

# 半导体激光器热弛豫时间测试技术研究

陈 晨 辛国锋\* 刘 锐 瞿荣辉 方祖捷

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

**摘 要** 利用脉冲工作状态下半导体激光器激光光谱随结温升高发生红移的原理, 用 Boxcar 扫描在一定波长下的半导体激光器光功率随脉冲时间的变化信号, 测得其时间分辨光谱; 根据对应的峰值光功率出现时刻随波长变化的曲线, 计算得到热弛豫时间参量值. 利用此方法对一种半导体激光器进行了测试, 得到其热弛豫时间为 1.2 ms.

**关键词** 激光技术; 半导体激光器; 热弛豫时间; 时间分辨光谱

**中图分类号** TN248 **文献标识码** A

## 0 引言

半导体激光器在光纤通信、光纤传感、短距离激光测距和抽运固体激光器等方面有着广泛的应用前景. 但热特性仍然是实际应用中一个重要问题, 特别是在高功率应用领域<sup>[1]</sup>. 高热阻将会导致激光器有源区高的温升, 从而导致激光器阈值电流变大、斜率效率下降、输出功率降低, 更严重的是影响器件的寿命. 此外, 对抽运固体激光器<sup>[2,3]</sup>而言, 热特性<sup>[4]</sup>将会使激光波长偏移激光介质吸收峰, 从而减小抽运效率. 除了热阻, 另一动态热特性参量为热弛豫时间. 对于抽运固体激光器应用领域, 半导体激光器热弛豫时间短则很快达到热平衡, 激光波长易处于吸收峰范围; 对于测距应用领域, 半导体激光器热弛豫时间长, 则在短脉冲工作状态下, 温升小, 峰值功率高.

目前已经有许多测试半导体激光器热阻的方法<sup>[5,6]</sup>, 如利用光谱温度特性和阈值电流温度特性进行测试. 对热弛豫时间的测试, H. I. Abdelkader 等人<sup>[7]</sup>研究了脉冲工作状态下阈值电流、斜率效率和温度的关系, 提出了一种测试方法. M. Voss 等人<sup>[8]</sup>通过给光谱仪设置光开关而得到时间分辨光谱. 本文提出了一种新颖的测试半导体激光器热弛豫时间的方法和装置, 通过给光功率信号设置电开关而得到时间分辨谱.

## 1 实验装置与原理

当对半导体激光器施加方波电流时, 激光器结温在脉冲内逐渐上升, 到某一时刻, 结温达到稳定值. 温度变化可以表示为

$$T = T_0 + R_{th}P[1 - \exp(-\Delta t/\tau)] \quad (1)$$

式中  $R_{th}$  为激光器热阻,  $P$  为注入热流,  $\tau$  为热弛豫

时间,  $T_0$  为没有电流注入时的激光器结温.  $R_{th}$  与激光器材料热导率有关, 而  $\tau$  与材料比热容有关.  $R_{th}$  与  $\tau$  可能随注入功率而发生变化, 但在一定范围内可以认为是常量. 测试不同电流注入情况下发光光谱的移动, 可以得到结温升和热阻. 为了测试热弛豫时间常量, 必须测试脉冲内激光器结温的变化.

实验装置如图 1, 激光器上施加方波电流脉冲, 激光通过光谱仪 SPEX-1702, 由 PMT 接收信号. Boxcar 是实验装置的主要设备, 它由电流脉冲信号经过延时触发. Boxcar 产生的取样脉冲信号对 PMT 输出信号进行扫描<sup>[9]</sup>. 数据采集卡对 Boxcar 输出进行采集, 得到跟扫描时间相关的功率谱. 改变光谱仪波长位置, 得到相应的时间分辨光谱. 根据光功率峰值在脉冲周期中出现的时刻随波长的变化, 就可以计算得到热弛豫时间.

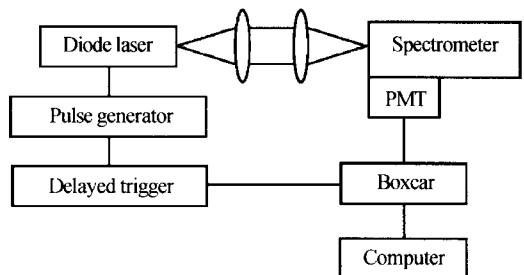


图 1 测试实验装置

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental setup for time-resolved spectrum measurement

为了描述半导体激光器时间分辨光谱的测试过程, 对实验原理进行了模拟分析.

基于式(1), 在脉冲宽度内, 峰值波长随温度变化可表示为

$$\lambda_p(T) = \lambda_p(T_0) + \lambda'_T R_{th} P_0 [1 - \exp(-t/\tau)] \quad (2)$$

式  $\lambda'_T$  中为峰值波长随温度的变化系数.

设单纵模半导体激光器输出的光功率谱函数为

$$f[\lambda; \lambda_p(T), \Delta\lambda] = \frac{f_0}{1 + [\lambda - \lambda_p(T)]^2 / \Delta\lambda^2} \quad (3)$$

式中  $\Delta\lambda$  为光功率谱线宽,  $\lambda_p(T)$  为峰值波长随温度

\* Tel: 021-69918687 Email: gfxin@siom.ac.cn

收稿日期: 2005-04-10

T 的变化函数.

t 时刻光谱仪波长固定为 λs 时由 PMT 接收到的光信号功率可以表示为

$$I[t; \lambda_s, \delta\lambda, \Delta t] = \int_{t-\Delta t/2}^{t+\Delta t/2} dt \int_{-\lambda_s-\delta\lambda/2}^{\lambda_s+\delta\lambda/2} f\{\lambda; \lambda_p[T(t)],$$

$$\Delta\lambda\} d\lambda \approx \delta\lambda \int_{t-\Delta t/2}^{t+\Delta t/2} f\{\lambda_s; \lambda_p[T(t)], \Delta\lambda\} dt \quad (4)$$

式中 Δt 为 Boxcar 产生的取样脉冲信号宽度, δλ 为光谱波长分辨率.

由式(2)、(3)、(4)可得到

$$I[t; \lambda_s, \delta\lambda, \Delta t] \approx f_0 \delta\lambda \int_{t-\Delta t/2}^{t+\Delta t/2} \{1 + [\lambda_s - \lambda_p(T)]^2 / \Delta\lambda^2\}^{-1} dt = f_0 \delta\lambda \int_{t-\Delta t/2}^{t+\Delta t/2} \{1 + [\lambda_s - \lambda_p(T_0) - (\partial\lambda_p/\partial T) \cdot R_{th} P_0 (1 - e^{-t/\tau})]^2 / \Delta\lambda^2\}^{-1} dt$$

显然, 当光功率信号出现峰值时, 有

$$dI/dt = 0$$

由此可以得到固定波长与光功率峰值出现时刻的关系

$$\exp(-u_m/\tau) = 1 - [\lambda_s - \lambda_p(T_0)] / (\lambda_T R_{th} P)$$

因此, 对于一被测激光器, 当改变光谱仪波长值 λs 时, 则峰值出现的时刻 um 将发生变化. 因而可以由峰值时刻随波长的变化, 计算得到激光器热弛豫时间 τ. 以上是对单纵模激光器的模拟分析, 对于多纵模激光器而言, 原理是相同的, 不同的是多纵模激光器的温度系数由纵模温度系数和光谱包络温度系

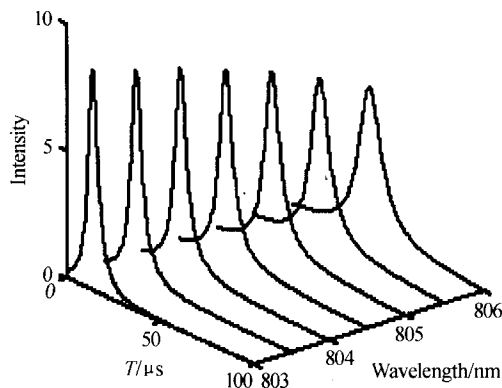


图 2 模拟计算的单纵模半导体激光器时间分辨光谱 Fig. 2 Time-resolved spectrum of single-mode laser diode

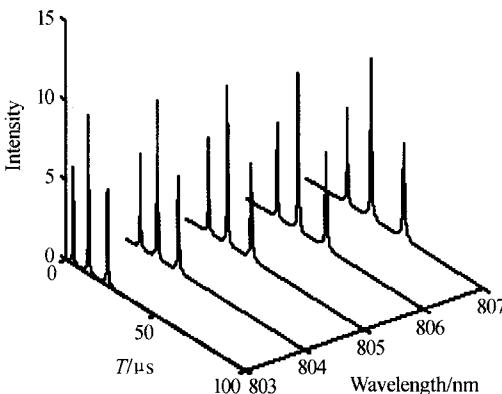


图 3 模拟计算的三纵模半导体激光器时间分辨光谱 Fig. 3 Time-resolved spectrum of multi-mode laser diode

数构成, 其中纵模温度系数取决于材料折射率的温度效应, 光谱包络温度系数取决于材料禁带宽度的温度效应, 数据处理过程要复杂一些. 图 2 为单纵模和图 3 为三纵模半导体激光器时间分辨光谱模拟分析结果.

从模拟分析结果可以看出, 对应不同的测试选定波长, 光功率峰值出现的时刻不同, 验证了实验方案的合理性.

## 2 实验结果与讨论

实验中器件为 AlGaAs/GaAs 半导体激光器, 该器件为两个 P-N 结相叠的结构, 为了应用需要, 要求在短脉冲下工作, 以获得很高的峰值功率, 同时希望温升要小, 从而需要知道其热弛豫时间参量值. 器件条宽 60 μm, 驱动电流脉宽 500 μs, 重复频率 100 Hz. 激光器阈值电流为 536 mA, 测试过程中施加电流大小为 1.7 A. Boxcar 扫描时间为 150 μs, 取样脉冲信号宽度为 0.5 μs. SPEX-1702 狭缝宽度为 30 μm, 对应波长分辨率为 0.03 nm. 被测器件为宽条结构, 其发射光谱为多纵模激射, 光谱图如图 4.

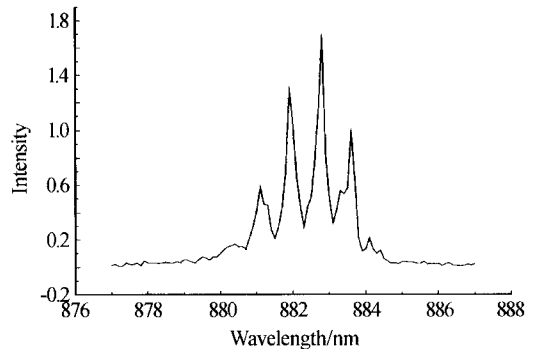


图 4 激光器发光光谱图 Fig. 4 Measured spectrum of the diode laser

实验中波长变化范围为 880 nm~884 nm. 图 5 为几个测试波长下的时间分辨光谱. 由于激光器为多模激射, 时间分辨谱会出现多个峰值. 由图 5 可以看出, 由于结温升高, 当测试波长以 0.5 nm 递增

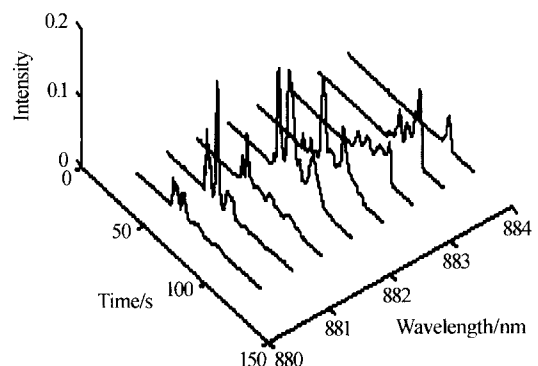


图 5 几个波长的时间分辨光谱 Fig. 5 Time-resolved spectrum at several wavelengths

时,光信号包络峰值出现的时刻向后移动.

对多模激光器,引入平均峰值时间 $T = \frac{\sum [I_i(t_i) \cdot t_i]}{\sum I_i(t_i)}$ ,  $I_i$  为时间  $t_i$  时刻的强度. 图 6 为平均峰值时间和固定波长的关系图. 由图 6 可以看出由于实验中器件具有高的热阻,光功率平均峰值时间随着测试波长的增加而线性增长. 器件热阻是通过对其光谱温度特性测试得到的,参量值为 260 k/w.

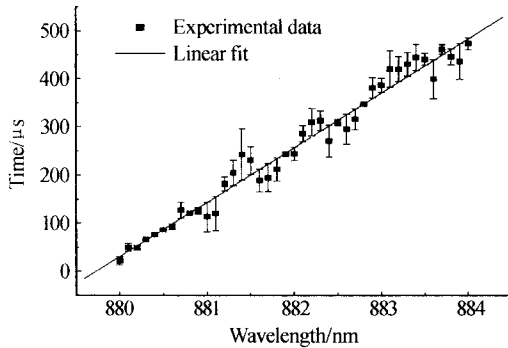


图 6 固定波长和对应时间关系图

Fig. 6 Relationship between time and wavelength

由图 6 中拟合曲线计算得到实验中半导体激光器热弛豫时间为 1.2 ms. 测试数据反映了该激光器的动态热特性. 由测试得到的热弛豫时间可以知道,在 500  $\mu$ s 的脉冲宽度内激光器结温持续上升. 实验中,被测激光器的 P-N 结 P 面朝上,热阻会比较大,从而测试得到的热弛豫时间参量比一般的器件要大一些. 大的热弛豫时间有利于在短脉冲工作条件下在脉冲持续时间内有较小的温升,从而获得高的峰值功率.

### 3 结论

本文对脉冲工作状态下半导体激光器动态热特性进行了测试. 通过 Boxcar 扫描激光器光功率信号,根据光信号功率峰值在脉冲周期内出现的时刻随测试波长变化的曲线,得到了半导体激光器热弛豫时间参量. 本文提出的测试方法与文献报道的方法相比,具有设备成本较低,数据处理比较简单的优点,对于研究提高半导体激光器的热特性和

脉冲应用的性能有重要意义.

### 参考文献

- 1 John G E, Mitral V, Gerald S B, *et al.* High power diode laser arrays. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 1992, **28**(4):952~965
- 2 郭丽,姚建铨,禹国俊,等. 百瓦级全固态绿光激光器的实验研究. *光子学报*, 2004, **33**(9):1025~1028  
Guo L, Yao J Q, Yu G J, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(9):1025~1028
- 3 杨鸿儒,左铁钊. 全固体小型 Yb: YAG 激光器热效应及输出特性研究. *光子学报*, 2003, **32**(8):907~910  
Yang H R, Zuo T C H. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(8):907~910
- 4 高洪海,林世鸣,康学军,等. 垂直腔面发射激光器热特性的实验研究. *光子学报*, 1997, **26**(6):522~526  
Gao H H, Lin S M, Kang X J, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 1997, **26**(6):522~526
- 5 Jason C, David S, Jerry R. Temperature dependence of optical wavelength shift as a validation technique for technique for pulsed laser diode array thermal modeling. *Proceeding of IEEE Semiconductor Thermal Measurement & Management Symposium*, 2003: 357~363
- 6 Pernas R, Sanchez M, Pena-Sierra R, *et al.* A new method to determine the thermal resistance in semiconductor lasers. 4th IEEE International Caracas Conference on Devices, Circuits and Systems, 2002, (4):17~19
- 7 Abdelkader H I, Hausien H H, Martin J D. Temperature rise and thermal rise-time measurement of a semiconductor laser diode. *J Rev Sci Instrum*, 1992, **63**(3):2004~2007
- 8 Voss M, Lier C, Menzel U, *et al.* Time-resolved emission studies of GaAs/AlGaAs laser diode arrays on different heat sinks. *J Appl Phys*, 1996, **79**(2):1170~1172
- 9 微弱信号检测小组. 取样积分器——一种检测微弱信号的手段. *物理*, 1994, **8**(2):154~160  
Group of testing feeble signal. *Physics*, 1994, **8**(2):154~160

## Measurement of Thermal Relaxation Time of Semiconductor Lasers

Chen Chen, Xin Guofeng, Liu Rui, Qu Ronghui, Fang Zujie

*Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 20180*

Received date: 2005-04-10

**Abstract** Based on the theory of lasing wavelength red shifting of semiconductor laser due to junction temperature rising in pulsed operation, the time-resolved spectrum was measured by means of scanning optical power during the pulse at different wavelengths with a Boxcar. The thermal relaxation time was calculated by the measured relation of peak moment of optical signal within the pulse varied with wavelength. A pulse semiconductor laser was measured, and the thermal relaxation time was obtained to be 1.2 ms.

**Keywords** Laser technique; Laser diode; Thermal rise-time; Time-resolved spectrum



**Chen Chen** was born in Henan Province in 1980. He graduated from Jilin University in 2002 and received the Bachelor's Degree. In the same year, he has been working for a Master's Degree in Information Optics Lab., Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics. His research interests are packaging and testing of semiconductor laser and laser array.