

文章编号: 1001-3806(2004)01-0052-03

# 新型分步合成法制备的 P567 固态染料可调谐激光器

任 杰, 洪 治, 张 明

(浙江大学 现代光学仪器国家重点实验室, 杭州 310027)

**摘要:** 采用分步合成方法制备激光染料 P567 掺杂有机改性凝胶玻璃。利用调 Q Nd:YAG 激光器倍频光 (532nm) 纵向泵浦固态染料, 通过光栅调谐, 得到了调谐范围超过 30nm (553nm~585nm)、最高斜效率 9.7% 的线偏振激光输出。输出波长为 574nm 时, 脉宽为 4ns, 线宽 0.014nm。实验中还获得了 7nm (FWHM) 的宽带激光输出, 斜效率为 69%。在 2Hz, 0.1J/cm<sup>2</sup> 的 532nm 激光泵浦下, 38000 个脉冲后, 输出能量降到初始输出的 50%。

**关键词:** 固态染料激光器; P567; 可调谐; 分步合成; 溶胶-凝胶

中图分类号: TN248.1 文献标识码: A

## Tunable solid state dye laser with P567 doped sample made by novel stepwise synthesis technique

REN Jie, HONG Zhi, ZHANG Ming

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

**Abstract:** The solid dye samples used in our experiment is made by a stepwise synthesis technique through a soft gel process. Laser dye doped in the sample is pyromethene 567. Longitudinally pumped tunable solid state dye lasers with intracavity grating are established with Q-switched frequency doubled Nd:YAG laser pumping source. The slope efficiency of 9.7% and tunable range over 30nm (from 553nm~585nm) has been achieved. The pulse width is 4ns and the spectrum width is 0.014nm at 574nm wavelength. The laser output broad band of 7nm (FWHM) and 69% slope efficiency are also obtained in the experiment. With 0.1J/cm<sup>2</sup> pump fluency and 2Hz repetition rate, the output energy decreases to 50% of initial value after 38000 shots.

**Key words:** solid state dye laser; P567; tunable; stepwise synthesis; soft gel

## 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。与液体染料激光器相比, 固态染料激光器具有结构紧凑、应用简便、无污染及成本低等优点, 而且目前固态染料的工作寿命及损伤阈值已经有了很大提高<sup>[1~4]</sup>。通过在谐振腔内加入色散元件构建的可调谐固态染料激光器, 可以得到较大调谐范围、窄线宽的激光输出<sup>[5~9]</sup>。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<sup>[10, 11]</sup>, 但输出波长不稳定、调谐方法复杂。

介绍了使用一种新型分步合成方法, 通过溶胶-

凝胶 (soft gel) 过程制备 P567 掺杂固态染料样品。利用全息光栅进行了可调谐固态染料激光实验研究, 通过激光染料 Brewster 角摆放, 得到了窄线宽可调谐线偏振激光输出。

## 1 固态染料的制备

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掺杂激光染料的复合材料。制备开始首先将掺杂 P567 掺入有机改性 VTES 先驱体, 先驱体的初始浓度为  $1.0 \times 10^{-4}$  mol/L。反应溶剂为水和乙醇, 酸性催化剂采用 HCl, 通过控制 HCl 的用量调整 pH 值至 2.0 左右。反应物的初始摩尔比为  $n(\text{先驱体})_0 : n(\text{乙醇})_0 : n(\text{水})_0 = 3:3$ 。当缩聚反应数小时之后, 加入 amine modified silane N-(3-(triethoxysilyl)-propyl)-ethylenediamine 作为碱性催化剂用以提高缩聚反应的速度。再经历数小时的磁力搅拌后, 将溶胶装入聚四氟乙烯小杯并密封, 然后放入 40℃ 的烘箱进行干燥陈化。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60078002)

作者简介: 任 杰 (1977-), 男, 硕士研究生, 现从事固体激光器方面的研究。

E-mail: lanjiers@yahoo.com.cn

收稿日期: 2003-04-28; 收到修改稿日期: 2003-06-15

同国内外研究和采用的无机基有机复合固态可调谐染料激光介质的一步合成法相比,分步合成方法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了有效的控制,可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。有效调制复合激光介质的组成和微结构,使有机激光染料分子处于基质的网络间隙或微小(半径小于2nm)的孔隙中,阻止其与空气中的氧分子接触,提高了激光介质的均匀性、致密性,抗光化学衰退性能、散热性能和光学加工性能,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。

良好的可机械加工性能对固态染料激光器的实用化有重要意义。分步合成方法制备的样品机械加工性能良好,既可采用常用的手工打磨方法抛光,也可采用机械打磨抛光。作者使用的样品均为机械加工而成,圆柱形,直径30mm,厚度3mm。

## 2 可调谐激光器实验与结果

可调谐染料激光器实验装置如图1所示。泵浦源为氙灯泵浦调Q倍频(532nm)Nd:YAG激光器,

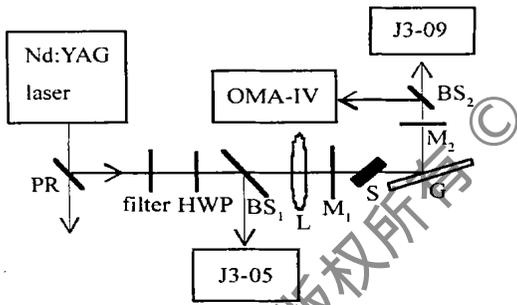


Fig. 1 Experimental setup of tunable dye laser with dispersive cavity  
泵浦光脉宽11ns(FWHM),脉冲重复频率1Hz~10Hz可调,输出激光偏振方向与水平成45°。对基波1064nm高透、对532nm高反的偏振反射镜(PR)和对1064nm高反、对532nm高透的滤光片(filter)用来去除基波。半波片(HWP)将泵浦激光的偏振方向调整至水平方向。会聚透镜(L)焦距 $f=15\text{cm}$ ,用以提高入射到晶体上的泵浦光功率密度。输入镜 $M_1$ 对550nm~640nm高反,对泵浦光532nm增透( $T=65\%$ ),输出镜 $M_2$ 对染料激光透过率为50%~60%。1800线/mm的全息光栅G,以入射角取为70°放置于谐振腔中,刻线方向与水平方向垂直。反射透射比为1:1.6的分束镜( $BS_1$ ,  $BS_2$ )用来分光。连接于双通道能量计Molelectron EPM 2000的探头J3-09监测泵浦光能量, J3-05监

测染料激光输出能量。多通道光谱分析仪(OMA-IV)监测染料激光输出光谱。

将染料片S以Brewster角摆放,起到3个作用:(1)有效降低了染料表面的反射损耗,提高了泵浦效率和激光输出效率;(2)激光偏振选择作用;(3)防止子腔振荡的发生。

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中a和b分别是

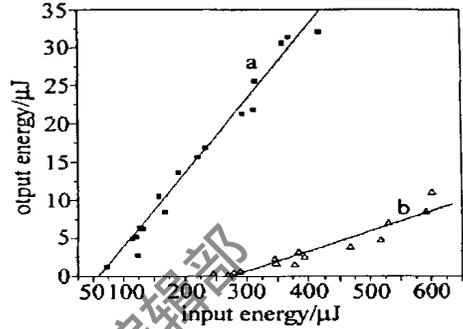


Fig. 2 Output energy versus input energy with different wave length  
a—574nm b—585nm

当输出波长为574nm和585nm时激光输出能量与泵浦能量的关系曲线,它们的斜效率分别为9.7%,2.6%;激光阈值为59.5μJ,274μJ。图3为在400μJ能量泵浦下的调谐曲线,实验中得到了调谐范围大于30nm(553nm~585nm),最高斜效率9.7%的染料激光输出。在574nm输出时,测得脉冲宽度(FWHM)为4ns。用厚度为3mm的F-P标准具测量输出线宽,得激光输出谱宽为11G,线宽为0.014nm。实验中发现输出激光具有较高线偏振度,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<sup>[12,13]</sup>。

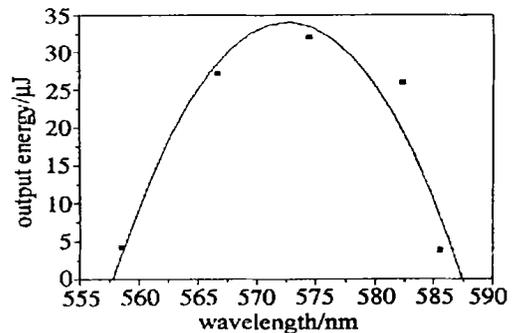


Fig. 3 Tuning curve at 400μJ pumping energy

该激光器的输出线宽大于DUARTE等人<sup>[8,9]</sup>的结果,这是因为实验中光栅面上入射角度较小,且在光栅前未采用多棱镜扩束,光栅的分辨率未能充分利用。DUARTE<sup>[9]</sup>采用棱镜扩束,掠入射光栅,得到了小于700MHz的单纵模输出。另外,在光腔

内加入标准具,可提高光腔的选模能力,达到压缩线宽的目的,LAM等人<sup>[6]</sup>获得了1.58G输出线宽的结果。

由于现有器件尺寸的限制,光腔长度为9.6cm,斜效率为9.7%,如果缩短腔长,斜效率可以更高,DUARTE<sup>[9]</sup>设计了非常紧凑的激光腔结构,获得的转换效率为5%~7%,与作者的结果相近。

### 3 宽带激光实验与结果

去掉图1装置中的全息光栅,直接以 $M_2$ 作为输出镜,得到宽带激光辐射输出,图4所示为不同腔长情况下染料输出光能量与泵浦光能量的关系。

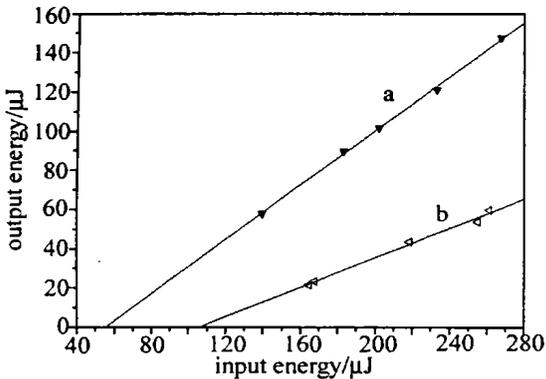


Fig. 4 Output energy versus input energy with different length of cavity  
a—4.2cm b—10.0cm

染料激光器腔长为10.0cm时,斜效率为37.5%,阈值为104.9μJ。缩短腔长至4.2cm后,斜效率提高到69.2%,阈值下降为54.8μJ。

宽带输出时,输出光同样具有较好线偏振度。用多通道光谱分析仪测得激光输出光谱如图5所示。

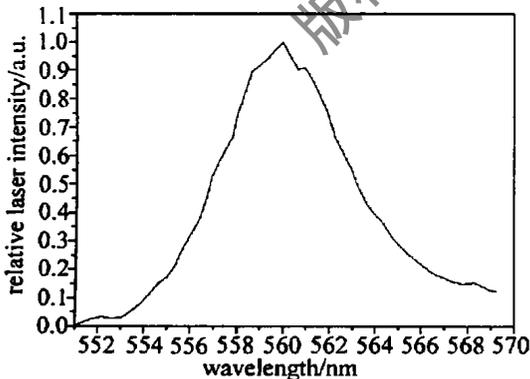


Fig. 5 Spectra of wide band dye laser, central wavelength: 560nm, FWHM: 7nm

示,输出染料激光的中心波长为560nm,谱宽(FWHM)为7nm。

使用宽带辐射实验装置,进行了染料激光寿命的实验,在泵浦能量密度为 $0.1\text{J}/\text{cm}^2$ 重复频率2Hz的532nm激光泵浦下,38000个脉冲后,输出能量降到初始输出的50%。可见,使用该方法制成的固态染料,具有较好的激光寿命。

### 4 结论

利用新的分步合成方法制备的P567掺杂的固态染料,进行了可调谐激光器的实验,在实验中将染料片以Brewster角度摆放,采用光腔内加入全息光栅的方法进行调谐,获得了调谐范围大于30nm(553nm~585nm),最高斜效率9.7%的线偏振激光输出。输出波长为574nm时,脉宽为4ns,线宽0.014nm。在宽带激光辐射实验中,获得了斜效率69.2%,阈值54.8μJ,半宽7nm的线偏振激光输出。在泵浦能量密度为 $0.1\text{J}/\text{cm}^2$ ,重复频率2Hz的532nm激光泵浦下,38000个脉冲后,输出能量降到初始输出的50%。

感谢浙江大学材料与化工学院钱国栋教授提供固态染料样品。

### 参考文献

- [1] COSTELA A, GARCIA-MORENO I, GOMEZ C *et al.* Appl Phys, 2002, B75: 827~ 833.
- [2] YANG Y, WANG M Q, QIAN G D *et al.* Materials Letters, 2002, 57: 660~ 665.
- [3] 张勤远, 姜中宏, 胡丽丽. 光学学报, 1999, 19(6): 766~ 770.
- [4] LAM K S, LO D. Appl Phys, 1998, B66: 427~ 430.
- [5] HONG Z, WANG Z Y, YANG Y *et al.* Chin Phys Lett, 2001, 18(2): 225~ 227.
- [6] LAM S K, ZHU X L, LO D. Appl Phys, 1999, B68: 1151~ 1153.
- [7] ZHANG Q Y, WANG J, HU L L *et al.* Chin Phys Lett, 1999, 16(5): 384~ 386.
- [8] DUARTE F J, COSTELA A, GARCIA-MORENO I *et al.* Optical and Quantum Electronics, 1997, 29: 461~ 472.
- [9] DUARTE F J. Opt Commun, 1995, 117: 480~ 484.
- [10] WADSWORTH W J, MCKINNIE I T, WOOLHOUSE A D *et al.* Appl Phys, 1999, B69: 163~ 165.
- [11] ZHU X L, LO D. A P L, 2000, 177(17): 2647~ 2649.
- [12] DUARTE F J, PIPER J A. Appl Opt, 1981, 20(12): 2113~ 2116.
- [13] LITTMAN M G, METCALF H J. Appl Opt, 1978, 17(14): 2224~ 2227.