

受激喇曼过程中的脉冲压缩

郑茜冰

曹宏利

(福建师范大学激光所)

(哈尔滨工业大学激光专业)

摘要: 论述实际喇曼过程中的双光子双稳态特性, 讨论通常的喇曼脉冲的压缩机理。这种机理有可能实现可调谐的脉冲压宽技术。

Pulse shortening in stimulated Raman processes

Zheng Qianbing

(Laser Institute, Fujian Teachers University, Fuzhou)

Cao Hongli

(Faculty of Laser, Harbin Institute of Polytechnology, Harbin)

Abstract: Two-photon bistability in practical stimulated Raman processes is described and verified and the compression mechanism of Raman pulses which will make the shortening of tunable pulse technique possible is discussed.

喇曼过程中的脉冲压缩作用早已引起人们的注意^[1~4], 并且由于喇曼过程中的其它一些特性, 诸如高效率转换, 改善光束质量等, 使之具有广泛的应用场景。各种形式的喇曼压宽技术也已得到了研究^[5~6]。在这里我们论述实际喇曼过程中的一类相变特性, 讨论通常喇曼脉冲的压缩机理, 这种机理有可能使我们实现可调谐的脉冲压宽技术。

通常的以 Fabry-Perot 共振腔构成喇曼池的喇曼激光器, 在喇曼介质中建立 Stokes 光强的非线性过程与腔镜反馈相互作用将会发生双稳态效应^[7~9]。在高强度泵浦入射光 (Y_2) 的泵浦下, 仅考虑其吸收型双稳情况, 为讨论简便, 并认为泵浦光强度在喇曼转换

过程前后基本保持不变, 即泵浦出射光 $X_2 \approx Y_2$, 则可得到状态方程:

$$Y_1 = X_1 [1 + 2OY_2^2 / (1 + X_1^2 Y_2^2)] \quad (1)$$

式中 Y_1 和 X_1 分别代表 Stokes 入射光与出射光, O 为喇曼双光子合作参量。这样就可以象分析单光子双稳态一样来进行研究。从 $dY_1/dX_1 = 0$, 即:

$$Y_1^2 X_1^4 + 2Y_2^2 (1 - OY_2^2) X_1^2 + 2OY_2^2 + 1 = 0 \quad (2)$$

得到了出现双稳态的条件为 $O > 4/Y_2^2$ 。由此可以看出喇曼双光子双稳过程不同于单光子双稳过程的特性, 在于 Stokes 光双稳态的发生受到泵浦光的控制。

收稿日期: 1985年12月23日。

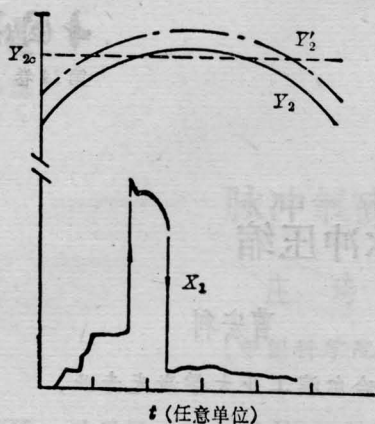


图1 喇曼激光建立的一类相变特性

受激喇曼过程中的这一双稳态效应，将对有效 Stokes 输出的建立起着重要的作用。我们通过图1来说明。

通过具有增益特性的喇曼介质，腔镜对喇曼激光的建立起着正反馈作用。亦即前一程喇曼放大的结果，通过两窗镜的反馈而回到介质前端处的 Stokes 光子又将再次作为后一程的初始光强 (Y_1) 同泵浦光 (Y_2) 一道形成第二次放大。几次的反馈将使得这一作为初始光强的 Stokes 强度达到双光子双稳态的低分支向上跳跃点所对应的输入光强，结果产生了输出光强 (X_1) 的双稳态跃变，从而达到高分支建立起有效的 Stokes 激光输出。但只要当泵浦光强不足以维持这一高分支输出时，Stokes 激光输出将又通过高分支上的不稳定点淀积而落到低支，结果脉冲结束。这就是喇曼激光器中的激光形成过程，表现出一类相变特性而不同于通常激光（二类相变）过程。

通过对高压 H_2 喇曼激光器中的脉冲波形进行时间分辨，证实了上面的说明。如图2，两级放大，调 Q (隐花菁——乙醇溶液， $T = 64\%$) 的红宝石激光器作为泵浦源。694.3 nm 激光通过透镜 L ($f = 480$ mm) 汇聚于喇曼池中，池内充高纯氢 20 个大气压，选择喇曼池池长 600 mm。喇曼池两端腔片构成 F-P 共振腔，分别对一阶 Stokes 分量 (975.8 nm)

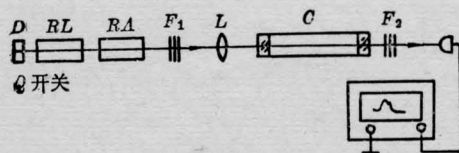


图2 实验装置图

起反馈作用 ($M_1 = 99\%$, $M_2 = 98\%$) 且压抑其它 Stokes 分量。出射光通过滤光片组的滤光与衰减，而后由强流管接收输至示波器显示。利用 Gen Tec ED-500 探测器与 Tek 466 示波器检测能量，通常的泵浦光能量为 500 mJ，并利用 OK-19 型示波器来观察波形，泵浦光脉冲宽度为 65 ns。

以一组滤光片 F_2 滤去足以淹没一阶 Stokes 分量的泵浦光与其它喇曼分量，用 OK-19 型 (100 MHz) 示波器观察，得到了 Stokes 激光脉冲波形图。图3为一组通过 F_1 依次衰减泵浦光得到的一次实验结果，但是多次的实验也表现出同样的特性。

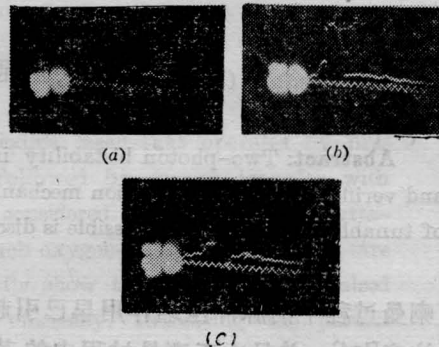


图3 Stokes 激光脉冲的时间可分辨波形图 (各图是按泵浦光的依次减少进行排列，通过滤光片组 F_1 进行衰减，图中扫描时基的每一周期为 10 ns)

对应于这组波形可作如下的描述：在开始时 Stokes 强度通过腔镜的反馈被泵浦光不断放大而增强。由于喇曼增益因子 g_s 足够大，并且泵浦光以纵向泵浦，因此这种准阶梯上升的波形中各阶梯对应着各不相同的放大程^[10]。通过几次的放大反馈，Stokes 强度到达了一定点，并且产生了雪崩式突变。这一定点是对应于喇曼双光子双稳态的低支向上跃迁点 (从图中看出，对所有的情形，这一

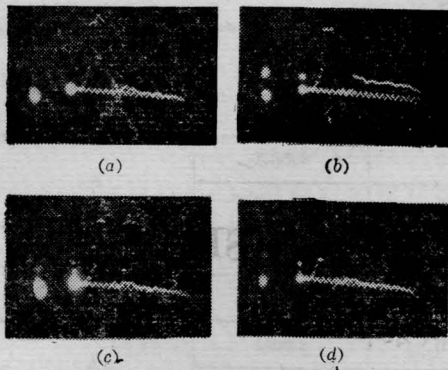


图4 通常SRS实验中的双光子双稳态效应

点是恒定不变的),这一光强的急剧跃变则相应于双稳态的跳跃。此后,这一处在高分支上的Stokes激光输出的时间变化形状则符合于Grasyuk对喇曼激光动力学的模拟^[11],最后又通过不稳点的淀积掉到低分支而使脉冲结束。这一脉冲的形成过程呈现出双稳回线的特性,如图3(b)。

比较图3(a)、(b)、(c)中的“低态压抑平台”的产生,可以看出双光子双稳态中所特有的主动控制性质。由于调Q后的多模激光巨脉冲不可能是平顶输出,因此,出现了这样的情况(图1中),在泵浦光脉冲的时间变化进程中,当 Y_2 小于双光子双稳态的开关强度阈值 Y_{20} 时, X_1 将被一直压抑在低分支上形成了一平台。但是,只要当 Y_2 达到这一 Y_{20} 时, X_1 立即产生跳跃达高支态,结果得到一个尖峰输出,如图3(c)所示。

由于通常的SRS实验中,光腔的反馈也是重要的^[10],因而也一样发生了一类相变过程(如图4),固定不变的相关跳跃点,淀积迹象和图4(d)中的低态压抑平台。

实际喇曼过程中的这种一类相变特性,构成了其削波作用,亦为脉冲前部的削波是通过双光子双稳态现象中的主动控制特性来实现的,脉冲后部的削波则是通过双稳态的淀积现象而完成的。这一机理也很好解释了有关SRS光脉冲时间特性方面的实验。例如在紫外泵浦(ArF, KrF)下的 H_2 中SRS^[2]中脉冲时间特性方面表现出:在泵浦阈值附

近,随着泵浦的能量(文献[2]中即强度)增加,各SRS脉冲加宽,在较高泵浦强度下,随泵浦强度增加,各SRS光脉冲加宽出现饱和并接近泵浦宽度。现在,我们已知道了喇曼过程的这种泵浦阈值就是由双光子双稳态所决定的开关阈值。这些时间特性表明,随着泵浦强度的增强,即可使脉冲前部压抑平台的宽度缩短,也可使后部维持高态输出的时间更长。这与以上的红宝石激光泵浦下的结果相同(图3、4)。这些特性是介质饱和机理^[11]所不能解释的。在实际的喇曼过程中,即使工作密度较低,由于在介质饱和起决定作用之前就发生了这种双稳态现象,因此,使其对脉冲压缩的作用并不主要。

这种脉冲压缩作用,为我们提供了一种可调谐的脉冲压缩方法:控制泵浦达到双光子双稳态开关阈值 Y_{20} 的时间,便可控制“压抑平台”的长短,从而达到控制Stokes脉冲宽度的目的。例如,可以通过图2中的衰减片组 F_1 ,在双稳态开关阈值附近连续地衰减泵浦幅度,将实现这种可调谐的脉冲压缩。

参 考 文 献

- [1] N. Djou; "High-Power Lasers and Applications", ed. by K. -L. Kompa, H. Walther (Springer-Verlag, Berlin, 1978), p. 117.
- [2] 马祖光;《哈尔滨工业大学学报》,1983, No. 3, 1.
- [3] 季汉庭;《应用激光联刊》,1984, 4, No. 3, 8.
- [4] 孟绍贤等;《中国激光》,1985, 12, No. 11, 694.
- [5] J. R. Murray et al.; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1979, QE-15, 342.
- [6] F. de Rougemont et al.; *Opt. Commun.*, 1985, 54, No. 5, 301.
- [7] G. P. Agrawal, G. Flytzanis; *Phys. Rev. Lett.*, 1980, 44, 1058.
- [8] J. A. Hermann, B. V. Thompson; in "Optical Bistability", ed. by C. M. Bowden et al.; (Plenum, New York, 1981), p. 199.
- [9] 李福利;《物理学报》,1983, 32, No. 1, 71.
- [10] 郑茜冰, 曹宏利;《量子电子学》, 1985, 2, 317.
- [11] A. Z. Grasyuk; in "Laser and Their Applications", ed. by N. G. Basov (Consultants Bureau, New York and London, 1976) p. 84.