

准分子激光泵浦的皮秒染料激光器 *

薛绍林 楼祺洪 魏运荣

(中国科学院上海光机所激光技术开放实验室, 上海 201800)

提要 利用准分子激光泵浦猝灭式染料激光器, 获得了 30 ps 的可调谐染料激光脉冲输出。

关键词 超短脉冲, 猝灭式染料激光器

1 引 言

高能量、高功率、可调谐皮秒染料激光脉冲在生物、物理和化学上有着非常重要的应用。

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, 根据傅里叶变换, 这种激光器能产生短至几十飞秒的脉冲, 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, 利用通常的锁模或 Q 调制方法, 很难获得超短脉冲。为了获得超高峰值功率的激光, 从纳秒至皮秒, 甚至从皮秒至飞秒的有效脉冲压缩是非常重要的。

F. P. Schafer 提出了一种新的皮秒染料激光脉冲技术^[1,2], 这种技术得到的皮秒脉冲系统结构简单、价格便宜, 脉冲前沿上升快的激光器都能充当它的泵浦源, 这种猝灭式染料激光器能够获得数百皮秒的染料激光, 如果和分布反馈染料激光器联合使用, 它便能获得皮秒甚至飞秒的染料激光超短脉冲^[3,4]。这种猝灭式染料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。其中一个腔的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 (spike), 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。

用 308 nm XeCl 准分子激光器泵浦猝灭式染料激光器, 选择适当的染料, 利用调谐的方法, 很容易得到波长为准分子激光波长二倍的染料激光短脉冲 (如 616 nm 和 497 nm), 再利用晶体倍频, 就可以得到准分子激光器的种子脉冲, 最后去放大准分子激光器, 就可以获得高功率准分子激光。当然, 如果要深入探讨这种激光器, 还要进一步研究染料激光器中存在的放大的自发辐射 (ASE) 压缩等问题。这将是我们的下一步工作。

本文用 308 nm XeCl 准分子激光横向泵浦一只普通的 PTP (对三联苯) 染料激光器, 得到波长 340 nm 的染料激光, 再用这个波长的染料激光泵浦一只可调谐猝灭式香豆素 498 (Coumarin 498) 染料激光器, 得到波长在 496 nm 附近可连续调谐的皮秒激光脉冲, 经过两级

* 863 高技术资助项目。

收稿日期: 1995 年 7 月 19 日; 收到修改稿日期: 1995 年 9 月 27 日

放大后,激光系统的输出能量达 1.3 mJ,实验测得脉冲宽度仅为 30 ps。

2 实验

图 1 是猝灭式染料激光器的结构图。 M_1 和 M_2 就是染料池的两个对面, M_3 是反射率大于 98% (这反射率对应于染料激光波长,在本实验中激光波长是 498 nm) 的镀膜镜, M_4 是普通的石英或玻璃平板。 M_1 和 M_2 构成低 Q (高输出损耗) 谐振腔 (也就是短腔)。 M_3 和 M_4 构成低输出损耗 (高 Q) 腔 (也就是长腔),这个腔的轴线与 M_1 和 M_2 所组成腔的轴线成 $1^\circ \sim 2^\circ$,它起着猝灭腔的作用。在低 Q 腔中,产生带有 Spike 的染料激光。Spike 后的部分全部被高 Q 腔中的强光子流猝灭。这样就产生染料激光短脉冲。

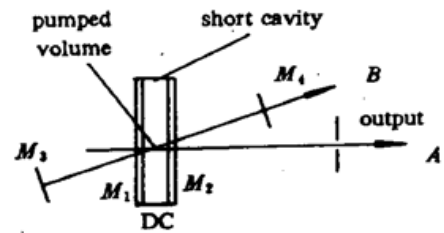


Fig. 1 Dye quenching laser cavity

DC: dye cell

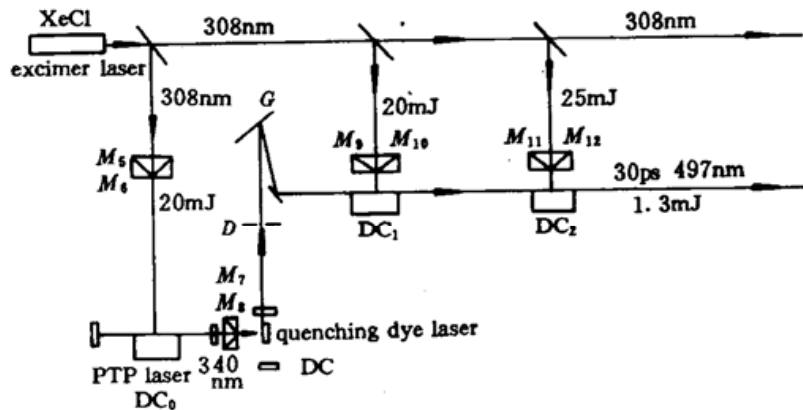


Fig. 2 Experimental setup

DC₀: PTP dye laser; DC: dye laser with a quenching cavity; DC₁, DC₂: two dye laser amplifiers; M_5 , M_7 , M_9 , M_{11} : four spherical lenses; M_6 , M_8 , M_{10} , M_{12} : four cylindric lenses; G : grating; D : small aperture

图 2 是实验装置示意图。DC₀ 是普通的横向泵浦染料激光器,染料溶液是 PTP 的环己烷溶液,浓度是 2.5×10^{-3} mol,有效增益长度是 3 cm,泵浦能量为 20 mJ。 G 是 1800 线/mm 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,DC₁ 和 DC₂ 是两级放大器。DC 是猝灭染料激光器的染料池。染料是香豆素 498 (Comarin 498),它和 PTP 均由相干公司出品,溶解于甲醇溶剂。DC 的内尺寸是 $2 \times 40 \times 10$ mm,外尺寸是 $4 \times 42 \times 12$ mm,泵浦面是 4×12 mm 的那个面,这个面由光学石英平板构成。DC 中的染料浓度是 2.5×10^{-3} mol,DC₁ 和 DC₂ 的有效增益长度都是 20 mm,其中的染料浓度都是 2×10^{-3} mol。泵浦猝灭式染料激光器的泵浦能量是大约 2 mJ 的 PTP 染料激光 (波长是 340 nm),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。 M_5 , M_7 , M_9 和 M_{11} 是焦距为 200 mm 的圆透镜, M_6 , M_8 , M_{10} 和 M_{12} 是焦距为 200 mm 的柱透镜, M_5 和 M_6 , M_7 和 M_8 , M_9 和 M_{10} , M_{11} 和 M_{12} 这四对透镜均把泵浦光聚焦成一条细光线,分别泵浦 DC₀,DC,DC₁ 和 DC₂。实验中,用 PT-1 型激光能量计测量输出能量,用非共线二次谐波自相关法测量染料激光系统的输出脉宽。

3 实验结果

用于泵浦染料池 DC₀ 的准分子激光能量是 20 mJ, 产生的 PTP 染料激光能量大约是 2 mJ, 它的输出经过透镜 M₁ 和 M₂ 后, 用于泵浦猝灭式染料激光器 DC, 染料池 DC 中的染料浓度为 2.5×10^{-3} mol 时, 适当调节猝灭腔, 猝灭式染料激光器输出激光。它的输出共有两个方向, 共计两束光, 其中一束是猝灭腔(即长腔)输出的染料激光, 它们对应于图 1 中的 B 光束, 而从短腔(即低 Q 腔)输出的染料激光对应于图 1 中的 A 光束, B 光束对应于 Spike 的后面部分, 而 A 光束则对应于 Spike 部分, 它是我们所需要的短脉冲部分, 由于 A 光束方向和 B 光束方向大

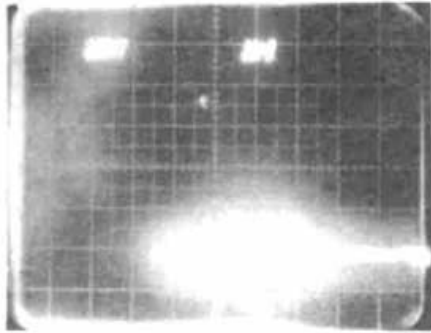


Fig. 3 Temporal pulse shape of the dye laser with a quenching cavity; time scale, 10ns/div

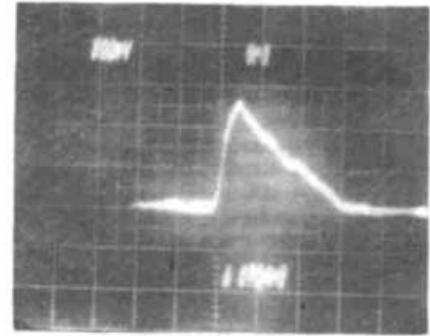


Fig. 4 Temporal pulse shape of the dye laser pulse without the quenching cavity; time scale, 5ns/div

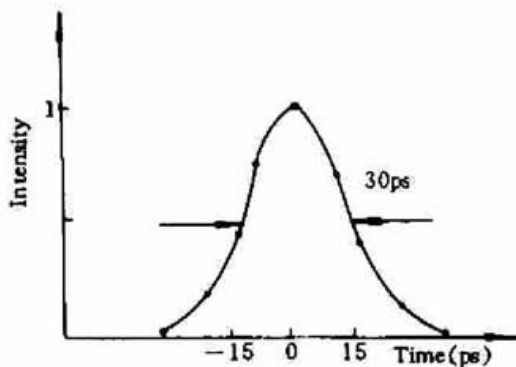


Fig. 5 The curve of the autocorrelation

约有近 $1^\circ \sim 2^\circ$ 的夹角, 经过小孔 D (直径 1 mm), 很容易将它们分离出来, 但如果染料池设计得不太好, 可能会有许多束光从激光器发出, 这会给分离光束带来困难, 所以这种激光器对染料池的平行度要求比较高, 一般要求特制, 我们定做了六只染料池, 结果只有两只还能凑合用, 实验所用的染料池的两个面的夹角小于 0.002° 。猝灭式染料激光器的输出能量非常小, 大约只有纳焦耳 (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, DC₁ 中的染料浓度为 1.5×10^{-3} mol, 有效增益长度是 20 cm, 泵浦 DC₁ 的准分子激光能量为 20 mJ, 经过放大后, 染料激光能量达到 17 μ J, 当它再经过放大器 DC₂ 放大后, 染料激光能量达到 1.3 mJ, DC₂ 中的染料浓度和 DC₁ 中的相同, 有效增益长度也是一样, 用于泵浦 DC₂ 的准分子激光能量是 25 mJ。图 3 是染料激光输出脉冲波形, 其坐标单位是 50 mV, 10 ns, 从图 3 我们可以看到, 由于光脉冲上升非常快, 脉冲前沿和后沿在照片上都不能显示出来, 只能看到脉冲的顶部(照片上的亮点)。图 4 是未加猝灭腔时的染料激光输出脉冲波形, 这时坐标单位是 50 mV, 5 ns。我们用非共线二次谐波自相关脉宽测量系统测量脉宽, 实验测得的脉冲宽度为 30 ps, 图 5 是实验测得的自相关曲线, 具体测量方法见参考文献[5]。

对激光器的稳定性进行研究, 结果表明, 在泵浦激光器的稳定范围内, 激光器的输出基本稳定, 对 100 个脉冲进行测量表明, 能量的稳定度优于 6% (泵浦激光器的输出能量稳定度优

于 3%)。由于测量复杂,对于脉冲宽度,我们只测量了两次,一次泵浦能量为 6 mJ(泵浦 DC 的能量),另一次为 8 mJ(泵浦 DC 的能量),结果发现,两次的脉宽相差在 3%以内。

4 分析与讨论

猝灭式染料激光器输出的脉冲宽度主要与泵浦脉冲的前沿有关,对于准分子激光脉冲,上升时间还较大,所以用它来泵浦一只普通的染料激光器,以便提高脉冲的上升时间。用准分子激光泵浦 PTP 染料激光器,输出脉冲的上升时间只有 0.1 ns 左右,而且 PTP 染料激光波长在 340 nm 附近,正好处在香豆素 498 染料的吸收带内,所以我们选择 PTP 染料作为普通染料激光器 DC₀ 的增益介质。

5 总 结

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 497 nm 的染料激光短脉冲经过 BBO 晶体倍频后可以作为 248.5 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,价格便宜和使用方便,有一定的研究与实用意义。采用这种方法,我们在实验上获得了 30 ps 脉宽,输出能量达 1.3 mJ 的单脉冲可调谐染料激光。本工作还有很多方面有待于完善和探索。对激光器本身的稳定性还要进行研究,对激光系统的结构也要进行合理的安排,以期达到实用要求。

参 考 文 献

- 1 F. P. Schafer, L. Wenchong, S. Szatmari. Short UV laser pulse generation by quenching of resonator transients. *Appl. Phys.*, 1983, **B32**: 123
- 2 S. Szatmari, F. P. Schafer. Simple generation of high-power picosecond, tunable excimer laser pulses. *Opt. Commun.*, 1983, **48**: 279
- 3 S. Szatmari. Pulse shortening of 5×10^3 by the combined pulse forming of dye oscillators, saturated amplifiers and gated saturable absorbers. *Opt. Quant. Electr.*, 1989, **21**: 55
- 4 薛绍林, 楼祺洪, 魏运荣等. 308 nm XeCl 准分子激光泵浦猝灭式可调谐染料激光器研究. *中国激光*, (待发表)
- 5 E. P. Ippen, C. V. Shank. *Appl. Phys. Lett.*, 1975, **27**: 488

An Excimer Laser Pumped Tunable Picosecond Dye Laser

Xue Shaolin Lou Qihong Wei Yourong

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

Abstract An excimer laser pumped tunable 30 ps dye laser with a quenching cavity is reported.

Key words ultrashort pulse, quenching cavity dye lasers