

非均匀半导体激光器传输特性的理论分析

单永政 杜宝勋

(中国科学院半导体研究所)

1981年12月15日收到

提 要

本文建立了非均匀半导体激光器的传输模型，并利用这个模型对非均匀半导体激光器的传输特性进行了小信号理论分析，给出了表征其传输特性的四种传输函数，讨论了系统的稳定性和稳定条件。分析的结果表明，非均匀半导体激光器是条件稳定系统，在其输出中存在着自激振荡的可能性。

一、引言

已经对均匀半导体激光器的传输特性进行过小信号理论分析^[1]。分析的结果表明，均匀半导体激光器的传输特性受其内部参数和外部偏置的控制，在它们取不同数值的情况下，均匀半导体激光器是实数或共轭复数双极点系统，其传输特性表现出有无类共振和张弛振荡的区别。但是，由稳定性理论分析可知，均匀半导体激光器总是渐近稳定系统，在其输出中不存在自激振荡。

实际的半导体激光器可能是非均匀的。概括地说，这里所谓的非均匀半导体激光器，系指其有源区可以分成两个或两个以上均匀的内部参数和外部偏置的数值相同或不同的部分，而且在这些部分之间存在着光耦合。它对外部输入信号的响应，应该是其内部这些互相光耦合的“均匀半导体激光器”的输出信号的叠加。显然，非均匀半导体激光器是多极点系统。当其内部参数和外部偏置取某些数值时，就可能成为不稳定系统。由此可见，在非均匀半导体激光器的输出中存在着自激振荡的可能性。

本文在均匀半导体激光器传输特性的小信号理论分析的基础上，对非均匀半导体激光器的传输特性进行了理论分析，给出了表征其传输特性的四种传输函数，讨论了系统的稳定性和稳定条件。分析的结果表明，非均匀半导体激光器是条件稳定的多极点系统。当其内部的光耦合系数超过系统自身固有的临界光耦合系数时，就会在其输出中出现自激振荡。

二、数学模型

为了使分析简单化，假定非均匀半导体激光器是由两个互相光耦合的“均匀半导体激

光器”所组成,其传输模型可用图 1 表示。这两个“均匀半导体激光器”的输出响应为:

$$S_{m1} = G_{sj1}J_{m1} + G_{sh1}(H_{m1} + M_{21}S_{m2}), \quad (1)$$

$$N_{m1} = G_{nj1}J_{m1} + G_{nh1}(H_{m1} + M_{21}S_{m2}), \quad (2)$$

$$S_{m2} = G_{sj2}J_{m2} + G_{sh2}(H_{m2} + M_{12}S_{m1}), \quad (3)$$

$$N_{m2} = G_{nj2}J_{m2} + G_{nh2}(H_{m2} + M_{12}S_{m1}). \quad (4)$$

S_{m1} 和 S_{m2} 是“均匀半导体激光器” 1 和 2 的光响应函数; N_{m1} 和 N_{m2} 是它们的电响应函数; J_{m1} 和 J_{m2} 是它们的电激励函数; H_{m1} 和 H_{m2} 是它们的光激励函数; G_{sj1} 和 G_{sj2} 、
 G_{nj1} 和 G_{nj2} 、 G_{sh1} 和 G_{sh2} 分别是它们的电光转换函数、电传输函数、光电转换函数、光传输函数; M_{12} 和 M_{21} 是“均匀半导体激光器” 1 对 2 和 2 对 1 的光耦合系数。
考虑到 $S_m = S_{m1} + S_{m2}$ 、 $N_m = N_{m1} + N_{m2}$, 将 $J_{m1} = \alpha J_m$ 、 $J_{m2} = \beta J_m$ 、 $H_{m1} = \alpha' H_m$ 和
 $H_{m2} = \beta' H_m$ 代入(1)~(4)中,求得非均匀半导体激光器的输出响应为:

$$S_m = G_{sj}J_m + G_{sh}H_m, \quad (5)$$

$$N_m = G_{nj}J_m + G_{nh}H_m. \quad (6)$$

式中

$$G_{sj} = [\alpha(G_{sj1} + M_{12}G_{sj1}G_{sh2}) + \beta(G_{sj2} + M_{21}G_{sj2}G_{sh1})]/(1 - M_{12}M_{21}G_{sh1}G_{sh2}), \quad (7)$$

$$G_{sh} = [\alpha'(G_{sh1} + M_{12}G_{sh1}G_{sj2}) + \beta'(G_{sh2} + M_{21}G_{sh2}G_{sj1})]/(1 - M_{12}M_{21}G_{sj1}G_{sj2}), \quad (8)$$

$$G_{nj} = \left[\alpha \left(G_{nj1} + M_{12}G_{nj1}G_{sj1} + M_{12}M_{21}G_{nj1}G_{sh2} \frac{1}{N_{01}} \right) + \beta \left(G_{nj2} + M_{21}G_{nj2}G_{sj2} + M_{12}M_{21}G_{nj2}G_{sh1} \frac{1}{N_{02}} \right) \right] / (1 - M_{12}M_{21}G_{sh1}G_{sh2}), \quad (9)$$

$$G_{nh} = [\alpha'(G_{nh1} + M_{12}G_{nh1}G_{sj2}) + \beta'(G_{nh2} + M_{21}G_{nh2}G_{sj1})]/(1 - M_{12}M_{21}G_{sj1}G_{sj2}). \quad (10)$$

其中

$$G_{sj1} = K_1(S_{01} + D_1)/(p^2 + 2\xi_1\omega_{01}p + \omega_{01}^2), \quad (11)$$

$$G_{sj2} = K_2(S_{02} + D_2)/(p^2 + 2\xi_2\omega_{02}p + \omega_{02}^2), \quad (12)$$

$$G_{nj1} = [p + K_1(1 - N_{01})]/(p^2 + 2\xi_1\omega_{01}p + \omega_{01}^2), \quad (13)$$

$$G_{nj2} = [p + K_2(1 - N_{02})]/(p^2 + 2\xi_2\omega_{02}p + \omega_{02}^2), \quad (14)$$

$$G_{sh1} = K_1[p + (S_{01} + 1)]/(p^2 + 2\xi_1\omega_{01}p + \omega_{01}^2), \quad (15)$$

$$G_{sh2} = K_2[p + (S_{02} + 1)]/(p^2 + 2\xi_2\omega_{02}p + \omega_{02}^2), \quad (16)$$

$$G_{sh1} = -K_1N_{01}/(p^2 + 2\xi_1\omega_{01}p + \omega_{01}^2), \quad (17)$$

$$G_{sh2} = -K_2N_{02}/(p^2 + 2\xi_2\omega_{02}p + \omega_{02}^2), \quad (18)$$

$$\omega_{01} = \{K_1[(S_{01} + 1) - N_{01}(1 - D_1)]\}^{1/2}, \quad (19)$$

$$\omega_{02} = \{K_2[(S_{02} + 1) - N_{02}(1 - D_2)]\}^{1/2}, \quad (20)$$

$$\xi_1 = [(S_{01} + 1) + K_1(1 - N_{01})]/2\omega_{01}, \quad (21)$$

$$\xi_2 = [(S_{02} + 1) + K_2(1 - N_{02})]/2\omega_{02}, \quad (22)$$

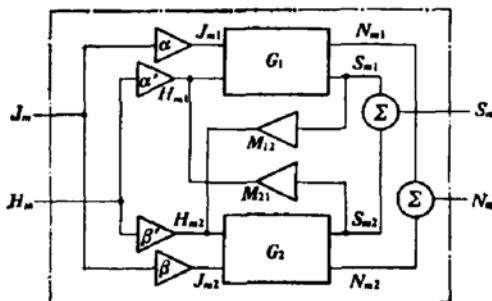


图 1 非均匀半导体激光器的传输模型

$$K_1 = \tau_{e1}/\tau_{p1}, \quad (23)$$

$$K_2 = \tau_{e2}/\tau_{p2}, \quad (24)$$

$$D_1 = \eta_{i1} C_1, \quad (25)$$

$$D_2 = \eta_{i2} C_2, \quad (26)$$

$$N_{01} = \{(J_{01} + H_{01} + 1) - [(J_{01} + H_{01} + 1)^2 - 4(1 - D_1)J_{01}]^{1/2}\}/2(1 - D_1), \quad (27)$$

$$N_{02} = \{(J_{02} + H_{02} + 1) - [(J_{02} + H_{02} + 1)^2 - 4(1 - D_2)J_{02}]^{1/2}\}/2(1 - D_2), \quad (28)$$

$$S_{01} = \{(J_{01} + H_{01} - 1) + [(J_{01} + H_{01} + 1)^2 - 4(1 - D_1)J_{01}]^{1/2}\}/2, \quad (29)$$

$$S_{02} = \{(J_{02} + H_{02} - 1) + [(J_{02} + H_{02} + 1)^2 - 4(1 - D_2)J_{02}]^{1/2}\}/2. \quad (30)$$

J_{01} 和 J_{02} 是“均匀半导体激光器”1 和 2 的电偏置; H_{01} 和 H_{02} 是它们的光偏置; τ_{e1} 和 τ_{e2} 是它们的电子寿命; τ_{p1} 和 τ_{p2} 是它们的光子寿命; η_{i1} 和 η_{i2} 是它们的内部量子效率; C_1 和 C_2 是它们的自发发射的光子数填入振荡模式中的比率; G_{ej} 、 G_{nj} 、 G_{sh} 和 G_{nh} 分别是非均匀半导体激光器的电光转换函数、电传输函数、光传输函数和光电转换函数。如果把(5)和(6)写成矩阵的形式, 则有

$$\begin{pmatrix} S_m \\ N_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G_{ej} & G_{sh} \\ G_{nj} & G_{nh} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} J_m \\ H_m \end{pmatrix}, \quad (31)$$

令

$$\mathbf{G} = \begin{pmatrix} G_{ej} & G_{sh} \\ G_{nj} & G_{nh} \end{pmatrix}, \quad (32)$$

\mathbf{G} 就是表征非均匀半导体激光器传输特性的数学模型。显然, 非均匀半导体激光器是多极点系统, 其传输特性取决于 \mathbf{G} 的零点和极点在复平面上的分布状况。当 \mathbf{G} 的全部极点都分布在复平面的左半平面上时, 其时域响应具有阻尼振荡的形式, 频域响应具有类共振特性, 这时的非均匀半导体激光器是渐近稳定系统。当 \mathbf{G} 的全部极点不都分布在复平面的左半平面上时, 其时域响应具有等幅或增幅振荡的形式, 频域响应具有自激振荡特性, 这时的非均匀半导体激光器是不稳定系统。

三、稳定条件

为了得到非均匀半导体激光器的稳定条件, 采用劳斯-霍尔维兹准则^[2,3]对传输函数 \mathbf{G} 进行稳定性考察。

假定 $M_{12} = M_{21} = M$, 由(7)–(10)求得 \mathbf{G} 的分母为零的特征方程为

$$p^4a_0 + p^3a_1 + p^2a_2 + pa_3 + a_4 = 0. \quad (33)$$

式中

$$a_0 = 1, \quad (34)$$

$$a_1 = 2\xi_1\omega_{01} + 2\xi_2\omega_{02}, \quad (35)$$

$$a_2 = \omega_{01}^2 + \omega_{02}^2 + 4\xi_1\xi_2\omega_{01}\omega_{02} - M^2K_1K_2, \quad (36)$$

$$a_3 = 2\xi_1\omega_{01}\omega_{02}^2 + 2\xi_2\omega_{02}\omega_{01}^2 - M^2K_1K_2[(S_{01} + 1) + (S_{02} + 1)], \quad (37)$$

$$a_4 = \omega_{01}^2\omega_{02}^2 - M^2K_1K_2(S_{01} + 1)(S_{02} + 1). \quad (38)$$

根据(33)列出劳斯-霍尔维兹表

p^4	a_0	a_2	a_4
p^3	a_1	a_3	0
p^2	$a_2 - a_0a_1/a_1$	a_4	0
p^1	$a_3 - a_1^2a_4/(a_1a_2 - a_0a_3)$	0	0
p^0	a_4	0	0

由劳斯-霍尔维兹准则可知, 当表内第一列各项的符号全为正时, \mathbf{G} 的全部极点都分布在复平面的左半平面上, 表明非均匀半导体激光器是渐近稳定系统。当表内第一列各项的符号不全为正时, \mathbf{G} 的全部极点不都分布在复平面的左半平面上, 表明非均匀半导体激光器是不稳定系统。因此, 必须分别考察表内第一列各项的符号。

令

$$A_1 = 2\xi_1\omega_{01} - (S_{01} + 1) + K_1(1 - N_{01}), \quad (39)$$

$$A_2 = 2\xi_2\omega_{02} - (S_{02} + 1) + K_2(1 - N_{02}). \quad (40)$$

将(34)–(38)代入表内各项中, 得到第一项和第二项的符号恒为正, 第三项、第四项和第五项的符号为正的条件分别是:

$$M < M_{c_3} = \left\{ \frac{A_1A_2(A_1 + A_2) + (A_1\omega_{01}^2 + A_2\omega_{02}^2)}{K_1K_2[K_1(1 - N_{01}) + K_2(1 - N_{02})]} \right\}^{1/2}, \quad (41)$$

$$M < M_{c_4} = \left\{ \frac{V - (V^2 - 4UW)^{1/2}}{2K_1K_2U} \right\}^{1/2}, \quad (42)$$

$$M < M_{c_5} = \left\{ \frac{\omega_{01}^2\omega_{02}^2}{K_1K_2(S_{01} + 1)(S_{02} + 1)} \right\}^{1/2}. \quad (43)$$

式中

$$\begin{aligned} V &= (A_1\omega_{01}^2 + A_2\omega_{02}^2)[(S_{01} + 1) + (S_{02} + 1)] + (A_1\omega_{02}^2 + A_2\omega_{01}^2)[K_1(1 - N_{01}) \\ &\quad + K_2(1 - N_{02})] + (A_1 + A_2)[A_1(S_{01} + 1)K_2(1 - N_{02}) \\ &\quad + A_2(S_{02} + 1)K_1(1 - N_{01})], \end{aligned} \quad (44)$$

$$U = [(S_{01} + 1) + (S_{02} + 1)][K_1(1 - N_{01}) + K_2(1 - N_{02})], \quad (45)$$

$$W = A_1A_2[(\omega_{01}^2 - \omega_{02}^2)^2 + (A_1 + A_2)(A_1\omega_{02}^2 + A_2\omega_{01}^2)]. \quad (46)$$

定义 M_{c_3} 、 M_{c_4} 和 M_{c_5} 中数值最小者为临界光耦合系数 M_c , 把非均匀半导体激光器的稳定条件写作

$$M < M_c. \quad (47)$$

在实际器件中, $K = 10^3 - 10^4$ ^[4]、 $D = 10^{-6} - 10^{-3}$ ^[5], 根据这些数据, 求得 $M_{e_3} > M_{e_2} > M_{e_1} > 0$, 因此

$$M_e = \left\{ \frac{V - (V^2 - 4UW)^{1/2}}{2K_1 K_2 U} \right\}^{1/2}. \quad (48)$$

就给定的非均匀半导体激光器而言, 其 M_e 的数值受外部偏置的控制, 改变外部偏置的数值可以控制器件工作的稳定性。图 2 是对给定的内部参数和光耦合系数画出的非均匀半导体激光器的稳定工作区域的一个例子。这是以电偏置为自变量、以光偏置为参变量的二组封闭曲线, 封闭曲线内部是不稳定区。

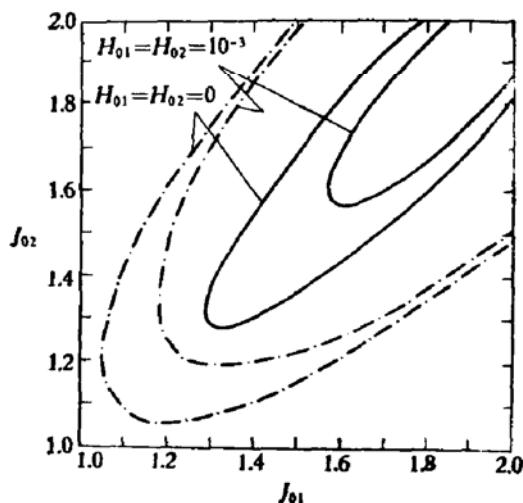


图 2 非均匀半导体激光器的稳定工作区域 $K_1 \approx K_2 = 10^3$, $D_1 \approx D_2 = 10^{-1}$
 $\text{——} M_{12} = M_{21} = 5 \times 10^{-3}$ $\text{---} M_{12} = M_{21} = 1 \times 10^{-2}$

四、传输特性

现在讨论最简单的情况。假定两个“均匀半导体激光器”的内部参数和外部偏置的数值相同, 并用无数字脚标的符号来表示与它相对应的参数, 则由(48)求得非均匀半导体激光器的临界光耦合系数为

$$M_c = [(S_0 + 1) + K(1 - N_0)]/K. \quad (49)$$

由(7)–(10)求得表征非均匀半导体激光器传输特性的四种传输函数为:

$$G_{sj} = G_{sj}(0) / \left(\frac{1}{Q^2} p^2 + 2 \frac{\Xi}{Q} p + 1 \right), \quad (50)$$

$$G_{nj} = G_{nj}(0) \left[\frac{1}{K(1 - M - N_0)} p + 1 \right] / \left(\frac{1}{Q^2} p^2 + 2 \frac{\Xi}{Q} p + 1 \right), \quad (51)$$

$$G_{sh} = G_{sh}(0) \left[\frac{1}{(S_0 + 1)} p + 1 \right] / \left(\frac{1}{Q^2} p^2 + 2 \frac{\Xi}{Q} p + 1 \right), \quad (52)$$

$$G_{nh} = G_{nh}(0) / \left(\frac{1}{Q^2} p^2 + 2 \frac{\Xi}{Q} p + 1 \right). \quad (53)$$

式中

$$G_{ij}(0) = (S_0 + D)/[(S_0 + 1)(1 - M) - N_0(1 - D)], \quad (54)$$

$$G_{nj}(0) = (1 - M - N_0)/[(S_0 + 1)(1 - M) - N_0(1 - D)], \quad (55)$$

$$G_{sh}(0) = (S_0 + 1)/[(S_0 + 1)(1 - M) - N_0(1 - D)], \quad (56)$$

$$G_{nh}(0) = -N_0/[(S_0 + 1)(1 - M) - N_0(1 - D)], \quad (57)$$

$$\Omega = \{K[(S_0 + 1)(1 - M) - N_0(1 - D)]\}^{1/2}, \quad (58)$$

$$\Xi = [(S_0 + 1) + K(1 - N_0)](1 - M/M_e)/2\Omega. \quad (59)$$

$G_{ij}(0)$ 、 $G_{nj}(0)$ 、 $G_{sh}(0)$ 和 $G_{nh}(0)$ 分别是稳态非均匀半导体激光器的电光转换系数、电传输系数、光传输系数和光电转换系数； Ω 是非均匀半导体激光器的类共振角频率； Ξ 是非均匀半导体激光器的阻尼因子。

令 $\rho = j\omega$ ，由(50)–(53)求得非均匀半导体激光器的频率响应：

$$G_{ij}(j\omega) = G_{ij}(0) / \left[1 - \left(\frac{\omega}{\Omega} \right)^2 + j2\Xi \left(\frac{\omega}{\Omega} \right) \right], \quad (60)$$

$$G_{nj}(j\omega) = G_{nj}(0) \left(1 + j \frac{\left(\frac{\omega}{\Omega} \right)}{\frac{K(1 - M - N_0)}{\Omega}} \right) / \left[1 - \left(\frac{\omega}{\Omega} \right)^2 + j2\Xi \left(\frac{\omega}{\Omega} \right) \right], \quad (61)$$

$$G_{sh}(j\omega) = G_{sh}(0) \left(1 + j \frac{\left(\frac{\omega}{\Omega} \right)}{\frac{S_0 + 1}{\Omega}} \right) / \left[1 - \left(\frac{\omega}{\Omega} \right)^2 + j2\Xi \left(\frac{\omega}{\Omega} \right) \right], \quad (62)$$

$$G_{nh}(j\omega) = G_{nh}(0) / \left[1 - \left(\frac{\omega}{\Omega} \right)^2 + j2\Xi \left(\frac{\omega}{\Omega} \right) \right]. \quad (63)$$

其幅频特性为：

$$|G_{ij}(\omega)| = |G_{ij}(0)| / \left\{ \left[1 - \left(\frac{\omega}{\Omega} \right)^2 \right]^2 + 4\Xi^2 \left(\frac{\omega}{\Omega} \right)^2 \right\}^{1/2}, \quad (64)$$

$$|G_{nj}(\omega)| = |G_{nj}(0)| \left[1 + \left(\frac{\left(\frac{\omega}{\Omega} \right)}{\frac{K(1 - M - N_0)}{\Omega}} \right)^2 \right]^{1/2} / \left\{ \left[1 - \left(\frac{\omega}{\Omega} \right)^2 \right]^2 + 4\Xi^2 \left(\frac{\omega}{\Omega} \right)^2 \right\}^{1/2}, \quad (65)$$

$$|G_{sh}(\omega)| = |G_{sh}(0)| \left[1 + \left(\frac{\left(\frac{\omega}{\Omega} \right)}{\frac{S_0 + 1}{\Omega}} \right)^2 \right]^{1/2} / \left\{ \left[1 - \left(\frac{\omega}{\Omega} \right)^2 \right]^2 + 4\Xi^2 \left(\frac{\omega}{\Omega} \right)^2 \right\}^{1/2}, \quad (66)$$

$$|G_{nh}(\omega)| = |G_{nh}(0)| / \left\{ \left[1 - \left(\frac{\omega}{\Omega} \right)^2 \right]^2 + 4\Xi^2 \left(\frac{\omega}{\Omega} \right)^2 \right\}^{1/2}. \quad (67)$$

其相频特性为：

$$\varphi_{ij}(\omega) = -\operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{2\Xi \left(\frac{\omega}{\Omega} \right)}{1 - \left(\frac{\omega}{\Omega} \right)^2} \right], \quad (68)$$

$$\varphi_{nj}(\omega) = -\operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{2\Xi \left(\frac{\omega}{\Omega} \right)}{1 - \left(\frac{\omega}{\Omega} \right)^2} \right] + \operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{\left(\frac{\omega}{\Omega} \right)}{K(1 - M - N_0)} \right], \quad (69)$$

$$\varphi_{nh}(\omega) = -\operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{2\Xi \left(\frac{\omega}{\Omega} \right)}{1 - \left(\frac{\omega}{\Omega} \right)^2} \right] + \operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{\left(\frac{\omega}{\Omega} \right)}{S_0 + 1} \right], \quad (70)$$

$$\varphi_{nh}(\omega) = -\operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{2\Xi \left(\frac{\omega}{\Omega} \right)}{1 - \left(\frac{\omega}{\Omega} \right)^2} \right]. \quad (71)$$

由此可见,无论内部参数和外部偏置怎样变化,只要 $M < M_c$, 总有 $\Xi > 0$, 当 $\omega = \Omega$ 时,非均匀半导体激光器的频率响应具有类共振特性。如果 $M \geq M_c$, 则 $\Xi \leq 0$, 当 $\omega = \Omega$ 时,非均匀半导体激光器的频率响应呈现出自激振荡的特性,其振荡角频率为 Ω 。

对(50)–(53)进行反拉氏变换,求得非均匀半导体激光器的冲击响应为:

$$G_{ij}(T) = K(S_0 + D) \cdot \frac{1}{\Omega_n} e^{-\Sigma T} \cdot \sin \Omega_n T, \quad (72)$$

$$G_{nj}(T) = \left[1 + \left(\frac{A}{\Omega_n} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \cdot e^{-\Sigma T} \cdot \cos (\Omega_n T + \Theta), \quad (73)$$

$$G_{nh}(T) = K \left[1 + \left(\frac{A}{\Omega_n} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \cdot e^{-\Sigma T} \cdot \cos (\Omega_n T - \Theta), \quad (74)$$

$$G_{nh}(T) = -KN_0 \cdot \frac{1}{\Omega_n} \cdot e^{-\Sigma T} \cdot \sin \Omega_n T. \quad (75)$$

式中

$$A = \frac{1}{2} [(S_0 + 1) - K(1 - M - N_0)], \quad (76)$$

$$\Theta = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{A}{\Omega_n} \right), \quad (77)$$

$$\Omega_n = \Omega \sqrt{1 - \Xi^2}, \quad (78)$$

$$\Sigma = \Omega \Xi - \frac{1}{2} [(S_0 + 1) + K(1 - N_0)](1 - M/M_c). \quad (79)$$

Ω_n 为非均匀半导体激光器的张弛振荡角频率; Σ 为非均匀半导体激光器的衰减系数。当 $M < M_c$ 时, $\Sigma > 0$, 非均匀半导体激光器的冲击响应具有衰减振荡的形式。当 $M \geq M_c$ 时, $\Sigma \leq 0$, 非均匀半导体激光器的冲击响应具有等幅或增幅振荡的形式, 其

振荡角频率应为 Ω .

当冲击响应 $G(T)$ 确定后, 利用褶积积分^[3]可以给出非均匀半导体激光器对任一激励信号的时域响应.

五、结语

本文建立了非均匀半导体激光器的光耦合传输模型, 并根据这个模型对非均匀半导体激光的传输特性进行了小信号理论分析. 分析的结果表明, 非均匀半导体激光器是条件稳定的多极点系统. 其工作稳定与否取决于器件内部的光耦合系数 M 与由其内部参数和外部偏置决定的临界光耦合系数 M_c 的关系.

当 $M < M_c$ 时, 非均匀半导体激光器是渐近稳定系统. 其传输特性与均匀半导体激光器^[1]的传输特性相似. 当 $M \geq M_c$ 时, 非均匀半导体激光器是不稳定系统. 其传输特性与均匀半导体激光器的传输特性有质的差别, 在其输出中出现自激振荡.

实际器件的内部参数 $K = 10^3 - 10^4$ ^[4]、 $D = 10^{-6} - 10^{-3}$ ^[5], 故其临界光耦合系数约为 $10^{-3} - 10^{-2}$ 的量级, 很容易出现 $M \geq M_c$ 的情况. 这就是说, 实际应用的器件, 在工作中很可能是不稳定的. 当然, 对于给定的器件, 通过改变外部偏置的数值也可以实现稳定工作.

根据上述分析结果, 可以解释半导体激光器电光转换过程中的自激振荡、电传输过程中的微波振荡以及传输过程中的噪声现象, 并为制作 GHz 级的“半导体光振荡器”提供了理论基础. 关于这些问题, 我们将另文详述.

本文承蒙北京大学郭长志副教授、本所王启明副教授和王守武教授的细心审阅, 提出了许多非常宝贵的意见, 作者在此表示衷心的感谢.

附言: 在作者的前文中(见半导体学报, 2, 197 (1981)) 有不妥之处, 现予以勘误.

页	行	误	正
198	倒 11	$g(n) = 1/\tau_p$	$g_{th} = 1/\tau_p$
199	倒 2	行列式	矩阵
203	7、10、15、18、21	α	$\bar{\alpha}$
	7—9	ω_{nT}	$\omega_n T$
	倒 7—8	$-\sigma T$	$-\sigma T_0$
204	9	$2\alpha \sin \theta$	$2\alpha \cos \theta$
	12	$2\beta \sin \theta$	$2\beta \cos \theta$

参 考 文 献

- [1] 单永政、杜宝勋, 半导体学报, 2, 197 (1981).
Y. Z. Shan and B. X. Du, IEEE J. Quantum Electron., QE-18, 601 (1982).
- [2] T. E. 佛特曼、K. L. 海兹著, “线性控制系统引论”, 机械工业出版社, (1980).
- [3] David K. Cheng, “Analysis of Linear Systems”, London Addison Woosley, (1959).
- [4] K. Daikoku, Jpn. J. Appl. Phys., 16, 117 (1971).
- [5] Y. Suematsu and S. Akiba, Trans. JECE Japan. E-59, 1 (1976).

A Theoretical Analysis on Transmission Characteristics of Nonuniform Semiconductor Lasers

Shan Yongzheng and Du Baoxun

(Institute of Semiconductors, Academia Sinica)

Abstract

A transmission model for nonuniform semiconductor lasers is proposed. According to this model a theoretical analysis for small signals on transmission characteristics of nonuniform semiconductor lasers is given. Four sorts of transmission functions showing their transmission characteristics are obtained. The stability and stable conditions of the system are discussed. The results of the theoretical analysis show that nonuniform semiconductor lasers are conditionally stable system. The possibility of self-oscillation exists in the output of the lasers.