

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0093-03

# 激光二极管抽运 10at.-% Yb:YAG 晶体获得 高效连续激光输出\*

董 俊<sup>1</sup> 邓佩珍<sup>1</sup> Y. Kalisky<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)  
<sup>2</sup>本·古里安大学, 以色列

**提要** 用激光二极管作为抽运源,在室温下获得了Yb:YAG晶体的连续激光输出,抽运的阈值功率较低为2.2 W,当入射到晶体上的抽运功率为18 W时,Yb:YAG晶体微片获得了最大连续激光输出功率为5.2 W,斜率效率为33%。同时在激光实验过程中,没有发现饱和现象,因此采用更高功率的激光二极管作为抽运源,晶体的激光输出功率将会得到进一步的提高。这一研究对于实现Yb:YAG晶体的高功率激光输出具有重要意义。

**关键词** 激光二极管, Yb:YAG晶体, 微片激光器

**中图分类号** TN248.1+3 **文献标识码** A

## LD Pumped 10at.-% Yb:YAG Laser with High Efficiency CW Output

DONG Jun<sup>1</sup> DENG Pei-zhen<sup>1</sup> Y. Kalisky<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 2018000)  
<sup>2</sup> Ben-Gurion University of the Negev, Mishor Yamin, D. N. Arava 86800, Israel

**Abstract** Using laser diode (LD) as pumping source, CW Yb:YAG laser output was obtained at room temperature. The pumping threshold of Yb:YAG is as low as 2.2 W, the maximum output power of 5.2 W was attained with the pumping power of 18 W, and slope efficiency is as high as 33%. At the same time there is no saturation in laser experiments, so the high power output of Yb:YAG laser can be obtained with high power diode laser pumping source. This research will be beneficial to the development of high power Yb:YAG lasers.

**Key words** laser diode (LD), Yb:YAG crystal, microchip laser

## 1 引 言

用激光二极管抽运的固体激光器,因具有寿命长、不产生热光畸变而光束质量高,效率高且频率稳定性好、结构紧凑并可小型化和致密化等特点而成为固体激光器发展的主要方向之一。随着 InGaAs 激光二极管的发展日益成熟,对吸收峰位于 0.9  $\mu\text{m}$  ~ 1.1  $\mu\text{m}$  这一波段的掺 Yb<sup>3+</sup> 激光材料的研究也不断发展起来。与 Nd<sup>3+</sup> 离子相比, Yb<sup>3+</sup> 离子由于能级结构简单而且具有优异的特性而更适合于二极管激光抽运。同时 Yb:YAG 晶体具有长的荧光寿命 (951  $\pm$  15  $\mu\text{s}$ )<sup>[1]</sup> 和非常低的量子缺陷 (8.6%),使得 Yb:YAG 晶体在激光运行过程中产生的热量比 Nd:YAG 低三倍<sup>[2]</sup>。此外, Yb:YAG 在 940 nm 处宽的吸收带更适合于 InGaAs 二极管激光抽运<sup>[3]</sup>,以

及具有相对大的发射截面积。而且 Yb 离子在 YAG 晶体中可以实现高掺杂浓度而几乎没有浓度淬灭现象。Yb:YAG 晶体的另外一个优点是 940 nm 的吸收带宽是 Nd:YAG 晶体在 808 nm 吸收带宽的数倍,对二极管激光波长的要求不是很严格<sup>[4]</sup>。目前在国际上用 Yb:YAG 晶体作为激光增益介质已获得了 1080 W 的连续激光输出<sup>[5]</sup>。Payne 和 Krupke 预言,在不久的将来激光二极管抽运 Yb:YAG 晶体将成为 10 kW 固体激光器的一员<sup>[6]</sup>。而且本课题组也对 Yb:YAG 晶体的生长、光谱及激光性能进行了一些有益的研究工作,用钛宝石激光器作为抽运源,获得了斜率效率高达 69% 的激光输出<sup>[7]</sup>。

本文报道了 InGaAs 激光二极管作为抽运源抽运掺 10at.-% Yb:YAG 晶体微片的激光性能。

## 2 实验

激光二极管抽运 Yb:YAG 晶体的激光实验装置如图 1 所示,采用发射波长为 940 nm、平均输出功率约为 20 W 的连续 InGaAs 激光二极管作为抽运源。实验中 Yb:YAG 晶体的掺杂浓度为 10at.-%,晶体的尺寸为  $\phi 15\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ ,两平行端面抛光处理,一面镀 940 nm 波长的 HT 增透膜和 1030 nm 波长的 HR 高反膜作为激光腔的后腔镜,另一面镀 1030 nm 波长的 AR 增透膜。1030 nm 波长的激光输出腔镜的透过率分别为 1%、2% 和 5%,整个激光腔的长度为 15 mm。激光实验是在 10 °C 的恒温条件下进行的,恒温是通过一个恒温水冷系统实现的。

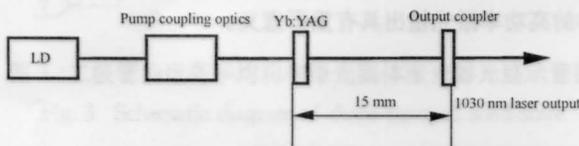


图 1 激光二极管抽运 Yb:YAG 晶体微片激光实验装置图  
Fig. 1 The schematic of LD pumped Yb:YAG microchip laser experimental setup

## 3 结果与讨论

在热力学性质优良的 YAG 晶体中,  $\text{Yb}^{3+}$  离子仅有的两个电子态  $^2F_{7/2}$  和  $^2F_{5/2}$  产生 Stark 分裂后,形成准三能级的激光能级(如图 2 所示),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  $^2F_{7/2}$  的第三个子能级之间,激光下能级的能量较大,为  $612\text{ cm}^{-1}$ ,激光波长为 1030 nm。

图 3 为 Yb:YAG 晶体的吸收和发射光谱。从图中可以看到, Yb:YAG 晶体的主吸收峰有两个,中心

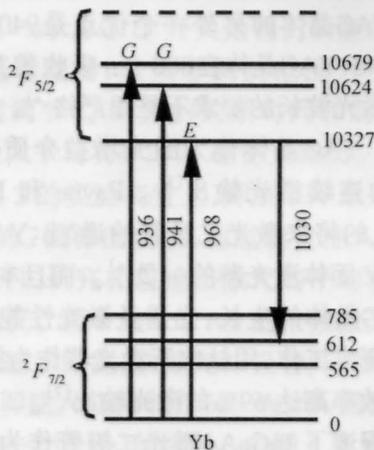


图 2 Yb 在 YAG 晶体中的能级图  
Fig. 2 The energy level of Yb:YAG

波长位于 940 nm 和 970 nm。吸收峰位于 940 nm 的吸收带宽约为 18 nm,非常适合激光二极管抽运,而且无需复杂的温度控制系统。Yb:YAG 晶体的发射谱中心波长位于 1030 nm 处,但由于吸收谱和发射谱在该波长处有较大的重叠,存在着较严重的自吸收效应,而在 1050 nm 波长处,尽管增益较低,但自吸收效应也很弱,因此更容易形成激光输出。由图 3 可见, Yb:YAG 晶体的吸收和发射谱较宽,也使得该激光器的实用化以及调谐激光输出成为可能。

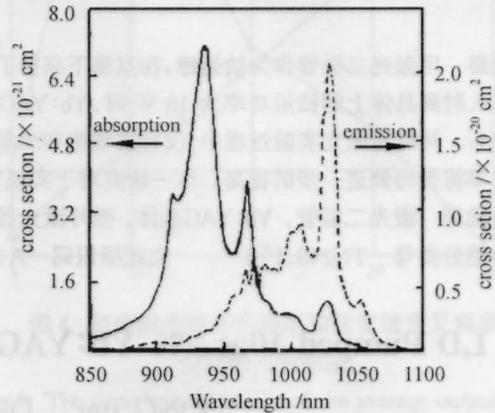


图 3 Yb:YAG 晶体的吸收和发射光谱  
Fig. 3 The absorption and fluorescence spectrum of Yb:YAG

在 10 °C 低温条件下, 10at.-% Yb:YAG 晶体微片获得了连续激光输出,图 4 为 Yb:YAG 晶体在激光二极管抽运下获得连续激光输出的输入与输出的功率特性曲线,晶体的抽运阈值较低为 2.2 W。当激光二极管抽运功率为 18W 和输出耦合镜的透过率为 5% 时, Yb:YAG 晶体微片获得的最大连续激光输出功率为 5.2 W;对于三种不同的输出耦合率,分别得到高达 33% 的斜率效率,而且在实验过程中没有出现饱和现象,这说明 Yb:YAG 晶体的质量比较好,适合于高功率激光输出,因此采用更高功率的激光二极管作为抽运源,晶体的激光输出功率将会得到进一步的提高。这一研究对于实现 Yb:YAG 晶体的高功率激光输出具有重要意义。

同时我们还对掺杂浓度为 10at.-% Yb:YAG 晶体厚度对激光输出的影响进行了试验,结果如图 5 所示,从中可以看出,在同样的试验条件下,晶体的厚度对激光性能有很大的影响,而且对于一定掺杂浓度的 Yb:YAG 晶体,存在一个最佳的晶体厚度可以使得激光的输出获得最大值。对 10at.-% Yb:YAG 晶体而言,最佳的晶体厚度约为 2 mm。

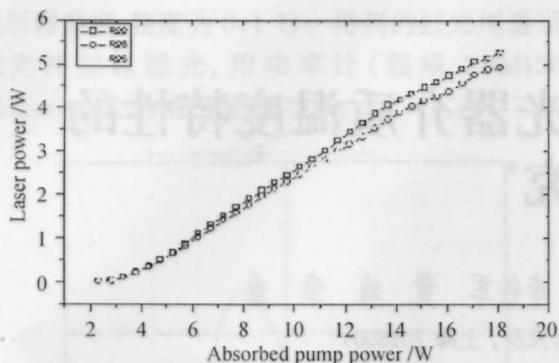


图4 激光二极管抽运Yb:YAG晶体微片的输入与输出特性曲线

Fig. 4 Relationship between the output power and the absorbed pump power

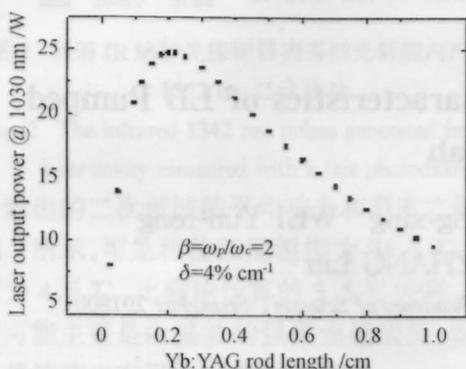


图5 Yb:YAG晶体厚度对激光性能的影响

Fig. 5 The effect of crystal length of Yb:YAG crystal on laser output power

### 4 结 论

用激光二极管作为抽运源,在室温下获得了

Yb:YAG晶体的连续激光输出,抽运的阈值功率较低为 2.2 W,当入射到晶体上的抽运功率为 18 W 时,Yb:YAG晶体微片获得了最大连续激光输出功率为5.2 W,斜率效率为 33%。同时在激光实验过程中,没有发现饱和现象,因此假如采用更高功率的激光二极管作为抽运源,晶体的激光输出功率将会得到进一步的提高。这一研究对于实现Yb:YAG晶体的高功率激光输出具有重要意义。

### 参 考 文 献

- 1 D. S. Sumida, T. Y. Fan. Effect of radiation trapping on fluorescence lifetime and emission cross section measurements in solid state laser media. *Opt. Lett.*, 1994, **19**(17):1343~1345
- 2 T. Y. vFan. Heat generation in Nd:YAG and Yb:YAG. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1993, **29**(6):1457~1459
- 3 S. L. Yellin, A. H. Shepard, R. J. Dalby et al.. Reliability of GaAs-based semiconductor diode lasers: 0.6  $\mu\text{m}$ ~1.1  $\mu\text{m}$ . *IEEE J. Quantum Electron.*, 1993, **29**: 2058~2067
- 4 A. Giesen, H. Hügl, A. Voss et al.. Scalable concept for diode-pumped high-power solid-state lasers. *Appl. Phys. B*, 1994, **58**(15):365~372
- 5 E. C. Honea, R. J. Beach, S. C. Mitchell et al.. High-power dual-rod Yb:YAG laser. *Opt. Lett.*, 2000, **25** (11):805~807
- 6 S. A. Payne, W. F. Krupke. A glimpse into the laser crystal ball. *Opt. & Photonics News*, 1996, **7**(8):31~35
- 7 Yang Peizhi, Deng Peizhen, Liu Yupu et al.. Efficient output of a Ti:sapphire laser-pumped Yb:YAG thin chip CW laser at 1.053  $\mu\text{m}$ . *Chinese J. Lasers*(中国激光), 1999, **A26**(10):865~868