

红外探测器用蓝宝石滤光片焊接工艺研究

李艳红, 刘 森

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘要:针对某型号探测器组件上用的 Al_2O_3 蓝宝石滤光片与可伐冷头钎焊的成品率低、后期失效问题突出等问题展开研究,找到了影响滤光片焊接成品率的几个关键因素,并针对这些因素提出解决方案,并通过一系列环境试验验证其可靠性,大幅提升了宝石窗口密封焊接工艺成品率。

关键词:蓝宝石;滤光片;可伐;焊接

中图分类号: TN219 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2014.04.008

Research on the soldering of sapphire optical filter used in infrared detector

LI Yan-hong, LIU Sen

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

Abstract: To solve the problem of the low yield and the later failure of the soldering of Al_2O_3 sapphire optical filter and Kovar alloy, several influencing factors of the low field of the Al_2O_3 sapphire optical filter are analyzed and studied. Aiming at these influencing factors, the solutions are proposed and its reliability has been verified through the experiments.

Key words: sapphire; optical filter; Kovar; soldering

1 前言

目前,国内生产的中波红外 InSb 焦平面探测器所使用的滤光片基材,主要有 Al_2O_3 蓝宝石、Ge 片和 Si 片。Ge 片和 Si 片在镀完膜后的透过率可以达到 95% 以上, Al_2O_3 蓝宝石在镀完膜后透过率能达到 90%。同 Ge 片和 Si 片相比,虽然 Al_2O_3 蓝宝石在透过率方面,稍显不足,但是,其莫氏硬度达到 9,机械性能远优于 Ge 片和 Si 片,故该材料集中用于对可靠性要求极高的空空制导组件。因此 Al_2O_3 蓝宝石滤光片的焊接问题也成为一个很重要的研究课题。

Al_2O_3 蓝宝石与可伐冷头之间的焊接方法主要分为两大类:间接钎焊法和直接钎焊法。

间接钎焊法主要包括 20 世纪 30 年代发展起来的烧结金属粉末法(简称 Mo-Mn 法)和 PVD 技术沉积金属层、热喷涂法、CVD 法等新出现的金属

化方法^[1]。间接钎焊法的钎焊温度可以灵活的掌握,既可以用高温钎料钎焊,也可以用低温软钎料钎焊。

直接钎焊法主要包括活性金属钎料直接钎焊法和氧化物钎料直接钎焊法^[1],直接钎焊法的钎焊温度一般都在 700℃ 以上。

本文中的滤光片所镀的光学膜,由于膜系统设计所限,仅能承受最高 350℃ 高温,所以只能选用间接钎焊法。

目前,国内用的蓝宝石滤光片一次性焊接成品率不是很高,而滤光片的成本很高,不能达到生产要求。同样的,低成品率也会带来相应的低可靠性。针对此问题展开研究,希望提高其一次性焊接成品

作者简介:李艳红(1979-),女,工程师,主要从事红外焦平面探测器结构设计、工艺设计及可靠性技术研究。

收稿日期:2013-07-22

率和可靠性。

2 试验材料和工艺

2.1 试验材料

试验用结构件为某型号探测器,其真空结构如图1所示,焊接位置为可伐4J33材料(表面镀镍)。为了提高焊缝表面的浸润性,必须对做完全金属化的宝石片表面进行处理,实验所选用的方法是镀金处理和AgCu28焊料皮烧结处理。

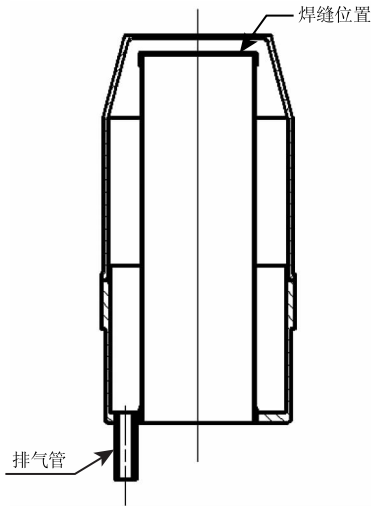


图1 试验用结构件示意图

试验用的滤光片分为几种,如表1所示。

表1 滤光片分类

序号	金属化方法	金属化区域后处理	是否镀膜
1	Mo-Mn法	镀0.5 μm 金	镀带通光学膜
2	Mo-Mn法	烧AgCu28焊料皮0.1mm	镀带通光学膜
3	Mo-Mn法	镀0.5 μm 金	未镀光学膜
4	Mo-Mn法	烧AgCu28焊料皮0.1mm	未镀光学膜

试验所选用的焊料为PbSn63共晶焊料,熔化温度183 $^{\circ}\text{C}$,远低于350 $^{\circ}\text{C}$,材质较软,缓冲温度冲击应力。助焊剂选用松香助焊剂。

2.2 试验工艺

首先在结构零件焊接面和滤光片的金属化区域都预镀一层PbSn63共晶焊料,然后将结构零件和滤光片装配好,装入充气焊接系统,焊接温度设定为(220 \pm 10) $^{\circ}\text{C}$,保温时间(50 \pm 3)s,进行焊接(每种滤光片焊10片,总计焊接40片)。

3 试验结果

完成焊接试验后,对焊接完成的结构件进行检漏操作,结果表2所示。

表2 检漏结果(滤光片序号为表1中的编号)

滤光片序号	合格数量	不合格数量
1	0	10
2	3	7
3	10	0
4	10	0

检漏操作完成后,对检漏合格的零件进行77~333K的高低温冲击试验(由于条件所限,只能用液氮和普通烘箱作为环境条件,将实验件置入60 $^{\circ}\text{C}$ 烘箱中,放置10min,然后取出,直接放入液氮中,放置10min,然后再置入烘箱中,作为一个cycle),每次冲击完成后,都对其进行检漏操作,其结果如表3所示。

表3 冲击试验结果(滤光片序号为表1中的编号)

滤光片序号	5cycle后合格数量	20cycle后合格数量	50cycle后合格数量
2	3	3	3
3	7	5	3
4	10	10	10

4 试验结果分析

对比以上实验结果,可知:

(1)没有镀膜的Al₂O₃宝石片焊接成品率明显要比经过镀膜处理的Al₂O₃宝石片的焊接成品率高。因此,镀膜工艺是影响宝石片焊接成品率和可靠性的一个重要影响因素。

(2)金属化区域做镀金处理的Al₂O₃宝石片在焊接后,经过温度冲击后,随着冲击次数的增加成品率明显会降低。因此,镀金工艺是影响宝石片焊接成品率和可靠性的一个重要影响因素。

4.1 镀膜工艺对金属化区域污染

针对Al₂O₃宝石片的镀膜工艺展开调查,发现一个明显的工艺缺陷。目前国内的滤光片镀膜工艺都是采用热蒸发的方式在洁净的Al₂O₃宝石片表面蒸镀一种SiO和Ge的混合膜系,整个工艺过程长达8h,尽管在整个工艺过程中有工装来遮挡,但是在长时间的镀膜过程中,金属化区域必然会被镀膜所产生的SiO和Ge蒸汽所污染。在X-Ray下检测焊缝区的气孔率如图2所示。

焊缝中存在大量的气孔,是由于SiO和Ge附着在金属化区域表面,导致PbSn63焊料无法浸润金属化区域部分位置。

将金属化区域做清洁处理,然后再进行焊接,得到的焊缝状态就要明显好很多,如图3所示。



图2 金属化区域未作清洁处理的焊缝状态

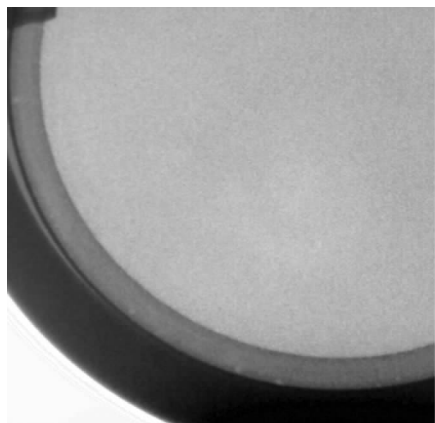


图3 金属化区域做清洁处理的焊缝表面

通过以上分析可知,镀膜工艺对 Al_2O_3 的影响很大,在镀膜过程中必须要对金属化区域进行严格的保护,否则会导致焊缝区域出现大量的气孔和夹杂等缺陷,如果污染严重的话对于整体结构的可靠性和气密性都有很大影响。因此镀膜工艺对金属化区域的污染是影响蓝宝石片焊接成品率和可靠性的一个重要因素。

4.2 金锡化合物的影响

Au 元素具有良好的抗腐蚀性,能够阻止焊料氧化引起的焊接可靠性问题,同时,Au 元素能够迅速溶解于液态 Sn 基焊料中,极大地改善其浸润性,从而使 AuSn 合金具有高可靠性、高强度等优点,以及优良的抗腐蚀、抗疲劳特性。其在气密性封装、射频和微波封装、发光二极管、引线绝缘子焊接,以及倒装芯片、激光二极管、3-D 芯片级封装等方面得到广泛的应用^[2-3]。

虽然 Au 元素有上述应用,但是,液态 SnPb 钎料同镀 Au 金属化区域界面反应的初始生成相是针状 AuSn_4 金属间化合物,它的形成是由 Au 原子向液态钎料的溶解控制的;如果 Au 的供应充足,那么随着重熔时间的增加, AuSn_4 的形态由针状演变为

层状,且在 AuSn_4/Au 界面形成 AuSn_2 ^[4]。Au - Sn 化合物的维氏硬度高达 750,仅次于玻璃。从晶体结构和实测性能数据可以看出,Au - Sn 化合物的硬脆性较高,合金焊缝的承载能力非常有限^[5-6]。

目前,国内外对于电装工艺镀金表面处理规范已经很成熟,可以作为镀金零部件焊接的参考。经常使用到的国内外的军工行业标准有关镀金表面去金的要求如表 4 所示。

表4 标准中对工艺的要求

标准代号	章节号	标准内容
QJ3012—98	4. 3. 6	一般情况下,不允许在金镀层上直接进行焊接,引线表面金镀层大于 $2.5\mu\text{m}$ 需经过两次搪锡处理,小于 $2.5\mu\text{m}$ 应进行一次搪锡处理。
QJ3011—98	5. 1. 3	对镀金的元器件应经搪锡处理(高频器件、微 1 波器件除外)
QJ3117—99	5. 1. 3	镀金的导线芯线、元器件引线和各种接线端子的焊接部位,需经搪锡处理后才能进行焊接。
IPC/EIA J—STD—001E	3. 9. 3	如果在审核时有证据证明金没有导致与焊接加工有关的焊料变脆问题的存在,那么这些要求可以免除。并且规定大于 $2.5\mu\text{m}$ 的镀金表面去金,去金面积应大于 95%。
ECSS—Q—ST—70—08C	6. 8. 2	镀金导体不允许直接焊接。
ECSS—Q—70—18A	8. 2	电连接器的焊杯也必须除金和搪锡,焊杯内镀锡后用吸锡绳吸除。
MIL—STD—2000A	5. 3. 1. 3	除表面安装元器件外,应从镀层为 $2.5\mu\text{m}$ 或更厚的元器件被焊表面将金层除去,对于表面安装元器件,至少应将 95% 的总镀金表面的金层除去,同时在元器件被焊表面不应再有金层

虽然试验所选用的镀金层的厚度为 $0.5\mu\text{m}$,控制在业界共知的 $1.27\mu\text{m}$ 以内,没有足够的 Au 元素向焊料中扩散而产生脆性。但是,有研究表明,在 150°C 老化后,钎料内部的细小的针状 AuSn_4 逐渐分解,通过固态扩散 Au 原子重新返回钎料和金属化区域表面的界面处,在 Ni_3Sn_4 上方与 Ni 和 Sn 发生反应形成 $(\text{Au}_{0.5}\text{Ni}_{0.5})\text{Sn}_4$,它的增长是由扩散控制的。老化之后重新形成的 Au-Sn 化合物同 Ni_3Sn_4 之间的界面,强度很低,很容易萌发裂纹^[7]。

因此可以判断,在经过 $77 \sim 333\text{K}$ 的高低温冲击试验后,焊缝区域出现了微裂纹。随着高低温冲击次数的增多,这些微裂纹会逐步增长,最终成长为

影响整个结构气密性的裂纹。

5 焊接工艺优化及结果

根据以上分析,对 Al_2O_3 蓝宝石滤光片的焊接工艺做出优化:

(1)对镀膜工艺进行控制,在镀膜时,对金属化区域进行保护。

(2)对镀金区域进行搪锡处理。(用吸锡枪将表面的焊料处理干净)

进行上述处理的试验件总计做了30件,焊接完成后,先对其进行 150°C 老化处理(烘烤 840h),然后对其进行检漏操作,30件零件均未出现气密性失效。然后对这些样品进行 $77 \sim 333\text{K}$ 的高低温冲击试验(每 5cyc 进行一次检漏操作),在经过 50cyc 后,这些样品均未出现气密性失效。

6 结论

(1) Al_2O_3 蓝宝石滤光片在制备光学膜的过程中会对金属化区域造成污染,进而影响到其焊接性,因此在镀膜工艺中,必须要对金属化区域做严格的保护,防止出现气孔,夹渣等缺陷。

(2)工作在低温下的 Al_2O_3 蓝宝石滤光片金属化区域的镀金层,必须经过去金处理(搪锡处理),否则在高低温冲击后萌发裂纹,最终导致气密性失效。

以上两点是蓝宝石滤光片焊接工艺过程中影响焊接成品率和可靠性的两个重点,必须严加控制。

参考文献:

[1] ZHANG Qiyun, ZHUANG Hongshou. Brazing and soldering manual[M]. Beijing: China Machine Press, 2008. (in Chinese)
张启运,庄鸿寿.钎焊手册[M].北京:机械工业出版社,2008.

[2] Seo Y H, Kang T G, Cho Y H. Locally heated low temperature wafer level MEMS packaging with closed-loop AuSn solder-lines[C]//ASME 2002 Int Mechan Engineer Congr and Expo. New Orleans, LA, USA, 2002: 17-22.

[3] CHEN M J, PHAM A V H, EVERS N A. Design and development of a package useing LCP for RF/microwave MEMS switches[J]. IEEE Trans Microwave Theory and techniques, 2006, 54(11): 4009-4015.

[4] AN Rong, LIU Wei. Sn-based solder reaction and microstructure in electronic packaging and assembly[J]. Electronics Process Technology, 2011, 11: 321-329. (in Chinese)
安荣,刘威.电子封装与组装焊点界面反应及微观组织研究进展[J].电子工艺技术,2011,11:321-329.

[5] CHENG Gang. Problem and measure of degolding in components soldering[J]. Aerospace Materials & Technology, 2012, 5: 84-87. (in Chinese)
成钢.电装焊接中的“去金”问题及措施[J].宇航材料工艺,2012,5:84-87.

[6] LI Jinlong. Application of AuSn alloy in electronic package and Its research progress[J]. Microelectronics, 2012, 8: 539-544. (in Chinese)
李金龙. AuSn 合金在电子封装中的应用及研究进展[J].微电子学,2012,8:539-544.

[7] Hiroki Maruo, Yoshihito Selu, Yoshiharu Unami. Development of ultrasonic flip chip bonding for flexible printed circuit [C]. Shanghai: Proceeding of 6th IEEE CPMT Conference on High Density Microsystem Design and Packaging and Component Failure Analysis (HDP'04), 2004: 307-310.