



## Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As 单异质结激光器的时间分辨光谱\* 1)

工农兵学员 李 忠 林

(北京大学物理系)

### 一、引 言

研究注入式半导体激光器的光谱,可以深入了解 p-n 结中受激发光的特征,有利于改进器件性能,所以引起人们很大的重视<sup>[1,2]</sup>。

脉冲器件的光谱,将随注入电流的强度、发热以及环境温度而改变。使用寻常摄谱方法,其结果只是不断变化着的光谱的迭加,许多现象会被掩盖。为深入了解每一脉冲持续期内光谱的变化规律,必须记录时间分辨光谱。

将被测脉冲光束在摄谱仪入射狭缝上作同步扫描,可以拍摄时间分辨光谱,而采用取样示波器进行时间分辨,则具有独特的优点,并可得到极高的时间分辨本领。

康纳斯(Konnerth)<sup>[3]</sup>及饭田诚之<sup>[4]</sup>等人曾分别用取样示波器记录了同质结和双异质结 GaAs 红外激光器的时间分辨光谱。本文报导用取样示波器记录时间分辨光谱的实验方法,并报告用此法测量单异质结 Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As 红光激光器光谱特性的初步结果。

### 二、实验方法

记录时间分辨光谱,就是要记录光源的光谱随时间的变化规律。对于如图 1 所示的光脉冲,其强度同时是时间和波长的函数,可用  $I(t, \lambda)$  来表示,只要知道时刻  $t_1, t_2, \dots, t_n$  各瞬间的光谱,即  $I(t_1, \lambda), I(t_2, \lambda), \dots, I(t_n, \lambda)$  等几组光谱图,就能清楚地显示出光谱随时间变化的全过程。时间间隔  $\Delta t = t_n - t_{n-1}$  愈小,即时间分辨本领愈高,过程就显示得愈细致。

本实验采用 SQ-5 型取样示波器来进行时间分辨。关于它的原理和性能,可参阅有关资料<sup>[5]</sup>。

假定被测信号能周期性地出现,测量时,把它直接加于取样示波器的取样门。在与信号同步的前导脉冲

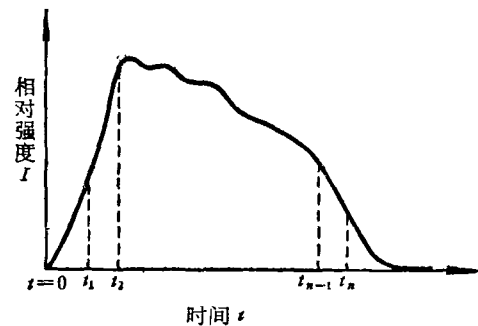


图 1 光脉冲强度随时间的变化

触发下,机内的取样脉冲发生器,于指定时刻,例如  $t = t_1$ ,产生一个底宽极窄(约 0.4ns)的取样脉冲,把取样门打开。这样,就把被测信号在开门瞬间所持有的幅度  $I_{t_1}$  送入机内,并进行展宽,如图 2 所示。贮存器

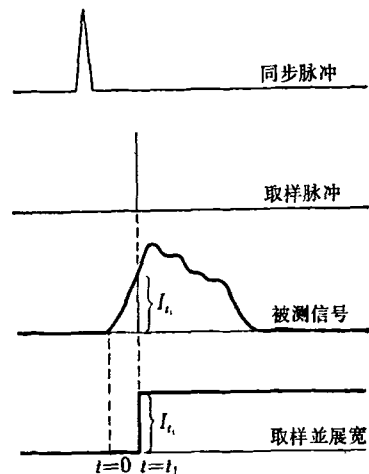


图 2 把被测信号在开门瞬间所持有的幅度进行取样并展宽

\* 1973 年 12 月 31 日收到。

1) 本工作系与中国科学院物理研究所汤晓同志合作。

就把这个幅度贮存起来。经过一个周期，下一个被测信号又被送到取样门，并且仍在  $t_1$  时刻被取样。这时，贮存器改为贮存第二次取样的幅度。随着被测信号周期性地出现，上述取样过程将不断进行。

图 3 为实验装置示意图。样品产生的激光经透镜

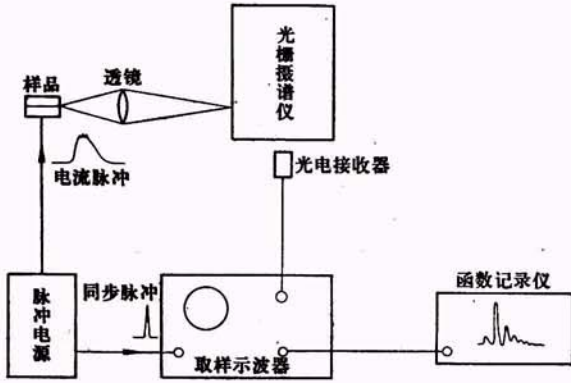


图 3 实验装置示意图

会聚后，射入光栅摄谱仪的入射狭缝内。在出射狭缝处安装一接收器，把分光后的光信号变成电信号，然后输入取样示波器。如果使光栅的转角固定在与某一波长  $\lambda$  相对应的位置，则取样示波器贮存器的输出将是一个直流信号，其幅度反映了被测光脉冲在  $t_1$  时刻所发出的波长为  $\lambda$  的光强。如果使光栅匀速而缓慢地转动，则贮存器的输出为一阶梯状信号，它的包络反映了  $I(t_1, \lambda)$  的关系。只要光源的重复频率足够高，它的包络线就十分平滑。用函数记录仪记下这个信号，就得到了  $t_1$  时刻的光谱，同理可得  $t_2, t_3, \dots, t_n$  等时刻的光谱。

本实验使用了自动记录 1 米平面光栅摄谱仪，光栅刻线为 1200 条/mm，闪耀波长为 7500 Å，线色散为 8.3 Å/mm。

为了提高时间分辨本领，必须尽量提高接收器的响应速度，本实验所用的硅光电二极管接收器，其响应时间大约为 6—7ns。

### 三、样品和实验结果

实验样品系用通常的多层液相外延法制得，它的结构和正向偏置时的能带图如图 4 所示。

在 n 型 GaAs 衬底 1 上依次生长第 2 层 n-Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As (掺 Te, 厚度为 15μ), 第 3 层 p-Ga<sub>1-y</sub>Al<sub>y</sub>As (掺 Zn, 厚度为 10μ, y>x) 和第 4 层 p<sup>+</sup>-GaAs。再把此片子放在氢气氛下作高温焙烧，由于 Zn 的扩散系数较大，所以第 3 层的杂质 Zn 将扩散到第 2 层的虚线处，使 2' 区域反型，成为 p-Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As。这样就使作用区基本上被限制在 2' 区域的范围内，其厚度约 2μ 左右。第 2 层的 Al 含量 x 决定了作用区的禁带宽度，调节 x 的数

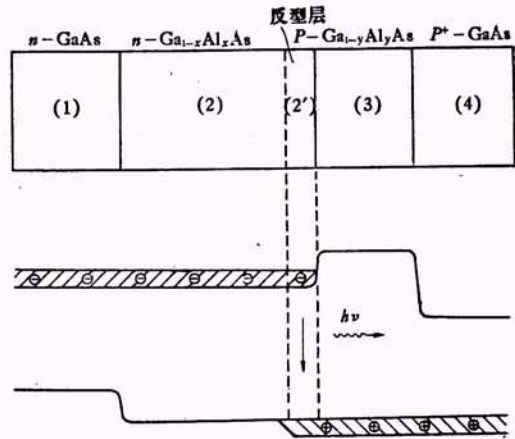


图 4 Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As 单异质结激光器的结构和正向偏置时的能带图

值，能得到室温下可见的红色激光。

实验所用样品的峰值波长为 7546 Å，在 294 K 时的阈值电流为 24 A，管芯面积为 620μ × 140μ。脉冲电源的重复频率为 200Hz，电流波形如图 5 所示，底宽为 570ns。测量结果分述于下：

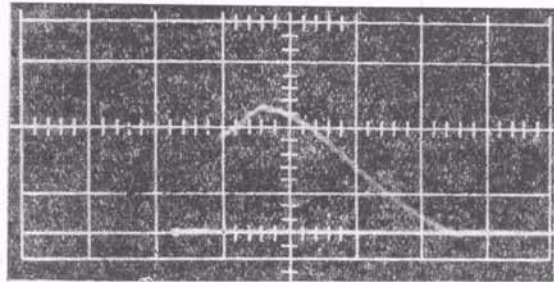


图 5 电流脉冲波形，底宽 570ns

1. 图 6 是峰值电流  $I_p$  为 27 A 时记录的时间分辨光谱，它显示了器件在略高于阈值 (24 A) 的激励下，整个脉冲期间的发光过程。

由图 6 可知，在电流脉冲的前沿，随着注入电流强度的增加，输出的光强亦不断增加，但并不是所有纵模的强度成比例地增加。相反在电流达到峰值时，光谱由原来的多模变成了近乎单模，当电流越过峰值进入后沿时，光强也随之减小，光谱又回到多模状态，但总模数比前沿少。这样的行为，显示出均匀加宽的特征。

由图 6 还可看出，在电流脉冲前沿，随着注入水平的不断提高，短波侧的纵模愈来愈占优势，说明增益曲线的峰值在不断向短波侧移动。利用能带填充效应，可以说明这个现象。电流刚越过峰值，长波侧的纵模就立即占了优势；也就是说，增益曲线的峰值以较快的速度移向了长波侧。这时候，能带填充水平的降低是一个因素，更重要的是发热温升的影响。就 GaAs 而言，

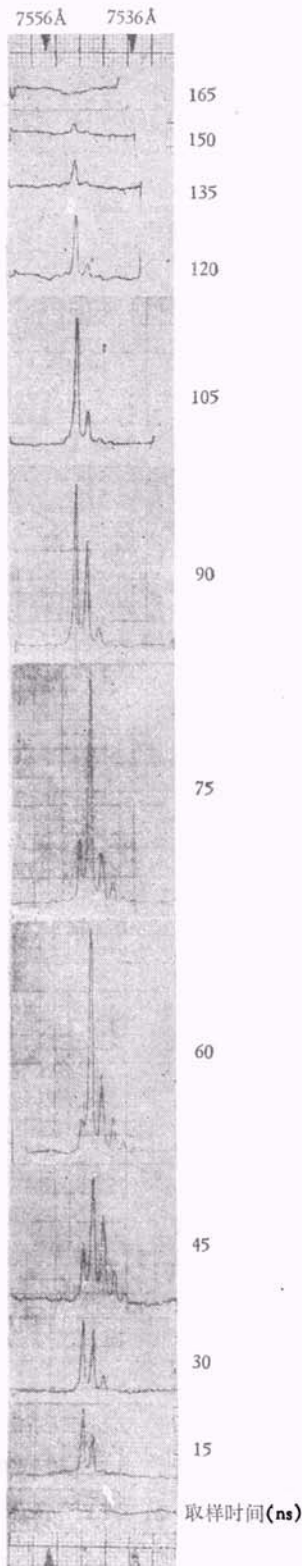


图6 一个光脉冲的时间分辨光谱  
 $I_p = 27 \text{ A}$  ( $I_{th} = 24 \text{ A}$ ) 室温 294 K  
 入射狭缝  $100 \mu$  出射狭缝  $75 \mu$

室温下自发辐射谱的峰具有  $3-4 \text{ \AA/K}^{[6]}$  的温度系数。电流越过峰值后,温升比较明显(参见下文)。在这两个因素的同时作用下,增益曲线的峰值向长波侧移动的速度就变得较快。

2, 由时间分辨光谱观察到,相邻两纵模的峰值波长相距约  $2.5 \text{ \AA}$ , 在一个光脉冲持续期内,随着时间的推移,所有纵模集体地向长波侧位移,在位移过程中,始终保持相互的间距不变。这种位移并不从一开始就发生,直到  $75 \text{ ns}$  以后才比较明显。在近  $200 \text{ ns}$  的脉冲持续期内,共位移了约  $1.3 \text{ \AA}$ , 如图7所示。

如果这种模峰的位移仅由温升引起的话,可以推算出结温升高的数值,并且,  $75 \text{ ns}$  以前的平坦部分,可用热弛豫来解释。

文献[4]用有效折射率估计出 GaAs 在  $300 \text{ K}$  时,模峰随温度的移动  $d\lambda_n/dT$  约为  $1 \text{ \AA/K}$ , 这里  $\lambda_n$  为第  $n$  级纵模的波长。对于  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$  材料,可以进行具体计算(这里从略),也能得到与此相近的结果。由此可推得,在我们的实验条件下,一个光脉冲持续期内,结温大约升高  $1 \text{ K}$  多。这个值比康纳斯<sup>[3]</sup>用同质结样品得

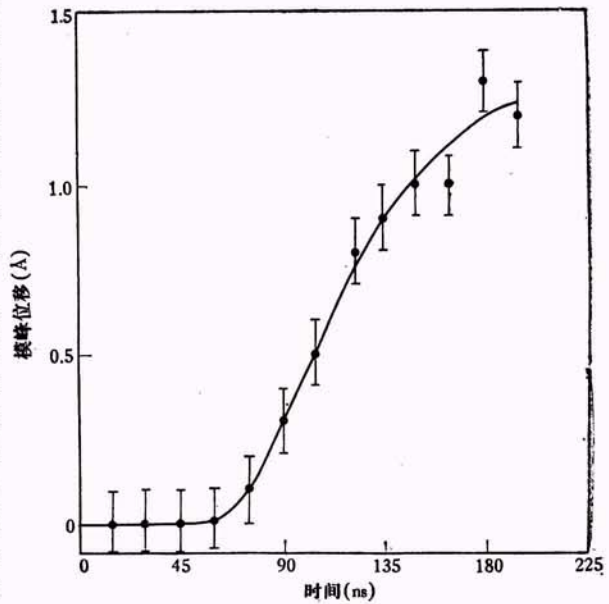


图7 一个光脉冲持续期内模峰向长波侧的位移

到的要小得多。

3, 实验所用样品,存在丝状出光现象。当电流超过阈值较多时,样品的近场图上出现四个亮斑,其中一个,随着电流的增加,其亮度迅速增加,如图8所示。

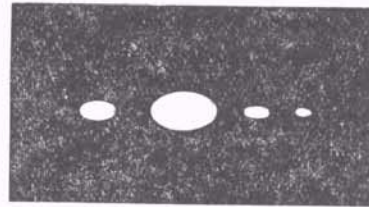


图8 丝状发光器件的近场图  
 $I_a = 32 \text{ A}$  ( $I_{th} = 24 \text{ A}$ )

实验过程中,一般是有意识地只让大亮斑发出的光进入狭缝;如果小亮斑发出的光也同时进入狭缝,就得到如图9所示的复杂谱线,这是峰值电流为  $32 \text{ A}$  时记录的时间分辨光谱。

仔细观察图9可以辨认出三组纵模群,其中一组的强度,随电流的增加而迅速增加,它与大亮斑相对应;另两组交迭在一起,其强度一直维持在较低的水平,它们与两个小亮斑相对应。每一组纵模群的行为分别与图6所示的单个纵模群相一致。

#### 四、结束语

本文介绍了用取样示波器记录脉冲光源的时间分辨光谱的方法,并报告了用此方法观察到的单异质结  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$  红光激光器中模的竞争、模谱位移和丝状

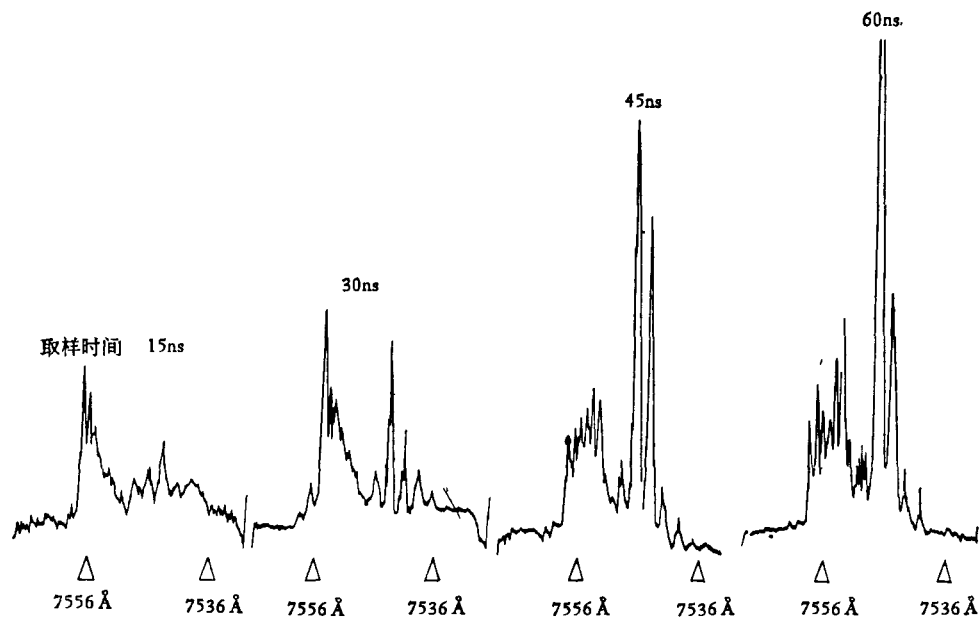


图9 丝状发光器件的时间分辨光谱  $I_p = 32 A$  ( $I_{th} = 24 A$ );  
入射狭缝  $100\mu$ ; 出射狭缝  $75\mu$ ; 室温  $294K$ 。

发光等现象。

在毛主席“七·二一”光辉指示的指引下，工农兵学员于毕业前夕进行了为期三月的科学研究训练。本工作是在物理研究所完成的科学研究训练项目。该所半导体激光小组提供了样品和实验条件。

#### 参 考 文 献

[1] Юнович, А. Э., Елисеев, П. Г., Ормонт, А. Б., Осадчая, Л. А. и Стучебников, В. М., *О Структуре Спектров Когерентного Излучения из GaAs p-n-переходов Ф.Т.Т.*, 6-6 (1964), 1908—1910.  
[2] Statz, H., Tang, C. C. and Lavin, J. M.,

*Spectral Output of Semiconductor laser, J. Appl. phys.*, 35 (1964), 2581—2585.

[3] Konnerth, *Junction heating in GaAs injection lasers, proc. I.E.E.E.*, 53 (1965), 398.  
[4] Seishi Iida, Koji Takata and Yoichi unno, *Spectral Behavior and Linewidth of (GaAl) As-GaAs Double Heterostructure Lasers at Room Temperature with Stripe Geometry Configuration, I.E.E.E. J. Quantum Electronics QE-9-2* (1973), 361—366.  
[5] 哈尔滨电子仪器厂, «SQ-5 型取样示波器使用说明书»。  
[6] Sturge, M. D., *Optical Absorption of Gallium Arsenide Between 0.6 and 2.75 ev, phys. Rev.*, 127 (1962) 768—773.

## 全 半 导 体 光 电 纬 停 器\*

工农兵学员 刘建华 汪文信

(北京大学物理系激光专业)

本文介绍一种用于喷气织机的砷化镓发光管光电纬停器。它也可以用于其它方面的光电控制上。

### 一、前 言

喷气织机是我国纺织工业中已采用的一项先进技术。由于它的织布速度很快，纬停控制问题迄今一直

还没有很好的解决。为了提高纺织工业的自动化程度，挖掘生产潜力，提高布的质量、产量，支援我国社会主义建设，我们工农兵学员以工厂为课堂，坚持“开门办学”，在这次科学研究训练中想工人师傅所想，急生产所急，到北京毛纺织厂和工人师傅一起试验一种用

\* 1973年12月31日收到。