

# 半导体光电探测器响应度测试装置的研制

刘 晖 朱日宏 朱 煜 陈进榜  
(南京理工大学电光学院, 南京 210094)

**摘 要** 分析了半导体光电探测器光谱响应度的测试原理; 研制了一套波长为  $0.4 \sim 1.1 \mu\text{m}$  的光谱响应度测试装置。该装置采用双光路替代法, 可以测试绝对光谱响应度、相对光谱响应度和量子效率, 并可减小光源不稳定性对测试结果的影响, 最终给出了测试结果比对。

**关键词** 相对光谱响应度, 绝对光谱响应度, 量子效率, 单色仪。

## 1 引 言

半导体光电探测器是近十多年来成熟起来的新型光电探测器件, 由于它体积小, 重量轻, 工作安全可靠, 因此在军工、国防等领域得到广泛的应用。半导体光电探测器的绝对光谱响应度、相对光谱响应度和量子效率是衡量其性能的重要指标。目前国内研制的半导体光电探测器光谱响应度测试装置由于其最后的光斑大小无法控制, 因此仅能测试相对光谱响应度, 而不能对绝对光谱响应度进行测试<sup>[1, 2]</sup>。作者研制的一套双光路替代法测试装置很好地解决了光斑大小控制的问题, 不仅能对相对光谱响应度进行测试, 而且能够对半导体光电探测器的绝对光谱响应度及量子效率进行测试。在测试过程中消除了光源不稳定性对测试结果的影响, 提高了测试精度。本文就针对其测试原理进行分析, 对其测试结果进行比对。

## 2 装置及工作原理

装置的框图如图 1 所示, 其光路图如图 2 所示。用高稳定直流电压源(60 V, 25 A 可调)驱动溴钨灯(400 W, 12 A), 以保证溴钨灯可达到最大输出功率, 且功率稳定度优于每 15 分钟 0.1%。光源 6 发出的光经凹面镜 1 反射成为平行光, 再经凹面镜 2 反射后入射到单色仪上( $0.4 \sim 1.1 \mu\text{m}$ ), 经单色仪出射的光入射到分束器 7(胶合平面镜)上, 经此分束器, 光束分成两束: 一束经凹面镜 4 汇聚到辅助探测器 10 上, 它长期固定不动; 另一束经凹面镜 3 使其变为平行光, 再由凹面镜 5 使其汇聚到被测探测器 8(或参考探测器 9)上。被测探测器和参

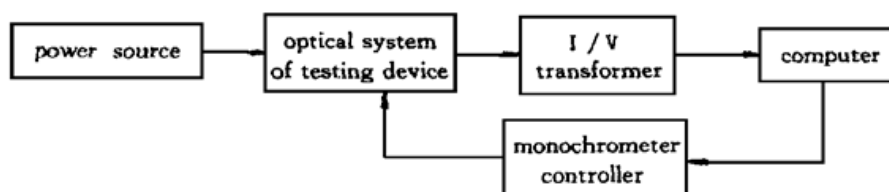


Fig. 1 Schematic diagram of device for testing spectral responsivity of semiconductor photo-detector

考探测器与辅助探测器进行比较就可测得被测探测器的光谱响应度。在给定条件下,先测量参考探测器 9 与辅助探测器 10 的光谱响应,当入射到辅助探测器的光辐射通量为  $\Phi_1$  时有

$$I_c(\lambda) = R_c(\lambda)K\Phi_1, \quad I_{1a}(\lambda) = R_a(\lambda)\Phi_1$$

则  $I_c(\lambda)/I_{1a}(\lambda) = [R_c(\lambda)/R_a(\lambda)]K$  (1)

其中  $I_c(\lambda)$  为参考探测器的输出电参数,  $I_{1a}(\lambda)$  为辅助探测器的输出电参数,  $R_c(\lambda)$  为参考探测器的光谱响应度,  $R_a(\lambda)$  为辅助探测器的光谱响应度,  $K$  为分束器的分束比。然后用被测探测器 8 置换参考探测器 9, 得到被测探测器与辅助探测器的光谱响应, 当入射到辅助探测器的光辐射通量为  $\Phi_2$  时有

$$I_t(\lambda) = R_t(\lambda)K\Phi_2, \quad I_{2a}(\lambda) = R_a(\lambda)\Phi_2, \quad I_t(\lambda)/I_{2a}(\lambda) = [R_t(\lambda)/R_a(\lambda)]K$$
 (2)

其中  $I_t(\lambda)$  为被测探测器的输出电参数,  $I_{2a}(\lambda)$  为辅助探测器的输出电参数,  $R_t(\lambda)$  为被测探测器的光谱响应度。

由(1)式、(2)式得

$$R_t(\lambda) = [I_t(\lambda)/I_{2a}(\lambda)][I_{1a}(\lambda)/I_c(\lambda)]R_c(\lambda)$$
 (3)

式中,  $I_c(\lambda)$ 、 $I_{1a}(\lambda)$ 、 $I_t(\lambda)$  和  $I_{2a}(\lambda)$  可以测得, 这样由上式就可求得被测探测器的  $R_t(\lambda)$ 。

量子效率  $\lambda = (\text{光生电子-空穴对}) / \text{入射光子数} = (i_p/e) / [p_0/(hr)] = R(\lambda)(hc/e\lambda)$  (4)

此测试装置的波长范围为:  $0.4 \sim 1.1 \mu\text{m}$ 。本装置采用全反射式, 消除了大波长范围测试时色差的影响, 从而满足测试的需要。要使入射到探测器上的光功率落在其线性工作区内, 此测试装置最终输入到探测器上的光功率应为:  $0.1 \sim 10 \mu\text{W}$ 。这要求光源光功率能大范围的调节。同时, 为了保证测量的不确定度, 所选用光源的输出功率稳定度达到每 15 分钟  $0.05\% \sim 0.1\%$ 。由于本装置需要测试绝对光谱响应度, 故测试时必须保证注入的光斑小于探测器的光敏面, 且光斑不能太小, 以保证测量结果很好体现探测器的平均响应度, 因此光斑直径大小可调。为此, 将图 2 所示的光路中, 在单色仪出射处放置一光阑 15, 它位于凹面镜 3 的焦点处。凹面镜 5 和凹面镜 3 的焦距之比即放大倍率, 在凹面镜 5 的焦点处形成的光斑大小为光阑 15 大小乘以放大倍率。探测器沿凹面镜 5 焦点位置前后小范围移动, 光斑大小就可以小范围改变。更换凹面镜 5, 焦距改变, 放大倍率改变, 光斑大小也能发生较大变化。高度时, 在这两个凹面镜之间的平行光路中放置一分光镜 12, 再辅以 CCD(13) 进行观测调试使光斑大小满足测试要求。测量时, 将分光镜从平行光路中移出。

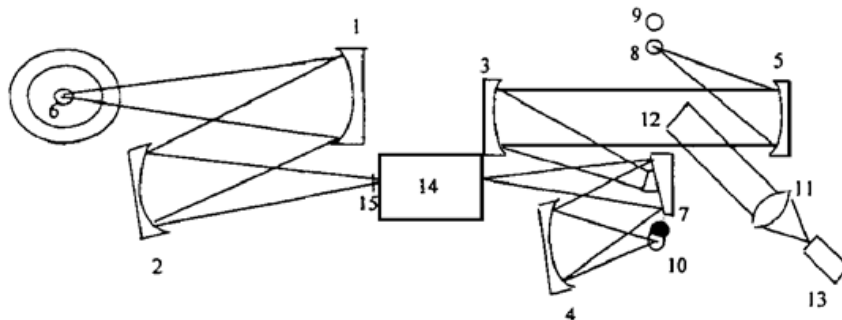


Fig. 2 Diagram of optical system of testing device. 1~ 5: concave mirror, 6: source, 7、12: beam splitter, 8: standard photodetector, 9: tested photodetector, 10: supplementary photodetector, 11: lens, 13: CCD, 14: monochrometer, 15: stop

### 3 系统自动测试程序设计

为了实现测试的自动化, 利用计算机对测试系统的各个环节的操作进行控制, 如快门的开合、电机的转动、测试数据的读取、文件存储等。采用 Borland C++ 3.1 FOR WINDOWS 编制在 Windows 操作环境下的自动测试程序, 其系统框图示于图 3。

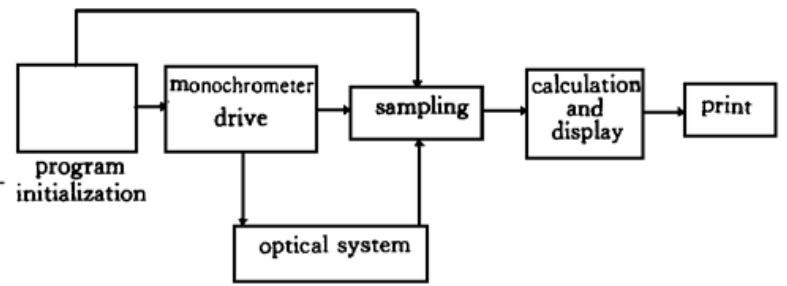


Fig. 3 Diagram of tecting software system

### 4 测试结果

用作者研制的测试装置对半导体光电探测器进行了测试。工作中使用了三个 UV444BQ PIN 二极管, 其中一个用作辅助探测器; 另一个出厂前标定好的用作标准探测器; 还有一个用作被测探测器。标准探测器给出的是整个波长范围的相对响应度值和在 630 nm 处的绝对响应度值。按(3)式、(4)式测试出在 630 nm 处的绝对响应度值和量子效率如表 1 所示。相对光谱响应度测试结果如表 2 所示。从表中可见重复性达到 0.2%。用其平均值画出的相对光谱响应曲线如图 4 所示。由于相对光谱响应度是对绝对光谱响应度进行归一化处理得到的, 那么由相对光谱响应曲线就能计算出绝对光谱响应曲线, 如图 5 所示。

Table 1. Testing result of absolute spectral responsiving and quantum efficiency

wavelength/nm	parameter	1	2	3	mean
630	absolute responsivity/(A/W)	0.4651	0.4656	0.4643	0.4650
630	quantum efficiency/%	91.1	91.2	89.9	91.0

Table 2. Testing result of relative spectral responsivity

$\lambda$ /nm	1	2	3	mean	$\lambda$ /nm	1	2	3	mean
400	0.4398	0.4391	0.4400	0.4396	740	0.8817	0.8807	0.8809	0.8811
420	0.4740	0.4742	0.4731	0.4738	760	0.8949	0.8953	0.8948	0.8950
440	0.5161	0.5138	0.5132	0.5144	780	0.9191	0.9188	0.9189	0.9190
460	0.5527	0.5517	0.5512	0.5519	800	0.9307	0.9329	0.9303	0.9303
480	0.5774	0.5771	0.5789	0.5778	820	0.9439	0.9452	0.9454	0.9448
500	0.6107	0.6121	0.6119	0.6116	840	0.9660	0.9661	0.9652	0.9658
520	0.6482	0.6488	0.6498	0.6490	860	0.9760	0.9769	0.9768	0.9766
540	0.6797	0.6801	0.6810	0.6803	880	0.9834	0.9829	0.9832	0.9832
560	0.7081	0.7079	0.7091	0.7085	900	0.9882	0.9888	0.9887	0.9886
580	0.7368	0.7377	0.7378	0.7374	920	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
600	0.7472	0.7477	0.7469	0.7473	940	0.9928	0.9924	0.9927	0.9926
620	0.7754	0.7746	0.7767	0.7755	960	0.9899	0.9891	0.9893	0.9894
640	0.8017	0.8014	0.8001	0.8011	980	0.9788	0.9799	0.9809	0.9799
660	0.8236	0.8238	0.8229	0.8234	1000	0.9488	0.9478	0.9476	0.9481
680	0.8320	0.8317	0.8334	0.8324	1020	0.8829	0.8833	0.8839	0.8834
700	0.8467	0.8455	0.8465	0.8462	1040	0.8312	0.8301	0.8306	0.8306
720	0.8678	0.8664	0.8669	0.8670					

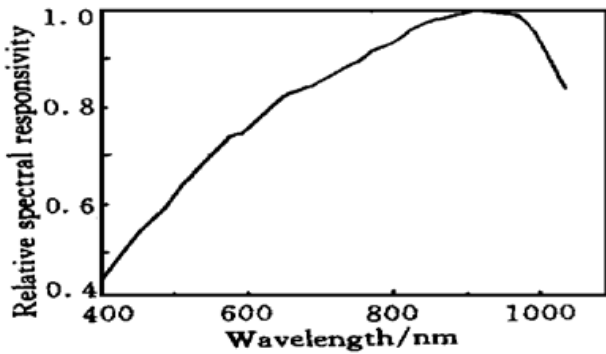


Fig.4 Relative spectral response curve of photo-detector

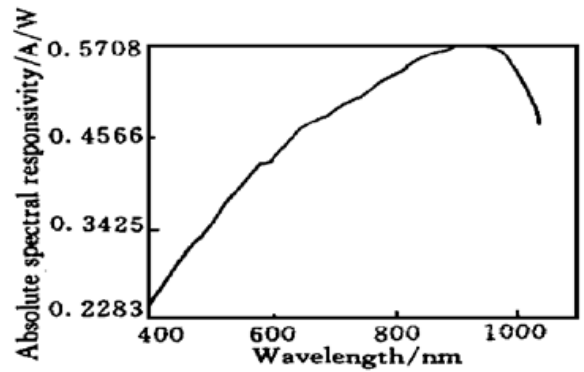


Fig.5 Absolute spectral response curve of photo-detector

**结 论** 我们研制的这套半导体光谱响应度测试装置采用双光路替代法, 引入了辅助探测器, 只要保证光源具有一定的稳定度, 被测探测器的光谱响应度  $R_i(\lambda)$  的精度只取决于标准探测器的响应度值  $R_c(\lambda)$  的标定精度及电参数的测量精度。如果只采用双光路法, 不引入辅助探测器, 那么(2) 式中的  $R_a(\lambda)$  用  $R_c(\lambda)$  替代, 可见被测探测器的光谱响应度  $R_i(\lambda)$  的精度不仅取决于标准探测器的响应度值  $R_c(\lambda)$  的标定精度及电参数的测量精度, 还取决于分束器分束比  $K$  的测量精度。本装置不仅能够对绝对光谱响应度、相对光谱响应度和量子效率进行测试, 还消除了光源不稳定引入的误差, 全部测试过程自动化, 测试不确定度达 1.32%、重复性达 0.2%, 为半导体光电探测器的发展提供了有利的技术支持。

### 参 考 文 献

- [1] 王振常, 易庆祥, 王 捷. 光电探测器相对光谱响应度标准. 计量学报, 1990, **11**(1) : 1~ 5
- [2] 吴继宗, 鹿景荣, 张风宏. 光电探测器相对光谱灵敏度测试方法的研究. 光学学报, 1989, **9**(8) : 758 ~ 761
- [3] Budde W. *Optical Radiation Measurement. Volume 4. Physical Detectors of Optical Radiation.* New York: Academic Press, 1983. 50
- [4] Eppeldauer G *et al.*. Relative spectral sensitivity distribution measurement of photoreceivers. *Appl. Opt.*, 1977, **16**(1) : 256~ 258

## A Device for Testing Spectral Responsivity of Semiconductor Photodetector

Liu Hui    Zhu Rihong    Zhu Yu    Chen Jinbang

(School of Ele-Engineering and Optoelectric Technology, NUST, Nanjing 210094)

(Received 15 June 1998; revised 1 September 1998)

**Abstract** The testing of spectral responsivity of semiconductor photo detector is discussed. A device used for testing spectral responsivity with wavelength ranged from 0.4~ 1.1  $\mu\text{m}$  is developed. It can be used to test relative spectral responsivity, absolute spectral responsivity and quantum efficiency, and the effect of instability of source can be eliminated. The testing results are compared.

**Key words** relative spectral response, absolute spectral response, quantum efficiency, monochromater.