

研究快报

# 低阈值 InGaAs-GaAs 应变层多量子阱激光器

肖建伟 徐俊英 杨国文 徐遵图  
张敬明 陈良惠

(集成光电子学国家重点联合实验室,中国科学院半导体研究所,北京, 100083)

周小川 蒋 健 钟战天

(中国科学院表面物理实验室,北京, 100080)

1991年10月25日收到

采用分子束外延(MBE)和二次液相外延技术(LPE)研制出 InGaAs-GaAs 折射率缓变分别限制应变层多量子阱(GRINSCH-STL-MQW)掩埋异质结(BH)激光器。在宽接触阈值电流密度  $1 \text{ kA/cm}^2$ <sup>[1]</sup> 的条件下,获得了很低的阈值电流,室温时,腔面未镀膜激光器的阈值电流为  $5.6 \text{ mA}$ 。 $(L = 120 \mu\text{m}, \text{CW}, 20^\circ\text{C})$  激射波长为  $9386 \text{ \AA}$  左右,外微分量子效率高达每面  $0.48 \text{ mW/mA}$ ,最高输出功率大于  $30 \text{ mW}$ 。

PACC: 4255P

掺 Er 光纤放大器的提出,为利用  $1.54 \mu\text{m}$  波长的长距离光纤通信系统提供了一种理想、简便的中继信号放大器。半导体激光器是这种光纤放大器最理想的实用化泵浦源。 $980 \text{ nm}$  和  $1480 \text{ nm}$  均为掺 Er 光纤的吸收峰。当泵浦波长为  $980 \text{ nm}$  时,  $\text{Er}^{3+}$  原子行为类似于理想的三能级系统,因而这一波长具有更高的泵浦效率和很低的噪音,因而  $980 \text{ nm}$  半导体激光器是一种理想的泵浦源,并为人们所重视。做为能带工程一个分支的应变层理论的提出和应变层量子阱结构的实现,使得人们可以利用 InGaAs-GaAs 量子阱结构,通过调整 In 组分和阱宽,使应变层量子阱激光器能够覆盖  $0.9$ — $1.1 \mu\text{m}$  半导体激光器研制的盲区。同时理论预期应变层量子阱结构将会获得更低的阈值电流。近一、二年国外在这方面的研究已经取得了长足的进展。

国外研制的低阈值器件一般为单量子阱结构。理论预测单量子阱应变层结构可获得最低的阈值电流密度,同时亦指出单量子阱结构模式增益极易饱和,注入电流密度与模式阈值增益关系呈非线性<sup>[2]</sup>,只有在很低的激光器损耗的条件下,(包括总腔内损耗,端面光输出损耗)单量子阱结构才可获得最低阈值电流密度,这要求器件内损耗很低,因而单量子阱器件对材料生长质量十分敏感,同时要采用长腔和腔面镀膜。一般不镀高反膜的单量子阱激光器在腔长为  $400$ — $500 \mu\text{m}$  时才能获得最低的阈值电流<sup>[3]</sup>。腔长增加对于提

高诸如激光器的外微分量子效率和调制带宽以及降低器件阈值等特性是不利的。在我们现有工艺条件下, 对一般腔长激光器, (150—300 $\mu\text{m}$ ) 多量子阱是比较好的结构。本文报道了这方面的初步尝试。利用多量子阱模式增益与注入电流的线性关系, 我们采用短腔结构同样获得了低阈值电流量子阱激光器。

研制的激光器为 InGaAs-GaAs 折射率缓变分别限制应变层多量子阱掩埋异质结构。其中 GRINSCH-STL-MQW 材料由分子束外延技术生长, BH 结构则采用液相外延技术完成。首先, 用 MBE 方法在 n<sup>+</sup>-GaAs(100) 衬底上生长量子阱异质结构, 生长次序为: 1 $\mu\text{m}$  n<sup>+</sup>-GaAs 缓冲层, ( $n = 1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ) 1 $\mu\text{m}$  n-Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As 下限制层, ( $n = 5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ ) 不故意掺杂的 0.1 $\mu\text{m}$  Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As 组分缓变层, ( $x$  从 0.4 渐变至 0) 应变量子阱有源区(非掺), 不故意掺杂的 0.1 $\mu\text{m}$  Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As 组分缓变层, ( $x$  从 0 渐变至 0.4) 1 $\mu\text{m}$  p-Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As 上限制层, ( $p = 5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ ) 0.1 $\mu\text{m}$  P<sup>+</sup>-GaAs 顶层, ( $p = 1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ) 和 200 $\text{\AA}$  P<sup>+</sup>-GaAs 欧姆接触层 ( $p = 5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ) 其中应变层多量子阱有源区中多量子阱结构为: 3 个阱, 阵和势垒材料分别为 In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As 和 GaAs, 阵宽 65—100 $\text{\AA}$ , 垒宽 90 $\text{\AA}$ , 激射波长可在 0.94—1.03 $\mu\text{m}$  之间调整。GRINSCH-STL-MQW 结构示于图 1。宽接触阈值电流密度约 1kA/cm<sup>2</sup>(300 $\mu\text{m}$  × 100 $\mu\text{m}$ )<sup>[1]</sup>。

MBE 生长之后, 在衬底上化学腐蚀出台阶, 有源区宽度为 2—3.5 $\mu\text{m}$ 。然后对片子进行清洁处理, 在装舟前将 GaAs 顶层腐蚀掉, 放入石墨舟进行二次液相外延生长, 再生长温度为 780°C。依次生长 P-Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As( $p = 5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ ) 和 n-Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As ( $n = 5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ ) 电流限制层。二次外延后用一般 BH 激光器研制工艺制出 BH 激光器。这一工艺包括: 热淀积 2000 $\text{\AA}$  SiO<sub>2</sub>, 在 BH 条中心刻出相应的欧姆接触窗口, 浅 Zn 扩散。然后减薄至 100 $\mu\text{m}$ , 用蒸发、合金工艺制成 p-型 Au-Zn 和 n-型 Au-Ge-Ni 欧姆接触。由于这种 BH 结构 P 型顶层没有重掺杂的 GaAs 层, Zn 扩散对降低欧姆接触和改善器件特性是十分重要的。BH 激光器截面示意图示于图 2, 其中有源区宽度为 3.5  $\mu\text{m}$ 。

我们测量了器件的各项特性。为了验证多量子阱激光器的阈值特性, 我们把片子解理

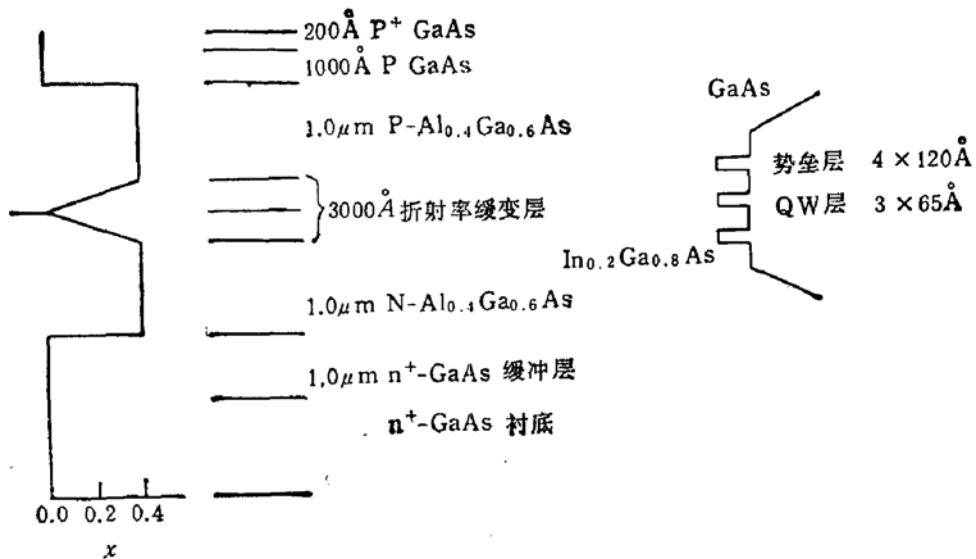


图 1 分子束外延(MBE)生长的 GRINSCH-STL-MQW 结构示意图。有源区为三阱结构, 阵宽 65  $\text{\AA}$

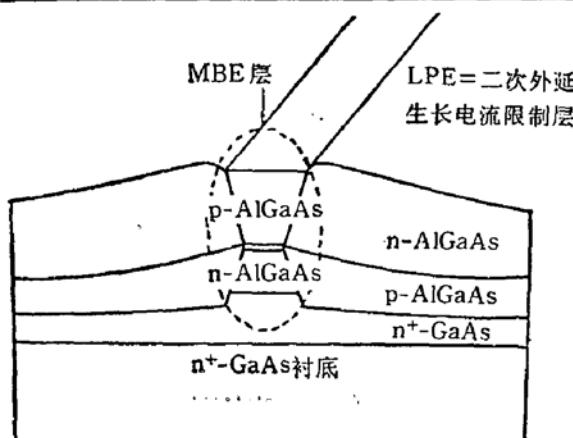


图2 二次液相外延(LPE)后BH结构示意图

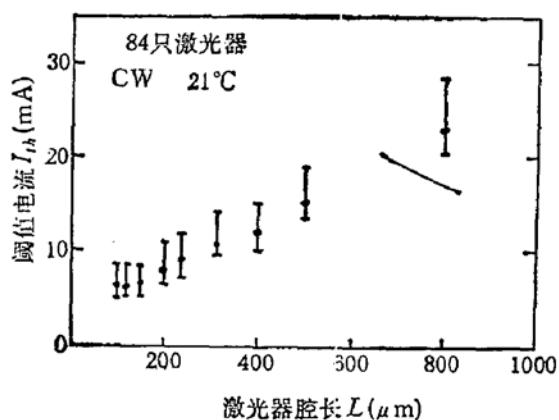


图3 折射率缓变分别限制应变层多量子阱掩埋异质结激光器阈值电流随腔长的分布

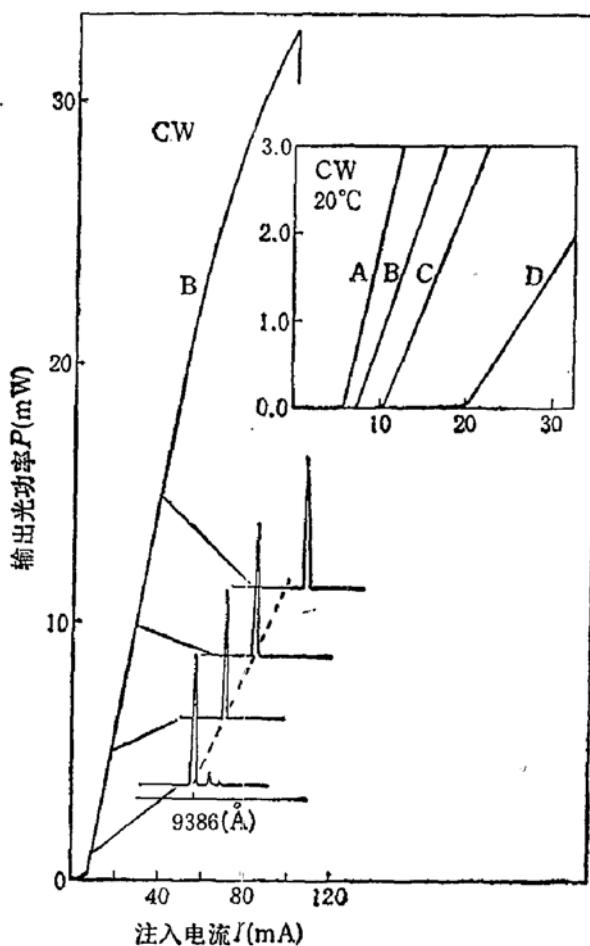


图4 典型的器件光输出一电流曲线。其腔长  $L$ , 阈值电流  $I_{th}$  和外微分量子效率分别为:  
(A)  $120\mu\text{m}, 5.6\text{mA}, 0.48\text{mW/mA}$ ; (B)  $200\mu\text{m}, 7.5\text{mA}, 0.34\text{mW/mA}$  (C)  $400\mu\text{m}, 12\text{mA}, 0.26\text{mW/mA}$  (D)  $800\mu\text{m}, 21\text{mA}, 0.16\text{mW/mA}$ , 其中包括器件B在不同输出时的光谱图,  
中心波长为  $9386\text{\AA}$  左右

成不同腔长的激光器条。芯片焊在铜热沉上以获得较高的 CW 输出。所有测试都是在室温和连续注入(CW)条件下进行的。所测的这些激光器的阈值电流  $I_{th}$  随腔长的分布和几条典型的  $L-I$  曲线分别示于图3和图4。最低阈值电流低达  $5.6\text{mA}$  ( $120\mu\text{m} \times 3.5\mu\text{m}$ )。中心激射波长  $9386\text{\AA}$  左右, 并随腔长增加而增加, 这与文献[3]所预测的结果

相吻合。若能改进材料特性降低内损耗，同时采用腔面镀膜等措施，激射波长将会移至  $9800\text{\AA}$  左右。用图 3 和文献 [3] 中的结果相比较是很有意义的。单量子阱器件的阈值在腔长  $L = 400\mu\text{m}$  附近得到最低值，然后随着腔长的减小而增加，当激光器的腔长  $L$  小于  $300\mu\text{m}$  时，阈值电流将急剧增加。图 3 所示的结果却表明，直到  $L = 100\mu\text{m}$  时，多量子阱器件的阈值电流仍保持随腔长而减小的趋势。当  $L$  小于  $150\mu\text{m}$  时，我们研制的多量子阱器件的阈值电流比文献 [3] 中同一腔长的要低，考虑到我们研制的器件有源区宽达  $3.5\mu\text{m}$ ，因而当腔长小于  $300\mu\text{m}$  时，多量子阱结构在获取低阈值器件方面将有优势。 $300\mu\text{m}$  腔长 BH 激光器的阈值电流仅为  $11\text{mA}$ ，与宽接触阈值电流密度相当，这说明我们研制的 BH 结构有极好的电流限制作用。在我们所测的范围内，器件均以基横模工作，远场图形近似圆形，便于激光器与光纤的直接耦合和提高耦合效率。应变层多量子阱激光器在 CW 条件下，可在一定注入电流区间保持单纵模。(见图 4)图中器件 B( $l = 200\mu\text{m}$ )在光输出小于  $2\text{mW}$  时获得了单纵模，并保持到  $12\text{mW}$  才从一个纵模模式跳到相邻的另一模式，这一跃变是朝长波方向，因而是由大注入下结温升高引起的。器件的最高输出功率大于  $30\text{mW}$ ，在直到器件烧毁前仍能保持较好的线性，这说明：器件的电流限制作用和热特性均佳，腔面在高功率下烧毁是造成激光器大功率损坏的主要因素。若采用增透膜腔面，可大幅度提高器件的输出功率。由图 4 的  $L-I$  曲线我们可以读出激光器的外微分量子效率。这一效率与腔长有关，约为  $0.16\text{mW/mA}$ ( $L = 800\mu\text{m}$ ) 至  $0.48\text{mW/mA}$ ( $L = 120\mu\text{m}$ )。这说明有源区的内损耗还比较大，若改进材料特性，不仅可以继续降低器件的阈值电流，还可提高大腔长激光器的外微分量子效率和提高器件的最大输出功率。任选十四支器件在氮气保护条件下，进行恒功  $3\text{mW}$  室温老化试验。除了一支器件失效外，其余十三只在最初几小时阈值有所增加，增幅  $3\%-25\%$ ，之后便保持稳定输出不变，迄今为止已老化了 700 小时，这一试验仍在进行中。

致谢：中国科学院半导体研究所七室工艺组的同志组装了器件，作者在此谨致谢意。

### 参 考 文 献

- [1] 肖建伟等，1991年砷化镓及有关化合物会议文集，宁波，(1991).
- [2] 张敬明等，半导体学报，13(2)，67，(1992).
- [3] T.R. Chen, et al., J. Quantum Electronics, 26, 1183(1990).

## Low Threshold Current InGaAs-GaAs Strained Layer Quantum Well Laser

Xiao Jianwei, Xu Junying, Yang Guowen, Xu Zuntu, Zhang Jingming, Chen Lianghui

(*Institute of Semiconductors, Academia Sinica, Beijing, 100083*)

Zhou Xiaochuan, Jiang Jian, Zhong Zhantian

(*National Laboratory for Surface Physics, Academia Sinica, Beijing, 100080*)

### Abstract

Graded index separated confinement heterostructure strained layer multi-quantum-well (GRINSCH-STL-MQW) buried heterostructure (BH) lasers were fabricated by a hybrid molecular beam epitaxy (MBE) and liquid phase epitaxy (LPE) technique. Low threshold current, 5.6 mA for an uncoated laser ( $L=120\mu m$ , CW, 20°C), was achieved with the MBE wafer threshold current density of 1 KA/cm<sup>2</sup>. Lasing wavelength is 9386Å. External quantum efficiency as high as 0.48 mW/mA and more than 30 mW output power were obtained.

**PACC:** 4255P