

文章编号: 1002-2082(2008)03-0360-04

# 低磁控溅射率MCP防离子反馈膜工艺研究

朱宇峰, 张太民, 聂晶, 师宏立

(西安应用光学研究所 第二研究室 微光夜视技术国防科技重点实验室, 陕西 西安 710065)

**摘要:** 为消除反馈正离子对三代微光夜视器件光阴极的有害轰击, 提高微光像增强器的工作寿命, 开展了低磁控溅射率法沉积微通道板(MCP)  $Al_2O_3$  防离子反馈膜的工艺研究。通过优化制备工艺, 获得了制备MCP防离子反馈膜的最佳沉积条件: 溅射电压1 000 V, 溅射气压 $(4\sim 5)\times 10^{-2}$  Pa, 沉积速率0.5 nm/min等。研究结果表明: 在此工艺条件下, 能够制备出均匀、致密且通孔满足质量要求的MCP防离子反馈膜。如果偏离这一最佳工艺条件, 制备出的MCP防离子反馈膜膜层疏松、不连续, 且通孔不能满足要求。

**关键词:** 磁控溅射; 微通道板(MCP); 防离子反馈膜

中图分类号: TN223

文献标志码: A

## Preparation of ion-feedback barrier film on MCP

ZHU Yu-feng, ZHANG Tai-min, NIE Jing, SHI Hong-li

(Key Laboratory of Low-Light-Level Technology of COSTIND, Department of LLL Technology, Xi'an Institute of Applied Optics, Xi'an 710065, China)

**Abstract:** To eliminate the bombardment of feedback ion to a photocathode of a Gen. III LLL night vision system and increase its operating lifetime, the preparation technique of depositing a  $Al_2O_3$  ion-feedback barrier film on MCP was investigated by low-magnetron sputtering technique. The optimal deposition conditions for preparing the ion-feedback barrier film on MCP were obtained, such as operating voltage of 1 000 V, sputtering pressure of  $(4\sim 5)\times 10^{-2}$  Pa and deposition rate of 0.5 nm/min. The results show that the ion-feedback barrier film deposited under this optimal conditions can meet the uniformity, compactness and less pinhole requirements.

**Key words:** magnetron sputtering; microchannel plate; ion-feedback barrier film

## 引言

微通道板(MCP)是百万根平行通道电子倍增器集合的二维阵列式荷电粒子探测器和电子图像增强器, 是微光像增强器的核心部件之一<sup>[1]</sup>, 其输入端的防离子反馈膜是一种能有效阻止正离子反馈, 并防止损坏器件的光阴极的超薄连续膜。正离子在电场的作用下反馈到阴极轰击GaAs阴极表面的Cs-O层, 使GaAs阴极表面的Cs-O层遭到

破坏, 电子亲和势升高, 灵敏度下降<sup>[2]</sup>。防离子反馈膜能有效地保护三代微光像增强器GaAs负电子亲和势阴极<sup>[3-4]</sup>, 从而大大延长了器件的使用寿命<sup>[5]</sup>。微光像增强器对MCP防离子反馈膜的总要求是: 超薄、连续、致密、电子透过率和离子阻挡率高。但由于目前无法测量电子透过率和离子阻挡率, 因此对膜层的通孔就提出了一定要求: 直径为 $\Phi 125\ \mu m$ 的通孔不多于25个<sup>[6]</sup>。由于膜层通孔将

收稿日期: 2007-12-13; 修回日期: 2008-01-10

作者简介: 朱宇峰(1971—), 男, 陕西长安人, 西安应用光学研究所高级工程师, 主要从事微光夜视器件微通道板(MCP)表面处理及测试与分析研究工作。

会起到直接降低 MCP 防离子反馈膜阻挡正离子而保护光阴极的作用, 为此本文介绍一种通过低溅射率磁控溅射法制备 MCP 防离子反馈膜的工艺方法, 给出了获得连续致密且通孔满足 MCP 防离子反馈膜要求的最佳工艺条件。

## 1 实验

### 1.1 实验装置原理

采用磁控溅射法制备 MCP 防离子反馈膜的原理装置如图 1 所示。在磁控溅射过程中, 由阴极发射出来的电子在电场作用下具有向阳极运动的趋势。但在垂直磁场作用下, 电子的运动轨迹变成了环形跑道状的摆线。在正交电磁场的作用下, 电子与气体分子碰撞几率加大, 提高了气体电离效率, 被镀材料在正离子轰击下溅射出靶面, 进而沉积于衬底上。

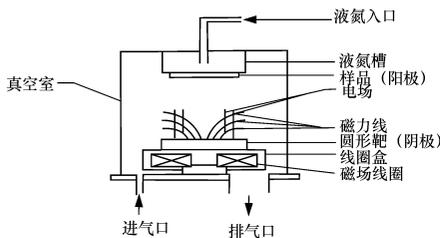


图 1 磁控溅射法制备 MCP 防离子反馈膜装置原理图

Fig. 1 Magnetron sputtering apparatus depositing ion-feedback barrier film on MCP

### 1.2 实验过程

要在具有倍增作用的 MCP 表面制备防离子反馈膜, 需首先在其输入面上制作一层过渡的有机掩膜作为支撑, 有机掩膜选取制作荧光屏所用的有机膜。然后在 BY-400A 型磁控溅射镀膜机上沉积  $\text{Al}_2\text{O}_3$  防离子反馈膜。最后, 再通过真空烘烤方法

去除掉作为过渡层的有机掩膜。

在磁控溅射镀膜过程中, 保持其他条件不变, 通过优化工作室真空度及两极间工作电压等寻求最佳成膜参数, 制备出满足使用要求的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  防离子反馈膜。实验条件如表 1 所示。

表 1 磁控溅射 MCP 防离子反馈膜的实验条件

Table 1 Exeperimental conditons depositing ion-feedback barrier film on MCP by means of magnetron sputtering technique

靶材	$\Phi 100 \text{ mm}, 99.99\% \text{ Al}_2\text{O}_3$
衬底	MCP
本底真空/Pa	$5 \times 10^{-4}$
靶基距/mm	400
工作电压/V	800~1500
工作气压/Pa	$2 \times 10^{-1} \sim 2 \times 10^{-2}$
设定膜厚/nm	8
膜厚控制精度/nm	1
最小测量膜厚/nm	1
样品冷却	液氮

MCP 防离子反馈膜通孔质量检测是在 MCP 动态检测台上完成的。测试条件为  $V_{\text{阴极}} = 10 \text{ V}$ ,  $V_{\text{MCP}} = 800 \text{ V}$ ,  $V_{\text{荧光屏}} = 4\ 000 \text{ V}$ 。由于 MCP 防离子反馈膜具有死电压特性, 因此低能量输入电子无法透过, 而只有大于死区电压的电子才能穿过它。如果 MCP 防离子反馈膜上有通孔, 则低输入能量电子可以直接穿过通孔, 并经 MCP 倍增, 在荧光屏上呈现为亮点。

## 2 结果与分析

选用性能基本相同的 MCP 作为实验样品, 采用不同工艺条件进行磁控溅射 MCP 防离子反馈膜, 并对膜层的通孔质量进行了检测。表 2 给出了不同工艺条件制备 MCP 防离子反馈膜实验结果。

表 2 不同镀膜工艺制备 MCP 防离子反馈膜的测试结果

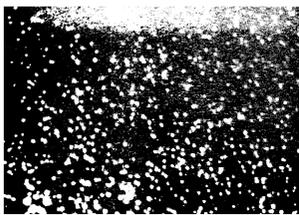
Table 2 Tested results of MCP ion-feedback barrier films deposited under different technologic conditions on MCP

编号	镀膜工艺/V, Pa	成膜速率/nm·min <sup>-1</sup>	溅射电流/ $\mu\text{A}$	$I_{\text{屏}(1)}/\mu\text{A}$	$I_{\text{屏}(2)}/\mu\text{A}$	薄膜质量评价
1	$2 \times 10^{-1}$	4~14	$\geq 100$	0.279	0.285	不连续, 疏松
2	800, $(4 \sim 5) \times 10^{-2}$	不起辉				无膜
3	1 000, $(4 \sim 5) \times 10^{-2}$	1	30~35	0.145	0.277	连续致密, 通孔少
4	1 500, $(4 \sim 5) \times 10^{-2}$	2.5	70~75	0.226	0.289	较连续, 较致密
5	$2 \times 10^{-2}$	不起辉				无膜

注:  $I_{\text{屏}(1)}$ ,  $I_{\text{屏}(2)}$  测量条件分别为  $V_{\text{阴极}} = 500 \text{ V}$ ,  $V_{\text{MCP}} = 800 \text{ V}$ ,  $V_{\text{屏}} = 4\ 000 \text{ V}$  和  $V_{\text{阴极}} = 800 \text{ V}$ ,  $V_{\text{MCP}} = 800 \text{ V}$ ,  $V_{\text{屏}} = 4\ 000 \text{ V}$ 。

由表 2 可以看出, 当阴极电压小于 800 V, 工作真空度高于  $2 \times 10^{-2} \text{ Pa}$  时, 气体不能产生辉光放电

现象。由于气压过低, 气体密度小, 使气体不能得到充分电离, 也就是说气体不能获得足够的电离能量。当工作真空度为  $2 \times 10^{-1}$  Pa 时, 在 800 V ~ 1 500 V 之间调整阴极电压, 发现靶溅射电流大, 膜层厚度难控制, 说明成膜速率太快, 薄膜测试发现膜层连续性和致密性差。经分析认为是阴极电压偏大, 当保持工作室真空度为  $(4 \sim 5) \times 10^{-2}$  Pa 不变, 调整阴极电压到 1 000 V 时, 溅射电流小, 成膜速率小, 通过延长镀膜时间, 使膜层达到设计要求后进行检测。结果发现: 这一条件下制备的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  防离子反馈膜连续致密, 而且通孔少, 完全满足使用要求。经制管试验, 发现完全可以起到防离子反馈的作用。图 2 为不同工艺条件下 MCP 防离子反馈膜的质量测试图片。



(a) 溅射电压 1 500 V



(b) 溅射电压 1 000 V

图 2 2 种工艺下 MCP 防离子反馈膜的通孔质量  
(溅射气压  $4 \times 10^{-2} \sim 5 \times 10^{-2}$  Pa)

Fig. 2 Pinhole properties of ion-feedback barrier films deposited under two different condition at sputtering pressure of  $4 \times 10^{-2} \sim 5 \times 10^{-2}$  Pa

由图 2 可以看出, 在相同的气体压强下, 当阴极电压提高后, 膜层中的亮点和亮斑较多, 这可能是由于入射粒子传递给靶的能量较大, 超过离位阈, 致使晶格原子发生离位, 并迁移到间隙位置, 形成空隙和间隙原子。在图 2(a) 中, 高压下视场中亮点(通孔)的特点是密度大且亮点多, 可能是溅射作用造成的表面成份与整体材料成份的不同, 经过表面区域扩散, 点缺陷在表面富集, 缺陷的流动使溶质偏析, 使较小离子在表面富集, 最大的可能性是离子轰击时基片和镀层交界面的影响。凝结原子和

基片没有很强的相互作用, 原子在表面扩散遇到低能位置或与其他扩散原子碰撞, 形成非反应性成核, 造成核与核之间有较大间隙, 形成一个一个小岛。核在一起长大的过程中, 核与核之间的间隙形成界面气泡, 引起非浸润型生长。对成像器件来讲, 观察视场内最好没有亮点, 或者在视场边缘只有个别小亮点。从这一角度看, 我们希望沉积原子和基片表面发生较强反应, 成核密度增加, 使原子在基片表面形成一个连续的层状膜, 尽量减少核与核之间形成的界面气泡。为了证明分析的准确性, 将电压降低到 1 000 V 时, 测得的膜层质量如图 2(b) 所示, 可以看出, 膜层中的亮点大大减少, 只有个别小亮点。这些个别亮点产生的原因, 一种可能是膜层中夹杂着杂质, 另一种可能是离子轰击产生的点缺陷, 更可能是由 MCP 输入端自持有机掩膜上通孔或脏点等疵病造成的。

虽然对膜层中出现的亮点产生的原因进行了细致分析, 并经实验取得了初步效果, 但在纵深理论方面研究得还不够深入, 还缺乏一定的在线膜层质量检测手段。我们深信, 随着器件的发展和研究工作的不断深入, 进一步完善测试手段, 提高镀膜工艺质量, 完全可以消除器件视场中的亮点, 提高视场质量, 制备出满足器件使用要求的优质防离子反馈膜。

### 3 结论

在专用磁控溅射镀膜设备上, 研究了磁控溅射 MCP 防离子反馈膜的工艺过程、工艺条件和通孔质量检测, 获得了低磁控溅射率制备 MCP 防离子反馈膜的工艺条件。实验结果表明, 磁控溅射 MCP 防离子反馈膜存在一个最佳工艺条件: 工作真空度为  $(4 \sim 5) \times 10^{-2}$  Pa, 栅极电流为 0.8 A, 工作电压 1 000 V, 此时靶溅射电流小, 成膜速率低 (0.5 nm/min), 薄膜连续致密且满足通孔质量要求。偏离这一条件, 制备的膜层疏松、不连续, 通孔不能满足要求。

#### 参考文献:

- [1] 田景全, 姜德龙, 富丽晨, 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.  
TIAN Jing-quan, JIANG De-long, FU Li-cheng, et al. Amorphous state  $\text{Al}_2\text{O}_3$  electron transmission film at the input of MCP [J]. Acta Electronica Sinica, 1996, 24(8): 1-5. (in Chinese)

- [2] 李晓峰,张景文,高鸿楷,等.三代管MCP离子阻挡膜研究.光子学报,2001,30(12):1496-1499.  
LI Xiao-feng, ZHANG Jing-wen, GAO Hong-kai, et al. Research on MCP preventing ion feedback film of GEN III [J]. Acta Photonica Sinica, 2001, 30 (12):1496-1499. (in Chinese)
- [3] HOWORTH J R. Exploring the limits of performance of third generation image intensifiers [J]. Vaccum,1980,30(11):551-555.
- [4] RICHARD J C,ROAUX E. Low light level imaging tube with GaAs photocathode[J]. Vaccum,1980,30 (11):551-555.
- [5] 闫金良.微通道板电子透射膜工艺的AES研究.光子学报,2004,33(6):677-679.  
YAN Jin-liang. Research on the technology of MCP/electron transmission film by AES [J]. Acta Photonica Sinica, 2004,33(6):677-679. (in Chinese)
- [6] 田金生.MX-10130/UV18 mm微通道板近贴式像增强器组件[J].云光技术.1995,27(1):26-28.  
TIAN Jin-sheng. MX-10130/UV18 mm MCP wafer image intensifier [J]. Yunguang Technology, 1995, 27(1):26-28. (in Chinese)

## 《企业介绍》征集启示

为进一步贴近专业读者,服务光电产业发展,提高光电企业在业内的知名度。《应用光学》杂志开设《企业介绍》栏目,同时刊登企业技术研发与交流的最新动态和行业展会消息等。企业介绍包括企业概况、技术研发实力、最新技术成果、新产品系列等内容。文字介绍可以配以适当图片。文字内容应简明扼要,篇幅以500字以内为宜。图片分辨率应满足印刷需要,像素不低于 $350 \times 350$ 。企业介绍为黑白稿。企业可自行设计也可以提供素材有编辑部代为设计。企业自行设计版式时请以下述尺寸为标准,天头和订口不小于25 mm,地角和切口不小于20 mm,版心 $\leq 165 \times 252$  mm。《企业介绍》免收版面费。欢迎光电企事业单位踊跃投稿。

相关事宜联系人:《应用光学》编辑部 秦风、杨大军

联系电话:029-88288172

电子邮箱:qf1963@126.com