

强流电子束轰击下浸渍钨酸盐钨钨 阴极的次级发射特性*

楔正才**

(中国科学院电子学研究所, 北京)

摘要 本文对浸渍钨酸盐钨钨阴极在强流脉冲电子束(电子能量为2300eV, 电流密度为12A/cm²)轰击下的次级发射特性作了一些初步研究。

关键词 热阴极; 浸渍钨酸盐钨钨阴极; 次级发射特性

1. 引言

磁控管中, 尤其是大功率脉冲磁控管中, 大量电子回轰阴极是导致阴极次级发射不稳定, 以致管子失效的主要原因之一。虽然, 迄今为止已有许多人做过弱流电子束(电子能量 $E=1000\text{eV}$, 电流密度 $j_p < 100\text{mA/cm}^2$) 轰击下热阴极次级发射特性的研究^[1-7]。但其实验结果很难反映大功率脉冲磁控管中高能大电流密度的电子回轰现象^[8]。为此本文对该阴极在强流脉冲电子束 ($E=2300\text{eV}$, $j_p=10\text{A/cm}^2$) 轰击下的次级发射特性作了一些初步研究。

2. 实验方法

(1) 实验管 图1为实验管结构示意图。1. 是测试样品(可沿导轨移动); 2. 是轰击枪, 它是一支工作在脉冲状态的栅控强流电子枪, 电子束的电流及电子能量可以调节; 3. 是测试枪, 它能产生一束极细并可垂直于样品表面进行扫描的电子束^[7]。束径最小可达 $30\mu\text{m}$, 束流约为 10^{-7}A 。图中C为次级电子收集极。被测样品为浸渍钨酸盐钨钨阴极, 直径为 5.5mm 。实验过程中, 样品温度用光测高温计测量, 实验管内真空度好于 $3 \times$

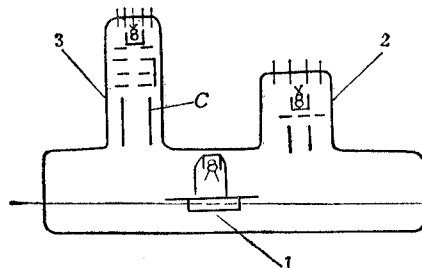


图1 实验管结构示意图

1. 滑动样品架, 2. 轰击枪, 3. 测试枪 C. 次级电子收集极

* 1987年3月21日收到, 1987年10月19日修改定稿。

** 现在电子工业部五十五所工作。

10^{-8} mmHg.

(2) 实验线路及装置 (a) 轰击系统 图2为轰击系统线路图. 栅极G的负偏压 V_G 用干电池提供, 阴栅极之间会有部分漏电, 其回路中接一 $20k\Omega$ 的电阻以防止 V_G 下跌. V_A 和 V_C 可调. C_1 和 C_2 作隔直流之用. C_3 和 C_4 是用在脉冲状态时旁路交流成份. 轰击电流通过加在阴栅之间的脉冲电压来改变, 其大小通过取样电阻用示波器测量. 轰击电子束斑直径为 $1.1mm$. (b) 测试系统^[7] 图3为测量样品次级发射系数 δ 的原理图. 该系统可进行下列三种测量^[7]: ① 样品表面次级发射形貌的直观显示; ② 样品表面上任意一区域内 $\delta(E_p)$ 曲线; ③ 样品表面上次级发射系数的面分布曲线.

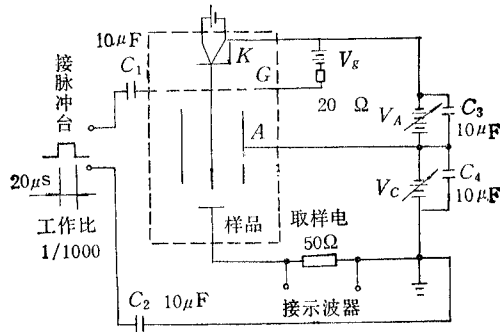


图2 轰击系统线路图

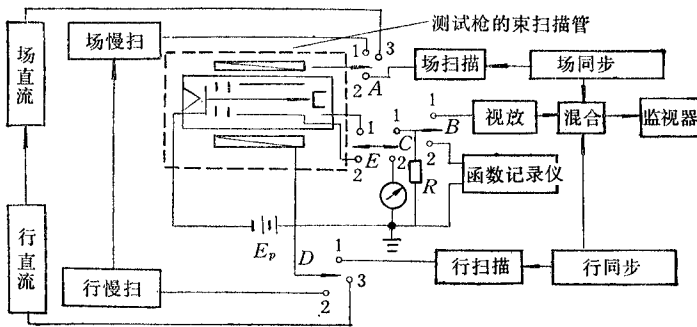


图3 测试系统原理方框图^[7]

3. 实验结果及讨论

(1) 强流电子束轰击下浸渍钨酸盐阴极的次级发射特性

(a) 轰击过程中阴极次级发射系数的衰减特性 在不同电子能量和不同电流密度的电子束轰击下, 处于不同温度的阴极的 δ_m/δ_{m_0} 衰减曲线分别如图4, 图5, 图6所示. δ_{m_0} 是阴极在轰击前的次级发射系数, δ_m 是轰击过程中某一时刻所测的次级发射系数. 由图可见, 在轰击开始后的5小时内, δ 衰减很快, 之后逐渐变慢, 直至稳定不变. δ 衰减速度与轰击电子能量、轰击电流密度以及轰击时阴极的温度有很大关系. 轰击时, 阴极温度越高, δ 衰减越慢; 轰击电子能量越大, δ 衰减越快; 轰击电流密度越大, δ 衰减也越快.

图7为3#阴极在轰击过程中 $\delta-E_p$ 曲线的变化. 很明显, 随着轰击时间的延长, 在 $E_p > 700eV$ 的区域, δ 对 E_p 的变化愈来愈不明显. 轰击100小时后阴极的 $\delta(E_p)$ 关系

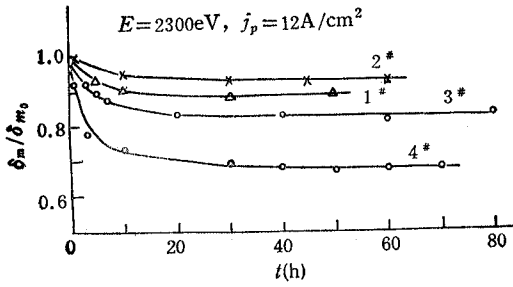


图4 轰击时阴极处于不同温度下的 δ_m/δ_{m0} 衰减特性曲线 ($E_{pm} = 700\text{eV}$)
1# 970°C, 2# 1000°C, 3# 900°C, 4# 800°C

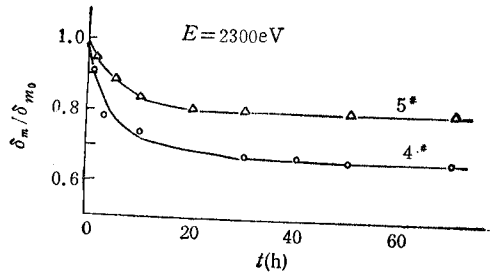


图5 不同电流密度的电子束轰击下, 阴极的 δ_m/δ_{m0} 衰减特性曲线 ($E_{pm} = 700\text{eV}$)
5# 7.6A/cm², 4# 12A/cm²

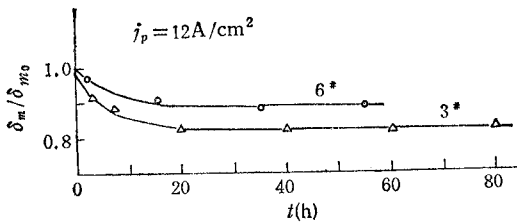


图6 不同能量的电子束轰击下, 阴极的 δ_m/δ_{m0} 衰减特性曲线 ($E_{pm} = 700\text{eV}$)
 $T = 900^\circ\text{C}$, 3# 2300eV, 6# 1900eV

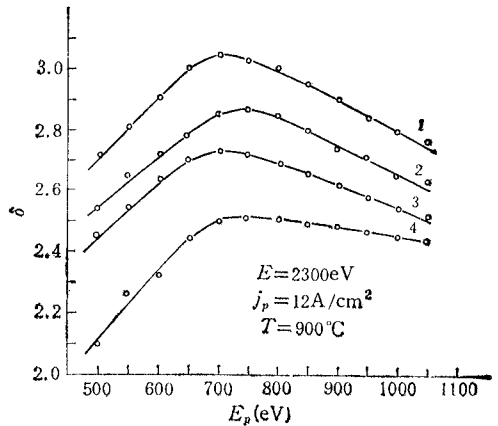


图7 3# 阴极在电子束轰击过程中的 $\delta - E_p$ 曲线
轰击时间 1# 0h, 2# 1h, 3# 10h, 4# 100h

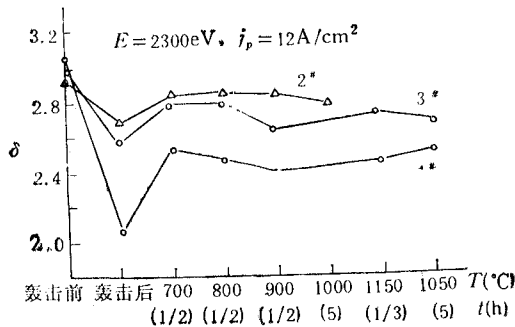


图8 轰击后阴极重新激活时的 δ 恢复特性 ($E_p = 750\text{eV}$)

(激活条件为: 在 700°C, 800°C, 900°C 分别激活 0.5h, 之后, 2# 又在 1000°C 支取电流老炼 5h;
3#, 4# 又在 1150°C 激活 20min, 再在 1050°C 支取电流老炼 5h)

与钨的 $\delta(E_p)$ 关系^[9]十分相似。

(b) 轰击以后阴极的次级发射系数的恢复特性 图8为轰击以后阴极在不同温度下重新激活时 δ 的恢复特性曲线。由图8可看出: ① 经电子轰击后的阴极重新激活时,

较低温度 (700°C, 800°C, 900°C) 下激活即可使 δ 得到较好的恢复, 而以后在较高温度 (1150°C, 1050°C) 下激活及作较长时老炼, δ 进一步恢复却不显著. 但无论是较低温度下还是较高温度下激活, 都未能使 δ 恢复到轰击前的数值. ②轰击时 δ 衰减越多, 那么重新激活时 δ 恢复也越多.

(2) 轰击前后浸渍钨酸盐阴极表面次级发射的形貌

图 9 为电子束轰击前后 3# 样品的次级发射形貌. 由图可见, 轰击前, 阴极表面 δ 分布较均匀. 轰击后, 轰击区(中心白色圆斑, 白色为 δ 较小区, 黑色为 δ 较大区) δ 明显下降. 图 9(c) 为轰击区放大后的次级发射形貌. 可以看出轰击区内 δ 分布是不很均匀的.

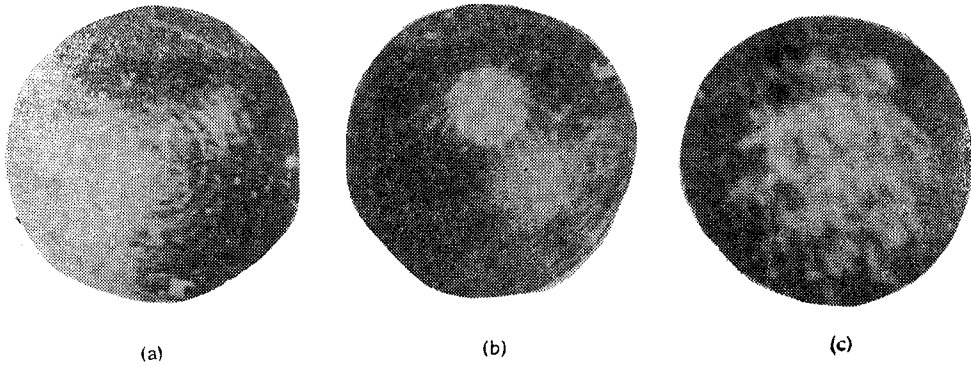


图 9 轰击前后 3# 样品阴极表面的次级发射形貌 ($E_p = 700\text{eV}$)

(a) 轰击前(放大 100 倍) (b) 在 $i_p = 12\text{A/cm}^2$, $E = 2300\text{eV}$, $T = 900^\circ\text{C}$ 轰击 100h 后(放大 100 倍)
(c) 放大的轰击区(1000 倍)

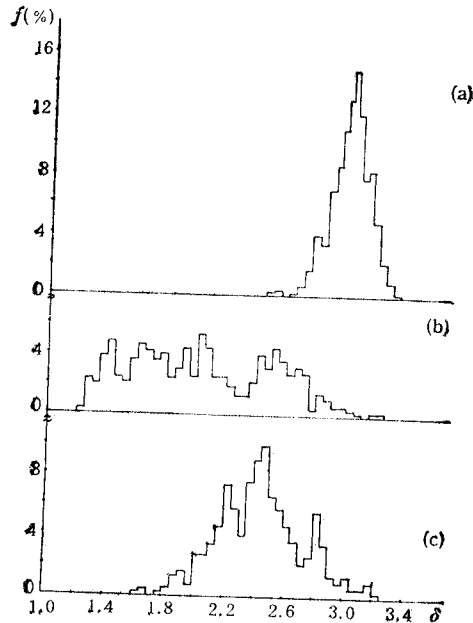


图 10 轰击前后及重新激活后阴极 δ 面分布曲线 ($E_p = 700\text{eV}$)

(a) 轰击前 (b) 轰击 70h 后 ($E = 2300\text{eV}$, $i_p = 12\text{A/cm}^2$, 800°C) (c) 重新激活后

(3) 浸渍钨酸盐阴极次级发射系数的面分布曲线

图 10 为 4[#] 样品在电子轰击前后及重新激活以后, 轰击区内 δ 面分布曲线(纵坐标 f 表示阴极表面上次级发射系数在 δ 至 $\delta + \Delta\delta$ 之间的表面积占总面积的百分比, 即表面占有率)。从图 10 中可知, 轰击前 $f(\delta)$ 中最可几 $\bar{\delta}$ 为 3.02, 半宽高 $\Delta\delta = 0.18$, $\Delta\delta/\bar{\delta} = 5.9\%$ 。轰击以后 $f(\delta)$ 显现多峰状态。其中一峰在 $\delta = 1.4$ 的位置。这表明经电子轰击后, 阴极表面上呈现部分钨基体。这时 $\bar{\delta} = 2.00$, 与定点测量得到的 δ 稳定值一致。重新激活后, 多峰状态消失, δ 有明显恢复。这时 $\bar{\delta} = 2.48$, $\Delta\delta = 0.40$, $\Delta\delta/\bar{\delta} = 16\%$, δ 面分布的均匀性也相应变好。但它们都未能恢复到轰击前的状态。

4. 结束语

(1) 浸渍钨酸盐阴极在强流脉冲电子束轰击下, 次级发射系数 δ 在起始轰击阶段衰减很快, 之后逐渐变慢, 趋向稳定不变。同时 δ 面分布的均匀性也变差。 δ 的衰减速度与轰击电子能量、轰击电流密度以及轰击时阴极的温度有关。阴极温度越低、轰击电流密度越大、轰击电子能量越大, 则 δ 衰减越快。

(2) 经电子轰击以后的钨酸盐阴极, 重新激活能使次级发射系数 δ 的面分布均匀性得到一定的恢复, 但不能恢复到轰击前的状态。

本项工作是在张恩虬先生和刘学懋先生的直接指导下进行的。实验过程中杨凌云、王书绅等老师给予很大帮助。在此表示深切谢意。

参 考 文 献

- [1] A. H. Pickering, B. F. Cooper, 5th Int. Conf. on Microwave Tubes, 1964, Paris, p.410.
- [2] V. A. Alekseyev, V.N. Lepeshinskaya, *Radio Engineering and Electron Physics*, **10**(1965), 500.
- [3] V. A. Alekseyev, V. N. Lepeshinskaya, *Radio Engineering and Electron Physics*, **10** (1965), 502.
- [4] L. Lesensky, D.K.Das, Long Life Cold Cathode for Crossed-Field Amplifiers, IEEE Conference Record of 8th Conf. on Tube Techniques, New York, 1966, p. 236
- [5] L. Lesensky et al., Long Life Cold Cathode for Crossed-Field Tubes, IEEE Conference Record of 9th Conf. on Tube Techniques, New York, 1968, p. 196.
- [6] 陈隆华, 李洪武, 用正交试验法选择钨钨阴极制造方法, 第四届全国电真空学术年会论文集, 上海, 1982 年 p. 103.
- [7] 毛独立, 浸渍钨酸盐钨钨阴极次级发射特性的研究, 硕士学位论文, 中国科学院电子学研究所, 1985 年 8 月.
- [8] 张恩虬, 技术情报, 国光电子管厂, 1983 年, 第 5 期(特刊 1).
- [9] J. L. Cronin, *IRE Proc.*, Pt. I, **128** (1981)1, 29.

RESEARCH ON SECONDARY EMISSION PROPERTIES OF IMPREGNATED BARIUM SCANDATE DISPENSER CATHODE UNDER BOMBARDMENT OF POWERFUL ELECTRON BEAM

Xie Zhengcai

(Institute of Electronics, Academia Sinica, Beijing)

Abstract Secondary emission properties of impregnated barium scandate dispenser cathode has been studied under the bombardment of pulse powerful electron beam (electron energy-2300eV and electronic density-10A/cm²).

Key words Thermionic cathode; Impregnated barium scandate Ba-W cathode; Secondary emission property