

文章编号: 0253-2239(2010)s100311

LD 抽运 Nd:YAG 陶瓷/GaAs 被动调 Q 激光器

兰瑞君^{1,2} 任 诠³ 王正平² 于浩海² 刘 宏² 陈丽娟² 庄世栋²
郭 磊² 赵永光² 王继扬² 许心光²

¹烟台大学光电信息科学技术学院, 山东 烟台 264005
²山东大学晶体材料国家重点实验室, 山东 济南 250100
³山东大学信息科学与工程学院, 山东 济南 250100

摘要 报道了一种 LD 端面抽运 Nd:YAG 陶瓷,以 GaAs 作为饱和吸收器件的全固态被动调 Q 激光器。当抽运功率为 23.3 W 时,最大平均输出功率为 2.06 W,相应的光-光转换效率为 8.8%,斜效率为 9.9%,最高重复频率、最大单脉冲能量、最短脉冲宽度和最大峰值功率分别为 49.5 kHz,41.6 μ J,17 ns 和 2.44 kW。

关键词 激光器;Nd:YAG 陶瓷;GaAs;LD 抽运;被动调 Q

中图分类号 TN248 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201030.s100311

LD-Pumped Passively Q-Switched Nd:YAG Ceramic Laser with GaAs Saturable Absorber

Lan Ruijun^{1,2} Ren Quan³ Wang Zhengping² Yu Haohai² Liu Hong² Chen Lijuan²
Zhuang Shidong² Guo Lei² Zhao Yongguang² Wang Jiyang² Xu Xinguang²

¹School of Opto-Electronic Information Science and Technology, Yantai University,
Yantai, Shandong 264005, China

²State Key Laboratory of Crystal Materials, Shandong University, Jinan, Shandong 250100, China

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

Abstract A LD-pumped passively Q-switched Nd:YAG ceramic laser with a GaAs saturable absorber is demonstrated. At a pump power of 23.3 W, maximum average output power of 2.06 W is obtained, corresponding to optical conversion efficiency of 8.8% and slope efficiency of 9.9%. The highest repetition rate, largest pulse energy, shortest pulse width and highest peak power are measured to be 49.5 kHz, 41.6 μ J, 17 ns and 2.44 kW, respectively.

Key words lasers; Nd:YAG ceramic; GaAs; LD-pumped; passively Q-switching

OCIS codes 140.3480; 140.3540; 160.3380

1 引 言

近年来,以透明陶瓷作为激光介质的固体激光器引起了人们越来越多的关注。透明陶瓷作为一种新兴材料,具有高热导率、低电导率、高硬度、耐磨损和耐腐蚀等一系列优异的综合性能。早在 1964 年

就有人开始了激光陶瓷的研究^[1],然而由于受到制备工艺的限制,进展一直非常缓慢。直至 1995 年日本的 Ikesue 等^[2~4]采用固相反应法制备出了高质量的 Nd³⁺:YAG 透明陶瓷,同时制成了第一台能与 Nd³⁺:YAG 单晶相媲美的 Nd³⁺:YAG 陶瓷激光器

收稿日期: 2010-08-10; **收到修改稿日期**: 2010-10-18

基金项目: 国家自然科学基金(60978027)、山东省自然科学基金(ZR2009FM015)、中国博士后科学基金(200904501184)、山东省博士后创新基金(200802029)、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: 兰瑞君(1983—),男,博士,主要从事全固态激光器方面的研究。E-mail: lanruijun@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

后,其研究才真正取得了突破。1999年后,随着真空烧结法陶瓷制备工艺的发展,出现了一系列优秀的透明陶瓷材料,例如:Nd:YAG陶瓷、Yb:YAG陶瓷、Yb:Y₂O₃陶瓷和Nd:Lu₂O₃陶瓷等。其中Nd:YAG陶瓷已经实现了部分产业化,它在光学质量、光谱性能和荧光寿命等方面达到了Nd:YAG单晶的水平,并在许多方面表现出显著优势,如制备时间短、成本低、形状多样、尺寸大、掺杂浓度高以及便于大规模生产等,为固体激光器带来更加广阔的发展前景,目前已成为激光研究尤其是高功率激光研究的热点^[5~16]。

GaAs具有制作简单、光损伤阈值高、热导率高以及光学非线性作用明显等优点,是目前较为常用的半导体可饱和吸收材料。本文报道了GaAs被动调Q Nd:YAG陶瓷激光器的激光性能,采用LD端面抽运双镜直腔的方式,获得了2.06 W的平均输出,光-光转换效率和斜效率分别为8.8%,9.9%。

2 实验装置

图1所示为GaAs被动调Q Nd:YAG陶瓷激光器的实验装置。采用端面抽运方式,所用光纤耦合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。入射镜M1为曲率半径200 mm的平凹镜。平面镀808 nm增透膜,凹面镀808 nm增透、1064 nm高反膜。输出端腔镜M2是对1064 nm部分透过的平面镜,透射率为8%。实验所用Nd:YAG陶瓷的尺寸为3 mm×3 mm×5 mm,Nd³⁺原子数分数为2%,两端面抛光但没有镀膜。GaAs饱和吸收片双面均镀有对1064 nm的增透膜,对1064 nm激光的初始透射率为90%。为了有效地释放实验中的热量,陶瓷的侧面被包上铝箔,放入水冷的铜块内,GaAs被固定在另一水冷铜块的表面,水温保持在7.5℃。在实验过程中,Nd:YAG陶瓷样品被尽可能近地放在入射镜M1后面,以缩短腔长,减小脉宽,同时GaAs饱和吸收体被尽可能近地放置在出射镜M2前面,目的是为了使得饱和吸收体上的光斑半径尽可能小以

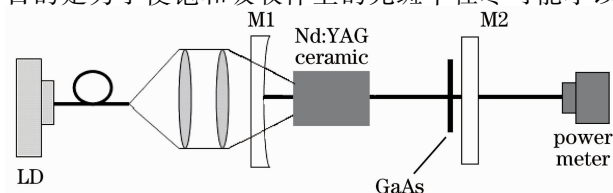


图1 实验装置

Fig.1 Experimental setup

得到高的功率密度。

3 实验结果与讨论

首先,在腔内没有GaAs的时候,研究了Nd:YAG陶瓷的连续输出特性,此时腔长为10 mm。连续(CW)输出功率与抽运功率的关系如图2所示。抽运阈值为0.27 W,当抽运功率为21.6 W时,最大输出功率为11.3 W,相应的光-光转换效率和斜效率分别为52.3%和54.4%。输出曲线的线性很好,在高抽运功率下未出现饱和现象,说明继续加大抽运功率有望获得更高输出。

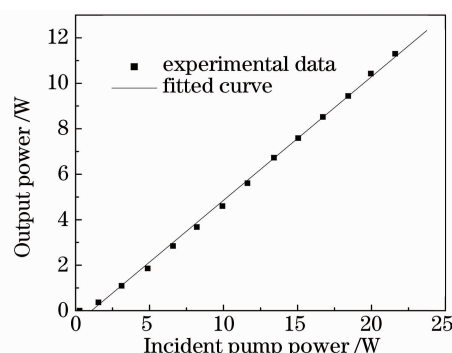


图2 1064 nm连续激光输出功率与抽运光功率的关系

Fig.2 1064 nm CW output power versus incident pump power

将腔长调整为20 mm,并将GaAs放入腔内,实现了GaAs被动调Q输出。平均输出功率与入射抽运功率的关系如图3所示,阈值抽运功率为0.4 W,当抽运功率为23.3 W时,最大平均输出功率为2.06 W,相应的光-光转换效率为8.8%,斜效率为9.9%。受实验条件所限,我们使用了初始透射率较低的GaAs可饱和吸收片,因此插入损耗也较大,造成调Q输出的平均功率和效率与连续输出相比有大幅下降,使用高初始透射率的GaAs调Q片可望

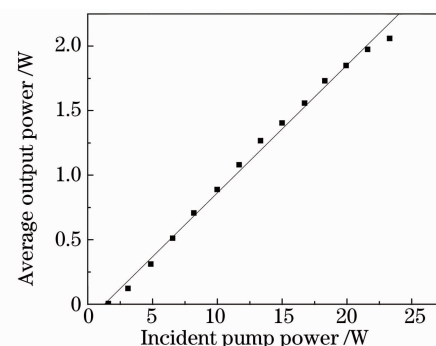


图3 被动调Q平均输出功率随抽运功率的变化曲线

Fig.3 Passively Q-switched average output power versus incident pump power

使这一状况得到改善。通过对调Q输出功率的数据进行线性拟合,发现在高抽运功率下,出现了饱和现象。对比图2可知,在类似的腔型设计下,连续激光输出并未饱和,分析出现饱和的原因可能是:1)腔内放入GaAs可饱和吸收体后,在高功率下与晶体共同表现出的热透镜效应更加复杂;2)腔内的功率密度很高时,引起了GaAs更加复杂的非线性效应的出现,比如双光子吸收、自由载流子吸收等。

图4所示为脉冲宽度随入射抽运功率的变化关系。随着抽运功率的升高脉冲宽度逐渐降低,低抽运功率下的脉冲宽度减小较为明显,高抽运功率下脉冲宽度的变化幅度减小。当抽运功率为23.3 W时,最短脉冲宽度为17 ns,相应波形如图5所示,显示出较好的对称性。激光阈值附近的脉冲周期约为100 μs,相应的脉冲重复频率为10 kHz。当抽运功率升高时,脉冲周期逐渐减小,脉冲频率逐渐增大。在23.3 W的最高抽运功率下,测得的脉冲周期为20.2 μs,相应的重复频率为49.5 kHz。结合2.06 W的平均输出功率和17 ns的脉宽,可以计算出单脉冲能量大约为41.6 μJ,峰值功率为2.44 kW。

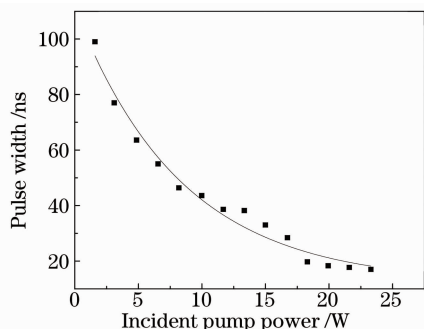


图4 脉冲宽度随抽运功率的变化曲线

Fig. 4 Pulse width versus incident pump power

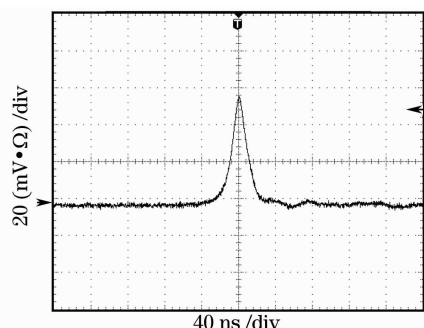


图5 抽运功率为21.6 W时的脉冲波形

Fig. 5 Pulse shape at an incident pump power of 21.6 W

4 结 论

本文实现了LD抽运Nd:YAG陶瓷/GaAs被

动调Q输出,最大平均输出功率为2.06 W,相应的光-光转换效率为8.8%,斜效率为9.9%,最高重复频率、最大单脉冲能量、最短脉冲宽度和最大峰值功率分别为49.5 kHz,41.6 μJ,17 ns和2.44 kW。实验表明,将Nd:YAG陶瓷与GaAs结合可以制作出性能优良、结构紧凑的新型脉冲激光器。

参 考 文 献

- 1 S. E. Hatch, W. F. Parsons, R. J. Weagley. Hot pressed polycrystalline CaF₂:Dy²⁺ laser[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1964, **5**: 153~154
- 2 Liu Songhao. Laser ceramic—the new focusing point of exploring solid laser material[J]. *Laser & Infrared*, 2005, **35**(6): 385~390
刘颂豪. 激光陶瓷—固体激光工作物质探索的新热点[J]. *激光与红外*, 2005, **35**(6): 385~390
- 3 A. Ikesu, I. Furusatao, K. Kamata. Fabrication of polycrystalline, transparent YAG ceramics by a solid-state reaction method[J]. *J. Am. Ceram. Soc.*, 1995, **78**(1): 225~228
- 4 A. Ikesue, T. Kinoshita, K. Kamata *et al.*. Fabrication and optical properties of high-performance polycrystalline Nd:YAG ceramics for solid-state lasers[J]. *J. Am. Ceram. Soc.*, 1995, **78**(4): 1033~1040
- 5 Jianren Lu, K. Ueda, H. Yagi *et al.*. Neodymium doped yttrium aluminum garnet (Y₃Al₅O₁₂) nanocrystalline ceramics—a new generation of solid state laser and optical materials[J]. *J. Alloy. Comp.*, 2002, **341**(1~2): 220~225
- 6 Junhua Lu, Jianren Lu, Tomoyo Murai *et al.*. 36-W diode-pumped continuous-wave 1319-nm Nd:YAG ceramic laser[J]. *Opt. Lett.*, 2002, **27**(13): 1120~1122
- 7 S. G. P. Strohmaier, H. J. Eichler, J. F. Bisson *et al.*. Ceramic Nd:YAG laser at 946 nm[J]. *Laser Phys. Lett.*, 2005, **2**(8): 383~386
- 8 Lei Guo, Ruijun Lan, Hong Liu *et al.*. 1319 nm and 1338 nm dual-wavelength operation of LD end-pumped Nd:YAG ceramic laser[J]. *Opt. Express*, 2010, **18**(8): 9098~9106
- 9 Zhengping Wang, Hong Liu, Jiyang Wang *et al.*. Passively Q-switched dual-wavelength laser output of LD-end-pumped ceramic Nd:YAG laser[J]. *Opt. Express*, 2009, **17**(14): 12076~12081
- 10 R. Lan, Z. Wang, H. Liu *et al.*. Passively Q-switched Nd:YAG ceramic laser towards large pulse energy and short pulse width[J]. *Laser Phys.*, 2010, **20**(1): 187~191
- 11 Lan Ruijun, Liu Hong, Wang Zhengping *et al.*. LD pumped Nd:YAG ceramic/KTP green laser[J]. *Acta Physica Sinica*, 2009, **58**(11): 7686~7689
兰瑞君, 刘宏, 王正平等. LD抽运的Nd:YAG陶瓷/KTP绿光激光器[J]. *物理学报*, 2009, **58**(11): 7686~7689
- 12 Zhu Hongtao, Lou Qihong, Qi Yunfeng *et al.*. Experimental and theoretical study of heat generation in Ti:sapphire end-pumped Nd:YAG ceramic lasers[J]. *Acta Physica Sinica*, 2005, **54**(12): 5648~5653
朱洪涛, 楼祺洪, 漆云凤等. 钛宝石激光器端面抽运Nd:YAG陶瓷激光器热沉积理论和实验研究[J]. *物理学报*, 2005, **54**(12): 5648~5653
- 13 Zhu Hongtao, Lou Qihong, Qi Yunfeng *et al.*. Experimental and theoretical study on the optimization of the normalized heating parameter in the operating LD side-pumped Nd:YAG ceramic lasers[J]. *Acta Physica Sinica*, 2006, **55**(10): 5221~5226
朱洪涛, 楼祺洪, 漆云凤等. LD侧面抽运Nd:YAG陶瓷激光器运转条件下归一化热参数优化理论及实验研究[J]. *物理学报*,

- 2006, **55**(10): 5221~5226
- 14 Ji Jianghua, Qi Yunfeng, Zhu Xiaolei *et al.*. High-power quasi-continuous-wave Nd:YAG ceramic laser[J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(3): 415~418
纪江华, 漆云凤, 朱小磊 等. 大功率准连续 Nd:YAG 陶瓷激光器研究[J]. *光学学报*, 2006, **26**(3): 415~418
- 15 Yang Chengwei, Huo Yujing, He Shufang *et al.*. LD pumped high-efficiency high-repetition-rate Nd:YAG ceramic laser[J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(5): 593~596
杨成伟, 霍玉晶, 何淑芳 等. 激光二极管抽运的高效高重复频率 Nd:YAG 陶瓷激光器[J]. *中国激光*, 2005, **32**(5): 593~596
- 16 Zhou Yong, Chen Yahui, Zong Nan *et al.*. Diode double-end-pumped Nd:YAG ceramic laser with an output power of 10.0 W at 1064 nm[J]. *Chin. J. Quant. Electron.*, 2008, **25**(3): 257~259
周 勇, 陈亚辉, 宗 楠 等. 双端端泵国产透明陶瓷 Nd:YAG 激光器研究[J]. *量子电子学报*, 2008, **25**(3): 257~259