

# 一种新型的高性能微通道板离子阻挡膜

闫金良

(烟台师范学院物理系, 山东烟台 264025)

**摘要:** 微通道板(MCP)离子阻挡膜在0代微光像管中起到延长寿命的关键作用. 分析了目前离子阻挡膜制备方法的优缺点, 提出一种在MCP输入面制备离子阻挡膜的新型工艺, 此工艺不造成MCP通道壁内表面碳污染. 在MCP输入面制备了4nm厚 $Al_2O_3$ 离子阻挡膜, 测量了MCP离子阻挡膜的离子阻挡特性和电子透过特性. 实验表明, 4nm厚 $Al_2O_3$ 离子阻挡膜能有效地阻止反馈离子, 透过电子.

**关键词:** 微通道板; 离子阻挡膜; 像管

**中图分类号:** TN105. 1; TN223 **文献标识码:** A **文章编号:** 03722112 (2004) 06 1023203

## A Novel High Performance Ion Barrier Film at the Input of MCP

YAN Jinliang

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

**Abstract:** The ion barrier film at the input of the microchannel plate(MCP) plays an important role in improving the lifetime of the third generation image tube. The advantages and disadvantages of existing ion barrier films are analyzed, and a novel ion barrier film causing no carbon contamination in inner channel surface is proposed. A 4nm thick  $Al_2O_3$  ion barrier film at the input of MCP is fabricated. The ion barrier and electron transmission effectiveness of ion barrier film at the input of MCP are measured. Results of the experiment show that a 4nm thick  $Al_2O_3$  ion barrier film is characterized by ion feedback prevention and high electron transmission.

**Key words:** microchannel plate; ion barrier film; image tube

### 1 引言

微通道板(MCP)是0代微光像增强器的核心部件, 处于真空状态下工作. MCP工作时, 通道内的反馈正离子在通道内电场加速下轰击像管的光电阴极, 缩短阴极的寿命, 增加像管的闪烁噪声. 在MCP输入面附一层自持 $Al_2O_3$ 超薄膜可阻止反馈离子轰击光阴极, 提高像管的使用寿命和成像质量<sup>[1,2]</sup>. 目前报道的在多孔MCP输入面形成离子阻挡膜的方法主要特征在于<sup>[3,5]</sup>: 在MCP的输入面涂覆一层有机膜, 再在有机膜表层直接真空沉积离子阻挡膜, 经高温焙烧将有机膜脱离. 此类方法工艺简单, 但由于有机膜直接同MCP接触, 有机膜的高温分解使通道壁内表面受到碳污染, 通道内表面二次发射系数变小. 碳污染致使MCP增益下降<sup>[4,5]</sup>, 使用寿命缩短<sup>[6]</sup>. 离子阻挡膜阻挡反馈离子, 但其对MCP的性能有一定的影响. 因此, MCP输入端离子阻挡膜的研制和评价等一直受到业内人士的重视. 针对直接真空沉积方法形成的离子阻挡膜的缺点, 本文提出一种新型的高性能离子阻挡膜, 探讨其离子阻挡特性和电子透过特性.

### 2 新型高性能离子阻挡膜的制备

#### 2.1 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 $\mu m$ 的有机膜, 用浸液提拉装置提膜, 在室温下干燥固化自持有机掩膜. 将已干燥固化的自持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.

#### 2.2 离子阻挡膜的贴附

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, 离子阻挡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两个问题,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,离子阻挡膜均匀牢固地贴在 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 0.5eV 的能量,附着力在  $10^{-1}$  至  $10_3\text{N}\cdot\text{cm}^{-2}$  之间<sup>[7]</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.

### 3 测量结果和讨论

#### 3.1 MCP 通道表面成分

在 MCP 输入端制备离子阻挡膜的目的是为阻止反馈离子,阻挡膜的引入对 MCP 性能的影响是评价阻挡膜质量的重要因素.将带膜的 MCP 通道表面进行 Auger 电子谱分析,能谱图 1 所示.从图中可以看出通道内表面的成分主要是铯(Cs)、硅(Si)和氧(O),硫(S)成分含量较少,未发现明显的 C 污染.低温等离子体放电贴膜是在常温氧气环境下进行的,且 MCP 同双层膜的铝膜相叠合(不和有机膜直接接触),有机膜的分解不影响 MCP 的通道内表面结构,不影响 MCP 的电性能<sup>[8]</sup>.

#### 3.1.2 离子阻挡特性的实验和结果

实验所用装置如图 2 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离子阻挡膜.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

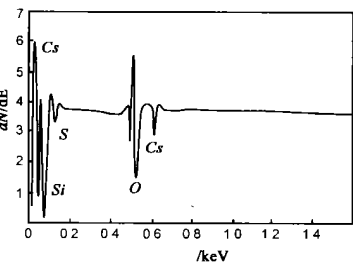


图 1 MCP 通道表面 AES 谱

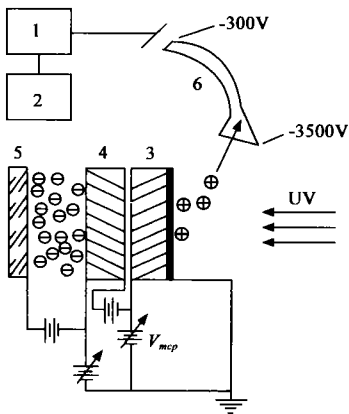


图 2 离子阻挡特性测量原理图

11 脉冲幅度分析器; 21 计算机; 31 前级带膜 MCP; 4 末级 MCP; 51 荧光屏; 61 螺旋 CEM

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  $I_{ion}$ .

图 3 示出了真空度  $1133@10^{-5}\text{Pa}$  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 3 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.离子阻挡膜能有效地阻止离子

反馈,当板压低于 900V 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 900~1100V 时,离子流  $I_{ion}$  上升缓慢.板压大于 1100V 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(800~900V)内,离子阻挡膜完全消除反馈离子.

具有一定能量的离子撞击  $\text{Al}_2\text{O}_3$  离子阻挡膜后,一方面与膜层原子的电子相互作用形成激发或电离,此为非弹性能量损失,称为电子阻止;另一方面,离子与膜层原子的原子核发生碰撞,并把能量传递给后者,产生散射和反冲,这种能量损失称为核阻止.另外,运动离子和阻挡膜的原子交换电荷,也会造成能量损失.上述三种能量损失是阻挡膜阻挡反馈离子的机制.

#### 3.1.3 电子透过特性的实验和结果

离子阻挡膜除满足使反馈离子难以通过而达到保护光阴极目的外,还应满足使尽可能多的光电子透过.利用测量 MCP 特性的 UV 光电法测量离子阻挡膜的电子透过特性,UV 光电法的原理和实验装置在文献<sup>[9]</sup>详细阐述.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 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  $\text{Al}_2\text{O}_3$  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 4 显示了 MCP 输入面带 4nm 厚  $\text{Al}_2\text{O}_3$  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  $\text{Al}_2\text{O}_3$  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,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  $\text{Al}_2\text{O}_3$  膜且随  $V_{in}$  增大,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  $eV_{in} \setminus eV_m$  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

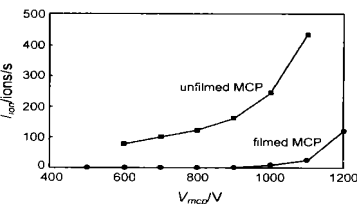


图 3 离子透过特性曲线

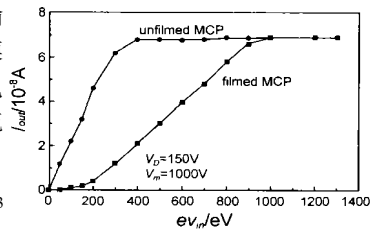


图 4 电子透过特性曲线

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  $\text{Al}_2\text{O}_3$  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 4 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  $I_{\text{out}}$  略高于无膜 MCP 的输出电流  $I_{\text{out}}$ ,反映了  $\text{Al}_2\text{O}_3$  膜输出面发射的二次电子对 MCP 输出电流的贡献.

电子入射到  $\text{Al}_2\text{O}_3$  离子阻挡膜后将受到膜层固体原子的散射,入射电子能量损失有单电子激发、等离子体激发和声子激发三种方式.一次电子在膜层中的耗散能量与它在膜层中的运动路程有关,透射电子在膜层中的运动路程最小值(膜厚)所耗散的能量称阈值能量.对于一次入射电子,如果它在膜层中所耗散的能量小于入射能量的话,则它能透过膜层;反之,则电子被膜层所阻止.

#### 4 结论

本文提出了一种新型的 MCP 离子阻挡膜,这种新型的离子阻挡膜制备工艺避免了 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.在 MCP 正常工作电压范围(800~900V)内,4nm 厚  $\text{Al}_2\text{O}_3$  离子阻挡膜能完全消除反馈离子.离子阻挡膜能有效地透过电子,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.

#### 参考文献:

[ 1 ] Howorth J R. Exploring the limits of performance of third generation image intensifiers[ J]. Vacuum, 1980, 30( 11): 551- 555.

- [ 2 ] Pollehn H K. Performance and reliability of third generation image intensifier[ J]. Advances in Electronics and Electron Physics, 1985, 64A: 61- 67.
- [ 3 ] Korobov M I. Passage of electrons through a dielectric film microchannel plate structure[ J]. Soviet Journal of Optical Technology, 1988, 55( 5): 266- 270.
- [ 4 ] 田景全, 闫金良, 姜德龙, 等. 微通道板非晶态  $\text{Al}_2\text{O}_3$  电子透射膜[ J]. 电子学报, 1996, 24( 8): 1- 5.
- [ 5 ] 杜力, 侯洵. 微通道板防离子反馈膜的制作方法[ P]. 中国发明专利, 97108674. 5, 1998- 12- 23.
- [ 6 ] Gibson D K, Ried I D. Rejuvenation of channel electron multipliers[ J]. Journal of Physics E: Science Instruments, 1984, 17: 443- 444.
- [ 7 ] H K. 普尔克尔, 著. 玻璃镀膜[ M]. 北京: 科学出版社, 1988. 232 - 234
- [ 8 ] 闫金良, 赵银女, 朱长纯. 无碳污染微通道板电子透射膜[ J]. 电子学报, 2000, 28( 8): 100- 101
- [ 9 ] Tian Jingquan, Zhang Baifu. UV photo method for measurement of MCP characteristic parameters[ J]. Proceedings of SPIE, 1990, 1230: 228- 230

#### 作者简介:



闫金良 男, 1965 年 12 月生于河北省, 1998 年毕业于北京理工大学光电工程系, 获博士学位, 长期从事新型薄膜材料制备、电真空器件、半导体薄膜发光器件等领域的教学和科研工作, 曾主持过科研项目 5 项, 发表论文 36 篇.