

文章编号: 0258-7025(2007)01-0037-04

1.5 kW 激光二极管抽运 Nd:YAG 薄片激光器

姚震宇, 蒋建锋, 涂 波, 周唐建, 裴正平, 雷 军, 吕文强, 武德勇

(中国工程物理研究院应用电子学研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要 报道了一台输出功率超过 1.5 kW 的激光二极管抽运 Nd:YAG 双薄片激光器。设计了四通光学耦合系统, 通过优化经微柱透镜准直后光束的发散角, 实现了抽运光的近平顶分布。薄片激光介质镀完介质膜后镀 Ti, Pt, Au 实现金属化, 再采用钢焊工艺焊接在铜微通道冷却器上, 以提高散热效率和冷却的均匀性。采用两片直径 40 mm, 厚度 1.3 mm 的 Nd:YAG 薄片激光介质, 在两个二极管激光器阵列抽运下, 当每个薄片上的抽运峰值功率为 17.7 kW, 占空比 10% 时, 获得了平均功率 1.52 kW 的准连续激光输出, 光-光转换效率达到 43%, 电-光转换效率超过 20%。

关键词 激光技术; 激光二极管抽运; 薄片激光器; 近平顶分布

中图分类号 TN 248.1 **文献标识码** A

1.5 kW Laser Diode-Pumped Nd:YAG Disk Laser

YAO Zhen-yu, JIANG Jian-feng, TU Bo, ZHOU Tang-jian,
PEI Zheng-ping, LEI Jun, LÜ Wen-qiang, WU De-yong

(Institute of Applied Electronics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang, Sichuan 621900, China)

Abstract A laser diode (LD)-pumped Nd:YAG double-disk laser with an average output power of more than 1.5 kW is reported in this paper. A nearly flat top pump profile is achieved with a good design for the four-pass optical coupling system. The disk is coated with Ti, Pt and Au at the back side of the disk which is high-reflectively (HR) coated for the wavelength of the pump and laser radiation, then is welded to the Cu-micro-channel cooler by indium-welding technology. An average output power of 1.52 kW is obtained from two disks with a diameter of 40 mm and a thickness of 1.3 mm. The pumping peak power on each disk is 17.7 kW with duty cycle of 10%. The optical efficiency of the laser system is about 43% and the electrical to optical efficiency is more than 20%.

Key words laser technique; laser diode-pumped; disk laser; nearly flat top pump profile

1 引 言

激光二极管抽运固体激光器, 特别是高平均功率固体激光器在工业、科研和军事等领域具有非常广泛的应用^[1~8]。由于光学抽运在固体激光介质里产生的废热会引起介质温度升高, 因此激光器在连续运转时就要进行实时冷却。固体激光介质的热导率通常较低, 因此在激光介质内部和冷却表面之间将产生显著的温度梯度, 从而导致折射率梯度、机械应力和退偏等效应, 进而降低光束质量, 减小输出功率, 甚至造成介质的断裂。这些效应是固体激光器

向高平均功率定标的最大挑战, 采用薄片激光介质是解决这一问题的有效手段之一。当抽运区尺寸远大于薄片厚度时, 只要抽运光束是近平顶分布的, 就可以认为热流近似为沿厚度方向的一维分布, 从而大大降低介质的热透镜效应和热致应力双折射, 因此薄片激光器可以定标放大到很高的平均功率^[9,10]。

均匀抽运和均匀冷却是减小激光介质热效应最为关键的技术。通过调节二极管激光器经微柱透镜后光斑的发散角并合理设计柱透镜参数实现了较均匀的抽运。薄片激光介质前表面镀抽运光和激光的

收稿日期: 2006-05-12; 收到修改稿日期: 2006-07-14

基金项目: 国家 863 计划(2004AA821160)资助项目。

作者简介: 姚震宇(1965—), 男, 江苏宜兴人, 副研究员, 博士, 主要从事高功率激光二极管抽运固体激光器技术研究。

E-mail: yaozhenyu88@yahoo.com.cn

增透膜,后表面镀两种光的反射膜,再在后表面镀 Ti,Pt,Au 实现金属化,最后采用钎焊工艺将薄片焊接在铜微通道冷却器上,以提高散热冷却效率和冷却的均匀性。采用两个激光二极管阵列抽运两块直径 40 mm,厚度 1.3 mm 的 Nd:YAG 薄片,当每个薄片上的峰值抽运功率为 17.7 kW,占空比为 10% 时,获得了平均功率 1.52 kW 的激光输出,光-光转换效率达到 43%。

2 四通耦合系统的设计

由于薄片激光介质只有在抽运光均匀分布的条件下,热流才可以认为是沿厚度方向的一维分布,才能基本消除热透镜效应和热致应力双折射,因此实现抽运光近平顶分布是薄片激光器最为关键的技术。

抽运源由 4 列二极管激光器单元组成,每个单元中激光二极管阵列沿快轴方向一维堆叠。抽运源总的发光区面积为 $93.5 \text{ mm} \times 47.5 \text{ mm}$ 。每个激光二极管阵列先经微柱透镜准直,再用快慢轴柱透镜进行会聚。采用一个球面反射镜对薄片未吸收完的光再次反射,使抽运光四次通过激光介质,以提高薄片对抽运光的吸收效率。合理设计快慢轴柱透镜的焦距、球面反射镜的曲率半径以及它们与薄片的相对距离,使薄片上经球面镜反射回来的光斑与原光斑大小基本一致。由于薄片激光器可以通过保持抽运功率密度不变的情况下,增大抽运区面积来实现定标放大,因此为了充分利用薄片的大小,抽运光在薄片处的光斑设计为 $42 \text{ mm} \times 42 \text{ mm}$,稍大于薄片直径,使薄片全孔径抽运。二极管激光器快轴方向经微柱透镜准直后光轴的一致性对光斑的均匀性有比较大的影响。在激光二极管封装过程中实际能达到

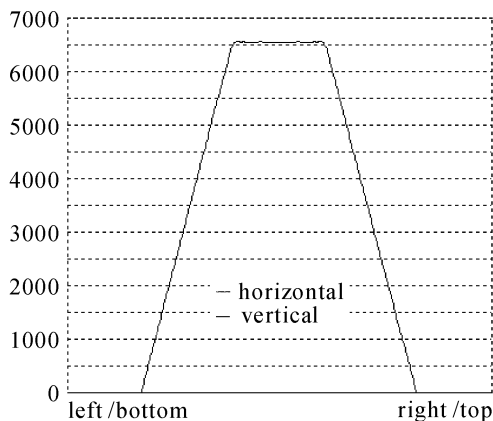


图 1 抽运区光斑分布的数值模拟

Fig. 1 Calculated intensity profile of pump laser

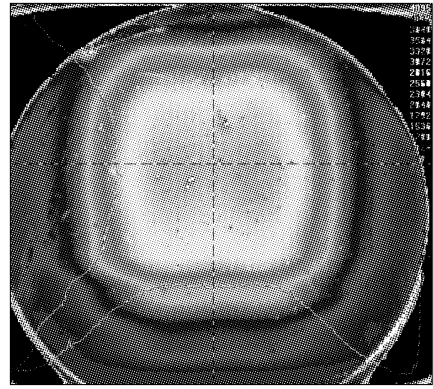


图 2 Nd:YAG 薄片的荧光分布

Fig. 2 Measured fluorescence profile of Nd:YAG disk

的一致性情况下,采用光线追迹法对不同的光束发散角进行了模拟计算,确定了较合理的发散角参数。在发散角约为 5° 时,抽运光为近平顶分布,如图 1 所示。图 2 是用 CCD 记录的 Nd:YAG 薄片上的荧光分布。由荧光分布可以看出,薄片上抽运光的分布比较均匀。

3 薄片热应力的模拟计算

采用 ANSYS 程序对 Nd:YAG 薄片在热加载情况下的应力分布进行了模拟计算。计算中假设冷却是均匀的,薄片介质的热功率通过铜冷却器表面强迫对流带走,其余面为自然辐射。薄片直径 40 mm,厚度 1.3 mm。热加载区尺寸分为两种情况,一种是对薄片的内接正方形区域进行抽运,尺寸为 $28 \text{ mm} \times 28 \text{ mm}$;另一种情况是对薄片的全部孔径进行抽运。加载热功率密度都为 42 W/cm^2 ,抽运光斑假定为超高斯分布。计算结果如图 3 和图 4 所示。可以看出,全孔径抽运比部分孔径抽运的热应力有明显的改善。因此全孔径抽运不仅可以增加抽运区面积从而提高输出功率,而且可以减小热效应。

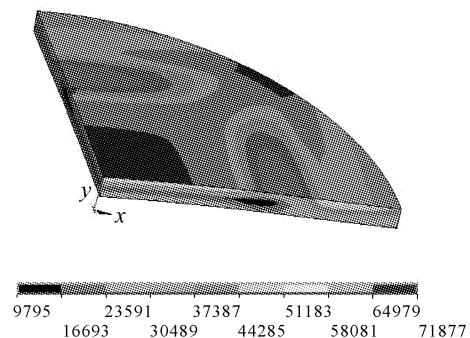


图 3 部分孔径抽运应力分布

Fig. 3 Stress distribution by partially pump of aperture

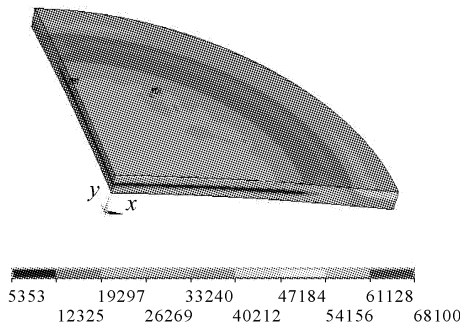


图 4 全孔径抽运应力分布

Fig. 4 Stress distribution by all pump of aperture

4 薄片激光器实验

每个二极管激光器阵列在薄片上的最大抽运峰值功率为 17.7 kW, 电-光转换效率约为 50%。谐振腔采用平凹稳定腔, 腔长 70 cm, 全反镜曲率半径 5 m, 单薄片激光器输出镜透过率 7.5%, 双薄片激光器输出镜透过率 15%。在激光二极管占空比为 10% 时, 单薄片激光器输出平均功率达到 800 W, 光-光转换效率达到 45%; 双薄片激光器输出平均功率达到 1.52 kW, 光-光转换效率达到 43%。图 5

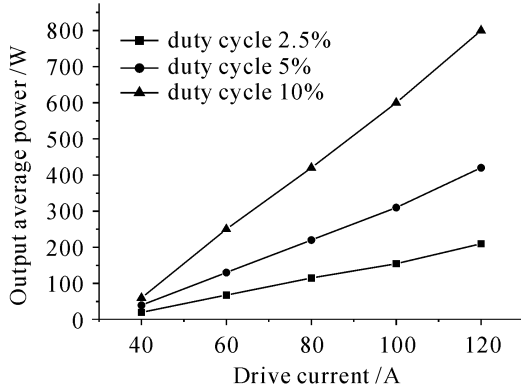


图 5 单薄片激光器输出功率与驱动电流的关系曲线
Fig. 5 Average output power versus pumping driver current for single disk laser

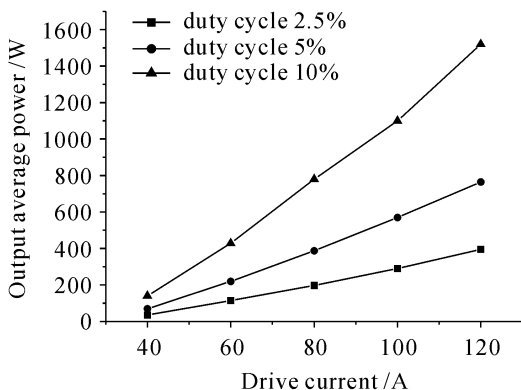


图 6 双薄片激光器输出功率与驱动电流的关系曲线
Fig. 6 Average output power versus pumping driver current for double-disk laser

和图 6 分别是占空比为 2.5%, 5% 和 10% 情况下单薄片和双激光器输出平均功率与激光二极管驱动电流关系曲线。占空比为 2.5% 时, 激光脉宽为 250 μ s, 重复频率为 100 Hz; 占空比为 5% 时, 激光脉宽为 250 μ s, 重复频率为 200 Hz; 占空比为 10% 时, 激光脉宽为 250 μ s, 重复频率为 400 Hz。图 7 和图 8 分别是不同占空比下单薄片和双激光器光-光转换效率与二极管驱动电流的关系曲线。

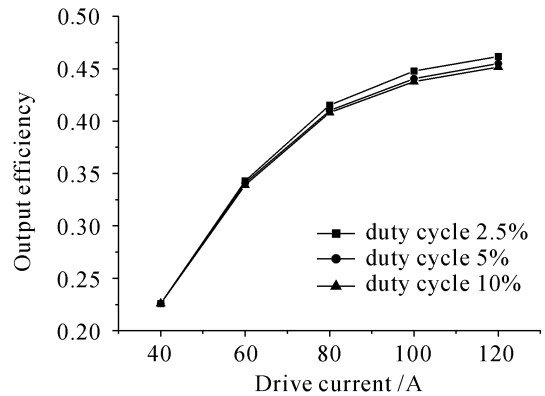


图 7 单薄片激光器光-光转换效率与驱动电流的关系曲线

Fig. 7 Optical efficiency versus pumping driver current for single disk laser

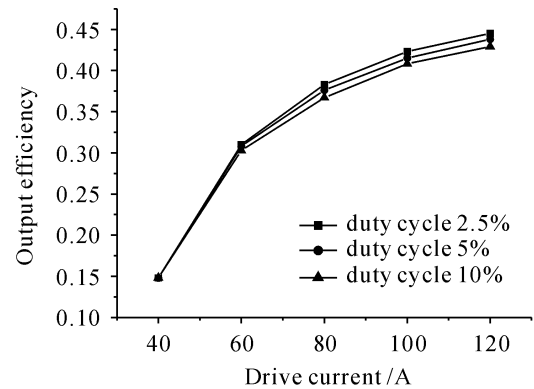


图 8 双薄片激光器光-光转换效率与驱动电流的关系曲线

Fig. 8 Optical efficiency versus pumping driver current for double-disk laser

激光器光-光转换效率在高占空比下比低占空比下稍低的主要原因是薄片介质在高占空比下存在一定的热效应。双薄片激光器比单薄片激光器效率稍低的主要原因除了热效应外, 输出镜透过率的选择和模体积的匹配对其都有一定的影响。

5 结 论

设计了四通耦合光学系统, 实现了抽运光的近平顶分布; 采用金属化和钎焊工艺大幅度提高了薄

片激光介质的散热冷却效率,并且提高了冷却的均匀性。在单薄片激光实验中,最大输出平均功率达到800 W,光-光转换效率约为45%;在两个薄片的串接定标放大实验中,获得1.52 kW的平均输出功率,光-光转换效率达到43%,电-光转换效率超过20%。在下一步工作中将通过增大薄片尺寸和增加薄片数量来实现定标放大,并且将采用非稳腔来提高光束质量。

致谢 本研究工作得到了杨成龙研究员、张凯研究员的指导、支持和帮助,在此深表感谢。

参 考 文 献

- 1 Jason P. Machan, William H. Long, Jr., James Zamel *et al.*. 5.4 kW diode-pumped, 2.4× diffraction-limited Nd:YAG laser for material processing [C]. *Advanced Solid-state Lasers, Conference, 2002 Technical digest.* 549~551
- 2 Yao Zhenyu, Jiang Jianfeng, Tu Bo *et al.*. 162 W laser diode-pumped Nd:YAG intracavity-doubled laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(11):1459~1462
姚震宇,蒋建锋,涂波等. 162 W 激光二极管抽运 Nd:YAG

- 腔内倍频激光器[J]. *中国激光*, 2005, **32**(11):1459~1462
- 3 M. Karszewski, U. Brauch, K. Contag *et al.*. 100 W TEM₀₀ operation of Yb:YAG thin disc laser with high efficiency [J]. *OSA, Advanced Solid State Laser*, 1998, **19**:296~299
- 4 K. Contag, U. Brauch, A. Giesen *et al.*. Multi-hundred watt diode pumped Yb:YAG thin disc laser [C]. *SPIE*, 1997, **2986**: 2~9
- 5 C. Stewen, K. Contag, M. Larinov *et al.*. A 1-kW CW thin disc laser [J]. *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.*, 2000, **6**(4):650~657
- 6 Yao Zhenyu, Jiang Jianfeng, Tu Bo *et al.*. High-power diode-pumped Nd:YAG disk laser [C]. *SPIE*, 2004, **5627**:112~120
- 7 Yao Zhenyu, Lü Baida, Jiang Jianfeng *et al.*. Laser diode-pumped Nd:YAG double-disk laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(4):457~460
姚震宇,吕百达,蒋建锋等. 激光二极管抽运 Nd:YAG 双薄片激光器[J]. *中国激光*, 2005, **32**(4):457~460
- 8 Zhenyu Yao, Jianfeng Jiang, Bo Tu *et al.*. 550-W diode-pumped Nd:YAG disk laser [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2005, **3**(11):647~649
- 9 John Vetrovec. Active mirror amplifier for high-average power [C]. *SPIE*, 2001, **4270**:45~55
- 10 John Vetrovec. Solid-state laser scalable to ultrahigh-average power [C]. *Fourteenth Annual Solid State and Diode Laser Technology Review*, 2001. 240~243



· 广告 ·

最佳全球供应商



LBO 专利号: 4,826,283 美国专利号: 88 1 02084.2 中国专利号: 2023845 日本专利号



我司提供以下类型晶体:

- 非线性光学晶体
- 激光晶体
- 声光及电光晶体
- 双折射晶体
- 光折变晶体
- 晶体组件
- X-射线晶体
- 光学件



BBO



BIBO



KTP



Nd:YVO₄



复合晶体



铋硼晶体



声光组件



光折晶体

福建福晶科技股份有限公司
FUJIAN CASTECH CRYSTALS, INC.

地址:福建省福州市杨桥西路155号
TEL:86-591-83710533
http://www.castech.com

邮编:350002
FAX:86-591-83711593
E-mail: sales@castech.com