

AlGaAs-GaAs DH 激光器 退化特性及 $P-I$ 特性*

光电研究室**
(中国科学院半导体研究所)

提 要

研究了质子轰击条形双异质结构(DH)激光器的退化特性及 $P-I$ 特性,发现一般快退化器件 CW 工作寿命小于 200 小时。损坏后用 EBIC 方法观察到有源区中增殖着暗线缺陷。

DH 激光器 CW 工作寿命超过 200 小时,而且每千小时的退化率小于 4% 的器件,一般 CW 工作寿命都能超过 5000 小时,有的器件已超过 8000 小时***仍在继续工作。

大部分器件具有良好的线性 $P-I$ 特性,也有的观察到出现扭折“Kink”,结合近场观测和发射光谱的研究,判定这是由于激光器有源区中 Al 含量(即 x 值)的不均匀分布所致。

一、引 言

DH 激光器作为一个有源光学器件,是目前迅速发展大容量光纤通信和集成光学的重要基础。从应用的角度来看,器件必须具有长寿命,以保证得到长时间可靠工作;光功率输出与电流关系曲线(即 $P-I$ 特性曲线)在相当宽的范围内应当具有良好的线性特性,以保证信息无误地传输;同时还要求激光器以单一模式工作,并能加以控制,以提高信息

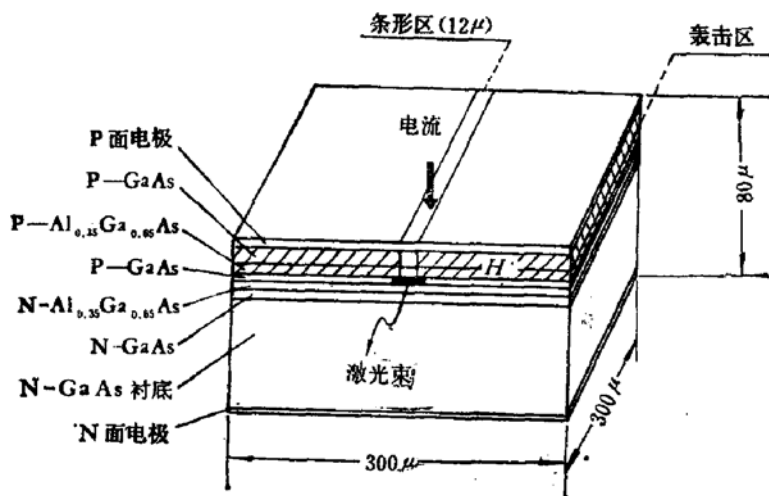


图1 DH 条形激光器芯片

* 1979年9月13日收到。 ** 本文由王启明、庄婉如执笔。

*** 截止1979,12,11,器件工作寿命已达 10^4 小时。

传输容量及充分利用器件的光学功能。

为此,观测研究了我們研制的 DH 激光器的退化特性和 P-I 特性。

DH 激光器是用通常的降温法液相外延工艺: 在 (100) GaAs 衬底上连续生长了五层常规结构^[1], 即: n-GaAs, N-Al_{0.35}Ga_{0.65}As, P-GaAs (有源层), P-Al_{0.35}Ga_{0.65}As, P⁺-GaAs. P⁺ 面经 700°C 浅扩 Zn 后制作欧姆电极^[2]. 采用钨丝网掩蔽, 利用质子轰击在 GaAs, AlGaAs 中产生深能级缺陷中心, 形成高阻条形隔离区^[3]. 条形宽度约为 12 微米, 其结构如图 1 所示。

P 面蒸发 Cr-Au 做电极, n 面电极蒸发 Au-Ge-Ni 并微合金. 然后, 将 P 面键合在镀 In 的无氧铜热沉上; n 面电极则用金箔带引出. 其结构如图 2 所示。

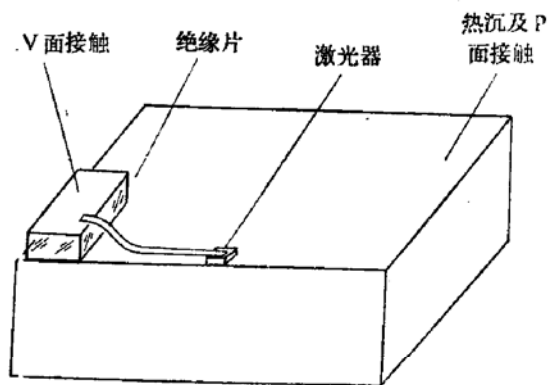


图 2 DH 激光器结构

二、长寿命 DH 激光器退化特性

退化过程 在充氮密封环境中对 DH 激光器进行直流工作寿命考验。在考验期间, 不断调增工作电流, 使器件维持恒定单面光功率输出. 并定时地对器件参数的变化进行观测. 对荧光发射功率小于 0.4 毫瓦的器件, 考验恒定功率为 1 毫瓦, 而对荧光发射功率大于 0.4 毫瓦, 小于 1 毫瓦的器件, 考验恒定功率则维持为 2 毫瓦。

考验结果表明: 退化行为可以分为快、慢二类. 快退化激光器一般工作寿命都小于 200 小时. 这类激光器在考验工作期间阈值电流一直不断显著增加, 直至最终停止激射. 观察了这种损坏后的激光器有源区的电子束感生电流像, 看到了存在一些沿一定晶向分布的暗线缺陷, 其结果如图 3 所示. 快退化激光器估计是由于有源区中存在着原始缺陷, 在工作期间由于大电流工作引起的温升和应力效应导致了这些原始缺陷的迅速增殖. 因此, 可以对激光器先做 200 小时考验, 作为一种实用的器件筛选条件. 大部份工作超过 200 小时的激光器都能够继续工作 2000 小时以上。

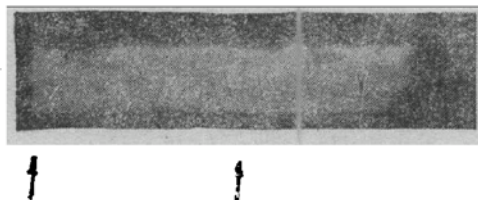


图 3 L031 激光器有源区感生电流像中出现暗线(如箭头所指)

图 4 就是经过 200 小时考验筛选出来的一些器件的慢退化特性, 可以看到在数十小时内的初始阶段, 激光器阈值电流 I_{th} 上升较快, 但随后 I_{th} 上升进入缓慢阶段, 快速老化阶段的行为对各个器件表现不一, 在经历缓慢上升的阶段后当激光器临近损坏时, 器件阈

值电流迅速增大, 如图 4 中 E523 激光器就是在工作 2600 小时开始出现这种趋势, 随后激光器就很快损坏。由此可见, 激光器的阈值出现第二次快速增长, 即意味着激光器的工作寿命即将告终。我们在显微镜下对该器件的端面进行了详细地观察, 看到了镜面有轻度氧化的迹象, 同时发现器件串联电阻也有明显地增加。看来这个器件的损坏是由于密封不够严密, 气氛中的氧气及水汽等对镜面的不断侵蚀, 以及对电极接触的逐渐劣化所引起的。

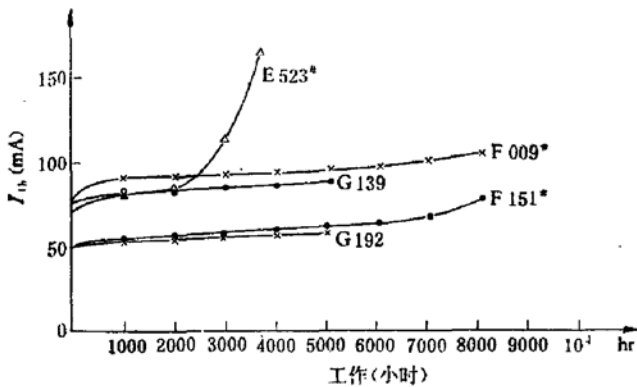


图 4 DH 激光器在考验中阈值的变化

对于慢退化过程, 我们定义每千小时阈电流的相对变化率为退化率, 即退化率 = $\Delta I_{th} / I_{th_0} / 1000$ 小时, 式中 ΔI_{th} 为每隔 1000 小时 I_{th} 的相对增量。

表 1 列出部分激光器进行考验的一些结果。根据统计的规律得出: 当退化率 < 4%, 激光器一般都能工作超过 5000 小时。

表 1 DH 激光器考验结果

管 号	原始阈电流 I_{th_0} (mA)	单面输出功率 P (mw)	退化率 (%/千小时)	工作寿命 (小时)	目前状况
E523	70	1	4.5	~3600	已损坏
F123	50	1	4.3	~1500	已损坏
F009	78	1	3.5	>8000	尚在考验中
F151	52	1	4.0	>8000	尚在考验中
G192	50	1	2.8	>5000	尚在考验中
G166	82	1	3.6	>5000	尚在考验中
H295	75	1	4.1	>5000	尚在考验中
G139	78	2	3.0	>5000	尚在考验中

特性变化

1) P-I 特性变化

图 5 为对 F151# 激光器每过 1000 小时工作后测量的光强-电流关系曲线。由图可

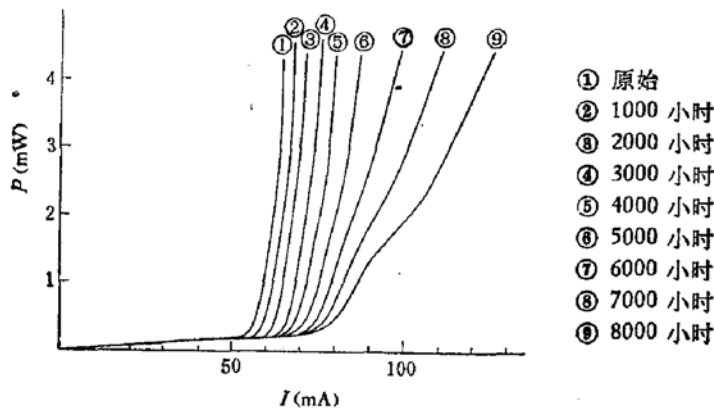


图 5 F151# 激光器光强-电流曲线随考验时间的变化

见, 阈值随工作时间的加长而增长, 而微量子效率 η_D 则基本保持不变, 在考验后期看到了 η_D 有明显的减小. η_D 保持不变说明激光器有源区中没有出现新的内部损耗机构, 而阈值电流的缓慢增加则是由于端面的缓慢氧化过程导致反射系数的减小或者由于电极的缓慢氧化导致平均温升的增高. 上述两者都会导致阈值的缓慢增加. 至于临近损坏的考验后期 η_D 明显变小, 则预示着内部吸收缺陷开始增殖的征兆.

2) $V-I$ 特性的变化

我们观察到在退化过程中 $V-I$ 特性的变化有几种情况, 对于工作寿命仅几百小时的激光器, 即快退化类型激光器, 有一部分正向 $V-I$ 特性不见有明显变化, 如图 6(a).

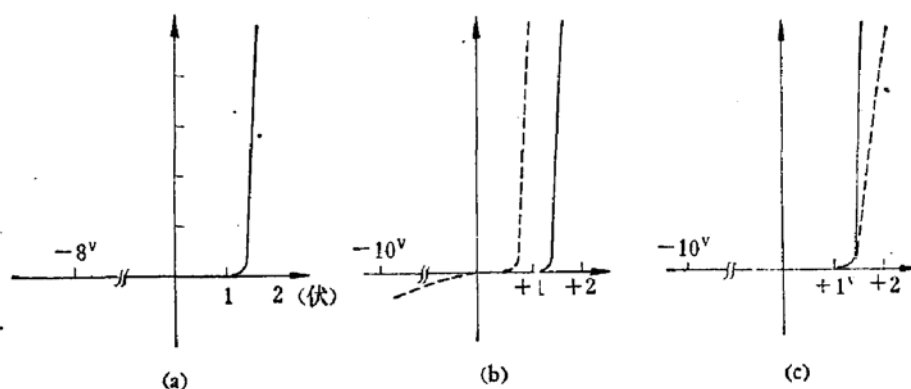


图 6

(a) 退化后 $V-I$ 不变 (b) 退化后 p-n 结局部穿透, $V-I$ 变软 (c) 退化后正向电阻加大

有一部分快退化及慢退化激光器退化后的正反向 $V-I$ 特性都明显变软. 估计这是由于某些增殖的暗线缺陷穿过了 p-n 结界面, 造成了正反向明显漏电的结果, 如图 6(b).

有相当一部分慢退化激光器, 工作超过几千小时之后, 没有看到反向特性有明显变化, 而正向串联电阻则有明显增大, 这是由于长时间工作中, I_n 焊料缓慢氧化以及与电极中金镀层的化学作用使接触电阻加大所造成的, 如图 6(c) 所示.

3) 光谱特性变化

随着工作时间的增长, 激光器的发射光谱峰值大都向短波方向移动, 模式变得复杂, 半宽加大, 也有少数激光器看到向长波移动的趋向.

图 7 为 F009# 激光器经过 8000 小时考验后所测得的光谱移动.

影响发射峰值移动的因素很多, 例如由于器件阈值的增加, 就必须提高注入电平, 即提高了导带电子填充的准费米能级, 这将导致发射峰值向短波移动. 同样内部暗线缺陷的增殖也将使长波边吸收损耗增大, 这也会使发射峰值向短波移动等. 另一方面, 退化了的器件由于串联电阻和热阻的增大导致了平均结温的升高, 由于禁带宽度随温度升高而变小, 因而发射峰值将向长波方向移动. 由此可见, 发射光谱峰值的移动存在着一个互相竞争的过程, 决定这个过程的因素是比较复杂的, 对此尚需进一步研究.

至于发射光谱模式的复杂化, 则是由于器件内部不均匀因素的增加(例如: 缺陷、温度、注入电流等等的分布不均匀)所致, 这似乎是一个普遍的现象.

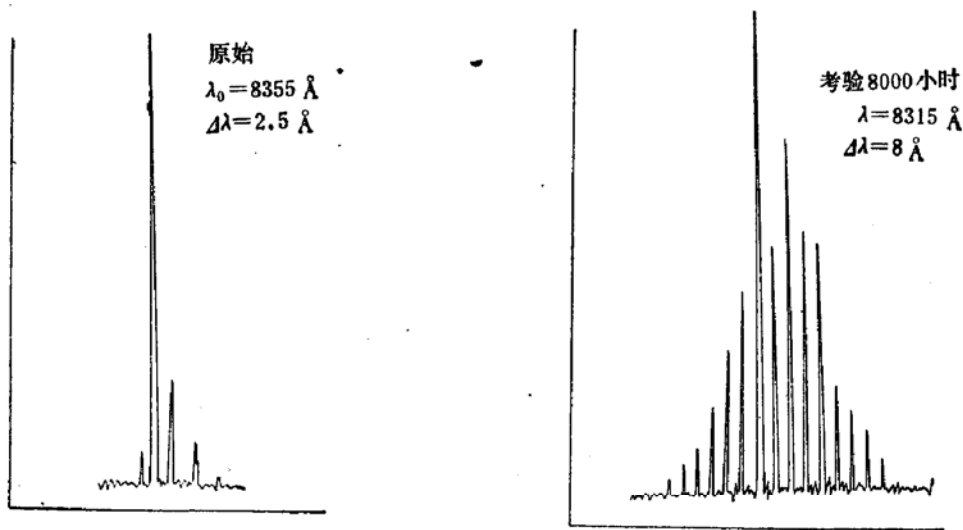


图 7 F009[#] 激光器考验 8000 小时后激光光谱的移动

三、激光器的 $P-I$ 特性与“Kink”

大部分的 DH 激光器都有比较宽的线性工作区, 直至单面输出功率达 15 mw 仍可保持线性关系, 图 8 所示为典型的结果。但是, 我们也发现由某些外延片做出的激光器, $P-I$ 曲线出现明显的非线性, 即出现“Kink”现象, 如图 9 所示。

“Kink”的出现使激光器使用在模拟传输信息方面受到一定限制, 即使在脉冲制式应用时, 也会因为“Kink”附近噪声的引入而使传输信息误码率增加。

“Kink”的产生曾有二类看法, 一类认为这是由于条形区域光场横向漏泄随注入电平的增加而变异的结果^[4]; 另一类则认为这是由于条形区腔内不均匀吸收区(或增益区)在不同注入电平下互相竞争的结果^[5]。

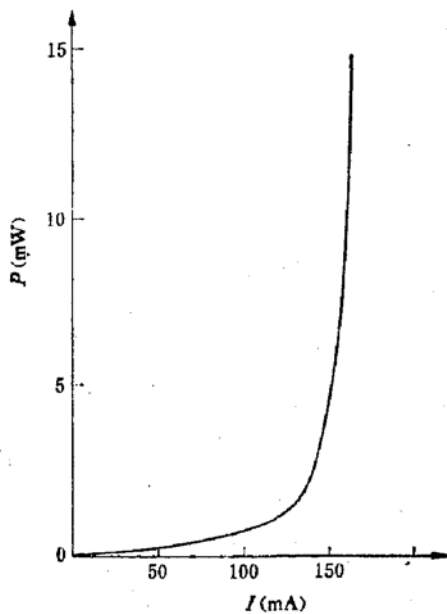


图 8 3505[#] 激光器直流单面光输出与电流关系曲线

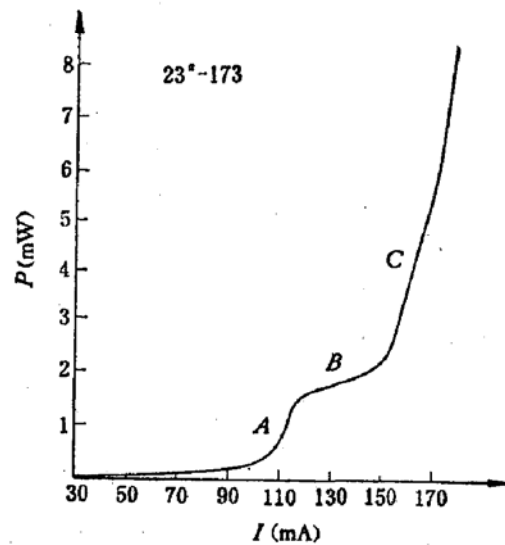


图 9 23*-173[#] 激光器直流光输出与电流关系曲线

为了解我们器件中出现“Kink”的原因,我们测量了不同注入电流下某些 DH 激光器的近场光强分布,发现在我们的有些激光器中近场分布呈现多光丝特征,如图 10、图 11 所示.

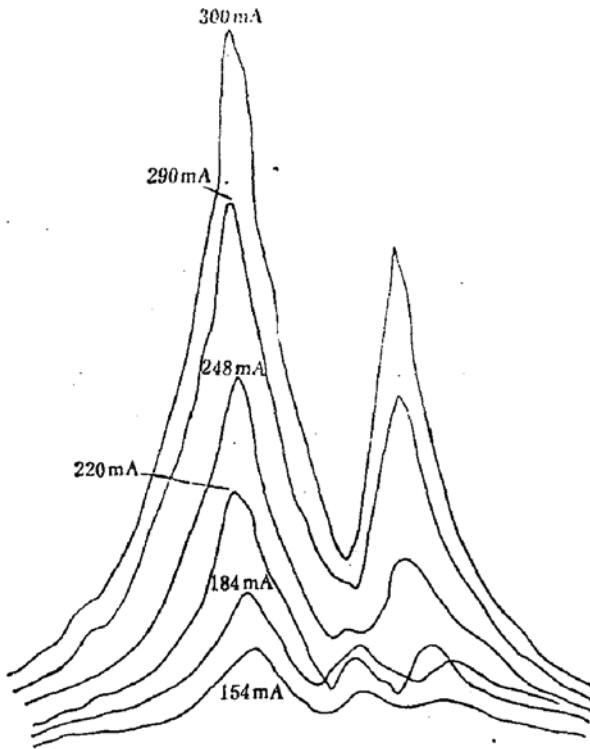


图 10 025-17* DH 激光器发光区近场分布与光丝

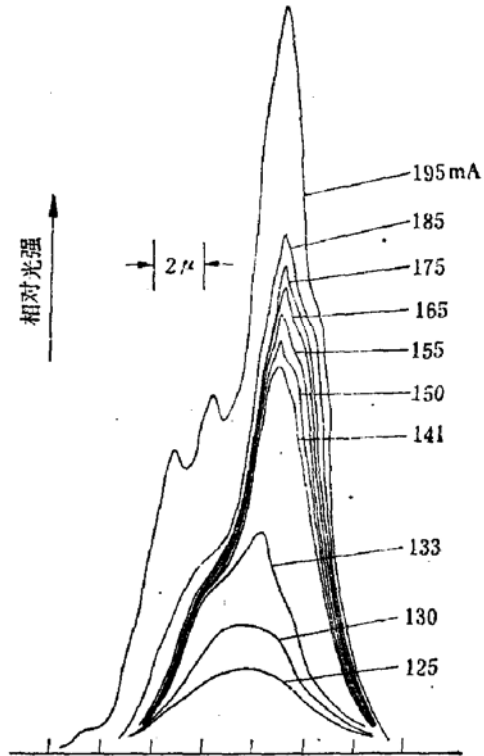


图 11 23-001* DH 激光器发光近场分布与光丝

我们发现“Kink”的出现与多光丝分布有关,但不是唯一的.例如图 10 中为多光丝发射,但在 $P-I$ 特性中却不见有明显的非线性特征,而图 11 中的激光器的近场光丝分布则与“Kink”的出现密切相关,其 $P-I$ 曲线与图 9 相似.

图 11 的特点是:“Kink”的平台区对应于光丝 L_1 的饱和趋向.尔后,随注入电流继续增加则在 L_1 光丝的旁侧继之出现了另一个新生的光丝 L_2 ,与此同时 L_2 光丝的饱和趋向随之失效,因而光丝又开始迅速增长,甚至出现超线性增长.

为进一步了解产生 L_1, L_2 光丝的原因,测量了激光器在不同注入电流下的发射光谱,其结果如图 12(A)、(B)、(C)所示.我们看到:在第一线性 $P-I$ 工作区(相应于只有 L_1 光丝发射)只有一簇发射谱出现,峰值波长位置为 8120 \AA .在 $P-I$ 特性平台区这簇谱线的强度并不随注入电流而增大,而是与此同时观察到在相距原有谱簇 30 \AA 的位置出现了另一峰值波长为 8090 \AA 的新谱簇.当激光器工作在 $P-I$ 特性第二线性工作区时,短波谱簇迅速增强,与此同时原来的谱簇也略有增强.

由此可见, $P-I$ 特性中“Kink”的出现与近场光丝的增殖有关,而不同光丝则有其不同峰值的发射波谱, L_1 光丝的发射峰值在整个电流改变范围内移动很小.由此可以推断输出饱和的出现并非起因于热效应,可能是由于注入电流空间分布变化的结果.饱和失效的机理则可能是由于新生光丝的出现导致了原有光丝 (L_1) 激射阈值的降低.有关机

理的探讨将在以后发表。

从二个光丝的不同发射谱簇判定, L_2 光丝相应于有较高带隙材料中的发射。因而, 多光丝的出现是与激光器中有源区 Al 含量(即 x 值)的不均匀分布有关。期望得到无“Kink”的良好线性 $P-I$ 特性的激光器, 对有源区中 Al 含量分布的控制是很重要的。

为制备条形隔离区所采用的质子轰击工艺是在复旦大学物理二系及中国科学院高能物理所的大力支持协作下进行的, 仅此致谢。

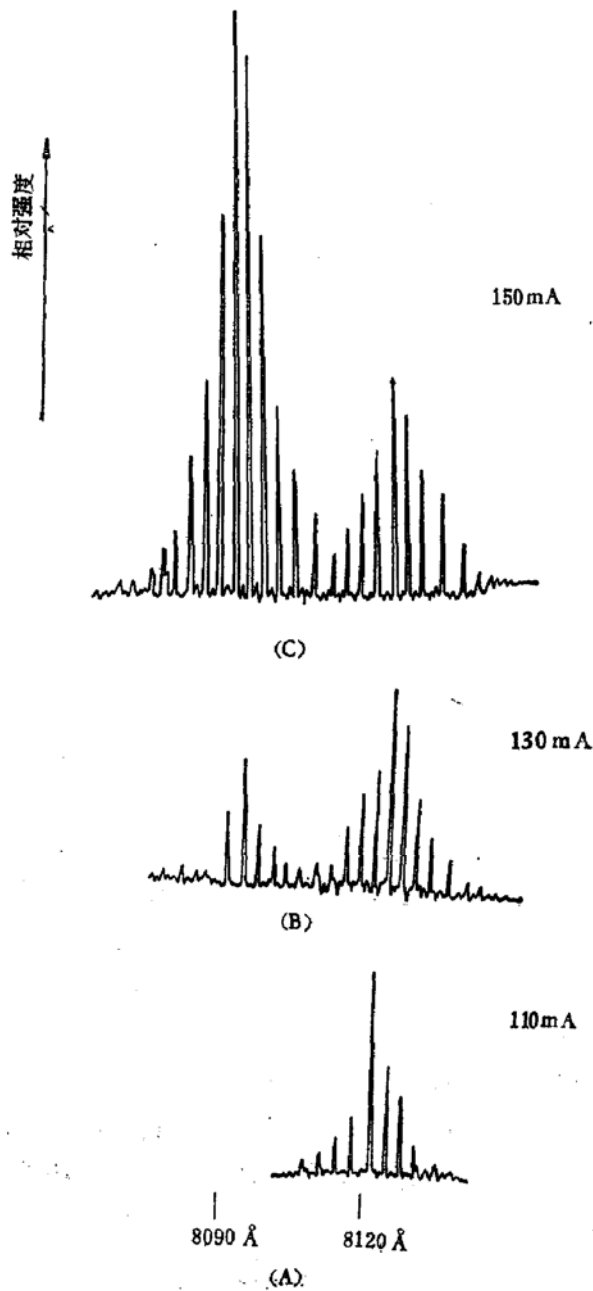


图 12 23-173 \AA DH 激光器在“Kink”附近的激光光谱。(A)、(B)、(C)图分别对应于图 9 中 A、B、C、三处的工作点。

参 考 文 献

- [1] M. Panish et al., *Appl. Phys. Lett.*, **16** (1970), 326.
- [2] P. Petroff et al., *Appl. Phys. Lett.*, **23** (1973), 469.
- [3] B. R. Pruniaux et al., *IEEE Trans.*, **ED-19**, (1972), 5.
- [4] I. Hayashi et al., *IEEE Trans. QE-13*, (1977), 8, 659.
- [5] J. E. Ripper et al., *IEEE Trans. QE-13*, (1977), 8, 687.

DEGRADATION AND THE DEPENDENCE OF LIGHT OUTPUT ON CURRENT OF GaAs-AlGaAs DH LASERS

*Laser and Luminescence Research Division**
(*Institute of Semiconductors Academia Sinica*)

Abstract

The degradation and the dependence of the light output on the current of the GaAs-AlGaAs DH structure lasers with the stripe geometry formed by proton bombardment are investigated. It is found that the lifetime of CW operation of our lasers with fast degradation mechanism is generally less than 200 hrs. The increased dark-line defects in the active-region of the degraded lasers have been observed by means of EBIC method.

It is found that the DH lasers exceeding 200 hrs at CW operation could, generally, operate more than 5000 hrs, some of the lasers have been working for more than 8000 hrs.

It is shown that the $P-I$ characteristics are fairly linear among most of the DH laser. While the kink of $P-I$ characteristics is observed in some samples according to the nearfield observation and the results of measured emission spectrum. It is suggested that the kink is due to the non-uniform distribution of the Al content in the active-region.

* This paper is written by Wang Chi-ming and Zhuang Wan-ru.