

采用半导体激光器自身 pn 结特性测温的 半导体激光器恒温控制

林志琦^{1,2}, 张洋², 郎永辉², 尹福昌¹

(1. 长春理工大学 光电工程学院, 吉林 长春 130022; 2. 长春工业大学 电气与电子工程学院, 吉林 长春 130012)

摘要: 温度对半导体激光器的发射波长有很大的影响, 而很多应用都要求半导体激光器的发射波长是稳定的。针对使用测温元件作为温度传感器进行半导体激光器恒温控制中存在的温度误差, 提出了以半导体激光器自身 pn 结作为温度检测元件进行半导体激光器恒温控制的方法, 设计了半导体制冷器的驱动电路。该方法利用 pn 结的温度敏感特性, 首先通过实际测量标定 pn 结的温度与其两端压降的对应关系, 然后通过测量压降得出相应的实际温度。实验结果表明, 采用该方法消除了使用温度传感器进行半导体激光器恒温控制中温度梯度造成的恒温误差, 提高了测量速度, 显著减小了超调量, 消除了静差和波动。

关键词: 激光二极管; 温度检测; pn 结测温; 半导体制冷

中图分类号: TN248.4

PACS: 42.55.Px

PACC: 4255P

文献标识码: A

1 引言

半导体激光器的发光波长是随温度变化而变化的, 图 1 是 SONY 公司型号为 BPW34 的波长为 1.33 μm , 功率为 1 mW 的半导体激光器温度与发光强度的实测曲线。由图 1 可以看出, 当温度变化 10 $^{\circ}\text{C}$ 时, 半导体激光器的发光波长变化 $\Delta\lambda$ 达到了 2.6 nm。而半导体激光器的一些应用如波分多路复用通信系统, 对激光发射波长的稳定要求为 $\Delta\lambda \leq 0.21$ nm。功率较大的半导体激光器虽然对波长的稳定度要求不高, 但是工作时器件的

温度将会升高, 温度过高会造成半导体激光器的损坏^[1~3]。因此, 在使用半导体激光器时, 必须采用恒温措施来对半导体发光和激光器进行恒温控制。

2 测温元件与半导体激光器管芯之间温度及造成的温度误差

图 2 是半导体激光器与测温传感器相互安装

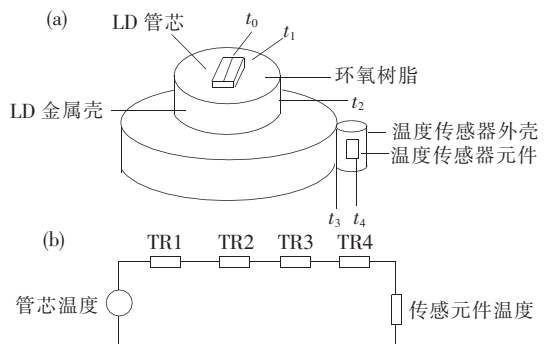


图 2 半导体激光器与测温元件的安装关系 (a) LD 与测温元件之间的结构图; (b) 半导体激光器与测温元件之间的等效热阻

Fig. 2 The space relation between semiconductor lasers and temperature measurement devices. (a) The structure between LD and the temperature detecting components; (b) The equivalent resistance between LD and temperature detecting components.

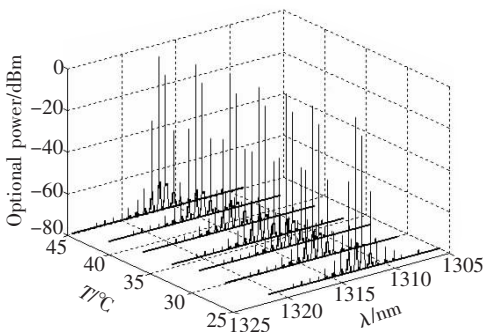


图 1 波长随温度变化的曲线

Fig. 1 The variation of laser emission wavelength with the change of temperature

收稿日期: 2008-09-25; 修订日期: 2008-10-24

基金项目: 五十装备预先研究项目(404050603)资助

作者简介: 林志琦(1964-), 男, 吉林人, 博士研究生, 主要从事光电检测、嵌入式系统应用的研究。

E-mail: zhiqin@sohu.com

时的结构示意图。在图 2(a) 中半导体激光器管芯与外壳, 外壳与温度传感器外壳, 温度传感器外壳与温度传感器之间存在着多种材料的热接触, 每种接触都等效成一定的热阻和热容, 这种等效可以模拟成图 2(b) 所示的等效电路。由图 2 可以看出实测温度 t 与实际管芯温度 t' 不仅存在一定的静态误差, 在闭环控制中由于热容的存在还将对控制系统的动态特性造成不良的影响^[4]。

3 半导体激光器 pn 结温度特性

3.1 温度特性的数学描述

任何 pn 结都具有对温度敏感的特性^[4,5]。pn 结的正向压降具有负的温度系数, 并且在一定范围内随温度近似呈线性变化, 可用作温度传感器。从 pn 结理论可知, 其正向电流与电压关系满足下式:

$$I = \left(\frac{qD_n N_{p0}}{L_n} + \frac{qD_p n_{n0}}{L_p} \right) \left[\exp\left(\frac{qU}{kT} - 1\right) \right] \quad (1)$$

设: $I_0 = \frac{qD_n n_{p0}}{K_n} + \frac{qD_p n_{n0}}{L_p}$, 则:

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{qU}{kT} - 1\right) \right] \quad (2)$$

其中 I 是通过 pn 结的正向电流, I_0 是反向饱和电流, U 是加在 pn 结上的正向电压, T 为绝对温度, k 为波尔兹曼常数, q 为基本电荷量。 I_0 与温度的关系为:

$$I_0 = f(T) T^{3/2} \exp\left(\frac{-E_g}{2kT}\right) \quad (3)$$

其中 E_g 为温度为 0 K 时的禁带宽度。函数 $f(T)$ 随 T 的变化基本上与式(3)中的 $T^{3/2}$ 项相抵消, 联合(2)式和(3)式可以得到:

$$I = K \exp\left(\frac{qU - E_g}{2kT}\right) \quad (4)$$

表 1 半导体激光器温度与正向压降的关系

Table 1 The relationship between the device temperature and positive voltage drop of LD

pn 结温度(°C)	20	25	30	35	40	45	50	55
pn 结正向压降	2.038 4	2.035 5	2.028 2	2.019 1	2.012 3	2.004 5	1.996 9	1.989 7

4 基于 pn 结的恒温控制

4.1 温度检测电路

采用半导体激光器本身 pn 结的温度特性进行温度测量进而进行控制, 具体的控制电路及原理如下。根据 pn 结测温原理设计的温度检测电

$$U = \frac{E_g}{q} - \frac{2kT}{q} (\ln K - \ln I) \quad (5)$$

其中 $K = f(T) T^{3/2}$, 与温度无关^[5]。

由式(5)可以得到:

$$\ln K = \frac{E_g}{2kT} - \frac{qU}{2kT} + \ln I \quad (6)$$

$$T = \frac{E_g - qU}{2k(\ln K - \ln I)} \quad (7)$$

因此, 当二极管工作在恒流状态时, 二极管的 pn 结电压与温度的线性关系为:

$$\frac{dU}{dT} = -\frac{2k}{q} (\ln K - \ln I) \quad (8)$$

在上式中, $q, k, \ln K$ 是常量, 因此可以看出 dU/dT 只与电流有关。

由式(5)可以看出, 当电流保持不变的时候, pn 结正向压降 U 随温度 T 的上升而下降, 近似线性关系。

3.2 半导体激光器 pn 结实测数据

半导体激光器是利用 pn 结正向电流中粒子数反转实现受激辐射产生激光的, 虽然为了提高激光器的性能采用异质结, 双异质结等一系列技术手段, 但归根结底半导体激光器本身是一个 pn 结。根据半导体器件的基本特性, pn 结本身的正向压降与 pn 结的结温度存在一定的函数关系^[6]。pn 结的正向压降具有负的温度系数, 并且在一定范围内随温度呈线性变化, 可作温度传感器使用。测温灵敏度比较高, 线性较好。表 1 是实测的一种半导体激光器正向压降与温度的关系, 由表 1 可以看出温度与压降为线性关系, 温度系数为 1.520 mV/°C, 可见完全可以利用 LD 正向温度特性进行温度测量。

路如图 3 所示, 采用 TMS320F2812 中 A/D 转换器的通道 ADCINA1 和通道 ADCINB1 对半导体激光器的两端电压 U_1 和 U_2 同时进行采集, 从而可以计算出其压降 U 。 R_L 阻值已知, 当测得电压 U_2 , 则 $I = U_2/R_L$ 。通过对几个不同温度进行标定就可以求出式(5)中的常数项。当半导体激光器电流

发生变化时,只要测得其压降 U 利用式(7)就可以计算出温度 T 。当 ΔT 较小时,可以近似认为 $\Delta U = dU$ 和 $\Delta T = dT$, 电流是已知的,因此还可以利用式(7)计算出温度的变化量 ΔT 。

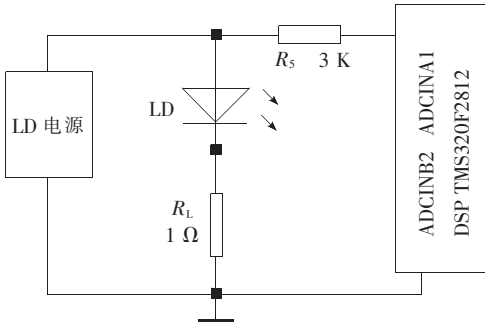


图3 温度检测电路图

Fig.3 Temperature detection circuit in constant temperature control based on pn junction

4.2 半导体制冷器的连接方式

由于半导体激光器的工作环境温度变化范围通常较大,为了满足不同温度条件下半导体激光器的工作,我们将半导体激光器的温度恒定控在 25 °C。当温度高于 25 °C 时对 LD 制冷,低于 25 °C 时加热。为实现这一功能选用型号为 TEC1-12605 的半导体制冷片,该半导体制冷片额定电压为 12 V,额定电流为 5 A,采用两片半导体制冷片组成半导体制冷器,一片制冷,一片加热,其连接方式如图 4 所示^[7]。将两片制冷片反向连接,即制冷片 1 的正极与制冷片 2 的负极相连,同时将制冷片 1 的负极与制冷片 2 的正极相连,并且将制冷片 1 的负极紧贴铜热沉,制冷片 2 的正极紧贴铜热沉^[8]。当供电电流从 IN1 流入 IN2 流出

时,制冷片 1 工作且制冷片 2 不工作,实现制冷功能;当供电电流从 IN2 流入 IN1 流出时,制冷片 2 工作且制冷片 1 不工作,实现加热功能,如图 4 所示。

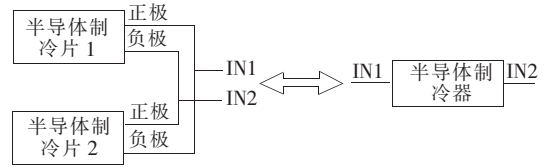


图4 pn 结恒温控制中半导体制冷器的连接方式

Fig.4 Connection mode of semiconductor refrigerator in constant temperature control based on pn junction

4.3 半导体制冷器驱动电路的设计

为了实现电流的正反向控制,采用图 5 所示的功率驱动电路,电路中开关式 H 桥功率放大电路由 4 只增强型的功率场效应管(MOSFET) 及其驱动电路组成。MOSFET 具有较高的开关速度、驱动能力强以及较高的噪声容限和抗干扰能力^[9,10]。功率放大电路中四个管子由两路 PWM 信号控制,当 PWM 信号输出为 0 时,场效应管处于截止状态,流经半导体制冷器的电流为零^[11]。从图 5 可以看出,控制 PWM 信号就可以控制流经半导体制冷器中电流的方向,其中 Q1 与 Q4 的导通与关断由 PWM1 控制,Q2 与 Q3 由 PWM2 控制。当 PWM1 为高电平时,Q1 和 Q4 导通,流经半导体制冷器的电流方向是从左向右;当 PWM2 为高电平时,Q2 和 Q3 导通,流经半导体制冷器的电流方向是从右向左。通过分别调整两路 PWM 波的占空比 q (高电平时间),可以调节半导体制冷器的制冷和制热时间^[12,13]。

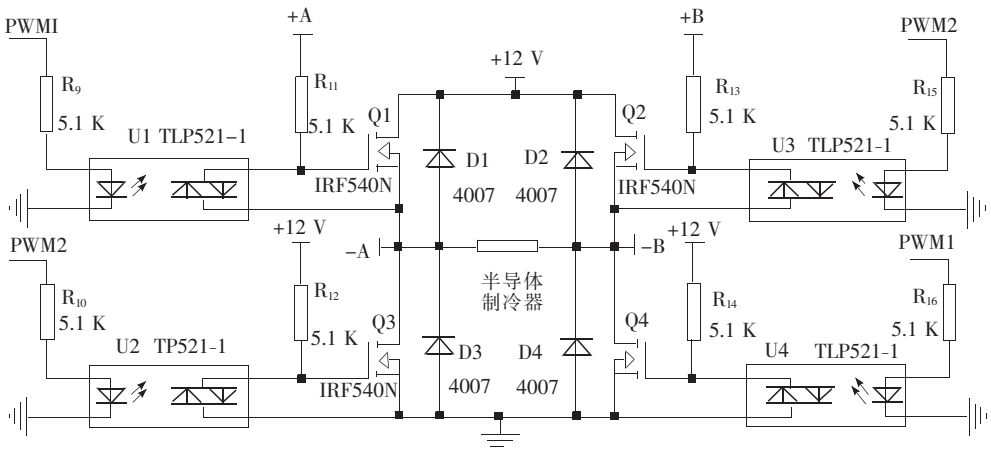


图5 pn 结恒温控制中半导体制冷器驱动电路

Fig.5 Driving circuit of semiconductor refrigerator in constant temperature control based on pn junction

5 实验结果

图 6 为采用 pn 结自身温度特性进行测温及采

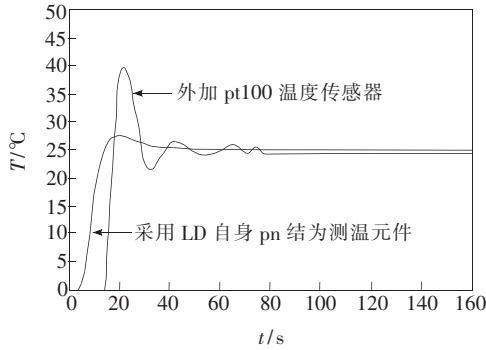


图 6 采用 LD 自身 pn 结测温与外加温度传感器测温进行恒温控制的比较

Fig. 6 The comparison between the pn junction of LD and temperature sensor in LD constant temperature control

用外加传感器进行测温的方法的性能比较,由图 6 可以看出采用 pn 结进行测温时系统超调量为 9.6%,调节时间 41.2 s,并且 41.2 s 以后曲线很稳定,没有静差和波动。而使用外加测温传感器时系统超调量达到了 61.7%,虽然 54.5 s 后系统基本稳定,但还是有微小的静差和波动。

6 结 论

采用半导体激光器自身 pn 结的温度特性进行半导体激光器管芯温度测量及恒温控制的方法,结构简单,误差小,控制性能好;消除了测温传感器与半导体激光器管芯间的温度误差,提高了测量速度,缩短了调节时间;而且使超调量显著减小,消除了静差和波动。该方法在半导体激光器的恒稳控制中具有很广的应用前景。

参 考 文 献:

- [1] Liu Weihua, Li Youqun, Fang Wenqing, *et al.* The junction-temperature characteristic of GaN light-emitting diodes on Si substrate [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2006, **27**(2):211-214 (in Chinese).
- [2] Chen Ting, Chen Zhizhong, Lin Liang, *et al.* Methods for determining junction temperature of GaN-based LEDs [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2006, **27**(3):407-412 (in Chinese).
- [3] Wang Jian, Huang Xian, Liu Li, *et al.* Effect of temperature and current to LED luminous efficiency [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2008, **29**(2):358-362 (in Chinese).
- [4] Huang Kun, Han Ruqi. *Base of Semiconductor Physics* [M]. Beijing: Publishing House of Science, 1979, 246-248.
- [5] Song Haipeng, Wen Jinmin, Zen Xiongwen, *et al.* Research of pulse injection method for measuring LD chip temperature [J]. *Chin. J. Lasers*, 2005, **32**(3):407-410.
- [6] Tan Yanliang, You Kaiming, Chen Liejun, *et al.* Analysis of the discharge phenomena of light-emitting diodes [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2007, **28**(4):551-556 (in Chinese).
- [7] Pan Huapu, Huang Liwei, Li Rui, *et al.* Finite element model of GaN based LED and the optimization of the mesa structure [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2007, **28**(1):114-120 (in Chinese).
- [8] Su Kuifeng, Lu Qiang, Geng Qingfeng, *et al.* *Theory and Development of TMS320F2812* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005, 16-36, 395-422.
- [9] Eric Black. An introduction to pound-driver-hall laser frequency stabilization [J]. *Am. J. Phys.*, 2001, **69**(1):79-87.
- [10] Cao Yulian, Wang Le, Liao Xinsheng, *et al.* Reliability of high-power semiconductor laser diode [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2003, **24**(1):100-102 (in Chinese).
- [11] Zhang Na, Zhang Yongli, Tian Xiaojian, *et al.* Theory and application on the constant temperature control of laser diode [J]. *J. Jilin University* (吉林大学学报,理学版), 2002, **40**(3):284-287 (in Chinese).
- [12] Chen Guoxiang. *Temperature Control of Semiconductor Laser based on MCU* [D]. Tianjin: Tianjin University of Technology, 2007, 15-27.
- [13] Li Zhiquan, Wang Zhibin, Wu Fei, *et al.* Study on a semiconductor temperature sensor with single light source [J]. *J. Transduction Technology*, 2003, **16**(1):44-46.

Constant Temperature Control of Semiconductor Laser Based on Temperature Characteristics of pn Junction

LIN Zhi-qi^{1,2}, ZHANG Yang², LANG Yong-hui², YIN Fu-chang¹

(1. Institute of Opto-electronic Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China;

2. School of Electric and Electronic Engineering, Changchun University of Technology, Changchun 130012, China)

Abstract: Since the temperature has a great effect on emission wavelength of semiconductor laser device, constant temperature control is necessary to the situation which require high wavelength stabilization. In view of temperature error in constant temperature control of semiconductor laser by means of temperature sensor, a new method taking pn junction of laser diode (LD) itself as temperature detector to achieve the goal of constant temperature was proposed. The drive circuit of semiconductor refrigerator was designed also. This method makes use of the temperature sensitive characteristic of pn junction to test the temperature of pn junction through its terminal voltage. The experiment results showed that the temperature error caused by temperature gradient is eliminated; the experiment speed is increased; the overshoot value is reduced distinctly; and the static error and fluctuation were also eliminated.

Key words: laser diode (LD); temperature detecting; temperature measurement by pn junction; semiconductor refrigeration

CLC number: TN248.4

PACS: 42.55.Px

PACC: 4255P

Document Code: A

Received date: 2008-09-25

《发光学报》网上在线投稿通知

由于学报发展的需要,《发光学报》网站已经建成开通,欢迎广大作者浏览我们的网页并提出宝贵意见,共同建好这个为广大作者和读者进行交流以及展示作者相关科研成果的平台。《发光学报》网页上建有网上在线投稿平台,从2006年开始,我们主要接收网上在线投稿,欢迎大家使用。如有问题,请与我们联系:

E-mail: fgxbt@126.com, Tel: (0431)86176862,84613407

《发光学报》网址: <http://www.fgxb.org>

《发光学报》编辑部