

文章编号: 1001-3806(2008)05-0453-03

用光声光谱法测量紫外光探测器的光谱响应

罗泽鹏, 黄佐华*, 唐志列

(华南师范大学 物理与电信工程学院, 广州 510631)

摘要: 为了解决紫外光探测器的光谱响应难以准确测量的问题, 采用光声光谱的方法, 以自制的高灵敏度光声探测器为标准探测器, 建立了一套紫外光探测器的光谱响应测量系统, 分别进行了理论分析和实验论证, 取得了两种紫外光探测器的光谱响应的数据。实验结果表明, 该测量系统结构简单、工作可靠、重复性好, 在 250nm ~ 450nm 范围内, 能较准确地测量紫外光探测器的光谱响应曲线。这一结果对解决紫外光探测器的光谱响应难以准确测量的问题是有帮助的; 该系统也适用于可见光探测器的光谱响应的测量和固体样品的光声光谱分析。

关键词: 光谱学; 相对光谱响应; 光声光谱; 紫外光探测器; 光声探测器; 氙灯

中图分类号: O433.1 文献标识码: A

Measurement of spectral response of ultraviolet detector using photoacoustic spectroscopy

LUO Zepeng, HUANG Zuo-hua, TANG Zhi-lie

(College of Physics and Telecom Engineering South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

Abstract In order to obtain the spectral response of ultraviolet detector more exactly, a measuring system of spectral response based on the photoacoustic spectroscopy with the photoacoustic detector of high sensitivity as a reference one was established. Due to this technique, the relative spectral response of two kinds of ultraviolet detector was measured. The experimental results show that this measuring system is simple, reliable and easily repeated. Between the 250nm and 450nm, it can exactly measure the spectral response of ultraviolet detector. Furthermore, it also can be used to measure the spectral response of visible photonic electronic detector and analyse the photoacoustic spectroscopy of solids samples.

Key words spectroscopy; relative response; photoacoustic spectrum; ultraviolet detector; photoacoustic detector; xenon lamp

引 言

近十几年来, 随着半导体材料器件的快速发展, 已出现了各种性能及型号的紫外光探测器^[1]。紫外光探测器的光谱响应特性是它一个非常重要的性能指标之一。因此, 准确地测量紫外光探测器的光谱响应曲线, 对紫外光探测器的性能评价、器件的制造和推广应用有十分重要的意义^[2]。测量光探测器的光谱曲线的方法主要有两种: 标准探测器法和标准光源法。通常采用热释电、热电偶、光电二极管、光电倍增管等作为标准探测器, 但它们在紫外波段存在着响应灵敏度低或测量带宽过窄等问题, 测量准确度受到限制。作者利用自制的高灵敏度的光声探测器, 建立一套基于光声光谱技术的紫外光探测器光谱响应测量系统, 较准确地测定了两种紫外光探测器的光谱响应曲线。

通过实验发现, 该测量系统能快速、高效地得到紫外光探测器的光谱响应曲线, 适合于紫外光及可见光探测器光谱响应的测量, 也可用于固体样品的光声光谱分析。

1 测量原理

1.1 光声光谱的原理

光声光谱是建立在光声效应基础上的一种高灵敏度光谱测量技术^[3], 它反映了光与物质相互作用的特性。光声光谱的波长范围很宽, 从紫外区经可见区一直到红外区, 能检测和分析弱吸收、高反射和散射样品的光声和吸收特性, 是一种非破坏性和普适性比较强的光谱探测方法。在光声效应中, 样品吸收调制的光能而受到交变加热, 部分热能通过热传导流入与它相接触的气体, 产生交变加热的振动, 犹如一个振动活塞而向其余气体发射声波, 最后由微音器接收, 从而产生了光声信号。由固体罗森威格-格什奥 (RG) 理论, 得微音器光声信号的强度为^[3]:

作者简介: 罗泽鹏 (1980-), 男, 硕士研究生, 主要从事光电技术及其应用方面的研究。

* 通讯联系人。E-mail: zuohual@scnu.edu.cn

收稿日期: 2007-06-27; 收到修改稿日期: 2007-12-21

$$p_g(\lambda) = K\beta(\lambda)I_0(\lambda) \quad (1)$$

式中, $\beta(\lambda)$ 为试样的光吸收系数, $I_0(\lambda)$ 为入射光强, K 为比例系数(与光声池结构、斩波器频率、麦克风灵敏度等有关的比例常数), λ 为波长。通过检测不同波长时的 $\beta(\lambda)$, 即可得到被测材料的光声光谱。

1.2 标准探测器法

标准探测器法较容易实现紫外光探测器的光谱响应测定。以高灵敏度的光声探测器作为标准探测器, 或作为参考探测器。实验中, 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信号为^[2]:

$$p_h(\lambda) = S_h(\lambda)I(\lambda)T(\lambda) \quad (2)$$

紫外光探测器探测的光电信号可以表示为:

$$p_d(\lambda) = S_d(\lambda)I(\lambda)T(\lambda) \quad (3)$$

(3)式与(2)式相除得:

$$S_d(\lambda) = \frac{p_d(\lambda)}{p_h(\lambda)}S_h(\lambda) \quad (4)$$

在(4)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 $S_h(\lambda) = 1$, (4)式可简化为:

$$S_d(\lambda) = \frac{p_d(\lambda)}{p_h(\lambda)} \quad (5)$$

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

2 光谱响应测量系统的组建

2.1 系统的结构框图

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 1 所示^[8]。

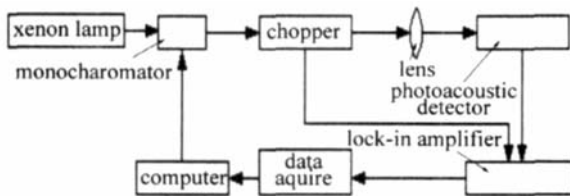


Fig 1 Setup for the measurement system of the spectrum responsivity

2.2 光声探测器

光声探测器主要由光声池、麦克风和前置放大器组成。根据 RG 理论和光声池的设计思想及方法, 设计了一种圆柱形非共振光声池, 结构如图 2 所示, 主要由光窗、固定旋钮、空气室、样品池、推进旋钮等构成, 在固定旋钮、推进旋钮、光窗与光声池主体之间用密封圈密封好, 安装麦克风的部位则用密封胶密封, 保证空

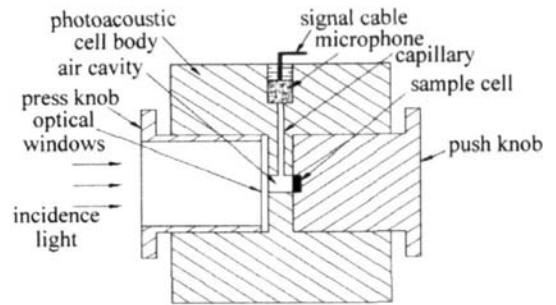


Fig 2 The structure of non resonant photoacoustic cell

气室良好的气密性。其中光声池的光窗和入射光的会聚透镜皆可采用对紫外光吸收极少的石英玻璃制成, 使得氙灯发射的紫外光能量能最大限度达到光声池内, 被碳黑吸收。

麦克风是光声探测器中一个关键的部件, 它的响应特性对测量结果具有很重要的影响。在光声探测器中主要用到的传声器有驻极体麦克风^[9]、电容麦克风、压电元件、光纤光声气体传感器^[10]等。由于驻极体麦克风内置了一个参量匹配结型场效应管, 不用再考虑声压感应器——驻极体与后继电路的耦合问题, 可以直接从外部引线与放大电路相连接, 且体积小, 安置和使用方便。通过对一系列麦克风参量分析与实验的检测, 选用型号为 WM-61A 驻极体麦克风作为传声器并研制了相应的放大电路^[11]。

2.3 光源选择

对于紫外波段的光谱测量, 选择紫外区输出功率较强的光源是很重要的, 而且, 由(2)式和(3)式可知, 光声信号与入射光强度成正比, 因此, 选择合适的光源是实验能否成功的关键之一。系统采用大功率紫外型氙灯作为系统的光源, 灯管的型号为 RA-1000W, 其工作电压为 220V, 工作电流为 40A, 发射光谱从 200nm ~ 1200nm。研制了卧式和立式两种结构的灯箱, 卧式结构采用椭球面反射镜以提高光源的能量利用率, 立式结构则可以获得非常小的光斑, 有利于提高光谱分辨率。图 3 是磁场高压短弧卧式球型氙灯在紫外区 250nm ~ 400nm 之间的光功率谱图。由图 3 可知该氙灯在 280nm ~ 400nm 之间的紫外光强度比较大,

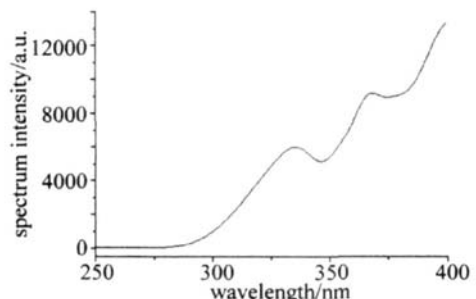


Fig 3 The power spectrum of xenon lamp between 250 nm and 400 nm using the technology of photoacoustic spectrum

而在 250nm ~ 280nm 之间则显得比较小,实际上该范围的信噪比是比较好的(信噪比不小于 28dB),适合作为本实验的紫外光源。

2.4 分光系统及测量条件

实验分光系统采用 SBP300 型单色仪,具有自动转换光栅的功能,光谱范围在 200nm ~ 2500nm 内可调,其读数精度达 0.1nm,波长准确度为 0.2nm (1200 line/mm 光栅),配有与电脑相连接的单色仪控制及数据采集系统。

单色仪内安装了 3 块平面反射闪耀光栅,参量如下:第 1 块光栅的刻线是 1200 line/mm,闪耀波长为 300nm,波长范围为 200nm ~ 600nm;第 2 块光栅的刻线是 600 line/mm,闪耀波长为 750nm;第 3 块光栅的刻线是 300 line/mm,闪耀波长为 1250nm。实验中使用的是第 1 块光栅。锁相放大器和斩波器采用的是由美国 Stanford Research System 公司生产的 SR530 型。

测量前,先进行光路调试和仪器参量设置,由于斩波频率与透过的光通量是反比,因此斩波频率理论上应当尽量调小,但斩波频率过小,系统的本征噪声就越大。要多次测量和调试,找到一个最佳点,实验中的斩波器频率为 20Hz。同时,锁相器的参考信号跟被测信号之间的相位调节以及积分时间常数也很重要。测试过程如下:氙灯发出的光经单色仪分光后,再由斩波器调制,入射到光声池中,经光、热、声、电过程,最终由驻极体微音器转化为电信号,由于微音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 250nm ~ 450nm 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,再用紫外光探测器取代光声探测器的位置,测得紫外光探测器的光电信号。最后用软件进行归一化和拟合,便得到紫外光探测器的光谱响应曲线。

3 实验结果与分析

氙灯点亮 5m 左右时测量波长在 300nm 处的稳定性,采集 1000 次数据之后,得到其稳定度为 2.833%。图 4 和图 5 为分别用光声光谱技术测量得到 TN-2340 型紫外光探测器(台湾泰纳公司产)和采用紫外光电二极管 G5842 自制的紫外光探测器的归一化光谱响应曲线,测量时出射狭缝和入射狭缝的缝宽均为 2.5mm,扫描间隔为 0.5nm,积分时间为 3s,灵敏度为 500mV。

图 4 中 1, 2, 3 为不同日期测量所得 3 条曲线,说明系统具有很好的重复性和稳定性,特别是在 275nm ~ 450nm 之间,3 条谱线基本完全吻合,在 360nm 处有

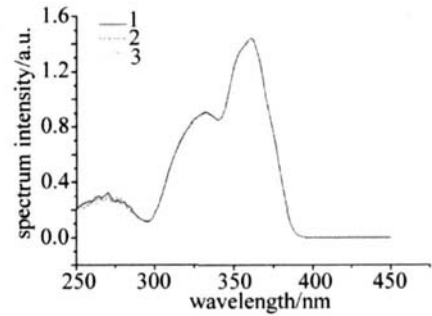


Fig. 4 The spectrum responsibility of ultraviolet detector of TN-2340

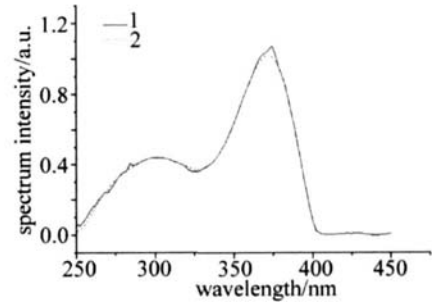


Fig. 5 The spectrum responsibility of ultraviolet detector of G5842

1 个吸收峰,说明该处的量子转换效率最高,同时在 325nm 处也有 1 个肩峰。谱线在 295nm 处有 1 个极小值,在 370nm 附近有一个陡峭的截止边。谱线中 400nm ~ 450nm 之间的紫外光探测器响应信号为 0 可见紫外光探测器对可见光区响应为 0 这与探测器说明书给出的指标相一致。在 250nm ~ 275nm 之间,由于氙灯在该区域的紫外辐射比较弱,而且紫外光探测器本身的灵敏度范围有限,因此所得的信号信噪比不够理想,噪声对光谱曲线波形还是有影响。但可以看到 3 条谱线在该区域的峰及走向还是基本一致的,可见实验可重复性强,故对实验所得结果分析没有太大影响。图 5 是 G5842 紫外光探测器的光谱响应曲线,曲线 1 是利用自组建的基于光声光谱技术的紫外光探测器光谱响应测量系统所测到的,曲线 2 是 HAMAMATSU 公司提供的参考谱线。可见在 280nm ~ 450nm 之间所测得的谱线跟 HAMAMATSU 公司提供的谱线基本一致^[12],在 300nm 处有一个肩峰,在 375nm 出现最高峰。

4 结论

根据光声光谱原理,组建了一套紫外光探测器的光谱响应测量系统,并对两种型号的紫外光探测器进行测量。实验结果表明,该测量系统灵敏度高,工作可靠,重复性好,能够克服传统方法中测量紫外光探测器光谱响应难的问题,获得了比较准确的紫外光探测器光谱响应曲线,为紫外光探测器的光谱响应特性的测定提供了一种简易的方法。

(下转第 459 页)

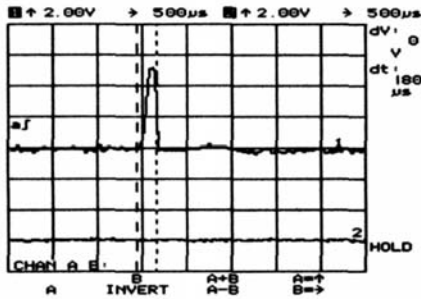


Fig 8 Waveforms of signal as the 37 light tracer passing screen

宽 $188\mu\text{s}$ 可得到 37 曳光弹的速度约为 967m/s

通过试验可知, 该测试系统的方案可以满足要求, 从而验证了此光电靶的可行性。

5 结 论

该光电靶测试系统可以全天候使用, 利用此测试系统对 7.62mm 弹丸、曳光弹的不同尺寸、不同速度范围及光干扰下的弹丸的速度进行了试验。证明采用补偿技术和原向反射屏形成大面积光幕的光电测试系统解决了环境光和火光对于系统的干扰, 提高了系统抗火光干扰的能力和系统对工作环境的自适应能力以及系统的灵敏性。不但可以实现对常规枪弹的速度进行测试, 而且可满足弹道散布范围大及大口径弹丸的速度测试需求。

(上接第 455 页)

参 考 文 献

- [1] HAO R T, LIU H L. Ultraviolet detectors and their development [J]. Optoelectronic Technology, 2004, 24(2): 129-133 (in Chinese).
- [2] WANG Ch F, HUANG D Q, LOU D W. A method for measuring characteristics of broadband spectral response [J]. Optoelectronic Engineering, 2002, 29(1): 48-51 (in Chinese).
- [3] ROSENEWAIG A, GERSHO A. Photoacoustic effect with solids: a theoretical treatment [J]. Science, 1975, 190(4214): 556-560.
- [4] HE J F, TAN Y. Development of photoacoustic imaging technology in biomedicine [J]. Laser Technology, 2007, 31(5): 530-533 (in Chinese).
- [5] ROSENEWAIG A. Photoacoustic and photoacoustic spectroscopy [M]. Beijing Science Press, 1986, 307 (in Chinese).
- [6] KHAN M I, DEBOLD G J. The photoacoustic effect generated by laser irradiation of an isotropic solid cylinder [J]. Ultrasonics, 1996, 34

参 考 文 献

- [1] AN X Q, ZHU B Q, NG R Sh. Detective power of photoelectric imaging system on $1.06\mu\text{m}$ laser focal spot [J]. Laser Technology, 2001, 25(6): 441-445 (in Chinese).
- [2] NI J P, WANG T L. The principle and application of screens [J]. Journal of Xi'an Institute of Technology, 1997, 11(1): 31-36 (in Chinese).
- [3] LIU Q H, SHI H F, YAN B X. The infrared light screen system and accuracy analysis [J]. Acta Photonica Sinica, 2004, 33(11): 1404-1411 (in Chinese).
- [4] SHI D H, LIU X J, HUANG G Q, et al. Study on transmission laser detection instrument for runway visibility [J]. Laser Technology, 2003, 27(5): 196-200 (in Chinese).
- [5] TANG B, WANG X Z, YAN H. Portable bullet velocity measurement system based on laser screen target [J]. Journal of China Three Gorges University (Natural Sciences), 2004, 26(6): 533-536 (in Chinese).
- [6] ZHAO D E, PAN G Z, WANG G. The establishment and optimization of mathematical models for the large effective area laser screen for velocity measuring [J]. Journal of North China Institute of Technology, 2000, 21(4): 283-285 (in Chinese).
- [7] ZHAO D E, HAO R T, REN Sh M. A large area photoelectric detector in high speed [J]. Journal of Test and Measurement Technology of National Capital Institute of Telecommunications, 1999, 13(4): 212-216 (in Chinese).
- [8] HAO X J, WANG G, DU H J, et al. Design of photoelectric detector system used in the triggering laser screens [J]. Journal of North China Institute of Technology, 2002, 23(3): 196-200 (in Chinese).
- [9] (1): 19-24.
- [7] ROSENEWAIG A, GERSHO A. Theory of the photoacoustic effect with solids [J]. J A P, 1976, 47(1): 64-69.
- [8] YU Q X, LI Sh Ch, LIANG X P, et al. Study of sensitive photoacoustic spectrometer and biological application [J]. Laser Technology, 2001, 25(1): 15-18 (in Chinese).
- [9] SU G F, CHEN T, YUAN H Y. New model for a photoacoustic fire detection system [J]. Fire Safety Science, 2004, 13(4): 219-224.
- [10] WANG Y T, TIAN Q G, ZHANG Y Y. Study on SO_2 optical fiber sensor based on photoacoustic effect [J]. Optical Technique, 2004, 30(1): 92-94 (in Chinese).
- [11] WANG X D, HUANG Z H, TANG Zh L. A practical photoacoustic spectroscopy experiment system [J]. Optical Instruments, 2006, 28(5): 52-56 (in Chinese).
- [12] Hamamatsu Corporation. The capability parameter of G5842[EB/OL]. [2007-11-01]. <http://sales.hamamatsu.com/index.php?id=13183672&language=&>