

由半导体激光器端面输出谱确定自发辐射谱*

吴正茂** 夏光琼** 陈建国 卢玉村

(四川大学光电系, 成都 610064)

摘 要 利用射线法和平均载流子分布近似^[1,2], 从理论上预言了用阈值以下半导体激光器的端面输出谱来确定自发辐射谱的可能性。在此基础上, 通过实验测得的阈值以下半导体激光器的端面输出谱确定了自发辐射谱, 并且对自发辐射谱和增益谱进行了比较和分析。

关键词 半导体激光器, 端面输出谱, 自发辐射谱。

1 引 言

虽然有时人们把阈值以下半导体激光器端面输出谱称为自发辐射谱, 然而人们早就认识到了这种谱与腔内各个发光中心产生的自发辐射谱是有差别的。

为了获得半导体激光器的自发辐射谱, 前人的思路是尽量缩短自发辐射光在介质中传播的路程, 以减小再吸收对自发辐射的影响。为了体现这一思路, 人们对激光器采取了一系列措施并通过测量激光器顶面的发光来确定自发辐射谱。通过把二极管的表面做成对内部发射的辐射透明的异质结构, 并且把欧姆接触做得很小, 使顶面的大部分露出来, 于是人们就可以探测二极管的表面辐射从而得到了自发辐射谱^[1]。

本文利用射线法和平均载流子分布近似^[1,2], 从理论上预言了用阈值以下半导体激光器的端面输出谱来确定自发辐射谱的可能性。在此基础上, 通过实验测得的阈值以下半导体激光器的端面输出谱确定了自发辐射谱, 并且对自发辐射谱和增益谱进行了比较。

2 理论分析

利用射线法和平均载流子分布近似^[1,2], 可以推导出共振波长 λ_r 与反共振波长 λ_a 处激光器的前端面(其反射率为 R_2) 的输出功率 P_r 和 P_a 分别为:

$$P_r = \frac{\gamma BN^2(1 - R_2) hcS [1 + R_1 \exp(g_r L)] [\exp(g_r L) - 1]}{n\lambda_r(1 - D)^2 g_r}, \quad (1)$$

$$P_a = \frac{\gamma BN^2(1 - R_2) hcS [1 + R_1 \exp(g_a L)] [\exp(g_a L) - 1]}{n\lambda_a(1 + D)^2 g_a}, \quad (2)$$

$$D = (R_1 R_2)^{1/2} \exp(gL) \quad (3)$$

式中 R_1 和 R_2 分别为半导体激光器后端面和前端面的反射率, h 为普朗克常数, B 为辐射复合

* 国家教委留学回国人员基金和四川省科委资助项目。

** 现工作单位: 西南师范大学物理系, 重庆 630715。

收稿日期: 1994 年 5 月 18 日

系数, N 为载流子密度, c 为真空中光速, S 为有源区截面积, n 为介质折射率, L 为腔长, g_1 和 g_2 分别代表波长 λ_1 和 λ_2 处的净增益系数, γ 代表自发辐射耦合所讨论模式的份额 (γ 的分布就代表自发辐射谱的分布)。考虑到半导体激光器的增益及自发辐射的带宽远大于二极管的模式间距, 因而相邻波峰与波谷间的增益差别可以忽略, 这样利用 (1) 和 (2) 式就可以得到

$$D = [1 - (1 - M^2)^{1/2}] / M \quad (4)$$

$$M = (P_1 - P_2) / (P_1 + P_2) \quad (5)$$

式中 M 为调制度, P_1 、 P_2 分别为相邻的波峰与波谷。这样, 通过实验测出半导体激光器的端面输出谱, 利用 (5) 式就能得到调制度 M , 结合 (3) 式和 (4) 式就可以算出净增益分布 (由于净增益和增益成线性关系, 因此净增益分布反映增益谱分布), 再利用 (1) 或 (2) 式就可以确定自发辐射谱分布。

在 (1) 式和 (2) 式中, 令 L 趋于 0, 这种情况就相当于引言中所提到的从半导体激光器顶面来确定自发辐射谱的情形, 在以上近似下, (1) 式就可以化简成

$$P = (\gamma B N^2 h c S L) / [n \lambda (1 - R_1 R_2)^2] \quad (6)$$

由 (6) 式可以看出, 从表面探测到的输出谱就是自发辐射谱。由此可以证明前人所采用方法的可行性及本文所采用的理论的合理性。

3 结果与讨论

实验采用 $1.55 \mu\text{m}$ 的 InGaAsP 异质结半导体激光器, 前、后端面反射率 $R_1 = R_2 = 0.31$, 腔长 $L = 280 \mu\text{m}$ 。通过实验上测得的功率-电流曲线可以确定所使用激光器的阈值电流 $I_{th} = 47.6 \text{ mA}$ 。

图 1 中给出了在偏置电流 $I = 25 \text{ mA}$ 下半导体激光器前端面的输出谱。从图中可以看出由于内吸收的存在, 使在该电流下短波端的调制度很小, 长波长区的调制度比较大。换句话说, 增益峰值波长应处于谱图上峰值 (右边) 的长波端, 即输出谱峰值波长小于增益峰值波长。由于端面输出谱是自发辐射和增益共同作用的结果, 因此自发辐射峰值波长 λ_s 也不一定是端面发射谱的峰值波长。

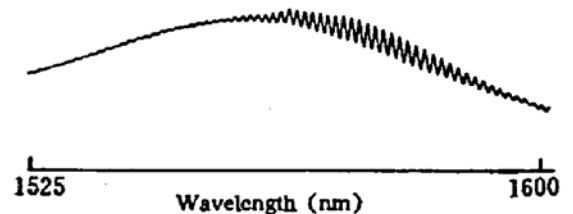


Fig. 1 Output spectrum from end facet of a semiconductor laser biased at 25 mA

通过实验得到的端面输出谱, 结合上部分的理论分析, 可以确定偏置电流 $I = 35 \text{ mA}$ 和 $I = 40 \text{ mA}$ 时的净增益谱和归一化自发辐射谱分布, 如图 2 所示, 其中图 2(a) 是在偏置电流为

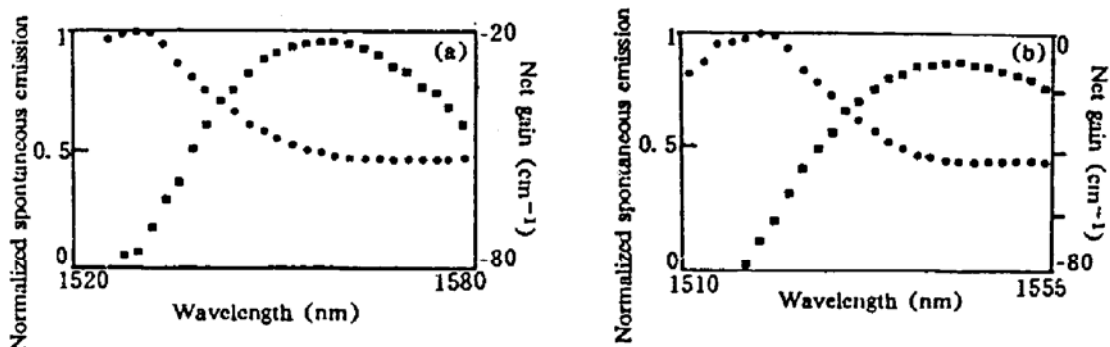


Fig. 2 Measured spontaneous emission spectrum (circles) and net gain spectrum (squares) for bias currents of (a) 35 mA, (b) 40 mA

35 mA 时得到的, 图 2(b)是在 40 mA 时得到的。图中圆点代表自发辐射, 方块代表净增益。

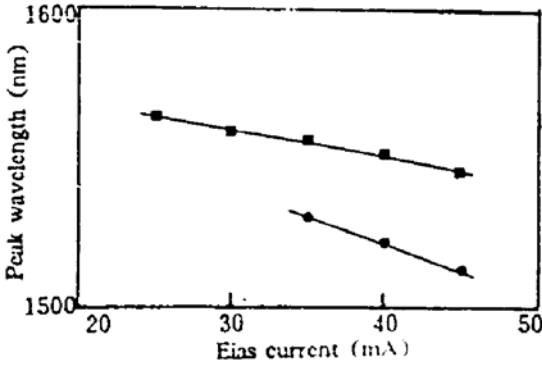


Fig. 3 Peak wavelengths of spontaneous emission (circle) and gain (square) at different bias currents

从图中可以看出, 在 40 mA 时, 增益峰值波长比自发辐射的峰值波长约长 30 nm, 这与在 GaAs 半导体激光器中得到的结果趋势相同^[3]。另外, 随着偏置电流的增加, 增益峰和自发辐射峰均向短波长方向移动, 与 Agrawal 等人的研究相符合^[4]。

此外, 还利用测得的不同电流下的端面输出谱, 确定出了不同偏置电流下的自发辐射峰值波长 λ_s 和增益峰值波长 λ_g , 如图 3 所示。图中圆点代表自发辐射峰, 方块代表增益峰。从图中可以看出, 阈值以下随着偏置电流的增加, 增益峰和自发辐射峰向着短波长方向移动, 在小电流范围内, 可以认为这种移动是线性的。在实验的测量范围内其变化量 $d\lambda_s/dI \approx -1.2 \text{ nm/mA}$, $d\lambda_g/dI \approx -1.6 \text{ nm/mA}$ 。

参 考 文 献

- [1] G. Xia, Z. Wu, J. Chen, Y. Lu, Carrier deficit from nominal threshold density and mode suppression ratio of an above-threshold biased semiconductor laser. *Opt. Lett.*, 1994, 19(10): 731~733
- [2] L. Thylen, Amplified spontaneous emission and gain characteristics of Fabry-Perot and traveling wave type semiconductor laser amplifiers. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1988, QE-24(8): 1532~1537
- [3] H. Kresse, J. K. Butler, *Semiconductor Lasers and Heterojunction LEDs*. New York, San Francisco, London, Academic Press, 1977: 108~110
- [4] G. P. Agrawal, N. K. Dutta, *Long-Wavelength Semiconductor Lasers*. New York, Van Nostrand Reinhold Company, 1986, 84~90

Determination of the Spontaneous Emission Spectrum Using Output Spectrum from End Facet of a Semiconductor Laser

Wu Zhengmao Xia Guangqiong Chen Jianguo Lu Yucun

(*Optoelectronics Department, Sichuan University, Chengdu, 610064*)

(Received 1994; revised 1994)

Abstract By using the ray trace method and mean carrier distribution approximation, possibility of determining the spontaneous emission spectrum with the output spectrum from the end facet of a semiconductor laser is predicted. As a result, the spontaneous emission spectrum is determined experimentally, and the comparison between spontaneous emission spectrum and gain spectrum is discussed as well.

Key words semiconductor laser, output spectrum from end facet, spontaneous emission spectrum