

梯形衬底大光腔可见光 AlGaAs 半导体激光器

陈国鹰 刘文杰 张兴德
(河北工学院) (长春光机学院)

提要: 采用液相外延技术, 试制了梯形衬底大光腔(LOC)可见光 AlGaAs 半导体激光器。其波长为 717.2~770.0 nm, 室温(298 K)连续工作阈值电流为 300 mA, 在 1.5 倍阈值时可实现单纵模、基横模工作。本文给出了器件的一些电学和光学特性。

关键词: 梯形衬底, 大光腔, 液相外延

Visible AlGaAs TS semiconductor laser with a large optical cavity

Chen Guoying, Liu Wenjie
(Hebei Institute of Technology, Tianjin)

Zhang Xingde
(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Changchun)

Abstract: Visible AlGaAs terraced substrate semiconductor lasers with a large optical cavity has been fabricated. Its wavelength ranges from 717.2nm to 770.0nm, threshold current is 300mA at room temperature CW operation. It operates with a single mode at 1.5 times threshold. Some of the electrical and optical properties of the device are given.

Key words: terraced substrate, large optical cavity, LPE

一、引言

在激光高速印刷、光唱盘、光信息处理等许多领域中, 可见光半导体激光器得到了广泛的应用。同其它可见光激光器相比, 半导体激光器具有体积小、易集成等优点。因此, 近年来可见光半导体激光器特别引人注目。

国内外报道的可见光半导体激光器都为双异质结(DH)结构^[1~3], 为了提高可见光半导体激光器的输出功率, 满足民用和军用某些领域的特殊需要, 我们采用液相外延试制了具有梯形衬底(Terraced Substrate, 简称 TS)结构大光腔(Larg Optical Cavity, 简称 LOC)可见光 AlGaAs 半导体激光器。

二、TS-LOC 可见光激光器的结构及工艺过程

2.1 结构及原理

TS-LOC 可见光激光器的结构截面示意图如图 1 所示。在平面 n -GaAs 衬底上沿着 $\langle 110 \rangle$

方向用化学刻蚀方法刻成 $1.5 \sim 2.0 \mu\text{m}$ 深的梯台, 如图 2 所示, 然后依次生长上五层结构: $n\text{-Ga}_{0.4}\text{Al}_{0.6}\text{As}$ 下限制层(掺 Te, $n \sim 2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$), 梯台处厚 $2 \mu\text{m}$, 两侧平坦处厚 $1.3 \mu\text{m}$; $n\text{-Ga}_{0.75}\text{Al}_{0.25}\text{As}$ 波导层(掺 Te, $n \sim 8 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$), 梯台处厚 $0.5 \mu\text{m}$, 两侧平坦处厚 $0.3 \mu\text{m}$; $\text{Ga}_{0.8}\text{Al}_{0.2}\text{As}$ 有源层(不掺杂, 或单掺 Si, 或双掺 Si-Zn), 梯台处厚 $0.3 \mu\text{m}$, 两侧平坦处厚 $0.2 \mu\text{m}$; $p\text{-Ga}_{0.4}\text{Al}_{0.6}\text{As}$ 上限制层(掺 Zn, $p \sim 2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$), 梯台处厚 $1.5 \mu\text{m}$, 两侧平坦处厚 $1.0 \mu\text{m}$; $p\text{-GaAs}$ 欧姆接触层(掺 Ge 或 Zn, $p \sim 1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$), 表面长平。

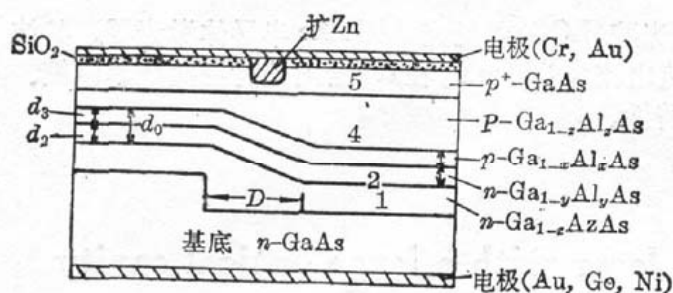


图 1 TS-LOC 半导体激光器结构示意图

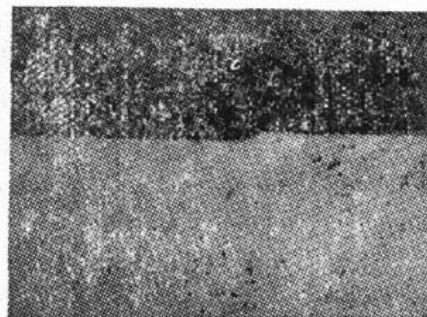


图 2 化学刻蚀成的梯台衬底

可见光大光腔激光器的输出光波导厚度 d_0 是有源层的厚度 d_3 与波导层的厚度 d_2 之和。由图 1 可见, 如果选取有源层和波导层的带隙差大到足以把绝大多数注入载流子限制在有源层内, 而有源层和波导层的折射率差很小, 使得波导层对有源层的辐射几乎是“透明”的, 用折射率差更大的上、下限制层来实现对光子的限制。这样就可以形成厚度为 d_0 的大光学复合腔(简称大光腔)^[4,5]。波导层的引入, 增大了光输出端面积, 降低了输出光功率密度, 提高了光破坏阈, 从而减小了光输出的束发散, 提高了光输出功率。

TS-LOC 可见光激光器, 是利用在衬底凹处比平坦处生长较快, 而在凸处生长较慢的非平面生长规律, 使有源层和波导层在梯台处比平坦处生长得厚一些。我们知道, 各阶导波模式的传播常数或等效折射率皆随芯层厚度的增加而增加。有源层和波导层在梯台区域 D 内的厚度比其外平坦区域的厚度大, 则 D 宽度内的等效折射率将比其外的等效折射率大, 所以在平行于结平面方向形成一个弱的自建折射率波导, 这样可以实现在平行结平面方向上的稳定光限制和导引。适当地控制有源层梯台区域和平坦区域的厚度差, 可使自建波导刚好足以超过注入载流子分布形成的非自建波导, 但仍保持弱波导性质, 而允许单横模宽度 D 足够大, 以提高激光功率和减小发散角。

2.2 外延工艺

采用液相外延一次连续生长五层结构。在 900°C 温度下恒温溶源 $15 \sim 20$ 分钟, 使溶液中各种组分趋于均匀分布。然后以 $1.5^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速率降温至 880°C , 为了减小热惯性的过冲, 再转换成以 $0.3^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速率降温至 860°C , 此时开始外延生长。各层外延生长的温度与生长的时间关系如图 3 所示。

采用表 1 的溶液配比, 获得了结构符合要求的外延晶片, 其结构截面放大照片如图 4 所示。

在外延好的晶片上先淀积上一层 SiO_2 掩蔽膜, 然后光刻出宽为 $10 \mu\text{m}$ 的扩 Zn 窗口 ($1 \sim 2 \mu\text{m}$ 深)。外延层的 p 型面蒸镀 Cr、Au; n 型衬底面蒸镀 Au、Ge、Ni。解理成腔长 $250 \sim 270 \mu\text{m}$ 的管芯, 装管测试。

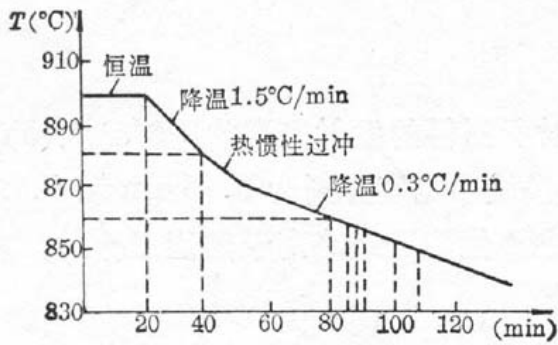


图 3 液相外延降温生长曲线

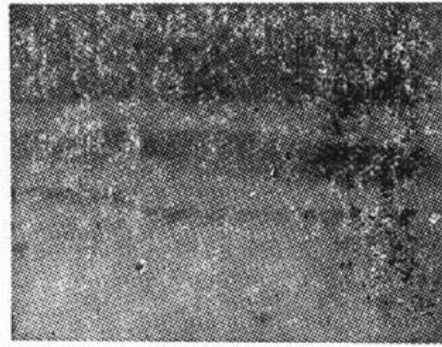


图 4 TS-LOC 可见光激光器结构显微照片

表 1 TS-LOC 可见光激光器各层溶液配比实验值

层次	类型	溶液配比(mg)						
		Ga	GaAs	Te	Zn	Ge	Si	Al
1	$n\text{-Ga}_{1-z}\text{Al}_z\text{As}$	1000	65.0	2.6				3.4
2	$n\text{-Ga}_{1-y}\text{Al}_y\text{As}$	1000	80.5	1.6				1.0
3	$p\text{-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$	1000	84.0		(12.0)		(5.0)	0.8
4	$p\text{-Ga}_{1-z}\text{Al}_z\text{As}$	1000	60.0		20.0			3.4
5	$p^+\text{-GaAs}$	1000	90.0			30.0		
备注	1. $x=0.2, y=0.25, z=0.6$; 2. 圆括号中所表示的量为可掺可不掺。							

经过两年多的外延实验研究，试制成了波长在 717.2 nm ~ 770.0 nm 的 TS-LOC 可见光激光器。

三、TSL-LOC 可见光激光器的测试结果

3.1 光输出电流特性

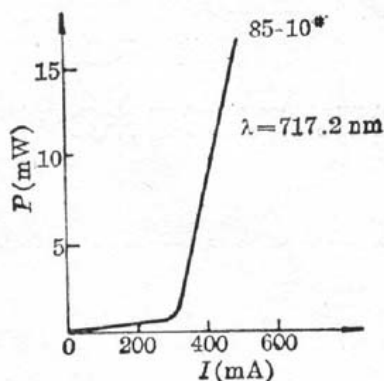


图 5 TS-LOC 可见光激光器 P-I 曲线

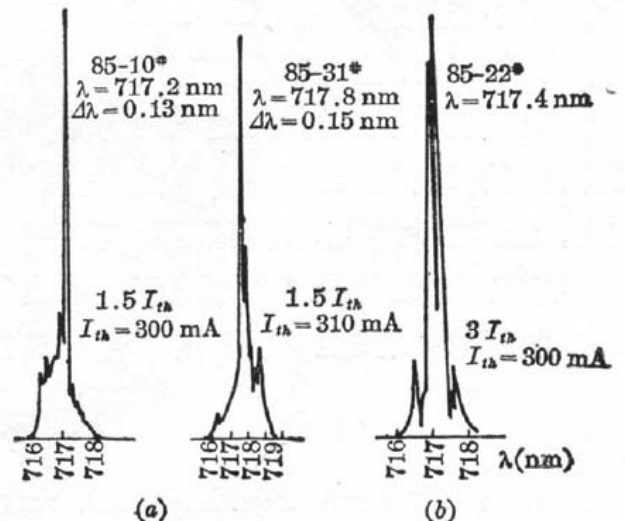


图 6 TS-LOC 可见光激光器的发射光谱

在室温直流测量得到的光输出电流(P-I)特性曲线如图 5, 阈值电流为 300 mA, 在很大的

输出光功率范围内无扭折。

3.2 发射光谱

在入射狭缝为 0.04 mm, 出射狭缝为 0.03 mm 时所测得的发射光谱如图6(a)和(b)所示。在 1.5 倍阈值时波长分别为 717.8 nm 和 717.2 nm, 谱线半宽度分别为 0.15 nm 和 0.13 nm。图 6(b)给出了在 3 倍阈值时的发射光谱, 可以看到在阈值附近或略高于阈值工作时, 基本上是单纵模工作, 但高于阈值较多时, 一般为多纵模工作。

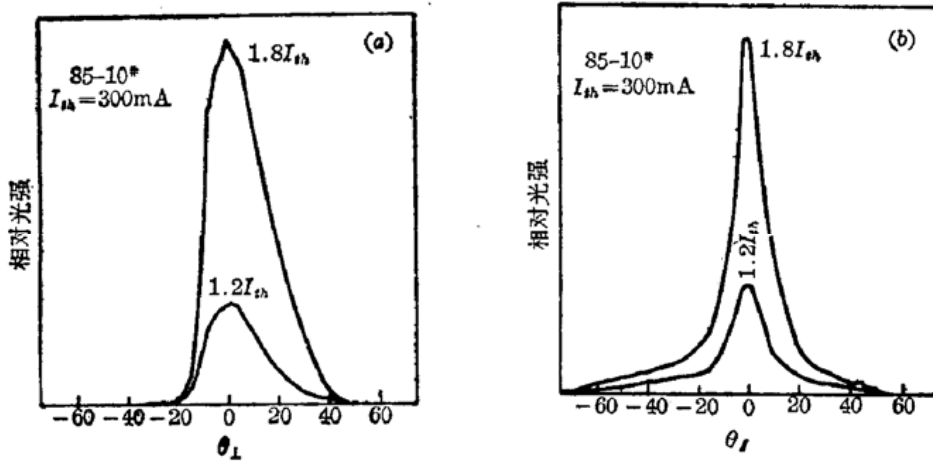


图 7 TS-LOC 可见光激光器垂直结平面(a)和平行结平面(b)的远场分布曲线

3.3 远场分布

图 7(a)、(b)给出了垂直于结平面和平行于结平面方向的远场强度分布。在 1.2 倍阈值时, 垂直于结平面方向和平行于结平面方向的全宽度半功率(FWHP)束发散分别为 24° 和 15°。由图中可见, 垂直于结平面方向的束发散(Q_{\perp})大于平行结平面方向的束发散(Q_{\parallel}); 高电流工作时的束发散大于低电流工作时的束发散。

3.4 发光位置观测

我们用红外透视方法对 TS-LOC 可见光激光器的发光情况进行了观察。观测装置如图 8 所示。

在器件没有加电流时, 通过电视屏幕可以清晰地看到器件的各层结构。当器件小电流工作时, 有源区开始发光, 继续加大电流, 可以明显地看到光向波导层中泄漏。通过对器件发光情况的观测, 我们确信有源层和波导层共同形成了光输出复合腔。

任大翠、陈铁民、史全林、张千勇等同志在实验中给予了很多帮助, 在此表示衷心的感谢。

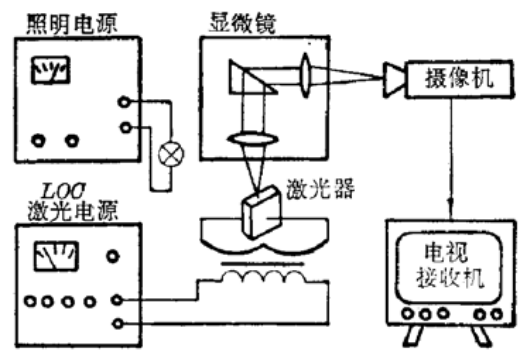


图 8 TS-LOC 可见光激光器发光观测装置示意图

参 考 文 献

1. H. Kressel, F. Z. Hawrulo, *Appl. Phys. Lett.*, **28**, 598 (1976)
2. T. Nayakawa *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **53** (11), 7224(1982)
3. S. Yamamoto *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **46**(5), 372 (1982)
4. H. C. Casey, "Heterostructure Lasers, Part A: Fundamental Principles", Academic Press
5. 张兴德, 任大翠, 光学学报, **3**(4), 358(1983)