

非溶剂组分对有机载膜及防离子反馈MCP性能的影响

杨凯莉 张妮 孙超 朱宇峰 郝子恒 郭欣 李朋博

Effect of non-solvent component on performance of organic membrane and ion barrier MCP

YANG Kaili, ZHANG Ni, SUN Chao, ZHU Yufeng, HAO Ziheng, GUO Xin, LI Pengbo

引用本文:

杨凯莉, 张妮, 孙超, 等. 非溶剂组分对有机载膜及防离子反馈MCP性能的影响[J]. 应用光学, 2024, 45(4): 828–833. DOI: 10.5768/JAO202445.0404002

YANG Kaili, ZHANG Ni, SUN Chao, et al. Effect of non-solvent component on performance of organic membrane and ion barrier MCP[J]. *Journal of Applied Optics*, 2024, 45(4): 828–833. DOI: 10.5768/JAO202445.0404002

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.5768/JAO202445.0404002>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

防离子反馈膜缺陷对像增强器视场的影响

Effect of defects in ion barrier film on field of view of image intensifier

应用光学. 2022, 43(6): 1175–1180 <https://doi.org/10.5768/JAO202243.0604018>

微通道板碘化铯膜层抗潮解超薄保护膜层

Anti-deliquescence ultra-thin protective film of cesium iodide film on MCP

应用光学. 2022, 43(6): 1196–1201 <https://doi.org/10.5768/JAO202243.0604021>

微通道板输入电极对开口面积比的影响及改进研究

Influence of input electrode of micro-channel plate on opening area ratio and its improvement

应用光学. 2022, 43(6): 1158–1164 <https://doi.org/10.5768/JAO202243.0604016>

基于光晕的微通道板黑点检测方法

Halo-based black point detection method of microchannel plate

应用光学. 2022, 43(6): 1145–1152 <https://doi.org/10.5768/JAO202243.0604014>

多组分复合薄膜的光学、电学、机械性能及其应用

Optical, electrical and mechanical properties and applications of multicomponent composite films

应用光学. 2020, 41(2): 405–420 <https://doi.org/10.5768/JAO202041.0205005>

射频聚焦离子源熔石英高确定去除特性研究

Research on high deterministic removal characteristics of fused quartz using RF focused ion beam source

应用光学. 2019, 40(2): 284–290 <https://doi.org/10.5768/JAO201940.0203002>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

文章编号:1002-2082 (2024) 04-0828-06

非溶剂组分对有机载膜及防离子反馈 MCP 性能的影响

杨凯莉^{1,2}, 张 妮^{1,2}, 孙 超^{1,2}, 朱宇峰^{1,2}, 郝子恒^{1,2}, 郭 欣^{1,2}, 李朋博^{1,2}

(1. 微光夜视技术重点实验室, 陕西 西安 710065; 2. 昆明物理研究所, 云南 昆明 650223)

摘要: 有机载膜作为制备 Al_2O_3 防离子反馈膜的临时衬底, 其膜层致密性及厚度显著影响 Al_2O_3 膜的致密性、电子透过性和防离子反馈微通道板 (microchannel plate, MCP) 的电特性。将非溶剂组分由超纯水改为 NaCl 溶液, 通过金相显微镜及台阶仪分析不同 NaCl 溶液质量浓度所制有机载膜的膜层致密性及厚度; 并测量相应有机载膜应用所制 Al_2O_3 膜的致密性、电子透过性及防离子反馈 MCP 的电特性。研究发现, NaCl 溶液的质量浓度为 $0.05 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 时, 有机载膜具备高致密性; 且制备的 Al_2O_3 防离子反馈膜致密, MCP 的增益损失量较小, 是最佳的非溶剂组分质量浓度。

关键词: 防离子反馈微通道板; 有机载膜; 非溶剂组分; 电子透过特性; 电特性

中图分类号: TN6

文献标志码: A

DOI: [10.5768/JAO202445.0404002](https://doi.org/10.5768/JAO202445.0404002)

Effect of non-solvent component on performance of organic membrane and ion barrier MCP

YANG Kaili^{1,2}, ZHANG Ni^{1,2}, SUN Chao^{1,2}, ZHU Yufeng^{1,2}, HAO Ziheng^{1,2}, GUO Xin^{1,2}, LI Pengbo^{1,2}

(1. Key Laboratory of Low-Light-Level Night Vision Technology, Xi'an 710065, China;

2. Kunming Institute of Physics, Kunming 650223, China)

Abstract: The organic membrane is used as a temporary substrate for preparing the Al_2O_3 ion barrier film, and its compactness and thickness significantly affect the compactness, the electrical transmittance characteristics of Al_2O_3 ion barrier film and the electrical characteristics of ion barrier microchannel plate (MCP). The non-solvent component was changed from ultrapure water to NaCl solution, and the compactness and thickness of the organic membrane prepared by different NaCl solution concentrations were analyzed by metallographic microscope and step test analyzer. The compactness, the electrical transmittance characteristics and the electrical characteristics of ion barrier MCP prepared by the corresponding organic membrane were measured. The research results show that when the concentration of NaCl solution is $0.05 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$, the organic membrane has high compactness, and the Al_2O_3 ion barrier film is compact and has small gain loss of MCP, which is the optimal non-solvent component concentration.

Key words: ion barrier microchannel plate; organic membrane; non-solvent component; electrical transmittance characteristics; electrical characteristics

引言

长寿命微通道板 (microchannel plate, MCP) 作为第三代微光像增强器的主要特色之一, 其多孔输入面上镀制致密的 Al_2O_3 防离子反馈膜, 令大量电子通过的同时, 可阻挡反馈正离子轰击光阴极

极造成离子斑和附加噪声, 进而延长像管使用寿命^[1-2]。 Al_2O_3 膜制备前, 需在 MCP 输入面贴附一层有机载膜作为临时载体堵住 MCP 端面孔道, 接着将 Al_2O_3 膜沉积在有机载膜表面, 最后真空热解去除有机载膜, 即可得 Al_2O_3 防离子反馈膜。研究

收稿日期: 2023-07-17; 修回日期: 2023-09-04

作者简介: 杨凯莉 (1995—), 女, 工程师, 主要从事防离子反馈 MCP 制备技术研究。E-mail: 2040961907@qq.com

发现, Al_2O_3 防离子反馈膜的致密性受有机载膜致密性的影响, 因此, 为获得高致密性 Al_2O_3 防离子反馈膜,亟需提高有机载膜的致密性^[3-6]。

传统防离子反馈有机载膜的制备方法通常采用相转变法中的水面铺展法。水面铺展法中影响有机载膜致密性的主要因素为聚合物种类、非溶剂-溶剂体系与铸膜液组成。现国内外使用的铸膜液由成膜剂硝化纤维素、溶剂乙酸丁酯、辅助溶剂无水乙醇、增塑剂邻苯二甲酸二丁酯或磷酸三丁酯组成, 非溶剂组分为去离子水^[4]; 对有机载膜的研究主要集中于铸膜液组分, 对非溶剂组分研究甚少。本文以成膜剂硝化纤维素、主溶剂乙酸丁酯、辅溶剂无水乙醇和增塑剂邻苯二甲酸二丁酯为铸膜液组成, 重点研究非溶剂组分 NaCl 溶液对有机载膜致密性的影响, 筛选非溶剂组分 NaCl 溶液的最佳质量浓度; 进一步探究其对 Al_2O_3 防离子反馈膜电子透过性及 MCP 电特性的影响, 为制备高性能防离子反馈 MCP 提供理论基础和技术支撑。

1 有机载膜的形成

现使用浸渍-提拉法(水面铺展法)制备以硝化纤维素为成膜剂的有机载膜。其制作方法是, 将铸膜液(有机膜液)滴加至非溶剂的静止液面上, 待膜液扩散并逐渐凝固时, 将金属环与有机薄膜表面接触, 使之粘附到金属环上, 静置晾干即可。制成的有机载膜应具备优良韧性、高致密性、高均匀性与低厚度。有机膜液由成膜剂硝化纤维素、溶剂乙酸丁酯、辅助溶剂无水乙醇、增塑剂邻苯二甲酸二丁酯组成, 非溶剂组分为超纯水及 NaCl 溶液。

如图 1 所示, 当有机膜液在水面铺展后, 其成膜为双动力学扩散过程, 易挥发溶剂乙酸丁酯向大气扩散, 溶剂无水乙醇与非溶剂通过薄膜-非溶剂组分界面相互扩散, 硝化纤维素沿水面扩散的过程中其溶液质量浓度随之增加, 当达到相图中的分相线组成时, 体系原有的热力学平衡被打破, 将自发进行液-液分相。分相过程中由溶剂(乙酸丁酯、无水乙醇)、非溶剂和少量聚合物(硝化纤维素)组成的贫聚合物小液滴分散于富聚合物连续相内, 在质量浓度梯度的推动下小液滴不断增大, 直到其周围富聚合物连续相凝胶化, 玻璃化转化至完全固化。在富聚合物连续相发生相转变而固化前, 贫聚合物相小液滴的聚结将形成多孔结

构。也就是说, 聚合物富相在分相后不久就固化构成膜的主体, 贫相则形成所谓的孔^[7-8]。

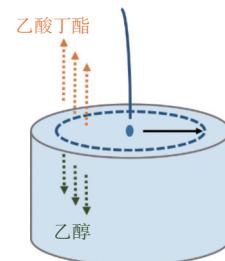


图 1 水面铺展法溶剂双扩散过程示意图

Fig. 1 Schematic diagram of solvent double diffusion processed by water surface spreading method

根据液-液分相的快慢可分为瞬时液-液分相和延时液-液分相, 其中延时液-液分相所得有机膜层更致密。由于无水乙醇和非溶剂组分通过薄膜-非溶剂组分界面开始相互扩散, 因此薄膜内组成的变化亦由表层开始。2 种分相机理如下: 薄膜最底层组成是其刚接触非溶剂组分时的初始质量浓度, 当体系发生瞬时液-液分相时, 薄膜下表层(与非溶剂接触界面)的组成已进入分相区域, 溶剂与非溶剂扩散交换完成了分相, 即薄膜铺展后与非溶剂界面接触瞬间完成了分相, 因此得到疏松多孔膜结构; 当体系发生延时液-液分相时, 薄膜下表层组成尚未进入分相区域, 薄膜表层仍处于均相互溶状态, 未发生液-液分相, 需经过一定时间的物质交换才能进入分相状态, 因此得到的膜层结构更致密^[8]。

2 实验

分别取 30 g、50 g、100 g、150 g、200 g 的 NaCl 固体粉末溶解于 1 000 ml 超纯水中, 制得质量浓度为 0.03 $\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 、0.05 $\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 、0.1 $\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 、0.15 $\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 、0.2 $\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 的 NaCl 溶液, 超纯水记为 0 $\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 。用不同非溶剂组分的 NaCl 溶液制备的有机载膜备用, 分别使用德国 Bruker DektakXT 台阶仪及德国 Leica 金相显微镜测定有机载膜厚度及微观形貌, 并将不同非溶剂组分的 NaCl 溶液制备的有机载膜贴附于 MCP 输入面, 再用无油电子束镀膜机在有机载膜表面沉积纳米级厚的 Al 层, 接着用真空热处理台在 400 °C 恒温下加热 2 h, 去除有机载膜, Al 层自然氧化生成 Al_2O_3 , 最终在 MCP 输入面制得一层连续 Al_2O_3 非晶态薄膜。该带膜通道板记为 MCP @ Al_2O_3 。

不带膜微通道板 (MCP)、带膜微通道板 (MCP@Al₂O₃) 的视场、电子增益 G 、体电阻 R 和阈值电压测试都是在 MCP 综合性能测试台上进行。视场测试时, 微通道板板压 $V_m=800$ V, 荧光屏电压 $V_a=4500$ V, 阴极电压 $V_c=100$ V~250 V; 电子增益测试时, $V_a=2000$ V, $V_m=800$ V, $V_c=400$ V, MCP 输入电流 $I_{in}=3.0$ nA ± 0.5 nA; 体电阻测试时 $V_m=500$ V; 阈值电压与增益测试条件相同, 记录阴极电压值从 100 V 增加至 800 V 时对应的屏流值, 最终计算得到阈值电压值。

3 结果与讨论

3.1 有机载膜的性能分析

实验采用浸渍-提拉法, 分别制备非溶剂组分 (NaCl 溶液) 在 0 g·ml⁻¹ (超纯水)、0.03 g·ml⁻¹、0.05 g·ml⁻¹、0.1 g·ml⁻¹、0.15 g·ml⁻¹、0.2 g·ml⁻¹ 等 6 种质量浓度下的有机载膜, 并用金相显微镜和台阶仪测试其微观形貌 (见图 2、图 3) 和厚度 (见图 4)。

由图 2 可知, 非溶剂组分为超纯水 (0 g·ml⁻¹) 时, 有机载膜内部疏松多孔, 大尺寸微孔 ($\Phi \geq 0.1$ μm) 数量超过 20 个, 小尺寸微孔 ($\Phi \leq 0.06$ μm) 数量超过 100 个, 膜层致密性差; 超纯水中加入 NaCl 后, 当 NaCl 溶液质量浓度小于 0.05 g·ml⁻¹ 时, 随着 NaCl 溶液质量浓度增加, 膜层致密性显著提升, 大尺寸微孔数量 ($\Phi \geq 0.1$ μm) 依次降至 9 个 (0.03 g·ml⁻¹) 和 1 个 (0.05 g·ml⁻¹), 0.05 g·ml⁻¹ NaCl 溶液质量浓度所得有机载膜内小尺寸微孔 ($\Phi \leq 0.06$ μm) 几乎没有, 这是有机载膜生长时溶剂-非溶剂物质交换速度改变所致。有机薄膜在水面铺展后, 溶剂和非溶剂通过薄膜-非溶剂界面开始相互扩散, 由于无水乙醇与水完全互溶, 二者交换速度很快。非溶剂为超纯水时, 有机薄膜下表层 (与超纯水接触界面) 的组成已经进入分相区域, 即薄膜铺展后与超纯水界面接触的瞬间完成了分相, 体系发生瞬时液-液分相, 因此得到疏松多孔的有机载膜。将 NaCl 加入超纯水后, 电离分散的钠离子与氯离子阻挡了无水乙醇与水分子的交换, 降低了溶剂-非溶剂物质交换速度, 减缓了硝化纤维素薄膜表层过饱和而凝胶化的速度, 不利于薄膜-非溶剂界面的相互扩散而分相, 延迟了分相时间, 减少了连续分布的富聚合物相内分散的贫聚合物相 (微孔的生长位点) 的数量及尺寸, 最终提高了有机载膜膜层的致密性及连续性。

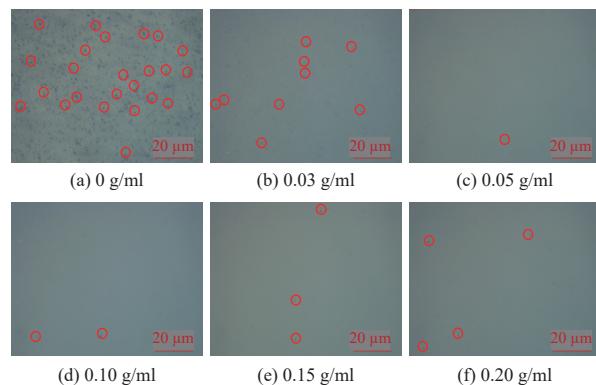


图 2 不同非溶剂 (NaCl 溶液) 制备有机载膜微观形貌图

Fig. 2 Micromorphology diagram of organic membrane with different non-solvent (NaCl solution) component

当 NaCl 溶液质量浓度大于 0.05 g·ml⁻¹, 随着 NaCl 溶液质量浓度增加, 有机载膜内小尺寸微孔 ($\Phi \leq 0.06$ μm) 几乎没有, 但大尺寸微孔 ($\Phi \geq 2$ μm) 数随之增加为 2~4 个, 使膜层连续性降低。相较于高质量浓度 NaCl 溶液 (>0.05 g·ml⁻¹), 0.05 g·ml⁻¹ NaCl 溶液小尺寸微孔数量与之持平, 大尺寸微孔数量更少, 具备更高优势。如图 3 所示, 较高质量浓度 NaCl 溶液 (0.1 g·ml⁻¹) 制备的有机载膜在干燥过程中表面析出可掉落的白色颗粒, 金相显微镜下观察到该白色颗粒为 NaCl 晶体, 该 NaCl 晶体附着于有机载膜上, 在有机载膜真空牵引贴附于 MCP 的过程中掉落, 会造成有机载膜上的大尺寸微孔, 降低防离子反馈膜的致密性, 但不会造成 MCP 部件在电特性及视场质量测试中尖端放电。

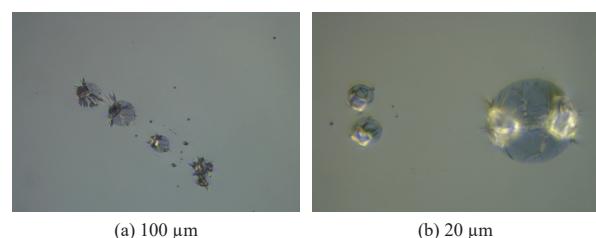


图 3 有机载膜上析出的晶体形貌

Fig. 3 Morphology of precipitated crystals on organic membrane

在平滑基底的半边分别贴附 0 g·ml⁻¹ (超纯水)、0.03 g·ml⁻¹、0.05 g·ml⁻¹、0.1 g·ml⁻¹、0.15 g·ml⁻¹、0.2 g·ml⁻¹ NaCl 溶液质量浓度下制备的有机载膜, 另一半基底裸露。贴附有机载膜的基底部分与裸露的基底边界处产生高度差, 用台阶仪测试的高度差记为有机载膜厚度。图 4 为台阶仪测试的基底上含有机载膜 (虚线 R 端)/无有机载膜 (虚线 M 端) 界面时的高度分布曲线, 虚线 R 处的高度减

去虚线 M 处的高度即为有机载膜厚度。可以看出, 膜层厚度随 NaCl 溶液质量浓度的增加而增加。

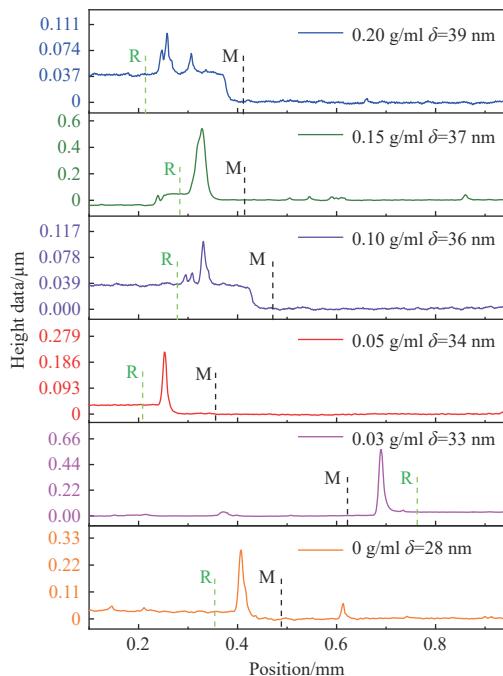


图 4 不同 NaCl 溶液质量浓度制备的有机载膜的厚度

Fig. 4 Thickness of organic membrane with different mass concentration of NaCl solution

有机载膜厚度随 NaCl 溶液质量浓度差异而改变, 是有机载膜生长中分相时间延迟所致。NaCl 加入超纯水后, 电离分散的钠离子与氯离子可降低无水乙醇-水的物质交换速度, 不利于薄膜-非溶剂界面相互扩散而分相, 最终导致分相时间延迟, 使得体系易于发生延时液-液分相。延时液-液分相中, 有机膜液铺展接触 NaCl 溶液的瞬间, 薄膜下表层的组成均未进入分相区域, 仍处于互溶均相状态, 经过几秒钟的物质交换后才进入液-液分相状态。但未固化的有机薄膜中的溶剂——乙酸丁酯却持续向大气中扩散, 随着 NaCl 溶液质量浓度的增加, 分相时间的延长, 使得逐步固化的有机薄膜中乙酸丁酯含量逐渐减少, 硝化纤维素的质量浓度逐步增加, 有机薄膜表层的张力增大, 膜层向内收缩更剧烈, 所得有机载膜越厚。

3.2 Al_2O_3 防离子反馈膜质量分析

使用微通道板综合性能测试台模拟微通道板在像管内的工作状态, 通过微通道板的视场测试评价 Al_2O_3 防离子反馈膜的致密性, 并通过测量输入电子能量 V_{in} 和输出电流 I_{out} 的关系, 模拟电子透过特性曲线, 表征 Al_2O_3 薄膜对电子的透过能力。

图 5 为不同非溶剂组分 (NaCl 溶液) 所得有机载膜应用所制备 Al_2O_3 防离子反馈 MCP 的视场照片, 理想的反馈膜应致密、均匀、通透, 不存在黑点及亮点。 Al_2O_3 薄膜具备一定电子阻挡性, 当反馈膜上出现通孔 (微孔) 时, 由于无反馈膜阻挡, 不同能量电子可全部由通孔处穿过, 因此通孔处视场亮度高于周边反馈膜覆盖处, 表现为一个亮点, 图中已用圆圈标注。当 NaCl 溶液质量浓度 ($\leq 0.05 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$) 较低时, 反馈膜上通孔数量随溶液质量浓度增加而减少, 且优于超纯水条件下制备的反馈膜; 当 NaCl 溶液质量浓度为 $0.05 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 时, 反馈膜上的通孔数量最少; 当 NaCl 溶液质量浓度 ($\geq 0.1 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$) 较高时, 随其质量浓度的增加, 反馈膜上通孔数量逐步增多, 该现象与有机载膜致密性随 NaCl 溶液质量浓度的变化趋势一致。有机载膜作为制备 Al_2O_3 防离子反馈膜的衬底, 其膜层致密性与连续性直接影响到反馈膜的质量。因此, 从反馈膜的视场质量来看, NaCl 溶液的质量浓度为 $0.05 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 最佳。

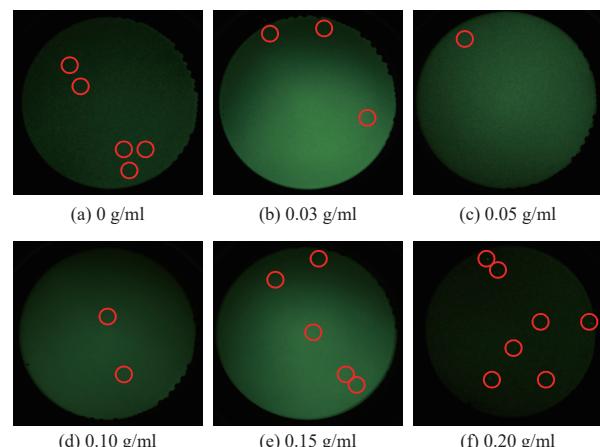


图 5 不同非溶剂 (NaCl 溶液) 制备的 MCP 部件视场

Fig. 5 Field of view of ion barrier MCP with different non-solvent (NaCl solution) component

图 6 为防离子反馈膜电子透过特性曲线。当 $V_{\text{in}} < V_D$ (即入射电子能量 V_{in} 小于某能量 V_D 时), 由于电子隧道效应, 少量光电子穿过 Al_2O_3 势垒膜, MCP 输出电流极其微弱; 当 $V_{\text{in}} > V_D$ 时, 电子开始穿透 Al_2O_3 势垒膜, 且随着 V_{in} 的增加, 输出电流 I_{out} 也随之增加; 当输入光电子能量 $eV_{\text{in}} > eV_m$ 时, MCP 输出电流不随 V_{in} 变化, 即 V_D 为阈值电压, 其数值为电子透过特性曲线反向延长线与横轴交点数值, 可衡量 Al_2O_3 膜层对电子透过 (阻挡) 能力^[9-11]。

由图 6 可知, 当 NaCl 溶液质量浓度 ($\leq 0.05 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$)

较低时, 阈值电压随着溶液质量浓度增加而增大, 这是有机载膜厚度随 NaCl 溶液质量浓度逐步增加, 其热解后 Al_2O_3 膜表面残余的碳污染含量增加所致^[3,10]; 当 NaCl 溶液质量浓度 ($0.1 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$) 较高时, 阈值电压随溶液质量浓度增加反而降低, 这是因为 Al_2O_3 反馈膜上通孔数量随溶液质量浓度增加而增多, 不同能量电子可直接由通孔穿过, 显著削弱了 Al_2O_3 防离子反馈膜对电子的阻挡能力。结合 MCP 反馈膜的视场质量, NaCl 溶液为 $0.05 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 是最佳非溶剂组分质量浓度。

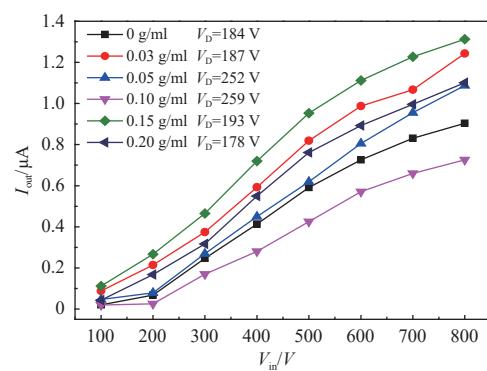


图 6 MCP 防离子反馈膜的电子透过特性曲线

Fig. 6 Electrical transmittance characteristics curves of MCP ion barrier film

3.3 MCP 电特性分析

为研究不同非溶剂组分 (NaCl 溶液) 所得有机载膜对 Al_2O_3 防离子反馈 MCP 电性能的影响, 实验对不带膜的 MCP、带 Al_2O_3 膜的防离子反馈 MCP (MCP @ Al_2O_3) 的电子增益及体电阻进行了对比测试, 结果如图 7、图 8 所示。

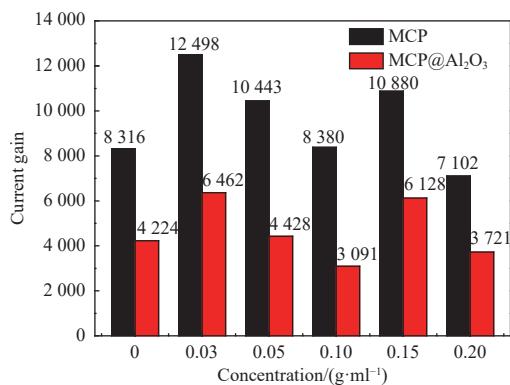


图 7 MCP 的电子增益

Fig. 7 Current gain of MCP

防离子反馈 MCP (MCP@ Al_2O_3) 电子增益的损失来源于两个方面: 一是镀制的 Al_2O_3 膜自身对电子具有阻挡及衰减作用; 二是有机载膜热解后

残余碳污染一部分附着在 MCP 输入面阻挡电子, 另一部分掉落通道内壁, 增加通道内表面层电子亲合势及次级电子发射体表面势垒, 使得内表面层的二次发射系数变小, 最终表现为 MCP 电子增益的降低^[12-14]。由图 7 分析可知, 当 NaCl 溶液质量浓度为 $0 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 、 $0.03 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 、 $0.05 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 、 $0.1 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 、 $0.15 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 、 $0.2 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 时, MCP 的电子增益损失量分别为 49.2%、49.1%、57.6%、63.1%、43.7%、47.6%。当 NaCl 溶液质量浓度 ($<0.1 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$) 较低时, 随着溶液质量浓度增加, 电子增益损失量逐步增加, 这主要归结于 Al_2O_3 反馈膜致密性的逐步提高, 对电子阻挡能力加强, 以及有机载膜厚度增加带来的碳污染加剧; 当 NaCl 溶液质量浓度 ($\geq 0.1 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$) 较高时, 随其质量浓度的增加, 电子增益损失量逐步降低, 这主要归结于 Al_2O_3 反馈膜致密性逐步降低, 对电子的阻挡能力逐步减弱。综合 MCP 的增益损失量尽量小, Al_2O_3 反馈膜的致密性更高的要求, NaCl 溶液的最佳质量浓度为 $0.05 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 。

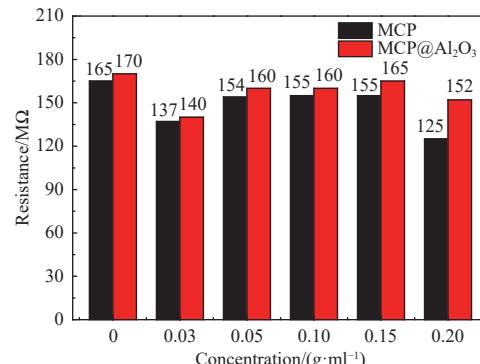


图 8 MCP 的体电阻

Fig. 8 Plate resistance of MCP

由图 8 可知, 带膜 MCP 的体电阻显著高于不带膜 MCP, 这是因为 Al_2O_3 反馈膜及有机载膜热解后会使 MCP 通道表面结构发生变化, 且热解残余的聚烯烃为绝缘体, 附着在通道内壁导致发射区及导电层间的电阻变大^[15]。

4 结论

本文提出了一种通过改变非溶剂组分 (NaCl 溶液) 来提升有机载膜及 Al_2O_3 防离子反馈膜致密度的方法。研究结果证明, NaCl 溶液质量浓度为 $0.05 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 是最佳非溶剂组分, 所制备有机载膜致密度最高, 且 Al_2O_3 防离子反馈膜最致密, MCP 部件的增益损失量较小。相较于超纯水, NaCl 溶液

更利于有机薄膜发生延时液-液分相, 以提升有机载膜致密性。

非溶剂组分对有机载膜及防离子反馈 MCP 致密性及电特性的研究, 为进一步制备高致密性有机载膜及 Al_2O_3 防离子反馈膜提供了理论与技术支撑, 可有效指导高增益、长寿命 MCP 的制备工作。

参考文献:

- [1] 向世明, 倪国强. 光电子成像器件原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006: 270-275.
- XIANG Shiming, NI Guoqiang. The principle of photo-electronic imaging devices[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2006: 270-275.
- [2] 田金生. 微光像传感器技术的最新进展[J]. *红外技术*, 2013, 35(9): 527-534.
- TIAN Jinsheng. New development of low light level imaging sensor technology[J]. *Infrared Technology*, 2013, 35(9): 527-534.
- [3] 端木庆铎, 姜德龙, 田景全, 等. 微通道板电子透射膜及其粒子透过特性的研究[J]. *电子学报*, 2005, 33(5): 904-907.
- DUANMU Qingduo, JIANG Delong, TIAN Jingquan, et al. MCP electron transmission film and characteristics of particles transmittance[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2005, 33(5): 904-907.
- [4] YANG K L, ZHANG N, HAO Z H, et al. Effect of organic membrane thickness on membrane properties and electrical characteristics of the MCP[J]. SPIE, 2022, 12169: 1216973.
- [5] 徐江涛, 尹涛. 防离子反馈 Al_2O_3 膜对三代夜视成像器件性能的影响[J]. *应用光学*, 2007, 28(2): 129-132.
- XU Jiangtao, YIN Tao. Effect of ion feedback blocking Al_2O_3 film on the performance of third generation night-vision imaging device[J]. *Journal of Applied Optics*, 2007, 28(2): 129-132.
- [6] 李相鑫, 张妮, 郝子恒, 等. 硝化纤维素膜去除技术研究[J]. *红外技术*, 2020, 42(4): 399-403.
- LI Xiangxin, ZHANG Ni, HAO Ziheng, et al. Study on removal technology of nitrocellulose membrane[J]. *Infrared Technology*, 2020, 42(4): 399-403.
- [7] MEITL M A, ZHU Z T, KUMAR V, et al. Transfer print-ing by kinetic control of adhesion to an elastomeric stamp[J]. *Nature Materials*, 2006, 5(1): 33-38.
- [8] LI X, GILCHRIST J F. Large-area nanoparticle films by continuous automated langmuir-blodgett assembly and deposition[J]. *Langmuir*, 2016, 32(5): 1220-1226.
- [9] 朱宇峰, 张妮, 李丹, 等. 微通道板防离子反馈膜阈值电压特性研究[J]. *应用光学*, 2017, 38(3): 476-480.
- ZHU Yufeng, ZHANG Ni, LI Dan, et al. Threshold voltage characteristics of ion barrier film of MCP[J]. *Journal of Applied Optics*, 2017, 38(3): 476-480.
- [10] 张太民, 石峰, 朱宇峰, 等. 电子束蒸镀 MCP 超薄防离子反馈膜及膜层特性分析[J]. *应用光学*, 2012, 33(6): 129-132.
- ZHANG Taimin, SHI Feng, ZHU Yufeng, et al. Preparation of ion barrier film of MCP with e-beam evaporation and its properties analysis[J]. *Journal of Applied Optics*, 2012, 33(6): 129-132.
- [11] SINOR T, ESTRERA J. Analysis of electron scattering in thin dielectric films used as ion barriers in Generation III image tubes[J]. SPIE, 2003, 4096: 23-32.
- [12] 杨晓军, 李丹, 乔凯, 等. 防离子反馈微通道板表面碳污染去除的试验研究[J]. *红外技术*, 2020, 42(8): 747-751.
- YANG Xiaojun, LI Dan, QIAO Kai, et al. Experimental study of carbon pollution removal from microchannel plate with ion barrier film[J]. *Infrared Technology*, 2020, 42(8): 747-751.
- [13] DONG X F, YAN Q L, ZHANG X H, et al. Effect of potassium chlorate on the thermal decomposition of cyclonitrile Methylene-trinitramine (RDX)[J]. *Journal of Analysis and Engineering Biomass Chemical Engineering*, 2012(3): 391-391.
- [14] 晋苗苗, 罗运军. 硝化棉气凝胶的制备与表征[J]. *火炸药学报*, 2013, 36(1): 82-86.
- JIN Miaomiao, LUO Yunjun. Preparation and characterization of nitrocellulose aerogel[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2013, 36(1): 82-86.
- [15] 闫金良. 无碳污染微通道板电子透射膜的工作特性[J]. *真空科学与技术*, 2003, 23(5): 164-166.
- YAN Jinliang. Characteristics of electron transmission film on front face of carbon contamination free microchannel plate[J]. *Vacuum Science and Technology*, 2003, 23(5): 164-166.