

长腔半导体激光器中的纵模行为

沈峰 解金山

(武汉邮电科学研究院)

郭长志

(北京大学物理系)

提要: 实验发现并从理论上证明腔长很长的质子轰击条形 GaAs-GaAlAs 激光器,能在阈值以上某较宽电流范围内实现稳定单纵模工作。

Longitudinal-mode behavior of stripe-geometry semiconductor lasers with a very long cavity

Shen Feng, Xie Jingshan

(Wuhan Research Institute of Post and Telecommunication Science)

Guo Changzhi

(Department of Physics, Beijing University)

Abstract: The longitudinal-mode behaviors of proton-bombarded stripe-geometry GaAs-GaAlAs laser with a very long cavity have been investigated experimentally and theoretically. It has been found that the devices with a long cavities can maintain stable single longitudinal mode operation over wide current range above threshold.

随着单模光纤通信的发展,单模(单频)半导体激光器的研究引起了人们广泛重视^[1,2]。在单模激光器的研究中,一个突出的问题是如何实现单纵模工作。通常认为,短腔半导体激光器(例如100 μm 以下)容易实现单纵模工作^[3,4]。对于比通常200~400 μm 更长的腔长半导体激光器的纵模特征至今尚很少报道。

我们使用的样品是具有各种腔长的质子轰击条形 GaAs-GaAlAs 激光器,它们由同

一块质量相当好的外延晶片制成,其条宽 s 都是13 μm ,有源层厚度 d 为0.2~0.3 μm ,有源层为 p 型掺硅补偿,载流子浓度约为 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 。使用了 GDM-1000 双光栅单色仪测量激光器的光谱。光谱测试系统的方框图如图1。应用图1系统探测到的信号是模功率的平均值。图2至图4给出所测量的三只腔长很长的激光器在不同注入电流 I 时的脉冲激射光谱。图中 I_{th} 是阈值电流, L 是

收稿日期:1984年10月5日。



图 1

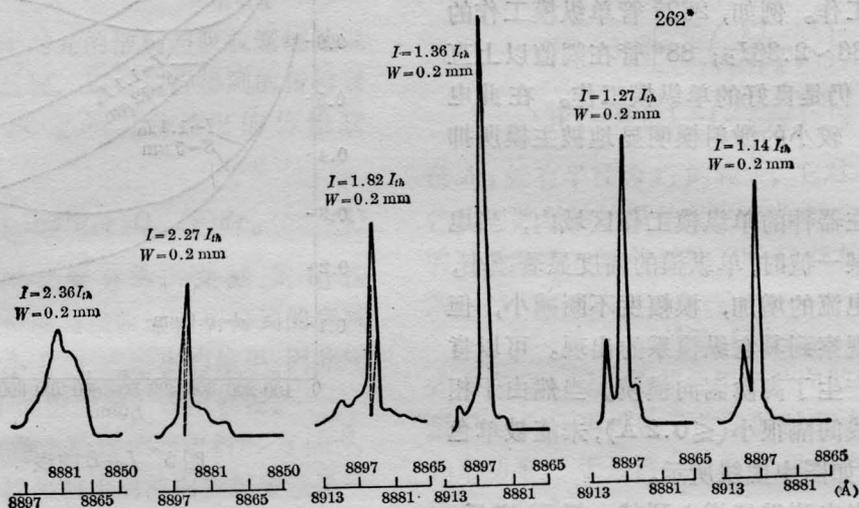


图 2 262* 管的脉冲激励光谱

$L = 720 \mu\text{m}$; $I_{th} = 220 \text{ mA}$; 脉冲重复频率: 2 kHz; 脉宽: $0.5 \mu\text{s}$; 占空因数: 1:1000

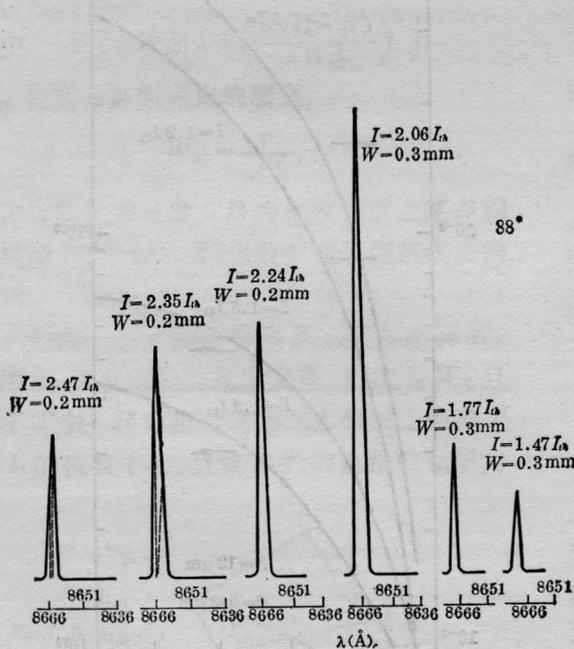


图 3 88* 管的脉冲激励光谱

$L = 450 \mu\text{m}$; $I_{th} = 170 \text{ mA}$; 脉冲重复频率: 5 kHz; 脉宽: $0.5 \mu\text{s}$; 占空因数: 1:400

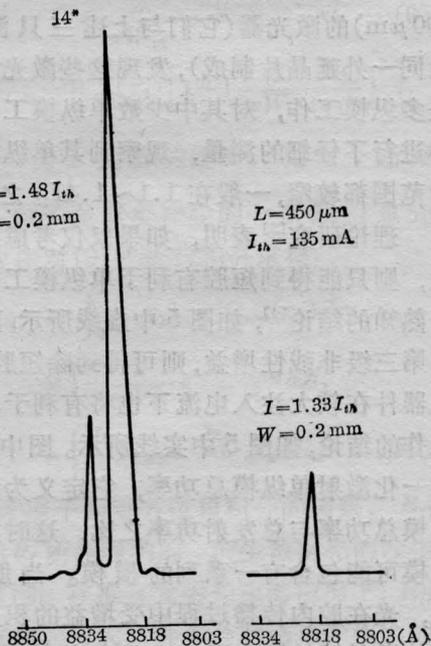


图 4 14* 管的脉冲激励光谱

$L = 450 \mu\text{m}$; $I_{th} = 135 \text{ mA}$; 脉冲重复频率: 2 kHz; 脉宽: $1 \mu\text{s}$; 占空因数: 1:500

腔长, W 是单色仪入口的狭缝宽度。结果表明:

(1) 腔长很长 ($450 \sim 720 \mu\text{m}$) 的激光器虽然在阈值以上一个不大的电流范围内可能不是单纵模工作, 但继续增加电流, 则可以在阈值以上某一相当大的电流范围内实现稳定的单纵模工作。例如, 262* 管单纵模工作的范围是 $1.36 \sim 2.36 I_{th}$; 88* 管在阈值以上直到 $2.53 I_{th}$ 仍是良好的单纵模工作。在此电流区域内, 较小的激光模明显地被主模所抑制。

(2) 在器件的单纵模工作区域内, 当电流增加到某一值时, 单纵模的幅度显著减小, 而且随着电流的增加, 模幅度不断减小, 但此时又未观察到其它纵模系的出现。可以肯定, 这是产生了高阶侧向横模。当然由于相邻横模谱线间隔很小 ($\leq 0.2 \text{ \AA}$), 未能被单色仪分辨出, 如图中虚线所示。

(3) 当电流继续增大到某一极限值后, 激光器又变成多纵模工作。

我们还测量了一些具有通常腔长 ($200 \sim 300 \mu\text{m}$) 的激光器 (它们与上述三只激光器由同一外延晶片制成), 发现这些激光器大都是多纵模工作, 对其中少数单纵模工作的器件进行了仔细的测量, 观察到其单纵模工作的范围都较窄, 一般在 $1.1 \sim 1.4 I_{th}$ 之内。

理论研究^[5]表明, 如果仅仅考虑线性增益, 则只能得到短腔有利于单纵模工作的这一熟知的结论^[4], 如图 5 中虚线所示; 而考虑到第三级非线性增益, 则可得到除短腔外, 长腔器件在较大注入电流下也将有利于单纵模工作的结论, 如图 5 中实线所示。图中 \mathcal{L}_0 是归一化激光单纵模总功率, 它定义为激光单纵模总功率与总发射功率之比, 这时激光单纵模可能包含有一系列的横模。当腔长增加, 光在腔内传播过程中受增益的积累效果将使激光模的腔内平均光子密度 \bar{N}_0 增加, 这时三级增益部分 $G_0^{(3)} N_0$ 与线性增益部分 $G_0^{(1)}$ 之比

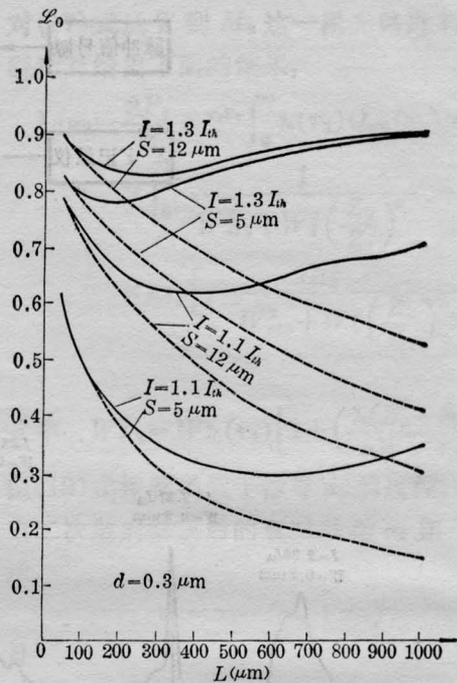


图 5 L_0-L 曲线

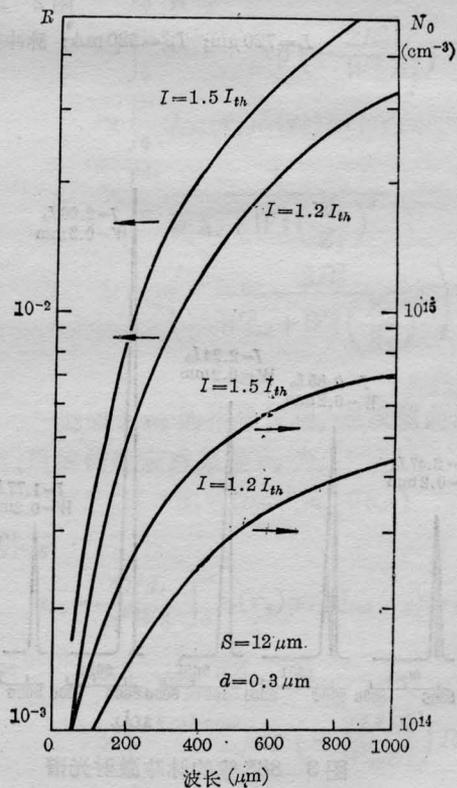


图 6 \bar{N}_0 和 R 与 L 的关系

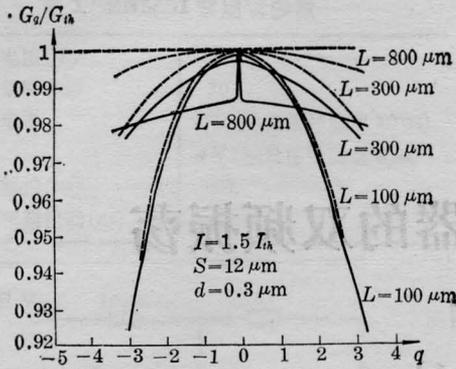


图7 不同腔长下的模增益谱

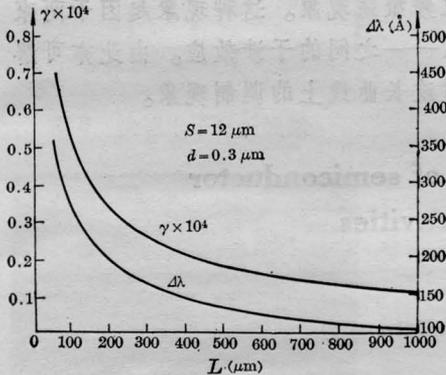


图8 自发发射因子 γ 和自发发射谱宽 $\Delta\lambda$ 与腔长 L 的关系

$$R \equiv \frac{G_0^{(3)} N_0}{G_0^{(1)}}$$

也将随 L 而增加,如图6所示。这里 $G_0^{(3)}$ 是第三级非线性增益系数, N_0 是有源区内激射模的光子数。这必然使激射模附近相邻模式之间增益差增大,如图7中实线所示,其中 q 是纵模阶数(假设激射模的 $q=0$), G_q 和 G_{th}

分别是 q 模增益和阈值增益,从而抑制了非激射模式,有利于单纵模工作。这点恰好和只考虑线性增益(如图7中虚线所示)的计算结果相反。此外自发发射因子 γ 总是随腔长的增加而减少,如图8所示,小的自发发射因子将有利于单纵模工作^[6]。

在单纵模工作的区域内,电流增加将出现高阶侧向横模,并且光功率曲线发生扭折,我们已作过分析和报道^[7]。只要适当减小条宽就可以克服。当电流继续增加,器件又将变成多纵模工作^[4]。

因此我们得到,增加激光器的腔长(实际上腔长并不必太长),同时适当减小条宽以抑制高阶侧向横模,则可以得到输出功率较大的单模(单频)半导体激光器。

感谢余会德、吴楚峰、张家谦、魏泽民和詹素贞等同志在数值计算、样品制备和光谱测量等方面的支持和协助。

参 考 文 献

- [1] D. Botez; *IEE Proc.*, 1982, **129**, 237~251.
- [2] M. Yamada; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1983, **QE-19**, 1365~1380.
- [3] N. Matsumoto, K. Kumabe; *Review of the Electrical Communication Laboratories*, 1979, **27**, 555~568.
- [4] T. P. Lee et al.; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1982, **QE-18**, 1101.
- [5] C. Z. Guo et al.; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1985, 待发表.
- [6] 郭长志, 钮金真; 《半导体学报》, 1983, **4**, 245~246.
- [7] 郭长志等; 《中国激光》, 1984, **11**, 700~702.