

# 一种应用于二次平行封焊的工艺方法

吉 焱, 廖 雯, 何玮洁, 唐坤龙, 王传瑶

(中国电子科技集团公司第二十六研究所, 重庆 400060)

**摘要:**实现二次平行封焊并达到气密性标准是气密性产品返修的关键。该文介绍了一种应用于二次平行封焊的工艺方法,通过对平行封焊后的气密性元器件进行激光开盖,在控制多余物产生后,利用机加工铣平壳体围框表面进行二次平行封焊。测试并分析了气密性元器件系统集成封装(SIP)模块二次平行封焊后的检漏。结果表明,细检漏率 $<1.01 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ,粗检漏无连续气泡产生,气密性满足电子与电器元件试验方法(GJB 360B-2009)要求。根据该文介绍的工艺方法可为多余物可控的气密性元器件实现二次平行封焊提供一种有效的解决方案。

**关键词:**气密性封盖;平行封焊;返修;检漏

**中图分类号:**TG44;TN305.94 **文献标识码:**A

## Process Method for Secondary Parallel Seal Welding

JI Yao, LIAO Wen, HE Weijie, TANG Kunlong, WANG Chuanyao

(The 26th Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China)

**Abstract:** Achieving secondary parallel sealing and meeting airtightness standards have become key to repairing airtight products. To solve this issue, this paper introduces a process method applied to secondary parallel seal welding. By laser uncapping the hermetically sealed components after parallel seal welding and controlling the generation of waste material, the surface of the shell enclosure is milled flat using machining. Finally, the secondary parallel seal is welded. The airtight-component system integration packaging (SIP) module is tested and analyzed to detect leaks after the secondary parallel seal welding. The leakage rate of less than  $1.01 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$  for the fine-leakage detection meets the requirements of electronic and electrical component test methods (GJB. 360B-2009). There is no continuous bubble generation for rough leakage detection. Therefore, the process introduced in this paper can provide an effective solution for secondary parallel sealing airtight components with controllable waste material.

**Key words:** hermetically sealed closure; parallel seal welding; repair; leakage detection

### 0 引言

气密性封盖技术可提升模块的抗恶劣环境、抗辐照,避免外部、外界有害气体侵袭等能力,保证其内部电路及元器件在工作时的性能和可靠性,已成为集成电路封装方法的关键技术<sup>[1-2]</sup>。平行封焊技术具有技术成熟,可靠性高,密封性能优越等优点,是常用的气密性封盖技术之一<sup>[3-4]</sup>。然而平行封焊的产品返修难,开盖易损坏产品围框,开盖过程中多余物产生不可控,且重新封盖后也面临检漏不达标等问题,这增大了产品的交付成本<sup>[5-6]</sup>。传统平行封焊产品返修开盖工艺主要是通过开盖机开盖和

手磨开盖(纯人工开盖)。开盖机容易和产品壳体发生刀具干涉,应用范围有限,而手磨开盖耗时长,效率低,且可控性差。

为了降低平行封焊产品的交付成本,本文介绍了一种应用于二次平行封焊的工艺方法,在多余物可控的情况下,为该产品返修提供一种效率高、一致性高及应用范围较广的技术方案。该方法利用高能量激光切割实现非接触式开盖工艺。本文通过激光打标机提供高能量激光束对产品进行切割开盖,多余物控制后利用机加工铣平产品壳体围框表面,最后重新进行平行封焊。采用陶瓷封装一

体化制作的产品进行该工艺验证实验,其内部具有多芯片互连、集成度高、小型化等特点,生产成本较高。该产品特有的多模块化内腔独立设计,易实现多余物控制。根据本文介绍的工艺方法实现了该产品的二次平行封焊,测试并分析了重新封焊后产品的检漏结果,达到 GJB 360B-2009 检漏标准。

### 1 平行封焊原理及工艺过程

平行封焊本质上是一种电阻焊。如图 1(a)所示,在一定压力下,逆变电源给对电极之间持续通脉冲电流  $I$ ,电极与盖板接触位置因高电阻值  $R$  产生大量的热量  $Q$ ,即:

$$Q = I^2 R t \tag{1}$$

式中  $t$  为工作时间。通过热量  $Q$  使盖板与围框之间局部形成熔融状态,凝固后形成焊点<sup>[7]</sup>。通过移动电极形成“缝”式焊接轨迹,实现产品的气密性封盖,如图 1(b)所示。

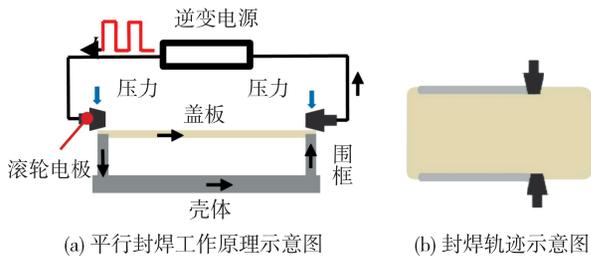


图 1 平行封焊工作原理图

平行封焊分为方形焊和圆形焊两种,本文测试产品主要采用方形焊。平行封焊的常见工艺流程如图 2 所示。首先利用超声清洗机(酒精和丙酮混合液体)清洗待封焊盖板,去除盖板表面的氧化物、杂质等。然后在真空条件下进行预处理,主要使腔体内水汽和氧气含量符合标准要求,以达到保护内部芯片的目的。再进行封焊操作。最后进行细检和粗检的检漏处理。



图 2 平行封焊一般工艺流程示意图

本文检漏标准主要是基于 GJB 360B-2009 中方法 112 程序 IIIa 的细检要求和试验条件 D(检漏液为碳氟化合物,温度为  $(125 \pm 5)^\circ\text{C}$ ) 的粗检要求。细检是通过将示踪气体(氦)通过漏孔压入实验样品内腔,检验气体的漏泄,其条件如表 1 所示。粗检是气泡检漏,通过将检漏产品置于碳氟化合物液体中(产品最上部分浸入液体深度不小于 50 mm),液

体温度保持在  $(125 \pm 5)^\circ\text{C}$ ,在 20 s 内观察产品是否有连续气泡冒出。

表 1 细检程序 IIIa 的检漏要求

细检产品内腔 体积 $V/\text{cm}^3$	加压条件		拒收漏率/ $(\text{Pa} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1})$
	压力/ $(10^5 \text{ Pa})$	时间/h	
$<0.04$	$4.14 \pm 0.1$	2.0~2.2	$5.07 \times 10^{-3}$
$\geq 0.40$	$4.14 \pm 0.1$	2.0~2.2	$2.03 \times 10^{-2}$
$\geq 0.40$	$2.07 \pm 0.1$	4.0~4.4	$1.01 \times 10^{-2}$

### 2 工艺方法设计

图 3 为二次平行封焊工艺设计流程图。其中主要设计原理是对通过高能量激光进行首次封焊后的盖板进行加工切割。与传统开盖方式相比,非接触式的开盖方法能在不损伤返修产品壳体情况下,更高效地完成产品开盖。高能量的激光在规定区域内使盖板熔化得到需要的切割缝隙,实现较平整切断首次平行封焊的盖板。因此,在利用激光进行正式开盖前,首先需要调整合适的激光参数,并且定位到产品需要切割的位置,即预处理工艺设计,预处理工艺参数可通过重复性实验设计得到。调制不同的激光能量对应激光束对实验产品进行切割,为了避免损伤产品壳体,当激光切割盖板深度为盖板边缘厚度的 90%~99%时,该组激光参数为该产品对应的激光开盖参数。激光定位与激光加工设备精度有关,通常利用低于开盖参数的激光能量进行定位,即激光束切割所产生的缝隙和产品需切割位置重合。

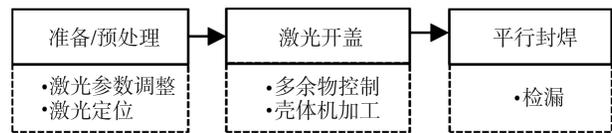


图 3 二次平行封焊工艺设计流程图

本文介绍的激光开盖工艺只损伤设计区域内盖板,经过激光切割开盖后,其产品围框上存在首次平行封焊后盖板残余物(主要为盖板碎屑及熔融物),因而围框边缘及表面不平整,无法满足封焊需求,这也是手磨开盖所面临的问题。因此需要利用机加工(数控机床)铣平围框边缘及表面。由于机加工过程中会产生大量的多余物,二次封焊产品满足多余物可控的设计需求,才能采用本文的设计工艺。机加工过程中,除控制多余物外,还需对铣刀的加工工步进行设计。其工艺设计原理如图 4 所示。图中,  $h_1$  为基准面到围框损伤最大位置的高

度。首先利用数控机床对产品进行识别定位。以产品底部为基准面,利用产品围框表面到壳体底部的高度  $h_1$  作为铣刀到基准面的高度进行第一次加工,铣除首次封焊盖板残余物。在实际应用中,产品围框表面存在一定公差,且在激光切割后需手动取下盖板,会存在一定壳体损伤,需要进行后续加工。因为平行封焊产品的高集成度及气密性要求,本文工艺严格控制壳体损伤(小于 0.1 mm),以 0.01~0.03 mm 的高度步长进行后续机加工,加工次数不大于 3 次,以达到平行封焊要求。按所述加工工步铣平围框表面后,重新按平行封焊工艺流程进行封焊。

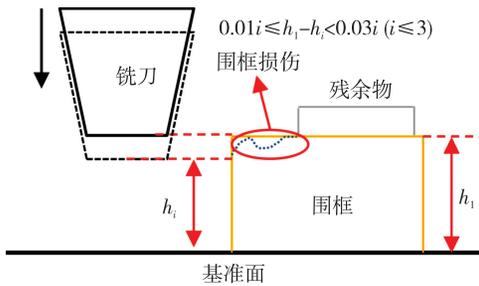


图4 机加工原理示意图

### 3 实验与结果分析

利用多模块化独立腔体结构的 SIP 模块进行开盖后重新封焊,在模块二次封焊后进行检漏并分析其结果。该 SIP 模块是运用于相控阵天线中的收发

射频模组<sup>[8]</sup>,在 40 mm×35.9 mm 的腔体体积下,其内部集成了 8×4 的收发链路(8 收 4 发),成本较高。图 5 为 SIP 模块示意图。该模块内部腔体结构为开盖及机加工过程中的多余物控制提供了技术可行性。由图 5(c)可知,围框高度为 0.5 mm,盖板厚度为 0.4 mm(边缘厚度为 0.1 mm)。

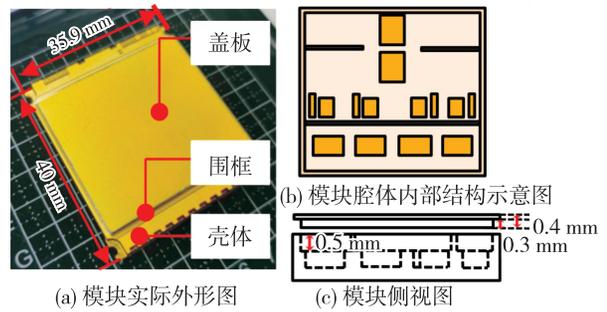


图5 SIP 模块示意图

实验采用光纤激光打标机(型号: CAPE-YLPM-30A,焦距:457 mm,最大功率:100 W)提供高能量的激光束实现 SIP 模块激光开盖。利用预处理工艺设计方法,通过不同激光功率和重复次数不同的激光参数对实验壳体进行切割测试,得到了一组相对可靠的激光定位参数及切割参数,如表 2 所示。根据表 2 中参数调整激光打标机对应参数,对实验壳体进行切割,再手动通过激光切割缝隙对盖板施加一定外力,可实现在不损伤壳体内部及大面积损伤围框的情况下完成产品开盖实验。

表 2 激光打标机实验参数表

参数	激光功率/W	激光线宽/mm	速度/(mm·s <sup>-1</sup> )	频率/kHz	激光线长(水平/垂直)/mm	重复次数/次
定位参数	50					1
切割参数	80	1	500	20	33/30	6

为了验证激光束在相同能量下不同线宽对产品开盖的影响,利用不同的激光线宽对实验壳体进行切割实验,如图 6 所示。

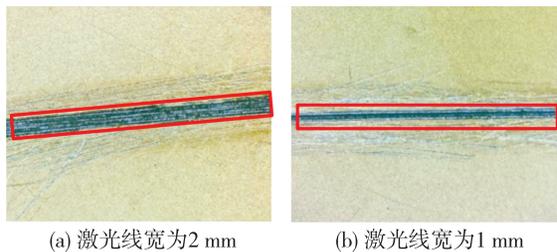


图6 不同激光线宽所对应的激光切割缝隙

由图 6 可看出,当激光线宽为 2 mm 时,其激光能量不均匀,表现为缝隙中有较大的残留,缝隙不平整,开盖会导致更多额外的多余物产生。考虑激光切割后需手动取下盖板,故切割缝隙需预留一定的宽度。因此,最终采用 1 mm 的激光线宽进行切割盖板,其激光切割缝隙可利用一般手术刀片(厚约 0.4~0.5 mm)对盖板施加外力(切割,撬等)操作。

按表 2 中激光打标机实验参数对激光打标机进行参数调整。为了利于激光定位,通过手术刀在产

品盖板需切割位置进行标记,标记位置为第一次平行封焊的焊缝和盖板的交界处,如图 7(a)所示。以壳体的一条边为例进行激光定位,此时激光能量为 50 W,激光重复 1 次,如图 7(b)所示。在盖板宽(水平)方向采用 30 mm 的激光线长进行切割,在盖板长(垂直)方向采用 33 mm 激光线长进行切割。当激光定位与标记位置大致重合,则重复 6 次激光切割,如图 7(c)所示。分别对图 7(b)、(c)的步骤重复 4 次,完成产品盖板 4 条边的激光切割,如图 7(d)所示。根据预处理工艺设计,不同产品对应不同工艺参数,但工艺设计相同。

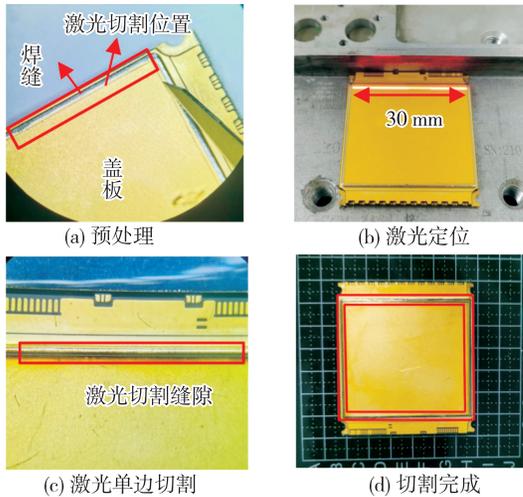


图 7 激光开盖预处理工艺

激光切割完成后,需手动取下盖板,主要是利用手术刀进行剩余盖板厚度切割及施加一定力进行撬动。图 8 为开盖后 SIP 模块示意图。由图 8(a)、(b)可看出,利用本文工艺方法可较平整地完成首次平行封焊后的 SIP 模块开盖,未损伤壳体内部及壳体围框。在开盖实验过程中会产生少量的多余物,需清理多余物后再控制机加工多余物,如图 8(c)所示。

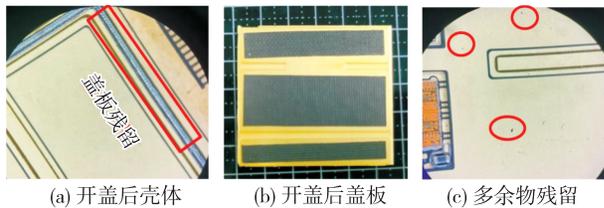


图 8 SIP 模块激光开盖后壳体示意图

为达到再次封焊要求,通过机加工对围框表面进行破坏性铣平,在此过程中会产生大量的多余

物,为保护内部芯片及键合金线等不受破坏,本实验采用高温胶带进行多余物控制。如图 9(a)所示,在 SIP 模块内腔底部及围框内边缘贴上一层高温胶带,可有效隔绝机加工时产生的多余物进入模块内部。按机加工工步设计,以 0.03 mm 为加工步长,加工 2 次。图 9(b)为 SIP 模块经过机加工后壳体效果图。由图可知,壳体内部无多余物,壳体围框表面平整、光滑,达到再次平行封焊的要求。



图 9 多余物控制及机加工后壳体效果示意图

图 10(a)为 SIP 模块重新进行平行封焊后的实物图,其焊缝焊迹均匀连续,且盖板表面无凹坑和凸起,该 SIP 模块内腔体积  $V > 0.4 \text{ cm}^3$ 。根据表 1 中细检程序 IIIa 的检漏要求,对 SIP 模块进行细检漏。利用歌博科技的氦质谱检漏仪(型号:A530)进行产品细检,细检漏率  $< 1.01 \times 10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$ ,满足 GJB 360B-2009 的细检要求。除细检外,根据 GJB 360B-2009 中方法 112 试验条件 D 的粗检要求,利用歌博科技的氟油检漏仪进行产品粗检。如图 10(b)所示,SIP 模块放置于 125 °C 氟油液体中,其上表面置于液体深度大于 50 mm 处,重新封焊,焊缝处无连续气泡产生,满足 GJB 360B-2009 粗检要求。实验证明,根据本文工艺方法可为多余物可控的平行封焊产品返修提供一种可行的技术方案,降低该类产品的交付成本。返修会损伤原有壳体围框,故本文工艺只适用于第一次开盖返修。

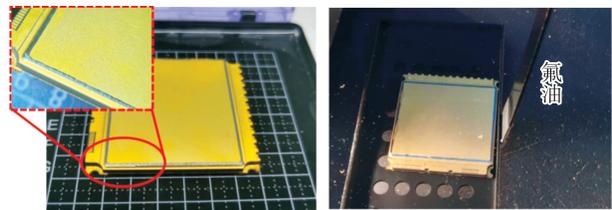


图 10 SIP 模块二次封焊效果及检漏示意图

#### 4 结束语

针对平行封焊产品返修难问题,本文提出了一

种应用于二次平行封焊的工艺方法。首先进行了返修工艺设计,明确了预处理工艺设计及机加工工步设计方法。为了证明该工艺方法的可行性,本文通过对多余物可控的实验产品 SIP 模块激光开盖后重新进行平行封焊,实验得到一组适用于该实验产品的激光打标机参数,以及铣平壳体所对应的机加工工步。其封焊后检漏结果满足 GJB 360B-2009 要求。实验表明,根据本文提出的工艺方法可为多余物可控的平行封焊产品返修提供一种可选的技术方案,降低该类产品的交付成本。但本文实验所用为测试产品,未进一步进行产品调试。因此,依照相同的技术原理,在确保不损伤产品性能的条件下,还需进一步优化工艺步骤,提高开盖效率,以应用于正式产品返修。

#### 参考文献:

- [1] 张潇,王亚东,李富国,等.微系统封装平行缝焊技术研究[J].科技创新与生产力,2021(5):71-73.
- [2] 皋利利,包晓云,顾网平,等.微电子模块气密性封焊技术发展及应用[J].电焊机,2016,46(7):105-108.
- [3] AIZAWA T, MATSUZAWA K. Comparison between simple seam welding and adjacent parallel seam welding by magnetic pulse sheet-welding method[J]. Materials Science Forum,2018,910:19-24.
- [4] 王洋,夏伟.器件大尺寸金属壳体平行缝焊失效分析[J].电子技术,2023,52(3):238-239.
- [5] 张怡,唐勇刚,王天石,等.LTCC 基板与高硅铝合金大面积焊接工艺参数优化[J].压电与声光,2022,44(4):619-624.  
ZHANG Yi, TANG Yonggang, WANG Tianshi, et al. Optimization of process parameters for large area welding between LTCC substrate and high silicon aluminum alloy [J]. Piezoelectrics & Acousto-optics, 2022,44(4):619-624.
- [6] 姚友谊,胡蓉,徐洋,等.LTCC 钎焊封装工艺设计[J].电子工艺技术,2018,39(4):201-203.
- [7] 姜廷宇,王成,陈澄,等.气密性平行封焊技术研究进展[J].新技术新工艺,2023(1):1-4.
- [8] 易春兰.TR 组件发射波形畸变批次故障分析[J].压电与声光,2013,35(1):144-146.  
YI Chunlan. Batch fault analysis of the transmitting waveform distortion of T/R module[J]. Piezoelectrics & Acousto-optics,2013,35(1):144-146.