

# 对同步泵浦染料激光器系统已有 实验结果的解释和讨论

鲍晓毅 关信安

(南开大学物理系)

提要: 给出的同步泵浦染料激光脉冲的理论结果作一些讨论和解释, 特别是该理论证实的同步泵浦染料激光脉冲的宽度与功率均存在最佳值的问题。

## Explanation and discussion on the reported experimental results of characteristics of picosecond pulse generated from synchronously pumped dye laser system

Bao Xiaoyi, Guan Xinan

(Department of Physics, Nankai University)

**Abstract:** In this paper, we give the simple analytic expressions of picosecond pulses in synchronously pumped dye laser, and also some discussion and explanation based on the above theoretical results. This theory proved especially that for the pulsewidth and average power of synchronously pumped dye laser there exists an optimum value.

在本文的第一部分<sup>[6]</sup>, 通过求解三阶增益展开的锁模方程, 我们得到了同步泵浦染料激光脉冲的宽度、强度和延迟(它是泵浦脉冲相对染料脉冲的提前量)的解析表达式:

$$\tau = \sqrt{\frac{\tau_p \delta T \sqrt{\pi}}{G_m E_{p_0}} + \frac{\tau_p}{5\omega_c^2 \delta T} \left(1 + \frac{t_0}{\tau_p}\right)} \quad (1)$$

$$I_0 = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{G_m E_{p_0} / \tau_p}{\omega_c^2 \delta T^2 + G_m E_{p_0} \left(1 + \frac{t_0}{\tau_p}\right)} \quad (2)$$

$$t_0 / \tau_p = \frac{\sqrt{\pi}}{2\omega_c^2 \tau_p \delta T} + \frac{2\alpha}{G_m E_{p_0}} - 1$$

$$\pm \frac{\sqrt[4]{\pi}}{\omega_c \sqrt{\tau_p \delta T}} \sqrt{\frac{\sqrt{\pi}}{4\omega_c^2 \tau_p \delta T} + \frac{2\alpha}{G_m \tau_p}} \quad (3)$$

在这部分里, 我们将根据(1)、(2)、(3), 解释一些目前已发表的实验事实, 并进行一些讨论。

### 一、染料激光脉宽与失谐、 泵浦能量、带宽的关系

(1) 脉宽存在最小值

根据式(1)我们作出了对应不同失谐时,

收稿日期: 1985年1月15日

• 现在中国科学院安徽光机所工作。

同步泵浦脉冲宽度的变化曲线。由图1我们可以清楚地看到,当调节染料腔长变化时,对应某一个失谐的位置,染料脉宽达到最佳值,这时无论是伸长或缩短腔长,都会导致脉宽的加宽。从数学的角度来看,这点相当于一个极小值。

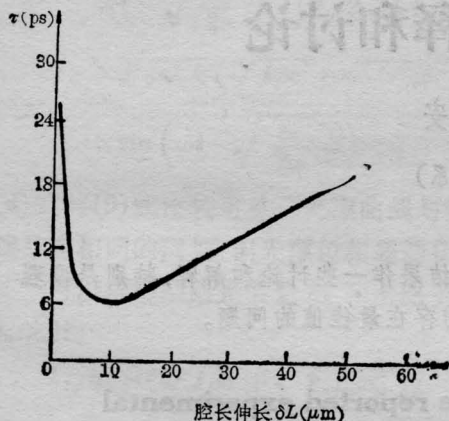


图1 染料脉宽同失谐因子  $\delta L$  的关系

$$\alpha = 0.3, G_m E_{p_0} = 0.55, \tau_p = 100 \text{ ps}, \\ \omega_c = 5 \times 10^{12} \text{ Hz}^{[1]}$$

由图1看出,  $\tau$  的最小值对应的  $\delta L \sim 10 \mu\text{m}$ 。再由图7得出,这时  $t_0/\tau_p$  是  $\delta T$  的弱函数。所以在此区间,为了数学上的简化,我们暂时把  $t_0/\tau_p$  看作常数(取  $1+t_0/\tau_p \sim 1$ ):

$$\frac{d\tau}{d\delta T} = \frac{1}{2\sqrt{\frac{\tau_p \delta T \sqrt{\pi}}{G_m E_{p_0}} + \frac{\tau_p}{5\omega_c^2 \delta T}} + \frac{\tau_p}{5\omega_c^2 \delta T}} \times \left[ \frac{\tau_p \sqrt{\pi}}{G_m E_{p_0}} - \frac{\tau_p}{5\omega_c^2 \delta T^2} \right] \quad (4)$$

$$\frac{d^2\tau}{d\delta T^2} = -\frac{1}{4\left(\frac{\tau_p \delta T \sqrt{\pi}}{G_m E_{p_0}} + \frac{\tau_p}{5\omega_c^2 \delta T}\right)^{\frac{3}{2}}} \times \left[ \frac{\tau_p \sqrt{\pi}}{G_m E_{p_0}} - \frac{\tau_p}{5\omega_c^2 \delta T^2} \right]^2 + \frac{2\tau_p}{5\omega_c^2 \delta T^3} \quad (5)$$

$$\text{令} \quad \frac{d\tau}{d\delta T} = 0 \quad (6)$$

得到:

$$\delta T^2 = \frac{G_m E_{p_0}}{5\omega_c^2 \sqrt{\pi}} \quad (7)$$

将(7)代入(5)后,有:

$$\frac{d^2\tau}{d\delta T^2} > 0$$

再将(7)代入(1)中便可求得  $\tau_{\min}$ 。可见确实存在一个脉宽的最佳值,文献[2]的实验证实了这一点。

由式(1)我们看到:在失谐比较小的情况下,第二项  $\frac{\tau_p}{5\omega_c^2 \delta T} \left(1 + \frac{t_0}{\tau_p}\right)$  贡献较大,即  $\delta L$  较小时,内腔带宽的影响占主要,它使脉宽随失谐  $\delta L$  的增大而迅速变窄。带宽  $\omega_c$  越大,对应的脉宽越窄。当失谐比较大时,第一项的贡献逐渐加大,直到起主要作用。即  $\delta L$  较大时,主要是增益调制的影响。它使脉宽随失谐  $\delta L$  的增大而缓慢变宽,增益  $G_m E_{p_0}$  (泵浦能量)越大,对应的脉宽越窄。当两者(内腔带宽和增益调制作用)对脉宽的贡献达到差不多时,脉宽  $\tau$  就达到最佳值。

(2) 带宽  $\omega_c$  和泵浦能量  $G_m E_{p_0}$  增加均使脉宽变窄

在上面的讨论预言随内腔带宽  $\omega_c$  和泵浦能量  $G_m E_{p_0}$  的增大,脉宽变窄的结论。从[3]和[4]的实验看到的情况,确实如此。

对应[3]和[4]的实验曲线,我们按照本理论模型所得到的脉宽表达式(2),作了图2

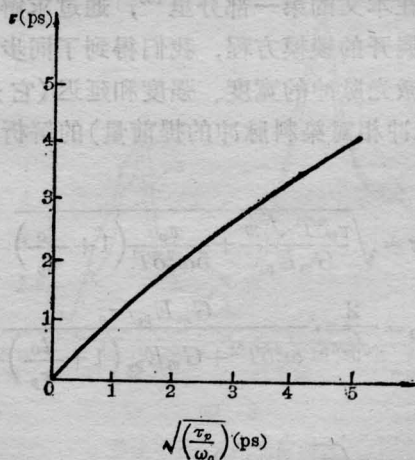


图2 理论计算的脉宽与  $\tau_p/\omega_c$  的关系曲线

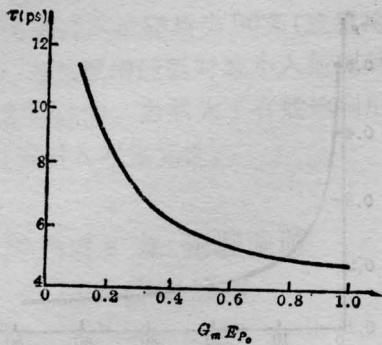


图3 理论计算的染料脉宽与泵浦能量关系

和图3的两条理论计算曲线。结果表明理论计算曲线与实验曲线基本符合。

## 二、输出功率、二次谐波功率与失谐及泵浦能量的关系

由式(2)得:

$$I_0 = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{G_m E_{p_0} / \tau_p}{\omega_c^2 \delta T^2 + G_m E_{p_0} \left(1 + \frac{t_0}{\tau_p}\right)}$$

由于染料激光脉冲功率正比于染料光强。从上式来看,当失配较小时,分母中第二项较大,即  $G_m E_{p_0} \left(1 + \frac{t_0}{\tau_p}\right)$  起主要作用。但由于它们在分母上,因此实际对  $I_0$  来说,起主要作用的还是分母中的第一项  $\omega_c^2 \delta T^2$ ,即在失配较小时腔带宽起主要作用,它使得染料激光器输出功率随  $\delta L$  的增大而迅速上升(而  $\omega_c$  增大会使功率下降)。当  $\delta L$  较大时,我们看到,分母中  $\omega_c^2 \delta T^2$  占主导地位,但对  $I_0$  而言,起主要作用的是  $G_m E_{p_0} \left(1 + \frac{t_0}{\tau_p}\right)$ ,即增益调制在失配较大时起主要作用,它使染料输出功率随  $\delta L$  的增大而缓慢下降。

我们还看到,当  $\delta L$  达到某个值时(即内腔带宽与增益调制对  $I_0$  的贡献一样时),光强  $I_0$  达到一个最大值(即功率达到最佳值),这时无论腔长的伸长还是缩短,都将会导致  $I_0$  的下降。

对于二次谐波功率  $P_{SH} \sim P_0^2 / \tau = I_0^2 / \tau^{1.5}$ ,

我们发现,  $P_{SH}$  有和上面对  $I_0$  描写相似的情况,这里不再重复。

关于  $I_0$  (即染料的输出功率) 和  $P_{SH}$  (染料激光脉冲的二次谐波功率) 有极大值的问题,我们可以和在上面的讨论一样,在数学上一一证明,  $I_0$  和  $P_{SH}$  存在的最佳值,这里也不再重复了。

把图4、图5、图6的结果与[5]、[2]的实验结果相比较,我们从理论和实验上都看到理论计算的曲线和实验曲线是符合的。说明光强表达式(2)是正确的。图6还给出了随

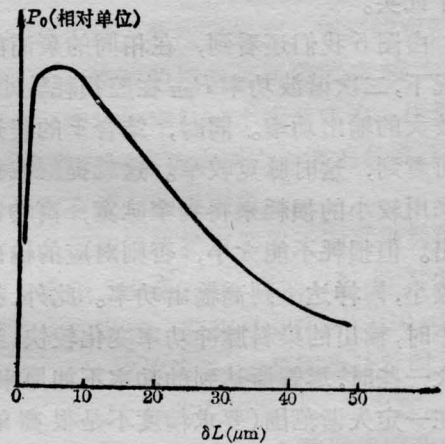


图4 理论计算的染料输出功率与失配因子  $\delta L$  的关系

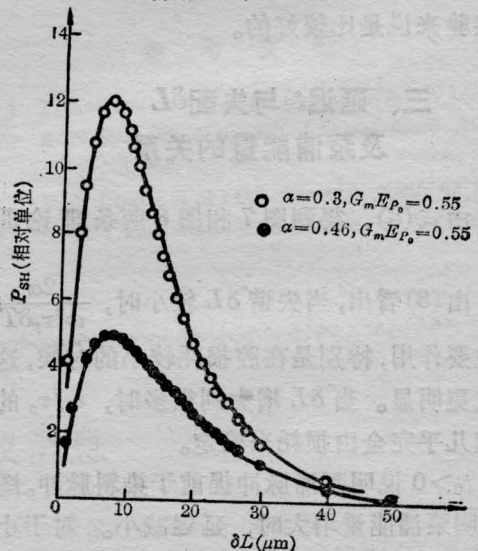


图5 理论计算的二次谐波功率与失配因子  $\delta L$  的关系

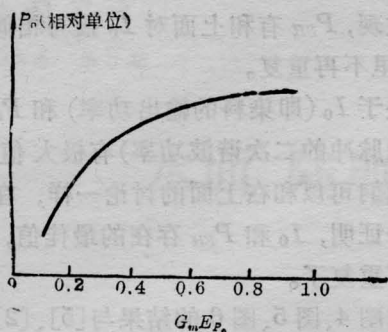


图6 理论计算的泵浦能量对输出的影响

泵浦能量增加,染料脉冲功率也增加的理论曲线,这一点在同步泵浦的大量实验中都得到了证实。

由图5我们还看到,在相同的泵浦能量情况下,二次谐波功率  $P_{SH}$  在腔损耗较小时,有较大的输出功率。同时,结合  $\tau$  的表达式也可看到,这时脉宽较窄。这就提醒我们可以采用较小的损耗来得到窄脉宽,高功率的输出。但损耗不能太小,否则对应的输出耦合较小,同样达不到高输出功率。此外,损耗较小时,输出的染料脉冲功率变化较快;当损耗大一些时,尽管所达到的功率不如原来高,但在一定失谐范围(要求精度不是很高的条件下)内输出功率变化较小,这对于某些要求功率变化不大,而要求输出功率也不是很高的实验来说是比较好的。

### 三、延迟 $t_0$ 与失配 $\delta L$ 及泵浦能量的关系

由式(3),得到图7和图8两条理论曲线。

由(3)看出,当失谐  $\delta L$  较小时,  $\frac{2\alpha}{\omega_c^2 \tau_p \delta L}$  起主要作用,特别是在腔损耗较小时,这一点更明显。当  $\delta L$  增大到很多时,  $t_0/\tau_p$  的取值几乎完全由损耗来确定。

$t_0 > 0$  说明泵浦脉冲提前于染料脉冲。图8说明泵浦能量增大时,延迟减小。对于小的泵浦能量,延迟  $t_0$  很大,当泵浦能量变大时,它补偿了延迟效应,使得  $t_0$  逐渐减小,达

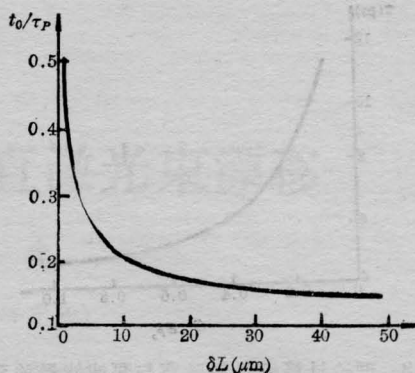


图7 理论计算的延迟与失配的关系

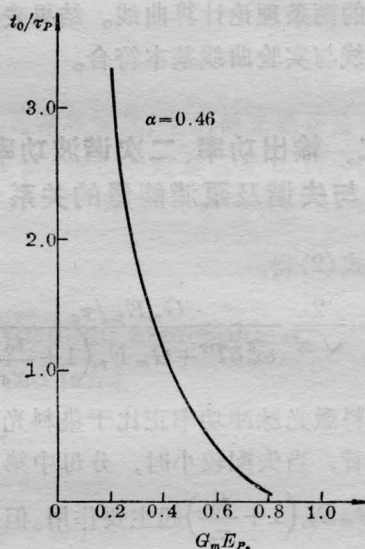


图8 理论计算的延迟与泵浦能量的关系

到可产生稳态脉冲的条件,这样脉冲的产生就同延迟  $t_0$  的条件联系起来。当泵浦能量增大到最大值时,  $t_0$  达到最小值,结合图7我们知道,  $t_0$  最小时,失谐较大,再联系一、二中的讨论,知这时脉宽和光强都单调性地变化。

沈春寿教授审阅了本文,在此表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] A. L. Bloom; *J. Opt. Soc. Amer.* 1974, **64**, 447.
- [2] 刘玉璞等;《光学学报》,1983, **3**, 332.
- [3] C. P. Ausschnitt, R. K. Jain; *Appl. Phys. Lett.*, 1978, **32**, 727.
- [4] J. Kuhl et al.; *Appl. Phys.*, 1979, **18**, 279.
- [5] J. P. Ryan et al.; *Opt. Commun.*, 1978, **27**, 127.
- [6] 鲍晓毅, 关信安;“同步泵浦染料激光器系统所产生的微微秒脉冲的特性”,《中国激光》,1986, **13**, 193.