

# GaAlAs/GaAs DH 激光器发光位置的实验研究

单振国

(中国科学院上海光机所)

1982年2月15日收到

## 提 要

红外透射/发光观察法是直接观察 GaAlAs/GaAs DH 激光器发光位置的唯一可行方法。研究各种发光现象及其同工艺之间的联系可为器件工艺的改进提供可靠依据。

## 一、引 言

GaAlAs/GaAs DH 激光器的实验室寿命已经达到万小时<sup>[1,2]</sup>,但是在如何提高成品率、控制模式和改善性能方面,还有大量工作要做。新的测量技术的出现,将会大大促进这方面工作的进展。作者曾在文章[3]中介绍过一种新的测量技术,即用红外透射(白炽灯作为光源)方法来研究 GaAlAs/GaAs DH 激光器。我们称这一方法为红外透射/发光法,简称 IT/E 法。这是直接观察 GaAlAs/GaAs DH 激光器发光位置的唯一可行方法。

GaAlAs/GaAs DH 激光器是一个微型的、多层结构的发光器件。正常结构的发光区是在一个条形的作用区附近,但是,由于工艺的改变、操作的失误以及其他原因,许多器件的发光区都不在理想部位。毫无疑问,直接观察和研究发光区的位置和发光图样,对于工艺研究来说,是很重要的。

本文将介绍发光位置的确定方法,描述各种发光现象和探讨发光现象和工艺之间的可能联系。

## 二、发光位置的确定

用红外透射/发光技术确定发光位置时,一般先用单纯透射方法看清外延层。然后再用小电流(直流,~1毫安,下同)发光方法确定作用层。在此基础上就可以根据器件结构依次判断 N、P-GaAlAs 层等。

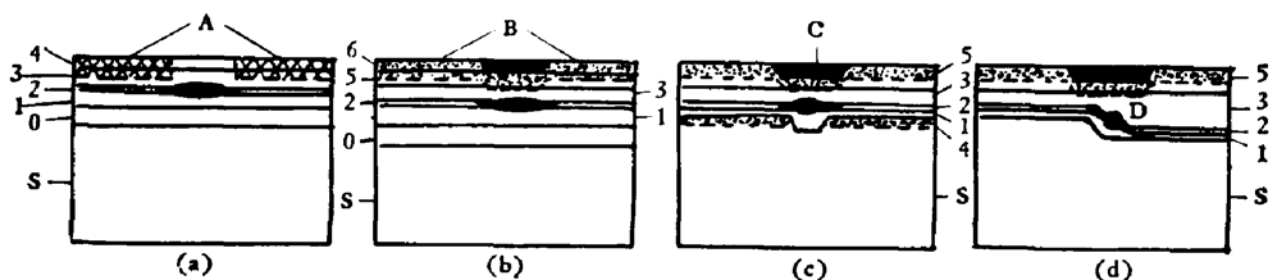
小电流技术除了用来判断作用层外,还可以用来判断小电流时的电流扩展情况,在非正常发光时,判断发光的具体位置。但是,小电流技术不能用来显示确切的激射位置,因为仅当电流超过阈值时,激光器才会受激。通常也不用直流方法来确定激射位置,因为直流受激时,不仅激光很强,自发辐射也很强。在这种情况下,是无法同时看清外延层和作

用区的。要确定激射位置,必须采用脉冲技术(5—100 毫微秒、100—300 次/秒,下同)。如果,脉冲工作时,激光仍然太强,则可用红外偏振片衰减激光。红外偏振片的插入对红外透射图样的影响很小。

小电流驱动和脉冲驱动时,激光器的发光图样是不一样的,关于这个问题,下面将要进行讨论。

### 三、各种发光现象及其同工艺的可能联系

用红外透射、小电流和脉冲技术可以看到各种发光现象。按性质,可把它们分为两类:正常发光和非正常发光。正常发光中包括基侧模和高次侧模运转两种情况。各种类型激光器基侧模发光的正常位置示意图,如图 1 所示。平面条形激光器基侧模运转时的红外透射照片如图 2(a)所示。与之相应的结构示意图,如图 2(b)所示。由左至右,我们可以看到  $n\text{-GaAs}$  (缓冲层)、 $N\text{-GaAlAs}$  层、作用层、 $P\text{-GaAlAs}$  层(条区的另一边不甚清晰)。位于衬底中的黑线段是尺寸标志,长 10 微米。尺寸标志下面的黑线是解理缺陷。



(a) 质子轰击条形激光器 (b) 平面条形激光器 (c) 沟槽衬底激光器 (d) 台阶条形激光器

图 1 各种类型激光器基侧模发光位置示意图

S——衬底 ( $n\text{-GaAs}$ ); 0——缓冲层 ( $n\text{-GaAs}$ ); 1—— $N\text{-GaAlAs}$ ; 2——作用层; 3—— $P\text{-GaAlAs}$ ; 4—— $P\text{-GaAs}$ ; 5—— $n\text{-GaAs}$ ; 6—— $N\text{-GaAlAs}$  (下同)

A. 质子轰击区 B. Zn 扩散区 C. 上限制开口 D. 激光模(四图相同)

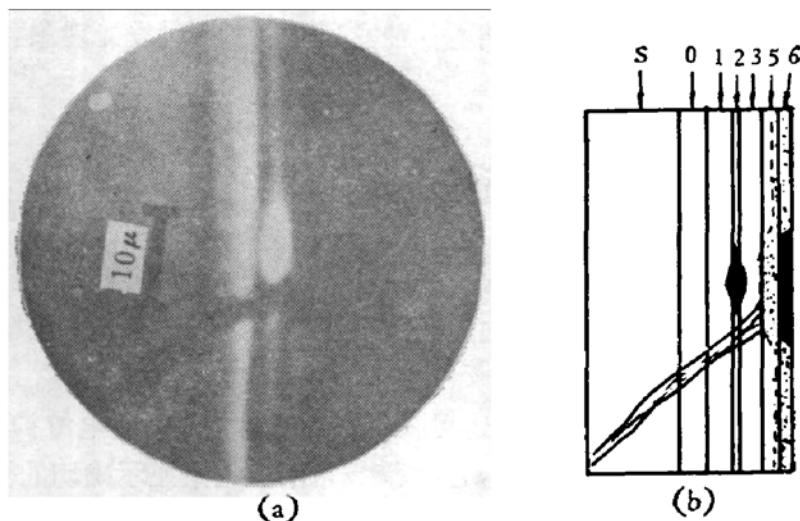


图 2 平面条形激光器正常发光时的红外透射照片 (a) 和结构示意图 (b)

本文的重点是研究非正常发光现象。呈现非正常发光的激光器,多数是不能在室温连续受激的,但有的可以脉冲受激。下面,我们介绍七种非正常发光现象,并探讨这些现象同工艺之间的可能联系。

### 1. 全线发光

经验表明,质子深轰击激光器,在小电流工作时,沿 PN 结方向,发光区比条宽还小;质子浅轰击、平面条形激光器(条宽 10 微米),在正常情况下,小电流发光区在沿 PN 结方向上约为 50~60 微米,或者更小。

但全线发光的激光器,在沿 PN 结方向,发光遍及整个芯片,如图 3(a)、(c) 所示。图 3(a) 是只有下限制的沟槽衬底激光器,其结构示意图示于图 3(b) 中。图 3(c) 是平面条形激光器,它的结构示意图示于图 3(d) 中。

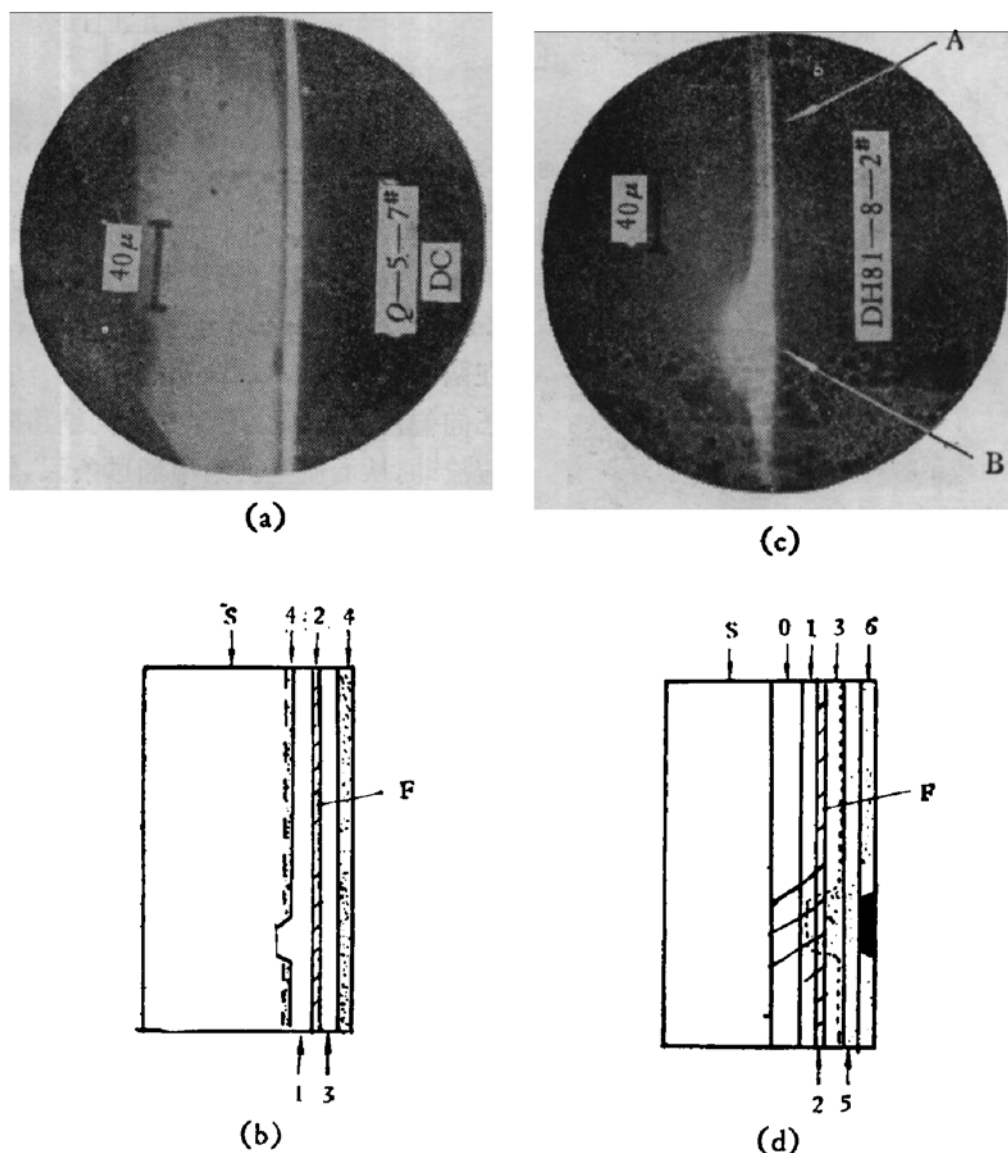


图 3 全线发光激光器的红外透射照片和相应的结构示意图

(a), (b) 是只有下限制的沟槽衬底激光器; (c), (d) 是平面条形激光器 F. 小电流发光区

在全线发光的器件中,大多数器件在脉冲驱动时,发光区明显地向条区集中. 图 4 便是图 3(a) 器件在脉冲驱动时的红外透射照片,我们看到发光区明显地向条区集中,但也有的器件不然,脉冲驱动时的发光图样同小电流时的发光图样是一样的.

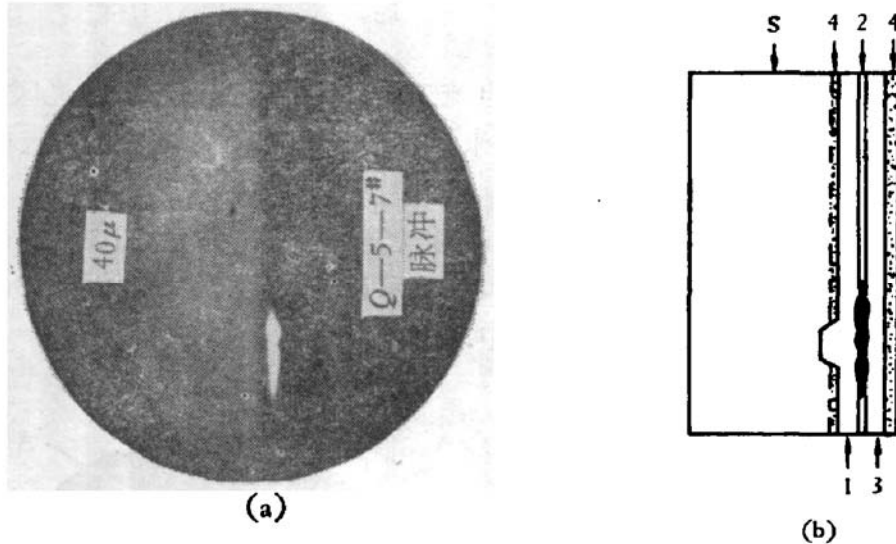


图 4 图 3(a) 所示器件脉冲驱动时的红外透射照片 (a) 和结构示意图 (b)

引起全线发光的基本原因,是侧向限制没有做好. 图 5 是图 2 所示器件的扫描电镜照片

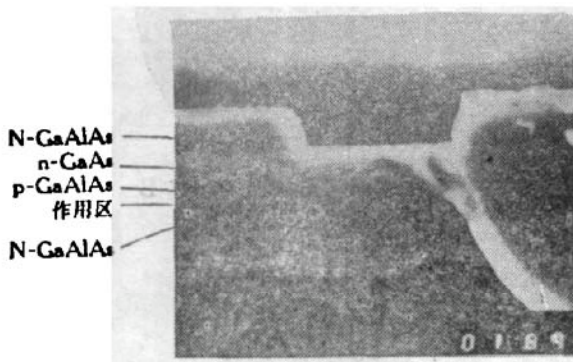


图 5 图 2 所示器件的扫描电镜照片. 其结构示意图请参看图 2(b). 图中的斜粗白线是一个解理缺陷. 上限制开口的宽度为 12 微米. 请注意条区外面第 4 层 (n-GaAs) 中的交界线便是 Zn 的扩散前沿

照片. 我们看到,正常平面条形激光器的 Zn 扩散前沿,在条区到达 P-GaAlAs 层,而在两侧仅到达 n-GaAs 层的中间. 结果,在正向偏置时,条区两侧的反向结将阻止电流流动,从而使电流集中通过条区,然后在 P-GaAlAs 层中扩展.

我们知道,描述接触条形激光器的电流扩展,可用如下公式<sup>[4]</sup>:

$$J_y(y) = (I_0/l_0L) \exp[-(|y| - s/2)/l_0] \quad (1)$$

$$l_0 = 2L/\beta\rho_s I_0 \quad (2)$$

$$1/\rho_s = 1/(\rho_4/d_4) + 1/(\rho_3/d_3) \quad (3)$$

式中,  $I_0$  是条区两侧的扩展电流;  $J_y(y)$  是条区外面的电流分布;  $L$  为激光器腔长;  $s$  为条宽,  $\beta$  是结参数,  $\rho_s$  是扩展电阻,  $\rho_3$ 、 $\rho_4$  分别为 P-GaAlAs、P-GaAs 层的电阻率,  $d_3$ 、 $d_4$  分别是它们的厚度.

平面条形激光器的电流扩展与此类似,但稍好一些,因为这时可有  $1/\rho_s = 1/(\rho_s/d_3)$ .  $\rho_s$  值的增大,可以改善电流扩展的程度. 图 2 所示器件在小电流工作时,发光区约为 60 微米,这同由上述公式计算的结果,是大体一致的.

但是,如果图 5 中条区两侧的 Zn 扩散前沿也深达 P-GaAlAs 层,则反向结失效,便成全线发光. 图 3(c) 中 A 区域的发光便是由这一原因引起的.

图 3(a) 所示器件只有下限制没有上限制. 这种器件,也可以使用 (1) — (3) 式来估

计它的电流扩展。这时,沟槽相当于条形接触,N-GaAlAs 层,代替接触条形中的 P-GaAlAs、P-GaAs 层,对电流扩展产生重要的影响。如果其他条件不变,由于 N-GaAlAs 的电阻率  $\rho_1$  比 P-GaAlAs 的电阻率  $\rho_3$  小得多,即  $\rho_1$  变小,所以电流扩展比较严重。再加本批器件 N-GaAlAs 较厚 ( $\sim 1.8$  微米),所以便成全线发光了。

在全线发光的器件中,许多器件在脉冲驱动时,发光区明显地向条区集中。这一现象可这样解释:小电流发光所反映的是小电流时电流扩展和载流子扩散的总效果。在小电流时,条区附近的作用层和远离条区的作用层之间,差别是很小的,它们都处于自发辐射状态,只是条区中心的荧光比远离条区处的荧光略强。但是在高于阈值的脉冲驱动时,由于受激发射对电流分布的影响,使电流向受激区集中,因而发光也向受激区集中。

如果,条区形成工艺完全没有做好,器件如同一个宽接触的激光器。用最大脉冲电流 ( $\sim 1$  安培) 驱动时,器件也不能受激,这时,发光图样同小电流时的发光图样便完全一样。

## 2. 带状发光

在 GaAlAs/GaAs DH 激光器中,由于异质结对电子和光子的限制作用,发光应在作用区内。如图 2 所示的样品,在小电流时,发光只局限在作用区。根据理论<sup>[5]</sup>,如果作用区很薄 ( $d \sim 0.1$  微米), $\Delta X$  约为 0.3 时,则在垂直于 P-N 结的方向上,激光模可扩展到 N-或 P-GaAlAs 层,构成带状发光。这是一种正常的带状发光现象。

本文所要描述的是在小电流时非正常的带状发光现象。把图 3(c) 中的 B 区域放大,便成图 6 所示的情形,带区包括 N-GaAlAs 和 n-GaAs (缓冲层),宽达 8 微米。

这种带状发光现象是由于 Zn 的深度扩散所引起的。如果 Zn 的扩散超过作用区达 1 微米,则 GaAlAs 同质结将会在发光中起主要作用,所产生的光子将不受原有异质结的限制而进入缓冲层,在衬底和缓冲层的交界面上由于吸收较大,光子不能通过,结果就造成图 6 所示的包括作用区、N-GaAlAs 和缓冲层在内的带状发光现象。

扫描电镜观察证实了上述分析。有些器件,Zn 扩散前沿甚至超过了 N-GaAlAs 层。

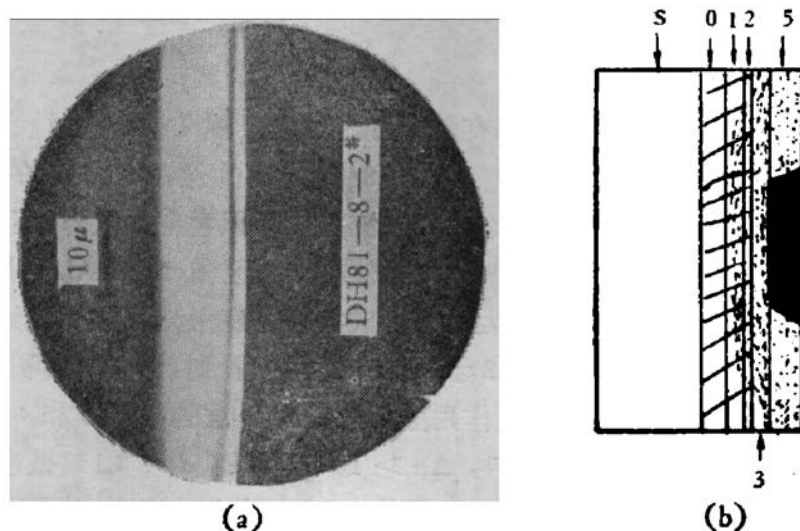


图 6

(a) 图 3(c) 中 B 区域的放大; (b) 带状发光时的结构示意图

上开口太深、外延层不完整等都可能造成 Zn 的深度扩散。

### 3. 衬底发光

在观察沟槽衬底激光器时,我们常常看到,发光不是在槽上的作用区内,而是在沟槽两侧的衬底内。我们称这种发光现象为衬底发光。图 7 是沟槽两侧的衬底都发光的情况。也有的器件,仅在沟的一侧发光,而在沟的另一侧,发光是在作用区内。

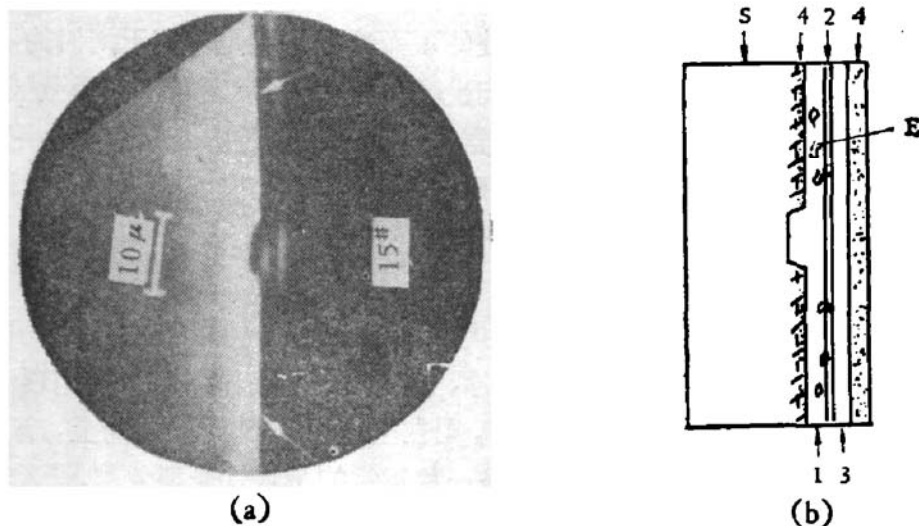


图 7

(a) 沟槽衬底激光器衬底发光时的红外透射照片; (b) 衬底发光时的结构示意图。箭头指处是小电流发光 E. 表面外延层中有缺陷

衬底发光主要是由外延本身所引起的。例如 N-GaAlAs 层不完整, 使该层与沟槽两侧 P-GaAs 层所构成的反向结失效。这样, 电流就能无阻地从沟槽两侧通过, 从而使衬底中的 GaAs 同质结发光。由图 7(a) 还可以看到, 各外延层的红外透射像是不均匀的, 这说明此片外延层确实是不完整的。

### 4. 丝状发光

许多条形激光器在脉冲驱动时, 都有丝状发光现象。图 8 是沟槽衬底激光器丝状发光情形。有的是单丝[图 8(a)], 有的是多丝[图 8(c)]; 有的丝在沟内, 有的在沟外。

沟槽衬底激光器的丝状发光现象, 除了同电流扩展等因素有关以外, 还同器件的结构参数有关。我们用光学显微镜测得图 8 所示器件的作用区和 N-GaAlAs 层厚度分别为 0.5 和 1.8 微米。我们认为, 这些层次太厚是造成沟槽衬底激光器丝状发光的重要原因。为了说明问题, 我们重画文献 [6] 中图 2 于图 9 中。我们看到, 沟槽里面和沟槽外面的有效折射率差  $\Delta n$  和有效损耗差  $\Delta \alpha$ , 是随作用区、N-GaAlAs 层的厚度  $d$  和  $l$  的增大而减小的。为了稳定基模, 通常要求  $\Delta n > 10^{-3}$ ,  $\Delta \alpha > 10^2$ 。如果,  $d = 0.15$  微米,  $l = 0.8$  微米,  $\Delta n$  仅为  $10^{-5}$ ,  $\Delta \alpha$  仅为 1。而图 8 所示器件,  $d$  和  $l$  都远大于此值, 因而,  $\Delta n$ ,  $\Delta \alpha$  更加小了。在这种情况下, 激光模在沟里、沟外的损耗(由对消失场的吸收所引起的损耗)便没有差别。因此, 从损耗的角度来看, 沟槽便不再具有选模能力。这就失去了沟槽衬底激

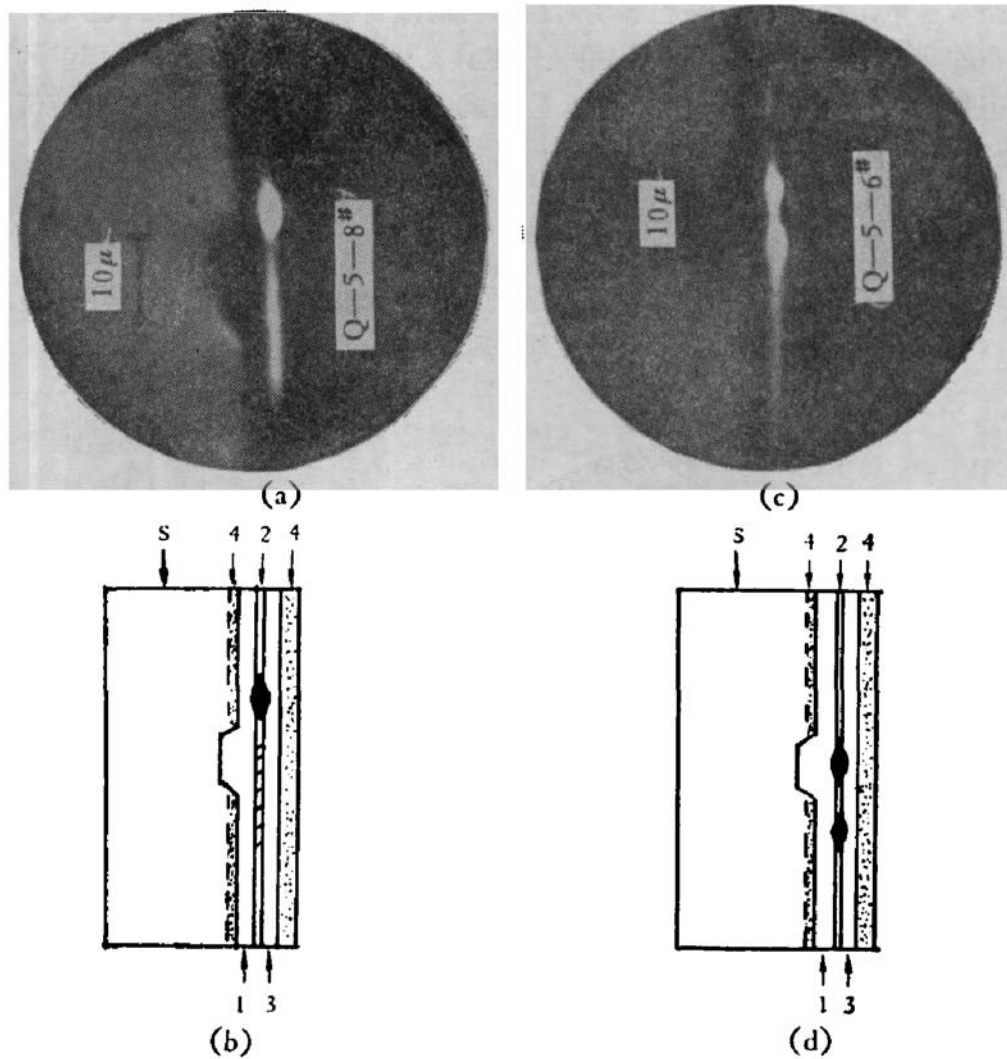


图8 沟槽衬底激光器的丝状发光现象  
(a),(c) 是红外透射照片 (b),(d) 是结构示意图

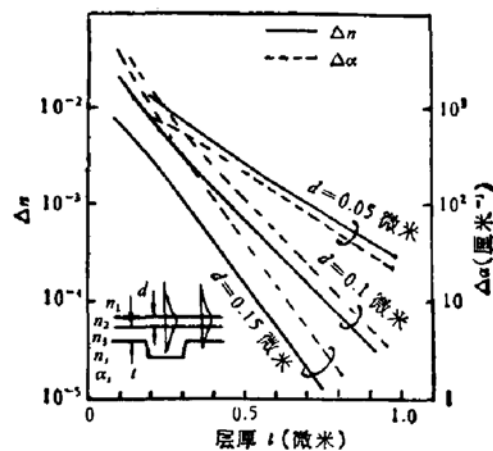


图9 沟槽衬底激光器有效折射率差  $\Delta n$  和有效损耗差  $\Delta \alpha$  同层厚之间的关系,  
计算时,使用如下参数:

$n_1 = 3.41$ ,  $n_2 = 3.62$ ,  $n_3 = 3.41$ ,  $n_4 = 3.64$ ,  $\alpha_s = 8000 \text{ cm}^{-1}$ . 符号意义请看插图. 该插图取自文献[6]的图1(a).

光器的基本特色。巨大的损耗差  $\Delta\alpha$ , 对沟槽衬底激光器来说, 是不可缺少的<sup>[7]</sup>。但是从电流分布的角度来看, 沟槽上面的作用区仍然具有优先受激的倾向, 因为那里的电流密度最高。但是, 如果那里作用区不够完整, 腔面或内部损耗较大, 则沟外的丝便可能优先受激, 如图 8(a) 所示。

### 5. 肩膀发光

在观察沟槽衬底激光器时, 我们还看到了肩膀发光现象, 如图 10 所示。在脉冲驱动时, 受激点不是位于沟槽中心, 而是位于沟的肩膀处。

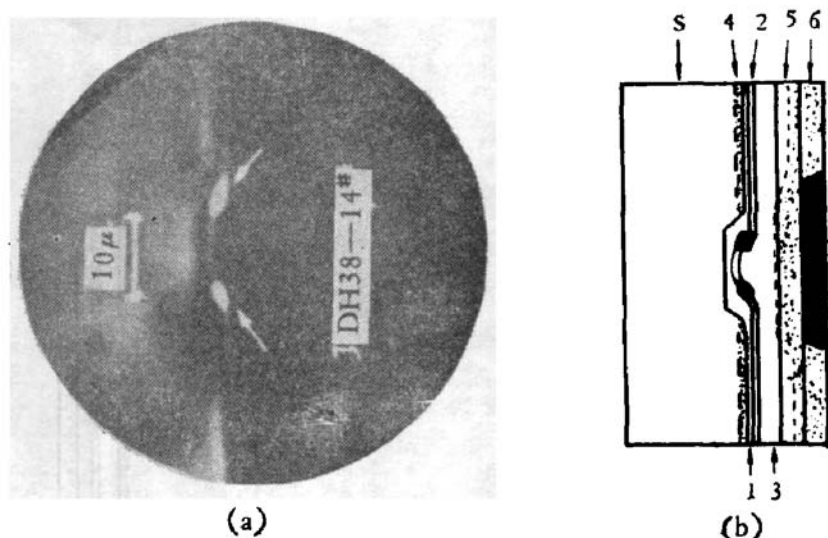


图 10 沟槽衬底激光器肩膀发光时的红外透射照片 (a) 和结构示意图 (b)

造成肩膀发光的原因是比较清楚的。由图 10(a) 可见, 作用区在沟槽内是弯曲的, 由此很容易判断, 沟槽中 N-GaAlAs 层的厚度是不均匀的: 中间薄, 两边厚。如果, 沟中间 N-GaAlAs 层的厚度薄到一定程度, 则激光模在沟中和肩处的损耗差大大变大, 使肩具备了选模条件, 这种情况与台阶条形激光器极为类似。用扫描电镜观察该器件表明, 沟中心 N-GaAlAs 层的厚度约为 0.3 微米, 而肩处 N-GaAlAs 层的厚度则为 1.2 微米, 与分析完全一致。

### 6. 上限制发光

在有上限制结构的激光器中, 我们还常常看到上限制发光现象, 如图 11 所示。发光区不是在预想的作用区内, 而是在上限制开口的两侧和下面, 有时也包括作用区在内。

上限制发光是由上限制工艺所引起的发光现象。同图 5 类似, 在上限制开口的两侧, Zn 扩散前沿应该位于 n-GaAs 层的中间。Zn 扩散未及的 n-GaAs 和 P-GaAlAs 层所构成的反向结阻止电流从两侧流过。但是, 如果 n-GaAs 或 P-GaAlAs 层不完整, 该反向结就会失效, 在这种情况下, n-GaAs 层中同质结便能发光。有时, 作用区也能同时发光。图 11 是一个台阶条形激光器上限制发光的情形。由图还可看到, 上限制开口与衬底台阶是对得很准的。开口处不发光, 是因为开口较深, 那里不存在由 Zn 扩散所引起的 GaAs 同质

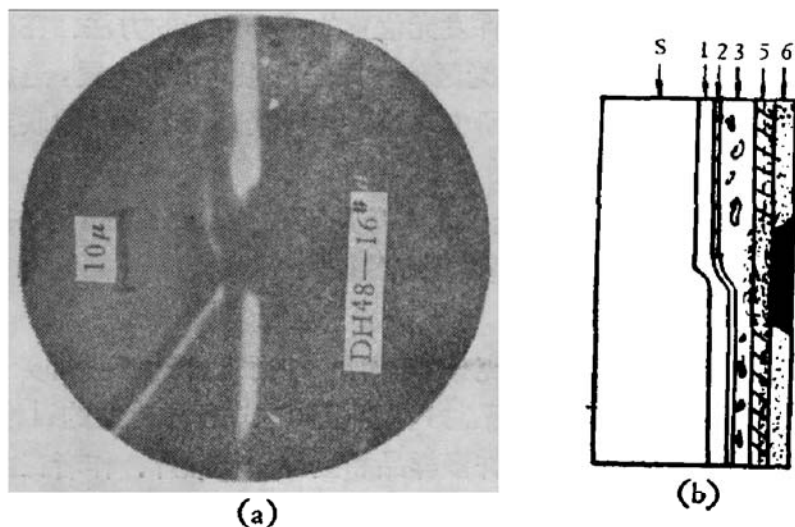


图 11 台阶条形激光器上限制发光时的红外透射照片 (a) 和结构示意图 (b), 箭头指处为小电流发光区。如果开口较浅, 在条区, Zn 扩散前沿也终止在 n-GaAs 层内, 则开口下面也会发光的。

### 7. 材料发光

这种发光现象很少见到, 它的全貌如图 12 所示。我们看到发光区远远深入到衬底材料内部(约 30 微米), 并且构成了一个三角形。

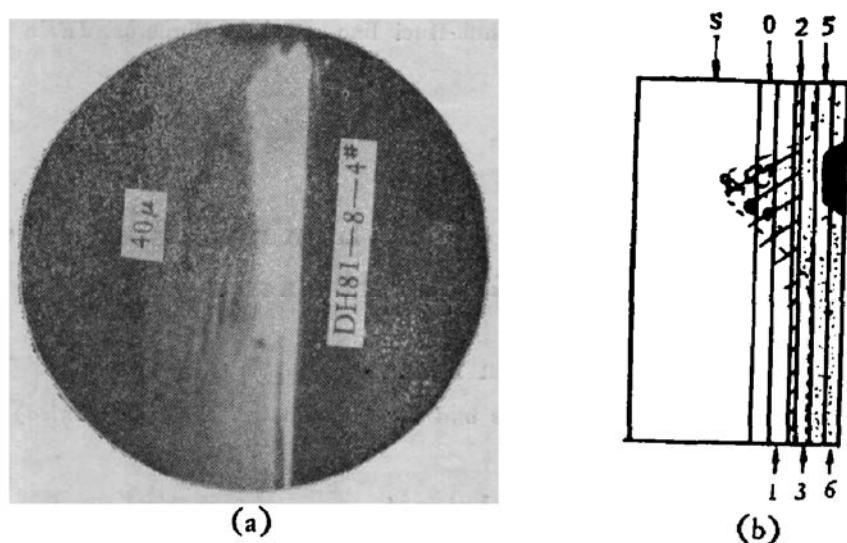


图 12 平面条形激光器衬底材料发光时的红外透射照片 (a) 和结构示意图 (b)

这种发光现象, 估计同衬底材料的质量有关。扫描电镜观察表明, 在三角形的发光区内确有许多缺陷。也许由于缺陷的存在, Zn 的扩散速度特别快, 以致能深入到衬底内部 30 微米。这样在衬底材料中所形成的 P-N 结, 通电后, 也能发光。

## 四、小 结

我们描述了用红外透射/发光技术确定 GaAlAs/GaAs DH 激光器发光位置的方法,

指出这是目前能够用来直接观察该器件发光位置的唯一可行的方法。在研制各种条形激光器的过程中,由于种种原因,常使发光区偏离原先设想的正常位置,造成各种各样的发光现象。研究这些发光现象,特别是研究这些发光现象同工艺之间的联系,是很有意义的。

我们的工作表明,红外透射/发光技术本身是研究 GaAlAs/GaAs DH 激光器的有力工具,发光位置的研究可为工艺改进提供更多的依据。

本工作所使用的器件主要是由吴克林、陈如昌、胡衍芝、符祖良、邱荣生、顾德英等同志制造的。在探讨发光现象和工艺联系时,同许多同志进行过有益的讨论。8 室黄德群、王浩炳同志用扫描电镜为我们观察了许多样品和提供扫描照片。作者在此,谨向他们表示衷心感谢。

### 参 考 文 献

- [1] 中国科学院半导体所 DH 激光器研究组,“激光”,8, No. 10, 16(1981).
- [2] 杨超彩,“激光”,8, No. 12, 7(1981).
- [3] 单振国,“激光”,8, No. 6, 23(1981).
- [4] H. C. Casey, Jr. and M. B. Panish “Heterostructure lasers” Academic Press, New York, San Francisco, London (1978).
- [5] H. Kressel and J. K. Butler “Semiconductor Lasers and Heterojunction LEDs” Academic Press, New York, San Francisco, London (1977).
- [6] T. Kuroda, M. Nakamura, K. Aiki and J. Umeda, *Applied Optics*, 17, 3264 (1978).
- [7] Shyh Wang, Chung-Yih Chen, Andrew Shuh-Huei Liao and Luis Figueroa, *IEEE J.*, QE-17, 453 (1981).

## Experimental Research on the Luminous Position of GaAlAs/GaAs DH Lasers

Shan Zhenguo

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

### Abstract

The infrared transmission technique is the only available method to observe directly the luminous position of GaAlAs/GaAs DH Lasers. Studying various phenomena and their relations to technology can offer a reliable basis for improving technology.