

微通道板光电倍增管的特性及其应用

赵宝昇

(中国科学院西安光学精密机械研究所)

随着微通道板技术的发展,从六十年代末开始,人们将微通道板(MCP)用于各种具有电子、离子增强的器件中。七十年代,一些发达国家先后研制出带MCP的光电倍增管。近几年,我国也开始研制,目前正在处于研究阶段。

MCP-PMT是由一半透明的光电阴极和一

块或多块MCP以及平板阳极组成。输入电子光学系统可以是类似于常规结构的静电聚焦电极,也可以是近贴聚焦电极。阳极结构可以是单阳极,也可以是多阳极。MCP-PMT的结构如图1所示。与常规结构的PMT相比,这种管子具有时间响应快、增益高、抗磁场能力强、体积小、重量轻等特点,因而可广泛应用于各种快速发光现象的研究,特别适用于高能物理等尖端技术领域。将这种器件应用于测量快速光脉冲时,所使用的供电线路如图2所示。

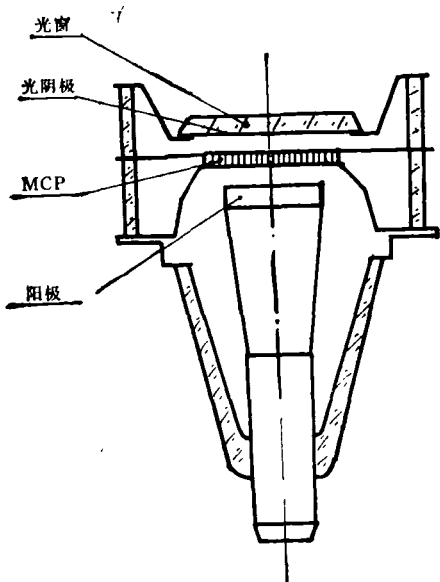


图1 MCP-PMT 结构图

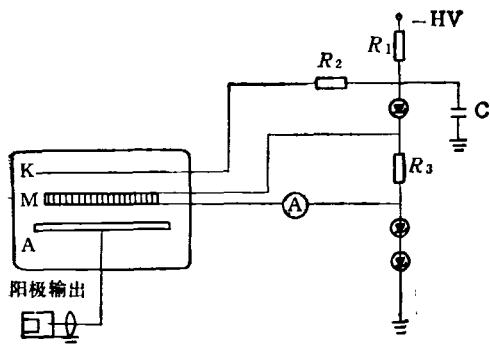


图2 测量快速光脉冲的供电线路图

一、MCP-PMT 的时间特性

MCP-PMT的时间特性基本上是由输入、输出电子光学系统决定。由于MCP很薄,即通道很短(约0.5—几mm),所加电场很强,一般为1—2 kV/mm,所以电子在MCP的渡越时间约为几百ps—1ns,相应的渡越时间弥散与常规结构的PMT的相比非常小^[1];MCP通道越短,其时间特性越好,而增益却会降低,因此在设计MCP-PMT时,应考虑两者的折衷。

光电阴极至MCP输入面采用近贴聚焦,可使MCP-PMT的时间特性有显著的改进。由于光电阴极附近有强的电场(几百V/mm—几kV/mm),因此由具有不同初速度的电子所引起的电子渡越时间弥散小于几个ps^[2]。

由于这种管子的时间响应快,上升时间小于 10^{-9} s,电子增益高,因此将它用于光子计数是完全足够的。如果将它与高灵敏度的、波长响应宽的负电子亲合势(NEA)光阴极结合,这种管子可用于高分辨率的激光测距、激光测速、光纤特性研究、皮秒发光光谱学、高速光子计

数以及各种化学和生物化学的发光寿命的研究^[3]。

1. 超快速响应的 MCP-PMT

这种管子有一块 MCP, 通道直径

$$d = 12.5\mu\text{m}, l/d = 40$$

(l 为通道长度), 光阴极至 MCP 输入面采用近贴聚焦, 其间距为 0.1—1 mm, 同轴 50 Ω 单阳极输出。典型特性为: 电子增益 10^3 — 10^4 , 脉冲响应为 200—300ps (FWHM)。法国电子学与物理实验室研制的 HR350 和 HR400 的脉冲响应分别小于 200ps^[4] (FWHM); 日本滨松公司研制的 R1564 的脉冲响应小于 120ps (FWHM)。这种管子一般可用于亚毫微秒(ns) 实测系统中。

2. 用于单光子计数的 MCP-PMT

这种管子是把具有弯曲通道或二至三个快斜通道的 MCP 串联起来使用。典型特性如下: 电子增益为 10^6 , 脉冲响应为 700ps—1.2ns, 单光电子渡越时间弥散为 200ps (FWHM) 左右。日本滨松电视公司研制的 ZC-203 和 ZC-233 分别带有二块、三块 MCP; 美国国际电话电报公司研制的 F4129 带有三块 MCP, 其电子增益均在 10^6 以上, 单光电子渡越时间弥散为 220 ps^[5] (FWHM)。

二、MCP-PMT 的抗磁场特性

常规结构的 PMT, 由于电子在两个打拿极之间的飞越距离较长, 电子轨迹对杂散磁场很灵敏, 因此地球磁场的变化对整个管子的增益也有很大影响。此外, 横向和轴向磁场对阳极灵敏度有很大影响。在高能物理实验中, 在强磁场中使用常规结构的 PMT, 必须用光导纤维将置于很远的被测光信号传送到 PMT 的光阴极面, 同时 PMT 外壳要有屏蔽。

在 MCP-PMT 中, 由于 MCP 通道内的电子轨迹很短, 所以它几乎不受磁场的影响。D. C. Long^[6] 的测量表明, MCP 的工作极限为: 横向磁场约 0.1T, 轴向磁场约 1T。MCP-PMT 能在横向、轴向磁场约 0.1mT—0.1T 的范围

物理

内工作。C. C. Lo^[7] 等对法国电子学与物理实验室的 HR 350 和 HR 400 进行测试表明, MCP 可在轴向磁场分别为 0.2T, 0.09T, 横向磁场分别为 0.078T, 0.05T 的条件下工作。如果在高能物理实验中使用 MCP-PMT, 就可缩短或不用光导纤维, 这样将大大提高光信号的接收效率和改善时间特性, 提高信噪比。

三、位置灵敏的 MCP-PMT

由于 MCP 具有大的有效面积和快速的时间响应, 所以 MCP 可用于设计高性能的位置灵敏的光探测器。将多块阳极用于二维输出, 即采用多块的分立阳极, 每个阳极确定了一个象素, 如图 3 所示。Catchpole 和 Johnson^[8]

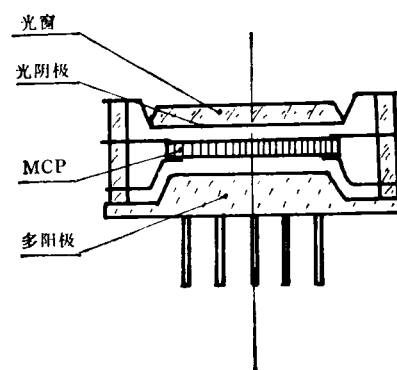


图 3 多阳极 MCP-PMT 的结构图

于 1972 年第一次报导了近贴聚焦的这种管子, 带有弯曲通道的 MCP, 100 个阳极 (10×10 陈列)。类似这种管型, 法国电子学与物理实验室做出一种 25 阳极 (5×5 陈列) 的管子, 这种管子具有高的空间分辨率。Cekowski^[9] 等报道了一种近贴聚焦的 MCP-PMT (美国国际电话电报公司研制的 F4149) 使用了三块 MCP, 100 阳极 (10×10 陈列), 每块面积 1.7mm^2 , 这种管子的性能由 Sandie^[10] 等描述。

四、MCP-PMT 的性能极限

MCP-PMT 并非所有性能都优于常规结构的 PMT。例如, 它具有低的探测效率, 低的

直流和脉冲线性,相对短的寿命。

MCP 的电子探测效率取决于它的几何输入开口面积比,以及第一次碰撞的二次发射系数和收集系数。标准 MCP 的几何输入开口面积比约为 65%,漏斗形几何输入开口面积比约为 80—90%^[11],由于采用了近贴聚焦,MCP 对电子的反向散射和二次发射,使电子的收集效率更低。此外,MCP 材料有较低的二次发射系数($\delta \approx 2-3$),因此第一次碰撞的探测效率很低。

MCP 作为电子倍增器,它的线性特性与其工作在脉冲模或直流模有很大关系。假定有较强的输入电流,当输出电流达到 MCP 带电流的 10% 时,其增益脱离线性。一般带电流是几个 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$,相应于最大输出直流电流为几百 nA/cm^2 ,与常规结构的 PMT 相比,小于 100 倍^[2]。

Boutot^[12] 1971 年第一次在近贴聚焦管中观察到由于强的离子反馈导致光电阴极的破坏。当然也有很多别的因素影响,如输入电子光学系统的设计,制作工艺及其工作条件等。尤其在近贴聚焦管中,光电阴极的破坏更加迅速。尽管采用弯曲通道的 MCP,加之采用严格的 MCP 清洗工艺,管子的寿命仍很短。C. C. Lo 和 Leskovar^[13] 对带有三块 MCP 的 PMT (F4129) 进行了寿命实验,用 1mCi 的 Cs^{137} 涂在 $\phi 25 \text{ mm}$ 的 F 闪烁体上作为光源,置于光电阴极前适当的位置,在 10^6 电子增益下,

输出电流为 150nA (相当于带电流的 10%),图 4 表示输出电流与时间的关系。最初的输出电流为 145nA,经 1500min 之后,输出电流逐渐下降到 116nA,然后光源中断 1000min 之后重新辐照,输出电流从 120nA 经 2800min 后逐渐下降到 64nA。实验结束后,阳极总的电荷积累为 $27.5 \times 10^{-3}\text{C}$ 。

克服寿命短的有效办法是在 MCP 输入面镀一层 5-10nm 的铝薄膜^[11],可防止正离子反馈,这种办法在第二、第三代象增强器中也是很有有效的。

尽管 MCP—PMT 有如上不足,但它在核物理实验中仍是很有吸引力的,在很多尖端技术领域,必须使用这种管子。鉴于这种管子生产技术的复杂性,因此这种 MCP—PMT 的价格比常规结构的 PMT 价格贵得多。今后的研究将致力于提高性能,降低研制生产费用,扩大应用领域等方面。

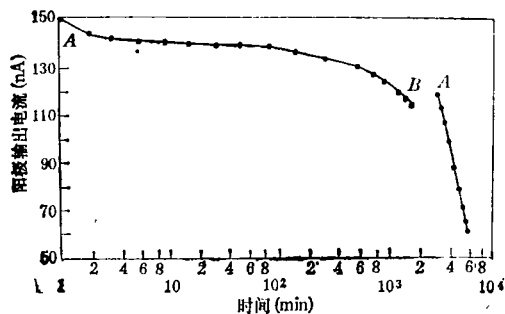


图 4 F4129 输出电流与时间的关系

- [1] J. P. Boutot and G. Pietri, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, **NS-19** (1972), 101.
- [2] J. P. Boutot et al., *AEEP*, **60** (1983), 252.
- [3] D. A. Wilcox and W. G. Abraham, *Elec. Opt. Des.*, March (1979).
- [4] J. P. Boutot and J. C. Del., *Rev. Sci. Instr.*, **48** (1977), 1405.
- [5] K. Oba and P. Rehak, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, **NS-28** (1981), 683.
- [6] D. C. Long, *Magnetic Susceptibility Testing of A Mcp*, Princeton University Observatory Report, June 12(1974).
- [7] C.C. Lo et al., *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, **NS-24** (1977), 303.
- [8] C. E. Catchpole et al., *Publ. Astron. Soc. Pac.* **84** (1972), 134.
- [9] D. H. Cekowski et al., *IEEE Tran. Nucl. Sci.*, **NS-28** (1981), 677.
- [10] W. G. Sandie, *IEEE Tran. Nucl. Sci.*, **NS-29**, (1982), 212.
- [11] H. Pollehn et al., *AEEP*, **40A**, (1976), 21.
- [12] J. P. Boutot, *Acta Electron*, **14**(1971), 245.
- [13] C. C. Lo and B. Leskovar, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, **NS-28** (1981), 698.