

# 高功率 InGaAs 量子阱垂直腔面发射激光器的研制\*

晏长岭<sup>1,2</sup> 宁永强<sup>1</sup> 秦莉<sup>1</sup> 张淑敏<sup>3</sup> 赵路民<sup>1</sup> 王青<sup>1</sup>  
刘云<sup>1</sup> 初国强<sup>1</sup> 王立军<sup>1</sup> 姜会林<sup>2</sup>

(1 中国科学院激发态开放重点实验室,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,长春 130021)

(2 长春理工大学高功率半导体激光国家重点实验室,长春 130022)

(3 吉林大学,长春 130023)

**摘要** 采用 AlAs 氧化物限制工艺实验制备了衬底出光的高功率大出光窗口(直径为 300  $\mu\text{m}$ ) InGaAs/GaAs 量子阱垂直腔面发射半导体激光器,实现了器件室温准连续工作(脉冲宽度为 50  $\mu\text{s}$ , 重复频率为 1000 Hz),并对器件的伏安特性、光输出特性、发射光谱,以及器件的远场发射特性等进行了实验测试. 器件阈值电流为 460 mA,器件的最大光输出功率为 100 mW,发射波长为 978.6 nm,光谱半功率全宽度为 1.0 nm,远场发散角小于  $10^\circ$ ,垂直方向的发散角  $\theta_\perp$  为  $8^\circ$ ,水平方向的发散角  $\theta_\parallel$  为  $9^\circ$ ,基本为圆形对称光束.

**关键词** 高功率半导体激光;垂直腔面发射激光器;氧化物限制工艺;量子阱;对称光束

**中图分类号** TN248 **文献标识码** A

## 0 引言

垂直腔面发射半导体激光器是当前光电子领域最活跃的研究课题之一<sup>[1,2]</sup>,与边发射半导体激光器相比,面发射器件具有较小的远场发散角、圆形光斑、易于单纵模激射,以及易于二维光集成等优势,因此在光通讯、光互连以及光集成等方面有着广泛的应用前景<sup>[3,4]</sup>,引起了人们的极大兴趣. 小尺寸(小于 20  $\mu\text{m}$ )、低光功率(低于 10 mW)的器件在光互连、光并行传输等领域已经得到了广泛的应用. 与此同时,大功率半导体激光器在光泵浦、医疗、材料处理、自由空间通信传输等领域的巨大应用市场使得大功率垂直腔面发射半导体激光器的研究近年来也得到了重视和发展<sup>[5,6]</sup>. 与边发射半导体激光器相比,为了实现高功率光输出,垂直腔面发射激光器的总发光面积应相应的增大. 为了增大器件的出光面积,一方面,可以利用垂直腔面发射激光器易于二维列阵的优势进行器件的列阵研究;另一方面,可以增大单个器件的出光窗口来获得较大的总的光功率输出. 国外在这方面已经有相关的报道<sup>[7,8]</sup>. 出光窗口直径为 320  $\mu\text{m}$  的单个垂直腔面发射激光器采用先进的制冷装置,室温连续工作可以达到 890 mW<sup>[9]</sup>. 国内对低光功率的垂直腔面发射激光器的研究有一些报道<sup>[10,11]</sup>,不过,未见对大功率垂直腔面发射半导体激光器实验研究的报道. 在

垂直腔面发射激光器的制备工艺方面,氧化物限制工艺将插入有源区与上分布布喇格反射镜之间的 AlAs 层氧化成化学性质稳定的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  绝缘层,并由此层作为 GaAs/AlGaAs 和 GaInAs/GaAs 等系列面发射半导体激光器件结构的电流限制层和光限制层,大量的实验结果表明,这种器件结构已经实现了有效的电流限制和光限制,并得到了垂直腔面发射半导体激光器优异的性能<sup>[12]</sup>. 与此同时,衬底出光的器件结构,一方面可以使器件有效地散热,另一方面可以弱化垂直腔面发射激光器存在的空间烧孔现象,改善器件出光的光束质量,使器件的发射光束呈现更均匀的能量分布<sup>[9]</sup>.

本文采用氧化物限制工艺,实验制备了衬底出光的高功率 InGaAs/GaAs 量子阱垂直腔面发射半导体激光器,300  $\mu\text{m}$  直径的器件实现了室温(24 $^\circ\text{C}$ )准连续工作(脉冲宽度为 50  $\mu\text{s}$ ,重复频率为 1000 Hz),并对器件的伏安特性、光输出特性、发射光谱及远场发射特性等进行了测试. 300  $\mu\text{m}$  直径的器件阈值电流为 460 mA,最大光输出功率为 100 mW,器件的发射波长为 980 nm,远场发散角  $\theta_\perp$  为  $8^\circ$ , $\theta_\parallel$  为  $9^\circ$ .

## 1 器件结构

衬底出光的 InGaAs/GaAs 量子阱垂直腔面发射半导体激光器的结构如图 1 所示. 有源层由三个 InGaAs/GaAs 应变量子阱组成,InGaAs 量子阱宽为 8 nm,GaAs 势垒宽为 10 nm. 三个量子阱被上、下 AlGaAs 限制层包围构成一个波长的谐振腔. 上下两个分布布喇格反射镜为四分之一波长的 GaAs 和 AlGaAs 周期结构组成. 其中 p 型反射镜为 38.5

\* 中科院长春光机所知识创新项目、国家自然科学基金资助项目 (10104016) (60306004)

Tel: 0431-6176348 Email: changling\_yan@yahoo.com.cn

收稿日期: 2003-08-11

周期(掺杂 C,浓度为  $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ), n 型反射镜为 28.5 周期(掺杂 Si,浓度为  $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ). N 型反射镜的对数比 p 型反射镜对数少,以使器件的光从 n 型反射镜一侧由衬底出射形成衬底出光型器件. 在 p 型分布布喇格反射镜与有源区之间加入一层高 Al 组分的  $\text{Al}_{0.98}\text{Ga}_{0.02}\text{As}$  层,厚度为 30 nm,此层在器件的工艺过程中将被氧化为  $\text{Al}_2\text{O}_3$  绝缘层,起到电流限制作用,形成电流注入窗口. 器件结构中各外延层由金属有机化合物气相沉积 (MOCVD) 技术在  $n^+$ -GaAs 衬底(掺杂 Si,浓度为  $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) 上外延生长获得.

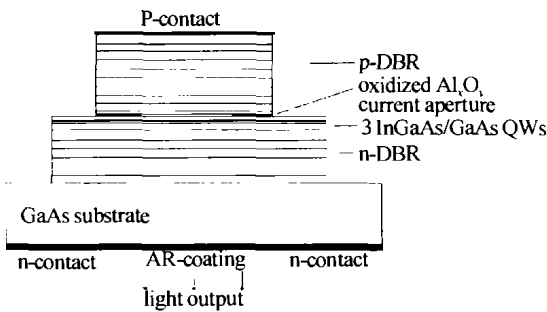


图 1 高功率垂直腔面发射激光器件的结构示意图  
Fig. 1 Schematic diagram of high power vertical-cavity surface emitting laser structure

工艺过程中,采用化学湿法腐蚀法,腐蚀出直径为  $350 \mu\text{m}$  的圆形台面,腐蚀深度以露出  $\text{Al}_{0.98}\text{Ga}_{0.02}\text{As}$  层为宜,之后把器件置于高温 ( $420^\circ\text{C}$ ) 湿氮环境下对  $\text{Al}_{0.98}\text{Ga}_{0.02}\text{As}$  层进行氧化处理,转化为  $\text{Al}_2\text{O}_3$  绝缘层,形成  $300 \mu\text{m}$  直径的电流注入窗口,对注入器件的电流起到限制作用. 之后对器件的衬底进行减薄和化学辅助抛光处理,减薄到大约  $150 \mu\text{m}$  左右,以减少衬底对器件的串联电阻的贡献. P 型分布布喇格反射镜侧做大面积的 Ti-Pt-Au 金属接触. 在 n 型 GaAs 衬底上蒸发制作 Si/SiO<sub>2</sub> 增透膜膜系,以提高输出光功率,并由自对准光刻技术保留出光窗口,之后作衬底侧的 n 型金属接触层. 最后由快速热退火炉进行合金退火处理. 整个器件结构由 In 焊料 (In 焊料为软焊料,可以减少封装过程中引入到外延片的应力) 把器件焊接到铜热沉上,之后进行电极过渡,超声金丝球焊引线,对器件进行简单的封装. 并对器件特性进行测试.

## 2 器件工作特性

采用半导体激光器综合特性测试仪对器件的伏安特性、光输出特性、发射光谱以及器件的发射远场等特性进行了测试. 测试在室温条件 ( $24^\circ\text{C}$ ) 下进行,在准连续 (脉冲宽度为  $50 \mu\text{s}$ 、重复频率为  $1000 \text{ Hz}$ ) 电注入条件下得到了器件的特性曲线.

图 2 是器件的光功率输出特性曲线及伏安特性

曲线,在准连续室温条件下,器件的阈值电流为  $460 \text{ mA}$ ,  $300 \mu\text{m}$  出光直径器件的最高输出功率可达  $100 \text{ mW}$ ,并且在高输出端时,曲线没有显现出明显的光输出饱和现象. 其功率转化效率为  $0.2 \text{ W/A}$ . 从器件的伏安特性曲线可以得出,器件的阈值电压为  $1.6 \text{ V}$ ,串联电阻为  $0.5 \Omega$ . 图 3 是器件的发射光谱图,从中可以看出器件在单纵模状态下工作,发射光的峰值位置为  $978.6 \text{ nm}$ ,光谱的半功率全宽为  $1.0 \text{ nm}$ . 图 4 是器件的远场发射图,从图中可以看出远场发散角为平行方向  $\theta_{\parallel}$  为  $9^\circ$ ,垂直方向  $\theta_{\perp}$  为  $8^\circ$ . 由此可见,器件的光束发散角很小,在  $10^\circ$  以内,并且垂直方向与水平方向的发散角基本相同,光束为圆形对称光束,因此有利于器件的光纤耦合.

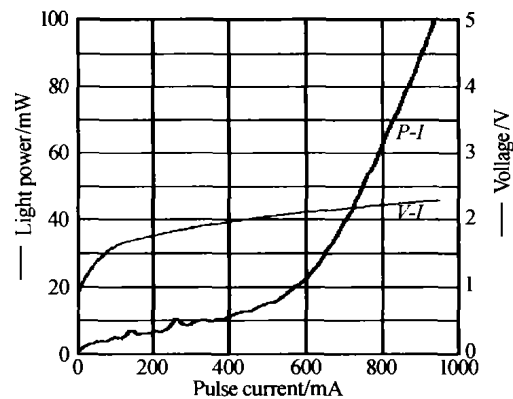


图 2 实验测量得到的器件的光功率输出曲线与伏安特性曲线

Fig. 2 Measured P-I and V-I characteristics curves

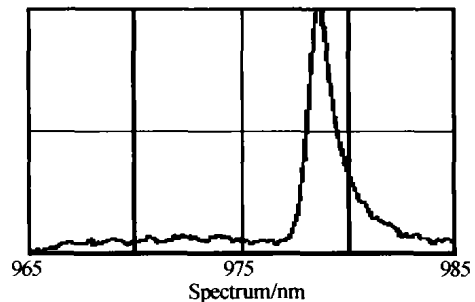


图 3 实验测量得到的器件的激光光谱

Fig. 3 Measured spectrum of the device

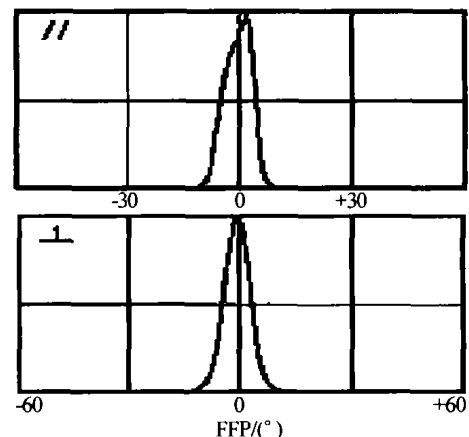


图 4 实验测量得到的器件的远场发射图

Fig. 4 Measured far-field patterns of the device

### 3 结论

采用氧化物限制工艺实验制备了衬底出光的 InGaAs/GaAs 量子阱垂直腔面发射半导体激光器, 实现了器件室温准连续工作, 并对器件的伏安特性、光输出特性、光谱特性及远场发射特性等进行了测试. 300  $\mu\text{m}$  直径出光窗口的器件阈值电流 460 mA, 最大光输出功率 100 mW, 这是所知的国内报道的垂直腔面发射半导体激光器的最大光输出功率. 器件的发射波长为 978.6 nm, 光谱半功率全宽度为 1.0 nm, 远场发散角垂直方向  $\theta_{\perp}$  为  $8^{\circ}$ , 水平方向为  $\theta_{\parallel}$  为  $9^{\circ}$ . 同时器件的光输出特性曲线在高功率段没有明显的饱和现象, 因此通过解决器件的散热问题, 器件的功率有望进一步提高.

#### 参考文献

- 1 Wiedenmann D, King R, Jung C, *et al.* Design and analysis of single-mode oxidized VCSEL's for high-speed optical interconnects. *IEEE J Select Topics in Quantum Electron*, 1999, **5**(3): 503 ~ 511
- 2 Chow W W, Choquette K D, Crawford M H, *et al.* Design, fabrication, and performance of infrared and visible VCSELs. *IEEE J Quantum Electron*, 1997, **33**(9): 1810 ~ 1823
- 3 Blixt P, Babic D, Streubel K, *et al.* Single-mode 1GB/s operation of double-fused vertical-cavity lasers at 1.54  $\mu\text{m}$ . *IEEE Photon Technol Lett*, 1995, **8**(5): 700 ~ 702
- 4 Geels R S, Corzine W S, Coldren A L. InGaAs vertical cavity surface emitting lasers. *IEEE J Quantum Electron*, 1991, **27**(6): 1359 ~ 1367
- 5 Peters H F, Peters G M, Young B D, *et al.* High power vertical cavity surface emitting lasers. *Electron Lett*, 1993, **29**: 200 ~ 201
- 6 Grabherr M, Miller M, Jager R. High power VCSEL's: single device and densely packed 2-D arrays. *IEEE J Select Topics in Quantum Electron*, 1999, **5**(3): 495 ~ 502
- 7 Grabherr M, Jager R, Miller M. Bottom-emitting VCSEL's for high-CW optical output power. *IEEE Photon Technol Lett*, 1998, **10**: 1061 ~ 1063
- 8 Choquette D K, Hou Q H, Geib M K, *et al.* Uniform and high power selectively oxidized  $8 \times 8$  VCSEL arrays. Proc. IEEE/LEOS Summer Topical Meetings, Montreal, Canada, 1997. 11 ~ 12
- 9 Miller M, Grabherr M, King R, *et al.* Improved output performance of high-power VCSELs. *IEEE J Select Topics in Quantum Electron*, 2001, **7**(2): 210 ~ 216
- 10 李雪梅, 刘颖, 姜秀英, 等. H 型垂直腔面发射激光器. *中国激光*, 1998, **25**(1): 18 ~ 20  
Li X M, Liu Y, Jiang X Y, *et al.* *Chinese J Lasers*, 1998, **25**(1): 18 ~ 20
- 11 Wang H, Du G, Cui H, *et al.* Room temperature continuous wave low threshold current 850 nm ion implanted vertical cavity surface emitting laser using tungsten wires as mask. *Optics and Laser Technology*, 2003, **35**(5): 341 ~ 344
- 12 Li X, Sale E T, Gale, *et al.* Integrated optical and electronic modeling of oxide-confined visible VCSELs. *SPIE*, 2002, **4649**: 257 ~ 263

## High-power InGaAs Quantum Wells Vertical-cavity Surface-emitting Laser

Yan Changling<sup>1,2</sup>, Ning Yongqiang<sup>1</sup>, Qin Li<sup>1</sup>, Zhang Shumin<sup>3</sup>, Zhao Lumin<sup>1</sup>,  
Wang Qing<sup>1</sup>, Liu Yun<sup>1</sup>, Chu Guoqiang<sup>1</sup>, Wang Lijun<sup>1</sup>, Jiang Huilin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratory of Excited State Processes, Chinese Academy of Sciences, Changchun Institute of Optics,  
Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021

<sup>2</sup> Changchun University of Science and Technology, State Key Lab of High Power Semiconductor Laser, Changchun 130022

<sup>3</sup> Jilin University, Changchun 130023

Received date: 2003-08-11

**Abstract** A bottom-emitting InGaAs/GaAs vertical-cavity surface-emitting laser with large aperture (300  $\mu\text{m}$ ) is fabricated by using AlAs oxidation processing. The device with 300  $\mu\text{m}$  diameter aperture performs at quasi-CW condition (pulse width: 50  $\mu\text{s}$ , repetition rate: 1000 Hz) under room temperature ( $24^{\circ}\text{C}$ ), and the device has a threshold current of 460 mA, and maximum output power of 100 mW in a single wavelength. The peak wavelength is 978.9 nm, and the full-width at half-maximum (FWHM) is 1.0 nm. The far-field divergence is below  $10^{\circ}$ , lateral angle  $\theta_{\parallel}$  and vertical angle  $\theta_{\perp}$  are  $9^{\circ}$  and  $8^{\circ}$ , respectively, and the beam is about circularly symmetric.

**Keywords** High-power semiconductor laser; Vertical-cavity surface-emitting laser; Oxidation process; Quantum wells; Circularly symmetric beam

**Yan Changling** was born on October 23, 1971. He received the Ph. D. degree in physics from Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences in 2000. He is currently working in the field of VCSEL research.

