

制冷型红外焦平面探测器引线键合质量优化研究

田立萍, 朱颖峰, 王微, 徐世春, 董黎, 熊雄

(昆明物理研究所, 云南 昆明 650223)

摘要: 介绍了制冷型红外焦平面探测器引线键合工艺, 分析和总结了焦平面探测器引线键合的失效模式, 对主要失效模式进行了优化研究和试验验证, 提出了引线键合的质量控制方法, 并给出了相应的测试结果, 对提高焦平面探测器引线键合具有很好的指导意义。

关键词: 制冷型探测器; 引线键合; 键合优化; 焦平面; 可靠性

中图分类号: TN215 文献标识码: A 文章编号: 1001-8891(2012)12-0699-06

Study on Optimum of Wire Bonding for the Cooled Infrared Focal Plane Detector

TIAN Li-ping, ZHU Ying-feng, WANG Wei, XU Shi-chun, DONG Li, XIONG Xiong

(Kunming Institute of Physics, Kunming 650223, China)

Abstract: This paper describes the wire bonding technology for cooled infrared focal plane detector, analyzes and summarizes the infrared detector wire bonding failure mode. The study on optimum, experiment testing, methodical control of quality and testing results are presented for the main wire bonding failure mode, which will be guidance for the improvement of reliability of infrared detector wire bonding.

Key words: cooled infrared focal plane detector, wire bonding, optimization, methodical control of quality, reliability

0 引言

以制冷型红外焦平面探测器(以下简称焦平面探测器)为核心的二代热像仪以其高灵敏度、高空间分辨率、视场大、探测和识别距离远等优点广泛应用于军事、航天、工业和医学领域。引线键合作为焦平面探测器可靠性封装技术基础之一, 是焦平面探测器组件化、实用化及工程化的关键工艺, 它涵盖了杜瓦电极与基板电极之间的键合以及芯片焊盘与基板电极之间的键合。随着焦平面阵列输入/输出密度不断加大, 速度不断加快, 焦平面探测器引线键合的难度也越来越大, 且易出现失效问题。本所的某一重要型号产品经过高低温储存、温度循环、应力筛选后, 引线键合失效的现象时有发生, 使产品的可靠性及生产进度受到了严重影响。本文就该产品引线键合的失效模式、失效机理进行探讨, 期望找到优化解决键合质量的办法, 为产品后续的质量控制奠定基础。

1 焦平面探测器引线键合工艺

引线键合是当前主要的微电子封装技术之一, 根据键合能量不同分为热压键合、超声键合和热超声键合。由于受封装材料和工序温升的限制, 加之超声键合具有对被焊件无热影响区、焊接质量好、键合可靠性高及适应性强等优点^[1], 焦平面探测器引线键合采用超声键合工艺。超声键合工艺有2种基本形式: 球键合和楔键合。球键合键合速度快, 可以从球的任意角度进行键合, 对焊盘冲击作用小^[2], 键合流程如图1所示; 楔键合能够实现超细间距键合, 对表面污染物不敏感, 键合温度低^[2], 键合流程如图2所示。结合球键合、楔键合的特点, 综合考虑焦平面探测器结构特征及工艺特性, 杜瓦电极与基板电极之间采用超声球键合, 如图3所示; 芯片焊盘与基板电极之间采用超声楔键合, 如图4所示。

收稿日期: 2012-09-10.

作者简介: 田立萍, (1975-), 女, 高级工程师, 大学本科, 主要研究方向为杜瓦封装。

2 焦平面探测器引线键合失效原因分析

针对焦平面探测器出现的问题,经过研究分析,结合实际使用情况,总结了可能引起焦平面探测器引线键合失效的原因。

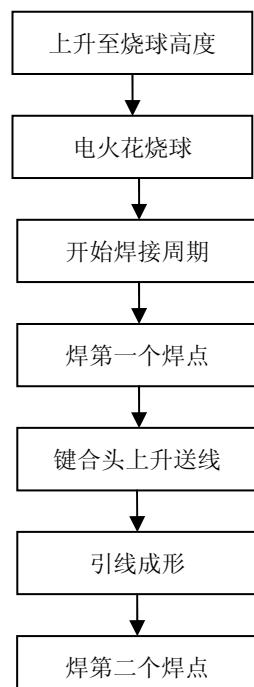


图1 超声球键合流程

Fig.1 Ultrasonic ball bonding circuit

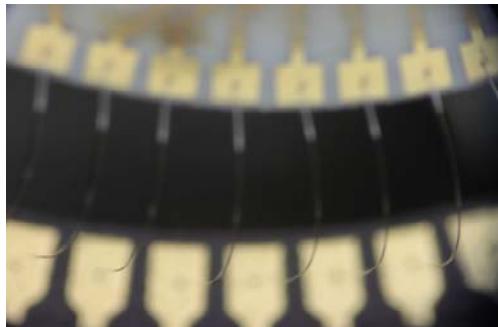


图3 焦平面探测器超声球键合

Fig.3 Ultrasonic ball bonding for focal plane detector

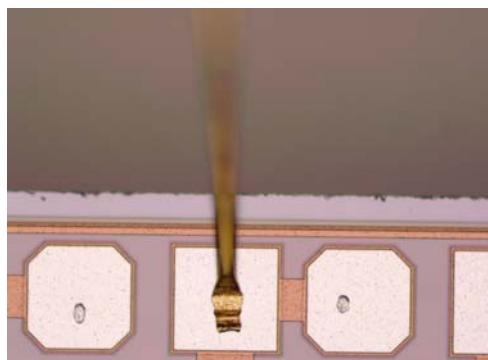


图5 键合不规范: 尾丝太短

Fig.5 Nonstandard bonding: too short end silk

2.1 键合不规范引起的失效

1) 尾丝不一致。尾丝太短如图5所示,意味着作用在第1个键合点上的力分布在一个很小的面积上,导致过量变形。尾丝太长如图6所示,可能导致焊盘间短路。

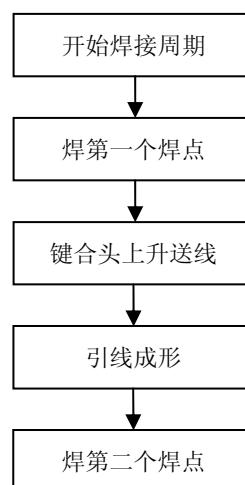


图2 超声楔键合流程

Fig.2 Ultrasonic wedge bonding circuit



图4 焦平面探测器超声楔键合

Fig.4 Ultrasonic wedge bonding for focal plane detector

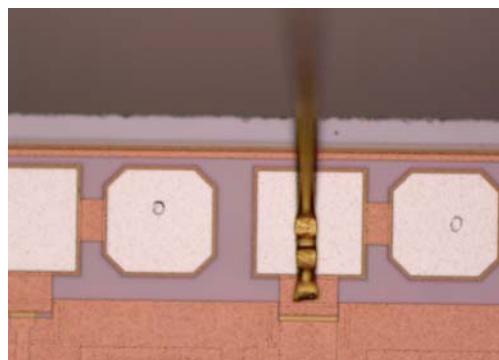


图6 键合不规范: 尾丝太长

Fig.6 Nonstandard bonding: too long end silk

2) 键合点偏。焊点压到电极边缘, 不居于焊盘中心如图7所示, 造成接触电阻增大或电极间短路, 影响焊点的可靠性甚至导致器件失效。

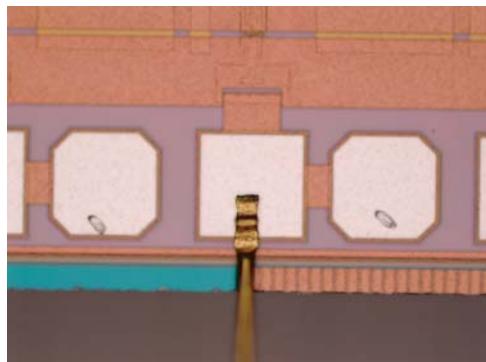


图7 键合不规范: 焊点不居于焊盘中心

Fig.7 Nonstandard bonding: bond pad inclined to one side

3) 焊点形状不标准。键合参数调节不当或者键合高度过高, 使焊点变形太大如图8所示, 过键合, 键合强度降低, 易造成跟部折断或焊盘损伤; 键合参数调节不当或者键合高度过低, 使焊点变形太小如图9所示, 不能形成足够的键合强度, 焊点不牢, 易剥离脱焊。

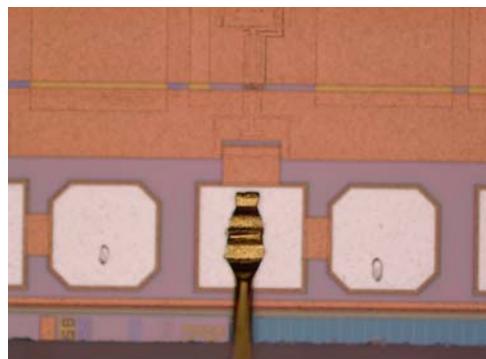


图8 键合不规范: 焊点变形太大

Fig.8 Nonstandard bonding: too big deformation

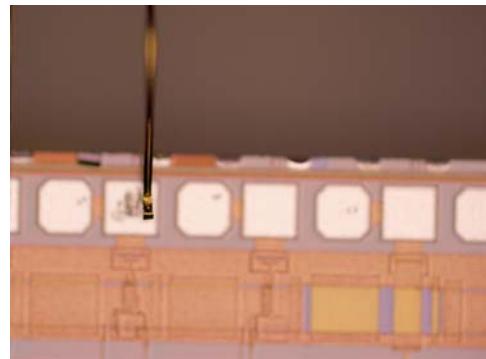


图9 键合不规范: 焊点变形太小

Fig.9 Nonstandard bonding: too small deformation

4) 引线弧度过高。合理的引线弧度可以减少蠕动, 增强可靠性。引线弧度过高, 键合点颈部强度变差, 键合点根部易断裂。另外, 弧度过高, 引线

质量增大, 运动中所承受的惯性力也随之增大, 经过后序的密封和多项试验后, 很容易因受力而发生偏离, 增大了引线间发生短路的概率^[3]。

5) 绝缘电阻小于标准规定值。引线键合过程中, 由于缺乏工艺卫生, 造成相邻引线之间发生短路或接近短路, 导致失效。

2.2 键合引线引起的失效

焦平面探测器采用侧面引线结构形式, 引出线由焦平面阵列互联至杜瓦陶瓷引线环。互联引线的质量与引线电感、引线间电容、引线阻抗、绝缘电阻、探测器振动噪声及其可靠性水平密切相关。焦平面探测器互联引线不但要满足诸多的电学性能要求, 还要有一定的刚度和强度等机械性能。否则, 焦平面探测器经受环境适应性试验和应力筛选试验时, 引线容易变形、下垂造成短路失效; 受到高低温冲击时, 引线热胀冷缩, 经受多次反复弯曲后, 疲劳失效; 振动试验时可能产生谐振, 损伤键合点失效。

2.3 键合软环境不良引起的失效

1) 焊接工具状态及参数控制。劈刀的几何参数、安装松紧、安装长度以及劈刀清洁度均会影响键合质量, 任何一项不恰当都可能使引线键合强度降低, 甚至导致键合失效。劈刀的大小和形状对焊接质量影响极大, 不同规格的键合引线需配不同大小的劈刀。一般来讲, 键合引线越细, 劈刀端面截面越小, 反之, 键合引线越粗, 劈刀端面越大。劈刀端面的平整光洁对焊接质量亦有影响, 劈刀平整光洁度不好会造成键合时键合引线变形不一, 影响键合强度^[1]。

2) 焊盘质量。焊盘金属化强度低、金属化层过薄、金属化层出现合金点、金属化层均匀性不好、表面平整度差以及表面有污染、不干净都会造成键合可焊性和可靠性差, 引起失效。在制冷型焦平面杜瓦封装中, 主要涉及读出电路、陶瓷基板、陶瓷引线环电极的金属化。读出电路采用行业标准, 金属化层厚度0.8~0.9 μm。金属化层检验方法: 引线键合——拉力测试——规定的拉力下不会使金属化层脱落为合格。

3) 工装夹具设计及加工。工装夹具与键合产品不匹配, 装夹不稳造成能量散失, 影响键合质量。

4) 测试环境不稳定。测试过程中, 瞬间大电流造成引线熔断失效。

3 技术改进

对照分析出来的原因, 根据本产品故障的实际

情况,结合实际生产经验,经过反复讨论和分析,最终确定从以下几点着手解决。

3.1 规范键合

通过试验探索,根据不同的芯片焊盘、杜瓦电极、基板等表面状态因素合理设置键合参数,使之达到最佳组合,保证焊接点的精度和可靠性。控制劈刀拉弧过程中复杂三维空间运动的精度和速度来满足不同封装形式的线弧形状,确保键合的准确性、一致性和可靠性。通过显微镜观测焊点外形,良好的球键合应满足:第一焊点焊球直径为引线直径的2.5~5倍,不超过焊盘尺寸的3/4,与线弧过渡平滑^[4],第二焊点点胶补强圆润饱满,如图10所示。良好的楔键合应满足:键合区宽度为引线直径的1.2~3倍,键合区长度为引线直径的1.5~5倍,焊点尾丝长度适中,焊接面与线弧过渡平滑,线弧没有垂直方向和水平方向的摇摆,一致性好^[4],如图11所示。

3.2 优选键合引线

焦平面探测器为了获得可以接受的制冷时间,必须相应地降低热容量。因此焦平面探测器的引线选用除了确保连接的可键合性和可靠性外,还要兼顾考虑引线热负载的要求。根据傅里叶定律:

$$Q_{\text{热传导}} = -\lambda \text{grad}T \quad (1)$$

材料传导的热量 $Q_{\text{热传导}}$ 与温度 T 的梯度成正比,温度 T 是位置 L 的函数,导热系数 λ 是温度 T 的函数。弄清这些函数很复杂,计算也会变得十分困难。实用的引线热负载计算公式为:

$$Q_{\text{热传导}} = \bar{\lambda}_{T_2-T_1} A \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (2)$$

式中: $\bar{\lambda}_{T_2-T_1}$ 为材料在 $T_2 \sim T_1$ 温度下的平均导热系数,W/cm·K;A为材料导热横截面积,cm²;L为引线有效长度,cm;T为绝对温度,K; T_2 为环境温度; T_1 为液氮温度,K。

由(2)式可以看出,材料平均导热系数和导热横截面积是决定引线热负载的主要因素。通过深入调研,认真比较,综合考虑引线导电性能、机械性能、化学稳定性、延展性、可键合性、欧姆接触以及工艺实现等诸多因素,最终球键合选用定制的特种引线1,楔键合选用定制的特种引线2。同时对引线采取适当的清洁保护措施,增加引线键合补强工艺,增强引线跟键处的强度,降低引线疲劳失效的几率。

3.3 优化键合软环境

1)劈刀的选用及安装。球键合使用毛细管劈刀,

楔键合使用楔形劈刀,劈刀尺寸影响引线键合质量和生产稳定性。根据焦平面阵列的焊盘形状、大小、间距以及选用的引线材料、直径等,合理选择球键合劈刀以及楔键合劈刀的几何尺寸。劈刀安装的长度影响劈刀尖部超声波的谐振,进而影响键合质量。准确安装劈刀,确保劈刀端面有最大振幅。用适当的力矩固定劈刀,避免用力过大使换能器的末端变形,或者用力过小使键合点的位置偏移及超声能的传递效率降低。定期对劈刀进行超声清洗,去除劈刀表面以及用别的清洗方法难以到达的夹缝的污物^[5]。

2)焊盘检验及处理。加强来料检验,剔除存在明显焊盘缺陷的基板及杜瓦陶瓷引线环。引线键合前,用等离子体去除基板、杜瓦电极上的污染物和氧化物,增加键合可靠性。

3)工装夹具的匹配。合理设计键合工装的尺寸公差,使之与键合产品良好匹配,装夹稳固不松动,保证键合产品状态的稳定。

4)稳定测试环境。经常对测试系统进行监控维修,使测试系统相关参数相对稳定,同时加强对测试系统的接地保护,避免测试引起的失效。

3.4 运用SPC技术

SPC是英文 Statistical Process Control 的简称,其中文意思是统计过程控制。运用 SPC 技术,对连续采集的多批参数进行统计分析,可以定量地判断键合工艺过程是否处于统计受控状态。焦平面探测器键合工艺 SPC 设计与应用如图 12 所示。

通过采用 SPC 统计控制技术,对焦平面探测器键合工序的生产状态实施控制,及时发现和解决生产中出现的键合偏差问题,使键合质量达到稳定。提高键合强度的一致性主要从人、机、料、法、环五大因素着手解决。
①操作人员:人员要定期培训实行质量考核,不断提高操作技能;
②机器设备:经常对键合设备进行监控维修,保证键合参数的相对稳定;
③材料:键合表面污染以及键合引线质量是影响键合强度的主要因素,恰当的保存和处理非常重要;
④方法:正确有效的工艺文件及操作文件是提高键合质量的前提;
⑤环境:高可靠高性能产品的生产离不开高清洁的生产环境^[6]。

4 改进效果

将技术改进应用在焦平面探测器引线键合工艺中,每支探测器键合 10 根引线(5 根楔键合、5 根球键合)。抽测 10 支键合好引线的探测器进行高低温储存、温度循环以及应力筛选后,用拉力测试仪

进行键合强度的测试,视其在规定的拉力下(楔焊拉力 $\geq 5\text{ g}$,球焊拉力 $\geq 20\text{ g}$)不脱焊、不断丝为合格^[7]。测试结果具体见图13、图14。

由图13、图14可以看出,100根楔键合拉力

稳定于 $5\text{ g}\sim 7\text{ g}$ 之间,100根球键合拉力稳定于 $21\text{ g}\sim 23\text{ g}$ 之间,全部满足焦平面探测器引线键合强度的技术要求。

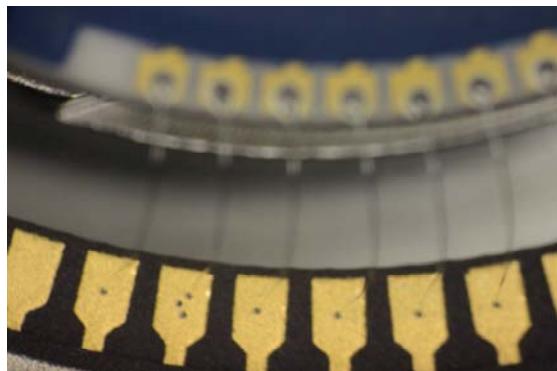


图 10 规范球键合示意图

Fig.10 Standard ball bonding



图 11 规范楔键合示意图

Fig.11 Standard wedge bonding

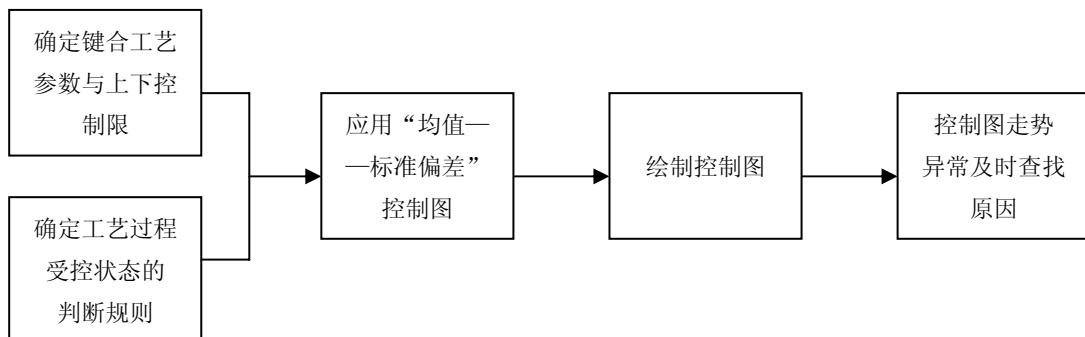


图 12 焦平面探测器键合工艺 SPC 设计与应用

Fig.12 Device and application of SPC in wire bonging for focal plane detector

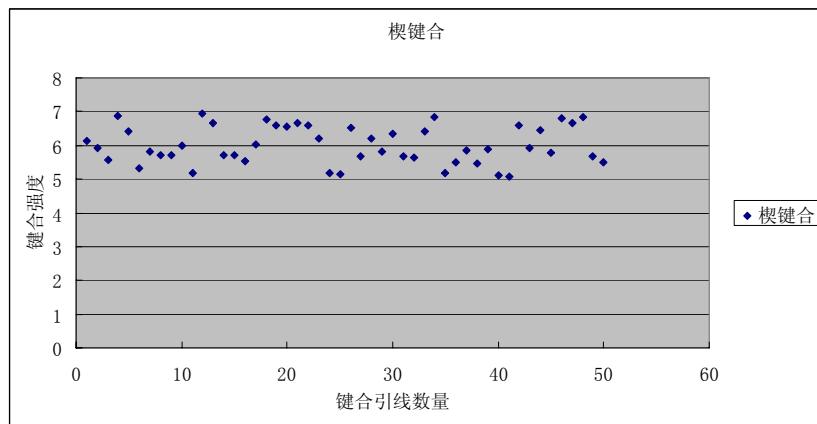


图 13 楔键合键合强度测试结果

Fig.13 Test results of wedge bonding pressure

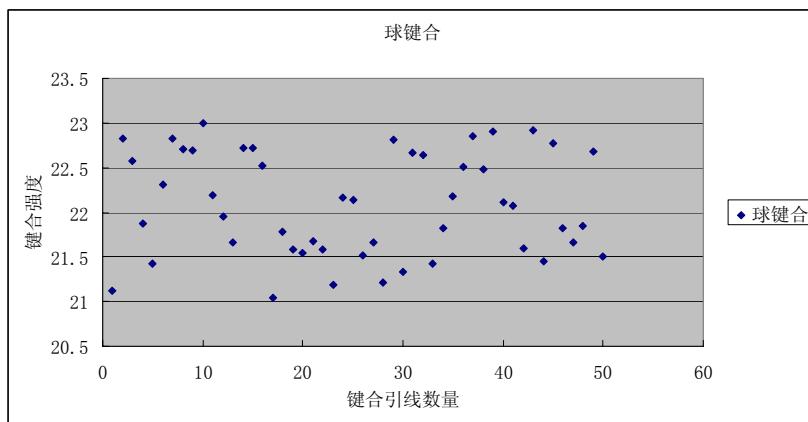


图 14 球键合键合强度测试结果
Fig.14 Test results of ball bonding pressure

5 结论

引线键合作为焦平面探测器封装工序中的关键工艺，在未来相当长一段时间仍将是封装内部连接的主流方式^[8]。随着焦平面阵列的不断发展以及封装新材料、新封装形式的应用，对引线键合提出了更高的要求。本文介绍了目前在焦平面探测器封装工艺中应用最为广泛的超声键合技术，并结合引线键合在焦平面探测器中的实际应用，给出了焦平面探测器引线键合常见失效以及技术改进措施并进行了试验验证，对提高焦平面探测器引线键合的可靠性具有很好的指导意义。

6 致谢

朱惜辰教授在本文初步完成后给予了很好的指导和建议，在此深表感谢。

参考文献：

- [1] 李颖, 张治国, 张娜. 提高压力传感器引线键合质量的工艺研究[J]. 仪表技术与传感器, 2010, (3): 107-110.
- [2] 余斋, 王肇, 程俊, 等. 热压超声球引线键合机理的探讨[J]. 电子工艺技术, 2009, 30(4): 190-195.
- [3] 黄强, 郭大琪, 丁荣峰, 等. 双键合点破坏性引线键合拉力试验的测量误差分析[J]. 电子与封装, 2003, 3(5): 13-16.
- [4] 吕磊. 引线键合工艺介绍与质量检验[J]. 电子工业专用设备, 2008 (158): 53-60.
- [5] 马玉华, 卜瑞艳. 对影响内引线键合可靠性的因素的分析与对策[J]. 半导体情报, 1999, 36(5): 53-56.
- [6] 张莉新, 夏季秋, 王思佳, 等. SPC 在引线键合中的应用[J]. 计量与测试技术, 2011, 38(10): 6-11.
- [7] GJB548B-2005 微电子器件试验方法和程序[S].
- [8] 晁宇晴, 杨兆建, 乔海灵. 引线键合技术发展[J]. 电子工艺技术, 2007, 28(4): 205-210.