

# 测量半导体激光器线宽增加因子 $\alpha$ 的新方法

廖江红

**摘要** 建议了一种直接测量线宽增加因子 $\alpha$ 的新方法,完成HLP1400(Hitachi)的半导体激光器的线宽因子的测量,其结果为 $\alpha = -4 \pm 1.3$ 。

## 一、引 言

线宽增加因子 $\alpha$ (Linewidth broadening factor)定义为载流子变化引起的增益变化和折射率变化的比值<sup>[1, 2]</sup>,它是影响半导体激光器特性,例如线宽、稳定性、响应速率等的一个重要参数。测量线宽增加因子 $\alpha$ 的方法很多,一般可以归纳为直接法和间接法<sup>[2]</sup>。直接法通常利用注入电流的变化时(引起载流子浓度的变化)的波长位移和增益的变化来获得线宽增宽因子 $\alpha$ <sup>[3, 4]</sup>。该方法存在两个不足:注入电流引起的温度变化会产生共振波长的漂移,最终导致波长的测量误差;增益的精确测量需要高分辨本领和高灵敏度的光谱仪。间接法测量因受一些综合参数的影响,线宽增宽因子 $\alpha$ 的测量精度不能很高。

本文介绍一种新的线宽增宽因子的直接测量方法。在外腔半导体激光器中,保持注入电流不变,利用有或无光反馈引起的波长和增益的变化就可获得因子 $\alpha$ 。若采用较高分辨本领的光谱仪,我们可以得到较精确的 $\alpha$ 值。

## 二、理 论 分 析

考虑光在外腔多次反射的情况,外腔半导体激光器的位相共振条件为<sup>[5, 6]</sup>

$$\frac{r_1 \sin(2knl) + r_2 \sin[2k(nl+L)]}{r_1 \cos(2knl) + r_2 \cos[2k(nl+L)]} = \frac{r_1 r_2 \sin(2kL)}{1 + r_1 r_2 \cos(2kL)} \quad (1)$$

和阈值增益

$$g_{th} = \alpha_m + l^{-1} \ln \left[ \frac{1 + r_1 r_2 \cos(2kL)}{r_1 r_2 \cos(2knl) + r_2 r_1 \cos[2k(nl+L)]} \right] \quad (2)$$

其中 $r_1$ 和 $r_2$ 分别是半导体激光器端面的振幅反射率; $r_3$ 是包括耦合、衍射损耗的有效外腔反射率; $n$ 和 $\alpha_m$ 分别是激光二极管受激区域(active region)内的平均折射率和内部损耗;

$l$ 和 $L$ 分别是二极管和外腔的长度, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ 为激光的波数。由(2)式我们可以获得因光反馈引起的相对于半导体激光器自身(无外部反馈)的阈值增益的变化

$$\Delta g = g_{th} - g_0 = l^{-1} \ln \left\{ \frac{1 + r_1 r_2 \cos(2kL)}{\cos(2knl) + r_2 r_1^{-1} \cos[2k(nl+L)]} \right\} \quad (3)$$

依据线宽增宽因子 $\alpha$ 的定义<sup>[7, 8]</sup>, 因光反馈引起的折射率的变化

$$n = n_0 - \alpha \frac{\Delta g}{2k_0} \tag{4}$$

带下标 0 的参数是没有光反馈时的值。无论反馈与否, 激光波长都必须满足位相共振条件

(1)式, 即

$$2n l = m\lambda \quad 2L = m'\lambda \tag{5a}$$

$$2n_0 l = m\lambda_0 \tag{5b}$$

其中  $m$  和  $m'$  均是整数。在上述推导假定有无反馈激光输出相同的模数。设由光反馈引起的波长变化是  $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$ , 由(3)、(4)和(5)式我们获得

$$\begin{aligned} \alpha &= -\frac{2\pi\Delta\lambda}{\Delta\lambda_0 g l} \\ &= -\frac{2\pi\Delta\lambda}{\Delta\lambda_0} \left\{ \ln\left(\frac{1+r_1 r_e}{1+r_1^{-1} r_e'}\right) \right\}^{-1} \end{aligned} \tag{6}$$

$\Delta\lambda_0 = \frac{c}{2nl_0}$  是没有光反馈时激光的纵模间隔。 $\Delta\lambda$ 和 $\Delta\lambda_0$ 可以在实验上直接获得, 但是因为  $r_e$  包括耦合损耗, 需采用其它的实验方法间接求出。由文献<sup>[7]</sup>, 知光反馈引起的阈值增益变化正比于阈值电流的变化

$$\Delta I = c_0 \Delta g_{th} = A_0 \ln\left(\frac{1+r_1 r_e'}{1+r_1^{-1} r_e}\right) \tag{7}$$

当在外腔中插入衰减板改变  $r_e' = r_e T$  ( $T$ 为衰减板的光强透过率) 时, 可以得到  $\Delta I_{th}$  随  $T$  变化的一系列实验值。由(6)式拟合这些值就可获得  $r_e$ 。

### 三、实验和结果

实验装置如图1所示。我们选用BH结构的半导体激光器 (HLP1400, Hitachi), 它的

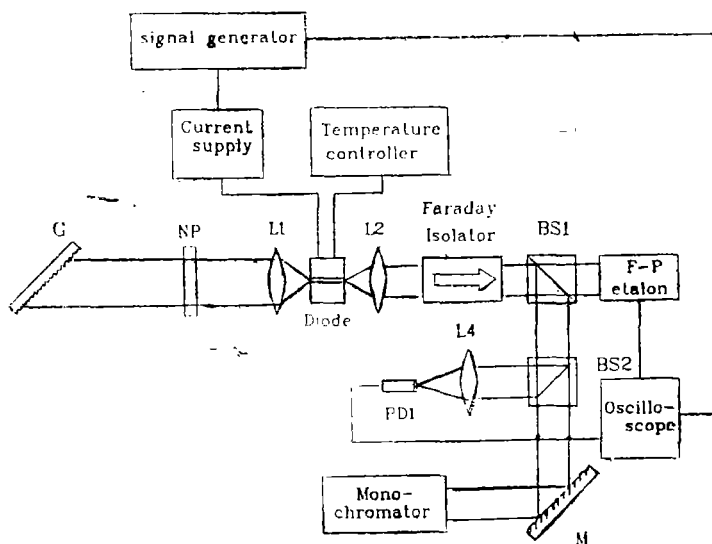


图1 实验装置示意图, NP: 衰减板

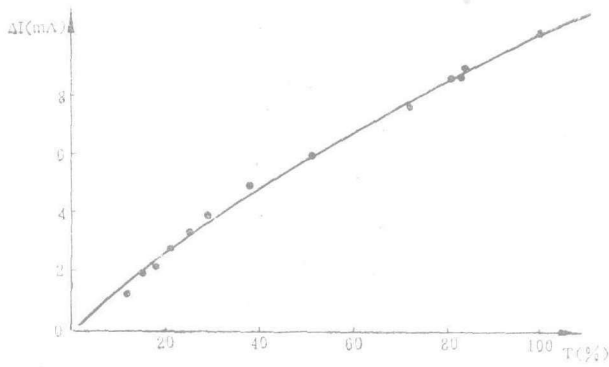


图2 阈值电流差随衰减板透过率的变化。曲线为利用方程(7)获得的最佳拟合曲线

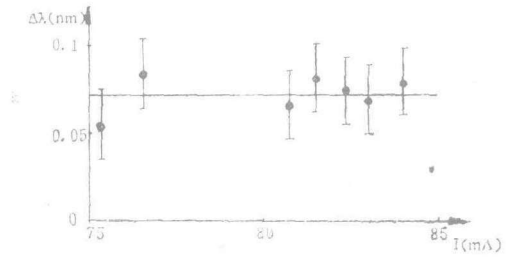


图3 保证注入电流  $I$  和温度  $T$  不变时,测得的有、无光反馈时的激光波长差值  $\Delta\lambda$

腔长约为  $300\mu\text{m}$ , 阈值电流测得为  $75\text{mA}$ , 光栅选用为  $1200\text{l/mm}$ , 闪耀角为  $780\text{nm}$  的闪耀光栅, 距激光二极管约为  $20\text{cm}$ 。单色仪具有  $0.02\text{nm}$  的分辨率, 用于测量波长的变化和确定光栅的位置 (使有、无反馈时激光输出的模数  $m$  重合) 调整光栅使满足 5(a) 式的单纵模激光输出由  $F-P$  扫描干涉仪 ( $\text{FSR} = 2\text{GHz}$ ) 观察。为了获得最大的耦合效率, 采用图 1 所示的方法在示波器上实时观察  $P-I$  曲线 (光强输出与注入电流的曲线)。调整光栅位置, 使有光反馈时的阈值电流最小。阈值电流差值随衰减板的强度透过率的变化如图 2 所示。曲线是由采用方程(7)拟合生成的。此时的参数为  $r_1^2 = 16\%$ ,  $A_0 = 30.3$  (计算中取  $r_1^2 = 32\%$ )。

为了满足方程(5)式, 需要仔细调整光栅的位置。首先调整光栅使激光波长  $\lambda$  最接近  $\lambda_0$  (保证模数  $m$  相同), 然后调整光栅位置, 获得最小阈值电流。有光反馈时要求调整到能从  $F-P$  干涉仪观察到单纵模的输出。在注入电流, 温度  $T$  相同时测量波长差  $\Delta\lambda$  的值,  $\Delta\lambda$  在不同注入电流时的值如图 3 所示。由图中可获得的平均波长差为  $\Delta\lambda = 0.06 \pm 0.02\text{nm}$ , 其中误差主要是由单色仪引起的。纵模间隔  $\Delta\lambda_0$  测得为  $\Delta\lambda_0 = 0.3\text{nm}$ 。把上述值代入方程(6), 就可得该激光器的线宽增宽因子  $\alpha = -4 \pm 1.3$ 。该值和采用其它方法对这种结构测得的  $\alpha$  值是一致的, 详见文献<sup>[2]</sup>。

### 参 考 文 献

- [1] Henry, C. H.; J. IEEE, Quantum Electron QE-18 259 (1982)
- [2] Osinski, M. and Buus; J. IEEE, Quantum Electron. QE-23 9 (1987)
- [3] Stubkjaer, K., Asada, M., Arai, S. and Suematsu, Y. Japan; J. Appl. Phys., 20 1499 (1981)
- [4] Henning, I. D. and Collins, J. V.; Electron Lett., 19 927 (1983)
- [5] Fujita, T., Ishizuka, S., Flyito, K., Serizawa, H. and Sato, H.; J. IEEE' Quantum Electron QE-20, 492 (1984)
- [6] Seo, D., Park, J., Mcinerney, J. H. and Osinski M.; J. IEEE, Quantum Electron QE-25 2229 (1989)
- [7] Fleming, M. W. and Mooradian, A.; J. IEEE, Quantum Elecfron QE-17, 44 (1981)

# New Method of Measuring Linewidth Enhancement Factor $\alpha$ of Semiconductor Laser

Liao Jianghong

## Abstract

This paper presents a method of directly measuring the linewidth enhancement factor  $\alpha$ . The experiment of HLP 1400 semiconductor laser is carried out and the factor is  $-4 \pm 1.3$ .