

IC 的热特性-热阻

刘先锋 Seasat Liu, 秦小虎 Xiaohu Qin 肖昕 Jerry Xiao

North China OEM Team

摘要

IC 封装的热特性对 IC 应用和可靠性是非常重要的参数。本文详细描述了标准封装的热特性主要参数：热阻 (θ_{JA} 、 θ_{JC} 、 θ_{CA}) 等参数。本文就热阻相关标准的发展、物理意义及测量方式等相关问题作详细介绍，并提出了在实际系统中热计算和热管理的一些经验方法。希望使电子器件及系统设计工程师能明了热阻值的相关原理及应用，以解决器件及系统过热问题。

目录

1	引言.....	2
2	热特性基础.....	2
3	热阻.....	2
4	常用热阻值.....	5
5	有效散热的经验法则.....	6
5.1	选择合适的封装.....	6
5.2	尽可能大面积的 PCB 覆铜.....	6
5.3	增加铜厚度.....	8
5.4	用散热焊盘和过孔将多层 PCB 连接.....	8
5.5	合理的散热结构，不影响散热路径，便于热能的扩散.....	8
5.6	散热片的合理使用.....	9
5.7	选取合适的截面导热材料.....	9
5.8	机箱散热.....	9
5.9	不要在散热走线上覆阻焊层.....	10
6	总结.....	10
7	参考文献.....	10

图表

图 1.	芯片热阻示意图.....	3
图 2.	JESD51 标准芯片热阻测量环境示意图.....	4
图 3.	TO-263 热阻模型图.....	4
图 4.	典型的 PCB 扩展热阻模型图.....	5
图 5.	ADS58C48 在不同温度和工作电压下的特性.....	6
图 6.	热阻和铜散热区面积的关系.....	7
图 7.	功耗和铜散热区面积的关系.....	7
图 8.	ADS62C17 建议过孔方案.....	8
图 9.	BGA 芯片加散热片后热阻示意图.....	9

1 引言

半导体技术按照摩尔定理不断的发展，集成电路的密度越来越高，尺寸越来越小。所有集成电路在工作时都会发热，热量的累积必定导致半导体结点温度的升高，随着结点温度的提高，半导体元器件性能将会下降，甚至造成芯片损害。因此每个芯片厂家都会规定其半导体元器件的最大结点温度。为了保证元器件的结温低于最大允许温度，经由封装进行的从 IC 自身到周围环境的有效散热就至关重要。在普通数字电路中，由于低速电路的功耗较小，在正常的散热条件下，芯片的温升不会太大，所以不用考虑芯片的散热问题。而在高速电路中，芯片的功耗较大，在自然条件下的散热已经不能保证芯片的结点温度不超过允许工作温度，因此就需要考虑芯片的散热问题，使芯片可以工作在正常的温度范围之内。

2 热特性基础

在通常条件下，热量的传递通过传导、对流、辐射三种方式进行。传导是通过物体的接触，将热流从高温向低温传递，导热率越好的物体则导热性能越好，一般来说金属导热性能最好；对流是通过物体的流动将热流带走，液体和气体的流速越快，则带走的热量越多；辐射不需要具体的中间媒介，直接将热量发送出去，真空中效果更好。

热传导的 Fourier 定律 $Q = \varepsilon C(\Delta T)/\delta$

热对流的 Newton 定律 $Q = \alpha C(\Delta T)$

热辐射的定律： $Q = 5.67e^{-8}\beta C(T_h^4 - T_c^4)$

其中 $\varepsilon, \alpha, \beta$ 为导热系数，换热系数和发射率。C 为换热面积。

3 热阻

半导体器件热量主要是通过三个路径散发出去：封装顶部到空气，封装底部到电路板和封装引脚到电路板。

电子器件散热中最常用的，也是最重要的一个参数就是热阻（Thermal Resistance）。热阻是描述物质热传导特性的一个重要指标。以集成电路为例，热阻是衡量封装将管芯产生的热量传导至电路板或周围环境的能力的一个标准和能力。定义如下：

$$\theta_{jx} = \frac{T_j - T_x}{P} \quad \text{公式 1}$$

热阻值一般常用 θ 表示，其中 T_j 为芯片 Die 表面的温度（结温）， T_x 为热传导到某目标点位置的温度，P 为输入的发热功率。电子设计中，如果电流流过电阻就会产生压差。同理，如果热量流经热阻就会产生温差。热阻大表示热不容易传导，因此器件所产生的温度就比较高，由热阻可以判断及预测器件的发热状况。通常情况下，芯片的结温升高，芯片的寿命会减少，故障率也增高。在温度超过芯片给定的额定最高结温时，芯片就可能会损坏。

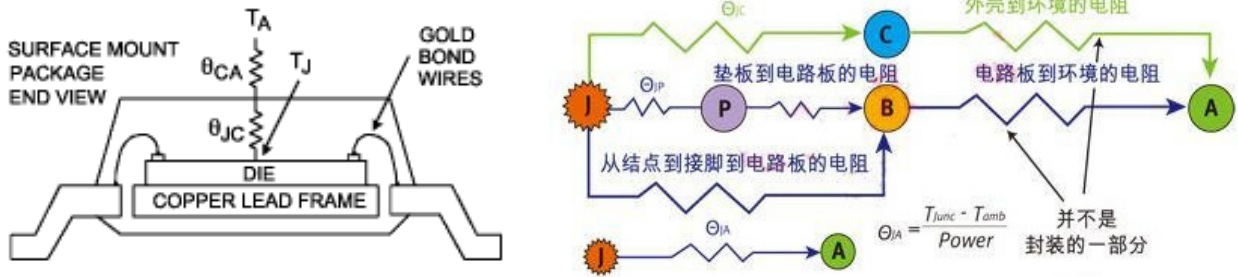


图 1. 芯片热阻示意图

θ_{JA} 是芯片 Die 表面到周围环境的热阻，单位是 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。周围环境通常被看作热“地”点。 θ_{JA} 取决于 IC 封装、电路板、空气流通、辐射和系统特性，通常辐射的影响可以忽略。 θ_{JA} 专指自然条件下 (没有加通风措施) 的数值。由于测量是在标准规范的条件测试，因此对于不同的基板设计以及环境条件就会有不同的结果，因此此值可以用于比较封装散热的容易与否，用于定性的比较。

θ_{JC} 是芯片 Die 表面到封装外壳的热阻，外壳可以看作是封装外表面的一个特定点。 θ_{JC} 取决于封装材料 (引线框架、模塑材料、管芯粘接材料) 和特定的封装设计 (管芯厚度、裸焊盘、内部散热过孔、所用金属材料的热传导率)。对带有引脚的封装来说， θ_{JC} 在外壳上的参考点位于塑料外壳延伸出来的 1 管脚，在标准的塑料封装中， θ_{JC} 的测量位置在 1 管脚处。该值主要是用于评估散热片的性能。

注意 θ_{JC} 表示的仅仅是散热通路到封装表面的电阻，因此 θ_{JC} 总是小于 θ_{JA} 。 θ_{JC} 表示是特定的、通过传导方式进行热传递的散热通路的热阻，而 θ_{JA} 则表示的是通过传导、对流、辐射等方式进行热传递的散热通路的热阻。

θ_{CA} 是指从芯片管壳到周围环境的热阻。 θ_{CA} 包括从封装外表面到周围环境的所有散热通路的热阻。根据上面给出的定义，我们可以知道： $\theta_{JA} = \theta_{JC} + \theta_{CA}$

θ_{JB} 是指从芯片表面到电路板的热阻，它对芯片 Die 表面到电路板的热通路进行了量化，可用于评估 PCB 的传热效能。 θ_{JB} 包括来自两个方面的热阻：从芯片 Die 表面到封装底部参考点的热阻，以及贯穿封装底部的电路板的热阻。该值可用于评估 PCB 的热传效能。

从这里，我们可以看出，热量的传递主要有三条路径，第一：芯片 Die 表面的热量通过封装材料 (Mold Compound) 传导到器件表面然后通过对流散热/辐射散到周围，第二：是从芯片 Die 表面到焊盘，然后由连接到焊盘的印刷电路板进行对流/辐射散。第三：芯片表面热量通过 Lead Frame 传递到 PCB 上散热。显然 θ_{JA} 的值与外部环境密切相关。

Ψ 和 θ 之定义类似，但不同之处是 Ψ 是指在大部分的热量传递的状况下，而 θ 是指全部的热量传递。在实际的电子系统散热时，热会由封装的上下甚至周围传出，而不一定会由单一方向传递，因此 Ψ 之定义比较符合实际系统的量测状况。

ϕ_{JB} 是芯片 Die 表面到电路板的热特性参数，单位是 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ，热特性参数与热阻是不同的。相对于热阻 θ_{JB} 测量时的直接单通路不同， ϕ_{JB} 测量的元件功率通量是基于多条热通路的。由于这些 ϕ_{JB} 的热通路中包括封装顶部的热对流，因此更加便于用户的应用。

热阻的测量是以 JESD51 标准给出的，JEDEC 中定义的结构配置不是实际应用中的典型系统反映，而是为了保持一致性和标准性，采用标准化的热分析和热测量方法。这有助于对比不同封装变化的热性能指标。其标准环境是指将器件安装在较大的印刷电路板上，并置于 1 立方英尺的静止空气中。因此说明书中的数值实际上是一个系统级别的参数。

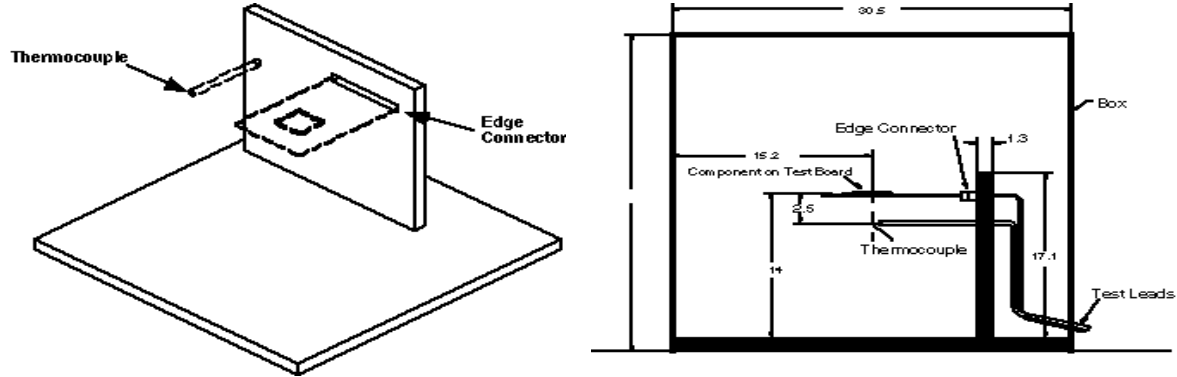


图 2. JESD51 标准芯片热阻测量环境示意图

以 TO263 为例，它包括一个标准的 JEDEC 高 K 板 (2S2P) 与 1 盎司内部铜平面和接地平面。该封装是焊接到一个 2 盎司铜焊盘上。这个底盘是通过导热孔联到 1 盎司接地层。下图的侧视图中显示出的计算机模型中使用的操作环境。

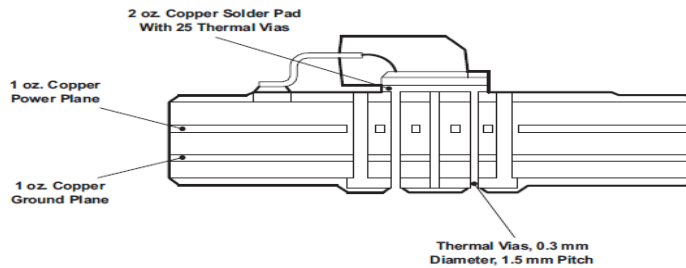


图 3. TO-263 热阻模型图

JESD 是一套完整的标准。具体的标准可以参见相关网站。

JESD51: Methodology for the Thermal Measurement of Component Packages (Single Semiconductor Device)

JESD51-1: Integrated Circuit Thermal Measurement Method—Electrical Test Method (Single Semiconductor Device)

JESD51-2: Integrated Circuit Thermal Test Method Environmental Conditions—Natural Convection (Still Air)

JESD51-3: Low Effective Thermal Conductivity Test Board for Leaded Surface Mount Packages

JESD51-4: Thermal Test Chip Guideline (Wire Bond Type Chip)

JESD51-5: Extension of Thermal Test Board Standards for Packages with Direct Thermal Attachment Mechanisms

JESD51-6: Integrated Circuit Thermal Test Method Environmental Conditions—Forced Convection (Moving Air)

JESD51-7: High Effective Thermal Conductivity Test Board for Leaded Surface Mount Packages

JESD51-8: Integrated Circuit Thermal Test Method Environmental Conditions—Junction-to-Board

JESD51-9: Test Boards for Area Array Surface Mount Package Thermal Measurements

JESD51-10: Test Boards for Through-Hole Perimeter Leaded Package Thermal Measurements.

JEDEC51-12: Guidelines for Reporting and Using Electronic Package Thermal Information.

4 常用热阻值¹

为了更好的计算和理解 θ_{JA} ，一些新的参数不断被引入， θ_{CU} 是 PCB 板上铜的热阻， θ_{FR4} 是典型 FR4 板材 PCB 的热阻， θ_{VIA} 是 PCB 板上过孔的热阻， θ_{SA} 是 PCB 板表面到周围空气的热阻。下图是一个典型的 PCB 扩展热阻模型。

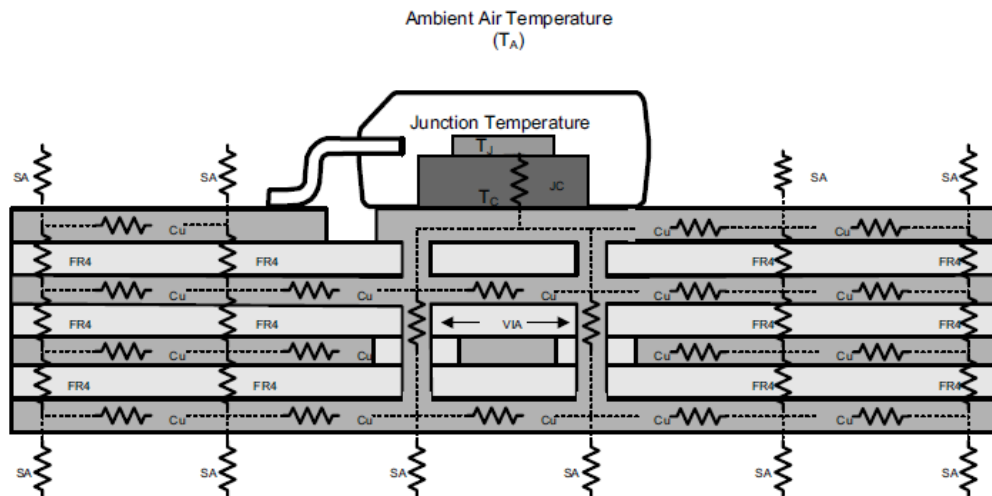


图 4. 典型的 PCB 扩展热阻模型图

名称	值(°C/W)	描述	公式	备注
θ_{CU}	71.4	铜平面热阻	$\theta_{CU} = \frac{1}{\lambda_{CU}} * \frac{L}{S}$	单位面积 (1cm ²)，1 盎司铜厚度为 0.0035cm，铜的热导率 λ 为 4W/(cm*°C)。L 为长度，S 为面积
θ_{FR4}	13.9	FR4 板材热阻	$\theta_{FR4} = \frac{1}{\lambda_{FR4}} * \frac{L}{S}$	单位面积 (1cm ²) FR4 厚度 12.6mil，FR4 热导率 λ 为 0.0023W/(cm*°C)
θ_{VIA}	261	过孔热阻 (12mil)	$\theta_{VIA} = \frac{1}{\lambda_{CU}} * \frac{L}{\pi[R - (R - l)^2]}$	过孔高度 65mil，0.5 盎司铜厚 0.00175cm，孔半径 6mil，L 为孔长度，R 为过孔半径，l 为铜厚度
θ_{SA}	1000	PCB 到空气热阻	$\theta_{SA} = \frac{1}{h}$	单位面积 (1cm ²)，自然散热，热导率近似为 0.001W/(cm*°C)

5 有效散热的经验法则

散热对芯片而言是非常重要的，下图以 ADS58C48 为例，说明了在不同的温度下，芯片（高速 ADC 为例）的性能会有不同的表现，在高温下性能往往恶化。因此在设计系统时必须高度关注芯片的工作温度，轻者会影响系统的性能，重者可能会造成芯片损坏。

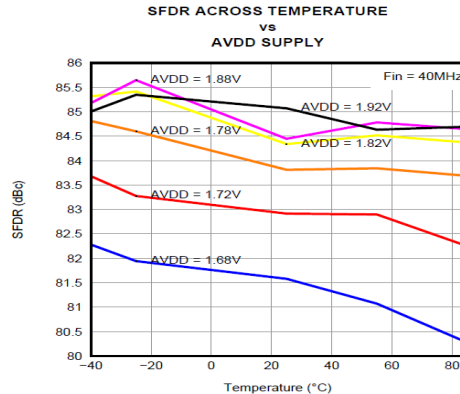


图 5. ADS58C48 在不同温度和工作电压下的特性

5.1 选择合适的封装

从芯片手册上可以知道封装的热阻，然后可根据给定的耗散功率和环境温度估算芯片的工作结温。我们可以考虑一个简单例子（以 ADS58C48 为例），器件的 AVDD 和 DRVDD 均为 1.8V，典型供电电流分别为：290mA 和 207mA。最大容许结温为 125°C。

功耗可以表示为： $P=V \cdot I=AVDD \cdot I_{avdd}+DRVDD \cdot I_{drvdd}=0.522+0.373=0.895W$

结温 $\theta_{JA}=24^{\circ}C/W$ ，设备工作在散热不良的密闭空间，环境温度为 75°C。估算结温如下：

$$T_j=75+0.895 \cdot 24=75+21.8=96.8^{\circ}C$$

这个估算温度远远小于最大的结温温度，所以器件不会出现过热问题。

过程看上去很简单，但实际上很复杂。对于具体的 IC， θ_{JA} 值与 PCB 板的尺寸、散热方式（风冷还是自然冷却）、板的层数、每层板的铜的厚度以及芯片周边是否存在别的发热量很高的器件相关。通常我们可以根据热成像图片做实际热阻计算：比如根据热成像图片得到该器件的最高发热区域并且读出温度变化，然后根据在该芯片上的电流电压得到它的功耗即可得出实际的热阻参数。

5.2 尽可能大面积的 PCB 覆铜

对提高散热性能来说，PCB 的表层和底层是理想的散热空间。更大的 PCB，其可用于热传导的面积也就越大，同时也拥有更大灵活性，应在高功耗器件之间留有充分的空间。一般情况下，接地层铜的面积较大，能为 PCB 散热提供极好的热通路。使用宽的导线甚至铜平面，在远离高功耗器件的地方布线，可以为散热提供高效的热通路。

为了进一步说明，我们选 TPS75825 (TO-263) 作为例子。其中，平均输入电压是 3.3V 下，平均输出电压为 2.5V，平均输出电流为 3A，环境温度 55°C，空气流量为 150 LFM 和操作环境是相同的，如下文所述。忽略静态电流后，最大的平均功率： $PD_{max} = (3.3 - 2.5) V * 3A = 2.4W$

根据公式 1 可知， $\theta_{JA} = (125 - 55) / 2.4W = 29^{\circ}C/W$

从下图可知， θ_{JA} 与铜散热面积对比，接地层需要 2 平方厘米的面积去消散 2.4W 的能量。

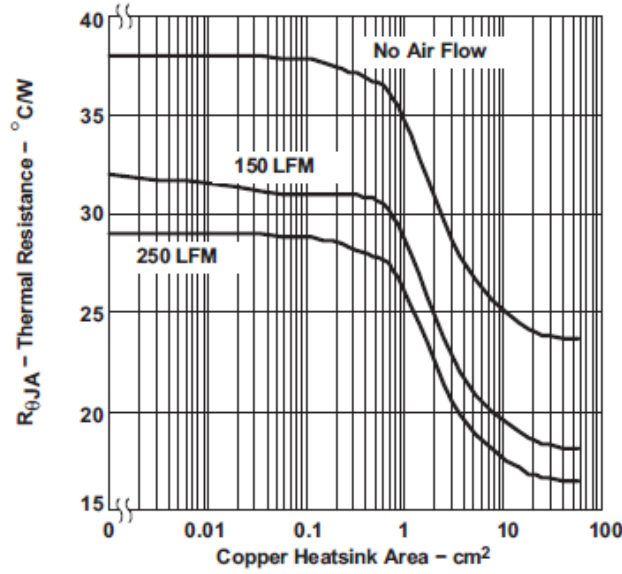


图 6. 热阻和铜散热区面积的关系

如果已知 θ_{JA} ，则从公式 1 中可以推出，该 θ_{JA} 值下，不同 PCB 面积对应的不同最大耗散功率。

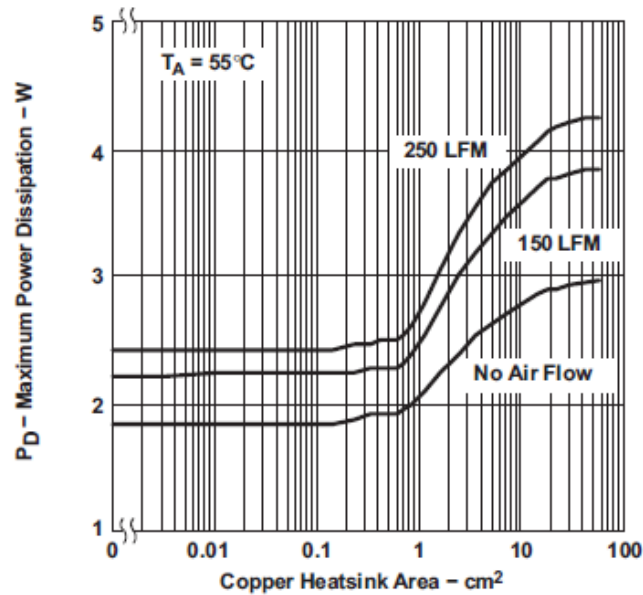


图 7. 功耗和铜散热区面积的关系

5.3 增加铜厚度

PCB 的铜厚度增加，系统组件的热性能也就越高。铜平面，典型 1 盎司铜的单位面积（ 1cm^2 ）热阻 $\theta_{\text{CU}} = \frac{1}{\lambda_{\text{CU}}} * L = \frac{0.25 \frac{\text{C}\cdot\text{cm}}{\text{W}} * 1\text{cm}}{1\text{cm} * 0.0035\text{cm}} = 71.4 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$ 。在允许的范围内，建议使用更重的铜平面，可以有效的降低热阻。当采用 2 盎司铜的时候，单位面积的热阻就降低为： $\theta_{\text{CU}} = \frac{1}{\lambda_{\text{CU}}} * L = \frac{0.25 \frac{\text{C}\cdot\text{cm}}{\text{W}} * 1\text{cm}}{1\text{cm} * 0.007\text{cm}} = 35^\circ\text{C}/\text{W}$

5.4 用散热焊盘和过孔将多层 PCB 连接

合理安排 PCB 多层的堆叠关系和布线，也会增加用于热传导的铜的总比重。芯片下方的 PCB 上的散热过孔有助于热量进入到 PCB 内部各层，并传导至电路板的背部。

一般情况下，热焊盘都是接地焊盘，因此内部接地层和表面接地层是最常用的最方便的散热平面。典型的半盎司铜厚的 12mil 的过孔的热阻是 $261^\circ\text{C}/\text{W}$ 。因此在热焊盘下面用尽可能多的过孔形成矩阵。这些过孔尽可能的连接多的 PCB 铜层，可以有效的进行散热，将大大提高散热效率。

以 ADS62C17 为例，手册上为大家提供了参考的过孔设计方案。允许在热焊盘下面以 1mm 为间隔，铺设 49 个过孔，通过过孔和接地层连接在一起。7*7 的矩阵的过孔的热阻约为： $261/49=5.33 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$ 。

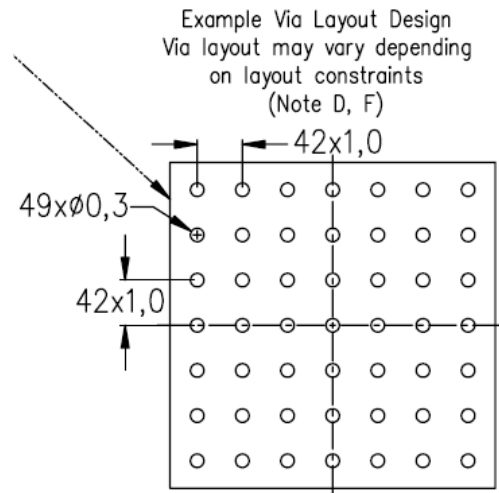


图 8. ADS62C17 建议过孔方案

5.5 合理的散热结构，不影响散热路径，便于热能的扩散

合理的 PCB 散热布局可以有效的促进散热效率。PCB 板上的高散热器件应彼此分开，这种高散热器件的物理间隔可让每个器件的 PCB 散热面积最大化，从而加快散热。发散元件周围尽量不要放高大元件，影响散热；从散热的角度，PCB 垂直放置时，散热的效果更好。此时建议将高散热器件放到 PCB 的上端。

5.6 散热片的合理使用

专用导热散热片是芯片散热的一种极好方法。散热片一般位于与芯片相连的 PCB 背部或芯片的顶部，并通过合适的界面导热材料与散热源连接。为了实现最优的性能，散热片最好连接到热阻阻抗低的路径上。

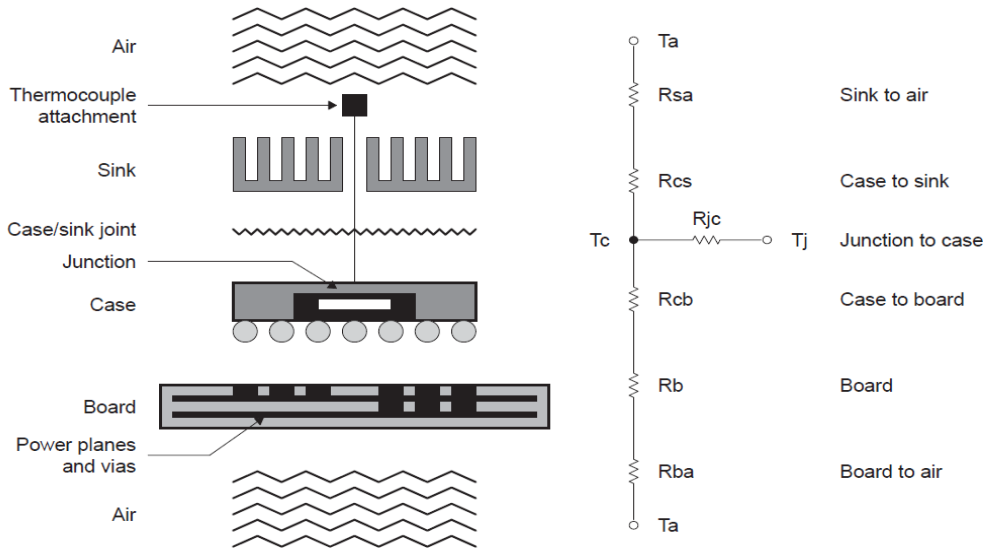


图 9. BGA 芯片加散热片后热阻示意图

5.7 选取合适的截面导热材料

芯片和散热器间的热界面材料层是高功耗器件封装中热流的最大障碍。选择合适的材料来填充芯片和散热器间的界面对半导体器件的性能和可靠性都十分重要。界面材料通过填充气孔和密贴接合面不光滑表面形貌来降低发热和散热单元间接合面的接触热阻。

Material	Thermal conductivity <i>k</i>	
	W/m · °C	Btu/h · ft · °F
Metals:		
Silver (pure)	410	237
Copper (pure)	385	223
Aluminum (pure)	202	117
Nickel (pure)	93	54
Iron (pure)	73	42
Carbon steel, 1% C	43	25
Lead (pure)	35	20.3
Chrome-nickel steel (18% Cr, 8% Ni)	16.3	9.4

5.8 机箱散热

条件允许情况下，利用机箱散热是很好的方案。可以在机箱的底部，顶部开窗，充分利用烟囱效应形成气流散热；利用机箱内部风扇散热也是很好的方法。

5.9 不要在散热走线上覆阻焊层

阻焊层的作用是避免在焊接过程中焊料无序流动而导致焊盘引线之间桥接短路。在设计中有大功率器件需要通过电路板散热时也可以在阻焊层上开窗，以增加散热 PCB 的面积。

6 总结

对于任何一个有效的设计，热设计都是必须要考虑的，应该在出现问题之前就充分考虑，减少出错的可能性。本文详细描述了标准封装的热特性的一些主要参数：热阻 (θ_{JA} 、 θ_{JC} 、 θ_{CA}) 等参数，并提出了在实际系统中热计算和热管理的一些经验方法。希望使电子器件及系统设计工程师能明了热阻的相关原理及应用，以解决器件及系统过热问题。

7 参考文献

1. AN-2020 Thermal Design By Insight, Not Hindsight
<http://www.ti.com/general/docs/lit/getliterature.tsp?baseLiteratureNumber=SNVA419B&fileType=pdf>
2. Flip Chip Ball Grid Array Package Reference Guide, <http://www.ti.com/lit/ug/spru811a/spru811a.pdf>
3. Thermal Considerations for RF Power Amplifier Devices
<http://www.ti.com/analog/docs/litabsmultiplefilelist.tsp?literatureNumber=slwa009&docCategoryId=1&familyId=367>
4. Thermal Resistance Estimate http://www.national.com/assets/en/tools/Thermal_Resistance_Estimate.xls
5. A guide to board layout for Best Thermal Resistance for Exposed Packages
<http://www.ti.com/general/docs/lit/getliterature.tsp?svadoc=an-1520®=en>
6. IC 封装的热特性 <http://china.maximintegrated.com/app-notes/index.mvp/id/4083>
7. PowerPad Thermally Enhanced Package <http://www.ti.com/lit/an/slma002g/slma002g.pdf>
8. JESD51 标准,美国电子工业协会标准
9. Introduction to heat transfer http://www.most.gov.mm/techuni/media/ChT_03022_5.pdf

重要声明

德州仪器(TI)及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准,对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改,并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息,并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内,且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定,否则没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险,客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或隐含权作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息,不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可,或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分,仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时,如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分,则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权,且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意,尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供,但他们将独力负责满足与其产品及其应用中使用的 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意,他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识,可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中,为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此,此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备)的授权许可,除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意,对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用,其风险由客户单独承担,并且由客户独力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品,这些产品主要用于汽车。在任何情况下,因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

产品	应用
数字音频	www.ti.com.cn/audio 通信与电信 www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/amplifiers 计算机及周边 www.ti.com.cn/computer
数据转换器	www.ti.com.cn/dataconverters 消费电子 www.ti.com.cn/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com 能源 www.ti.com.cn/energy
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/dsp 工业应用 www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/clockandtimers 医疗电子 www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/interface 安防应用 www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/logic 汽车电子 www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/power 视频和影像 www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	www.ti.com.cn/microcontrollers
RFID 系统	www.ti.com.cn/rfidsys
OMAP应用处理器	www.ti.com/omap
无线连通性	www.ti.com.cn/wirelessconnectivity 德州仪器在线技术支持社区 www.deyisupport.com

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道1568号, 中建大厦32楼 邮政编码: 200122
Copyright © 2014, 德州仪器半导体技术(上海)有限公司