

文章编号: 1002-2082(2007)06-0689-04

# 干涉测量用半导体激光器驱动电源

王哲, 曾华林, 周燕, 范松涛, 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:** 设计了一种可调制的高稳定度半导体激光器驱动电路。该电路的直流稳定度高达 $1.5 \times 10^{-5}$ , 输出电流在0~200 mA内连续可调, 长时间工作(12 h以上)电流变化小于1 μA; 在直流基础上注入100 kHz~300 kHz的调制电流, 其调制深度为0~100 mA连续可调, 可实现在激光干涉测量中对光波频率和光波强度的调制。将该电路驱动的光栅外腔半导体激光器和辅助温度控制电路应用于光干涉测量技术中, 得到了功率稳定、波长单一的激光输出, 解决了激光器的跳模现象, 完成了对远距离微小振动(纳米量级)的测量。

**关键词:** 半导体激光器; 高稳定度电路; 调制深度; 干涉测量

中图分类号: TN248.4

文献标志码: A

## Driver circuit of semiconductor laser for interferometry

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

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

**Abstract:** The design of a driver circuit for high-stability semiconductor laser is introduced. Its output current can be continuously adjusted from zero to two hundred milliamperes and its stability reaches  $1.5 \times 10^{-5}$ . The variation of the output current is less than 1 μA when its operation time is longer than 12 h. The modulation of frequency and intensity of optical wave in the laser interferometry can be achieved by the modulated current (100 kHz~300 kHz) input, whose modulation depth is continuously adjustable from zero to one hundred millampere. By applying the grating external cavity semiconductor laser and the auxiliary temperature-control current driven by the driver current to the interferometry, the laser output with stable power and single wavelength was obtained to eliminate the mode hopping phenomenon of lasers and to realize the long-distance measurement for small vibration.

**Key words:** semiconductor laser; high-stability driver circuit; modulation depth; interferometry

## 引言

干涉测量方法可对光学系统波相差和精密光学零件面形误差进行非接触检测, 还可实现对长度、距离、位移和运动速度等物理量的高精度非接触测量。半导体激光器是目前最通用的、不可替代的干涉测量用激光光源。它具有体积小、重量轻、转换效率高、可靠性高、使用寿命长、能直接调制、能

与其他半导体器件集成等特点, 使得干涉测量系统的集成化、实用化成为可能<sup>[1]</sup>。

半导体激光器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激光器的输出有非常直接的、明显的影响。在干涉测量中, 对光束的相干性有着较高的要求, 因此要求外腔半导体激光器的电源是能够长时间稳定工作的恒流源, 其工作电流

应当具有非常高的稳定度(至少小于 $10^{-4}$ )和很小的波纹系数<sup>[2]</sup>;另外,在通过外腔半导体激光器的干涉测量中,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。激光器工作在电流光频调制状态,电流的调制幅度不应过大,否则将出现模式跳变。

## 1 系统设计原理及组成

系统主要由精密基准电压源、高频波形发生器、电压-电流转换器、慢启动保护电路和反馈环路

5部分组成,其原理框图如图1所示。

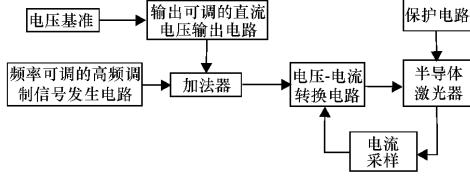


图1 驱动电路原理框图

Fig. 1 Principle diagram of driver circuit

图2为电路的具体实现原理:将 $10\Omega$ 精密电

阻(温度系数 $5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ )作为取样电阻,流过它的电流即是流过激光器的电流,将该电阻两端电压通过仪表运算放大器采样并放大,与设定的电压进行差分,以控制场效应管的栅极,形成闭环回路。设定的电压是由直流偏置电流和高频交流调制通过加法器相叠加而成。另外,由于半导体激光器在装配、调试和工作过程中,极易受到电压、电流和静电荷等外界电气冲击的影响而损坏,因此在驱动电路部分增加了慢启动保护电路<sup>[3]</sup>。接下来分别具体介绍各部分的电路组成。

### 1.1 精密基准电压源

驱动电流的稳定性直接影响波长的稳定性,影响系数约为 $4\times 10^{-8}/\text{mA}$ 。为达到远距离干涉测量所需要的光束的相干长度,必须保证激光器驱动电流长时间保持恒定。因此,基准电源的精度和稳定度对恒流的输出有很大影响。LM399是一个低噪声、高精度、高稳定度稳压芯片,其温度系数小于 $0.5\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ,长期稳定度( $1\ 000\text{ h}$ )达 $20\times 10^{-6}$ 。在图2的左上部分,LM399提供 $6.95\text{ V}$ 基准参考电压,后面接入运放跟随器,以防止后级和前级互相影响。

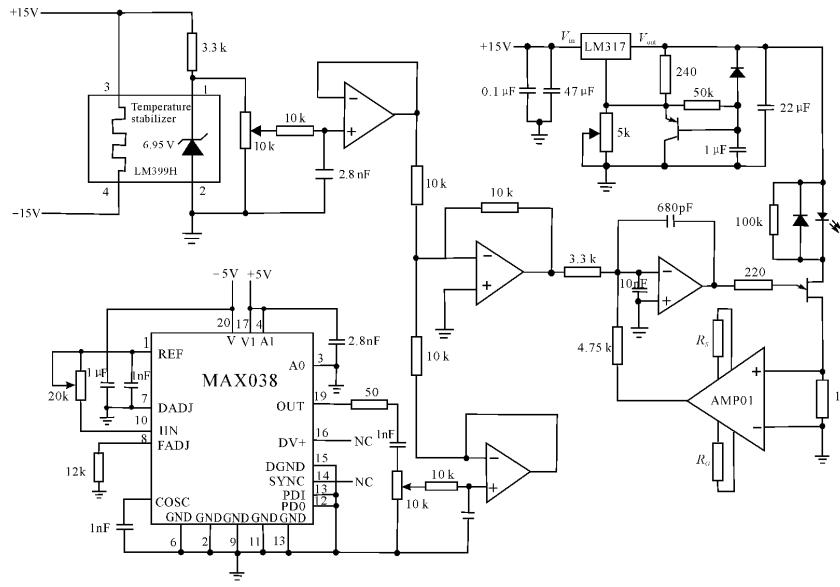


图2 半导体激光器驱动电路图

Fig. 2 Driver circuit diagram of semiconductor laser

这个单元整体作为稳定的直流驱动电流输入部分。

### 1.2 精密仪表运算放大器

图2中的右下部分是电流采样反馈电路,采用了低噪声、高性能的单片仪表放大器AMP01,它是

为高精度数据采集和仪表应用而设计的芯片,具有失调电压低( $\mu\text{V}$ 量级)、稳定性好、噪声低、共模抑制比高、偏置电流低、精度高等特点。

增益是仪表放大器AMP01的重要参数,它是

通过2个外接电阻设定的,其范围为0.1~10 000。在增益范围内的温度系数极低,通常为 $10 \times 10^{-6}/\text{C}$ 。图2中 $R_S$ (比例电阻)和 $R_G$ (增益电阻)的大小由公式 $G=20 \times R_S/R_G$ 确定,式中 $G$ 为电压增益。对用于干涉测量的半导体激光器来说,为了避免调制电流的引入对输出光的波长造成影响,要求调制频率范围在100 kHz~300 kHz之间。根据AMP01的增益带宽积的要求,设计放大器的增益 $G=4$ 。比例电阻 $R_S$ 的大小直接影响线形度和输出端的误差,当电源电压为 $\pm 15$  V时,电路的性能主要由 $R_S$ 决定,一般选择为10 kΩ,因此选择 $R_G=50$  kΩ。这是实际电路中选用的阻值。

### 1.3 高频调制信号发生电路

注入式半导体激光器是用调制信号直接改变它的泵浦驱动电流,从而使输出的激光强度或光频率受到调制(这种方式也称为直接调制)<sup>[4]</sup>。

MAX038是MAXIM公司生产的单片高频精密函数波形发生器,能够产生0.1 Hz~20 MHz的正弦波、矩形波和三角波,最高频率可达40 MHz,具有高频特性好、频率范围宽、使用方便灵活的特点<sup>[5]</sup>。

MAX038各引脚如图2左下部分所示,其输出频率决定于注入IIN引脚的电流 $I_{\text{IN}}$ 、COSC引脚的 $C_F$ 的电容容量以及FADJ引脚上的电压。最方便的办法是在REF和IIN间串联一个电阻或电位器 $R_{\text{IN}}$ 来驱动IIN。一个内部的闭环放大器迫使IIN为虚拟的,当 $V_{\text{FADJ}}=0$  V时,输出的基波频率为

$$F_0(\text{MHz}) = V_{\text{IN}} \div [R_{\text{IN}} \times C_F(\mu\text{F})]$$

输出频率的精细频率控制和占空比的调节分别由引脚FADJ的电压 $V_{\text{FADJ}}$ 和引脚DADJ的电压 $V_{\text{DADJ}}$ 来调节。

通过在2个与TTL兼容的选择引脚 $A_0$ 和 $A_1$ 上建立相应的编码信号,可选择正弦波、方波或三角波输出,产生一个等幅的 $2V_{\text{P-P}}(\pm 1\text{ V})$ 信号。图2中即为一正弦波输出的波形发生电路,DADJ引脚接地,占空比为50%;由于FADJ对输出频率增加了一个小的温度系数,将其串联一个12 kΩ的电阻接地来禁止FADJ调整,这样造成了振荡频率加倍; $V_{\text{REF}}=2.5$  V,为内部基准电压,最终振荡频率为

$$F_0(\text{MHz}) = \frac{2 \times 2.5}{R_{\text{IN}} \times C_F}$$

输出频率可通过电位器 $R_{\text{IN}}$ 调节。另外,考虑到 $I_{\text{IN}}$ 为100 μA左右时温度系数最低,并且在改变占空比时频率偏移最小,因此选择电位器阻值为

20 kΩ;输出正弦波频率要求在100 kHz~300 kHz调节,选择 $C_F$ 的电容容量为1 nF。

## 2 实验结果

实验所用的半导体激光器是由中科院半导体研究所研制的,其中心波长为942.4 nm,Δλ为3.6 nm,阈值电流为15.8 mA,搭建成Littrow型外腔结构。

测量直流稳定度。将驱动器工作在室温下,工作电流设定为46 mA。将阻值1 Ω的精密负载电阻与半导体激光器串联接入电路,使用Keithley 2000 6位半数字台式万用表,测量负载电阻两端电压值来反映激光器的电流值,激光器的12 h长期工作电流如表1所示。由表可见恒流源电流变化小于±1 μA。经过计算,直流稳定度达到 $1.5 \times 10^{-5}$ ,完全满足 $10^{-4}$ 的干涉测量的要求。

表1 激光器长期工作测试数据

Table 1 Test data for current stability of laser working for a long time

Time/h	Voltage/mV
0	46.121
1	46.122
2	46.122
3	46.122
4	46.121
5	46.122
6	46.122
7	46.121
8	46.121
9	46.120
10	46.121
11	46.120
12	46.121

测量交流输出波形。在46 mA直流偏置基础上加入了174.5 kHz正弦调制电流输出。图3所示为外腔半导体激光器的调制输出波形。

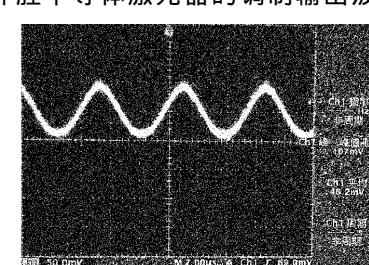


图3 正弦调制输出波形

Fig. 3 Output waveform of sinusoidal modulation

### 3 结论

通过对电路结构的设计和对元器件的选用,实现直流稳定性高达 $1.5 \times 10^{-5}$ 、长期工作电流变化小于 $1 \mu\text{A}$ 的高稳定性恒流半导体激光器驱动源;同时,为了满足干涉测量的应用需要,使用正弦调制方式(是电路的另一独特之处),实现了适用于不同干涉测量需要的光波频率和光强的调制驱动。目前该驱动电源已经应用在远距离干涉测量和无线激光监听系统中,具有良好的实用效果。

#### 参考文献:

- [1] LIBBRECHT K G, HALL J L. A low-noise high-speed diode laser current controller[J]. Review of Scientific Instruments, 1993,64(8): 2133-2135.
- [2] 黄德修,刘雪峰. 半导体激光器及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社,1999:255-256.  
HUANG De-xiu, LIU Xue-feng. Laser diodes and the applications of laser diode[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1999:255-256. (in Chinese)
- [3] 刘芸,焦明星. 半导体激光器用电流源的设计[J]. 应用光学, 2005,26(3): 9-11.  
LIU Yun, JIAO Ming-xing. The design of current supply for diode laser[J]. Journal of Applied Optics, 2005,26(3):9-11. (in Chinese)
- [4] 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, 1998:8-19.  
SUN Xiao-ming. Theory and application of interferometry using laser diode [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1998: 8-19. (in Chinese)
- [5] 王俊杰,马铁华,祖静. 半导体激光器调制驱动电源的研制与实践[J]. 测试技术学报, 2000,14(2):104-108.  
WANG Jun-jie, MA Tie-hua, ZU Jing. The study and implementation of a laser diode modulated drive power [J]. Journal of Test and Measurement Technology, 2000,14(2):104-108. (in Chinese)