

文章编号: 0258-7025(2007)01-0041-04

激光二极管抽运 Nd:YVO₄/YVO₄ 复合 晶体激光器

李晓敏¹, 卓 壮^{1,2}, 李 涛¹, 杨宏志³, 李 健¹

¹ 山东师范大学物理与电子科学学院, 山东 济南 250014
(² 山东大学² 山大鲁能信息科技有限公司, ³ 信息科学与工程学院, 山东 济南 250100)

摘要 在高功率激光二极管(LD)抽运的情况下,对比分析了 Nd:YVO₄/YVO₄ 复合晶体和 Nd:YVO₄ 单一晶体的激光特性。实验证明,复合晶体能够有效地降低晶体内的温度梯度,减小由端面变形带来的热透镜效应,获得比单一晶体高出许多的输出功率。采用 Z 型折叠腔,研究了 Nd:YVO₄/YVO₄ 复合晶体 KTP 倍频特性,当抽运功率为 17 W 时,获得了 6.23 W 的绿光输出,抽运光到绿光的转换效率高达 37%。

关键词 激光器;热键合;激光二极管端面抽运;复合晶体;Z 型折叠腔

中图分类号 TN 248.1 **文献标识码** A

Laser Diode-Pumped Nd:YVO₄/YVO₄ Composite Crystal Laser

LI Xiao-min¹, ZHUO Zhuang^{1,2}, LI Tao¹, YANG Hong-zhi³, LI Jian¹

¹College of Physics and Electronics, Shandong Normal University, Jinan, Shandong 250014, China

²Shanda Luneng Information & Technology Co., Ltd., Shandong University, Jinan, Shandong 250100, China

³College of Information Science and Engineering, Shandong University, Jinan, Shandong 250100, China

Abstract The optical properties of Nd:YVO₄/YVO₄ composite crystal and Nd:YVO₄ single crystal were studied contrastedly in the high power laser diode-pumped solid-state lasers. It was demonstrated that the composite crystal can effectively reduce the temperature gradient of crystal, relieve the thermal lens effect and get higher output power. The frequency-doubling property of Nd:YVO₄/YVO₄ composite crystal with KTP was studied in a “Z-shaped” folded cavity. With the incident pump power of 17 W, 6.23 W green light was achieved with an optical conversion efficiency of 37%.

Key words lasers; thermal bonding; laser diode-end-pumped; composite crystal; Z-shaped folded cavity

1 引 言

激光二极管(LD)抽运的全固态大功率连续波绿光激光器由于具有效率高、体积小、稳定性好和寿命长等优点,广泛应用于医疗、通信、信息和大屏幕彩色显示等领域。激光晶体各方面的性能(包括光学、机械、热学等)决定着激光器的效率、寿命、稳定性和光束质量等性能指标,复合晶体以其优良的物

理和化学性能,成为目前全固态激光器的研究热点^[1~3]。

20 世纪 90 年代初,热键合技术开始用于光学晶体上。热键合也称扩散键合,就是首先将两块经过精密加工的晶体通过一系列表面处理后,紧密地贴在一起,在室温下形成光胶,然后再对晶体进行热处理,在无需其他黏结剂和高压的情况下形成永久性键合^[4~6]。利用热键合技术将不掺杂晶体与同基

收稿日期:2006-06-12;收到修改稿日期:2006-08-14

基金项目:山东省科技厅科技攻关计划(031080125)资助项目。

作者简介:李晓敏(1981—),女,山东省寿光市人,硕士研究生,主要从事全固态激光器件和非线性光学等方面的研究。

E-mail:crystal_xiaomi@126.com

导师简介:卓 壮(1967—),男,教授,目前主要从事新型光学晶体、非线性光学晶体和激光晶体、半导体激光抽运固体激光器和晶体器件的非线性光学特性等方面的研究。E-mail:z.zhuo@sduln.com.cn

质掺杂晶体键合在一起,形成复合晶体。由于不掺杂晶体起到热沉的作用,利于晶体更好地散热,有效地改善了晶体中心和侧面的温度梯度,减小了由端面变形引起的热透镜效应,从而提高激光器的输出功率和稳定性。1991年,Kuizenga提出的Z型折叠腔是一种适合在高功率时获得高倍频转换效率的方法^[7],Z型折叠腔具有倍频过程与激光增益介质隔离,可实现双通倍频单向输出,模参数调整灵活,可有效控制激光晶体和倍频晶体上的光斑大小,从而得到较大的光功率密度和倍频转换效率等优点,在高功率端面抽运固体激光器中得到了广泛应用^[7,8]。本文采用Z型折叠腔,在高功率激光二极管端面抽运的情况下,获得了6 W以上的连续波绿光输出,光-光转换效率达到37%。

2 Nd:YVO₄/YVO₄ 复合晶体和 Nd:YVO₄ 单一晶体基频特性比较

2.1 实验装置

图1所示为1.06 μm输出的激光器示意图。抽运源为美国相干公司生产的型号为FAP-System的激光二极管,发射波长为808 nm,最大输出功率为30 W,通过光纤耦合输出。光纤输出孔径为800 μm,聚焦耦合系统的效率为85%,聚焦后的束腰半径为320 μm。Nd:YVO₄/YVO₄复合晶体由山大鲁能中晶公司提供,结构如图2所示。其中未掺杂YVO₄晶体的尺寸为4 mm×4 mm×4 mm。Nd:YVO₄晶体Nd³⁺的原子数分数约为0.3%,尺寸为4 mm×4 mm×7 mm。Nd:YVO₄和YVO₄均为a向切割,通光面a面抛光,平行度小于10",c轴平行

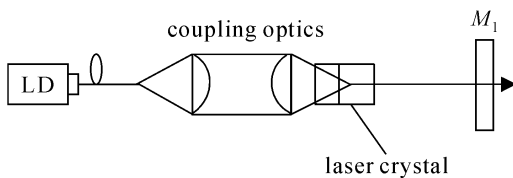


图1 1.06 μm输出的激光器示意图

Fig. 1 Laser schematic at 1.06 μm

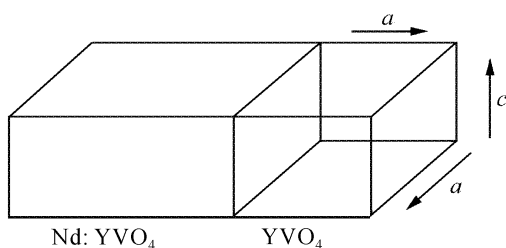


图2 复合晶体示意图

Fig. 2 Schematic of composite crystal

度精确在1'左右,结合表面精确抛光,平面度小于1 nm,晶轴偏差小于2'。YVO₄端面镀有808 nm的增透膜和1.06 μm的高反膜,可作为输入镜,有效减小插入损耗;Nd:YVO₄端面镀有808 nm和1.06 μm的双色增透膜,复合晶体用铝箔包裹于紫铜块内进行循环水冷却。Nd:YVO₄单一晶体也由山大鲁能中晶公司提供,尺寸为4 mm×4 mm×7 mm。Nd:YVO₄单一晶体一端镀有808 nm的增透膜和1.06 μm的高反膜,作为输入端;另一端镀有808 nm和1.06 μm的双色增透膜,亦用铝箔包裹于紫铜块内进行循环水冷却。平面输出镜M₁对1.06 μm激光的透射率为10%,整个谐振腔的腔长约为90 mm。

2.2 实验结果及分析

实验使用LP-3C型激光功率计测量激光输出功率。图3所示分别为Nd:YVO₄/YVO₄复合晶体和Nd:YVO₄单一晶体1.06 μm激光的输出特性。当抽运光功率为17.85 W时,Nd:YVO₄单一晶体获得了7.69 W的1.06 μm激光输出,光-光转换效率为43.1%;Nd:YVO₄/YVO₄复合晶体获得了9.25 W的1.06 μm激光输出,光-光转换效率达到52%。从图中还可以看出,Nd:YVO₄/YVO₄复合晶体的稳区范围明显大于Nd:YVO₄单一晶体,当抽运功率为24.65 W时,仍可得到10.61 W的稳定激光输出,且输出功率没有下降的趋势,一直在稳区范围之内。而Nd:YVO₄单一晶体在抽运功率为18.7 W时,输出功率已经开始下降。因为复合晶体端面的未掺杂YVO₄晶体能够起到热沉的作用,利于激光晶体更好地散热,有效减小了晶体中心和侧面的温度梯度,减小了由端面变形引起的热透镜效应,使谐振腔更加稳定,输出功率更高。

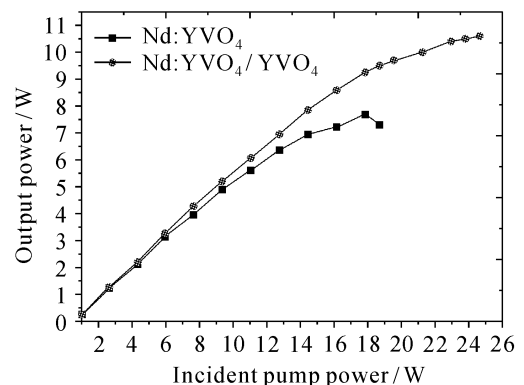


图3 1.06 μm激光平均输出功率随输入功率的变化情况

Fig. 3 CW output power at 1.06 μm as a function of the incident pump power

3 Nd:YVO₄/YVO₄ 复合晶体 KTP 倍频特性

3.1 实验装置

图 4 所示为 Nd:YVO₄/YVO₄ 复合晶体 KTP 腔内倍频绿光激光器示意图,激光器采用水循环方式进行冷却。凹面镜 M_1 的曲率半径为 200 mm, 镀有 1.06 μm 的高反膜。凹面输出镜 M_2 的曲率半径为 150 mm, 镀有 1.06 μm 的高反膜及 532 nm 的高透膜。 M_3 为一平面镜, 镀有 1.06 μm 及 532 nm 的高反膜。Nd:YVO₄/YVO₄ 复合晶体与 M_1 之间的腔长为 280 mm, M_1 与 M_2 之间的腔长为 330 mm, M_2 与 M_3 之间的腔长为 110 mm。倍频晶体 KTP 紧靠平面镜 M_3 放置, II 类相位匹配($\theta = 90^\circ, \Phi = 23.4^\circ$), 尺寸为 10 mm \times 10 mm \times 7 mm, 两面镀 1.06 μm 及 532 nm 的双增透膜, KTP 晶体用铜箔包裹置于紫铜块内进行循环水冷却。

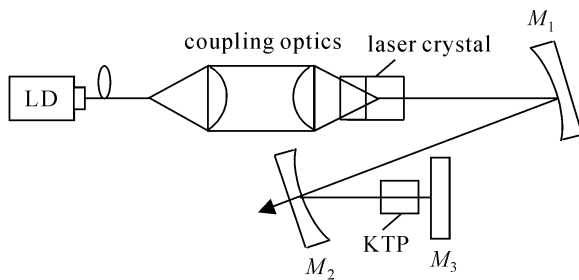


图 4 Nd:YVO₄/YVO₄ 复合晶体 KTP 倍频绿光激光器

Fig. 4 Schematic of the Nd:YVO₄/YVO₄ KTP green laser

3.2 实验结果及分析

图 5 所示为 Nd:YVO₄/YVO₄ 复合晶体 KTP 倍频绿光激光器输出绿光随抽运光的变化情况。当抽运光功率为 17 W 时, 获得了 6.23 W 的绿光, 波长为 532 nm, 抽运光到绿光的转换效率为 37%, 抽运光阈值功率约为 0.5 W。由图 5 可以看出, 由于采用热效应较小的复合晶体, 输出绿光随抽运光迅速、平稳地增加, 最终获得了 6 W 以上的绿光输出。

在绿光输出功率为 4.75 W 时, 对绿光的稳定度进行了测试。每间隔 1 min 记录一个绿光输出功率, 图 6 所示为 20 min 之内所记录的绿光输出功率。输出功率平均值为 $\bar{P} = 4.734$ W, 均方根误差为 $\Delta\bar{P} = [\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 / n]^{1/2} = 0.084$, 由此可求出 20 min 之内功率非稳定度为 $\Delta\bar{P} / \bar{P} = 1.78\%$ 。由于存在“绿光噪声”等问题的影响, 绿光的非稳定性很难小于 1%。

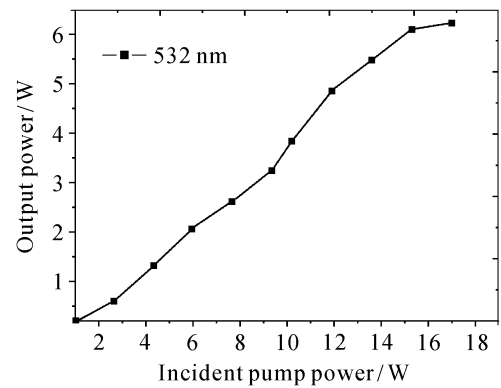


图 5 Nd:YVO₄/YVO₄ 复合晶体 KTP 绿光激光器输出随抽运光的变化情况

Fig. 5 CW green output power of the Nd:YVO₄/YVO₄ KTP green laser as a function of the incident pump power

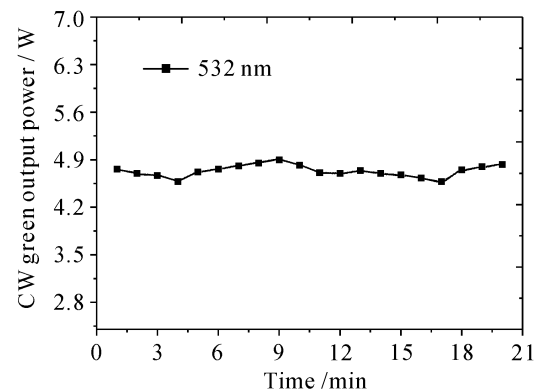


图 6 绿光输出随时间的变化关系

Fig. 6 CW green output power with time

4 结 论

利用山大鲁能中晶公司提供的 Nd:YVO₄/YVO₄ 复合晶体, 比较了其 Nd:YVO₄ 单一晶体的激光特性, 分析了热透镜效应对激光器稳定性及输出功率的影响, 并采用 Z 型折叠腔, 研究了 Nd:YVO₄/YVO₄ 复合晶体 KTP 倍频特性。当抽运功率为 17 W 时, 获得了 6.23 W 的绿光输出, 抽运光到绿光的转换效率高达 37%。复合晶体由于具有较小的热透镜效应, 因此其在大功率固体激光器方面将具有很大的应用前景。

参 考 文 献

- 1 Wei Zhiyi, Chen Yuchan, Li Jian *et al.*. All-solid-state operation of self-mode locking Ti sapphire laser [J]. *Acta Optica Sinica*, 1998, **18**(7):960
魏志义, 陈毓川, 李健等. 自锁模钛宝石激光实现全固化运转 [J]. *光学学报*, 1998, **18**(7):960
- 2 Zhao Hongming, Zhao Shengzhi, Yang Kejian *et al.*. Q-switched intracavity doubling Nd:YVO₄/KTP laser with acousto-optic [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(11):1294~1297
赵宏明, 赵圣之, 杨克建等. LD 泵浦 Nd:YVO₄/KTP 内腔倍频

- 声光调 Q 理论和实验研究[J]. 光子学报, 2004, **33**(11):1294~1297
- 3 He Jingliang, Hou Wei, Zhang Hengli *et al.*. 8.8 W green laser by intracavity frequency doubling of a LD pumped Nd:YVO₄ laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2000, **A27**(6):481~484
何京良,侯 玮,张恒利 等. LD 抽运 Nd:YVO₄腔内倍频连续波 8.8 W 绿光激光器[J]. 中国激光, 2000, **A27**(6):481~484
- 4 Sun Dunlu, Zhang Qingli, Wang Zhaobing *et al.*. Study on the transmission spectra of the composite YAG/Nd:YAG crystal [J]. *Journal of Synthetic Crystals*, 2005, **34**(2):229~232
孙敦陆,张庆礼,王召兵 等. 热键合 YAG/Nd:YAG 复合晶体的透过光谱研究[J]. 人工晶体学报, 2005, **34**(2):229~232
- 5 Helmuth E. Meissner. Composite optical and electro-optical devices [P]. United States Patent: US005846638A, Dec. 8, 1998
- 6 Helmuth E. Meissner, Oliver R. Meissner. Solid state lasers with composite crystal or glass components [P]. United States Patent: US005852622A, Dec. 22, 1998
- 7 D. J. Kuizenga. Intra-cavity beam relay for optical harmonic generation [P]. United States Patent: US5025446, June 18, 1991
- 8 Li Zhigang, Xiong Zhengjun, Huang Weiling *et al.*. Study of high power laser diode end-pumped composite crystal lasers [J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(3):297~300
李志刚,熊政军,黄维玲 等. 高功率激光二极管端面抽运复合晶体激光器的研究[J]. 中国激光, 2005, **32**(3):297~300

第八届全国激光加工学术会议在广州召开

第八届全国激光加工学术会议于 2006 年 11 月 25~26 日在广州华泰宾馆召开。本次会议由中国光学学会激光加工专业委员会主办,华南师范大学信息光电子科技学院和广州市光机电工程研究开发中心承办,广州光学学会协办。开幕式上,中国光学学会激光加工专业委员会主任邓树森研究员致欢迎词,国家科技部高新司孙中发处长、广州市科协杨晓秘书长、华南师范大学胡社军副校长分别讲话。开幕式结束后,英国利物浦大学 William Steen 教授、德国斯图加特大学 Friedrich Dausinger 教授、德国汉诺威激光中心主任 Andreas Ostandorf 博士、法国 CEA/GERAILP Pascal Aubry 博士、美国 Nebraska—Lincoln 大学 Lu Yongfeng 教授、德国 BIAS Harald Kohn 博士等 6 位国际知名专家分别作了精彩的大会特邀报告。



中国科学院院士刘颂豪教授和来自德国、英国、法国、美国等 6 位国际知名激光专家及国内专家学者共 260 多人出席了会议。本次会议共收到学术论文 120 多篇,可谓盛况空前,论文涉及激光连接(焊接、钎焊)、激光去除(切割、打孔、清洗、抛光等)、激光强化(合金化、熔覆、沉积等)、激光制备新材料、激光快速成形与激光快速制造、激光复合加工技术、激光微纳米技术、激光加工新技术及新应用、激光加工过程检测与控制、新型激光器件与光加工系统等领域,这些论文全面反映了近年来国内在激光加工领域的最新研究进展。论文来自于国内近 40 个大中专院校、科研机构和企业。会议设 1 个主会场报告和 9 个分会场报告,分会场报告主题包括激光强化与材料制备、激光直接制造、激光微纳加工、激光焊接,激光冲击与强化、激光器与激光加工系统,激光焊接与切割、激光烧结与沉积和激光新应用、过程模拟。

本次会议报告较全面地反映了近年来我国激光加工技术研究、应用和产业化的最新成果,将促进本领域的科技创新和成果转化以及国际、国内在激光加工领域广泛的交流与合作关系。本次会议的优秀论文将汇编成册,以《中国激光》(增刊)形式出版,为广大激光加工领域的工作者提供一份非常有价值的参考资料。