

摘要

本文详细介绍了使用TA仪器氙灯导热仪DXF200测量高导热微米级薄膜样品的面内热扩散系数的相关理论和实验设计,对25微米的石墨薄膜进行了多次重复实验。通过对标准样品铜的热扩散系数验证,证明了系统的可靠性。对石墨薄膜进行8次脉冲测试,实验数据与理论模型拟合度高,重复性优异。

薄膜面内热扩散系数测量原理

近年来,使用闪光法测量微米级薄膜的面内热扩散系数成为材料热物性表征中的难点和热点。由于其样品尺寸的特殊性,与传统的材料相比,薄膜上下表面都有热损耗,因此常用的修正模型如Parker、Clark Taylor、Cape-Lehman、Cowan均不再适用,因此需要寻找新的模型来对温升信号进行修正和拟合。此外,边界条件的特殊性,也造成了薄膜测试的复杂性。

TA仪器的闪光法导热仪采用了最先进的薄膜测试夹具以及相应的修正模型,实现了对多种薄膜材料的面内热扩散系数测量。薄膜夹具的测试原理和结构如图1所示。非常短的闪光脉冲,均匀照射一个夹持有样品的夹具前表面,样品的外缘受热后,热量由外缘沿着薄膜向圆心传递。在夹具背面圆心处,有相应的探测器,用以测试薄膜样品中心处的温度升高信号。

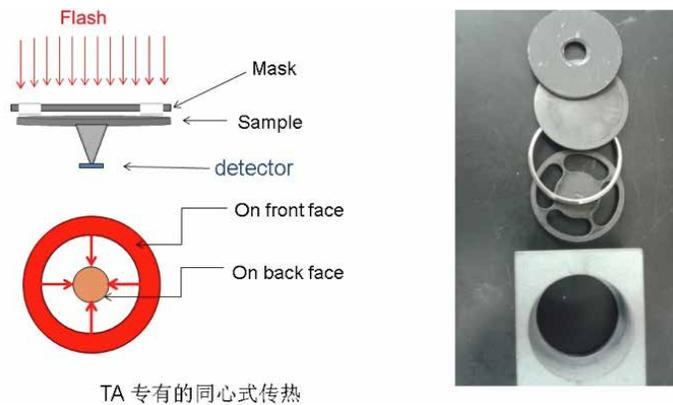


图1 薄膜夹具测试原理和结构

在薄膜面内热损耗的修正上,TA仪器的闪光法导热仪采用了Fin模型,其温升信号T(t)与横向方向的热扩散系数α的关系如下:

$$T(t) = \left[\frac{(R_1^2 - R_0^2)r_0^2}{4R^4} + \sum_{i=1}^{\infty} \Phi(\beta_i) \exp\left(-\beta_i^2 \frac{\alpha t}{R^2}\right) \right] \exp\left(-m^2 \frac{\alpha t}{R^2}\right),$$

$$\Phi(\beta_i) = \frac{r_0 J_1\left(\beta_i \frac{r_0}{R}\right) \left[R_1 J_1\left(\beta_i \frac{R_1}{R}\right) - R_0 J_1\left(\beta_i \frac{R_0}{R}\right) \right]}{R^2 \beta_i^2 J_0(\beta_i)^2}$$

其中:α是横向方向的热扩散系数,J₀和J₁是一类Bessel函数,β是方程J₁(β)=0的正数解,m是正比于热传递系数与导热系数比值。通过使用Fin模型,能很好的对实验数据进行修正。

石墨薄膜面内热扩散系数的测量

在厚度为0.0025cm的石墨薄膜样品上,进行了8次脉冲实验,得到的热扩散系数数据如下:

样品以及实验条件	热扩散系数实验数据 (cm ² s ⁻¹)
温度: 25 °C 厚度: 0.0025 cm	8.934905
	8.989135
	8.962159
	8.910634
	8.897129
	8.853366
	8.881133
	8.924013

石墨薄膜样品的原始温升曲线如图2所示,实验数据(红色)与Fin理论模型(绿色)拟合的非常好,由此证明了热扩散系数数据的真实有效。

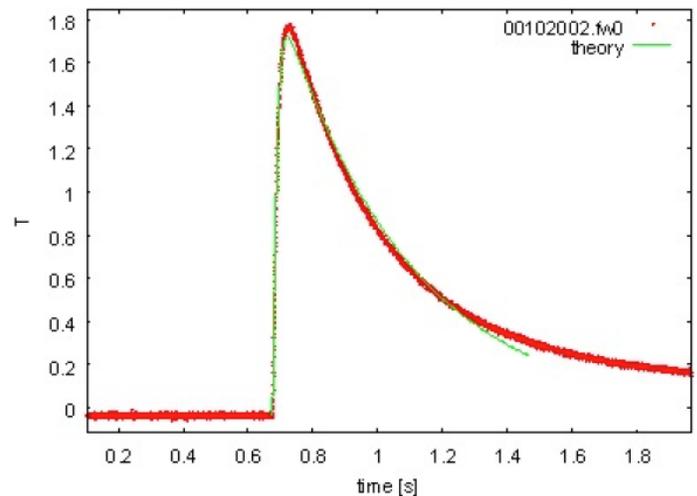


图2 石墨薄膜温升曲线

在已知样品密度的基础上,可以采用标准样品和比较法测得样品的比热,从而得到样品的导热系数。在比热的测量上,也可以使用差式扫描量热仪DSC,采用三步法测量样品的比热。TA仪器的调制DSC专利技术,以及Q2000和Discovery DSC所具有的TO技术,

可以实现对比热的直接测量。

由上所述，通过采用特殊的样品夹具以及模型，闪光法导热仪可以实现对微米级薄膜样品面内(横向)热扩散系数的精确测量。测量以及分析方法简单、直接，数据可靠度高。

Qian Ma, Sarah Guo, TA Instruments

TA Instruments - Waters LLC

上海市漕河泾开发区钦州北路1198号82号大厦16楼 200233

电话 021-34182000

传真 021-64951999

info@tainstruments.com

www.tainstruments.com.cn