

文章编号: 1002-2082(2006)SO-0068-03

像增强器光阴极光谱响应度测试技术研究

史继芳, 侯西旗, 范纪红, 孙宇楠

(西安应用光学研究所 国防科工委光学计量一级站, 西安 710065)

摘要: 针对像增强器不仅具有光电成像而且具有光谱转换的特殊性, 分析了像增强器的工作原理。提出了以腔体热释电探测器为基准探测器测量像增强器(裸管)光阴极光谱响应的新方法, 给出了像增强器光阴极光谱响应的测量原理。通过用辐射标准低温辐射计和辐射传递标准陷阱探测器对硅光电二极管 632.8 nm 处的绝对光谱响应度定标, 实现了对像增强器光阴极全波段绝对光谱响应度的标定。设计的高精度、宽光谱的像增强器光阴极光谱响应测量装置有益于像增强器光阴极的研制与制作。

关键词: 像增强器; 光阴极; 光谱响应度测试

中图分类号: TH74; TN144

文献标志码: A

Study of spectral responsivity testing technology for photocathodes of image intensifiers

SHI Ji-fang, HOU Xi-qi, FAN Ji-hong, SUN Yu-nan

(Optical Metrology Laboratory, Xian Institute of Applied Optics, Xi'an 710065, China)

Abstract: The working principle of the image intensifier is analyzed since it has not only the special property of optoelectronic imaging but also the characteristic of spectral conversion. A new method, which takes a cavity pyroelectric detector as a reference detector to measure the spectral responsivity of photocathodes in image intensifiers, is proposed. The measurement principle of the photocathode spectral responsivity for image intensifiers is described. The calibration of all-wave absolute spectral responsivity of photocathodes in image intensifiers was realized by means of the calibration of the absolute spectral responsivity at 632.8 nm for a silicon photocathode by using the cryogenic radiometer of the radiation standard and the trap detector of radiation transfer standard. The high-precision and broadband instrument designed for measuring the spectral responsivity of photocathodes in image intensifiers is of benefit to the development and fabrication of photocathodes in image intensifiers.

Key words: image intensifier; photocathode; spectral responsivity testing

引言

光电子成像技术的核心是光阴极技术, 光阴极处于光电子成像系统的第一输入面上, 它是各类像管(变像管、像增强器、条纹像管和摄像管移像段)的光电子传感器, 起着将输入光子图像变换为相应

时空分布的光电子图像的作用^[1]。不同材料制成的光阴极, 其光谱响应范围和光谱响应曲线各不相同^[2]。即使是相同材料制作的光阴极, 由于其制作工艺的不同, 其光谱响应也可能会有很大的差异, 如基于 GaAs 负电子亲和势 (NEA) 光阴极的蓝光

收稿日期: 2006-05-13; 修回日期: 2006-06-14

作者简介: 史继芳(1964—), 女, 河南开封人, 西安应用光学研究所高级工程师, 主要从事微光夜视计量、激光参数计量及测试技术研究工作。E-mail: shijifangyeah@126.com

延伸光阴极,其光谱响应向短波方向延伸($< 550 \text{ nm}$);而近红外延伸的 InGaAs 光阴极,其光谱响应已接近 $2.0 \mu\text{m}$ 。通过对不同光谱响应光阴极的研制,改变了像增强器的整体性能,确定了像增强器的使用方向。由于像增强器自身为光电成像器件,且具有光谱转换功能,因此做成成品管之后再测量其光阴极光谱响应时难度较大。通常采用在线测量,即在阴极激活过程中,采用材料分析技术对光阴极结构进行材料特性鉴定^[3]。本文在分析像增强器工作原理的基础上,结合光电探测器光谱响应的测量原理,给出了精确测量像增强器裸管(简称像管)光阴极光谱响应度的测量原理和测试方法。测量的光谱范围包括紫外、可见、近红外($200 \text{ nm} \sim 1800 \text{ nm}$),可用于紫外、可见、蓝光延伸和近红外延伸光阴极光谱响应度的测量。

1 像增强器工作原理

像增强器通常由光阴极、电子透镜、电子倍增器和荧光屏等功能部件组成,如图 1 所示。在景物输入光子的激发下,光阴极产生相应的光电子图像,在超高真空管体内,这些光电子从外部高压电源获取能量,并经电子光学透镜聚集(偏转),以高能量轰击荧光屏,从而产生人眼可见的光子图像,且亮度得到了增强^[1]。

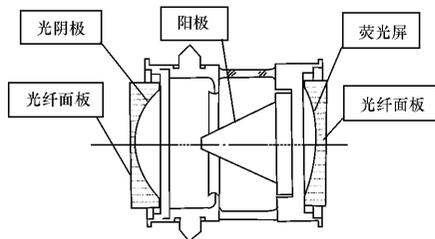


图 1 像增强器结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of configuration of image intensifier

像增强器工作时,各功能部件均要施以高压,才能获得所需能量进而实现图像增强的目的。裸管时,由外接高压电源提供工作电压;整管时,由小型直流高压电源(为像增强器特制的)提供工作电压。因此,可在裸管情况下测量像增强器光阴极光谱响应。在特定光源照射下,通过给像管光阴极施加工作电压,使其产生光电流,经放大电路及 I/V 转换后,由计算机处理得到像管光阴极的光谱响应。

2 光电探测器光谱响应测量原理

根据所用基准不同,光电探测器相对光谱响应

的测量方法分为两大类:参考光源法和参考探测器法。参考光源法通常采用串接单色仪法和宽带滤光片法等完成。参考探测器法通常采用参考热偶堆法^[4]完成。参考光源法要求光源和光路各部分的光谱函数是已知的,参考探测器法则要求知道探测器的相对光谱响应及参考光路与样品光路两光谱函数的比值,无需测定光源及波长选择机构的光谱函数,对光源波动不敏感。

串接单色仪透射比法的基本原理是:以光谱辐射亮度标准作为基准,将 2 台单色仪串接起来,通过测定第 2 台单色仪的光谱透射比来求得探测器的相对光谱灵敏度。该方法较复杂,且影响测量结果的因素较多,所能达到的测量不确定度在 $1.0\% \sim 3.0\%$ 之间,目前仅有少数国家采用。

参考热偶堆法的理论基础是:基准热电偶无光谱选择性。也就是说,作为基准的热电偶具有均匀的光谱灵敏度。但事实上,由于受黑涂层材料反射比的限制,热电偶的光谱灵敏度是有选择性的,而且这种选择性在长波段愈加明显。这主要是由黑涂层的吸收率(也可以说是反射率)引起的,并随黑涂层材料及制作工艺的不同而不同。这是该方法测量光谱响应度时不确定度较大的一个根本原因,从而造成了结果重现性好但不确定度不理想。

由于热释电探测器(特别是具有半球反射的腔体热释电探测器)具有均匀的光谱灵敏度,通常被用作基准探测器,经过半球反射镜几次反射后,热释电探测器的表面几乎 100% 吸收了进入腔体的辐射,近似达到无光谱选择性^[5-6]。选用这种腔体热释电探测器作为基准探测器,克服了参考热偶堆法中无法验证光谱灵敏度选择性这一根本性问题,从而使探测器光谱响应度的高精度测量成为可能。

3 像增强器光阴极光谱响应测量装置的设计

像增强器光阴极光谱响应测量装置采用参考探测器法,选用腔体热释电探测器作为基准探测器实现高精度和宽光谱的测量。该装置由光源组件、比较系统、信号处理和电路 4 部分组成,其原理框图如图 2 所示。

3.1 光源组件

光源组件由氙灯、钨带灯和准直 He-Ne 激光器组成。由于该测试装置覆盖的波长范围宽(所选氙灯的波长范围为 $180 \text{ nm} \sim 400 \text{ nm}$,钨带灯的波长范围为 $300 \text{ nm} \sim 2 \mu\text{m}$),因此需要更换氙灯和钨带灯来满足要求。氙灯和钨带灯均被安装在—

个高精度自动控制的一维滑轨上,根据测量波长的需要将所需光源移入光路。

3.2 比较系统

该系统包括前置光学系统、双单色仪、一组标准探测器和一组滤光片等。探测器部分包括硅光电二极管(200 nm~920 nm)、腔体热释电探测器(200 nm~2 500 nm)、InGaAs 探测器(800 nm~

1 800 nm)。探测器安装在一个高精度自动控制的小光学平台上,根据测量需要将所需探测器移入光路。

3.3 信号处理

信号处理部分对来自基准探测器和像增强器的光电信号进行放大处理。它包括前置放大、I/V 转换、锁相放大器、扫描卡、数字电压表等。

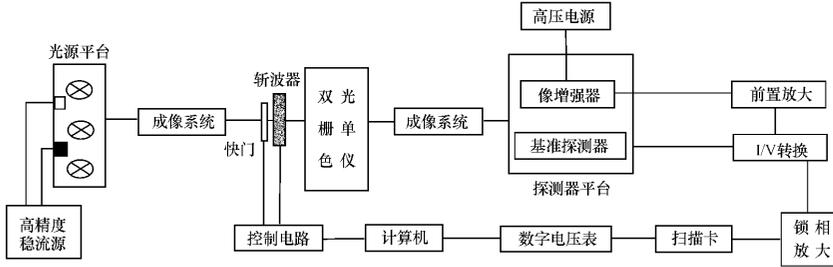


图2 光电探测器相对光谱响应度测量装置

Fig. 2 Measuring device for relative spectral responsivity of photoelectric detector

3.4 控制电路

控制电路完成光源移动平台、探测器移动平台、快门、斩波器等自动控制。

像增强器光阴极光谱响应测量原理是先将腔体热释电探测器置于双单色仪出射狭缝后面,然后转动光栅使需要的各种单色辐射依次入射到腔体热释电探测器接收面上,它所输出的电信号 $i_{st}(\lambda)$ 与光源的光谱功率分布 $\varphi(\lambda)$ 、单色仪的仪器函数 $F(\lambda)$ 、单色仪的透射比 $\tau(\lambda)$ 以及腔体热释电探测器的光谱响应度 $R_{st}(\lambda)$ 成正比,即

$$i_{st}(\lambda) \propto \varphi(\lambda) \cdot F(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \cdot R_{st}(\lambda) \quad (1)$$

在保持光源和单色仪不变情况下,用像增强器代替腔体热释电探测器,其输出的电信号为

$$i_i(\lambda) \propto \varphi(\lambda) \cdot F(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \cdot R_i(\lambda) \quad (2)$$

比较上边两式,整理后得到

$$R_i(\lambda) = K \cdot \frac{i_i(\lambda)}{i_{st}(\lambda)} \cdot R_{st}(\lambda) \quad (3)$$

式中 K 为比例常数。由于腔体热释电探测器无光谱选择性,因此 $R_{st}(\lambda)$ 可看作常数,由此式便可计算出像增强器光阴极的相对光谱响应度 $R_i(\lambda)$ 。通过用辐射标准低温辐射计和辐射传递标准陷阱探测器对硅光电二极管 632.8 nm 处的绝对光谱响应度进行定标,实现了像增强器光阴极全波段绝对光谱响应度的标定。

4 结束语

通过对探测光谱响应测量方法的分析,提出了以腔体热释电探测器为基准探测器测量像增强器(裸管)光阴极光谱响应的新方法,给出了像增强器光阴极光谱响应的测量原理,设计了高精度、宽光谱像增强器光阴极光谱响应测量装置,该装置对像增强器光阴极的研制与制作具有指导作用。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 王成福,黄达谏,楼东武. 一种宽光谱响应特性的测量方法[J]. 光电工程,2002,29(1):48-51.
- [3] 周立伟. 夜视像增强器(蓝光延伸与近红外延伸光阴极)的近期进展[J]. 光学技术,1998,(2):18-27.
- [4] 吴继宗,鹿景荣,张凤宏. 光电探测器相对光谱灵敏度测试方法的研究[J]. 光学学报,1989,9(8):758-762.
- [5] NETTLETON D H, PRIOR T R, WARD T H. Improved spectral responsivity scales at the NPL, 400 nm to 20 μm [J]. Metrologia, 1993,30:425-432.
- [6] SHAW P S. Improved near-infrared spectral responsivity scale[J]. Res Natl Inst Stand Technol, 2000, 105:689-700.