

文章编号: 0253-2239(2010)s100509

Nd:LuVO₄/Cr:YAG 微片式脉冲激光器

廖明墩¹ 兰瑞君^{1,2} 王正平¹ 于浩海¹ 张怀金¹ 陈丽娟¹

庄世栋¹ 郭磊¹ 赵永光¹ 王继扬¹ 许心光¹

(¹ 山东大学晶体材料国家重点实验室, 山东 济南 250100)
(² 山东大学信息科学与工程学院, 山东 济南 250100)

摘要 以 Cr:YAG 兼作可饱和吸收体和耦合输出镜, 实现了激光二极管(LD)端面抽运 Nd:LuVO₄ 晶体的微片式被动调 Q 激光。当抽运功率为 13.86 W 时, 最大平均输出功率为 0.508 W, 相应的光-光转换效率为 3.6%, 斜率效率为 8.3%, 最高重复频率、最大单脉冲能量和最短脉冲宽度分别为 23.95 kHz, 21.21 μJ, 4.5 ns, 对应的峰值功率为 4.71 kW。

关键词 激光器; Nd:LuVO₄ 晶体; Cr:YAG; 微片; 被动调 Q

中图分类号 O436 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS201030.s100509

Nd:LuVO₄/Cr:YAG Microchip Pulsed Laser

Liao Mingdun¹ Lan Ruijun^{1,2} Wang Zhengping¹ Yu Haohai¹ Zhang Huaijin¹

Chen Lijuan¹ Zhuang Shidong¹ Guo Lei¹ Zhao Yongguang¹ Wang Jiyang¹ Xu Xinguang¹

(¹ State Key Laboratory of Crystal Materials, Shandong University, Jinan, Shandong 250100, China)
(² School of Information Science and Engineering, Shandong University, Jinan, Shandong 250100, China)

Abstract With Cr:YAG as saturable absorber and output coupler, passively Q-switched microchip laser was obtained for laser diode (LD) end-pumped Nd:LuVO₄ crystal. When the pump power was 13.86 W, a maximum average output power of 0.508 W was obtained, corresponding to an optical conversion efficiency of 3.6%, and a slope efficiency of 8.3%. The highest repetition rate, largest pulse energy and shortest pulse width were measured to be 23.95 kHz, 21.21 μJ, and 4.5 ns, respectively, corresponding to a peak power of 4.71 kW.

Key words lasers; Nd:LuVO₄ crystal; Cr:YAG; microchip; passively Q-switched

OCIS codes 140.3380; 140.3460; 140.3540

1 引 言

近年来, 激光器小型化已经成为固体激光器发展的重要方向, 其中一个热点便是微片激光器^[1~13]。微片激光器是一种具有微型腔结构的端面抽运固体激光器件, 其典型结构是在激光介质的两个透光端面或者激光介质和饱和吸收体的端面上分别镀介质膜, 形成微型振荡腔。微片激光器具有

经济、紧凑、高效、光束优、寿命长以及调整便利等优点。由于其腔长很短, 为了保证激光器的低阈值和高效率, 要求增益介质必须具备吸收和发射截面大、热导性能好等特点。钕离子掺杂的钒酸盐晶体普遍拥有宽的吸收带、大的吸收和发射截面、高的热导率以及适宜的亚稳态寿命, 主要包括 Nd:YVO₄, Nd:GdVO₄, Nd:LuVO₄ 等。其中吸收和发射截面又以

收稿日期: 2010-06-07; 收到修改稿日期: 2010-07-07

基金项目: 国家自然科学基金(60978027)、山东省自然科学基金(ZR2009FM015)、山东省博士后创新基金(200802029)、中国博士后科学基金(200904501184)、高等学校学科创新引智计划和山东省泰山学者计划资助课题。

作者简介: 廖明墩(1984—), 男, 硕士研究生, 主要从事全固态激光器方面的研究。E-mail: mdliao@mail.sdu.edu.cn

导师简介: 王正平(1973—), 男, 博士, 副教授, 主要从事固体激光与非线性光学等方面的研究。

E-mail: zpwang@sdu.edu.cn(通信联系人)

Nd:LuVO₄为最大,分别为 $6.9 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$ 和 $14.6 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$ [14]。大的吸收截面有利于提高抽运光吸收效率,而大的受激发射截面有利于短脉冲激光的产生,因此 Nd:LuVO₄ 晶体有望在被动调 Q 微片激光器中获得重要应用。

本文将谐振腔全反镜镀在 Nd:LuVO₄ 晶体上,将谐振腔耦合输出镜镀在 Cr:YAG 可饱和吸收体上,有效缩短了激光腔尺寸,实现了 Nd:LuVO₄ 晶体被动调 Q 激光器的微片化,最短脉冲宽度为 4.5 ns,最大单脉冲能量和最高峰值功率分别为 21.21 μJ 和 4.71 kW。

2 实验装置

图 1 所示为实验装置图。采用端面抽运方式,所用光纤耦合激光二极管(LD)的中心波长为 808 nm,通过透镜系统聚焦到晶体上的抽运光斑半径约为 0.256 mm。Nd:LuVO₄ 晶体的尺寸为 3 mm×3 mm×1 mm, a 向切割, Nd³⁺ 掺杂原子数分数为 0.5%,两个端面抛光,其中一个端面镀对 808 nm 增透和对 1.06 μm 高反的双色膜作为激光器谐振腔的输入镜 M1,晶体的另一端面镀 1.06 μm 增透膜。Cr⁴⁺:YAG 可饱和吸收片(尺寸为口径 9.5 mm×1.1 mm)的初始透射率为 77%,且在其输出端面上镀有对 1.06 μm 透射率为 15%的部分反射膜作为输出腔镜 M2。为了有效地释放实验中的热量, Nd:LuVO₄ 晶体的侧面被包上铝箔,放入水冷的铜块内,水温保持在 14 ℃左右。Cr⁴⁺:YAG 被放入铜块内,没有外接水冷循环系统。激光晶体与饱和吸收体尽量靠近,谐振腔的长度约为 5~6 mm。

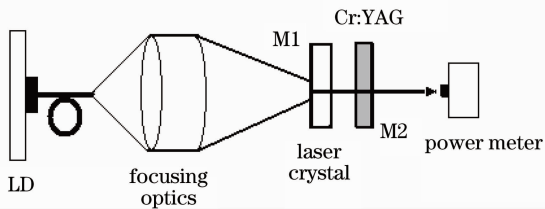


图 1 实验装置
Fig. 1 Experimental setup

3 实验结果与讨论

图 2 为平均输出功率和重复频率随入射抽运功率的变化关系。激光的抽运阈值为 7.74 W,在 13.86 W 的抽运下,平均输出功率为 0.508 W,相应的光-光转换效率为 3.6%,斜效率为 8.3%。由于晶体掺杂浓度较低且厚度较短,所以对于抽运光的

吸收效率较低(约 40%),造成上述光-光转换效率相对较低,如果按照吸收抽运功率计算,则光-光转换效率可达 9.2%。低抽运功率下重复频率的增长较快,当抽运功率超过 11 W 时,重复频率的增长趋势变缓,在 13.86 W 的抽运功率下得到了最高重复频率,为 23.95 kHz。

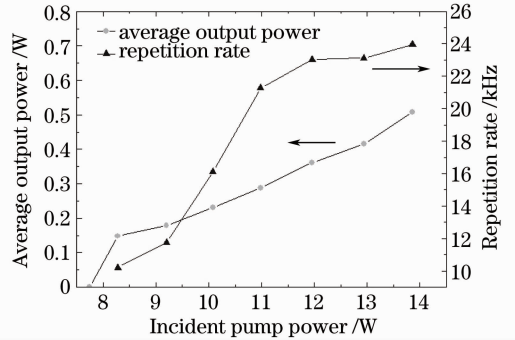


图 2 平均输出功率和重复频率随入射抽运功率的变化关系
Fig. 2 Average output power and repetition rate versus incident pump power

图 3 给出了脉冲宽度和单脉冲能量随入射抽运功率的变化关系。在 13.86 W 的抽运功率下,分别得到了最大单脉冲能量和最小脉宽,分别为 21.21 μJ 和 4.5 ns,对应的峰值功率为 4.71 kW。此时激光输出的单脉冲波形如图 4 所示,其中插图为相应的脉冲序列。本文所得脉冲具有较好的对称性,且周期统一,幅度也比较均匀,在 23.95 kHz 条件下重复频率、脉冲宽度以及脉冲峰值的抖动指标分别为 4.8%, 5% 和 6.5%。

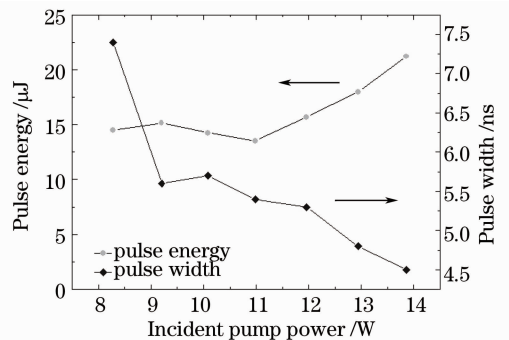


图 3 脉冲宽度和单脉冲能量随入射抽运功率的变化关系
Fig. 3 Pulse width and pulse energy versus incident pump power

作为对比,对于同一块 Nd:LuVO₄ 晶体,利用未镀输出镜介质膜的饱和吸收片(初始透射率为 79.1%)以及透射率为 16% 的输出镜,研究了被动

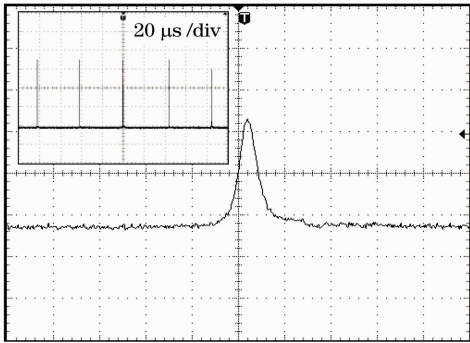


图4 入射抽运功率为13.86 W时的单脉冲波形及脉冲序列

Fig. 4 Pulse profile and pulse train at an incident pump power of 13.86 W

调Q输出特性,腔长约为20 mm。实验发现抽运阈值高达10.44 W,且激光输出微弱。说明在相似的实验条件下,图1所示的微片式结构有效缩短了谐振腔长度,降低了腔内损耗,使阈值反转粒子数密度降低,从而将抽运阈值降低到7.74 W,且输出功率显著增强。

4 结 论

利用直接在Nd:LuVO₄晶体和Cr:YAG晶体的端面镀介质膜的方法,成功实现了Nd:LuVO₄/Cr:YAG被动调Q微片激光器。当抽运功率为13.86 W时,最大平均输出功率为0.508 W,相应的光-光转换效率为3.6%,斜率效率为8.3%,最高重复频率、最大单脉冲能量和最短脉冲宽度分别为23.95 kHz, 21.21 μJ, 4.5 ns,对应的峰值功率为4.71 kW。与相似实验条件下的非微片式结构相比,具有体积小、抽运阈值低,输出大、效率高等特点。由于Nd:LuVO₄和Cr:YAG的外形不同,无法放在同一夹具内,微片实验中它们之间仍有3~4 mm的距离,如能改变设计而实现Nd:LuVO₄与Cr:YAG的基本紧贴,从而使谐振腔进一步缩短,同时再对Nd:LuVO₄晶体的浓度和长度、Cr:YAG晶体的初始透射率和激光耦合输出率等参数进行优化,相信可以获得更短脉冲以及更佳的被动调Q综合效果。研究表明,Nd:LuVO₄是被动调Q微片激光器的优良激光介质,有利于短脉宽、高重频、高效率激光脉冲的产生。

参 考 文 献

- J. J. Zayhowski, A. Mooradian. Single-frequency microchip Nd lasers[J]. *Opt. Lett.*, 1989, **14**(1): 24~26
- J. J. Zayhowski. Microchip lasers [J]. *Opt. Mat.*, 1999, **11**(2-3): 255~267
- J. Li, J. Dong, M. Mitsurua *et al.*. Transient temperature profile in the gain medium of CW- and end-pumped passively Q-switched microchip laser[J]. *Opt. Commun.*, 2007, **270**(1): 63~67
- J. Šulc, H. Jelínková, K Nejezchleb *et al.*. Nd:YAG/V:YAG monolithic microchip laser operating at 1.3 μm[J]. *Opt. Mat.*, 2007, **30**(1): 50~53
- J. J. Zayhowski. Passively Q-switched Nd:YAG microchip lasers and applications[J]. *J. Alloys and Compounds*, 2000, **303-304**: 393~400
- S. Forget, F. Druon, F. Balembois *et al.*. Passively Q-switched diode-pumped Cr⁴⁺:YAG/Nd³⁺:GdVO₄ monolithic microchip laser[J]. *Opt. Commun.*, 2006, **259**(2): 816~819
- 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
- Xu Fanghua, Wang Zhengping, Zhang Huaijin *et al.*. Study on the properties of LD-pumped Nd:LuVO₄ microchip laser[J]. *Acta Physica Sinica*, 2007, **56**(7): 3950~3954
徐方华, 王正平, 张怀金等. LD泵浦 Nd:LuVO₄微片激光器性能研究[J]. *物理学报*, 2007, **56**(7): 3950~3954
- Hu Miao, Chen Jun, Ge Jianhong *et al.*. Temporal characteristics of the gain-switched microchip laser[J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(4): 475~480
胡淼, 陈军, 葛剑虹等. 增益开关型微片激光器的时间特性[J]. *中国激光*, 2007, **34**(4): 475~480
- Yao Baoquan, Wang Qi, Wang Yuezhu *et al.*. Experimental study of (Tm, Ho):YLF microchip laser[J]. *Acta Optica Sinica*, 2002, **22**(10): 1216~1218
姚宝权, 王骥, 王月珠等. (Tm, Ho):YLF微片激光器的实验研究[J]. *光学学报*, 2002, **22**(10): 1216~1218
- Ma Liping, Hu Hongzhang, Li Zengzhi *et al.*. Nd:YVO₄ microchip laser with a plano/plano cavity end-pumped by LD[J]. *Chinese J. Lasers*, 2000, **27**(6): 485~487
马立苹, 胡鸿漳, 李增智等. LD抽运 Nd:YVO₄的平-平腔微片激光器[J]. *中国激光*, 2000, **27**(6): 485~487
- Shi Peng, Li Jinping, Chen Wen *et al.*. Thermal effect of Nd:GdVO₄ cube microchip laser with back surface cooling [J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(7): 1772~1776
史彭, 李金平, 陈文等. 背冷式方形Nd:GdVO₄微片激光器的热效应[J]. *中国激光*, 2009, **36**(7): 1772~1776
- Li Qiang, Cai Yanfang, Jiang Menghua *et al.*. Laser diode array side pumped Nd:YAG thin disk laser[J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(7): 1793~1797
李强, 蔡艳芳, 姜梦华等. 激光二极管侧面抽运的Nd:YAG薄片激光器[J]. *中国激光*, 2009, **36**(7): 1793~1797
- C. Maunier, J. L. Doualan, R. Moncorge *et al.*. Growth, spectroscopic characterization and laser performance of Nd:LuVO₄, a new infrared material that is suitable for diode pumping [J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 2002, **19**(8): 1794~1800