

不同谐振腔分步合成法制备的固态染料 P567 可调谐激光器*

张明 任杰 洪治** 陈军

(浙江大学现代光学仪器国家重点实验室, 杭州 310027)

摘要 利用新型分步合成法制备的激光染料 P567 掺杂有机改性凝胶玻璃, 建立了基于全息光栅的两种不同腔型可调谐激光器. 采用光栅零级作为输出的激光器, 调谐范围近 70 nm (543 ~ 610 nm), 获得的最高斜效率为 17%; 采用腔镜耦合输出方式, 调谐范围超过 30 nm (553 ~ 585 nm), 获得的最高斜效率为 9.7%. 并对激光器的可调谐范围、阈值、斜效率及线宽等参数进行了深入的分析比较.

关键词 固态染料激光器; P567; 谐振腔; 分步合成; 溶胶-凝胶

中图分类号 O437 **文献标识码** A

0 引言

染料激光器因具有波长调谐范围宽、输出功率高、吸收和增益容易控制等优点而得到了广泛应用. 目前固态染料的工作寿命及损伤阈值已经有了很大提高^[1-3]. 为了得到大调谐范围、窄线宽的激光输出, 已经发展出多种可调谐染料激光腔, 如以光栅某一衍射级^[4]或扩束棱镜的反射^[5]作为激光输出, 或用具有一定透过率的反射镜耦合输出^[6-8]. 此外, 利用分布反馈 (DFB) 结构的固态染料激光器也获得了窄线宽和可调谐输出^[9,10], 但其输出波长不稳定、调谐方法复杂.

本文使用通过溶胶-凝胶 (sol-gel) 分步合成方法制备 P567 掺杂固态染料样品, 利用全息光栅作色散元件, 分别采用光栅零级激光输出和腔镜耦合激光输出两种腔型, 对该样品进行了可调谐固态染料激光实验研究, 并对激光器的可调谐范围、阈值、斜效率及线宽等参数进行了比较, 分析了不同腔型的特点.

1 固态染料的制备及荧光光谱

以 VTES 为先驱体, 采用先酸催化水解, 再碱催化缩聚的分步合成方法制备出掺杂激光染料 P567 的复合材料. 详细制备方法参见参考文献[11]. 该制备方法的特点是可根据不同先驱物的水解-缩聚反应特点, 分别对先驱物的水解和缩聚两个反应动力学过程进行有效的控制, 获得微结构可控的分子水平复合的光学均匀固态可调谐染料激光介质. 因

此可显著提高复合固态染料激光介质的激光输出稳定性、效率及寿命等综合品质. 此外, 分步合成方法制备的样品机械加工性能良好, 对固态染料激光器的实用化也有积极意义. 我们实验中使用的样品均为机械加工而成: 圆柱形, 直径 30 mm, 厚度 3 mm.

图 1 是 P567 掺杂样品在 337.1 nm 氮激光激发下的荧光光谱, 其荧光光谱峰值波长为 553 nm, 谱宽 (FWHM) 为 46 nm.

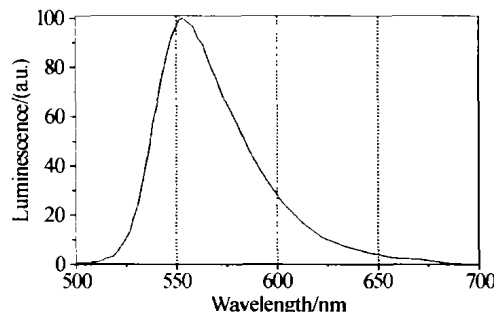


图 1 掺杂样品在 337.1 nm 氮激光激发下的荧光光谱
Fig. 1 Steady-state PL spectra of P567 doped in VTES-gel glass excited by 337.1 nm nitrogen laser

利用无色散元件的平-平腔结构对染料样品进行了激光寿命的实验. 在泵浦能量密度为 0.1 J/cm², 重复频率 2 Hz 的 532 nm 激光泵浦下, 38000 个脉冲后, 输出能量降到初始输出的 50%.

2 实验装置

我们利用全息光栅作色散元件的两种不同激光谐振腔进行了固态染料可调谐激光实验研究. 图 2 (a) 为腔镜耦合输出的谐振腔. 会聚透镜 L 用于提高入射到晶体上的泵浦光功率密度. 输入镜 M₁ 对 550 ~ 640 nm 高反, 对泵浦光 532 nm 增透 (T = 65%), 输出镜 M₂ 对 550 ~ 640 nm 透过率为 40% ~ 60%. 1800 L/mm 的全息光栅 G, 以入射角 70° 放置于谐振腔中, 刻线方向与水平方向垂直. 染料片 S

*国家自然科学基金(60078002)资助项目

** Tel: 0571-87951215 Email: hongzhi@cise.zju.edu.cn

收稿日期: 2003-10-08

以 Brewster 角摆放. 激光谐振腔总长 10 cm. 根据光栅衍射方程, 微调输出镜 M_2 角度, 即可得到连续可调谐的激光输出.

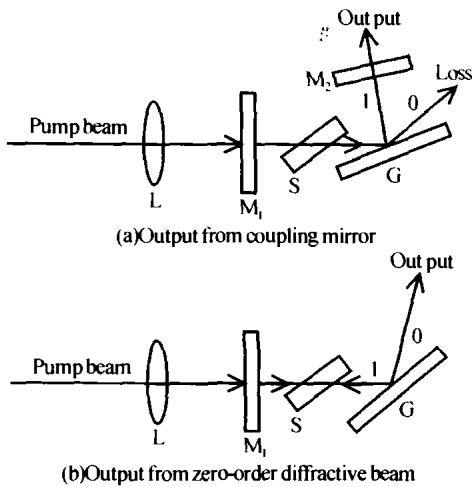


图 2 不同激光谐振腔结构示意图
Fig. 2 Experimental setup of tunable dye laser

图 2 (b) 为光栅零级输出的激光谐振腔, 会聚透镜 L, 输入镜 M_1 与图 2 (a) 相同, 1800 L/mm 的全息光栅 G 以 Littrow 角 (本实验中约 30°) 摆放, 负一级衍射光反馈振荡, 零级作为激光输出. 染料片 S 仍以 Brewster 角摆放.

染料激光实验中所用的泵浦源为氙灯泵浦调 Q 倍频 (532 nm) Nd:YAG 激光器, 泵浦光脉宽 20 ns (FWHM), 脉冲重复频率 1 ~ 10 Hz 可调, 输出激光偏振方向与水平成 45° 角, 经半波片调整为水平偏振. 用双通道能量计 Moletron EPM2000 分别监测泵浦光能量和染料激光输出能量, 用多通道光谱分析仪 (OMA-IV) 监测染料激光输出光谱的中心波长.

3 实验结果及分析

3.1 调谐范围

图 3 为 400 μJ 能量泵浦下的两种腔型的调谐曲线. 对光栅零级输出腔型, 当腔长为 5.7 cm 时, 获得的调谐范围近 70 nm (543 ~ 610 nm), 583 nm 为调谐峰值波长; 而对腔镜耦合输出腔型, 腔长 10 cm 时, 调谐范围大于 30 nm (553 ~ 585 nm), 574 nm 为调谐峰值波长.

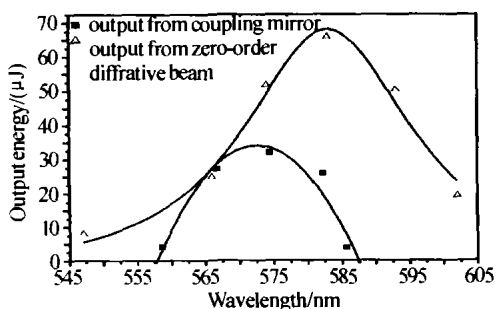


图 3 400 μJ 泵浦能量下的两种腔型的调谐曲线
Fig. 3 Tuning curve at 400 μJ pumping energy

文献 [12] 中报道了 P567 分别掺杂于 ORMOSIL 基质和 Composite 玻璃中, 调谐范围均为 550 ~ 585 nm. 文献 [13] 中 P567 掺杂于混合物凝胶玻璃基质中, 调谐范围为 545 ~ 585 nm. 上述结果与我们使用腔镜耦合输出方式得到的调谐范围 (553 ~ 585 nm) 相近. 光栅零级输出方式时获得的近 70 nm 调谐范围, 据我们所知, 是报道过的利用固态染料 P567 获得的最宽调谐范围.

实验中两种激光腔型的可调谐输出曲线均相对于荧光峰值向长波方向偏移. 参照染料、输入镜和输出镜透过率曲线, 如图 4 所示, 染料样品透过率随波长变长而增大, 在荧光谱峰值附近 (540 ~ 560 nm) 有较高的吸收; 另一方面输入镜在短波长 540 ~ 560 nm 范围反射率较低, 而在 570 nm 至 610 nm 的反射率则大于 98%, 输入镜反射率低导致输出损耗增加, 阈值升高, 斜效率降低. 因此, 染料自吸收与输入镜反射率共同作用, 导致调谐曲线相对荧光峰值发生红移.

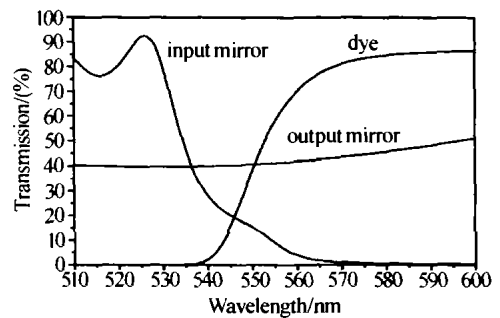


图 4 染料样品, 输入镜和输出镜透过率曲线
Fig. 4 The transmission curve of dye sample, input mirror and output mirror

3.2 斜效率与阈值

图 5 为两种不同腔型激光器调谐至各自峰值波长时的激光输出能量与泵浦能量的关系曲线. 对于腔镜耦合输出腔型, 在峰值波长 574 nm 时斜效率 9.7%, 阈值为 59.5 μJ ; 对光栅零级输出腔型, 当腔长为 5.7 cm 时, 在 583 nm 调谐峰值波长处, 斜效率为 17.2%, 阈值为 17.6 μJ .

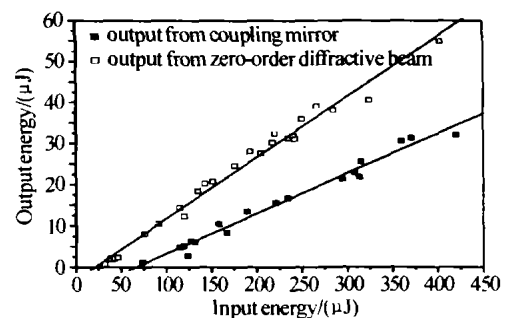


图 5 不同腔型的泵浦与输出能量关系
Fig. 5 Output energy versus input energy with different cavity
对于光栅零级输出的腔型, 我们将激光谐振腔腔长增加到 8 cm 进行了实验. 此时, 调谐范围缩小

到 543 ~ 600 nm, 在 564 nm 调谐峰值波长处, 斜效率下降到 10%, 阈值上升到 58 μJ , 可见腔长对激光输出的影响很大. 此外, 由于实验中使用的光栅零级衍射效率较低 (30° 入射时仅 16%), 影响了零级输出结构激光的输出能量, 也限制了斜效率的提高.

3.3 线宽及偏振分析

对光栅零级直接输出腔型, 当腔长为 5.7 cm 时, 在 583 nm 调谐峰值波长处, 用 OMA-IV 测得线宽为 0.5 nm; 而对腔镜耦合输出腔型, 腔长 10 cm 时, 在 574 nm 调谐峰值波长处, 用 F-P 标准具测量其输出线宽为 0.014 nm. 光栅零级输出结构由于入射角度小, 光照面积小, 光栅的有效分辨率较低, 激光在腔内往返一次的理论色散^[4] 仅约为腔镜耦合输出结构的 1/5, 因此输出线宽较大.

对光栅零级直接输出腔型, 在腔长变长到 8 cm 后, 输出线宽变宽, 最高达到 1.2 nm. 这是由于腔长变长, 激光在腔内往返次数减少, 从而导致输出线宽变大^[14]. 在调谐过程中, 均呈现出在可调谐区间中段 (转换效率较大处) 线宽稍宽, 两边稍窄的结果, 表明转换效率高时有更多的纵模起振.

实验中还发现两种腔型输出激光均具有较高线偏振度, 这一方面是由于染料片以 Brewster 角摆放, 另一方面由于全息光栅对垂直刻线方向的偏振光具有较高的衍射效率.

4 结论

采用新型分步合成方法制备的激光染料 P567 掺杂有机改性凝胶玻璃, 基于全息光栅建立了采用光栅零级作为激光输出和腔镜耦合激光输出两种不同的可调谐激光腔. 用调 Q Nd:YAG 激光器倍频光纵向泵浦固态染料, 在光栅零级输出腔型的实验中, 调谐范围近 70 nm (543 ~ 610 nm), 在 583 nm 调谐峰值波长处, 获得了最高转换效率 17%; 在腔镜耦合输出腔型实验中, 调谐范围超过 30 nm (553 ~ 585 nm), 在 574 nm 调谐峰值波长处, 获得最高转换效率 9.7%. 并对两种不同谐振腔型的可调谐激光器的可调谐范围、阈值、斜效率及线宽等参数进行了深入的分析比较.

感谢浙江大学材料与化工学院钱国栋教授为实验提供了固态染料样品.

参考文献

1 Abedin K M, Alvarez M, Costela A, et al. 10 kHz

- repetition rate solid-state dye laser pumped by diode-pumped solid-state laser. *Opt Commun*, 2003, **218**(4 ~ 6): 359 ~ 363
- 2 Yang Y, Wang M Q, Qian G D, et al. The influence of oscillator configurations on performance of solid-state dye laser medium prepared by a new mould fabrication technique. *Materials Letters*, 2002, **57**(3): 660 ~ 665
- 3 张勤远, 姜中宏, 胡丽丽. 凝胶基质高效可调谐固态染料激光器. *光学学报*, 1999, **19**(6): 766 ~ 770
Zhang Q Y, Jiang Z H, Hu L L. *Acta Optica Sinica*, 1999, **19**(6): 766 ~ 770
- 4 Shoshan I, Dannon N N, Oppenheim U P. Narrowband operation of a pulsed dye laser without intracavity beam expansion. *Journal of Applied Physics*, 1977, **48**(11): 4495 ~ 4497
- 5 Hanna D C, Karkkainen P A, Wyatt R. A simple beam expander for frequency narrowing of dye lasers. *Optical and Quantum Electronics*, 1975, **7**(2): 115 ~ 119
- 6 Lam S K, Zhu X L, Lo D. Single longitudinal mode lasing of coumarin-doped sol-gel silica laser. *Appl Phys B*, 1999, **68**(6): 1151 ~ 1153
- 7 Duarte F J, Costela A, Garcia-Moreno I, et al. Dispersive solid-state dye laser oscillators. *Optical and Quantum Electronics*, 1997, **29**(4): 461 ~ 472
- 8 Duarte F J. Solid-state dispersive dye laser oscillator: very compact cavity. *Opt Commun*, 1995, **117**(5 ~ 6): 480 ~ 484
- 9 Wadsworth W J, McKinnie I T, Woolhouse A D, et al. Efficient distributed feedback solid state dye laser with a dynamic grating. *Appl Phys B*, 1999, **69**(2): 163 ~ 165
- 10 Zhu X L, Lo D. Distributed-feedback sol-gel dye laser tunable in the near ultraviolet. *Appl Phys Lett*, 2000, **77**(17): 2647 ~ 2649
- 11 Qian G D, Yang Y, Wang Z Y, et al. Photostability of perylene orange, perilene red and pyromethene 567 laser dyes in various precursors derived gel glasses. *Chemical Physics Letters*, 2003, **368**(5 ~ 6): 555 ~ 560
- 12 Yariv E, Schultheiss S, Saraidarov T, et al. Efficiency and photostability of dye-doped solid-state lasers in different hosts. *Optical Materials*, 2001, **16**(1): 29 ~ 38
- 13 Nhung T H, Canva M, Dao T, et al. Stable doped hybrid sol-gel materials for solid-state dye laser. *Applied Optics*, 2003, **42**(12): 2213 ~ 2218
- 14 Duarte F J. Multiple-return-pass beam divergence and the linewidth equation. *Applied Optics*, 2001, **40**(18): 3038 ~ 3041

Tunable Solid-state Dye Lasers with Different Cavities for P567 Doped Sample Made by Stepwise Synthesis Technique

Zhang Ming, Ren Jie, Hong Zhi, Chen Jun

State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation, Zhejiang University, Hangzhou 310027

Received date: 2003-10-08

Abstract Two kinds of tunable solid-state dye laser cavities based on holographic grating were established for pyrromethene 567 doped sample made by stepwise synthesis technique through a sol-gel process. With the cavity of output from zero-order diffractive beam, tunable range of about 70 nm from 543 ~ 610 nm had been achieved, and the highest slope efficiency of 17% was obtained at 583 nm wavelength. While using the cavity of output from a coupling mirror, tunable range of over 30 nm from 553 ~ 585 nm was obtained, and the slope efficiency was 9.7% at 574 nm wavelength. Furthermore the parameters of laser tunable range, threshold, slope efficiency, and linewidth of the two different cavities are deeply analyzed.

Keywords Solid-state dye laser; P567; Cavity; Stepwise synthesis; Sol-gel



Zhang Ming was born in 1975. He received his B. S. degree in China Institute of Metrology in 1996 and M. S. degree in Zhejiang University in 2001. Now he is a Ph. D. candidate on optical engineering in Zhejiang University. His current research interests are laser technology and nonlinear optics.