

无窗口象增强器

朱国民 张多明

(中国科学院电子学研究所)

无窗口象增强器是一种结构简单、功能优越的多功能探测器件。它可以用来直接探测电子、离子、中性粒子、X射线以及波长为 300—1200 Å 的电磁辐射,并以可见光图象给出辐射源的空间分布。近代物理学和天体物理学工作者们可以用它来及时地获取来自天体或核聚变反应中的许多辐射信息及其空间分布的直观图象,也可以用它来进行等离子体诊断。

我们研制的无窗口象增强器已在国内第一台“环流一号”核聚变试验装置上使用,并获得初步成功。

一、结构及工作原理

无窗口象增强器外观如图 1 所示,它的基本结构如图 2 所示。入射电子或真空紫外光子等入射到微通道板 MCP 的入口表面上,立即产生二次电子发射。二次电子经加在 MCP 两端的电压导向、加速和倍增后,由 MCP 的出口端飞向对面的荧光屏。在荧光屏和 MCP 之间加上一定的直流电压,就可将由 MCP 飞出的电子“聚焦”并加速到数千至 1 万电子伏,打到荧光屏上形成清晰而明亮的可见光图象。

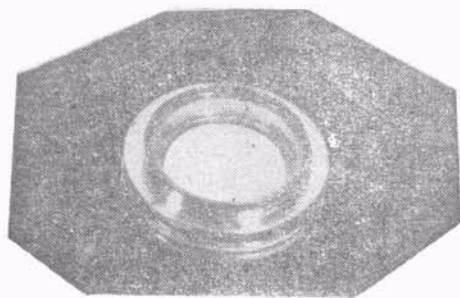


图 1 无窗口象增强器外观图

为了获得优质图象,必须对 MCP 荧光屏和整管结构参数提出严格的要求。

物理

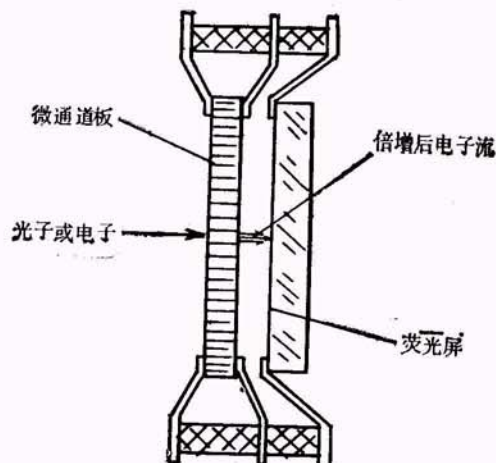


图 2 无窗口象增强器结构示意图

二、微通道板 (MCP) 的特性及要求

MCP 的主要特性:

(1) 探测效率: 这和 MCP 的制造工艺以及所用的材料密切相关。在测量中,人们使用的方法和定义也不尽相同,因此不能得到统一的结果。探测效率与每个通道入口表面的二次发射系数和结构有关,也与入射粒子的种类、能量、入射角以及入口端前的偏压和切口情况有关¹⁾。

(2) 控制特性: 调节加在 MCP 两端的电压,可以使增益在 $10-10^4$ 之间变化,而不明显地改变增强器的象质。这为我们提供了相当大的选择余地,因而也为获取最佳试验效果提供了有利条件。

(3) 抑制强信号: 假如离开 MCP 任何部位的电子流与该部位微通道内壁的导电电流相当,则放大倍数呈非线性,出现饱和现象。它可以有效地抑制强信号下过高的增益引起的过大

1) 张多明等,一个多功能高灵敏的微弱信号检测器,1985年在全国第三届微弱信号测量会议上的报告。

电流输出,从而保护荧光屏不被烧坏^[1]。

无窗口象增强器对 MCP 的基本要求是响应速度快、高的转换系数、高增益、低噪声、高的空间分辨率、暴露大气的稳定性好。特别要提出的是,成象器件还要求 MCP 的噪声空间分布要均匀。否则,即使不大的噪声,若集中在某些点上,就可能在输出荧光屏上形成不能容许的固定发光点,而使整个象增强器不能使用。

三、对输出荧光屏的要求

无窗口象增强器中的输出荧光屏,可兼作放大器的接收电极和可见光图象输出屏双重用途。由于结构设计的特殊要求,荧光屏必须能承受高的电场强度。例如在 10kV/mm, 以上的强电场下,荧光屏不被损坏。

近些年,普遍采用调制传递函数 MTF 来表征荧光屏的成象质量。荧光屏的 MTF 对整个象增强器的成象质量,尤其是空间分辨率起决定性作用。

我们研制的高场强、高分辨率荧光屏,已经达到了所能承受的场强 $\geq 12\text{kV/mm}$, 分辨率 $\geq 90\text{Lp/mm}$ ^[2]。它在无窗口象增强器中使用,能获得比较好的效果。

四、无窗口象增强器的研制

我们目前研制成功的无窗口象增强器,外径为 $\phi 50\text{mm}$, 工作面积为 $\phi 30\text{mm}$, 荧光屏发光颜色为黄绿色和蓝色,余辉在毫秒级。颜色和余辉时间可根据需要在更大的范围内选择。

在结构设计中,考虑到在一定电压下 MCP 的增益和荧光屏的发光效率是基本不变的,要满足对整管指标的综合要求,需要根据以下两个基本关系式来进行设计:

象增强器分辨率

$$R = KU_{p-s}^{\frac{1}{2}} d^{-1}, \quad (1)$$

式中 K 为常数, U_{p-s} 为 MCP 输出面与荧光屏之间的电压, d 为 MCP 输出面与荧光屏之间的距离。

荧光屏发光亮度

$$B = KjU^n, \quad (2)$$

式中 K 为常数, j 为电子束流密度, U 为荧光屏上的电压, n 通常在 1~2 之间。

根据以上二式选择结构参数的允许最佳值,我们采用 $d = 1\text{mm}$, $U_{p-s} = 5 \sim 8\text{kV}$, 可以使整管达到 25lp/mm 以上的分辨率和足够的增益。

考虑到管子既需要在 5×10^{-5} Torr 左右的真空下正常工作,又能在必要时暴露于大气,在设计上提高了管子的可拆与可装性,并考虑了使用时要尽量节省排气时间。

五、无窗口象增强器的使用

我们研制的无窗口象增强器已在我国西南物理研究所使用,获得成功。一次拍摄得到了等离子体的光谱照片,而原来要成百上千次放电、拍照才能得到一张等离子体的光谱照片^[3]。

根据这种无窗口象增强器易于组合的特点,若在 MCP 输入面上作一层光电发射体(如蒸金),或在 MCP 前面再加上可更换的特殊光电阴极,还可以进一步扩大它的响应频谱范围,并提高放大倍数,从而在更多的场合获得好的使用效果。例如,若在 MCP 前面加上一个 CsI 光阴极,就可以对光子能量在 0.1~10keV 之间的软 X 射线进行效率更高的转换和放大^[1]。

同时,由于 MCP 和 CsI 光阴极都有极高的时间分辨率,因而这种器件在高速摄影系统中应用也是合适的。

参 考 文 献

- [1] R. T. Holmshaw, *International Proceedings of Low Light and Thermal Imaging Systems*, London, (1975), 45.
- [2] 朱国民等, *电子学通讯*, 4-1(1982), 71.
- [3] 李可华, *核聚变与等离子体物理*, 3-4(1983), 248.

1) 谈凯声, 对光子能量在 0.1~10keV 之间的软 X 射线敏感的 CsI 光阴极在核聚变等离子体物理中的应用, 1985 年在核聚变与等离子体物理学学会第二届年会上的报告。