

# 远红外激光光声检测系统\*

苏锦文 熊守仁

(中国科学院上海技术物理研究所红外物理开放研究实验室, 上海, 200083)

钱梦豚 吴大同

(同济大学声学研究所, 上海, 200092)

**摘要**——本文报道一种新的远红外激光光声检测系统; 给出应用该系统对十八种氨基酸和一种 DNA 粉末样品进行亚毫米波吸收率测量的初步结果。测量数据的最大均方根偏差小于  $4 \times 10^{-4}$ 。

**关键词**——远红外, 亚毫米波, 激光, 光声光谱, 光声检测。

## 1. 引 言

材料的吸收光谱一般是通过光透射法或反射法测量得到的。但对非常透明的样品, 或对于吸收非常强的样品, 以及对于粉末、无定形固体等具有复杂反射性质的样品, 应用一般光学方法, 很难得到实验结果。新发展的光声光谱(PAS)检测技术, 能有效地解决上述难题, 并已出现了多种可见和中红外谱区的 PAS 检测仪器<sup>[1]</sup>。但在作者本项研究工作之前, 远红外谱区(40  $\mu\text{m}$ ~3 mm)的 PAS 检测仍为空白。

远红外谱区吸收的测量, 通常应用傅里叶变换光谱(FTS)光学方法<sup>[2]</sup>。然而, 对于不透明的粉末材料或具有复杂反射特性材料, 远红外谱区的吸收测量十分困难。尤其是生物样品, 应用 FTS 光学方法, 很难得到结果。于是有人将生物样品先行脱水, 再研成粉末, 将粉末稀疏地掺入能较好透过远红外辐射的聚乙烯粉末中, 然后压成片状光学测量试样, 应用 FTS 测量透射光谱, 再推算出生物样品自身的吸收<sup>[3]</sup>; 也有人将脱水后的生物样品粉末悬浮在对远红外激光透明较好的环己烷(cyclohexane)溶剂中进行测量<sup>[4]</sup>。由于这些方法已破坏了生物体, 因此得不到真实的实验结果。

我们应用光泵远红外激光器作为辐射源, 将 PAS 技术应用到远红外谱区, 并对十八种氨基酸和一种 DNA 粉末样品进行了亚毫米波吸收率的检测。

本文 1989 年 8 月 30 日收到。

本项目是国家自然科学基金资助课题。

## 2. 测量原理与实验装置

远红外激光光声检测原理与其它激光光声光谱测量原理基本相同<sup>[2]</sup>。差别在于：其辐射源采用光泵远红外激光器系统<sup>[5]</sup>，在检测系统中，应用了短亚毫米波传输与检测技术，以及应用作者多年来在光声腔和光声检测系统方面的研究成果<sup>[3~6]</sup>。

图 1 是测量系统中光声池的结构图。光声池中，光声腔体积约为  $0.16 \text{ cm}^3$ ；腔体上方是厚度为  $1 \text{ mm}$ ，直径为  $12 \text{ mm}$  的聚四氟乙烯远红外窗口；腔体的下半部是体积约为  $0.08 \text{ cm}^3$  的样品池。当调制的聚焦远红外激光束通过窗口入射到样品表面时，样品因吸收远红外辐射而被周期性地加热，并通过热传导使样品上表面的空气薄层周期性地加热而振动，由此在腔体内产生声波振动，其振动频率与激光调制频率  $f$  相同。声波经腔内长约为  $6 \text{ mm}$ ，直径为  $1 \text{ mm}$  的传声管耦合到驻极体电容微音器，由此被转换成电信号，再输入锁相放大器进行检测。

图 2 是远红外激光光声检测系统实验装置示意图。其中 OPFIRL 是光泵远红外激光器系统，它由  $\text{CWCO}_2$  选频激光器和远红外波导激光器组成，可产生波长从几十微米至几毫米的数十条光谱线<sup>[10~11]</sup>。图 2 中  $T$  为玻璃镀金波导管<sup>[12]</sup>， $S$  为亚毫米波分束器，由 Mylar 薄膜组成； $C$  为可调频斩波器，被调制的远红外激光束通过聚焦镜  $F$  会聚在光声池样品表面上； $P.C$  是光声池。由光声池得到样品的光声信号  $V_s$ ，样品的更换是在光声池整体固定条件下进行的，这样可减小系统误差。 $L_1$ 、 $L_2$  为锁相放大器，可调频斩波器  $C$  的参考信号同时送入  $L_1$ 、 $L_2$ ； $D$  为中科院上海技术物理研究所研制的 GAT-2P2 型热释电探测器，它在红外至远红外相当宽的光谱区域内具有平坦的光谱响应特性<sup>[13]</sup>。由热释电探测器  $D$  给出远红外激光束基准信号  $V_D$ 。

实验中采用  $400 \text{ Hz}$  斩波频率，光声信号  $V_s$  和热释电探测器信号  $V_D$  分别经锁相放大器后输入计算机系统。计算机程序设计中对每一样品测量自动取样  $100$  次，并取平均值为

$$\bar{N}_s = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{100} V_s / V_D; \quad (1)$$

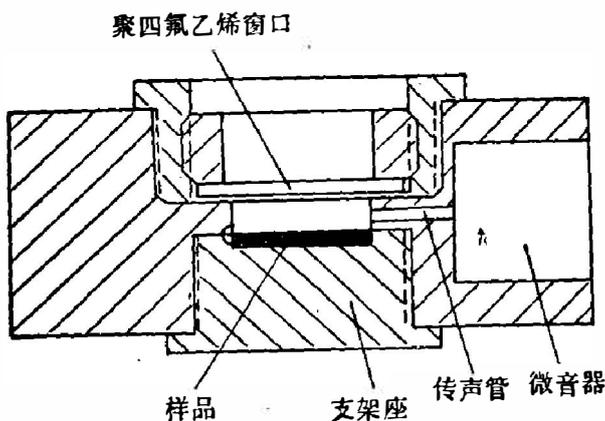


图 1 光声池结构图

Fig. 1 Structure of photoacoustic cell.

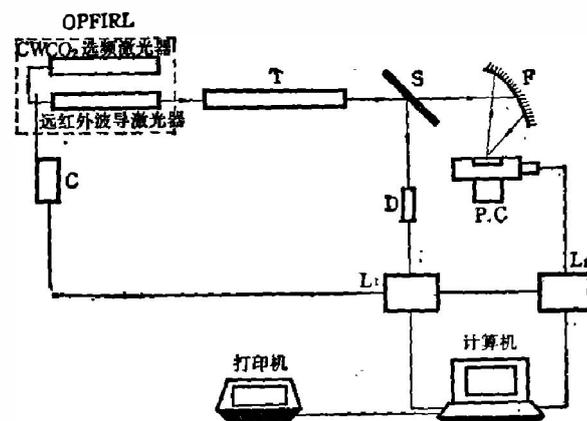


图 2 远红外激光光声检测系统示意图

Fig. 2 Schematic diagram of FIR laser photoacoustic detecting system.

由式(1)所得平均值可消除由于远红外激光输出功率波动对测量的影响。

测量中用酒精与煤油的混合物燃烧时所产生的烟黑作为标准吸收样品  $S_0$ , 用它对所有样品光声测量数据作归一化处理

$$\bar{A}_S = \bar{N}_S / \bar{N}_{S_0} \quad (2)$$

全部测量数据由计算机处理、储存和打印输出。

### 3. 实验结果

表 1 列出对十八种氨基酸和一种 DNA 粉末样品的亚毫米波吸收率测量的结果。测量中, 计算机同时给出每个数据组测量的均方根偏差。表 1 中的测试数据, 其均方根偏差值在  $1 \times 10^{-5} \sim 3.4 \times 10^{-4}$  之间。

表 1 氨基酸及脱氧核糖核酸(DNA)粉末样品在三种亚毫米波波长下的吸收率

Table 1 Absorptivity of amino acid and DNA at FIR Laser lines.

序 号	样 品	吸 收 率 (%)		
		118.8 $\mu\text{m}$	432.6 $\mu\text{m}$	447.2 $\mu\text{m}$
1	DL- $\alpha$ -氨基丙酸	7.5	13.0	14.5
2	氨基醋酸	14.3	3.1	11.8
3	天门冬酰胺	23.6	4.3	15.5
4	谷 氨 酸	14.8	3.9	4.2
5	L-白氨酸	9.6	5.8	17.5
6	缬 氨 酸	7.3	3.1	7.2
7	DL-丝氨酸	9.2	2.0	3.9
8	L-赖氨酸	7.3	2.7	3.5
9	L-酪氨酸	4.2	1.7	5.1
10	L-组氨酸	10.2	1.7	8.9
11	L-精氨酸	11.9	2.5	7.2
12	L-色氨酸	3.6	2.7	13.4
13	L-苏氨酸	3.8	1.6	3.6
14	D-苯丙氨酸	5.9	1.2	6.3
15	L-甲硫氨酸	3.2	2.5	6.5
16	L-半胱氨酸	7.2	1.7	5.7
17	L-天冬氨酸	4.4	1.4	3.9
18	DL-异白氨酸	2.9	1.2	6.0
19	脱氧核糖核酸(DNA)	6.5	4.4	14.5

### 4. 结 语

(1) 我们已成功地建立了远红外激光光声检测系统, 应用该系统对十八种氨基酸和一种 DNA 粉末样品进行了测量, 测量数据的最大均方根偏差小于  $4 \times 10^{-4}$ ;

(2) 测量中采用的光谱吸收归一化条件(烟黑)尚待研究和改进。这是因为限于目前条件, 未对该种烟黑标准的远红外吸收率谱进行定标测量;

(3) 本实验中, 仅对三种亚毫米波波长进行了初步实验, 为获得远红外光声光谱, 对其多谱线的研究工作正在进行之中。

致谢——湖南师范大学生物研究所胡能书、朱泽瑞同志提供了测试样品, 并进行课题研究合作, 谨致谢意。

### 参 考 文 献

- [1] Yoh-Han pao, *Optoacoustic Spectroscopy and detection*, New York: Academic press, 1977, 194~238.
- [2] 沈学础, 物理学进展, 2(1982)3, 275~322.
- [3] Husain S. K. and Hasted B., *7th Inter. Conf. on IE & mmwaves*, conf. digest 1982, p 24.
- [4] Tadaashi Fuse et al., *9th Inter. Conf. on IE & mm waves*, conf. digest, 1984, p27-28.
- [5] Mary S. Tobin *Proc. IEEE*, 73(1981), 1: 61~85.
- [6] 钱梦骏, 光学与光谱技术, (1982), 4: 142~5.
- [7] 钱梦骏, 魏墨盒, 声学学报, (1983), 6: 321~330.
- [8] Wei Mo-an Qian *Mémoires de l'Académie des Sciences de Paris*, (1963), 8: 299~302.
- [9] 钱梦骏, 魏墨盒, 声学技术, (1985), 12: 1~6.
- [10] 苏锦文等, 红外研究, 3(1984), 1: 26~32.
- [11] 苏锦文等, 红外研究, 5(1986), 3: 167~174.
- [12] 熊守仁等, 红外研究, 5(1986), 3: 161~166.
- [13] 陈祖培, 顾君侠, 红外研究, 5(1986), 5: 384.

## FIR LASER PHOTOACOUSTIC DETECTION SYSTEM\*

SU JINWEN, XIONG SHOUREN

(Laboratory for Infrared Physics, Shanghai Institute of Technical Physics,  
Academia Sinica, 200083, Shanghai, China)

QIAN MENGJU, WU DATONG

(Institute of Acoustics, Tong Ji University, 200092, Shanghai, China)

### ABSTRACT

A novel FIR Laser PAS detection system is presented in this paper. Using this system, the primary results of measured absorptivity in sub-mm waves for the powder samples of eighteen kinds of amino acid and one kind of DNA are given. The maximal rms deviation of measured data is less than  $4 \times 10^{-4}$ .

\* Project supported by the Chinese National Natural Sciences Fund.