

# 用时间分辨法实现半导体激光器特性脉冲测试

左勇<sup>1</sup>, 范贤光<sup>2</sup>, 孙颖<sup>1</sup>

(1. 中航工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095; 2. 厦门大学 物理与机电工程学院, 福建 厦门 361005)

**摘要:** 提出了一种基于时间分辨的脉冲式半导体激光器特性测试新方法, 并研制了相应的测试系统。该方法根据脉冲驱动源的时序, 同步产生采样窗口信号, 然后根据采样窗采集半导体激光器的注入电流、端电压和输出光功率等数据, 进而获得表征器件特性的曲线和参数。该方法解决了半导体激光器特性测试中的 2 个关键问题: 一是现有的连续测试方法造成的器件温升, 影响测试准确性和安全性; 二是解决了脉冲驱动源与测试的同步问题。文中给出了最小脉冲宽度达 100 ns 的窄脉冲驱动的  $L-I-V$  测试曲线和测试参数。

**关键词:** 半导体激光器; 脉冲测试; 时间分辨; 特性

中图分类号: TN248.4

文献标识码: B

文章编号: 1674-5795 (2012) 03-0043-04

## Implementation of Laser Diode Characteristics Pulsed Testing by Time-resolved Technique

ZUO Yong<sup>1</sup>, FAN Xianguang<sup>2</sup>, SUN Ying<sup>1</sup>

(1. Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China;

2. Dept. of Physics and Mechanical-Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** A new method to test pulsed laser diode characteristics based on time-resolved technique is presented, and the testing system is developed. Sampling window is made according to the timing of the pulsed current source. Using a synchronized sampling scheme, the injected current, the forward voltage and the optical output power are gathered, and then the curves and parameters are obtained. The rising of laser diode chip temperature under test is reduced, and the synchronization for pulsed current source and testing is resolved by this method. Based on the setup,  $L-I-V$  curves and related parameters of a laser diode were tested with pulsed injection of 100ns.

**Key words:** laser diode; pulsed testing; time-resolved; characteristics

## 0 引言

半导体激光器具有体积小、能够直接调制、输入功率小、寿命长以及转换效率高等优点, 已经作为一种重要的光电器件, 广泛应用于测量、信息存储及通信等领域<sup>[1-2]</sup>, 而其质量和可靠性在应用系统中起着关键作用。半导体激光器从棒料、管芯到组件装配的各个阶段, 都需要对器件进行严格的测试, 以提高器件的成品率和质量。

用于表征半导体激光器性能最主要的方法是测试器件的光功率-电流-电压 ( $L-I-V$ ) 特性。半导体激光器驱动方式分为连续和脉冲两种, 同样, 特性测试

方法也分为连续测试<sup>[3-4]</sup>和脉冲测试<sup>[5-6]</sup>两种。在脉冲驱动下, 半导体激光器处于发热和散热交替过程, 当脉冲占空比足够小时, 不会造成大的热积累或大的温升, 然而激光器处于高速的调制状态, 注入的脉冲电流、端电压和输出的光功率随时间为窄脉冲形状, 需要考虑如何准确、同步的获取有效数据。此外, 为了减小激光器的持续工作时间, 还要求脉冲宽度尽可能小。脉冲测试, 在窄脉冲驱动电流源, 数据同步采集等方面提出了更多挑战。

本文提出了一种基于时间分辨的脉冲式半导体激光器特性测试方法, 并建立了相应的脉冲测试系统, 实现了窄脉冲源与测试的同步, 满足了半导体激光器脉冲测试的需要。

## 1 测量原理

图 1 给出了时间分辨<sup>[7]</sup>技术基本原理图, 其中驱动电流  $I$ 、结温  $T$ 、端电压  $V$ 、光功率  $L$  (或  $P$ ) 和采样

收稿日期: 2012-02-14; 收修改稿日期: 2012-04-24

基金项目: 国家“十一五”计量科研计划项目资助 (J052009B002)

作者简介: 左勇 (1980-), 男, 工程师, 工学硕士, 主要从事自动化测试与控制及测试计量技术方面的研究工作。

窗是在同一时间基准轴上的轮廓曲线图。在脉冲式半导体激光器特性测试时，将一串脉冲宽度为  $T_w$ 、脉冲间隔时间为  $T_i$ 、峰值电流为  $I_p$ 、按照步幅  $I_{step}$  增加的脉冲电流注入到器件的有源区。在单脉冲注入  $T_w$  期间，激光器有源区产生热量，结温随着脉冲的持续时间而增加，加热时间  $T_h = T_w$ ，同时造成器件特性发生变化，端电压和输出光功率减小。当单脉冲结束时，器件处于散热阶段，通过热交换达到环境温度，散热时间  $T_c = T_i$ 。数据采集系统根据采样窗设定的采样窗口  $T_g$ ，同步采集注入的驱动电流  $I$ 、端电压  $V$  和输出光功率  $L$  数据。计算机的测试程序根据这些数据，进行处理后，获得器件的特性曲线和参数。

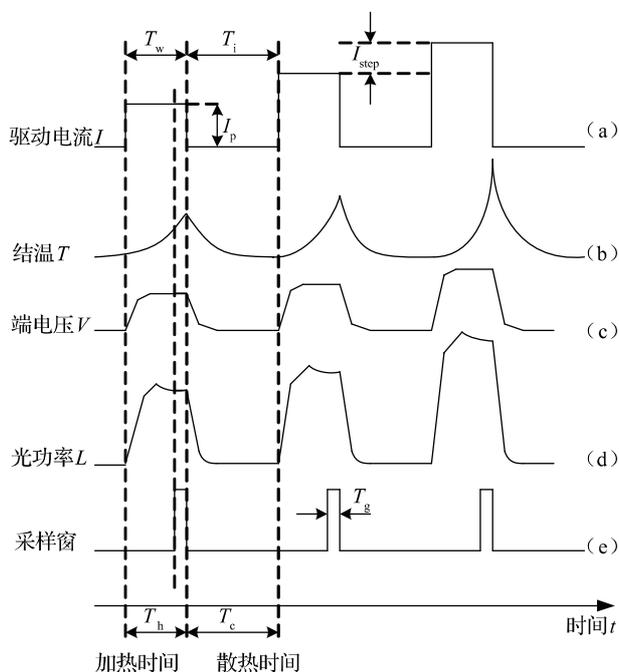


图 1 时间分辨技术原理图

利用时间分辨技术的脉冲注入测试方法，一方面有效的抑制了有源区的温升，另一方面保证有效数据的获取。实际测试时，希望驱动电流的脉冲宽度尽可能窄，这样激光器持续工作的时间就会相对短些。此外，要求脉冲间隔时间足够长，以确保下一个电流脉冲到来之前，有源区的温度恢复到环境温度。

## 2 测试系统

根据时间分辨技术原理，要测试半导体脉冲激光器的  $L-I-V$  特性（包括  $V-I$ ， $L-I$  和  $I_m-I$  等），首先要使得被测激光器处于脉冲发光状态下。因此，除了测量装置外，还需要脉冲驱动电流源，温控装置是为能够对激光器进行温度控制的场合而准备的，如集成有

TEC 的半导体激光器组件。图 2 是测试系统总体结构图，整个测试系统包括模拟单元、数字控制与测试单元和计算机软件部分。图中脉冲发生器产生脉冲宽度为  $T_w$ 、脉冲间隔时间为  $T_i$  的基准方波信号，用于控制脉冲驱动输出接口的高速开关，并将恒流源转化成脉冲电流源；同时，脉冲发生器产生与基准方波信号同步的采样窗信号，用于控制高速采样保持器，实现脉冲驱动电流  $I$ 、背光电流  $I_m$ 、端电压  $V$  和输出光功率  $L$  等数据的同步采集。热电制冷器（TEC）用于控制被测激光器的温度；激光器在脉冲电流源驱动下发出

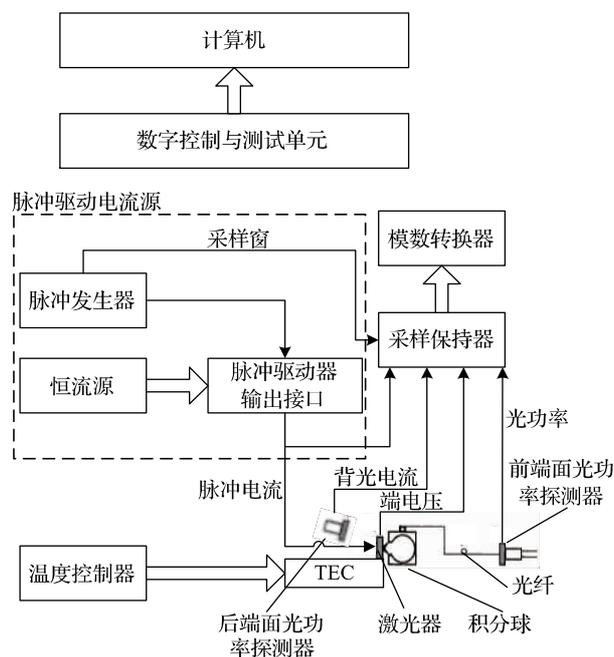


图 2 测试系统结构图

脉冲激光，前后端面分别采用探测器进行光功率测量，其中前端面经由积分球衰减后，由光纤耦合到探测器。

## 3 脉冲发生器

脉冲发生器产生两路同步的矩形脉冲信号，一路是基准方波脉冲，另一路是采样窗口脉冲。为了满足半导体激光器特性表征测试的需要，要求基准方波的脉冲占空比连续可调，采样窗口脉冲能够同步跟随基准方波脉冲，且采样窗的位置位于基准方波脉冲宽度 50% 之后。基于 FPGA 设计实现了脉冲发生器，其硬件描述语言程序流程图如图 3 所示。

同时，为了满足单点测试的要求，脉冲发生器还具备单脉冲产生功能，即产生同步的基准方波和采样窗口单脉冲信号。

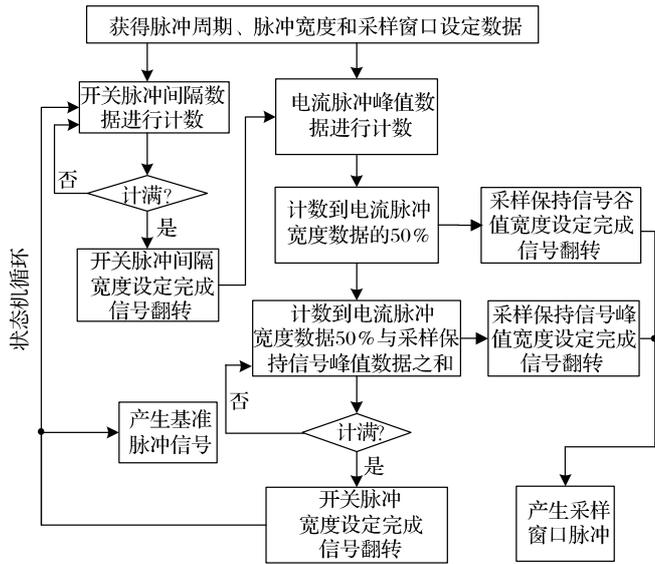


图3 HDL程序流程图

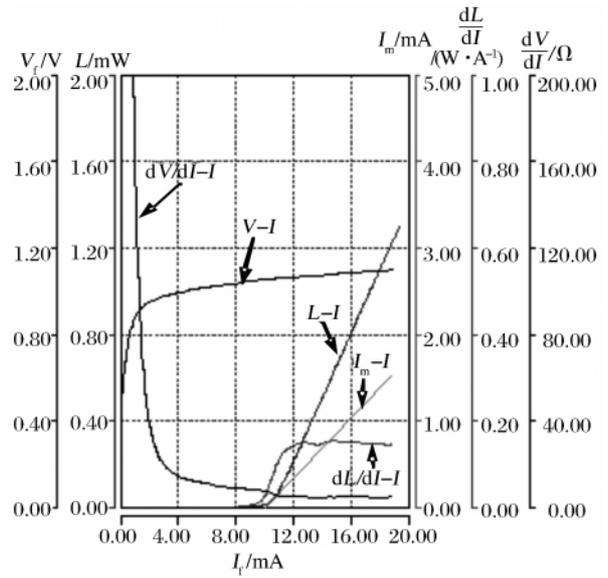


图4 半导体激光器特性曲线

4 测试实验与结果

4.1 器件特性测试

根据时间分辨技术原理，利用所研制半导体激光器特性测试系统，对半导体激光器特性进行脉冲驱动和测试。计算机的应用程序通过 USB 接口与测试系统通讯，测试时，根据被测器件的功率设定各种条件，如驱动电流（DC 或脉冲）、驱动模式（ACC 或 APC）、驱动电流范围、步幅以及脉冲宽度、脉冲周期和采样窗等。测试结束后，应用程序接收数字控制与测试单元传递过来的各种数据，包括工作电流、端电压、输出光功率和背光电流等，对这些数据进行处理（平滑、拟合和微分等），之后给出特性曲线。图 4 给出了一个中心波长为 850 nm 的小功率半导体激光器（LD）特性测试曲线（室温下），其测试条件如表 1 所示。图 4 中， $I_f$ 、 $V_f$  分别表示注入半导体激光器的脉冲电流、电压幅值的大小。根据测量数据及测量曲线，可以求解得到被测 LD 的主要技术参数，包括阈值电流、串联电阻和斜率效率，如表 2 所示。

表1 测试条件设定

驱动模式	控制方式	电流范围/mA	步幅/mA	脉宽/ns	周期/ns	采样窗/ns
Pulsed	ACC	0~20	0.1	100	200	50

表2 被测 LD 的主要技术参数

驱动模式	波长/nm	阈值电流/mA	串联电阻/ $\Omega$	斜率效率/ $(W \cdot A^{-1})$
Pulsed	850	10.55	5.024	0.146

4.2 脉冲宽度与周期对特性的影响

在室温环境下，脉冲周期 10 ms（两个电流脉冲之间具有充足的时间，在一个脉冲结束后，下一个脉冲到来时，激光器有源区的温度与环境温度相同），采样窗设为 50 ns，测试不同的脉冲宽度下某激光器输出功率可见，随着脉冲宽度的减小，激光器的转换效率增大（ $L-I$  特性曲线的斜率越大），如图 5 所示。

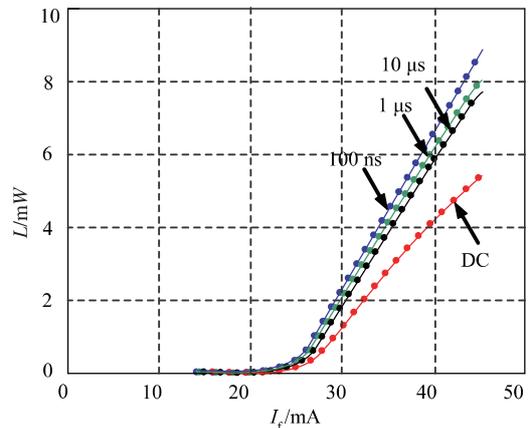


图5 DC 和脉冲（脉冲周期  $T = 10$  ms， $T_w$  分别为 100 ns 及 1, 10  $\mu$ s）情况下，激光器  $L-I$  特性测试曲线

其原因是脉冲宽度越大，激光器持续工作时间越长，有源区的热积累越多，温升越大。同样，当脉冲宽度不变，脉冲间隔时间从小到大改变时，激光器的转换效率也将逐渐增大，直到达到一个临界状态，此后，激光器的转换效率将保持不变，此时，每个电流脉冲结束后，在下一个电流脉冲到来时，有源区的温

度都和热沉温度相同。

### 5 结论

半导体激光器的  $L-I-V$  特性是决定其性能的重要指标之一。基于时间分辨技术原理测试激光器的  $L-I-V$  特性时,当脉冲电流的占空比足够小时,可以忽略管芯温度升高的影响,使测试结果更加准确地反映 LD 的性能,提高了测试的准确性。该方法可以对中小功率 LD 进行安全、快速和准确的  $L-I-V$  特性及参数测试,满足激光器生产和科研的需要。

### 参考文献

[1] 王德,李学干. 半导体激光器的最新进展及其应用现状 [J]. 光学精密工程,2001,9(3): 279-283.

[2] 尧舜,套格套,路国光,等. 68.5 W 连续输出 1060 nm 波

段半导体激光列阵模块 [J]. 光学精密工程,2006,14(1): 8-11.

[3] 杨明伟,许文海,顾慧萍. 融入 FPGA 技术的半导体激光器功率-电流-电压测试系统 [J]. 光电子·激光,2005,16(3): 344-348,353.

[4] 陈汉汛,吉孔武,徐达伟,等. LD 自动测试系统的研制与开发 [J]. 武汉理工大学学报: 信息与管理工程版,2001,23(3): 4-6.

[5] 南矿军. 半导体激光器性能表征及脉冲测量技术研究 [D]. 北京: 中国科学院,2002.

[6] 许文海,董丽丽,张勋. 便携式多功能 LD 特性测试系统的研制 [J]. 光电子·激光,2007,18(3): 356-358.

[7] HU M H, WATERS R, ZAH C Z. Determining kinks for 980 nm laser using time-resolved far-field scan [J]. SPIE,2001,4580: 41-55.



(上接第 19 页)

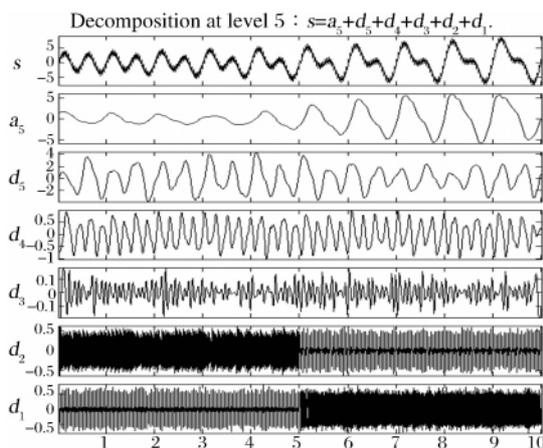


图 5 分离趋势项后总误差数据的小波变换分解结果

用希尔伯特-黄变换对一个混联式动态测量系统仿真的总误差信号进行了分解。与傅立叶变换、小波变换的分解结果相比,希尔伯特-黄变换的分解结果更准确。这对动态测量系统地误差溯源,进而指导仪器优化设计具有重要的意义。

### 参考文献

[1] 费业泰. 精度理论若干问题研究进展与未来 [J]. 中国机械工程,2000,11(3): 255-274.

[2] 李龙根,徐静,吕秀丽. 测量与控制系统动态误差溯源熵方法 [J], 机电产品开发与创新,2005,18(6): 115-135.

[3] 李晓惠. 动态测量误差分解及溯源研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学,2006: 50-60.

[4] 马强,许桢英. 动态测量误差溯源方法研究 [J]. 安徽机电学院学报,2001,16(4): 22-25.

[5] 许桢英,费业泰. 基于小波神经网络的动态测试误差溯源研究 [J]. 农业机械学报,2003,34(4): 117-119.

[6] Lippmann R. An Introduction to Computing with Neural Nets [J]. IEEE ASSP Magazine,1987,4(2): 4-22.

[7] 钟珞,饶文碧,邹承明. 人工神经网络及其融合应用技术 [M]. 北京: 科学教育出版社,2007: 21-25.

[8] Sawicki Jerzy T, Sen Asok K, Litak Grzegorz. Multiresolution wavelet analysis of the dynamics of a cracked rotor [J]. International Journal of Rotating Machinery,2009(2009): 1-8.

[9] Huang N E, Shen Z, Long S R, et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spec-trum for nonlinear and non-stationary time series analysis [J]. Proc. R. Soc. Lond. A,1998,454: 903-995.

[10] 余慧,胡绍林,李平. 基于希尔伯特-黄变换的雷达数据误差修正处理技术 [J], 中国空间科学技术,2010(6): 57-63.

[11] 陈晓怀,费业泰,黄强先. 全系统动态测量精度理论的基本问题 [J]. 制造业自动化,1999,21(6): 46-51.

[12] Braun S, Feldman M. Decomposition of non-stationary signals into varying time scales: Some aspects of the EMD and HVD methods [J]. Mechanical Systems and Signal Processing,2011,25(7): 2608-2630.