

复铯膜阴极的发射和表面特性* **

张洪来 由玉新 程永吉 王亚杰 吕庆年

(中国科学院电子学研究所, 北京)

摘要 本文报道了复铯膜扩散阴极的发射和表面特性的研究结果, 并与 S-型阴极进行了比较. 实验结果表明: S-型阴极复铯膜后, 其热电子发射明显提高, 且分布均匀. 阴极表面上主要元素的俄歇像显示 Ba 在复铯膜阴极表面上的分布要比在 S-型阴极表面上均匀得多, Ba 的低能 Auger 谱和 XPS 的研究表明: 与 S-型阴极相比 Ba 在复铯膜阴极表面上呈现更强的金属特性. 这可能是 S-型阴极复铯膜后发射增大的主要原因.

关键词 热阴极; M-型阴极; 热电子发射; 阴极表面分析

1. 前言

近年来, 由于高频大功率微波器件的发展, 相继研制出多种类型的大电流密度阴极. M-型阴极就是其中的一种. 它是 1966 年由 P. Zalm 等人^[1]首先研制成功的. 这种阴极是在 B-型或 S-型阴极表面上沉积上一层约 $0.5\ \mu\text{m}$ 厚的金属薄膜 (如 Re, Ir) 或合金薄膜 (如 Os-Ru 或 Os-Ir), 其结果使得 B-型阴极或 S-型阴极的发射电流密度提高 3—4 倍, 如果在同样的电流密度下工作, 则 M-型阴极的工作温度要比 B-型或 S-型阴极低 100°C 或更多, 这不但减轻了热子的负担, 同时可大大减少阴极活性物质的蒸发, 从而延长阴极的寿命. 由于 M-型阴极的这些优点, 在微波器件中得到了愈来愈广泛的应用. 与此同时, 阴极工作者对其表面特性也进行了大量的研究, 以便弄清其工作机理.

我们从七十年代开始对复铯膜阴极和复铯膜阴极进行了研制, 并在微波器件中得到了应用. 本文用俄歇谱仪和 X-射线光电子谱仪对复铯膜阴极表面进行了分析, 并结合发射特性的测量, 讨论了铯膜对 S-型阴极发射性能的影响.

2. 实验方法

复铯膜阴极样品是在普通的 S-型阴极 (BaO , CaO 和 Al_2O_3 的克分子比为 4:1:1) 表面上用射频溅散的方法沉积上一层约 $1000\ \text{\AA}$ 厚的铯膜而成.

阴极表面的 Auger 分析是在 PHI595 扫描俄歇谱仪上进行的. 仪器的本底真空度约 $4 \times 10^{-10}\ \text{mmHg}$. 分析过程中真空度维持在 $2-3 \times 10^{-9}\ \text{mmHg}$. 阴极样品可在分析室中进行热激活. 阴极表面的元素分布 (俄歇像) 是在 $400 \times 400\ \mu\text{m}^2$ 区域内, 利用小束斑电子束 (直径小于 $1\ \mu$) 而获得的. 在此区域内共选取了 25600 个分析点.

阴极的 XPS 分析是在 ESCA-LAB-5 X-射线光电子能谱仪上进行的. 阴极样品可在预真空室中进行加热和支取电流激活, 并可通过针阀将氧气引入进行阴极曝氧试验.

* 1988 年 12 月 22 日收到. 1989 年 2 月 5 日修改定稿.

** 国家自然科学基金资助项目.

阴极的发射电流是采用平板型二极管测得的。为了更好地比较 S-型阴极和复铯膜阴极的发射特性,我们采用了 Beck 和 Wang^[2] 提出的热阴极的“Patch model”。这个模型假定在热阴极表面上存在着大量的发射点,每个发射点的电流可用正态分布来描述,然后利用中心极限定理导出了整个阴极表面的发射电流公式: $J = J_m \exp(-r^2/(2\sigma^2))$ 。阴极的发射性能可用二个参数 J_m 和 $r^2/(2\sigma^2)$ 来表征。 J_m 愈大 $r^2/(2\sigma^2)$ 愈小则阴极发射能力愈大,且发射分布愈均匀。而 J_m 和 $r^2/(2\sigma^2)$ 值可直接从所测得的二极管伏安特性曲线求出来,这样就可方便地用来评价不同阴极的发射性能。

3. 结果和讨论

(1) 复铯膜阴极的发射特性 在阴极温度为 950°C_B 时,测量了复铯膜阴极和 S-型阴极的伏安特性曲线。如图 1 所示。

利用 Beck 和 Wang 的方法,从上面的伏安特性曲线求出参数 J_m 和 $r^2/(2\sigma^2)$, 其值列于表 1。从所获得的数据明显看出: S-型阴极复铯膜以后, J_m 增大且 $r^2/(2\sigma^2)$ 值减小,这说明铯膜不但使 S-型阴极的发射增大,而且也使其发射更加均匀。

(2) 阴极表面元素分布 图 2 给出了激活后的复铯膜阴极表面上主要元素 Ba、O、W 和 Re 的分布。从图中可以看出: Ba 和 O 具有大致相似的分布且与 W 呈相间分布,即 W 多的地方 Ba 和 O 相对地较少。Re 的分布较均匀。为了比较起见,图中还给出了 S-型阴极表面上 Ba 元素的分布。与 S-型阴极相比, Ba 在复铯膜阴极表面上的分布要均匀得多。

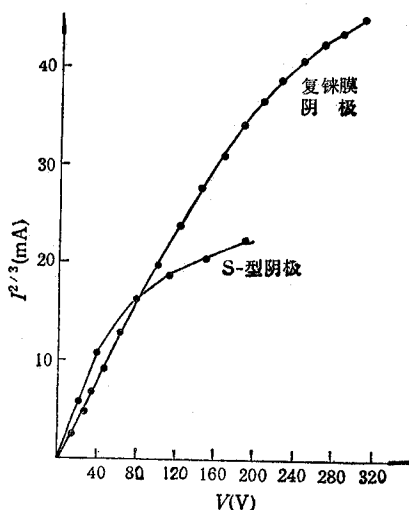


图 1 S-型阴极和复铯膜阴极伏安特性曲线
(阴极温度为 950°C_B)

(3) 钡低能 Auger 谱 G. A. Haas 等人^[3]研究了钡膜氧化过程中钡的低能

表 1 复铯膜阴极和 S-型阴极的 J_m 和 $r^2/(2\sigma^2)$ 值

	$J_m(\text{A}/\text{cm}^2)$	$r^2/(2\sigma^2)$
复铯膜阴极	56.6	1.5
S-型阴极	7.4	3.3

Auger 峰的变化,并计算了不同的峰值所对应的可能的 Auger 跃迁。其中 68 eV 峰对应于 $\text{Ba}_{4d}\text{Ba}_{5p}\text{O}_{2p}$ Auger 跃迁, 72 eV 峰对应于 $\text{Ba}_{4d}\text{Ba}_{5p}\text{Ba}_{6s}$ Auger 跃迁。因此 68 eV/72 eV (峰-峰高比)可用来定性地说明钡的氧化状态。图 3 给出了复铯膜阴极和 S-型阴极表面上钡的低能 Auger 谱。可以看出: S-型阴极表面上 68 eV/72 eV 峰-峰高比明显高于复铯膜阴极。这说明在复铯膜阴极表面上,钡具有更强的金属特性。

(4) XPS 分析 图 4 给出了复铯膜阴极和 S-型阴极表面上 W_{4f} 和 Re_{4f} 的光电子谱。从图 4(a) 可看出,随着阴极的激活, W_{4f} 峰逐渐增强而 Re_{4f} 峰逐渐减弱,这说明

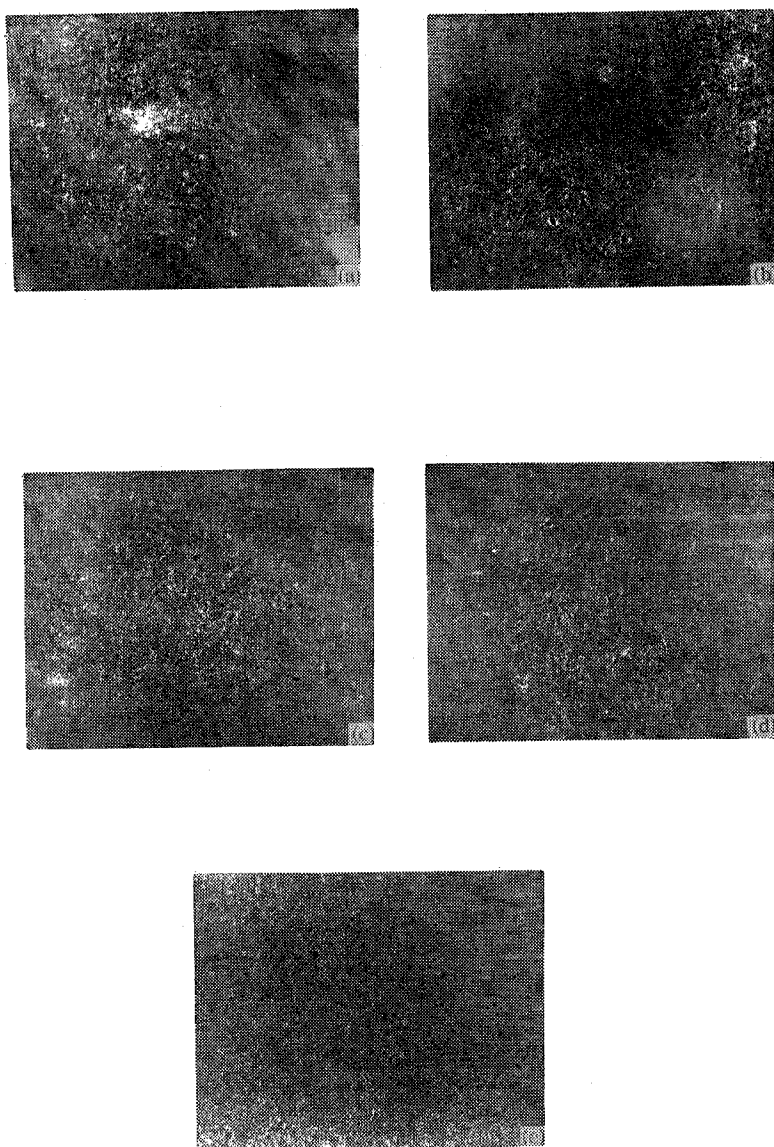


图2 阴极表面元素分布 (a) 复铼膜阴极的 Ba 元素 (b) S-型阴极的 Ba 元素
(c) 复铼膜阴极的 O 元素 (d) 复铼膜阴极的 W 元素 (e) 复铼膜阴极的 Re 元素

在阴极激活过程中, W 和 Re 发生了互扩散。阴极激活后, 复铼膜阴极表面上铼和钨均呈现单一的化学态即纯金属态。在 S-型阴极情况下, 见图 4(b), 在阴极尚未达到充分激活时, 阴极表面上钨存在着两种化学态: 即纯金属态和氧化态, 当阴极充分激活后氧化态消失, 只留下纯金属态。

图 5 是复铼膜阴极和 S-型阴极激活前后的 Ba_{3d} 光电子谱。在 S-型阴极情况下, 激活前其 $Ba_{3d_{5/2}}$ 结合能为 780.8 eV, 阴极激活后其值为 780.4 eV, 向低能端位移了 0.4 eV。而在复铼膜阴极情况下, 激活前由于表面铼膜的复盖, 阴极表面上钡量很少, 因此

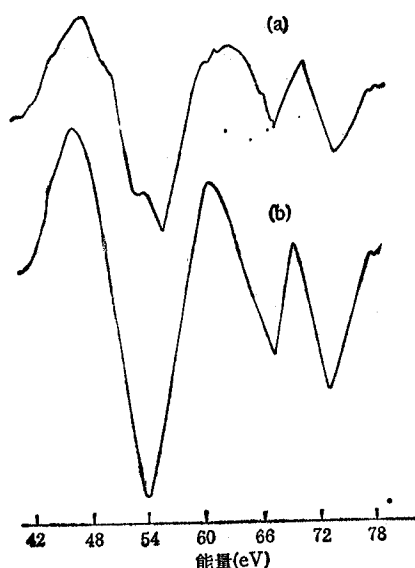
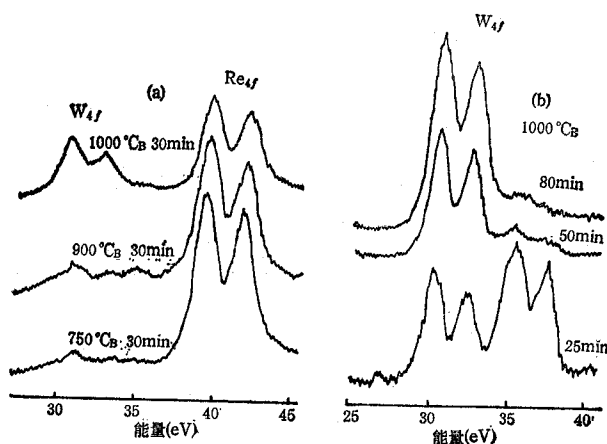
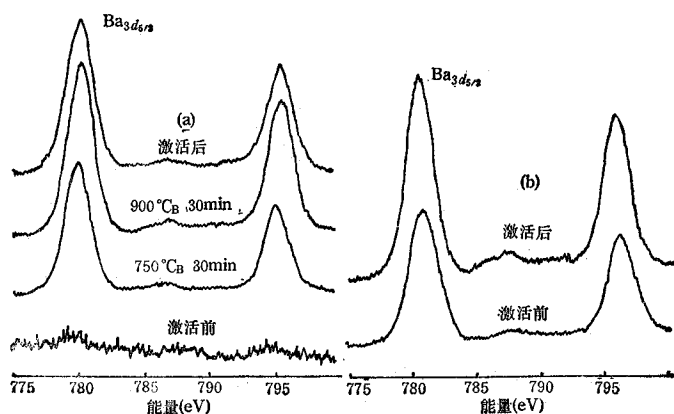


图3 钨低能 Auger 谱

(a) 复铼膜阴极 (b) S-型阴极

图4 W_{4f} 和 Re_{4f} 光电子谱

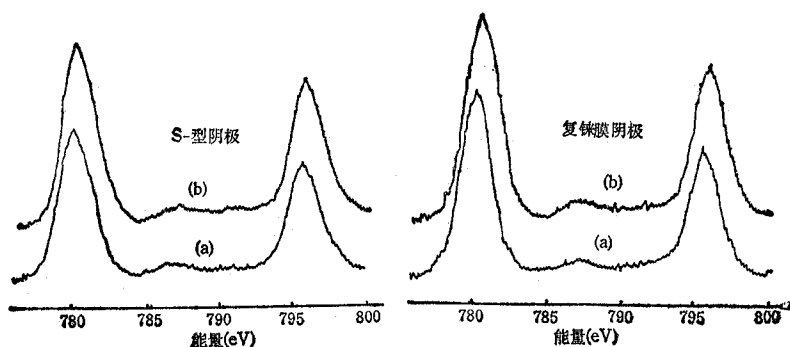
(a) 复铼膜阴极 (b) S-型阴极

图5 阴极激活前后 Ba_{3d} 光电子谱

(a) 复铼膜阴极 (b) S-型阴极

Ba_{3d} 峰很弱, 很难确定其结合能准确数值, 但由于这两种阴极采用相同的发射材料, 因此在阴极激活前钡的化合态应是相似的, 故我们完全有理由认为在复铼膜阴极表面上, 激活前 Ba_{3d} 的结合能与 S-型阴极情况下一样。而激活后其值为 780.1 eV, 向低能端位移了 0.7 eV。故 Ba_{3d} 结合能值在这两种不同阴极表面上相差 0.3 eV, 显示出钡化合态上的差异。这种差异可能与基底表面不同有关。我们知道, 在 S-型阴极情况下, 基底原子是 W, 而在复铼膜阴极情况下, 由于 W 和 Re 两种元素, 原子的互扩散, 其表面为 W + Re 的合金相, 可能这不同的基底表面导致了 Ba 和 O 的不同排列, 从而引起钡化合态上的差异。

为了进一步认识钡在这两种不同阴极表面上化合态的差异, 我们又观察了阴极曝氧

图 6 曝氧前后 Ba_{3d} 光电子谱

(a) 曝氧前 (b) 曝氧后

前后 Ba_{3d} 光子谱的变化。阴极的曝氧实验是在预真空室中进行的,当阴极达到充分激活并在支取电流的情况下将氧气引入系统中,直到阴极发射电流降至初始值的 10% 为止,然后将阴极移至分析室进行 XPS 分析。图 6 给出了复铯膜阴极和 S-型阴极曝氧前后的 Ba_{3d} 光电子谱。从图看出:在 S-型阴极情况下,曝氧前后 $Ba_{3d_{1/2}}$ 结合能变化不大 (780.4eV—780.5eV),而对于复铯膜阴极,则 $Ba_{3d_{1/2}}$ 结合能位移了 0.4 eV (780.1 eV—780.5eV),当阴极完全中毒后,则 $Ba_{3d_{1/2}}$ 结合能相同。这种曝氧前后 Ba_{3d} 结合能在两种不同阴极表面上的变化,反映了钡在这两种阴极表面上氧化程度的差异。钡的低能 Auger 谱已清楚表明:在复铯膜阴极表面上钡的氧化程度要比在 S-型阴极表面上来得弱,因而曝氧后其氧化程度加重,因而 Ba_{3d} 结合能的变化也比在 S-型阴极情况下的大。

4. 结论

通过对复铯膜阴极和 S-型阴极的发射性能的测量以及 Auger 和 XPS 分析,可得出如下几点结论:(1) 铯膜提高了 S-型阴极的热电子发射能力并改善了发射的均匀性;(2) Auger 分析表明,不论是 S-型阴极还是复铯膜阴极,激活后其表面上主要元素为 Ba, O, 和 W(或 W + Re),而在复铯膜阴极表面上,钡的分布较在 S-型阴极表面上均匀得多。钡的低能 Auger 谱显示出,相对于 S-型阴极来讲,钡在复铯膜阴极表面上呈现较强的金属特性;(3) XPS 分析表明,激活后的 S-型阴极和复铯膜阴极,其基底金属(W 或 Re)均呈现单一的金属态。通过 $Ba_{3d_{1/2}}$ 结合能在阴极激活前后和氧中毒前后的变化,可看出在复铯膜阴极表面上钡的氧化程度较之在 S-型阴极表面上为弱。这与 Auger 分析的结果是一致的。综上所述,S-型阴极复铯膜以后,其发射能力的提高及发射均匀性的改进是与钡在复铯膜阴极表面上分布均匀且具有较强的金属特性相联系的。

作者衷心感谢中国科学院物理所表面组谢侃同志及钢铁研究总院物理室俄歇组同志在表面分析中给予的大力帮助。

参 考 文 献

- [1] P. Zalm, A. J. A. Van Stratum, *Philips Tech. Rev.*, 27(1966) 3/4, 69—76.
- [2] A. H. Beck, De-An Wang, *Int. J. Electronics*, 51 (1981) 6, 717—733.
- [3] G. A. Haas, C. R. K. Marrian, A. Shib, *Applications of surface Science*, 16(1983) 1/2, 106—124.

EMISSION AND SURFACE CHARACTERISTICS OF A DISPENSER CATHODE COATED WITH RHENIUM

Zhang Honglai You Yuxin Cheng Yongji Wang Yajie Li Qingnian

(Institute of Electronics, Academia Sinica, Beijing)

Abstract The emission and surface characteristics of a dispenser cathode coated with Re are studied. It is found that the dispenser cathode coated with Re has both higher current density and more uniform distribution of emission than the S type cathode. The Auger images of Ba show that the Ba distribution on the surface of the cathode coated with Re is more uniform than that on the surface of the S type cathode. The analytical results by XPS and low energy AES show that the Ba on the surface of the cathode coated with Re has stronger metallic property than that on the surface of the S type cathode.

Key words Thermionic cathode; M type cathode; Thermionic emission; Cathode surface analysis