

# 低阈值 InGaAsP/InP PBH 双稳激光器

张权生 吴荣汉 林世鸣 高洪海 高文智  
吕卉 韩勤 段海龙 杜云 芦秀玲

(中国科学院半导体研究所,北京,100083)

1990年12月14日收到, 1991年6月4日修改定稿

一种平面掩埋异质结构(PBH) InGaAsP/InP 双区共腔双稳激光器业已研制成功。器件具有良好可控的光学双稳特性。激射波长  $1.3\mu\text{m}$ 。直流  $L/I$  特性显示典型的迴滞曲线。导通阈电流的最低值为  $26\text{mA}$ , 优于文献报道的最好值。在通态电流跨度内, 器件以单纵模激射。数字光放大增益  $G \geq 30\text{dB}$ 。导通时间  $\tau_{on} < 100\text{ps}$ , 关断时间  $\tau_{off} < 1\text{ns}$ 。

**PACC:** 4255P, 4265P, 4265G, 8115L

## 一、引言

双稳激光器是一种兼具开关、双稳、放大、存储、整形及限幅等功能的新型半导体光电子器件, 在光通信、光信息处理以及光计算技术中占有重要地位。

双区共腔是一种最简单实用的双稳激光器结构。在这种结构中, 组成器件的双区-增益区和吸收区在电学上相互隔离, 但共处于同一光腔中, 因此得名为双区共腔。两区的同时存在及其相互作用构成了这种器件多功能工作的物理基础。

双区共腔双稳激光器的结构最早是 G. J. Lasher 于 1964 年提出的<sup>[1]</sup>, 但实用性的器件研制及深入的研究工作却直至八十年代才真正开始, 经过近十年来的努力, 取得了重大进展<sup>[2-4]</sup>。

多年来, 我们相继研制成功了脊型波导及侧向增益波导限制的多种结构 GaAs/GaAlAs、InGaAsP/InP 双区共腔双稳激光器, 并对器件的诸多特性进行了较广泛的理论和实验研究<sup>[5-8]</sup>。

一种结构更加合理的双稳激光器——掩埋异质结构(PBH) InGaAsP/InP 双区共腔双稳激光器业已研制成功。器件具有良好可控的光学双稳特性。这种器件是在研究并解决了器件结构设计及参数选取、平面及非平面液相外延生长以及器件制备中的诸多关键问题后研制成功的。本文仅就器件的制备技术及主要特性予以简要介绍。

## 二、器件制备

图 1 示出了器件结构简图。芯片的 PBH 结构是经两次液相外延制备的。

一次外延是在(100)晶面 n-InP 平面衬底上生长双异质结构, 即依次生长 n-InP

缓冲层(掺 Te,  $N \simeq 2 \sim 6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )、InGaAsP 有源层(未掺,  $\lambda_e \simeq 1.3 \mu\text{m}$ )、P • InP 限制层(掺 Zn,  $P \simeq 1 \sim 3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ) 及  $p^+ \cdot \text{InGaAsP}$  接触层(掺 Zn,  $p \simeq 6 \sim 8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )。高质量一次外延片的制备关键是有源区的晶体质量、晶格匹配、厚度控制及 PN 结的正确对位。从石墨舟加工、衬底处理、母液配比到生长程序的设计, 皆围绕这一关键问题的更好解决。

用这样的外延片制作的宽接触激光器, 室温阈电流密度的典型值为  $1000 \sim 1500 \text{ A/cm}^2$ , 最好值为  $850 \text{ A/cm}^2$ 。

二次外延是对低阈值一次外延片的精细再加工。它是在表面上已制作出微小倒台面图形的非平面衬底上进行的。这些倒台面由  $p^+ \cdot \text{InGaAsP}$  和 P • InP

层组成, 高约  $2.5 \sim 3.0 \mu\text{m}$ , 底宽约  $2 \mu\text{m}$ , 周期  $300 \mu\text{m}$ , 座落在 InGaAsP 有源层上。这种非平面衬底的制作质量及洁净度是决定二次外延生长质量甚至成败的重要因素。台面的高度主要由 P • InP 层决定。严格控制一次外延工艺, 使 P • InP 层的厚度保持在  $2.5 \sim 3.0 \mu\text{m}$  范围; 准确地判别 [011] 晶向, 并严格光刻及选择腐蚀工艺, 提高了倒台面形状和宽度的一致性; 用煮沸的去胶剂代替常规的擦拭法, 使光刻胶的去除更加彻底, 并避免了擦拭法必然引入的机械损伤; 装进系统之际, 用浓度极低的  $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$  水溶液再度进行适度的腐蚀。上述种种措施并辅以精心操作, 极大地提高了二次外延衬底以及二次外延片的制作质量。

成功地制作吸收区是实现激光器双稳态工作的基础。我们采用  $\text{H}^+$  轰击、 $\text{O}^+$  注入及腐蚀刻槽技术均成功地制作出了隔离电阻达数百欧姆的吸收区。

目前器件以两端方式工作。管芯外延面朝下、吸收区朝外地烧结在镀 In 铜热沉上。器件总长度  $200 \sim 250 \mu\text{m}$ 。通过控制增益区与吸收区的长度比, 在同一外延片上分别制作了均匀注入的二极管激光器、光开关激光器以及光双稳激光器。

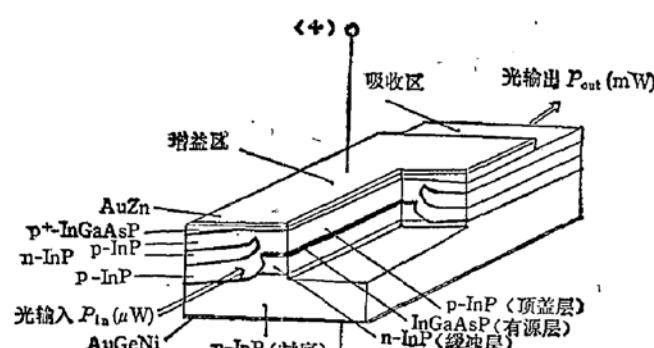
### 三、器 件 特 性

#### 1. 伏安特性

制备得当的 InGaAsP/InP PBH 双稳激光器的正向压降约  $0.7 \sim 0.9 \text{ V}$ , 反向击穿电压约  $0.5 \sim 2.0 \text{ V}$ 。大电流下的微分串联电阻约  $10 \sim 20 \Omega$ , 比宽接触激光器约大  $10 \sim 20$  倍。这是合理的数值。它表明 PBH 及其两侧的 PNPN 结发挥了正常功能。但许多器件显示较明显的漏电现象。这有待于进一步提高台面及其埋层的制作质量以及完善外延前的固熔技术等来解决。

#### 2. 直流 $L/I$ 特性

图 2 为器件 OB230 室温下直流  $L/I$  特性。该器件的导通阈值为  $38 \text{ mA}$ , 关断阈值



器件结构

图 1 器件结构

为 28mA, 即双稳区电流跨度为 10mA。也制作出了导通阈值为 26mA 的器件。这是同类双稳激光器中迄今报道的最好值<sup>[9]</sup>。考虑到吸收区对阈值的影响, 均匀注入情况下阈值还应低得多。确实, 用同一外延片不含吸收区部位制作的普通二极管激光器, 无论正装还是倒装, 室温下阈电流均可低于 20mA, 其中正装器件的最低阈电流为 14mA, 倒装器件为 13mA。

器件 OB230 在导通点处的功率跳变为 5.5 mW, 导通后单面线性输出功率超过 8mW, 微分外量子效率为 34%。

### 3. 直流光谱特性

图 3 为器件 OB74 在 4 个不同电流下“高态”输出光谱特性。该器件导通阈值为 47mA, 关断阈值为 33mA。a 点电流处于双稳区电流跨度之外, b、c、d 三点均处于跨度之内。在“高态”4 个电流值下该器件均保持单纵横输出状态, 中心激射波长皆为 1.285 μm, 谱线半宽度 ≤ 3 Å (受光谱仪分辨率限制)。这种特性在脊形波导及增益波导限制的 InGaAsP/InP H<sup>+</sup> 轰击双稳激光器中也观测到了<sup>[10]</sup>。这是双区共腔双稳激光器“增益锁定”效应的新例证。

### 4. 数字光放大特性

图 4 示出了双稳激光器数字光放大测试方框图及光放大曲线。带尾纤的双稳激光器 2 被偏置在临近于导通阈值的“关态”跨度之内。触发激光器 4 的尾纤输出通过 2 × 2 光纤耦合器 3 对双稳激光器进行光触发, 直至将其导通至“开态”。用 X-Y 记录仪 8 记录光放大曲线。分别测出输入功率  $P_{in}$  和输出功率  $P_{out}$ , 根据关系式  $G = 10 \log (P_{out}/P_{in})$ , 即可算出增益  $G$ 。若  $P_{in}$  和  $P_{out}$  均为尾纤输出功率, 则得到的是净增益  $G_{net}$ 。

目前我们器件的最小响应光功率  $P_{min} \leq 3 \mu W$ , 数字光放大增益  $G \geq 30 dB$ , 净增益  $G_{net} \geq 25 dB$ 。当然, 上述诸值均与双稳激光器的偏置状况有关。偏置工作点愈临近于导通阈值,  $G$  和  $G_{net}$  愈大、 $P_{min}$  愈小。

双稳激光器在数字光放大的同时还具有很好的限幅和整形作用, 这已在我们的器件中得到证实。此外, 它对入射光波长并无严格要求, 而且入射波长可以与输出波长不同。这正是某些应用所希望的。

### 5. 时间特性

将双稳激光器电偏置在临近导通阈值的“关态”跨度内, 用一定幅度的正脉冲将其导通至“开态”, 或负脉冲将其关断至“关态”, 研究了双稳激光器的时间特性。图 5(a)\* 示出了电偏置(直流迭加电脉冲)波形及相应的双稳激光器光输出波形。正脉冲使器件导通至“开态”, 脉冲过去后器件仍维持在“开态”, 而接踵而至的负脉冲将其关断至“关态”。图 5

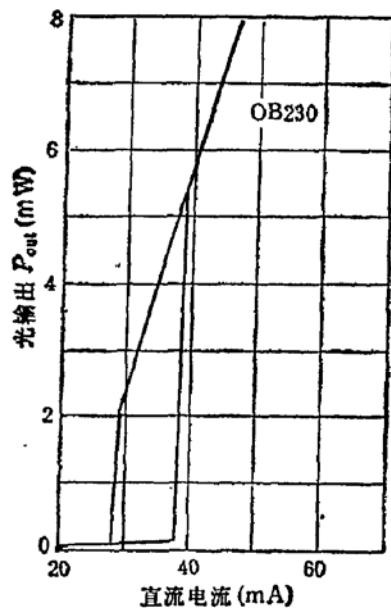


图 2 直流 L/I 特性

\* 图 5(a)、(b)、(c) 见图版 I。

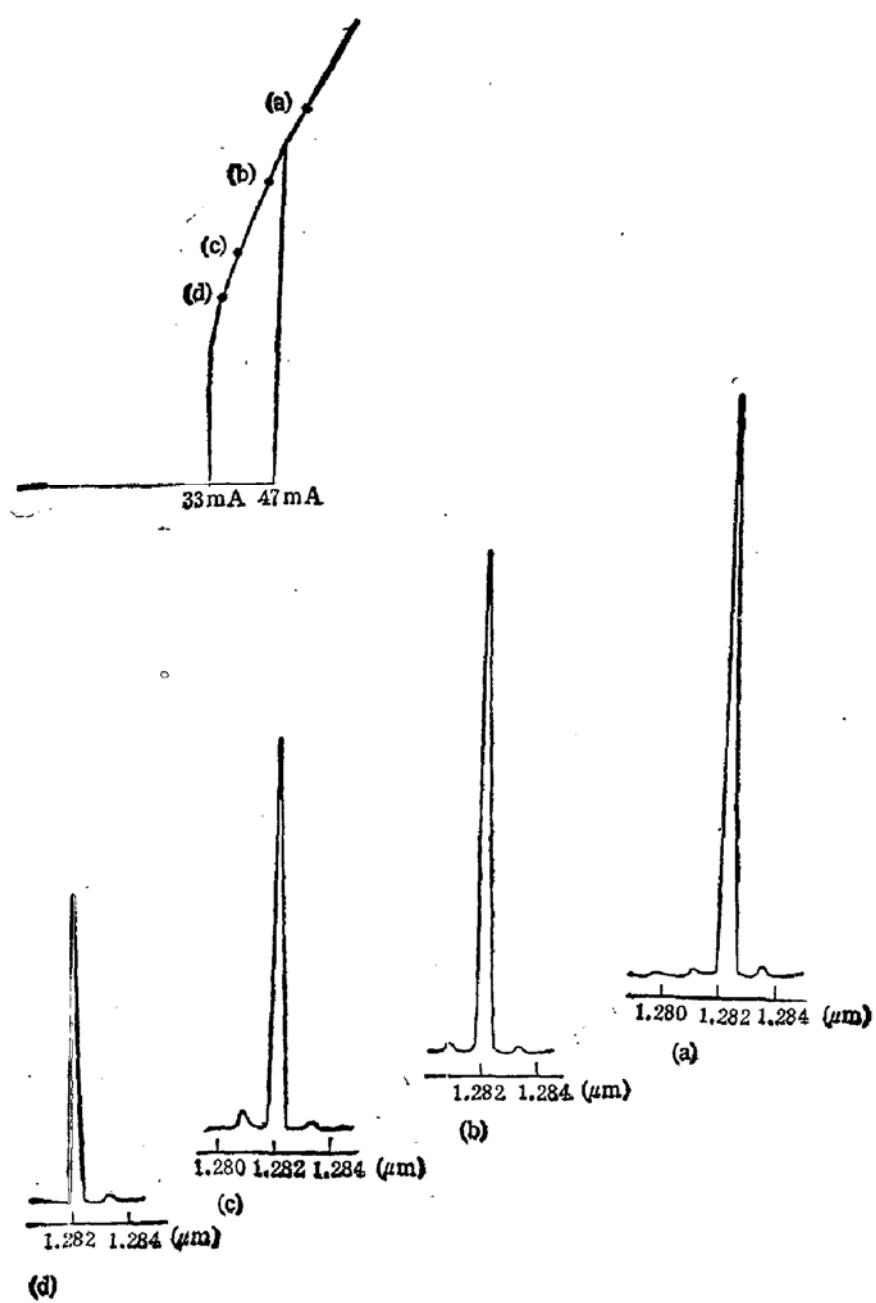


图 3 直流光谱特性

(a)  $I = 50\text{mA}$  (b)  $I = 45\text{mA}$  (c)  $I = 40\text{mA}$  (d)  $I = 37\text{mA}$ 

(b)\* 和 (c)\* 分别示出了用取样示波器测量的导通及关断波形、显见导通时间  $\tau_{on} < 100\text{ ps}$  (受 Ge 探测器响应时间限制), 关断时间  $\tau_{off} < 1\text{ns}$ .

#### 四、结语

光双稳器件的研制与开发是近年来信息光电子技术中最活跃的领域之一。光学大带宽、并行性、抗干扰、高速运行以及易于大容量交叉传输信息等特性日益开拓和应用。在时分光交换系统的研制方面, 已报道了  $512\text{Mb/s}$  的实验结果<sup>[11]</sup>, 展示了令人鼓舞的开发

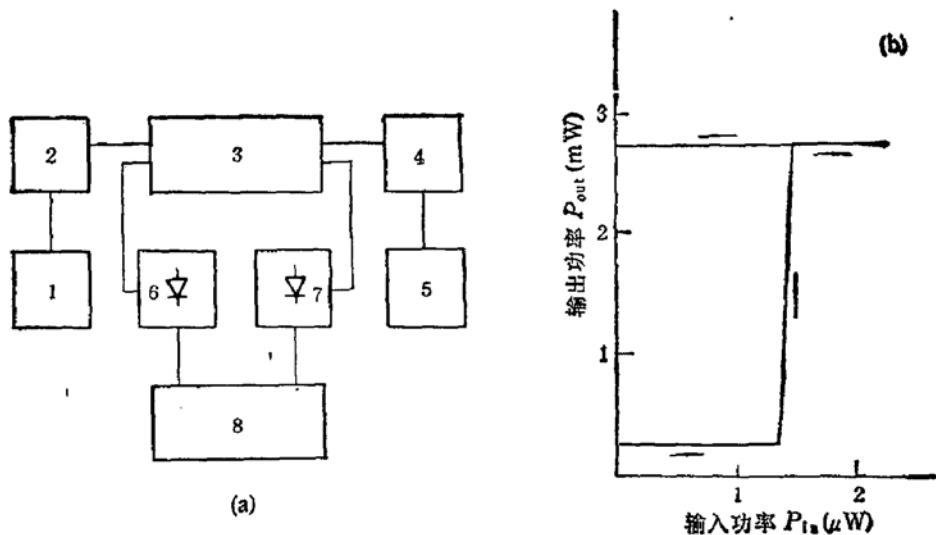


图4 数字光放大测试方框图(a)及光放大曲线(b) 图(a)中:  
1.驱动电源 2.双稳激光器 3.2×2 光纤耦合器 4.触发激光器  
5.驱动电源 6.探测器 7.探测器 8. X-Y 记录仪

前景。

本文报道了低阈值 InGaAsP/InP PBH 双区共腔双稳激光器的制备和特性。这种激光器结构简单、使用方便。既可两端工作,又可三端工作;既可电注入,又可光注入或光电混合注入;既可单独使用,又可与普通二极管激光器、光探测器、光纤以及光开关等配合使用。虽然制备工艺复杂些、难度大些,但与作者们先期研制的侧向增益波导限制型以及脊形波导限制型双稳激光器相比,器件特性明显改进,主要参数已优于同类器件文献报道的最好水平。

作者对王启明教授对本工作的支持和鼓励、对马朝华、王丽明、赵玲娟、王大鹏、张洪琴、关伟、王立华、陈剑、张晓燕以及庄方婕等同志在器件制备及测试、光纤耦合等工作中的帮助表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] G. J. Lasher, *Solid State Electronics*, **1**, 707(1964).
- [2] N. G. Basov, *IEEE J. Quantum Electron.*, **QE-4**, 855(1968).
- [3] H. Kawaguchi, *IEEE Proc.* **129**, pt. 1, 141(1982).
- [4] Ch. Harder, K. Y. Lau and A. Yariv, *IEEE J. Quantum Electron.*, **QE-18**, 1351(1982).
- [5] 王守武, 王启明, 林世鸣, 半导体学报, **7**, 136(1986).
- [6] 王守武, 王启明, 林世鸣, 物理学报, **35**, 1095(1986).
- [7] 王启明, 吴荣汉, 李建蒙, 吴洪, 半导体学报, **9**, 109(1988).
- [8] 王启明, 吴荣汉, 赵建和, 刘文旭, 张权生, 半导体学报, **11**, 28(1990).
- [9] Uef öhlander and Olof Sahlen, *J. Appl. Phys.*, **62**, 2203 (1987).
- [10] 王启明, 朱龙德, 曹其萍, 物理学报, **34**, 1103(1985).
- [11] S. Masuda, H. Rokugawa, K. Yamaguchi, N. Furimoto and S. Yamakoshi, in *OSA proc. photon switching*, **8**, 286(1989).

## InGaAsP/InP PBH Bistable Lasers with Low Threshold Current

Zhang Quansheng, Wu Ronghan, Lin Shiming, Gao Honghai, Gao Wenzhi,  
Lü Hui, Han Qin, Duan Hailong,  
Du Yun and Lu Xiuling

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

### Abstract

InGaAsP/InP PBH bistable lasers emitting at  $1.3\mu\text{m}$  have been developed by two step LPE method. The devices behave well-controled optical bistability. The typical hysteresis exhibiting in L/I curve has been obtained. The lowest Value of the turn-on threshold current is 26 mA at room temperature which is better than the best value in the literature. The single longitudinal mode operation in the current span of the turn-on state has been realized. The optical digital amplification factor  $G \geq 30\text{dB}$ . The turn-on time  $\tau_{on}$  is less than 100ps and the turn-off time  $\tau_{off}$  is less than 1ns.

**PACC:** 4255P, 4265P, 4265G, 8115L