

文章编号: 1007-5461(2005)04-0525-03

# 激光二极管泵浦 Yb:YAG 激光器

宋秋鸣, 陈长水, 殷绍唐, 张庆礼, 朱灵

(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 安徽 合肥 230031)

**摘要:** 通过对 Yb:YAG 晶体中  $\text{Yb}^{3+}$  粒子的吸收谱的分析和讨论, 认识到 Yb:YAG 晶体作为 LD 泵浦固体激光器的激活介质, 有着其它晶体所没有的优点: 能级结构简单。在此基础上, 设计了一套 LD 端面泵浦 Yb:YAG 激光器。在泵浦光强为 25 W 时, 获得了 6.09 W 的 1030 nm 稳定的连续激光输出, 光光转换效率为 24.3%, 斜效率为 31.6%。

**关键词:** 激光技术; LD 端面泵浦; 光谱; Yb:YAG 晶体

**中图分类号:** TN248.1      **文献标识码:** A

## 1 引言

近年来, 激光二极管泵浦的固体激光器, 因具有寿命长、热畸变小、可获得高能量、大功率、高效率的稳定输出的激光器系统, 而成为固体激光器发展的主要方向之一。在掺  $\text{Yb}^{3+}$  激光材料中, Yb:YAG 晶体(掺镱的钇铝石榴石) 由于具有大的晶场分裂能, 优异的光学和热力学性能, 低的热负荷, 可进行高浓度掺杂等特点而成为最具有发展潜力的掺  $\text{Yb}^{3+}$  激光材料之一。其中, 二极管泵浦的掺  $\text{Yb}^{3+}$  的 YAG 激光器的平均功率可达到 1 kW 以上, 使之成为近十年来全固化激光器研究的热点<sup>[1]</sup>。近年来逐渐成为研究人员关注的热点, 许多国际著名的研究机构, 如美国利夫莫尔国家实验室、林肯实验室、德国的斯图加特大学和英国的南安普敦大学等相继开展了对的研究, 将其视为发展高效、高功率固体激光器的一个主要途径。

## 2 Yb:YAG 的激光性能分析

$\text{Yb}^{3+}$  作为最简单的激活离子, 不存在激发态吸收和上转换, 由于泵浦能级靠近激光上能级, 可极大降低掺杂材料中的热负荷, 因而可以获得很高的光转换效率<sup>[2~4]</sup>。 $\text{Yb}^{3+}$  的能级结构如图 1 所示。

$\text{Yb}^{3+}$  的电子构型为  $4f_{13}$ , 仅有两个电子态: 基态  $^2F_{7/2}$  和激发态  $^2F_{5/2}$ , 强的晶场作用导致了  $\text{Yb}^{3+}$  离子的斯塔克能级分裂, 基态和激发态分别分裂为四个和三个子能级, 形成准三能级的激光运行机制, 激光过程发生在激发态  $^2F_{5/2}$  最低的子能级  $10327 \text{ cm}^{-1}$  和基态  $^2F_{7/2}$  的第三个子能级间, 激光上能级荧光寿命长, 约 0.95 ms, 有利于储能, 激光下能级能量较大, 为  $612 \text{ cm}^{-1}$ , 激光波长为 1030 nm。激光过程发生在激发态  $^2F_{5/2}$  中最低的子能级  $10327 \text{ cm}^{-1}$  和基态  $^2F_{7/2}$  的第三个子能级间。图 2 为 Yb:YAG 晶体的吸收光谱, 图 3 为晶体的荧光光谱。由图可见,  $\text{Yb}^{3+}$  离子的主吸收峰有两个, 分别位于 938 nm 和 970 nm, 在 938 nm 处, 吸收带宽比较宽, 约 18 nm, 对泵浦 LD 控温精度要求较低, 以此作为激光二极管泵浦源的泵浦带; 强的荧光峰位于 1030 nm 波长的弱吸收处, 此为输出的激光波长。由此可见 Yb:YAG 晶体有较宽的吸收线宽, 另外由于它的吸收峰和发射峰比较靠近<sup>[5]</sup>, 因此可以有较高的量子效率。

收稿日期: 2004-07-06; 修改日期: 2004-08-09

E-mail: tsiu198@yahoo.com.cn

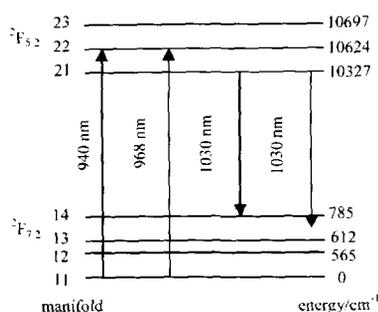


Fig.1 Energy level diagram  $\text{Yb}^{3+}$  of ion in YAG crystal

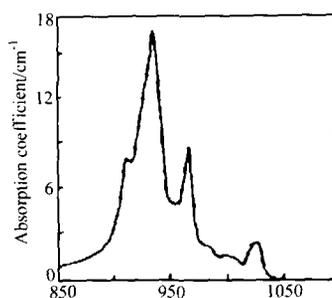


Fig.2 Absorption spectrum of 20 at% Yb:YAG

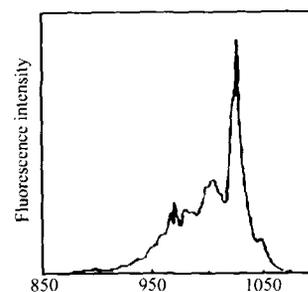


Fig.3 Fluorescence spectrum of 20 at% Yb:YAG

对于高功率 LD 端面泵浦固体激光器中, 激光晶体的热效应是阻碍获得高效率、高输出功率的一个重要因素, 热的影响主要有三个方面: 热透镜效应、热致应变、热变形。这里我们仅考虑热透镜效应, 因为热透镜效应会极大的改变腔内模式, 甚至使得激光器偏离出稳定工作状态, 在较大的泵浦功率范围内, 腔内模式对热透镜效应不敏感的谐振腔, 是获得稳定激光输出的必要条件。根据文献晶体的热透镜焦距  $f$  为

$$f = \frac{\pi K_c \omega_p^2}{P_{th} (dn/dt)} \left( \frac{1}{1 - \exp(-\alpha l)} \right) \quad (1)$$

上式中各参数数值  $K_c = 14.0 \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1}$  表示 Yb:YAG 的热导率,  $\omega_p$  为泵光的束腰半径,  $P_{th} = 0.09 P_{abs}$  泵浦光转化为热的功率,  $P_{abs}$  为泵浦光的吸收功率,  $\alpha$  表示晶体的吸收系数,  $dn/dt = 4.7 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  表示晶体的热散系数。计算上式  $f = 25.08 \text{ cm}$ 。Yb:YAG 具有高的热导率和较低的热效应, 因而成为获得大功率激光系统的重要材料之一。

### 3 实验研究

实验中我们采用德国生产的 LIMO 半导体激光器作为泵浦源, 峰值波长 940 nm, 通过光纤传输到聚焦镜, 经聚焦对 Yb:YAG 晶体进行端面泵浦, 泵浦光斑为 0.4 mm。使用掺 Yb 5at.% 的 Yb:YAG 晶体, 晶体尺寸为  $\varnothing 8 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ , Yb:YAG 晶体左面镀对 940 nm 约 94% 的透射和对 1030 nm 大于 99.8% 反射的介质膜, 利用水冷系统对 Yb:YAG 晶体循环冷却, 使晶体外部的温度保持在 19 °C。输出镜采用对 1030 nm 95% 反射的平面镜, 晶体与输出镜间距 5 mm。实验装置如图 4。

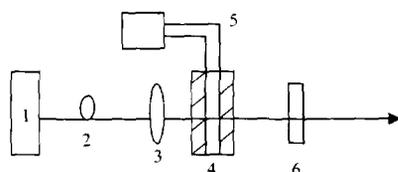


Fig.4 The setup of LD end pumped Yb:YAG laser system

1 diode laser; 2 fiber; 3 coupler; 4 Yb:YAG crystal;  
5 cooling system; 6 output mirror

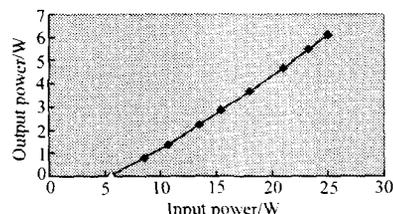


Fig.5 The relation of output power and input power

实验所得的 1030 nm 激光输出功率随泵浦功率的变化关系如图 5 所示。在泵浦功率为 25 W 时, 我们获得了功率为 6.09 W 的 1030 nm 的输出, 光光转换效率为 24.3%, 斜效率为 31.6%。

## 4 结 论

我们分析了 Yb:YAG 晶体中  $\text{Yb}^{3+}$  离子的吸收和发射光谱特性。在实验过程中我们采用了薄的 Yb:YAG 晶体并冷却, 大大降低了晶体的热透镜效应<sup>[6]</sup>, 从而获得了 1030 nm 的输出, 光光转换效率和斜效率分别达到了 24.3% 和 31.6%。实验中, 我们采用了端面泵浦, 相比于侧面泵浦, 端面泵浦的优点是光束质量好、泵浦效率高且无需庞大的水冷系统, 但同时又认识到由于端面泵浦, 晶体镀膜非常重要, 同时热效应在实验中优势不可忽略的。因此, 如果能进一步提高镀膜工艺和提高冷却效果, 将会获得更高的输出效率。

### 参考文献:

- [1] Sumida D S, Fan T Y. Effect of radiation trapping on fluorescence lifetime and emission cross section measurements in solid-state laser media [J]. *Opt. Lett.*, 1994, 19(17): 1343-1346.
- [2] Lacovara P, Chai H K, Wangetal C A. Room-temperature diode pumped Yb: YAG laser [J]. *Opt. Lett.*, 1991, 16(14): 1089-1091.
- [3] Deloach L D, Payne S A, Chaseetal L L. Evaluation of absorption and emission properties of  $\text{Yb}^{3+}$  doped crystals for laser applications [J]. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1993, QE-29(4): 1179-1190.
- [4] Marshall C D, Smith L K, Beachetal R J. Diode-pumped Yb: $\text{Sr}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$  laser performance [J]. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1996, QE-32(4): 650-656.
- [5] Klbas R M, Anderson N G, Laidigetel W D. Strained-layer InGaAs-GaAs-AlGaAs photo pumped and current injection laser [J]. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1988, QE-24(8): 1605-1613.
- [6] Lim Chan Hwan, Yasukazu. Modeling of end-pumped CW quasi-three-level lasers [J], *IEEE J. Quant Electron.*, 2002, QE-38(3): 306-311.

## LD pumped Yb:YAG laser

SONG Qiu-ming, CHEN Chang-shui, YIN Shao-tang,  
ZHANG Qing-li, ZHU Ling

( Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China )

**Abstract:** The spectra characteristics of the Yb:YAG crystal which is an ideal gain medium of LD pumped all-solid laser were discussed. An LD end-pumped Yb: YAG laser system was described. At the pumping energy of 25 W, we obtained the output power of 6.09 W at 1030 nm, with the optical-optical and slope efficiency of 24.3% and 31.6%.

**Key words:** laser techniques; LD end-pumping; spectrum; Yb:YAG crystal

**作者简介:** 宋秋鸣 (1981 - ), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为光学技术、全固化激光器。