

GaAs-Al_{0.3}Ga_{0.7}As DH 共腔双区 激光二极管的稳态特性

黄熙* 王启明 杜宝勋

(中国科学院半导体研究所)

1982年7月16日收到

提 要

测量了 GaAs-Al_{0.3}Ga_{0.7}As DH 共腔双区激光二极管的稳态输出特性, 得到了增益(损耗)曲线; 讨论了该器件的阈值电流线及工作特性。

一、引言

近年来, 随着高速光信息处理和集成光学的迅速发展, 对双区激光二极管的研究日益受到重视。例如, 利用双区激光二极管来产生微微秒级超短光脉冲^[1], 进行光耦合以控制激光输出模式等^[2]。本文着重对 GaAs-Al_{0.3}Ga_{0.7}As DH 共腔双区激光二极管的稳态输出特性进行了实验研究, 根据实验结果计算了增益(损耗)随电流的变化, 并与理论模型的计算结果进行了比较。这种研究增益(损耗)特性的方法既方便又实用。最后讨论了该器件的阈值电流线和输出特性与工作电流的关系。这些结果对器件内部物理参数的研究和双区激光二极管的实际应用都有一定的参考价值。

二、实 验

图 1 表示实验用的 DH 共腔双区激光二极管结构的示意图。它是在同一个 n-GaAs 衬底上制作的两个条形 DH 二极管。这两个二极管, 在电学上是互相分离的, 在光学上是共腔耦合的。腔长 $L \approx 500\mu\text{m}$, 条宽 $b \approx 15\mu\text{m}$, 有源层厚度 $d = 0.5 \sim 1\mu\text{m}$ 。

器件是采用一般 GaAs-Al_{0.3}Ga_{0.7}As 质子轰击条形激光器工艺^[3]制作的。在解理成管芯之前, 先光刻电极隔离槽。隔离槽的深度为 $\approx 3.0\mu\text{m}$, 宽度为 $\approx 5.0\mu\text{m}$ 。这样得到的隔离电阻为几百至几千欧姆。

图 2 是稳态输出特性测量的原理图。由双路脉冲发生器得到 I_1 和 I_2 两路同步脉冲电流, 脉冲宽度为 500ns, 重复频率为 2kC。激光二极管的光输出信号由 Si 光电二极管接收。测量在室温下进行。先将两区 D_1 和 D_2 并联, 画出均匀注入的输出功率随电流变化

* 现在湖南师范学院工作。

的曲线；然后将两区 D_1 和 D_2 分开，画出在非均匀注入条件下以 I_2 为参量的输出功率随电流 I_1 变化的曲线。在这种情况下， I_2 就是阈值电流 I_{th2} 。

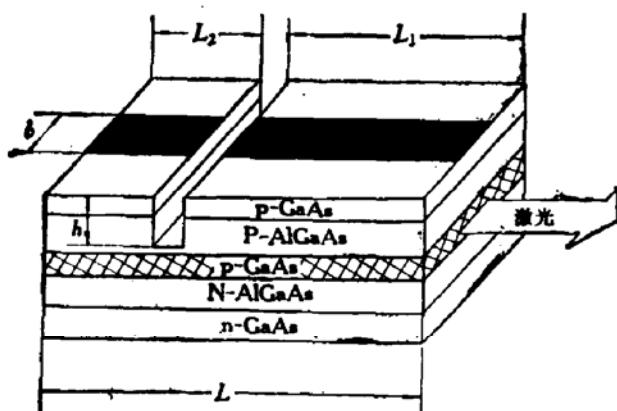


图 1 DH 共腔双区激光二极管的结构

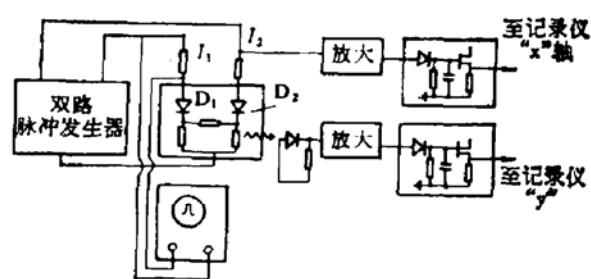


图 2 稳态功率输出测试原理图

图 3 是一个典型样品的稳态输出特性曲线。当 $I_2 \geq 60\text{mA}$ 时，阈值电流 I_{th2} 与 I_{th1} 之和基本上保持不变，如表 1 所示。

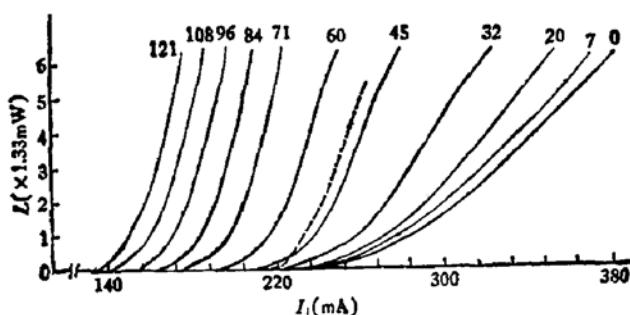


图 3 43#管的功率-电流曲线
曲线上参量为电流 I_2 (mA)，虚线为均匀注入的曲线

表 1 (单位: mA)

| I_2 | 60 | 71 | 84 | 96 | 108 | 121 |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| I_{th1} | 206 | 192 | 173 | 167 | 155 | 143 |
| $I_{th1} + I_2$ | 266 | 263 | 257 | 263 | 263 | 264 |

图 4 是根据图 3 画出的外部微分量子效率 η_D 随电流 I_2 变化的曲线。当 $I_2 < 50\text{mA}$ 时， η_D 随 I_2 逐渐增大；当 $I_2 \geq 50\text{mA}$ 时， η_D 基本上保持不变。

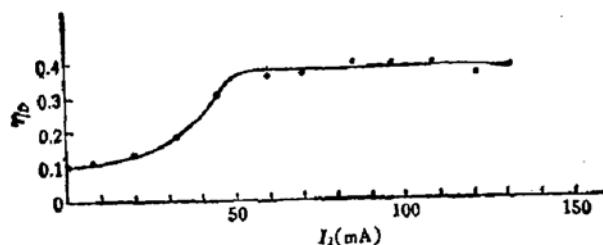


图 4 43#管的 η_D-I_2 关系曲线

三、分析和计算

1. 外部微分量子效率

认为该激光二极管具有接近完全的光限制, 则可以把该器件的外部微分量子效率写作:

当 $J_2 > J_0$ 时, $g_2 > 0$,

$$\eta_D^* = \eta_i \frac{\ln \frac{1}{R}}{\alpha_1 L_1 + \alpha_2 L_2 + \ln \frac{1}{R}} \quad (1)$$

当 $J_2 < J_0$ 时, $g_2 < 0$,

$$\eta_D = \eta_i \frac{\ln \frac{1}{R}}{\alpha_1 L_1 + (\alpha_2 - g_2) L_2 + \ln \frac{1}{R}} \quad (2)$$

L_1, L_2 和 α_1, α_2 是两区的长度和内部损耗系数, η_i 是内部量子效率, R 是端面反射系数, *号表示保持不变。

因为 α_1, α_2 随电流变化不大, 所以由式(1)给出的 η_D^* 基本上保持不变; 因为当 $J_2 < J_0$ 时, g_2 随 J_2 变化很大, 所以由式(2)给出的 η_D 是随 J_2 逐渐增大的。

由图 4 得到 J_0 对应的电流 $I_{20} \approx 50\text{mA}$, 因而求出 $J_0 \approx 2.8 \times 10^3 \text{A/cm}^2$ 。

2. 有源层的增益(损耗)特性

在 $g_2 < 0$ 的情况下, 由式(1)和式(2)求出

$$g_2 = \frac{\eta_i \ln \frac{1}{R}}{L_2} \left(\frac{1}{\eta_D^*} - \frac{1}{\eta_D} \right) \quad (3)$$

在 $g_2 > 0$ 的情况下, 因为激光二极管的有源层是不故意掺杂的, 所以可取线性近似^[4]:

$$g = B(J - J_0) \quad (4)$$

B 是增益因子。

把该激光二极管的阈值条件写作

$$L_1 g_1 + L_2 g_2 = L_1 \alpha_1 + L_2 \alpha_2 + \ln \frac{1}{R} \quad (5)$$

注意到 $L = L_1 + L_2$, 由式(1)、(4)和(5)求出

$$B = \left(\frac{\eta_i}{\eta_D^*} \right) \frac{\ln \frac{1}{R}}{L_1 J_{th1} + L_2 J_{th2} - L J_0} \quad (6)$$

根据式(3)和图 4 可以画出 $g_2 < 0$ 随 $J_2 < J_0$ 变化的曲线, 也就是 $g < 0$ 随 $J < J_0$ 变化的曲线; 根据式(4)和(6)可以画出 $g > 0$ 随 $J > J_0$ 变化的曲线。这样一来, 便可由实验数据得到该激光二极管有源层的增益(损耗)特性。取典型值 $\eta_i \approx 0.6$, $R \approx 0.312$, 由

图4求出 $\eta_D^* \approx 0.371$ 。图5是上述典型样品的增益(损耗)特性。该图表明,在 $g < 0$ 的情况下,亦可取线性近似。由此可以写出

$$g = \begin{cases} B(J - J_0) & J > J_0 \\ B'(J - J_0) & J < J_0 \end{cases} \quad (7)$$

$$B \approx 5.5 \times 10^{-2} \text{ cm/A},$$

$$B' \approx 16 \times 10^{-2} \text{ cm/A},$$

$$J_0 \approx 2.8 \times 10^3 \text{ A/cm}^2.$$

令名义增益因子和名义电流密度为 $\beta = Bd$, $\beta' = B'd$, $j = J/d$ 和 $j_0 = J_0/d$, 取 $d = 0.8 \mu\text{m}$, 由式(7)得到

$$g = \begin{cases} \beta(j - j_0), & j > j_0 \\ \beta'(j - j_0), & j < j_0 \end{cases} \quad (8)$$

$$\beta \approx 4.4 \times 10^{-2} \text{ cm} \cdot \mu\text{m}/\text{A},$$

$$\beta' \approx 12.8 \times 10^{-2} \text{ cm} \cdot \mu\text{m}/\text{A},$$

$$j_0 \approx 3.5 \times 10^3 \text{ A/cm}^2 \cdot \mu\text{m}.$$

下面给出本征 GaAs 的增益(损耗)特性,以资比较。

根据本征 GaAs 的导带和价带之间有 K

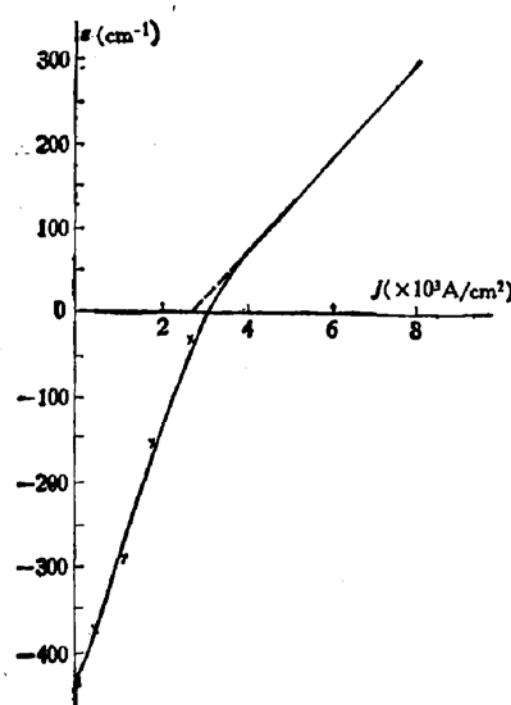


图5 43#管的增益(损耗)特性

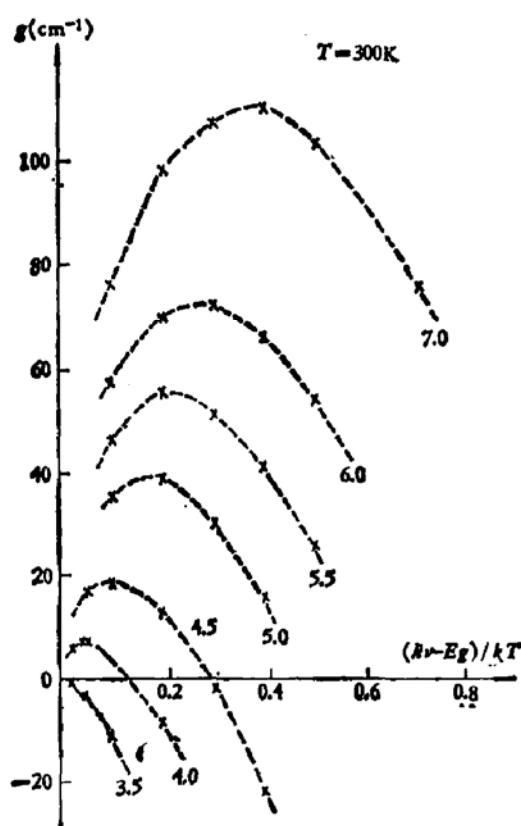


图6 本征 GaAs 的发光特性
曲线的参数为 j , 单位: $\times 10^3 \text{ A/cm}^2 \cdot \mu\text{m}$

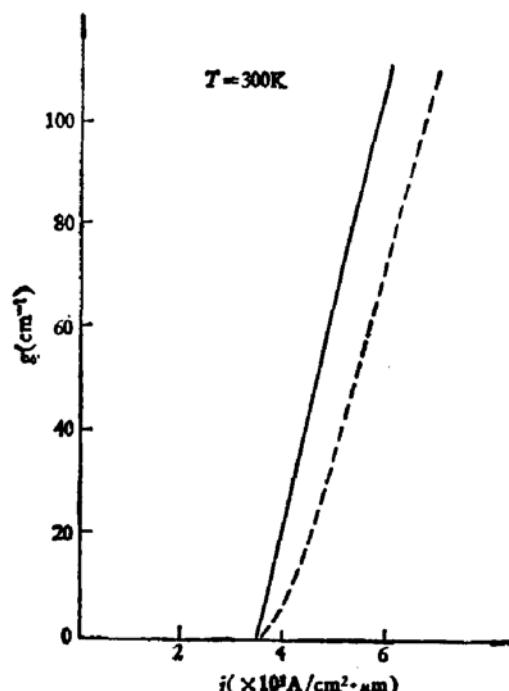


图7 本征 GaAs 的最大光增益系数 g
和名义电流 j 的关系
实线表示上述典型样品的结果

选择的光跃迁的计算^④, 得到了图 6 和图 7 所示的结果。

图 6 是以名义电流密度 j 为参量的一组增益谱。由这组增益谱线得到了最大增益 $g > 0$ 随名义电流密度 $j > j_0$ 变化的曲线, 如图 7 中的虚线所示, 图 7 中的实线是上述典型样品的结果。

图 8 中的虚线是以光子能量为参量的 $g < 0$ 随 $j < j_0$ 变化的曲线, 实线是上述典型样品的结果。由此可见, 不故意掺杂样品的实验结果与本征模型的理论结果大致相符。

3. 阈值电流和输出特性

注意到均匀注入的阈值电流密度满足

$$\alpha + \frac{1}{L} \ln \frac{1}{R} = B(J_{th0} - J_0) \quad (9)$$

令 $K = (\beta'/\beta)$, I_{th0} 、 I_{th1} 、 I_{20} 和 I_2 是与 J_{th0} 、 J_{th1} 、 J_0 和 J_2 相对应的电流, 并取近似 $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$, 由式(5)和(7)求出:

$$\text{当 } I_1 > I_{10}, I_2 > I_{20} \text{ 时, 有 } I_{th1} = I_{th0} - I_2 \quad (10)$$

$$\text{或 } I_{th2} = I_{th0} - I_1 \quad (11)$$

当 $I_1 > I_{10}$, $I_2 < I_{20}$ 时, 有

$$I_{th1} = (I_{th0} - I_{20}) + K(I_{20} - I_2) \quad (12)$$

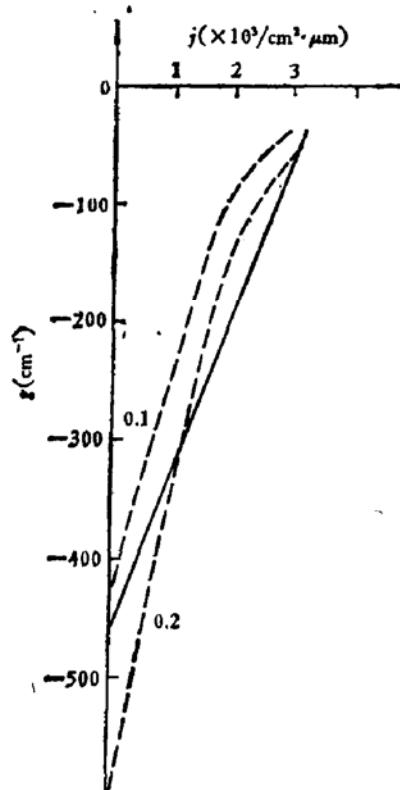


图 8 本征 GaAs 的 $j < j_0$ 条件下的 $g-j$ 关系曲线

曲线上的参量为光子能量。单位: $\frac{h\nu - E_t}{kT}$ 。实线表示上述典型样品的结果

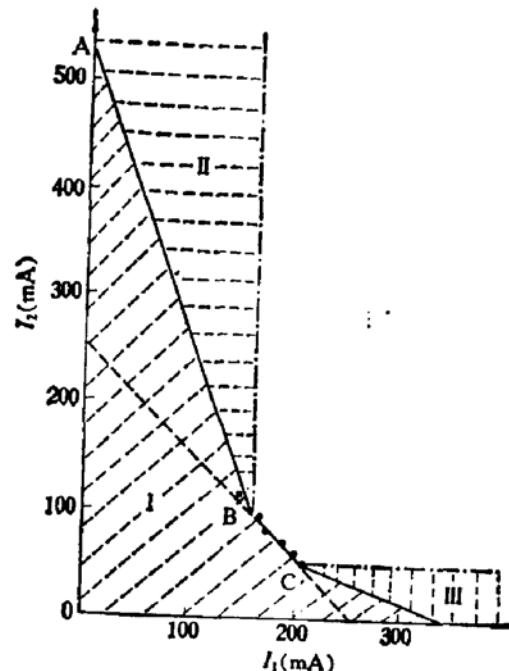


图 9 43# 管的阈值电流线和输出特性

当 $I_1 < I_{10}, I_2 > I_{20}$ 时, 有

$$I_{\text{th}2} = (I_{\text{th}0} - I_{10}) + K(I_{10} - I_1) \quad (13)$$

图9是根据实验数据和计算结果在 (I_1, I_2) 平面上画出的上述典型样品的阈值电流线。线段 BC 对应着式(10)或(11), 线段 AB 和 CD 分别对应式(13)和(12)。线段 BC 附近的小圆点对应于表内的阈值电流。

该平面分为四个区域: 区域 I 是产生自发发射的发光二极管; 区域 II、III 是有附加内部损耗的单区工作的激光二极管; 区域 IV 是共腔双区工作的激光二极管。

四、结语

我们从测量 GaAs-Al_{0.3}Ga_{0.7}As DH 共腔双区激光二极管的稳态输出特性入手, 求出了增益(损耗)与电流的关系呈式(7)所表示的线性近似。同时, 还计算了本征 GaAs 的增益(损耗)特性, 理论和实验结果大致相符。F. Stern^[4,6] 和 Hakki 等人^[7-9]也对 GaAs 的增益(损耗)特性作过研究, 他们的结果和我们的结果相近, 而我们的测量方法比较方便。

我们进一步讨论了该器件的阈值电流和输出特性。发现, 在电流平面的不同区域, 阈值电流线均近似呈线性关系。Basov^[10] 等人也讨论过此类器件的阈值电流线, 因为他们的器件是采用重掺杂的材料制作的, 所以得到了曲线关系的结果。

本工作得到了余金中、赵礼庆、杨培生、李静然、吕卉, 以及七室工艺线、702 组的大力协助与支持, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] H. Ito, N. Ondern, *Electron. Lett.*, 17, 15 (1981).
- [2] L. A. Coldren, B. I. Miller, K. Iga and A. Rentscher, *Appl. Phys. Lett.*, 38, 315 (1981).
- [3] 中国科学院半导体所 DH 激光组, 激光, 10, 16 (1981).
- [4] F. Stern, *IEEE J. Quantum Electron.*, QE-9, 290 (1973).
- [5] 杜宝勋, «半导体激光器原理讲义»第二章, 河北大学印 (1982).
- [6] F. Stern, *J. Appl. Phys.*, 47, 5382 (1976).
- [7] B. W. Hakki and T. L. Paoli, *J. Appl. Phys.*, 44, 4113 (1973).
- [8] B. W. Hakki and T. L. Paoli, *J. Appl. Phys.*, 46, 1299 (1975).
- [9] 张敬明等, «全国半导体激光器和发光器件学术讨论会文集», 78 (1980).
- [10] N. G. Basov, *IEEE J. Quantum Electron.*, QE-4, 855 (1968).

Steady-State Characteristics of GaAs-Al_{0.3}Ga_{0.7}As DH Lasers with Two Sections in a Common Cavity

Huang Xi, Wang Chiming and Du Baoxun
(Institute of Semiconductors, Academia Sinica)

Abstract

The steady-state characteristics of the GaAs-Al_{0.3}Ga_{0.7}As DH lasers with two sections in a common cavity are measured. The gain-loss characteristic of the laser is obtained. The threshold current and operating characteristics of the laser are discussed.