

# 利用正向压降测量 半导体结温

Jason Chonko

吉时利高级应用工程师

从集成电路中数以百万计晶体管到制造高亮度LED的大面积复合结，半导体结可能由于不断产生的热量而在早期发生故障。当特征尺寸缩小并且当所需电流增大的情况下，这会成为非常严重的问题，甚至正常操作也可能聚积热量，使结温升高。温度上升会导致半导体结内部的故障增加，进而使性能降低、使用寿命缩短。因此，需要一种准确测量半导体器件温度的方法，避免出现危险的高温。本文介绍了一种用常规测试和测量仪器测量结温的简单方法，并且如何用测量的结温监视指定器件的工作条件。

## 背景

测量结温的理想方法是在尽可能靠近热源的地方监测器件温度。电流流过半导体结时产生热量，然后这些热量通过半导体结材料流向外部世界。一种方法是将温度传感器放在非常靠近半导体结的位置并测量该传感器的输出信号。随着热量流到外部区域，热量会使该区域以及传感器的温度升高。虽然这种方法很直接，但由于传感器尺寸有限，所以这种方法存在物理上的限制。在许多情况下，传

感器本身比要测量的结的尺寸大。这就会给系统增加大量的热，并对测量产生额外的误差，从而降低测量的准确度。因此，这种方法不会在大多数应用中使用。

一种更好的方法是将半导体结本身作为温度传感器。对于大多数材料，结的正向压降和结的温度存在密切的相关性。在结的正向压降与结的温度变为非线性的那个点取决于结的材料与设计。在高达80℃~100℃的正常工作环境下大多数材料的正向压降与结温是线性关系，这种假定是安全的。非线性特性可以通过做实验确定，即在环境温度不断升高的条件下测量正向压降，直到正向压降与结温变为非线性。

对于大多数器而言，正向压降

与结温近似为线性关系，可以用数学公式表达如下：

$$T_j = m \cdot V_f + T_o \quad (\text{式1})$$

其中，

$T_j$  = 结温，单位℃

$m$  = 斜率\*，单位℃/V

$V_f$  = 正向压降

$T_o$  = 截距\*，单位℃

\*与器件相关的参数

因此，在给定温度 $T_j$ 下，半导体结的正向压降 $V_f$ 将是一定的。如果我们在两个不同的温度下测量 $V_f$ ，就能计算出给定结的斜率 $m$ 和截距 $T_o$ 。并且，因为这是一种线性关系，所以我们只用简单地测量 $V_f$ 就能利用式1计算出不同条件下的结温。如果已知不同工作条件和封装对应的 $T_j$ ，我们就能计算出不同封装类型和设计的温度参数，例如热电阻。当在特定工作条件下设计以确保器件寿命达到最长时，这显得尤为重要，因为热效应是导致器件在早期出现故障的主要原因。

## 测试方法

在这种测试方法中，被测器件（DUT）放置在恒温室中并与驱动设备和测量设备相连。驱动设备和测量

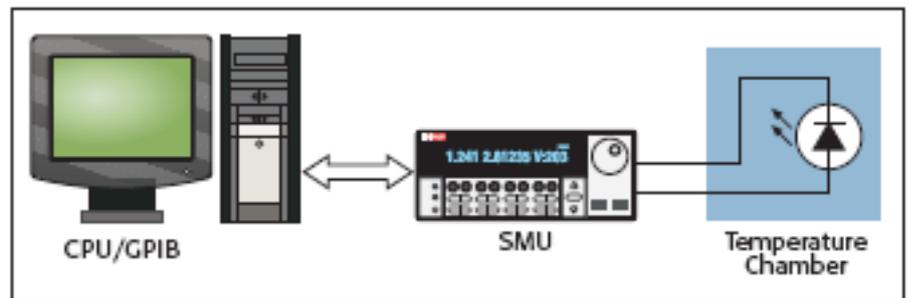


图1. SMU的设置

设备可以分别是可编程电流源和电压表，但是也有仪器能同时输出电流并且测量电压。这通常是指源测量单元（SMU），它能极大简化测量仪器（见图1）。

接下来，用4线测量方法或Kelvin测量方法将SMU和被测器件相连。通过感测DUT周围的电压而不是SMU输入端的电压，4线电压测量降低了电压测量中测试线电阻引入的误差（见图3的4线闭环测量）。

将DUT放进恒温室，并将恒温设定为初始温度。初始点通常在25°C测量，然后让DUT达到热平衡。可以用实验确定达到热平衡所需的停留时间（dwell time），但是对于大多数封装，10分钟就应该足够了。

当结达到热平衡后，输出一个短暂的电流到DUT并测量压降。电流脉冲的持续时间和幅度很重要。如果功率较高（电流幅度过大或者脉冲持续时间过长）可能会使结发热，进而使测量结果产生偏差。许多时候，被测结是硅或复合二极管。对于这些器件类型，以1ms的源电流和几毫安的驱动电流作为实验起点比较好。如果您不太确信，还可以通过实验用很短的脉冲源（<1ms）确定结的自发热。然后，通过改变脉冲宽度并比较每个脉冲持续时间的电压进行实验。1mV~2mV级别的电压差通常表明结温有1°C的改变。

这个测量电压是 $V_{f1}@T_{j1}$ （25°C）。

然后，温度升至更高的值（例如，50°C），使DUT达到热平衡后再发送一个电流脉冲。在此温度记录的电压标记为 $V_{f2}@T_{j2}$ （在本例中是50°C）。

在一系列不同值上重复这些步骤，然后绘制电压与结温关系图（图2）。最好在分析中使用至少3个温度，检查线性近似中是否存在偏差。

现在可以计算这条直线的斜率 $m$ 和截距。

式2：计算 $m$ （式1的点斜式）

$$T_j = m \cdot V_f + T_0 \quad (\text{式1})$$

$$T_{j2} - T_{j1} = m(V_{f2} - V_{f1})$$

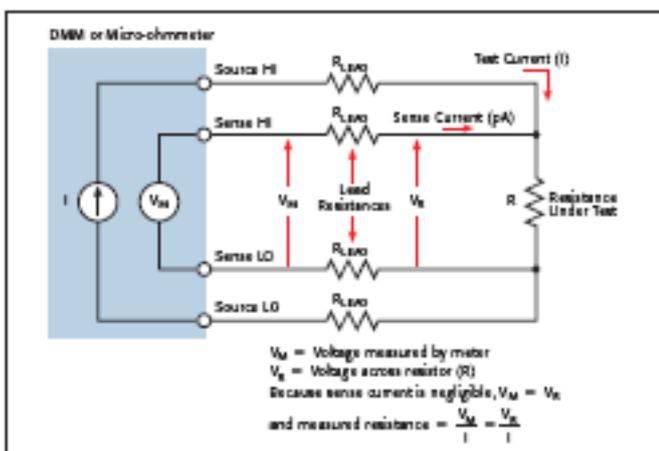


图3. 4线闭环测量技术

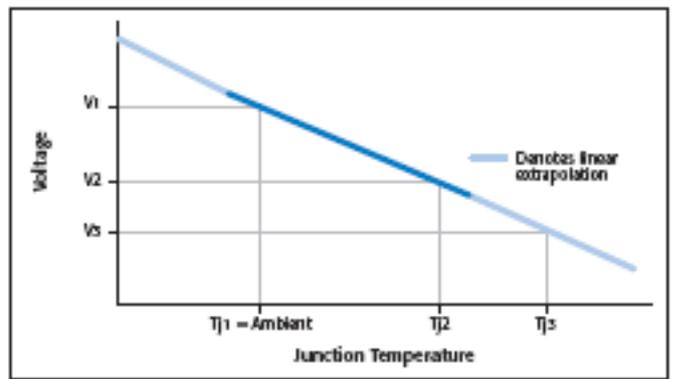


图2.描述结温与正向压降的线性关系图。

（式1的点斜式）

$$m = (T_{j2} - T_{j1}) / (V_{f2} - V_{f1})$$

然后，通过外推法计算 $T_0$ 。

$$T_{j2} - T_{j1} = m(V_{f2} - V_{f1})$$

（式1的点斜式）

通过将 $V_{f2}$ 设为0，则式2变成

$$T_{j2} = T_{j1} - mV_{f1}$$

在这个情况下， $T_{j2}$ 等于截距，或 $T_0$ 。

$$T_0 = T_{j2} = T_{j1} - mV_{f1}$$

## 应用实例：高亮度LED

在这个例子中，正在开发一种新的高亮度LED裸片。该新器件设计比以前的单元承载更大的电流，还需要确保较高的热流量以使结温降至最低。这将保证在一些要求更高的应用中，该器件具有足够长的使用寿命。当连接LED裸片正极和负极的接合线断开时，通常会发生LED故障。线断的常见原因是接合线连线的温度循环。这是由于散热不足造成结温升高的直接后果。

我们将LED裸片放入恒温箱中，按照以上描述的方案进行测试。可以得到以下测量结果：

$$V_{f1} @ T_{j1} (25^\circ \text{C}) = 1.01 \text{ V}$$

$$V_{f2} @ T_{j2} (50^\circ \text{C}) = 0.78 \text{ V}$$

$$m = (50 - 25^\circ \text{C}) / (0.78 - 1.01) \text{ V}$$

$$= -108.70^\circ \text{C/V}$$

$$T_0 = T_{j1} - mV_{f1}$$

$$= 25^\circ \text{C} - (-108.70^\circ \text{C/V}) * (1.01 \text{ V})$$

$$= 134.79^\circ \text{C}$$

因此，描述该器件的结温与正向电压关系的一阶等式为：

$$T_j = -108.70^\circ \text{C/V} \cdot V_f + 134.79^\circ \text{C}$$

现在，我们可以改变评估的其它参数，例如工作电流、环境/工作温度和封装，并且只要测量 $V_f$ 就可以确定实际结温。

## 误差源

测量的最大误差源在于在环境试验箱中测量温度的不确定性。这种测量通常使用热电偶，而热电偶误差为 $\pm 2^\circ$ 或更高。通过将热敏电阻或RTD等准确度更高的热测量传感器放置在DUT附近并使用单独的数字万用表（DMM）测量温度可以提高测量准确度。

电压测量的不确定性也给结温计算增加了误差。选择一款高准

确度和高分辨率的仪器用于电压测量是使这种误差最小化的关键。

结温测量的误差会传播至其它热性能计算，例如热阻抗和热电阻。因此，最小化这些误差对于获取准确的测量结果至关重要。

## 结论

本文介绍了一种测量半导体结温的简单方法。然后，结温数据可用于分析给定结的热沉、环境和源状况的效果。

### 关于作者

Jason Chonko是美国俄亥俄州克里夫兰市吉时利的高级应用工程师。他获得了肯特州立大学（Kent State University）物理学理学士并有5年以上光电器件相关工作经验。

---



美国吉时利仪器公司

全国免费电话：400-650-1334 / 800-810-1334

邮箱：china@keithley.com

网址：www.keithley.com.cn