

# 808 nm 波长光纤耦合高功率半导体激光器

薄报学 高欣 王玲 张宝顺 王玉霞 张兴德

(长春光学精密机械学院高功率半导体激光国家重点实验室 长春 130022)

**提要** 采用柱透镜对半导体激光器(LD)的输出光束进行了有效收集、预准直及多模光纤之间的耦合实验。采用 808 nm 波长, 150  $\mu\text{m}$  条宽结构的激光器件, 与 200  $\mu\text{m}$  芯径平端光纤的耦合效率高 达 90% 以上, 光纤输出功率为 1.0 W。分析了影响耦合效率的主要因素。

**关键词** 大功率 LD, 光纤耦合, 预准直

## 1 引言

大功率 LD 具有体积小、重量轻、效率高、工作寿命长及可直接调制等许多重要特点, 可广泛应用于光学指示、泵浦光源<sup>[1]</sup>、材料加工、激光医疗、通讯、娱乐及军事等领域, 在许多方面已经取代了传统的固体和气体激光器。由于 LD 的光波导存在较强的非对称性, 其输出光束的空间分布在垂直于结平面方向和平行于结平面方向出现较大的差别, 且具有较大的发散角, 使 LD 的直接应用受到了许多限制。LD 采用光纤耦合输出方式不仅简化了器件的应用, 改善了输出光束的非对称性, 同时还可以简便地实现多个 LD 光源之间的输出光耦合或组合, 得到更高的功率输出, 发展 LD 在激光加工方面的应用。随着 LD 性能的逐步提高, 光纤耦合技术得到了迅速发展。目前国内已经具备了大功率 LD 的研制能力, 本文报道采用自行研制的 808 nm 波长无铝材料激光器<sup>[2]</sup>, 用微透镜和多模光纤进行耦合的实验研究, 得到了较为满意的结果。同时研制了大功率 LD 光纤的耦合输出组件。

## 2 耦合实验

LD 与光纤耦合, 根据 LD 与光纤之间是否存在光学元件可将耦合方式分为直接耦合和间接耦合。直接耦合结构简单, 但耦合效率较低, 一般只能达到 50~ 60%。在 LD 与光纤之间插入微透镜等光学元件可以有效地汇聚 LD 的输出光束, 压缩垂直结平面方向的光束发散角, 明显改善 LD 与光纤间的耦合。为此本文采用间接耦合的方式。

### 2.1 大功率 LD 输出光束的预准直

预准直是将 LD 输出光束的发散角进行初步压缩, 获得近似平行的出射光束。激光器采用我们研制的大功率无铝 InGaAsP/GaAs SCH SOW 结构器件, 发光区面积为  $150 \times 1 \mu\text{m}^2$ 。图 1 为激光器平行于结平面和垂直于结平面方向的远场分布图,  $\theta_{//}$  (FWHM) 约为  $7.5^\circ$ ,  $\theta_{\perp}$

(FWHM) 为  $30^\circ$ , 近似为高斯分布。由远场分布图可以看出, 垂直于结平面方向的光束发散角明显大于平行于结平面方向的发散角,  $\theta_{\perp}$  将是影响 LD 光纤耦合的主要因素。因为多模石英光纤的数值孔径角一般都小于  $40^\circ$ , 大于该角度的发散光束不能耦合进光纤, 同时较大的光束发散角明显增加了耦合系统的位置灵敏度, 增加了系统的固定难度。多模光纤除去覆盖层可以制成一个性能良好的柱透镜。根据近轴近似, 圆形柱透镜焦距为

$$f = (n \cdot R) / [2 \cdot (n - 1)]$$

式中  $n$  为折射率 ( $n > 1$ ),  $R$  为柱透镜的柱面曲率半径,  $f$  为焦距 (距中心点)。当  $n = 2$  时, 焦点正好位于透镜的光学表面上, 石英材料具有较大的折射率 ( $n = 1.8$ ), 对发射光源具有最大的汇集能力 (光纤芯和结线平行), 因此将石英光纤芯贴装在相对 LD 发射表面的适当距离处可以大大压缩其垂直于结平面方向上的光束发散角, 实现大功率 LD 输出光束的预准直, 使激光器的光束发散角控制在  $5 \sim 10^\circ$  以内 (平行于结平面的光束发散角一般较小, 不必压缩即可满足光纤数值孔径对耦合的要求), 图 2 为 LD 输出光束经光纤柱透镜压缩后的远场分布, 其  $\theta_{\perp}$  (FWHM) 约为  $3 \sim 5^\circ$ , 已经与  $\theta_{\parallel}$  大致相当, 或小于  $\theta_{\parallel}$  角。

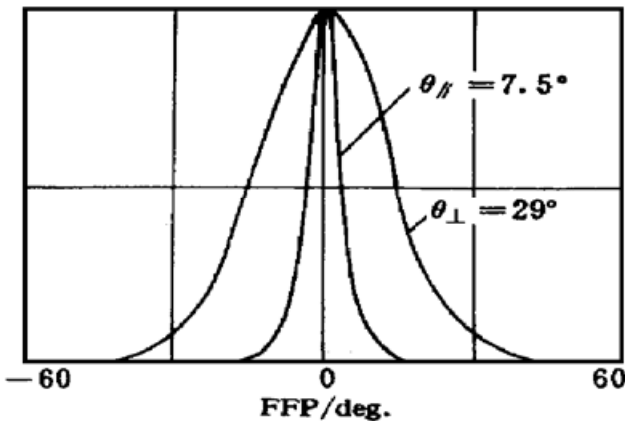


图 1 预准直前 LD 远场分布

Fig. 1 Farfield profile of LD before pre-collimation

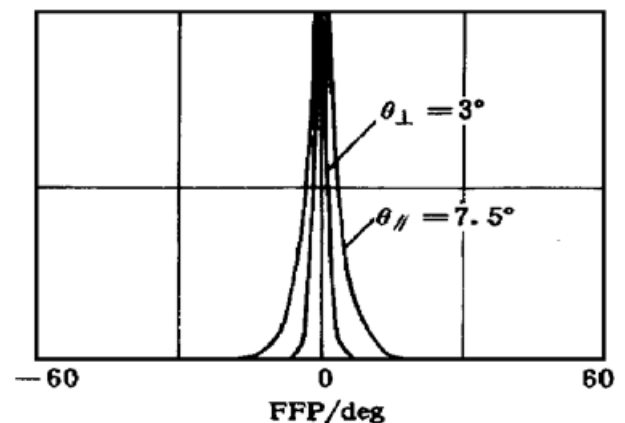


图 2 预准直后 LD 远场分布

Fig. 2 Farfield profile of LD after pre-collimation

## 2.2 预准直 LD 与多模光纤之间的耦合

在 LD 与光纤的直接耦合方式下, 光纤端头一般需要经过较为复杂的处理, 如球面化、锥状化, 以尽可能增加耦合光纤的数值孔径, 提高耦合效率。LD 出射光经过预准直后, 大大压缩了光束的发射角, 使得光束的最大发射角已经相当甚至小于光纤的数值孔径角。耦合系统的主要功率损失是由光纤芯柱透镜及耦合光纤端面的表面反射造成的, 平端石英光纤端面 and 柱透镜表面的反射损耗约为  $10\%$ , 采用蒸镀增透膜法可有效地减少由于表面反射所引起的能量损耗。图 3 为耦合系统示意图, 在耦合器件参数选定的情况下, 影响耦合效率的主要因素是耦合光纤端面相对预准直 LD 的方向和位置, 即耦合光纤轴线与光束轴线的平行性、光纤端面相对预准直 LD 在垂直于轴线平面内的横向位置和光纤端面与预准直 LD 的纵向距离。实验中首先把预准直 LD 紧固在一耦合用金属构件上, 该金属构件可以满足光纤固定的需要, 同时还作为 LD 的散热部件, 然后将具有预准直 LD 的金属构件固定在一个三维调整架 ( $x, y, z$ ) 上, 另外将  $200 \mu\text{m}$  芯径石英光纤端部去掉包层, 用红宝石解理刀解理出平整的光纤端面, 用金属套管法形成光纤端固定头, 最后将该光纤端固定头夹在一个五维 ( $x, y, z, \theta_{xy}, \theta_{xz}$ ) 调整架上, 通过  $x, y, z, \theta_{xy}, \theta_{xz}$  的调整与光纤出射功率的检测可以实现系统的最佳耦合, 并研究耦合系统的

位置灵敏度。图 4 给出了耦合效率随光纤端面对预准直 LD 在  $x, y, z$  三个方向上的位置改变的相对变化曲线, 从图中可知, 光纤端  $z$  轴方向上的位置灵敏度很低, 而  $y$  方向上具有相对明显的高位置灵敏度。图 5 给出了耦合效率随光纤轴向角度改变的变化曲线, 从图中可以看出, 耦合系统的角向变化灵敏度不大, 一般不需要精确调整。

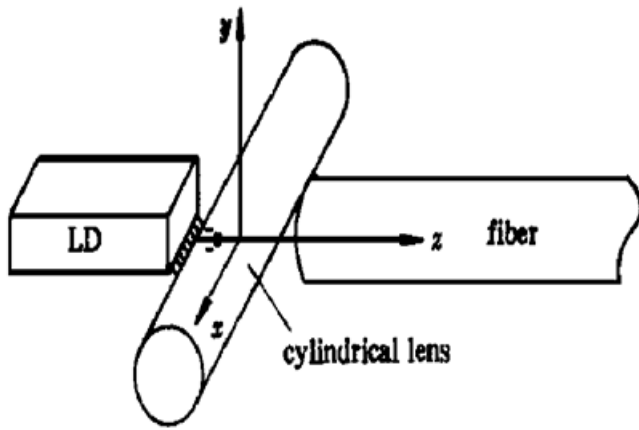


图 3 LD 耦合系统示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the LD coupling system

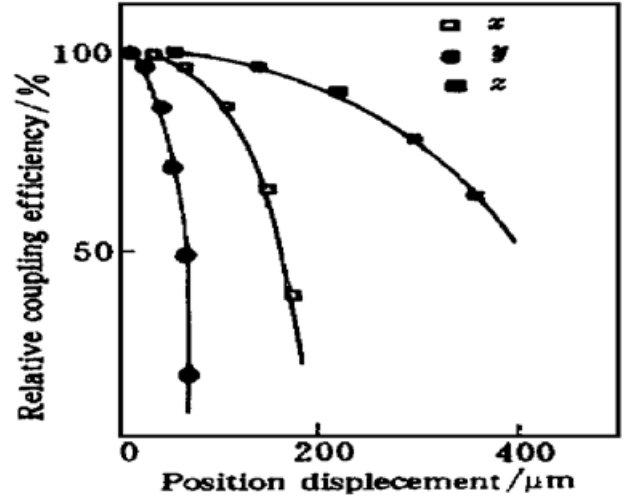


图 4 耦合效率与相对位置关系曲线

Fig. 4 Coupling efficiency versus fibre position displacement

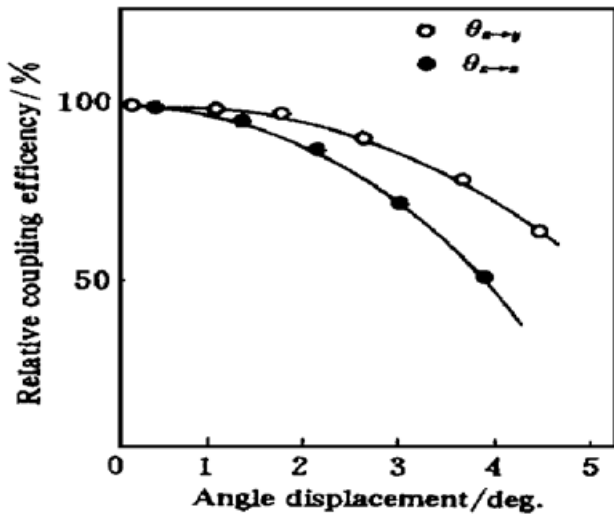


图 5 耦合效率与轴向角度变化关系曲线

Fig. 5 Coupling efficiency versus fibre axial angle variation

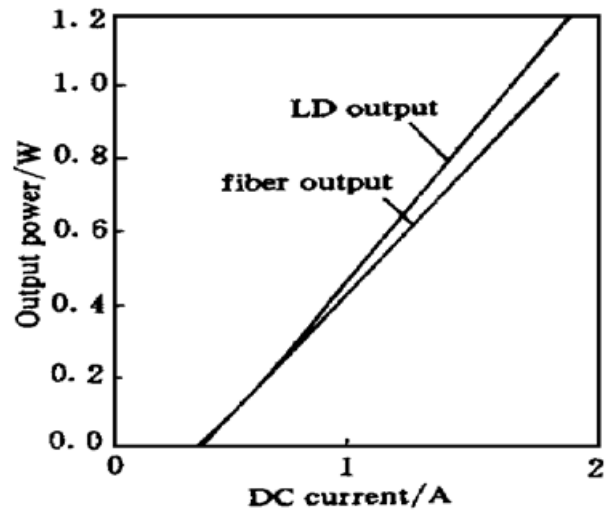


图 6 LD 输出和光纤耦合输出的 P-I 特性比较

Fig. 6 Comparison of  $P-I$  properties between fibre coupling output and LD output

### 3 耦合组件

光纤头经过最佳耦合调整后, 胶合固定于预准直 LD 的金属构件上, 再将金属构件机械紧固在装有致冷器的激光器管壳内, 形成 LD 器件的光纤耦合输出组件。图 6 为一大功率 LD 耦合前和耦合后的  $P-I$  特性曲线, 该 LD 光纤耦合组件的系统耦合效率为 90%。

### 参 考 文 献

1 Brian J. Comaskay, Ray Beach, G. Albrecht *et al.*. High average power diode pumped slab laser. *IEEE J.*

*Quantum Electron.*, 1992, **28**(4): 992~ 996

2 Bo Baoxue. LPE growth of high power InGaAsP/GaAs SCH SQW lasers. *Proc. SPIE*, 1996, **2886**: 112~ 114

## 808 nm Wavelength High-power Fibre Coupling LD

Bo Baoxue Gao Xin Wang Ling Zhang Baoshun Wang Yuxia Zhang Xingde  
(State Key Lab of High-power Semiconductor Laser, Changchun Institute of Optical  
and Fine Mechanics, Changchun 130022)

**Abstract** The light output of a LD is effectively collected, pre-collimated with a cylindrical lens, and coupled into a multi-mode fibre. The emitting width and lasing wavelength of the LD is 150  $\mu\text{m}$  and 808 nm, the coupling efficiency between the LD and a 200  $\mu\text{m}$  core diameter fibre with flat end is greater than 90%, and more than 1.0 W CW output from the fibre has been achieved. Also, main factors affecting the coupling efficiency are analysed.

**Key words** high-power LD, fibre coupling, pre-collimation

## 染料激光泵浦 Nd·GdCOB 实现基频光 and 自倍频光运转

Nd·Ca<sub>4</sub>GdO(BO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> (简称 Nd·GdCOB) 是一种新型自倍频晶体。NdCOB 属单斜双轴晶, 空间群为 *Cm*, 晶胞参数为  $a = 0.8095 \text{ nm}$ ,  $b = 1.6018 \text{ nm}$ ,  $c = 0.3558 \text{ nm}$ ,  $\beta = 101.26^\circ$ 。吸收光谱呈强烈偏振特性,  $E // x$  具有最强的吸收峰。由测定吸收曲线知该晶体在 595.5 nm 处有一最强的吸收峰。实验所用晶体掺杂浓度为 8 at-%, 尺寸为 3 mm × 3 mm × 5 mm, 通光面没镀增透膜, 采用平-平腔结构, 腔长  $L = 2.5 \text{ cm}$ 。波长 595.5 nm, 脉宽 10 ns, 重复率 10 Hz 的染料脉冲激光经  $f = 5 \text{ cm}$  的柱面透镜会聚在 Nd·GdCOB 晶体上。获得 1060 nm 基频光输出, 最大斜率效率为 55%。国外最新报道利用钛宝石激光器(CW) 泵浦 Nd·GdCOB, 1060 nm 的最大斜率效率为 45%。因为晶体没有按位相匹配方向切割, 故仅观察到绿光输出, 而没有进行定量测量。

进一步按位相匹配方向切割 Nd·GdCOB 晶体, 提高自倍频效率正在进行之中。

### 参 考 文 献

- 1 G. Aka *et al.*. A new non-linear and neodymium laser self-frequency doubling crystal with congruent melting: Ca<sub>4</sub>GdO(BO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>(GdCOB). *J. Solid State Inorg Chem.*, 1996, **33**(8): 727~ 736
- 2 G. Aka *et al.*. Linear- and Nonlinear-optical properties of a new gadolinium calcium oxyborate crystal, Ga<sub>3</sub>GdO(BO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1997, **14**(9): 2238~ 2247
- 3 Lu Baosheng, Liu Enquan, Hou Xueyuan *et al.*. Excited emission and self-frequency-doubling effect of Nd:Y<sub>1-x</sub>Al<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub> crystal. *Chinese Physics Letter*, 1986, **3**(9): 413~ 416

侯学元<sup>1</sup> 李宇飞<sup>1</sup> 陈渝明<sup>1</sup> 张怀金<sup>2</sup> 祝 俐<sup>2</sup>  
 山东大学<sup>1</sup> 光学系; <sup>2</sup> 晶体材料研究所生长组 济南 250100  
 收稿日期: 1999-01-25; 收到修改稿日期: 1999-02-08