

文章编号:1001-5078(2007)02-0166-04

# 连续半导体激光器 LIV 特性测试系统的设计

范贤光,孙和义,唐文彦,张春富,李慧鹏

(哈尔滨工业大学自动化测试与控制系,黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘 要:**针对通用的连续半导体激光器(LD)特性参数测试系统存在的问题,研制了一种新型的基于 USB 总线的连续半导体激光器 LIV(light-current-voltage)特性测试系统。详细介绍了整个系统的硬件电路,包括半导体激光器的驱动单元、测试单元、基于 FPGA 的接口电路、单片机控制单元等,并对一 DFB 半导体激光器进行测试,给出了 LIV 曲线图。同时,对该系统的性能进行了分析。该系统已经应用于半导体激光器特性参数的自动测试,并取得了良好的效果。

**关键词:**半导体激光器;测试;FPGA;USB 总线

**中图分类号:**TN248.4 **文献标识码:**A

## Design of Continuous Laser Diode LIV Characteristic Testing System

FAN Xian-guang, SUN He-yi, TANG Wen-yan, ZHANG Chun-fu, LI Hui-peng

(Dept. of Automatic Measurement and Control, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

**Abstract:**To solve the problem of the general laser diode characteristic testing system, a new continuous laser diode light-current-voltage characteristic testing system based on USB bus is developed. The design of the whole hardware circuit, including the driver element, the measurement unit, the interface circuit based on FPGA, the SCM control unit, and so on, is introduced. A DFB laser diode is tested using the system, and the LIV curves are given. Meanwhile, the performance analyses are provided. The system has been applied to the test of the laser diode characteristic parameter, and the result is excellent.

**Key words:**laser diode; testing; FPGA; USB

### 1 引 言

随着光电子技术和信息技术的发展,半导体激光器(LD)在光纤通信、信息存储等领域得到了广泛的应用。作为系统的光源,LD 特性的优劣直接影响着系统的性能。因此,在生产和使用过程中,需要精确地测试其 LIV 特性曲线和相关参数。然而,目前通用的半导体激光器 LIV 特性测试系统一般采用分立的仪器组建而成,系统体积庞大、测试成本高、便

携带、工作模式单一等缺点,影响着系统的广泛应用<sup>[1]</sup>。

通用的测试仪器主要是基于 GPIB 总线接口,需要配备专用的 GPIB 接口卡,而且只能使用台式计算机进行数据采集和系统控制。然而,USB 总线

**作者简介:**范贤光(1980 -),男,在读博士研究生,主要研究方向为光电信息与检测技术。

**收稿日期:**2006-06-09;**修订日期:**2006-07-14

作为一种流行的数据采集与传输手段,以其高传输速率、高性价比、稳定可靠的传输性能和便利性等优点在仪器仪表领域已得到了广泛的应用。

## 2 系统设计方案

如图 1 所示,测试系统的基本工作原理是计算机控制相应的驱动模块,产生电流幅值可控的注入电流  $I_i$ ,同时由测试模块采集 LD 输出的光功率和 LD 两端的正向电压  $V_f$ ,采集的数据由单片机系统预处理后,通过 USB 总线传输到计算机,并由测试软件给出 LIV 特性表征曲线,包括表征 LD 的 PN 结电抗特性的  $V-I$  (电压-电流) 曲线、表征 LD 电光转换特性的  $L-I$  (光功率-电流) 曲线,以及电导数  $dV/dI-I$  和光导数  $dL/dI-I$  特性曲线。

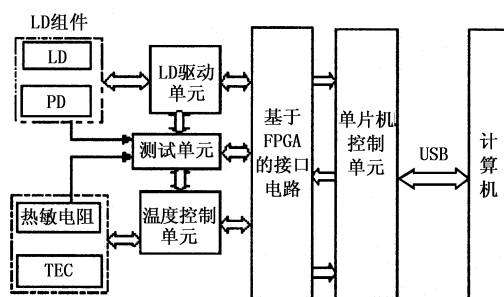


图 1 连续半导体激光器 LIV 特性测试系统

Fig. 1 structure of continuous LD LIV testing system

## 3 半导体激光器 LIV 特性测试原理

在测试 LD 的  $V-I$  特性时,LD 的注入电流从某一个数值(通常为零)开始,按一定的步长增大,每增加一次,采集一组端电压值,便可得到  $V-I$  特性曲线。一个典型的 LD 的  $V-I$  特性曲线示意图如图 2 所示。

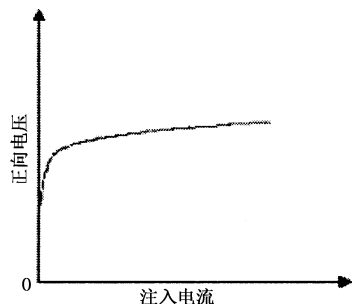


图 2 一个典型的 LD 的  $V-I$  特性曲线示意图

Fig. 2 a typical LD  $V-I$  characteristics

在测试 LD 的  $L-I$  特性时,利用光电二极管 PD

探测 LD 前端面输出的激光,流过 PD 的光电流  $I_p$  与 LD 输出的激光的功率成正比,而 LD 的输出光功率与注入电流成一定的比例关系。因此,通过测量  $I_p$  的大小,并经计算机软件处理后,即可得到  $L-I$  特性曲线。一个典型的 LD 的  $L-I$  特性曲线如图 3 所示。

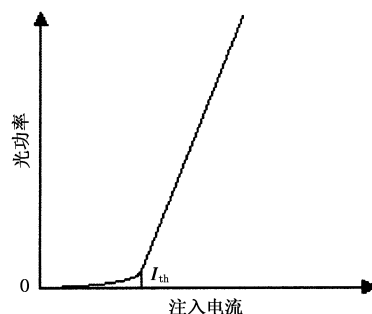


图 3 一个典型的 LD 的  $L-I$  曲线示意图

Fig. 3 a typical LD  $L-I$  characteristics

## 4 系统硬件电路设计

### 4.1 LD 的驱动与测试单元

根据 LD 工作时对驱动电源的要求、特性参数的特点,以及信号和数据采集处理的方法<sup>[3]</sup>,本文设计的 LD 的驱动与测试的硬件电路原理框图如图 4 所示。

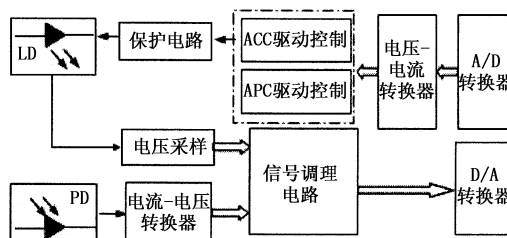


图 4 LD 的驱动与测试的硬件电路原理框图

Fig. 4 function diagram of LD driving and testing hardware

基于负反馈控制技术而设计的 LD 的恒定电流控制方式(ACC)和恒定功率控制方式(APC),实现了向 LD 提供高稳定度的驱动电流。ACC 工作方式是对 LD 的注入电流进行稳恒控制的一种控制技术<sup>[4]</sup>,其基本原理是通过负反馈调整输出电流,以达到稳定输出电流的目的。APC 控制是通过自动调节 LD 的注入电流,使 LD 输出功率恒定的一种控制技术<sup>[5]</sup>。其基本原理是 LD 工作时,探测 LD 前端面光功率,PD 产生光电流  $I_p$ ,用以监测 LD 的输出光功率的大小,通过采样电阻将  $I_p$  进行电流-电压

转换,以电压信号的形式传递到输入端,与预先设定的光功率值进行比较,并通过 OCL 功率放大电路来调节 LD 的注入电流,实现对 LD 输出光功率的恒定控制。可以根据实际测试需要,选择其中一种驱动方式。LD 的驱动电流具有两个量程:250mA 和 500mA。实践证明,这种设计能够满足大多数测试场合的需要。此外,测试单元还需要采集流过 LD 组件内部的 PD 的光电流  $I_m$ ,用于判定 LD 后端面输出激光特性的测试。

#### 4.2 LD 的温度控制单元

温度控制单元的原理框图如图 5 所示,其基本工作原理是当 LD 的工作温度发生变化时,热敏电阻迅速地将温度的变化转换成电阻值的变化,由高精度的温度采样电路转换成电压值的变化,再与温度设定电路进行比较放大后,将偏差信号送入具有良好稳定性和动态特性的 PI 电路。同时,PI 电路采用了积分分离技术,有效地抑制了积分饱和现象的发生,避免了由于积分饱和引起的系统超调和震荡现象的发生,提高了整个系统的稳定性。根据 PI 电路的处理结果,控制 TEC 驱动电路,驱动制冷器 TEC,实现制冷和制热,稳定 LD 的工作温度。

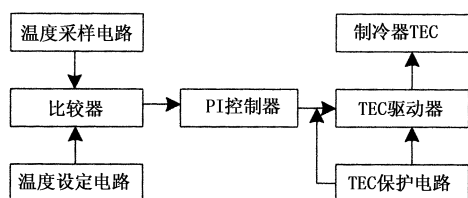


图 5 LD 温度控制单元

Fig.5 LD temperature controller unit

此外,为了确保电路工作在正常状态下,系统引入了异常报警电路;为防止因过电流损坏 TEC,系统引入了相应的保护电路。为了保证测试时 LD 能够稳定、安全地工作,电路引入了相应的保护环节,如短路保护开关、浪涌电流消除电路等。

#### 4.3 基于 FPGA 的接口电路

为了提高数据采集和转换速度,系统采用高速的串行 A/D 和 D/A 转换器,利用 FPGA 器件来设计 A/D 和 D/A 接口控制电路,大大减轻了单片机的工作,使单片机能够有更多的时间用于处理更复杂的任务。利用硬件描述语言 Verilog 设计的 FPGA 接

口电路,主要由时钟分频电路模块、A/D 时序控制模块、D/A 控制时序控制模块和 FIFO 控制时序模块四部分组成。单片机发出控制信号用于控制 A/D 进行数据采集,并将采集的数据缓存在 FPGA 的寄存器中,由 FIFO 控制时序模块进行排队后,送入 FIFO。单片机将待输出的数字控制信号送到 FPGA 的 D/A 时序模块,使之自动地进行数据转换。为了保证 FPGA 接口电路正常稳定地工作,单片机对其进行读写操作时,使用单片机的时钟,实现二者的时钟同步;当 FPGA 独立工作时,使用自身的更高频率的时钟,大大提高了系统的工作效率和可靠性。

#### 4.4 单片机控制单元

单片机控制单元主要由单片机及外围电路,包括外扩的数据存储器和程序存储器、串行 RS232 和 USB 通信接口电路、单片机时钟和复位电路、LED 显示器、键盘、A/D、D/A 转换电路等组成。图 6 是单片机控制单元的设计原理图。

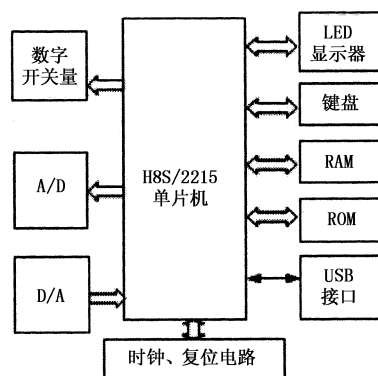


图 6 单片机控制单元

Fig.6 SCM controller unit

日立 32 位 H8S/2215 单片机是整个数据采集电路的核心,主要完成控制数据发送、数据采集、键盘、LED 显示以及与上位机通信的功能。系统工作过程为:计算机的操作软件进行条件设置,如 ACC 和 APC 驱动控制的选择;特性测试时,扫描电流范围和步幅的设定;LD 和 PD 的极性选择等。通过 USB 接口,将设定的条件和所要进行的操作传输给单片机,单片机进行处理和判断后,产生相应的控制指令控制继电器、数字电位器、A/D 和 D/A 转换器等协调工作,驱动 LD 工作。当需要监测 LD 的性能时,需开启电抗特性和电光转换特性测试电路,并采

集相应的数据,先采集到 FPGA,然后送入单片机进行处理,比如在同一驱动电流下,采集多个数据,并将采到的数据进行求和、平均处理,可有效地提高测试的精度,再将处理好的数据通过 USB 接口传输到计算机,由操作软件来处理,并绘制相应的曲线。键盘用于设置驱动条件,如驱动电流的大小、驱动控制方式的选择等。LED 显示器用于显示驱动电流的大小。

## 5 实例分析

利用研制成功的连续半导体激光器 LIV 特性测试系统对一同轴封装的 DFB(分布反馈)LD 进行测试,设定温度为 25℃,驱动控制方式为 ACC, LD 驱动电流的量程为 250mA,步长为 0.005mA。测试的 LIV 曲线图如图 7 所示。图中,曲线 1 是  $V-I$  特性;曲线 2 是  $dV/dI-I$  (电导数  $R_s$ ) 特性;曲线 3 是  $L-I(P-I)$  特性;曲线 4 是  $dL/dI-I$  (光导数 SE) 特性。从 LD 的 LIV 特性曲线可以直观地分析出激光器的性能<sup>[6-7]</sup>,如阈值电流、串联电阻、斜率效率、转折特性等。

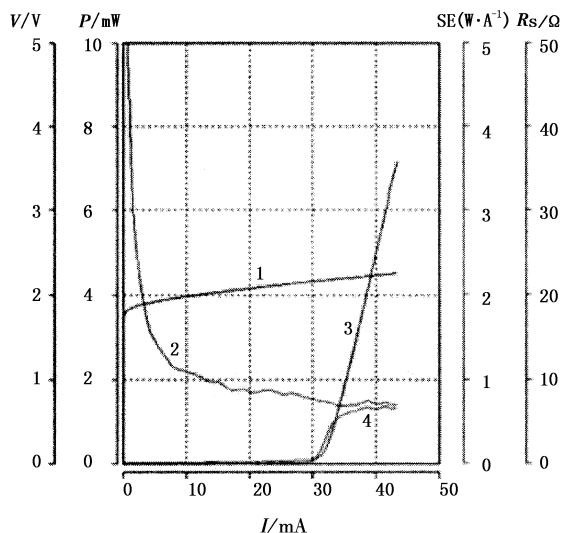


图7 连续 LD 的 LIV 特性曲线测试实例图

Fig.7 continuous LD LIV characteristic curves

## 6 结束语

测试实验结果表明该系统具有如下性能:

(1) 系统驱动单元提供的恒定电流的稳定度达到  $10^{-4}$  量级,温控单元的温度稳定度优于  $\pm 0.01^\circ\text{C}$ ;

(2) LD 的驱动单元、测试单元、温度控制单元可以根据实际需要进行灵活的配置,并且可以方便

地集成到一个系统中,组成有机的整体,提高系统的灵活性;

(3) 系统采用高性能的日立单片机,同时引入 FPGA 进行数字电路设计,充分利用现代电子线路设计的灵活性,节省了开发周期和设计成本,有效地提高了系统的智能性;

(4) 系统具有两种驱动方式,并且驱动电流量程具有两档,满足大多数场合高精度测试的需要;同时引入保护措施,有效地保证了测试时 LD 工作的稳定性和可靠性;

(5) 采用 USB 总线,实现测试仪器与计算机的通信,使笔记本电脑代替传统的台式 PC 机作为系统的一部分成为可能,实现了真正意义上的可便携。

研制的连续 LD 的 LIV 特性测试系统具有功能强、可靠性高、结构紧凑、性价比高、操作灵活等优点,可以实现对中小功率连续 LD 的 LIV 特性自动准确的测试,满足 LD 品质检验的需求,具有广阔的应用前景。

## 参考文献:

- [1] 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. 2005,3:344-348.
- [2] 韩向峰,王宝良. 一种基于 USB 协议的数据采集系统[J]. 电子元器件应用. 2004,4:35-38.
- [3] Chi-Jeng Chang, Pei-Yung Hsiao, Pol-Hui Yang, et al. PC-Controlled Laser Diode System Application[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1999, 2: 395-398.
- [4] E Di Chio, M Giaccia. Automatic Control in Semiconductor Laser Applications for Optoelectronic Systems[J]. Electrotechnical Conference. Bari, 1996, 3: 1328-1331.
- [5] Chih-Hsien Lin, I-Chen Yao, Chun-Cheng Kuo, et al. 2.5 Gbps CMOS Laser Diode Driver with APC and Digitally Controlled Current Modulation[C]. // ASIC. IEEE Asia-Pacific Conference. 2002:77-80.
- [6] 吴淑萍,董天临. CD-ROM 半导体激光器  $P-I$  曲线的测定及特性分析[J]. 光通信研究. 1999,3:50-54.
- [7] 纪越峰,张杰,柏琳. 便携式半导体激光器自动测试仪[J]. 北京邮电大学学报. 1995,18. (2):73-77.