

金-金倒装焊工艺可靠性研究

王 勇

中国电子科技集团公司第四十三研究所 安徽 合肥 230088

摘要: 为了满足微电子器件小型化的应用需求, 本文提出了一种基于AlN HTCC基板的金-金倒装焊工艺结构。本文介绍了金-金倒装焊工艺所涉及的关键技术, 设计了工艺样品, 实现了尺寸10mm*10mm芯片(凸点数>1000个)金-金倒装焊接互连, 对样品进行温度循环和长期寿命试验考核, 并通过试验后的样品进行微观分析。试验结果表面: 金-金倒装焊工艺具有较高的可靠性, 可满足GJB2438规定的H级QML试验温度循环和长期烘烤环境应力考核, 可作为未来高可靠性电子装备小型化的解决方案。

关键词: 金凸点; 倒装芯片; 热压超声焊; 可靠性评估

引言

随着电子装备的快速发展, 芯片封装技术越来越成为电子产业的重要组成部分。为满足芯片频率更高、引脚数增多、引脚间距减小、可靠性提高的发展需求, 对芯片封装工艺提出了更高的要求, 促使芯片封装工艺朝低功耗、小尺寸、高速度、高集成度方向发展。

芯片互连技术是影响微电子封装产品封装工艺的核心技术, 主要包括引线键合、载带自动焊、倒装芯片键合三种技术。与传统的引线键合相比, 倒装芯片焊接技术是一种新兴的微电子封装技术, 可以实现芯片的最小封装, 满足了微电子器件小型化的要求。

倒装焊接技术主要有热超声倒装键合、回流焊接、热压键合和导电胶键合等。目前, 常用的倒装焊技术以锡基焊料凸点回流焊接工艺为主, 现已广泛应用于消费电子、汽车电子等产品中。然而, 焊料凸点倒装焊在应用技术上仍存在一些缺陷。焊料凸点在电子器件中起着微连接的作用, 由于锡基焊料的熔点一般都较低, 如共晶焊料63Sn37Pb熔点为456K, 无铅焊料96.5Sn3.5Ag熔点为494K, 在室温下就有蠕变、应力松弛行为, 会表现出与蠕变和应力松弛有关的高温变形, 随着温度升高, 焊点蠕变、应力松弛行为越明显, 最终导致在外力和服役环境作用下的蠕变疲劳失效^[1]。

而金凸点热超声倒装键合技术借鉴了热超声引线键合技术, 通过超声、键合力和热的作用下, 将金凸点键合到基板表层金层上, 形成金属间互融扩散再结晶, 形成金-金互连结构, 该结构具有更高的长期可靠性, 可改善焊料凸点在长期服役过程中存在的问题。为此, 本文对金-金热超声倒装键合工艺技术进行研究, 并对其长期可靠性进行验证, 对今后热超声倒装键合技术的工程化应用具有借鉴意义。

1 工艺原理

图1为金-金超声键合工艺示意图。金-金超声热压倒装焊^[2,4]是指在超声、键合力和热的作用下, 将金凸点键合到基板金层上的一种微电子芯片互连技术, 它首先通过超声热压键合工艺, 在芯片焊盘上植金凸点, 然后将芯片倒置, 凸点

向下, 将芯片贴装与基板组装区, 基于金属材料间的塑性变形, 在温度、压力、超声的共同作用下, 使金凸点与焊盘金属间发生互溶扩散, 从而使原子间产生吸引力形成互连, 完成焊接。

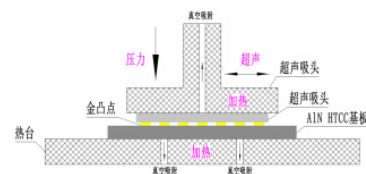


图1 金-金超声热压倒装焊工艺示意图

2 关键技术

为实现芯片的倒装焊接, 需要解决的关键技术包括金凸点制备技术、倒装焊技术、底部填充技术等。

2.1 金凸点制备技术

常用的金凸点制备技术^[3]为键合打线的方式, 其采用超声热压技术, 在超声、压力和温度的作用下加速金属原子间的相互扩散, 从而与金属焊盘形成互联界面, 随后剪刀抬起一段距离, 在水平方向快速来回扯动, 通过该侧向剪裁技术有效控制金丝的断裂位置, 使金丝在球颈颈部形成微裂痕, 在球颈颈部断裂, 形成金凸点。



图2 金凸点制备金凸点

为保证后续倒装焊凸点连接可靠性, 关键要控制金凸点的凸点尺寸、尾丝长度、键合强度等, 其中金凸点一致性, 至关重要。

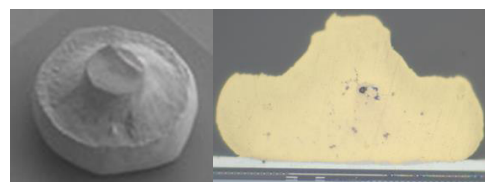


图3 芯片金凸点微观形貌

2.2 超声热压倒装焊接技术

超声热压倒装焊^[2,4]的技术原理与热超声金丝键合工艺基本一致,如图1所示,在超声、键合力和热的作用下,将芯片表面金凸点键合到基板焊盘上的一种微电子芯片互连技术。该技术不同于常规的组装方式,需要专门的设备与工艺,采用面阵键合的工艺,一次完成多个点键合互连。为保证单点的连接可靠性,需要对其超声功率、压力、时间和温度等工艺参数进行精确控制,同时,因其需要一次性完成一个阵列的互连,需对来料的基板表面平整度、芯片凸点高度一致性等状态进行严格管控,避免出现个别点虚焊、断路等缺陷。

2.3 底部填充技术

倒装焊芯片底部填充的目的主要为倒装焊芯片提供粘接强度,提高芯片的抗冲击、振动的能力,缓冲倒装芯片凸点与基板和芯片的热失配,同时,底部填充也对裸芯片起到保护作用,避免芯片受到有害环境(如潮气)的影响,提高倒装焊的整体可靠性。

底部填充技术^[5]主要基于毛细流作用,底部填充胶沿着组装后芯片的单边或相邻的两边涂布,形成底部填充料池可提供在器件的支撑间隙中的毛细流,表面张力的作用拉动芯片下的下填料,胶水迅速流入倒装芯片底部,完成底部填充胶涂布。为保证倒装焊的可靠性,需选用与凸点、基板、芯片等材料热失配较小的底部填充胶,同时,优化底部填充工艺参数,对底部填充后的空洞、分层等进行控制。

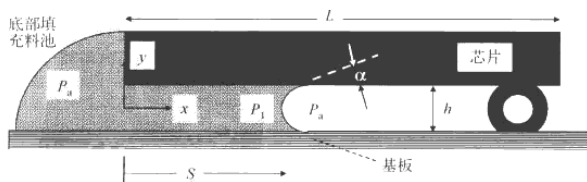


图4 底部填充技术示意图

3 工艺样品

模拟样品采用硅基芯片,表面植金凸点,通过金-金热压/超声倒装焊工艺焊接于AlN-HTCC基板表面,内部采用菊花链结构,通过金凸点、导体形成导通。

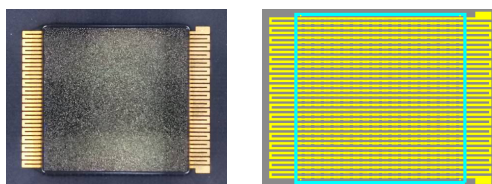


图5 倒装焊样品和芯片内部连通示意图



图6 模拟样品纵向结构图

芯片金-金热压/超声倒装焊焊接过程:

采用自动键合机在芯片PAD植80um的金球,芯片尺寸10.5*10.5mm,凸点数1156个,I/O密度 ≥ 1000 个/cm²,再通过倒装焊机焊接于基板表面,并采用底部填充胶进行底部填充。组装后的样品可通过正面基板表面导体、金凸点、芯片表面导体形成互连通道,可进行整体通过测试,另外,每个键合点均通过多层基板引到基板背面,可通过背面对每个凸点的通过情况进行测试。

4 试验考核内容及结果讨论

4.1 温度循环试验考核

4.1.1 试验考核内容

对以上倒装焊后的样品按照GJB548B-2005方法1010,试验条件C(-65℃~150℃),停留时间 $t_1 = 30\text{min} \pm 1\text{min}$,转换时间 $t_2 \leq 1\text{min}$,循环次数200次。

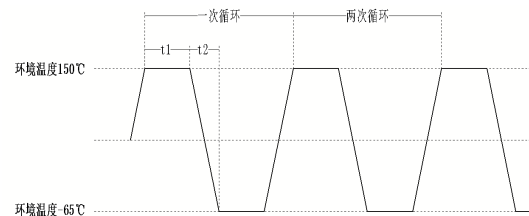


图7 温度循环曲线示意图

4.1.2 结果讨论

对温度循环以后的样品进行通断测试,倒装焊连接均正常,未出现断路现象。其阻值变化如下表所示,未见明显变化。

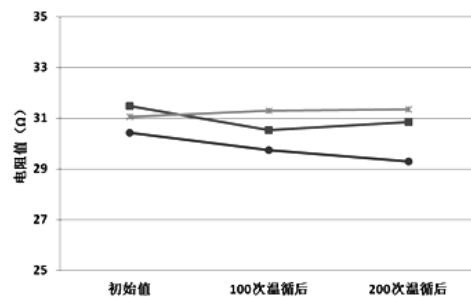


图8 温度循环后导通阻值变化

并对试验后的样品进行微观分析,其微观形貌如下图所示,凸点与芯片之间、凸点与基板之间界面连接良好,无分层。

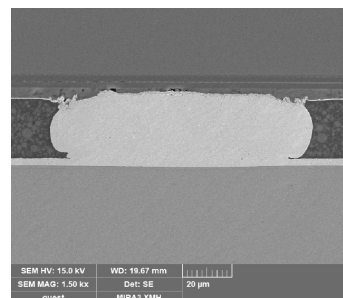


图9 温度循环后的凸点微观形貌

4.2 高温老化试验考核

4.2.1 试验考核内容

对以上倒装焊后的样品按照GJB548B-2005方法1008, 试验条件125℃, 2000h的高温老化试验。

4.2.2 结果讨论

对温度循环以后的样品进行通断测试, 倒装焊连接均正常, 未出现断路现象。其阻值变化如下表所示, 未见明显变化。

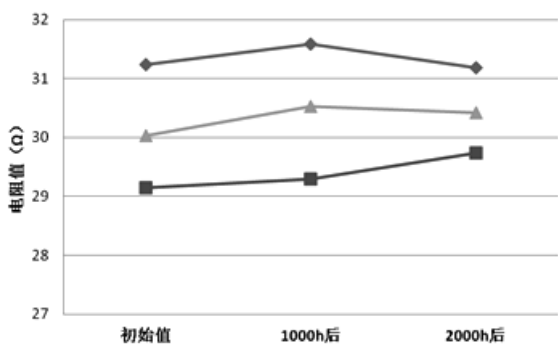


图10 高温老化后导通阻值变化

并对试验后的样品进行微观分析, 其微观形貌如下图所示, 凸点与芯片之间、凸点与基板之间界面连接良好, 无分层。

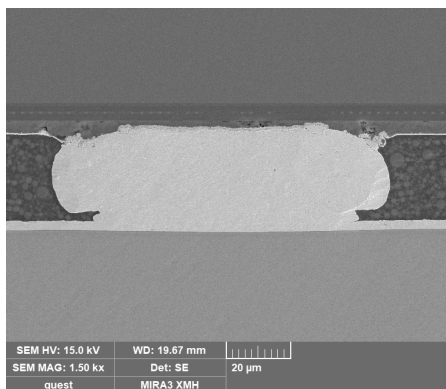


图11 温度循环后的凸点微观形貌

5 结论

本文通过设计模拟样品, 进行芯片表面金凸点制备、金-金超声热压倒装焊、底部填充等技术研究, 实现了大尺寸芯片(尺寸: 10.5*10.5mm, 凸点数: 1156个, I/O数 ≥ 1000 个/cm²)的金-金超声热压倒装焊; 并完成对模拟样品进行可靠性试验考核, 验证表面金-金超声热压倒装焊技术可满足高可靠混合集成电路对温度循环及长期寿命等考核试验要求, 具有较高的可靠性; 随着未来电子装备发展, 金-金超声热压倒装焊技术的推广应用对装备向小型化、轻量化、高集成度、高可靠性方向发展具有重要意义。

参考文献:

- [1]王福亮.热超声倒装焊键合界面运动与界面性能的生产规律研究[J].长沙:中南大学,2007.
- [2]L.K.Cheall,Gold to gold thermosonic Flip chip Bonding. The Imitational Conference & Exhibition on High Density Interconnect and Systems Packaging, USA,2001.
- [3]刘曰涛.面向电子封装的钉头金凸点制备关键技术及其实验研究[J].哈尔滨工业大学,2009.
- [4]杨彦锋.金凸点超声热压倒装焊工艺参数优化研究[J].电子元件与材料,2017,38(9):105-109.
- [5]贾松良等译.电子封装与互连手册[M].北京:电子工业出版社,2009.

作者简介:王勇,1987年4月,男,汉,安徽全椒,中国电子科技集团公司第四十三研究所,职员,高级工程师,硕士研究生,研究方向:微电子工艺技术。