

6-9

准分子激光泵浦猝灭式染料激光器

薛绍林 楼祺洪

TN248.32

(中国科学院上海光学精密机械研究所激光技术开放实验室, 上海 201800)

A 摘要 描述了利用准分子激光泵浦猝灭式染料激光器获得激光超短脉冲的方法, 理论上计算了猝灭式染料激光器产生短脉冲激光的机理, 实验上获得了短至 30 ps 的染料激光超短脉冲。

关键词: 超短脉冲, 猝灭式染料激光器

1 引言

① 许多物理、化学和生物过程需要用激光短脉冲来进行实验研究。利用猝灭式染料激光器获得激光短脉冲是一种比较经济和实用的方法^[1-3], 这种激光器主要利用腔瞬态过程的猝灭作用, 它对于同一增益介质有两个互相竞争的谐振腔。其中一个腔长短并具有高输出损耗, 另一个腔较长, 而且输出损耗小。第二个腔被称为猝灭腔。当所有条件均被满足时, 短腔仅发射出开始的尖峰, 后面的其余部分均被高 Q 腔中高强度的光子流所猝灭。它所输出的染料激光脉冲宽度仅大约为泵浦激光脉冲的五十分之一。准分子激光器具有功率大, 能量高和波长短等特点。这种激光器对于研究激光物质相互作用有着非常重要的价值。对于 308 nm XeCl 准分子激光器, 由于荧光辐射带宽, 根据傅立叶变换, 这种激光器能产生短至几十秒的脉冲, 但是, 由于 XeCl 准分子寿命短, 泵浦方式以及反应动力学等原因, 利用通常的锁模方法, 很难获得超短脉冲。

本文用 XeCl 准分子激光首先泵浦 PTP 染料激光器, 用波长约为 340 nm 的染料激光再去泵浦 Coumarin 498 猝灭式染料激光器, 获得了脉宽短至 30 ps 的染料激光。

2 理论和实验

图 1 是猝灭式染料激光器的结构图。M₁ 和 M₂ 就是染料池的两个对面, M₃ 是反射率大于 98% (这反射率对应用于染料激光波长, 在本实验中激光波长是 496nm) 的镀膜镜, M₄ 是普通的石英或玻璃平板。M₁ 和 M₂ 构成低 Q (高输出损耗) 谐振腔 (也就短腔)。M₃ 对着染料池的 M₁ 有一点倾斜, 一般情况下, 这个倾角大约为 1.5°—2°, 它和染料池的 S 面以及 M₂ 构成低输出损耗 (高 Q) 腔 (也就是长腔), 腔中光传播路线如图 1 所示; M₄ 对着 M₃, 它的作用也类似于 M₃, 它也起着猝灭腔的作用, 但它的猝灭作用远不及 M₃, 一般情况下可以移去。在低 Q 腔

• 由 863-416 赞助

收稿日期: 1996 年 8 月 1 日

中,产生带有尖峰的染料激光。尖峰后的部分被高 Q 腔中的强光子流猝灭。这样就产生染料激光短脉冲。

激光速率方程为

$$\frac{dn}{dt} = I_p \sigma_a N - \frac{\sigma_e C}{\eta} n(P + B) - \frac{n}{\tau}$$

$$\frac{dP}{dt} = \frac{\sigma_e C}{\eta} nP - \frac{P}{\tau_{c1}}$$

$$\frac{dB}{dt} = \frac{\sigma_e C}{\eta} nB - \frac{B}{\tau_{c2}}$$

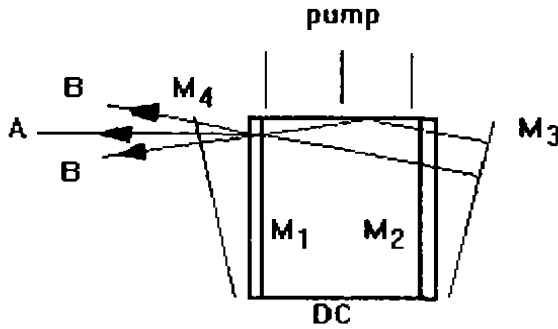


图 1 猝灭式染料激光腔(DC—染料池)

Fig. 1 Quenched dye laser cavity (DC—dye cell)

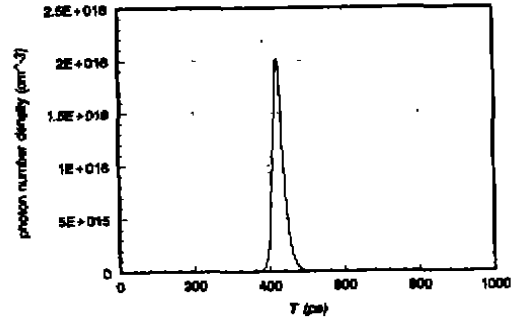


图 2 短腔中光子数密度随时间变化曲线

Fig. 2 The development of photon number density in the short cavity

式中 N 是染料分子的基态浓度(cm^{-3}); n 是第一激发态的染料分子的平均浓度(cm^{-3}); P, B 分别是短腔和长腔内的光子密度(cm^{-3}); σ_a 是染料分子在泵浦波长处的吸收截面(cm^2); σ_e 是染料分子在发射激光波长处的受激发光发射截面(cm^2); τ 是荧光寿命(s); C 是光速; η 是染料溶液的平均折射率; I_p 是单位面积上的平均泵浦光子流密度($\text{photon} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$); τ_{c1} 和 τ_{c2} 是短腔和长腔的等效延时时间。

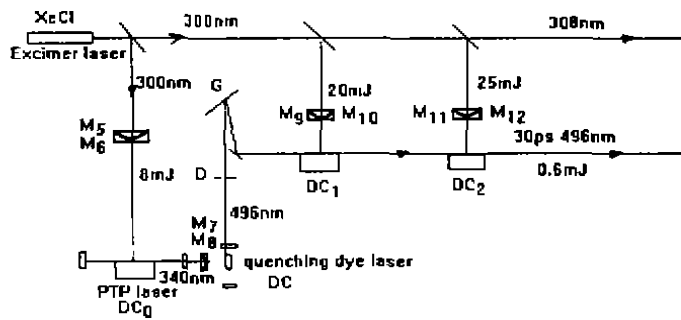


图 3 实验装置.DC—猝灭腔

Fig. 3 Experimental setup. DC—the quenching cavity

我们选择上述参数分别为: $N = 2.5 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$, $\sigma_a = 2.4 \times 10^{-17} \text{ cm}^2$, $\sigma_e = 1.45 \times 10^{-16}$

cm^2 , $\tau = 5 \times 10^{-9} \text{ s}$, $\eta = 1.44$; 为方便起见, 我们取 $I_p \sigma_a N$ 为幅值是 4.8×10^{17} , 脉宽约为 1 ns 的双曲正割函数。对上述方程进行数值模拟计算, 结果如图 2 所示, 染料激光脉宽大约为 40 ps 。图 3 是实验示意图。G 是 1800 线/nm 的衍射光栅, D 是直径为 1.0 mm 的小孔, D 起着挑选光束的作用, 光栅 G 起频率调谐作用, DC_1 和 DC_2 是两级放大器。DC 是猝灭染料激光器的染料池。DC₀ 是 PTP 染料激光器, 其染料池中的增益介质是 2 mol/l 的 PTP 的环己烷溶液, 有效增益长度是 20 mm 。猝灭激光器所用染料是香豆素 498 (Comarin 498), 溶解于甲醇溶剂。DC 的内尺寸是 $2 \times 40 \times 10 \text{ mm}^3$, 外尺寸是 $4 \times 42 \times 12 \text{ mm}^3$, 泵浦面是 $4 \times 12 \text{ mm}^2$ 的那个面, 这个面由光学石英平板构成。DC 中的染料浓度是 $2.5 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$ 。DC₁ 和 DC₂ 的有效增益长度都是 20 mm , 其中的染料浓度都是 $2 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$ 。泵浦 DC₀ 的准分子激光能量约为 8 mJ , 泵浦 DC₁ 和 DC₂ 的激光能量分别是 20 mJ 和 25 mJ , 用一台实验室自产的 30 W , 308 nm XeCl 准分子激光器, 通过分束的方法完全能够提供整个染料激光系统的泵浦能量。M₅, M₇, M₉ 和 M₁₁ 是焦距为 200 mm 的园透镜, M₆, M₈, M₁₀ 和 M₁₂ 是焦距为 200 mm 的柱透镜。

3 实验结果与讨论

适当调节猝灭腔。猝灭式染料激光器输出激光。从猝灭式染料激光器的输出能量非常小, 大约只有 nJ 数量级, 用能量计很难直接测量, 但用示波器能看到输出脉冲波形, 光栅 G 主要是起调谐作用, 从小孔出来经过光栅后的种子光脉冲首先通过染料激光放大器 DC₁ 进行放大, 当它再经过放大器 DC₂ 放大后, 染料激光能量达到 0.6 mJ , 用于泵浦 DC₁ 和 DC₂ 的准分子激光能量分别是 20 mJ 和 25 mJ 。图 4 是猝灭腔式染料激光器的输出脉冲波形, 其坐标单位是 $(500 \text{ mV}, 1 \text{ ns})$, 用二次谐波自相关法测得染料激光输出脉宽大约为 30 ps 。

我们也用其它染料 (如 BBQ) 做同样实验; 得到了类似实验结果。

从泵浦能量来看, 整个染料激光系统所需的总泵浦能量只为 $8 + 20 + 25 = 53 \text{ mJ}$ 。所以一般的准分子激光器基本上都能充当它的泵浦源。从实验结果看, 这种猝灭式染料激光器工作稳定, 有实际应用价值。经过更多的模拟计算, 结果表明脉冲前沿陡峭的激光都可以充当这种猝灭式染料激光器的泵浦源。我们也发现泵浦脉冲前沿愈陡, 计算得到的染料激光脉宽愈小。

4 结 论

用猝灭式染料激光器再加上倍频晶体倍频提供激光种子脉冲, 可以作为准分子激光放大和压缩系统的一个比较好的方案。波长 496 nm 的染料激光短脉冲经过 BBD 晶体倍频后可以作为 248 nm KrF 准分子激光放大器的种子源, 对 KrF 准分子激光脉冲的放大与压缩有比较重要的意义。猝灭式染料激光器, 由于其结构简单、价格便宜、使用方便, 有一定的研究与实用



图 4 猝灭式染料激光器的输出脉冲形状, 每格 1 ns

Fig 4 Temporal shape of quenched dye laser pulse; time scale 1 ns/div

意义。

参 考 文 献

- [1] F. P. Schafer, L. Wenchong and S. Szatmari, Short UV Laser Pulse Generation by Quenching of Resonator Transients. *Appl Phys.*, 1983, B31, 123—126
- [2] S. Szatmari and F. P. Schafer, Simple Generation of High-Power Picosecond, Tunable Excimer Laser Pulse. *Opt. Comm.*, 1983, 48, 279—283
- [3] S. Szatmari, Pulse Shortening of 5×10^3 by the Combined Pulse Forming of Dye Oscillators, Saturated Amplifiers and Gated Saturable Absorbers. *Opt. Quantum Electronics*, 1989, 21, 55—59

A Quenched Dye Laser Pumped by Excimer Lasers

Xue Shaolin, Lou Qihong

(*Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800*)

Abstract

A method to obtain short pulses or ultrashort pulses in quenched dye laser pumped by excimer laser was described in this paper. Mechanics of ultrashort pulses generation in quenched dye lasers was described theoretically. A 30 ps pulse at 496 nm was obtained in our experiments.

Key words: Ultrashort pulse, Quenched dye laser

薛绍林 男, 1964年3月生于江苏, 1993年在中国科学院上海光机所获硕士学位, 后继续攻读博士学位。主要从事固体激光器, 气体激光器, 染料激光器理论及其应用研究。