

微通道板电子透射膜工艺的 AES 研究

闫金良

(烟台师范学院物理系, 山东烟台 264025)

摘要 用冷基底溅射方法和静电贴膜方法分别在微通道板表面制备了电子透射膜, 采用俄歇电子能谱(AES)研究了两种工艺制备的微通道板电子透射膜的薄膜成分, 微通道板电子透射膜工艺失败微通道板通道表面的成分和通道内壁的成分随深度的变化. 结果表明, 冷基底溅射方法制膜工艺的失败对 MCP 造成了严重的碳污染, 污染的 MCP 不可回收; 静电贴膜方法制膜工艺的失败对 MCP 通道表面没有明显影响, MCP 可回收利用.

关键词 微通道板; 电子透射膜; 像增强器; 碳污染

中图分类号 TN105.1; TN223

文献标识码 A

0 引言

微通道板(MCP)电子透射膜本质上是一种非晶态超薄连续自持薄膜, 其能有效地阻止 MCP 通道内的反馈正离子逸出 MCP 通道入射端, 避免反馈正离子撞击和损伤器件的光电阴极, 降低器件内的杂散脉冲噪声, 减慢阴极灵敏度的衰弱. 在Ⅲ代微光像增强器中 MCP 输入面电子透射膜的存在维持了 GaAs(Cs, O)负电子亲和势阴极所必需的超高真空状态, 阻止 MCP 对 GaAs(Cs, O)阴极 Cs 的吸附^[1,2]. 至今微通道板电子透射膜的性能和应用受到广泛的研究^[3-5], 系统介绍微通道板电子透射膜制备工艺的文献较少. 随着带膜 MCP 在光电子图像增强器、高速光电倍增管、阴极射线管、信号存储管、电视摄像管以及电子、离子、X 射线、紫外线等辐射探测技术中需求量的增加, 探索一种经济可行的 MCP 电子透射膜工艺对于 MCP 的生产有重要意义, 电子透射膜工艺过程中 MCP 的回收利用意义重大. 为此本文将研究采用不同的工艺在 MCP 输入面制备电子透射膜, 并利用俄歇电子能谱(AES)研究电子透射膜和 MCP 通道表面特性, 从实用化的角度对工艺作出评价.

1 微通道板电子透射膜的工艺制作

在多孔基底 MCP 表面上形成超薄 Al_2O_3 电子透射膜的制作方法主要有两种, 即冷基底溅射方法和静电贴膜方法. 冷基底溅射方法特征在于^[6,7]: 在 MCP 的输入面先涂覆一层有机膜, 再在有机膜上溅射电子透射膜, 经焙烧将有机膜分解, 则保留下均匀、致密、牢固的电子透射膜. 其中涂覆有机膜的工艺采用把 MCP 输入面朝上置于盛有水的容器内, 在

水面上滴一滴有机膜制剂, 其在水面扩散形成薄膜, 再将水从底部放出, 薄膜将随水面沉降在 MCP 的输入面上, 经干燥脱水后就形成一层均匀、透明、牢固的有机薄膜; 其中离子溅射制膜的条件为, 使 MCP 处于液氮低温, 在惰性气体的真空条件下, 以制膜材料为靶面进行离子溅射; 有机膜的脱除技术采用在 350~400℃ 高温恒温 0.5~1 小时的热分解法.

静电贴膜方法的特征在于^[8]: 在铝环支架上先涂覆一层自持连续有机膜, 再用离子溅射制膜技术在连续自持有机膜上制作电子透射膜(有机膜和电子透射膜合称双层膜), 在两极等离子体放电装置中将电子透射膜贴附在 MCP 输入面, 分解有机膜, 则保留下均匀、致密、牢固的电子透射膜. 其中涂覆自持有机膜的工艺采用把铝环支架粘附漂浮于去离子水表面的有机膜, 提拉支架, 在支架中空部分形成一层均匀、透明、牢固的自持有机薄膜; 电子透射膜的贴附技术采用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 表面上.

由于电子透射膜的工艺流程较长, 为保证工艺过程的稳定性和连贯性, 我们对单项关键工艺进行了重点研究.

2 冷基底溅射技术单项关键工艺研究

在冷基底直流离子溅射中, 将纯铝(Al)靶作为阴极, 将带有有机膜的 MCP 贴附于冷却器上作为阳极, 选择高纯惰性气体氩(Ar)作为工作气体, 在气体辉光放电的环境中实施溅射工艺. 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, 可以发现与离子溅射相关的两个问题, 一是克鲁克斯暗区周围形成的正离子密度要足够大, 且不断地冲击着阴极(靶); 另一是阳极要调放在负辉光区, 即阴极(靶)和阳极间距离不小于阴极到负辉光区的距离. 由场强分布曲线可见, 带有机膜的 MCP

(与阳极一体)必须位于负场强区内,这样才能使有机膜不致因电子轰击而被烧毁. 否则有机膜将被烧毁,根本不能形成连续的超薄膜. 另外重要发现:两极间距 50 mm、真空度 3 Pa 左右、电压 3 kV 左右、电流 30 mA 条件下,基板位于负辉光区,阴极-基片间的距离约为克鲁克斯暗区的两倍,溅射室内辉光颜色为紫白色或淡紫红色,负辉光区颜色发紫. 这种现象就相当于基板位于负场强区,益于溅射成均匀薄膜且有机膜不会被烧毁. 图 1 为电子透射膜光学反射显微照片,图 2 示出电子透射膜的 AES 谱图. AES 分析表明:电子透射膜表面主要成分是 Al 和氧(O),还有少量的碳(C)元素. 经 Ar 离子深度刻蚀,膜层内基本成分与表面是一致的.

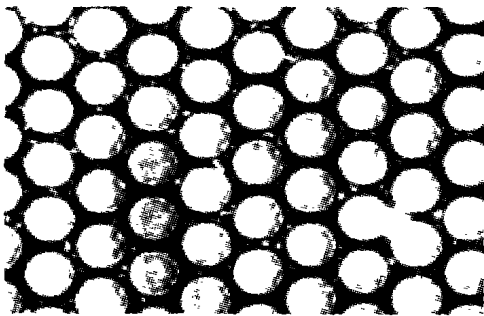


图 1 电子透射膜光学反射显微照片
Fig. 1 Reflection optical micrographs of electron transmission films

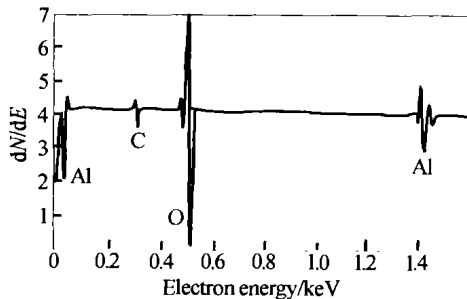


图 2 电子透射膜的 AES 成分分布
Fig. 2 AES survey spectrum of electron transmission films

冷基底离子溅射技术制备电子透射膜时存在最佳成膜条件,这个最佳条件是苛刻的,尽管基片 MCP 用液氮冷却,如果偏离最佳成膜条件,溅射过程中 MCP 上所附有机膜将被烧毁,不能形成连续膜. 由于有机膜烧毁是在 Ar 气氛中进行的,掩膜分解后的 C 元素很难寻找到氧元素形成 CO、CO₂ 气体,并且冷基底作为一个冷阱吸附器限制了 C 元素进入其它空间. 因此,冷基底溅射技术工艺的失败对 MCP 造成了严重的 C 污染,如图 3 所示. 表 1 比较了用此类 MCP 和未经制膜工艺的 MCP 装成的管子分辨力, MCP 通道内壁的碳污染是分辨力相差 40% 的根本原因.

次级电子发射体表面的碳污染使表面势垒增加,二次发射系数变小,发射层和导电层之间电阻变

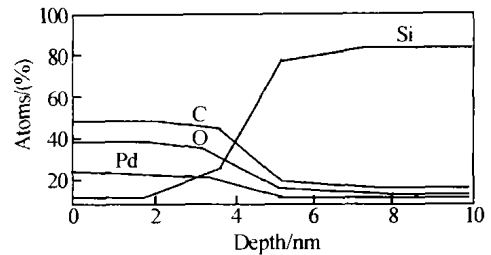


图 3 MCP 输出端通道深度剖面的 AES 成分分布
Fig. 3 Component content profiles of channel at the output of MCP obtained by AES

表 1 用 MCP 和碳污染 MCP 装成管子的分辨力

种类	试验号			
	1	2	3	4
MCP	29	29	30	28
碳污染 MCP	17	17	16.7	17

大,因此增益下降,体电阻增加,暗电流降低. 当碳层厚度超过二次电子逸出深度时,发射二次电子的数量限制在 3 nm 厚的碳层内^[9],在电子级联倍增轰击下,通道表面碳绝缘层迅速充电,然后在低输入情况慢慢地放电,破坏了通道内静电场分布,影响电子放大过程,致使信号对比度下降. 有机膜分解后产生的残余碳渣残留在通道表面,使通道表面变得突起或凹陷. 微粒突起是引起场发射的主要原因,当存在微粒突起时,局部场强提高很多倍. 通道壁表面的突起或凹陷引起噪声增大,脉冲频谱相应地扩展,致使噪声因子提高. 另外, MCP 通道内壁碳污染缩短 MCP 的使用寿命. 因此,冷基底离子溅射技术失败的 MCP 不可回收利用.

3 静电贴膜技术单项关键工艺研究

低温等离子体放电贴膜条件是很关键的. 实验发现,两极间距 100 mm,真空度 8 Pa 左右,电压 (600 ~ 800 V),电流 ≤ 3 mA 时,基板位于法拉第暗区,这种条件下电子透射膜均匀牢固贴附在 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 能量,附着力在 10^{-1} 至 10^3 N · cm⁻² 之间^[10]. 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. 电子透射膜光学反射显微照片和 AES 谱图分别同图 1 和图 2,这里不再赘述. 若 MCP 表面有颗粒、灰尘等异物,这些杂质易导致膜破损. 放电条件不合适,双层膜容易撬起,飞掉,呈花斑点状的破毁气泡等,如图 4 所示. 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),因此有机膜的分解不影响 MCP 的内表面结构,这一点已被实验所证实. 图 5 为静电贴膜技术失败的 MCP 通道表面 AES 谱,从图中

可以看出通道内表面的成分主要是铯 (Cs)、硅 (Si)、O、硫 (S) 成分含量较少, 未发现明显的 C 污染. 另外, 静电贴膜过程中双层膜的破损主要是因为充电的有机膜产生的排斥力在局部区域大于有机膜所能承受的张力引起的, 在贴膜过程中可以观察到. 静电贴膜技术失败的 MCP 可以超声波清洗后回收利用.

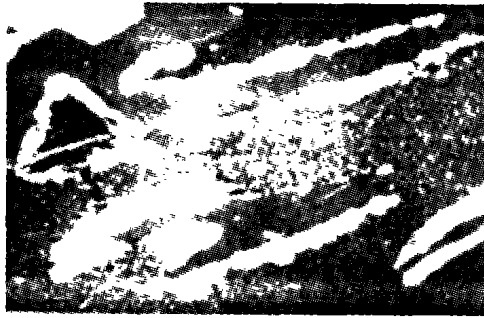


图 4 放电条件不合适引起的双层膜破损

Fig. 4 Torn double film caused by unsuitable discharge

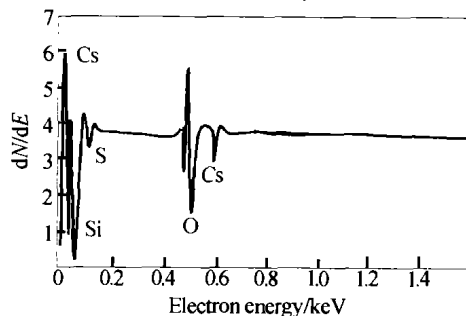


图 5 MCP 通道表面 AES 谱

Fig. 5 AES survey spectrum of the active channel surface of MCP

4 结论

冷基底溅射方法和静电贴膜方法是在 MCP 表面制备电子透射膜可行的工艺, 两种方法制备的电子透射膜没有明显差异. 两种方法都存在各自的关键工艺条件, 偏离最佳成膜条件, 不能形成连续电子透射膜. 冷基底溅射技术工艺的失败对 MCP 造成了严重的 C 污染, MCP 不可回收利用. 静电贴膜技

术工艺的失败不影响 MCP 的内表面结构, MCP 可以回收利用. 静电贴膜方法适用于 MCP 电子透射膜的中试生产.

参考文献

- Howorth J R. Exploring the limits of performance of third generation image intensifiers. *Vacuum*, 1980, **30**(11): 551 ~ 555
- Richard J C, Roaux E. Low light level imaging tube with GaAs photocathode. *Vacuum*, 1980, **30**(11): 549 ~ 550
- Pollehn H K. Performance and reliability of third generation image intensifiers. *Advances in Electronics and Electron Physics*, 1985, **64A**: 61 ~ 67
- Smirnov B N. Role of the secondary electrons of a transmission film in the output current of microchannel plates. *Soviet Journal of Optical Technology*, 1986, **53**(12): 730 ~ 732
- Korobov M I. Passage of electrons through a dielectric film microchannel plate structure. *Soviet Journal of Optical Technology*, 1988, **55**(5): 266 ~ 270
- 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
- 杜力, 侯洵. 微通道板防离子反馈膜的制作方法. 中国发明专利, 97108674.5, 1998-12-23
Du L, Hou X. Fabrication of ion barrier film at the input of MCP. Chinese Patent No.: 97108674.5, 1998-12-23
- 闫金良. 微通道板电子透射膜的工作特性. *光子学报*, 2004, **33**(2): 164 ~ 166
Yan J L. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(2): 164 ~ 166
- Voreades D. Secondary electron emission from thin carbon films. *Surface Science*, 1976, **60**(4): 325 ~ 348
- 普尔克著. 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

Studies of Electron Transmission Film at the Input of MCP by AES

Yan Jinliang

Department of Physics, Yantai Normal University, Yantai 264025

Received date: 2003-06-25

Abstract Electron transmission films at the input of microchannel plate (MCP) are fabricated by cold basement sputtering and electrostatic film-posting technologies. The surface compositions of the electron transmission films at the input of MCP are measured respectively by Auger electron spectroscopy (AES). Some active channel surface composition and inner channel depth profile analyses are also made for MCPs through failing technique. It is found that the failing technique of cold basement sputtering causes the serious carbon contamination on the active channel surface of MCP, such MCPs cannot be rejuvenated. However, the failing technique of electrostatic film-posting has no effect on the active channel surface, such MCPs can be rejuvenated.

Keywords Microchannel plate; Electron transmission film; Intensifier; Carbon contamination



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, Yantai Normal University. His researches involve thin film science, image tube, photocathode.