

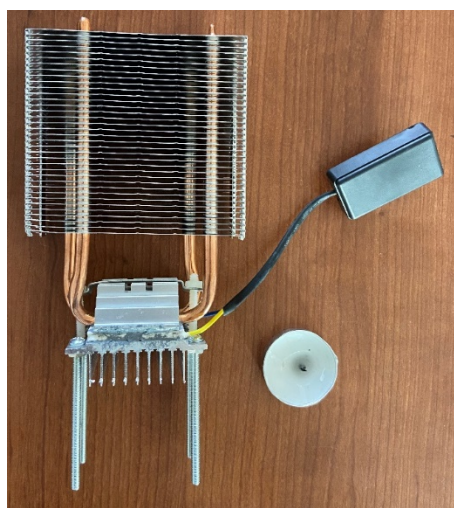
热电与半导体制冷实验

【实验目的】

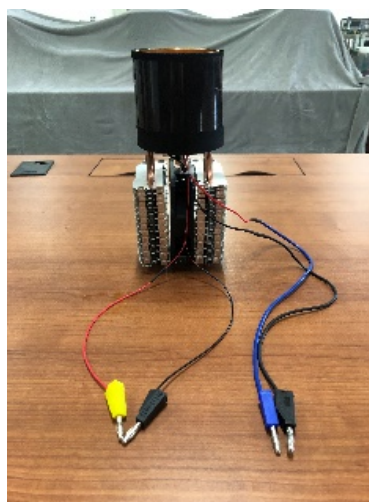
- 1、了解塞贝克效应和温差发电原理。
- 2、了解帕尔帖效应和半导体制冷原理。
- 3、学习半导体制冷特性和应用，计算半导体制冷系数。
- 4、演示半导体加热。

【实验仪器】

热电转化演示仪、蜡烛、打火机、半导体制冷机、温度计、烧杯、纯净水、示波器。



(a) 热电转化演示仪



(b) 半导体制冷机

图 1 热电转化演示仪和半导体制冷机

【实验原理】

1、塞贝克效应 (Seebeck effect)

材料的热电现象最早由德国科学家塞贝克 (T. J. Seebeck, 1770~1831) 1822-1823 年发现。当时，塞贝克将指南针放在一个由金属铜 (上部槽型板) 和金属铋 (下部直板) 组成的闭合回路中，当加热该回路中的一端时指南针会产生偏转。

当金属一端被加热后，两端之间的温度差 ΔT 将在金属两端形成一个电势 (即温差电势) ΔV 。两者之比， $a = \Delta V / \Delta T$ ，为温差电势系数，通常也称为塞贝克系数。这种由于温差产生电势的现象后来被称为塞贝克效应。

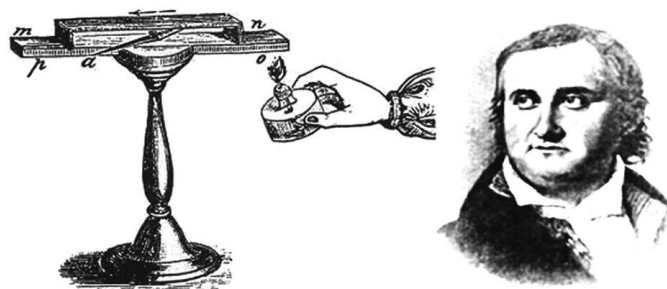


图 2 塞贝克及塞贝克效应的实验装置

2、帕尔贴效应

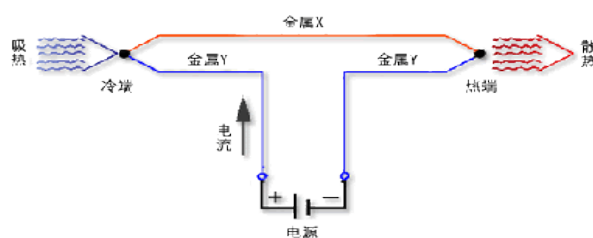


图 3 帕尔贴效应

1834 年，法国科学家帕尔贴在铜丝两头各接一根铋丝，再将两根铋丝分别接到直流电源的正负极，通电后发现一个接头变热，另一个接头变冷。

当电流流经不同的金属 AB 接点时，除了电流流经电路而产生的焦耳热外，还会有额外的吸热和放热效应，这种热电现象称为珀尔贴效应。

如果电流从某个方向流经接触点时放热，那么电流反向后就会使其吸热。单位时间内，两种金属接触点吸收或者放出的珀尔贴热，与流经的电流成正比。

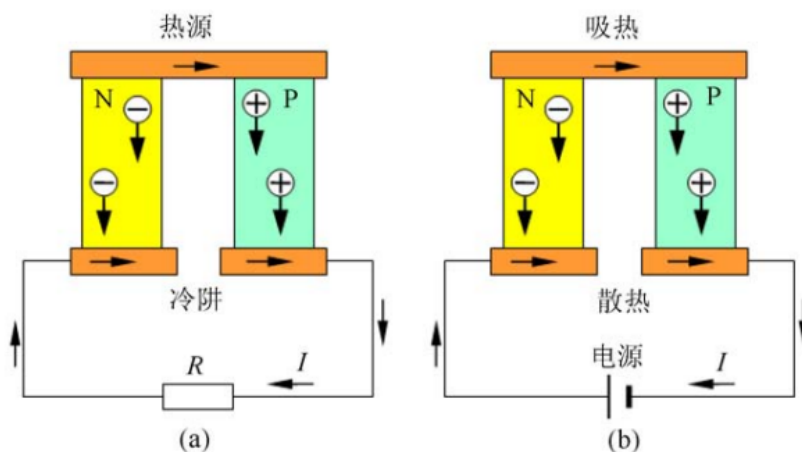


图 4 温差发电和帕尔贴制冷原理图

3、热电材料与温差发电

热电材料是一种通过固体中载流子（电子和空穴）运动实现热能和电能之间直接转换的功能材料。

当材料两端存在温差时，热端附近的载流子将具有比冷端附近载流子更高的动能。从而在材料内部形成载流子从热端到冷端的扩散。

如果将一块 P 型半导体和一块 N 型半导体按如图 4（a）所示方式连接，在一端提供热源（Heat Source），另一端散热（Heat SiNk）。N 型半导体冷端的电子将通过导线和负载流向 P 型半导体的冷端，与同样由于塞贝克效应扩散聚集到 P 型半导体冷端的空穴复合消失。同样在热端，闭合回路中的电子（通过导电金属片）从 P 型半导体热端到 N 型半导体热端的流动，使得由于塞贝克效应产生的电子和空穴运动得以维持。

用热电材料制造的温差发电器具有无机械运动、无噪声、无磨损、可靠性高、免维护、无污染、尺寸形状可根据需要设计等突出优点，在工业余热发电、特殊场合长寿命电源、便携式小型电源、植入式微型电源等领域具有重要应用前景。

4、半导体制冷原理

半导体制冷又称热电制冷或温差电制冷，它是利用热电效应的一种制冷方法。半导体制冷原理如图 4（b）所示。

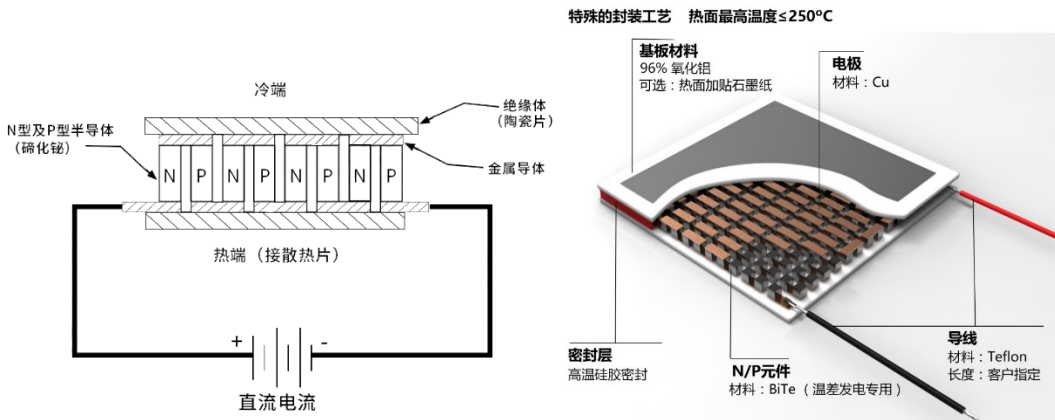


图 4 半导体制冷片

N 型半导体具有多余的电子，产生负温差电势。P 型半导体电子不足（空穴多），具有正温差电势。当电子从 P 型材料穿过结点到 N 型材料时，能级增加，需要外界做功，故从低温热源吸收热量，实现降温。相反当电子从 N 型材料流至 P 型材料时，能级减小，释放热能，结点温度会升高。

因此，将一只 N 型半导体元件和一只 P 型半导体元件联结成热电偶，接上直流电源后，在接头处就会产生温差和热量的转移。

如图 5 所示，上面的一个接头处，电流方向从 N 到 P（电子从 P 到 N），吸热，温度下降，是冷端；而下面的一个接头处，电流方向从 P 到 N（电子从 N 到 P），放热，温度上升，是热端。

目前采用半导体材料碲化铋（ Bi_2Te_3 ）做成 N 型和 P 型热电偶，然后用模块的方法组成半导体制冷器件。

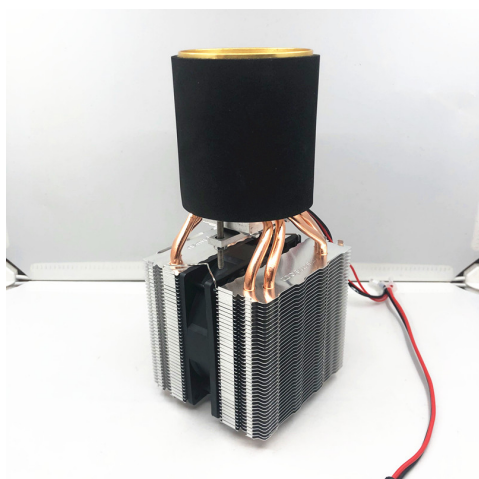


图 6 实验用制冷机

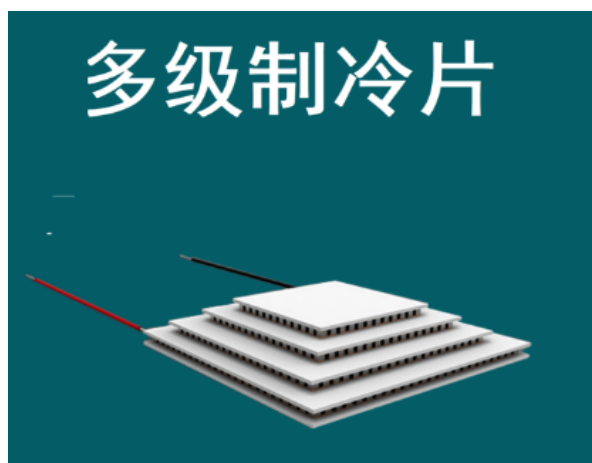


图 7 多级制冷片

如图 6 所示，接上电流后，这个热电堆的上面是冷端，下面是热端，借助热交换器等传热手段，使热电堆的热端不断散热并保持一定的温度，把热电堆的冷端放到工作环境中去吸热降温，这就是半导体制冷的工作原理。

如果将制冷片进行上下级联，就会使得温差级联，传导热量的效率更高，4 层制冷上下表面温度会达到 100°C 以上的温差，如图 7 所示。

半导体制冷片（TEC）具有紧凑性，体积小特点。由于热流量与直流电流的大小成正比，因此可以实现对温度变化的精确调控。半导体制冷相比于传统制冷具有精准控温，电子静音，安全环保，制冷迅速，寿命长等优点，因此广泛应用于日常生活中。诸如制冷饮水机、制冷杯、小型制冷风扇。

【实验内容】

1、观察制冷和热电现象

观察热电现象：点燃蜡烛，放置于热电散热片底下，连接 LED 灯，观察发光现象。

观察制冷现象：连接制冷设备（按左图连线），倒入少量水，通电观察制冷现象，直到水结成冰。

2、利用示波器的长时间测量，计算制冷片的电功及电功率。

(1) 首先，连接线路：

CH1 通道连接采样电阻（阻值为 0.05Ω ），用以测量制冷片的电流。

CH2 连接制冷片两端正负极，用以测量制冷片电压。

(2) 利用烧杯量取适量的水，记录体积 V ，倒入制冷杯中。将测温金属探头放置于制冷杯中。

(3) 按照示波器的操作讲解，完成对示波器的设置（详解讲过程见 PPT）。

第一步开机：

开机，等待 30s 左右，进入系统。点击示波器面板左上角【DEFAULT】按键，恢复出厂设置。

第二步，设置水平时间基准：

点击屏幕上方【A】或者水平按键区【Acquire】按键，调出水平时间轴调整对话框。关闭【滚动】扫描，将【时基】调整为 10s，时基【位移】调整为 50s。

第三步，竖直电压设置：

点击屏幕左下方【CH1】，调出水平时间轴调整对话框。将【档位】调整为 200mV。注意，再次点击【CH1】会关闭改通道，如果再点击会打开【CH1】，如此循环。其他通道类似。

设置【CH2】。点击屏幕左下方【CH2】，调出水平时间轴调整对话框。将【档位】调整为 5V。点击屏幕其他区域，关闭对话框。

第四步，触发设置：

设置示波器为单次触发，按动【Single】键，该键发光设置完毕。按动示波器的强制触发按键【Force】，示波器开始记录波形数据。观察波形，熟悉示波器的各种操作。之后，按清屏键【Clear】，示波器处于待机测量状态。

(3) 记录制冷片通电前水的温度 T_i 。

(4) 接通制冷机电源的同时，重新按示波器的强制触发按键【Force】，完成电压测量的同步。

注意：由于水是流体，存在热对流，测量过程中需要不时搅拌，使之受热均匀。

(5) 示波器扫描结束时，屏幕会自动暂停，此时，需要同步记录水温 T_f 。

(6) 数据存储:

首先, 插入 U 盘。点击左下角的【R】按键, 调用功能对话框, 选择【存储】。

在存储对话框中, 依次选择【波形存储】, 选择数据格式为【.CSV】, 然后对文件名命名。一般插入 U 盘后, 文件存储路径默认为 U 盘 (即 D 盘)。点击【保存】按键完成数据存储。

3、估算制冷效率。

忽略外界的热量交换, 按照水的密度为 $\rho=1000\text{kg/m}^3$, 水的比热容为 $c=4200\text{J/(kg}^\circ\text{C)}$, 计算水的吸热 $Q=c\rho V(T_f-T_i)$ 。

利用 Excel 计算出制冷机所做总功: $W=\sum I_i V_{\text{CH2i}} \Delta t$, $\Delta t=0.1\text{s}$ 。

计算出实验用制冷片的制冷效率 $\eta=Q/W$ 。

4、尝试改变制冷片的电流流向, 体验反向加热实验。

完成制冷实验后 (可以品尝冰镇饮料), 可以尝试将制冷片两端电极反接, 使热电片电流流向反向, 实现加热的功能。

5、双击示波器开关, 关闭示波器。仪器放置于收纳盒中, 仪器还原。

【注意事项】

- 1、注意不可用手触摸金属杯的底部, 以免冻伤或烫伤。
- 2、实验后, 想体验制冷结冰实验时, 冷端传热金属杯中水量不宜太多, 实验过程中不要让水流到实验台, 实验结束后将水清理干净。
- 3、温度计的测温头要完全浸没到书中, 如部分裸露在外, 将导致测温不准。