

## 金属逸出电势的测定

电子从加热的金属中发射出来的现象称为热电子发射。热电子发射的性能与金属材料的逸出电势（或逸出功）有关。在电真空器件阴极材料的选择中，材料的逸出电势是重要参量之一。本实验用理查逊（Richardson）直线法测量钨的逸出电势，这一方法有丰富的物理思想和较好的数据处理基本训练。

### 【实验目的】

1. 了解有关热电子发射的基本规律。
2. 用理查逊直线法测定钨丝的电子逸出电势  $V$ 。
3. 进一步学习数据处理方法。

### 【实验原理】

在高真空（ $1.33 \times 10^{-4} \text{Pa}$  以下）的电子管中，一个由被测金属丝做成的阴极  $K$ ，通过电流  $I_f$  加热，并在另一个阳极加正电压时，在连接这两个电极的外电路中将有电流  $I_a$  通过，如图 1，所示这种现象称为热电子发射。

通过对热电子发射规律的研究，可以测定阴极材料逸出功，以选择合适的材料。

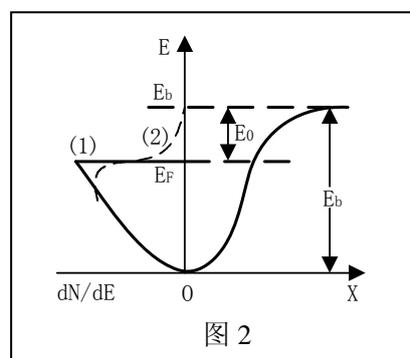
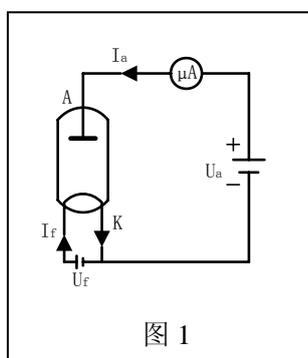
#### (1) 电子的逸出功、逸出电势

根据固体物理中金属电子理论，金属中传导电子的能量分布是按费米—狄拉克分布 (Fermi—Dirac distribution) 的。即

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

式中， $E_F$  为费米能级。

在绝对零度时能量分布如图 2 中曲线 (1) 所示。此时，电子具有最大动能  $E_F$ 。当温度升高时，电子能量分布曲线如图 2 中曲线 (2) 所示。其中能量较大的少数电子具有比  $E_F$  更高的能量，且具有这种能量的电子数随能量的增加而指数递减。



在通常温度下由于金属表面存在一个厚约  $10^{-10} \text{m}$  左右的电子层——正电荷的偶电层，它的电场阻碍电子从金属表面逸出，也就是说金属表面与外界（真空）之间存在一个势垒

$E_b$ , 因此, 电子要从金属中逸出, 至少必须具有 $E_b$ 的动能。从图 2 可见, 在绝对零度时, 电子逸出金属至少要从外界得到的能量为 $E_0$ , 即必须克服偶电层的阻力做功 $eV=E_0$

$$E_0=E_b-E_F=eV \quad (2)$$

$E_0$  (或 $eV$ ) 称为金属电子的逸出功, 常用单位为 $eV$ , 它表征要使处于绝对零度下的金属中具有最大能量的电子逸出金属表面时, 所需要给予的能量,  $V$ 则称为电子的逸出电势。

### (2) 热电子发射公式

根据费米—狄拉克能量分布公式, 可以推导出热电子发射的理查逊—杜西曼公式 (Richardson—Dushman formula)

$$I=AST^2e^{-eV/kT} \quad (3)$$

式中,  $I$ 是热电子发射的电流强度 (单位是A);  $S$ 是阴极金属的有效发射面积 (单位是 $cm^2$ );  $T$ 是热阴极的绝对温度 (单位是K);  $A$ 是与阴极化学纯度有关的系数 (单位是 $A \cdot cm^{-2} \cdot K^{-2}$ );  $k$ 是玻耳兹曼常量,  $k=1.38 \times 10^{-23} J/K$ .

原则上只要测定  $I$ ,  $A$ ,  $S$  和  $T$ , 就可以根据式 (3) 算出阴极的逸出功  $eV$ 。但是困难在于  $A$  和  $S$  的测量。所以在实际测量中, 通常采用理查逊直线法, 借此可以设法避开  $A$  和  $S$  的测量。

### (3) 理查逊直线法

将式 (3) 两边除以 $T^2$ , 再取对数得到

$$\lg \frac{I}{T^2} = \lg(AS) - \frac{eV}{2.30kT} = \lg(AS) - 5.04 \times 10^3 V / T \quad (4)$$

从式 (4) 可以看出,  $\lg \frac{I}{T^2}$  与  $\frac{1}{T}$  呈线性关系。如以  $\lg \frac{I}{T^2}$  和  $\frac{1}{T}$  作图, 由所得直线的斜率即可求出电子的逸出电势  $V$ , 这种方法就叫做理查逊直线法。它的优点是可以不必测出  $A$ ,  $S$  的具体数值而直接由  $I$  和  $T$  就可得到  $V$  的值,  $A$  和  $S$  的影响只是使  $\lg \frac{I}{T^2} - \frac{1}{T}$  直线平行移动。这种避开不易测量或不易测准的物理量而获得所需结果的方法, 在设计方案中是常用的方法之一。

### (4) 肖特基(Schottky)效应与外延法求零场电流

式 (4) 中的 $I$ 是在阴极与阳极间不存在加速电场情况下的热电子发射电流。但是, 为了维持阴极发射的热电子能连续不断地飞向阳极, 必须在阳极和阴极间加一个加速电场 $E_a$ , 由于 $E_a$ 的存在会使阴极表面的势垒 $E_b$ 降低, 因而逸出功减小, 发射电流增大, 这就是肖特基效应。可以证明, 在加速电场 $E_a$ 作用下阴极发射电流 $I_a$ 与 $E_a$ 有如下的关系

$$I_a = Ie^{(0.439\sqrt{E_a}/T)} \quad (5)$$

式中,  $I_a$ 和 $I$ 分别是加速电场为 $E_a$ 和零时的发射电流, 对式 (5) 取对数得

$$\lg I_a = \lg I + \frac{0.439}{2.30T} \sqrt{E_a} \quad (6)$$

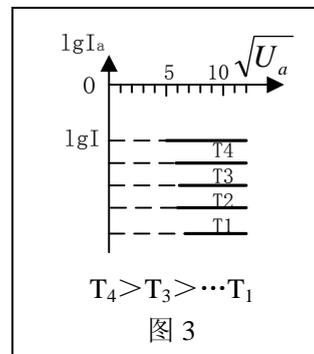
如果把阴极和阳极做成共轴柱形, 并忽略接触电势差和其他影响, 则加速电场可表示为

$$E_a = \frac{U_a}{r_1 \times \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (7)$$

式中， $r_1$ 和 $r_2$ 分别为阴极和阳极的半径， $U_a$ 为加速电压。把式（7）代入式（6）得

$$\lg I_a = \lg I + \frac{0.439\sqrt{U_a}}{2.30T\sqrt{r_1} \times \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (8)$$

由式（8）可知，在一定温度和管子结构下， $\lg I_a$ 和 $\sqrt{U_a}$ 呈线性关系。如果以 $\sqrt{U_a}$ 为横坐标，以 $\lg I_a$ 为纵坐标作图，得一直线，如图 3 所示。此直线的延长线与纵坐标的交点为 $\lg I$ ，由此求出在一定温度下，当加速电场为零时的发射电流 $I$ 。



由上面讨论可知，要测定金属材料的逸出功，首先应该把被测材料做成二极管阴极，当测定了阴极温度 $T$ 、阳极电压 $U_a$ 和发射电流 $I_a$ 后，通过外延法和理查逊直线法即可求出逸出电势和逸出功 $eV$

#### (5) 温度测量与理想的二极管

从热电子发射公式中可以看出，灯丝温度 $T$ 对发射电流的影响极大，因此准确测量温度是一个重要问题。一般可用光测高温计通过理想二极管阳极中间的一个小圆孔来测量阴极的温度，或根据管子的参数及阴极 $K$ 的加热电流 $I_f$ 来计算它的温度。

实验中所用电子管为直流式理想二极管，结构如图 4 所示，电路如图 5 所示。二极管的阴极 $K$ 由直径 0.0075cm 左右的钨丝做成。阳极 $A$ 为长 1.5cm，半径 $r_2=0.42$ cm 的镍制圆筒，中间有一个 $d=0.15$ cm 的小孔。为了避免灯丝的冷端效应及电场的边缘效应，在阳极两端各有一圆筒形保护电极 $B$ ，保护电极与阳极加上同一电势，但其电流并不计入热电子发射电流中，这种二极管灯丝加热电流 $I_f$ 与灯丝的温度 $T$ 间的对应数值关系由表 1 给出。

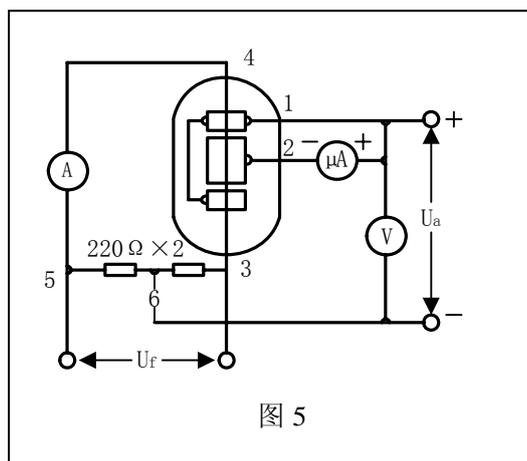
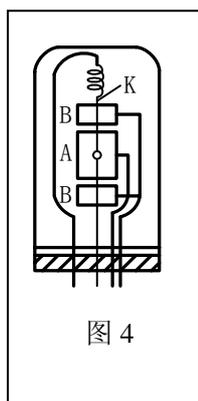


表 1 理想二极管灯丝电流与温度关系

灯丝电流 $I_f$ (A)	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80
灯丝温度 $T$ ( $10^3$ K)	1.72	1.80	1.88	1.96	2.04	2.12	2.20

### (6)实验电路

根据实验原理实验电路如图 5 所示

#### 【实验内容】

1. 熟悉仪器装置，并连接好安培表（1 安培，测量灯丝电流 $I_f$ ），和微安表（1000 微安，测量阳极电流 $I_a$ ）。伏特表已安装在逸出功测定仪上）接通电源，预热 10 分钟。
2. 取理想二极管灯丝电流 $I_f$ 从 0.55~0.75 安培，每间隔 0.05 安培进行一次测量。对应每一灯丝电流，在阳极上加 25、36、49、64、……144 伏特诸电压，各测出一组阳极电流 $I_a$ 。记录数据于表一，并换算至表二。
3. 根据表二数据，做出 $\lg I_a \sim \sqrt{U_a}$  图线。求出截距，即可得到在不同阴极温度时的零场热电子发射电流  $I$ ，并换算成表三。
4. 根据表三数据，做出 $\lg \frac{1}{T^2} \sim \frac{1}{T}$  图线。从直线斜率求出钨的逸出功 eV 或逸出电势 V。
5. 分析讨论本实验产生测量误差的原因。

#### 【数据表格】

表一

$I_a(10^{-6}A)$ $I_f(A)$	$U_a(V)$	25	36	49	64	81	100	121	144
0.75									
0.70									
0.65									
0.60									
0.55									

表二

$\lg I_a$ $T(10K)$	$\sqrt{U_a}(V)$	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0

表三

T (10K)					
lg I					
$\lg \frac{1}{T^2}$					
$\frac{1}{T}$					

直线斜率  $m=$  , 逸出功  $eV=$   $eV$   
 逸出功公认值  $eV=4.54eV$ , 相对误差  $E=$  %