

GaAlAs/GaAs DH 激光器的红外透射研究

单 振 国

(中国科学院上海光机所)

提要: 本文介绍了红外透射技术的装置和原理,报导了主要研究结果。实验表明,红外透射技术是研究 GaAlAs/GaAs DH 激光器的又一有效工具。我们获得的有关 GaAlAs/GaAs DH 激光器的外延层、条区结构和作用区发光情况的综合照片,是用普通的光学显微镜或扫描电子显微镜所不能得到的。

Research on infrared transmission of GaAlAs/GaAs DH lasers

Shan Zhenguo

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

Abstract: In this paper, we describe the arrangement and principle of infrared transmission technique and report the main results obtained. Our experiments show that the technique is another useful tool for the study of GaAlAs/GaAs DH lasers. The comprehensive photographs obtained including the epitaxial layers, the structure near the stripe region and emissive pattern of the active region could not be obtained previously with ordinary microscopes or scanning-electron microscopes.

一、引 言

为了研究 GaAlAs/GaAs DH 激光器的物理性质,检查工艺质量,人们需要多种检测方法。普通的光学显微镜,可以把样品放大近两千倍。但是用它来研究 DH 激光器时,有两个问题没有解决:第一,放大这么大的倍数,需用油浸,结果使激光器的腔面受到污染;第二,要看清各外延层时,需用化学方法“显结”,结果,使激光器腔面受到破坏。此外,光学显微镜所看到的只是表面形貌,并且要想同时看清外延层和发光区是很困难的。扫描电子显微镜是研究 DH 激光器的良好工具。它能以几十埃的分辨率将样品放大万倍数量级,并且能把结区,有时还能把质子轰击

区明显地显示出来。当然,它还能提供许多其他信息,如表面氧化情况、*P-N* 结的完整性,Al 含量的分布等。但是,这一设备比较昂贵,而且,同光学显微镜一样,它提供的也是表面信息,不能直接提供有关器件的光学性质。

本文所介绍的红外透射法,是研究 DH 激光器的又一方法。同普通的光学显微镜相比,它能把经光学显微镜放大并且能够分辨的象,再放大若干倍,不需腐蚀,不需油浸,能同时无损地看清各外延层,Zn 扩散区或质子轰击条宽、作用区发光情况等。它不仅可以反映表面信息,而且还可以在一定程度上反映内部信息。同扫描电镜相比,它设备简单,

收稿日期:1980年9月25日。

操作容易, 并且能直接提供器件的光学性质。

下面, 我们将介绍红外透射装置、原理以及研究 GaAlAs/GaAs DH 激光器的主要结果。最后就有关问题进行讨论。

二、装置和原理

图 1 是红外透射装置的方框图。

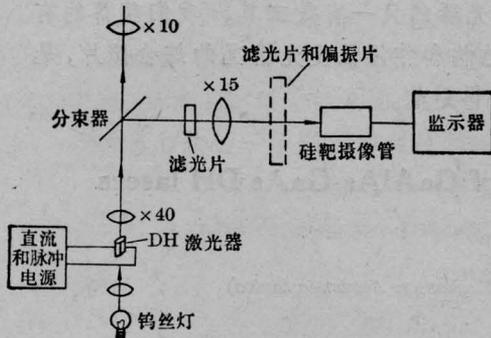


图 1 红外透射装置图

GaAlAs/GaAs DH 激光器的外延层是用普通的 LPE 方法形成的^[1]。实验所用的器件包括质子轰击条形激光器、平面条形激光器。器件都是自然解理的, 腔长约为 250 微米。器件均做成可以透射的形式。激光器可以同时或分别以直流或脉冲的方式驱动。

用钨丝灯作透射光源, 经光学透镜聚焦, 照射激光器的背面。激光器的前端面由 40 倍显微物镜放大, 光束由分束器分为两路, 一路到 10 倍目镜, 供观察或其他测量; 另一路经 15 倍目镜、滤光片到硅靶摄像管。透过和发光图样, 用电视机显示。

红外透射的原理比较简单。我们知道, 仅考虑吸收时, 透射光强 I 近似地可由下式表达:

$$I = I_0 e^{-\alpha L}$$

其中, I_0 是入射到样品背面的光强, L 是激光器的腔长, α 是各层的吸收系数。对某个确定的 DH 激光器来说, 各个区域的 I_0 和 L , 可以认为都是一样的, 差别仅在于吸收系

数 α 。不同类型、不同掺杂的 GaAs、轰击和未轰击的 p -GaAs 的吸收系数, 可参阅[2]、[3]。

此外, GaAlAs 的禁带宽度随 Al 含量 x 而变化^[4], 这变化使 $Ga_{1-x}Al_xAs$ 的吸收边随 x 增加而向高能边移动。结果, 使可以透过的波段向短波扩展, 透过的光强增加。

以上, 便是红外透射技术赖以区别 n 型和 p 型、GaAs 和 GaAlAs、轰击和未轰击材料的简单物理基础。

三、主要研究结果

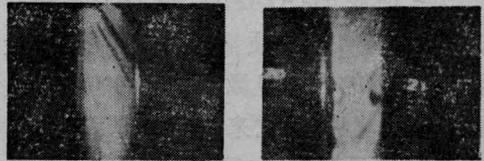
我们用上述红外透射装置观察了若干器件。这些器件来自不同的外延片。因此, 各个器件的参数如 Al 含量、掺杂和厚度等都是不一样的。

下面, 我们将从红外透射的角度来概述研究结果。实验表明, 红外透射可以用来:

1、检查解理面

同普通的光学显微镜一样, 红外透射可以方便地用来检查解理面好坏, 如照片 1 所示。我们看到这些解理面明显地不好。

有的样品, 用普通光学显微镜观察解理面时, 并无明显缺陷(参看照片 2)。但是, 用本方法观察时, 却能看到有明显的缺陷存在,



照片 1 两个激光器的解理面

右面的亮线是在直流几百微安时的发光区

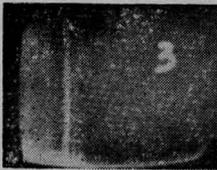


照片 2 反射观察的结果 照片 3 透射观察的结果

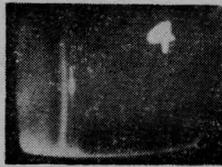
如照片3所示。这是本方法能够在一定程度上反映内部或背面信息的证明。

2、检查外延层

用红外透射法检查外延层，可以方便地判断外延层的完整性。如照片4、5所示的外延层(N -GaAlAs、作用区)完整性较好。而照片6、7所示的外延层，则有明显的缺陷。从照片6可看到 N -GaAlAs层的不均匀性；照片7可看到Zn扩散条区正好位于 N -GaAlAs的不均匀处，箭头指着的是未扩Zn的 P -GaAlAs层。



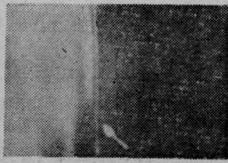
照片4 平面条形激光器(80-71-1*)的透射图样



照片5 80-71-1*, 透射加脉冲发光图样



照片6 80-71-2* 器件的红外透射图样

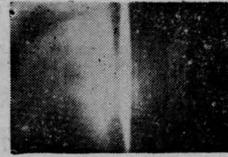


照片7 80-71-2* 器件放大透射

要用红外透射法检查外延层，外延层必须能够透过。实验表明，在 $L \approx 250$ 微米时， n -GaAs、 N -GaAlAs、不掺杂的 p -GaAs、 p -GaAlAs一般均能透过。透过的光强以 N -GaAlAs为最大， n -GaAs次之，不掺杂的 p -GaAs再次之，掺杂的 p -GaAlAs最小，如照片8所示。所透过的光的波长，同Al含量有关。80~71、80~55、80~53、80~59外延片中的不少器件，从 N -GaAlAs中所透过的光，能直接以肉眼观察。在这种情况下，可以直接用肉眼来检查 N -GaAlAs层的好坏。这在过去是不可能的。

3、检查条区宽度

红外透射可以直接用来检查平面条形激光器Zn扩散的条宽，如照片4、5所示。当



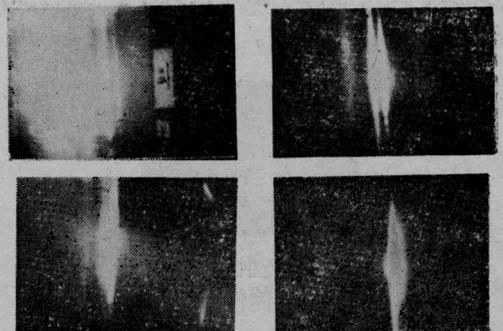
照片8 质子轰击条形激光器80-59-1*的红外透射图样

中缺口便是Zn扩散条区(Zn的扩散使该处浓度增加，结果， α 增大，形成暗区)，条区宽度是可以直接测量的。

照片8是检查质子轰击条形激光器的一个例子。我们可以清楚地看到 p -GaAlAs层未受质子轰击的部分(图中最右面的一个短亮线)。需要说明，不是所有的质子轰击条形激光器都能用这种单纯透射的方法看清条宽的。如果， p -GaAlAs掺杂较高，则一般不能透过。但是在稍加直流(几百微安)之后，在作用区所产生的光子，有一部分从作用区向两侧运动。质子轰击过的 p -GaAlAs， α 很大，光子全部被吸收；但是，在未经轰击的条区， α 相对较小，因此，一部分光子能从条区辐射出来，从而使我们能够明显地看到条区宽度(参看照片9~12)。应当注意，由于条区边界吸收较大，所以这里所得到的条宽，比实际用来掩蔽的钨丝直径要小，这同深轰击激光器，发光条区比钨丝直径要小的情况类似。

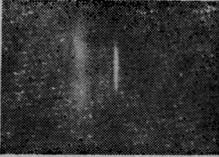
4、估计质子轰击或Zn扩散深度

红外透射不能精确测定质子轰击或Zn



照片9~12 用注入小电流方法研究质子轰击条宽

扩散的深度,但是大致估计是可以的。照片13所示的器件,发光条区的宽度几乎不随注入直流电流大小而变。这表示质子已经轰击过作用区。如果,质子没有轰击到作用区,则情况如照片9~12所示。条区外面的光,是由电流扩展和电子扩散所引起的。因为,在沿结方向的电子扩散长度一般为6微米。假如这个量不变,那末我们便可以根据发光区向条区外面延伸的程度,来定性估计质子轰击前沿离作用区的远近。例如,照片11所示的条外扩展区大于10微米,而照片9表明,它的条外扩展区小于10微米。据此,我们可以判断后者的质子轰击前沿,比前者更接近作用区。



照片13 深轰击激光器的发光区

平面条形激光器的Zn扩散深度的定性判断与此类似。照片4、5表明,Zn扩散前沿已深入到p-GaAlAs层,但尚未到达作用区。照片7也与此类似。

5、研究发光情况

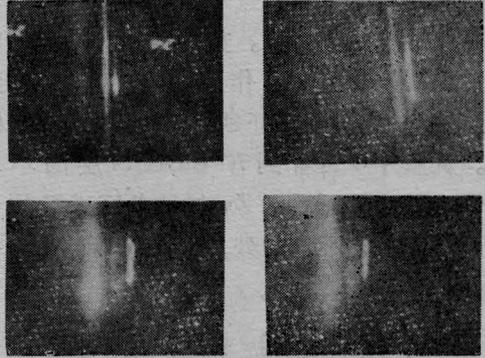
红外透射可以用来研究DH激光器的发光部位、大小和图样。照片5是一张红外透射和脉冲发光情况的综合照片(还可参看照片14)我们可以同时清晰地看到外延层、条区宽度、发光部位和激光模大小。这种照片在过去是无法得到的。



照片14 透射加脉冲发光
(器件同照片7)

质子轰击条形激光器的类似照片如15~18所示。在脉冲工作时,p-GaAlAs条区

一般是看不到的。照片17、18还告诉我们,当注入电流稍有变化时,激光图样也发生了变化。



照片15~18 质子轰击条形激光器的红外透射和脉冲发光照片
(17、18的器件与13的同)

四、讨 论

我们对GaAlAs/GaAs DH激光器进行红外透射研究还是初步的。设备还需要进一步完善,有些问题还需要进一步弄清,比如:

1. 有时在小倍数观察激光器的红外透射时,常看到一些较粗的“干涉”或“衍射”条纹。这些条纹往往出现在激光器芯片的两侧。造成这一现象的原因仍然不详。但是,在高放大倍数时,这一现象似乎并不影响对外延层的观察。

2. 在红外透射照片中,均可看到,在衬底和N-GaAlAs, N-GaAlAs和作用区之间存在着黑线。这些黑线有时很宽。现在我们还不知道这些黑线和那些因素有关。它和扫描电镜所看到的冶金结有什么关系,它的宽窄能不能在一定程度上反映交界面的不平整性(由于光的散射),它对器件质量有何影响等,这些问题都有待进一步研究。我们已经意识到,样品倾斜程度,可能会影响这些黑线的宽度。但是,由于条件所限,目前尚不能消除这一因素的影响。

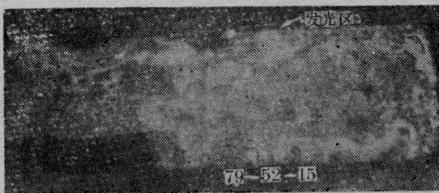
3. 由于透射光和器件本身所发出的光

强度有差别,特别是当器件连续运转时,相差更加悬殊。因此,器件在较大电流连续运转时,象照片5那样的照片,目前还不能得到。所得到的只是普通的近场图样。

为了获得类似照片,似乎需要寻求波长选择的滤光片。这样的滤光片,现在尚未得到。值得指出的是,当DH激光器在阈值以上脉冲运转时,偏振片可以用来作为“波长选择”的滤光片。因为我们知道,自然解理的GaAlAs/GaAs DH激光器,一般是TE偏振的。所以,偏振片可以用来衰减甚至滤去激光,而对透射的光仅有较少的影响。

4. 我们用肉眼观察到从N-GaAlAs层所透过光。但是,透过光的波长究竟是多少?它仅仅是透过的呢,还是由其他更复杂的物理过程所形成的呢?尚需深入研究。

5. 在拍摄外延层、条区结构和作用区发光情况的综合照片时,比用光学显微镜容易得多。我们曾在金相显微镜上拍过不少如19所示的照片,该照片是在油浸观察后存贮了一段时间拍摄的,解理面上的斑纹是油浸污染的痕迹。不过这种污染似乎并不影响器件的寿命,该器件在光纤脉冲展宽的测试系统中持续使用了近一年(未充气保护),现在还在使用。但是,有两个问题不好解决。一



照片 19

是我们所使用的是普通感光板,对红外光不灵敏,因此往往需要二次曝光,而且在拍摄发光的作用区时,有时竟需曝光达1小时;二是由于照明光(有绿色滤光片)和激光器所发出的光的波长相差很多(~ 3000 埃),因此,色差严重,看清楚解理面,就看不清发光区,反之亦然。

红外透射技术较好地克服了这些困难。无论是透光的各外延层,还是发光的作用区,都成象在电视机的荧光屏上,一次曝光(约1秒)就能得到过去很难得到的照片。此外,透射的光,特别是限制层所透射的光和作用区本身(通常也含有少量的Al)所发出的光的波长相差较小,所以色差较小,因此限制层和发光区可以同时清晰地成象在荧光屏上,如照片4、5等所示。不能不说,这是红外透射技术的独特优点之一。

但是,在高放大倍数时,要想同时看清衬底表面和各外延层,仍然存在着困难。有必要对此作进一步的研究。

本工作所使用的器件,是由本室外延组和制管组提供的。许多同志曾对本工作提过宝贵的意见。在此,谨向他们表示衷心感谢!

参 考 文 献

- [1] 陈高庭等;《激光与红外》,1978, No. 12, 9.
- [2] H. C. Casey, Jr. *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1975, **46**, 250.
- [3] J. C. Dymont *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1973, **44**, 207.
- [4] H. Kressel *et al.*; "Semiconductor Lasers and Heterostructure LEDs", Academic Press, p360.