

低阈值脊形波导单量子阱级联双区激光器*

张敬明 徐遵图 杨国文 李世祖
郑婉华 肖建伟 徐俊英 陈良惠

(中国科学院半导体研究所 国家集成光电子学联合实验室 北京 100083)

摘要 本文报道低阈值脊形波导单量子阱级联双区激光器的制备,直流输出特性,光双稳、光谱调谐和高频调制 ps 特性. 激射波长 $\sim 0.85\mu\text{m}$, 调谐范围为 7nm.

PACC: 4255P, 4260B, 4265P, 4280R, 4280L, 4282

1 引言

双区共腔激光器研究已有三十年的历史,近年来又发展成为多区结构. 多区激光器结构把谐振腔长方向分成各有自己独立电极的几个部分. 当光在谐振腔内传播时,几部分各自起专门的作用,腔长方向的这种分工,使得激光器性能得到更充分的发挥,是很有前途的新颖器件. 正装的器件工艺对发展集成光电子学也十分有意义. H. Kawaguchi^[1]综述了近年来双区、多区激光器/放大器在光功能器件上的进展. D. J. Derickson 等^[2]报道了使用多区锁模半导体激光器产生短光脉冲. J. O'Gorman 等^[3]报道了多电极宽接触高功率 GaAs/AlGaAs 激光器,产生峰值功率 1.3W, 高重复率 29ps 激光脉冲. 为了获得超短光脉冲,我们研制了脊形波导量子阱级联双区激光器,本文着重报道器件的制备及其主要特性.

2 器件制备

利用一维打靶法 (shooting method)^[4], 我们计算了 MBE 生长的 GaAs/AlGaAs 梯度折射率分别限制异质结构 (GRINSCH) 单量子阱激光器脊形波导结构, 电隔离层为 SiO₂ 膜时,被腐蚀部分所留的上限制层厚度对波导模折射率和基侧模宽度的影响,表示在图 1 中.

脊形波导量子阱级联双区激光器是在分子束外延(MBE)片上用半导体平面工艺制备的. MBE 外延片是在 (100) 面 n⁺-GaAs 衬底 (掺 Si, $1-3 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$) 上依次生长 1 μm N-GaAs 缓冲层 (掺 Si, $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$), 1.2 μm N-Al_{0.6}Ga_{0.4}As 下限制层 (掺 Si, $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$), 150nm Al_xGa_{1-x}As 线性折射率缓变层 (不掺杂 $x = 0.6-0.22$), 量子阱宽 10nm, 垒宽 10nm (不掺杂), 150nm AlGaAs 线性折射率缓变层 (不掺杂 $x = 0.22-1$

* “863” 高技术资助项目

1994年4月22日收到初稿, 1994年6月8日收到修改稿

0.6), $1\mu\text{m P-Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{As}$ 上限制层(掺 Be, $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$), $200\text{nm P}^+\text{-GaAs}$ 顶盖层(掺 Be, $1 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$). 高质量 MBE 材料腔长为 $400\mu\text{m}$ 的宽接触激光器 $J_{th} = 350\text{--}500\text{A/cm}^2$.

脊形器件是 MBE 材料 P^+ 面上采用光刻方法通过湿法腐蚀得到正台长条形. 为了保证器件基横模工作, 条宽和腐蚀深度要综合考虑. 在条宽采用 $5\mu\text{m}$ 的条件下, 精确控制上限制层腐蚀深度, 使之剩余在有源区以上约 $0.25\mu\text{m}$ 左右. 脊形台面制备完后, 用 PECVD 方法淀积 200nm 的 SiO_2 . 然后, 在台面上刻蚀出电极窗口, 用常规工艺制备 P 和 N 面电极. 在 P 面刻蚀出电隔离区, 隔离区长 $15\mu\text{m}$. 之后解理成腔长 $400\mu\text{m}$ 的管芯. 两区的长度比由解理控制, 为了获得 ps 脉冲取放大区和吸收调制区长度比约为 3:1. 对于获得光双稳器件, 取这个比值约为 6:1. 管芯 P 朝上, 吸收调制区作为出光面键合在镀铜无氧铜热沉上, 谐振腔两端面都为自然解理面, 两电极压焊金丝通过微晶玻璃绝缘子引线.

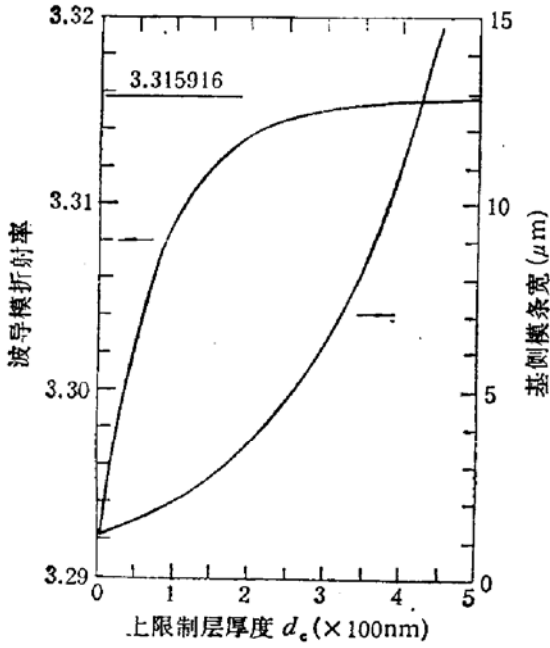


图 1 GaAs/AlGaAs-GRINSCH 波导模折射率和脊形波导基侧模条宽随上限制层厚度的变化量子阱、全宽分别为 100\AA , 全铝含量 $x_b = 0.22$, 梯度折射率层厚 $L_g = 150\text{nm}$, 限制层 $x_g = 0.6$, 波长 850nm

3 器件特性

制备获得的脊形器件, 两区正向伏安特性转折电压为 1.4 伏, 反向击穿电压大于 12

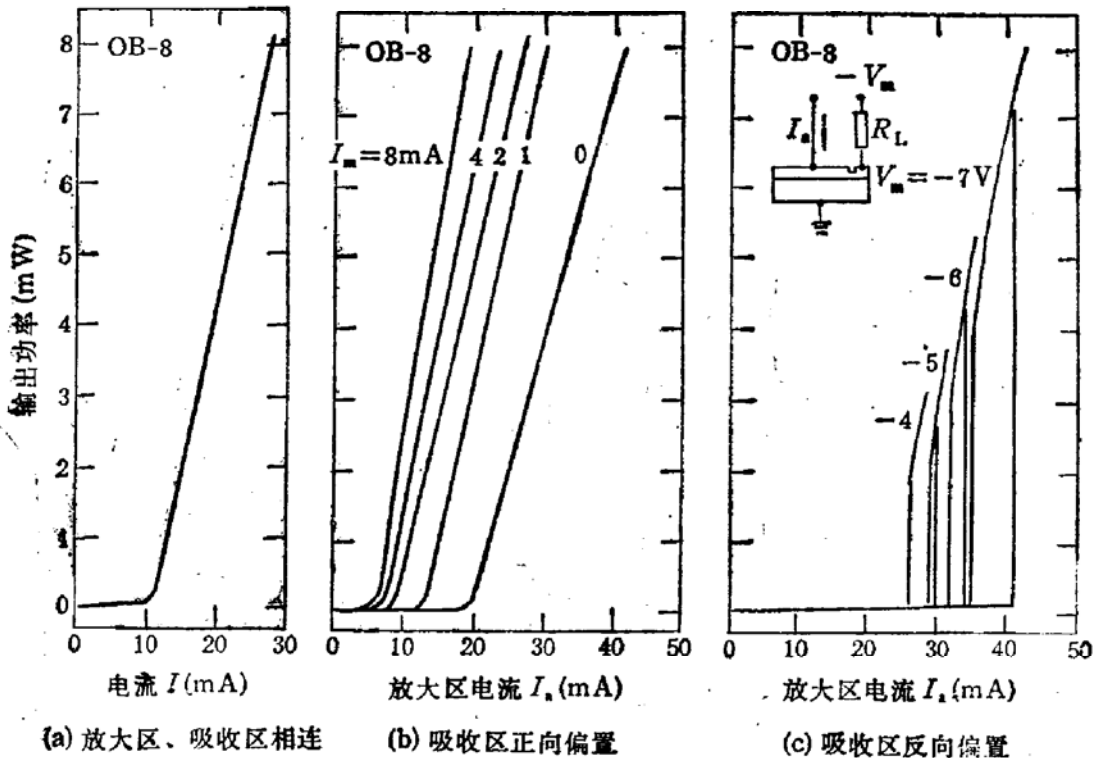


图 2 脊形波导级联双区单量子阱激光器输出特性
(a) 两区相连的 $L-I$ 特性 (b) $L-I_a$ 特性随 I_m 的变化 (c) $L-I_a$ 双稳特性随 $-V_m$ 的变化

伏,大电流下放大区和吸收调制区的微分串联电阻与两区的解理长度有关,通常分别约为 10Ω 和 20Ω . 两 P 电极间的隔离电阻为 $100\sim 500k\Omega$. 图 2 表示在室温下 OB-8 器件直流输出特性.

3.1 吸收调制区正向偏置输出特性

图 2(a) 表示两区相连的 $L-I$ 特性. 激光器 $I_{th} = 11mA$, 输出特性具有很好的线性度,单面微分量子效率 $\eta_d = 0.33$. 图 2(b) 中输出光强与放大区电流关系与一般激光二极管相似,改变吸收调制区正向注入电流 I_m 可获得一组输出特性. I_m 从 0 到 $4mA$ 变化时, I_{th} 由 $19.5mA$ 减小到 $7mA$, 单面 η_d 由 0.24 到 0.33. I_m 从 0 到 $2mA$ 变化时, I_{th} 发生显著变化. I_m 再增大时, I_{th} 变化减小. I_m 增加到 $8mA$, i_{th} 减小到 $6mA$, 单面 η_d 增加到 0.41.

3.2 吸收调制区反向偏置输出特性

脊形波导量子阱级联双区激光器的另一个工作区是吸收调制区加反向偏压,它相当于一个与激光器集成在一起的 PIN 探测器. 反向偏压使吸收调制区的光生载流子被电场扫出,使吸收调制区的载流子密度减少,并使该区吸收进一步增加,阈值电流进一步提高,微分量子效率下降. 对于吸收调制区存在可饱和吸收体时,反向偏压增加不仅使阈值电流增加,同时输出微分量子效率增加,在一定反偏电压下出现光双稳特性. 通过外电路加一个限流电阻 R_L 限制载流子抽出,起到可饱和吸收体的作用. $R_L = 2\sim 10k\Omega$ 之间,通常取 $4.7k\Omega$. 阻值小,开启电流大,开态光强大,双稳跨度小. 另外反压越高,开启电流越大,双稳跨度大,开态光强. 图 2(c) 为在室温下 OB-8 器件直流光双稳特性随吸收调制区反偏电压的变化. 在 $V_m = -4V$ 时出现光双稳,开启阈值为 $26mA$,开态功率为 $1.8mW$. $-7V$ 时开启阈值为 $41mA$,开态功率为 $7.2mW$,开态微分量子效率为 34% ,双稳区电流跨度为 $6mA$. 已测得的双稳态最小开启阈值为 $22mA$. 比已报道的^[9] InGaAsP/InP PHB 双稳激光器具有更低的双稳开启阈值.

3.3 光谱调谐特性

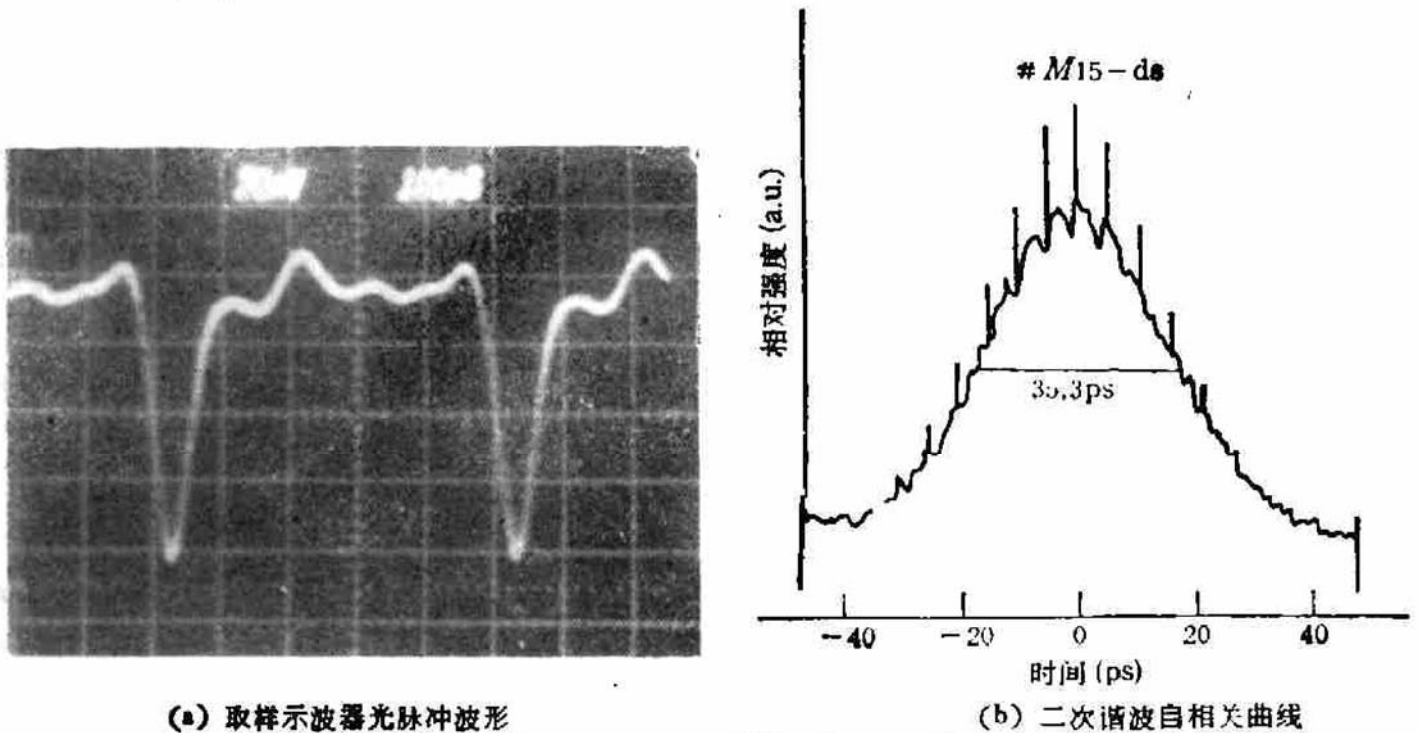
该激光器的一个典型的激射波长调谐特性如图 3 所示,激光器工作在 $3mW$ 输出功率下. 当工作点在 $I_a = 28mA$, $I_m = 0mA$ 时,激射波长为 8535\AA . 工作点移到 $I_a = 13mA$, $I_m = 4mA$ 时,激射波长为 8465\AA ,波长向短波移动了 $7nm$. 预计调制吸收区加反向偏置时,长波端的调谐范围可进一步增加. 加大输出功率可以改善光谱特性.

3.4 高重复率 ps 特性

激光器放大区加直流偏置,吸收调制区通过微带匹配电路,用 $2GHz$ 微波正弦信号调制时,器件产生重复单次 ps 光脉冲. 典型的器件测试结果如图 4 所示. 图 4(a) 表示用探测器及取样示波器测试显示的高重复率 ps 光脉冲;图 4(b) 表示用二次谐波自相关方法测得的自相关曲线,器件直流偏置为 $I_a = 25mA$, $I_m = 0mA$,用高斯函数拟合的光脉冲 $FWHM = 35.3ps$.

4 结束语

我们已经制备了低阈值脊形波导单量子阱级联双区激光器. 此种器件可以通过调节



(a) 取样示波器光脉冲波形

(b) 二次谐波自相关曲线

图 4 2GHz 微波调制激光器产生的 ps 光脉冲

吸收调制区的反偏电压和限流电阻 R_L 来调整双稳开启阈值, 双稳区跨度和开启时光功率的跳变值。吸收调制区正向偏置时, 在不同工作电流下, 可以获得激射光谱的波长调谐, 调谐范围为 7nm。吸收调制区用微波信号调制时, 获得了 2GHz 的 ps 光脉冲。优化结构设计, 进一步降低光双稳特性的功耗和降低 ps 光脉冲宽度及提高调制速率仍是今后努力的方向。在光双稳特性的深入研究中, 观察到器件自发发射的异常光谱特性, 深入的研究正在进行中。

致谢 感谢何晓曦、吕卉、庄芳婕、胡长虹、郭文华等同志为该工作提供了帮助。

参 考 文 献

- [1] H. Kawaguchi, IEE Proc. J. Optoelectron., 1993, 140(1):3-15.
- [2] D. J. Derickson *et al.*, IEEE J. Quant. Electron., 1992, 28(10):2186-2202.
- [3] J. O'Gorman *et al.*, Electron. Lett., 1991, 27(1):13.
- [4] J. Stoer, R. Burlisch, Einführung in die Numerische Mathematik II, 2. ed. Berlin Heidelberg, New York: Springer, 1978, 167-177.
- [5] 张汉生等, 半导体学报, 1992, 13(2): 103-108.

Low Threshold Single Quantum Well Lasers Consist of the Ridge Waveguide of Tandem Two-Section (RW-TTS)

Zhang Jingming, Xu Zuntu, Yang Guowen, Li Shizu, Zheng Wanhua,
Xiao Jianwei, Xu Junying, Chen Lianghui

(Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083)

Abstract The preparation, the direct output characteristics and the properties of bistable, tunable spectra and the high modulation speed picosecond pulses in the low threshold single quantum well lasers consist of the RW-TTS structure have been reported in this paper. The lasing wavelength is 850nm and the tunable region is 7nm.

PACC: 4255P, 4260B, 4265P, 4280R, 4280L, 4282