

双向泵浦的高功率高效率钛宝石激光器

吴路生 韦 丽 周东方 赵梅荣 邬承就

(中国科学院安徽光机所, 合肥 230031)

提要 用脉冲调 Q 的 Nd:YAG 倍频激光器对一块 10.3 mm 长的钛宝石晶体实行双向泵浦, 获得了 88 mJ 的脉冲输出能量, 38.5% 的转换效率和 0.003 nm 的线宽。

关键词 双向泵浦, 钛宝石激光器

自从 P. Moulton^[1] 报道了钛宝石的激光特性以后, 它的宽调谐、高增益以及优越的物理、化学和光学性能使其成为继 Nd:YAG 之后最有价值的激光晶体。

钛宝石激光器可以多种方式运转, 其中用脉冲 Nd:YAG 倍频激光进行纵向泵浦是获得高功率的主要途径。要获得高功率就必须提高输入功率, 然而, 这将受到晶体损伤阈值的限制, 双向泵浦是解决这一矛盾的有效方法。

吴路生等人^[2]在做腔内倍频时, 用双向泵浦的钛宝石获得了高的倍频效率, Frederick Estable 等人^[3]采用双向泵浦方式研究了高能量增益导引(Gain-guided)的钛宝石激光器, 获得了 150 mJ 输出能量, 转换效率大于 35%。本文阐述了用双向泵浦方式, 在钛宝石中获得了高功率和高效率的实验结果。

1 基本考虑

双向泵浦也称两端泵浦, 就是泵浦光束分别从晶体两端入射, 两束光可以从一束光中一分为二^[3], 如图 1(a) 所示。也可以将剩余泵浦光反射回来, 它们分别适用于高、低浓度的晶体。下面以前者为例, 并令两束光束参数相同。图 1(b) 表示泵浦功率在晶体中的变化情况(实线是单向, 虚线是双向), 若 P_0 和 P_1 分别表示单向和双向泵浦时的入射功率, T 为泵浦光透过率, 忽略干涉效应, 从图 1 的简单关系可知, 在入射表面承受同等功率的情况下有

$$P_0 = (1 + T)P_1$$

双向泵浦时的总输入功率为 $2P_1$, 比单向泵浦时多

$$P = 2P_1 - P_0 = P_0(1 - T)/(1 + T)$$

图 2 为归一化功率的增加与泵浦透过率的关系。由图可见泵浦吸收越强, 允许增加的输入功率越多, 如当 $T = 0.1$ 时, $\Delta P/P_0 \approx 0.82$, 即双向泵浦可比单向泵浦多输入 82% 的总功率, 这显然是很吸引人的。值得注意的是, 增加的输入功率无需克服阈值, 将全部贡献于激光振荡, 这样在输出未饱和前其整体效率便可大大提高。

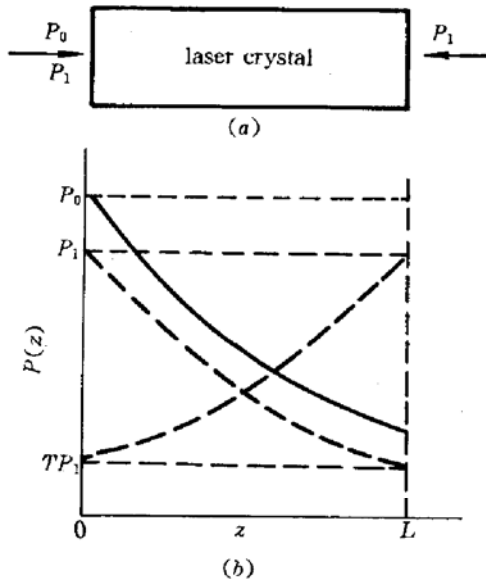


Fig. 1

(a) Schematic of two-direction-pumping. P_0 and P_1 are pumping power, denoting one-direction pumping and two-direction pumping respectively; (b) Power variation in the laser crystal. — one-direction-pumping; ----two-direction-pumping

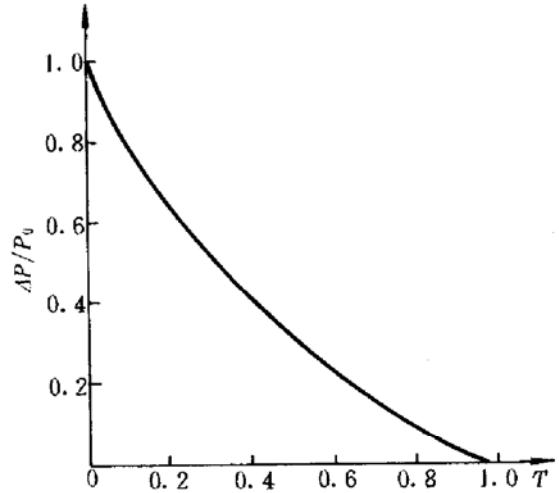


Fig. 2 Normalized total input power increase $\Delta P/P_0$ of the two-direction-pumping laser vs the pumping transmission

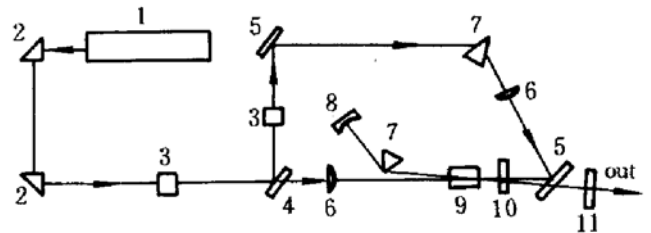
2 实验装置

实验装置如图 3 所示。脉冲调 Q 的 Nd : YAG 振荡放大系统产生的 $1.06 \mu\text{m}$ 激光,经第一块 KTP 晶体倍频,产生 $0.53 \mu\text{m}$ 绿光,用 1 m 焦距的透镜聚焦,作为钛宝石晶体的正向泵浦光。剩余的 $1.06 \mu\text{m}$ 光经反射后用第二块晶体再次倍频,经过反射、滤光和聚焦后,反方向泵浦钛宝石晶体,两路绿光的能量之比为 3 : 1,光束在晶体内基本重合,光斑尺寸约为 $\phi 4 \text{ mm}$ 。钛宝石激光谐振腔由全反镜 ($R = 99.5\%$)、输出镜 ($R = 50\%$) 和色散棱镜等组成,腔长为 250 mm ,振荡光和泵浦光在晶体中的交角为 8° 。

钛宝石晶体为本所用提拉法生长的优质钛宝石晶体,掺杂浓度为 1 wt-\% ,对泵浦光的吸收系数为 2.5 cm^{-1} ,晶体按 90° 切割,尺寸为 $10.3 \times 8 \times 6.4 \text{ mm}^3$ ($a \times b \times c$),垂直于 a 轴的两个面抛光,并镀有增透膜。由上所述,该晶体浓度较高,比较适合图 3 的实验配置。此外,这种安排除具有双向泵浦的优点之外,还充分利用了 $1.06 \mu\text{m}$ 基波能量,有利于提高整体效率。

Fig. 3 Experimental arrangement of the two-direction-pumped Ti : sapphire laser system

1: pulsed Nd : YAG laser; 2: prisms; 3: KTP crystals; 4: $1.06 \mu\text{m}$ high reflection mirror; 5: $0.53 \mu\text{m}$ high reflection mirrors; 6: focusing lenses ($f = 1000 \text{ mm}$); 7: dispersion prisms; 8: full reflection mirror; 9: Ti : sapphire crystal; 10: output mirror; 11: red glass filter



3 实验结果

激光脉冲能量是用经过标定的能量计测量的。 $1.06 \mu\text{m}$ 的激光输出为 510 mJ ,经第一次和

第二次倍频后的正反向绿光分别为 190 mJ 和 65 mJ, 扣除透过晶体的绿光, 得到总泵浦吸收能量为 228 mJ, 在钛宝石谐振腔内只有一块 ZF₃ 棱镜, 单次触发的条件下, 测得峰值波长处的输出能量为 88 mJ, 获得 38.5% 的转换效率。用强流管和示波器观察并测得脉冲宽度为 ~10 ns, 与绿光比较, 没有明显的展宽效应, 可能是增益高和腔长短的缘故, 这样可以算得峰值功率为 8.8 MW。这时, 挡去反向泵浦光, 正向泵浦吸收为 170 mJ, 输出能量为 51 mJ, 效率为 30%。整体光转换效率则由 17.3% 降到 10%。由此可见, 双向泵浦对提高输出能量和转换效率是非常明显的。

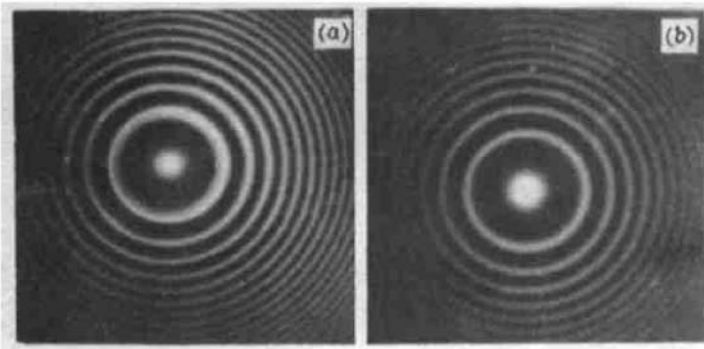


Fig. 4 Interference rings of F-P etalon for linewidth measurement

(a) with three ZF₃ prisms;

(b) with three prisms plus a 5 mm etalon

调谐范围是用 WDS-3 型光栅单色仪分光, 光电倍增管接收, 示波器观察, 测得调谐范围从 665~1050 nm, 线宽为 ~0.8 nm。压窄线宽的实验是用三块 ZF₃ 棱镜进行, 用一块 10 mm 厚的 F-P 标准具进行测量, 线宽可压至 0.01 nm。在腔内再加一块 5 mm 厚的 F-P 标准具, 测量线宽为 0.003 nm, 图 4 分别为拍得的干涉环照片。由理论计算得出纵模间隔为 1.28 pm, 表明有两到三个纵模参与振荡。

激光器在 1 Hz 的频率下可以长时间运转, 在 10 Hz 的频率下, 输出下降严重, 其原因是 Nd:YAG 输出的降低, 且由于热透镜效应使光束质量变坏以至泵浦模式不好。泵浦源的进一步改进, 将会使高重复率下工作的输出特性得到改善。输出激光入射到一块长 5 mm 的 BBO 晶体中, 在整个调谐范围内获得了倍频光, 当基波波长为 800 nm 时, 获得倍频输出能量为 6 mJ。倍频效率不高的原因是由于倍频晶体表面光洁度不高及基波发散角较大。

致谢 钛宝石晶体由殷绍唐研究员提供, 晶体加工组进行切割、定向、抛光, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 P. F. Moulton. Spectroscopic and laser characteristics of Ti:Al₂O₃. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1986, 3(1): 125~132
- 2 L. S. Wu, H. Looser, P. Günter. High efficiency intracavity frequency doubling of Ti:Al₂O₃ laser in KNbO₃ crystals. *Appl. Phys. Lett.*, 1990, 58: 2163~2166
- 3 Frederick Estable, Eric Mottay, Francois Salin. High-energy gain-guided Ti:Al₂O₃ oscillator. *Opt. Lett.*, 1993, 18(9): 711~713

A Two-direction-pumped High Power and High Efficiency Ti:sapphire Laser

Wu Lusheng Wei Li Zhou Dongfang Zhao Meirong Wu Chengjiu

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Hefei 230031)

Abstract A Ti:sapphire laser two-direction pumped by the second harmonic of a Nd:YAG laser is reported. A pulsed energy of 88 mJ, a conversion efficiency of 38.5% and a linewidth of 0.003 nm have been obtained.

Key words two-direction-pumping, Ti:sapphire laser