

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 1.5×10^{-5} , 输出电流在 $0 \sim 200$ mA内连续可调, 长时间工作(12 h以上)电流变化小于 $1 \mu\text{A}$; 在直流基础上注入 $100 \text{ kHz} \sim 300 \text{ kHz}$ 的调制电流, 其调制深度为 $0 \sim 100$ 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 1.5×10^{-5} . The variation of the output current is less than $1 \mu\text{A}$ 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 ($100 \text{ kHz} \sim 300 \text{ kHz}$) input, whose modulation depth is continuously adjustable from zero to one hundred milliampere. 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^[1]。

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

收稿日期: 2006-11-28

基金项目: 国家自然科学基金(60277027)

作者简介: 王哲(1981—), 男, 辽宁沈阳人, 硕士研究生, 主要从事光电子学和光电子技术的研究。

E-mail: wangzhe04@semi.ac.cn

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 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。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 $\pm 15\text{ V}$ 时,电路的性能主要由 R_S 决定,一般选择为 10 k Ω ,因此选择 $R_G=50\text{ k}\Omega$ 。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)^[4]。

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^[5]。

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_{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_{IN} 来驱动 IIN。一个内部的闭环放大器迫使 IIN 为虚拟的,当 $V_{\text{FADJ}}=0\text{ V}$ 时,输出的基波频率为

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

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_{FADJ} 和引脚 DADJ 的电压 V_{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 $2V_{P-P}(\pm 1\text{ V})$ 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 k Ω 的电阻接地来禁止 FADJ 调整,这样造成了振荡频率加倍; $V_{\text{REF}}=2.5\text{ V}$,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_{IN} 调节。另外,考虑到 I_{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 k Ω ;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, $\Delta\lambda$ 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 $\pm 1\text{ }\mu\text{A}$ 。经过计算,直流稳定度达到 1.5×10^{-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。

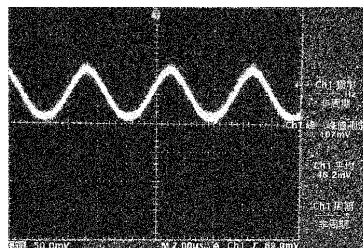


图 3 正弦调制输出波形

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,实现直流稳定度高达 1.5×10^{-5} 、长期工作电流变化小于 $1 \mu\text{A}$ 的高稳定度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)