

具有表面二阶金属光栅的 927 nm 分布反馈半导体激光器的研制

仕均秀^{1,2}, 秦 莉^{1*}, 叶淑娟^{1,2}, 张 楠^{1,2}, 刘 云¹, 宁永强¹, 佟存柱¹, 曾玉刚¹, 王立军¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 激发态物理重点实验室, 吉林 长春 130033; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要:采用全息光刻和湿法腐蚀光栅技术,成功制备了表面二阶金属光栅宽条型分布反馈(DFB)半导体激光器,无需二次外延生长过程,实现了宽接触室温直流下大范围稳定单纵模工作。腔面未镀膜器件,在脉冲工作条件下,注入电流为 2.28 A 时,单面输出功率大于 600 mW,斜率效率达 0.37 mW/mA,功率效率大于 11%。在连续电流注入下,当注入电流为 1.6 A 时,单面输出功率大于 200 mW,光谱线宽小于 0.8 nm,波长随电流的调谐系数最小为 0.43 nm/A;注入电流为 1.0 A 时,水平远场发散角为 2.1°。

关键词:宽条型分布反馈(DFB)激光器;表面二阶金属光栅;全息光刻

中图分类号:TN248.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-0086(2011)10-1488-04

A 927 nm distributed feedback laser with surface second-order metal grating

SHI Jun-xiu^{1,2}, QIN Li^{1*}, YE Shu-juan^{1,2}, ZHANG Nan^{1,2}, LIU Yun¹, NING Yong-qiang¹, TONG Cun-zhu¹, ZENG Yu-gang¹, WANG Li-jun¹

(1. Key Laboratory of Excited State Processes, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China; 2. Graduate School of the Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: This paper reports a broad-area distributed feedback (DFB) laser with surface second-order metal grating, based on the holographic photolithography and wet etching technology without epitaxial regrowth process after the grating fabrication. At room temperature, for the uncoated device with a cavity length of 1 mm, the stable longitudinal single-mode emission around 927 nm has been achieved in a large current range. In pulsed operation, at a current of 2.28 A, the front facet output power is above 600 mW, and the slope efficiency is as high as 0.37 mW/mA with a wallplug efficiency of 11%. In continuous-wave (CW) operation, at a current of 1.6 A, the same device delivers front facet output power more than 200 mW with a spectral linewidth less than 0.8 nm and the minimum wavelength shift of 0.43 nm/A. A small lateral far field angle of 2.1° is obtained at the current of 1 A.

Key words: broad-area distributed feedback (DFB) laser; surface second-order metal grating; holographic photolithography

1 引 言

用于固体激光器、光纤激光器和光纤放大器泵浦源的半导体激光器,要求其具有功率高、远场发散角小和光谱线宽窄等性能^[1,2]。目前,发射波长为 0.9~1.1 μm 的大功率半导体激光器已可作为稳定的泵浦源。近年,二极管泵浦固体激光器技术(DPSSL)的发展对半导体激光器的输出功率、线宽、发散角

和光谱稳定性等性能的要求越来越高。在半导体激光器内部加入光栅^[3~6]或在外部引入布拉格光栅^[7~12]可使光谱窄化,稳定性得到提高^[9]。但是外腔体布拉格光栅的引入使得系统变得复杂,体积增大,系统稳定性降低,制作成本提高。分布反馈(DFB)半导体激光器由于在内部制作光栅,具有单模激射、光谱稳定性高、线宽窄、体积小和制作成本低等优点,相对具有明显的优势。而将二阶光栅引入到 DFB 半导体激光器,依靠二

* E-mail: qinli@ciomp.ac.cn

收稿日期:2011-03-21 修订日期:2011-06-10

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(90923037);国家自然科学基金资助项目(61006054)

阶光栅的两个衍射级,可消除传统一阶光栅存在的简并模式,实现单模激励,并改善光束质量。二阶光栅具有反馈、外耦合和选择模式等特性,比一阶光栅的周期大,制作工艺相对简单。采用金属光栅取代介质光栅的主要原因是避免制作完光栅后的二次外延生长过程和金属光栅具有最小化的热阻抗^[13]。光栅制作在金属/半导体界面上,利用金属/半导体间存在很大的内建折射率差以提供较高的耦合系数并控制光模式及其稳定性^[14],可以得到单频单模的激光输出。因此,研究表面二阶金属光栅宽条型 DFB 激光器具有重大实用价值。

本文以激励波长为 927 nm 的表面二阶金属光栅 DFB 半导体激光器作为研究对象,采用大光腔宽条型宽接触结构,将二阶金属光栅制作在激光器的 p 面表面(p 包层),并直接作为 p 面电极,避免了传统 DFB 半导体激光器将光栅刻蚀在有源区或波导层上而又必须要进行的二次外延生长和引入的大量非辐射复合中心的问题,使得器件性能大大提高,制作工艺变得简单,制造成本大大降低。

2 实验

2.1 器件结构与制作过程

芯片结构为 0.2 μm 的 p-GaAs 接触层、1 μm 的 p-AlGaInP 上包层(Zn 掺杂浓度为 1×10^{18})、0.4 μm 的 p-GaInP 上波导层、19 nm 的 GaInAs/GaInAsP 单量子阱有源层(激励波长为 927 nm)、0.4 μm 的 n-GaInP 下波导层、1 μm 的 n-AlGaInP 下包层和 0.5 μm 的 n-GaAs 缓冲层,其由有机化学气相沉积(MOCVD)生长得到。在芯片上生长 SiO_2 掩膜,光刻出条形结构($960 \mu\text{m} \times 142 \mu\text{m}$),顺次腐蚀条形区内的 SiO_2 、GaAs,继续腐蚀掉 0.4 μm 的 p-AlGaInP 上包层。在条形凹槽内利用全息光刻技术制作二阶光栅(周期为 286 nm),蒸镀 p 面 Au 得到二阶金属光栅,并直接作为 p 面欧姆接触电极。最后,对芯片进行减薄、抛光、长金、合金、解理和封装等过程,得到 $1 \text{ mm} \times 500 \mu\text{m}$ 的单管 DFB 半导体激光器。

2.2 全息光刻制作光栅

结合全息光刻技术和湿法化学腐蚀方法,采用波长为 355 nm 倍频固体激光器的曝光系统,在 0.6 μm 的 p-AlGaInP 上包层上全息干涉曝光制作二阶光栅,光栅条纹方向垂直于腔长方向,曝光功率为 0.5 W,曝光时间为 350 ms,在显影液中显影 10 s,在 120 $^{\circ}\text{C}$ 的温度下坚膜 60 s。室温下,在 4HCl:1C₂H₆O₂ 的腐蚀液^[15]中腐蚀 50 s,得到周期为 286 nm、深度为 70 nm 的光栅条纹。利用扫描电镜(SEM)和原子力显微镜(AFM)可以精确测量光栅的腐蚀深度。从图 1 和图 2 可以看出,光栅图样介于梯形和正弦形间,条纹分布均匀,光栅具有很好的轮廓形貌。由于湿法化学腐蚀对腐蚀溶液配比、均匀性、腐蚀温度和腐蚀时间等要求高,致使所得光栅的形貌与设计存在一定的差异,从而对器件的性能会产生影响。然而如果可以采用干法刻蚀技术,器件性能会得到很大的提高。

3 结果与讨论

采用实验室的综合参数测试仪对腔长 L 为 1 mm 的未镀膜腔面膜的器件进行了室温测试。图 3 为器件在 50 μs 、100 Hz 脉冲电流下的输出功率-注入电流特性。器件的阈值电流在 590 mA 左右,注入电流为 2.28 A 时,单面输出功率大于 600

mW,斜率效率达 0.37 mW/mA,功率效率大于 11%。阈值电流偏高的原因可能是激光器结构未加横向限制,将槽内重掺杂的盖层 GaAs 腐蚀掉后,上包层的掺杂浓度低,并且存在 Al 氧化的问题,导致欧姆接触电阻大。

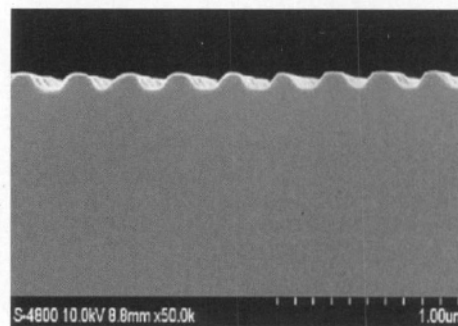


图 1 光栅的 SEM 图像

Fig. 1 SEM image of the grating profile after wet chemical etching

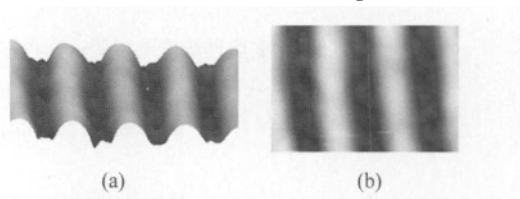


图 2 AFM 扫描图像:(a) 光栅图样的三维图;
(b) 光栅图样的平面图

Fig. 2 Illustration of the AFM morphology of:
(a) Three-dimension graph of the grating profile;
(b) Plan graph of the grating profile

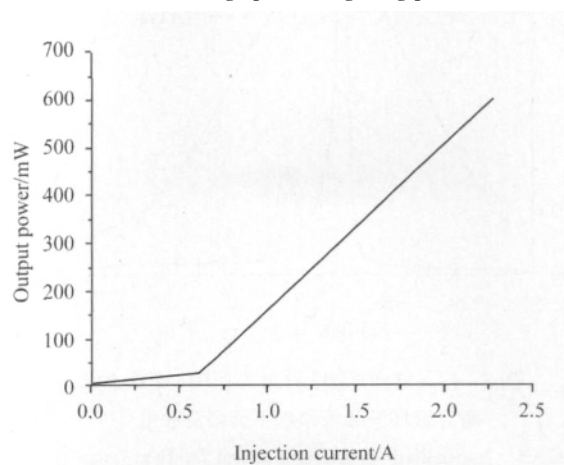


图 3 室温脉冲电流下未镀膜器件的输出功率-注入电流特性
Fig. 3 Light-current characteristic of a uncoated device at pulse current and room temperature

图 4 为连续电流下同一器件在不同注入电流下的输出功率-注入电流特性和光谱。从(a)可以看出,阈值电流大于 600 mA,当注入电流分别为 1.2、1.5 和 1.6 A 时,输出功率分别为 130、180 和 200 mW,并且没有出现饱和现象。(b)为注入电流分别为 1.0、1.2、1.5 和 1.6 A 时的光谱,测得波长分别为

926.96, 927.55, 927.68 和 927.85 nm, 光谱线宽分别为 0.92、0.90、0.70 和 0.80 nm, 波长随电流的调谐系数最小为 0.43

nm/A。在所测电流范围内, 器件以单纵模激射, 中心波长在 927 nm 左右, 并且没有模式跳变。

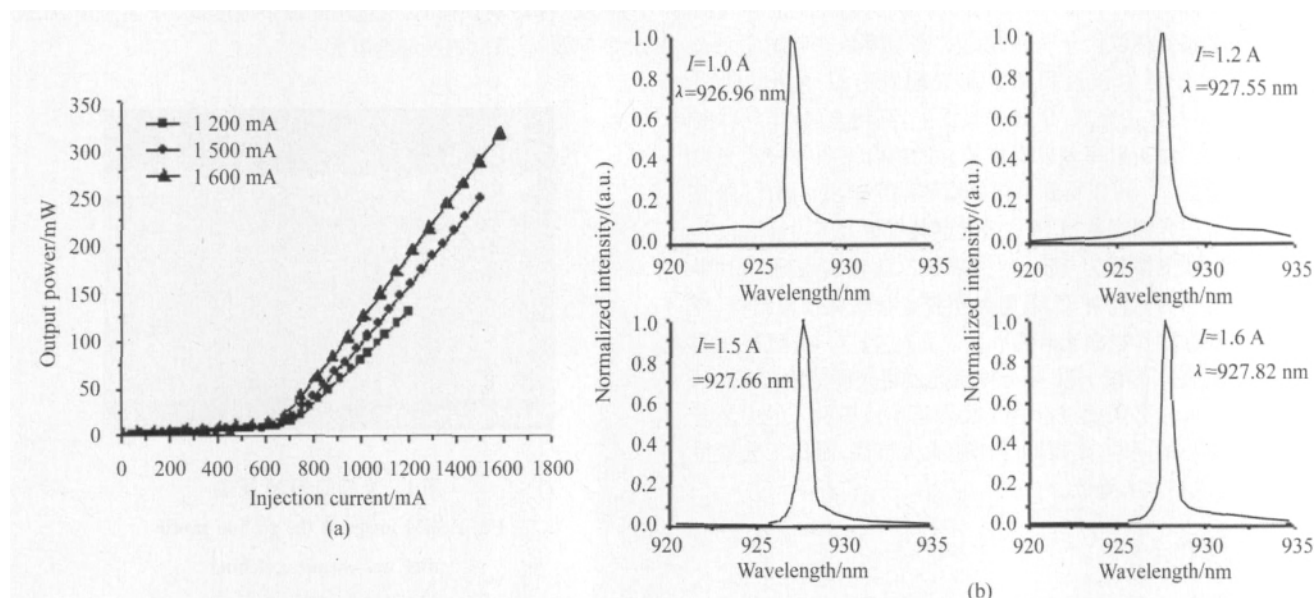


图4 室温连续电流下同一器件在不同注入电流下的(a)输出功率-注入电流特性和(b)光谱

Fig. 4 Cw light-current characteristic (a) and optical spectrum (b) of the same device at room temperature and different current, the device is the same as Fig. 3

图5为注入连续电流为1.0 A时器件的远场发散角, 其中主模式的水平远场发散角为 2.1° , 垂直远场发散角为 32.4° , 并且电流从1.0 A变化到1.6 A时测得水平远场发散角增加不到 1.0° 。

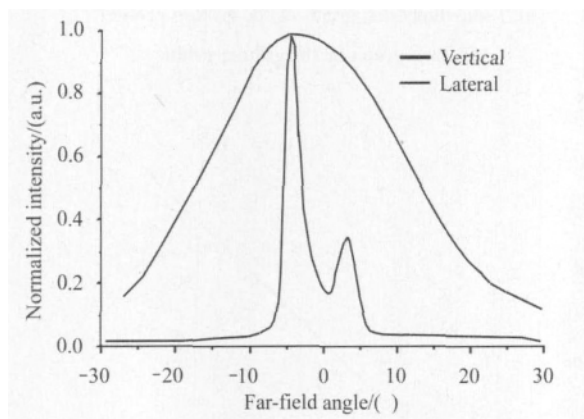


图5 注入连续电流为1.0 A时同一器件的垂直远场发散角和水平远场发散角

Fig. 5 Normalized vertical and lateral far-field intensity profiles of the same device at 1.0 A cw current

4 结论

成功制备了表面二阶金属光栅宽条型DFB半导体激光器, 采用表面金属光栅避免了传统DFB半导体激光器需二次外延生长的繁琐过程, 实现了宽接触室温直流下大范围稳定单纵模工作, 激射中心波长为927 nm。腔面未镀膜器件, 在脉冲注入电流2.28 A时, 单面输出功率大于600 mW, 斜率效率达0.37 mW/mA, 功率效率大于11%。在连续电流注入下, 当注

入电流1.6 A时, 单面输出功率大于200 mW, 光谱线宽小于0.8 nm, 波长随电流的调谐系数最小为0.43 nm/A; 注入电流为1.0 A时, 水平远场发散角为 2.1° 。

致谢: 感谢吉林大学电子科学与工程学院的金玉师姐提供全息光刻的帮助。

参考文献:

- [1] Schultz C M, Crump P, Wenzel H, et al. Wide temperature range high power broad area 975 nm DFB lasers[J]. Optical Society of America, CLEO, 2009, CWF; CWF6.
- [2] MA Qing-lei, ZONG Nan, LU Yuan-fu, et al. Highly efficient side pumped Nd:YAG ceramic laser[J]. Journal of Optoelectronics • Laser. 2010, 21(1):19-21.
- [3] Fricke J, Bugge F, Ginolas A, et al. High-power 980 nm broad-area lasers spectrally stabilized by surface bragg gratings[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2010, 22(5):284-286.
- [4] Schultz C M, Crump P, Wenzel H, et al. Narrow vertical far-field 975-nm broad-area DFB lasers for wide temperature range operation[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2009, 21(9):593-595.
- [5] He Y, An H, Cai J, et al. 808 nm broad area DFB laser for solid-state laser pumping application[J]. Electron. Lett, 2009, 45(3):163-164.
- [6] ZHU Hong-liang, XU Xiao-dong, WANG Huan, et al. The study of

- distributed feedback laser arrays based on sampled gratings [J]. Journal of Optoelectronics • Laser, 2010, **21**(9): 1280-1282.
- 朱洪亮, 许晓冬, 王桓, 等. 取样光栅分布反馈激光器阵列器件研究[J]. 光电子·激光, 2010, **21**(9): 1280-1282.
- [7] Steckman G J, Liu W, Platz R, et al. Volume holographic grating wavelength stabilized laser diode[J]. IEEE J. Sel. Topics Quant. Electron, 2007, **13**(3): 672-678.
- [8] Christophe Moser, Frank Havermeier. Compact self-aligned external cavity lasers using volume gratings[A]. Proc. of SPIE [C]. 2009, **7194**: 71940F-1-6.
- [9] Crump P, Schultz C M, Pietrzak A, et al. 975 nm high-power broad area diode lasers optimized for narrow spectral linewidth applications[A]. Proc. of SPIE [C]. 2010, **7583**: 75830N-1-10.
- [10] Volodin B L, Dolgy S V, Melnik E D, et al. Wavelength stabilization and spectrum narrowing of high-power multimode laser diodes and arrays by use of volume Bragg gratings[J]. Optics Letters, 2004, **29**(16): 1891-1893.
- [11] XU Qing-yang, MU Jian-wei, XU Chang-qing, et al. Experimental and theoretical characterization of multimode fiber Bragg grating external cavity lasers[A]. Proc. of SPIE [C]. 2009, **7386**: 73862O-1-8.
- [12] XIA Jiang-zhen, QU Rong-hui, CAI Hai-wen, et al. A self-seeded fiber laser incorporated with a fiber Bragg grating external cavity semiconductor laser[J]. Chinese Optics Letters, 2003, **1**(7): 380-382.
- [13] Luo H J, Zory P S. Distributed feedback coupling coefficient in diode lasers with metallized gratings[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 1990, **2**(9): 614-616.
- [14] LI Shuang, Witjaksono Gunawan, Macomber Steven, et al. Analysis of surface-emitting second-order distributed feedback lasers with central grating phaseshift [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 2003, **9**(5): 1153-1165.
- [15] ZHANG Jing, GAO Xin, LI Hui, et al. Corrosion liquid for InGaP/AlGaInP crystal material[P]. China: CN1916240, 2007-02-21.
- 张晶, 高欣, 李辉, 等. 一种 InGaP/AlGaInP 晶体材料的腐蚀液[P]. 中国专利: CN1916240, 2007-02-21.

作者简介:

秦莉 (1969—), 女, 黑龙江鹤岗人, 研究员, 博士生导师, 主要从事大功率半导体激光器方面的研究。