

308 nm XeCl 准分子激光双侧面对称泵浦 之形腔染料激光器研究

薛绍林 董景星 魏运荣 楼棋洪

(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)

摘 要 描述了用 308 nm XeCl 准分子激光双侧面对称泵浦之形腔染料激光器, 重点探讨了这种激光器的输出光束质量改善问题, 实验发现这种双侧面对称泵浦较传统的横向泵浦, 光束质量有较好的改善, 对于 2×10^{-3} mol/l 浓度的 coumarin 460 染料甲醇溶液, 在波长 460 nm 处, 实验得到 11.7% 的能量转换效率。

关键词 双侧面对称泵浦, 横向泵浦, CCD。

1 引 言

激光核聚变是当前激光科学领域最活跃的方向之一, 它需要高能量、高功率和高质量的激光, 对于通常的棒状固体激光介质, 由于热量分布不均匀引起热透镜和热应力效应, 很难满足这种要求。采用板条形结构^[1, 2]能够使固体激光器安全地获得高能量, 高功率以及高质量光束输出^[3, 4], 它的特点是光在激活介质中以锯齿形光路传播, 同时对激活介质施行面泵浦和面冷却, 从而有效地克服激光介质热畸变对输出功率和光束质量的影响, 使器件获得光束质量良好的高功率激光输出, 本文描述用波长为 308 nm 的 XeCl 准分子激光双侧面泵浦之形腔染料激光器, 这种激光腔型安排与固体板条状之型激光腔有类似的效果, 对于染料液体来说, 采用光泵浦时, 不但存在热透镜效应, 而且还存在声学效应, 这些效应都会严重地限制激光的输出能量和输出功率, 并且会降低激光器输出光束的质量, 采用双侧面对称泵浦方式能大大地消除这些效应的影响。

这种泵浦方式和传统的横向泵浦方式相比, 它有很多优点, 采用横向泵浦, 泵浦激光在染料液体内随着传输距离增加而大幅度减小, 尤其对于准分子激光更是如此, 因为对于紫外光来说, 所有介质(包括溶剂和石英窗口)吸收非常大, 因此这种泵浦方式不太均匀, 从输出激光斑来看, 采用传统横向泵浦方式, 输出光斑呈三角形, 愈靠近底部, 激光愈强, 但是采用双侧面对称泵浦方式, 这种不均匀性会在很大程度上得到改善, 通过两束泵浦光在泵浦区域内相互叠加, 能够比较好地改善泵浦光在泵浦区域内的均匀性, 从而能够较好地改善染料输出激光的均匀性, 这种方式的最大好处是, 染料激光在染料池的两个泵浦面成之形反射传播, 这种传播方式的结果是, 能在非常大的程度上消除泵浦区域内泵浦不均匀对染料输出激

光均匀性的影响, 输出光斑基本上呈均匀的矩形, 对于传统的横向泵浦方式, 由于输出激光是沿着与泵浦光垂直方向直线传播的, 它不具有平均不均匀泵浦的作用。

2 实验装置

实验装置如图 1 所示。 M_2 为曲率半径 $R = 3000 \text{ mm}$ 的凸全反射镜, G 为 1800 l/mm 的

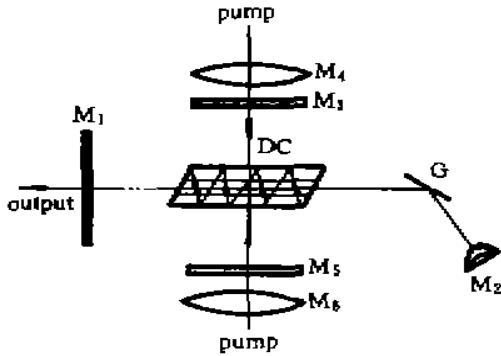


Fig. 1 Experimental Setup

衍射光栅, 染料激光以掠入射的方式射向光栅, 被光栅衍射后, 射向 M_2 ; M_1 为反射率 $R = 40\%$ 的输出耦合镜, DC 为染料池, 它的尺寸为 $50 \times 10 \times 2 \text{ mm}^3$, 构成染料池的石英平板的厚度为 1.2 mm , 泵浦面尺寸是 $50 \times 10 \text{ mm}^2$ 的两个面, 因此构成染料激光器之形腔的厚度是 $2 + 2 \times 1.2 = 4.4 \text{ mm}$ 。为了对比, 本文用长 50 mm 的染料池做通常的横向泵浦实验。 M_3 和 M_5 为两个长 40 mm , 宽 30 mm , 焦距 $f_1 = 200 \text{ mm}$ 的柱透镜, M_4 和 M_6 为两个 $\phi 50 \text{ mm}$, 焦距 $f_2 = 200 \text{ mm}$ 的圆透镜, M_3 和 M_5

(M_5 和 M_6) 将 308 nm 的 XeCl 准分子激光在染料池内聚焦成宽约 0.5 mm , 长 50 mm 的细线。本实验用的染料是 coumarin 460 (香豆素染料), 溶解在甲醇中, 浓度为 $2 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$, 它的中心发光波长大约为 460 nm , 泵浦源是实验室自制紫外预电离 30 W , XeCl 准分子激光器, 脉宽为 35 ns , 工作重复频率为 1 Hz 。染料输出激光能量用 PT-1 型激光能量计测量。光束的均匀性用 CCD 测量。

3 实验结果

为了验证双侧面面对称泵浦方式能改善光束质量, 实验用曲率半径为 $R = 3000 \text{ mm}$ 的全反射镜和透过率为 40% 输出耦合镜构成的放大率为 1.67 的非稳腔做实验。结果发现在近场输出光斑中, 除了中间的近似矩形光斑外, 在两边还有两个较小的矩形斑。为了得到远场光斑, 采用焦距为 2000 mm 的透镜聚焦输出光束, 为了简化输出光束的远场光斑, 采用光阑挡住近场光斑中除中间部分的其他所有成分。另外由于在染料池的壁附近存在不稳定因素, 也要挡去近场光斑中间部分的边缘约 1 mm 的那些部分。在聚焦透镜的焦平面平面附近用 CCD 接收输出光束的信号, 最后将采样信号输入计算机, 将其归一化并用计算机软件 GRAPH 绘出光强分布图。

CCD 测量双侧面面对称泵浦方式情况下光束远场横截面强度分布, 如图 2 所示。图 2(a) 是沿泵浦光方向的光强分布, 图 2(b) 是垂直方向的光强分布。为了和传统的单侧面横向泵浦的输出光束相比较, 实验用相同的染料浓度和相同染料增益长度作横向泵浦, 图 3 是传统的横向泵浦方式输出光束(沿着泵浦光方向)横截面强度分布。从图 2 可以看到, 穿过整个光斑, 光强分布近似于对称分布, 光束边缘区上升快, 尤其在图 2(a) 中, 光束中间部分变化比较平缓, 而在图 3 中, 靠近染料池的泵浦面, 光束上升快, 另一边变化不规则且缓慢, 光束中光强分布不均匀。因此对称泵浦较传统横向泵浦输出染料激光光束均匀性有较大程度的改善。在染料浓度为 $2 \times 10^{-3} \text{ mol}$, 泵浦激光能量为 87.4 mJ 时, 波长为 460 nm 的染料激光输出能量达到 10.2 mJ , 能量转换效率为 11.7% , 而对于传统横向泵浦方式, 能量转换效率为 9.4% 。

图 4 是激光能量转换效率随激光输出波长的变化关系, 曲线 1 对应于双侧面对称泵浦方式, 曲线 2 对应于传统的横向泵浦方式。如果降低染料浓度, 发现激光能量转换效率随之降低, 而对于传统的横向泵浦, 输出激光束的光学均匀性有一定程度改善。

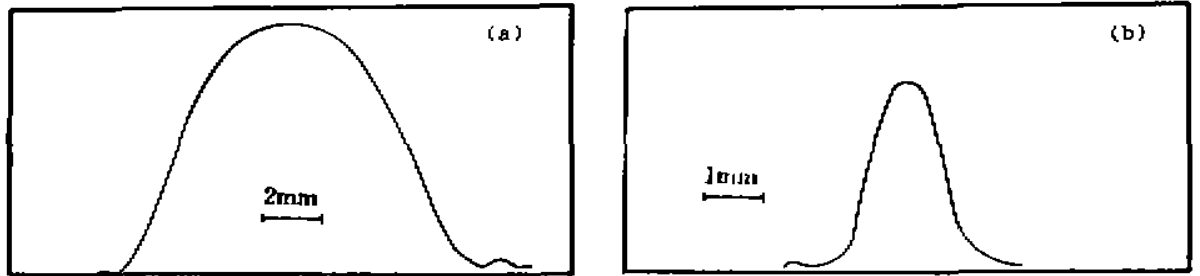


Fig. 2 Intensity distribution across the beam for the symmetrical pump from two sides. (a) The intensity distribution in the direction parallel to the pump, (b) The intensity distribution in the direction vertical to the pump

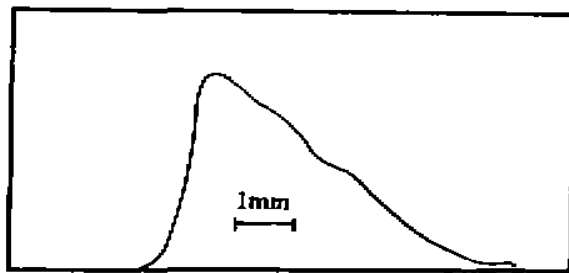


Fig. 3 Intensity distribution in the direction parallel to the pump in the state of the ordinarily transversal

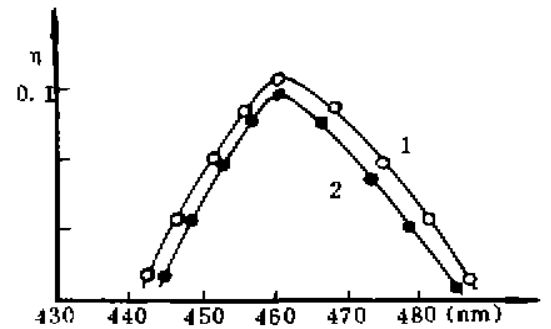


Fig. 4 Energy transference curves. Curve 1 for the symmetrical pump from two sides and curve 2 for the ordinarily transversal pump

4 分析与讨论

众所周知, 准分子激光器由于激光波长短, 处于紫外区, 较可见光和红外光更适用于研究激光与物质的相互作用, 特别是在激光核聚变研究领域, 由于打靶效率高, 所以更受人们重视, 但是, 由于准分子激光, 光束质量不太好, 所以改善其光束质量就显得格外重要; 另外, 为了满足激光核聚变需要, 激光器具有能够高能量和高功率输出, 利用对称泵浦之形腔染料激光器, 它既可以改善光束质量, 又能满足大能量和大功率输出的需要。本实验中采用非稳腔, 有利于改善输出光束的发散问题。根据文献[5], 谐振腔的放大率 M 为

$$M = \left| \frac{(L^2 - LR)^2 + L}{(L^2 - LR)^2 - L} \right| \tag{1}$$

等效菲涅耳系数 N_{eq} 为

$$N_{eq} = [a^2/(\lambda L)] [(M - 1)/(M + 1)] \tag{2}$$

式中 a 可以近似认为等于染料池的之形腔厚度 (本实验中 $a = 2 + 2 \times 1.2 = 4.4 \text{ mm}$), λ 为染料激光波长。激光达到衍射限前在腔内的总渡越时间 τ 为

$$\tau = n_0(2L/c) \tag{3}$$

激光在腔内运行圈数 n_0 为^[6]

$$n_0 = \ln(250 N_{eq}) / \ln M \quad (4)$$

对于 200 mm 的染料激光腔长, 可以算出放大率 $M = 1.67$, 对于中心波长 460 nm, 等效菲涅耳系数 $N_{eq} = 10.68$, $n_0 \approx 6$, 这说明激光脉冲在腔内只需运行 6 圈, 就能达到衍射限, 这对于泵浦脉宽只有 35 ns 的染料激光器是非常合适的。

此外, 本实验中利用了高能量密度的泵浦光源, 这使得实验能够使用较高的染料浓度, 在这种情况下有绝大部分的泵浦光(大于 80%)能被染料吸收。而对于传统的单侧面横向泵浦方式, 要想获得较好的输出光束质量, 必须降低染料溶液的浓度, 这将必然降低泵浦能量的有效利用。

结 论 本文实验研究了利用准分子激光泵浦染料激光器, 实验得出, 采用 308 nm XeCl 准分子激光双侧面对称泵浦 Coumarin 460 染料, 获得了光束质量较好的染料激光输出, 作者认为这种结构对改善染料激光光束质量, 提高输出功率和提高泵浦激光的利用率有一定的实际应用价值。另外, 作者利用其它染料(象 PTP, Coumarin 498 染料等)也获得了类似的实验结果, 但由于条件限制, 没能测得染料输出激光束远场的光强立体分布。

参 考 文 献

- [1] J. L. Miler, C. B. Dane, L. Zapata *et al.*, Neodymium-glass Zigzag slab regenerative amplifier laser system for X-ray lithography. *Proc. Conf. Laser. Electro-Optics*, 1992, 12: 90~91
- [2] N. Hodgson, T. Hase, H. Weber, High power slab laser with unstable resonators. *Proc. Conf. Lasers, Electro-Optics*, 1992, 12: 92~93
- [3] J. M. Eggeston, T. J. Kane, K. Kuhn *et al.*, The slabgeometry laser-part 1: theory. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1984, QE-20(2): 289
- [4] Georg F. Albrecht, John M. Eggleston, J. J. Ewing, Design and characterization of a high average power slab YAG laser. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1986, QE-22(11): 2099
- [5] 杨香春, 孙占鳌, 朱小磊, 带抗共振环的非稳腔对撞脉冲锁模 Nd:YAG 激光器的设计和特性. *中国激光*, 1989, 16(5): 302~304
- [6] W. H. Southwell, Virtual-source theory of unstable resonator modes. *Opt. Lett.*, 1981, 6(10): 487

A Dye Laser with Zig-Zag Cavity Pumped Symmetrically from Two Sides by 308 nm XeCl Excimer Laser

Xue Shaolin Dong Jingxing Wei Yunrong Lou Qihong

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

(Received 2 March 1994; revised 25 May 1995)

Abstract This paper described a dye laser with zig-zag cavity pumped symmetrically from two sides by 308 nm XeCl excimer laser. Improvement of the output beam was investigated and the experiments show that the quality of the output beam by using symmetrical pump from two sides is better than that by using ordinarily transversal pump. For dye coumarin 460 dissolved in methanol with 2×10^{-3} mol/l concentration, energy transference of $\eta = 11.7\%$ was obtained at the wavelength of 460 nm.

Key words symmetrical pump from two sides, transversal pump, CCD.