

传导冷却侧面抽运 Nd:YAG 脉冲激光器

肖崇凛¹ 万春明¹ 凌 铭²

(¹ 长春理工大学理学院, 吉林 长春 130022; ² 上海理工大学医疗器械工程研究所, 上海 200093)

摘要 研制了一种传导冷却结构的激光二极管(LD)侧面抽运Nd:YAG调Q全固态脉冲激光器。将侧面抽运的Nd:YAG棒状激光晶体,与卡网冷却套圆滑配合,冷却套镶嵌在铜圆环热沉上,铜圆环热沉被一大的外表面加工成叠槽式的三角形铝热沉环套,3只长条形阵列半导体激光管根据其特定的设计结构固定在热沉上,实现无水冷保证激光器恒温工作。在-20℃~40℃范围内进行实验,获得了波长1.06μm、脉冲宽度9ns、最大能量98mJ的低阶膜激光输出,-20℃比40℃时能获得更高的输出能量和稳定性。该设计能缩小激光器体积,获得稳定的激光输出,代替水冷在低温下应用。

关键词 激光器;脉冲激光器;传导冷却;侧面抽运

中图分类号 TN248.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201131.0414001

Side-Pumped Nd:YAG Pulsed Laser with Conduction Cooling

Xiao Chongli¹ Wan Chunming¹ Ling Ming²

(¹ School of Science, Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130022, China)
(² Institute of Medical Instrument, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract A new pumping structure about laser diode (LD) side-pumped Nd:YAG Q-switched laser without water cooling was reserched. Side-pumping was done with three LD centimeter strips made by 12 cm bar. Nd:YAG crystal rods were smoothly fitted to copper sticking net with cooling units, which mounted on the heat sink copper ring. And copper ring was processed into the aluminum heat sink ring sets with outer surface of the triangle stack slot. Three long rectangular array laser diodes according to their specific design were fixed to the heat sink in order to ensure working at constant temperature without water cooling. Experiencing at the range of -20℃ and 40℃, the low-order mode laser output of 9 ns pulse width and maximum 98 mJ in 1064 nm is obtained and output energy and stability at -20℃ was higher than that at 40℃. This design can reduce the laser volume and increase the system efficiency at last.

Key words lasers; pulsed laser; conduction cooling; side-pumped

OCIS codes 140.0140; 140.2020; 190.0190

1 引 言

无水冷固体激光器主要采用风冷、半导体制冷器(TEC)制冷或铜介质传导制冷3种冷却方式,其结构紧凑,体积小,可靠性高,抗振动、抗冲击能力强,能在低温下连续工作,已受到广泛重视^[1~3]。

目前无水冷固体激光器的冷却方式主要有2种方式:第1种方式是在激光腔内通过高速流动的气体对激光介质进行直接冷却。该方案的优点是,聚光腔保持完整,具有较高的抽运效率,缺点是要保证器件长期可靠工作,须使冷却气体循环工作,而且要

有较高的流速,结构设计非常复杂,体积相对比较庞大;第2种方式是热电致冷(TEC)激光二极管(LD)阵列,激光晶体用传导系数大的金属介质传导冷却,该方案的优点是,控温精确,冷却效果好,体积小,可按设置温度冷却,缺点是内外温度梯度大形成凝露现象,只适用于中小功率激光器^[4~7]。

为使无水冷固体激光器能在高功率抽运下稳定工作,就要让激光器工作介质产生的热量及时散出,以保证激光器谐振腔的稳定性;同时,在腔内大的温度梯度下,要消除激光晶体两端面、谐振腔输出镜和

收稿日期: 2010-08-05; **收到修改稿日期**: 2010-11-02

作者简介: 肖崇凛(1982—),女,博士研究生,讲师,主要从事固体激光器方面的研究。E-mail: xiaocl@mail.jlste.com.cn

导师简介: 万春明(1959—),男,博士,教授,博士生导师,主要从事激光器方面的研究。E-mail: wcm@cust.deu.cn

反射镜表面的凝露现象。因此,对传导冷却的固体激光器来说,激光器的热传导和机构设计就成为重要的因素^[8]。

本文采用传导冷却,设计了一种抽运结构,有效地达到散热效果。采用隔离密封技术,消除内外温度差引起的激光器低温工作产生的凝露现象。通过这种新型的抽运结构,提高了系统效率和稳定性,获得了高功率的脉冲激光输出。

2 激光器结构设计

1) 激光头结构设计

激光器的设计核心是解决列阵半导体激光的最佳抽运方案和实现系统的无水冷恒温技术。本结构采用3只列阵管120°均匀分布,侧面抽运,激光棒置于三角卡网式激光冷却套中心,为减小热阻,Nd:YAG棒与卡网之间包有铜箔,以提高热传导效果,期间采用内圆滑配合,以减小Nd:YAG温升膨胀因压力引起的光弹效应。铜卡网三向对称的开槽部分,各安装1个柱面透镜,对激光二极管阵列发光进行聚焦。整个卡网冷却套被铜圆环热沉紧密环套,铜圆环热沉再被大的三角形铝热沉环套,铜热沉和铝热沉之间涂有传热油。铝热沉的外表面圈加工成叠槽式,以增加散热面积。3只长条形列阵半导体激光管根据其特定的设计结构固定在热沉上,激光二极管阵列散热板与铜热沉通过铜箔紧密接触,起到热传导介质的作用。

对侧面抽运固体激光器,耦合系统设计的原则是:1)抽运光在晶体内分布要均匀;2)抽运光在晶体的横截面上呈高斯吸收轮廓;3)抽运光在晶体内的路程大致等于吸收长度^[9]。用柱透镜对抽运光进行聚焦,用光线追踪法,经计算机数值计算,求出阵列距晶体距离及透镜参数的最佳值,达到高效耦合^[10],如图1所示。此时,阵列面距晶体8 mm,柱透镜直径2 mm,距晶体表面5 mm,图2为最佳耦

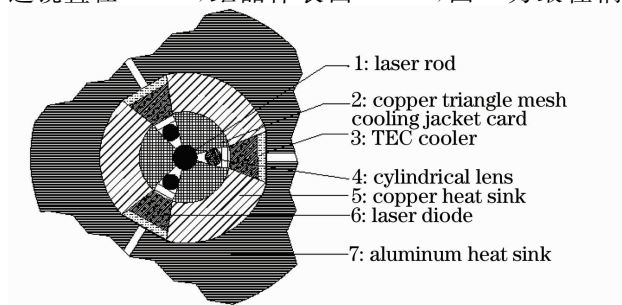


图1 激光头结构示意图

Fig. 1 Schematic of laser head structure

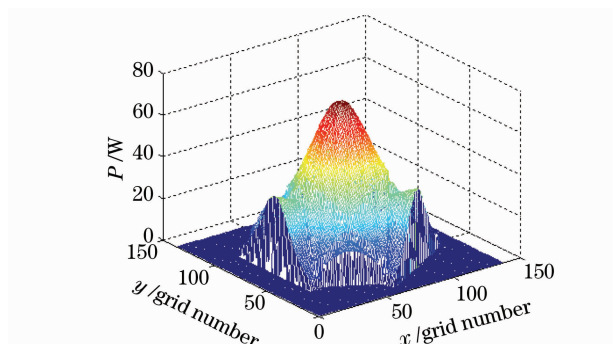


图2 最佳耦合时的功率分布图

Fig. 2 Power distribution under the condition of the best coupling

合时的功率分布图。

2) 激光二极管结构设计

激光器中的激光介质及抽运激光二极管阵列需要恒温控制。二极管阵列需严格控制温度,以保证输出808 nm的谱线,因此采用TEC制冷。选用Nd:YAG作为激光介质,其猝灭温度为120 °C,因此对其温控要求不高,主要控制其温升,因此采用铜卡环热传导冷却来控制Nd:YAG晶体温度。激光二极管阵列是自行研制的,每个阵列管由12 cm条组成,工作频率20 Hz,脉宽200 μs,每次发射能量240 mJ。脉冲线性LD阵列管发射的抽运光束沿x轴方向和y轴方向截面的外观形状简化模型如图3所示。

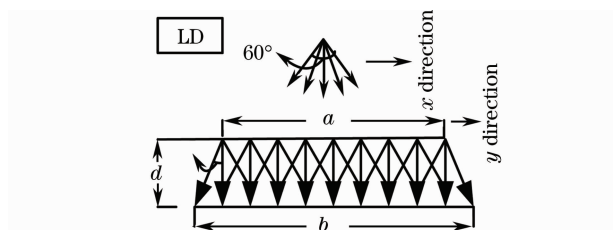


图3 LD阵列管发射光束的简化模型

Fig. 3 Simplified model of the emitted beam of laser diode array

图中LD列阵管的发光区长度a为65 mm,发光区到棒中心的垂直距离d为15 mm,b是激光棒被抽运光照射的长度。考虑到机械封装的要求,确定选取72 mm的激光晶体。

3) 低温凝露控制

激光器在低温工作时,会因为腔体温度与外界环境温度的不同,而在晶体棒、反射镜、输出镜表面形成凝露,影响激光器输出性能,严重时,可能损毁激光器,设计时必须考虑温差消除凝露。本激光器采用全密封,密封后将腔内抽成真空,同时,考虑输出镜凝露对激光器输出影响较大,因此采用特殊的

中空双层镜来作为输出镜^[10,11]。采用上述方法后，完全去除了凝露的影响。

4) 谐振腔设计

激光谐振腔选用平凹腔，镜片用石英材料，减小高温形变。全反镜曲率半径 400 mm，输出镜透射率 $T=20\%$ ，Q 开关选用 LiNbO₃ 电光 Q 开关，与抽运源同步工作，以提高调 Q 效果。

3 实验结果分析

用中国计量科学研究院 NIM-E1000 激光能量计和泰克仪器公司 Tektronic TDS2012B 示波器来测量脉冲激光的能量和脉宽。同时将激光器置于高低温试验箱中，分别在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 测量激光器输出能量和输出能量的稳定度，每隔一定时间记录一次输出能量的值，共采集 20 个数据，均方根误差为

$$\Delta\bar{P} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{20} (P_i - \bar{P})^2}{n}}, \quad (1)$$

$$u = \frac{\Delta\bar{P}}{\bar{P}}, \quad (2)$$

式中 u 为不稳定度。测试结果如图 4~6 所示。

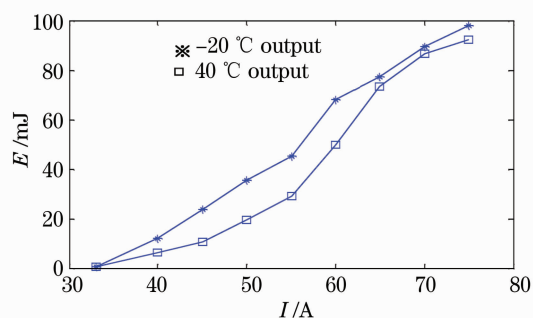


图 4 两种温度下的抽运电流与输出能量关系图
Fig. 4 Relation between pumping current and output energy at two temperatures

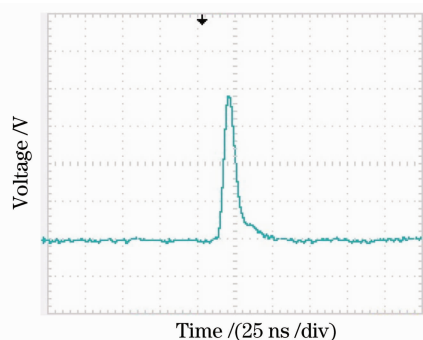


图 5 输出能量单脉冲图
Fig. 5 Single pulse diagram of output energy

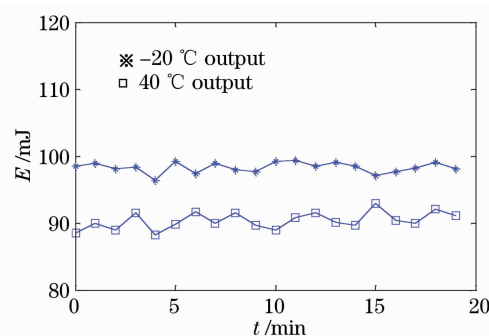


图 6 输出能量不稳定曲线图

Fig. 6 Curve of output energy instability

从图 4 可以看出， $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，激光器阈值 33 A，33~55 A 时，抽运电流与输出能量几乎成线性，在 55~60 A 时，有一跳跃，在 60~75 A 时，又近似成线性关系，这表明低温下，激光器的热效应非常低，而 55~60 A 的能量曲线跳跃，与抽运阵列输出能量的跳跃相对应，最大抽运电流 75 A 时，单次调 Q 动态输出能量为 98.0 mJ，此时激光脉宽为 9 ns，波长 $1.06\text{ }\mu\text{m}$ 。40 $^{\circ}\text{C}$ 时，激光器阈值同在 33 A，33~65 A 之间，近似抛物线，但在抽运电流 55~65 A 段，上升较快，输出能量斜率较高，有一跳跃，抽运电流与输出能量几乎成线性，在 60~75 A 时，输出能量增加较缓，主要是在高温下，抽运电流的增加加大了激光器的热效应，从而引起输出能量的下降。

每隔 1 min 记录一次输出能量的值，共采集 20 个数据，图 6 为 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时输出能量的不稳定曲线图，由 (2) 式，得 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的不稳定度 $u_1 = 4.2\%$ ， $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的不稳定度 $u_2 = 2.3\%$ ，远高于水冷激光器的值。可以看出， $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的不稳定度是 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的 2 倍，原因是，高温时，激光晶体热效应严重，TEC 要在高功率下工作，散热速度慢，这说明传导冷却的固体激光器在低温下有着更好的使用性能。

4 结 论

研制了一种无水冷、具有特殊冷却结构的调 Q 全固态脉冲激光器。采用此结构设计的激光器，可在宽温范围内获得稳定的激光输出。传导冷却的固体激光器，在低温环境下比在高温环境下能获得更高的输出能量和高的输出能量稳定度。此激光器无水冷、体积小，结构紧凑且能量稳定，已通过鉴定并得到实际应用。

参 考 文 献

- 1 W. Koechner. Solid-State Laser Engineering [M]. Sun Wen, Jiang Zewen, Cheng Guoxiang Trans.. Beijing: Science Press,

- 2002, 135
W. 克希耐尔著. 固体激光工程[M]. 孙文, 江泽文, 程国祥译. 北京: 科学出版社, 2002, 135
- 2 Jin Yujian, Wang Pengfei, Pan Hu. 10 Hz 100 mJ Q-switched miniature solid laser without water cooling [J]. *Laser & Infrared*, 2008, **33**(4): 255~257
金煜坚, 王鹏飞, 潘 虎. 10 Hz Q 开关 100 mJ 小型无水冷却激光器 [J]. *激光与红外*, 2008, **33**(4): 255~257
- 3 Ling Ming, Wu Zhichao, Zhang Haibo *et al.*. Reliability analysis of LD pumped solid laser without water cooling based on fault tree [J]. *Laser & Infrared*, 2008, **38**(3): 211~213
凌 铭, 武志超, 张海波等. LD 泵浦 Nd:YAG 无水冷却固体激光器可靠性分析 [J]. *激光与红外*, 2008, **38**(3): 211~213
- 4 Zhu Xiaolei, Tang Hao, Li Xiaoli *et al.*. Recent progresses of LD pumped solid state lasers with high repetition rate electro-optic Q-switch [J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(7): 1654~1659
朱小磊, 唐 昊, 李小莉等. 高重复频率电光调 Q 全固态激光器研究进展 [J]. *中国激光*, 2009, **36**(7): 1654~1659
- 5 Wu Bin, Li Yi, Hu Shuangshuang *et al.*. Design and thermal characteristics analysis of uncooled 980 nm semiconductor laser packaging [J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(4): 799~803
武 斌, 李 毅, 胡双双等. 非制冷 980 nm 半导体激光器封装设计与热特性分析 [J]. *中国激光*, 2009, **36**(4): 799~803
- 6 Tian Changqing, Xu Hongbo, Cao Hongzhang *et al.*. Cooling technology for high-power solid-state laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(7): 1686~1692
田长青, 徐洪波, 曹宏章等. 高功率固体激光器冷却技术 [J]. *中国激光*, 2009, **36**(7): 1686~1692
- 7 M. R. Pais, L. C. Chow, E. T. Mahefkey. Surface roughness and its effects on the heat transfer mechanism in spray cooling [J]. *Heat Transfer*, 1992, **114**: 211~219
- 8 He Kunna, Wei Zhiyi, Zhang Zhiguo *et al.*. Overview on laser diode pumped solid-state laser with direct pumping scheme [J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(7): 1679~1685
何坤娜, 魏志义, 张治国等. 全固态激光直接抽运技术的发展和研究现状 [J]. *中国激光*, 2009, **36**(7): 1679~1685
- 9 Ling Ming. Reseaches of Laser Diarry Side-pumped Nd: YAP Blue Laser [D]. Changchun: Changchun University of Science and Technology, 2009
凌 铭. 半导体侧面抽运 Nd:YAP 蓝光激光器研究 [D]. 长春: 长春理工大学, 2009
- 10 Ning Jiping, Cai Zhiqiang, Chen Zhiqiang *et al.*. Study on uniform of pump distributivity in LD side-pumped Nd:YAG laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(4): 390~394
宁继平, 蔡志强, 陈志强等. LD 侧面抽运的 Nd:YAG 激光器抽运均匀性研究 [J]. *中国激光*, 2004, **31**(4): 390~394
- 11 Lin Lin, Guo Zhen, Wang Shiyu *et al.*. Nonuniformity of thermal effect in a LD side-pumped laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(7): 1766~1771
林 林, 过 振, 王石语等. 激光二极管侧面抽运激光器热效应的不均匀性 [J]. *中国激光*, 2009, **36**(7): 1766~1771