

文章编号: 0258-7025(2008)01-0027-04

连续工作的体布拉格光栅外腔半导体激光器的温度特性

程 灿 辛国锋 封惠忠 方祖捷 瞿荣辉

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘要 对体布拉格光栅(VBG)作为波长选择元件的外腔半导体激光器的波长锁定进行了实验研究,报道了连续运转输出功率达43.5 W的半导体激光器阵列的体布拉格光栅波长锁定实验结果,给出了不同热沉温度下的稳定的波长锁定结果,说明采用体布拉格光栅外腔将减小半导体激光器的温控压力。实验中发现,随着注入电流的增大,输出激光功率逐渐增强,锁定的激射波长向长波长方向偏移。在输出功率为34.5 W时,波长红移约0.56 nm。这一移动与实验测量的体布拉格光栅的温度特性相吻合。连续和高占空比运行、高输出功率情况下,在器件的设计和使用时应该考虑这一效应。

关键词 激光器;高功率半导体激光器阵列;体布拉格光栅;外腔半导体激光器;温度特性

中图分类号 TN 248.4 **文献标识码** A

Temperature Characteristics of Volume Bragg Grating External Cavity Semiconductor Laser Working at Continuous Wave

Cheng Can Xin Guofeng Feng Huizhong Fang Zujie Qu Ronghui

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

Abstract The wavelength stabilization of the external cavity semiconductor laser with volume Bragg grating (VBG) as wavelength selected element was studied experimentally, and the experimental results of a continuous wave semiconductor laser array whose output power is 43.5 W were reported. The results of wavelength stabilization with different heat sink temperature were given; it is shown that the temperature controlling pressure of the semiconductor laser could be reduced efficiently. The red shifting of the locked wavelength was observed at this experiment, due to the output power increasing caused by the driving current rising. When the output power is increased to 34.5 W from zero, the red shift is about 0.56 nm, which is in accordance with the measured temperature characteristic of the VBG. The effect of the laser should be considered in the design and applications of the high power external cavity semiconductor laser, which is working at continuous wave or high duty cycle.

Key words lasers; high power semiconductor laser array; volume Bragg grating; external cavity semiconductor laser; temperature characteristics

1 引言

由于半导体激光器具有很多优点,它已广泛应用于远程传感、光谱分析、军事、航空、通信等领域,然而半导体激光器光谱随温度和工作电流的变化比较大^[1],光谱线宽比较宽,限制了其在抽运固体激光器、材料加工等领域的广泛应用。国内采用不同的

方法对中小功率的半导体激光器的波长锁定进行了研究^[2~4],但该技术不能应用于高功率半导体激光器。为了对高功率半导体激光器的波长进行锁定、光谱进行压缩,常采用的方法是利用体布拉格光栅(VBG)作为反射腔镜与高功率半导体激光器构成外腔半导体激光器^[5~7]。体布拉格光栅一般是采用

收稿日期:2007-04-27; 收到修改稿日期:2007-06-27

作者简介:程 灿(1983—),女,河南人,硕士研究生,主要从事激光与光电子技术方面的研究。

E-mail:chengcan@siom.ac.cn

导师简介:瞿荣辉(1972—),男,湖北人,研究员,博士生导师,目前主要从事光电子器件与信息系统技术方面的研究。

E-mail:rhqu@siom.ac.cn

激光全息技术,在特种光敏玻璃的一个方向上制作的折射率周期性调制结构^[8]。当它与半导体激光器构成外腔结构时,由于其光谱选择性反射的特性,将使激光波长稳定在所设计的波长上。

本文将体布拉格光栅用于1 cm宽 Bar 条大功率半导体激光器的稳频,在不同工作电流、不同冷却温度下获得了良好的波长锁定效果。但是也观察到锁定的激光波长随激光器工作电流上升有一定的红移。对照实验测得的体布拉格光栅透射谱随温度的变化,表明其在大功率激光辐照下,温度有明显的上升。所以在设计构建体布拉格光栅外腔大功率半导体激光器时,应该考虑体布拉格光栅的温度效应。

2 体布拉格光栅的温度特性

实验中采用的体布拉格光栅是由 Newport 公司提供的产品,其厚度为0.62 mm,高度为1.5 mm,长度为12 mm。测量了该光栅的透射光谱,其室温下的峰值波长位于807.8 nm,峰值透射率为80%,反射线宽为0.4 nm(FWHM)。利用这一光栅,同瓦级连续工作和百瓦级准连续工作的半导体激光芯片构建的外腔半导体激光器,显示出良好的稳频效果^[9]。

但是,将其用于数十瓦级连续工作半导体激光器时,考虑到构成体布拉格光栅的玻璃材料会对入射激光有一定的吸收,在入射激光功率较大的情况下,可能导致体布拉格光栅温度升高,从而影响光栅的反射特性。在光波垂直于体布拉格光栅的情况下,光栅反射率的峰值波长满足条件: $\lambda_B = 2\bar{n}\Lambda$,式中 Λ 为体内光栅的周期, \bar{n} 为光栅材料的平均折射率。 Λ 和 \bar{n} 这两个参数都与温度有关,为此,利用宽带光源测量了不同环境温度(293~363 K)下体布拉格光栅的透射谱。图1显示了两种温度下的透射

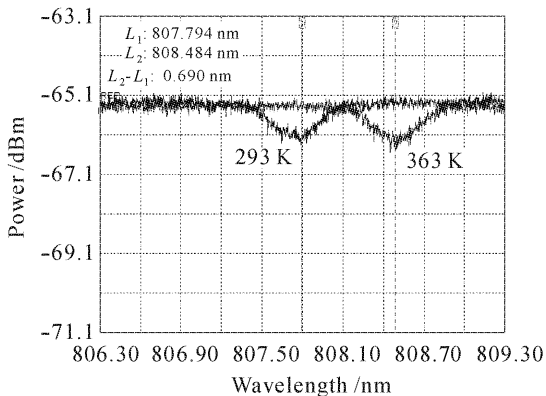


图1 293 K和363 K下体布拉格光栅的透射光谱
Fig. 1 Transmission spectrum of VBG at 293 K and 363 K

谱;图2为体布拉格光栅峰值波长随温度变化的曲线。可以看到,体布拉格光栅透射谱峰值波长随温度的升高而线性地增大,在293~363 K的范围中,峰值波长红移了0.7 nm,温度系数为0.01 nm/K。

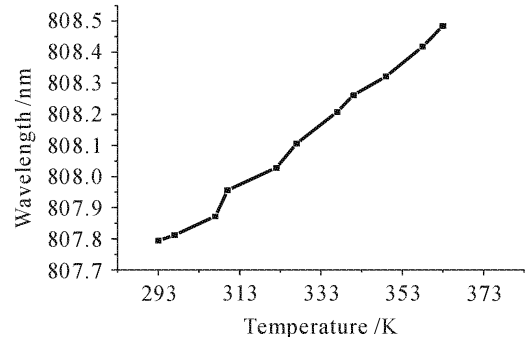


图2 体布拉格光栅的峰值波长随温度的变化
Fig. 2 Peak wavelength shift of transmission spectrum with different temperature

3 体布拉格光栅外腔半导体激光器稳频实验

体布拉格光栅外腔半导体激光器的结构如图3所示。在实验中,选用商用半导体激光器阵列,包含有25个条宽200 μm ,周期为400 μm ,腔长为1.5 mm的发光单元,通常称为cm-Bar。对于连续和高占空比条件下的运行,激光器的热沉必须采用冷却措施。本实验采用温度可控的水冷铜热沉实现对半导体激光器阵列芯片的主动制冷和控温。半导体激光器阵列发射的光束,准直后部分从体布拉格光栅反射,构成一个外腔半导体激光器(ECSL)。针对半导体激光光束在平行和垂直于PN结平面有很大的不对称性,实验中采用微柱面镜对快轴方向的发散光进行压缩。

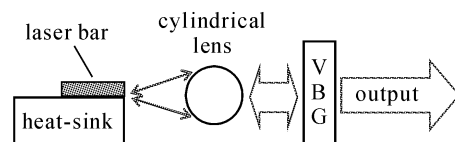


图3 体布拉格光栅外腔半导体激光器原理图
Fig. 3 Schematic diagram of the VBG external cavity semiconductor laser

实验用一个微通道水冷的半导体激光器阵列,控制冷却水温为25 $^{\circ}\text{C}$,连续工作条件下,器件的阈值电流为14.6 A,在半导体激光器阵列自由工作情况下,注入连续电流为50 A时,半导体激光器阵列输出激光功率达到34.5 W,60 A工作时,输出功率达到43.5 W,斜率效率为0.99 W/A。半导体激光

器阵列的功率-电流 ($P-I$) 曲线如图 4 所示。在电流 15~50 A 自由运行下的光谱如图 5 所示, 可见此时光谱峰值向长波移动, 平均变化率约为 0.085 nm/A。工作电流为 50 A 条件下, 光谱线宽较大, 半峰全宽在 4 nm 左右。用体布拉格光栅构成外腔后, 外腔半导体激光器的中心波长被锁定在 808.48 nm, 光谱宽度压窄到小于 0.35 nm, 光谱能量集中, 波长锁定效果良好。

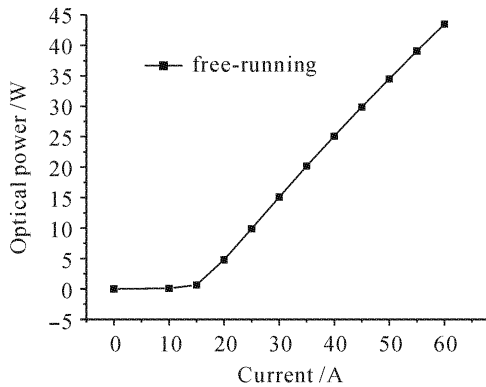


图 4 自由运转的半导体激光器阵列的功率-电流曲线
Fig. 4 $P-I$ curve of free-running semiconductor laser array

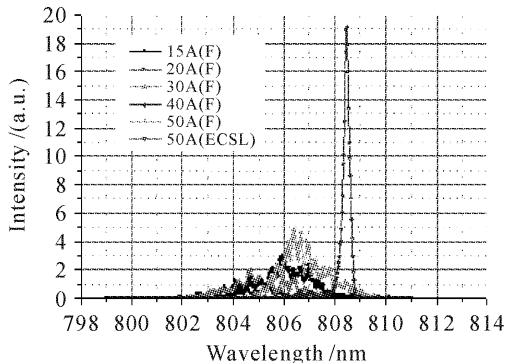


图 5 不同注入电流条件下半导体激光器阵列自由运转的激射光谱(F)和 50 A 下外腔半导体激光器的光谱
Fig. 5 Lasing spectra (F) of free-running semiconductor laser array with different pump current and external cavity semiconductor laser with pump current 50 A

实验中改变冷却水的温度, 考察了体布拉格光栅外腔的稳频效果。器件工作电流为 50 A (直流), 冷却水温度改变的范围为 293~301 K。通常 GaAs 半导体激光器的波长温度系数约为 0.3 nm/K, 自由运转的半导体激光器阵列的激射光谱如图 6(a) 所示。可以看到有相当多的激光光谱随着冷却温度的升高发生明显的红移。尤其是当冷却温度在 301 K 时, 出现了双峰值光谱, 对抽运固体激光器相当不利。构建体布拉格光栅外腔后, 激射光谱中心波长

一直稳定在 808.48 nm, 线宽也压窄到 0.35 nm, 如图 6(b) 所示。与低占空比条件下的外腔半导体激光器锁定波长相比, 红移了约 0.7 nm。对照体布拉格光栅光谱的温度特性, 可以推断体布拉格光栅在高功率密度激光辐照下, 温度明显上升, 估计达到 363 K。但是由于激光输出功率基本不变, 尽管热沉温度有变化, 输出激光峰值还是被稳定地锁定在同一波长处。

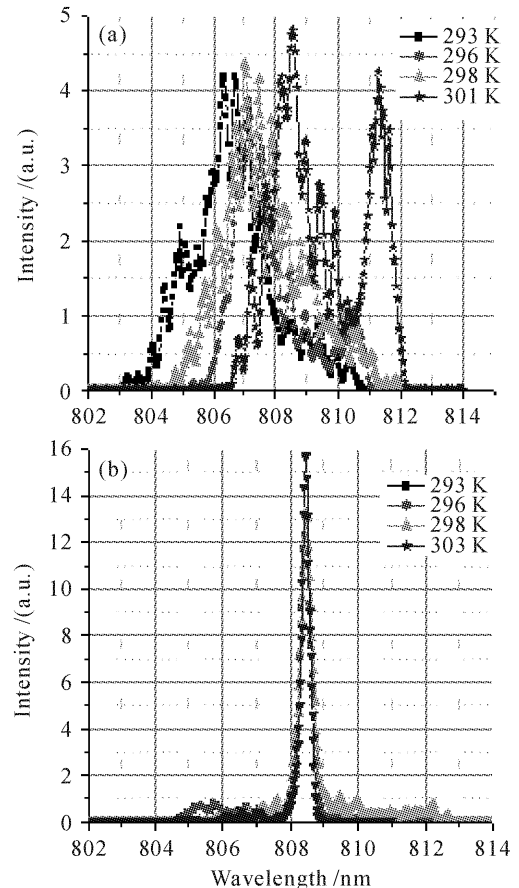


图 6 工作电流 50 A, 不同水温条件下自由运转半导体激光器阵列 (a) 和体布拉格光栅外腔半导体激光器 (b) 的激射光谱

Fig. 6 Free-running lasing spectra of semiconductor laser array (a) and VBG external cavity semiconductor laser (b) at different water temperature with pump current 50 A

体布拉格光栅的温度效应, 在外腔半导体激光器不同工作电流下的光谱中反映得更加清楚。图 7 为体布拉格光栅外腔半导体激光器工作电流从 15~50 A (直流) 变化情况下的光谱。可以看到, 随注入电流的增加, 外腔半导体激光器的中心波长逐渐向长波长方向移动, 波长变化量约为 0.56 nm。实验中用热敏电阻测量了体布拉格光栅夹具的温度, 记录了温度上升的情况。图 8 给出了激光输出波长、热敏电阻测量的温度随注入电流变化的关系; 同时也

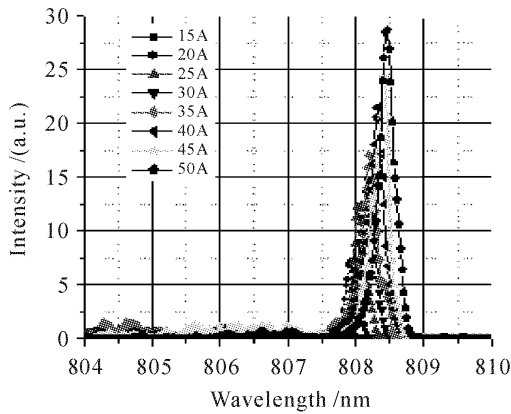


图7 外腔半导体激光器在不同工作电流下的激射光谱
Fig. 7 Transmission spectra of external cavity semiconductor laser with different pump current

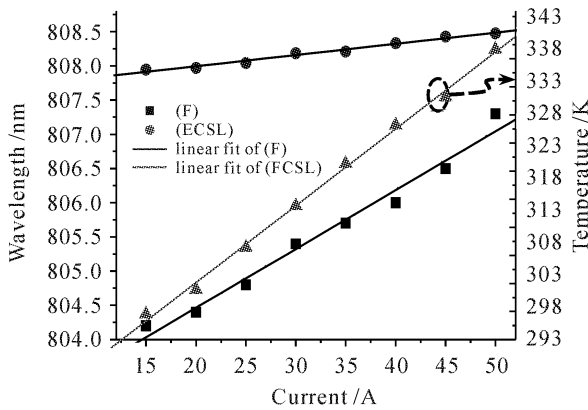


图8 构成外腔前后的激射波长、体布拉格光栅温度
随注入电流变化的曲线

Fig. 8 Peak wavelength shift of free-running and external cavity semiconductor laser, measured temperature of VBG with different pump current

显示了半导体激光器阵列自由运行条件下中心波长的变化。可以看到,虽然体布拉格光栅发挥了外腔稳频的作用,但是由于体布拉格光栅材料的温度效应和高功率密度激光的加热作用,激射波长出现了红移。与图2的测试结果相比,热敏电阻测量的温度所对应的体布拉格光栅峰值有一定差别。这是由于这一方法只能测量到体布拉格光栅夹具上的温度,无法直接探知体布拉格光栅中间的使用部位的温度。

以上实验结果表明,由于激光的加热作用,体布拉格光栅外腔半导体激光器的波长随输出功率有所变化。在本文的实验条件下,变化率约为0.016 nm/W。对于连续和高占空比运行、高输出功率情况下,在器件的设计和使用时应该考虑这一效应。

4 结 论

报道了一种利用体布拉格光栅选频反射构成的

大功率的 cm-Bar 条外腔半导体激光器,在连续工作条件下输出功率达到43.5 W,取得了良好的波长稳定效果,光谱宽度小于0.35 nm。显示了不同热沉温度下的稳定的波长锁定。说明采用体布拉格光栅外腔将减小半导体激光器的温控压力,提高抽运固体激光器的抽运效率。实验研究了体布拉格光栅的温度特性,以及构成外腔后中心波长随电流的变化。由于体布拉格光栅材料的温度特性,它在高功率密度激光辐照下的温升,导致布拉格波长红移,在本实验条件下为0.016 nm/W。虽然这一变化率比自由运转时的变化率小一个数量级以上,但体布拉格光栅的温度效应还是应当在器件的设计和使用中引起重视,尤其是在连续和高占空比的大电流工作条件下。另一方面,也提示我们要研究高温稳定性的体布拉格光栅材料和元件。

参 考 文 献

- Xin Guofeng, Qu Ronghui, Chen Chen *et al.*. Characterization of a 2D array high power semiconductor laser module [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(4):447~450
辛国锋, 瞿荣辉, 陈晨等. 大功率半导体激光器二维阵列模块特性分析[J]. *中国激光*, 2006, **33**(4):447~450
- Luo Ying, Cao Gendi, Geng Jianxin *et al.*. Longitudinal mode characteristics of an external-cavity semiconductor laser with fiber Bragg gratings [J]. *Acta Optica Sinica*, 2000, **20**(3):357~362
罗颖, 曹根娣, 耿建新等. 光纤光栅外腔半导体激光器纵模特性研究[J]. *光学学报*, 2000, **20**(3):357~362
- Du Zhijing, Zhang Yuchi, Wang Xiaoyong *et al.*. Locking multiple wavelength lasers to the transition of cesium atoms by using a Fabry-Pérot transfer cavity [J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(3):452~457
杜志静, 张玉驰, 王晓勇等. 不同波长的激光器通过法布里-珀罗腔相对于铯原子谱线的锁定[J]. *光学学报*, 2006, **26**(3):452~457
- Zhao Jianming, Yin Wangbao, Zhao Yanting *et al.*. Frequency locking of a semiconductor laser via radio-frequency modulation spectrum [J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(8):935~938
赵建明, 尹王保, 赵延霆等. 采用射频频率调制光谱实现半导体激光器的稳频[J]. *中国激光*, 2004, **31**(8):935~938
- 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
- Igor Ciapurin, Vadim Smirnov, George Venus *et al.*. High-power laser beam control by PTR Bragg gratings [C]. Proceedings of CLEO/IQES, San Francisco, CA, 2004
- George Venus, Vadim Smirnov, Leonid Glebov. Spectral stabilization of laser diodes by external Bragg resonator [C]. 2005 Solid State & Diode Laser Technology Review, 2005
- Igor V. Ciapurin, Leonid B. Glebov, Vadim I. Smirnov. Modeling of Gaussian beam diffraction on volume Bragg gratings in PTR glass [C]. *SPIE*, 2005, **5742**:183~194
- 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, 瞿荣辉等. 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