

大功率 670nm 半导体激光器的研制

林 涛 江 李 王 俊 谭满清 刘素平 韦 欣 王国宏 马晓宇

(中国科学院半导体研究所 光电子器件工程中心, 北京 100083)

摘要: 采用低压金属有机化学气相沉积生长了 670nm 激光器外延片,有源区采用单量子阱结构,阱区、垒区分别为 InGaAsP 和 AlGaInP. 利用该外延片制作了带无电流注入区的氧化物条形激光器. 激光器腔长为 $900\mu\text{m}$, 电流注入区条宽为 $100\mu\text{m}$, 两端的无注入区宽度均为 $25\mu\text{m}$. 镀膜后器件的阈值电流为 0.4A, 输出波长 $670\pm 2\text{nm}$, 最大输出功率为 1100mW, 水平、垂直发散角分别为 $8^\circ, 40^\circ$. 表明该种结构可以提高器件的腔面光灾变功率.

关键词: 670nm; 半导体激光器; 金属有机化学气相沉积; 腔面光灾变

EEACC: 2520D; 2530C; 4320J

中图分类号: TN248.4

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2005)S0-0176-04

1 引言

红光半导体激光器常被用在光盘读写系统、激光教鞭、条形码阅读器、激光打印、测量仪器和医疗器械装置中. 由于半导体激光器具有体积小、重量轻、功耗低、寿命长等优点,使得这些激光仪器更加小型化、简单化,适合于野外、工矿、医院等现场使用. 高密度数字视频光盘技术的发展使得 630~655nm 波段的红光半导体激光器发展迅速,不管是低阈值、单模器件还是大功率器件均有长足进步^[1]. 激光动力学疗法、激光手术刀、激光美容等医学应用领域的兴起促使更多目光关注于大功率 670nm 激光器的研究^[2]. 但由于 670nm 波段的激光器激光波长比 AlGaAs 系更短,光子能量更大,器件的腔面光灾变(COD)现象就更为严重,因此提高器件的 COD 也成为当前的研究重点. 对多数大功率激光器而言,高光功率密度工作时产生的腔面 COD 现象使得器件最大功率受到限制. 引起腔面 COD 的主要因素有两个:一是在应变量子阱激光器端面处,由内部的双轴压应变变为单轴压应变,产生应变部分释放,这样导致端面处的带隙减小,增加了光的吸收^[3];另一方面半导体激光器腔面处存在表面态和界面态,这些都是非辐射复合中心,它们的存在同样会导致光吸收,增加腔面处的温升. 为了利于规模化生产,我们选用了结构简单、制作方便的带无电流注入区结

构来获得大的 COD 功率.

2 材料生长

实验中采用低压 MOCVD 外延技术进行材料生长,设备为 AIX200 R&D 系统. 系统采用 IR 灯照加热方式,生长温度是由置于基座中心的热电偶探测. 反应载气为 H_2 , 反应室的压力为 10000Pa, 生长温度为 $705\sim 725^\circ\text{C}$. III 族金属有机化合物源分别为三甲基铟(TMIIn)、三甲基镓(TMGa)、三甲基铝(TMAl); V 族源为 100% 的磷烷(PH_3)和 100% 的砷烷(AsH_3); p 型和 n 型掺杂剂分别为二乙基锌(DEZn)和 2% 的硅烷(SiH_4). 为了有效抑制(Al) GaInP 的有序性生长,实验中采用偏角 6° 的 n 型 GaAs 衬底(100)面外延生长^[4,5]. 激光器的有源区采用单量子阱结构,阱区、垒区分别为 GaInAsP 和 AlGaInP.

3 器件制作

对低压 MOCVD 生长的外延片清洁后,进行器件制作. 为了减小腔面处的光吸收和电流注入, Saggawa 等人曾报道了带无电流注入区的 980nm 半导体激光器^[6]. 该结构是在激光器的两个端面处均加入 $30\mu\text{m}$ 的无注入电流窗口,这两段区域中,由于没有载流子的直接注入,只有少量载流子通过扩散到

达腔面,这样便可减小腔面处的非辐射复合,有效抑制了减小带隙宽度的腔面温升效应,增加器件的 COD 功率.为了提高 670nm 大功率激光器的输出功率,特将这种方案应用到我们的器件制作中.实验中采用湿法腐蚀工艺制作了带无电流注入区的 670nm 激光器,其中腔面处的两个无电流注入区宽度均为 $25\mu\text{m}$.激光器的条形注入区宽度 $100\mu\text{m}$,台面高度约为 300nm .利用等离子增强气相沉积法(PECVD)生长 140nm 的 SiO_2 电隔离层.采用精准套刻,光刻出电极窗口,然后制作 p 面 Ti/Pt/Au 电极和 n 面 AuGeNi 电极,器件结构如图 1 所示.单个器件宽度 $600\mu\text{m}$,腔长 $900\mu\text{m}$.器件出光面镀反射率为 5% 的增透膜,背面镀有 90% 高反膜.另外为了比较该类器件的特性,同时制作了普通的氧化物条形结构激光器,其单个器件宽度仍为 $600\mu\text{m}$,条形注入区宽度为 $100\mu\text{m}$,腔长为 $900\mu\text{m}$.

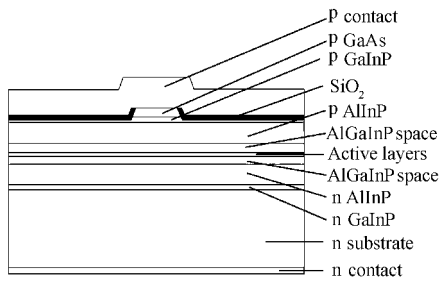


图 1 激光器结构示意图

Fig. 1 Scheme of laser diode structure

4 结果与分析

对低压 MOCVD 生长的外延片进行了双晶 X 射线摇摆曲线测试,测试结果如图 2 所示.其外延层最大失配为 $1.1 \times 10^3 \text{ppm}$,满足制作器件的要求.另外对外延片做了电化学 C-V 测试,结果表明各层的掺杂浓度符合设计要求.选择性腐蚀掉外延片表面几层后,测量出有源区的发光波长为 660nm 左右.

该外延片制作的常规氧化物条形激光器,腔面不镀膜时,器件的阈值电流典型值为 0.3A ,斜率效率为 0.55W/A ,发光波长为 $670 \pm 2\text{nm}$,最大输出功率为 680mW ;镀膜后器件的阈值电流典型值为 0.38A ,斜率效率为 1.0W/A ,发光波长 $670 \pm 2\text{nm}$,最大输出功率为 750mW ,其 $L-I-V$ 曲线如图 3 所示.镀膜后,由于器件的高反膜和增透膜反射率之积 $R_1 \times R_2$ 相对于此前的 0.09 有所减小,这就增加了

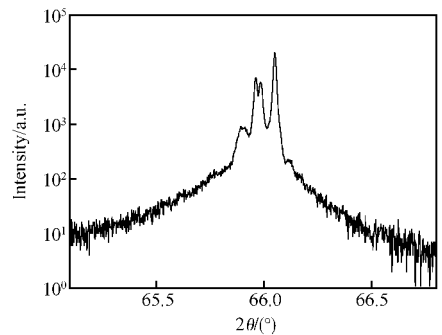
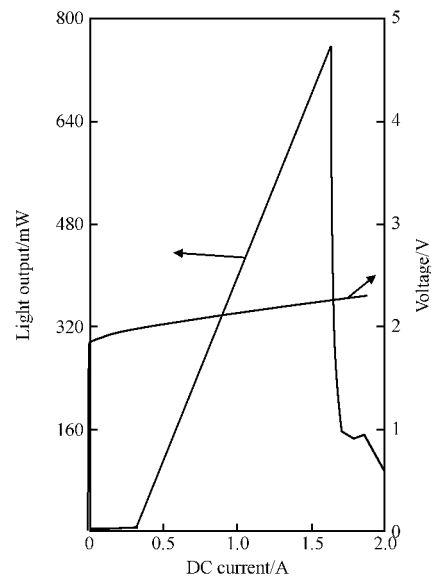


图 2 激光器材料的双晶 X 射线摇摆曲线

Fig. 2 X-ray rocking curve of the laser diode structure

阈值电流和斜率效率,另外镀膜还具有减小工作电流,改善器件寿命,调节发光波长的优点,所以在激光器制作工艺中经常采用.

图 3 普通氧化物条形结构 LD 的 $L-I-V$ 曲线Fig. 3 $L-I-V$ characteristics of conventional oxide stripe laser diode

对于带无注入电流窗口的激光器,腔面不镀膜时,器件的阈值电流典型值为 0.3A ,斜率效率为 0.55W/A ,最大输出功率为 800mW ,发光波长为 $670 \pm 4\text{nm}$;镀膜后器件的阈值电流典型值为 0.4A ,斜率效率为 0.98W/A ,发光波长 $670 \pm 2\text{nm}$,最大输出功率为 1100mW ,其 $L-I-V$ 曲线如图 4 所示.

可以看出带无注入电流窗口的激光器,虽然电流注入面积减小,会导致串联电阻少量增加,但是器件的阈值、斜率效率基本和常规氧化物条形激光器相当,并且增加了最大输出功率.由 $L-I-V$ 曲线看出,两种结构的器件均存在 COD 所致的器件失效,

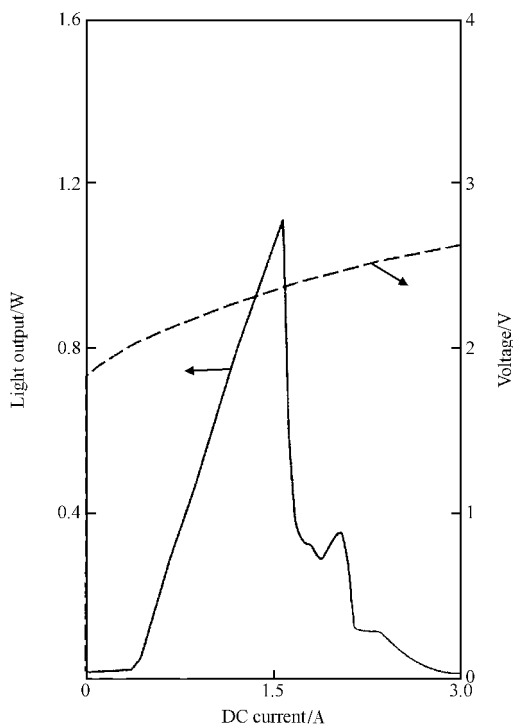


图 4 带无注入电流窗口结构 LD 的 $L-I-V$ 曲线

Fig. 4 $L-I-V$ characteristics of non-injection window laser diode

这主要是由于激光器处于大功率工作状态,腔面处仍有很强光吸收这导致 COD 出现。

我们对激光器的光束特性进行了理论计算.在计算中,根据激光器的实际管芯结构,把垂直结方向简化为对称五层平板波导结构,把平行结方向近似为增益平方波导结构.按照这样的电磁模型,计算得到光束垂直结方向的近场和远场分布,其远场发散角 $\theta_{\perp} = 39.7^{\circ}$,同时计算得到光束平行结方向的远场发散角 $\theta_{\parallel} = 8^{\circ}$.图 5 为激光器垂直远场发散角的计算结果,这 and 实际测量得到的 $\theta_{\perp} = 40^{\circ}, \theta_{\parallel} = 0^{\circ}$ 基本相符。

5 结论

采用低压 MOCVD 生长了 670nm 激光器外延片,并制作出大功率的 670nm 红光激光器.常规氧化物条形激光器,腔面不镀膜时器件的阈值电流为

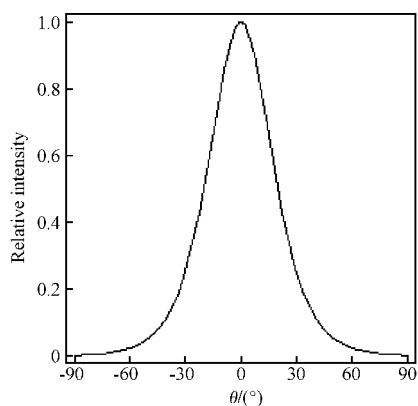


图 5 激光器垂直发散角的计算结果

Fig. 5 Calculation result of vertical far field pattern for the laser diode

0.3A,最大输出功率为 680mW;镀膜后器件的阈值电流为 0.38A,最大输出功率为 750mW,输出波长 $670 \pm 2\text{nm}$.对无电流注入窗口结构的激光器,镀膜前其最大输出功率为 800mW;镀膜后为 1100mW,表明该种结构可以提高器件的 COD 功率。

参考文献

- [1] Lu B, Osinski J S, Vail E, et al. High power 635nm low divergence ridge waveguide single mode lasers. *Electron Lett*, 1998, 34(3):272
- [2] Masumoto K, Yamada I, Tanaka H, et al. Tissue distribution of a new photosensitizer ATX-S10Na(II) and effect of a diode laser (670nm) in photodynamic therapy. *Laser Med Sci*, 2003, 18:134
- [3] Moser A, Oosenbrug A, Latta E E, et al. High power operation of strained InGaAs/AlGaAs single quantum well lasers. *Appl Phys Lett*, 1991, 59(21):2642
- [4] Hamada H, Shono M, Honda S, et al. AlGaInP visible laser diodes grown on misoriented substrates. *IEEE J Quantum Electron*, 1991, 27(6):1483
- [5] Lichtenstein N, Winterhoff R, Scholz F, et al. The impact of LOC structures on 670nm AlGaInP high power lasers. *IEEE J Sel Topics Quantum Electron*, 2000, 6(4):564
- [6] Sagawa M, Hiramoto K, Toyonaka T, et al. High power COD-free operation of 0.98 μm InGaAs/GaAs/InGaP lasers with non-injection regions near facets. *Electron Lett*, 1994, 30(17):1410

Fabrication of High Power 670nm Laser Diodes

Lin Tao, Jiang Li, Wang Jun, Tan Manqing, Liu Suping, Wei Xin,
Wang Guohong, and Ma Xiaoyu

*(National Engineering Research Center for Optoelectronics Devices, Institute of Semiconductors,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)*

Abstract: 670nm laser diode wafer is grown by low pressure MOCVD technology. Well of the active region is InGaAsP and barrier is AlGaInP. The so grown wafer is processed into 670nm high power oxide striped laser diodes with non current injected windows structure near the facets. Cavity length of the LD is $900\mu\text{m}$ and current injection width is $100\mu\text{m}$. Both the non-current injected windows are $25\mu\text{m}$ long. After coated, the typical threshold current is 0.4A, output wavelength is $670\pm 2\text{nm}$ and the maximum output power is 1100mW. Far field divergence angles in the junction-parallel and perpendicular directions are 8° and 40° respectively. These results show that the device structure can improve maximum output power.

Key words: 670nm; laser diodes; MOCVD; COD

EEACC: 2520D; 2530C; 4320J

Article ID: 0253-4177(2005)S0-0176-04