

# 高功率准连续激光二极管抽运的 Nd·YVO<sub>4</sub> 激光器\*

宁继平 鲁笑春 詹仰钦 记国勤 姚建铨

(天津大学精仪学院教育部光电信息技术科学开放实验室, 天津 300072)

**摘 要** 对高功率准连续激光二极管端面抽运的 Nd·YVO<sub>4</sub> 固体激光器进行了实验研究。研究了抽运功率、温度、重复率及输出镜的透过率对激光器输出功率的影响。当激光二极管重复率达到 720 Hz、抽运功率 33.2 W 时, 激光输出最大平均功率为 11 W。

**关键词** 高功率准连续激光二极管, 端面抽运, Nd·YVO<sub>4</sub> 激光器。

## 1 引 言

激光二极管抽运的固体激光器(DPL)兼有效率高、体积小、重量轻、寿命长、重复频率高等优点,并可制成组件化和集成化的产品,在军事、医疗、通信、加工和科学研究中得到广泛的应用。激光二极管端面抽运相对侧面抽运具有模式匹配好、激光阈值低、效率高等特点,可获得高功率的激光输出。掺钕钒酸钇晶体有着较大的发射截面、较宽的吸收带宽、较高的吸收系数、较短的上能级寿命以及偏振输出等特点<sup>[1~4]</sup>,因此,用激光二极管抽运效率更高,更易于与激光二极管匹配,可在更宽的温度范围下运行,适用于高重复率运转。本文报道了高功率准连续激光二极管端面抽运 Nd·YVO<sub>4</sub> 固体激光器的研究情况,达到了平均功率 11 W 的激光输出。

## 2 理论分析

激光二极管抽运的固体激光器其抽运光波长一般位于增益介质的吸收峰内,只要介质足够长,抽运光就可以被增益介质完全吸收,全部用于抽运粒子数反转,这在本质上决定了激光二极管抽运的固体激光器具有较高的光转换效率。由于抽运光没有充满整个增益介质,在增益介质内抽运光也不是均匀分布,在纵向和径向均有变化,所以必须考虑抽运光与振荡光的纵向和径向变化,在空间上的耦合重叠即模式匹配,也就是要考虑辐射场在介质内的纵向和径向分布。抽运速率密度  $W(x, y, z, t)$  是空间的函数,腔内光子数密度  $\Phi(x, y, z, t)$  也是空间的函数,而且对不同的横模则有不同的空间分布,这是激光二极管抽运的固体激光器在理论模型上有别于传统的灯抽运的情况。激光二极管抽运的固体激光器其理论分析采用激光速率方程,通过理论推导<sup>[5,6]</sup>得到了以下的结论。

\* 国家科委 863 高科技项目。

收稿日期: 2000-04-17; 收到修改稿日期: 2000-05-29

## 2.1 近阈值近似下的输出功率

当抽运光比较弱,激光器在阈值附近运转时,激光器的输出功率为:

$$P_{\text{out}} = \eta_p \frac{T}{\delta} \frac{J^2(0)}{J_1} (P - P_{\text{th}}), \quad (1)$$

式中,  $T$  为输出镜的透过率,  $P$  为抽运功率,  $\delta$  为光在腔内的往返损耗,  $\eta_p$  为抽运效率,  $P_{\text{th}}$  为阈值抽运功率,  $J^2(0)/J_1$  为抽运光与振荡光模匹配因子。由(1)式可知,激光器输出功率与抽运效率、抽运功率、模匹配因子及透过损耗与总损耗的比值成正比。

## 2.2 强抽运时的输出功率

如果抽运光很强,激光器远离激光阈值状态运转,这时激光器的输出功率为:

$$P_{\text{out}} = \eta_p \frac{T}{\delta} P. \quad (2)$$

这种情况满足了激光模体积远远大于抽运模体积的要求,即  $J^2(0)/J_1 = 1$ 。

## 3 实验装置与结果

图 1 为高功率准连续激光二极管端面抽运的 Nd·YVO<sub>4</sub> 固体激光器的实验原理图。实验

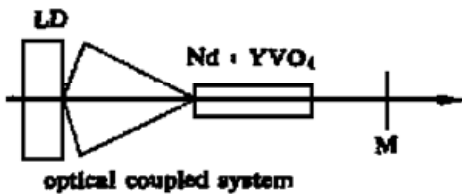


Fig. 1 Experimental setup of diode-pumped Nd·YVO<sub>4</sub> laser

中采用准连续激光二极管面阵列端面抽运 Nd·YVO<sub>4</sub> 晶体方式,激光二极管发光尺寸为 4.8 mm×40 mm,激光二极管输出的抽运光在垂直和平行于结面方向上的发散角分别为 40°和 10°,激光二极管采用温控冷却方式,保证发射中心波长 808 nm 与 Nd·YVO<sub>4</sub> 晶体的吸收峰相匹配。谐振腔为平-平腔结构,腔长 15 cm,激光晶体尺寸为 4 mm×4 mm×8 mm, Nd·YVO<sub>4</sub> 用铝箔包裹放在水冷却的铜块上。晶体的一端镀对 1064 nm 光高反射、

对 808 nm 抽运光高透射的多层介质膜,另一端镀对 1064 nm 光增透膜, M 为激光输出镜。实验研究了抽运光功率、温度、重复率、输出镜的透过率及腔长等参数对激光输出特性的影响,其结果与理论分析一致。

图 2 表示了激光输出功率随抽运光输入功率变化的曲线。实验中固定激光二极管的重复率为 50 Hz,脉宽为 200 μs,输出镜的透过率为 19%。实验证明,随着抽运光的平均功率的增加,激光输出平均功率近似成正比地增加,这与理论分析相符。当抽运光平均功率为 3 W(每个脉冲 60 mJ)时,1064 nm 激光输出的最大平均功率为 1.02 W(每个脉冲 20 mJ),光-光转换效率则为 33%。

图 3 表示了激光输出功率随激光二极管温控装置温度变化的曲线。实验中固定激光二极管的脉宽为 200 μs,输出镜的透过率为 19%,重复率为 200 Hz 及抽运光平均功率为 7.2 W。改变激光二极管的温度,虽然激光二极管的输出功率及波长随着温度的改变而变化,但由于 Nd·YVO<sub>4</sub> 晶体的吸收带较宽,因此对激光二极管波长要求就不如 Nd·YAG 那样严格,激光二极管的温度变化范围可以比较宽。由图 3 可以看出, Nd·YVO<sub>4</sub> 晶体受温度影响不如 Nd·YAG 晶体那样敏感。

图 4 为改变激光二极管的重复率对激光输出功率变化的曲线。实验中选取激光二极管的脉宽为 200 μs,激光二极管的输入电流为 55 A,输出镜的透过率为 19%。增加激光二极管的重

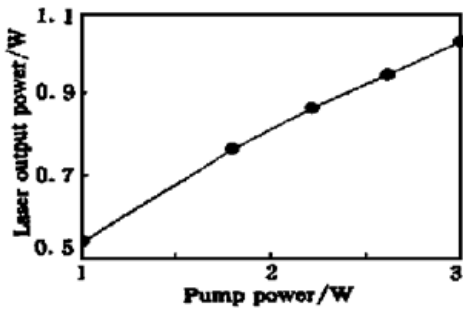


Fig. 2 Laser output power versus input pumping power

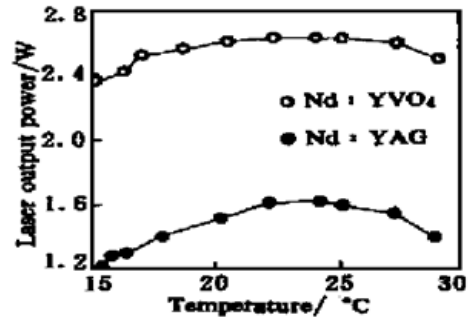


Fig. 3 Laser output power as a function of temperature for a diode laser

复率, 激光输出功率近似线性增加, 当激光二极管的重复率达到 720 Hz 时, 激光最大输出功率达到 11 W。这是由于增加激光二极管的重复率, 其输出功率也相应地增加的缘故。图 4 也表明, 当激光二极管处在高重复率抽运时, 曲线虽有些弯曲, 但不严重, 这说明腔内热效应并不严重。这是对激光晶体进行冷却的结果。

由于抽运阈值与腔内总损耗呈正比, 所以透过损耗的改变, 使得抽运阈值也相应地改变, 因此, 输出镜透过率也是影响激光输出特性的参量之一。由(1)式和(2)式可知, 激光输出功率与输出损耗和腔内总损耗的比值成正比, 因此, 对应一定的抽运功率, 总存在一最佳的输出镜透过率, 使激光输出功率最大, 如图 5 所示。实验中选取激光二极管的重复率为 200 Hz, 脉宽为 200  $\mu$ s, 抽运功率为 8.8 W, 其输出镜的最佳透过率为 19%。

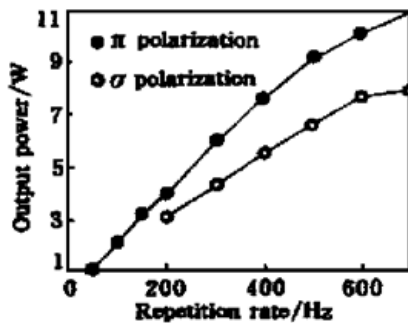


Fig. 4 Output power versus diode repetition rate

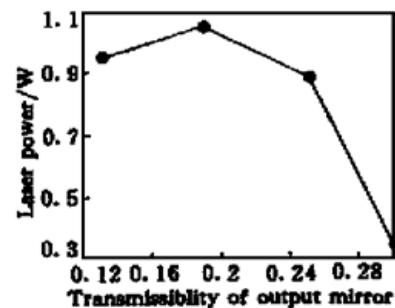


Fig. 5 Laser power versus output mirror transmissibility

实验中采用平-平腔结构, 改变腔长, 理论上并不改变腔内基模光斑大小, 只改变腔内横模个数。但如果在高功率抽运时, 腔内有一定的热效应, 因而腔长的改变, 对基模光斑大小也有影响。但由于激光二极管抽运的固体激光器一般腔长都比较短, 大约在 5~25 cm 范围内, 所以改变抽运功率, 最佳腔长差别不大。

总之, 对于高功率准连续激光二极管端面抽运的 Nd:YVO<sub>4</sub> 固体激光器, 通过控制激光二极管面阵列的抽运功率、脉宽、温度、重复率及输出镜的透过率, 可得到激光器的最佳输出。达到平均功率为 11 W 激光脉冲输出。

### 参 考 文 献

- [1] Kintz G J, Beer T. Single-frequency operation in solid-state laser materials with short absorption depths. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1990, **QE-26**(9): 1457~ 1459
- [2] Barnes N P, Storm M E, Cross P L *et al.*. Efficiency of Nd laser materials with laser diode pumping. *IEEE*

- J. Quant. Electron.*, 1990, **QE-26**(3): 558~ 569
- [3] Taira T, Mukai A, Nozawa Y *et al.*. Single-mode oscillation of laser-diode-pumped Nd :YVO<sub>4</sub> microchip lasers. *Opt. Lett.*, 1993, **16**(24): 1955~ 1957
- [4] Feugnet G, Bussac C, Larat C *et al.*. High-efficiency TEM<sub>00</sub> Nd :YVO<sub>4</sub> laser longitudinally pumped by a high-power array. *Opt. Lett.*, 1995, **20**(2): 157~ 159
- [5] 宁继平, 肖绪辉, 汤声书 等. 高功率准连续激光二极管泵浦的 Nd :YAG 激光器. 中国激光, 1996, **A23**(6): 481~ 484
- [6] Fan T Y, Byer R L. Laser pumped solid-state laser. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1988, **QE-24**(6): 895~ 912

## High Power Quasi-CW Diode Laser Arrays End-Pumped Nd :YVO<sub>4</sub> Laser

Ning Jiping Lu Xiaochun Zhan Yangqin Ji Guoqin Yao Jianquan  
(*Photoelectronic Information Science and Technology Lab., MOE, College of Precision Instrument & Optoelectronics Eng., Tianjin University, Tianjin 300072*)

(Received 17 April 2000; revised 29 May 2000)

**Abstract** A high power quasi-CW diode laser arrays end-pumped Nd :YVO<sub>4</sub> laser is experimentally studied. Relationships between laser output power and average pumping power, temperature, repetition rate and mirror transmissibility are obtained. The maximum average output power is 11 W at the wavelength of 1064 nm for repetition rate of 720 Hz and average pumping power of 33.2 W.

**Key words** high power quasi-CW diode laser, end-pumped, Nd :YVO<sub>4</sub> laser.

## 第十届全国激光物理讨论会在成都举行

第十届全国激光物理讨论会于 2000 年 9 月 20~ 27 日在四川省成都市召开。该会议由美国加州大学伯克利分校物理系沈元壤教授倡导, 并由中国物理学会主办, 中科院物理所光物理开放实验室和中国工程物理研究院科协承办。来自北京、上海、天津、南京、合肥、杭州、大连、太原、长春、济南、哈尔滨、成都等省市的 14 所大学、10 个研究所约 70 名代表出席了此次会议。

会议开幕式由复旦大学章志鸣教授主持, 简短的开幕式后即展开了紧张的大会报告。沈元壤教授介绍了美国 Lorentz 实验室及液晶方面的工作情况, 与会的其他代表也相继就各实验室的最新进展情况作了系统、全面的介绍。内容主要涉及到光谱学、凝聚态物理、强场与物质的相互作用、新型光功能材料、超快光学、非线性光学、光纤光学、量子光学、生物光学、光通信、光波导、新型激光器等领域。会议报告后, 代表们就激光物理如何更好地走向世界及下一步的做法展开了热烈的讨论。

本届学术报告会学术水平高, 会议气氛和谐、融洽、坦率, 专家的批评、指正较多, 真正达到了交流情况、了解国际国内的动态现状、促进单位之间的合作的目的, 有力地促进了光物理学的发展。