

一种波长稳定可调的窄线宽外腔二极管激光器

王军阵 汪岳峰 白慧君

(军械工程学院电子与光学工程系, 河北 石家庄 050003)

摘要 采用横向啁啾体布拉格光栅作为二极管激光器的外腔, 实现一种简单易行的窄谱线宽、波长稳定且连续可调谐的外腔二极管激光器。实验研究了横向啁啾体布拉格光栅外腔二极管激光器的波长稳定性及谱宽压窄特性, 分析了横向啁啾体布拉格光栅的波长调谐特性及其功率特性, 研究表明, 在横向啁啾体布拉格光栅外腔反馈的作用下, 二极管激光器输出光谱的中心波长得到了锁定, 同时输出谱线宽度显著变窄, 通过横向移动啁啾体布拉格光栅的相对位置, 可以实现外腔二极管激光器输出光谱的连续调谐, 连续可调范围为 800~815 nm, 在整个可调范围内谱的半峰全宽(FWHM)小于 0.3 nm, 最大输出功率为 2.01 W, 输出功率偏移度小于 1.5%。

关键词 激光器; 二极管激光器; 波长连续调谐; 横向啁啾体布拉格光栅; 波长稳定

中图分类号 TN248.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201441.1202002

A Kind of Narrow Line Width External Cavity Laser Diode with Wavelength Stability and Continuous Tuning

Wang Junzhen Wang Yuefeng Bai Huijun

(Electrics and Optics Engineering Department, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang, Hebei 050003, China)

Abstract A transversely chirped volume Bragg grating (TCVBG) is used as an external cavity diode laser to realize a simple, narrow line width, wavelength stability and continuous tunable external cavity diode laser. The wavelength stability and narrow spectral width characteristics of the external cavity diode laser using TCVBG is demonstrated. The wavelength tuning characteristics and power characteristics of TCVBG is analyzed. Experimental results indicate that the wavelength of the diode laser is locked and the linewidth is narrowed sharply under the effect of TCVBG external cavity. The continuous tuning output spectra is achieved by moving laterally relative position TCVBG. The continuous tuning range from 800 nm to 815 nm is implemented. The spectral line width (full width at half maximum, FWHM) is less than 0.3 nm. An output power of 2.01 W is also obtained and the power stability is less than 1.5% over the investigated tuning range.

Key words lasers; laser diode; wavelength continuous tuning; transversely chirped volume Bragg grating; wavelength stabilization

OCIS codes 140.2020; 140.3425; 050.1590; 140.3600

1 引言

二极管激光器以其体积小、寿命长、效率高和增益范围宽等优点得到了广泛的应用, 其中, 外腔二极管激光器因其具有结构紧凑、光谱特性优良且波长可调谐等特点而受到广泛关注^[1-7]。通常采用的二极管外腔元件有光纤光栅、闪耀光栅和体布拉格光栅等, 其中光纤光栅只能应用于较小功率的二极管激光器^[8], 闪耀光栅外腔二极管激光器, 不仅可以压

窄输出光谱, 还可以对输出波长进行调谐, 但是其效率较低, 且光栅表面容易发生热形变而导致外腔系统的不稳定^[9]。近年来, 体布拉格光栅被用于大功率二极管激光器的波长稳定和光谱压窄, 成为了研究热点, 尤其是采用新型材料光致热敏折射率(PTR)玻璃^[10-11]制作的体布拉格光栅具有热稳定性好和损伤阈值高等优点, 在大功率二极管激光器的波长稳定和光谱压窄中得到广泛使用, 其在外腔

收稿日期: 2014-05-28; 收到修改稿日期: 2014-07-08

作者简介: 王军阵(1984—), 男, 博士研究生, 主要从事二极管激光技术方面的研究。E-mail: qwjzh@126.com

导师简介: 汪岳峰(1963—), 男, 博士, 教授, 主要从事固体激光技术方面的研究。E-mail: yfwang_OEC@163.com

反馈系统中取得了很好的效果^[12-13]。具有不同中心波长的体布拉格光栅外腔相应增益范围内的二极管激光器,会得到不同中心波长的激光输出。一种横向啁啾体布拉格光栅(TCVBG)被成功地应用于固体激光器的波长调谐和光纤激光器的波长调谐等领域^[14-16]。TCVBG只需要放置在激光介质输出光束的前端即可构成一个外腔,结构简单,容易实现,当横向移动啁啾体布拉格光栅时,可以实现对不同中心波长的光谱进行反射。本文采用TCVBG作为二极管激光器的外腔反馈元件,通过横向移动啁啾体布拉格光栅的相对位置,实验研究了TCVBG外腔二极管激光器的波长稳定性及谱宽压窄特性,分析了TCVBG外腔二极管激光器的波长调谐特性和功率稳定性。

2 实验装置

TCVBG外腔二极管激光器的实验装置如图1所示。在实验中,选用C-Mount封装、条宽为200 μm的二极管激光器,前腔面镀有增透膜,其透射率大于95%。并使用半导体致冷器(TEC)对二极管激光器进行致冷控温。另外,采用直径为120 μm圆柱透镜对快轴进行了准直,准直后90%的能量集中在8 mrad内。TCVBG是PD-LD公司的产品,其长度为12 mm,高度为1.5 mm,厚度为1.6 mm。啁啾中心波长从799~817 nm线性变化,波长啁啾系数为1.5 nm/mm,峰值衍射效率为17%,谱的半峰全宽(FWHM)约为0.3 nm。

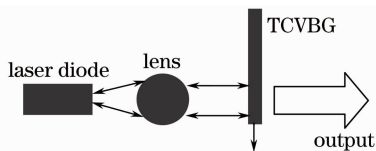


图1 实验装置示意图

Fig. 1 Schematic of experimental setup

采用的TCVBG是基于PTR玻璃制作的,具有很好的热稳定性和较高的损伤阈值,其折射率调制周期沿体布拉格光栅的横向啁啾方向呈线性变化,这种折射率周期的变化使得光栅在不同横向位置上的中心波长也呈线性变化。因此,将TCVBG置于二极管激光出光面上,沿体布拉格光栅的啁啾方向横向移动时,可以实现对二极管激光器输出激光中心波长的连续调谐。由于光栅的啁啾系数与横向尺寸可以根据需求制作,因此,理论上在整个激光介质的增益范围内可实现宽范围任意中心波长的反馈,最终实现输出波长稳定和窄谱线宽的中心波长可任意调谐的二极管激光器。

3 实验结果及分析

实验采用了一个C-MOUNT封装的宽条二极管激光器,经过柱面透镜进行准直后,使用TCVBG垂直于出射光放置,构成一个外腔二极管激光器。采用TCVBG构成外腔前后,在输出波长为808 nm时的P-I曲线如图2所示,构成外腔之前,在驱动电流为3 A时,获得了功率为2.26 W的激光输出,斜率效率为1.2 W/A,阈值电流为1.14 A。加入TCVBG之后,在驱动电流为3 A时,获得了2.01 W的激光输出功率,斜率效率为1.1 W/A,阈值电流为1.10 A。外腔效率达到89%,外腔效率的降低主要是由于没有对输出光的慢轴进行准直造成了反馈效率的下降,另外,没有对柱面透镜进行镀膜优化也会在一定程度上造成反馈效率的下降。图3给出了在驱动电流为3 A,二极管激光的温度分别为25 °C和35 °C时,加入TCVBG前后的光谱曲线,采用的光谱仪型号为Avaspec-3648光纤光谱仪,从图中可以看出,未加入TCVBG时,光谱具有多个峰值,光谱宽度较宽,且输出波长随着温度的升高明显地向长波长方向移动,而加入TCVBG,并横向移动调节光栅的相对位置使其谱选择中心波长为808 nm之后,二极管激光器输出激光的FWHM被压窄到了0.3 nm,且在温度分别为25 °C和35 °C时,输出激光光谱的中心波长均被稳定在808 nm,光谱压窄及稳定效果非常明显。

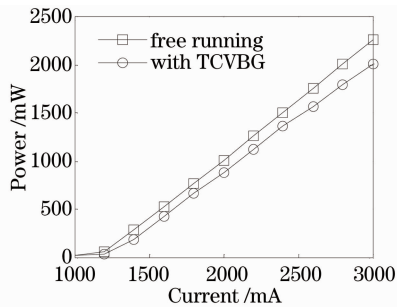


图2 啁啾体布拉格光栅外腔二极管激光器的P-I特性

Fig. 2 P-I characteristics of TCVBG external cavity laser diode

图4给出了温度为25 °C,中心波长在801.3 nm附近时,啁啾体布拉格光栅外腔二极管激光器的输出光谱随驱动电流的变化,从图中可以看出,随着驱动电流的增加,二极管激光器的FWHM几乎没有明显变化,均保持在0.3 nm以内,同时,TCVBG外腔二极管激光器的峰值波长随着工作电流的增加也无较大变化,波动范围小于0.05 nm,实

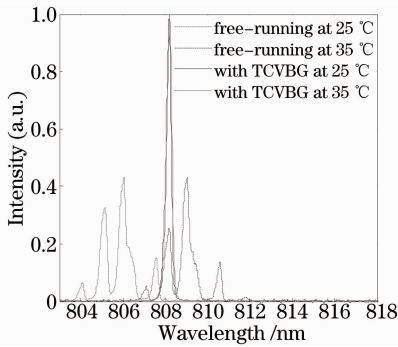


图3 二极管激光器的温度为 25 °C 和 35 °C 时加入 TCVBG 前后的激光器的光谱

Fig.3 Spectral of laser diode before and after narrowing linewidth at 25 °C and 35 °C

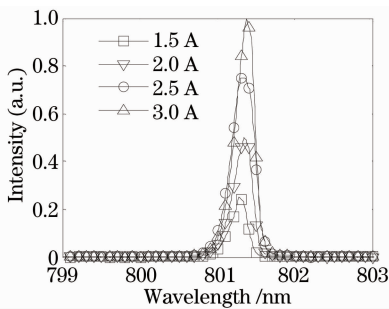


图4 不同驱动电流时的光谱

Fig.4 Spectra of diode laser at different drive currents

为了分析啁啾体布拉格光栅外腔二极管激光器的调谐特性,图5给出了二极管激光器的温度控制在 25 °C,驱动电流为 3 A 时,二极管激光器输出光谱随啁啾体布拉格光栅横向移动时的变化,外腔二极管激光器的光谱特性。从图中可以看出,输出光谱的中心波长可以从短波长方向的 800 nm 调至长波长方向的 815 nm,可调范围达 15 nm,在整个波长调谐过程中,输出激光的 FWHM 均维持在 0.3 nm 以内,中心波长调谐至 815.3 nm 处时,在波长 805.6 nm 处出现了一个次级小峰值,这主要是由于 TCVBG 的中心波长向长波长移动时,二极管激光器的增益谱呈下降趋势,使得反馈回二极管激光器的功率相对减小,未能实现光谱在外腔作用下的完全锁定,从而出现了一个小的内腔振荡模式,进一步实验表明,通过调节升高二极管激光器的温度,可以消除此次级小峰值,实现中心波长在长波长处的完全锁定。整体来看,TCVBG 较好地实现了二极管激光器的窄光谱、宽范围调谐和中心波长稳定的激光输出。

图6分别给出了当驱动电流为 1.5、2 和 3 A 时,随着啁啾体布拉格光栅的横向移动,二极管激光

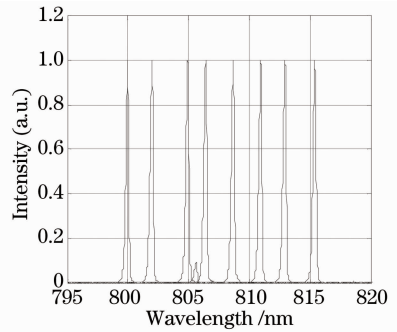


图5 驱动电流为 3 A 时的调谐输出光谱

Fig.5 Tuned output spectra at the drive current is 3 A

器在不同输出中心波长时的输出功率的变化情况,当驱动电流为 3 A 时,输出激光的中心波长为 804.8 nm 时,激光器的输出功率为 1.98 W;输出激光的中心波长为 799.9 nm 时,输出功率最高,为 2.01 W,在整个可调的波长范围内总的输出功率的波动小于 1.5%。当驱动电流为 2 A 时,整个可调的波长范围内总的输出功率的波动范围小于 3.1%,驱动电流为 1.5 A 时,整个可调的波长范围内总的输出功率的波动范围小于 4.8%。从结果来看,采用 TCVBG 外腔二极管激光器,输出功率较为稳定。

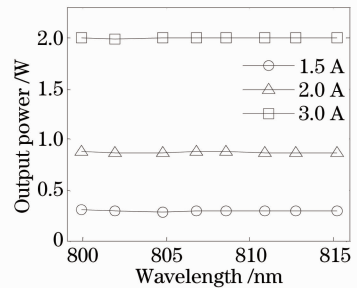


图6 驱动电流不同时不同中心波长处的输出功率

Fig.6 Output power with regard to different wavelength at different drive current

4 结论

采用 TCVBG 外腔二极管激光器实现了一种窄谱线宽,中心波长稳定且线性可调谐的二极管激光器,其输出激光的中心波长从 800~815 nm 之间连续可调,FWHM 小于 0.3 nm,在驱动电流为 3 A 时,输出功率波动小于 1.5%。通过调节啁啾体布拉格光栅的相对位置实现外腔二极管激光器,不仅可以压窄二极管激光器的输出光谱,提高输出光谱的稳定性,还可以使得二极管激光器输出激光的中心波长连续调谐。这种外腔二极管激光器结构紧凑,占用体积小,操作简单,容易实现,便于实际应用。

参 考 文 献

- 1 Li Zhiyong, Tan Rongqing, Huang Wei, *et al.*. Laser diode with long external cavity of volume Bragg grating [J]. Chinese J Lasers, 2012, 39(11): 1102006.
李志永, 谭荣清, 黄伟, 等. 长腔长体布拉格光栅外腔半导体激光器[J]. 中国激光, 2012, 39(11): 1102006.
- 2 Stefan Heinemann, BenLewis, Karsten Michaelis, *et al.*. Very high brightness diode laser [J]. High-Power Diode Laser Technology and Applications X, 2012, 8241: 82410L.
- 3 Li Zhiyong, Tan Rongqing, Xu Cheng, *et al.*. Laser diode array with narrow linewidth for rubidium vapor laser pumping [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2012, 25(4): 875–878.
李志永, 谭荣清, 徐程, 等. 用于铷蒸气激光泵浦的窄线宽阵列半导体激光器[J]. 强激光与粒子束, 2012, 25(4): 875–878.
- 4 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.
- 5 Wang Hao, Yuan Xiao, Zhang Xiaogang, *et al.*. Influence of volume Bragg grating reflectivity on spectrum of external cavity laser diode array[J]. Chinese J Lasers, 2012, 39(6): 0602004.
王浩, 袁孝, 张翔, 等. 体布拉格光栅反射率对外腔半导体激光阵列输出光谱的影响[J]. 中国激光, 2012, 39(6): 0602004.
- 6 Ma Junshan. 3-wavelength operation of an external cavity laser diode with cascaded fiber Bragg gratings [J]. Acta Photonica Sinica, 2008, 37(7): 1305–1308.
马军山. 基于级联光纤 Bragg 光栅的外腔半导体激光器三波长同时激射[J]. 光子学报, 2008, 37(7): 1305–1308.
- 7 Peng Hangyu, Zhang Jun, Fu Xihong, *et al.*. High-efficiency external cavity spectral-beam-combined diode laser array [J]. Chinese J Lasers, 2013, 40(7): 0702015.
彭航宇, 张俊, 付喜宏, 等. 高效外腔光谱合束半导体激光器阵列[J]. 中国激光, 2013, 40(7): 0702015.
- 8 Li Songbai, Deng Tao, Wu Jiagui. Output characteristics of fiber Bragg grating external cavity semiconductor laser [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2010, 47(4): 041402.
李松柏, 邓涛, 吴加贵. 光纤光栅外腔半导体激光器的输出特性[J]. 激光与光电子学进展, 2010, 47(4): 041402.
- 9 Jiang Pengfei, Zhao Weirui, Zhang Jinguan, *et al.*. A narrow line width external-cavity semiconductor laser [J]. Laser Technology, 2004, 28(2): 160–161.
- 10 Wu Qingqing, Zhang Xiang, Feng Jiansheng, *et al.*. Study on angular selectivity of transmitting volume Bragg gratings in photo-thermo-refractive glass [J]. Acta Optica Sinica, 2012, 32(12): 1205001.
吴青晴, 张翔, 封建胜, 等. 基于光热敏折变玻璃的透射型体布拉格光栅角度选择性研究[J]. 光学学报, 2012, 32(12): 1205001.
- 11 Xiong Baoxing, Yuan Xiao, Zhang Xiang, *et al.*. Characteristics on the photo-thermal-refractive glass and volume Bragg gratings [J]. Acta Optica Sinica, 2012, 32(8): 0816001.
熊宝星, 袁孝, 张翔, 等. 光热敏折变玻璃及其布拉格体光栅特性研究[J]. 光学学报, 2012, 32(8): 0816001.
- 12 Yujin Zheng, Hirofumi Kan. Effective bandwidth reduction for a high-power laser-diode array by an external-cavity technique [J]. Opt Lett, 2005, 30(18): 2424–2426.
- 13 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.
- 14 K Seger, B Jacobsson, V Pasiskevicius, *et al.*. Tunable Yb: KYW laser using a transversely chirped volume Bragg grating [J]. Opt Express, 2009, 17(4): 2341–2347.
- 15 B Jacobsson, V Pasiskevicius, F Laurell, *et al.*. Tunable narrowband optical parametric oscillator using a transversely chirped Bragg grating [J]. Opt Lett, 2009, 34(4): 449–451.
- 16 Peter Zeil, Valdas Pasiskevicius, Fredrik Laurell. Efficient spectral control and tuning of a high power narrow-linewidth Yb-doped fiber laser using a transversely chirped volume Bragg grating [J]. Opt Express, 2013, 21(4): 4027–4035.

栏目编辑: 胡冰