

## 高功率高亮度半导体激光器件

顾媛媛<sup>1,2</sup>, 彭航宇<sup>1,2</sup>, 王祥鹏<sup>1,2</sup>, 单肖楠<sup>1,2</sup>, 尹红贺<sup>1</sup>, 刘云<sup>1</sup>, 宁永强<sup>1</sup>, 王立军<sup>1</sup>

(1.中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2.中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:**由于半导体激光器在光电转换效率、输出功率、使用寿命等方面的优势, 广泛应用于军事领域。为提高输出功率, 将两束同一波长不同偏振态的激光束耦合以获得更高功率输出, 是目前国际研究的热点之一。进行国内连续 808 nm 两半导体激光迭阵耦合实验。采用自行设计光学系统对光束进行扩束聚焦, 可耦合输出光斑 2 mm×2 mm, 总体输出效率大于 50%。国内没有对迭阵进行耦合实验的报道。为达到耦合器件的输出效率自行设计耦合选择器的镀膜材料体系, 并将此研究应用于光电对抗实验中。

**关键词:**光电对抗; 半导体激光器; 偏振耦合技术; 高功率

中图分类号: TN248.4 文献标识码: A 文章编号: 1007-2276(2009)03-0481-04

## High power and high brightness diode laser device

GU Yuan-yuan<sup>1,2</sup>, PENG Hang-yu<sup>1,2</sup>, WANG Xiang-peng<sup>1,2</sup>, SHAN Xiao-nan<sup>1,2</sup>, YIN Hong-he<sup>1</sup>,

LIU Yun<sup>1</sup>, NING Yong-qiang<sup>1</sup>, WANG Li-jun<sup>1</sup>

(1.Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** Due to simple structure, small size, and easy modulation of semiconductor laser and its merits of photoelectric transformation efficiency, output power and long-lifetime, it is widely used in the military field and so on. In order to output higher power, two diode laser stacks with the same wavelength and different polarization state were coupled together. This technology was one of the international research hot topics. Two 808 nm laser diode stacks were coupled with polarization coupling technology for the first time. The optical system was designed to expand and focus the laser beam in the experiment. The spot size 2 mm×2 mm was realized, the overall efficiency more than 50%. The stacks coupling wasn't reported before in homeland. For high output efficiency, the coating material of the polarization beam coupling device was designed by ourselves. The diode laser source made by polarization coupling technology was used in the photoelectric countermeasure.

**Key words:** Photoelectric countermeasure; Diode laser; Polarization coupling; High power

收稿日期: 2008-09-16; 修订日期: 2008-11-10

基金项目: 中科院装备预研项目(61501060108); 吉林省与中科院院地合作项目(2007SYHZ0030); 科技部国际合作项目(2006DFA12600);

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所三期创新工程资助项目; 吉林省科技厅省长基金资助项目(20075001)

作者简介: 顾媛媛(1981-), 女, 山东济宁人, 博士, 主要从事高功率激光耦合技术及应用研究。Email: guyuanciomp@163.com

导师简介: 王立军(1946-), 男, 吉林长春人, 研究员, 主要从事大功率半导体激光器及其应用研究。Email: wanglj@ciomp.ac.cn

## 0 引言

光电对抗是电子战的一个重要组成部分。光电武器与装备的使用越来越深入、广泛,成为不可缺少的作战工具,同时也促进了光电对抗手段的发展。各种光电对抗措施在实战中取得了惊人的成效,是整个战争能力的一个重要组成部分。

半导体激光光电对抗装备是以千瓦至万瓦级半导体激光列阵堆经过多次光束整形形成的高质量激光源,用于激光致盲、主动照明、激光干扰和激光防空等,攻击的目标是人员、军事装备上的光电设备、飞机、战术导弹、巡航导弹等。该光电对抗装备除具有一般激光武器的速度快、精度高、攻击不需提前量、即发即中、射击频率高、无惯性、无污染、反应灵敏、抗电磁干扰等优点外,还具有质量轻、体积小、电光转换效率高、寿命长等优点,是未来光电对抗领域的主要发展方向之一,将具有很大的竞争力和国防需求。以往通过研发多种技术,如双平面反射镜<sup>[1]</sup>、阶梯反射镜法<sup>[2]</sup>、多棱镜阵列法<sup>[3]</sup>、棱镜组折反射整形<sup>[4]</sup>、微片棱镜堆法<sup>[5]</sup>对半导体激光器进行光束整形以期提高光束质量、亮度,文中利用偏振耦合技术将两 808 nm 连续半导体激光耦合输出,增加激光耦合数目,达到高亮度、高效率激光束输出,国内并没有迭阵偏振耦合技术实现大功率的报道。

## 1 偏振耦合实验装置及偏振耦合器件理论

### 1.1 偏振耦合实验装置原理

半导体激光光束的偏振特性可以采用下式定义的偏振度描述<sup>[6]</sup>:

$$\rho = (L_{TE} - L_{TM}) / (L_{TE} + L_{TM}) \quad (1)$$

式中: $L_{TE}$ 、 $L_{TM}$  分别表示 TE 模和 TM 模的光强,它们可以用一个检偏器和探测器测量得到。如上所述,芯片内部的应变导致发射光束偏振度的变化,近似地可以表示为  $\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy} \propto \kappa \rho$ , 其中,  $\varepsilon_{xx}$ 、 $\varepsilon_{yy}$  分别表示平行于和垂直于激光器结平面方向上的应变,  $\kappa$  为一个比例系数。激光器工作在高于阈值时,由于激光振荡的作用,偏振度将大为加强。半导体激光输出光束偏振度在 95%~98%, 两束同一波长的半导体偏振激光,先经快轴准直透镜将快轴准直,再将其中一束光的偏振方向经过半波片旋转 90°后,经过特殊的光学元件与另一束光合成,图 1 给出了偏振合束法示意图。

LD stack 1 和 LD stack 2 的输出光束具有相同的波长,且偏振方向相同,其中 LD1 的光束经过半波片后偏振方向与原偏振方向垂直,之后两束偏振方向互相垂直的光经过偏振合束器后合成在一起,理论上偏振合束法可以使输出功率/亮度提高近一倍<sup>[7]</sup>。

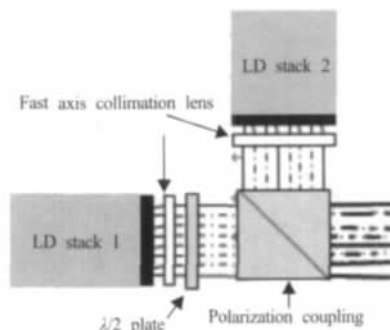


图 1 偏振合束法示意图

Fig.1 Schematic of polarization coupling

### 1.2 偏振耦合器件理论

实验用偏振耦合器是由两个等腰直角三棱柱镜胶合而成的立方体,如图 2 所示,在三棱柱镜的斜面上镀偏振膜,使 P 偏振半导体激光以 45°入射在斜面

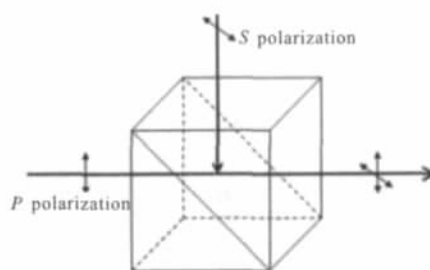


图 2 立方体偏振分光棱镜

Fig.2 Cube polarization beam splitter

上实现全透射,而 S 偏振激光以 45°入射在该斜面上时发生全反射,采用 K9 玻璃作为基底,在其上用高低折射率交替的  $\lambda/4$  介质膜系,能够得到高反射率。若  $n_H$  和  $n_L$  是高、低折射率层的折射率,并使介质膜系两边的最外层都是高折射率层,则其等效光纳为<sup>[8]</sup>:

$$Y = (n_H/n_L)^{2P} \cdot n_H^2/n_S \quad (2)$$

式中: $n_S$  为基片的折射率;  $2P$  为膜系的层数。

在空气中或者自由空间,反射率则为:

$$R = \left[ \frac{1 - \left( \frac{n_H}{n_L} \right)^{2P} \left( \frac{n_H^2}{n_S} \right)}{1 + \left( \frac{n_H}{n_L} \right)^{2P} \left( \frac{n_H^2}{n_S} \right)} \right]^2 \quad (3)$$

层数越多,反射率越大。若层数给定,则用高射率层作最外层,总是得到最大的反射率。如果:

$$(n_H/n_L)^{2P} (n_H^2/n_S) \geq 1$$

则:  $R \cong 1 - 4(n_L/n_H)^{2P} \cdot (n_S/n_H^2)$

因而:  $T = 1 - R \cong 4(n_L/n_H)^{2P} \cdot (n_S/n_H^2)$  (4)

这表明,当膜系的反射率很高时,额外加镀两层使膜系的透射率缩小  $[n_H/n_L]^2$  倍,从而满足  $S$  方向偏振激光束经耦合器件时实现 95% 以上的反射。采用类似的方法使  $P$  方向偏振激光实现较高的透射率。

采用由三棱柱镜胶合而成的立方体作为偏振耦合器的最大优点是易于调节光路,由于实验中涉及到两束激光需要垂直入射到偏振耦合器表面,采用立方体形状更易于调节控制光束传播方向并且稳定性好。

808 nm 半导体激光迭阵耦合实验所使用的 PBS: 对  $P$  方向偏振半导体激光束透过率大于 95%, 而对  $S$  方向偏振激光器实现 99% 以上的反射率。图 3 是设计使用 808 nm 半导体激光器偏振耦合器件的透

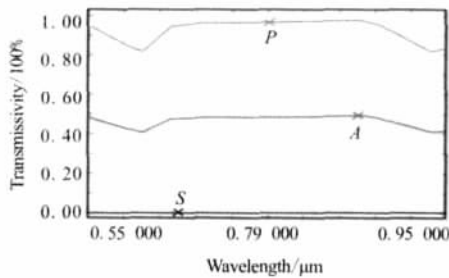


图3 650~850 nm 立方体偏振分光棱镜透射率与波长关系

Fig.3 Relation between transmission of PBS and wavelength from 650 nm to 850 nm

射率与波长关系曲线。可以看出:  $P$  偏振光透过率超过 95%,  $S$  偏振光反射率超过 99%。由于其在 650~850 nm 的宽波长范围内都能保证很高的效率, 所以可以对在该波长范围内的不同波长的半导体激光器作偏振耦合实验。

## 2 实验装置及实验结果分析

### 2.1 半导体激光光源

实验采用 808 nm 连续工作的两半导体激光迭阵光源, 每个迭阵由 6 个吧条组成, 功率输出 80 W/bar, 每吧条包含 49 个发光单元, 发光单元间隔 150  $\mu\text{m}$ , 每个发光单元在快轴方向发光区宽约 1  $\mu\text{m}$ , 输出光

束的发散角为  $36^\circ$ , 在慢轴方向发光区宽约 10 mm, 发散角约为  $10^\circ$ , 快慢轴发光单元尺寸的严重不对称性, 造成了激光束发散角大, 像散严重, 所以必须对光束整形、压缩<sup>[9]</sup>, 以减小发散角, 采用快轴柱透镜对快轴光斑进行准直。根据近轴近似, 柱透镜焦距为<sup>[10]</sup>:

$$F = (nR) / [2 \times (n-1)] \quad (5)$$

式中:  $n$  为柱透镜材料折射率 ( $n > 1$ );  $R$  为柱透镜的光学面曲率半径;  $F$  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, 经过准直后快轴发散角可以达到 7 mrad, 如图 4 所示。

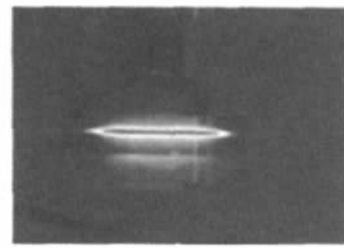


图4 经柱透镜准直后半导体光束光斑

Fig.4 Spot size of the collimation

### 2.2 实验结果及分析

采用半导体激光迭阵光源, 吧条间隔 1.8 mm, 实验装置如图 5 所示。激光源发出的光束经光纤柱透镜准直后可将快轴发散角降至 7 mrad, 输出光斑均为长条形, 由于此时两激光束都为  $S$  偏振光, 使用一直径为 25.4 mm 半波片将其中一半导体激光光束由  $S$  偏振旋转为  $P$  偏振光。再经偏振耦合器件耦合输出, 实验测得经偏振器件合束后效率可达 90%, 此时耦合光束的输出光束尺寸较大, 快轴方向经准直后仍为 13 mm, 为获得较小光斑, 采用自行设计光学系统对光束进行扩

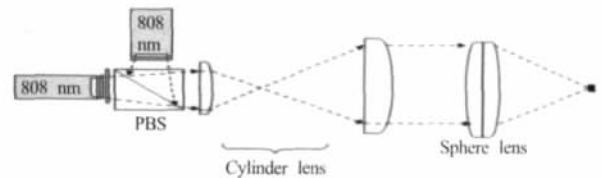


图5 808 nm 连续 6 个吧条半导体激光迭阵的偏振耦合

Fig.5 Polarization coupling configuration of 808 nm diode lasers composed of six diode laser bars

束准直及聚焦。输出光束先采用两平凸柱透镜组成望远系统实现光束准直扩束, 再经双胶合透镜及非球面透镜进行聚焦输出, 采用该装置可输出 2 mm×2 mm 光斑, 并且可消除光路中存在的像散等现象, 合成后输

出功率可达 500 W 以上,经 CCD 拍摄的图像如图 6 所示,光斑强度如图 7 所示。经反复测量计算得出,实验总体效率高于 50%,目前国内还没有这方面的报道。

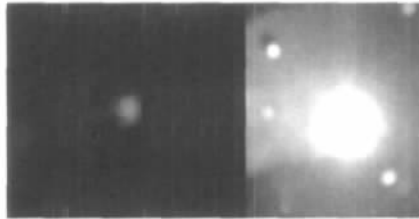


图 6 实验获得的 2 mm×2 mm 光斑

Fig.6 Spot size of 2 mm×2 mm in experiment

通过实验发现,采用偏振耦合技术可以改善输出光斑质量,通过调节两半导体激光束的高度,可将两光束上下位置不同排列,使耦合后光束上下相间排列,填补激光器之间空隙以消除其间激光不发光区域,或两光束在同一高度以便耦合后光束相互重叠排列以增强半导体激光束亮度,可以用于激光干扰及夜间激光照明等光电对抗领域。采用该技术可增加半导体激光输出功率,使大功率半导体激光在表面熔覆领域完全可以同 CO<sub>2</sub> 及 Nd:YAG 激光相媲美<sup>[11]</sup>。

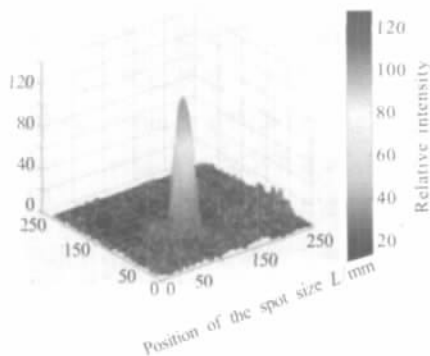


图 7 实验聚焦获得 2 mm×2 mm 光斑强度及轮廓图

Fig.7 Intensity and profile of 2 mm×2 mm spot size after focus lens

### 3 结 论

利用激光偏振特性,将两束 808 nm 半导体激光束迭阵通过偏振耦合技术进行合束,采用自行设计光学系统对光束进行扩束聚焦实现 2 mm×2 mm 光斑输出,经聚焦透镜输出后最终效率高于 50%。激光输出功率可用于激光干扰及激光照明等方面,照明物体清晰可辨。目前,采用耦合后光斑不能实现光纤耦合输出,为进一步使光斑变小,最终耦合进光纤,将设计有效的光学整形系统对耦合后光束系统进行整形,这

将在以后的文章中进行报道。

### 参考文献:

- [1] CLARKSON W A, HANNA D C. Two mirror beam shaping technique for high power diode bars[J]. *Optics Letters*, 1996, **21** (6):375.
- [2] EHLERS B, DU K, BAUMANN M, et al. Beam shaping and fiber coupling of high-power diode laser arrays [C]// *Proceedings of SPIE, Lasers in Material Processing*, 1997, **3097**: 639.
- [3] YAMAGUCHI S. Collimation of emissions from a high-power multistripe laser-diode bar with multiprism array coupling and focusing to a small spot[J]. *Opt Lett*, 1995, **20**(8): 898.
- [4] WANG P Y, GHEEN A, WANG Z. Beam shaping technology for laser diode arrays [C]// *Proceedings of SPIE, Laser Beam Shaping III*, 2002, **4770**: 131.
- [5] SHI Peng, LI Xiao-li, ZHANG Gui-fen, et al. Micro-prism stack beam shaper for high power laser diode array [J]. *Acta Optics Sinica* (石鹏, 李小莉, 张贵芬, 等. 大功率激光二极管的微片棱镜堆光束整形和光纤耦合输出. 光学学报), 2000, **20**(11): 1544.
- [6] COLBOURNE P D, CASSIDY D T. Bonding stress measurements from the degree of polarization of facet emission of algaas super luminescent diodes[J]. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 1991, **21**(4):914-920.
- [7] BACHMANN F. Present technology, industrial applications and future prospects of high power diode lasers [C]// *Proceedings of SPIE, ALT' 01 International Conference on Advanced Laser Technologies*, 2002, **4762**: 3-15.
- [8] MACLEOD H A. *Optical Thin Film Technology* [M]. Translated by ZHOU Jiu-lin, YIN Shu-bai. Beijing: National Defense Industry Press (H.A. 麦克劳德. 光学薄膜技术. 周九林, 尹树百, 译. 北京: 国防工业出版社), 1974: 156-158.
- [9] XU Xiao-fang, LI Li-na, WU Jin-hui, et al. Fiber coupling module of the high output power [J]. *Infrared and Laser Engineering* (许孝芳, 李丽娜, 吴金辉, 等. 高功率半导体激光器阵列光纤耦合模块. 红外与激光工程), 2006, **35**(1):86-88.
- [10] BO Bao-xue, QU Yi. High power LD arrays with fiber output coupling [J]. *Journal of Optoelectronics · Laser* (薄报学, 曲轶. 高功率阵列半导体激光器的光纤耦合输出. 光电子·激光), 2001, **12**(5): 468-470.
- [11] YANG Yong-qiang. Cladding of high speed steel by high power diode laser [J]. *Infrared and Laser Engineering* (杨永强. 大功率半导体激光熔覆高速钢研究. 红外与激光工程), 2003, **32**(3):251-254.