

中国激光

Chinese Journal of Lasers

ISSN 0258-7025, CN 31-1339/TN

## 《中国激光》网络首发论文

题目: 窄线宽蓝光半导体激光器研究  
作者: 王渴, 韩金樑, 梁金华, 单肖楠, 王立军  
收稿日期: 2022-06-01  
网络首发日期: 2022-07-25  
引用格式: 王渴, 韩金樑, 梁金华, 单肖楠, 王立军. 窄线宽蓝光半导体激光器研究[J/OL]. 中国激光.  
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1339.TN.20220722.1840.052.html>



**网络首发:** 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

**出版确认:** 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

# 窄线宽蓝光半导体激光器研究

王渴<sup>1,2</sup>, 韩金樑<sup>1,2</sup>, 梁金华<sup>3</sup>, 单肖楠<sup>1\*</sup>, 王立军<sup>1</sup>

<sup>1</sup>中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

<sup>2</sup>中国科学院大学, 北京 100049;

<sup>3</sup>吉林省长光瑞思激光技术有限公司, 吉林 长春 130051

**摘要** 近年来蓝光激光光源因其对有色金属的良好吸收效率逐步成为半导体激光器研究的热点。针对激光加工纯铜、纯金、高强铝为代表的高反射金属材料的市场需求, 采用体布拉格光栅作为外腔反馈元件压窄激光线宽, 稳定激光波长, 并基于空间合束技术将 6 片单管蓝光激光芯片聚焦耦合进 105 $\mu\text{m}$ /0.22NA 的光纤中, 研制出窄线宽蓝光半导体激光光纤耦合模块。工作电流为 3A 时, 该激光模块输出功率 26.32 W, 稳定输出波长 444.29 nm, 光谱线宽压至 0.18 nm。

**关键词** 激光器; 蓝光半导体激光器; 窄线宽; 体布拉格光栅; 外腔反馈

**中图分类号** TN248.4      **文献标志码** A

## 1 引言

随着激光加工技术的不断进步和工业需求的不断提高, 短波长蓝光激光逐步成为激光器领域的研究热点。蓝光波长通常在 400 nm ~ 500 nm 范围内, 具有波长短、衍射效应小、能量高等特性, 蓝光半导体激光器在贵金属激光加工、量子通讯、激光显示、激光美容、增材制造等领域<sup>[1-3]</sup>有着广泛的应用前景。

工业上通常采用红外激光进行金属加工, 但由于铜、金、铝等有色金属材料具有高反射率<sup>[4]</sup>的特点, 对红外波长激光吸收效果较低。激光照射到金属材料大部分能量被反射, 同时还会迅速将被照射的部分能量传递到周围, 造成金属材料及合金切割困难。此外传统红外激光器不仅体积大、操作复杂, 同时还需要较高功率运作以及复杂的冷却装置。蓝光半导体激光器解决以纯铜、纯金、高强铝为代表的高反射高导热材料是近些年来的研究热点。

近年来, 为研究窄线宽半导体激光输出, 国内外研究人员采用不同光栅作为外腔反馈元件的半导体激光器已有不少报道。DingD 等人报道一种窄线宽的高功率 Littrow 型外腔蓝光激光器, 在 1100mA 电流下线宽约为 0.1nm, 输出功率 1.24W<sup>[5]</sup>。S Mukhtar 等人报道一种外腔二极管激光器 (ECDL), 在 130mA 电流下线宽  $\leq 110$  pm, 输出功率 14.5mW<sup>[6]</sup>。李斌等人报道基于反射式全息光栅的 405nm 蓝紫光半导体激光器, 在 19.7mA 和 21.3mA 阈值电流下谱线宽度 0.03 nm<sup>[7]</sup>。然而, 这些已有报道多是针对 Littrow 布局的光栅外腔半导体激光器, 且均是对毫瓦级蓝光半导体激光器进行研究, 对基于体布拉格光栅的瓦级高功率蓝光半导体激光器综合性能研究报道较少。关于自由运转的蓝光单元芯片光谱线宽通常为 1nm, 无法满足光谱合束<sup>[8-10]</sup>的要求, 因此需要通过技术手段压窄蓝光激光线宽, 同时稳定激光输出波长。

本文针对贵金属激光加工领域对高功率蓝光激光器的需求, 选用外腔光反馈法, 极大地改善激光器的输出线宽。采用多个单管蓝光芯片, 基于反射式体布拉格光栅 (RVBG) 外腔反馈技术、激光空间合束技术<sup>[11-12]</sup>及光纤耦合技术, 获得了功率 26.32W、线宽 0.18nm、光纤芯径 105 $\mu\text{m}$  的蓝光激光输出, 为高功率蓝光激光器的实现奠定技术基础。

## 2 实验原理及设计

**基金项目:** 吉林省科技厅发展计划项目 (20190302048GX)、广东省重点领域研发计划 (2020B090922002)、吉林省科技发展计划 (20210209062RQ)

**通信作者:** \*E-mail: [shanxiaon@sina.com](mailto:shanxiaon@sina.com)

采用基于 GaN 的蓝光半导体激光器( LD )作为单元器件, 表 1 列出了所用的蓝光 LD 主要参数。由于 LD 单管输出功率有限, 需要利用多单管空间合束技术获得激光高功率输出。如图 1 所示, 采用阶梯式的空间排布结构, 摆放 6 片波长为 447nm 的蓝光芯片, 阶梯高度为 0.4 mm, 以保证激光束互不干扰, 其中单管蓝光芯片集成在次热沉基底上, 保证了蓝光 LD 的功率稳定性高、寿命长及可靠性好的优势; 通过 RVBG 对空间合束后的激光束进行波长锁定及线宽压窄, 改善输出光谱特性; 最后将激光束耦合进 105  $\mu\text{m}$  / 0.22 NA 光纤中, 提高蓝光激光光束质量。

表 1 单管蓝光 LD 主要参数

Table 1 The main parameters of single tube blue LD

| Parameter                      | Specification |
|--------------------------------|---------------|
| Center wavelength/nm           | 447           |
| Output power/W                 | 5             |
| Operating current/A            | 3             |
| Operating voltage/V            | 4.3           |
| Slow axis divergence angle/(°) | 10            |
| Fast axis divergence angle/(°) | 60            |
| Cavity length/mm               | 1.2           |

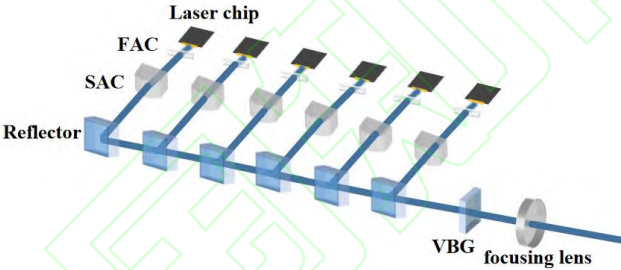


图 1 实验装置内部布局

Fig. 1 Internal layout of experimental device

激光光束质量是评价合束系统的重要指标, 通常采用光参数积 BPP 来评价<sup>[13]</sup>。定义为光斑的束腰半径  $D/2$  与远场发散半角  $\theta$  的乘积:

$$BPP = \frac{D}{2} \times \theta, \quad (1)$$

BPP 的值越小, 表示激光光束质量越好。

LD 激光单管快慢轴方向的发散角不同并且有很大的发散特性, 由表 1 可得, LD 单管在快轴方向的发散角为  $60^\circ$ , 慢轴方向的发散角为  $10^\circ$ , 快轴方向发散角远大于慢轴方向, 需要在合束处理之前对 LD 单管分别进行快、慢轴准直处理。通过 Zemax 软件进行模拟仿真, 设计快轴准直镜 (FAC) 选用焦距为 0.31 mm 的非球面柱面镜, FAC 准直后快轴方向的发散角半角为 2.1 mrad, 光斑尺寸为 0.36 mm, 如图 2 (a) (b)所示, 对应的光参量为 0.378 mm·mrad; 慢轴准直镜 (SAC) 采用焦距为 9.3 mm 的柱面镜, SAC 准直后慢轴方向的发散角半角为 2.8 mrad, 光斑尺寸为 1.6 mm, 如图 2 (c) (d)所示, 对应的光参量为 2.24 mm·mrad。光学准直后的激光快慢轴发散角显著减小, 保证了光束的传输质量。

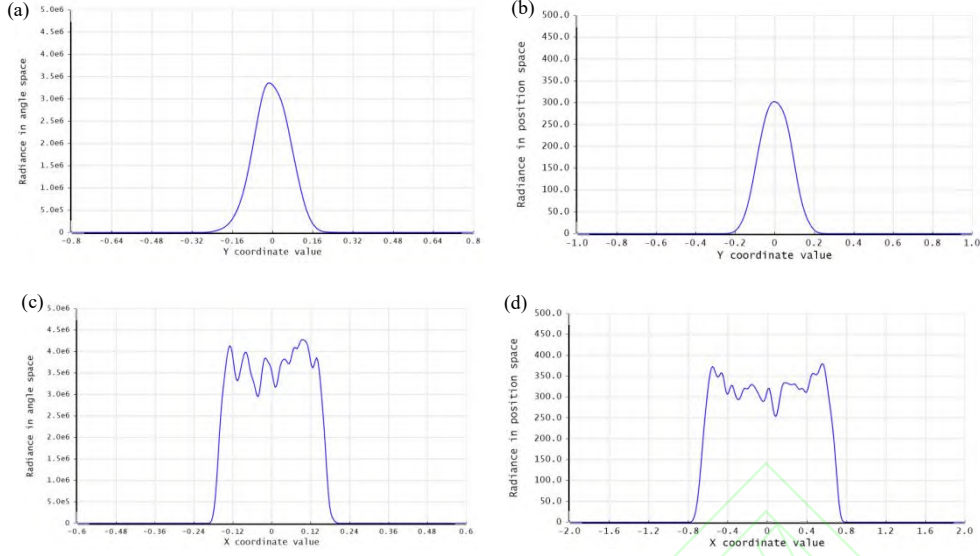


图2 单芯片准直后发散角和光斑尺寸。(a) 快轴发散角；(b) 快轴光斑尺寸；(c) 慢轴发散角；(d) 慢轴光斑尺寸

Fig. 2 Divergence angle and spot size after single chip collimation. (a) Fast axis divergence angle; (b) Fast axis spot size; (c) Slow axis divergence angle; (d) Slow axis spot size

为了增强激光输出功率，采用空间合束技术紧密排列组合光束，将6片蓝光芯片组通过阶梯型排列压缩光束间距，经过空间合束后的激光光斑如图3所示，光斑尺寸为 $1.6\text{ mm} \times 2.4\text{ mm}$  (X×Y)，此时合束后的快慢轴光参数积为

$$BPP_{slow} = \frac{D_{slow}}{2} \times \theta_{slow} = 0.8\text{mm} \times 2.8\text{mrad} = 2.24\text{mm mrad} , \quad (2)$$

$$BPP_{fast} = \frac{D_{fast}}{2} \times \theta_{fast} = 1.2\text{mm} \times 2.1\text{mrad} = 2.52\text{mm mrad} , \quad (3)$$

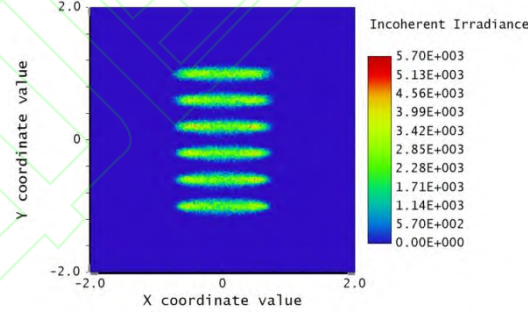


图3 空间合束后光斑图

Fig. 3 The spot diagrams after space beam combination

空间合束后在光学系统中加入RVBG对合束激光同步进行外腔反馈,从而实现锁定波长、压窄光谱线宽的目的,所用RVBG衍射效率为 $15\% \pm 3\%$ ,衍射波长为 $443.8 \pm 0.1\text{ nm}$ 。通常,自由运转的激光器各发光单元输出波长存在差异,导致输出光束谱线较宽;同时它们易受外界环境温度影响,进一步影响了自由运转半导体激光的光谱特性。RVBG作为外腔光反馈元件,可以将特定波长的光重新反馈回出光区,使该波长的光损耗降低,有利于与其他波长进行模式竞争,优先到达阈值输出激光,使得激光器输出单一波长模式,实现外腔对波长的锁定<sup>[14-15]</sup>。

外腔反馈后的激光，再通过聚焦镜耦合到光纤中进行传输，要使合束后的激光束耦合进  $105\mu\text{m}/0.22\text{NA}$  的光纤中，根据光纤耦合条件<sup>[16-17]</sup>：聚焦后的光斑尺寸不大于光纤芯径；聚焦后光斑发散角不大于光纤数值孔径。

$$D_{\text{laser}} < D_{\text{fiber}}, \quad (4)$$

$$\theta_{\text{laser}} < \theta_{\text{fiber}} = 2 \arcsin(NA), \quad (5)$$

式中  $D_{\text{laser}}$  为聚焦后光斑直径大小， $\theta_{\text{laser}}$  为光束聚焦后远场发散全角； $D_{\text{fiber}}$  为光纤芯径， $\theta_{\text{fiber}}$  为  $0.22\text{NA}$  光纤对应的最大入射角。

$$f \leq \frac{\frac{D_{\text{fiber}}}{2}}{\sqrt{\theta_{\text{fast}}^2 + \theta_{\text{slow}}^2}}, \quad (6)$$

通过式 (6) 计算确定聚焦镜焦距范围为  $f \leq 15\text{mm}$ ，选取焦距为  $12\text{mm}$  的商用聚焦镜，经过模拟耦合效率可达 99% 以上。图 4(a) 是经聚焦透镜聚焦后的光斑图，图 4(b) 是激光束从光纤输出后的近场光斑图，光强分布更均匀。

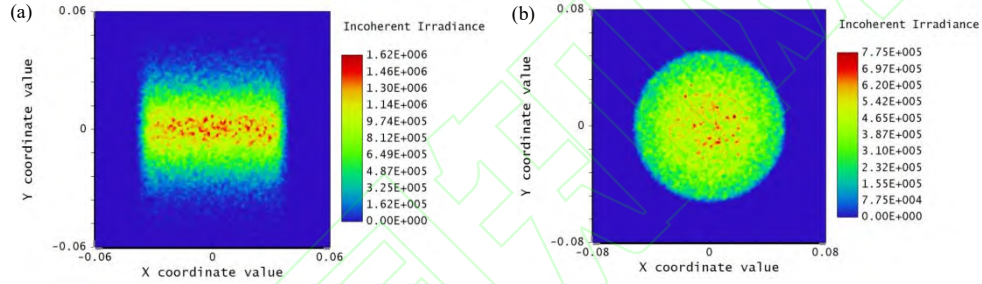


图 4 光斑图。(a) 聚焦光斑图；(b) 光纤耦合后光斑图

Fig.4 spot diagram. (a) Focused spot diagram; (b) Spot diagram after optical fiber coupling

### 3 实验结果与分析

RVBG 外腔结构的一个重要作用就是对输出光谱特性的改善。在  $3\text{A}$  工作电流下，图 5(a) 为单个蓝光芯片在自由运转下输出光谱，图 5(b) 为单个芯片通过 RVBG 外腔后的输出光谱，输出波长稳定锁定在  $444.07\text{ nm}$  附近。由图可知，RVBG 外腔结构明显改善输出蓝光的光谱特性，光谱谱宽从  $1.39\text{ nm}$  压窄到约  $0.18\text{ nm}$ 。

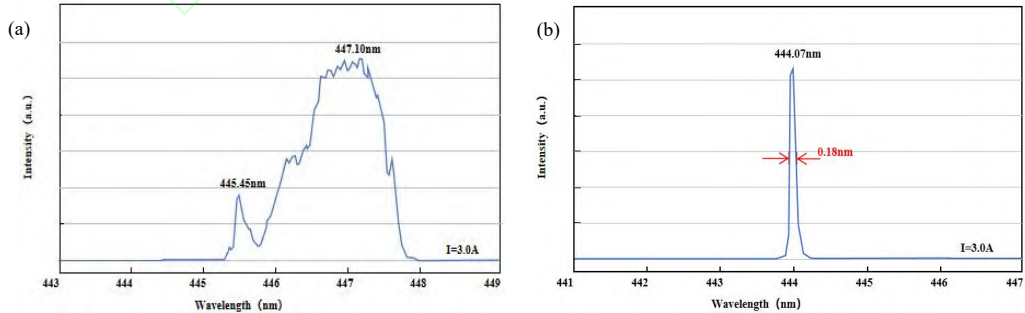


图 5 单个蓝光芯片输出光谱图。(a) RVBG 锁模前光谱图；(b) RVBG 锁模后光谱图

Fig. 5 Single blue laser chip output spectrogram. (a) Spectrum before RVBG mode locking; (b) Spectrum after RVBG mode locking

采用 RVBG 作为反馈元件构成窄线宽蓝光半导体激光器，如图 6 所示。激光功率方面，

在水冷温度为 20℃ 时,自由运转的蓝光芯片阈值为 0.6A,6 路可以出光 1.26W;加入 VBG 外腔反馈后,阈值降低到 0.5A,6 路可以出光 1.38W;当工作电流提高到 3.0A 时,激光合束后输出功率为 29.4W,RVBG 外腔反馈后输出功率为 29.87W,反馈效率达到 101.6%,这是由于 VBG 外腔反馈后激光输出阈值功率降低。光谱锁定方面,图 7 (a)为 3A 电流下 RVBG 锁模前光谱图,图中显示多个峰值状态,图 7 (b)为 3A 电流下 RVBG 锁模后光谱图,可以清晰看出锁模效果明显,输出为单一波长模式,锁定波长 444.29 nm,光谱线宽压缩约为 0.18 nm。

边模抑制比 (SMSR) 是主模强度和边模强度的最大值之比,是标志纵模性能的一个重要指标,可以用公式 (7) 表示。其中,  $I_0$  表示主模峰值强度,  $I_1$  表示除主模峰值强度外的边模最大强度。蓝光半导体激光器压窄后的光谱,主峰强度与次峰强度比约为 30:1,即 SMSR=14.78dB。该测试结果表明通过 VBG 对自由运转的蓝光激光器进行外腔反馈,获得了很好的线宽压窄效果。

$$SMSR = 10 \times \lg \left( \frac{I_0}{I_1} \right), \quad (7)$$

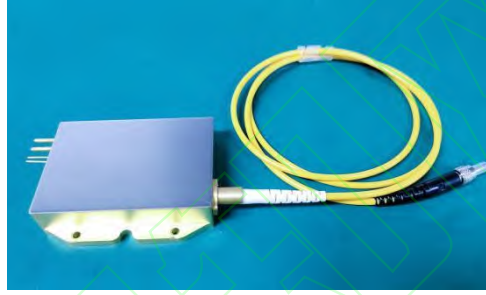


图 6 蓝光激光器模块示意图

Fig. 6 Schematic diagram of blue laser module

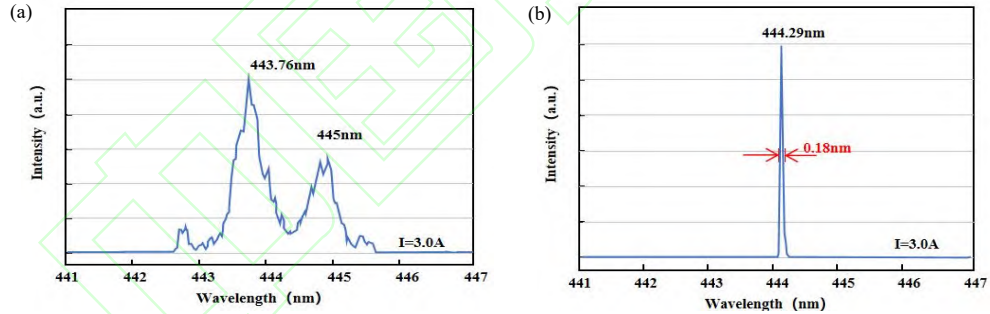


图 7 蓝光激光器模块输出光谱图。(a) RVBG 锁模前光谱图; (b) RVBG 锁模后光谱图

Fig. 7 Blue laser module output spectrum. (a) Spectrum before RVBG mode locking; (b) Spectrum after RVBG mode locking

图 8 为窄线宽蓝光耦合模块的功率-电流-电压 (P-I-V) 测试曲线图。连续条件下,整个激光器在驱动电流 0~3.0 A 范围内调节,工作电流增加至 3.0 A 时,电压为 25.1V,从芯径 105μm、数值孔径 0.22 的光纤中获得 26.32 W 的输出功率,电光转换效率为 34.95%,对应耦合效率为

$$\eta = \frac{P_{\text{fiber}}}{P_{\text{foc}}} = \frac{26.32}{29.87} \times 100\% = 88.1\% , \quad (8)$$

其中:  $P_{\text{fiber}}$  为光纤耦合后的输出功率,  $P_{\text{foc}}$  为光纤耦合前的输出功率。实际操作中,激光器装调完成后耦合效率比仿真模拟值低,这是由于在实验中造成的人为误差、工艺误差或整体装调等因素所导致。

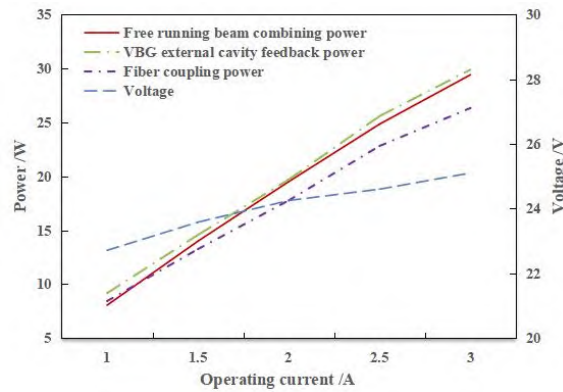


图8 模块 P-I-V 曲线

Fig. 8 P-I-V curves

## 4 结 论

采用反射式体布拉格光栅 (RVBG) 作为反馈元件搭建蓝光外腔半导体激光器, 结合空间合束、光纤耦合技术, 获得高功率、窄线宽、稳光谱的激光输出, 其中输出功率为 26.32 W, 稳定输出波长 444.29 nm, 光谱线宽窄化到 0.18 nm, 光纤耦合效率达到 88.1%。本文方法可以通过进一步实验研究, 减少耦合损耗, 提升光谱锁定质量, 再结合光谱合束技术从而获得更高功率的蓝光半导体激光器, 从而在贵金属激光加工领域得到更广泛的应用。

## 参考文献

- [1] Wu P. Study on 100w level high-power blue diode laser[D].Beijing:Beijing University of Technology,2017.  
吴鹏. 百瓦级高功率蓝光半导体激光器研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2017.
- [2] Li X H, Liu X M, Gong Y K, et al. A novel erbium/ytterbium co-doped distributed feedback fiber laser with single-polarization and unidirectional output[J]. Laser Phys Lett, 2010, 7(1): 55–59.
- [3] Li X H, Wang Y G, Wang Y S, et al. Yb-doped passively mode-locked fiber laser based on a single wall carbon nano-tubes wallpaper absorber[J]. Opt Laser Technol, 2013, 47: 144–147.
- [4] Gu B. High power blue semiconductor laser opens a new door for metal processing [J]. Metalworking (hot working), 2021 (03): 1-6.  
顾波. 高功率蓝光半导体激光器为金属加工打开了新的大门[J]. 金属加工(热加工), 2021(03):1-6.
- [5] Ding D , Lv X , Chen X , et al. Tunable high-power blue external cavity semiconductor laser[J]. Optics & Laser Technology, 2017, 94:1-5.
- [6] Mukhtar S , Shen C , Ashry I , et al. Blue Laser Diode System With an Enhanced Wavelength Tuning Range[J]. IEEE Photonics Journal, 2020, PP(99):1-1.
- [7] Li B,Gao J,Zhao J,et al..Study on 405nm blue violet semiconductor laser with wide tuning range and narrow linewidth of grating external cavity[J].Chinese Journal of Lasers,2015, 42(12): 1202003.  
李斌, 高俊, 赵俊, 等. 宽调谐范围光栅外腔窄线宽 405nm 蓝紫光半导体激光器研究[J]. 中国激光, 2015, 42(12):1202003.

- [8] Zhang Z J. Research on high-power semiconductor laser beam combiner technology and application[D]. Changchun: University of Chinese Academy of Sciences, 2013.  
张志军. 大功率半导体激光器合束技术及应用研究[D]. 长春: 中国科学院大学, 2013.
- [9] Zediker M S, Fritz R D, Finuf M J, et al. Laser welding components for electric vehicles with a high-power blue laser system[J]. J Laser Appl, 2020, 32(2): 022038.
- [10] Zhang J, Peng H Y, Fu X H, et al. High-brightness 800-nm semiconductor laser source based on spectral beam combining[J]. Chinese Journal of Lasers, 2020, 47(7): 0701021.  
张俊, 彭航宇, 付喜宏, 等. 基于光谱合束的 800nm 高亮度半导体激光光源[J]. 中国激光, 2020, 47(07): 0701021.
- [11] Ning Y Q, Chen Y Y, Zhang J, et al. Brief review of development and techniques for high power semiconductor lasers[J]. Acta Optica Sinica, 2021, 41(1): 0114001  
宁永强, 陈泳屹, 张俊, 等. 大功率半导体激光器发展及相关技术概述[J]. 光学学报, 2021, 41(01): 0114001.
- [12] Han J L, Zhang J, Shan X N, et al. High-efficiency ignition laser source based on diode laser beam combining technology[J]. 2022, 49(07): 13-20  
韩金樑, 张俊, 单肖楠, 等. 基于半导体激光合束技术的高效点火光源研究[J]. 中国激光, 2022, 49(07): 13-20.
- [13] Zhu H B, Hao M M, Liu Y, et al. 808nm High Brightness semiconductor laser fiber coupling device [J]. Optics and Precision Engineering, 2012, 20 (08): 1684-1690.  
朱洪波, 郝明明, 刘云, 等. 808nm 高亮度半导体激光器光纤耦合器件[J]. 光学精密工程, 2012, 20(08): 1684-1690.
- [14] Zhu H B, Fan S L, Zhao J, et al. Development and thermal management of k W-class high-power diode laser source based on the structure of two-stage combination [J]. IEEE Photon. J., 2019, 11(3): 1502510-1-10.
- [15] Ishige Y, Hashimoto H, Hayamizu N, et al. Blue laser-assisted kW-class CW NIR fiber laser system for high-quality copper welding[J]. HIGH-POWER DIODE LASER TECHNOLOGY XIX, 2021, 11668: 116680M.
- [16] Baumann M, Balck A, Malchus J, et al. 1000 W blue fiber-coupled diode-laser emitting at 450 nm[J]. Proc SPIE, 2019, 10900: 1090005.
- [17] Duan C R, Zhao P F, Wang X B, et al. Fiber coupling technology of high brightness blue semiconductor laser [J]. Opto-Electronic Engineering, 2021, 48 (05): 49-56  
段程芮, 赵鹏飞, 王旭葆, 等. 高亮度蓝光半导体激光器光纤耦合技术[J]. 光电工程, 2021, 48(05): 49-56.

# Research on Narrow Linewidth Blue Semiconductor Laser

Wang Ke<sup>1,2</sup>, Han Jinliang<sup>1,2</sup>, Liang Jinhua<sup>3</sup>, Shan Xiaonan<sup>1\*</sup>, Wang Lijun<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130033, China;*

<sup>2</sup>*University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*

<sup>3</sup>*Jilin Changguang Ruisi Laser Technology Co., Ltd., Jilin 130051, China*

## Abstract

**Objective** With the continuous progress of laser processing technology and the continuous improvement of industrial demand, short-wavelength blue laser has gradually become a research hotspot in the field of lasers. Blue semiconductor lasers have broad application prospects in precious metal laser processing, laser beauty, additive manufacturing and other fields. Infrared laser is usually used for metal processing in industry, but due to the high reflectivity of non-ferrous metal materials such as copper, gold, and aluminum, the absorption effect of infrared wavelength laser is low. In addition, conventional infrared lasers are not only bulky and complicated to operate, but also require higher power operation and complex cooling devices. The solution of blue semiconductor lasers to materials with high reflection and high thermal conductivity represented by pure copper, pure gold and high-strength aluminum has been a research hotspot in recent years. In addition, the spectral linewidth of the free-running blue light unit chip is usually 1 nm, which cannot meet the requirements of spectral beam combining, so it is necessary to narrow the blue light laser linewidth by technical means, and at the same time stabilize the laser output wavelength.

**Methods** This paper proposes a narrow linewidth blue laser. First, we design the structure of multiple single-tube blue semiconductor lasers. Multiple 447 nm blue light chips are coupled into a 105  $\mu\text{m}$  /0.22 NA optical fiber through spatial combining technology, and the simulation results of ZEMAX optical design software verify the feasibility of the solution. Second, the width of the laser line width is effectively narrowed using a volume Bragg grating. The output wavelength of each light-emitting unit of a free-running laser is different, resulting in a wider output beam spectral line. Therefore, RVBG acts as an external cavity optical feedback element to enable the laser to output a single wavelength mode and achieve wavelength locking by the external cavity. Finally, for the high-power narrow linewidth performance of blue semiconductor lasers, the optical path structure and the use of spectrometers can be detected, which lays a technical foundation for the realization of high-power blue lasers.

**Results and Discussions** The photo of the output light source of the blue semiconductor laser is shown in Fig. 4. When the operating current is set to 3A, the output spectrum of a single chip after passing through the RVBG external cavity, the output wavelength is stably locked around 444.07 nm. (Fig. 5). In terms of laser power, when the water cooling temperature is 20 °C, the threshold value of the free-running blue light chip is 0.6A, and the 6 channels can output 1.26W. After adding VBG external cavity feedback, the threshold is reduced to 0.5A, and 6 channels can output 1.38W. When the working current is increased to 3.0A, the output power after laser beam combining is 29.4W, the output power after RVBG external cavity feedback is 29.87W, and the

feedback efficiency reaches 101.6%. This is due to the reduction of the laser output threshold power after the VBG external cavity feedback. In terms of spectral locking, there are multiple peak states in the spectrum before RVBG mode locking at 3A current. After RVBG mode locking, it can be clearly seen that the mode locking effect is obvious. The output is a single wavelength mode, the locked wavelength is 444.29 nm, and the spectral linewidth The compression is about 0.18 nm (Fig. 7).The narrow linewidth blue light coupling module passes the P-I-V test. Under continuous conditions, the entire laser is adjusted within the range of the driving current of 0~3.0 A. When the operating current is increased to 3.0 A, the voltage is 25.1V, and the output power of 26.32 W is obtained from the fiber with a core diameter of 105  $\mu\text{m}$  and a numerical aperture of 0.22. Electro-optical conversion The efficiency is 34.95%, corresponding to a coupling efficiency of 88.1% (Fig. 8)

**Conclusions** The RVBG is used as the feedback element to build a blue light external cavity semiconductor laser. Combined with spatial beam combining and fiber coupling technology, a laser output with high power, narrow linewidth and stable spectrum is obtained. The output power is 26.32 W, which is stable and stable. The output wavelength is 444.29 nm, the spectral linewidth is narrowed to 0.18 nm, and the fiber coupling efficiency reaches 88.1%. Through further experimental research, the method in this paper can reduce the coupling loss, improve the quality of spectral locking, and combine with the spectral beam combining technology to obtain a higher-power blue semiconductor laser, which can be widely used in the field of precious metal laser processing.

**Key words** lasers; blue diode laser; narrow linewidth; volume Bragg grating; external cavity feedback

网络首发:

标题: 窄线宽蓝光半导体激光器研究

作者: 王渴, 韩金樑, 梁金华, 单肖楠, 王立军

收稿日期: 2022-06-01

录用日期: 2022-07-18

DOI: 10.3788/cj1202350.1001004

引用格式:

王渴, 韩金樑, 梁金华, 单肖楠, 王立军. 窄线宽蓝光半导体激光器研究[J]. 中国激光, 2023, 50(10): 1001004.

网络首发文章内容与正式出版的有细微差别, 请以正式出版文件为准!

您感兴趣的其他相关论文:

基于倾斜光纤光栅的连续可调谐锁模激光器

戴礼龙 邹传杭 黄千千 黄梓楠 凌远达 邢志坤 闫志君 牟成博

上海大学上海先进通信与数据科学研究院, 特种光纤与光接入网重点实验室, 特种光纤与先进通信国际合作联合实验室, 上海 200444

中国激光, 2019, 46(5): 0508026

全正色散非线性放大环形镜保偏掺镱光纤激光器

赵翔 刘洋 周廉 欧阳诚 谢戈辉 罗大平 朱志伟 顾澄琳 李文雪

华东师范大学精密光谱科学与技术国家重点实验室, 上海 200062

中国激光, 2019, 46(5): 0508025

非线性环路反射镜锁模光纤激光器的研究进展

周佳琦 潘伟巍 张磊 Gu Xijia 冯衍

中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800

中国激光, 2019, 46(5): 0508013

Yb: YAG陶瓷平面波导1030 nm激光放大

林伟平 姜楠 周唐建 徐浏 童立新 尚建力 汪丹 王君涛 赵玉 谢腾飞 李江 高清松

中国工程物理研究院应用电子学研究所, 四川 绵阳 621900

中国激光, 2019, 46(5): 0501002

基于反抛物线型光纤的TE<sub>01</sub>和TM<sub>01</sub>模式输出激光器

刘儒雅 汤敏 曹敏 卮月安 简伟 任国斌

北京交通大学全光网及现代通信网教育部重点实验室光波技术研究所, 北京 100044

中国激光, 2019, 46(5): 0501001