

文章编号: 1002-2082(2008)05-0731-04

一种响应波长在 120 nm~200 nm 的紫外像增强器

曹希斌, 赵宝升, 赛小锋, 韦永林,
朱香平, 邹 玮, 王俊锋, 董改云

(中国科学院西安光学精密机械研究所 瞬态光学与光子技术国家重点实验室, 陕西 西安 710109)

摘 要: 介绍了一种响应波长在 120 nm~200 nm 的紫外像增强器。它是采用 CsI 直接蒸镀在 MCP 上形成反射式光电阴极, 用 MgF_2 作为输入窗口, 光纤面板作为输出窗的真空光电器件。管型采用近贴聚焦结构, 从而使得弥散和像差得以减小, 具有高的量子效率和空间分辨率。在静态测试中, 空间分辨率可以达到 18 lp/mm。该紫外像增强器可用于空间科学和天文观测领域。

关键词: 日盲; 紫外变像管; MCP

中图分类号: TN144

文献标志码: A

Ultraviolet image intensifier with response at 120 nm~200 nm

CAO Xi-bin, ZHAO Bao-sheng, SAI Xiao-feng, WEI Yong-lin, ZHU Xiang-ping,
ZHOU Wei, WANG Jun-feng, DONG Gai-yun

(State Key Laboratory of Transient Optics and Photonics, Xi'an Institute of
Optics and Precision Mechanics, CAS, Xi'an 710109, China)

Abstract: An ultraviolet image intensifier with response at 120~200 nm is introduced. It is a vacuum optoelectronic device, with CsI directly evaporated on its MCP to form a reflective photocathode, with MgF_2 as input window, and optical fiber as output window. The proximity focus structure is adopted for reducing dispersion and image distortion. It has high quantum efficiency and spatial resolution. Under the static condition, the spatial resolution of the ultraviolet image intensifier reaches 18 Lp/mm, and it has great potentials in space science and astronomy observation.

Key words: solar blind; UV image converter tube; MCP

引言

紫外探测技术在空间天文学中的应用已经十分广泛, 空间天文学是在高层大气和大气外层空间区域进行天文观测与研究的一门学科。紫外波段在空间天文观测上的应用, 发展了紫外天文学。紫外观测的主要作用在于通过对外太空紫外辐射的探测, 研究有关恒星大气模型和星际物质等^[1]。根据使用场

合不同, 紫外探测对日盲要求也不同, 用于大气层时, 要求阴极对 350 nm 以上波长不灵敏; 用于外层空间时, 要求阴极对 200 nm 以上波长不灵敏^[2]。由于应用于外层空间, 可以避免地球表面大气吸收的限制, 我们研制的紫外像增强器是一种具有较高透过率窗口、高的量子效率和空间分辨率的真空成像器件, 可装载在卫星上进行天文观测。

收稿日期: 2008-01-22; 修回日期: 2008-02-17

作者简介: 曹希斌(1978-), 男, 陕西西安人, 西安光机所在职硕士研究生, 主要从事紫外探测器的研究工作。

E-mail: caocao208@163.com。

1 理论分析

1.1 输入窗口

由于普通玻璃一般对紫外光的透过率很差,不适合作为紫外光电器件的窗口材料。适合作为紫外光电器件窗口材料的有石英玻璃、蓝宝石、氟化镁、氟化锂等。输入窗要求透紫外辐射性能好,从图 1 窗材料的光谱透射性曲线可以看出,氟化锂的透紫外辐射性能最好,但和氟化镁比起来,其抗机械强度和热突变性要差一些。氟化镁在波长大于 180 nm 的波段,透过率和氟化锂非常接近,其熔点为 1 255 °C,更符合真空管的工艺要求。由于氟化镁输入窗对 140 nm~250 nm 波长有较高的透过率(可以达到 50%~90%)。所以,对于该探测器要探测的紫外波段,氟化镁窗是最佳选择。

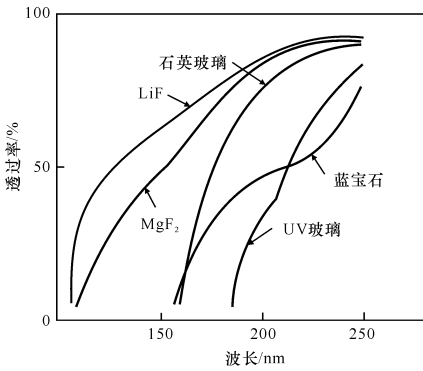


图 1 几种窗口材料的光谱透射性曲线

Fig. 1 Spectral transmittance curves of several window materials

1.2 光电阴极

由于本课题需要获得在 120 nm~200 nm 范围内的光电发射,因此需选择合适的实用型光电阴极,根据爱因斯坦光电方程 $\lambda = 1\ 240 / (E_g + E_a)$, (式中 λ 为阴极材料的光电发射阈; E_g 为阴极材料的禁带宽度; E_a 为阴极材料的电子亲和势),可以推算出 $(E_g + E_a)$ 大于 6 eV,碘化铯(CsI)的 $E_g = 6.3$ eV, $E_a = 0.1$ eV, $E_g + E_a = 6.4$ eV,所以在这个波段最常用的光阴极是碘化铯(CsI),其量子效率达到了 10%,如图 2 所示。与那些在光谱响应方面和它类似的材料相比,CsI 暴露于干燥空气中时更加稳定^[3]。

紫外探测一般用于弱信号探测,紫外光入射到光电阴极上发射的光电子较少,采用聚焦倒像式会使光电子渡越时间长,弥散大,图像失真严重^[4],所

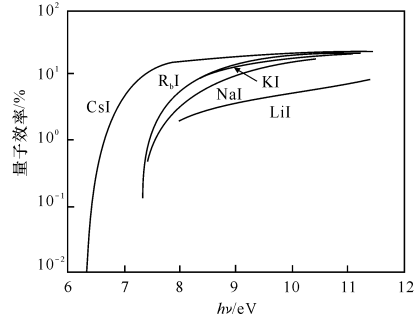


图 2 碱碘化物的光谱响应曲线

Fig. 2 Spectral response curves of alkali iodide

以,一般采用近贴式管型。采用将光电阴极直接贴到 MCP 的输入面,MCP 的输出面与荧光屏近贴,光电子的弥散减小,图像保真性好。此时光电阴极可以是不透明的,即可做成反射式光电阴极,其厚度对量子效率的影响不大,且比以输入窗为基底的半透明光电阴极高得多,在 180 nm 波长附近,量子效率达 50%,如图 3 所示^[5]。

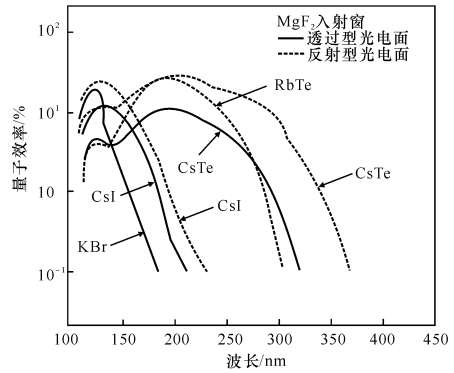


图 3 反射式和透射式紫外光阴极的光谱曲线

Fig. 3 Spectral curves of reflective and transmissive UV photocathodes

2 工艺过程

2.1 MCP 的选用

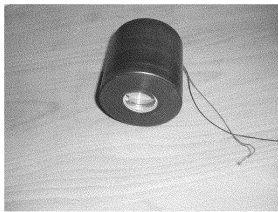
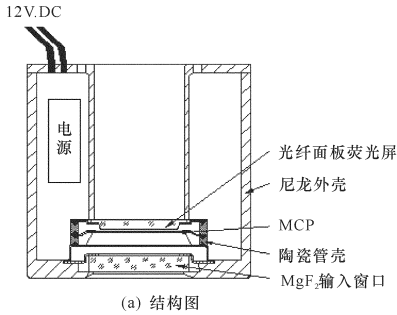
紫外像增强器中选用 $\phi 36$ 微通道板,丝径 $d = 10\ \mu\text{m}$,电流增益 $G = 12\ 100$,通道中心距 $S = 12\ \mu\text{m}$ 。MCP 是大面积阵列电子倍增元件,其极限分辨率必然受到 MCP 本身结构参数的限制^[6]。由公式 $N_{f(\text{MCP})} = 1000 / 1.72S$ (S 为通道中心距)可得 $N_{f(\text{MCP})} = 48\ \text{lp/mm}$ 。采用近贴式聚焦和合适的阴极阳极电位差,可使光电子在径向偏离尽量小,减小弥散,提高分辨率。

2.2 荧光屏的制备

在光纤面板上用离心沉淀法制作出荧光粉牌号为P20的荧光屏。在制屏时需要注意的是荧光屏上无针孔和黑点,而且要耐高场强。

2.3 光阴极的制备

将CsI蒸镀到MCP上,然后在百级超净实验室中将其装架在陶瓷管壳中,随后迅速将装架好的试验管放置于真空光具中,接好各电极,将真空度抽到 10^{-3} Pa后给各电极加以合适的电压使其正常工作。开启紫外光源,观察增强器是否正常工作,如果工作正常,用激光密封焊并在超高真空排气台进行烘烤去气和老练。最后用冷钳封的方法将光电极从超高真空排气台上取下。图4是紫外变像管的外型结构图。



(b) 实物图

图4 紫外变像管的结构和外型图

Fig. 4 Structure and contour of UV image converter intensifier

3 空间分辨率与光谱响应的测试

由于缺乏测试的紫外光源,只能用低压汞灯检验测试。用汞灯作为紫外光源,紫外光通过用石英玻璃制作的紫外分划板,携带分划板图像的紫外光经过紫外镜头成像在紫外变像管的阴极面上,由光阴极产生相应的电子图像。该电子图像经过高压加速和微通道板放大电子束流能量后,增强的电子图像激发荧光屏,转换成可见光图像,并经过光学纤维面板输出窗输出。整个像增强器就完成了“输入

紫外光学图像→相应电子图像→高能量束流电子图像→可见光图像输出”的转换。最后光学纤维面板上分划板图像经过镜头成像在CCD相机上,CCD相机把图像传入计算机进行图像处理。汞灯测试实验的原理如图5所示。实验装置如图6所示。

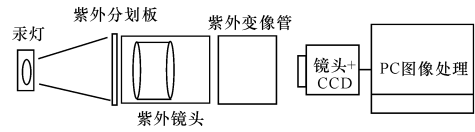


图5 汞灯测试实验的原理图

Fig. 5 Principle diagram of mercury lamp testing

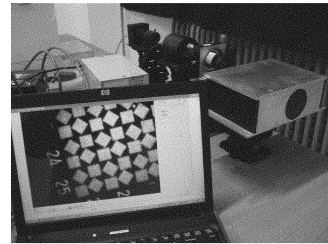


图6 汞灯测试实验装置

Fig. 6 Experimental device of mercury lamp testing

低压汞灯发光谱线主要有2条:1) 253.7 nm 波长; 2) 185 nm 波长。

镜头使用Computar 变倍变焦百万像素MLM-3XMP。

CCD使用高分辨率CCD,像素数 1280×1024 ,靶面尺寸为1.27 cm。

计算机和图像处理软件完成图像对比度增强和降噪功能。

测试结果如图7所示。由此图可分辨出第19组(18 lp/mm)由于汞灯不是理想的点光源,而是象日光灯管的线光源,因此影响测试结果。

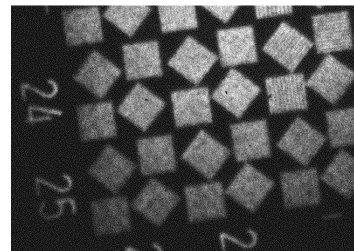


图7 紫外分辨率图

Fig. 7 Pictorialization of UV resolution

紫外像增强器光谱响应曲线如图8所示,据报道和理论计算,CsI阴极对200 nm以上波长基本是不响应的。从光谱曲线来看,与理论计算符合较好。

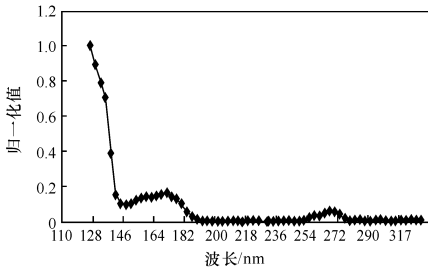


图8 像增强器光谱响应曲线

Fig. 8 Spectral response curve of image intensifier

4 实验结果分析

根据设计经验,该像管的空间分辨率可以达到 30 lp/mm,但测试结果只有 18 lp/mm,主要原因是光学系统的光源不是平行光,而且汞灯在 200 nm 以下的光谱很弱,使得像增强器在高分辨率区域的对比度较差。用 40 kV X 射线源(美国牛津公司微焦斑 0.05 mm)作光源,在 MgF₂ 窗前紧贴一个 X 射线专用分划板(美国牛津公司 X 射线专用分划板),最高分辨率为 20 lp/mm。X 射线可以直接穿过 MgF₂ 窗,使分划板的图像近似 1:1 地投影到紫外像增强器的阴极面上,CsI 阴极能够响应 X 射线而产生光电子,在荧光屏上成分划板的像。从图 9 中可以看清最高一组,其分辨率可以达到 20 lp/mm。

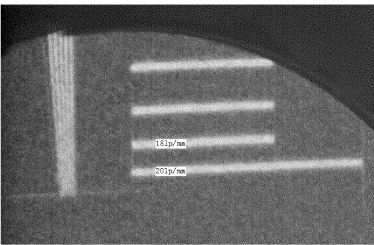


图9 X射线分辨率图

Fig. 9 X-ray resolution photograph

致谢:感谢中科院北京空间中心付利平老师在光谱响应测试中给予的帮助。

参考文献:

- [1] 张燕,龚海梅,白云. 空间用紫外探测及 AlGaIn 探测器的研究进展[J]. 激光与红外, 2006, 36(11): 1009-1012.
ZHANG Yan, LONG Hai-mei, BAI Yun. Space ultraviolet detector and the AlGaIn detector research progress[J]. Laser and Infrared, 2006, 36(11): 1009-1012. (in Chinese)
- [2] 徐登高,刘元震. CsI/Ni/LiF 半透明真空紫外光阴极“日盲”效应的验证[J]. 真空科学与技术, 1997, 17(3): 215-218.
XU Deng-gao, LIU Yuan-zhen. CsI/Ni/LiF translucent cathode of vacuum UV “solar-blind” effect test [J]. Vacuum Science and Technology, 1997, 17(3): 215-218. (in Chinese)
- [3] 徐大纶. 变相管高速摄影[M]. 北京: 科学出版社, 1990.
XU Da-lun. Imager of high-speed photography[M]. Beijing: Science Press, 1990. (in Chinese)
- [4] 王君容,薛召南. 光电子器件[M]. 北京: 国防工业出版社, 1982.
WANG Jun-rong, XUE Zhao-nan. Optoelectronic devices[M]. Beijing: Defense Industry Press, 1982. (in Chinese)
- [5] TREMSIN A S, SIEGMUND O H W. The dependence of quantum efficiency of alkali halidel photocathodes on the radiation incidence angle [J]. SPIE, 1999, 3765: 2-10.
- [6] 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, 1999.
XIANG Shi-ming, NI Guo-qiang. Photoelectron imaging device principle [M]. Beijing: Defense Industry Press, 1999. (in Chinese)