

低阈值基横模脊形波导 GaAs/AlGaAs 单量子阱激光器

徐遵图 杨国文 肖建伟 徐俊英
张敬明 郑婉华 瞿 伟 陈良惠

(中国科学院半导体研究所 国家光电子集成开放实验室 北京 100083)

毕可奎

(中国科学院半导体研究所 国家光电子工艺中心 北京 100083)

摘要 本文报道了脊形波导结构 GaAs/AlGaAs 量子阱激光器的研究成果。我们采用湿法化学腐蚀方法,通过对器件结构参数的优化,制备了性能优越的脊形波导 GaAs/AlGaAs 量子阱激光器,器件的阈值电流低于 10mA,最低值为 7.3mA,而且实现了基横模工作,这是国内报道的该结构激光器的最好水平。

PACC: 4255P, 4250, 4280R, 6865

1 引言

光通信、光计算、光互连系统均要求具有低阈值的半导体激光器件为光源,降低激光器的阈值电流是发展这些系统的关键。分子束外延(MBE)的发展使人们能够生长量子阱结构做为半导体激光器的有源区,降低了宽接触激光器的阈值电流密度^[1],而器件的制备则需要采用各种条形结构,对有源区在横向进行电流控制以降低激光器阈值。常用的方法有:(1)氧化物条形半导体激光器,(2)质子轰击条形激光器,(3)掩埋条形半导体激光器(简称 BH 激光器),(4)脊形波导条形半导体激光器等。在这众多结构中,脊形波导激光器制备工艺比较简单,对电流控制好,成本低,重复性好。在已发表的文献中,条形半导体激光器的腔面在不镀膜的情况下,GaAs/AlGaAs 脊形波导量子阱半导体激光器阈值电流为 12.6mA^[2],InGaAs/GaAs 脊形波导量子阱激光器阈值电流低至 7.8mA^[3],我们制备的脊形波导量子阱激光器阈值电流低至 8mA,镀膜后低至 7.3mA。国内发表的文献中,低阈值半导体激光器

徐遵图 男,1964 年生,助理研究员,现主要从事半导体量子阱光电子器件的研究

杨国文 男,1966 年生,助理研究员,现主要从事于量子阱光电子器件的研究工作

1993 年 12 月 15 日收到初稿,1994 年 2 月 17 日收到修改稿

多为 BH 结构^[4]，脊形波导低阈值半导体激光器尚未见报道，本文报道了脊形波导单量子阱激光器的最新进展。

2 器件制备

我们所用的外延材料是在 RIBER 32P 系统上生长的，激光器结构为折射率缓变分别限制单量子阱结构(英文简称 GRIN-SCH-SQW)，衬底为(100)面 n^+ -GaAs 衬底(掺 Si, $n=1-3\times 10^{18}/\text{cm}^3$)，在此衬底上依次生长： $1\mu\text{m}$ n -GaAs 缓变层(掺 Si, $n=2\times 10^{18}/\text{cm}^3$)， $1\mu\text{m}$ 的 $N\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 下限制层(掺 Si, $n=6\times 10^{17}/\text{cm}^3$)， $0.15\mu\text{m}$ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 下线性折射率缓变层(非掺)，GaAs 单量子阱层，阱宽为 $100\text{\AA}$ ， $0.15\mu\text{m}$ 上线性折射率缓变层(非掺)， $1\mu\text{m}$ 的 $P\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 上限制层(掺 Be, $p=1\times 10^{18}/\text{cm}^3$)， $0.2\mu\text{m}$ 的 P^+ -GaAs 欧姆接触层(掺 Be, $p=1\times 10^{19}/\text{cm}^3$)。外延生长之后，我们沿 $\langle 1\bar{1}0 \rangle$ 方向光刻出窄的条形，然后用湿法化学腐蚀方法腐蚀出正台面，其结构如图 1 所示。其中脊形台面的腐蚀深度非常重要，若腐蚀得浅，则类似于增益波导，电流扩展较大，使得阈值电流大；若腐蚀得深，则折射率波导效应太强，容易出现高阶模式。因此为了实现稳定的单基横模工作，并且有较低的阈值电流，我们在制作过程中对激光器条形宽度及腐蚀深度进行了优化，条宽取 $5\mu\text{m}$ ，使腐蚀深度满足 $t=0.2\mu\text{m}$ 左右。腐蚀出脊形结构以后，利用 PECVD 方法在片子表面淀积一层 SiO_2 做为电隔离绝缘层， SiO_2 厚度为 $2000\text{\AA}$ ，然后用光刻的方法在台面上刻出 $4\mu\text{m}$ 的电极窗口，片子经减薄后($\sim 100\mu\text{m}$)，在 N 面蒸发 AuGeNi/Au ，P 面蒸发 Cr-Au ，解理初测后，将管芯在真空下烧结在镀 In 铜热沉上，激光器腔长为 $300-400\mu\text{m}$ 不等。

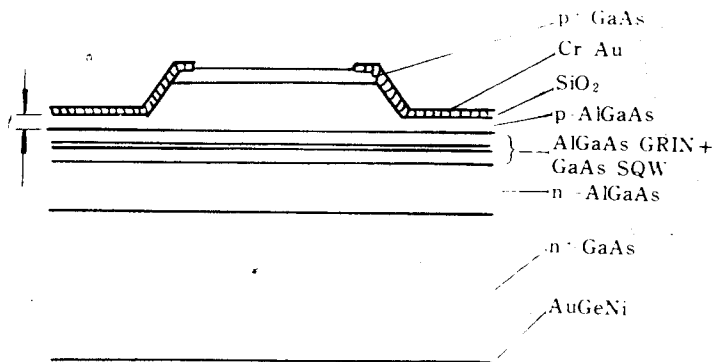


图 1 脊形波导单量子阱激光器横截面示意图

3 器件特性及讨论

3.1 伏安特性

激光器的伏安特性典型值为：正向电压为 1.4V ，反向击穿电压在 10V 以上，微分欧姆接触电阻为 $5-7\Omega$ 。一般没有漏电流存在，说明绝缘膜淀积得较好，起到了较好的电隔离作用。

3.2 激射特性

图 2 给出了激光器的功率电流曲线 ($P-I$ 曲线), 激光器的腔长为 $350\mu\text{m}$, 典型值为 10mA , 最低值为 8mA (非镀膜器件), 单面外微分量子效率为 35% , 最高值达 42% . 其发射波长为 842nm .

激光器镀膜后, 其器件特性发生变化, 激光器的阈值和外微分子量效率表达如下^[5]:

$$I_{\text{th}} = 4.5 \times 10^3 (d/\eta_i) LW + (20d/\Gamma\eta_i) \{ \alpha_i + (1/2L) \ln[1/(R_1 R_2)] \} LW$$
$$1/\eta_d = (1/\eta_i) [1 + 2\alpha_i L / (\ln(1/R_1 R_2))]$$

式中 d, L, W 分别表示激光器有源区厚度、腔长及条宽, α_i, η_i 分别表示激光器的内损耗和内量子效率, R_1, R_2 分别为谐振腔前后两个腔面的反射率. 可见, 后腔面镀高反膜之后, R 增大, 阈值电流降低, 外微分量子效率提高, 同时流长向长波方向移动, 出光腔面镀增透膜, 阈值电流增大, 外微分量子效率也增大. 我们对器件进行了镀膜实验, 在激光器的后腔面镀高反膜, 然后再对器件进行测试, 如图 3 所示: 结果阈值电流降低, 由 8mA 降为 7.3mA , 同时外微分量子效率明显提高, 高到 63.3% , 激光器的线性输出功率为 30mW 以上, 最高功率达 50mW . 激光器光谱图如图 4 所示.

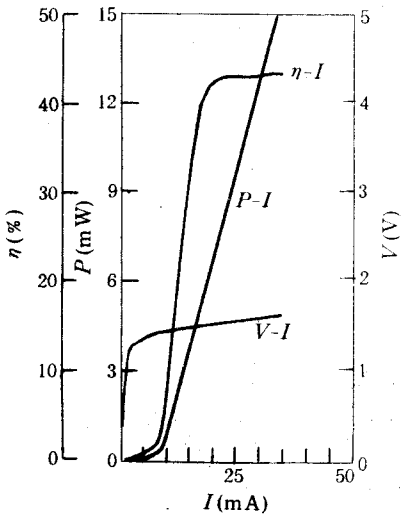


图 2 典型的 $P-I, \eta-I, V-I$ 曲线 (非镀膜)

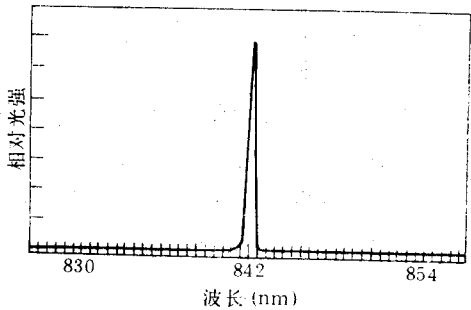


图 3 镀膜后 $P-I, \eta-I, V-I$ 曲线

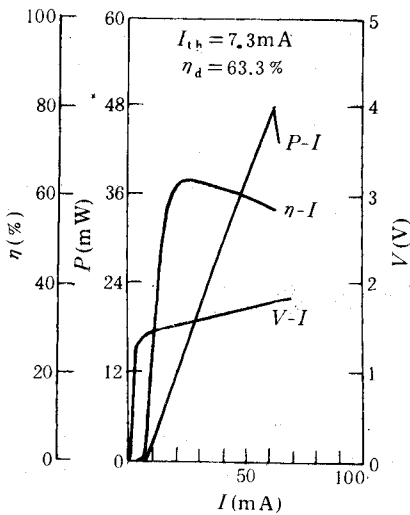


图 4 激光器光谱

3.3 激光器的模式特性

激光器的模式特性对光纤耦合来讲是一个重要参数,激光器的模式特性好,其光斑质量高,耦合效率高.我们研制的激光器的模式为基横模工作,基横模工作功率达 30mW 以上,其远场测试结果如图 5 所示, $\theta_{\parallel}$ 为 7.8 度, $\theta_{\perp}$ 为 42.6 度.

3.4 激光器的内损耗和内量子效率

器件的内损耗和内量子效率是衡量器件好坏的重要参数,内损耗低,内量子效率高说明器件做得比较完美,器件制备过程中带来的缺陷和损伤比较小.由前面的 η 与 L 的关系我们知道,当 $R_1=R_2$ 时有:

$$\eta_d^{-1} = \eta_i^{-1} [1 + \alpha_i L / \ln(1/R)]$$

测试不同腔长激光器的外微分量子效率得到一组数据,然后画出 η_d - L 关系曲线从而可求出内损耗和内量子效率.如图 6 所示.计算得到内损耗和内量子效率分别为 $\alpha_i = 6\text{cm}^{-1}$, $\eta_i = 88\%$.这说明我们在窄条形脊形波导的制备过程中,引进的损耗很小.

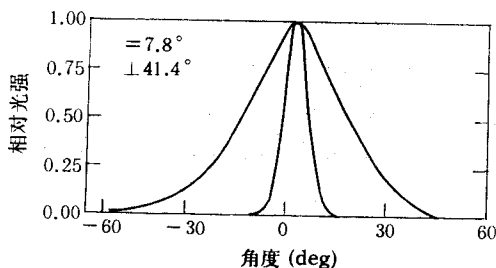


图 5 激光器远场分布

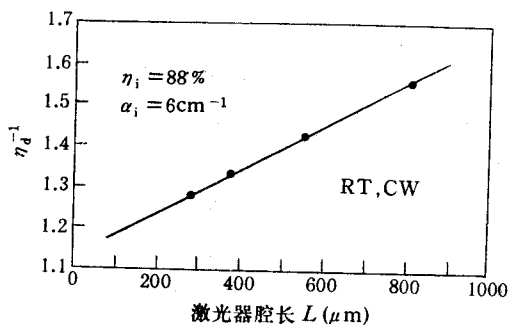


图 6 η_d - L 关系曲线

4 结语

利用分子束外延生长的缓变折射率分别限制 GaAs/AlGaAs 单量子阱结构材料,制备了比较理想的性能优越的脊形波导结构半导体激光器.腔长在 $350\mu\text{m}$ 时器件阈值电流一般在 10mA,最低为 7.3mA,外微分量子效率最高为 42%,线性输出功率在 30mW 以上,在端面镀膜后,外微分量子效率可达 63% 以上.这是目前国内同类结构中最好的结果.

参 考 文 献

- [1] Naresh Chand, E. E. Becker, J. P. Van der Ziel, S. N. G. Chu, and N. K. Dutta Appl. Phys. Lett., 1991, **56**(16): 1704-1706.
- [2] L. D. Zhu, Glen A. B. Feak, Robert J. Davis, and Joseph M. Ballantyne, IEEE J. Quantum Electron. 1987, **23**(3): 309-312.
- [3] W. T. Tsang, R. Kapre, M. C. Wu, and Y. K. Chen, Appl. Phys. Lett. 1992, **61**(7): 755-757.
- [4] 杨国文, 肖建伟, 徐遵图等, 半导体学报, 1993, **14**(7): 445-449.
- [5] T. R. Chen, Y. Zhuang, Y. J. Xu, P. Derry, N. Bar-chaim, A. Yariv, B. Yu, Q. Z. Wang, Y. Q. Zhou, Optics & Laser Technology, 1990, **22**(4): 245-254.

Low Threshold Single Transverse Mode Ridge Waveguide GaAs/AlGaAs Quantum Well Lasers

Xu Zuntu, Yang Guowen, Xiao Jianwei, Xu Junying,
Zhang Jingming, Zheng Wanhua, Qu Wei and Chen Lianghui

*(Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences, National Integrated
Optoelectronics Lab., Beijing 100083)*

Bi Kekui

*(Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences,
National Optoelectronics Technology Centre)*

Received 15 December 1993, revised manuscript received 17 February 1994

Abstract A study on RW-SQW GaAs/AlGaAs Semiconductor Lasers is reported. Taking advantage of the wet chemical etching, single transverse mode semiconductor lasers with threshold of less than 10mA are achieved by the optimization of device structure. The lowest threshold current is 7.3mA, this is the best level in the same ones.

PACC: 4255P, 4250, 4280R, 6865