

微片激光器绿光混沌问题的分析

项 莹 李 莹

(上海大学嘉定校区电子工程系, 上海, 201800)

TN248.4

摘要 研究了微片激光器绿光输出混沌问题, 得到混沌特性与激光结构参数的关系, 给出了减少混沌幅度波动和频率波动的方法。

关键词 绿光混沌, 微片激光器, 内腔倍频。

引言

半导体

半导体激光器泵浦固体激光器(DPL)近年来得到了迅速发展, 利用倍频晶体KTP等进行内腔倍频可得到蓝、绿光输出的DPL器件, 这种转换效率高的小型绿光源可广泛应用于光学存储、测量、相干通信、医疗等领域, 激光器多模运转时, 在模间和频与交叉饱和效应这两种非线性过程作用下, 其输出光强随时间发生幅度无规波动, 呈混沌运动的特性, 这就是所谓绿光混沌问题, 该问题由T. Baer^[1]首先提出并给出了数学模型, 其后一些文献对以Nd:YAG激光介质为主的DPL作了许多进一步的研究^[2-4], 但未对增益介质是高泵浦吸收系数激光晶体(如Nd:YVO₄)的微片激光器作绿光混沌问题研究, 由于微片DPL的激光介质泵浦吸收距离较短, 激光晶体可做成薄片状, 激光器可微型化且易于得到单纵模输出, 但Nd:YVO₄与Nd:YAG不同, 它是一种高双折射率晶体(在波长1.06μm处, n_o=1.985, n_e=2.168), 势必会影响激光器中的绿光混沌性质, 本文采用内腔倍频激光器动力学方程, 分析了微片激光器结构参数对绿光混沌的影响。

1 内腔倍频动力学方程

图1所示结构为一平凹腔微片激光器, 其中Nd:YVO₄为激光介质, KTP为倍频晶体, 激光晶片位相延迟角为ε, KTP快慢轴位相延迟角为δ, 两晶体快轴夹角为φ

假设在微片激光器倍频腔中两正交偏振方向上纵横数目分别为M和N, 我们可得到一组有关纵模光强和增益的速率方程^[1]:

$$\begin{aligned} \tau_c \frac{dI_j}{dt} &= I_j(G_j^0 - \alpha_j - g\epsilon I_j - 2\epsilon \sum_{k \neq j} \mu_k I_k), \\ \tau_f \frac{dG_j}{dt} &= G_j^0 - G_j(1 + \beta_j I_j + \sum_{k \neq j} \beta_k I_k), \\ I_d(t) &= g\epsilon \sum_j I_j^2(t) + 4\epsilon \sum_{j \neq k} I_j(t) I_k(t), \\ j, k &= 1, 2, \dots, M+N \end{aligned} \quad (1)$$

式(1)中I_j、I_d和G_j分别为归一化的纵模光强、倍频光强和增益, τ_c和τ_f分别为光在腔内往

返一周的渡越时间和激光晶体的荧光寿命, α_j 为各纵模腔内损失, β_j 为自饱和系数, β_{jk} 为交叉饱和系数. ϵ 大小取决于倍频晶体特性, g 为一几何参数. 若第 k 次纵模偏振方向与第 j 次偏振方向相同, 则 $\mu_k = g$; 若两者相互垂直, 则 $\mu_k = (1-g)$. G_j^0 为各模小信号增益系数, 式(1)是非线性微分方程组, g, ϵ 和 β_{jk} 分别为非线性系数, 它们是混沌产生的根源.

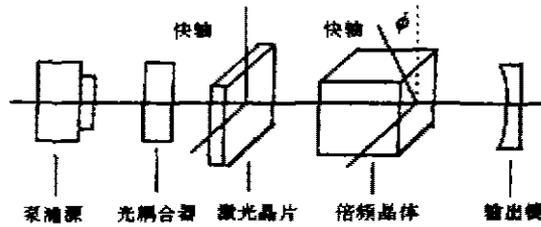


图1 内腔倍频微片激光器结构图
Fig. 1 Structure of intracavity-doubled microchip laser

2 非线性参数分析

g 为基模场偏振方向对高阶谐波效率的影响, 可根据下式计算, 它的值仅同 ξ, δ 和 φ 有关^[4].

$$\begin{aligned}
 g &= 4u_1^2 u_2^2 / (u_1^2 + u_2^2)^2, \\
 u &= \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2\text{Im}(a) - 2\sqrt{1 - [\text{Re}(a)]^2} \\ 2y \end{bmatrix}, \\
 a &= e^{i\xi} (\cos^2 \varphi e^{i\delta} + \sin^2 \varphi e^{-i\delta}), \\
 y &= \sin 2\varphi \sin \delta, \tag{2}
 \end{aligned}$$

KTP, Nd:YVO₄ 双折射晶体位相延迟为 $2\pi L(n_f - n_s)/\lambda$, n_f, n_s 分别为快、慢轴折射率. 从图2可看出 g 随 φ 以 π 为周期而变化. 进一步计算也可得出, g 随 ξ 的变化亦以 π 为周期. 因此改变激光晶片长度和 KTP, Nd:YVO₄ 间夹角均可对绿光输出混沌产生影响. 在实际应用中改变 φ 将成为更有效的方法.

参数 ϵ 同倍频晶体的有效非线性系数和晶体长度等有关.

在激光腔中, 第 j 次纵模与第 k 次纵模耦合程度用交叉饱和系数 β_{jk} 表示:

$$\beta_{jk} = 1 - \frac{\int_0^L n(z)(1 - \cos\theta_j)\cos\theta_k dz}{\int_0^L n(z)(1 - \cos\theta_j) dz}, \tag{3}$$

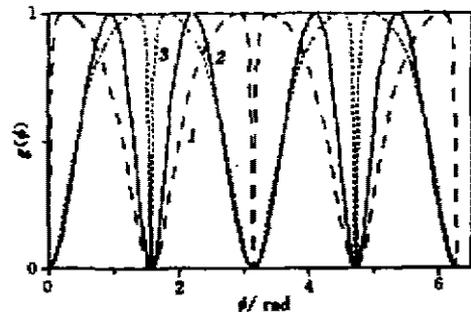


图2 几何参数 g 随晶体夹角 φ 变化关系
1— $\xi = 30^\circ$, 2— $\xi = 60^\circ$, 3— $\xi = 120^\circ$
Fig. 2 Geometric parameter g as a function of the angles φ between the two crystals

$$\theta_j = 2m_j \frac{\pi n_j z}{L} + \Psi_j, \quad (4)$$

式中, m_j 为纵模序数, n_j 为激光介质折射率, L 为腔光学长度, l 为晶片厚度. 当激光晶体前端面镀以对腔模全反膜时, Ψ_j 等于 0. $n(z)$ 为增益介质中粒子数反转, 它可表示为^[5]:

$$n(z) = \frac{2\lambda_p \alpha_p \tau P_p}{hc}, \quad (5)$$

式(5)中 P_p 为泵浦功率, α_p 为泵浦吸收系数. 因此我们可得到一定纵模数目下交叉饱和系数 β_{jk} 的值. 自饱和系数 β_j , 计算值一般为 1.5. 表 1 和表 2 分别表示存在三次纵模时, β_{jk} 与激光晶片长度及腔长的关系.

表 1 β_{jk}/β 与激光晶片长度的关系 ($L=10\text{mm}$)

Table 1 β_{jk}/β versus laser crystal chip length with $L=10\text{mm}$

晶片长 $l(\text{mm})$	β_{12}/β	β_{23}/β	β_{31}/β
5	0.93	0.93	0.84
0.5	0.98	0.98	0.92

表 2 β_{jk}/β 与激光器腔长的关系 ($L=1\text{mm}$)

Table 2 β_{jk}/β versus laser cavity length with $L=1\text{mm}$

腔长 $L(\text{mm})$	β_{12}/β	β_{23}/β	β_{31}/β
6	0.89	0.89	0.76
16	0.96	0.96	0.94

3 数值计算与讨论

对具有相同偏振方向的三纵模振荡问题 ($M=3, N=0$), 为简单起见, 首先认为各模的损耗、交叉饱和效应、小信号增益大小一致. 对方程组(1)进行数值解, 可得出三个不同 φ 值时绿光输出随时间的变化. 图 3(a) 表示稳定绿光输出; 图 3(b) 表示简单的周期振荡; 当变化到一定值时周期振荡变得复杂, 形成了图 3(c) 的混沌输出. 进一步增加角度, 周期性输出又会出现, 最后到稳定状态. 在计算中我们取以下典型值:

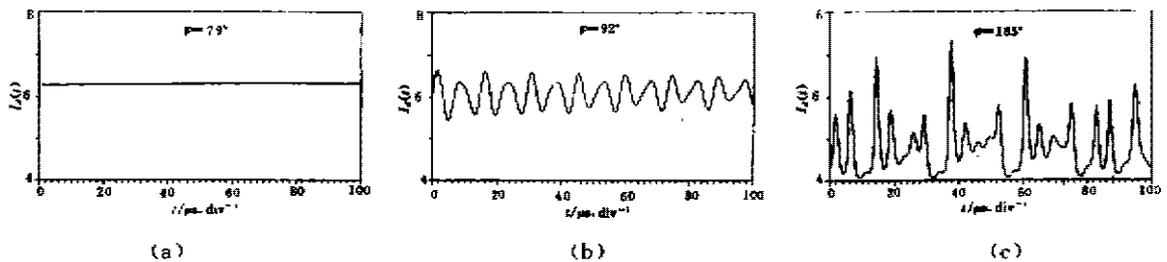


图 3 不同 φ 角时腔内倍频光强与时间关系

Fig. 3 Intracavity-doubled output intensity versus time for various angle φ with $\delta=0.35\pi, \xi=\pi/6$

$$\tau_f = 90\mu\text{s}, \tau_c/\tau_f = 7.0 \times 10^{-7},$$

$$\alpha_j = 0.01, G_j^0 = 0.06, \epsilon = 5.0 \times 10^{-5}, \beta_{jk}/\beta = 0.8.$$

考虑取不同激光晶体长度以及不同腔长对绿光输出的影响. 图4表示两种晶片长度下腔内倍频光强随时间的变化, 由图4可见, 在相同条件下利用较短的晶体介质可减少混沌幅度波动及频率波动. 在图4计算中, 除 β_{jk}/β 取表1中值外, g 取0.07, 其它值与图3一致. 对于激光微片(1mm或更短), 采用对泵浦波长高吸收的激光介质, 由于高的交叉饱和作用抑制了次级模起振, 使激光处于单纵模振荡状态, 这已得到实验证实^[6]. 这样就可本质上抑制混沌的发生.

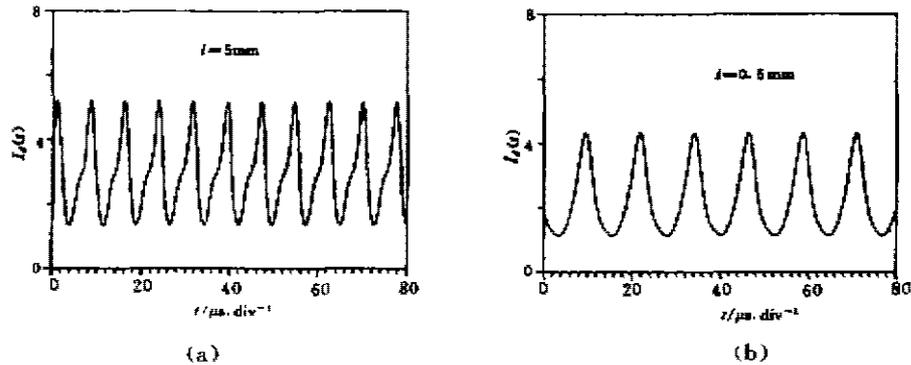


图4 不同晶片长度下腔内倍频光强与时间关系

Fig. 4 Intracavity-doubled output intensity versus time for various crystal length

图5表示不同腔长下腔内倍频光强随时间的变化, 计算中 g 取0.35, β_{jk}/β 取表2中值. 比较图5(a)、5(b), 随着腔长的增加, 各纵模空间间隔减小, 交叉饱和效应加强, 同样也可以抑制混沌波动幅度和频率. 进一步计算, 当泵浦功率加大, 而其它条件相同时, 混沌的幅度增加, 频率加快. 经过数值计算, 我们可看出激光器结构参数对绿光输出的影响. 本文的分析与计算对减少绿光混沌有一定的指导意义.

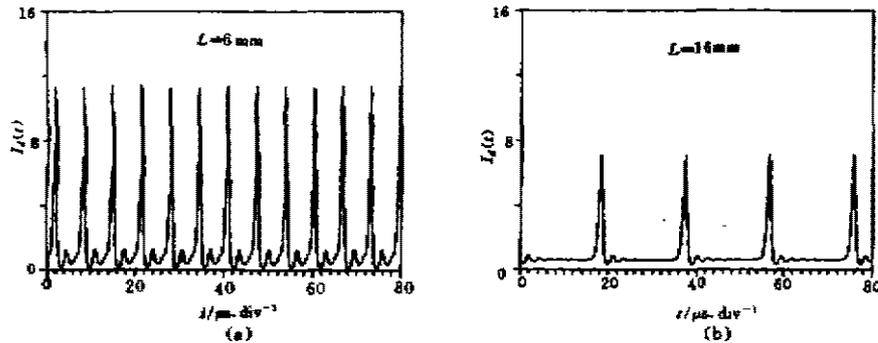


图5 不同激光腔长下腔内倍频光强与时间关系

Fig. 5 Intracavity-doubled output intensity versus time for various laser cavity length

参考文献

- 1 Baer T. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1986, **3**:1175~1180
- 2 Wu X G, Mandel P. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1987, **4**:1870~1877
- 3 Mandel P, Wu X G. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1986, **3**:940~948
- 4 James G E, Harrell E M, Roy R. *Phy. Rev. A*, 1990, **41**:2778~2790
- 5 Xiang D, Li Y, *ILLMC'95*, Wang W, Yoshio C, Ed. Shanghai: World Publishing Corporation 1995. 20~23
- 6 Sasaki T, Kojima T, Yokotani A, *et al. Opt. Lett.* 1991, **16**:1665~1668

ANALYSIS OF GREEN LIGHT CHAOS IN MICROCHIP LASER

Xiang Dang Li Ying

(Department of Electrical Engineering, Shanghai University, Shanghai 201800, China)

Abstract The greenlight output chaos in Nd:YVO₄ microchip laser were studied. The relationship between chaos characters and structure parameters was obtained. The methods to eliminate the fluctuations of chaotic amplitude and frequency were presented.

Key words green light chaos, microchip laser, intracavity-doubled.