

电导数测试用于大功率半导体 激光器的快速筛选

李红岩 石家纬 金恩顺 齐丽云 李正庭 高鼎三

(吉林大学电子工程系, 集成光电子国家重点实验室吉林大学实验区 长春 130023)

肖建伟 刘宗顺

(中国科学院半导体所集成光电子国家重点实验室科学院半导体所实验区 北京 100084)

提要 对氧化物条型 GaAs/GaAlAs 大功率量子阱激光器的电导数曲线及其参数与器件可靠性之间的相关性进行了讨论, 指出 m , h , b 参数可以评价器件质量和可靠性。实验结果表明电导数测试是大功率半导体激光器快速筛选的新方法。

关键词 半导体激光器, 可靠性, 筛选

1 引 言

大功率半导体激光器在工业、医学、军事、信息技术、科研等高新技术领域的应用越来越引人注目, 成为研究的热点。由于其驱动电流大, 输出光功率大, 因而其寿命较短。输出光功率为瓦量级的器件, 使用寿命一般只有几千小时。目前, 器件的筛选沿用一般半导体器件的筛选办法, 用电老化的方法把老化期间在恒定工作电流下输出光功率变化大的器件或在恒定输出光功率下驱动电流变化大的器件筛选掉。我们研究了这种器件的质量和可靠性与电导数参数之间的内在联系, 提出一种快速、无损、方便、有效地把不合格器件筛选出去的方法。经电导数测试筛选通过的器件再进行电老化, 可以减少参加老化的器件数量, 从而提高老化台利用效率或降低老化台规模。

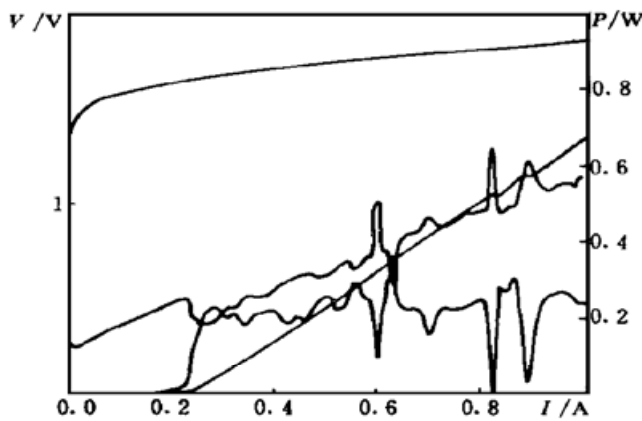
2 器件结构和电导数测试

我们研究的器件是中国科学院半导体所生产的发射波长为 $0.808 \mu\text{m}$ 的氧化物条型结构的 GaAs/GaAlAs 单量子阱激光器, 器件是用 MOCVD 生长的, 结构是在 n^+ -GaAs 衬底上依次生长 $0.5 \mu\text{m}$ 厚 n -GaAs, $1.2 \mu\text{m}$ 厚 n - $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$, $0.1 \mu\text{m}$ 厚 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$, $0.001 \mu\text{m}$ 厚 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{As}$, $0.1 \mu\text{m}$ 厚 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$, $1.3 \mu\text{m}$ 厚 p - $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$, $0.2 \mu\text{m}$ 厚 p^+ -GaAs。条宽为 $800 \mu\text{m}$, 电极条宽为 $100 \mu\text{m}$, 腔长为 1mm , 器件输出光功率为瓦量级, 驱动电流为安培量级。

* 集成光电子国家重点联合实验室中国科学院半导体所实验区和吉林省科委资助项目。

收稿日期: 1997-12-12; 收到修改稿日期: 1998-03-12

大功率量子阱半导体激光器的电导数与小功率器件相同^[1,2],但大功率半导体激光器由于驱动电流大,引起高的结温升,影响结电压的饱和特性使电导数曲线在阈值处的下沉高度变小。这种器件的结面积大,结的完整性和有源区的均匀性等对电导数测试仪器提出更高的要求。为了定量准确测定电导数参数,我们改进了测试系统的结构并采用软件抗干扰技术,提高了测试的精度。测得的曲线如图 1 所示。图中给出 4 条曲线,曲线(1)为电压-电流 ($V-I$) 曲线,曲线(2)为光功率($P-I$)曲线,曲线(3)为光导数($dP/dI-I$)曲线,曲线(4)为电导数($I dV/dI-I$)曲线。图的右侧给出由曲线得到的一些参数。因为光探测器未校准,给出的量子效率和输出光功率的数值只是相对值。主要根据曲线(4)对器件可靠性进行评估,其他 3 条曲线是为了对照分析而引入的。



Parameter	Value
Date	09-04-1996
No.	e4403
I_{\max}	1 A
T	24 °C
I_{th}	205 mA
R_{s1}	0.24 Ω
R_{s2}	0.22 Ω
m	1.9
b	20.5 mV
h	33.8 mV
n_d	42.4%
P_{\max}	824 mW

图 1 GaAs/GaAlAs 大功率量子阱激光器测试曲线及其参数

Fig. 1 Measurement curves and parameters of a GaAs/GaAlAs high power quantum laser

3 大功率 GaAs/GaAlAs 量子阱激光器电导数参数的特性

3.1 结的特性参数 m

二极管电流电压方程 $I = I_0 \{ \exp[qv / (mkT)] - 1 \}$ 中的 m 值,称之为结的特性参量或理想因子,是结特性的重要标志。它与结区的载流子输运特性、结的界面状况、结区内缺陷、杂质等非辐射复合中心以及与结相串并联的分路的存在有关。原则上与小功率半导体激光器影响 m 值的因素的讨论是一致的^[3]。 m 值可以由电导数曲线阈值前部分的延长线在纵轴上的截距 mkT/q (其中 k 为玻尔兹曼常数, T 为绝对温度, q 为电子电量) 得到。串联非线性接触、结区漏电、载流子泄漏、界面不好、结区非辐射复合中心的存在等都使 m 值变大。我们测量过 InGaAsP/InP 体材料 V 沟、双沟、脊波导结构及量子阱材料小功率激光器的 m 值,也测过 GaAs/GaAlAs 体材料小功率激光器的 m 值,它们的 m 值大多在 2.5~3 之间。对大功率 GaAs/GaAlAs 激光器 50 多支器件测量,其中特性正常的器件 m 值在 1.8~2.5 之间。如图 1 给出的器件的 m 值为 1.9,比我们测量过的小功率器件的 m 值明显小。其原因是由于驱动电流大,结温明显高于小功率器件。结特性参量 m 作为大功率器件可靠性的判据,取值范围要不同于小功率器件。

3.2 下沉高度 h 值

半导体激光器在注入电流达到阈值以后,由于载流子的高速率复合使准费米能级固定,结电压为常数,因而在电导数曲线的阈值处有一下沉,下沉高度定义为 h 。 h 值大小是器件结电压饱和特性好坏的标志。结区漏电、电流扩展、有源区不均匀等因素都会使 h 值变小。这个问题

在文献[1]中已进行了讨论。对小功率 InGaAsP/InP V 沟或双沟激光器, 室温下 h 的正常取值是 50 mV 以上。而大功率 GaAs/GaAlAs 量子阱激光器的 h 值大多在 35 mV 以下, 这个数值上的差异主要与器件结构、尺寸与大电流下的工作状态有关, 与材料无关。大面积的有源区的不均匀性不易使电压饱和效应在同时发生; 器件尺寸大漏电问题及量子阱器件热载流子泄漏等都要使 h 值变小, 而大电流工作使结温升高又使漏电和载流子泄漏的影响加大。因此, 这种器件的 h 值作为器件可靠性判据参数的取值要明显小。考虑载流子泄漏及双极输运^[4], h 值可写为

$$h = (\beta + 1) \gamma \delta R^3 I_{th}^2 - mkT/q$$

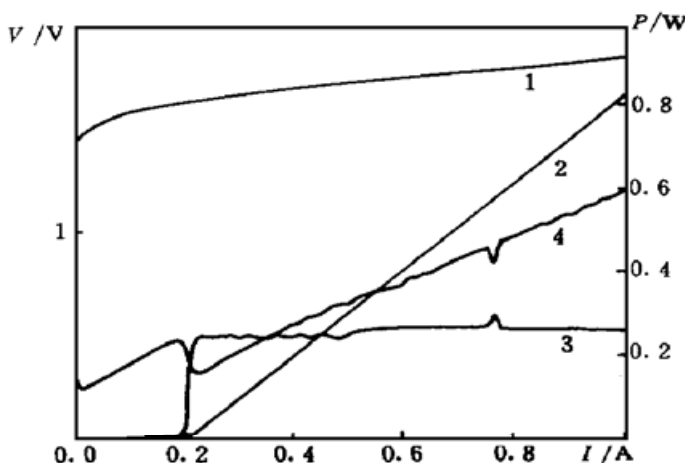
与小功率器件相比, 这种器件 m 值小, I_{th} 大, 因而 h 绝对值偏小。例如图 1 给出的典型器件, h 绝对值为 33.8 mV, 远小于小功率器件的 50 mV。

3.3 b 值

b 值是阈值后电导数曲线延长线在纵轴上的截距。理想情况下, b 值应接近零, 但实际情况比较复杂^[2], 阈值以上电导数曲线斜率可能与阈值前不同, 而且曲线还可能弯曲。常见情况是阈值以后曲线下弯, 使 b 值变大, 这是由于存在一个与 $p-n$ 结相并联的非线性电阻路径。使 h 值减小, m 值变大的因素都可能使 b 值变大, 但大功率 GaAs/GaAlAs 激光器的 h 值变小显著, 因此, b 值变大明显。图 1 给出典型器件的 b 值为 20.5 mV。

4 电导数曲线、参数和器件可靠性的相关性

我们对中国科学院半导体所工程中心生产的 52 支氧化物条型 GaAs/GaAlAs 大功率单量子阱激光器进行了电导数测试和恒流电老化(老化条件是 50 °C, 1 A, 48 h)。老化后阈值电流相对变化率作为器件质量和可靠性评价标准, 我们确定 $\Delta I_{th}/I_{th} > 15\%$ 为不合格器件。共有 24 只不合格器件, 其中 18 只符合 $m > 2.8$, $b > 50$ mV, $h < 20$ mV, 占不合格器件的 75%。而合格的 28 只器件都符合 $m < 2.8$, $b < 50$ mV, $h > 20$ mV。因此通过这 52 只器件的测试和老化可以初步确定对 GaAs/GaAlAs 大功率单量子阱激光器, $m > 2.8$, $b > 50$ mV, $h < 20$ mV 的器件一定是不合格器件, 而合格器件是满足 $m < 2.8$, $b < 50$ mV, $h > 20$ mV 的。这与小功率器件有相同的规律性^[5]。



Parameter	Value
Date	09-04-1996
No.	e4307
I_{max}	1 A
T	24 °C
I_{th}	237 mA
R_{s1}	0.23 Ω
R_{s2}	0.22 Ω
m	2
b	17.5 mV
h	34.8 mV
n_d	39.3%
P_{max}	675 mW

图 2 4307 器件的测试曲线及其参数

Fig. 2 Measurement curves and parameters of the 4307 device

大功率 GaAs/GaAlAs 量子阱激光器的电导数曲线上一个很重要的特点是在驱动电流超过

一定数值后, 曲线上出现尖峰, 有时是多个, 在光导数曲线上存在与之对应很好的尖峰, 如图 2 所示。

老化结果表明电导数曲线上的峰和光导数上峰的对应情况与器件的可靠性有关, 具有同相峰的器件往往是快退化器件。老化后的器件峰增多。峰多的器件也是退化快的器件。

致谢 器件测试工作是在中国科学院半导体所工程中心进行的, 感谢在此期间有关领导和课题组同志的大力支持。

参 考 文 献

- 1 Shi Jiawei, Jin Enshun, Gao Dingsan. The junction voltage saturation and reliability of semiconductor laser. *Optical and Quantum Electron.*, 1992, **24**(7): 775~ 781
- 2 Shi Jiawei, Jin Enshun, Ma Jing *et al.*. b and its temperature dependence are the important criteria of the reliability of semiconductor lasers. *Microelectron Reliab.*, 1994, **34**(7): 1405~ 1408
- 3 Shi Jiawei, Jin Enshun, Li Hongyan *et al.*. The characteristic junction parameter of a semiconductor laser and its relation with reliability. *Optical and Quantum Electron.*, 1996, **28**(6): 647~ 651
- 4 P. J. Anthony, N. E. Schumaker. Ambipolar transport in double heterostructure injection lasers. *IEEE Electron Device Lett.*, 1980, **EDL-1**(4): 58~ 59
- 5 Shi Jiawei, Jin Enshun, Li Hongyan *et al.*. Effective method of evaluation of semiconductor laser quality. *Chinese J. Semiconductors* (半导体学报), 1996, **17**(8): 595~ 600 (in Chinese)

An Application of the Electrical Derivative Measurement in Rapid Screening of High-power Semiconductor Lasers

Li Hongyan Shi Jiawei Jin Enshun Qi Liyun Li Zhengting Gao Dingsan
(Department of Electronic Engineering, Jilin University, National Joint Laboratory for Integrated Opto-Electronics, Jilin University Region, Changchun 130023)

Xiao Jianwei Liu Zhongshun

(Semiconductor Institute, The Chinese Academy of Sciences, National Joint Laboratory for Integrated Opto-electronics, Semiconductor Institute of The Chinese Academy of Sciences Region, Beijing 100084)

Abstract In this paper, the relationships between the device reliability and the electrical derivative curves and the electrical derivative parameters of oxide stripe structure GaAs/GaAlAs high power quantum well semiconductor lasers are discussed. Then it is pointed out that the quality and the reliability of the devices can be evaluated by electrical derivative parameters (m , h , b). In short, the electrical derivative measurement can be applied to screen high-power semiconductor lasers rapidly.

Key words semiconductor laser, reliability, screen