

文章编号:1002-2082(2007)03-0305-04

# 紫外像增强器光谱响应特性测量方法研究

程宏昌<sup>1</sup>, 盛亮<sup>2</sup>, 石峰<sup>1</sup>, 王芬芬<sup>1</sup>, 冯刘<sup>1</sup>

(1. 西安应用光学研究所, 陕西 西安 710100; 2. 西北核技术研究所, 陕西 西安 710024)

**摘要:** 为了能及时测量自制紫外像增强器的光谱响应特性,设计了一套简便的测量紫外像增强器光谱响应的系统。该系统由专用光源室、光栅光谱仪、直流稳压电源、皮安电流计4部分构成。用光栅光谱仪配套软件直接读出光源每个波长对应的辐射功率;用皮安电流计直接测量出各个波长的光照射光阴极时光阴极产生的光电流,然后求出这2个比值并用Microsoft Excel 2003进行处理,得到光电流与波长变化的曲线,即相对光谱响应曲线。从曲线可以看出,该紫外像增强器的光谱响应范围为200 nm~340 nm,峰值响应在270 nm附近,表明该紫外像增强器具有日盲特性。测试结果表明:系统不确定度<10%。

**关键词:** 紫外像增强器;光谱响应;辐射功率

中图分类号: TN144

文献标志码: A

## Spectral response measurement of UV image intensifier

CHENG Hong-chang<sup>1</sup>, SHENG Liang<sup>2</sup>, SHI Feng<sup>1</sup>, WANG Fen-fen<sup>1</sup>, FENG Liu<sup>1</sup>

(1. Xi'an Institute of Applied Optics, Xi'an 710100, China;

2. Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, China)

**Abstract:** An ultraviolet spectral response measurement device was designed for measuring the UV image intensifiers fabricated in this laboratory. This system consists of a light source chamber, a grating spectrometer, a DC voltage regulator and a pi-ampere current meter. The radiant power corresponding to every wavelength of the light source was directly read out with the software of the grating spectrometer, the photocurrent generated from a photocathode was directly measured by the pi-ampere current meter when the photocathode was radiated by UV radiation sources, the ratio of the two measurements was then calculated and processed by Microsoft Excel 2003, and relative spectral response curve was obtained. The curve indicates that the spectral response of UV image intensifiers is from 200 nm to 340 nm and the peak response is near 270 nm, which indicates that the UV image intensifier is solar blind. Measurement results show that the uncertainty of the device is less than 10%.

**Key words:** UV image intensifier; spectral response; radiant power

## 引言

光谱响应特性是光电器件的重要性能参数之一<sup>[1]</sup>,紫外像增强器是一种像增强型光电成像器件,其光谱响应特性有别于其他微光像增强器。当前,微光像增强器光谱响应<sup>[2]</sup>的测量设备都是建立

在可见光范围,测量紫外像增强器光谱响应时必须进行紫外辐射能量<sup>[3]</sup>的测量和计算。为满足紫外像增强器光谱响应测量的需要,在实验过程中及时、方便地测量紫外像增强器的光谱响应,需建立一套价格低、操作简便,适用于实验室工作需要的实用

收稿日期:2006-08-15; 修回日期:2006-10-20

作者简介:程宏昌(1974—),男,陕西高陵人,工程师,主要从事微光夜视成像器件工艺研究工作。E-mail:chh600@163.com

型紫外像增强器光谱响应测量系统。

### 1 测量原理

紫外像增强器光谱响应指紫外光阴极发射光电子的能力随波长的变化关系<sup>[4]</sup>,而紫外光阴极发射电子的能力通常用光谱灵敏度来表示,故紫外像增强器光谱响应可用光谱灵敏度随入射波长的变化关系来表示。其关系如下:

$$S(\lambda) = \frac{I(\lambda)}{P(\lambda)} \quad (1)$$

式中:  $S(\lambda)$ 为日盲型紫外像增强器光阴极在波长 $\lambda$ 处的灵敏度;  $I(\lambda)$ 为波长 $\lambda$ 的紫外辐射入射到紫外像增强器光阴极时,紫外光阴极光电发射达到饱和状态并且光阴极、阳极之间在饱和工作电压下收集到的光电流;  $P(\lambda)$ 为波长 $\lambda$ 的紫外辐射到紫外像增强器光阴极输入面的辐射功率。

紫外像增强器光谱响应测量系统由紫外光源及其稳压电源、光栅光谱仪、直流稳压电源、高精度皮安电流计5部分组成,原理框图如图1所示。

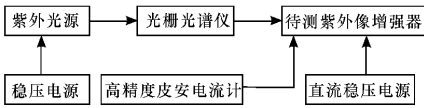


图1 紫外像增强器光谱响应测量原理图

Fig. 1 The block diagram of measurement for spectral response of UV image intensifier

紫外像增强器光谱响应的测量分4步:第1步,给紫外光阴极入射单色紫外光,并给其光阴极加上饱和和工作负偏压;第2步,测量由紫外光阴极产生的光电流;第3步,将光电流与入射单色紫外光对应的强度相除,得到各波长下光谱响应的相对强度值;第4步,利用Microsoft Office Excel 2003 绘制光谱响应相对强度值与波长的曲线,以获得相对光谱响应曲线。

### 2 测量系统及测试方法

#### 2.1 测量系统

测量系统由专用光源室、光栅光谱室、稳压电源1、稳压电源2、高精度皮安电流计、测量室以及用于波长校准的冷阴极低压水银放电灯LHM254组成,如图2所示。

#### 2.2 系统各部分性能

##### 2.2.1 专用光源室

专用光源室安装有紫外光源、透紫外平行光管

系统以及紫外光源专用稳压电源1。紫外光源采用LHX150 氙灯,其相对光源强度与波长的曲线如图3所示。

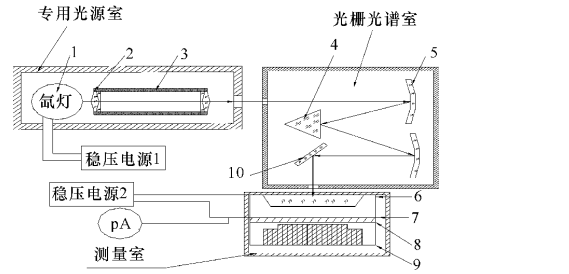


图2 测量系统原理图

Fig. 2 Schematic diagram of measurement system

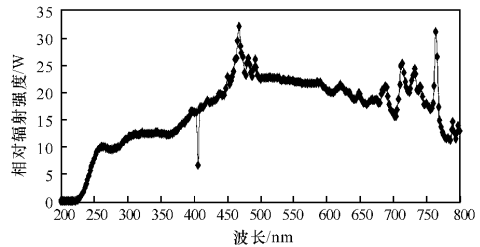


图3 LHX150 氙灯的光谱分布

Fig. 3 Spectral distribution of LHX150 xenon lamp

透紫外平行光管系统的输出光斑直径大于18 mm;紫外光源专用稳压电源1为LHX150 氙灯生产厂家配备的专用光源,以确保氙灯正常工作。

##### 2.2.2 光栅光谱室

光栅光谱室安装有型号为SBP300的光栅光谱仪<sup>[5]</sup>,其焦距为300 mm; F数为F/3.9;光谱范围从185 nm~远红外;分辨率为0.1 nm;波长准确度为0.2 nm(1 200 l/mm光栅);重复性0.2 nm(1 200 l/mm光栅);焦面尺寸为25 nm(宽)×14 nm(高);狭缝宽度(10~3)mm连续可调;蜗轮杆传动副最小步长为0.005 nm。

##### 2.2.3 测量室

测量室安装有测量专用夹具、稳压电源2、高精度皮安电流计和校准接口。测量专用夹具是针对各种管型结构紫外像增强器设计的,保证每次测量时位置的一致性并实现各种电接触。直流稳压电源2提供紫外像增强器阴极和微通道板之间的电压。高精度皮安电流计用于测量光阴极产生的光电流,其

精度达到  $0.0001 \text{ pA}$ 。校准接口用于安装标准光源。标准光源采用冷阴极低压水银放电 LHM254 灯,其光谱分布如图 4 所示。

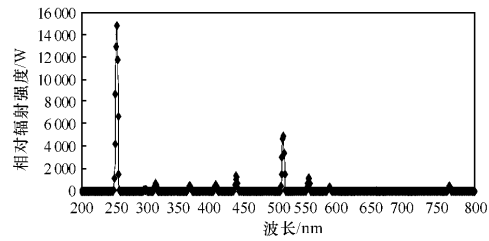


图 4 LHM254 低压汞灯光谱分布

Fig. 4 Spectral distribution of LHM150 low-pressure mercury lamp

### 2.3 测量方法

测量光谱响应时,氙灯产生的光线经平行光管系统变换为一定口径的平行入射光照射光栅光谱室,经反射镜照射到光栅表面,经光栅变换及反射镜反射到平板减光器上,经平板减光器后的单色紫外光入射到待测紫外像增强器光阴极表面。若给紫外光阴极加上饱和负偏压,利用高精度皮安计可测量出光电流。在测量过程中利用电气开关控制涡轮蜗杆副以  $0.5 \text{ nm}$  步长间断式前进,每前进一步记录下对应的光源相对强度值和皮安电流计测量到的光电流读数,然后利用 Microsoft Excel 2003 软件和(1)式对每对读数进行计算,并将计算结果绘制成曲线,便得到相对的光谱响应曲线。

## 3 测量结果及分析

### 3.1 测量结果

采用该测量系统对自制的 2<sup>#</sup> 紫外像增强器光谱响应进行了 5 次测量,以  $5 \text{ nm} \sim 100 \text{ nm}$  为间隔,视数据的变化情况提取数据,如表 1 所示。

表 1 2<sup>#</sup> 紫外像增强器 5 次测量结果

Table 1 Measurement results obtained from five-time measurement of No. 2 UV image intensifier

波长 $\lambda/\text{nm}$	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次
	相对光谱灵敏度/ $\text{mA} \cdot \text{W}^{-1}$				
200	11.05	11.08	11.02	11.09	11.03
205	11.50	11.55	11.52	11.54	11.51
210	12.09	12.11	12.07	12.08	12.06
215	13.00	13.10	12.95	13.00	13.00
220	14.00	14.03	13.95	14.01	13.97
225	16.65	16.63	16.67	16.61	16.60
230	19.98	20.01	19.97	19.99	20.02

续表 1

波长 $\lambda/\text{nm}$	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次
	相对光谱灵敏度/ $\text{mA} \cdot \text{W}^{-1}$				
235	23.12	23.15	23.17	23.13	23.14
240	28.70	28.73	28.68	28.71	28.73
245	35.54	35.58	35.55	35.56	35.54
250	43.28	43.30	43.29	43.33	43.31
254	50.69	50.70	50.68	50.72	50.71
260	60.08	60.10	60.09	60.11	60.12
265	65.37	65.34	65.39	65.36	65.37
270	67.41	67.42	67.43	67.44	67.46
275	68.57	68.60	68.59	68.61	68.58
280	68.72	68.78	68.80	68.75	68.71
285	66.28	66.30	66.31	66.27	66.29
290	66.24	66.29	66.27	66.26	66.25
295	57.20	57.27	57.25	57.23	57.24
300	51.53	52.58	51.59	51.51	51.57
310	37.28	37.30	37.26	37.31	37.24
315	31.54	32.56	31.50	31.52	31.50
320	26.59	26.57	26.60	26.61	26.58
325	23.20	23.22	23.24	23.27	23.26
330	20.77	20.76	20.77	20.80	20.81
340	15.80	15.78	15.83	15.81	15.80
350	14.90	14.88	14.87	14.85	14.89
360	13.10	13.16	13.15	13.11	13.09
380	13.00	13.02	13.01	13.04	13.02
400	12.05	11.98	12.02	12.03	12.01

从表 1 可以看出,在 5 次测量中,对应每个波长处光电流值的变化范围均在百分位上,对比每个波长 5 次测量数据的最大值和最小值,它们的变化都在 10% 的范围以内。

将第 1 次测量结果用 Microsoft Excel 2003 绘制成图 5 所示的曲线即为 2<sup>#</sup> 紫外像增强器的相对光谱响应曲线。

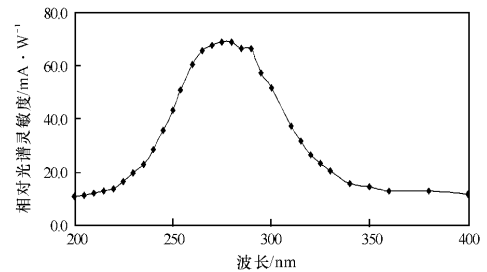


图 5 2<sup>#</sup> ( $\Phi 18/18 \text{ mm}$ ) 紫外像增强器的光谱响应分布

Fig. 5 Spectral response distribution of No. 2 UV image intensifier tested

由图 5 可见, 2<sup>#</sup> 紫外像增强器相对光谱响应曲线的响应范围为  $200 \text{ nm} \sim 340 \text{ nm}$ , 峰值波长在

270 nm 附近。该测量结果说明:2<sup>#</sup>紫外像增强器光阴极光谱响应向长波方向发生移动,可通过进一步优化阴极制作工艺来控制金属铯蒸发量以限制其长波阈的偏移。

### 3.2 不确定度和一致性分析

由(1)式  $S(\lambda) = \frac{I(\lambda)}{P(\lambda)}$  可得:

$$dS(\lambda) = d \frac{I(\lambda)}{P(\lambda)} \quad (2)$$

从(2)式可见,灵敏度  $S(\lambda)$  的不确定度由测量的光电流  $I(\lambda)$  和辐射强度  $P(\lambda)$  的不确定度共同决定。在本系统中辐射强度  $P(\lambda)$  可以忽略,光电流的不确定度受电流测量误差、光源稳定性、光源强度测量误差、高压电源稳定性、高压电源测量误差这5个因素影响。如果用  $\sigma_1$  表示电流测量误差,用  $\sigma_2$  表示光源稳定性,用  $\sigma_3$  表示光源强度测量误差,用  $\sigma_4$  表示高压电源稳定性,用  $\sigma_5$  表示高压电源测量误差,那么,根据测量误差分析理论,本系统不确定度<sup>[6]</sup>可表示为

$$\sigma_{\text{总}} = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2 + \sigma_5^2)^{1/2} \quad (3)$$

式中:电流测量采用高精度皮安表,其电流表误差  $\sigma_1$  为 2%;光源稳定性由光源的稳压电源来保证,其稳定  $\sigma_2$  为 4%;光源强度测量误差由光源室中的辐射计来完成,其误差精度  $\sigma_3$  为 5%;高压电源的稳定性由其本身来保证,其误差精度  $\sigma_4$  为 4%;高压电源测量误差由高压电源上配备的显示表  $\sigma_5$  显示数值,其误差精度为 3%。将这些值代入(3)式可得:

$$\sigma_{\text{总}} = (0.02^2 + 0.04^2 + 0.05^2 + 0.04^2 + 0.03^2)^{1/2} = 0.07746 = 7.746\% < 10\%$$

## 4 结束语

以紫外像增强器光谱响应基本概念为出发点,设计了一套适用于实验室使用的简便测量紫外像增强器光谱响应系统。用该系统测量了自制的紫外型增强器,并得到了相对光谱响应曲线,从曲线可见,该紫外像增强器的光谱响应是 200 nm ~ 340 nm,峰值波长在 270 nm 附近。该测量结果表明 2<sup>#</sup>紫外像增强器具有日盲特性,但是光阴极光谱响应向长波方向发生移动,说明阴极制作时铯量的控制精度不够,可通过进一步优化阴极制作工艺

来控制金属铯蒸发量,进而限制其长波阈的偏移。

### 致谢

在本文成文过程中得到了向世明研究员、李景生高级工程师以及项目组其他成员的指导与帮助,在此表示诚挚地感谢。

### 参考文献:

- [1] 范纪红,候西旗,杨照金,等. 红外探测器光谱响应度测试技术研究[J]. 应用光学,2006,27(5):460-462. FAN Ji-hong, HOU Xi-qi, YANG Zhao-jin, et al. Measurement technology for spectral responsivity of infrared detector [J]. Journal of Applied Optics, 2006, 27(5): 460-462. (in Chinese)
- [2] 史继芳,候西旗,范纪红,等. 像增强器光阴极光谱响应测试技术研究[J]. 应用光学,2006,27(增刊):67-70. SHI Ji-fang, HOU Xi-qi, FAN Ji-hong, et al. Study of spectral responsivity testing technology for photocathodes of image tube [J]. Journal of Applied Optics, 2006, 27(sup): 67-70. (in Chinese)
- [3] 甘明,周汇利,余国才,等. UV 辐射光谱的光电测量研究[J]. 应用光学,2005,26(6):74-76. GAN Ming, ZHOU Hui-li, YU Guo-cai, et al. Study on optoelectronic measurement of UV radiation spectrum [J]. Journal of Applied Optics, 2005, 26(6): 74-76. (in Chinese)
- [4] 冯焯焘,郑玉才,方二伦,等. 像管的设计与分析[M]. 北京:国防工业出版社,1990. FENG Zhe-tao, ZHENG Yu-cai, FANG Er-lun, et al. Design and analyse of imaging tube [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1990. (in Chinese)
- [5] 北京卓立汉光仪器有限公司. 光电探测器光谱响应测试系统. [EB/OL][2006-6-21]. <http://www.zolix.com.cn/view.asp?id=317>. Beijing ZOLIX Instruments Co Ltd. Spectrum response detection system of photoelectric detection. [EB/OL][2006-6-21]. <http://www.zolix.com.cn/view.asp?id=317>. (in Chinese)
- [6] 高稚允,高岳. 光电检测技术[M]. 北京:国防工业出版社,1995. GAO Zhi-yun, GAO Yue. Photoelectric detection technology [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1995. (in Chinese)