

集成 GaAs-(GaAl)As 双平面条形 激光器的模式行为

肖宗耀 潘慧珍 陈莲勇
(中国科学院上海冶金研究所)

提 要

本文研究了集成 GaAs-(GaAl)As 双平面条形激光器的模随驱动电流和温度的变化, 讨论和分析了通过波导耦合的两个有源腔的相互作用以及横模不稳定性对单纵模工作的影响。

一、引 言

复合腔激光器, 如解理耦合腔激光器^[1]、集成双腔波导耦合激光器^[2], 由于光的注入锁频作用, 可获得稳定单纵模激光输出, 对大容量、长距离光纤通信是一种颇有发展前途的新型器件, 正在日益引起研究者的兴趣。我们以前报道过的一种波导耦合双台面可控单模激光器^[2], 由于它的阈值电流很高(在 1A 以上), 而且单纵模工作的电流范围很窄, 为了降低阈值电流, 我们从结构上着手改进, 研制成本文所报道的集成双平面条形激光器, 使阈值电流降至 200 mA 左右。此外为了研究这种激光器如何获得单纵模工作, 横模、纵模如何随驱动电流变化, 以及它们之间的互相影响, 追究激光器单纵模工作电流范围比较窄的原因所在, 我们特地设计了一套显行红外电视-光栅光谱仪组合系统, 用这套系统进行实验研究, 能够同时在电视屏上显示激光器的近场图象、在示波器上显示电视屏上亮线所指示的近场光强分布曲线以及在记录仪上描绘出与近场图相对应的激射光谱, 把纵模如何随横模变化明确地联系起来。用这一装置研究了集成 GaAs-(GaAl)As 双平面条形激光器的模式随驱动电流和温度的变化。文章分析和讨论了横模不稳定性对纵模的影响, 认为集成激光器要获得稳定单模工作的首要条件是横模必须是稳定的基模。

二、实 验

1. 实验样品是在 n^+ GaAs 衬底上集成两个平面条形 GaAs-(GaAl)As 有源腔, 并通过无源薄膜波导相互耦合, 构成集成双腔波导耦合激光器(下称集成激光器)。其结构参见文献[3]。

2. 实验装置采用显行红外电视-光栅光谱仪组合系统, 方框图示于图 1。

显行红外电视系统: 系统的总光学放大倍数为 2000 倍, 分辨率优于 $2\mu\text{m}$ 。光束通过

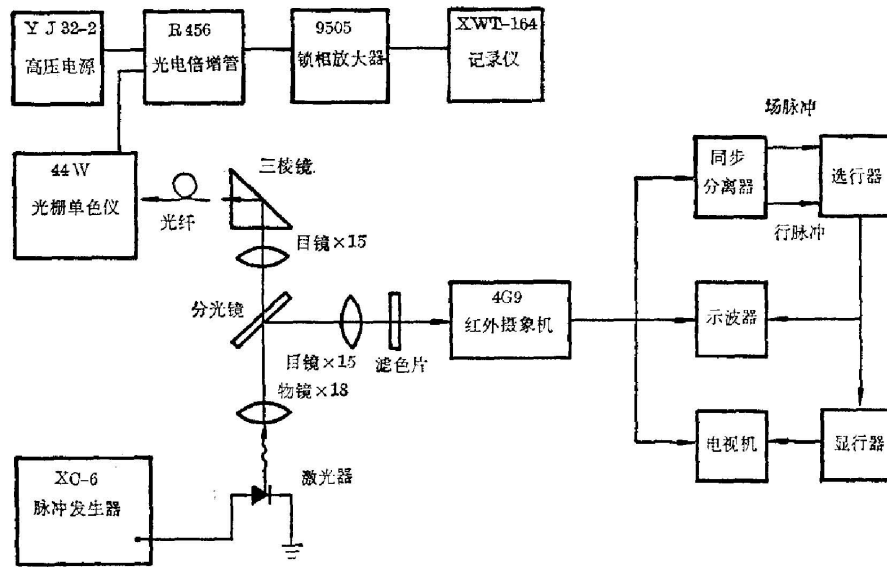


图 1 近场-光谱联合实验装置

Fig. 1 Experimental apparatus for simultaneously measuring nearfield, intensity profile and lasing spectrum

显微镜后经分光镜分成两路：一路透射光供光谱测量，利用光栅光谱系统记录激光光谱；另一路反射光经 $\times 15$ 目镜、滤色片到达红外摄影机 4G9，摄影机接收到光信号后输出一个相应的全电视信号。我们把全电视信号分为三路：一路馈给电视机，显示光斑图象；一路馈给示波器的 Y 通道，显示光强分布曲线；一路送到同步分离器，把场、行信号分离，利用选行器和显行器获得选行脉冲和显行脉冲，分别用来触发示波器的时基轴和进入电视机显行选行位置。

3. 实验方法。为了保证激光器不会因驱动电流较大而使结温上升，影响激射，把集成激光器安装在自动恒温热电致冷器上。调节致冷器电流，可改变激光器热沉的温度，使热沉温度比环境温度低几度，全部测量工作在 278 K 下进行。

激光器用脉宽为 $0.5 \mu\text{s}$ 、重复频率为 1 kHz 的矩形电流脉冲驱动，加在 A 有源腔上为 I_A ，加在 B 有源腔上为 I_B ，脉冲电流值的测定参见文献 [4]。激光器在二路等量同步脉冲 I_A 、 I_B 驱动下，到达阈值而受激发射。激光光谱、近场图象以及近场光强分布曲线用红外显行电视-光栅光谱仪组合系统进行测量。实验中改变驱动电流或温度，便可同时和直观地观察和测量到器件的近场图象、显行近场光强分布和光谱特性随电流的变化情况，以便全面地了解变化的全过程。

三、实验结果

1. 集成激光器 #S-12-12 的 $L-I$ 特性(图 2)

定义集成激光器在等量同步脉冲 $I_A = I_B$ 驱动下开始受激的值为集成激光器的阈值。

*S-12-12 的阈值电流为 190 mA。从图 2 可见,当驱动电流增至 240 mA 时, $L-I$ 曲线出现非常显著的扭折,它意味着这时出现了非常剧烈的模式竞争。

2. 近场图象和光谱特性随电流的变化

我们分别测量了集成激光器 *S-12-12 在脉冲电流 $I_A = I_B$ 驱动下, A 有源腔从 A 解理端面[图 3(a)], B 有源腔从 B 解理端面的光发射[图 3(b)]。在小电流约 100 mA 时, A 端面有两个发光区 A_1 和 A_2 , 而 B 端面仅有一个发光区,其近场和光强分布示于图 3。

图 4 表示 *S-12-12 A 端面的近场、显行近场光强分布以及对应的激射光谱随注入电流的变化情况。当注入电流增至 $I_A = I_B = \sim 200$ mA, 稍大于阈值时, A_1 区先受激发射波长为 8767 \AA 的单纵模,光强分布仅有 A_1 峰,如图 4(a)所示。电流增至 215 mA 时,产生了横模变化, A_1 和 A_2 两区都相继受激,光强分布出现主峰 A_1 和次峰 A_2 , 它们相距约 $5 \mu\text{m}$, 光谱分布出现波长为 8767 \AA 和 8785 \AA 两个纵模谱,如图 4(b)所示。电流进一步增加到 240 mA 时,产生双光丝激射,它们的强度相当,纵模光谱表现为相互竞争和彼此削弱,如图 4(c)所示。电流继续增加到 260 mA 时, A_1 区被猝灭,仅有 A_2 区受激,并激射波长为 8782 \AA 的单纵模,如图 4(d)所示。

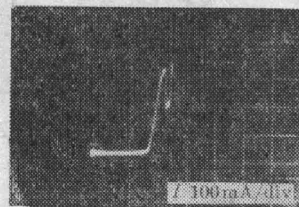


图 2 集成激光器 *S-12-12 的 $P-I$ 特性

Fig. 2 Characteristics of P vs. I

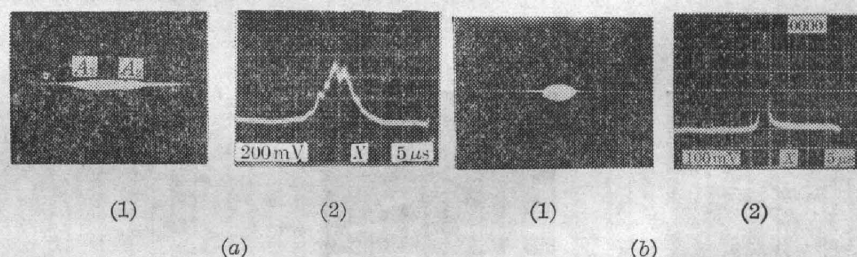


图 3 *S-12-12 A 面和 B 面发光近场图及显行光强分布

Fig. 3 The near-field pattern and intensity profile when $I=100$ mA, below threshold

*S-12-12 B 端面在不同电流下的激射情况示于图 5。实验中, B 端面的激射是稳定的基模。从小电流发光见[图 3(b)]到受激发射,一直到 $I_A = I_B = \sim 280$ mA, 近场图象和光强分布都是一个光斑、一个峰,而且光谱特性与 A 端面的光谱特性互相呼应,两个单纵模的出现和波长都相同,这一现象正好说明 A 、 B 两个有源腔的辐射通过波导而相互耦合,产生了光的注入锁频和正反馈作用。而在 A 面发生横模变化和竞争时,光谱特性就表现出有些差异,因为此时光的注入和相互作用大大减弱了。

3. 激射光谱随温度的变化

集成激光器被安装在自动恒温热电致冷器上,调节致冷器的电流,便可以改变激光器热沉的温度。本实验开始在 276 K 下进行,工作电流为 205 mA, A 端面激射布纵模,波长为 8760 \AA , 然后降低致冷器电流,使温度升高并恒定在 280 K,测得主纵模波长为 8772 \AA , 随着温度上升至 4 K, 波长向长波方向漂移 12 \AA , 峰的强度略有减弱,并在主峰的长波方向长出一个峰,强度比主峰约小 7 倍,波长为 8791 \AA , 如图 6 所示。

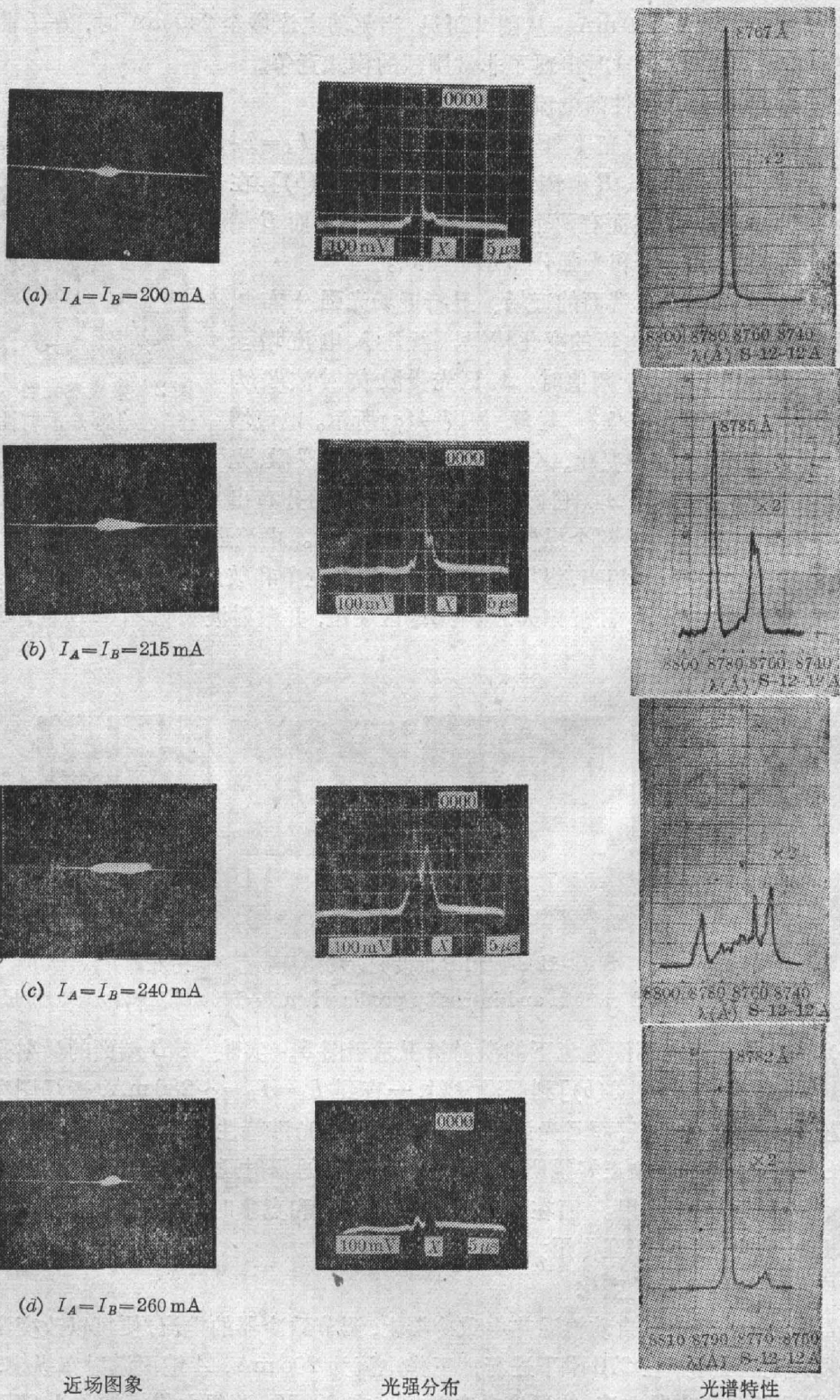


图 4 #S-12-12 A 面近场图象、光强分布、光谱特性随电流变化情况

Fig. 4 The variation of the near-field, intensity profile and lasing spectrum with drive current

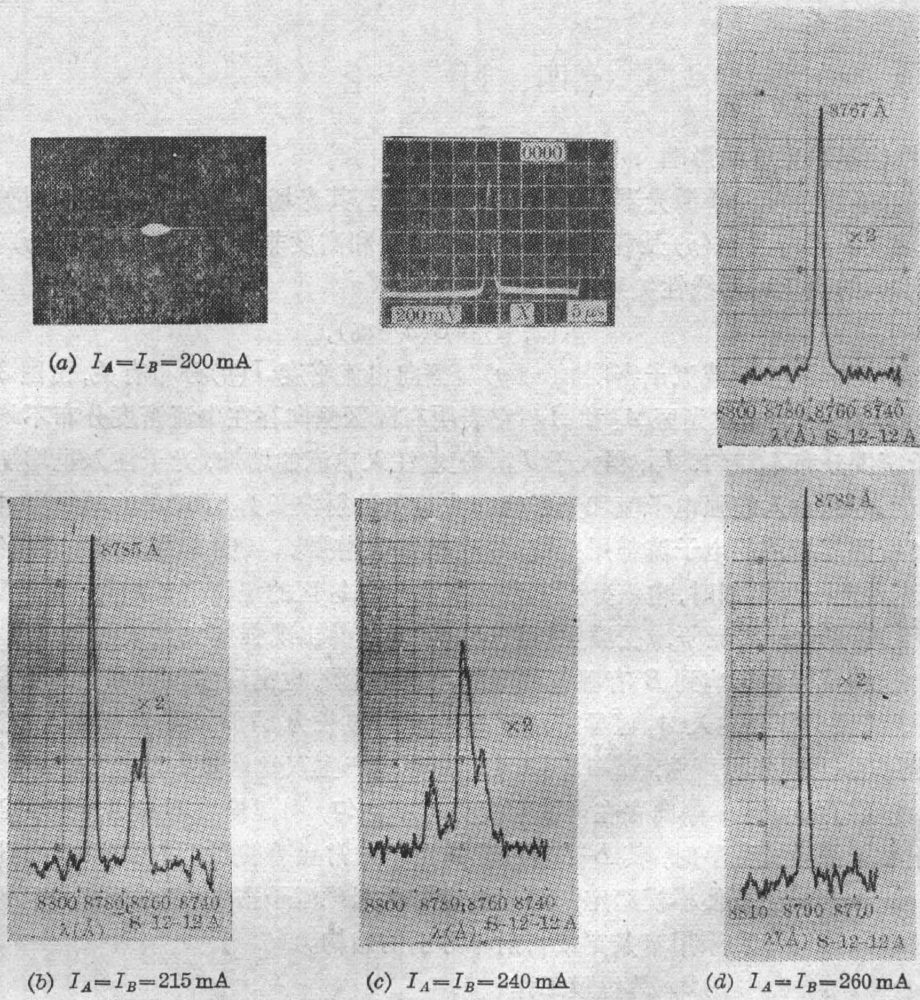


图 5 #S-12-12 B 面在不同电流下的近场图象、光强分布和光谱特性

Fig 5 The near-field pattern, intensity profile and lasing spectra at different drive currents

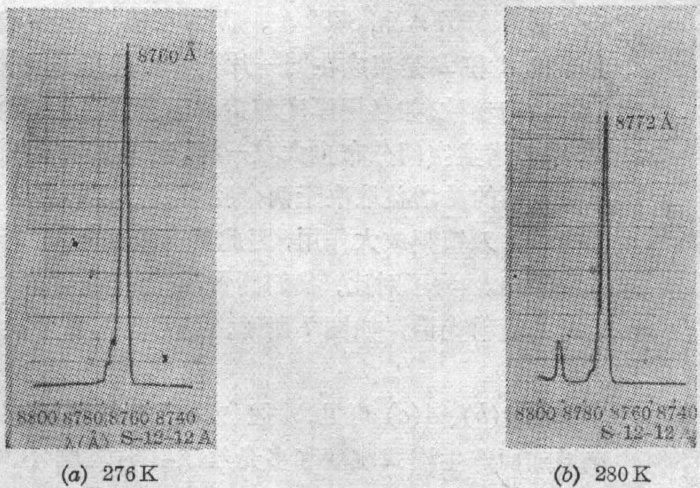


图 6 #S-12-12 光谱特性随温度的变化

Fig. 6 The lasing spectra at different temperatures

四、讨 论

1. 横模不稳定性的影响

集成双平面条形 DH 激光器属于增益导引机理, 其光场的侧向分布受空间增益分布控制, 而一定波长的增益 $g_\lambda(y)$ 是载流子密度 n 的复杂和高度非线性函数。但 $g_\lambda(y)$ 随载流子密度 $n(x, y)$ 的变化可用线性关系近似^[5],

$$g_\lambda(x, y) = \beta(n - n_0),$$

这里 β 、 n_0 都是常数, 而载流子密度 $n(x, y)$ 与侧向电流密度 $J(y)$ 分布有关, 由图 3 可见, 在电流下, A 端面有两个发光区 A_1 和 A_2 , 它表明有源区侧向存在电流密度分布不均匀, 即存在载流子密度分布不均匀, J_{A_1} 稍大于 J_{A_2} , 随着注入电流的增加, 光子注入也增加, 达到阈值后, 由于 A_1 区注入较强电子流和光子流而先受激发射波长为 8767 \AA 的单纵模, 如图 4(a) 所示。随后继续增加的电子流都用来使 A_1 光丝迅速增强。从图 4 的光强分布曲线可以看出, 当电流再进一步增加时, 电流分配比发生了变化, A_2 区的电流开始增加, 继而受激, 形成 A_1 光丝和 A_2 光丝强烈竞争, 受激发射被严重削弱, 并出现强度大大减弱的多纵模谱, 光谱增宽。这种情势也影响到 B 有源腔的激射, 光强减弱, 也出现多纵模和光谱增宽。此后, 电子-光子流又大部分注入 A_2 区导带, 使 A_2 区激射波长为 8782 \AA 的单纵模, 如图 4(d) 所示。由图 4 和上述分析可见, #S-12-12 A 端面侧向产生双光丝激射, 这正是由于有源区较宽(实际宽度约 $25 \mu\text{m}$), 侧向存在电流密度分布不均匀, 引起横模不稳定所致。当出现双光丝激射和强烈模式竞争时, 其 $L-I$ 特性曲线出现非常显著的扭折, 见图 3。由此可知, 为使横模稳定, 必须提高有源区载流子密度(包括铝组分)分布均匀性和采用窄条宽或折射率导引的结构。

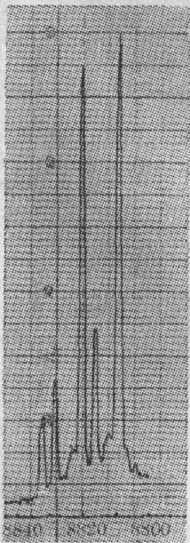


图 7 集成激光器 #S-12-12 B 腔单独工作时的激射光谱
Fig. 7 Lasing spectrum of a single laser #S-12-12

2. 单纵模工作

图 4、5 表明, 集成激光器 #S-12-12 的 A 端面和 B 端面在 $I_A = I_B = \sim 200 \text{ mA}$ 和 $\sim 260 \text{ mA}$, 上、下变化约 5% 范围内, 都激射单纵模, 波长分别为 8767 \AA 和 8782 \AA 。因为在横模是稳定的基模时, 由于两个有源腔 A 和 B 是集成在同一片 GaAs 衬底上, 外延生长条件相同, 它们的结构参数, 如各层厚度和折射率、铝组分、载流子浓度等都基本相同, 因而增益空间分布也大致一样。当 A 腔和 B 腔发生相互耦合时, 集成激光器的总增益取决于两个腔增益分布的重迭部分, 重迭部分产生了光的注入锁频放大作用, 因此具有较高增益, 增益谱窄, 容易形成单纵模输出。为了对比, 我们测量了 #S-12-12 B 腔单独工作在 600 mA 时的激射光谱, 如图 7 所示, 是常见的多纵模激射, 增益谱也较宽。

由图 4(b)、4(c) 可见, A 腔(或 B 腔)的侧向, 如果横模不稳定, 随电流增加而产生模式跳变和多光丝激射时, 就不可能单纵模工作。#S-12-12 单纵模工作电流范围比较小, 正是因为 A 腔的横模不稳定, 产生双光丝激射所致。

3. 温度的影响

随着温度的上升, 激射波长向长波方向漂移, 由图 6 可见, 温度上升 4°C , *S-12-12 的激射波长峰值向长波方向漂移 12 \AA , 平均温度升高 1°C , 波长漂移 3 \AA , 与 CDH-LOC 激光器^[6] 温度升高 1°C , 波长漂移 2 \AA 相比, 集成激光器的热阻尚较大, 有待今后改善。

集成激光器的另一个优点是温度对单纵模工作不象两个分立单模激光器的注入锁模那么敏感。尽管温度上升 4°C , 它仍能维持单纵模工作。要实现两个分立单模激光器的注入锁频, 需要挑选两个器件的激射波长基本相同, 严格控制 and 精细调节器件的工作温度, 否则会由于温度变化, 两个分立器件的波长各自漂移, 失去注入锁频作用。而集成激光器, 如前所述, 两个有源腔 A、B 具有基本相同的特性, 并且压焊在同一热沉上, 它们的温度系数、热阻和工作环境温度等也都基本一样, 这就是集成激光器单纵模工作对温度不那么敏感的根本原因所在。

五、结 语

本文采用显行红外电视-光栅光谱仪组合系统, 观察和测量了集成激光器的近场图象, 显行光强分布和光谱特性随电流和温度的变化, 分析讨论了横模稳定性与纵模的相互关系。并且指出: (1) 较宽的有源区会使侧向存在电流密度分布不均匀, 引起横模不稳定, 导致产生模式跳变、双光丝激射和竞争等, 从而影响光谱特性, 使其不能单纵模工作。要获得稳定单模工作, 首先应保证横模是稳定的基模。(2) 集成激光器由于光的相互注入锁定和放大作用, 因而具有较高的增益、增益谱窄, 比较容易获得单纵模(或近似单纵模)工作。(3) 集成激光器的单纵模激射对温度的变化不很敏感, 温度上升 4°C , 仍可维持单纵模输出。

徐国华、程宗权、杨易等同志提供了集成激光器, 忻慧芳、陈大陵同志在建立实验装置中给予大力协助, 特表感谢。

参 考 文 献

- [1] W. T. Tsang *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1983, **42**, No. 8 (15 Apr), 650
- [2] 肖宗耀等;《光学学报》, 1983, **3**, No. 2 (Mar), 107.
- [3] 潘慧珍等;《光学学报》, 1983, **3**, No. 9 (Dec), 785.
- [4] 潘慧珍等;《科学通报》, 1981, **26**, No. 18 (Sep), 1141.
- [5] F. Stem; *IEEE J. Q. E.*, 1973, **QE-9**, No. 2 (Feb), 290.
- [6] D. Botez; *Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers*, (SPIE, Washington, D. C. 1980, **224**, 102).

Mode behavior of integrated twin-planar-stripe GaAs-(GaAl)As lasers

XIAO ZONGYAO PAN HUIZHEN AND CHEN LIANYONG

(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica)

(Received 29 July 1983; revised 12 December 1983)

Abstract

In this paper, variation of mode behavior in integrated twin-planar-stripe GaAs-(GaAl)As lasers with drive current and ambient temperature is investigated. The optical injection lock-in action of two active cavities and the influence of lateral-mode instability on a single longitudinal-mode operation are discussed and analysed.