

文章编号: 0253-2239(2010)05-1385-05

半导体激光器阵列电-光特性导数测量方法

梁庆成 石家纬 郭树旭 刘奎学 宋俊峰 曹军胜

(吉林大学电子科学与工程学院集成光电子学国家重点联合实验室吉林大学实验区, 吉林 长春 130012)

摘要 高功率阵列半导体激光器已得到广泛应用,对其质量和可靠性进行无损检测很有必要。在导数测试技术中,参数 h 是电导数曲线阈值处的下沉高度,参数 Q 是二阶光导数曲线阈值处的峰的高宽比。对导数测试参数 h, Q 与阵列激光器的单元器件的质量和均匀性进行了研究。基于其等效电路在一定条件下,计算了阵列激光器的均匀性对 h 的影响。并对实际阵列器件进行了导数测试。理论和实验结果对比表明, h, Q 等参数是组成阵列的各管芯的均匀性的灵敏参数。

关键词 激光器;阵列半导体激光器;可靠性检测;导数技术

中图分类号 TN248.4 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS20103005.1385

Optic and Electric Derivative Measurement of High Power Laser Diode Arrays

Liang Qingcheng Shi Jiawei Guo Shuxu Liu Kuixue Song Junfeng Cao Junsheng

(State Key Laboratory on Integrated Optoelectronics, College of Electronic Science and Engineering, Jilin University, Changchun, Jilin 130012, China)

Abstract High power laser diode arrays (LDA) have been used widely. A nondestructive and effective method is desired to evaluate the quality of LDA. The parameter h is the sinkage at the threshold in the electric derivative curve, and the parameter Q is the ratio of the height to the width of the peak sharp in the second optical derivative curve at the threshold in the presented derivative technique. The dependence of the value of h and Q on the uniformity and quality of the laser diode bars is analyzed. By using the equations derived from the equivalent circuits of the bars, the influence of the bar uniformity on the behavior of the value of h is investigated in theory under certain conditions. Compared the compute results with the experiment results, for the same kind devices, it shows that h and Q are both sensitive parameter about the cell uniformity.

Key words lasers; laser diode array; measure reliability; derivative technology

1 引言

阵列半导体激光器已广泛应用于抽运、测距、通讯和切割等,在军工、医疗和科研等高新技术领域有着日益重要的作用^[1~6]。对阵列半导体激光器的可靠性进行检测和筛选有着重要意义。阵列半导体激光器的驱动电流大、造价高,对筛选系统有更高的要求。用常规的电老化的方法进行质量评价和筛选耗

电、费时,且会影响使用寿命,如果受到冲击损失会很大。建立一种有效、方便、无损和快速的检测筛选方法很有必要。阵列半导体激光器是由多管芯的条形半导体激光器组成,组成条形半导体激光器的各个管芯的均匀性是可靠性的关键^[7,8]。在半导体激光器(LD)等效电路模型基础上,对管芯均匀性不同的条形半导体激光器进行了计算。给出了阵列半导

收稿日期: 2009-08-14; 收到修改稿日期: 2009-10-09

基金项目: 国家自然科学基金(60471009)和吉林省重大项目(200403001-4)资助课题。

作者简介: 梁庆成(1976—),男,博士研究生,主要从事半导体激光器的可靠性方面的研究。

E-mail: liangqc2@yahoo.com.cn

导师简介: 石家纬(1940—),男,教授、博士生导师,主要从事半导体光电子器件方面的研究。E-mail: shijw@jlu.edu.cn (通信联系人)

体激光器的主要参数与组成它的各管芯均匀性的关系。

2 半导体激光器的电导数

半导体激光器为了满足激射条件和提高性能的要求,要满足三个限制。即载流子限制、电流限制和光限制。等效电路图如图 1 所示。其中线性电阻 R_1, R_2, R_3 分别代表激光器支路、并联非线性泄漏支路和并联线性泄漏支路中的线性电阻。结特征参量为 m_1 和 m_2 的理想二极管分别代表激光器和泄漏支路的非线性。稳压二极管 D_z 代表当注入电流大于管芯阈值电流时发生结电压饱和^[9]。

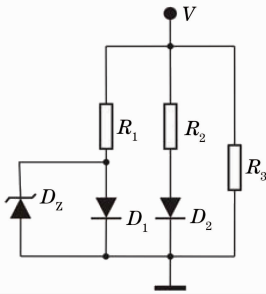


图 1 半导体激光器的等效电路图
Fig. 1 Equivalent circuit of a LD

电导数测试给出一支典型器件 No. 78 的标准曲线,如图 2 所示。在电导数曲线 ($I dV/dI$) 的阈值

I_{th} 处出现下沉,是由结电压饱和和引起的,下沉的大小记为 h ; b 值是阈值后电导数曲线纵轴截距; Q 是二阶光导数曲线阈值处的峰的高宽比;等效串联电阻 R_s 是由电导数曲线的接近线性部分的斜率得到的,包括阈值前的 R_{s1} 和阈值后的 R_{s2} ; F 为初始峰。根据对中小功率半导体激光器讨论^[9,10]。实际上影响 h 的因素很多^[11~14],这里不做赘述。

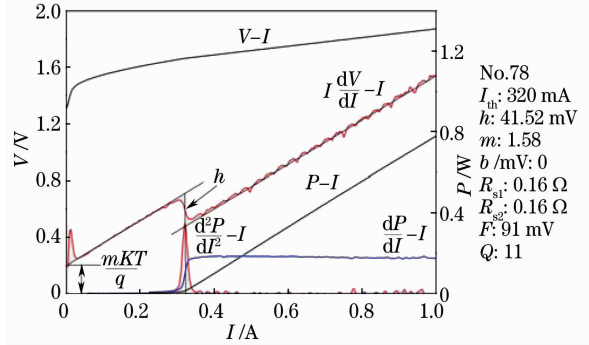


图 2 半导体激光器的典型测试曲线
Fig. 2 Typical electric derivative measurement curves of the LD

对阵列器件可给出如图 3 所示的等效电路。理想状态下,阵列的管芯完全一致,可得出整个阵列的下沉 h 与其管芯的下沉 h 相等。但对实际器件来说,各管芯往往存在一定差异,这时就要考虑各管芯参数的离散性对阵列结电压饱和特性的影响。

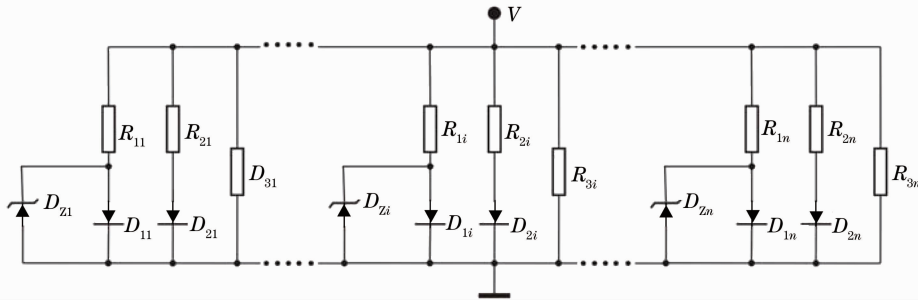


图 3 阵列器件的等效电路
Fig. 3 Equivalent circuit of a bar

条形阵列激光器可看做是多个单管的并联,假设 $V_{th1} < V_{th2} < \dots < V_{thn}$,其电压电流方程为

$$\frac{dV}{dI} = \left\{ \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{m_{1i}kT}{qI_{1i}} + R_{1i} \right)^{-1} + \left(\frac{m_{2i}kT}{qI_{2i}} + R_{2i} \right)^{-1} + (R_{3i})^{-1} \right] \right\}^{-1}, \quad (V < V_{th1}), \tag{1}$$

$$\frac{dV}{dI} = \left\{ \sum_{i=1}^n \left[R_{1i}^{-1} + \left(\frac{m_{2i}kT}{qI_{2i}} + R_{2i} \right)^{-1} + (R_{3i})^{-1} \right] \right\}^{-1}, \quad (V \geq V_{thn}), \tag{2}$$

$$\frac{dV}{dI} = \left\{ \sum_{i=1}^t \left[R_{1i}^{-1} + \left(\frac{m_{2i}kT}{qI_{2i}} + R_{2i} \right)^{-1} + (R_{3i})^{-1} \right] + \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{m_{1i}kT}{qI_{1i}} + R_{1i} \right)^{-1} + \left(\frac{m_{2i}kT}{qI_{2i}} + R_{2i} \right)^{-1} + (R_{3i})^{-1} \right] \right\}^{-1}, \quad [V_{tht} \leq V \leq V_{th(t+1)} (1 < t < n)]. \tag{3}$$

3 阵列激光器的电导数计算

$R_2 = 10 \Omega, R_3 = 100 \Omega$, 其它的参数值如表 1 所示。

计算的含 10 管芯的阵列取 $I_{s2} = 10^{-9} \text{ A}, m_2 = 2$,

表 1 计算的 10 管芯阵列的不同参数值

Table 1 Information for the bars of 10 units

	$I_{s1}/10^{-9} \text{ A}$	m_1	R_1/Ω	V_{jth}/V	Uniformity	I_{th}	h/mV
No. 1	1.00	2	1	1	all the same	2.9	48.4
No. 2	1.00	2	0.8	1	all the same	2.9	51.0
No. 3	1.00	2	1.3	1	all the same	3.0	47.1
No. 4	1.4	2	1	1	one different	2.9	44.3
No. 5	1.00	1.92	1	1	one different	2.9	44.4
No. 6	1.00	2	0.8	1	one different	3.0	41.9
No. 7	1.00	2	1	0.9969	one different	2.9	42.6
No. 8	0.5~1.4	2	1	1	all different	1.8	18.7
No. 9	1.00	1.92~2.10	1	1	all different	1.6	14.1
No. 10	1.00	2	0.8~1.3	1	all different	2.4	7.5
No. 11	1.00	2	1	0.9985~1.0018	all different	2.8	31.1

为了更好地看出阵列均匀性对电导数曲线的影响, 将其它阵列分别与均匀阵列 No. 1 进行对比。图 4(a) 中计算的 No. 1~3 为 3 个仅 R_1 不同的均匀阵列, 条形激光器 No. 4~7 分别含有一个某项参数

不同的管芯, 其电导数和伏安曲线与 No. 1 的比较图分别见图 4(b)~(e)。图 5(a)~(d) 为某项参数各不相同的管芯组成的条形激光器 No. 8~11 的电导数和伏安曲线分别与 No. 1 的比较。

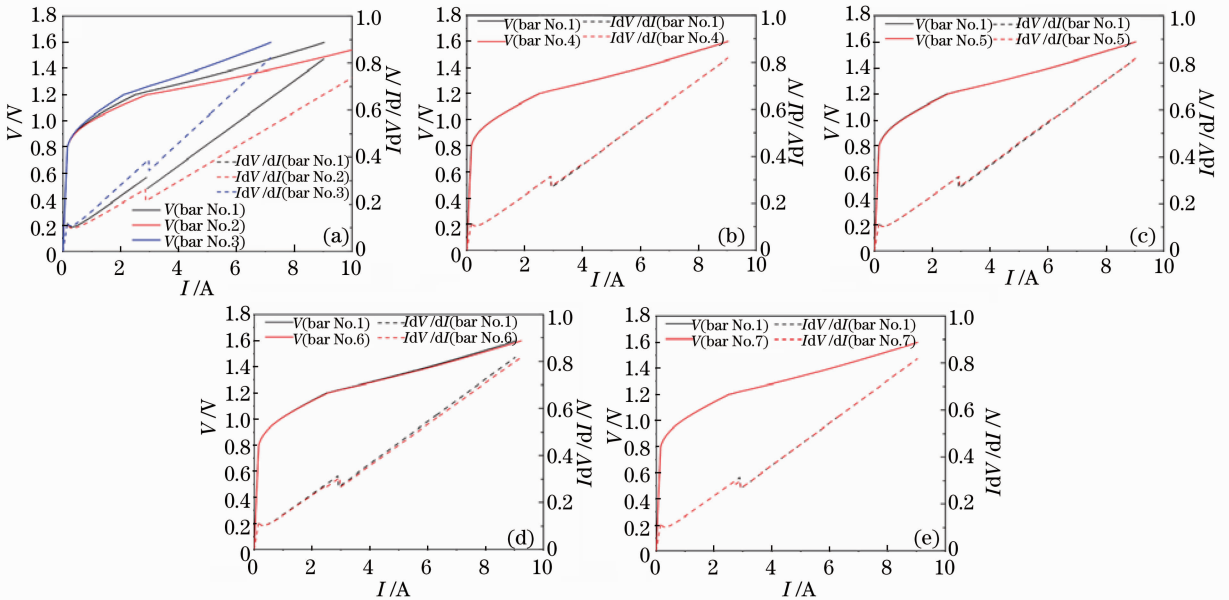


图 4 条形激光器 No. 1~7 的电导数模拟曲线

Fig. 4 Simulation curves of the electric derivative for (a) No. 1~3, (b) No. 1 and 4, (c) No. 1 and 5, (d) No. 1 and 6, and (e) No. 1 and 7

从表 1 和图 4~6 中可看出, 条形半导体激光器阵列的电导数参数与其各管芯的均匀性密切相关, 当各管芯完全一致时, 其 I_{th} 等于所含各管芯的阈值的和, h 均等于其单个管芯参数值。从 No. 1~3 可以看出, 同样是由均匀管芯构成阵列时, h 值随串联等效电阻值变大而变小, I_{th} 随等效电阻值增大而增大, 即欧姆接触不好的结电压饱和特性也相对变得

不明显。从 No. 4~7 可看出, 当某一个管芯参数不同与其它管芯但差异较小时, 其 I_{th} 也仍接近各管芯的阈值的和, 但 h 值变小, 由 48.4 mV 分别降为 44.3, 44.4, 41.9 和 42.6 mV。No. 8~11 为均匀性最差的四种情况, 其 h 值均明显变小, 由 48.4 mV 分别降为 18.7, 14.1, 7.5 和 31.1 mV, 性能明显变差。

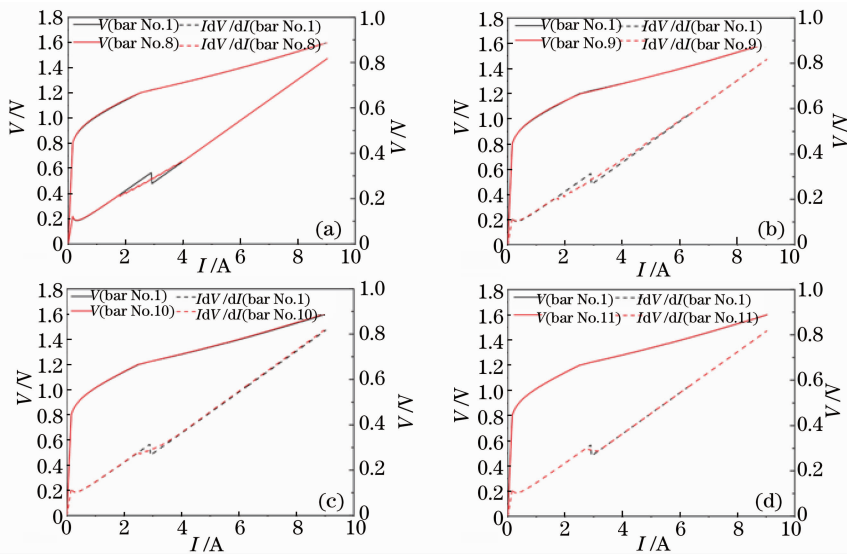


图 5 条形激光器 No. 8~11 的电导数模拟曲线

Fig. 5 Simulation curves of the electric derivative for (a) No. 1 and 8, (b) No. 1 and 9, (c) No. 1 and 10, and (d) No. 1 and 11

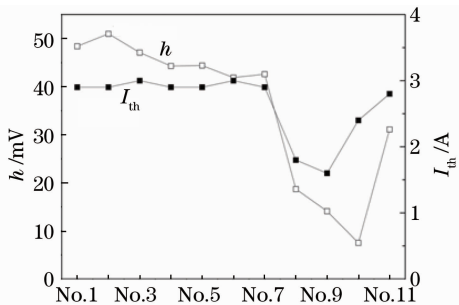


图 6 各均匀性不同的条形激光器的 h 值与 I_{th} 值

Fig. 6 Results of h and I_{th} for different bars (from No. 1 to No. 11)

4 阵列半导体激光器的导数测试

阵列半导体激光器的导数测试系统采用虚拟仪器技术。系统由微机, 16 bit 精度的 NI 数据采集卡 PCI-6014, 程控 SM35-45 电源以及光电转换模块等组成。数据采集卡 PCI-6014 该系统通过对半导体激光器 $V-I, P-I, IdV/dI, dP/dI, d^2P/dI^2-I$ 等曲线的测试, 给出与质量相关的参数 $I_{th}, m, h, b, R_{s1}, R_{s2}, F, Q$ 等。系统框图如图 7 所示。

图 8 分别给出了 LIMO 公司的 2 支 808 nm 阵列 20 W 激光器的电导数曲线和光导数曲线。图 8(a) 的 N7 是 1 支已用过的器件, 其光功率输出已出现退化图 8(b) 的 N20 器件是正常器件。从给出的曲线和 h, Q 参数看, 两者有明显差别。

从 2 支 LIMO 阵列器件的测试结果, 可看到正常器件与劣化器件的 h, Q 值差别很大, 进一步证实了 h, Q 与阵列的均匀性和质量之间的密切关系。

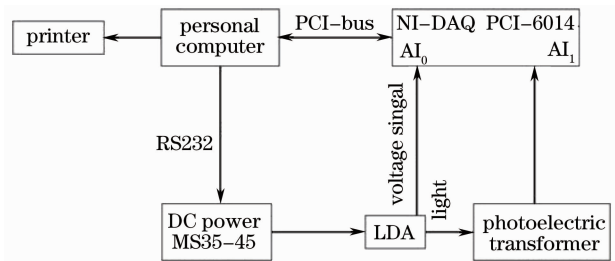


图 7 系统框图

Fig. 7 Schematic of the electric derivative measurement system

理论计算与实际结果有相同的规律, 在实际情况下条形半导体激光器中的单元器件不可能完全一致, 因此随发光单元变多, 均匀性变差, h 值变小。

在电导数测试的同时给出了一阶和二阶光导数。当阵列激光器的结电压饱和特性不好时, 可用光导数给出它的阈值点。在阈值处, 一阶光导数曲线要有明显的上升, 二阶光导数曲线会出现一个明显的峰, 峰的形状可以给出器件由自发辐射转变为激射时的有关信息。如果二阶光导数阈值处的峰窄而高, 则表明激射时, 参与的器件几乎同时激射。如果条形半导体激光器中的各单元本身有丝状发光现象或各自的阈值电流差异较大, 二阶光导数曲线在阈值处的峰会变宽、变矮或多峰。参与的单元器件均匀性越不好, 二阶光导数曲线在阈值附近的形状就越复杂。引入 Q 值表示二阶光导数曲线在阈值处的峰的高度和宽度之比, Q 值的大小表示了单元器件的一致性的好坏。从测试结果可得出, 不同条形半导体激光器的 Q 值有很大差异, 由分析可知 Q 值大, 均匀性就好。

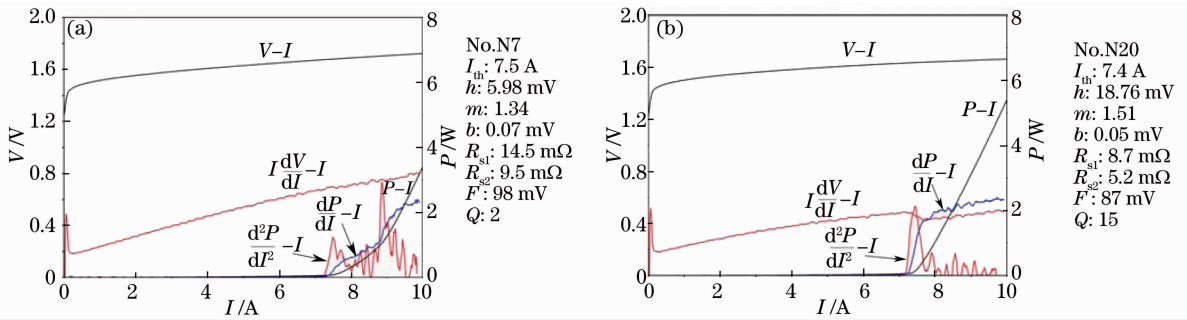


图 8 条形阵列激光器的导数测试曲线(a)已退化和(b)正常

Fig. 8 Measurement curves of the electric derivative for (a) a degenerate bar and (b) a normal bar

5 结 论

计算和测试表明电导数曲线中的 h 参数、光导数曲线中的 Q 参数与 I_{th} 一样都是组成阵列激光器单元器件均匀性的灵敏参数。均匀性好的阵列器件 h, Q 都较大。本文限于器件数量只给出了定性结论, 如果对大量器件做统计能得出 h, Q 参数正常范围, 从而实现对可靠性进行筛选。导数测试可能成为评价其质量和可靠性的一种方法。

参 考 文 献

- 1 M. Revermann, A. Timmermann, J. Meinschien *et al.*. Efficient high-brightness diode laser modules offer new industrial applications [C]. *SPIE*, 2007, **6456**: 64560Q
- 2 C. Geldi, O. Bozkulak, H. O. Tabakoglu *et al.*. Development of a surgical diode-laser system; controlling the mode of operation[J]. *Photomed Laser Surg.*, 2006, **24**(6): 723~729
- 3 F. Amzajerdian, B. L. Meadows, N. R. Baker *et al.*. Advancement of high power quasi-CW laser diode arrays for space-based laser instruments[C]. *SPIE*, 2005, **5659**: 157~162
- 4 Guo Mingxiu, Li Jindong, Fu Wenqiang *et al.*. Kilowatt laser diode-pumped solid-state heat capacity slab laser[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(2): 280~286
郭明秀, 李劲东, 付文强 等. 千瓦级半导体抽运的固体热容板条激光器[J]. *光学学报*, 2007, **27**(2): 280~286
- 5 Feng Zhongyao, Li Chengrong, Li Xiu *et al.*. Laser-diode side-pumped two rods quasi-continuous-wave Nd:YAG green laser[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(8): 1543~1546
冯忠耀, 李成荣, 李修 等. 激光二极管侧抽运双棒串接连续

- Nd:YAG 高功率绿光激光器[J]. *光学学报*, 2008, **28**(8): 1543~1546
- 6 Wang Jian, Huang Wei, Gu Haitao *et al.*. Gas temperature measurement with tunable diode laser absorption spectroscopy[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(9): 1639~1642
王健, 黄伟, 顾海涛 等. 可调谐二极管激光吸收光谱法测量气体温度[J]. *光学学报*, 2007, **27**(9): 1639~1642
- 7 A. R. Dhamdhare, A. P. Malshe, W. F. Schmidt *et al.*. Investigation of reliability issues in high power laser diode bar packages [J]. *Microelectron Reliab.*, 2003, **43**(2): 287~95
- 8 D. Botez, D. R. Scifres. Diode Laser Arrays [M]. Cambridge: University Press, 1994. 295~335
- 9 J. W. Shi, E. S. Jin, D. S. Gao. The junction voltage saturation and reliability of semiconductor lasers[J]. *Opt. Quant. Electron.*, 1992, **24**(7): 775~781
- 10 J. W. Shi, E. S. Jin, H. Y. Li *et al.*. The characteristic junction parameter of a semiconductor laser and its relation with reliability[J]. *Opt. Quant. Electron.*, 1996, **28**(6): 647~651
- 11 P. J. Anthony, N. E. Schumaker. Ambipolar transport in double heterostructure injection lasers [J]. *IEEE Electron Device Lett.*, 1980, **1**(4): 58~60
- 12 T. Paoli, P. A. Barnes. Saturation of the junction voltage in stripe-geometry (AlGa)As double-heterostructure junction lasers[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1976, **28**(12): 714~716
- 13 H. Ishikawa, K. Hanamitsu, M. Takusagawa. Lasing-induced change in the differential resistance of stripe geometry Ga_{1-x}Al_xAs DH lasers[J]. *J. Appl. Phys.*, 1979, **18**(2): 331~341
- 14 J. Diaz, I. Eliashevich, H. Yi *et al.*. Theoretical investigation of minority carrier leakages of high-power 0.8 μm InGaAsP/InGaP/GaAs laser diodes [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1994, **65**(18): 2260~2262