

文章编号: 0258-7025(2005)07-0923-06

端面抽运矩形截面 Nd:GdVO₄ 晶体热效应研究

史 彭¹, 李 隆^{1,2}, 甘安生¹, 凌亚文¹, 刘小芳³, 白晋涛²

¹西安建筑科技大学理学院, 陕西 西安 710055

²西北大学光子学与光子技术研究所, 西北大学光电子省级重点开放实验室, 陕西 西安 710069

³黄河集团有限公司, 陕西 西安, 710043

摘要 以解析分析理论为基础, 研究矩形横截面 Nd:GdVO₄ 晶体受到具有高斯分布的端面中心入射时, 激光晶体温度场分布情况和晶体抽运面热形变分布情况。通过对半导体激光端面入射 Nd:GdVO₄ 激光晶体工作特点分析, 建立了符合激光晶体工作状态的热模型, 利用热传导方程(泊松方程)的一种新求解方法, 得出了矩形截面 Nd:GdVO₄ 晶体的温度场分布和端面热形变场通解表达式, 同时对影响激光晶体温度场分布的各种因素进行了定量研究。研究表明, 当使用输出功率为 15 W 的半导体激光器端面中心入射 Nd:GdVO₄ 晶体(晶体掺钕离子原子数分数为 1.2%)时, 在抽运端面中心获得 189.0 °C 最高温升和 1.37 μm 最大热形变量。这种方法还可以应用到其他激光晶体热问题研究中。

关键词 激光物理; Nd:GdVO₄ 激光器热效应; 解析理论; 矩形截面; 温度场; 热形变场

中图分类号 TN241; TN248.1 **文献标识码** A

Thermal Effect Research of End-pumped Rectangle Nd:GdVO₄ Crystals

SHI Peng¹, LI Long^{1,2}, GAN An-sheng¹, LING Ya-wen¹, LIU Xiao-fang³, BAI Jin-tao²

¹ Faculty of Science, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an, Shaanxi 710055, China

² Institute of Photonics & Photo-Technology and Provincial Key Laboratory of Photoelectronic Technology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China

³ Huanghe Group Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710043, China

Abstract Temperature field and pump-face thermal distortion field of a rectangle Nd:GdVO₄ crystal end-pumped by the diode laser with Gauss mode was researched by the analytical theory. Through work characteristic analysis of Nd:GdVO₄ crystal by a diode laser end-pumped, a thermal model was built according to the actual working state. A new solution of the heat conduct equation was introduced, and the general solution of temperature field and pump-face thermal distortion field of rectangle Nd:GdVO₄ crystal were obtained. Some relevant parameters, which would influence temperature field distribution, were analyzed simultaneously. The result shows that when the output power of diode laser is 15 W, the pump-face centre of 1.2 at.-% neodymium-doped Nd:GdVO₄ crystal can get 189 °C maximal temperature rise and has 1.37 μm thermal distortion. The method can also be applied to analyze thermal problems of other laser crystals.

Key words laser physics; thermal effect of Nd:GdVO₄ laser; analytical theory; rectangle section; temperature field; thermal distortion field

1 引 言

在众多适合于激光二极管抽运的激光增益介质中, Nd:GdVO₄ 晶体以其优异的特性成为最具吸引力的晶体之一^[1]。与 Nd:YAG, Nd:YVO₄ 晶体相比, Nd:GdVO₄ 晶体在 1.06 μm 有着较大的发射截

面($\sigma_e = 7.6 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$, $E // c$)和在 808 nm 处较高的吸收截面($\sigma_a = 5.2 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$, $E // c$), 并且对于抽运波长有着宽的吸收带宽。更为重要的是, 沿着晶体 $\langle 110 \rangle$ 方向有着较高的热传导率($0.117 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)^[2~4]。基于激光二极管抽

收稿日期: 2004-06-17; 收到修改稿日期: 2004-09-21

基金项目: 陕西省教育厅专项科研项目(04JK129)资助课题。

作者简介: 史 彭(1956—), 男, 辽宁省人, 主要从事高功率激光系统和集成电路热问题的研究。E-mail: pshi56@sohu.com

运 Nd:GdVO₄ 晶体构建的各类激光器已有很多,事实也表明 Nd:GdVO₄ 晶体将是目前所普遍使用的 Nd:YAG, Nd:YVO₄ 晶体最理想的、最具竞争力的替代晶体之一^[5~12]。

激光晶体吸收半导体激光器抽运光能量产生激光振荡的同时,有相当一部分抽运光能量转变为晶体的热能^[13]。当抽运光功率稳定、晶体周围冷却环境相对稳定时,会在晶体内部形成相对稳定的温度梯度场分布,引起晶体的热聚焦作用,即热透镜效应。此时不仅激光晶体折射率发生改变,而且在抽运状态下晶体端面也发生热形变。激光晶体这种热透镜效应严重地影响着半导体激光器抽运 Nd:GdVO₄ 激光器的性能^[14]。

分析、解决热透镜效应问题的基础工作是激光晶体内部温度场的准确计算。以往基于激光晶体温度场分布的理论研究,为了能够得出晶体内部温度场,均将矩形截面晶体简化为圆形截面晶体近似处理^[15~17]。本文通过对半导体激光器端面抽运、周边恒温冷却的矩形截面 Nd:GdVO₄ 晶体工作特点分析,建立了符合实际情况的热分析物理模型,利用泊松方程的一种新求解方法得出了矩形截面 Nd:GdVO₄ 晶体内部温度场分布和抽运端面热形变场的通解表达式,对影响晶体温度场分布的各种因素进行了定量分析。

2 激光晶体内部温度场的计算方法

2.1 单端抽运、周边恒温 Nd:GdVO₄ 晶体热模型

半导体激光器端面抽运激光晶体实验装置有直线腔^[18,19]、折叠腔^[6,20]等。图 1 所示为三镜 V 型折叠腔 Nd:GdVO₄/KTP 绿光激光器简图^[6]。Nd:GdVO₄ 晶体因吸收部分抽运光能量产生的热量通过热传导方式由周边散失。一般在半导体激光器抽运的全固态激光器中用冷却循环水或温差电致冷器半导体制冷模块控制激光晶体周边冷却温度,当抽运光通过激光晶体中心时,热模型如图 2 所示。

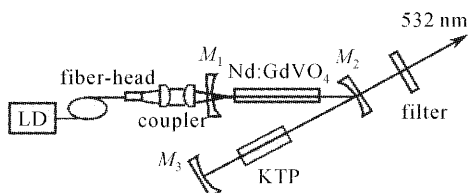


图 1 半导体激光器端面抽运 Nd:GdVO₄/KTP 激光器简图

Fig. 1 Schematic diagram of diode laser end-pumped Nd:GdVO₄/KTP laser

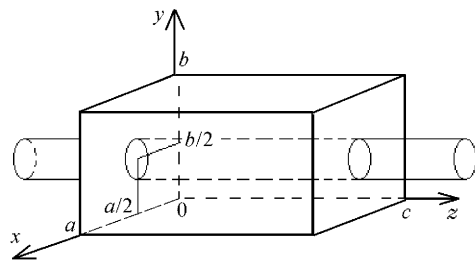


图 2 激光晶体热模型简图

Fig. 2 Schematic diagram of laser crystal thermal model

对 Nd:GdVO₄ 晶体工作特点分析,可建立热分析物理模型:

1) 抽运光高斯分布假设

光纤耦合的半导体激光器发出抽运激光,经过平凸透镜组成的光学系统或自聚焦透镜构成的耦合器后,入射到激光晶体端面。其抽运光光强的空间分布可以用高斯函数来近似^[15,21],设抽运光平行 z 轴入射到 z = 0 面,并辐射在晶体中心时,在 z = 0 面(x-y 面)上抽运光分布表达式为

$$I(x, y, 0) = I_0 \exp\left[-2 \frac{(x - a/2)^2 + (y - b/2)^2}{w^2}\right], \quad (1)$$

其中 I_0 为抽运光中心在 z = 0 面处的功率密度, w 为光束的高斯半径。

激光晶体对抽运光的吸收系数为 β , 当抽运光平行 z 轴传播时,光强由于被吸收而减弱,由吸收规律得到在晶体 z = z 面的光强为

$$I(x, y, z) = I(x, y, 0) \exp(-\beta z). \quad (2)$$

2) 激光晶体内产生的热功率密度

由于激光晶体荧光量子效应和内损耗吸收抽运光的能量远大于其他原因引起的晶体吸收的能量,仅考虑晶体由于荧光量子效应和内损耗吸收抽运光能量所产生的热量。在 z = z 面晶体吸收能量产生的热功率密度为

$$q_v(x, y, z) = \eta I(x, y, z) = I_0 \eta \exp\left[-2 \frac{(x - a/2)^2 + (y - b/2)^2}{w^2}\right] \exp(-\beta z), \quad (3)$$

其中 η 为由荧光量子效应和内损耗决定的热转换系数

$$\eta = 1 - \lambda_p / \lambda_L, \quad (4)$$

其中 λ_p 为半导体激光器抽运光波长 808 nm, λ_L 为谐振腔的振荡激光波长 1064 nm。

3) 激光晶体的边界条件

由于晶体放置在冷却器内,晶体侧面温度保持

相对恒定, 设为 u_w 。作为热模型数学处理可设其为 0(相对), 得出温度场后, 再叠加冷却环境温度 u_w 。晶体两个通光端面与空气相接触, 从两端面和空气热交换流出的热量远远小于从晶体侧面通过传导出流的热量, 因此可假设晶体的两端面绝热, 热模型的边界条件为

$$\begin{aligned} u(0, y, z) &= 0, & u(a, y, z) &= 0, \\ u(x, 0, z) &= 0, & u(x, b, z) &= 0, \\ \frac{\partial u(x, y, z)}{\partial z} \Big|_{z=0} &= 0, & \frac{\partial u(x, y, z)}{\partial z} \Big|_{z=c} &= 0, \end{aligned} \quad (5)$$

2.2 Nd:GdVO₄ 晶体内部温度场的计算表达式

由于激光晶体内部有热源, 则晶体内部热传导遵守泊松方程

$$\begin{aligned} u_{xx}(x, y, z) + u_{yy}(x, y, z) + u_{zz}(x, y, z) = \\ -q_V(x, y, z)/\lambda, \end{aligned} \quad (6)$$

其中 λ 为晶体导热系数或称为热导率。由于 $q_V(x, y, z)$ 和边界条件的复杂性, 一般求解泊松方程的方法无法求出该方程的解。

一种求解边界条件(5)式下泊松方程解的新方法为: 泊松方程的解必须满足泊松方程的同时, 满足其边界条件。其具体方法如下:

1) 根据边界条件确定泊松方程解的本征函数族形式, 由本征函数族组成泊松方程解 $u(x, y, z)$, $u(x, y, z)$ 中有待定常数;

2) 将 $u(x, y, z)$ 代入泊松方程, 求出 $u(x, y, z)$ 中的待定常数, 得出 $u(x, y, z)$ 的表达式;

3) 由于 $u(x, y, z)$ 既满足泊松方程又满足其边界条件, 又由于泊松方程的解存在唯一性, 则 $u(x, y, z)$ 是泊松方程的唯一解。

泊松方程的解为

$$u(x, y, z) = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{l=0}^{\infty} A_{nml} \sin\left(\frac{n\pi}{a}x\right) \sin\left(\frac{m\pi}{b}y\right) \cos\left(\frac{l\pi}{c}z\right), \quad (7)$$

$$\begin{aligned} A_{nml} = \frac{8I_0\beta c\eta[1 - \exp(-\beta z)\cos(l\pi)]}{\lambda ab\pi^2(\beta^2 c^2 + l^2\pi^2)(n^2/a^2 + m^2/b^2 + l^2/c^2)} \times \\ \int_0^a \int_0^b \exp\left[-2\frac{(x-a/2)^2 + (y-b/2)^2}{w^2}\right] \sin\left(\frac{n\pi}{a}x\right) \sin\left(\frac{m\pi}{b}y\right) dx dy, \end{aligned} \quad (8)$$

可利用 Mathematica 计算软件, 根据(7)式计算出激光晶体内部的温度场。

3 激光晶体热形变场的计算方法

当激光晶体内部形成稳定温度场后, 由于激光晶体受热膨胀会使得晶体发生热形变, 这种热形变会严重影响激光器的品质。

设激光晶体内部一点 (x, y, z) 原温度为 0, 晶体达到热平衡后的温度为 $u(x, y, z)$, 该点的温度变化量为 $u(x, y, z)$, z 方向 dz 元的热膨胀量为

$$dl = \alpha u(x, y, z) dz, \quad (9)$$

式中 α 为激光晶体在 z 方向热膨胀系数。则在晶体 z 方向上总的热膨胀量为

$$l = \int_0^c dl = \alpha \int_0^c u(x, y, z) dz, \quad (10)$$

可利用 Mathematica 计算软件, 根据(7), (10)式计算出激光晶体 z 方向的热形变场。

4 Nd:GdVO₄ 激光晶体的热分析

掺 Nd³⁺ 原子数分数为 1.2% 的 Nd:GdVO₄ 晶

体的吸收系数为 74 cm⁻¹, z 方向热膨胀系数 7.3×10^{-6} K⁻¹[22]。

4.1 Nd:GdVO₄ 晶体内部温度场

调节半导体激光器的抽运功率为 15 W, 抽运光高斯半径 w 为 0.45 mm, 晶体尺寸为 3 mm × 3 mm × 4 mm。计算出晶体内部 $x=a/2, y-z$ 面上三维温度场分布如图 3 所示, $x=a/2$ 面上等温线分布如图 4 所示, 沿抽运光中心线 ($x=a/2, y=b/2$) 上温度分布如图 5 所示。抽运端面中心最高温升 189.0 °C。

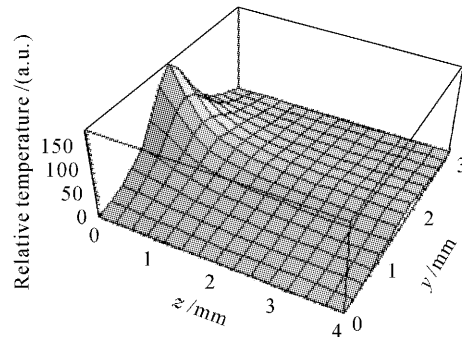


图 3 Nd:GdVO₄ 晶体内部三维温度场分布图

Fig. 3 Three-dimensional temperature field distribution diagram of Nd:GdVO₄ crystal

从图 3~图 5 中可以得出:由于 Nd:GdVO₄ 晶体热导率较大、吸收率较高、抽运光束较细,造成晶体前部中心温升比后部高得多,等温面近似为半球面,后部温升很低。

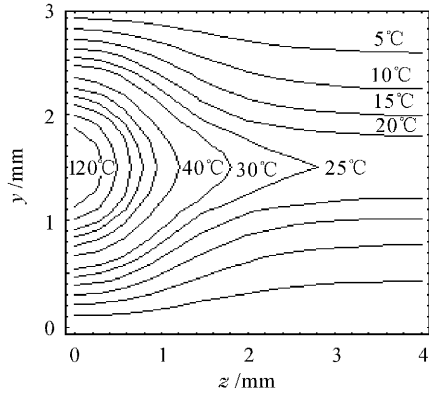


图 4 Nd:GdVO₄ 晶体内部等温线分布图

Fig. 4 Isotherm distribution diagram of Nd:GdVO₄ crystal

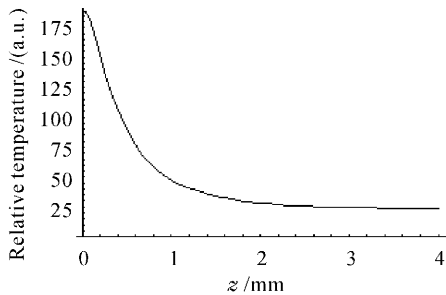


图 5 Nd:GdVO₄ 晶体内部在抽运光中线 ($x=a/2, y=b/2$) 上的温度分布图

Fig. 5 Temperature distribution diagram of Nd:GdVO₄ crystal interior $x=a/2, y=b/2$

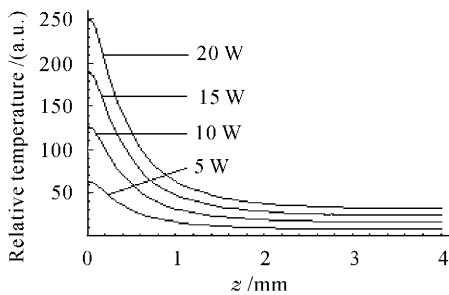


图 6 不同抽运功率下 Nd:GdVO₄ 晶体内部 ($x=a/2, y=b/2$) 温度分布对比图

Fig. 6 Temperature field distribution contrast diagram of Nd:GdVO₄ crystal interior $x=a/2, y=b/2$ by different pump power

4.2 抽运光功率变化对 Nd:GdVO₄ 晶体内部温度场分布的影响

调节半导体激光器抽运功率分别为 5 W, 10

W, 15 W, 20 W, 抽运光高斯半径 w 为 0.45 mm, 晶体尺寸 3 mm × 3 mm × 4 mm, 抽运光轴中心线 ($x=a/2, y=b/2$) 上温度分布如图 6 所示。

从图 6 可见, 晶体内部温度场与抽运光功率成正比。

4.3 抽运光光斑变化对 Nd:GdVO₄ 晶体内部温度场分布的影响

通过光学透镜耦合器将半导体激光器发出的抽运光作用于 Nd:GdVO₄ 晶体端面。选择不同的透镜组合, 以达到控制抽运光斑的目的。当抽运功率为 15 W, 抽运光斑的高斯半径 w 分别为 0.35 mm, 0.40 mm, 0.45 mm, 0.50 mm, 0.55 mm, 晶体尺寸为 3 mm × 3 mm × 4 mm, $z=0$ 面 $y=b/2$ 线上温度分布如图 7(a) 所示, 抽运光轴中心线 ($x=a/2, y=b/2$) 上温度分布如图 7(b) 所示。

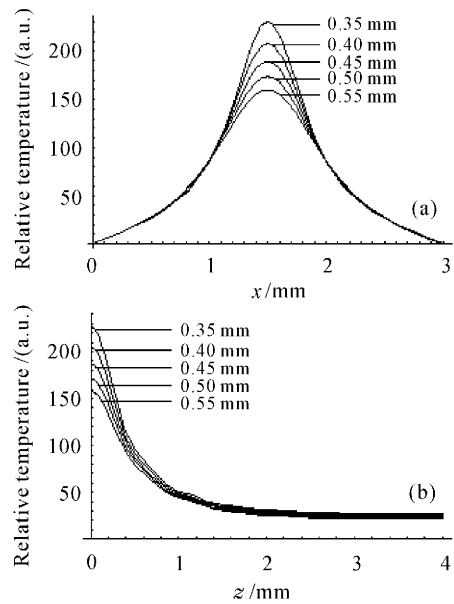


图 7 不同抽运光斑半径下 Nd:GdVO₄ 晶体抽运端面上 ($z=0, y=b/2$) (a), 内部 ($x=a/2, y=b/2$) (b) 温度分布对比图

Fig. 7 Temperature field distribution contrast diagram of Nd:GdVO₄ crystal pumped-face ($z=0, y=b/2$) (a), interior ($x=a/2, y=b/2$) (b) by different pump spot radius

从图 7 可见, 抽运光光斑大小仅影响晶体最前端中心小区域的温度, 光斑越小晶体最高温度越高。

4.4 Nd:GdVO₄ 晶体抽运端面热形变分析

由于晶体后部温升很低, 可以假设晶体后表面无热形变, 晶体的温升造成晶体抽运端面热形变。Nd:GdVO₄ 晶体抽运端面热形变是引起热透镜效应

的主要原因。抽运功率为 15 W, 抽运光的高斯半径 ω 为 0.45 mm, 在 Nd:GdVO₄ 晶体抽运端面 ($z=0$) $y=b/2$ 线上产生的热形变分布如图 8 所示, 抽运端面三维热形变场分布如图 9 所示。抽运端面中心最大热形变量为 1.37 μm 。

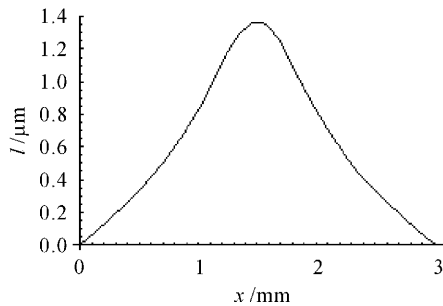


图 8 Nd:GdVO₄ 晶体抽运端面发生的热形变分布图

Fig. 8 Thermal distortion field distribution diagram of Nd:GdVO₄ crystal pumped face ($z=0, y=b/2$)

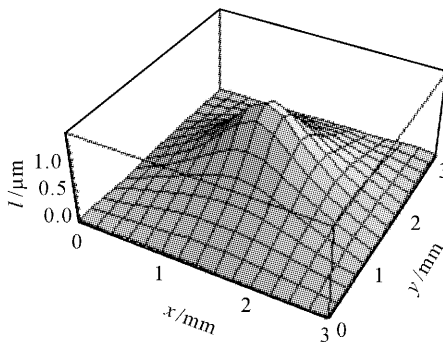


图 9 Nd:GdVO₄ 晶体抽运端面热形变场三维分布图

Fig. 9 Three-dimensional thermal distortion field distribution diagram of Nd:GdVO₄ crystal pumped face

通过定量分析, 晶体沿抽运方向 (z 方向) 有不同程度的“膨胀”(最大热形变量为 1.37 μm), 引起了热透镜效应。温度场在晶体内部产生热应力场, 晶体内部热应力改变晶体内部各点的折射率。这些效应影响了激光器的性能。以上结果可以为定量分析、进一步研究激光器热效应问题提供理论依据。

5 结 论

分析了在单端抽运形式下, 根据矩形截面 Nd:GdVO₄ 激光晶体的实际情况, 利用泊松方程的一种新求解方法, 得出了晶体内部温度场和晶体端面热形变场的解。从定量分析中得出, 单端抽运方式势必会造成激光晶体温度场在抽运方向上不对称, 端面热形变场引起的热透镜效应制约着激光器的高功率输出, 影响输出激光的品质。所得结果可

以为发展激光二极管抽运全固态激光器的稳定设计提供理论依据。

参 考 文 献

- 1 Huaijin Zhang, Xianlin Meng, Junhai Liu *et al.*. Growth of lowly Nd doped GdVO₄ single crystal and its laser properties [J]. *J. Crystal Growth*, 2000, **216**(1~4): 367~371
- 2 C. Li, J. Song, D. Shen *et al.*. Diode-pumped passively Q-switched Nd:GdVO₄ lasers operating at 1.06 μm wavelength [J]. *Appl. Phys. B*, 2000, **70**(4): 471~474
- 3 C. Q. Wang, Y. T. Chow, L. Reekie *et al.*. A comparative study of the laser performance of diode-laser-pumped Nd:GdVO₄ and Nd:YVO₄ crystals [J]. *Appl. Phys. B*, 2000, **70**(6): 769~772
- 4 D. Y. Shen, H. R. Yang, J. G. Liu *et al.*. Efficient and compact intracavity-frequency-doubled Nd:GdVO₄/KTP laser end-pumped by a fiber-coupled laser diode [J]. *Appl. Phys. B*, 2001, **72**(3): 263~266
- 5 J. Liu, Z. Shao, H. Zhang *et al.*. Diode-laser-array end-pumped 14.3-W CW Nd:GdVO₄ solid-state laser at 1.06 μm [J]. *Appl. Phys. B*, 1999, **69**(3): 241~243
- 6 Junhai Liu, Zongshu Shao, Huaijin Zhang *et al.*. Diode-laser-array end-pumped intracavity frequency-doubled 3.6 W CW Nd:GdVO₄/KTP green laser [J]. *Opt. Commun.*, 2000, **173**: 311~314
- 7 Jie Liu, Jimin Yang, Jingliang He. Diode-pumped passively Q-switched intracavity frequency doubled Nd:GdVO₄/KTP green laser [J]. *Optics & Laser Technology*, 2004, **36**(1): 31~33
- 8 J. Liu, C. Wang, C. Q. Wang *et al.*. Diode end-pumped Q-switched high-power intracavity frequency-doubled Nd:GdVO₄/KTP green laser [J]. *Appl. Phys. B*, 2001, **72**(2): 171~174
- 9 C. Czeranowsky, M. Schmidt, E. Heumann *et al.*. Continuous wave diode pumped intracavity doubled Nd:GdVO₄ laser with 840 mW output power at 456 nm [J]. *Opt. Commun.*, 2002, **205**: 361~365
- 10 Huaijin Zhang, Chenlin Du, Jiyang Wang *et al.*. Laser performance of Nd:GdVO₄ crystal at 1.34 μm and intracavity double red laser [J]. *J. Crystal Growth*, 2003, **249**(3~4): 492~496
- 11 Lianjie Qin, Xianlin Meng, Chenlin Du *et al.*. LD-pumped actively Q-switched Nd:GdVO₄/KTP red laser [J]. *Optics & Laser Technology*, 2003, **35**(4): 257~260
- 12 Jie Liu, Jimin Yang, Fengqin Liu *et al.*. Compact and efficient diode-pumped passively Q-switched Nd:GdVO₄ laser at 1.06 μm [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2003, **1**(6): 337~339
- 13 Ou Qunfei, Chen Jianguo, Feng Guoying *et al.*. Analyses of transient temperature and thermal stress distribution in ring laser diode array pumped laser rod [J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(6): 803~807
- 欧群飞, 陈建国, 冯国英 等. 环形激光二极管抽运棒状激光器中瞬态温度和热应力分析 [J]. *光学学报*, 2004, **24**(6): 803~807
- 14 J. Frauchiger, Peter Albers, Heinz P. Weber. Modeling of thermal lensing and higher order ring mode oscillation in end-pumped CW Nd:YAG lasers [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1992, **28**(4): 1046~1056
- 15 M. E. Innocenzi, H. T. Yura, C. L. Fincher *et al.*. Thermal modeling of continuous-wave end-pumped solid-state lasers [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1990, **56**(19): 1831~1833
- 16 Usamah O. Farrukh, A. Martin Buoncrisiani, Charles E. Byvik. An analysis of the temperature distribution in finite solid-state laser rods [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1988, **24**(11): 2253~2264

17 Ananada K. Cousins. Temperature and thermal stress scaling in finite-length end-pumped laser rods [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1992, **28**(4): 1057~1069

18 Junhai Liu, Chenlin Du, Zhengping Wang *et al.*. Diode-pumped Q-switched Nd:GdVO₄/KTP green laser formed with a flat flat resonator [J]. *Optics & Laser Technology*, 2001, **33**(3): 177~180

19 Chen Zhenqiang, Zhang Ge, Shen Hongyuan *et al.*. High power red laser from intracavity-doubled Nd:YAlO₃/LBO laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2003, **30**(10): 873~876
陈振强,张戈,沈鸿元等. Nd:YAP/LBO腔内倍频高功率红

光激光器 [J]. *中国激光*, 2003, **30**(10): 873~876

20 Jintao Bai, Guofu Chen. Continuous-wave diode-laser end-pumped Nd:YVO₄/KTP high-power solid-state green laser [J]. *Optic & Laser Technology*, 2002, **34**(4): 333~336

21 Li Long, Shi Peng, Bai Jintao. Semi-analytical thermal analysis of single end-pumped laser crystal temperature distribution [J]. *J. Xi'an Jiaotong University*, 2004, **38**(4): 369~372
李隆,史彭,白晋涛. 单端泵浦激光晶体温度分布的半解析热分析 [J]. *西安交通大学学报*, 2004, **38**(4): 369~372

22 <http://www.foctek.com/products/crystals/ndgdvo4.htm>, Foctek Photonics, Inc. 2004-6-13

激光二极管抽运新型 Yb:GSO 晶体实现激光运转*

作为发射波段在 1 μm 的激光二极管(LD)抽运全固态激光器的增益介质,掺 Yb 晶体非常大的具有吸引力。Yb 离子具有简单的电子结构,预防了激发态重复吸收、上转换以及浓度淬灭带来的激光损耗。而且,掺 Yb 介质的量子缺陷比较低可以产生相对大的斜效率和低热负载。近年来,掺 Yb 介质一些有效的激光运转已经得到证明,如 Yb:YAG, Yb:YAB 以及 Yb:BOYS 等。迄今为止,人们仍在进行各种尝试以得到发射荧光谱宽,低阈值运转的激光晶体。

最近,由中国科学院上海光学精密机械研究所赵广军、徐军等发明的掺镱硅酸钆 Yb:Gd₂SiO₂ (Yb:GSO)激光晶体(专利号:200510025560.3),属于单斜晶系(空间群 P2₁/c),在室温下采用 940 nm 的激光二极管激发获得较宽的发射带(约 70 nm),如图 1 所示。与其最长发射波峰 1088 nm 相应的 Yb 离子在 GSO 基质中 Stark 能级分裂的基态上能级和下能级的间隔比较大(ΔE = 1067 cm⁻¹),类似于四能级系统,可实现低阈值激光运转。此外,从理论上可以推测 Yb:GSO 晶体可能得到 16 fs 的激光输出。该晶体的使用将为激光二极管抽运的低阈值飞秒激光器的发展开拓广阔的前景。

利用 940 nm 为激光二极管抽运源,对掺 Yb 离子原子数分数为 10% 的 Yb:GSO 晶体进行了激光实验。样品两面抛光未镀膜,垂直切割尺寸为 3 mm × 3 mm × 1.5 mm,转动晶体的方向使其对抽运光的吸收达到最大为 70%。实验采用稳定的三镜腔结构,腔的总长度为 230 cm,输出镜对中心波长的透过率为 2%。实现了该晶体的低阈值激光运转,激光发射阈值仅为 215 mW,相应的功率密度为 1.27 kW/cm²,这比广泛应用的 Yb:YAG 晶体的理论阈值还要低。在这种条件下,得到最大的激光输出

功率为 360 mW,相应的激光斜效率为 19%。实验中观测到,利用设计的抽运结构,在各种抽运功率下输出激光始终保持 TEM₀₀ 模式,测量(光谱仪: Istars Laser Spectrum Analyzer)所发射光谱的中心波长为 1090 nm,如图 2 所示。

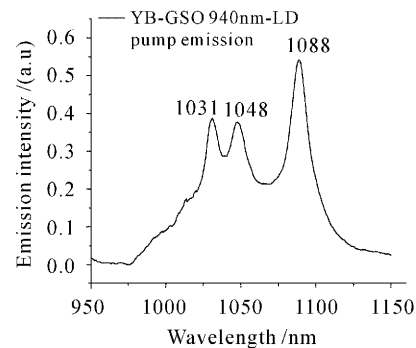


图 1 Yb:GSO 晶体发射光谱
Fig. 1 Emission spectrum of Yb:GSO

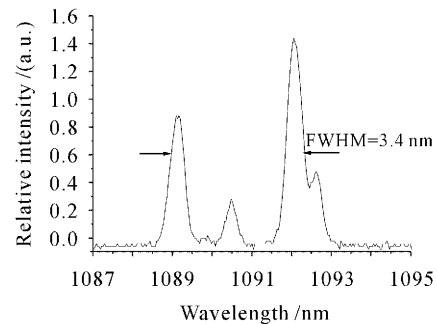


图 2 Yb:GSO 激光器的发射光谱
Fig. 2 Laser emission spectrum of Yb:GSO

¹ 天津大学精密仪器与光电子工程学院, 光电信息技术科学教育部重点实验室, 天津 300072
² 中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800
薛迎红¹, 王清月¹, 柴路¹, 刘庆文¹, 赵广军², 苏良碧², 徐晓东², 徐军²
收稿日期: 2005-06-06; 收到修改稿日期: 2005-06-15