

文章编号: 0258-702X(2002)02-0153-03

宽带抽运情况下乙醇、丙酮溶液中受激拉曼散射光谱的实验研究

李 伟, 冷雨欣, 林礼煌, 张正泉

(中国科学院上海光学精密机械研究所强光光学实验室, 上海 201800)

提要 研究了乙醇、丙酮两种拉曼介质在宽带抽运情况下啁啾激光脉冲的受激拉曼散射频谱特性, 得到的一级 Stokes 光频谱宽度与抽运光基本相当, 且具有较高的转换效率, 从而表明了利用“展宽—受激拉曼散射—压缩”的办法获得波长近 $1 \mu\text{m}$ 的飞秒级超短脉冲激光信号源的实验方案具有可行性。

关键词 受激拉曼散射, 宽带啁啾脉冲, 乙醇, 丙酮

中图分类号 O 437.2 文献标识码 A

Experimental Study on Spectrum of Stimulated Raman Scattering in Ethanol and Acetone Pumped by Broadband Chirped Pulses

LI Wei, LENG Yu-xin, LIN Li-huang, ZHANG Zheng-quan

(Laboratory for High Intensity Optics, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract The spectral properties of stimulated Raman scattering in ethanol and acetone pumped by broadband chirped pulses are examined. The spectral width of the generated first-order Stokes emission is comparable with that of the pump pulse, and the conversion efficiency is also considerably high. Consequently, it is possible to obtain femtosecond laser pulses of about $1 \mu\text{m}$ wavelength, by a “broadening—SRS—compression” experimental scheme.

Key words stimulated Raman scattering, broadband chirped pulse, ethanol, acetone

1 引 言

超快技术的发展促使人们不断地去寻求更短、更快的光辐射源, 但是目前已知的能够产生这种辐射的介质并不是很多, 严重地限制了超短脉冲激光辐射源的种类与光谱范围。利用受激拉曼散射(SRS)原理^[1], 人们可以从现有的激光辐射源获取辐射质量相当、但频率不同的新的辐射源。

另一方面, 在基于新原理的新一代超强超短激光——光学参量啁啾脉冲放大(OPCPA)激光系统的发展中, 需要研制脉宽近 10 fs , 波长近 $1 \mu\text{m}$ 的超短脉冲激光信号源^[2]。利用调谐原理由钛宝石激光器直接输出虽是一种可能的办法, 但是由于 $1 \mu\text{m}$ 处于

钛宝石工作介质增益曲线的边缘地带, 增益小且斜率大, 输出很不稳定, 想得到锁模输出则更困难。因此拉曼散射应是可能实现这一目的的最简单且有效的途径。

由于飞秒或亚皮秒量级的超短脉冲的脉宽可能已短于拉曼散射的消相位时间 T_2 , 此时, 用于稳态时的一些方法与计算公式可能已不再适用, 这称为瞬态受激拉曼散射(TSRS)。利用 TSRS 对脉宽大于 100 fs 的脉冲进行频率平移已有成功的研究结果^[3], 但是对于 $\sim 10 \text{ fs}$ 量级的脉冲, 在实验上实现的难度依然很大, 目前还未有成功的报道。其主要原因是脉冲过短导致相互作用距离太短, 很难得到足够的转换效率。另外, 群速失配、自相位调制以及

收稿日期 2000-12-05; 收到修改稿日期 2001-02-09

作者简介 李伟(1978—)男, 中国科学院上海光学精密机械研究所硕士研究生, 主要从事超强超短激光脉冲与物质相互作用的实验研究。E-mail: fazuo.lee@263.net

自聚焦等效效应也严重地抑制了转换效率的提高。

综上所述,为了在实验上获得脉宽近 10 fs,波长近 1 μm 的超短脉冲激光信号源,可以设想采取以下方案实现:首先将 ~ 10 fs 量级的激光脉冲展宽至 ~ 300 ps 左右,而后利用 SRS 将展宽后的宽带啁啾脉冲中心频率平移,最后再将脉冲压缩还原。实现这一方案的核心环节是对宽带啁啾脉冲进行频率平移。在此过程中,应基本保持原脉冲的频谱宽度,并应有较高的转换效率。

本文的目的就是探讨以上方案实现的可能性。为此我们研究了宽带抽运情况下啁啾激光脉冲的 SRS 光谱特性。我们就乙醇、丙酮两种拉曼介质分别进行了实验,由频谱宽度约 21 nm 的抽运光得到了频宽约 17 nm 的一级 Stokes 散射光,且转换效率可达 10% \sim 20%。

2 实验装置

实验装置布置如图 1。激发光源取自 5 TW 钛宝石超短脉冲激光系统四通前置放大器的输出,其中心波长为 799.8 nm,脉宽 ~ 40 fs^[4]。P 为将此激发光展宽至 230 ps 后所获得的宽带啁啾脉冲,频谱宽度 21.7 nm,脉冲能量 6 \sim 14 mJ。入射激光经凹面反射镜 M 聚焦至样品盒 C。反射镜 M 的焦距为

10 cm ($R = 20$ cm) 样品盒 C 的规格为:长 20 mm \times 宽 10 mm \times 高 15 mm。样品分别选用 99.7% 的乙醇和 99.5% 的丙酮溶液。SRS 光经焦距为 5 cm 的透镜 L 聚焦到光屏 S 上。最终的光谱由光纤谱仪 F 从光屏 S 上测得。

3 实验结果

采用的抽运激光中心波长为 $\lambda_p = 799.8$ nm,脉宽 $\tau_p = 230$ ps,其频谱如图 2 所示。对于拉曼频移为 ν_d (cm^{-1}) 的散射介质,其一级 Stokes 散射光的中心波长为

$$\lambda_s = \frac{\lambda_p}{1 - \lambda_p \nu_d}$$

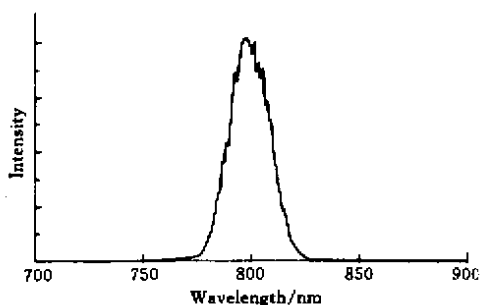


图 2 抽运光谱型

Fig.2 Spectrum of the pump pulse

乙醇与丙酮的拉曼频移分别为 2928 cm^{-1} 与 2925 cm^{-1} ,因此其一级 Stokes 散射光的中心波长将分别是 1044.4 nm 与 1044.0 nm。在实验中,除了观测到一级 Stokes 光之外,还观察到了一级、二级反 Stokes 光(由于谱仪测量范围的限制,未能测到二级以上的 Stokes 光)。实验中测得的不同抽运脉冲能量情况下的 Stokes 与 anti-Stokes 光的频谱分别如图 3 \sim 图 5 所示。

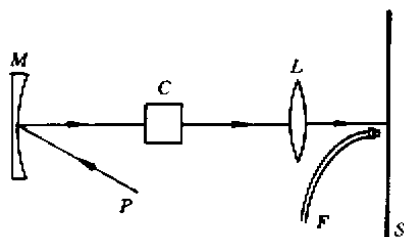


图 1 实验装置

Fig.1 Experimental setup

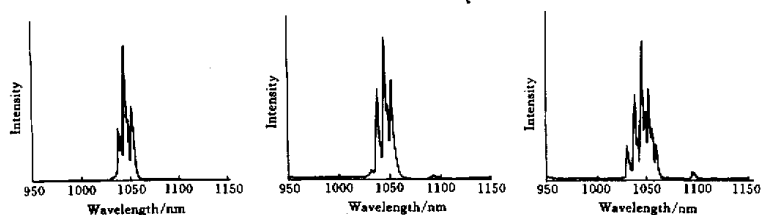


图 3 抽运脉冲能量分别为 6, 10 和 14 mJ 时乙醇的 Stokes 光谱

Fig.3 Spectrum of the Stokes emission in ethanol pumped by pulses with energy of 6, 10 and 14 mJ, respectively

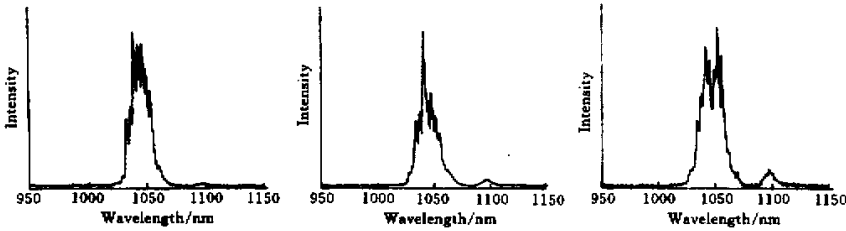


图 4 抽运脉冲能量分别为 6 ,10 和 14 mJ 时丙酮的 Stokes 光谱

Fig.4 Spectrum of the Stokes emission in acetone pumped by pulses with energy of 6 , 10 and 14 mJ , respectively

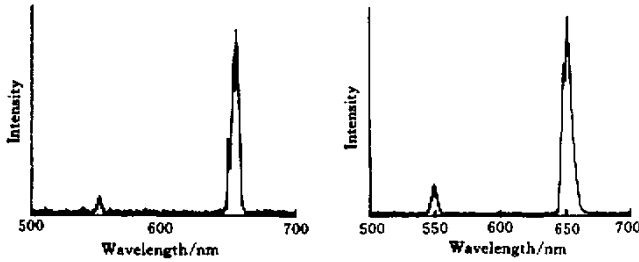


图 5 抽运脉冲能量为 10 mJ 时乙醇与丙酮的 anti-Stokes 光谱

Fig.5 Spectrum of the anti-Stokes emission in ethanol and acetone pumped by pulses with energy of 10 mJ

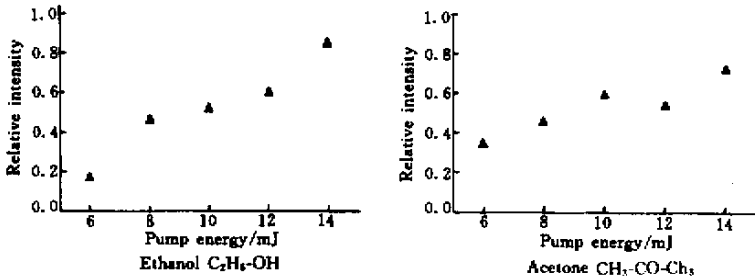


图 6 乙醇和丙酮的一级 Stokes 光相对强度与抽运脉冲能量的关系

Fig.6 Relative intensity of the first-order Stokes emission in ethanol and acetone as a function of energy of the pump pulse

从实验结果来看,一级、二级反 Stokes 谱线较抽运光(抽运光谱宽为 21.7 nm)来说窄了许多,它们的平均宽度分别为 6.5 nm 与 4.2 nm,而 Stokes 谱线的平均宽度基本与抽运光相当,约为 16.3 nm。一级 Stokes 光的脉冲能量随抽运光功率的不同,一般可达到 1~2 mJ,转换效率约在 10%~20% 之间不等。对一级 Stokes 光脉宽的初步测量还显示出,其脉宽随抽运功率的增加而呈减小趋势,平均约为 100~150 ps 左右。这样的频谱宽度与转换效率已基本可以保证进一步的脉冲压缩的质量。

另外,我们对不同抽运脉冲能量下的 Stokes 光的相对强度也做了测量,其结果如图 6。

4 结 论

本文揭示了利用受激拉曼散射将波长约 800

nm 的钛宝石激光转换成波长约 1 μm 激光输出的可行性。由于输出的一级 Stokes 光基本上保持了抽运光的谱宽,并且具有较高的转换效率,因此通过进一步的脉冲压缩还原,从而获得更短量级的飞秒激光脉冲也是可能的。

参 考 文 献

- 1 N. Bloembergen. The stimulated Raman effect [J]. *Am. J. Phys.* , 1967 , **35** (11) 989 ~ 1023
- 2 I. N. Ross , P. Matousek , M. Towrie *et al.* . The prospects of ultrashort pulse duration and ultrahigh intensity using optical parametric chirped pulse amplifiers [J]. *Opt. Comm.* , 1997 , **144** :125 ~ 133
- 3 I. G. Koprnikov , Akira Suda , Pengqian Wang *et al.* . High-energy conversion efficiency of transient stimulated Raman scattering in methane pumped by the fundamental of a femtosecond Ti : sapphire laser [J]. *Opt. Lett.* , 1999 , **24** (18) :1308 ~ 1310
- 4 Xu Zhizhan , Yang Xiaodong , Vigroux Luc *et al.* . 5.4-TW/46-fs 10-Hz Ti : sapphire laser system [J]. *Science in China* , 2000 , **A43** (5) 533 ~ 538