

文章编号:1002-2082(2009)01-0134-05

用红外测温仪观察二极管板流引起的 的阴极降温现象

郑维民, 张晓娟

(合作民族师范高等专科学校, 甘肃 合作 747000)

摘要: 为了观察由板流引起的灯丝温度下降现象, 利用红外测温仪对理想二极管灯丝温度作了精密测量。由于忽略了板流, 导致阴极灯丝温度下降, 致使测得的金属逸出功存在着大约 -1.86% 的系统相对误差。实验验证了当灯丝电流和板流较小时, 测不出灯丝温度随板流的变化。当灯丝电流为 0.74 A 以上时, 可以明显地观察到输出板流后, 灯丝温度要比板流为 0 时低 $(1\sim 2)\text{ K}$, 此结果与预测值十分相符。

关键词: 红外测温; 板流; 灯丝温度

中图分类号: TN219

文献标志码: A

Observation of cathode temperature-drop phenomenon caused by diode board-current with IR thermometer

ZHENG Wei-min, ZHANG Xiao-juan

(Hezuo Minorities Teachers' College, Hezuo 747000, China)

Abstract: In order to observe the phenomenon of the filament temperature drop caused by the board-current, the ideal diode filament temperature was detected precisely with an infrared thermometer. Since the cathode filament temperature drop caused by the board-current was neglected, it resulted in about -1.86% system relative error in the measured metal work function. The phenomenon was found through a theoretical analysis, and it was verified by an experiment. When both the filament current and board-current are lower, the variation of the filament temperature with the board-current is not measurable; when the filament current is above 0.74 A , it can be clearly observed that the filament temperature is $(1\sim 2)\text{ K}$ lower than that of zero board-current after the board-current is outputted.

Key words: infrared thermometry; board-current; filament temperature

引言

在电真空元器件阴极材料的选择中, 材料的逸出电位(或逸出功)是很重要的参量之一, 逸出电位的大小会直接影响到电真空元器件的工作效率, 而金属材料的逸出电位与热电子发射的性能有很密切的关系。我们把电子从加热的金属中发射出来的现象称为热电子发射, 研究热电子发射的目的之一

就是要选择合适的阴极物质。实验和理论证实: 影响灯丝发射电流密度的主要参量是灯丝的温度和灯丝物质的逸出功, 灯丝温度越高, 发射电流密度越大; 金属的逸出功愈小, 发射的电流密度也愈大。因此理想的纯金属热电子发射体应该是具有较小的逸出功和较高的熔点, 使得工作温度得以提高, 以期获得较大的发射电流。目前应用最广泛的纯金

收稿日期: 2008-05-17; 修回日期: 2008-06-24

作者简介: 郑维民(1978—), 男, 藏族, 甘肃卓尼人, 合作民族师范高等专科学校物理与水电工程系讲师, 主要从事大学物理教学与研究工作。E-mail: zhengwm567@sohu.com

属阴极是钨,个别的也有钼等金属。可见,在做金属逸出功实验时,温度是一个很重要的参数,必须准确地测出其数值。

1 理论预测

将一定的电流通过阴极时,所产生的功率使阴极温度逐渐上升,直到加给灯丝的功率和灯丝消耗的功率达到平衡(平衡到某一温度 T)为止。加到阴极上的能量以下列形式损耗^[1]:

1) 辐射损耗。按史忒芬-波尔兹曼定律,当灯丝温度为 T 时,它向周围空间的辐射功率为

$$P = \epsilon \sigma T^4 \quad (1)$$

式中: ϵ 为辐射系数,对于黑体 $\epsilon=1$,对于实际物体 $\epsilon < 1$, $\sigma = 5.672 \times 10^{-12} (\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{K})$ 。

2) 发射损耗。因为每个从阴极飞出的电子都要从阴极带走一定的能量,这能量等于电子所做的逸出功和它离开金属时所具有的动能之和。设一个电子的平均动能为 $2kT$,则发射损耗功率以瓦特计算为

$$P_e = (e\varphi + 2kT)I_e/e = I_e(\varphi + 1.72 \times 10^{-4}T) \quad (2)$$

3) 由于阴极支架的热传导而损耗的功率(在真空中,无对流损耗)。当支架不大时,传导损耗功率很小,可以忽略不计。

在做金属逸出功测定实验过程中,上述1)和3)两项与是否加板压无关,发射损耗只有在加板压并输出板流时才会有。可见板流会使阴极灯丝的(加热电流供给功率和总损耗功率)平衡温度略有下降。下面具体估算阴极温度下降的数值:

对(1)式取微分有关系式 $dP/P = 4\epsilon\sigma T^3 dT/\epsilon\sigma T^4 = 4dT/T$,于是有:

$$\Delta T = (T/4)(\Delta P/P) \quad (3)$$

式中: ΔT 为由板流引起的温度下降; ΔP 为发射损耗功率,即(2)式中的 P_e ; P 为灯丝加热电流的功率,可用欧姆定律计算,即

$$P = I^2 R \quad (4)$$

以下是典型的实验数据^[2]:

灯丝电流 $I = 0.75 \text{ A}$,灯丝温度 $T = 2137 \text{ K}$,灯丝电阻 $R = 6 \Omega$ (热平衡时),板流 $I_e = 1.916 \times 10^{-3} \text{ A}$ (板压 $V = 144 \text{ V}$)。

将上述数据代入(1),(3),(4)式计算可得到灯丝温度会下降 1.5 K 的理论预测值。

2 理论分析和结论

描述热电子发射的里查逊-杜什曼(Richardson-Dushman)公式为

$$I = AST^2 e^{-e\varphi/kT} \quad (5)$$

对(5)式取微分得:

$$dI/I = (2 + e\varphi/kT)(dT/T) \quad (6)$$

对于钨, $e\varphi/k = 5.26 \times 10^4 \text{ K}$ 。

仍取上述所取数据: $T = 2137 \text{ K}$; $dT/T = -1.5 \text{ K}/2137 \text{ K} = -0.07\%$,代入(6)式得:

$$dI/I = -(2 + 5.26 \times 10^4/2137) \times 0.0007 = -1.86\% \quad (7)$$

上式说明如果不考虑板流引起的灯丝温度下降,板流的测量值将有 -1.86% 的系统相对误差。

将(5)式两边各除以 T^2 ,再取对数得:

$$\ln(I/T^2) = \ln AS - 7.243 \times 10^{22} e\varphi/T \quad \text{或}$$

$$\ln(I/T^2) = \ln AS - 1.160 \times 10^4 \varphi/T \quad (8)$$

以 $1/T$ 为横坐标, $\ln(I/T^2)$ 为纵坐标作图,从直线的斜率即可求出电子逸出功 $e\varphi$ 或逸出电位 φ 。

由 $d[\ln(I/T^2)] = [(1/T^2)/(I/T^2)] dI = -1.86\%$ 及 $d(1/T) = -T^{-2} dT = 1.5/(2137)^2 = 3.28 \times 10^{-7}$ 可以看出:如果不考虑板流引起的灯丝温度下降,上述直线的纵坐标将有 -1.86% 的系统相对误差;而横坐标的误差则微不足道。可见,直线斜率也应有约 -1.86% 的系统相对误差。由此可以得出结论:若忽略板流引起的灯丝温度下降,测得的金属逸出功存在着大约 -1.86% 的系统相对误差。

3 红外测温实验原理

3.1 原理及设计思想

黑体辐射的普朗克公式^[3]为

$$e_0(\lambda, T) = (C_1/\lambda^5) / (\exp(h\nu/kT) - 1) \quad (9)$$

式中: $e_0(\lambda, T)$ 为黑体的单色辐射强度; $C_1 = 2\pi hc^2$, h 为普朗克常数, c 为真空中的光速; k 为玻耳兹曼常数。

在经典近似情况下, $h\nu \gg kT$,普朗克公式可近似写为维恩公式:

$$e_0(\lambda, T) = C_1 \lambda^{-5} \exp(-h\nu/kT) \quad (10)$$

再令 $C_2 = hc/k$, (10)式改写为

$$e_0(\lambda, T) = C_1 \lambda^{-5} \exp(-C_2/\lambda T) \quad (11)$$

在本实验中,把波长 λ 取为定值(加窄带滤光片),于是只要测出测温对象的 e_0 值,即可求出物体

的温度 T 。(11)式就是本实验所依据的理论公式。

设仪器的放大系数为 A_e ,令 $A = A_e C_1 \lambda^{-5}$, $B = -C_2/\lambda$,则由(11)式可知经放大后的信号电压为

$$V = A e^{B/T} \tag{12}$$

(11)式只适用于黑体,而(12)式也适用于非黑体(物体的实际热辐射规律)。

3.2 “替代法”的基本原理及其应用

“替代法”是消除或减弱系统误差的典型测量技术之一。其基本思想^[4]是:在测量条件不变的情况下,用一个“标准”已知量去代替被测量,并调整标准量使仪器的示值不变,在这种情况下,被测量就等于标准量的数值。由于在替代过程中,仪器的状态、示值和环境条件都不变,故仪器的误差和其他造成系统误差的影响因素对测量结果基本上不产生影响。

本实验的具体做法是:先根据实验数据找出已校准辐射体的热辐射功率与温度间的实际函数关系,总结出该物体的实际热辐射规律;然后再利用此关系去测量相同物体在相同环境下的辐射温度。

4 实验装置

4.1 阴极材料的选择

为了测定钨的逸出功,将钨作为阴极材料,把电极设计成能够进行严格分析的几何形状,称为“标准二极管”。

阴极材料纯钨主要参数:

阴极直径/mm	0.075
阴极温度/K	1 600~2 100
阴极长度/mm	40
辐射孔直径/mm	1.5
保护极和阳极间隙/mm	0.5
阴极电流/A	0.55~0.75

阳极材料镍的主要参数:

阳极长度/mm	15
阳极内径/mm	8.4
保护极长度/mm	8
真空度/Pa	1.33×10^{-6}

4.2 新型红外测温原理实验仪的使用

4.2.1 光学系统及其使用

系统由测量镜头、镜身、观察镜、支架4部分组成。松开紧固螺母,镜头可在镜身中任意伸缩,必要时还可以倒插,用以调节测量距离。该仪器可测量

的距离为260 mm~10 m。从观察镜中可看到被测物体的倒像。当成像清晰,且倒像将视场中的小黑斑(小孔)完全覆盖时,即可进行温度测量。由于小黑斑的直径为1 mm,故本仪器可测量直径 ≥ 1 mm的目标。支架是通用的照相机三脚架,通过支架上的螺栓与镜身相连接。在温度为2 000 K左右时,可以直观看到在通断输出板流时直径0.075 mm的钨丝有1 K左右的温度变化。标注灯丝用0.9 μ m的红外线,精度为 $\pm 2\%$ 。

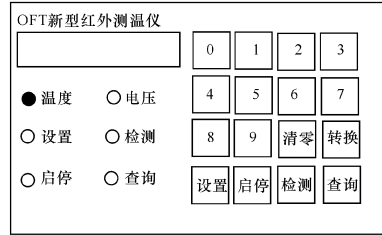


图1 OFT 新型红外测温仪示意图

Fig.1 Sketch of OFT new infrared thermometer

4.2.2 键盘操作

如图1所示,本机有16个键,分别为0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,“清零”,“转换”,“设置”,“检测”,“启停”,“查询”。其中0~9为数字键,其他为操作键。操作键的作用是改变仪器的工作状态。为了标明仪器所处的状态,面板上设有指示灯。仪器处于某种工作状态,相应的指示灯亮。

1) 清零操作(“清零”键)。按“清零”键后(显示“CLr”)仪器内部的继电器(22V,10A)恢复断开状态,为测温控制作好准备。此时,系统采集的信号定义为零信号(清零操作不影响其他设置的数据)。

2) 转换操作(“转换”键)。本系统可以以温度或电压2种方式显示。每按一次转换键显示方式转换一次,同时温度/电压指示灯指示出当前的显示方式。

3) 计算参数的修改(“查询”键)。本机原有的参数一律是假设被测对象为绝对黑体,如被测对象为非黑体或测量条件为非理想情况,需要对计算参数进行修改。

当按下“查询”键后,显示“ADD”,同时“查询”指示灯亮。以后每按一次“查询”键,将依次显示A1,B1,A2,B2,A3,B3的参数值。如需修改,只要在显示相应参数值时,键入正确数值即可(按“查询”键后修改值被确认)。

当6个参数全部显示完以后,显示“end”,结束设定操作,同时查询指示灯熄灭。

参数值输入说明:

a) “A”参数应输入:A1/100000、A2/10000 和 A3/1000 取整后的值。

b) “B”参数应输入 B/10 取整后的值(B1, B2, B3 相同)。

温度预置说明:

当温度升到预置的温度值时,本系统机内继电器自动接通,实现对外部设备的控制(OFT-20 型无此功能)。

a) 预置温度为0,目的是不使用预置温度控制功能。

b) 开机时缺省值为0。

c) “清零”操作不影响已预置的温度值。

4) 启停操作。按“启停”键可直接控制机内继电器的通、断(按一次“启停”键,继电器的通、断状态改变一次)。在测温过程中随时可以通过“启停”键进行手动操作。

5 实验过程

1) 用直流稳压电源、钨灯、红外测温仪和WF-1 型金属电子逸出功测定仪自行连接好电路(实验电路图如图2所示)。要求灯丝电流在 $I \leq 0.75$ A 范围内可调。图中 U_f 为灯丝电压, U_a 为阳极电压,用 mA 表来测量板流,用 V 表来测量板压。

2) 将“新型红外测温仪”的光学测量镜头对准灯丝进行调焦。注意目镜中的黑斑应在灯丝像的中间,成像要清晰,视角变化时灯丝像和黑斑的相对位置应不变。

3) 接通钨灯和“新型红外测温仪”的电源。用直流电源改变通过灯丝的电流,以改变灯丝的温度,记下对应的灯(丝)温度 T_i 和“测温仪”显示的电压值 V_i 。

度,记下对应的灯(丝)温度 T_i 和“测温仪”显示的电压值 V_i 。

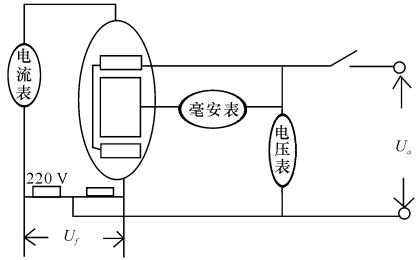


图2 实验电路图

Fig. 2 Experiment circuit

4) 实验数据如表1和表2所示。

表1 灯丝温度和板压随灯丝电流的变化(I)

Table 1 Variation of filament temperature and board pressure with current of filament (I)

阴极电流/A	0.55	0.60	0.65	0.70	0.74
灯丝温度/K	1794	1856	1933	1955	2053
电压值/mv	156	206	292	376	480

表2 灯丝温度和板压随灯丝电流的变化(II)

Table 2 Variation of filament temperature and board pressure with current of filament (II)

阴极电流/A	0.55	0.60	0.65	0.70	0.74
灯丝温度/K	1810	1897	1980	2054	2135
电压值/mV	173	240	350	477	637

5) 对步骤4)中测得的数据,用最小二乘法作曲线拟合,如图3所示。现将第一组数据输入计算机作曲线拟合,拟合函数的形式分别选择为 $V=A/T+B$, $V=Ae^{B/T}$, $V=A(1/T)^B$ 。发现第2种函数的标准差比较小,所以选用此函数。通过此函数求出的A和B值分别为1 138 064和-15 975.49。

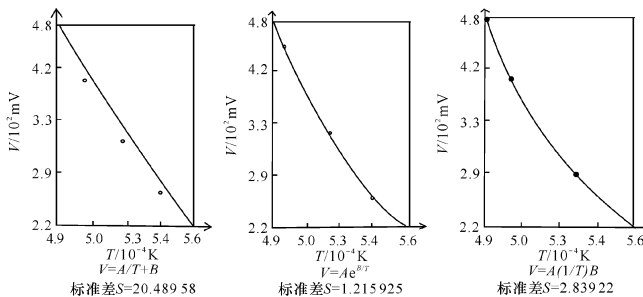


图3 3种拟合函数曲线图

Fig. 3 Three fitting function curves

6) 将步骤4中求出的函数 $V = Ae^{B/T}$ 中的A和B值通过键盘输入“测温仪”,输入的值应为113和1597,然后对钨灯进行测温(此时仪器处于温度显示状态,改变灯丝温度的方法与步骤3相同)。

7) 将A和B输入红外测温仪后,观察通断输出板流时灯丝温度的变化情况。实际观察结果如下:当灯丝电流较小,灯丝温度较低,即板流较小时,测不出灯丝温度随板流的变化;当灯丝电流为0.74 A以上时,可以明显地观察到输出板流,发现灯丝温度要比板流为0时(将开关断开)低(1~2)K(开关未断开前的温度为2 045 K,断开后的温度为2 047 K)。此结果与理论预测值十分相符。

8) 将第二组数据也输入计算机,求得的A和B值分别为3 239 624和-20 553.44。

6 结束语

由于光学高温计测温的实际分辨率为(20~30)K,以灯丝的加热电流密度确定温度,当无法察觉出有板流输出时,灯丝温度下降微小。采用红外测温仪直接测温,可直观地看到在通断输出板流时灯丝温度的微小变化,这是钨丝电子发射(即逸出功)引起的损耗。

参考文献:

[1] 曹柏林. 金属电子的逸出功和板流引起的阴极降温

现象[J]. 天津理工学院学报,2001(3):11-13.

CAO Bo-lin. The phenomenon of the metal electron outcoming energy and the board electrical current leading to the cathode temperature declining [J]. Tianjin Institute of Science and Engineering Journal, 2001(3):11-13. (in Chinese)

[2] 潘人培,董宝昌. 物理实验教学参考书[M]. 北京: 高教出版社,1990.

PAN Ren-pei, DONG Bao-chang. Physics experiment teaching reference books[M]. Beijing, Higher Education Press, 1990. (in Chinese)

[3] 曹柏林,杨鸿升. 辐射测温技术的应用研究[J]. 天津理工学院学报,1998,14(2):56-57.

CAO Bo-lin, YANG Hong-sheng. Radiation thermometry application of technology [J]. Tianjin College Journal,1998,14(2):56-57. (in Chinese)

[4] 尤峻汉. 天体物理中的辐射机制[M]. 北京: 科学出版社,1983.

YOU Jun-han, The mechanism of radiation in astrophysics[M]. Beijing: Science Press,1983. (in Chinese)

[5] 吴小国,郭希铭,曹柏林. 新型红外测温仪在教学实验中的应用[J]. 天津理工学院学报,2003,19(2):64-65.

WU Xiao-guo, GUO Xi-ming, CAO Bo-lin. Application of the new infrared thermometer in the teaching experiment [J]. Tianjin College Journal, 2003,19(2):64-65. (in Chinese)