

长腔长体布拉格光栅外腔半导体激光器

李志永^{1,2} 谭荣清¹ 黄伟^{1,2} 徐程^{1,2} 李琳^{1,2}

(¹中国科学院电子学研究所高功率气体激光技术部, 北京 100190)
²中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要 为了实现体布拉格光栅外腔半导体激光器(VBL)的外腔腔内光束合成,研究了长腔长 VBL 的激光输出特性。采用焦距为 25 mm 的平凸柱透镜作为单管激光二极管(LD)的慢轴准直镜,同时快轴方向体布拉格光栅(VBG)离轴放置,使得 VBL 的外腔腔长达到约 240 mm,线宽从自由运转时的 1.8 nm 压窄至 0.14 nm。在实验中,改变 LD 的偏振特性,VBL 的激光输出特性不变。通过调节 VBG 温度,该长腔长 VBL 的激光中心波长从 779.18 nm 到 779.75 nm 连续可调,调谐过程中线宽基本不变。

关键词 激光器;半导体激光器;窄线宽;体布拉格光栅;腔长

中图分类号 TN248.4 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201239.1102006

Laser Diode with Long External Cavity of Volume Bragg Grating

Li Zhiyong^{1,2} Tan Rongqing¹ Huang Wei^{1,2} Xu Cheng^{1,2} Li Lin^{1,2}

(¹Department of High Power Gas Laser, Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China
²Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract In order to achieve beam combination of volume Bragg grating diode lasers (VBLs) in the external cavity, characteristics of VBL with long cavity length is studied. A plane convex cylindrical lens with focal length of 25 mm is used to collimate the single emitter laser diode (LD) in slow axis direction. Meanwhile, volume Bragg grating (VBG) is positioned off-axis in fast axis of the LD. External cavity length of about 240 mm is established, and the linewidth is narrowed from 1.8 nm of free-running diode to 0.14 nm. In the experiment, characteristics of the VBL are unchanged for different polarizations of laser. By adjusting the VBG's temperature, a tunable range from 779.18 nm to 779.75 nm of the VBL with long cavity length is realized while the linewidth remains the same.

Key words lasers; laser diode; narrow linewidth; volume Bragg grating; cavity length

OCIS codes 140.2020; 140.5560; 140.3300; 050.7330

1 引 言

体布拉格光栅外腔半导体激光器(VBL)通常是指将体布拉格光栅(VBG)置于快轴准直镜或慢轴准直镜前几毫米的位置处,通过 VBG 的角向选择性和光谱选择性对激光二极管(LD)提供适当强度和带宽的反馈,进而实现 LD 谱线的线宽压窄和波长锁定^[1~4]。相比于平面光栅外腔技术,VBL 所需光学元件少,功率损失少^[5],近年来在激光器高效

抽运方面得到初步应用^[6,7]。但是由于结构的限制,VBL 输出光功率密度低、光束质量差,限制了其在光抽运方面的广泛应用。虽然光束合成能够提高输出功率密度,改善光束质量^[7~10],但是 VBL 腔外的光束合成存在光谱匹配的问题,需要使光束合成的 LD 的光谱一致,存在较大难度。VBL 激光在腔内光束合成,用于光束合成的 LD 通过同一 VBG 提供反馈,实现线宽压窄,这既能够提高功率密度,

收稿日期: 2012-06-28; **收到修改稿日期**: 2012-07-16

作者简介: 李志永(1986—),男,博士研究生,主要从事半导体激光器线宽压窄技术和碱金属蒸气激光器等方面的研究。

E-mail: lizhiyong_1226@126.com

导师简介: 谭荣清(1966—),男,研究员,博士生导师,主要从事气体激光技术及其应用等方面的研究。

E-mail: rongqingtan@163.com

又可以使 VBL 光谱特性不变,相比腔外合成技术更容易实现,而且较为合理。为了能够实现腔内的 LD 光束合成,VBL 的腔长至少要达到几厘米,为腔内光学元件的放置提供空间。本文设计了一种长腔长的 VBL,在线宽压窄和波长锁定的光谱特性得到保持的同时,外腔腔长得到了大幅增加。

2 基本原理及装置

长腔长 VBL 的实验原理示意图如图 1 所示。LD 发光区宽度 $150\ \mu\text{m}$,在 z_1 处放置直径 $600\ \mu\text{m}$ 的柱透镜准直快轴方向激光,经过准直后,快轴发散角为 $7.5\ \text{mrad}$ 。在 z_3 处放置焦距 $25\ \text{mm}$ 的平凸柱透镜,基于几何光学成像的原理^[11],在 LD 发光区宽度方向的像 $A'B'(z_4)$ 处放置 VBG,VBG 的温度可由其下方的半导体制冷片控制。VBG 厚 $1.89\ \text{mm}$,通光面积 $1.75\ \text{mm} \times 15\ \text{mm}$,衍射效率 21% ,由 PD-LD 公司制作。在实验中使 $|z_1 z_3| = 28\ \text{mm}$,VBL 外腔长度约 $240\ \text{mm}$ 。由于腔长较长,LD 快轴方向的反馈光到达快轴准直镜时,受限于快轴准直镜的尺寸,无法全部耦合进 LD 内腔。但是,慢轴方向的反馈强度较大,因此,实验中 VBG 在快轴方向略微倾斜并离轴放置,减少线宽压窄过程中的能量损失^[3]。在长腔长 VBL 系统中,VBG 的实际使用通光面积约为 $1.5\ \text{mm} \times 1.75\ \text{mm}$ 。

3 实验结果与讨论

3.1 线宽压窄实验

不同驱动电流下的 VBL 激光光谱如图 2 所示。随着驱动电流的增加,VBL 的激光线宽基本不变,中心波长随着驱动电流的增加而增加,从 $0.8\ \text{A}$ 时的 $779.33\ \text{nm}$ 漂移至 $2.0\ \text{A}$ 时的 $779.36\ \text{nm}$ 。LD 中心波长的漂移是由于在高驱动电流下,VBG 的温度存在漂移^[12]。而 VBG 是一种基于光热敏玻璃制

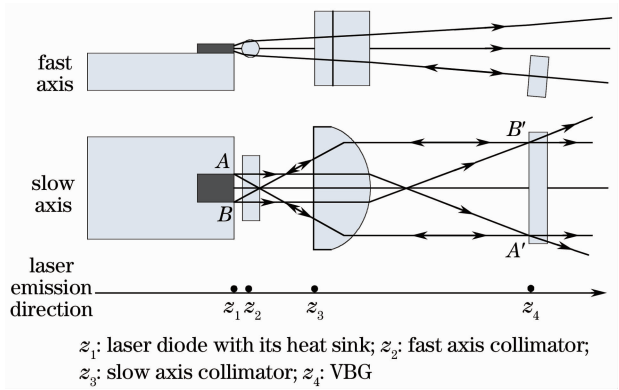


图 1 实验原理示意图

作的光学反馈元件,其中心波长随着温度的改变而改变^[13]。图 3 是在 $2\ \text{A}$ 驱动电流下,通过改变 VBG 温度获得的 VBL 激光光谱及光谱特性。中心波长的温度漂移率约为 $0.008\ \text{nm/K}$,中心波长随着 VBG 温度的升高而增大,可以利用 VBG 这一特性在小范围内实现 VBL 输出波长的调谐。实验中,通过主动控制 VBG 的温度实现了激光器中心波长从 $779.18\ \text{nm}$ 到 $779.75\ \text{nm}$ 的连续可调,半峰全宽 (FWHM) 从自由运转时的 $1.8\ \text{nm}$ 压窄至 $0.14\ \text{nm}$,且调谐过程中线宽基本不变。

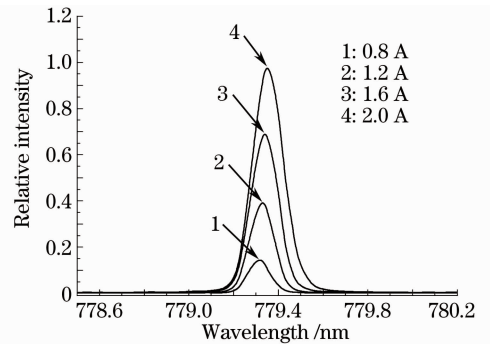


图 2 不同驱动电流下的 VBL 激光光谱
Fig. 2 Spectra of VBL under different driving currents

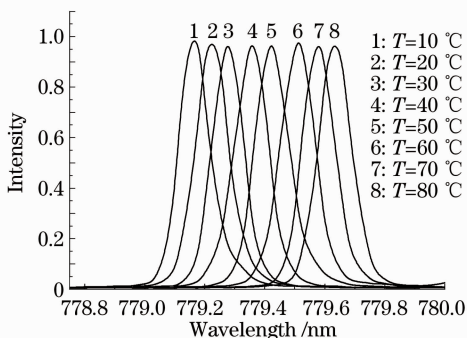


图 3 在 $2\ \text{A}$ 驱动电流下,不同 VBG 温度时 VBL 的光谱及其特性

Fig. 3 Spectra and spectral characteristics of VBL with different VBG temperatures under driving current of $2\ \text{A}$

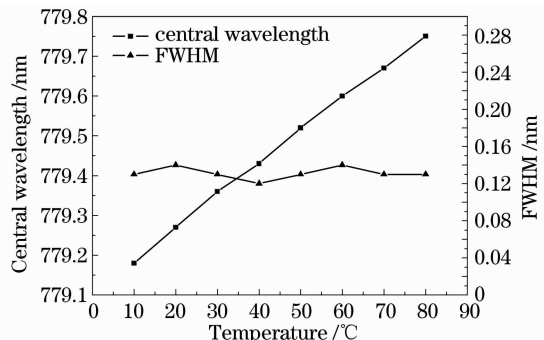


图4为长腔长VBL和自由运转LD的输出功率特性曲线。由图4可以看出,VBG的加入使得阈值电流下降,斜效率降低,在2A的驱动电流时,相对于自由运转的LD,VBL功率下降了10.6%。线宽压窄过程中的功率损失率较短腔长的VBL有所增大^[3],这一方面是由于快慢轴准直镜均未镀膜,存在端面反射,外腔损耗较大,另一方面是由于快轴准直镜尺寸较小,尽管采用离轴外腔结构,反馈光的利用率仍然偏低。此外,快慢轴准直镜均未镀膜,弱化了VBG外腔的反馈作用,准直镜的表面反射会影响外腔的效果。因此,采用镀膜的非球面透镜准直LD快轴,并对慢轴准直镜镀增透膜,将有利于VBG外腔对LD提供高效率的光学反馈。

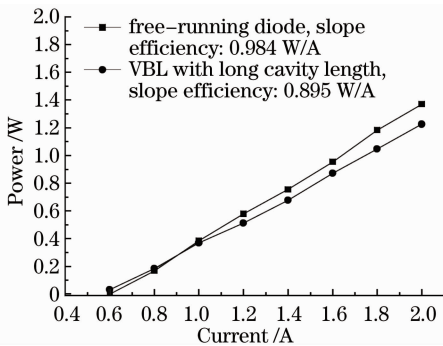


图4 VBL的输出功率特性曲线

Fig. 4 Output power characteristics of VBL

3.2 分析与讨论

实验结果表明,长腔长VBL能够实现LD的线宽压窄和波长锁定,且功率损失率较低。与平面光栅外腔的情况不同,VBG的衍射效率同激光的偏振特性无关^[13]。实验中,在焦距25mm柱透镜和VBG之间加入半波片,旋转半波片改变激光的偏振方向,对VBL的激光光谱特性和输出功率特性基本没有影响。因此,腔长变长后,在腔内放置偏振元件,基于光束偏振合成技术提高VBL的功率密度是可行的。

在外腔激光器中,LD光谱特性的改善取决于外腔反馈强度的大小。提供足够强度的反馈并耦合进LD内腔,就能够实现LD的线宽压窄和波长锁定。由于VBG的反馈具有较强的角度选择特性,因此,准直越好,反馈强度越大。采用25mm焦距的透镜对慢轴进行准直,较通常使用的慢轴准直镜(焦距为1mm左右)获得了更好的准直效果^[14],因此即使腔长达到24cm,仍然能够提供足够的反馈,达到理想的光谱特性。

4 结 论

采用VBG获得了腔长24cm的外腔半导体激光器,该激光器线宽约为0.14nm,通过改变VBG温度实现了VBL的可调谐,调谐范围0.57nm。还验证了VBL与自由运转LD的偏振特性无关。长腔长VBL增大了外腔腔长,能够通过光束偏振合成技术提高窄线宽激光的功率密度,将使VBL在高效率光抽运方面得到更广泛的应用。

参 考 文 献

- 1 B. L. Volodin, S. V. Dolgy, E. D. Melnik *et al.*. Wavelength stabilization and spectrum narrowing of high-power multimode laser diodes and arrays by use of volume Bragg gratings[J]. *Opt. Lett.*, 2004, **29**(16): 1891~1893
- 2 Yujin Zheng, H. Kan. Effective bandwidth reduction for a high-power laser-diode array by an external-cavity technique[J]. *Opt. Lett.*, 2005, **30**(18): 2424~2426
- 3 Bo Baoxue, Gao Xin, Qiao Zhongliang *et al.*. Characteristics of high power volume-Bragg-grating external cavity semiconductor lasers[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(4): 501~504
薄报学, 高欣, 乔忠良等. 大功率体光栅外腔半导体激光器的输出特性[J]. *中国激光*, 2008, **35**(4): 501~504
- 4 Xin Guofeng, Cheng Can, Qu Ronghui *et al.*. Study of spectral characteristics of external-cavity semiconductor laser a volume Bragg grating [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(10): 1821~1826
辛国锋, 程灿, 翟荣辉等. 体布拉格光栅外腔半导体激光器光谱特性研究[J]. *光学学报*, 2007, **27**(10): 1821~1826
- 5 Su Zhouping, Zhou Jun, Lou Qihong *et al.*. Progress of high-brightness and linewidth-narrowed laser diode bar[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2010, **47**(10): 101402
苏宙平, 周军, 楼祺洪等. 高亮度窄线宽的激光二极管阵列研究进展[J]. *激光与光电子学进展*, 2010, **47**(10): 101402
- 6 J. Zweiback, W. F. Krupke. 28 W average power hydrocarbon-free rubidium diode pumped alkali laser[J]. *Opt. Express*, 2010, **18**(2): 1444~1449
- 7 Li Zhiyong, Tan Rongqing, Xu Cheng *et al.*. A tunable diode laser with narrow linewidth for Rb vapor laser pumping[J]. *J. Optoelectronics · Laser*, 2012, **23**(5): 902~905
李志永, 谭荣清, 徐程等. 用于铷蒸气激光泵浦的可调谐窄线宽半导体激光器[J]. *光子·激光*, 2012, **23**(5): 902~905
- 8 Zhou Pu, Liu Zejin, Xu Xiaojun. Comparative of coherent combining and incoherent combining of fiber lasers[J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(2): 276~280
周朴, 刘泽金, 许晓军. 光纤激光相干合成与非相干合成的比较[J]. *中国激光*, 2009, **36**(2): 276~280
- 9 Liu Zejin, Zhou Pu, Tao Rumao *et al.*. Analysis of beam combination technology of high-power LD pumped laser array[J]. *Acta Optica Sinica*, 2011, **31**(9): 0900113
刘泽金, 周朴, 陶汝茂等. 高能固态激光阵列光束合成技术浅析[J]. *光学学报*, 2011, **31**(9): 0900113
- 10 Liu Zejin, Zhou Pu, Wang Xiaolin *et al.*. The history, development and tend of coherent combining of laser beams[J]. *Chinese J. Lasers*, 2010, **37**(9): 2221~2234
刘泽金, 周朴, 王小林等. 激光相干合成的历史、现状与发展趋势[J]. *中国激光*, 2010, **37**(9): 2221~2234
- 11 Zhao Kaihua, Zhong Xihua. *Optics* [M]. Beijing: Peking University Press, 1984. 59~62

- 赵凯华, 钟锡华. 光学[M]. 北京: 北京大学出版社, 1984. 59~62
- 12 Cheng Can, Xin Guofeng, Feng Huizhong *et al.*. Temperature characteristics of volume Bragg grating external cavity semiconductor laser working at continuous wave[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(1): 27~30
- 程 灿, 辛国锋, 封惠忠 等. 连续工作的体布拉格光栅外腔半导体激光器的温度特性[J]. 中国激光, 2008, **35**(1): 27~30
- 13 G. B. Venus, A. Sevia, V. I. Smirnov *et al.*. High-brightness narrow-line laser diode source with volume Bragg-grating feedback[C]. *SPIE*, 2005, **5711**: 166~176
- 14 Zhou Bingkun, Gao Yizhi, Chen Tirong *et al.*. Principles of Laser (5th Edition) [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2007. 79~83
- 周炳坤, 高以智, 陈侗容 等. 激光原理(第5版)[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007. 79~83

栏目编辑: 宋梅梅