

BZ 系列半 导 体 制 冷 器*

天津市继红五金机电厂生产组

1934年法国钟表技师珀尔帖(Peltier)发现,当直流电通过互相连接的两个不同导体时,在接头处除了焦耳热外还要吸收(或放出)热量。这种现象被称为珀尔帖效应。

由于金属的珀尔帖效应是很微弱的,所以当时及以后很长时间内并没有引起人们的重视。随着半导体技术的研究应用,人们发现对某些半导体材料来说,这种现象尤为显著,有了实际应用的价值。自五十年代出现第一个半导体制冷器件以来,它得到世界各国的广泛注意与应用。BZ系列半导体制冷器就是利用珀尔帖效应来制冷的半导体器件。

一、原 理

以碲化铋(Bi_2Te_3)为基的固溶体合金是目前性能较好的半导体制冷材料,在其中掺以几种不同的“杂质”,可以获得p型和n型元件。

把n型和p型元件构成一个电偶对,当电流由n型流至p型时,在其接合处(上端)吸热 Q_p ,下端放热 Q_n 。

$$Q_p = \pi I.$$

式中 π 为珀尔帖系数,

$$\pi = \alpha T_c \quad (\alpha \text{ 为温差电动势率}).$$

考虑到热传导及焦耳热,则上端实际吸热为

$$Q_0 = \alpha T_c - \mathcal{K}(T_h - T_c) - \frac{1}{2} I^2 R.$$

式中 K 为电偶的热导, T_h 、 T_c 分别为热端、冷端的温

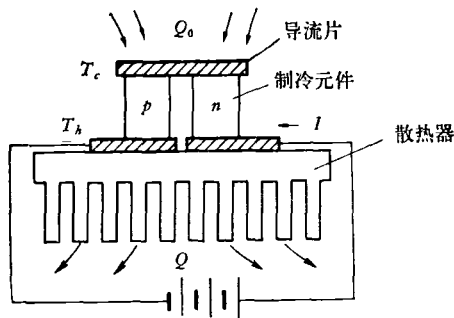


图1 半导体制冷原理图

度(按绝对温度计算),由电源施加能量为

$$W = \alpha(T_h - T_c)I + I^2 R.$$

故制冷器的效率

$$\eta = \frac{Q_0}{W} = \frac{\alpha T_c - \mathcal{K}(T_h - T_c) - \frac{1}{2} I^2 R}{\alpha(T_h - T_c)I + I^2 R}.$$

效率 η 与电流 I 有关,由 $\frac{\partial \eta}{\partial I} = 0$ 可以求出最大效率

$$\eta_{\max} = \frac{T_c}{T_h - T_c} \cdot \frac{\sqrt{1 + ZT_M} - \frac{T_M}{T_c}}{\sqrt{1 + ZT_M} + 1}.$$

其中 $T_M = \frac{T_h + T_c}{2}$. 在吸热端绝热情况下(即 $Q_0 =$

0),电偶两端的温差可达最大值

$$\Delta T_{\max} = \frac{1}{2} Z T_c^2.$$

为了使制冷器获得最大温差,通过电偶的电流有个最佳值

$$I_0 = 50 \frac{S}{l}.$$

式中 S 为元件截面积, l 为元件长度(单位cm),系数50是代入现有材料的参数而得出的。

在上面两式中 $Z = \alpha^2 \sigma / \mathcal{K}$,式中 σ 为电偶的电导率, \mathcal{K} 为热导率。可以看出 Z 值只依赖于元件的物理性质,并直接影响致冷效率及最大温差。因此 Z 可当作判别元件优劣的标准,称为优值系数。显然 Z 越大越有利。制冷效率与温差大小很有关系,当 T_c 接近或超过 T_h 时, η 可以大于1。

如果在放热端放上散热器,维持其温度 T_h 恒定,则吸热端温度 T_c 就下降到较低温度,实现致冷目的。而当直流电方向相反时,吸热端就变成放热端,而放热端变成吸热端,制冷器就变为加热器了。

半导体中的珀尔帖效应可以这样来解释:当外加电场使得p型半导体中的空穴和n型半导体中的电子

* 1973年12月15日收到。

都朝向接头处运动时, 这些电子和空穴将在接头附近复合, 这些电子、空穴对在复合前的动能和势能将转变成晶格的热振动能, 该接头就将释放出一定量的热量。相反地, 当外加电场使得 p 型半导体中的空穴和 n 型半导体中的电子都背离接头运动时, 为了补充电子和空穴, 在该接头附近将激发出大量的电子空穴对, 这些电子、空穴对的势能和动能取自于晶格的热振动能, 因此就观察到该接头有吸热现象。放热与吸热的数量级等于半导体的禁带宽度, 根据这种理论得到的计算结果与实验情况是很接近的。由于利用电能做功直接实现了热量的转移, 所以半导体制冷也称为电子冷冻。

二、器件结构

一般采用真空熔炼区熔拉晶的办法制取向晶体的制冷元件, 也有采用粉末冶金法的, 但后者老化现象较严重, 而区熔拉晶法制备元件, 老化现象几乎是不存在的。

一对电偶的产冷量是很小的, 一般大约几百毫瓦到 2 瓦。所以实际使用时常常把若干对电偶串联或并联起来, 组成制冷电堆, 这样可以获得几瓦到数千瓦的产冷量。有时为了增大冷热端温差, 达到更低的温度, 还可做成二级或三级电堆 (见图 2), 用一级冷端冷却

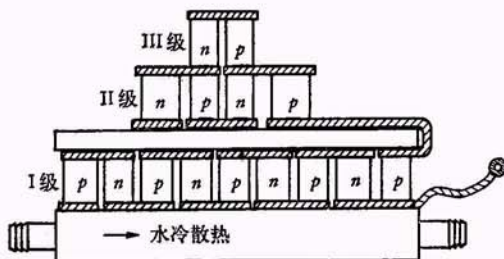


图 2 三级电堆示意图

第二级热端。目前一级电堆温差可达 50℃, 二级温差可达 70℃, 三级可达 90℃ (即散热器 20℃ 时, 冷端分

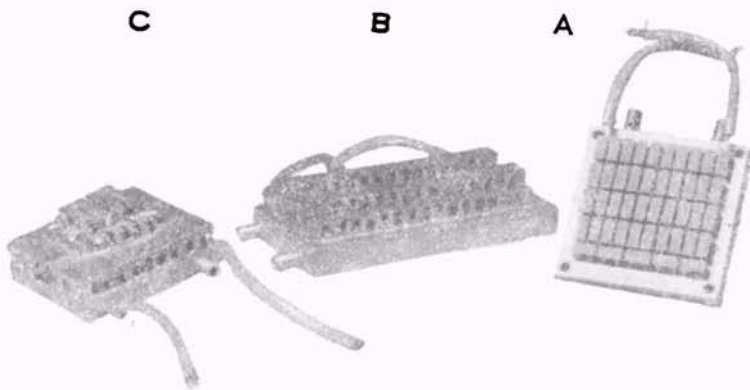


图 3 几个制冷器照片

别可达 -30℃, -50℃, -70℃)。

制冷器热端散热器通常以铝或铜制成, 利用水冷、风冷、强迫风冷或其它方式散热。图 3 为几个水冷制冷器件的照片。A, B, C 分别为一、二、三级电堆。A 的实际尺寸为 85 × 85 × 25 mm³。BZ 系列半导体制冷器的型号为 BZφr·l/n, 其中 BZ 表示半导体致冷器, r 为元件直径, l 为元件高度, n 为电偶对数。r 由 3—12 mm, l 由 3—20 mm。在室温下元件主要参数为:

α_P	210 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
α_N	210—230 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
σ_P	1050—1150 $\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$
σ_N	800—1200 $\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$
\mathcal{R}_P	16—18 $\text{mW}/^\circ\text{Ccm}$
\mathcal{R}_N	18—20 $\text{mW}/^\circ\text{Ccm}$

图 4 给出了最大温差与吸热量的关系曲线。

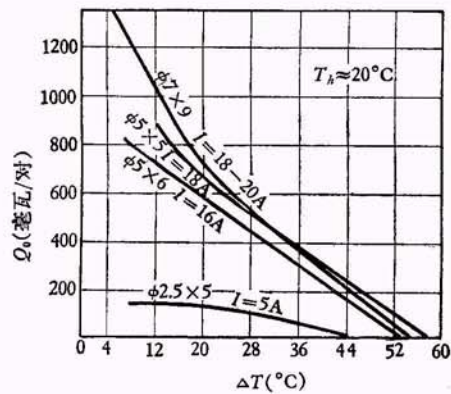


图 4 最大温差与吸热量关系

三、应用

与机械压缩机制冷相比较, 半导体制冷无机械运动部分, 直接利用热电效应实现热量的转移, 具有结构简单、寿命长、工作可靠、反应快、易控制、可小型化并可逆运行、同时还具有无噪音振动和无空气污染等一系列优点。所以出现历史虽短, 但发展较快, 目前国内外已有几百个应用项目, 这里仅择几例简介如下:

1. 电子器件的冷却 大部分电子器件对温度环境具有一定的要求, 常常需要进行冷却。半导体制冷器用于电子器件的冷却具有独特的优点。例如光电倍增管, 用 24 对制冷元件制冷时, 其信噪比 S/N 提高三倍。GaAs 增幅器性能在采用制冷器后显著改善。图 5 是光电倍增管冷却器结

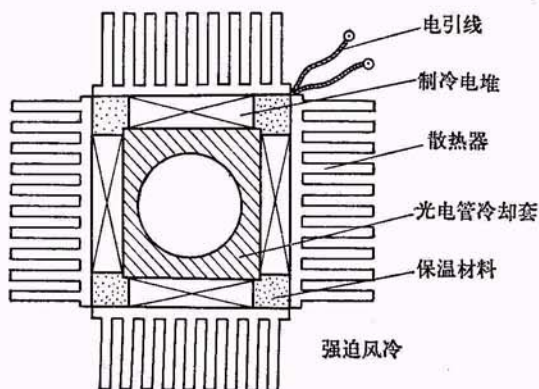


图5 光电倍增管冷却器结构

构图。

2. 制做低温箱、恒温槽 利用半导体制冷器可制成不同规格型式的低温箱、恒温槽，可用于标准计量，环境模拟实验等。例如某航空电器测试仪，过去是用一台机械空制冷，现在用 128 对制冷电偶代替，体积减少一半，重量由 240 公斤降为 14 公斤，造价减少近三千元，并且灵敏度提高，过去开机后 45 分钟工作，现只需 20 分钟，还节省了维修人员。又例如现已制成的低温箱可达 -50°C 低温，体积小，可放于桌上使用。图 6 为 BD-20 型半导体低温贮藏箱照片。该贮藏箱容积约 20 升，温差 45°C ，水冷散热。

3. 冷阱 用于半导体工业中，如硅外延工艺中控

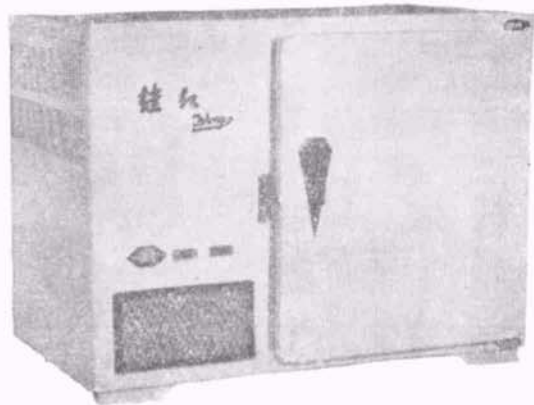


图6 BD-20 半导体低温贮藏箱

制 SiCl_4 的温度，控制精确，并降低工作室温度。

4. 精密机床油箱冷却 半导体致冷器具有体积小、工作稳定等优点。

5. 空气调节器、冷库 目前有数千千卡/小时空调能力的设备，可实现降温、加热、除湿“三合一”。

6. 露点仪冷台 雾镜冷却和自动消露。

7. 医学方面 制成组织切片冷冻装置；冷疗器；白内障摘除器；血液、动物精液以及药品等储运装置等。图 7 为半导体制冷白内障摘除器照片。

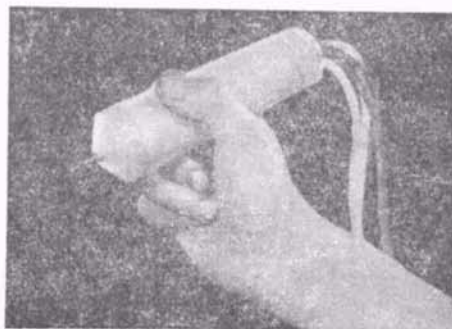


图7 半导体制冷白内障摘除器

8. 冰帽。

9. 石油油井探测器冷却部分 半导体制冷可利用某些物质熔化潜热散热做间歇制冷。因此可放于千米地下工作，这是其它制冷办法，无法比拟的。

四、存在问题

目前半导体制冷器的效率尚不高。器件成本和低压直流电源造价需进一步降低。它对于小功率制冷非常适宜，但在大功率情况下经济性及效率不如机械制冷机，一般仅在特殊场所如船舶、地下、空中采用。

文化大革命以来，我国工农业生产和科学研究事业迅速发展。半导体制冷器，作为一项新技术逐渐为国民经济各领域所利用，器件生产达到新水平。以我厂为例，文化大革命以来，制冷器产量逐年成倍增加，成本大幅度降低，显示了半导体制冷很有发展前途，说明无产阶级文化大革命是社会生产力发展的强大推动力。可以预料，随着我国社会主义建设事业的发展，半导体制冷技术，必将发挥更大的作用。

(上接 163 页)

- [25] Cockayne, D. J. H., Ray, I. L. F., Whelan, M. J., *Phil. Mag.* 20 (1969), 1265.
 [26] Crewe, A. V., *Proc. 29th Annual Meeting EMSA.*, (1971), 22.
 [27] MacDonald, N. C., *Appl. Phys. Letters*, 16 (1970), 76.

- [28] Coates, D. G., *Phil. Mag.*, 16 (1967), 1179.
 [29] Booker, G. R., Shaw, A. M. B., Whelan, M. J., Hirsch, P. B., *Phil. Mag.*, 16 (1967), 1185.
 [30] Hashimoto, H., Howie, A., Whelan, M. J., *Proc. Roy. Soc.*, A269 (1962), 80.
 [31] Misell, D. L., *J. Phys. D.* 6 (1973), L6.