

# 半导体激光器自混合干涉的调制及光电检测电路

赖方明, 闫海涛, 郭冬梅, 杨静波, 王 鸣

(南京师范大学 物理科学与技术学院, 江苏 南京 210097)

**[摘要]** 根据半导体激光器自混合干涉微位移测量系统的要求, 设计了电流调制半导体激光器和光信号检测电路. 半导体激光器具有体积小、易调制等特性, 因此在实验采用中心波长为 650 nm 的半导体激光器作为该微位移测量系统的光源, 从而使系统微型化、光路易准直; 将半导体激光器的电流调制特性和自混合干涉原理相结合, 使此微位移测量系统的测量精度远远高于传统干涉方法. 在实验电路中利用集成运放特性实现对光源信号的调制和微弱信号的前置放大, 并使用温度补偿及抗干扰技术, 使输出信号满足系统要求.

**[关键词]** 调制, 自混合干涉, 光电转换, 微弱信号

**[中图分类号]** TN25 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1672-1292(2006)02-0026-04

## The Modulating and Photoelectric Detecting Circuit Design for Laser Diode Self-mixing Interference

LAI Fangming, YAN Haitao, GUO Dongmei, YANG Jingbo, WANG Ming

(School of Physical Science and Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

**Abstract:** According to the requirements of laser diode self-mixing interferometry's system, the circuit of current modulating laser diode and detecting photosignal is designed. Because of micro capacity and easily modulation of laser diode, the laser diode with 650 nm-middle-wavelength is applied as the photosource of this system, which make for the system more miniature and the beam path more collimated. Combining the characteristics of laser diode current modulation with the theory of self-mixing interferometry leads to a much more precise measurement of system than that of the technique of conventional interferometry. The modulation of photosource and the preamplification of weak signal are actualized by the characteristics of integrated operational amplifier. In addition, by utilizing the technology of temperature compensation and anti-interference in experimental circuit, the system obtains expected result of the output signal.

**Key words:** modulation, self-mixing interference, photoelectric conversion, weak signal

## 0 引言

半导体激光器(Laser Diode, LD)是利用半导体材料导带中的电子和价带中的空穴的复合来产生受激辐射. 其具有体积小、重量轻、结构简单、效率高、寿命长、可连续发射、工作电压和电流与集成电路兼容等优点, 所以被广泛应用于光通讯、激光雷达、数字光信号的存储和恢复、激光测距、医学诊断等各个领域. 当注入电流大于 LD 的阈值电流  $I_{th}$  后, 在一定范围内 LD 的输出光功率与注入电流呈近似正比关系, 其调制特性曲线如图 1 所示. 因此, 可以通过改变 LD 的注入电流直接调制输出的光功率, 并且具有响应快、调制频率范围宽等特性, 这一特性也被广泛地应用于光源调制中.

随着激光技术的迅速发展, 光信号探测器件与检测技术都被广泛应用. 常见的光探测器件(Photoelectric Detector, PD)有: 光电二极管、光电三极管、光敏电阻、PIN 管、CCD 等, 但其光电转换后直接输出的电

收稿日期: 2006-01-10.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50375074).

作者简介: 赖方明(1981-), 硕士研究生, 主要从事光电子技术和激光应用的学习与研究. E-mail: lfm812@163.com

通讯联系人: 王 鸣(1950-), 教授, 主要从事光电子和激光应用的教学与研究. E-mail: wangming@njnu.edu.cn

信号微弱、信噪比低,因此需要特殊的技术检测出微弱信号。

## 1 系统介绍

自混合干涉<sup>[1,2]</sup>是指激光器输出光被外部物体反射或散射后,其中一部分光被反馈回激光器的谐振腔,反馈光携带了外部物体的信息,与腔内光混合干涉后,调整激光器的输出功率。自混合干涉微位移测量原理是:由变化的电流直接调制半导体激光器,在激光反馈干涉的情况下,利用 PD 检测到自混合干涉信号与外腔长度,靶面的反射率和注入电流密度之间关系,就可以精确地测量外腔长度的微小变化。

本实验系统如图 2 所示。此微位移测量系统由 LD 调制电路驱动一个激光光源,其相干光路产生的自混合干涉信号被 PD 接收,并将探测到的微弱信号进行放大,滤波去噪,保证供给采集系统一个精确的信号。因 LD 与 PD 封装于同一个管壳内,则可以将调制与检测电路集成一个电路实现,从而降低成本,使本系统小型化,并有广泛的应用价值。

## 2 硬件设计与分析

微位移测量系统的硬件电路主要由电流调制 LD、光电信号放大两个部分组成。根据系统特性,对各个电路原理做了分析,尤其是对微弱信号的放大以及抗干扰(屏蔽)的处理,并且选择了相应的电子器件。

### 2.1 调制 LD 电路

调制电路<sup>[3]</sup>由信号跟随输入部分、同相放大、过流保护电路、达林顿管驱动 LD 电路组成,如图 3 所示。精密基准电压  $V_b$  给 LD 提供一个能正常工作的直流电流  $I_b$ ,调制电压  $V_m$  使在  $I_b$  上叠加一个变化的电流  $I_m$ ,则流过 LD 的调制电流为  $I_{LD} = I_b + I_m$ 。

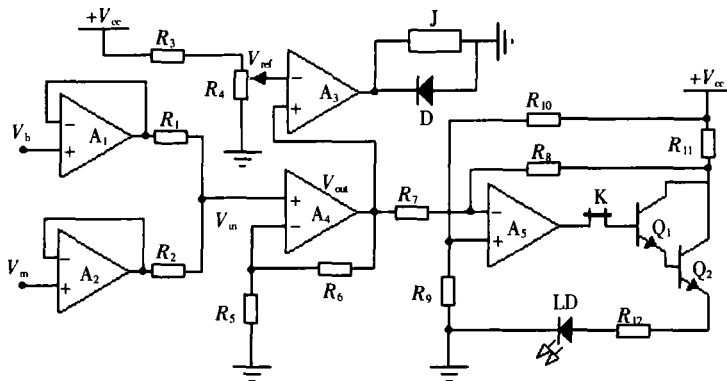


图 3 电流调制原理图

运放  $A_1, A_2$  接成电压跟随形式输出,用来提高输入阻抗;而在电阻  $R_1, R_2$  作用下实现了信号输入的叠加。当在  $R_1 = R_2$  情况下,电压  $V_{in}$  有:

$$V_{in} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_b + \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_m = \frac{1}{2} (V_b + V_m) \quad (1)$$

运放  $A_4$  起到放大  $V_{in}$  信号作用,故有:

$$V_{out} = \left( 1 + \frac{R_6}{R_5} \right) V_{in} \quad (2)$$

运放  $A_5$  和达林顿管(由  $Q_1, Q_2$  复合成的)使  $V_{out}$  转换成驱动 LD 的调制电流,在  $R_7 = R_8 = R_9 = R_{10}$

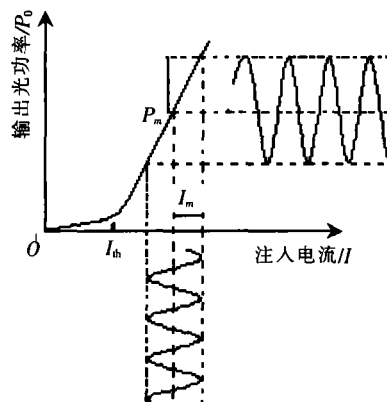


图 1 LD 的电流调制特性

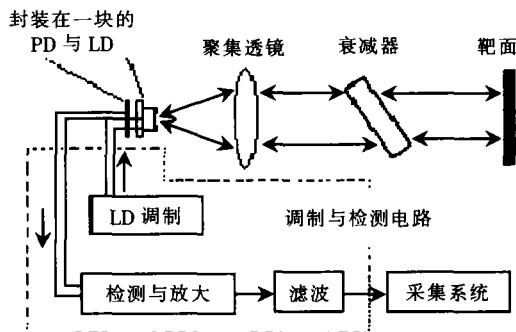


图 2 实验系统原理框图

情况下,由运放“虚短”、“虚断”的特性可得:

$$\frac{V_{out} - \frac{1}{2}V_{cc}}{R_7} + \frac{(V_{cc} - V_{R_{11}}) - \frac{1}{2}V_{cc}}{R_8} = 0 \quad (3)$$

由式(3)可计算得  $R_{11}$  上的压降:  $V_{R_{11}} = V_{out}$ , 再将式(1)(2)(3)联立,可以求得:

$$I_{LD} = \frac{V_{out}}{R_{11}} = \frac{\frac{1}{2}\left(1 + \frac{R_6}{R_5}\right)(V_b + V_m)}{R_{11}} \quad (4)$$

比较器  $A_3$  与继电器  $J$  起到保护 LD 电流过大的作用. 由上式(4)可以得知,  $V_{out}$  不仅不受电源  $V_{cc}$  波动的影响,而且与  $I_{LD}$  成正比关系;因此当  $V_{out}$  过大时可能会击穿 LD, 所以保护电路将  $V_{out}$  接比较器  $A_3$  的同相端, 当  $V_{out} > V_{ref}$  时, 比较器输出足够大的电流使继电器  $J$  常闭开关  $K$  断开, 使达林顿管基极无输入电流而截止, 则 LD 上无电流. 当  $V_{out} \leq V_{ref}$  时, LD 正常工作.

实验中选用失调电压低、偏置电流低、温漂小、可调零的集成运放, 其中  $A_1, A_2$  要用双运放 IC 来实现温度补偿. 又由式(4)可知, 分母  $R_{11}$  的稳定性对  $I_{LD}$  的影响很直接, 所以要选用温漂小的精密电阻; 同样  $R_1, R_2 (R_1 = R_2)$  和  $R_5, R_6 (R_5 = R_6)$  选用温漂小的精密电阻, 即能补偿温度漂移又能提高系统稳定性.

## 2.2 光电信号放大与抗干扰

如图4所示, 光信号接收部分是采用硅光电二极管(PD)作为光电探测器<sup>[4]</sup>, 根据其特性, 将阳极接负电压, 阴极接地, 实现外加反向偏压, 同时并入一个精密的测试电阻( $R_i$ )将光生电流转化成电压, 输入前置放大器.

系统中自混合干涉信号经光电转换后其电信号非常微弱, 而且夹带着一定噪声, 因此在供采集系统采集之前, 需要对微弱信号放大、滤波. 仅用放大器具有高输入阻抗、强抗共模干扰能力、低温漂、低失调电压和高稳定增益等特点, 在微弱信号检测<sup>[5]</sup>系统中常作为前置放大器使用.

为了提高共模抑制比, 仪用放大器采用对称结构设计(如图4所示). 对于直流共模信号, 流过电阻的电流为零, 当  $R_3/R_5 = R_4/R_6$  且  $R_3 = R_4$  时, 共模电压输出为零. 对于交流共模信号, 由于传输线存在线阻(设等效线阻为  $R_{eq1}, R_{eq2}$ )和分布电容(设为  $C_1, C_2$ ),  $R_{eq1}C_1$  和  $R_{eq2}C_2$  分别对地构成回路, 但当  $R_{eq1}C_1 \neq R_{eq2}C_2$  时, 交流共模信号在运放的输入端产生分压, 其输入电压分别为  $V_{in1}$  和  $V_{in2}$ , 且  $V_{in1} \neq V_{in2}$ , 则电阻  $R_g$  有交流共模电流流过时就会产生交流共模干扰. 交流共模电压混合于待测信号, 会影响数据采集的精度. 为了抑制交流共模信号干扰, 在输入端加入保护电路(图4虚框部分), 将信号线屏蔽, 当  $R_1 = R_2$  时, 由于屏蔽层和信号线对交流共模信号时等电位, 则  $C_1$  和  $C_2$  的分压作用不存在, 从而降低交流共模信号的影响. 为了进一步减少外界噪声的干扰, 可以将运放放置在金属屏蔽罩内, 同时在布置线路板时将运放输入端及四周用“包地”和“覆铜”方法加以屏蔽以及运放工作电源输入端并联退耦电容<sup>[6]</sup>.

## 3 实验结果

半导体激光器受 100 Hz 的正弦波电流调制以后, 在多重反馈下, 激光器内部的 PD 将自混合干涉信号转换成微弱的电信号; 通过前置放大电路, 将干涉信号放大, 如图5所示; 经放大后, 正弦调制的自混合干涉信号的频率约 1.8 kHz, 峰峰值 7 V, 从而保证数据采集系统的需求.

## 4 结束语

本实验是基于半导体激光器自混合干涉微位移测量系统

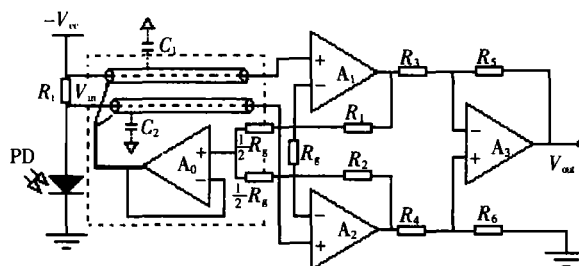


图4 微弱信号放在与屏蔽



图5 正弦调制的自混合干涉信号

而设计的电路.当调制信号有微小变化,它会给系统带来很大误差;同样,信号检测部分的不稳定,也会使系统无法正常工作.因此,在介绍 LD 调制电路以及光信号检测部分时,也特别地考虑了温度补偿和抗干扰,从而保证了系统的稳定性,同时取得了良好的效果.特别是微弱信号检测技术,在本实验中起到一定的作用.该技术也可以应用于其它电路系统中,具有较高的可移植性.

### [参考文献] (References)

- [1] 王鸣, 聂守平, 李明, 等. 自混合干涉微位移传感器[J]. 仪器仪表学报, 2004, 25(4): 428-431.  
WANG Ming, NIE Shouping, LI Ming, et al. Self-mixing interferometry for micro displacement measurement[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2004, 25(4): 428-431. (in Chinese)
- [2] 王鸣, 聂守平, 李达成. 半导体激光器的光学反馈干涉及传感应用[J]. 中国激光, 2002, 29(12): 1122-1126.  
WANG Ming, NIE Shouping, LI Dacheng. Optical feedback interferometry of semiconductor laser for sensing application[J]. Chinese Journal of Lasers, 2002, 29(12): 1122-1126. (in Chinese)
- [3] 梁芳, 强锡富, 孙晓明. 一种简单实用的半导体激光器调制电路[J]. 光学精密工程, 1999, 17(1): 96-99.  
LIANG Fang, QIANG Xifu, SUN Xiaoming. A simple and practical circuit for laser diode modulation[J]. Optics and Precision Engineering, 1999, 17(1): 96-99. (in Chinese)
- [4] 孙培懋, 刘正飞. 光电技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1992: 5-194.  
SUN Peimao, LIU Zhengfei. Photoelectric Technology[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 1992: 5-194. (in Chinese)
- [5] 张冬玲, 王良红. 基于 DSP 的微弱信号检测采集系统设计[J]. 微计算机信息: 嵌入式与 SOC, 2005, 21(7): 83-84.  
ZHANG Dongling, WANG Lianghong. Design of acquisition system with DSP detecting weak signal[J]. Information of Micro Computer: Embedded and Soc, 2005, 21(7): 83-84. (in Chinese)
- [6] 何书森, 成晶, 何华斌, 等. 实用模拟电路原理与设计速成[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 2002: 166-185.  
HE Shusen, CHENG Jing, HE Huabin, et al. Utility of Analog Circuit's Theory and The Rapidly Completion of Design[M]. Fuzhou: The Science and Technology of Fujian Press, 2002: 166-185. (in Chinese)

[责任编辑: 严海琳]

(上接第 25 页)

### [参考文献] (References)

- [1] 章毓晋. 图像分割[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 63-65.  
ZHANG Yujin. Image Segmentation[M]. Beijing: Science Press, 2001: 63-65. (in Chinese)
- [2] 张庆, 向健勇, 赵小明, 等. 一种图像分割的快速目标描述方法[J]. 红外技术, 2004, 26(6): 83-85.  
ZHANG Qing, XIANG Jianyong, ZHAO Xiaoming, et al. An approach of fast object description for image segmentation[J]. Infrared Technology, 2004, 26(6): 83-85. (in Chinese)
- [3] 张修军, 郭霞, 金新宇. 带标记矫正的二值图像连通域像素标记算法[J]. 中国图象图形学报, 2003, 8A(2): 197-202.  
ZHANG Xiujun, GUO Xia, JIN Xinyu. The pixel labeled algorithm with label rectified of connecting area in binary pictures[J]. Journal of Image and Graphics, 2003, 8A(2): 197-202. (in Chinese)
- [4] 张新宇, 刘广智, 李建勋, 等. 一种图像分割的目标描述方法及实现[J]. 系统工程与电子技术, 2003, 25(2): 219-222.  
ZHANG Xinyu, LIU Guangzhi, LI Jianxun, et al. An approach of object description for image segmentation and its implementation[J]. Systems Engineering and Electronics, 2003, 25(2): 219-222. (in Chinese)
- [5] 权龙哲, 马小愚. 基于小波分析的玉米籽粒图像正形研究[J]. 农机化研究, 2006(2): 154-156.  
QUAN Longzhe, MA Xiaoyu. Adjusting the shape of corn kernels based on wavelet analysis[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006(2): 154-156. (in Chinese)
- [6] KENNETH R CASTLEMAN. Digital Image Processing[M]. New York: Prentice Hall, 1998: 470.

[责任编辑: 严海琳]