

掩埋弯月形 InGaAsP/InP 激光器稳态特性研究

王向武

(长春光学精密机械学院)

本文对掩埋弯月形 InGaAsP/InP 激光器的稳态特性作了数值计算和理论分析。对有源层载流子浓度分布的剖面形状给予解释，并分析了结构参数对激光器阈值电流的影响。计算结果和实验符合较好。

一、引言

为了满足长波长 (1.3~1.55μm) 光纤通讯的需要，人们研制了各种结构的 InGaAsP/InP 激光器。在它们中，掩埋弯月形 (BC) 激光器由于其工艺简单，又较易得到低阈值和单横模运转，颇引人注目。本文对该激光器的稳态特性进行了数值计算和理论分析，得到了在注入电流情况下载流子浓度分布及结构参数与阈值的关系。

二、BC激光器稳态特性的分析基础

图 1 为掩埋弯月形 InGaAsP/InP 激光器的结构示意图，它的波导由一个完全掩埋在 InP 内的 InGaAsP 弯月形有源层形成。

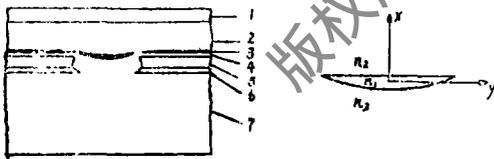


图 1 InGaAsP/InP BC激光器结构示意图。

1. P-InGaAsP; 2. P-InP; 3. InGaAsP (有源层); 4. n-InP; 5. P-InP; 6. n-InGaAsP; 7. Sub

在稳态条件下，阈值时，有源层载流子扩散方程为

$$\frac{d^2 n(y)}{dy^2} + \frac{1}{t(y)} \cdot \frac{dt(y)}{dy} \cdot \frac{n(y)}{dy} - \frac{n(y)}{L_D^2} = -\eta \frac{J_v(y)}{e D t(y)} \quad (1)$$

式中， $n(y)$ 为有源层载流子浓度分布， D 为扩散系数， L_D 为扩散长度， e 为电子电荷， η 为受激复合的载流子比率，弯月形有源层厚度可表示为

$$t(y) = t_0 [1 - (2y/w)^2] \quad (2)$$

式中， t_0 为弯月形中心的厚度， w 为沟槽宽度。

收稿日期：1986年10月26日。

注入电流密度 J_v 按W. T. Tsang^[1]的定义写为

$$J_v = \begin{cases} J_0 & (\text{常数}) & |y| \leq w/2 \\ J_0 \left[1 + \frac{|y| - w/2}{l_0} \right]^{-2} & & |y| > w/2 \end{cases} \quad (3)$$

$$l_0 = (0.10339/R_T \cdot \hat{J}_0)^{1/2} \quad (4)$$

激光器注入电流 I_s 与 J_0 的关系为^[1]

$$I_s = J_0 \cdot L \cdot (w + 2l_0) \quad (5)$$

上面 R_T 为侧向扩展电阻, \hat{J}_0 为注入电流密度, 当达到或高于阈值时, \hat{J}_0 取阈值电流密度 J_{th} , L 为腔长。

采用差分近似法可算出有源层载流子浓度分布 $n(y)$ 。

激光器的模式增益为

$$G_0 = \int_0^{\infty} \Gamma(y) g(y) |G(y)|^2 dy / \int_0^{\infty} |G(y)|^2 dy \quad (6)$$

其中光场分布^[2]

$$G(y) = A \exp[-(y/w_0)^2] \quad (6a)$$

$$w_0 = \left(\frac{\lambda w}{2\pi(b_0 \delta \epsilon)^{1/2}} \right)^{1/2} \quad (6b)$$

$$\delta \epsilon = n_1^2 - n_2^2 \quad (6c)$$

$$b = (N^2 - n_2^2) / (n_1^2 - n_2^2) \quad (6d)$$

n_1 、 n_2 分别为有源区及限制层的折射率, $n_1 = 3.52$, $n_2 = 3.19$; N 为有效折射率; b_0 为弯月形中心处 b 的值; $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$ 为激光波长; 限制因子为^[3]

$$\Gamma(y) = 22 t^2(y) / [1 + 22 t^2(y)] \quad (6e)$$

增益分布为

$$g(y) = a n(y) + b \quad (6f)$$

式中, a 、 b 为常数。阈值条件为

$$G_0 = L_c \quad (7)$$

$$L_c = \alpha_i + \frac{1}{L} \ln \frac{1}{R} \quad (7a)$$

式中, α_i 为内损耗; R 为端面反射率。

我们按下列程序计算阈值电流: 先设定 I_s , 由(5)式求出 J_0 , 代入(1)式后, 用差分近似法求出载流子浓度分布 $n(y)$, 再将(6a)、(6e)、(6f)代入(6)式, 求出积分值 G_0 , 然后与 L_c 比较, 若 $G_0 \neq L_c$, 调节 I_s , 反复迭代, 直到 $G_0 = L_c$ 为止, 此时, $I_s = I_{th}$, 同时得到阈值时的 $n(y)$ 、 $g(y)$ 。

三、计算结果与分析

1. 载流子浓度分布 $n(y)$ 与增益分布 $g(y)$

图2表示所计算出的对于不同宽度的沟槽，阈值时的载流子浓度分布 $n(y)$ 与增益分布 $g(y)$ 。

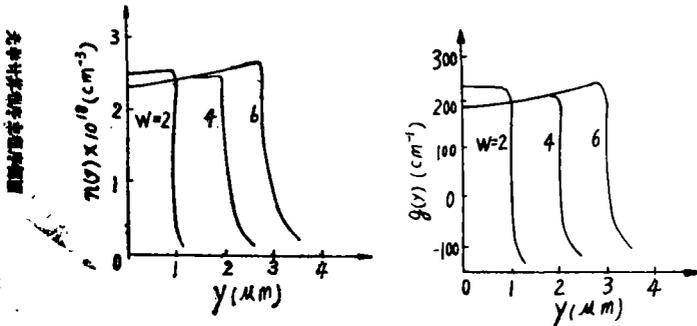


图2 计算的 $n(y)$ 、 $g(y)$ 分布。计算中取 $t_0 = 0.15\mu\text{m}$ ， $R_s = 3000\Omega$

由图中可见，对于窄槽情况，如 $w = 2\mu\text{m}$ ，载流子浓度分布较为平坦，近似为一常数。随着沟槽 w 的加宽，载流子浓度分布曲线在中心处下凹，两侧翘起。由于计算的是阈值情况，所以这种形状的 $n(y)$ 剖面^[4,5]不是由受激复合所造成的“空间烧孔效应”所引起，而是有源区厚度变化引起的。由载流子扩散方程(1)可见，电流注入造成的产生率为 $J(y)/eDt(y)$ ，在 w 范围内由于 $J(y)$ 为常数，所以与 $t(y)$ 成反比。在沟槽的边缘，有源层厚度最小，电流注入的载流子产生率最大，而在中心处产生率最小。于是，就造成了中心下凹两侧产生两峰的 $n(y)$ 剖面。另一方面，由于峰的出现造成了从峰向左右两侧的载流子浓度梯度，它将引起载流子向峰两侧的扩散运动，这种扩散有削平双峰而填充中心下凹的趋势。对于窄槽的情况，由于两峰相距很小，扩散的结果可以削去双峰，使得载流子浓度分布在 w 范围内变得平坦；对于宽槽情况，扩散的结果使双峰降低，中心下凹减小，但两侧仍然上翘。由于BC激光器在侧向有强的载流子限制，所以在沟槽以外区域载流子浓度 $n(y)$ 迅速下降。

2. 结构参数对阈值电流的影响

图3表示阈值电流随有源区中心厚度 t_0 的变化。在 $0.1 < t_0 < 0.15\mu\text{m}$ 范围内，阈值电流最小。当 t_0 继续减小时，阈值电流迅速上升。这是由于当 $t_0 < 0.1\mu\text{m}$ 时，限制因子 Γ 急剧减小，虽然增益 $g(y)$ 随 t 减小而增大，但不足抵消 Γ 的影响。

图4表示侧向扩展电阻 R_s 对阈值电流的影响。当 R_s 增大时，侧向电流扩展减小，阈值电流 I_s 降低，但当 $R_s > 3000\Omega$ 时， R_s 的变化对阈值的影响不大。

图5表示阈值电流随沟槽宽度 w 、腔长 L 的变化。显然，沟槽宽度及腔长的减小均能使阈值电流降低。

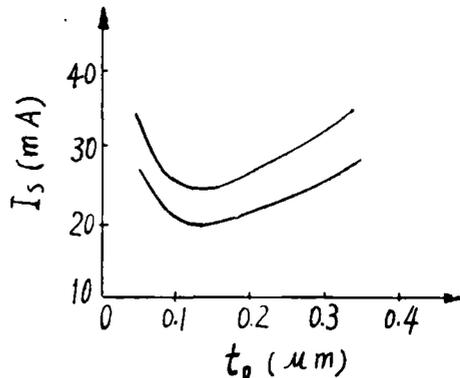


图3 I_s 随 t_0 的变化

图6显示出扩散长度 L_D 对阈值电流的影响。由图中可看出，当扩散长度逐渐增大时，阈值电流首先下降，然后上升。这是由弯月形有源区的特点引起的。对于较小的扩散长度，载流子的扩散作用很弱，这样，注入电流产生的载流子浓度分布中心为一深谷，两侧翘起；当 L_D 增大时，扩散作用增强，载流子向中心谷内扩散，结果，使中心处载流子浓度增加，使得 $n(y)$ 剖面变得平坦，这有利于与基模的耦合，故使得阈值下降；当 L_D 继续增大时，载流子的外侧扩散严重，阈值电流上升。

综合以上讨论，我们得到BC激光器的最佳参数为： $t_0 = 0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$ ； $w = 2 \sim 4 \mu\text{m}$ ； $R_y = 2000 \sim 3000 \Omega$ ； $L = 150 \sim 250 \mu\text{m}$ ； $L_D = 1 \sim 3 \mu\text{m}$ 。这样，可以获得较低的阈值电流，而且激光器也易单模工作。

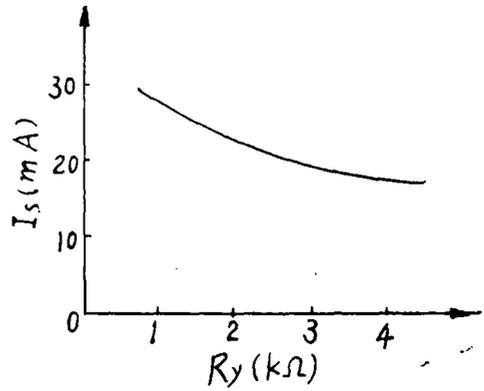


图4 R_y 对 I_s 的影响

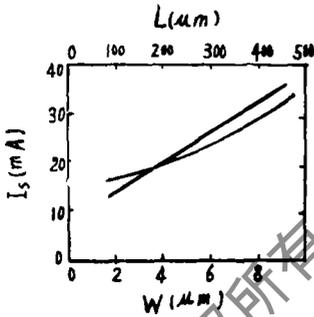


图5 I_s 随 w, L 的变化

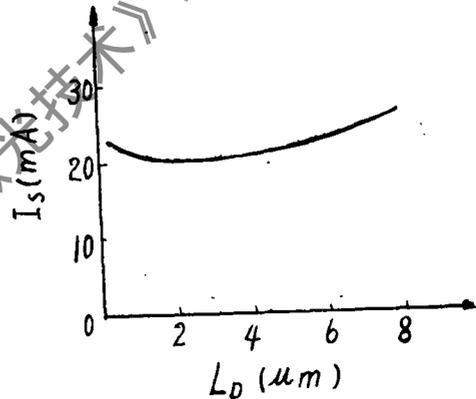


图6 L_D 对 I_s 的影响

为了与实验结果比较，我们计算了几种不同结构参数的BC激光器的阈值电流，列于下表中，可以看出，理论计算与实验符合得较好。

表1 计算的 I_s 与实验值的比较

t_0 (μm)	w (μm)	L (μm)	I_s (mA) 计算	I_s (mA) 实验
0.2	4.0	200	21.5	22[6]
0.35	6.0	200	37	40[7]
0.2	4.0	250	25.7	26[8]
0.17	3.5	250	19	21[9]

张兴德、任大翠、陈铁民教师给予许多帮助，在此致谢。

参 考 文 献

- [1] J.A.P., 1978, Vol. 49, P. 1031.
- [2] J.A.P., 1976, Vol. 47, P. 4578.
- [3] IEEE J.Q.E., 1981, QE-17, P.178.
- [4] J.A.P., 1977, Vol. 16, P. 205.
- [5] IEEE J.Q.E., 1979, QE-15, P. 718.
- [6] IEEE J.Q.E., 1981, QE-17, P. 646.
- [7] W. J. Devlin et al., Inst. Phys. Conf. Ser., Chapter12 Symp., Japan, 1981, No.63, P.567.
- [8] R.A. Logan et al., Inst. Phys. Conf. Ser., 1982, No.18, P.895.
- [9] M.T. Oomuk et al., Inst. Phys. Conf. Ser., 1981, No.16, P.566.

An investigation for the steady state characteristics of buried crescent InGaAsP/InP laser

Wang Xiangwu

(Changchun Optics and Fine Mechanism College)

Abstract

The steady state characteristics for buried crescent InGaAsP/InP laser are investigated by effective refraction index method and numerical method. The carrier distribution for various structure parameters and the relationship between threshold current and structure parameters are given.

(上接第59页)

Using BASIC compiler to develop optical design program

Chen Haiqing, Yan Guoping

(Huazhong University of science and Technology)

Abstract

Basic compiler supports the most functions of interpreting Basic language. In this paper compiling process for Basic interpreting the optical design program is described, the processing method is emphasised, the difference in the Basic language between interpreting and compiler is discussed with optical design subroutine and multiple—statement lines.