

研究简报

# 可见光阶梯衬底内条形半导体激光器

杜国同 张晓波 赵方海 邹 峰 高鼎三

(吉林大学电子科学系, 长春)

1989年3月17日收到

将所设计的新结构半导体激光器——阶梯衬底内条形激光器推进到可见光波段( $0.75$ — $0.80 \mu\text{m}$ )。器件直流阈值最低  $26 \text{ mA}$ , 光功率线性  $15$ — $20 \text{ mW}$ ,  $2$ — $4 I_{th}$  基模工作,  $4 \text{ mW}$  工作寿命已超过  $5000$  小时。本文还讨论分析了该结构器件可靠性改善的原因。

主题词 可见光, 阶梯衬底, 内条形, 半导体激光器

## 一、引言

作为信息处理应用的可见光半导体激光器是诸类半导体激光器中用量最大的一类器件。但在我国至今尚没形成生产能力。因此研制工艺简单、特性优良、可靠性高的可见光半导体激光器仍是目前半导体器件的科研和生产应解决的课题。我们把以前报道的阶梯衬底内条形(TSIS)激光器<sup>[1]</sup>的新结构应用到可见光波段并获得成功。

## 二、制造工艺

采用P型掺Zn、载流子浓度为 $1$ — $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 的GaAs单晶片为衬底。用 $1:8:8$  ( $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ ) 的溶液沿[011]方向腐蚀出深 $2.5$ — $3 \mu\text{m}$ 的倒梯形沟槽(燕尾槽), 两管芯用一个沟槽, 宽度为 $250$ — $350 \mu\text{m}$ 。外延入炉前再用 $\text{NaOH}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O} = 0.5\text{g}:0.5\text{ml}:10\text{ml}$ 的碱性腐蚀液腐蚀一分钟左右。外延采用挤压舟, 从 $815^\circ\text{C}$ 开始生长, 用 $0.3^\circ\text{C}/\text{分}$ 的降温速率一次外延生长五层。第一层为n型GaAs电流阻挡层, 掺Te, 载流子浓度为 $4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ , 平面区域厚度为 $0.6$ — $1 \mu\text{m}$ 。生长第一层时要控制 $3$ — $6^\circ\text{C}$ 的过冷度, 生长时间要短, 以使沟槽肩角处生长不上, 自然形成电流通路。第二层为P型载流子浓度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 的 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 下限制层, 平台部分厚度控制在 $0.15$ — $0.4 \mu\text{m}$ 。这一层中的P型掺杂剂的选取也是值得研究的问题。在制造 $0.88 \mu\text{m}$ 器件时<sup>[1]</sup>, 我们用Ge做掺杂剂。现在制造 $0.78 \mu\text{m}$ 左右的器件, 有源区要掺Al, 相应的限制层Al含量也要增高,  $y$ 值为 $0.5$ 左右。Ge的激活能相应提高很难达到这样高的载流子浓度。Zn激活能较低, 但蒸气压太高容易造成污染。为此改用Mg作掺杂剂。国内曾对 $700^\circ\text{C}$ 和 $780^\circ\text{C}$ 液相外延生长的 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 层中Mg的掺杂特性作过分析<sup>[2,3]</sup>, 但数据不太一致。我们

在制造器件实际生长该层的温度 815°C 下, 研究测量了 Mg 的掺杂特性。图 1 给出固定 Mg 在熔体中克分子比为  $1.3 \times 10^{-3}$  时, 载流子浓度随铝含量  $y$  值变化的曲线。图 2 给出了固定 Al 含量  $y=0.5$ , 载流子浓度随熔体中掺 Mg 量的关系。第三层为  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  有源区, 激射波长和有源层中 Al 含量  $x$  值有关, 我们也进行过实验, 请见文献[4]。有源区厚度为  $0.2 \mu\text{m}$ , 掺 Mg, 载流子浓度为  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 。第四层是 n 型  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  上限制层, 掺 Te, 浓度为  $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ , 厚度  $1 \mu\text{m}$  左右。第五层为 n 型 GaAs 盖层, 掺 Te, 浓度为  $4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ , 厚度  $3-5 \mu\text{m}$ 。外延片生长好后, 直接进行欧姆接触工艺, n 面蒸 Au-Ge-Ni, P 面蒸 Au-Zn-Au, 然后解理组装。

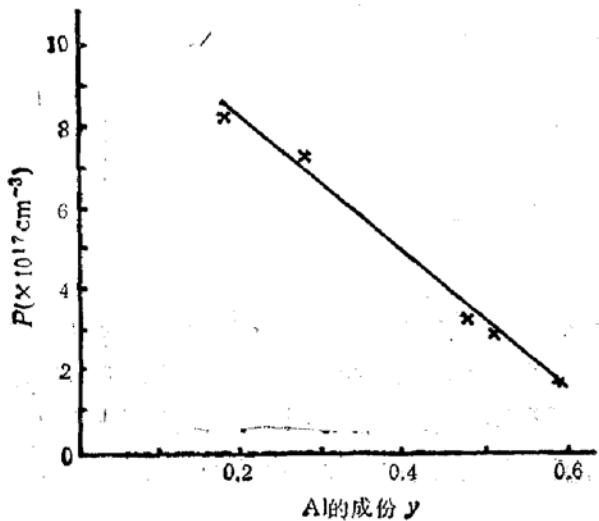


图 1 载流子浓度与铝含量的关系

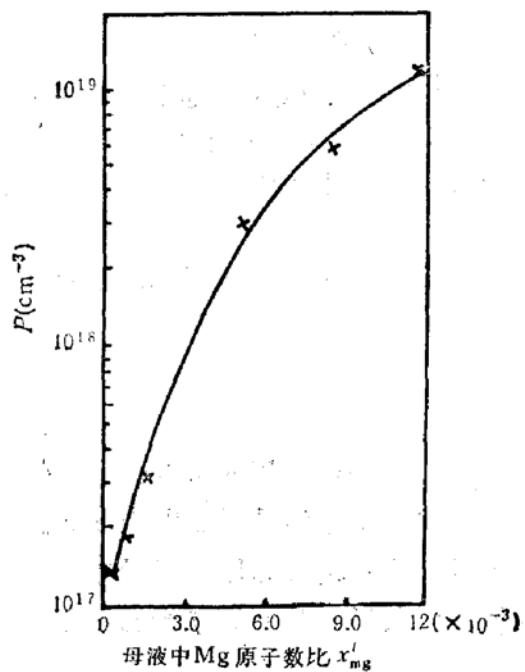


图 2 母液中镁量与载流子浓度关系

### 三、器件特性

**1. 伏安特性** 目前研制的激光器波长为  $0.75-0.80 \mu\text{m}$ , 正向导通电压为  $1.4-1.7$  伏, 反向击穿电压 10 伏左右。电流阻挡层击穿电压可达  $12-16$  伏, 可以有效的对电流进行限制。

**2. 阈值特性** 该结构器件所形成的内电流通路很窄, 仅  $1-2 \mu\text{m}$ , 所以有低的阈值电流。目前已制得批量阈值  $30-50 \text{ mA}$  室温连续工作的器件, 最低阈值为  $26 \text{ mA}$ 。曾测到过脉冲阈值仅  $11 \text{ mA}$  和  $16 \text{ mA}$  的管芯。

**3. 光-电特性** 可见光 TSIS 激光器具有良好线性的光功率-电流曲线, 线性功率可达  $15-20 \text{ mW}$ , 最大输出功率可至  $30 \text{ mW}$  以上, 外微分量子效率为  $30-50\%$  (双面)。图 3 给出几只器件的光功率曲线。

**4. 模式特性** 横模: 可见光 TSIS 激光器可以在较大的电流范围 ( $2-4 I_{th}$ ) 呈良好基模振荡, 水平发散角  $10-15^\circ$ , 垂直发散角为  $25-40^\circ$ 。图 4 给出一器件远场光强角度

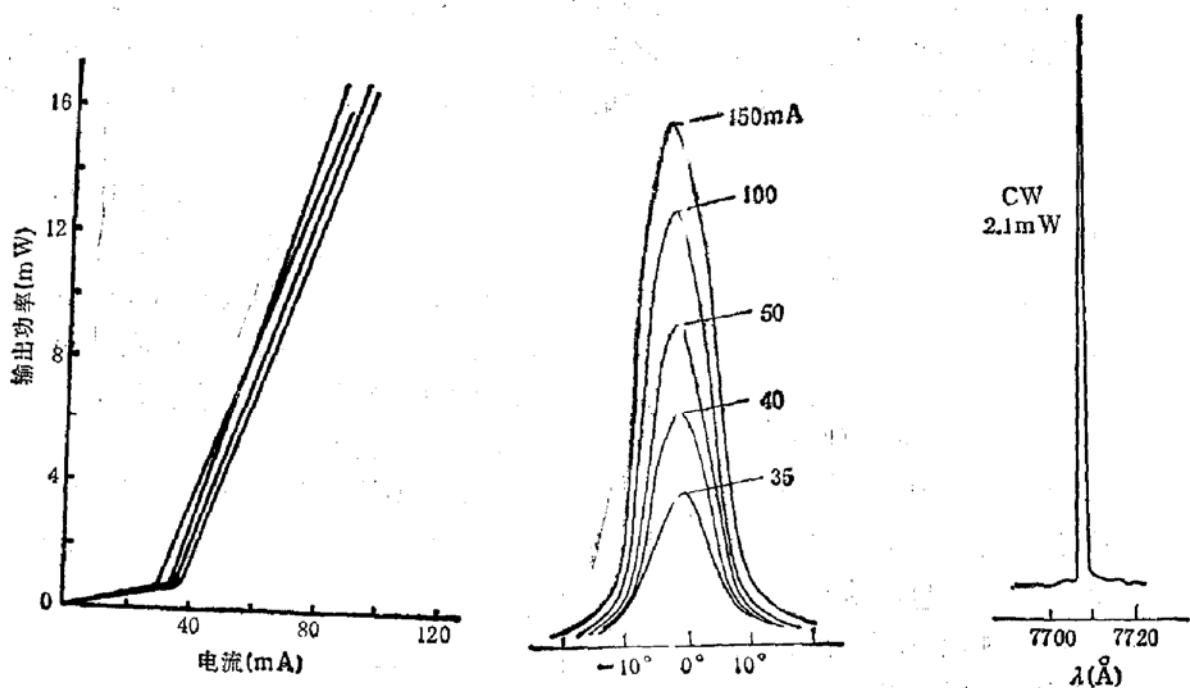


图3 可见光TSIS激光器光功率-电流曲线

图4 可见光TSIS激光器远场光强角度分布

图5 可见光TSIS激光器光谱图

分布。纵横: 由于该结构器件可以做成良好脊形波导结构, 所以在低功率下可呈良好单纵模激光。图5给出一器件室温连续激射光谱。也有一些基模器件呈对称多纵模激射。

#### 四、关于器件可靠性的讨论

可靠性是器件能否实用化的重要特性。由于 $(\text{GaAl})\text{As}$ 可见光激光器有源区掺Al, 限制层Al含量也要相应增加, 使得晶格失配加大, 应力和缺陷也都要增加。因此, 器件寿命问题一直是人们十分关注的不易解决的问题。TSIS激光器正是为了改善这一特性而设计和研制的。

目前采用一次液相外延的许多结构激光器, 如CSP, TS, CS, CDH等结构, 由于外延片生长后要制造条形电极, 进行淀积掩膜、光刻、扩Zn等工艺, 工艺中的高温处理往往进一步增加应力和引入晶体缺陷, 影响器件的可靠性。再有, 这些结构器件都采用n型GaAs衬底, 下限制层 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 层也是n型, 在高Al层中要掺Te才能达到所要求的载流子浓度。而Te分配系数很大, 是一种非常易偏析的杂质。高浓度的Te掺杂往往使外延层质量变差和表面不平坦。在这样的外延层上面再生长有源区, 会影响有源层晶体质量和产生较大的界面散射损耗<sup>[3]</sup>。为了考察掺Te的 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 外延层质量, 进行了掺Te、掺Sn的 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 外延层Zn扩散对比实验, 其结果如图6所示\*。图6(a)是掺Sn的 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 外延层Zn扩散结线照片。可以看出, 外延层表面平坦, 层中的扩散前沿也平坦整齐。说明外延层的晶体质量比较均匀良好。图6(b)是掺Te的

\* 图6(a)、(b)见图版I。

$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  外延层扩 Zn 结线照片, 外延层表面不平坦, 扩散前沿更是不平坦。说明晶体质量不均匀和存在较多的缺陷, 这些缺陷会俘获间隙扩散的 Zn 原子, 使扩散速度降低和结线不平坦<sup>[6]</sup>。因此这些 n 型 GaAs 衬底的器件结构很难制成可靠性相当高的可见光激光器。

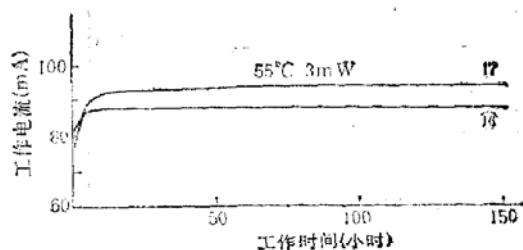


图 7 0.78  $\mu\text{m}$  波段器件高温老化工作电流随时间变化曲线

形 (TSIS) 激光器既克服了 VSIS 激光器两次外延产生的不利影响, 外延后又无需淀积掩膜, 扩 Zn 等工艺, 也就排除了这些工艺引入晶体缺陷和应力等不利因素。TSIS 结构又采用 P 型衬底, 有源层生长好后再在上面生长 n 型掺 Te 的  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  上限制层, Te 偏析等问题就不会影响有源层的晶体质量了。再有 TSIS 结构的发光区在衬底沟道的肩角附近, 而沟道肩角处在外延生长时是先回熔一下后再生长的。这种微回熔是对衬底最好的表面处理, 会有助于提高晶体生长的质量。因此 TSIS 结构可以改善可靠性, 提高器件寿命。

对不同波长的可见光 TSIS 激光器可靠性进行了考核(考核还在继续进行)。考核表明波长在 0.78  $\mu\text{m}$ —0.80  $\mu\text{m}$  范围的器件有较高的可靠性。图 7 给出 0.78  $\mu\text{m}$  波段范围两只器件 55°C 高温、3 mW 工作电流随时间变化的曲线。这些器件 55°C 工作 150 小时(室温外推工作时间 4000 小时以上)后, 在室温 (23—29°C) 3 mW 下, 又已工作了近 1000 小时, 阈值电流变化率仍很小。图 8 给出一只 0.80  $\mu\text{m}$  波段器件室温下工作电流随时间变化曲线, 该器件阈值电流 50 mA, 1.3 mW 连续工作了 1248 小时, 工作电流始终为 55—56 mA 无变化, 之后又调到 4 mW 工作, 现又已 5000 多小时工作电流 72 mA 左右变化很小。这样的器件寿命几万小时是没有问题的。这是本实验室在同样简陋工艺条件下, 研制其它结构(包括 VSIS 结构)的 GaAs 材料(包括 0.85—0.88  $\mu\text{m}$  波段)激光器从没达到过的突破性进展。这就充分证明了该器件结构在改善可见光激光器的可靠性, 提高器件寿命方面确实有着显著的作用。当然这种结构器件的寿命和激射波长也是有着密切关系的。高温老化筛选表明, 目前工艺条件下, 0.75  $\mu\text{m}$  波段器件的可靠性仍没有解决。0.76  $\mu\text{m}$ , 0.77  $\mu\text{m}$  波段的器件可靠性较好的器件比例也明显减少。有些问题还需要进一步实验解决。

沟道衬底内条形 (VSIS) 激光器利用二次外延制成内电流通路, 部分克服了上述问题。但是两次液相外延也是很麻烦的工艺, 且工艺周期长, 同时一次外延后往往不容易处理干净, 影响二次外延的质量, 也会对可靠性产生不利影响。

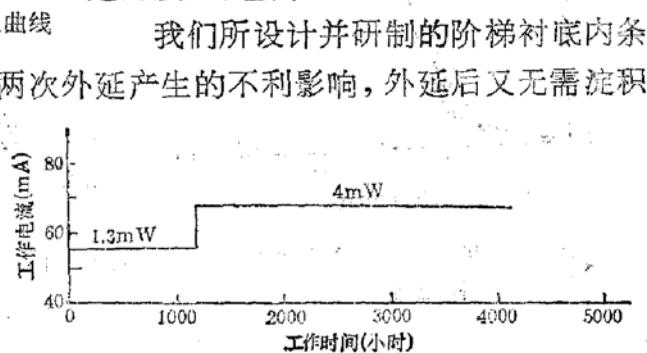


图 8 0.80  $\mu\text{m}$  波段器件室温工作电流随时间变化曲线

## 五、结 论

将阶梯衬底内条形(TSIS)激光器推进到可见光波段。目前的器件波长在0.75—0.80 μm范围,最低室温直流阈值26 mA,得到过脉冲阈值11 mA、16 mA的管芯,光功率线性15—20 mW,可保持4倍阈值基模振荡,低功率下可单纵模激射。寿命考核表明,0.78—0.80 μm波段器件有较高的可靠性,室温3—4 mW工作寿命可超过5000小时,有的可达万小时。本文报道的结果进一步证明了TSIS结构激光器是一种特性优良,特别是有助于改善可靠性的先进结构器件;并且工艺简单,周期短,易于生产又可节省原材料和动力消耗。

杨健、余辉、王文等同志参加了部分实验工作,在此表示谢意。

## 参 考 文 献

- [1] 杜国同,马晓宇,邹峰,高鼎三,半导体学报,9(3), 335 (1988).
- [2] 刘宏勋,章蓓,王舒民,虞丽生等,半导体学报,8(2), 214 (1987).
- [3] 余金中,岩井庄八,青柳克信,半导体学报,6(2), 123 (1985).
- [4] 马晓宇、杜国同、高鼎三,半导体光电,9(2), 4 (1988).
- [5] T. Hayakawa, N. Miyachi, S. Yamamoto, H. Hayashi, S. Yano, and T. Hijikata, *J. Appl. Phys.*, 53(11), 7224 (1982).
- [6] S. P. Lee, et al., *Solid-State Electronics*, 21(6), 905 (1978).

## Visible Terraced Substrate Inner Stripe Semiconductor Lasers

Du Goutong, Zhang Xiaobo, Zhao Fanghai,

Zou Zheng and Gao Dingsan

(Department of Electronics Science, Jilin University, Changchun)

### Abstract

A kind of new structure visible semiconductor laser, terraced substrate inner stripe (TSIS) laser, is developed. The device is sensitive to the wavelength ranging from 0.75 to 0.80 μm, the lowest threshold current is 26mA, linear laser output power is 15—20mW and the fundamental mode behavior can be performed at 2—4 I<sub>th</sub>, the CW operation time is longer than 5000 hours. The reliability of the lasers is also discussed.

**Key words** Visible, Terraced substrate, Inner stripe, Semiconductor laser