

文章编号:1001-5078(2024)06-0920-04

· 红外材料与器件 ·

# 红外探测器锗窗口无助焊剂回流焊接工艺研究

赵 璨, 回 品, 李 硕

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

**摘 要:**对红外探测器锗窗口无助焊剂回流焊接工艺进行了研究,在还原性气氛下使用铟焊料片对不同镀层体系的锗窗口和可伐合金进行了焊接试验。通过对不同镀层体系下焊接的窗口部件的焊缝形貌、真空漏率分析、X射线无损检测分析以及可靠性试验分析,表明通过对锗窗口和可伐合金焊接面镀金处理,在还原性气氛下回流焊接可以制备出满足密封要求和环境适应性要求的窗口部件。

**关键词:**红外探测器;锗窗口;回流焊接;还原性气氛

**中图分类号:**TN214;TN205 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2024.06.012

## Study on reflow soldering process without flux for Ge window of infrared detectors

ZHAO Can, HUI Pin, LI Shuo

(North China Research Institute of Electro-Optics, Beijing 100015, China)

**Abstract:** In this paper, the reflow soldering process without flux for Ge window of infrared detectors is investigated, and soldering tests on Ge windows and Kovar alloys with different plating systems are conducted using In solder pieces in a reducing atmosphere. Through the analysis of weld appearance, vacuum leak rate, X-ray NDT, and reliability test of window components soldered under different plating systems, it is shown that gold plating on the soldering surface of Ge windows and Kovar alloys can be used to prepare window components that meet the requirements of sealing and environmental adaptability under reflow soldering in a reducing atmosphere.

**Keywords:** infrared detector; Ge window; reflow soldering; reducing atmosphere

### 1 前 言

制冷型红外探测器(以下简称探测器)杜瓦组件的窗口部件既是透射红外辐射的光学件,也是杜瓦真空腔体的结构件<sup>[1-2]</sup>。对于中波、长波探测器,常选用锗单晶作为窗口材料,锗窗口与可伐合金封接构成窗口部件。为维持杜瓦组件的真空长寿命,窗口部件的封接尤为关键。

目前,窗口部件的封接工艺主要分为粘接和焊接两种。粘接工艺一般采用环氧树脂作为粘接剂,

但粘接剂会在探测器使用过程中缓慢放气,另外粘接剂容易老化,因此粘接工艺影响杜瓦组件的真空寿命,可靠性较低。焊接工艺需在锗窗口的焊接面上镀镍处理,然后使用助焊剂在锗窗口与可伐合金封接面上涂覆 In、SnPb 等低温焊料,采用高频感应焊或回流焊低温焊接<sup>[3]</sup>。手工涂覆焊料的工艺繁琐,一致性较低;助焊剂的残留可能会对缓慢腐蚀焊缝,导致杜瓦组件的真空失效。

针对手工涂覆焊料及助焊剂腐蚀焊缝等问题,

本文研究了一种锗窗口无助焊剂回流焊接工艺。研究了锗窗口和可伐壳体焊接面不同镀层体系对窗口部件焊缝形貌的影响,并对窗口部件真空漏率和焊接缺陷做出了评估。另外,窗口部件通过了高温贮存、低温贮存和温度冲击等可靠性试验。该种焊接工艺具有较高的工艺性、可靠性和真空密封性能,有助于提升红外探测器的真空寿命。

## 2 实验方法

焊料的弹性模量和屈服强度越小,其弹塑性也越好,可以释放锗窗口和可伐合金因热膨胀系数不同而产生的热应力,进而锗窗口的变形也越小<sup>[2]</sup>,有利于提升探测器的成像质量。常用焊料的主要性能参数如表 1 所示,钢具有较低弹性模量和极低的屈服强度,有利于降低锗窗口焊接过程中产生的热应力,因此本文选取钢焊料进行实验。

表 1 常用焊料的主要性能参数<sup>[2,4]</sup>

Tab. 1 Main parameters of commonly used solder

焊料	弹性模量/ GPa	屈服强度/ MPa	熔点/ ℃
In	11	1.4	156
SnPb	27.2	39	183
SnAg	39.5	49	221

钢焊料使用预制焊料片,锗窗口和可伐壳体的焊接面镀层分为镀镍和镀金两种体系,以验证不同镀层体系对锗窗口焊接效果的影响。

按照图 1 所示装配窗口部件,放入回流炉中,按图 2 所示的温度曲线进行加热,并在加热过程中通入还原性气氛。

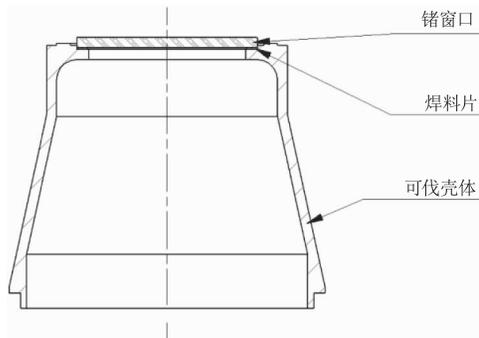


图 1 窗口部件示意图

Fig. 1 Schematic diagram of window component

焊接完成后使用光学显微镜拍摄窗口部件的焊

缝形貌;使用氦质谱检漏仪检测窗口部件的真空漏率;使用 X 光拍摄焊缝内部缺陷。

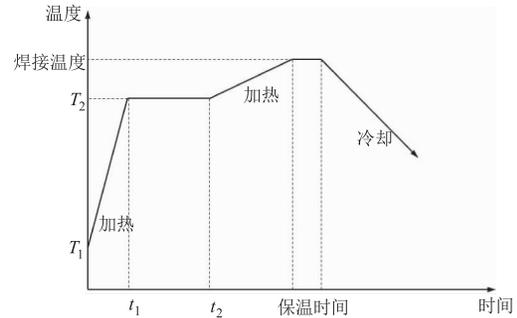


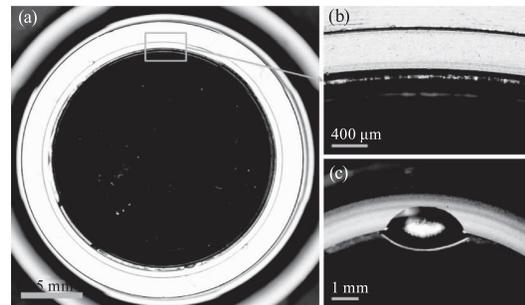
图 2 回流焊接温度曲线

Fig. 2 Reflow soldering temperature curve

## 3 结果与分析

### 3.1 焊缝形貌与机理分析

图 3(a)为锗窗口和可伐壳体焊接面镀镍的宏观焊缝形貌,窗口部件外侧焊缝(见图 3(b))处存在大量缺焊部位,焊料未能完全填充焊缝;观察窗口部件内侧焊缝(见图 3(c)),发现焊缝周围存在焊料溢出,焊料堆积呈现球状形貌。由于镍在空气中会在表面形成致密氧化膜,导致母材表面张力降低,一般需要使用助焊剂来破坏氧化膜,因此钢未能很好地润湿镀镍层,从而造成焊料溢出和堆积。

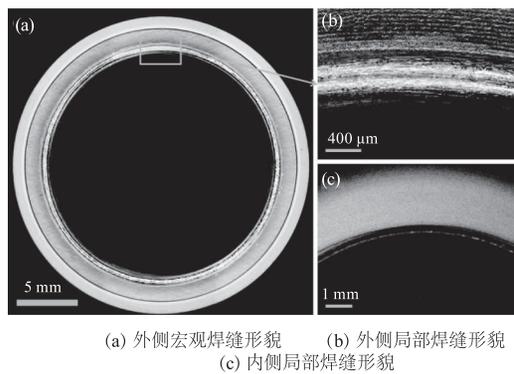


(a) 外侧宏观焊缝形貌 (b) 外侧局部焊缝形貌  
(c) 内侧局部焊缝形貌

图 3 焊接面镀镍的窗口部件

Fig. 3 Window component with nickel plating on soldering surface

图 4(a)为锗窗口和可伐合金焊接面镀金的宏观焊缝形貌,焊缝外观极佳;窗口部件外侧焊缝(见图 4(b))焊料填充饱满均匀,未出现气孔、氧化、裂纹及夹杂等缺陷;窗口部件内侧焊缝(见图 4(c))形成了均匀的钎角。锗窗口和可伐壳体焊接面镀金后避免了母材表面形成氧化膜,同时提高了钢对母材的润湿,促进了钢在焊缝内的填充,因此可以得到极佳的焊接效果。

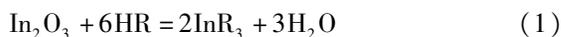


(a) 外侧宏观焊缝形貌 (b) 外侧局部焊缝形貌  
(c) 内侧局部焊缝形貌

图 4 焊接面镀金的窗口部件

Fig. 4 Window component with gold plating on soldering surface

窗口部件在焊接过程中需要通入还原性气氛,这是因为钢与空气接触很短时间就会在表面形成一层氧化膜,即氧化钢。氧化膜在钢熔化过程中会阻碍钢对母材的润湿,因此传统工艺通常会使用助焊剂来去除氧化膜,而选择还原性气氛同样可以有效地去除氧化膜。还原性气氛去除钢的氧化膜机理如下:当温度为 150 ~ 200 °C 时,还原性气氛和氧化钢反应生成一种化合物,其反应为<sup>[5]</sup>:



其中,R 代表还原性气氛的官能团。

当温度高于 200 °C 时,生成的化合物会进一步分解,其反应为:



基于以上反应,钢表面的氧化膜可以有效去除,进一步促进了钢在焊缝内的填充。

### 3.2 真空漏率分析

不同镀层体系下焊接的窗口部件真空漏率如表 2 所示,真空漏率与焊缝形貌趋势一致。锆窗口和可伐合金的焊接面均镀镍时,窗口部件漏率较大,不能满足杜瓦组件的密封要求;焊接面均镀金的锆窗口和可伐合金的窗口部件漏率 $\leq 10^{-11} \text{ atm} \cdot \text{cc}/\text{s}$ ,可以满足杜瓦组件的密封要求<sup>[6]</sup>。

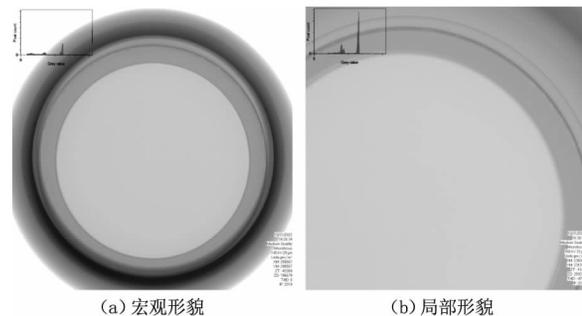
表 2 窗口部件漏率

Tab. 2 Leak rate of window component

镀层体系		窗口部件漏真空率/ ( $\text{atm} \cdot \text{cc} \cdot \text{s}^{-1}$ )
锆窗口	可伐合金	
镍	镍	$10^{-9}$
金	金	$10^{-11}$

### 3.3 X 射线分析

使用 X 射线对镀金体系下焊接的窗口部件进行了无损检测分析,其结果如图 5 所示。焊缝内部无裂纹、夹杂等缺陷,只存在少量较小的气孔,整体焊缝质量良好,可以满足杜瓦组件的密封要求。



(a) 宏观形貌 (b) 局部形貌

图 5 焊缝 X 射线分析图

Fig. 5 X-Ray analysis of soldering seam

### 3.4 可靠性试验分析

对镀金体系下焊接的窗口部件按表 3 进行了可靠性试验,试验结束后对窗口部件的真空漏率进行检测,其漏率未出现增大现象,可以满足杜瓦组件的环境适应性要求。

表 3 可靠性试验明细表

Tab. 3 Reliability test details

试验条目	试验条件
高温贮存	a) 贮存温度: 75 °C; b) 贮存时间: 温度稳定后保持 48 h。
低温贮存	a) 贮存温度: -55 °C; b) 贮存时间: 温度稳定后保持 72 h。
温度冲击	a) 极限温度: 低温 -55 °C, 高温 75 °C; b) 极限温度保温时间: 2 h; c) 循环次数: 10 次; d) 转换时间: $\leq 1 \text{ min}$ 。

## 4 结论

本文针对目前窗口部件的封接工艺中存在的问题,对红外探测器锆窗口无助焊剂回流焊接工艺进行了研究,在还原性气氛下使用钢焊料片对不同镀层体系的锆窗口和可伐合金进行了焊接试验。

锆窗口和可伐壳体焊接面镀镍处理时,钢焊料对镀镍层的润湿性较差,宏观焊缝形貌不佳;焊接面镀金处理时,避免了母材表面形成氧化膜,同时提高了钢对母材的润湿,焊缝外观极佳;同时通过对窗口部件的真空漏率分析、X 射线无损检测分析以及可靠性试验分析,表明在本文工艺条件下制备的窗口部件可

以满足杜瓦组件的密封要求和环境适应性要求。

#### 参考文献:

- [1] Yuan Jun, Gong Yu, Feng Jiangmin, et al. Low temperature welding of uncooled focal plane detector window based on InPb alloy [J]. *Infrared Technology*, 2017, 39(7):659-663. (in Chinese)  
袁俊, 龚瑜, 冯江敏, 等. 基于 InPb 合金的非制冷焦平面探测器窗口低温焊接工艺研究 [J]. *红外技术*, 2017, 39(7):659-663.
- [2] Chen Zhengchao, Shen Lian, He Yin, et al. Residual stress and deformation analysis of differential material welding in the window of an infrared detector [J]. *Infrared Technology*, 2019, 41(10):908-912. (in Chinese)  
陈正超, 沈练, 何胤, 等. 红外探测器窗口异种材料焊接残余应力和变形分析 [J]. *红外技术*, 2019, 41(10):908-912.
- [3] Fang Zisong, Zhang Yutang. Low temperature soldering technique for sealing the Ge window on metal dewar of IR detector [J]. *Infrared Technology*, 1992, (1):21-24. (in Chinese)  
方子松, 张玉棠. 红外探测器金属杜瓦瓶锗窗口低温封装技术 [J]. *红外技术*, 1992, (1):21-24.
- [4] Yang Guangyu, Xu Xin, Dong Yi. Contrast performance analysis between lead-free and tin-lead alloys [J]. *Electronics Process Technology*, 2008, 29(6):328-333. (in Chinese)  
杨光育, 徐欣, 董义. 无铅合金与锡铅合金性能对比分析 [J]. *电子工艺技术*, 2008, 29(6):328-333.
- [5] Chen Bo, Gao Nayan, Ding Rongzheng. Influences of reflow atmospheres on the solder joint voids of the fluxless flip-chip bonding process [J]. *Micronanoelectronic Technology*, 2016, 53(12):842-852. (in Chinese)  
陈波, 高娜燕, 丁荣峥. 回流气氛对无助焊剂倒装焊焊点气孔的影响 [J]. *微纳电子技术*, 2016, 53(12):842-852.
- [6] Zhao Can, Yang Bin, Liu Sen, et al. Design of high precision low temperature brazing feed through for infrared detector [J]. *Laser & Infrared*, 2023, 53(9):1360-1363. (in Chinese)  
赵璨, 杨斌, 刘森, 等. 红外探测器高精度低温钎焊引线环设计 [J]. *激光与红外*, 2023, 53(9):1360-1363.