

理。这样做既可保证修复后的球罐可安全使用,又大大减少了修复工作量,加快了修复速度。

在上述分析和计算的基础上,制订合理的修复焊接方案,并监督其严格执行。实践证明,按上述修复焊接方案施工,基本上都是一次成功。

六、结 束 语

经我们按上述方法检查和修复的 30 余台球罐已先后陆续重新投入使用,至今有的球罐已投产一年多了,未发现有异常情况。这样,既保证了当前生产和人民生活的急需,又为国家节约了大量投资,表明此方法是行之有效的。

参加球罐修复技术服务的还包括其它专业的许多同志,在完成上述工作中得到他们的支持和帮助,在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] O. C. Wells, *Scanning Electron Microscopy*, McGraw-Hill Book Company, (1974), 108.
- [2] R. Woldeth, *X-Ray Energy Spectrometry*, Kevex Corporation, Burlingame, California, (1973) 4.1.
- [3] H. J. Schüller et al., *国外焊接*, 4(1981), 7-15.
- [4] Motd et al., *Welding Journal*, 61-7 (1982), 222
- [5] 向井喜彦, *溶接学会志*, 3(1979), 9-12.
- [6] 荆树峰等译, *国外压力容器缺陷评定标准*, 劳动出版社, (1982).
- [7] 中华人民共和国石油工业部等, *钢制石油化工压力容器设计规定*, (1982) 化学工业出版社, 1983.
- [8] 同[6], p. 89.
- [9] 同[6], p. 119.

II 型金刚石在电子工业中的应用

庄 恩 有

(中国科学院半导体研究所)

金刚石按其光学性质可分为 I 型和 II 型两类。它们的差别主要是由于金刚石中所含杂质的种类和数量的不同而造成的。I 型金刚石含有较多的杂质, II 型金刚石是比较纯的,也有人把性质介于两类之间的金刚石称为过渡型或 III 型金刚石。天然金刚石绝大多数是 I 型金刚石, II 型金刚石所占比例很小。I 型金刚石主要用作磨料、刀具、拉丝模、压砧等。主要是利用金刚石的高强度、耐磨、耐高温等特性。常常把 I 型金刚石叫做普通金刚石,而把稀有的 II 型金刚石叫特种金刚石。目前,金刚石在冶金、煤炭、石油、机械和地质部门已得到广泛的应用。本文主要是介绍 II 型金刚石的特殊应用。II 型金刚石在光学仪器、电子工业和空间技术等各个领域起到了其他材料所起不到的特殊作用。

根据电学性质的不同, II 型金刚石又可分为 IIa 和 IIb 两个亚型。IIa 型金刚石纯度高,是绝缘体,又是良好的光学材料和导热材料。IIb 型金刚石是特殊的半导体材料。根据这些特性, II 型金刚石在以下五个方面得到研究和应用:

- (1) 特殊部门和空间技术的光学窗口材料;
- (2) 固体功率器件的热导材料;
- (3) 制作大功率半导体器件;
- (4) 灵敏温度计;
- (5) 计数器和辐射探测器。

II 型金刚石的性质和应用是当前科学技术部门正在开展的研究课题。随着研究工作的不断深入和发展,还会有更美好的应用前景展现在人们面前。现将有关的研究和应用情况介绍

如下:

一、理想的窗口材料

良好的金刚石晶体的光学透明度是相当高的。II型金刚石的本征光学吸收边在220毫微米左右,除了波长在2.5—6微米的晶格吸收外,直到60微米波长基本上都是透明的。因此,在光学仪器、高压设备和空间技术中用金刚石做红外光的窗口材料是相当理想的。IIa型金刚石的光透过率与波长之间的关系如图1所示。

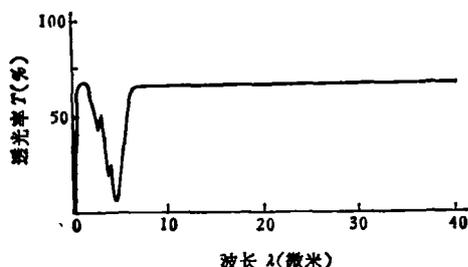


图1 IIa型金刚石光透过率与波长之间的关系

从图1可以明显看出,IIa型金刚石在很宽的红外光波长范围内的透过率是很均匀的,这给使用提供了方便的条件。此外,金刚石机械强度高,高温热稳定性好,金刚石窗口可以在极端恶劣的环境中保持性能不变,这也是金刚石独特的优点。在空间技术中,常常使用大功率红外激光器(如波长为10.6微米的CO₂激光器)进行导航、定向、测距等。不论是接收激光,还是发射激光,理想的窗口材料都是IIa型金刚石。在1974年美国发射的人造卫星雨云五号和前驱者系列卫星都采用了金刚石光学材料^[3],并取得明显的效果。

在高压和超高压设备中,压腔内的压力高达千巴、兆巴数量级。金刚石也是优良的压砧材料。在压腔内进行各种实验和高压合成,有时需要用激光器对样品进行加热,并对压腔内的压力进行测量和控制。作为压砧的金刚石同时也是高压设备的窗口材料^[4]。此外,金刚石在高温高压下化学稳定性好,观察高温物体的

光学仪器也用金刚石做窗口,例如对熔融状态盐的观察就是通过金刚石窗口进行的。

二、固体功率器件的导热材料

固体功率器件具有体积小、重量轻、耗电量省等突出优点。在电子工业和空间技术中,固体器件的重要性越来越显著。然而与电真空器件相比,固体功率器件的转换效率是比较低的。因此,相当一部分电能变成了热而使器件本身的温度升高,达到一定的温度,器件便不能正常工作了。固体器件体积小,散热就更加困难,这就限制了固体功率器件的应用。图2说明几种固体的热导率与温度的关系。由图2可以看出,在液氮温度下,金刚石的热导率是铜的25倍,在常温下是铜的5倍,在200℃时是铜的3倍。计算表明金刚石的热流密度可达10⁵瓦/厘米²。在散热面积相同时,金刚石散热器要比铜散热器的功率容量大得多。采用金刚石散热器的固体功率器件的输出功率可以成倍地增加。例如,四毫米波段的硅雪崩二极管,用铜做散热器时室温输出功率只有376毫瓦,而采用金刚石做散热器时室温输出为726毫瓦,在液氮温度下可达1014毫瓦^[5]。器件的转换效率也有相应的提高。

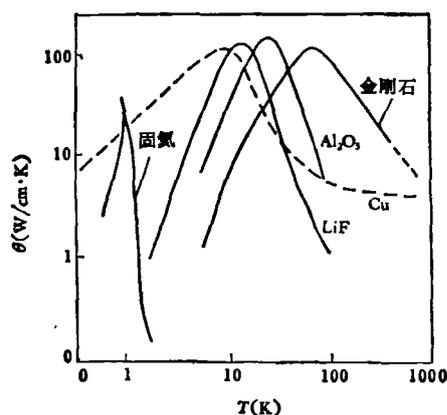


图2 几种固体的热导率与温度的关系

IIa型金刚石可以用于大功率晶体管、集成电路、可变电抗元件、固体功率开关和整流器件的散热装置之中。根据空间技术的要求,某

种固体器件脉冲输出功率必须在 300 瓦水平之上,可是目前工艺技术只能做到 200 瓦,致使空间技术中不得不用体积大、耗电多、电源设备复杂的电真空器件。可以预计,采用金刚石散热器能使固体器件的功率提高 2—10 倍^[6],从而使这种器件达到空间技术要求的指标,并得到实际的应用。此外,固体器件的应用,可使整机系统的耗电量大为降低。例如,在整机的性能相同时,应用电真空器件耗电量为 200 瓦,而采用固体器件时,整机耗电仅有 50 瓦。因此,应用固体器件可使设备的成本大大下降。同样,应用金刚石散热器的固体激光器,在工作温度和输出功率等方面也有明显的改善。由图 3 可以看出,砷化镓同质结激光器应用金刚石散热与铜散热相比,工作温度和阈值电流都有明显的改进^[7]。

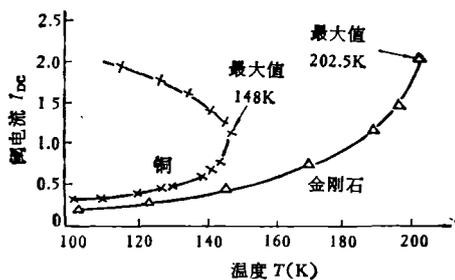


图 3 砷化镓激光器的阈值电流和温度的关系
× 采用铜散热; △ 采用金刚石散热

三、制作大功率半导体器件

IIb 型金刚石是半导体材料,可用它制作半导体器件。金刚石半导体器件和锗、硅器件相比有它的优点。由表 1 可以看出,金刚石的禁带宽度大,它的器件工作温度范围宽,尤其适合大功率器件在高温下工作。金刚石的电子和空穴的迁移率与硅相差不大,其导热性能却比硅好得多,从物理性能分析,金刚石半导体器件是有优点的。

可以预料,金刚石半导体整流器能在 30 万伏电压下工作,其电流密度可达 10^{20} 安培/厘米²。若能应用半导体金刚石制作固体器件,就

表 1 锗、硅、金刚石的特性

材 料	Ge	Si	金刚石
禁带宽度(电子伏特)	0.78	1.21	5.4
器件工作温度(°C)	-15—75	-15—125	-155—600

会使固体器件在应用领域中向高温大功率方向迈进一大步。这正是固体器件目前急待解决的问题。有的半导体材料专家建议,在天然 IIa 型金刚石导热衬底上人工生长一层 IIb 型半导体金刚石,既利用了金刚石独有的导热特性,又利用了金刚石大功率的优点,充分发挥了金刚石在半导体器件应用的潜力。苏联学者在 1976 年^[8]已经在高温高压下成功地生长了可控掺杂的半导体金刚石层,并制作了 p-n 结。随后,一些研究工作者又制作了 p-i-n 结、肖特基结等半导体器件的基本单元,逐步地解决了半导体金刚石的欧姆接触工艺、离子注入工艺和材料、器件基本参数的测量技术。半导体金刚石器件正在稳步地向前发展。

四、灵敏温度计

普通温度计是利用材料的热胀冷缩原理制作的,其测量精度约为 0.1°C。更精确的测温元件是温差电偶,它比普通温度计测温范围宽,测量精度也高。还有一种测温元件叫测温电阻,如铂电阻,它的精度可达 0.01°C。选择适当的金刚石做成的温度计,是目前所有测温元件中灵敏度最高的,其精度可达万分之二度。其测温范围与环境条件有关:在氧化气氛中是 -168—450°C;在非氧化气氛中是 -198—650°C。另外,金刚石导热性能好,能很快地反映出环境温度的变化,做到快速、灵敏、准确地控制和测量温度。

利用金刚石辐射损伤的退火效应(即不同温度、时间的退火会引起不同程度的损伤恢复),就能根据损伤恢复的程度,间接地测定环境的温度。例如,把辐射过的金刚石放在钻头上、气缸里或者涡轮机的叶片上等特殊环境中,经过一段时间,测定金刚石的退火情况,就可以

知道特殊环境的温度。这是其他测温元件所不容易做到的。

五、计数器和辐射探测器

计数器在核物理、原子能工业和自动化设备中得到了广泛的应用。金刚石可以做成两种计数器：闪烁计数器和导电计数器。目前，大多数闪烁计数器的闪烁体都是用卤化物、硫化物和有机物制作的。对闪烁体的要求基本上可以分为两点：一是在射线作用下闪烁体发光强度要高；二是闪烁体本身应是透明的，以便提高检测效率。金刚石可以作为闪烁体，但不同质量的金刚石发光强度和透明度相差很大，只有精选优质的金刚石才能显现出它在闪烁计数器中的优点。

导电计数器可以用气体材料制作，也可以用固体材料制作。早期的导电计数器都是用气体材料制作的。固体导电计数器有许多优点，但还不能完全取代气体导电计数器，特别是对重离子的计数，仍然需要应用气体导电计数器。金刚石导电计数器与气体导电计数器相比具有一定的优点。气体导电的临界能量为 33 电子伏特，而金刚石只有 6 电子伏特。在相同电场和射线剂量条件下，金刚石产生导电粒子的数目是气体的 6 倍，要激发出相同的导电电流，气体的体积是金刚石体积的二万倍。金刚石导电计数器的非线性转变点是气体的三千倍，可见金刚石导电计数器有其突出的优点，但目前仍处于研究阶段。

计数器用于已知辐射的计量，探测器用于未知辐射的探测。金刚石辐射探测器可以用于探矿、检查大气的放射性污染、指示放射性物质的存在和剂量。金刚石探测器与锗、硅探测器相比，具有阻抗特性好、信噪比高、响应时间短等优点。应用不同的探测器检测射线中 β 射线和 γ 射线的效率比值是不相同的。用盖革管探

测 $^{14}\text{C} + ^{60}\text{Co}$ 源，最大效率比为 15；用热发光 (TLD) 探测器检测 $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y} + ^{60}\text{Co}$ 源，最大效率比为 40；用有机闪烁体探测 $^{90}\text{Sr} + ^{60}\text{Co}$ 源，最大效率比为 150；用金刚石探测器探测 $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ 源，最大效率比为 230^[9]。可见金刚石探测器可以应用于 β 射线的检测。

探测器在放射性医疗上也有广泛的应用。医学上常用放射射线来杀死癌细胞。在治疗中为了有效地杀死癌细胞，保存正常组织，精确地控制射线剂量是相当重要的。同时，还应该知道各种组织细胞在射线作用下的生理变化，而这种生理变化与其平均有效原子序数的大小密切相关。换言之，就是探测器材料的原子序数应尽量接近被射线辐照的物质的原子序数，这样才能精确控制剂量。由表 2 可以看出生物组织和探测器材料原子序数的大小。LiF 的原子序数更接近于生物组织，但 LiF 探测器对 γ 射线的灵敏度比金刚石低得多^[10]。因此，金刚石探测器在医疗上的应用是很有前途的。实验已经表明金刚石探测器在热稳定性和可靠性方面已经达到了放射性治疗中的使用要求^[11]。

表 2 各种物质的有效原子序数

探测器材料	LiF	Ge	Si	金刚石
原子序数	8.4	32	14	6
生物组织	肌肉	脂肪	骨头	
有效原子序数	7.64	7.42	13.8	

总之，II 型金刚石的应用领域大到宇宙空间，小到生物细胞和原子核的辐射计量。在应用研究和实际应用中，II 型金刚石的作用和价值会越来越被人们所认识。金刚石的开采、生产和使用的数量是一个国家工业发展水平的重要标志之一。目前，我国已经发现了天然 II 型金刚石，这就为其研究和应用创造了良好的条件。随着科学技术的发展，金刚石必然在国民经济建设中发挥出应有的作用。

(下转第 756 页)