

高功率 808 nm InGaAsP-GaAs 分别限制结构的半导体激光器

朱宝仁 张兴德 薄报学 张宝顺 杨忠和

(长春光学精密机械学院高功率半导体激光国家重点实验室, 长春 130022)

摘 要 介绍了研究分别限制结构的(SCH) InGaAsP-GaAs 半导体激光器所得到的最新成果。利用引进的俄国技术, 基于量子阱(QW)结构的 InGaAsP-GaAs 激光器, 可用短时间液相外延(LPE)技术制造。在(100) GaAs 衬底上制成的 InGaAsP-GaAs 分别限制结构的激光器, 主要参数如下: 发射波长 $\lambda = 808 \text{ nm}$, 阈值电流密度 $J = 300 \text{ A/cm}^2$, 对于条宽 $w = 100 \mu\text{m}$ 的激光器, 连续功率为 1~2 W。对制成的激光器, 进行连续 1000 h 的实际寿命试验, 并讨论了对寿命的影响因素。

关键词 半导体激光器, 高功率, 分别限制结构。

1 引 言

作者用液相外延法已经生长出具有 800 nm 发射波长的 InGaAsP-GaAs 半导体激光器。用它泵浦 Nd:YAG 激光器, 可和传统的 AlGaAs-GaAs 双异质结激光器相媲美^[1, 2]。与传统的 AlGaAs-GaAs 激光器相比, 它有许多优点, 最突出的是它的镜面温度低, 并且抵制形成暗线效应, 因此在高光功率密度时有较长的寿命。

利用引进的俄国技术, 基于量子阱结构的 InGaAsP-GaAs 激光器, 可用短时间液相外延技术制造。制得的激光器, 发射波长在 $\lambda = 790 \sim 810 \text{ nm}$ 之间, 阈值电流密度 $J_{\text{th}} = 300 \sim 470 \text{ A/cm}^2$, 对于条宽 $w = 100 \mu\text{m}$ 的激光器, 连续功率 $P = 1 \sim 2 \text{ W}$ 。

2 参数分析和结构选择

通常, 温度为 T 时的阈值电流密度可表示为

$$J_{\text{th}} = J_{\text{th}}(T') \exp[(T - T')/T_0] \quad (1)$$

其中 $J_{\text{th}}(T')$ 是温度为 T' 时的阈值电流密度, T_0 是特征温度, 表示阈值电流密度对温度的敏感性。对于 InGaAsP-GaAs 分别限制激光器, T_0 比较小, 因此, 激光器的工作电流随温度增加而急剧增加。激光器会由于增加的工作电流而被加热, 从而进一步增加阈值电流。这是一种恶性循环, 限制了激光器的输出功率和稳定性。因此, 控制激活区的温升是保证输出功率的一种有效方法。

假定单位腔长的热阻和串联电阻是常数, 有源区的温升 T_j ^[3]

$$T_j = R_{tho}\{V_j D [J_a - J_{th}(T_j)] [1 - \eta_d(T_j)] + R_{so} D J_a\} \quad (2)$$

其中 J_a 为所用电流密度, V_j 为结电压, D 为有源层厚度, $\eta_d(T_j)$ 和 $J_{th}(T_j)$ 分别表示温度 T_j 时外微量子效率和阈值电流密度。 R_{tho} 为单位腔长的热阻, R_{so} 为单位腔长的串联电阻。

从(2)式可以看出:

1) 当 $J_a = J_{th}(T_j)$ 时, 有源区的温升 $T_j = R_{tho} R_{so} D J_{th}(T_j)$, 即温升和阈值电流密度成正比。由于分别限制结构的阈值比较低, 所以温升比较低。

2) 当 $J_a > J_{th}(T_j)$ 时, 有源区的温升 T_j 是结电压 V_j 、有源层厚度 D 、所用电流密度 J_a 、阈值电流密度 $J_{th}(T_j)$ 和外微量子效率 $\eta_d(T_j)$ 的函数。

根据上面分析, 选择了六层分别限制结构, 图 1 表示其结构示意图, 图 2 表示它的能带图。分别限制结构是在掺 Si(具有掺杂浓度为 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) GaAs 衬底的(100)方向上生长的, 其构成为: 1) 掺 Te 的 InGaP 下限制层 ($N_d = 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) 厚度 $d_1 = 2 \mu\text{m}$; 2) 未掺杂 InGaAsP 下波导层, 带隙 $E_g = 1.7 \text{ eV}$, 厚度 $d_2 = 0.2 \mu\text{m}$; 3) 未掺杂 InGaAsP 有源层, 带隙 $E_g = 1.5 \text{ eV}$, 厚度 $d = 20 \text{ nm}$; 4) 未掺杂 InGaAsP 上波导层, 带隙 $E_g = 1.7 \text{ eV}$, 厚度 $d_3 = 0.2 \mu\text{m}$; 5) 未掺杂 InGaP 上限制层, 厚度 $d_4 = 0.1 \mu\text{m}$; 6) 掺 Zn InGaP 欧姆接触层, ($N_a = 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$), 厚度 $d_5 = 1 \mu\text{m}$ 。

p-InGaP	(Zn)
InGaP	(int)
InGaAsP	(int)
InGaAsP	(int)
InGaAsP	(int)
InGaP	(Te)
n-GaAs sub	(Sn)

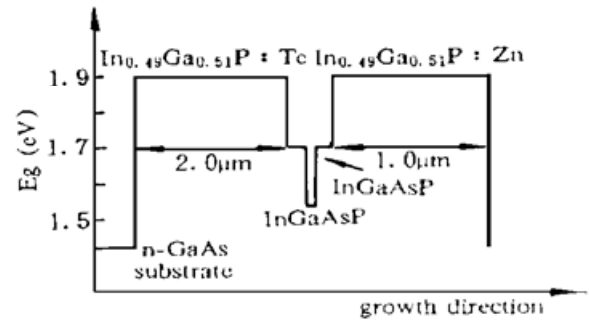


Fig. 1 Schematic band diagram of a 800 nm In-GaAsP/GaAs SCH laser

Fig. 2 Schematic diagram of the 800 nm laser

从图 1 和图 2 可以看到:

1) 分别限制结构限制载流子在有源层内, 限制光子在波导层内。这样可以把有源层做得很薄以降低阈值电流密度, 因而有效的限制有源层的温升。而较厚的波导层则降低了它上面的光功率密度, 因而提高了光致灾变性损伤光强的阈值;

2) 由于在分别限制结构中存在波导层, 进一步减少了电子和空穴泄漏。加之波导层是本征材料, 光吸收损耗小, 因而改善了器件的温度特性, 并增大了输出功率。在分别限制结构中, 各层的厚度和掺杂水平是理论计算和实际生长所决定的。这样的结构达到了有效限制有源层温升和增大输出功率的目的。

3 外延生长和器件的制造

采用的液相外延二相溶液技术是用一个改进的多槽石墨舟, 用水平滑动法进行外延生长。在开始生长前用纯 In 溶液回熔衬底以去除热损伤层和保证外延生长质量。

用低位错 ($10^4/\text{cm}^2$) n 型 ($N_d = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) GaAs 单晶片做衬底, 用机械化学抛光, 使单晶具有(100)方向, 偏差小于 $3'$ 。在放进石墨舟之前, GaAs 衬底要经过常规化学清洗和用

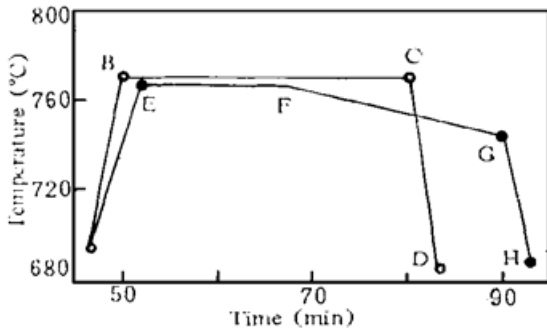


Fig. 3 Typical epitaxial growth schedule to grow the 800 nm InGaAsP/GaAs SCH laser structure

311 腐蚀液进行腐蚀。生长分别限制结构的溶液是由 GaAs、InAs、InP 和纯 In(99.9999%) 配制而成。在外延生长前 InAs、GaAs、InP 和溶剂 In 是在纯 H₂ 气氛的保护下在 770 °C 保持 30 min 进行熔源。然后把腐蚀好的衬底放进石墨舟并把舟放进石英反应管中, 在纯 H₂ 的保护下, 在 770 °C 保持 15 min, 然后降温, 降温速率 1~ 1.5 °C/min。当温度降到 750 °C 时开始生长。外延生长的温度-时间曲线示于图 3。

用标准的光刻技术在外延好的片子的 p 面制造

100 μm 宽的 Au/AuZn/Au 条形接触, 接着用选择腐蚀除去条间的敷金和 p -InGaP, 减薄样品到 100 μm, 并在 n 面沉积 AuGe/Ni/Au。在 p 面上淀积 100 nm 厚的金。并解理成腔长 1 mm 左右的管芯, p 面向下键合在热沉上做成激光器。

4 808 nm InGaAsP-GaAs 分别限制结构的激光器的主要特性

由于分别限制结构的一个重要目的是追求高功率, 所以激光器的最重要特性就是输出功率。测量了 20 只激光器样品, 其输出功率在 1~ 2 W 之间, 外微分量子效率在 30%~ 75% 之间, 阈值电流密度在 300~ 470 A/cm² 之间, 如表 1 所示。

Table 1. Threshold current I_{th} , CW power P , external differential efficiency η_d and lasing wavelength λ of the 20 lasers

No.	I_{th} (A)	P (W)	η_d (%)	λ (μm)	No.	I_{th} (A)	P (W)	η_d (%)	λ (μm)
1	0.35	1.50	65	807.5	11	0.38	1.45	58	801.0
2	0.35	1.65	70	808.5	12	0.45	1.20	30	799.0
3	0.33	1.70	75	809.0	13	0.45	1.30	47	797.0
4	0.40	1.40	50	805.0	14	0.50	1.25	47	795.0
5	0.35	1.60	70	808.0	15	0.47	1.35	60	802.0
6	0.36	1.55	70	805.0	16	0.45	1.30	65	801.0
7	0.38	1.50	70	805.0	17	0.55	1.25	50	798.0
8	0.40	1.65	70	810.0	18	0.48	1.30	50	790.0
9	0.38	1.55	60	805.0	19	0.55	1.35	55	791.0
10	0.40	1.65	70	799.0	20	0.51	1.25	45	799.0

图 4 示出腔长 $L = 1$ mm, $d = 25$ nm 的一个激光器, 当驱动电流刚好高于阈值 I_{th} 时的发射光谱曲线。实验证明, 改变腔长和改变热沉的温度, 可以调节发射波长。如图 5 所示。

对制得的一只激光器进行了实际寿命试验。试验是在恒定驱动电流 1.5 A 下进行的, 热沉温度 25 °C, 光功率 1 W。最初 100 h 光功率下降大约 4%; 在 1000 h 后, 光功率下降仅仅 5%, 如图 6 所示。

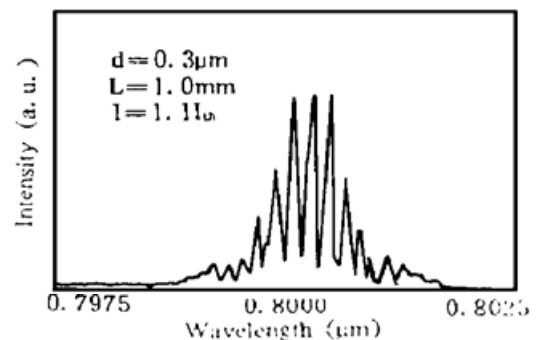


Fig. 4 Lasing spectra of the 808 nm SCH laser

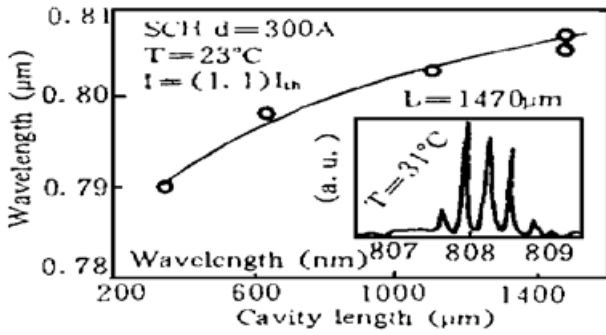


Fig. 5 Lasing wavelength dependence on cavity length for diodes with 300 Å-thick active layer at 23°C. Inset: Lasing spectrum for a diode from the same wafer with cavity length 1.47 mm at 31°C

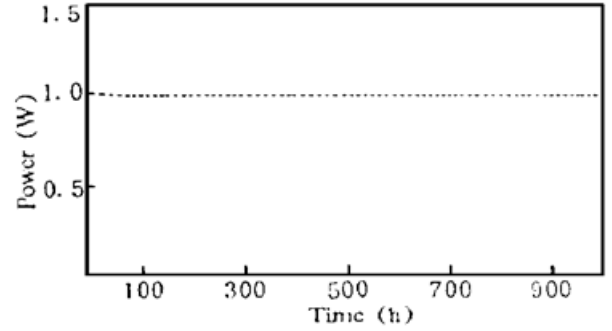


Fig. 6 Lifetime testing histories for laser

808 nm InGaAsP-GaAs 分别限制结构的激光器寿命较长, 是因为在四元 In-Ga-As-P 化合物中, 缺位的滑动和爬动受到抑制, 因而抵制暗线效应(DLD)的形成。

参 考 文 献

- [1] N. Y. Antonishkis, I. N. Arsentyev, D. Z. Garbuzov *et al.*, Power CW InGaAsP/GaAs heterostructure lasers with a dielectric mirror. *Sov. Tech. Phys. Lett.*, 1988, **14**(2) : 310~ 313
- [2] D. Z. Garbuzov, I. N. Arsentyev, A. V. Ovchinnikov *et al.*, InGaAsP/InP ($\lambda = 1.3 \mu\text{m}$) and InGaAsP/GaAs ($\lambda = 0.8 \mu\text{m}$) quantum well lasers grown by liquid phase epitaxy. in *Tech. Dig., Conf. Lasers Electro-Opt., Soc. Amer.*, Washington, DC. 1988 : 396~ 398, Paper THU 44
- [3] 钟景昌, 朱宝仁, 黎荣辉等, 1.55 μm 大光腔激光器. *光学学报*, 1992, **12**(3) : 193~ 198
- [4] B. R. Zhu, R. H. Li, Y. J. Zhao *et al.*, 1.3 μm separate confinement lasers. *Proc. SPIE*, 1994, **2321** : 323~ 325

High Power 808 nm InGaAsP/GaAs SCH Lasers

Zhu Baoren Zhang Xingde Bo Baoxue Zhang Baoshun Yang Zhonghe
(Changchun College of Optics and Fine Mechanics

High Power Semiconductor Laser State Key Laboratory, Changchun 130022)

(Received 1 November 1996; revised 23 December 1996)

Abstract This paper presents new results obtained recently in studies of separate confinement structure (SCH) InGaAsP/GaAs lasers. Using Russia's technology, the InGaAsP/GaAs lasers based on QW structure can be produced by short-time liquid phase epitaxy (STLPE) employing a modified sliding boat technique. The interface abruptness in the InGaAsP/GaAs lasers can be made comparable to the lattice constant. Using $\langle 100 \rangle$ GaAs substrates, InGaAsP/GaAs SCH SQW lasers were fabricated and the following values of the main parameters were obtained: lasing wavelength $\lambda = 808 \text{ nm}$, threshold current density $J_{\text{th}} = 300 \text{ A/cm}^2$, CW power high to 1~ 2 W for the laser with stripe width $W = 100 \mu\text{m}$. 1000 h lifetime tests have been performed and the factors which affect the lifetime of the lasers are discussed.

Key words semiconductor laser, high power, SCH.