

准连续 $Ti^{3+}:Al_2O_3$ 可调谐激光的研究

吴瑞昆 丘治 刘晔 李庆国 邓佩珍*

(中国科学院上海光机所, 201800)

摘要: 本文给出了 $Ti^{3+}:Al_2O_3$ 的准连续可调谐激光的实验结果。采用 Nd:YAG 内腔倍频 532 nm 的准连续输出作为泵浦源, 得到 $Ti^{3+}:Al_2O_3$ 的连续可调谐输出。波长覆盖范围为 685 nm 到 824 nm。最大输出功率为 293 mW, 斜率效率为 20%, 在 805 nm 处的窄谱输出功率达 240 mW, 总体转换效率为 26%。

关键词: $Ti^{3+}:Al_2O_3$ 准连续激光器

Quasi-CW tunable $Ti^{3+}:Al_2O_3$ laser

Wu Ruikun, Qiu Zhi, Liu Ye, Li Qingguo, Deng Peishen

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

Abstract: Experimental results are presented on Ti^{3+} sapphire quasi-CW laser pumped by the internal frequency-doubled quasi-CW Nd:YAG laser in the wavelength range from 685 nm to 824 nm. The maximum output power of 293 mW has been achieved. The slope efficiency is 20%. The maximum single frequency output power is 240 mW at 805 nm with an overall conversion efficiency of 26%.

Key words: $Ti^{3+}:Al_2O_3$ quasi-CW tunable laser

掺钛宝石是一种新型的激光材料。由于它有宽的荧光谱, 使它成为固体可调谐激光器的最有利的工作物质。国外已有用各种不同泵浦源的 $Ti^{3+}:Al_2O_3$ 激光器的报道^[1~4], 国内也有用 Nd:YAG 脉冲激光倍频为泵浦源的报道。我们是用准连续 Nd:YAG 内腔倍频激光为泵浦源。

实验装置如图 1。其中 1 为 Nd:YAG 内腔倍频激光系统; 2, 8 分别为转光镜与分光镜; 3 为聚焦透镜; 4, 7 为谐振腔反射镜; 5 为掺钛宝石晶体; 6 为色散棱镜; 9 为光栅单色仪; 10 为功率计。

准连续 Nd:YAG 内腔倍频 532 nm 激光输出功率可调。光束直径为 $\phi 4$ mm, TEM₀₀ 调制频率为 1 kC~10 kC 可变。掺钛宝石的光学调谐腔为半共焦式, 其全反端为平凹镜, 在 700~800 nm 处反射近 100%, 对 532 nm 透过率为 95%。耦合输出镜是一块平面镜, 实验

收稿日期: 1991年1月22日; 修改稿收到日期: 1991年4月17日。

* 作者还有乔景文, 颜声辉, 柴耀。

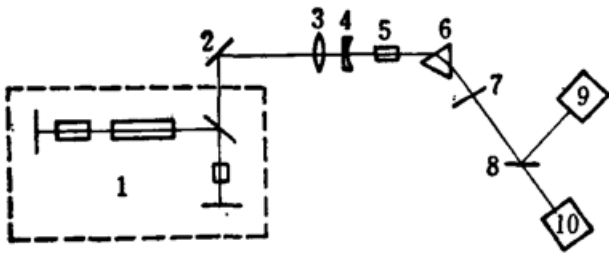


Fig. 1 Experimental setup of $\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$ tunable laser pumped by internal frequency-doubled quasi-CW Nd:YAG laser

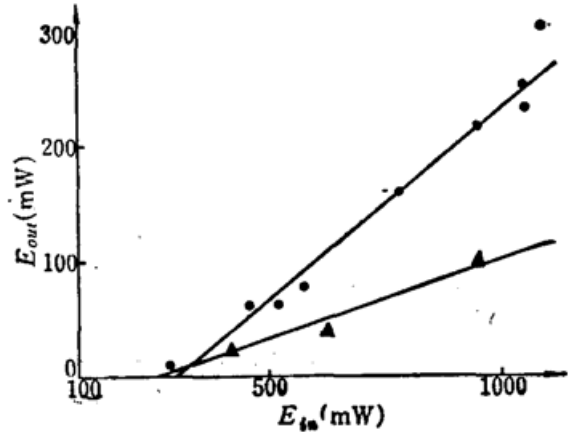


Fig. 2 Output and input curves for different output coupling
●— $T_1=33\%$; ▲— $T_2=6\%$

中使用了几块不同反射率的镜片。掺钛宝石晶体($\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$)是用感应温场上移法生长的。其横截面尺寸为 $4 \times 4 \text{ mm}^2$, 两端涂有相应波长的增透膜。色散元件为 ZF₆ 三棱镜。通过调整输出耦合镜的角度来实现波长调谐。用 SD-IV 型全息凹面光栅单色仪测定光谱范围, 用 PT-1 型功率计测量输出功率。

首先, 谐振腔内不放色散元件, 这时谐振腔内起振的波长范围, 取决于 $\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$ 晶体的荧光波长特性及激光谐振腔的二块反射镜的特性。在绿光泵浦功率小于 1.1 W 条件下选用了不同输出耦合, 测量了掺钛宝石的激光输出功率。得到了输出输入曲线(图 2)。得到最大的全谱输出功率为 293 mW, 斜率效率为 20%, 图 2 中的二条曲线, 分别对应于两种耦合输出, $T_1=33\%$, $T_2=6\%$ 。由于这两块反射镜的反射率随波长变化稍有不同, 所以全谱输出的中心波长不同, 分别为 777 nm 和 770 nm。

从图 2 中可以看出, 对于一定的泵浦功率, 选择适当的输出耦合, 能够得到较低的阈值或获得较高的输出功率。我们在 110 mW 的泵浦功率下, 即获得了掺钛宝石的激光输出。以上的实验结果都与我们的计算相符。

激光器的性能与腔内损耗密切相关。我们计算了腔内损耗 $L^{[1]}$ 。求得 L 值约为 0.16。该值的大小, 主要取决于 $\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$ 中 Ti^{3+} 的掺杂浓度、晶体的光学质量与尺寸。

我们还计算了内量子转换效率 $\eta_0^{[2,5]}$ 。通常 η_0 的值在 0.5~0.8 之间, 我们计算的结果为 0.59 左右。

为了实现调谐, 插入了一块 ZF₆ 棱镜作为色散元件。得到 685 nm 到 824 nm 的 $\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$ 激光的连续可调谐输出。在 805 nm 处得到最大输出功率为 240 mW。此时的总体转换效率为 26%。对比前面给出的全谱输出 293 mW, 我们可以得出, 只要腔型选择合适, 调谐元件的插入损耗尽量减少, 两腔镜的反射率匹配得当, 能使振荡模式集中, 在调谐情况下, 同样能得到较大的激光输出。图 3 给出了在泵浦功率为 1 W 时的调谐曲线及相应的反射镜的反射率随波长变化曲线。目前已实现的调谐范围, 是受限于所使用的腔片的性能。从图 3 可以看出, 通过设计特殊形式的反射镜, 能够获得较为平坦的调谐曲线。

图 4 表明不同输出波长的激光其泵浦阈值不同。这是因为除了谐振腔的输出耦合不同外, 还因为对应于这两个波长的 $\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$ 的发射横截面 σ 的不同所至。对应图中的两种波长, 理论^[1]计算其相应的阈值比为 1:2.1。而实验结果的阈值比为 1:2.2, 两者相当接近。

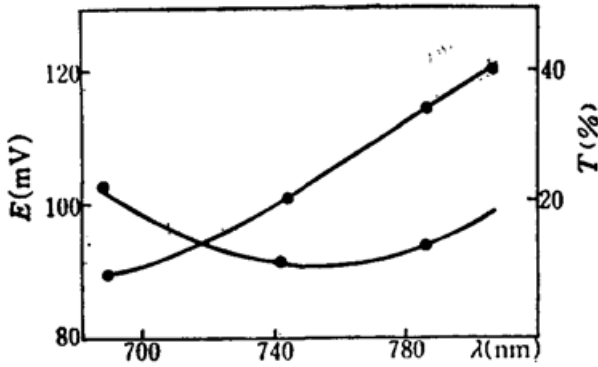


Fig. 3 $\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$ laser tuning curve at pumping power of 1W, and output mirror reflectance curve

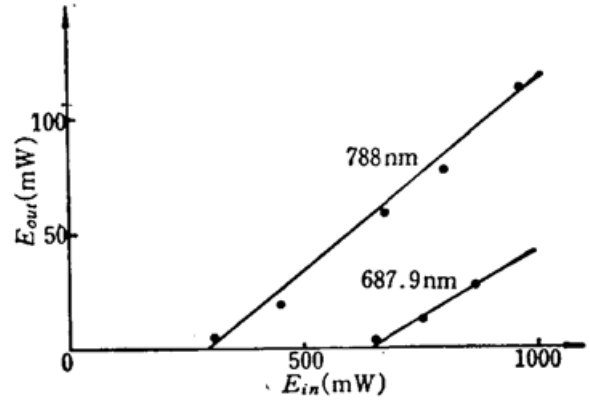


Fig. 4 Two different wavelength output and relative input curves

需要说明的是,图4中两条曲线的斜率效率不一致,这是因为输出波长与输出耦合不同造成的。但这两条曲线所对应的内量子效率 η_0^i 非常相近,分别为 0.590 和 0.593。

调谐输出时的 $\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$ 的激光光谱宽度,测量结果大约为 3 nm 左右,随波长不同有所不同。这里只使用了一块 ZF₆ 棱镜,若想压窄谱宽,需再加棱镜或在腔内插入 F-P 标准具等其它措施。

由于掺钛宝石的激光能级中,不存在激发态吸收的问题^[6],所以通常采用纵向泵浦方式。本文采用的同轴光泵方案,其束腰半径很小,因此对光束质量及调整的要求较高。由于调整的误差,使得阈值常常不同,有时差别很大。

实验中还观察到所谓“滞后”效应。[即当泵浦光照射到晶体上时,要滞后 1~2s 后输出才达到最大。这可能是因为激光谐振腔是在泵浦光一直照射下调到最佳状态的缘故。这时已包含了热效应的影响,所以,当关机后再开机时,谐振腔还未进入最佳状态造成的。

参 考 文 献

- 1 P. F. Moulton, *J. Opt. Soc. Am.*, **B3** (1), 125 (1986)
- 2 P. Albors *et al.*, *J. Opt. Soc. Am.*, **B3** (1), (1986)
- 3 吴路生 *et al.*, *中国激光*, **16**(1), 3 (1989)
- 4 *Laser Focus World*, **25** (3), 33 (1989)
- 5 A. Sanchez *et al.*, *Opt. Lett.*, **11** (6),
- 6 *IEEE J. Quant. Electr.* **QE 24** (6), 1009 (1988)