

测量热阴极次级发射特性的扫描 电子探针法*

杨凌云 毛独立

(中国科学院电子学研究所)

提 要

本文介绍了一种适用于量测热阴极次级发射特性的扫描电子探针法,原电子探束束斑直径为 $50-100\mu\text{m}$,束流小于 10^{-7}A ,原电子能量不大于 3kV .该装置能定点测量热阴极表面上感兴趣点的次级发射系数 δ 与原电子能量间的关系曲线 ($\delta-E_p$);也能以扫描方式在短时间内测出整个热阴极表面的次级发射分布,从而求得次级发射的定量分布曲线 ($I-\delta$).该装置在电视制式的扫描方式工作时,能观察热阴极表面的次级发射图象.

对纯镍样品的测量表明:该装置具有比单枪定点法更多的优点和更高的精度.由于该装置简便灵活,便于与热阴极研究的特殊需要相结合,因此,可望在热阴极的研究中发挥作用.

一、引 言

次级发射系数 (δ) 是阴极的重要性能之一.阴极的次级发射是构成许多实用真空器件的基础.例如,在磁控管中,由于有大量电子回轰阴极,引起阴极发射次级电子,使得阴极总发射电流大于热发射电流^[1],保证了磁控管的正常工作.又如在微通道板、光电倍增管、无截获栅栅控电子枪中,次级发射的研究更具有重要的意义.因此,多年来,国内外许多研究者都在致力于研究准确测量阴极次级电子发射特性的方法.

测量阴极次级发射系数常用的有电子枪法^[2].对于导电性能较差的材料,为解决被测阴极(靶)的表面充电,又发展了脉冲法^[3],双枪法^[4],三枪法^[5]等.这些方法都只是定点测量,只能测出阴极表面上某一区域的次级发射平均值,不能提供关于被测阴极表面各微区次级发射不均匀性的信息.而阴极表面次级发射分布的研究,无论是对实际应用,还是对进一步探讨阴极发射机理,都具有重大意义.

我们研制的阴极次级发射性能测试装置,不仅可以测出阴极表面的平均次级发射系数,还可测出表面各点次级发射系数的定量分布曲线和表面次级发射图象.

二、测 量 装 置

1. 实验管结构

* 1985年6月14日收到,1986年10月20日修改定稿.

实验管结构原理图示于图 1。采用一英寸彩色摄像管的电子枪。它由阴极 K 、调制极 g_1 、加速极 g_2 、 g_4 、电聚焦极 g_3 和漂移筒 C 组成。漂移筒兼作次级发射电子的收集极。电子枪加速极上的限制膜孔直径为 0.1mm ，若要提高分辨率可进一步减小该膜孔直径。通过调节电聚焦极电压和放在实验管外面的磁聚焦线卷的电流，可使测量装置的分辨率达到 $50\mu\text{m}$ 。被研究阴极制成圆形靶，直径为 5.6mm ，置于漂移筒出口附近，以保证全部次级电子都被收集。被测阴极的温度由焊在套筒上靠近阴极饼处的 Pt-PtRb 热偶测量。电子枪的各电极被嵌封在三根玻璃杆上，以保证各电极相互平行对中。玻壳的直径为 24.6mm

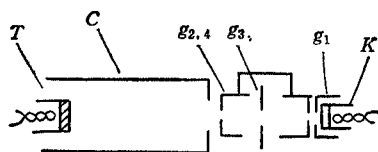


图 1 实验管结构示意图

K 阴极， g_1 调制极， $g_{2,4}$ 加速极， g_3 聚焦极， C 漂移筒， T 靶

2. 实验线路

(1) 定点测量 定点测量的原理线路图示于图 2。调制极电压 V_{g1} 可在 $0-100\text{V}$ 之间变化，以控制电子束的强弱。加速极电压 $V_{g2} = V_{g4} = 300\text{V}$ 。聚焦极电压 $V_{g3} = 250-450\text{V}$ 。原电子能量 E_p 在 $300-3000\text{V}$ 之间变化。收集极相对靶的电压 $E_c = 45\text{V}$ 。以保证收集到全部次级电子。灯丝电压为 6.3V 。利用多路开关的转换，可用同一检流计分别测出原电子流 I_p ，次级电子流 I_s ，以及着靶电流 I_t 。这样可减小测量系统的误差，测得的 δ 的相对误差小于 2% 。 δ 可用下列公式求得：

$$\delta = I_s / I_p \quad (1)$$

或

$$\delta = 1 - I_t / I_p. \quad (2)$$

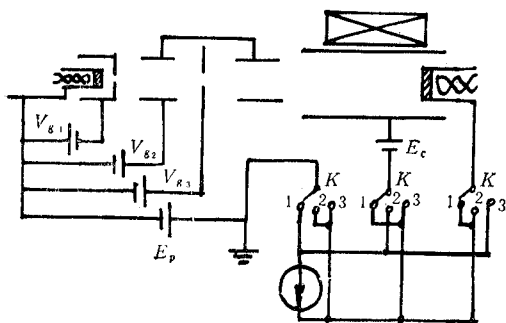


图 2 定点测量原理线路图

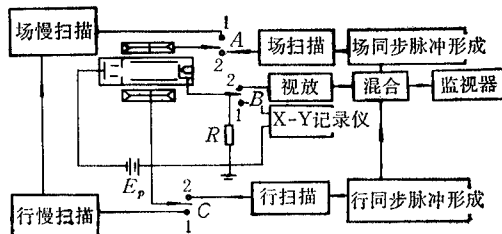


图 3 测量次级发射分布的原理框图

(2) 次级发射分布的测量 测量次级发射分布的线路原理框图示于图 3。

当实验管外面的场偏转线卷和行偏转线卷分别与场慢扫描电路和行慢扫描电路相连

时, 电子束可在被测阴极面上自上而下, 自左至右进行慢扫描(转换开关 A 和 C 分别置于“1”), 输出的次级电流信号经取样电阻 R 由函数记录仪自动记录(转换开关 B 接于“1”), 记录仪与行扫描信号同步。这样就获得了次级电流的分布图, 将记录结果进行统计, 即可获得次级发射的定量分布图。

(3) 次级发射图象的观测 显示次级发射图象的原理框图也是图 3。当转换开关 A 、 B 分别置于“2”时, 行和场偏转线卷分别与摄像机的扫描电路连接, 电子束可在被测阴极面上进行电视制式扫描。由靶上传出的信号 $I_p - I_s$, 经视频放大后与同步信号混合, 形成全电视信号, 加于监视器上, 在屏幕上即显示出次级电子发射图象, 可用照相机拍摄下来。

由于 δ 大的区域, 入靶电流反而小, 因而白色对应低 δ 区, 黑色对应高 δ 区。本测量装置能分辨出 $\Delta\delta = 0.1$ 的变化, 并可图象放大 300 倍。

测量装置中电子束聚焦的好坏, 可由监视器观察。同时, 在测量过程中用检流计进行校准, 以保证测量的可靠性。

测量所用束电流均小于 $0.1\mu\text{A}$ 。持续测量表明, 电子束轰击对靶面状态无影响。

测量时被测阴极靶的温度以不出现明显热发射为准。我们的测量是在室温下进行的, 对钽靶和对钽钨阴极的测量表明: 束电流小于 $0.1\mu\text{A}$ 时没有充电现象。

排气是用 FSL-700 型复合离子泵无油超高真空系统进行的, 极限真空度为 $5 \times 10^{-9}\text{mmHg}$, 测量过程中始终保持真空度优于 $2 \times 10^{-8}\text{mmHg}$ 。

三、测量结果

1. $\delta - E_p$ 曲线

图 4 所示为纯镍的次级发射特性 $\delta - E_p$ 曲线。所用镍的纯度为 99.9%, 测量前超声波清洗, 烧氢处理。在实验管内又用电子轰击进行清洁。由图可见, $E_{pm} = 500\text{V}$ 时 $\delta_m = 1.3$, 这与文献报道的数据一致^[6]。

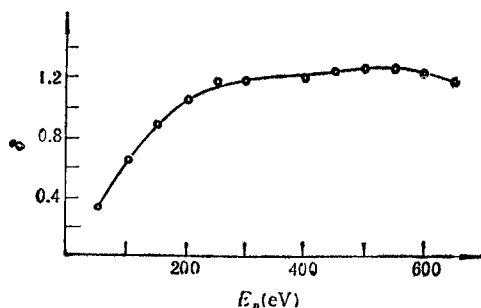
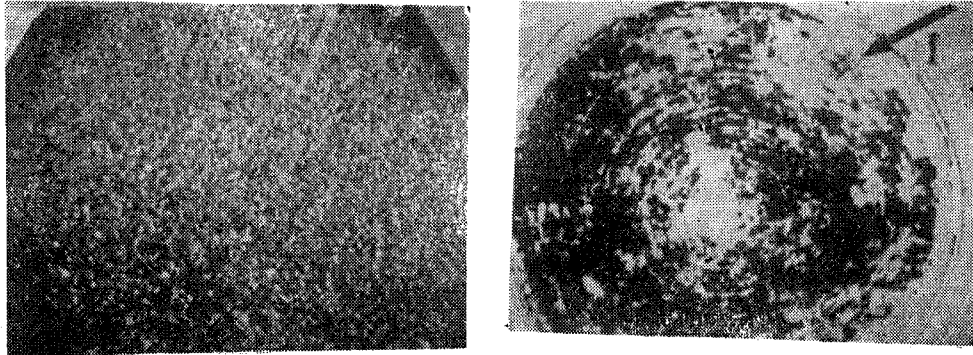


图 4 纯镍的次级发射特性 $\delta - E_p$ 曲线

2. 次级发射图象

测量出的纯镍和钽钨阴极激活后的表面的次级发射图象示于图 5(a) 和 (b)。原电子的能量均为 580eV 。由图可见, 纯镍表面的次级发射是很均匀的, 而钽钨阴极表面的次级发射是不均匀的。这可能与阴极热发射的不均匀有联系^[7,8]。镍靶的次级发射图象反映

出边缘部份次级发射系数大,这是由于边缘不够清洁的缘故^[6]。因为测量前作的电子轰击清洁处理,主要轰击区域是中间部份。



(a) 纯镍

(b) 钡钨阴极

图 5 纯镍和钡钨阴极激活后表面的次级发射图象

3. 阴极表面的次级发射分布

利用慢扫描方式测量了钡钨阴极表面 2000 多个点的次级发射系数,对结果进行统计,便得到阴极表面的次级发射系数的定量分布曲线,如图 6 所示。从曲线可知,该阴极的最可几 δ 值为 3.45,峰值半高宽 $\Delta\delta \approx 0.4$

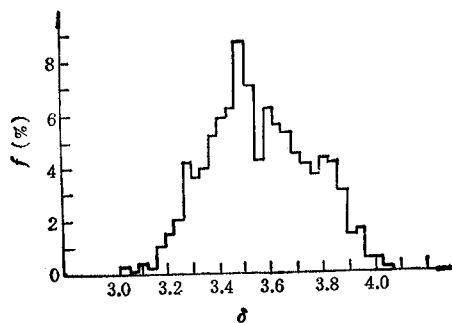


图 6 钡钨阴极的次级发射系数的定量分布曲线

四、结 束 语

按我们设计方案研制的热阴极次级发射性能测试装置,具有设备简单,分辨率高等特点。它能同时测得热阴极表面感兴趣点的次级发射系数、热阴极整个表面上的次级发射的分布曲线,还能直接观察阴极的次级发射图象,它比单枪定点法优越得多。该装置若配以 SLEEP 和 AES 等,就能把阴极表面成份比,阴极表面逸出功分布等与次级发射联系起来。该装置如配上微处理机, A/D、D/A 转换器和彩色图象板,彩色监视器和打印机,即可把次级发射图象变成有 16 种颜色的伪彩色图象显示出来;还可把次级发射的面分布曲线和不同 δ 区的面分布图通过打印机打印出来。无疑这对了解阴极发射机理是一种有意义的测试装置。

参 考 文 献

- [1] R. Jepson and M. Muller, *J. Appl. phys.*, **22**(1951), 1196.
- [2] I. Brodie, *Brit. J. Appl. Phys.*, **8**(1957), 202.
- [3] J. B. Johnson, *Phys. Rev.*, **66**(1944), 952.
- [4] H. Salow, *Z. Tech. Phys.*, **2**(1940), 8.
- [5] 童林风、睢江程, 真空科学与技术, **4**(1984), 381.
- [6] 刘学恣, 阴极电子学, 科学出版社, 北京, 1980, P 395.
- [7] R. E. Thoms and C. D. Morrill, *Appl Sur Sci.*, **16**(1983), 292.
- [8] 张恩虬、刘学恣, 电子科学学刊, **6**(1984), 89.

A SCANNING LOW ENERGY ELECTRON PROBE FOR MEASURING THE SECONDARY EMISSION OF THERMIONIC CATHODES

Yang Lingyun, Mao Duli.

(*Institute of Electronics, Academia Sinica*)

For this probe, the beam spot diameter of the primary electron beam is 50—100 μm , the primary beam current is lower than 10^{-7} A, and the energy of the primary electron (E_p) can be varied from 200 eV to 3 keV.

By use of this probe, the secondary emission coefficient (δ) versus E_q curve and the secondary emission distribution over the cathode surface can be measured, and the secondary emission image of the cathodes can also be displayed. Finally, the secondary emission of the pure nickel sample and impregnated dispenser cathode are measured.