

金属逸出功实验（新）

金属中存在大量的自由电子，但电子在金属内部所具有的能量低于在外部所具有的能量，因而电子逸出金属时需要给电子提供一定的能量，这份能量称为电子逸出功。

研究电子逸出是一项很有意义的工作，很多电子器件都与电子发射有关，如电视机的电子枪，它的发射效果会影响电视机的质量，因此研究这种材料的物理性质，对提高材料的性能是十分重要的。

【实验目的】

1. 用里查逊（Richardson）直线法测定金属钨的电子逸出功。
2. 学习数据处理的方法。

【实验原理】

1. 热电子发射测量电子逸出功的基本原理

根据固体物理学中金属电子理论，金属中的传导电子按能量的分布遵从费米-狄拉克（Fermi—Dirac）分布。即

$$f(E) = \frac{dN}{dE} = \frac{4\pi}{h^3} (2m)^{\frac{3}{2}} E^{\frac{1}{2}} \left(e^{\frac{E-E_F}{kT}} + 1 \right)^{-1} \quad (1)$$

式中 E_F 称为费米能级。

在绝对零度时，电子的能量分布如图 1 曲线（1）所示。这时电子所具有的最大能量为 E_F 。当温度升高时电子的能量分布曲线如图 1 曲线（2）所示。其中，能量较大的少数电子具有比 E_F 更高的能量，其数量随能量的增加而指数减少。

通常情况下由于金属表面与外界（真空）之间存在一个势垒 E_b ，所以电子要从金属表面逸出必须至少具有能量 E_b 。从图 1 可见，在绝对零度时电子逸出金属至少需要从外界得到的能量为

$$W = E_b - E_F = e\varphi \quad (2)$$

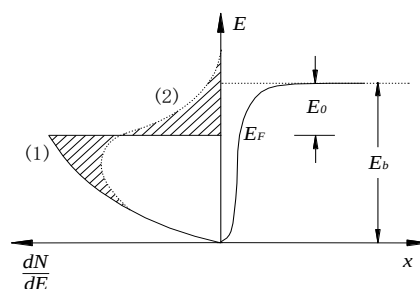


图 1 金属传导电子能量分布

$W(e\phi)$ 称为金属电子的逸出功，其常用单位为电子伏特 (eV)，它表征处于绝对零度的金属中具有最大能量的电子逸出金属表面所需要的给予的能量。 ϕ 称为逸出电位，其数值等于以电子伏特为单位的电子逸出功大小。

真空二极管的阴极（用被测金属钨丝做成）通以电流加热以提高阴极温度，温度的升高改变了金属钨丝内电子的能量分布，使动能大于 E_F 的电子增多，使动能大于 E_b 的电子数达到可观测的大小，使从金属表面发射出来的热电子达到可检测的数目，因此在阳极 A 未加正电压（图中 $U_a = 0$ ）时，连接两个电极的外电路中也将会检测到有热发射电流 I （称为零场电流）通过。此零场电流强度 I 由理查逊-热西曼公式确定，有

$$I = AST^2 \exp\left(-\frac{e\phi}{kT}\right) \quad (3)$$

它就是热电子发射测量电子逸出功的基本原理公式。式中 A 是和阴极表面化学纯度有关的系数（单位为 $A \cdot m^{-2} \cdot K^{-2}$ ）， S 为阴极的有效发射面积（单位为 m^2 ）， T 为发射热电子的阴极的绝对温度（单位为 K ）， k 为玻尔兹曼常数。此式显示出电子逸出功 ($e\phi$) 对热电子发射的强弱有着决定性作用。

将 (3) 式两边除以 T^2 ，再取对数，得：

$$\lg \frac{I}{T^2} = \lg AS - \frac{e\phi}{2.30kT} = \lg AS - 5.04 \times 10^3 \phi \frac{1}{T} \quad (4)$$

此式显示 $\lg \frac{I}{T^2}$ 与 $\frac{1}{T}$ 成线性关系。如以 $\lg \frac{I}{T^2}$ 为纵坐标， $\frac{1}{T}$ 为横坐标作图，由直线斜率即可求出电子的逸出电势 ϕ 和电子逸出功 $e\phi$ 。这样的数学处理方法叫理查逊直线法。

2. 零场电流 I 的测量

当热电子不断从阴极射出飞向阳极过程中形成空间电荷，空间电荷的电场阻碍后续的电子飞往阳极，这就严重地影响零场电流的测量。为了克服空间电荷电场的影响，使电子一旦逸出就能迅速飞往阳极，不得不在阳极和阴极之间加一个加速场 E_a 。但是， E_a 的存在又会产生肖脱基效应，使阴极表面的势垒 E_b 降低，电子逸出功减小，发射电流变大，因而测量得到的电流是在加速电场 E_a 的作用下阴极表面发射电流 I_a ，而不是零场电流 I 。可以证明零场电流 I 与 I_a 的关系为

$$I_a = I \exp\left(\frac{0.439\sqrt{E_a}}{T}\right)$$

对上式取对数，曲线取直，有：

$$\lg I_a = \lg I + \frac{0.439\sqrt{E_a}}{2.30T} \quad (5)$$

通常把阴极和阳极做成共轴圆柱形，忽略接触电位差和其它影响，则阴极表面加速电场可表示为 $E_a = \frac{U_a}{r_1 \ln(r_2/r_1)}$ ，其中 r_1 和 r_2 分别为阴极和阳极的半径， U_a 为阳极电压。把 E_a

代入上式得：

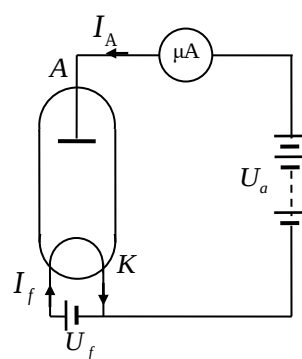


图 2 热电子发射电路图

$$\lg I_a = \lg I + \frac{0.439}{2.30T} \frac{1}{\sqrt{r_1 \ln(r_2/r_1)}} \sqrt{U_a} \quad (6)$$

此式是测量零级电流的基本公式。对于一定尺寸的二极管，当阴极的温度 T 一定时， $\lg I_a$ 和 $\sqrt{U_a}$ 成线性关系。如果以 $\lg I_a$ 为纵坐标、以 $\sqrt{U_a}$ 为横坐标作图，这些直线的延长线在 $U_a = 0$ 处与纵坐标的交点为 $\lg I$ 。求反对数，可求出在一定温度下的零场电流 I 。

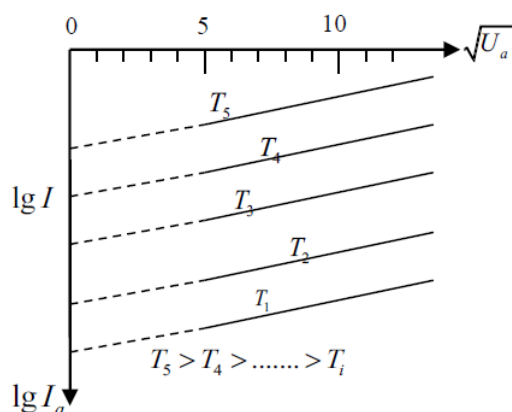


图 3 外推法求零场电流

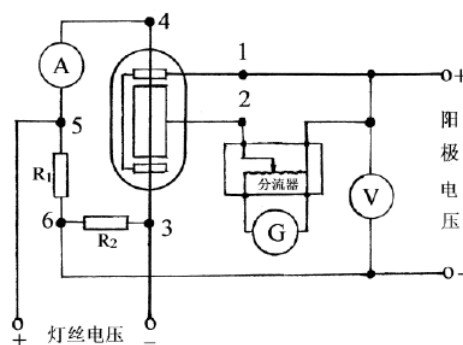


图 4 实验电路图

【金属电子逸出功仪器操作说明】

1. 主机面板介绍：

操控主机面板上有高精度显示屏、按钮、示波器接口、实验外置装置接口四部分。
按图 5 连接主机与逸出功外置装置接口。

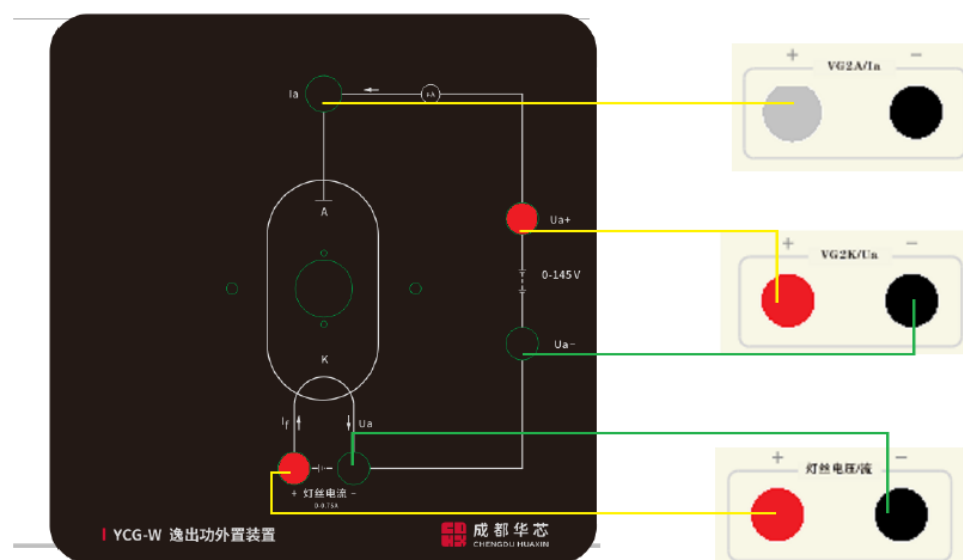


图 5 金属电子逸出功实验连线

2. 操作界面说明：

【实验数据处理】

1. 根据表 1 中的数据，作出 $\lg I_a \sim \sqrt{U_a}$ 图线（图 7）。直线的截距即为（6）式中的 $\lg I$ ，由此可得在不同阴极温度时的零场热电子发射电流 I 。

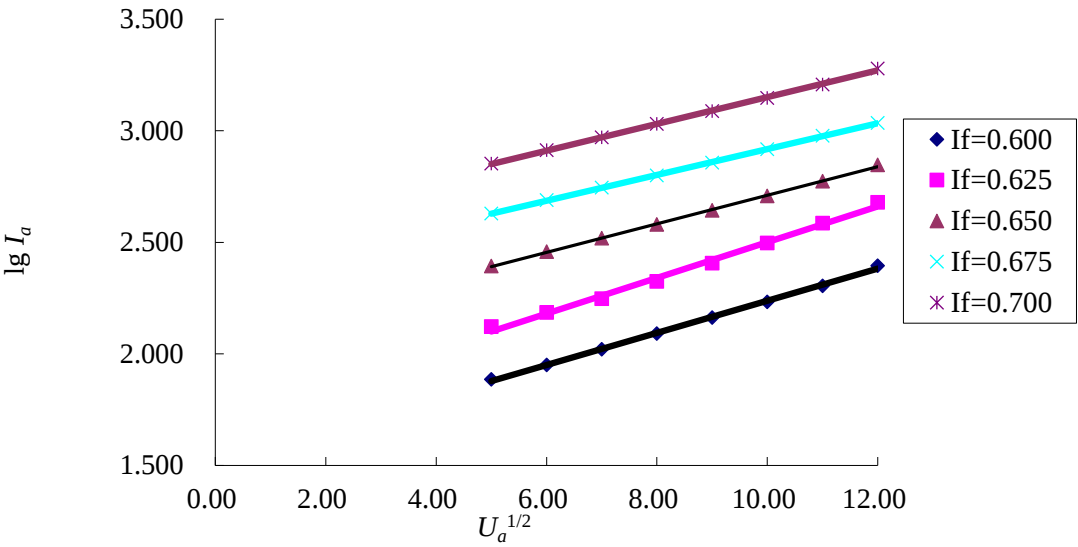


图 7 $\lg I_a \sim \sqrt{U_a}$ 图线

2. 将图 7 中各温度下的直线截距值填入表 2，作出 $\lg \frac{I}{T^2} \sim \frac{1}{T}$ 图线（图 8）。

表 2 $\lg(I/T^2) \sim 1/T$ 图线相关数据

I_f (A)	0.600	0.625	0.650	0.675	0.700
T (K)					
$\lg I$ (mA)					
$1/T$ (10^{-4}K^{-1})					
$\lg(I/T^2)$					

（注意：上表中的数据处理至少选 1 组数据详细写出计算过程，其它可同理直接将结果列入表格）

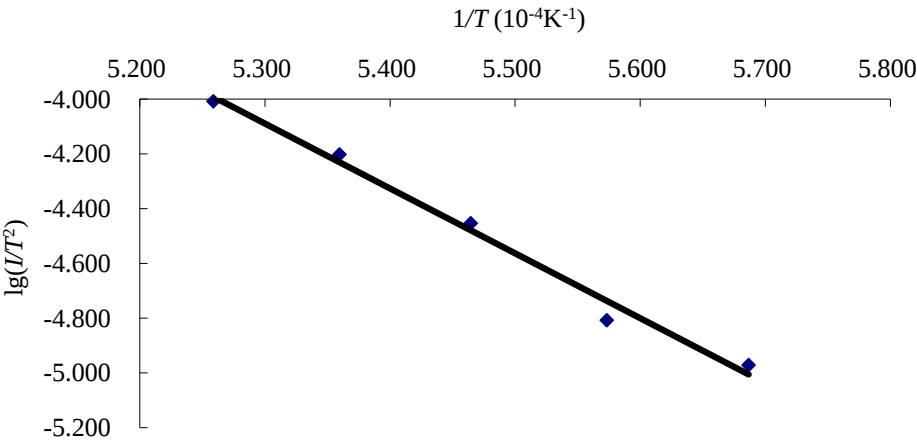


图 8 $\lg(I/T^2) \sim 1/T$ 图线

-
3. 根据 $\lg \frac{I}{T^2} \sim \frac{1}{T}$ 直线求出斜率 k , 进而 (4) 式求出电子逸出电势。

$$\varphi = \frac{k}{-5.04 \times 10^3} = ? \text{ (V)}$$

金属钨的电子逸出功为

$$W = e\varphi = ? \text{ (eV)}$$

4. 并与公认值 4.540 eV 比较, 求相对误差

【注意事项】

1. 实验开始前连接线路及实验后拔除线路时, 请勿触碰线路金属部分, 避免高压对身体造成伤害;
2. 因实验过程中可能长期处于高压状态, 故机箱温度较高, 实验数据采集结束后请及时降压或关闭试验仪, 同时注意降温;
3. 实验所有电子管因生产原因性能不会完全一致, 故不同电子管相同灯丝电流灯丝温度不相同, 所逸出电子数值不会完全一致, 可用多个电子管实验计算平均值以减小误差。