

高能量激光二极管侧面抽运风冷 Nd:YAG 脉冲激光器

杨晓涛 马修真 刘友

(哈尔滨工程大学动力装置电控技术研究所, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要 介绍了一种激光二极管侧面抽运的风冷高能量 Nd:YAG 激光器,当重复频率为 30 Hz 时,峰值功率可达到 12 MW,脉冲宽度为 11 ns。激光器重复频率为 1~30 Hz 可调,光光转换效率达到 13.2%,激光输出波长为 1064.2 nm,带宽为 1 nm,光束质量因子 M^2 为 2.85。针对以往大功率激光器的冷却系统体积大的问题,采用半导体热电制冷(TEC)配合风扇的风冷系统,省去了体积庞大的水冷系统,为整机的小型化提供了可能性。

关键词 激光器;风冷;激光二极管侧面抽运;Nd:YAG 晶体

中图分类号 O434.3 文献标识码 A doi: 10.3788/LOP48.111405

High-Energy LD Side-Pumped Q-Switched Air Cooling Nd:YAG Laser

Yang Xiaotao Ma Xiuzhen Liu You

(Institute of Marine Engine Electronic Control Technology, Harbin Engineering University, Harbin, Heilongjiang 150001, China)

Abstract We report a high-energy LD side-pumped Nd:YAG Q-switched laser with air cooling system. The peak power is 12 MW, and the pulse width is 11 ns when the repetition rate is 30 Hz. The repetition rate is tunable from 1 to 30 Hz with 1000 mJ pump energy. The optical-to-optical efficiency is 13.2%. The central wavelength is 1064.2 nm with bandwidth of about 1 nm. The beam quality factor M^2 is 2.85. We adopt a semiconductor thermoelectricity cooling (TEC) system with fan air-cooling system, eliminating the need for a bulky cooling system as that in traditional high-power lasers. This offers the possibility of miniaturization of the whole laser system.

Key words lasers; air cooling; LD sidepumping; Nd:YAG crystal

OCIS codes 140.3580; 140.3480; 140.3550

1 引言

光电对抗技术已经成为体现现代军队作战能力的重要指标之一,而激光器在光电对抗技术中起着至关重要的作用。作为光源,激光器是光电对抗设备的主体部分,因此选用稳定的小型化光源对光电对抗技术十分重要。传统的军用 1 μm 激光器多采用氙灯抽运的方式,由于氙灯的寿命导致这种抽运方式的激光器寿命很低,而且氙灯的发光谱线很宽,导致激光器的转换效率很低,所以激光器整体的功耗很大,也不利于其在军用设备中的使用。另外低转换效率导致设备废热多,散热成为使用过程中的主要问题之一,所以氙灯抽运的大功率激光器必须采用水冷制冷方式。水冷系统体积大、功耗大,限制了光电对抗设备的发展。

激光二极管(LD)抽运的全固态激光器(DPSL)具有高效率、长寿命及结构紧凑等优点,在激光加工、激光测距、目标指示、激光雷达等领域得到广泛应用^[1~5],给军用激光器提供了更好的选择。DPSL 根据抽运方式可以分为端面抽运和侧面抽运两种,端面抽运方式的转换效率较高,这得益于它的高抽运能量密度,但同时光学器件的损伤较为严重,不利于产生高能量的激光^[6~8]。侧面抽运方式中,由于其抽运面积较大、抽运能量密度较低,所以转换效率较端面抽运方式低,但是它可以承受更高的注入能量,因此当抽运能量较

收稿日期: 2011-06-14; 收到修改稿日期: 2011-07-26; 网络出版日期: 2011-09-30

作者简介: 杨晓涛(1985—),男,硕士,讲师,主要从事固体激光器及无接触探测技术等方面的研究。

E-mail: yangxiaotao1985@163.com

高时也能产生高能量的激光输出,且对激光器本身的损伤较小,损伤阈值较高^[9-11]。

本文根据 DPSL 的优点,结合军用激光器的实际需要,设计出一种峰值功率达到 12 MW,脉冲宽度 11 ns,重复频率为 1~30 Hz 的风冷小型化 1 μm 激光器。

2 LD 阵列侧面抽运 Nd:YAG 实验装置

2.1 Nd:YAG 的吸收光谱特性

为了提高激光器整体效率、减小功耗,抽运源 LD 阵列输出波长的选择十分重要。图 1 所示为 Nd:YAG 激光晶体的吸收光谱特性。基于此,选择了中心波长为 808 nm、线宽为 2 nm 的半导体模块作为激光器的抽运源。

2.2 实验装置

图 2 为 LD 阵列侧面抽运 Nd:YAG 激光器的实验装置图,采用平平腔结构和腔内调 Q 方式。 M_1 是镀膜腔镜,靠近腔内侧镀有 808 nm 高反、1064 nm 高反膜,反射率均大于 99.5%。激光晶体选择两根掺杂 Nd 原子数分数为 1% 的 Nd:YAG 晶体棒,尺寸为 $\phi 5\text{ mm} \times 40\text{ mm}$,晶体的两端镀膜。抽运模块选择拱形对称方式,每个模块中集成 25 根 bar 条,每根 bar 条最大输出功率为 100 W,抽运频率为 1~30 Hz,抽运宽度为 200 μs 。为了得到光束质量较好的激光输出,两个拱形的抽运模块对称放置,并在晶体的无抽运端加半导体热电制冷(TEC)器,对晶体工作环境进行严格的温度控制。抽运模块结构如图 3 所示。LD 阵列侧面抽运 Nd:YAG 激光器选用退压式调 Q 方式,调 Q 晶体选用 KD*P,晶体尺寸为 $\phi 10\text{ mm} \times 25\text{ mm}$,偏振片尺寸为 $\phi 20\text{ mm} \times 3\text{ mm}$,镀有激光增透膜,并按水平布鲁斯特角安装。 M_2 内侧镀有 808 nm 高反、1064 nm 部分反射膜,808 nm 反射率大于 99.5%,1064 nm 反射率为 85%。

3 LD 阵列侧面抽运 Nd:YAG 实验结果

图 4 是 LD 输出能量随着注入电流变化的曲线(此曲线为 LD 出厂标定值,并非实时数据可以看出),LD 的阈值电流在 30 A 左右,输出能量随着注入电流的增加呈线性增加。在电流为 100 A 时,LD 输出最大单脉冲能量为 1000 mJ,并且未出现饱和现象。

图 5 是 Nd:YAG 激光器输出能量随着注入 LD 能量的变化曲线。从图中可以看出,Nd:YAG 激光器的输出能量阈值在 150 mJ 左右,随着抽运能量的增加,Nd:YAG 激光器的输出能量线性增加,当抽运能量为 1000 mJ 时,激光能量输出达到最大,为 132 mJ,光光转换效率达到 13.2%。根据曲线可以看出,激光输出并未出现饱和现象,这表明随着注入抽运能量的增加,输出激光能量还会有所增加。

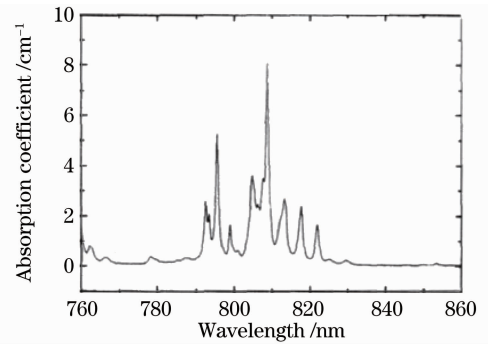


图 1 Nd:YAG 晶体的吸收光谱特性
Fig. 1 Absorption spectrum of Nd:YAG

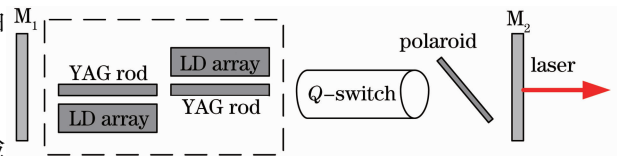


图 2 Nd:YAG 激光器实验装置图
Fig. 2 Schematic of the experimental setup

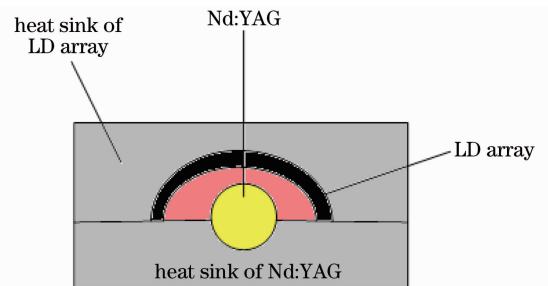


图 3 抽运模块结构图
Fig. 3 Schematic of the pumping module

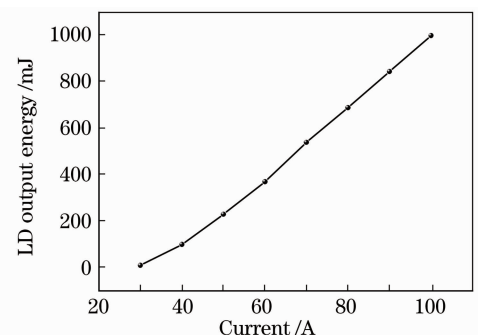


图 4 LD 能量输出曲线
Fig. 4 Output energy of the LD

图6给出当抽运能量为1000 mJ,重复频率为30 Hz时,Nd:YAG激光器输出激光的脉冲实测结果。窄脉冲宽度对产生高功率的Nd:YAG激光器有很重要的意义。

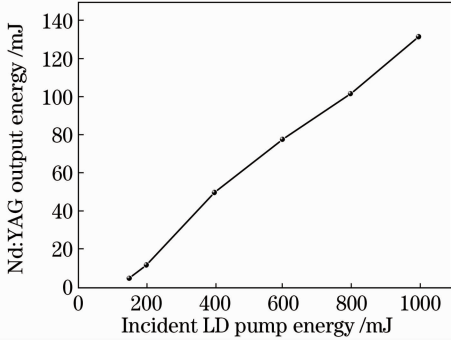


图5 Nd:YAG激光能量曲线

Fig. 5 Output energy of Nd:YAG laser

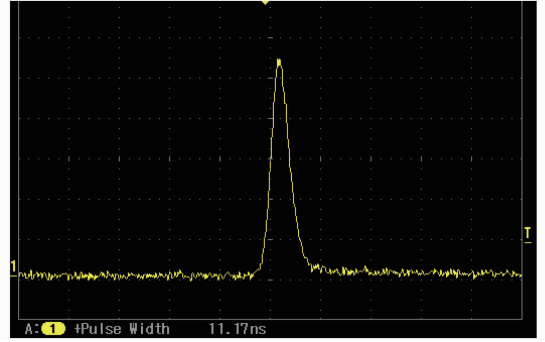


图6 Nd:YAG激光器脉冲图

Fig. 6 Q-switched pulse of Nd:YAG laser

图7给出使用锁相放大器测得的LD阵列侧面抽运Nd:YAG激光器在常温下的输出光谱。从图中可以看出,Nd:YAG激光器中心波长在1064.2 nm,带宽1 nm。

图8给出了Nd:YAG激光器输出能量为132 mJ时测得的光束质量因子。实验中利用10/90刀口法对不同位置的光束束腰直径进行测量,并绘制成曲线。测量过程中为了避免损伤刀口并进而影响到测量精度,在透镜前加入了对激光透射率为20%的衰减片。

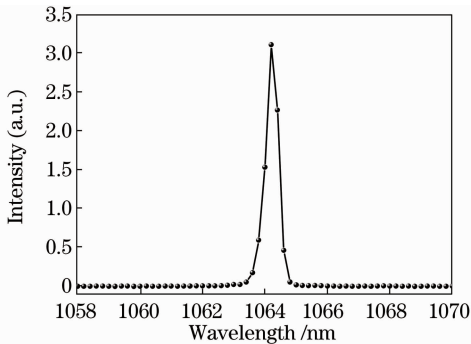


图7 Nd:YAG激光器输出波长特性

Fig. 7 Output spectrum of Nd:YAG laser

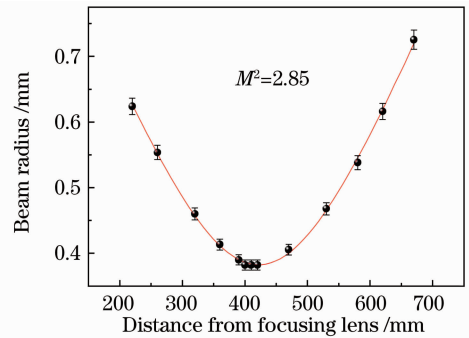


图8 Nd:YAG激光器的光束质量

Fig. 8 Beam quality of Nd:YAG laser

4 结 论

设计了一种双拱形对称、LD阵列侧面抽运的高能量风冷式Nd:YAG激光器。在重复频率为30 Hz时,激光器的峰值功率可以达到12 MW,单脉冲能量达到132 mJ,脉冲宽度为11 ns。激光器输出激光的中心波长为1064.2 nm。激光器的重复频率为1~30 Hz可调。输出激光的光束质量因子 M^2 为2.85。该激光器省去了传统方式中复杂的水冷系统,为激光器在军用光电对抗领域的应用提供了更有力的支撑。通过实验可以看出,在激光器最大输出状态下并未出现饱和现象,说明该激光器的输出能量还可以进一步提高以满足军用设备更高的要求。

参 考 文 献

- Bai Jintao, Chen Xiuyan, Gu Ying *et al.*, Medical applications of new solid-state multi-wavelength lasers[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2009, **46**(4): 65~67
- 白涛涛, 陈秀艳, 顾 瑛 等. 新型全固态多波长激光器的医学应用[J]. *激光与光电子学进展*, 2009, **46**(4): 65~67
- Xu Daxiong. The development of modern holographic display technology[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2009, **46**(8): 16~18
- 徐大雄. 现代全息显示技术之发展[J]. *激光与光电子学进展*, 2009, **46**(8): 16~18

- 3 Shang Jianhua, He Yan, Chen Weibiao. Laser sonar detecting technology[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2008, **45**(2): 59~63
尚建华, 贺岩, 陈卫标. 激光声纳探测技术[J]. 激光与光电子学进展, 2008, **45**(2): 59~63
- 4 Gao Changgui. The application and progress of laser process in oil industry[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2006, **43**(1): 59~63
高长贵. 激光加工技术在石油工业中的应用及展望[J]. 激光与光电子学进展, 2006, **43**(1): 59~63
- 5 Qiu Yuanwu. Applications of photonics in material processing[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2006, **43**(7): 32~40
邱元武. 光子学在材料加工中的应用[J]. 激光与光电子学进展, 2006, **43**(7): 32~40
- 6 S. W. Henderson, C. P. Hale, J. R. Magee *et al.*. Eye-safe coherent laser radar system at 2.1 μm using Tm, Ho:YAG lasers[J]. *Opt. Lett.*, 1991, **16**(2): 773~775
- 7 C. T. Wu, Y. L. Ju, Z. G. Wang *et al.*. Diode-pumped single frequency Tm:YAG laser at room temperature[J]. *Laser Phys. Lett.*, 2008, **5**(11): 793~796
- 8 B. Q. Yao, Y. Z. Wang, Y. L. Ju *et al.*. Performance of AO Q-switched Tm, Ho:GdVO₄ laser pumped by a 794 nm laser diode[J]. *Opt. Express.*, 2005, **13**(13): 5157~5162
- 9 H. Jelínková, P. Koranda, M. E. Doroshenko *et al.*. Cr²⁺:Znse laser pumped by 1.66 μm or 1.97 μm radiation[J]. *Laser Phys. Lett.*, 2007, **4**(1): 23~29
- 10 Ma Qinglei, Zong Nan, Lu Yuanfu *et al.*. Homemade side-pumped high-efficiency Nd:YAG ceramic laser[J]. *J. Optoelectronics Laser*, 2010, **20**(1): 20~24
马庆磊, 宗楠, 鲁远甫等. 高效率侧面泵浦国产 Nd:YAG 陶瓷激光器[J]. 光电子·激光, 2010, **20**(1): 20~24
- 11 L. J. Li, B. Q. Yao, C. W. Song *et al.*. Continuous wave and AO Q-switch operation Tm, Ho:YAP laser pumped by a laser diode of 798 nm[J]. *Laser Phys. Lett.*, 2009, **6**(2): 102~104