

文章编号: 1000-7032(2024)03-0500-06

## 基于束腰劈裂偏振合束高亮度窄线宽半导体激光器

赵宇飞<sup>1</sup>, 佟存柱<sup>2\*</sup>, 魏志鹏<sup>1\*</sup>

(1. 长春理工大学理学院 高功率半导体激光国家重点实验室, 吉林 长春 130022;  
2. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 发光学及应用国家重点实验室, 吉林 长春 130033)

**摘要:** 将一个 808 nm 宽发射区半导体激光器应用于纵模选择束腰劈裂偏振合束外腔中, 实现了高光束质量、高亮度和窄线宽的激光输出。所获激光输出功率为 5.08 W, 快慢轴光束质量  $M^2=1.85\times 18.2$ , 慢轴光束质量较自由运转激光器提高 48%, 输出激光亮度  $B=22.74\text{ MW}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$ , 是原激光器自由运转的 1.3 倍。所获激光光谱线宽为 0.47 nm, 压缩至原激光器自由运转的光谱宽度的 0.14。

**关键词:** 半导体激光器; 合束; 外腔

中图分类号: TN248.4 文献标识码: A DOI: 10.37188/CJL.20240033

## High Brightness Narrow-linewidth Semiconductor Laser Based on Beam Waist Splitting Polarization Combining

ZHAO Yufei<sup>1</sup>, TONG Cunzhu<sup>2\*</sup>, WEI Zhipeng<sup>1\*</sup>

(1. Key Laboratory of High Power Semiconductor Lasers,  
School of Physics, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China;  
2. State Key Laboratory of Luminescence and Applications, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)  
\* Corresponding Authors, E-mail: tongcz@ciomp.ac.cn; weizp@cust.edu.cn

**Abstract:** A 808 nm semiconductor laser was applied to a mode-selected and beam waist splitting polarization combining external cavity. A laser with high beam quality high brightness and narrow-linewidth was obtained. The beam quality of the fast and slow axes of the obtained laser was  $M^2=1.85\times 18.2$ , the slow axis beam quality was improved by 48%. The output power and brightness of the laser was 5.08 W and  $B=22.74\text{ MW}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$  respectively. The brightness was 1.3 times that of the laser under free running. The spectral linewidth of obtained laser was 0.47 nm, 0.14 times compressed to the same laser.

**Key words:** semiconductor laser; beam combining; external cavity

### 1 引 言

半导体激光器具有结构小、质量轻、光电转换效率高和寿命长等优点, 在工业加工、光通讯、信息存储和军事对抗等领域获得了广泛的应用<sup>[1-10]</sup>。自问世以来, 基于半导体激光器基本原理迅速发展出边发射半导体激光器、垂直腔面发射半导体激光器和光子晶体半导体激光器等多种类型器

件<sup>[11-14]</sup>。边发射半导体激光器结构简单, 制造工艺成熟, 是目前主要的大功率商用器件。然而, 边发射半导体激光器的有源区尺寸有限、材料增益分布平坦、谐振腔模式选择特性差导致了其单管输出功率低下、线宽较宽、波长不稳定以及水平方向和垂直方向出光发散角不对称等问题, 这些问题限制了其在相干光通讯、生物医学和碱金属蒸汽激光器泵浦等领域的应用<sup>[15-17]</sup>。加宽有源区的宽

收稿日期: 2024-02-03; 修订日期: 2024-02-24

基金项目: 国家自然科学基金(62025506)

Supported by National Natural Science Foundation of China(62025506)

度可以有效提高半导体激光器的输出功率,但过度增加有源区宽度会导致半导体激光器水平方向横模增加,水平方向的光束发散角在大驱动电流下迅速增加,光束质量随之劣化<sup>[18-20]</sup>。针对边发射半导体激光器光束质量差和亮度低的问题,人们提出了多种特殊设计的谐振腔进行改善,如大光腔波导、锥形波导、微结构波导、高阶模式损耗剪裁和平板耦合波导等<sup>[21-23]</sup>。新型波导可以有效改善半导体激光器的光束质量和亮度,但同时会带来模式跳变和不同程度的电光效率降低等问题,高标准和繁琐的器件工艺流程等因素增加了制造成本,限制了其进一步应用。将半导体激光器前腔面镀增透膜,放置在可以改善光束质量和控制纵模的光学谐振腔内是另外一种有效提高半导体激光器性能的方法(外腔法)<sup>[24-26]</sup>。2008年,Liu等采用包含49个768 nm单管的半导体激光器阵列和衍射光栅实现了12.5 W光束输出,线宽为0.1 nm<sup>[27]</sup>。2017年,Ding等使用443.9 nm半导体激光器实现了功率为1.24 W光束输出,光谱宽度为0.1 nm<sup>[28]</sup>。2022年,Han等利用反射式布拉格光栅(VBG)外腔实现了443.36 nm、功率43 W激光输出,光谱宽度为0.18 nm<sup>[29]</sup>。2023年,Zhao等将离轴反馈外腔光谱合束与束腰劈裂偏振合束结合,实现了功率为16.2 W的激光输出,慢轴光束质量提高56%<sup>[30]</sup>。

外腔半导体激光器操作空间大,引入模式控制的光学元件可同时实现改善光束质量和压缩光谱。本文将一个宽发射区半导体激光器与外腔结合,提出一种窄线宽束腰劈裂偏振合束激光器(Beam waist splitting polarization combining laser,

BWSPL),实现了高输出功率、高电光效率、窄线宽和高亮度的激光输出,并对所采用的半导体激光器和BWSPL的输出功率、光束质量以及光谱进行了测量,分析了BWSPL的光束亮度和电光转换效率。

## 2 实验

基于束腰劈裂偏振合束高亮度窄线宽半导体激光器(BWSPL)如图1所示,系统由一个前腔面镀增透膜的宽发射区边发射半导体激光器(Laser)、一个快轴准直透镜(FAC)、一个慢轴准直透镜(SAC)、半波片1(HWP1)、一个直角边镀有高反射膜的尖劈棱镜(Prism)、半波片2(HWP2)、一个透射式衍射光栅(Grating)、3个平面反射镜(M1、M2、M3)、一个偏振合束器(PBC)和一个输出耦合镜(Coupler)构成。半导体激光器发射出的光束由快慢轴准直后经过半波片1调整偏振态,使光束在光栅处衍射效率最高。经过光栅衍射后的光束被尖劈棱镜沿着慢轴方向平均分成两束,其中一束由半波片2改变光束的偏振态,两束光被反射镜反射经过偏振合束器,在偏振合束器中合成为一束,经过合成之后的光束被输出耦合镜部分反射按照原光路反馈至激光器中。激光器的后腔面和输出耦合镜构成外腔,腔内包含具有选纵模的光栅,实现激光器光谱的压窄。由于光束被尖劈棱镜水平分成两部分,每一部分光的束腰减小至原光束的一半,偏振合束是将偏振态不同的两束光利用偏振特性合成一束的合束方法,不会带来光束质量上的改变,理论上束腰劈裂偏振合束合成后的光束的慢轴光束质量是原激光慢轴光束质量的一倍。

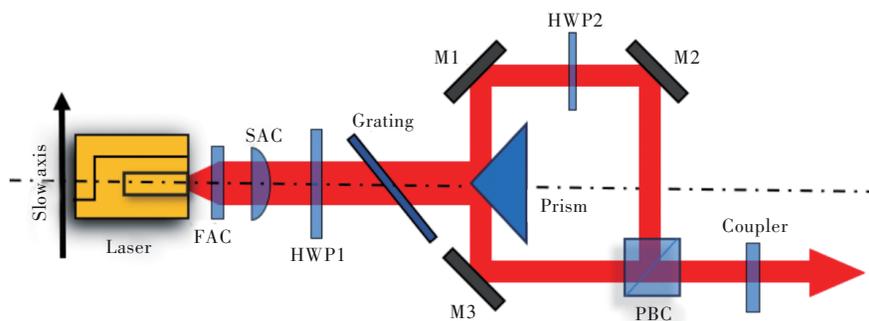


图1 高亮度窄线宽束腰劈裂偏振合束半导体激光器装置图

Fig.1 Schematic diagram of high brightness narrow-linewidth semiconductor laser based on beam waist splitting polarization combining. FAC: fast axis collimating lens. SAC: slow axis collimating lens. HWP: half-wave plate. PBC: polarization beam combiner

实验中采用的激光器为 808 nm 宽发射区半导体激光器,前腔面镀膜在 808 nm 附近反射率为 2.5%,具体参数见表 1。所采用的快轴准直镜为 Focus light 公司生产的商用产品,型号为 FAC-1500。慢轴准直镜是焦距为 7 mm 的柱透镜,所采用透射光栅在 808 nm 附近对 TE 模式的衍射效率约为 97.6%,光栅线密度为 1 800 线/mm,通光

孔径为 50 mm×20 mm。将光束分为两部分的尖劈棱镜来自 Thorlabs,型号为 MRAK25-P01,直角边镀膜在 808 nm 附近反射率为 98.5%。所采用的偏振合束器为 50 mm×5 mm×5 mm 的合束器,合束效率为 98%。输出耦合镜采用基底为 K9 玻璃平面镜,表面镀膜反射率在 808 nm 附近约为 10%。

表 1 所采用半导体激光器的参数

Tab. 1 Structure parameters of the diode lasers used

Central wavelength/nm	Cavity length/mm	Emitter width/ $\mu\text{m}$	Front facet reflectivity/%	Rear facet reflectivity/%	Thickness of the waveguide/ $\mu\text{m}$	Maximum current/A
808	3	280	2.5	98	1.0	8.5
Maximum output power/W	Conversion efficiency/%	FWHM linewidth /nm	$\Theta_{\text{fast}}$ 95% power content/( $^{\circ}$ )	$\Theta_{\text{slow}}$ 95% power content/( $^{\circ}$ )	Degree of TE polarization	
8.5	56	3	75	15	>95%	

### 3 结果与讨论

在主动散热、水冷温度为 20  $^{\circ}\text{C}$  的条件下,我们分别对驱动电流从 1 A 增加至 7 A 的自由运转激光器和基于相同半导体激光器的 BWSPL 输出功率进行了测量,采用的功率计为 Ophir FL500A。图 2 中红色曲线为自由运转时激光器的输出功率,蓝色曲线为 BWSPL 的输出功率。从图中可以看到,两种情况下的输出功率随电流的增加而增大,并分别在 7 A 驱动电流下达到最大,分别为 6.72 W 和 5.08 W, BWSPL 的输出功率是自由运转激光器的 75.5%。自由运转情况下的输出功率始终高于 BWSPL 的输出功率,原因是额外增加的光学元件的效率低于百分之百,以及输出耦合镜需要将部分光束能量反馈至激光器中维持外腔运

转。BWSPL 电光转换效率约为 42%, 相较激光器自由运转电光转换效率降低了 14%。

在相同散热和驱动电流的条件下,我们对两种情况运转的激光器的快轴光束质量( $M_y^2$ )和慢轴光束质量( $M_x^2$ )进行了测量,所采用光束质量分析仪为 Thorlabs M2MS。图 3 为自由运转激光器和 BWSPL 的快轴光束质量  $M_y^2$ 。红色曲线为 BWSPL 快轴光束质量,绿色曲线为激光器自由运转的快轴光束质量。从图中可以看出, BWSPL 快轴光束质量和自由运转激光器的快轴光束质量随驱动电流增加而缓慢增大,在 7 A 时分别达到最大值 1.85 和 1.67。BWSPL 快轴光束质量始终高于自由运转的快轴光束质量,但二者的最大值都小于 2,束腰劈裂偏振合束对快轴光束质量影响不大。理论上 BWSPL 快轴光束质量应该与自由

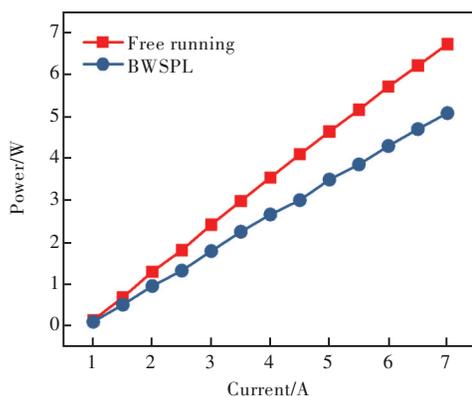


图 2 自由运转激光器和 BWSPL 输出功率特性曲线

Fig.2 Power characteristics of the laser under free running and BWSPL

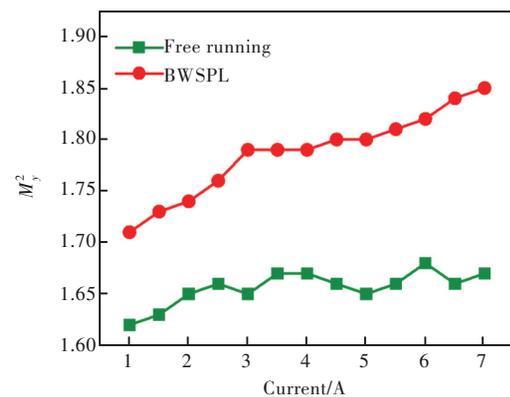


图 3 自由运转激光器和 BWSPL 快轴光束质量曲线

Fig.3 The dependence of  $M_y^2$  factors of the laser under free running and BWSPL on injection current

运转的激光器保持一致,实验中比自由运转光束质量数值大的主要原因是被分开的两束激光在偏振合束时存在装调误差,两束激光在垂直方向没有完美重合,通过进一步精细调整反射镜M1、M2、M3以及偏振合束器位置可以减小垂直方向BWSPL快轴光束质量的数值。

图4为自由运转下的半导体激光器和BWSPL的慢轴光束质量随电流增加的变化。从图中可以看出,自由运转下的半导体激光器和BWSPL的慢轴光束质量随电流增加都迅速增大,并在驱动电流为7 A时达到最大,分别为35和18.2。与快轴光束质量相反,BWSPL慢轴光束质量数值上始终小于自由运转激光器的慢轴光束质量。在7 A时,BWSPL的慢轴光束质量比自由运转激光器的慢轴光束质量提高了48%,没有提高到理论的一倍,是因为偏振合束中的装调误差、束腰劈裂偏振合束有效提高了半导体激光器的慢轴光束质量。

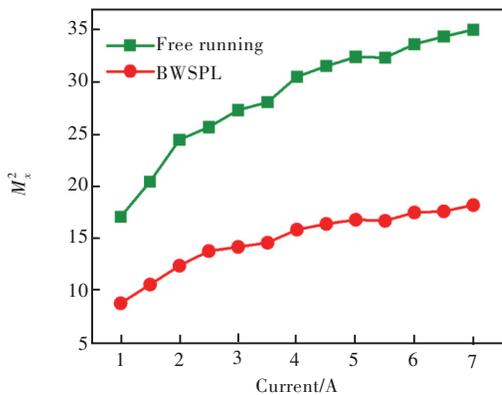


图4 自由运转激光器和BWSPL快轴光束质量曲线

Fig.4 The dependence of  $M_x^2$  factors of the laser under free running and BWSPL on injection current

亮度 Brightness( $B$ )是综合了激光器的光束质量与输出功率的一种评价方式,其定义为<sup>[31]</sup>:

$$B = \frac{P}{\lambda^2 M_x^2 M_y^2}, \quad (1)$$

其中 $P$ 为激光功率, $\lambda$ 为被评价激光的中心波长, $M_x^2$ 、 $M_y^2$ 分别为所评价光束的慢轴光束质量和快轴光束质量。

相同条件下,我们分别计算了自由运转下激光器的亮度和BWSPL的亮度,见图5。图中红色曲线为BWSPL亮度,绿色曲线为所用激光器自由运转下的亮度。可以看出,两种情况下亮度随驱动电流增加而增大,由于BWSPL水平方向光束质量更经过束腰劈裂偏振合束后得到提升,其亮度始终高于激光器自由运转的亮度。在7 A

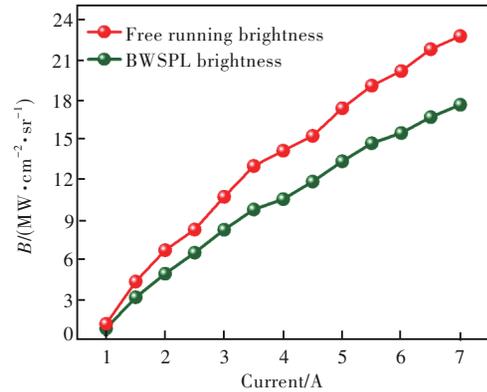


图5 自由运转激光器和BWSPL亮度随电流变化曲线

Fig.5 The dependence of brightness of the laser under free running and BWSPL on injection current

电流注入下两种情况下的激光器亮度达到最大,分别为 $22.74 \text{ MW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ 和 $17.61 \text{ MW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ ,BWSPL最大亮度是自由运转最大亮度的1.3倍。

图6为驱动电流为6 A时,激光器自由运转和BWSPL的光谱,红色曲线为激光器在自由运转下的光谱曲线,绿色为BWSPL光谱曲线。从图中可见,自由运转下的激光器光谱位于808 nm附近,谱宽约为3.2 nm;BWSPL光谱中心位于809.5 nm附近,光谱宽度约为0.47 nm。在外腔和光栅的共同作用下,原激光器光谱宽度压缩至原谱宽的0.14。BWSPL的起振波长可根据光栅方程 $\lambda = 2d \sin \theta$ 计算得到,其中 $d$ 为光栅周期, $\theta$ 为入射角,BWSPL的波长略大于808 nm的原因是光束入射角和输出耦合镜位置误差导致的角度偏移。垂直于输出耦合镜的光束才能被反馈至激光器,准直后光束的发散角导致了BWSPL光谱展宽,准直后的发散角越小,光谱宽度越窄<sup>[32]</sup>。

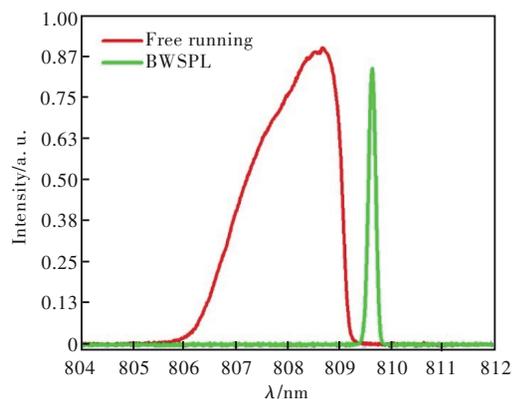


图6 自由运转激光器和BWSPL光谱曲线

Fig.6 Characteristics spectra of the laser under free running and BWSPL

## 4 结 论

本文将一个 808 nm 宽发射区半导体激光器应用于纵模选择外腔束腰劈裂偏振合束中,获得了功率为 5.08 W、快慢轴光束质量分别为  $M^2=1.85 \times 18.2$ 、光谱宽度为 0.47 nm 的 BWSPL,电光转换效率为 42%。所获激光慢轴光束质量较原激光器自由运转提高 48%,所获输出激光亮度为  $22.74 \text{ MW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ ,是原激光器自由运转的 1.3 倍,获得的激光光谱线宽为原激光器自由运转的

0.14。纵模选择束腰劈裂偏振合束外腔结构简单,具有较大的空间可以引入多种控制激光器激光的元件,在维持高输出功率和高电光转换效率的同时实现了高光束质量、高亮度和窄线宽的激光输出,提升了边发射半导体激光器的光束质量及亮度。

本文专家审稿意见及作者回复内容的下载地址:  
<http://cjil.lightpublishing.cn/thesisDetails#10.37188/CJL.20240033>.

## 参 考 文 献:

- [ 1 ] WITTE U, SCHNEIDER F, TRAUB M, *et al.* kW-class direct diode laser for sheet metal cutting based on DWDM of pump modules by use of ultra-steep dielectric filters [J]. *Opt. Express*, 2016, 24(20): 22917-22929.
- [ 2 ] PIETRZAK A, ZORN M, HUELSEWEDE R, *et al.* Development of highly efficient laser diodes emitting around 1060nm for medical and industrial applications [C]. *Proceedings of SPIE 10900, High-power Diode Laser Technology XVII*, San Francisco, California, United States, 2019: 109000K.
- [ 3 ] SHIMADA N, YUKAWA M, SHIBATA K, *et al.* 640-nm laser diode for small laser display [C]. *Proceedings of SPIE 7198, High-power Diode Laser Technology and Applications VII* 7198, High-power Diode, San Jose, California, United States, 2009: 719806.
- [ 4 ] HAKOBYAN S, WITTWER V J, BROCHARD P, *et al.* Fully-stabilized optical frequency comb from a diode-pumped solid-state laser with GHz repetition rate [C]. *2017 Conference on Lasers and Electro-optics*, San Jose, CA, USA, 2017: 1-2.
- [ 5 ] YU C X, SHATROVOY O, FAN T Y, *et al.* Diode-pumped narrow linewidth multi-kilowatt metalized Yb fiber amplifier [J]. *Opt. Lett.*, 2016, 41(22): 5202-5205.
- [ 6 ] SEZER H, TANG J, AHSAN A M M N, *et al.* Modeling residual thermal stresses in layer-by-layer formation of direct metal laser sintering process for different scanning patterns for 316L stainless steel [J]. *Rapid Prototyping J.*, 2022, 28(9): 1750-1763.
- [ 7 ] ULLAH A, REHMAN AUR, SALAMCI M U, *et al.* The influence of laser power and scanning speed on the microstructure and surface morphology of  $\text{Cu}_2\text{O}$  parts in SLM [J]. *Rapid Prototyping J.*, 2022, 28(9): 1796-1807.
- [ 8 ] ÇALIŞKAN C İ, ARPACIOĞLU Ü. Additive manufacturing on the façade: functional use of direct metal laser sintering hatch distance process parameters in building envelope [J]. *Rapid Prototyping J.*, 2022, 28(9): 1808-1820.
- [ 9 ] SHAIKH M Q, BERFIELD T A, ATRE S V. Residual stresses in additively manufactured parts: predictive simulation and experimental verification [J]. *Rapid Prototyping J.*, 2022, 28(10): 1895-1905.
- [ 10 ] KHORASANI M, GHASEMI A H, ROLFE B, *et al.* Additive manufacturing a powerful tool for the aerospace industry [J]. *Rapid Prototyping J.*, 2022, 28(1): 87-100.
- [ 11 ] KURDI MEL, BOUCHOULE S, BOUSSEKSOU A, *et al.* Room-temperature continuous-wave laser operation of electrically-pumped 1.55  $\mu\text{m}$  VECSEL [J]. *Electron. Lett.*, 2004, 40(11): 671-672.
- [ 12 ] IMADA M, NODA S, CHUTINAN A, *et al.* Coherent two-dimensional lasing action in surface-emitting laser with triangular-lattice photonic crystal structure [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1999, 75(3): 316-318.
- [ 13 ] INOUE T, YOSHIDA M, GELLETA J, *et al.* General recipe to realize photonic-crystal surface-emitting lasers with 100-W-to-1-kW single-mode operation [J]. *Nat. Commun.*, 2022, 13(1): 3262.
- [ 14 ] HIROSE K, LIANG Y, KUROSAKA Y, *et al.* Watt-class high-power, high-beam-quality photonic-crystal lasers [J]. *Nat. Photonics*, 2014, 8(5): 406-411.
- [ 15 ] GRAFEN M, DELBECK S, BUSCH H, *et al.* Evaluation and benchmarking of an EC-QCL-based mid-infrared spectrometer for monitoring metabolic blood parameters in critical care units [C]. *Proceedings of SPIE 10501, Optical Diagnostics and Sensing XVIII: Toward Point-of-care Diagnostics*, San Francisco, California, United States, 2018: 105010A.
- [ 16 ] MA Y R, YANG Q, TANG Y, *et al.* 1-Tb/s single-channel coherent optical OFDM transmission over 600-km SSMF fiber

- with subwavelength bandwidth access [J]. *Opt. Express*, 2009, 17(11): 9421-9427.
- [17] KISSEL H, KÖHLER B, BIESENBAACH J. High-power diode laser pumps for alkali lasers (DPALs) [C]. *Proceedings of SPIE 8241, High-power Diode Laser Technology and Applications X*, San Francisco, California, United States, 2012: 82410Q.
- [18] CRUMP P, BÖLDICKE S, SCHULTZ C M, *et al.* Experimental and theoretical analysis of the dominant lateral waveguiding mechanism in 975 nm high power broad area diode lasers [J]. *Semicond. Sci. Technol.*, 2012, 27(4): 045001.
- [19] WINTERFELDT M, CRUMP P, WENZEL H, *et al.* Experimental investigation of factors limiting slow axis beam quality in 9xx nm high power broad area diode lasers [J]. *J. Appl. Phys.*, 2014, 116(6): 063103.
- [20] WINTERFELDT M, RIEPRICH J, KNIGGE S, *et al.* Assessing the influence of the vertical epitaxial layer design on the lateral beam quality of high-power broad area diode lasers [C]. *Proceedings of SPIE 9733, High-power Diode Laser Technology and Applications XIV*, San Francisco, California, United States, 2016: 973300.
- [21] PLATZ R, ERBERT G, PITTROFF W, *et al.* 400  $\mu\text{m}$  stripe lasers for high-power fiber coupled pump modules [J]. *High Power Laser Sci. Eng.*, 2013, 1(1): 60-67.
- [22] SU J X, TONG C Z, WANG L J, *et al.* Beam waist shrinkage of high-power broad-area diode lasers by mode tailoring [J]. *Opt. Express*, 2020, 28(9): 13131-13140.
- [23] WANG L J, TONG C Z, SHU S L, *et al.* Loss tailoring of high-power broad-area diode lasers [J]. *Opt. Lett.*, 2019, 44(14): 3562-3565.
- [24] ZHAO Y F, TONG C Z, WANG L J, *et al.* High brightness diode lasers based on beam splitting and polarization combining [J]. *Appl. Sci.*, 2022, 12(16): 7980.
- [25] SUN F Y, SHU S L, ZHAO Y F, *et al.* High-brightness diode lasers obtained *via* off-axis spectral beam combining with selective feedback [J]. *Opt. Express*, 2018, 26(17): 21813-21818.
- [26] JECHOW A, RAAB V, MENZEL R. High cw power using an external cavity for spectral beam combining of diode laser-bar emission [J]. *Appl. Opt.*, 2006, 45(15): 3545-3547.
- [27] LIU B, LIU Y, BRAIMAN Y. Linewidth reduction of a broad-area laser diode array in a compound external cavity [J]. *Appl. Opt.*, 2009, 48(2): 365-370.
- [28] DING D, LV X Q, CHEN X Y, *et al.* Tunable high-power blue external cavity semiconductor laser [J]. *Opt. Laser Technol.*, 2017, 94: 1-5.
- [29] HAN J L, ZHANG J, SHAN X N, *et al.* High-power narrow-linewidth blue external cavity diode laser [J]. *Opt. Laser Technol.*, 2023, 159: 108974.
- [30] ZHAO Y F, TONG C Z, WEI Z P, *et al.* High brightness diode laser based on V-shaped external cavity and beam-waist splitting polarization combining [J]. *Appl. Sci.*, 2023, 13(4): 2125.
- [31] DIEHL R. *High-power Diode Lasers: Fundamentals, Technology, Applications* [M]. Berlin: Springer, 2000.
- [32] 张俊. 半导体激光线阵合束光源及外腔反馈光谱合束技术的研究 [D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2014.
- ZHANG J. *Research on Diode Laser Linear Array Combining Source and Wavelength Beam Combination with External-cavity Feedback* [D]. Changchun: Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, 2014. (in Chinese)



赵宇飞(1990-),男,内蒙古赤峰人,博士研究生,2019年于中国科学院长春光学精密机械与物理研究所获得硕士学位,主要从事高功率、高亮度半导体激光器的研究。

E-mail: Zhaoyufeidalian@163.com



魏志鹏(1978-),男,吉林长春人,博士,教授,博士生导师,2008年于中国科学院长春光学精密机械与物理研究所获得博士学位,主要从事半导体光电子器件方面的研究。

E-mail: weizp@cust.edu.cn



佟存柱(1976-),男,吉林伊通人,博士,研究员,博士生导师,2005年于中国科学院半导体研究所获得博士学位,主要从事高功率、高亮度半导体激光器方面的研究。

E-mail: tongcz@ciomp.ac.cn