

·激光技术·

Tm脉冲激光器泵浦的中红外固体激光器

张晓娟, 蔡军, 许宏, 杨海波

(光电信息控制和安全技术重点实验室, 河北 三河 065201)

摘要:介绍了Tm:YAP脉冲激光器泵浦的中红外固体激光器。首先介绍了Tm脉冲激光器,由实验分析,对YAP固体激光器腔型结构进行优化,确定了适合泵浦ZGP OPO的YAP激光器腔型,得到较理想的2 μm脉冲激光输出。中红外固体激光器由优化后的Tm:YAP激光器泵浦ZGP光学参量振荡器(OPO)组成,最终得到输出功率达瓦级以上的3~5 μm激光。

关键词:Tm:YAP激光器;中红外固体激光器;OPO;ZnGeP₂晶体

中图分类号:TN248.1

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2011)02-0015-03

Tm Pulse Laser Pumped Mid-IR Solid State Laser

ZHANG Xiao-juan, CAI Jun, XU Hong, YANG Hai-bo

(Science and Technology on Electro-Optical Information Security Control Laboratory, Sanhe 065201, China)

Abstract: A Tm:YAP laser pumped Mid-IR solid-state laser is reported. First, the Tm pulse laser is described, the structure of laser cavity is optimized by analyzing the experiment results. Then, the appropriate type of YAP laser cavity of ZnGeP₂ OPO pump is confirmed, and obtained 2 μm pulse laser output is ideal. Mid-IR solid state laser is composed of optimized Tm:YAP laser pump optical parametric oscillator (OPO). Finally, more than Watt-level output power at 3~5 μm is obtained.

Key words: Tm: YAP laser; Mid-IR solid state laser; OPO; ZnGeP₂ crystal

目前实现中红外固体激光器有效的方法是用2 μm固体激光器泵浦光学参量振荡器(OPO)。其中,ZnGeP₂晶体是比较适合光参量振荡器的非线性晶体,并能产生中波激光输出^[1]。

具有较大输出功率(1 W以上)的2 μm激光器主要是应用掺Ho³⁺离子、再加入其他辅助离子的晶体,如Tm:Ho:GaVO₄、Tm:Ho:YLF等。Ho激光器的输出性能依赖于对温度敏感的上能级转换和Tm到Ho的能量传输,室温下储存在Ho离子的能量不能完全释放,使有效能量减小。为了提高增益和有效抽运必须将晶体冷却到液氮温区,但液氮在某些使用条件下会引起不便。

对于Tm³⁺离子来说,它的激发跃迁³F₄→³H₆与

Ho³⁺离子的⁵I₇→⁵I₈跃迁产生的谱线宽度接近^[2,3],因此单掺Tm³⁺离子的晶体也可以作为2 μm激光器的工作物质。Tm离子受激发射截面较小^[3](约6×10⁻²⁰ cm²,只有Ho³⁺离子的40%),导致较低的增益。

对ZnGeP₂晶体,泵浦的波长越短,晶体损耗越低。Tm离子在³H₄和³H₆能级之间跃迁,输出波长在1.91~2.03 μm可调。而不同基质的Ho激光器波长从2.05~2.15 μm。显然,Tm激光比Ho激光泵浦ZnGeP₂晶体时的损耗低,因此,对增益较低的Tm激光器可以通过降低晶体损耗来提高增益,然后再泵浦ZnGeP₂ OPO。Tm激光器可以用较低的输出来泵浦ZnGeP₂ OPO,降低了输入功率,从而使Tm激光器不需要像Ho-Tm激光器那样复杂的制冷条件。

收稿日期:2011-01-05

基金项目:重点实验室基金

作者简介:张晓娟(1979-),女,河北正定人,硕士,工程师,主要从事固体激光器及相关研究。

采用单掺 Tm:YAP(Tm:YAlO₃)晶体,构建了全固态室温工作的激光泵浦固体激光器,实验比较优化 YAP 激光腔型,得到适合泵浦 OPO 的 YAP 腔型,并得到 3~5 μm 中红外激光输出。

1 YAP 激光器

1.1 实验装置

YAP 激光器实验装置如图 1 所示。YAP 激光器采用半导体激光器为泵浦源,光纤输出泵浦光束经过光学耦合系统准直后聚焦到 YAP 晶体中。激光工作物质 Tm:YAP 晶体为圆柱体,单掺 Tm³⁺ 离子。晶体的两端抛光,镀以 800 nm 和 2 μm 增透膜。晶体用钢铂包裹放在紫铜热沉中,在热沉下方安装一片 TEC 制冷片,通过温控器对晶体热沉温度进行控制,YAP 晶体热沉温度设定为 10 °C。

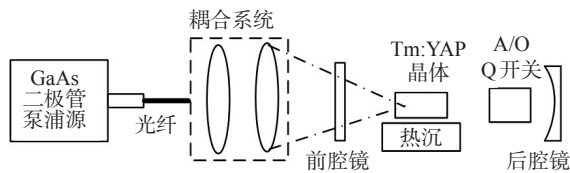


图1 Tm:YAP 激光器实验装置

1.2 激光器腔型优化

YAP 激光器光腔的设计直接影响到激光器的输出特性,进而影响 OPO 的输出。谐振腔的光束质量上的要求为接近基横模运转,同时在晶体上的激光光斑直径与泵浦聚焦光斑直径相接近(泵浦光束束腰略小于激光腔模束腰)^[4]。这时有较高的泵浦匹配系数,有利于充分利用泵浦能量,热致衍射损耗几乎不随泵浦功率的增加发生变化,在后继的 OPO 腔泵浦中效率也较高。

根据理论分析^[5],泵浦阈值随后腔镜反射率增加而减小,同时,光-光转换效率也随后腔镜反射率增加而减小。因此低泵浦阈值和高效率对后腔镜反射率的要求是矛盾的,为了兼顾二者,后腔镜反射率可取 0.6~0.9。

为了获得较好的激光光束质量和大功率输出,需要较高的泵浦功率,而激光介质在高功率泵浦下的热效应对激光器的性能有较大影响,所以设计激光腔型时要考虑激光晶体热效应的影响。资料报道^[6],可以通过优化设计谐振腔解决热透镜效应和对热透镜效应进行补偿,但需要采用较为复杂的腔型结构,为了满足 YAP 固体激光器结构简单、紧凑

的要求,采用平凹腔。

相比平平腔,平凹腔输出功率没有明显下降点^[7]。固体激光器为平平腔,晶体相对于腔镜两端的距离不大时,激光输出功率才不会有明显的下降点^[8]。实验验证如图 2 所示,其中 d_1 为晶体距前腔镜的距离, d_2 为晶体距后腔镜的距离。

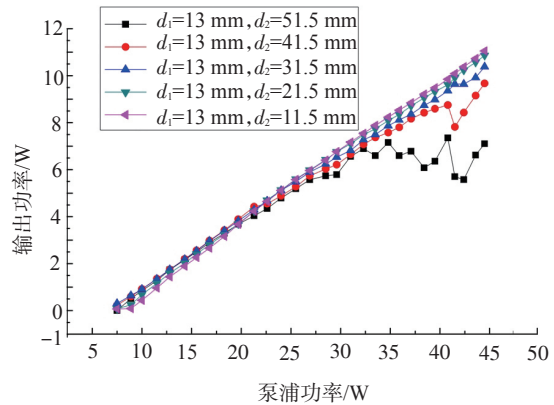


图2 不同结构的平平腔输出功率

图 2 所示,对平平腔而言,短腔才能获得较高的激光输出,但短腔内无法放置 Q 开关,不能获得激光脉冲。

采用平凹腔可以实现对热透镜效应进行有效补偿,有效地避免了热透镜效应导致的输出功率下降,如图 3 所示。相同腔长时平凹腔的输出功率无明显下降点。

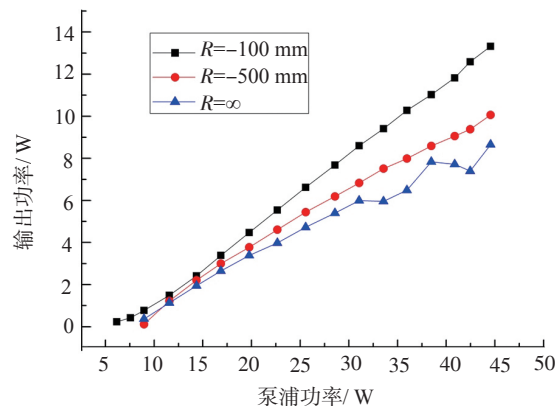
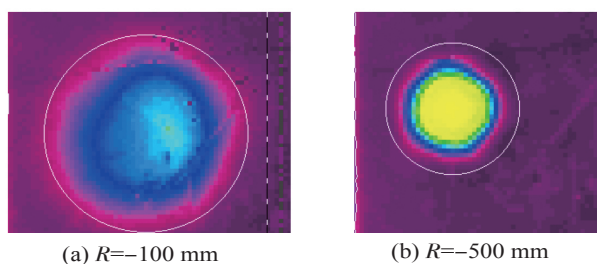


图3 相同条件下不同腔型时的输出功率

对采用曲率为 -100 mm 和 -500 mm 后腔镜的 2 种腔型的激光输出进行实验测试对比,后腔镜曲率为 100 mm 时激光输出功率较高,但输出模式较差,相同距离、相同条件下采集的激光光斑见图 4。

由于泵浦激光模式对 ZGP OPO 影响较大,较好光束质量的泵浦光较易产生中红外激光,图 4 显示,



(a) $R=-100$ mm (b) $R=-500$ mm

图4 相同条件下采集的输出光斑

采用曲率-500 mm 后腔镜时输出激光光束质量较好,较适合泵浦 ZGP OPO。

1.3 实验结果

YAP 激光器谐振腔采用平凹腔,前腔镜为平镜,镀对 800 nm 的高透膜和对 2 μm 的全反射膜,后腔镜为凹镜,曲率为-500 mm,镀对 2 μm 的反射膜。腔长应尽可能短,根据现有器件尺寸,设计为 71 mm。最终获得大于 10 W 的激光输出,见图 3,激光脉宽小于 200 ns,发散角约为 8 mrad,峰值波长为 1 991.0 μm (见图 5)的输出激光。

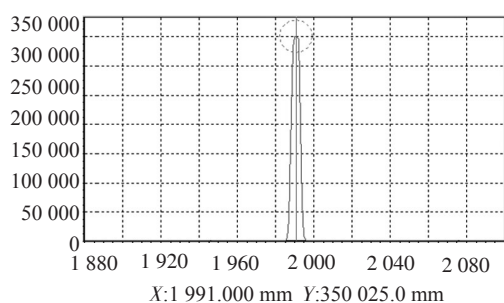


图5 激光输出波长

2 中红外激光器

Tm:YAP 脉冲激光器泵浦的中红外固体激光器示意图如图 6 所示。

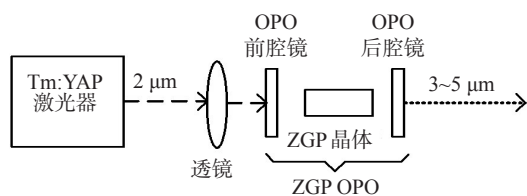


图6 中红外固体激光器示意图

Tm 激光器输出的 2 μm 激光经透镜聚焦后入射到 ZnGeP₂ 晶体上。ZnGeP₂ 为 I 类型相位匹配,OPO 腔为平-平腔。前腔镜镀 2 μm 高透膜,3~5 μm 高反射膜;输出镜对 3~5 μm 半反半透。

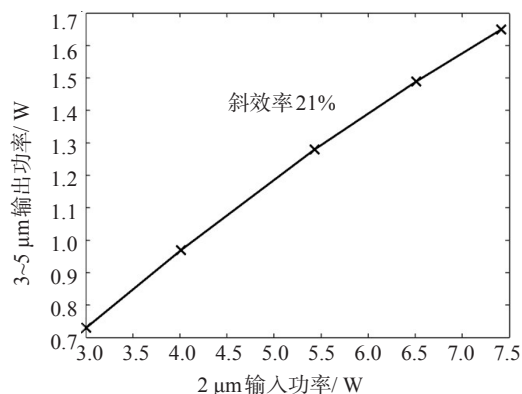


图7 3~5 μm 输出功率

OPO 输出 3~5 μm 激光,输出功率见图 7 所示。OPO 信号光和闲频光输出功率达到瓦级,斜效率为 21%,光-光转换效率为 23%。

3 结论

实验分析得出,平凹腔结构的 Tm:YAP 脉冲激光器较适合泵浦 ZGP OPO,并最终获得 3~5 μm 激光输出,输出功率达到瓦级。

参考文献

- [1] Katsuhiko Miyamoto, Kazi Monwar Abedin, Hiromasa Ito. Wavelength-agile coherent tunable mid-IR ZGP-OPO source and its applications[J]. SPIE, 2007, 6582: 1-9.
- [2] Thangavel Thevar, Norman P Barnes. Diode-pumped, continuous-wave Tm:YALO₃ laser[J]. Applied Optics, 2006, 45(14):3352-3355.
- [3] Elde, John Payne. Diode-pumped, room-temperature Tm:YAP laser[J]. Applied Optics, 1997, 36(33): 8606-8610.
- [4] 姚建铨,徐德刚. 全固态激光及非线性光学频率变换技术[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [5] Pavel Cerny, David Burns. Modeling and Experimental Investigation of a Diode-Pumped Tm:YALO₃ Laser With a- and b-Cut Crystal Orientations[J]. IEEE Journal of selected topics in Quantum Electronics, 2005, 11(3): 674-681.
- [6] 张腊花,王晓敏,马明俊,等. LD 泵浦固体激光器热透镜效应及优化设计的分析[J].量子电子学报,2005,22(6):855-858.
- [7] 张晓娟,王立新,蔡军,等. 室温工作的全固态 Tm:YAP 激光器[J]. 光电技术应用,2010,25(4):46-49.
- [8] 汪莎,刘崇,陈军,等. 固体激光器腔型结构对热透镜焦距测量的影响[J]. 中国激光,2007,34(10):1431-1435.