

# 波导耦合双台面可控单模 GaAs-(GaAl)As 激光器

肖宗耀 沈彭年 潘慧珍  
(中国科学院上海冶金研究所)

## 提 要

本文报道一种波导耦合集成型双台面 GaAs-(GaAl)As 激光器。它具有电、光注入锁模放大特性。控制二个台面的同步脉冲电流稍高于阈值时,可使激光器工作在单纵模、基横模, 激光光谱半宽  $\Delta\lambda$  约  $1\sim 1.6 \text{ \AA}$ 。当环境温度变化  $1\sim 2^\circ\text{C}$  时,也能获得单模输出。

## 一、引 言

单模光纤通信系统具有传输距离长,容量大,误码率低,噪音小等优点,但它严格要求激光器工作在基横模、单纵模。因此,近年来人们已研制出多种单模激光器,如沟道衬底激光器,隐埋条形激光器,横向结条形激光器等<sup>[1]</sup>。但这些激光器在高速调制下还不能稳定地工作。Yamada 等人报道了用光注入锁定方法实现激光器高速调制下稳定单模工作<sup>[2]</sup>。本文所报导的波导耦合双台面激光器也具有光注入锁模放大特性,可控制在单纵模、基横模工作。由于它是一种条宽为  $100 \mu\text{m}$  的双台面结构,阈值电流高,不能连续工作,如果改进结构,做成条宽  $10 \mu\text{m}$  双平面条形,预期可以获得连续稳定单模输出。

## 二、器件结构和实验结果

### 1. 器件结构

波导耦合双台面 GaAs-(GaAl)As 激光器的结构和参数见[3]。在[001]面 11 型 GaAs 衬底上用液相外延生长四层外延层。外延片表面蒸金,并用光刻和选择化学腐蚀法制作两个对称台面有源器件 A 和 B。台面 A 和 B 都有一段解理腔面,一端腐蚀腔面。两个台面宽  $100 \mu\text{m}$ ,长  $400 \mu\text{m}$ ,相距  $250 \mu\text{m}$ 。通过无源薄膜波导连接起来,每个有源器件的辐射光通过波导相互耦合。

### 2. 单纵模激射

双台面 GaAs-(GaAl)As 激光器激射光谱的测量装置方框图如图 1 所示。

44 W 型光栅单色仪选用波长范围在  $3300\sim 10000 \text{ \AA}$ ,分辨率  $< 2 \text{ \AA}$ ,入射狭缝和出射狭缝都为  $0.05 \text{ mm}$ 。对激光器台面 A 和 B,分别施和脉冲电流  $I_A$  和  $I_B$ ,脉冲宽度  $0.5\sim 1.0 \mu\text{s}$ ,频率  $1 \text{ kHz}$ 。脉冲电流值经脉冲变压器耦合取样,用 HFM-1 型脉冲毫伏表测量,

收稿日期: 1981年11月1日

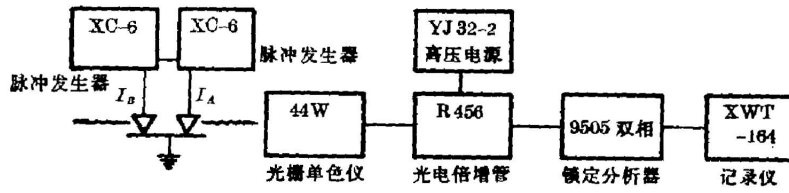


图1 光谱测量方框图

Fig. 1 Schematic diagram for spectrum measurement

并用 SR-32 型双踪示波器监视脉冲  $I_A$  和  $I_B$  同步。

管号为 I-21-4 的器件, 图 2(a) 为当  $I_A=1.8\text{ A}$ ,  $I_B=0$  和图 2(b) 为  $I_A=0$ ,  $I_B=1.8\text{ A}$  时, 分别从 A 端面 and B 端面测得的 A 台面和 B 台面发光光谱。其中心波长是  $8780\text{ \AA}$ ,  $8740\text{ \AA}$ 。它表明二个台面单独工作时都不能受激。而当  $I_A$  和  $I_B$  同步, 并适当调节  $I_A$  和  $I_B$  时, 二个台面可同时受激。图 3 就是同时测得的管号 I-21-4, 当同步脉冲  $I_A=1.68\text{ A}$ ,  $I_B=1.68\text{ A}$  时, A 台面(图 3(a)) 和 B 台面(图 3(b)) 开始受激的单纵模激光光谱。图 4 是从同一器件当  $I_A=1.20\text{ A}$ ,  $I_B=1.30\text{ A}$  时, A 端面测得的单纵模光谱, 峰值波长在  $8858\text{ \AA}$ ,  $\Delta\lambda$  约  $1\text{ \AA}$ 。从 B 端面也测得同样的单纵模光谱。

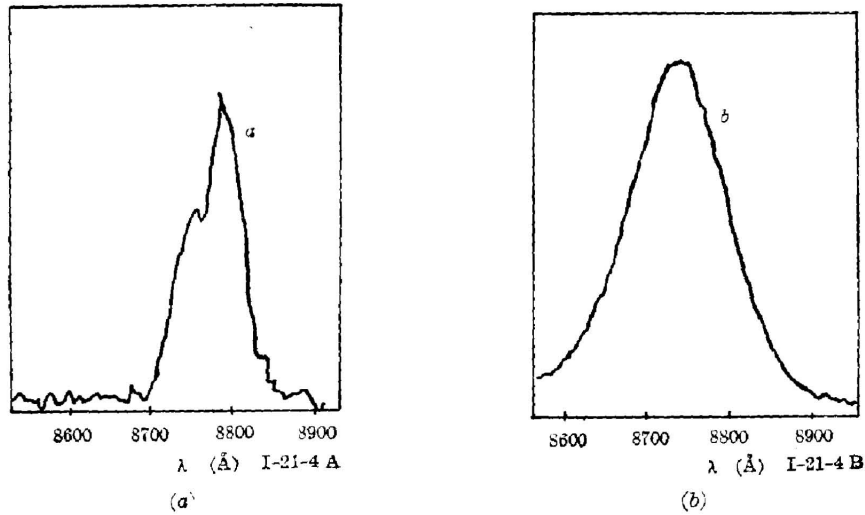


图2 器件 I-21-4, A 和 B 台面的发光光谱

Fig. 2 Emission spectrum measured from mesa A or B of the device I-21-4

### 3. 基横模工作

宽接触激光器的水平横模即侧模通常是多光丝激励, 平行于结平面的近场图样有多个光斑。集成型双台面 GaAs-(GaAl)As 激光器中,  $100\text{ }\mu\text{m}$  宽的单个台面激励的近场图样通常也是多光斑的<sup>[3]</sup>。而当台面 A 和 B 同步工作, 相互注入锁定时, 则观察到单侧模输出, 平行于结平面的近场图样只有一个光斑。实验时, 用单色仪测量得管号 I-18-6 的单纵模激光光谱之后。保持实验条件不变, 用图 5 装置测量其近场, 远场图及其光强分布。图 5 中 1 为 XE-1 型折反式显微镜, 2 为 ZA 转接镜, 3 为红外摄影机, 4 为电视监视器, 5 为示波器, 6 为电视选行扫描器。

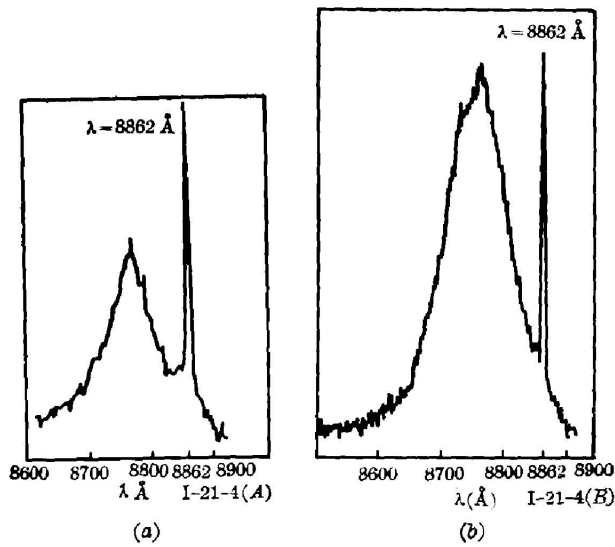


图3 器件 I-21-4 A和 B 台面的激光光谱  
(a) A 台面; (b) B 台面

Fig. 3 Emission spectra measured simultaneously from mesa A and mesa B of the device I-21-4

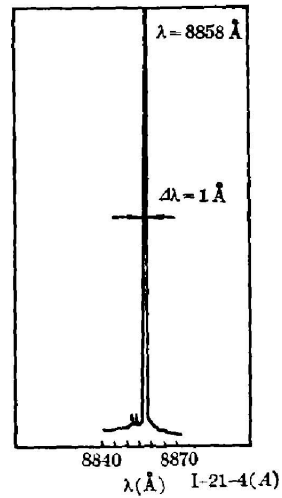


图4 器件 I-21-4 A 台面的激光光谱

Fig. 4 Lasing spectrum from mesa A of the device

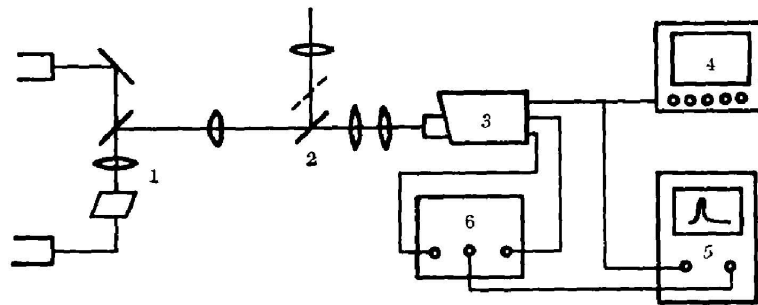


图5 近场,远场光强分布测量装置简图

Fig. 5 Experimental apparatus used in measurements for near-field, far-field and intensity distribution

由于器件的有源区很薄,因此根据上述实验结果,可以认为,器件在单纵模工作时,也以基横模工作。管号 I-18-6 的单模光谱、近场、远场图和光强分布示意图 6~8,单模波长为  $8113 \text{ \AA}$ ,  $\Delta\lambda$  约  $1.6 \text{ \AA}$ 。

#### 4. 可控单模

调节台面 A 和 B 的驱动电流,使其稍高于阈值时,可实现稳定单模工作,如对管号 I-18-6,脉冲电流  $I_A$  稳定在  $1.5 \text{ A}$ ,  $I_B$  从  $1.1 \text{ A}$  变化到  $1.13 \text{ A}$  或脉冲电流  $I_B$  稳定在  $1.12 \text{ A}$ ,  $I_A$  从  $1.34 \text{ A}$  变化到  $1.5 \text{ A}$ ,都可获得单模输出,并稳定地工作。当环境温度变化  $1\sim 2^\circ\text{C}$  时也能获得单模输出。实验表明,这种激光器的单模工作是可控的。

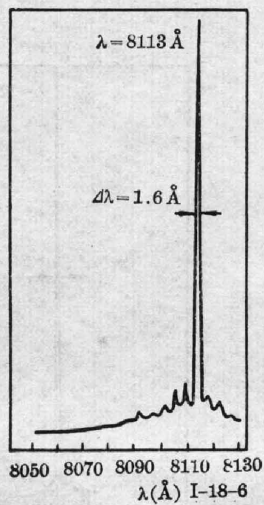


图 6 器件 I-18-6 的激光光谱  
( $I_A=1.45\text{ A}$ ,  $I_B=1.14\text{ A}$ )

Fig. 6 Lasing spectrum of the device I-18-6 ( $I=1.45\text{ A}$ ,  $I=1.14\text{ A}$ )

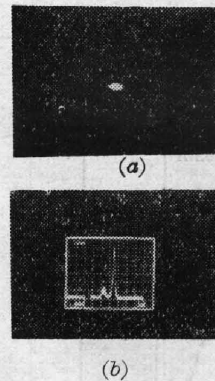


图 7 器件 I-18-6 平行于结平面的近场图及光强分布

(a) 近场图样 (b) 近场光强分布

Fig. 7 Near-field and intensity distribution in the direction parallel to the junction plan of the device I-18-6

(a) near-field pattern; (b) near-field intensity distribution ( $25\mu\text{m}/\text{div}$ )



图 8 器件 I-18-6 的远场图及光强分布

(a) 远场图样 (b) 远场光强分布

Fig. 8 Far-field and intensity distribution of the device I-18-6

(a) far-field patter; (b) far-field intensity distribution

### 三、分析讨论

半导体激光器受激发射必须满足(1)准费米能级的间隔大于发射光子的能量; (2) 光学增益等于光学损失<sup>[4]</sup>。

图 2 表明, 管号 I-21-4 台面 A 和 B 单独工作时, 即使脉冲电流大至 1.8 A, 也不能产生受激发射。这可能存在下面二种情况: 器件未能满足准费米能级的间隔必须大于发射光子的能量的要求, 即未能达到构成粒子数反转分布, 或器件虽然达到粒子数反转分布, 但由于台面的一个腐蚀腔面的反射率小(约 0.005), 光学损失大, 不能满足光学增益必须等于光学损失的要求, 因此只产生自发发射。而当管号 I-21-4 台面 A 和 B 加同步脉冲电流工作时, 台面 A 发射的光一部分通过波导耦合到台面 B, 台面 B 中价带的电子吸收注入光子而跃进到导带, 产生电子-空穴时, 使导带电子密度和价带空穴密度增加。台面 B 对台面 A 也产生同样作用, 可以说, 台面 A 对台面 B 是一个光泵, 台面 B 对台面 A 也是一个光泵。二

个台面相互注入,不断加强。所以对单个台面来说,不仅有电注入,而且有光注入。

仅有电注入情况,电子和空穴占据能级的几率为

$$f_e = \{\exp[(E_c - \xi_e)/kT] + 1\}^{-1}, \quad f_h = \{\exp[(\xi_h - E_v)/kT] + 1\}^{-1}. \quad (1)$$

增益系数

$$g(\nu) = \frac{hc^2}{8\pi n^2 \nu^2} r_{sp}(\nu) \{1 - \exp[(h\nu - \Delta\xi)/kT]\}. \quad (2)$$

在电、光注入情况下,由于价带中电子吸收光子而跃进到导带,产生电子空穴对,使导带电子密度和价带空穴密度增加,因而电子和空穴占据能级的几率也相应增加了。(1)和(2)式应改写成

$$f_e^* = \{\exp[(E_c - \xi_e^*)/kT] + 1\}^{-1}, \quad f_h^* = \{\exp[(\xi_h^* - E_v)/kT] + 1\}^{-1}. \quad (3)$$

$$g(\nu) = \frac{hc^2}{8\pi n^2 \nu^2} r_{sp}^*(\nu) \{1 - \exp[(h\nu - \Delta\xi^*)/kT]\}. \quad (4)$$

显然,

$$\Delta\xi^* = \xi_e^* - \xi_h^* > \Delta\xi, \quad g^*(\nu) > g(\nu). \quad (5)$$

所以电、光注入比仅仅电注入更有利于粒子数达到反转分布,提高增益系数,降低阈值电流,对于管号 I-21-4 随着脉冲电流  $I_A$  和  $I_B$  增加,电注入和光注入不断加强,当  $I_A = 1.20$  A,  $I_B = 1.30$  A 时,最终使某一模式的光满足受激发射条件,该模式的光首先在 A 台面或 B 台面受激发射,由于二个台面腔长匹配及相互注入锁定作用,使台面 A 和 B 进一步感应受激,并产生正反馈,因而该模式的光在模式竞争中不断得到加强,而其它模式受到抑制,因此就形成单模输出。激射光谱见图 3 和图 4。

## 四、结 论

本文所报道的波导耦合集成型双台面 GaAs-(GaAl)As 激光器,可通过调节驱动电流控制在单模工作,光谱半宽  $\Delta\lambda$  约  $1 \sim 1.6 \text{ \AA}$ 。它可作为一种集成型电-光注入锁定连续单模工作激光器的雏形。

富小妹、程宗权、朱黎明参加外延、器件制作方面工作,蒋惠英协助光纤耦合,在此表示感谢!

## 参 考 文 献

- [1] D. Botez; *Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers*, (SPIE, 1980, **224**, 102).
- [2] Y. Takahashi et al.; *Japan J. Appl. Phys.*, 1980, **19**, No. 4 (Apr), 687.
- [3] 潘慧珍等; *科学通报*, 1981, **26**, No. 18, 1141.
- [4] H. C. Casey Jr. M. B. Panish; *Heterostructure Lasers* Part A. (Academic Press, New York 1978).

\* 指光、电注入情况。

## Controllable single mode operation in a twin-mesa GaAs-(AlGa)As laser integrated with a passive waveguide

XIAO ZONGYAO SHEN PENNIAN AND PAN HUIZHEN

(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica)

(Received 1 November 1981)

### Abstract

A twin-mesa GaAs-(AlGa)As laser integrated with a passive waveguide is described. It is characterized by amplification with electro-optical injection and mode locking. The laser can be oscillated in a single longitudinal and fundamental transverse mode with a  $\Delta\lambda$  about  $1\sim 1.6\text{\AA}$  by adjusting the synchronous pulse driving currents of both mesas *A* and *B* at slightly above threshold. When the ambient temperature is changed about  $1\sim 2^\circ\text{C}$ , a single mode operation can be still obtained.

### 第五届全国红外科学技术交流会在武汉市举行

由中国光学学会和中国电子学会联合主办、以红外探测器件和材料为中心内容的第五届全国红外科学技术交流会于1982年10月5日至9日在湖北省武汉市举行。参加会议的有来自全国各地科研、生产、教学、应用等方面70多个单位的代表200余名。送交会议交流的报告近150篇。

会议由中国光学学会红外光电器件专业委员会副主任委员李焱主持。中国光学学会副理事长、中国电子学会量子电子学与光电子学学会副主任张连华以及华中工学院副院长陈挺教授等出席了会议开幕式,并讲了话。中国光学学会副理事长兼红外光电器件专业委员会主任委员汤定元教授向会议提出了题为“红外探测器发展的回顾和展望”的书面报告。

会议除综述报告外,共分三元系、二元系、热敏类、CCD等五个专题进行了二天半时间的分组交流和讨论。其中三元系探测器组宣读的30篇报告着重交流碲锡铅(PbSnTe)和碲镉汞(HgCdTe)二种材料、器件及其性能的测试,二元系探测器组交流20篇报告,内容包括铅盐(PbS、PbSe)和碲化铟(InSb)二类器件,热敏类探测器组的16篇报告全都涉及热释电材料和器件,CCD组交流报告15篇,其他11篇。

会议表明,近年来我国红外探测器件和材料的研制工作又取得了可喜的进展。在光子探测器方面,改进了材料的生长工艺,提高了均匀性,开展了电学和光学性能的测试分析。基础研究受到重视,并不断探索新工艺、新方法。目前材料已能满足器件的要求,器件的某些主要指标已接近理论值。热释电探测器在加强了理论研究和测试分析的基础上,探测率有所提高,稳定性、可靠性逐步获得解决,实用化方面又有了明显进展,尤其在光谱和激光技术中的应用。多元器件又有了新的成就,如数十元、上百元的PbS和ZnSb器件已取得良好进展,HgCdTe和PbSnTe多元器件以及HgCdTe和InSb混合双色器件等工作都很有起色。DTGS热释电摄像管初步达到了实用水平。红外CCD和远红外探测器研究正在积极开展。

会议期间,国家科委光学与应用光学学科组红外光电分組和中国光学学会红外光电器件专业委员会召开了联席工作会议。下届全国红外科学技术交流会决定于1984年举行。

(张珊珊)