

# 光电探测器相对光谱灵敏度 测试方法的研究

吴继宗 鹿景荣 张凤宏  
(天津大学精密仪器系)

## 提 要

本文在全面比较了各类光电器件相对光谱灵敏度  $S(\lambda)$  的基础上,设计了用热释电探测器作参考基准,用积分球作单色光辐射接收系统的  $S(\lambda)$  测量系统。由于设计上的优点,这一系统大大减少了入射辐射的偏振性,不均匀性,探测器的温漂和杂散辐射等因素带来的误差。

关键词: 光电探测器;热释电探测器;相对光谱灵敏度。

## 一、引 言

根据所用基准的不同,可将已有的光电探测器相对光谱灵敏度  $S(\lambda)$  的测量方法分为两大类:参考光源法和参考探测器法。前者如串接单色仪法<sup>[1]</sup>、宽带滤色片法<sup>[2]</sup>等,后者如参考热偶堆法<sup>[3]</sup>等。参考光源法要求光源和光路中各部分的光谱函数是已知的,参考探测器法则要求已知参考探测器的  $S(\lambda)$  函数及参考光路与样品光路两光谱函数的比值,但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。

以往的  $S(\lambda)$  测量系统的测量误差主要是下列几个因素引进的:(1) 双光路系统中两路光的光谱函数不同;(2) 单色辐射不均匀;(3) 单色辐射存在差程度不同的偏振;(4) 杂散辐射;(5) 探测器的暗电流;(6) 波长选择机构的波长误差;(7) 参考基准的光谱标定误差。

## 二、系统的设计

本文提出的  $S(\lambda)$  测量系统采用参考探测器法原理,以热释电探测器作参考基准,用积分球作接收系统,图1示出其原理图。

实现参考探测器法有光学成像法和分球图法两种光路结构。要将光辐射精确地、可重复地聚焦在几平方毫米的探测器光敏面上,用积分球作接收系统有简单实用、调整方便的优点。在光谱测量中,积分球还有许多特殊的优点。作为波长选择机构的单色仪存在着程度不同的偏振,当单色仪的入射光是偏振度为零的自然光时,出射光的偏振度是出射波长的函数,其值在10%到50%之间变化<sup>[4]</sup>。由于积分球内壁所涂的漫反射材料具有消偏振特性,而光线在球内要经过多次漫反射,所以积分球的消偏振特性是极好的<sup>[4]</sup>。利用积分球内表面各处照度相等的性质,在积分球的出射孔处可以接收到面积大而均匀的单色光,消除了单

色仪出射光的不均匀性。用透镜扩束是难以得到这种效果的。此外，积分球可以看成是一个独特的分束器，考虑到积分球内表面各处照度相等，参考探测器的  $S(\lambda)$ ，计算公式

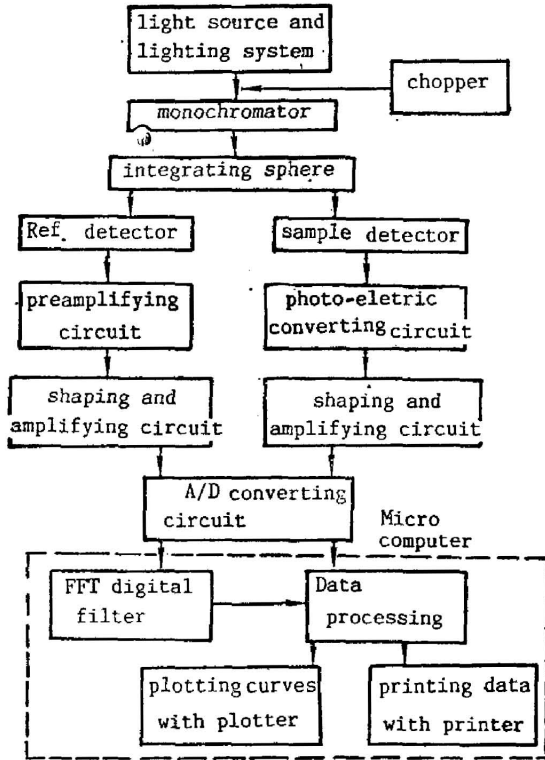


Fig. 1 Schematic diagram of the system

一个独特的分束器，考虑到积分球内表面各处照度相等，参考探测器的  $S(\lambda)$ ，计算公式

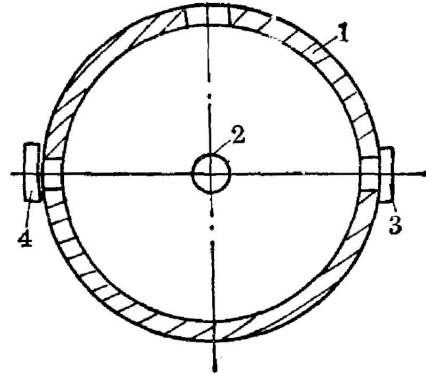


Fig. 2 Schematic diagram of the receiving system

1—Integrating sphere; 2—Entrance aperture; 3—Reference detector; 4—Sample detector

$$S_S(\lambda_0)_r = Q_R(\lambda_0)_r \frac{R_R(\lambda_0)_r \cdot I_S(\lambda_0)}{R_S(\lambda_0)_r \cdot I_R(\lambda_0)} / \frac{R_R(\lambda_m)_r \cdot I_S(\lambda_m)}{R_S(\lambda_m)_r \cdot I_R(\lambda_m)} \quad (1)$$

可以写成

$$S_S(\lambda_0)_r = S_R(\lambda_0)_r \frac{I_S(\lambda_0)}{I_R(\lambda_0)} / \frac{I_S(\lambda_m)}{I_R(\lambda_m)} \quad (2)$$

式中  $\lambda_0$  是单色仪出射光的波长， $\lambda_m$  是某一特定波长， $S$  函数表示相对光谱灵敏函数， $R$  函数表示光路的光谱函数， $I$  函数表示探测器的输出，下标  $S$  表示样品探测器，下标  $R$  表示参考探测器。所以，使用积分球作接收系统消除了双光路结构存在的两路光的光谱差别，同时避免了单光路结构中分时测量带来的误差。而且，积分球的密封性可把外界杂散辐射减至最小。

考虑到光电探测器光敏面大小的不同，在积分球上设计了两个样品探测器开孔，增强了测量系统的灵活性。图 2 为接收系统示意图。对各个开孔形状、结构的设计，考虑了杂散光的屏蔽和工作的方便、迅速。各个开孔的面积之和与球面积之比为  $0.25 < \frac{1}{10}$ ，满足积分球正确工作的条件<sup>[5]</sup>。

使用积分球的一个特殊问题是积分球对光能有衰减，衰减的程度取决于开口面积的大小和涂层的光谱反射率与理想情况的偏离程度。如果选用光电探测器作参考探测器，虽然其信噪比较高，但其工作波段较窄，限制了测试系统的使用范围。选用热电偶的问题是热电偶的时间常数大，响应速度慢，用在调制状态下有困难，这样，由于杂散辐射和温度变化等环

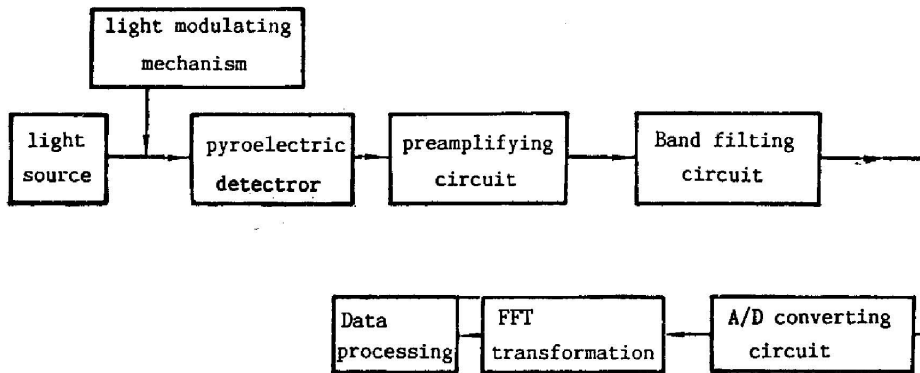


Fig. 3 Schematic diagram for pyroelectric signal receiving and processing

境因素引起的输出变化都将给测量结果带来误差，用热择电器件作参考探测器有效地解决了这些问题。

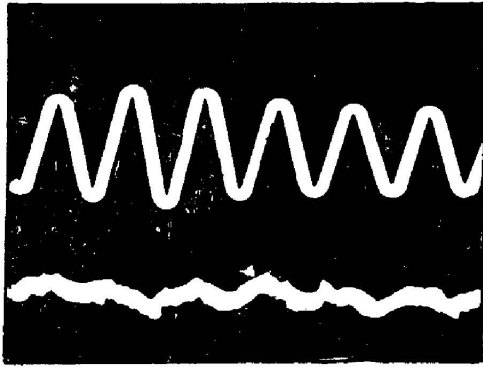


Fig. 4 Oscillogram of the signal the above from preamplifying circuit; below from the shaping and amplifying circuit

图 3 示出了热择电信号处理过程。图 4 和图 5 分别是数字滤波前后的波形图和频谱图。热择电器件输出信号的质量与调制波形、调制频率及调频稳定度有很大关系。仔细考虑光斑与调制盘的尺寸匹配，可将波形调制成较理想的正弦波形。为了减小随机因素的影响，A/D 转换电路在每一波长处取样三次，然后取平均值。图 6 是在本文提出的测量系统上实测得到的硅光电三极管的  $S(\lambda)$  曲线。为了检验测量系统的重复性精度，表 1 给出了在不同时间对同一支 2CU2E 型硅光电二极管的两次测量结果。(测量时的波长宽度  $\Delta\lambda=5.6\text{nm}$ ) 由测量结果可见，两次测量的绝对误差小于 1%，但在  $S(\lambda)$  值较低处，相对误差较大。这是由测试系统中参考探测器的白噪

误差小于 1%，但在  $S(\lambda)$  值较低处，相对误差较大。这是由测试系统中参考探测器的白噪

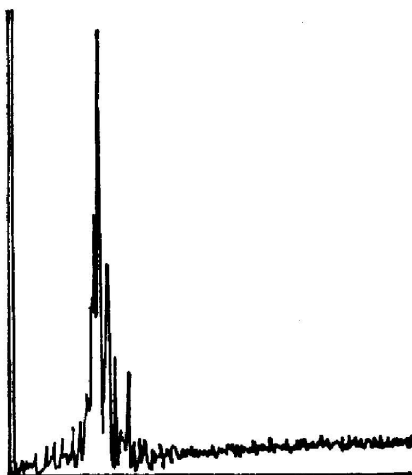


Fig. 5 Pyroelectric signal frequency spectrum by FFT

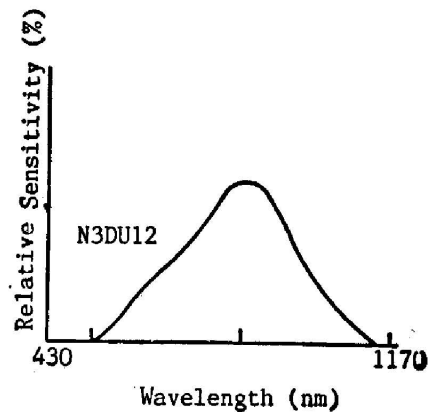


Fig. 6  $S(\lambda)$  curve of Type No. N3DU12 Si Photodiode with the system

Table 1 Data of a Type No. 2CU2E Si Photodiode with Twice Measuring

$\lambda$ (nm)	(1)	(2)	(1) - (2)	$\frac{(1) - (2)}{(1)}$	$\lambda$ (nm)	(1)	(2)	(1) - (2)	$\frac{(1) - (2)}{(1)}$	$\lambda$ (nm)	(1)	(2)	(1) - (2)	$\frac{(1) - (2)}{(1)}$
490	3.8	3.7	0.1	2.6	730	31.3	32.0	-0.7	-2.2	970	71.6	71.8	-0.2	-0.3
510	5.8	5.7	0.1	1.7	750	60.0	60.2	0.2	-0.3	990	59.3	59.7	-0.4	-0.7
530	7.1	7.1	0.0	0.0	770	76.6	77.2	-0.6	-0.8	1010	48.6	47.7	-0.9	-1.8
550	7.3	7.1	0.2	2.7	790	86.3	86.9	-0.6	-0.7	1030	39.8	39.2	-0.6	1.5
570	4.7	4.5	0.2	4.2	810	90.4	90.0	0.4	0.4	1050	32.3	31.5	0.8	2.5
590	2.6	2.5	0.1	3.8	830	91.6	91.6	0.0	0.0	1070	23.6	23.5	0.1	0.5
610	7.8	8.1	-0.3	-3.9	850	92.3	92.9	-0.6	-0.6	1090	17.4	17.1	0.3	1.7
630	15.2	15.4	-0.2	-1.3	870	95.2	96.1	-0.9	-0.9	1110	12.2	11.7	0.5	0.4
650	21.9	22.2	-0.3	-1.4	890	99.1	99.9	-0.8	-0.8	1130	7.0	7.0	0.0	0.0
670	41.2	41.4	-0.2	-0.5	910	100	100	0.0	0.0	115	3.5	3.5	0.0	0.0
690	31.8	31.4	0.4	1.2	930	95.5	95.8	-0.3	-0.3					
710	16.4	15.7	0.7	4.2	950	84.8	85.2	-0.2	-0.5					

声等随机误差因素引入的。进一步改进系统的电路设计,可以减小这一误差。测试系统的系统误差主要是参考探测器的标定误差,减小这一误差的途径是在更高精度的系统上标定参考探测器。

## 参 考 文 献

- [1] W. Budde; «Optical Radiation Measurements Volume 4 Physical Detectors of Optical Radiation», (Academic Press New York, 1983), 50.
- [2] 薛君教等; «光辐射测量原理和方法», (计量出版社, 北京, 1980), 358。
- [3] Blazek; *Offenlegungsschrift* DE 2904984 A1.
- [4] F. Grum, L. F. Costa; *Appl. Opt.*, 1974, 13, No. 10 (Oct), 2228.

## A measuring method of relative spectral sensitivity distributions of photoelectric detectors

WU JIZONG, LU JINGRONG AND ZHANG FENGHONG  
(*Department of Precision Instruments Tianjin University*)

(Received 14 December 1987; revised 7 July 1988)

### Abstract

In this paper, the relative spectral sensitivity distributions  $[S(\lambda)]_r$  of photoelectric detectors are classified and compared. On the basis of above considerations, a new method for measuring  $S(\lambda)_r$  using the pyroelectric detector as the reference and the integrating sphere as the monochromatic radiation receiver has been suggested and designed. Because of the advantages of system structure, such error factors as polarization and nonuniformity of incident radiation, temperature drift of detectors and stray radiation are decreased significantly.

**Key words:** pyroelectric detector; relative spectral sensitivity distribution.