

## 超声调制激光微区光谱仪的研究

廉洁 安汝国 张贵田 姜熙罗 石毅 卜凤泉

(白求恩医科大学地方病研究所)

Research of ultrasonic modulated laser  
micro-probe spectrophotometer

Lian Jie, An Ruguo, Zhang Guitian, Jian Xiluo, Shi Yi, Bu Fengquan

(Institute of Endemic Diseases, Norman Bethune University of Medical Sciences, Changchun)

**Abstract:** An ultrasonic modulated solid laser as light source has been developed on the basis of analysing the shortcomings of free-running laser applied universally to laser micro-probe spectrophotometer presently. A new design of time-delay voltage supply of auxillary electrodes is put forward. Combining the two techniques, an ultrasonic modulated laser micro-probe spectrophotometer with high stability, high sensitivity and low background of spectrum has been developed.

## 一、原 理

近年来,国内外对于提高激光微区光谱仪性能的研究进展不大。为了研制一种适于生物医学需要的高稳定性、高灵敏度和低光谱背景的生物激光微区光谱仪,作者进行了某些探索和尝试。

## 1. 稳定激光器输出功率

理论计算在显微镜聚焦点处的温度  $T$  为:

$$T = \frac{0.06D^2\eta}{K\lambda^2f^2} \left( \frac{\sigma k}{t_0} \right)^{1/2} \cdot C \cdot V^2$$

式中  $K$  是热传导系数,  $k$  为热扩散系数,  $t_0$  为激光脉冲的持续时间,  $\lambda$  为波长,  $f$  为物镜的焦距,  $C$  为储能电容的容量,  $V$  为充电电压,  $\eta$  为工作物质的转换效率。

从上式看到  $T$  的大小与稳定程度, 主要取决于  $V$ 。我们可以设法在电路上尽量保证  $V$  的稳定性, 但难以克服在建立激光振荡的过程中由于弛豫振荡效应所造成的激光输出的不稳定性。对于多模激光振荡器输出是具有随机特性的不规则强度起伏的脉

冲尖峰群, 如图 1 所示。

为了克服激光振荡的不稳定性, 我们采取了一种新方案<sup>[1,2]</sup>, 用强超声组合变幅器控制固体激光器。其装置如图 2 所示, 输出波形如图 1 所示。表 1 为超声调制钕玻璃激光器, 在不同电压下的脉冲尖峰参数的测定值。图 3 为输入电压固定在 900 V, 依次增大超声振荡器振幅时输出的激光脉冲尖峰。从图 1、表 1 和图 3 可见, 经强超声调制后的脉冲固体激光器, 其输出波形、脉冲幅度和输出功率都得到了相当大的改善, 呈现出高峰值功率的规则尖峰序列。

## 2. 辅助电极的可控延时加压

为使试样蒸气云充分地受到辅助电极的高压激励, 过去多采用预置电压的办法, 但很不可靠。于是, 延时加压便受到极大重视。我们在总结国内外新近发展起来的几种激光微区光谱仪辅助电极延时加压电路的基础上, 提出以开关管 1012 (或 1011) 为元件设计了辅助电极可控延时加压新电路, 如图 4 所示。该电路合理地使用了 1012, 使其阴阳两极维

电压(V)

光泵

未调制

超声调制

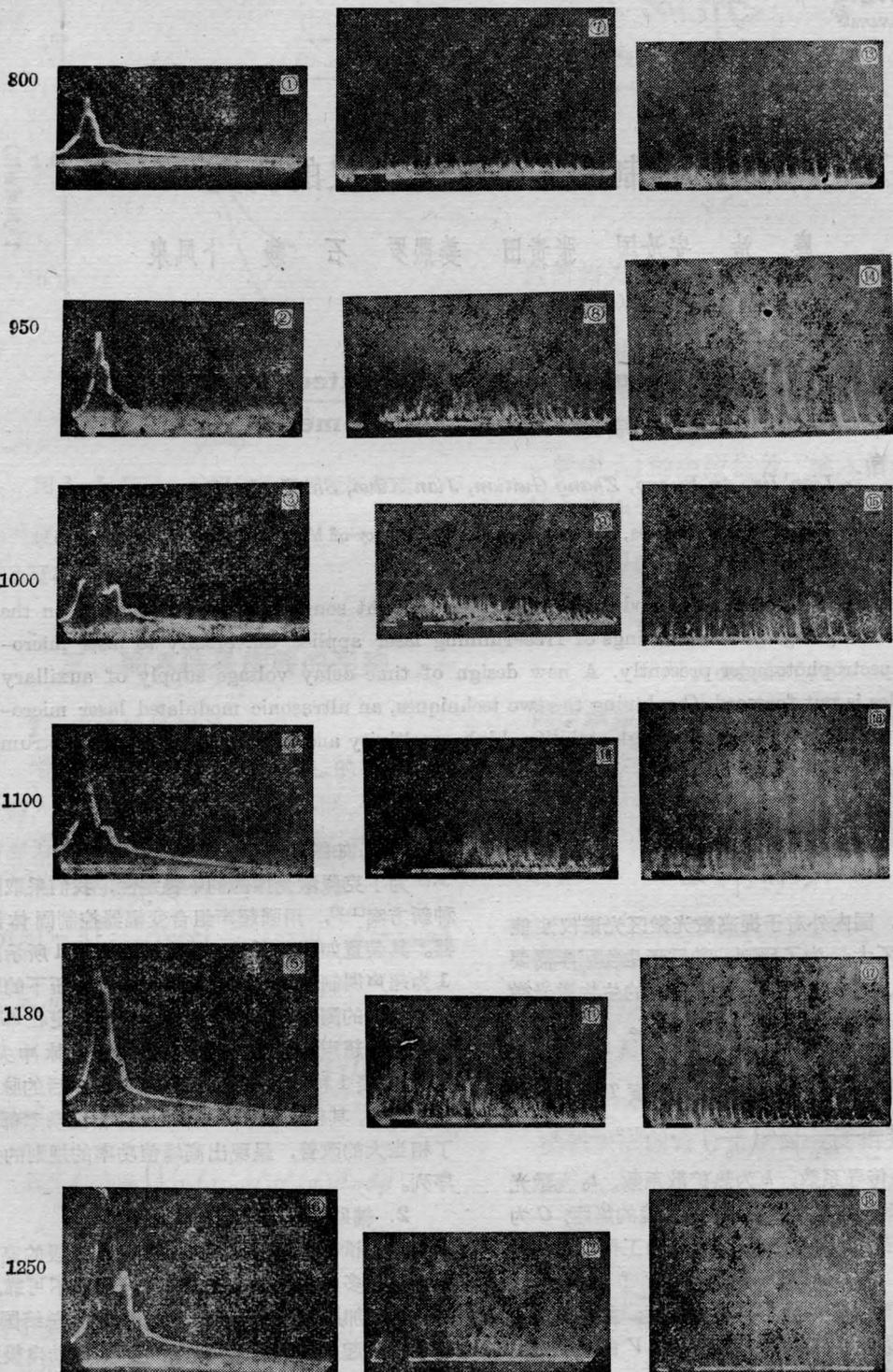


图1 未调制、超声调制固体激光器的输出波形  
超声振幅  $30 \mu\text{m}$ , 示波器扫描速度  $0.05 \text{ms/cm}$ , 灵敏度  $0.2 \text{V/cm}$

表1 超声调制固体激光器在不同电压下的脉冲尖峰参数的测定值

| 参 数                | 电 压 (V)             |                     |                     |                     |                     |                     |
|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                    | 800                 | 950                 | 1000                | 1100                | 1180                | 1250                |
| 光泵脉冲宽度 ( $\mu s$ ) | 288.45              | 299.99              | 301.91              | 303.83              | 304.80              | 305.76              |
| 激光总宽度              |                     |                     |                     |                     |                     |                     |
| 未调 ( $\mu s$ )     | 409.70              | 430.16              | 465.14              | 471.57              | 478.50              | 480.65              |
| 调制 ( $\mu s$ )     | 396.00              | 471.08              | 471.90              | 472.73              | 486.92              | 486.92              |
| 激光输出               |                     |                     |                     |                     |                     |                     |
| 平均能量 (J)           | 1.76                | 3.73                | 4.21                | 5.29                | 6.18                | 6.43                |
| 脉冲尖峰数 (个)          | 12                  | 16                  | 16                  | 16                  | 16                  | 16                  |
| 脉冲尖峰平均输出能量 (J)     | 0.14                | 0.23                | 0.26                | 0.33                | 0.39                | 0.40                |
| 尖峰宽度 ( $\mu s$ )   | 5.02                | 4.21                | 4.50                | 4.45                | 4.76                | 5.85*               |
| 尖峰间隔 ( $\mu s$ )   | 25.42               | 25.90               | 24.28               | 23.42               | 22.93               | 29.91               |
| 重复周期 ( $\mu s$ )   | 25.66               | 25.72               | 25.60               | 25.19               | 23.27               | 28.79               |
| 重复频率 (Hz)          | $0.039 \times 10^6$ | $0.039 \times 10^6$ | $0.039 \times 10^6$ | $0.040 \times 10^6$ | $0.043 \times 10^6$ | $0.035 \times 10^6$ |
| 特征频率 (Hz)          | $0.199 \times 10^6$ | $0.238 \times 10^6$ | $0.222 \times 10^6$ | $0.225 \times 10^6$ | $0.210 \times 10^6$ | $0.171 \times 10^6$ |
| 平均功率 (W)           | $5.46 \times 10^3$  | $8.94 \times 10^3$  | $10.16 \times 10^3$ | $13.10 \times 10^3$ | $16.76 \times 10^3$ | $13.86 \times 10^3$ |
| 峰值功率 (W)           | $27.91 \times 10^3$ | $54.62 \times 10^3$ | $57.78 \times 10^3$ | $74.15 \times 10^3$ | $81.93 \times 10^3$ | $68.38 \times 10^3$ |

注：变幅杆的振幅为  $30 \mu m$ ；工作物质为  $\phi 6 \times 180 mm^2$  的钹玻璃；表中的数据是用 Cart Zeiss GII 型测微光度计在示波器照相软片上直接测得的；所有的测定值皆为平均值；1250 V 的尖峰宽度由于底片不清楚多次测量误差较大，数据偏高，导致峰功率降低。

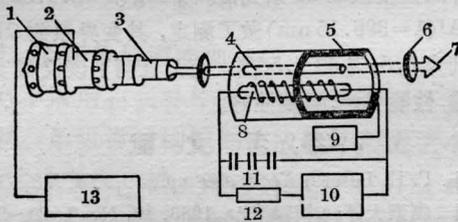


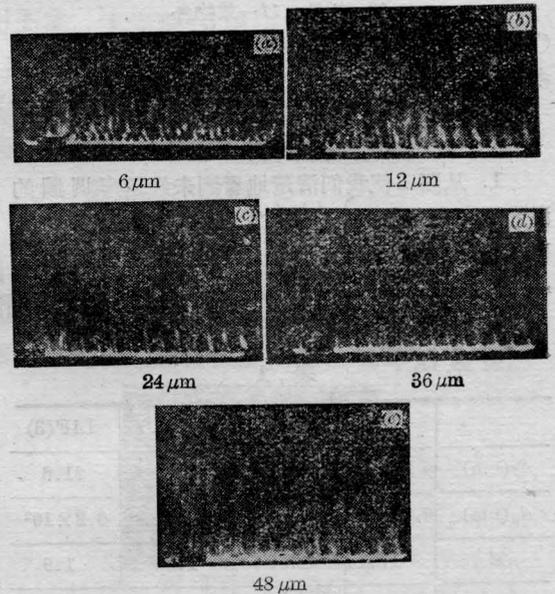
图2 超声调制固体激光器

- 1—电风扇；2—换能器；3—变幅器；4—钹玻璃；5—椭圆柱面聚光镜；6—部分反射镜；7—激光束；8—脉冲氙灯；9—触发电源；10—高压直流电源；11—电容器；12—限流电阻；13—强超声振荡器

持一定的电位差。当 1012 被触发后，内部击穿电离，使储能电容  $C$  的全部电能瞬间通过 1012 加到辅助电极上，充分激发上升到辅助电极间隙样品的羽毛状蒸气团。由于 1012 导通后内阻很小，所以能量损耗少，几乎全部能量都加于辅助电极上，保证了辅助电极适时有效地放电。

## 二、结 构

超声调制激光微区光谱仪由激光器系统、辅助电极、可控延时加压系统、摄谱仪和电气控制系统等部分组成，其结构如图 5 所示。超声调制固体激光器是工作频率为 24150 Hz 的强超声组合变幅器



| 电压 (V)           | 900  |      |      |      |
|------------------|------|------|------|------|
|                  | 次 数  |      |      |      |
| 内容               | 1    | 2    | 3    | 4    |
| 超声振幅 ( $\mu m$ ) | 6    | 12   | 24   | 36   |
| 尖峰宽度 ( $\mu s$ ) | 6.60 | 6.20 | 5.45 | 4.82 |

图3 电压固定在 900V，改变超声振幅得到的输出波形

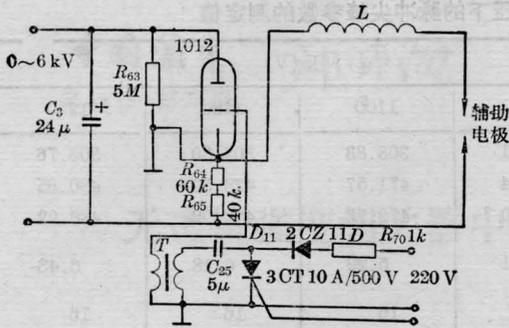


图4 辅助电极可控延时加压电路

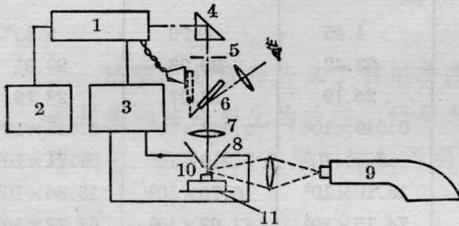


图5 超声调制激光微区光谱仪示意图

- 1—超声调制固体激光器；2—超声振荡器；  
3—控制电源；4—棱镜；5—光阑；6—反射镜；  
7—物镜；8—辅助电极；9—摄谱仪；  
10—样品；11—载物台

(圆柱、阶梯形和悬链形变幅杆)的输出端粘上激光多层介质全反膜片,作为该激光器的全反射镜。

### 三、分析与讨论

1. 从图1使我们清楚地看到未经超声调制的激光源,由于激光器在多模振荡时,各模式之间没有确定的位相关系,造成了输出激光的波形杂乱无章,

强度呈现出随机、无规则起伏的尖峰群。超声调制后,输出变成了有规则的脉冲尖峰序列,峰值功率提高,减少了传热损耗,从而能更充分地利用辐射能。

2. 由图1和表1看到,光泵电压从950V递增至1250V时,激光输出平均能量递增。由于脉冲个数不变(皆为16),所以其脉冲尖峰平均输出能量以及峰值功率亦递增。此激光输出平均能量或脉冲尖峰平均输出能量与光泵电压的二次方成正比。

3. 通过对图3的测量证实,当光泵电压一定时,脉冲尖峰宽度随着超声振幅的增加而减小,峰值功率相应增大,即增大超声振幅,可提高峰值功率水平。由该图还可见,电压一定,依次增大超声振幅为6 μm、12 μm、24 μm和36 μm时,尖峰个数分别为13、14、15、和16个。这说明“超声调制激光微区光谱仪”在一定范围内,可以通过加大超声振幅来达到提高能量的目的。

4. 辅助电极可控延时加压(可在0~6000V范围内连续可调适时加压)提高了谱线强度,改善了谱线质量,降低了光谱背景,提高了光谱分析灵敏度。

5. 通过正交实验,选定主要参数后,用同一标准样品重复摄取13条光谱。对Mg( $\lambda=279.03\text{nm}$ )和Al( $\lambda=396.15\text{nm}$ )做了测定,其变异系数CV值分别为6.54%和7.56%,充分证明了该仪器灵敏可靠,性能稳定,重复性好。

### 参 考 文 献

- [1] Г. Н. Белова; *Кван. электр.*, 1979, 6, №8, 1740.  
[2] 富崇大等;《中国激光》,1983, 10, No. 1, 20~25.  
(1986年8月20日收稿)

(上接第676页)

表 1

|                  | Ag                 | LiF(1)            | LiF(2)            | LiF(3)            |
|------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| $d_f(\text{nm})$ |                    | 10.7              | 20.2              | 21.6              |
| $d_g(\text{nm})$ | $8.3 \times 10^2$  | $6.9 \times 10^2$ | $6.4 \times 10^2$ | $6.2 \times 10^2$ |
| $e'$             | -17.1              | 1.87              | 1.88              | 1.9               |
| $e''$            | 1.55               | 0.01              | 0.03              | 0.05              |
| $S_B$            | $4 \times 10^{-3}$ | 0.08              | 0.06              | 0.06              |

表面是非连续的岛状集合体,ATR方法研究宏观的光学现象是统计平均的效果,因而薄层介质在极薄情况下(即岛状集合体)的介电常数实部总是偏小的。所以当膜层加厚岛状集合体趋于连续时,介电常数实部变化也

表 2

|                  | Ag                 | ZnS(1)             | ZnS(2)             | ZnS(3)            | ZnS(4)             | ZnS(5)             |
|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| $d_f(\text{nm})$ |                    | 1.6                | 1.7                | 3.6               | 10.0               | 13.0               |
| $d_g(\text{nm})$ | $7.3 \times 10^2$  | $6.0 \times 10^2$  | $6.0 \times 10^2$  | $6.7 \times 10^2$ | $5.2 \times 10^2$  | $5.0 \times 10^2$  |
| $e'$             | -15.6              | 3.76               | 3.78               | 4.34              | 4.87               | 4.86               |
| $e''$            | 0.8                | 0.01               | 0.01               | 0.02              | 0.05               | 0.03               |
| $S_B$            | $3 \times 10^{-3}$ | $4 \times 10^{-3}$ | $3 \times 10^{-3}$ | 0.01              | $5 \times 10^{-3}$ | $5 \times 10^{-3}$ |

就不大了。

### 参 考 文 献

- [1] A. Otto; *Z. Physik*, 1986, 216, 398.  
[2] H. Kitajima et al.; *Appl. Opt.*, 1981, 20, 1005.  
[3] 杨心亮等;《中国激光》,1987, 14, No. 2, 81.