

波长可调的 ps 超短腔染料激光器的研究

刘一先 李富铭

(复旦大学物理系)

提要: 本文报道了用锁模磷酸盐玻璃激光的倍频光泵浦若丹明 B 超短腔染料激光器的实验装置和实验结果, 用 TPF 和 OSA 的组合装置研究了磷酸盐玻璃激光器的最佳运转条件, 得到了脉宽 ~ 5 ps 的锁模脉冲系列, 以此 ps 光源泵浦的染料激光器获得了波长为 620.1~641.6 nm, 脉冲宽度小于 4 ps 的单模可调谐激光输出。

Study of a picosecond tunable ultrashort cavity dye laser

Liu Yixian, Li Fuming

(Department of Physics, Fudan University, Shanghai)

Abstract: Experimental setup and experimental results of an ultrashort cavity Rh-B dye laser pumped by frequency-doubled pulses from a mode-locked Nd phosphate glass laser are reported. The optimum operation conditions of the mode-locked Nd phosphate glass laser were studied by a combination equipment of TPF and OSA. A pulse train with pulse width of about 5 ps was obtained. Using this picosecond laser as pumping source, an ultrashort cavity dye laser with tunable monomode pulses of less than 4 ps and wavelengths ranging from 620.1 nm to 641.6 nm was obtained.

引言

由于磷酸盐钕玻璃具有高增益、低非线性折射率和更好的散热等优点, 因此在固体锁模激光器中它越来越多地用来取代硅酸盐钕玻璃。磷酸盐钕玻璃锁模激光器可以在较高的重复频率下运转。我们使用上海光机所提供的激光棒, 其重复频率可高达 5 次/s。同样它也具有硅酸盐钕玻璃锁模激光器那样的窄脉冲输出特性。在我们的装置中已获得的最短脉宽 ~ 5 ps, 输出波长为 1.054 μm , 系列脉冲能量为 3.2 mJ。

在生物、化学、半导体和等离子体中的许多超快过程的研究中, 常常需要波长可调的 ps 光源, 为此我们用 KDP 晶体将磷酸盐钕玻璃的锁模激光进行倍频, 产生的 0.527 μm 光束用于泵浦一级若丹明 B 超短腔染料激光器, 获得了光谱范围为 620.1 nm 到 641.6 nm、脉宽小于 4 ps 的可调谐光源。

实验装置

实验装置如图 1 所示。磷酸盐钕玻璃锁模激光器是一台常规的被动锁模装置。磷酸

收稿日期: 1986年2月13日。

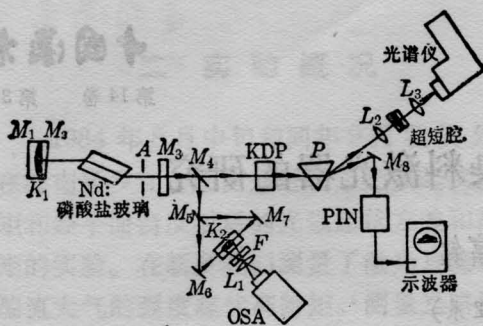


图1 实验装置示意图

盐玻璃棒为 $\phi 6 \times 80$ mm, 置于双椭圆聚光腔内。用二根掺铈的脉冲氙灯泵浦。染料池 K 由全反射镜 M_1 和镀有 $1.054 \mu\text{m}$ 的增透膜的玻璃 M_2 构成。 M_1 镜的曲率半径为 3 m, 构成 K 的有效吸收长度 $\sim 76 \mu\text{m}$ 。染料采用循环流动方式, 用五甲川-1, 2 二氯乙烷作饱和吸收体。 A 为小孔光阑, $\phi \sim 2$ mm; M_3 为透射率 $\sim 16\%$ 的平面输出镜。激光器输出的锁模脉冲系列用 PIN 光电探测器接收, 并由示波器显示和记录波形。输出的激光束由 M_4 镜分取一部分用于脉冲宽度的测量。我们采用了三角形装置的 TPF 与 OSA 组合的测量系统, 详细情况参见文献 [1]。透过 M_4 镜的光束通过 KDP 晶体产生倍频光并用棱镜 P 将 $0.527 \mu\text{m}$ 和 $1.054 \mu\text{m}$ 的光束分离。 $0.527 \mu\text{m}$ 光束由透镜 L_2 聚焦于含有若丹明 B 的乙二醇溶液的超短腔中, 超短腔的结构见文献 [2, 3], 超短腔染料激光器输出的光谱特性用透镜 L_3 聚焦于光谱仪中进行拍片记录。

实验结果与讨论

磷酸盐钕玻璃锁模激光器输出的典型脉冲系列如图 2 所示。输出脉冲系列的平均脉宽, 可由 TPF 与 OSA 组合系统测得的二级相关函数 $G^{(2)}(\tau)$ 的半强度处的全宽 $\Delta\tau$ (如图 3 所示), 并由 $\Delta t_{1/2} = \frac{\Delta\tau}{\beta}$ 而求得。 β 是与

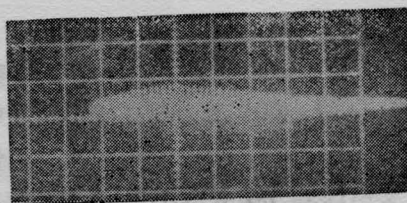


图2 磷酸盐钕玻璃锁模激光器输出的示波图形 (50 ns/div)

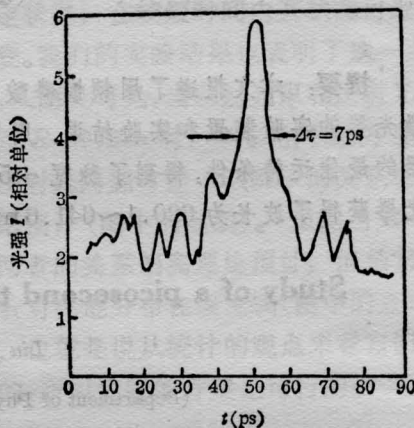


图3 由 TPF 与 OSA 组合系统测得的 TPF 轨迹

激光线型有关的因子, 对于高斯线型有 $\beta = \sqrt{2}$, 假设输出激光为高斯线型, 则由图 3 求得的脉宽 ~ 5 ps。

为了获得最佳的泵浦源, 我们对影响其脉宽和稳定性的一个重要参量, 即锁模染料溶液的浓度进行了试验。当吸收池厚度 $\sim 76 \mu\text{m}$, 在室温环境下输出脉宽与浓度的依赖关系表示在图 4 中。图中数据点是五次实验的平均值。由图可知在染料浓度 $\sim 7.5 \times 10^{-5}$ M 时, 输出激光的脉宽具有最小值, 起伏也最小。

我们将 $1.054 \mu\text{m}$ 的基波光经 KDP 晶体倍频后输出脉冲系列能量为 $\sim 700 \mu\text{J}$, 用于泵浦若丹明 B 超短腔, 腔长小于 $100 \mu\text{m}$, 染料浓度为 2.5×10^{-8} M, 得到的可调谐 ps 脉冲光的系列脉冲波形如图 5 所示。由图 5 与图 2 比较可看出染料激光输出的系列脉冲的数目明显减少。根据 Roess-Lin 的谱

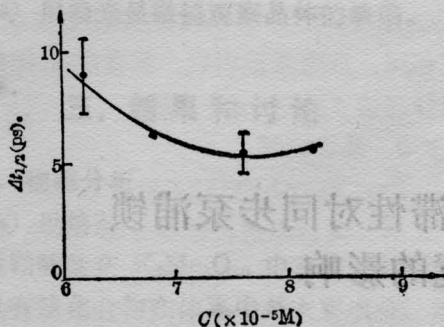


图4 输出激光的脉宽与染料浓度的关系

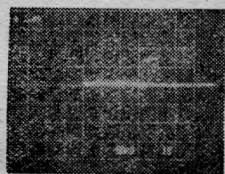


图5 若丹明B超短腔染料激光器输出的系列波形
(时标: 50 ns/div)

振腔的瞬变理论^[4,5],染料激光器输出的激光脉宽是小于泵浦光的脉宽。G. W. Scott等人利用谐振腔的瞬变理论在 ps 区进行了理论计算并由实验证明染料激光的脉宽一般是比泵浦光的脉宽小 $1/2 \sim 1/3$ ^[6]。我们应用的磷酸盐锁模钕玻璃激光器的基波光的脉宽为 $\sim 5 \text{ps}$, 其倍频光 527nm 的脉宽比基波光的脉宽小 $\sqrt{2}$ 倍^[7], 即小于 4ps , 因此我们推得染料激光的脉宽小于 4ps 。但其脉宽的最小值是由腔内的光子寿命 τ_0 所限制, 可由下式估算

$$\tau_0 = nL/c(1-R)$$

式中, n 为染料折射率, L 为腔长, c 为光速, $\bar{R} = \sqrt{R_1 R_2}$, R_1 和 R_2 分别为二块反射镜的反射率。在我们的实验条件下, $L = 7 \mu\text{m}$, $R_1 \approx 98\%$, $R_2 \approx 94\%$, $n = 1.37$, 代入上式可得 $\tau_0 \approx 0.8 \text{ps}$ 。

输出光谱随腔长的变化其典型值如图6中的(a)、(b)、(c)所示, 图中下半部分为定标光谱。当腔长短于 $7 \mu\text{m}$ 时输出为单一纵模, 如图6(c)中上左谱线所示, 上右谱线为 632.8nm 的定标谱线。通过改变施加在 $\phi 20$

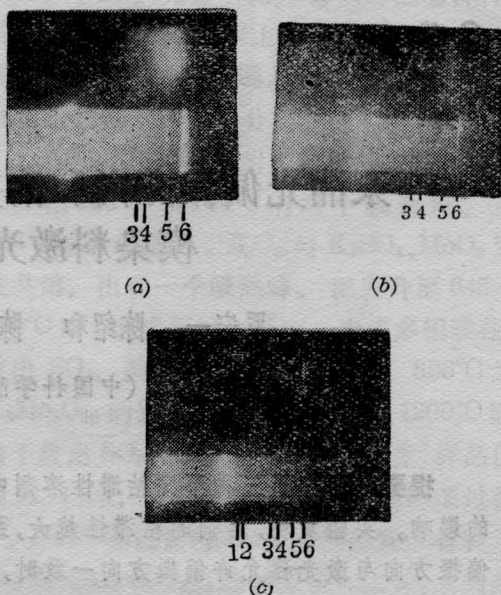


图6 超短腔染料激光器输出光谱随腔长的变化
染料浓度 $C = 2.5 \times 10^{-3} \text{M}$ 。(a) 长腔; (b) 腔长 $d = 55 \mu\text{m}$; (c) 腔长 $d < 7 \mu\text{m}$ 。谱线 3— 607.3nm ;
4— 612.3nm ; 5— 623.4nm ; 6— 632.8nm

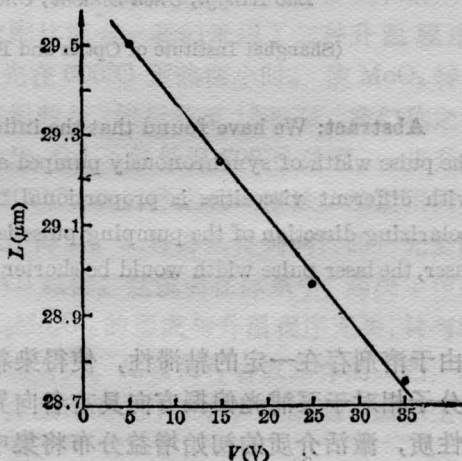


图7 激光腔长的变化与压电陶瓷上施加电压的变化关系

$\times 60 \text{mm}$ 的 PZT 压电陶瓷上的直流电压可以实现腔长的变化, 腔长随压电陶瓷上所施加电压的变化如图7所示, 对应的输出光谱表示在图8中。从图7和图8我们可以看出它们是线性变化关系。所以通过改变压电陶瓷 PZT 上的电压就可使输出光谱实现连续可调。(下转第 146 页)

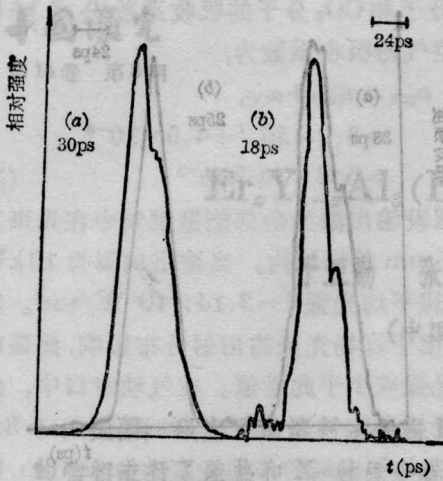


图5 乙二醇溶剂

分别为 $\tau_{or} = 100$ ps、 200 ps 和 2 ns^[2]。据此用一个简单直观的图象分析实验结果。泵浦光作用之后，激活介质将在沿泵浦光偏振方向形成一个有效增益。由于溶剂的粘滞性，激活分子在其它方向形成增益需经过一定的弛豫时间，增益形成时间定性取决于染料溶剂的定向弛豫时间 τ_{or} ，这相当于增益调制门变宽；另一方面，在其它方向形成增益需等激活分子的偶极矩在该方向的立体角内弛豫至任意分布，这导致有效增益变小。夹角越大，有效增益越小，相当于增益调制门变低，调制

度变差。这两个因素必导致同步调制效果变差，激光脉宽变宽。溶剂粘滞性大，定向弛豫时间大，增益调制门前沿会变得更宽，必然同步泵浦锁模激光脉宽变宽。反之，若激光偏振方向和泵浦光偏振方向相同，溶剂粘滞性大些更有益，可更有效地将增益维持在该方向。

关于泵浦光偏振方向对激光介质增益的影响及对激光脉宽的影响国外的研究报道很少^[3,4]，国内尚无报道。本文的研究表明，在同步泵浦锁模染料激光器中，由于染料溶液具有粘滞性，导致其光作用下各向异性的特性，泵浦光偏振方向对激光脉冲具有不可忽视的影响，影响程度与溶剂粘滞性成正比。对于同步泵浦锁模，泵浦光偏振方向必将影响激光脉冲与泵浦脉冲的同步性，这项工作有待进一步深入。

参 考 文 献

- [1] A. Wokaun *et al.*; *Opt. Lett.*, 1982, **7**, p. 13.
- [2] T. J. Chuang *et al.*; *Chem. Phys. Lett.*, 1971, **11**, 368.
- [3] D. Rosen *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1981, **QE-17**, 2264.
- [4] K. C. Rezyer *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1980, **51**, 6083.

(上接第 143 页)

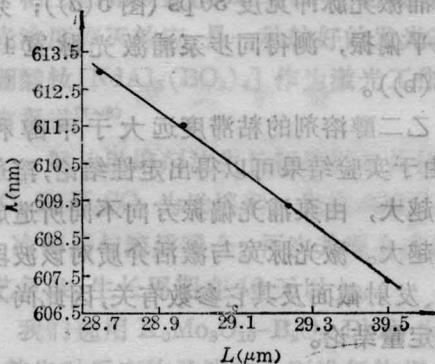


图8 输出激光光谱与腔长的关系

如果应用磷酸盐钹玻璃激光器的三次谱

波作为泵浦源，并采用串级超短腔结构则可以将光谱范围从近紫外扩展到近红外，而且脉宽可压缩 $1 \sim 2$ ps，因而可更广泛地满足光谱工作者的需要。

参 考 文 献

- [1] 刘一先等；《光学学报》，1986，**6**，No. 1, 1.
- [2] 陈凌承等；《中国激光》，1984，**11**，396.
- [3] 刘一先等；《应用激光》，1985，**5**，207.
- [4] D. Roess; *J. Appl. Phys.*, 1966, **37**, 2004.
- [5] C. Lin, C. V. Shank; *Appl. Lett.*, 1975, **26**, 389.
- [6] G. W. Scott *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1983, **QE-19**, 544.
- [7] D. H. Austch; *Appl. Phys. Lett.*, 1971, **18**, 249.