

研究快报

# 1.5 $\mu\text{m}$ InGaAsP/InP 脊型波导分布 反馈激光器

王 圩 张静媛 田慧良 缪育博 汪孝杰  
马朝华 王丽明 吕 卉 高俊华 高洪海

(中国科学院半导体研究所,北京)

1989年3月24日收到

用两次液相外延制备了1.5 $\mu\text{m}$  InGaAsP/InP 脊型波导分布反馈激光器。室温下无扭折直流光功率超过6mW,阈值电流为34mA,单面外微分量子效率高达33%。在室温附近的稳定单纵模工作温度范围超过43 $^{\circ}\text{C}$ ,波长温度系数为0.9 $\text{\AA}/\text{K}$ 。在1.6mW输出光功率下的静态线宽为60MHz。在1GHz正弦调制下仍为单纵模输出。

**主题词:** 脊型波导激光器,分布反馈激光器,动态单模激光器

## 一、引 言

对于1.55 $\mu\text{m}$ 单模光纤的大容量长距离光纤通信来说,因光源发射光谱的动态展宽严重地限制了传输带宽<sup>[1]</sup>。为了解决这一困难,人们根据H. Kogelnik的耦合波理论<sup>[2]</sup>发展了用周期光栅对光的衍射作用来取代普通激光器的腔面反馈,使光放大只能在光栅周期所决定的波长下产生,从而具有选模的功能。在八十年代初就已经研制出了在高速调制下仍能保持单纵模输出的1.5微米GaInAsP/InP DFB<sup>[3]</sup>和DBR<sup>[4]</sup>激光器。

目前人们一方面在探索提高光栅式激光器的特性,以便用于未来的相干光通信和集成光路中,如Y. Suematsu最近提出的DR激光器<sup>[5]</sup>,另一方面人们已逐步将这类器件面向迫切需要的市场,为此就要求结构上,工艺上简单便于产品化,如法国汤姆逊实验室等提出的掩埋脊型波导结构<sup>[6,7]</sup>和西德研制的质量输运型DFB激光器<sup>[8]</sup>等。

本文要介绍的1.5微米脊型波导结构DFB激光器也是为了在提高器件调制速率的同时简化制备工艺的一种尝试。

## 二、结构与制备

为了减小分布电容提高调制速率和简化制备工艺提高器件成品率,选用了脊型波导结构<sup>[9]</sup>,图1给出了这种结构的示意图。首先用常规的1.5微米InGaAsP/InP激光器的

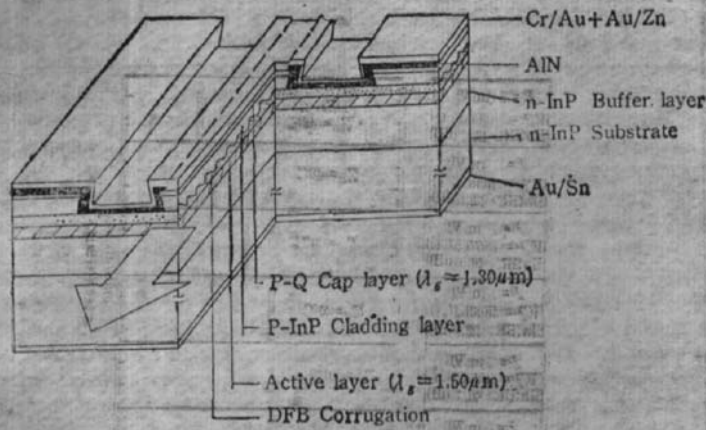


图1 RW-DFB 激光器结构示意图

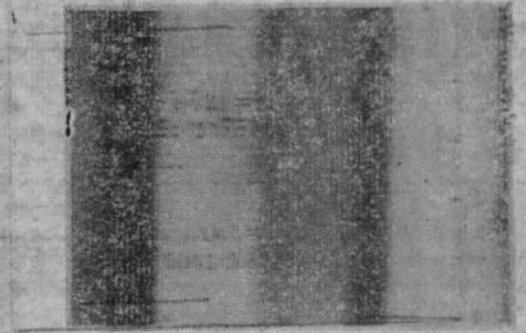


图2 RW-DFB 激光器的“脊槽”俯视显微照片

液相外延工艺<sup>[10]</sup>,在 n-InP 衬底上生长出 n-InP 过渡层(掺 Te,  $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ,  $6-8 \mu\text{m}$  厚),不掺杂的 InGaAsP 有源层 ( $\lambda_g = 1.5 \mu\text{m}$ ,  $0.15 \mu\text{m}$  厚),和 P-InGaAsP 波导层( $\lambda_g = 1.3 \mu\text{m}$ , 掺 Zn,  $2-3 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ,  $0.2 \mu\text{m}$  厚)。随后用全息光刻技术<sup>[11]</sup>在 InGaAsP 波导层上刻制出周期大约为  $2300 \text{ \AA}$  或  $4600 \text{ \AA}$ ,深度为  $800$  到  $1000 \text{ \AA}$  的光栅。每次实验的周期  $\Lambda$  要由  $\Lambda = m\lambda_p/2n_c$  计算确定,其中  $\lambda_p$  是传输波长,它可由一次外延片的光致发光峰值波长参考取值,  $n_c$  是光栅波导区的有效折射系数,它由五层平板波导模型<sup>[12]</sup>的数值解算出。刻制光栅后的一次外延片做为衬底再在  $590^\circ\text{C}$  下液相外延生长 P-InP 限制层(掺 Zn,  $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ,  $1.5 \mu\text{m}$  厚)和 P-InGaAsP 顶层(掺 Zn,  $10^{18} \text{cm}^{-3}$ ,  $0.3 \mu\text{m}$  厚)。接着,用常规光刻和反应离子刻蚀(RIE)技术沿 $\langle 110 \rangle$ 方向选择腐蚀出如图1所示的脊型波导结构,脊型波导条宽一般为  $4 \mu\text{m}$ 。图2给出了经选择腐蚀后样片“脊底”内的相衬显微镜俯视图照片,由图2可见,经历二次外延后的二级光栅表面又被清晰地用  $\text{HCl}:\text{H}_2\text{O} = 4:1$  选择腐蚀液再显露出来,它表明经历二次外延后的波导层和 InP 限制层之间确实存在着一个由光栅决定的周期起伏的交界面。最后采用高频溅射技术和通常的电极工艺得到了绝缘性能好的氮化铝绝缘膜以及串联电阻小于  $5 \text{ 欧姆}$  的电极窗口。管芯尺寸一般为  $300(\text{宽}) \times 200(\text{长}) \mu\text{m}^2$ 。

### 三、特性和讨论

图3给出了一个  $1.5 \mu\text{m}$  脊型波导(RW)分布反馈激光器在室温( $15^\circ\text{C}$ )下的光强电流特性曲线并同时给出了在不同直流驱动电流下的单纵模光谱。由图可知在  $1.4$  倍阈值电流下主边模比大于  $24 \text{ dB}$ ,随着驱动电流加大, SMSR 有增大趋势,在  $2.2$  倍阈值下大于  $29 \text{ dB}$ ,该器件的室温阈值是  $34 \text{ mA}$ ,是我们得到的最低阈值,在室温下的阈值一般为  $40 \text{ mA}$ 。我们得到的最高单面微分量子效率是  $33\%$ ,一般为  $20-25\%$ ,图4给出了一典型器件在  $1 \text{ mW}$  恒功时不同温度下的单纵模光谱,由图可知稳定单纵模的工作温度范围在  $43^\circ\text{C}$  以上,由此计算出波长温度系数  $\Delta\lambda/\Delta T = 0.1 \text{ nm/deg}$  图5给出了另一典型器件在不同温度下的  $L/I$  曲线,由图可知器件的最高激射温度是  $60^\circ\text{C}$ ,由图亦可看出无扭折的光功率一般在  $6 \text{ mW}$  以上。实验发现,扭折常伴随着跳模的发生。我们采用光纤环形腔

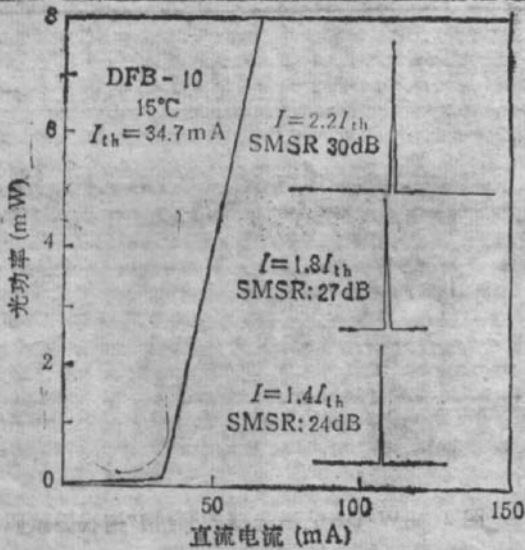


图3 RW-DFB 激光器的室温光强-电流曲线以及在不同驱动电流下的单纵模光谱

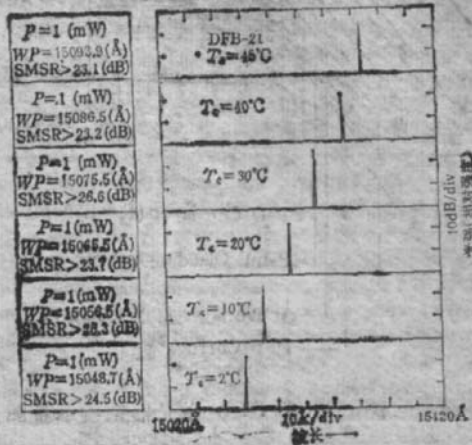


图4 RW-DFB 激光器在不同环境温度下的单纵模激光光谱

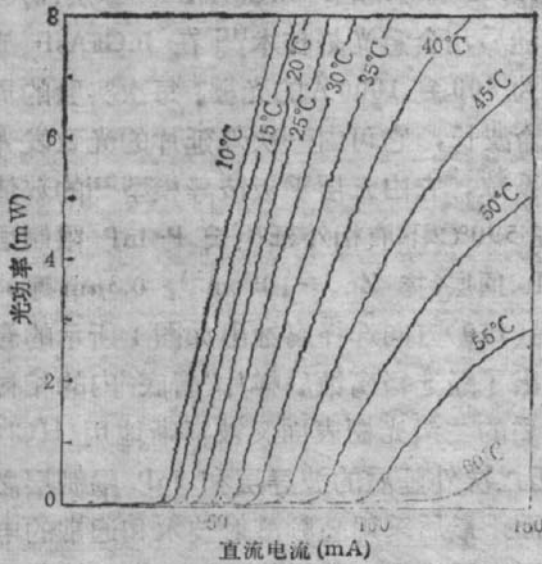


图5 RW-DFB 激光器最高激励温度

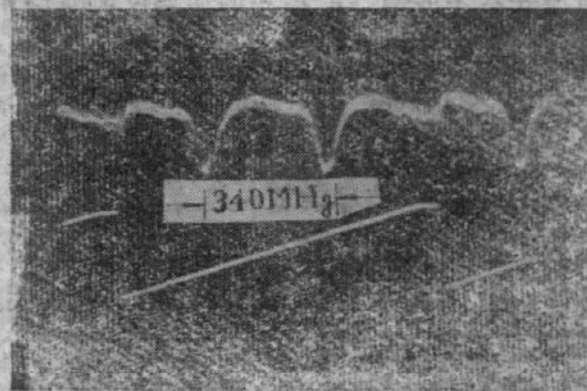


图6 通过环形腔共振器后的 RW-DFB 静态线宽

技术<sup>[43]</sup>, 测量了激光器的静态线宽。图6给出了一个 RW-DFB 激光器在 48mA 直流驱动电流(1.2 倍阈值) 1.6mW 光功率下经过 0.6 米长的光纤环形腔共振器观测到的光谱, 已知此环腔的自由谱区为 340 MHz, 由此得出该激光器在 1.6mW 输出下的光谱线宽为 60MHz。实验发现, 随着光功率的增大, 线宽有变窄的趋势。

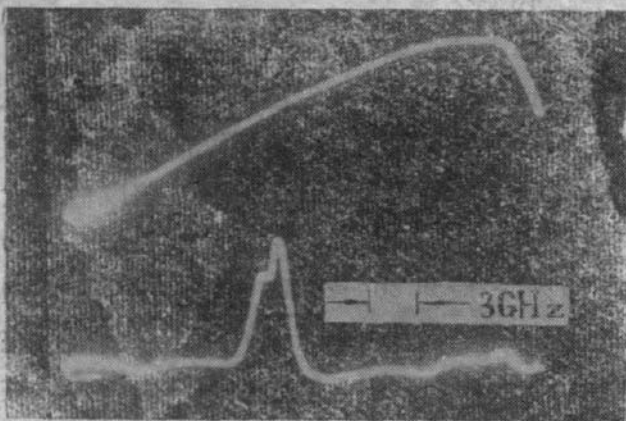


图7 在 1GHz 正弦调制下通过红外扫描干涉仪后的 RW-DFB 动态单模光谱

除了静态特性测量外, 我们还在 1GHz 正弦调制下用自由谱区为 30GHz 的红外扫描干涉仪测量了器件的动态光谱。图7给出了在直流偏流为 39mA(1.1 倍阈值)下, 正弦调制频率为 1GHz, 功

率调制深度为 50% 的测量条件下所得到的动态光谱。由图 7 可知, 在 1GHz 正弦调制下, 器件的光输出仍为单纵模。根据 30GHz 的自由谱区, 我们估计出动态单模展宽光谱的线宽为 3GHz, 即动态展宽光谱宽度为 0.2  $\text{\AA}$ 。

为了更直接验证 RW-DFB 激光器中光栅的反馈功能, 我们同时对波长为 1.5 $\mu\text{m}$  的 F-P 腔激光器和 RW-DFB 激光器的出光面进行了蒸镀透射膜 ( $\text{ZrO}_2$ ) 的实验。图 8 (a), (b) 分别给出了两种激光器在镀透射膜前后的光强-电流特性。测量表明, F-P 腔面激光器在蒸镀透射膜后失去了一个谐振腔面而成了发光管(图 8(a))。对 RW-DFB 激光器来说, 由于它的光反馈来源于光栅的栅条之间而不是靠解理腔面, 因此镀透射膜后, 不仅仍然激射而且在量子效率等参数上还有了改善(图 8(b))。

综上所述, 已经充分证明 1.5 $\mu\text{m}$  RW-DFB 激光器确是分布反馈激光器。

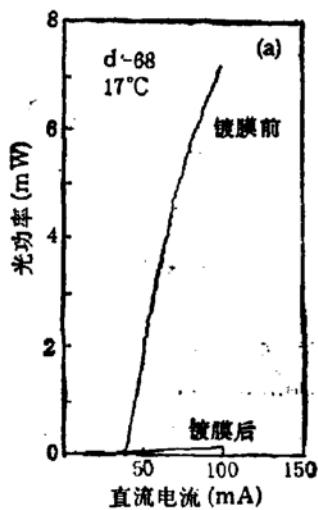


图 8(a) F-P 腔面激光器在镀增透膜前后的光强-电流特性

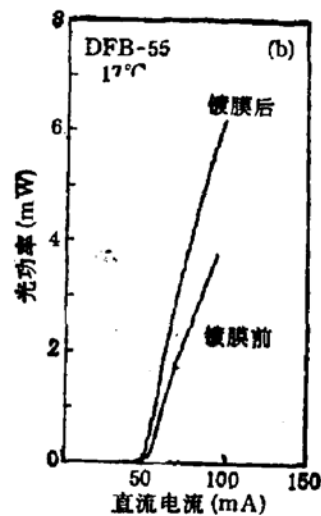


图 8(b) RW-DFB 激光器在镀增透膜前后的光强-电流特性

#### 四、结 束 语

采用脊型波导结构制备了只需两次液相外延就可完成的 RW-DFB 激光器。室温阈值电流一般为 40mA, 最低为 34mA, 单面外微分量子效率一般为 25%, 最高为 33%。在室温附近的稳定单纵模工作温度范围超过 43 $^{\circ}$ , 有部分器件在超过 6mW 光功率输出时有扭折发生。用环形腔技术测得器件在 1.6mW 输出下的静态线宽为 60MHz。在 1GHz 正弦调制下仍为单纵模输出。目前的最高激射温度为 60 $^{\circ}$ C。预计在进一步减小脊型宽度和改善散热特性后, 器件的性能会进一步提高。

本工作得到了吴彝尊, 张汉一, 潘贵生, 边景义同志在器件特性测量方面的密切配合, 陈纪英同志在 RIE 工作上, 张洪琴, 罗丽萍, 边静等同志在器件制备上的支持, 特此表示感谢。

## 参 考 文 献

- [1] W. A. Gambling, H. Matsumura, and C. M. Ragdale, *Electron. Lett.*, **15**, 474 (1979).
- [2] H. Kogelnik and C. V. Shank, *J. Appl. Phys.*, **43**, 2327(1972).
- [3] K. Utaka, S. Akiba, K. Sakai, and Y. Matsushima, *Electron. Lett.*, **17**, 961 (1981).
- [4] K. Utaka, K. Kobayashi, and Y. Suematsu, *IEEE J. Quantum Electron.*, **QE-17**, 5, 651(1981).
- [5] S. Pellegrino, K. Komori, H. Suzuki, K. S. Lee, S. Arai, Y. Suematsu and H. Aoki, *Electron. Lett.*, **24**, 7, 435(1988).
- [6] A. Talneau, D. Ropdi, M. Krakowski and R. Blondeau, *Electron. Lett.*, **24**, 10, 609 (1988).
- [7] W. T. Tsang, N. A. Olsson, R. A. Logan, C. H. Henry, L. F. Johnson, J. E. Bowers and J. Long, *IEEE J. Quantum Electron.*, **QE-21**, 6, 519(1985).
- [8] H. Burkhard, E. Kuphal, and H. W. Dinges, *Electron. Lett.*, **22**, 15, 802(1986).
- [9] I. P. Kaminow, R. E. Nahory, M. A. Pollack, L. W. Stulz, and J. C. Dewinter, *Electron. Lett.*, **15**, 23, 763(1979).
- [10] 王圩, 张静媛, 田慧良, 孙富荣, 应用激光, **3**, 6, 38 (1983).
- [11] 郑育红, 缪育博, 田慧良, 姚元晟, 张静媛, 半导体学报, **9**, 3, 305 (1988).
- [12] H. Burkhard, *IEE Proc. J. Optoelectronics*, **134**, 1, 7 (1987).
- [13] C. Y. Yue, J. D. Peng, Y. B. Liao and B. K. Zhou, *Electron. Lett.*, **24**, 10, 622(1988).

1.5  $\mu\text{m}$  InGaAsP/InP RW-DBF Laser

Wang Wei, Zhang Jingyuan, Tian Huiliang, Miao Yubo, Wang Xiaojie,  
Ma Zhaohua, Wang Liming, Lü Hui, Gao Junhua and Gao Honghai

(Institute of Semiconductors, Academia Sinica, P. O. Box 912, Beijing 100083, China)

## Abstract

Ridge-waveguide (RW) DFB lasers emitting at  $\lambda_g = 1.52 \mu\text{m}$  by two-step IPE have been fabricated. Output power exceeding 6 mW without kink was obtained in CW operation at room temperature. The CW threshold current of 34 mA and differential quantum efficiency of 33 percent/facet were achieved at room temperature. The temperature range of stable single longitudinal mode operation was 43 deg. from 2 to 45°C. The static spectral linewidth was 60 MHz at 1.6 mW output power. The modulation characteristic was measured up to 1 GHz with modulation depth of 50%.

**KEY WORDS:** Ridge Waveguide (RW) Laser, Divided Feedback (DFB) Laser, Dynamic Single Mode (DSM) Laser