

光伏型锑化铟红外探测器开路失效研究

罗 宏

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘 要: 主要对光伏型锑化铟红外探测器组件开路失效现象进行分析。选取典型失效产品, 通过性能测试、解剖等分析方法, 寻找失效原因(金层表面有网状胶存在、引线与金属化层形变不够导致键合失效, 芯片材料崩裂等), 并对引起失效的机理进行了分析。

关键词: InSb 光伏探测器; 失效分析; 开路

中图分类号: TN215 **文献标识码:** A

Failure analyses of InSb PV detector no Voc performance

LUO Hong

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

Abstract: The failure analysis of InSb PV detector is studied. With the typical failed products as samples, performance test and device anatomizing were made to find the mechanism of failure. Some problems are found to be the main causes to result in the failures, the problems include: there is reticulation glue remaining on the gold layer; the shapes of lead and gold layer have inadequate change that result in invalid bond; the chip material breaks apart, etc. Failure model was set up and analysis was made.

Key words: InSb PV detector; failure analyses; no Voc performance

1 引 言

InSb 光伏探测器是主要用于探测 3 ~ 5 μm 波段目标辐射的探测器之一, 其作用是探测目标的红外辐射并把它转变为电信号, 经放大后为红外系统提供目标信息, 进行自动寻的等。

InSb 红外探测器经过几十年的发展无论是 InSb 材料生长制备还是探测器件芯片工艺都已经非常成熟, 其芯片结构已由单元、多元发展至一维线列和二维面阵焦平面阵列。目前国外 InSb 红外焦平面探测器规模已达到 2048×2048 元, 性能也接近背景极限, 对中波 InSb 红外焦平面探测器的研究已转入应用阶段, 各种规格的 InSb 红外焦平面探测器已大量装备于各种系统中。

随着探测器实用化程度的加大, 整机系统也对探测器的可靠性水平提出了更高的要求。失效分析工作是进行探测器可靠性增长的重要环节, 可靠性工作不仅是评价可靠性水平, 更重要的是提高器件

的可靠性。要提高产品的可靠性设计水平, 可以采用“故障案例设计”的思路, 做好故障分析工作, 这些原始的案例就是我们进行产品可靠性设计的依据。可靠性设计水平是否得到了提高, 取决于我们对案例的分析是否全面、透彻。因此必须重视失效器件的分析工作, 从中找出失效原因, 反馈给器件的设计和制造者, 共同制定修正措施以加快提高器件的可靠性。本文将针对批量生产的典型光伏型 InSb 红外探测器的早期开路失效问题进行分析, 确定了各种情况下的失效机理, 分析可能引起失效的原因。

2 失效分析程序与方法

失效分析一般采用的是由表及里, 由浅入深, 由非破坏到破坏性的方式, 分析流程如图 1 所示^[1-2]。

作者简介: 罗 宏 (1978 -), 女, 工程师, 主要从事探测器分析及质量管理工作。E-mail: plb-lh@163.com

收稿日期: 2010-01-09; **修订日期:** 2010-04-15

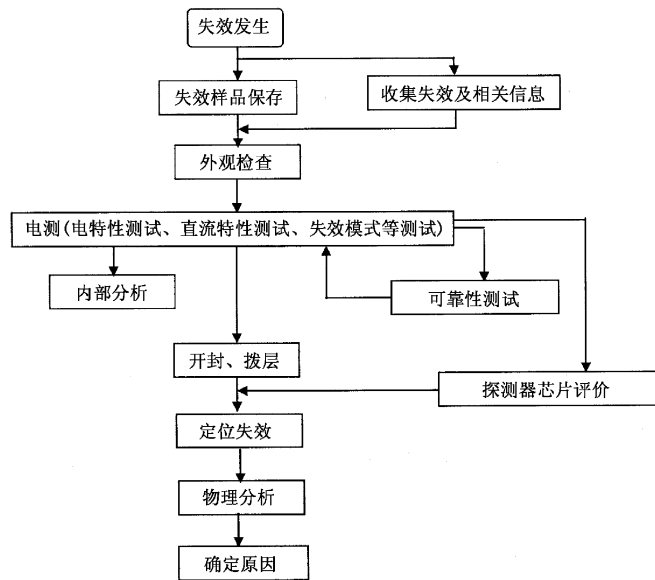


图1 失效分析流程图

具体分析手段和过程包括^[3]：

第一步:宏观观察

外部目检,电性能测试。

第二步:开封后检查

电性能复测,内部目检,扫描检查微观观察、其他检验分析(化学、金相检验、结构分析、力学分析、模拟试验)。

第三步:破坏性分析

键合强度测试,微探针台测试,逐层去掉表层,剖面制作,磨角染色等。

第四步:综合分析

针对不同模式进行分析、寻找失效机理。

3 案例分析

光伏型 InSb 红外探测器组件由光伏 InSb 芯片、杜瓦、J-T 制冷器、滤光片等部件组成。碲化铟红外光敏芯片是探测器的核心,将入射到其光敏面上的 3~5 μm 红外光信号通过光敏二极管 P-N 结的光生伏特效应转化为电信号输出。杜瓦为探测器提供封装环境。微型节流制冷器为碲化铟芯片提供低温工作条件,其性能通过制冷温度、达到所需制冷温度的时间(制冷启动时间)、制冷工质(气体)流量等指标反映。滤光片为探测器提供与信号光谱对应的透射窗口,限制背景辐射,减小背景噪声。

3.1 典型产品的选取

本文将以上述探测器(如图2所示)为主要研究对象,分析几种典型的开路失效现象的器件(如表1所示),并寻找引起失效的机理。

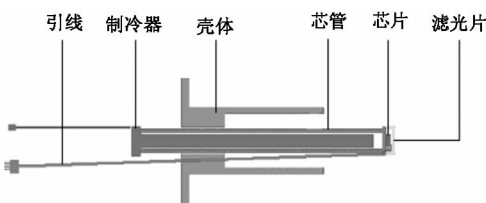


图2 探测器结构示意图

表1 典型的开路失效现象器件

产品编号	失效现象
1号	在筛选过程中出现了开路电压时有时无现象
2号	在筛选过程中出现了开路现象
3号	在筛选过程中出现了开路现象

3.2 测试、分析所需仪器设备^[4]

探测器组件测试系统;*I-V*曲线测试系统;晶相显微镜、体式显微镜;扫描电子显微镜;数字万用表;剪切力仪。

3.3 测试、分析方法

开路,首先判断失效部件,具体的分析思路如图3所示。

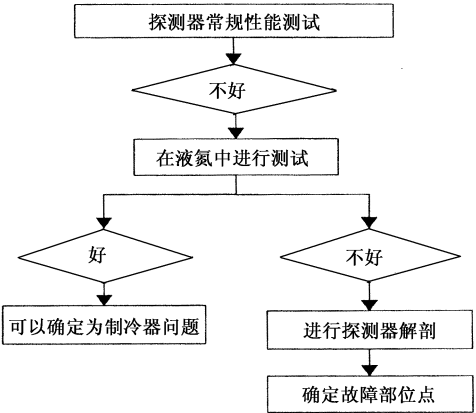


图3 分析思路

3.3.1 探测器常规性能测试

第一步:将故障探测器进行常规性能测试。经过测试如果无开路电压、无信号噪声,则故障复现,需要进一步分析;如果有开路电压,则需要对故障出现时的条件、情况进行进一步分析、确认。

第二步:用万用表“欧姆档”多点测试探测器同一外引线管脚(如图 4 所示),如均导通,表明外引线管脚接触良好,需要继续分析;如不导通,则可以判断失效原因是由于外引线接触不良导致。

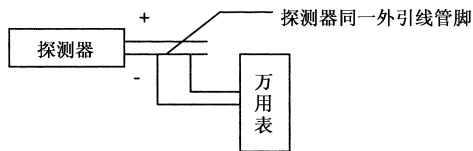


图 4 万用表测试开路电压示意图

第三步:用低压气体吹扫 10 min 后,进行高压下的常规性能测试,如果无开路电压、无信号、无噪声,则需要进一步分析;如果有开路电压、信号、噪声则可以判断失效是由于制冷器堵塞造成的。

第四步:再次用低压气体吹扫 10 min 后,并将

探测器引线捋直(以考察外引线导通状态)后进行常规性能测试。无开路电压、无信号噪声,则需要进一步分析;如果有开路电压、信号、噪声则可以判断失效是由于引线弯折造成的。

3.3.2 在液氮中进行测试

第一步:将探测器浸入液氮中(代替制冷器制冷),用万用表进行测试,若无开路电压,故障复现,由此测试结果可以确定故障现象与制冷器无关,进行下一步分析;如果有则为制冷器失效造成。

第二步:在显微镜下观察探测器组件,外观有无异常。

3.3.3 器件封装解剖

如果经过第 3.3.1、3.3.2 节测试后,探测器均无开路电压、无信号、无噪声,则需要进行器件解剖。目的是把失效部位暴露表面,实现对失效部位形貌、微观结构和电参数的分析,进行失效部位的定位,并进一步确定失效原因和机理。

3.4 产品分析

3.4.1 测试、观察结果

测试、观察结果如表 2 所示。

表 2 测试、观察结果

器件 项目	1 号器件	2 号器件	3 号器件
常规性能测试	无开路电压	无开路电压	无开路电压
液氮中测试	无开路电压	无开路电压	无开路电压
器件解剖观察	1. 打开滤光片支架,在显微镜下观察观察其内部现象:内外引线焊点处均无异常,检测各焊点处接触状态良好(如图 5 所示); 2. 用万用表检测探测器结构外引线,外引线导通; 3. 在液氮中反复检测探测器 $I-V$ 特性,发现开路电压出现时有时无的现象,用针接触电极孔进行 $I-V$ 特性测试,工作正常,表明金层良好,故障应出现在金层与焊点间的接触处; 4. 挑开图 5 中的内引线焊点时,在高倍显微镜下观察该焊点处有网状胶层存在(如图 6 所示)	1. 打开滤光片支架,在显微镜下观察观察其内部现象:绝缘子随着滤光片支架一起脱落,与绝缘子连接的内引线和外引线相继断裂(如图 7(a)、图 8 中 A 点、B 点所示),判断是取下滤光片支架时被拉断;芯片局部崩裂、脱落(如图 7(b)所示);芯片内引线(金丝)的焊点、金层完好(如图 7(c)所示); 2. 用万用表测试图 7a 中滤光片支架上的两根内外引线导通良好;探测器结构外引线的导通状态良好; 3. 将结构杜瓦灌入液氮后,用探针测试芯片 $I-V$ 特性,变坏	打开滤光片支架后观察内部现象:解剖后通过扫描电镜观察到探测器出现焊点脱焊,发生在引线焊接处(如图 9 所示),因此引起开路现象主要是发生在引线焊接处,键合点失效 ^[3]
失效部位定位	故障出现在金层与焊点间,金层表面有网状胶存在,造成焊点与金层电接触不良	故障出现是由于芯片材料崩裂导致探测器开路	故障出现是由于键合过程中引线与金属化层形变不够,未能形成紧密结合,属于欠键合的情况

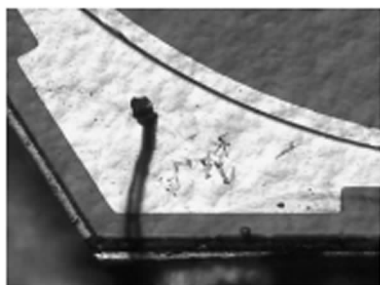


图5 1号器件芯片及电极

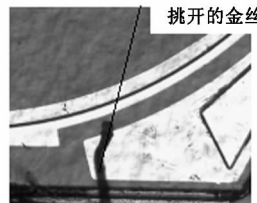
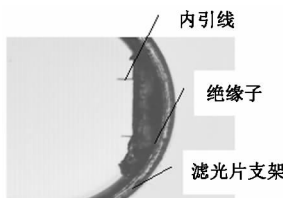
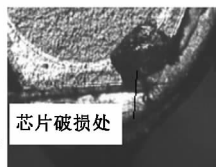
(a) 焊点处有网状胶膜
(放大200倍)(b) 焊点处有网状胶膜
(放大50倍)

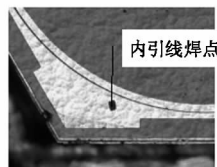
图6 1号器件焊点状况



(a) 滤光片支架



(b) 芯片局部 I



(c) 芯片局部 II

图7 2号器件解剖后内部情况

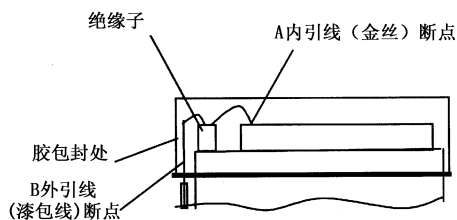
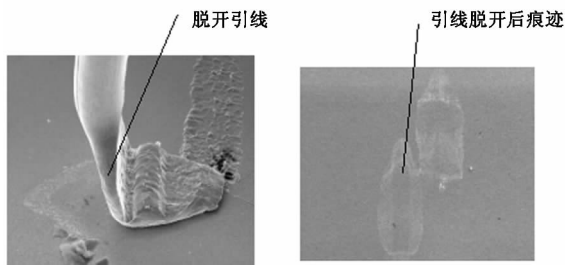


图8 2号器件前端示意图



(a) 引线脱开扫描图

(b) 引线脱开后痕迹扫描图

图9 3号器件引线脱开扫描电镜图

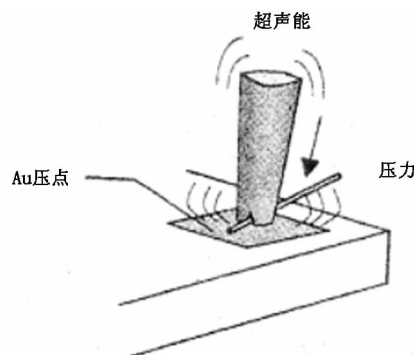


图10 超声键合图

该芯片表面有残存的胶膜,清洗不当,黏接胶溶解后会残留在溶液里,并附着在芯片表面,由于胶在溶液中残留,浓度较小,所以沾污到芯片表面后,往往呈现网状,这种网状胶膜在芯片表面分布的部位是随机的,如果残留胶附着在金层焊点处,在金丝焊接时,焊点与金层之间会出现部分与金层相连、部分与胶层相连的情况。

通过解剖故障探测器并在高倍显微镜下观察,确认该焊点处有网状胶层存在,验证了上述状态。由此可以确定探测器无开路电压是由于网状胶膜残存在芯片的焊点处,受到一定程度的冷热冲击后,造成焊点处电接触出现时通时断所致。

3.4.2.2 2号器件失效机理分析

在图7(c)中,内引线(金丝)被拉断、焊点A仍在,芯片并未出现崩裂,说明该部位的芯片材料是完好的;在图7(b)中,芯片崩裂是由于该部位芯片材料存在损伤。

可能导致探测器芯片崩裂的原因有:①芯片工艺过程中可能造成的内部缺陷;②试验过程中可能

3.4.2 失效机理分析

3.4.2.1 1号器件失效机理分析

芯片内引线焊接采用的是超声键合工艺。超声键合采用超声波发生器产生能量,通过高品质换能器,把电能转换成机械能,同时在劈刀上施加一定的压力,劈刀在这两种力的共同作用下使焊线与焊区两个金属面紧密接触,达到原子间的“键合”,从而形成牢固的焊接,超声键合示意图如图10所示。

金焊区与焊点间金层表面有网状胶存在时,造成焊点的塑性变化,导致电接触不良,出现时通时断的现象,表现在探测器性能测试上是开路电压时有时无。

造成的局部损伤。

对故障产品的芯片制作工艺过程进行查找,在芯片制造工艺过程中,划片工艺是用高速金钢砂刀片将芯片从晶片上切割下来,刀片状态异常,会留有晶片未划透部位(厚度很小),在去胶过程中,未划透的部位稍受力就断开,这一过程可能造成芯片的部分损伤,该损伤部位在后续工艺、试验和使用过程中(高低温冲击和机械振动冲击)逐渐扩大,最终造成芯片崩裂,导致探测器开路,测试时无信号输出。

在划片过程中由于刀片状态异常,导致切割晶片时造成晶片边缘损伤,该损伤部位在后续工艺、试验和使用过程中(高低温冲击和机械振动冲击)有可能逐渐扩大到芯片结区时,造成芯片性能变坏或开路。刀片状态异常切割的晶片可能留下故障的隐患。

为验证常规晶片和焊接点的牢固度,另取4只芯片,焊接引线,进行拉力对比是实验,均未出现晶片崩裂和焊点脱落现象,说明对于该探测器的分析是正确的,此探测器是由于异常原因造成的失效,由于芯片材料崩裂导致探测器开路,测试时无信号输出。

通过以上对测试、试验、解剖的分析及对比试验,可以确定制冷器、杜瓦、滤光片支架、绝缘子、连接绝缘子的内外引线及相应焊点均可靠,故障点应在芯片的崩裂部位。

3.4.2.3 3号器件失效机理分析^[5]

键合区表面通过蒸发工艺进行了金属化,表面涂料为Au,键合引线采用的是金丝引线,即键合采用金-金键合,并且采用的是超声键合工艺。

超声引线键合工艺参数主要包括劈刀压力、键合时间和超声功率。键合工艺条件对键合质量的好坏起着决定性的影响。焊接参数选择不当可以导致切丝和虚焊等现象,主要表现为焊点的塑性变形量的变化。

键合失效多发生在键合颈缩点处,引线断裂,或者是引线从键合区拉脱,这两种情形均是键合拉伸出现的最差情况,表明键合质量存在较大的隐患。

从引线从键合区脱落的形貌(如图9所示)可看出,金属化层光洁、无明显损伤,造成这种拉脱、剥离的原因主要是键合过程中引线与金属化层形变不够,未能形成紧密结合,属于欠键合的情况。这种情况主要是由于键合工艺参数选择不当,包括:键合压力/超声功率过小,不能形成足够的强度;超声功率过大,键合成功后的键合强度被破坏;键合工具本身

质量下降。进一步改进措施为:规范键合工艺,严格按照键合相关规定进行键合,剔除不满足规定要求的样品;选择合适的键合工艺参数,如通过正交优化试验方法确定最佳工艺条件;对键合机本身进行维护检查,对键合机的技术参数重新进行计量和校准,并加强机器的保养。

4 结 论

在对典型产品分析后,将另外55只开路器件进行了同样分析,汇总分析结果如表3所示。

表3 失效分析统计汇总表

故障原因	产品数量/只	百分比/%	出现规律
金层表面有网状胶存在,造成焊点与金层电接触不良	2	3.64	个别偶然出现
芯片材料崩裂导致探测器开路	13	23.64	成批出现
键合过程中引线与金属化层形变不够,未能形成紧密结合	38	69.1	成批出现
其他原因	2	3.64	个别偶然出现

通过统计表可以看出,本文针对目前进行批量生产的典型的光伏型InSb红外探测器在筛选过程中出现的开路故障失效机理的研究,选取的典型产品具有一定代表性,由此确定了进行该类失效分析的技术路径和具体方法,并将通过分析结果指导工艺进行改进,避免此类失效现象再次出现。本文中具体案例的分析结论,还将为其他型号InSb探测器的研制和生产打下更好的技术基础,防止同类失效现象的重复发生,并可作为其他类似产品设计、制造的依据。

参考文献:

- [1] 恩云飞,等. 电子元器件失效分析技术发展[J]. 失效分析与预防,2006,1(1):40-42.
- [2] 张峥. 失效分析思路[J]. 理化试验-物理分册,2005,41(3):158-161.
- [3] 郑鹏洲,等. 电子元器件的失效分析[J]. 质量与可靠性,2002,17(4):26-32.
- [4] 董均海. 电子元器件失效分析技术[J]. 现代情报,2006,27(4):207-208.
- [5] 姚立真. 可靠性物理[M]. 北京:电子工业出版社,2004,8.
- [6] 姜小波,等. PtSi红外焦平面芯片可靠性物理分析[J]. 电子产品可靠性与环境试验,2000,21(1):30-33.