

文章编号: 1002-1582(2009)05-0719-04

基于荧光差分的紫外光探测器研究*

邓晓敏, 许曼宜, 陈宏林, 李灶华, 黄佐华, 郑永驹

(华南师范大学 物理与电信工程学院, 广州 510006)

摘 要: 普通的硅光探测器, 如硅光电池或硅光电二极管等仅能对可见光和近红外光响应。利用无色透明紫外荧光涂料或油墨能吸收紫外线而发出红色荧光的特点, 把紫外荧光涂料涂在普通硅光电池的表面, 向紫外光区拓展了其光谱响应范围。采用声光光谱技术测量了荧光硅电池的光谱响应特性, 研制了荧光差分式紫外光探测器。

关 键 词: 紫外荧光; 差分; 油墨; 硅光电池; 紫外光探测

中图分类号: O434.2 文献标识码: A

Research of the UV detector based on fluorescence and difference technology

DENG Xiao-min, XU Man-yi, CHEN Hong-lin, LI Zao-hua, HUANG Zuo-hua, ZHENG Yong-ju

(South China Normal University School of Physics & Telecommunication Engineering, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Ordinary silicon photodetector, such as silicon-cell or silicon photodiode, can only make response to the visible light and the near-infrared. The use of colorless, transparent and ultraviolet fluorescent paint or ink can absorb ultraviolet light and emit visible light. The characteristics of the ordinary silicon-cell with the ultraviolet fluorescent ink painted on its surface are tested. The experiments show that it can response to ultraviolet light and has a wide spectral response district to UV light. With the differential method, a fluorescent differential UV light detector is developed.

Key words: ultraviolet fluorescence; differential; ink; silicon-cell; UV detection

0 前 言

探测太阳光紫外线的强度, 有利于合理安排生产、生活及娱乐, 保护人们身体健康。近十几年发展起来的以 GaP、GaAsP、SiC 和 TiO₂ 等为材料的紫外光探测器在可见光仍有一定的响应。如 G12119、G1126 型紫外光电二极管, 其光谱响应范围在 190~680nm, 峰值在 610nm 处。因此, 常常在其前面加上滤光玻璃, 这会引起紫外光探测灵敏度的降低。在进行太阳紫外光测量时, 往往存在较强的可见光或本底光, 这会影响到测量的准确度。

普通的硅光电池和光电二极管等光电器件不适合于直接对太阳光紫外线进行检测^[1]; 而光电倍增管虽可以用于紫外线的检测, 但其体积较大, 并采用高稳定度的高压电源供电, 耗电量大, 使用不方便^[2]; 光热探测器对紫外光的响应度较低^[3], 难以检测弱的紫外线, 且不易实用化。

我们提出一种基于荧光差分的太阳光紫外光强度探测的新方法。利用紫外荧光材料吸收紫外光后发射出可见荧光而进行光谱变换的特点^[4], 引入差分技术及双元探头方案, 消除可见光的影响, 实现太

阳光中紫外线强度的探测。把一种稀土无色紫外荧光油墨涂于普通的硅光电池上, 在紫外光的照射下, 其输出响应明显, 制作成功紫外荧光硅光电池。采用声光光谱技术, 测量了其光谱响应特性。光谱响应曲线表明, 向紫外区拓展了其光谱响应范围。设计了由双元探头、差分放大电路、AD 转换电路、单片机及 LCD 组成的紫外光光强探测器。

1 紫外荧光材料光谱特性测量

1.1 荧光材料的选择

无色的紫外荧光油墨有多种, 在紫外光照射下分别可发出红光、蓝光、黄绿的荧光。发射出不同可见荧光主要由调配的荧光粉所决定。选择荧光波长与紫外光波长相差最大, 且与硅光电池最大响应区匹配的红光荧光粉, 其主要成分为邻菲罗啉三氟乙酰丙酮合铕 Eu(TTA)₃phen 及邻菲罗啉三氟乙酰丙酮合钇 Eu(Y)(TTA)₃phen, 调配适量的亮光 PVC 油墨和 CS1000 # 719 快干水制成相应的紫外荧光油墨。最后把调好的紫外荧光油墨均匀涂于载玻片样品和硅光电池表面。其主要配方如表 1 所示。

* 收稿日期: 2008-11-14; 收到修改稿日期: 2009-03-17

E-mail: fullwing@126.com

作者简介: 邓晓敏(1986-), 女, 华南师范大学硕士研究生, 从事物理课程与教学研究。

表 1 紫外荧光油墨的制备配方

油墨品种	PVC 油墨/g	CS1000# 719 快干水/g	紫外荧光颜料/g
紫外线下红色	84.0	4.0	2.0

1.2 实验装置

为了实现紫外荧光与硅光电池的匹配,需精确测量紫外荧光材料光谱特性。为此,组建如图 1 的测量紫外荧光油墨的荧光光谱及激发光谱的实验系统。系统采用 100W 紫外型氙灯作为系统的光源,单色仪 A 为手动调节,单色仪 B 为卓立汉光 SBP300 单色仪。把紫外荧光油墨涂于载玻片上制成样品,置于样品池内,调节样品的角度使荧光进入单色仪 B,而反射的激发光被滤去。

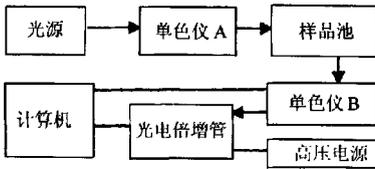


图 1 荧光材料光谱测量实验系统

1.3 紫外荧光油墨的荧光光谱

利用单色仪 A 对光源进行分光,范围为 250—500nm,用每一个波长的光照射样品测量发出可见光的发射光谱。结果得出利用 250—400nm 波长的紫外光照射样品,可测出红色荧光的光谱分布基本相同,得到其发射峰的位置都在 616nm 处。

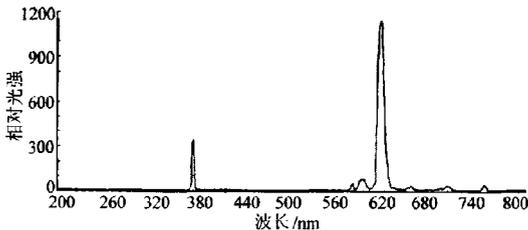


图 2 紫外荧光油墨荧光发射谱

由实验可知,紫外激发光在 375nm 处得到的荧光光强最强。图 2 为用 375nm 的激发光照射样品时得出的荧光发射谱。图中左边的小峰为激发光,右边的大峰为荧光。可见荧光发光波长范围在 575—660nm 之间,荧光发射峰的位置在 616nm 处,位于普通硅光电池的敏感区。

1.4 紫外荧光油墨的激发光谱

利用 SBP300 单色仪 B 使波长固定在 616nm 处,调节单色仪 A 在波长为 250—500nm 内扫描,得出在不同波长照射下荧光在 616nm 处的信号值,去除噪声的因素后,利用该信号值的数据与光源本底不同波长的信号值之比得出紫外荧光油墨的激发光谱(图 3)。由图中可知紫外荧光油墨的激发光谱范围在 268—390nm 之间的紫外区,激发峰在 376nm

处,适合于紫外光检测。

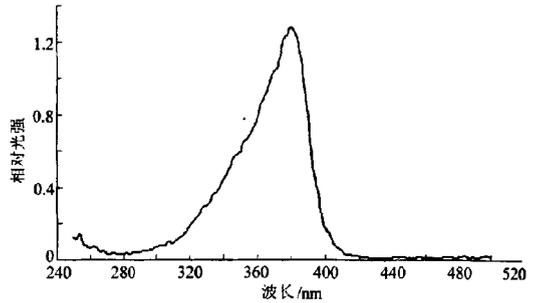


图 3 紫外荧光油墨的激发光谱

2 紫外荧光硅光电池的光谱响应

2.1 测量原理

光电探测器的光谱响应测量主要有标准光源法和标准探测器法。我们采用高灵敏度的光声探测器为标准探测器或参考探测器实现了紫外荧光硅光电池的光谱响应测定。假设光源的光强为 $I(\lambda)$,系统的透过率函数为 $T(\lambda)$,光声探测器的相对光谱响应为 $S_H(\lambda)$,紫外光探测器的相对光谱响应为 $S_D(\lambda)$,则光声探测器探测到的光声电压为

$$p_H(\lambda) = S_H(\lambda)I(\lambda)T(\lambda) \quad (1)$$

紫外光探测器探测到的光声电压可以表示为

$$p_D(\lambda) = S_D(\lambda)I(\lambda)T(\lambda) \quad (2)$$

式(2)与式(1)相除得

$$S_D(\lambda) = \frac{p_D(\lambda)}{p_H(\lambda)}S_H(\lambda) \quad (3)$$

在(3)式中, $S_H(\lambda)$ 常常是已知的。若光声探测器内的样品为碳黑,其吸收系数接近 1,对波长无选择性(即中性),取 $S_H(\lambda)$ 为 1,(3)式可简化为

$$S_D(\lambda) = \frac{p_D(\lambda)}{p_H(\lambda)} \quad (4)$$

由上式可知,利用光声探测器和紫外荧光光探测器的连续光谱测量数据 $p_H(\lambda)$ 和 $p_D(\lambda)$,即可得到紫外荧光光探测器的相对光谱响应 $S_D(\lambda)$ 。

2.2 测量系统

光谱响应测量系统由氙灯、单色仪、斩波器、透镜、光声探测器、锁相放大器、数据采集系统和计算机组成,实验系统的结构框图如图 4 所示。

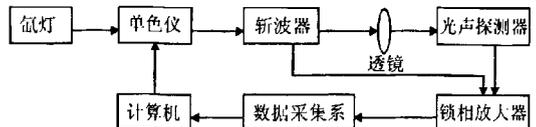


图 4 紫外荧光硅光电池光谱响应测量系统装置图

2.3 测试过程及结果分析

氙灯发出的光,经单色仪分光后,再由斩波器调

制,入射到光声探测器中。由于光声探测器出来的电信号比较弱,再经前置放大,由锁相放大器鉴频、滤波、放大,最后由数据采集系统采集,并保存到计算机中。先测量 275nm—780nm 范围内碳黑的光声信号,即为参考探测器的信号,待参考探测器测试完毕,再用普通的硅光电池或紫外荧光硅光电池取代光声探测器的位置,经锁相放大器处理后,测得其的光电信号。最后用软件进行归一化和拟合,便得到紫外荧光硅光电池的光谱响应曲线。

图 5 为普通的硅光电池光谱响应曲线,图 6 为涂上紫外荧光油墨的硅光电池的光谱响应曲线。测量范围为 275—780nm。两个光谱响应曲线都是重复两次实验的,由图可看出 A、B 两条曲线基本重合,可见该测量可重复性和准确性都非常高。由两图的曲线对比可得出,普通的硅光电池对 275—400nm 的紫外光基本没有响应,而涂上了紫外荧光油墨的硅光电池对 275nm 到 400nm 的紫外光响应得非常好,而对可见光的响应基本保持在原来没有涂紫外荧光油墨的响应强度,衰减不大。可见紫外荧光硅光电池能很好地探测出紫外光,实现了普通的硅光电池响应范围扩展。

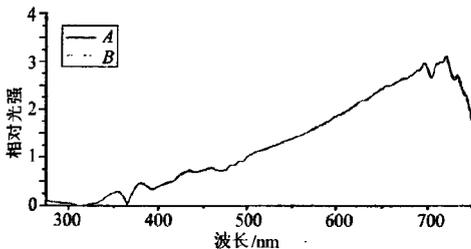


图 5 普通硅光电池的光谱响应曲线

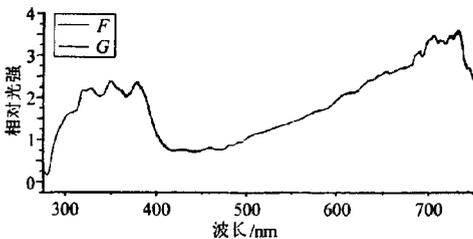


图 6 紫外荧光硅光电池的光谱响应曲线

3 荧光差分紫外光探测器

3.1 探头的处理及电路设计

为了消除环境光或太阳光可见光的影响,采用差分检测原理,设计了相应的差分放大、AD 转换及单片机等组成的处理电路。探测器的工作原理流程图如图 7 所示。

选择两只相同型号、规格及外形完全一样的平面封装的普通硅光电池,在其中一只硅光电池的透

光窗口表面均匀涂上一层紫外荧光油墨,厚度要适当,使其自然干燥。并与另一只涂有含紫外荧光粉成分的油墨的硅光电池并非焊接在一块电路板上,就形成了荧光差分紫外光探测器的探头。其电路模块如图 8 所示,两光电池分别涂有含紫外荧光粉成分油墨和不含紫外荧光粉成分的油墨,在白光的条件下,调节图 8 中的平衡电阻 R_4 使得其两端输出电位相等,相减为零。在有紫外线的条件下,荧光发光使得有荧光粉成分的涂层的光电池输出大于没荧光粉成分涂层的电池输出,使得两端净输出与紫外线强度成比例关系。

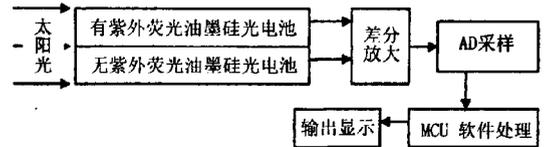


图 7 探测器工作原理流程图

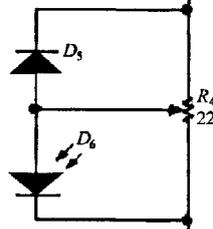


图 8 硅光电池探头电路模块

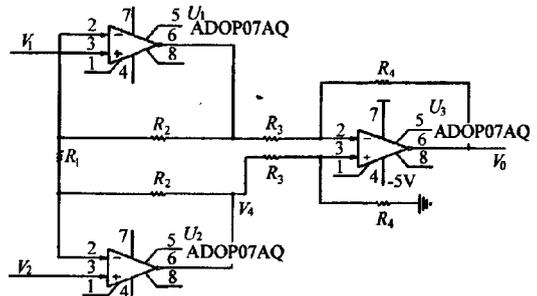


图 9 差分放大电路模块

图 9 差分放大电路模块, U_1 和 U_2 组成第一级差分式电路, U_3 组成第二级差分式电路。该放大器第一级是具有深度电压串联负反馈的电路,它有很高的输入阻抗, U_1 和 U_2 选用的是相同特性的运放,它们的共模输出电压和漂移电压也相等,通过 U_3 组成差分式电路后,可以互相抵消,故它有很强的共模抑制能力和较小的漂移电压,同时还可以有较高的差模电压增益。

AD 模块采用的是 12 位的 AD TLC2543, MCU 通过 TLC2543 对差分放大输出的信号进行采样及处理,并由液晶显示器显示。如图 10 所示。

3.2 实验结果与分析

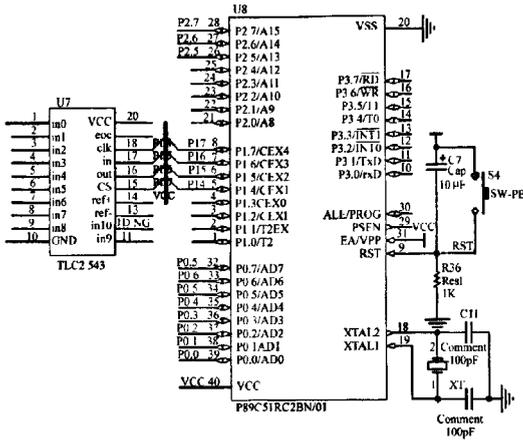


图 10 AD 模块和 MCU 处理输出显示电路

先利用钨丝灯对荧光差分紫外光探测器进行调零,再使用紫外型氙灯代替太阳,通过标准的紫外光探测器(TN-2340 紫外线强度计)与自制的荧光差分

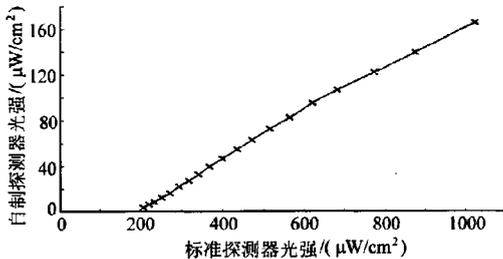


图 11 标准探测器与自制探测器紫外强度的关系

紫外光探测器在相同的条件下对紫外线进行测量,实现其输出定标,得到如图 11 的对应关系。可见,荧光差分紫外光探测器与标准紫外光探测器具有良好的线性关系,能够实现对紫外光光强的测量。对太阳光紫外线的比较测量也有很好的线性及稳定性。

4 结论

利用无色透明紫外荧光涂料或油墨能吸收紫外线而发出红色荧光的特点,测量了其激发及荧光光谱特性,把紫外荧光涂料涂在普通硅光电池的表面,实现了其光谱响应范围向紫外光区拓展。采用光声光谱技术测量了荧光硅电池的光谱响应曲线,确定了涂有紫外荧光油墨的硅光电池的特性并研制了荧光差分式紫外光探测器。实验表明:本紫外光探测器具有稳定可靠、制作成本低、工艺简单等优点,易于推广使用。

参考文献:

- [1] 杨聚庆,刘娟月. 常用光电器件的特性与选用技巧[J]. 精密制造与自动化,2008,(2):32—34.
- [2] 黄鹰,谢艳红,易新建. 基于荧光光谱法的钞票识别技术[J]. 应用光学,2008,29(4):629—638.
- [3] 殷庆瑞,王通,钱梦. 光声光热技术及其应用[M]. 北京:科学出版社,1991.
- [4] 田君,尹敬群. 稀土紫外荧光防伪油墨的制备[J]. 精细化工,1999,16(2):31—32.

(上接第 718 页)

元使其趋于最小。针对推导的数学模型进行了实验验证,通过控制算法,在反馈补偿回路中搜索 DOP 的最优值,发现在二阶 PMD 存在的情况下,其无法达到理想值 1,从而验证了关于脉冲展宽 $\Delta\tau$ 无法完全补偿的数学推导结果的正确性。

该数学模型的建立为偏振模色散补偿系统中的反馈控制单元的目标函数的选取奠定了一定的理论依据。同时,当系统的传输速率进一步提高的情况下,更高阶 PMD 对系统信号传输质量的影响将会突显出来,因此,对更高阶 PMD 效应的数学模型的研究及其近似模型的建立还有待于在进一步的工作中得出。

参考文献:

- [1] Han K H, Lee W J. Tracking and separation of time-varying principal states of polarization in optical fiber link for first-order PMD compensation and its filter-dependent performance[J]. Optical fiber technol.,2008,(14):268—274.
- [2] Zheng Y, Zhang X G, Chen L, et al. Analysis of degree of polar-

ization ellipsoid as feedback signal for polarization mode dispersion compensation in NRZ, RZ and CS-RZ systems[J]. Optics Communications, 2004,(234):107—117.

- [3] 张建忠,张晓光,于丽,等. 40 Gbit/s OTDM 系统中二阶偏振模色散自适应补偿技术研[J]. 光子学报,2005,34(4):561—565.
- [4] Kiechbusch S, Ferber S, et al. Automatic PMD compensator in a 160-Gb/s OTDM transmission over deployed fiber using RZ-DPSK modulation format[J]. Journal of lightwave technology, 2005,23(1):165—171.
- [5] 刘剑飞,于晋龙,王剑,等. 高速光纤通信系统中一阶偏振模色散自动补偿技术的研究[J]. 通信学报,2003,4(12):146—150.
- [6] 陈颖,朱奇光,朱丹丹,等. 基于 PSO 算法的 WDM 系统中自适应 PMD 补偿的性能分析[J]. 光学技术,2007,33(2):181—184.
- [7] 沈昱,周亚萍,周光涛,等. 动态偏振模色散补偿的自适应算法及实现[J]. 光子学报,2004,33(11):1351—1355.
- [8] 宋扬,王丽. 光纤色散效应对脉冲展宽的影响[J]. 激光技术,2008,32(6):568—571.
- [9] Zhang X G, Zheng Y, et al. Particle swarm optimization used as a control algorithm for adaptive pmD compensation[J]. IEEE Photon Technol, 2005,17(1):85—87.
- [10] 贾久春,陈弘达,陈雄斌,等. 甚短距离光传输(VSR-1)系统色散功率代价的分析[J]. 光学技术,2007,33(1):3—5.