

低阈值 $1.3\mu\text{m}$ InGaAsP/InP 应变补偿多量子阱DFB 激光器LP-MOCVD 生长

陈 博 王 圩 汪孝杰 张静媛 朱洪亮 周 帆
王玉田 马朝华 张子莹 刘国利

(国家光电子工艺中心 中国科学院半导体研究所 北京 100083)

摘要 本文报道了用低压-金属有机化学气相淀积(LP-MOCVD)方法制作 $1.3\mu\text{m}$ 应变补偿多量子阱结构材料 X 射线双晶衍射摇摆曲线可清晰地看到 ± 4 级卫星峰和卫星峰间的 Pendellosong 条纹 整个有源区的平均应变量几乎为零 用掩埋异质结(BH)条形工艺制备的含一级光栅的DFB 激光器室温下阈值电流 $2\sim 4\text{mA}$, 外量子效率 $0.33\text{mW}/\text{mA}$, 线性输出光功率达 30mW , 边模抑制比(SMR)大于 35dB . $20\sim 40^\circ\text{C}$ 下的特征温度 T_0 为 67K .

EEACC: 4320J, 0510D, 4250

1 引言

由于石英光纤存在 $1.3\mu\text{m}$ 处的零色散窗口, 使得动态单纵模 $1.3\mu\text{m}$ DFB 激光器在局域网互联和光纤通讯系统中广泛受到人们的青睐^[1,2]. 同时自从 Internet 互联网在中国的开通和 CA TV 有线电视系统在中国城乡的广泛普及, 高性能的 $1.3\mu\text{m}$ DFB 激光器的国内市场需求也越来越大

许多理论分析和实验都表明采用应变量子阱结构可以降低激光器的阈值电流密度、改善线宽、提高调制频率和特征温度 T_0 等特性^[3~5]. 这是由于双轴应变可以改变半导体的能带结构, 应变将会引起半导体价带顶的轻、重空穴带退简并, 轻、重空穴带的分离有效地抑制了 Auger 复合和价带间吸收, 可以改善器件的温度特性, 提高特征温度 T_0 , 同时降低了价带顶的空穴平面有效质量和态密度, 因此可以使激光器更容易得到载流子的粒子数反转, 实现低阈值的室温连续工作. 而采用阱垒之间相反应变的应变补偿量子阱结构, 又会使应变量子阱结构更加优化; 降低整个有源区的平均应变量, 使量子阱的阱宽、阱数将不受应变量的限制. 可以有效地增加有源区的微分增益, 降低阈值, 提高饱和功率, 改善器件的温度等特性.

本文描述了 $1.3\mu\text{m}$ 应变补偿多量子阱结构材料的LP-MOCVD 生长, 及其 X 射线双晶衍射的表征, 还报道了BH 条形结构DFB 激光器的器件制作和特性测试结果.

2 材料生长及特性测试

我们采用的LP-MOCVD 生长技术, 在 AIXTRON/200 型MOCVD (德国制) 设备上进

陈 博 男, 1972 年出生, 博士生, 现从事MOCVD 材料生长、DFB 激光器及相关光子集成器件的研究工作
王 圩 男, 1938 年出生, 博士生导师, 从事LPE、MOCVD 材料生长、光电集成、光子集成器件的研究工作
1997-07-07 收到, 1997-09-23 定稿

行材料生长 III族元素有机源为三甲基铟(TM In)和三甲基镓(TM Ga), V族元素源为100% 磷烷(PH_3)和砷烷(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), 载气为经过钽管纯化过的氢气, 生长温度为655℃, 器件能带结构如图1所示(见图版D), 为分别限制异质结多量子阱结构(SCH-MQW). 在2英寸掺Si的(100)晶向n-InP衬底上依次生长n-InP缓冲层(Si掺杂, $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$), 非掺杂的下限制层, 非掺杂的应变8QW InGaAsP/InGaAsP有源区, 非掺杂的上限制层和P-InP盖层(Zn掺杂, $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$). 上、下限制层为与InP匹配的四元InGaAsP($\lambda = 1.1\mu\text{m}$), InGaAsP量子阱的压应变量为1%, 阱宽为8nm, $\lambda = 1.38\mu\text{m}$, 垒层InGaAsP的张应变量为-0.4%, $\lambda = 1.1\mu\text{m}$, 垒层厚12.5nm.

应变层材料的应变变量是用日本理学(Rigaku)SLX-1AL型X射线双晶衍射测定装置测量的. 图2(见图版D)为该结构的(400)晶向的X射线双晶衍射摇摆曲线, 从图中可以看到 ± 4 级的卫星峰和卫星峰间的Pendellosung条纹, 说明该结构异质界面陡峭, 每层具有良好的晶格完整性和均匀性, 适合器件制作. 从图中可知代表有源区平均应变变量的0级卫星峰的晶格失配度为 8×10^{-4} , 是个很小的压应变变量, 说明该结构已实现了应变补偿.

3 BH结构DFB激光器制备

光栅的制备是分布反馈DFB激光器的关键. 全息光栅制备技术是目前比较流行的光栅制备技术. 图3所示(见图版D)为在上限制层上刻蚀的一级光栅扫描电镜(SEM)剖面照片. 光栅周期 $\Lambda = 202.5\text{nm}$, 光栅经全息曝光、RIE刻蚀和湿法腐蚀而成.

我们采用了无 SiO_2 掩膜的条形掩埋(BH)专利技术, 大大简化了器件制作的工艺流程, 降低了器件的串联电阻, 提高了成品率. 器件结构如图4所示(见图版D). P面蒸Au/Zn/Au, N面减薄后蒸Au/Ge/Ni电极. 有源区条宽为 $2\mu\text{m}$, 解理腔长一般为 $300\mu\text{m}$.

4 器件测试

所示的BH条形结构激光器芯片解理成腔长 $300\mu\text{m}$ 器件, P面朝上压焊在铜热沉上测试其特性, 开启电压1V, 反向耐压10V, 正向串联电阻约为 5Ω . 室温下阈值电流低至2~4mA, 据我们所知, 这是国际报道的低阈值应变MQW-DFB激光器的最好水平. 25℃时未镀膜单端面斜率效率已达 $0.33\text{mW}/\text{mA}$, 单面线性输出光功率高达30mW以上. 用日本安立公司的MS9001B型光谱分析仪测试的室温下输出光功率在30mW下的单纵模光谱如图5所示(见图版D), 25℃下激射的Bragg波长 $1.307\mu\text{m}$. 主、边模抑制比SMSR大于35dB. 不同温度下的功率-电流曲线如图6所示(见图版D). 温度变化从20℃到100℃(每10℃测试一条曲线), 由阈值电流的温度特性关系 $I_{th} = I_0 \exp(T/T_0)$ 可计算出器件在20~40℃时的特征温度 T_0 为67K, 这已与理论计算值相接近^[4]. 40~100℃时的 T_0 降为45K, 这可能与我们的分别限制层(SCH)较少有关, 但100℃时, 器件的线性度仍较好, 阈值电流30mA. 器件可适用于无制冷光源器件的要求.

5 结论

我们用LP-MOCVD方法生长了一种 $1.3\mu\text{m}$ InGaAsP/InP阱垒压张应变补偿的多量子阱结构材料, 有效地降低了有源区的平均应变变量. 由其制备的 $2\mu\text{m}$ 条宽的BH结构DFB

激光器 $300\mu\text{m}$ 腔长时实现了极低阈值电流 $2\sim 4\text{mA}$ 室温 CW 工作, 主、边模抑制比 SM SR 大于 35dB , 高斜率效率 $0.33\text{mW}/\text{mA}$, 线性输出功率达 30mW . $20\sim 40$ 时的 T_0 高达 67K , 最高激射温度可达 100 .

致谢 作者感谢边静、白云霞在器件烧结、压焊、测试等方面给予的大力帮助, 在 LPE 外延方面得到田慧良的大力帮助, 苏慧云在电极制作方面给予很大帮助, 段利红在 SEM 测试方面给予很大支持, 孙明方、雷红兵在材料测试方面的大力支持, 在此一并表示感谢

参 考 文 献

- [1] H. Watanabe, T. Aoyagi *et al* , " $1.3\mu\text{m}$ strained MQW-DFB lasers with extremely low intermodulation distortion for high-speed analog transmission ", IEEE J. Quantum Electron , 1996, **32**(6): 1015~ 1023
- [2] H. Lu, C. Blaauw *et al* , " Single-mode operation over a wide temperature range in $1.3\mu\text{m}$ InGaAsP/InP Distributed Feedback lasers ", J. Lightwave Technol , 1996, **14**(5): 851~ 858
- [3] A. R. Adams , " Band structure engineering for low threshold high efficiency semiconductor lasers ", Electron Lett , 1986, **22**(5): 249~ 250
- [4] E. Yablonovitch and E. O. Kane , " Reduction of the lasing threshold current density by lowering the valence band effective mass. ", J. Lightwave Technol , 1986, **LT-4**: 505~ 506
- [5] P. J. A. Thijs, T. van Dongen, L. F. Tiemeijer *et al* , " High-performance $\lambda=1.3\mu\text{m}$ InGaAsP/InP strained-layer quantum well laser ", J. Lightwave Technol , 1994, **12**(1): 28~ 36

Low Threshold $1.3\mu\text{m}$ InGaAsP/InP Strained Compensated Multi-Quantum Well DFB Lasers Grown by LP-MOCVD

Chen Bo, Wang Wei, Wang Xiaojie, Zhang Jingyuan, Zhu Hongliang,
Zhou Fan, Wang Yutian, Ma Chaochao, Zhang Zhiying and Liu Guoli

(National Research Center for Optoelectronic Technology, Institute of Semiconductors,
The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083)

Received 7 July 1997, revised manuscript received 23 September 1997

Abstract $1.3\mu\text{m}$ InGaAsP/InP strained compensated multi-quantum wells structure grown by Low Pressure Metalorganic Chemical Vapor Deposition (LP-MOCVD) was proposed. The ± 4 order satellite peaks and Pendellosung stripes between satellite peaks were appeared clearly in the X-ray double crystal diffraction rocking curve. The average strain of active region is nearly zero. The threshold current of Buried Heterostructure (BH) MQW DFB laser with first order grating is $2\sim 4\text{mA}$ mostly. The external differential quantum efficiency is $0.33\text{mW}/\text{mA}$. The side mode suppression ratio (SM SR) is more than 35dB . The linear output light power is up to 30mW . The characteristic temperature is 67K between $20\sim 40$.

EEACC: 4320J, 0510D, 4250