

文章编号: 0258-7025(2001)04-0301-03

二极管侧面抽运的高平均功率倍频 Nd:YAG 激光器

姜东升 周寿桓 赵 鸿 王建军 赵海霞

(华北光电技术研究所 北京 100015)

提要 对高平均功率输出的二极管侧面抽运声光调 Q 腔内倍频 Nd:YAG 固体激光器进行了研究,当采用 35 个 15 W 的连续激光二极管阵列抽运时,在重复频率为 10 kHz 下,实现了最大平均功率为 56 W 的 532 nm 倍频激光输出。光-光转换效率为 11%,电-光转换效率为 3.7%。

关键词 二极管抽运,抽运腔,声光调 Q ,腔内倍频

中图分类号 TN 248.1+3 文献标识码 A

High Average Power Double Frequency Operation of Nd:YAG Rod Lasers Side Pumped by Diode Arrays

JIANG Dong-sheng ZHOU Shou-huan ZHAO Hong WANG Jian-jun ZHAO Hai-xia

(North China Research Institute of Electro-Optics, Beijing 100015)

Abstract Intracavity-frequency-doubled with KTP, A-O Q -switched diode-side-pumped Nd:YAG laser was developed. The Nd:YAG laser was pumped by 35×15 -W cw diode arrays and generated maximum average power of 56 W at 532nm with 10-kHz repetition rate. The optical-to-optical conversion efficiency and the electrical-to-optical conversion efficiency are 11% and 3.7%, respectively.

Key words diode-pumping, pumping cavity, acousto-optical Q -switch, intracavity-frequency-doubling

1 引 言

高平均功率的绿光激光器在工业加工、同位素分离等方面有着重要的应用,在声光调 Q 固体激光器的腔内进行倍频以实现高平均功率的绿光输出,是获得这种光源的一种有效的方法,这已在灯抽运的固体激光器中得到了充分的验证和发展,但其寿命和可靠性还不能完全满足工业应用的要求。随着半导体工业的迅速发展,目前国际上单条连续输出功率为 20 W 的二极管阵列已商品化,为采用二极管抽运的方式来获得高平均功率的绿光输出,奠定了良好的基础。二极管抽运的高平均功率倍频固体激光器由于具有寿命长(可达 10k 小时以上)、可靠性高、耗能小等优势,而成为国内外竞相开展二极管抽运绿光固体激光器^[1~3]研究的热点,目前有的已实现了平均功率达百瓦级的绿光激光输出^[4,5]。

我们采用国产 35 个 15 W 的连续激光二极管阵列作为抽运源,研制出一种结构新颖、紧凑、高效的供激光二极管阵列侧面抽运用的抽运腔,并以单个抽运腔为激光头,开展了高平均功率激光二极管阵列侧面抽运 Nd:YAG 固体工作物质的研究。采用声光调 Q 和腔内倍频,实现了重复频率为 5 ~ 50 kHz,最大平均功率达 56 W,脉宽最小为 90 ns 的倍频绿光输出。

2 抽运腔

在用激光二极管抽运的大功率固体激光器中,通常采用侧面抽运方式。理论上讲,在这种抽运方式下,抽运用的激光二极管的数量越多,激光输出功率就应越大。但实际上,由于受到体积和结构的限制,用于抽运的激光二极管的数量就会受到制约,如何在一定的体积和结构下,尽可能多地采用激光二极管的数量,尽可能合理地改善激光二极管的冷却

结构,是实现大功率固体激光输出的关键,基于此,我们设计出一种新颖的适合多个激光二极管阵列抽运用的抽运腔。

该抽运腔采用了35个单条为15 W的连续激光二极管阵列,每7个串联排列在同一个金属模块上,由于每个阵列的发光区为 $10\text{ mm} \times 1\text{ }\mu\text{m}$,组合成模块后的每个激光二极管阵列的间隔约为1 mm,因此整个模块的发光区域为 $77\text{ mm} \times 1\text{ }\mu\text{m}$;每一个金属模块共用一个液体冷却通道,冷却液沿激光二极管阵列的串联方向流通,该模块作为一个组件,可单独拆卸和替换,安装非常方便,且不会损伤激光二极管的光学表面。

所形成的这5排模块,依次安装在一个非绝热的装配架上,呈五边对称形围绕在固体工作物质 Nd:YAG 圆棒的周围。图1是这种抽运腔的侧视装配结构示意图。



图1 二极管侧面抽运腔的侧视示意图

Fig.1 Schematic edge view of the pump module

在该抽运腔内,固体工作物质和激光二极管阵列之间采用直接耦合方式。为了进一步利用激光二极管阵列的抽运光,Nd:YAG圆棒装配在一个外表面镀制有条状反射膜的反射器内,在圆棒和反射器之间通有冷却用的液体,从而再次利用激光二极管阵列的抽运光,提高了侧面抽运下多排高平均功率激光二极管阵列抽运固体激光器的光-光转换效率。

激光二极管阵列与Nd:YAG工作物质的光谱匹配是提高激光器总体效率的关键,除了精心挑选在既定工作电流和冷却液温度下,激光二极管阵列输出的中心波长和光谱线宽外,还应尽可能减小每个激光二极管阵列之间以及每个金属模块之间的热阻,确保整个抽运腔内激光二极管阵列之间的最大温差不超过 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

实验测量表明,当注入电流为25 A(总注入电功率为1500 W),冷却液温度为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,激光二极管

阵列的总发射功率达500 W左右。经Nd:YAG圆棒吸收后,在其上形成一个较均匀的高斯分布,既实现了抽运光与Nd:YAG圆棒的光谱匹配,又达到了较好的空间模匹配。图2是采用美国相干公司的CHOU6400型光束质量分析仪记录下的Nd:YAG圆棒的横截面内1064 nm的荧光分布图。

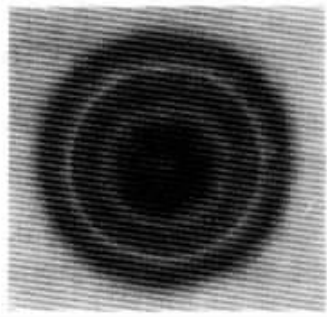


图2 二极管抽运总功率500 W下Nd:YAG圆棒横截面内1064 nm的荧光分布

Fig.2 Fluorescence profile integrated along the Nd:YAG rod axis at 500 W total output power of diode arrays

为了进一步验证该抽运腔的效率和可靠性,将其作为一个激光头置入一个腔长为300 mm左右的直通型平-平激光谐振腔内,当工作电流达25 A时,1064 nm的多模输出激光功率为130 W,光-光转换效率达到26%;在此条件下,进行了考机实验,激光器连续工作8 h以上,累计工作时间100 h以上时,激光输出功率不稳定性保持在5%以内。

3 实验研究

图3是实验装置。实验中采用上述的抽运腔作为激光头,所有35个15 W的连续激光二极管阵列串联供电和串联通水,冷却水的温度由压缩制冷机来控制,激光谐振腔为直通型平-凹稳定腔,腔长为410 mm,图3中 M_1 是曲率半径为2 m的凹面镜,镀对1064 nm和532 nm双全反的膜层, M_2 是平面镜,镀对1064 nm全反和532 nm高透的膜层,倍频器是通光口径为 $7\text{ mm} \times 7\text{ mm}$,II类相位匹配的KTP晶体,镀对1064 nm和532 nm双高透的膜层,激光工作物质是 $\phi 5\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ 的Nd:YAG圆棒,Nd离子的掺杂浓度为1 at.-%;A-O Q开关是我们研制的高关断功率的声光调制器,其频率调制范围为1~50 kHz,通过调节Q开关的关断时间和射频功率,可实现最大平均功率的调Q激光输出。

我们在图3所示的实验装置上开展了一系列二

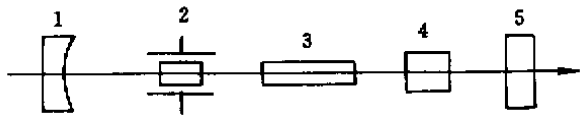


图3 二极管侧面抽运 Nd:YAG 声光调 Q 腔内倍频激光器的实验装置图

1:全反镜 M_1 ; 2:声光 Q 开关; 3: Nd:YAG 圆棒; 4: 倍频晶体 KTR (7 mm × 7 mm × 7 mm, II 类匹配); 5: 倍频输出镜 M_2

Fig.3 Schematic of the diode side pumped Nd:YAG laser system experimental setup

1:100% reflect mirror M_1 ; 2:A-O Q-switch; 3: active medium Nd:YAG rod; 4: double-frequency crystal KTP (7 mm × 7 mm × 7 mm, type II); 5: output mirror M_2

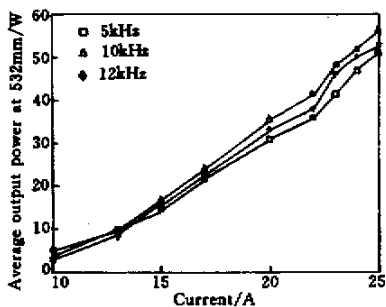


图4 倍频输出平均功率随二极管阵列注入电流和工作重复频率的变化曲线

Fig.4 Average output power at 532 nm versus diode drive current and repetition rate

极管抽运 Nd:YAG 圆棒的实验,通过改变注入电流、重复频率等条件,研究相应输出激光的平均功率和脉宽的变化情况。图4是532 nm的倍频激光的输出平均功率,在重复频率分别为5 kHz,10kHz,12 kHz时,随激光二极管阵列的注入电流变化的曲线;图5是倍频激光的输出脉宽在激光二极管阵列的注入电流为25 A时,随重复频率变化(5~25 kHz)的情况。由图可见,随着注入电流的增长,倍频激光的输出平均功率也随着提高,输出激光的脉宽随重复频率的增大而加宽,重复频率为5 kHz时,输出激光的脉宽最小为90 ns,但不同重复频率下,输出激光的最大平均功率也不同。当注入电流为 $I = 25$ A,重复频率为10 kHz时,获得了532 nm输出激光的最大平均功率为56 W,此时输出激光的脉宽为120 ns,在此状态下,二极管抽运声光调 Q 腔内倍频激光器连续工作6 h,倍频激光的输出功率不稳定性保持在5%以内;去掉倍频器,并将腔镜 M_2 换成只对1064 nm基频激光部分透过的输出耦合镜,在相同注入电流和重复频率下,通过调节输出镜的耦合度,可获得

的最大基频激光的输出平均功率为105 W。若倍频激光的转换效率定义为532 nm倍频激光的输出平均功率除以相同注入电流和重复频率下所能获得的最大1064 nm基频激光的输出平均功率时,本实验中的倍频效率可达53%。

在此基础上,采用激光套孔法测得当532 nm倍频激光输出功率为56 W时的激光发散角,经换算 M^2 值约为27。

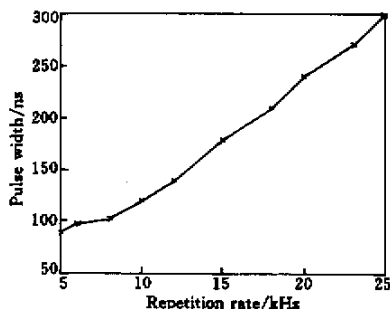


图5 倍频输出激光脉宽随重复频率的变化曲线

Fig.5 Pulse width at 532 nm versus the repetition-rate of the A-O Q-switch

4 结论

采用国产15 W连续激光二极管阵列作为抽运源,通过设计结构紧凑、合理、高效的抽运腔,实现了平均功率达56 W,重复频率为10 kHz,脉宽为120 ns, M^2 值为27的二极管侧面抽运的 Nd:YAG 倍频激光的输出,此时的光-光转换效率为11%,电-光转换效率为3.7%。进一步改善抽运腔的抽运均匀性和抽运强度以及进行热致双折射的补偿,相信会获得更高功率和更高光束质量的倍频激光输出。

参 考 文 献

- 1 Susumu Konno, Koji Yasui. Efficient 20 W green beam generation by intracavity-frequency-doubling of a Q-switched diode-pumped Nd:YAG laser. *SPIE*, 1997, **2986**:108~112
- 2 J. L. Nightingale, M. D. Selker, T. J. Johnston *et al.*. Review of cw, high-power, diode-pumped, green lasers. *SPIE*, 1997, **2986**:86~92
- 3 Susumu Konno, Shuichi Fujikawa, Koji Yasui. Highly efficient 68-W green-beam generation by use of an intracavity frequency-doubled diode side-pumped Q-switched Nd:YAG rod laser. *Appl. Opt.*, 1998, **37**(27):6401~6404
- 4 B. J. Le Garrec, G. J. Raze, P. Y. Thro *et al.*. High-average-power diode-array-pumped frequency-doubled YAG laser. *Opt. Lett.*, 1996, **21**(24):1990~1992
- 5 Susumu Konno, Tetsuo Kojima, Shuichi Fujikawa *et al.*. High-brightness 138-W green laser based on an intracavity-frequency-doubled diode-side-pumped Q-switched Nd:YAG laser. *Opt. Lett.*, 2000, **25**(2):105~107