

一种新型 X 射线象增强器光电阴极

刘秀琴 侯洵 朱功夫 马秀铃 任永安 丁克周 王治平 徐大纶

(中国科学院西安光学精密机械研究所瞬态光学技术国家重点实验室 710068)

摘 要 我们研制了一种 X 射线象增强器透射式光电阴极,即高低密度夹芯结构的 CsI X 射线光电阴极,它的量子效率是高密层 CsI 的 1~10 倍。该技术应用于 X 射线象增强器,探测效率可以提高一个量级,使增益较低的 MCP 都可以作为产品使用。

关键词 X 射线象增强器;CsI;夹芯层光电阴极,空间分辨率;量子效率

0 引言

X 射线象增强器能稳定探测 40keV~50keV 的 X 射线影像,是一种对 X 射线敏感的光电成像器件。由于它成像面积大、重量轻、便于携带、无需防护以及可以在明暗室中观察等特点,广泛应用于科学研究、工业探伤、医疗卫生等领域。它不涉及时间分辨率问题。表征本增强器的主要参数为量子效率、图象畸变、输出 X 射线影像亮度和影像的均匀性。

1 夹芯层光阴极的特点

研究量子效率高、性能稳定以及能把 X 光转换成光电子的 X 射线光电阴极,是提高 X 射线影像探测性能的关键。为此,我们采用二次电子发射系数最高的 CsI 碱卤化物作为发射层光电阴极材料,探测 X 射线的成象过程。

转换效率是象增强器的主要性能指标,为了提高二次电子发射效率,我们将发射体层作成比正常密

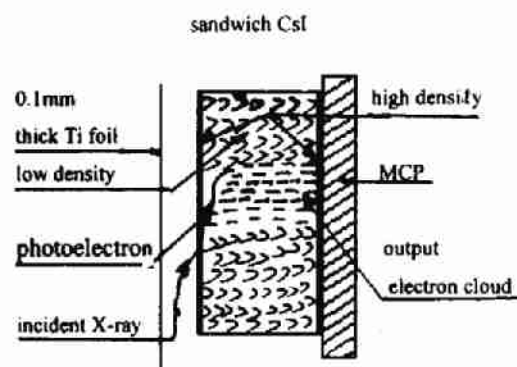


图 1 夹层 CsI 阴极 X 射线吸收作用图

Fig. 1 Schematic diagram of an X-ray in a sandwich CsI cathode

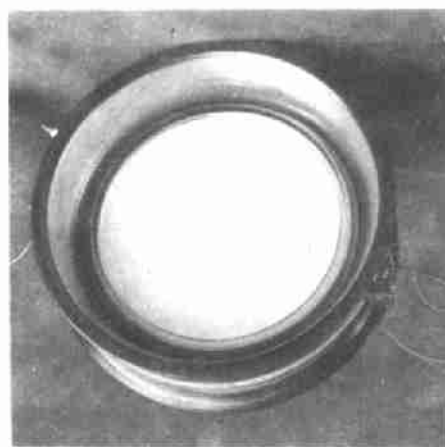


图 2 X 射线象增强器照片

Fig. 2 Photo of the X-ray image intensifier

度低很多的疏松状结构,因为疏松状结构有比密实层结构有大的多的二次电子逸出深度,该层主要起发

收稿日期:1996-09 02

射二次电子的作用. 而密实层即第一层 CsI 主要起入射 X 射线吸收层的作用. 在该层激发产生的一次电子在电场的作用下输送到疏松层, 疏松层再激发产生二次电子. 如图 1 所示, 简要说明夹芯层结构 CsI 光阴极对 X 射线的探测过程.

当 X 射线光子穿过钛窗进入 CsI 密实层内, 激发产生高能电子, 高能电子进入疏松层内产生二次倍增电子云. 在 MCP 输入面收集场的作用下, 电子云从膜层输出而被 MCP 收集, 经过 MCP 倍增, X 射线影像到达荧光屏上输出. 图 2 是由钛窗、夹芯层 CsI 光阴极、MCP 增强器、荧光屏等组成的真空成像器件.

夹芯层结构的 X 射线透射式 CsI 光阴极, 它对 X 射线既起到了吸收的作用, 而又具有较高的二次电子逸出几率的特点, 被受到重视.

2 空间分辨率

虽然 X 射线象增强器的响应函数可以测量, 但这是一件比较困难的事情(特别是高能量 X 射线). 所以, 我们还是从已经发表的数据中, 推断低密度 X 射线光阴极空间分辨率的一些指标. 然而我们预料到有两种原因引起空间分辨率的下降, (a) 在膜层内释放 X 射线光电子的物理过程, (b) 所产生的电荷云漂移穿过膜层向它的横向发展.

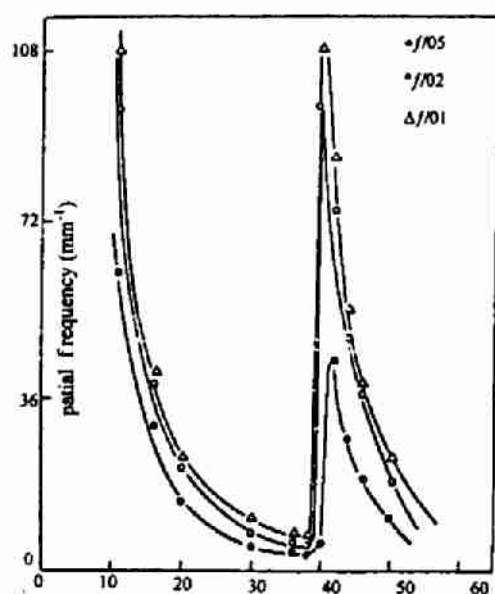


图 3 在密度等于 CsI 层的 4% 的氙气气氛中, 对比不同的空间分辨率的数据

Fig. 3 The physical limits of spatial resolution at different contrasts in a xenon detector density equal to 4% that of CsI layer

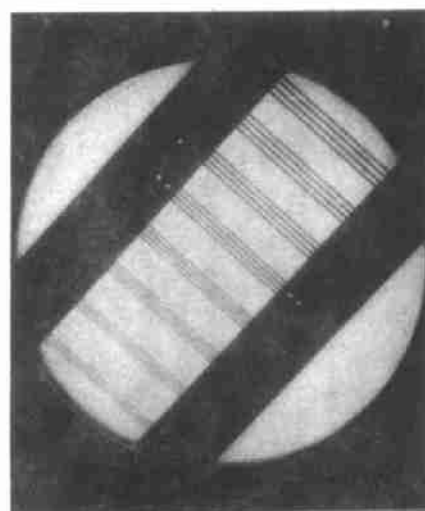


图 4 Ø100X 光射线象增强器空间分辨率照片

Fig. 4 The photo of spatial frequency on Ø100 image intensifier

从 Goetze 得到关于二次效应的信息, 他报告了 KCl 打拿极作为增益元件, 可见光象增强器分辨率 25 lp/mm. 虽然我们的膜厚显著厚于 Goetze 的膜层, 但是 300 μ m 厚的膜层分辨率不小于 10 lp/mm. 那么, 空间分辨率与膜层厚度的变化, 我们参考 Bateman 等所作的关于氙气正比计数器的工作, 如图 3 所示, 他以合理的精度, 对 X 射线吸收过程建立了空间分辨率极限的计算. 转换层的几何形状是同样的平面, CsI 的平均原子序数等于氙气的原子序数(这些元素在周期表里是相邻元素), 于是, 简单地按照两种材料的密度比(正比计数器气体密度 4.9mg/cm³, 4%CsI 密度 180mg/cm³)来调节间隔尺寸, 就可达到 CsI 层空间分辨率作为 X 射线能量函数的合理估计, 图 3 从 f/0.2 曲线(在 20% 对比下的空间分辨率)可以看出, 在 38keV~56keV 之间, 空间分辨率好于 10lp/mm.

我们研制的 X 射线象增强器空间分辨率实际测量可达到 8 lp/mm 以上,如图 4 所示. 由于鉴别率板不能紧贴阴极面,分辨率受到些影响.

3 光阴极的工艺条件

夹芯层透射式结构的 CsI 光阴极如图 1 所示,即阴极的中间是一层疏松低密度 CsI 层,两侧是高密度 CsI 层,高密层是在高真空状态下蒸敷的,低密度疏松层则是在氩气中蒸敷而成的. 发射体阴极直接制备在 MCP 输入面上,即 MCP 输入面直接为光阴极的基底衬底.

光阴极在普通的真空室内进行,以 MCP 的输入面作为光阴极的基底衬底,MCP 直接放置在钼蒸发舟上方一定的几何位置上,几何位置主要以光阴极的物理条件而确定. 共使用三个蒸发舟,其中两个舟作为蒸发高密层 CsI,该舟 CsI 的载量以高密层光阴极测试的最高量子效率而确定,另一个舟用来蒸发低密疏松层 CsI,该舟的载量以低密疏松层光阴极测试的最高量子效率而确定.

简述工艺过程如下:在系统高真空达到工作要求时,先蒸发一层高密层 CsI. 接着在氩气中蒸发低密疏松层 CsI 层. 然后再把系统抽到高真空,再蒸发一层高密层 CsI 层,整个工艺便告结束.

4 量子效率

光阴极的量子效率定义为每个入射光子所能产生的逸出阴极面的电子数. 对于透射式阴极,量子效率与阴极对入射光的吸收率和二次电子的逸出深度有关,从而与阴极的厚度有关. 我们研究夹芯层光阴极的量子效率,分别研究了阴极厚度对灵敏度的影响. 高密层阴极厚度在镀膜时用石英晶体振荡器监测,膜厚用激光椭偏仪测量,阴极光子能量的探测结果,表现了该阴极在 20μm~50μm 时灵敏度为最高. 低密疏松层阴极在膜好以后用刀口显微镜测量,阴极光子能量的探测结果,表明了阴极的厚度在 200μm~250μm 时灵敏度为最高. 这样,我们通过高密层和低密层阴极的最佳膜厚控制工艺,使夹芯层阴极达到最佳灵敏厚度,从而得到阴极的最大探测效率.

5 测试结果

我们的实验使用增益较低的 MCP. 对 MCP 无光阴极和 MCP 作上光阴极的 X 射线象增强器进行测试对比. 测试条件是,入射 X 射线光子能量不变,荧光屏电压不变,仅仅改变 MCP 工作电压. 测试结果如图 5 所示,无光阴极增强器的试验,从曲线可以看出,MCP 工作电压在 800V 时,光电流测试是非常小的,工作电压在 1200V 时,光电流才较有明显的变化,但只有 2μA. 接下来我们作上光阴极进行增强器的试验,测试结果如图 6 所示. 当 MCP 工作电压在 800V 时,光电流已经大大的超过了 2μA,随着 MCP 工作电压的增加,光电流变化很大. 从图 6 中的曲线可以看出,当 MCP 工作电压在 1200V 时,

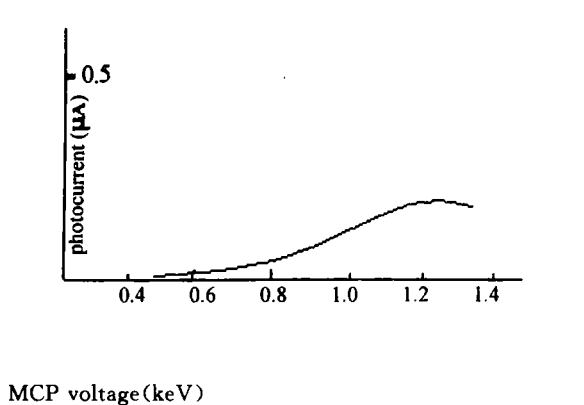


图 5 无光阴极的测试结果
Fig. 5 Measurement result without the photocathodes

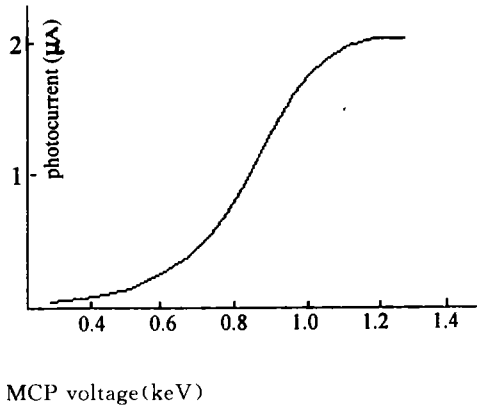


图 6 作上光阴极的测试结果
Fig. 6 Measurement result with the photocathodes

光电流已经达到 $20\mu\text{m}$ 以上. 从两种测试结果看出, MCP 作上光阴极的 X 射线象增强器的光电流提高一个量级.

6 影响及应用

量子效率提高越大的 X 射线象增强器, 亮度和均匀性也越好, 空间分辨率也越高. 这种 X 射线透射式结构的 CsI 光阴极, 乃属于最佳工艺研制的光阴极. 该阴极除有以上优势以外, 还可以消除对 X 射线象增强器影响较大的闪烁问题.

闪烁问题对象增强器阴极的影响有两方面的, 一是 MCP 本身的质量. 二是阴极制作的每项工艺环节及控制条件的影响. 一旦阴极存在有某一点质量问题, 不但造成 X 射线象增强器丧失以上优势, 而且会出现闪烁现象. 这都是应用上不允许的, 都不能作为产品使用.

近几年来, 我们已经解决了影响 X 射线象增强器光阴极的诸多技术问题. CsI 光阴极的技术生产稳定, 阴极亮度高, 成象均匀性好, 量子效率高. 该技术早已成熟的应用于有效面积 $\varnothing 100$ 的 X 射线象增强器.

参考文献

- 1 Batenman J E, Water M W, Jones R E. Nucl Instrum Methods, 1976, 135(1), 235~240
- 2 Goetze G W, Boerio A H, Green M. J Appl Phys, 1964, 35(2), 482~489
- 3 Goetze G W. In: Adv E E P, 1962, 16(1), 145~151
- 4 雷志远, 常增虎, 侯洵, 张小秋, 龚美霞, 刘秀琴, 宋克昌. 用于高速摄影变象管的软 X 射线光阴极. 高速摄影与光子学, 1989, 18(3), 235~243
- 5 谈凯声. 用于探测能量 $0.1\sim 10\text{keV}$ 光子能量的夹芯结构 CsI 光阴极. 电子科学学刊, 1979, 9(5), 451~455

NEW PHOTOELECTRON CATHODES FOR X-RAY IMAGE INTENSIFIER

Liu Xuqin, Hou Xun, Zhu Gongfu, Ma Xiuling, Ren Yong'an, Ding Kezhou, Wang Zhiping, Xu Dalun

*State Key Laboratory of Transient Optics Technology, Xi'an Institute of Optics and Precision
Mechanics, Academia Sinica, Xi'an 710068*

Received date, 1996-09-02

Abstract A CsI photoelectronic cathode with high and low density sandwich structure is researched for X-ray image intensifier. The quantum efficiency of the cathode is 1~10 times as large as the high density CsI cathode. The technique on sandwich structure of CsI cathodes is used for the image intensifier, then the detective efficiency may raise one order of magnitude, even the MCP with lower gain can be used to make products.

Keywords X-ray image intensifier; CsI; Sandwich photocathodes; Spatial frequency; Quantum efficiency



Liu Xuqin was born in Taiyuan, Shanxi, China. She graduated from Qinghua University in 1978. Now she is a senior engineer. She has been working in Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics from 1978. Her scientific interests are X-ray photoelectron cathodes and high speed photography using image tubes.