

## 温度测量原理及实用技术

作者: Donal McNamara

### 热传递理论

热量的传递通常是从高温物体到低温物体。通过强制系统(如冰箱)进行能量传递,热量可以从冷的区域传递到热的区域。

热传递可以通过三种基本方法实现。

- 传导
- 对流
- 辐射

### 传导

传导是最常见的固体热传递方式。从微观角度看,传导是指激烈、快速移动或振动的原子和分子与邻近的原子和分子相互作用,将它们的一部分能量(热量)传递给这些相邻的原子。

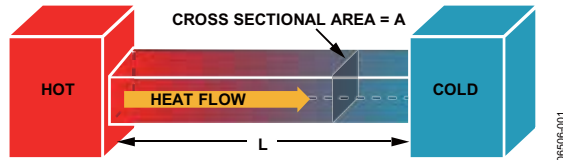


图1. 传导

### 对流

对流通常是液体和气体热传递的主要形式。此术语用于描述传导与流体流动的组合效应。流体中热或冷成分的运动,

加上由传导引起的热传递,共同引起了对流中的热量传递。

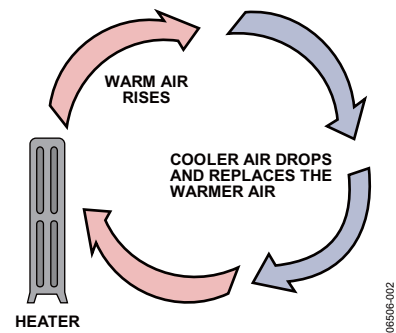


图2. 对流

### 辐射

辐射是唯一不需要任何介质的热传递形式,也是通过真空进行热传递的唯一方式。热辐射是材料中的原子和分子运动的直接结果。由于辐射量随着温度的升高而增加,这样就会产生从较高温度到较低温度的净能量传递。

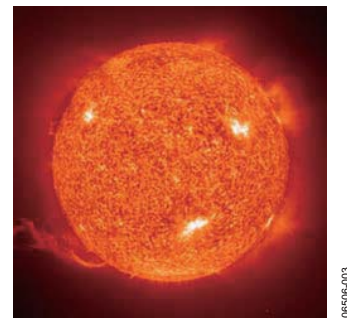


图3. 辐射

## 目录

热传递理论 .....	1
用于测量PCB温度的正确PCB布局 .....	4
用于测量环境温度的正确PCB布局 .....	5
封装 .....	6

### 事实：传导是PCB中最普遍的热传递方法

如果PCB的一端温度较高，能量会向PCB温度较低的一端传递。高速粒子碰撞低速粒子时，会与低速粒子发生净能量传递。传导的传热率是：

$$H = \frac{(K \times A(T_{HOT} - T_{COLD}))}{L}$$

其中：

$H$  = 单位时间传导的能量(焦耳/秒)

$K$  = 室温下铜的热传导系数(385 W/(m•K))

$A$  = PCB上铜的面积

$T$  = 温度

$L$  = 热的物体与冷的物体之间的距离

图4显示，如果热的物体与冷的物体之间导热介质(如铜)的面积增加，那么热量传递会更快。同样地，如果铜的面积减小，传热率也会减小。通过常识可以推断，两个物体距离越远，冷的物体变热所需的时间就越长。

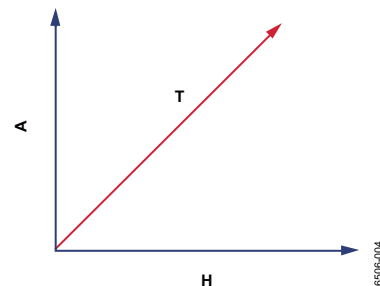


图4. 传导的传热率

铜是极好的导热体，因此在很多PCB设计中用于热源的散热。银和金刚石是仅有的两个具有更好热传导系数的材料(见表1)。

表1. 材料的热传导系数表

材料	热传导系数 (W/m•K)
金刚石	1000 to 2600
银	406
铜	385
金	320

## 用于测量PCB温度的正确PCB布局

PCB热量的60%至65%通过引脚传递到芯片热传感器。GND引脚连接到基板，因此，GND引脚与温度传感器和热源之间的热阻最小(如图5)。

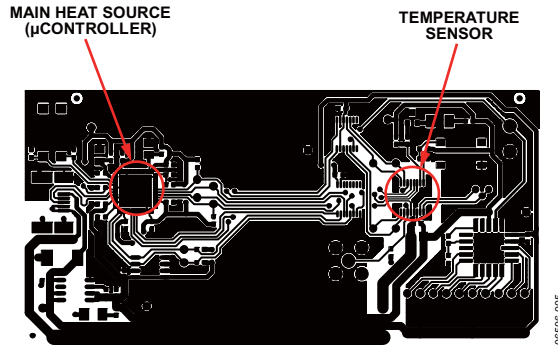


图5. 测量PCB温度的正确布局

## 有效测量PCB温度的技巧

如图6所示，使用如下技巧可以确保温度传感器能够跟踪并精确测量PCB温度和主要的热源。

- 温度传感器和热源要共用同一个GND平面。
- 确保温度传感器所有的GND引脚都与热源的热源GND平面相连。
- 在PCB上，温度传感器与热源应尽可能相互靠近。

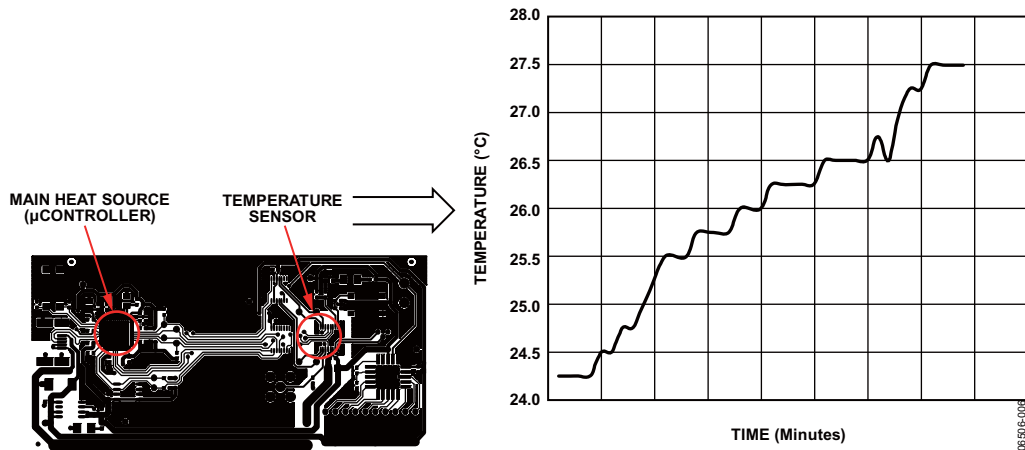


图6. 数字温度传感器精确地跟踪热源的温度

大多数客户希望使用IC温度传感器来测量PCB或者器件的温度。因此，最好使用图5和图6中所示的PCB布局方法。

## 用于测量环境温度的正确PCB布局

很多设计者不需要测量PCB的温度，他们只想测量环境温度。问题是，设计者如何防止PCB上的热源影响温度传感器对环境温度的测量？使用如图7所示的PCB布局设计，问题就能迎刃而解。

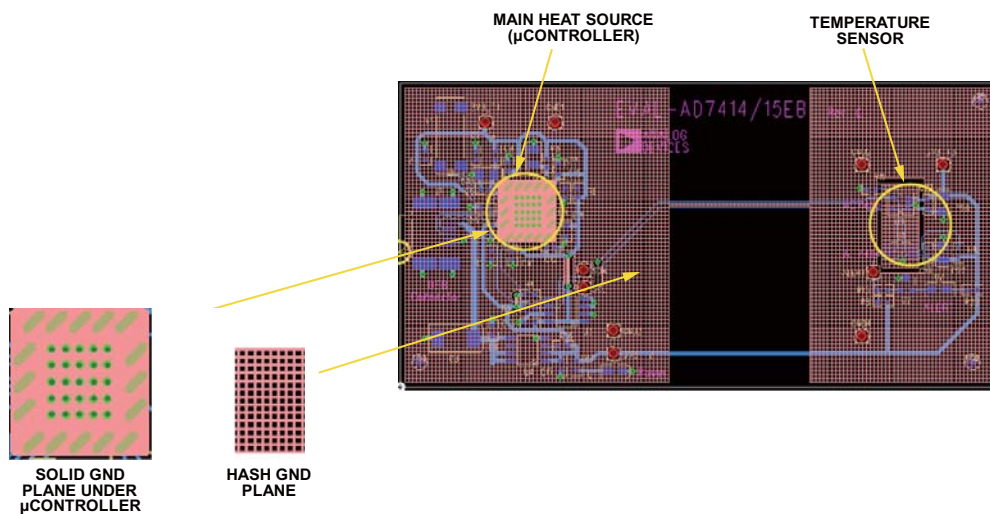


图7. 测量环境温度的正确布局

06506-007

## 有效测量环境温度的技巧

使用如下技巧可以防止主要热源的散热对温度传感器产生影响，并能够精确地监测环境温度。

- 使用散列GND平面。减少GND平面的面积来增加热阻。
- 温度传感器尽可能地远离热源。
- 为温度传感器提供单独的GND平面，尽量减少与主GND平面的连接。
- 使用窄的GND连接来增加热阻。
- 主热源下面使用实心GND平面，并露出绿色阻焊膜。这样可使主热源散热的热阻最低。

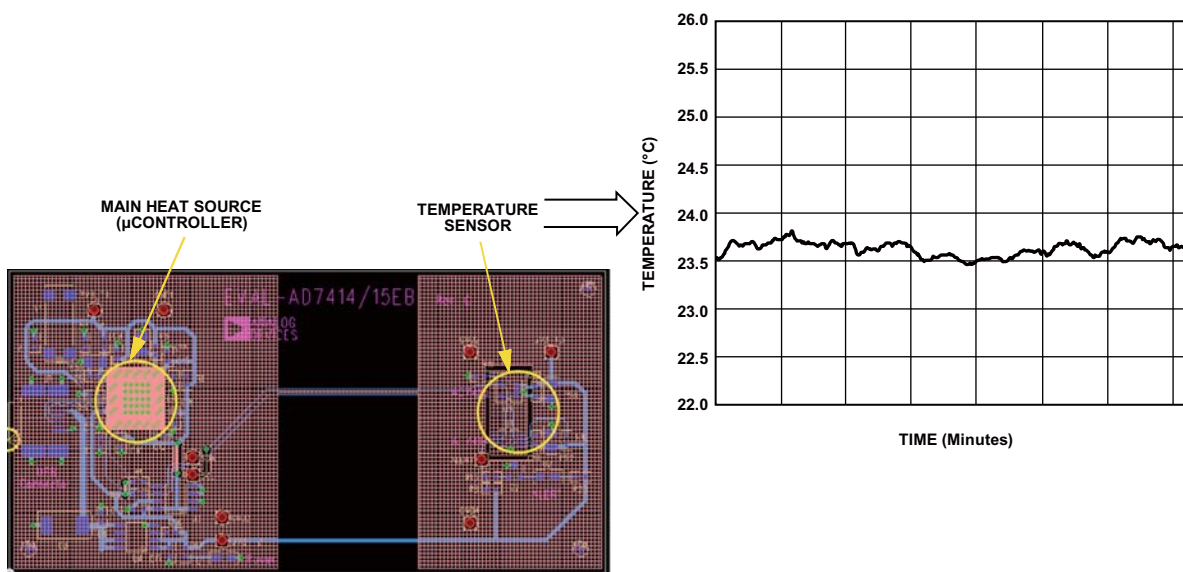


图8. 数字温度传感器精确地跟踪环境温度

06506-008

一些客户希望监测空气温度并利用IC温度传感器精确、线性、响应速度快及使用方便的特点。他们的最好选择是使用图7和图8中所示的PCB布局方法。

## 封装

除了尺寸和引脚数之外，关于封装方面还有其他一些需要考虑的因素：

- 封装热阻
- 器件内部功率损耗
- 焊接温度
- 热冲击响应

## 封装热阻

数据手册中通常指明两个封装性能指标，即结至空气( $\theta_{JA}$ )热阻和结至外壳( $\theta_{JC}$ )热阻。

## 结至空气( $\theta_{JA}$ )热阻

这个指标衡量芯片表面与空气之间热量流动的难易程度。它也反映了热量是如何通过各种路径在结至环境温度之间流动的。主要路径为引脚到电路板。

$\theta_{JA}$ 热阻适用于未使用外部散热器的封装，其单位为 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。它的值越低越好。例如：

- 8引脚MSOP封装 =  $205.9^{\circ}\text{C}/\text{W}$
- 8引脚SOIC封装 =  $157^{\circ}\text{C}/\text{W}$

## 结至外壳( $\theta_{JC}$ )热阻

这个指标衡量芯片表面与封装表面之间热量流动的难易程度。它也反映热量是如何流入外部散热器的，因此适用于使用散热器的封装。 $\theta_{JC}$ 热阻的单位是 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。它的值越低，热量就越容易流入散热器。例如：

- 8引脚MSOP封装 =  $43.74^{\circ}\text{C}/\text{W}$
- 8引脚SOIC封装 =  $56^{\circ}\text{C}/\text{W}$

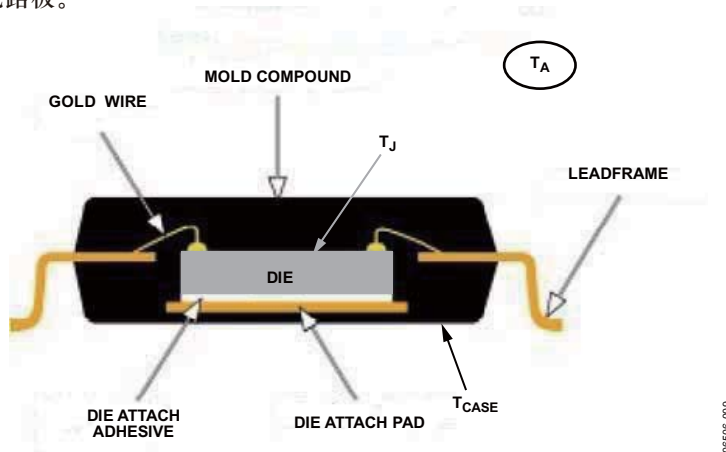


图9. TSSOP封装的截面图

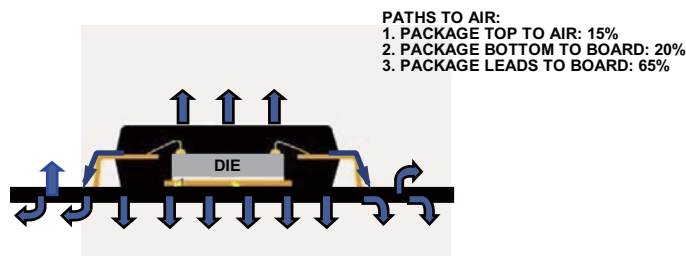


图10. 通往空气的主要路径

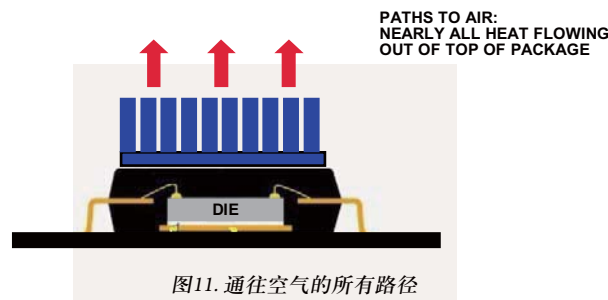


图11. 通往空气的所有路径

## 器件内部功率损耗

下面的这个公式可以从数据手册中的绝对最大额定值部分获得。它被定义为最大功率额定值。

$$W_{MAX} = \frac{(T_{AMBmax} - T_A)}{\theta_{JA}}$$

其中：

$W_{MAX}$  = 器件中的最大功率损耗

$T_{AMBmax}$  = 数据手册中定义的最高环境温度

$T_A$  = 结温

$\theta_{JA}$  = 结至环境热阻，单位为°C/W

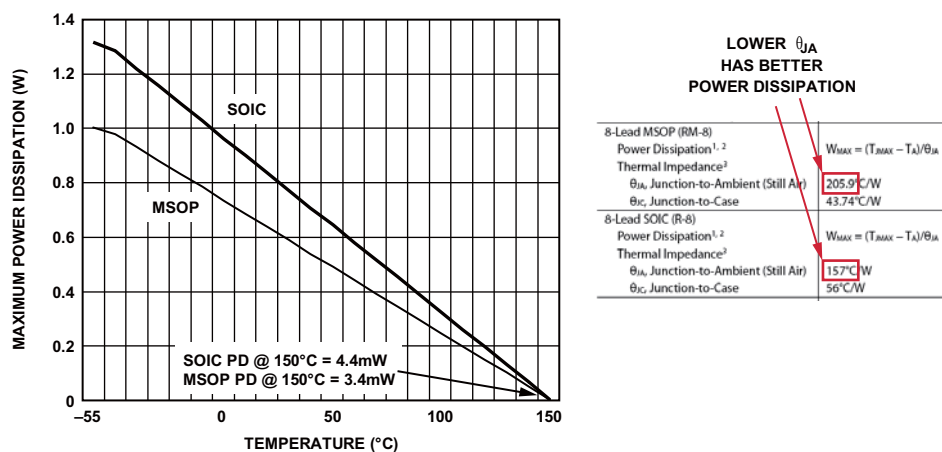


图12. SOIC和MSOP封装中的功耗

## 封装焊接信息

ADI公司生产两种封装引脚，含铅的锡铅引脚和无铅引脚(从2006年开始，ADI发布的所有新器件只包含无铅材料)。当焊接两种引脚时，存在不同的时间和温度参数。有铅与无铅引脚最重要的区别是峰值焊接温度的不同。两者的差异在表2中用灰色阴影表示。

表2. 焊接锡铅和无铅封装的数据表

平均上升斜坡速率	锡铅组装(3°C/秒, 最大值)	无铅组装(3°C/秒, 最大值)
预热		
最低温度( $T_{SMIN}$ )	100°C	100°C
最高温度( $T_{SMAX}$ )	150°C	150°C
时间(TSMIN至TSMAX)	60秒至120秒	60秒至120秒
维持时间		
温度	183°C	217°C
时间	60秒至150秒	60秒至150秒
峰值焊接温度	220°C	260°C
实际峰值温度±5°C以内的时间	10秒至30秒	20秒至40秒
下降斜坡速率	6°C/秒, 最大值	6°C/秒, 最大值
从25°C至峰值温度的时间	6分钟, 最大值	6分钟, 最大值

## 热冲击响应

芯片与热源之间热阻的降低会降低热时间常数，提高芯片的热响应。热时间常数是指温度 $\Delta$ 变化到其最终值的63.2%所需要的时间。在图13中，ADT7301经历从25°C至125°C的热冲击；通常情况下，ADT7301达到88.2°C需要2秒。

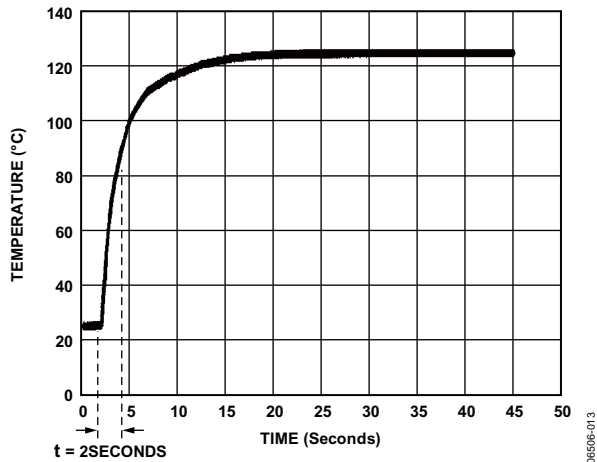


图13. ADT7301的热时间常数

图13表明，ADT7301的SOT-23和MSOP两种封装的热时间常数相同。评估数据表明，封装类型对热时间常数值的影响很小。这说明大多数热量通过封装引脚流动。 $\theta_{JA}$  (结至空气热阻)和 $\theta_{JC}$  (结至外壳热阻)对表面贴装数字温度传感器的热响应的影响很小。

一般来说，GND引脚与热源的地平面能否有效接触，远比封装类型重要。当今大多数温度传感器仅汲取非常小的电流( $\mu$ A级)。因此，功耗及其引起的自热不是应该过分考虑的因素。

以电流输出温度传感器为例(例如，AD590、AD592和TMP17)，TO-52、T0-92(见图14)、CQFP和SOIC封装由于较低的 $\theta_{JC} + \theta_{JA}$ 热阻而具有较快的热响应。注意，这些器件没有GND引脚。

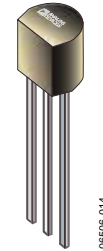


图14. TO-92封装

LFCSP封装(见图15)在底部有一个金属底座与芯片GND直接相连。将这个金属底座与PCB的GND平面相连，可以使LFCSP获得比大多数封装更低的热阻。

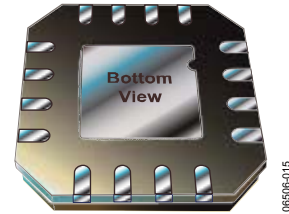


Figure 15. LFCSP

图15. LFCSP封装