

超短腔单模可调谐微微秒染料激光器

陈凌冰 伍长征 刘一先 李富铭

(复旦大学物理系)

提要: 本文报道单模可调谐微微秒染料激光器,其腔长在 0~300 微米范围内可连续变化,波长在若丹明 6G 染料的增益带宽之内连续可调。

A tunable single-mode picosecond dye laser with ultra-short cavity

Chen Lingbing, Wu Changzheng, Liu Yixian, Li Fuming

(Department of Physics, Fudan University)

Abstract: A tunable single-mode picosecond dye laser with ultra-short cavity pumped by the second harmonic pulses from a mode-locked ruby laser is presented. Its cavity length may be calibrated and adjusted continuously in the 0~300 μm range. The single mode laser wavelength is tunable over the entire Rh 6G gain bandwidth.

超短腔单模可调谐微微秒染料激光器是一种新颖的可调谐光源,可将固定波长的微微秒激光脉冲转换为另一种可调谐的微微秒激光脉冲。它可能成为微微秒光谱学研究的一种方便工具。我们研制并试验了以若丹明 6G 染料的乙醇溶液为工作物质的超短腔激光器,获得了在介质增益带宽约 200 埃范围内连续可调谐的超短激光脉冲。

一、实验装置

我们的实验装置如图 1 所示。锁模红宝石激光器采用隐花菁染料的乙醇溶液作为饱和吸收体,由它输出的光脉冲(6943 埃)经过 I 型匹配的 ADP 晶体倍频,获得 3472 埃的紫外光脉冲。倍频光用焦距为 11 厘米的透镜聚焦到若丹明 6G 超短腔激光器 TDL 内

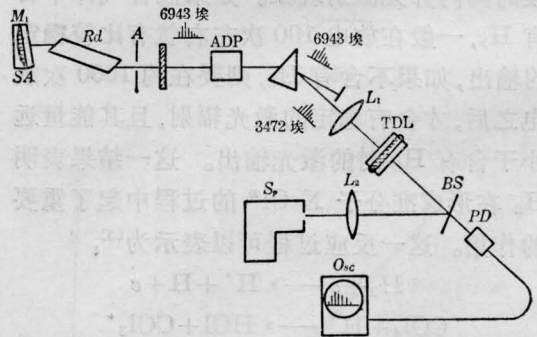


图 1 实验装置

M_1, M_2 —反射镜; R_d —红宝石棒; A —光阑; SA —饱和吸收体; ADP —磷酸二氢氨二次谐波晶体; L_1, L_2 —透镜; TDL —超短腔单模可调谐染料激光器; BS —分束器; PD —PIN 光电二极管; S_p —摄谱仪; O_{sc} —块响应示波器

作为泵浦脉冲。调整超短腔使其光轴与泵浦光的方向一致,当泵浦光脉冲的峰值功率超

收稿日期: 1983 年 9 月 27 日。

过阈值时,染料激光器即输出橙黄色的激光脉冲。红宝石锁模脉冲的宽度已用二次谐波法测得约为 20 微微秒,倍频能量转换效率为 2%。当超短腔的腔长取 150 微米时, 3472 埃紫外泵浦光转换成 5900 埃染料激光的能量转换效率为 23%,染料激光束的发散角为 33 毫弧度。分束器 BS 将超短腔输出的激光脉冲分裂为两束,一束经透镜聚焦到国产小型棱镜摄谱仪 S_p ,用于记录和分析激光的纵模结构;另一束用光电二极管接收后馈入快速响应的示波器 O_{sc} ,以观察激光脉冲系列的波形。

超短腔染料激光器的结构示意于图 2。谐振腔由两块平面反射镜 M_1 、 M_2 构成,反射镜内表面蒸镀了多层介质硬膜,其反射率在带宽 5700~6100 埃范围内分别为 99% 和 92%,对于 3472 埃泵浦光的透射率为 78%。与输出镜 M_2 胶合的铝环外侧用垫圈绝缘后连接压电陶瓷圆筒。压电陶瓷筒 PZT 长 6 厘米,驱动电压在 0~600 伏之内连续可调。与输入镜 M_1 胶合的铝环和三组弹子-杠杆-螺丝-螺旋测微器系统连接。螺旋测微器的读

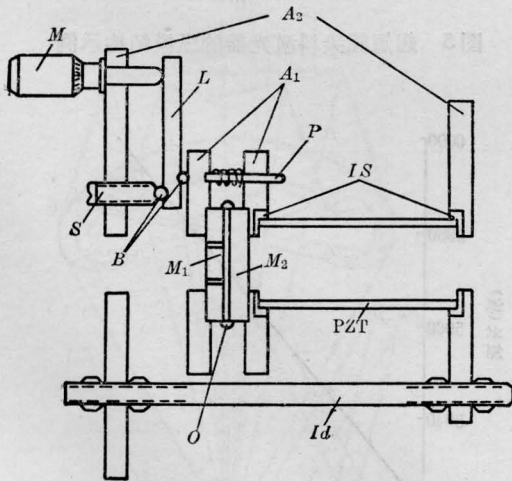


图 2 可调谐超短腔染料激光器结构

M_1 —输入镜; M_2 —输出镜; A_1 —平板铝环;
 A_2 —铝盘; IS —绝缘垫圈; PZT —压电陶瓷圆筒;
 M —螺旋测微头; P —销子; L —杠杆; B —弹子;
 I_4 —股钢棒; O —硅橡胶圈; S —螺丝

数精确到 10 微米,杠杆的作用是使得螺旋测微器旋进 10 微米时弹子向前推进 1 微米。调节腔镜平行的方法很简单:将一 He-Ne 激光束垂直入射到镜面上,观察经过腔镜间多次反射透出的光斑,调节螺旋测微器直到出现对称的干涉圆环为止。若丹明 6G 染料溶液用微流量泵驱动经全反镜上两处钻穿的小孔缓慢而均匀地流过镜间空隙,充满整个谐振腔。

二、实验结果

我们采用的谐振腔实际上是一具 Fabry-Perot 干涉仪。通过拍摄白光透过超短腔后出射的多光束干涉谱线和波长已知的高压汞灯谱线并加以比较,即可确定在工作介质增益频区内的自由光谱程,计算出相应的腔长。用这种方法对螺旋测微器的不同取值相应测定腔长,即可实现粗略的腔长标定。

腔长的精细调节则是通过改变施于压电陶瓷上的直流电压来实现的。

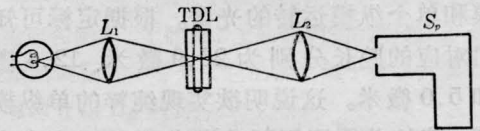


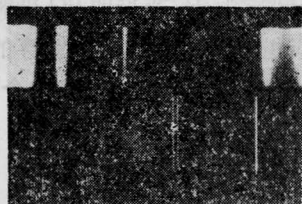
图 3 腔长定标装置光路示意图

图 4 示出了几种不同腔长摄得之光谱。照片下半部的谱线是供比较用的汞灯谱线。图 4(a)、(b)、(c) 定出的腔长顺次为 19.3、4.2 和 5.3 微米。图 4(c) 同时示出了两种不同的直流电压对应的模谱移动。拍摄时,腔内均充满乙醇。

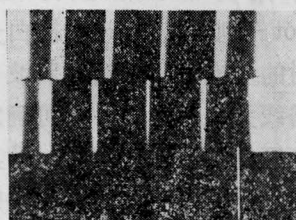
当腔内充满工作物质——若丹明 6G 的乙醇溶液并用紫外超短脉冲泵浦时,激光器即输出橙黄色染料激光脉冲。螺旋测微器和压电陶瓷配合使腔长在 0~300 微米范围内连续可调,从而获得了由单个纵模至几十个纵模同时振荡的激光脉冲系列。对几种腔长摄得超短腔染料激光器的激光光谱如图 5 所



(a)

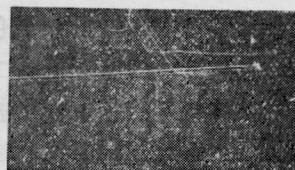


(b)

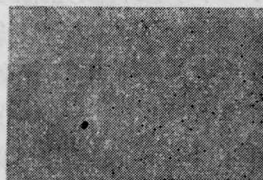


(c)

图4 被动腔透射模谱示例



$d=26.9$ 微米



$d=12.4$ 微米



$d=5.0$ 微米



$d=5.0$ 微米

图5 超短腔染料激光器的纵模结构示例

示。图中出现的是五个纵模、三个纵模、两个纵模和单个纵模运转的光谱。根据定标可知它们对应的腔长分别为 26.9 微米、12.4 微米和 5.0 微米。这说明欲实现纯粹的单纵模振荡，腔长必须缩短至 5 微米以下。由自由光谱程估计若丹明 6G 超短腔染料激光器的激光带宽为 150~200 埃，这一数值与腔长、染料浓度及泵浦光的强度有关。图 6 为维持其他条件不变，仅仅改变施加于压电陶瓷的电压而实现激光波长调谐实验中，一个特定纵模的波长随直流电压变化的曲线。图中的线性关系表明，欲使波长调谐覆盖若丹明 6G 的增益带宽，调谐电压大约应变化 100 伏。图 7 为出现单一纵模运转的调谐光谱照片。

附带指出，改变腔长并非是实现纵模调谐的唯一方法。维持泵浦光的方向及聚焦条件不变，微调谐振腔轴线与泵浦光方向之间的夹角，同样可以调谐输出纵模的波长。

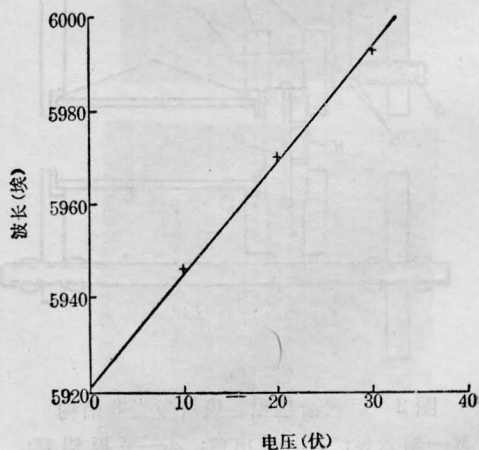


图6 调谐波长与压电陶瓷电压的关系



图7 单模调谐光谱

三、讨 论

超短腔激光器因其腔长特短而颇具特色。普通的激光器,如相继缩短腔长,势必到某一长度之下激光振荡就淬灭。因为随着光子的腔寿命

$$\tau_c = \frac{nd}{c(rR)}$$

的缩短,阈值条件不再满足。要求在超短腔条件下还能振荡,只有减少损耗或提高增益两种途径。减少损耗会增大输出激光的脉宽,因而并不总是理想的。提高增益即要提高工作物质浓度和提高泵浦速率,这是可行的。高的染料浓度和强超短脉冲泵浦正是这类激光器虽然腔长极短而仍能获得不太低的输出功率和能量转换效率的根本原因。本文报道的数据是在腔镜反射率并未最佳化情况下得到的,因此,提高器件性能的潜力仍然存在。我

们也试验了腔长和染料浓度的关系,发现在确定腔长下染料浓度增加到使泵浦光刚刚全部被工作物质所吸收时可以获得最强的输出。随着腔长缩短,染料浓度从 3×10^{-3} 摩尔增加到 5×10^{-2} 摩尔。对于5微米以下的短腔长,浓度为 5×10^{-2} 摩尔时仍然有相当部分的泵浦光透出腔外,这表明染料浓度还可以提高。

激光振荡要求激光脉冲的形成时间远大于上能级寿命。能级寿命过短将造成粒子数反转的额外损失,甚至导致在通常条件下无法振荡的结果。用强超短脉冲泵浦的超短腔染料激光器可以快速建立很高的粒子数反转,缩短激光形成的时间。这对于某些在通常泵浦条件下无法产生激光的短寿命染料介质来说,实现激光振荡可能是有利的。

参 考 文 献

- [1] John A. Duncanson *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1981, **52**, 3800.
- [2] A. J. Cox *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1982, **40**, 664.
- [3] A. J. Cox, Gary W. Scott; *Appl. Opt.*, 1979, **18**, 532.
- [4] B. Fan, T. K. Gustafson; *Appl. Phys. Lett.*, 1976, **28**, 202.
- [5] A. J. Cox *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1977, **31**, 389.
- [6] A. J. Cox *et al.*; *Appl. Opt.*, 1978, **17**, 3706.
- [7] H. Satzmann *et al.*; *Phys. Lett.*, 1976, **A57**, 41.
- [8] E. Sahar, D. Treves; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1977, **QE-13**, 962.
- [9] D. J. Bradley *et al.*; *Proc. IEEE*, 1974, **62**, 313.