

# 在半绝缘铟磷衬底上制作的槽状 大光腔铟镓砷磷激光器

陈 侗 嵘

A. Yariv

(成都电讯工程学院光电子学系)

(美国加州理工学院应用物理系)

## 提 要

本文报道在半绝缘铟磷(InP)衬底上制作的槽状大光腔铟镓砷磷/铟磷(InGaAsP/InP)激光器。该结构采用了衬底开槽技术,用一步液相外延工艺来完成,制作简单,重复性好。这种器件将槽状激光器的完全隐埋实折射率导波机制与大光腔结构结合起来,既保持了槽状激光器的低阈值单模运转性能,又能发挥大光腔的高输出潜力。所制成的激光器阈值电流低至25 mA,单面脉冲输出功率达200 mW,并可实现单模运转。

本文描述一种将大光腔结构引进槽状激光器中<sup>[1,2]</sup>,从而使槽状激光器的功率性能得到改善的新的铟镓砷磷/铟磷激光器。

在大光腔激光器中<sup>[3,4]</sup>,激光振荡模从厚约0.05~0.2 μm的“激活层”中获得光增益,而模的相当大一部分能量却在一个与激活层相邻的、厚的(0.5~1.5 μm)“导波层”中传播。其结果是模的横向尺寸、光束发散角以及激光器的功率输出水平均得到明显的改善。不过,早期的大光腔宽条形激光器往往阈值甚高(脉冲阈值电流可达数百 mA 至数 A)。本文所报道的 InGaAsP/InP 激光器将大光腔结构的优点与槽状激光器的内建实折射率导波机制结合起来,既保持了槽状激光器的低阈值单模运转性能,又能发挥大光腔结构的高输出潜力。

## 一、结构、制作原理和工艺

在大光腔激光器的结构中, InGaAsP 激活层与导波层组分的选择通常应该这样来进行:一方面使得两层之间由带隙差造成的位垒高度足以提供适当的载流子限制,不致使过多的载流子从有源区泄漏到导波层,从而造成阈值的增高和量子效率的降低;另一方面,又希望两层之间的折射率突变足够小,以便激射模式的光场能有效地扩展到导波层中去。由于激活层与导波层之间的位垒高度以及折射率突变都由两层组分的带隙差所决定,而且当带隙差增大时,两者同时增大,因而要想同时得到高的位垒及小的折射率阶跃是有困难的,在实践中对前述要求应进行权衡。

图1是槽状大光腔激光器的结构示意图。该器件制作在半绝缘的铟磷(SI-InP)底衬上。这样做是为了便于进一步与其它光电子学元件进行单片集成。其制作的工艺步骤可略

述如下:

### 1. 衬底的制备

用作衬底的 InP 表面在 [100] 面。在该表面上首先用  $\text{Si}_3\text{N}_4$  作掩模, 沿 [011] 方向腐蚀出一组平行的燕尾槽。槽深一般为  $3\sim 5\ \mu\text{m}$ , 槽宽(顶部)可取  $2\sim 5\ \mu\text{m}$  之间的各种数值, 相邻两槽间的距离为  $250\ \mu\text{m}$ 。在腐蚀出上述槽后, 将槽口一侧的  $\text{Si}_3\text{N}_4$  去掉(另一侧的  $\text{Si}_3\text{N}_4$  留下作外延生长掩模)。

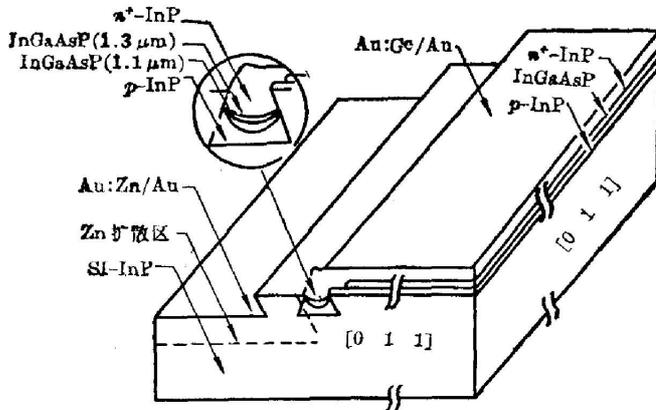


图 1 槽状大光腔激光器结构示意图

Fig. 1 The schematic structure of the groove large-optical cavity laser

### 2. 各层的结构参数

在上述开槽衬底上依次生长四个液相外延层, 这些外延层同时生长在槽内以及槽外未被  $\text{Si}_3\text{N}_4$  掩模的一侧, 但槽内外的生长厚度将不相同(见图 1)。各层的组分及槽内部分的厚度为: 1)  $p$ -InP 限制层:

厚度为  $1.5\sim 2\ \mu\text{m}$ ; 掺锌(Zn)  $2\sim 5\times 10^{17}\ \text{cm}^{-3}$ 。2) InGaAsP 导波层: 厚度为  $0.5\sim 1\ \mu\text{m}$ ; 相应于辐射波长  $1.1\ \mu\text{m}$ , 非故意掺杂, 但液相外延炉舟中的背景电子浓度为  $4\sim 9\times 10^{16}\ \text{cm}^{-3}$ 。3) InGaAsP 激活层: 厚度为  $0.1\sim 0.2\ \mu\text{m}$ ; 辐射波长  $\sim 1.3\ \mu\text{m}$ , 非故意掺杂。4)  $n^+$ -InP 限制层: 厚度为  $2\sim 3\ \mu\text{m}$ ; 掺锡(Sn)  $2\times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ 。最顶上这一层 InP 是重掺杂的, 以便得到较好的欧姆接触, 降低激光器串联电阻。

### 3. 液相外延生长

液相外延可用两相法及过冷法进行。对较窄( $\sim 2\ \mu\text{m}$ )及较深( $\sim 5\ \mu\text{m}$ )的槽, 用过冷法比较易于生长。但两相法使用起来比较简便, 对有源层和波导层的厚度及其在槽中的位置比较容易控制, 外延重复性好。在生长第一层  $p$ -InP 前不回熔, 以免破坏槽的形状。生长有源层及导波层时的降温速率通常采用  $0.1\sim 0.2^\circ/\text{min}$ , 以便能生长出较薄的有源层, 并在整个衬底上获得较均匀的外延生长。有源层的生长温度为  $635^\circ\text{C}$ , 生长有源层的时间通常  $\leq 1\ \text{sec}$ ; 导波层的生长时间为  $3\sim 5\ \text{sec}$ 。有源层及导波层的组分配比, 参照文献[5]中的数据, 但往往需要按照各自设备的具体情况, 根据晶格匹配及激射波长的测试数据作微小的调整, 以便获得最佳配比。

### 4. 欧姆接触

在完成外延生长后, 在整个基片上重新淀积一层新的  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , 然后在平行于槽的方向并距离槽口约为  $5\ \mu\text{m}$  远处的未长外延层的一侧, 通过光刻形成宽约  $100\ \mu\text{m}$  的窗口。去掉窗口处的  $\text{Si}_3\text{N}_4$  以后, 用氮甲醇进行腐蚀, 可深入衬底约  $5\sim 8\ \mu\text{m}$ 。然后, 将此基片在  $640^\circ\text{C}$  的温度下进行闭管锌扩散, 使锌经由前面刚腐蚀出来的新鲜表面进入 SI-InP 衬底, 并渗透到槽的底部的  $p$ -InP 外延层中, 从而达成  $p$  接触。锌扩散的前沿以尽可能接近 InGaAsP 波导层为好。完成扩散后, 分别蒸发上 Au:Zn/Au 和 Au:Ge/Au, 以作为正负电极。在这种激光器中, 两个电极都在外延片顶部。

最后, 将这样制作成的基片打薄并解理成腔长约为  $250 \mu\text{m}$  的激光器管芯。(作好的管芯如图 1 所示。)

## 二、性 能

对根据前述原理和工艺制作的大光腔  $\text{InGaAsP}/\text{InP}$  激光器进行测试, 得知其性能为: 对激活区宽度为  $2\sim 5 \mu\text{m}$ 、腔长为  $\sim 250 \mu\text{m}$  的器件, 其阈值电流强度约为  $30\sim 50 \text{mA}$ , 所测得的最低阈值为  $25 \text{mA}$ 。该激光器的典型光功率—注入电流特性曲线如图 2 所示, 获得了每个端面脉冲输出  $\sim 200 \text{mW}$  的功率水平(测量时所用脉宽为  $50\sim 100 \text{ns}$ , 重复频率为  $2\sim 10 \text{kHz}$ )。

从光功率曲线的直线部分所求得的外微分量子效率约为  $40\%$  (对两个端面而言)。在高注入电流下功率曲线逐渐趋于饱和, 这可能与载流子泄漏随注入电流的增大而增加有关。

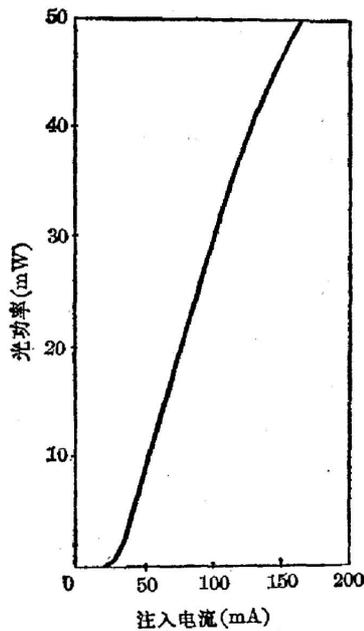


图 2 槽状大光腔激光器的光功率—注入电流特性曲线。

Fig. 2 Light versus current characteristics of the groove large-optical cavity laser at pulse operation

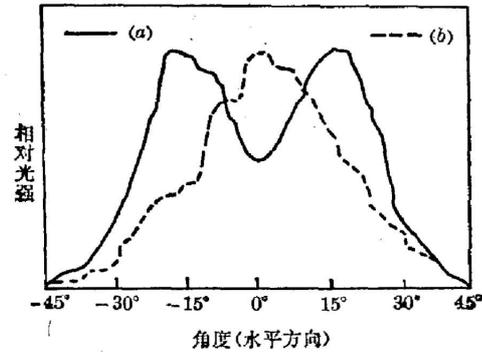


图 3 槽状大光腔激光器远场图 (平行结平面方向)

Fig. 3 Far-field pattern of the groove large-optical cavity laser  
(a) With active layer width of  $\sim 2 \mu\text{m}$ ;  
(b) With active layer width of  $\sim 4 \mu\text{m}$

该激光器的横模行为取决于激活区的宽度, 这与通常的 BH (隐埋异质结构) 激光器类似。由于这种结构属于强实折射率导波机制, 因而仅当有源区宽度为  $2\sim 3 \mu\text{m}$  时才可能获得单横模<sup>[6]</sup>。对槽宽为  $4\sim 5 \mu\text{m}$  的激光器, 其远场花样通常呈现出比较稳定的双峰。图 3 为该器件的典型远场图。可以看出, 当运转于高阶模时, 光束发散角明显增大。在垂直于结平面方向的发散角约为  $20^\circ\sim 30^\circ$ , 比通常的平面条形激光器亦有所改善。

## 三、讨 论

从理论上严格计算为实现有效的载流子限制所需要的位垒高度是一个十分复杂的问题。位垒高度不但与相邻两层的带隙差有关、与它们的能带结构及费米能级的位置有关, 而且位垒对载流子的限制作用还随注入电流的大小及载流子受热等效应而改变。对  $\text{GaAs}$  激

光器, 通常的理论分析表明<sup>[7]</sup>, 0.25 eV 的带隙差就能提供满意的载流子限制。然而, 最近的研究表明<sup>[8]</sup>, 对 InGaAsP 激光器, 载流子通过限制层位垒有泄漏效应, 即使是对 1.3  $\mu\text{m}$  的辐射波长也很明显。这可能与载流子受热及在  $p$ -InP 层中漂移电场导致的泄漏增强效应有关<sup>[8]</sup>。对有源层中载流子的限制仅在低注入电流下才比较有效。对有源层与导波层之间折射率阶跃的要求, 应根据四元层所构成的波导的几何形状, 有源区及导波层的厚度, 以及对激光器运转模式的要求来决定。在我们现在所讨论的槽状激光器的情况下, 有源层及导波层均为新月形, 严格的理论处理也是比较困难的。我们的作法是, 将一般的理论估算与具体的实验研究结合起来。参照对 GaAs 激光器的理论分析和实验数据<sup>[7]</sup>以及有关 InP 激光器的相应资料, 我们希望, 有源层与波导层之间带隙差能保持在 0.2 eV 左右, 而折射率的相对突变以不超过 5% 为宜。在这一范围内, 再进行若干实验研究以确定最佳配比。因为我们想要研究波长为  $\sim 1.3 \mu\text{m}$  的激光器, 导波层的组分可在辐射波长为 0.92  $\sim$  1.3  $\mu\text{m}$  的 InGaAsP 材料中选择。我们发现, 采用  $\lambda = 1.1 \mu\text{m}$  的 InGaAsP 作导波层能较好地兼顾阈值与功率性能。对典型的槽状大光腔激光器, 激光波长为  $\lambda = 1.28 \mu\text{m}$ , 有源层在该波长处的折射率为  $\sim 3.47$ , 而相应于辐射波长为 1.1  $\mu\text{m}$  的 InGaAsP 导波层对波长为 1.28  $\mu\text{m}$  的光折射率约为 3.35<sup>[9]</sup>, 其相对折射率差约为 3.5%。此时两种材料的带隙差  $\Delta E_g \sim 0.16 \text{ eV}$ 。可以看出, 在这种情况下, 导波层将对载流子起适当的限制作用, 虽然将有一部分载流子泄漏到导波层中, 但我们可以合理地期望, 在注入不太高的情况下, 这种泄漏不致于过分严重。从相对折射率差的数据可以看出, 在有源层厚度较小的情况下, 激光模场应能有效地扩展到导波层中。实际上, 根据对器件的阈值和输出功率方面的具体要求, 组分的选择还可作相应的改变。

由于液相外延生长的速度与表面曲率及掩模情况有关, 四元系在槽内将长成新月形, 与以前报道过的槽状激光器类似<sup>[1, 2]</sup>。四元层完全由带隙较宽(因而折射率较低)的 InP 所包围, 而槽的侧壁为半绝缘材料, 这就迫使全部注入电流通过有源层, 从而实现了较好的载流子及光的二维限制。加之这种结构属于典型的窄条形, 有源层宽度可作到 2  $\sim$  5  $\mu\text{m}$ , 因而虽然存在着大光腔结构中载流子越过两层 InGaAsP 之间的位垒从激活层泄漏到导波层的过程, 但仍可期望该激光器将具有较低的阈值。

#### 四、结 论

总之, 我们在半绝缘 InP 衬底上制作了槽状大光腔 InGaAsP 激光器, 其辐射波长为  $\sim 1.3 \mu\text{m}$ , 很适合于光纤通讯的需要。制作过程仅包含一步液相外延, 工艺比较简单。这种激光器具有低阈值及高功率输出等特征, 使它无论是单独作为长波长光源使用或用于有源集成光路中都将十分具有吸引力。

本文作者感谢余焜离博士(K. L. Yu)在技术方面的协助。

#### 参 考 文 献

- [1] K. L. Yu, U. Koren, T. R. Chen et al.; *Electron. Lett.*, 1981, 17, No. 21 (15 Oct), 790.

- [2] K. L. Yu, U. Koren, T. R. Chen *et al.*; *IEEE J. Quant. Electron.*, 1982, **QE-18**, No. 5 (May), 817.
- [3] R. J. Nelson, P. D. Wright *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1980, **36**, No. 5 (1 Mar), 358.
- [4] S. E. H. Turley, G. D. Henshell *et al.*; *Electron. Lett.*, 1981, **17**, No. 23 (12 Nov), 868.
- [5] M. A. Pollack, R. E. Nahory *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1978, **33**, No. 4 (15 Aug), 314.
- [6] T. R. Chen, K. L. Yu *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1982, **53**, No. 11 (Nov), 7215.
- [7] H. Kressel, J. K. Butler; *«Semiconductor Laser and Heterojunction LEDs»*, (Academic press, 1977), Chapter 8, 7.
- [8] T. R. Chen, S. Margalit *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1983, **42**, No. 12 (15 Jan), 1000.
- [9] P. Chandra, L. A. Coldren *et al.*; *Electron. Lett.*, 1981, **17**, No. 1 (8 Jan), 6.

## A groove large-optical cavity InGaAsP laser on semi-insulating InP substrate

CHEN TIRONG (T. R. CHEN)

*(Department of Opto-electronics, Chengdu Institute of Radio Engineering)*

A. YARIV

*(Department of Applied Physics, California Institute of Technology)*

(Received 3 October 1983; revised 20 February 1984)

### Abstract

A groove large-optical cavity (G-LOC) InGaAsP/InP laser has been fabricated on semi-insulating InP substrate. The fabrication process involves only a single step liquid phase epitaxial growth on a channeled substrate, and is thus simple and reproducible. The device combines the advantages of the groove laser and the LOC structure. In groove laser, the presence of a built-in real index waveguide makes it possible to obtain low-threshold, single mode operation, while the LOC structure possesses the potential capability of delivering high output power. As a result, threshold current as low as 25 mA and an output power of 200 mW per facet have been achieved. The G-LOC Laser can be used as light source in applications such as optical communication and signal process, as well as integrated with other optoelectronic devices.