

同步泵浦染料激光器产生高功率可 调谐微微秒激光脉冲

林金谷

(中国科学院物理研究所)

李 然

姚煜球

(北京工业大学物理系)

提要: 本文介绍一种用 Nd:YAG 双锁模的倍频脉冲序列, 同步泵浦以曲率半径 $R=2m$ 的凹面光栅所组成的染料激光器, 实现了高功率可调谐的微微秒染料激光输出。用条纹照相机对同步泵浦锁模激光系统中各部分的输出特性进行了实验研究和测试。

Generation of high-power tunable picosecond pulses by synchronously pumped dye laser

Lin Jingu

(Institute of Physics, Academia Sinica)

Li Ran, Yao Yuqiu

(Beijing University of Polytechnoly)

Abstract: The paper reports the study of synchronous mode-locking of dye laser which has a hemispherical resonator with a diffraction grating of $R=2M$ radius of curvature and is pumped by the second-harmonic pulse train from an actively passively mode-locked repetitive pulsed Nd: YAG laser. A broadly tunable, high-power mode-locked dye laser source has been achieved. Real-time experimental investigation was made of some relationship governing the output characteristics of the dye laser with a BWS-5K high resolution streak camera. Brief analysis and discussion are given concerning the experimental results.

一、实验研究

同步泵浦激光系统的实验装置见图 1 所示。其中 I 为泵浦用的 Nd³⁺:YAG 主被动锁模激光器, II 为若丹明 6G 染料激光器。

主动锁模由频率合成器产生频率为 51.530 MC、稳定度不低于 10^{-6} 。由于把与光在谐振腔中的往返时间同步的调制损耗引入谐振腔中, 使得非同步产生的亚脉冲引起损耗, 从而抑制亚脉冲的产生, 提高锁模的稳定

收稿日期: 1984 年 3 月 6 日。

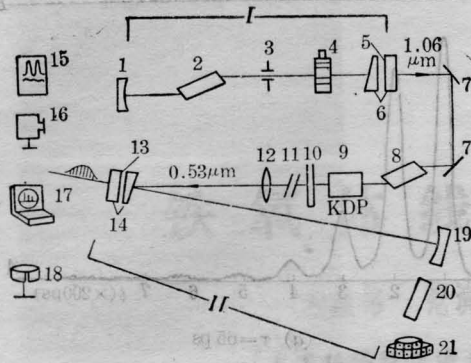


图1 同步泵浦激光系统实验装置

1—全反镜, 曲率半径 $R=2\text{m}$, 反射率 $R=99\%$;
 2—YAG 棒 ($\phi 6 \times 100\text{mm}$); 3—光阑 ($\phi \approx 1.5 \sim 2.0\text{mm}$ 可调); 4—声光调制器; 5— $R=65\%$ 的平面输出镜; 6—锁模流动染料盒;
 7—转向棱镜; 8— Nd^{3+} :YAG 一级放大; 9—KDP 倍频晶体 (I 类角度相位匹配); 10— $0.53\mu\text{m}$ 滤光片; 11—两片 $\lambda/4$ 旋光片; 12—长焦距透镜; 13— $R=60\%$ (宽带硬膜: $550 \sim 650\text{nm}$) 的输出镜片; 14—与输出镜片一体化的 RH—6G 流动染料池; 15—宽带示波器 Tektronix 7704. National; VP-5703A 存储示波器; 16—能量计;
 17—国产 BWS—5K 高速条纹照相机; 18—单色仪; 19— $R \geq 65\%$ 的凹面光栅; 20—平面宽带全反镜; 21—光栅调谐精密转台

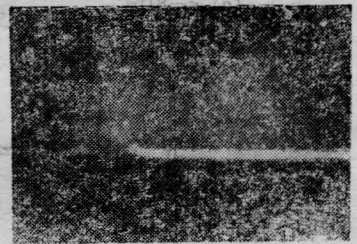
性。被动锁模采用国产五甲川锁模染料, 溶于二氯乙烷, 经微型泵循环系统注入与输出镜一体化的厚度为 1mm 的染料盒内。在同时加入主被动锁模环节以后, 激光输出包括 7 个左右脉冲序列, 包络能量为 6mJ , 脉冲间隔由腔长所决定, 约为 10ns 。脉冲宽度为 $40 \sim 60\text{ps}$, 峰值功率可达几十兆瓦。

染料激光腔由闪耀波长为 590.0nm , 光栅常数 $1200/\text{mm}$, 曲率半径为 2m , 在波长为 $570 \sim 620\text{nm}$ 范围内的反射率 $R \geq 65\%$ 的球面凹光栅作为全反镜 (兼调谐元件) 和波长在 $550 \sim 650\text{nm}$ 范围内 $R=60\%$ 宽带介质膜输出镜所组成, 其腔长与泵浦腔长相等。若丹明 6G 浓度为 $2 \times 10^{-4}\text{M}$, 与循环系统连接的染料池和输出镜设计成一体化, 池厚 3mm (可调)。当泵浦光脉冲列以间隔约 10ns 为周期激励染料增益介质时, 实现增益调制。由染料工作物质中激发出的荧光, 在光

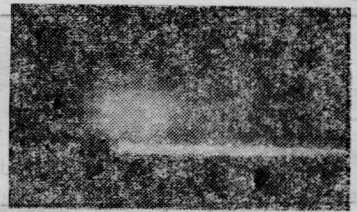
栅所选择的特许频率下, 经过往返几个来回, 从受激发射和放大过程中建立起染料激光脉冲。在最佳工作条件下, 获得激光波长的调谐范围为 $554 \sim 595\text{nm}$, 调谐宽度为 41nm , 输出的脉冲序列能量达 $20 \sim 30\mu\text{J}$ 。包括 $4 \sim 5$ 个脉冲, 每个脉冲的宽度为 40 多微微秒。平均峰值功率约为 0.5MW 。

二、实验结果、讨论和分析

同步泵浦脉冲序列和染料激光脉冲序列如图 2。



(a) 泵浦脉冲序列 (在 100MC 存储示波器上摄)



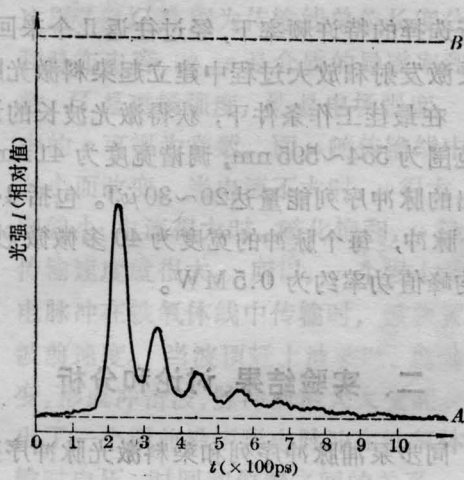
(b) 染料脉冲序列 (在 100MC 存储示波器上摄)

图 2

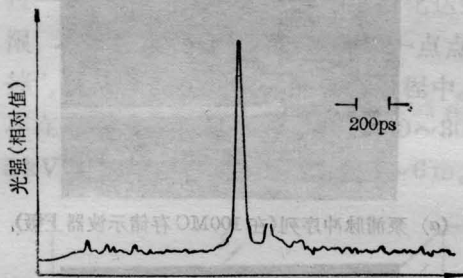
利用 2cm 的标准具, 前表面镀 50% 反射率、后表面镀 100% 反射率 (均对 $\lambda=530\text{nm}$), 以提供相邻脉冲峰值相差一倍, 间隔为 200ps 的被测微微秒脉冲串。根据这个准确的 200ps 时间标准, 可对单个脉冲进行定标。

图 3(a) 为在条纹照相机显示屏上直接显示的泵浦脉冲; (b) 为泵浦脉冲条纹象的显微扫描曲线; (c) 为泵浦脉冲的放大图。

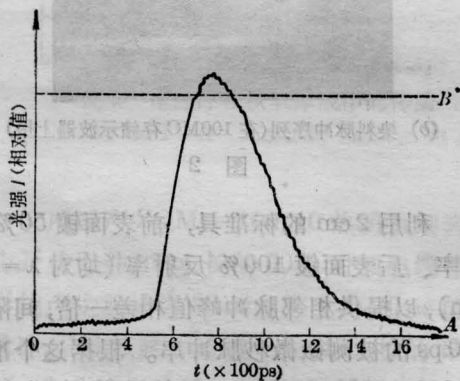
图 4(a) 为在条纹照相机显示屏上直接显示的染料脉冲; (b) 为染料脉冲条纹象的显微扫描曲线。



(a) $\tau=81\text{ps}$



(b) $\tau=44\text{ps}$

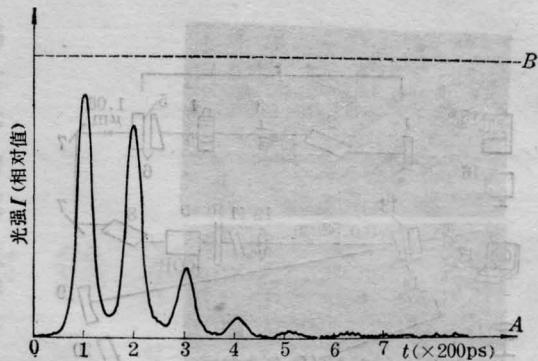


(c) 泵浦脉冲的放大图

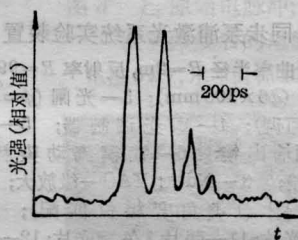
图 3

图 5 是染料激光输出能量与失谐的关系。每一个数据点取 20 次测量的平均值, 选择的激光波长为增益曲线中间某一值 $\lambda=566.6\text{nm}$ 。

由图 5 可知:



(a) $\tau=65\text{ps}$



(b) $\tau=60\text{ps}$

图 4

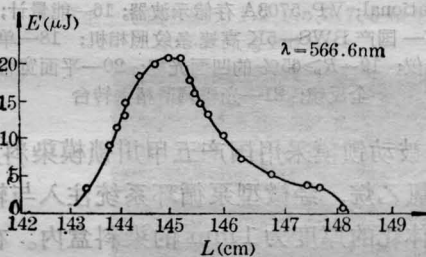


图 5 染料激光输出能量与失谐的关系

(1) 最佳振荡输出在腔长匹配附近, 即 $\Delta L=0$ 附近 ($\Delta L=L_{\text{cav}}-L_{\text{pump}}$)。

(2) $\Delta L_D \approx 5\text{cm}$ 以外没有激光输出, 半极大值全宽度 $\Delta L_H \approx 1.5\text{cm}$ 。

(3) 曲线不对称, 左右失谐范围不一样, $\Delta L_{\text{左}}=2.0\text{cm}$, $\Delta L_{\text{右}}=3.2\text{cm}$ 。但在峰值附近, $\Delta L < 0$ 下降平缓些, 在 $\Delta L > 0$ 下降陡峭些。

图 6 是染料激光输出能量与波长调谐的关系。图中每一点取自 20 次测量的平均值。

图 7 是泵浦光脉冲宽度与失谐的关系。泵浦腔长的失谐同声光调制频率偏移量的关系如下:

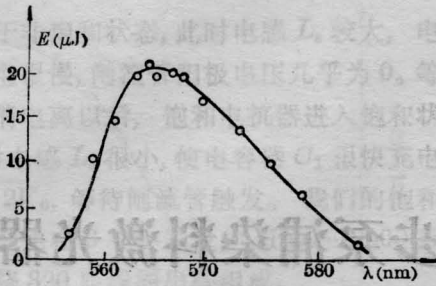


图6 染料激光输出能量与波长调谐的关系

$$f_A = \frac{1}{2} (c/2L)$$

f_A ——声光调制率; L ——腔长; c ——光速,

$$\Delta f_A = \frac{c}{4} \frac{\Delta L}{L^2} \propto \Delta L$$

染料激光脉宽与泵浦脉宽的关系见图8。由图7、8可见,染料激光脉冲宽度与泵浦脉冲宽度都存在极小值,这两个极小值近似相等,约为40多微微秒。

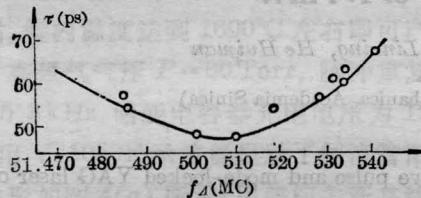


图7 泵浦光脉宽与失谐的关系

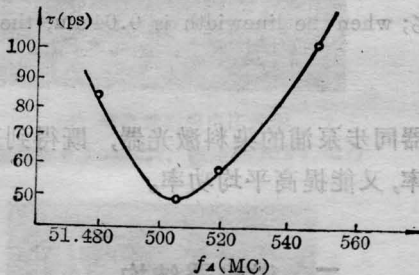


图8 染料激光脉宽与泵浦脉宽的关系

染料激光脉冲极小值是在 $f_0 = 51.5053$ MC 附近产生。由 $f_A = \frac{1}{2} (c/2L)$ 推知 $f_A > f_0$ 。可见脉冲宽度极小值在腔长略长于匹配腔长处附近。

若取 $\Delta f_A = 50$ kHz, 从图7可见,脉宽从极小值加宽约30%, 所对应的腔长失谐 $\Delta L = 4L^2 \Delta f_A / c \approx 1.5$ mm, 它随腔长的改变是很明显的, 这在一般设备是不容易调到最佳的匹配腔长位置。

选择染料工作波长 $\lambda = 568$ nm, 染料池厚 = 3 mm, 染料浓度 2×10^{-4} Mol/L, 取56次测量的数据的平均相对误差, 得出染料激光能量稳定度 $\approx 71\%$, 转换效率 $\approx 10\%$, 泵浦光的稳定度 $\geq 90\%$ 。

按照图7、8的结果, 假设泵浦光脉冲和染料光脉冲的宽度均为80 ps。那么当两个脉冲完全拉开时的空间距离 $\Delta L = 2c \cdot \Delta t = 5$ cm, 与图5相符。图5的不对称特征实质上是反映了这个重迭区域增益过程的细节。即在很强的染料脉冲和泵浦脉冲同时通过染料介质期间, 染料介质中反转粒子集居数在激光振荡阶段的再循环过程。对于RH-6G染料, 它的振动弛豫时间发生在微微秒时间尺度^[1], 能够响应这个过程。

进一步研究图7、图8, 参照马里兰大学T. R. Rort所做的关于同步泵浦时域过程的专门实验研究^[2], 可以从这种时域的同步协调中, 反映出集居数建立与消耗的物理图象。当两腔长匹配时, 即 $L_D = L_p$, $\Delta L = L_D - L_p = 0$, 染料光脉冲宽度与泵浦光脉冲宽度基本相等(见图7、8)。不过, 由于粒子集居数的建立过程, 使得染料脉冲相对于泵浦脉冲有4~12 ps的延时^[3]。在腔长长于匹配腔长 $\Delta L = L_D - L_p > 0$ 时, 染料脉冲的前沿比增益出现要晚一些。如果这个迟缓时间恰好是上面所谈到的反转粒子集居数建立所需要的那段时间, 比如说也是4~12 ps, 相当于 $\Delta L = 0.3 \sim 0.6$ mm, 那么, 此时的染料脉冲与增益曲线大部分重合, 故脉冲宽度比 $\Delta L = 0$ 时还要窄些。至于 $\Delta L > 0$ 很多时, 染料脉冲较大部分离开增益曲线, 又使脉冲加宽。在染料腔长短于匹配腔长, $\Delta L = L_D - L_p < 0$ 时,

(下转第409页)

在调谐过程中, 我们发现在某一特定 ϕ 角下出现二个波长同时振荡, 这是由模式竞争引起的。从图3(d)可以看出, 对给定 ϕ 角下, 除透射极大峰之外, 还有次峰存在, 它大约是主峰的70%左右。激光能在哪个波长上振荡, 除和透射率有关外, 还和介质的增益大小即处在增益曲线上的位置有关。设主峰透过率为 T_1 , 次峰为 T_2 。增益曲线峰值处增益为 G_1 , 边缘某处的增益为 G_2 , 当满足 $T_1G_2 \approx T_2G_1$ 时, 则可发生二个波同时振荡现象, 即出现双线。在长波和短波区各存在这样一个 ϕ 角。抑制这种双波同时振荡的方法

是在腔内再放入检偏玻璃片堆, 这样可进一步降低边带的透过率, 达到单一波长振荡。这种方法的缺点是引起线宽变宽。此外, 由于三片的厚度比不是严格的整数比, 峰值透过率彼此间有一相对移动, 也使次峰的透过增大, 严格控制三片的厚度比是必要的。

参 考 文 献

- [1] 张守都等;《中国激光》,1984, 11, No. 4, 44.
- [2] D. R. Preuss *et al.*; *Appl. Opt.*, 1980, 19, No. 5, 702,
- [3] 张贵芬;《中国激光》,1983, 10, No. 10,702.

(上接第413页)

染料脉冲的前沿超前于增益曲线的前沿, 这时尽管染料脉冲后沿饱和反转粒子数, 使后沿变陡而缩窄, 但它的前沿由于遇到的增益区域窄, 没能获得相对足够的增益, 使上升沿变得延缓, 因此总的效果还是使脉冲宽度增宽。

北京工业大学殷宝璐老师、刘志明同志, 西安光机所张洁、王贤华等同志, 中国科学院电子所关大威、王立文同志在工作中给予热情的帮助和合作; 中国科学院物理所叶佩弦同志对此工作的大力支持作者在此表示深切谢意。

参 考 文 献

- [1] D. Ricard *et al.*; *Chem. Phys. Lett.*, 1972, 16, p. 617.
- [2] T. R. Royt *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1974, 25, No. 9, 514.
- [3] L. S. Goldberg, C. A. Moore; *Appl. Phys. Lett.*, 1975, 27, 217.
- [4] T. A. Driscoll *et al.*; *Rev. Sci. Instru.*, 1982, 53, 1547.
- [5] K. Azuma *et al.*; *Japan J. Appl. Phys.*, 1979, 18, 209.
- [6] Hiroshi *et al.*; *Japan J. Appl. Phys.*, 1984, 23, No. 1, 40.
- [7] A. Seimeiner, B. Kopainsky; *Proc. 3rd Int. Conf. Picosecond Phenomena*, 1982.