

AlGaAs/GaAs 双异质结激光器退化的研究

陈新之 金志良

(中国科学院上海光机所)

提要: 观察了室温下工作的 DH 激光器退化现象, 发现在短时间内退化的器件, 除阈值升高外尚伴随着微量子效率下降。对热稳定性良好, 并对于较长时间 (>250 小时) 阈值上升率 ($\Delta J_{th}/J_{th}$ 千小时) 小于 3% 的器件, 高温老化证明它们的寿命都能超过万小时量级。

On the degradation of AlGaAs/GaAs double-heterostructure lasers

Cheng Xinzhi, Jing Zhiliang

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

Abstract: The degradation phenomena of DH lasers operating at room-temperature have been observed. It is found that some lasers degrade in a short time and their differential quantum efficiencies decrease while the threshold currents increase. It has been demonstrated in aging test at elevated temperature that the life-time can exceed ten thousand hours if the thermal stability of a laser is good and the increase rate of its threshold current ($\Delta J_{th}/J_{th}$ 10^3 hours) within a longer period (over 250 hours) is less than 3%.

一、引言

关于 AlGaAs/GaAs DH 激光器的退化研究是近年来国际上很感兴趣的研究课题, 也已经在退化机理及抗退化对策方面取得很大进展, 致使近年来在可靠性上有很大的突破。现在已报导了一些激光器寿命达到外推寿命 $10^5 \sim 10^6$ 小时量级^[1]。

随着工艺水平的提高, 我们也有部分器件具有较低的退化速率, 千小时阈值退化率 <3%, 室温 25°C, 寿命已达万小时, 目前

尚在正常工作, 高温 55°C 下已达 3000 小时。

二、老化试验

我们研制的 DH 激光器是用通常的液相外延工艺, 在 (100)GaAs 衬底上连续生长四层异质外延材料^[2]。p⁺ 面浅扩 Zn 后制作欧姆电极, 利用质子轰击形成高阻来制作条形隔离区, 条宽 12 微米, p 面蒸 Cr-Au, n 面电极蒸发 Au-Ge-Ni 并合金化, 解理成管芯

收稿日期: 1981 年 4 月 8 日。

后用真空烧焊, 将 p 面直接键合到镀银的银热沉上, n 面电极用金丝引出。外延层组份、掺杂及器件具体结构如图 1。

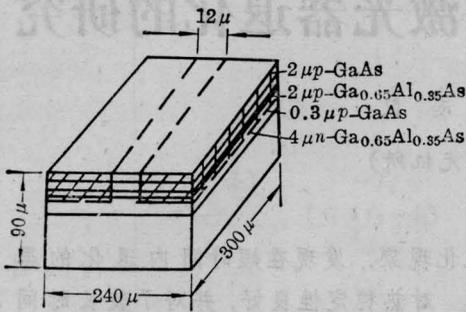


图 1 质子轰击条形激光器结构图

因为 DH 激光器退化率及阈值都与环境温度密切相关, 为可靠地量度退化特性, 我们将激光器与接收器一起放置在保持 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 及 $55^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的恒温箱中。老化过程中保持激光器输出功率在 $1 \sim 2$ 毫瓦内, 根据输出功率的变化随时调整电流, 并定期测量光功率与电流关系 ($L-I$ 特性), 由此确定受激情况及阈值。当增加电流而激光器的输出功率不能大于 1 毫瓦或微分子效率较低时 (光功率随电流的递增无明显突变), 我们规定为寿命终止。

器件密封在充干氮的管壳内。

三、退化现象与讨论

1. 暗线缺陷及腔面破坏所导致的退化

我们主要从 $L-I$ 特性来观察器件的退化, 其中一些器件阈值在老化过程中持续上升并速度较快 (退化率 $> 70\%$ / 千小时), 到数百小时时, 阈值已近原始阈值的 2 倍, 而且这类器件其微分子效率也同时出现降低, 典型的如图 2 及图 3(a) 中所示的 63-211 或 40-139 器件。这类退化称为快速退化。Hartman 等人^[3] 已证实快速退化起因于暗线缺陷的出现与增长, 暗线缺陷是由于原始存在于作用区或界面上的位错, 在大电流密

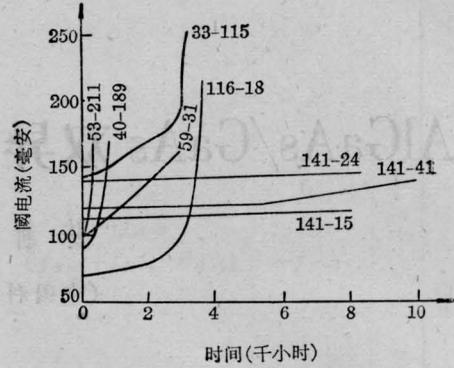
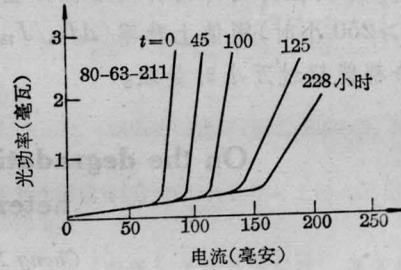
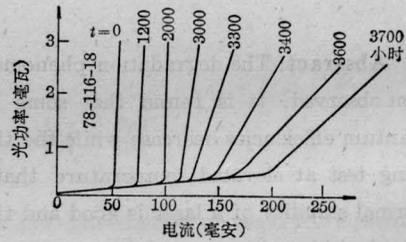


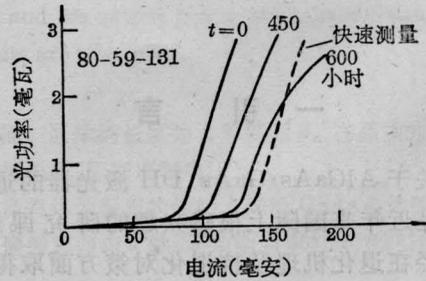
图 2 DH 激光器老化阶段阈值变化



(a)



(b)



(c)

图 3 各类器件老化阶段 $L-I$ 特性变化

度的电注入及光激励下发生运动与增殖发展成为密集的位错网络。我们也通过衬底窗口^[4] 对器件的发光情况进行观察, 看到了在快速退化激光器的条区中存在着大量的暗线

缺陷, 图 4 是用红外显微镜从衬底窗口观察到的电荧光图。可看到暗线都是明确地沿 $\langle 110 \rangle$ 或 $\langle 100 \rangle$ 方向发展的。



图 4 从衬底窗口观察到的电荧光图

另一类退化器件表现为阈值在开始时变化较缓慢, 经过一段时间后上升较快, 但量子效率基本不变。一旦当量子效率出现降低, 其阈值上升速度也就更为加快。这类器件的衬底电荧光图象中可看到暗区集中在靠近腔面两端^[5]。我们认为这是由于长期连续工作后腔面造成损伤。这类腔面损伤是由于环境气氛(管壳中所封入的氮气不纯或管壳密封性差)和高光功率密度的共同作用, 在腔面, 特别在发光区附近发生氧化反应, 进一步导致晶体结构的破坏, 向体内发展造成新的损耗机构^[6], 这时量子效率也出现了降低。由此可见, 尽管在较低的功率水平(1~2 毫瓦)也还是有腔面损伤出现, 而它们只有在超过千小时后才能用普通的光学显微镜观察出来。腔面损伤所致的退化其初期退化率大于 10%/千小时。

从伏安特性测量也可以看到, 当有暗线形成时伏安特性正反向都明显变软, Tokeshi Kobayashi^[7] 观察到在暗点处的局部加热, 而且这些地方击穿电压最低。

2. 器件热稳定性对退化的影响

文献 [9] 报导了阈值温度关系对退化的影响, 为此我们对部分器件在寿命试验前进行了热阻及阈值温度关系测量, 目前我们的器件热阻一般在 30~80 度/瓦范围内, 阈值温度系数 $R = J_m(70^\circ\text{C})/J_m(22^\circ\text{C})$, 在 1.5 左右, 个别也有大到 2 以上的。这两个数据的综合反映器件能否在高温下直流连续受激。比较严重的情况表现为较快测量所得阈值与缓慢测量(热平衡)所得的值有较大的相差, 而且这一过程是可逆的。

室温老化实验中发现一些热稳定性较差的器件, 经过一个阶段的老化, 阈值升高到某一值后即出现功率饱和, 再加大电流功率也不能上升, 反而有所下降。这些器件如稍微停止工作, 作较快的 $L-I$ 特性测量仍可看到器件是受激的, 阈值低而且效率也高, 如图 3(c)。

目前, 虽然还没有对温度系数及热阻对退化的影响作系统实验分析, 但从我们进行老化实验所得的结果可以看到, 当 $R \approx 1.5$; $R_T < 60\text{K/瓦}$, 在高温 70°C 下能连续受激, 而且能在 25°C 下连续工作 250 小时以上, 每千小时退化率 $< 4\%$ 的器件是可能达到万小时量级的寿命的。

四、结 束 语

要提高器件的寿命及长寿命器件的成品率, 必须进一步提高外延片晶体结构的完整性, 改善键合质量, 降低应力与热阻, 改善管壳密封性, 并在管壳内充以纯氮。

从初期室温老化中选取满足 $R < 1.5$, $R_T < 60\text{K/瓦}$, 能在高温 70°C 下受激, 而且能在 250 小时内以 $< 4\%$ 千小时的退化率退化的器件是可望得到大于万小时的寿命的。

致谢: 本文结果是长寿命 GaAlAs DH 激光器的工作之一, 所有样管均由器件组提供。屠玉珍同志还提供了窗口激光器。

附 录

AlGaAs/GaAs DH 激光器高温加速老化, 按 R. W. Dixon^[8] 发表的文章, 均匀退化器件的寿命服从

$$\tau(T) = A \exp(E_A/KT)$$

规律, 式中 E_A 为激活能; T 为结温。我们取 $E_A = 0.7$ 电子伏进行计算, 结果如下:

$$\begin{aligned} \tau(20)/\tau(25) &= 1.7 & \tau(25)/\tau(50) &= 11 \\ \tau(20)/\tau(50) &= 20 & \tau(25)/\tau(55) &= 18 \\ \tau(20)/\tau(55) &= 33 & \tau(25)/\tau(70) &= 67 \\ \tau(20)/\tau(70) &= 122 & \tau(25)/\tau(90) &= 260 \end{aligned}$$

$$\tau(20)/\tau(9) = 446$$

各温度下对应结温为 26°C, 32°C, 63°C, 70°C, 89°C, 112°C。

参 考 文 献

[1] H. Kogelnik;《激光》, 1980, 7, No. 5~6, 107.
 [2] 陈高等;《激光与红外》, 1978, No. 12, 9.
 [3] P. M. Potroff *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1974, 45, 3899.

[4] B. C. Delaach *et al.*; *Proc. IEEE*, 1973, 61, 1042.
 [5] M. Janson *et al.*; *Physica Scripta*, 1978, 18, 387.
 [6] T. Yuasa *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1978, 32, 119.
 [7] Takeshi Kobayashi; *Rev. Electron. Comm. Lab.*, 1976, 21, 199.
 [8] R. L. Hartman *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1975, 26, 239.
 [9] A. R. Goodwin *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1977, 30, 110.

简 讯

全国 He-Ne 激光器产品质量初评揭晓

1981年9月9~11日国家科委召开会议,对全国 He-Ne 激光器产品质量初评结果表示满意,并声称还要进行再评、三评工作,以肯定这项奖励将发给产品质量持续稳步提高的单位。国家科委为了促进 He-Ne 激光器产品质量的提高,以利于激光技术的应用推广,两年前就作出决定:组织全国 He-Ne 激光器产品质量评比。

该项评比工作由国家科委一局、中国科学院技术科学部、教育部科技局、四机部科技局、国家仪器仪表总局、国家计量总局联合组成专门领导小组,责成北京光电技术所、上海光机所、南开大学物理系、四机部标准化所、沈阳仪器仪表工艺所以及计量科学研究院的技术人员组成评比组,并对参加评比的产品品种和条件、抽样方法、评比项目、评分原则、测试方法等均有明确规定。按规定,参加 1980~81 年度全国 He-Ne 激光器产品质量评比的品种为腔长 250 毫米 ± 5 毫米的全腔式输出 TEM₀₀ 模的激光管(包括裸露管或带外壳的)。同时要求参加评比的产品必须是经过国家正式鉴定或由有关部及省、市科委推荐的产品;提供评比产品的单位必须有一定的产量,能供应用户的需要。另外,要求送评比产品的单位提供产品的使用说明和主要技术指标数据。评比还要求允许在不少于 30 支的产品中抽样 4 支(一支备用)受检。

本届评比有 18 个单位参加,共抽查 54 支激光管。测试项目包括:最佳工作电流、工作电压、起辉电压、限流电阻、输出模式、输出功率、功率稳定性、光束(零点)漂移、光束发散度等,以及在高温、低温和潮湿三种环境下的稳定运转试验。此外,还进行了存放寿命 5000 小时后性能检验,连续点燃 5000 小

时的工作寿命试验。

测试工作全部由北京光电技术所承担。他们对于测试仪器、测试条件、测试人员等都做了严格的标定和限制,以尽可能减少仪器误差和主观误差。

测试结果表明:

54 支激光管的模式合格率为 74.1%;

输出 TEM₀₀ 模的 40 支管子的功率合格率为 100%;功率稳定性合格率为 70%;光束(零点)漂移合格率为 95%;环境试验的合格率为 97.5%;存放寿命合格率为 92.9%;工作寿命合格率为 50%;

54 支激光管中各项参数和条件试验全部合格的只有 20 支,合格率为 37%。

根据评分标准计算的结果*如下表所示:

单 位	得 分	名 次
沈阳灯泡厂	108.6	1
武汉光学仪器厂	100.7	2
北京朝阳激光器械厂	100.6	2
国营七七二厂	88.9	3
上海玻璃仪器一厂	88.3	3
成都温度表厂	87.1	3
国营七四〇厂	80~70	4
上海海光光学元件厂		5
天津半导体另件二厂		6
无锡洛社无线元件厂		7
中山大学		8
大连工学院		9

日后,二评、三评活动国家科委决定将发出通知提出具体办法再开展,希望生产 He-Ne 激光器各厂家参加产品质量竞赛。

(纪 钟)

* 60 分以下三家,由于激光管子输出多模而失去被评分资格的有三家。