线集成电路开封问题。给这类器件破坏性物理分析或失效分析时的开封提供一种参考方法, 同时对于集成电路芯片封装解剖和反向设计也具有重要意义。

### 1 塑封集成电路中的铜引线前景

#### 1.1 铜引线的优势

铜线相对于金线在原材料价格上有巨大优势。金线价格的上涨、制造原材料成本的提高、高密度封装要求及半导体制造业成本的多重压力下, 铜线键合工艺面临新的机遇。铜丝的成本不足金丝30%是推动其工艺不断进步的最大动力<sup>[1]</sup>。

导电性能：铜线的导电率为 $0.62 \mu\Omega/\text{cm}$ ，金的导电率为 $0.42 \mu\Omega/\text{cm}$ ，可见铜的电学特性高于金导线，相同直径的键合线，铜比金可以承载更多的电流<sup>[2]</sup>。

热传导性能：铜热传导的能力显著优于金和铝，因此能够以更细的焊丝直径达到更好的散热性能以及更高的额定功率。并且铜的热膨胀系数比较低，其焊点的热应力也较低<sup>[3]</sup>。

机械性能：铜的硬度比金要高，铜丝在球焊工艺中比金丝更容易保持线弧稳定，同时因铜的优异特性，可以使用更细铜线代替金线。

铜球与键合区铝层金属间化合物比金球与铝层金属间化合物更稳定，不易生长。金、铝2种元素的扩散速率不同，导致界面处容易形成柯肯德尔孔洞及裂纹，降低焊点处力学和电学性能，在金属间化合物界面易发生脆断，以致电路开路。而铜铝界面金属间化合物生长速度比金铝慢10倍，铜丝球焊焊点处的可靠性高于金丝球焊焊点<sup>[4]</sup>。

## 1.2 铜引线的劣势

硬度高和容易被腐蚀是铜线的2个缺点，铜的高硬度使其比金线更不容易成型。在键合过程中对焊盘的应力也会更大，导致在引线键合过程中，键合铜球对芯片键合区域的表面损坏可能性更大<sup>[5]</sup>。在键合过程中，铜线在高温下形成焊球过程中的氧化反应会改变导线键合球的大小和形状，引起键合的不规则，这样键合力和焊盘形变就难以控制。

为了消除氧化反应带来的影响，铜线在键合前及键合过程中必须保护起来，并且铜线的储存、运输过程中也面临防止氧化的问题<sup>[6]</sup>。

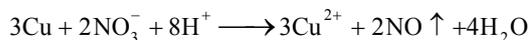
## 2 塑料封装铜引线集成电路的开封

### 2.1 塑料封装集成电路开封方法简介

塑料封装集成电路的开封方法主要有3种：湿法化学刻蚀、化学喷射刻蚀、等离子体刻蚀。等离子体刻蚀由于成本昂贵、刻蚀所需时间太长，主要用于半导体制造行业，现阶段的DPA中很少用到。化学腐蚀的方法依然占绝对主导，随着科学技术的不断进步将激光开封技术引入塑封集成电路的开封中使得开封更加容易。

### 2.2 塑封铜引线集成电路开封难点

塑料封装(金线)集成电路利用传统方法，采用发烟硝酸或者浓硫酸加热腐蚀氧化塑封料。这种方法对于器件内部是金丝的器件十分有效，Au元素性质稳定，一般条件下不与上述2种强酸发生化学反应，在开封过程中金线以及它们的焊点都能完好保留。然而上述方法却不适用于塑料封装铜引线集成电路，因为：



由上述化学反应方程式可以看出浓酸在去除模塑料的同时将会把铜线腐蚀掉而使器件开封失去实际意义<sup>[7]</sup>。

经过试验验证后得到相同的结果，使用发烟硝酸对塑封铜引线集成电路进行腐蚀(见图1)，试验后塑封料被氧化同时，铜线迅速出现腐蚀现象。由初步试验可以看出，怎样避免或者减慢铜线的腐蚀是这类器件打开封装能否成功的关键因素。

### 2.3 塑料封装铜引线集成电路开封试验

使用发烟硝酸或加热的浓硫酸很容易使铜线发生腐蚀，然而混合2种酸却能减慢铜线的腐蚀，再优化试验条件能很好地避免铜线腐蚀。

#### 方法一：

进行X射线检查发现塑封集成电路CELL8(外观见图2)内部引线材料为铜，确定芯片位置后，使用激光开封机打开封装直至铜引线露

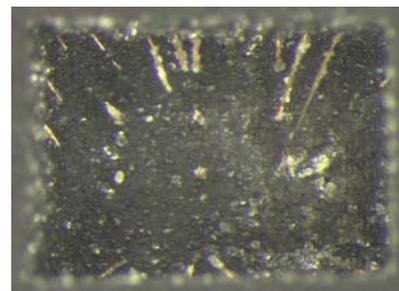


Fig.1 After the fuming nitric acid eroding device  
图1 发烟硝酸腐蚀器件后效果

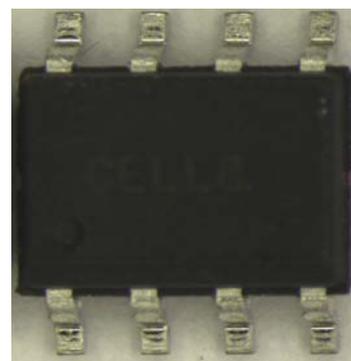


Fig.2 Components appearance  
图2 所开封试验器件外观

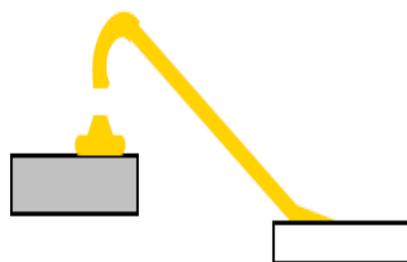


Fig.3 Relative position of wire, chip, lead frame  
图3 内引线、芯片、引线框架位置关系

出。内引线键合连接芯片与框架时呈现拱形(见图3),因此激光开封到引线刚露出并不会对芯片造成损伤(见图4)。需要指出的是:如果激光

开封过度,激光的能量使塑封料氧化残留于芯片表面后将无法去除,更有甚者会对芯片引入损伤,带来误判。器件外形较小无法使用湿法化学喷射刻蚀的方法,选择手工湿法刻蚀,使用的参数见表1。

将器件放在已设置为90℃的加热台上加热后,使用胶头滴管在开封区域滴入该比例的混酸,反应约30s放入丙酮液中超声波清洗20s,塑封料去除后在立体显微镜下观察可以看到芯片表面洁净,但引线和键合点有结晶物质的存在,铜线有轻微的腐蚀迹象(见图5)。

通过上述试验证明混酸在氧化腐蚀塑封料的同时减慢了铜线的腐蚀,这种方法在反应时间的掌握上需要特别注意,反应时间一旦过长引线和键合点必定被腐蚀。仅使用发烟硝酸或者浓硫酸不仅会腐蚀塑封料还会腐蚀内部铜引线,而使用混酸加热后则减慢铜引线腐蚀,可以从以下原因探讨:

1) 混酸与有机塑封料发生硝化反应,硝化反应后酸的浓度变低,加上与铜线反应时间短,所以铜线腐蚀减弱。

2) 查阅资料发现有些塑封铜引线集成电路的铜线并不是单质铜,一般会掺杂其他元素<sup>[8]</sup>,加入掺杂元素后的铜合金与混酸反应时形成了一定的保护,减慢铜线腐蚀速度。

#### 方法二:

前期处理与上述方法一相同,激光打开封装至引线刚露出,采用手工湿法刻蚀,参数见表2。

室温下(试验温度为23℃)滴加混酸至开封区域,反应8min后放入丙酮液中超声波清洗20s后芯片全貌和引线都清晰可见(见图6、图7)。

室温手工湿法刻蚀试验后芯片表面洁净无外来污染物,铜引线和键合点都基本完好,无腐蚀,无结晶物质产生,完全可以达到DPA的开封要求。

对比两种试验方法,充分说明温度的优化使得铜线的腐蚀得到进一步的控制。高温加剧塑封料氧化反应的同时也加速了铜线的腐蚀反应。室温下塑封料、铜线的氧化反应都相应减慢,室温条件相对加热条件所需时间更长,最后的效果却更好,说明铜线腐蚀减慢的速度远大于塑封料氧化减慢的速度,分析认为室温下不与铜线反应的浓硫酸在铜线表面形成了一种钝化保护,减慢混酸对铜线的腐蚀。

### 3 结论

塑料封装铜引线集成电路开封方法不同于一般的塑封金引线集成电路,经过试验,激光开封后一定比例混酸优化温度条件得到最佳条件:激光开封后一定比例的浓硫酸、发烟硝酸室温刻蚀的方法最终能够解决这类器件的开封问题。

试验后铜线、键合点基本无腐蚀,芯片表面洁净无残留塑封料,DPA后续的内部目检和引线键合强度试验都能很好地开展。对本试验的机理还需要深入研究,由本文实验可以说明经过激光

表1 手工湿法刻蚀参数

Table1 Manually corrosion parameters

mixed acid pattern	mixed acid ratio	temperature/°C	cleanout fluid
nitrosonitric:concentrated sulfuric acid	x:y	90	acetone

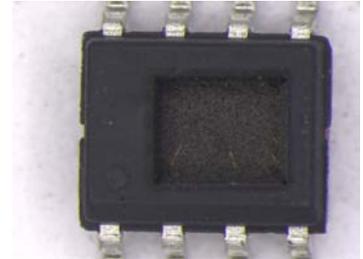


Fig.4 Effect after leaser decapsulation  
图4 激光开封后效果

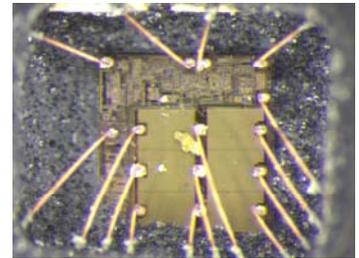


Fig.5 Effect after manually corrosion under 90 °C  
图5 90 °C手工湿法刻蚀后效果

表2 刻蚀参数

Table2 Manually corrosion parameters

mixed acid pattern	mixed acid ratio	temperature/°C	cleanout fluid
nitrosonitric:concentrated sulfuric acid	x:y	23	acetone

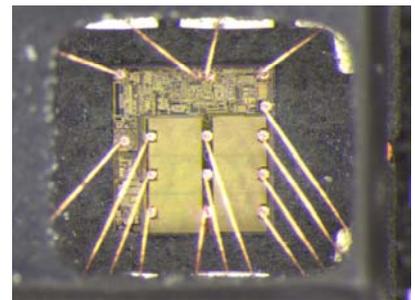


Fig.6 Decapsulation effect under room temperature  
图6 室温开封效果

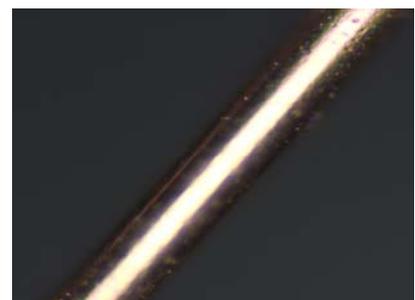


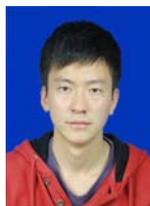
Fig.7 Copper wire picture after test  
(magnified by 500 times)  
图7 室温试验后铜引线金相图片(500倍)

开封后室温混酸对塑封铜引线集成电路开封效果完全可以满足 DPA 要求。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 林刚强. 铜丝球焊工艺理论与实践[J]. 先进封装技术, 2008,7(162):10-15. (LING Gangqiang. Theory and practice for the technology of copper wire ball bonding[J]. Advanced Packaging, 2008,7(162):10-15.)
- [ 2 ] 宋慧芳. 微电子器件封装铜线键合可行性分析[J]. 电子与封装, 2012,12(2):12-14. (SONG Huifang. Feasibility analysis of Cu wires bonding in packaging[J]. Electronics & Packaging, 2012,12(2):12-14.)
- [ 3 ] 崔晓英. Au 线改 Cu 线的新发展及可靠性研究[J]. 可靠性物理与失效分析技术, 2012,30(3):29-34. (CUI Xiaoying. New development of Cu wire bonding and its reliability[J]. Reliability Physics and Failure Analysis Technology, 2012,30(3):29-34.)
- [ 4 ] 黄华,都东,常保华. 铜丝引线键合技术的发展[J]. 焊接, 2008(12):15-20. (HUANG Hua,DU Dong,CHANG Baohua. The development of Cu wire bonding technology[J]. Feature Article, 2008(12):15-20.)
- [ 5 ] 常红军,王晓春,费智霞,等. 铜丝键合工艺研究[J]. 电子与封装, 2009,9(8):1-4. (CHANG Hongjun,WANG Xiaochun,FEI Zhixia,et al. Research of copper wire bonding technology[J]. Electronics & Packaging, 2009,9(8):1-4.)
- [ 6 ] 周金成. 铜线压焊工艺防氧化问题研究[J]. 电子工艺技术, 2014,35(2):94-97. (ZHOU Jincheng. Discussion on anti-oxidation problem of copper wire bonding process[J]. Electronics Process Technology, 2014,35(2):94-97.)
- [ 7 ] 杭春进,王春青,田艳红,等. 塑料封装铜丝内连电子元器件开封新工艺研究[J]. 电子工艺技术, 2008,29(1):5-11. (HANG Jinchun,WANG Chunqing,TIAN Yanhong,et al. Novel decapsulation process for plastic packaging electronic device with copper wire interconnection[J]. Electronics Process Technology, 2008,29(1):5-11.)
- [ 8 ] 禹建敏,邓超,李双燕,等. 从专利文献看键合铜丝的发展[J]. 云南冶金, 2013,42(3):51-55. (YU Jianming,DENG Chao,LI Shuangyan,et al. The development of copper bonding wire from the patent literature[J]. YUN Nan Metallurgy, 2013,42(3):51-55.)

#### 作者简介:



龚国虎(1989-), 男, 四川省绵阳市人, 助理工程师, 从事破坏性物理分析工作. email: gongguohu.jiayou@163.com.

梁栋程(1982-), 男, 贵州省遵义市人, 在读硕士研究生, 助理工程师, 主要从事电子元器件 DPA 技术研究.

梁倩(1991-), 女, 四川省绵阳市人, 主要研究方向为破坏性物理分析.

(上接第 1004 页)

#### 作者简介:



邹德慧(1979-), 女, 四川省郫县人, 硕士, 助理研究员, 主要从事反应堆参数测量技术研究. email:32859603@qq.com.

邱东(1968-), 男, 四川省德阳市人, 硕士, 副研究员, 主要从事反应堆理论实验研究.

鲁艺(1969-), 女, 四川省绵阳市人, 硕士, 副研究员, 主要从事核反应堆测量控制研究.