

# 出纤功率 30W 的激光二极管阵列光纤耦合器件

王晓薇 方高瞻 马骁宇 冯小明 孙海东 刘媛媛 刘 斌 肖建伟

(中国科学院半导体研究所 光电子器件国家工程研究中心, 北京 100083)

**摘要:** 用一根柱透镜对大功率半导体激光器阵列输出光束的快轴方向进行准直, 准直后的光束耦合到光纤阵列中. 大功率半导体激光二极管阵列的输出功率为 40W, 阵列有 19 个发光单元, 每个发光单元的发光区面积为  $100\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ . 大功率激光二极管阵列耦合后出纤功率为 30W, 耦合效率为 75%, 光纤的数值孔径为 0.11.

**关键词:** 光纤耦合; 激光二极管阵列; 快轴; 光纤阵列

**EEACC:** 4320J

**中图分类号:** TN248.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0253-4177(2004)05-0579-04

## 1 引言

具有多个发光单元的激光二极管阵列是获得较大输出功率的有效途径, 同时, 大功率半导体激光器阵列的高功率、高亮度光纤耦合输出在医疗、材料处理和加工、固体激光器端面泵浦等方面都有重要的应用<sup>[1-3]</sup>. 目前, 国外大功率激光二极管阵列光纤耦合器件已经产品化, 输出功率达 30W/bar<sup>[4]</sup>; 国内已有 15W/bar 光纤耦合器件的报道<sup>[5]</sup>.

## 2 器件设计与制作

大功率激光二极管阵列通常有 19 个发光单元, 每个发光单元的宽度为  $100\mu\text{m}$ , 周期为  $500\mu\text{m}$ . 各个管芯之间的距离是  $400\mu\text{m}$ , 和其激光波长 808nm 相比要大得多. 另外, 光刻时隔离层刻得较深, 基本上消除了管芯之间的光耦合, 各个发光单元之间可以认为是完全非相干的, 属于完全非相干阵列. 完全非相干大功率半导体激光器阵列的输出光束可以看作是多个单独的大功率半导体激光器输出光束的简单叠加. 图 1 是大功率半导体激光器阵列输出光束的示意图.

由于各个发光单元的有源区宽度 ( $100\mu\text{m}$ ) 远远大于其厚度 ( $1\mu\text{m}$ ), 因此, 激光二极管阵列各个发光单元的辐射远场光强的分布极不对称, 光斑呈狭

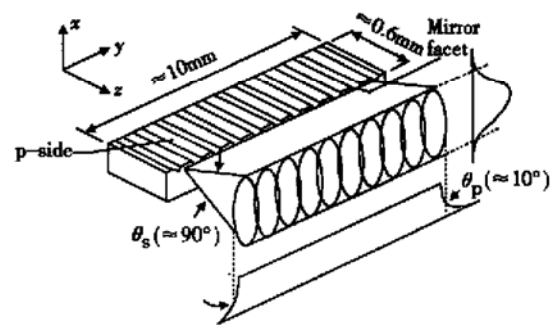


图 1 大功率半导体激光器阵列输出光束示意图

Fig. 1 Schematic diagram of emissions of the laser diode bar

长的椭圆形. 图 2 是大功率半导体激光器一个发光单元的辐射光斑示意图. 光束在垂直于 PN 结平面方向(快轴方向)的发散角  $\theta_{\perp}$  通常为  $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ , 远远大于其在平行于 PN 结平面方向(慢轴方向)的发散角  $\theta_{\parallel}$ ,  $\theta_{\parallel}$  通常为  $6^{\circ} \sim 12^{\circ}$ .

由于大功率半导体激光器阵列慢轴方向的发散角较小(数值孔径: 0.05~0.11), 没有超出光纤的数值孔径(通常为 0.11 或 0.22), 因此不用对慢轴方向的发散角进行压缩, 只需对激光器在快轴方向的输出光束(数值孔径: 0.26~0.34)进行压缩即可, 利用圆柱形微透镜可以实现快轴方向发散角的压缩. 圆柱形微透镜对光束具有一定的会聚作用, 能够把半导体激光器发出的光束进行单方向会聚, 因而可以应用在半导体激光器与多模光纤的耦合系统

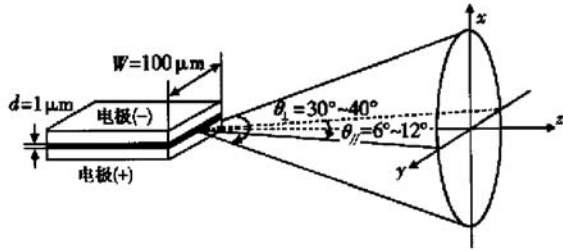


图 2 大功率半导体激光器线列阵一个发光单元的辐射光斑示意图

Fig. 2 Schematic diagram of emission of single strip of the laser diode bar

中. 尽管圆柱形微透镜具有较大的光学像差, 但这并不影响它在耦合中的应用.

根据近轴近似, 圆形柱透镜的焦距为<sup>[6]</sup>:

$$f = nR/2(n - 1) \quad (1)$$

式中  $n$  为柱透镜的材料折射率( $n > 1$ );  $R$  为柱透镜的光学曲面半径;  $f$  为焦距(距中心点). 因此将光纤作为一圆形柱透镜贴装于激光器或激光器阵列发射表面适当的距离处, 可以大大压缩其垂直于结平面方向的光束发散角, 实现大功率半导体激光器及大功率半导体激光器阵列的光束准直. 在实验中通常选取数值孔径很小的光纤做为柱透镜, 芯径和包层的折射率相差很小, 从而差值可以忽略不计.

大功率半导体激光器线列阵与柱透镜之间的距离  $d$  为:

$$d = R(2 - n)/2(n - 1) \quad (2)$$

图 3 是 大 功 率 半 导 体 激 光 器 线 列 阵 与 柱 透 镜 之 间 的 距 离  $d$  为  $40\mu\text{m}$  时, 大 功 率 半 导 体 激 光 器 线 列 阵 的 输 出 光 束 经 圆 柱 形 微 透 镜 压 缩 前 后 远 场 光 斑 的 照 片. 图 3(a) 是 压 缩 前 远 场 光 斑 的 照 片, 可 以 看 到 快 轴 方 向 的 发 散 角 很 大, 远 远 大 于 慢 轴 方 向 的 发 散 角; 图 3(b) 是 光 束 经 圆 柱 形 微 透 镜 压 缩 后 远 场 光 斑 的 照 片, 可 以 看 到 快 轴 方 向 的 发 散 角 明 显 减 小, 甚 至 小 于 慢 轴 方 向 的 发 散 角.

图 4 是 大 功 率 半 导 体 激 光 器 线 列 阵 的 输 出 光 束 经 圆 柱 形 微 透 镜 压 缩 前 后 远 场 角 的 分 布, 压 缩 前 快 轴 方 向 的 发 散 角 是  $33.6^\circ$ , 压 缩 后 发 散 角 减 小 为  $3.2^\circ$ , 小 于 慢 轴 方 向 的 发 散 角  $4.8^\circ$ .

大 功 率 半 导 体 激 光 器 线 列 阵 各 个 发 光 单 元 发 出 的 光 束 在 快 轴 方 向 进 行 准 直 和 压 缩 后, 一 对 一 的 耦 合 到 光 纤 列 阵 中, 然 后 将 光 纤 列 阵 进 行 合 束, 并 装 配 到 SMA905 大 功 率 国 际 标 准 接 头 中. 在 这 种 耦 合 方 式 中, 光 纤 列 阵 需 要 精 密 排 列, 排 列 周 期 等 于 半 导 体

激 光 器 线 列 阵 的 单 元 周 期. 因 此 需 要 加 工 特 殊 设 计 的 精 密 V 形 槽 或 者 U 形 槽 列 阵, 用 以 排 列 固 定 光 纤 列 阵. 图 5 是 大 功 率 半 导 体 激 光 器 线 列 阵 的 光 纤 列 阵 耦 合 示 意 图.

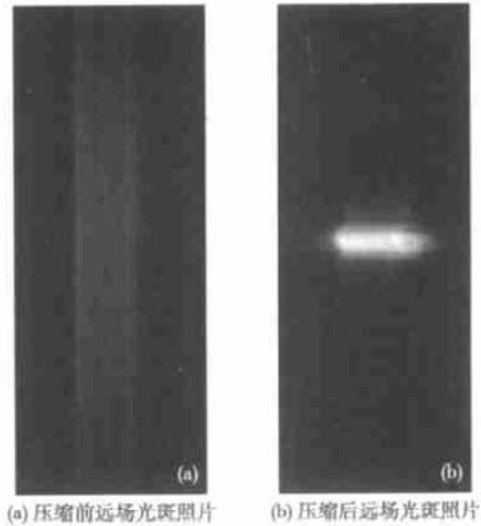


图 3 大功率半导体激光器线列阵的输出光束压缩前后远场光斑的照片 (a) 压缩前远场光斑照片; (b) 压缩后远场光斑照片

Fig. 3 Photographs of LD's optical spot (a) Before collimation; (b) After collimation

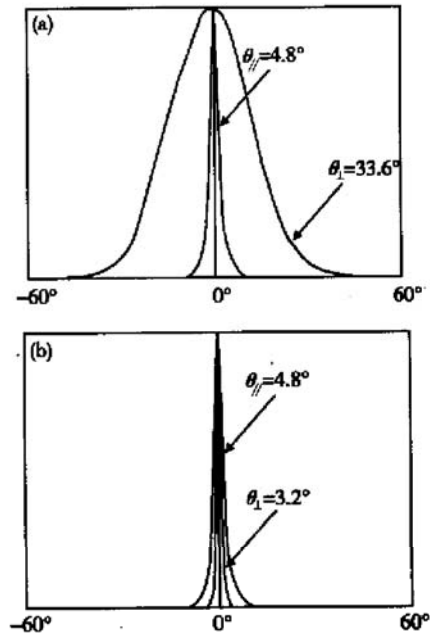


图 4 大功率半导体激光器线列阵输出光束压缩前后远场角的分布 (a) 压缩前远场角分布; (b) 压缩后远场角分布

Fig. 4 Far-field profile of a stripe of the laser diode bar (a) Before collimation; (b) After collimation

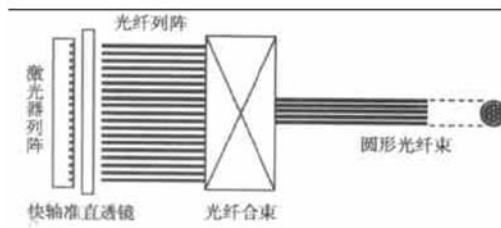


图 5 大功率半导体激光器线阵列的光纤阵列耦合示意图  
Fig. 5 Schematic diagram of coupling system of the laser diode bar

### 3 器件特性

图 6 是采用以上所述的大功率半导体激光器线阵列光纤耦合系统在耦合前及耦合后大功率激光二极管线阵列  $P-I$  特性曲线的比较. 激光二极管线阵列光纤耦合器件在连续条件下 (CW) 测量, 整个测量过程在室温  $20^{\circ}\text{C}$  下进行, 器件采用水冷的方式, 水冷温度控制在  $11^{\circ}\text{C}$ . 在阈值电流为  $10\text{A}$ , 工作电流为  $48\text{A}$  时, 耦合后激光二极管线阵列的出纤功率为  $30\text{W}$ , 耦合效率为  $75\%$ , 光纤的数值孔径为  $0.11$ , 出光口径是  $1.07\text{mm}$ .

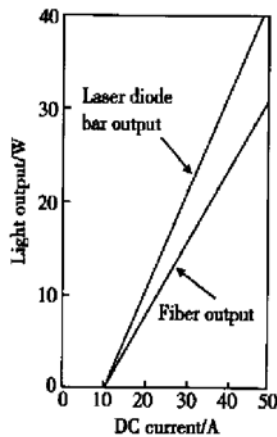


图 6 耦合前后大功率激光二极管线阵列  $P-I$  特性曲线  
Fig. 6 Comparison of  $P-I$  properties between fiber coupling output and laser diode bar output

图 7 是大功率激光二极管线阵列光纤耦合器件的光谱特性曲线, 中心波长是  $808.20\text{nm}$ , 半峰值全宽度 (FWHM) 是  $2.3\text{nm}$ .

图 8 是封装好的出纤功率  $30\text{W}$  的大功率半导体激光器线阵列光纤耦合器件的照片. 器件的外形封装尺寸为  $70.0\text{mm} \times 31.8\text{mm} \times 25.8\text{mm}$ , 出光端 19 根光纤成六角密堆积排列, 光纤头是 SMA 905 大功率国际标准接头, 光纤长度为  $1\text{m}$ .

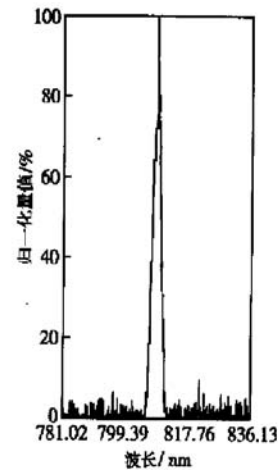


图 7 大功率激光二极管线阵列光纤耦合器件的光谱特性曲线

Fig. 7 Spectrum of the coupled laser diode bar

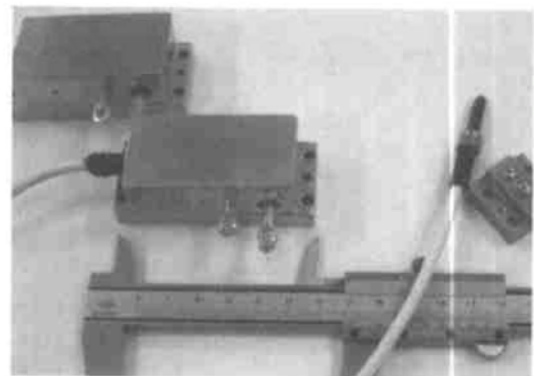


图 8 大功率激光二极管线阵列光纤耦合器件的照片  
Fig. 8 Photograph of the coupled laser diode bar

### 4 总结

我们研制成功了大功率激光二极管线阵列的光纤耦合器件, 出纤功率为连续  $30\text{W}$ , 耦合效率为  $75\%$ , 数值孔径为  $0.11$ , 出光口径为  $1.07\text{mm}$ .

### 参考文献

- [ 1 ] Georgiou E, Musset O, Boquillon J P. High-efficiency and high-output pulse energy performance of a diode-pumped Er : Yb : glass  $1.54\mu\text{m}$  laser. Appl Phys B, 2000, 70: 755
- [ 2 ] Konno S, Fujikawa S, Yasui K.  $80\text{W}$  CW TEM<sub>00</sub>  $1064\text{nm}$  beam generation by use of a laser-diode-side-pumped Nd : YAG rod laser. Appl Phys Lett, 1997, 70: 2650
- [ 3 ] Taccheo S, Laporta P, Longhi S, et al. Diode-pumped bulk erbium-ytterbium lasers. Appl Phys B, 1996, 63: 425
- [ 4 ] <http://www.coherent.com.cn/Products/Lasers/LD/Fap->

Bars. htm

Semiconductors, 2002, 23(5): 464

[ 5 ] Wang Xiaowei, Xiao Jianwei, Ma Xiaoyu, et al. Fiber optic coupling of CW linear laser diode array. Chinese Journal of

[ 6 ] Wu H D, Barnes F S. Microlenses: coupling light to optical fiber. IEEE Press, 1991

## Fiber Array Packaged Bar of Output Power up to 30W

Wang Xiaowei, Fang Gaozhan, Ma Xiaoyu, Feng Xiaoming, Sun Haidong,  
Liu Yuanyuan, Liu Bin and Xiao Jianwei

(National Research Center for Optoelectronic Engineering, Institute of Semiconductors,  
The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** A piece of cylindrical microlens is used to collimate the output radiation of a laser diode bar in the fast axis direction. The emissions of the laser diode bar are coupled into multimode fiber array. A laser diode bar has 19 stripes, which consist of a broad area emitting aperture commonly  $1\mu\text{m}$  by  $100\mu\text{m}$ . The output power of laser diode bar is 40W. Total coupling efficiency and fiber output power are 75% and 30W, respectively. The numerical aperture of fiber is 0.11.

**Key words:** fiber coupling; laser diode bar; fast axis; multimode fiber array

**EEACC:** 4320J

**CLC number:** TN248.4

**Document code:** A

**Article ID:** 0253-4177(2004)05-0579-04