

# 980nm 垂直腔面发射激光器的研制\*

郭 霞 董立闯 渠红伟 达小丽 杜金玉 邓 军 沈光地

(北京工业大学电子信息与控制工程学院, 北京市光电子技术实验室, 北京 100022)

摘要: 采用低压金属有机化合物气相外延生长技术, 应用 AlAs/AlGaAs 选择性湿氮氧化工艺实现光、电限制, 制备出具有一定性能的 980nm 内腔接触式氧化物限制型顶发射 980nm 垂直腔面发射激光器 (VCSEL). 通过制备不同氧化孔径尺寸的 VCSEL, 分析了氧化孔径尺寸大小对器件的阈值电流和串联电阻的影响. 获得的最小阈值电流为 0.8mA, 最大光输出功率达 8mW.

关键词: 垂直腔面发射激光器; 内腔接触; 湿氮氧化

PACC: 8160C; 4255P EEACC: 2550E

中图分类号: TN248 文献标识码: A 文章编号: 0253-4177(2005)S0-0129-03

## 1 引言

与传统的边发射激光器相比, 垂直腔面发射激光器 (VCSELs) 因其特有的物理结构, 而使其具有特殊的物理性能, 如具有低阈值、单纵模、高调制速度、圆形光斑及小发散角等特点, 因此在光通信、光计算和光互连等方面, 具有广泛的应用前景. 在短短的二十几年里, VCSELs 已经成为世界各国研究的热点, 并取得了飞速的进展<sup>[1~4]</sup>. 本文将介绍内腔接触式氧化限制垂直腔面发射激光器的材料和器件的制备, 分析了氧化孔径对器件性能的影响, 最后给出器件测试结果.

## 2 外延生长和器件制备

VCSEL 的外延层是在低压金属有机化合物气相外延生长系统中 (100) 偏  $\langle 111 \rangle$  A  $2^\circ$  的  $n^+$ -GaAs 上生长, 在有偏角的衬底上生长主要是降低 Al-GaAs 生长时的氧污染<sup>[5]</sup>. 上下布拉格反射镜 (DBR) 分别由 26 对掺 Si 的 n 型突变  $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ /GaAs 下 DBR 和 22 对非故意掺杂的  $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ /GaAs 上 DBR 构成. 分别限制结构的 3 对 8nm 的 InGaAs 应变量子阱和 10nm 的 GaAs 垒层以及 Al-

GaAs 限制层、欧姆接触层和 60nm 用于电子光子限制的  $Al_{0.98}Ga_{0.02}As$  构成  $1.5\lambda$  的光腔. 通过理论计算, 使得 DBR 的中心反射波长, 量子阱增益峰值波长和激光波长一一对准. 实验时, 通过生长速率原位检测系统精确控制材料的生长厚度.

氧化限制内腔接触式 VCSEL 器件的制备采用了我们提出的三轴自对准的方法, 保证了氧化限制内腔接触式 VCSEL 中存在的三个轴的一一对准, 即氧化孔轴、电流注入孔轴和出光孔轴在轴向上共轴. 采用常规的光刻工艺, 光刻胶为掩膜, 湿法腐蚀出直径依次相差  $4\mu m$  的 DBR, 并暴露出氧化层的侧壁用于湿氮氧化.  $Al_{0.98}Ga_{0.02}As$  的湿氮氧化工艺是在我们自己搭建的、能够保证工艺重复性的氧化系统上进行的<sup>[6,7]</sup>. 将样品置于  $350\sim 500^\circ C$  高温炉内, 通入携带  $90^\circ C$  去离子水的  $N_2$ , 使氧化层从侧壁开始向中心部分氧化. 由于氧化速率对 Al 组分非常敏感, 如  $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$  与  $Al_{0.98}Ga_{0.02}As$  的氧化速率就差了至少两个数量级, 故氧化过程中只有高 Al 组分层会被选择性地氧化而生成折射率低的绝缘氧化物  $Al_xO_y$ , 控制氧化时间在该层中心处形成一个未氧化孔, 实现光、电限制. 此外, 氧化使得腔体积 (或模式体积) 减小, 提高了自发发射对激光模式的耦合, 提高了量子效率, 从而可获得极低阈值电流/电压和较高的功率转换效率, 极大改善了 VCSELs

\* 国家自然科学基金 (批准号: 60276033, 69889601), 国家高技术研究发展计划 (批准号: 2002AA312070) 及国家重点基础研究发展计划 (批准号: G20000683-02) 资助项目

器件的特性<sup>[8]</sup>. p型和n型欧姆接触电极分别为Ti/Au和AuGeNi/Au. 器件结构如图1所示,光通过上DBR输出.

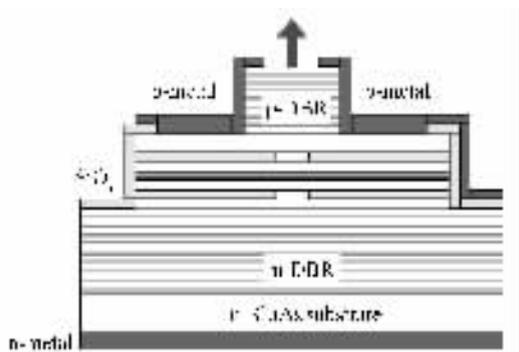


图1 氧化限制内腔接触式垂直腔面发射激光器结构

Fig. 1 Schematic of oxidation confined intracavity contacted VCSEL

### 3 器件特性

图2(a)和(b)分别是器件的阈值电流密度和串联电阻随氧化孔径尺寸的变化关系. 可以看出氧化孔径的大小直接影响着VCSELs器件的各个性能, 阈值电流随着氧化孔径的增大而增大; 串联电阻随着氧化孔径的增大而减小. 我们制备的四种不同氧化孔径尺寸的VCSEL器件, 氧化孔径为 $10\mu\text{m}$ 的VCSEL, 对应的阈值电流为 $1.75\text{mA}$ 左右, 阈值电流密度约为 $1750\text{A}/\text{cm}^2$ , 串联电阻约为 $150\Omega$ ; 氧化孔径为 $18\mu\text{m}$ 的VCSEL, 对应的阈值电流为 $4.5\text{mA}$ 左右, 阈值电流密度约为 $1358\text{A}/\text{cm}^2$ , 串联电阻约为 $100\Omega$ . 阈值电流密度随氧化孔径的变化可能是由于内损耗不同引起的.

通过上述实验, 可以得到, 低阈值与小串联电阻的目标对氧化孔径的要求是矛盾的, 故而在氧化孔径尺寸的设计方面需要折中考虑, 找出最佳的尺寸, 实现器件性能的最优化.

按前面所述的生长结构及工艺方法, 我们已制备出可在室温连续工作的器件, 其中小氧化孔器件, 阈值电流低至 $0.8\text{mA}$ , 工作电流为 $15\text{mA}$ 时, 输出功率达 $3.2\text{mW}$ ; 大氧化孔器件, 阈值电流为 $5\text{mA}$ 左右, 工作电流为 $35\text{mA}$ 时, 输出功率达 $8\text{mW}$ , 激光波长在 $977\text{nm}$ 附近, 半宽为 $0.6\text{nm}$ . 图3所示为我们制备的较大氧化孔径器件在室温直流情况下实际测量的典型结果.

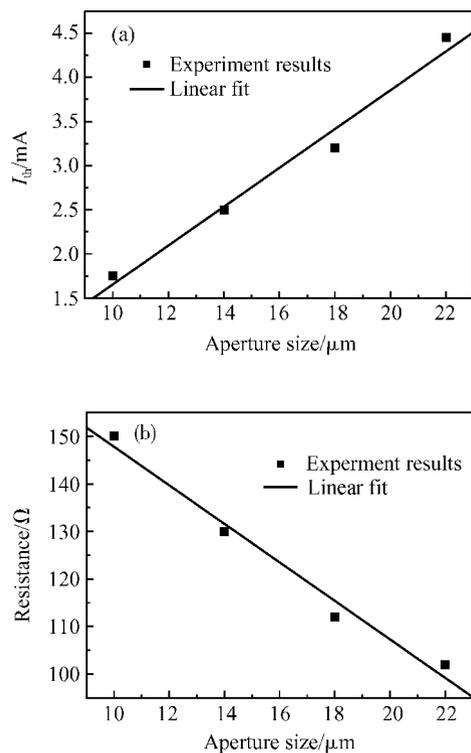


图2 VCSEL器件的阈值电流密度和串联电阻随氧化孔径的变化关系

Fig. 2 Threshold current density and series resistance of VCSEL versus oxidation aperture size

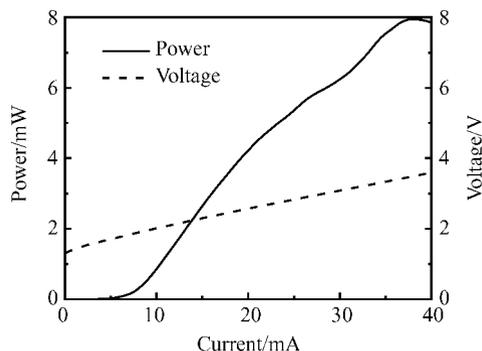


图3 室温脉冲测试条件下, 孔径为 $20\mu\text{m}$ 的VCSEL器件的光输出功率和电压随注入电流的变化关系的典型测试结果.

Fig. 3 Optical output power and voltage of VCSEL with aperture size of  $20\mu\text{m}$  versus the injected current under the testing condition of room temperature and pulse

### 4 总结

我们围绕 $980\text{nm}$ 内腔接触式氧化物限制型VCSELs, 对器件的结构设计、工艺制备以及性能参

数进行了研究,成功地制备出了在室温连续工作情况下,工作电流为 35mA 时,输出功率达 8mW 的 980nm 垂直腔面发射激光器。

致谢 感谢北京工业大学光电子技术实验室的韩金茹、韩俊第、刘丹丹等老师给予的技术支持。

## 参考文献

- [ 1 ] Jiang Jianping. Semiconductor lasers. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2000:170 (in Chinese) [江剑平. 半导体激光器. 北京: 电子工业出版社, 2000:170]
- [ 2 ] Coldren L A, Thibeault B J, Hegblom E R, et al. Dielectric aperture as intracavity lenses in vertical cavity lasers. Appl Phys Lett, 1996, 68:313
- [ 3 ] Lear K L, Mar A, Choquette K D, et al. High frequency modulation of oxide confined vertical cavity surface emitting lasers. Electron Lett, 1996, 32:457
- [ 4 ] Hegblom E R, Babic D I, Thibeault B J, et al. Vertical cavity

lasers with tapered oxide apertures for low scattering loss. Electron Lett, 1997, 33:869

- [ 5 ] Chand N, Jordan A S, Chu S N G. Residual oxygen levels in AlGaAs/GaAs quantum well laser structures: Effects of Si and Be doping and substrate misorientation. Appl Phys Lett, 1991, 59:3270
- [ 6 ] Dong Limin, Guo Xia, Qu Hongwei, et al. Study of the Al-GaAs wet nitrogen oxidation with different diameter. Journal of Optoelectronics • Lasers, 2004, 15(8):941 (in Chinese) [董立闽, 郭霞, 渠红伟, 等. 不同形状台面的 AlGaAs 湿氮氧化规律研究. 光电子 • 激光, 2004, 15(8):941]
- [ 7 ] Dong Limin, Guo Xia, Qu Hongwei, et al. Study of  $Al_{0.98}Ga_{0.02}As$  wet nitrogen oxidation rule. Chinese Journal of Semiconductors, 2004, 26(1):197 (in Chinese) [董立闽, 郭霞, 渠红伟, 等.  $Al_{0.98}Ga_{0.02}As$  的湿法氧化规律. 半导体学报, 2004, 26(1):197]
- [ 8 ] Shin J H, Han H Y, Lee Y H. Very small oxide-confined vertical microcavity lasers with high-contrast AlGaAs- $Al_xO_y$  mirrors. IEEE Photonics Technol Lett, 1998, 10:754

## Fabrication of 980nm Vertical-Cavity Surface-Emitting-Diodes \*

Guo Xia, Dong Limin, Qu Hongwei, Da Xiaoli, Du Jinyu, Deng Jun, and Shen Guangdi

(School of Electronic Information and Engineering, Beijing University of Technology,  
Beijing Optoelectronic Technology Laboratory, Beijing 100022, China)

**Abstract:** 980nm vertical-cavity surface-emitting-diodes (VCSELs) are fabricated by employing metal organic chemical vapor deposition technique and AlAs/AlGaAs selective wet nitrogen oxidation technique which helps to realize the electrical and optical confinement in the VCSEL devices. The effects of oxidation aperture size on the performance of the VCSEL, such as threshold current and series resistance, are analyzed through fabricating VCSELs with different aperture size at the same time. The minimum threshold current is 0.8mA and the maximum optical output power achieved is about 8mW.

**Key words:** vertical-cavity surface-emitting-diode; intracavity contact; wet nitrogen oxidation

**PACC:** 8160C; 4255P      **EEACC:** 2550E

**Article ID:** 0253-4177(2005)S0-0129-03

\* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Nos. 60276033, 69889601), the National High Technology Research and Development Program of China (No. 2002AA312070), and the State Key Development Program for Basic Research of China (No. G20000683-02)