

文章编号: 0258-7025(2005)03-0407-04

测量激光器结温的脉冲注入法研究

宋海鹏, 温继敏, 曾雄文, 张胜利, 孙建伟, 祝宁华

(中国科学院半导体研究所集成光电子国家重点实验室, 北京 100083)

摘要 提出了一种精确测量半导体激光器结温的方法。由于激光器的热容很小, 因此采用脉冲注入的方法可以显著减小激光器的温升。研究了脉冲电流注入下激光器的激光波长随环境温度的变化规律, 通过实验研究得到电流脉冲宽度和周期与激光波长的关系, 理论分析得到的定量关系式与实验结果十分吻合。在此基础上得到了精确测量激光器结温的最佳脉冲参数, 即脉宽为 10 ns, 脉冲周期为 10 μ s。并且确定了激光器结温与激光波长的定量关系式, 波长随温度的漂移系数为 0.0728 nm/K。这种方法避免了电学测量法中的结电压波形过冲, 测量精度明显优于后者, 同时也可以方便地测量封装好的激光器组件的温度特性。

关键词 激光技术; 结温; 脉冲注入; 热阻

中图分类号 TN 247 **文献标识码** A

Research of Pulse Injection Method for Measuring LD Chip Temperature

SONG Hai-peng, WEN Ji-min, ZENG Xiong-wen,

ZHANG Sheng-li, SUN Jian-wei, ZHU Ning-hua

(State Key Laboratory on Integrated Optoelectronics, Institute of Semiconductors,
The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract An accurate method for measuring the chip temperature of semiconductor lasers is presented. Because the heat capacity of semiconductor laser is very small, using pulse injection can reduce temperature rising significantly. First, the change of environment temperature versus lasing wavelength under pulse injection is discussed, and the relationship between the lasing wavelength and the width and cycle of injection pulse is obtained. The measured relationship agrees well with the calculated one. Based on this relationship the optimum parameters of the pulse for measuring the chip temperature of laser diode (LD) are obtained, viz. pulse width is 10 ns, pulse cycle is 10 μ s. The definite relation between lasing wavelength and chip temperature is developed, and the drift coefficient is 0.0728 nm/K. This method avoids junction voltage overshoot in electricity measurement, and it is more accurate than the latter. This method is also convenient for measuring temperature character of packaged laser unit.

Key words laser technique; chip temperature; pulse injection; thermal resistance

半导体激光器的工作特性与温度密切相关, 温度的变化可以引起输出功率、光谱峰值增益、激光波长、阈值电流、结电压降以及工作寿命等的变化^[1~4]。其中, 激光波长与温度的关系在实际应用中是要特别考虑的方面。测量激光器波长随温度的变化规律, 最重要的是采用合适的方法和技术测定

激光器芯片尤其是其有源区的温度, 一般的方法有两种: 一种是基于电学测量的方法^[5], 对于包含 pn 结的半导体器件, pn 结的特征电压与结温具有确定的关系, 经校准定标后可以作为一个合适的测量参数。然而, pn 结的特征电压在不同脉冲驱动条件下的精确测量比较困难, 而且这种方法对于不含 pn 结

收稿日期: 2003-10-13; 收到修改稿日期: 2004-02-12

基金项目: 国家 863 计划(2001AA312030, 2001AA312290), 973 课题(G2000036601)和国家杰出青年基金(69825109)资助项目。

作者简介: 宋海鹏(1978—), 男, 湖南双峰人, 中国科学院半导体研究所博士研究生, 研究方向为高速光电器件及收发模块的设计与测试。E-mail: hpsong@red.semi.ac.cn

的器件也无能为力。另一种方法是把激光器芯片焊接在具有温度控制装置的热沉上^[6]。这种方法需要功能良好的珀耳帖(Peltier)热电制冷器(TEC)与快速响应的自动温控电路(ATC)完成温度控制功能,高精度的电阻和灵敏的温度传感器组成桥路完成温度变换功能。要达到理想的控温精度,系统复杂,不便于测量。

本文利用极窄脉冲注入法研究了激光器的激射波长随环境温度的变化规律,通过实验研究得到了电流脉冲宽度和周期与激射波长的关系,理论分析得到的定量关系式与实验结果十分吻合。在此基础上得到了精确测量激光器结温的最佳脉冲参数。

1 测量原理

精确测量激光器波长随温度的变化关系,关键是用合适的方法和技术得到激光器芯片的结温。激光器在直流连续工作时,结温与发光功率有关,因此很难测得结温与激射波长的关系。如果采用周期性的窄脉冲注入方式,尽量减少激光器的发热效应,那么可近似认为激光器芯片的温度与周围环境的温度相等。但是,过窄的脉冲会导致激光器不能正常激射,同时一般光谱仪的时间响应能力有限,合理选择注入脉冲的脉宽和周期是准确测量激光器波长随温度变化关系的关键。

可以从理论上得出脉冲周期以及脉冲宽度与激射模峰值波长的定量关系。法布里-珀罗腔激光器为多纵模激射,由于温度变化引起的激射波长漂移主要有两部分^[7]:一是增益谱随温度的变化引起的光谱整体红移;二是由振荡相位条件中的有效折射率 n_R 和谐振腔几何尺寸随温度的变化,引起的每个模光谱峰值波长的漂移。

激光器芯片的热方程式为^[8]

$$Q(t) = C \cdot \frac{d\Delta(t)}{dt} + \frac{\Delta(t)}{R_T}, \quad (1)$$

其中 $Q(t)$ 为激光器芯片消耗的总的热功率, $\Delta(t)$ 为芯区的温升, R_T 为激光器的热阻(K/W), C 为芯区的热容量。式中的第一项表示芯区温度升高所吸收的热功率,第二项表示芯区温度升高后向周围耗散的热功率。

芯区消耗的总的热功率为

$$Q = (1 - \eta_D)P_{in}, \quad (2)$$

η_D 为外微分量子效率,可以当作常数, P_{in} 为注入激光器的电功率。

经过一段时间,达到热平衡后,即有

$$\frac{d\Delta(t)}{dt} = 0, \quad (3)$$

因此,热方程式变为

$$(1 - \eta_D)P_{in} \cdot R_T = \Delta(t), \quad (4)$$

一般来说,外微分量子效率 η_D 随温度的变化不大,所以 R_T 可以表示为

$$R_T = \frac{\Delta T}{(1 - \eta_D)\Delta P_{in}}, \quad (5)$$

其中 $\Delta T, \Delta P_{in}$ 分别为不同注入条件下的温度差和注入电功率差。其中, P_{in} 可以表示为

$$P_{in} = VI \cdot \frac{\tau}{\Sigma}, \quad (6)$$

V 为激光器两端的电压, I 为激光器的工作电流, τ 为脉冲宽度, Σ 为脉冲周期。

把式(6)代入到式(5),得到

$$dT = -(1 - \eta_D)R_T VI \cdot \frac{\tau}{\Sigma^2} d\Sigma, \quad (7)$$

测得

$$d\lambda = 0.728 \times 10^{-10} dT, \quad (8)$$

由式(7),(8),得到

$$\lambda = 0.728 \times 10^{-4} (1 - \eta_D)R_T VI \cdot \frac{\tau}{\Sigma} + \text{cons}, \quad (9)$$

其中 cons 为一个可以确定的常数。

2 法布里-珀罗激光器的测量与分析

测量系统如图1所示。图中,采用 HP70311A Clock Source 和 HP70841B Pattern Generator 作激光器的驱动源,HP70311A Clock Source 输出 16~3300 MHz 的方波脉冲,可以作为 HP70841B Pattern Generator 的时钟源,通过对 HP70841B Pattern Generator 编码,可以得到脉冲宽度和周期精确可调的信号来驱动激光器工作,这样就可以方便地分析脉冲宽度和周期对激光器工作特性的影响。测量激光器的激射光谱用 Advantest Q8384

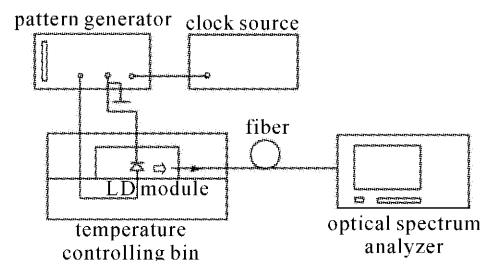


图1 测量系统框图

Fig. 1 Structure of measure system

Optical Spectrum Analyzer。恒温箱的温度从 15℃~90℃连续可调。实验测量的法布里-珀罗激光器采用 Opto Speed 公司的芯片 LA1310-FLN-CHBD, 中心波长在 1310 nm 附近。

2.1 脉冲周期及宽度对激光光谱的影响

恒温箱温度为 26℃, 脉宽固定为 50 ns, 观察不同脉冲周期下激光器的激光光谱可见, 随着周期的变短(意味着激光器芯片的散热时间减少), 光谱逐渐红移。

图 2 为跟踪某一激光模的峰值波长漂移曲线, 脉宽固定为 50 ns, 周期从 2.5 μs 变到 100 μs, 波长漂移为 0.214 nm; 周期从 250 μs 变到 2.5 μs, 波长漂移为 0.065 nm; 可以看出, 周期变到 250 μs 以上, 波长漂移就不太明显了, 可以认为激光器的发热效应已经减小到较好的效果。

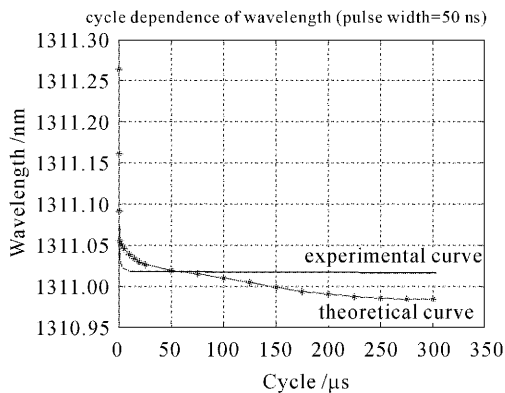


图 2 某激光模的峰值波长与注入脉冲周期的关系
Fig. 2 Relationship between the cycle of injection pulse and peak wavelength of one lasing mode

激光器两端的电压 V 为 1.07 V, 工作电流 I 为 20 mA, 外微分量子效率 η_0 为 0.2, 脉冲宽度 τ 为 50 ns, 测得激光器的热阻 R_T 为 386.974 K/W, 代入式(5)得

$$\lambda = 2.412 \times 10^{-2} \frac{1}{\Sigma} + 1311.0160, \quad (10)$$

理论曲线与实验曲线的比较如图 2, 可以看出, 理论与实验结果比较吻合。

图 3 为跟踪某激光模的峰值波长漂移曲线, 脉冲周期固定为 10 μs, 脉宽从 500 ns 变到 10 μs。

激光器两端的电压 V 为 1.07 V, 工作电流 I 为 20 mA, 外微分量子效率 η_0 为 0.2, 脉冲周期 Σ 为 10 μs, 其中激光器的热阻 R_T 为 386.974 K/W, 代入式(5)可得

$$\lambda = 4.823 \times 10^{-5} \tau + 1307.738, \quad (11)$$

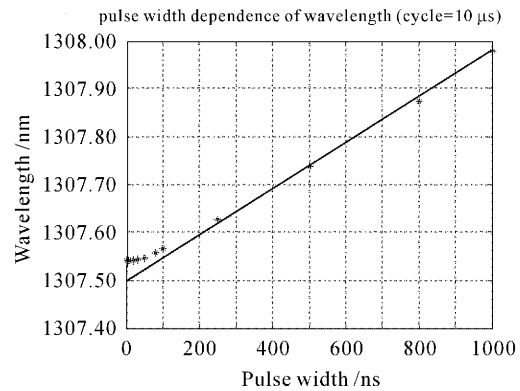


图 3 某激光模的峰值波长与注入脉冲宽度的关系
Fig. 3 Relationship between width of injection pulse and peak wavelength at one lasing mode

比较理论曲线与实验数据如图 3, 两者相当吻合。

2.2 激光模峰值波长与温度的关系

在 3.1 中得到了注入脉冲宽度、周期与波长的关系, 也表明采用周期性的极窄脉冲注入方式, 可以很好地降低激光器的发热效应。

由图 3 可看到, 当 τ 小于一定值时, 波长漂移完全可以忽略。通过不同脉冲周期不同脉宽的驱动条件下的测量, 得到了在保证光谱仪能够响应的最佳测量参数, 即脉宽为 10 ns, 脉冲周期为 10 μs。在此驱动条件下, 激光器的注入电功率仅为 21.4 μW, 引起芯区的温升微乎其微($<0.05^\circ\text{C}$), 这时测得的激光波长与温度的关系可以作为一个标准。

图 4 体现了整个光谱随温度升高的红移, 计算可得一个约为 0.44 nm/K 的红移温度系数。

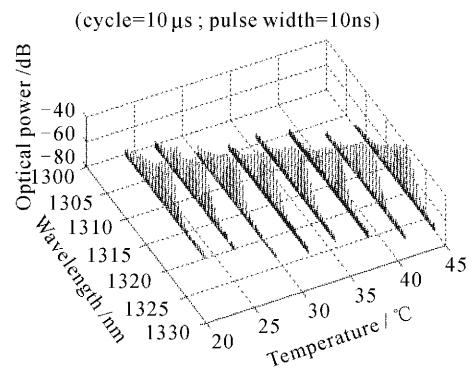


图 4 光谱的温度依赖性
Fig. 4 Temperature dependence of spectrum

图 5 体现了激光模峰值波长随温度升高的红移, 通过 Matlab 软件对数据进行不同阶次的多项式拟合, 结果如图 6 所示。

可见, 激光模峰值波长与温度的关系成线性, 拟

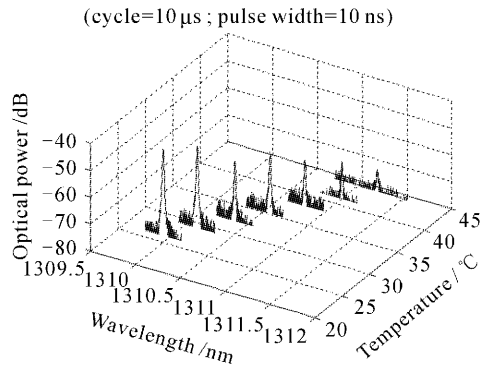


图 5 激射模的温度依赖性

Fig. 5 Temperature dependence of lasing mode

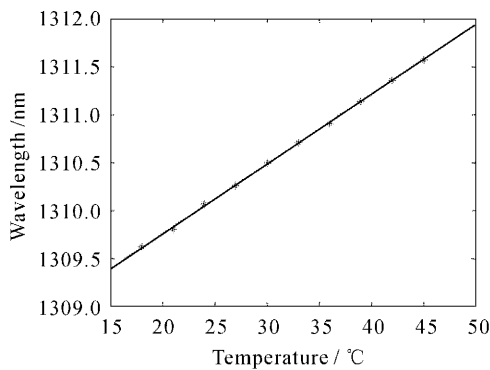


图 6 激射模峰值波长与温度的关系

Fig. 6 Relationship between peak wavelength of lasing mode and temperature

合结果为

$$\lambda = 0.072758T + 1308.2994. \quad (12)$$

考虑到光谱仪有限的分辨率(0.01 nm),计算得拟合系数的离差仅为 0.55%,线性度非常好,可以作为其他测量中的一个标准。

比如,可以估算激光器的热阻,它的表示式为

$$R_T = \frac{\Delta T}{(1 - \eta_D) \Delta P_{in}}. \quad (13)$$

测得恒温箱温度为 24°C,脉冲周期为 10 μs,脉宽为 10 ns 时,该激射模的峰值波长为 1310.062 nm,此时芯区的温度可近似认为 24°C。当注入条件改变为直流信号时,该激射模的峰值波长为 1310.544 nm,估算芯区的温度为 30.625°C。此时注入电功率为 21.4 mW。代入上式,计算得激光器的热阻 R_T 为 386.974 K/W。

再利用算得的热阻对在极窄脉冲注入条件下的波长进行修正,差别仅为 0.002 nm,可见激光器的发热效应的确很小,完全可以忽略。

3 结 论

在实验上观测了法布里-珀罗激光器由于温度变化引起的激射波长漂移,得到了最佳的测量参数,即脉宽为 10 ns,脉冲周期为 10 μs;确定了波长随温度的漂移系数为:0.0728 nm/K。这种方法避免了电学测量法中的结电压波形过冲,同时测量精度明显优于后者。利用这种方法可以方便地测量封装好的激光器组件的温度特性,不需加热电制冷器(TEC)和自动温控电路(ATC),尤其是对于同轴封装(TO)的激光管,由于受到体积的限制,热电制冷器很难与芯片一起封装到管壳内,这时可以用这种方法进行测量。

参 考 文 献

- Guo Shaofeng, Lu Qisheng, Cheng Xiangai *et al.*. Rotation effects of intensive laser window [J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(2):145~148
郭少锋,陆启生,程湘爱等. 激光器窗口的旋转效应[J]. *中国激光*, 2004, **31**(2):145~148
- Wang Xiaodong, Ye Meiyong. Temperature tracking compensation of fiber optic voltage sensor [J]. *Chinese J. Lasers*, 2002, **A29**(7):600~604
汪晓东,叶美盈. 光纤电压传感器的温度跟踪补偿[J]. *中国激光*, 2002, **A29**(7):600~604
- Geng Jianxin, Li Lin, Zhao Ling *et al.*. Temperature tunability of metallized fiber Bragg gratings [J]. *Chinese J. Lasers*, 2003, **30**(8):735~738
耿健新,李琳,赵岭等. 金属化光纤光栅的温度调谐[J]. *中国激光*, 2003, **30**(8):735~738
- Wang Shunquan, Hu Hongzhang, Xiao Lifeng *et al.*. A novel temperature sensor based on acousto-optic tunable filter [J]. *Chinese J. Lasers*, 2003, **30**(11):1006~1010
王顺权,胡鸿璋,肖立峰等. 一种基于声光可调谐滤波器的新型温度传感器[J]. *中国激光*, 2003, **30**(11):1006~1010
- Zhang Yonggang, Nan Kuangjun, Li Aizhen. Thermal characterization of mid-infrared quantum cascade lasers based on emitting spectra measurements [J]. *Research & Progress of SSE*, 2002, **22**(2):205~300
张永刚,南矿军,李爱珍. 基于发射光谱测量的中红外量子级联激光器热特性分析[J]. *固体电子学研究与进展*, 2002, **22**(2):205~300
- Shih-chung Lee, Chen-Ning Chu. Linear temperature tuning of a semiconductor laser for optogalvanic spectroscopy [J]. *Chinese J. Lasers*, 2000, **A27**(7):588~592
李世忠,朱振宁. 用于光电流光谱研究的半导体激光器的线性温度调制[J]. *中国激光*, 2000, **A27**(7):588~592
- Jiang Jianping. *Semiconductor Laser* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2000. 83~86,90~91,74~75,138~139,54~55,145~148
江剑平. *半导体激光器*[M]. 北京:电子工业出版社,2000. 83~86,90~91,74~75,138~139,54~55,145~148
- Gu Wanyi, Li Guorui. *Optical Communication System* [M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press, 1999. 84~85,107~109
顾婉仪,李国瑞. *光纤通信系统*[M]. 北京:北京邮电大学出版社,1999. 84~85,107~109