

# 人造多晶金刚石的热导率

陈良辰

(中国科学院物理研究所)

目前,称为散热片的一些特殊类型金刚石在电子工业中开拓了新的应用领域,尤其是制作方便、易于成型的多晶金刚石散热片正在发展之中。本文就人造多晶金刚石的热导率作一初步探讨。

## 一、热导率及其测试

### 1. 热导率

材料散热性能的好坏由热导率来衡量,所以首先必须测量热导率。

从热传导方程知:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{c_p \rho} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right),$$

其中,  $T$  为点  $(x, y, z)$  处的温度,  $t$  为时间,  $c_p$  为定压比热,  $\rho$  为密度,  $\lambda$  为热导率。

热导率是温度的函数。一般认为,热导由电子传导和声子传导组成,即  $\lambda = \lambda_{eT} + \lambda_{pT}$ 。金属主要是电子传导,半导体大部分是声子传导,电介质主要是声子传导,所以金刚石主要是声子传导。在温度为 100K 以上时,热导率和温度的关系遵从声子碰撞过程规律;在 50—100K 时,热导率小于理论计算值,估计是晶体缺陷所致;在极低温度下,必须考虑声子的边界散射。

### 2. 热导率的测量

采用非稳态法,即用激光脉冲热导仪测量热导率。当一束脉冲激光作为热源射向一片状试样时,造成瞬时升温,使热量向背面扩散,在试样背面通过热电偶进行记录,测出温度-时间动态曲线,如图 1 所示。

设  $T_0$  为激光脉冲辐照前试样原始温度,  $T_1$  为辐照后试样背面达到的最高温度,则

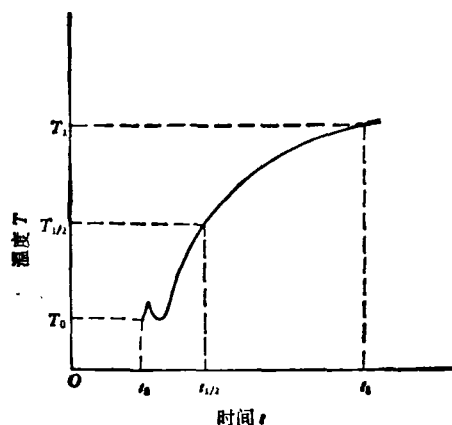


图 1 温度-时间动态曲线

$$T_{1/2} = \frac{1}{2} (T_1 - T_0) + T_0.$$

$t_0$  为激光脉冲辐照试样的起始时间,  $t_1$  为试样背面达到最高温度的时间,  $t_{1/2}$  为试样背面温度达到  $T_{1/2}$  的时间,则  $t = t_{1/2} - t_0$ 。

由下式计算热扩散系数(或导温系数)  $\alpha$ :

$$\alpha = 0.139 \frac{L^2}{t},$$

其中  $L$  为片状试样的厚度。

而热导率  $\lambda$  为

$$\lambda = \alpha c_p \rho.$$

## 二、测试结果

### 1. 导温系数 $\alpha$

人造多晶金刚石样品是以片状触媒扩散法烧结而成,密度为 3.969 克/厘米<sup>3</sup>,测试结果如表 1 所示。

可以看到,  $\alpha$  值随着温度的下降而单调上升,在现有的温度测试范围内没有出现极大值,如图 2 所示。

表 1

温度 (K)	导温系数(厘米 <sup>2</sup> /秒)
298(20°C)	1.37
273(0°C)	1.50
223(-50°C)	1.92
173(-100°C)	2.34
123(-150°C)	2.75
77(-196°C)	3.15

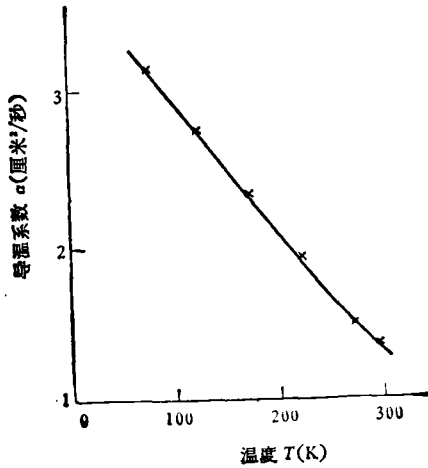


图 2 导温系数与温度关系曲线

## 2. 定压比热 $c_p$

由热力学关系得知:

$$c_p = c_v + 9A^2BVT,$$

其中  $A$  为线膨胀温度系数,  $V$  为体积,  $B$  为体积弹性模量。

而由定容比热的德拜公式得:

$$c_v = 9Nk \left(\frac{T}{\theta}\right)^3 \int_0^{\theta/T} \frac{e^x x^4}{(e^x - 1)^2} dx,$$

其中  $\theta$  为德拜温度,  $N$  为阿伏伽德罗常数,  $k$  为玻耳兹曼常数。

假设德拜温度和温度无关, 且  $\theta = 1835\text{K}^{1)}$ , 代入公式进行近似计算, 和实验值<sup>[6]</sup> 比较, 结果符合较好, 见表 2 和图 3(a)。

可以看到,  $c_p$  随温度下降而迅速下降。

我们用差示扫描量热法, 在室温至  $-150^\circ\text{C}$  温度范围, 测定了多晶金刚石的比热, 比热和温度关系曲线如图 3(b) 所示, 其变化趋势是类似

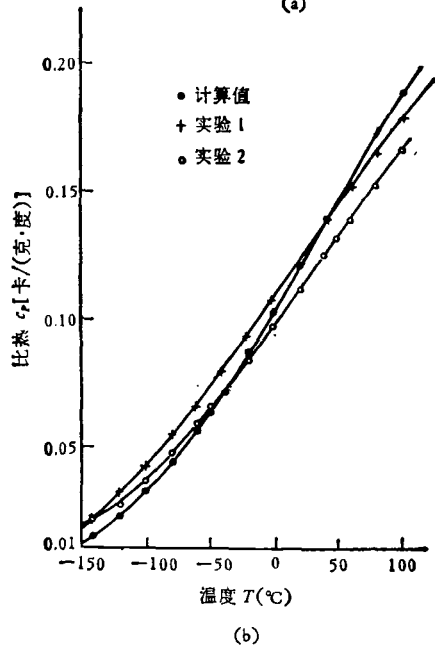
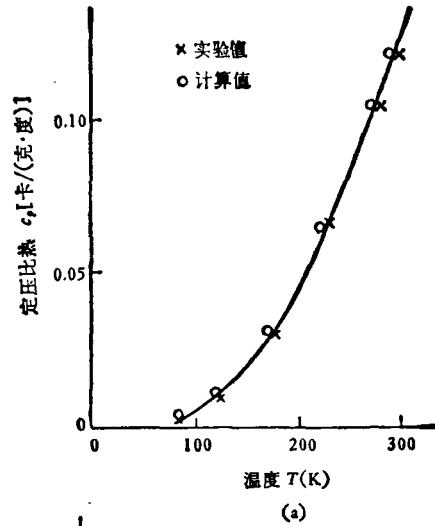


图 3 定压比热与温度关系曲线

(a) 计算值和实验值比较;  
(b) 多晶金刚石样品的比热

的。

## 3. 热导率 $\lambda$

虽然导温系数随温度下降而上升, 但由于比热快速下降, 结果热导率随温度的下降而单调下降, 未出现极大值, 见图 4。

1) 我们根据室温的定压比热标准数据, 反推出室温的德拜温度是  $1835\text{K}$ 。

表 2

温度 (K)	$c_p$ 实验值 [卡/(克·度)]	温度 (K)	$c_p$ 计算值 [卡/(克·度)]
298.15	0.122	293	0.121
274.13	0.103	273	0.104
225.60	0.065	223	0.064
173.32	0.031	173	0.032
123.70	0.010	123	0.012
82.41	0.0025	83	0.0036

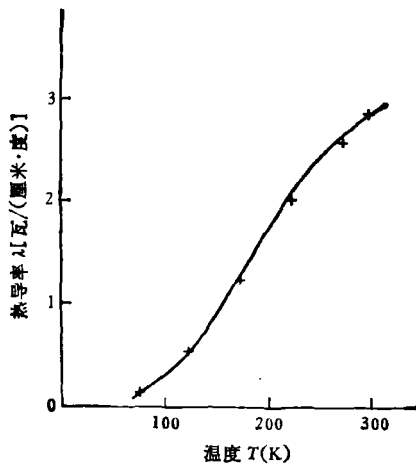


图 4 热导率与温度的关系曲线

由于所用人造多晶金刚石有金属粘结剂, 我们进行化学处理, 以除去部分掺杂金属, 结果

表 3

样品号	化学处理前的导温系数 (厘米 <sup>2</sup> /秒)	化学处理后的导温系数 (厘米 <sup>2</sup> /秒)
No:1	1.18	0.24
No:2	1.24	0.30

热导率下降, 如表 3 所示。

### 三、讨论和结语

1. 在现有测试温度区间内, 热导率未出现极大值, 且随温度的下降而迅速下降, 这主要是由定压比热和温度的关系决定的。尽管导温系数随温度下降而上升, 但因定压比热的快速下降, 结果热导率单调下降。定压比热和温度的关系可用德拜公式进行近似计算, 结果比较满意。对于多晶样品来说, 还需考虑金属掺杂的修正, 我们用差示扫描量热法进行测量。

2. 多晶样品中, 掺杂金属对导温系数有一定贡献。样品经化学处理, 除去部分晶界上的金属元素, 导温系数明显下降。

程月英、王文君同志协助本实验工作, 导温系数的测试得到北京材料工艺研究所李铁真同志和北京钢铁研究院尤清照同志的协助, 比热的测试得到清华大学李余增、董淑珍同志的协助, 比热计算得到我所计算机组的热情帮助, 在此一并致谢。

### 参 考 文 献

- [1] 王文君, 陈良辰, 物理, 6(1977), 301.
- [2] R. Berman, Physical Properties of Diamond, (1965), 295.
- [3] G. A. Slack, J. Phys. Chem. Solids, 34(1973), 321.
- [4] H. T. Hall, Proceedings of the 4th International Conference on High Pressure, (1974), 404.
- [5] E. A. Burgemeister, J. Mater. Sci., 16(1981), 1730.
- [6] Y. S. Touloukian and E. H. Buyco, Thermophysical Properties of Matter, Vol. 5, IFI/Plenum Press, New York, (1970), 4-8.