

InSb 红外探测器芯片金丝引线键合工艺研究

朱炳金, 林磊, 宋开臣, 王晶

(中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009)

摘要: InSb 红外探测器芯片镀金焊盘与外部管脚的引线键合质量直接决定着光电信号输出的可靠性, 对于引线键合质量来说, 超声功率、键合压力、键合时间是最主要的工艺参数。从实际应用出发, 采用 K&S 公司 4124 金丝球焊机实现芯片镀金焊盘与外部管脚的引线键合, 主要研究芯片镀金焊盘第一焊点键合工艺参数对引线键合强度及键合区域的影响, 通过分析键合失效方式, 结合焊点的表面形貌, 给出了适合 InSb 芯片引线键合质量要求的最优工艺方案, 为实现 InSb 芯片引线键合可靠性的提高打下了坚实的基础。

关键词: 引线键合; 超声功率; 键合压力; 键合时间

中图分类号: TN215 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2013)01-0046-05

InSb infrared detector chip gold wire bonding process study

Zhu Bingjin, Lin Lei, Song Kaichen, Wang Jing

(China Air to Air Missile Academy, Luoyang 471009, China)

Abstract: The wire bonding quality of InSb infrared detector chip surface solder joint and external pin solder directly determines the reliability of the optical signal output. Ultrasonic power, bonding time and bonding force are the most important process parameters for the wire bonding quality. Based on the practical application, gold wire bonding was performed on a K&S 4124 wire bonder with the gold plated pads, and the effects of these process parameters on bond shear force and the bonding region were studied. By analyzing the failure mode of bonding and the solder joints morphology, the optimum process parameters meeting InSb chip gold wire bonding quality requirements were obtained. This study has laid a solid foundation for the InSb chip wire bonding reliability.

Key words: wire bonding; ultrasonic power; bonding force; bonding time

0 引言

随着集成电路的发展, 先进封装技术不断变化以适应各种半导体新工艺和新材料的要求和挑战。在目前的混合集成电路组装工艺过程中, 引线键合以工艺实现简单、成本低廉、适用多种封装形式而在连接方式中占主导地位, 目前所有封装管脚的 90% 以上采用引线键合连接^[1]。

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, 经电路放大后为红外系统提供目标信息, 进行自动寻的等^[2]。光伏型 InSb 红外探测器经过几十年的发展, InSb 芯片结构已经由单元、多元发展到大规格焦平面阵列, 探测器芯片的制备通过 InSb 阵列芯片与 Si 处理电路经 In 柱倒装互连实现, 技术已经成熟^[3]。但是目前为止, 探测器芯片与外部管脚的连接依然采用引线键合的方式。

InSb 红外探测器芯片表面镀金焊盘与外部管脚的引线键合质量决定着光电信号输出的可靠性, 影响引线键合强度的因素众多, 从焊接设备来看, 它与超声功率、键合时间、键合压力等有关; 从焊接表面(焊盘或引脚表面)来看, 它与被键合表面清洁度、材料性质、处理工艺等有关。文中从实际应用出发, 选定超声功率、键合时间、键合压力为主要研究对象, 采用 K&S 公司 4124 金丝球焊机实现芯片镀金焊盘与外部管脚的引线键合, 主要研究芯片表面第一焊点键合工艺参数对引线键合强度及键合区域的影响, 通过分析键合失效方式, 结合焊点的表面形貌, 获得了适合 InSb 芯片引线键合质量要求的最优工艺方案, 为实现 InSb 芯片引线键合可靠性的提高打下了坚实的基础。

1 实验准备

1.1 引线键合介绍

引线键合是以非常细小的金属引线的两端分别与芯片和管脚键合而形成电气连接。

引线键合工艺通常有 3 种方式: 热压键合、超声键合、热压超声键合(热声键合)。其中热压超声键合因其可降低加热温度、提高键合强度、有利于器件可靠性而取代热压键合和超声波键合成为键合法的主流^[1]。目前

主要存在两种形式键合: 球形焊接和楔形焊接。两种键合的不同之处在于: 球形焊接在每次焊接循环的开始会形成一个焊球, 然后把这个球焊接到焊盘上形成第一焊点, 而楔形焊接则是将引线在加热加压和超声能量下直接焊接到芯片的焊盘上。

文中采用金丝超声热压球楔键合。焊线过程中, 先用高压电火花使金丝端面形成球形, 然后按照加热及超声波摩擦原理, 当毛细管劈刀加超声功率时, 劈刀产生机械运动, 在负载的作用下, 超声波能量被金丝吸收, 使金丝发生流变, 并破坏工件表面氧化层, 暴露出洁净的表面, 使其活化, 在压力的作用下, 通过金球与芯片键合区金层相互粘合而完成球焊, 然后在过渡引线片镀金键合区上楔焊。此实验金丝球焊的具体工艺流程如图 1 所示。

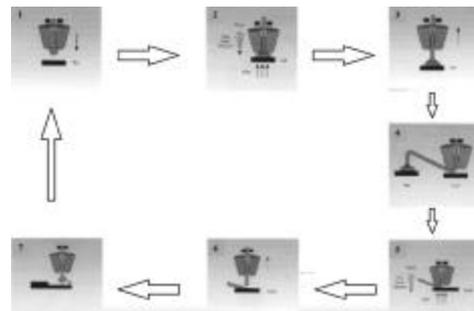


图 1 金丝球焊工艺流程图

Fig.1 Flow charts of gold ball bonding process

1.2 材料及设备

文中引线键合材料选择 25 μm 金丝, 芯片样品选择某型 InSb 红外探测器芯片, 金丝球焊设备选用 Kulicke & Soffa 公司的 4124 型通用热声金丝球焊机, 劈刀采用 90° 安装, 焊接样品的焊接表面形貌通过 OLYMPUS BX51 金相显微镜观察, InSb 探测器芯片的引线键合如图 2 所示。

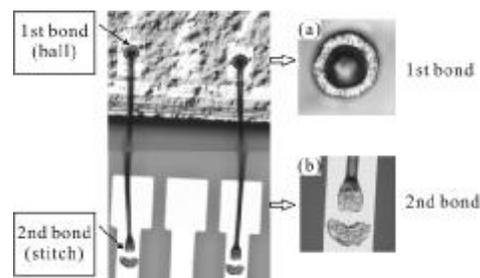


图 2 某 InSb 红外探测器芯片引线键合形貌图

Fig.2 Diagram of InSb infrared detector chip wire bonding morphology

1.3 金丝引线键合失效分析

金丝引线键合完成之后,需要对金丝引线键合质量进行评价,通过拉力测试是检验金丝键合质量的一个重要方法,该实验主要通过引线键合拉力测试仪,借助显微镜对焊接金丝进行引线拉力强度实验。图 3 为引线拉力测试实验示意图及键合失效形貌图。

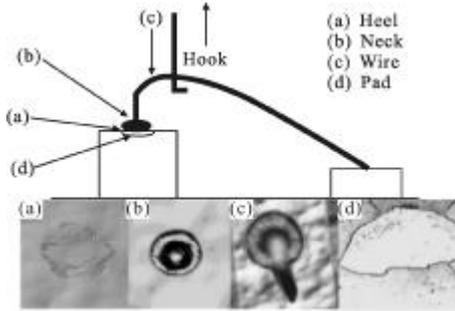


图 3 引线键合拉力测试示意图及相应的键合失效形貌图

Fig.3 Wire bonding pull test schematic and the corresponding bond failure morphology diagram

通过观察键合失效位置,经过仔细分析,得出失效原因如下。

Heel: 选用参数偏低,造成键合不充分;**Neck:** 焊接过程中做球选择、操作不合适,或者参数偏大引起金丝损伤而造成的失效;**Wire:** 正常焊接拉断的位置;**Pad:** 焊接时参数偏大等,使芯片焊盘损伤。

不同直径金丝键合点所能承受的拉力如表 1 所示。

表 1 不同直径金丝键合点承受的拉力

Tab.1 Pull force of different diameter gold wire bonding points

Gold wire diameter/ μm	Pull force/g
25	≥ 3
30	≥ 4
50	≥ 5.5

文中 InSb 芯片焊接拉力强度标准为: 拉力强度 $\geq 3 \text{ gf}$, 拉力实验中金丝键合的失效位置要求如图 3 中(c)(wire)处所示。

2 实验过程

该实验中, 金丝球焊的第一焊点在芯片的镀金焊盘上, 第二焊点在镀金过渡引线片上, 第一焊点的键合质量直接决定着芯片性能, 如果工艺参数选择

不合适, 将直接导致可靠性降低、芯片性能下降或报废, 所以, 文中将关注的重点集中在第一焊点, 结合金相显微镜观察及拉力实验, 研究不同工艺参数对第一焊点引线键和强度的影响规律, 得到优化的工艺参数, 第二焊点参数选取固定, 具体工艺参数选择如表 2 所示。

表 2 金丝球焊键合参数

Tab.2 Gold ball bonding parameters

	1st bond(Ball)						2nd bond (stitch)
Power/mW	65	130	195	260	325	390	780
Force/g	10	20	30	40	50	60	100
Time/ms	15	20	25	30	35	40	60
Loop height / μm	200						

3 结果及分析

3.1 超声功率对引线键合的影响

超声功率是指加在焊接点上超声能量的大小, 可以使焊线和焊接面松软, 形成分子相互嵌合合金, 改变球型尺寸。图 4 为超声功率与引线拉力强度的关系曲线图, 其中键合时间为 25 ms, 键合压力为 30 g。

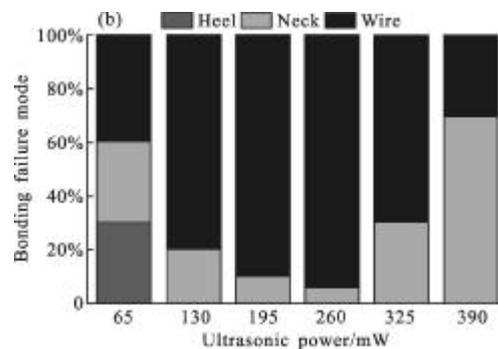
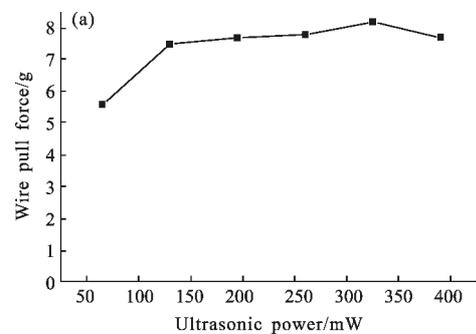


图 4 超声功率与键合强度关系曲线图及对应键合失效位置统计图

Fig.4 Curve of ultrasonic power vs bonding strength and the corresponding bonding failure charts

从图 4 中可以看出, 引线拉力强度均大于规定

的 3 gf,随着超声功率在 65~390 mW 之间变化,引线拉力强度波动较大,当键合功率在 65~325 mW 时,引线拉力强度随着超声功率的增加而增强,通过大量试验及理论分析,文中认为引线拉力的增加主要有以下几个原因:(1) 超声功率的增加会引起键合金球与芯片焊盘之间界面温度升高,从而最终加速金球与焊盘金层之间金原子的扩散^[4]。(2) 超声功率能够引起键合金球的弹性形变,焊线和焊接面软化,超声功率越高,构造的金球与焊盘的键合区域越大,也就能够确保更大的键合拉力^[5]。

过高的超声功率易引起焊球或金丝的严重变形甚至破裂,如图 4 所示。当功率达到 390 mW 时,拉力强度出现下降。通过电性能测试,以上实验中的样品芯片焊接完成后电性能稳定,但是在生产实际中发现,若功率过大,可能使半导体 PN 结击穿从而失效。因此,当拉力实验在正常位置断裂且拉力强度符合要求的情况下,一般选择较小的键合功率,经大量试验,结合键合失效位置统计图分析,InSb 芯片的焊接功率在 195~260 mW 之间选取。

3.2 键合压力对键合质量的影响

键合压力指的是焊点处的垂直压力,键合压力的大小直接影响到焊点的键合质量。图 5 为键合压

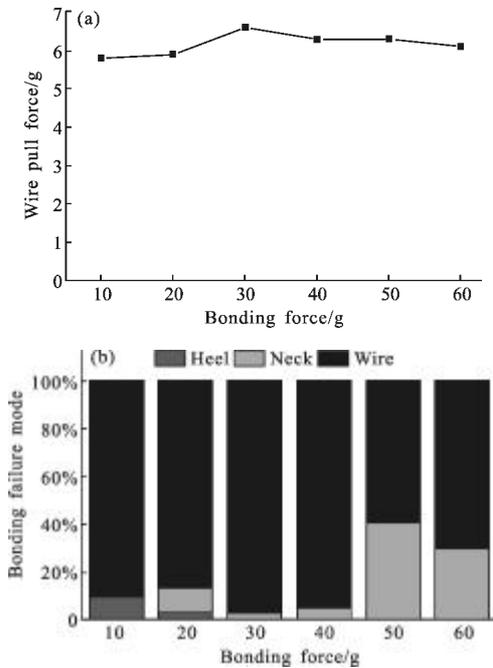


图 5 键合压力与键合强度关系曲线图及对应的键合失效位置统计图

Fig.5 Curve of bonding force vs bonding strength and the corresponding bonding failure charts

力与引线拉力强度的关系曲线图,其中键合功率选择 195 mW,键合时间为 2 ms。

由图 5 中曲线变化可以看到,劈刀压力从 10g 增大到 30g,引线拉力强度逐渐增强;当劈刀压力在 30~60g 范围时,引线拉力强度出现下降趋势。通过研究发现,键合压力的增大,引起金球弹性形变变大,导致焊接区域变大,键合强度也会得到相应的增强;但是当键合压力过大时,会使键合处金丝及焊球的变形过大,容易造成焊球及根部引线的损伤,键合强度降低,键合失效位置趋向于焊球根部引线。所以,当引线键合质量满足拉力实验要求时,劈刀压力倾向于选择较小值,结合图 5 中的键合失效位置统计图,通过反复实验,文中劈刀压力在 30~40g 范围内选择。

3.3 键合时间对键合质量的影响

键合时间是在焊点上施加功率和压力的时间量。图 6 为键合时间与键合强度的关系曲线图,其中键合功率选择 195 mW,键合压力为 30 g。

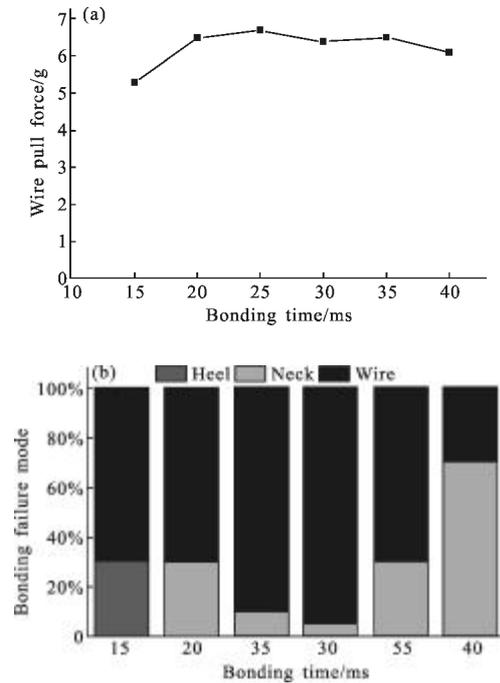


图 6 键合时间与键合强度的关系曲线图及对应的键合失效位置统计图

Fig.6 Curve of the bonding time vs bonding strength and the corresponding bonding failure charts

从图 6 中可以看出,键合时间对引线拉力强度的影响相对较小,为了键合点牢固,一般要选用较大的功率和压力,但对于 InSb 芯片过大的功率、压力

都会损坏芯片的性能;时间的选择为笔者提供了解决既能键合可靠,又能避免损伤芯片的好途径,即可通过适当地降低压力、功率,延长键合时间的办法达到目的,但是多次实验发现,键合时间过大容易造成焊球及电极金层的损伤,导致引线拉力强度下降,影响焊接的可靠性,所以文中键合时间在 22~30 ms 范围内选择。

4 结 论

作为红外探测器装配工序中的关键,金丝引线键合技术现已广泛地应用在红外探测器的生产试制中,在未来相当长一段时间内仍将是主流方式。随着红外探测器由多元器件向焦平面阵列器件发展,杜瓦瓶内部结构也越来越复杂,光敏元数的增加导致信号引出线数量增加,对焦平面探测器的焊接可靠性提出了严格的要求。文中从实际操作出发,在 InSb 芯片引线键合过程中,通过不同的实验,结合拉力实验,研究影响引线键合工艺质量的关键因素并提供较优工艺方案,从而为今后 InSb 芯片多元化,集成化的生产以及向更广阔的高科技领域发展奠定了坚实的技术基础。

参 考 文 献:

- [1] Chao Yuqing, Yang Zhaojian, Qiao Hailing. Progress on technology of wire bonding[J]. Electronics Process Technology, 2007, 28(4): 205-210. (in Chinese)
晁宇晴, 杨兆健, 乔海灵. 引线键合技术进展[J]. 电子工艺技术, 2007, 28(4): 205-210.
- [2] Luo Hong. Failure analyses of InSb PV detector no Voc performance[J]. Laser & Infrared, 2010, 40(7): 720. (in Chinese)
罗宏. 光伏型碲化铟红外探测器开路失效研究[J]. 激光与红外, 2010, 40(7): 720.
- [3] Xu Shuli, Wang Haizhen. Wet-chamfering techniques for hybrid focal plane arrays[J]. Infrared and Laser Engineering, 2007, 36(S2): 107. (in Chinese)
徐淑丽, 王海珍. 混成式 InSb 焦平面器件的湿法倒角技术研究[J]. 红外与激光工程, 2007, 36(S2): 107.
- [4] Schealler P, Groning P, Schneuwly A, et al. Surface and friction characterization by thermoelectric measurements during ultrasonic friction processes [C]//Ultrasonics International 1999 Joint with 1999 World Congress on Ultrasonics, 1999, 29(1): 212.
- [5] Jeng Y R, Aoh J N, Wang C M. Thermosonic wire bonding of gold wire onto copper pad using the saturated interracial phenomena [J]. Journal of Physics D: Applied Physics, 2001, 34, 24(21): 3515-3521.

下期预览

防离子反馈 MCP 噪声因子测试与分析

朱宇峰¹, 石 峰¹, 刘术林¹, 张 妮¹, 聂 晶¹, 张太民¹, 刘晓健¹, 钱芸生²

(1. 微光夜视技术重点实验室, 陕西 西安 710065; 2. 南京理工大学, 江苏 南京 210094)

摘 要: 噪声因子是输入信噪比和输出信噪比的比值,它能够反映微通道板的噪声特性,是影响微光像增强器信噪比的主要因素。为探寻降低微光像增强器中防离子反馈微通道板噪声因子的技术途径,根据微通道板噪声因子定义和测试原理,构建了防离子反馈微通道板噪声因子测试系统。由于防离子反馈微通道板的输入面镀覆有一层薄膜,其对微通道板的噪声因子有较大影响,因此利用噪声因子测试系统重点测试了有、无防离子反馈膜以及不同材料、不同孔径、不同输入电子能量、不同微通道板作电压条件下的微通道板噪声因子,获得了微通道板噪声因子与输入电子能量、微通道板电压之间的关系,为降低防离子反馈微通道板噪声提供了有效的技术指导。