

# 微通道板电子透射膜的工作特性

闫金良

(烟台师范学院物理系, 山东, 烟台 264025)

**摘要** 利用静电贴膜技术在 MCP 输入面制备了 4 nm 厚  $\text{Al}_2\text{O}_3$  非晶态电子透射膜, 此工艺不造成 MCP 通道壁内表面碳污染. 探讨了贴膜与气体辉光放电的关系, 测量了 MCP 电子透射膜的电子透过特性和离子阻挡特性. 实验表明, 4 nm 厚  $\text{Al}_2\text{O}_3$  非晶态电子透射膜能有效地透过电子, 阻止反馈离子.

**关键词** 微通道板; 电子透射膜; 像管

**中图分类号** TN105.1; TN223

**文献标识码** A

## 0 引言

微通道板(MCP)是一种由铅硅酸盐玻璃拉制成的细丝经过高温融合和后序专用工艺而形成的二维阵列式电子倍增器. 由于它具有高电子增益和低噪声的特点, 成为高速光电倍增管、阴极射线管、像管、位敏探测器等器件的核心部件. MCP 的应用越来越广泛, 对它的要求也越来越高. 1973 年 Mullard 公司为消除倒像管的黑斑点和离子斑采取在 MCP 输入端蒸镀铝膜(厚度 20 nm)<sup>[1]</sup>. 国外 70 年代末期在 III 代像管中开始应用带有  $\text{Al}_2\text{O}_3$  或  $\text{SiO}_2$  电子透射膜的 MCP<sup>[2,3]</sup>. 实验发现, MCP 电子透射膜能使阴极灵敏度衰弱减慢 10 倍, 像管寿命可提高 4 倍. 作者成功地在 MCP 输入面制备了电子透射膜, 并研究了 MCP 带膜后的性能<sup>[4,5]</sup>. 本文仅介绍无碳污染 MCP 电子透射膜的电子透过特性和离子阻挡特性.

## 1 样品制备

### 1.1 双层膜的制备

用洁净的抛光支架粘附漂浮于去离子水表面的厚度 0.5 ~ 1.0  $\mu\text{m}$  的有机膜, 用浸渍-提拉装置提膜, 在室温下干燥固化自持有有机掩膜. 将已干燥固化的自持有有机膜用光学放大镜检查之后, 开始选择一表面光洁度较好的自持有有机膜做衬底, 用磁控溅射装置在有机衬底上沉积铝膜(有机膜和铝膜合称双层膜), 膜厚监控采用 MEK1-U-3.3 石英电子微平衡器(误差范围  $\pm 10\%$ ). 在氩气氛中, 用溅射方法制备的铝膜是非晶态的, 且与实验范围内所用的沉积功率密度无关.

### 1.2 电子透射膜的贴附

置双层膜和 MCP 于二极直流放电系统中, 在真

空环境下使 MCP 输入面和双层膜的铝膜相叠合. 通过微漏阀渗入氧气, 启动阴极-阳极电压, 阴极-阳极间隔内放电产生. 结果双层膜表面层的有机衬底充电, 在静电力作用下, 双层膜吸附在 MCP 输入面. 同时, 双层膜中的有机膜衬底分解, 铝膜氧化, 电子透射膜在分子间引力作用下牢固吸附在 MCP 输入面上.

根据直流辉光放电现象及相应的电位、场强和电荷密度分布规律, 可以发现与贴膜相关的问题, 一是阳极要调放在法拉第暗区, 轰击有机膜的粒子为电子, 且能量较小; 二是放电电流要小. 低温等离子体放电贴膜条件是很关键的, 放电条件不合适, 膜容易撬起, 飞掉. 合适的放电条件下, 电子透射膜均匀牢固贴在 MCP 输入面上. 物理吸附(静电力和范德瓦尔斯力)为粘附提供达 0.5 eV 的能量, 附着力在  $10^{-1} \sim 10^3 \text{N} \cdot \text{cm}^{-2}$  之间<sup>[6]</sup>, 受激氧原子的碰撞引起与有机膜衬底的化学反应, 形成低分子量、易挥发的化合物. MCP 电子透射膜工艺避免了 MCP 同有机膜的直接接触, 杜绝了有机膜分解过程中对 MCP 通道内壁的碳污染, 不影响通道内表面结构.

## 2 电子透过特性的实验和结果

整个实验装置是由紫外(UV)光源、金(Au)阴极、带膜 MCP 和荧光屏组成的双近贴聚焦像管的动态模拟系统. 图 1 是实验装置图. 紫外线激发金阴极后所发射的光电子透过  $\text{Al}_2\text{O}_3$  超薄膜而进入 MCP

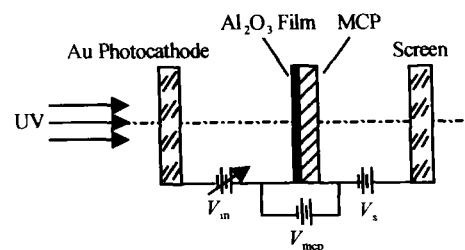
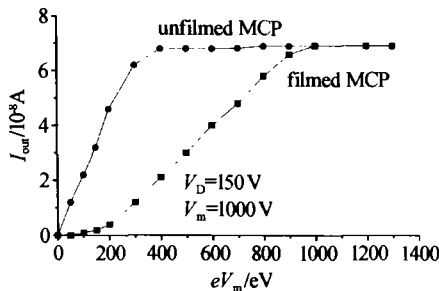


图1 双近贴聚焦模拟系统  
Fig. 1 Double proximity focused simulator

的通道中,倍增后由荧光屏收集,可测出输入电子能量  $eV_{in}$  和输出电流  $I_{out}$  的关系,此即为电子透过特性,可表征  $Al_2O_3$  超薄膜电子透过能力的大小. 为了便于比较,测量了 MCP 带膜前的输入电子能量  $eV_{in}$  和输出电流  $I_{out}$  的关系.

图 2 显示了 MCP 输入面带 4 nm 厚  $Al_2O_3$  膜和 MCP 带膜前的输入电子能量  $eV_{in}$  和输出电流  $I_{out}$  的关系. 由图可见, MCP 输入面上的  $Al_2O_3$  超薄膜起到了电子能量衰减器的作用. 当  $V_{in} < V_D$  (即入射电子能量  $eV_{in}$  小于某能量  $eV_D$ ) 时,  $Al_2O_3$  膜输出面的二次发射电子进入 MCP 通道, 随  $V_{in}$  增大, 二次电子逸出数增多, 输出电流极其微弱; 当  $V_{in} > V_D$  (即入射电子能量  $eV_{in}$  大于某能量  $eV_D$ ) 时, 光电子开始穿透  $Al_2O_3$  膜, 且随  $V_{in}$  增大, 光电子穿透  $Al_2O_3$  膜数量增多, 输出电流或输出屏的亮度都随之而增加; 当输入光电子能量  $eV_{in} \geq eV_m$  时, 输出电流趋于饱和或荧光屏的亮度趋于不变. 此处称  $V_D$  为死电压,  $V_m$  为临界饱和电压. 由电子透过特性曲线可直接确定死电压数值的大小, 即将曲线的直线部分反向延长, 其与横轴的交点即为死电压的数值 (其系指  $Al_2O_3$  膜层阻止电子透过能力大小的物理量,  $eV_D$  正好是电子穿透薄膜的能量阈值). 由图 2 可以看出, 输入电子能量在临界饱和电压  $V_m$  时, 带膜 MCP 的输出电流  $I_{out}$  略高于无膜 MCP 的输出电流  $I_{out}$ , 反映了  $Al_2O_3$  膜输出面发射的二次电子对 MCP 输出电流的贡献.



$V_{mcp} = 900 \text{ V}$ ,  $V_s = 600 \text{ V}$ ,  $I_{in} = 1 \times 10^{-11} \text{ A}$ , 膜厚: 4 nm

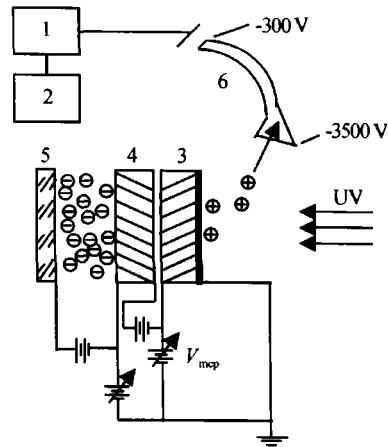
图 2 电子透过特性曲线

Fig. 2 Electron transmission characteristic

### 3 离子阻挡特性的实验和结果

实验所用装置如图 3 所示. 紫外 (UV) 光透过薄膜激发 MCP 后所发射的光电子得到 V 型 MCP 倍增, 倍增后由荧光屏收集. 末级 MCP 通道内高密度电子云电离通道内残余气体分子, 电离后的正离子在末级 MCP 通道内电场作用下反向撞击通道壁或进入前级 MCP 通道, 这部分正离子同前级 MCP 通道末端高密度电子云电离通道内残余气体分子产生的正离子一起, 在前级 MCP 通道内电场作用下向前级 MCP 输入端运动, 它们中的部分正离子有充足能量撞击通道壁或电子透射膜. 极少数高能轻离子

穿透膜层, 朝螺旋通道电子倍增器加速, 撞击倍增器输入端. 二次电子经倍增器倍增后在通道输出端产生电子脉冲, 经脉冲幅度分析器分析和计数, 计算机显示出单位时间间隔总脉冲数. 调节带膜 MCP 电压  $V_{mcp}$ , 可测出相应的反馈离子流  $I_{ion}$ . 作为比较, 我们用无膜 MCP 替换带膜 MCP, 测出了相应的反馈离子流  $I_{ion}$ .



1: Pulse height analyzer; 2: Computer; 3: Front filmed MCP  
4: Back MCP; 5: Screen; 6: Helical CEM

图 3 离子透过特性测量原理

Fig. 3 Schematic diagram of ion transmission characteristic measurement

图 4 示出了真空度  $1.33 \times 10^{-5} \text{ Pa}$  环境下前级 MCP 输入端逸出的离子流与前级 MCP 工作电压  $V_{mcp}$  的关系. 从图 4 可以看出, 随着通道板电压的升高, 离子流  $I_{ion}$  呈现非线性上升. 电子透射膜能有效地阻止离子反馈, 当板压低于 900 V 时, 反馈离子流  $I_{ion}$  被膜层所阻止; 随着板压升高, 少数高能离子穿透膜层. 但在 900 ~ 1100 V 时, 离子流  $I_{ion}$  上升缓慢. 板压大于 1100 V 时, 通道内高能离子数增多, 反馈离子流  $I_{ion}$  快速上升. 在通道板正常工作电压范围 (800 ~ 900 V) 内, 电子透射膜完全消除反馈离子.

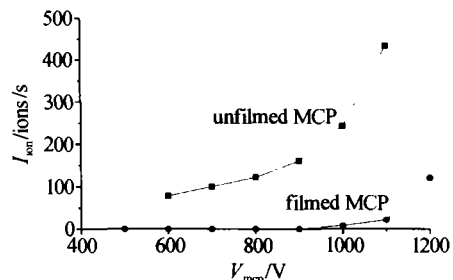


图 4 离子透过特性曲线

Fig. 4 Ion transmission characteristic

### 4 结论

利用静电贴膜技术, 成功地制备了无碳污染 MCP 电子透射膜. 此工艺避免了 MCP 同有机膜的直接接触, 没有给 MCP 通道壁内表面带来额外的碳污染. MCP 电子透射膜能有效地透过电子, 对电子

流有倍增功能. 描述电子透过能量阈值的物理量是薄膜的死电压  $V_D$ , 其数值可由实验测得的电子透过特性曲线来确定. 在 MCP 正常工作电压范围 (800 ~ 900 V) 内, 4 nm 厚非晶态  $Al_2O_3$  电子透射膜能完全消除反馈离子.

#### 参考文献

- 1 Jennings A E, Needham M J. Channel image intensifier tubes. *SPIE*, 1973, **42**: 95 ~ 99
- 2 Howorth J R. Exploring the limits of performance of third generation image intensifiers. *Vacuum*, 1980, **30**(11): 551 ~ 555
- 3 Pollehn H K. Performance and reliability of third generation image intensifier. *Advances in Electronics and Electron Physics*, 1985, **64A**: 61 ~ 67
- 4 田景全, 闫金良, 姜德龙, 等. 微通道板非晶态  $Al_2O_3$  电子透射膜. 电子学报, 1996, **24**(8): 1 ~ 5  
Tian J Q, Yan J L, Jiang D L, et al. *Acta Electronica Sinica*, 1996, **24**(8): 1 ~ 5
- 5 闫金良, 赵银女, 朱长纯. 无碳污染微通道板电子透射膜. 电子学报, 2000, **28**(8): 100 ~ 101  
Yan J L, Zhao Y N, Zhu C C. *Acta Electronica Sinica*, 2000, **28**(8): 100 ~ 101
- 6 H K 普尔克尔著. 玻璃镀膜. 北京: 科学出版社, 1988. 232 ~ 234  
Purkel H K. *Thin Films on Glass*. Beijing: Science Press, 1988. 232 ~ 234

## Operating Effectiveness of Electron Transmission Film at the Input of MCP

Yan Jinliang

Department of Physics, Yantai Normal University, Yantai, Shandong 264025, China

Received date: 2003-03-31

**Abstract** A 4nm thick amorphous  $Al_2O_3$  electron transmission film at the input of MCP is fabricated by electrostatic film-posting technology, which causes no carbon contamination in inner channel surface. The relation between film posting and glow discharge of the gases is discussed, and the electron transmission and ion barrier effectiveness of electron transmission film at the input of MCP are measured. Results of the experiment show that a 4 nm thick amorphous  $Al_2O_3$  electron transmission film is characterized by high electron transmission, ion feedback prevention.

**Keywords** Microchannel plate; Electron transmission film; Image tube

**Yan Jinliang** was born in 1965, graduated from Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics with Master degree in 1993. Now he is a professor in Yantai Normal University. His researches involve thin film science, image tube, photocathode.

