

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0235-03

自发发射因子调制下微腔半导体激光器的 抗噪声性能

王英龙, 褚立志, 郑云龙, 周 阳, 张荣梅, 阎 正, 尚 勇

(河北大学物理科学与技术学院, 河北 保定 071002)

摘要 在伴随信号的噪声为加性白噪声和大输入信噪比的前提下,采用小信号近似的方法,对微腔半导体激光器的自发发射因子调制进行了频域分析,得到了实际语音信号输入下不同参数下的信噪比增益。数值模拟的结果表明,如带通滤波器的通带范围取 300~3400 Hz,激光器的抗噪声性能随偏置电流变化出现振荡现象;当带通滤波器的通带范围增大到一定程度,调整偏置电流和腔内参数可以实现半导体激光器的高抗噪声性能。

关键词 微腔半导体激光器; 自发发射因子调制; 抗噪声性能

中图分类号 O433.2

文献标识码 A

Anti-Noise Properties of Micro-Cavity Semiconductor Laser for Spontaneous Emission Factor Modulation

WANG Ying-long, CHU Li-zhi, ZHENG Yun-long, ZHOU Yang,
ZHANG Rong-mei, YAN Zheng, SHANG Yong

(Department of Physics, Hebei University, Baoding, Hebei 071002, China)

Abstract Supposing that input modulation signal is actual phonetic signal and its adjoint noise is additive white noise, for spontaneous emission factor modulation, by using small signal approximation, the signal-to-noise ratio (SNR) gain is derived in various parameters through frequency domain analysis against laser in the premise of large input SNR. The results of numerical simulation show that when the pass band range of the band pass filter (BPF) is 300~3400 Hz, signal-to-noise ratio gain oscillates with bias current in the background of constant 1; while the pass band range of BPF increases to a certain degree, tuning-up modulating bias current and parameters of the cavity can improve the anti-noise properties of laser.

Key words micro-cavity semiconductor laser; spontaneous emission factor modulation; anti-noise property

1 引 言

本文计算微腔半导体激光器在自发发射因子调制下的信噪比增益,探求偏置电流和腔内参数(如自发发射因子、自发发射寿命、光子寿命、腔体积等)对其抗噪声能力的影响。

1 理论基础

有源介质中的载流子浓度 N 和腔内光子数 p 满足速率方程

$$\begin{cases} \frac{dN}{dt} = \frac{I}{qV} - \frac{N}{\tau_{sp}} - \frac{\beta}{\tau_{sp}}(N-N_0)p \\ \frac{dp}{dt} = \left[\frac{\beta V}{\tau_{sp}}(N-N_0) - \frac{1}{\tau_p} \right] p + \frac{\beta V}{\tau_{sp}} N \end{cases} \quad (1)$$

其中 I 为电流强度, q 为电子电量, τ_{sp} 和 τ_p 分别为载流子自发发射寿命和光子寿命, β 为自发发射因子, N_0 为透明载流子浓度, V 为有源区体积。

对自发发射因子 β 调制,令 $\beta = \beta_s + \Delta\beta(t)$,其中 β_s 、 $\Delta\beta$ 分别表示自发发射因子的稳态值和微小变化值,采用小信号近似并做傅里叶变换,可以得到半导体激光器信号转换的传递函数 $H(\omega)$,进而其强度调制响应为^[1]

$$|H(\omega)|^2 = \begin{cases} \frac{(N_s V / \tau_{sp})^2}{1/\tau_p^2 + \omega^2}, & \text{当 } N_s < N_0 \\ \frac{(\omega \tau_{sp}) B^2 + A^2}{(\omega \tau_{sp})^4 - [(2C \tau_{sp} - D^2 \tau_{sp}^2 / \tau_p^2)(\omega \tau_{sp})^2 + C^2 (\tau_{sp}^2 / \tau_p^2)] \tau_{sp}^2}, & \text{当 } N_s > N_0 \end{cases} \quad (2)$$

基金项目: 河北省自然科学基金(601084)资助项目。

作者简介: 王英龙(1965.11-),男,河北定州人,副教授,光学专业硕士生导师,光学工程专业博士生,主要从事激光与物质相互作用研究。E-mail:hdwangyl@sina.com

其中, ω 为角频率, N_s 为载流子浓度, 且

$$\begin{cases} A = \frac{\xi}{\beta_s} \left[\frac{N_s}{N_0} (1+p_s) - p_s \right] (1+\beta_s p_s) - \xi \left(\frac{N_s}{N_0} - 1 \right) (1+p_s) p_s \\ B = \frac{\xi}{\beta_s} \left[\frac{N_s}{N_0} (1+p_s) - p_s \right] \\ C = \left[1 - \xi \left(\frac{N_s}{N_0} - 1 \right) \right] (1+\beta_s p_s) + \xi \beta_s \left(\frac{N_s}{N_0} - 1 \right) (1+p_s) \\ D = 1 - \xi \left(\frac{N_s}{N_0} - 1 \right) + \frac{\tau_p}{\tau_{sp}} (1+\beta_s p_s) \end{cases} \quad (3)$$

其中 $\xi = \frac{\beta_s N_0 V \tau_p}{\tau_{sp}}$, p_s 为腔光子的稳态值。

输入语音信号的功率谱密度分布为

$$\Phi(\omega) = \frac{E}{1+(\omega/\omega_0)^2} \quad (4)$$

其中 E 为常数, 决定总功率大小, ω_0 对应语音信号的特征角频率。

通常在信号和激光器之间加一带通滤波器, 通带范围为 $[\omega_1, \omega_2]$, 既保证语音的通话质量, 又节省带宽。进入激光器的信号的功率谱密度仅限于 $[\omega_1, \omega_2]$ 之间, 这无疑也会滤掉范围以外的噪声。用 f_0, f_1, f_2 对应 $\omega_0, \omega_1, \omega_2$ 的实际频率。

假定伴随着语音信号的噪声为加性白噪声, 其单边功率谱密度为 n_0 , 则微腔半导体激光器的输出光噪声功率谱密度为 $S_n(\omega) = |H(\omega)|^2 n_0$ 。可得到激光器的输出信噪比和输入信噪比的比值, 即信噪比增益为^[3]

$$G = \frac{(\omega_2 - \omega_1) \cdot \int_{\omega_1}^{\omega_2} \Phi(\omega) |H(\omega)|^2 d\omega}{\int_{\omega_1}^{\omega_2} |H(\omega)|^2 d\omega \cdot \int_{\omega_1}^{\omega_2} \Phi(\omega) d\omega} \quad (5)$$

3 结果与讨论

固定 $N_0 = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, 假定语音信号的特征频率 $f_0 = 2000 \text{ Hz}$, 讨论自发发射因子调制的抗噪声性能。

首先按照实际通信系统中的惯例, 取 $f_1 = 300 \text{ Hz}$, $f_2 = 3400 \text{ Hz}$, 典型腔内参数取 $V = 10^{-15} \text{ cm}^3, \tau_p = 1 \text{ ps}, \tau_{sp} = 1 \text{ ns}, \beta = 0.001$, 得到信噪比增益与偏置电流的关系曲线如图 1 所示。由图可见, 在大部分偏置电流注入情况下, 信噪比增益值保持为 1, 这是由于在此频率范围内 β 调制的强度调制响应在多数偏置电流时不随频率变化, 近似为常数, 由(5)式可知, 与频率无关的强度调制响应将导致信噪比增益为 1; 而在某一偏置电流范围内出现上下振荡, 此范围内的振荡幅度随电流的增大而增大, 这乃 β 调制的强度响应曲线随频

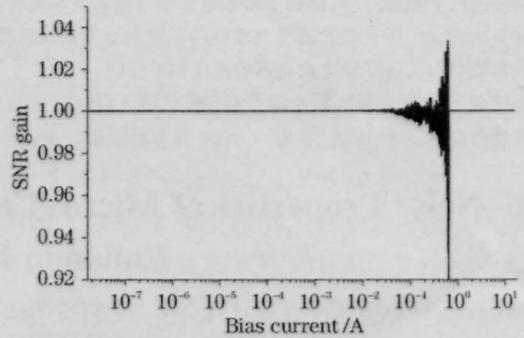


图 1 $f_1=300 \text{ Hz}, f_2=3400 \text{ Hz}$ 时信噪比增益与偏置电流的关系曲线

Fig.1 Signal-noise ratio gain versus bias current when $f_1=300 \text{ Hz}, f_2=3400 \text{ Hz}$

率剧烈变化所致。改变腔内参数的结果表明, 随着 β 增大和 τ_{sp} 减小, 此范围向小电流方向移动。

其它参数不变, 增大 f_2 至 $3.4 \times 10^7 \text{ Hz}$ 即增大滤波器的通带范围, 激光器信噪比增益与偏置电流的关系曲线如图 2 所示。小电流时信噪比增益仍然为 1, 当偏置电流约为 10^{-4} A 时信噪比增益陡降至 0.984, 继续增大电流, 激光器的信噪比增益保持此值。

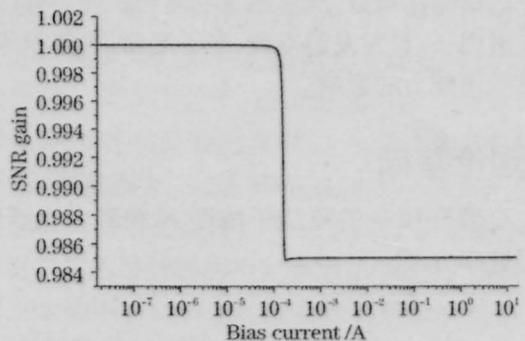


图 2 $f_1=300 \text{ Hz}, f_2=3.4 \times 10^7 \text{ Hz}$ 时信噪比增益与偏置电流的关系曲线

Fig.2 Signal-noise ratio gain versus bias current when $f_1=300 \text{ Hz}, f_2=3.4 \times 10^7 \text{ Hz}$

图 3(a)~(d)分别表示在图 2 参数的基础上改变 β ($\beta = 0.1$), τ_{sp} ($\tau_{sp} = 0.1 \text{ ns}$), V ($V = 10^{-12} \text{ cm}^3$) 和 τ_p ($\tau_p = 100 \text{ ps}$) 的相应结果。分别与图 2 比较可以看

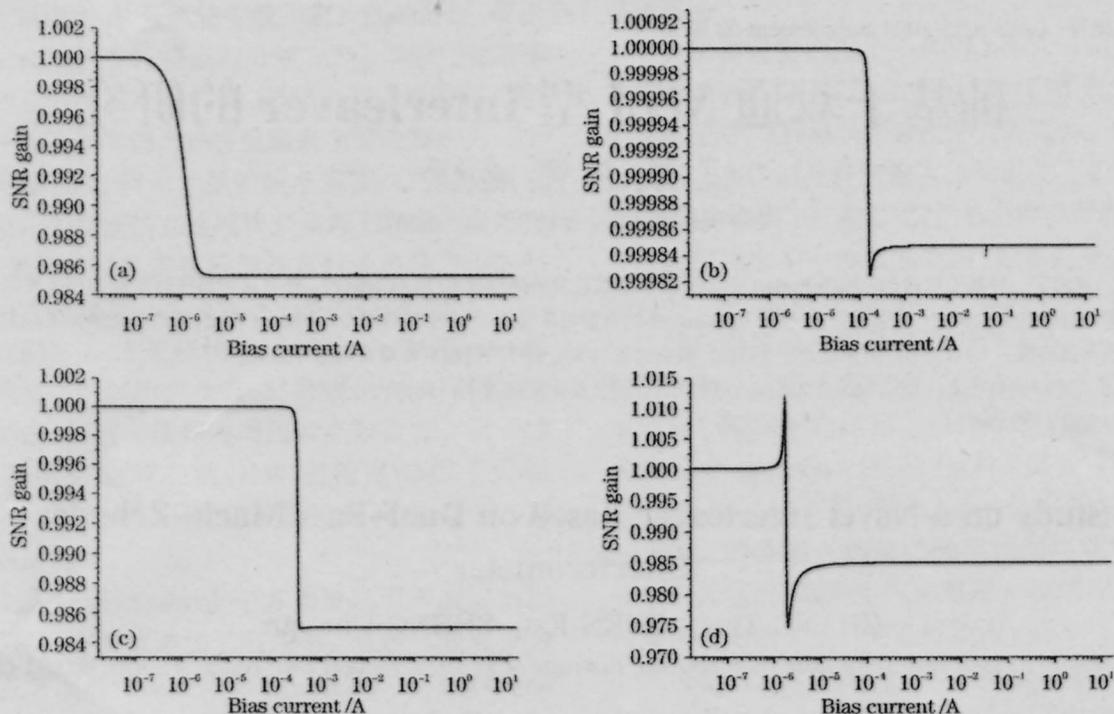


图3 $f_1=300$ Hz, $f_2=3.4 \times 10^7$ Hz 时不同内腔参数下信噪比增益与偏置电流的关系曲线

Fig.3 Signal-noise ratio gain with different cavity parameters versus bias current when $f_1=300$ Hz, $f_2=3.4 \times 10^7$ Hz

出以下结论:

1) 自发发射因子 β 的增大,使发生信噪比增益陡降的偏置电流左移,且陡降更平缓。

2) 自发发射寿命 τ_{sp} 的减小,基本不改变发生信噪比增益陡降的偏置电流值,但陡降前后的信噪比增益差变小。

3) 腔体积 V 的变化,只是引起增益陡降电流的微小变化,曲线的其他指标基本不变。

4) 改变光子寿命 τ_p ,增益陡降的偏置电流值以及陡降前后的信噪比增益差发生变化,并在增益陡降前出现信噪比增益大于1的尖峰。

总之,对于 β 调制,当带通滤波器的通带范围为 [300, 3400] Hz 时, $G-I$ 曲线是在常数 1 的背景上附加以某段电流范围内的振荡;当带通滤波器的通带范围为 [300, 3.4×10^7] Hz 时,小 β , 小 τ_{sp} 对激光器的抗噪声性能有利,而适当选取 τ_p , 可以提高某特定偏置电流处激光器的信噪比增益。

文献[2]指出, τ_{sp} , β , τ_p 间相互影响,单独对某一量的调制是难于实现的,考虑到这一点,曾定量讨论了微腔结构对自发发射物理量的影响,提出微腔结构调制并对其调制行为进行了研究^[4]。对这一复杂

情况语音输入下激光器抗噪声性能的研究将是我们下一步的工作。

参 考 文 献

- 1 Y. Yamamoto, S. Machida, G. Björk. Micro-cavity semiconductor lasers with controlled spontaneous emission[J]. *Opt. Quantum Electron.*, 1992, **24**:S215-S243
- 2 Zheng Yunlong, Wang Yinglong, Ding Wenge. New modulation methods of micro-cavity semiconductor lasers [J]. *Acta Photonica Sinica*, 1998, **27**(11):987-990
郑云龙,王英龙,丁文革. 微腔半导体激光器的两种新的调制方法[J]. *光子学报*, 1998, **27**(11):987-990
- 3 Wang Yinglong, Li Huiqing, Zheng Yunlong et al. Anti-noise properties of micro-cavity semiconductor laser modulated by phonetic signal[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2002, **31**(4):441-444
王英龙,李惠青,郑云龙等. 语音信号调制的微腔半导体激光器的抗噪声性能[J]. *光子学报*, 2002, **31**(4):441-444
- 4 Wang Yinglong, Ding Wenge, Zheng Yunlong et al. Microcavity structure modulation of semiconductor lasers and its pulses transmission in fibre[J]. *Chinese J. Semiconductors*, 2002, **23**(2): 178-181
王英龙,丁文革,郑云龙等. 半导体激光器的微腔结构调制及其脉冲在光纤中的传输[J]. *半导体学报*, 2002, **23**(2):178-181