

高传热性能封装中 θ_{jc} 测量的挑战

Jesse Galloway
(安靠封装测试, 美国)

摘要: 高功耗封装的传热设计需要精确地测量热由芯片结面传到 IC 封装外壳的热阻值, 即 θ_{jc} 值, 用以设计合适的外接散热器。对于热阻值较小的封装来说, 由于难以精确获得封装外壳温度值, θ_{jc} 的测量和确定具有相当的挑战性。本文研究了四种封装外壳温度的测量方法, 包括光测量, 弹簧接触, 冷板中嵌入热电偶, 和热电偶粘贴到封装外壳等方法。测试结果表明, 不准确的封装外壳温度测量会导致较大的 θ_{jc} 的误差。我们开发了一种温度校正标准装置来比较各种测试方法的误差。结果表明, 弹簧接触式和光测试方法在测试封装外壳温度时所需的修正较小。

关键词: θ_{jc} 测量; 倒装球阵列; 塑封球阵列; 冷板设计; 校正标准

Challenges in Measuring Theta jc for High Thermal Performance Packages

Jesse Galloway
(Amkor Technology, Inc. 1900 South Price Road, Chandler, AZ85286, USA)

Abstract: High power packages require an accurate measurement of the junction-to-case thermal resistance, θ_{jc} , to adequately size an external heat sink. This is particularly challenging for low thermal resistant packages due to the difficulty in measuring the case temperature. Four different case temperature measurement methods were tested in this study including an optical method, a spring contact method, an embedded thermocouple in a cold plate and a thermocouple glued to the case. θ_{jc} measurements indicate that if the case temperature is not corrected, then large errors will result. A temperature reference tool was developed to provide a standard to correct case temperatures. This standard showed that the spring contact method or the optical method requires the least amount of correction to accurately determine the case temperature.

Key words: θ_{jc} measurement; FCBGA; PBGA; Cold Plate design; Calibration Standard

1 简介

在电子封装中，更具挑战性的热阻测量包括热由芯片结面传到 IC 封装外壳的热阻测量，即 θ_{jc} 的测量。 θ_{jc} 的计算公式（公式（1））看似简单，但如何测量取得精确的封装外壳温度（ T_c ）值而不致影响到芯片结温（ T_j ）的测量值和传入冷板（cold plate，散热板）中的热量值（ P_{th} ），存在着相当的难度。

$$\theta_{jc} = \frac{(T_{j,max} - T_c)}{P_{th}} \quad (1)$$

如果芯片上的功耗是平均分布的， θ_{jc} 可以通过用结温和封装外壳温度的差值除以流入冷板（cold plate）中的热流值获得。两个温度值都是在封装体的中心测得。事实上，由于封装外壳温度的测量常常涉及到在封装外壳和冷板间插入温度传感器，这必定会引起热流的变化。如图 1 所示。

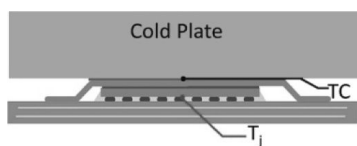


图 1 θ_{jc} 测量 - 理论测试方法

但是，如果封装体的传热途径非常集中，这个问题也许可以得到解决。例如，在引脚外露型四方扁平封装（eTQFP）中，有 90% 以上的热量将从芯片流到外露的铜块中。利用一种瞬态方法来测量计算 θ_{jc} 可以避免对封装外壳温度的测试^[1]。JEDEC 标准 JESD51-14^[2]总结了这种获得 θ_{jc} 的瞬态方法。

对于塑封球阵列（PBGA）和倒装球阵列（FCBGA）等封装形式，热量流出途径是多方位的，因此，直接应用 JEDEC 标准^[2]中的瞬态测试方法可能是不合适的。



JEDEC JC-15 传热标准委员会花了大量的时间和精力来讨论各种测试方法，并研究如何克服各式困难以获得稳定状态下 θ_{jc} 的精确值。但至今为止，在提供业界标准上仍无共识。本文的目的不是建议一种稳态的 θ_{jc} 测试标准，而是为了真实记录冷板设计和封装外壳传感器设计如何影响 θ_{jc} 的案例，并对

各类测试方法的优劣提出一般性的建议。

2 测试描述

测试实验使用了 23mmx23mm 的塑封球阵列封装（PBGA），4 个测试样品分别为 P1, P2, P3 和 P4。另一个测试实验的封装形式是倒装球阵列（FCBGA），封装尺寸为 40mmx40mm，4 个测试样品分别为 F2, F3, F4, F5。表 1 是试验用封装尺寸的总结。两种封装所使用的芯片都是嵌有加热单元的传热实验用芯片。芯片表面实施均匀分布的功率耗散，并且在每颗芯片的中心都嵌有温度传感器。PBGA 封装的塑封模盖厚度为 1.17mm，芯片厚度为 0.3mm。FCBGA 封装使用单片铜盖作为散热片和对芯片的保护，铜盖的厚度为 1.0mm。PBGA 封装中芯片的功耗约为 8W，而 FCBGA 封装中芯片的功耗约为 100W。从测试的结果来看，不同的封装外壳的测试方法所得到 θ_{jc} 值差异极大，差异可达 300%。

表 1 封装描述

TABLE 1: PACKAGE DESCRIPTION		
	PBGA	FCBGA
Image		
Body (mm)	23 x 23	40 x 40
Die (mm)	10.2 x 10.2	15.6 x 14.8
Power (W)	8	100
Theta jc (C/W)	0.8 - 3.0	0.06 - 0.20

我们运用了四种不同的冷板（cold plate）设计方案来测量 θ_{jc} 。这四种方案均采用水冷却冷板的方式将芯片中的热量转移到封装体外。第一种方案称作接触式测量。将一个带弹簧的热电偶（36 头，K 类型）垂直放在封装体的表面，并使其插入冷板中的冷却通道之间。弹簧的作用是产生大约 1.5N 的压力，使得热电偶的测量接触点可以紧密贴合在封装外壳上。第二种方案是嵌入式测量。首先，一块 5mm 厚的铜片作为参考板被贴在封装体外壳表面。参考板中心钻有直径为 1.5mm 的通孔。将加银环氧树脂灌入通孔中，并将热电偶（36 头，K 类型）插入通孔中直到通孔底部。然后将加银环氧树脂加热固化。参

考铜板与冷板的接触方式与方案 1 相同。第三种方案是粘贴式测量。用加银环氧树脂胶将热电偶粘贴到封装外壳的中心位置,并在 5mm 厚参考铜片中加工一条宽 1.5mm 深 1mm 的刻槽,使热电偶的引线从刻槽中导出。同样的,上述冷板被用于将芯片中的热量转移到封装体外。第四种方案是红外光测量。精细红外照相机的光点直径为 1mm。与前述冷板不同,冷板中心钻有光通孔,冷板表面通孔的直径为 2.0mm,通孔向内有 35 度锥角,红外照相机的光点直接照到封装外壳的中心上。在所有的测试方案中,热电偶和红外照相机在相应标准下都经过了温度校正,校正的温度范围为 30℃ 到 50℃。

3 测试结果

图 2a 是 FCBGA 封装中芯片与封装外壳温度差的测试结果。图 2b 是 PBGA 封装中芯片与封装外壳温度差的测试结果。在 FCBGA 的测试中,接触式测量与红外光测量对芯片结面到封装外壳的温差测量值相近。作为比较,粘贴式测量和嵌入式测量所得到的芯片结面到封装外壳的温差测量值较大。在粘贴式测量中,由于加银环氧树脂覆盖了热电偶触点的一部分,有效触点直径约为 0.4mm。所以,热电偶不仅感受封装外壳的温度也同时感受第二热界面材料(TIM2)的温度。另外,由于对人为影响更加敏感,粘贴式测试方法较其它测试方法所得到的温差结果更为分散。还有,在嵌入式测量中,热电偶与封装外壳间也有 TIM2 材料。因此,用粘贴式和嵌入式测量方法所得到的封装外壳的温度将小于实际的封装外壳温度。

由于冷板中间有较大的通孔,相比其它测量方法,红外光测量方法对传热途径的影响较大。芯片传到封装外壳中心的热量必须从旁边途径散到冷板中。对 PBGA 而言,因为塑封材料的传热系数较小(大约为 1.0W/m/k),热量从中心向周边的扩散阻力较大,因此封装外壳的温度被人为提高,导致红外光测量法所得到的芯片与封装外壳温度差比其它测

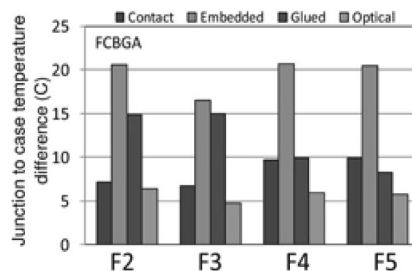


图 2(a) FCBGA 封装

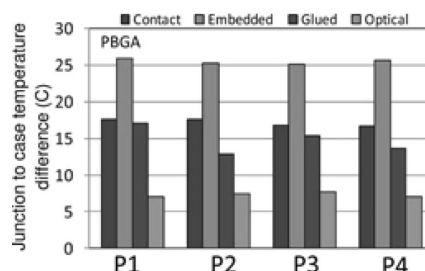


图 2(b) PBGA 封装

图 2 芯片与封装外壳温度差的测试结果

量结果要小。如果 PBGA 中芯片的功耗较小,TIM2 材料层所导致的温差也相应较小,因此粘贴式热电偶的测量误差也较小,粘贴式测量和接触式测量所得到的芯片与封装外壳温度差的测试结果相近。就像对 FCBGA 观测到的结果类似,嵌入式方法所得到的温差值最大。这同样是因为测试点与真实封装外壳之间有 TIM2 材料相隔的原因。

根据图 2a 和图 2b 的测量结果和两种封装的功耗值,利用公式(1)我们计算出相应的 θ_{jc} ,见图 3。不同的测试方法所得到的 θ_{jc} 值差异很大。嵌入式测量方法得到的 θ_{jc} 值最大,而红外光测量方法得到的 θ_{jc} 值最小。在 FCBGA 的测量中,红外光与接触式测量方法得到相近的测试结果,而在 PBGA 的测试中,接触式与粘贴式的测试结果相近。

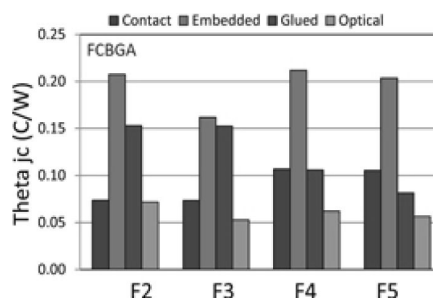


图 3(a) FCBGA 封装

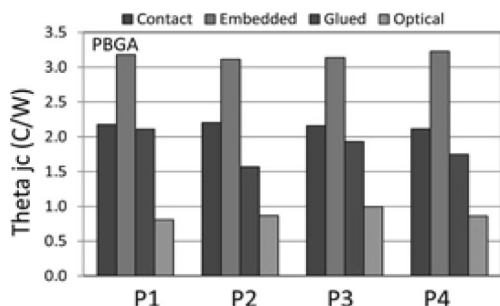


图 3(b) PBGA 封装

图 3 的计算结果

4 不同测量方法的误差研究

为了确定哪一种测试方法可以提供更加准确的封装外壳温度的测试结果，我们开发了一种校正标准装置来比较各种测试方法所得结果的误差。校正标准装置包括一个热力棒，热力棒上的中心线上，每隔 2.5mm 装有一个热电偶，共 5 个热电偶。如图 4 所示。

注意到，在图 4a 中，我们只能看到 2 个热电偶。还有 3 个热电偶装在另外一侧，在图 4 中没有显示。两个棒形加热器被用于校正标准底座的加热。作为 FCBGA 封装的温度校正标准装置，其材料是脱氧铜。因为热传导系数高（约 395W/m/k），可以用于高功耗测试。PBGA 封装的温度校正标准装置是由哈氏合金（Hastelloy）制成的，材料的热传导系数比较低（约 10W/m/k）。这样，在较低功耗的条件下，热电偶温度的读数也可以有较大差别，可以用于功耗较低的 PBGA 封装测试对比。

校正标准封装外壳的温度可以通过对 5 个热电

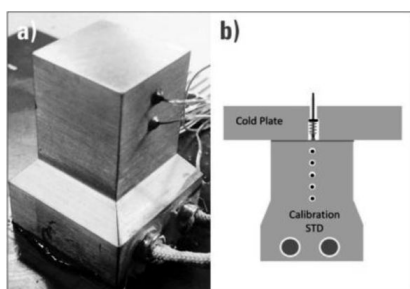


图 4(a) 校正标准装置; (b) 校正标准装置用于接触式测量方法

偶的温度测量值进行外插计算获得。5 个热电偶的温度测量值针对各个热电偶的位置有很好的线性关系，其拟合优度的确定系数 R^2 值基本都大于 0.999。类似图 4b 所示的是用于接触式测量方法的校正标准装置，这种校正标准装置也可用于前述的其它三种封装外壳的测试方法。分别对 FCBGA 和 PBGA 封装的温度校正标准装置，采用 4 种封装外壳测试方法，得到相应的封装外壳值。封装外壳温度误差值指的是各种测量方法的测量值和利用外插计算出的计算值之差。封装外壳温度误差值随不同功耗的变化图如图 5 所示。可以看出，嵌入式测试方法需要较大的修正，而接触式测试方法所需要的修正最小。（红外光测量在高功耗 FCBGA 测试中所需的修正量小（如图 5a 所示），但在低功耗 PBGA 封装测试中并不尽然（如图 5b 所示）。FCBGA 有单片铜盖将中心部分的热很快传到周边，而 PBGA 只能通过塑料材料传到周边。所以红外光测中的通孔对低功耗 PBGA 封装测试影响较大。结论中提到的“我们应该对红外光测试和接触式测试方法做进一步研究，以

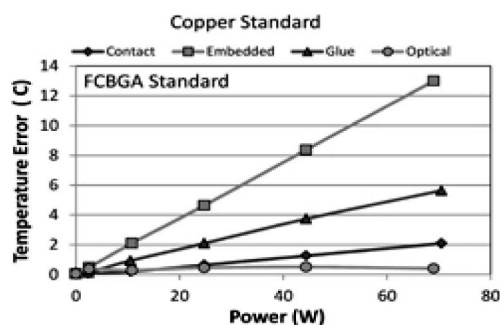


图 5(a) 高功耗封装测试，校正标准装置由铜制成（热传导系数约为 395W/m/k）

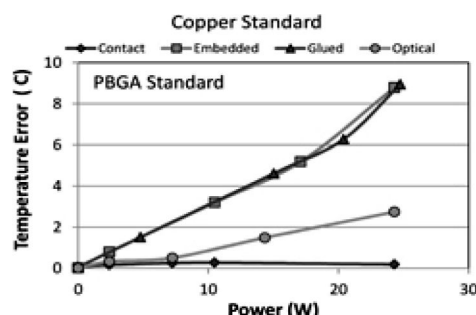


图 5(b) 低功耗封装测试，校正标准装置由哈氏合金制成（热传导系数约为 10W/m/k）

图 5 校正标准封装外壳温度外插值与外壳温度测量值之差

确定哪种方法可以更可靠和精确地测量封装外壳温度”，是要更系统的研究各个因素对这两种测试方法精确性的影响,包括封装形式,功耗,等。)

一般来说,需要较大温度修正的方法将对最终的 θ_{jc} 的测试结果产生较大的不确定性。因此,嵌入式测量和粘贴式测量方法在测量封装 θ_{jc} 值时都需要避免。嵌入式方法决定于 TIM2 材料的热阻值,而粘贴式方法决定于用于粘贴的环氧树脂的材料特性和执行粘贴流程的人员的技能差异。对接触式和红外光测试方法,我们需要进一步研究来决定哪种方法更适用。接触式热电偶方法有几个优点,包括实验装置造价低和更容易获得。同时,它也不需要像红外光测试那样在冷板中心处制造较大通孔。红外光测试的优点是,可以提供真正的封装外壳的温度测试。在今后的研究中,我们计划用有限元方法来分析温度传感器与封装外壳表面的相互作用,包括冷板设计的影响等。

5 结论

● θ_{jc} 值决定于冷板设计和用于封装外壳温度测量的温度传感器;

● 对 PBGA 封装和 FCBGA 封装来说,不同的冷板设计和温度传感器的应用会带来 θ_{jc} 测试值的变化高达 300%;

● 校正标准装置被用于决定哪一种测试方法可以更精确获得封装外壳的温度;

● 红外光测试和接触式测试方法在测试封装外壳温度时所需的修正较小;

● 我们应该对红外光测试和接触式测试方法做进一步研究,以确定哪种方法可以更可靠和精确地测量封装外壳温度,并对封装的传热通道产生较小的影响。

感谢

本文原载于电子冷却杂志(www.electronics-cooling.com)2014年五月刊,并已获准翻译成中文在“中国集成电路”杂志发表。CC

参考文献

- [1] D. Schweitzer, “Transient Dual Interface Measurement of the Rth-JC of Power Semiconductor Packages”, ElectronicsCooling, Vol. 16, No. 3, 2010.
- [2] JEDEC Standard JESD51-14, “Transient dual interface test method for the measurement of the thermal resistance junction-to-case of semiconductor devices with heat flow through single path”, November 2010.

作者简介

Jesse Galloway, Amkor 美国热管理工程副总裁。

瑞萨电子推出 Remote I/O 组件参考设计解决方案

瑞萨电子近日宣布推出 Remote I/O 组件的参考设计解决方案。该方案使用了工业以太网通信 SoC 产品 R-IN32M3 系列,适用于智能工厂控制设备的数据传输,同时支持 EtherCAT(R) 协议,现列于“Remote I/O 试用包”板块下。

全新参考设计解决方案进一步提升了瑞萨的设备产品和开发环境,缩短了用户的开发周期,同时提供了一款实际工业设备应用程序作为参考设计。瑞萨预计,从产品开发伊始到完成设计原型,整个过程包括硬件设计、软件设计以及获得审批,用该方案将能减少约 60% 以上的开发时间(来自瑞萨电子)。