

# 一种新型喇曼光学限幅器

孟绍贤 谷忠民 张伟清 林尊琪 林康春 王笑琴

(中国科学院上海光机所, 201800)

**摘要:** 本文描述了激光束功率限幅器的被动技术。这一技术是基于后向喇曼的饱和效应。过程是完全被动的, 只由光束本身决定, 而不需要外界机构加以诱导限幅。

**关键词:** 光功率限幅器, 喇曼光学限幅器, 后向喇曼散射

## A novel of Raman optical limiter

*Meng Shaowian, Gu Zhongmin, Zhang Weiqing, Lin Zunqi, Lin Kangchun, Wang Xiaogin*  
(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

**Abstract:** We describe a completely passive technique based on backward Raman saturation effect for the power of light beams. This processes is passive thus the light beam itself is required to induce limiting other than external mechanism.

**Key words:** optical power limiter, Raman optical limiter, backward Raman scattering

### 一、引言

有关光学功率限幅器的概念虽早已提出<sup>[1]</sup>, 但进展十分缓慢<sup>[2]</sup>。建立光学功率限幅器的基本思想是基于物质的折射系数或吸收与激光强度有关, 由此做成被动光学元件。这种光学元件, 对输入的低功率激光有高的透过率, 而对输入的高功率激光有低的透过率, 以达到功率限幅的作用。

近来, 随着光信息处理和光计算机研究的进展, 需要不同型式的光学限幅器。从而进一步推动了光学功率限幅器的研究<sup>[3]</sup>。

再者, 在高功率激光多级放大系统研究中, 光束峰值功率太高, 将在传输过程中产生强的非线性自作用——自聚焦、自位相调制和自陡峭, 从而引起光束的空间分裂、脉冲光谱的加宽及脉冲形状的变化。严重时形成光击穿, 造成工作物质和光学元件的永久性破坏。如果我们对脉冲峰值功率进行限制, 那末就可大大减少上述不利因素, 提高激光输出的功率, 延长激光装置的寿命, 并简化激光系统的设计。

本文提出另一种型式的限幅器: 后向喇曼光限幅器。它也是一种功率限幅器, 它与以往限幅器的区别在于它是基于喇曼变换过程中的饱和效应制成的限幅器。

## 二、后向喇曼饱和限幅分析

我们首先考虑单色平面波的受激喇曼散射,在慢变化幅度和位相近似中,准直光束的波方程简化为<sup>[4]</sup>

$$\frac{n}{c} \frac{\partial I_L}{\partial t} + \frac{\partial I_L}{\partial z} = -\frac{\omega_L}{\omega_S} g_{S1} (I_{S1}^F I_L + I_{S1}^B I_L) \quad (1)$$

$$\frac{n}{c} \frac{\partial I_{S1}^F}{\partial t} + \frac{\partial I_{S1}^F}{\partial z} = g_{S1} I_{S1}^F I_L \quad (2)$$

$$\frac{n}{c} \frac{\partial I_{S1}^B}{\partial t} - \frac{\partial I_{S1}^B}{\partial z} = g_{S1} I_{S1}^B I_L \quad (3)$$

这里  $I_L$ ,  $I_{S1}^F$ ,  $I_{S1}^B$  分别为泵浦、前向和后向斯托克斯光强。 $\omega_L$  和  $\omega_S$  为泵浦光和斯托克斯光的圆频率,  $n$  为介质的折射率,  $c$  为光速。 $g_{S1}$  是斯托克斯光的增益系数

$$g_{S1} = \frac{8\pi c N}{\hbar \omega_{S1}^3 n^2 \delta \tilde{\nu}_R} \left( \frac{d\sigma}{d\Omega} \right) \quad (4)$$

这里  $N$  是喇曼介质单位体积的分子数,  $\delta \tilde{\nu}_R$  是以波数表示的喇曼振动模式的线宽,  $(d\sigma/d\Omega)$  是该振动模式的微分散射截面,  $\hbar$  是普朗克常数。

我们考虑泵浦高斯光束被焦距为  $f$  的透镜聚焦。取泵浦光传播方向为  $+z$ , 则光束截面变化为

$$S(z) = \pi W_0^2 + \frac{\pi W^2}{f^2} (z-f)^2 \quad (5)$$

这里  $W_0 = f\lambda/\pi W$  是在焦面处光束半径,  $W$  是入射准直泵浦光半径,  $\lambda$  为泵浦波长。

由于泵浦脉冲宽度较长, 振动弛豫时间较短, 可考虑采用稳态处理。

当泵浦光束进入焦点区域, 均匀的斯托克斯光噪声背底强烈放大, 发展成脉冲, 后向斯托克斯光强的空间增长形式

$$I_{S1}^B \propto A^{-1}(x) \exp \left[ g_{S1} \pi W^2 I_0 \int_0^x A^{-1}(x) dx \right] \quad (6)$$

这里距离  $x$  由透镜焦面处开始计算。对距离  $x \ll z_R$  时, 后向斯托克斯光增强为指数型, 增益系数为

$$G = g_{S1} \pi W^2 I_0 \lambda^{-1} \tan^{-1}(x/z_R) \quad (7)$$

这里  $z_R = \lambda f^2/\pi W^2$  是聚焦光束的雷莱范围。当喇曼增益足够大时, 后向喇曼光强度很快达到足以倒空泵浦光水平, 结果喇曼光脉冲能量线性增加, 强度近似为指数增加, 结果后向喇曼光脉冲宽度变窄。当脉冲行进远离透镜焦点处时, 增益系数  $G$  近似为常数值,

$$G = g_{S1} \pi W^2 I_0 / 2\lambda \quad (8)$$

一般情况  $G < 40$ , 否则出现喇曼光的饱和效应。由此求得泵浦光强

$$I < \frac{2\lambda G}{g_{S1} \pi W^2} \quad (9)$$

或泵浦光功率

$$P < \frac{2\lambda G}{g_{S1} \pi} \quad (10)$$

取泵浦波长  $\lambda = 0.53 \mu\text{m}$ ,  $g_{s1} \sim 10^9 \text{ cm/W}$ , 则  $P < 10^7 \text{ W}$ 。即当泵浦光大于  $10^7 \text{ W}$  时, 输出喇曼光强度将产生饱和限幅作用。

另一方面, 由于后向喇曼光脉冲宽度可以很短于泵浦光脉冲宽度, 即后向喇曼光功率可以大于泵浦光功率, 因此它可能引起二级后向斯托克斯光产生。从而引起对一阶后向斯托克斯光的限幅作用:

$$P_{s1} < \frac{2\lambda_{s1}G}{g_{s2}\sigma} \quad (11)$$

这里  $g_{s2} = g_{s1} \frac{\omega_{s2}}{\omega_{s1}}$ , 所以

$$P_{s1} < \frac{2\lambda_{s2}G}{g_{s1}\sigma} \quad (12)$$

由(12)式看出,  $P_{s1}$  限幅功率大于  $P_0$  限幅功率。所以一般情况下, 主要由泵浦光功率饱和引起限幅作用。

### 三、实验描述

本实验工作是在中国科学院上海光机所 6 路大功率激光装置上进行的。这个系统的振荡器采用主被动锁模方式。为了获得 200~300 ps 的激光脉冲输出, 在激光腔内加一标准具。正如我们曾指出的<sup>[5]</sup>, 标准具的加入将使激光输出出现某种调制特性。另一方面, 腔内五甲川溶于 1, 2-二氯乙烷溶液做可饱和吸收体, 染料在辐照过程中任何透过率的改变, 都会影响染料对激光脉冲的甄别特性, 从而出现卫星脉冲, 这个卫星脉冲既可在主脉冲前, 也可在主脉冲后出现<sup>[6]</sup>。

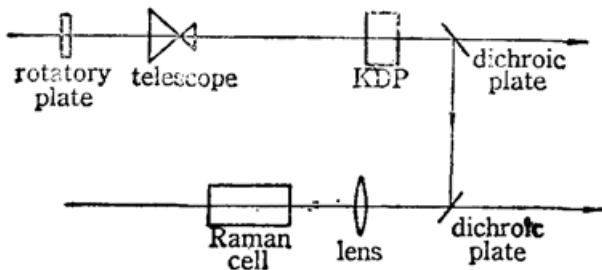


Fig. 1 Experimental scheme of Raman optical limiter

该实验是利用 6 路激光器中一路的一部分做为泵浦源。其实验安排如图 1。

1.06  $\mu\text{m}$  泵浦光为口径  $\phi 45 \text{ mm}$  的线偏振光, 为了满足 KDP 晶体 II 类倍频的匹配条件, 利用

45° 旋光片, 将其偏振方向旋转 45°, 以使 KDP 晶体满足正常光和非正常光电场分量相等。然后经过 3:1 望远镜缩孔, 经过 KDP 晶体倍频为绿光。这个绿光和 1.06  $\mu\text{m}$  光经过二色镜分光, 绿光通过  $f = 20 \text{ cm}$  透镜聚焦于喇曼介质中, 用二甲亚砷作为喇曼介质。由二甲亚砷产生的后向喇曼光 630 nm 光脉冲通过二色镜, 由条纹相机监视其脉冲形状。

实验发现, 在泵浦激光功率较低情况下, 喇曼光脉冲输出如图 2。

图 2(a) 和 (b) 是在条纹相机扫描速度为 10 ns 时给出的扫描波形。其脉冲宽度远小于激光器输出的脉宽 200~300 ps。说明在受激喇曼过程中, 脉冲大大压窄。脉冲不是单一的, 而包含卫星脉冲, 两个脉冲间隔约为 900 ps, 刚好相应于激光振荡器腔中标准具与后腔板的距离。图 2(a) 和图 2(b) 中两个脉冲间隔不完全相等是由于喇曼阈值特性和变窄特性所引起的误差。这种双脉冲的出现是由于染料甄别特性变坏所引起的。在染料新配制或没有变坏时, 其输出为单一脉冲。其相应喇曼光输出波形如图 2(c), 这时条纹相机扫速为 5 ns 档, 脉冲前沿较陡, 后沿呈指数形。

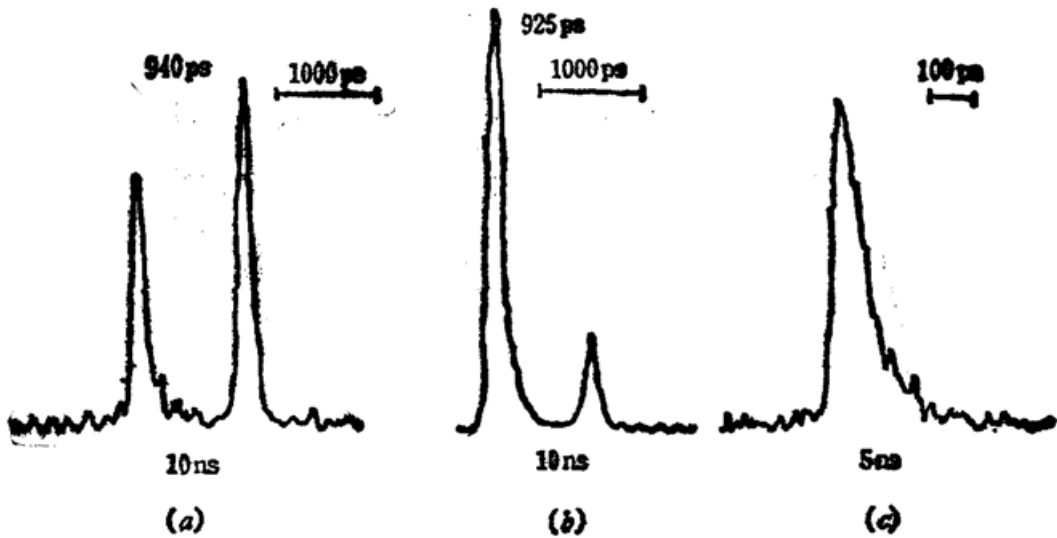


Fig. 2 Raman optical pulse under low power pumping

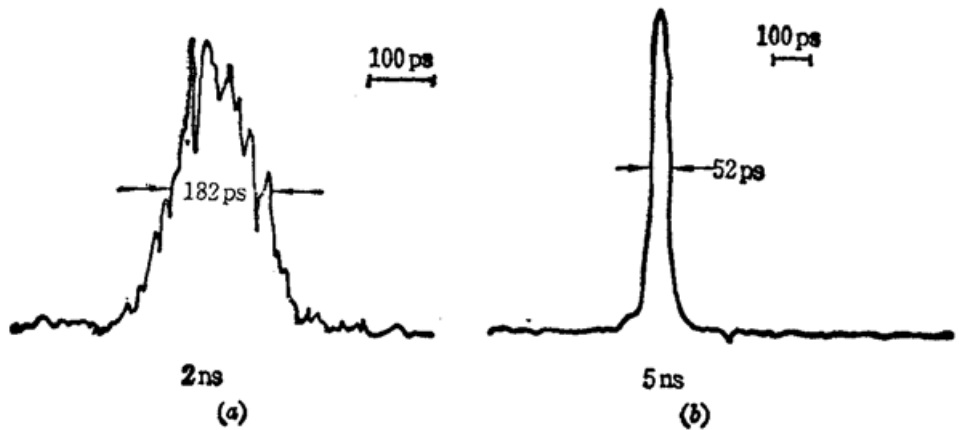


Fig. 3 Pumping pulse and Stokes pulse in normal case

在激光器运转正常情况下,我们测得的泵浦光 532 nm 的脉冲如图 3(a), 630 nm 的喇曼光脉冲如图 3(b)。

图 3(a)时,条纹相机扫描速度为 2 ns。求得绿光脉冲宽度为 182 ps,由此可推出 1.064  $\mu\text{m}$  激光脉冲宽度为 257 ps。脉冲呈现调制特性。图 3(b)时条纹相机扫描速度为 5 ns,求得红光脉冲宽度为 52 ps。喇曼光脉冲波形非常光滑。

在泵浦光强增加时,输出的后向喇曼光脉冲表现出明显的限幅特性。在激光输出包括卫星脉冲时,具有限幅特性的后向喇曼光波形如图 4。

从图 4 看出,强的主脉冲承受较大的限幅特性,输出的喇曼光脉冲形状为梯形。而小的卫星脉冲受到较小的限幅。

在激光器运转正常,输出为单一脉冲情况下,当泵浦光功率很高时,输出的后向喇曼光表现出明显的限幅作用,如图 5。

图 5 中,条纹相机扫描速度均采用 5 ns 档。从图 5 看出,通过喇曼限幅器可以获得有光滑平顶的梯形光脉冲。

该工作得到 863 基金的支持,并得到 6 路全体同志给予的帮助,在此一并表示感谢。

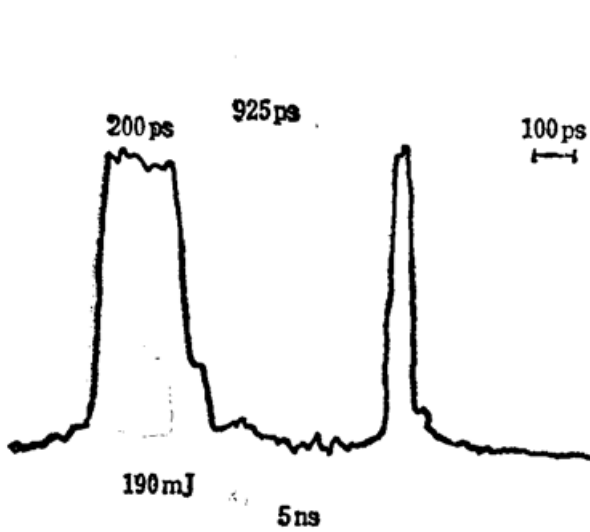


Fig. 4 Characteristics of Raman limiting under double pulse

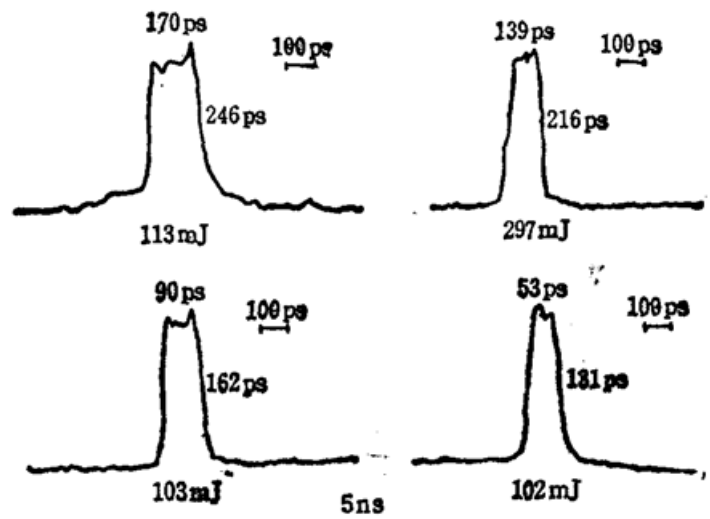


Fig. 5 Characteristics of Raman limiting under single pulse

### 参 考 文 献

- 1 R. C. O. Leite *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **10**, 100 (1967)
- 2 M. J. Soileau *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-19**, 731 (1983)
- 3 G. L. Wood, *Proc. SPIE*, **1105**, 154 (1989)
- 4 G. I. Kachen *et al.*, *Phys. Rev. A.*, **16**(4), 1657 (1977)
- 5 孟绍贤 *et al.*, *光学学报*, **6** (9), 824 (1986)
- 6 孟绍贤 *et al.*, *物理*, **11** (5), 295 (1982)