

## 外腔半导体激光器中反馈耦合系数 及介质吸收系数的测量\*

张天才 王军民 侯占佳 谢常德 彭堃堦

(山西大学光电研究所, 山西太原 030006)

**摘要** 在室温下研究了外腔反馈对 GaAlAs 量子阱半导体激光器阈值的影响,提出了测量实际反馈量及半导体激光器增益介质吸收系数的方法,利用所测反馈系数及阈值得到了反馈耦合因子  $k$ ,驱动电流和增益之间的系数  $\xi$  以及实验所用半导体激光器增益介质的吸收系数  $\alpha$ 。

**关键词** 半导体激光器,外腔反馈

**中图法分类号** O431

### 0 引言

外腔反馈对半导体激光器的工作性能有着很大的影响。近年来人们对外腔反馈半导体激光器进行了大量的研究。理论和实验表明:外腔光学反馈可以降低半导体激光器的阈值<sup>[1-3]</sup>,压窄线宽<sup>[4]</sup>,影响半导体激光器系统的噪声<sup>[5-7]</sup>,大大改变系统的工作性能。在这些过程中,确定有多少反馈光耦合到半导体激光器中是十分重要的。但是,由于半导体激光器的出射窗口小(大约几个  $\mu\text{m}^2$ ),加上其外部聚焦透镜以及光斑匹配不理想等,人们很难确定究竟有多少光耦合入激光器中<sup>[8]</sup>。本文通过测量不同反馈量下半导体激光器阈值的降低,提出了一种测量实际反馈量的新方法,该方法同时得到了驱动电流和增益之间的系数  $\xi$  及半导体激光器增益介质的吸收系数  $\alpha$  的值。通过比较两种 GaAlAs 量子阱半导体激光器的测量结果,得到它们具有基本相同的吸收系数。

\* 国家青年自然科学基金(No.19504008),山西省归国留学人员基金及青年学术带头人基金资助项目。  
收稿日期:1997-10-21

## 1 基本原理

外腔光学反馈半导体激光器的理论模型如图 1:

在满足边界连续条件下,求解复合腔的电场方程,得到激光器振荡的阈值条件<sup>[1]</sup>

$$e^{(g-\alpha)d} = \frac{1 - r_2 r_3 e^{-j\varphi_0}}{r_1 e^{-j\varphi_1} (r_2 + r_3 e^{-j\varphi_0})} \quad (1)$$

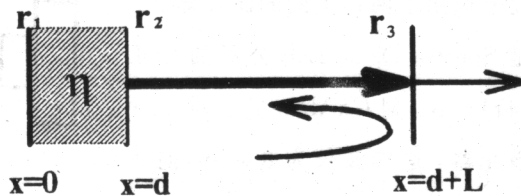


图 1. 外腔反馈半导体激光器

其中,  $g, \alpha$  分别为半导体激光器内介质单位长度的增益系数和损耗系数;  $r_1, r_2, r_3$  分别为半导体激光器后端面, 前端面及外腔镜面的反射系数。

$$\varphi_0 = 2k_0 L = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot 2L \quad (2)$$

$$\varphi_1 = 2k_1 d = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot 2\eta d \quad (3)$$

$L$  为外腔长度;  $d$  为半导体激光器腔长;  $\eta$  为半导体激光器介质的折射系数。  $\xi = \frac{I}{g}$  为半导体激光器的驱动电流与增益之比, 在低阈值半导体的激光器中, 通常情况下可假设定为常数。则由 (1) 可得到阈值电流

$$I_{th} = I_0 + \frac{1}{2\xi d} \ln \left( r_2^2 \frac{1 + r_2^2 r_3^2 + 2r_2 r_3 \cos \varphi_0}{r_2^2 + r_3^2 + 2r_2 r_3 \cos \varphi_0} \right) \quad (4)$$

其中

$$I_0 = \frac{1}{\xi} \left[ \alpha + \frac{1}{d} \ln \left( \frac{1}{r_1 r_2} \right) \right] \quad (5)$$

为无反馈自由运转时半导体激光器的阈值电流。

在  $\varphi_0 = 2N\pi$ , 即  $L = N\eta d$ <sup>[3,4]</sup> ( $N$  为整数) 的条件下, (4) 式为

$$I_{th} = I_0 + \frac{1}{\xi d} \ln \left( r_2 \frac{1 + r_2 r_3}{r_2 + r_3} \right) \quad (6)$$

考虑到半导体激光器出射端面和外腔反馈的耦合不完全, 引进反馈因子  $k$ , 则 (6) 变为

$$I_{th} = I_0 + \frac{1}{\xi d} \ln \left( r_2 \frac{1 + k r_2 r_3}{r_2 + k r_3} \right) \quad (7)$$

可见只要测出  $I_0$  和不同  $r_3$  下的阈值  $I_{th}$  就可求出  $k, \xi$ , 利用 (5) 就可知道系数  $\alpha$ 。

### 2 实验装置

实验装置如图 2 所示。我们在实验上选用了两种不同的激光器。一种是 Spectra Diode Lab 公司的 SDL-5411-G1 型 GaAlAs 量子阱半导体激光器, 运转波长为 850nm, 前后端的振幅反射系数分别为  $r_1 = 0.97, r_2 = 0.2$ , 腔长为  $d = 750\mu m$ ; 另一种是 Mitsubishi 公司生产的 ML64110N 型 GaAlAs 量子阱半导

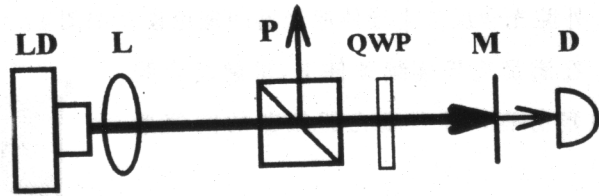


图 2. 外腔反馈半导体激光器实验装置图

- LD: 激光二极管;      L: 准直透镜组;
- P: 偏振棱镜;        QWP: 四分之一波片;
- M: 反馈镜;         D: 功率计或探测器

体激光器, 运转波长为 783nm, 前后端的振幅反射系数都是  $r_1 = r_2 = 0.565$ , 腔长为  $d = 320\mu m$ ; 两种激光器的出射端面均为  $1 \times 3\mu m^2$ , 介质折射率为  $\eta = 3.6$ .  $L$  为焦距 7.5mm 的准直透镜组,  $P$  为一偏振棱镜,  $QWP$  为四分之一波片, 安装在一带有刻度的镜架上, 通过旋转该波片可以改变外腔反馈量的大小, 反馈系数从刻度盘上确定.  $M$  为外腔反馈镜, 位于距半导体激光器出射端面约  $L = 30cm$  处, 并置于一精密微调架上, 同时可以改变外腔长  $L$ . 仔细调节  $M$  的位置使外腔长满足  $L = N\eta d$ , 此时对一定的驱动电流, 一定的反馈量, 通过功率计  $D$  得到输出功率为最大; 转动四分之一波片, 改变外腔反馈量, 可以测出不同反馈量下半导体激光器的运转阈值降低. 由于高反馈的反射镜导致腔内功率密度很高, 以致可能破坏半导体激光器, 因此实验上选用的反馈镜  $M$  的反射率为 80%.

### 3 结果与讨论

在测量过程中, 需仔细调节反馈镜  $M$  的位置, 使反馈光进入半导体激光器达到最佳耦合. 通过扫描半导体激光器的驱动电流, 利用探测器或功率计  $D$  可以测量其阈值. 图 3 是 SDL 半导体激光器在连续改变反馈量的大小时得到的阈值的改变量与反馈量的关系曲线, 该激光器在自由运转时的阈值为 18.71mA. 图中横轴为振幅反馈系数, 纵轴是反馈引起的阈值的降低量. 圆圈为实验所测量结果, 实线是按公式(7)得到的最佳拟合结果, 所对应的  $1/\xi d = 3.3mA$ , 耦合系数为  $k = 0.55$ , 因此  $\xi = 4.04cm^{-1} \cdot mA^{-1}$ , 而相应的吸收系数  $\alpha = 53.73cm^{-1}$ , 图 4 是换用 Mitsubishi 半导体激光器所得到的结果. 该激光器在自由运转时的阈值为 85mA. 图中按

(7)式得到的最佳拟合曲线所对应的  $1/\xi d = 30mA$ , 耦合系数为  $k = 0.65$ , 因此  $\xi = 0.96cm^{-1} \cdot mA^{-1}$ , 相应的吸收系数  $\alpha = 52.86cm^{-1}$ 。

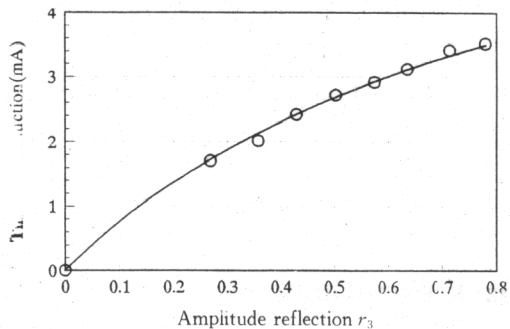


图3. SDL-5411型半导体激光器。实线为利用(7)式得到的结果, 其中  $\frac{1}{\xi d} = 3.3mA$  and  $k = 0.55$

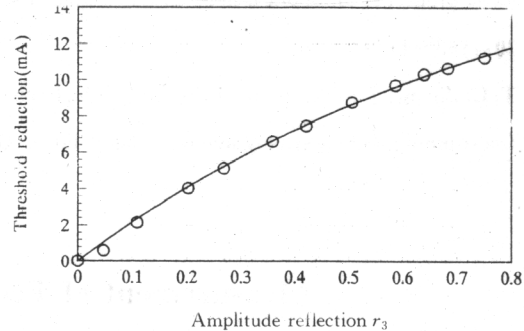


图4. ML64110N型半导体激光器。实线为利用(7)式得到的结果, 其中  $\frac{1}{\xi d} = 30mA$  and  $k = 0.65$

实验结果表明, 由于两种半导体激光器的输出端面基本相同, 因此在相同的实验条件下, 其耦合系数相差不大, 约为 60%。以 15% 的光栅反馈为例, 在  $k = 0.55$  时, 约有 4.5% 的光耦合到半导体激光器中, 这与文献[8]中估计的结果一致。同时由于它们都是由 GaAlAs 材料制成, 其吸收系数基本相同, 但它们的电流增益比相差很远, 这导致它们的阈值相差很大。

致谢: 本文中的小部分工作是在法国 ORSAY 光学研究所完成的, 曾与 P. Grangier 和 J.-Ph. Poizat 进行过有益的讨论, 对此作者表示感谢。

### 参考文献

- 1 A. Olsson and C. L. Tang. Coherent optical interference effects in external-cavity semiconductor lasers. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1981, **17**:1320~1323
- 2 J. H. Osmundsen and N. Gade. Influence of optical feedback on laser frequency spectrum and threshold conditions. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1983, **19**:347~355
- 3 H. Kakiuchida and J. Ohtsubo. Characteristics of a semiconductor laser with external feedback. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1994, **30**:2087~2097
- 4 R. Lang and K. Kobayashi. External optical feedback on semiconductor injection laser properties. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1980, **16**:347~355
- 5 G. P. Agrawal, Line narrowing in a single-mode injection laser due to external optical feedback. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1984, **20**:468~471

- 6 M. J. Freeman, H. Wang, D. G. Steel et al. Wavelength-tunable amplitude-squeezed quantum well laser, *Opt. Lett.*, 1993, **18**(24):2141~2143
- 7 G. A. Acket, D. Lenstra, A. J. Den Noef, and B. Verbeek. The influence of feedback intensity longitudinal mode properties and optical noise in index-guided semiconductor lasers. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1984, **20**:1163~1169
- 8 T. C. Zhang, J.-Ph. Poizat, P. Grelu, J.-F. Roch, P. Grangier, F. Marin, A. Bramati. Quantum noise of free-running and externally-stabilized laser diode. *Quantum and Semiclass. Opt.*, 1995, **7**(4):601~613

## Measurement of Feedback Coupling and Absorption Coefficient in External Cavity Laser Diodes

Zhang Tiancai   Wang Junmin   Hou Zhanjia   Xie Changde   Peng Kunchi

(Institute of Opto-Electronics, Shanxi University, Taiyuan 030006)

### Abstract

The effect of threshold of the index-guided quantum well GaAlAs laser diodes in the external cavity feedback was studied at room temperature. A way of measuring the absorption coefficient and the actual amount of feedback was demonstrated. By measuring the threshold reduction of laser diodes with different feedback, we got the feedback coupling constant  $k$  and the absorption coefficient of  $\alpha$

**Key Words** semiconductor laser, external cavity feedback