

金 刚 石 散 热 片

王 文 君 陈 良 辰

(中国科学院物理研究所)

引 言

天然金刚石和人造金刚石具有很多优异的物理性能。它们的硬度高,抗压强度大,耐磨性好,已在机械加工、地质、冶金和石油的钻探开发中得到广泛应用。近年来,更发现一些特殊类型的金刚石,具有优异的导电性能和半导体性能,目前已在电子工业中开拓了新的应用领域。这里就金刚石散热片作一专门介绍,它们作为固体微波器件和半导体激光器的散热片,已得到有关部门的特别重视。

一、金刚石的分类和 II_A 型金刚石

目前根据金刚石的光、电及其它性质,把金刚石划分为 I 型和 II 型两大类,这两类又各分为 A 和 B 两亚类^[1]。I、II 型主要是根据金刚石的紫外和红外吸收光谱的不同来区分的:凡是能让紫外光谱波长大于 3065 埃的紫外光透过的同时又能够吸收红外光谱波长在 7—10 微米的红外光的金刚石,归为第 I 类型;凡是能让紫外光谱波长大于 2250 埃的紫外光透过的,同时又能让红外光谱波长在 7—10 微米的红外光透过的金刚石归于第 II 类型,如图 1 所示^[1]。第 I 类型的 A、B 两类即 I_A 和 I_B 两类主要是根据电子顺磁共振吸收的不同来区分: I_A 型无共振吸收, I_B 型有共振吸收。II_A 和 II_B 两类主要是根据电学性质的不同来区分: II_A 型为绝缘体, II_B 型为半导体。此外,两大类在双折射、

光电导、x 光线谱方面均有显著不同,就不一一列举了。

两大类金刚石性质不同的原因,是由于金刚石中杂质(如氮等)含量及存在形式的不同。I_A 型含氮约为 10²⁰ 个原子/厘米³,以片状形式存在, I_B 型含氮约为 10¹⁷—10²⁰ 个原子/厘米³,以分散形式存在。II_A 型含氮小于 10¹⁷ 个原子/厘米³, II_B 型含氮小于 10¹⁷ 个原子/厘米³,同时含硼小于 10¹⁷ 个原子/厘米³,呈蓝色。大约 98% 的天然金刚石属于 I_A 型,大部分人造金刚石都是 I_B 型, II_A, II_B 属于特殊类型的金刚石。II_A 具有特殊的导热性能,这就是本文要介绍的作散热片用的金刚石, II_B 具有半导体性能,是优良的高温半导体材料。

二、II_A 型金刚石的应用

作散热片用的金刚石主要是 II_A 型单晶金刚石和热导性能合于要求的多晶金刚石。II_A 型金刚石的热导率,在液态空气温度下,比铜高 25 倍,在室温下,比铜高 5 倍,在 200℃ 时,比铜高 3 倍。固体微波器件,如雪崩二极管、甘氏二极管^[2-6],以前是用铜作散热片,改用 II_A 型金刚石后,大大改善了散热性能,从而提高了微波输出功率。用金刚石作散热片的甘氏二极管的装配结构如图 2 所示。砷化镓半导体激光器用铜作散热片时^[4-6],需要用液氮冷却到 -132℃,才能正常工作,而改用 II_A 型金刚石作散热片后,只要冷却到 -68℃,就能正常工作。迅速发展的室温半导体激光器,更需要金刚石散热片来散热。它们的装配结构,如

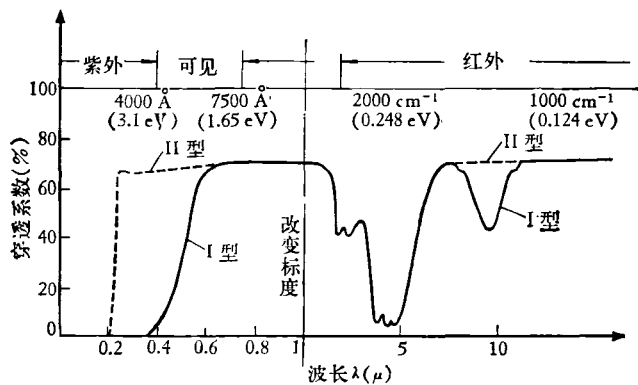


图 1 金刚石的吸收光谱

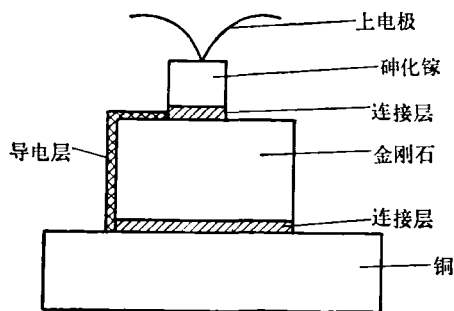


图 2 装置金刚石散热片的甘氏二极管

图3. 其它半导体器件, 如大功率晶体管、集成电路、可变电抗二极管、开关器件等, 都需要散热性能优良的金刚石散热片. 有关器件工艺和装配结构正在得到进一步研究和改进^[3,6].

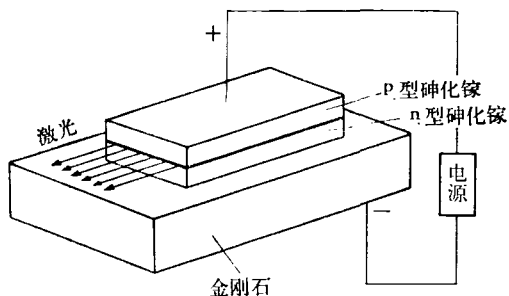


图3 砷化镓激光器

三、金刚石的热导率

1. 热导率的定义

材料散热性能的好坏是由物质的热导率来衡量的, 所以首先必须知道金刚石的热导率是多少. 如图4所示, 设某一材料长为 l , 横截面积为 S , 左端温度为 T_1 , 右端为 T_2 , 热量从左向右传导, 热量为 Q , t 为传导时间, k 为热导率, 则有

$$Q = k \cdot S \cdot \frac{T_1 - T_2}{l} \cdot t.$$

上式的微分形式是

$$dQ = -k \cdot \frac{dT}{dl} \cdot S \cdot dt,$$

由此可得

$$k = -\frac{dQ}{dt} \cdot \frac{dl}{dT} \cdot \frac{1}{S}.$$

热导率 k 的单位为卡/厘米·度·秒, 或瓦/厘米·度.

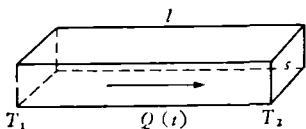


图4 一维热传导

一些金属在0℃时的热导率如下: 银, 4.15; 铜, 3.93; 金, 3.12; 铝, 2.26 (瓦/厘米·度).

近年来, 伯曼 (Berman)^[11] 和斯莱克 (Slack)^[12] 等人测量了天然和人造金刚石的热导率 (如图5), 并作了比较. 其中, 天然金刚石热导率, 室温下, I型约为9 (瓦/厘米·度), II_A型约为24 (瓦/厘米·度); 70℃时, I型约为24 (瓦/厘米·度), II_A型约为120 (瓦/厘米·度). 由图可见, 特制的人造单晶金刚石热导率, 已超过天然II_A型, 所以, 可以大大超过铜 (室温下, 铜

的热导率约为4瓦/厘米·度).

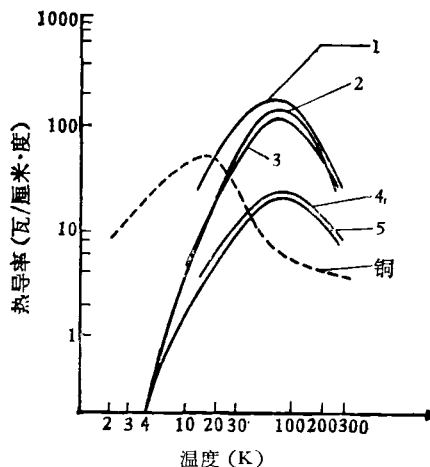


图5 金刚石的热导率和温度关系

1——人造金刚石 (含氮小于 10^{16} 个原子/厘米³); 2——人造金刚石 (含氮 $\sim 10^{19}$ 个原子/厘米³); 3——天然II_A型金刚石; 4——天然I_A型金刚石 (含氮 $\sim 1.7 \times 10^{20}$ 个原子/厘米³); 5——天然I_A型金刚石 (含氮 $\sim 3.5 \times 10^{20}$ 个原子/厘米³)

此外, 目前已开始制作人造多晶金刚石的散热片. 据霍尔 (Hall)^[13] 报导, 人造多晶金刚石的热导率已达到6—9 (瓦/厘米·度), 是铜的1.5—2倍.

2. 热导率的宏观规律和理论解释

由实验可知, 热导率是温度的函数. 金刚石热导率和温度的关系曲线如图5所示. 理论上解释热导率的变化, 目前仍不十分完善. 材料不同, 热导的机制也不相同, 例如金属、半导体和电介质, 它们就有着不同的热导机制. 一般认为, 热导由电子传导和声子传导组成, 即: $K = K_{\text{电子}} + K_{\text{声子}}$. 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. 伯曼等测量了2°K到室温的金刚石热导率. 他认为在100°K以上, 热导率和温度的关系是遵从声子碰撞过程规律; 极低温度下, 必须假定声子的边界散射, 例如3°K时, 边界散射占40%; 50°K—100°K时, 热导小于理论计算值, 估计是晶体的缺陷所致.

四、金刚石热导率的测试

目前, 测量物质的热导率有稳态和非稳态两种方法. 稳态法: 试样达到热稳定, 虽然各部分具有不同温度, 但在给定的部分, 温度不随时间而变, 热流速率为恒值, 即 $\frac{dQ}{dt} = q$ (常量). 非稳态法: 试样某一部分的温度作突然的或周期性的变化, 而在试样另一部分测量温度随时间的变化. 稳态法中又可分为直

接测量热流速率的绝对法和间接测量热流速率的比较法。非稳态法是近年来迅速发展的方法,如用激光脉冲热导仪测量,能做到快速测量,但精确测量热导率,多数还是采用稳态法。

在测量热导率时,必须考虑热导率的数量级,考虑测量的温度范围,材料的形状、大小和制作以及材料的电导率等,以便选择合适的测量方法。

由于II_A型金刚石样品小,热导率高,并且是绝缘体,所以,给热导率的测量带来一定困难。随着测量技

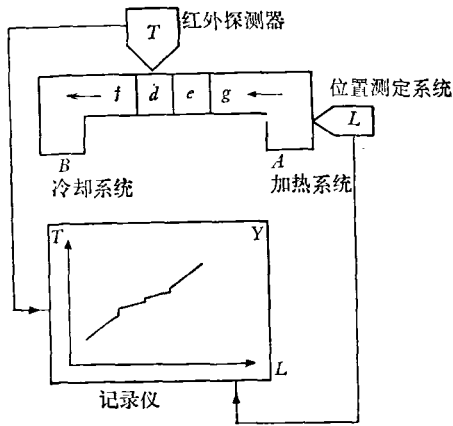


图6 热导率的测定

术的进展,人们正在寻求更加精确的测量方法和提高测量的自动化程度。以下介绍一种稳态比较法测量技术^[9,10]。其具体实验方法如图6所示。其中,*d*和*e*为金刚石样品,*f*和*g*为已知热导率的比较样品(例如金,并设金的热导率*k_g*为已知),*T*为红外温度探测器,*L*为位置测定系统,*A*为加热系统,*B*为冷却系统,*Y*为记录仪。则由热导率定义可知:一维热传导的热流速率

$$\frac{dQ}{dt} = q = -kS \frac{dT}{dl}$$

若不考虑热损失,则有 $q_1 = q_d = q_e = q_g$ 。由此可得

$$k_d = k_g \frac{S_g \left(\frac{dT}{dl} \right)_g}{S_d \left(\frac{dT}{dl} \right)_d}$$

金的热导率 k_g 为已知,金刚石和金的样品横截面制作成相同,即 $S_g = S_d$, 因此,只要从实验中求得 $\left(\frac{dT}{dl} \right)_g$ 和 $\left(\frac{dT}{dl} \right)_d$, 就可得到金刚石的热导率 k_d 。

结 束 语

金刚石散热片在电子工业中的应用有着广阔的前途。天然II_A型金刚石是经过仔细挑选得到的。挑选方法如前所述,即用紫外谱线(例如2540 Å)和红外谱线(例如7—8 μ),照射金刚石,凡是能让两类谱线的光都透过的金刚石即为II_A型。人造II_A型单晶金刚石的研制工作也已开始,且热导率超过了天然II_A型金刚石。此外,人造多晶金刚石散热片也在发展之中,虽然,比起单晶金刚石来,它的热导率较低,但由于制作方便,而且易于直接成型,所以作为散热片,也有一定价值和发展前途。

参 考 文 献

- [1] Berman, R., *Physical Properties of Diamond*, (1965), 295.
- [2] Strong, H. M., *J. Phys. Chem.*, **75** (1971), 1838.
- [3] Swan, C. B., *Proc. I.E.E.E.*, **55** (1967), 451, 1617.
- [4] Seal, M., *Diamond Research*, (1970), 5.
- [5] Seal, M., *I.D.R.*, (1971), 464.
- [6] Raal, F. A., *I.D.R.*, (1972), 192.
- [7] Slack, G. A., *J. Phys. Chem. Solid*, **34** (1973), 321.
- [8] Hall, H. T., *Proceedings of the 4-th International Conference on High Pressure*, (1974), 404.
- [9] Schorr, A. J., *Proceedings: International Industrial Diamond Conference*, (1969), 185.
- [10] Burgemeister, E. A., *I.D.R.*, (1975), 242.

(上接第259页)

帮”在辽宁的那个死党南北呼应,暗地里组织一帮“懂得科学,不怕丢脸”的人研究制造永动机,则是妄图从实践上向能量守恒和转化定律挑战。然而,自然规律是无情的,和它“对着干”,只能被碰得头破血流。

能量守恒和转化定律作为一条自然界的客观规律,何以引起“四人帮”如此仇恨,大动干戈呢?只要联系他们妄图篡党夺权的野心,就不难看出他们是“醉翁之意不在酒”。“四人帮”为了在中国复辟地主资产阶级的反动统治,就不能不在一切领域,利用一切机会和舆论工具恶毒攻击无产阶级革命导师马克思、恩格斯、列宁和毛主席,并处处同毛主席的革命路线“对着干”。

在科技界,他们为了反对毛主席、周总理和华主席关于加强自然科学基础理论研究的一系列指示,就竭力鼓吹自然科学基础理论无用论,妄图用他们那套唯心主义和形而上学的“四人帮”哲学来代替具体的自然科学的研究。拿恩格斯反复肯定的能量守恒和转化定律这一自然科学的基础理论和基本规律开刀,只是他们选择的一个突破口。今天,我们在深揭狠批“四人帮”推行反革命的修正主义极右路线的时候,必须彻底肃清他们在自然科学阵地上散布的各种流毒。我们要高举马列主义、毛泽东思想的伟大旗帜,用辩证唯物主义自然观指导自然科学研究,努力发展我国的科学技术事业,为早日实现四个现代化的宏伟蓝图,做出应有的贡献。