

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0298-03

$\text{Nd}^{3+}:\text{LaB}_3\text{O}_6$ 解理微片激光器

陈雨金, 龚兴红, 林炎富, 罗遵度, 谭奇光, 黄艺东*

(中国科学院福建物质结构研究所, 福建 福州 350002)

摘要 采用提拉法获得了掺杂原子数分数为 5.6% 的 $\text{Nd}^{3+}:\text{LaB}_3\text{O}_6$ 单晶并解理得到厚度为 1.2 mm 的高光学质量微片。在平-平谐振腔中, 采用直接抽运方式利用 871 nm 波长钛宝石激光抽运未经加工的 $\text{Nd}^{3+}:\text{LaB}_3\text{O}_6$ 解理微片, 获得了斜率效率为 52%, 最高功率为 395 mW 的 1060 nm 准连续激光输出。同时研究了不同腔模与抽运光光斑面积比例对激光性能的影响以及不同输出功率下的激光光谱。当腔模与抽运光光斑面积比例增大时, 激光斜率效率增加而吸收抽运阈值降低。当输出功率低于 246 mW 时, 观察到了单纵模激光运转。实验结果表明解理方法有望成为一种简便获得微片激光介质的新技术并能有效避免晶体切割和抛光过程中带来的缺陷和杂质, 提高微片的光学质量。

关键词 材料; $\text{Nd}^{3+}:\text{LaB}_3\text{O}_6$ 晶体; 解理晶片; 微片激光器

中图分类号 TN248.1, O437.1 **文献标识码** A

$\text{Nd}^{3+}:\text{LaB}_3\text{O}_6$ Cleavage Microchip Laser

CHEN Yu-jin, GONG Xing-hong, LIN Yan-fu, LUO Zun-du, TAN Qi-guang, HUANG Yi-dong

(Fujian Institute of Research on the Structure of Matter, The Chinese Academy of Sciences, Fuzhou, Fujian 350002, China)

Abstract End-pumped by a Ti:sapphire laser at 871 nm, quasi-cw laser around 1060 nm with power up to 395 mW and slope efficiency near to 52% has been obtained from a $\text{Nd}^{3+}:\text{LaB}_3\text{O}_6$ cleavage microchip placed in a plano-plano resonator. The influence of the ratio between the cavity mode and pump beam area on the laser performances and laser spectra at various output powers have been investigated. The experimental results show that the cleavage technique may be a novel method to obtain the microchip laser medium easily and directly.

Key words materials; $\text{Nd}^{3+}:\text{LaB}_3\text{O}_6$ crystal; cleavage microchip; microchip laser

1 引言

微片激光器可以在单纵模和 TEM_{00} 横模下运转, 将空间和光谱模式都很差的半导体激光转变成低噪音、光谱和空间模式都很单纯的固体激光输出, 在许多领域都有重要的应用^[1~4]。但是微片激光介质加工难度比较大, 加工成本和晶体损耗率都相当高。

通过分析 Nd^{3+} 激活 LaB_3O_6 (LaBO) 晶体的光学和光谱性能^[5], 根据该晶体的解理特性, 我们提出了直接利用免加工解理晶片作为微片激光介质的技术方案, 以解决微片加工的困难并降低微片激光器的制造成本。采用 1.0 mm 厚、掺杂原子数分数为 2.3% 的 $\text{Nd}^{3+}:\text{LaBO}$ 解理微片已经实现了 1060 nm

的激光输出^[6]。然而, 得到的激光运转效率较低 (23%), 而且所使用的平凹腔结构离微片激光器腔结构仍有较大的差别。

本文在此基础上进一步提高了 $\text{Nd}^{3+}:\text{LaBO}$ 晶体的激活浓度和解理微片的光学质量, 在有效吸收抽运激光的前提下提高了免加工解理微片的激光性能, 显示出通过该方法可以简便地获得具有实用价值的微片激光介质和器件。

2 实验装置

采用提拉法获得了掺杂原子数分数为 5.6% 的 $\text{Nd}^{3+}:\text{LaBO}$ 单晶。然后用刀片沿 (001) 解理面取下厚度为 1.2 mm 的高光学质量解理晶片, 并将直接

基金项目: 国家自然科学基金 (50590405, 50372068) 和福建省重大科技计划 (Z0512012, 2004HZ01-1) 资助课题。

作者简介: 陈雨金 (1977-), 男, 福建古田人, 中国科学院福建物质结构研究所助理研究员, 硕士, 主要从事固体激光材料和器件的研究。

* 通信联系人。E-mail: huyd@fjirsm.ac.cn

其作为微片激光介质。解理微片的表面光洁度和平行度分别为 20/10(MIL-13830A)和优于 30 arc sec, 平面度在 633 nm 波长处小于 1/4 波长。

为了减小抽运能级和激光上能级间量子亏损产生的激光介质中的热负荷,改善激光运转效果和输出功率的稳定性,本实验采用了将激活离子直接抽运到 $^4F_{3/2}$ 激光上能级的方式^[7,8]。图 1 给出了 $\text{Nd}^{3+}:\text{LaBO}$ 解理微片的室温偏振吸收谱显示,对于基态 $^4I_{9/2}$ 到激发态 $^4F_{3/2}$ 的跃迁,当入射光的偏振方向垂直于 b 轴时,该微片在 871.5 nm 的吸收峰值系数为 14.01 cm^{-1} ,大于偏振方向平行于 b 轴的 861.0 nm 的吸收峰值系数 12.57 cm^{-1} 。另外,871.5 nm 处的吸收峰半高宽为 2.0 nm,可以与半导体激光的发射光谱比较好地重叠。

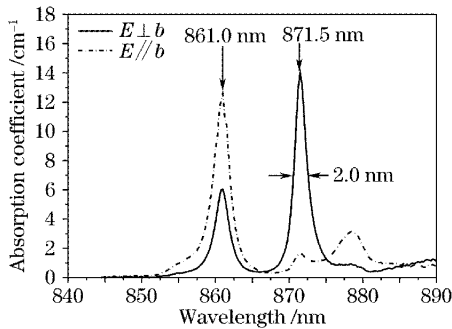


图 1 室温下掺杂原子数分数为 5.6% $\text{Nd}^{3+}:\text{LaBO}$ 晶体 840~890 nm 波段的偏振吸收谱

Fig. 1 Room temperature polarized absorption spectra of 5.6 at.-%-doped $\text{Nd}^{3+}:\text{LaBO}$ cleavage microchip in a range from 840 nm to 890 nm

实验采用端面抽运的平-平腔,没有镀增透膜的 $\text{Nd}^{3+}:\text{LaBO}$ 微片固定在铝基座上。871 nm 波长的连续钛宝石激光(3900 s, Spectra-Physics)作为抽运光,经透镜聚焦到微片上。抽运光的偏振方向垂直于晶体的 b 轴。实验中使用了焦距为 40 mm, 70 mm 和 100 mm 的三种透镜,聚焦在微片上的抽运光光斑半径分别为 20 μm , 35 μm 和 50 μm 。入射腔镜在 871 nm 处的透过率为 90%, 1060 nm 处的反射率为 99.7%。四片出射腔镜在 1060 nm 处的透过率分别为 1.0%, 3.2%, 5.6% 和 8.6%。激光腔的腔长为 2.5 mm。微片表面与前后腔镜各有大约 500 μm 的空气间隙。由于没有对微片采用任何特别的冷却措施,因此为了减小热负荷对激光运转效果的影响,利用斩波器对抽运光进行调制^[8,9], 斩波器的占空比为 20%, 调制频率为 130 Hz。

3 实验结果

图 2 给出了抽运光光斑半径为 20 μm 时,不同输出镜透过率 T 下 1060 nm 准连续激光输出功率随 871 nm 吸收抽运功率的变化。由于采用斩波器后降低了平均功率,图中的功率均为测量值乘以 5 后的数值。对于 8.6% 透过率的出射腔镜,吸收抽运阈值为 175 mW,斜率效率 η 接近于 52%。当吸收抽运功率为 940 mW 时,输出功率达到 395 mW, 10 min 内输出功率的漂移小于 $\pm 4.0\%$ 。从图 2 还可以发现,对于所有的出射腔镜,在本实验的最高吸收抽运功率下,均未出现输出功率的饱和现象。因此,若采用更高功率的抽运光,将可以获得更高的输出功率。当出射腔镜的透过率从 8.6% 降低到 1.0% 时,斜率效率从 52% 降低为 36%, 吸收抽运阈值功率从 175 mW 降低到 90 mW。

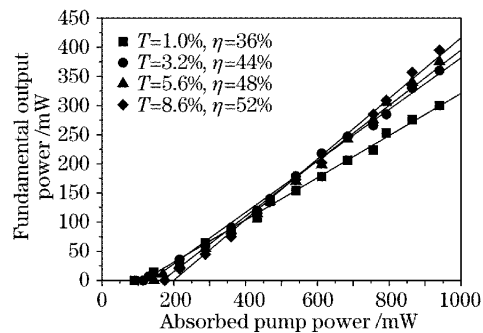


图 2 抽运光光斑半径为 20 μm 时,不同 T 下 1060 nm 准连续激光输出功率随 871 nm 吸收抽运功率的变化
Fig. 2 Quasi-cw infrared laser output power at 1060 nm as a function of absorbed pump power at 871 nm with different T when the pump laser with beam waist of 20 μm

根据谐振腔传播圆理论,平-平腔中激光介质的热透镜焦距等于激光输出功率消失时的腔长^[10]。当吸收抽运功率为 940 mW 时,不同抽运光光斑半径(20 μm , 35 μm 和 50 μm)下,测得 $\text{Nd}^{3+}:\text{LaBO}$ 微片的热透镜焦距分别为 10 mm, 14 mm 和 23 mm。平-平腔中激光介质上的腔模半径 w_c 可根据下式计算得到^[11]

$$w_c^2 = \left(\frac{\lambda_l L}{\pi} \right) (1 - g^2)^{-1/2}, \quad (1)$$

$$g = 1 - L/(2l_c), \quad (2)$$

式中 l_c , λ_l 和 L 分别是激光介质热透镜焦距、激光波长和腔长。因此,当吸收抽运功率为 940 mW 时,不同抽运光斑半径(20 μm , 35 μm 和 50 μm)下, $\text{Nd}^{3+}:$

LaBO 微片上的腔模半径分别为 $42\ \mu\text{m}$, $45\ \mu\text{m}$ 和 $51\ \mu\text{m}$ 。不同腔模与抽运光光斑面积 w_p 比例 $\alpha = (w_c/w_p)^2$ 分别为 4.4, 1.7 和 1.0。图 3 给出了输出镜透过率为 8.6% 时, 不同 α 下 1060 nm 准连续激光输出功率随 871 nm 吸收抽运功率的变化。当 α 从 1.0 增加到 4.4 时, 斜率效率从 42% 增加到 52%, 吸收抽运阈值功率从 288 mW 降低到 175 mW。

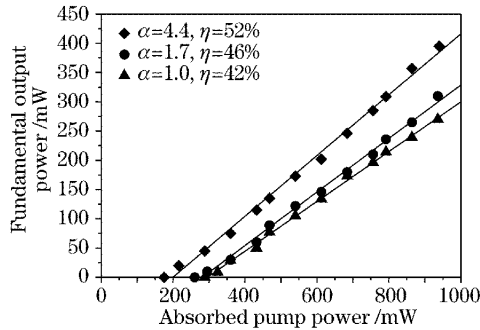


图 3 T 为 8.6% 时, 不同 α 下 1060 nm 准连续激光输出功率随 871 nm 吸收抽运功率的变化

Fig. 3 Dependence of quasi-cw infrared laser output power on absorbed pump power for three values of α when T is fixed to be 8.6%

当抽运光光斑半径为 $20\ \mu\text{m}$ 和输出镜透过率为 8.6% 时, 采用单色仪 (Triax550, Jobin-Yvon) 测量了不同激光输出功率下的激光光谱, 如图 4 所示。

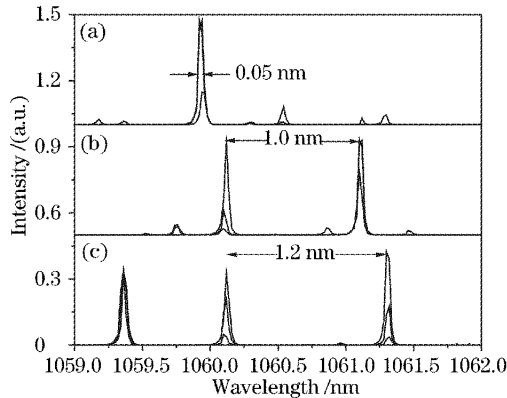


图 4 抽运光光斑半径为 $20\ \mu\text{m}$ 和 T 为 8.6% 时, 不同输出功率下的激光光谱: (a) 输出功率为 246 mW, (b) 输出功率为 309 mW, (c) 输出功率为 395 mW。同一输出功率下的激光光谱是三次相同波长范围扫描的光谱叠加

Fig. 4 Laser free running emission spectra when the pump beam waist was $20\ \mu\text{m}$ and T was 8.6%. (a) output power of 246 mW, (b) output power of 309 mW, (c) output power of 395 mW. The spectra at the same output power are an accumulation of three individual wavelength scans

当输出功率低于 246 mW 时, 观察到了单纵模运转, 输出激光波长为 1059.9 nm, 谱线的半高宽接近 0.05 nm。当输出功率达到 395 mW 时, 光谱中包含了峰值波长分别为 1059.4 nm, 1060.1 nm 和 1061.3 nm 的三个发射峰。谱线的间距大约为 1.0 nm, 与 $500\ \mu\text{m}$ 厚空气标准具的理论纵模间距一致^[11]。不同激光输出功率下谱线间距的变化主要是由微片的热效应导致的。

4 讨 论

实验结果表明, 利用解理微片作为激光增益介质是可行的, 并能有效避免微片加工的困难。由于解理微片的两端面具有高的平行度和光洁度, 又避免了晶体切割和抛光过程中带来的缺陷和杂质, 可以预见, 采用直接在 $\text{Nd}^{3+}:\text{LaBO}$ 解理微片端面镀膜的方式, 实现严格意义上的微片激光输出是有可能的。而且, 还有可能将单晶置于真空中解理并在保证端面高洁净度的真空状态下镀膜, 进一步提高微片激光器件的镀膜质量从而提高其运转效率、工作寿命和光损伤阈值。

参 考 文 献

- 1 J. J. Zayhowski. Microchip lasers [J]. *Opt. Mater.*, 1999, **11**(2~3): 255~267
- 2 E. Molva. Microchip lasers and their applications in optical microsystems [J]. *Opt. Mater.*, 1999, **11**(2~3): 289~299
- 3 Xu Fanghua, Ma Lili, Wang Zhengping *et al.*. Laser diode-pumped Nd:GdVO₄ microchip laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(9): 1166~1168
徐方华, 马丽丽, 王正平等. 激光二极管抽运 Nd:GdVO₄ 微片激光器 [J]. *中国激光*, 2005, **32**(9): 1166~1168
- 4 Xinning Tian, Ping Yan, Qiang Liu *et al.*. Pre-pumped passively Q-switched Nd:YAG/Cr:YAG microchip laser [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2004, **2**(9): 536~537
- 5 Y. J. Chen, X. Q. Lin, Z. D. Luo *et al.*. Polarized spectral analysis of Nd³⁺ ions in LaB₃O₆ biaxial crystal [J]. *Chem. Phys. Lett.*, 2004, **397**(1~3): 282~287
- 6 Y. J. Chen, Y. D. Huang, X. Q. Lin *et al.*. Laser emission from unprocessed cleavage microchip [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2005, **86**(2): 021115-1~021115-3
- 7 V. Lupei, N. Pavel, T. Taira. Laser emission in highly doped Nd:YAG crystals under ⁴F_{5/2} and ⁴F_{3/2} pumping [J]. *Opt. Lett.*, 2001, **26**(21): 1678~1680
- 8 Z. D. Luo, Y. D. Huang, M. Montes *et al.*. Improving the performance of a neodymium aluminium borate microchip laser crystal by resonant pumping [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2004, **85**(5): 715~717
- 9 P. Klopp, U. Griebner, V. Petrov *et al.*. Laser operation of the new stoichiometric crystal KYb(WO₄)₂ [J]. *Appl. Phys. B*, 2002, **74**(2): 185~189
- 10 F. Song, C. Zhang, X. Ding *et al.*. Determination of thermal focal length and pumping radius in gain medium in laser-diode-pumped Nd:YVO₄ lasers [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2002, **81**(12): 2145~2147
- 11 W. Koechner. *Solid-State Laser Engineering* [M]. Beijing: Science Press, 2002. 185, 209
W. 克希耐尔著. 固体激光工程 [M]. 北京: 科学出版社, 2002. 185, 209