

# 多通道及钎封技术改善晶体热效应

张文平 于 欣 高 静 李旭东 于俊华

(哈尔滨工业大学 可调谐激光技术国家级重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘要** 为了解决激光二极管(LD)端面抽运固体激光器中晶棒的散热问题,结合多通道和钎封技术,设计并加工了新型散热装置。采用激光二极管端面抽运 Nd:GdVO<sub>4</sub>晶棒,在输入抽运功率 28 W 的时候,利用传统钎包式直通孔热沉器、钎包多通道式热沉器和钎封多通道热沉器分别获得 8.7 W,10.5 W 和 11.9 W 的最大输出功率,相应的光-光转换效率分别为 31%,38%和 44%,斜率效率分别为 36%,42%和 49%。而且采用钎封多通道热沉器,输入 40 W 的抽运功率时得到了 17.5 W 的输出功率,此时仍未见饱和。可见无论最大输出功率,光-光转换效率还是斜率效率,结合了钎封技术的多通道式热沉器都比前两种热沉器散热效果好。此外,通过对热透镜焦距和基模输出功率的测量,进一步验证了钎封技术的多通道式热沉器的优点。

**关键词** 激光技术; 散热; 钎封技术; 多通道

**中图分类号** TN248.1 **文献标识码** A

## Improvement of Thermal Effect of Laser Crystal Using Multi-Channel and Indium-Soldered Technique

Zhang Wenping Yu Xin Gao Jing Li Xudong Yu Junhua

(National Key Laboratory of Tunable Laser Technology, Harbin Institute of Technology,  
Harbin, Heilongjiang 150001, China)

**Abstract** To solve the thermal dissipation problem in laser diode (LD) end pumped solid state lasers, a novel heatsink was developed based on multi-channel and indium-soldered technique. Under 28 W pump power, 8.7 W (in traditional indium-wrapped heat-sink), 10.5 W (in indium-wrapped multi-channel heat-sink) and 11.9 W (in indium-soldered multi-channel heat-sink) output were obtained with the Nd:GdVO<sub>4</sub> laser crystal, respectively. Corresponding optical-optical efficiencies are 31%, 38% and 44%, and the slope efficiencies are 36%, 42% and 49%, respectively. In addition, 17.5 W output was achieved under 40 W incident pump power when the indium-soldered multi-channel heatsink was used, and no saturation was observed. From the aspects of maximum output power, optical-optical efficiency and slope efficiency, the indium-soldered multi-channel heat-sink showed best performance among three kinds of heatsinks. And the advantage was further certified by measuring the length of thermal lens and fundamental mode output power.

**Key words** laser technique; thermal dissipation; indium-soldered technique; multi-channel

### 1 引 言

在传统的灯抽运固体激光器激光介质的抽运过程中,由于介质的不完全吸收,抽运效率极低,部分抽运功率不可避免地转化成介质的热功率,导致晶体内部温度的空间分布不均匀,从而引起热致形

变<sup>[1]</sup>、热应力<sup>[2]</sup>和热致双折射<sup>[3]</sup>等热效应。近年来,激光二极管(LD)的迅速发展对激光器的发展起到很大的推动作用,热效应也有较大的改善,但是,随着固体激光器应用要求的不断提高,激光介质的热效应<sup>[4]</sup>已经成为提高激光功率、调 Q<sup>[5]</sup>以及倍频<sup>[6,7]</sup>

**基金项目:** 黑龙江省科技攻关项目(GC06A116)和哈尔滨工业大学优秀团队支持计划资助课题。

**作者简介:** 张文平(1979—),男,河北人,硕士研究生,主要从事固体激光技术与光电子器件等方面的研究。

E-mail: zw\_p\_1002@yahoo.com.cn

**导师简介:** 于 欣(1968—),女,黑龙江人,副教授,硕士生导师,主要从事固体激光器和激光应用等方面的研究。

E-mail: yuxin0306@hit.edu.cn

的瓶颈问题。尤其是对光纤耦合激光二极管端面抽运全固态激光器的热效应问题,目前国内外大都采用在腔内插入透镜进行相位补偿<sup>[8,9]</sup>以及设计成热不灵敏腔等方法来解决。本文设计并研制了多通道散热器,结合钢封技术来有效地解决晶体的热效应。

## 2 钢封式多通道热沉器设计

设计了多通道热沉器代替传统的直通孔热沉器,根据文献报道<sup>[10,11]</sup>,沿热沉底座热流动方向的温度梯度可表示为

$$\Delta T \propto \frac{Qw}{16k_c A}, \quad (1)$$

式中  $Q$  为需要散掉的热量,  $w$  为从晶体表面到冷却液的紫铜多通道厚度,  $A$  为热沉与水接触面积,  $k_c$  为紫铜热导率。

根据(1)式,在  $Q$  及  $k_c$  一定的情况下,为了使  $\Delta T$  尽量小,必须使  $w$  尽量小,而使  $A$  应尽量大。结合实际加工难度,热沉取  $w$  为 1 mm,为使排热效果最佳,取肋片厚度和水通道宽度等于 2 mm。实物如图 1 所示。

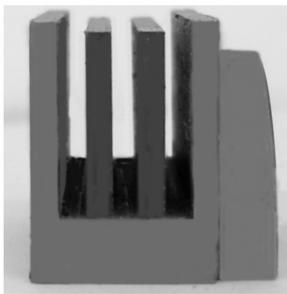


图 1 多通道热沉侧视图

Fig. 1 Side-view of multi-channel heatsink

另外,晶体与热沉传统的衔接方法是采用晶棒钢包再涂以导热硅脂,由于导热硅脂热导率过低及钢的高温氧化,使  $k_c$  降低,为此采用钢封的办法,即将钢熔化后使晶棒与紫铜焊接成一体,从而增强热传导性能。

## 3 实验结果及分析

实验采用光纤耦合端面抽运方式,简单平-平腔结构,实验装置如图 2 所示。采用端面抽运方式,抽运源最大输出功率为 50 W 的光纤耦合激光二极管,激光二极管温度为 25 °C 时,中心发射波长为 807.8 nm。抽运光经过准直聚焦系统后聚焦成直径约为 1 mm 的光斑注入到工作物质内部,输出耦合镜镀有对 1063 nm 的部分透射膜,透射率

$T=35\%$ 。实验中增益介质 Nd : GdVO<sub>4</sub> 晶棒 (4 mm×4 mm×8 mm),左端镀二色膜(808 nm 增透,1063 nm 高反)作为一个腔镜使用,另一端镀 1063 nm 增透膜。实验测得曲线如图 3 所示。

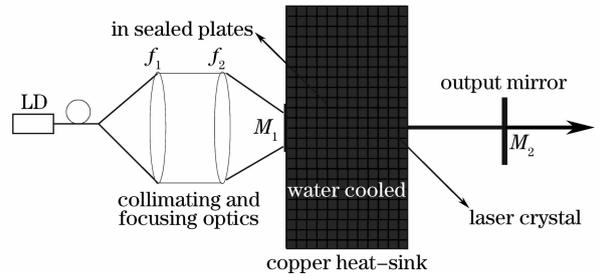


图 2 实验装置图

Fig. 2 Schematic of experimental setup

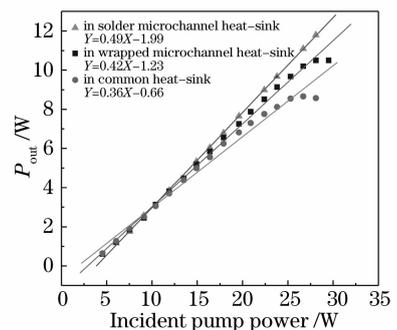


图 3 采用三种热沉器的 1063 nm 激光输出曲线图

Fig. 3 1063 nm laser output power using three different heatsinks

从图 3 中可以看出,在输入抽运功率 28 W 的时候,采用传统直通孔钢包热沉器、钢包多通道式热沉器和钢封多通道热沉器,激光器分别获得了 8.7 W (已饱和)、10.5 W (已饱和)和 11.9 W (未饱和)的最大输出功率,而且在采用钢封多通道热沉器,输入 40 W 的抽运功率时,激光器得到了 17.5 W 的输出功率,此时仍未见饱和,仍呈线性上升趋势。它们获得的光-光转换效率分别为 31%,38%和 44%,斜率效率分别为 36%,42%和 49%。可见无论最大输出功率,光-光转换效率还是斜率效率,采用钢封技术的多通道式热沉器都比前两种热沉器散热效果好。

使用由 SPIRICON 公司生产的高性能激光光束轮廓分析仪,当采用三种不同散热装置时,分别测得激光器输出光斑的光强分布情况如图 4~图 6 所示。

从图 4 可以发现,采用传统钢包直通孔热沉器,测得激光器输出功率为 5 W 时光强分布明显出现多模,实验测得在此种散热装置下只能得到 4 W 的基模输出。从图 5 可以看出,在钢包多通道热沉器下,得到 8 W 的基模输出,但此时已有出现多模迹

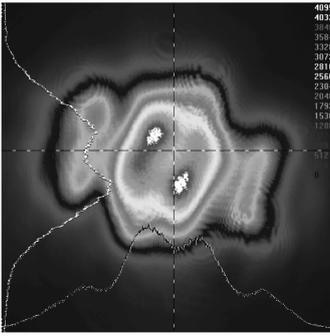


图4 采用传统钢包直通孔热沉器在输出功率为5 W时的光强分布图

Fig. 4 Intensity distribution of 5 W output using traditional indium-wrapped heatsink

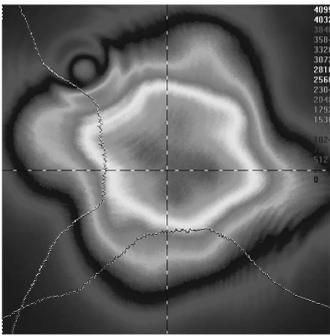


图5 采用钢包多通道热沉器在输出功率为8 W时的光强分布图

Fig. 5 Intensity distribution of 8 W output using indium-wrapped multi-channel heatsink

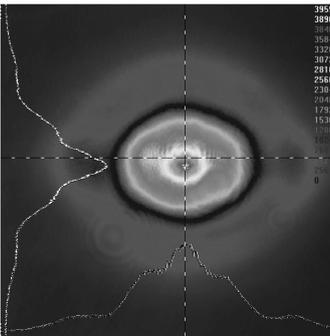


图6 采用钢封多通道热沉器在输出功率为13 W时的光强分布图

Fig. 6 Intensity distribution of 13 W output using indium-soldered multi-channel heatsink

象,实验也证实,激光器输出功率再大时已经不再是基模了。从图6可以看出当采用钢封式多通道热沉器时,激光器至少可以得到13 W的较好基模输出,说明采用钢封式多通道热沉器取得了良好的散热效果。

另外,还测得在同样的热焦距下( $f=350$  mm),采用多通道热沉器,钢包方式晶体可以吸收6.5 W

的抽运功率,而钢封方式晶体则可以吸收39.5 W的抽运功率,这再次说明研制的钢封多通道热沉器具有良好的散热效果。

## 4 结 论

设计并加工了多通道水冷热沉器。采用激光二极管端面抽运Nd:GdVO<sub>4</sub>晶棒,平-平直线腔结构,利用传统钢包直通孔热沉器、钢包多通道热沉器和钢封多通道热沉器分别获得8.7 W,10.5 W和17.5 W(且未饱和)的最大激光输出功率,光-光转换效率分别为31%,38%和44%,斜率效率分别为36%,42%和49%。实验表明,采用钢封多通道热沉器的散热效果最好。在同样的热透镜焦距( $f=350$  mm)下,采用钢包多通道热沉器,激光晶体吸收的抽运功率为6.5 W;而采用钢封技术的多通道热沉器,则激光晶体可以吸收39.5 W的抽运功率,这说明采用钢封多通道热沉器对晶体热焦距改善很明显。利用光束轮廓分析仪测得光强分布情况。在传统的钢包直通孔式热沉器下激光器最多只能得到4 W的基模激光输出,钢包多通道热沉器下则可以得到8 W的基模激光输出,而采用钢封多通道热沉器,至少可以得到13 W的基模激光输出。

## 参 考 文 献

- Li Jie, Chen Haiqing, Yu Hongbin. Study of deformable mirror for compensating the thermally induced aberration of laser diode-pumped solid-state laser[J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(8): 1198~1202  
李捷,陈海清,余洪斌. 用于激光二极管抽运固体激光器热畸变补偿的微变形镜特性研究[J]. *光学学报*, 2006, **26**(8): 1198~1202
- Yue Dong, Jifeng Zu, Liqun Hou *et al.*. Approximate formulas of temperature and stress distribution and thermal induced effects in a heat capacity slab laser[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2006, **4**(6): 326~328
- Vladimir Parfenov, Vladimir Shashkin, Eugene Stepanov. Numerical investigation of thermally induced birefringence in optical elements of solid-state lasers[J]. *Appl. Opt.*, 1993, **32**(27): 5243~5255
- M. E. Innocenzi, H. T. Yura, C. L. Fincher *et al.*. Thermal modeling of continuous-wave end-pumped solid-state lasers[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1990, **56**(19): 1831~1832
- Huang Feng, Wang Yuefeng, Niu Yanxiang. Study on thermal effects of LD end-pumped high-repetition-rate Nd:YAG laser[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2004, **33**(4): 358~361  
黄峰,汪岳峰,牛燕雄. LD端面泵浦的高重频Nd:YAG激光器的热效应研究[J]. *红外与激光工程*, 2004, **33**(4): 358~361
- Zhao Zhiliang, Zhu Jianqiang, Chen Lihua *et al.*. Grads-compensating temperature control for crystal in high power green light laser[J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(5): 623~627  
赵智亮,朱健强,陈立华等. 梯度补偿法控温晶体的高功率绿光激光器[J]. *中国激光*, 2007, **34**(5): 623~627
- Tetsuo Kojima, Shuichi Fujikawa, Koji Yasui. Stabilization of a

- high-power diode-side-pumped intracavity-frequency-doubled CW Nd:YAG laser by compensating for thermal lensing of a KTP crystal and Nd:YAG rods[J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1999, **35**(3): 377~380
- 8 Siamak Makki, James Leger. Solid-state laser resonators with diffractive optic thermal aberration correction [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1999, **35**(7): 1075~1085
- 9 Ma Huijun, Meng Junqing, Li Xiaoli *et al.*. Study on compensation of thermal lens in high power high repetition solid-state laser[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2005, **17**(suppl.): 175~179
- 马惠军,孟俊清,李小莉等. 高功率高重复频率全固态激光器热透镜效应补偿与分析[J]. *强激光与粒子束*, 2005, **17**(suppl.): 175~178
- 10 R. Weber, B. Neuenschwander, Mac Donald *et al.*. Cooling schemes for longitudinally diode laser-pumped Nd:YAG rods[J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1998, **34**(6): 1046~1053
- 11 Yitshak Tzuk, Alon Tal, Sharon Goldring *et al.*. Diamond cooling of high-power diode-pumped solid-state lasers[J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 2004, **40**(3): 262~269