

# GaAs/GaAlAs 光双稳激光器静态及动态特性的实验研究

王启明 吴荣汉 赵建和 刘文旭 张权生  
(中国科学院半导体所,北京)

1988年12月30日收到

本文报道了 GaAs/GaAlAs 侧向增益波导限制双稳激光器的静态及动态实验结果, 对 L-I 特性, 通态模式竞争、延迟特性、张弛振荡、有脉动、混沌现象等进行了研究, 并对结果进行了讨论。实验表明, 对于双区共腔双稳激光器, 由于腔内可饱和吸收体的存在, 使得其静态及动态特性比普通均匀注入激光器复杂, 与之有关的物理研究尚待进一步开展。

**主题词** 半导体激光器、光双稳, 混沌现象

## 一、引言

近年来, 随着光电子学及其应用的迅速发展, 光学双稳态的研究, 受到越来越多的重视。半导体光双稳激光器以其结构简单, 小尺寸, 低功耗、高速、高增益、多功能、易集成等显著特点, 在高速调制光源<sup>[1]</sup>, 半导体超快激光<sup>[2,12]</sup>, 光数字放大<sup>[3,4]</sup>, 光数字编码、光信息处理及光计算等方面, 具有广阔的应用前景。

G. J. Lasher 在 1964 年从理论上讨论了利用双区共腔结构激光器实现光双稳工作的可能性<sup>[5]</sup>, 近年来, H. Kawaguchi<sup>[6]</sup> et al. 及 Yariv<sup>[7]</sup> et al. 和王启明等<sup>[8]</sup>都对这种结构器件的基本特性从理论上和实验上进行了颇多的研究和讨论, 但对于器件有关静态及动态特性的比较系统的测量则还报道不多。我们在继研制成具有侧向折射指数波导限制的 GaInAsP/InP 共腔型双稳激光器<sup>[9]</sup>后, 采用质子轰击形成高阻隔离及 PN 结隔离方法制备条形结构 GaAs/GaAlAs 双区共腔双稳激光器, 实现了室温连续双稳工作, 其导通阈值电流最低可达 50mA。本文对质子轰击得到的条形双稳激光器在电注入下的静态及动态特性进行了系统的实验研究, 并对有关实验结果加以讨论。实验结果表明, 由于器件源区中存在可饱和吸收体导致各种参数的非均匀性分布以及在大注入下的侧向增益波导的变化, 器件特性比普通均匀注入激光器更为复杂, 特别是在大注入时的强非线性作用, 使器件的动态行为变得十分复杂和有趣。采用一般的双区一维速率方程难于解释这些实验现象, 严格的理论分析有待进一步发展。

## 二、器件结构

采用通常液相外延技术制备器件芯片, 要求增益区和吸收区有良好的电隔离, 且芯片

有低串联电阻和热阻以及平行于 p-n 结平面方向完整的折射率波导结构。用质子轰击构成条形结构,其宽度为  $8\mu\text{m}$ , 质子轰击深度以不进入源区为宜。由图 1 可见, 激光器的增益区由对称的两部分组成, 介于其间的腐蚀槽长为  $25-50\mu\text{m}$  作为吸收区, 激光器

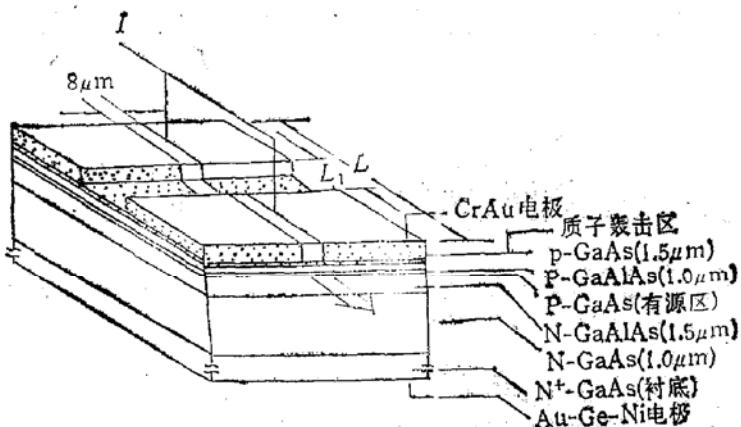


图 1 GaAs/GaAlAs CCTS DH 激光器结构

腔长约为  $300\mu\text{m}$  两增益区间的隔离电阻大于  $10\text{k}\Omega$ , 器件采用倒扣技术, 可以两端或三端工作。

### 三、实验结果及讨论

#### 1. 稳态特性

##### (1) 直流 $L-I$ 特性

该器件已实现室温连续工作, 导通激射阈电流最低可达  $50\text{mA}$ 。图 2 给出室温连续工作时的两种  $L-I$  特性曲线, 图 2(a) 所示的其通态光输出随注入电流的变化而线性变化, 图 2(b) 的特点是通态光输出随注入电流的变化十分缓慢, 表现出非线性饱和特性。

对于通态光输出所表现的近饱和特性, 一种可能的解释是与侧向增益波导有关, 即如果质子轰击较浅, 在条形电极中心附近, 增益接近饱和, 随着注入电流的增大, 原增益分布发生畸变, 有较大电流分量漏泄到低增益区和损耗区, 因而使外量子效率降低, 通态光输出出现近饱和现象。其次, 如热特性劣化也会使外微分效率降低, 但低频脉冲双稳实验证明后者不是主要因素。

##### (2) 脉冲双稳、开关特性

为避免热效应的影响, 采用阶梯电脉冲导通器件, 如图 3 所示, 以矩形低频宽脉冲 ( $<1\text{KC}$ ) 作为偏置, 附加在其上的小窄脉冲使器件由关态导通到通态并保持在通态直到宽脉冲结束才被关断, 可见, 适当调节偏置电流可使所需的导通能量变得很

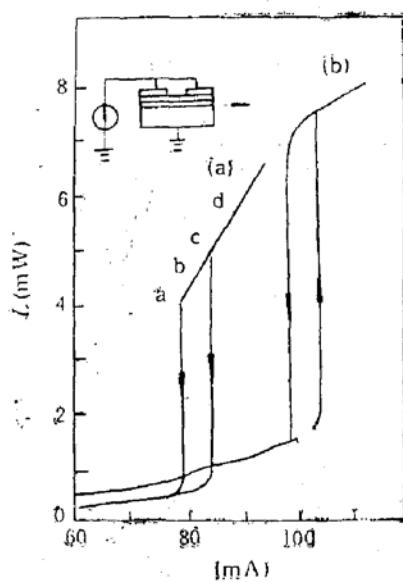


图 2 两种  $L-I$  特性曲线

小。

### (3) 时间分辨光谱

我们采用低频矩形脉冲注入 ( $\mu\text{s}$  量级) 及时间分辨光谱方法研究器件在导通后各时间间隔内的模式竞争及其时间特性。光谱测量系统如图 4 所示, 系统光谱分辨力为  $3 \text{ \AA}$

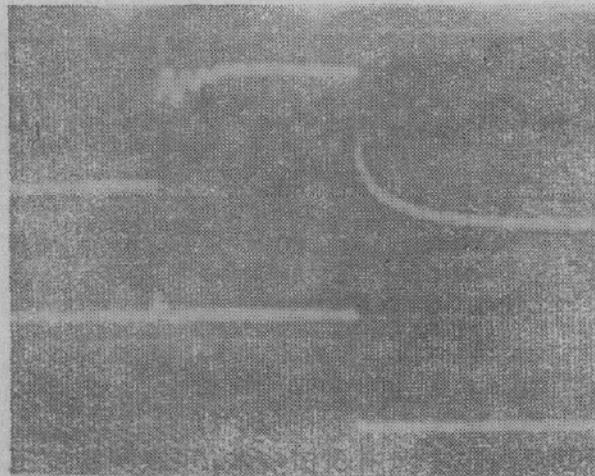


图 3 CCTS 激光器的光开关特性

上: 光强输出 下: 电脉冲输入

$X: 5\mu\text{s}/\text{div}$

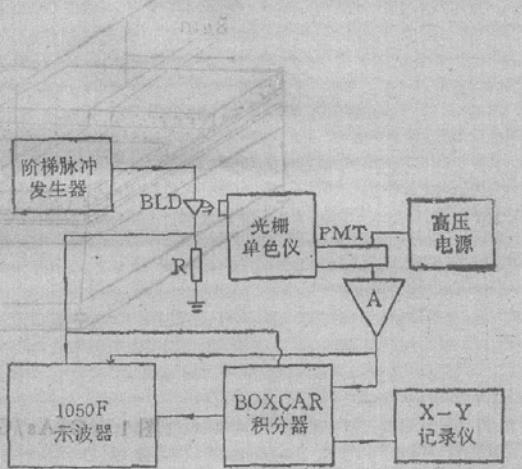


图 4 双稳激光器时间分辨光谱测量系统示意图

左右, BOXCAR 平均器的取样门宽为  $5\text{ns}$ , 用高速示波器监控电注入波形, 光输出波形; 取样门输出光谱分布信号用  $X-Y$  记录仪记录。

图 5 给出以矩形脉冲电流注入不同时刻所测的光谱特性, 在导通点附近, 有多个模式输出, 随着时间的延长, 若干  $\mu\text{s}$  以后, 就只有一个主模式维持下来, 输出增强。器件在导通点附近模式强烈竞争的实验结果与多模速率方程的理论分析是一致的<sup>[10]</sup>。这也表明了激光器内含可饱和吸收体对边模的抑制作用比均匀激光器要强, 对于质子轰击条宽为  $8\mu\text{m}$  的普通均匀注入激光器是不易得到单纵模输出的。

采用时间分辨光谱研究非均匀注入所引起的温度场分布对光谱的影响, 以给定的低重复频率矩形电脉冲注入, 将取样门对准温度变化比较明显的时间区域(从导通起始时刻附近开始)扫描, 每隔  $1\mu\text{s}$  间隔依次记录光谱特性, 就获得了描述温度场变化的时间分辨光谱, 如图 6 所示。从这些光谱特性的渐变过程可以定性地看到, 首先, 它是两个主要模式的竞争过程, 随着时间的延长, 激射光谱由短波单模输出渐变到长波单模输出, 并伴随模式峰值的转移, 但总光强基本不变, 在两模式峰值相当时, 谱线最宽, 而在移向长波后, 模式稳定, 谱线最窄。

这种波长移动现象可能是由于增益区的电流注入使谐振腔内存在一个较大的温度梯度, 在温度场趋于稳定的过程中, 光增益谱变化, 器件的发射谱结构随之变化并向长波一侧移动, 在双稳激光器中, 由于注入不均匀, 其光谱的温度变化应比均匀激光器更为明显。

## 2. 动态特性

双区共腔双稳激光器内含  $Q$  开关作用, 其瞬态时间特性与普通均匀激光器有较大差

别,表现出一系列复杂的瞬态行为。由于腔内可饱和吸收体的存在,腔内损耗增加,加长了载流子的存储过程。因此,在直流偏置为零,脉冲触发从零开始的条件下,导通延迟时间可以比普通均匀激光器有较长(甚至数量级)的增加;其次,表征 $Q$ 开关强弱的双稳区跨度直接影响张弛振荡的频率,使之明显变小( $< 1\text{GC}$ ),衰减常数增大。在起始时间范

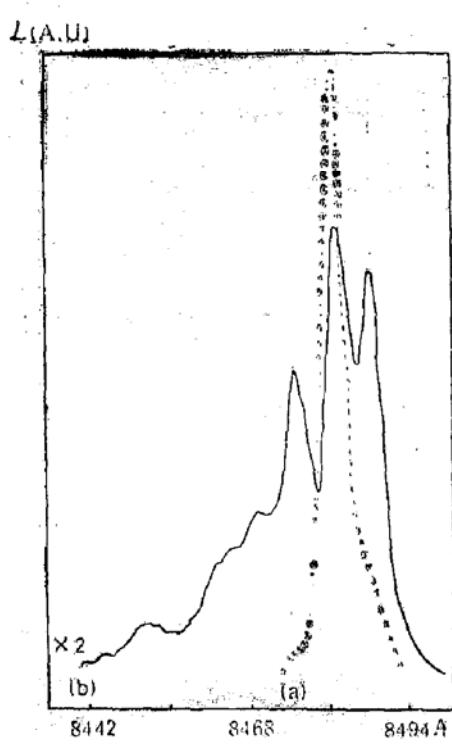


图5 导通过程中模式竞争的时间分辨光谱  
 (a) 稳态光谱 (b) 激光器在矩形脉冲偏置下,开始受激时的光谱

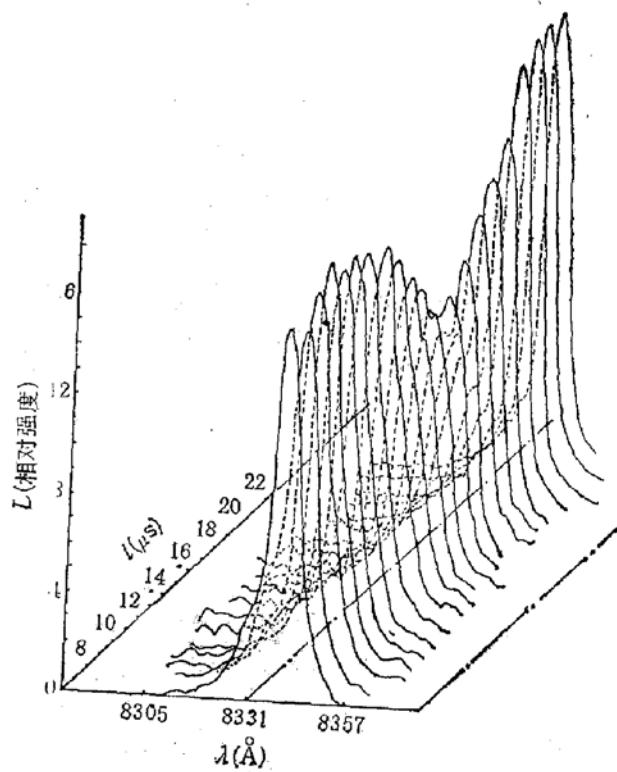


图6 描述温度特性的时间分辨光谱

围里,振荡间距增大,张弛振荡第一峰出现脉冲压缩及后沿归零现象,在高于张弛振荡的注入范围,腔内光子密度,增益区及吸收区载流子浓度相互作用,满足一定的同步条件时,发现持续调 $Q$ 作用,光输出表现为等幅振荡,随着注入电流的继续增加,由于腔内各种强非线性作用,周期函数的相互耦合,自脉动可以转变为周期性分岔和混沌特征输出。

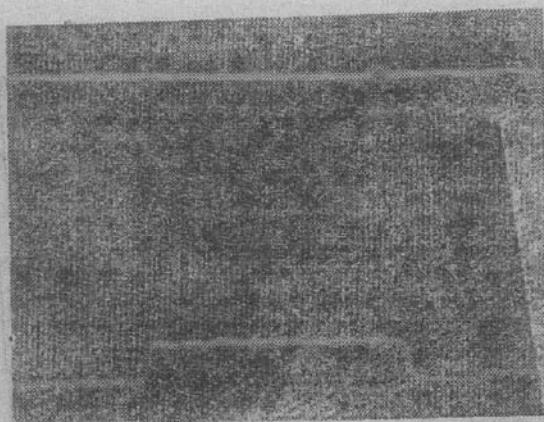
### (1) 延时特性

对于两端工作的器件,在无直流偏置,仅用单一矩形脉冲触发下,其延迟时间最长可达数十纳秒,如图7中所示,对于三端器件,可达数百纳秒,但对于双稳宽度很小,具有开关作用的激光器,其等效外推的延迟时间常数为8—9纳秒,比一般普通均匀激光器稍大<sup>[11]</sup>。

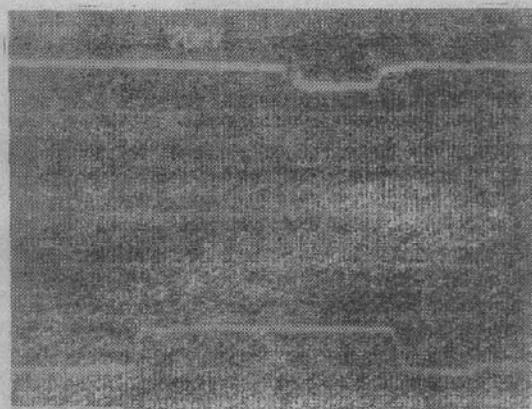
### (2) 张弛振荡

张弛振荡发生在稍高于或近于阈值的电流范围,由于强 $Q$ 开关的作用,其振荡频率比均匀激光器要低,而对应的不同衰减特性与两种典型的稳态 $L-I$ 特性相对应。一般张弛振荡表现与均匀激光器近乎相近的规律。而对应于非线性饱和 $L-I$ 特性的张弛振荡,第

一强振荡峰表现出下降边归零的特点,如图 8 所示,利用这种张弛振荡及偏置电脉冲截取技术,能够比较容易获得 FwHM 为 10ps 左右的超快脉冲,有关超快光脉冲的描述将另文讨论<sup>[12]</sup>。

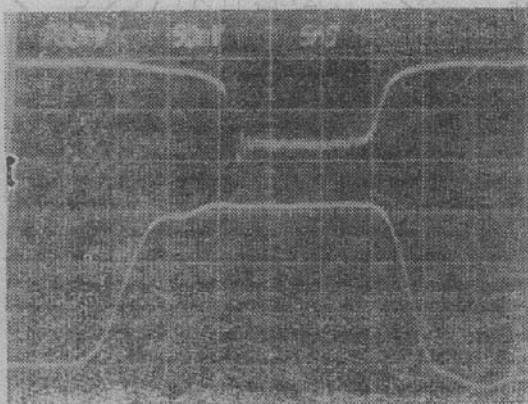


(a)

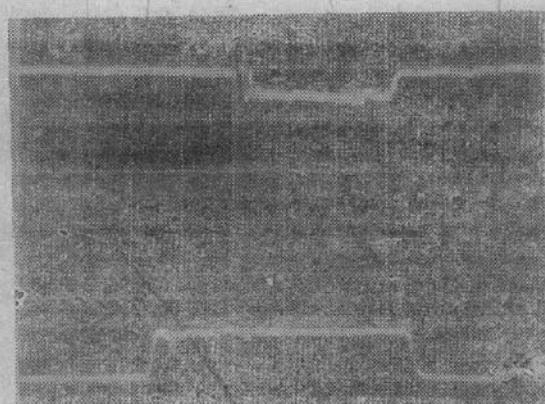


(b)

图 7 两端器件随注入变化的延时特性  
 $I(a) < I(b)$



(a)



(b)

图 8 两端器件 (a) 正常张弛振荡, (b) 反常张弛振荡

### (3) 自脉动的混沌转化

有关双稳激光器的不稳定性问题已有不少讨论<sup>[6,10]</sup>,但理论分析(一维速率方程)及有关实验结果都是以失去双稳为代价,我们的器件在不同电流注入范围可以分别表现出双稳、自脉动以及时间混沌特性,如图 9 所示。采用单纯的一维速率方程,难于对这些实验现象进行完满的解释,必须考虑侧向限制的作用、各种周期函数的耦合及更强的非线性效应,如增益、折射指数等对这些特性的影响,有关理论分析工作将以后发表。

感谢半导体所光电子研究室工艺线及光双稳组其他同志的帮助,感谢北京大学郭长志教授对本工作有益的讨论。

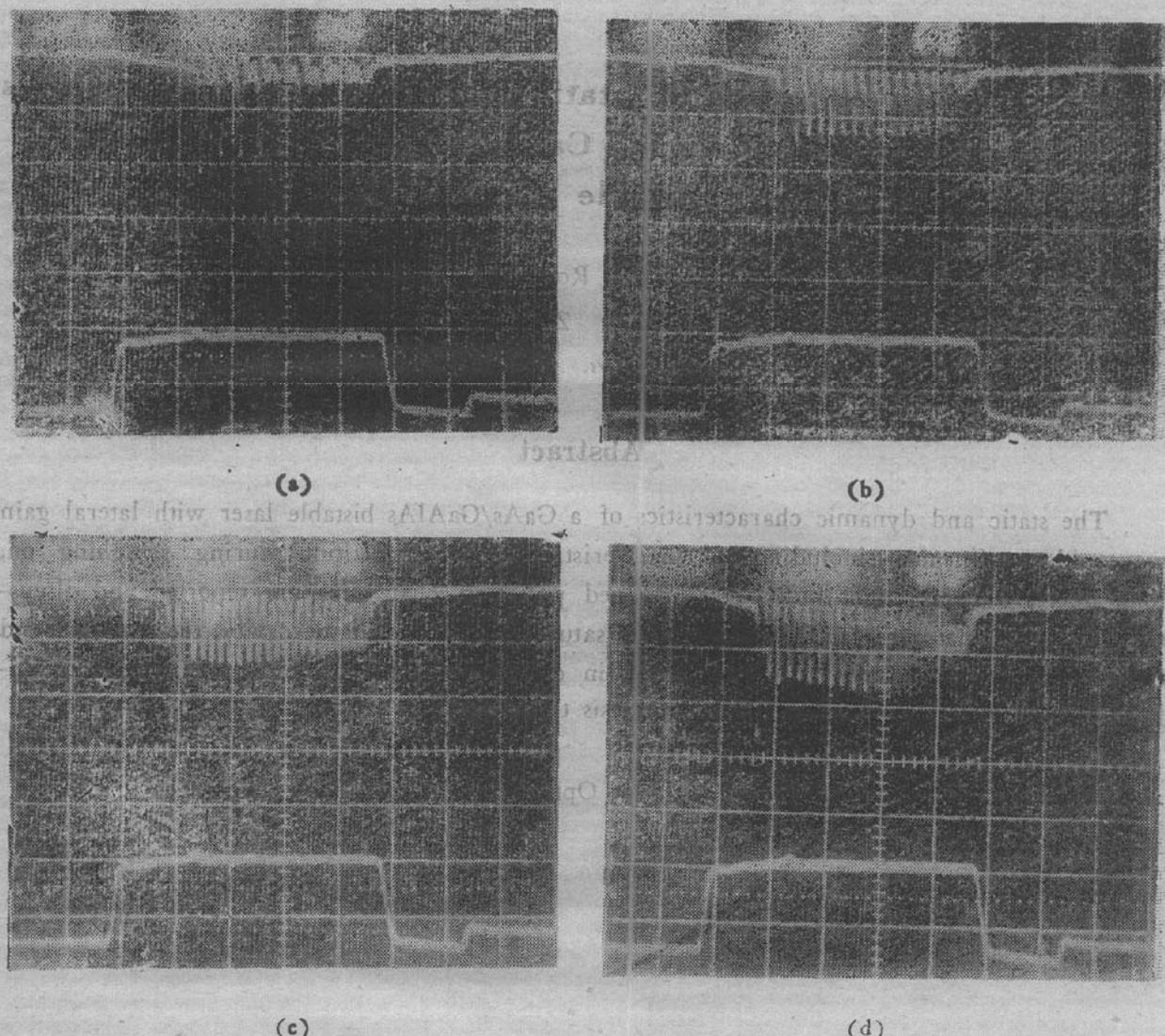


图9 自脉动向时间混沌的过渡

(a)  $I_0 = 130\text{mA}$ , (b)  $I_0 = 140\text{mA}$ , (c)  $I_0 = 150\text{mA}$ , (d)  $I_0 = 160\text{mA}$  ( $x$  axis 5ns/div)

## 参 考 文 献

- [1] D. Z. Tsang et al. *IEEE J. Quantum Electronics*, **QE-19**, 145(1983).
- [2] H. Ito and N. Ondern, *Electronics Letters*, **17**, 15(1981).
- [3] 王启明、吴荣汉、李建蒙、吴洪, *半导体学报* **9**, 109(1988).
- [4] U. Ohlander, P. Blixstand and O. Sahlen, *Appl. Phys. Lett.*, **53**, 1227 (1988).
- [5] G. J. Lasher, *Solid State Electronics*, **7**, 707(1964).
- [6] H. Kawaguchi, *IEE Proc. Pt I*, **129**, 141(1982).
- [7] J. Katz, S. Margalit, C. Harder, D. Wilt and A. Yariv, *IEEE J. Quantum Electronics*, **QE-7**, 4(1981).
- [8] 例如: 王启明等, *通信学报*, **6**, 65(1985); *物理学报*, **35**, 1095(1986).
- [9] 李建蒙、彭怀德、王启明, *半导体学报* **8**, 222(1987).
- [10] Wang Shouwu, Wang Qiming, Ling Shiming, *IEEE J. Quantum Electronics*, **QE-23**, 1033 (1987).
- [11] 张存善、谢京涛, *半导体学报*, **9**, 113(1988).
- [12] Wang Qiming, Liu Wenxu, Zhao Jianhe, Wu Ronghan, *11th IEEE International Semiconductor Laser Conference*, 134(1989) Boston, U. S. A.

# Experimental Investigation of Static and Dynamic Characteristics in a GaAs/GaAlAs Common Cavity Two Sections (CCTS) Bistable Laser

WANG Qiming, WU Ronghan, ZHAO Jianlie,

LIU Wenzu and ZHANG Quansheng

(Institute of Semiconductors, Academia Sinica, Beijing)

## Abstract

The static and dynamic characteristics of a GaAs/GaAlAs bistable laser with lateral gain waveguide confinement, including L-I characteristics, mode competition during switching on, long delay, ultrafast light pulse, self-sustained pulsation, chaos etc., are reported and discussed. It shows that for a CCTS laser with a saturable absorber in the cavity, the dynamic and static characteristics behave more complicated in comparison with that of a normal uniform injection laser, which demand a further analysis theoretically.

**KEY WORDS** Semiconductor laser, Optical bistability, Chaos phenomena