

# (GaAl)As/GaAs 质子轰击隔离条形 DH 激光器的退化原因

庄婉如 杨培生 高季林 马英棣

(中国科学院半导体所)

**提要:** 对研制的 (GaAl)As/GaAs 质子轰击隔离条形 DH 激光器的退化原因进行了实验分析。结果表明:快退化主要起因于有源区内的暗点、暗线及暗区等缺陷的增殖;腔面氧化是限制寿命在千小时的原因之一;质子轰击引入的点缺陷移入有源区是器件限制寿命在万小时的原因之一。

## Causes for degradation of isolated stripe (GaAl)As/GaAs DH lasers by proton bombardment

Zhuang Wanru, Yang Peisheng, Gao Jilin, Ma Yindi

(Institute of Semiconductors, Academia Sinica)

**Abstract:** We have investigated experimentally the causes for degradation of the isolated stripe CW (GaAl)As/GaAs DH lasers by proton bombardment. The results of ageing tests show that the fast degraded lasers are caused by defects (such as dark spot, dark line and dark region) in the active region extending rapidly during the test process. One of the factors limiting the lifetime to  $10^3$  hours is the oxidization of the mirror facet of laser cavity; and the moving of microdefects by proton bombardment into the active region becomes one of the reasons limiting the lifetime to  $10^4$  hours.

### 一、引言

我们针对 0.8~0.9 微米波段 (GaAl)As/GaAs 质子轰击隔离条形 DH 激光器引起退化的原因进行了一些实验和分析。样品采用液相外延工艺,在 (100)GaAs 衬底下连续生长五层:  $N$ -GaAs (掺 Te)、 $N$ -Al<sub>0.35</sub>

Ga<sub>0.65</sub>As (掺 Sn),  $P$ -GaAs (掺 Si 有源层)、 $P$ -Al<sub>0.35</sub>Ga<sub>0.65</sub>As (掺 Ge),  $P$ -GaAs (掺 Ge)。 $P$  面浅扩 Zn 后,利用质子轰击造成高阻隔离区,制成 12 微米宽条形 DH 激光器。激光器管芯端面没有镀保护膜,但安装在充氮密封的可卸管壳内。老化考验采用恒定的光功率并采用光输出功率控制电流的装置,对器

收稿日期: 1982 年 8 月 2 日。

件进行偏置(恒定光功率视应用要求分为1毫瓦、2毫瓦或5毫瓦)。考验环境温度分别为22°C、50°C、70°C及80°C。并定时对器件的参数变化进行观测记录。

老化结果表明:退化行为可分为快、慢两类。快退化激光器在工作期间阈电流不断显著上升,外微量子效率迅速下降,激光时间都小于200小时。一般能通过200小时老化的激光器则能连续激光超过几千小时,这类器件称为慢退化激光器,其中一部分激光寿命为千小时数量级的称为千小时级器件;一部分可达万小时级的称为万小时级器件。我们对上述三类器件分别进行观察分析,以求找出各自的退化原因。

## 二、快退化原因

我们在90°C干氯密封下把器件贮存约500小时,没有观察到器件 $L-I$ 特性出现变化,但在器件工作后就观察到器件退化存在着快、慢两种类型。

通过 $P$ 面电极观察了快退化激光器有源区的电子束感生电流像(EBIC),如图1所示。在原始管芯中,没有观察到暗线和暗区,如图1(a)。经过1小时工作后,在(110)方向出现了两条暗线,如图1(b)中 $a$ 、 $b$ 箭头所示。经过6小时工作后(这时器件已无法维持激光),原有的两条暗线发展形成了暗区,并在(100)和(010)方向出现了新的暗线,如图1(c)所示。这和其它作者观察到的相似<sup>[1,2]</sup>。跟踪暗线发展的结果说明:有源区里的暗线、暗区等缺陷在器件工作过程中会不断扩大、增殖,使阈值迅速上升,光功率快速降低,最终使器件无法再维持激光。

采用缺陷低的GaAs单晶衬底制备的器件,快退化比例数显著降低<sup>[3]</sup>。若把 $H_2$ 中的 $O_2$ 含量降低至0.03ppm以下,则外延层内暗点缺陷可降低到小于200个/厘米<sup>2</sup><sup>[4]</sup>。此外,电极键合应力过大也是造成器件快退化

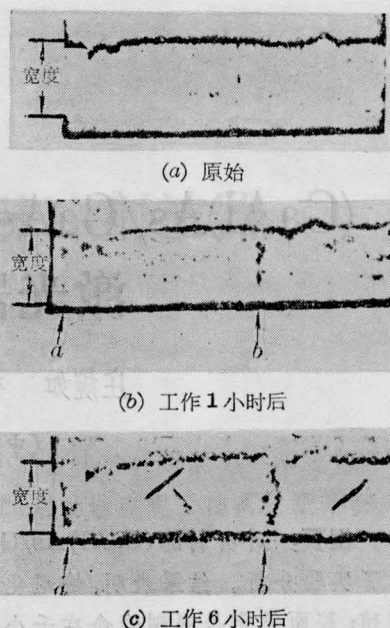


图1 用EBIC象观察快退化DH激光器有源区内暗线的发展

原因之一<sup>[5]</sup>。我们在选择了低位错衬底,减小外延过程中 $O_2$ 的沾污之后,已经得到了位错密度低、外延层均匀片子<sup>[6]</sup>。采用低应力的键合工艺,能够通过200小时筛选的器件数显著提高了<sup>[7]</sup>。

## 三、千小时级退化原因

经过200小时筛选后的慢退化激光器,如果这时的阈电流千小时退化率[定义为 $\frac{\Delta I_{th}}{I_{th0}}/\text{千小时}$ ]大于4%/千小时,则由于器件内部的损耗较大,大部分器件的寿命是在2000~8000小时以内。

对于退化率小于4%/千小时的激光器,为了了解其退化原因,取16支上述器件,分为四组在不同气氛下进行老化考验及观测。这四个组分别为:(1)纯干 $N_2$ ; (2)湿 $N_2$ ; (3)暴露在空气中; (4)纯 $O_2$ 。激光器失效后分别统计其平均寿命、正反向 $V-I$ 特性及显微镜下的外观,结果列于表1。

表 1 不同环境 DH 激光器的失效状况

环境条件 (室温)	纯干 N <sub>2</sub>	湿 N <sub>2</sub>	暴露空气中	纯 O <sub>2</sub>
平均寿命 (小时)	~8×10 <sup>4</sup>	~4×10 <sup>4</sup>	6000	7000
正向 V-I 特性				
反向 V-I 特性				
外观	与原先一样	整个解理面呈现轻微淡褐色, 电极 In 微灰白及变渣	整个解理面与原先差不多, 但腔面出光处变褐色, 电极 In 变白色	整个解理面轻微灰褐色, 腔面出光处出现深灰褐色 (图 2), 电极 In 变白色

由表 1 可知, 在干 N<sub>2</sub> 情况, 器件 V-I 特性不变, 平均寿命也最高, 而水气会使正向串联电阻及反向漏电路略有增加, 寿命也略微减小。暴露在空气中及纯 O<sub>2</sub> 下会使谐振腔面氧化, 受此影响的激光器寿命多数在千小时量级。氧化膜一方面会降低腔面的反射率, 使  $I_{th}$  上升, 另一方面, 解理面上吸附的微粒会使氧化膜与 GaAs 交界面处存在界面态 (它是器件的非辐射复合中心), 使器件损耗加大, 导致  $I_{th}$  进一步提高。由于氧化是个慢过程, 其影响逐渐积累, 至千小时量级就造成了器件失效。

在谐振腔端面镀上 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub> 或 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 薄膜可以改善器件寿命<sup>[8]</sup>, 否则器件必须及时安装在具有可靠密封充 N<sub>2</sub> 管壳内。

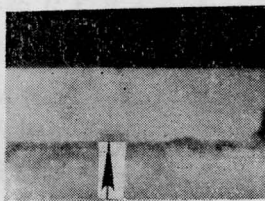


图 2 DH 激光器腔面由于氧化而变色 (箭头所示)

#### 四、万小时级退化原因

应用深能级电容谱 (DLTS), 对 DH 激光器中的深能级进行了测试。器件加反偏 2 伏, 温度扫描范围 90~380 K, 发射率窗  $e_{10} = 50 \text{ 秒}^{-1}$ 。脉冲宽度  $W_p = 10$  微秒, 注入电流  $I_p \sim 10$  毫安, 用宽接触激光器与同一外延片的 H<sup>+</sup> 轰击隔离条形激光器进行比较, 明

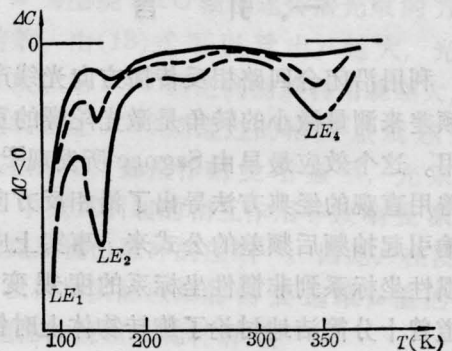


图 3 DH 激光器加速老化过程中 DLTS 多子谱的变化

实线—老化前; 虚线—93-2# 管, 经 80°C 老化 800 小时无明显衰退; 点划线—93-10# 管, 经 80°C 老化 360 小时已严重衰退

(下转第 326 页)



- [8] Y. T. Lee, Y. R. Shen; *Phys. Today*, 1980, **33**, 52~59.
- [9] M. D. Duncan; *J. Chem. Phys.*, 1981, **74**, 2174.
- [10] D. Bassi; *Rev. Sci. Instrument*, 1981, **52**, 8.
- [11] L. Stein *et al.*; *J. Chem. Phys.*, 1980, **72**, No. 2, 1128.
- [12] S. M. Beck; *J. Chem. Phys.*, 1980, **73**, 2019.
- [13] D. H. Levy; *New Scientists*, 1981, **87**, 17.
- [14] Tice, Witting; *Opt. Commun.*, 1978, **27**, 377.
- [15] Rice *et al.*; *J. Chem. Phys.*, 1980, **72**, 2948.
- [16] G. S. Baronov; *Sov. J. Quant. Electr.*, 1980, **11**, No. 7, 947.
- [17] P. M. Johnson; *Appl. Opt.*, 1980, **19**, 3920.
- [18] J. I. Murakami *et al.*; *J. Chem. Phys.*, 1980, **72**, 3263.
- [19] M. D. Duncan, R. L. Byer; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1979, **QE-15**, 63.
- [20] R. L. Byer, M. A. Hennesian; XI International Q. E. Conference, 1980
- [21] M. D. Duncan; *Opt. Lett.*, 1981, **6**, 90.
- [22] R. E. Smally; *J. Chem. Phys.*, 1978, **68**, 2487.
- [23] K. R. Wilson; "Photofragment Spectroscopy of Dissociative Excited States", in Chemistry of the Excited State, J. K. Pitts, Jr., et al. (Gordon Breach, New York, 1973)

(上接第 333 页)

确了  $LE_4$  是由于  $H^+$  轰击引入的深能级电子陷阱, 其能级位置在导带下 0.89 电子伏处。图 3 为 DH93-2\* 及 93-10\* 激光器在  $80^\circ C$  老化过程中测量的 DLTS 的变化。

可以从正向注入条件下,  $H^+$  轰击造成的缺陷会缓慢移动来解释上述行为。老化前  $LE_4$  信号不明显, 这是因为测量 DLTS 多子谱时, 在器件上加了 -2 伏反偏置, 所以探测到的信号代表的是  $p-n$  结  $n$  侧情况, 也即  $N-(AlGa)As$  层内情况。在初始时刻, 由于  $H^+$  轰击只轰击  $P-(GaAl)As$  层, 缺陷只局限于  $P-(GaAl)As$  层内, 在  $N-(GaAl)As$  层内未能探测到由于  $H^+$  轰击造成缺陷的信号。器件经过万小时工作后, 轰击造成的缺陷从原先轰击区的边界向四周移动, 部分缺陷移过了有源区甚至达到了  $N-(GaAl)As$  区。这样 DLTS 就有可能探测到这种缺陷的信号, 并由峰的高度就可粗略估计陷阱的浓度。

另外, 有意在外延时把氢气氛含氧量从 0.2 ppm 逐渐改变至 8 ppm, 测得  $LE_2$  (导带下  $\sim 0.35$  电子伏) 的密度随  $O_2$  的沾污加大而增大, 最后增大到 10 倍, 说明  $LE_2$  是与氧含量紧密相关的能级。图 3 指出, 即使在  $H_2$  气氛中氧含量小于 0.2 ppm, 但在老化过

程中,  $LE_2$  也要不断增大, 甚至造成器件缓慢退化。至于老化过程如何造成此能级密度的增大还有待搞清楚。

## 五、结 束 语

为了得到更长寿命的激光器, 最主要的是必须尽量降低外延时  $H_2$  气氛中氧的含量。另外挑选低位错 GaAs 单晶衬底以及质子轰击隔离一定要离有源层有足够的距离。

对器件腔面进行镀膜保护或者把器件安装在可靠的密封装置里也是不可忽略的。

## 参 考 文 献

- [1] P. Petroff, R. L. Hartman; *J. Appl. Phys.*, 1974, **45**, 3899.
- [2] Takeshi, Kobayashi; *P. IEEE*, 1973, **61**, 1042.
- [3] 王启明, 庄婉如; 《半导体学报》, 1980, **1**, No. 1, 46.
- [4] 石井尚ほか; 《应用物理》, 1977, **46**, 85.
- [5] R. L. Hartman *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1978, **35**, 928.
- [6] 余金中等; 《半导体光电》, 1981, No. 2, 49.
- [7] 余金中, 庄婉如; 《激光》, 1981, **8**, No. 10, 16.
- [8] T. Kajindra *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1979, **35**, 928.