

# 改善 MCP 工作特性的途径

郭洪昌

(通化师范学院物理系, 通化 1340022)

姜德龙 吴奎

(长春光机学院现代光学所, 长春 130022)

**摘要** 通过降低 MCP 的噪声、减少正离子反馈和扩大动态范围, 提出了改善器件电子成像特性和提高探测能力的途径。文中给出了一些实验结果, 进行了具体分析。

**关键词:** 微通道板; 背景噪声; 量子噪声; 离子反馈; 动态范围

## 1 引言

微通道板 (MCP) 是无数平行通道电子倍增器集合而成的二维阵列式器件, 由于它具有高增益、低噪声、高分辨率、低功耗、宽频带、长寿命和自饱和效应等优点, 已广泛地应用于电子、离子、UV 光子、X-射线、 $\gamma$ -射线等探测和各种象管、高速光电倍增管、阴极射线管、光调制器以及光谱学、核辐射探测学、天文学等领域中。

MCP 作为成象器件的核心部分, 实际应用中对其提出越来越高的要求。因此, 我们 Galileo、Mullard、Philips 和 Hamamatsu 等公司及国内兄弟单位一样, 为改善 MCP 图像增强特性和提高探测能力, 正在进行着多方面的分析和探索工作。

## 2 降低 MCP 的噪声

一般 MCP 的噪声分为无输入信号时的背景噪声和有输入信号时的量子噪声 (随机噪声)。

1 背景噪声系指 MCP 无输入信号时, 由工作电压产生的场强会使通道内壁产生微弱的场发射, 再经过后继的倍增而产生输出电流。通常将其折合成输入电流密度值, 定义为背景噪声的等效电子输入 (EEI), 实测值为  $10^{-18}$ - $10^{-17}$ A/CM<sup>2</sup>。图 1 示出了长春光学精密机械学院 SWB-36MCP 的 EEI 特性。一般认为其与材料特性和通道壁的表面状态 (结构缺欠、污染

等)、场致发射、热离子发射、宇宙射线和残余辐射等因素有关。八十年代后期, B. W. Feller 等人<sup>[1]</sup>提出了 MCP 材料中的放射性是主要背景噪声源, 并经对 Mullard 公司的 MCP 实测, 证实了这一结论。普通 MCP 的背景噪声是放射性同位素<sup>40</sup>K 引起的, 而长寿命 MCP (L<sup>2</sup>MCP) 是由放射性同位素<sup>87</sup>Rb 引起的, 最终归结为 MCP 材料的  $\beta$  辐射。因此研制出不含放射性的 MCP 材料是降低背景噪声的关键。近年来一些新的 MCP 材料已问世, 致使 L<sup>2</sup>MCP<sup>[2]</sup>和高输出技术 MCP (HOT-MCP)<sup>[3]</sup>有了进一步发展。

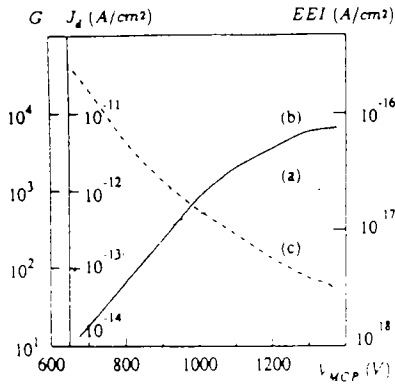


图 1 SWB-36MCP 的等效电子输入特性: (a) 暗电流  $J_d$  (b) 电子增益 (c) EEI 三者与 MCP 工作电压关系

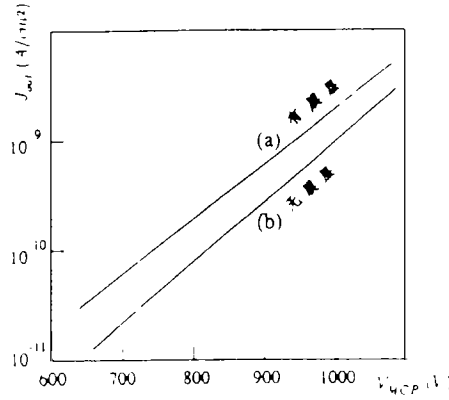


图 2 有无卤化物膜层时的 UV 响应

2 量子噪声通常表现在电子增益的起伏上, 其与入射电子的角分布、能量分布和二次电子的随机性密切相关。在泊松分布的情况下, 噪声因子由下式给出<sup>[4]</sup>

$$F = \frac{\left(\frac{S}{N}\right)_{in}}{\left(\frac{S}{N}\right)_{out}} = \frac{1}{\eta P_0} \left(1 - \frac{1}{\delta} - \frac{1}{\delta P - 1}\right)$$

其中  $(S/N)_{in}$  和  $(S/N)_{out}$  为 MCP 输入与输出信号噪声比。因此, 要求  $F$  越小越好。为了降低噪声因子  $F$ , 宜选择高二次发射系数 ( $\delta$ ) 的材料以利于提高碰撞倍增几率  $P$ , 用通道输入端喇叭口的 MCP 以提高探测效率  $\eta$ ; 在 MCP 输入端蒸涂氧化镁 (MgO) 或卤化物 (CsI, CsBr, KBr 或  $MgF_2$  等) 膜层<sup>[5]</sup>以提高电子、离子或短波光量子的首次碰撞倍增几率  $P_0$ , 以达到提高探测能力的目的。膜层结构可以密实的、疏松或变密度的, 甚至可以是双卤化物 ( $MgF_2$  和 CsI) 变密度结构。实测表明, MCP 的输出响应可提高 3—5 倍, 甚至高达一个数量级。因此, MCP 可在较正常工作电压低的情况下工作。膜层结构和种类可以根据需要选择。图 2 和图 3 分别示出了长春光学精密机械学院生产的 SWB-50MCP 输入端蒸涂卤化物膜层前后的紫外 (UV 波长  $\lambda=253.7\text{nm}$  附近) 和 X-射线 (峰值能量为 40KeV) 的输出响应特性。

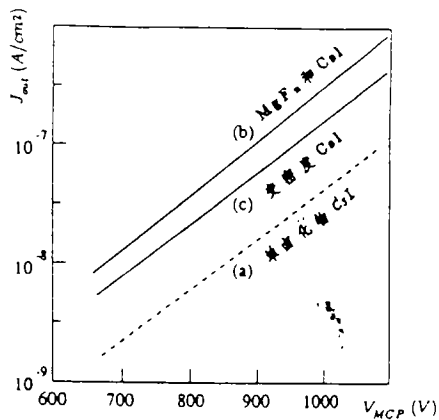


图 3 单双卤化物膜层的 X-射线响应

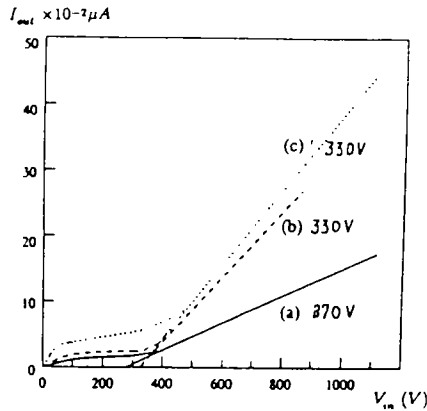


图 4 带膜 MCP 的死电压曲线

### 3 减少正离子反馈

为了改善成像器件的图像对比度,降低等效背景输入和提高探测能力,可在 MCP 输入端镀一层三氧化二铝 ( $Al_2O_3$ ) 或二氧化硅 ( $SiO_2$ ) 电子透射膜, (或称防离子反馈膜), 其可有效地防止正离子反馈, 减少离子斑, 延长光电阴极的使用寿命。目前防离子反馈膜可以做到  $30-50 \text{ \AA}$ , 死电压为  $150-200V$ 。图 4 示出了长春光学精密机械学院 25MCP 输入面带  $Al_2O_3$  薄膜时的死电压曲线。曲线直线部分的反向延长线与横轴的交点就是死电压的数值。由模拟双近贴聚焦象管得知, 虽然  $Al_2O_3$  膜的存在可使增益降低  $1/4-1/3$ , 但背景有明显的改善, 对比度可提高 15% 左右, 在极微弱光信号的探测和光子计数中, 宜选择二级或三级的 V 型或 Z 型结构, 板间距离  $0.01-0.005 \mu m$  为宜, 尤其弯曲通道的 MCP 的问世和应用, 在防离子反馈方面, 明显地体现出其独具的优点, 据报导<sup>[7]</sup>其离子透过率为 0.5%。

### 4 扩大动态范围

在 MCP 增益特性无明显变化时, 其最低和最高可探测信号的工作范围称之为动态范围。B. N. Lprade 等人的工作指出<sup>[8]</sup>: 最低探测信号是由 MCP 的暗噪声决定的。选择少含或不含放射性材料, 用特殊的制板工艺, 可使暗噪声降至最低。最高可探测信号由 MCP 的饱和效应限制。如果降低 MCP 的延滞时间, 可使动态范围加宽, 图 5 示出了标准 MCVP 和高输出技术 MCP (HOT-MCP) 的动态范围。目前体电阻可降至 100K, 通道直径可小至  $6 \mu m$ , 分辨率可提高到  $60lp/mm$ , 这对扩大动态

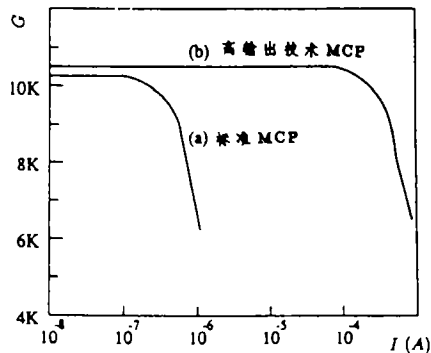


图 5 MCP 的动态范围 (电子增益与输出电流的关系)

范围、提高象质和探测能力是极其有益的。

## 5 结束语

标准 MCP 的制造技术已比较成熟，L<sup>2</sup>MCP、HOT-MCP 和 C<sup>2</sup>MCP 在继续改进，人们仍在深入地探讨新材料和新工艺，刚问世的先进技术的 MCP (AT-MCP) 采用半导体器件工艺的微加工技术和薄膜激活方法倍受各国专家的关注，可望不久会有新的突破。

### 参 考 文 献

- [1] M. B. Feller, L. M. Cook et al, SPIE, 1989, 1072: 138-147
- [2] J. Cortez, SPIE, 1983, 427: 53-57
- [3] Bruce N. Laprade, SPIE, 1072: 102-109
- [4] 邹异松, 电真空成像器件及理论分析, 第 6 章. 国防工业出版社, 1989
- [5] Tian jingquan, Fu Lichen et al, ACTA OPTICA SINICA, 1992, 184-187
- [6] ILLes. P. Csorba, Appied Optics, 1979, 18 (14/15): 2440-2444
- [7] J. P. Boutot, G. I. Sohard et al, AEEP, 1989, 64A: 103-111
- [8] Bruce Laprade and Maureen wheeter, SPIE, 1990, 1243: 132-139

## Ways to Improve Operating Characteristics of MCP

Guo Hongchang

(*Depa. of Physics, Tonghua Teachers College, Tonghua134002*)

Jiang Delong, Wu Kui

(*Changchun Institnte of Optics and Fine Mechanics, Changchun, 130022*)

### Abstract

In this paper, we report and review some technical ways to further improve the characteristic of electron image and to increase the detecting abililty of devices through lowering the noise of MCP, decreasing the feedback of positive ions and broadening the dynamic ranges. Recent experimental results are shown and necessary analysis is made.

**Key Words:** Microchannel plate, Background noise, quantum noise, Feedback of ions, Dynamic ranges.