

基于单片机的外腔半导体激光器控制系统的设计

王 哲, 曾华林, 周 燕, 范松涛, 何 军, 谢福增

(中国科学院半导体研究所 光电子应用技术与系统开发组, 北京 100083)

摘 要: 设计了一种以单片机为核心, 结合 PID 控制系统等外围电路的半导体激光器的高精度控制器. 半导体激光器驱动电流精度达 1.5×10^{-5} , 长时间工作 (12 h 以上) 偏置电流变化小于 $1 \mu\text{A}$, 温度控制精度达到 10^{-3} . 用该系统来控制光栅外腔半导体激光器, 得到了功率稳定、波长单一的激光输出, 长时间工作没有出现跳模现象.

关键词: 单片机; 半导体激光器; PID; 高精度

中图分类号: TN 248.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8735(2007)05-0613-04

半导体激光器(LD)具有体积小、重量轻、输入电压小、结构简单、寿命长、转换效率高、功耗低、价格低廉、使用安全、易于调制^[1]等特点,用其作为干涉测量中的光源,使得干涉测量系统的集成化、实用化变为可行^[2]. LD 的运行与驱动电路有密切关系,静电、高压、浪涌电流以及电网冲击等都会对 LD 造成永久性破坏,电流和 LD 温度的变化也会造成光功率的不稳定. 在实现远距离干涉测量的外腔半导体激光器的设计中,驱动电路是实现稳定光功率输出和抑制跳模产生的重要因素. 在国内外的相关报道中,主要以模拟电路系统为主^[3],本文根据单片机数字化程序控制思想,设计了 LD 高稳定度自动控制电源,实现了对 LD 工作状态的实时检测和控制. 控制系统具有智能化程度高、稳定度好、抗干扰能力强和使用方便灵活的优点.

1 系统描述

实验的研究对象为根据 Littrow 自准直原理构造的外腔半导体激光器,控制系统原理如图 1 所示^[4],主要实现 LD 恒流驱动及保护、光强度及频率调制、光功率反馈控制、双稳温度控制和工作状态设定及显示等功能,整个系统由 C8051F 单片机控制. 光功率及温度采样模拟信号经放大后由 A/D 转换为数字信号,送入 CPU 进行运算处理,反馈控制信号经 D/A 转换后再分别送往 LD 电流驱动电路和双稳温度控制电路,形成光功率和温度的闭环控制. 双稳温控系统由两级温度控制器组成,一级控制器用于控制单管 LD 管芯温度,二级控制器用于及时带走一级温控产生的热量,并消除环境温度的影响,使外腔温度稳定. 光功率及温度设定从键盘输入,并由 LCD 实时显示 LD 工作状态数据.

Cygnal C8051Fxxx 系列单片机是完全集成的混合信号系统集芯片 SoC(System on Chip),具有与 8051 指令集完全兼容的 CIP-51 内核^[5]. 它在一个芯片内集成了构成一个单片机数据采集或控制系统所需要的几乎所有模拟和数字外设及其他功能部件,包括 ADC、可编程增益放大器、DAC、电压比较器、电压基准、温度传感器、SMBus/IC、UART、SRI、定时器、可编程计数器/定时器阵列(PCA)、内部振荡器、看门狗定时器及电源监视器等. 这些外设部件的高度集成为设计小体积、低功耗、高可靠性、高性能的单片机应用系统提供了方便,也使系统的整体成本大大降低.

1.1 LD 控制系统的设计要求

LD 是依靠载流子的直接注入进行工作的,注入电流的稳定性对 LD 的输出有非常直接和明显的影响. 为了实现高精度的干涉测量,要求 LD 的驱动电源是一个恒流源,其工作电流应当具有非常高的稳定度(至

收稿日期: 2007-01-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60277027)

作者简介: 王 哲(1981-),男,辽宁省沈阳市人,中国科学院半导体研究所硕士研究生; 谢福增(1941-),男,北京市人,中国科学院半导体研究所研究员,博士生导师,主要从事光电子学和光电子技术研究.

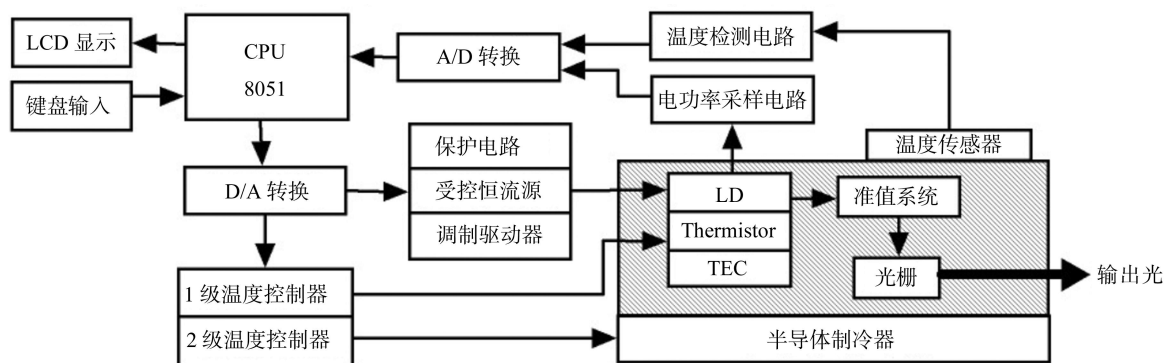


图 1 外腔半导体激光器控制系统原理图

少小于 10^{-4}) 和很小的波纹系数. 在某些运用 LD 的干涉测量中, 还需要在直流偏置的基础上对光波频率和强度进行高频调制, LD 工作在电流高频调制状态, 电流的调制幅度不应过大, 否则将出现模式跳变.

比较而言, 温度对输出光频率的影响比注入电流的影响要大一些. 一般单纵模 LD 发射光频率随温度的漂移为 $20 \sim 30 \text{ GHz/}^\circ\text{C}$, 而 LD 在注入电流调制下, 输出光频率变化约为 2.5 GHz/ mA ^[6]. 从图 2 可以看出, LD 在不同温度下的激光输出功率 P_0 与正向驱动电流 I_F 有关, 当 LD 内部温度增加时, 输出功率随之减小. LD 在干涉测量的应用中, 要求输出功率非常稳定, 如果温度不稳定可能会引发模式跳跃现象, 其结果将严重影响 LD 的稳定性. 另外, LD 的阈值电流随温度升高而升高, 整个 LD 的特性曲线基本上随温度的变化而平行移动. 从输出光频的数量级考虑, 温度变化应控制在 0.05°C 以内, 特殊需要时要求可能会更高, 以便保证使用注入电流调制 LD 时, 温度的影响可以忽略不计.

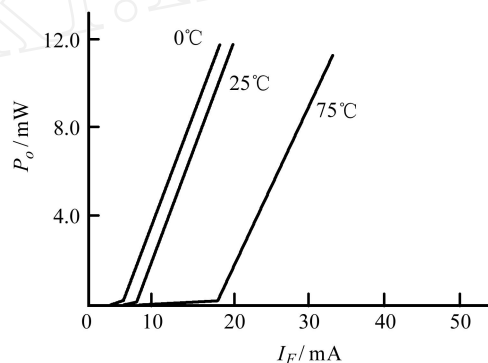


图 2 输出光功率与驱动电流的关系

1.2 LD 调制驱动模块

LD 调制驱动模块主要包括调制波形产生电路、恒流电路和电压 - 电流转换电路、慢启动保护电路和反馈环路, 其原理框图如图 3 所示. 调制信号发生部分和电流偏置部分分别由 C8051F 的 PWM (Pulse width modulation) 和高精度电压基准 LM399 来完成. 从 C8051F 的主要性能特点可以看出, 该芯片集成 8 路高性能 12 位 ADC (速度为 100 kHz)、2 路 12 位精度 DAC 以及 5 个捕获/比较单元 (PWM/PCA), 不仅体积小、系统稳定, 更重要的是该芯片与标准 8051 相比, 芯片上集成了更多外围部件, 只需要较少的 CPU 干预. 通过设置寄存器状态, 利用 PWM 输出 LD 调制信号, 对于 8 位 PWM, PWM 的频率 = $\frac{\text{PCA 时钟输入源频率}}{256}$.

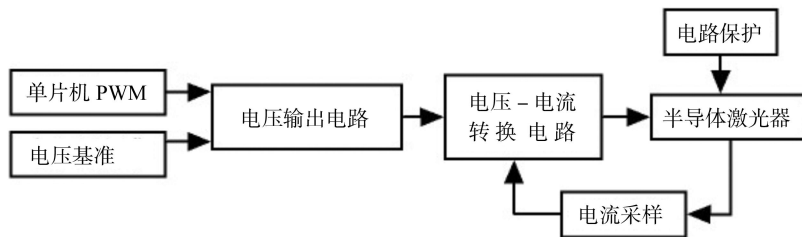


图 3 LD 调制模块原理框图

LD 的偏置电路一般需要精度很高的基准电压, C8051F 内部自带了一个 1.2 V 、 $15 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ (典型值) 的带隙电压基准发生器和一个两倍增益的输出缓冲放大器, 主要是给芯片内的高精度 ADC 和 DAC 提供电压参考. 实际电路由于对精度要求很高, 偏置电路采用的是外部基准电压 LM 399, 它能提供一个低噪声、高

稳定度的 6.95 V 电压基准,其温度系数小于 $0.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$,长期稳定度(1000 h)达 20×10^{-6} . 电路如图 4 所示,精密电阻(温度系数)作为取样电阻,流过它的电流即是流过激光器的电流采样,将该电阻两端电压与设定的电压进行差分来控制场效应管的栅极,形成闭环回路. 另外,由于半导体激光器在装配、调试及工作过程中,极易受到电压、电流、静电荷等外界电气冲击的影响而损坏,因此在电路部分增加了慢启动及限流保护电路.

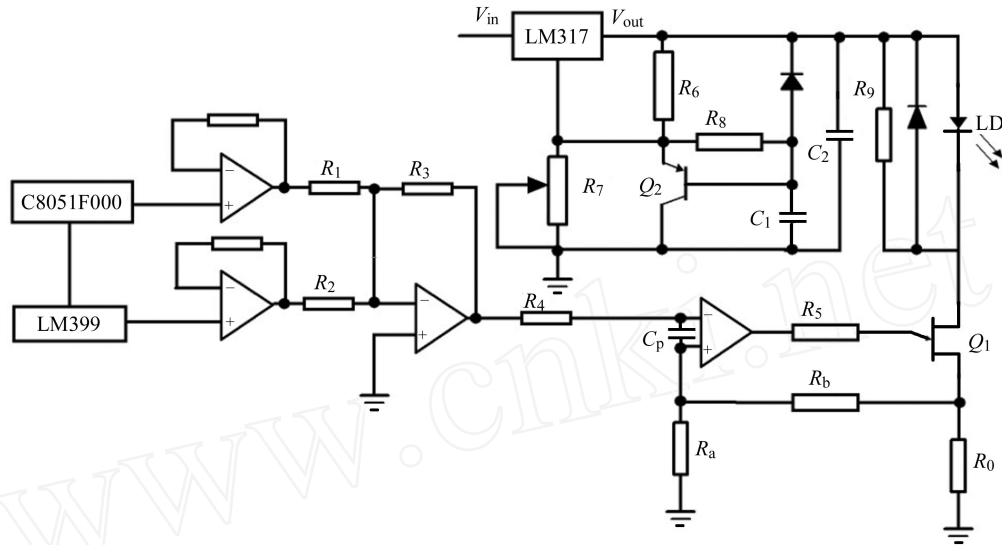


图 4 半导体激光器驱动电路图

1.3 PID 温度控制模块

LD 温度控制模块由温度电压转换电路、高精度差分放大电路、PID 控制电路以及制冷器及其驱动电路组成,其控制原理如图 5 所示. 当 LD 工作发热时,作为温度传感器的负温度系数热敏电阻接在电桥的一个臂中,将温度变化信号快速转换为电阻值的变化,从而通过电桥表现为电压的变化,与设定的高精度基准温度电压比较后,其比较结果经过失调电压温度系数为 $0.1 \text{ nV}/^\circ\text{C}$ 、电压放大倍数达到 1 000 的精密差分信号处理放大电路放大,从而保证了温控电路的高精度. 放大后的信号进入 PID 控制电路系统,通过满足闭环系统瞬态和稳定性能指标的 PID 控制电路,保证系统稳定并具备良好的动态特性. 驱动电路根据 PID 网络处理结果提供半导体制冷器所需要的电流,制冷器完成对 LD 的制冷或加热,整个系统形成闭环反馈,从而保证 LD 在恒定的温度下工作.

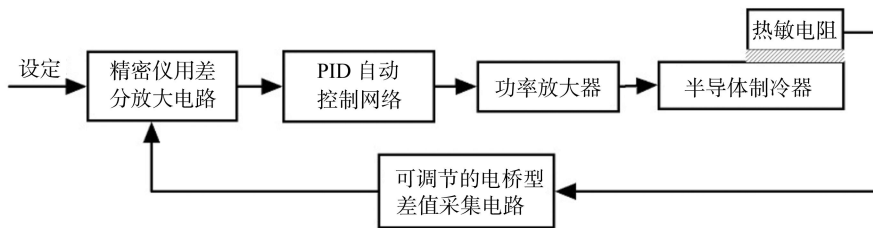


图 5 恒温控制系统原理框图

2 实验结果

实验中所用的半导体激光器由中国科学院半导体研究所研制,中心波长为 942.4 nm, $\Delta\lambda = 3.6 \text{ nm}$,阈值电流为 15.8 mA.

2.1 直流稳定度测量

将驱动器工作在室温下,工作电流设定为 46.12 mA. 将阻值为 1 Ω 的精密负载电阻与 LD 串联接入电路,测量负载电阻两端电压值来反映 LD 的电流值. 激光器 12 h 工作电流变化小于 $1 \mu\text{A}$,经计算,直流稳定度高达 1.5×10^{-5} .

2.2 PID 温控系统测量

PID 温控系统的测量,是利用图 1 中的外腔结构搭建好系统后,通过光功率计测量 LD 的输出光功率来完成的.图 6 为使用温控前后,LD 输出功率的时间稳定性比较,从图 6 可以看出,LD 在没有温控系统的条件下,功率随时间不断发生变化,波动很不稳定.加入控制系统作为温控时,大约 10 min 后光功率输出非常稳定,温度控制精度达到 10^{-3} .

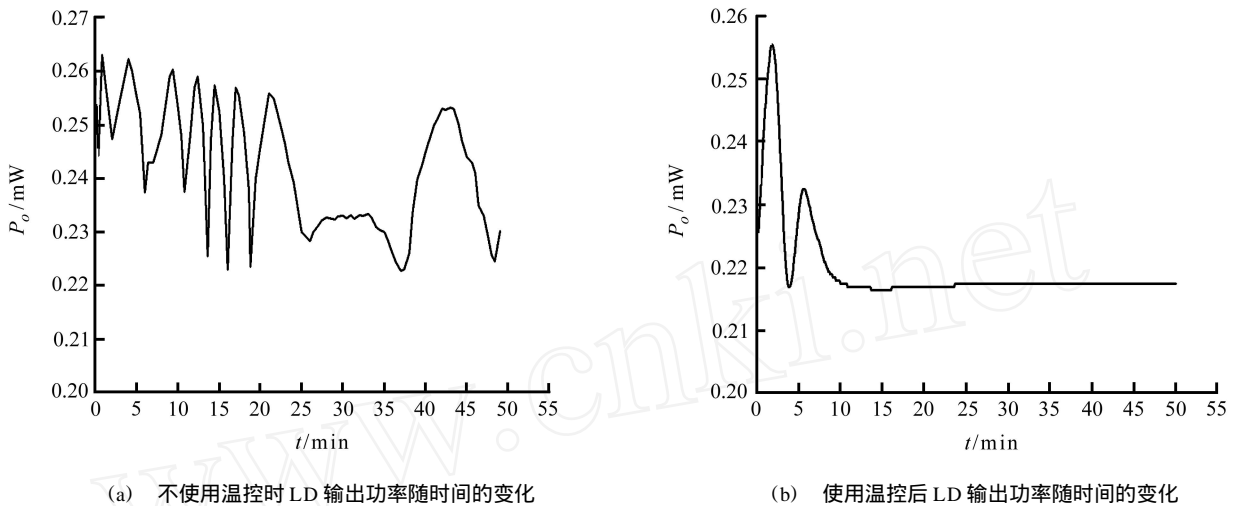


图 6 LD 输出功率的时间稳定性比较

参考文献:

- [1] Notomi M, Mitomi O, Yoshikuni Y. Broad-band tunable two-section laser diode with external grating feedback [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 1990(2): 85 - 87.
- [2] 余向东, 张在宣, 郭宁, 等. 宽测量范围的半导体激光测距仪 [J]. 光电子·激光, 2001, 12(10): 1054 - 1057.
- [3] Diana Zankowsky. Diode-laser drivers maintain control [J]. Laser Focus World, 1996, 32(7): 131 - 133.
- [4] 赵伟瑞, 谢福增. 用于干涉测量的光栅外腔半导体激光器 [J]. 中国激光, 2004, 31(8): 912 - 913.
- [5] 童长飞. C8051F 系列单片机开发与 C 语言编程 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005: 38 - 55.
- [6] 孙晓明. 半导体激光器干涉理论及应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1998: 61 - 67.

Design of Control System for Semiconductor Laser Based on MCU

WANG Zhe, ZENG Hua-lin, ZHOU Yan, FAN Song-tao, HE Jun, XIE Fu-zeng

(Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract: A high-stability semiconductor laser diode control system, including the current driver system and the temperature control system, in which MCU is the core, combined with peripheral circuit such as PID control system, was designed. Of this system, the precision of current variation is 1.5×10^{-5} and smaller than $1 \mu\text{A}$ in long time work (more the 12 h), and that of temperature control is 10^{-3} . Applying the system to control the grating external cavity semiconductor laser, issues of model jumping were solved and the output power stability was remarkably enhanced.

Key words: MCU; semiconductor laser; PID; high-stability

【责任编辑 陈汉忠】