

用 LPE 研制的室温连续工作的 $1.48 \mu\text{m}$ 单量子阱激光器

杨志坚 党小忠 陈妮兮 王舒民 章 蓓

陈高庭

(北京大学物理系, 北京 100871)

(中国科学院上海光机所, 上海 201800)

提要 利用液相外延(LPE)技术研制出室温连续工作的 InGaAsP/InP 分别限制单量子阱(SCH-SQW)双沟平面掩埋(DC-PBH)激光器。室温下,腔面未镀膜的激光器最低阈值电流为 23 mA(激光器腔长为 $200 \mu\text{m}$, CW, 13°C)。激射波长为 $1.48 \mu\text{m}$, 最高输出功率达 18.8 mW ($L = 200 \mu\text{m}$, CW, 18°C)。脉冲输出峰值功率大于 50 mW(脉冲宽度 $1 \mu\text{s}$ 、频率 1 kHz), 未见功率饱和。量子阱的阱宽为 20 nm ^[1]。

关键词 液相外延, 半导体激光器, 量子阱

1 引言

掺 Er 光纤放大器的提出, 为利用 $1.50 \mu\text{m}$ 波段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。 $0.98 \mu\text{m}$ 和 $1.48 \mu\text{m}$ 波长均为掺 Er 光纤的吸收峰, 而 $1.48 \mu\text{m}$ 泵浦源光场和掺 Er 光纤光场极为接近, 泵浦效率较高, 因而 $1.48 \mu\text{m}$ InGaAsP/InP 激光器是掺 Er 光纤理想的泵浦源之一。作为泵浦源, 要求激光器有较高的功率输出, 而量子阱激光器具有高功率输出的特点。为此我们用 LPE 技术进行了一些探索。

到目前为止, 量子阱结构激光器主要靠 MO-CVD 和 MBE 等先进技术和设备来实现。利用这些技术, 已获得高质量的超薄外延层, 并且界面过渡层可达单个原子层厚度。这些成就使量子阱激光器得到飞速发展。而 LPE 技术因设计简单, 造价低廉, 所以人们不断努力尝试。国外文献陆续报道了用 LPE 生长出量子阱结构并制成了量子阱激光器^[1~5]。苏联约飞实验室研制的 $0.8 \mu\text{m}$ 单量子阱激光器连续功率达 5.3 W, 功率转换效率超过 50%。

本文介绍了我们用 LPE 技术研制的 InGaAsP/InP 分别限制单量子阱(SCH-SQW)双沟平面掩埋(DC-PBH)激光器及其特性。

2 激光器结构参数及制备

用 LPE 技术研制量子阱激光器遇到的困难及克服办法主要有下面两条:

1) 使 LPE 技术的生长速率降低并缩短生长时间,如低温生长,快速推舟等。

2) 常规 LPE 技术各层间存在一个较大的过渡层。解决这一问题的关键是生长各层时,尽量采用较大过冷度。特别是有源层以上各层的生长更应如此。另外一个应遵循的原则是波导各层的组份(x, y)不能相差太大,以免各层化学势相差过大产生回熔而导致层间太厚的过渡层。

在我们的实验研究中,首先于 645 °C 时在 n^- -InP 衬底上生长分别限制单量子阱结构。生长次序为:(1) 回熔 InP 衬底 10 μm ,以去掉热腐蚀损伤;(2) 9 μm n^- -InP 缓冲层($n = 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$);(3) 未掺杂的 170 nm 厚的 InGaAsP($\lambda_g = 1.03 \mu\text{m}$);(4) 未掺杂的 40 nm 厚的 InGaAsP($\lambda_g = 1.25 \mu\text{m}$);(5) 未掺杂的 20 nm 厚的 InGaAsP($\lambda_g = 1.48 \mu\text{m}$),为量子阱区宽度;(6) 未掺杂的 40 nm 厚的 InGaAsP($\lambda_g = 1.25 \mu\text{m}$);(7) 未掺杂的 170 nm 厚的 InGaAsP($\lambda_g = 1.03 \mu\text{m}$);(8) 未掺杂的 210 nm 厚的 InP;(9) 未掺杂的 220 nm 厚的 InGaAsP($\lambda_g = 1.03 \mu\text{m}$)。

其中第(8)层 $\lambda_g = 1.03 \mu\text{m}$ 的 InGaAsP 层,主要用作保护其下面的 InP 层,减小热腐蚀以利于二次外延生长。

另外,我们还通过双晶 X 射线衍射测量了外延层质量。结果显示层间晶格失配度均为 10^{-4} 量级。

整个结构示意图见图 1。制备好的一次外延片先腐蚀掉 $\lambda_g = 1.03 \mu\text{m}$ 的 InGaAsP 保护层。光刻后化学腐蚀出双沟台阶,于 590 °C 进行二次外延。生长依次序为: P^- -InP; n^- -InP, P^- -InP, P^- -InGaAsP。二次外延后,用一般激光二极管工艺制成 DC-PBH 管芯。

图 2 为管芯的 SEM 照片,其中有源区宽度约为 4 μm 。

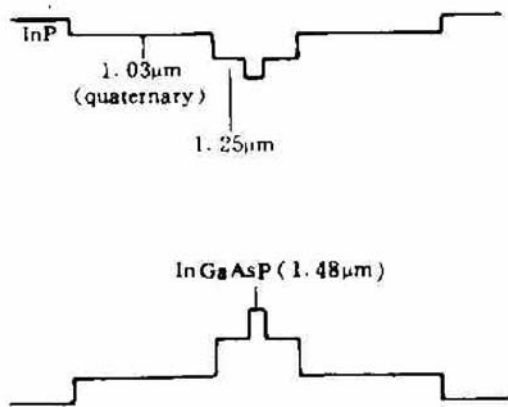


Fig. 1 Schematic band diagram of a SCH single quantum well structure

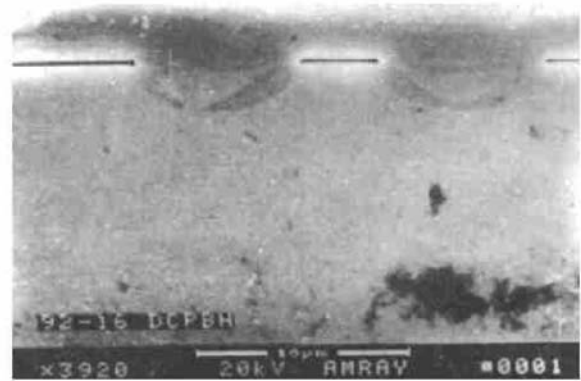


Fig. 2 SEM photomicrograph of a DC-PBH structure

3 测试结果与分析

3.1 室温光荧光测量

我们于室温下,用双光栅单色仪测量了非掺杂 SCH-SQW 结构样品和体材料样品的光致荧光光谱。激发源采用波长为 514.5 nm 的 Ar^+ 激光器,并利用液氮冷却的锗探测器接收光荧光信号。

测量得到的光谱如图 3 所示。图中, A 为分别限制单量子阱样品,其光谱半高宽度为 57.3

meV; B 为体材料样品, 其光谱半高宽度为 69.8 meV。可见单量子阱样品的半高宽度小于体材料样品的半高宽度。这可以从量子阱的状态密度函数呈台阶型来解释。这也从一个侧面证明我们研制的激光器具有量子尺寸效应。

另外光谱 A 的峰值波长相对于光谱 B 的峰值波长向短波长方向移动也是由量子阱中能级量子化效应造成的。

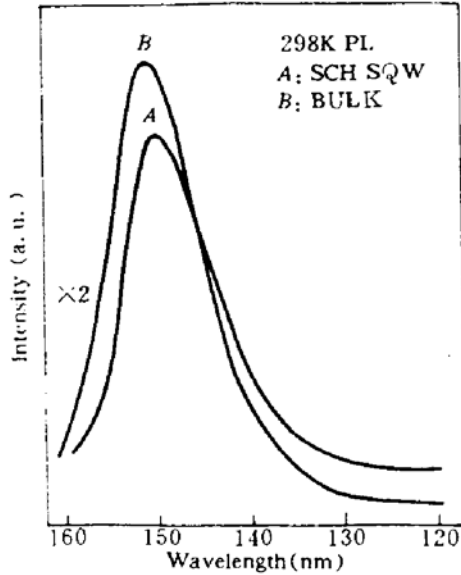


Fig. 3 The PL spectrum

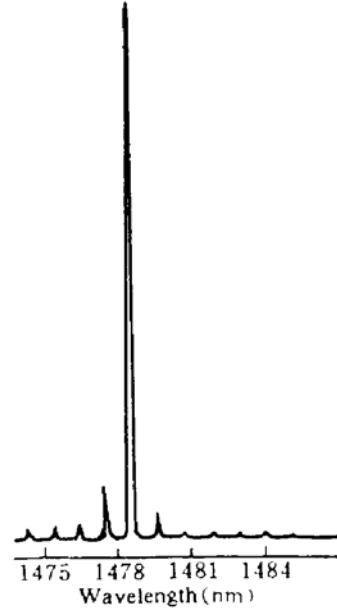


Fig. 4 Lasing spectra of a SCH-SQW LD by LPE

3.2 光谱测量

激光器激光谱如图 4 所示。中心激光波长为 1478.6 nm。

另外, 我们在测量另一个激光器激光谱时, 获得了三组激光峰, 示于图 5。这也证明了所做器件有源区厚度达到量子尺寸效应水平。

图 5 中, A 峰是电子从导带子能级到价带空穴子能级的跃迁 ($\Delta n \neq 0$)。因属 $\Delta n \neq 0$ 的跃迁, 其增益谱较窄。反映到激光谱上, 则谱线较窄, 伴峰极弱且极少。

B 峰相应于电子从 $n = 1$ 的导带子能级到价带 $n = 1$ 的轻空穴的跃迁。

C 峰相应于电子从 $n = 1$ 的导带子能级到价带 $n = 1$ 的重空穴的跃迁。

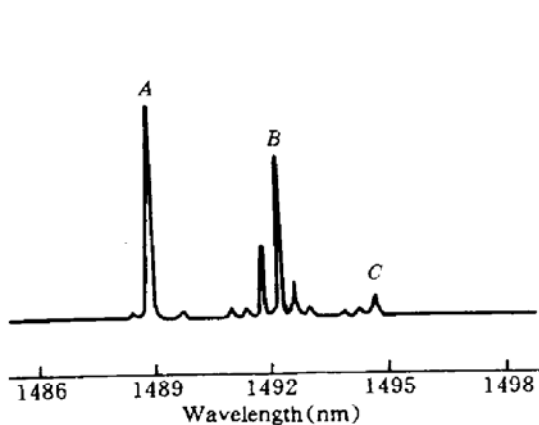


Fig. 5 Lasing spectra at 75 mA injection current

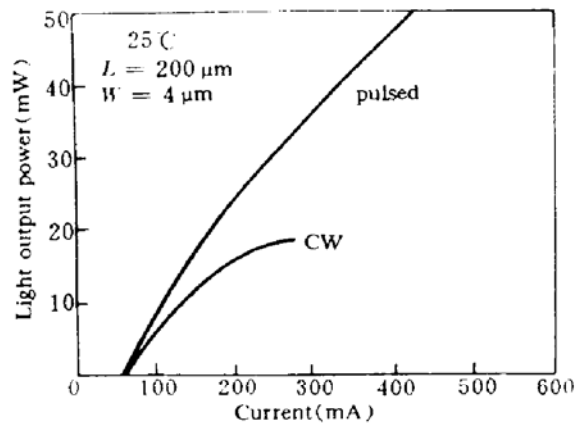


Fig. 6 Light power output versus injection current characteristics

3.3 室温阈值电流和输出功率

我们所做器件获得的最低阈值电流为 23 mA。

图 6 为 $L-I$ 曲线。最大连续输出功率为 18.8 mW, 阈值电流 59 mA, 外微分量子效率为 12% (单面)。

从更细致的 $L-I$ 曲线可看出, 该器件 $V-I$ 曲线在 $I = 100$ mA 时扭折, 串联电阻下降。分析为反向 $P-n$ 结在电压达到一定值时导通, 造成功率饱和。另外, 从图 2 的 SEM 照片可以看出, 二次外延的第一层 P^+-InP 厚度不均匀, 有的地方很薄, 会造成较大的漏电流。

功率饱和的另一个重要原因是有源区的热效应, 这与有源区质量有关。预计采用慢速降温及微回熔技术, 将使有源区质量有所提高。另外, 无溴处理工艺也是一种值得尝试的方法。

目前, 我们正选择更合理的波导结构, 提高有源区质量, 降低杂散损耗, 以提高输出功率, 也考虑采用端面镀膜来获得高输出功率。另外, 也将用 MO-CVD 技术进行一些尝试。

参 考 文 献

- 1 邢启江, 王舒民等. 半导体学报, 1993, 14(9): 540~544
- 2 K. kelting, K. Koehler P. Zwicknagl. *Appl. Phys. Lett.*, 1986, 48(2): 157
- 3 Seiji Mukai, Masanobu Watanabe *et al.*. *Japanese Journal of Applied Physics*, 1989, 28(10): L1725~L1727
- 4 Yoichi Sasai, Nobuyasu Hase *et al.*. *Japanese Journal of Applied Physics*, 1985, 24(2): L137~L139
- 5 J. Caser *et al.*, *J. Crystal Growth*, 1987, 85(3): 343

Room Temperature CW Single Quantum Well Laser at 1.48 μm Fabricated by Liquid Phase Epitaxy

Yang Zhijian Dang Xiaozhong Chen Weixi Wang Shumin Zhang Bei
(*Department of Physics, Peking University, Beijing 100871*)

Chen Gaoting

(*Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800*)

Abstract We have successfully fabricated the room temperature CW InGaAsP/InP separated confinement single quantum well (SQW) DC-PBH laser at 1.48 μm by liquid phase epitaxy for the first time in our country. The lowest threshold current at room temperature is 23 mA for the cavity length of 200 μm . The highest CW output power is 18.8 mW per facet without mirror coating. The power saturation doesn't occur yet while the pulsed output power is higher than 50 mW. The thicknesses of active layer and transition layer in quantum well are 20 nm and 3 nm, respectively.

Key words liquid phase epitaxy, quantum well, semiconductor laser