

文章编号: 1001-4322(2005)S0-0108-03

# 高平均功率薄片激光多通泵浦耦合系统设计\*

蒋建锋, 涂 波, 周唐建, 崔玲玲, 姚震宇, 唐 淳

(中国工程物理研究院 应用电子学研究所, 四川 绵阳 621900)

**摘 要:** 薄片激光器的耦合系统主要采用正交的快慢轴柱透镜及柱面反射镜对 220 个线阵的大尺寸二极管面阵光源进行准直和 4 通耦合, 在泵浦区得到  $23\text{ mm} \times 27\text{ mm}$  的光斑, 耦合效率达到 85%, 用 CCD 观测到泵浦区光斑的均匀性较好。采用光线追迹的方法从快慢轴耦合透镜和反射镜两方面进行计算模拟。泵浦模块快轴和慢轴两方向光经过相应耦合透镜后, 薄片处泵浦区光强近乎平顶分布。

**关键词:** 二极管阵列; 薄片激光器; 快慢轴柱透镜

**中图分类号:** TN248.1 **文献标识码:** A

随着二极管泵浦固体激光技术在多领域展现的广阔应用前景, 高功率二极管泵浦固体激光器也有迫切的发展需要<sup>[1,2]</sup>。高功率固体激光器面临的巨大挑战是激光介质的热沉积。采用合适的泵浦结构、激光介质构型以及有效的耦合方式都可以大大改善热沉积<sup>[3]</sup>。薄片激光器采用端面泵浦结构, 泵浦光与谐振腔近乎同轴, 可极大地提高吸收效率。激光介质构型采用薄片, 泵浦区尺寸远大于薄片厚度, 热流可认为只沿厚度方向一维分布减少了热透镜效应。用耦合系统实现多通泵浦, 这样可以进一步减少增益介质厚度, 合适的耦合系统还可以使泵浦区光斑强度达到近平顶的均匀分布<sup>[3]</sup>。

本文介绍了一套薄片激光器的耦合系统<sup>[4~7]</sup>, 对 220 线阵大尺寸二极管面阵光源进行准直并达到 4 通耦合, 在泵浦区得到  $23\text{ mm} \times 27\text{ mm}$  的光斑, 耦合效率达到 85%, 且泵浦区光斑的光强分布较均匀。

## 1 二极管激光面阵光源

薄片激光器中采用的是二维叠阵二极管激光器阵列泵浦模块, 如图 1 所示。在工作电流 120 A 时, 模块输出峰值功率为 27 kW, 占空比 15%。二极管阵列在快轴方向有 55 行, 慢轴方向有 4 列, 一共有 220 个线阵。单个二极管线阵的发光面积为  $1\text{ }\mu\text{m} \times 10\text{ mm}$ , 快轴方向的发散角为  $40^\circ$ , 慢轴方向的发散角为  $10^\circ$ , 二极管面阵中每个 bar 前用一非球面微柱透镜对快轴方向进行准直, 每列中两相邻线阵间距为 1.75 mm, 因此整个二极管面阵快轴方向高度为 96 mm, 发散全角是  $2.0^\circ$ ; 慢轴方向 4 列的总宽度为 48 mm, 发散全角为  $10^\circ$ 。要求二极管阵列泵浦模块通过耦合系统后在增益介质上的发光面积为  $23\text{ mm} \times 27\text{ mm}$ , 既将泵浦模块发光面积缩小到 1/7 以下, 且泵浦区光斑均匀性要较好。



Fig. 1 2-D high power diode lasers stack  
图 1 高功率二维二极管阵列

## 2 耦合系统设计

### 2.1 耦合系统材料选择

根据二极管激光器阵列发光面积与泵浦区光斑的比例关系, 最先设定的耦合系统材料为高折射率的  $\text{LiNbO}_3$  (铌酸锂晶体) 和 Zf7 (玻璃), 它们的折射率分别为 2.2 和 1.76, 采用高折射率的材料可以相应减小整个光路系统的尺寸。由于受到目前  $\text{LiNbO}_3$  晶体最大生长尺寸的限制,  $\text{LiNbO}_3$  晶体现在还无法采用; Zf7 玻璃对泵浦光有较大的吸收, 降低了耦合系统的耦合效率, 废热会导致耦合透镜的变形, 影响增益介质泵浦区光斑的均匀性, 而且 Zf7 玻璃外表面易腐蚀。最终采用光学特性好且有大尺寸的石英玻璃来设计耦合系统。

### 2.2 模拟计算

泵浦模块中每个二极管线阵的快轴方向已有非球面微柱透镜进行了准直, 因此整个泵浦模块的快轴方向

\* 收稿日期: 2004-11-22; 修订日期: 2005-03-30

基金项目: 国家 863 计划项目资助课题

作者简介: 蒋建锋 (1979—), 男, 浙江金华人, 主要从事高功率二极管泵浦固体激光器技术研究; 绵阳 919-1013 信箱; E-mail: everyday9864@sina.com。

就用一块柱透镜进行聚焦,泵浦模块慢轴方向则用两块柱透镜分别进行准直和聚焦,反射镜是为了实现多通泵浦,由反射镜折回到泵浦区的光斑与快慢轴耦合柱透镜会聚到增益介质上的光斑要重合。模拟计算主要采用光线追迹法,主要从快慢轴耦合透镜和反射镜两方面进行。

### 2.2.1 快慢轴耦合柱透镜

快慢轴耦合柱透镜相互正交,两者互不影响,因此模拟时可以将它们分开独立计算。快轴耦合透镜要让它尽量靠近泵浦模块发光端面以减小柱透镜和整个耦合系统的尺寸,同时也确定了快轴耦合柱透镜与泵浦模块间位置关系,用光线追迹方法模拟快轴柱透镜在此位置不同曲率半径下且泵浦区光斑的高为 23 mm 时泵浦区光斑均匀性与快轴柱透镜曲率半径之间的关系如图 2 所示。从图中可以看出曲率半径大于 212 mm 后,光斑均匀性的变化趋于缓和,所以我们就选择快轴透镜曲率半径为 212 mm,此时快轴柱透镜与薄片之间的距离约为 260 mm。用同样的方法再计算出两块慢轴耦合柱透镜,在两块慢轴耦合透镜中,第一块透镜是将泵浦模块慢轴方向的光变为平行光,第二块透镜将平行光聚焦。图 3 是独立计算了泵浦模块快轴和慢轴两方向光经过相应耦合透镜后薄片处泵浦区光强的分布曲线,从图中同时可以得出两个方向泵浦区光斑的大小,从图中可以看出两个方向的光强分布近乎平顶分布。

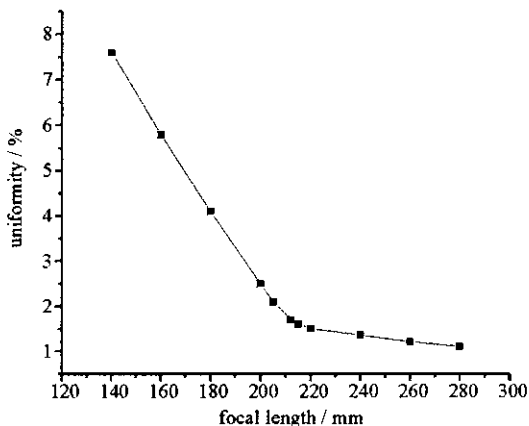


Fig. 2 Fast axis lens curvature radius vs uniformity of pumped area  
图 2 快轴透镜曲率半径与泵浦区光斑均匀性

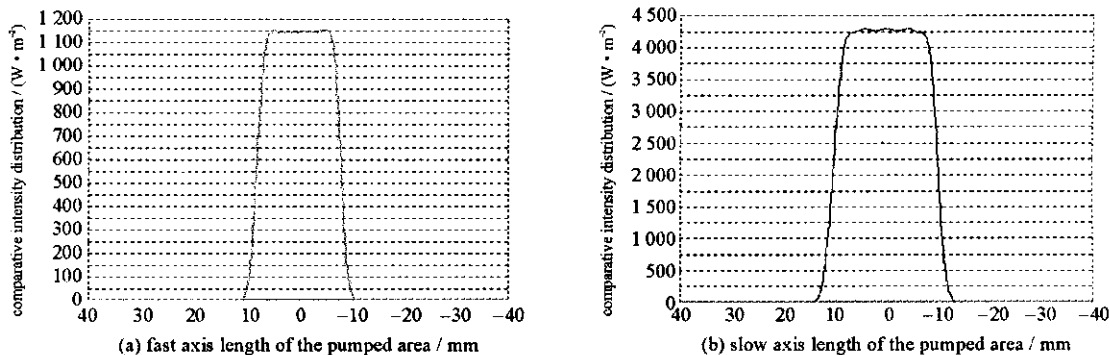


Fig. 3 Fast and slow axis pump area intensity distribution  
图 3 泵浦区快慢轴方向光强分布

### 2.2.2 柱面反射镜

二极管阵列泵浦模块快慢轴方向不同的光参数决定了在反射镜处两方向的发散角不同,将泵浦光按原路折回到泵浦区,薄片以及反射镜之间的结构关系如图 4 所示。要使折回的光斑与泵浦区原来的光斑重合,必须采用椭球面反射镜,但椭球面反射镜不易加工。用上面设计的快慢轴耦合透镜准直后,快轴方向的焦平面离薄片近,慢轴离得较远,我们让反射镜放在特殊位置,即快轴的焦平面位置,这时快轴方向的发散角为 0°,可采用平面反射镜,慢轴方向还是用球面反射镜,于是可以用柱面反射镜来替代椭球面反射镜。此时反射镜在快轴的焦平面上,反射镜反射面上光斑大小为 2.56 cm<sup>2</sup>,再加上泵浦光传输到反射镜上时,薄片对泵浦光已有了双通吸收,此时在反射镜上的功率密度约为 3 kW/cm<sup>2</sup>,不会对反射膜造成损伤。

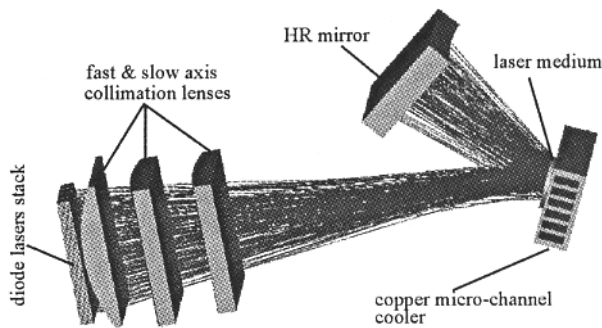


Fig. 4 Construction of the optical system  
图 4 光学系统结构关系

在整个光学系统中,薄片轴线与水平面平行,二极管阵列、快慢轴柱透镜的光轴与薄片轴线在子午面内成 25°角,二极管阵列经快慢轴柱透镜准直的泵浦光由薄片后表面反射后传到反射镜,再由反射镜折回到薄片,并

再次由薄片后表面反射出来,这样就形成了泵浦光的 4 通耦合。薄片后表面同时镀有泵浦光与激光的全反膜,激光的光轴处在与薄片轴线共面的水平面内,激光光轴与薄片轴线的夹角为  $25^\circ$ ,两者之间的夹角较小,为了防止激光光路被慢轴柱透镜挡住,要求慢轴柱透镜与薄片之间距离较长。

### 3 实验结果及结论

将光路系统中的各个光学元件按要求组装起来,先调节快轴耦合柱透镜,使泵浦区光斑快轴方向达到要求,再调节慢轴耦合柱透镜使慢轴方向也满足要求,最后再调节反射镜,使泵浦光按原路折回。用 CCD 测到了薄片位置光斑的大小及二维光强分布,从图 5 可以看到光斑有较好的均匀性。用功率计测了二极管激光器阵列经耦合系统后在薄片位置处的泵浦功率,耦合效率达到 85%。

对耦合系统的设计和实验表明:用正交的柱透镜有效的实现了对大尺寸二极管激光器阵列光源的准直,反射柱透镜也较好的补偿了泵浦区光斑的不均匀性。采用泵浦光的多通泵浦方式,可以缩短增益介质厚度,减小热透镜效应。

致 谢: 感谢武德勇副研究员为我们提供了高功率二极管激光器阵列泵浦模块。

#### 参考文献:

- [1] 姚震宇, 吕百达, 高剑蓉, 等. 高功率二极管泵浦腔内倍频激光器[J]. 强激光与粒子束, 2003, **15**(10):963—965. (Yao Z Y, Lü B D, Gao J R, et al. High power diode-pumped intracavity-doubled laser. *High Power Laser and Particle Beams*, 2003, **15**(10):963—965)
- [2] 王卫民, 姚震宇, 庞毓. 百瓦级绿光 DPL 激光器技术研究[J]. 中国激光, 2004, **31**(s):5—7. (Wang W M, Yao Z Y, Pang Y. Study on DPL technology of hectowatt green laser. *Chinese Journal of Lasers*, 2004, **31**(s):5—7)
- [3] 姚震宇, 吕百达, 涂波, 等. 100W 二极管泵浦薄片激光器[J]. 强激光与粒子束, 2004. (Yao Z Y, Lü B D, Tu B, et al. 100 W diode-pumped Nd:YAG disk laser. *High Power Laser and Particle Beams*, 2004)
- [4] Karszewski M, Brauch U, Contag K, et al. 100 W TEM<sub>00</sub> operation of Yb:YAG thin disc laser with high efficiency[J]. *Advanced Solid State Laser*, 1998, **19**:296—299.
- [5] Stewen C, Contag K, Larinov M, et al. 1 kW CW thin disk laser[J]. *IEEE J selected Topics in Quantum Electr*, 2000, **6**(4):5650—657.
- [6] 柳强, 巩马理, 闫平, 等. 边缘抽运薄片 Nd:YAG 激光器. 中国激光[J]. 2004, **31**(s):35—37. (Liu Q, Gong M L, Yang P, et al. Edge-pumped thin-disc Nd:YAG lasers[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2004, **31**(s):35—37)
- [7] Stewen C, Contag K, Larinov M, et al. 1 kW CW thin disk laser[J]. *IEEE J Selected Topics in Quantum Electr*, 2000, **6**(4):650—657.

## Pumped coupling system design of high average power disk laser

JIANG Jian-feng, TU Bo, ZHOU Tang-jian, CUI Ling-ling, YAO Zhen-yu, TANG Chun  
(Institute of Applied Electronics, CAEP, P. O. Box 919-1013, Mianyang 621900, China)

**Abstract:** The article mainly discusses the design of pump coupling system that is one of the key technology of disk laser. In the optical system, we applied three fast and slow axis collimation cylinder lenses and one cylinder HR mirror. The fast and slow collimation cylinder lenses collimate 220-bar diode lasers stack's pump light. The cylinder HR mirror insure the pump laser 4 times pass through the laser medium. The beam size at the pumped area is 23 mm×27 mm. The coupling efficiency is 85%. The pumping light beam tested by CCD camera is nearly symmetric.

**Key words:** Diode lasers stack; Disk laser; Fast & slow axis cylinder lenses

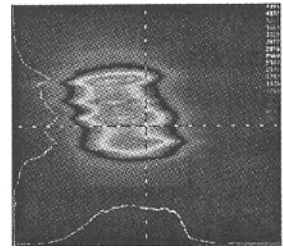


Fig. 5 Intensity distribution of the pumped area

图 5 泵浦区光强分布