

双耦合 B 类激光器的混沌动力学行为*

罗利国 聂得真

(山东大学光电子信息工程系, 济南 250100)

摘 要 提出并研究了双耦合 B 类激光器的动力学行为。发现该系统可有稳定连续、自脉冲和混沌输出。还发现该系统是以倍周期分岔由周期解进入混沌。

关键词 双耦合, B 类激光器, 混沌。

1 引 言

1975年, Haken 指出^[1], 单模均匀加宽激光器方程与流体力学中的洛仑兹方程同构, 从而引起了人们研究激光器混沌行为的兴趣。整个八十年代中, 有关激光混沌的研究进入更为广泛的领域。已在纯光学激光系统, 光电混合系统, 被动腔非线性光学系统中发现了光学混沌现象^[2, 3]。在研究激光器的动力学行为时, 人们常按变量弛豫速率的大小, 将激光器分成三类: A 类激光器: κ (腔损耗系数) $\ll \gamma_{\perp}$ (纵向弛豫速率)、 γ_{\parallel} (横向弛豫速率); B 类激光器: $\gamma_{\perp} \gg \gamma_{\parallel}$, κ ; C 类激光器: $\kappa \sim \gamma_{\parallel} \sim \gamma_{\perp}$ 同数量级。对于 B 类激光器, 在共振单模运转时, 其激光方程变为二元常微分方程组, 无法产生混沌。本文将两个 B 类激光器耦合起来, 使系统方程变为四元常微分方程组, 该系统具有丰富的混沌行为。

2 模型及其定态

研究的模型如图 1 所示。两个 B 类单向环型腔激光器通过外腔镜 M_1 、 M_2 、 M_3 、 M_4 耦合起来。1、1'、2、2' 为半透半反镜; 3、3'、4、4' 为全反镜。激光器 L_1 与 L_2 分别由 M_1 和 M_3 镜输出。该系统的第一个激光器, 相当于有注入信号的激光器系统^[4]。在共振状态下, 可得到该系统的激光方程为:

$$\left. \begin{aligned} dE_1/d\tau &= -K_1(E_1 - C_1E_2) - \alpha_1E_1D_1, & dD_1/d\tau &= -(D_1 - 1 + E_1^2D_1) \\ dE_2/d\tau &= -K_2(E_2 - C_2E_1) - \alpha_2E_2D_2, & dD_2/d\tau &= -(D_2 - 1 + E_2^2D_2) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中 K_1 , K_2 分别为 L_1 和 L_2 的腔损耗系数, $\tau = \gamma_{\parallel}t$ 。为简化运算, 取激光器 L_1 和 L_2 的纵向弛豫速率相同。 E_1 、 E_2 分别为 L_1 和 L_2 的光场振幅慢变化包络; D_1 、 D_2 分别为 L_1 和 L_2 的粒子数反转变量; α_1 与 α_2 为 L_1 和 L_2 的未饱和增益系数; C_1 和 C_2 对应 L_1 和 L_2 的入射场耦合系数, 且可表达为: $C_1 = |C_1| \exp(i\delta_1)$, $C_2 = |C_2| \exp(i\delta_2)$, δ_1 、 δ_2 为输入场的相位失谐量。

* 国家自然科学基金资助课题。

收稿日期: 1994年7月11日; 收到修改稿日期: 1994年9月5日

在定态下，由方程组(1)得到定态解为以下两方程的交点：

$$C_1 E_2 = E_1 - \frac{(a_1/K_1)E_1}{1 + E_1^2}, \quad C_2 E_1 = E_2 - \frac{(a_2/K_2)E_2}{1 + E_2^2} \quad (2)$$

(2)式为两个双能级系统的双稳方程^[5]。该两方程曲线，依 C_1 、 C_2 的取值与符号的不同，相对关系有较大变化。图 2 为 $C_1 = 0.3$ ， $C_2 = -0.4$ 时的定态解。在图 2 中，系统定态稳定解为 P_1 和 P_2 ， O 点为临界稳定点。另两个交点，因涉及双稳 S 曲线的中间段，是不稳定态^[5]。

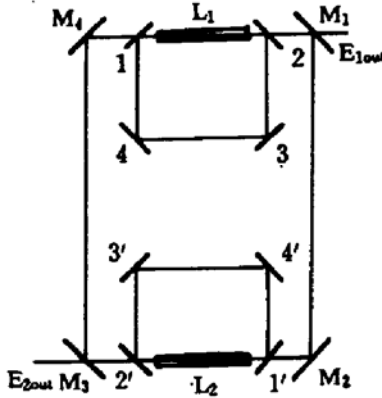


Fig. 1 The diagram of the dual coupled laser. Lasers L_1 and L_2 are coupled by mirrors M_1 , M_2 , M_3 and M_4 . 1, 1', 2, 2', M_1 and M_3 are semitransparent mirrors, 3, 3', 4 and 4' fully reflecting mirrors. The output of L_1 and L_2 are through the semi-transparent mirrors M_1 and M_3 , respectively

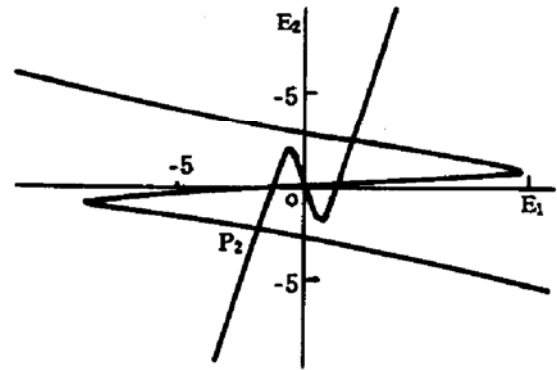


Fig. 2 The steady state curves of equations (2a) and (2b) at $C_1 = 0.3$, $C_2 = -0.4$, $\kappa_1 = 265$, $\kappa_2 = 230$, $a_1 = 700$, $a_2 = 2000$. The stable states of the system are P_1 and P_2 . O is the critical stable point

3 混沌动力学行为

对于方程组(1)，采用龙格-库塔法，直接求解。取步长 0.0001，略去前 20000 步，以消除初始值的暂态效应。在大范围的参数空间中，该系统的光场稳定于(2)式的两个定态曲线的某一个距离初始值较近的的稳定交点上。当取 C_1 、 C_2 的符号不同时，即有一个输入场初相位差为 π 时，适当选取 a_1 、 a_2 、 K_1 、 K_2 ，发现该系统能出现混沌和自脉动行为。图 3(a)~(d) 给出该系统通过变化参数 K_1 ，得到的由周期自脉冲→信周期→回信周期→混沌的过程。

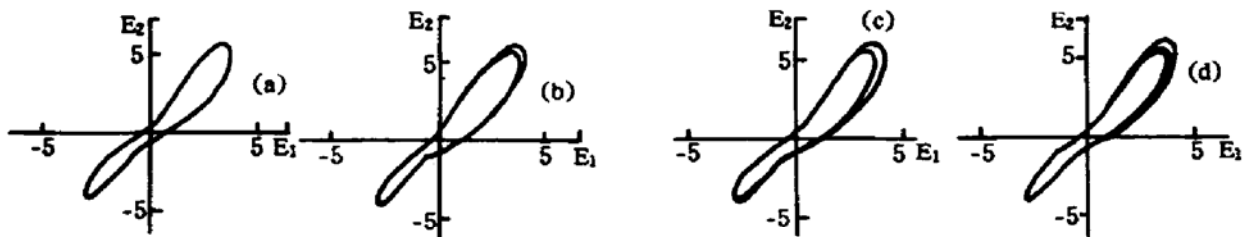


Fig. 3 The trajectories in the plane E_1 and E_2 show the period doubling route into chaos at the same parameters in Fig. 2 except (a) $\kappa_1 = 275$, (b) $\kappa_1 = 268$, (c) $\kappa_1 = 265.7$ (d) $\kappa_1 = 265.3$

该系统进入混沌后，其发达混沌的相空间图及 E_1 、 E_2 、 $E_1 - E_2$ 、 $E_1 + E_2$ 随时间的变化图如图 4(a)和(b)中所示。粗看 E_1 、 E_2 图形似同相，但由 $E_1 - E_2$ 和 $E_1 + E_2$ 知，它们之间的相对

关系变化是混沌的。

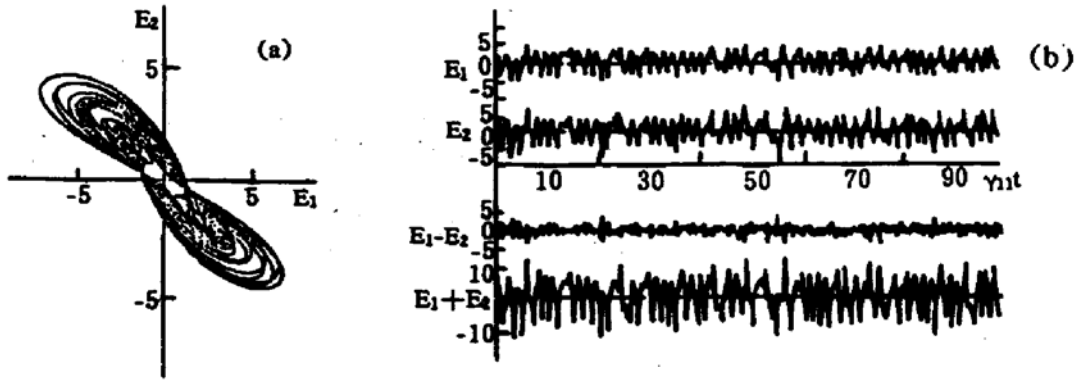


Fig. 4 The developed chaos at the same parameters in Fig. 2 except $\kappa_1 = 240$. (a) The strange attractor in the plane E_1 and E_2 , (b) Time evolution of E_1 , E_2 , $E_1 - E_2$, and $E_1 + E_2$

结 论 本文研究了双耦合 B 类激光器在单模共振状态下的混沌动力学行为。趋于混沌的过程为稳定点→自脉动振荡→二倍周期振荡→回信周期振荡→混沌。利用该方法，可以在某些 B 类激光器中，实现纯光学方法的激光混沌与自脉动输出。

参 考 文 献

- [1] H. Haken, Analogy between high instabilities in fluids and lasers. *Phys. Lett. (A)*, 1975, **53A**(1) : 77~78
- [2] L. A. Lugiato, M. Milani, Instabilities in active optical media. *J. Opt. Soc. Am.*, 1985, **B2**(1) : 15~17
- [3] Ya. L. Khanin, Laser dynamical behaviours. *J. Opt. Soc. Am.*, 1988, **B5**(5) : 889~897
- [4] H. Haken, *Light*, Vol. 2, North-Holland Amsterdam, 1985, 202
- [5] L. A. Lugiato, *Theory of Optical Bistability*. in: E. Wolf, ed. *Progress in Optics X XI*, North-Holland Amsterdam, 1984 : 69~216

Chaos Behaviours in Dual Coupled Class-B Laser*

Luo Liguó Nie Dezhen

(Department of Optics, Shandong University, Jinan, 250100)

(Received 11 July 1994; revised 5 September 1994)

Abstract The dynamical behaviours in dual coupled class-B laser were studied. This system can give CW, self-pulsing and chaos outputs. Period-doubling approach to chaos was found in the system.

Key words dual coupling, class B laser, chaos.

* This work is supported by the National Natural Science Foundation of China.