

文章编号:1002-2082(2007)02-0129-04

防离子反馈 Al_2O_3 膜对三代夜视成像 器件性能的影响

徐江涛¹, 尹涛²

(1. 西安应用光学研究所, 微光夜视技术国防科技重点实验室, 西安 710100; 2. 西安通信学院 西安 710106)

摘要: 为解决三代微光管寿命问题, 采用电子显微镜和质谱仪对微通道板输入面溅射蒸镀的 Al_2O_3 膜质量进行了分析, 研究了膜层对器件性能的影响, 并就 Al_2O_3 给三代微光夜视成像器件带来的成像质量问题进行了讨论。研究表明: 尽管 Al_2O_3 薄膜可以有效地防止离子反馈, 但给管子成像质量带来了严重影响, 使得图像模糊, 信噪比降低等。提出了从本质上解决器件寿命问题的有效措施是将光电阴极与显示屏进行真空隔离, 以实现光电阴极无离子反馈的轰击。

关键词: Al_2O_3 膜; 微光夜视成像器件; MCP; 器件寿命

中图分类号: TN223

文献标志码: A

Effect of ion feedback blocking Al_2O_3 film on the performance of third generation night-vision imaging device

XU Jiang-tao¹, YIN Tao²

(1. Key Laboratory for Low Light Level Technology of Commission of Science Technology and Industry for National Defense, Xi'an Institute of Applied Optics, Xi'an 710100, China;
2. Xi'an Communication Institute, Xi'an 710106, China)

Abstract: The quality of Al_2O_3 film evaporated on the input side of micro-channel plate is analyzed with electron microscope and mass spectrometer, and the influence of the film on the device performance is investigated to solve the problem of lifetime of 3rd generation low-light-level (LLL) tube. The effect of Al_2O_3 film on the imaging quality of 3rd generation LLL imaging devices is discussed. The research result shows that Al_2O_3 film affects the imaging quality of the LLL tube seriously, makes images dim and reduces the noise-to-signal ratio though it can effectively prevent the ion feedback. Another effective measure for solving the problem of device lifetime essentially is proposed, in which the vacuum isolation is implemented between photoelectric cathode and display screen to avoid the bombardment of ion feedback to the photoelectric cathode.

Key words: Al_2O_3 film; LLL night-vision imaging device; micro-channel plate; device lifetime

引言

为提高三代微光夜视成像器件工作寿命, 必须消除气体电离产生的离子对光电阴极的轰击。除严格控制管子制造工艺质量, 提高制管真空度, 加强

管子所用零部件及材料洁净处理外, 最有效的措施就是将光电阴极与显示屏进行真空隔离, 以实现光电阴极无离子反馈的轰击。制管实验表明: 尽管在电子倍增器微通道板输入端覆盖几纳米的 Al_2O_3

收稿日期: 2005-10-15; 修回日期: 2005-11-20

作者简介: 徐江涛(1955—), 男, 陕西丹凤人, 西安应用光学研究所高级工程师, 主要从事微光技术研究工作。E-mail: xuxukk2005@yahoo.com.cn

薄膜可以有效地防止离子反馈, 但给管子成像质量带来了严重影响, 使得图像模糊, 信噪比降低等。针对在微通道板输入面镀 Al_2O_3 膜而出现成像质量降低的现象, 开展了膜层质量分析研究工作。

1 微通道板(MCP) Al_2O_3 膜的制备

微通道板(MCP)是将具有二次电子发射的单通道式电子倍增器采用矩阵排列、粘合、拉丝、切片等工艺制成直径 25 mm, 厚度(0.3~1) mm 的电子倍增器。在微光成像器件中, MCP 主要是用来倍增电子, 增强输出图像的亮度。

近年来关于 Al_2O_3 膜的应用报道较多^[1-4], 并均取得了满意的效果。为解决三代微光夜视成像器件中离子反馈对光电阴极的轰击, 在MCP的输入面镀制 Al_2O_3 膜, 以达到延长器件寿命, 改善图像质量的作用。由于MCP材料特性的限制, 部件处理温度不得大于 450 °C, 故在MCP上制备的 Al_2O_3 膜是非晶态膜。考虑到MCP性能和以后器件的批量生产, 选用直流溅射设备制备 Al_2O_3 膜。通过大量试验摸索, 制备 Al_2O_3 膜的最佳工艺条件是: 直流电压 900 V, 电流 55 A, 靶材选用 5 个 9 高纯铝, 连续溅射 20 min 可得到(3.0~40) nm 膜厚的 Al_2O_3 。实验证明, 这种方法制备的 Al_2O_3 膜, 针孔小, 致密度好, 20× 电子显微镜下检测膜层无亮点。优质膜装入管中后可使管子工作寿命延长 2 倍, 而劣质膜不但起不了防离子反馈作用, 反而会造成管子报废。

从 Al_2O_3 膜的微观结构讲, 因MCP的退火温度不能高于 500 °C, 否则将导致膜层产生以漫散射为主的图像, 这说明膜层以非晶态为主。经测定, 当非晶态膜退火温度低于 500 °C 时, 膜层的透射电子显微镜形貌像不发生变化, 而且膜层表面粗糙度、折射率和物理特性均未发生较大变化。对于结合强度, 在沉积温度 200 °C 时达到最大, 温度过高时, 结合强度反而降低。原因是: 在升温过程中, 生长膜层有利于原子表面的扩散, 使得薄膜中各种缺陷减小, 薄膜应力得以释放, 有利于结合强度的增加。对MCP镀 Al_2O_3 膜需要考虑膜基结合强度, 如果结合强度低, 电子轰击下 Al_2O_3 就会损失, 造成密度减小, 易引起图像质量变化。

2 Al_2O_3 对MCP性能的影响

尽管在MCP输入面镀制 Al_2O_3 可起到防离子反馈作用, 但也会对MCP性能造成影响。经研究发现: 镀 Al_2O_3 膜后对MCP性能的主要影响是电子增益降低、体电阻增加和暗电流降低。

微通道板电子增益是指像管正常工作时,

MCP 输出电流与输入电流之比, 即 $G=I_{\text{out}}/I_{\text{in}}$ 。由于 Al_2O_3 膜对电子能量有: 1) 使透过电子数减少; 2) 使入射电子能量降低。从而导致通道内表面二次发射系数变小, 使MCP电子增益下降和体电阻增加。原因是在 Al_2O_3 膜制备时, MCP 受工艺质量碳污染, 导致发射层和过渡层电阻增加。无输入电流时, 在MCP两端加上工作电压测得的输出电流为暗电流(由于 Al_2O_3 膜的存在, 减小了MCP场发射电流)。对有/无 Al_2O_3 膜情况下MCP的电性能进行了测试。结果表明: 在MCP输入面镀几纳米厚 Al_2O_3 膜后, 微通道板的电子增益降低(15~20)% (800 V 情况下), 电阻增加15% (500 V 下), 暗电流降低 20% 左右(1 000 V 下)。另外, 对镀 Al_2O_3 膜的MCP进行电子清除除气时, 发现有 Al_2O_3 膜的MCP放气规律如图1所示。

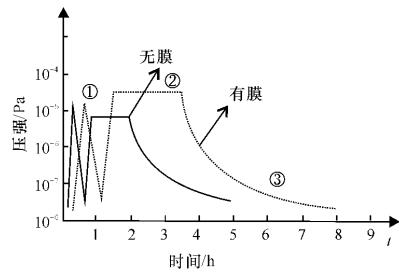


图1 有、无 Al_2O_3 膜时MCP的压强-时间曲线

Fig. 1 Pressure-time curves of MCP with and without Al_2O_3 film

从图中可看出, 放气过程分 3 个阶段: 1) MCP 表面放气; 2) MCP 通道内壁放气; 3) 材料体内放气。表面放气来自于室温下的表面气体脱附, 此阶段放气时间很短, 几分钟内真空度就可恢复。残气分析表明^[5]: 气体成分主要是 N_2 , CO , CO_2 和 O_2 , 这些气体与系统内的残气成分相同; 第2阶段为MCP通道内壁放气, 随着MCP工作电压的加大, 放气量随之增大。当电压增加到 800 V 时, 保持 3 h 后其放气量才开始下降, 这时残气主要是 N_2O^+ , N_2^+ , CO^+ , CO_2^+ , H_2^+ , C_xY_y , O^+ 和 C^+ 。第3阶段为MCP工作在饱和电流下的放气曲线, 这段时间内总放气量较小, 总压是降低的, 但残气发生了变化。与放气最大时相比, 其残气的主要成分是 H_2^+ , 其他残气分压都是减小的, 而只有 H_2 分压是增大的。制板采用高温氢气炉还原处理时, 熔解到MCP体内 H_2 的再释放过程比较缓慢, 大约需 8 h。其次, 由于MCP上 Al_2O_3 膜的影响, 光电子到达输入面时会受到膜层固体原子的散射, 使电子损失部分能量。把使电子完全透过 Al_2O_3 膜层时的能量阈值叫做死电压, 这个电压约为 200 V (膜厚 4 nm)。

应用有膜板时,需考虑器件死电压的影响,它比无膜板时电压高 200 V。

3 Al₂O₃ 膜对器件总体性能的影响

由于第三代微光像增强器采用了以 GaAs 半导体材料为特色的负电子亲合势光电阴极,从而对制管工艺质量、设备功能、制管真空度及管子寿命等提出了相当高的要求。为满足负电子亲合势要求,三代微光管管内真空度必须保证在 10^{-8} Pa。管内残余气体电离产生的离子反馈是造成阴极灵敏度降低的关键问题。为了解决这个问题,早期是在 MCP 输入面镀制一层防离子反馈的 Al₂O₃ 膜,虽然这层膜能起到防离子反馈作用,但同时对管子的总体性能造成一定影响^[7],如膜层固体原子对输入电子造成散射,导致管子分辨率降低。大量试验结果证明:引入 Al₂O₃ 膜后对管子性能的主要影响体现在以下方面。

3.1 膜层对管子分辨率的影响

对于带有微通道板的三代微光管,高压时,光电阴极发射的电子是靠阴极到板间的近贴聚焦到 MCP 面上的。管子分辨率主要由阴极-MCP-屏间的近贴距和电压确定,对于相同的管子和工作电参数,无 Al₂O₃ 膜 MCP 制备的管子分辨率可达 50 lp/mm,而带 Al₂O₃ 的 MCP 制备的管子分辨率与无膜时相比下降了 40%,表 1 给出了测试对照结果。造成三代管管子分辨率降低的原因主要是 Al₂O₃ 对电子的衰减和增益性能的影响,该影响可以通过控制膜层厚度,提高膜层质量,增加阴极与 MCP 间的电压等措施来解决。关键是镀膜工艺质量对 MCP 的影响因素太多,它与设备性能、材料纯度、蒸镀膜方法、工艺条件和工艺过程质量都有关系;只要在 MCP 上镀膜,一定会对管子造成污染,无疑对管子性能也会造成影响。

表 1 有/无膜三代管分辨率测试结果

Table 1 Testing results of resolution of 3rd eneration tube with and with-out Al₂O₃ film

测试样品	有膜 MCP			无膜 MCP		
	1	2	3	1	2	3
阴极-MCP 电压 V_x/V	600	600	600	400	400	400
MCP 电压 V_{MCP}/V	800	800	800	800	800	800
荧光屏电压 V	10^3	10^3	10^3	10^3	10^3	
分辨率/ $lp \cdot (mm)^{-1}$	17	17	16.7			32

3.2 膜层对管子信噪比的影响

据国外最新资料报导,在 MCP 上镀制 Al₂O₃ 膜后,管子的信噪比最高只能达到 21,而无膜的管

子信噪比一般可达到 32,最高可达到 40。信噪比的降低会使微光夜视仪的图像观察距离减小,像质变差,影响仪器总体效果,原因主要是 Al₂O₃ 膜易受工艺质量污染^[6],如膜的致密性和均匀性差以及系统碳污染等。

3.3 膜层对管子寿命的影响

通过实验比较发现,装有镀 Al₂O₃ 膜 MCP 的三代微光管与无膜 MCP 管子,相比,其寿命并没有提高,甚至有的比无膜 MCP 管子寿命还低。仪器分析发现:膜板电子除气不彻底。原因是管子工作时,通道板放气降低了管内真空度,从而造成离子轰击阴极时使光电阴极灵敏度下降。事实证明,单在 MCP 上镀 Al₂O₃ 膜难以达到延长管子寿命的效果,原因在于管子结构限制,有膜 MCP 并没有完全形成阴极与屏端绝对隔离,静态下屏端真空度下降会造成阴极端真空度降低。要制造出满足实用化的微光夜视器件,应采用以下措施:

- 1) 彻底消除管内材料放气,确保管内真空度不低于 10^{-7} Pa;
- 2) 研制耐 500 °C 的高温烘烤 MCP,解决 MCP 的管内放气问题;
- 3) 提高氧气纯度,选用无油设备,消除油污染,杜绝有害气体对阴极发射层的表面污染;
- 4) 研制高增益、低噪声和耐电子轰击的无膜 MCP。

4 结论

通过分析防离子反馈 Al₂O₃ 膜对微光夜视器件性能的影响,得出以下结论:在 MCP 输入端镀 Al₂O₃ 虽对 GaAs 阴极有一定的保护作用,但会对管子总体指标和 MCP 性能造成影响,故它不是提高三代微光管工作寿命的最有效办法。提高制管工艺质量,研制优质无膜 MCP 和提高制管真空度才是保证实现三代微光管工作寿命的关键技术途径。

参考文献:

- [1] 魏明坤,余茂黎. VCD 制备 Al₂O₃-Al 合金梯度膜[C] // 中国真空学会. 全国薄膜学术讨论会议文集,北京:[出版者不详],1991.
WEI Ming-kun, YU Mao-li. Preparation of Al₂O₃-Al alloy gradient films by VCD[C] // Chinese Vacuum Society. Colloquia of Proceedings of Chinese film Academic, Beijing: [s. n.],1991. (in Chinese)
- [2] 刘得钧,余金中. Al₂O₃ 介质膜在半导体激光器和探测器中的应用[C] // 中国真空学会. 全国薄膜学术讨

论会议文集,北京:[出版者不详],1991.

LIU De-jun, YU Jin-zhong. Application of Al₂O₃ dielectric films in semiconductor laser and detector [C] // Chinese Vacuum Society. Colloquia of Proceedings of Chinese film Academic, Beijing:[s. n.],1991. (in Chinese)

[3] 薛钰芝. Al/Al₂O₃ 多层膜的表面和界面的分析研究[J]. 真空科学与技术,2002,22(1):73-76.

XUE Yu-zhi. Surface and interface studies of Al/Al₂O₃ multilayers [J]. Vacuum Science and Technology,2002,22(1):73-76. (in Chinese)

[4] 张庆瑜,赵文军. 离子辅助沉积 Al₂O₃ 膜的微观状态及其物理性能研究[J]. 真空科学与技术,2003,23(3):123-125.

ZHANG Qing-yu, ZHAO Wen-jun. Microstructure and physical properties of Al₂O₃ films synthesized by ion beam assisted deposition [J]. Vacuum Science and Technology,2002,23(3):123-125. (in Chinese)

[5] 徐江涛. 质谱分析与检漏技术在成像器件研究中的应

用[J]. 真空科学与技术,2002,22 (Sup):64-66.

XU Jiang-tao. Application of mass spectroscopy leak defection in development of imaging devices [J]. Vacuum Science and Technology,2002,22(Sup):64-66. (in Chinese)

[6] 闫金良. 微通道板离子阻挡膜[J]. 应用光学,1996,17(1):12-14.

YAN Jin-liang. Microchannel plate ion barrier film [J]. Journal of Applied Optics,1996,17(1):12-14. (in Chinese)

[7] 徐江涛,张兴社. 微光像增强器的最新发展动向[J]. 应用光学,2005,26(2):21-23.

XU Jiang-tao, ZHANG Xing-she. The latest development of low-light-level image intensifier [J]. Journal of Applied Optics,2005,26(2):21-23. (in Chinese)

第二届中国(长春)国际光电信息技术博览会

时间:2007年6月15日—17日

地点:长春国际会展中心

支持单位:国家发改委、中国科学院、国务院振兴东北办

主办单位:信息产业部、吉林省人民政府、长春市人民政府

协办单位:中国电子商会、长春光学精密机械与物理研究所、中科院长春分院、国科集团、日本光学学会、韩国光学学会、德国精密机械及光学工业协会、法国光学和光电子协会、台湾电机电子工业同业公会、香港光电协会、香港电子业商会、上海光电子行业协会、深圳市光学光电子行业协会、广州市光学光电子行业协会

承办单位:长春市信息产业局、长春市科学技术局、中国贸促会长春市分会、长春博信国际会展有限公司

● 参展范围

- A 光学元件与仪器展区
- B 光电元器件与仪器设备展区
- C 激光红外技术及产品展区
- D 光电显示及半导体照明展区
- E 通信技术及产品展区
- F 汽车电子展区
- G 国防光电子展区
- H 光电科技展区

● 会期主要活动

- 1 亚太光电产业联盟第三次理事会暨中华光电产业与商机论坛
- 2 “亚洲投资联盟——加强欧洲和中国光电部门的联系”项目第五次研讨会
- 3 光电技术研究论坛
- 4 汽车电子产品需求发布会
- 5 服务外包合作论坛
- 6 光显示产业发展论坛
- 7 中俄光电产业发展合作论坛
- 8 网上中国(长春)国际光电信息技术博览会

● 联系方式

<http://expo.changchun.gov.cn>

地 址:中国长春市人民大街1556号 邮 编:130051

电 话:+86-431-82759992 82759993 82759996 82737260

传 真:+86-431-82759996 82739701