

瞬态平面热源法测试技术应用——Application Note: 004

## 瞬态平面热源法（HOTDISK 法）测量 导热脂不同温度下的导热系数



摘要：针对某一牌号导热脂这种热界面材料，采用瞬态平面热源法（HOTDISK 法）测量了这种材料在 25℃ 至 150℃ 范围内导热系数，由此了解导热脂在不同温度下的导热性能，为这种材料的工程应用提供参考。

## 1. 背景

导热脂作为一类典型的热界面材料（TIM—Thermal Interface Materials）长期以来在各个行业中被用作传热材料，具有诸多优势，包括高低温稳定性、本身固有的低离子含量及很高的纯度。而且，由于其可与基板实现优异的表面接触和无孔隙界面，因而它们常常是各种传热材料的首选。导热脂在化学性质上为惰性，可在 -45℃ 至 +200℃ 的温度范围内保持较稳定的物理性能，这使其成为极少数能够承受各种恶劣运行环境的材料之一。由于模量很低，导热脂具有足够的柔性，可适应不同的热膨胀系数(CTE)，传递到部件或基板的应力达到最小。导热脂有多种形式：

### （1）灌封剂和凝胶形式导热脂

灌封剂（或封装化合物）和凝胶形式的导热脂用于嵌入整个电路组件，以最大程度提高热传递（通常为多个方向），并为器件或电路提供一定程度的物理保护。灌封剂形式的导热脂也可固化为耐久的弹性橡胶，提供更大的物理保护，而更软的凝胶形式导热脂则可更多地减缓热膨胀和机械应力。这些可流动的液体也可用作填隙料，或用来连接电路和热沉，便于自动生产的大批量加工。

### （2）粘合剂形式导热脂

由于导热粘合剂能够填满不规则形状的间隙，产生更大的接触面积，最大化热传导，因而，增强了电子器件的设计灵活性。同样，在不能严格控制零件的平面度和装配公差时，它们还能提高生产的可靠性和成本效率。有机硅配方一般为没有腐蚀性的热固化材料，在加工过程中不会产生很多副产物，这使其即使在完全封闭的情况下也能作为结构胶使用，而无需机械固定装置。

### （3）填隙形式导热脂

热界面材料的一个关键功能是完全填补任何不规则表面并将空气排出。实际上，材料或复合材料的本体导热系数可能并不如流动和润湿基板的能力重要。从热传导的角度来看，导热脂很适合 TIM 应用，但是油脂在较高温度下可能易被抽空，尤其是在经过反复的热循环后。

填隙料形式的导热脂通过一种干法技术解决了这个问题。它们通常比粘合剂软，具有极好的应力减缓能力，且一般比粘合剂产品的导热系数更高。填隙料使用时，一般有机械固定，具有传统油脂的性能优势，但又保持了自我支撑。在低至  $0.703 \text{ kg/cm}^2$  的压力下，可观察到这类替代性材料的完全流动，它们还可在部件表面直接印刷和固化，或采用贴膜转移工艺用作预固化垫片。

导热脂这类热界面材料在冷却散热中应用广泛，各种厂家和型号的产品也是众多，但很少看到过厂家提供导热脂在不同温度下的导热系数数据，而不同温度下的导热系数数据是产品性能评价、冷却散热系统设计和工程应用选型的重要依据。

本文针对导热脂这类材料，采用瞬态平面热源法，在不同温度下测量导热脂的导热系数，由此给出导热脂随温度变化的规律，为导热脂产品的评价和应用提供参考。

## 2. 测试方法和测试仪器

### 2.1. 测试方法

对于导热脂导热系数的测量，我们选择采用瞬态平面热源法。瞬态平面热源法作为一种绝对测量方法，在理论上可以达到很高的测量精度，特别适合导热脂这类热界面材料的测试。采用瞬态平面热源法测量导热脂的导热系数，主要体现出以下几方面的优势：

（1）标准测试方法：瞬态平面热源法是一种标准测试方法，具有相应的测试标准方法，及 ISO/DIS 22007-2.2 Plastics - Determination of thermal conductivity and thermal diffusivity - Part 2: Transient plane heat source (Hot Disk) method。具有标准方法有利于测试的准确性、可延续性和可对比性。

（2）测试精度高：在瞬态平面热源法标准测试方法中，明确把瞬态平面热源法归结到塑料材料，塑料类材料的一般特征是热导率在  $0.1 \sim 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  范围并呈现各项同性，而瞬态平面热源法对塑料类材料的测试可以达到很高的精度。关键的是在这个导热系数测试范围内，有各种标准参考材料来对测量精度进行校准。

(3) 试样制造的方便性：导热脂类热界面材料在工程上的应用可能会呈现出油脂状、膏脂状和固体状形式，特别是对于脂状的导热脂，可以很方便的将探测器插入导热脂试样中进行直接测量，大大降低了制样难度和测试难度。

## 2.2. 测试仪器

导热脂导热系数变温测试采用了上海依阳公司出品的TC-4010型号瞬态平面热源法导热系数测试系统，如图 2-1 所示。此系统采用冷热循环油浴增压泵流出的硅油作为加热介质流经装载有试样的腔体壁，整个腔体放置在厚实的隔热材料套中，使得被测试样可以精确的按照循环油浴温度进行恒温控制，充分利用了循环油浴 $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ 的高精度温度控制功能保证试样温度均匀性和稳定性。通过计算机控制循环油浴的设定温度来自动实现不同温度下的试样热导率测量，一般温度变化范围为 $-40^{\circ}\text{C}$ 至 $250^{\circ}\text{C}$ 。



图 2-1 上海依阳公司瞬态平面热源法导热系数测试系统

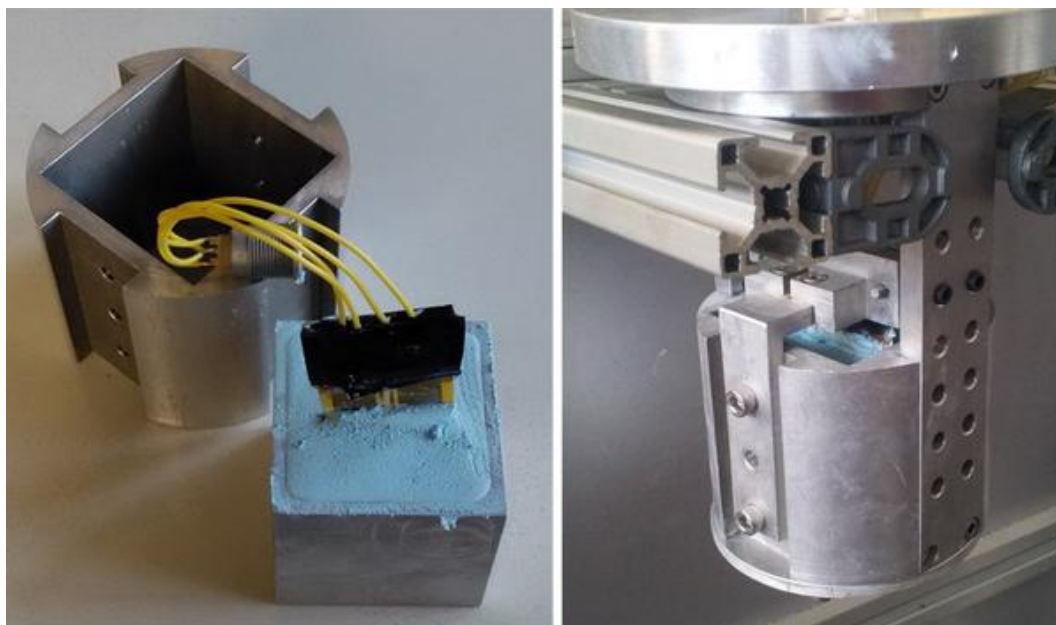


图 2-2 测试探头和导热脂试样的安装

在 TC-4010 型号瞬态平面热源法导热系数测试系统配置有专门的试样加载装置，此装置可以从加热腔体内抽取出放置在专门固定架上进行试样安装操作，如图 2-2 所示。试样安装时取出独立的试样盒进行导热脂填充，然后再插入探测器。

被测试样为某公司的导热脂，通过填充和挤压方式将导热脂试样装入试样盒内并进行测量。

### 3. 测试结果和讨论

在 25℃ 至 150℃ 温度范围内对导热脂导热系数进行了测量，测试温度点分别为 25、50、75、100、125 和 150℃ 六个温度点，测量过程可以分为两个步骤：

#### (1) 在某一温度恒定点上多次重复测量

由于导热脂在不同温度下的导热系数可能不同，所以测试过程中测试参数，如加热功率、加热时间，可能就需要进行调整以获得最好的测试结果。这样就需要在试样温度达到稳定后，对测试参数进行选择 and 试验，找到合适的测试参数，然后再进行此温度下的多次重复性测量。测试完成后，控制油浴升高温度并恒定，进行下一个温度点下的导热系数测量。

导热脂的导热系数一般比较大，加热功率选择也比较大（300mW 和 500mW 两档），而加热时间则较小（10s 和 20s 两档），两次测量间隔时间选择 40 分钟，以保证每次测量结束后试样温度恢复到稳定状态。

#### (2) 整个温度区间内逐个温度点下导热系数全过程自动测量

因为 TC-4010 型号瞬态平面热源法导热系数测试系统可以进行全自动连续测量，即可以自动控制油浴的自动恒温和升温，并自动进行任意设定时间和任意温度下的导热系数测量。这样就可以自动进行整个台阶式升温过程中的导热系数连续测量，即自动控制油浴达到某一恒定温度，自动进行导热系数重复测量，然后再控制油浴恒定在另一个恒定温度上进行此温度下的导热系数自动测量。由此，通过一次试验可以完成整个温度变化过程中的导热系数测量，大大减少了人工操作，可以在几天甚至几周时间内连续进行测量，此特点尤其适合用对材料在各种老化过程中的导热系数变化进行监控。

由于在不同温度下导热系数可能不同，测试参数也需要进行调整，因此在进行这种全过程自动测量前，一定要进行初步的试验，摸清不同温度下的试验参数，然后在全过程控制程序中输入不同的试验参数再进行全过程的自动测量，这样可以有效保证测量精度。

如图 3-1 所示为六个温度点下导热脂导热系数测量结果，在每个温度点至少进行了 20 次的重复性测量。图 3-2 为导热脂导热系数测量结果随温度的变化情况。

从测试结果可以看出，随着温度的升高，导热脂的导热系数呈现出近乎线性的降低。当温度高于 125℃ 后，导热脂导热系数有较大的突变，在 150℃ 时的导热系数相对于常温导热系数几乎下降了三分之一。

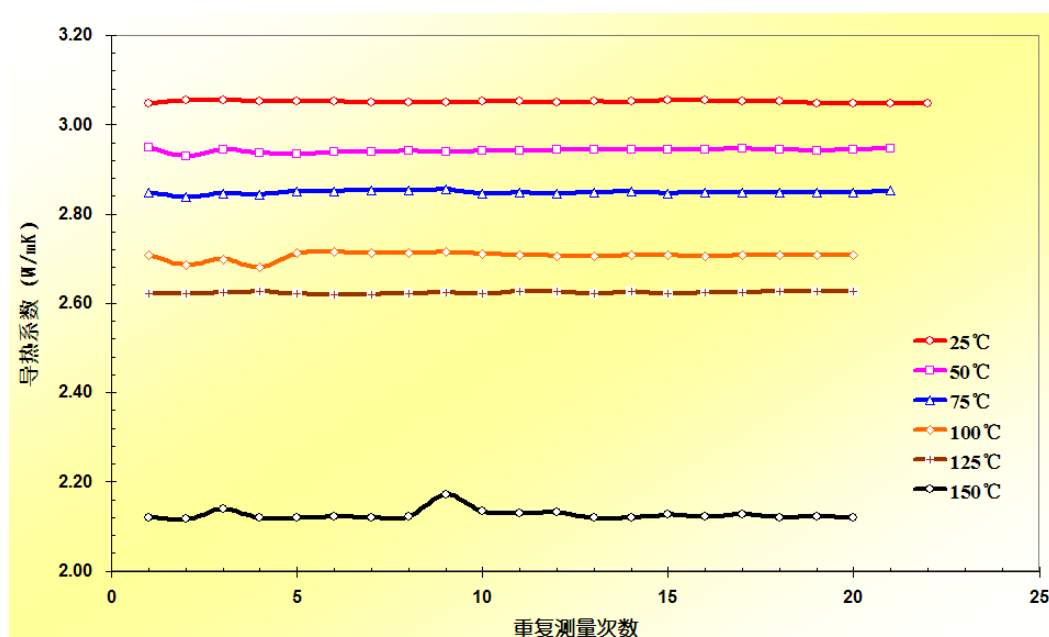


图 3-1 导热脂不同温度下多次重复性测量结果

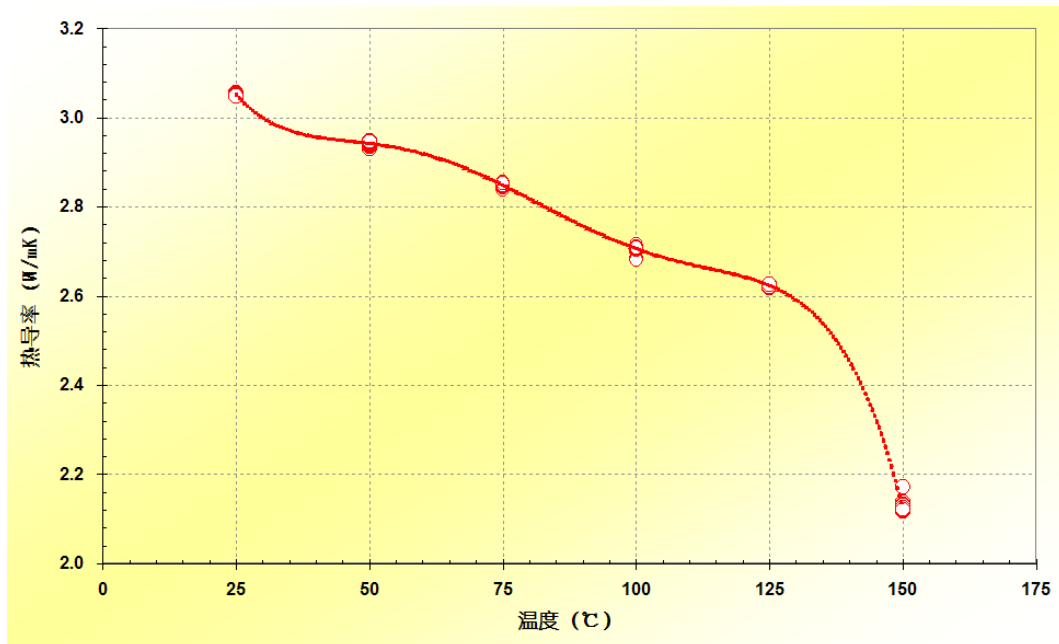


图 3-2 不同温度下导热脂的导热系数

#### 4. 结论

通过以上对导热脂在不同温度下的导热系数测量，可以发现导热脂的导热系数会随温度上升发生明显的改变，温度越高，导热系数越小。特别是在 125℃ 以上，导热脂导热系数会发生较大的改变。

对于其他型号的导热脂也进行了相应的测试，基本都是这种规律。

这种随温度上升导热系数降低的现象，对导热脂的实际应用有非常重要的意义，特别是目前大功率高温器件的广泛应用，在散热和冷却设计和工程应用中，一定要考虑使用温度对导热脂以及散热冷却效果的影响，高温下导热脂导热系数的下降，可能会使导热脂的使用等级下降很多。