

## 简并四波混频用于饱和吸收体的性能比较

张筑虹 刘一先 李富铭 余文炎 邓锡铭

(复旦大学物理系, 200433)

(中国科学院上海光机所, 201800)

**提要:** 本文报道了几种可用于钕激光锁模的快速饱和吸收体中 ps 光脉冲的简并四波混频, 利用信号光波的强度和分辨特性, 比较了 Kodak 9740, 9860、五甲川和两种新染料 HIR1301, HIR1302 的性能, 首次给出了新染料的弛豫时间, 并比较了这些染料直接用于主被动锁模激光器时输出光脉冲的性能。

**关键词:** 简并四波混频, 饱和吸收体, HIR1301, HIR1302

### Comparison of the characteristics of several absorbers by degenerate four wave mixing

Zhang Zhuhong, Liu Yixian, Li Fuming

(Department of Physics, Fudan University, Shanghai)

Yu Wenyang, Deng Ximing

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

**Abstract:** DFWM of picosecond pulses in some saturable absorbers used for modelocking Nd-doped laser material is reported. The performances of Kodak 9740, Kodak 9860, pentamethylidene dye and two new dyes HIR 1301, and HIR 1302 are compared by the intensity and time-resolution properties of signal waves, and the output characteristics of the laser by using these dyes in an active-passive mode-locked Nd<sup>3+</sup>:YAG laser are reported. The relaxation time of HIR 1301 and HIR 1302 are presented for the first time.

**Key words:** DFWM, saturable absorber, HIR 1301, HIR1302

### 一、引言

简并四波混频因其可在极大范围内满足位相匹配而在实时全息、高能激光光束质量改善等方面<sup>[1]</sup>显露出重大价值。可饱和染料作为一种可产生位相共轭波的材料, 人们一方面注意到类如 eosin, erythrosin 这些具有长寿命三重态的染料可以在较低的泵浦光强(0.5 W/cm<sup>2</sup>)产生连续的位相共轭波<sup>[2,3]</sup>, 另一方面, 对于使用简并四波混频测量可用于锁模以及在被动锁模环型染料激光器中起作用的快速饱和体的弛豫时间<sup>[4]</sup>也有很大兴趣。饱和吸收体内的简并四波混频过程已由 R. L. Abrams<sup>[5]</sup>和 H. Fujiwara<sup>[6]</sup>从理论和实验上作了详细讨论。

本文实验比较了饱和吸收体中的 ps 光脉冲的简并四波混频信号光波的强度和分辨

收稿日期: 1988年7月18日。

\* 现在中国科学院上海光机所。

特性,给出了这些饱和吸收体的弛豫时间的大致结果,由此判断这些饱和吸收体用于锁模的性能优劣,这些判断与我们将这些染料直接用于主被动锁模 Nd<sup>3+</sup>:YAG 激光器内的结果一致。

## 二、基本思想

饱和吸收体的饱和强度、弛豫时间和时间稳定性是其用于锁模的重要参数<sup>[7]</sup>,同时也是其性能优劣的量度。本文着重考查饱和吸收体中简并四波混频过程。

本实验中,所用光脉冲的宽度长于饱和吸收体的弛豫时间三倍以上,因而可按 R. L. Abrams 的稳态理论进行讨论。图 1 为简并四波混频的几何示意图,光束 2 与光束 3 在非线性介质中形成集居数光栅,使光束 1 衍射后得到信号光波 4,设四束光波为平面波,以  $E_j(j=1, 2, 3, 4)$  表示光场,则有

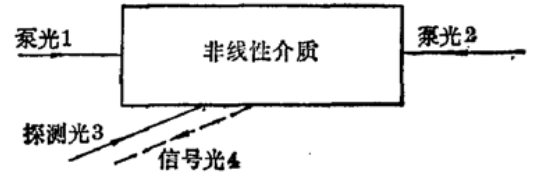


图 1 简并四波混频几何示意图

$$E_j(\mathbf{r}_j, t) = \frac{1}{2} A_j(\mathbf{r}_j, t) \exp[-i(\omega t - \mathbf{k}_j \cdot \mathbf{r})] + CC \quad (1)$$

其中,  $A_j$  为  $E_j$  在  $\mathbf{r}_j$  处、 $t$  时刻的复振幅,  $\mathbf{k}_j$  为波矢。假设饱和吸收体很薄,忽略泵浦光的吸收,按文献[5]有  $E_3$  和  $E_4$  的耦合波方程:

$$\begin{cases} \frac{dA_3^*(Z, t)}{dZ} = -\alpha(t) A_3^*(Z, t) + K(t) A_4(Z, t) \\ \frac{dA_4(Z, t)}{dZ} = \alpha(t) A_4(Z, t) - K(t) A_3^*(Z, t) \end{cases} \quad (2)$$

其中,  $\alpha$ 、 $K$  分别为强场作用下弱场的饱和吸收系数和耦合系数,在准稳态情况下分别为

$$\alpha = \alpha_0 \frac{1 + 2 \times \frac{I_p}{I_s}}{\left(1 + 4 \frac{I_p}{I_s}\right)^{3/2}} \quad (4)$$

$$K = K_0 \frac{2 \frac{I_p}{I_s}}{\left(1 + 4 \frac{I_p}{I_s}\right)^{3/2}} \quad (5)$$

其中,  $I_p$ 、 $I_s$  分别为泵浦光和信号光的强度。这样,在无泵浦吸收和衰减的情况下,由(2)、(3)两式可得到表征信号光波强度的量,反射率  $R$  为

$$R = \left| \frac{A_4(0)}{A_3^*(0)} \right|^2 = \left| \frac{K \sin h\omega L}{\omega \cos h\omega L + \alpha \sin h\omega L} \right|^2 \quad (6)$$

其中  $\omega = (\alpha^2 - K^2)^{1/2}$ ,  $L$  为作用长度。由(6)式表明,当  $L$  一定时影响  $R$  的因素是  $I_s$ 。

考察饱和吸收体内简并四波混频的信号光波强度的时间延迟曲线, J-O. Diels 等人<sup>[4]</sup>在飞秒量级上用两能级吸收模式给出了光泵脉宽、介质弛豫时间( $T_2$ )和信号光延迟(参考)脉宽( $\tau_s$ )的关系曲线,并同时用双光子吸收模式给出如下关系:

$$|E_4|^2 = |E_1 E_2 E_3|^2 [T_2 / \Delta\omega_1]^2 \quad (7)$$

其中,  $\Delta\omega_1 = \omega_0 - \omega$ ,  $\omega_0$  为转移频率,  $\omega$  为光频率,  $T_2$  为介质的弛豫时间。由于光脉冲宽度为 36ps( $\tau_p$ ),故认为在皮秒范畴同样可由信号光延迟特性来确定饱和吸收体的弛豫时间  $\tau$ 。实验

中我们根据 CS<sub>2</sub>、五甲川、Kodak 9860 的信号特性, 采用多项式拟合, 给出了  $\tau_s/\tau_p \sim \tau/\tau_p$  曲线 (图 2), 其中,  $\tau_s$  为信号延迟曲线的宽度,  $\tau_p$  为泵浦光宽度, 拟合公式为

$$\tau_s/\tau_p = 1.1 + 0.6 \times \tau/\tau_p + 7.1 \times (\tau/\tau_p)^2 \quad (8)$$

由此, 我们可用简并四波混频来测染料的弛豫时间。

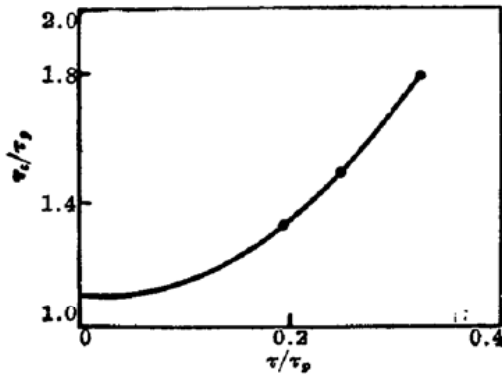


图 2  $\tau \sim \tau_s$  实验拟合曲线

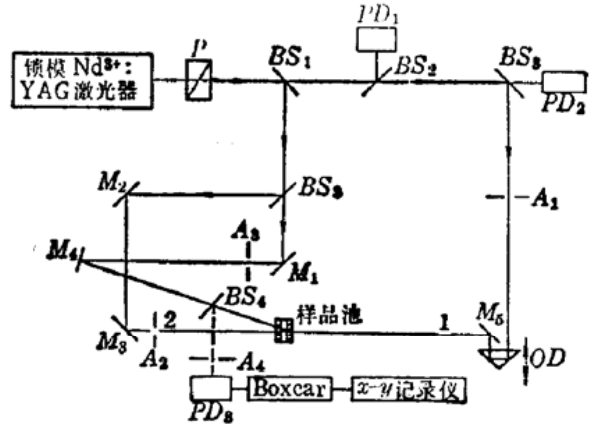


图 3 实验装置示意图

### 三、实验装置和结果

实验装置如图 3 所示, 使用输出波长为  $1.06 \mu\text{m}$ , 脉宽为 36 ps、重复率为 10 Hz 的 Quantel 型 Nd<sup>3+</sup>:YAG 激光器。经 BS<sub>1</sub>、BS<sub>4</sub> 分束后成为对撞的泵浦光束 1、2, 和探测脉冲

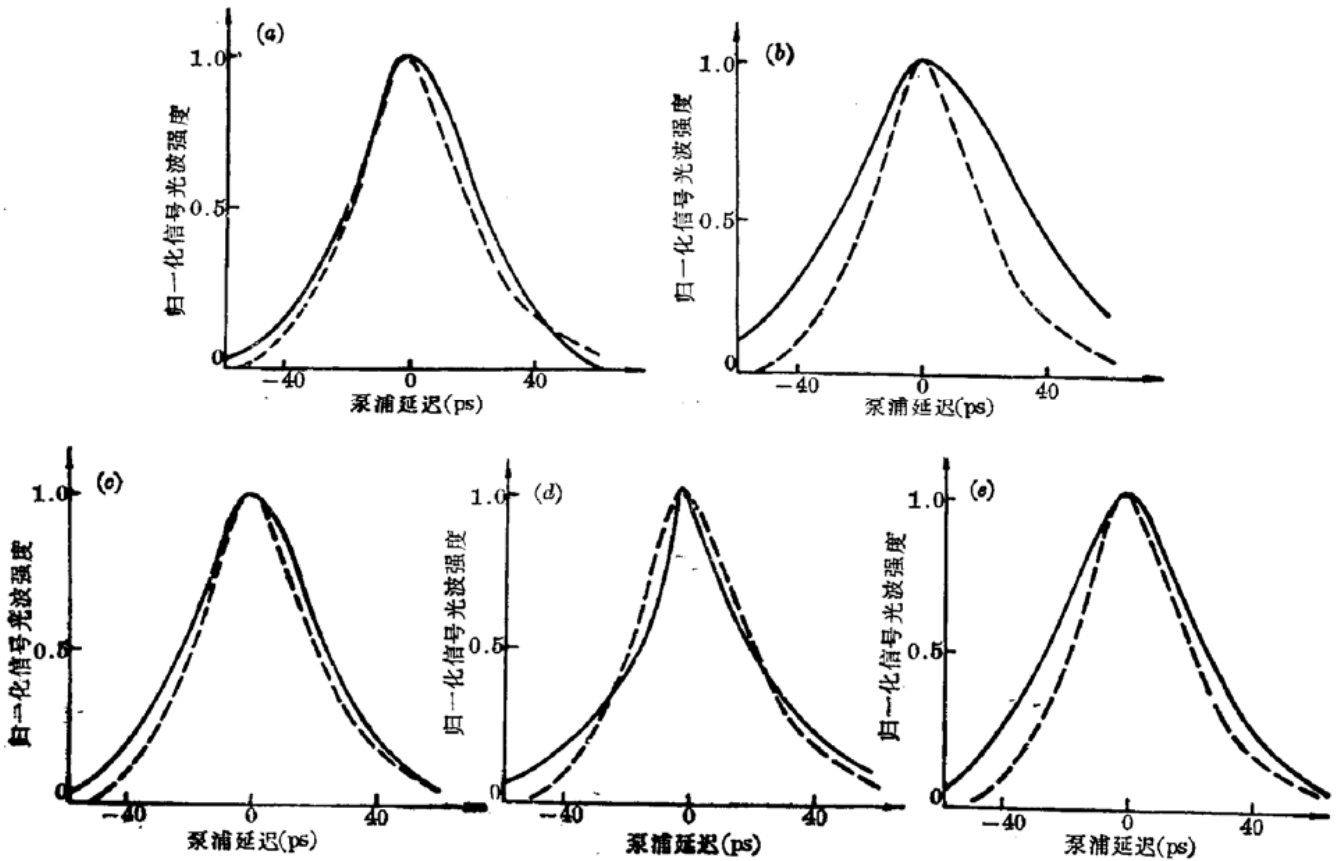


图 4 饱和吸收体内的简并四波混频

(a) Kodak 9860 ( $\tau_s=48$ ); (b) Kodak 9740 ( $\tau_s=63$ ); (c) HIR1301 ( $\tau_s=45$ ); (d) HIR1302 ( $\tau_s=38$ ); (e) 五甲川 ( $\tau_s=54$ )。 (虚线为 CS<sub>2</sub> 的简并四波混频信号) ( $\tau_s=40$ )

3, 三者的能量比为 5:6:4。  $A_1$ 、  $A_2$ 、  $A_3$  为小孔光阑以使光束尽量均匀, 样品池长为 1 mm。  $PD_1$ 、  $PD_2$ 、  $PD_3$  分别用作能量监视, Boxcar 触发和信号探测, 通过扫描光学延迟线  $OD$ , 即可得到信号光强随延迟改变的曲线。泵浦光脉宽由自相关测得。

实验中所用的饱和吸收体 Kodak 9740、 9860、 五甲川、 HIR1301、 HIR1302 的吸收峰均在  $1.06 \mu\text{m}$  附近, 配制相同 mol 浓度的饱和吸收体的 1、 2 二氯乙烷溶液, 当泵浦光和探测光的能量分别为:  $E_1=980 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ ,  $E_2=1170 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ 、  $E_3=760 \mu\text{J}/\text{cm}^2$  时, 得到的简并四波混频如图 4 所示。利用已知的  $\text{CS}_2$ 、 Kodak9860<sup>[7]</sup>、 五甲川<sup>[8]</sup> 的弛豫时间和图 2 给出的曲线, 我们得到表 1 中所列染料的  $\tau$  值, 并给出了  $R$  值。其中, 我们得到的 Kodak 9740 的弛豫时间与已有报道的有差别, 估计原因在于我们所用的 Kodak9740 可能被污染。

表 1 染料中简并四波混频实验结果  $M=5 \times 10^{-4} \text{ M/L}$

染料	Kodak 9860	Kodak 9740	五甲川	HIR1301	HIR1302
$\tau$ (ps)	7	11~12	9	5~6	1~2
R(%)	5.9	14.4	16.5	13.8	11.8
性能	一般(偏差)	一般	佳	最佳	佳

实验中, 还利用调换激光器内饱和吸收体的方法, 在同样条件下, 测量了输出光脉冲的强度和强度涨落, 并利用  $\text{CS}_2$  的简并四波混频信号的  $\tau_s$  来比较输出光脉冲的宽度, 结果列于表 2, 由此可见, 我们利用简并四波混频对饱和吸收体作的比较与实际应用结果相符。

表 2 输出光脉冲特性

染料	Kodak 9740	Kodak 9860	五甲川	HIR 1301
$\tau_s$ (ps)	40	30	32	27
峰值强度(AU)	26	19	34	26
五分钟涨落	5.5%	13%	4.2%	3.8%

在此, 我们感谢上海试剂三厂无偿提供五甲川染料和 1, 2 二氯乙烷溶剂, 感谢华东化工学院提供了新染料 HIR1301, HIR1302。

### 参 考 文 献

- 1 R. H. Fisher *et al.*, *Optical Phase Conjugation*, (New York, 1983), 537~538.
- 2 Y. Silberberg, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-17** (9), 1967 (1981)
- 3 H. Fujiwara, *Opt. Commun.*, **55** (6), 386 (1985)
- 4 J.-C. Diels, *J. Opt. Soc. Am.*, **B3**(4), 535 (1986)
- 5 R. L. Abrams, *Opt. Lett.*, **2**(4), 94; **3**(5), 205 (1978)
- 6 H. Fujiwara, *J. Opt. Soc. Am.*, **B4**(2), 121 (1987)
- 7 B. Kopainsky, *Opt. Commun.*, **32**(3), 451 (1980)
- 8 邱佩华, *物理学报*, **31**(2), 243 (1982)