

# 声表面波滤波器平行封焊飞溅多余物控制的研究

郭俊寒,季鸿雨,孟腾飞,何志新,陈瑞,史向龙,于海洋

(北京无线电测量研究所,北京 100854)

**摘要:**通过分析因飞溅多余物而失效的声表面波滤波器,证明了飞溅多余物是由平行封焊工序产生的。研究了平行封焊工序中相关焊接参数对平行封焊的影响,通过调节焊接功率、时间和速度等参数,将焊缝宽度和焊点重叠区域面积调整至理想范围内,在保证焊接质量的同时,将飞溅多余物产生的概率降至万分之二。另外,选取熔点更高的电镀镍盖板来代替化学镀镍盖板,进一步减少了平行封焊过程中飞溅多余物的产生。

**关键词:**声表面波滤波器;平行封焊;飞溅多余物;焊接参数

**中图分类号:**TN384 **文献标识码:**A

## Study on the Control of Spatter Contaminants in Parallel Welding of Surface Acoustic Wave Filters

GUO Junhan, JI Hongyu, MENG Tengfei, HE Zhixin, CHEN Rui, SHI Xianglong, YU Haiyang

(Beijing Institute of Radio Measurement, Beijing 100854, China)

**Abstract:** By analyzing surface acoustic wave filters that failed due to spatter residue, it was confirmed that the residue was generated during the parallel welding process. The influence of key welding parameters on parallel welding was studied. By adjusting welding power, welding time, welding speed, and other parameters, the weld width and overlap area were optimized to fall within the ideal range, reducing the probability of spatter residue to 2 in 10 000 while maintaining welding quality. Additionally, an electroplated nickel plate with a higher melting point was selected to replace the electroless nickel plate, further reducing spatter residue generation during the parallel welding process.

**Key words:** surface acoustic wave; parallel welding; spatter residue; welding parameters

### 0 引言

声表面波(SAW)滤波器作为一种重要的微电子器件,近年来在通信、雷达、电子对抗等领域有广泛的应用。其独特的频率选择性和良好的稳定性使得SAW滤波器成为电子系统中不可或缺的关键组件。随着现代电子技术的不断发展,对SAW滤波器的性能要求也越来越高,因此,提高其制造质量和可靠性尤为重要<sup>[1]</sup>。

在SAW滤波器的制造过程中,封装工序是一个至关重要的环节。封装可以保护器件的电极结构免受外界环境的干扰和损害。然而封装工序也是产生飞溅多余物的主要环节之一。这些多余物的存在对SAW滤波器的质量和性能构成了潜在威胁。

飞溅多余物的存在对SAW滤波器的影响是多

方面的。落在电极表面的多余物会增加滤波器的质量负载,导致滤波器的频率响应发生偏移。多余物的存在还会导致滤波器无法通过后续的可靠性试验(粒子碰撞噪声试验,PIND)。若飞溅多余物尺寸较大,且高频器件中的金属指条间距较小,当金属多余物落在叉指换能器表面时会导致器件短路,使整个器件性能完全失效。

因此,避免飞溅多余物的产生对于保证SAW滤波器的质量和性能至关重要。本文将深入分析飞溅多余物的成因和影响因素,通过优化焊接参数,使飞溅多余物的产生概率从约万分之五降低至约万分之二,再通过对盖板镀层制备方式的改进,基本杜绝飞溅多余物的产生。这不仅对SAW滤波器的制造具有重要意义,也为其他微电子器件的制造提供了有益的参考和借鉴。

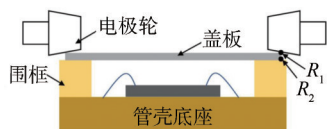
## 1 平行封焊的基本原理

平行封焊又称缝焊,是一种在微电子封装中应用广泛的电阻焊接方式<sup>[2]</sup>。其工作原理基于电阻热效应,如图1(a)所示,通过两个电极与盖板接触,形成电流闭合回路。当两个电极沿着金属盖板边缘滚动时,它们之间会经过一系列短的高频功率脉冲。这些脉冲在电极与盖板接触点处产生极高的局部热量,使盖板上的金属层熔化,从而形成连续完整的缝焊区域。

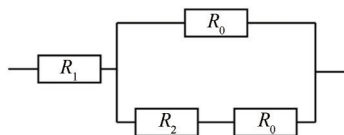
平行封焊的热量产生遵循焦耳定律:

$$Q=I^2Rt \quad (1)$$

式中: $Q$ 为能量; $I$ 为电流强度; $R$ 为接触电阻; $t$ 为放电时间。图1(b)为焊接过程的等效电路图,其中 $R_0$ 为盖板与围框的等效电阻,电阻量级为 $\mu\Omega$ ;  $R_1$ 为电极与盖板上界面接触电阻, $R_2$ 为盖板下界面与围框的接触电阻,二者电阻量级为 $m\Omega$ ,故 $R_1$ 处产生的热量远大于 $R_2$ 处<sup>[3]</sup>。电极在移动的同时转动,通过电极滚轮在一定的压力下断续通电。由于电极与盖板及盖板与焊框之间存在接触电阻,焊接电流在两个接触电阻处产生焦耳热量,使其局部形成熔融状态。当热量超过表面镀层熔点时,镀层熔化并形成合金,将盖板与焊环密封。



(a)平行封焊工作示意图



(b)等效电路图

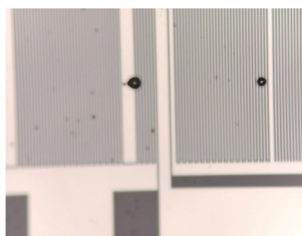
图1 平行封焊工作原理

总体来看,平行封焊原理简单有效,在微电子封装中具有广泛的应用前景,通过不断优化设备和工艺参数,可进一步提高其焊接质量和生产效率。

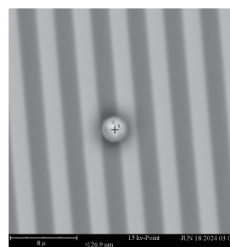
## 2 飞溅多余物来源分析

图2(a)为飞溅多余物的显微图像,由图可见该多余物近似球形,符合飞溅多余物的形貌特点。对其进行扫描电子显微镜(SEM)拍摄和能谱仪(EDS)测试,结果如图2(b)和表1所示。由表1可

知,该飞溅物主要包含镍(Ni)、磷(P)、碳(C)、铝(Al)等元素。其中,Al为叉指电极成分,C的出现可能源于在测试前的样品处理过程中不慎沾染了有机物。飞溅物的主要成分为Ni和P,这两种元素恰好是盖板材料的关键组成部分。化学镀Ni的熔点约为 $880\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,故飞溅多余物只在温度超过 $880\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时才会产生。复查整个流片过程,只有平行封焊工序焊接的局部温度超过 $880\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,因此判断平行封焊过程是飞溅多余物的产生环节。



(a)显微图像



(b)扫描电镜图像

图2 飞溅多余物的显微图像及扫描电镜图像

表1 飞溅多余物元素分布表

Ni	P	C	Al
69.46%	11.95%	10.1%	8.5%

如第1节所述,平行封焊属于电阻焊,其原理是封焊过程中电极与盖板接触处产生局部高温,盖板上下方的温度梯度使其将热量传导至围框,导致盖板与围框镀层金属熔化<sup>[3]</sup>。熔化的金属在电极轮的挤压下向壳体内部流淌,由于围框宽度较窄(一般小于 $0.5\text{ mm}$ ),如图3所示,熔化后的金属一旦进入管壳内部,因瞬间冷却会凝固成球状多余物。

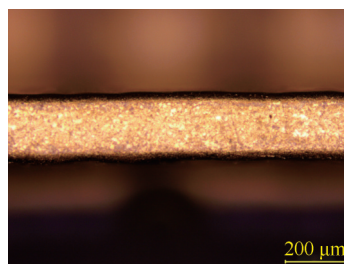


图3 管座围框的光学显微图像

### 3 平行封焊关键指标介绍

本文使用的平行封焊机(NAW-2010, AVIO)的详细焊接参数如下:

1)上升时间(UT):通常设置为0.5 ms,其主要影响焊接起始阶段的能量输入。

2)焊接时间(WT):即焊接过程持续的时间,一般为1~3 ms,最长可达5 ms,具体取决于盖板厚度、镀层和尺寸大小。焊接时间越长,熔点越大,焊接的材料越多。

3)焊接下降时间(DT):一般不使用特定的下降时间控制,设置为0。

4)冷却时间(CT):即焊接后的不通电冷却时间,取值为10~30 ms,具体设置取决于WT。冷却时间影响焊环的密度和气密性。冷却时间过短可能影响焊接电源内部功率器件的发热和寿命。

5)主焊接功率(MHC):取值为200~550 W,极限值为600 W。MHC的大小取决于盖板厚度、镀层和尺寸。在保持WT不变的情况下,优先调整MHC。若MHC值超过500 W仍无法达到良好熔接效果,则考虑增加WT值。

6)起始焊接功率(UHC):通常为MHC的50%~70%,影响起始角的熔接效果。

7)对应起始焊接功率的距离(UPL):取值为0.3~1.0 mm,影响起始角的熔接效果。UPL值越小,角部熔接越重。

8)结束焊接功率1(DHC1):为MHC的30%~50%,影响结束角的熔接效果。

9)对应结束焊接功率1的距离(DWL1):取值为1~2 mm,影响结束角的熔接效果。DWL1值越小,角部熔接越重。

10)焊接速度(WS):即电极轮在焊接过程中的滚动速度,取值为5~15 mm/s,通常设置在10 mm/s左右。焊接速度直接影响熔接效果和焊环的密度。

11)砝码:即电极头上加压的重量,用于保证盖板与管壳接触平整。一般加100~300 g砝码,具体取决于盖板的大小。砝码对焊接效果的影响不明显,主要影响电机轮和盖板上界面接触电阻,砝码压力越大,接触电阻越小,调整这一参数有助于保持焊接过程的稳定性。

12)DHC2~DHC4和DWL2~DWL4为分段结束部分对应的功率和距离,通过调整这3组参数可对焊接质量进行调节。图4、5分别为以距离和时间为X轴的焊接功率折线图。

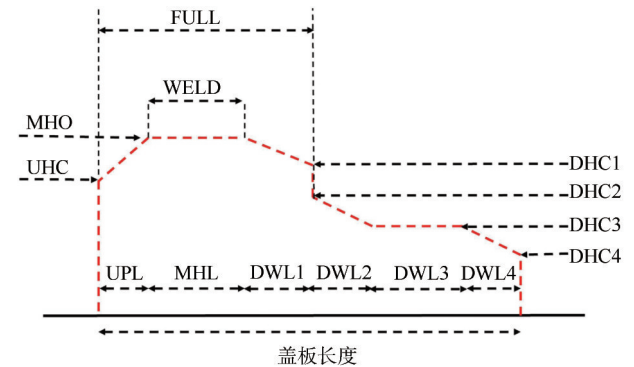


图4 以距离为X轴的焊接功率折线图

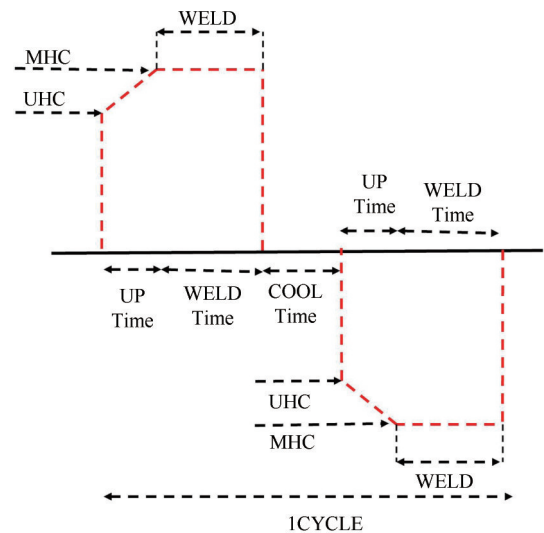


图5 以时间为X轴的焊接功率折线图

(设定两个脉冲为一个循环)

上述参数共同决定了声表面波滤波器平行封焊的焊接质量和效果。在实际操作中,需要根据具体的产品要求和工艺条件进行精细调整。

## 4 减少飞溅多余物的改进措施

### 4.1 优化化学镀Ni盖板平行封焊参数

为了减少飞溅多余物的产生,提高PIND的通过率,需要严格控制焊缝宽度和管座围栏宽度的比例,在确保密封性的前提下,将焊缝宽度控制在0.4~0.6倍围栏宽度能够有效减少飞溅多余物的产生,提升器件的可靠性和PIND合格率。

综上所述,通过对相关参数的调节,对3.8 mm<sup>2</sup>化学镀Ni盖板进行了平行封焊封装处理。由于参数

较多,固定砒码、UPL、DWL、UT、CT和WS等参数,如表2所示。主要通过调节MHC和WT两个参数来调节焊缝宽度,并保持 $UHC=DHC=MHC/2$ 。

表2 封装参数表

UT/ ms	CT/ ms	UPL/ mm	DWL/ mm	WS/ (mm·s <sup>-1</sup> )	砒码/ g
0.5	13	0.5	1.0	10	100

平行封焊的焊缝由多个连续的焊点组合而成,为保证焊缝的密封性和连续性,焊点必须相互重叠。如图6所示,理想的重叠范围通常控制在30%~50%<sup>[4]</sup>,若重叠过少,焊缝中可能出现断点而导致漏气;若重叠过多,总焊点数增多,会增加加热应力和基体金属的暴露机会,可能增大焊缝锈蚀穿孔等风险<sup>[5]</sup>。焊点重叠范围主要由MHC、WT和WS三者共同调节。MHC一般为200~550 W,由于化学镀Ni盖板熔点较低,MHC过高易导致盖板变糊发黄,故首先确定MHC为300 W。设WS为10 mm/s,WT分别设置为1.0 ms、1.5 ms和2.0 ms时,焊缝显微图像如图7所示。由图可看出,WT为1.5 ms时,焊点重叠范围在30%~50%之间,而过大或过小的WT会显著增大或小焊点的重叠范围。因此,对于3.8 mm<sup>2</sup>化学镀Ni盖板,WT的最优取值为1.5 ms。

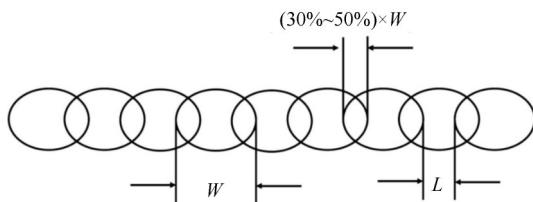


图6 理想焊缝示意图

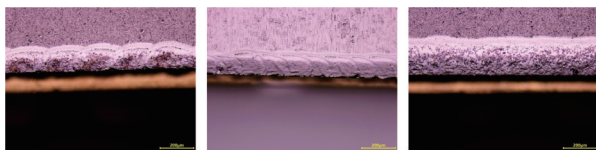


图7 不同WT下的焊缝光学显微图像

根据上述分析调节了平行封焊的参数,对改进前、后产线已封装芯片数量和由飞溅多余物造成器件失效的芯片数量进行统计,算出飞溅多余物的出现概率从约万分之五降低至约万分之二,具体数据如表3所示。

表3 年度飞溅多余物统计表

	封装数量/万只	飞溅数量/只	出现概率
改进前	~2.3	12	0.052%
改进后	~4.4	8	0.018%

## 4.2 更换盖板种类

图8(a)为化学镀Ni盖板表面SEM图像。由图可见,镀层表面较为致密,无明显孔隙或缺陷。图8(b)为盖板表面的元素分布情况,其中Ni元素占比为75.76%,P元素占比为24.24%。高占比的Ni使镀层具有良好的硬度和耐磨性,而P的加入可改善镀层的润湿性和耐腐蚀性。

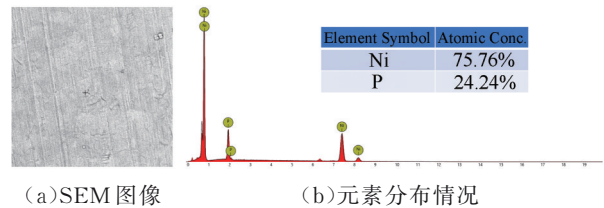


图8 化学镀Ni盖板表面SEM图像及元素分布

图9(a)为电镀Ni盖板表面的SEM图像,由图可见,与化学镀Ni盖板相比,电镀Ni盖板表面较为松散,膜层呈岛状分布。这表明在电镀过程中,Ni沉积未能均匀覆盖整个表面,形成了分散的沉积区域,可能对耐腐蚀性产生影响。图9(b)为通过EDS测得的盖板表面元素分布情况,其中Ni元素占比为96.9%,C元素占比为3.1%。其中C元素由测试前的外界有机物引入,并非盖板内部成分。但是,电镀Ni的熔点(1452℃)远大于化学镀Ni的熔点,在相同的平行封焊参数下,电镀Ni盖板的焊缝宽度明显变窄(见图10)。由于焊接过程中的瞬间温度可达到1600~1700℃,大于电镀Ni熔点且温差较小,使得飞溅多余物产生的概率大大降低。更换盖板种类后又进行了约3万只芯片的封装,暂未发现因飞溅多余物导致器件失效的情况。

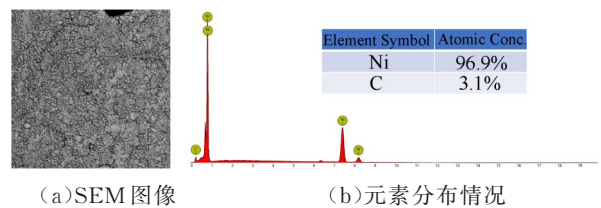


图9 电镀Ni盖板表面SEM图像及元素分布

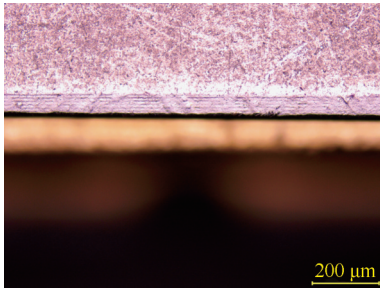


图10 电镀Ni盖板焊缝光学显微图像

## 5 结束语

综上所述,平行封焊的关键过程是电极轮与盖板接触处的电阻发热,通过这种方式进行焊接,其本质是通过镀层的熔化实现焊接。由于镀层熔化后受挤压流入管座内部,部分金属在冷却过程中凝固成球状,形成飞溅的多余物。在不改变管座围框尺寸和电极轮形貌的前提下,通过优化工艺参数、如调整焊接时间、速度等,或者更换盖板镀Ni的方式(例如采用化学镀Ni代替电镀Ni),有效减少了平行封焊过程中飞溅多余物的产生,从而提高了焊接质量和生产效率。

## 参考文献:

[1] 白涛,兰敏. 一些声表面波器件的市场应用及发展

[J]. 压电与声光,2006,28(5):502-505.

BAI Tao, LAN Min. Some applications and new developments of SAW devices [J]. Piezoelectrics & Acoustooptics,2006,28(5):502-505.

[2] 张彩云. 电阻焊接技术及其应用设备[J]. 电子工艺技术,2003,24(5):201-203.

ZHANG Caiyun. Resistance welding technology and application equipment [J]. Electronics Process Technology,2003,24(5):201-203.

[3] 张加波. 平行缝焊工艺过程镍金多余物控制[J]. 电子与封装,2020,20(7):3-7.

ZHANG Jiabo. The control of nickel and gold residue in parallel seam welding process [J]. Electronics & Packaging,2020,20(7):3-7.

[4] 陈曦,甘志华,苗春蕾. HTCC产品气密性封装的平行缝焊工艺研究[J]. 电子与封装,2019,19(10):8-12.

CHEN Xi, GAN Zhihua, MIAO Chunlei. Study of parallel seam sealing process on HTCC hermetic packaging[J]. Electronics & Packaging,2019,19(10):8-12.

[5] 肖汉武. 平行缝焊焊缝质量的评判[J]. 电子与封装,2015,15(2):5-11.

XIAO Hanwu. Assessment of seam quality in parallel seam welding process [J]. Electronics & Packaging,2015,15(2):5-11.