

一个检测半导体激光器质量的有效方法

石家纬 金恩顺 李红岩 李正庭 郭树旭 高鼎三

(吉林大学电子工程系 集成光电子学国家重点联合实验室吉林大学实验区 长春 130023)

余金中 郭良

(中国科学院半导体研究所 北京 100083)

摘要 对一百支 PBC 结构的 InGaAsP/InP 激光器的检测表明,通过变温的电导数及热阻测试给出的参数及参数随温度的变化可对半导体激光器有效地进行质量评价和可靠性筛选。

EEACC: 4320J

1 引言

半导体激光器已广泛应用于光纤通信、光盘、泵浦等高新技术领域。半导体激光器的质量和可靠性在应用系统中起着关键作用。对半导体激光器的质量和可靠性检测,通常的方法是测量其阈值、量子效率、输出功率等,通过提高温度,加大电流的电老化方法把一定电流下输出光功率变化率或一定输出功率下所加驱动电流变化率大的器件筛选掉,按变化率大小把器件的可靠性分档。这种方法存在的问题是:

(1)所有的器件都要在一定条件(温度、电流)下经历一定时间的老化,要保证一定的生产量,老化系统需要有足够的容量,耗电费时,效率低。如果能有一种办法先把大部分早期退化器件筛掉,只把基本合格的器件进行老化,就可使工作量大大减轻。

(2)通过电老化筛选器件;批量生产的器件质量、参数差异很大。在同样条件下老化,各器件所受影响是不同的,如有的高温下基本不受激,而有的却激射。另外在条件的选取上,如果过高,对合格器件的使用寿命影响较大,如果过低,恐怕不能把早期退化器件筛选掉,保证不了出厂器件的质量。如果有一种办法在电老化之前就对器件质量和可靠性进行了评价,电老化只是器件出厂前的例行工序,可用器件档次不同适当选取条件,对提高器件质量,延长使用寿命是大有好处的。

(3)按老化前后电流或功率变化率来预测器件的使用寿命,往往出现老化后尽管变化率

石家纬 男,1940年生,副教授,从事光电子学研究工作
金恩顺 女,1941年生,副教授,从事半导体发光器件的特性分析和测试方法研究
李红岩 男,1970年生,硕士研究生
1995年3月3日收到本文

小,但器件寿命短的现象,需要寻找一种对每个器件的质量和可靠性进行有效评价的新方法.

我们提出一种对半导体激光器进行质量评价和可靠性筛选的新的有效的方法,这种方法是通过器件的电导数测试参数评价器件质量和其可靠性.本文给出此种方法的依据,实验和结果,并指出这种方法的有利之处.

2 原理

半导体激光器的电导数测试技术可给出如图 1 所示的电导数曲线^[1].这条曲线可给出半导体激光器的一些与器件质量和可靠性有关的重要参数和信息,诸如,阈值 I_{th} , 结的特征参量 m , 阈值处下沉高度 h , 阈值后曲线截距 b 及串、并联线性、非线性电阻路径状况,有无光功率扭曲(kink)等^[2,3,4].

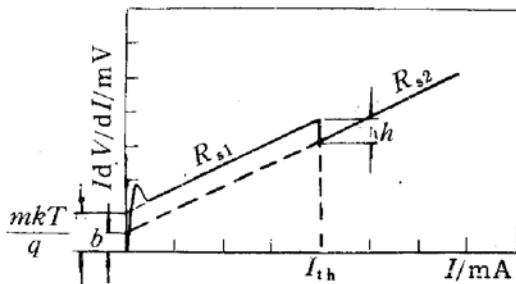


图 1 半导体激光器电导数曲线

m 为结特征参量,是由曲线的截距所得, h 为阈值处曲线下沉高度, b 为阈值后曲线的截距, R_{s1} 为阈值前的曲线斜率, R_{s2} 为阈值后的曲线斜率,

I_{th} 为曲线下沉处对应的电流,即阈值电流.

对 100 支激光器先进行变温电导数和热阻测试,这 100 支器件是来自五个外延片.器件放在恒温箱内,恒温箱的温度是由微机指挥下的单片机系统控制的,加热体温度控制精度 $\pm 0.1^\circ\text{C}$.我们选两个测试温度,分别为 24 和 40°C .在这个两个温度下分别测量其电导数,在计算机屏幕上绘出其电导数曲线并给出相应参数,为了对比和说明问题,同时在计算机屏幕上绘出其 $P-I$ 曲线, $dP/dI-I$ 曲线,即,输出光功率与驱动电流关系曲线和光导数曲线.测量时也分别测得各器件

的热阻值 R_T , 结温是由结的正向电压测得的.测试后的器件进行恒流电老化,老化条件是在 80°C , 150mA , 72 小时.把电导数参数和其对温度的变化与恒流电老化前后对应的 3mW 光输出时的驱动电流的变化率相对比,以验证用电导数参数对器件进行质量评价和可靠性筛选的有效性.在 72h 电老化后又进行了变温电导数测试.测量得到的几个器件的电导数曲线及给出的部分参数分别如图 2、图 3、图 4、图 5 和图 6 所示.

图中曲线 1 为 $I-V$ 曲线, 2 为 $IdV/dI-I$ 曲线, 3 为 $P-I$ 曲线, 4 为 $dp/dI-I$ 曲线, 每条曲线为 2 条, 分别为 24 和 40°C 的曲线, 每个参数有 2 个, 分别为 24 和 40°C 的参数. No: 管号; T : 测试温度; I_{th} : 阈值电流; R_s : 串联电阻; m : 结特征参量; h : 阈值处下沉高度; b : 阈值后曲线的截距; R_T : 热阻.

3 实验结果及分析

选取样管的五批芯片, 批号分别为 C318, C319, C356, 4C19 和 C403. C318, 共 20 支器件, 这批器件的 m 、 h 、 b 和 R_T 值, 除个别器件的偏大外, 基本正常. I_{th} 值稍大. 个别器件的 R_s 值也偏大. C319, 共 40 支器件, m 值稍大, 大都在 3 以上, I_{th} 值也稍大. 有一定数量的器件的 R_s 、 R_T 、 b 值偏大. C356, 共 20 支器件, 大部分器件的 R_s 偏大, h 偏小. 4C19, 共 10 支器件, m 、 b 、 R_T 、 I_{th} 值普遍偏大. C403, 共 10 支器件, m 、 b 、 R_s 、 R_T 普遍偏大, h 偏小. 从上述结果看出, C318, C319 这两批器件的制备工艺基本正常, m 值偏大, I_{th} 偏大, 可能与外延片质量有关, 外延层中的缺陷形成的非辐射复合中心或新月型有源区与限制层位置欠佳或结偏位都可能

造成这个结果. 有的器件 R_s 偏大可能与图形尺寸或压焊质量有关. C356, 大部分器件的 R_s 偏大, h 偏小表明这批器件的帽层电阻率可能偏高. 4C19 10 支器件, R_T 普遍偏大, 表明器件散热不好, 与下接触不好有关. 接触不好一般也会使 R_s 变大, 但这批器件的 R_s 并不明显变大, 可能是与并联路径的存在有关. R_s 反映出来的是等效串联电阻. 这时 I_{th} 和 m 偏大, 这批器件正是这种情况. R_T 普遍偏大, 与蒸镀质量有关. 如果有些局部点导电较好也可使 R_T 大但 R_s 不大. C403, 20 支器件, R_T, R_s 都大, m 也大. 它们的下接触不是很好的欧姆接触.

各批中, 各个器件的情况又有差别, 可通过测试参数及参数随温度的变化对各个器件的质量和可

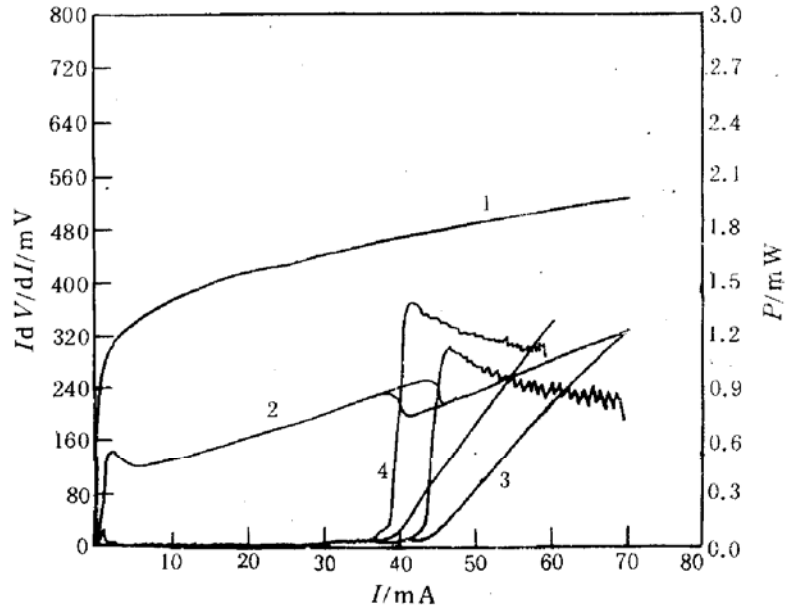


图 2a C318-20 测试曲线及部分参数

10-11-1994, No. C319-6, $T=297(K), T=313(K),$
 $I_{th}=39.2(mA), I_{th}=44.2(mA), R_{S1}=3.83(\Omega), R_{S1}=3.89(\Omega),$
 $R_{S2}=4.46(\Omega), R_{S2}=4.63(\Omega), m=3.3, m=3.1, h=51.6(mV),$
 $h=51.7(mV), b=8.8(mV), b=-0.2.(mV), R_T=32.$

靠性作出评价. 下面, 我们以上节中给出的图 2 到图 6 的 6 支器件的情况加以说明.

图 2(a)和(b)分别给出 C319-6 和 C318-20 器件在 24 和 40℃ 下的电导数曲线和相应的参数, 图中也给出了其 $I-V, I-P, I-dp/dI$ 曲线, 这是 C318, C319 两批中具有代表性的器件, 曲线比较规范, 给出的各参数值基本正常, 应当是较可靠器件. 这两个器件的电老化表明, 其老化后 3mW 电流变化率 $\Delta I_3 < 3\%$, 是具有较长寿命的器件.

图 3 给出的是 C318-19 号器件的测试曲线及相应的参数, 在其电导数曲线上可看出如下问题:

(1) 电导数曲线(40℃时)在阈值以后斜率变大, b 为负值 -23.8, 相应的 $P-I$ 曲线斜度变缓, 功率饱

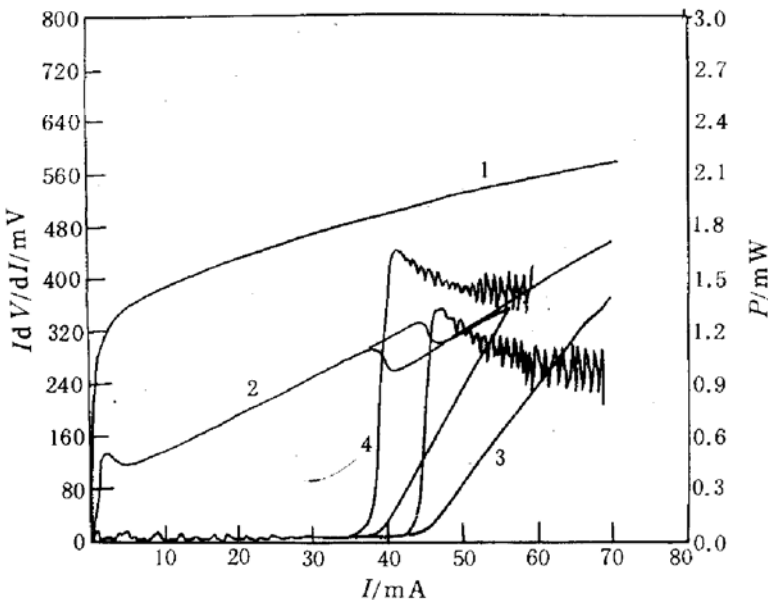


图 2b C319-6 测试曲线及部分参数

10-14-1994, No. C318-20, $T=297(K), T=313(K),$
 $I_{th}=38.6(mA), I_{th}=44.2(mA), R_{S1}=5.75(\Omega), R_{S1}=6.05(\Omega),$
 $R_{S2}=6.19(\Omega), R_{S2}=6.43(\Omega), m=2.85, m=2.46, h=50.8(mV),$
 $h=51.3(mV), b=5.7(mV), b=-1.4(mV), R_T=30.$

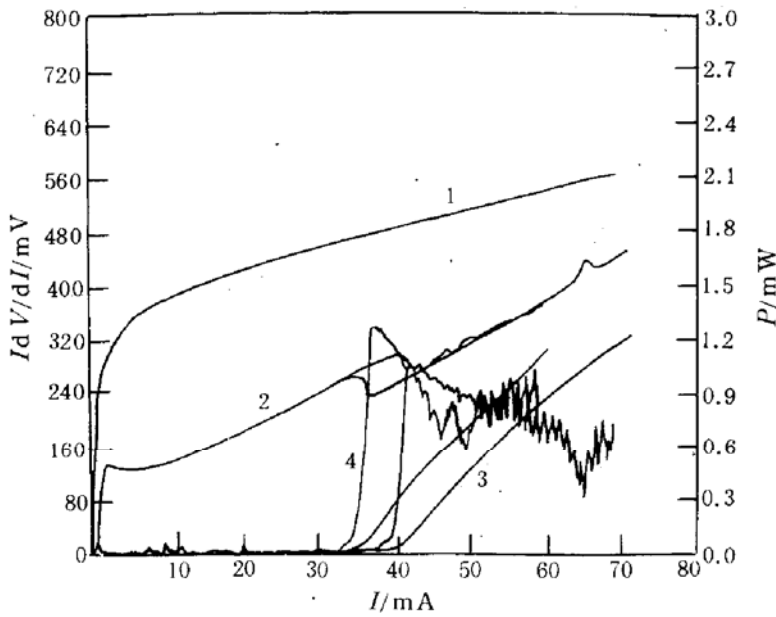


图3 C318-19 测试曲线及部分参数

10-14-1994, No. C318-19, $T=297(K), T=313(K)$,
 $I_{th}=35.8(mA), I_{th}=40.2(mA), R_{S1}=5.35(\Omega), R_{S1}=5.57(\Omega)$,
 $R_{S2}=6.12(\Omega), R_{S2}=6.71(\Omega), m=3.08, m=2.8, h=42.9(mV)$,
 $h=53.8(mV), b=9(mV), b=-23.8(mV), R_T=14$.

图4给出C356-7器件的曲线及有关参数. 电导数曲线和所给出的参数表明, 这支器件的多个参数偏离标准值. R_s 大, 下沉高度 h 小, b 值大, b 值随温度变化率 $\Delta b/\Delta T$ 大(为0.69), 表明这支器件可能是一个不可靠器件. 老化实验给出这支器件的 ΔI_3 为13.9%, 确实是一支不可靠器件.

图5给出4C19-21器件的电导数曲线不好, $R_s, m, b, R_T, \Delta b/\Delta T$ 等多个参数明显偏离正常值, 表明这支器件的外延质量, 下接触都存在问题, 是一支不可靠器件. 老化后给出 ΔI_3 为13.3%, 属快退化器件.

图6给出4C19-24器件的 h 值明显小, b 值明显的大. b 值大与电导数曲线在阈值以后明显斜率变小

有关. 这通常是由于有一个和结相并联的非线性通道的存在有关, 使载流子可漏到限制层中改变限制层电导. b 值大而 $\Delta b/\Delta T$ 也大的器件, 肯定是不可靠性器件. 这支器件老化后的

和明显. 电导数曲线在阈值以后向上弯, 光功率呈现出饱和特性. 这可能与器件有源区内或异质结界面在高温较大电流时非辐射复合作用变强, 有源区内因载流子有积累而形成阻止载流子运输的场, 影响了载流子传输特性和发光效率. 这支器件高低温 b 值变化明显 ($\Delta b/\Delta T=2.05$), 是一支可靠性差的器件. 老化给出其 3mW 电流变化率 ΔI_3 为5%, 证实了这点.

(2)这支器件的电导数曲线在67mA左右有一明显的凸起, 相应的光功率曲线上没有发现明显的扭曲(kink). 这表明电导数曲线上可把光功率曲线中的 kink 反应出来, 尽管这时在光功率曲线上看得不甚明显.

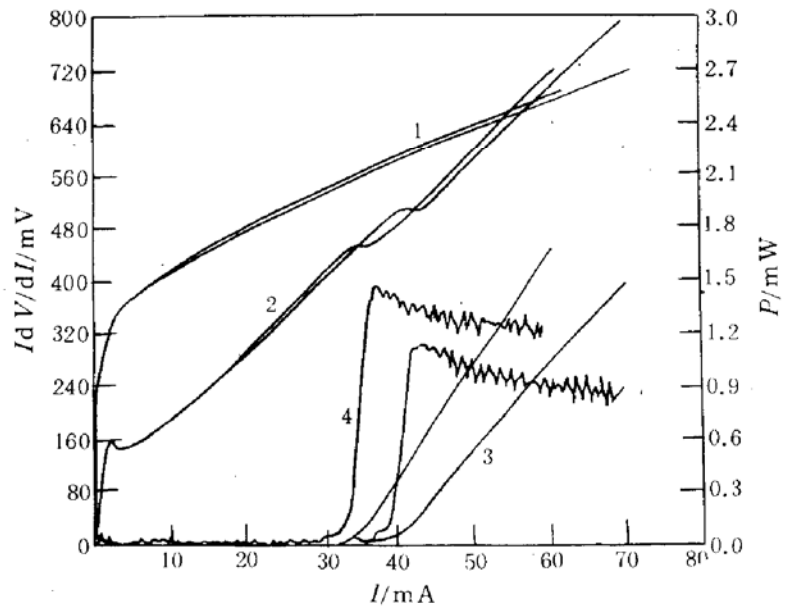


图4 C356-7 测试曲线及部分参数

10-13-1994, No. C356-7, $T=297(K), T=313(K)$,
 $I_{th}=33.8(mA), I_{th}=39.6(mA), R_{S1}=11.27(\Omega), R_{S1}=11.26(\Omega)$,
 $R_{S2}=11.55(\Omega), R_{S2}=11.02(\Omega), m=2.56, m=2.08$,
 $h=36.4(mV), h=34.8(mV), b=20(mV), b=31.1(mV), R_T=30$.

ΔI_3 并不太大,出现了我们予想之外的结果,我们下面再予以说明.

通过一百支器件的测试、分析,我们可给出如下结果:

(1)3mW 输出光功率的驱动电流在老化前后变化率 ΔI_3 大于 3% 的器件,是一种可靠性不好的器件,我们可以通过如下参数进行筛选, $R_s \geq 10\Omega, m \geq 3.5, h < 50\text{mV}, b \geq 10\text{mV}, \Delta b/\Delta T \geq 0.6\text{mV}/^\circ\text{C}$. 通过上述判据,可把这种器件的 80% 筛选出去. 若再通过老化后电导数参数偏离给定值,筛选率可达 90%.

(2) $\Delta I_3 < 1\%$ 的器件,可认为是可靠性器件,这种器件一定满足下述条件:

$m < 3.5, h > 50\text{mV}, b < 10\text{mV}, \Delta b/\Delta T < 0.4\text{mV}/^\circ\text{C}$.

因而,可用上述条件判定一个

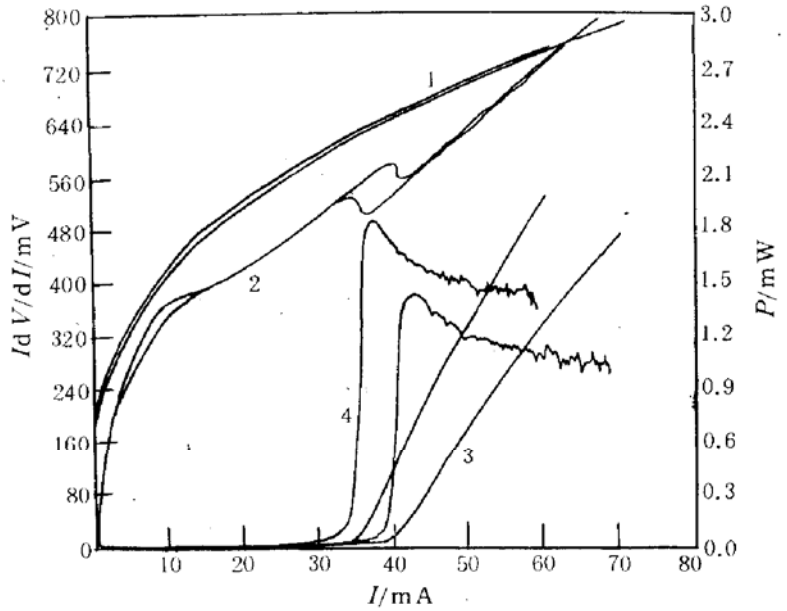


图 5 4C19-21 测试曲线及部分参数

10-12-1994, No. 4C19-21, $T=297(\text{K}), T=313(\text{K}),$
 $I_{th}=34.8(\text{mA}), I_{th}=39.8(\text{mA}), R_{S1}=7.63(\Omega),$
 $R_{S1}=8.5(\Omega), R_{S2}=9.8(\Omega), R_{S2}=9.42(\Omega), m=10.04,$
 $m=8.71, h=54.5(\text{mV}), h=45.9(\text{mV}), b=128.4(\text{mV}),$
 $b=153.6(\text{mV}), R_T=148.$

器件是否是可靠性器件.

(3)电导数曲线及部分参数不正常,而 $\Delta I_3 < 3\%$ 的器件只有一支,即前面图 6 给出的 4C19-24. 这种反常结果中能由下述原因造成的. 这支器件在电老化期间处于短路状态(可能是上老化台时由于管帽转动使其外引线短路),老化期间相当于只有高温存贮而没有加电流,因而其在老化前后变化不大.

(4)器件参数基本正常,但 ΔI_3 较大的有 10 支器件. 或者因某些未知因素造成的(如,静电冲击),或引起器件快退化的因素还没全被所测参数包含,需进一步深化研究.

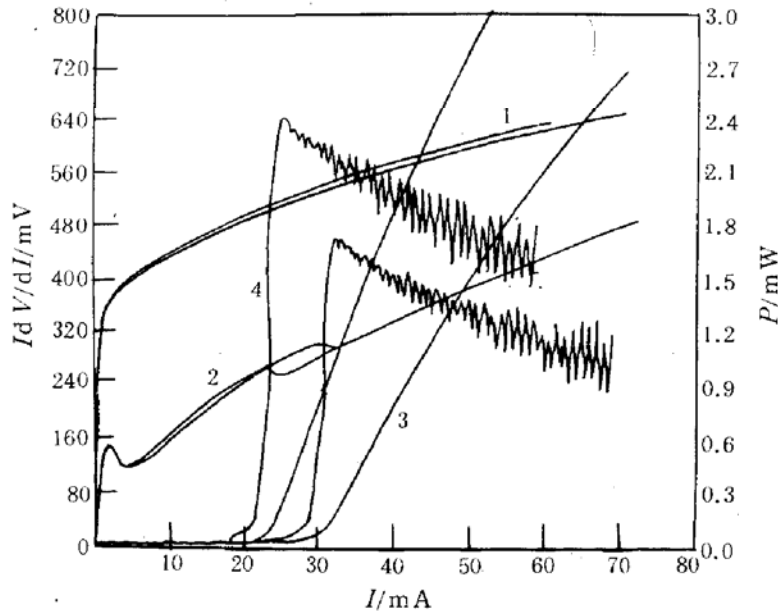


图 6 4C19-24 测试曲线及部分参数

10-12-1994, No. 4C19-24, $T=297(\text{K}), T=313(\text{K}),$
 $I_{th}=22.2(\text{mA}), I_{th}=29.6(\text{mA}), R_{S1}=8.67(\Omega), R_{S1}=7.01(\Omega),$
 $R_{S2}=5.08(\Omega), R_{S2}=4.89(\Omega), m=3.22, m=3.74,$
 $h=37(\text{mV}), h=28.3(\text{mV}), b=125.3(\text{mV}), b=135.9(\text{mV}), R_T=59.$

4 结论

(1) 电导数参数 $m, b, h, \Delta m /$

$\Delta T, \Delta b / \Delta T, \Delta h / \Delta T$ 及热阻 R_T 偏离正常值的器件是质量不好的器件. 通过多参数综合分析可把大部分(80~90%)可靠性不好的器件筛选出来.

(2) 高可靠性器件一定是参数好的器件, 对一百支器件测试分析表明, 对 PBC 结构可靠性器件参数一定满足下述要求:

$$m < 3.5, h > 50 \text{mV}, b < 10 \text{mV}, \Delta b / \Delta T < 0.4 \text{mV}/^\circ\text{C}, R_s < 10 \Omega.$$

(3) 通过电导数及热阻测试, 可对外延片及芯片质量作出评价, 指出器件的材料及工艺中的问题, 为提高器件质量, 改进工艺提供有用信息.

(4) 电导数曲线可反应出与 $I-V$ 特性相关的光输出特性, 如 kink, 光功率饱和等.

(5) 单纯由 ΔI_s 推算寿命有不可靠之处, 电导参数的测试分析可克服其不足.

致谢 实验期间得到中国科学院半导体研究所工程中心的大力支持, 很多同志为我们做了大量工作并进行了有益的讨论, 深表谢意.

参 考 文 献

- [1] 金恩顺, 等, 半导体技术, 1984, No. 1: 24~27.
- [2] 石家纬, 金恩顺, 吉林大学自然科学学报, 1985, No. 2: 60~64.
- [3] Shi Jiawei *et al.*, Optical and Quantum Electronics, 1992, 24: 775~780.
- [4] Shi Jiawei *et al.*, Microelectron Reliab., 1994, 34(76): 1405~1408.

Effective Method of Evaluation of Semiconductor Laser Quality

Shi Jiawei, Jin Enshun, Li Hongyan, Li Zhengting, Guo Shuxu and Gao Dingsan

*(Department of Electronic Engineering, Jilin University, National Joint Laboratory
for Integrated Opto-electronics, Jilin University Region, Changchun 130023)*

Yu Jinzhong and Guo Liang

(Semiconductor Institute, The Chinese Academy of Sciences Beijing 100084)

Received 3 March 1995

Abstract The measurements of one hundred PBC structure InGaAsP/InP Lasers demonstrate that the parameters given by the electronic derivate of varied temperature and thermal resistance and the variation of the parameters with temperature can be used to appraise the quality and reliability of semiconductor laser effectually.