

文章编号: 0258-7025(2007)09-1182-03

# 高透腔面大功率 650 nm 红光半导体激光器

夏 伟<sup>1,2</sup>, 马德营<sup>1</sup>, 王 翎<sup>1</sup>, 李树强<sup>1,2</sup>, 汤庆敏<sup>2</sup>, 张 新<sup>2</sup>, 刘 琦<sup>2</sup>, 任忠祥<sup>2</sup>, 徐现刚<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup> 山东大学信息科学与工程学院晶体材料国家重点实验室, 山东 济南 250100)  
<sup>2</sup> 山东华光光电子有限公司, 山东 济南 250101

**摘要** 利用石英闭管法对金属有机化学气相沉积(MOCVD)外延生长的应变量子阱(MQW)650 nm AlGaInP/GaInP 材料进行选择区域扩 Zn,使扩 Zn 区域的光致发光(PL)谱的峰值蓝移达175 meV,形成对650 nm波长激光器的高透腔面,有益于减少激光器腔面光吸收,增加了激光器退化的光学灾变损伤(COD)阈值。后工艺制作出条宽100  $\mu\text{m}$ ,腔长1 mm的增益导引激光器,实现了红光半导体激光器的大功率输出。激光器阈值电流为382 mA,在2.28 A工作电流时达到光学灾变损伤阈值,最大连续输出光功率1.55 W,外微分量子效率达到0.82 W/A。

**关键词** 激光器;红光半导体激光器;大功率;高透腔面;650 nm

中图分类号 TN 248.4 文献标识码 A

## High Power 650 nm Red Semiconductor Laser with Transparent Window

XIA Wei<sup>1,2</sup>, MA De-ying<sup>1</sup>, WANG Ling<sup>1</sup>, LI Shu-qiang<sup>1,2</sup>, TANG Qing-min<sup>2</sup>,  
ZHANG Xin<sup>2</sup>, LIU Qi<sup>2</sup>, REN Zhong-xiang<sup>2</sup>, XU Xian-gang<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup> State Key Laboratory of Crystal Material, School of Information Science and Engineering,  
Shandong University, Jinan, Shandong 250100, China  
<sup>2</sup> Shandong Huaguang Optoelectronics Co. Ltd., Jinan, Shandong 250101, China)

**Abstract** Zn-diffused high power 650 nm AlGaInP/GaInP material with compressively strained multi-quantum-well (MQW) active layer was fabricated. The zinc diffusion was used on the material facet in a sealed quartz tube. Photoluminescence (PL) spectra shows 175 meV blue-shift in the Zn diffusion area, which is transparent for 650 nm laser emission. It can greatly reduce the light absorption at the laser facet and increase the threshold of catastrophic optical damage (COD). At last, a gain-induced semiconductor laser with 100  $\mu\text{m}$  tripe width and 1mm cavity length 650 nm was fabricated, and the high power output for red semiconductor laser was realized. The maximum output power reaches up to 1.55 W at 2.28 A operation current. Threshold current and slope efficiency are 382 mA and 0.82 W/A, respectively.

**Key words** lasers; red semiconductor laser; high power; transparent window; 650 nm

## 1 引 言

红光(GaInP/AlGaInP)半导体激光器在过去十多年里已经取得飞速发展。在信息存储、条码扫描等领域,要求激光器基横模稳定工作<sup>[1,2]</sup>。在激光抽运、激光显示、医疗上的针灸与镇刺以及激光电视等应用领域,需要尽可能地增加红光激光器连续工作时的输出功率<sup>[3,4]</sup>。在日益丰富多彩、色彩斑斓的舞台灯光方面,大功率红光半导体激光器的直接

应用更是越来越普遍。

AlGaInP 材料热导率及  $\Delta E_c, \Delta E_v$  较低的带隙差别,对 GaInP/AlGaInP 材料半导体激光器的输出功率和微分量子效率以及最大输出功率有较大的影响。而且,半导体激光器的最大输出功率还受到激光器端面的光学灾变损伤(COD)的限制。当半导体激光器腔面光密度达到阈值时,就会吸收光子,产生热,使得腔面部分的带隙收缩变窄,而这样更容易吸收光子,产生更多的热量,如此反复,就会烧坏腔

收稿日期:2006-10-16;收到修改稿日期:2007-02-07

作者简介:夏 伟(1974—),男,四川人,讲师,主要从事 III-V 族半导体激光器工艺技术研究及生产。

E-mail:xiaw@sdu.edu.cn

面,产生光学灾变损伤。利用选择性 Zn 扩散技术,在半导体激光器腔面的部分区域进行 Zn 扩散,由于 Zn 扩散产生缺陷,一定温度下缺陷移动导致量子阱中阱材料和垒材料组分互扩散,量子阱带隙平滑并产生蓝移,形成对出射光不吸收的透明区域,可以增加激光器腔面的光学灾变损伤阈值<sup>[5~9]</sup>。

但是,由于受诸多条件的限制,连续工作瓦级 650 nm 半导体激光器文献报道较少。本文报道了用金属有机化学气相沉积(MOCVD)方法,制作出高性能的压应变多量子阱(MQW) 650nm AlGaInP/GaInP 外延材料,再通过石英闭管法,进行选择区域扩 Zn,最后制作出大功率红光半导体激光器。

## 2 激光器结构及制备

应变多量子阱 650 nm AlGaInP/GaInP 外延生长是在美国 EMCORE 公司的低压 MOCVD 设备上

完成的。反应室可一次生长 50.8 mm 衬底 6 片。Ⅲ族源为三甲基镓(TMGa),三甲基铝(TMAl)和三甲基铟(TMIn);V 族源为 AsH<sub>3</sub> 和 PH<sub>3</sub>;掺杂源 p 型为 Cp<sub>2</sub>Mg, n 型为 Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>,载气氢气用钯管纯化。氢气流量为 25~50 L/min,生长温度为 600~700 °C, V/Ⅲ比为 200~500,生长时反应室压力控制在  $2.67 \times 10^3 \sim 1.33 \times 10^4$  Pa。激光器结构如图 1 所示。使用的衬底为 Si 掺的 50.8 mm GaAs(掺杂原子数浓度为  $1 \times 10^{18} \sim 3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )。外延结构依次为:0.5 μm 掺硅 GaAs 缓冲层(掺杂原子数浓度为  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ),1.1 μm n-型 Al<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P 限制层(掺杂原子数浓度为  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ),0.2 μm 本征 (Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P 波导层,本征压应变 AlGaInP/GaInP 多量子阱有源区(ε = 0.5%~1%),0.2 μm 本征 (Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P 波导层,1.1 μm p-型 Al<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P 限制层(掺杂原子数浓度为  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ),0.1 μm p-型 GaInP,0.2 μm p-型 GaAs 欧姆接触层<sup>[10]</sup>。

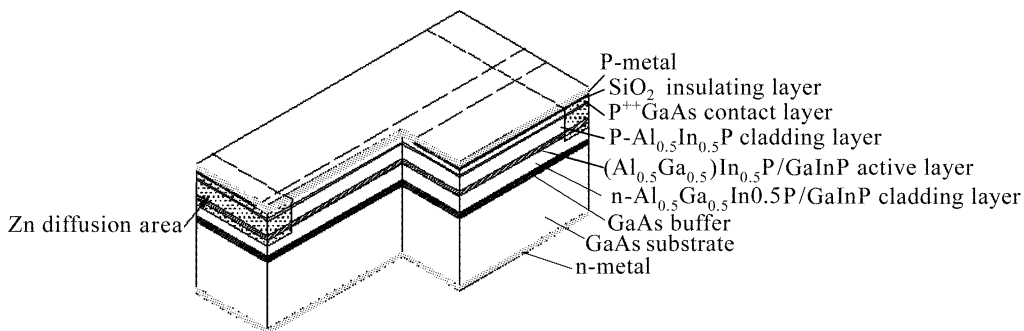


图 1 端面扩 Zn 透明窗口 AlGaInP/GaInP 激光器结构示意图

Fig. 1 AlGaInP/GaInP semiconductor laser structure with Zn diffusion at facet

外延完后,用等离子增强化学气相沉积(PECVD)设备制作氧化硅进行掩蔽,在平行于激光器腔面方向光刻并腐蚀氧化硅,露出扩 Zn 区域。将样品及扩散源 ZnAs 装入石英管并抽真空,当真空度达到  $2 \times 10^{-3}$  Pa 时进行封闭。在时间为 30 min 条件下,进行了 450~600 °C 下的 Zn 扩散,扩散深度达到有源区以下。后工艺制作氧化硅掩膜条形激光器,首先重新制作氧化硅掩膜,光刻出 100 μm 条宽,电极制作、减薄后,解理成 1 mm 腔长的条进行腔面镀膜(高反膜反射率为 95%,增透膜反射率为 30%),最后解理成管芯后 P 面朝下 In 焊在铜热沉上。

## 3 测试结果

不同温度扩 Zn 后,用 532 nm 固体激光器激发

荧光的方法,测试荧光峰的位置变化,如图 2 所示。550 °C 下波长蓝移最大达 54 nm,约 175 meV。充分表明在半导体激光器的腔面部分区域进行 Zn 扩

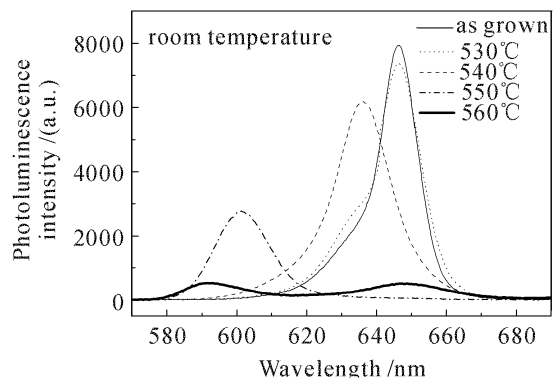


图 2 不同温度 Zn 扩散样品光致发光谱分析  
Fig. 2 PL spectra of Zn-diffused sample at different temperatures

散,一定温度下 Zn 扩散产生的缺陷移动导致量子阱中阱材料和垒材料组分互扩散,量子阱带隙平滑并产生蓝移,使半导体激光器端面部分带隙变大,形成对出射光不吸收的透明区域,这将大大增加激光器的光学灾变损伤阈值。

与常规的激光器相比,制备出的带扩 Zn 窗口层的激光器显示了优良的高效率、高功率输出的特性,如图 3 所示。100  $\mu\text{m}$  条宽,1 mm 腔长常规激光器阈值电流为 415 mA,效率为 0.7 A/W,在 1.17 A 工作电流时达到光学灾变损伤阈值,输出功率为 520 mW。而带扩 Zn 窗口层的激光器 1.3 A 直流驱动下,外微量子效率为 0.81 W/A,达到稳定连续输出功率为 742 mW。图 4 为测试最大电流为 3 A 时带扩 Zn 窗口层的激光器的  $P-I-V$  曲线,阈值电流为 382 mA,在 2.28 A 工作电流时达到光学灾变损伤阈值,连续光输出功率达到 1.55 W,外微量子效率达到 0.82 W/A。与常规激光器相比,由于端面光吸收的减弱,阈值电流和效率有微小的改变,最突出

的变化是端面扩 Zn 激光器光学灾变损伤阈值大大增加,接近常规激光器的 3 倍。

## 4 结 论

通过石英闭管法,对性能优良的压应变多量子阱 650 nm AlGaInP/GaInP 外延材料进行选区 Zn 扩散,扩散深度达到有源区以下,使激光器腔面区域的光致发光谱的峰值蓝移达 175 meV,形成一非吸收透明窗口层,增加激光器的光学灾变损伤阈值达 3 倍。制作出的增益导引结构激光器(发射区域 100  $\mu\text{m} \times 1 \text{ mm}$ )实现了高功率输出,阈值电流 382 mA,2.28 A 电流下连续光输出功率达到 1.55 W,外微量子效率达到 0.82 W/A。这种高功率输出红光半导体激光器已应用于舞台灯光、激光照明等领域。

## 参 考 文 献

- 1 D. P. Bour, D. W. Treat, R. L. Thornton *et al.*. Low threshold  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}/(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  strained quantum well lasers [J]. *J. Crystal Growth*, 1992, **124**:751~756
- 2 Gen-ichi Hatakoshi, Koichi Nitta, Kazuhiko Itaya *et al.*. High-power InGaAlP laser diodes for high-density optical recording [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1992, **31**(2):501~507
- 3 Randall S. Geels, David F. Welch, Tony Wang *et al.*. High power 8.5 W CW, visible laser diodes [C]. *SPIE*, 1992, **1634**:148~160
- 4 Shan Xiaonan, Zhang Jing, Wang Lijun. Design of 980 nm high-power semiconductor laser therapeutic equipment [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(Suppl.):435~438  
单肖楠,张晶,王立军. 980 nm 大功率半导体激光治疗仪的设计[J]. *中国激光*, 2006, **33**(增刊):435~438
- 5 D. G. Deppe, D. W. Nam, N. Holonyak *et al.*. Impurity-induced layer disordering of high GaP  $\text{In}_y(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{P}$  heterostructures [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1988, **52**(17):1413~1415
- 6 Yoshiyasu Ueno, Hiroaki Fujii, Kenichi Kobayashi *et al.*. Novel window-structure AlGaInP visible-light laser diodes with non-absorbing facets fabricated by utilizing GaInP natural superlattice disordering [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1990, **29**(9):L1666~L1668
- 7 Kazuhiko Itaya, Masayuki Ishikawa, Gen-ichi Hatakoshi *et al.*. New window-structure InGaAlP visible light laser diodes by self-selective Zn diffusion-induced disordering [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1991, **27**(6):1496~1500
- 8 Minoru Watanabe, Hideo Shiozawa, Osamu Horiuchi *et al.*. High-temperature operation (70  $^\circ\text{C}$ , 50 mW) of 660-nm-band InGaAlP Zn-diffused window lasers fabricated using highly Zn-doped GaAs layers [J]. *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.*, 1999, **5**(3):750~755
- 9 Yun Xu, Qing Cao, Xiaopeng Zhu *et al.*. High power AlGaInP laser diodes with zinc-diffused window mirror structure [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2004, **2**(11):647~649
- 10 Xia Wei, Wang Ling, Shuqiang Li *et al.*. High-volume production of 650 nm GaInP/AlGaInP laser diodes [C]. *SPIE*, 2005, **5624**:213~216

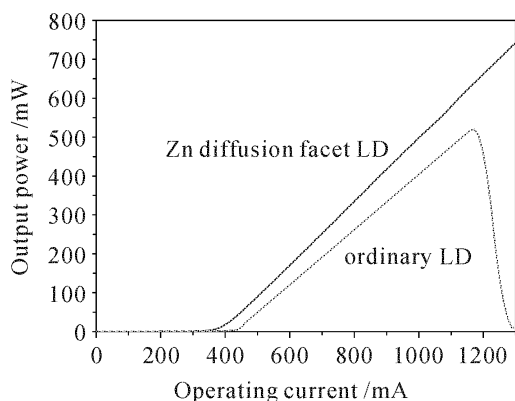


图 3 端面扩 Zn 透明窗口激光器与常规激光器直流输出比较

Fig. 3  $P-I$  characteristic for semiconductor laser with Zn-diffused facet and ordinary semiconductor laser

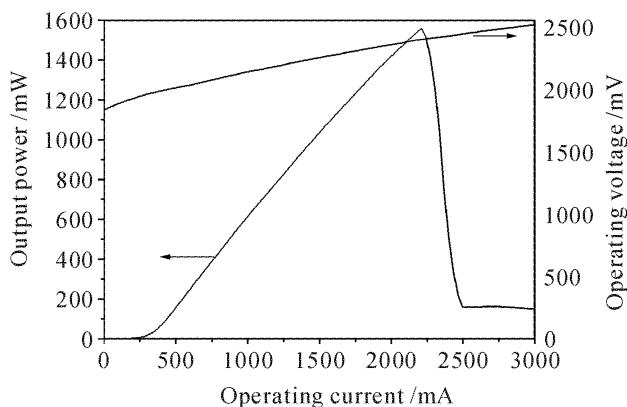


图 4 端面扩 Zn 透明窗口激光器  $P-I-V$  特性

Fig. 4  $P-I-V$  characteristic for semiconductor laser with Zn-diffused facet