

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0043-03

LD 端面抽运 Yb:YAG 固体激光器的研究

李磊, 杨苏辉, 孙文峰, 赵长明
(北京理工大学光电工程系, 北京 100081)

摘要 对 LD 端面抽运 Yb:YAG 固体激光器的参量作了计算, 抽运光腰分别取 400 μm 和 160 μm, 振荡光腰的取值为 130 μm, 计算出 8 at.-% 掺杂的 Yb:YAG 晶体的厚度等参量值, 在实验中采用了 1.2 mm 和 1.6 mm 两种规格的 8 at.-% 掺杂的晶体, 很好地验证了这个结论。

关键词 激光技术; Yb:YAG 固体激光器; 晶体厚度; 抽运光腰; 振荡光腰

中图分类号 TN248.1

文献标识码 A

Study of LD End-Pumped Yb:YAG Solid State Laser

LI Lei, YANG Su-hui, SUN Wen-feng, ZHAO Chang-ming

(Department of Optoelectronics, Beijing University of Technology, Beijing 100083, China)

Abstract The parameters of LD end-pumped Yb:YAG solid state laser were calculated, when the pump light waist were assumed to be 400 μm or 160 μm, the laser waist was 130 μm, and Yb:YAG crystal was 8 at.-% doped. The calculation was testified perfectly in experiment.

Key words laser technique; Yb:YAG solid state laser; crystal thickness; pump light waist; laser waist

1 引言

Yb:YAG 晶体是具有准三能级结构的激光介质, 相对于 Nd:YAG 有很多优点: 对抽运光的吸收带宽宽(约 18 nm), 这样对于抽运源就没有苛刻的温控限制; 允许掺杂浓度高, 吸收系数大, 有利于抽运光的充分吸收和减小晶体厚度, 这些特点都有利于激光器的小型化。另外 Yb:YAG 晶体还具有低量子缺陷(8.6%)、长上能级寿命(0.95 ms)、对抽运光的热转换率低(≤11%)、理论上不存在激发态吸收和上转换等优点, 国际上已经实现了 LD 抽运 Yb:YAG 固体激光器连续、调 Q、单频可调谐、锁模等运转方式^[1-5], 是国内外固体激光器研究的新热点之一。

在设计 LD 端面抽运 Yb:YAG 固体激光器时, 由于 Yb:YAG 晶体对 1030 nm 有较强的再吸收, 晶体厚度对激光器性能的影响很大, 同时抽运光斑和振荡光斑的匹配情况对激光器的性能也有很大的影响。理论计算了在不同抽运功率和抽运光腰等参量下 LD 端面抽运 8 at.-% 掺杂的 Yb:YAG 固体激光器晶体厚度对输出功率的影响, 并在实验中作了验证。

2 理论计算

数值计算的条件: LD 光纤输出端面抽运, 晶体两面镀双色膜, 入射端对 940 nm 抽运光的透过率为 95%, 出射端对抽运光反射率为 90%, 抽运光腰分别取 400 μm 和 160 μm, 振荡光腰 130 μm, 8 at.-% 掺杂的 Yb:YAG 晶体对 940 nm 抽运光的吸收系数为 8.28 cm⁻¹, 对 1030 nm 光的吸收系数为 1.104 cm⁻¹。

根据激光谐振腔的小信号增益理论, 激光振荡的阈值关系式为^[6]

$$g_0 l = |\ln(\sqrt{R_1 R_2} V_s)| \quad (1)$$

式中 g_0 为小信号增益, l 为晶体厚度, R_1 和 R_2 是两个谐振腔镜的反射率, V_s 为振荡光的损耗系数

$$V_s = \exp(-\alpha_0 l) \quad (2)$$

α_0 是晶体对振荡光的吸收系数, $g_0 l$ 与晶体增益介质参量联系起来, 有关系式

$$g_0 l = \Delta N \sigma l \quad (3)$$

式中 ΔN 为反转粒子数密度, σ 为振荡光受激发射截面。

反转粒子数与晶体吸收抽运光功率的关系

$$P_{abs} = \Delta N h \nu_p \Delta V / \tau \quad (4)$$

作者简介: 李磊(1971-), 男, 安阳师范学院物理系讲师, 北京理工大学光电工程系硕士研究生, 主要从事新型固体激光器的研究。E-mail: 110asis@bit.edu.cn

ΔV 为抽运光模体积, τ 为荧光寿命。

取抽运光光腰 $400\ \mu\text{m}$, 振荡光光腰 $130\ \mu\text{m}$, 入射到晶体上的抽运光功率分别取 $12\ \text{W}$ 和 $15\ \text{W}$, 做出晶体厚度和输出功率的关系曲线, 如图 1(a),(b) 所

示, 输入功率为 $12\ \text{W}$ 时最佳晶体厚度为 $0.9\ \text{mm}$, 对应的输出功率为 $3.06\ \text{W}$; 输入功率为 $15\ \text{W}$ 时最佳晶体厚度为 $1.0\ \text{mm}$, 对应输出功率为 $4.53\ \text{W}$ 。

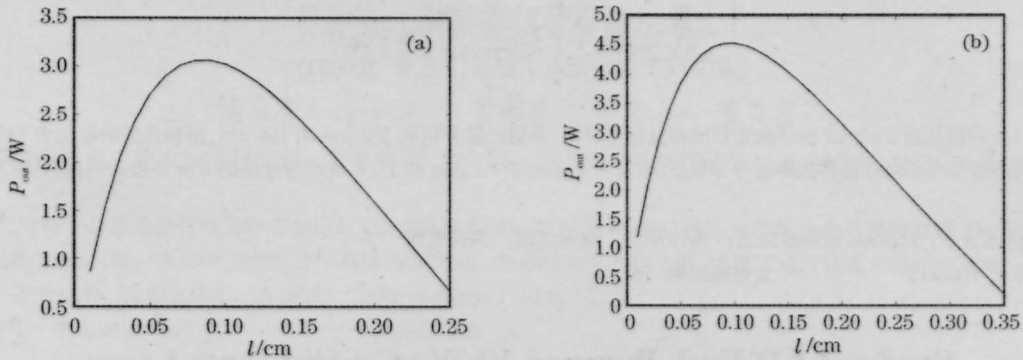


图 1 抽运光腰半径 $400\ \mu\text{m}$, 振荡光腰半径 $130\ \mu\text{m}$ 时晶体厚度 l 与输出功率 P 的关系。(a) 输入功率 $12\ \text{W}$; (b) 输入功率 $15\ \text{W}$
Fig.1 Output power vs crystal thickness at $400\ \mu\text{m}$ pump light waist and $130\ \mu\text{m}$ laser waist. (a) Input $12\ \text{W}$; (b) Input $15\ \text{W}$

再取抽运光光腰为 $160\ \mu\text{m}$, 输入功率 $12\ \text{W}$, 振荡光光腰 $130\ \mu\text{m}$, 用同样的方法作出晶体厚度和输出功率的关系曲线, 如图 2 所示, 得到最佳晶体厚度为 $1.6\ \text{mm}$, 对应输出功率 $6.94\ \text{W}$ 。输出功率较高是由于忽略了谐振腔内其他损耗的缘故, 但晶体厚度随输出功率的变化规律是一致的。

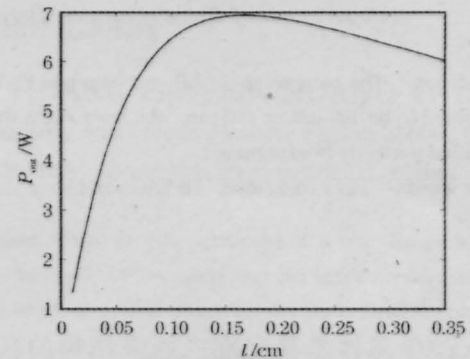


图 2 输入功率 $12\ \text{W}$, 抽运光腰半径 $160\ \mu\text{m}$, 振荡光腰半径 $130\ \mu\text{m}$ 时晶体厚度 l 与输出功率 P 的关系曲线
Fig.2 Output power vs crystal thickness at $12\ \text{W}$ input power, $160\ \mu\text{m}$ pump light waist and $130\ \mu\text{m}$ laser waist

3 实验结果

如图 3 所示, 整个激光装置由半导体抽运源, 透镜耦合系统, Yb:YAG 晶体及散热装置和输出耦合镜组成。抽运源是美国相干公司的半导体激光器, 峰值波长在 $940\ \text{nm}$ 附近, 输出光纤芯径为 $800\ \mu\text{m}$, 数值孔径 0.16 , 由于光纤芯径较大, 不利于提高抽运光功率密度, 因此抽运光透镜耦合系统采用了焦距比为 $12\text{mm}:12\text{mm}$ 和 $30\text{mm}:12\text{mm}$ 的透镜组来耦合抽运光, 得到抽运光光腰分别为 $400\ \mu\text{m}$ 和 $160\ \mu\text{m}$ 。Yb:YAG 晶体为 $8\text{at.}\%$ 掺杂的薄片, 前表面对 $940\ \text{nm}$ 光镀增透膜, 透过率为 84.09% , 同时对 $1030\ \text{nm}$ 光镀反射率为 99.63% 的高反膜作为前平面腔镜; Yb:YAG

晶体的后端面对 $1030\ \text{nm}$ 光增透, 透过率为 81.49% , 同时对 $940\ \text{nm}$ 光镀高反膜, 反射率为 99.36% , 使抽运光反射回去, 再次抽运 Yb:YAG 晶体, 提高抽运光的利用效率; 输出镜为曲率为 $100\ \text{mm}$ 的凹面镜, 对 $1030\ \text{nm}$ 光的透过率为 3.02% , 与 Yb:YAG 晶体前端面构成平凹谐振腔, 腔长约 $50\ \text{mm}$, 谐振腔

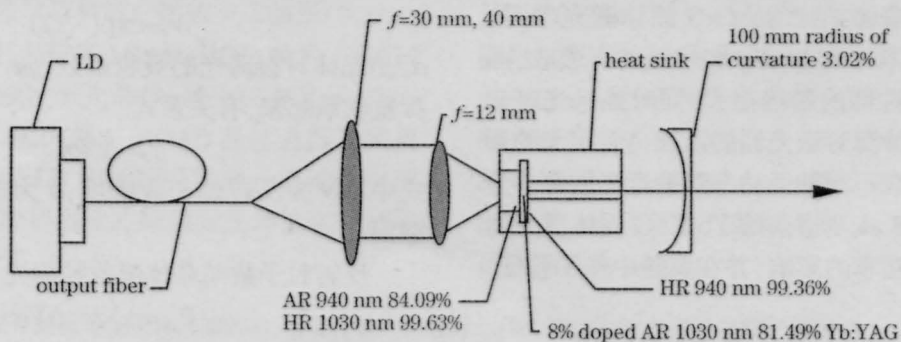


图 3 LD 抽运 Yb:YAG 薄片激光器结构示意图
Fig.3 Schematic of LD-pumped Yb:YAG chip laser

为半共焦腔,由公式

$$w_0^2 = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{L(R-L)} \quad (5)$$

算出振荡光腰为 128 μm 。

实验首先采用 8 at.-% 掺杂 1.2 mm 和 1.6 mm 厚的晶体,用 12 mm:12 mm 的透镜组耦合抽运光,输出镜透过率 3.02%,TEC 制冷铜热沉通循环水冷却,测量输入功率与输出功率的数值,作关系曲线如图 4 所示。从图中可以看出,1.2 mm 的晶体有饱和的迹象,而 1.6 mm 的输出线性较好,输出功率较高。

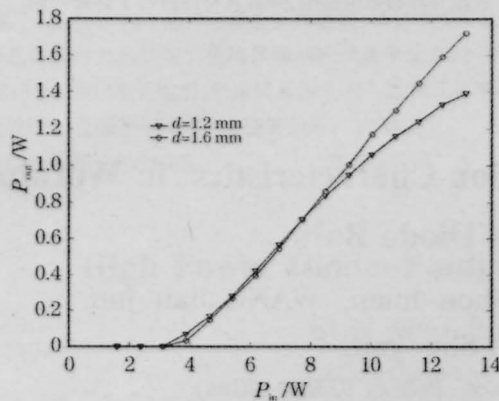


图 4 8%掺杂 1.2 mm 和 1.6 mm 厚晶体在抽运光腰为 400 μm 时的输入-输出功率关系

Fig.4 Output power vs input power of thickness 1.2 mm, 1.6 mm and 8% doped crystal at 400 μm pump light waist

然后用 1.6 mm 厚的晶体,30 mm:12 mm 焦距比的透镜组耦合抽运光,其他条件不变,作出激光器输出功率与输入功率关系曲线,如图 5 所示。最大输出功率为 3.06 W,对应的 LD 的输出功率为 13.56 W,由于晶体前端面对 940 nm 抽运光透过率为 84.09%,因此实际上注入到 Yb:YAG 晶体里的功率是 11.4 W,光-光转换效率为 26.8%,阈值抽运功率为 2.56 W,计算出的斜率效率为 33.1%,可见,在抽运功率一定的条件下,晶体厚度和抽运光与振荡光的模式匹配对激光器的性能都有显著的影响。

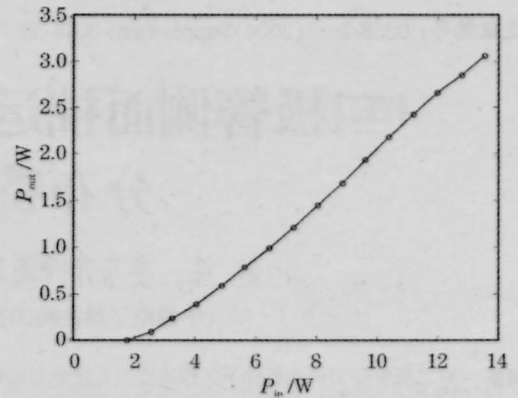


图 5 8%掺杂 1.6 mm 厚晶体在抽运光腰为 160 μm 时的输入-输出功率关系

Fig.5 Output power vs input power of thickness 1.2 mm, 1.6 mm and 8% doped crystal at 400 μm pump light waist

4 结 论

由前面的分析可以得到:LD 端面抽运 Yb:YAG 固体激光器当其他条件一定时,存在最佳晶体厚度,且抽运光腰与振荡光腰越接近,模式匹配越好,输出功率越大,理论计算和实验结果都很好验证了这一点。

参 考 文 献

- 1 P. Lacovara, H. K. Choi, C. A. Wang *et al.* Room-temperature diode-pumped Yb:YAG laser[J]. *Opt. Lett.*, 1991, **16**(14):1089-1090
- 2 T. Y. Fan, S. Klunk, G. Henein. Diode-pumped Q-switched Yb:YAG laser[J]. *Opt. Lett.*, 1993, **18**(6):423-425
- 3 T. Y. Fan, J. Ochoa. Tunable single-frequency Yb:YAG laser with 1-W output Power using twisted-mode technique [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1995, **7**(10):1137-1138
- 4 U. Brauch, A. Giesen, M. Karszewski *et al.* Multiwatt diode-pumped Yb:YAG thin disk laser continuously tunable between 1018 and 1053 nm[J]. *Opt. Lett.*, 1995, **20**(7):713-715
- 5 C. Hönninger, G. Zhang, U. Keller *et al.* Femtosecond Yb:YAG laser using semiconductor saturable absorbers[J]. *Opt. Lett.*, 1995, **20**(23):2402-2404
- 6 N. Hodgson, H. Weber. *Optical Resonators*[M]. Springer, 1996. 307