

无膜微通道板第三代像增强器的可行性及 技术途径探究

潘京生^{1,3} 吕景文¹ 李燕红^{2,3} 周建勋³

(¹ 长春理工大学材料科学和工程学院, 吉林 长春 120022; ² 北京理工大学光电学院, 北京 100081)

³ 北方夜视技术股份有限公司南京分公司, 江苏 南京 211102

摘要 砷化镓光阴极的量子效率大大优于超二代多碱光阴极,但由于微通道板(MCP)输入面上的离子阻挡膜的存在,第三代像增强器,即使是薄膜第三代像增强器,相比于同时期技术水平的超二代像增强器,在标准测试条件下的信噪比和分辨力等参数上并无明显优势。通过引入 MCP 噪声因子的概念,对像增强器光阴极量子效率的有效利用率进行了评价。强调了实现无膜 MCP 第三代像增强器的必要性,并指明了目前的无膜 MCP 第三代像增强器开发中所存在的问题,对改善 MCP 耐电子清刷除气能力及进一步地减少 MCP 中的有害物种含量的有效方法进行了研究,进而明确了实现高可靠性高性能无膜 MCP 第三代像增强器的可行性和有效技术途径。

关键词 探测器;像增强器;无膜 MCP 第三代像增强器;微通道板(MCP);离子阻挡膜;砷化镓光阴极

中图分类号 TN223 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201232.0323005

Exploring the Feasibility and Approach for Unfilmed-Microchannel-Plate Based Third Generation Image Intensifiers

Pan Jingsheng^{1,3} Lü Jingwen¹ Li Yanhong^{2,3} Zhou Jianxun³

¹ School of Materials Science and Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130022, China

² School of Information Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China

³ North Night Vision Technology Ltd. Corp. Nanjing Branch, Nanjing, Jiangsu 211102, China

Abstract Gallium arsenic (GaAs) photocathode demonstrates an excellent quantum efficiency superior to multialkali photocathode. Because of an ion barrier film existed on the input face of microchannel plate (MCP), gen. 3 image intensifiers tubes (IIT), even the thin film gen. 3 IIT, have not shown evident advantage on the main parameters of signal-to-noise ratio and resolution under standard test condition over super gen. 2 IIT which updated simultaneously. The effective availability of photocathode quantum efficiency of IIT are evaluated by introducing a conception of MCP noise figure. Necessity of the realization of unfilmed gen. 3 IIT is emphasized. The problem remains in the currently unfilmed MCP gen. 3 IIT are indicated. The methods to improve MCP endurance capability of electron scrubbing resistance degassing treatment and further reduction of the number of poison species which contain in MCP substrate are researched, while the feasibility and technology approach for high reliability and high performance unfilmed MCP gen. 3 IIT are pointed out.

Key words detectors; image intensifier; unfilmed MCP generation third image intensifier; microchannel plate (MCP); ion barrier film (IBF); gallium arsenic photocathode

OCIS codes 230.0040; 230.3120; 230.5160

1 引 言

微光像增强技术,借助于像增强器光阴极的外

光电效应,将夜空下景物反射的极微弱光聚焦到成像器件的光敏面上产生光电子,再通过电子光学系

收稿日期: 2011-09-01; 收到修改稿日期: 2011-11-07

作者简介: 潘京生(1965—),男,博士研究生,主要从事微通道板成像探测方面的研究。E-mail: jspan130@sina.com

导师简介: 吕景文(1952—),男,研究员,博士生导师,主要从事功能材料方面的研究。E-mail: ljwcc@126.com

统聚焦加速到荧光屏上经电光转换为可视图像,实现了在夜晚对微弱光景物图像的收集、转换和增强。微通道板(MCP)的应用,实现了对光阴极的光电子图像直接进行二维空间分辨的倍增,使像增强原理从电子加速转为电子倍增,成为第二代像增强器的标志。在Ⅲ-V族化合物砷化镓(GaAs)基底上生成 $Al_{1-x}Ga_xAs/GaAs$ 异质结构,并表面蒸镀 Cs_2O 激活形成的负电子亲和势(NEA)光阴极,是第三代像增强器的标志。但 NEA 层的功效只能在超高真空状态下才能保持。MCP 在工作状态下的离子反馈,撞击光阴极并与 NEA 激活层化学结合,致使光阴极效率的迅速衰竭。通过超高真管制管技术,并在 MCP 输入面上增加一层 Al_2O_3 的离子阻挡膜(IBF)以有效阻止反馈离子从通道逸出,确保了三代像增强器失效前平均时间(MTTF)大于 10000 h 的可靠性要求,但 IBF 也对来自光阴极的光电子构成一个散射中心,限制了 GaAs 光阴极高量子效率优势的发挥。

无膜和自动选通曾经一度作为第三代像增强器下一步发展的目标,选通已在像增强器上得到广泛应用,无膜 MCP 第三代像增强器也已经实现^[1,2],但可靠性不足。薄膜第三代像增强器得以在提高信噪比(SNR)的同时确保可靠性而最后胜出^[3]。超二代像增强器则致力于 SbKNa(Cs)的 S-25 光阴极的效率持续提高,与第三代像增强器性能接近。

本文通过引入 MCP 噪声因子概念,对第三代像增强器和超二代像增强的光阴极效率有效利用率进行了对比,同时结合对 MCP 离子反馈的有效抑制方法的实验研究,明确了实现高可靠性高性能的无膜 MCP 第三代像增强的可行性和技术途径。

2 像增强器光阴极的量子效率及其有效利用率

光阴极的量子效率(QE)为光阴极发射的光电子数与输入光子数的百分比。像增强器采用灵敏度来表示光阴极探测光并将之转换为电子的能力。光阴极的量子效率和灵敏度具有确定的光谱范围。光阴极的辐射灵敏度为给定波长下每单位输入辐射能量的光阴极输出电流。为测试方便,通常采用 2856 K 钨丝白炽灯光照下每单位输入光通量的阴极输出电流作为积分灵敏度,这个光源仅在 400~800 nm 范围与星光的光谱分布很相近,如图 1 所示,为此还要测量两个在 800 nm 以上波长值的辐射灵敏度。量子效

率和给定波长 λ 的辐射灵敏度 S 的关系为

$$\eta_{QE} = \frac{S \times 1.24}{\lambda} \times 100\% \quad (1)$$

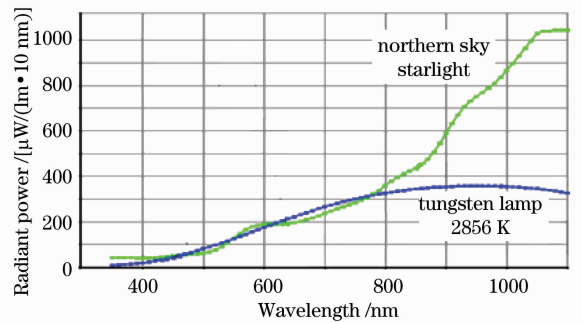


图 1 星光和 2856 K 钨丝白炽灯的光谱分布
Fig. 1 Spectral distribution of starlight and tungsten lamp of 2856 K

像增强器性能以其低照度下的目标探测和识别距离来评价。探测与识别距离正比于像增强器输出 SNR 和极限分辨率的乘积,即品质因素。SNR 是描述像增强器在微弱光级别得到的荧光屏图像的噪声质量的最好方式,其测试采用以 $108 \times 10^{-6} \text{ lx}$ 照度级别的光照明一个直径为 0.2 mm 的光阴极区域,此时荧光屏的平均输出亮度除以涨落的均方根值即为像增强器输出信噪比,带宽的选择在 10 Hz 以与人眼一致。像增强器的输出信噪比首先决定光阴极量子效率,与光阴极量子效率的均方根值成正比,但最终决定于贡献给荧光屏输出亮度的是来自于光阴极的光电子数。

在传统的非选通三代像增强器中,前近贴聚焦电场的光阴极与 MCP 间的电压和距离分别在 800 V 和 250 μm 左右,以优化 IBF 电子透射特性,虽然对那些来自光阴极的能量较大的光电子,IBF 亦可构成二次电子的发射体,但对于撞击在 MCP 通道壁外端面和由 IBF 散射的光电子,在电场作用下返回后,或因能量损失而被 IBF 捕获,或因反弹距离较远而进入周围较远通道。而在超二代像增强器中 MCP 与光阴极间的电压和间距分别是 200 V 和 15 μm 左右,撞击在 MCP 通道外端壁面上的电子反弹后在电场作用下至少有 1/3 以上的反弹电子可再进入相邻通道。

IBF 限定了 GaAs 光阴极量子效率优势的发挥,还削弱了第三代像增强器的调制传递函数(MTF)和分辨力,增大了晕轮尺寸。同样要实现 64 lp/mm 的分辨力,第三代像增强器需要 MCP 通道孔径和间距达到 4.7 μm 和 6.2 μm ,超二代像增

强器则只需 MCP 通道孔径和间距达到 $5.8 \mu\text{m}$ 和 $7.8 \mu\text{m}$, 即使这样, 超二代像增强器的 MTF 在低频段还明显优于第三代像增强器。

选通电源可在大于 10^{-3} lx 光照级别提供光阴极选通功能, 通过减少来自光阴极的时间平均光电子流, 在 200 lx 以上光照度级别保持像增强器的分辨力, 并通过调节选通开/关周期的占空因素, 在不同光级别输入时保持输出亮度的变化低于 5 lx 。光阴极选通一定程度的限定时间平均进入 MCP 的光电子流, 由此一定程度限定 MCP 的离子反馈, 提高了像增强器的工作寿命^[4], 为减薄 IBF 膜厚彻底去除 IBF 提供了可能。

IBF 膜厚的概念是质量厚度而非单纯的几何厚度, IBF 的穿透电压可作为其膜厚的判据。优化构成 IBF 的 Al_2O_3 的 Al:O 比, 以改善 IBF 在特定电压的电子透射特性。减薄膜厚甚至去除 IBF, 可减缩光阴极与 MCP 间的电压和近贴距离, 改善 MTF 和分辨力并减小晕轮尺寸。

选通像增强器使夜视仪的应用拓展到暮曙光级别, 提高了应用条件的严酷等级, 高亮度工作环境 MCP 离子反馈更为严重, 无膜第三代管虽然通过了标准可靠性测试, 但在实际使用过程, 特别是高亮度或高温环境下, 性能会急剧衰减, 最终被薄膜第三代管所取代。

目前 GaAs 光阴极的积分灵敏度可达到 $2200 \mu\text{A}/\text{lm}$ 以上, 830 nm 和 880 nm 波长的辐射灵敏度分别达到 $230 \text{ mA}/\text{W}$ 和 $120 \text{ mA}/\text{W}$ 以上, 而超二代 S-25 光阴极的积分灵敏度达到 $800 \mu\text{A}/\text{lm}$ 以上, 响应峰值进一步向近红外拓展, 800 nm 和 850 nm 波长的光阴极辐射灵敏度分别达到 $78 \text{ mA}/\text{W}$ 和 $65 \text{ mA}/\text{W}$ 以上, 如图 2 所示。在大部分可见光谱范围和近红外波段, GaAs 光阴极始终保持着优于同期技术超二代 S-25 光阴极 3 倍的灵敏度优势, 但在标准测试条件下的信噪比和分辨力等参数上, 超二代像增强器却始终保持着与第三代像增强器性能接近甚至齐头并进的发展势头。

通过引入 MCP 噪声因子 (N_f) 的概念, 可更好地理解 MCP 及 IBF 对像增强器光阴极效率有效利用率的影响, MCP 噪声因子是衡量受 MCP 增益统计涨落的影响以及开口面积比和 IBF 的限定所造成的可用信息损失的量度, 可用以描述像增强器光阴极的输出 SNR 或量子效率经过 MCP 传递之后的降低和损失:

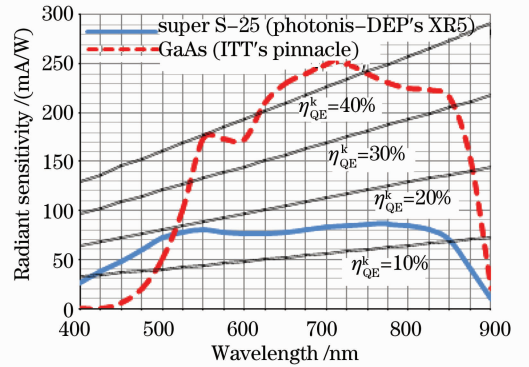


图 2 GaAs 光阴极与超二代 S-25 光阴极的光谱响应和辐射灵敏度

Fig. 2 Spectral response and radiant sensitivity characteristics of GaAs and super S-25 photocathode

$$N_f = \frac{R_{\text{SN}}^{\text{in}}}{R_{\text{SN}}^{\text{out}}} = \sqrt{\frac{\eta_{\text{QE}}^{\text{k}}}{\eta_{\text{QE}}^{\text{e}}}}, \quad (2)$$

式中 $R_{\text{SN}}^{\text{in}}$ 是来自光阴极输出到 MCP 的信号的信噪比; $R_{\text{SN}}^{\text{out}}$ 是来自光阴极的输出信号经过 MCP 倍增后输出到荧光屏的信号的信噪比, 如不考虑荧光屏的转换和传递损失, 可视为像增强器输出信噪比; $\eta_{\text{QE}}^{\text{k}}$ 是光阴极的量子效率, $\eta_{\text{QE}}^{\text{e}}$ 是像增强器量子效率的有效利用率, 即体现在最终出现在荧光屏上的来自于光阴极的光电子数上的量子效率。

上式可转化为

$$N_f = K \sqrt{\frac{S_{\text{k}}}{R_{\text{SN}}^{\text{out}}}}, \quad (3)$$

式中 S_{k} 是光阴极的积分灵敏度, K 是与 Mil-Spec. 测试条件误差的校正系数, 如满足 Mil-Spec. 测试条件, K 可视为 1。

表 1 列举了同期技术的几种像增强器的灵敏度、信噪比和分辨力参数以及利用 (3) 式计算的 MCP 噪声因子, 可以发现, 第三代像增强器光阴极效率的有效利用率始终仅相当于同期技术的超二代像增强器的 36%。

但鉴于各自的光谱响应范围优势, 如图 2 和表 1 所示, 在月夜以及海边、沙漠和城市的绿~蓝光谱丰富的环境, Super S25 光阴极的超二代像增强器具有优势, 而在无月云遮星光以及丛林中的极微弱光下的近红外光谱丰富的环境, GaAs 光阴极的第三代像增强器占据优势。在应用于固定翼飞机和直升飞机的夜视成像系统中, 为与机舱照明系统相容, 需要在物镜上再补充一个对相应波长蓝绿光的急剧截止的滤光片^[5], GaAs 光阴极的第三代像增强器显示了其优势。

表 1 几种 18 mm 像增强器的光阴极灵敏度、信噪比、分辨率和噪声因子比较

Table 1 Comparison of photocathode sensitivity, SNR, resolution and noise figure for several 18 mm type image intensifiers

| Tube type | Min. sensitivity at 2856 K/ ($\mu\text{A}/\text{lm}$) | Min. radiant sensitivity / ($\mu\text{A}/\text{W}$) | | | | Min. SNR | Min. resolution / (lp/mm) | Noise figure |
|---------------------------|---|---|--------|--------|--------|----------|---------------------------------|--------------|
| | | 800 nm | 830 nm | 850 nm | 880 nm | | | |
| | | | | | | | | |
| Supergen | 500 | 43 | --- | 33 | --- | 18 | 51 | 1.24 |
| Gen. 3 (Omni IV) | 1800 | --- | 190 | --- | 80 | 21 | 64 | 2.0 |
| XD-4 | 600 | 60 | --- | 50 | --- | 20 | 57 | 1.2 |
| Thin film gen. 3 | 2200 | --- | 220 | --- | 120 | 28 | 64 | 1.7 |
| XR5 | 800 | 78 | --- | 65 | --- | 28 | 64 | 1.01 |
| Unfilm gen. 3 | 1800 | --- | 190 | --- | 80 | 26 | 64 | 1.63 |
| Unfilm gen. 3 enhanced | 2000 | --- | 200 | --- | 100 | 32 | 72 | 1.4 |

3 实现高可靠性高性能无膜 MCP 第三代像增强器的可行性及技术途径

目前像增强器已经拓展到了暮曙光级别应用,增加了应用的严酷性,而无膜第三代管与薄膜第三代管相比,MCP 噪声因子差别不大,前者的寿命周期费用远远高于后者,但高性能无膜第三代管 MCP 噪声因子可达到 1.4,如果能够进一步限定或减少 MCP 在工作期间产生的离子反馈总量,实现高可靠性高性能的无膜 MCP 第三代像增强器是可能的。即使是 IBF 膜厚还可以继续减薄,第三代像增强器可在保留 IBF 的基础上持续发展,其基础仍然是如何进一步限定或减少 MCP 在工作状态下产生的离子反馈总量。

选通电源在脉冲宽度、重复率和占空因素等参数仍有改进和提高的余地,半导体 GaAs 光阴极和像增强器的快速时间响应特性,选通脉冲宽度最低可允许小于 1 ns。而对于抑制 MCP 的离子反馈,MCP 选通更优于光阴极选通。如果 MCP 选通电压脉冲间隔的时间参量可控,通道内电场悬转的时间常数与特定应用需要的周期时间相匹配,通道内电场方向保持相应于通道轴的倾斜,MCP 可工作于大电子流的输出同时有效阻止正离子的反馈^[6]。但这受限于像增强器对选通电源的功率、体积尺寸和电池寿命的限定。

体导电 MCP 可在倾斜通道内建立非通道轴向电场阻止正离子的反馈^[6,7]。但其实际实现存在困

难^[8]。目前能够实现的一种磷酸盐玻璃的体导电玻璃 MCP 噪声因子仅 1.7 左右,且增益和分辨率严重不足^[9]。本课题组制作的体导电玻璃 MCP,同样存在二次发射特性严重不足,这些玻璃还具有分相倾向且机械强度不足的缺点^[10],不满足制作像增强用 MCP 的用途。

减少 MCP 通道内形成离子反馈的有害物种总量是减少离子反馈的最根本方法。残余气体分子和离子在通道内壁的存在通常以两种形式,物理吸附和化学吸附。物理溶度主要涉及到通道内壁表面玻璃微结构的空隙和气体分子的尺寸,约束力微弱,易于清刷;而化学溶度则涉及气体与 MCP 基体玻璃的反应,取决于玻璃的碱度,约束力强,难于完全清除。

烘烤和清刷是像增强器装配过程中对 MCP 例行的老化和除气方法。图 3 为在 10^{-4} Pa 真空 380 °C 对 MCP 烘烤 18 h 随后进行清刷时释放气体的残余气体分析(RGA)。构成离子反馈的有害物种为在质谱强度趋势有明显峰值的 $2(\text{H}_2)$,和 15、16、17(这三种认为是 H_2O),还有 32(N_2/CO)。烘烤后 H_2O 仍为主要释放物,说明其以化学溶度大量存在且难于清除。

在标准三代管中 IBF 的作用相当于将 MCP 在工作期间反馈到光阴极的离子减少到其产生总量的 1/4,那么 MCP 离子反馈总量减少 3/4 以上,即可去除 IBF 同时确保三代像增强器的标准可靠性要求^[11,12]。通过对 MCP 采用加大输入电子密度的清刷处理,可更大程度地清除 MCP 通道中有害物种总量,但同时也造成 MCP 增益衰减和噪声因子的

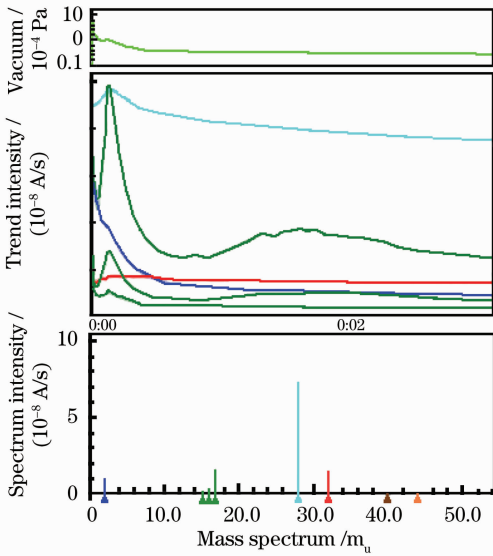


图3 经过真空烘烤之后的MCP在清刷过程中释放气体的残余气体分析质谱

Fig. 3 Residual gases analyzing spectrum from the electron scrubbing of an MCP after baking

增大。

MCP增益可近似看作光电子在通道壁首次撞击二次发射及随后内级联多级倍增的结果为^[14]

$$G = \delta_1 \delta^{n-1}, \quad (4)$$

式中视作内级联倍增级有相同的二次发射产额, δ_1 和 δ 分别是光电子首次撞击和内级联每一级的二次发射产额, n 为受长径比 α 定性的通道长度 L 和工作电压限定的倍增级级数,而 δ 为

$$\delta = (V/nV_c)^k, \quad (5)$$

式中 k 为二次发射函数 $\delta(V)$ 的系数, V 和 nV_c 分别为MCP工作电压和MCP增益首次窜渡电压,由此可得

$$G = \gamma [(nV_{pk} + V)/nV_c]^K (V/nV_c)^{K(n-1)}, \quad (6)$$

式中 eV_{pk} 为光电子能量, γ 为MCP接受光电子的有效面积比。

用类似的方法评价MCP的噪声因子为

$$N_f = \gamma^{-1/2} \left[1 + \frac{\sigma_1^2 \sigma^2 (n-1)}{\delta_1^2 \delta^2 (n-1)} \right], \quad (7)$$

式中 σ_1 和 σ 分别为光电子首次撞击和内级联倍增级的二次电子产额的标准偏差,应对应于评价像增强器信噪比的10 Hz带宽来评价。

大密度电子输入的清刷的结果是造成二次发射函数系数 $\delta(V)$ 的变化而带来的MCP增益首次窜渡电压 nV_c 显著提高,通过提高工作电压 V 可使MCP增益得到恢复从而满足像增强器亮度增益的要求,但不能挽回因首次事件二次发射产额 δ_1 的下

降带来的MCP噪声因子的增大。因此具有相对高的增益并在清刷过程中增益降幅较小的MCP,是实现高可靠性高性能无膜MCP第三代像增强器的技术基础,而MCP清刷方法的改进也有值得挖掘的潜力。

增大MCP的开口面积比,减少那部分因撞击在MCP通道壁端面而最终未能进入通道的光电子的损失,如果能够去除IBF并调整像增强器前近贴聚焦电场,使这些撞击在通道壁端面的光电子能够返回进入相邻通道, MCP的光电子有效接受面积比可做到远远大于实际开口面积比。

以Cs、Rb替换掉MCP玻璃中的K、Na, MCP工作寿命可显著提高^[14],耐清刷能力也相应改善,而同时降低MCP玻璃的碱度,还可减少通道中有害物种的化学溶度,本课题组研制的一种以Cs、Rb替换K、Na的低碱含量新玻璃成分的MCP,相比K、Na高碱含量的常规MCP,其耐受电子清刷能力得到显著改善。如图4所示的三种MCP在380 °C 10^{-4} Pa烘烤18 h后以最大工作电压1000 V,输出电流4.5 μ A/ cm^2 密度的清刷过程的增益衰减曲线。

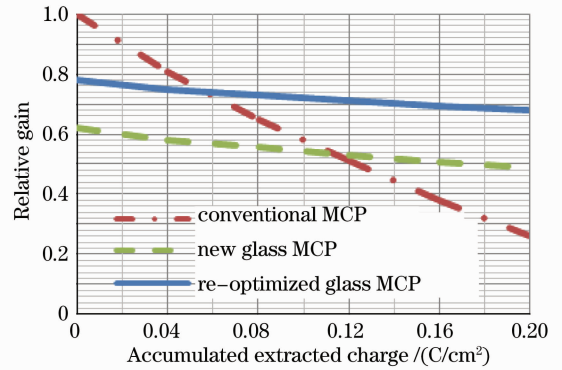


图4 不同MCP在真空烘烤之后的清刷过程中增益衰减与累积电荷输出的变化关系比较

Fig. 4 Gain decay as a function of cumulated extracted charge during scrubbing after baking for different MCPs

通过特殊的扩孔处理,新玻璃MCP开口面积比扩大到68%,在相同的IBF制作程序即相同膜厚条件下,相比于不到60%开口面积比的常规MCP,像增强器的噪声因子和信噪比有实质性改善。虽然新玻璃MCP表现得更易于形成离子反馈自再生,通过在像增强器装配过程中清刷除气处理,这种新玻璃MCP装配第三代像增强器在非选通工作模式下的MTTF可达到5000 h^[15],如表2所示。

玻璃结构本身包含有大量的可被气体分子或原子填充的空隙,玻璃网络断裂程度主要取决于其氧硅比和网络外体离子种类。MCP制作过程中网络

外体离子在芯皮界面的互扩散以及酸蚀溶液对通道表层一定深度范围的网络外体离子的浸取后形成的粗糙表面,为气体吸附留下了可观的物理空间,而通

道内壁表面偏析的碱金属离子与气体分子或离子结合是化学吸附的主要来源。

表 3 新玻璃 MCP 与常规 MCP 装配的三代像增强器的主要性能参数

Table 3 Main parameters of ITT assembled by conventional MCP and new glass MCP

| | Sensitivity at 2856 K ($\mu\text{A}/\text{lm}$) | SNR | Resolution / (lp/mm) | MCP noise figure | MTTF / h |
|------------------------------|--|------|----------------------|------------------|----------|
| Conventional MCP gen. 3 tube | 2000 | 22:1 | 54 | 2.0 | 3000 |
| New glass MCP gen. 3 tube | 2000 | 25:1 | 54 | 1.8 | 5000 |

MCP 离子反馈自再生现象,源于其通道内壁表面微结构存在的较大空隙为气体的物理吸附提供的空间,为此对新玻璃成分的进行了再优化,通过调整玻璃成份并引入晶核剂,借助于 MCP 制作过程中的合适温度时间的热处理,可在这种玻璃成分再优化的 MCP 中自然产生诱导晶化,形成晶粒尺寸在一定范围可控的一定比例的纳米晶,不仅可增强玻璃的耐酸性,进一步抑制 MCP 玻璃基体中的碱金属离子在 MCP 制作过程中的迁移和和被选择侵取,同时使 MCP 通道表面结构更为致密光滑,以改善增益特性,并减少残余气体表面吸附的物理空间,有效抑制气体分子和潮湿水汽在通道内壁的渗透吸附。

这种被称为玻璃陶瓷 MCP 的玻璃再优化的 MCP,其耐酸性得到了显著加强,与新玻璃 MCP 相同的扩孔处理,开口面积比仅在 60%左右,如图 5 所示,但其增益和耐清刷能力相对有了显著提高,如

图 4 中所示,在完成 IBF 制作和清除除气处理后,装配成第三代像增强器并对其性能及其在工作期间的放气率进行了实验评估,确证了其增益和噪声因子的进一步改善,如表 3 所示,同时其在工作状态下的单位时间放气率是新玻璃 MCP 的 1/2,可确保像增强器在非选通工作模式下 MTTF 不低于 5000~10000 h^[16]。

目前的试验工作还只是在 6 μm 孔径 MCP 上取得的,如果把通道孔径缩小到 5 μm ,不仅可以增加像增强器的分辨力,并且增加的通道密度可减少单位通道电荷密度,还可一定程度上进一步减少离子反馈。受条件所限,目前还无法进行无膜 MCP 第三代像增强器的实验研究,但上述实验说明,玻璃成分和微结构再优化的 MCP,在进一步改善 MCP 噪声因子的同时,还有效减少了 MCP 通道中产生离子反馈的有害物种,提高了像增强器的工作寿命。

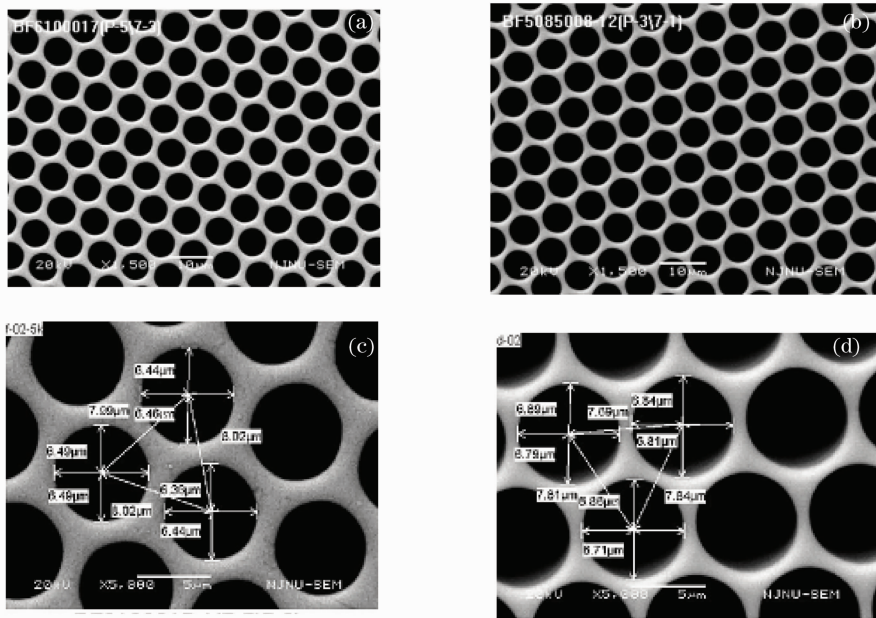


图 5 (a),(c)玻璃成份再优化的 MCP 和(b),(d)新玻璃 MCP 在相同扩孔处理后的的开口面积比对比
Fig. 5 Comparison of open area ratio between re-optimized glass MCP (a),(c) and new glass MCP at the same etching processing (b),(d)

表4 玻璃成份再优化的MCP在第三代像增强器中的增益和信噪因子

Table 4 MCP Gain and noise figure of re-optimized glass MCP assembled in gen. 3 tube

| Samples No. | 7006-3 | 7006-7 | 7006-2 | 7006-5 | 7006-24 | 7006-10 | 7006-14 |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| MCP gain at 0.8 KV | 1700 | 1500 | 1500 | 1400 | 1600 | 1100 | 1000 |
| MCP gain at 1 KV | 17800 | 17600 | 13700 | 13900 | 10500 | 9500 | 9700 |
| MCP noise figure | 1.69 | 1.69 | 1.74 | 1.76 | 1.83 | 1.86 | 1.87 |

4 结 论

优化MCP玻璃成分可以进一步减少MCP通道吸附的有害物种总量,并更大程度地改善MCP耐受清刷能力,以最小化第三代像增强器中由MCP产生的离子反馈。同样像增强器选通电源的改进也还极具可挖掘的潜力。因此在进一步深化MCP玻璃成分优化研究的基础上,加强对像增强器装配过程中MCP的除气处理的研究,同时结合像增强器选通电源的改进,是实现高可靠性高性能无膜MCP第三代像增强器的技术关键。

参 考 文 献

- 1 J. P. Estrer, T. Ostromek, A. Bacarella. Advanced image intensifier night vision system technologies: status and summary 2002 [C]. *SPIE*, 2003, **4796**: 49~59
- 2 J. P. Estrera, E. J. Bender, Adriana *et al.*. Long life generation IV image intensifiers with unfilmed microchannel plate [C]. *SPIE*, 2000, **4128**: 46~53
- 3 R. Floryan, N. Devoe, T. Peck. New image intensifier family for military and homeland defense [C]. *SPIE*, 2003, **5071**: 397~501
- 4 J. P. Estrera, M. R. Saldana. Gated power supple technologies for advanced image intensifiers [C]. *SPIE*, 2003, **4796**: 60~70
- 5 Interface Standard, Lighting, Aircraft, Night Vision Imaging System (NVIS) Compatible [S]. MIL-STD-3009, Superseding MIL-L-85762A, 2001
- 6 E. Gatti, K. Oba, P. Rehak. Study of the electric field inside

- microchannel plate multipliers [J]. *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, 1983, **30**(1): 461~468
- 7 J. G. Timothy. Preliminary results with saturable microchannel array plate [J]. *Rev. Sci. Instrum.*, 1974, **45**(6): 834~837
- 8 H. J. L. Trap. Electronic conductivity in oxide-glasses [J]. *Acta Electronica*, 1971, **14**(1): 41~77
- 9 T. W. Sinor, E. J. Bender, T. Chau *et al.*. New frontiers in 21st century microchannel plate (MCP) technology: bulk conductive MCP based image intensifier [C]. *SPIE*, 2000, **4128**: 5~13
- 10 Pan Jingsheng, Lü Jingwen, Deng Tao *et al.*. Fabrication of a bulk conductive glass microchannel plate [C]. *SPIE*, 2011, **8194**: 819407
- 11 E. J. Bender. Present Image-Intensifier Tube Structure, in *Electro-Optical Imaging: System Performance and Modeling* [M]. L. M. Biberman, Washington, SPIE Press Bellingham, 2000, Chapter 5
- 12 V. I. Loltionov, R. I. Bagdew. High science technology of final screen-body assembly (SBA) cleaning of proximately focused image intensifiers tubes (I^2) [C]. *SPIE*, 2005, **5834**: 159~168
- 13 E. H. Eberhardt. Gain model for microchannel plate [J]. *Appl. Opt.*, 1979, **18**(9): 1418~1423
- 14 A. M. Then, C. G. Pantano. Formation and behavior of surface layers on electron emission glasses [J]. *J. Nano-Crystalline Solides*, 1990, **120**(1-3): 178~187
- 15 Pan Jingsheng, Lü Jingwen, S. A. Kesaev *et al.*. Innovative microchannel plate with reformulation of composition and modification of microstructure [C]. *SPIE*, 2009, **7384**: 738402
- 16 Pan Jingsheng, Lü Jingwen, Zhang Zhengjun *et al.*. Ion feedback suppression for microchannel plate applied to third generation image intensifiers [J]. *Chin. J. Electron.*, 2010, **19**(4): 757~762

栏目编辑: 宋梅梅