

1.55 μm GaInAsP/InP DFB-DC-PBH 激光器

赵嵩山 马 馨 周 宁 杨新敏 董志江

(武汉邮电科学研究院电信器件公司)

1988年8月31日收到

在 n-InP 衬底或 GaInAsP 波导层上,使用氦离子激光器全息曝光方法刻制二级光栅,进行低温液相外延生长。再利用已有的 DC-PBH 激光器的制作工艺技术,构成了分布反馈双沟道平面掩埋异质结激光器 (DFB-DC-PBH LD)。15 $^{\circ}\text{C}$ 连续工作最低阈值电流为 63mA,典型值 70—120mA,线性输出光功率大于 4mW,外微分量子效率为 5~8.3%,主模波长 λ 温度漂移系数 $\Delta\lambda/\Delta T$ 为 0.8~1.0 $\text{\AA}/^{\circ}\text{C}$,静态单纵模较好,在 400Mbit/s, 700Mbit/s 和 1.4 Gbit/s, 20mA 脉冲电流随机码调制下,单纵模工作稳定。相同条件下,DC-PBH LD 单纵模明显变为多模或跳模。

关键词: 分布反馈,二级光栅,低温液相外延生长,高速调制,动态特性

一、引言

分布反馈激光器 (DFB-LD) 是以光栅选模的^[1,2]。特点是在高速调制时仍能保持稳定的单纵模工作。因此,它是大容量、长距离光纤通讯以及相干光通信系统的理想光源。

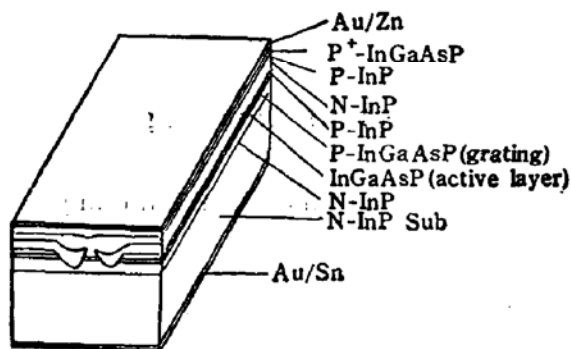


图1 DFB-DC-PBHLD 结构图

二、结构及制作

分布反馈双沟道平面掩埋异质结激光器的典型结构如图1。在 N-InP 衬底上液相外延生长三层: 缓冲层 N-InP ($N = 2 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$, $d = 5\mu\text{m}$), 波长

1.55 μm GaInAsP 有源层 ($d \sim 0.15\mu\text{m}$) 和波长 1.3 μm P-GaInAsP 波导层 ($P \approx 2^{18}$ — 5×10^{17} , $d \sim 0.2\mu\text{m}$)。二级光栅制作是使用国产南京电子管厂的氦离子激光器 (波长 4579 $\text{\AA}$), 马赫-曾德光路全息曝光, 光栅周期 4600 $\text{\AA}$ 。用纯化学腐蚀方法, 刻出正弦形或接近矩形的二级光栅, 光栅槽深 800—1200 $\text{\AA}$ 。采用低温液相过冷法外延生长技术, 在光栅上生长 P-InP ($P = 3\text{—}8 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$, $d = 1\text{—}2\mu\text{m}$), 再采用原有的 DC-PBH 激光器^[3,4]制作工艺技术即构成了 DFB-DC-PBH 激光器。

三、器件性能

1. 输出光功率与注入电流的关系

首先进行了器件的输出光功率 P 与注入电流 I 以及随温度变化的测试, 如图 5. 该器件阈值电流 63mA(15 $^{\circ}\text{C}$), 25 $^{\circ}\text{C}$ 时输出光功率约 2mW. 多数器件的阈值电流为 70—130mA, 线性光功率大于 4mW, 一般光功率为 6—7mW, 外微分量子效率 5—8.3%.

2. 光谱

我们使用日本 1425 光谱分析仪和美国的恒温槽, 对全部 DFB 激光器进行了 0.5—W2m 输出功率点的光谱测试. 按目前国内规定的主次模抑制比大于 10dB 为单纵模的标准, 筛选出单纵模激光器. 然后再作抑制比, 光谱半宽, 主模波长 λ_0 -温度漂移系数 $\Delta\lambda/\Delta T$ 以及动态光谱的详细测试与记录.

(1) 腔长对模式的影响

我们解理腔长 L 为 130 μm , 200 μm , 320 μm , 约 15—30% 为单纵模激光器. 腔长越长, 单纵模的器件比例越大, 且抑制比也较好, 说明光栅的选模作用.

(2) 主次模抑制比和光谱半宽

我们首先观察光谱分析仪对抑制比和光谱半宽的影响, 以便得到更准确的数据. 大量的测试曲线表明光谱分析仪的狭缝宽度对主次模抑制比无明显影响, 但对光谱半宽影响很大. 日本 1425 光谱分析仪的狭缝宽度由分辨率 R_{eff} 表示, 是人为确定 R_{eff} 值, 仪器内部狭缝自动调正的. 该仪器的最小分辨率 $R_{\text{eff}} = 0.1\text{nm}$. 我们采用 $R_{\text{eff}} = 0.1\text{nm}$, 0.2nm, 0.5nm 三档进行测试的. 其中 DFB23 $^{\#}$ 的抑制比基本保持在 18dB 左右 (曲线略), 而主模光谱半宽度分别为 0.1nm, 0.2nm, 0.4nm. 见曲线图 2. 考虑该光谱分析仪的最小分辨率 0.1nm, 得到 27 $^{\#}$ DFB-LD 主模光谱半宽应小于 1.4 $\text{\AA}$, 因此要想得到更真实准确的数据, 必须使用分辨率更高的光谱仪或单色仪. 综上所述, 考虑 DFB 光谱半宽较小, 我们基本上是选用 $R_{\text{eff}} = 0.1\text{nm}$ 进行各种参数测试的. 测得的单纵模激光器抑制比为 10—18dB. 主模光谱半宽多数在 1.4 $\text{\AA}$ 以下, 少数在 2 $\text{\AA}$ 左右 (因为从记录曲线上看, 不是 0.1nm 就是 0.2nm).

(3) 主模波长 λ_0 -温度漂移系数 $\Delta\lambda/\Delta T$

主模波长 λ_0 -温度漂移系数 $\Delta\lambda/\Delta T$ 是衡量、区别 DFB 激光器和普通的 F-P 腔激光器的重要标准之一. 按国内评比标准是 $\Delta\lambda/\Delta T \leq 1.5\text{\AA}/^{\circ}\text{C}$, 国际报道水平是 1 $\text{\AA}/^{\circ}\text{C}$ 左右, 普通的 F-P 腔激光器的 $\Delta\lambda/\Delta T$ 是 3—5 $\text{\AA}/^{\circ}\text{C}$. 我们测试了十几只单纵模激光器的 $\Delta\lambda/\Delta T$, 结果是 $1.2\text{\AA}/^{\circ}\text{C} \geq \Delta\lambda/\Delta T \geq 0.7\text{\AA}/^{\circ}\text{C}$, 多数在 0.8—1.0 $\text{\AA}/^{\circ}\text{C}$. 其中 29 $^{\#}$, 54 $^{\#}$ DFB-LD 的主模波长 λ_0 -温度 T 曲线如图 3 所示. 29 $^{\#}$ DFB-LD, 在光功率输出恒定在 0.5mW 时, $\Delta\lambda/\Delta T = 1.0\text{\AA}/^{\circ}\text{C}$, 在光功率恒定在 1.4mW 时, $\Delta\lambda/\Delta T = 0.91\text{\AA}/^{\circ}\text{C}$; 54 $^{\#}$ DFB-LD, 在光功率恒定在 1.5mW 或 2mW 时, $\Delta\lambda/\Delta T = 0.86\text{\AA}/^{\circ}\text{C}$. 使用相同的方法测试单纵模 1.3 μm 的 DC-PBH LD 的 $\Delta\lambda/\Delta T$ 是 3.7—4.0 $\text{\AA}/^{\circ}\text{C}$. 这些测试结果完全类同于国际同类器件的报道数据.

(4) 动态调制光谱

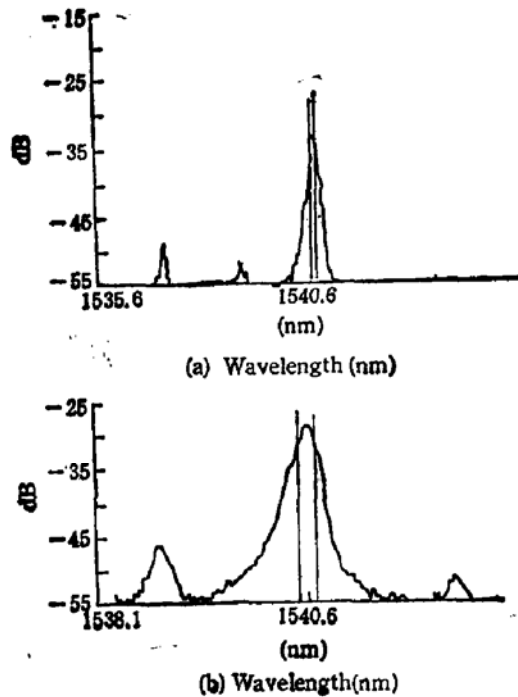


图2 光谱分析仪出入狭缝宽度(R_{ss} 值)与激光器主模光谱半宽的关系

(a) $R_{ss} = 0.1 \text{ nm}$ (b) $R_{ss} = 0.2 \text{ nm}$

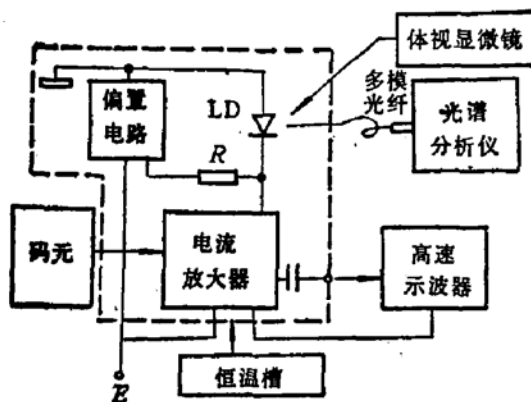


图4 DFB-DC-PBHLD 动态光谱测试框图

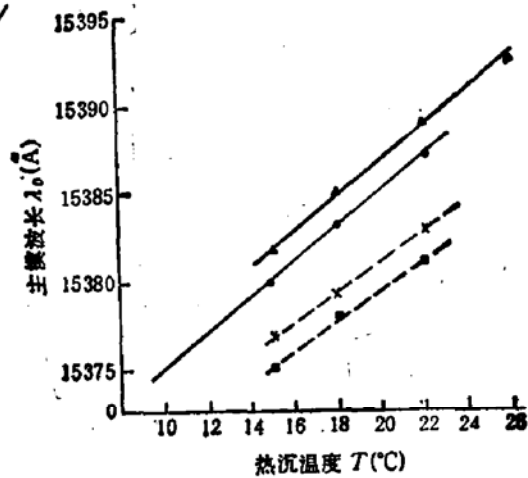


图3 DFB-LD 的主模波长 λ_0 随热沉温度的变化关系曲线

29# DFB-LD

●: $P = 0.5 \text{ mW}$

▲: $P = 1.4 \text{ mW}$

54# DFB-LD

□: $P = 1.5 \text{ mW}$

×: $P = 2.0 \text{ mW}$

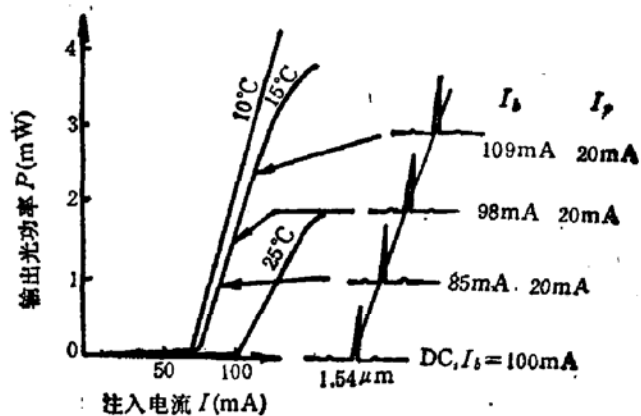


图5 DFB-DC-PBHLD 的 $P-I$ 曲线和 700 Mbit/s 调制光谱

普通的 F-P 腔激光器在高速率工作时,单纵模不是变成多纵模就是跳模,从而限制了通信容量和传输距离,而 DFB 激光器仍能保持单纵模工作。因此说高速率调制光谱-动态光谱又是区别动态单纵模激光器和普通 F-P 腔激光器的主要标准之一,也是高速通信系统使用的基本依据。我们用图 4 的测试装置框图进行动态光谱测试。

图中的码元是进口的 ME522A Transmitter, 0—700 Mbit/s, 使用归零码可到 1.4 Gbit/s。DFB-LD 的偏置电路, 电流放大器, 激光器类具及无引线电容 C_i 均焊在一块电路板上并恒温控制。高速示波器 7904 频带可达 14 GHz, 通过 C_i 监视加在 DFB-LD 上的脉冲波形。也可用带尾纤的高速 PIN 探测器观察加在 DFB-LD 上的脉冲而产生的光脉冲波形(已照像多张)。光谱分析仪 ANDO, AQ-1425 型, 仪器内使用 Ge-APD 探测器, 计算机存贮采样系统, 显像管屏幕显示, 自动打印装置。测试十分方便。

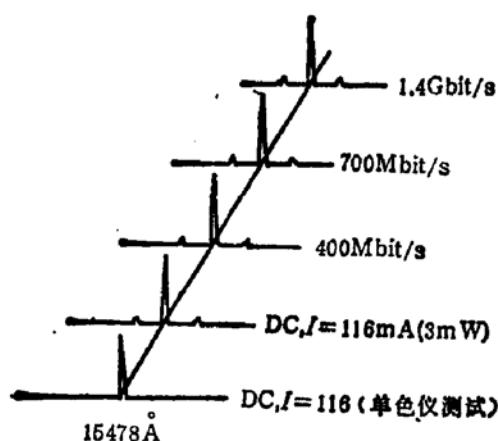


图6 DFB-DC-PBHLD 在不同调制速度 (400, 700 Mbit/s, 1.4 Gbit/s, 1.4 Gbit/s, 脉冲电流 20 mA) 下, 单纵模工作稳定

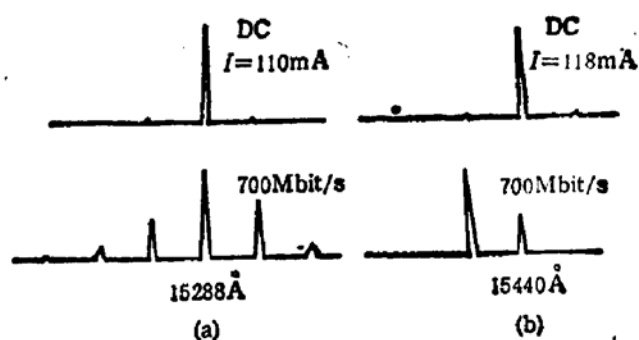


图7 DC-PBHLD 的高速调制光谱
(a) 700 Mbit/s, 脉冲电流 200 mA 时, 单纵模变成多纵模
(b) 700 Mbit/s, 脉冲电流 20 mA 时, 单纵模跳模

图5是光功率输出与注入电流随温度变化的关系曲线, 也是 700 Mbit/s, 脉冲电流 20 mA (I_p) 随机码调制时, 不同光功率输出 (即不同偏置电流 I_b) 的光谱图。由图可见, 单纵模是稳定的。

图6是不同调制速率下的光谱特性。即偏置电流 I_b 一定 (相当 2 mW 光功率输出) 时, 分别在 400 Mbit/s, 700 Mbit/s 和 1.4 Gbit/s, 20 mA 脉冲电流随机码调制下, 测得 DFB-LD 光谱, 纵模特性稳定。

图7是普通的法布里-泊罗腔 (DC-PBH) 激光器的调制光谱特性。在相同的调制速率情况下, 反复测试, DC-PBH 激光器单纵模明显变为多模或跳模, 无一例外。而 DFB-DC-PBH 激光器只要单纵模特性好, 动态光谱就比较稳定。

四、讨 论

由于 DFB-LD 的光栅没有 $\lambda/4$ 相移, 端面也未作任何处理, 单纵模器件的比例仅占 15—30%, 抑制比也不高 (同于国外早期同类器件的报道)。有待加速研究 $\lambda/4$ 相移光栅, 以利单纵模激光器的数量提高。器件的性能仅是初步成果的反映, 有待光栅形状, 槽深及外延技术的改善与提高。测试中由于使用光纤耦合和转换器 (光纤与光谱分析仪联结处), 静态光谱与单色仪测试的静态光谱的抑制比略有差别, 待解决。

感谢王素琴同志解理装管, 邮电科学研究院光通信研究所孙振兴同志和试验场王之光同志给予测试中的大力支持。

参 考 文 献

- [1] Haruo Nagai *et al.*, *IEEE, QE-22*, 450 (1986).
- [2] H. Kogelnik and C. V. Shonk, *J. Appl Phys.*, **43**, 2327 (1972).
- [3] 赵嵩山等, 半导体学报, **7**, 324 (1986).
- [4] 赵嵩山等, 全国光通信器件学术会议文集, 长春, (1985). 17—24

1.55 μ m InGaAsP/InP DFB-DC-PBH Laser Diode

Zhao Songshan, Ma Pan, Zhou Ning,

Yang Xinmin and Dong Zhijiang

(Wuhan Institute of Post and Telecommunication, Wuhan)

Abstract

ON an n-InP substrate or an GaInAsP waveguide layer, the authors have engraved the second-order grating by holographic lithography and fabricated DFB-DC-PBH LDs with technology of DC-PBH LD. The lowest CW threshold current was 63 mA at temperature of 15°C, and the typical values of the threshold current were in the range of 70—120 mA. The temperature dependence of lasing wavelength was about 0.8—1.0 Å/deg. 20 percent of the LD's exhibited stable static single-mode operation. Under 700 Mbit/s and 1.4 Gbit/s pseudorandom modulation rates, the single longitudinal mode output remains in good stability.

KEY WORDS: Distributed feedback, Second-order grating, LPE, Low temperature, High bit rate modulation, Dynamical characteristics